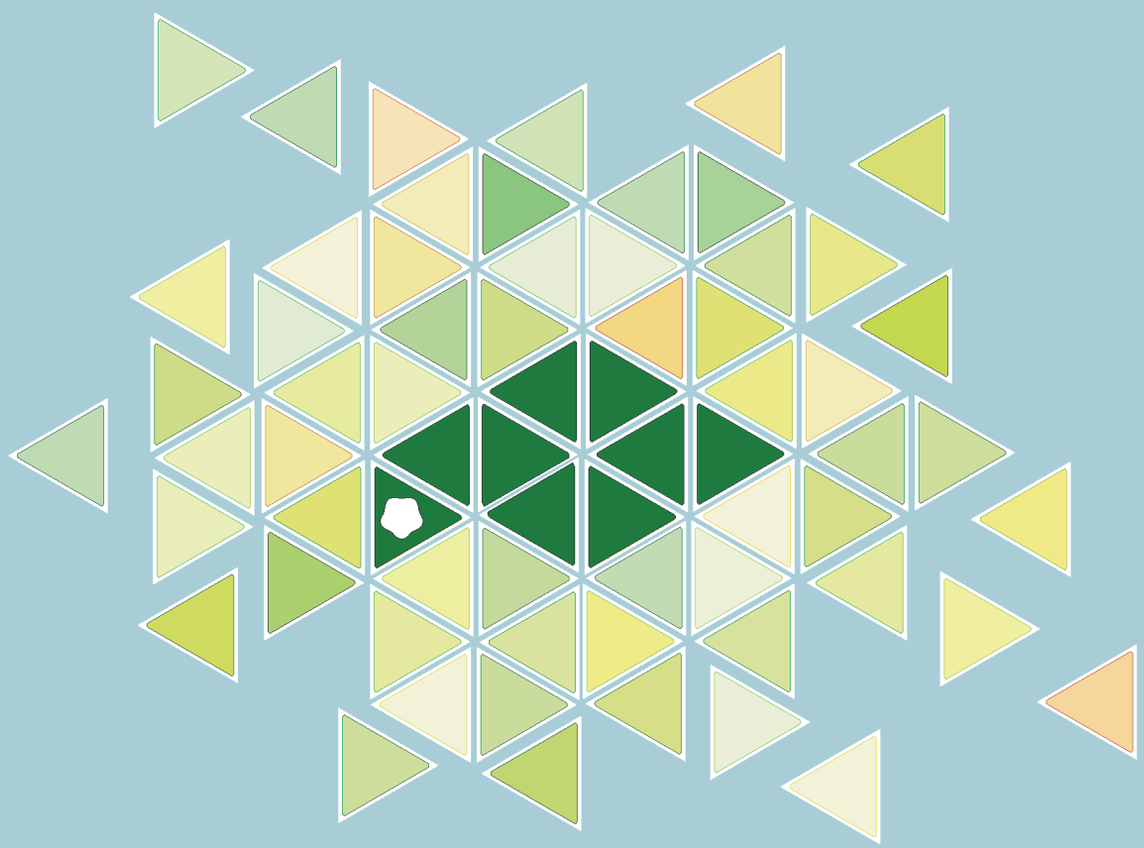
Info Hokkaido 2014

情報処理北海道シンポジウム2014

講演論文集



日 時 ： 平成26年10月4日(土)

場 所 ： 公立はこだて未来大学

主 催 ： 一般社団法人情報処理学会北海道支部

http://hokkaido.ipsj.or.jp/

目　次

A-01 個人のライフステージを考慮したクラウド型身体活動量管理支援システムの開発 4
　〇渡邊 宏尚(釧路公立大学), 林 秀彦(鳴門教育大学), 皆月 昭則(釧路公立大学)
A-02 Leap Motionを利用した3次元医用画像表示方法の提案 6
　〇ZHANG XINYUAN, Dong Jian(北見工業大学情報システム工学専攻),
　　早川吉彦(北見工業大学工学部情報システム工学科)
A-03 自動和声付与システム”CMY” 10
　〇エバンズ　ベンジャミン　ルカ(北海道大学大学院情報科学研究科)
A-04 在日生活をサポートする中国人向け 日本語学習Webアプリケーションの開発 12
　〇ジョ　サン(北海道情報大学経営情報学研究科), 高井　那美(北海道情報大学)
A-05 単語の概念構造と格を考慮したテキスト含意関係認識 14
　〇阿部建, 栗原正仁, 小山聡, 佐藤晴彦(北海道大学大学院情報科学研究科)
A-06 明治期の函館新聞を対象にした頻出文字列に対する重要度の評価 18
　〇阿保友也, 寺沢憲吾(公立はこだて未来大学)
A-07 自主学習継続のための学習支援システムの構築 20
　〇安藤大岳, 大場みち子(公立はこだて未来大学)
A-08 3Dモデルを用いた函館湾の海上交通の可視化 24
　〇伊藤飛雅, 高博昭, 和田雅昭(公立はこだて未来大学)
A-09 畳み込みニューラルネットワークによる動画データを用いた エージェント行動癖の認識 26
　〇遠峰孝太(北大工), 飯塚博幸, 山本雅人(北大情報科学)
A-10 看護師勤務表作成問題への進化型多目的最適化の応用 30
　〇奥寺将至(室蘭工業大学大学院　情報電子工学系専攻), 渡邉真也(室蘭工業大学大学院　しくみ情報系領域)
A-11 移動データに基づいた地図変形による生活時空間の認知 36
　〇横井逸人, 角康之(公立はこだて未来大学), 松村耕平(立命館大学)
A-12 既存資源を活用した新たな視点の地域観光スタイル開発 ーヘルスツーリズム支援アプリ開発を通じてー 42
　〇河辺雅史, 佐々木拓真, 辻浦崇大, 仲松聡, 奥野拓, 伊藤恵(公立はこだて未来大学)
A-13 PBL向けインフォーマル学習支援システムの構築 48
　〇花田 洋貴, 大場 みち子(公立はこだて未来大学), 藤原 哲 (公立はこだて未来大学大学院)
A-14 Deep Learningを用いたイラスト画像検索システム 52
　〇丸藤 剛大, 栗原 正仁, 小山 聡, 佐藤 晴彦(北海道大学大学院情報科学研究科)
A-15 デマンドバスの運行シミュレータによる集約の効果の検証 54
　〇岩崎剛(公立はこだて未来大学システム情報科学部複雑系知能学科知能システムコース), 竹川佳成,
　　平田圭二(公立はこだて未来大学)
A-16 文章の構造化によるeポートフォリオ入力・評価支援方法の提案 56
　〇吉田匡孝, 奥野拓(公立はこだて未来大学)
A-17 大型施設におけるタブレット端末を用いた情報提供手法の開発 58
　〇宮原湧司(函館工業高等専門学校専攻科生産システム工学専攻), 後藤等(函館高専生産システム工学科)
A-18 ハンドボールにおける戦術共有支援のためのボロノイ領域を利用したタブレット型アプリケーションの開発 60
　〇宮森勇作, 川村秀憲, 鈴木恵二(北海道大学大学院　情報科学研究科　調和系工学研究室)
A-19 姿勢・位置情報の共有によるアバタベースのARコミュニケーションシステム 62
　〇宮津 研士郎(北海道大学大学院 情報科学研究科), 高井 昌彰(北海道大学　情報基盤センター)
A-20 二者間における協力ニューラルフィードバックトレーニング 64
　〇宮澤　初穂(北海道大学工学部), 飯塚　博幸, 山本　雅人(北海道大学大学院情報科学研究科)
A-21 音響測位における位相特性による誤差についての基礎検討 68
　〇熊木逸人, 諏訪部開(北海道大学工学部), 中村将成(北海道大学大学院情報科学研究科), 秋山尚之
　　(総合研究大学院大学), 杉本雅則(北海道大学大学院情報科学研究科), 橋爪宏達(国立情報学研究所)
A-22 SOMによるフォーメーション形成に関する研究 74
　〇栗田　佑磨, 岩館　健司, 鈴木　育男, 渡辺　美知子(北見工業大学)
A-23 染色体数可変GAに関する基礎検討 76
　〇古川真衣, 村本充(苫小牧工業高等専門学校), 大島功三(旭川工業高等専門学校),
　　大宮学(北海道大学情報基盤センター)
A-24 ズーム型画像表示とスポット照明の相互連動による博物館における鑑賞支援 84
　〇古藤健太, 川嶋稔夫(公立はこだて未来大学)
A-25 深層学習を用いたペアワイズ分類 86
　〇古堂和音, 佐藤晴彦, 小山聡, 栗原正仁(北海道大学情報科学研究科知能ソフトウェア研究室)
A-26 バス位置の可視化による観光支援システムの提案 90
　〇工藤 卓也, 奥野 拓(公立はこだて未来大学)
A-27 函館湾内の船舶位置情報重畳表示による安全航行支援 92
　〇高　博昭, 和田　雅昭(公立はこだて未来大学)

A-28 小型船舶の横揺れ計測と復原性の評価 96
〇高橋　浩貴(公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科), 高　博昭,
和田　政昭(公立はこだて未来大学)
A-29 星新一作品のネットワークによる分析の試み 100
〇高橋寛恒(公立はこだて未来大学大学院), 松原仁(公立はこだて未来大学)
A-30 超大規模Vehicle Routing Problemに対するクラスタリングを利用した段階的詳細化に基づく進化型多目的最適化アプローチの提案 104
〇佐藤　哲也(室蘭工業大学大学院　情報電子工学系専攻), 渡邉　真也(室蘭工業大学大学院
しくみ情報系領域), 榊原　一紀(富山県立大学　工学部　情報システム工学科)
A-31 議論を表現するタイムスパン木の生成方式についての検討 110
〇三浦寛也, 竹川佳成, 平田圭二(公立はこだて未来大学)
A-32 識別精度が一様でない識別子の集合による多数決 116
〇三上絢子, 工藤峰一, 中村篤祥(北海道大学大学院情報科学研究科)
A-33 マキネーション・ダイアグラムを用いた ゲームバランスの継続的インテグレーション 119
〇三木 康暉, 佐藤 晴彦, 小山 聡, 栗原 正仁(北海道大学)
A-34 星新一ショートショートからの歌詞自動生成法の研究 121
〇山口葵, 竹川佳成, 平田圭二(公立はこだて未来大学)
A-35 成人ダンス初心者のパフォーマンス熟達におけるチャンク形成過程の分析 123
〇山本真平, 竹川佳成, 平田圭二(公立はこだて未来大学)
A-36 生徒の不明点を理解し教示するための支援機能をもつ英会話レッスン教授システムの提案 125
〇柴田健介, 竹川佳成, 平田圭二(はこだて未来大学)
A-37 自立的な対話をするキャラクタエージェントシステム 129
〇守田　航大(公立はこだて未来大学大学院), 角　薫(公立はこだて未来大学)
A-38 レビュー文の閲覧補助を目的としたネタバレ・意見文の分類 135
〇種田裕介, 佐藤晴彦, 小山聡, 栗原正仁(北海道大学 大学院情報科学研究科)
A-39 進化言語学の手法による人工生命における語彙の発生 137
〇小山寛人, 佐藤晴彦, 小山聡, 栗原正仁(北海道大学大学院　情報科学研究科　情報理工学専攻
知能ソフトウェア研究室)
B-01 臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの評価 143
〇小田川玲奈(公立はこだて未来大学 システム情報科学部　情報アーキテクチャ学科), 竹川佳成,
平田圭二(公立はこだて未来大学)
B-02 サウンドデジタルサイネージ効果による手指消毒促進機能の開発 149
〇小野寺　駿(釧路公立大学), 林　秀彦(鳴門教育大学), 皆月　昭則(釧路公立大学)
B-03 PBL向けリスク洗い出しと振り返り支援システムの構築 151
〇松野竜也, 大場みち子(公立はこだて未来大学)
B-04 ピアノ演奏熟達の効率化を目指した練習の可視化手法 155
〇上田健太郎, 竹川佳成, 平田圭二(公立はこだて未来大学)
B-05 場面検出を用いた音声マスタリングの自動化 161
〇上田雄大, 佐藤晴彦, 小山聡, 栗原正仁(北大情報科学研究科知能ソフトウェア研究室)
B-06 映像キャスティング手法を用いた看護技術教材作成支援システムの考察 163
〇水野凌太郎(釧路公立大学), 小林裕美子(釧路孝仁会看護専門学校), 林秀彦(鳴門教育大学),
皆月昭則(釧路公立大学)
B-07 情報投影型展示支援手法の提案 167
〇瀬川直生, 川嶋稔夫(公立はこだて未来大学)
B-08 遺伝的アルゴリズムにおける突然変異率の遺伝子座ごとの設定に関する調査 169
〇青山大樹, 栗原正仁, 小山聡, 佐藤晴彦(北海道大学　大学院情報科学研究科)
B-09 イベント実施における価値の提供 －北大グルメExpoを事例として－ 171
〇浅井俊行, 平田圭, 川村秀憲, 鈴木恵二(北海道大学)
B-10 Crowdsourcing: can workers compete with experts in generating predictors? 173
〇宋静, Satoshi Oyama, Haruhiko Sato, Masahito Kurihara(北海道大学情報科学研究科)
B-11 コーンビーム型X線CT画像に対する画質改善処理 175
〇孫氷玉(北見工業大学大学院情報システム工学専攻), 董建(北見工業大学大学院医療工学専攻),
張昕源(北見工業大学大学院情報システム工学専攻), 早川吉彦(北見工業大学工学部情報システム工学科)
B-12 ピアノ熟達におけるチャンク形成要因の分析 177
〇大角悠華, 竹川佳成, 平田圭二(公立はこだて未来大学)
B-13 Leveraging Crowdsourcing to Make Models in Multi-label Domains Interoperable 183
〇段　磊, 小山　聡, 佐藤　晴彦, 栗原　正仁(北海道大学大学院情報科学研究科)
B-14 管楽器初心者を対象とした音高正誤判定能力向上のための学習支援システム 187
〇池田絵里, 竹川佳成, 平田圭二(公立はこだて未来大学)
B-15 γダイバージェンスを用いた非負値行列因子分解 191
〇町田浩平, 竹之内高志(公立はこだて未来大学)
B-16 飛距離を伸ばす投球イメージ トレーニングシステムの研究 195
〇塚本裕樹(公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科),
角 薫(公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科)

B-17 心音の時間的特徴に基づく正常・異常心音の識別 201
〇田邊　圭佑, 三上　剛(苫小牧工業高等専門学校)
B-18 Kinectセンサーカメラによる姿勢変位推定を用いたCPR学習システムの開発 203
〇渡邊 宏尚, 土田 栞(釧路公立大学), 林 秀彦(鳴門教育大学), 皆月 昭則(釧路公立大学)
B-19 韓国語における比喩的素描手法に関する一考察 205
〇Ha Heon-myeong(北見工業大学大学院), 桝井文人(北見工業大学), Pham Xuan Quyen(北見工業大学大学院), Michal Ptaszynski(北見工業大学)
B-20 お産アプリを用いたプロジェクト「KODO」によるジェンダー意識の変容期待に関する研究 209
〇土田栞, 渡邊宏尚(釧路公立大学), 上川原ひろみ, 斉藤唯(市立釧路総合病院), 小松望(白糠町役場), 林秀彦(鳴門教育大学), 皆月昭則(釧路公立大学)
B-21 議論タイムスパン木生成ルールの提案について 213
〇能登楓, 三浦寛也, 竹川佳成, 平田圭二(はこだて未来大学)
B-23 ユーザの嗜好に基づいたイベント推薦システムの構築 215
〇兵藤允彦, 奥野拓(公立はこだて未来大学)
B-24 文章における言葉遣いが提示内容の理解に与える影響 217
〇北信生(公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科), 松原仁(公立はこだて未来大学)
B-25 スマーフォンによるテクスチャ解析を用いた生ウニのおいしさの簡易判別 221
〇本間朝博, 三上貞芳(公立はこだて未来大学)
B-26 ノイズあり教師によるパーセプトロン学習の解析 227
〇本田新, 岩館健司, 鈴木育男(北見工業大学), 池田和司(奈良先端科学技術大学院大学)
B-27 RDFを利用した推論に基づくリスト型質問応答システム 229
〇名取拓也, 佐藤晴彦, 小山聡, 栗原正仁(北大情報科学)
B-28 地域デジタルアーカイブスを活用した観光振興 233
〇木村健一, 蝦名奏子, 川嶋稔夫(公立はこだて未来大学大学院)
B-29 でこぼこスケッチ:凹凸のあるキャンバスを用いた立体スケッチインタフェース 237
〇友広歩李, 角康之(公立はこだて未来大学), 松村耕平(立命館大学)
B-30 自律的ネットワークにおける選択的攻撃の影響と媒介中心性を考慮した修復手法 242
〇有澤俊裕(公立はこだて未来大学大学院), 大沢英一(公立はこだて未来大学)
B-31 スマートフォン向けテキスト入力システムの提案と試用 -コンテクストアウェアなテキスト入力の実現へ向けて- 248
〇鈴木孝宏, 角康之, 美馬義亮(公立はこだて未来大学)
B-32 座面の圧力センサを使用した着席者の動作分析 254
〇鈴木駿介(北海道大学大学院情報科学研究科情報理工学専攻情報認識学研究室修士1年), 工藤峰一(北海道大学大学院情報科学研究科情報理工学専攻情報認識学研究室教授)
B-33 リモート魚群探知機の開発 258
〇和田雅昭, 安井重哉(公立はこだて未来大学), 畑中勝守(東京農業大学)
B-34 スマートフォンを用いたAR花札システムの開発 260
〇圓谷将大(北海道大学大学院　情報科学研究科), 高井昌彰(国立大学法人北海道大学情報基盤センター)
B-35 並列二重倒立振子の振り上げ安定化制御 262
〇櫻井仁貴, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司(北見工業大学)
B-36 DTM(DeskTop Music)での音作り支援システムの構築 264
〇齋藤 創, 大場 みち子(公立はこだて未来大学)
B-37 多者間での身体的相互作用による個性の発現 268
〇齋藤宗太郎, 飯塚 博幸, 山本 雅人
（北海道大学工学部情報エレクトロニクス学科情報工学コース自律系工学研究室）
B-38 うつ病患者の周辺看護者のための検索手法の提案 272
〇齋藤俊英, 平田圭二, 竹川佳成(公立はこだて未来大学), 荒牧英治, 宮部真衣
（京都大学学際融合教育研究推進センター）

個人のライフステージを考慮したクラウド型身体活動量管理支援システムの開発

渡邊 宏尚[†] 林 秀彦[§] 皆月 昭則[†]
(釧路公立大学)[†](鳴門教育大学)[§]

1 はじめに

身体不活動は「国民の健康増進」や「医療費削減」を妨げる根本要因である。国の平成 23 年の健康日本 21 の最終評価報告においては、運動習慣者の割合が増加しないことについて、「運動の重要性は理解しているが長期にわたる定期的な運動に結びついていないと考えられる」ことが示されており、身体不活動状態になっている人々に対するアプローチを行う必要がある。我が国の運動習慣の割合は、過去 10 年間の期間において、男性 32.16% 女性 27.22%であり[1]、国民への定着率が高いとはいえない。人々の健康促進には、運動習慣の定着と身体活動量の増加が重要であり、個人のライフステージに応じた支援が必要である。

「身体活動」は、「生活活動」と「運動」に分けられるが、総合的に評価・管理するシステムはない。現状ではウォーキングやランニングなど 1 種目に限定した歩数・カロリー管理のみである。そのため、様々な種目に対応した「運動」の評価・管理に加え、「生活活動」の評価・管理を総合的に可能にするシステムが必要不可欠である。本研究では原田[2]の理論をもとに、身体活動実践における自己調整（身体活動の計画や目標設定，実施状況の記録や評価などを自分で行うこと）を促す方策をシステム概念に応用した。身体活動の総合評価・管理にシステムが介入することで、身体活動の効果的な促進の実現を試みた。システムでは、日々の身体活動に関する記録管理機能を実装し、スマートフォンとクラウド技術を用いた。本システムによって個人のライフステージを考慮した総合的な身体活動量の管理が可能となった。

2 身体活動量判定に関する定式化

身体活動とは、安静にしている状態より多くのエネルギーを消費する全ての動きのことであり、運動とそれ以外の生活活動に区分できる。身体活動は定量化が可能であり、身体活動量(エクササイズ数)として「身体活動の運動強度(METs)」と「活動時間(分)」の積で導出できる。メッツという身体活動の運動強度については、 3 METs 以上の身体活動を 23 METs・時/週(23 エクササイズ) 実施することを推奨している[3]。身体活動の運動強度(METs)は厚生労働省所管の国立健康・栄養研究所で指定されたものであり[4]、システム実装時のパラメータも準拠させた。

2.1 身体活動における行動変容

身体活動の効果的な促進方策を構築するためには,心理学の学説を適用することが有効である。運動習慣がなく身体活動において無関心期の人や,あるいは,すでに身体活動を実施している人に対するアプローチとして,本研究では以下の方法論を応用して,ユーザインターフェースを設計する際の要求概念とした.

3 システム概要

3.1 システムの開発環境

システムの開発環境は、Eclipse IDE for Java EE Developers4.3 の環境において、Java 言語と SQLite を用いて開発した。また、クラウドサーバは MBaaS を利用し実装した。システムは可搬性を考慮して、Android OS スマートフォンに対応させるようにした。スマートフォンをユーザデバイスに用いることで、個人のライフステージに応じた環境での身体活動の評価・管理が可能になった。

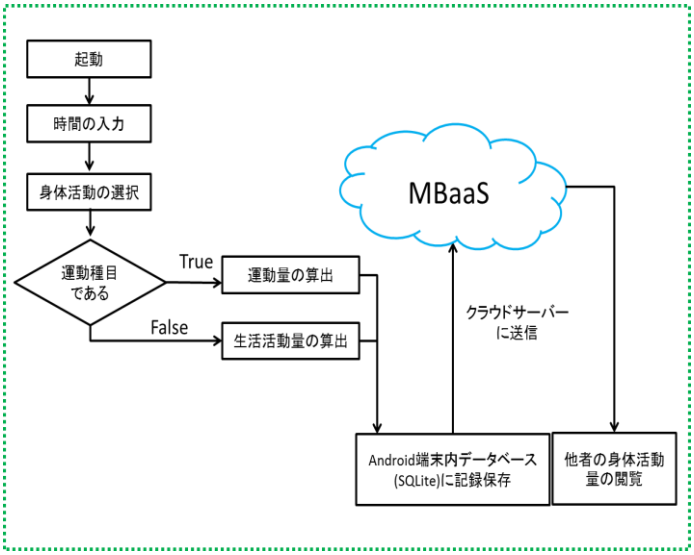


図 1 ユーザデバイス側とクラウド側の処理構成

*s122107@kpu.kushiro-pu.ac.jp
†釧路市芦野 4 丁目 1 番 1 号 釧路公立大学
§徳島県鳴門市鳴門町高島字中島 748 番地
鳴門教育大学大学院/情報基盤センター

3.1 身体活動量管理機能

身体活動量の導出演算は、身体活動カテゴリーを選択し、活動時間を入力すると、身体活動量が積和で導出処理できる。身体活動は、ウォーキング、家事・掃除などの日常生活活動とランニング、球技、水泳などの運動種目から選択できる。身体活動量は積算記録され、1 週間分の身体活動量の総和としてデータベース(SQLite)に積算記録され、目標達成に必要な身体活動量の目標値 23 METs・時/週(23 エクササイズ)との差分をユーザにコメント表示する。

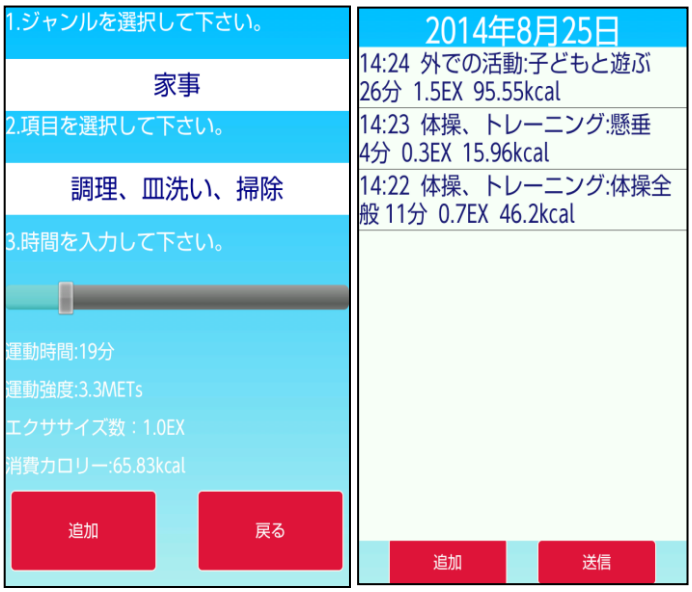


図 2 身体活動選択(左)とデータベース表示(右)

3.2 クラウド環境を用いた身体活動の共有機能

本システムでは、ユーザの 1 週間分の身体活動量の総量をクラウドサーバーに送信することで、他のユーザの身体活動量の平均値を知ることができる。ユーザの識別には、Android OS 端末固有の識別子である ANDROID_ID を用いた。これによって ID とパスワードによるユーザ認証の煩雑性を解消し、スムーズなクラウドサーバーへの接続を実現した。クラウド側では、ユーザから送信された年代、性別、1 週間分の身体活動量、ANDROID_ID を取得する。その後、他のユーザの身体活動量の総和による平均値をユーザの端末に送信する。

ユーザは他者との身体活動量の比較値を参照することで、その後の身体活動促進の動機を獲得できるようになっている。このように、身体活動量の個別知を匿名化して集合知とすることで、新たな情報の利用法がある。

図 3 管理画面(左)とクラウド送信フォーム(右)

4 検証

以下の GooglePlay で公開している。

図 4　アプリ名 Let's METs のロゴマーク

4.1 検証

システムはインターネットで公開配布しており、利用者を抜粋して質問票による調査を実施した。

4.2 検証結果

学会登壇時に述べる.

5 おわりに

図

身体活動の総合的な評価・管理機能と個人の健康づくりのための身体活動基準（モチベーション維持）のための他者データの取得クラウドシステムは、健康づくりにおける身体活動の意義を呼び覚ますきっかけになると期待できる。

参考文献

[1] “平成 24 年「国民健康・栄養調査」”,厚生労働省(2013).

[2] 原田 和弘,“身体活動の促進に関する心理学研究の動向”, 運動疫学研究会(2013).

[3] “健康づくりのための身体活動基準 2013”,厚生労働省(2013).

[4] “身体活動のメッツ「METs」表”,国立健康・栄養研究所(2012) サイト, www0.nih.go.jp/eiken/programs/2011mets.pdf

Leap Motion を利用した 3 次元医用画像表示方法の提案

張昕源(Zhang XinYuan)*　董建(Dong Jian)　孫氷玉(Sun BingYu)　早川吉彦
(北見工業大学情報システム工学専攻)

1. はじめに

今日の情報通信技術の発展は,コンピュータの多機能化，高性能化により,ジェスチャや音声などでコンピュータを操作することが可能となっている。元々は全ての操作はキーボードからのコマンド入力によってコマンドラインインターフェース（Command-line interface：CLI）とマウスによって基礎的な操作を行うグラフィカルユーザーインターフェース(Graphical user interface：GUI)である。近年では,Wii と Kinect と Leap Motion など様々な形態のナチュラルユーザーインターフェース（Natural user interface：NUI）デバイスを生み出した[1]。特に Leap Motion は何も触れずに手や指の動きでコンピュータを操作すると高精度な情報の取得を行うことができる，様々な専門分野に応用され今後も更なる発展が期待されるデバイスである。

Leap Motion は,ユーザーとコンピュータをインタラクテイブな 3D モーションで繋ぐ[2]。何にも触れることなく,空中で自然に手や指を動かすだけでデバイスを操作することができる。そこで,非接触型入力デバイスという特性が外科医にとっては非常に魅力がある[3] [4]。iPad はタブレットなので触って操作するよりも滅菌効果があると考えられる。Leap Motion は特に執刀中の外科医にとっては魅力的な操作デバイスとなる。これにより,検知される指の本数や,動作の違いにより Leap Motion を用いて三次元医用画像を操作するシステムを提案する。そして,Leap Motion の上に手や指の動作を判断し，両手の指の本数と動作の違いにより,医用三次元画像を操作する方法を提案する。

*m1352408042@std.kitami-it.ac.jp
北見市公園町 165 番地北見工業大学情報システム工学専攻

本研究では,非接触型入力デバイス Leap Motion で検査された高精度な空間位置情報を利用して医用三次元画像を観察･認識し,操作することができるようにする。ユーザーは Leap Motion の上で指と手を動かして,ヴァーチャル空間内の医用三次元画像を観察するシステムを開発しました。

2. 方　法

2.1 Leap Motion の概要とオブジェクト

Leap Motion は,8 立方フィート（およそ 61 立方センチメートル）の限られた視野の深さセンサーとして,2 台の赤外線（IR）カメラと 3 つの赤外線発光ダイオードで働きます[5]。両方のカメラから実体鏡学を使って,装置はツール,指と手機能からエラーを最小にすることができ,速度と精度を最大にするために，独特の数学モデルの上に築き上げられます。Leap の検出範囲は，装置の中心を頂点とした逆ピラミッドです。 検出距離は約 25～600 ミリメートルである。今回は,使用したオブジェクトは成人男性骨格形状データ（産総研 H20PRO-905）である[6]。データ使用許諾条件に合意して，この頭蓋骨格形状を利用した.

2.2 Leap Motion により得られる情報

Leap Motion は装置近くの手，指，および指状のツールを高い精度で検出し追跡します。Leap Motion ソフトウェアは検出した物体を分析し，手，指,ツールなどの位置関係,ジェスチャ，および動きを認識します。

Leap Motion の検査されたデータが視覚的に表現されており以下二つで構成される。(Fig. 1)

- **検査された手の情報**

パームの空間位置，手にフィットする球体の半径，手の水平面に対する角度，指の数，指の平均位置，手の ID

- **検査された指の情報**

指先の XYZ 座標，指先の傾斜度，指の回転度，指の偏差度，各指の ID

Fig.1：Leap Motion の検査された情報

2.3 プログラミング言語とライブラリ

Leap Motion はプログラミング言語 C++,C#,Java,Python,Objective-C に対するサービスであるので,この開発には C++を使用した。Leap Motion を使用するためのライブラリには「v.1.2.0.10970 for Windows」を利用した。これによりプログラム上で Leap Motion を使えるようにした。

3. ジェスチャによる操作の設計

3.1 ジェスチャの認識

Leap Motion は,ある動作パターンがジェスチャであるかどうかを認識します。 Leap Motion ジェスチャは,モーショントラッキングデータの同じようにフレームで検出されます。検出された各ジェスチャのために,Leap Motion はジェスチャオブジェクトをフレームに追加します。これによって,認識されたジェスチャはフレームからジェスチャオブジェクトとして入手できます[7]。以下の動作パターンは Leap Motion によってジェスチャ種別を判別して,ジェスチャを認識されます。

- Swipe Gesture「左右移動」の操作を行う
- Circle Gesture「回転」の操作を行う
- Screen Tap Gesture「上と下移動」の操作を行う
- Key Tap Gesture「確認」の操作を行う

3.2 ジェスチャの設計

Leap Motion を使って,指先の座標を取得して,座標に合わせてジェスチャを表示することができる[8]。ユーザーの意図やコマンドを示している特定の動きのパターンをジェスチャとして認識します。Leap Motion が指や手の動きをトラッキングデータを提供するのと同様に,ジェスチャも提供します。計測されたそれぞれのジェスチャについては,Leap Motion は frame にジェスチャオブジェクトを追加します[9]。これらの ジェスチャオブジェクトは,移動· 回転· 拡大· 縮小の操作を代表する。ジェスチャオブジェクトの意味は表 1 に示す。

表 1. Leap Motion を使用した空間操作

ジェスチャオブジェクト	画像操作
指 1 本の左右方向へのスワイプ	左右移動
指 1 本の上下方向へのスワイプ	上下移動
指 1 本の前後方向へのタップ	拡大縮小
指 2 本の左右方向へのマル	回転
指 3 本の左右方向へのキータップ	動作の確認

4. 期待される効果

本システムの利用によって,外科医は,コンピュータ操作の不便さを回避することにより,容易に画像検査や治療を行うことができます。このシステムの実用的な側面の一つは，既存の観察装置とモーションセンサーを利用して簡単に実装できるものです。外科手術中に,常に清潔に保たれなければならない手袋を着用する必要がある,従って，外科医は,直接ワークステーションを操作することはできません。そこで,画像操作用のモーションセンサーを使用して,指の動きで各種の画像処理を操作することができます[10]。ケアの質を向上させるために無菌侵襲的技術の使用によって病気の診断及び治療を行う。

5. 検証

テスト者がモーションセンサー方式では,指の動きに対する適切な訓練で,マウス法よりも優れた性能を提供することができることは明らかで

ある。最終的に, 実際に, テスト者は, すぐにコマンド技法を操作することができる。

今回のテストは、Leap Motion やディスプレイや目標オブジェクトの関係は Fig.2 に示す。人体骨格形状データのオブジェクトグラフィックスの基本的な状態を Fig.3 と Fig.4 に示す。Leap Motion の上で指の動きにより, 画像の各種操作を行いました。画面上には, オブジェクトの選択と Leap Motion の情報を表示する。Fig.5 から Fig.9 まで表示されているオブジェクトは、指の動きで各種の頭蓋骨格画像処理を操作した画像である。

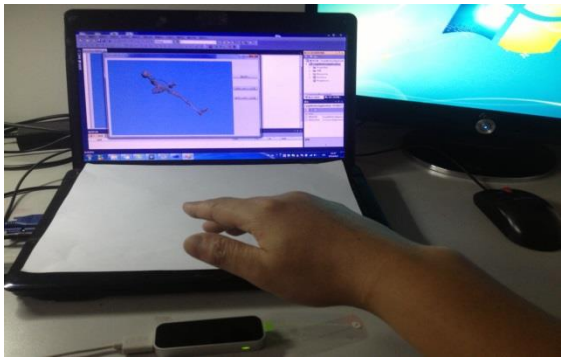


Fig.2 : Leap Motion やディスプレイや目標オブジェクトの関係

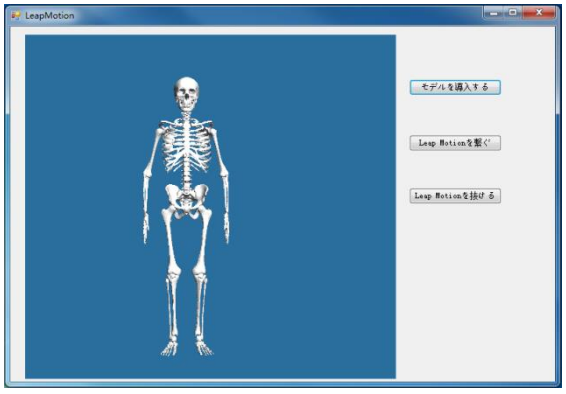


Fig.3 : オブジェクトグラフィックスの正面観察

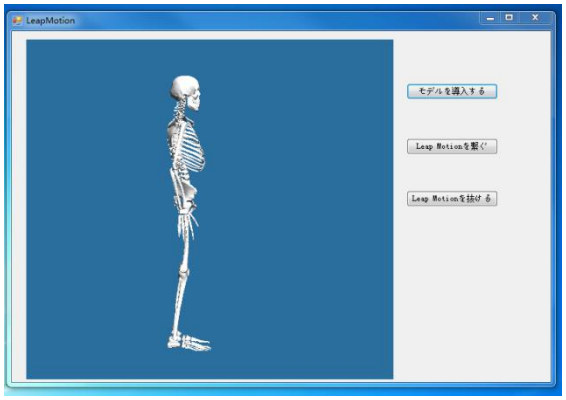


Fig.4 : オブジェクトグラフィックスの側面観察

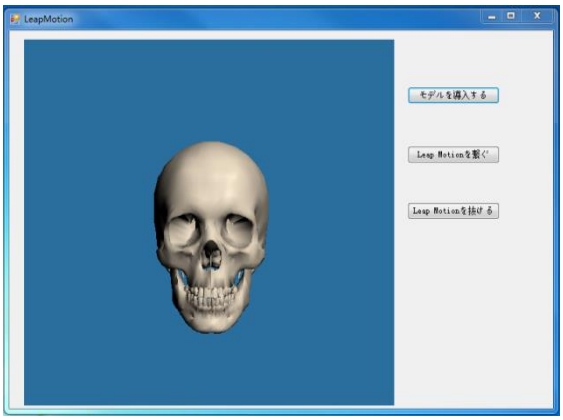


Fig.5 : オブジェクトグラフィックスの導入と初期状態

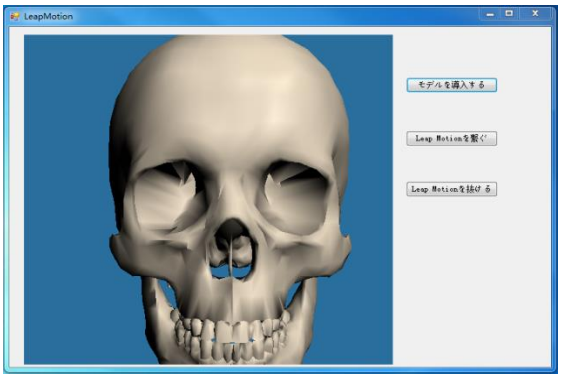


Fig.6 : オブジェクトグラフィックスの拡大操作

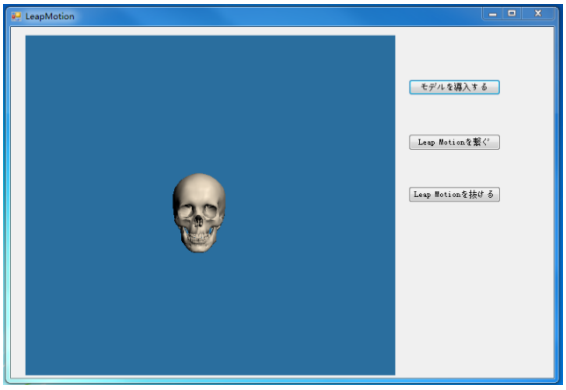


Fig.7 : オブジェクトグラフィックスの縮小操作

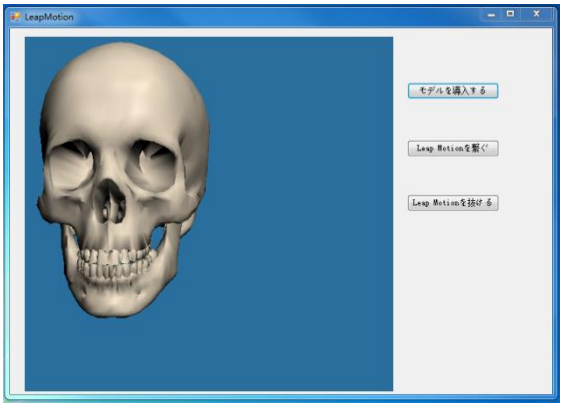


Fig.8 : オブジェクトグラフィックスの移動操作

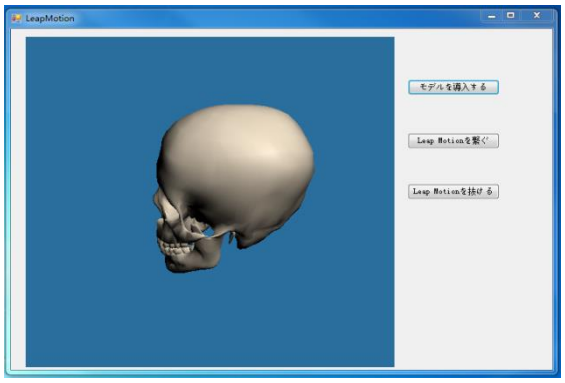


Fig.9：オブジェクトグラフィックスの回転操作

6. おわりに

本研究では,外科医を支援するために,非接触デバイスである Leap Motion を用いて新しいシステムを開発しました。手術は時間との戦いです。情報を確認するたびにメスを置いていては非効率です。そして,医師が情報端末を手を使わずに操作する必要もあります。非接触デバイス Leap Motion とコンピュータを組み合わせて, Leap Motion の高精度な位置情報を利用して正確な医用三次元画像を観察や操作することができるシステムを開発した。

参考文献

[1] 竹林洋一：“ヒューマンインタフェースの進化 ： 情報処理技術 ： 過去十年そして今後の十年 “, 情報処理 41(5), 556-560, 2000-05-15

[2] Ogura T1,Sato M,Ishida Y,Hayashi N,Doi K.: Development of a novel method for manipulation of angiographic images by use of a motion sensor in operating rooms, Radiological Physics and Technology,Volume 7,Issue 2,pp 228-234(2014).

[3] 佐川盛久, 妙瀬田泰隆, 早川吉彦：“ゲーム用入力デバイスを用いた 3 次元空間認識システムの開発”, 情報処理北海道シンポジウム, 2009

[4] 大川貴志, 佐川盛久, 早川吉彦：“ゲーム用入力デバイスを用いた 3 次元グラフィクスビューワソフトウェアの開発と医用画像表示”, 医用画像情報学会雑誌, 28(2), 46-50, 2011

[5]Interaction Box：https://developer.leapmotion.com/documentation/python/api/Leap.InteractionBox.html

[6] 中村仁彦, 山根克, 諏訪元, 近藤修, 河内まき子, 川地克明, 持丸正明：2008：成人男性骨格形状データ（産総研 H20PRO-905）

[7] API Overview: https://developer.leapmotion.com/documentation/csharp/devguide/Leap_Overview.html

[8]Gesture：https://developer.leapmotion.com/documentation/cpp/api/Leap.Gesture.html

[9]Frame：https://developer.leapmotion.com/documentation/cpp/api/Leap.Frame.html

[10] 吉光喜太郎, 秋山義勝：“(日本発先端医療開発に取り組む TWIns<特集 I>)各プロジェクトの活動推進状況 【GCOE】 グローバル COE 若手研究者活動報告”, 未来医学, 未来医学(27):64-72, 2013

自動和声付与システム”CMY”

エバンズ　ベンジャミン　ルカ*　　棟方　渚**　　小野　哲雄***
北海道大学大学院情報科学研究科†

1 はじめに

自動作曲システムには，旋律を生成するものの他に，旋律に合う伴奏を生成するものなどがある[1]. 楽曲生成の手法については，先行研究で様々なものが用いられている．その一例として，遺伝的アルゴリズム[2]，確率モデル[3]，ルールベースドシステム[4]などがあげられる．我々は，日本の音楽教育で広く使われてきた『和声－理論と実習－』に記述されている和声の禁則をルールベースとして実装し，入力された旋律に和声付け（和音付け）を行うシステム”Composing Music for You (:CMY)” [6,7]を構築してきた（図 1）．

和声学とは，もともとクラシック音楽から派生し，和音の協和・不協和や，和音の連結に関する規則を体系的にまとめたものである．和声学の教科書『和声－理論と実習－』[5]は日本の多くの作曲者がその基礎教育の中で共通して学習していることが知られている[8]. 『和声－理論と実習－』では，特に禁則の学習に重点を置いている．楽曲の和声は禁則に反さない限り，基本的に良好とされる．

これまでの”CMY”では，探索時間が長く，リアルタイム作曲に利用しにくいという点や，また，入力はバスパートの楽譜に制限され，現実のアプリケーションとして必要な作曲の柔軟性に欠けているという点もあった．そこで本研究では，”CMY”の内部構造を改め，グラフ構造でデータを表現し，解探索時間の効率化を試みた．また，バスパート以外の任意のパート譜も入力可能とし，より柔軟な作曲機構を目的として再構築した．

2 システム概要

2.1 和声学とバス課題

我々は，ルールベースを利用するアプローチで，入力の旋律に和声付けを行うシステムを開発した．ルールベースを用いた自動作曲手法は，多くのシステムで利用されている．システムに実装される作曲規則のルールベースは，システム設計者が自ら構築する場合と，既存の音楽規則体系を実装する場合とがある．

島岡らがまとめた『和声－理論と実習－』には，学習した内容の定着を図るための演習問題として，「バス課題」や「ソプラノ課題」と言った課題が用意されている．これら課題では，与えられた旋律（バスパートやソプラノパート単独の楽譜）に，学習者が適切な和音進行を割り振り，それに基づいて 4 声体の残りの声部を追記していく（図 2）．一般的にこれらの課題には，禁則に反しない良好な解（許容解）が多数あるが，『和声－理論と実習－』には一問につき一つの解のみが掲載されている．本研究では，ルールベースとして記述しやすい規則群を持っていること，また実装を確かめることに利用できるテストデータ（バス課題など）とその解答例も取得できることなどの理由から，『和声－理論と実習－』の内容をルールベースに実装することにした．

図 1：”CMY”の概要

2.2 提案手法

我々が実装してきた自動和声付与システム”CMY” は，与えられた楽譜に対する許容解を探索し，その中から一つ以上を出力する．具体的には，『和声－理論と実習－』1 巻に学習内容の総括として記載されている「原則的な公理」から禁則を 11 規則選び，実装した．なお，システムに和声学の規則が正しく実装されていることを確かめるために，『和声－理論と実習－』に記載されているバス課題を入力として与え，その出力結果に『和声－理論と実習－』の模範解答が含まれていることを確認した．

これまでのシステムでは，探索時間の削減のために，禁則ではないものの，初修者が体得すべきとされている「標準配置の法則」や「推奨則」など，教科書内に記載されているヒューリスティック的な規則も実装していた．一方で，内部表現やアルゴリズムが冗長的で，教科書の課題よりも長いバス譜（30 音程度以上）に対する解答の探索に数分から数十分以上要していたという問題もあった．

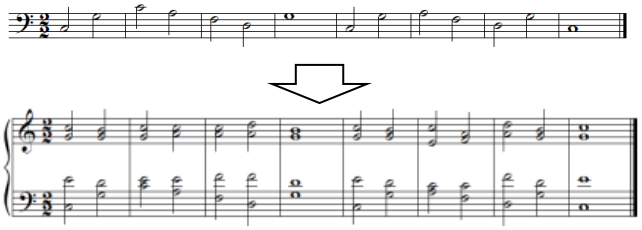


図 2：バス課題の解答例（[5] 第 I 巻 p.41 課題 9-1）

そこで本研究では，システム内部での楽曲構造をグラフ表現で表すようにシステムを改善した．入力された楽譜の各音に対してシステムは設定可能な和音を列挙し，そのそれぞれに対して 4 声を定めた和音をノードとして揃える．その中から和声の禁則に反するノードを除いた後，各ノードから隣接する音のノードへのリンクをすべて調べ，禁則に反しないリンクのみを結ぶ．結果としてシステムは，各入力音に対して設定可能な和声音をノードとし，和声音の連結可能性を有向リンクとして持った木構造のグラフを生成する．根ノードからはじまり葉ノードで終わる経路は全て，入力の旋律に対する許容解を表し，どれも和声の禁則に反しないことになる．

本研究では更に，入力の楽譜形態に設けていた制限を緩和し，どのパートの楽譜を入力しても，そこから派生する 4 パートの楽譜を出力できるようにした．これまでのシステムでは入力をバスパートの楽譜に限定していたが，本研究ではソプラノ・アルト・テナーも含めた 4 パートどの楽譜が入力できるようにシステムを拡張した．実装の確認として，『和声－理論と実習－』に掲載されているバス課題の模範解答から，バス以外のパートを一つ抜き取り，そのパート単独の楽譜を入力として与えた時のシステム動作を確認した．

システムは Java で構築し，入出力の楽譜は全て MusicXML 形式とした．実装を確認するために入力として与えたバス課題などの楽譜も，事前に MusicXML データとして用意したものを利用した．

2.3 評価

一般的なバス課題は，入力旋律の和声的構造により，各音に配置できる和音の個数が変化し，同じ音数の異なる入力でも，その解探索に要する時間は大きく変わる．これまでのシステムでは，教科書の実装範囲から 52 題の課題を入力したところ，十数音の課題に対しても数百秒のオーダーで許容解を出力していた．内部構造を改善した新しいシステムでは，同じ課題を入力した場合，どれも 1 秒以内に許容解を求めていた．

また，バスパート以外のパート譜を入力した場合，システムが教科書に記載されている模範解答を含む，複数の許容解を出力することを確認した．

3 終わりに

本研究では，我々が構築してきた，和声学の禁則を利用した自動和声付与システム”CMY”に施した実装の拡張と，それによって得られた実行時間の向上について報告した．今後は転調や借用和音，予備などに関する和声規則を追加で実装し，更なるシステムの拡張を図る．また，実装した規則群を一つの和声評価機構として整理し，他の自動作曲システムに加えることのできるモジュールとして再構築する予定である．また，そのように”CMY”を実際の作曲モジュールとして公開した場合，和声を意識しない他の自動作曲システムの作曲精度の向上にどのように貢献できるかを検討していく．

参考文献

[1] 松原 正樹，深山 覚ら: 創作過程の分類に基づく自動音楽生成研究のサーベイ，コンピュータソフトウェア，2013.

[2] S. Phon-Amnuaisuk and G. A. Wiggins, “The Four-Part Harmonisation Problem: A Comparison Between Genetic Algorithms and a Rule-Based System,” in Proc. AISB’99 Symposium on Musical Creativity, Edinburgh, 1999.

[3] F. Pachet, P. Roy, and G. Barbeiri, "Finite-length Markov Processes with Constraints," in Artificial Intelligence. AAAI Press, 2011, pp. 635-642.

[4] K. Ebcioğlu, “An Expert System for Chorale Harmonization,” in Proc. AAAI Conf. on Artificial Intelligence, Philadelphia, 1986, pp.784-788.

[5] 池内 友次郎， 島岡 譲ら: 和声－理論と実習－I, II, III, 別巻，音楽之友社，1964.

[6] Benjamin Evans，東条 敏，棟方 渚，小野 哲雄: Composing Music for You:ユーザの嗜好を取り入れた和声学に基づく合唱譜自動作成システム，情報処理学会， 2013.

[7] エバンズ ベンジャミン ルカ，棟方 渚，小野 哲雄: 和声学に基づく合唱譜自動作成システム”CMY”-転回系の実装と評価-，情報処理学会研究報告，日本情報処理学会，2013.

[8] 江村 伯夫，三浦 雅展: 情報技術に基づく作編曲の現状， 音響学会誌， 2011.

在日生活をサポートする中国人向け 日本語学習 Web アプリケーションの開発

－場面別の日常会話と敬語の使い方を中心に－

徐　珊*　　高井　那美

(北海道情報大経営情報学研究科)†　　(北海道情報大学)†

1 はじめに

近年，日本への留学者数は増加傾向にあるが，留学生は日本語の習得に苦労している．例えば，日本語能力試験の N3 レベルは，日本語を 300 時間程度学習し，日常生活に役立つ会話が話せ，簡単な文章が読み書きできるという初級レベルであるにもかかわらず，認定率は連続して 40%以下となっている[1]．日本語学習の悩み，不満については，時間や場所の制約が主な原因となっている[2]．また，殆どの留学生は一定の日本語レベルに達した後来日するが，教科書での学習内容と日本の日常生活において用いられている会話とのギャップに悩んでいる．一方，「日本語が主たるコミュニケーションの手段となっている我が国において，『生活者としての外国人』には，生活場面と密着したコミュニケーション活動を可能とする能力を獲得することが求められる」[3]といわれている．したがって，いつでもどこでも勉強でき，高い実用性を持つ日本語学習教材が必要となっている．

先行研究としては，田中他が開発した教材[4]がある．田中らは，文法や文型，語句だけを勉強しても上達せず，自分と会話する相手の関係，場所，目的を理解する必要があると述べている．また，梅田[5]は，言語習得に成功した人々の共通点は，教室場面で学習したことを応用し，身近にある生のメディアリソースにアクセスし，それを活用しながら自分で学習していることだと示している．しかし，既存の無料日本語アプリケーションでは，単語，例文，文法などの内容は一般的に備わっているが，実践的な会話に焦点を合わせて日本語を入力する練習などが少ないという欠点がある．このように，今までのアプリケーションにはこれらの考え方がうまく取り込まれておらず，特に敬語に関しては相手との関係性の説明が不足している．

本研究では，日本語能力の上達を図り習得時の不便さを解消すべく，HTML5，CSS，JavaScript を用いて，日本語能力試験 N3 レベルの中国人向け Web アプリケーションを開発する．また，生活者としての留学生が身近な生活に必要となるコミュニケーション能力を獲得するように，教科書だけの知識とのギャップを解消し，日本でのスムーズな日常生活のサポートを目指している．

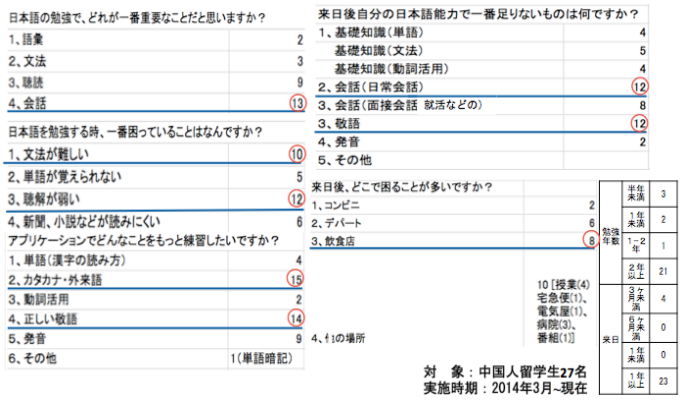


図 1　アンケート調査

2 アプリケーションの概要

まず，実際に中国人留学生はどのように思っているかを知るため，主に敬語と来日後の日常生活会話について，留学生 27 名にアンケート調査を行った（図 1）．

この結果も参考にし，Web アプリケーションは図 2 のような構成とした．まず，実用性の高い日常会話と敬語を中心とした基礎的な説明を組み入れる．具体的には，基礎知識，専門用語，正しい敬語，日常会話という 4 つの項目を設定した．各項目では更に細かい説明と練習問題が提供される．練習問題では，中国人学習者が習得過程でよく間違える例を取り入れ，日本社会・文化を理解

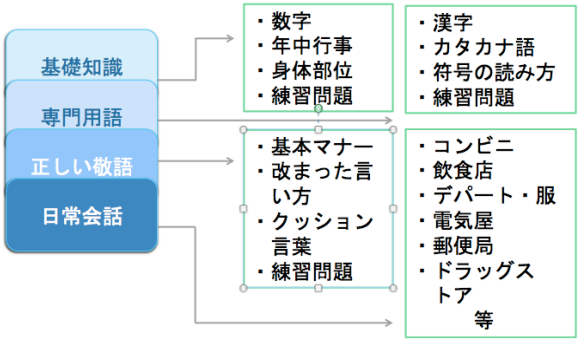


図 2　アプリケーションの構成

*s1381112@do-johodai.ac.jp
†江別市西野幌 59 番 2　北海道情報大学

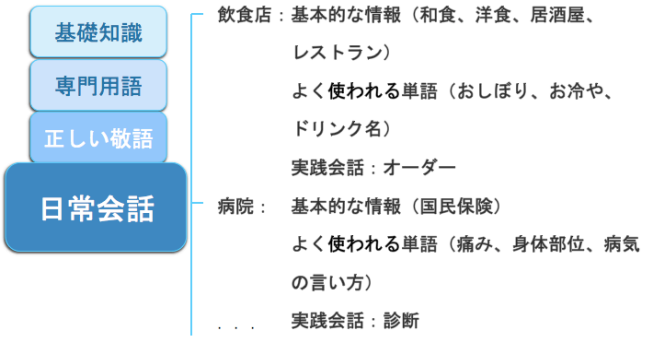


図 3　日常会話

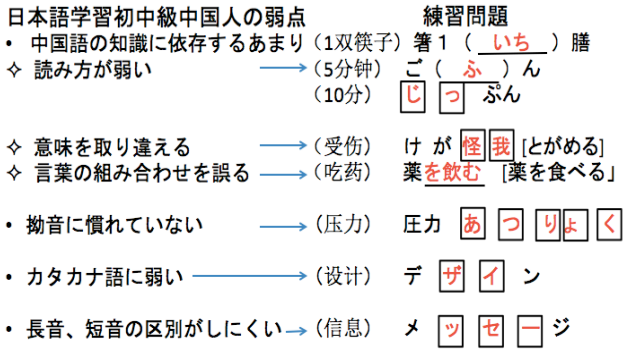


図 4　練習問題の例

しながら，楽しく体験的に学べるようにする．

2．1 基礎説明

日本語の日にちや曜日には変則的な読み方があるので，トップ画面には毎回当日の読み方をひらがなで全て表示し，覚えさせるようにする．

基礎知識と専門用語の項目では，日常生活あるいは大学の講義等でよく使われる単語（漢字・カタカナ）を，助詞や動詞と組み合わせてセットで教えるようにする．正しい敬語の項目では，相手と自分の上下関係や，ソトとウチという日本人のものの考え方に即した説明を行う．日常会話の項目では，場面別に豆知識や特別な単語などを教え，現場へのインタビューをもとに実践的な会話場面を設定する（図 3）．他の 3 つの項目の内容が含まれるので，練習問題は提供しない．

2.2 練習問題

中国語と日本語は同じ漢字文化圏なので，中国人学習者は中国語の知識に依存するあまり，漢字の意味や読み方の習得が不十分になりがちである．また，拗音に慣れていない，カタカナ語に弱い，長音・短音が区別しにくいという弱点もある．そこで，本アプリケーションの練習問題は，以上のような弱点の克服を考えて設定する．

例えば，基礎知識では数字を教えるが，練習問題では「箸一膳」のように数字と物の数え方をセットにして問題を作成する．また，言葉の組み合わせとしては，中国人は薬を食べると言ってしまいがちなので，薬を飲むと覚えさせる（図 4）．

3 まとめ

本研究では．日本語初級レベルの中国人留学生の在日生活と日本語学習時の問題点に着目し，実用性が高い項目に絞り込んだ日本語学習 Web アプリケーションを開発する．

オンライン学習には様々なメリットがあるが，学習してもらう強制力を持たない，臨場感の無さなどのデメリットもある．ユーザーの学習意欲を引き出せるように工夫することは今後の課題であるが，ARCS モデルを参考にして幾つかの対策方法を考えている．例えば，制限時間 30 秒以内で数字や時間に関する問題に答えさせ，毎回の正解率をグラフで表してユーザーの成長がわかるようにする．また，練習問題の得点やアプリケーションの名前を SNS でシェアし，学習を誘うような環境も作成していきたい．

参考文献

[1] 日本語能力試験「過去の試験のデータ」，http://www.jlpt.jp/statistics/archive/201302.html

[2] 独立行政法人国立国語研究所「『生活のための日本語：全国調査』結果報告＜速報版＞」, 2009, http://www.ninjal.ac.jp/archives/nihongo-syllabus/research/pdf/seika_sokuhou.pdf

[3] 文化審議会国語分科会「『生活者としての外国人』に対する日本語教育の標準的なカリキュラム案について」, 2010, http://www.bunka.go.jp/kokugo_nihongo/kyouiku/nihongo_curriculum/pdf/curriculum_ver09.pdf

[4] 田中 三千彦 他「留学生のニーズとレベルに合わせた日本語教材の開発」, 聖泉論叢 (19), 127-136, 2011, 聖泉大学

[5] 梅田 千砂子 「初級総合日本語学習のための e ラーニング学習支援リソースの開発:日本語学習支援コンテンツのプロトタイプ構築」, Polyglossia 23, 219-227, 2012-10

単語の概念構造と格を考慮したテキスト含意関係認識

阿部建 * 栗原正仁 小山聡 佐藤晴彦
(北海道大学 大学院情報科学研究科)†

1 はじめに

1.1 研究背景

近年，情報メディアの発達に伴い，個人が取得できる情報が爆発的に増えている．これらの情報はその豊富な量と種類から，様々な解析や知識源として非常に有用であると考えられている．一方で，それらの情報は自然言語で記述されていることも多く，その複雑さ，曖昧さにより効率的な情報の抽出は難しい．

こういった背景から，より深層的な自然言語の意味をとらえるためのタスクとして，テキスト含意関係認識が注目を浴びている．テキストにおける含意関係とは，あるテキストペアについて，前提となるテキスト T1 を見たとき，仮説となるテキスト T2 をおおよそ正しいと推論できるような関係をいう．この技術は様々な情報アクセス技術に適用されることが期待されている．例えば情報検索におけるクエリ拡張や，文書要約における冗長部分の除去などが挙げられる．

1.2 先行研究

日本語におけるテキスト含意関係認識について，NTCIR-9[1] において RITE[2] という評価型ワークショップが初めて実施された．テキストにおける含意関係を示す言語現象には複数の種類があるが，2013 年に実施された評価型ワークショップ RITE-2[3] では，含意を示す言語現象を 22 種類，含意を示さない言語現象を 5 種類に分類している．また，同様に言語現象の関係ラベルを付与する研究として金子ら [4] や小谷ら [5] の研究がある．

Table 1 に，本研究で用いた小谷らによる日本語 TextualEntailment 評価データ [6] に付与されている言語現象の例を示す．本研究ではこのうち,「語彙 (体言)」カテゴリにおける「上位→下位」「下位→上位」「同義語」を扱った．

単語の概念構造を用いた研究として森田らの研究 [7] がある．彼らは日本語 WordNet[8] の階層構造を用いて単語間類似度を算出し，これをもとに閾値を設定して含意を判定した．一方で上位下位関係の方向について考慮されておらず，また単語の構文的役割についても言及していない．

文構造と上位下位関係の方向にについて着目した研究として柴田ら [9] の研究がある．彼らはテキストを述語項構造として解析し，述語と表層格が一致した項について比べ，仮説に含まれる項全てが前提に含まれる項の上位であったときに含意関係があると判定している．一方で，表層格の情報を比較のすり合わせにしか用いておらず，また単語の概念の階層構造と含意の関係について，一方向しか許していない．

Table 1

メインカテゴリ	サブカテゴリ
包含	節
	並列
	名詞句
語彙 (体言)	定義的
	同義語
	下位→上位
	上位→下位
語彙 (用言)	名詞句の格関係
	含意
	副詞
	対義語
構文	主語の変換
	複文の変換
	強調構文
推論	結果→原因
	副助詞＋一般化
	時間軸・数量

日本語 TextualEntailment 評価データに含まれる含意関係の例を Table 2 に表す．殆どのデータは 1 つ目と 2 つ目のような例が多かった．すなわち，前提が下位，仮定が上位となる場合に含意が成り立つことが多い．他方で，3 つ目から 5 つ目のようなそうではない例外もあった．本研究では先の手法では分類が困難な，3 つ目から 5 つ目の例を分類することを試みる．

*abe_takeru@complex.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

Table 2

含意	T1	フリッパーはイルカだ	下位語
あり	T2	フリッパーは哺乳類だ	→上位語

含意	T1	彼は女性に会った	上位語
なし	T2	彼は母親に会った	→下位語

含意	T1	一般に小型の哺乳類は冬眠する	上位語
あり	T2	一般にリスは冬眠する	→下位語

含意	T1	文房具を使った	上位語
あり	T2	定規を使った	→下位語

含意	T1	太郎はイルカが好きだ	下位語
なし	T2	太郎は哺乳類が好きだ	→上位語

2 提案手法

2.1 概要

本研究では含意の方向と上位下位関係の方向の関連を表す特徴をヒューリスティック的に設計し，これを特徴量として機械学習を行った．以降で述べる特徴量は全て構文解析による述語項構造に基づいて，述語及び表層格の一致した項ごとに算出する．述語及び項ごとの特徴量については格単語の平均をとり，学習機に利用する特徴量はこれらのうち最小のものを用いる．

以降の特徴量は全て前提となるテキスト T1 の単語 t1，仮定となるテキスト T2 の単語 t2 が与えられたとき式を表す．また，単語が複数の synset に属している場合，最も値の高くなる組み合わせを採用した．ここで，synset とは日本語 WordNet において単語が属する同義語の集まりであり，この synset を 1 つの概念として，階層構造が構成されている．

含意関係のための特徴値として以下を設計した．

2.2 特徴量

2.2.1 設計コンセプト

日本語では，主語において特に明示しない限りその語が持つ集合全体を指すことが多いと仮定し，この場合その語の性質を表す文章であると考え，Table 2 の 3 つ目の例のように上位語から下位語の方向へ含意が成り立つと考えた．また，ある上位語と下位語が与えられたとき，その上位語から下位語が想起されやすいと，同義的に扱われ，逆に想起され難いと関係性がないと判断され，Table 2 の 4 つ目，5 つ目の例のような含意関係が導かれると考えた．これらの仮説をもとに以下の 4 つの特徴量を設計した．

2.2.2 仮説の単語 t2 がガ格に属する

ガ格に属する	1
それ以外	0

2.2.3 上位下位関係

t1 が t2 の上位・下位関係ともに持つ または 同義語である	3
t1 が t2 の下位語である	1
t1 が t2 の上位語である	2
上位下位関係を持たない	0

2.2.4 LCS から仮説に対する下位概念の数の逆数

$$\frac{1}{\mathrm{NumOfSyn}(LCS_{t1,t2}, \mathrm{Path}(LCS, t2))}$$

ここで，$LCS_{t1,t2}$ は $t1$ と $t2$ の共通の synset のうち，最も階層の深さが深い synset を指す．また，d_x は x の階層の深さを指す．

関数 $\mathrm{Path}(LCS_{t1,t2}, t2)$ は $LCS_{t1,t2}$ から $t2$ のパス長を示す．関数 $\mathrm{NumOfSyn}(S, path_length)$ はある synset$S$ から $path_length$ だけ下位の位置にある synset の数を示す．

2.2.5 方向性を考慮しない類似度

$$\frac{2 \times d_{LCS_{t1,t2}}}{(d_{t1}+1)+(d_{t2}+1)}$$

3 実験

3.1 実験設定

本研究では単語の概念構造の知識源として日本語 WordNet を用いた．

実験に用いたデータセットは日本語 TextualEntailment 評価データのうち，関係カテゴリが「語彙 (体言)」，サブカテゴリが「上位→下位」「下位→上位」「同義語」のものである．ただし，日本語 WordNet に存在しない単語を含むデータは除外するか，英訳して近い単語に置き換えて利用した．また，複数の述語から成り立っているものは除外するか，一方を削除して利用した．データ数は 156 である．

機械学習には SVM-Light，カーネルは RBF，パラメータはデフォルトで行った．

評価については交差検定を leave-one-out 法で行った．

また，比較のためのベースラインとして，1-gram，2-gram，3-gram，4-gram，形態素重複率の 5 種類の表層情報のみを用いたものと，Table 3 のように t1 が t2 の下位語であるという一方向のみを考慮したもので実験を行った．

Fig. 1 F-measure

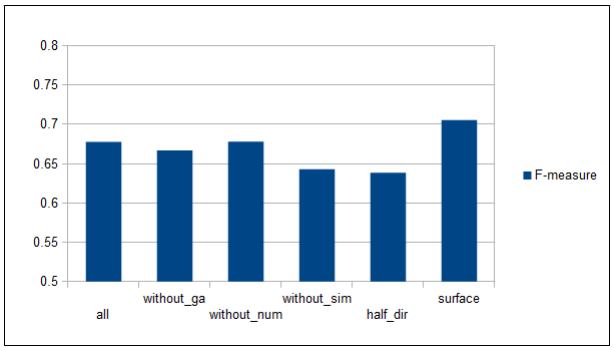


Fig. 2 Accuracy

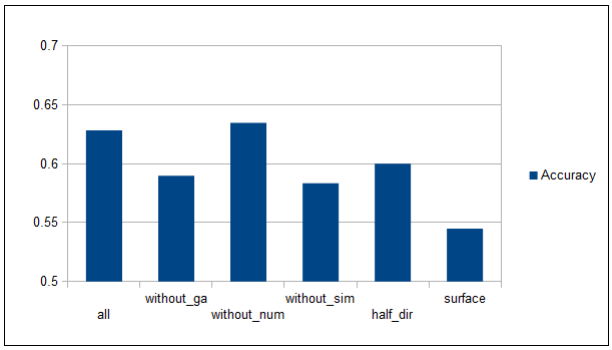


Fig. 3 Precision

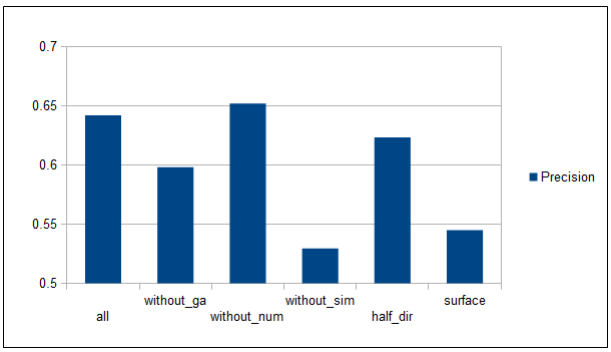
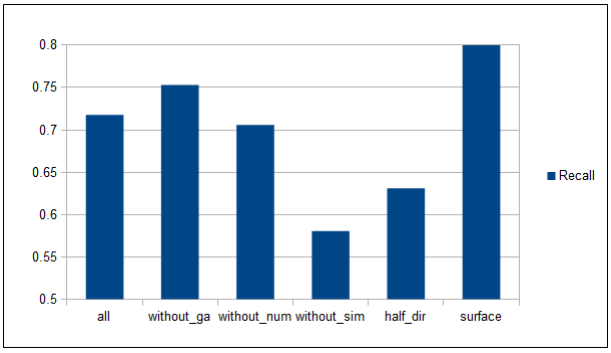


Fig. 4 Recall



3.2 実験結果

実験の結果を Table 4 に示す．また，Accuracy，F-measure，Precision，Recall についてのグラフそれぞれ Fig. 2 から Fig. 4 に示す．実験の結果を Fig. 1 から Fig. 4 に示す．

all は特徴量 2.2.2 から 2.2.5 を用いた結果である．without_ga から without_sim は all からそれぞれ特徴量 2.2.2 から 2.2.5 を除いた結果である．half-dir は all の特徴量 2.2.3 を Table 3 に差し替えた結果である．surface は表層情報のみを特徴量として用いた結果である．

Table 3

t1 が t2 の下位語である	1
それ以外	0

Table 4

	Acc.	F-mea.	Pre.	Rec.
all	0.6282	0.6778	0.6421	0.7176
without_ga	0.5897	0.6667	0.5981	0.7529
without_num	0.6346	0.6780	0.6522	0.7059
without_sim	0.5833	0.6429	0.5294	0.5806
harf_dir	0.6000	0.6386	0.6235	0.6310
surface	0.5449	0.7054	0.5449	1.0000

3.3 考察

all と half_dir の結果を見ると，上位下位関係の方向と含意の関係には一方向のみでは不十分であると考えられる．特に，Recall についての向上が顕著にみられ，上位語から下位語の方向において正例となるべきものが上手く分類されたと考えられる．

一方で，all と without_num の結果を見ると，下位概念の数の導入について Recall の値がやや向上しているものの，全体の性能には大きく変化がない．これは下位概念の数の導入の動機として，単語間の想起しやすさを想定していたが，これは人の感覚によるものが大きく，利用したデータセットではその粒度に指標がなかったためであると予想される．

また，all と without_ga の結果を見ると，格の考慮について Precision の向上と Recall の減少がみられた．格の考慮では下位語から上位語の方向で含意が成り立たない例，及び上位語から下位語で含意が成り立つ例の判定を期待していたが，具体的な分類例を見ると期待された判定例は全くなかった．all のみでうまく分類できた例，及び without_ga のみでうまく分類できた例ともに，その殆どが日本語 WordNet 上で上位下位関係を上手く取得できておらず，学習が行えていなかったと考えられる．

all と without_sim の結果を見ると，Precision，Recall ともに向上が見られ，完全一致による単純な文字列比較では含意の判定に不十分であることが考えられる．

surface の結果を見ると，全てのデータを正例に分類す

る結果となり，含意関係の特徴を表しているとは言えない結果となった．これは利用したデータセットの特徴によるものであると考えられる．

4 おわりに

4.1 結論

提案した特徴量は表層情報のみに比べ一定の有効性があると考えられる．一方で，概念構造の利用においては synset の同定が重要であり，性能の向上はその精度に依ると考えらえる．

4.2 今後の課題

本研究で誤判定された例のほとんどが，synset がうまく取得できていなかったものであった．その具体的な理由として，1 つは日本語 WordNet にない概念であったことが挙げられる．この解決法として，単純な知識源の拡充か，あるいは応用先に関して特別な知識源を生成することが考えられる．もう 1 つは synset の同定を誤っていたことが挙げられる．この解決法として，前後の単語との類似を見ること考えられる．また利用したデータセットでは，上位語から下位語の方向へ含意がなりたつ例や，下位語から上位語の方向で含意が成り立たない例が極めて少数であったため，これらを分類することに意味があるかの調査も踏まえ，訓練データ数を増やす必要がある．

参考文献

[1] NTCIR-9, http://research.nii.ac.jp/ntcir/ntcir-9/index.html, 2012.

[2] Hideki Shima, Hiroshi Kanayama, Cheng-Wei Lee, Chuan-Jie Lin, Teruko Mitamura, Yusuke Miyao, Shuming Shi and Koichi Takeda. Overview of NTCIR-9 RITE: Recognizing Inference In TExt. Proceedings of NTCIR-9 Workshop Meeting, December 6-9, 2011, Tokyo, Japan.

[3] Yotaro Watanabe, Yusuke Miyao, Junta Mizuno, Tomohide Shibata, Hiroshi Kanayama, Cheng-Wei Lee, Chuan-Jie Lin, Shuming Shi, Treuko Mitamura, Noriko Kando, Hideki Shima, Kohichi Takeda. Overview of the Recognizing Inference int Text (RITE-2) at NTCIR-10. Proceedings of the 10th NTCIR Conference, June 18-21, 2013, Tokyo, Japan.

[4] 金子貴美, 宮尾祐介, 戸次大介. 基本文関係に分解した含意関係認識日本語評価データの構築. 言語処理学会 第 19 回年次大会, pp.928-931, 2013.

[5] 小谷通隆, 柴田知秀, 中田貴之, 黒橋禎夫. 日本語 Textual Entailment のデータ構築と自動獲得した類義表現に基づく推論関係の認識. 言語処理学会 第 14 回年次大会, pp.1140-1143, 2008.

[6] 日本語 Textual Entailment 評価データ, http://nlp.ist.i.kyoto-u.ac.jp/index.php?Textual%20Entailment%20%E8%A9%95%E4%BE%A1%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF

[7] Hirotaka Morita and Koichi Takeuchi. Construction of a Simple Inference System of Textual Similarity (oka1 RITE2), 2013.

[8] 日本語 WordNet. http://nlpwww.nict.go.jp/wn-ja/

[9] Tomohide Shibata, Sadao Kurohashi, Shotaro Kohama, and Akihiro Yamamoto. Predicate-argument Structure based Textual Entailment Recognition System of KYOTO Team for NTCIR-10 RITE-2, 2013.

[10] rancis Bond, Timothy Baldwin, Richard Fothergill, and Kiyotaka Uchimoto. Japanese semcor: A Sense-tagged Corpus of Japanese. The 5th International Conference of the Global WordNet Association (GWC-2010), pp.9-16, 2010.

明治期の函館新聞を対象にした頻出文字列に対する重要度の評価

阿保友也* 寺沢憲吾†
(公立はこだて未来大学)‡

1 はじめに

本研究では、文字認識が困難な活字文書画像である、明治期の函館新聞（Fig.1）に対して、日付ごとにその日の記事内容を特徴付けるキーワードを自動的に抽出することを目的とする。

近年インターネット、デジタルアーカイブの普及により、多くの文献史料がデジタル画像化されている。このような多くの文献史料を扱う場合、キーワードの抽出ができれば、文書の内容の推定に役立てることができる。

文献史料のデジタル画像を対象とした情報処理を行う際には、まず文字認識を行い、画像データをコンピュータ上で編集可能なテキスト形式に変換することが多い。しかし、明治期以前の文献史料は、手書きであったり、活字の場合も現在とは異なる書体が使われており、また語の用法なども現在とは異なるため、文字認識を行うには同性質の文献を大量に事前学習する必要があり困難である。そのため、明治期以前の文献史料はテキスト形式ではなく、画像データとしてだけで保存されていることが多い。その中で、細谷らの方法 [1] では、画像特徴量の類似性判断により、文字認識されていない文書画像から頻出文字列を画像として抽出することができている。しかし、単に頻出文字列を抽出しただけでは、「といふ」や「事なり」などのきわめて頻繁に使われる単語と、「関西貿易商會」や「拂下げ」といった記事内容を特徴付ける単語を区別することができない。そこで本研究では、文書を特徴付けるキーワードの抽出を可能にするため、頻出文字列に対し重要度の評価を行う。

2 頻出文字列の抽出

本研究では、まず細谷らの方法を使って頻出文字列の抽出を行う。この方法では、文字認識が困難な活字文書画像から、画像特徴量を基にした擬似コードによる検索を行い、その結果を文字列をノードとして類似であるものをエッジでつないだグラフとして表現し、そのグラフの構造を分析することで頻出文字列の抽出を行っている。画像の類似性判断には、Terasawa ら [2] の方法を用いる。また、大量の文書画像から検索を行うため、高速な検索が可能なアルゴリズムの 1 つである LSPC(Locality-Sensitive Pseudo-Code)[3] を用いる。

Terasawa ら [2] の文書画像を検索するシステムでは、文字認識されていない文書画像から検索したい文字列画像を探し出すために、文書画像を細かい領域（単位領域）に分割し、その領域ごとに計算した特徴量ベクトルを用いている。本研究で使用する「函館新聞」は活字文書画像であり、Fig.2 右のように 1 文字分の領域を単位領域として特徴量を保存している。明治期の史料であるため文字そのものの認識はできないが、文字領域ごとの特徴量を比較することで似ているかどうかの判別を行うことができる。一方で、手書き文書においては 1 文字単位での切り出しすら困難であるため、Fig.2 左のように一定のピクセルごとに機械的に切り出したものを単位領域として処理している。この点から、函館新聞のような活字文書画像に対する頻出文字列抽出は、手書き文書画像よりは比較的容易である。

文字認識が困難な文書画像では、形態素解析などの技術を用いて文書を単語に分割することが難しい。そのため、N グラム・インデキシングと呼ばれる、文字列の先頭から 1 文字ずつずらしながら、N 文字単位で頻出文字列を抽出する方法をまずは採用する。

Fig. 1 函館新聞（明治 14 年 8 月 10 日）

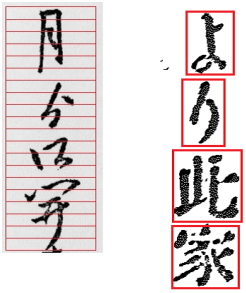


Fig. 2 手書き文書画像 (左) と活字文書画像である函館新聞 (右) の特徴量範囲の違い

*b1011211@fun.ac.jp
†kterasaw@fun.ac.jp
‡函館市亀田中野町 116-2

2.1 特徴量ベクトルによる実験

細谷らの研究では、Terasawa らが考案した LSPC アルゴリズムを用いている。これは、本来高次元ベクトルの計算を行うため計算量が大きくなりがちな特徴量ベクトルを、擬似コードに変換することで、大量のデータ群をより高速に扱うことができるものである。

特徴量ベクトルを使った特徴量の計算では、2 つの特徴量間の距離が 0 に近いほど、似ている文字である。そのため、細谷らは同じ文字と違う文字を識別する閾値が存在すると考え、閾値を設定するための実験を行い、有効な閾値を見つけた。さらに、その閾値を用いて同一の 3 文字列を 90% 以上の確率で検出する擬似コードを作成した。

2.2 グラフを用いた頻出文字列の抽出

擬似コードは確率的アルゴリズムであるため、特徴量ベクトルで設定した閾値以下の同じ文字列を 90% 以上の確率で探し出すことができるが、それ以外の文字列も検出してしまう。細谷らは、擬似コードでの検索結果をグラフにより可視化し、グラフ構造を分析することで、擬似コードによる検索結果の中から 3 ノードで構成されている完全グラフのみが、有力な頻出文字列の候補であることを発見した。本研究では、この細谷らの方法を用いて頻出文字列を抽出する。

3 頻出文字列の重要度の評価

抽出された頻出文字列の中には、文書の内容と密接に関係したものもあれば、文書の内容とは関係の薄いものも存在する。抽出された頻出文字列が、文書の内容を表すうえでどれだけの重要度を持っているかを測るために、頻出文字列の重み付けを行う。重み付けは一般的に、局所的重み、大域的重み、文書正規化係数の 3 つの指標から決定される。各重みの具体的な計算方法に関しては様々なものが提案されており、本研究ではまず、局所的重みに出現頻度 (term frequency; TF) を、大域的重みに文書頻度の逆数 (inverse document frequency; IDF) を用いて、正規化係数は無しで重み付けを行う。

これらの重み付けは一般的に頻出単語ごとに行われるが、今回は単語ごとに切り分けることが難しいため、N グラムによる頻出文字列ごとに行う。

3.1 局所的重み付け

局所的重みは、基本的に文字列の文書における出現頻度に基づいて計算する。最も単純なものの 1 つが出現頻度と呼ばれるものであり、文字列が文書中に出現した回数をそのまま用いるものである。

3.2 大域的重み付け

大域的重みは、文書集合全体にわたる文字列の出現頻度の偏りを考慮して決定される重みである。多数の文書に共通して出現する文字列には低い重みを与え、特定の文書にのみ偏って出現する文字列には高い重みを与えるようにする。文書による文字列の偏りを表すには、文字列を含む文書数である文書頻度を用いることができる。よく知られている重み付けに、文書頻度の逆数と呼ばれるものがあり、これは文書の総数を当該文字列を含む文書数で割り、対数化したものである。

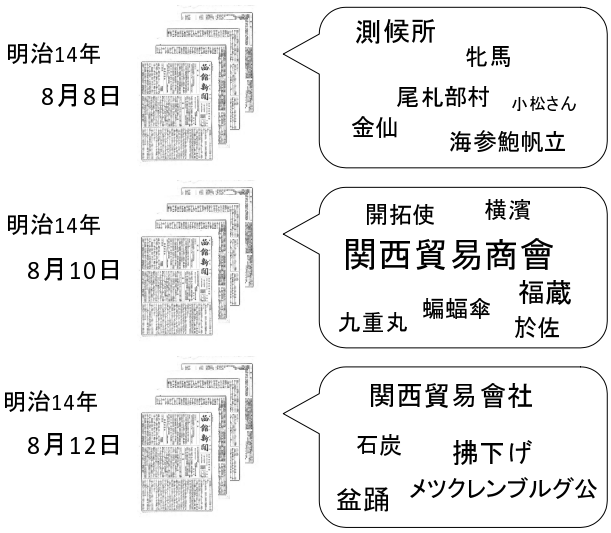


Fig. 3 完成のイメージ図

3.3 重要度

「出現頻度」×「文書頻度の逆数」を重要度として、その上位の単語をキーワードとする。

4 まとめ

本研究では、文献史料の内容推定に役立てるために、文字認識が困難な活字文書画像である、明治期の函館新聞に対して、日付ごとにその日の記事内容を特徴付けるキーワードを自動的に抽出することを目的とする。そのために、文書画像内から頻出する文字列画像を抽出し、さらにその頻出文字列に対して重み付けを行い、文書の内容を特徴付けるキーワードを抽出する。完成のイメージは Fig.3 である。

参考文献

[1] 細谷拓史, 寺沢憲吾, “LSPC を用いた活字文書画像における頻出文字列抽出, ” 情報処理学会第 75 回全国大会, (2013.3).

[2] Kengo Terasawa and Yuzuru Tanaka, “Slit Style HOG Feature for Document Image Word Spotting,” Proc. ICDAR2009, pp.116-120, 2009.

[3] Kengo Terasawa and Yuzuru Tanaka, “Locality Sensitive Pseudo-Code for Document Images,” Proc. ICDAR2007, pp.73-77, 2007.

自主学習継続のための学習支援システムの構築

安藤 大岳*　大場 みち子
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

科学技術の発展や国際化による変化の著しい現代社会では，その変化に柔軟に対応することが求められる．そのため，社会人や学生問わず生涯に渡り自主的に学習を続けていく必要がある．自主学習では，学習者が自分の意志で学習の計画を立てて進めていくことが必要であるが，必ずしも全ての学習者が自己統制的に学習を行っていく力を身に付けているとは限らない．実際，e ラーニングにおける学習者の先延ばし傾向が高いほどドロップアウトしやすくなる[1]という関係が示されていることより，先延ばししやすい人は自主学習を続けていくことが難しくなる傾向があるといえる．一方，教育の現場において「自ら学ぶ力」が大切であるとされ，自己調整学習が注目されている[2][3]．自己調整学習とは，学習者がメタ認知，動機づけ，行動において自分自身の学習過程に能動的に関与する学習のことである．メタ認知とは，一般的に自らの認知についての認知のことをいう．自己調整学習ができている学習者は自分の意志で学習を続けられていると考えられるため，学習者の先延ばし行動とも何らかの関係があると予想できる．すなわち，先延ばししやすい学習者でも自己調整学習ができれば学習を継続的に行えると考えられる．

自己調整学習に関する先行研究として，学習者の自己調整学習能力獲得を支援するツール[2]の開発が北米やヨーロッパを中心に進められているが，未だ実用には至っていない．自己調整学習による学習支援システムの例として，学習支援者の負担を軽減するシステム[4]の研究がある．しかし，この研究では学習支援者による学習者の支援をシステム化の対象としており自己調整学習の支援は学習支援者が行うため，学習者の自己調整学習を直接的に支援するものではない．これより，学習者の自己調整学習を支援する研究の独自性は高いと考えられる．

以上の背景をふまえて，本研究では，自主学習における学習者の先延ばし行動に着目し，自主学習の継続を支援することを目的とする．この目的を達成するために，自己調整学習理論に基づいて学習者の計画的な学習を支援するシステムを構築することを目標とする．

2 先行研究と研究課題

第一章の背景より，学習者が自主学習を継続するためには，先延ばし行動を抑制することが必要であり，学習者の自己調整学習を支援することでこれを解決出来ると考えられる．自己調整学習理論及び先延ばし行動と自己調整学習との関係性に着目した先行研究から本研究で支援の対象とする領域と研究課題を説明する．

2.1 自己調整学習理論

自己調整学習理論は多様な展開が見られるが，一般に図 1 に示すような 3 段階の学習サイクルがある[2][3]．予見の段階では，これから行う学習に向けて準備する．遂行の段階では，実際に学習を進める．自己省察の段階では，振り返りを行う．この自己省察を次の予見の段階に活かすことで学習サイクルが完成する．自己調整学習を支える重要な 3 要素として「自己調整学習方略」「自己効力感」「目標への関与」が挙げられる[3]．自己調整学習方略とは，学習者が自己調整学習を進めていくために使用される学習方法である．自己効力感とは，直面した課題に対して自分なら出来るはずだという期待や自信である．目標の達成に向けて自己調整学習方略を適用し，効果があれば自己効力感が高まる．これにより更に上位の目標達成に向けて自己調整学習方略を適用し続ける．このように 3 要素は相互に密接な関わりを持ちながら循環的な関係をなし，自己調整学習を支えている．

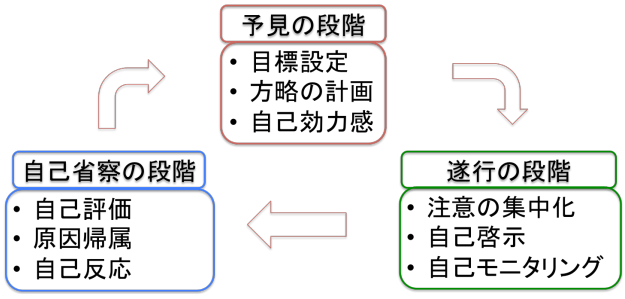


図 1 自己調整学習の 3 段階

*b1011044@fun.ac.jp
† 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学

2.2 先延ばし行動と自己調整学習との関連に着目した先行研究

先行研究として，自己調整学習と学習者の先延ばし行動との関連性が大学生を対象に検討されており，先延ばし傾向のある学生は先延ばしをせず自己調整学習ができている学生とは対照的な特徴を示すことが指摘されている[5]．自己調整学習におけるメタ認知的学習方略の使用と先延ばし行動との間に負の相関があることも明らかにされている．メタ認知的学習方略とは，学習を効果的かつ効率的に行う学習方略である．メタ認知的学習方略に関しては，その下位因子が先延ばし行動とどのような関係を示すか 4 つの因子を想定した検討が行われている．4 因子は，モニタリング方略，プランニング方略，努力調整方略，学習目標設定を想定しており，努力調整・モニタリング方略とプランニング方略との 2 つの方略が先延ばし行動に影響し，2 つの方略間に交互作用はないと結論している．ここで，努力調整・モニタリング方略は学習に対する意欲を調節し，自己を客観的に見つめる方略であり，プランニング方略は計画を立てて学習に取り組む方略である．

2.3 自主学習継続の課題

前述した理論及び先行研究から目的を達成するためには以下の 2 点が課題として挙げられる．

1. 適切な目標の設定と目標達成のための実効性の高い学習スケジュールの立案
2. 実施状況の把握・評価の支援及び学習状況に基づく適切なフィードバック方法の提供

この 2 つの課題を解決するために，学習者に実効性の高い学習スケジュールを提示し，その実施状況の記録及び可視化を行うことで学習者が自らの学習に積極的に関与しながら学習を継続していくための学習支援システムを構築する．

3 アプローチ

課題解決のために，課題 1 に対しては，学習者の予定を考慮した学習スケジュールの立案による支援を行う．課題 2 に対しては， 実施状況の記録及び可視化による支援とフィードバックとしてのリスケジューリングによる支援を行う．

3.1 学習スケジュールの立案

1. 入力データ

学習スケジュールの立案にあたって，表 1 に示すように必要な情報を取得する必要がある．情報は，学習者の予定と学習情報に大別できる．学習者の予定は，その日の活動予定である個人スケジュールと睡眠時間などを含めた生活時間に区別する．学習情報は，名称と目標，期間，学習項目に分ける．目標は，達成目標と目標時間に区別する．達成目標は，計画したスケジュール内で達成すべき到達点であり，目標時間はスケジュール期間内で目標とする学習時間である．期間は，学習の開始日と終了日により定義する．学習項目は，名称と個別目標時間，学習時間単位とする．個別目標時間は目標時間の中でどのくらい時間を当てるかという項目であり，学習時間単位は，学習項目にどのくらいの目安で時間を割り当てるかの尺度である．学習時間単位は，学習項目の特性に合わせてまとまった時間を確保して取り組みたい学習やちょっとした空き時間を利用して進めたい学習を区別するための指標とする．

表 1 入力データ

学習者の予定	個人スケジュール	
	生活時間	
	学習時間帯	
学習情報	名称	
	目標	達成目標
		目標時間
	期間	開始日
		終了日
	学習項目	名称
		個別目標時間
		学習時間単位

2. 学習スケジュールの立案方針

学習スケジュールの立案における基本方針は，1 つの学習情報に対して期間内に目標時間を満たすこととする．この際，学習情報や学習項目は複数に渡る事が予想できる．個々の学習を進めるペースや複数の学習を並行で進める際の優先度，日々の学習を行うにあたり主となる時間帯も考慮する必要があると考えられる．学習のペースは原則として全体的に平

準化し，日毎の空き時間に応じて調整する．これを基準に学習者の設定によって負担の前倒しや後ろ倒しを行う．複数の学習の優先度については，終了期間に近いものを優先して割り当てる．ただし，終了期間までの残り日数が 1 ヶ月以上等十分に時間があると見なせる場合は均等に時間を割り当てる．主となる時間帯は，学習時間帯として学習者の基本的な予定と共に取得する必要がある．実施状況の蓄積によって学習時間帯として最適な時間を推測し更新していくことも考えられる．

3. 学習スケジュール立案アルゴリズム

学習者の生活時間から個人スケジュールの時間数を差し引きした 8 割をその日の勉強に当てられる時間の目安として学習者の設定によって調整する．学習スケジュールの立案は，いつ，どのくらい，何を学習するのかという時間計画と，日毎にどの時間帯でやるのかという時間帯計画に分けられる．時間計画は，個々の学習情報及びその学習項目の時間数と優先度により学習時間を最大化するナップサック問題[6]と考える事ができるため，これを基に詳細な定式化を検討していく．時間帯計画は，学習時間帯を基に個人スケジュールを考慮しながら学習時間を確保し，時間計画で定めた学習時間を割り当てていく．以上を基本的なアルゴリズムとして，学習者の設定に応じて個々の学習の優先度等に柔軟に対応する．

3.2 実施状況の記録及び可視化

学習を進めるにあたって，実施状況は都度記録する必要があるため，記録する情報は少ない方が好ましい．したがって，実施状況の記録は学習情報の学習項目毎の時間帯と時間数を入力する．可視化に際しては実施時に計画の進捗を直感的に判断出来ることや振り返りの際に様々な視点から評価を行う事が求められる．可視化する情報は学習スケジュールと現在の実施状況の比較及び蓄積した学習状況の期間毎の成果時間の 2 つとする．

本研究では，上記 2 つのアプローチにより図 1 に示した自己調整学習の 3 段階の学習サイクルを成立させることで学習の継続に繋がることを期待している．予見の段階は学習スケジュールの立案，遂行の段階は学習状況の記録，自己省察の段階は学習状況の可視化により実現する．自己調整学習の 3 要素に着目すると，このアプローチに基づいて学習を効果的に行えた場合，その体験自体が学習者のモチベーション向上に繋がり学習を継続していけるということも期待できる．

4 提案システム

4.1 システム概要

提案するシステムのシステムイメージを図 2 に示す．まず，学習者からスケジュール立案に必要な情報を取得する．この情報を基に，3 章のアプローチにより学習スケジュールを立案する．学習者はこれを調整し，学習スケジュールを確定する．学習者は確定した学習スケジュールに従い日々の実施状況をシステムに記録していく．記録した実施状況は逐一可視化して表示される．これにより，学習者に学習の進捗や振り返りを意識させることができ，必要に応じて調整のためのリスケジューリングを行うことができる．

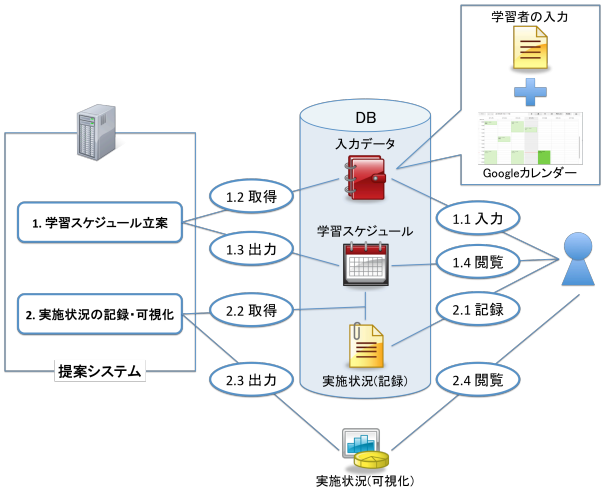


図 2 システムイメージ

4.2 学習スケジュールの立案

1. 学習スケジュール立案のための情報取得

学習スケジュール立案に必要な情報は表 1 に示した通りである．個人スケジュールの取得には，入力の手間の削減や利便性を考慮して Google カレンダー[7]を採用する．その他の情報は PHP によるフォームを利用する．Google カレンダーから取得した json データとフォームによる学習者からの入力をまとめてデータベースに取り込む．情報の取得は全て学習者の操作を起点として行い，学習対象に関する情報以

外は再利用しながら必要に応じて更新していく仕組みとする．

2. 学習スケジュールの立案

取得した情報を基に，3 章のアプローチに従い学習スケジュールを立案する．学習スケジュールの立案は，サーバとの連携を容易にするために PHP により実現することとし，実用性を考慮してできる限り処理時間を短縮することを意識した実装とする．立案した学習スケジュールは，可視化の対象として出力する．

4.3 実施状況の記録及び可視化

PHP による入力フォームにより，その日の学習の項目毎の時間帯と時間数を取得する．取得したデータはデータベースに保存され，学習スケジュール上に可視化される．蓄積した学習状況は日，週，月毎に棒グラフで示すことで学習の成果を見えやすくし，学習者の振り返りを促す．可視化にあたっては，デザイン性や操作のしやすさから JavaScript 及び jQuery を利用する．

5 実装と評価

3 章でのアプローチ及び 4 章での提案システムに従い Web アプリケーションとして実装することで学習支援システムを構築する．

提案システムを用いることで計画的に学習が行えたか実験を行う．具体的には，特定の学習課題を用意し，システムを用いた場合，用いない場合の学習時間記録とアンケートによって有用性を確認する．評価項目は，以下を軸に詳細を検討していく．

1. 適切な計画を提案できたか
    - 立案した学習スケジュールは実効性の高いものであったか
2. 実施状況の把握と評価を行う動機付けになったか
    - 実施状況の記録と可視化は進捗の把握や実績の評価に役立つものであったか

6 おわりに

自主学習を行う学習者が学習を継続していくために，学習スケジューリングを自動化し，その成果を記録及び可視化することで進捗を把握し，必要に応じて学習スケジュールの調整を行うシステムの検討とその有用性を評価するための方法を検討した．今後は提案システムを実装し，有用性を評価していく．

今後の展望として，学習者に合った学習スタイルや先延ばし傾向の判定，具体的な学習の内容の到達度の評価を行う方法を検討している．学習者が自分に合った学習法や最適な学習スタイルを知ることができれば，学習を行う上で役立てることができ学習の継続にも繋がると考えられる．

参考文献

[1] 向後千春，中井あづみ，野嶋栄一郎：e ラーニングにおける先延ばし傾向とドロップアウトの関係，日本教育工学会研究報告集，Vol.2004，No.5，pp.39-44(2004).

[2] 吉田国子：自己調整学習力獲得を促す e ラーニングツール--各国の試みから，東京都市大学環境情報学部情報メディアセンタージャーナル，Vol.12，pp.69-73(2011).

[3] 自己調整学習研究会：自己調整学習: 理論と実践の新たな展開へ，北大路書房(2012).

[4] 齋藤裕，松田岳士，合田美子，ほか：自己調整学習サイクルの計画段階に注目した e メンタ負担軽減システムの開発と評価, Vol.36, No.1, pp.9-20(2012).

[5] 藤田正：メタ認知的方略と学習課題先延ばし行動の関係，教育実践総合センター研究紀要，Vol.19，pp.81-86(2010).

[6] Korte, Bernhard H. and Vygen, Jens.(著)，浅野孝夫，浅野泰仁，小野孝男，平田富夫(訳)：組合せ最適化：理論とアルゴリズム，シュプリンガージャパン(2009).

[7] Google：Google カレンダー，Google(オンライン)，入手先<https://www.google.com/calendar/render>(参照 2014-09-02).

3D モデルを用いた函館湾の海上交通の可視化

伊藤飛雅 *　　高博昭　　和田雅昭
(公立はこだて未来大学)†

1　背景

海上を移動する船舶の位置情報を可視化し, 衝突事故の軽減や安全性の向上に役立てる研究は数多く存在している. 研究の事例として, 船舶の現在位置情報データを iPad に配信する marine plotter というアプリケーションがある [1]. これは船舶の位置情報を iPad 上でリアルタイムで共有することで, 船舶の航行の支援を行うことができる. しかし, 海上の情報を 3D 空間に再現する手法はまだ数少ない. 船舶等の海上の情報を 3D 化することで, より多くの情報をユーザーに与えることができるようになると考える. また, 函館は観光都市として有名で, 数多くの観光客が訪れている. しかし, 函館湾を対象とした観光地が少ない. そんな中, 函館市国際水産・海洋総合研究センター（以下, 研究センター）は「海からはじまる新しいまちづくり」を方針として掲げ, 函館湾から新たに函館の街作りを興す取り組みを行っている. そこで, 函館湾を航行する多数の船舶の情報を同時に処理し,3D データとして可視化することで函館湾の観光に役立てるシステムを提案することができると考える. 本稿では上記の事柄に着目し, 函館湾を航行する船舶の 3D 可視化ツールを開発する.

2　研究の目的

2.1　先行事例

「Ships」という,Google Earth を利用した 3D のシミュレータがある [2].Fig.1 に示される画像が,「Ships」の実際の画面である. これは GoogleMap の世界地図を利用し, 実在の地形をそのまま使用して船舶を動かすことができるものである. しかし, このシミュレータは, 架空の船舶がユーザーに与えられ,GoogleMap 上を自由に移動することができるのみである. 実在する船舶の位置情報が 3D 画面上の船舶に適用されているわけではない. 本稿では, 実在の船舶をリアルタイムに 3D 空間へ適用させるシステムを構築していく.

2.2　目的

本研究では, 研究センターに設置されたレーダーからデータを受信し, 函館湾を航行する船舶を 3D 空間に描画するソフトウェアを作成する. 船舶の情報を 3D データへと変換することで, 船舶の状態や周囲の様子をより分かりやすく, 直感的に捉えることができるようになる. また,3D 空間を生成することにより, 可視化の手法も多様になる. 例えば, 船舶を上から見下ろすことにより, 周囲の状況を確認することができる. また, 視点を切り替えて他の船舶からの周囲の船舶の見え方や景色を把握することもできる.

Fig. 1　Ships 画面

3　システムの概要

3.1　データの収集

研究センターに設置したレーダー（光電製作所製 MDC-2910）を使用する. このレーダーは電波を発信し, 船舶などの物体に反射して返ってきた電波から位置を補足する. この情報にはターゲット番号, レーダーからの方位・距離, 船速が含まれている. この情報はレーダー情報配信用サーバーに送信されており, ソフトウェア側はそのサーバーからデータを取得する. そして, そこで得られたデータを元にリアルタイムで船舶を表示する. 本稿ではこれらレーダーのデータを, 函館湾周辺の船舶を 3D 表示するために用いるが, それ以外にも船舶同士の安全確保のために使用することも考えられる.

3.2　平面直角座標系の利用

3D 空間の構築には平面直角座標系を使用し, レーダーの設置された場所等の緯度経度の情報をそのまま 3D 空間上の座標へ適用できるようにした. なお, 緯度経度の情報を平面直角座標系に変換するための計算式は, 国土地理院で公開している計算式を使用した [3]. また,3D 空間上での地形の作成には, 北海道の地形データを緯度経度で書き表したものを使用した. それを 3D のモデリングソフト上へ座標を直接打ち込み, 北海道の地形を作成した. なお, 緯度経度の座標を一度平面直角座標系に変換し, それを利用して 3D の地形データを作成しているた

†b1011002@fun.ac.jp
函館市亀田市中野町 116 − 2 公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

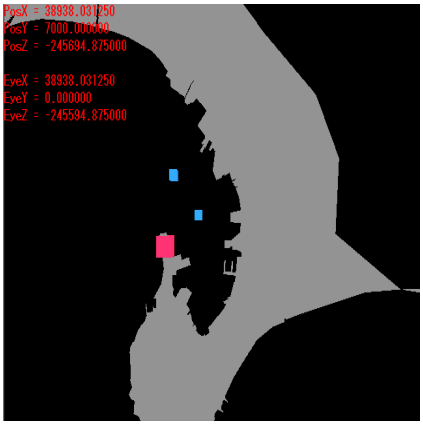


Fig. 2 上から見下ろした 3D 画面

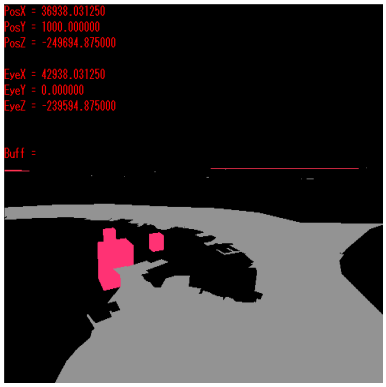


Fig. 3 異なる視点から見た 3D 画面

め, 出来た北海道の 3D 地形データの縮尺は, そのままソフトウェア上で使用できる実寸サイズのものになっている. これは他の海域に適用する場合も同様で, 緯度経度の情報さえ入手できれば, 全ての海域に対してこのソフトウェア上で動作させられる地形データを作成することが可能である. 今回では対象となる海域が函館であるため, その周囲の地形データのみを利用しているが, 北海道全域の地形データを内部的に保持している.

3.3 船舶位置情報の表示

レーダーから受信した船舶の位置や向き, 速度などの情報を変換し,3D 空間での描画を行う. レーダーが得た船舶の位置情報等を, サーバーを介しネットワーク経由で受け取ることで, リアルタイムに船舶の情報を更新する. レーダーから船舶の情報が与えられたとき, レーダーが設置されている平面直角座標系を元にそこからの距離と角度を受け取って, 船舶の 3D 空間での座標を算出する. ここでの算出には三角関数を用いている. なお,Fig.2,Fig.3 に示す画像が現在の製作段階でのソフトウェアの画面である.

3.4 3D モデルの作成

函館湾を航行する船舶のデータは, 実在する船舶の設計図から製作している. 製作中の船舶の 3D モデルを Fig.4 に示す. これは, 株式会社マルカツ興産の協力を得て作成したものである. この船舶は, 函館観光船「ブルームーン」として使用されていたものである. 実際に現在運航しているものとは形が異なるが, 過去に使用されていた船舶の設計図を使用して作成したものである. 船舶の種類に関して, 実際に航行している全ての船舶を個別に作成することは不可能であるため, 漁船や客船といった分類に分けて作成し, 使用する.

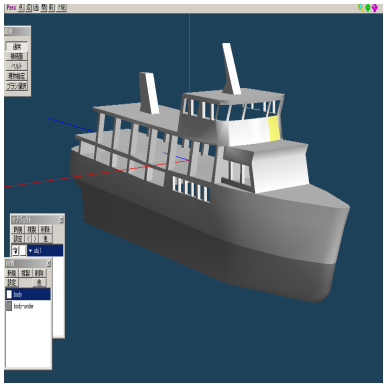


Fig. 4 船舶の 3D モデル作成画面

4 今後の展望

本ソフトウェアを研究センターに配置し, 来訪者の方々に実際の船舶と 3D 空間で動く船舶を見比べてもらう. そこで, インターフェース改良のための改善案等を聞く. また, 現在は MDC-2910 のレーダーを使った ARPA（自動衝突予防援助装置）のデータのみを使用して船舶のデータを収集しているが, AIS（自動船舶識別装置）のデータも合わせて収集することで, 情報を得る船舶の数を増やしたり, レーダーの範囲を超えた船舶の情報も入手できるように改良していく. 本稿では函館湾を航行する船舶の確認に役立てるシステムとしての構築までを行うが, 船舶同士の距離から衝突の危険性を知らせる機能等を追加することで, 船舶に搭載し航行の安全性を高めるためのシステムとして改良することも考えられる.

参考文献

[1] 公立はこだて未来大学「marine PLOTTER」, http://www.fun.ac.jp/12_0521_marineplotter/ (2014/08/22 アクセス)

[2] Ships v1.5 by Dinther Product Design Ltd - PlanetInAction.com, http://www.planetinaction.com/ships15/ (2014/08/22 アクセス)

[3] 国土地理院測量計算サイト, http://surveycalc.gsi.go.jp/sokuchi/main.html (2014/08/22 アクセス)

畳み込みニューラルネットワークによる動画データを用いたエージェント行動癖の認識

遠峰孝太* 飯塚博幸** 山本雅人**
(北大工)† (北大情報科学)††

1 はじめに

コンピュータの性能の向上により，大規模なニューラルネットワークを構成することで高度な認識力を獲得することができるようになった[1]．特に，物体の画像認識や手書き文字などの認識率が向上したことなどが知られている

Moez らの研究では，人の行動を動画として記録し，動画に対してニューラルネットワークを用いることによって行動の種類別に分類することに成功している[2]．これは，歩行や手を振るなどの行動を行っている動画を分類するものであるため，各フレームでは，それぞれの行動に依存した特徴が顕著に現れるため，その特徴を抽出することで分類精度を上げていると考えられる．

一方，例えば，スーパーなどの監視カメラの映像から万引き犯などの不審者を特定したいといった場合，不審者は通常の買い物客と同じような行動をしていると思われる．ただし，不審者特有の怪しい振る舞いを抽出できれば不審者の自動検出につながると考えられる．

本研究では，同一のタスクを実行する二種類のエージェントをその行動パターンから両者を識別することが可能であるかについて検証する．二種類のエージェントは，ニューラルネットワークで実装したコントローラを独自に進化させたもので，同じタスクを目的としつつも，その行動パターンについては異なるものとなっている．それぞれのエージェントの行動について学習し，エージェントを識別可能かどうかについて実験を行った．

2 人工ニューラルネットワーク

本研究の基盤となる技術として人工ニューラルネットワークを用いる．人工ニューラルネットワークは人工ニューロン同士が重みをもって結合することで構成される．各ニューロンの出力 o_j は，ニューロンへの入力 $x_i(i=1, 2, \cdots, m)$の重み付き和にバイアス b_j を加えた値に活性化関数 f を与えたものとなり，式(1)(2)(3)によって計算される．この活性化関数は sigmoid 関数と呼ばれる．

$$o_j = f(u_j) \tag{1}$$

$$u_j = \sum_{i}^{m} x_i w_{ij} + b_i \tag{2}$$

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{3}$$

ニューラルネットワークの構造を図 1 と図 2 に示す．各重みを更新することでニューラルネットワークの学習が進む．

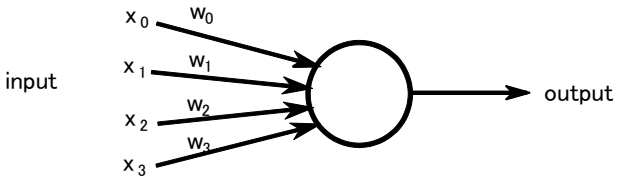


図 2 ニューロン

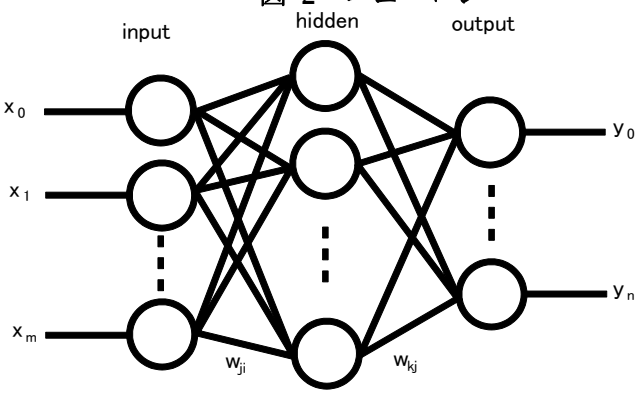


図 2 ニューラルネットワーク

3 畳み込みニューラルネットワーク

3.1 構成

畳み込みニューラルネットワークは，入力層と出力層の間に複数の畳み込み層とプーリング層を交互に並べた多層のニューラルネットワークである．入力は画像であり，画像は縦方向と横方向の大きさを持ち，複数枚のチャネルで構成される．チャネルは 1 ピクセルを構成する特徴量であり，入力層でのチャネルとは 3 チャネルでは RGB 画像, 1 チャネルではグレースケール画像に相当する．出力層は，出力の総和を 1 にするためソフトマックス層を使用する．入力された画像は，層を通過する毎に小さくなる．畳み込みニューラルネットワークは，位置の変化に強いという特徴があり，画像に表れる特徴がずれていてもほぼ同じ応答を示す．このニューラルネットワークは，文字認識や一般物体認識において高い識別率を獲得している[3][4].

3.2 畳み込み層

畳み込み層は，フィルタ内の入力を畳み込む計算を行う．フィルタとは，あるニューロンが受け取る入力の領域である．つまり，入力された画像から小さい画像を切り出したものを畳み込み層ニューロンへの入力とする．ニューロンが入力全体ではなく，一部の領域からのみ入力を受け取る構造を局所受容野構造と呼ぶ(図 3).

フィルタの重みは入力画像の位置によって変化せず，どの位置においても重みを共有しているが，チャネル間では重みを共有しない．

入力画像のサイズを $M\times M$，フィルタのサイズを $m\times m$，チャネル数を N，畳み込み層への入力を $x_{ijk}((i,\ j,\ k)\in\{1,\ \cdots,\ M\}\times\{1,\ \cdots,\ M\}\times\{1,\ \cdots,\ N\})$，畳み込み層の出力を y_{ij}，フィルタの重みを $w_{ijk}((i,\ j,\ k)\in[1,\ m]\times[1,\ m]\times[1,\ N])$，バイアスを b で表すと出力は式(4)(5)(6)で計算される．$g(s)$は活性化関数であり relu 関数とよばれる．relu 関数を用いることにより sigmoid 関数よりも高速に学習が進むといわれている[6].

$$y'_{ij}=\sum_{k=1}^{N}[\sum_{p=1}^{m}\sum_{q=1}^{m}x_{i+p,\ j+q,\ k}w_{pqk}]+b_k \tag{4}$$

$$y_{ij}=g(y'_{ij}) \tag{5}$$

$$g(s)=\max(0,\ s) \tag{6}$$

3.3 プーリング層

プーリング層は畳み込み層と同様に局所受容野構造をもつ．受容野内の情報を一部捨てることにより，画像の中に表れる特徴の微小な位置変化を吸収する．

入力画像のサイズを $M\times M$, 出力画像のサイズを $L\times L$, フィルタのサイズを $m\times m$，チャネル数を N，プーリング層への入力を $x_{ijk}((i,\ j,\ k)\in\{1,\ \cdots,\ M\}\times\{1,\ \cdots,\ M\}\times\{1,\ \cdots,\ N\})$，出力を $y_{ijk}((i,\ j,\ k)\in\{1,\ \cdots,\ L\}\times\{1,\ \cdots,\ L\}\times\{1,\ \cdots,\ N\})$とするとプーリング層の出力は式(7)のように計算される．$\boldsymbol{P_{ij}}$はサイズを $m\times m$ の局所受容野の小領域である．

$$y_{ijk}=max_{(p,\ q)\in P_{ij}}(x_{pqk}) \tag{7}$$

3.4 ソフトマックス層

ソフトマックス層は，分類する種類数のニューロンを持つ．n 種類に分類するとき，入力を $x_i(i=1,\ 2,\ \cdots,\ n)$ とすると y_i，は式(8)となる．

$$y_i=\frac{e^{x_i}}{\sum_{j=1}^{n}e^{x_k}} \tag{8}$$

出力の総和は 1 になるので，1 を出力するニューロンがあれば他のニューロンはすべて 0 となる．認識を行うときは，出力 y_i が最大値をとるニューロンのインデックス i を推定クラスとする．

3.5 学習

データをニューラルネットワークに入力して得た結果と期待する結果の差をもとに重みを更新する誤差逆伝播法によって学習する．本稿では，重みの更新は adadelta アルゴリズムを使用する[5].

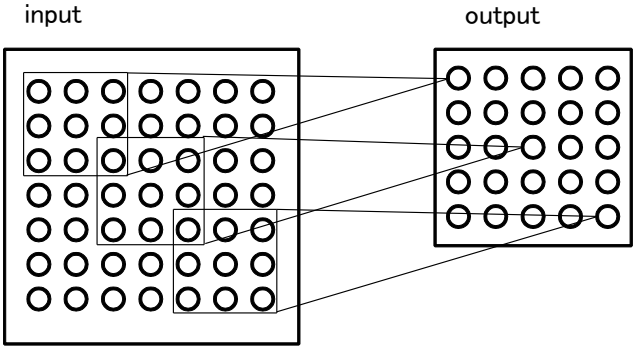


図 3　局所受容野

3.6　3 次元畳み込みニューラルネットワーク

上記で示した画像を入力とする畳み込みニューラルネットワークが 2 次元であるとすると，3 次元畳み込みニューラルネットワークは画像ではなく動画を入力としたものである．畳み込み層とプーリング層の局所受容野は，縦と横に加えて時間方向の大きさを持つ領域となる．

4 実験

2 つの同じタスクを実行するエージェントを 3 次元畳み込みニューラルネットワークを用いて動画から識別できるかどうかを検証する．すなわち，それぞれのエージェント行動に癖のような特徴が見られるのかを検証する．

4.1 エージェント

本研究で扱うエージェントは，光源追従をするもので，行動の制御をするためにニューラルネットワークを用いる．エージェントは車輪を 2 つもち，光源との角度を得るための目を 2 つもっている．ニューラルネットワークへの入力は，光源とエージェントの目の角度を 0~π の範囲で与える．出力は 2 つの車輪の角速度であり，車輪の速度差によって曲がることができる．

遺伝的アルゴリズムによってニューラルネットワークの学習をすることでそれぞれ異なる重みのニューラルネットワークを持ったエージェントを 2 つ生成する．2 つのエージェントの遺伝的アルゴリズムのパラメータは同じである．初期個体数は 30 で始め，評価値の優れている上位 6 個体をエリート保存する．残りの 26 個体を確率 10%で突然変異させ，重みの一部をランダムに変更する．交叉では，15 体に対し 2 点交叉を適用し，残りの 15 個体に一様交叉を適用する．エージェントの詳細を図 4 に示す．

4.2 動画

3 次元畳み込みニューラルネットワークへの入力として動画を用いる．エージェントが光源に到達するまでの過程を動画として記録する．縦 50 ピクセル，横 50 ピクセルの大きさで連続した時間 50 フレームを 1 つのデータとする．光源の位置はすべてのデータで中心に固定されており，エージェントの初期位置はランダムに決めら

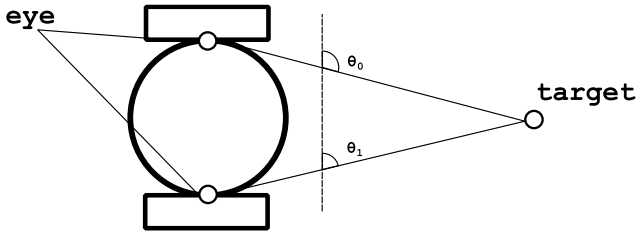


図 4　エージェント

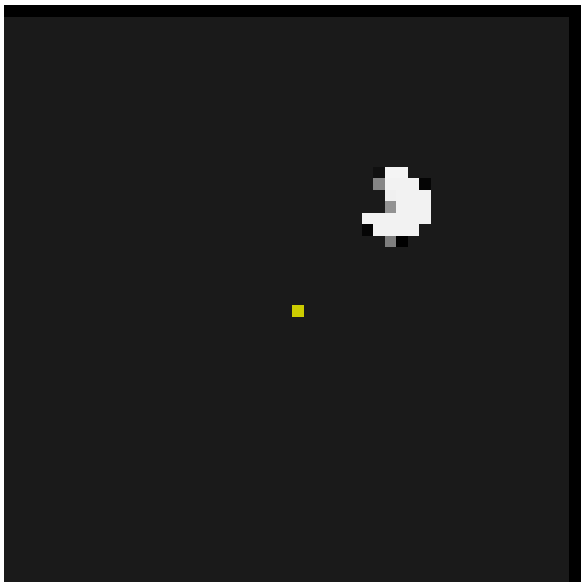


図 5　実際の動画 1 フレーム

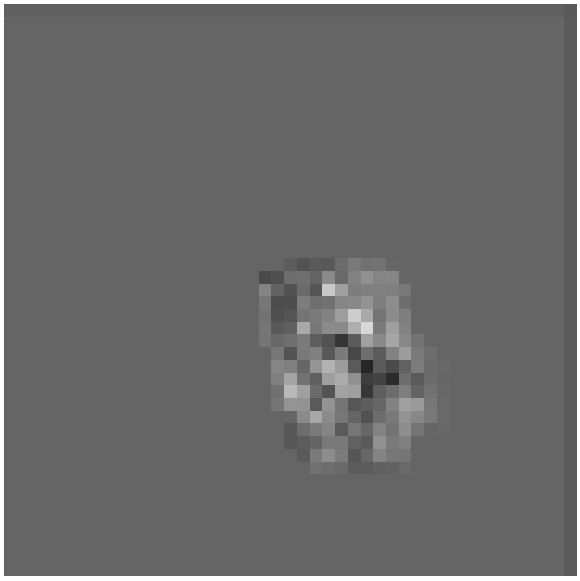


図 6　畳み込み後の画像

れる．学習用データとしてそれぞれのエージェント毎に 900 個ずつ作られたデータを使用する．動画 1 フレームの例を図 5 に示す．学習に使わないデータを訓練データとして 100 個ずつ使用する．

4.3 畳み込みニューラルネットワークの学習

本実験で使用するネットワークは，8 つの層で構成される．畳み込み層を C1，C2，C3 プーリング層を S1，S2 全結合ニューロンの層を N1 とすると，<C1，P1，C2，P2，C3，N1>の順に配置される．各層のパラメータを表 1 に示す．入力したデータを 2 つに分類するため，出力のニューロンは 2 つになる．C1 で出力された畳み込み後の画像例を図 6 に示す．

表 1　各層のパラメータ

層	縦×横×フレーム数×チャネル	フィルタ
入力	50×50×50	-
C1	45×45×45×8	6×6×6
P1	15×15×15×8	3×3×3
C2	12×12×12×16	4×4×4
P2	6×6×6×16	2×2×2
C3	1×1×1×20	6×6×6
N1	1×1×1×2	1×1×1
出力	1×1×1×2	1×1×1

4.4 学習結果

学習済みネットワークにテストデータ 100 個を入力した結果を表 2 に示す．

表 2　テストデータに対する結果

平均誤差	0.102
正答率	0.940

学習していない未知のデータに対して 94%の正答率で識別することができた．

また，50 フレームの動画の中で，どのあたりのフレームが識別に影響を与えたのかを調べるため，次のように実験した．

50 フレームの動画の中心 48 フレームを 6 フレーム毎に分割し，8 つのブロックに分ける．いくつかのブロックを背景と同じ色で塗りつぶした動画を学習済みネットワークに入力したときの出力の変化を確認する．ここで得たデータを表 3，表 4，表 5 に示す．表の値は，塗りつぶす前の動画を入力したときの出力と塗りつぶした後の動画を入力したときの出力の差を訓練データ 100 個分の平均をとったものである．この値の絶対値が大きいほど塗りつぶす前後で出力の値が変わったことになる．

表 3　1 ブロックずつ塗りつぶしたときの結果

ブロック	個体 A	個体 B
1	-0.00305	0.00242
2	-0.00127	0.00282
3	-0.00235	0.000651
4	0.0351	-0.00481
5	0.106	-0.00900
6	0.161	-0.0116
7	0.0797	-0.00704
8	0.0152	-0.000199

表 4　2 ブロックずつ塗りつぶしたときの結果

ブロック	個体 A	個体 B
1，2	-0.00515	0.00705
3，4	0.0420	-0.00315
5，6	0.362	-0.0175
7，8	0.124	-0.00663

表 5　4 ブロックずつ塗りつぶしたときの結果

ブロック	個体 A	個体 B
1，2，3，4	0.0252	0.00804
5，6，7，8	0.798	-0.0229

絶対値が最も大きい値をハイライトすると，動画を 4 等分したときの 3 番目(25~36 番目のフレーム)にあたる部分が大きな値を出している傾向がある．この結果から，出力に大きな影響を与えているのは 50 フレームの内 25~36 フレーム付近であることがわかる．この付近では，エージェントが向きを光源に向けて近づき始めている状態が多い．

4 おわりに

本稿では，畳み込みニューラルネットワークを用いて動画から同じタスクを行うエージェントの識別をすることができるかを検証した．

実験では，2 種類のエージェントを高い正答率で識別できることを確認した．加えて，動画のフレーム位置によって出力に与える影響の違いを示した．

今後は，実世界で活動する生物に対して畳み込みニューラルネットワークによるパターンの識別が有用であるかを検証する．

参考文献

[1] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, “Gradient-based learning applied to document recognition, ” Proceedings of the IEEE, 1998.

[2] Moez Baccouche，Franck Mamalet，Christian Wolf，Christophe Garcia，Atilla Baskurt:Sequential Deep Learning for Human Action Recognition. Human Behavior Understanding，Lecture Notes in Computer Science Volume 7065，2011，pp 29-39

[3] ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition 2012(ILSVRC2012) http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/2012/results.html

[4] 関野　雅則，越　裕，木村　俊一，"視覚情報処理モデルに基づいて改良した畳み込みニューラルネットワーク文字認識"，テクニカルレポート No.23 2014 年　pp.82-88

[5] Zeiler， M. D. (2012). ADADELTA: An Adaptive Learning Rate Method. CoRR， abs/1212.5701.

[6] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. In Proc. NIPS, 2012

情報処理北海道シンポジウム 2014

看護師勤務表作成問題への進化型多目的最適化の応用

奥寺将至* 渡邉真也†

(室蘭工業大学大学院　情報電子工学系専攻) ‡ (室蘭工業大学大学院　しくみ情報系領域)

1　はじめに

看護師勤務表作成問題 (Nurse Scheduling Problem, NSP) は，病院などの医療施設における 1ヶ月間の看護師勤務表を様々な制約条件の元で作成する問題である [1]. その特徴は，膨大かつ複雑に関係しあう制約条件下における最適化の困難さであり，文献 [2] における調査では，1 部署 1ヶ月分の勤務表作成に平均約 11 時間が費やされているとの結果が報告されている.

このような背景から勤務表作成の自動化に対するニーズは高く，これまで，遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm，GA) や差分進化法 (Differencial Evolution，DE) などのヒューリスティックアルゴリズム，および数理計画法などを適用した研究が報告され [1, 3, 4, 5, 6]，これらの研究成果に基づく商用の看護師勤務表作成システムが発売され広く利用されている [7, 8, 9].

しかしながら商用の作成システムでは，幾つかの問題において最低限満たすべき制約を満足した解が導出できなかったり，仮にそのような解が導出できたとしてもその候補が 1 つのみで選択肢に乏しいといった問題点が指摘されており，最適化エンジンの改善が強く求められている [7].

そこで本研究では，看護師勤務表作成システム「セルヴィス」[1] を開発するシステムバンク株式会社との共同研究の下，上記の問題点を解決する新たな NSP に対する最適化アプローチの開発を試みた．具体的には，進化型多目的最適化 (Evolutionary Multi-criterion Optimization, EMO) に基づいた枠組みを利用した，効率的な解探索のために NSP の問題性質に特化した複数の独自な探索メカニズムの実装を行った.

提案アプローチの有効性の検証には，共同研究先であるシステムバンク社内においてベンチマークとして利用されている 3 種類のテストデータを利用し，既存エンジンとの比較実験を行った.

本稿の構成を以下に述べる．まず，2 章において NSP について概説し，3 章において NSP の定式化および提案手法の概要を説明する．4 章において数値実験を行い提案手法の有効性について検証し，最後にまとめを述べる.

*10024039@mmm.muroran-it.ac.jp

†sin@csse.muroran-it.ac.jp

‡〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27 番 1 号 情報工学科事務室 （渡邉 真也研）

[1] セルヴィスは，全国約 800 病棟の導入実績を持つ市販ソフトウェアである.

2　看護師勤務表作成問題

一般的に看護師勤務表作成問題 (Nurse Scheduling Problem, NSP) は，Fig. 1 に示すような m 人の看護師の 1ヶ月（ここでは日数を n とする）の勤務表をできる限り制約を満たすように作成することが目的であり [1, 2, 3, 4, 5, 6]，勤務形態を要素として持つ $m \times n$ 行列を決定する問題として捉えることができる [6]. 看護師は管理職である師長や副師長だけではなく，キャリアに応じてグループ化されることが多く [2]，勤務形態も 2 交代制もしくは 3 交代制で分類されることが多い.

NSP における制約条件は様々なものがあるが，看護の質に関するもの（勤務制約条件 [10]）と看護師の生活の質に関するもの（看護師制約条件 [10]）の 2 種類に大別することができ，前者の多くが勤務表における縦方向（日付ごとの制約）に関する制約であり，後者の多くが横方向（スタッフごとの制約）に関する制約であることから，それぞれ縦方向制約と横方向制約として捉えることができる．また制約の強さには，その制約を充足しないと勤務表として成り立たないハード制約とできる限り満たして欲しい（必ずしも満たす必要のない）ソフト制約の大きく 2 種類あり，勤務表を作成する際には全てのハード制約を満たすことが第一の目標となる.

NSP における代表的な制約を以下に示す.

- 縦方向制約（看護の質に関する制約，勤務制約条件 [10]）
  - 各日の各勤務形態に必要な人数
  - グループ人数　など
- 横方向制約（看護師の生活の質に関する制約，看護師制約条件 [10]）
  - 各看護師に割当てる勤務回数
  - 勤務パターン　など

各日の各勤務形態に必要な人数は，病院を運営する上で最低限必要な制約条件であり，1 日に必要な各勤務形態に割当てる勤務人数を設定する．また，グループ人数は 1 日あたりに各勤務形態に必要な各グループ人数に関する制約条件であり，病院が提供する医療サービスの質を維持するためのものである．例えば,「準夜勤はランク A，ランク B から 1 人以上」のように設定される.

各看護師に割当てる勤務回数は，各看護師が一ヶ月あたりに割当てられる各勤務回数に関する制約条件であり，例えば「看護師 D は 1ヶ月あたり休日は 10 回，深夜勤は 5 回」などのように設定される．また，勤務パターンは,「日勤→休日→準夜勤→深夜勤」のように，連続する

	1	2	3	4	5	6	…	30	31	休	深	準	日
	火	水	木	金	土	日		水	木				
看護師A	深	準	休	日	日	深		準	休	8	5	5	13
看護師B	日	深	準	日	休	休		日	休	8	6	6	11
看護師C	休	深	準	深	準	休	…	休	日	8	5	5	13
看護師D	深	準	日	休	深	準		準	深	8	5	5	13
看護師E	日	日	休	休	日	日		深	準	8	6	6	11
看護師F	深	準	深	準	休	深		日	深	8	6	6	11
⋮			⋮					⋮			⋮		
看護師O	準	休	深	準	深	準	…	日	休	8	5	5	13
看護師P	日	日	日	休	深	準		準	深	8	4	4	15
日	10	11	10	9	6	6	…	12	11				
深	3	3	3	3	3	3		3	3				
準	3	3	3	3	3	3		3	3				

Fig. 1 Example of attendance sheet.

▼夜勤の後は休日とする

▼夜勤はベテランか中堅から少なくとも1人

	1 月	2 火	3 水	4 木	5 金
ベテランA	夜	休	日	日	日
ベテランB	日	日	夜	休	夜
中　堅　A	夜	休	日	夜	休
中　堅　B	日	日	夜	休	夜
新　人　A	休	**夜**	**休**	夜	休
新　人　B	休	**夜**	**休**	日	日

(a) グループ人数条件を違反

	1 月	2 火	3 水	4 木	5 金
ベテランA	夜	休	日	日	日
ベテランB	日	**夜**	**夜**	休	夜
中　堅　A	夜	休	日	夜	休
中　堅　B	日	日	夜	休	夜
新　人　A	休	**日**	休	夜	休
新　人　B	休	夜	休	日	日

(b) 勤務パターン条件を新たに違反

Fig. 2 Example of conflict between constraints.

勤務形態の系列に関する制約条件である．この系列は勤務時間帯や勤務負荷を考慮して設定され，「日勤→日勤→日勤のパターンは禁止」のように，禁止する系列が設定されることもある．

NSP における最大の特徴は制約条件の複雑さとその充足の難しさである．一般的に縦方向制約と横方向制約は性質が大きく異なるため，両者の間にはトレードオフの関係が存在することが知られている．そのため制約同士が強くバッティングし，制約の充足が困難になることが多い．制約同士の干渉に関する具体的な例を Fig. 2 に示す．まず Fig. 2-(a) では，2 日において新人 A，B が縦制約であるグループ人数制約を違反している．そこでベテラン B と新人 A の 2 日の勤務形態を入れ替えることにより，制約を満たすことが出来るが，この操作によってベテラン B の 2，3 日の勤務パターン制約を新たに違反してしまうことがわかる (Fig. 2-(b))．

遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm，GA) を用いて勤務表を作成する際には，常に制約同士がバッティングしているため，これらを解消するように勤務形態を操作することになる．しかしながら，どの制約とどの制約が強くバッティングをするのか事前に予測することが困難であるため，1 つの制約を充足することにより，他の制約を複数違反してしまうことも少なくない．またバッティングはいわゆる局所解のような状態として現れ，制約充足の進んだ違反の少ない勤務表ほどバッティングが強固に（局所解の谷が深く）なるため，探索が進むほど探索が停滞しやすくなり，ハード制約を全て満たす勤務表の導出を困難にしている．

3 提案手法

本章では，提案するアプローチの概要について述べる．

3.1 方針

本研究で提案するアプローチの目標は，1) より短い時間でのハード制約を満たす解の導出（高い探索性能）と，2) ハード制約を満たした複数の解候補の導出の大きく 2 つであり，特に前者を実現するためには，前章で述べた NSP の持つ問題特性を十分に考慮したメカニズムを組み込む必要がある．そのため，下記に示す 3 つの方針に基づいたアルゴリズム設計を行い，効率的な解探索の実現を試みた．

1) 特定の制約条件に対する充足
2) （その時点の）優良個体に対する徹底的な局所探索
3) 探索が局所解に陥った場合の脱出

1 つ目の制約充足は，特定の制約については必ず充足するように配慮することで実質的な探索領域の削減を意図したものである．提案するアプローチでは，初期個体生成時に特定の制約については必ず充足させ，各遺伝的操作時には充足した制約をできるだけ違反しないように解操作を行っている．

また，2 つ目の優良個体に対する局所探索は，先鋭的に探索を進めるための方針であり，より短期解でハード制約を満たす解を導出することを目的としている．提案アプローチでは，各遺伝的操作および局所探索においてその方針を徹底しており，必ず現時点での最良と思われる個体が各操作の適用対象に選択される方針をとっている．

Table 1 Priority and weights of constraint.

Priority	Weights
絶対	10000
出来れば	100
可能なら	1

3 つ目の局所解からの脱出は，探索終盤（ある程度の制約充足が進んだ違反の少ない状態）において局所解からの脱出が困難になるという問題特性に対応したメカニズムであり，本アプローチでは局所探索のフェーズにおいてこのメカニズムを陽に扱っている．

また後者を実現させるために，問題を多目的最適化問題として定式化し，進化型多目的最適化 (Evolutionary Multi-criterion Optimization, EMO) に基づいた枠組みを適用した．EMO を採用した理由は大きく 2 つあり，1) 前章で述べたように，NSP における制約は 2 種類に大別され両者の間にはトレードオフの関係があり，多目的化との親和性が高いこと，また 2) 特徴の異なる複数の良質な解候補の導出が期待できるためである．

3.2 定式化

本研究における NSP は多くの先行研究と同様に，1ヶ月の勤務表を最適化パラメータとして扱った．そのため解は看護師の人数を m，日数を n とした $m \times n$ 行列により表現され，行列の各要素には k 種類の勤務形態のうち 1 つを必ず割り当てる．

また，制約条件の強さに関して，本研究ではセルヴィスにおける条件設定に基づき Table 1 に示す 3 種類の優先度を設定した．Table 1 における「絶対」は必ず満たす必要のあるハード制約であり,「出来れば」および「可能なら」はそれぞれソフト制約であるものの重要度の違いから異なる重み付けを行った．その際，勤務表作成時の最低条件は全てのハード制約の充足であるため,「出来れば」および「可能なら」に対して「絶対」の重み値は極端に大きな値を設定している．なお，本研究では絶対条件を全て満たした状態の解が得られた時点で勤務表は完成したものとして扱った．

解の評価値は Table 1 に示す重み値を用いた制約条件違反値の総和から算出する．このとき制約条件を前章で述べた縦方向制約 (勤務制約条件) と横方向制約 (看護師制約条件) の 2 種類に大別することにより，2 目的最小化問題として定式化した．評価式を式 (1) および式 (2) に示す．

$$f^{\mathrm{people}}(x) = \sum_{i=1}^{k} \omega_i x_i^{\mathrm{people}} \quad (1)$$

$$f^{\mathrm{duty}}(x) = \sum_{j=1}^{l} \omega_j x_j^{\mathrm{duty}} \quad (2)$$

式 (1) は横方向制約 (看護師制約条件)，式 (2) は縦方向制約 (勤務制約条件) に該当する評価値である．式中における i, j は制約条件，k, l は制約条件数，x_i, x_j は制約条件 i, j の違反数，$\boldsymbol{\omega}_i, \boldsymbol{\omega}_j$ は Table 1 に基づく制約条件 i, j の重みである．

3.3 提案手法の流れ

提案手法の流れを以下に示す．なお，文中における最良個体（Best）は，各目的関数値の総和が最小となる個体を指し，最悪個体（Worst）は．各目的関数値の総和が最大となる個体を指す[2] ．

Step 0) 特定の制約条件を充足させた初期個体を N 個生成し，アーカイブに保存する．

Step 1) アーカイブにおける最良個体 A_{Best} を P_1，ランダムに選択した個体を P_2 とし，親個体とする．

Step 2) 親個体 P_1，P_2 の個体間距離[3] $D(P_1, P_2)$ を算出し，$T \leq D(P_1, P_2)$ ならば交叉，$T > D(P_1, P_2)$ ならば突然変異を行う．遺伝的操作は dMSXF や dMSMF[11] のような多段階の枠組みを利用している．

Step 3) 生成した子個体の中から最良個体 C_{Best} を選択し，アーカイブに保存する．アーカイブサイズ A を超過している場合は，親体 P_1，P_2 またはアーカイブにおける最悪個体 A_{Worst} と置き換える．

Step 4) アーカイブの個体に対して局所探索を行う．対象となる個体は，Step 3) においてアーカイブが更新されなかった場合は A_{Best} であり，更新された場合はランダムに選択した非劣解 1 個体とする．

Step 5) アーカイブの個体が 1 つでも「絶対」の制約条件（ハード制約）を全て満たしていれば勤務表が完成したと見なして終了する．そうでなければ Step 2) に戻る．

上記のように，提案手法では遺伝的操作と局所探索を組み合わせた枠組みとなっており，これら各メカニズムの有機的な連携により効率的な解探索を試みている．また，遺伝的操作および局所探索の対象として必ずその時点の最良個体（A_{Best}）を選択し，優良個体に対する改善を最優先する仕組みを採用していることが分かる．

4 数値実験

提案手法の有効性を検証するために，提案手法と現在のセルヴィスに搭載されているエンジンとの比較実験を下記の 2 種類について行った．

[2] 提案手法では，制約条件を 2 種類に分けた 2 目的最適化問題として扱っているが，NSP において最も重要なのはハード制約違反を全て充足することであり，また目的関数値が小さいほど制約違反が少ない良い個体であると判断できる．そのため，各目的関数値の総和による個体の優越を行うことで，$f^{\mathrm{people}}(x)$ および $f^{\mathrm{duty}}(x)$ のハード制約充足を最優先する戦略を採用した．

[3] ハミング距離を用いる．

Table 2 Classification of type of constraints in test problems.

	# Constraints		
	Test Problem 1	Test Problem 2	Test Problem 3
各日に必要な各勤務人数	4	5	5
グループ人数	13	10	12
その他（縦方向制約）	3	9	7
各看護師に割当てる勤務回数	2	5	7
勤務パターン	1	7	6
禁止勤務パターン	8	8	18
その他（横方向制約）	5	8	9

Table 3 Detail of test problems.

	Test problem		
	1	2	3
シフト	2 交代制	2 交代制	3 交代制
勤務形態数	4	5	5
看護師数	30	25	26
固定箇所数	0	99	136
縦方向制約数	20	24	24
横方向制約数	16	28	40

1) 一定時間内での満足解導出割合
2) 目的関数値の推移

前者はアルゴリズムの安定性の検証を目的としており，割合が高いほど安定して勤務表を導出できると考えられる．また後者は探索効率の分析を目的としており，具体的には同程度の評価回数ごとに母集団における個体評価値の最良（各目的関数値の総和の最小）値をプロットし，得られる推移の比較を通して探索効率の分析を行う．

対象問題にはシステムバンク社においてセルヴィスの開発時に利用されている 3 種類のベンチマークテスト問題を用いた．各問題は，実際の病棟事例に基づいて作成されており，それぞれ異なる困難性や特性を有している．以下，各テスト問題の詳細について説明する．各問題の設定および制約条件の内訳は Table 3，Table 2 の通りである．

テスト問題 1

2 交代制の病棟を想定しており，看護師は 30 名，勤務形態は 4 種類（夜勤，明勤，日勤，休日）存在する．看護師数が最も多いため，勤務表のサイズが最大の問題である．また明勤は夜勤の午前 12 時以降の勤務時間を指す勤務形態であり，夜勤と明勤を一連の勤務系列として扱うことによって日勤と夜勤から成る 2 交代制の病棟の勤務表を作成することができる．

テスト問題 2

テスト問題 1 と同様に 2 交代制の病棟を想定しており，看護師は 25 名，勤務形態は 5 種類（夜勤，明勤，日勤，遅出，休日）存在する．しかし日勤が日勤と遅出の 2 種類に分かれており，また勤務表中にあらかじめ勤務形態が決定された変更不可な固定箇所が複数存在するため，探索空間が複雑化していることが考えられる．

テスト問題 3

テスト問題 3 では 3 交代制の病棟を想定しており，看護師は 26 名，勤務形態は 5 種類（深夜勤，準夜勤，日勤，遅出，休日）存在する．勤務形態数はテスト問題 2 と同じだが，3 交代制であるため，夜勤が準夜勤と深夜勤に分けられるところが大きな特徴である．また固定箇所が多く制約条件の数が最大であるため，探索空間の複雑性の高さが予想される．更に縦方向条件に対して横方向条件の割合が大きいため，探索の際には横方向制約の特性を強く配慮する必要があることが推察される．

4.1 各種設定パラメータ

アーカイブサイズ A を 64，初期個体数 N を 2 とし．遺伝的操作を切り替える閾値 T は 50 と設定した．また実験に使用した端末は CPU が Intel®Core i7-3770 であり，メインメモリは 16GB 搭載している．

4.2 実験結果と考察

本節では，4 章で記した数値実験の結果とその考察を述べる．

一定時間内の満足解導出割合

各テスト問題に対して提案手法および既存エンジンを 30 試行ずつ適用し，一定時間内に勤務表が完成[4] した割合を Table 6，探索に費やした計算時間および評価回数を Table 4，Table 5 に示す．ここで一定時間の上限は 10 分間と設定し，10 分以内に勤務表が完成しなかった場合は強制的に探索を終了するものとした．

Table 6 から，既存エンジンではテスト問題 3 でしか勤務表を導出できなかったが，提案手法では全ての問題に対して 100 %勤務表を導出できた．また Table 4，Table 5 から，既存エンジンでは勤務表が導出できなかったテスト問題 1，2 において，提案手法ではわずか 1，2 分程度で導出できていることがわかる．テスト問題 3 についても，計算時間が半分以下に削減できていることが確認できる．そのため，提案手法では全ての問題に対して既存エンジンよりも少ない計算資源かつ短時間で確実にハード制約を満たす勤務表の導出を実現できていることがわかる．

[4] 母集団に保存している個体のうち，どれか 1 つでも絶対条件の制約違反数が 0 になれば勤務表が完成したと見なす．

Table 4 Computing times and number of iterations of original method in each test problem.

	Test Problem 1			Test Problem 2			Test Problem 3		
	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max
Computing time (sec)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	266.028	394.988	544.407
# Iterations	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,191,204	2,439,949	2,866,499

Table 5 Computing times and number of iterations of proposal method in each test problem.

	Test Problem 1			Test Problem 2			Test Problem 3		
	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max
Computing time (sec)	33.738	112.808	322.789	25.984	84.321	182.155	74.186	152.364	323.345
# Iterations	399,375	1,376,266	4,039,736	243,286	830,809	1,833,295	639,494	1,306,054	2,812,701

目的関数値の推移

上記の実験結果を踏まえ，勤務表の導出が可能な評価回数として上限を 100 万回に設定し，評価回数が上限に達するまでの目的関数値の推移について比較を行った．ここで目的関数値は 4 章で述べたように，母集団の個体評価値の最良 (各目的関数値の総和が最小) 値を指すことに注意されたい．試行回数を 30 回とし，評価回数 100 万回時点の目的関数値が全試行中の中央値に最も近い試行の結果を比較データとして扱った．評価回数 2 万回毎に目的関数値をプロットした結果を Fig. 3 に示す．ただし手法ごとに Table 1 に示した制約条件の重み値が異なるため，プロットする際には既存エンジンで用いられている値[5] に統一した．

Fig. 3 から，提案手法は全ての問題に対して常に既存エンジンよりも目的関数値が勝っており，収束性が非常に高いことがわかる．特に探索開始時（評価回数 0 回）に注目すると，この時点で目的関数値に大きな差があり，初期個体生成時に特定の制約条件を充足する効果が表れていると考えられる．実際，このときのハード制約違反数は Table 7 の通りであり，充足できているハード制約数にも大きな差があることがわかる．

その後も提案手法は既存エンジンに比べて解が高速に収束しており，特にテスト問題 1 ではそれが顕著に現れている (Fig. 3-(a))．またテスト問題 2 の結果 (Fig. 3-(b)) に注目すると，既存エンジンで評価回数を 100 万回費やして得られる値が，提案手法では評価回数 5 万回程度で導出できており，計算資源が大幅に削減されていることがわかる．テスト問題 3 では他の問題ほどの有意差は得られていないものの，やはり提案手法が勝っていることが確認できる．この結果から，提案手法は既存エンジンよりも効率的な探索が実現できていることは明らかである．

以上 2 つの実験結果より，提案手法は既存エンジンよりも明らかに探索性能が向上していると言える．

[5] 絶対：100, 出来れば：10, 可能なら：1

Table 6 Success rate for finding a satisfied attendance sheet in proposal and original methods.

	Prososal method	Original method
Test Problem 1	30/30	0/30
Test Problem 2	30/30	0/30
Test Problem 3	30/30	11/30

Table 7 The number of hard constraint violation of best individual of initial state in proposal and original methods.

	Prososal method	Original method
Test Problem 1	502	1083
Test Problem 2	233	1862
Test Problem 3	440	1778

5 おわりに

本稿では，看護師勤務表作成問題 (Nurse Scheduling Problem，NSP) に対して進化型多目的最適化に基づく効率的な解探索アプローチを提案し，数値実験を通してその有効性について検証を行った．実際の病棟事例に基づいた 3 種類のベンチマークテスト問題への適用を通して，提案手法の探索性能が既存エンジンよりも明らかに優れていることが確認できた．

今後の展望としては，得られる解候補の多様性について着目し，ハード制約が全て充足した時点で多様性重視の探索に切り替えるようなフレームワークの導入を予定している．

参考文献

[1] 川中普晴, 山本康高, 吉川大弘, 篠木剛, 鶴岡信治. 遺伝的アルゴリズムを用いた看護婦勤務表の自動生成. 電気学会論文誌, Vol. 122-C, No. 6, pp. 1023–1032, 2002.

[2] 池上敦子. ナース・スケジューリング–調査・モデル化・アルゴリズム (特集計算推論–モデリング・数理・アルゴリズム). 統計数理, Vol. 53, No. 2, pp. 231–259, 2005.

[3] 新妻真輔, 池上敦子, 品野勇治. 列生成法を用いた

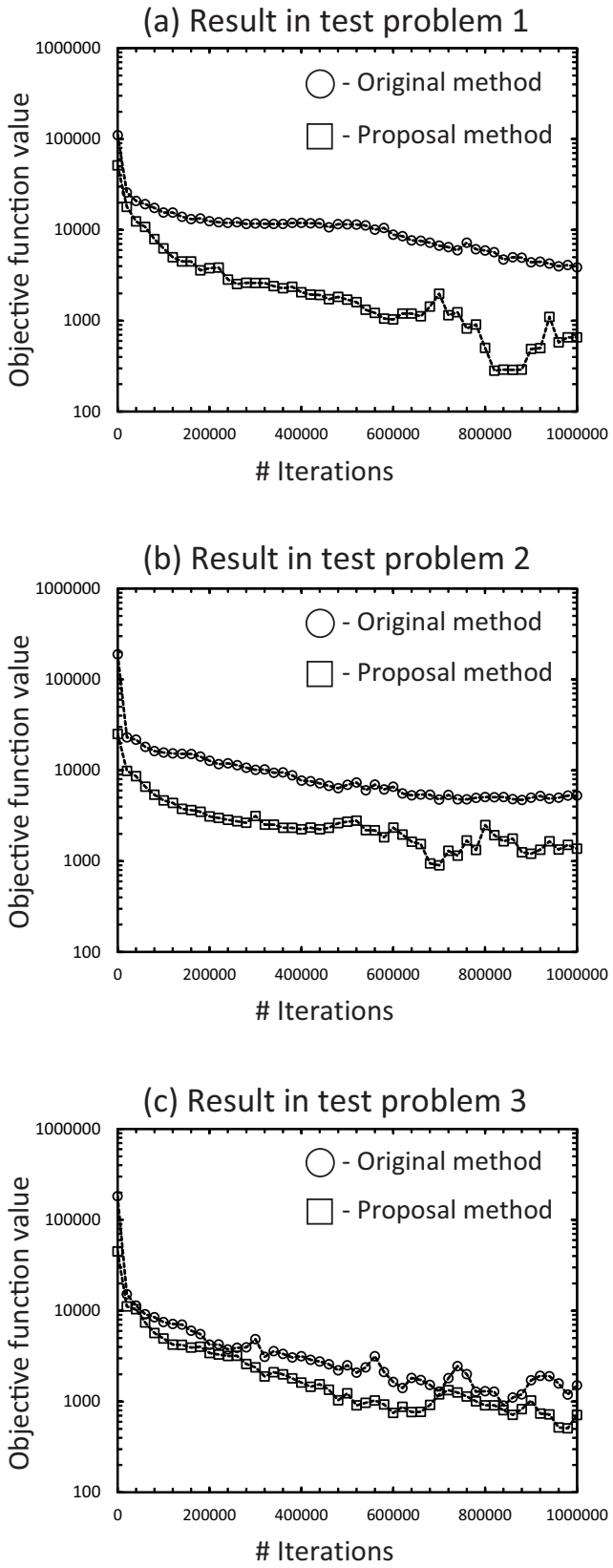


Fig. 3 The transitions of the objective function value of proposal and original methods in each test problem.

ナーススケジューリング問題の解法. 情報処理学会研究報告. MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告, Vol. 2009, No. 19, pp. 221–224, feb 2009.

[4] 小清水誠, 荒井誠. Ga によるナーススケジューリング問題の一解法. 釧路工業高等専門学校紀要, Vol. 36, pp. 61–66, dec 2002.

[5] 小清水誠, 荒井誠. Ga によるナーススケジューリング問題の一解法 : 第 2 報大規模問題へのアプローチ. 釧路工業高等専門学校紀要, Vol. 37, pp. 41–46, dec 2003.

[6] 串田淳一, 大場和久, 亀井且有. Differencial evolution によるナーススケジューリングアルゴリズムの提案. 進化計算シンポジウム 2011, pp. 299–306, dec 2011.

[7] システムバンク株式会社「セルヴィス」. http://servis-net.jp/. 参照 2014 年 8 月 1 日.

[8] 富士通 看護師勤務管理支援システム「ナーススケジューラ v6」. http://jp.fujitsu.com/group/fwest/services/nurse/. 参照 2014 年 8 月 1 日.

[9] 松岡興産株式会社「看護師スケジューリング支援システム」. http://www.matsusaka-kosan.co.jp/system/package03.html. 参照 2014 年 8 月 1 日.

[10] 敦子池上. ナース・スケジューリング問題のモデル化について. 情報処理学会研究報告. MPS, 数理モデル化と問題解決研究報告, Vol. 96, No. 10, pp. 1–6, jan 1996.

[11] 花田良子, 廣安知之, 棟安実治. 内挿／外挿的な領域への遺伝的多段階探索の解探索性能の解析. 人工知能学会論文誌, Vol. 24, No. 1, pp. 136–146, 2009.

情報処理北海道シンポジウム 2014

移動データに基づいた地図変形による生活時空間の認知

横井逸人* 角康之† 松村耕平‡
(公立はこだて未来大学)§ (立命館大学)

1 はじめに

本稿は，人々が生活している街の中で，徒歩や車などの異なった手段で移動したデータを蓄積し，その滞在時間や移動時間に基づいて変形した地図「行動マップ」を生成するシステムを提案する．また，行動マップを見ることによって，ユーザが自身の住んでいる街に対してどのような考えや気付きを得るかに関する調査を行う．行動マップは，人々の生活の中での滞在時間や移動時間を基準に変形することで，個人の生活空間だけではなく，生活時間も含めた「生活時空間」を可視化できる，と考えられる．

同じ道のりでも，歩いて移動している時や車で移動している時では，移動にかかる時間は異なる．また，家から職場への道のりを想像した時，人によって異なった場所に家や職場を持っているため，想像する道のりは異なる．つまり，人によって生活空間が異なるため，頭のなかで思い描く地図も異なる．本研究では，行動マップを生成することで，人々が思い描く自身の住む街を時間ベースで可視化する．

Fig. 1 は，本稿で提案するシステムの概要図である．まず，ユーザに日々の生活の移動データを蓄積してもらう．その移動データから設定した時・空間スケールに合わせて，滞在点をノード，それらを結んだ線をリンクとして生成する．その後，移動時間に合わせたノードの位置を計算し，新しいノードを生成させる．新たに生成されたノードの座標に合わせて，地図を変形させることで，行動マップが生成される．本稿では，その行動マップを見てもらうことで，ユーザが街の問題点や地元ならではの情報などといった新たな気付きを得ることを期待している．

本稿では，GPS による移動データを蓄積し，ユーザ自身の生活時空間を可視化できる時間地図を生成するシステムを試作する．試作システムを利用し，ユーザによる比較や季節による比較といった予備検討を行い，その結果をまとめる．また，同じ街に住む複数ユーザの行動マップを可視化し，彼らの間で交わされた気付きを紹介し，提案手法の効果を議論する．

*h-yokoi@sumilab.org
†sumi@acm.org
‡matsumur@acm.org
§函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

2 関連研究

2.1 時間地図に関する研究

本稿で提案する行動マップは時間地図の一種であると考えられる．時間地図とは，地点間の時間距離を地図上の実距離によって把握できる地図のことである．

清水らは，時間地図を作成する上で，地点間に時間距離が与えられているいくつかの地点を平面上にいかに配置するかという問題に対する汎用解法 [1] を提案した．そこで，本稿では，清水らの提案する時間地図作成問題の汎用解法を利用して，行動マップを生成する．

杉浦は飛行機の時刻表から，都市間の移動時間によって日本地図を変形することで，時間軸によって歪んだ地図を可視化してみせた [2]．例えば，東京から千葉の館山に電車で行くよりも，東京から函館に飛行機で行く方が移動時間が短い．実際の距離は，東京と館山間で約 130km，東京と函館間で約 680km であるが，実際にかかる時間は，東京と館山間で約 2 時間半，東京と函館間で約 2 時間である．上記のことからわかるように，東京と函館間は実際の距離は遠くても，時間的には近い．しかし，杉浦の時間軸変形地図は，自身の述べている「個人個人のふるまいによってつくられる地図」ではない．杉浦の地図は電車や飛行機のような交通機関によって作られているため，誰もが等しく使用できるものである．本研究では，個人に着目して，個人のデータや特定のコミュニティのデータを利用することで，それらの認知地図のような時間地図を生成する．こういった個人に特化した場合の時間地図は，例えば，街に住んでいる人たちが，その街をどのように感じているのかを知ることができるようなサービスに繋がっていくのではないだろうか．本研究の試みは，GPS による移動データを利用し，その軌跡を時間ベースで可視化するという点で,「個人個人のふるまいによってつくられる地図」を実際に生成できるシステムの開発であるとも言える．

2.2 GPS を利用したユーザの行動予測

本稿で提案する行動マップは，GPS を利用して，その移動データを利用している．

Ashbrook et al. は，GPS データからユーザ行動をモデル化するシステムの研究を行った [3]．これは，GPS データを用いて，ユーザの滞在時間の長い場所を自動的に抽出して，ランドマークとして可視化するというものである．また，Ashbrook et al. は，マルコフモデルを利用し．ユーザの行動の予測モデルにランドマークを組み込む事ができるシステムも見せた．このシステムは，ラ

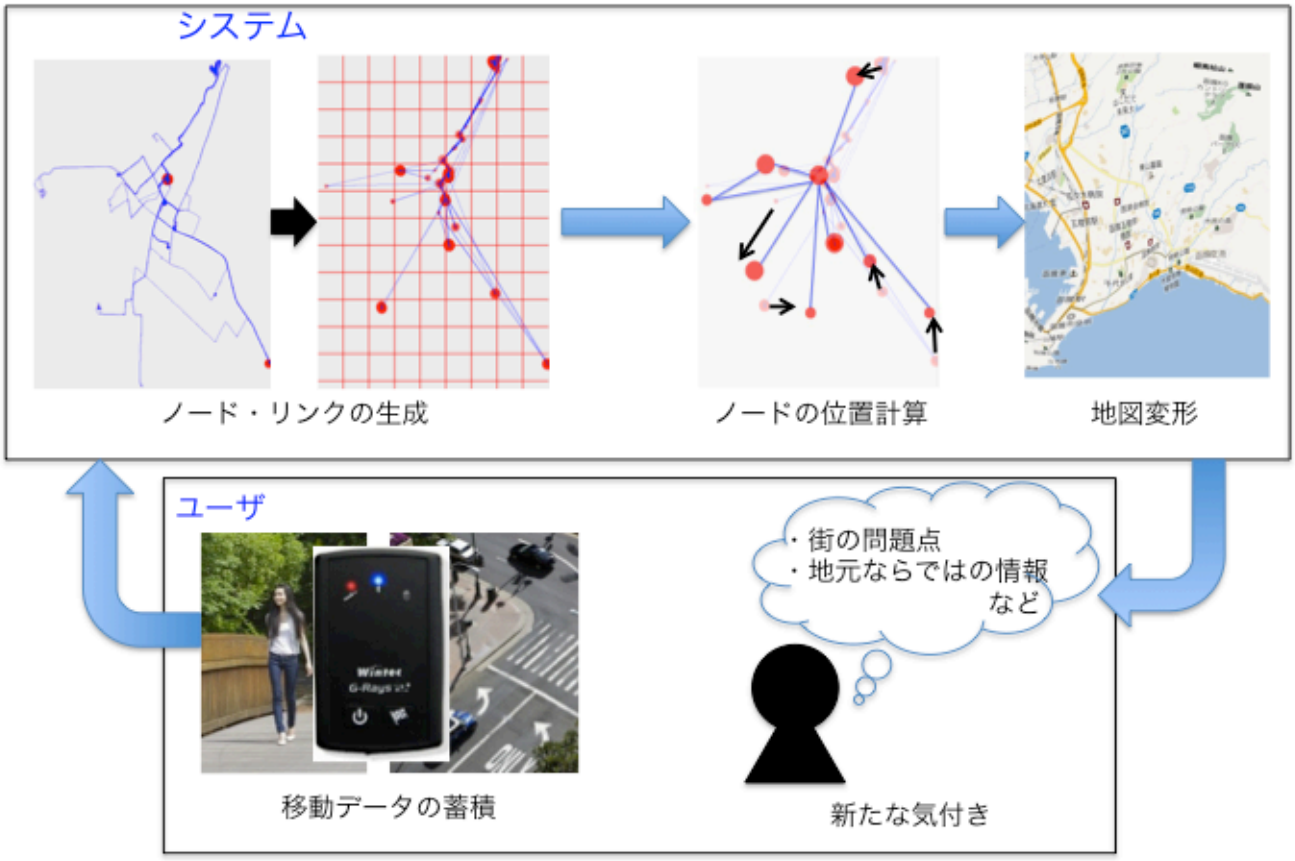


Fig. 1 システム概要図

ンドマーク間の移動の確率を表示することができる．本研究のアプローチでは，地図変形のためにランドマークを抽出する部分について，彼らの方法が使えると考えた．また，行動マップと認知地図を比較する事で，その距離感のズレなどといった気付きが生まれる事を期待している．

Patterson et al. は，多くのセンサを使わなくとも，人の複雑な行動を推測することができることを示した [4]．複雑な行動とは，歩く・車で運転する，といった単純な行動ではなく，例えば，特定のバス停でバスに乗り，移動し，他のバス停で降りるような行動である．この研究では，旅行者による GPS データを 3ヶ月間収集し，そのデータ及びその街の交通機関の情報からその複雑な行動を認識できることを示した．本研究では，人の行動を推測するのではなく，人の行動から行動マップを生成し，新たな気付きが生まれるかどうかを調べることが目的である．

藤岡らは，GPS データから構築したネットワークの構造的特徴から行動分析を行う手法について検討した [5]．GPS から構築したネットワークにおける個々のノードが持つ出次数と入次数やそれらの比の偏り度合いに着目した．これには，その滞在地における人の行動と関係性があると仮定し，その関係性を分析した．特に，滞在地の滞在目的に注目し，次数の偏り度合いと滞在目的との関係性について分析した．本研究では，行動マップを生成することで，人の行動を可視化することができると考えており，彼らの分析を参考に検証を行っていく．

2.3 認知地図に関する研究

認知地図とは，人が環境を認知し，その中で行動する場合の環境に関する知識と空間表象のことである．これは，1948 年に Tolman によって提唱された心理学的用語である．行動マップは，ユーザの移動データを基に生成されるため，認知地図に近いものになると考えている．

ルートマップとは，ある地点から他の地点に移動する際に通る道を簡略化したものであり，グラフィックスコミュニケーションの最も一般的な形態の 1 つとして挙がる．しかし，コンピュータで作ったルートマップは余計な情報が多くて見にくいため，使うのが困難である．Agrawala et al. は，手描き地図のように必要な情報だけを抽出した地図を生成するための方法を提案し，その方法に基づいたシステム “Line Drive” を作成した [6]．彼らの提案するルートマップは，ユーザの認知していないような場所でも生成することができるが，行動マップとはアプローチが異なる．

3 移動データに基づいた行動マップ

行動マップは，移動データを利用することで，その移動軌跡を時間ベースで可視化した地図である．以下に，

行動マップを個人で利用する際と複数人で利用する際の特徴を述べる．

3.1 個人の移動データに基づいた行動マップ

行動マップは時間距離を尺度として生成しているため，使用するユーザによって地図変形が異なる．なぜならば，ユーザごとに生活空間や移動手段などが異なるためだ．つまり，行動マップには使用するユーザが認識している街が反映される．

また，同じユーザの同じ道のりで生成された行動マップであっても，移動手段が変わることで，全く異なったものになる．これは，移動手段により移動時間が異なるためである．移動時間は人の距離感に深い関わりを持つ [7] ため，移動時間に応じて地図を歪ませると個人の空間認知に近いものになると予想される．

本稿では，個人個人の行動マップに注目した検討を行い，それに関する議論を行う．

3.2 複数人の移動データのまとめに基づいた行動マップ

複数人で行動マップを生成した場合，そのコミュニティの特徴が行動マップに反映されるのではないかと予測される．例えば，学生であれば，彼らの通う学校を基準とした行動マップが生成されるだろう．そのようなコミュニティが，自分たちの住んでいる街をどのように感じているかを知ることができる．

しかし，同じ街に住むユーザのみでまとめたもので，行動マップを生成すると，平均化されたような地図ができてしまうと予測される．つまり，実際の地図と代わり映えがしなくなってしまうと考えられる．

4 行動マップ生成システム

生活時空間を可視化するために，行動マップ生成システムの試作を作成した．本試作では，人の移動データを利用することで，その人ならではの行動マップを生成することとした．これは行動マップを生成した場合に，ユーザ自身の生活感が可視化できると考えたためである．このコンセプトにより，行動マップがどのような気付きをユーザに与えたのかを評価しやすいようにした．

4.1 システム概要

提案システムは，ユーザの GPS による移動データを利用することでユーザの行動パターンや生活空間を可視化するシステムである．そのために，GPS ロガーによってユーザの移動データを蓄積する．そして，そのデータを基に，時間スケールと空間スケールを作成する．時間スケールとは，一定の時間の範囲のことであり，空間スケールとは，一定の緯度・経度の範囲のことである．空間スケールで区切ったメッシュ内にあるデータを時間スケール以上の滞在があるかどうかの閾値処理を行う．閾値処理によって，メッシュ内に点を生成し，移動データを基に点を結んだ線を生成している．これらの点をノード，線をリンクと呼び，ノード間の移動時間を基にノードとリンクの位置を再構築する．元々の緯度・経度によって表示されていた一般的な地図を，再構築されたノードに合わせて変形することで，行動マップとしている．

本稿では，上記の方法で行動マップを生成するシステムを試作した．本手法は，Ashbrook et al. によるユーザ行動のモデル化 [3] を参考にしたものである．

4.2 移動データの収集，及びデータベース化

行動マップを生成するために，移動データを収集する．ここで述べる移動データには，緯度・経度の場所データと，その場所に居た時間を示す時間データを含んでいる必要がある．移動データの収集に，GPS ロガーやカーナビの GPS 機能，GPS 内蔵の携帯機器などを使用することができると考えている．

GPS による移動データは CSV 形式で保存される．CSV ファイルをプログラムで直接読み込もうとした場合，プログラムの表示に時間がかかってしまう．そこで，CSV ファイルの必要なデータのみを抜き出したデータベースを作成し，そのデータベースから直接読み込むことで，それを解消した．データベースを作成するにあたっては，データベース管理システムである SQLite を利用した．

データベースには，User, File, Data という 3 つのテーブルを作成した．User では，どのユーザのデータであるかを管理する．File では，どのユーザのどのファイルにアクセスするかを判断するため，userid, filepath のフィールドを持つ．Data では，ファイルごとの緯度・経度・時間を区分けするためのもので，fileid, Latitude, Longitude, Date のフィールドを持ち，これを利用し，時・空間スケールの設定を行っている．

4.3 時間・空間スケールの作成，及びノード・リンク生成

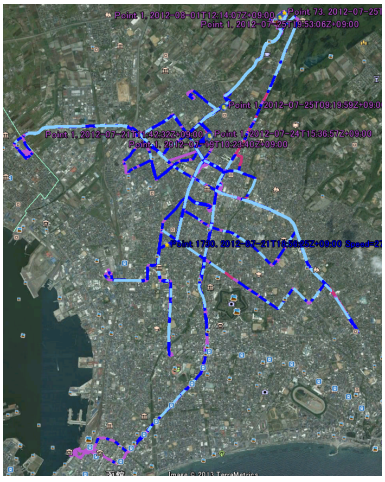


Fig. 2 移動軌跡

移動データから得られる移動軌跡（Fig. 2）を利用して，時間・空間スケールを設定する．移動軌跡とは，ユー

ザがどのように移動したかを示す情報である．時間スケールは，時間を一定の範囲，例えば，1 分など，であり，空間スケールは，緯度と経度を一定の範囲，例えば，100m × 100m など，である．また，時間スケール以上滞在していたかどうかを判断するものを時間メッシュと呼び，空間スケールで区切ったものを空間メッシュと呼ぶ．その時・空間メッシュを利用して，ノードを生成する．具体的には，用意した空間スケール内に，時間スケール以上の滞在があれば，それを点として生成する．この点がノードのことである．また，そのノード間を結んだ線をリンクとして表示する．リンクは，移動軌跡からどのノード間を結べば良いのかを計算している．Fig. 3 は時・空間メッシュからノードとリンクを表示しているものである．

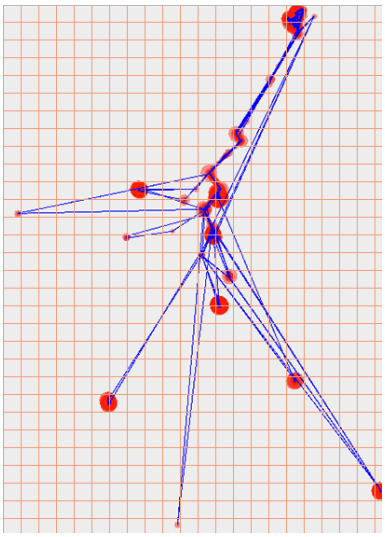


Fig. 3 ノード・リンクの生成

4.4 地図変形

本システムでは，移動時間を地図上に表示させるため，移動時間に応じて地図を変形させる必要がある．そこで，本システムでは，ノード間の移動時間を基にノードとリンクの位置を再構築し，元々の緯度・経度によって表示されていた一般的な地図を，再構築されたノードに合わせて変形する．

- ノードの位置計算
  移動時間を基にノードとリンクの位置を再構築するために，時間地図の作成手順を利用する．時間地図を作成するために，清水らの時間地図作成問題に対する汎用解法 [1] を利用する．
  時間地図の作成手法に対する従来のアプローチは 2 つに分けられており，1 つは，対象地点間全ての時間距離を再現しようとする方法で，もう 1 つは，対象地点を結ぶ連結ネットワークを考え，このリンクに相当する地点間の時間距離のみを再現しようとする方法である．清水らの提案した解法はその 2 つのアプローチの双方に適用可能であることを示した．
  本稿では，移動軌跡からノードとリンクの結びつきを求めることができるため，清水らの述べる 2 つ目のアプローチに該当する．すなわち，リンクに相当する地点間の時間距離を再現するアプローチを取る．

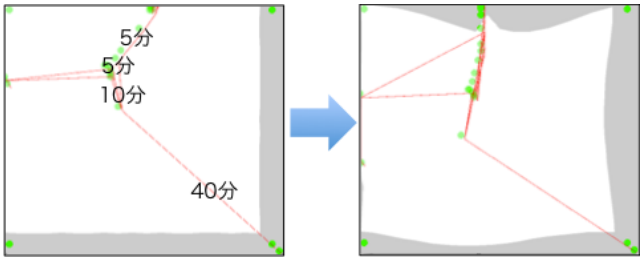


Fig. 4 ノードの位置計算の例

Fig. 4 は，ノードの位置を再構成するために，実際に使用したアルゴリズムでの例である．左図にあるように，ノード間の移動時間をそれぞれ与えてあげることで，右図のようなものが出来上がる．このことから，移動時間の長さに応じて，ノードの位置が変わり，それに伴ってリンクの長さも変わっていることが見て取れる．

- 地図変形
  本システムで生成される行動マップは地図の一種であるため，地理情報を失わずに変形する必要がある．そのため，本システムでは，Schaefer et al. の移動最小二乗法を用いた画像変形 [8] を用いる．
  移動最小二乗法を用いた画像変形とは，メッシュを作成し，制御点を動かす事でメッシュ上の各頂点も近くの制御点の動きを真似るように動くことで実現される変形手法である．また，本システムでは，移動最小二乗法を用いた画像変形におけるアフィン変形を採用した．なぜならば，地図を変形した際に，地図に強調表現を取り入れたく，アフィン変形はその点において最適であると考えたためである．

Fig. 5 地図変形の例

Fig. 5 は，地図変形を実現させるために，実際に作成した画像変形プログラムでの変形例である．左図の画像上の任意の部分をクリックし，矢印のようにそのままドラッグすることで画像が変形され，右図のようになる．

5　予備検討

行動マップ生成システムのコンセプトの有効性を確かめるために，実装した試作システムを用いて，行動マップの生成を試みた．

5.1　ユーザによる行動マップの比較

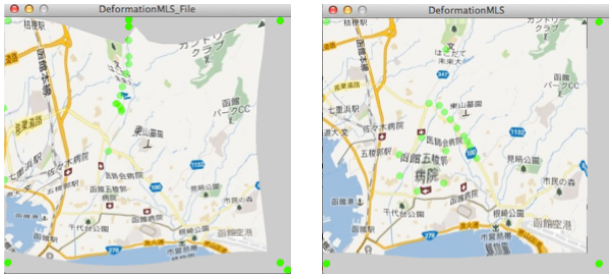


Fig. 6　ユーザによる行動マップの比較

3 人の被験者に GPS ロガーのデータの収集に協力してもらい，約 1ヶ月の移動データから行動マップを可視化した．Fig. 6 の左図は，主に家と学校を往復するだけの人が蓄積した移動データを用いて生成した行動マップで，右図は，街の様々な場所へ積極的に赴く人が蓄積した移動データを用いて生成した行動マップである．これは，人によって生活環境が違っていたり，移動の仕方が異なっていたりするため，異なった行動マップが生成されると考えられる．このことから，行動マップはその人ならではの生活範囲や街に対する積極性を可視化することができる．

5.2　季節による行動マップの比較

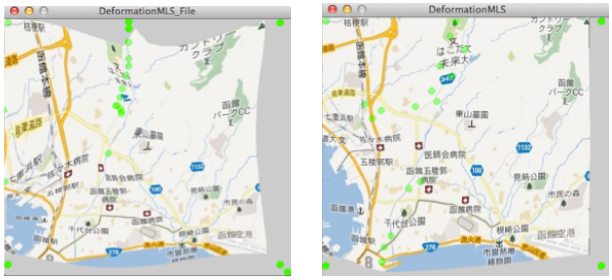


Fig. 7　季節による行動マップの比較

ユーザによる比較だけではなく，時間帯や季節による行動マップの比較検討を行った．Fig. 7 の左図は，春に蓄積した移動データを用いて生成した行動マップで，右図は，冬に蓄積した移動データを用いて生成した行動マップである．冬の行動マップは春の行動マップに比べて，あまり歪んでいない．これは，雪道によって春に比べて速度を落として移動していることがわかる．つまり，行動マップの歪み方の違いから，その季節による道路状況の違いや天候の違いが確認できる．

6　行動マップを見せ合うことによる気付き

システムを利用して，行動マップを生成し，他人の行動マップを見せ合い，ユーザ間で交わされた気付きの調査を行った．Fig. 8 は，行動マップを見せ合った際に疑問に思ったことや感じたことを話し合っている様子である．ユーザには，他人に指摘された点から，自身の行動の振り返りを行ってもらった．他人の行動マップには，自分の認識していない範囲のものが可視化される可能性があるため，自分が気付かなかった部分を他人に気付かされることを期待した．また，自身の行動を振り返ることによって，その行動の意図からそのユーザならではの情報が得られることを期待した．

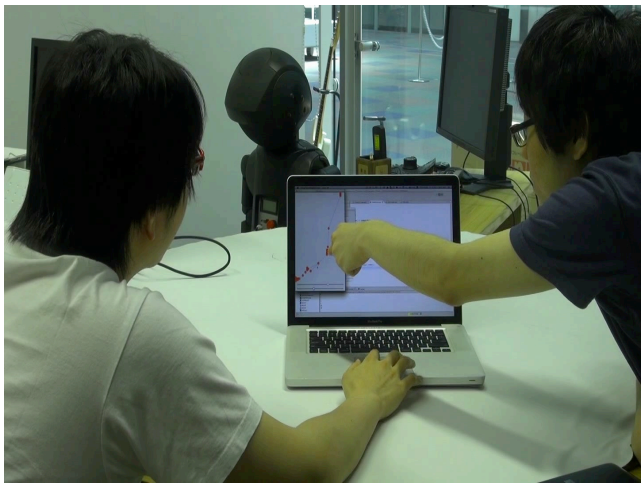


Fig. 8　気付きを話し合う様子

6.1　条件設定

行動マップを見せ合うことによる気付き，及び気付きから得られる街の中の問題点や地元ならではの情報などを収集することを目的とした調査を行った．

参加者は函館に在住している修士 2 年生と学部 4 年生の 2 名で，それぞれの移動データを収集してもらった．移動データの収集には GPS ロガーを利用し，日々の生活の中での移動データを収集するべく，常に持ち歩いてもらった．本調査では，2 週間分の移動データを利用した行動マップを生成した．2 名はお互いの行動マップを見せ合い，疑問に思ったことや感じたことを言い合ってもらった．また，他人に指摘された点から，各自の行動を振り返ってもらった．

6.2　結果

大きく分けて，以下の 2 種類の気付きが得られた．

- ノードよる気付き
  - 交差点がノードとして現れると思いきや，少し離れたバス停付近がノードとして現れた．これは，道路の混みによる影響が行動マップに現れていると考えられる．

  - 同じ道を通っているはずだが，リンクが枝分かれするようなノードが存在した．これは，公共交通機関の移動速度の違いが行動マップに現れていると考えられる．
- リンクによる気付き
  - 直線距離の方が近い場所を迂回しているようなリンクが存在した．これは．ユーザが迂回した方が時間的に早いと判断したことを示している．

上記から，行動範囲の違う人同士が見せ合うことによって，それぞれのローカルな情報を知るきっかけになった．また，同じ街に住んでいる人同士であっても，お互いが共通認識している街の問題点に気付くことができた．

6.3 考察

上記の結果は，ユーザが同じ街に住んでいるからこそ得られたものである．そこで，地元の人と観光客との間で同様の検証を行った場合は以下の仮説が立てられる．まず，地元の人だからこそ知りうる地元ならでは情報が得られると想定される．また，地元の人にとっては当たり前のことであっても観光客にとっては当たり前ではないことが疑問になって浮かび上がると想定される．

7 おわりに

本稿では，個人の生活時空間の可視化を目指し，個人の位置情報だけではなく，移動した際の滞在時間や移動時間を基準にした地図変形を提案した．この提案手法の具体的な実装として，人々が生活している街の中で，徒歩や車などの異なった手段で移動したデータを蓄積し，その滞在時間や移動時間によって変形された地図「行動マップ」を生成するシステムの試作を構築した．

この試作システムを利用した予備検討では，ユーザごとの行動マップを見比べることで，一人一人の生活パターンを可視化することができる可能性を示した．さらに，季節ごとの行動マップを見比べることで，その季節による道路状況の違いや天候の違いが確認できる可能性を示した．

また，行動マップを他人と見せ合うことによる気付きを紹介する議論において，ローカルな街の情報を知ったり，街の問題点の共通認識を持ったりするきっかけとなった．

今後期待される事は以下の通りである．

7.1 行動マップと手描き地図との比較

自身の行動マップを見るだけでは，その人の生活パターンが反映されているかが判断しにくい．ユーザが自身の認識してる街を描いた地図は，認知地図と呼び，ユーザ自身の距離感や生活スタイルによって異なる．自身の行動マップと認知地図を比較した際に，両者が似たようなものになると，行動マップは生活パターンが反映された地図であると言えると考える．そこで，行動マップと手描き地図との比較検証を行っていきたい．

7.2 時間の絞り込み方式の変更

現在は，○月○日○時から△月△日△時までといった時間の絞り込み方式を取っている．今後は，1 日の中での時間帯での絞り込み，1 週間の中での曜日での絞り込み，1 年の中での季節での絞り込みといった方式を取るために，システムの改良を行う．上記を行うことで，時間帯による行動パターンを行動マップから読み取ることができる，と考える．

7.3 地図の歪みアニメーション

現在は，システム内で地図変形を行った後の地図を表示している．今後は，地図がどう歪んでいくのかを表すアニメーション表示をするための改良を行う．アニメーションを見た際の気付きなどを得ることができるのではないか，と考えている．

参考文献

[1] 清水 英範，井上 亮：時間地図作成問題の汎用解法, 土木学会論文集 No.765, pp.105–114, 2004.

[2] 臼田 捷治：杉浦康平のデザイン，平凡社新書 (2010) pp.99-103

[3] Daniel Ashbrook and Thad Starner. Learning Significant Locations and Predicting User Movement with GPS. In *Proceedings of the 6th IEEE International Symposium on Wearable Computers*, pp. 101–108, 2002.

[4] Donald J. Patterson, Lin Liao, Dieter Fox and Henry Kautz. Inferring High-Level Behavior from Low-Level Sensors. In *Proceedings of UbiComp 2003*, pp.73–89, 2003.

[5] 藤岡 大輔，原 直，阿部 匡伸：GPS データから構築したネットワークにおけるノード次数に基づく行動分析法の提案, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム（UBI）2014-UBI-42(6), pp. 1–6, 2014.

[6] Maneesh Agrawala and Chris Stolte. Rendering Effective Route Maps: Improving Usability Through Generalization. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001*, pp. 241–250, 2001.

[7] 本多 敏雄：距離感とはなにか–地図上のへだたりと心理的なへだたり, BOUNDARY No.14, pp.64–70, 1998.

[8] S. Schaefer, T. McPhail and J. Warren. Image Deformation Using Moving Least Squares. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006*, pp. 533–540, 2006.

既存資源を活用した新たな視点の地域観光スタイル開発

–ヘルスツーリズム支援アプリ開発を通じて–

河辺雅史 * 佐々木拓真 辻浦崇大 仲松聡 奥野拓 伊藤恵

(はこだて未来大)†

1 はじめに

観光を基幹産業とする地方都市では概して観光は低迷傾向にあり，近隣諸国からのいわゆる外国人観光客に観光収入や期待を掛けている事態にある．著者ら所属大学のある函館市でも，観光客数推移 [1] は図 1 に示すグラフの通りであり，2000 年前後は年 500 万人を超えている年がほとんどであったが，2005 年以降は 500 万人を切っており，緩やかな低下傾向にある．

一方，国土交通省観光庁では従来の物見遊山的な観光形態に依らず，これまで観光資源として気づかれていない地域固有の資源を活用し，体験型あるいは交流型の要素を取り入れた新たな旅行形態に注目している．実際に各地でエコツーリズム，グリーンツーリズム，ヘルスツーリズム，産業観光等の従来なかった形態の観光形態が見られ始めている．

そこで我々は函館地域の既存の地域資源を分析し，その活用を促進するための携帯端末用アプリを開発することで，既存資源を活用した新たな視点の地域観光スタイルの提案を目指す．

2 先行事例: 観光の新たな取り組み

従来の物見遊山的な観光旅行に対して，これまで観光資源としては気づかれていなかったような地域固有の資源を活用し，体験型･交流型の要素を取り入れたエコツーリズム，グリーンツーリズム，ヘルスツーリズム，産業観光などの旅行形態が注目されてきている [2].

これらの新たな旅行形態のいくつかでは観光地現地の街を歩きながら観光する「まちあるき」のスタイルを含んでいる．以下では函館地域で既に行われているまちあるき観光の事例を紹介する．

2.1 まちあるき観光の事例

函館地域で行われているまちあるき観光の 1 つに「てくてくはこだて」がある [3]．これは用意されている 7 コースの中からコースを選んで予約し，まちあるきガイドの案内によってコースを歩いて観光するものである．ガイドによる説明は得られるものの，有料であるほか，コースが 7 つに限られ，そのコースも従来からの観光スポットを巡るものが中心である．

一方，函館まちあるきネットワーク [4] が提供している函館まちあるきマップは，予約してガイドを受けることも可能だが，25 のコースを無料で公開しており，「てくてくはこだて」よりコースの数が増えているだけでなく，「新撰組の足跡を巡る」や函館ロケ地巡りなどコース自体のバリエーションが増えている．

2.2 ヘルスツーリズム

ヘルスツーリズムとは，健康・未病・病気の方，また老人・成人から子供まですべての人々に対し，科学的根拠に基づく健康増進（EBH:Evidence Based Health）を理念に，旅をきっかけに健康増進・維持・回復・疾病予防に寄与するものであるとされている [5]．実際にはどのような事例をヘルスツーリズムを呼ぶか，あるいは呼ばないか不明確であるが，熊野古道健康ウォーキングや新潟県の越後薬膳ツーリズムなどがヘルスツーリズムの事例とされている．

2.3 健康ウォーキングマップ

健康ウォーキングマップ [6] は函館市保健福祉部健康増進課が 2005 年度から公開しているもので，当初は 10 コース程度であったが，2013 年の最新版では 47 のコースが含まれている．ウォーキングマップはコースの地図や見どころのほか，距離・歩数・時間などの情報も含まれており，単なるまちあるきマップではなく健康を意識したものである (図 2)．地域住民向けに提供されているものであって，市内に様々な箇所に渡っており，従来型の観光スポット以外にも様々な見どころが含まれている (図 3)．

3 函館まちあるきヘルスツーリズムの提案

我々は函館市の健康ウォーキングマップに着目した．健康ウォーキングマップを分析して，この活用を促進するための携帯端末アプリを開発することで，函館のまちあるきヘルスツーリズムの提案を目指す．

3.1 2013 年版健康ウォーキングマップの分析

健康ウォーキングマップの全 47 コースが市内のどこに位置するか，函館市の地図上に全コースの位置を記入した．これにより，コースが市内に幅広く分布しており，従来から観光ガイド等でよく紹介されているような観光スポットだけでなく，市内の様々な場所を網羅していることを確認した (図 4)．このことからこのウォーキングマップがより活用されるようになれば，新たなまちあるき観光コースが生み出されることが期待できる．

また，各コースの特徴をまとめて全体的な傾向を把握した (図 5)．全 47 コースのうち春夏秋冬それぞれの季節に向いているとされているコースはそれぞれ 12，11，5，

*kei@fun.ac.jp

†函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科

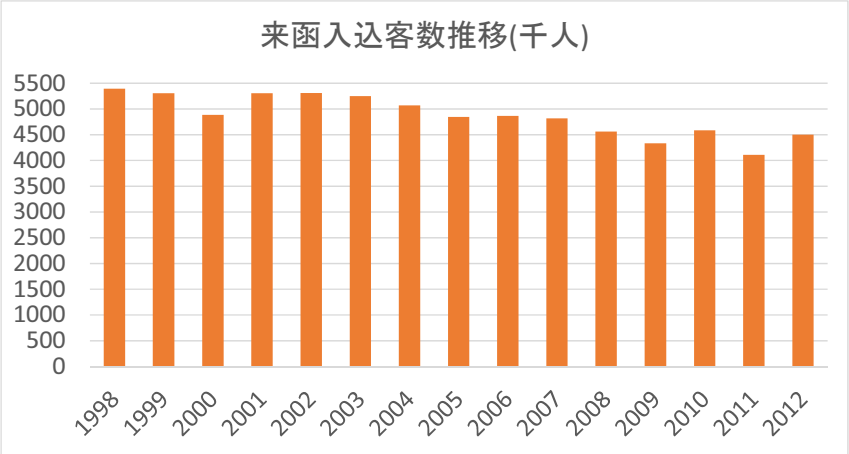


Fig. 1 函館への入込客数推移（単位: 千人)

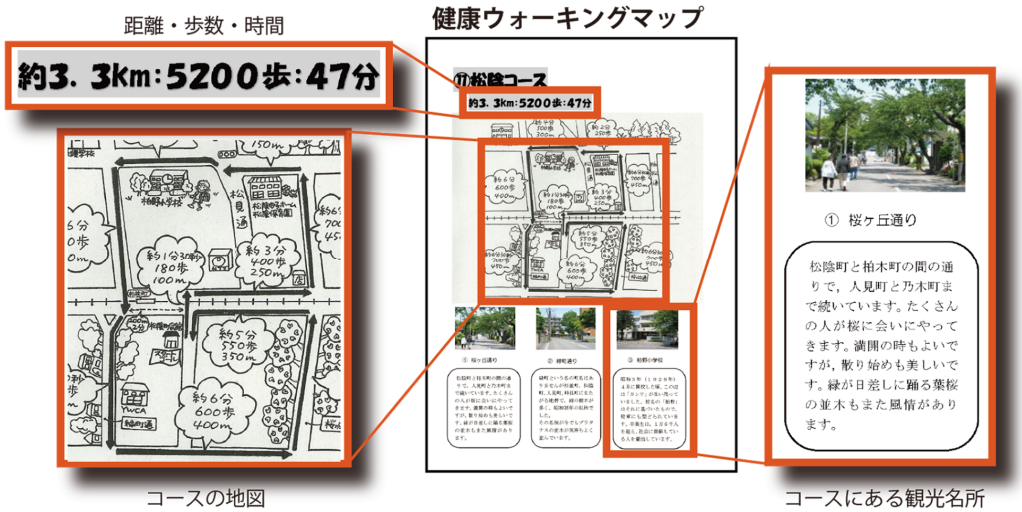


Fig. 2 健康ウォーキングマップ

コース一覧

番号	コース名	番号	コース名	番号	コース名	番号	コース名	番号	コース名
1	谷地頭・住吉コース.pdf(498KB)	11	松陰コース.pdf(537KB)	21	志海苔コース.pdf(525KB)	31	北美原・赤川コース.pdf(641KB)	41	本通中央町会コース.pdf(629KB)
2	ともえ大橋コース.pdf(532KB)	12	大川コース.pdf(399KB)	22	花園コース.pdf(471KB)	32	鍛治コース.pdf(533KB)	42	ひばりが丘コース.pdf(509KB)
3	大町コース.pdf(558KB)	13	的場コース.pdf(299KB)	23	湯川１丁目コース.pdf(494KB)	33	中道コース.pdf(398KB)	43	日ノ浜海浜公園コース.pdf(479KB)
4	東川コース.pdf(522KB)	14	砂山コース.pdf(337KB)	24	湯川温泉コース.pdf(536KB)	34	桔梗コース.pdf(404KB)	44	新浜町・銚子町コース.pdf(404KB)
5	天神コース.pdf(539KB)	15	柏木コース.pdf(450KB)	25	湯川２丁目コース.pdf(454KB)	35	富岡１丁目コース.pdf(514KB)	45	浜町バイパスコース.pdf(331KB)
6	青柳コース.pdf(525KB)	16	港町コース.pdf(508KB)	26	望洋団地コース.pdf(416KB)	36	亀田本町コース.pdf(458KB)	46	南茅部運動広場コース.pdf(353KB)
7	八幡・宮前コース.pdf(456KB)	17	亀田港コース.pdf(572KB)	27	日吉コース.pdf(503KB)	37	美原コース.pdf(442KB)	47	戸井運動広場コース.pdf(317KB)
8	乃木・人見コース.pdf(422KB)	18	北浜・吉川コース.pdf(485KB)	28	石崎八幡神社鳥居前コース.pdf(332KB)	38	陣川あさひコース.pdf(528KB)		
9	五稜郭・梁川コース.pdf(460KB)	19	湯川３丁目コース　pdf(336KB)	29	石崎地主海神社ふる里ロードコース.pdf(436KB)	39	山の手コース.pdf(518KB)		
10	田家コース.pdf(533KB)	20	西旭岡コース.pdf(458KB)	30	東山コース.pdf(555KB)	40	東富岡コース.pdf(535KB)		

Fig. 3　健康ウォーキングマップのコース一覧ページ

Fig. 4　47 コースの市内分布

コース番号	コース名	春	夏	秋	冬	所要時間(分)	距離(km)	歩数(歩)	坂(個数)	坂(ゆるやか・急)	観光名所
1	谷地頭・住吉コース	0	0	0	0	35	2.8	3930	0	なし	1
2	ともえ大橋コース	0	0	0	0	50	3.8	4980	0	なし	1
3	大町コース	0	0	0	0	50	3.5	5550	2	なし	1
4	東川コース	0	0	0	0	45	3	4760	0	なし	1
5	天神コース	0	0	0	0	34	2.3	4050	2	なし	1
6	青柳コース	1	0	0	0	50	3.2	5330	3	なし	1
7	八幡・宮前コース	0	0	0	0	45	3.4	4680	0	なし	1
8	乃木・人見コース	0	0	0	1	60	4.7	6800	0	なし	0
9	五稜郭・梁川コース	0	0	0	0	40	3.4	4770	0	なし	1
10	田家コース	0	0	0	0	38	2.9	4550	0	なし	0
11	松陰コース	1	1	0	0	47	3.3	5200	0	なし	0
12	大川コース	0	0	0	0	34	2.8	4870	0	なし	0
13	的場コース	0	0	1	0	38	3.5	4700	0	なし	0
14	砂山コース	1	1	0	0	42	3.1	4460	0	なし	0
15	柏木コース	1	0	1	0	42	3.3	4610	0	なし	0
16	港町コース	0	0	0	0	60	4.1	5410	0	なし	0
17	亀田港コース	0	0	0	0	46	3.5	5260	0	なし	0
18	北浜・吉川コース	0	0	0	0	41	3.1	4930	0	なし	0
19	湯川3丁目	0	0	0	0	28	2	3020	0	なし	0
20	西旭丘コース	0	0	0	0	65	4.8	6850	2	記述なし	0
21	志海苔コース	0	0	0	0	50	3.2	5040	2	急	0
22	花園コース	1	0	1	0	36	2.9	3900	0	なし	0

Fig. 5 各コースの特徴

2 コースあり，特に季節を明示されていないコースが 27 あった．所要時間は最も短いもので 25 分，最も長いもので 65 分，平均は 44.6 分であった．歩く距離は最短 2km，最長 4.9km，平均 3.31km であった．その他に男性の場合の消費カロリー，女性の場合の消費カロリー，歩数などのほか，コース中の坂の個数と坂の勾配の程度 (ゆるやか，急など)，観光名所や公園や神社や海，歴史的建造物の有無などの情報もあり，備考情報として例えば夏につつじが見られ，秋に紅葉が見られるなどの情報も含まれていた．これらの情報は 47 あるコースの中からそのコースの所在地以外で，歩きたいコースを選択するための有用な情報になると考えられる．

3.2 ヘルスツーリズム支援アプリの開発

基とする健康ウォーキングマップは 47 コースのマップが公開されているものの一覧表示画面 (図 3) ではコース名だけしか分からずコースの内容が分かりにくいことや，マップも手書きの地図であって正確なものではなく，そのコースの近隣住民以外には分かりにくいものとなっている．

我々の開発する支援アプリは，健康ウォーキングマップの単なるマップ紹介アプリではなく，コースの検索支援や推薦，履歴記録，ソーシャル機能によるユーザ間の情報共有などの機能により，健康ウォーキングマップをより活用し易くすることで，結果としてヘルスツーリズムを支援することを目指している．このアプリで実装予定の機能を以降の 3.2.1 節から 3.2.3 節で述べる．

なお，支援アプリは現在のところ iOS アプリケーションとして開発予定であり，iPad や iPhone 等の iOS 端末での利用を想定している．

3.2.1 コースの検索と推薦

コースの情報をアプリ内に保持することで，アプリを実行する端末上で現在地から近いコースを選んだり，地図上から好きな場所のコースを選んだりすることが可能

Fig. 6 地図上からコース選択

となる (図 6)．また，各コースの特徴から季節ごとのおすすめや各コースの近隣の (従来型の) 観光スポット有無などが分かることから，それらをタグ情報として保持してタグからコースを検索することも可能である (図 7)．

また，各コースには歩く距離や想定所要時間の情報が含まれていることから，距離や時間の長さを検索条件に含めたり，あるいはそれらの情報をつかってコースをソートして表示することで，利用者によるコース選択を支援することも可能である (図 8)．

Fig. 7　タグでコース選択

Fig. 8　並び替えてコース選択

3.2.2　履歴記録

ヘルスケアに関する機能として歩いた距離や消費カロリーの記録が考えられる．利用するコースに設定されている歩く距離や想定時間とは別に，端末自体の機能を用いて歩数が記録できるほか，体重や歩幅等の入力によってより詳しい消費カロリーの記録が可能である．

また，これらの自動的に記録できる情報のほか，写真付きでメモを残せる機能や各コースの利用回数や 47 コース全体に対するコース制覇率などの表示機能を付けることにより，ヘルスツーリズムの促進が図れるのではないかと想定している．

これらの情報記録に関しては端末内でのデータ保存と記録用サーバでのデータ記録の両方を検討中である．

3.2.3　ソーシャル機能によるユーザ間の情報共有

前節で述べた履歴記録を端末内ではなくサーバに記録できるようにすることで，本アプリを利用するユーザ間での情報共有も可能となる．どの情報を開示するかユーザごとに選択させた上で，同じコースを利用しているユーザを示したり，コース制覇率ランキングを表示したりすることで，ヘルスツーリズムの更なる促進を期待したい．

健康機器メーカや携帯キャリア会社によって，ユーザの健康情報のインターネット上への保存やそれに基づくヘルスケアサービスなどが提供されている [7] ことから，こういった方向性のニーズも一定程度あるものと期待される．

4　評価と考察

本稿では既存のウォーキングマップ資源を基にしたまちあるきヘルスツーリズムの提案とそれを支援するための携帯端末アプリの開発について述べてきた．現時点ではアプリの開発途中であり，本アプリを使用した実際の評価の段階には至っていない．また本アプリで実装予定の機能に関して，狭義のヘルスツーリズムで言われているような科学的根拠に基づく健康増進を果たせるかどうか十分に検討できていない．アプリの各機能の実装を一定程度済み次第，ヘルスケアの側面からの評価，「使いたくなる」UX 的な側面での評価，従来のまちあるきを超える観光への寄与側面での評価などを行っていきたいと考えている．

5　まとめ

本稿では著者ら所属大学のある函館市において，既存の健康ウォーキングマップを分析した上で，これを活用したまちあるきヘルスツーリズムを提案し，それを支援するための携帯端末アプリの開発について述べた．アプリは開発途上であり，提案およびアプリについて未評価であるが，開発が進み次第，評価を行っていく．

参考文献

[1] 函館市: 来函観光入込客数推計, http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014021800059/

[2] 国土交通省観光庁: ニューツーリズムの振興, http://www.mlit.go.jp/kankocho/page05_000044.html

[3] てくてくはこだて「函館まちあるき」, http://tekuteku-hakodate.com/

[4] 函館まちあるきマップ, http://www.hakodate-machiaruki.com/

[5] 日本ヘルスツーリズム振興機構, http://www.npo-healthtourism.or.jp/

[6] 函館市保健福祉部健康増進課: 健康ウォーキングマップ, http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014012700900/

[7] ドコモ・ヘルスケア株式会社, http://www.d-healthcare.co.jp/

PBL 向けインフォーマル学習支援システムの構築

花田 洋貴*　大場 みち子(公立はこだて未来大学)†
藤原 哲(公立はこだて未来大学大学院)‡

1 はじめに

近年，実践的な ICT(Information and Communication Technology)人材の育成を目的にソフトウェア開発をテーマにした PBL(Project Based Learning, 以下で述べる PBL は，ソフトウェア開発 PBL のことを指す)を実施する高等教育機関が増加している[1]. PBL 参加者は，チームでのソフトウェア開発の経験が浅く，各工程で行うべき項目や，その内容がわからないという現状がある[2]. このような現状は，ソフトウェア開発の基礎知識・基礎技術を持っていないことや既に持っている知識・技術でも利用・応用ができていないこと，PBL 開始時点で未学習の知識･技術が開発に必要になることから生じる. PBL 参加者は不足する知識・技術を，プロジェクトの進行にあわせて学習する必要がある[3]. PBL において必要な知識の習得には，教員による講義や講習会など，学生が受動的に学習するフォーマル学習と，フォーマル学習で不足する知識を補完するために学生が自ら主体的に学習するインフォーマル学習がある．インフォーマル学習では講義資料や Web の情報サイト, 書籍等の教育コンテンツを用いて学習を行っている．PBL では，各 PBL で独自の問題点や疑問点が生じる場合がある．インフォーマル学習のみでは独自の問題点や疑問点は解決が難しいことからチームメンバや TA(Teaching Assistant)，教員からアドバイスをもらうことで疑問を解消することも必要である．インフォーマル学習による知識の補完がうまくできないと，工程遅延や品質の低下など開発に影響が出る．以上の背景より，PBL での活動を効率的に行うため，フォーマル学習では足りない知識を補うと共にチームメンバ等からアドバイスを受けることが可能なインフォーマル学習の仕掛けが必要である．

本研究では PBL を対象に，PBL 参加者のインフォーマル学習の支援を行うことを目的とする．この目的を達成するために，PBL の進捗に合わせて必要な知識・技術を提示し，学ぶことができる学習支援システムを構築することを目標とする．

3 関連研究と研究課題

3.1 関連研究

本研究の関連研究として, ソフトウェア開発 PBL の各工程で必要になる成果物を木構造で提示する学習システムの構築がある[2]．この学習システムの目的は，ソフトウェア開発の各工程間の関連を理解させるとともに，工程ごとに作成する成果物について理解させることである．木構造で教育コンテンツを提示しているものをタスクツリーと呼ぶ．タスクツリー上に工程ごとに教育コンテンツを提示することで，どの工程でどのような成果物を作成するべきなのかを可視化することができる．タスクツリーを図 1 に示す．タスクツリーには各工程で作成するべき成果物の説明へのリンクが貼られており，各工程の成果物ごとに知識・技術の学習が可能になっている．各工程で作成する成果物が木構造で提示されているため，PBL 参加者の習得済みの知識に無い成果物も学習することが可能である．成果物の説明およびプロジェクト進行の上で疑問点や懸案事項が生じた場合に，チームメンバと TA へ質問を投げかけることができるコメント機能も備えており，疑問点，懸案事項の解決・共有を促すことができる．タスクツリーは，公立はこだて未来大学において過去に行われた PBL の中で, ベストプラクティスと呼ぶことのできる 1 プロジェクトを参考に，開発工程ごとにそのプロジェクトで作成された成果物単位で知識・技術を提示している．

3.2 関連研究の問題点

関連研究に対する問題点は以下の 2 点である．

1 点目に，学習資料は成果物単位で提示しているが，成果物単位で提示することが PBL 参加者にとって PBL での不足知識を補うために，有効な項目か，また，わかりやすい提示粒度であるか不明という問題がある．

2 点目に，コメント機能は，成果物ごとに疑問点等を質問することが可能な機能であるが，PBL における疑問点等は必ずしも成果物に関連した内容とは限らないという問題がある．

*b1011205@fun.ac.jp
† 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学
‡ 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学大学院

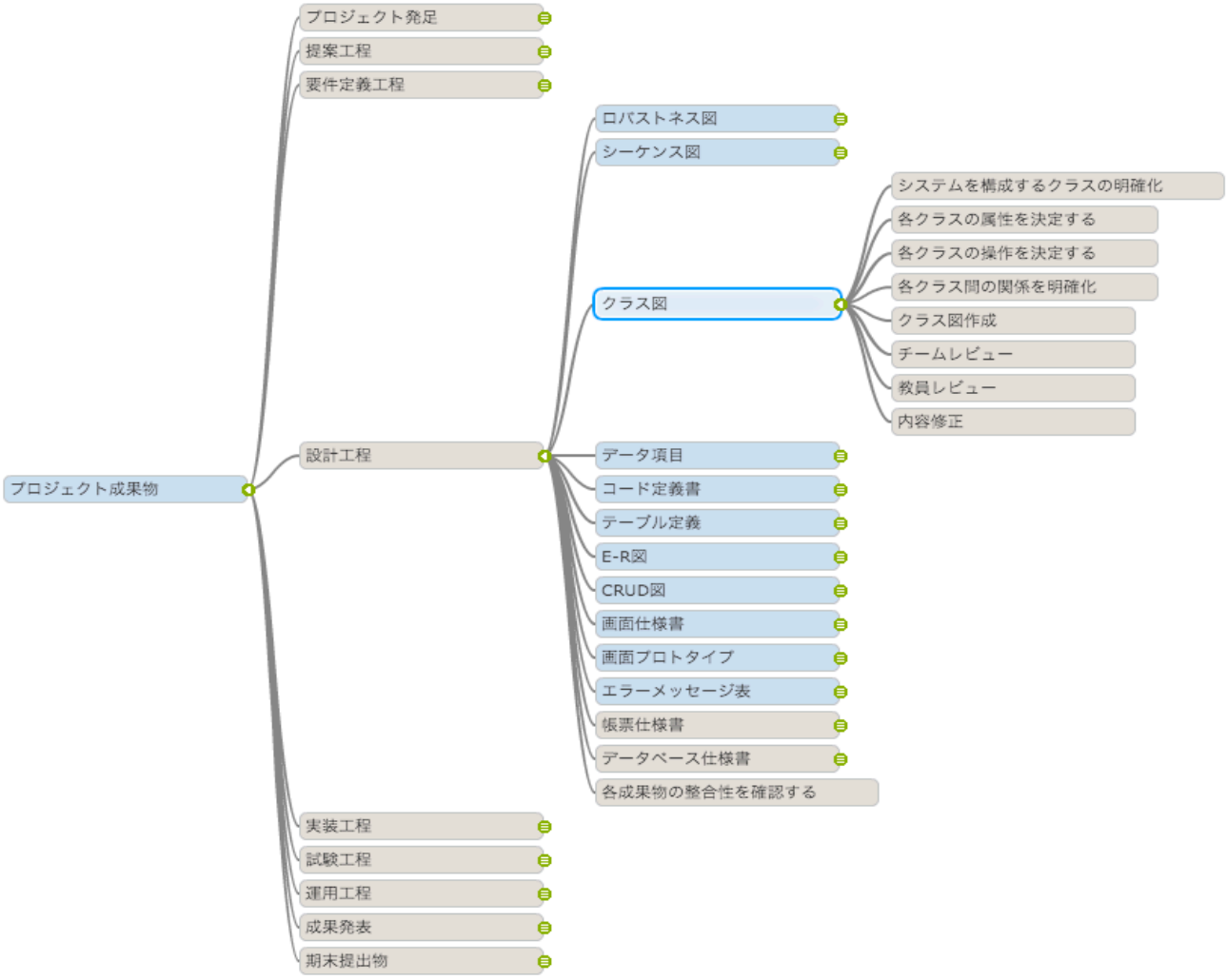


図１．タスクツリー

本研究の目標である学習支援システムを構築する際には，関連研究をふまえた以下の 2 つの課題がある．

(1) PBL 進行段階ごとに適切な知識・技術の提示粒度の検討

PBL の進行段階ごとに，必要な知識や技術は異なる．どのような進行段階ごとに知識・技術を提示するかを考慮する必要がある．学習者に適切な知識・技術を提示するためにはどのような粒度で知識・技術を提示するとよいかを考慮する必要がある．この際に，PBL 参加者の役割やスキルレベルによっても必要な知識や技術が異なる．PBL 参加者ごとに，知識・技術を提示する際の適切な粒度が変わってくることにも留意する必要がある．

また，教育コンテンツの中で講義資料は講義時間ごとに 1 つのファイルとして管理・利用されている．このファイル単位は，PBL 参加者が効率的に学習できる適切な粒度ではないことにも注意しなければならない．

(2) 知識・技術の提示のみでは解決が難しい問題点や疑問点への対応

発表会の準備等，(1)の知識・技術の提示のみでは解決が難しい問題点や疑問点が生じることがある．生じた問題を解決するためには，チームメンバや TA，教員からアドバイスを受けるなどの，情報共有を行う必要がある．PBL における全ての問題点や疑問点に対して質問を行ったり，解決策やアドバイスなどの情報共有を行ったりできる場が必要である．

4 課題に対する解決アプローチ

3.2 節での課題に対して，以下の 2 点の解決アプローチを示す．

4.1 PBL の進行や役割，スキルレベルに合わせた教育コンテンツの提示

3.2(1)の PBL の進行段階ごとに適切な知識・技術の提示粒度を検討する必要があるという課題については，教育コンテンツを PBL の進行に合わせて適切な状態で提

示することで解決する．関連研究をふまえ，提示する適切な進行段階として基準になる指標を，SWEBOK2004[4]，共通フレーム 2013[5]，J07-SE[6]の３つの知識体系を参考に考察する．この 3 つの知識体系から基準となる指標を検討する理由は，ソフトウェア開発における知識体系を調査することで知識・技術をどのような区切りやプロジェクトの進行段階で分類し，どのような粒度で提示しているのかを調査・参考にするためである．

PBL の役割やスキルレベルに合わせて提示することについては，教育コンテンツの内容を変更可能にすることで PBL 参加者ごとに適切な知識・技術を提示する．例えば，プロジェクトリーダであればマネジメントに関する情報を重視して提示する．プログラミング等の技術担当であればマネジメントに関する情報よりも技術や具体的な利用方法について重視した内容を講義資料を提示する際の適切な粒度に関しても考慮する．

4.2 チームメンバや TA，教員と交流を行う掲示板機能

３.2(2)の知識・技術の提示のみでは解決が難しい問題点や疑問点への対応に関する課題についてはチームメンバや TA，教員と交流を行う場を設けることで，話し合い，アドバイスを円滑にさせるための仕組みづくりをすることで解決する．各教育コンテンツに対応したコメントができる他，掲示板を作成し，教育コンテンツに依存しない情報についても質問や共有することが可能にする．この掲示板機能を設けることで，発表会の準備についてなど，教育コンテンツに依存した質問以外にも対応が可能になる．以上の機能を用いることで疑問点・問題点の解消や共有を行う．

5 知識体系の調査

4 章において述べた 3 つの知識体系を調査した結果を表 1 にまとめる．調査の観点としては，各知識体系がプロジェクトの進行に関連した説明が行われているか，知識・技術を説明する際の粒度という２点である．

共通フレーム 2013 は「プロセス」と呼ばれるまとまりごとに行うべき活動の手順が書かれている．このため，PBL の進行段階に合わせた資料の提示には共通フレーム 2013 を参考にすることが適していることがわかる．関連研究ではソフトウェア開発工程毎に知識・技術を提示していたが，共通フレーム 2013 の「プロセス」はソフトウェア開発工程をさらに詳細化してある．上述した理由より，本研究では「プロセス」毎に知識・技術を提示することとする．

どのような粒度で知識・技術を見せているかという点に関して調査した結果，3 つの知識体系の全てが詳細まで知識・技術を載せていないことが明らかになった．しかし，J07-SE に関しては，情報専門学科におけるカリキュラム標準であることから，本研究で対象とする講義資料との親和性が高い．また，J07-SE には「科目名」ごとにどのような知識・技術を学ぶ必要があるのか記載されており，実際の情報専門学科における科目名と類似している．以上から，各プロセスに対応する J07-SE の科目名をもとに対象となる講義資料を提示する方針とする．

表 1．知識体系の調査結果

	SWEBOK	共通フレーム 2013	J07-SE
提示のタイミング	プロジェクト進行に関連して説明がされていない	プロジェクトにおけるソフトウェア開発工程に関連して作業内容が説明してある	プロジェクト進行に関連して説明がされていない
どのような粒度で知識・技術を見せるか	知識･技術が詳細まで述べられていない	主に工程の各プロセスの手順しか述べられておらず，知識・技術の詳細がわからない	知識・技術の内容に言及されていないが，講義資料と親和性が高い

6 提案システム

4 章での解決アプローチと 5 章での調査に基づいて，CMS(Content Management System)を用いて支援システムを構築する．各コンテンツ間のつながりを実装すること

が容易であること．さらに，役割によって提示する資料の粒度を変更できる機能の実装に向いていることからモジュール拡張型 CMS である Drupal[7]を用いたシステム構築を行う．今回は，教育コンテンツのうち，講義資料に限定してシステムを構築する．図 2 に提案システムの全体像を示す．システムは教育コンテンツの提示機能とコメント機能からなる．教育コンテンツの提示機能は，PBL の進行に合わせて必要になる知識や技術の資料を提示する機能である．コメント機能は，各教育コンテンツ内で疑問や共有すべき情報が生じた際にその内容をコメントとして残し，他のメンバーや TA，教員と交流や情報共有を行うことができる機能である．学生は各工程で教育コンテンツの閲覧機能を用い，教育コンテンツによって知識・技術の学習を行う．その際に疑問点等が発生した場合は，コメント機能を用いて質問や，交流を行うことが可能である．コメントを閲覧した TA や教員は学生の悩んでいる点について把握することが出来るとともにアドバイスを行うことが出来る．

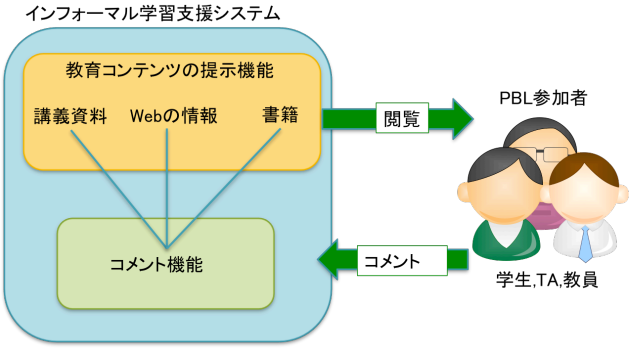


図 2. システム全体像

7 実験・評価

6 章で述べたシステムを構築し，PBL 参加者のインフォーマル学習が効率的に行われるか実験を行う．実験の際には，ある仮想シナリオを提示し，そのシナリオに従い提案システムを利用して学習を行わせる．シナリオには，被験者の，プロジェクトにおける役割と現在の開発工程が書かれており，その開発工程で必要となる知識・技術について調べてもらう．調べた後に開発工程ごとに知識・技術に関する問いに答えてもらい正答数を測る．提案システムを用いて学習した場合と，提案システムを用いないで学習をした場合の行動についてアクセスログを用いて比較するとともに，アンケートによる評価や正答数の違いによって有用性を示す．

8 おわりに

本研究は，PBL におけるインフォーマル学習の支援を目的に，PBL の進行に合わせて適切な教育コンテンツを提示するシステムの検討と有用性を評価する方法を検討した．適切なコンテンツ提示のためにソフトウェア開発 PBL を対象とした学習システムの構築を行う研究や SWEBOK2004，共通フレーム 2013，J07-SE 等ソフトウェア開発における知識体系を調査・参考にした．

今後は，教育コンテンツを PBL に適した知識・技術として提示する粒度の検討と，チームメンバや TA，教員と交流を行うための仕組みの検討を行う．講義資料に限定した知識・技術の提示のみでは，PBL を行う上で必要な知識・技術の全てを網羅することは出来ない．この問題を解決するため，講義資料の閲覧だけではわからない点については関連する Web ページを推薦するような他の教育コンテンツと連携する仕組みづくりも行っていく．

参考文献

[1] 井上明, PBL 情報教育の学習効果の検証, 情報処 理学会研究会報(IS), 2007-IS-99, pp.123-130, 2007.

[2] 安永航，大場みち子，奥野拓，伊藤恵，山口拓:PBL を対象としたインフォーマルラーニング環境の構築，コンピュータと教育研究報告，2013-CE-121(10)，pp.1-7，2013-10-05

[3] 大場みち子，山口琢，伊藤恵，奥野拓:実践型 ICT 教育システムの提案,情報処理学会研究報告コンピュータと教育(CE), 2014-CE-124(6),pp.1-4,2014-5-31.

[4] IEEE COMPUTERSOCIETY:SWEBOK2004,オーム社(2005)

[5] 独立行政法人情報処理推進機構技術本部ソフトウェア・エンジニアリングセンター編:共通フレーム 2013,SEC BOOKS(2013)

[6] 情報処理学会情報処理委員会 J07 プロジェクト連絡委員会編:カリキュラムモデル J07-SE の科目(シラバス)(2010)

[7]John K.VanDyk：Drupal 実践プログラミング徹底入門, 翔泳社(2009)

Deep Learningを用いたイラスト画像検索システム

丸藤 剛大*　栗原 正仁　小山 聡　佐藤 晴彦

(北大情報科学)†

1 はじめに

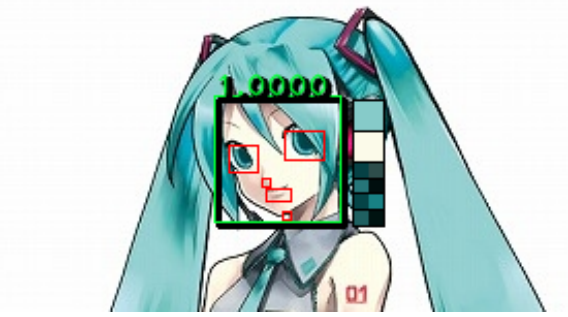
1.1 研究背景

近年、イラスト投稿サイトや画像投稿サイトのようなサービスを通じて、様々なイラストをウェブ上で閲覧する事が出来る。このようなサービスにおいては、ユーザはテキストタグや投稿者・ 作者の情報 (作者情報) などの文字情報を基にイラストを検索する事が出来る。しかしながら、投稿されるイラスト数・作者数が膨大であ ること、自分の好きなイラストをテキストタグでしか表 現出来ないことから、これらのイラスト検索手段には改 善の余地がある。もしユーザが自分の好きな イラスト画 像を用いてイラストを検索もしくは推薦できるような機 能があれば、ユーザの画像検索を大きく助ける事が出来ると考える。

ある画像の類似画像を検索・推薦するサービスは、Google Images を始めとして既に多く存在する。しかしながらイラスト画像に特化して現在運営もしくは公開されているものは、著者が調べた限りでは Imager::AnimeFace デモのみである。アニメ画像顔認識ツールである AnimeFace では、キャラクタが描かれている画像の特徴量の出力を、予め教師あり学習させた多層パーセプトロン によって得ることができ、また多くのイラストを認識する事が出来る。しかしながら、キャラクタが 描かれているイラストしか認識出来ない点、また、キャラクタが存在していても顔のパーツが 隠れている場合に 認識出来ない点に問題がある。

一方で、一般物体認識において近年 Deep Learning を用いた手法が注目されており、その 1 つで ある Convolutional Neural Network (CNN) は画像認識に関して優れた結果を示している。また、このようなニューラルネットワークにおいては抽象的な特徴量を抽出する特徴を持つ事から、 顔のパーツの 一部が隠れているイラストに対しても既存システムを上回る認識率を得る事ができると考える。

そこで本研究では、このようなイラストを画像によって検索するシステムに、 Deep Learning を用いた手法を適用し、既存の画像によるイラスト検索システムを改善することを試みる。本システムでは、既存システムと比較するために、検索対象のイラストは何らかのキャラク タが描かれているものに限定する。



AnimeFaceで認識されたキャラクタ画像の例。

1.2 研究目的

本論文では、Deep Convolutional Neural Networkを用いて既存のイラスト画像検索システムを改善する事を目的とする。

2 関連研究

2.1 Deep Neural Network(DNN)

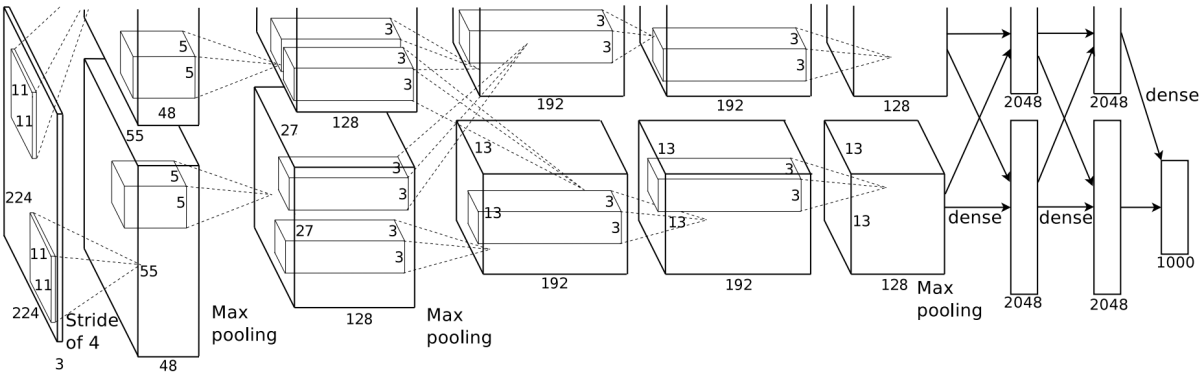
DNNとは、従来の多層ニューラルネットワークより深い階層を持つニューラルネットワークのことである。従来の誤差逆伝搬法では，このようなネットワークを学習させる事は困難だったが、近年はこの問題へ対処するアルゴリズムが提案されおり、画像や音声データなどへの識別処理・特徴量学習に効果がある事が示されている。多くのDeep Neural Networkは教師無し学習部(pre-training)と教師あり学習部(fine-tuning)からなる構造を持ち、前半部で特徴量抽出・後半部で識別・分類処理等を行う。

2.2 Convolutional Neural Network (CNN)

CNNは畳み込みニューラルネットワークとも呼ばれ、DNNと同様に特徴抽出部分と識別処理部分の２つに分かれた構造を持つ。前半の特徴抽出部では、中間層で畳み込みを行う層とプーリングを行う層が順に組み合わされる。

*hokkaido@ipsj.or.jp

†札幌市北区北14条西9丁目北海道大学大学院情報科学研究科



Deep Convolutional Neural Networkの構造の例。このネットワークでは、前半5層で特徴抽出処理を行い、後半3層で識別処理を行っている。

Hintonらが提唱した深い構造を持つCNNは特にDeep Convolutional Neural Network(DCNN)と呼ばれる。これらのネットワークは特に画像認識の分野で成果を挙げており、本研究で提案するイラスト画像推薦システム内で用いる。

3 おわりに

今後は、関連研究で示したDCNNを用いた画像推薦システムを実装し、AnimeFaceを用いたシステムと画像推薦の精度を比較する実験及びその評価を行う予定である。

参考文献

1. Imager::AnimeFaceホームページ、http://anime.udp.jp/imager-animeface.html、2009.
2. Alex Krizhevsky, et al., “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks”, Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 25, pp. 1097–1105, 2012.
3. G. E. Hinton and R. R. Salakhutdinov, “Reducing the dimensionality of data with neural networks”, Science (New York, N.Y.), 2006.

デマンドバスの運行シミュレータによる集約の効果の検証

岩崎 剛* 竹川佳成† 平田圭二‡
(公立はこだて未来大学)§

1 はじめに

現在われわれが移動に用いる主な公共交通機関は，路線バスとタクシーである．公共交通機関を利用する際には，料金と利便性が重要であるが，路線バス，タクシーにはそれぞれデメリットがある．路線バスは低料金であるが，運行ダイヤに合わせてバス停に行く必要があり，またバス停でしか乗り降りできないなど，利用する時間と場所が制限される．一方で，タクシーは，運行ダイヤがないため時間，場所による制約がなく，任意の時間に利用することができるが，バスよりも料金が高いなどのデメリットもある．このため，近年，事前に予約のあった利用者のみを対象にしたデマンド交通システムが注目されている．デマンド交通システムでは，利用者に乗車場所，降車場所を指定して予約させることで，バスやタクシーが利用者全員を効率よく移動できる経路を設定して，運行を行う．比較的低料金でサービスが可能なため，バスとタクシーのそれぞれのメリットを取ったような形態であるといえる [1].

本稿では，デマンド交通システムは，バス，タクシーを利用する場合があるが，わかりやすくするために，これ以降，デマンドバスと記す．デマンドバスでは，利用者が予約時に乗降場所と時間を指定するが，例えば，50m離れた場所でほぼ同時刻に予約があった場合，バスはそれぞれの地点で停車する必要があり非効率的である．デマンドバスの運行の効率を上げるためには近い位置で乗降車する利用者に対しては，共通の乗降場所を設置してそこまで移動してもらうことで，利用者の乗降場所を集約し，バスの停車回数を減らす方法が考えられている．

そこで，本研究では，マルチエージェントシミュレーションを行い，どのような条件で集約をすれば，どれくらいの効果が得られるのかを検証し，明らかにすることを目的とする．

2 関連研究

デマンドバスに関する従来研究として，加藤ら [2] が行っている研究の中に乗合交通サービスを分類してどのような地域にどのようなサービス形態があっているかを調査したものがある．Fig1 は加藤らによるバスやタクシーの分類であり，1 から 7 には実在の乗合交通サービスが当てはまる．本研究で行うデマンドバスを集約する運行形態は，乗り合いバスとタクシーの中間の運行形態

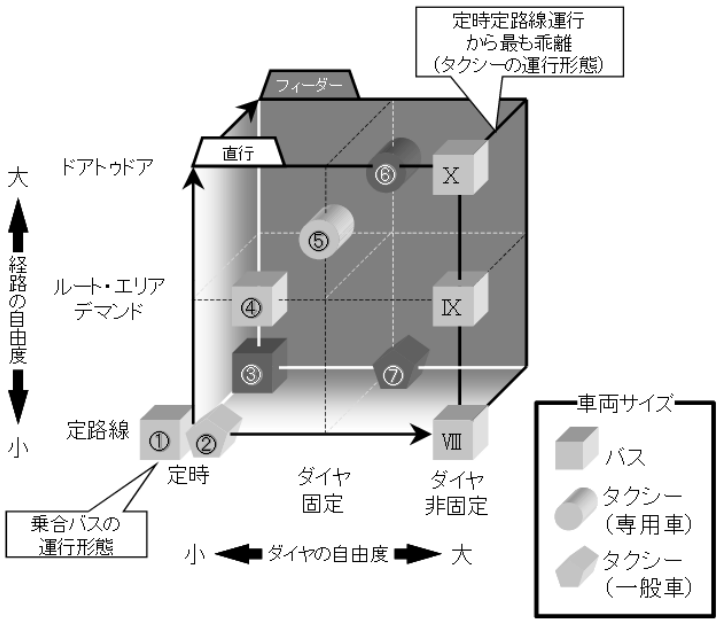


Fig. 1 公共交通の分類軸（加藤ら [2] より抜粋）

である．集約を伴うデマンドバスの Fig.1 上での位置づけは，その集約条件によって変わる．Fig.1 上のどの位置の集約がどのような条件でどれくらいの効果を発揮するか検証する．

3 研究内容

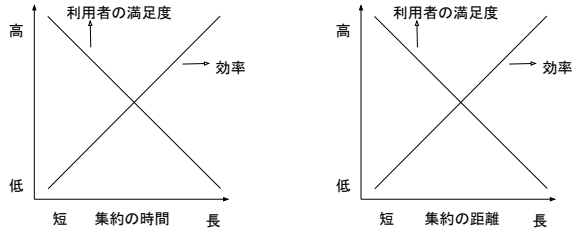
3.1 集約の課題とマルチエージェントシミュレーション

今回の集約ではデマンドバスの利用者の乗降車を時間的，場所的に集約することを考えている．Fig.2 にも示されている時間集約とは一定の時間内に発生したデマンドをその最後の時間にまとめてデマンドバスに乗降車させるということである．また，場所集約とは一定の範囲内に発生したデマンドを中間の場所にまとめてデマンドバスに乗降車させるということである．

集約の問題として，集約のためにデマンドバスがデマンドを待つ時間を増やしたり，集約する範囲を広くすると一度に乗り降りする人数は増えるが，利用者が待たなければいけない時間が増えてしまったり，歩く距離が長くなってしまうということがある．効率のみを重視すると歩く距離と待つ時間は増えてしまい，利用者の満足度が下がってしまうので，どこか妥協点を見つけなくてはいけない．

デマンドが発生する時間がどれくらいの差なら集約をするか，また，どれくらいの近さなら集約をするかということに関して，利用者の満足度と効率の間に良い妥協

* b1011067@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 函館市亀田中野町 116 番地 2



(1) 時間集約　　(2) 場所集約

Fig. 2 効率と利用者満足度

点があると考えられる．Fig.2 における 2 直線の交点がデマンドバスと利用者の間の最も良い妥協点であり，その条件での集約が最も良い集約であることを示している．そのため，様々な条件での集約の効果を検証し，妥協点を見つける為にマルチエージェントシミュレーションをする．シミュレータでは，必要なパラメータを設定して，ビジュアライザに必要な情報をテキストファイルとして出力する．

3.2 ビジュアライザ

シミュレータによって出力されたテキストファイルを可視化して，視覚的に集約の効果を確かめるためにビジュアライザを設計する．

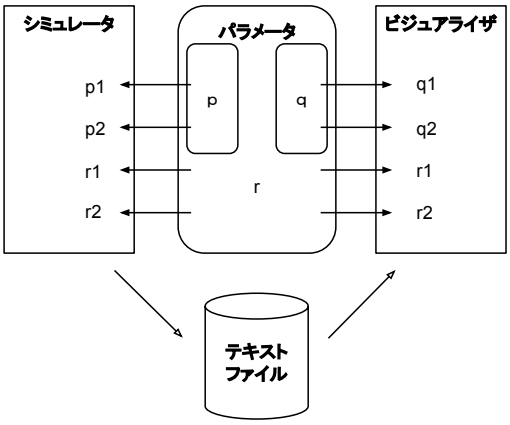


Fig. 3 システムの構成

Fig3 に示したように，シミュレータとビジュアライザには設定するパラメータがある．シミュレータの設定である p1，p2，… は集約する時間の長さや距離などである．ビジュアライザの設定である q1，q2，… は早送りや巻き戻しの倍率，着目するデマンドバスだけをわかりやすくする色などである．シミュレータとビジュアライザに共通する設定である r1，r2，… はエリアサイズやデマンドバスと利用者の数や速度である．これらのパラメータを様々に設定して検証する．また，Fig3 中のテキストファイルとはシミュレータが設定されたパラメータに従って，デマンドバスと利用者の発生と移動，利用者の乗降車場所などの情報をテキスト形式で出力したものである．また，ビジュアライザの GUI 例を Fig4 に表す．

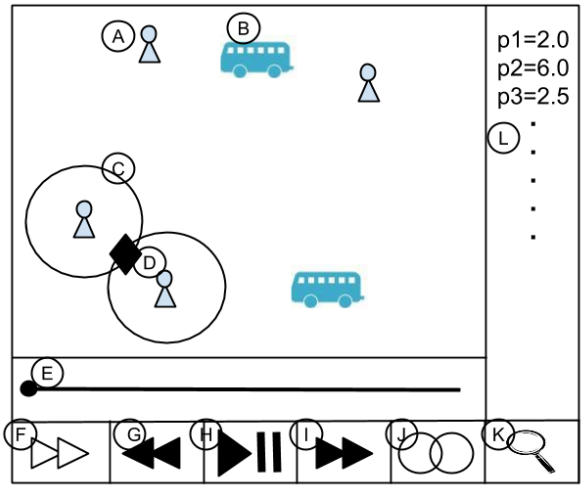


Fig. 4 ビジュアライザ（例）

ビジュアライザではテキストファイルから利用者やデマンドバスの位置情報を読み込み，A や B のように表示する．C では，クリックした利用者の集約する距離を円で表す．D では，C の円が重なったときの集約地点を表す．E は時間を表し，丸をスクロールすることで見たい時間に移動できる．F はスロー再生，G は早戻し，H は再生と停止，I は早送りである．J では，全ての利用者に対して C の円を表示させる．K では，クリックして選択したある利用者，またはあるデマンドバスを追跡する．L ではシミュレータとビジュアライザに入力されたパラメータを表示する．これらの機能を用いて，利用者とデマンドバスの全体の動き方，特定の時間の特定のデマンドバスや利用者の動き，集約の時間や距離を変えたことによる変化を視覚的に確認することで，集約がもたらすデマンドバスの運行への影響を見極める．

4 まとめ

今回の実験計画としては，考えられる集約の条件をすべて検証し，それぞれの条件で集約の効果がどのくらい得られるのかを検証する．今後はビジュアライザを集約の効果を視覚的にわかりやすくするために改良，修正を行いたいと考えている．

参考文献

[1] 泉拓哉，フルデマンドバスシステムにおける集約乗車の有効性，公立はこだて未来大学卒業論文，2014

[2] 福本雅之，加藤博和，適材適所となる少需要乗乗合交通サービス提供に関する基礎的検討，第 31 回土木計画学研究発表会，2005

情報処理北海道シンポジウム 2014

文章の構造化によるeポートフォリオ入力・評価支援方法の提案

吉田匡孝 * 奥野拓
(はこだて未来大) †

1 はじめに

eポートフォリオは近年大学や大学院，高等専門学校などで導入が進められているが，導入したeポートフォリオが積極的に利用されない問題がある．本研究ではeポートフォリオで入力・評価する文章を構造化して表示することでコストを削減して活用の機会を高めるeポートフォリオシステムを提案する．

2 eポートフォリオの概要と問題点

パーソナルコンピュータなどの電子端末から学習履歴を記録･閲覧でき，これに対して閲覧者がコメントを追記しフィードバックを促すことができるシステムをeポートフォリオと呼ぶ．eポートフォリオは学習履歴を記録する学習者と，記録された学習履歴を閲覧し評価する評価者で利用することが想定される．

従来の主なeポートフォリオはデータをそのまま記録･閲覧するような機能のみである．学びを記録する際は，学びを思い出す作業と文章で表現する作業の両方を並行して行う必要がある．評価の際，他の人のeポートフォリオと見比べるにはページの遷移が必要になり，評価するeポートフォリオの数が多くなるとページ遷移の回数も多くなる．そのため，記録する際や，蓄積されたデータを見て評価する際等にかかるコストが大きく，利用が消極的になる可能性がある．

3 文章構造化による支援

3.1 アプローチ

本研究では，学習者が自身の学習の証拠を学びとしてテキストデータで記録して，評価者がこれを評価する用途でeポートフォリオが使われることを想定する．従来通りデータをそのまま記録・閲覧しようとすると，コストが大きい．そこで，学びの内容を構造化し，他の学びとの関係を可視化することで学びが生まれるプロセスをわかりやすくし，コストを低減を目指す．

3.2 構造化に用いるアルゴリズム

内容の構造化では，関連研究として議事録の内容を構造化・可視化してリフレクションを支援する研究がある[1]．この研究に基づいて構造化するアルゴリズムを検討する．特徴量の計算には，対象となる文章に含まれる単語のTF-IDF値を用いる．そして，類似度の計算にはコサイン類似度を検討する．

* b1011259@fun.ac.jp
† 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学

3.3 学びを入力する際の構造化

eポートフォリオシステムに入力用のページとまとめ用のページを追加する．生まれた学びを入力用のページで記録し，まとめ用のページにこれらを構造化して整理した結果を表示する．そのとき速やかに記録できるよう学びは10-200文字程度の簡単なものにし，整理のため記録時に記録日時が付加する．この結果を見ながら学習者は学びをまとめてeポートフォリオの学習履歴を完成させる．

学びをその都度簡単に記録して後に学習履歴にまとめて完成させる方法は，後で学びを全て思い出して記録する方法に比べると，思い出す負荷が軽減される．まとめる際は構造化で支援するほか様々な手法を検討し，記録時にかかるコストを低減する．しかし，記録された学びの数が増えると，まとめる作業が困難になる．そこで，学びの内容を整理・構造化した形で表示することによりこの問題の解決を図る．

まとめページでは次の手順で学びを構造化する．

1. 全ての学びについて，その特徴量をそれぞれ計算する．
2. 連続する2つの学びの特徴量から類似度を計算する．
3. 2つの学びから計算した類似度とその周りのいくつかの学びを含めて計算した類似度を比較し，ある閾値を上回れば1つにまとめて学び群とする．
4. 学び群について，同様に特徴量と類似度を計算し，この類似度とその周りの学び群いくつかを含めて計算した類似度を比較した結果，ある閾値を上回ると関係があると見なしてリンクで結合する．
5. 学びを記録時刻でソートする．学びについてはその中でもっとも若い時刻のものをソートに使用する．

この方法で構造化した結果のイメージをFig. 1に示す．類似した学びがまとめられており，さらにこれまでに生まれた学びの全体像が分かる．

3.4 学びを評価する際の構造化

評価用のページには次の手順で評価対象のeポートフォリオの内容を構造化した結果を表示する．

1. 評価対象となるeポートフォリオ群から1つを選択する．
2. eポートフォリオ内のテキスト領域を抽出する．
3. テキスト領域の文章を1文ずつに分割する．
4. 文ごとにそれぞれ特徴量を計算する．
5. 連続する2つの文の特徴量から類似度を計算する．
6. 2つの文から計算した類似度とその周りのいくつかの文を含めた類似度を比較し，ある閾値を上回れば

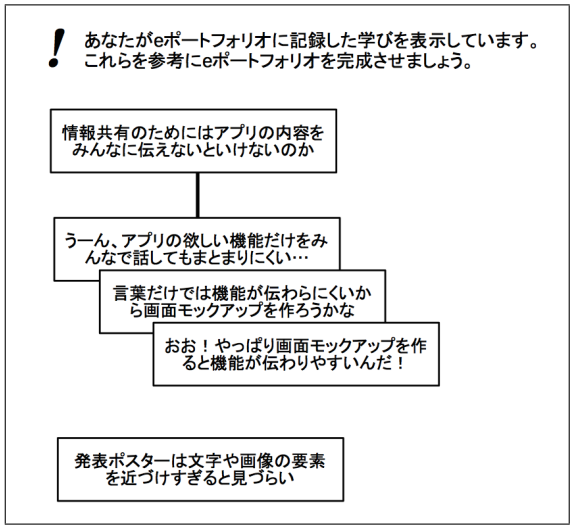


Fig. 1 入力時における提案手法適用イメージ

1 つにまとめて文章にする．

7. 6. の文章について，同様に特徴量を計算し，終了後次のポートフォリオを選択して 1.-7. を繰り返す．
8. 評価対象となる全ての e ポートフォリオについて 1.-7. の作業が完了したら，6. の文章と特徴量を全て取り出す．
9. 8. で取り出した文章について，e ポートフォリオ間で類似度を計算し，ある閾値を上回れば 1 つにまとめる．
10. 9. でまとめた文章について，それぞれの間の類似度を比較し，ある閾値を上回れば関係があると見なしてリンクで結合する．

この方法で構造化した結果のイメージを Fig. 2 に示す．この図に含まれる文章のそれぞれは，手順 6. の文章とする．評価者は評価用のページを通して対象の e ポートフォリオを全て見ると，どのような学習や意見が出ているのかを把握することができ，これらがどのような関係にあるのかも調べることができる．

従来の主な e ポートフォリオシステムでは評価対象を 1 つ 1 つ開いて確認しなければならないが，本手法ではこれが 1 ページ開いただけで完結する．さらに，リンクで結合された内容をたどると，どのような流れで学習が生まれたかを把握できるため評価コストの削減が期待できる．

4 提案システムの評価方法

本研究の提案手法を用いた e ポートフォリオシステムを試作し次の通り評価する．被験者を学習者と評価者のグループに分け，この手法を用いる場合と用いない場合に分ける．学習者はこれからの学習を記録し，評価者は記録された学習を評価する．作業を通じて入力や評価に要した時間，入力した内容，入力や評価に負担を感じたかどうかを調査し，この手法の有効性を評価する．

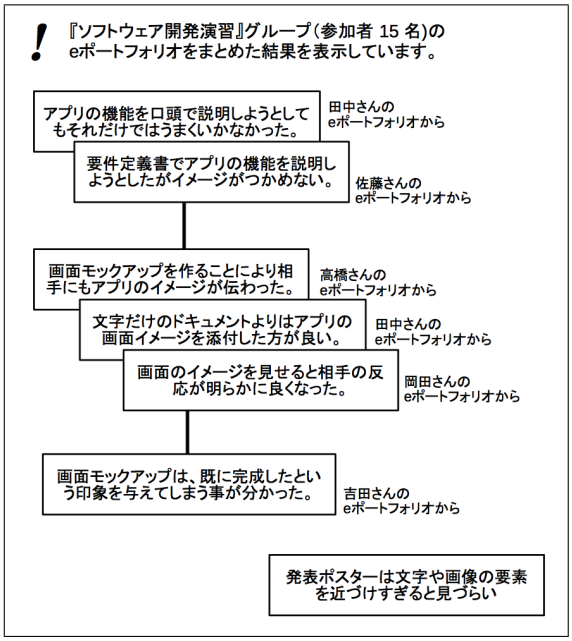


Fig. 2 評価時における提案手法適用イメージ

5 今後の課題

システムを試作する際に，構造化の際に用いるアルゴリズムについて検討中の部分がある．例えば，評価ページでは複数の e ポートフォリオから文章の類似度を計算して比較しなければならないが，このアルゴリズムは検討中である．

また，本研究の提案手法では学習履歴を記録する際に，学びを全て思い出す負担が軽減されるが，記録された学びを学習履歴にまとめる作業で負担を感じる可能性があるため，学びを構造化する他に記録を支援する方法を検討する必要がある．

さらに，構造化の処理には，類似度がどのくらいであれば文章をまとめるかを判断する基準となる閾値が必要になる．構造化する対象によって閾値が変わる可能性があるので，その閾値を評価者が設定できるユーザインタフェースを考える必要がある．

6 まとめ

本研究では，e ポートフォリオの活用が進まない問題を，利用する際に手間や時間がかかり負担に感じることであると仮定し，負担を軽減する方法を提案した．今後は構造化の処理についてさらに検討し，システムを試作し，評価する予定である．

参考文献

[1] 八村 太輔, 森 幹彦, 喜多 一. 議事録の構造化に基づくリフレクション支援, 電子情報通信学会技術研究報告 知能ソフトウェア工学, Vol 106. No.472, pp.49-54, 2007.

情報処理北海道シンポジウム 2014

大型施設におけるタブレット端末を用いた情報提供手法の開発

宮原湧司*,後藤等**
(函館高専専攻科生産システム工学専攻†，函館高専生産システム工学科†)

1 はじめに

これまで，建築物は主に 2D 図面によって表現されてきた．しかし，現在コンピュータ性能の向上により 3D モデルの利用が注目されてきている．3D モデルでは，2D 図面では表現しきれなかったサイズ，外観などの空間情報が得られるため，地図などの図面を 3D モデルに拡張することにより有意性が高められると考えられる[1]．3D モデル作成の技術としては，既存の街並みや建物を 3D 計測するシステムとして，固定式の 3D レーザースキャナーや写真測量システム，3D レーザースキャナーをクルマに積んで走りながら街路周辺を 3D 計測する「MMS（モービル・マッピング・システム）」が存在する．また近年，人間が歩くだけで既存建物を 3D 化する，手持ち式の機器で周囲の状況を 3D 情報付きの動画として記録，BIM(ビルディングインフォメーションモデル)での設計に使う既存建物や街路の 3D モデルを作成するシステム「Robot Eye Walker 4D」が開発され，建物の 3D 化技術は進歩している[2]．だが，実際には 3D モデルの作成にかかる手間や利用環境などの問題からその利用はあまり進んでいない．また，近年，空港や大型ショッピングモールなど様々な店舗を持つ大規模な施設が増えてきた．施設の大規模化に伴い地図も複雑化し，わかりやすい地図の需要も高まっている．

そこで，本研究では 2D 図面より情報量が優れた 3D モデルを作成し，モデルに情報を付加することにより，ルートナビゲーションをはじめとする，利用方法及び妥当性を検討することを目的としている．ここでは，3D モデリング・ソフトウェア「SketchUp」を用いて校舎の 3D モデルを制作し，それを利用した Android アプリケーションを作成し，その有意性を検証する．

2 システム構成

2.1 3D モデルの作成

3D モデルの作成には PC 用の 3 次元モデリング・ソフトウェアである SketchUp を用いる．これは，Google のストリートビューのように写真を加工したものを利用する手法では，プライバシーに配慮し人がいない時間帯に撮影を行うことや，ぼかしをいれることなどが必要となる．加えて撮影のコストなどのデメリットもある．それに対して，3D モデルにはプライバシーに配慮する必要がないこと，無償で利用できること，情報を付加することができる等というメリットがあるため，本研究では SketchUp を用いて 3D モデルを作成する手法を採用した．例として図-1 に作成したモデルの外観を示す．図-2 に作成したモデルの内装を示す．

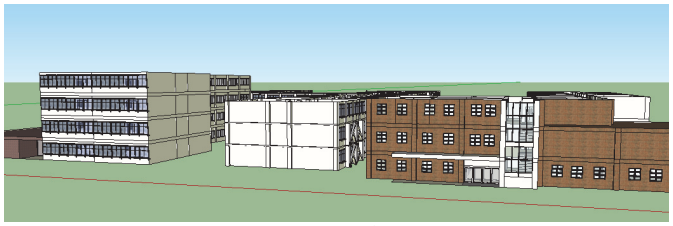


図-1　作成した函館高専校舎のモデル図(外装)

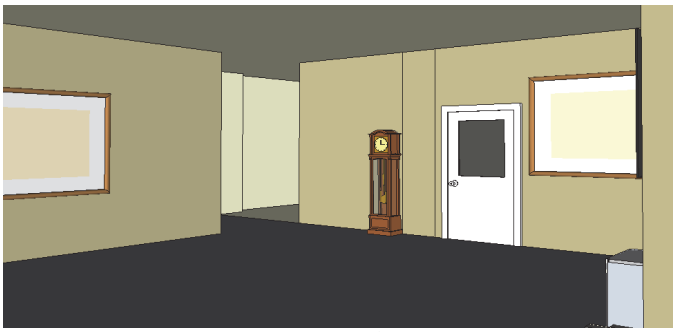


図-2　作成した函館高専校舎のモデル図(内装)

2.2 アプリケーションの構成

作成した 3D モデルを自由に移動できるアプリケーションを作成する．リリースの容易さ，契約数の多さから Android 向けのアプリケーションを開発する．その構成を図-3 に示す．

校舎平面図から任意の地点を選択し，その地点から一人称視点で自由に探索を行う．その例を図-4 に示す．

また，場所の名前をセレクトボックスから選択することでその場所の位置を表示する図-5 のような検索システムを組み込む予定である．これは，実際に本校に訪れた方が迷った際に最寄りの教室の名前から，自分の位置を知ることが出来るような機能とする予定である．また，

* yuji.miyahara.hnct@gmail.com
** gotoh@hakodate-ct.ac.jp
† 函館市戸倉町 14 番 1 号

現在地から目的地までのナビゲーション機能も組み込む予定である．

図-3　システム構成

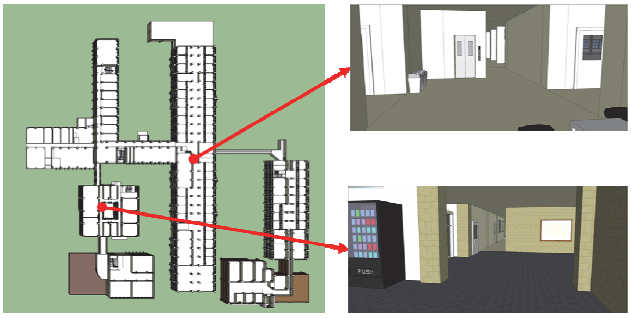


図-4　平面図からの任意の地点移動例

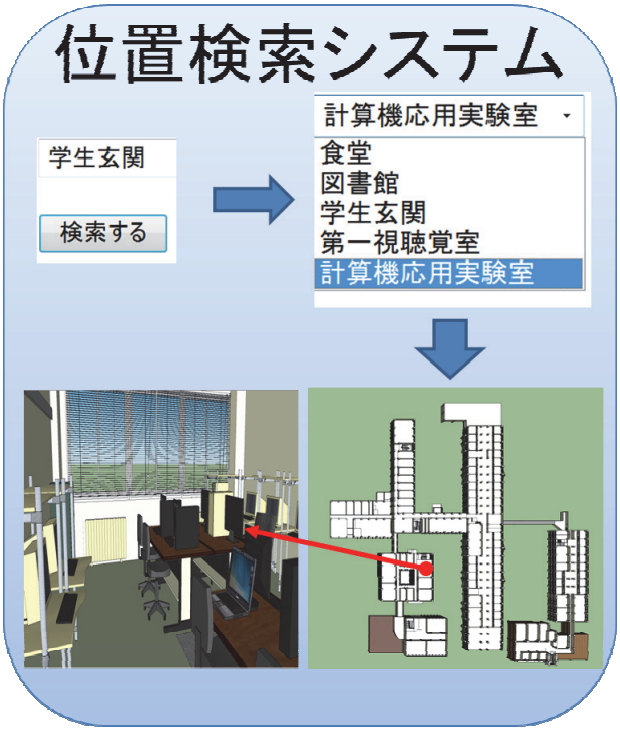


図-5　位置検索システムイメージ図

3 実証結果

初期段階として，タブレット端末ではなくノートパソコンを利用し 3D モデルの段階でその有意性の調査を行った．

函館高専在学中の本科生 1 年生から 5 年生を対象に，実機を持たせ 3D地図を利用してもらい，アンケートの回答を得た．以下に実験の手順を示す．

a) 学生に２Ｄ地図を渡し目的地を見つけられるか，そこまで移動できるか確認する．
b) 移動できなかった場合は3Dモデルを実際に利用してもらい，目的地へ移動してもらう．
c) 目的地へ到達後，アンケートに回答して頂き，移動にかかった時間を記入する．

アンケートの項目は，操作のわかりやすさ，見易さ，反応の良さ，内容の信頼性，役立ち感を 5 段階評価とし，加えて改善点を箇条書きにしてもらった．

結果として，地図の操作方法をシンプルなものにするという工夫の甲斐があり，操作のわかりやすさと反応の良さは高い評価を得た．しかし，見易さや内容の信頼性の評価は低く，地図の見せ方の工夫や情報の改善が必要であることが分かった．

役立ち感という項目では，4.25 点と高評価を得ることができ，システムの方向性は間違っていないということが証明された．

4 まとめ

実証実験を通して，本システムの有意性および改善点を確認できた．改善点としては、壁が単色で見づらいことから、目印となるようなオブジェクトを配置するなどの対策が必要であることが分かった。また、3D モデルの容量が大きいため、必要なオブジェクトの十分な検討も必要である。これを受けて，同システムの Android アプリケーションの開発を行う．また，2014 年 10 月に外部からの来校者を対象に再度実証実験を行う予定である．

参考文献

[1] 水谷清美，高橋友一：「インターネット上の 3 次元ナビゲーションにおけるインターフェースの検討」，pp．925-932，電子情報通信学会論文誌，.1998

[2] 歩くだけで既存建物を 3D 記録！ BIM モデルも作成 | 日経 BP 社 ケンプラッツ，http://kenplatz.nikkeibp.co.jp/article/it/column/20140207/650889/, 2014.

ハンドボールにおける戦術共有支援のための ボロノイ領域を利用したタブレット型アプリケーションの開発

宮森勇作* 川村秀憲 鈴木恵二
(北海道大学大学院情報科学研究科)†

1 はじめに

現在，チームスポーツに ICT（情報通信技術）を活用する取り組みが盛んに行われている．例えば，日本サッカーのプロリーグにおいても個人のスキルアップやチームの戦術の確認を効率化するためにタブレット端末やクラウドサービスを用いて動画を共有する取り組みがなされている．これは，目標達成のために戦術共有を効果的に行い，チーム全体のパフォーマンスを向上させるためである．

また，練習中やミーティング中に作戦ボードや身振り手振りなどを用いて話し合うことで，チーム内でお互いに戦術を確認する場面は多々見られる光景である．しかし，作戦ボード（ホワイトボードとマグネットのコマを用いるツール）や身振り手振りなどを用いても，戦術の行動と目的を話し手がうまく伝えられない場合や，聞き手がうまく理解できない場合があり，その結果試合中のミスにつながることがある．また，戦術において重要と考えられる優勢領域のような情報を伝えるのは難しい．それらの情報を表現し，伝えることが可能なツールを開発することで，戦術の共有がしやすくなると考えられる．

そこで本研究では，チームスポーツとしてハンドボールを題材にし，情報技術を用いてハンドボールにおける戦術共有を支援することを目的とした．そのために，戦術を意味づける情報である「優勢領域」を表示する機能を備えたアプリケーションを開発した．

2 戦術共有支援へのアプローチ

ハンドボールは 7 人一組の 2 チームがボールを保持し，お互いにシュートし合い，得点を多く取ることを目的として行われるボールを用いたチームスポーツである．

ハンドボールにおける戦術は図 1 のような行動の一連の流れで表されることが多く，この戦術の理解が不正確であると，試合で戦術を実行できずにミスする可能性が大きくなる[1].

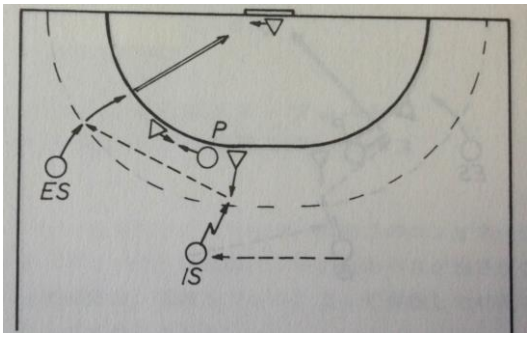


図 1 ハンドボールの戦術例

戦術は目的を持った行動であると考えることができるが，ここで相手にボールを取られない領域を「ボール支配領域」と定義すると，戦術は表 1 のように表すことができる．

目的	行動
ボール支配領域での ボールの保持	パスを出す 受け取るなど
シュート可能地点での ボール支配領域の形成	ブロック（スクリーン） 空走りなど
ボール支配領域での シュート	ディフェンスラインの 突破、カットインなど

表 1 戦術における目的と行動

すなわち，戦術を理解するためには，表 1 のような目的と行動を理解する必要がある．現在，戦術共有を支援するためのツールとして，作戦ボードやそれをソフトウェアアプリケーションにした Strategy Board Application（以下，SBA と記述する）などが使われているが，それらは戦術における行動を表現するツールであり，目的を伝えるためには口頭で伝える必要がある．

本研究では目的を伝えやすくするために「ボール支配領域」に関する情報を SBA 上に付加する機能をつけることで戦術共有支援を実現することを目指す．

3 ボール支配領域と優勢領域

ボール支配領域を構成する要素を挙げる．ボール支配領域は以下の 3 つの要素で構成されると考えることができる．

*miyamori@complex.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

1. 優勢領域（ボロノイ領域など）
2. 選手が認知できる情報の範囲（視覚・聴覚・触覚で得ることのできる情報の範囲など）
3. 選手の状態（疲労度，心理状態など）

今回，開発したアプリケーションではこれらの要素の内，優勢領域に含まれる要素であるボロノイ領域を付加情報として表示した．

4 アプリケーションの開発

4.1 開発環境

Unity Technologies が開発したゲームエンジンであり，3DCG のアニメーションを用いたアプリケーションを作成することのできる統合開発環境である Unity version-4.3.4 を用いて開発を行った[4]．本研究では開発したアプリケーションを Android 端末である Nexus 7 に出力し，動作を確認した．

4.2 ボロノイ領域の描画

ボロノイ領域とは，平面上に複数の点があるときにその平面をそれぞれの点から最も近い範囲に分割した領域であり，円錐を用いることで高速な描画が可能となる（図 2）[5]．今回，開発したアプリケーション上では選手を中心とする円錐を描くことでボロノイ領域の描画を実現した．

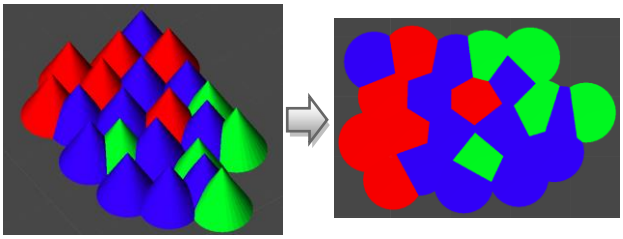


図 2 ボロノイ領域の高速描画

4.3 ボロノイ領域の確認方法

コート上に選手を模したコマを並べ，一人称視点とふかん視点により領域を確認できるように実装した（図 3, 4）．

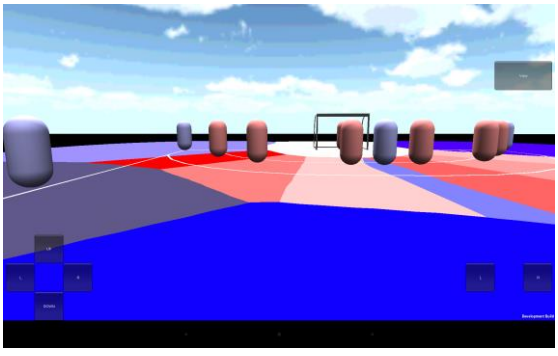


図 3 一人称視点

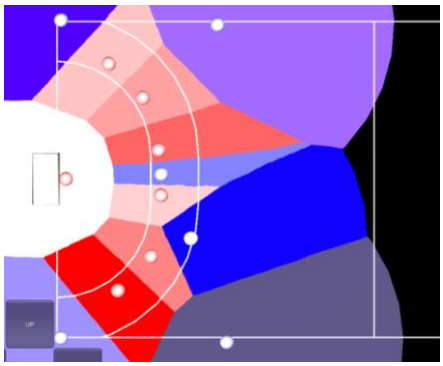


図 4 ふかん視点

5 まとめ

チームスポーツにおける戦術共有支援を目的として，従来問題であった「戦術の目的が伝わりにくいこと」に対する支援機能を提案した．ボール支配領域に着目して，選手の戦術目的を伝えやすくするためにボロノイ領域の表示を可能としたアプリケーションを提案し，実装した．今後は，実際のコートにプロジェクターでボロノイ領域を表示することにより，本研究で開発したアプリケーションの有用性を評価する実験を行う．

参考文献

[1] 著者/ヨアン・クンスト=ゲルマネスク　訳者/中村一夫　監修者/木野実　杉山茂　発行者/池田郁雄，ハンドボールの技術と戦術，株式会社ベースボールマガジン社，1981

[2] 瀧剛志, et al. ”サッカー映像からのチームワーク評価方法の検討.” 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 96.40 (1996): 67-74.

[3] 藤村光，杉原厚吉. "ボロノイ図を応用したスポーツチームワークの定量的評価." 電子情報通信学会技術研究報告．PRMU，パターン認識・メディア理解 100.702 (2001): 145-152.

[4] http://japan.unity3d.com/

[5] HOFF K. Fast Computation of Generalized Voronoi Diagrams Using Graphics Hardware. Proc. ACM SIGGRAPH, 1999.

[6] 宮森勇作，川村 秀憲，鈴木 恵二：ハンドボールにおける戦術共通支援アプリケーションの開発—優勢領域と選手の視野範囲を用いた支援—,第 13 回複雑系マイクロシンポジウム，pp. 19-22，苫小牧 (2014)

姿勢・位置情報の共有によるアバタベースの ARコミュニケーションシステム

宮津研士郎* (北大情報科学)[1]
高井昌彰 (北大情報基盤)[2]

1 はじめに

Video Chat や Video Phone 等，相手先の映像と共にテキストや音声を伝達できるコミュニケーションシステムが広く普及する中，仮想的なアバタを仲介とした新たなコミュニケーションスタイルが注目されている．

アバタを仲介することによって，物理的な場所を気にすることなくユーザの望む理想的な仮想空間でのコミュニケーションが図れることや，人と直接相対することの苦手なユーザでも，緊張感をもつことなく，より自然に自分の意思や伝えたい内容を表現できることなど，大きなメリットが得られることがわかっている．

一方，これまでのアバタベースの遠隔コミュニケーションシステムは 1 対 1 の通信を基本としているため，仮想と現実が混在する 3 人以上の同時のコミュニケーション場において，その場に参加する物理的な人の位置や姿勢情報を個々に認識し，それに応じたアバタの振る舞いを，全体の整合性を保持したまま，個別に制御することは困難であった．

そこで本研究では，コミュニケーションの場に参加する物理的な人々（各端末）の姿勢・位置情報を共通ターゲットの認識と端末間のサーバ連携で共有し，これを各端末から見えるアバタの振る舞いに反映させる AR コミュニケーションシステムを開発した．

2 関連研究

[1]はセンサベース AR を利用してアバタを介したコミュニケーションシステムを作成し，アバタとユーザの会話に適した位置関係について考察している．本研究ではビジョンベース AR を用いることから位置関係について考慮する必要はないが，アバタが自然な存在として見える大きさについて考慮する必要がある．

[2]はアバタを用いた遠隔コミュニケーションシステムにおいて，アバタの操作者とアバタ間の目線のズレのために，操作者が意図する自然な発話をアバタに反映することができないという問題点を考察している．

3 システムの構成

3.1 システムの概要

アバタベースの AR コミュニケーション場を想定した際の，情報を発信する側（アバタを操作する人）と情報を受信する側（アバタを見る人々）におけるシステム概念図を，図 1 と図 2 にそれぞれ示す．

図 1　情報発信側のシステム概要

情報の発信側は使用する AR ターゲット及びターゲットから出現する 3D モデルのアバタを事前に設定する．ターゲットを認識している端末が存在している場合，発言したい内容をアバタのポーズと発言の方向（その場の誰に向かって発話するのか）を指定して発信する．

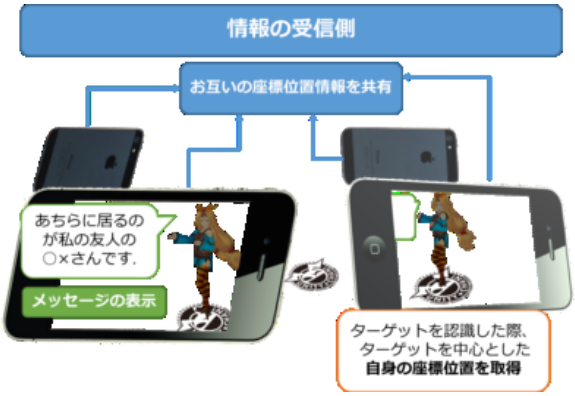


図 2　情報受信側のシステム概要

*miyatsu@iic.hokudai.ac.jp
[1]札幌市北区北 14 条西 9 丁目　北海道大学大学院情報科学研究科
[2]札幌市北区北 11 条西 5 丁目　北海道大学情報基盤センター

情報の受信側では AR ターゲットをカメラで認識し，端末の姿勢･位置情報を算出することで，ターゲットを中心とした自身の位置を把握する．次に，Photon[3]を利用して複数の端末間でサーバを介して個々の位置情報と端末 ID を共有する．それぞれの端末はメッセージ内で発言方向として指定された ID の位置情報を利用し，アバタのモーションを対象の端末に向けたものとして動的に生成する．これによりアバタがメッセージの内容を読み上げながら，あたかも周囲の端末の物理的所在を視認したかのような振る舞いを実現することができる．

3.2 カメラ姿勢･位置情報の取得

ターゲットの位置と向きを基準にして，ターゲットを視認しているカメラの位置と方向を計算する．ターゲット位置の確認や 3D モデルの姿勢位置の同期の機能は AR ライブラリ Vuforia[4]を利用し，自然特徴点マッチングによるマーカレス型ビジョンベース AR のフレームワークで実現している．自然特徴点マッチングとは，カメラ画像から検出される特徴点と予めデータベースに格納してある各ターゲットの特徴点を照合することでターゲットの種類の特定とカメラの位置姿勢の推定を行い，カメラ画像内のターゲット位置と CG の座標位置を一致させる手法である．

4 動作結果

ターゲットを最初に認識した際に、新参加者に向けてデフォルトポーズをとるアバタの AR 表示を図 3 に示す．また，コミュニケーションの場にアバタ操作者以外の 2 人目の新参加があった場合に，その端末がターゲットを認識した時のアバタを別の既参加者の端末から見た様子を図 4 に示す．新参加者に向けて別ポーズを取りながら発話するアバタが確認できる．

図 3 デフォルトポーズの AR 表示

図 4 参加者の端末に追従してポーズを変えるアバタ

本システムは Unity ver.4.5.2[5]で開発を行い，開発言語に C♯，AR ライブラリ Vuforia とネットワークライブラリ Photon を用いた．アバタのサンプルに Unity-Chan[6]，AR ターゲットとして Unity-Chan ライセンスロゴ[7]を用いた．端末には iPhone4S(iOS ver.7.1.2)を使用した．

5 まとめ

姿勢と位置情報の共有によるアバタベースの AR コミュニケーションシステムについて述べた．アバタのモーションの自由度のさらなる向上は今後の課題である．

参考文献

[1] 荒牧怜奈，村上真: "AR WoZ システムを用いた対話に適したユーザと AR キャラクタの位置関係の分析"，信学技報，Vol.112, No.412, pp.31-36 (2013)

[2] 石井健太郎，谷口祐司，他: "投影型遠隔コミュニケーションにおけるユーザとアバタの視点の一致"，情処論，Vol.54, No.4, pp.1413-1421 (2013)

[3] Photon https://www-jp.exitgames.com/ja/Realtime

[4] Vuforia http;//developer.vuforia.com/

[5] Unity3d http://unity3d.com/

[6] UNITY-CHAN! http://unity-chan.com/

[7] ユニティちゃんライセンス http://unity-chan.com/download/license.html

二者間における協力型ニューロフィードバックトレーニング

宮澤 初穂*† 飯塚 博幸†† 山本 雅人††
(北大工)† (北大情報科学)††

1. はじめに

ニューロフィードバックトレーニング(NFT : NeuroFeedback Training)とは，自分の脳活動をコントロールするための訓練である．一般的には，脳活動を測定し，測定値に応じて，音や映像を被験者に示す(フィードバック)．被験者は，フィードバックをもとに，脳活動を望ましい状態へと変更していくよう思考における試行錯誤を何度も繰り返し，訓練を行う．現在，NFT の効果の実例として，てんかんや ADHD(注意欠陥障害)等の症状の緩和が可能であり，実際の医療現場でも利用されている[1][2]．その他に，視覚刺激の判別能力[3]や，短期記憶力[4]の向上等への効果も報告されている．脳活動を測定する方法には，脳に直接電極を刺すことで計測を行う侵襲脳活動計測法と，測定の際に外科手術を伴わない，非侵襲脳機能計測法がある．非侵襲脳機能計測法には、大型な機械を必要とする fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging : 機能的磁気共鳴画像)等もあるが，実際に NFT を行うときは，より手軽な脳波(EEG : Electroencephalography)が多く使われる．

脳波の周波数による分類は国際脳波学会によって，大きく 4 つに分類されており，δ 波，θ 波，α 波，β 波がある[5]．α 波は，安静・閉眼・覚醒ときに後頭で優位に発現する周波数帯である．NFT では α 波をフィードバックする研究が複数存在し，Nan らの研究[4]もそのうちの一つである．Nan らの研究では，ディジットスパンテストの結果を短期記憶力の評価値とし，NFT を行ったチームでは，行わなかったチームの結果と比べて，評価値の増加率が有意に高いことを示した．また，同時に被験者が訓練中に何を思い浮かべたときに，より α 波が増大するかを調査し，ポジティブな事柄を思い浮かべたとき，相対的に良い評価を得た．

NFT はこのように，疾患を緩和する目的で有用であることが示されているものの，NFT によって訓練しても脳波を望ましい状態へと変化させることができない被験者が少なからず存在することがわかっている[6]. NFT 自体なぜ脳波をコントロールできるかが明らかでないので，なぜできない人がいるのか不明である．

一方で，二者が相互作用しているときに二者の脳波が同期することが知られている[7]．我々は，この二者の相互作用による同期によって，NFT ができない被験者の脳波を NFT が可能である被験者に引き込ませることによって可能となるのではないかと考えた．しかし，二者の被験者が協力して NFT を行った例はなく，本稿においては，二者による NFT の実験の枠組みを提案し，二者による NFT が可能であるかどうかを検証した. 提案する二者による NFT を協力型 NFT とする．

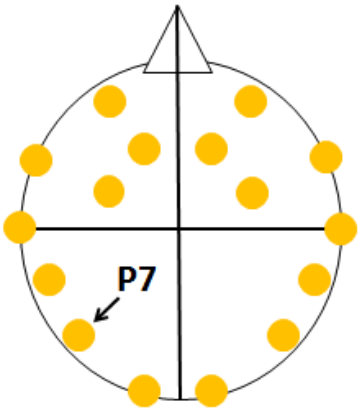


図 1．脳波測定器における測定チャネル箇所

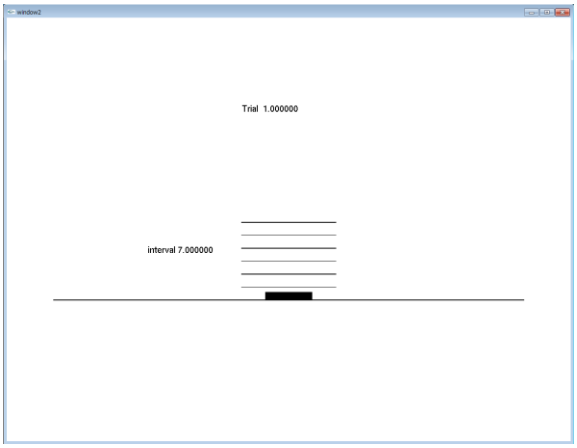


図 2. 実行画面のキャプチャー画像

2. 提案手法

2.1 脳波測定

脳活動の測定には， Emotiv 社の脳波測定器 EPOC を使用する．この機器は，鼻根～後頭結節と左右両耳介前点間を定められた間隔で分割する国際 10-20 法(モントリオール法・ジャスパー法)を参考にした，14 の電極の配置をしている．参照電極は左右の耳の裏に位置する乳様突起に設置した．測定を行う電極は， Kawasaki らの実験[6]で側頭部において同期がおきたので、後側頭に位置する P7(図 1 参照)に設置した．当機器は電源をバッテリから確保し，測定値は無線で通信するため，外部接続からのノイズは少ない．サンプリング周波数は 128Hz である．

2.2 実験計画

実験は一人で NFT を実施する単独型 NFT と，二人で NFT を実施する協力型 NFT で行う．被験者を実験 1 と実験 2 に分け，実験 2 は二人一組のペアとする．実験 2 は協力型 NFT の被験グループとなる．なお，実験 2 のペアは実験終了まで固定で，途中で被験者の交替はない．

*miyazawa@complex.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学工学部
††札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

実験 1 は，他の研究で示されている NFT の効果が本実験の設定でも得られることを確認する．実験 2 では実験 1 と同様の条件下で，二者の脳波によるフィードバックを与え，二者による NFT が可能であることを確認する．

実験は大きく分けて三部ある．第一部を Pre-NFT 部，第二部を NFT 部，第三部を Post-NFT 部とする(図 3)．Pre-NFT 部では，両実験共，単独型 NFT を 2 セッション行う．NFT 部は実験 1 の被験者が単独型 NFT，実験 2 の被験者が協力型 NFT により訓練を行う．実験は全部で 11 セッション行う．Post-NFT 部では，実験 2 のみ単独型 NFT を行う．セッション間は必ず 1 分以上空け，3~4 セッションを一日当たりの実験とし，一度行うと 15 時間以上の時間を空ける．さらに全行程で 5 日以上期間を空けない点に留意した．なお，セッションは休憩付きの試行を 10 回で，構成する．休憩は 10 秒間，試行は 30 秒間である．Nan らの実験[4]での試行合計時間は 60 分で，α 波帯に有意な増加が確認された．よって，本実験では合計試行時間を 65 分とした．

本実験では α 波の変化を図 2 に示すように棒グラフにしてディスプレイに表示させることで被験者へのフィードバックを行う．棒グラフの高さは式(1)に示す相対的な α 波帯域のパワーに従って変化する．

$$p_i = \frac{Alpha\ Band\ Amplitude}{EEG\ Amplitude} \quad (1)$$

p_i ：被験者 i のパラメータ

$Alpha\ Band\ Amplitude$：α 波帯域のパワー

$EEG\ Amplitude$：総脳波周波数帯域のパワー

ただし，p_i の値は，直近 2 秒分のデータを用いて 1 秒ごとに算出し，1 秒ごとに棒グラフの表示を更新する．

単独型 NFT では被験者自身の α 波帯域のパワーをフィードバックする．協力型 NFT では，被験者 1 の α 波帯域のパワーと被験者 2 の α 波帯域のパワーの積をフィードバックする．協力型 NFT を積で表すのは，互いの α 波が同期して大きくなったとき，より大きな値が示されるようにするためである．

実行画面における罫線は，トレーニングときの参考のため，等間隔に設置する．Trial は試行回数を，interval は休憩時間の残り秒数を示し，実験時の参考とする．実験時，被験者は互いに背を向けた状態で行い，同型のディスプレイを用いる．ディスプレイの位置は，机の端からの距離を統一し，被験者間で違いが出ないように配慮した．また被験者から周りの状況が見えないようパーテーションで目隠しをした(図 4)．

2.3 被験者

被験者は NFT の経験がない男性 3 人とする．平均年齢は 23 歳であった．また被験者は，全員右利きであり，健康状況は良好，過去に大きな手術や疾患はない．被験者には以下の事項を事前に説明した．

・一日で行うセッション数
・総セッション数
・セッションの構成
・試行中は極力動かないこと．特に，唾を飲む，過剰なまばたき，歯をかみしめる等，顔の筋肉運動には十分に注意すること．
・試行中はできるだけ棒グラフを高くすること．棒グラフを高くするために頭で色々イメージすること．

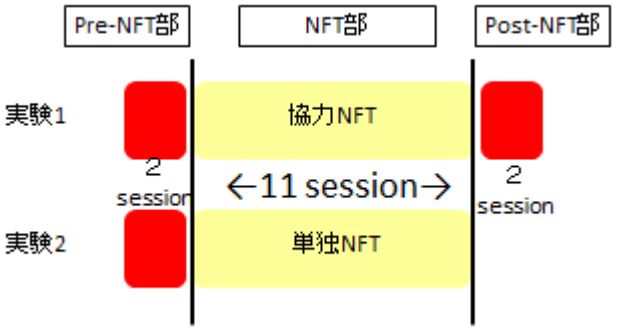


図 3. 実験手順

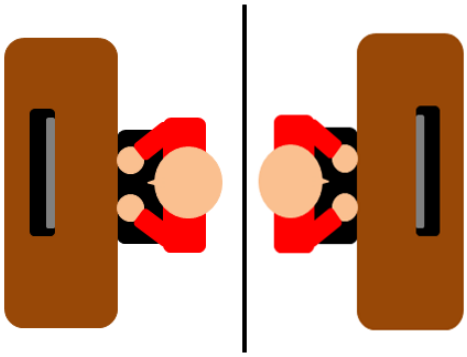


図 4. 実験環境

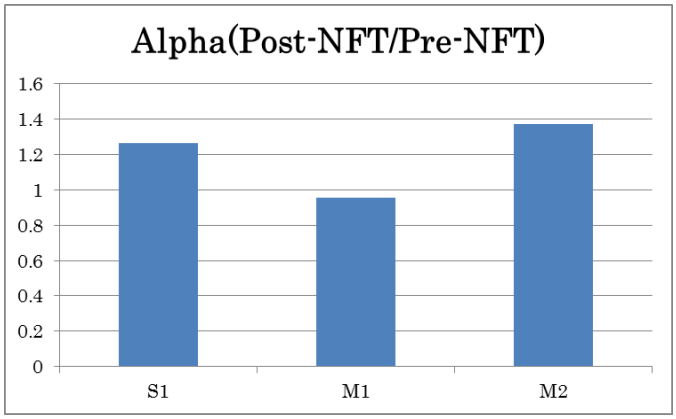


図 5. Pre-NFT と Post-NFT の比較

・(単独型 NFT)棒グラフは被験者自身の脳活動が反映される．
・(協力型 NFT)棒グラフは被験者自身の脳活動と，もう一人の被験者との協力度合いが反映される．
・実験中，気分が悪くなったり，眠気を覚えたりした場合はただちに実験者に申し出ること．

さらに，一日の実験が終わるたびに，以下に内容を示すアンケートを行った．

問1.　今回の実験は前回と比べてどうだったか．
問2.　(単独型 NFT)今回の実験で棒グラフはどれくらい自分の思い通りに動いたか．
　　(協力型 NFT)今回の実験でどれくらい相手と協力して成果を出せたと思うか．

問3.　実験を通して何を考えたときにより棒グラフが増加したか,

問 1 と問 2 では，5 段階評価(問 1：とてもよかった・少しよかった・変わらない・少し悪かった・とても悪かった，問 2：90%以上・70%以上・50%前後・30%以下・10%以下から近いものを選択)，問 3 は記述式で問うた．問 1 や問 2 は，実験で得られた結果が，偶発的でなく，NFT による効果を検証する．問 3 は，Nan らの実験[4]で示した傾向の確認を目的とする．実験中にα波を上げるために何を考えるかに関する方策のことを，Mental Strategies という．

3. 結果

3.1 NFT

図 5 に単独型 NFT と協力型 NFT を行った結果の NFT 効果を示している．実験 1 の被験者が S1，実験 2 の被験者が M1，M2 である．グラフは各被験者の Post-NFT 部の平均値を Pre-NFT 部の平均値で割ったものである．実験 1 では Post-NFT 部で実験を行わなかったので、NFT 部の後ろから 2 セッションの平均を取り，Post-NFT 部の値とした．NFT の効果はα波帯域のパワーにおいて実験前と実験後に差があったかでわかる．値が 1 を超したとき、効果が出たといえる．図 5 から，S1 と M2 において効果が出た一方，M1 では効果がでなかったことがわかる．

図 6 は実験 1, 実験 2 における NFT 部の比較を示す．縦軸は，各セッションで得られたα波帯のパワーの変化を一次曲線で近似すると実験 1 の傾きは 0.0219 であり，実験 2 では 0.0038 であった．どちらも，わずかに NFT の訓練効果があったが，実験 2 は実験 1 に比べて NFT がかかりにくいことがわかる．図 7 にセッション中に計測された M1 と M2 のα波の変化及びその時の棒グラフの値の平方根を示す（単独 NFT での棒グラフの表示量に相当）．これにより，実験の進行状況がわかる．図 8 に実験 2 のセッションごとのペア間のα波の変動の相関係数を示す．相関係数は低く，かつセッションを通して大きく異なる．　実験 2 において引き込み現象は確認されない．しかし，相関値の絶対値は大きくなっている可能性があり，今後　被験者を増やし，検証する．

3.2 アンケート

アンケート問 1 では，いずれの被験者も初回には“少し悪かった”を選んだが，最終回には“少し良かった”を選んだ．被験者間で違いはない．初回のアンケート問 2 は，実験 1 の被験者は“30%以下”，実験 2 の被験者はいずれも“10%以下”を選んだ．実験 2 は実験 1 に比べてとっつきにくい傾向がある．最終回のアンケート問 2 では，S1，M2 は“70%以上”を選んだが、M1 は“50%前後”を選んだ．70%を選んだ二人の被験者は NFT 効果が見られ，かつ自覚もある．M1 は NFT の効果が見られなかった．アンケート問 3 は，始めのうちはどの被験者も Nan らの研究における，ポジティブな事柄を挙げた(好きな音楽，食べ物，スポーツ等)が，最終的に，S1，M2 は棒グラフの増加を意識した．S1, M2 は同じ Mental Strategies を選ぶことで NFT の効果を得た．

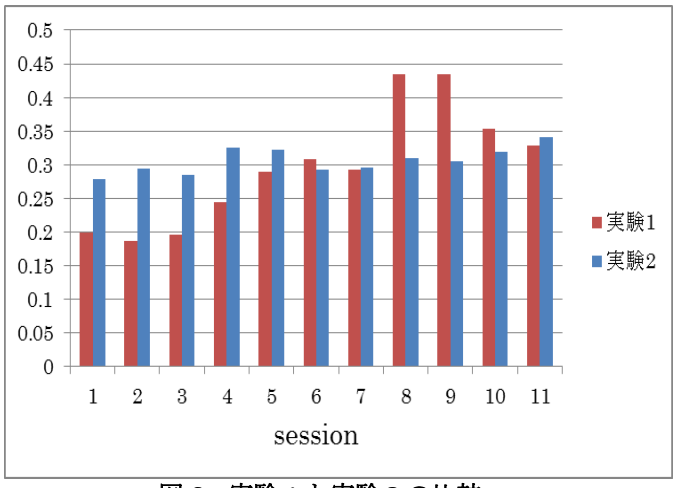


図 6. 実験 1 と実験 2 の比較

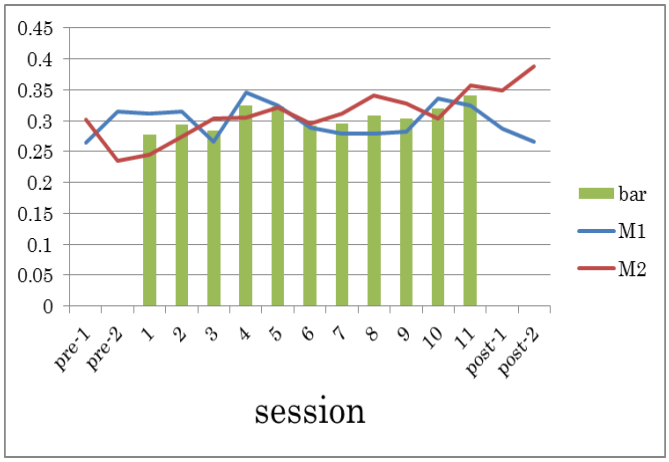


図 7. M1 と M2 のセッション

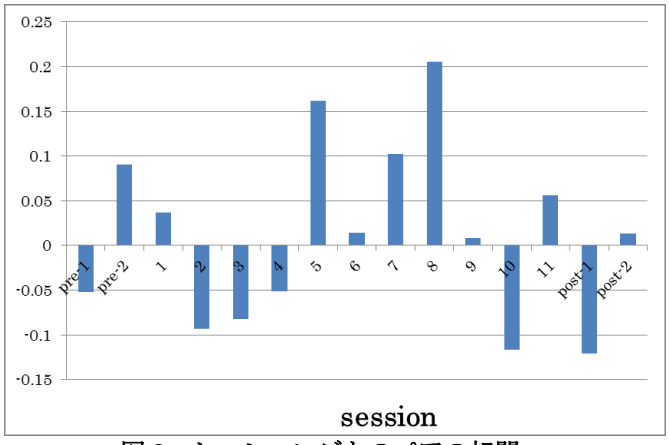


図 8. セッションごとのペアの相関

4. 考察

4.1 実験 1 の結果

実験 1 では, 図 5 より NFT によってα波帯域のパワーは増加した．また，アンケートより，被験者はα波帯域のパワーの増加をしている．実験 1 は，他の研究でも同様の結果が得られる．実験 1 の結果は，本実験での実験設定やフィードバックが NFT に適していることを示している．

4.2 実験 2 の結果

実験 2 では, ペアのα波帯域のパワーの平均値(棒グラフの動向とほぼ同値)は，セッション数と相関があり，ペアに対する効果はあった．しかし，被験者ごとにみると，

図 5 から，M1 に効果はなかった． NFT 部でのセッション数との相関はなく，よって M1 と M2 は互いに影響し合わず，脳波の同期は，起こらなかった．

M1 に NFT が起きなかった理由は実験の結果以下の 3 つ考えられる．

(1) 不適切なフィードバックパラメータ
(2) 被験者の不適切な Mental Strategies
(3) NFT の効果がない被験者の可能性

図 6 を見ると理由(1)の可能性が考えられる．訓練の前半では，M1 は M2 より，良いα波帯域のパワーを出している．しかし，本実験では二者のパラメータの積をフィードバックに使用しているので，被験者自身が自身パラメータ
を認知するのは困難である．さらに自身の動向もわからず, ペアとなる相手の動向が自分だと思うと NFT の効果は表れない．例えば, M1 から見ると 6 セッションから 9 セッションにかけて，棒グラフが増大する一方，M1 の値は減少する．このフィードバックを見ていると，被験者自身のパラメータは増大していると認識する．その結果，M2 は NFT の効果が得られなかったと考えられる．他の方法を考えたとき(a)二者の結果を同時に出す方式と，(b)二者の結果を同時に出さない方式がある．(a)の方式で，今回用いた積でない方法は，一つの棒グラフに和を表示させる方法や二つの独立の棒グラフを表示させる方法が考えられる．和を用いた場合は今回と同様の問題が起こるため，協力の意味を出せなくなる．二つの棒グラフを表示させる方法は，被験者自身の値が明確にわかる点と他者の値がわかることでより高みを目指せる点でメリットがある．しかし，独立に表示させている分一人で行う NFT と変わらなくなってしまい, 同期が起きる可能性が低くなる．(b)の方式では，二者の結果を同時に出さないので，他者のパラメータを見続ける方法しかない．この方法では，自分の状態が全く分からないので，α波帯域のパワーを増加させる方法を見つけるのは非常に困難を極める．しかし，NFT の目的を相手の棒グラフを増大させることとする．すると，相手のパラメータが変化したとき，増加減少などに合わせて特定の Mental Strategies を用いる等の行動をとったとき, 脳波で同期が起こる可能性がある．今後は以上に挙げた方式から，各欠点と長所を理解した上で再度実験を行うこととする．

アンケートの結果を見ると，理由(2)の可能性が考えられる．被験者には，実験前毎に，棒グラフを増大させようとする際, 色々なイメージを思い浮かべ(多様な Mental Strategies を使用)，よりよい効果を得られる Mental Strategies を探すよう促した．NFT の結果を得た S1，M2 では最終的に同じ Mental Strategies に達し，S1，M2 が選択した Mental Strategies は一般的に NFT の効果を得やすいものである可能性が高い．一方で，M1 は Mental Strategies の選択は残りの被験者とは違うもので, 以上より，M1 の選択は失敗した可能性が高い．追加実験によりこの可能性を検証することにする．また，Nan らの研究でポジティブな Mental Strategies を選んだとき，良い効果が出たが, 本実験で NFT の効果を出した被験者は中立的な Mental Strategies を選択した．今後被験者を増やし, NFT の効果を出した被験者が最終的に選んだ Mental Strategies を調査し続け，Nan らの結果が普遍的でないことを証明できる．

最後に考えられる理由として(3)があげられる．これは Nan らの研究[7]で述べられており，NFT はすべての被験者に効果的に表れるものではない．α波帯域のパワーのうち上方のα波帯域のパワーを用いたとき，効果が表れなかった被験者は 21.4%や 50%と研究によってばらつきがある．本実験では被験者は 3 人のみであり，M1 がうまくいかなかった理由は上記(1), (2)の可能性もあることから断定はできない．よって M1 に対して，実験 1 を実施し，効果が表れないタイプかそれ以外かを判断する必要がある．

5. おわりに

本実験では脳波の同期が起きなかった．提案手法の NFT でも二人同時に NFT の効果を得ることはできなかった．しかし，提案手法で一人の被験者に効果を示す場合があることを示せた．今後，考察で述べた追実験を踏まえ，さらなる改良を目指す.

6. 参考文献

[1] Sterman, M.B., Egner,T.: FoundatioWenyad practice of neurofeedback for the treatment of epilepsy. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* vol.31 pp.21-35 (2006)

[2] Takahashi., J., Yasumura, A.,Nakagawa,E., W. and Inagaki M.：Chnages in negative and positive EEG shifts during slow cortical potential training in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a preliminary investigation. *NeuroReport* vol 25 No8 pp.618-623 (2014)

[3] Shibata, K., Watanabe, T., Sasaki, Y., Kawato,M.：Perceptual Learning Incepted by Decoded fMRI Neurofeedback Without Stimulus Presentation. *SCIENCE* vol.334 pp.1413-1415(2011)

[4] W,Nan, J.P.Rodrigues.,J, Ma., X. Qu., F, Wan.,P.I. Mak.,P.U.Mak., M.I.Vai, A, Rosa.：Individual alpha neurofeedback training effect on short term memory. *International Journal of Psychophysiology* vol86 pp.83-87 (2012)

[5] メディカルシステム研究所「最新脳波標準テキスト」<改訂 2 版> pp.29

[6] W, Nan.,F.,Wan., M.I. Vai and A, Rosa. : Resting alpha activity predicts learning ability in alpha neurofeedoback *frontier in HUMAN NEUROSCIENCE* vol 8 pp.1-7

[7] M. Kawasaki, Y. Yamada, Y. Ushiku, E. Miyauchi and Y. Yamaguchi Inter-brain synchronization during coordination of speech rhythm in human-to-human social interaction. SCIENCE REPORT pp.1-7 (2013)

音響測位における位相特性による誤差についての基礎検討

熊木逸人* (北大)† 諏訪部開 (北大) 中村将成 (北大) 秋山尚之 (総研大) 杉本雅則 (北大) 橋爪宏達 (情報研)

1 はじめに

近年，スマートフォンやタブレット端末などの急速な普及によって，あらゆる場所において情報サービスの提供を受けることが可能となった．それに伴い，人がどこにいるのか，物がどこにあるのかといった位置情報の重要性が高まっている．現在，位置情報を利用するアプリケーションにおいて広く普及している位置推定システムとして，GPS(Global Positioning System) が挙げられる．GPS は，複数の人工衛星から信号を受信することにより，受信機の位置を特定するシステムである．しかし，GPS の精度は数メートル程度であり，その誤差を許容できる場合でなければ使用することができない．また，屋内などの信号が遮蔽されてしまう可能性がある環境においては使用が困難となる．

そこで，屋内において位置情報をより高精度に推定するために様々な研究が行われている．屋内での位置推定手法には，音や光，電波などの信号を用いたものが提案されている．これらの中で音響信号を用いることの利点としては，光や電波と比較すると信号の伝搬速度が遅いために高い精度を得ることができるという点が挙げられる．

音響信号を用いた位置推定手法にも様々な方式が存在するが，三辺測量の原理を用いる場合，正確な送受信時刻の検出が重要となる．しかし，例えば図 1 のようなバースト信号を発信した場合，送受信側では信号の両端に歪みが生じる．その歪みのために信号パワーの閾値による判定では正確な受信時刻を検出することが困難となる．その問題を回避する位置推定手法が位相一致法 (Phase Accordance Method) [1] である．

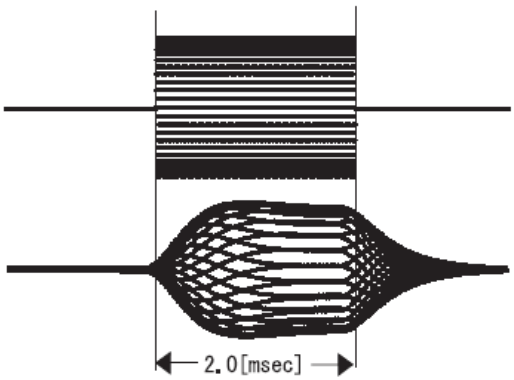


図 1 送信波形(上段) と受信波形(下段)
([1]より引用)

われわれのグループではこれまでに，位相一致法を用いた超音波ロボットトラッキングシステム [2]，モーションキャプチャシステム [3]，速度・距離高速推定システム [4]，スマートフォン向け 3 次元位置認識システム [5] 等を構築した．これらのシステムの評価実験を通して，測位誤差の主要な原因の 1 つがスピーカとマイクロフォンの位相特性に起因することを明らかにした．本論文では，スマートフォンを対象とした測位システムの性能を向上させるため，高域可聴周波数帯域におけるスピーカの位相特性について実験を行い，その結果と考察を示す．

2 関連研究

Active Bat [6] は，屋内に複数の超音波受信機を取り付け，Bat と呼ばれる超音波送信機からの超音波の伝達時間を利用して送信機の位置を推定する ToA (Time of Arrival) 方式のシステムである．Cricket [7] は，送信機から超音波と RF 信号を発信することで受信機の位置を推定する．このシステムは，ターゲットの角度を計測可能な Cricket Compass [8] というシステムに拡張されている．Cricket Compass は信号の位相比較による AoA (Angle of Arrival) 方式を使用しているため，高い計測分解能を持つ．よって，受信素子を短い基線長の小ユニットにまとめたにもかかわらず 5cm の計測精度を得ている．一方で角度計測の 2π のあいまい性を回避する必要があり，複数の受信素子を使用してそれを行っている．

一般的に，携帯端末に内蔵されているスピーカとマイクは，超音波を送受信するのに適していない．Filonenko ら [9] は，数種類の携帯端末の内蔵スピーカについて，17kHz から 22kHz の帯域の特性を調査している．WARLUS [10] では，サーバ PC から 21kHz の超音波と Wi-Fi 信号を同時に送出し，PDA(Personal Digital Assistant) で両方を受信する．超音波と Wi-Fi 信号の受信時刻の時間差で，PDA がサーバ PC と同じ部屋にあるか

*kumaki@main.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学工学部

否かを判定する．Tarzia らによって提案されたシステム [11] では，acoustic background spectrum を部屋ごとの fingerprint として利用する．この fingerprint を携帯端末で検知することで，どの部屋にいるのかを判定する．33 部屋を使って実験したところ，正答率は 69% と報告されている．BeepBeep [12] は，二つの PDA 間で，時刻同期を行うことなく ToA 方式による距離計測を行っている．Liu [13] らは，Wi-Fi 信号の RSSI(Received Signal Strength Indicator)による位置推定の結果を，BeepBeep のような距離計測を組み合わせることにより補正するシステムを提案した．ASSIST [14] は，スマートフォンからチャープ信号を送信し，TDoA(Time Difference of Arrival) 方式を用いて位置を計算する．受信機が利用できない時は，スマートフォン内蔵の加速度センサとカルマンフィルタを用いて位置計測を行う．実験での誤差は 30cm 以内であった．Yan らによって提案されたシステム [15] では，カーステレオを用いることで，車内において運転手と乗客のスマートフォンを識別する．Rishabh [16] らは，疑似乱数で作成した白色雑音を送信信号とし，背景音楽に紛れさせることによって，ユーザが雑音に気付かないように位置計測を行うシステムを提案した．誤差は 94% の割合で 20cm 以内であった．

3 位相一致法とその誤差要因

3.1 位相一致法

位相一致法では，送信機－受信機間の正確な測距を実現するために，図 2 のように周波数の異なる 2 つの正弦波を重ねることでできる波（sync pattern）をバースト信号として送信する．周波数がそれぞれ f_1，f_2 の二つの正弦波を用いるとすると，式 (1) の波形が得られる．

$$s(t) = a_1 \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \sin(2\pi f_2 t) \qquad (1)$$

sync pattern 中には，2 つの正弦波の位相が一致する点（epoch）が 1 つだけ存在する．この epoch の検出時刻を sync pattern の受信時刻とすることで，受信信号の端が歪んでいても，正確な受信時刻を得ることができる．以下に sync pattern から 2 つの周波数の異なる正弦波を分離し，それぞれの位相を計算する方法について述べる．

受信波形等を関数空間のベクトルとみなし，その内積を式 (2) の積分で定義する．

$$\langle f(t), g(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t)\overline{g(t)}dt \qquad (2)$$

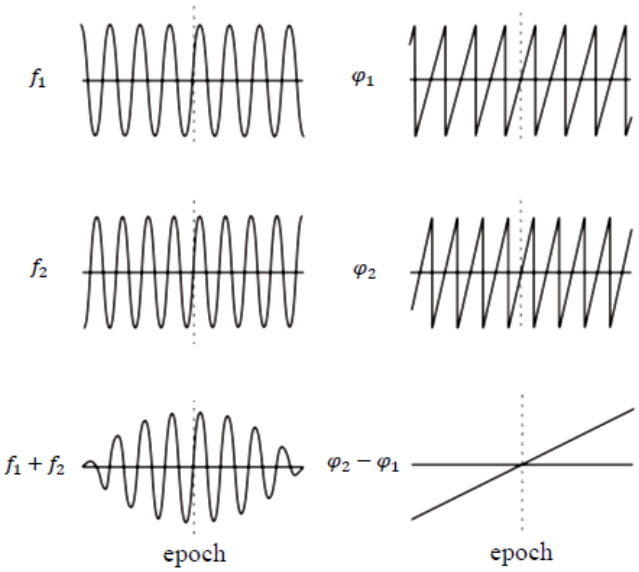


図 2　sync pattern
([1]より引用)

ただし，$\overline{g(t)}$ は $g(t)$ の複素共役である．ここで，積分時間 T は受信機の観測時間窓であり，sync pattern より短い時間に設定される．

式 (2) より，$\sin(\omega t + \varphi)$ と複素正弦波 $e^{j\Omega t}$ の内積は，

$$\langle \sin(\omega t + \varphi), e^{j\Omega t} \rangle = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \sin(\omega t + \varphi)\,\overline{e^{j\Omega t}} dt$$

$$= \frac{1}{2Tj} \int_{-T/2}^{T/2} (e^{j(\omega t+\varphi)} - e^{-j(\omega t+\varphi)}) e^{-j\Omega t} dt$$

$$= \frac{1}{2Tj} \int_{-T/2}^{T/2} (e^{j(\omega-\Omega)t+j\varphi} - e^{-j(\omega+\Omega)t-j\varphi}) dt$$

$$= \frac{1}{2Tj} \left(e^{j\varphi} \frac{e^{j(\omega-\Omega)T/2} - e^{-j(\omega-\Omega)T/2}}{j(\omega-\Omega)} - e^{-j\varphi} \frac{e^{j(\omega+\Omega)T/2} - e^{-j(\omega+\Omega)T/2}}{j(\omega+\Omega)} \right)$$

$$= \frac{1}{2j} \left(e^{j\varphi} \frac{\sin(\omega-\Omega)T/2}{(\omega-\Omega)T/2} - e^{-j\varphi} \frac{\sin(\omega+\Omega)T/2}{(\omega+\Omega)T/2} \right)$$

$$= \frac{1}{2j} \left(e^{j\varphi} \mathrm{sinc} \frac{\omega-\Omega}{2} T - e^{-j\varphi} \mathrm{sinc} \frac{\omega+\Omega}{2} T \right) \qquad (3)$$

となる．ここで，j は虚数単位，φ は複素正弦波に対する正弦波の位相のずれ，$\omega = 2\pi f$ は角周波数，$\mathrm{sinc}\, x = \sin x / x$ は標本化関数である．

式 (3) を用いると，式 (1) の sync pattern $s(t)$ と複素正弦波 $e^{j\omega_1 t}$ との内積は，

$$\langle s(t), e^{j\omega_1 t}\rangle = \frac{1}{2j}a_1(e^{j\varphi_1} - e^{-j\varphi_1}\mathrm{sinc}\omega_1 T) + \frac{1}{2j}a_2\left(e^{j\varphi_2}\mathrm{sinc}\frac{\omega_2-\omega_1}{2}T - e^{-j\omega_2}\mathrm{sinc}\frac{\omega_2+\omega_1}{2}T\right) \quad (4)$$

となる．$\langle s(t), e^{j\omega_2 t}\rangle$ についても式 (4) と同様に計算されるので，

$$\begin{pmatrix} 1 & sinc\frac{\omega_1-\omega_2}{2}T \\ sinc\frac{\omega_1-\omega_2}{2}T & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a_1e^{j\varphi_1} \\ a_2e^{j\varphi_2}\end{pmatrix} - \begin{pmatrix} sinc\omega_1 T & sinc\frac{\omega_1+\omega_2}{2}T \\ sinc\frac{\omega_1+\omega_2}{2} & sinc\omega_2 T \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a_1e^{-j\varphi_1} \\ a_2e^{-j\varphi_2}\end{pmatrix} = 2j\begin{pmatrix}\langle s(t), e^{j\omega_1 t}\rangle \\ \langle s(t), e^{j\omega_2 t}\rangle\end{pmatrix} \quad (5)$$

という $a_1e^{j\varphi_1}$，$a_2e^{j\varphi_2}$ を未知数とする方程式にまとめることができる．この方程式は厳密に解くことが可能である．

時間窓 T を十分長くとれば，sinc$x$ は 0 に近似することができるので，式 (5) は，

$$\langle s(t), e^{j\omega_1 t}\rangle = \frac{1}{2j}a_1e^{j\varphi_1}$$

$$\langle s(t), e^{j\omega_2 t}\rangle = \frac{1}{2j}a_2e^{j\varphi_2} \quad (6)$$

という２つの等式になる．これにより時間窓 T の中心を $t=0$ とした時刻原点における２つの正弦波の位相 φ_1，φ_2 を得ることができるので，２つの正弦波の位相一致点は，

$$t = -\frac{\varphi_1-\varphi_2}{\omega_1-\omega_2} = -\frac{\varphi_1-\varphi_2}{2\pi(f_1-f_2)} \quad (7)$$

と計算することができ，この時刻 t が，受信した sync pattern の epoch となる．

われわれはこれまでに，位相一致法での 3 m 測距実験において 0.03 mm の精度を実現できることを確認した [1]．本手法を用いた三辺測量により，次節に示すような３次元測位が可能となる．

3.2 ３次元位置計算

信号の送信時刻や受信時刻を用いて位置計算を行う方法として ToA（Time of Arrival）と TDoA（Time Difference of Arrival）という方式がある．ToA 方式は，送信機－受信機間の，信号の伝搬時間を計測することで位置計算を行う方式である．ToA 方式では，３次元での位置計算に最低３台の送信機を必要とする．各送信機の位置をそれぞれ $(x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2),(x_3,y_3,z_3)$，受信機の位置を (x,y,z)，各送信機からの信号の伝達時間をそれぞれ $\Delta t_1,\Delta t_2,\Delta t_3$，音速を c とすると，式 (7) のような連立方程式によって位置を計算することができる．

$$\begin{cases}(x_1-x)^2+(y_1-y)^2+(z_1-z)^2 = c^2\Delta t_1^2 \\ (x_2-x)^2+(y_2-y)^2+(z_2-z)^2 = c^2\Delta t_2^2 \\ (x_3-x)^2+(y_3-y)^2+(z_3-z)^2 = c^2\Delta t_3^2\end{cases} \quad (7)$$

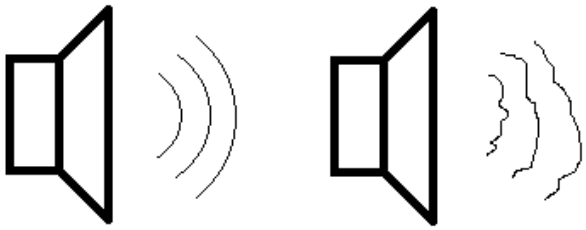
このように，ToA 方式では信号の伝達時間を求めるために送信機－受信機間で時刻同期をとらなければならない．時刻同期としては，NTP (Network Time Protocol) や送信側からの電磁波を用いる方法などが挙げられる．これらの方法により，数 10μs (測距精度 1 cm 程度) の時刻同期をスマートフォンで実現するのは現時点では難しい．

一方，TDoA 方式は時刻同期を必要としない．こちらの方式では，複数の送信機と受信機の距離差を用いて位置計算を行う．また，３次元での位置計算には最低４台の送信機が必要となる．送信機 i の位置を $\boldsymbol{p_i}=(x_i,y_i,z_i)$，受信機の位置を $\boldsymbol{p}=(x,y,z)$，各送信機からの信号の受信時刻をそれぞれ t_1,t_2,t_3,t_4，音速を c とすると，式 (8) のような連立方程式によって位置を計算することができる．なお，$\|\boldsymbol{a}\|$ はベクトル $\boldsymbol{a}$ のノルムである．

$$\begin{cases}\|\boldsymbol{p}_1-\boldsymbol{p}\|-\|\boldsymbol{p}_2-\boldsymbol{p}\| = c^2(t_1-t_2)^2 \\ \|\boldsymbol{p}_1-\boldsymbol{p}\|-\|\boldsymbol{p}_3-\boldsymbol{p}\| = c^2(t_1-t_3)^2 \\ \|\boldsymbol{p}_1-\boldsymbol{p}\|-\|\boldsymbol{p}_4-\boldsymbol{p}\| = c^2(t_1-t_4)^2\end{cases} \quad (8)$$

3.3 位相一致法の誤差要因

位相一致法を用いた推定結果には，いくつかの要因により誤差が生じる．その一つとして，音響信号の送信機として用いるスピーカの位相特性が挙げられる．位相一致法では，送信機からの音響信号が理想的な球面波であることを仮定している．しかし，図 3 のように，スピーカから送信される波形は滑らかな球面波ではない．よって，送信点からの距離が等しい受信点であるにもかかわらず，スピーカからの方向に依存して音波の到着時間に差が生じる．正確な３次元位置認識を実現するためには，位相特性による誤差を補正する必要がある．



理想的な波形　　実際の波形

図 3　スピーカの位相特性

4 位相特性計測実験

4.1 実験設定

スピーカの位相特性による誤差を補正するため，これに関する調査実験を行った．実験装置を以下に示す．

NF 回路設計ブロック社のマルチファンクションジェネレータ WF1948（図 4）で 14.75kHz と 15.25kHz の正弦波を重ねた sync pattern を生成し，それを自作のアンプ（図 5）で増幅したものを送信機で送信した．送信機にはダイナミックスピーカと圧電スピーカをそれぞれ用い，前者には Fostex 社の FT200D（図 6）を，後者には THRIVE 社の OMR20F10-BP-310（図 7）を採用した．

これらを用いて送信機の位相特性を調査するため，オリエンタルモーター社の電動スライダ SPVM8L150UA にリオン社の計測用マイクロフォン UC-31 を乗せて水平方向に動かした後，受信機の位相特性が結果に含まれないよう，各点において受信機を送信機の中心へと向けてから，受信した音波を用いて ToA 方式で推定距離を算出した．時刻同期はファンクションジェネレータからの電気信号で行った．実験環境を図 8 に示す．実験は防音室で行い，信号の検出や位置計算は PC で行った．

図 4　WE1948

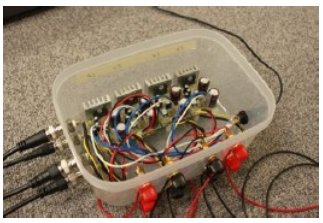


図 5　信号増幅器

図 6　FT200D

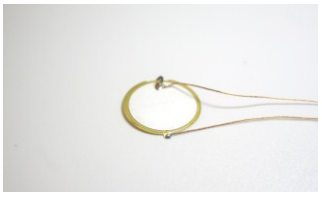


図 7　OMR20F10-BP-310

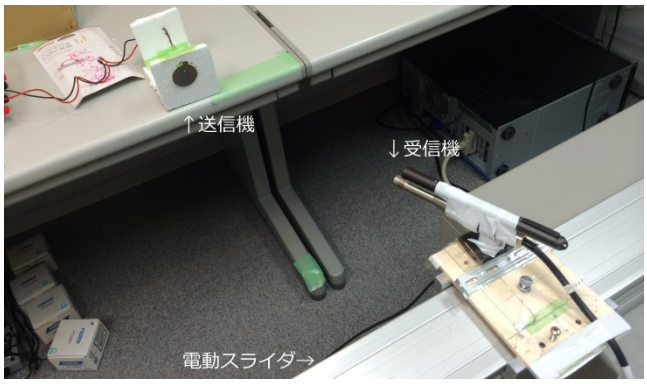


図 8　実験環境

4.2 ダイナミックスピーカの位相特性

ダイナミックスピーカを用いた計測では，初期位置における送信機と受信機の距離を 60cm とし，そこから水平方向に-10 度から+10 度の範囲を 1 度ずつ計測した．室温は摂氏 24 度であった．計測は各点 10 回連続で行い，21 点での計測を 1 セットとして 3 セット繰り返したが，標準偏差は高々1mm 程度であった．

その結果を図 9 に示す．横軸は送信機と受信機の角度で，縦軸は推定距離と実際の距離の誤差を cm 単位で表している．1，2，3 セット目の結果が，それぞれ実線，破線，点線である．

この結果から，ある程度の傾向は読み取れるものの，ダイナミックスピーカの位相特性は 1 度ごとの変化が大きく，各セット間の変動も大きいことがわかる．

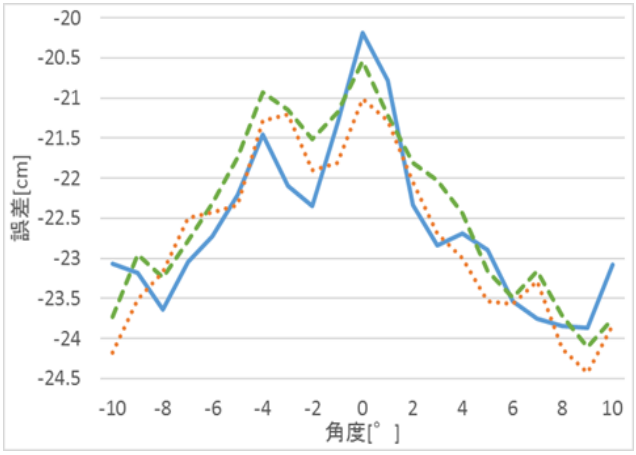


図 9　ダイナミックスピーカの位相特性

4.3 圧電スピーカの位相特性

圧電スピーカを用いた計測では，初期位置における送信機と受信機の距離を 10cm とした場合と，30cm とした場合の計測を行った．前者は，そこから水平方向に-40mm から+40mm の範囲を 1mm ずつ計測した．角度にして，およそ-22 度から +22 度の範囲を計測したことになる．

室温は摂氏 28 度であった．計測は各点 100 回連続で行ったが，明らかな外れ値である-40mm の結果を除き，標準偏差は高々6mm 程度で，その平均値はおよそ 2mm であった．なお，この計測では，スピーカの直径が 35mm であることから，-40mm から+40mm の範囲では送信機と受信機はほぼ正対し続けるので，受信機を送信機の中心へ向ける作業は行っていない．

計測の結果を図 10 に示す．横軸は，マイクを初期位置から水平方向に動かした距離を mm 単位で表している．縦軸は，初期位置における推定距離を基準として算出した実際の距離と推定距離との誤差を cm 単位で表し，一目盛りは 10cm である．エラーバーは標準偏差を示す．

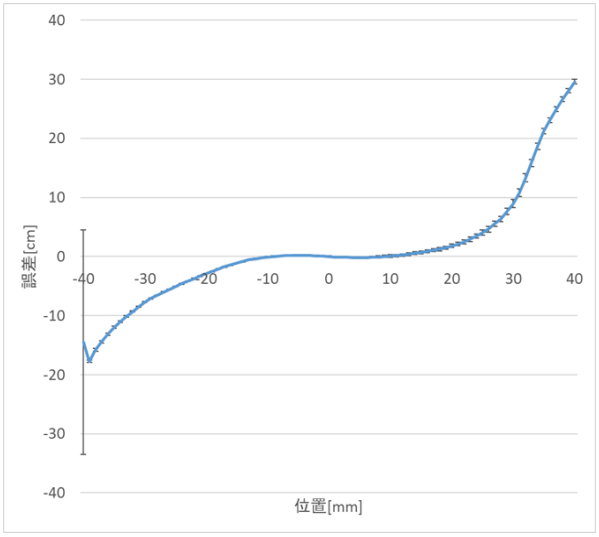


図 10　圧電スピーカの位位相特性 I

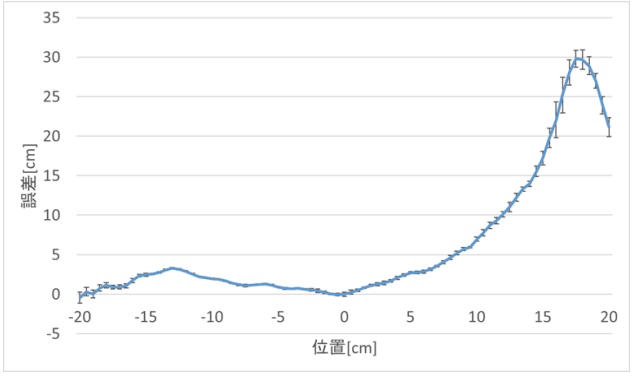


図 11　圧電スピーカの位相特性 II

また，初期位置において送信機と受信機の距離を 30cm とした場合は，そこから水平方向に-20cm から+20cm の範囲を 0.5cm ずつ計測した．角度にして，およそ-34 度から+34 度の範囲を計測したことになる．室温は摂氏 28 度であった．計測は各点 100 回連続で行ったが，標準偏差は高々2cm 程度で，その平均値はおよそ 4mm であった．計測の結果を図 11 に示す．各軸の示すものは図 10 と同様であるが，図 11 は横軸も cm 単位であり，縦軸の一目盛りは 5cm である．エラーバーは標準偏差を示す．これらの結果から，圧電スピーカの位相特性は変化が滑らかであることがわかる．

5 考察

5.1 系統誤差

4 章の実験からダイナミックスピーカ圧電スピーカともに，異なる計測点での計測値にばらつきがあるものの，各測定点での標準偏差が小さいことが確認できた．

よって，実験結果は，偶然的な誤差よりも系統的な誤差の影響を大きく受けていると考えられる．したがって，この系統誤差の大きな要因であるスピーカの位相特性を考慮した補正計算を施すことで，位置推定の精度向上が期待できる．

また，今回の実験で用いたダイナミックスピーカは日常的に用いられる一般的なスピーカであり，コイルに電流を流すことで振動板を振動させ，音を発生させている．

一方，圧電スピーカは振動板に貼りつけてある圧電素子に電圧をかけることによって圧電素子が変形し，振動板が振動することによって音が発生する仕組みになっている．この構造の違いが，位相特性の滑らかさとして実験結果に表れたと考えられる．位相特性は滑らかである方が補正計算を行いやすいため，圧電スピーカを送信機として位置推定を行うことで，より高い精度を得ることができると考えられる．

5.2 位相特性の補正

位相特性の影響を補正するためには，送信機として用いるスピーカの位相特性をあらかじめ計測しておく必要がある．異なる複数の計測点からの計測データを用いて補間することにより，任意の点での位相特性の推定が可能となる．得られた位相特性を測距結果に反映させて補正することで，測位性能の改善が期待される．さまざまな補間法の中からどれを選択し，どのように補正を行えばより良い精度が得られるのか今後検討していきたい．現在考えている方法の 1 つとしては，B-スプライン曲面で補間を行い，非線形最小二乗法を用いて補正を行うという方法が挙げられる．

6 むすび

本稿では，超音波を用いた位置推定手法として位相一致法について述べ，その誤差要因の 1 つであるスピーカ

の位相特性についての実験結果を示した．次に，より精度を高めるためにスピーカの位相補正が必要であることを示した．

実験により得られた位相特性を比較すると，ダイナミックスピーカに比べて圧電スピーカの位相特性は滑らかであり，補正に適しているために，位置推定の精度をより高めることが期待できる．今回の実験は１次元の位相特性調査のみであったが，今後は２次元の位相特性調査も行い，それによって得られたスピーカの位相特性を考慮した補正計算を行うことによって，位置推定の精度向上に取り組んでいく予定である．

参考文献

[1] 橋爪宏達, 金子歩, 杉本雅則, “位相一致法による正確な超音波位置認識手法とその特性”, 電子情報通信学会論文誌. A, Vol.J-91A, pp. 435-447, 2008.

[2] Ito, T., Sato, T., Tulathimutte, K., Sugimoto, M., Hashizume, H., “A Scalable Tracking System Using Ultrasonic Communication”, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences,* Vol. E92-A, No. 6, pp. 1408-1416, 2009.

[3] Sugimoto, M., Kanie, N., Nakamura, S., Hashizume, H., “An Accurate and Compact 3D Tracking System Using a Single Camera and Ultrasound”, *Journal of Location Based Services*, Volume 8, Issue 1, pp.18-35, 2014.

[4] 佐藤哲也, 杉本雅則, 橋爪宏達, “高精度超音波移動体測位のための位相一致法の拡張手法”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J92-A, No.12, pp.953-963, 2009.

[5] Nakamura, M., Akiyama, T., Sugimoto, M., Hashizume, H., “3D FDM–PAM: Rapid and Precise Indoor 3D Localization using Acoustic Signal for Smartphone”, In *Proceedings of UbiComp 2014*, Seattle, WA (to appear in 2014).

[6] Ward, A., Jones, A. and Hopper, A., “A New Location Technique for the Active Office”, *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, No. 5, pp. 42-47, 1997.

[7] Priyantha, N., Chakraborty, A. and Balakrishnan, H., “The Cricket Location Support System”, In *Proceedings of ACM MobiCom2000*, Boston, MA, pp. 32-43, 2000.

[8] Priyantha, N., Miu, A., Balakrishnan, H. and Teller, S., “The Cricket Compass for Context-aware Mobile Applications”, In *Proceedings of ACM MobiCom2001*, Rome, Italy, pp. 1-14, 2001.

[9] Filonenko, V., Cullen, C. and Carswell, J., “Investigating Ultrasonic Positioning on Mobile Phones”, In *Proceedings of IEEE IPIN 2010*, Zurich, Switzerland, pp.1-8, 2010.

[10] Borriello, G., Liu, A., Offer, T., Palistrant, C. and Sharp, R., “WALRUS: Wireless Acoustic Location with Room-Level Resolution using Ultrasound”, In *Proceedings of ACM MobiSys 2005*, Seattle, WA, pp.191-203, 2005.

[11] Tarzia, S., Dinda, P., Dick, R. and Memik, G., “Indoor Localization without Infrastructure using the Acoustic Background Spectrum”, In *Proceeding of ACM MobiSys2011*, Washington, DC, pp. 155-168, 2011.

[12] Peng, C., Shen, G., Zhang, Y., Li, Y. and Tan, K., “BeepBeep: A High Accuracy Acoustic Ranging System using COTS Mobile Devices”, In *Proceedings of ACM SenSys 2007*, Sydney, Australia, pp. 1-14, 2007.

[13] Liu, H., Gan, Y., Yang, J., Sidhom, S., Wang, Y., Chen, Y., and Ye, F., “Push the limit of WiFi based localization for smartphones”, In *Proceedings of ACM MobiCom2012*, Istanbul, Turkey. pp. 305-316, 2012.

[14] Höflinger, F., Zhang, R., Hoppe, J., Bannoura, A., Reindl, L., Wendeberg, J., Buhrer, M. and Schindelhauer, C., “Acoustic Self-calibrating System for Indoor Smartphone Tracking(ASSIST)”, In *Proceedings of IEEE IPIN 2012*, Sydney, Australia, pp. 1-9, 2012.

[15] Yang, J., Sidhom, S., Chandrasekaran, G., Vu, T., Liu, H., Cecan, N., Chen, Y., Gruteser, M., and Martin, R. P., “Detecting driver phone use leveraging car speakers”, In *Proceedings of ACM MobiCom2011,* Las Vegas, NV, pp. 97-108, 2011.

[16] Rishabh, I., Kimber, D. and Adcock, J., “Indoor Localization using Controlled Ambient Sounds”, In *Proceedings of IEEE IPIN 2012*, Sydney, Australia, pp. 1-10, 2012.

SOM によるフォーメーション形成に関する研究

栗田 佑磨* 岩館 健司 鈴木 育男 渡辺 美知子
(北見工業大学)†

1 はじめに

近年，複数のロボットを協調させ，様々なタスクを達成する Swarm Robotics に注目が集まり，工学からエンタテインメントに至るまで幅広い研究成果が報告されている[1][2]．複数のロボットが協調動作を行うことにより作業の効率化や大型物体の運搬など単独ロボットでは不可能な作業が可能となる．中でも，マルチロボットシステムのフォーメーション制御に関する幅広い応用が期待されており，監視システムや救助システムなどに使われている．本研究では，マーチングなどの行進にみられる整列されたフォーメーション制御を実現するために複数ロボットのフォーメーション形成方法について検討を行う．本稿では Self Organizing Map (SOM) を使用したフォーメーション形成を提案し，シミュレーション実験を通じて，フォーメーション形成が可能となることを示す．

2 提案手法

2.1 Self Organizing Map(SOM)

SOM はニューラルネットワークの一種で，与えられた入力情報の類似度をマップ上での距離で表現するモデルである．SOM は入力層と競合層の 2 層構造を持っている．SOM の学習アルゴリズムは入力パターンが与えられた際，そのパターンに最も近いニューロン（勝者ニューロン）とその近傍ニューロンが，自身のベクトルを入力パターンに近づけることを繰り返すことによって行われる．

2.2 システムについて

提案手法についてのフローチャートを Fig.1 に示す．本研究では複数ロボットのフォーメーション形成に SOM の学習法を用いる．N 個のロボットをフィールド内にランダムの配置で生成させ，ターゲットとなる入力もフィールド内にランダムで生成させる．各ロボットの目標座標を競合ニューロンとし，前述した通り入力パターンから最も近いニューロンを求め，勝者ニューロンとする．次に勝者ニューロンと近傍ニューロンを式(1)に従い更新する．

$$\alpha \times \exp\left(-d^2/2.0\sigma^2\right) \tag{1}$$

ここでα は学習率，d は勝者ニューロンと各ニューロンへの距離，σ は分散である．学習率と分散を更新し入力パターンを生成し，プロセスを繰り返す．

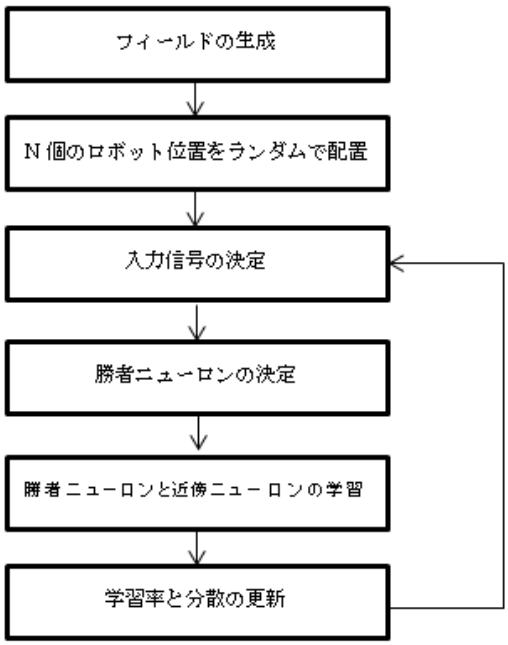


Fig.1 動作フローチャート

3 実験

3.1 実験設定

今回の実験ではシミュレーション上で正方形，円，円環のフィールドを使った実験をする．フィールドの範囲を Table1 に示す．

Table1 フィールド形状と範囲

フィールド形状	フィールド範囲
正方形	0≦x≦200, 0≦y≦200
円	0≦r≦100
円環	50≦r≦100

*f1110800430@std.kitami-it.ac.jp
†北見市公園町 165 番地北見工業大学

ロボットの数は N =50 とする．学習率α とσ を式(2), (3)に従い更新する．

$$\alpha_{t+1} = \gamma \alpha_t \quad (2)$$

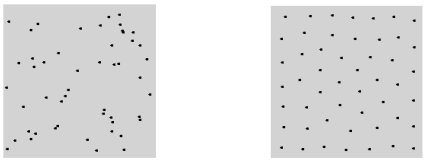
$$\sigma_{t+1} = \eta \sigma_t \quad (3)$$

ここでγ，η は学習係数であり，γ =0.9999，η =0.999 とする．α_t の初期値はα_0 =0.9，σ_t の初期値はフィールドの直径が 200 であり，σ の有効範囲がσ のおよそ 3 倍であるため，$\sigma_0 = 200.0/3.0\sqrt{N}$ とする．σ ＜0.00001 となった場合にはσ =0.00001 にする．

3.2 実験結果

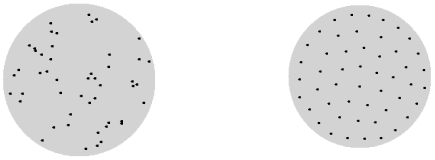
実験結果について Fig.2-4 に示す．(a)に初期状態，(b)に 50000 回のニューロン更新後の状態を示す. Fig.5 に正方形の 50000 回までの各ニューロンの最短近傍距離の平均と分散のグラフを示す．(a)の図では更新を重ねるごとに値の振れ幅が減少して一定の値に近づいている．これは(b)の図のように分散が減少していることから，最短近傍距離が均一化されているためである．

正方形，円，円環のどのフィールドでもおおよその整列されたフォーメーションを形成することができた．いずれのフィールドでも近傍の距離がおおよそ一定の位置でのフォーメーションを形成しており，近傍の距離がすべて均等に近いフォーメーションを形成することができた．



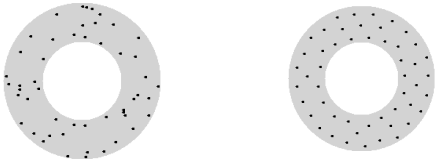
(a)初期状態　　(b)ニューロン更新後の状態

Fig.2 正方形の初期散布図と更新後の位置



(a)初期状態　　(b)ニューロン更新後の状態

Fig.3 円の初期散布図と更新後の位置



(a)初期状態　　(b)ニューロン更新後の状態

Fig.4 円環の初期散布図と更新後の位置

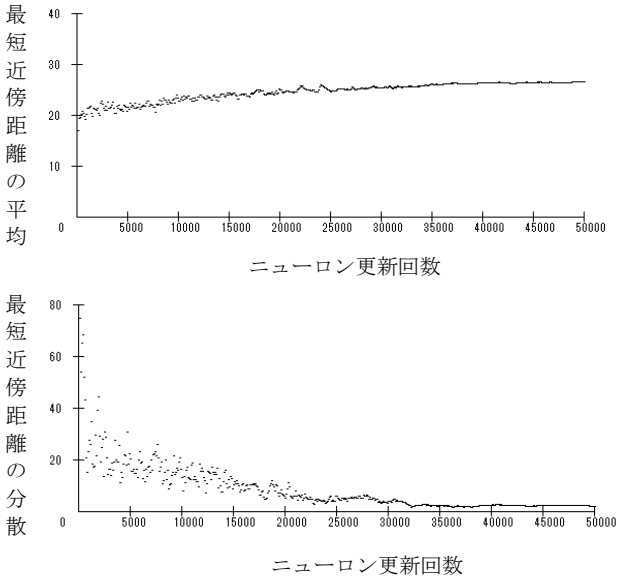


Fig.5 正方形の各ニューロンの最短近傍距離の平均と分散のグラフ

4 まとめ

本研究では複数ロボットによるフォーメーション形成を実現するため，SOM を使用したフォーメーション形成について提案した．シミュレーション実験の結果から，近傍の距離がすべて均等に近いフォーメーションを形成することができた．本稿では図形フィールド内でのフォーメーション形成を行った．今後は複数個の図形フィールドにおけるフォーメーション形成について検討していきたい．

参考文献

[1] Javier Alonso-Mora, Andreas Breitenmoser, Martin Rufli, Roland Siegwart and Paul Beardsley Multi-Robot System for Artistic Pattern Formation

[2] J. Alonso-Mora, A. Breitenmoser, M. Rufli, P. Beardsley, R. Siegwart, ”Optimal Reciprocal Collision Avoidance for Multiple Non- Holonomic Robots”, in Proc. Int. Symp. on Distributed Autonomous Robotics Systems, 2010.

[3] Javier Alonso-Mora, Andreas Breitenmoser, Martin Rufli, Stefan Haag, Gilles Caprari, Roland Siegwart and Paul Beardsley DisplaySwarm: A robot swarm displaying images “IROS 2011 open research demonstration”

染色体数可変 GA に関する基礎検討

古川真衣* 村本充 大島功三 大宮学

(苫小牧高専)† (旭川高専) (北大情報基盤)

1 はじめに

遺伝的アルゴリズム（GA:genetic algorithm）は，自然界の生物進化を模倣する最適化手法の一つであり，選択，交叉，突然変異などの操作によって世代を重ねて進化を繰り返していく[1]．GA には多くの改良型があるが，遺伝子長が増減する手法は見当たらない．本研究では，遺伝子長（染色体数）を増減させる新しい手法「染色体数可変 GA(FCGA)」を提案する．また，提案する手法を単峰性，多峰性の関数の最小値を求める問題について，従来の手法と比較し，提案手法の有効性を確認する．

次に，FCGA の応用例として，アンテナの自動設計を行う．無線通信で使用されるアンテナの自動設計に関する研究は以前から行われているが[2]，確立したものはなく，広く一般に使われている手法はない．本研究では，人間が思考により設計するのと類似する形状に収束するようなアンテナ自動設計法の開発を目指し，FC GA を用いた自動設計手法に関する基礎検討を行う．

2 遺伝的アルゴリズム（GA）

2.1 進化論

総合説（ダーウィンの進化論）によれば，生物は多くの子を産み，その多くの子は限られた餌や空間などを巡って，生存競争を行うが，この競争に生き残る個体は他の個体より環境に適応した変異（有利な変異）を持つ個体である可能性が高いという基本的な考えに基づいている．これを自然選択と呼び，自然選択が繰り返された結果，生物がより環境に適応した方向に変化していくのが「進化」である．なお，大きな進化は，遺伝子の組み合わせが変わる「交叉」ではなく，遺伝子の一部が変わる「突然変異」によって発生する．多くの突然変異は環境に適せず滅亡する（ダーウィン淘汰）が，環境に適した変化（有利な突然変異）が生じると，自然選択で生き残り，それが蓄積された結果として大きな進化が起きると考えられる[3].

総合説では，進化は少しずつ漸進的に起こることになる．しかし，実際の生物の進化は急激に進んで新種が誕生し，その後滅びるまではほとんど変化しないことが 1960 年代以降に明らかになった．つまり，有利な突然変異は存在せず，突然変異のほとんどは中立的なもので自然選択の対象とならないということである．現在では，孤立する小さい集団において，ある遺伝子が偶然性により集団に広まる遺伝的浮動によって進化が起こるという中立説が定説となっている．中立説では，孤立の原因がなくなり，古い種と新種が混ざり合ったときに競争が生じ，このとき自然選択によって，新種が生き残れば古い種が新種に置き換わり大きな進化が起きる．

2.2 古典的 GA

古典的 GA は総合説（ダーウィンの進化論）を模倣し，選択，交叉，突然変異などの操作を繰り返し行い，適応度の高い個体（最適解）を探索するメタヒューリスティクスである[1]．探索空間が広く，全探索が不可能な問題において，古典的 GA は比較的少ない計算量で良好な解が求まる可能性が高い利点がある．しかし，世代毎に評価計算を行う繰り返し演算が必要であり，収束性が悪いと計算負荷は大きくなる．

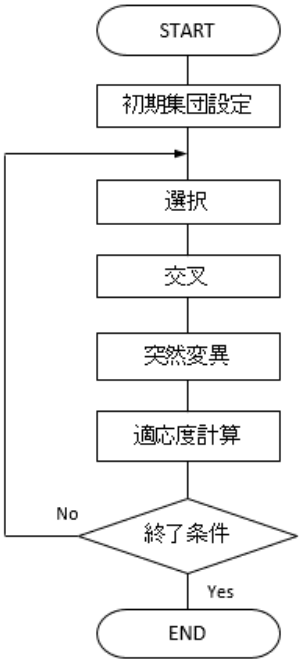


図 1 古典的 GA のフローチャート

*fm13811@tomakomai-ct.jp
†苫小牧市錦岡 443

古典的 GA のフローチャートを図 1 に示す．個体数を N としたとき，アルゴリズムは以下の通りである．

1. N 個の個体をランダムに生成する［初期集団］.
2. 集団の中から次世代に残す個体を選択する［選択］. 代表的な選択法に, 個体の適応度に比例して次世代に残る確率を決めるルーレット選択がある．選択されなかった個体は，次世代に引き継がれずに淘汰される.
3. 二個体の遺伝子の一部を交換し，新たな遺伝子（子）を作る［交叉］. 交叉は，切断点の数により一点交叉，二点交叉，多点交叉などがある.
4. 遺伝子の一部をランダムに他の値に変化させる［突然変異］. 生物界では, 放射線や活性酸素等による遺伝子の切断等に相当する.
5. 評価関数を用いて各個体の適応度を計算し，終了条件を満足しているか評価する［評価］.
6. 終了条件を満足した場合，最適解が求まったものとし終了する．終了条件を満足していない場合，2.以降の処理を繰り返す.

なお，古典的 GA では，集団サイズや交叉率，突然変異率などのパラメータや評価関数の設定によって収束性が大きく影響を受けるため，パラメータ選定は難しい.

2.2 パラメータフリーGA (PfGA)

古典的 GA において，集団サイズなどのパラメータに依存して性能が大きく変動する問題を解決するため，パラメータ設定が不要な PfGA (Parameter-free Genetic Algorithm) が提案されている. PfGA では, 全探索空間を S とし， S に対して局所集団 S’を設け，局所集団 S’に対して選択，交叉，突然変異を行う．アルゴリズムの概要は以下のとおりである[4].

1. S から 1 個体を無作為に取り出し，これを S’の初期局所集団とする.
2. S から 1 個体を無作為に取り出し，これを局所集団 S’に追加する.
3. 局所集団 S’から無作為に 2 個体選び出して，これを親 P_1，P_2 とし，交叉を行う.
4. 交叉によって生成された 2 個体の子のうち，1 個体に対して確率 1/2 で突然変異を適用する.
5. 生成された 2 個体の子 C_1，C_2 と 2 個体の親 P_1, P_2 の計 4 個体の中で選択，淘汰し，4 個体の適応度の大小に応じて選択した 1 個体ないし 3 個体を局所集団 S’に戻す.
6. 集団数が 2 以上のときは手順 3 に，集団数が 1 のときは手順 2 に戻って繰り返す.

手順 5 における選択は次のように行う.

a. C_1, C_2 ともに P_1, P_2 よりも良い場合は，C_1, C_2 と，P_1 と P_2 の適応度の大きい方の合計 3 つが S’に残る(集団数は 1 増加).
b. C_1, C_2 ともに P_1, P_2 より悪い場合は, P_1 と P_2 の適応度の大きい方が S’に残る(集団数は 1 減少).
c. P_1, P_2 のうち一方が C_1, C_2 よりも良い場合は，P_1 と P_2 の適応度の大きい方と，C_1 と C_2 の適応度の大きい方を S’に残る.
d. C_1, C_2 のうち一方が P_1, P_2 よりも良い場合は，C_1 と C_2 の適応度の大きい方が S’に残り，さらに S から無作為に 1 個体を S’に追加する.

局所集団 S’の個体数が古典的 GA の集団サイズに対応するが，PfGA ではこれが探索中に可変する．良い個体が見つかると増加し，良い個体が見つからないときは減少するが，多くの世代では S’のサイズはわずか 2 個体である．また，世代ごとの適応度の計算は集団すべてについて行うのではなく，親 2 個体と子 2 個体の合計 4 個体の 1 家族についてのみ行うため，世代ごとの演算量が圧倒的に小さいという利点を有する.

2.3 染色体数可変 GA（FCGA）

古典的 GA では，交叉や突然変異によって進化を繰り返していくが，遺伝子長は一定のまま増減することはない．本研究で新たに提案する「染色体数可変 GA (FCGA: flexible chromosomes genetic algorithm)」 では，染色体をもち，進化の過程で染色体数が変化する．すなわち，遺伝子長が変化するのが大きな特徴である[5]. また，中立説を模倣し，小さい集団で発生した種を他の種と混ぜて競争させる手段を有することも他の GA にはない大きな特徴である.

FCGA では，より良い個体が一定期間誕生しない場合に染色体数を変化させる．染色体数が増えることを「種の進化」, 染色体数が減少することを「種の退化」と呼ぶことにする．染色体数を増減させるタイミングは，局所解に陥っていて，さらに良い最適解を見つけるには突然変異に期待するしかないような状態が続いているときがよいと考えられる.

種の進化と退化の方法について説明する．染色体数が N である現在のエリート遺伝子が，直前の種のエリートよりも優れているときは進化させる（染色体数を N+1 に

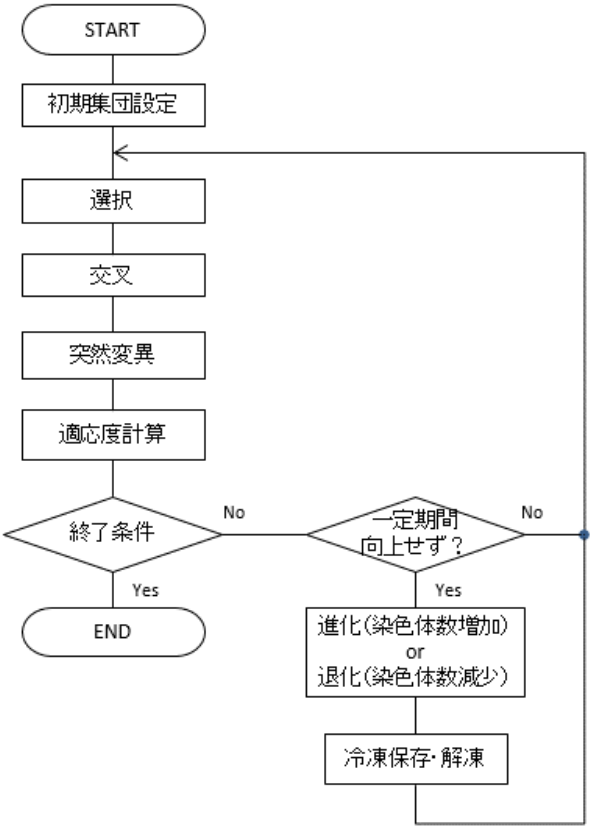
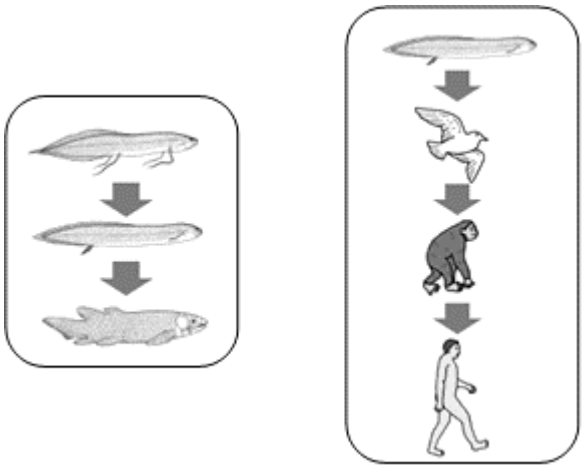


図 2　FCGA のフローチャート

する). 逆に劣っているときは退化させる (染色体数を N-1 にする). つまり，最適解に近づくほど染色体数は増加し，最適解が見つからないときは染色体数が減少する．染色体数が少ないほど探索空間は小さい．したがって，染色体数を徐々に増加させていくことは，探索空間が小さく収束の早い簡単な問題から計算をはじめ，その後徐々に複雑な問題にレベルアップさせていくことに対応する．このように，染色体数を徐々に増加させれば最適解が効率よく求まる可能性に期待できる．

次に，種の保存について説明する．染色体数を増減し，種が変わるとき，そのときのエリート遺伝子を保存することを「冷凍保存」と呼ぶことにする．また，次の種の遺伝子が冷凍保存されている場合に，その遺伝子を再び集団に戻すことを「解凍」と呼ぶことにする．解凍した遺伝子を用いることは，染色体数の可変に対応するエリート戦略と考えることができる．また，少ない人口で計算し，解凍のタイミングを工夫すれば，中立説における遺伝的浮動を実現することができる．しかし，解凍した遺伝子により，以前と同じ局所解に収束する可能性が高くなる欠点もある．



(a) 古典的 GA の進化　　(b) FCGA の進化

図 3 進化のイメージ

FCGA のフローチャートを図 2 に示す．古典的 GA のフローチャートにおいて，終了条件を満たさないときの処理が追加となっているだけである．したがって, FCGA はどのような古典的 GA にも適用することが可能である．

古典的 GA では，染色体の長さが変わらないので，ある 1 つの動物の進化を模倣していることに対応する．このイメージ図を図 3(a)に示す．一方，FCGA では，染色体の異なる個体が誕生するが，これは図 3(b)のように新たな動物の誕生を模倣するものであると考えられる．自然界は，多数の動物が共存しながら進化を繰り返しており，1 つの動物についてだけ進化を繰り返していくよりも，多くの動物が共存する環境で進化をさせる方がより現実的である．例えば，ある環境に適した魚を求めようとしたとき，従来の遺伝的アルゴリズムを用いた最適化では，その環境に適しているものは例えばサンマであるという結論がでるかもしれない．しかし，FCGA を用いた最適化の場合には，その環境には魚よりも哺乳類の方が適していて，さらに最も環境に適したものは人間であるというように，種自体が進化していくようなイメージとなる．

3 FCGA の性能評価

一般に，GA は高い大域的探査能力をもっており，最適解の近傍を求めることができるが，局所探索能力が低いため，最適解にはなかなかたどり着けない欠点がある．その欠点を補うため，進化型最適化手法である GA と局所探索手法を併用したハイブリッド GA が研究されている[6]. 例えば, GA と傾斜法を組み合わせる方法がある．

これは，まず GA によりある程度良い解を求め，その点に対して傾斜法を適用する．GA で最適解の近傍が求まっている場合はよいが，GA で求めた点が最適解近傍でないときは，局所解に収束し，いったん局所解に収束すると傾斜法だけではその局所解から抜け出すことができない．そのため，多峰性の場合には最適解が求まりにくく，2 つの手法の長所を十分に引き出しているとは言い切れない．

FCGA は，複数の手法をハイブリット化せずに，GA のもつ大域的探査能力を維持したままで，局所探索能力を兼ね備えている．さらに，冷凍保存機能によってエリート戦略をも同時に実行可能であり，解探索の収束性を損なうことがない手法である．すなわち，FCGA は，大域探索と局所探索の効果を併せ持ち，最適解を効率的に探索することが期待される GA といえる．

FCGA の有効性を確認するため，単峰性および多峰性の関数の最小値を求める問題を解いてみる．なお，今回使用する FCGA は，PfGA に対して染色体可変機能を付加した FCGA である．

3.1 単峰性関数の最小値探索

単峰性関数として，次の Rride 関数を用いる[7].

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{i} x_j\right)^2$$

$$-8 \le x_i \le 8$$

n=1 のときは，

$$f(x) = {x_1}^2$$

の 2 次関数であり，最小値の探索には勾配法などが適しており，GA を使うまでもないが，n が大きくなるにつれ，メタヒューリスティクスが有効となる．

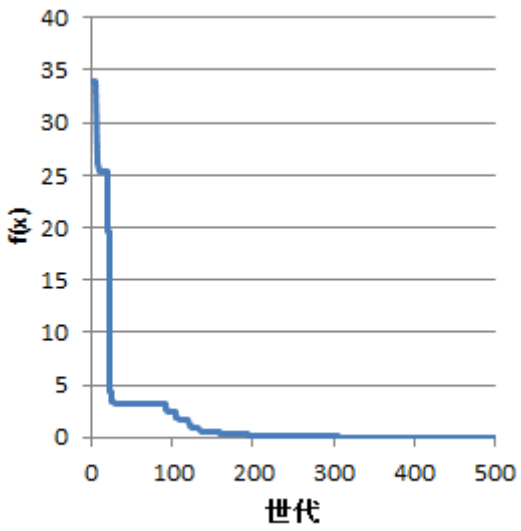
本稿では，n=3 での最小値探索の試行を行う．n=3 のとき，

$$f(x) = {x_1}^2 + (x_1 + x_2)^2 + (x_1 + x_2 + x_3)^2$$

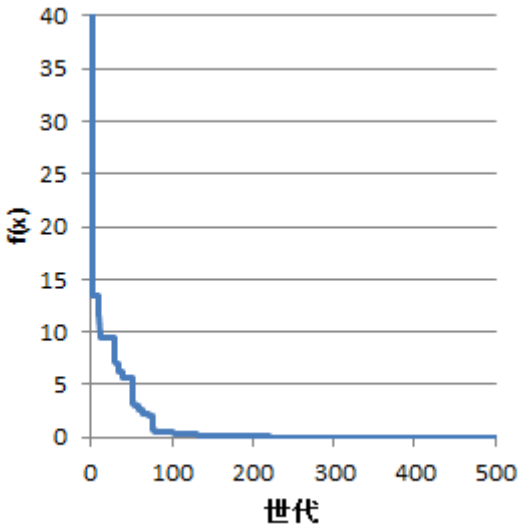
であり，$x_1 = x_2 = x_3 = 0$ のときに最小値 0 をもつ． 最小値が探索範囲の中心にあるため，探索範囲を等分割した探索を行うと，分割数が小さくても解が含まれるため，分割数が小さいほど（GA の集団サイズが小さいほど），すぐに解が見つかってしまう．そこで，解を探索範囲中央からずらすため次の式を用いる．

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{i} (x_j + \propto)\right)^2$$

PfGA 単独および PfGA 拡張型 FCGA を用いて，500 世代まで計算を行う．GA における遺伝子は x_i を 2 進数で表現するものとし，本稿では，PfGA では 10 ビットとする．x_i の 1 ビットあたりの可変幅は，$16/(2^{10}-1) \fallingdotseq 0.016$ であるから，$\propto$ はそれより小さい $\propto = 0.001$ とする．FCGA では 7 ビットから計算をはじめ，進化により 10 ビットまで増やしていく．各世代ごとの最小値の変化を図 4 に示す．この図では，最小値が 1 以下となったのは，PfGA が 125 世代目に対し，FCGA は 77 世代目と，FCGA の方が早かった．なお，試行ごとに結果は異なるので，この結果は代表例であることに注意されたい．



(a) PfGA

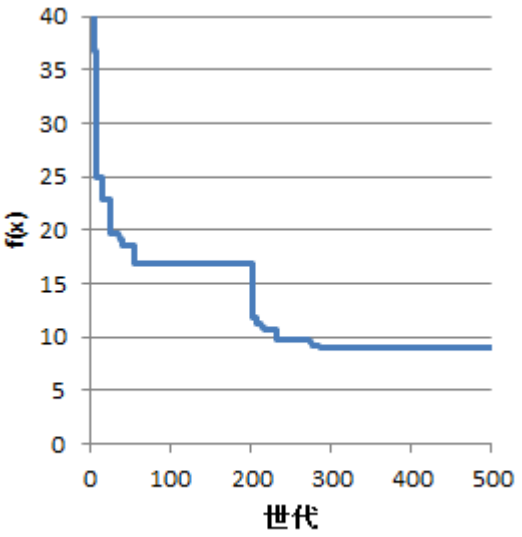


(b) FCGA

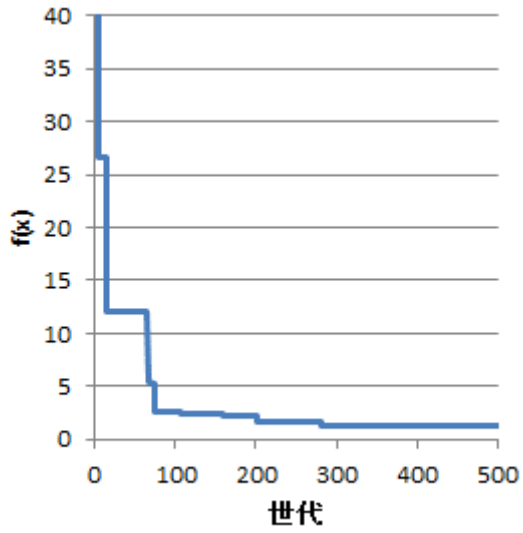
図 4 単峰性関数の最小値探索

3.2 多峰性関数の最小値探索

多峰性関数として，次の Rastrigin 関数を用いる[7].



(a) PfGA



(b) FCGA

図 5 多峰性関数の最小値探索

$$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^{n}({x_i}^2 - 10\cos(2\pi x_i))$$

$$-5.12 \le x_i \le 5.12$$

この関数は，最適解の周辺に格子状に準最適解（最適値に近い値を持つ局所的最適解）を持つ多峰性関数であり，勾配法などでの探索は難しいと考えられる．この関数は，$x_1 = x_2 = \cdots = x_n = 0$ のとき最小値 0 をとる．Rride 関数と同様に最小値が探索範囲の中心であるため，次のように関数を変形して用いることにする．

$$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^{n}((x_i + \alpha)^2 - 10\cos(2\pi(x_i + \alpha)))$$

PfGA 単独および PfGA 拡張型 FCGA を用いて，500 世代まで計算を行ったときに世代ごとの最小値を図 5 に示す．なお，$n = 3$, $\propto = 0.001$ とした．PfGA では 56 世代目から 201 世代目まで値が変化せず，202 世代目で急激に値が小さくなっている．このように値が少しずつ小さくなるわけではなく，突然変異などによって，優れた個体が突然現れることがあるのは GA の特徴であり，探索空間が大きいほどこの特徴が顕著に表れる．500 世代目までに求まった最小値は，PfGA が 8.994 に対し，FCGA では 1.250 であり，FCGA の方が理論値に近い解が得られた．なお，2000 世代まで計算を続けたときの最小値は PfGA が 0.032，FCGA が 0.016 であった．

4 アンテナ自動設計への応用例

FCGA の有効性を確認する応用例として，300MHz の指向性アンテナの自動設計を行う．アンテナを構成する素子は，複数本の直線ワイヤのみとし，ワイヤの位置と長さの最適化を行う．適応度 F は，アンテナの VSWR，利得，チルト角，パタンの対称性を組み合わせ，次の式により計算する[8].

$$\begin{aligned} F = {} & 100 \times \left(\frac{5}{3}\right)^{1-VSWR(300MHz)} \\ & +100 \times \left(\frac{5}{3}\right)^{1-\frac{VSWR(270MHz)+VSWR(330MHz)}{2}} \\ & +18(\mathrm{Gain(front)} - 7) + 100 \\ & -7(\mathrm{Gain(back)} - 2) \\ & + \frac{400}{(Tilt(flont))^2 + 4} \\ & + \frac{400}{(Tilt(back))^2 + 4} \\ & + \frac{100}{0.001 \times |sym(front)| + 1} \\ & + \frac{100}{0.001 \times |sym(back)| + 1} \end{aligned}$$

また，遺伝子情報は 2 進数に変換せず，実数値のまま交叉や突然変異を行う．アンテナ特性の解析にはモーメント法に基づいた電磁界シミュレータ NEC2 を用いる．

染色体とアンテナの対応関係を図 6 に示す．ワイヤごとにワイヤの中心座標(x, y, z)およびワイヤ長 l の 4 つの情報を持ち，これを 1 本の染色体と考える．つまり，ワイヤ数が増加すれば，それに応じて染色体数も増加する．今回，問題を簡単化するため，以下の制約条件を設定する．

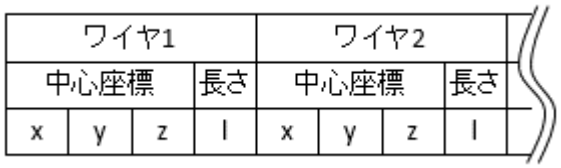


図 6 遺伝子構造

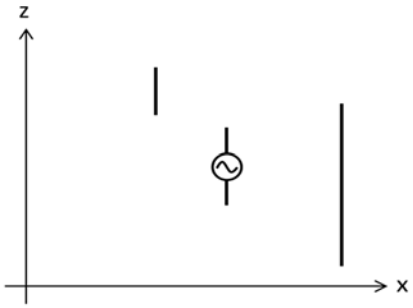


図 7　自動設計途中のアンテナ形状

(1)全てのワイヤは，*xz* 平面内で *z* 軸方向に配置する．

(2)給電は，ワイヤ 1 の中心とする．

(3)アンテナは，*x* 軸方向に指向性を持つものとする．

(4)ワイヤ数の上限は 3 とする．(染色体数の最大値 3)

また，ワイヤ数を N とし，計算は N= 1 からはじめる．$10\times N^2$ 世代経過しても適応度が向上しなかったとき，局所解に留まっていると考え，ワイヤ数を変化させる（種を変える）．

FCGA を用いず，最初からワイヤ数を 3 として自動設計を行った場合，図 7 のように各ワイヤの位置(中心座標)が z 軸方向に対してバラバラな形状となる確率がかなり高い．この場合，各ワイヤの位置または長さだけが変化しても，性能の高いアンテナとはなることがほとんど期待できない．そのため，適応度が速やかに向上していく可能性は低い．基礎実験として，古典的 GA を用いて，ワイヤ数 N=3 の状態での自動設計を試みると 10000 世代の計算を行っても指向性アンテナには収束しなかった．

一方，FCGA を用いた設計では，N=1 のときはワイヤの長さのみがパラメータとなるため，速やかに整合が取れたアンテナに収束する（図 8(a)）．N=2 では，N=1 のときに生成されたアンテナに反射器または導波器が生成され，指向性を有するアンテナとなる（図 8(b)）．N=3 ではさらに指向性が鋭く，利得が大きくなるようにワイヤが配置される（図 8(c)）．このように，FCGA を用いた設計では，図 8 に示す過程によって，単純な形状から複雑な形状へと進化する確率が極めて高い．最初から複雑な形状の状態で最適化を行う必要がないため，計算効率が良く，少ない計算回数で解が収束する可能性が高い．

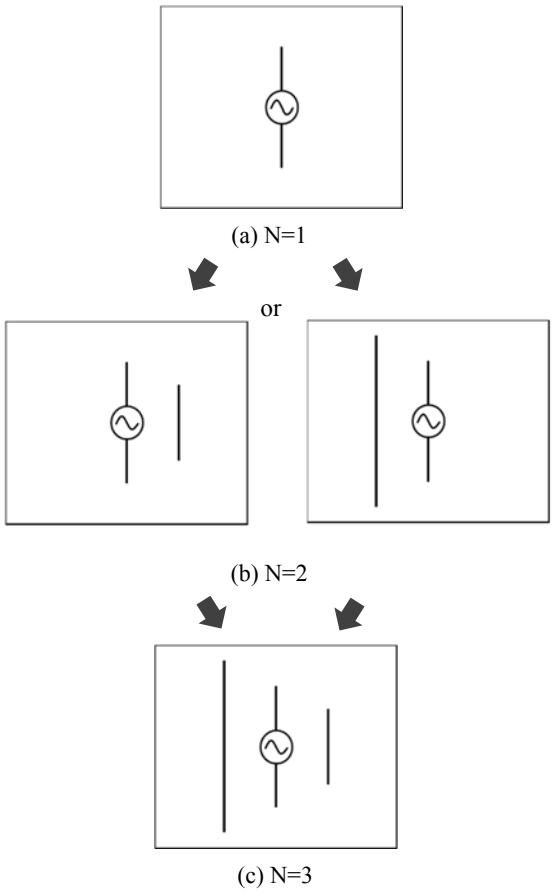
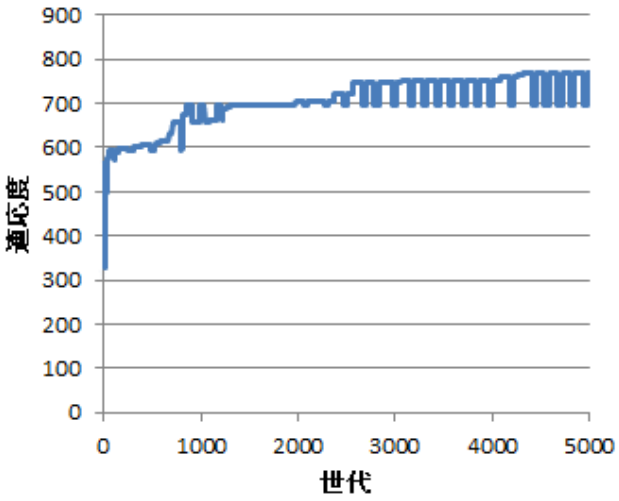


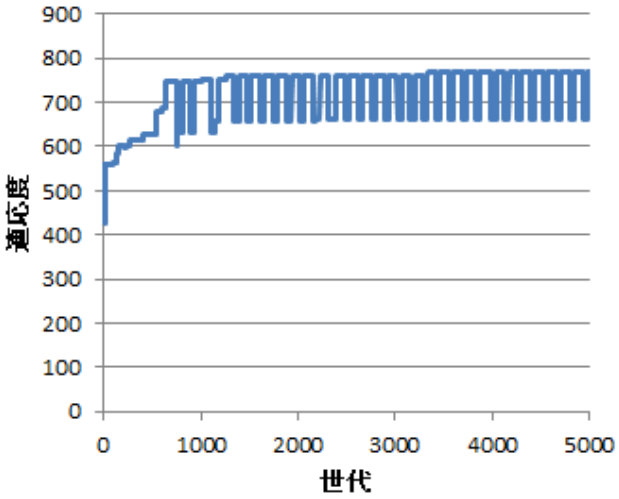
図 8　FCGA による進化の過程

5000 世代まで設計をおこなったときの世代ごとの適応度を図 9(a)に示す．1000 世代周辺あるいは 2500 世代以降で適応度が上がったり下がったりしているのは，進化と退化を繰り返しているからである．

次に，10000 世代までの計算を行った結果について示す．すべての形状は 2×10^{12} 通りあるが，FCGA による適応度の計算回数は約 3×10^4 回であった．つまり，全探索と比較してわずか 10^{-8} ほどの計算回数である．得られた最良のアンテナ（9060 世代目，適応度は 801）の形状を図 10(a) に示す．また，設計されたアンテナの放射パタンを図 10(b)に示す．設計されたアンテナは，3 本のワイヤとも *x* 軸に対称な位置(z=0)に配置されている．また，給電素子であるワイヤ 1 はおよそ半波長の長さで，その両端に配置された 2 本のワイヤは，反射器および導波器として機能するように配置されている．すなわち，自動設計されたアンテナは，*x* 軸方向に指向性を持った 3 素



(a) 重みづけなし

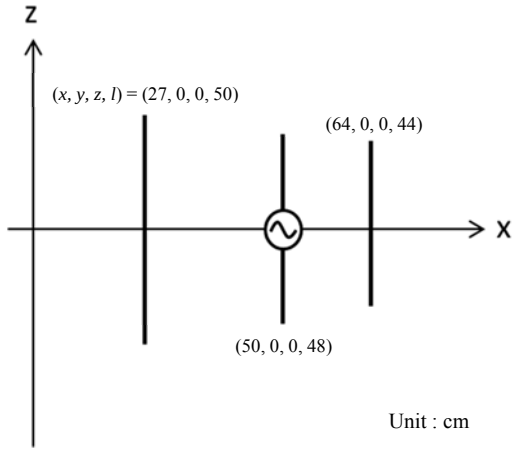


(b) 重みづけあり

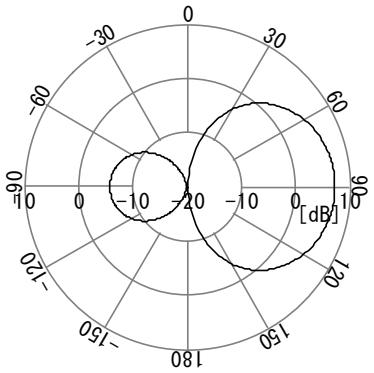
図 9　世代ごとの適応度

子八木アンテナと言える．なお，今回の自動設計は八木アンテナの寸法最適化を行ったわけではなく，指向性を持つアンテナを自動設計した結果，従来から指向性アンテナとしてよく知られている八木アンテナが解として求まったということである点に注意されたい．

次に，更に効率化を図るため，交叉・突然変異させる確率に重みづけを行い，後から追加されたワイヤが優先的に交叉・突然変異の対象になるようにする．ワイヤ 1,2,3 が交叉・突然変異の対象となる割合を $1^2:2^2:3^2$ として計算を行った場合の世代ごとの適応度を図 9(b)に示す．この結果，重みづけしない場合よりも収束性が向上し，938 世代目で適応度が 700 を超えている．このように，適用する問題ごとに，解の特徴があらかじめわかっている場合には，その特徴を使うことによって収束性を向上することができる点については古典的 GA と同様である．



(a) アンテナ形状



(b) 放射パタン

図 10　自動設計されたアンテナの特性

5 おわりに

本研究では，染色体数可変 GA(FCGA) を提案し，その性能を単峰性関数と多峰性関数について調べた．その結果，今回用いた関数の場合，古典的 GA と局所探索手法を併用したハイブリッド GA と同等の効果があり，FCGA は古典的 GA のみの適用よりも収束性が高いことがわかった．

また，指向性アンテナの自動設計に FCGA を応用した結果，八木アンテナが最適解として求まり，FCGA の有効性を確認した．さらに，交叉・突然変異させる確率に重み付けをすることで，より効率良く指向性アンテナが設計された．

今度は，他の応用例についても検証を行い，FCGA の有効性を明らかにする予定である．

謝辞

本研究の数値計算結果は，北海道大学情報基盤センター公募型共同研究（平成 26 年度）により，大型計算機システム HITACHI SR16000 モデル M1 を利用して得られた．

参考文献

[1] 北野宏明, ”遺伝的アルゴリズム”, 産業図書, 東京, 1993.

[2] 丸山珠美，本間尚樹, 長敬三，“平面小型多周波共用アンテナの遺伝的アルゴリズムを用いた自動最適設計の検討”，電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J88-B, No.6, pp.1168-1171, 2005.

[3] 野村浩一郎，実験観察で学ぶやさしい生物学Ⅱ，WWW ホームページ, http://www.geocities.jp/nomuk2001/community2/co2annnai.htm

[4] 澤井秀文，木津左千夫，遠藤哲郎，“パラメータフリー遺伝的アルゴリズムと定常状態遺伝的アルゴリズムとの性能比較”, 電子情報通信学会論文誌 D-Ⅱ，Vol.J81-D-2，No.6，pp.1455-1459，Jun.1998.

[5] 村本充，古川真衣，大島功三，大宮学，“アンテナ自動設計に適した染色体数可変 GA の提案”，平成 25 年度電気･情報関係学会北海道支部連合大会, 95, Oct. 2013.

[6] 廣安知之，” 傾斜法を用いたハイブリッド遺伝的アルゴリズムの大域的最適点探索”, 情報処理学会第 6 回数理モデル化と問題解決シンポジウム, 2000

[7] 同志社大学知的システムデザイン研究室，分散遺伝的アルゴリズム，WWW ホームページ, http://mikilab.doshisha.ac.jp/dia/research/pdga/dga.html

[8] 古川真衣，村本充，大島功三，大宮学，“染色体数可変 GA によるアンテナ自動設計の基礎検討”，平成 25 年度電気･情報関係学会北海道支部連合大会，96，Oct. 2013.

情報処理北海道シンポジウム 2014

ズーム型画像表示とスポット照明の相互連動による博物館における鑑賞支援

古藤健太* 川嶋稔夫
(はこだて未来大学)†

1 はじめに

博物館の学芸員は，来館者に自由な発想で展示物を鑑賞してもらいたいと考えている．とはいえ，情報がないまま展示物を鑑賞するのは，来館者にとって至難のわざである．そこで一般に，展示鑑賞の支援手段として，文章や図版による解説パネルが使用されるが，これらは，学芸員が来歴や事実などを整理して来館者に伝えるものであって，来館者自身が着眼点を見つけることを支援する方法ではない．そこでもし，情報技術を用いて，来館者が着眼点を見つけるプロセスを支援することができれば，有効な鑑賞支援ツールとなるだろう．

そこで本研究では，来館者が自在な着眼点で対象物を観察するために，実体展示と画像表示システムにおける注目エリアを連動する方式を提案する．

2 関連研究

鑑賞者に自発的に注目を促す手法の提案として，亀ヶ森ら[1]のロウソク照明を用いた鑑賞の研究がある．この手法では，ロウソク照明下で展示物を鑑賞させることで物理的に注目エリアを制限し，自発的な注目を促すことを目的としている．

一方，デジタル画像表示で注目エリアを表示する手法はさまざまなズーム型画像ソフトウェアとして提供されており，これらと亀ヶ森らの手法を組み合わせることで，リッチな鑑賞の実現をめざすのが本研究である．

また，鑑賞支援ツールでは展示物を前にして，来館者とシステムの自由なインタラクションが重要である．このようなインタフェースに関する研究として，久松ら[2]は，大画面スクリーンに PC の画面を表示し，レーザーポインタをポインティングデバイスとして，PC を操作するという試みを行っている．また，和田ら[3]は，仮想空間に 3D オブジェクトを投影し，カメラを用いて手を認識し，オブジェクトの拡大，縮小操作を試みている．

実体と鑑賞補助ツールをリンクする方式としては，古くから，ジオラマ上の電球と押しボタンスイッチで空間配置と情報を連動させることが行われてきたが，本研究は，これを飛躍的に拡張するものと捉えることも可能である．

3 鑑賞支援ツール

3.1 ツール概要

本研究では，あらかじめ展示物を高解像度で撮影した画像を用意し，それを展示物のそばにおいたタブレット端末上に導入したズーム型画像鑑賞ツールで表示し，肉眼では見る事が不可能な展示物の細部までを観察可能にする．それと同時に，利用者がズーム型画像鑑賞ツールで選択した表示範囲に応じて，展示物の実体にスポット照明をあてる．すなわち，タブレット端末で表示している画像と実体のスポット照明を連動させる．

さらにこれとは逆に，展示物の実体に当てているスポット照明の位置や大きさを変更することで，タブレット端末に表示される画像の中心位置や表示倍率を連動させる機能も持たせる．実体から表示画像の操作を可能にすることで，実体を鑑賞中に即座に拡大画像を確認することが可能になる．

このように，スポット照明とズーム型画像表示の双方向性の連動を行うことで，実体観察とズーム型画像観察の長所を併せ持つ鑑賞支援ツールを試作する．

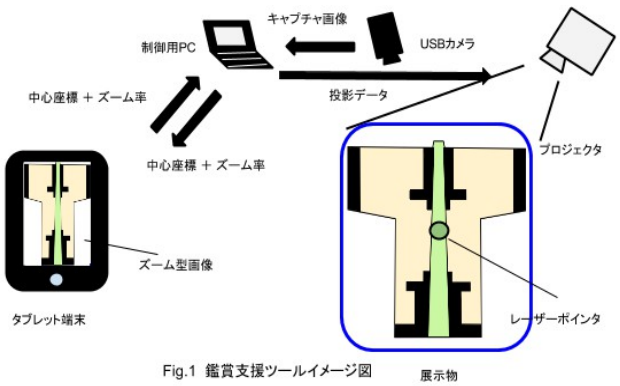


Fig.1 鑑賞支援ツールイメージ図

*b1011131@fun．ac．jp
†北海道函館市亀田中野町１１６番地２公立はこだて未来大学

3.2 ズーム型画像インタフェースによるスポット照明の制御

タッチ操作によって設定したズーム型画像表示の表示中心座標とズーム率を制御用 PC に送信し，このパラメータを利用して注目エリアに対してスポット照明を行う．

実装にあたってはタブレット端末として iPad を用いた．制御 PC とのパラメータのやり取りはズーム画像を提供するサーバを介して行っている．

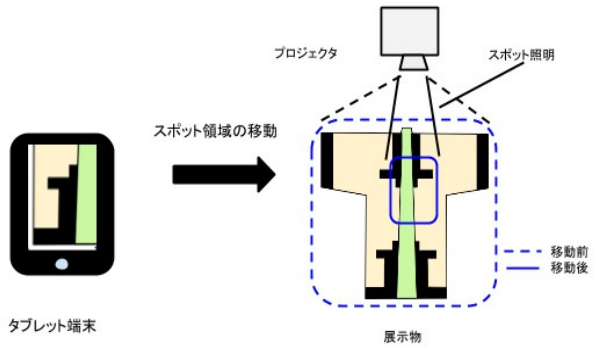


Fig.2 タブレット端末操作時の動作

3.3 実体展示への操作によるズーム型画像表示の制御

実体展示からタブレット端末のズーム型画像表示を制御する方法としては，二通りを検討している．ひとつはレーザーポインタを用いて直感的に照明位置を指定する方式，もうひとつはジョイスティックによってスポット照明の位置とサイズを指定する方法である．このスポット照明パラメータに基づいて，タブレット端末上の表示画像の表示範囲がスポット照明に連動するようにズーム画像サーバ経由で制御を行う．

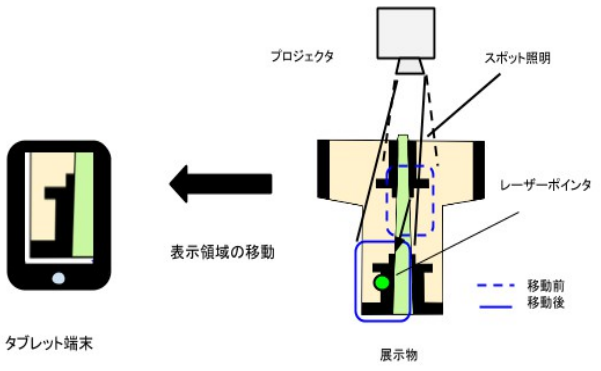


Fig.3 実体への操作時の動作

3.4 ズーム型画像インタフェースと実体展示への操作の双方向性インタフェース

3.2 と 3.3 の機能を実装することでズーム型画像インタフェースと実体展示間の双方向性インタフェースを実現できるが，二つを短時間のうちに交互に操作すると，事実上の競合が起きてしまう．そのため，優先順位をつけ，iPad の操作中は，実体展示側での操作はできないなど，対策が必要である．

4 鑑賞に対する影響の評価実験

本研究で実装した鑑賞支援ツールの有無による鑑賞パターン等の比較実験を行い，鑑賞に変化が見られたかを評価する．今回は次の２つに注目する．

i) 試作した双方向性インタフェースが，利用者の展示物の観察にどのような影響を与えたか
ii) 複数人での共同鑑賞時に双方向性インタフェースの操作が鑑賞にどのような影響を与えるか

5 まとめ

ズーム型画像表示とスポット照明の相互連動による博物館における鑑賞支援の方式を提案した．現時点では，ズーム型画像インタフェースによるスポット照明の制御のシステムまでが実装されており，今後は逆方向への操作を実装し，実験評価を行いたいと考えている．

参考文献

[1] 亀ヶ森他:ミュージアムにおける展示物への自発的注目を促すための鑑賞補助ツール，人工知能学会全国大会， 2014.
[2] 久松他:大画面向けインタフェースへのレーザーポインタの応用，人工知能学会全国大会，2005.
[3] 和田他:プロジェクタと単眼 Web カメラを用いた手の３次元操作による投影型インタフェースの開発，信学技報 ITS， 2010.

深層学習を用いたペアワイズ分類

古堂和音 * 佐藤晴彦 小山聡 栗原正仁
(北大情報科学)† (北大工)

1 はじめに

ウェブ時代には正体のわからない同姓同名の人物の同一性のように，アイデンティティの推定が重要である．こういった推定を対象とした分類手法にペアワイズ分類がある．ペアワイズ分類は与えられた二つの例が同じクラスか否かを判別する分類問題である．従来，固定もしくは人手で調整されたペア間の類似度が研究されていたが，近年は機械学習を使った方法が研究されている．そのうちの一つに，小山らによる研究がある．先行研究では，SVM とカーネル法により，異なる例からの異なる素性の組み合わせ情報から，素性間の関係性を q した分類器の学習法が示されている．一方で，SVM は，予め学習に使用する全データが必要である．データベースやウェブページは日々更新されるため，情報が追加されるたびに，過去の情報と合わせて学習をやり直すことは望ましい方法ではない．

そこで，本研究では，深層学習を用いたペアワイズ分類を提案する．深層学習は，大規模ニューラルネットワークである．深層学習は，ニューラルネットワークと同様にオンライン学習法をとれるため，日々増え続ける情報を使って分類器を追加的に学習可能である．また深層学習は，近年では各分野で高い性能を持つ学習器として注目を集めている．

本研究では，深層学習器の一つである Stacked Autoencoder とニューラルネットワーク，先行研究で用いられた SVM との比較によって，ペアワイズ分類における深層学習の有効性を測る．

2 研究目的

本研究の目的は，ペアワイズ分類におけるディープラーニングの有効性を検証することである．ディープラーニングの手法の一つである Stacked Autoencoder と，先行研究で使用された SVM との性能比較をし，ペアワイズ分類におけるディープラーニングの有効性について考察を加える．

3 関連研究

3.1 ペアワイズ分類

ペアワイズ分類は，与えられた二つの例が同じクラスに属するか否かを判定する分類である．エンティティのマッチングや重複発見は，データベースのコミュニティで長い間研究されてきたが，近年はこれを機械学習を用いて行う方法が考えられている．

3.2 問題の定式化

ここではペアワイズ分類の定義と定式化を行う．二つの例の組 $\boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\alpha}}$ と $\boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\beta}}$ からなる新たな素性をペアインスタンスと呼ぶ．ペアワイズ分類は，このペアインスタンスが同じクラスに属するか否かを判別する問題と定義する．これは以下のように定式化できる．

$$f(\boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\alpha}}, \boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\beta}}) = \begin{cases} 1 & \boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\alpha}}, \boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\beta}}\text{が同クラスのとき} \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{1}$$

また，ペアワイズ分類と類似度との関連は深い．分類器の出力を $f(\boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\alpha}}, \boldsymbol{x}^{\boldsymbol{\beta}}) \in [0,1]$ のような連続値とすると，類似度を出力する関数と考えることもできる．この類似度に対して適切な閾値を設定してやれば，二値の分類器として使える．多くの分類器も，連続値で出力可能なため，これを類似度と考えることもできる．

4 深層学習

深層学習について説明する．深層学習は枠組みであり，実際の学習器の代表的なモデルとしては，Autoencoder 型，Deep Belief Net 型，Convolutional Neural Network 型が存在する．今回使用したモデルの Stacked Denoising Autoencoder と関連する要素技術を紹介する．

4.1 事前学習

多くの深層学習の手法で採用されており，深層学習の性能向上の要因の一つとなっているのが事前学習と呼ばれる学習方法である．ネットワークが 3 層以上の多層になる場合に，パックプロパゲーションに先行して行われる教師なし学習である．事前学習の目的は，教師あり学習に先立ってこの学習を行うことで，後のネットワークの学習が効率的に行われるためのネットワークの初期値を得ることである．

*hokkaido@ipsj.or.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

4.2 Autoencoder

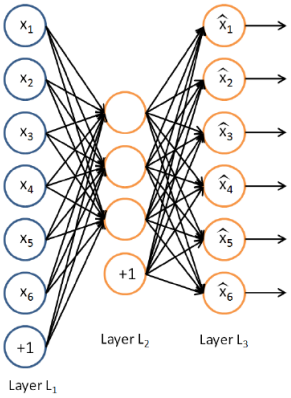


Fig. 1 Autoencoder の模式図

Autoencoder は入力層，中間層，出力層からなる 3 層のニューラルネットワークである．出力層の数は入力層と等しくなるように制限される．Autoencoder は入力を中間層でエンコードし，出力層でデコードする．Autoencoder は，エンコードとデコードによって入力を再構築するように学習を行う．エンコード，デコード，再構築は以下のように示される．

$$
\begin{aligned}
&Encode : f(\boldsymbol{x}) = \sigma(\boldsymbol{w_1 x} + \boldsymbol{b_1}) \\
&Decode : g(\boldsymbol{x}) = \sigma(\boldsymbol{w_2 y} + \boldsymbol{b_2}) \\
&Reconstructed : \boldsymbol{f}_n = g(f(\boldsymbol{x}))
\end{aligned} \tag{2}
$$

学習は以下に示す再構築誤差を最小化するように行われる．

$$
\begin{aligned}
&ReconstructionError : \\
&L(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{z}) = \sum_j \boldsymbol{x_j} log \boldsymbol{z_j} + (1 - \boldsymbol{x_j}) log(1 - \boldsymbol{x_j})
\end{aligned} \tag{3}
$$

図 4.2 のように中間層のユニット数を入力層のものより少なくすると，次元削減を伴う特徴抽出を行うことができる．Autoencoder を多層にした場合，このネットワークは非線形の PCA と等価である．

Autoencoder の学習には，合わせて様々な正則化が行われることが多い．例えば，Sparse Autoencoder は再構築誤差に Sparse 項を導入することで，中間層の活性のスパース性を誘導する．他にも入力にノイズを付加し，それを除去するよう学習を行うことでより良い特徴を得ようとする Denoising と呼ばれる手法もよく行われる．

4.3 Stacked Autoencoder

Stacked Autoencoder(SA) は深層学習のモデルの一つである．Stacked Autoencoder の学習は事前学習とその後のファインチューニングに分けられる．Stacked Autoencoder は事前学習を Autoencoder を用いて行う．事前学習ではネットワークは層ごとに学習される．例として，Stacked Autoencoder の最初の二層を学習することを考える．

このとき事前学習に用いるネットワーク構造は，Stacked Autoencoder の最初の二層に入力層と同じ数の活性化ユニットを持つ出力層を加えたものである．このネットワークを Autoencoder として学習し，得られた入力層-中間層間の重みのみを，Stacked Autoencoder の最初の 2 層間の重みとする．上層の学習を行うときは，途中まで出来上がっている Stacked Autoencoder からの出力を Autoencoder の学習とする．こうして上層までネットワークを構築した後に，ファインチューニングに移る．ファインチューニングではバックプロパゲーションを用いてネットワーク全体の重みの微調整を行う教師あり学習である．

5 実験

6 実験目的

深層学習の一手法である Stacked Autoencoder を使ってペアワイズ分類に対する有効性を検証する．ペアインスタンスとその正解を訓練データとし，訓練後の分類結果を確認する．SVM とニューラルネットワーク，そして，本研究の提案手法である深層学習をそれぞれ比較する．

6.1 実験データ

実験データは DBLP[1] からの引用データセットを使った．このデータは，論文 ID，素性の番号，素性の値という形式で得られる．今回の実験では，このデータセットの中から同姓同名で混同されている数名を選び実験した．

6.1.1 ペアインスタンスの作成

ペアインスタンスの作成は，以下の方法で行った．母集団を 2 等分し，それぞれを訓練データの母集団，テストデータと検証データの母集団とする．そして，各母集団の中で，可能なすべての組み合わせを作り，ペアインスタンスとした．ペアインスタンスの作成法は，すべての方法で共通で，それぞれの例を順につなげたものとした．また，学習結果がペアインスタンスの構成順序に依存しないように，ペアインスタンスの構成順序を逆にしたものもペアインスタンスとした．各データセットの大きさや，そのデータ中に現れる素性数を表 1 に示す．

Table 1 Dataset Size

Abbreviated Name	Num of Papers	Training Data	Test Data	Validation Data	素性数
Gupta.A	398	39402	9850	9851	3444
Sato.M	157	12246	3061	3062	1724
Smith.J	389	75466	18866	18867	3652
Tanaka.K	176	15400	3850	3850	1832

6.2 実験設定

深層学習は入力層，中間層 3 層，出力層の全 5 層からなる Stacked Autoencoder を使った．それぞれの中間層の層数は入力層に近い側から，100-100-50 ユニットとした．比較のためニューラルネットワークも，Deep Learning Toolox を使って実装した．こちらの中間層は 100 ユニットとした．また，深層学習もニューラルネットワークも，出力層にはソフトマックス関数を使った．学習に関しては, 検証データを使って評価をした．ニューラルネットワークや深層学習では，モデルの過学習を防ぐ目的で，early stopping と呼ばれる方法をとることがある [1]．これは，訓練データと別に検証データを使って学習状態を監視し，分類誤差が上昇した点で学習を打ち止めるものである．本実験では，この early stopping の基準を後述する AUC とした．すなわち，検証データの AUC が最も大きくなった点のパラメータをテストデータに用いた．

6.3 評価方法

実験の評価は適合率，再現率，適合率-再現率曲線，AUC により行った．再現率，適合率はそれぞれ，
true-positive:正しく正と予測した数,
true-negative:正しく負と予測した数,
false-positive:間違って正と予測した数,
を使って以下のように表せる．

$$\text{適合率}：\frac{true_positive}{true_positive + false_positive}$$

$$\text{再現率}：\frac{true_positive}{true_positive + false_negative}$$

また，再現率，適合率だけではなく，再現率-適合率曲線による評価も行った．各分類器が出力する連続値に対して閾値を変化させ，その閾値ごとの適合率，再現率をプロットした．

7 実験結果

7.1 適合率，及び再現率

適合率及び再現率を示す．

Abbreviated Name	SVM		NeuralNetwork		DeepLearning	
	P	R	P	R	P	R
Gupta_A	0.9715	0.2783	0.913545	0.32314	0.835141	0.392457
Sato_M	1	0.404	0.904192	0.5	0.77551	0.503311
Smith_J	0.8394	0.1756	0.818182	0.718626	Nan	0
Tanaka_K	1	0.461	1	0.965812	1	0.940171

Fig. 2 適合率, 再現率

適合率及び再現率は，分類器の分類結果に基づく．つまり，SVM では閾値を 0，ニューラルネットワーク，深層学習では閾値を 0.5 としている．深層学習の Smith_J において適合率が Nan, 再現率が 0 となっているのは, 正しく正としたものも，間違って正としたもの 0 であったためである．適合率において，深層学習は総じて悪い結果となった．特に，Smith_J では true_positive が 0 件のため，適合率が計算できなくなってしまっている．一方で，再現率に関しては，比較的高い値を保っていることがわかる．また，このときの各混合行列も以下に示す．混合行列は各列が予測値，各行が実際の真偽値を表す．

Abbreviated Name	SVM	Neural Network	Deep Learning
Gupta.A	**0.67843**	0.65704	0.59749
Sato.M	**0.85705**	0.7625	0.68017
Smith.J	**0.63485**	0.44332	0.39264
Tanaka.K	0.90315	**0.919**	0.86784

Table 2 AUC

7.2 適合率-再現率曲線,AUC

以下に，Gupta_A という著者名の適合率-再現率曲線を示す．また，AUC は, この曲線下の面積であり, 理想的な分類器であれば, この値は 1 となる．

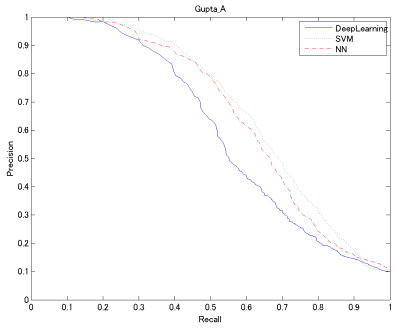


Fig. 3 Gupta_A

適合率，再現率曲線は，深層学習は全てのデータの全域にわたって悪い結果となった．AUC によって，そのことが確認できる．ニューラルネットワークが最も良い結果を示した例もあったが，次いで先行研究が高く，やはり深層学習は低い．

8 考察

SVM と比較して深層学習で性能が低い理由を考察する．
まず，データについて考察を加えるために，各訓練データのスパース性に着目する．

Abbreviated Name	素性数	平均素性数
Gupta.A	3444	19.7
Sato.M	1724	22.2
Smith.J	3652	17.7
Tanaka.K	1832	20.3

Table 3 各訓練データの素性数と，ペアインスタンス中に含まれる平均素性数

本実験に使用したデータは，表 8 に示すように高次元でスパースな点が特徴的である．このように，1 つのペアインスタンス中に存在する素性の数は非常に少なく，ほとんどの素性は 0 である．したがってこのようなデータは，ノイズの影響を非常に受けやすいデータだといえる．そのため，事前学習や，その後の学習がうまく行われない場合，容易に元の情報が失われてしまう．

もう一つの理由として考えられるのは，過学習の問題である．深層学習は，ネットワークが多層なため，モデルのパラメータ数が非常に多くなる傾向にある．したがって，訓練誤差が小さくなっても，汎化性能が落ちてしまう過学習の問題が起こりやすい．本研究では，この問題への対策として，AUC による early stopping を行ったが，この方法が有効でないことがわかる．

9 まとめ

5 章の実験結果より, 深層学習では，適合率, 再現率-適合率曲線,AUC で SVM より悪い結果となっている．再現率では，何件か良い結果となっているものの，計算コストとの兼ね合いでニューラルネットワークのほうが実用面で有利である．したがって，今回の設定のもとでのペアワイズ分類における深層学習は有効とは言いがたい．

9.1 課題

今回の設定で明らかになった問題点は，データのスパース性及び高次性，モデル選択を含む学習の困難さである．データのスパース性及び高次性を回避するには，学習に適した何らかのペアインスンタンスを見つけることである．また，スパース行列を扱う方法としては疎行列演算のライブラリを使う方法がある．疎行列演算を基本としたネットワーク計算ができれば，ある程度高次元でスパースなベクトルを効率的に扱える可能性があ．しかし，バックプロパゲーションの過程では，勾配は密行列になることが一般的であり，根本的な解決ではない．

モデル選択に関しては，深層学習に一般的な問題となる．すなわち，SVM と異なり，深層学習を含むニューラルネットワーク型の学習器は最適解が得られることが保証されていない．加えて，膨大なハイパーパラメータを持つ深層学習のモデル設計に関しては，Bengio[1] をはじめ様々な提案がなされているが，未だ完全な指針は定まっていない．

9.2 展望

本研究の設定では深層学習は有効ではないことがわかった．一方，データベース等の更新されていくデータ集合に対し，問題に適した類似度を機械学習で自動的に獲得することの重要性は増していくことと考えられる．そうした場合，やはり，追加学習可能な学習器が望ましい．今後の展望としては，他のオンライン学習型アルゴリズムで，ペアワイズ分類に有効なものを検証したい．

参考文献

[1] Yoshua Bengio. Practical recommendations for gradient-based training of deep architectures. *CoRR*, Vol. abs/1206.5533, , 2012.

[2] Christopher M. Bishop. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford University Press, Inc., New York, NY, USA, 1995.

[3] Thorsten Joachims. svmlight. http://svmlight.joachims.org/

[4] ビショップ CM. パターン認識と機械学習:. 第 3 巻. シュプリンガージャパン, 2008

[5] Deeplearningtoolbox. https://github.com/skaae/DeepLearnToolbox

[6] Dblp. http://www.informatik.uni-trier.de/ ley/db

[7] Stanford University. Ufldl tutorial. http://ufldl.stanford.edu/wiki/index.php/UFLDL_Tutorial

[8] Pascal Vincent, Hugo Larochelle, Isabelle Lajoie, Yoshua Bengio, and Pierre-Antoine Manzagol. Stacked denoising autoencoders: Learning useful representations in a deep network with a local denoising criterion. *The Journal of Machine Learning Research*, Vol. 9999, pp. 3371–3408, 2010.

[9] 岡谷孝之, 齋藤真樹. ディープラーニング. http://www.vision.is.tohoku.ac.jp/files/9313/6601/7876/CVIM_tutorial_deep_learning.pdf

[10] ディープラーニングによるパターン認識. 情報処理, Vol. 54, No. 5, pp. 500–508, may 2013.

[11] 異なる例からの素性の組合せを用いたペアワイズ分類器の学習. 人工知能学会論文誌, Vol. 20, pp. 105–116, nov 2005.

バス位置の可視化による観光支援システムの提案

工藤卓也* 奥野拓
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

函館市観光コンベンション部観光振興課が平成 24 年度に行なった調査によると，函館観光の不満だった点としては，市内移動手段が一番多く，48.6%の観光客が不満に思っている [1]．その中でも，路線バスは定時性が低く，また停留所がどこあるかわからないという課題がある [2]．現在，函館でバスの時刻などを調べる際には函館バス株式会社が提供しているバスロケーションシステムが主に利用されている．バスロケーションシステムには時刻表検索やバス接近情報検索などの機能がある．バス接近情報検索とは，バスの遅延を考慮し，何分後にバスが到着するかを調べることができる機能である．しかし，これは乗車停留所や降車停留所が決まっていないユーザには使いにくいものとなっている．

また函館の特徴として，大森浜やトラピスチヌ修道院などバスで行くような観光スポットが存在する．このような観光スポットを訪れるためにもバスを利用することは重要である．また，観光客にとって交通機関の選択や移動にかかる時間を考えたスケジュールを立てるのが難しく，暇な時間ができてしまうことがある．その時に，観光客はバスを乗ることに不安があると近場で済ませてしまうことが多く，観光の幅が狭くなっている．

そこで本研究では，空き時間のある観光客を対象に，バスで行くのが適切な観光スポットにも行けるようにし，観光の幅を広げることを目的とする．最寄りの停留所からバスに乗って行けることを示すことで目的を達成する．

2 観光支援システムの概要

本研究では，地図上に観光客自身の現在地やバスの現在地，バスの進行方向，停留所，路線図，観光スポットを表示し，観光を支援する．観光客にとって観光できる時間は限られているため，時間の提示を重視する．提案手法の有用性を検証するためシステムの開発を行なう．

開発するシステムのイメージを Fig. 1 に示す．この図は，システムの初期画面であり，バスの現在地，バスの進行方向，停留所，路線図，観光スポットを表示している．これらを表示する際に，すべてを表示してしまうと何を選択していいのかわからなくなり，ユーザの負担が増えてしまう．そこで，本研究では観光スポットをユーザが空き時間に観光できるものに絞り込む．そのために，地図上に表示するバスや観光スポットなどを絞り込むアルゴリズムを提案する．システムのユースケースを以下に示す．

Fig. 1 観光支援システムの地図画面

1. ユーザは次の予定がある時刻と場所をシステムに入力する．
2. システムはユーザの現在地やユーザが空き時間内に利用可能なバスの現在地，停留所，路線図，観光スポットを表示する．
3. ユーザは地図上のバスを選択する．
4. システムは選択されたバスの停留所や路線図，またそのバスで行ける観光スポットを到着時刻とともに地図上に表示する．
5. ユーザは表示されている観光スポットを選択する．
6. システムは観光スポットの詳細や到着時刻，最大滞在時間を表示する．その時地図上には，選択された観光スポットに行くためのバス，停留所，路線図を表示する．

本システムを利用することで，観光客の行動範囲を広げ，新たなスポットの発見につながる．また，時間を提示することによりスケジュールが立てやすくなるメリットがある．さらに，バスで行くような観光スポットにも観光客数の増加が期待できる．

2.1 提示する情報を絞り込むアルゴリズム

本研究で提案するアルゴリズム (Fig. 2) について述べる．前提として，表示するデータを 2 つに分ける．一つは観光スポットのデータ，もう一つはバスの現在地や停留所，路線のデータをまとめたバスデータである．

最初に，(1) ユーザの近くを通るバスかどうかによって絞り込む．その際，長い時間バスを待つことはないと考え，システム側で最大待ち時間を設定する．最大待ち時間とは観光客がバスを待つ限界の時間を想定した時間とする．システム利用時から最大待ち時間以内にユーザの近くを通るバスのみを表示する．空き時間が最大待ち時間より短い場合は，次の予定に間に合うバスのみを表

* b1011029@fun.ac.jp
† 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学

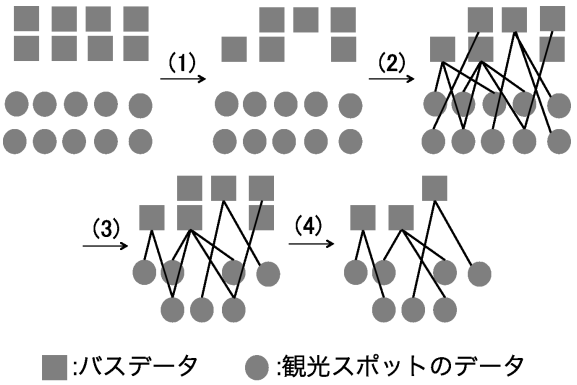


Fig. 2 アルゴリズムのフロー

示する．

次に，(2) 観光スポットとバスデータを結びつける．例えば函館の場合，観光スポット「朝市」があり，朝市へ行くには，14 系統の停留所「函館駅前」からでも 31 系統の停留所「棒二森屋前」からでも数分で行くことができる．その場合，朝市は 14 系統と 31 系統の観光スポットとする．この処理をすべての観光スポットに行なうことにより，すべての観光スポットが停留所と結びついた状態となる．結びつけることによって観光スポットへの到着時間を計算することができる．

次に，(3) 空き時間内に移動できる観光スポットに絞り込む．絞り込む際には観光スポットでの滞在時間も考慮する．滞在時間に関しては観光スポットのカテゴリ毎にシステム側で決めておく．例えば飲食店であれば 1 時間というように設定する．最も早く観光スポットに到着する時刻に滞在時間を足した時刻が次の予定のある場所へ行くために移動し始めなければいけない時刻を過ぎていれば，その観光スポットを表示する候補から削除する．

最後に，(4) 観光スポットに行くことができるバスデータに絞り込む．まず，どの観光スポットにも行けないようなバスを表示する候補から削除する．さらに，各観光スポットに最も早く到着するバス以外を削除する．

このアルゴリズムによって残った，観光スポットとバスデータを表示する．

2.2 システムの課題

地図上にバスの現在地を表示するが，もしユーザがバスの始点付近にいた場合，バスは始点から表示され始めるのでバスの動きを予め知ることができず，バスを選択することができなくなってしまう．この課題の解決方法として何分か前からバスを表示し，何分後に出発するか示す方法がある．しかしこれでは，乗り場が集中するような場所ではいくつかのバスが表示されてしまい，選択が困難になってしまう．

また，開発するシステムでは観光スポットやバスをアルゴリズムによって絞り込むが，絞り込みすぎると，本研究の目的である「観光の幅を広げる」には矛盾してしまう．そこで，観光スポットやバスの表示数を適度な数にするために，今後さらにアルゴリズムを検討する必要がある．

3 評価

本研究では,「地図上にバスの現在地，バスの進行方向，停留所，路線図，観光スポットを表示することで観光の幅を広げる」という手法の有用性を検証するために，構築したアルゴリズムを用いてシステムを開発し，函館市を対象に評価を行なう．そのためにはバスの現在地を取得する必要がある．最近の研究では熊本県などでスマートフォンをバスに設置し，位置情報を取得している [3]．しかし，函館市ではバスに GPS を設置して位置情報を取得しているが，公開されていない．そこで，バスロケーションシステムの接近情報を利用する．これを用いることで，どこの停留所を通過して，どこの停留所を通過していないかを知ることができる．そこからバスの現在地を求める．また，観光スポットのデータについては，函館市公式観光情報サイトはこぶらのデータを利用する．はこぶらには，700 件以上の函館市近郊の観光スポットが掲載されており，それぞれの観光スポットの緯度経度などがデータとして存在する．また，観光スポットは「食べる」,「見る」などのカテゴリが存在する．これらのデータを用いてシステムを開発し，評価を行なう．

評価の方法としては，地図上に観光スポットのみを表示するシステムと提案システムを利用して観光スポットを選んでもらう．その結果，選ばれた観光スポットを地図上にすべて表示した際，提案システムの方が広範囲になっていることで有用性を示す．

4 まとめ

本研究では，観光の幅を広げるために，地図上にユーザの空き時間内に利用可能なバスの現在地や停留所，路線図，観光スポットを表示することで，バスで行くような観光スポットも身近に感じさせる手法を提案した．また，地図上に表示する情報を絞り込むためのアルゴリズムを構築した．今後は，システムを開発し、有用性を検証するための評価を行なう．

参考文献

[1] 函館市観光コンベンション部観光振興課：平成 24 年度観光アンケートの調査結果, 2012.

[2] 小菅 王春, 鈴木 秀和, 松本 幸正：路線バスの運行状況とバス利用者の歩行速度を考慮したナゲーションシステムの提案, 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, no. 1, pp. 313-315, 2012.

[3] 松田 圭祐, 野原 浩大朗:スマートフォンアプリによるバスロケーションシステムの開発と試験的導入, 熊本大学政策研究, no. 4, pp. 81-90, 2013.

情報処理北海道シンポジウム 2014

函館湾内の船舶位置情報重畳表示による安全航行支援

高 博昭 *　和田雅昭
(公立はこだて未来大学)†

1　はじめに

近年，クルーズ客船による旅行が注目を集めており，函館湾でも 2014 年にのべ 38 隻のクルーズ客船の入港が予定されている．また，これまで函館湾に入港したことがない規模である 10 万総トン以上の超大型クルーズ客船「ダイヤモンド・プリンセス」も入港する予定であり，9 月 1 日時点で 5 回函館湾に入港している．函館湾には 10 万総トン以上の船舶が入港したことがないため，このような巨大船舶が函館湾内の海上交通に与える影響は明らかになっていない．

海上交通を把握するためには，船舶の位置情報を取得することが必要不可欠である．近年の情報通信技術の発展，また AIS(Automatic Identification System) の普及によって海上を航行する船舶の位置情報を取得するための環境が整いつつある．AIS とは，VHF 帯の電波を用いて近隣船舶間で位置情報を送受信するための装置である．日本では，国際航海に従事する 300 総トン以上の船舶，国際航海に従事しない 500 総トン以上の船舶，国際航海に従事するすべての旅客船に AIS の搭載が義務化されている．一方，これらの条件に該当しない漁船，プレジャーボートなどの小型船舶については AIS の搭載義務がない．日本国内には AIS 搭載義務のある船舶が 2,000 隻程度であるのに対して，AIS 搭載義務のない漁船やプレジャーボートなどは 50 万隻以上存在する．函館湾においても，位置情報取得可能な船舶は旅客フェリーや貨物船，タンカーなど一部の大型船舶に限定され，漁船，遊漁船やヨットなどのプレジャーボートの位置情報は取得できていないのが現状である．

本研究では，函館湾内の海上交通の把握や安全航行支援を実現することを目的とする．本稿では，この目的を達成するために必要となる位置情報取得・重畳表示システムの開発について述べる．このシステムでは，複数の装置を用いて船舶の大小を問わず函館湾内を航行するすべての船舶の位置情報を取得することを目指す．

2　関連研究

これまでに船舶位置情報を取得する取り組みは数多く行われている．まず，AIS を利用した代表的な取り組みとして Marine Traffic[1] が挙げられる．Marine Traffic では，全世界の AIS 搭載船舶の位置情報をリアルタイムに取得し，Web ページ上で公開している．アンテナを高い場所に設置すれば，AIS は 100km 以上の範囲の船舶位置情報を取得することが可能である．AIS を利用した場合，船名や船種などの詳細な情報を取得することができる．また，VHF 帯通信のため電波の回折によって島影などに隠れた船舶の位置情報を取得することができる．一方, 前述の通り小型船舶については AIS の搭載が義務化されておらず，AIS 自体も数十万円程度と比較的高価であることから小型船舶への AIS の普及が進んでいない．その上，AIS 情報は周囲の船舶が確認することができるため，位置情報の秘匿性を確保できないことが漁船にとって大きな問題である．

携帯電話を利用する方法として，著者らが開発したユビキタスナビが挙げられる．これは，船舶の位置情報を携帯電話回線で送信するための装置であり，沿岸から約 50km の範囲で船舶の位置情報を取得することが可能である．これまで，我々は持続的な水産業を支援するためや，ふくそう海域での安全航行支援を目的として，ユビキタスナビを利用して漁船などの小型漁船の位置情報の取得している [2, 3]．ユビキタスナビは携帯電話回線を用いるため，AIS とは異なり位置情報の秘匿性を確保することが可能である．そのため，位置情報の秘匿性が重要となる漁船と相性の良い装置である．しかし，この装置はあらかじめ船舶に搭載しなければならず，場合によっては配線工事などが必要となることから多数の船舶に搭載することは難しい．また，携帯電話回線を用いるために毎月通信料が発生する．

船舶用レーダーを陸上に設置して小型船舶の位置情報を取得する試みにも取り組んでいる [4]．船舶用レーダーでは，最大 72 マイル (約 130km) の範囲の情報を取得することが可能である．船舶用レーダーを用いた場合，船舶では追加の装置が必要とならないのが大きな利点である．また，船舶の大小を問わず位置情報を取得することが可能である．一方，船舶用レーダーは SHF 帯 (3GHz ～ 30GHz) の周波数を用いるため電波の直進性が高く，島影などに隠れた船舶の位置情報が取得できないといった問題点がある．

各方法の特徴を整理した表を Table 1 に示す．本研究では AIS，ユビキタスナビ，船舶用レーダーの複数の機器を用いて，函館湾内を航行する船舶の位置情報の取得を行う．各機器のメリットを生かして，函館湾内すべての船舶の位置情報取得を目指している．

* taka【at】fun.ac.jp
† 北海道函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

Table 1　各方式の特徴

	AIS	携帯電話 (ユビキタスナビ)	船舶用レーダー
対象とする船舶	大型船舶	漁船	小型船舶
周波数帯	VHF 帯	UHF 帯	SHF 帯
データ取得範囲	約 100km 程度	沿岸から約 50 km	約 130 km
島影などに隠れた船舶の位置情報取得	可能	可能	不可能
周辺船舶への位置情報の漏洩	あり	なし	なし
船舶への装置の搭載	必要	必要	不要
ランニングコスト (通信費) の有無	なし	あり	なし

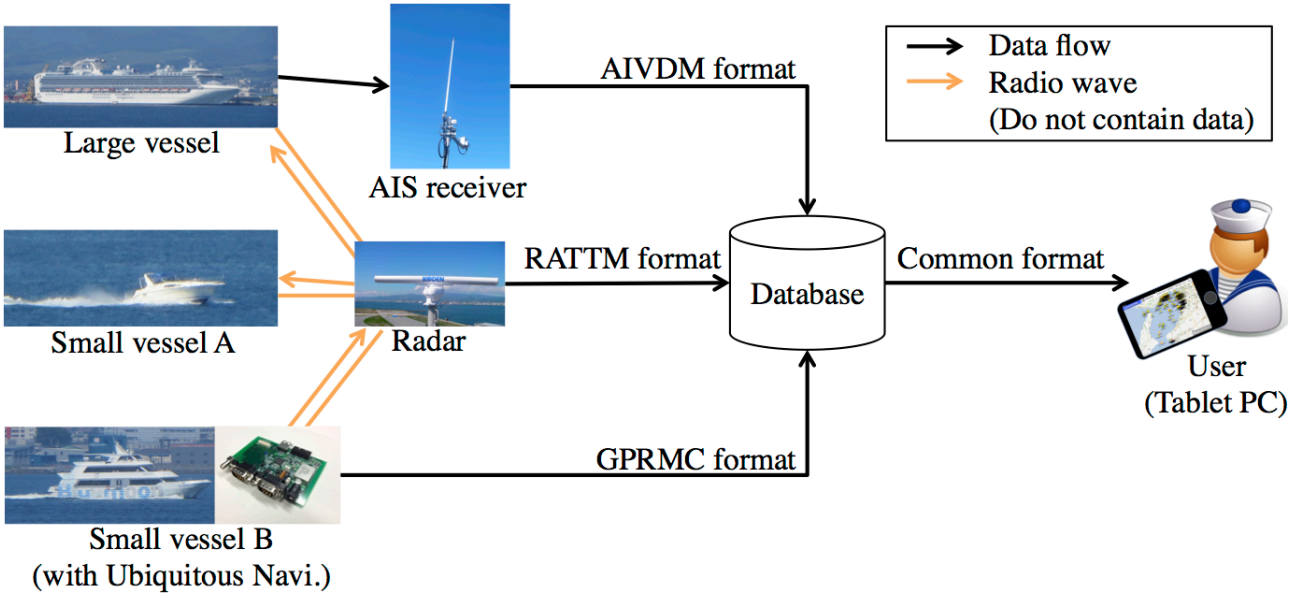


Fig. 1　システム概要図

Fig. 2　AIS 受信用アンテナ

Fig. 3　船舶用レーダーアンテナ

3　システム構成

Fig. 1 に本研究で構築するシステムの構成を示す．本研究の目的を達成するためには，函館を航行する船舶の位置情報を取得する必要がある．そこで，我々は AIS の情報を傍受するための受信局を函館市国際水産・海洋総合研究センター (以下「研究センター」という) に設置した．設置した AIS 受信用アンテナを Fig. 2 に示す．AIS が送信するデータは AIVDM センテンスであり，これは 6 ビット ASCII コードでエンコードされている．この方式は，生データのビット列を 6 ビットのブロックに分け，各ブロックに対して ASCII コードに対応する文字を割り当てる方式である．受信した AIS データをデコードし，

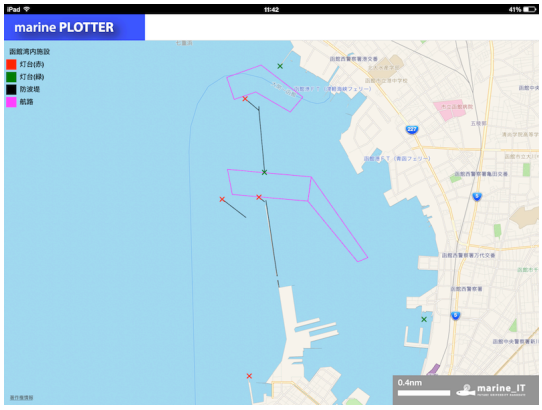


Fig. 4 函館湾内の物標の位置情報

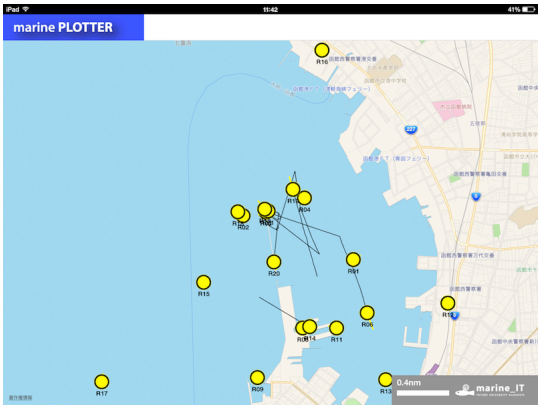


Fig. 6 船舶用レーダーによる船舶位置情報

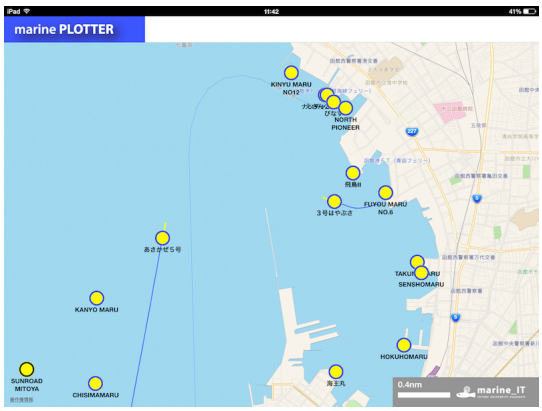


Fig. 5 AIS による船舶位置情報

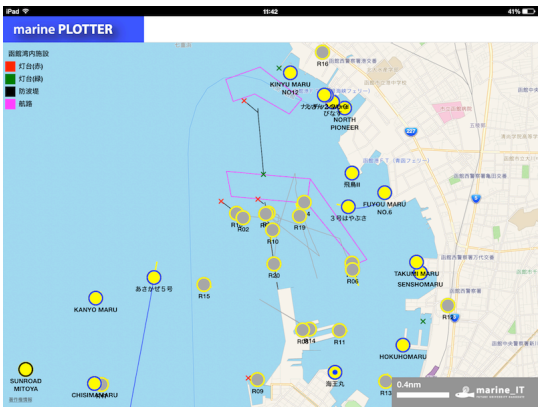


Fig. 7 物標位置および船舶位置情報の重畳表示

船舶の固有識別番号 (MMSI)，船舶の位置情報，速度，進路，時刻，船名の情報をデータベースに保存する．

小型船舶は AIS を搭載していない場合が多いため，AIS のみで湾内の船舶位置情報を取得することは困難である．そこで，AIS 搭載船舶以外の船舶の位置情報を取得するために船舶用レーダーとユビキタスナビを用いる．船舶用レーダーは函館湾内を一望できる研究センター屋上に設置した．設置した船舶用レーダーのアンテナを Fig. 3 に示す．今回用いた船舶用レーダーは光電製作所製 MDC-2910 であり，このレーダーは同時に最大 60 隻の船舶を自動捕捉することが可能である．また，捕捉した船舶の位置情報を RATTM センテンスで出力することが可能であり，RATTM センテンスには捕捉した船舶の ID，レーダーから見た船舶の距離および方位，船舶の速度と進路などが含まれる．RATTM センテンスに含まれる距離と方位，レーダー設置場所の緯度経度からレーダーで捕捉した船舶の緯度経度を算出し，速度，進路，時刻の情報と合わせてデータベースに保存する．ユビキタスナビについては，函館湾内を定期的に航行する観光遊覧船「ブルームーン」への搭載を予定している．ユビキタスナビは船内に搭載されている GPS と接続し，GPS が出力する GPRMC センテンスを 10 秒間隔で取得し，1 分毎にまとめて電子メールで送信する．AIS，船舶用レーダーの場合と同様に，メールに記載された船舶位置情報をデータベースに保存する．現時点では，函館湾内においてユビキタスナビを用いた船舶位置情報の取得は実現していないが，既に他の海域でユビキタスナビを用いた位置情報取得を実現していることから，函館湾内においても問題なく位置情報が取得できるものと考えられる．

データベースに保存した情報から，AIS とレーダーによる船舶位置情報を含んだテキストファイルを定期的に作成する．iPad 用アプリケーション「marine PLOTTER」などでテキストファイルを読み込むことによって，リアルタイムに函館湾内の船舶位置情報を閲覧することが可能となる．テキストファイル作成の際に共通のフォーマットに変換することで，異なるソースで得た位置情報を同時に閲覧することが可能となる．

また，船舶の位置情報とは別に，灯台や防波堤などの航行に必要となる物標位置の表示も実現する．物標は通常動かないため，あらかじめ電子海図から取得した座標をテキストファイルに保存し，船舶位置情報との重畳表示を実現する．今回，物標として灯台と防波堤の位置情報を取得した．また，大型船舶が航行する航路の位置情報についても取得した．

4　位置情報取得結果

Fig. 4 に函館湾内の物標の位置情報を示す．赤色と緑色の × 印は灯台，黒色の実線が防波堤，桃色の実線が航路を表している．また，Fig. 5 に AIS によって取得した船舶位置情報，Fig. 6 に船舶用レーダーによって取得した船舶位置情報を示す．これらの図では，丸印が最新の船舶位置情報，実線が直近 10 分間の航跡を表している．Fig. 7 に物標位置情報および船舶位置情報を重畳表示させた結果を示す．Fig. 7 では，黄色で塗りつぶされている丸印が AIS，灰色で塗りつぶされている丸印が船舶用レーダーによる位置情報を示している．

Fig. 6 より，船舶用レーダーで捕捉した情報には陸上の構造物などを捕捉した結果も含まれていることがわかる．また，一部船舶については航跡が陸上を横切るなど，不自然な航跡となっていることがわかる．これは，電波の反射を計測して物体までの距離を計測するレーダーの特性上，船舶に限らず物体を捕捉する場合があることや，捕捉した物体が一時的に捕捉不可能な状態となってしまうことなどが原因であると考えられる．

Fig. 7 より，AIS 搭載船舶でかつ船舶用レーダーで捕捉した船舶は，灰色と黄色の円が一部重なっていることがわかる．二つの円が完全に重ならないのは，船舶用レーダーは 1 秒単位で捕捉した船舶の位置情報を出力するのに対して，AIS のデータ送信周期は速度などに依存するという違いがあることが原因である．また，船舶用レーダーではレーダー設置場所を基準として船舶の位置情報を相対的に取得するのに対して，AIS は GPS による位置情報を送信するという違いがあることも原因である．また，一般的に GPS の精度は 10m 程度，レーダーの誤差は，今回のレーダーの設定では最大 30m 程度である．

Fig. 8 に, 2014 年 9 月 1 日のデータを用いて船舶入出港数を導出した結果を示す．Fig. 8 では，AIS と船舶用レーダーで取得した位置情報を基に 1 時間単位で船舶の入出港数を求めている．Fig. 8 より，船舶用レーダーによって導出した入出港数は，AIS によって導出した入出港数に比べて多くなることがわかる．これは，AIS 搭載船舶も船舶用レーダーによって捕捉できるためである．また，Fig. 8 より AIS を搭載していない船舶の往来が多いことも読み取れ，海上交通を把握する上で AIS を搭載していない小型船舶の位置情報を取得することが重要であるといえる．

5　まとめ

本稿では，函館湾内の海上交通の把握や安全航行支援を実現することを目的として，AIS，ユビキタスナビ，船舶用レーダーにより船舶位置情報を取得し，重畳表示させるためのシステムを構築した．船舶位置情報はリアルタイムにデータベースに蓄積するため，船舶入出港数などの統計的な情報の提供や，船舶の入出港をリアルタイムに把握することが可能となり，湾内の海上交通の把握や安全航行支援に役立つことが期待される．

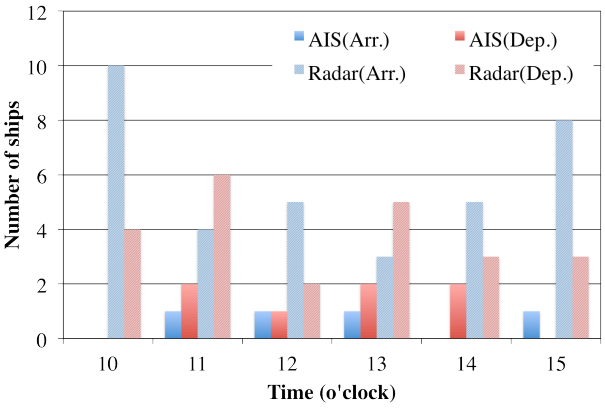


Fig. 8　船舶入出港数

現時点では，函館湾内でユビキタスナビを用いた位置情報の取得には至っていない．そのため，2014 年 9 月中に観光遊覧船「ブルームーン」にユビキタスナビを搭載し，携帯電話回線経由による船舶位置情報の取得を実現する．また，船舶用レーダーで取得した位置情報には船舶以外の位置情報も含まれていることから，陸上の構造物などの位置情報を除去し，海上の船舶の位置情報のみを提供するようにシステムを改良する予定である．

参考文献

[1] Marine Traffic, https://www.marinetraffic.com/jp/, 2014/08/22 アクセス

[2] 和田雅昭, 畑中勝守，庄司るり，松本浩文:船舶位置情報共有プラットフォームの構築に向けて—ユビキタスプロッタの開発—，日本航海学会論文集，Vol.126，pp.205-211 (2012).

[3] 高博昭，和田雅昭，松本浩文，畑中勝守：漁船位置情報を用いた大阪湾のサワラ流し網位置抽出手法の検討，日本航海学会論文誌，Vol.130，pp.37-43 (2014).

[4] 長岡英明，和田雅昭：レーダを用いた小型船舶運航サポートシステムの開発，情報処理北海道シンポジウム 2013 講演論文集，pp.123-124 (2013).

情報処理北海道シンポジウム 2014

小型漁船の横揺れ計測と復原性の評価

高橋浩貴 *　高博昭　和田雅昭
(公立はこだて未来大学)†

1　はじめに

北海道では毎年小型漁船の転覆事件が起きている. 平成 19 年には漁船第十一徳恵丸転覆事件が起きており, 事件原因はすけとうだら刺網漁の揚網作業中, 多量の魚がかかり失われてしまった復原力に対する配慮が不十分だったためである. また, 平成 20 年には, 漁船第二十八北成丸転覆事件 [2] が起きており, 事件原因は, ほたて貝けた網漁の操業中, 予定以上の漁獲があった際に積載が中止されなかったためである. このように, 日本では積載物の重量が増え, 復原力が低下することによる海難事件が起きており, 国土交通省海難審判所ホームページにて記録がある.

本研究の目的は小型漁船の転覆事件を未然に防ぐことである. そのために, 船舶横揺れ計測, 復原力算出のためにセンサー, 小型 PC を用いることで, 船員に対して復原力の低下を知らせるようなシステム開発を行う. 本稿では研究のために必要となる計測機器の選定, 実験によって船舶から計測することができたデータの結果と今後の計画について示す.

2　既存研究

船舶における復原力の研究は多く行われている. 例えば, コンテナ船を対象にした GoM の統計解析 [3], 積載物の搭載量の多い船舶を対象にした復原性の基準構築 [4], 船舶破傷時に復原力を保つための研究 [5] が挙げられる. 研究には積載量の多いフェリーやコンテナ船を対象としたものが多い.

本研究は小型漁船を対象としている. また, 発生した事件の記録を見ると, 船員の判断の遅れや, 復原力が低下していることに気がつかないことで発生した事件が多い. そのため, 小型 PC とセンサーを用い簡易的に復原力を算出, 船員に対して復原力の低下を知らせるようなシステム開発を目標とする.

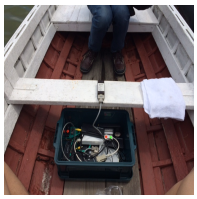
3　実験

3.1　傾斜計を用いた横揺れ計測実験

3.1.1　実験内容

傾斜計を用いた実験の目的は計測機器からの横揺れ,GPS データを小型 PC へ保存することである. また, 計測機器からのデータが本研究に適しているのか確認を行うことである. 実験は 2014 年 7 月 24 日に函館市の五稜郭公園内で行った. 野田貸ボート店でお借りした 3 名乗りの手漕ボートを用い実験を開始した. 機器は横揺れ計測のため HMR3000(Honeywell 社製), 計測した横揺れと正確な時間の関連を確認するため,GPS 計測機 ND-100 GPS DONGLE(GlobalSat 社製), 計測データの保存先小型 PC として OpenBlocks600D(Plat'Home 社製) を用いた.HMR3000 は PTNTHPR というヘッドの向き, ピッチ角, ロール角データを 1 秒間に 10 回計測を行い,ND-100 GPS DONGLE は GPRMC という時刻, 緯度経度, 方位, 日付を表したデータを 1 秒間に 1 回計測し,OpenBlocks600D は HMR3000 と ND-100 GPS DONGLE からのデータを 1 つのテキストファイルに保存する設定にした.Fig.1 に計測機器の設置状況の画像を示す. 実験は積載物の重量を変化させるため乗船人数を変えて行った.1 回目は 3 名乗りのボートに対して 2 名乗船し適時意図的に船を揺らし,50 分程度かけて五稜郭の堀を反時計周りに一周した.2 回目は 3 名乗船し 1 回目と同様に実験を行った.

(a) 船舶全体の状態


(b) 機器の設置状態

(c) 機器の設置状態拡大

Fig. 1　計測機器 OpenBlocks600D,HMR3000,ND-100 GPS DONGLE の設置状態

3.1.2　傾斜計を用いた横揺れ計測実験結果

Fig.2 は ND-100 GPS DONGLE からの位置情報を GoogleMap[6] を用いて示したものである. 乗船人数 2 名のときの位置情報を赤線, 乗船人数 3 名のときの位置情報を青線で示している.Fig.3 に乗船人数 2 名のときの HMR3000 からの横揺れデータを示す.Fig.4 に乗船人 2 名のときの横揺れデータに対してフーリエ変換を行った結果を示す.1 分間の横揺れ周期は約 30 回程度で, フーリエ変換から横揺れの周期 0.568(Hz) と一致する.

Fig.5 に乗船人数 3 名のときの HMR3000 からの横揺れデータを示す.Fig.6 に乗船人 3 名のときの横揺れデータに対してフーリエ変換を行った結果を示す.1 分間の横揺れ周期は約 25 回程度で, フーリエ変換から横揺れの周期 0.495(Hz) と一致する.

b1011160@fun.ac.jp
函館市亀田中野 116 番地 2　公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

Fig. 2 ND-100 GPS DONGLE からの位置情報 (五稜郭)

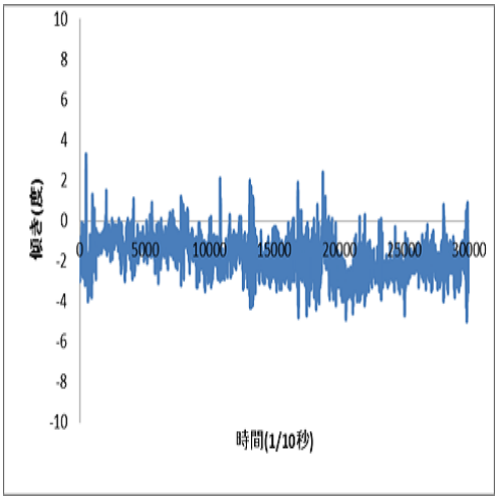


Fig. 3 乗船人数 2 名のときの横揺れデータ (五稜郭)

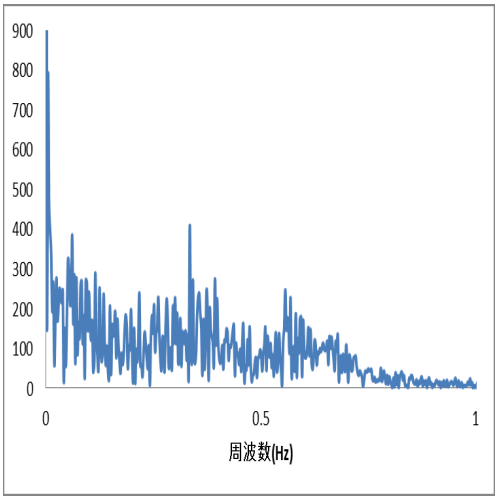


Fig. 4 乗船人数 2 名のときのフーリエ変換結果 (五稜郭)

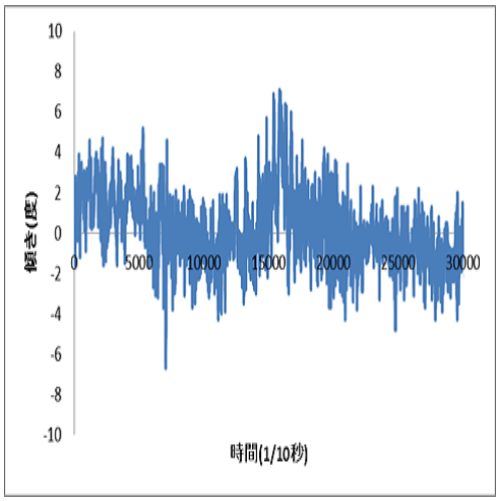


Fig. 5 乗船人数 3 名のときの横揺れデータ (五稜郭)

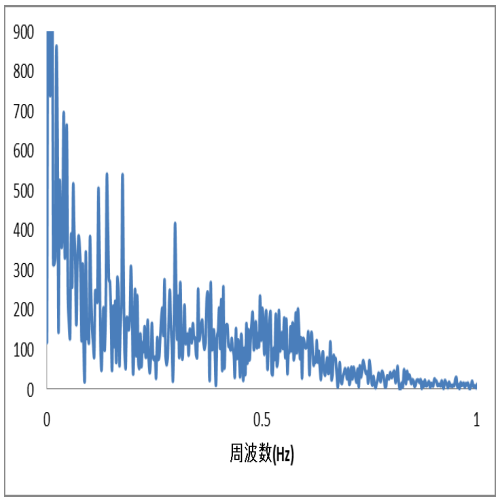


Fig. 6 乗船人数 3 名のときのフーリエ変換結果 (五稜郭)

3.2 サテライトコンパスを用いた計測実験

3.2.1 実験内容

実験の目的はサテライトコンパスを用いた横揺れデータの計測である. 実験は 2014 年 8 月 13 日に大沼公園で行った. 大沼合同遊船でお借りした 3 名乗りの手漕ボートを用い実験を開始した. 機器は VectorSensor(csi wireless 社製) を用い,GPRMC,PAST,HPR のデータ計測を行った.GPRMC は時刻, 緯度経度, 方位, 日付を表し 1 秒間に 1 回,PAST,HPR はヘッドの向き, ピッチ角, ロール角を表し 1 秒間に 10 回計測を行う設定である.VectorSensor のアンテナ部分はボート進行方向に対して垂直に設置を行った.Fig.7 に計測機器の設置について示す. 実験は積載物の重量を変化させるため乗船人数を変えて行った.1 回目は 3 名乗りのボートに対して 1 名乗船し適時意図的にボートを横に揺らし,50 分程度大沼公園内を移動した.2 回目は 3 名乗船し 1 回目と同様に実験を行った. また, 今回の実験から重さと横揺れの関係を確認するため乗船した人の重量計測を行った. 重量は 1 回目,1 名で乗船したときは 91.9kg,2 回目,3 名で乗船したときは 208.4kg であった.

(a) 船舶全体の状態　(b)VectorSensor 設置状態　(c) アンテナ部分設置状態

Fig. 7 計測機器 VectorSensor の設置状態

3.2.2 サテライトコンパスを用いた計測実験結果

Fig.8 は VectorSensor からの位置情報を GoogleMap[6] を用いて示したものである. 乗船人数 1 名のときの位置情報を赤線, 乗船人数 3 名のときの位置情報を青線で示している.Fig.9 に乗船人数 1 名のときの VectorSensor からの横揺れデータを示す.Fig10 に乗船人数 1 名のときの横揺れデータに対してフーリエ変換を行った結果を示す.1 分間に横揺れは約 35 回程度で, フーリエ変換から横揺れの周期として一致する箇所は見つけることができなかった.

Fig.11 に乗船人数 3 名のときの VectorSensor からの横揺れデータを示す.Fig.12 に乗船人数 3 名のときの横揺れデータに対してフーリエ変換を行った結果を示す.1 分間に横揺れ周期は約 40 回程度で, フーリエ変換から横揺れの周期として一致する箇所は見つけることができなかった.

サテライトコンパスを用いた実験では乗船人数の変化による振幅の差をあまり確認できず, フーリエ変換の結果からも 1 分間の周期と一致する箇所を見つけることができなかった.

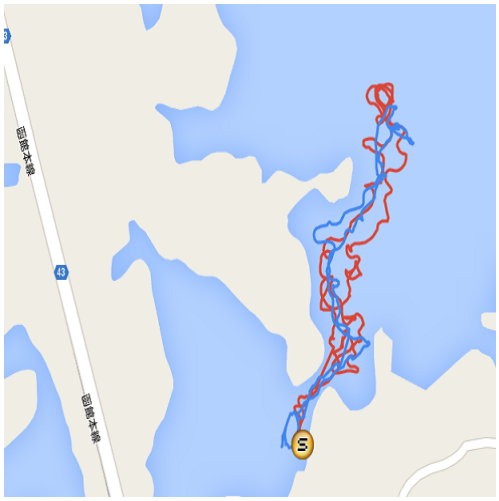


Fig. 8 VectorSensor からの位置情報 (大沼公園)

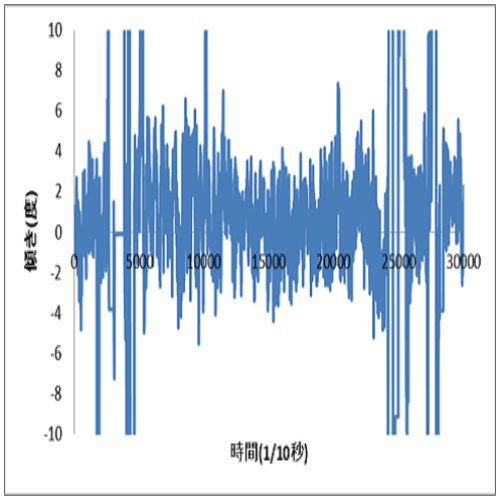


Fig. 9 乗船人数 1 名のときの横揺れデータ (大沼公園)

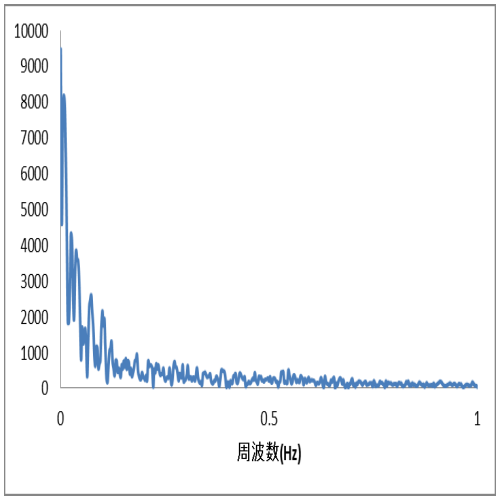


Fig. 10 乗船人数 1 名のときのフーリエ変換結果 (大沼公園)

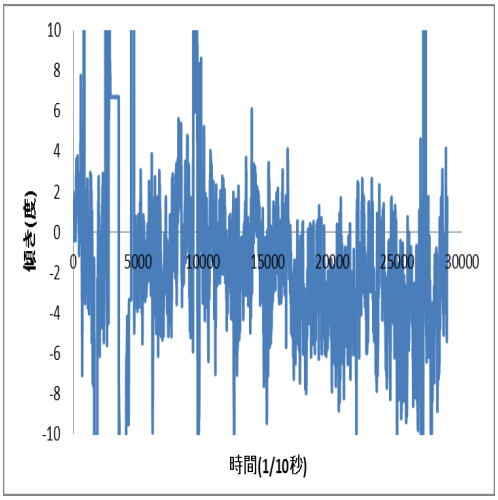


Fig. 11 乗船人数 3 名のときの横揺れデータ (大沼公園)

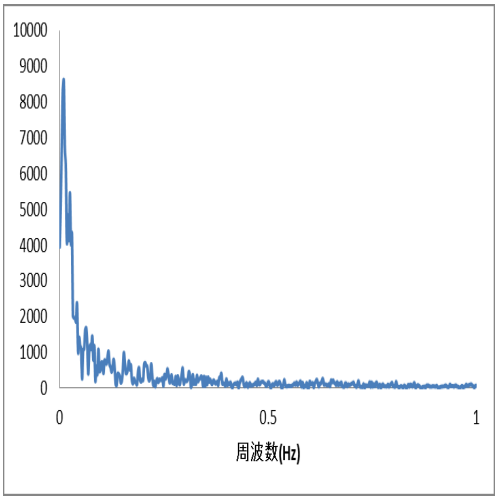


Fig. 12 乗船人数 3 名のときのフーリエ変換結果 (大沼公園)

4 おわりに

本稿では計測機器として傾斜計 HMR3000. サテライトコンパス VectorSensor を用いた船舶の横揺れ実験について述べた. 実験の結果, 傾斜計を用いた実験では積載物が重くなることにより, 船舶の横揺れ周期が長くなっていることが確認できた. しかし, サテライトコンパスを用いた実験では積載物が重くなることにより, 船舶の横揺れ周期が長くなっていることが確認できなかった.

今後の予定として計測する横揺れデータから, 横揺の周期算出, リアルタイムな復原力算出のプログラムを作成予定である. また, 作成したシステムを用いて実際の漁船で実験を行う. 傾斜計は利点として GPS データを利用せず横揺れの計測ができ, 重量変化による振幅の違いを確認できた. 欠点として時刻との関連を確認することができない. サテライトコンパスは利点として GPS を利用し横揺れを計測するため時刻との関連を確認することができるが, 欠点として GPS を捕捉できる外に設置しなければならない. そのため,8 月 28 日に鹿部町で両方の計測機器を用いた実験を行った. 実験の結果から, 本研究に適した機器の選定を行う予定である.

参考文献

[1] 海難審判所ホームページ-国土交通省, http://www.mlit.go.jp/jmat/saiketsu/saiketsu_kako/19nen/hakodate/hd1907/19hd013.html (2014/8/21 アクセス)

[2] 海難審判所ホームページ-国土交通省, http://www.mlit.go.jp/jmat/saiketsu/saiketsu_kako/21nen/hakodate/hd2102/20hd034.html (2014/8/21 アクセス)

[3] 津金正典 大型コンテナ船運航時の横 GoM の統計解析 日本航海学会 (2008/10/17)

[4] 梅田直哉 新世代船舶非損傷時復原性基準の構築を目指して

[5] 大和邦明・植村洋毅・恩塚政徳船舶損傷時の復原力を維持する復原力回復装置の開発-貨物搭載能力の確保・船型制約の緩和-

[6] GoogleMap, https://www.google.co.jp/maps/preview (2014/8/28 アクセス)

情報処理北海道シンポジウム 2014

星新一作品のネットワークによる分析の試み

高橋寛恒 * 松原仁
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

1.1 背景

本研究は「気まぐれ人工知能プロジェクト『作家ですのよ』」[1] の試みの一つとして行われているものである．このプロジェクトは，コンピュータにショートショート (厳密な定義は無いが，本プロジェクトでは 8000 字以内の小説のことを指す) を創作させることを目的としている．また，参考にする作家として星新一氏 [1] を選び，彼のような作品を作ることを目標の一つとする．

この試みは，人工知能に創作という人間の感性に関する領域を扱わせようとするものである．このような，コンピュータに感性を扱わせようとする試みは，絵画 [2][3] や音楽 [4]，和歌 [5] などの分野で行われているが，特に日本語において，散文という形態でコンピュータに感性を扱わせる試みはほとんど存在していない．そのため，この試みを成功させるためには，日本語における自然な文書生成の方法，物語の展開・プロットの決定方法や，「星新一のような」文章とはどのようなものであるのか，などの文書生成に関わる多くの課題をクリアしなければならないと予想される．

このような課題の中でも我々は特に「星新一らしさ」とは文章のどの様な要素によって成り立っているのかという問題に着目し，星新一作品を分析することによって，星新一作品を特徴付ける要素を明らかにすることを目的として活動している．

1.2 星新一作品の分析

前述のとおり，本プロジェクトではコンピュータによる，星新一のようなショートショートの創作を目標の一つとするため，星新一作品の計量的な分析が必要不可欠である．星新一作品に対する計量的分析としては，村井ら [6] により，プロット分析，tf-idf，n-gram，χ 二乗検定を用いた作品のテーマ抽出と，各テーマで現れるプロットの特徴の抽出が行われている．ここで得られた知見は，ショートショート生成時のプロット決定には効果的であると思われるが，文，あるいは文章を生成することを考えた場合には，抽象度の高い情報であると考えられる．そのため，コンピュータによる文書生成の為には，より抽象度の低い，語彙や文レベルでの星新一作品における知見が必要であると思われる．

語彙レベルの分析としては，佐藤ら [7] によって，作品における語彙の頻度情報に基づく分析が行われているが，ここで語彙としているのは名詞のみであり，その他の要素についての検討は行われていない．一般に，文章は名詞のみで構成されるわけではないので，ここで得られた知見だけでは文書生成は難しいと予想される．また，仮に動詞など他の要素についての頻度情報が得られたとしても，それらがどのように接続されて文が構成されているかという，接続関係が明らかにならなければ，文書生成にその知見を応用する事は困難であると考えられる．

以上の点を踏まえて，我々は，コンピュータによる星新一のようなショートショート生成のための知見獲得の試みとして，星新一作品のネットワークによる分析を行った．ネットワークはノード (頂点) とエッジ (辺) によって，あるものとあるものの関係を表現することが可能な知識表現の形態であると捉える事が出来る．従って，ネットワークが表現する関係を適切に設定すれば，作品に出現する語彙の接続関係を保持したまま，星新一作品における語彙の計量的情報を表現することが可能である．

本研究では，星新一作品のネットワークによる分析の第一歩として，星新一作品を元に構成したネットワークに対して分析を行い，ネットワークによる分析が，作品の分析に対して有効であるかを検証する．

2 ネットワークの構成

本節では，分析のために構成したネットワークの構成法や分析対象の設定について述べる．本研究において構成したネットワークは 2 種類あり，それぞれ共起ネットワークと係り受けネットワークと名づけた．続く 2.1 項では共起ネットワークの構成方法について述べ，2.2 項では係り受けネットワークの構成方法について述べる．ネットワークによる分析対象としては，薬がテーマであると思われる 32 編について分析対象とした．これは，ネットワークによる分析が，作品の分析方法として有効であるかについて不明瞭であることを考慮して，適度な作品数で分析を行うためである．

作品のテーマ抽出については前述のとおり，村井ら [6] が行っているものの，ここにおけるテーマとは，作品に登場する特定の単語群であり，テーマが作品中に出現する語に限定されている点で，特に文学作品のテーマの特定方法としては疑問が残る．しかし，その他に有力な方法が確立されているわけではないため，本研究では，人手により作品のテーマを分類した．

* g2114019@fun.ac.jp
† 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学大学院

[1] 日本の作家．ショートショートと呼ばれる短編小説を生涯で 1000 作品以上残した．作品数の多さと，その質の高さから「ショートショートの神様」と称される．

2.1 共起ネットワーク

本項では，共起ネットワークの構成法について述べ，実際に構成した共起ネットワークを示す．共起ネットワークは，作品に出現する単語の共起関係を表現するものである．ここでの共起関係とは，一文において定義されるものであり，その文の中で出現する名詞と動詞について共起関係にあると定義する．このネットワークにおいて，ノードは作品中に存在する全ての名詞と動詞を表し，エッジは共起関係にあるノードのペアを結ぶ様に作られる．

ネットワークを構成する際には，動詞や名詞の同定に MeCab に IPA 辞書を適用したものを用いた．この時，特定された動詞が活用形であった場合でもそれを原形に直すようなことはしていない．これは，文章生成を考える上で，動詞が活用している，活用していないという情報も重要であると考えられることによる．Fig. 1 に実際に構成した共起ネットワークを示す．以降に示すネットワークの可視化では，次数の低いノードに接続しているエッジほど青くなり，次数が高くなるほどに，緑，赤になっている．

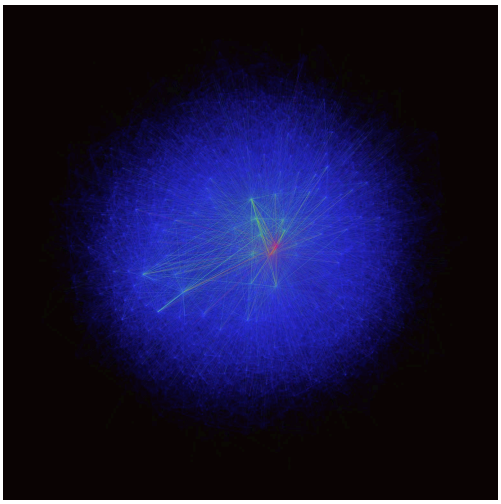


Fig. 1 共起ネットワークの可視化

2.2 係り受けネットワーク

本項では，係り受けネットワークの構成法について述べ，実際に構成した係り受けネットワークを示す．係り受けネットワークは，作品中に存在する各文の文節間の修飾関係を表すものである．文節や修飾関係の同定には CaboCha を用いた．このネットワークにおいてノードは作品の各文を構成する文節を表し，エッジは CaboCha によって同定される係り受け関係に従うようにノード間を結ぶ．この時，係る側と係られる側の関係を表すため，エッジを有向とし，係る側から係られる側に向かってエッジが張られる．Fig. 2 に実際に構成した係り受けネットワークを示す．

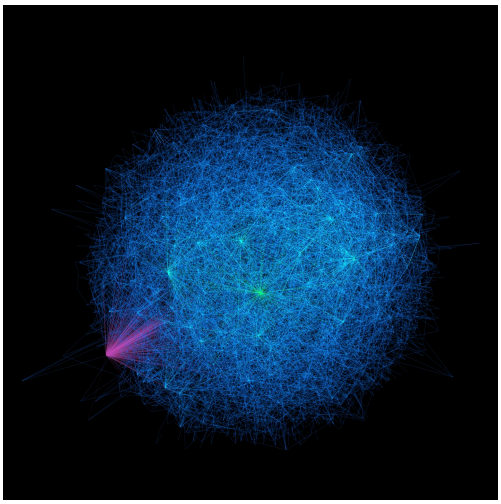


Fig. 2 係り受けネットワークの可視化

3 ネットワークによる分析

本節では，構成したネットワークによる分析結果について述べる．3.1 項では，構成したネットワークの性質を明らかにするため，2 つのネットワークに対してグラフ理論に基づく分析を行った結果について述べる．次に，3.2，3.3 項では特徴的な結果が得られた分析結果について述べる．

3.1 ネットワークの性質

共起ネットワークと係り受けネットワークの性質を調べるため，Table 1 に示すような，グラフ理論で用いられる指標を算出した．

Table 1 各ネットワークにおける指標値

指標＼ネットワーク	共起	係り受け
ノード数	4336	11757
エッジ数	55281	1608
平均次数	25.499	1.362
平均クラスタ係数	0.748	0.003
平均パス長	2.551	6.567

また，それぞれのネットワークの次数分布を Fig. 3，4，5 に示す．これらのグラフにおいて，縦軸は頻度，横軸は次数を表しており，それぞれの軸は対数軸である．グラフ中では青点で累積確率分布として表した次数分布をプロットした．また，赤の実線で Aaron ら [8] の方法によるフィッティング結果を示している．係り受けネットワークについては，次数が入次数と出次数に区別できるため別々にプロットした．

これらのグラフより，ネットワークの次数分布がべき分布に従っているということがわかる．ネットワーク分析の分野では，この様な次数分布を持つネットワークをスケールフリーネットワークと呼ぶ．スケールフリーネットワークにはハブと呼ばれる非常に大きな次数を持つノー

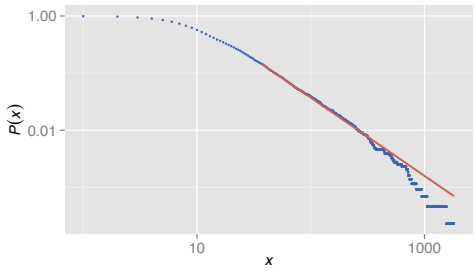


Fig. 3 共起ネットワークの次数分布

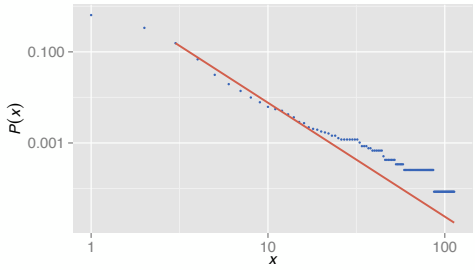


Fig. 4 係り受けネットワークの入次数分布

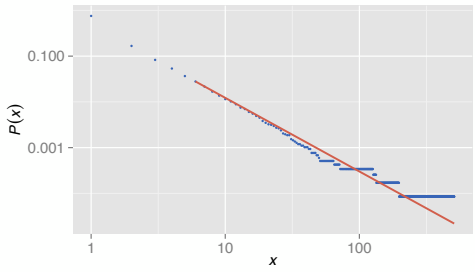


Fig. 5 係り受けネットワークの出次数分布

ドや，比較的高い次数を持つノードを持つことが知られている．共起ネットワークでは，第 3.2 項で述べるように，このようなノードに着目することで，星新一作品の特徴的語彙や，テーマに関連すると思われる語が観察できた．

3.2 共起ネットワークにおける特定ノード群への着目

本項では，共起ネットワークにおいてある特定のノード群について着目した結果について述べる．ここでの特定ノード群とは，ノードを次数順に全体の上位 5%にあたる数まで取り出したものである．これらのノードに着目した結果，星新一作品によく見られると言われる特徴的な語彙や，テーマに関連すると思われる語を観察することが出来た．観察された語について一部を抜粋したものを Table 2 に示す．

星新一は作品の中で特徴的な人物表現 [2] を用いるということが知られているが，これらの特定ノード群の中に

[2] エヌ・エフ・彼女などの表現を多用し，特定の人名を用いることを避ける．

Table 2 観察された語彙 (抜粋)

観察されたノード	次数
エヌ	374
エフ	247
男	319
青年	213
彼女	184
博士	513
薬	714
作用	225
薬品	191
研究所	122
効果	143

もエヌやエフ，男や青年，彼女や博士などといった人物表現が見られた．また，本研究ではテーマが薬に関連すると思われる作品のみを集めて分析を行っているため，薬，作用，薬品，研究所，効果などテーマに関連すると思われる語が見られた．

このような語が次数に着目することで発見可能であることは，ネットワークの構成法と関連があるものと思われる．このネットワークのエッジは，前述した共起関係にあるノード間を全て結ぶので，ある 1 つの文についての部分グラフは，完全グラフとなる．これは，繰り返し出現する単語のノードほど，多くのノードと隣接しやすくなることを意味する．これにより，次数に着目することで，作品で多用される人物表現や，テーマに関連すると思われるような語彙が抽出可能になったものと考えられる．

3.3 係り受けネットワークにおける生成へのランダムウォーク適用

本項では，係り受けネットワークに対して適用した，ランダムウォークによる短文生成の試みについて述べる．ここでのランダムウォークとは，ネットワーク上のノードを移動するような仮想的なエージェントを考え，そのエージェントをある停止条件になるまでネットワーク上で動作させることを指す．本研究で行ったランダムウォークの手順は以下のようなものである．

1. エージェントの初期位置となるノードをランダムに選ぶ
2. エージェントの現在地ノードから出ているエッジの先のノードにランダムに移動する
3. 2 を次のいずれかになるまで続ける
   (a) エージェントの移動したノード総数がある数に達する
   (b) 現在のノードから出ているエッジが存在しないノードに到達する (出次数が 0 のノード)

以上のような手順でランダムウォークを行い，エージェントが到達した順番にノードが表す文節を繋げていった結果，Table 3 に示すような短文が得られた．

Table 3 生成された文 (抜粋)

生成された文	文節数
崇高な使命なのだという妄想が、発生したのだろう。	4
乱すのは人道上しのびないが、遂行しなければならない。	3
宝物を当てた、といった感想を抱く人も多い	7
毛髪のほうはなんとかなる。	3
お金さえあれば負けずに働けます。	4
ネコは魔物というから、やりかねない。	4

この例では，(a) の条件を，7 個のノードを経由したら終了としてランダムウォークを実行した．この方法はランダム性が取り入れられているため，必ず意味の通る文が生成されるわけでは無いが，Table 3 に示した短文は，一見して意味が通ると判断され，かつ，ネットワークを構成する際に使用した作品の中には存在しない，新規の文である．

この方法の問題点としては，生成のされる文が元の作品に出現した文節の修飾関係に依存する為，新規の文であっても，元の作品と類似した文ができてしまうことが挙げられる．このことは，星新一のような作品を作る上では好ましいと考える事もできるが，同時に剽窃に近づくということでもある．従って，星新一らしさを大きく損なわない範囲で剽窃から脱却する方法を模索する必要がある．また，この方法はあくまでも短文生成のための方法であり，複数の文をまとめて一つの文章にするようなことは出来ない．そのため，文章生成に対する直接の貢献にはならないが，既存の作品から意味の通る新規の文が生成できたという点で，星新一らしい文章生成の第一歩になるものと考えている．

4 まとめ

本研究では，コンピュータによる星新一のようなショートショート生成のための知見獲得の試みとして，星新一作品のネットワークによる分析を行った．分析では，特に薬をテーマにしていると思われる，32 編を対象に，共起ネットワークと係り受けネットワークの 2 つのネットワークを構成した．

その結果，共起ネットワークにおいては，特定ノード群に着目することで，星新一作品における特徴的な人物表現や，テーマに関連すると思われる語を観察することが出来た．係り受けネットワークでは，ランダムウォークを適用し，既存の星新一作品から短文を生成する方法について示した．以上のことから，ネットワークによる分析は，生成に向けた作品の分析方法として有効であると考えられる．

今回の試みは実験的なものであり，星新一のような文書 (作品) 生成という目標に対して，十分な知見を提供できたとは考えていないが，その最初の段階として，ネットワーク分析の有効性を示せたものと考えている．また，頻度分析には無いものとして，語や文節間の接続情報がネットワークでは表現されているため，これらの情報が文書生成に役立つことを期待している．

今後の展望として，本研究で対象としたものよりも大規模な作品群での適用や，名詞と動詞以外の要素についても考慮したネットワークの分析などを考えている．また，今回の分析で用いた手法を，他作者の作品に適用することで，星新一作品と比較して，どのようなところが異なっているかについても探っていきたい．

参考文献

[1] 松原 仁，佐藤理史，赤石美奈，角 薫，迎山和司，中島秀之，瀬名秀明，村井 源，大塚裕子：コンピュータに星新一のようなショートショートを創作させる試み，2013 年度人工知能学会全国大会論文集，https://kaigi.org/jsai/webprogram/2013/paper-110.html, 人工知能学会 (2013).

[2] Kurzweil CyberArt Technologies Inc.: AARON: A Product of Kurzweil CyberArt Technologies, http://www. kurzweilcyberart.com/.

[3] 迎山和司：人工知能画家静第 3 版 (ペン入力インタフェース (2))，情報処理学会研究報告. HI, ヒューマンインタフェース研究会報告， Vol.2004, No.51, pp. 47–54（オンライン），http://ci.nii.ac.jp/naid/110002911832/ (2004).

[4] 深山 覚，中妻 啓，米林裕一郎，酒向慎司，西本卓也，小野順貴，嵯峨山茂樹：Orpheus ： 歌詞の韻律に基づいた自動作曲システム (自動作曲)，情報処理学会研究報告. [音楽情報科学]，Vol.2008, No.78, pp. 179–184（オンライン），http://ci.nii.ac.jp/naid/110006885356/ (2008).

[5] 佐々木あらら：星野しずるの犬猿短歌，http://www17.atpages.jp/sasakiarara/sizzle/.

[6] 村井 源，松本斉子，佐藤知恵，徃住彰文：物語構造の計量分析に向けて：星新一のショートショートの物語構造の特徴，情報知識学会誌， Vol.21, No.1, pp. 6–17（オンライン），http://ci.nii.ac.jp/naid/10029134488/ (2011).

[7] 佐藤知恵，村井 源，徃住彰文：文学作品群の特徴的語彙と概念カテゴリーの抽出 ： 星新一ショートショートの計量分析 (特集 第 17 回 (2009 年度) 年次大会 (研究報告会&総会))，情報知識学会誌，Vol.19, No.2, pp. 132–137（オンライン），http://ci.nii.ac.jp/naid/110007227673/ (2009).

[8] Aaron, C., Cosma Rohilla, S. and M. E. J, Newman.: Power-Law Distributions in Empirical Data, *SIAM Rev.*, Vol.51, No.4, pp. 661–703 (online), http://dx.doi.org/10.1137/070710111 (2009).

超大規模Vehicle Routing Problemに対する単純化の概念を用いた進化型多目的最適化アプローチの提案

佐藤哲也* 渡邉真也† 榊原一紀
(室蘭工業大学)‡ (室蘭工業大学)§ (富山県立大学)¶

1 はじめに

Vehicle Routing Problem（VRP）は，配送計画問題または運搬経路問題と呼ばれ，配送センター（Depot）から複数の需要地への配送を効率的に行おうとする配送ルート決定問題であり，実務的な問題として 1950 年代より数多くの研究がなされてきた [1, 2].

VRP は，制約として与えられた各ビークルの積載量制約を満たした上で複数のビークルを用いてすべてのカスタマーを訪れる経路決定問題であり，ビークルに対するカスタマーの割り当て，および各ビークルでのカスタマーの訪問順序を決定する問題である．これまで VRP に対しては，分枝限定法や数理計画法といった厳密解法から局所探索法（Local Search，LS）や Simulated Annealing（SA），遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm, GA）といった様々な発見的解法が適用されており，数多くの適用例が報告されている [1]．また，VRP は総移動距離だけでなくビークルの台数，各経路間の移動距離の分散度合いなど本質的に多目的の要素を内包していることから，進化型多目的最適化（Evolutionary Multi-criterion Optimization，EMO）を VRP へ応用した研究も数多く報告されている [2, 3, 4, 5].

しかし，近年はコンピュータの高性能化及びクラウド技術の進歩にともなう情報のビッグデータ化に伴い幅広い分野で扱うデータや問題自体が大規模化しており，その対応が大きな課題となっている．VRP においても，問題の大規模化により組み合わせ爆発，計算コストの増加などの問題により，従来手法現実的な時間内にユーザーが妥協できる品質の解を導出することが難しくなる．

そこで本研究では，大規模問題に対しカスタマーのクラスタリングを用いた問題の単純化を試みた．本手法では，探索が進むに従い段階的にその単純化を解消しながら解探索を行うことによる効率的な探索の実現を目指す．

提案手法の有効性を検証するため，代表的なベンチマーク問題である Taillard らの問題に対して数値実験を行い，ある一定数以上のカスタマーを有するテスト問題を対象に，問題の単純化を行わない場合との比較を行った．

¶14043018@mmm.muroran-it.ac.jp
‡sin@csse.muroran-it.ac.jp
*北海道室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学大学院 工学研究科情報電子工学系専攻
§北海道室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学大学院 しくみ情報系領域
¶富山県射水市黒河 5180 富山県立大学 工学部 情報システム工学科

2 Vehicle Routing Problem

VRP にはその制約の種類に応じて様々な派生形が存在するが，本論文では最も単純な積載量制約付き VRP（Capacitated VRP: CVRP）を扱う．

本研究における VRP の定義を下記に示すとともに，その概念図を Fig. 1 に示す．

> 複数台のビークルを用いて N 人のカスタマーを巡る．各車はデポ（Depot）と呼ばれる出発地点から，割り当てられたカスタマー集合を全てを巡り，デポに戻る．このとき車によるカスタマーの通過順をルート（巡回路）とよぶ．各車は i 番目のカスタマー地点 u_i において w_{u_i} の需要量（重量）を積み込むものとする．カスタマー u_i とカスタマー u_j 間は，距離コスト d_{u_i,u_j} で接続されているものとする．車がルートをめぐる間，積載量が容量 W 以下となるといった制約が課せられる．

VRP の評価については総移動距離の最小化や各ルートごとの移動距離の分散，各ルートごとの積載量の分散など様々なものが考えられるが，本研究では総移動距離 F_{sum} および各ルートごとの移動距離の分散 F_{var} の 2 目的最適化問題として定式化した．本論文で扱う目的関数を以下に示す．

$$\min \quad F_{\mathrm{sum}} = \sum_{m=1}^{M} d^m \tag{1}$$

$$\min \quad F_{\mathrm{var}} = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}(\bar{d} - d^m)^2 \tag{2}$$

式 (1) における M は使用するルートの総数であり，d^m は m 番目のルートにおける距離コスト，$\bar{d}$ は各ルートの平均距離を表す．d^m の定義を式 (3) に示す．

$$d^m = d^m_{0,u^m_1} + \sum_{i=1}^{n_m-1} d^m_{u^m_i,u^m_{i+1}} + d^m_{u^m_{n_m},0} \tag{3}$$

式 (3) における $d^m_{u^m_i,u^m_j}$ は m 番目のルートにおけるカスタマー u_i から u_j までの距離コストを表している．また，u^m_i は m 番目のルートにおいて i 番目に巡るカスタマーを表しており 0 はデポを意味している．n_m は m 番目のルートが巡回するカスタマーの総数を表しており，本論文では巡回すべき全カスタマー数を $N = \sum_{m=1}^{M} n_m$ とする．

次に，各ルートにおける積載量制約に関する定義を式 (4) に示す．本論文では，すべてのルートにおいて同一

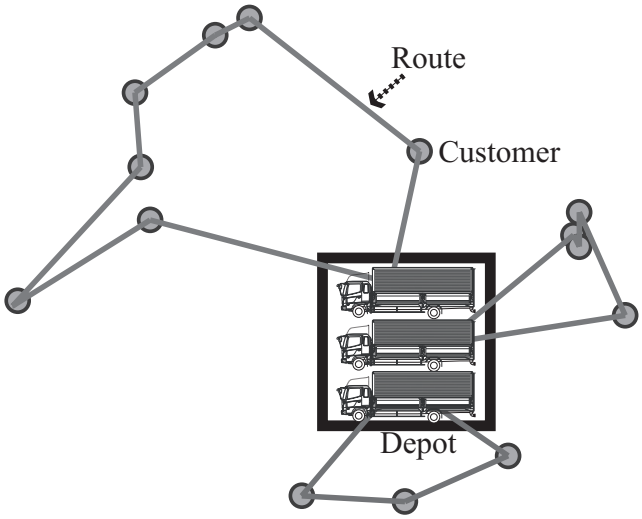


Fig. 1 The concept figure of VRP.

の積載量制約 W を使用した.

$$W \geq w^m = \sum_{i=1}^{n_m} w_{u_i^m}, \quad (m = 1, \ldots, M) \qquad (4)$$

式 (4) における w^m は，m 番目のルートにおける総積載量であり，$w_{u_i^m}$ は m 番目のルートにおいて i 番目に巡るカスタマーの需要量を表している.

式 (4) より VRP は容量に関する制約，およびすべてのカスタマーを巡るといった制約を満たし，かつ評価が最小となるような配送計画，すなわち

(1) ビークルへのカスタマーの割り当て

(2) 各ビークルがカスタマーを巡る順路

を決定する問題であると捉えられる.

3 提案手法

提案手法は，将来的に超大規模 VRP と呼ばれる，カスタマー数が 1000 以上の問題に対して適用することを想定している．そのため，問題の大規模化にともなう組み合わせ爆発，計算コストの増大といった問題への対応が重要となる.

本研究では，割り当て問題を EMO を利用して探索を行い，順路問題を Lin- Kernighan Heuristic（LKH）[6] を利用して解くことにより，効率的な解探索の実現を目指した．LKH は k-opt 法におけるパラメータ k を可変にすることで，効率的に良質な巡回路を生成するアルゴリズムであり，総移動距離の改善量に応じて動的に k を増加させながらより良い改善を目指すという特徴を持つ.

以下に提案手法の全体の流れを示す．また，全体をフローチャートで表したものを Fig. 2 に示す.

Step 0: 初期パラメータの設定

- 対象問題を設定
- N　　初期個体数
- A　　アーカイブサイズ
- G_S　　解の停滞を許容する世代数

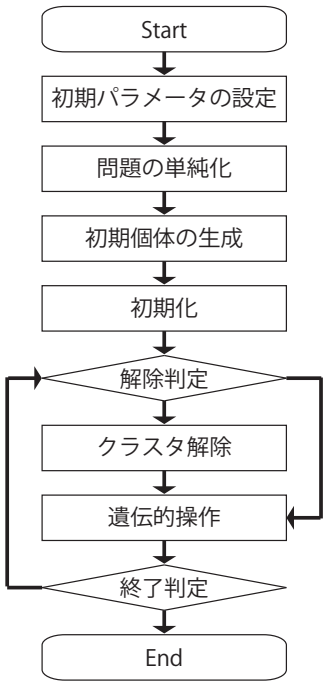


Fig. 2 Fllowchart of Proposal Approach.

- G_F　　オリジナル問題に回帰する世代
- G_{Final}　　終了世代

Step 1: 問題の単純化

対象問題における各カスタマーに対して，クラスタリングを利用したグルーピングを行い，グループ化した複数カスタマーを 1 つのカスタマーと見立てることで問題を単純化する.

Step 2: 初期個体の生成

N 個の初期個体を生成する.

Step 3: パラメータの初期化

$g = 0$，$F_{\mathrm{best}} = 0$，$g_s = 0$ とする．ここで g は現在の世代数，F_{best} は前世代の F_{sum} の最小値，g_s は F_{best} の停滞世代数を表す.

Step 4: 評価値の比較

アーカイブ内の個体から F_{sum} が最小となる評価値と F_{best} を比較する．両者が異なるとき，$F_{\mathrm{best}} = \min F_{\mathrm{sum}}$，$g_s = 0$ と代入する．両者が等しいとき，$g_s = g_s + 1$ とする.

Step 5: クラスタ解除

$G_S \leq g_s$ のとき，一部のクラスタを解除する．解除後 $g_s = 0$ とおく.

Step 6: 遺伝的操作

遺伝的操作により新たに N 個の子個体を生成し，アーカイブを更新する.

Step 7: 終了条件判定

$G^{\mathrm{Final}} \leq g$ ならば終了し，そうでなければ $g = g + 1$ とし Step4 へ戻る.

本章では，上記の提案手法における Step1 のクラスタ形成アルゴリズム及び，Step5 クラスタ解除アルゴリズムを説明する.

3.1 クラスタ形成アルゴリズム

本提案手法は，ある程度距離が近い複数のカスタマーを 1 つのカスタマーと見立てることで，扱うカスタマー数を抑えるものである．一般的に，クラスタリングを行う際は距離の近いものから順に結合していくが，VRP ではカスタマーが持つ需要量も考慮する必要がある．

実際に本研究で利用している代表的なベンチマーク問題である Taillard らの問題[1] では，真の解においてデポに近いカスタマーはカスタマー間距離が非常に近いカスタマー同士でも異なるビークルに割り当てられており，一方，デポから遠いカスタマーではカスタマー間距離が多少離れている場合でも同じビークルに割り当てられている．

そのため，クラスタリングを導入するにあたり，クラスタ内カスタマー数の上限と距離の閾値を設け，この点について考慮したグルーピングの実現を試みた．すなわち，デポから遠いカスタマーほど集団を形成しやすく，逆にデポから近いカスタマーほどより集団を形成しにくくなるようにクラスタリングを行った．

また，クラスタリングを行う際，より隣接距離の近いカスタマー同士から結合を行うが，新たに追加するカスタマーの需要量とクラスタに含まれているカスタマーの需要量の総和の和がビークルの最大重量値を超えてはならないこと，そしてある一定以上の距離のクラスタ同士は結合してはならないことなどを条件とした．

以下，アルゴリズムの詳細な手順を示す．

Step 1: 初期クラスタの生成

カスタマー数と同数のクラスタ $C_i(i = 1, \cdots, N)$ を生成し，各クラスタ C_i に各カスタマを 1 つずつ割り当て，各クラスタに含まる総カスタマー積載量 $w^{C_i}(i = 1, \cdots, N)$ を設定する．ここで，クラスタ内カスタマー数 P_i は，$P_i = 1$ とし，現在の総クラスタ数 N^C を $N^C = N$ とする．

Step 2: クラスタ内カスタマー数上限の設定

デポと各クラスタ間距離の正規化を行い，正規化した距離に基づいて，各クラスタ内に取り入れることができる最大カスタマー数 $P_i^{\max}$ を決定する．

Step 3: 代表クラスタの選択

未選択クラスタの中で式 (5) を満たすクラスタ C_i を選択する．このとき，該当するクラスタが存在しなければ終了する．

$$\max_{i=1,\cdots,N^C} d_{(C_i,C_0)} \tag{5}$$

ここで C_0 はデポのことであり，$d_{(C_i,C_j)}$ は最短距離法に基づくクラスタ間の距離を表す．

Step 4: 終了条件判定

$N^C \leq N^P$ のとき終了する．そうでなければ，Step5 へ進む．ここで N^P は最小クラスタ数を表す．

Step 5: 結合クラスタの選択

式 (6) を満たすクラスタ C_j を選択する．このとき，該当するクラスタの組み合わせが存在しなければ，Step3 に戻る．

$$\begin{aligned} D^T &\geq \min_{j=1,\cdots,N^C | j\neq i} d_{(C_i,C_j)} \\ s.t.\quad & W \geq w^{C_i} + w^{C_j}(j = 1, \cdots, N^C \mid i \neq j) \\ s.t.\quad & P_i^{\max} \geq P_i + P_j(j = 1, \cdots, N^C \mid i \neq j) \end{aligned} \tag{6}$$

ここで，D^T はクラスタの結合が可能な距離の上限 (閾値) を表し，W は積載量の上限，$d_{(C_i,C_j)}$ はクラスタの代表点の距離を表す．

Step 6: クラスタの結合

クラスタ C^i と C^j を結合し，クラスタ内総重量とクラスタ内のカスタマー数を更新する．具体的には，C^j に含まれるカスタマー情報を C^i に統合し，C^j を削除するという処理を行う．そして $N^C = N^C - 1$ とし，Step4 へ戻る．

上記のように，結合アルゴリズムでは，近接するクラスタ同士を目標となるクラスタ数 (N^P) まで結合するという操作の繰り返すことを基本としている．

3.2 クラスタ解除アルゴリズム

クラスタ解除アルゴリズムは，探索の停滞が認められた時に一部のクラスタを解除し，元の問題に近づけるという処理を行うためのものである．すべてのクラスタを一度に解除，つまり元の問題へ戻した場合，解除前後での問題の規模および性質が大きく異なるため，それまでの探索において得られた情報が必ずしも効果的に受け継がれない可能性がある．そのため，本論文では，段階的に一部のクラスタを解除することで，元の問題と単純化した問題のギャップへ対応することを試みた．

その際に重要になるのは，クラスタをどのタイミングで解除するのかという点であるが，本論文では下記に示す条件をクラスタ解除のタイミングとして用いた．

条件 1. 前回の解除から $G_r(0 \leq G_r \leq G_F)$ 世代以上経過している．

条件 2. F_{sum} の最良値が G_S 世代に渡り，変化がない．

上記の条件から分かる様に，本アルゴリズムではその時点の最良個体 F_{sum} が更新されなければ，現時点の問題設定での探索は概ね収束したと判断し，クラスタ解除を行うようなアプローチをとった．ここで，クラスタの解除数は $r_b \leq r \leq 2r_b$ の乱数より決定し，パラメータ r_b が大きいほど解除するクラスタの数が多くなり，逆に小さいほど少なくなるよう設定した．解除するクラスタの選択基準については，様々なものが考えられるが，本研究では下記に示す 5 つの基準およびこれらを組み合わせたものについて実装を試みた．

[1] VRP website
http://www.bernabe.dorronsoro.es/vrp/

Table 1 Used Parameters.

Parameter	tai150a	tai385
N	50	
A	250	
G_r	3	
G_S	3	
G_F	160	240
G_{Final}	200	300

1. クラスタ内最大 2 点間距離が大きいもの
2. クラスタ内分散値が大きいもの
3. クラスタ重量が大きいもの
4. クラスタ内へビーカスタマーが重いもの
5. 他クラスタとの距離の分散

ただし，最終的には元のカスタマー情報を利用した解を求める必要があるため，探索が $G^F(0 \leq G_F \leq G)$ 世代になったとき，強制的にクラスタを全て解除し，元の問題へ戻すという操作を行っている．

以下にアルゴリズムの詳細について述べる．

Step 1: オリジナル問題への帰化判定
現在の探索世代 g が $g \geq G_F$ を満たすとき，すべてのクラスタを全解除し，オリジナル問題に帰化して終了する．

Step 2: 部分解除のタイミング判定
前述のクラスタ解除を行うタイミングの判定を行い，満たしていれば Step3 へ，そうでなければ終了する．

Step 3: クラスタの解除数の決定
解除するクラスタ数 r を r_b および乱数を基に決定する．

Step 4: クラスタの解除
前述の解除するクラスタの基準に基づき評価値を算出し，その値の高いクラスタを r 個だけ選択し，クラスタを解除.

4 数値実験

本論文では，提案手法の有効性を検証するため，下記の 2 種類の数値実験を行った．

実験 1 クラスタリング（問題の単純化）アプローチの有効性の検証

実験 2 解除するクラスタの選択基準についての比較検証

テスト問題には代表的なベンチマーク問題である Taillard らの問題から tai150a と tai385 を用いた数値実験を行った．また，実験に使用したパラメータを Table. 1 に示す．今回の実験ではテスト問題に対してそれぞれの方法に各 5 試行ずつ適用し，最終結果の F_{sum} の最良値が中央値を取る結果の推移を出力した．

以下，実験結果及び考察について述べる．

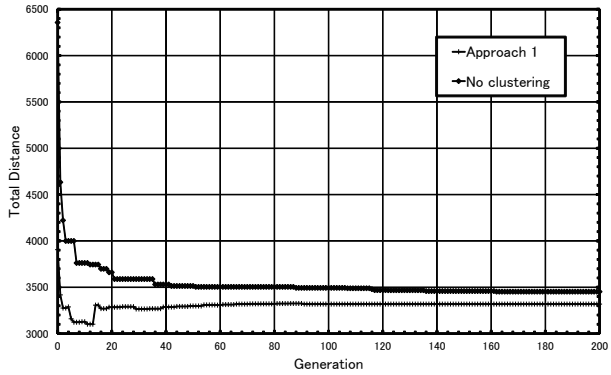


Fig. 3 Transitions of F_{sum} at tai150a

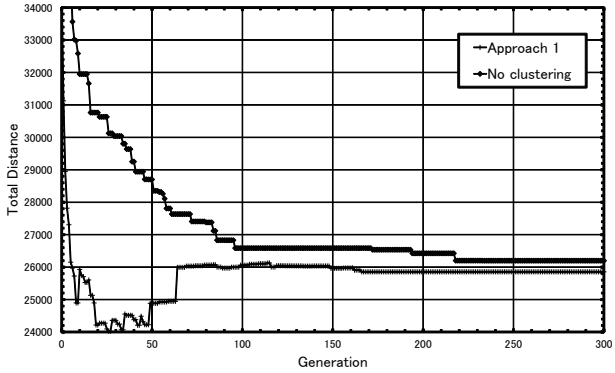


Fig. 4 Transitions of F_{sum} at tai385

4.1 実験 1 と考察

実験 1 では tai150a と tai385 の問題規模の異なる 2 つの問題に対し，クラスタリングを使用しない場合と，クラスタリングを使用した場合の数値実験を行った．ここでは 3.2 節で述べた 5 つの基準のうち 1 番目の基準である「クラスタ内最大 2 点間距離」に基づく結果をクラスタリングを使用した場合として用いた．tai150a と tai385 の数値実験の結果をそれぞれ Fig. 3 と Fig. 4 に示す．

問題の規模が比較的少ない tai150a の数値結果である Fig. 3 をみる．この問題では 100 世代前後ですべてのクラスタが解除されている．その地点での評価値を比較してもクラスタリングをしている方が評価値がよいことがわかる．

次に比較的問題の規模が大きい tai385 の数値結果である Fig. 4 をみる．この問題では 200 世代前ですべてのクラスタが解除されている．その地点での評価値を比較してもクラスタリングをしている方が評価値がよいことがわかる．

クラスタリングをした場合，問題が単純化されているため，少ない計算量で解探索が行われ，初期において収束されやすくなる．クラスタを解除後も，解除する前の情報を利用できるため，効率よく解探索が行われていると考えられる．

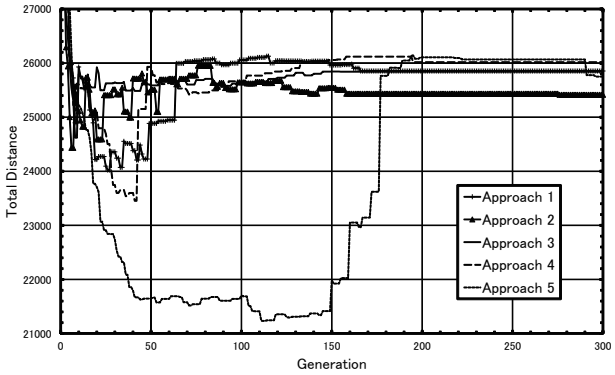


Fig. 5 Transitions of F_{sum}

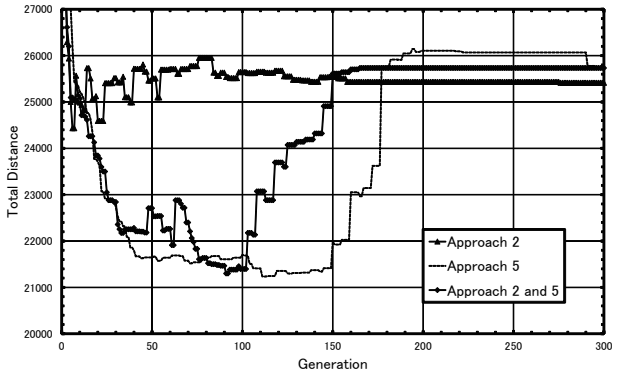


Fig. 6 The result of combination of Approach 2 and 5

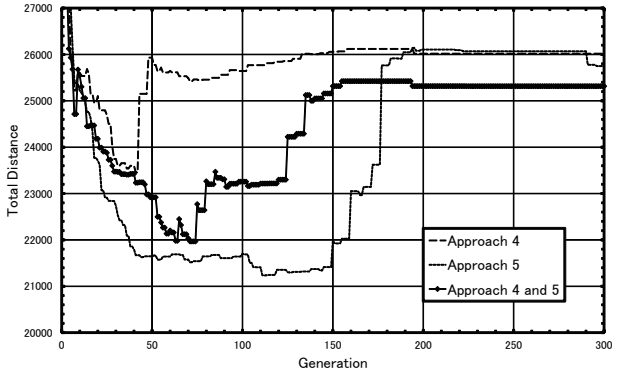


Fig. 7 The result of combination of Approach 4 and 5

4.2 実験 2 と考察

ここでは，解除するクラスタの選択基準に関して 3.2 節で述べた 5 つの基準の比較実験を行った．具体的には，この 5 つの基準単独の場合とそれらを組み合わせた場合について tai385 を対象に検証を行った．まず，5 つの基準ごとの実行結果を Fig. 5 に示す.

結果を比較すると，最終的な結果はいずれの手法も似たような結果を示しているものの，クラスタリングを行っている最中の探索推移を見ると，各手法で異なる推移であることがわかる．基準 1 と 4 は似たような探索推移を示しており，探索序盤は収束が強いが中盤にかけて改悪が目立つ．その後のクラスタ解除までの探索，解除後の探索は安定した推移を示している．基準 2 と 3 も似たような探索推移を示していることがわかった．これらは探索初期から終盤にかけて大幅な収束や大幅な改悪がなく，安定した推移を表している．最後に基準 5 は他の 4 手法と大きく異なり，序盤に大きく収束するが，後半のクラスタ解除で大幅な改悪をしていることがわかった.

次に複数の選択基準を組み合わせた考察を行うが，今回行う組み合わせとして，Fig. 5 で最良な結果を示した基準 2 と 5，探索全体で最良な結果を示した基準 4 と 5 で実験を行った．この結果を Fig. 6 と Fig. 7 に示す.

結果を見ると，基準単独と複数の選択基準を組み合わせた場合で明確な結果の違いが現れなかったが，単独の際と同様に，探索中の探索推移が特徴的な推移をしていることがわかった．Fig. 6 では基準 5 と同様初期に収束し，終盤にかけて改悪していることがわかる．しかし，基準 5 のように一度に大幅な改悪ではなく，段階的に改悪していることがわかる．これは基準 2 の推移を見れば安定した推移であることがわかる．この安定した推移という特長により，急激ではなく，段階的な推移になったのではないかと考えられる．また Fig. 7 では初期収束し，すぐに大幅改悪する基準 4 と後半に大幅改悪する基準 5 の中間をとるように，中盤に改悪していることもわかる．このように，複数の選択基準を組み合わせる場合，その基準の特徴を把握することが重要であることがわかった.

5 おわりに

本論文では，大規模 VRP に対してクラスタリングを利用した問題の単純化と段階的詳細化手法を提案し，数値実験を通してその有効性について検証を行った．代表的なベンチマーク問題である Taillard らの問題の tai150a と tai385 への適用より，クラスタリングを使用した場合の探索性能が使用しない場合よりも優れていることが確認できた.

今後の展望としては，結果が真の解と離れているため，これに対応するため遺伝的操作の更なる改良と，大規模問題と呼べるようなカスタマー数が 1000 を超える問題への適用を目指していく.

参考文献

[1] O. Braysy and M. Gendreau. Vehicle routing problem with time windows, part i: Route construction and local search algorithms
. *Transportation Science*, Vol. 39, No. 1, pp. 104–118, 2005.

[2] 渡邉真也, 榊原一紀. 多目的化の概念を用いた単目的 Vehicle Routing 問題へのアプローチ
. 情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」Vol.48, No.SIG 2(TOM 16),158 - 166, 2007.

[3] N.Jozefowiez, F.Semet, and E.Talbi. Parallel and Hybrid Models for Multi-objective Optimization: Application to the Vehicle Routing Problem

. In *Parallel Problem Solving from Nature—PPSN VII*, pp. 271–280, 2002.

[4] T.Murata and R.Itai. Multi-objective vehicle routing problems using two-fold emo algorithms to enhance solution similarity on non-dominated solutions

. In *Evolutionary Multi-Criterion Optimization. Third International Conference, EMO 2005*, pp. 885–896, 2005.

[5] J.Y. Potvin and S. Bengio. The vehicle routing problem with time windows - part ii: Genetic search . In *INFORMS Journal on Computing*, Vol. 8, pp. 165–172, 1996.

[6] S.Lin and B.Kernighan. *An effective heuristic algorithm for the traveling-salesman problem.*

. Operations Research, Vol. 21, pp. 498-516, 1973.

情報処理北海道シンポジウム 2014

議論を表現するタイムスパン木の生成方式についての検討

三浦寛也* 竹川佳成† 平田圭二‡
(公立はこだて未来大学)§

1 はじめに

会議記録の主たる再利用法は議事録であり，議事録の内容を効率的に提示する要約技術はこれまでにも数多くの手法が提案されてきた．しかし，それらの多くは会議の参加者・欠席者に同一の情報を提示するような要約を実現するシステムが一般的であった [1][2][3]．一方，議事録の有用性を高めるには，議論の意味を理解し，必要な情報を抽出することが重要である．また議事録の要約は個人により目的が異なるが，その個人差に着目した研究はこれまでに十分されてきてはいない．これらの問題に対処し，会議記録の再利用性を高めるためには，それぞれのニーズに応じた要約や議事録が必要になる．

そこで本研究の目的は，議論の「構文解析」による展開の把握や重要発言の同定である．会議における活動を複数メディア，例えば映像・音声やテキスト情報，メタデータ等で記録し，そこから再利用可能な知識を抽出するこの処理はディスカッションマイニング (DM) と呼ばれる [4]．DM に関する研究の一貫として土田らは，会議記録から得られた情報を半自動的に構造化した会議コンテンツを作成することで，議論の内容を効率的に閲覧させた [5]．DM システム [6] では，会議記録の発言を導入発言と継続発言の 2 つのタイプに分類することで，議論の構造化をおこなっている．先行する発言が無いものを導入発言と呼び，そうでないものを継続発言と呼ぶ．これらの発言間の関係に基づいて構成された木構造が DM 木である．DM 木の根は導入発言であり，ある 1 つの発言に対して，同時に複数の継続発言が付くと DM 木の分岐が増える．しかし現在の技術では，議論の意味を理解し，ユーザの要求に柔軟に対応して情報を抽出することは一般に困難であった．これは会議において，発言どうしの集合や関係といった議論構造の発見や，分析を行うための適切な手法が提案されていないためである．

ここで楽曲構造と会議構造を対比する．楽曲においては音イベントが，会議においては発言が時間の進行とともに発生しグループ (ゲシュタルト) を生成する点に着目すると，会議記録における時系列データの分析手法として音楽理論の応用が考えられる．音楽理論とは，楽曲を構文解析する技術である．これにより，時間の進行に沿って生じる音イベント列をさまざまな時間長のレベルで分節し重要な音を発見することができる．中でも Fred

*g2113031@fun.ac.jp
†yoshi@fun.ac.jp
‡hirata@fun.ac.jp
§函館市亀田中野町 116 番地 2

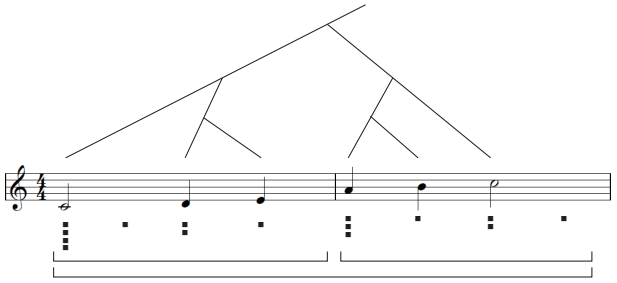


Fig. 1 タイムスパン木

Lerdahl と Ray Jackendoff により 1983 年に提案された Generative Theory of Tonal Music (GTTM)[7] は現在最も正しい音楽理論の 1 つとされ，音楽認知や音楽情報処理の多くの研究において参照され続けている．GTTM の分析結果からタイムスパン木と呼ばれる木構造が生成され，こ楽曲に含まれる音の相対的な重要度が表現される (Fig.1)．

そこで我々は，音の時系列イベントを構文解析する技術である GTTM の楽曲分析アプローチに基づき，会議記録における各発言の構造的な重要度を階層的に表現する議論タイムスパン木を提案した [8]．さらに議論タイムスパン木は，その生成ルールを柔軟に入れ替えることにより，視点の切り替え可能な意味表現法である新しい要約技術としての応用が期待できる．その自動生成は会議の深層構造の分析を可能とするだけでなく，過去の会議コンテンツを柔軟に検索や加工も可能となり，例えば Q&A 型議事録への応用が期待できる．Q&A 型議事録とは，会議記録データに対する検索エンジンのようなインタラクティブシステムのことであり，以下のような質問を受け付けることを想定している：「この話題はどういう結論だったのか？」「この結論に至ったプロセスを教えて欲しい」「私は何を知った上で次の会議に臨めばいいか？」．

本稿では，議論タイムスパン木の生成方式の計算機上への実装手法について述べる．具体的な取り組みとして，議論タイムスパン木を自動生成する手法の提案と，それらを実行するルール群の提案をおこなった．議論タイムスパン木生成の実装では，階層構造の獲得やルールの競合などの問題がある．こうした問題に対処するには適切なルール実行管理が求められる．上記の課題を解決する手法を提案し，その有効性を評価するため，議論タイムスパン木生成システムのプロトタイピングをおこなった．さらに，本研究で提案している議論タイムスパン木が，時系列データの深層構造を表現するモデルとして妥当で

あるかを検証するためケーススタディをおこない，その表現力について検討した．

2 関連研究

議事録の要約を作成するためには，テキストの内容を理解し，中心的な話題を特定し，それらを簡潔にまとめるという 3 つの作業が必要となる [9]．また，議事録の論点を把握するためには，議論の流れを構造化し，読者が話題の展開を把握できるように支援することが重要とである [10]．これまでもテキストの話題構造を自動抽出する研究は行われているが [11][12]，いずれも話題と話題との関係との表層的な関連性を構造化マップとして可視化することを目的としている．しかし本研究では，会議記録における階層的な重要度や発散および収束を表現するといった，深層構造を明確にすることまで含んでいる点で従来研究とは異なる．

3 音楽理論の会議記録分析への応用

これまでに我々は，同じ時系列メディアである楽曲を構造化した GTTM に着目し，会議記録の重要な発言と，各発言の従属関係をタイムスパン木で表現する方法を提案した．これにより発言の重要度を階層的に表現する木構造（議論タイムスパン木）の生成が考えられる．議論タイムスパン木は DM 木の情報に基づき，以下の 2 つの選好的なルールから生成される；(1) グループ構造の獲得：会議構造に含まれるグループ (ゲシュタルト) の発見, (2) あるグループ全体の時間幅 (タイムスパン) を代表する重要発言の選定．DM システムの情報によって，時間的な近さや発言順序，情報量の変化によって話題の変化や類似が判定できるだろう．また発言の重要度は，発話量や発話時間長，さらに発言の内容の意味を考慮し，賛同数，重要単語の頻出数から類推される．

3.1 議論を表現するタイムスパン木

Fig.2 の DM 木は，Table 1 を発言要旨とする議論木であり，導入発言 ⟨1⟩ から継続発言 ⟨2⟩ が生じ，⟨3⟩,⟨4⟩ とさらなる継続発言が生じていることを表している．この DM 木から議論タイムスパン木を生成することにより，以下の 3 点が表現される；(1) 隣り合った関連のある発言をひとかたまりにする，(2) 発言の階層的な重要度を表現する，(3) 議論の起承転結，発散・収束を表現する．まず (1) では，発言番号 ⟨1⟩,⟨2⟩ と ⟨3⟩,⟨4⟩ が，それぞれひとまとまりとなっており，これは会議記録に対して内容の近さをグループ構造として表現している．次に (2) では，生成された木構造の枝が付く位置によって階層的な重要度が分かる．Fig.2 の例では，各発言の重要度は高い方から順に ⟨1⟩,⟨4⟩,⟨3⟩,⟨2⟩ となっている．最後に (3) では，生成された木構造により，議論全体が ⟨1⟩ で発散し，⟨4⟩ で収束するといった起承転結が表現されることが分かる．

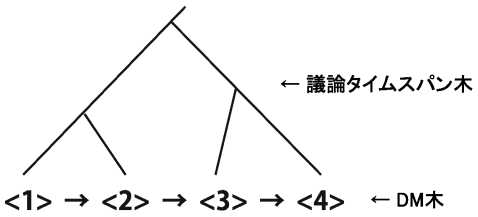


Fig. 2 議論タイムスパン木

Table 1 各発言要旨

発言番号	発言者	発言要旨
⟨1⟩	竹川	金のないヤツは俺んとこへこい
⟨2⟩	平田	俺もないけど心配すんな
⟨3⟩	三浦	見ろよ青い空白い雲
⟨4⟩	平田	そのうちなんとか なるだろう

我々は，GTTM のタイムスパン木を生成する規則からの類推により，会議記録を分析するための GTTM 風規則を提案した [8]．グループ構造の獲得ルール (Grouping Preference Rule;GPR) には「発言間の間隔で境界が生じやすい」「発言者の順序の変化で境界が生じやすい」，重要発言の選定ルール (Significance Preference Rules;SPR) には「発言時間の長い発言は重要である場合が多い」「重要発言は重要単語を含む場合が多い」などがある．

4 議論タイムスパン木の生成アプローチ

4.1 議論タイムスパン木を生成するルール実行管理

前節で述べた議論タイムスパン木生成に関するルールについて，ルールの競合と階層構造の獲得が主要な問題である．例えばルールの競合に関して．発話量は短いが多くの賛同数を得られた発言の場合,「発言における賛同数の変化」「重要単語の初出箇所」の 2 つについて，両者を正しく境界判定することは難しい．また階層構造の獲得に関して，提案したルールは，局所的/大局的な観点からボトムアップ/トップダウンに生成するルールが混在する．このため，両者をどのように組み合わせて適切な階層構造を生成するかを判断することは難しい [13]．

これらの問題に対処するため，局所的/大局的な処理を適切に組み合わせるアルゴリズムを構築した．また適切なルール実行管理としてルールを評価値として導入し，以下 2 項目を判定する．(1) 発言間に生じる境界，(2) 発言が内包する情報量．ルール実行の曖昧性をできるだけ排除するため，ルールが，成立すれば値を 1，不成立ならば 0 に対応づける．ルールが成立する度合いが連続的な場合は重み付けを行う．その結果から，相対的なグループ発見を基にボトムアップに重要発言の選定を行い，以下のステップで議論タイムスパン木を生成する (Fig.3)．
(1) DM システムにより DM 木を取得する．
(2) 1 セクションを 1 つのグループにする．

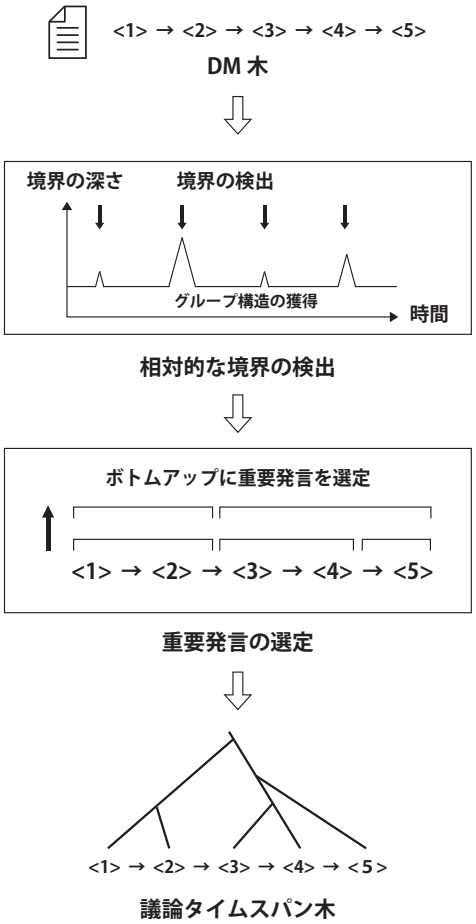


Fig. 3 議論タイムスパン木の生成方式

(3) 局所的な構造に関するルール (GPR2,3) を適用する.
(4) 相対的な観点から高次の境界の強さを算出する.
(5) 最も強い境界でグループを 2 つに分類する.
(6) 局所的境界がある場合，(3)(4)(5) を繰り返す.
(7) 重要発言の選定ルール (SPR1∼4) を適用する.
(8) グループ内での重要発言をボトムアップに選定する.

ここでは，ある導入発言から次の導入発言までの継続した発言群を 1 セクションと呼んでいる．階層的なグルーピング構造は，ボトムアップ処理により求めた局所的境界を用いて，トップダウンに獲得する必要がある．そのためには，グループ全体に局所的な構造に関係するグループピング獲得ルールを適用し，境界判定によって高次の境界の強さを算出する (3)(4)．この結果から最も強い境界でグループを 2 つに分類し，そのグループがその内部に局所的境界を含んでいる場合，この処理を繰り返す (5)(6)．このアプローチによって，局所的/大局的な階層構造を取得できると考える．また議論タイムスパン木は，上記の手順で得た局所的/大局的な階層構造と，重要発言の選定ルールをグループ全体に適用して得られる各発言の重要度合からボトムアップに生成する (7)(8).

4.2 会議記録における重要単語の同定

重要発言の選定ルールの中には，発言内容の意味を考慮する必要がある．テキストデータにおける単語の重要度を求める方法として，一般に TF-IDF 法 [14] が用いられるが，形式や内容が予め整えられているテキストとは性質が異なるため，会議記録の性質を考慮した重要単語の抽出手法が求められる．そこで 1 つの話題から複数の話題が派生する [15] という会議記録の性質から，TF-IDF 法の適用範囲について以下の 3 つの範囲を提案した．会議記録全体：1 つの議題に対する議論全体．セクション：導入発言から次の導入発言までの継続した発言群．仮想スレッド：導入発言から各末端までの継続発言の連鎖であり，意味的な繋がりも考慮した仮想的な時間軸のまとまり．DM システムで公開されている全 126 議論（1 議論あたりの平均議論時間：1 時間 57 分，平均発言数：65.5，平均セクション数：13.4）中 25 議論を対象とし，適用範囲内に出現する全単語の TF-IDF 値を計算し，正解データの重要度を比較した．正解データは事前に準備しており，適合率 P(precision) と再現率 R(recall) を組み合わせた F 値を求めた (Table 2).

Table 2 各適用範囲における重要単語選定の F 値

適用範囲	会議全体	セクション	仮想スレッド
F 値	0.449	0.444	0.463

Table 2 の結果から，範囲における F 値の差はあまりないことがわかった．しかし，会議記録内の複数のセクションに出現する場合，セクションのみならず会議全体の特徴となる単語として認識される場合がある．また仮想スレッドのみに制限した場合，範囲内に出現しない単語があるため，セクション毎の適用が有効であると考えた．議論タイムスパン木生成に関して，重要単語を取り扱うルールでは，これらの結果を反映させ，実装をおこなった.

4.3 ケーススステディ

本章で述べた議論タイムスパン木の生成アプローチに基づくケーススタディから生成方式に関する妥当性を検証していく．ここで，議論セクションは話題の派生の仕方によって 3 タイプに分類でき，頻出傾向の高い順に，直線的な議論，途中から二股に分岐する議論，根元から分岐する議論となっている．本ケーススタディでは，直線的な議論セクションである例を対象としている．例の発言要旨を Table 3，DM 木を Fig.4.3 に示す．Table 3 の各発言要旨の左側は，左上が発言番号 (例：⟨1⟩)，右上が発言者 (例：O)，左下が賛成ボタンの押下回数 (例：1)，右下が発言に要した時間 (例：0:33(33 秒の意)) である．発言者 O による導入発言 ⟨1⟩ を聞いて，発言者 W による継続発言 ⟨2⟩ が生じ，さらなる継続発言が生じたことを表している.

Table 3 例 1 の各発言要旨

⟨1⟩, O 1, 0:33	危険ではない状況というのは，目と目があっている状況のことではないか．
⟨2⟩, W 0, 0:30	お互いに目が合っていなくても大丈夫．問題なのは，認識できているかどうかだ．
⟨3⟩, O 0, 0:26	ずっと認識している必要はないが，相手がどの方向に移動するか把握する必要がある．
⟨4⟩, W 0, 0:34	その人が次にとる行動を予測できないと，認識して回避すると言えない．
⟨5⟩, N 1, 0:40	相手がこちらを認識していないと，行動を予測できないが，そこは従来研究に譲る．
⟨6⟩, W 0, 0:32	相手が人間だと認識したら，回避ではなく人間にその存在を知らせることが必要だ．
⟨7⟩, N 2, 1:05	人間に乗り物の存在を気づいてもらえるため，何かアクションをすべきだ．
⟨8⟩, W 0, 0:16	安全走行のためには，そういうことに気をつけることも必要だ．

<1> → <2> → <3> → <4> → <5> → <6> → <7> → <8>

Fig. 4 例 1 の DM 木

発言番号 ⟨1⟩ から ⟨8⟩ までの 1 セクションを 1 グループとする．このグループ全体に局所的な構造に関係するルールを適用する．各発言への適用結果から ⟨4⟩-⟨5⟩ の間に最も深い境界が生じ，それを境界とした ⟨1⟩-⟨4⟩ と ⟨5⟩-⟨8⟩ のサブグループが検出される．また ⟨2⟩-⟨3⟩,⟨6⟩-⟨7⟩ の間にも境界が生じる．この一連の処理をサブグループ内で繰り返すと，最終的に ⟨1⟩-⟨4⟩ のグループでは，⟨1⟩-⟨2⟩, ⟨3⟩-⟨4⟩ と細かく分類され，局所的/大局的な階層構造が得られる．同様に重要発言の選定に関するルールをグループ全体に適用する．この処理によって各発言の重要度合が分かる．以上より得られた局所的/大局的な階層構造と各発言の重要度合を基に，議論タイムスパン木をボトムアップに生成する．⟨1⟩-⟨4⟩ のグループにおいては，⟨1⟩-⟨2⟩ と ⟨3⟩-⟨4⟩ のそれぞれで重要発言の選定を行う．この処理を繰り返し，最終的には ⟨1⟩-⟨4⟩ と ⟨5⟩-⟨8⟩ でトーナメント式に得られた重要発言の比較を行い，このセクションでの最重要発言が決定する．このようにして議論タイムスパン木が得られる (Fig.5).

5 実験と評価

前章で述べた議論タイムスパン木の生成アルゴリズムを自動化したプロトタイプシステムを構築した．本章ではその有効性を評価するため，DM システムでの議論データを分析対象とし， 評価実験を行った．ここでは，グルーピング構造分析と重要発言選定の性能の評価を，適合率 P と再現率 R を組み合わせた F 値で評価する．グ

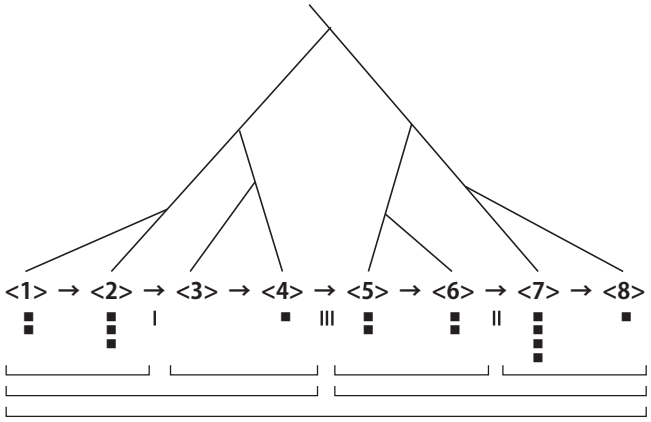


Fig. 5 GPR・SPR 適用結果と得られる議論タイムスパン木

ルーピング獲得ではグループが所属する階層に関係なく，システム出力と正解データの両方に同じグループがあった場合を適合とした．一方，重要発言選定では， タイムスパン木の枝の交点がシステムの出力と正解データとともに同じ位置にある場合，適合とした．

このような F 値による評価を行うため，新たに評価用データを作成した．評価用データは，DM システムで公開されているこれらの異なる議論タイプ (直線的，途中から二股に分岐，根元から分岐) 各 10 件，全 30 件の議論データと，手作業でグルーピング構造分析および重要発言選定を行った正解データである．ここで取り扱う議論データ 1 件あたりの発言時間は 5-30 分程度，発言数は 4-15 発言程度である．また，1 発言あたりの発言時間は 1-5 分程度，テキスト量は 20-300 文字程度となっている．議論データは，発言数や発表者数，分岐数など議論構造の異なるセクションを選定している．また正解データは， GTTM や議論タイムスパン木を良く理解している本研究報告の筆者の 1 人が作成した．事前実験により，議論タイムスパン木が議論展開を把握する要約としての機能が高いことが証明されたものを選定している．プロトタイプ出力のグルーピング構造獲得分析と重要発言選定の精度をまとめたものを Table 4 に示す.

Table 4 グルーピング構造分析・重要発言選定の結果に関する F 値

議論タイプ	グルーピング構造分析	重要発言選定
直線的	0.62	0.58
根元から分岐	0.79	0.63
途中から分岐	0.76	0.63
全体平均	0.72	0.61

6 考察

本章では，評価結果から階層構造の獲得とルール競合の解消について考察する．まず階層構造の獲得について，

Table 5 Q&A 型議事録で想定される機能とその実現に必要な要素技術

想定機能		必要な要素技術			
基本機能	詳細機能	構造構造の獲得	議論構造の再構成	重要単語の同定	出現頻度の解析
検索	議論情報	-	-	-	○
	決定事項	○	○	○	○
	発散・収束	○	-	-	-
コンテンツ化	起承転結	○	○	-	-
	ストーリー化	-	○	○	-
	一人称化	○	○	-	○
生成的回答	MVP	○	○	-	-
	議論の妥当性	○	-	○	○
	次回までの課題	○	○	○	○

今回の評価データでは，発言数の多い発言や直線的な議論セクションのデータに関して F 値が低いことが分かった．これはスレッド数の多い発言に対して，大局的な階層構造の獲得が適切でないと推測できる．また全データの正解データとシステム出力に含まれるグループ数，グルーピング階層の数を比較するとグループ数とグルーピング階層の両方ともが，正解データに比べてシステムの出力の方の値が大きくなる傾向があった．本プロトタイプシステムでは，グループ構造分析において一律のルールを適用していたが，内容の近さを判断する基準が局所/大局的で異なる可能性が考えられる．例えば，局所的なグループ構造の獲得では，発言内容や話題を重視し分析が求められるが，大局的なグループ構造の獲得では，異なる観点で分析する必要があるかもしれない．この理由について，分析対象が大局的になるにつれて，分析する発言の時間間隔が長くなるため，異なる話題が展開される場合があるためと考えられる．こうした場合，発言内容を重視して両者を比較することは難しいため，発言のメタデータを重視したほうがよい．そのため，局所/大局的なグループ構造分析では，各段階ごとにルールの比重を変更することによって上記の問題が改善されるだろう．

次にルール競合の解消について，全 30 件でのグルーピング構造分析に関する F 値は 0.72，重要発言選定に関する F 値は 0.61 であった．本稿ではルールの重み付けによる優先順位の管理と，評価値導入による境界および重要度合の選定を行ったが，グルーピング獲得が正確に行われていないことが評価結果から分かった．その理由として，今回の実験では，「発言者のパターンが変化した場所で境界が生じやすい」といった意味を考慮しない，形式的なルールの比重を重くしたためだと考えられ，会議の性質や異なるケースに柔軟に対応する必要がある．例えば会議が開催された時期や，参加者の人数や構成といったステータスによって，同じ会議でも重視する観点が異なるため，重視するルールを柔軟に振り分けることが求められる．この問題に対処するためには，発言内容を理解したルールの提案やルール優先順位の管理に関して新しい手法を提案する必要がある．

7 まとめ

本稿では，音楽理論の時系列データ分析への応用として， GTTM の楽曲分析アプローチに基づき，議論タイムスパン木の生成方式について述べた．議論タイムスパン木生成における計算機上への実装に対する問題は，階層構造の獲得とルール競合であった．これらの問題に対処するため，局所的/大局的な階層構造を獲得するためのアルゴリズム提案と適切なルール実行管理方法を考案し，プロトタイプシステムを作成した．このシステムの有用性を評価するため，正解データを作成し，実験によりグルーピング構造分析および重要発言選定の結果に関する適合率，再現率を評価した．今後は，外部からルールの優先順位や重み付けを管理できる外部パラメータの導入を検討している．

今後の展望として Q&A 型議事録の実現を考えている．Q&A 型議事録とは，会議記録データに対する検索エンジンのようなインタラクティブシステムのことであり，以下のような質問を受け付ける ことを想定している：「この話題はどういう結論だったのか？」「この結論に至ったプロセスを教えて欲しい」「私は何を知った上で次の会議に臨めばいいか？」こうした対話例のように，ある問い合わせについて回答するためには，様々な機能が必要である．例えば，取り扱う議論情報やその議論に対する結論を検索することや，議論の起承転結化やストーリー化といった既存の会議記録を人の解釈を加えた形式でユーザに提供する機能があればとても有用であろう．また議論自体の妥当性や，課題に対して適切な結論であったかを判定する機能があれば，議論参加者のフィードバックにも応用が期待できるであろう．このように Q&A 型議事録のアプリケーションを充実させる例を複数リストアップし分類すると，必要な機能は，大きく検索・コンテンツ化・評価であることが分かる．Table 5 は，Q&A 型議事録で想定される機能と，それを実現するために必要な要素技術について分類したものである．

議論タイムスパン木の自動生成は会議の深層構造の分析を可能とするだけでなく，過去の会議コンテンツの柔軟な検索や加工，議論タイムスパン木に含まれる様々な

情報をユーザの意図に沿った変換や抽象化，議論内容のコンテンツ化により，Q&A 型議事録への応用が期待できる．今後は，議論タイムスパン木に含まれる様々な情報を起承転結のような型に当てはめコンテンツとして提供するための木構造の生成を試みており，これにより会議記録の多種多様な再利用の実現を目指す．

参考文献

[1] I. Nonaka, and H. Takeuchi. The Knowledge Creating Company. Oxford University Press (1995).

[2] A. Waibe, T. Schultz,M. Bett, and M. Denecke. SMaRT: the Smart Meeting Room Task at ISL .Proc.ICASSP, pp.752-755 (2003).

[3] Conklin, J. and Begeman, M.L. A HypertextTool for Ex- ploratory Policy Discussion . Proc. CSCW’88, pp.140- 152 (1988).

[4] 長尾研究室：ディスカッションマイニングプロジェクト, http://dm.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/

[5] 土田貴裕, 大平茂輝, 長尾確, 対面式会議コンテンツの作 成と議論中におけるメタデータの可視化, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.2, pp.404-416 (2010).

[6] Nagao, K., Kaji, K., Yamamoto, D. and Tomobe, H., Discussion Mining: Annotation-Based Knowledge Discovery from Real World Activities, Proceedings of the Fifth Pacific-Rim Conference on Multimedia (PCM 2004), pp.522-531, (2004).

[7] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: A Generative Theory of Tonal Music, The MIT Press (1983).

[8] 三浦寛也，森理美，長尾確，平田圭二，音楽理論 GTTM に基づく議論タイムスパン木の生成方式とその評価, (社) 情報処理学会 音楽情報科学研究会, 2013-MUS-100, No.2 (2013).

[9] 徳永健伸, 情報検索と言語処理, 東京大学出版 (1999).

[10] 松村真宏, 加藤優, 大澤幸生, 石塚満：議論構造の可視化による論点の発見と理解，知能と情報:日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 15, No.5, pp. 554–564 (2003).

[11] 竹下敦, 井上孝史, 田中一男, テキストの概要把 握支援のための話題構造抽出, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No. 11, pp. 1941-1949 (1996).

[12] 赤石美奈, 文書群に対する物語構造の動的分解・再構成フレームワーク, 人工知能学会論文誌，Vol.21, No.5, pp.428-438 (2006).

[13] 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏, 音楽理論 GTTM に基づくグルーピング構造獲得システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 1, pp. 284-299 (2007).

[14] 天野真家, 石崎俊, 宇津呂武仁, 成田真澄, 福本淳一, IT Text 自然言語処理, オーム社 (2007).

[15] 松村真宏, 三浦麻子, 人文・社会学科のためのテキストマ イニング, 誠信書房 (2009).

情報処理北海道シンポジウム 2014

識別精度が一様でない識別子の集合による多数決

三上絢子 * 工藤峰一 中村篤祥
(北大情報科学研究科)†

1 はじめに

教師あり学習は既知のデータ（トレーニングデータ）を元に未知のデータを識別する関数, 識別子 (classifier), を学習する問題である. 複雑な識別境界を表現できる識別子はトレーニングデータに対して敏感で過学習を起こしやすく, テストデータを識別した際の性能, 汎化性能, が低くなる傾向にある. アンサンブル学習は複数の単純な識別子を組み合わせることにより精度の高い識別子を生み出す, 教師あり学習の枠組みである. 2 クラス識別の場合, 弱識別子, すなわち識別精度が 0.5 よりもわずかに良い識別子を複数使うことにより, 単独の識別子によるものよりも汎化性能の高い識別子が構成できることは知られている [1, 2].

アンサンブル学習における識別子の組み合わせ方法で最も多く使われるのは多数決である. 多数決を用いた手法の例として, ランダムサブスペース法 [3] やランダムフォレスト [4] が挙げられる.

多数決による識別精度の改善が成功するための要件として,

- 個々の識別子の識別精度 $p > 0.5$ であること
- 識別子同士が十分に異なっている（多様である）ことが挙げられる.

識別子同士が十分に異なっているときには, 識別子の「多様性が高い」と言える. これまでに多様性を計る目的でペアワイズ相関や κ 係数など様々な尺度が提案されている [5]. 相関が高い識別子は多様性が低く, 実際に Oh は相関の高い識別子による多数決では識別精度の改善率が低下することがあることを示した [6].

従来の多様性尺度を用いた性能解析は殆どの場合, 統合するすべての識別子が同一の識別率を持つと仮定して行われている. しかし, 一般には識別率の異なる識別子を複数用いることになる. 本研究では, 識別率の異なる 3 種類の識別子が多数あるとして, 多数決としてそれらの推測結果を統合する場合の効果を解析する.

2 多数決による識別精度

2.1 問題の定式化

特徴ベクトル $\boldsymbol{x}$ とクラスラベル y の組である入力データ $(\boldsymbol{x}, y)$ があるとき, 識別子 C の出力を次のように評価する.

$$C(\boldsymbol{x}) = \begin{cases} 1 & (C \text{ が } \boldsymbol{x} \text{ のラベルを正しく推定した場合}) \\ 0 & (otherwise) \end{cases}$$

つまり, 識別子はクラスラベルを正しく識別した時に"1" を, その他の場合では "0" を出力すると考える. C が $\boldsymbol{x}$ のラベルを正しく推定する確率を（平均）識別精度と呼ぶ. 識別精度が $\{p, p-\delta, p+\delta\}(0 \leq p \leq 1, \delta$ は $p+\delta \leq 1$ かつ $0 \leq p-\delta$ となるような任意の定数) である三種類の識別子を考える. この三つの識別子がそれぞれ n 個あり, 全ての識別子は互いに独立であると仮定する. つまり全部で 3n 個の識別子がある. この時, 一つのデータ $\boldsymbol{x}$ に対し識別精度 $p, p-\delta, p+\delta$ の識別子が n 個中 i 個誤る確率を, それぞれ $F_p(i), F_{p-\delta}(i), F_{p+\delta}(i)$ とし, 以下のように定義する.

$$\begin{aligned} F_p(i) &= \binom{n}{i}(1-p)^i(p)^{n-i} \\ F_{p+\delta}(i) &= \binom{n}{i}(1-p-\delta)^i(p+\delta)^{n-i} \\ F_{p-\delta}(i) &= \binom{n}{i}(1-p+\delta)^i(p-\delta)^{n-i} \end{aligned} \tag{1}$$

また, 高々i 個の識別子が誤る確率 $I_p(i), I_{p-\delta}(i), I_{p+\delta}(i)$ を以下のように定義する.

$$\begin{aligned} I_p(i) &= \Sigma_{j=0}^{i} F_p(j) \\ I_{p+\delta}(i) &= \Sigma_{j=0}^{i} F_{p+\delta}(j) \\ I_{p-\delta}(i) &= \Sigma_{j=0}^{i} F_{p-\delta}(j) \end{aligned} \tag{2}$$

この時, 多数決による識別精度 P_{maj} は以下のように表せられる.

$$\begin{aligned} &P_{maj} \\ &= \Sigma_{i+j+k \leq \lceil \frac{3}{2}n \rceil}[F_p(i) + F_{p-\delta}(j) + F_{p-\delta}(k)] \\ &= I_p(n)\Sigma_{i=0}^{\frac{1}{2}n} F_{p-\delta}(i) I_{p+\delta}(\frac{1}{2}n - i) \\ &+ \Sigma_{i=0}^{\frac{1}{2}n} I_p(n-i)\Sigma_{j=0}^{\frac{1}{2}n+i} F_{p-\delta}(j) F_{p+\delta}(\frac{1}{2}n + i - j) \\ &+ \Sigma_{i=\frac{1}{2}n+1}^{n} I_p(n-i)\Sigma_{j=0}^{\frac{3}{2}n-i} F_{p-\delta}(i - \frac{1}{2}n + j) F_{p+\delta}(n-j) \end{aligned} \tag{3}$$

一例として, $p = 0.51$, n=20 のとき, δ を変化させたときの P_{maj} の値を図 1 に示す.

*mikami@main.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

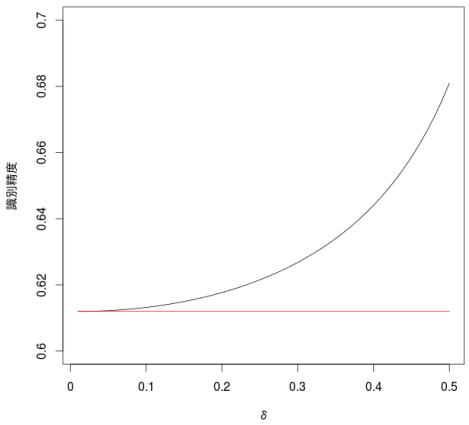


Fig. 1 精度の差 δ が増加するに伴い多数決による識別精度も向上する様子（$p = 0.51$, n=20）

2.2 正規分布への近似による直感的な理解

識別精度 $p, p-\delta, p+\delta$ のそれぞれ n 個の識別子のうち正解する識別子の個数をそれぞれ X, Y, Z と表記する．確率変数 X, Y, Z はそれぞれ二項分布に従い，以下のように定義できる．

$$
\begin{aligned}
P(X=i) &= \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \\
P(Y=i) &= \binom{n}{i} (p-\delta)^i (1-p+\delta)^{n-i} \\
P(Z=i) &= \binom{n}{i} (p+\delta)^i (1-p-\delta)^{n-i}
\end{aligned}
\tag{4}
$$

また，X, Y, Z にそれぞれの期待値 $E[X], E[Y], E[Z]$ と分散 $V[X], V[Y], V[Z]$ は，

$$
\begin{aligned}
E[X] &= np & V[X] &= nv_x = np(1-p) \\
E[Y] &= n(p-\delta) & V[Y] &= nv_y = n(p-\delta)(1-p+\delta) \\
E[Z] &= n(p+\delta) & V[Z] &= nv_z = n(p+\delta)(1-p-\delta)
\end{aligned}
\tag{5}
$$

ここで，n が十分に大きい時，X, Y, Z の分布は正規分布で以下のように近似できる．

$$
\begin{aligned}
X &\simeq N(np, nv_X) \\
Y &\simeq N(n(p-\delta), nv_Y) \\
Z &\simeq N(n(p+\delta), nv_Z)
\end{aligned}
$$

多数決の得票割合を $U = \frac{1}{3n}(X+Y+Z)$ と表す．

このとき，正規分布の再生性から以下に示すような正規分布に従う．

$$
U = \frac{1}{3n}(X+Y+Z) \simeq N(p, \frac{v_X + v_Y + v_Z}{3n}) \tag{6}
$$

この分布について，δ の値が変化したときの分散の値を図 2 に示す．分散 $\frac{v_X+v_Y+v_Z}{3n}$ は三点 v_x, v_y, v_z の重心の y 軸座標値を n で割った値である．識別子の数が 3n で固定，つまり n が一定で δ が増加した場合，この分散の値は減少する．多数決では過半数の得票が正解している場合に正しく識別できるので，多数決の識別精度は $P_{maj} = P(\frac{1}{3n}(X+Y+Z) > \frac{1}{2})$ と表せられる．従って分布の平均 p が 0.5 よりわずかでも大きい場合，分散の減少に伴って値が 0.5 を下回る確率が減少するため，多数決の識別精度が改善する．また当然 n に反比例して分散は減少する．実際には正規分布の仮定に依らず，具体的な式変形により $P_{maj} < p$ を示すことができる．

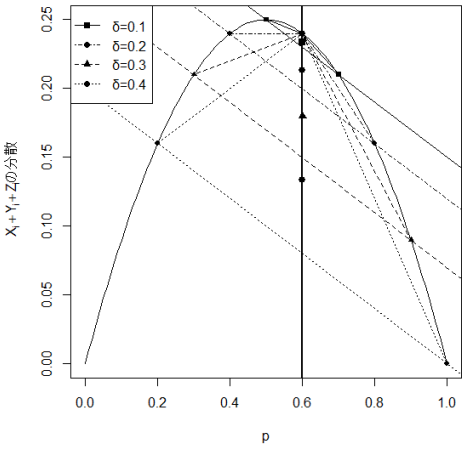


Fig. 2 多数決による分散 ($n = 1, p = 0.6$)．ここで，$f(p) = p(1-p)$ 上の三点，$p(1-p) = v_x$, $(p-\delta)(1-p+\delta) = v_y$, $(p+\delta)(1-p-\delta) = v_z$ の重心が $\frac{(v_x+v_y+v_z)}{3}$ の値であり，$p, (p-\delta), (p+\delta)$ で多数決を行った際の識別率の分散の n 倍である．精度差 δ が大きいとき分散は減少する．

3 まとめ

本論文ではアンサンブル学習において，識別精度の異なる識別子同士を組み合わせた場合の多数決での識別精度の効果を検討した．具体的には，三種類の識別子を複数個使った場合には，それらの識別率が離れている方が近い時よりも多数決を取る効果があることを理論的に明らかにした．

一方で，それならば，最も識別率の高い識別子だけを使えばよいという議論もあるかもしれない．しかし，識別子の識別率をトレーニングデータから推測するのは難し

く, それ自体, パターン認識の主要課題の一つとなっている. そのため実用上は, 平均識別率の正しい値は分からない複数の識別子を利用することになる. 本研究は, 複数の識別子全体の平均識別率が 1/2 よりも高いことだけが分かっている状況で, ばらばらな識別率を持つ識別子を複数使って多数決をとることの効果を裏付けたものである. これまでは同一の平均識別率を仮定した解析が主であったため, 本研究で行われた異なる平均識別率の仮定下での成果は意義深い. 特に, 組み合わせに依っては, 平均識別率が 1/2 よりも低い識別子が含まれていても統合する効果があることがわかったことが興味深い.

今回は全ての識別子が独立であると仮定したが, 実際には正の相関を持つ場合が多い. 特に識別精度が高い識別子の場合には相関が高くならざるを得ないため, 多数決の精度に強い影響を与える. このような時に識別精度の低い識別子を多数決に加えることの効果を今後検討したい.

参考文献

[1] L. K. Hansen and P. Salamon. Neural network ensembles. *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 12, No. 10, pp. 993–1001, 1990.

[2] L. Breiman. Bagging predictors. *Machine Learning*, Vol. 24, No. 2, pp. 123–140, 1996.

[3] T. K. Ho. The random subspace method for constructing decision forests. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE*, Vol. 20, No. 8, pp. 832–844, 1998.

[4] L. Breiman. Random forests. *Machine learning*, Vol. 45, pp. 5–32, 2001.

[5] L. I. Kuncheva and C. J. Whitaker. Measures of Diversity in Classifier Ensembles. *Machine Learning*, Vol. 51, No. 2, pp. 181–207, 2003.

[6] S. B. Oh. On the relationship between majority vote accuracy and dependency in multiple classifier systems. *Pattern Recognition Letters*, Vol. 24, No. 1-3, pp. 359–363, 2003.

マキネーション・ダイアグラムを用いたゲームバランスの継続的インテグレーション

三木　康暉　佐藤　晴彦　小山　聡　栗原　正仁　(北大情報科学)*

1　はじめに

近年、ゲーム開発は複雑さを増している。特にゲームのバランス調整や不具合検出と言った調整作業は多大な労力を要する。ゲーム中に利用されているパラメータ数が増大し、最適な組み合わせを発見する作業が容易ではないためである。ゲームパラメータの調整を行い、プレイヤーにとって適切な難易度を提供するなどの作業はレベルデザインと呼ばれている。

本研究では、「マキネーション・ダイアグラム」[6] と呼ばれる、ゲームシステムを記述するダイアグラムを用いて、ゲームバランスを定量的に評価する。また、近年、ソフトウェア開発で積極的に取り入れられている、継続的インテグレーションの仕組みを導入し、ゲームの開発フロー内で、定量的なゲームバランス計測を効率的に行えるような手法を模索する.

本研究はゲーム開発者にとって有用な次の 2 点を満たす手法を考案することを目的とする。(1) ゲームバランスを定量的に評価できること.(2) 実際の開発フローに容易に組み込めること

2　関連研究

ゲームのレベルデザイン改善を扱った研究はいくつか存在する。特にプラットフォームゲームと呼ばれる種類のゲームのレベル設計改善をプレイヤーの経験やログを用いて行った研究 [1][2][3] や遺伝アルゴリズムによるアプローチで行った研究 [4] が存在する。また、ゲーム AI のためのコンペティション [5] においても、ゲームのレベルデザインが扱われている。ただし、これらの研究ではマキネーション・ダイアグラムを用いたゲームレベルデザインは行われていない。

3　用語説明

3.1　マキネーション・ダイアグラム

マキネーション・ダイアグラムはゲーム内で扱われている資源に焦点を当てた、ゲームメカニズム記述用の言語である。ゲーム中のいくつかの変数を、**リソース**、また、ゲーム中で変数を媒介する要素を**エンティティ**として定義し、エンティティ間のリソースの遷移条件を定義することにより構成される。

これを一定ステップに渡ってシミュレートした後、最終的なリソースの状態を統計し、ゲーム開発者がそれを元に各パラメータを調整していくことで、ゲームバランスのチェックを効率化し、ゲームのバランス改善に役立てられると考えられている。

例えば、以下は『モノポリー』のゲームシステムをマキネーション・ダイアグラムの仕組みを用いて表した図である [8]。

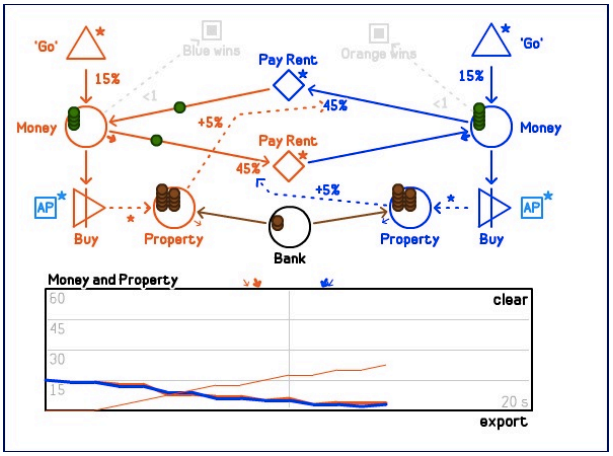


Fig. 1　Machination of Monopoly

3.2　継続的インテグレーション

継続的インテグレーションは、主にソフトウェア開発の領域で、品質改善や作業効率の向上の取り組みを日常的に行っていくことである。狭義では、特にソフトウェアのビルド、テスト、インスペクションなどをソフトウェア的に自動実行していくことを意味する。

本稿では、主に後者の意味で使用する。

4　提案手法

本研究では、マキネーション・ダイアグラムを用いたゲームバランスのインスペクションツールを提案する。

マキネーション・ダイアグラムを生成するツールが考案者のページで配付されているが、これは Adobe Flash の技術を用いており、バッチ処理を行うのに適さない。

そこで今回は「Micro Machination」[7] というライブラリを利用する。これはマキネーション・ダイアログのモデルを C++から再利用可能な形で実装したものである。

本研究では、このライブラリを利用し、ゲーム開発者が簡便に記述できる DSL を実装する予定である。

まず、ゲーム開発者が DSL を用いてマキネーション・ダイアグラムを記述し、自身のプロジェクトに設置しておく。

その後、ツールを起動することで、定義ファイルに基づいたシミュレーションを指定回数試行し、最終的にあ

札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

るパラメータがどれぐらいの値になるかを出力する。このとき、最終結果で参照したいパラメータは事前に指定しておける。

最終的に、このスクリプトを各種汎用的なツール上で動くプラグインとしても提供していく予定である。

現段階では、3D ゲーム開発エンジンである Unity3D[9] 上で同期的に動作検証ができるプラグインや継続的インテグレーションを行うツールとして、広く使われている Jenkins-CI[10] 上で解析結果が閲覧できるプラグインなどの開発を想定している。

5 今後の研究

現段階において、本研究は構想段階に過ぎず、実装に至っていない。

故に、まずは本ダイアグラムを用いたインスペクタの開発が今後の課題である。

そのためには、まず DSL の仕様を策定していくことが必要であろう。

参考文献

[1] Anders Drachen, Alessandro Canossa: Towards Gameplay Analysis via Gameplay Metrics, *Proceedings of the 13th International MindTrek Conference (MindTrek '09)*, Pages 202-209, 2009.

[2] Chris Pedersen, Julian Togelius, Georgios Yannakakis: Optimization of Platform Game Level for Player Experience, *Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE)*, 2009.

[3] Heather Desurvire, Charlotte Wiberg: Game Usability Heuristics (PLAY) for Evaluating and Designing Better Games:The Next Iteration, *Proceedings of the 3d International Conference on Online Communities and Social Computing (OCSC): Held as Part of HCI International 2009*, Pages 557-566, 2009.

[4] 五木宏, 松原仁: 遺伝アルゴリズムの視覚化を用いたゲームのレベルデザイン効率化技法の開発, *IPSJ SIG technical reports 2007(18)*, Pages 1-7, 2007.

[5] Mario AI Championship http://www.marioai.org/

[6] Machinations: Game Feedback Diagrams http://www.jorisdormans.nl/machinations/

[7] Machinations: MM-Lib https://github.com/vrozen/MM-Lib

[8] Monopoly http://www.jorisdormans.nl/machinations/wiki/index.php?title=Monopoly

[9] Jenkins-CI http://jenkins-ci.org/

[10] Machinations: Game Feedback Diagrams http://www.jorisdormans.nl/machinations/

情報処理北海道シンポジウム 2014

星新一ショートショートからの歌詞自動生成法の研究

山口 葵* 竹川佳成† 平田圭二‡
(公立はこだて未来大学)§

1 はじめに

本研究は、記述された物語を自動分析し、その構造や出現単語を利用して歌詞を自動生成することを目指す。与えられた物語に対する「テーマソング」の作詞をすると換言できる。物語と歌詞は、どちらも何らかの一貫したテーマや起承転結の構造を持つという点では似通っている。しかし歌詞の方は、人間が歌うことを前提として作られるため、字数にある程度の制約を設ける必要がある。例えば「桃太郎」や「うさぎとかめ」など、昔話や童話を題材にした童謡は多く存在するが、その歌詞は物語の内容を流れに沿って短くまとめたものであり、全体の文字数は元となった物語よりも圧倒的に少ない。つまり、物語を元に作成された歌詞は、その物語内容を凝縮した要約のようなものとも言える。

岡田[1]によると、文章の要約を考えるうえで要約率や抜粋、機能などといった概念が存在する。物語を元に作成された歌詞は、物語原文の抜粋やアブストラクトを含んでいると考えられる。また、内容に一貫性を持たせるにはある対象に注目して展開する必要があるため、機能の 1 つである批評的要約の一部と言える。加えて要約率は、従来の一般的な要約より遥かに小さい値になると推測できる。

歌詞は、従来の要約とは異なり、「歌詞らしさ」という要素が必要となる。渡邉ら [1] によると、内容に一貫性のある主張が存在すること、メロディと密接に関連していること、音楽的構造を考慮する必要があることなどが、作詞するためのノウハウであると言う。すなわち、これらの要素を意識して作成することで「歌詞らしさ」を持たせることができると考えられる。

以上の内容を考慮し、物語のテキストからその内容を特徴付けるような単語を抽出して組み合わせることで、物語内容を踏まえた歌詞を生成することを考える。必要な操作としては、

- 物語のテキストから、その物語において重要な単語を抽出
- 物語を、起承転結の 4 つに分割
- 抽出した単語の再構成

が挙げられる。これらについては、第 3 章で触れる。また、ここで星新一ショートショートに着目している理由は、「きまぐれ人工知能プロジェクト　作家ですのよ」[2]に未来大学所属の教員が多く参加していることが背景にある。

2 関連研究

渡邉ら [1] は、歌詞全体が特定のテーマを表現できるような歌詞生成用援護モデルを提案した。また阿部ら [2] は、Ngram 言語モデルを用いた文生成アルゴリズムを提案した。こちらは、既にできあがった曲に歌詞を付ける「曲先」という方法での作詞を想定したものである。小方ら [3] は、物語の概念表現から機能と登場人物を取り出し、それに対応したバッキングとメロディを連結させることで曲を生成する手法を提案した。物語の概念表現の作成にあたり、登場人物のタイプや機能の、Max 上の表現への書き換えが手作業で行われている。

3 処理方式について

Fig.1 に、入力のテキストファイルから出力を得る流れを示す。以下に、課題とその解決法について述べる。

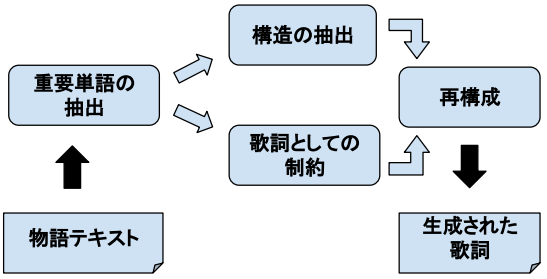


Fig. 1 処理の流れ図

3.1 重要な単語の抽出

物語の内容をイメージさせる歌詞を生成するには、まず単純に、その物語内に出現する単語を取り入れるという手法が考えられる。物語のテキスト中に現れる単語は、何らかの品物であったり人物であったりするが、これらはいずれも名詞と捉えることができる。従って、物語テキスト中に登場する単語の中でも特に名詞に着目し、それらに重み付けをして、より重要な単語を抽出することが有望であろう。抽出された名詞は、その物語を特徴付ける要素の 1 つであると考えられる。

物語テキストからの名詞の抽出には、形態素解析器 MeCab[3] を用いる。抽出した単語それぞれに対し、重要

*b1011168@fun.ac.jp
†yoshi@fun.ac.jp
‡hirata@fun.ac.jp
§函館市亀田中野町 116 番地 2

[1]http://www.jnlp.org/okada/nlp/autosummarization

[2]http://www.fun.ac.jp/ kimagure_ai/index.html

[3]http://mecab.googlecode.com/svn/trunk/mecab/doc/index.html#install-unix

度の指標の 1 つである TF-IDF 値を算出することで、そのテキスト中において重要な単語を把握できる。

3.2 起承転結の構造の抽出と再構成

歌詞を生成するには、起承転結の構造を考える必要がある。そこで、元となる物語の構造を分析し、歌詞生成の際にその構造を踏襲することを考えている。具体的には、入力された物語テキストを起・承・転・結の 4 つに分割し、歌詞の起に当たるパートを作成する時は、同じく物語の起に当たるパートから抽出した単語を使用する予定である。物語テキストを起承転結に分割するためには、単語同士の共起関係から算出される吸引力 [4] という概念の利用を考えている。物語が複数のシーン（場面）の連なりによって構成されているとすると、各シーンごとにその中心となる単語、すなわちトピックが存在すると考えられる。 MeCab により抽出した単語それぞれについて吸引力を算出することで、物語のある時点でのトピックが把握できる。

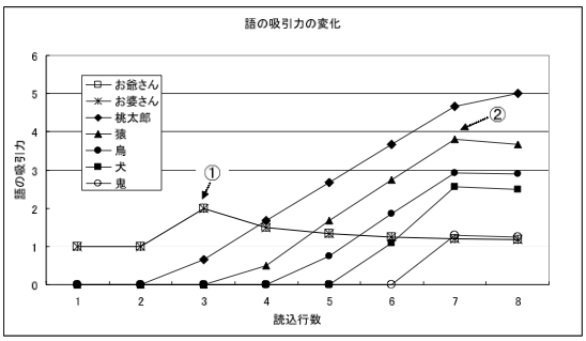


Fig. 2 語の吸引力の変化 [4] 赤石（2006）より抜粋

Fig.2 は、縦軸を吸引力の大きさ、横軸を物語テキストの、始めからの読み込み行数としたグラフの一例である。1 つの線グラフが 1 つの単語の吸引力の推移を表している。ある単語に着目した際、その吸引力が増加している間は、その語が物語のトピックとして語られていると解釈できる。これが停滞、もしくは減少に変わる箇所が、その語のトピックとしての成長が止まった箇所、すなわち物語の分割箇所であると解釈できるので、その行でシーンを分割することができる。例えば Fig.2 において、読み込み行数が 3 の時点では単語「お爺さん（もしくはお婆さん）」の吸引力が最も高いが、読み込み行数が 4 になると減少し、代わりに「桃太郎」の吸引力が最大となっている。これはつまり、3 行目までは「お爺さん（もしくはお婆さん）」がトピックであるが、4 行目からは「桃太郎」へとトピックが移り変わったことを示している。従って、物語の 3 行目と 4 行目の間がシーンの分割箇所であると分かる。このように、まずは物語テキストをシーン毎に分割することを目指す。その後、各シーンが起承転結のどの部分に属するのかを判別する。

3.3 歌詞としての制約

歌詞を生成する際、字数制限は重要である。何故なら歌詞とは、人間が歌うことを前提として作られているからである。従って、言葉を発音する際のリズムが良かったり、文章が韻を踏んでいるなど、メロディに乗せても違和感なく歌うことのできるものでなければならない。例えば、物語のある一文をそのまま抜き出してきてメロディを付けたとしても、歌いづらく、歌詞と言い張るのはいささか無理がある。また、ある 1 つの物事を意図した通り正確に描写しようとすると、自然と字数の多い説明文のようなものとなってしまう。それもまた、歌詞とは呼びづらい。

歌詞らしさという特徴を明確にするため、人間が作詞を行う場合の考え方やプロセスについて、作詞教本や関連文献等で調査を行う。得られたノウハウや手法は一般化し、システムに実装する予定である。

4 評価方法について

評価をどのように行うかに関しては現在、検討中である。何故なら、歌詞というものは、人の感覚や好みによって受け取り方が分かれるため、一定の評価基準を設けることが困難なためである。生成された歌詞に対し、最終的に評価を下すのは、システムを使うユーザであるため、出力の結果を見て、ユーザが条件を設定し直すことで、また違った結果が出力されるような仕組みを提供できれば、満足度を高められるのではないかと考えている。

5 おわりに

本稿では、物語テキストからの歌詞自動生成についての方針を述べた。作詞を自動で行うため、その手法を一般化することが期待できる。また、システムとして構築することで、誰でも気軽に、そして自由に作詞や作曲を楽しめるような環境を提供できると考えている。

参考文献

[1] 渡邉研斗, 松林優一郎, 乾健太郎, 後藤真孝, 大局的な構造を考慮した歌詞自動生成システムの提案, 言語処理学会第 20 回年次大会発表論文集, pp.694-687, 2014.

[2] 阿部ちひろ, 伊藤彰則, 統計的モデルを用いた作詞補助システム, 2011.

[3] 小方孝, 小林史典, 変奏からの物語生成への接近－物語と音楽の変換及び音楽変奏システムの試作に基づく諸考察－, 人工知能学会第二種研究会ことば工学研究会（第 17 回）資料, 2004.

[4] 赤石美奈, 文書群に対する物語構造の動的分解・再構成フレームワーク, 人工知能学会論文誌 21 巻 5 号, pp.428-432, 2006.

情報処理北海道シンポジウム 2014

成人ダンス初心者のパフォーマンス熟達における チャンク形成過程の分析

山本真平 * 竹川佳成 † 平田圭二 ‡
(公立はこだて未来大学)§

1 はじめに

近年，武道・ダンスに対する注目が高くなってきている．文部科学省は平成 20 年 3 月 28 日に，新学習指導要領の中学校保健体育において，武道・ダンスを含めたすべての領域を必修とした [1]．中でも現代的なリズムのダンスの一部であるストリートダンスは，技能や文化が発展途上にあり体系化されていないせいか，情報が入りにくいという問題がある．外部指導者を導入して教育の効率化を図るという事例も紹介されている [2]．教育者等，成人に対するダンス学習を支援する仕組みが必要になってきている．ダンス上級者はダンスの動きを獲得するために，動きを分割し，まとまりとして捉えているとされている．コレオグラファーの多くが，ある音楽に対して振り付けを考える際，フレーズや歌詞に沿ったダンスを作成する場合と拍でダンスを作成する場合があるといわれている．フレーズや歌詞，拍の情報と体の動きをチャンクとして認知している．

筆者らはダンス学習者のチャンクの形成過程を分析することで，ダンス練習の体系化や，効率的な学習支援システムの開発につながるのではないかと考えた．ダンス学習者が初級状態（ダンスをまったく踊れない状態）から中，上級状態（お手本のダンスがどのようなダンスかを覚えているが再現できない状態や，覚えていてかつ再現できる状態）へ到る過程において，チャンクがどのように変化するのかについて分析する．

以下，2 章では, 関連研究について説明する．3 章では, 実験に必要なシステム設計について述べ， 4 章では, 分析と考察を述べる．最後に 5 章で本研究のまとめを述べる．

2 関連研究

これまでの先行研究において，ダンスパフォーマンスを学習する際のチャンク形成過程に焦点を当てた研究はなされていない．筆者らの研究は，ピアノ演奏熟達におけるチャンク形成過程の分析を行った田村ら [3] の研究から着想を得ている．ピアノ熟達において，練習初期では高難度な指の運指に注目した高難度チャンクや，似たようなかたまりの繰り返しに注目したパターンチャンクが多く形成されるが，習熟度が上がるにつれ大きなパターンチャンクや，楽曲のメロディーに沿ったフレーズチャンクが形成されると田村らは主張する．これらの結果をダンスに応用し，新たな知見を得ようというのが本研究の目指すところである．

岡本 [4] は日本舞踊の初心者と上級者にチャンキング課題に関する研究を行った．日本舞踊のビデオを被験者に見てもらい,「意味のある区切りと思うところで，ボタンを押してください」という教示で，ボタンを何度も押してもらったところ,「小さくチャンキング」するときは，より小さく，そして，大きくチャンキングするときには，より大きくチャンキングするのが上級者の特徴だということがわかり，岡本はこれを「チャンキングの柔軟性が上級者のほうが高い」としている [4]p.76．岡本の研究は初級者から中級，上級者にいたるまでにどのようなチャンキングの変化があるのかについては言及していない．本研究では，特に成人ダンス初級者のチャンクの形成過程に焦点をあてて研究を進めていく．

3 実験環境

実験に用いるシステムは大きく分けて 2 つである．一つは，ダンス初心者がダンスを練習するための学習支援システムで，もう一つは，ダンスをテストした後に被験者が記憶，認知したチャンクについて記述してもらうためのシステムである．

3.1 ダンス学習支援システムの構成

ダンス学習支援システムとして Microsoft 社が発売している XBox One のソフトである DNANCE CENTRAL SPOTLIGHT[5] を用いる．DANCE CENTRAL SPOTLIGHT は Kincet を用いたゲームソフトであり，収録されている楽曲の中から好きなものを選択してダンスの点数を測定することができる．ゲームプレイ時は画面上に自分の代わりにダンスを踊るアバターと，踊るべき技が時系列で表示される仕組みになっている．

3.2 チャンク記述システムの構成

チャンク記述システムは，DNACE CENTRAL を用いて行ったテスト動画をパソコンに取り込み，アノテーションする仕組みになっている．動画へのアノテーションは PC 上で行われる．システム開発は，Windows 7 上で Microsoft 社の Visual C++ 2010 および，Openframeworks を用いて行った．システムのプロトタイプは Fig.1 に示す．被験者はテストした動画に対し，自分がどのようなかたまりで対象とするダンスを捉えていたかを記述することができる．三角のマークは，0.5〜1 拍の間で被験者が重要だと思ったダンスの技や動きについて，丸は，

* b1011251@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 函館市亀田中野町 116 番地 2

1〜2 拍，四角は，2〜4 拍の動きをかたまりとして記述することができる．

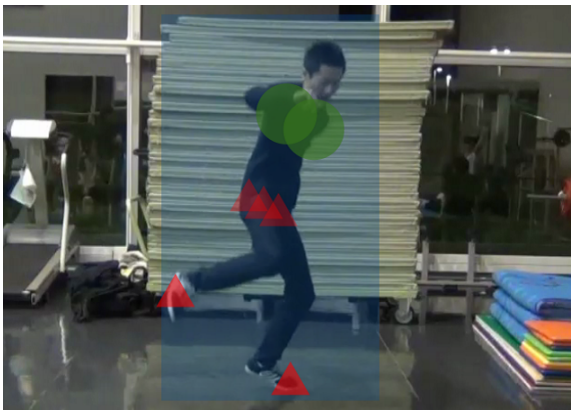


Fig. 1 チャンク記述システムのプロトタイプ

4 分析と考察

Fig.2 はダンス練習初期の様子をシーケンス画像で表現したものにチャンクを記述したものである．練習初期は拍に合わせて腕を閉じたり開いたりするということや，それと同時に足をクロスさせるというような，比較的簡単な認知プロセスのみに焦点をあててマーキングしている．このことから，練習初期に多く見られるのは，練習している踊りが曲全体のどの部分あたるかということや，何拍目でどういう動きをするかというような詳細な情報については考慮されないものではないかと考えられる．

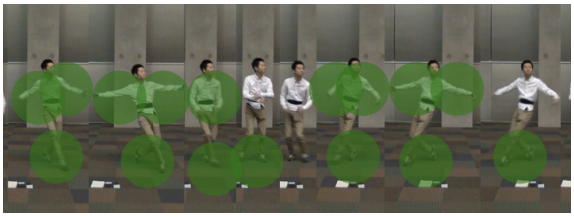


Fig. 2 チャンク記述の例（練習初期）

Fig.3 はダンス練習後期の様子にチャンクを記述したものである．練習が進むにつれて，手を広げるという動作と足をクロスさせるという一連の動きを，２回繰り返すということを四角いマーキングで表現するようになる．これは大きなチャンクはより大きく認知するようになったということである．また，三角のマーキングは，手を広げたときの手の形が，初めは手を握るように広げているのに対し，後のほうは，握った手を開くような動作になっていることを認知したということを表している．これはお手本のダンスをより詳細まで認知することができるようになったということである．

ピアノのチャンク形成過程では，楽譜のなかの音譜という最小単位によってチャンクの形成過程をみることが

Fig. 3 チャンク記述の例（練習後期）

できた．しかしながら，ダンスという 3 次元情報の最小単位は，手を動かすことや，足をクロスさせるといったような，動きが単位になることが予想される．この時，足をクロスさせたときの手の形といった同時に関連して動く部分どうしをまとめるようなチャンクが考えられる．システムを構築する際は，さらにそのようなチャンクが時間とともに変化していくことも考慮する必要があるだろう．

5 まとめ

本稿では，我々が現在開発中のダンス学習を支援するチャンク記述システムについて述べた．学習者自身がシステムに入力したどのようなまとまりで対象とするダンスを捉えていたかの情報を紹介した．音楽のフレーズや，メロディといった，拍のみでは表現しずらいチャンクについてどのように記述させるかや，３次元情報のチャンキングを動画アノテーションする方法については検討中である．今後は実際にダンス初心者に対して，実験を行っていくための実験方略の見直しやシステム開発を行っていく予定である．

参考文献

[1] 文部科学省，武道・ダンス必修化，
http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/jyujitsu/1330882.htm.

[2] 東京都，外部指導員を活用する「武道・ダンス」モデル事業実践事例，
http://www.metro.tokyo.jp/INET/OSHIRASE/2011/04/20l4s601.htm.

[3] 田村速人，竹川佳成，平田圭二，田柳恵美子，椿本弥生，成人ピアノ初級者の演奏熟達におけるチャンク形成過程の分析，情報処理学会研究報告，[音楽情報科学] 2014-MUS-102(8)(2014).

[4] 岡本浩一，上達の法則 効率のよい努力を科学する，PHP 研究所 (2002).

[5] Microsoft，DANCE CENTRAL SPOTLIGHT，
http://www.xbox.com/en-US/games/dance-central.

生徒の不明点を理解し教示するための支援機能をもつ英会話レッスン教授システムの提案

柴田健介 * 竹川佳成 † 平田圭二 ‡
(公立はこだて未来大学)§

1 背景

グローバル化の進展により英会話スキルの習得は，日本人にとって重要かつ喫緊の課題である．このような状況のもと，老若男女問わず，英会話レッスンは一般的になり，国民的習い事の一つとなっている．英会話初心者には，たくさんの聞き取れない語句や，表現できない語句がある．聞き取れないあるいは表現できない場合に，そのことをどうやって伝えれば良いのか，具体的な不明点がわからないため，生徒は何もできず黙ってしまったり，わかったふりをしてしまったりする．このため，教師とうまく意思の疎通が図れなかったり，レッスンの雰囲気が悪くなったりしてしまう．教師は日本語で補足説明したり，生徒は自身の表現したいことを辞書などで検索したりすることで，その場を取り繕うことができるが，日本語に依存する学習態度になってしまったり，生徒が検索 に時間がかかってしまった場合，生徒が何をしようとしているのかわからず教師は戸惑ってしまう．また，目の前に教師がいるにもかかわらず，教師に問い合わせるのではなく手軽な辞書を利用してしまうことは，英会話レッスンという場にいながら，教師とのコミュニケーションの機会を失ってしまう．したがって，教師が生徒の発言時の不明点を理解でき，教師自身の発言情報を直観的かつ柔軟に生徒に提示できれば，効率的に英会話学習を進められる．

そこで本研究では，教師が生徒の不明点を理解し教示するための支援機能をもつ英会話レッスン教授システムの設計と実装を目的とする．

提案システムを利用することで，できるだけ日本語を利用せず教師と生徒はインタラクティブにコミュニケーションできる．また，教師は段階的に情報を提示することで，生徒の弱点を正確に把握できると同時に，生徒はできるだけ少ないシステムの補助で会話を理解し自身の意見を述べられる．このように，提案システムは，効率的な英会話学習や，英会話レッスンの雰囲気の向上，教師および生徒間の良好な人間関係の構築に貢献する．

* b1011251@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 函館市亀田中野町 116 番地 2

2 設計

本研究では，英会話初級者を対象とし，教師と生徒が 1 対 1 で英会話レッスンを行っている状況を想定している．また，英会話レッスンでは，専用の教材を利用する場合もあるが，汎用性の高いフリーディスカッションを想定する．また，教師は高い英会話能力をもつことを前提とするが，日本語能力の有無は問わない．冒頭で述べたように,「生徒が聞き取れなかった発言」および「生徒が表現できない発言」に対して，教師が理解し生徒に教示することを支援するための教授システムの構築を目的とする．提案するシステムは，現行の英会話レッスンに導入しやすく，教師生徒間のコミュニケーションを促進できることを目指している．そのために，システム設計における方針として以下の 4 点をあげる．

レッスン中に日本語をできるだけ利用しない．

本研究では，日本語の聴取および発言を得意としない外国人教師を対象として含んでいる．また，一般的に，英会話レッスン中に困ったときに日本語を使用してその場を取り繕うことになれてしまった場合，日本語に依存してしまう悪しき学習態度が身についてしまう．このため，生徒は日本語に頼らずに問題を解決できるようシステムを設計する必要がある．

教師はシステム利用のために特別な準備をしなくてもよい．

フリーディスカッションにおいて，会話のトピックはレッスンの都度異なる．また，レッスン中の会話の流れによっては，本来設定していたトピックから想定外のトピックに遷移することもある．したがって，教師はシステム利用のために特別な準備をしなくてもよく，レッスン中に会話のトピックが動的に変化してもシステムが機能するような設計にする必要がある．

教師と生徒間のコミュニケーションを維持する．

聞き取れない言葉があったとき，そのことをどうやって伝えれば良いのかわからなかったり，一連の発言の中で具体的な不明点が指摘 できないため，生徒は何もできず，黙ってしまったり，わかったふりをしてしまったりする．一般的に会話において，相手 の発言 が理解できなかったり伝わっていない場合，テキスト・図形・絵などを利用することで，他者とコミュニケーションを図り，意思の疎通を図る．したがって，提案システムは，発言を，音声 ・テキスト・図形・絵・動画・効果音といった

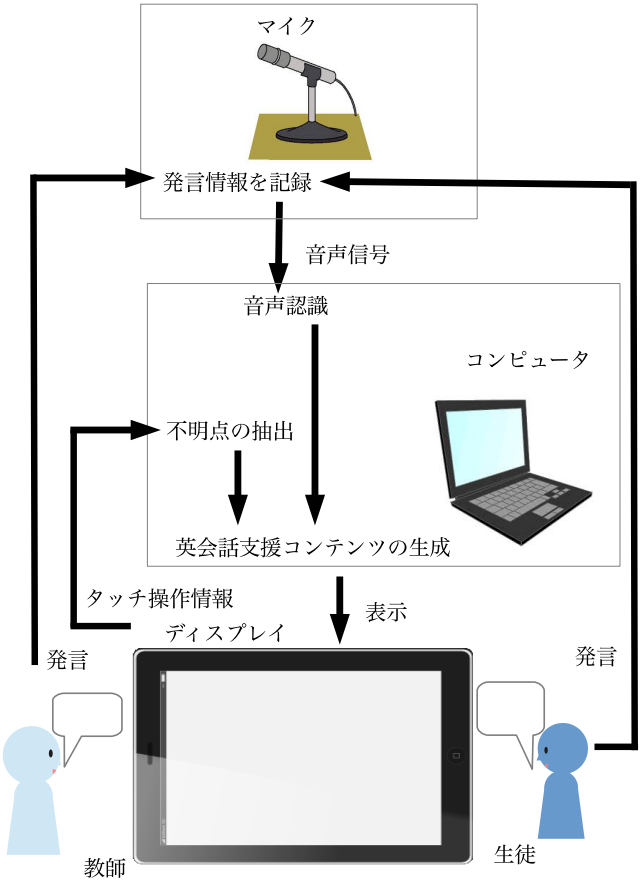


Fig. 1 システム構成

さまざまなメディアを選択的に利用できるようにし，教師および生徒間のコミュニケーションが停滞しないようにする．

教師が自由に指導方法を設計できる．

教師は生徒の英会話スキル・性格・気分などをもとに指導方法を動的に変えている．したがって,「システムの補助を最低限にとどめたい」「できるだけ積極的にシステム補助を利用したい」「音声やテキストといったコミュニケーション手段を利用し，絵や動画は利用したくない」など様々な要求が考えられる．したがって，提案システムが提供する補助をカスタマイズできる機能や，その場で直観的に変更できるユーザインタフェースが求められる．

2.1 システム構成

提案システムのシステム構成を図 1 に，実際の利用シーンを図 2 に示す．図 2 のように教師と生徒が共有する大画面タッチパネルディスプレイ，教師および生徒の発言を取得するためのマイクを利用する．システムは，音声やタッチパネルの操作情報を入力とし，英会話レッスンに必要な補助情報を提示する．

2.2 機能

「生徒が聞き取れなかった発言」および「生徒が表現できない発言」に対して，教師が理解し生徒に教示するために以下の機能を検討している．

生徒が聞き取れなかった発言

教師が生徒に質問し，生徒が教師の発言を聴き取ることができずに困っている場合，教師は，付箋のように自身の発言のうち重要あるいは不明と思われる単語を共有ディスプレイ上に提示する．このとき，提案システムは教師や生徒の会話をリアルタイムに認識しているため，認識された語句のリストから単語を選択するだけで共有ディスプレイに選択された単語が提示される．さらに教師が重要な単語をリスト中から素早く選択できるように，教師の声量や音声認識確度などをもとに単語の重要度を算出し，重要度による単語のソーティング機能の提供も検討している．また，図 2 下部に示すように，生徒の様子を見ながら，単語単位で段階的にディスプレイ上に情報を増やしたり，重要単語のフォントや文字色をインタラクティブに変更できるようにする．このように，発言

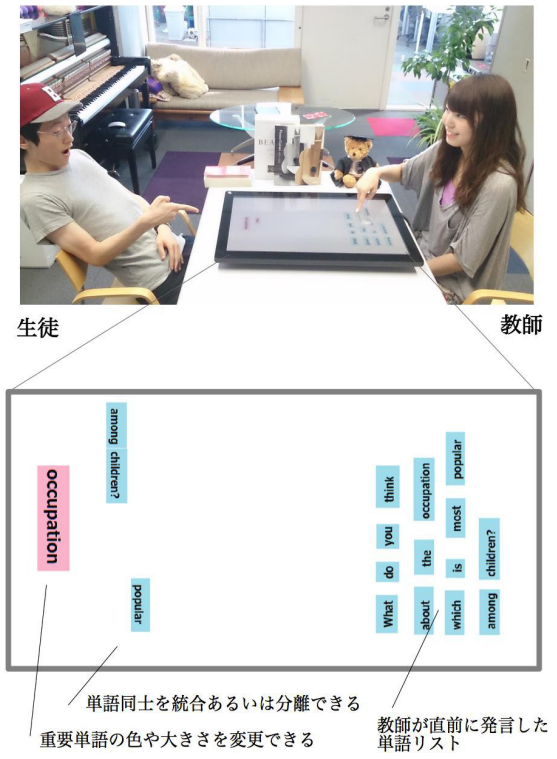


Fig. 2 システムの利用シーン

を他のメディアに変換し，段階的に生徒に提示することで，生徒は日本語に頼ることなく，最低限の補助で教師の発言の内容を理解できる．一方，生徒の不明点の検討がつかない場合，生徒自身が不明な箇所を能動的に探索できる機能を提供する．

生徒が表現できない発言

生徒が自身の表現したいことがわからない場合，生徒は日本語でシステムに問い合わせ，システムは自動的に日英翻訳しその結果を教師に提示する．これにより教師は生徒が何を表現できないか理解でき，指導方法を組み立てられる．これまでは，生徒が和英辞書などを使って自身の表現したい語句を検索することが一般的であった．目の前にいる教師がいるという利点を活かし，教師に不明な表現を問い合わせることで，教師が生徒の不明な箇所を理解できたり，教師と生徒間での新たなコミュニケーションが生まれたり，記憶の定着が促進される．しかし，本手法は単語レベルの補完には向いているものの，熟語や構文の補完には不向きであるため，さらなる検討が必要である．

3 実装計画

2 章で述べた英会話教授支援システムを実装する予定である．マルチタッチディスプレイとして ProLite T2735MSC-B1 を使用し，音声認識ソフトとしてドラゴンスピーチ 11J を使用する．また，PC 上のアプリケーションは，Windows8 上で openFrameworks を用いて開発する．

4 評価実験の計画

英会話初級者 10 名 および英会話教師 10 名を被験者とし，英会話レッスン 30 分のディスカッションの理解度を計測することで提案システムの有用性を検証する．実験では提案システムを利用しながら英会話レッスンを行う群と，提案システムを利用せずに英会話レッスンを行う群に分け，あるトピックについて 30 分間会話してもらう．その後，レッスンの内容の理解度を計測するために，会話中に出た内容に関する質問（10 問程度を想定）テストとして生徒に出題する．また，教師に，生徒が正しく回答できると思われる質問はどれか調査する．これらの教師および生徒の回答をもとに，生徒がどれだけレッスンの内容を理解できたか，教師が生徒の不明点をどれだけ正しく理解できたか分析する．さらに，提案システムの使いやすさや，教授方法などをインタビューあるいはアンケートを行い，量的データおよび質的データをもとに提案システムの有用性を考察する．

5 関連研究

国際化が進む中で学会や仕事環境においても会話やスピーチなどで英語や他国語のスキルを要求される機会が多くある．そういった環境に適用できない人々のために現場支援をする為の様々な研究が存在する．まず他言語対面会議において，少数派言語の参加者を他の参加者が共同で支援する事で，一人一人の支援負担を軽減する all-for-one 型支援システムがある [1，2，3]．それに対して，話者による配慮・支援に期待する手法の研究もあり，一例としてネイティブスピーカーの発話を日本人が聞き取れない時に，その音声をカタカナ英語に変換して聞き取りやすくするインタラクションが提案されている [4]．またスピーチの時においては，英語を上手く発音出来ない人の為に音声データ化した原稿を講演者の口の動きに合わせて音声出力するインタラクションが提案されている [5]．これらの既存研究はネイティブと非ネイティブがうまくコミュニケーションできる支援方法の提案という点で本研究と類似しているが，非ネイティブ言語の能力の獲得を考慮していない点で本研究と異なる．本研究では，最終的に学習者が英会話スキルの獲得できることをめざしているため，熟達度に応じて補助情報の度合いを変更できる機能を提供しており，解決方法も異なる．また，教師と生徒が存在する英会話レッスンという環境を想定している．したがって，研究の目的，想定環境，解決方法

いずれも異なる．

6 まとめ

本研究ではタッチディスプレイを用いた英会話レッスン教授システムを構築した．提案手法によって生徒のレッスン中での未認識や誤認識を減らす事が可能である．また，教師が生徒の不明点を認識する事が出来る．これにより効率的な英会話学習や，英会話レッスンの雰囲気の向上，教師および生徒間の良好な人間関係の構築に貢献する．

今後の課題としては，更なる英会話レッスンにおける現状の調査やシステムの実装，評価実験などがあげられる．

参考文献

[1] 吉田 孝, 井出 美奈: All for one 型多言語会議支援システムの構築と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.51 No.1 pp.3644, 2010.

[2] 宮部 真衣, 吉田 孝: All for one 型対面会議会議支援システムのためのワークスペースウェアネスの効果, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報システム,Vol.94 No.1 pp.2736,2011.

[3] 宮部 真衣, 吉田 孝: 多言語対面会議支援システムのための All for one 型支援の効果, 情報処理学会論文誌, Vol.52 No.1 pp.9096, 2011.

[4] 西田 健志: ネイティブ英語発話の日本人風の発音への変換による国際的な意識の促進, 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp.16, 2013.

[5] 李 翔, 暦本 純一: ”Smart Voice”言語の壁を越えたプレゼンテーションサポーティングシステム, 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp.7-12, 2013.

自立的な対話をする キャラクタエージェントシステム

守田 航大　角 薫
(公立はこだて未来大学大学院)†

1 はじめに

これまで我々は「サービスマインドを伝えるエージェント・トレーニングシステムの研究」[1][2][3]の研究を行ってきた。この研究は、エージェントと対話していくことによって接客業に対するトレーニングを受けることができるシステムである。この研究では主に外装である Kinect 等を用いたインターフェースについての研究を行っていた。本研究では内装であるエージェントの台詞についての研究を行っている。現在、エージェントの台詞は予め開発者が設定した言葉しか喋らず、決まった入力に対して決まった返ししかできない。しかし、本研究では、はじめは必要最低限の知識や情報のみを所有し、その情報を元にユーザとの対話を繰り広げ、エージェントが対話の中で成長していくようなシステムの開発を目指している。方法としてはインターネットを辞書のように扱い、知識を蓄えていき、その知識を元にエージェントの台詞を構築する。これにより、予め台詞を設定する必要はなく、さらに様々な場面に対応することができると考えている。システムの開発後は、実験を行いエージェントの台詞に対しての評価をする予定である。

2 これまでのキャラクタエージェント対話システム

これまでの研究では、接客の心得であるサービスマインドに着目し、エージェントと対話していくことにより接客の教育トレーニングを受けられるシステムを開発してきた。日本ではあまり親しみがないが、海外ではエージェントの研究は進んでおり[1]、すでに実践で投入されているものもある[2]。本研究では、海外でも評判の高い日本の接客サービスの無形の文化をシステムに取り入れることで場所や時間を問わず学習が可能となる。このシステムでは、音声認識システム、音声合成システム、対話システム、3D モデルのキャラクタエージェント表示システムからなるキャラクター対話システムを利用していた[4][5][6][7][8]。

対話システムでは AIML を Artificial Intelligence Markup Language(以下 AIML)を使用した。AIML は自然言語ソフトウェア構築のための XML を応用したマークアップ言語であり、AIML はテンプレートが自由に変更できるため使用された。また AIML ではトピックという機能があり、話の内容ごとに会話を分けることができる。例えば、同じパターンであっても、異なるトピックであれば違ったテンプレートを返し、互いに干渉されることもない。これまでの我々の研究では接客業について教えるテーマ事に分けて作成している。3D モデルのキャラクタエージェントは笑い・悲しみ等の表情と母音の口の形を用意しモーフィングを使用することによりなめらかな表情と口の動きを提示した。さらに Kinect を用いた表情認識及びジェスチャ認識を開発し、実装した。

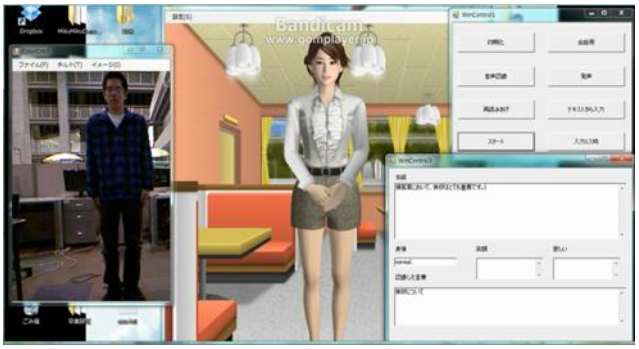


図 1 サービスマインドを伝えるエージェント トレーニングのスクリーンショット

表情認識では Kinect for Windows SDK の Face Tracking という機能、Face Tracking Basics-WPF サンプルをベースに、インターフェースに合うように組み込んである。サンプルでは顔を検出するのみであるが、Kinect for Windows の Face Tracking には Animation Units/AU という概念があり、これが表情を特徴づけるデータになっている。具体的には、主に眉の角度、口角の角度などを基準として判別しており、この Animation Units の特徴量をそのまま使用している。口を横に引き伸ばしている状態(AU2 が 0.4 以上)で笑顔と判定し、それ以外で眉をし

[1] Sense.ly: DocPal, http://www.sense.ly/index.php/applications/
[2] SimCoach, http://www.simcoach.org/

*g2114031@fun.ac.jp, kaorus@fun.ac.jp
† 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

かめている状態(AU3 が 0.4 以上)で悲しい顔と判定している。また、口が開いている(AU1 が 0.5 以上)の場合は除外している。口が開いていると笑顔とは認識されにくく、本システムでは音声認識と同時に行っているため口が開いてしまう。よって AU1 が 0.5 以上は除外している。

ジェスチャ認識では、Kinect for Windows SDK の骨格検出をベースにしている。取得している骨格のポインタを、骨格と同時に取得している RGB 映像での座標に照らし合わせ、どの程度骨格の座標に変化があるかを読み取ってジェスチャ認識を行っている。Kinect の骨格認識では頭、肩、右手、左手、腰、右足、左足など計 20 箇所の骨格ポイントを検出することができるが、本研究のジェスチャ認識では頭、背骨、腰の三か所の骨格のポイントを使用して認識している。認識できるジェスチャは「浅いお辞儀」と「深いお辞儀」を検出できるようにしており、「浅いお辞儀」では約 15 度の角度でお辞儀と検出され、「深いお辞儀」では約 30 度以上の角度で深いお辞儀と検出されるようにした。

接客トレーニングシステムでは、褒め方についてとクレームについてと挨拶についての 3 つのパートに分かれている。褒め方についてのトレーニングでは表情認識に加え、浅いお辞儀のジェスチャ認識を行っている。クレームについてのトレーニングでは表情認識と深いお辞儀のジェスチャ認識を行っている。挨拶についてでは笑顔の表情トレーニング及び浅いお辞儀のトレーニングを行っている。トレーニングの流れとして図 2 のような形の対話がある。進む流れを矢印で表しており、青い矢印は音声認識・表情認識・ジェスチャ認識全てが成功した場合(トレーニングを終了した場合)に進む先を表しており、赤い矢印は声認識・表情認識・ジェスチャ認識のいずれかが失敗した場合の進む先を表している。初めはエージェントの自己紹介と、接客業について何を聞きたいかとユーザに促すパートである。その下にそれぞれ「お客の褒め方」と「クレームの対応」と「基本的な挨拶」についての接客トレーニングのパートを作成してある。この褒め方とクレームと挨拶はエージェントがどのトレーニングを行うかを問い、ユーザがいずれかを答えることによって会話パートに進むことになる。会話パートでは接客に関する本[9]を参考にして内容を作成されている。褒め方には褒めるテクニックと笑顔のトレーニングを、クレームについては対処方法と悲しい顔と深いお辞儀のジェスチャを、挨拶ではどのお店でも使う基本的な挨拶についてと笑顔と浅いお辞儀のトレーニングをすることができる。トレーニングではまずエージェントがお手本となる表情を見せ、次にユーザがトレーニングするという流れである。トレーニングでは、エージェントのいるウィンドウ下方にユーザが話す台詞が書いてあるオレンジ色のバーが現れる。その際、ユーザは表情を作り、ジェスチャをしながらその文を読むといったものである。この際、読み上げる文に関しては音声認識と AIML を使用して喋れているのか判断をし、表情とジェスチャは Kinect によって判断をする。

被験者を用いた評価実験によりシステムの効果を評価した。評価の結果、接客のサービストレーニングシス

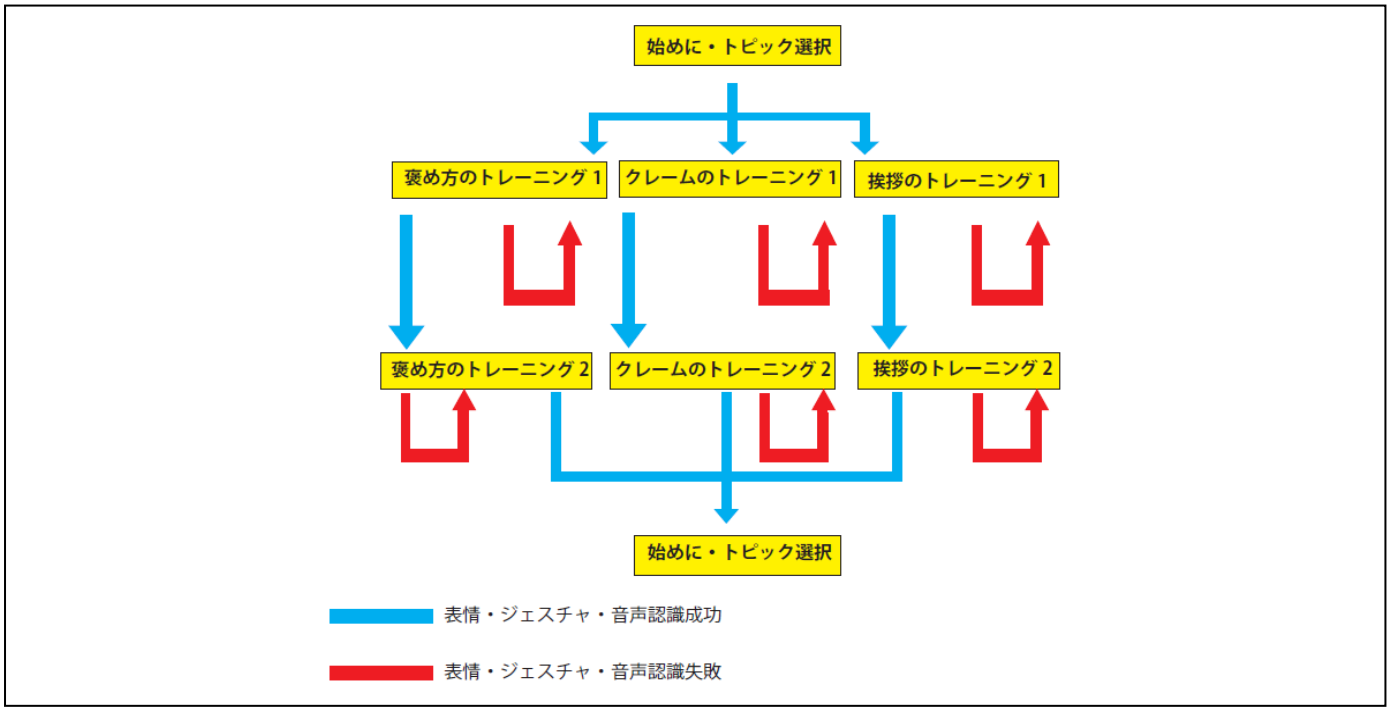


図 2 トレーニングの流れ

テムとして過半数のユーザに評価が高かったことがわかった

これまで、このようなエージェントを用いた対話システムを開発してきたが、前もって様々なパターンの受け答えを用意しなくてはいけなかった。本研究では、前もって受け答えを用意しなくても Web 上のデータを利用することにより自動的に受け答えを学習する仕組みを考えた。

3 関連研究

iOS スマートフォン向けのユーザ支援アプリケーションに Siri がある[3]。音声認識を用いて、音楽をかけたり天気予報を調べたり、Web ブラウザで検索をかけたりと手で操作しなくても音声認識で様々な機能を引き出してくれる。スマートフォンの機能を引き出すだけでなく、適当な言葉で話しかけると、一般的な会話として成立する応答を返している例も見かけられる。本研究とは、ブラウザの検索機能が似ている。

Web 上のデータをエージェント同士の対話にする研究がある[10]。この研究は、ウェブのコンテンツを二人のエージェントの対話でより高度な情報としてユーザに提示する。Web コンテンツの主題語を抽出し、その主題語についての会話をしていく。片方のエージェントがコンテンツの主題的な内容を話し、もう一人のエージェントがその説明に対して補足的な質問をする。例として、説明しているエージェントの台詞に出てきた人物や物事について「○○って誰？」「○○って何？」等の質問をする。説明エージェントはそれらの質問に対して Web やそのページの中のから解答を得て答えを返す。この質問があることでユーザにより高度な情報を提供できる。本研究とは、Web の情報を読み込む技術が類似している。

世界で初めてチューリングテストに合格したスーパーコンピュータ Eugene がある[4]。Eugene は Turing Test 2014 に合格した。チューリングテストとは、評価者の相手がわからない状態でとテキストチャットを行い、評価者が「相手は人間か、コンピュータか」を判別するテストである。もし、判定者の 30%以上から「この相手は人間かコンピュータか判別できない」と評価されれば合格だとされており、Eugene は判定者の 33%から「人間かコンピュータかを判別出来ない」と評価された。Eugene は自然な対話をしており、そのテクニックの 1 つとして会話の主導権を握るような手法を用いている。本研究ではこの会話の主導権を握る手法を参考にしている。

4 自立的な対話をするキャラクタエージェントシステム

開発に使用した言語は 3D モデルのアニメーションを用いるために C#（Visual Studio 2010）と XNA を使用する。この XNA は 3D モデルを使用するのに長けており容易に 3D モデルを表示, 利用できるものである。XNA では Xbox360 のゲームの開発をする事もできる。

これまでの我々の研究ではエージェントは会話パターンの元、ユーザとの対話を果たしていた。会話パターンとは「ある決まった言葉(入力)に対して、決まった応答(出力)をする」ものである。しかし、本研究では、会

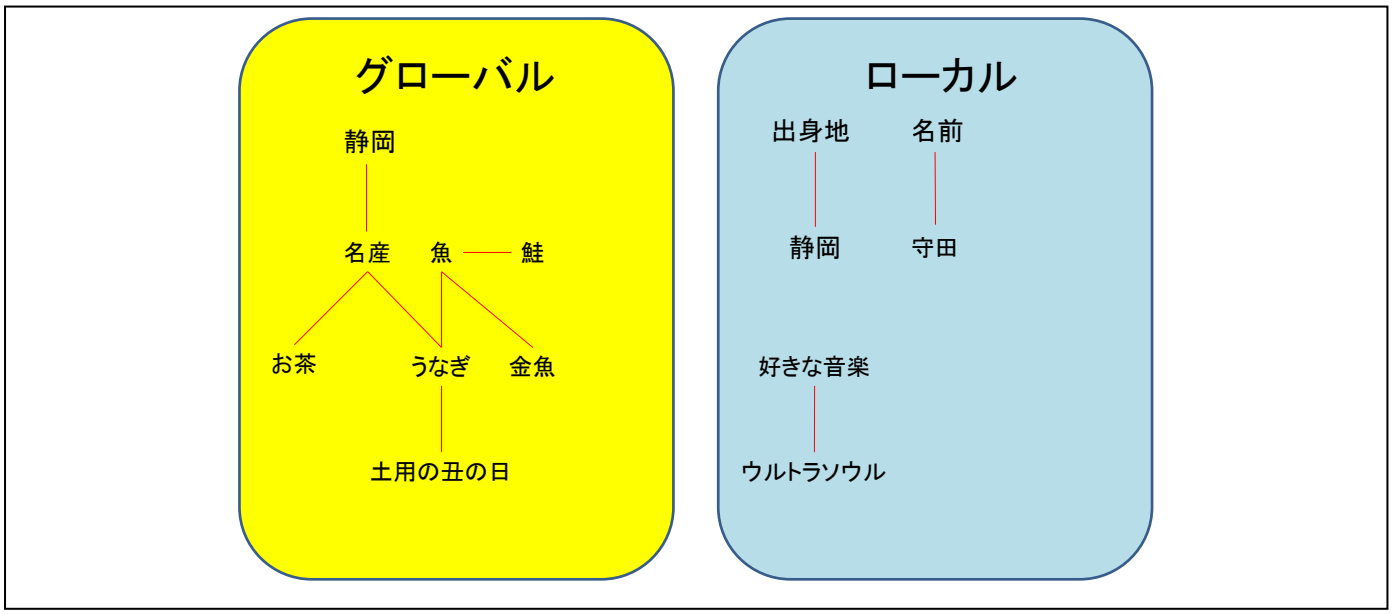


図 3　情報の保持

[3] Siri:　https://www.apple.com/jp/ios/siri/

[4] Eugene:　http://www.princetonai.com/bot/

話パターンでの対話ではなく、会話の中で情報を得て成長し対話するエージェントの作成を目指す。初めは必要最低限の情報のみを保持し、その情報を元にユーザと会話をしていく。エージェントは会話の中で必要な情報を得て成長していく。つまり、対話すればするほどエージェントの所持する情報が増えていく。

情報保持の方法として、本研究ではグローバルな情報とローカルな情報を区別する手法をとる。会話の中にはグローバルな話とローカルな話がある。グローバルな話は一般的な話で、天気や小説等の社会の中で認知され共有されている情報を元にした会話である。対してローカルな話では、話者(ユーザ・エージェント)の身の回りの個人的な情報を元にした会話であり、その話者の周囲の者にしか認知されていない。例として、「かえで」という名前の人物がいたとして、その人物の中では「楓」という<植物の名前>というグローバルな情報と「かえで」という<自分の名前>というローカルな情報を持ち合わせている。グローバルな情報のほとんどはインターネットを利用することで入手することができる。しかし、ローカルな情報は話者との会話の中でしか入手することができない。本研究では、自然な対話を目指したシステムの開発を目的としている。そのためにこのグローバルな情報とローカルな情報を分割して保持する必要があると考えた。グローバルな情報とローカルな情報を区別して記憶することで、ユーザの区別が簡単に行うことができ、複数のユーザに利用してもらうことによりグローバルな情報が得やすくなる。グローバルな情報を複数のユーザで共有することで、より多くの人から情報を得ることができるのでエージェントの知識が増していく。

自然な対話とするために、エージェントは先手で質問をする。先手で質問することで、エージェントは会話の主導権を握ることができ、自然な対話へとしやすくなる。チューリングテストに合格した Eugene の会話でも先手をとって質問をしていた。

質問する内容は以下の様なものを想定している。

- **名前**
- **出身地**
- **家族構成**
- **苦手な食べ物**
- **好きな食べ物**
- **好きな音楽**
- **好きな映画**
- **好きな俳優**

質問内容はユーザのローカルな情報でプロフィールを埋めるような形で質問をしていく。これらのことを質問することで会話のトリガーとし、基本情報として保持していく。さらにこの質問から得られた情報から会話を広げていく。

エージェント会話の中で、ユーザの応答と Web 検索を用いて情報を得ていく。ユーザとの会話の中で保持していない単語が出てきた場合、Web 検索を行い、情報を得ていく。例えば、エージェントが出身地を聞いた場合、ユーザの答えとして出身地がローカル情報として保持される。もし、その出身地の単語がグローバル情報に保持されていなかった場合、グローバル情報にも保持される。会話のトリガーとして最初に保持している質問群の中で特定の質問の応答に対して、グローバルな情報とローカル情報で分けて考える。例として、「好きな音楽・映画・小説」などはグローバルな情報とローカルな情報の 2 つに保持されるが、「家族構成」などはローカルな情報のみとして時保持されるように分類わけが出来る。

5 適用

Web 検索では出身地の事柄や、人物の事柄・作品の事柄等様々なことを検索していく。出身地であれば、「出身地名　名産」などで検索を行う。そうすることで、その名産品を新たな情報として保持し、エージェントの情報が広がると考えられる。作品の事柄、例えば小説のタイトルならば Web 検索を行い、その小説の作者や関連図書、その作者から作者が書いた別の小説を引用する。エージェントはこれらの引用した情報をユーザに対して提示することで、より知的なエージェントになると考えられる。

「出身地名　名産」等の検索は「Google Web API」を用いる。「Google Web API」を用いることで複数の Web ページを参照することがでる。「Google Web API」は検索スピードが早く、有益な情報が上位より得られやすいと判断したので採用した。エージェントは「Google Web API」を使用した場合、検索結果から得られた上位数ページを参照して目的の情報を各 Web ページから取り出す。

小説のタイトルや音楽等の情報は「Wikipedia API」を用いて Web 検索を行う。「Wikipedia API」は Wikipedia によって無償で提供されており、膨大な情報が収められていることから使用することにした。Wikipedia は誰にで

も編集が可能という側面もあり情報としては信憑性に欠ける部分があると考えられるが、内容や人物に関する主観的な書き方に依る部分が大きい。しかし、小説のタイトルやその作者や登場人物、音楽のタイトルやそのアーティスト・作曲者、映画のタイトルや監督、などの事実に関する部分が偽られて記載されている部分はほとんどない。Wikipedia ではこのような事実を情報として得るのには最も適していると考えられる。さらに、Wikipedia は誰にでも編集ができるので、情報の更新が早いことが特徴である。エージェントは Wikipedia において、関連情報を取得する。例えば、小説のタイトルを検索し、適切なページが見つかった場合、その小説の作者、その作者が執筆した別の作品を情報として得る。そしてユーザに提示する。音楽であった場合、音楽のタイトルからその楽曲のアーティスト・作曲者を情報として保持し、さらにそのアーティスト・作曲者が演奏、歌っている別の楽曲を提示する。

初めはユーザのプロフィールを埋めるような形でエージェントは情報を会得していく。その後、プロフィール欄が埋まってきた場合、保持している情報からユーザの興味があると推測できる情報を提示していくプロフィールではユーザの「好きなもの」を中心として質問していく。ユーザの好きなものであれば、その事柄に関連したものは興味があると推測できる。エージェントはこの興味がありそうな事柄について最新の情報を提示していく。最新の情報については Google のニュース検索を用いる。例えば、出身地が東京であった場合「東京」で Google ニュース検索をする。検索した結果、日付順で最も新しいニュースを幾つかユーザに提示することで最新の話題を提示する。

エージェントは初め、ユーザのプロフィールを埋めるような形で質問をしていく。このプロフィールを埋める質問はいくつか用意されており、エージェントはランダムに情報の格納されていないものを質問していく。会話の例として、はじめにエージェントがユーザの「出身地」を聞いた場合を想定する。

エージェント「あなたの出身地はどこですか？」

ユーザ「静岡県です」

この場合、エージェントはユーザの出身地に「静岡県」というローカルな情報を格納し、同時にグローバルな情報において静岡県が入っていなければ「地名」と「静岡県」を組み合わせる。情報が入っていなければ、

エージェント「静岡って何がありますか？」

と質問する。その後、返された言葉の中の単語を知識としてグローバルな情報に格納する。

ユーザ「うなぎが名産だね」

と答えたとする。ここでエージェントは「名産」や「有名」と言った言葉に反応し、その前の言葉を知識として追加する。今回の場合は「うなぎ」を追加する。ここでうなぎに対して知識が入っていなければ、

エージェント「うなぎってなんですか？」

と質問する。知識がすでに入っていた場合、「うなぎ」と「静岡県」をつなぎ合わせる。今回は知識が入っていなかった場合とする。質問に対してエージェントはユーザの答えから「うなぎ」とは何なのかを教えてもらいます。もし「魚」など単語であればそれを「うなぎ」とつなぎ合わせ、「うなぎは魚だよ」や「魚だよ」などの場合は最後の名詞を情報として保持する。

ユーザ「うなぎは魚だよ」

とここで答えたとする。ここでエージェントは「うなぎ」と「魚」をつなぎ合わせる。そして、

エージェント「そうですか。静岡県の名産は他にはお茶があるようですよ」

といった言葉を返す。この時、「出身地（今回は静岡県）名産」と Google Web API を用いてインターネットで検索する。検索結果から得られた候補から情報の記されているページにアクセスし、該当の情報を得てくる。「静岡県　名産」と検索した結果から得られたページからお茶という解答が得られた場合、エージェントはこのような答えを返す。その後、エージェントは今回得られた情報からランダムに言葉を選定し、選ばれたものの最新のニュースをユーザに対して提供する。今回は、静岡県・うなぎ・お茶という情報が得られたので、この中から最新の情報を得る。その際、Google Web API を用いて、グーグルニュースから情報を得ることで、最新の話題を得る。今回は「うなぎ」について検索したとする。検索した結果「7 月 29 日は土用の丑の日」だということがわかれば、

エージェント「そういえば、7 月 29 日は土用の丑の日だそうですよ」

と話す。今回は例として、出身地の名産を提示した後に最新の情報を提示したが、本来はランダムで提示しようと考えている。その後、また別のプロフィールを埋めるように、「あなたの好きな食べ物は何ですか？」や「あなたの好きな映画を教えて下さい」等の別の質問をする。

次にエージェントがはじめに

エージェント「あなたの好きな小説はなんですか？」
という質問をした時の例をあげる。これに対して
ユーザ「坊っちゃん」
と答えたとする。その場合グローバルな情報とローカルな情報に「坊っちゃん」が追加される。この時、エージェントは Wikipedia で「坊っちゃん」を検索する。検索結果から「坊っちゃん」のページを参照し、作者を取得する。作者である「夏目漱石」をグローバル情報に追加し、「夏目漱石」の Wikipedia のページを参照する。このページで作品を取得し、その中からランダムでユーザに提示する。今回は、
エージェント「吾輩は猫である」
と、提示したとする。作品を検索して作者がわからなかった場合、ユーザに対して
エージェント「作者はだれですか?」
と尋ね、その情報を元に、同じ作者の別の作品を検索しユーザに提示する。小説以外にも、好きな音楽や好きな映画に対しても同じアーティスト、同じ監督・俳優を検索してユーザに提示する。

6 まとめ

これまでの「サービスマインドを伝えるエージェント・トレーニングシステムの研究」ではエージェントと対話することで接客業の基礎を学ぶことができるシステムを開発した。このシステムでは特定のパターンによってエージェントは特定のパターンで応答するようになっていた。しかし本研究では、必要最低限の知識や情報のみを所有し、その情報を元にユーザとの対話を繰り広げ、エージェントが対話の中で成長していくようなシステムの開発を目指す。これにより多くのパターンを予め入力する必要がなくなる。エージェントは初め、ユーザのプロフィールを取得するように質問をし、ある程度情報が集まった場合、保持している情報からユーザの興味があると推測できる最新の情報をユーザに対して提供する。最新の情報を提供する事によって、ユーザを飽きさせないような対話が可能となると考えられる。

参考文献

[1] 守田 航大: サービスマインドを伝えるエージェント・トレーニングシステム, 公立はこだて未来大学卒業論文(2013)

[2] 守田 航大, 角 薫: 接客トレーニングのためのシリアスゲームの研究, 日本デジタルゲーム学会 2013 年度年次大会, pp.9-13, 日本デジタルゲーム学会 (2014)

[3] 守田 航大, 角 薫: 接客エージェントによる接客トレーニングシステムの研究, 2014 年度人工知能学会全国大会, 人工知能学会(2014)

[4] 江端竜次： サービスマインドを伝えるキャラクタエージェント対話システムの研究, 2012 年度公立はこだて未来大学卒業論文, (2013)

[5] 江端竜次, 角薫 : サービスマインドを伝えるキャラクタエージェント対話システム, インタラクション 2013, (1EXB-45), 情報処理学会(2013)

[6] Kaoru Sumi: Communication with a Virtual Agent via Facial Expressions, IJCAI Workshop on Empathic Computing, 4th International Workshop on Empathetic Computing (IWEC’13), Beijing, China (2013).（招待講演）

[7] Kaoru Sumi, Ryuji Ebata: Human Agent Interaction for Learning Service-Minded Communication, iHAI2013, 1st international conference on Human-Agent Interaction, (2013)

[8] Kaoru Sumi, Ryuji Ebata: A Character Agent System for Promoting Service-Minded Communication, Intelligent Virtual Agents, Lecture Notes in Computer Science, LNAI8108,pp.438, Springer (2013)

[9] 森下 裕道: 心理接客術 お客様の心を一瞬でギュッとつかむ接し方, ソシム (2009)

[10] 蓬莱博哉, 灘本明代, 田中克己: “トークショーメタファーによる複数 Web ページの受動的視聴”, 情報処理学会研究報告データベースシステム, 5, p155-p162, (2003)

情報処理北海道シンポジウム 2014

レビュー文の閲覧補助を目的としたネタバレ・意見文の分類

種田裕介 * 佐藤晴彦 小山聡 栗原正仁
(北大情報科学)†

1 背景と目的

近年，インターネットの普及により，インターネットを通じて商品を購入する人の割合が増加してる．このようなインターネットショッピングと従来の一般的な購買行動とでは大きな違いが存在する．それは，ユーザが実際の商品を直接見ることなく購入を行うということである．そこで，大量の商品の中からユーザの期待に沿う商品を検索・推薦する技術に関心が集まっている．しかし，ユーザは検索・推薦された商品を全て購入することはなく，自らの興味を引く商品を選んで購入するといった流れが，インターネットショッピングにおいての一般的な購入プロセスとなっている．

このとき，ユーザが商品を購入するか否かを判断するための材料の 1 つとしてレビューが挙げられる．レビューとは，その商品の購入者による評価の内容を書いた文章であり，購入のための判断材料としては非常に有用なものである．Amazon のような大手のショッピングサイトでは，商品についてのレビューを作成・閲覧できる機能が備わっており，その商品を購入した人の評価を簡単に知ることができる．

一般的には，レビューが詳細なものであればあるほど，その情報の有用性は大きくなる．しかし，書籍・映画のようなストーリーを持つ商品の場合はその限りではない．他の商品と異なり，ストーリーを持つ商品のレビューは，その商品に対する評価だけではなく，ストーリーの内容が記述されていることがある．意見や感想を述べた文であれば，他のレビュー同様，購入を判断するための情報として非常に有用なものとなるが，ネタバレを含むようなレビューは，参考情報としては不適切であり，ユーザの購買意欲を著しく低下させてしまう恐れがある。

このように，ストーリーを持つ商品のレビューは，意見・感想を述べるものと，内容について述べるものとで，その有用性が大きく異なる．そこで本論文では，書籍のレビュー閲覧補助を目的とした，レビュー文中のネタバレ・意見文の分類について検討を行う．

2 アプローチ

まず，レビューからどのようにネタバレを検出するのかを考える．いくつかのレビューを読んでみると，ネタバレが含まれる文に出やすい語，出にくい語があることが分かる．例えば,「犯人」,「結末」といったような語はネタバレを含む文に多く用いられる．その逆として,「思う」,「買う」などといった語はレビュアーの感想や行動を述べる文に多く用いられており，ネタバレ文に出現することは少ない．

故に，本研究ではレビュー文中の単語を特徴として，機械学習に基づいた文書分類を行う．アルゴリズムとしては Naive Bayes を使用し，機械学習に用いるために，文書データは bag-of-words で表現する．

2.1 データセット

本研究では使用データとして，ネタバレについての判断がしやすいという点から，推理小説に関するレビューを用いた．レビュー文は Amazon.co.jp よりランダムに選択された 40 の小説から，それぞれランダムに抽出した 5 件，文の総数 754 となる計 200 件を用いた．クラスは「ネタバレ文」,「意見文」，そしてそれ以外の事実関係などを述べる「一般文」の 3 つとして，手動によりラベル付けを行った．その内訳は以下のようになっている．

Table 1 使用データの内訳

クラス	文の数	文中の単語数
ネタバレ文	192	1408
意見文	425	1636
一般文	137	541

2.2 評価方法

評価方法としては，F 値を用いた．F 値は情報検索などの分野でよく用いられる指標であり，適合率 (precision) と再現率 (recall) の調和平均によって算出される．

$$\text{適合率} = \frac{\text{正解であるデータ数}}{\text{正解と予測したデータ数}} \tag{1}$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{正解と予測したデータ数}}{\text{正解のデータ数}} \tag{2}$$

$$F = \frac{2recall \cdot precision}{recall + precision} \tag{3}$$

本研究では,「ネタバレ文」,「意見文」のクラスにおける F 値を算出し，それを平均した値を全体としての評価値とした．

また，評価をより良く行うため，10 分割交差検証法を用いた．

*seed@complex.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

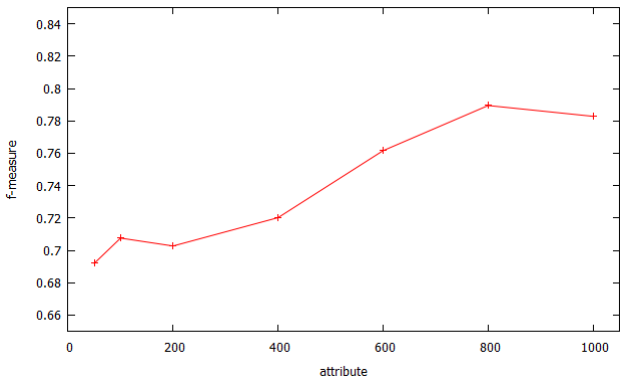


Fig. 1 Naive Bayes による分類の F 値

2.3 評価結果

分類の評価結果を Fig. 1 に示す．縦軸が F 値，横軸が学習に用いた属性 (単語) 数を表しており，属性数の変化による F 値の変動をプロットした．この際，選択した属性は相互情報量の高い順に選択されたものであり，頻出回数が 1 の単語は除外してある．

分類の評価は，最も良いところで 0.789 となっており，単語を素性とした分類が，ある程度の精度での分類を可能としており，有効な手法であることが分かる．

2.4 補集合を用いた学習による差

この実験で用いたデータセットは上述したとおりであるが，このデータセットにはクラス間でデータ数に偏りが存在している．このようにクラスの出現頻度が異なっている不均衡データは，時に汎化能力の低下を引き起こす恐れがある．そこで，補集合を用いる学習を行った．

通常の学習では，あるクラスに属する文書を用いて学習を行うが，補集合を用いた学習では，あるクラスに属さない文書を用いて学習を行うことになる．

今回用いたデータセットでは，最もデータ数が少ないクラスと，多いクラスとで，データ数に 3 倍以上の違いがある．しかし，補集合を用いた場合は，その差が緩和され，2 倍以内に収まる．

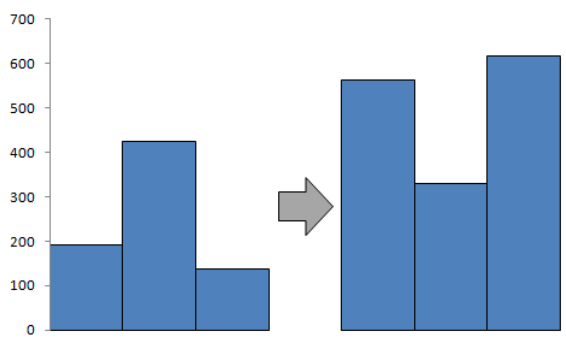


Fig. 2 補集合を用いる前後の学習データ数

このようにして分類を行うと，評価値は 0.819 となり，補集合を用いなかった時の 0.789 よりも僅かながら改善が見られた．

3 おわりに

本研究では，推理小説に対するレビュー文を対象とした，ネタバレ・意見文の分類を行った．

また，クラスごとのデータ数の差による影響を小さくするために，補集合を用いた学習を行った．

本研究は，ブックレビューの閲覧補助を目的とするシステム構築にあたっての前段階としての研究であるが，今後はネタバレ文の程度の差，意見文の有用性の差などの判定方法について検討を行う予定である．また，本研究でのデータセットは，文ごとに手動でラベル付けを行ったものを使用したが，コストが大きく，実用には向かないため，そのコストを小さくする工夫についても取り組む予定である．

参考文献

[1] 村井聡一, 牛尼剛聡. ネタばれと興味喚起を考慮した小説レビューのランキング手法. 第 4 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 2012.

[2] 岩井秀成, 池田郁, 土方嘉徳, 西田正吾. レビュー文を対象としたあらすじ分類手法の提案とあらすじ非表示システムの開発. 情報処理学会. インタラクション 2013, 2013.

[3] Jason D. M. Rennie, Lawrence Shih, Jaime Teevan, and David R. Karger. Tackling the poor assumptions of naive bayes text classifiers. Proc. Twentieth International Conference on Machine Learning2003, 2003.

[4] 伊藤裕佑, 古宮嘉那子, 小谷善行. 文書分類における補集合を併用した naive bayes, 2012.

進化言語学の手法による人工生命における語彙の発生

小山寛人 *　佐藤晴彦　小山聡　栗原正仁
(北大情報科学)†

1　はじめに

進化言語学とは，言語の起源と進化に関する研究分野である．言語がいつ，どのようにして生まれ，発達してきたのかは古くから興味の対象であった．しかし，文字以前の時代における言語の進化を知ることは困難であり，このことはしばしば「言語は化石を残さない」とも表現されてきた．このような状況の中で，言語の起源と進化に関する研究は長らく下火となっていた [1]．ところが，1980 年代頃から，認知科学や神経科学の発達によってこの分野は再び注目されるようになっている．そして，近年ではロボットによる実験やコンピュータによるシミュレーションを利用して，言語の発生と進化をモデル化しようとする研究が盛んに行われている．

このような情報科学分野における進化言語学の研究では，旧来型の AI 研究のようにトップダウンに言葉を話すシステムを作ることは行われない．なぜなら，そのようなシステムは作ることが技術的に困難であるばかりでなく，仮に作ることが出来たとしても言語の進化を理解したことにはならないからである．そのため，進化言語学の研究では，言語を発生させる元となるシステムを作り，その振る舞いを観察するというボトムアップな方法が使われる [2]．このような方法は構成論的手法と呼ばれ，複雑系の分野で広く利用されている．

一方，人工生命の分野では，生命の知的な振る舞いの原理に関する多くの研究がこれまでになされてきた．この分野では特に身体性（embodiment）の重要性がしばしば強調される．身体性という言葉は多くの分野で使用されるが，人工知能あるは人工生命の分野における身体性とは，身体の存在が知能を形作る上で必要不可欠であるという概念である．

本稿では，身体性の概念に基づいて人工生命に言語を獲得させる方法について議論する．そのために，マルチエージェント環境において言語を有するエージェントを進化言語学の手法で発生させることを試みた．提案手法では，二次元空間上で餌を探す仮想的な生物を考え，それらの生物が単語による簡単な会話を行う環境を作成した．そして，各生物の行動を決定するニューラルネットワークを遺伝的アルゴリズムによって最適化し，どのような言語が発生したかを観察した．その後，発生した言語について考察を行い，提案手法の有効性を検討した．

*kryozahiro@gmail.com
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

2　関連分野

2.1　人工生命

2.1.1　概要

人工生命とは，生命のシステムや進化に関する研究分野である．人工生命に関する研究は大きく分けて soft, hard, wet に分類され，それぞれ概してソフトウェア，ロボット工学，合成生物学を指している．特にソフトウェアの分野では，自己複製するシステムやマルチエージェントシステム，3D モデルの形状と動作の生成などが研究されている．また，これらの研究に共通して重要な概念として，身体性がある．

2.1.2　身体性

身体性とは，元は哲学の用語で，人間の精神は常に身体の影響を受けているという考え方で，心理学や認知科学とも関わりが深い．特に人工生命の分野では，知的な振る舞いは精神・身体・環境の相互作用によって生まれるという考え方を指している．これは，エキスパートシステムに代表されるような「古き良き AI」が身体や環境を考えず，精神にあたる記号的なシステムのみを考えてきたのとは対照的である．人工生命の分野では，この身体性が生命や知能を理解するのに重要であると考えられている．

2.1.3　記号接地問題

記号接地問題とは，人工知能においてシステムが内部にもつシンボルと実環境に存在する対象をどのように結びつけるかという問題である．例えば，言語を理解するシステムを作る上で，仮に記号的な知識が十分にあったとしても，それらの記号を現実の対象に関連付けられなければ，実際の言語を理解することはできない．つまり，言語を理解するシステムを作るためにはシステムの内部的な記号を外部にある対象と結びつけることが重要となる [3]．古典的な人工知能では身体性が無いために記号接地も存在しないが，身体性を持ったシステムを構成することによって記号接地問題に対処することが出来ると考えられている．

2.1.4　均質性

人工生命を含むマルチエージェントシステムにおいて，各エージェントが均質 (homogeneous) であるか不均質（heterogeneous）であるかはシステムを設計する上で重要である [4]．一般に，不均質なエージェントで行うシ

ミュレーションは均質なエージェントで行うよりも複雑な状況を構成できるが，その分析は難しくなる．

均質なエージェントでは，各エージェントは同一の構造をもち，入出力のみが異なっている．このようなエージェントによって構成される環境では，協調的な行動やコミュニケーションによる情報の共有を観察することができる．

不均質なエージェントでは，各エージェントは異なった構造を持っている．このようなエージェントによって構成される環境では，協調と競争の選択や役割分担，コミュニケーションによる交渉などを観察することができる．

2.2 進化言語学

2.2.1 概要

進化言語学とは，言語の起源と進化に関する研究分野である．その始まりは 1850 年代，チャールズ・ダーウィンによる『種の起源』の出版と同時期に，言語の進化が生物の進化と比較されるようになったことにある．しかし，当時において文字以前の時代における言語の進化を知ることは困難であり，実証的な研究が出来ないことから長らく研究は下火となっていた [1]．その後，1980 年代になって，認知科学や神経科学の発達によって再び注目されるようになり，1990 年代以降はコンピュータを用いた研究も加わって現在に至っている．

2.2.2 構成論的手法

コンピュータによる進化言語学研究において常に強調されることは，それが構成論的手法による研究であるということである．構成論的手法とは，伝統的な還元論的手法が事象を要素へと分解することによって理解しようとするのに対し，個々の要素から事象を構成することによって理解しようとする手法のことである．このような手法は直接観察することが困難な現象の理解の助けになり，言語の進化を含む複雑系研究の分野で多く用いられている．また，構成論的手法ではモデル設定や初期条件によっては現実には観測されないような状態が発生することもあり，そのような状態の原因や意味を考察することは現象のより深い理解に有益である [2]．

進化言語学においては，自発的に言語が出現するようなモデルを構成することによって言語の起源と進化を理解することを目標としている．

2.2.3 言語進化のモデル

言語の発生と進化は生物的進化，個体の学習，語彙の変化という異なった時間スケールをもつ 3 つのシステムの相互作用によって起こったと考えられている．まず，生物的進化は個体の認知能力や学習能力を高め，複雑な言語を運用する基礎を形作る．次に，現在使用されている言語を学習した個体は，時として語彙の新しい用法や新しい文法を作り出す．そして，そのように変化した言語

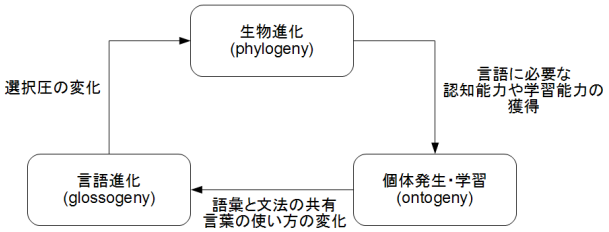


Fig. 1 言語進化のモデル

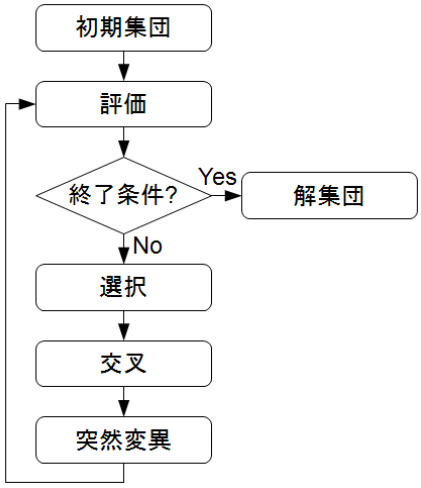


Fig. 2 遺伝的アルゴリズムの概要

が新しい環境となり，淘汰圧となって生物的進化を促進する．このようなフィードバック構造によって言語は発生，進化したと考えられる [5]．これは Fig.1 のようにまとめられる．

2.3 遺伝的アルゴリズム

2.3.1 概要

遺伝的アルゴリズムとは，自然淘汰や突然変異のような生物の進化に着想を得て作られた最適化手法の一つである．個々の解候補には対応する遺伝子表現が与えられ，その集合に交叉，突然変異を繰り返すことで解を改善する．個々の解候補は個体や表現型とも呼ばれ，また遺伝子表現は染色体や遺伝子型とも呼ばれる．このアルゴリズムの基本的なフローチャートを Fig.2 に示す．

2.3.2 評価

まず，各個体の評価を行う．遺伝的アルゴリズムは生物の進化を模倣しており，各個体の適応度は生物の環境への適応度を表している．この適応度に従って次の選択の段階で自然淘汰が行われる．

2.3.3 スケーリング

選択を行う前に，各個体の適応度をスケーリングすることがよく行われる．特に，選択の段階でルーレット選

択を使用する場合は，各個体の適応度が非負値かつ良いものほど大きな適応度を持つことが前提となっているため，重要な操作となる．よく使われるスケーリング手法としては，線形スケーリングやシグマスケーリング，冪乗則スケーリングなどがある [6]．

線形スケーリングでは，各個体の適応度は線形写像

$$f_i' = af_i + b$$

によって変換される．特に，全個体の適応度の平均 $\overline{f}$ を保って最大値を平均の s 倍にするような変換がよく使われる．本稿の実験でも，この変換を使用している．

2.3.4 選択

選択は生物の自然淘汰を模倣しており，母集団から良い解を次世代に残すことで解の改善を行う．この選択は適応度に応じて行われるが，様々な種類が提案されている．たとえば，適応度に比例して選択するルーレット選択，適応度の順位によって選択するランキング選択，ランダムな部分集合から最良の個体を取り出すトーナメント選択などがある．

実験で使用したルーレット選択では，各個体の評価値の比に従った確率で個体が選択される．つまり，i 番目の個体が選ばれる確率 p_i は

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{n} f_i}$$

となる．

2.3.5 交叉

交叉は生物の交配を模倣しており，選択された解から中間的な解を生成することで探索を進めることを意図している．遺伝子が整数列の場合はビット列とみなして互いのビットを入れ替える操作が広く使われ，一点交叉，二点交叉，一様交叉などがある．しかし，本稿では遺伝子として実数列を採用している．そのような場合には，多次元空間内で幾何的に中間的な値を計算する方法が使われ，代表的なものとして BLX-α [7] がある．

BLX-α は，遺伝子が実数値である場合に使われる方法で，まず親の 2 つの遺伝子を対角線上の頂点とする超直方体を考える．そして，その各辺の長さ d_i とすると，両側に α d_i だけ広げた空間からランダムに子を選択する方法である（Fig.3）．

2.3.6 突然変異

突然変異は生物の遺伝子における突然変異を模倣しており，解をランダムに変化させることで局所最適に陥ることを避ける効果がある．一般に元の遺伝子から距離の近いランダムな解を生成する．

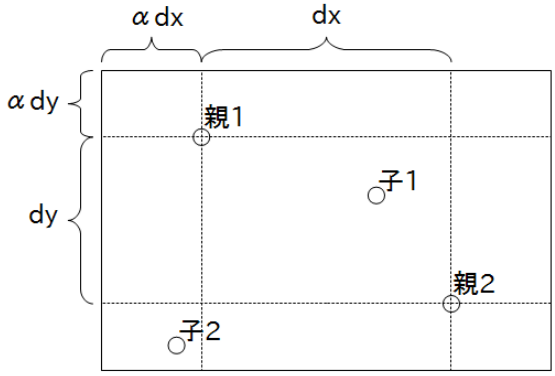


Fig. 3 2 次元の実数値遺伝子における BLX-α

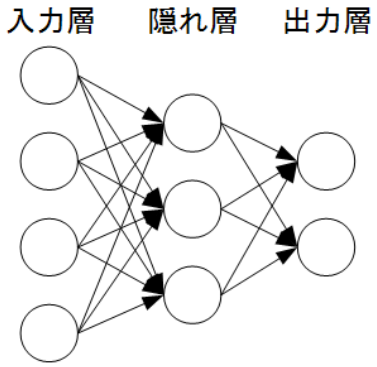


Fig. 4 ニューラルネットワーク

2.3.7 再挿入

親となる遺伝子から選択，交叉と突然変異によって生成した子の遺伝子を次の世代の親にする操作を再挿入という．特に，生成した子の数が親の数と異なる場合や，すべての子を使用しない場合にはループの度に遺伝子の数が変化しないように再挿入を行う必要がある．再挿入の方法には，単純に全ての親の遺伝子を子の遺伝子で置き換える純粋再挿入の他に，エリート再挿入などがある．エリート再挿入（Elitist Reinsertion）は，親と子の全体から適応度の良い順に遺伝子を取り入れ手法で，その性能の良さで知られている．本稿の実験でも，エリート再挿入を採用した．

2.4 ニューラルネットワーク

2.4.1 概要

ニューラルネットワークとは，生物の神経系に着想を得て作られた数理モデルである．ニューラルネットワークは個々の神経細胞（ニューロン）を表すノードと，神経細胞間の情報伝達経路（シナプス）を表すコネクションから成っており，有向グラフを構成している．また，各ノードは外部からの入力を受けとる入力層，外部への出力を行う出力層，中間にある隠れ層に分けられる．(Fig.4)

2.4.2 フィードフォワードニューラルネットワーク

本稿ではニューラルネットワークの中でもグラフ内にループを持たないフィードフォワードニューラルネットワークを扱うものとし，以下ではその説明をする．

各コネクションは前段のノードから後段のノードへの結合の強度を表す実数値の重みを持っている．重みが正である場合は結合が興奮性であることを表し，負である場合は抑制性であることを表している．各ノードは共通の活性化関数を持ち，ノードの出力は前段のノードの出力を結合の強度で重みづけした値を活性化関数に入力することで得られる．つまり，各ノードの出力は

$$y = f(\sum_{1}^{n} w_i x_i)$$

によって計算される．一般に各ノードの入力には常に 1 を取るダミー入力 $x_0 = 1$ が与えられ，重み $w_0 = h$ がバイアス項として利用される．

また，活性化関数には単位ステップ関数やシグモイド関数

$$S(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$$

がよく利用され，本稿の実験でもシグモイド関数を使用している．

2.4.3 フィードフォワードニューラルネットワークの学習

多層のフィードフォワードニューラルネットワークは，十分な数の中間ノードがあれば適切な重みを設定することで任意の連続関数を近似できることが知られている [8]．重みの設定方法にはさまざまな手法があり，特に教師あり学習であるバックプロパゲーションが有名である．しかし，本稿の実験では教師データが得られず，報酬に遅れが存在するため，重みの改善に遺伝的アルゴリズムを選択した．このような手法は Neuroevolution と呼ばれ [9]，特に人工生命の分野でよく使われている．

2.4.4 遺伝的アルゴリズムの適用

フィードフォワードニューラルネットワークに遺伝的アルゴリズムを適用するために，ニューラルネットワークを遺伝子型にエンコードする様々な方法が提案されている．これらは，接続ベースエンコード，ノードベースエンコード，間接エンコードなどに分類することが出来る [10]．

実験で使用した接続ベースエンコードは最もシンプルな手法で，ノード間の接続の有無と重みを順に並べてエンコードする手法である．

3 提案手法

3.1 概要

本稿では，マルチエージェント環境において言語を有するエージェントを発生させることを試みる．語彙の発生に関する先駆的な研究としては，Luc Steels らによる Talking Heads Experiment[11] がある．また，人工生命の手法を使った研究には Angelo Cangelosi による研究 [12] がある．これらはいずれも単一エージェントまたは 2 エージェント程度を同時に環境中で動作させる研究であった．

しかし，実際の生物の進化は多数のエージェントが同時に存在する環境で発生したものである．また，コミュニケーションのために言語を使用するソフトウェアエージェントやロボットも，一般にマルチエージェント環境で動作することが期待されると考えられる．これらの理由から，進化言語学上の問題としても，人工生命の応用上も，マルチエージェント環境において言語の発生を検証することが重要であると考えた．そこで，本稿ではマルチエージェント環境における語彙の発生のシミュレーション方法を提案する．

3.2 手法

提案手法では，人工生命の分野で一般的な，二次元空間上で仮想的な生物が餌を探す問題を利用する．各エージェントの行動の決定にはニューラルネットワークを利用する．そして，各エージェントに餌の取得状況に応じた適応度を与え，遺伝的アルゴリズムによってニューラルネットワークを最適化する．このようにしてエージェント間に単語からなる簡単な会話を発生させ，発生した言語における語彙を観察する．また，以下で説明するように均質なエージェントを使用する手法と不均質なエージェントを使用する手法を試し，結果を比較する．

3.2.1 均質なエージェント

均質なエージェントを使用する場合では，全てのエージェントは同一のニューラルネットワークを使用し，各エージェントの適応度の平均をニューラルネットワークの適応度として使用する．そのようなシミュレーション環境をニューラルネットワークごとに用意し，適応度に従って遺伝的操作を行う．

3.2.2 不均質なエージェント

不均質なエージェントを使用する場合では，各エージェントが個別のニューラルネットワークを使用し，エージェントの適応度を単純にニューラルネットワークの適応度とする．

4 実験

4.1 目的

本稿の実験では，第 3 節の提案手法に従って，マルチエージェント環境における言語を有するエージェントの発生をシミュレートすることを目的とする．また，全てのエージェントが均質な場合と不均質な場合を実験し，結果を比較する．

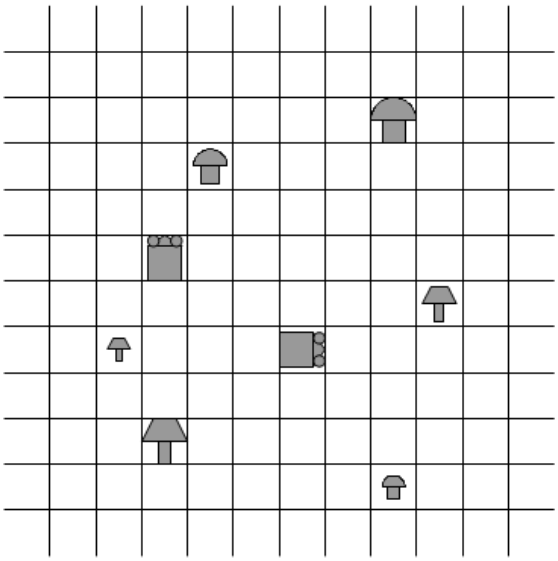


Fig. 5 シミュレーション環境

4.2 設定

まず，Fig.5 のような 100*100 の平面的なグリッド状の空間を考える．ここで，空間の上下と左右はつながっているものとする．このような空間中に 10 体のエージェントが配置され，各エージェントは餌を探す．一回のシミュレーションは 200 ステップまで行われ，ステップ毎に各エージェントは周囲の環境を知覚し，次の行動を決定する．

ここで，餌には A と B の 2 種類があり，それぞれについて Large, Medium, Small の 3 つの大きさがある．つまり，合計 6 種類の餌がある．これらの餌はそれぞれ異なる 6bit の特徴量を持ち，その内容はある 1bit が 1 でそれ以外の 5bit は 0 であるような独立なベクトルとなっている．このような餌を環境中にランダムに 100 個生成する．各エージェントは A と B の餌うち一方を好み，他方を嫌っており，餌を取得するとその餌を消費して，その大きさに従って適応度が増減される．

また，それぞれのエージェントは発話を行い，他のエージェントによる発話を聞く能力がある．発話は 6bit のベクトルで表現され，餌と同様に 1bit が 1 でそれ以外の 5bit は 0 となっている．

最終的に，各エージェントは自分の好む餌の種類，最も近い餌の距離と方向と特徴，最も近い他のエージェントによる発話の距離と方向と内容を知ることができる．そして，これらの情報をもとに次に移動する方向と発話を決定する．この決定は Fig.6 のような構造のニューラルネットワークによって行われる．ここで，進行方向を表す 3 ユニットの出力はそれぞれ前進，左折，右折に対応しており，最も大きな値を取ったユニットに対応する行動が行われる．同様に，言語出力を表す 6 ユニットは

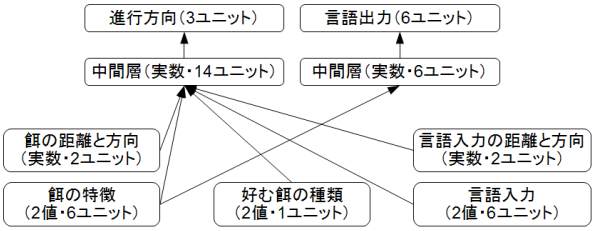


Fig. 6 エージェントのニューラルネットワーク

6bit の発話と対応しており，最も大きな値を取ったユニットに対応する bit のみが 1 となり，それ以外の bit は 0 となる．

実験では，遺伝的アルゴリズムによってシミュレーションを 30000 世代まで繰り返し，ニューラルネットワークを最適化した．そして，生成された言語を調べた．また，エージェントが均質な場合と不均質な場合で 2 つの場合を行い，結果を比較した．

5 結果

まず，均質な場合と不均質な場合で大きな差異は見られなかった．実験を繰り返し行い，生成された言語を分析すると，大きく分けて 3 種類の結果が見られた．ここでは，それぞれ非言語，限定的な言語，整合的な言語と呼んで説明する．

5.1 非言語

実験結果の一部では，全ての種類の餌が同じ単語で表現された．このような場合，餌の種類を区別できておらず，言語として成立していないと考えられる．

5.2 限定的な言語

実験結果の多くの場合では，生成された言語の表現力は非常に限定的だった．例えば，種類 A の Medium である餌に対してのみ単語 X を発話し，それ以外の場合は単語 Y を発話するような言語が多く生成された．この場合，言語による環境の分節化の観点から見て，単語 Y の意味は無いと解釈するよりも，「種類 A の Medium 以外」を意味していると解釈すべきであると考えられる．

5.3 整合的な言語

実験結果の中の少数の場合として，環境に対して整合性のある言語が得られた．例えば，Large と Medium の餌の場合に単語 X を発話し，Small の場合には単語 Y を発話するような言語が得られた．このような言語は，環境の構造を言語の構造に反映しているという意味で整合的であると言える．

6 結論と今後の展望

6.1 結論

本稿では，マルチエージェント環境において言語を有するエージェントを進化言語学の手法で発生させた．しかし，実験結果の一部の場合では整合的な言語が得られたものの，多くの場合では言語は生成されないか，生成されてもその表現力は非常に限定的だった．

その原因としては，2 種類の可能性が考えられる．一つは，シミュレーション環境において，言語を使用することがさほど適応的ではない可能性が考えられる．つまり，エージェントが言語を使用しても適応度が改善されないため，遺伝的アルゴリズムによってそのようなニューラルネットワークが選択されなかった可能性である．もう一つは，遺伝的アルゴリズムによるニューラルネットワークの最適化が十分に行われていない可能性が考えられる．実際には，言語を使用することが適応度に与える影響が小さいほど，遺伝的アルゴリズムによって言語を使用するニューラルネットワークが得られる可能性は小さくなるので，これらが複合している場合も考えられる．

6.2 今後の展望

今後の展望としては，まずマルチエージェント環境において言語をより確実に発生させる手法を考える必要がある．なぜなら，言語が得られる可能性が小さければ，進化言語学の主題である言語の起源や進化のような疑問に十分に答えられたと言うことができない上に，実際のソフトウェアエージェントやロボットなどへの応用においても課題となるからである．ここで，言語をより確実に発生させる方法としては，言語を使用することが適応度へ明確に反映される環境を作成することが考えられる．そのような環境であれば，遺伝的アルゴリズムのような最適化手法によって有効な言語を使用するエージェントが得られる可能性は高まると考えられるため，今後の課題としたい．

また，本稿では単語からなる簡単な言語を発生させたが，実際の言語は文法的にも意味的にもより複雑である．しかし，文法の発生に関する多く研究は身体性の少ない実験設定で行われている．そのため，一般的な人工生命の設定において文法的，意味的により複雑な言語を発生させることは未解決問題となっている．

7 謝辞

本研究を行うに当たり，多くのご意見を頂きました栗原正仁教授，小山聡准教授，佐藤晴彦助教に深く感謝いたします．また，研究に関して多くのご指摘を頂くだけでなく，研究生活を有意義かつ刺激的なものにしていただいた表現系工学研究室の皆様に深く感謝いたします．

参考文献

[1] 山内肇. パリ言語学会が禁じた言語起源. 進化言語学の構築—新しい人間科学を目指して, 第 3 章. ひつじ書房, 2012.

[2] 橋本敬. 言語進化とはどのような問題か? 構成論的な立場から. 第 18 回人工知能学会全国大会論文集, 1CS–2, 2004.

[3] 久木田水生. 人工知能の人工生命への接近. 京都大学文学部哲学研究室紀要 : Prospectus, Vol. 10, pp. 45–57, 2007.

[4] Peter Stone and Manuela Veloso. Multiagent systems: A survey from a machine learning perspective. *Autonomous Robots*, Vol. 8, No. 3, pp. 345–383, 2000.

[5] Simon Kirby. Natural language from artificial life. *Artificial life*, Vol. 8, No. 2, pp. 185–215, 2002.

[6] K Kim F Man, Kit-Sang Tang, and Sam Kwong. *GENETIC ALGORITHMS.: Concepts and Designs, Avec disquette*, chapter 2.2. Springer, 1999.

[7] Larry J Eshelman. Real-coded genetic algorithms and interval-schemata. *Foundations of genetic algorithms*, Vol. 2, pp. 187–202, 1993.

[8] Ken-Ichi Funahashi. On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. *Neural networks*, Vol. 2, No. 3, pp. 183–192, 1989.

[9] Dario Floreano, Peter Dürr, and Claudio Mattiussi. Neuroevolution: from architectures to learning. *Evolutionary Intelligence*, Vol. 1, No. 1, pp. 47–62, 2008.

[10] Frederic Gruau, et al. Neural network synthesis using cellular encoding and the genetic algorithm. 1994.

[11] Luc Steels. *The Talking Heads Experiment. Volume 1. Words and Meanings.* Laboratorium, Antwerpen, 1999.

[12] Angelo Cangelosi. Evolution of communication and language using signals, symbols, and words. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, Vol. 5, No. 2, pp. 93–101, 2001.

臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの評価

小田川玲奈* 竹川佳成† 平田圭二‡
(公立はこだて未来大学)§

1 概要

書写において文字バランスの習得は重要であり，文字バランスの練習法方法として，手本と見比べながら文字を書く臨書がある．しかし，手元の手本と実際に文字を書く半紙は離れているため，文字のバランスが適切であるかどうかは直観的に判断しづらい．そこで，本研究ではこの問題点を解決するために臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの構築を目的とする．提案システムはタブレットを利用し，学習者は手本を表示したタブレット上に半紙を置き，墨汁に浸した筆で文字を書く．半紙は薄い紙であるため，半紙越しにタブレットに表示されているコンテンツを見られる．また，筆の一部に導電性テープを貼り付けることで，タブレットに触れている筆の位置をタブレットが認識できる．この特性を活かし，手本からの離脱を促進し学習効果を高めるために，学習者が書いた筆跡を採点する機能を提供する．

2 背景

日本では義務教育における国語授業の一環として書写が導入されており，近年では学校教育だけでなく生涯学習としても注目されている．書写とは文字を正しく整えて書くことであり，文字を書くときの書き順や文字バランス，一画の線の太さ，とめ・はね・はらいなど，様々な技術が求められる．中でも書き順や文字バランスは習得すべき基礎的な技術である．正しい文字バランスとは，図 1 に示すように，半紙サイズを基準とした文字の相対的な大きさや位置・各画の相対的な長さ・画間の位置関係が手本と同じことである．

書写の一般的な練習方法として，既に書かれた手本に真似て書くという臨書がある．しかし，手元の手本と実際に文字を書く半紙は離れているため，文字のバランスが適切であるかどうかは直観的に判断しづらい．また，手元の手本上に半紙を重ねて透けた文字をなぞることでも訓練はできるが，手本なしで文字バランスの良い文字を書けるようになる為には繰り返し練習する必要があり，時間がかかる．

そこで，本研究ではこの問題点を解決するために臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの構築を目的とする．

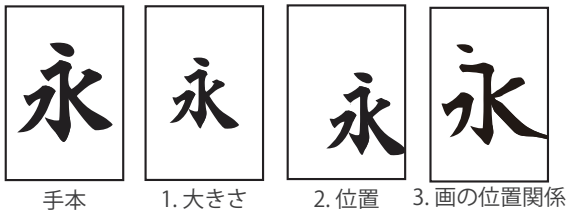


Fig. 1 文字バランスの各要素が整っていない例

Fig. 2 臨書の形式

3 関連研究

書写および書道を対象とし，運筆動作そのものを分析した研究事例 [1, 2] や，視覚・聴覚・力覚に着目した補助情報の提示による学習支援システムがある．

視覚補助による学習支援の事例として，Nintendo 社が開発した美文字トレーニング [3] では，手本情報を視覚的に提示しインタラクティブに添削や改善点を指摘する機能をもつ．また，魏らの習字支援システム [4] では，学習者の運筆にあわせて，手本を徐々に提示する機能を提案している．さらに，七戸ら [5] は，プロジェクタを利用し半紙の上に手本を提示したり，カメラを利用することで，文字の良し悪しだけでなく書字動作の姿勢も評価する学習支援システムを提案している．力覚補助による学習支援の事例として，Henmi ら [6] や Ryo ら [7] は力覚装置を用いて，学習者に常に正しい運筆をさせ，学習者は正しい動作を何度も繰り返すことで動作の習得をめざしている．Henmi らのシステムでは，力覚装置として Sensable Technologies 社の PHANTOM Ommi，筆や半紙の代わりとしてタッチペンとディスプレイを用いている．筆圧検知などの特徴を活かして，とめ・はね・はらいなどの筆の技法においても摩擦力を必要とし，実際に文字を書いているかのような感覚を得ながら文字を書くことができる．聴覚補助による学習支援の事例として，土

* b1011049@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 函館市亀田中野町 116 番地 2

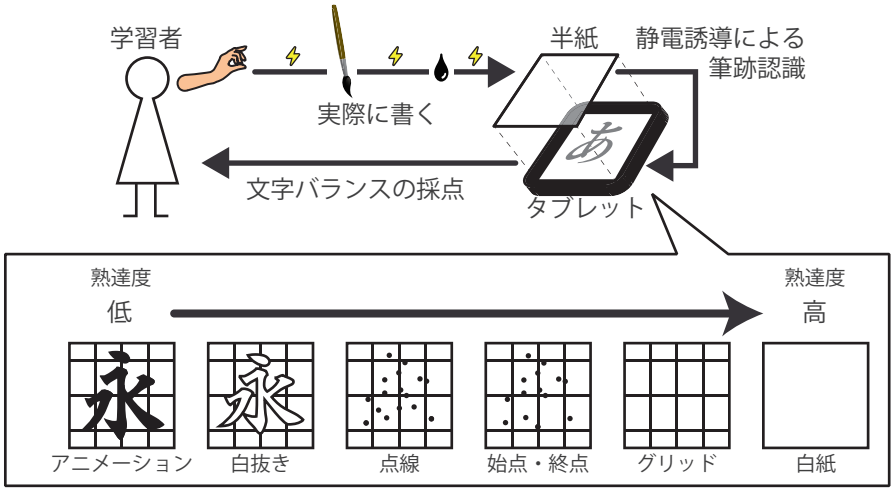


Fig. 3 システム構成

屋ら [8] は運筆音を仮想的に提示することで，運筆のリズムやタイミングなどの学習を支援している．これらの事例は，本研究と同様に初心者を対象とし，文字バランスだけでなく，とめ・はね・はらいといった筆の技法，筆圧，運筆のリズムやタイミングを考慮している．しかし，七戸らの事例以外は，タッチペンやディスプレイの利用を学習者に強いており，学習環境が異なる．特に，毛筆においては，筆そのものの取り扱いにも慣れる必要があり，たとえ，タッチペンやディスプレイ上で運筆の学習ができたとしても，そのスキルを書道具を利用した実環境で発揮することは難しい．また，上述した学習支援システムは補助の提示だけにとどまっており，補助からの離脱は考慮されていない．

システムによる補助からの離脱を考慮した学習支援システムの例として，我々の研究グループが開発したピアノ演奏学習システム [9] がある．これはピアノ初心者を対象とし，五線譜やシステムが生成する補助情報を活用しながら楽曲を効率的に習得できるシステムである．また，このシステムは練習中の学習者の視線情報を取得し，補助として提示されている打鍵位置情報を確認した打鍵とそうでない打鍵とを識別できる．これによって学習者自信が補助を利用しているか確認でき，補助からの離脱を促せる．本研究では，補助利用情報の提供ではなく補助そのものを段階的に減らす機能を提供している点で異なる．

4 設計

本研究は臨書初級者を対象とし，システムによって提示される手本の情報を活用して学習者は書き順から訓練し，最終的には手本が無い状態でも正しい文字バランスの文字を書けるようになることを目指す．

4.1 設計方針

本研究の目的を達成するための要件として，以下の 2 点が挙げられる．

実環境に近い学習環境 コンピュータやゲームによる擬似的な練習では実際の環境と異なる点が多く存在し，仮想環境で習得した技術を，実環境でそのまま適用できない．例えば，書写においては，紙とタッチパネルにおける摩擦の違いや，筆の種類，反復することで身に着けた慣れなど，複数の違いがある．成果を充分に発揮するためには，練習の段階から実環境に近い状態で練習及び学習をすることが必要である．そのため，臨書においては，自分が普段から利用している書道具をほぼそのまま練習に使用できるようにする必要がある．なお，本研究における実環境とは実際の臨書の形態を意味する．

補助からの離脱 従来の臨書においては，半紙の隣においた手本から，文字のどこに注意して書くべきか，あるいは自分の書いた文字の良い点・悪い点を自分の目で見比べる必要があり，修正すべきポイントを見つけづらいなど，複数の問題が挙げられる．書道教室などでは，教育者からポイントや修正点の指摘を得られるが，教育者がいるという限られた場面以外では自己評価をすることしかできない．また，手本の内容が常に同一であれば，例えば，苦手な部首のみ表示された手本といったような学習者自身の熟達度に適した補助をうけられない場合がある．従来の臨書では，手本を見るか見ないかという両極端な方法しか選択できなかった．そこで，本研究では，学習者の熟達度に応じて提示する手本の内容を変化さられる機能，学習者が文字バランスの正確性を客観的に評価できる採点機能を提供する．

4.2 システム構成

提案する学習支援システムのシステム構成を図 3 に示す．

手本を表示したタブレット上に半紙を乗せ，墨汁に浸した毛筆で文字を書くという利用スタイルである．半紙

Fig. 4 アルミホイルを巻いた毛筆

は薄い紙であるため，タブレットの表示が透けて見える．これによって学習者に提示される手本は実際に書く半紙の真下に配置している状態と同じになり，学習者は手本をなぞるようにして文字を練習する．

また，図 4 に示すように筆の一部に導電性のテープを貼り付けることで，静電容量方式のタッチパネルを採用しているタブレット端末上で筆の位置を認識することができる．提案システムでは，筆の一部に導電性テープを貼ったり，半紙の下に直接タブレット端末を置くが，臨書の習得の妨げにはならないことを確認しており，上記で述べた「実環境に近い学習環境」の要件を満たす．

なお，筆に墨汁を浸けすぎたとき，タブレットの画面に墨汁が一部残ってしまう場合があるが，湿らせたティッシュなどで簡単に拭き取れる．筆の位置の認識は，墨汁だけでなく水でも可能である．

4.3 練習方法

最初に学習者は自身の熟達度に応じたステップを選択する．熟達度の低い順から，アニメーション，白抜き，点線，始点・終点のみ，升目のみ，手本提示なしの 6 個のステップがある．この 6 個のステップを設定した理由は，ステップが高くなるにつれて手本の情報を減らすことによって，画の位置関係や全体的な形，大きさを意識して練習できるようにするためである．アニメーションでは書き順から学び始め，白抜きによって大まかな形，点線で各画の軸，というように文字バランスの学習に必要となる情報を徐々に減らしながら練習することができる．このようにステップを設けることで補助情報からの離脱を促進できる．

ステップを選択すると，次は練習開始となる．練習ではタブレット端末上に選択した文字とステップに対応した手本が表示される．学習者はタブレット端末上に半紙を乗せ，その上から導電性テープを巻いた筆と墨汁で実際に臨書を行う．システムはリアルタイムに筆の位置を認識している．書写は基本的に一画を一筆で書くため，時系列の筆の位置情報や，筆がタブレットに接地あるいは離れたタイミングの情報をもとに，現在何画目を書いているかを推測することでアニメーション手本における提示する画を制御している．

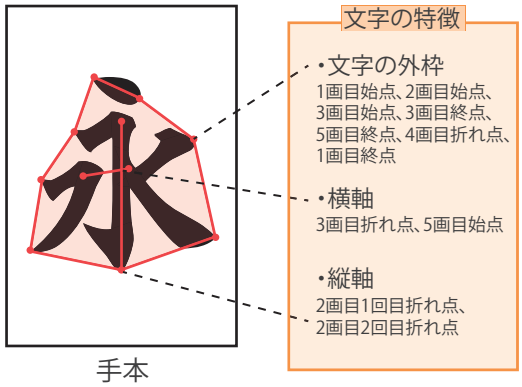


Fig. 5 文字『永』の特徴量

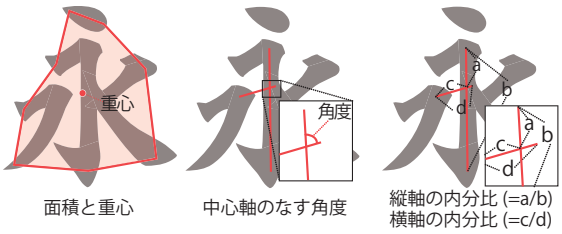


Fig. 6 構成点

4.4 採点機能

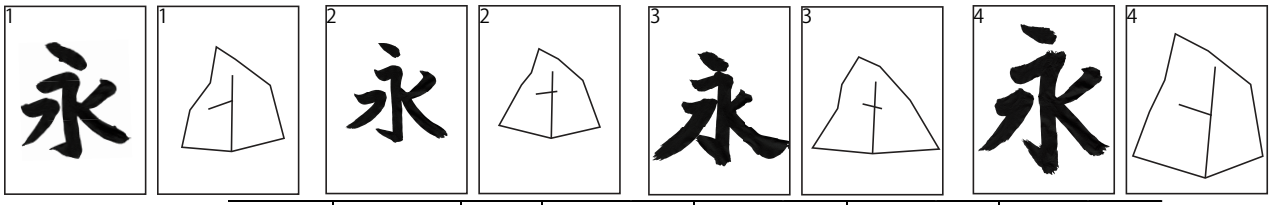
本研究では，文字バランスの学習支援を目的とするが，文字バランスとは複合的な要素から成り立っていると考えられ，評価基準そのものが曖昧なものになってしまう．そこで今回は文字バランスを，図 1 に示すように，半紙を基準とした，文字の相対的な位置，大きさ，画の位置関係という 3 つの要素から成り立っているものであると定義して [10] 採点を行なった．今回は手本からの離脱を考慮した手本提示を行なっているため，複合的な練習が可能となる文字『永』における採点機能について述べる．

4.4.1 特徴量の抽出

文字バランスの 3 要素を定量的に取り扱えるようにするために，図 5 に示すように，文字の大まかな形を取った外枠と，その枠に囲われた文字の中心軸となり得る縦軸と横軸に着目する．これらの外枠や中心軸は，画の始点・終点・折れ点の位置座標から算出できる．具体的には，画の始点や終点の座標は，筆がタブレットに接地あるいは離れたタイミングをもとに取得できる．一方，文字の折れ点の位置座標に関しては，以下の 2 つのアルゴリズムに基づいて検出する．

(1) 書写において折れ画は，直線や払いと比べて筆運びの速度が遅く，特に折れ点に近い部分では筆跡の密度が最大になるため，タブレットが認識した位置座標の密度が高い部位を，折れ点候補とする．

(2) (1) で求めた折れ点候補となる箇所において，筆跡座標間のベクトルのなす角度を算出し，角度がしきい値を越えた場合に折れ点と認識する．なお，ベクト



手本（教師データ）

		教師	1		2		3		4	
大きさ	S	169507	199258	17.6%	158356	6.6%	211459	24.7%	348169	105.4%
位置	x座標	362	377	4.1%	374	3.3%	365	0.8%	366	1.1%
	y座標	497	526	5.8%	470	5.4%	553	11.3%	547	10.1%
	P	–	–	5.0%	–	4.4%	–	6.0%	–	5.6%
各画の位置関係	角度	79.0	70.1	11.2%	81.4	3.1%	100.8	27.6%	103.1	30.5%
	縦軸内分比	0.32	0.34	5.0%	0.31	3.6%	0.35	9.6%	0.43	35.6%
	横軸内分比	0.87	0.98	11.6%	0.76	13.4%	0.62	28.7%	0.98	11.6%
	R	–	–	9.3%	–	6.7%	–	22.0%	–	25.9%

Fig. 7 採点結果

ルのなす角の基準値は折れ画の部分によって異なる．

これにより，実際に書かれた文字に対して自動的に特徴量を算出できる．しかし，書き順が違ったり，一筆で書くべきところを複数回かけて書かれた場合は誤認識してしまう．これは文字を正しく整えて書くという臨書の方針としても認められるものではないため，もう一度最初から書いてもらう必要がある．

4.4.2 採点アルゴリズム

文字の大きさは外枠の面積，位置は外枠構成点の重心，画の位置関係は「中心軸のなす角度」および「中心軸の交点の内分比」から算出される．これらの誤差率（相対誤差）を計算する．

具体的に，文字の大きさ・位知・画の位置関係の誤差率 S, P, R を以下の式で求める．これらの値は 0 に近いほど教師データに近いと判断できる．なお，TData とは手本の筆跡情報であり，SData とは実際に書かれた筆跡情報である．

$$
\begin{aligned}
S = & \quad |1 - \frac{\text{SData の外枠の面積}}{\text{TData の外枠の面積}}| \\
P = & \quad (|1 - \frac{\text{SData の重心 (x 座標)}}{\text{TData の重心 (x 座標)}}| + \\
& \quad |1 - \frac{\text{SData の重心 (y 座標)}}{\text{TData の重心 (y 座標)}}|)/2 \\
R = & \quad (|1 - \frac{\text{SData の中心軸の角度}}{\text{TData の中心軸の角度}}| + \\
& \quad |1 - \frac{\text{SData の縦軸の内分比}}{\text{TData の縦軸の内分比}}| + \\
& \quad |1 - \frac{\text{SData の横軸の内分比}}{\text{TData の横軸の内分比)}}|)/3
\end{aligned}
$$

4.4.3 採点結果

上記の採点アルゴリズムで算出した採点結果とその文字を図 7 に示す．文字バランスの構成要素から採点結果を検証すると，位置や大きさについては教師データから大きく外れている文字の点数が低いことがわかる．例えば，3 番の文字では，はらいが横に開いていることから位置の点数が低くなっている．4 番の文字は，全体に大きく書いているため，半紙内における教師データからは位置と大きさの点数が低くなっている．また，内部構成点の位置関係では，図 6 の 4 点の関係を見ると，横軸は右上がりであることがわかる．例えば，横軸が右上がりである 1 番と 2 番の文字は画の位置関係の点数が高く，右下がりになっている 3 番と 4 番の文字の点数は低くなっている．

以上より，文字バランスを構成する要素と提案アルゴリズムで算出した採点結果には妥当性がある．

5 評価実験

評価実験では臨書初期階段（臨書初級者が特定の文字を練習し始める段階）にある臨書初級者を対象に，提案手法を利用することで臨書そのものが上達するか（支援システムなしで新規の文字をうまく書けるかどうか），ということについて，4.4 節で提案した文字バランスの採点結果をもとに検証する．

5.1 評価実験の手順

評価実験の手順を以下に示す．

被験者 被験者は義務教育における国語教育で書写を経験してから書道に触れる機会が少なかった大学生 2 名に提案手法を利用しながら課題文字を練習してもらった．

実験の流れ 実験では，まず最初に毛筆の使い方に慣れてもらうために 5 分間，自由に練習をしてもらった．次いで被験者に課題文字である「小」を伝え，一度手本なしで書いてもらった．その後 20 分間，割り当てられた学習方法で「永」を練習してもらった．練習後に到達度テストとして，手本なしで課題文字である「小」を書いてもらった．「永」の到達度テストの採点結果から，提案手法を利用したときにおける文字バランスの習得度合い

Table 1 「永」の結果

		教師	1		2	
大きさ	s	169507	143129	15.6%	149085	12.0%
位置	x 座標	362	357	1.4%	361	0.3%
	y 座標	497	506	1.8%	458	7.8%
	p	-	-	1.6%	-	4.1%
各画の位置関係	角度	79.0	111.1	40.7%	56.8	28.1%
	縦軸内分比	0.32	0.39	20.9%	0.38	18.2%
	横軸内分比	0.87	0.86	1.0%	0.20	77.5%
	r	-	-	20.9%	-	41.3%

Table 2 「小」の結果

		教師	1（練習前）		1（練習後）		2（練習前）		2（練習後）	
大きさ	s	88797	90115	1.5%	106597	20.0%	78061	12.1%	67089	24.4%
位置	x 座標	360	364	1.1%	342	5.0%	383	6.4%	387	7.5%
	y 座標	501	572	14.2%	501	0.0%	437	12.8%	488	2.6%
	p	-	-	7.6%	-	2.5%	-	9.6%	-	5.0%
各画の位置関係（上段）	角度	84.5	84.2	0.3%	83.1	1.6%	96.3	14.0%	89.1	5.6%
	縦軸内分比	0.67	0.87	30.1%	0.56	15.8%	0.56	15.6%	0.81	21.7%
	横軸内分比	0.54	0.78	44.5%	0.83	52.2%	1.17	115.1%	0.87	60.2%
	r	-	-	24.9%	-	23.2%	-	48.2%	-	29.1%
各画の位置関係（下段）	角度	81.4	99.5	22.2%	83.0	2.0%	88.3	8.5%	83.9	3.0%
	縦軸内分比	0.36	0.15	57.0%	0.39	7.6%	0.42	16.4%	0.52	44.2%
	横軸内分比	0.45	0.86	89.9%	0.58	27.3%	1.09	139.8%	0.72	58.3%
	r	-	-	56.3%	-	12.3%	-	54.9%	-	35.1%

がわかる．また，練習前および練習後それぞれにおける「小」の採点結果を比較することで，提案手法を利用すると臨書そのものが上達するかどうかを検証できる.「小」を選定した理由は,「永」と似ており，かつ,「永」よりも簡単な文字だからである．なお，いずれの練習方法においても，難しすぎて練習を放棄した被験者やシステムの機能をまったく使わずに独自の方法で練習した被験者はいなかった．

5.2 結果と考察

被験者 1，被験者 2 の「永」および「小」の採点結果を Table1 および Table2 にそれぞれ示す.「小」の採点アルゴリズムは「永」の採点アルゴリズムと一部異なっている．具体的には fig.5 に示す「永」の横軸に相当する「小」の横軸は 2 本（2 画目始点および 3 画目始点を結ぶ線分，2 画目終点および 3 画目終点を結ぶ線分）存在する点が異なる．このため，Table2 には「上段の横軸（2 画目始点および 3 画目始点を結ぶ線分）」および「下段の横軸（2 画目終点および 3 画目終点を結ぶ線分）」の各画の位置関係の結果を示す．

この結果より,「永」の 20 分間の練習の末，被験者 1 の方が被験者 2 より「永」の文字バランスを上手くとれていることがわかる．また，被験者 1 および被験者 2 の「小」の採点結果をみると，文字の大きさ以外は両被験者とも上達をしている．また，被験者 1 の方が被験者 2 よりも文字バランスの採点結果が優れている.「小」における文字の大きさの採点結果が悪くなった理由については，今後調査する．被験者の数が少ないため，統計的に分析できないが，提案システムを利用することで，臨書そのものが上達する可能性がある．

6 まとめ

本研究は臨書初級者のための文字バランス学習支援システムを提案した．提案システムの特徴は，毛筆や半紙などの書道具を実際に使って練習することができると同時に，タブレットを利用した段階的な手本提示機能，および採点機能をもつ．

今後の課題として，提案する学習支援システムのより詳細な評価実験や，さまざまな文字を学習支援システム上で取り扱えるようにするための機能拡張などがあげられる．

参考文献

[1] 吉永岡村: 毛筆から加えられる力の測定について, 研究論叢. 芸術・体育・教育・心理, Vol. 51, No. 3, pp. 201–208, 2001.

[2] 岡村吉永, 長崎伸仁, 鷹岡亮, 中村正則: 習字指導のための毛筆技能の計測, 教育情報研究:日本教育情報学会学会誌, Vol. 18, No. 4, pp. 21–26, 2003.

[3] DS 美文字トレーニング. http://www.nintendo.co.jp/ds/avmj/

[4] 魏 若愚: 動的な手本提示による習字支援システム, 北海道大学 大学院情報科学研究化 コンピュータサイエンス専攻 数理計算科学講座 知能情報研究室, 修士論文, 2012.

[5] 七戸貴大, 岩田貴裕, 山邉哲生, 中島達夫: AR 技術を利用した書写学習支援アプリケーションにおける効果の観測, 情報処理学会第 72 回全国大会, No. 5, pp. 155–156, 2013.

[6] K. Henmi and T. Yoshikawa: Virtual Lesson and Its Application to Virtual Calligraphy System, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1275–1280, 1998.

[7] K. Ryo and Y. Tsuneo: Haptic display device with fingertip presser for motion/force teaching to human, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2001.

[8] 土屋 喬, 小宮山摂, 武藤 剛: 運筆音を活用した書字訓練装置の開発, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No. 4, pp. 451–457, 2010.

[9] 竹川佳成, 寺田 努, 塚本昌彦: システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, 日本ソフトウェア科学会論文誌, Vol. 30, No. 4, pp. 51–60, 2013.

[10] 成澤秀麗〜書道のいろは〜バランスの良い文字の書き方 1 0の法則 http://www.narisawashurei.com/jp/essay/lesson_balance.html

サウンドデジタルサイネージ効果による手指消毒促進機能の開発

小野寺 駿*† 林 秀彦†† 皆月 昭則†
(釧路公立大学)† (鳴門教育大学)††

1 はじめに

世界の地域や場所を問わず，インフルエンザやノロをはじめとするウィルス感染の脅威に人々はおかれていて.国内の例では，半年間程度の期間において季節性インフルエンザが流行し，国民の約 20%が感染する事態になっている．ウィルスは咳,くしゃみ等による飛沫を直接吸込んで感染する場合もあるが，飛沫で汚染された手指や物，周囲環境の表面から多数の人々による手を介して感染が拡大する.これに対する感染防止対策は，石鹸による手洗いや薬液による手指消毒が最も有効である．

WHO は手指衛生ガイドラインを策定公表し，本研究はその趣旨に基づき，手指衛生（消毒）の遵守向上策を模索し IT 機器を組み合わせた消毒促進支援システム開発を研究した．医療機関や公共の場で，アルコールベースの手指消毒ボトルが設置されているが，単体設置での訴求効果が低いことが調査によって明らかになった．

このような調査仮説によって，手指消毒に対する人々の意識や感染予防の一般的な知識の低さを考慮した対策としては，システム支援が必要である． 消毒ボトル単体設置では消毒行為の促進は，困難であることから，映像や音声による強化現実手法を考案し．消毒行為を促進させるため，現実の単体消毒ボトルに印象や動機付けを促進させる参加型デジタルサイネージベースを開発した．

システム化における IT 機器は，小型 PC（モバイルコンピュータ），WEB カメラ，報知ディスプレイによって構成されており，24 時間にわたり動体検知機能とソフトウェア制御で消毒行為促進の気づきを人々に訴求させる期待がある．

2 先行開発システム

本研究で開発したシステムは，先行開発で開発した ICASS と呼ぶ 2 種の手指消毒支援システムを発展させた性能を有する．その先行研究の概要を次に述べる．

*prog.medic121050@gmail.com
†釧路市芦野 4 丁目 1 番 1 号
††徳島県鳴門市鳴門町高島字中島７４８番地
鳴門教育大学大学院/情報基盤センター

2.1 ICASS version.1

2010 年に開発したシステム ICASS(Infection Control Arduino Support System)ver.1 は,感染に対する予防意識を改善した．ver.1 はモバイル PC,ディスプレイ,報知スピーカー,圧力センサー,光センサー，Arduino Uno（USB インターフェイスを装備した AVR マイコン）で構成した．システム付近に近づくユーザ(保菌者)への注意喚起,消毒の動機付けを映像と音声で訴求した.システムの特徴としては，自動ドアの光センサーと連動する機能を有しており，ユーザがシステムに近づき消毒ポンプが押す時点まで追跡記録できる機能を有しているが，構成が複雑化しており，設置が簡易的でなく，準備に時間を要する問題があった．検証では，医療機関（病院）の玄関スペースに設置して，高い消毒率を記録した．

2.2 ICASS version.2

2013 年には ICASS(Infection Control AR Support System)ver.2 として, AR(拡張現実)技術を用いてユーザの現実の手指消毒行為の参加意識による興味関心を高める機能を実装した．ver.2 では ver.1 の問題点に対処するため,マイコンボードや圧力センサー, 自動ドア連動の光センサーなど高価で複雑な技術は用いていない．ver.2 はモバイル PC と WEB カメラのみというシンプルな構成であるが音声報知機能も有していない．カメラが検知したユーザの手が映し出された画面枠にランダムにウィルスピクトや星形ピクトを重層表示する単純な機能であったが，ユーザの参加意識や興味関心を一定程度，得た．検証では公共の場に設置した．

3 デジタルサウンドサイネージ効果を付加した ICASS version.3

先行開発システム ver.1 のデジタルサイネージは，手指消毒啓発のポスターの内容を電子化し，報知ディスプレイに映像表示し，機械音声報知であった．また，システム ver.2 のデジタルサイネージは，ユーザーの手が映し出されている現実感に 2 種のピクトを合成表現した，強化現実策を講じた．ユーザが報知ディスプレイ内に映る際に参加意識が高まることを期待したが, ver.1 のような

報知音声機能を排除したため，ユーザがシステムの設置に気づきにくく，また，設置物が見えて（視覚されて）も何をするものなのかが認識できない場面があった．

よって，本研究で開発した ver.3 では視覚的な訴求に音声を同期させることで，設置に気づきユーザの意識をシステムへと向けさせるようにするため,サウンドデジタルサイネージの発展機能を実装することで，設置に気づかない問題点を解消した．

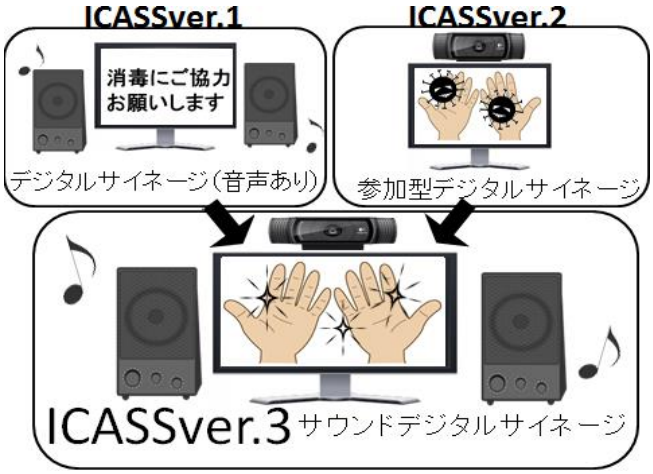


図１　ICASS version.3 のシステム構成

4 ICASS version.3 の実装機能

システム ver.3 は WEB カメラからリアルタイムに映し出された画面中に現在，何を実施しているのか，何をするべきなのか，消毒に関する情報テキストパターン変化させながら表示して消毒行為を促進させた(図２)．AR（拡張現実技術）による重層表示と音声報知によって，手指消毒促進を強化する現実環境を示した．ユーザが消毒ボトルに近接した一定距離範囲で参加型デジタルサイネージ機能に切り替え，ユーザの手が報知ディスプレイに映る．AR と組み合わせたライブ映像では積極的参加感覚を獲得できるように，音声報知と動的重層映像による最適なインタラクティブタイミングを実装した．

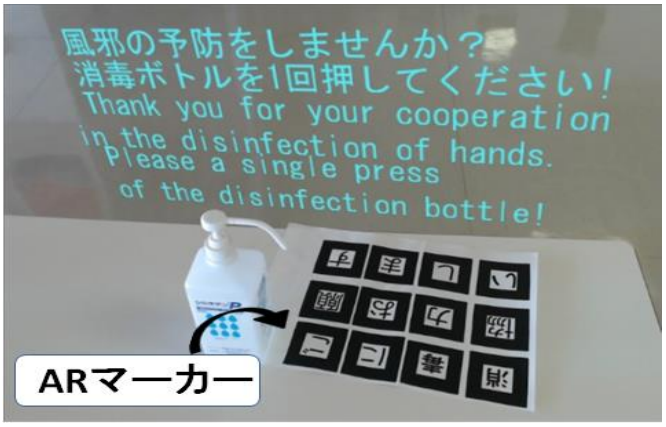


図２　情報テキストパターン(スタンバイモード)

先行開発の ver.2 では，消毒行為の際の AR オブジェクトがランダムに表示されていたが，本システムでは，手の表面の範囲を限定した感知アルゴリズムを考案して ver.2 で問題視した違和感を解消した．この技術によって，手指消毒ボトルから消毒液を手のひらに塗布したタイミングを高い精度で捉え AR オブジェクトを重層表示させた(図３)．ver.2 に比較して，ユーザは自身の手の表面に付着しているイメージ想起が強化したという感想が得られており，消毒に参加した実感を強くなった．

図３　AR オブジェクトの重層表示画面

ユーザがシステム周辺に感知されない時は，スタンバイモード機能に移行し「消毒にご協力お願いします」という音声を断続報知して，サウンドサイネージ手法による訴求効果を高める．ユーザの消毒行為に対する興味・関心を向ける，気づき支援になる技術を実装した．

5 おわりに

今回の新開発の ICASS version.3 は，本年 11 月の本格設置導入に向けて検証を継続中である．

参考文献

[1] WHO,“SAVE LIVES: Clean Your Hands - WHO's globalannualcampaign” ,http://www.who.int/gpsc/5may/en/ (2009)

[2] 矢野 邦夫,“WHO 手指衛生ガイドライン”,建栄製薬(2012)

[3] 井上 栄,“感染症 広がり方と防ぎ方”,中公新書(2006)

[4] 菊池 慎也ら,“院内感染における感染予防支援システムの開発”,釧路公立大学(2011)

[5] 岡 史紘ら, “AR 技術による参加型デジタルサイネージ環境における手指消毒システムのユーザ行動の実証実験報告”,釧路公立大学,(2013)

PBL 向けリスク洗い出しと振り返り支援システムの構築

松野 竜也*　大場 みち子
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

実践的な ICT 人材を育成する場として，Project Based Learning(以下 PBL:課題解決型学習)が注目されており，PBL を採用する大学などの高等教育機関が増えてきている[1]．例としては，公立はこだて未来大学 3 年時必修科目の「システム情報科学実習(プロジェクト学習)」のような活動である[2]．本研究での PBL はソフトウェア開発のテーマを対象とする．PBL の現状として 2 点が挙げられる．1 つ目は，PBL に参加する学生のほとんどはプロジェクトでのソフトウェア開発の未経験者である．2 つ目は，問題発生による対策に時間がかかってしまいプロジェクトが計画通りに進まず，成果物が未完成のまま活動期間を終える事が多いということである[2]．これらを解決する手段として，プロジェクトメンバーがプロジェクト開始時にリスク管理を行い，事前に発生する可能性があるリスクの洗い出しとその対策を立てている．しかし，プロジェクトでのソフトウェア開発の未経験者がほとんどであるため，プロジェクトを進める上で「リスクの洗い出しが不十分」，「各リスクで適切な対策が立てられない」といった問題がある．また，「リスク管理を実施しても，何が発生して何を対処できたかのリスク管理を継続的に実施していない」という問題もある．

本論文では，まず，リスクを定義し，ソフトウェア開発でのリスクの例を挙げる．次に，PBL の現状を分析した結果から研究の目的/目標と課題を述べる．そして，課題を解決するためのアプローチを提案する．次に，解決アプローチの有効性を検証する予備実験について説明する．最後に，解決アプローチを実現する実験システムについて説明し，アプローチ全体の有効性を検証する実験方法と評価方法を説明する．

2 リスクの定義

一般的なリスクの定義と研究の対象分野での具体的な例を説明する．リスクとは，「あることを引き金に，何らかの損失が発生してしまう」を指す[3]．リスクの定義を踏まえてソフトウェア開発プロジェクトにおけるリスクの例をつぎに挙げる．

例：「要件定義が決まらないことにより，開発・実装のスケジュールが伸びてしまう．その結果，システムの完成が延びてしまう．最終的な損失として，スケジュールが遅れてしまい，納期の遅れになってしまう．」

この例でのリスクとは，「開発・実装のスケジュールが伸びてしまう」である．このリスクの引き金となるのは，「要件定義が決まらない」である．リスクは，このように「リスク名」と「引き金」により，定義できるが，プロジェクトを進めていく上でこの 2 つの情報だけでは管理が難しい．なぜならば，引き金が明確になっただけであり，その引き金の「回避や軽減，転嫁，受容」が立てられていないからである．今回挙げた「開発・実装のスケジュールが伸びてしまう」のようなリスクが発生した結果，プロジェクトにどのような影響を与えるのかを考え，プロジェクトメンバーが「気をつけなければならない」というような気持ちを持たなければリスクの管理ができない．以上より，リスクとは「何らかの引き金があってリスクは発生する」が，プロジェクトを進める上でそのリスクが「どの位の頻度でどの位の影響を与えるか」も考え，プロジェクトメンバー同士でそのリスクを念頭に置いておかなければならない．

3 研究の目的/目標と課題

3.1 目的/目標

本研究では，PBL で活動するプロジェクトメンバー向けのリスク洗い出しと振り返り支援システムを構築することを目的とする．本研究の目的を実現するために，本研究の目標を以下に 3 点挙げる．

(1) リスクの洗い出しを支援
(2) 振り返りを支援し，過去と同じ失敗の防止を支援
(3) 同じ失敗を繰り返した場合は短期間での対処を支援

3.2 課題

目標達成のための課題は以下の 2 点である．

*b1011209@fun.ac.jp
†函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学

(1) 毎年上流工程やイベント(発表会・報告書等)での失敗の繰り返し

背景より，学生はプロジェクト活動中で「要件定義ができない」や「週報(公立はこだて未来大学のプロジェクト学習が行っている，1 週間の間に何を行って，どんなアドバイスを受けて，次はどのように活動するかを毎週 web 上に入力するもの)が未提出」といった失敗を毎年繰り返している．しかし，現状として実際にどのような失敗が発生したかという内容がその年度のプロジェクト内で留められている．

(2) 継続的なリスクの振り返り

これまでは，プロジェクト開始時にリスクの洗い出しを実施した後，プロジェクト終了時にリスクの振り返りを実施していた．プロジェクト進行中にリスクが発生した際，リスクの対策をするが，適切な対策が立てられていないため対応に時間がかかる．振り返りを怠ると，問題が解決されずにプロジェクトが終わってしまう．そのため，一度発生したリスクの対策や予防策を再検討する．しかし，これらを再検討するタイミングが決まっていないことやリスクの振り返りを一通り実施して時間がかかり，見直す時間がなくなってしまうといった現状の課題がある．

4 解決アプローチ

3 章での課題に対し，リスク管理の手法として以下の 2 点のアプローチを検討している．

(1) 過去事例に基づくリスク洗い出し

毎年上流工程やイベント(発表会・報告書等)での失敗の繰り返しという課題に対して過去の事例を参照しながらリスクを洗い出す方針とする．

検討した各開発工程の始めに過去の事例を参照する流れを図 1 に示す．

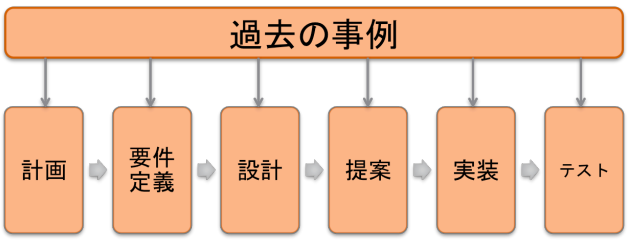


図 1：各開発工程での過去の事例を参照する流れ

各開発工程の始めに過去の事例を参照し，その工程に関するリスクを洗い出す．リスクが洗い出すことができたら，洗い出したリスクの対策(被害・軽減・回避・転嫁)，発生確率，影響度等を考えるようにする．過去の事例を参照することで，どの状況でどのリスクが発生したか等を共有する事ができる.このことから，PBL で活動している学生は，発生する可能性があるリスクを事前に想定し，トラブルの予防策や発生時の対応策を考えることができるため，トラブル発生の予防ができ，発生した場合でも早期対応ができると考える．

(2) 各開発工程でのリスクの振り返り

継続的にリスクの振り返りを実施していないという課題に対して，各開発工程でリスクの振り返りを実施することで継続的なリスク管理を実施する方針とする．

検討した各開発工程でのリスクの振り返りの流れを図 2 に示す．

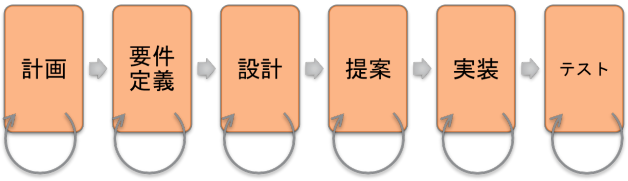


図 2：提案する各開発工程でのリスクの振り返りの流れ

各開発工程の終わりにリスクの振り返りを行う．このように振り返りの機会を増やすことで継続的に行われていなかったリスク管理の振り返りを定期的に行う事ができ，これまでの失敗を振り返ることで，同様のリスクが発生した場合の対策を考える事ができる．従来のリスク管理はプロジェクト開始時にリスク分析を行い，プロジェクト終了時にリスクの振り返りを実施していた．始めに考えたリスクの対応策が適切であるかを継続的に振り返らなければ，再び同じ失敗が発生した場合，適切でない対応をもう一度行ってしまい，再び対策に時間をかけてしまう．このことを防ぐため，振り返るタイミングとして各開発工程の終わりを目安に振り返りを行うことでこれらの課題を解決できると考える．

5 予備実験

5.1 予備実験の目的

本システムを構築する前段階として，以下に記述する 2 点の解決アプローチが正しいかを検証するために予備実験を実施した．

(1) 過去事例に基づくリスク洗い出し

(2) 各開発工程でのリスクの振り返り

5.2 予備実験内容

本年度の公立はこだて未来大学の PBL(プロジェクト学習)の 2 チームに対して, 次の 2 つの手順を 1 周期として 2 度実施した.

(1) 1 つの開発工程の始めにリスクの洗い出しを行い, 洗い出したリスクの対策(被害・軽減・回避・転嫁), 発生確率, 影響度等を考えるよう教示した[4]. リスクの洗い出しで必要な情報の記入漏れが出た場合を想定して, それを補う方法として予備実験後に各チームの各代表者に対してヒアリングを実施した.

(2) 1 つの開発工程の終わりに洗い出したリスクが発生したかどうか, 何回発生したか, 次発生した場合の対策はどのようにするかなどの振り返りを行うよう教示した.

今回の予備実験で対象とした開発工程を図 3 に示す. 1 回目は計画から要件定義までを範囲として, 図 3 上の①に示した. 2 回目は設計から中間発表会までを範囲として, 図 3 上の②に示した.

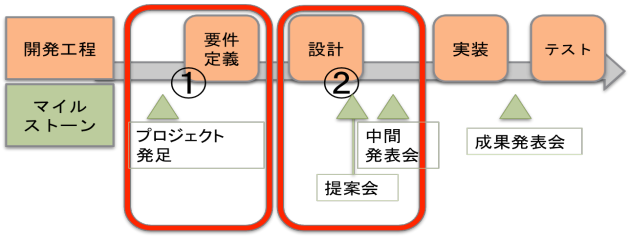


図 3：今回対象にした開発工程

5.3 予備実験結果・考察

予備実験の結果を表 1 に示す.

表 1：予備実験結果

	1 回目	2 回目
洗い出し個数	40	23
発生個数	9	13
対策済	6	10
対策中	9	3
前回同様のリスク発生	0	9

1 回目のリスクの洗い出しは 40 個洗い出すことができ, そのうち 9 個のリスクが発生した. 発生したリスクのうち, 6 個が対策済であり, 3 個が対策中であった. 2 回目のリスクの洗い出しは 23 個洗い出すことができ, そのうち 13 個のリスクが発生した. 発生したリスクのうち, 10 個が対策済であり, 3 個が対策中であった. 対策中のリスクがあるが, 全てのリスクに対して, 1 度目に発生した時よりも対応が早くなっている事がヒアリングによってで確認できた. 対応が早くなった理由として, あらかじめ想定していた対策に加えて, 自身の実体験を加えて振り返りを行い, 新たな対策をたてる事ができたためだと考えられる. 複数回発生したリスクは前回よりも対策の期間が短くなっていた. 以上より, 解決アプローチが有効であるという見通しを得る事ができた.

6 実験システム

4 章で提案したリスクの洗い出しと振り返りを支援する実験システムについて以下に説明する.

6.1 システムの機能概要

システムの機能概要を以下に示す.

(1) 新規リスク登録機能

新たに洗い出すことができたリスクをスプレッドシートに登録する機能である. 入力に必要な項目は開発工程・イベント・失敗事例・対策・発生状況・原因・発生確率・影響度合を想定しており, これらの項目を満たす事でリスクを登録できるようにする. 既存の 過去の事例集は複数のスプレッドシートに保存されている. リスクを蓄積する場所は, リスクの洗い出しで複数のスプレッドシートを参照せずにできるように 1 ヶ所に集約する. そこで 1 つのスプレッドシート上に過去の事例を蓄積していく. しかし, 過去の事例を 1 つずつ手作業で登録すると手間がかかるため, スプレッドシートでまとめられた過去の事例集の全てを自動で登録するための方法を調査中である. 現在, 新規リスク登録機能の作成段階である. 作成中の新規リスク登録イメージとリスク登録結果を図 4, 表 2 に示す.

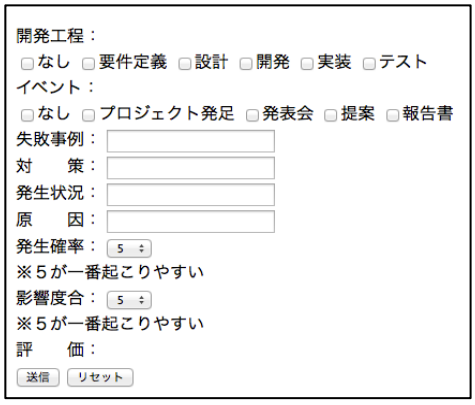


図 4：新規リスク登録イメージ

表 2：リスク登録結果

A	B	C	D	E	F	G	H	I
	開発工程	イベント	失敗事例	対策	発生状況	原因	発生確率	影響度合
	要件定義	プロジェクト発足	データが壊れる	バックアップをした	気がついた時に消えていた	こまめにセーブしていなかった	4	4
	要件定義	プロジェクト発足	自分の担当作業の進捗が良くない	技術調査期担当を作った	やり方がわからなかった	原因の把握ができていなかった	3	4
	要件定義	プロジェクト発足	話し合いがフリーズする	ファシリテータが様々な視点の話題を振った	レビューを受けた後	開発がまとまっていない	4	3
	なし	発表会	会場でポスターの誤字脱字発覚	対策不可能：次回の対策	前日まで作成・修正	ポスターの作成にゆとりがなかった	4	3
	設計	なし	話題の方向性がまとまらない	ファシリテーターが様々な話題を振った	レビューを受けた直後	全員の考えがバラバラ	5	2
	開発	なし	知識不足で設計ができない	技術調査期担当を作った	やり方がわからない	各メンバーは何ができて何ができないかの把握が不十分	3	4
	要件定義	提案	蔦屋書店で思ったような企画が通らない	2週間後にもう一度提案を行う	蔦屋書店への第1回提案時	蔦屋書店の方が気に入らなかった	5	5

(2) リスク洗い出し機能

プロジェクトのチーム毎で新規登録されたリスクと過去事例が 1 つに集約されたスプレッドシートからリスクを選択することで洗い出しを行う．洗い出しのために，表 2 のリスク登録結果を基に新たにリスクを選択できる仕掛けを用意する予定であり，PBL 参加者の学生が所属プロジェクト独自のリスク管理表を作ることができるように実装しようと考えている．なお，過去の事例であったリスクは，対策や発生確率・影響度等の情報が登録されているが，所属プロジェクトで発生するシチュエーションが異なることがあるため，情報の見直しをする必要がある．

(3) リスク振り返り機能

リスク洗い出し機能で作成した，リスク管理表にリスク振り返り機能を付加する予定である．リスク洗い出しで選択されたリスクが「発生したかどうか，対策は適切だったか」のような項目を追加し，入力できるようにする．対策が適切でなかったと記入された場合は，見直しを促すアラートを出す．同じリスクが 2 回以上起きた場合には，1 回目など過去の解決までの時間・期間と比較し，下回った場合は，自動で見直しを促すアラートを出す．

6.2 実験評価方法

5 章の解決アプローチに基づく実験システムを開発する予定である．本実験システムの有効性やユーザビリティ，アプローチを含めた全体の評価をするため，システム使用者(PBL 参加の学生)に対して，アンケート調査やヒアリングを想定している．内容としては，「想定外のリスクを発見・対策ができたか」や「過去の事例を活かす事でトラブル解決ができたか」といった内容の調査を行う予定である．

7 おわりに

PBL でプロジェクトでのソフトウェア開発が未経験な学生がプロジェクト開始時に行う過去の事例を参考にしながらリスクを洗い出し，各開発工程の終わりに洗い出したリスクの振り返りを行うシステムを提案し，これらのシステムの有効性を検証するための評価方法を検討した．

今後は，解決アプローチを実装した実験システムを PBL に参加している学生に利用してもらうことによってアプローチの有効性を検証して行く．

参考文献

[1] 井上明, PBL 情報教育の学習効果の検証, 情報処理学会研究会報(IS), 2007-IS-99, pp.123-130, 2007.

[2] プロジェクト学習 | 公立はこだて未来大学:, <http://www.fun.ac.jp/edu_career/project_learning/>(参照 2014-9-2)

[3] 大場みち子, 山口琢, 伊藤恵, 奥野拓, 実践型 ICT 教育システムの提案, 情報処理学会研究報告, コンピュータと教 育 (CE), 2014-CE-124(6), pp.1-4, 2014-5-31.

[4] 小室達章, リスクマネジメント研究におけるリスクの想定, 日本情報経営学会誌, 2013-Vol.34, pp.64-76, No.1

[5] 木野泰伸, リスクの揺れを少なくする記述法, プロジェクトマネジメント学会誌 Vol.7, 2005-06-15 pp.3~7, No.3

情報処理北海道シンポジウム 2014

ピアノ演奏熟達の効率化を目指した練習の可視化手法

上田健太郎 * 竹川佳成 † 平田圭二 ‡
(公立はこだて未来大学)§

1 はじめに

たとえピアノレッスンに通っていたとしても，多くの場合はレッスンの時間よりも自宅で練習している時間の方が長い．つまり，楽器の演奏技術の習得には，自主的な練習の結果が大きく反映される．しかし，自宅のような身近に熟達者の居ない環境では，学習者は自分の不得手要素や練習毎の成長・変化に気付くことが難しく，得意な部分ばかりを何度も練習してしまうなど，効率の悪い練習をしがちである．その結果，学習者は練習に多くの時間を割いているにも関わらず，それに見合った熟達効果を得る事ができず練習意欲を減退させてしまう．そこで本研究では，学習者の打鍵情報や視線情報を基にピアノ練習状況を可視化するシステムを構築し，ピアノ演奏熟達を効率化することを目的とする．

本研究の特色は，練習状況を可視化することで，様々な観点，例えば曲全体，練習履歴，学習者の性格や音楽的バックグラウンドの違いといった観点から練習を俯瞰しながら，練習のメタ分析を行うことが可能となる点である．これにより，次回の練習方略が練りやすくなり，演奏熟達の効率化が期待される．

以下，第 2 章では関連研究について，第 3 章ではピアノ練習データの取得環境について述べる．第 4 章ではピアの練習データの分析環境を，第 5 章ではシステムの実装について述べる．第 6 章で予備実験について考察し，最後に第 7 章でまとめを行う．

2 関連研究

これまでもピアノ演奏熟達に関する研究は行われている．例として，不得手な要素を克服させるピアノ学習支援システムに関する研究 [1] が挙げられる．このシステムは，学習者の打鍵ミスや打鍵強度などの演奏データから演奏者の苦手な奏法を割り出し，集中的にトレーニングすることを目的としている．打鍵データを利用してピアノ演奏技術の習得をサポートするという点は本研究と共通しているが，本研究では打鍵データをメタな練習分析にも活用するという点で異なる．

森らが行なった，同じ曲を練習している他の人と楽譜への書き込みを共有するシステムに関する研究 [2] は，楽器練習のモチベーション維持をサポートするという点で，本研究との関連性がある．しかし，この研究では同じ楽曲の学習者同士でコメントをやりとりすることによってモチベーション維持を図るのに対し，本研究では練習の効率化によってモチベーション維持を図るという違いがある．

田柳ら [3] は，一人称物語記述のピアノ演奏熟達化研究の一手法としての妥当性と，熟達化支援への有用性について，先行研究と試行実験を通じて検証している．また，一人称物語記述をポートフォリオ化し他者との共有化を図ることによる，知識共創型の熟達化支援システムの可能性についても論考している．これに関しては，ピアノ演奏熟達化に関する一人称物語記述手法を本研究で実装を目指すピアノ練習状況を可視化するシステムの分析結果と組み合わせ比較することで，練習に関する発見事項をより多く得られると考えられる．

3 ピアノ練習データの取得環境

3.1 ピアノ学習支援システム

ピアノ練習データの取得に関して，筆者らの研究グループは鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて，鍵盤上や鍵盤の周囲に打鍵情報など補助情報を投影するピアノ学習支援システムを構築した [4]，[5]，[6]，[7]．ピアノ学習支援システムの外観およびシステム構成を，Fig.1 および Fig.2 に示す．ピアノ学習支援システムは，鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上に演奏補助情報を提示する．また，演奏者の前方に視線追跡機能付ディスプレイを配置し，プロジェクタと同様に演奏補助情報を提示している．システムは，MIDI 鍵盤による MIDI データ (打鍵位置や打鍵強度) 及び視線追跡装置による視線データ (ディスプレイ上における注視点の座標および記録時刻) を入力とする．視線追跡装置は MIDI 鍵盤上にも設置されており，システムは演奏者の鍵盤上の視線も計測している．また，演奏の様子を記録するためにビデオカメラを設置した．映像生成および視線・MIDI データ記録用の PC として TOSHIBA 社の RX-2L/E7LE を使用した．また，MIDI 鍵盤として CASIO 社の PriviA PX-110 を使用した．視線追跡装置として，譜面上の視線追跡に Tobii 社の TX-300 を，鍵盤上の視線追跡に X2-60 を使用した．プロジェクタとして BenQ 社の MP776ST を使用した．プロジェクタの鍵盤投影領域は 6 オクターブ (72 鍵) で，プロジェクタの映像がよく見えるように黒鍵は白く塗られている．PC 上のソフトウェアの開発は，Windows7 上で Microsoft 社の Visual C++ 2010 を用いて行った．

* b1011237@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 函館市亀田中野町 116 番地 2

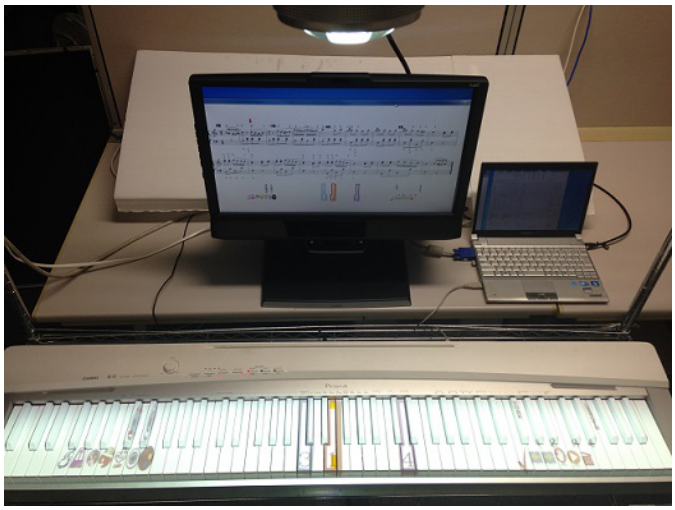


Fig. 1 ピアノ学習支援システムの外観

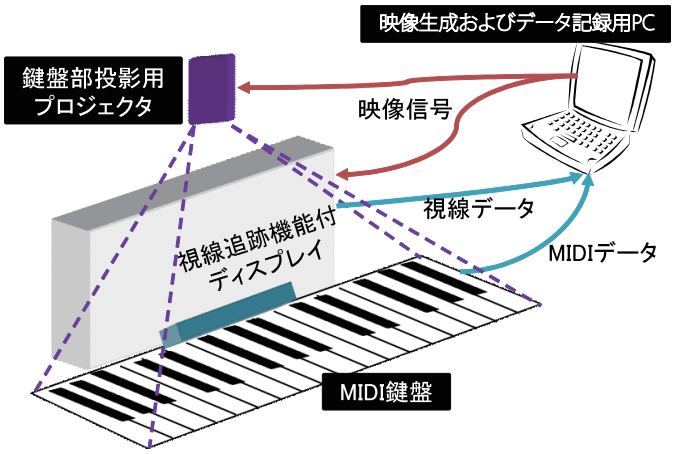


Fig. 2 ピアノ学習支援システムの構成図

3.2 提示コンテンツ

Fig.3 および Fig.4 を用いて，システムが提示する補助情報のコンテンツについて説明する．図中の番号は，以下の箇条書き番号に対応している．

1. 前面ディスプレイに既存の紙媒体の楽譜と同様の楽譜を提示する．
2. 譜面上には現在の演奏位置を示すカーソルを提示する．これにより，学習者は現在どこを演奏 しているか直観的に理解できる．正しい鍵を弾いたとき のみカーソルは進むようになる．
3. 次に演奏する鍵上に色付枠を提示する．運指情報は，運指番号 (親指から小指にかけて 1 から 5 の番号がそれ ぞれ割り当てられている) ごとに対応している輪郭の色や，鍵上に運指番号を提示することで示す．これにより学習者は容易に打鍵位置や運指を把握できる．また，ディスプレイにも鍵盤と同様の打鍵位置情報や運指情報を提示する．ディスプレイには鍵の枠しか提示されないため， 鍵盤上に提示された情報と比較して得られる情報は少なく，直観性に欠ける．

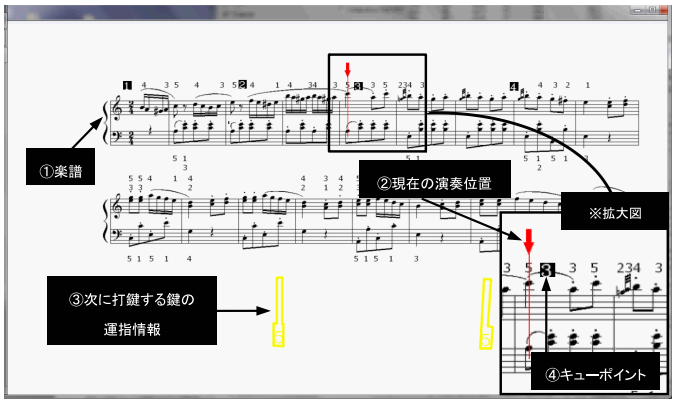


Fig. 3 ディスプレイに表示されたコンテンツ

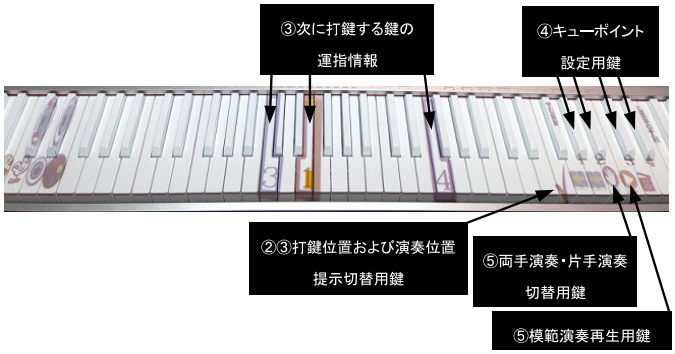


Fig. 4 鍵盤に表示されたコンテンツ

4. 楽譜上に表示されている番号付きの黒地白抜きの四角形は，現在位置をマニュアルで変更できるキューポイントである．これは，学習者が集中的に練習したい場合や，途中から演奏したい場合に有効である．キューポイントを切り替えるアイコンを，演奏で使用しない鍵の鍵盤上に投影し，その鍵を打鍵することでユーザが選択的に利用できるようにする．これをキューポイント設定機能と呼ぶ．
5. ピアノ学習支援システムは，打鍵位置および運指情報を提示するかどうかを切り替える機能 (打鍵位置提示 ON-OFF 機能) を持ち，この機能を操作するアイコンを演奏で使用しない鍵の鍵盤上に投影する．打鍵位置提示 ON-OFF は，割り当てられた鍵を押すごとにトグル式で切り替わる．また，当該システムは模範演奏を再生する機能 (模範演奏再生機能) を持ち，同様に演奏で使用しない鍵の鍵盤上に模範演奏再生機能に対応するアイコンを投影する．学習者が模範演奏再生機能に割り当てられた鍵を押下すると模範演奏の再生が始まり，再生中にその鍵を再度押下すると模範演奏を途中で止められる．

4 ピアノ練習データの分析環境

4.1 ピアノ練習可視化システム

第 1 章で述べたように，演奏技術の習得の際，自宅のような身近に熟達者の居ない環境では，学習者は自分の

不得手要素や練習毎の成長・変化に気付くことが難しく，得意な部分ばかりを何度も練習してしまうなど，効率の悪い練習をしがちである．また，当該システムの位置付けは，ピアノ学習者だけでなく，教師や他の学習者が個別の端末で練習時以外にも利用されることを想定している．そのために，システム設計における要件として下記の 3 点を挙げる．

1. 課題曲の練習状況を様々な観点から可視化する．
2. ユーザ自身または他の学習者の練習状況を共有・比較できる．
3. ユーザが練習の可視化方法を選択できる．

まず，1 つ目の要件はユーザの練習状況を打鍵データや視線，練習モードの選択状況など様々な観点から可視化し，ユーザの練習のメタ分析を促す必要性を示している．2 つ目の要件は，ピアノ学習支援システムが組み込まれたパソコンだけでなく，ユーザや教師，他の学習者が利用するパソコン，スマートフォン，タブレットでもシステムを利用することができる必要性を示している．3 つ目の要件は，システムが練習状況を可視化する際，ヒートマップや折れ線グラフなど，ユーザが複数の可視化方法を選択できる必要性を示している．

4.2 システム構成

ユーザはまず，ピアノ学習支援システムを利用し課題曲を練習する．その際，ピアノ学習支援システムはテキスト形式で打鍵情報を出力する．打鍵情報は，練習開始からの経過時間 (ミリ秒)，何列目の音符かを示す音符番号，鍵盤番号，打鍵された音名，打鍵強度，押鍵から離鍵までの時間 (ミリ秒)，打鍵すべき音名などの情報から成る．ピアノ練習可視化システムはこの打鍵情報を分析し，課題曲の練習状況をヒートマップ形式で可視化する．また，キューポイント毎の練習状況や練習モードの選択状況等も，レーダーチャート形式で可視化する．

5 システムの実装

ピアノ練習可視化システムのプロトタイプを実装した．コーディングは Mac OSX 上の Xcode で Javascript を用いて行った．ヒートマップ表示には Javascript の heatmap.js ライブラリ，レーダーチャートや円グラフの表示には chart.js ライブラリを利用した．

Fig.5 は，このプログラムによって作成したピアノ練習ヒートマップである．また，Fig.6 は Fig.5 の練習ヒートマップの一部を抜き出し，拡大したものである．Fig.6 に示したように，練習ヒートマップ上から 1 段目はその列の音符全てに関する合計打鍵回数を表しており，透明，白色，黒色の順に回数が多いことを示している．2 段目はその列の上から 1 つ目の音符に関し，正しく打鍵できた回数を表しており，透明，白色，黒色の順に回数が多

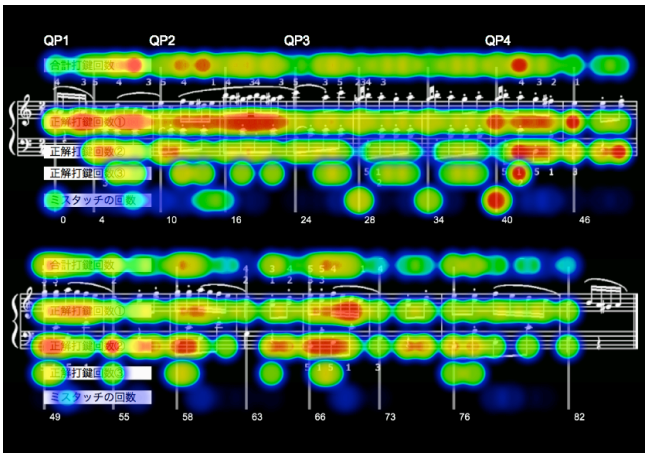


Fig. 5 ピアノ練習ヒートマップの外観

いことを示している．3 段目，4 段目はその列の上から 2 つ目，3 つ目の音符に関し，正しく打鍵できた回数を表しており，透明，白色，黒色の順に回数が多いことを示している．5 段目はその列の音符に関するミスタッチの回数を示しており，透明，白色，黒色の順に回数が多いことを示している．

Fig.7 の左上のレーダーチャートは，キューポイントの利用回数を示す．Fig.7 の右上のレーダーチャートは各種システムキーの利用状況を示している．システムキーは 3.2 節で述べたように，キューポイント 1 に戻るキー，キューポイント 2 に戻るキー，キューポイント 3 に戻るキー，キューポイント 4 に戻るキー，練習モード (両手/左手/右手) 切換キー，模範演奏再生キーの 6 つから成る．Fig.7 の右下の円グラフは，練習モードの選択状況を示している．薄灰色は両手モード，濃灰色は左手モード，白色は右手モードの割合を示している．Fig.7 の左下の円グラフは，譜面と鍵盤間の視線の割合を示している．薄灰色は視線が譜面上にあった割合，濃灰色は視線が鍵盤上にあった割合を示している．

6 予備実験

ピアノ練習可視化システムの有用性を検証するために，予備実験を行った．

6.1 被験者

被験者は A，B の 2 名で，いずれも 20 代の成人である．両名共にピアノ未経験者であるが，被験者 A はギターとフルートの演奏経験があり，被験者 B はダンス経験がある．なお，当該システムはピアノ初心者を対象としているため，両名共にピアノ未経験者とした．

6.2 課題曲

課題曲として，W.A.Mozart のピアノソナタ第 11 番第 3 楽章トルコ行進曲の冒頭部分 (最初から 17 小節目まで) を練習してもらった．なお，課題曲については被験者全員が聴いたことがあるが，演奏したことはない．

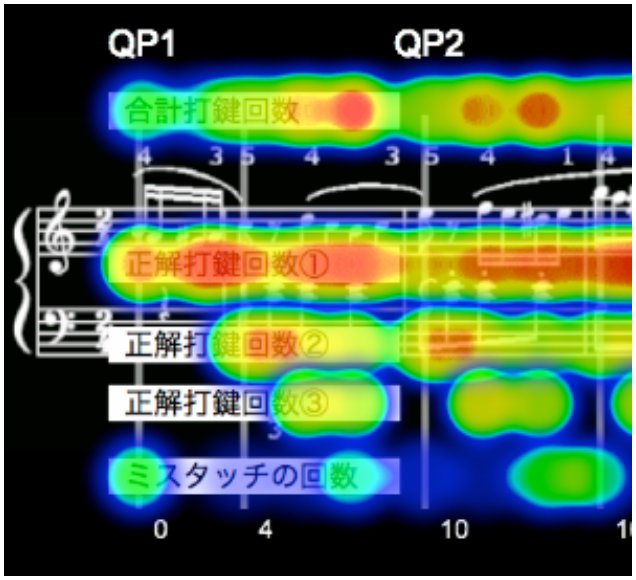


Fig. 6 拡大したピアノ練習ヒートマップ

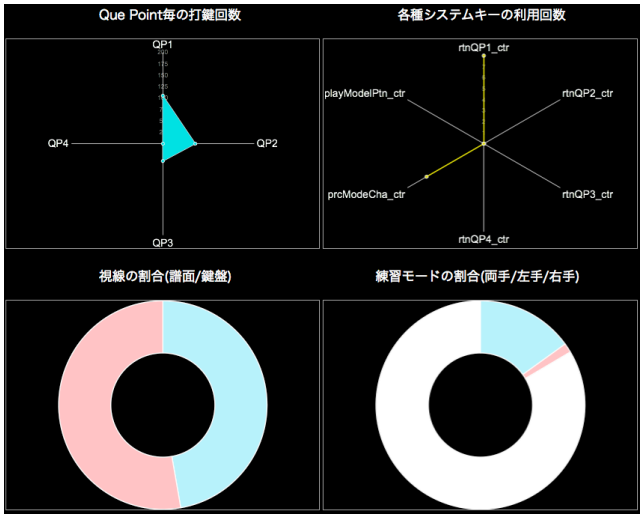


Fig. 7 各種グラフ

Table 1 各被験者の実験実施日数

被験者名	楽器経験の有無	実験実施日数
被験者 A	ギターとフルートの演奏経験あり	6 日
被験者 B	なし	9 日

6.3 実験方法

トルコ行進曲を毎日 30 分かけて練習した後，到達度テストとしてピアノ学習支援システムの利用なしで最初から最後まで一通り演奏するという試行を毎回行った．到達度テストにおける誤打鍵数が 0 回となるまで実験を続けてもらった．到達度テストにおける誤打鍵回数が 0 回になるまで実験を続けてもらったため，Table1 に示したように被験者毎に異なる．30 分の練習については前述のピアノ学習支援システムを用い，到達度テストは学習支援システムを使わずに課題曲の譜面のみ提示した．実験中は，視線計測装置が生成する視線データ，MIDI 鍵盤が生成する打鍵データをシステムに記録し，演奏中の様子をビデオカメラで記録した．なお，予備実験では打鍵データの分析を中心に行ったため，視線データは取得していない．

6.4 被験者への指示

30 分間の練習では「自然なテンポで楽譜を見ながらミスなく弾けることを意識して，機能を自由に使いながら 30 分間練習してください．また，このあと到達度テストを行います．到達度テストでは打鍵位置の情報や演奏位置の情報などシステムからの補助情報がない状態で弾いてもらいます．実験中に質問があれば何でも聞いてください」と指示した．また，到達度テストでは「今から到達度テストを行います．最初から最後まで模範演奏にできるだけ近いテンポでミスなく弾いてください．制限時間は 5 分間です．わからないところがあれば飛ばしてもらって構いませんし，これ以上演奏できなければ言ってください．ただしミスしてしまったり，止まってしまった場合でも最初に戻って演奏をやり直すことはせず，止まってしまった箇所から弾き直してください」と指示した．

6.5 結果

練習モードの選択状況 いずれの被験者も，実験 1 日目は片手モードで練習した割合が多く，練習の約 9 割を片手モードで行っていた．しかし被験者 A は 2 日目の時点で練習のほぼ全てを両手モードで行っており，その傾向は 6 日目の最終日まで続いた．一方，被験者 B は 2 日目の時点では両手モードで練習した割合は約 6 割に留まっており，その後も両手モードの練習割合が増減を繰り返した．被験者 B が被験者 A と同じように，練習のほぼ全てを両手モードで行うようになったのは，9 日目の最終日であった．

打鍵回数の推移 実験日毎の各被験者の打鍵回数を Table2 に示す．また，実験日毎の各被験者のミスタッチ回数を Table3 に示す．なお，被験者 B の 4 日目に関しては，システムの不具合により打鍵回数を記録できなかった為，打鍵回数を記載していない．Table2 に示したように，被験者 A と B の間では初日の段階で差が出ており，練習初日から最終日までの打鍵回数の平均にも差が出た．しかし，両者の打鍵回数の差は実験実施日数が経つにつれて小さくなり，最終日の打鍵回数は被験者 A が 5,149 回，被験者 B が 5,133 回となった．Table3 に示したように，被験者は両者共に実験実施日数が経つにつれてミスタッチの回数も増加した．しかし，打鍵回数も同様に増加していたため，練習全体でのミスタッチの割合はどちらの被験者も減少した．

練習ヒートマップの推移 Fig.8，Fig.9 の上側は，被験者

Table 2 各被験者の打鍵回数

	被験者 A	被験者 B
1 日目	2,401	1,443
2 日目	3,523	1,893
3 日目	4,322	2,326
4 日目	4,579	—
5 日目	4,944	2,298
6 日目	5,149	2,891
7 日目	—	3,010
8 日目	—	3,951
9 日目	—	5,133
平均	4,158	2,868

Table 3 各被験者のミスタッチ回数

	被験者 A	被験者 B
1 日目	226	117
2 日目	375	263
3 日目	493	287
4 日目	595	—
5 日目	590	174
6 日目	774	211
7 日目	—	245
8 日目	—	287
9 日目	—	344
平均	509	241

A，B の初日のヒートマップをそれぞれ示す．また，Fig.8，Fig.9 の下側は，被験者 A，B の最終日のヒートマップをそれぞれ示す．このように，被験者 A，B の両名は共に初日は上段 (0 小節目から 8 小節目) に重点をおいて練習し，下段 (9 小節目から 15 小節目) はあまり練習できていない．被験者 A に関しては最終日では上段と下段でほぼ均等に練習できているが，被験者 B は最終日においても，上段の先頭から数小節の部分を繰り返し練習していることが明らかになった．

6.6 考察

6.5 節で述べたように，被験者 A と被験者 B は両者共にピアノ未経験者であったが，実験日数，練習モードの選択状況，打鍵回数の推移，練習ヒートマップの推移の全てで大きな差があった．6.1 節で述べたように，被験者 A はピアノ以外の楽器の演奏経験があった為，ピアノ演奏熟達には単にピアノ経験者か未経験者かだけでなく，音楽的なバックグラウンドも大きく影響を及ぼすと考えられる．また，被験者 B の練習モードの選択状況と練習ヒートマップは，被験者 A のそれらと比べて偏りが大きかった．このことから，ピアノ演奏熟達の効率化には，これらの偏りの是正が有効である可能性がある．

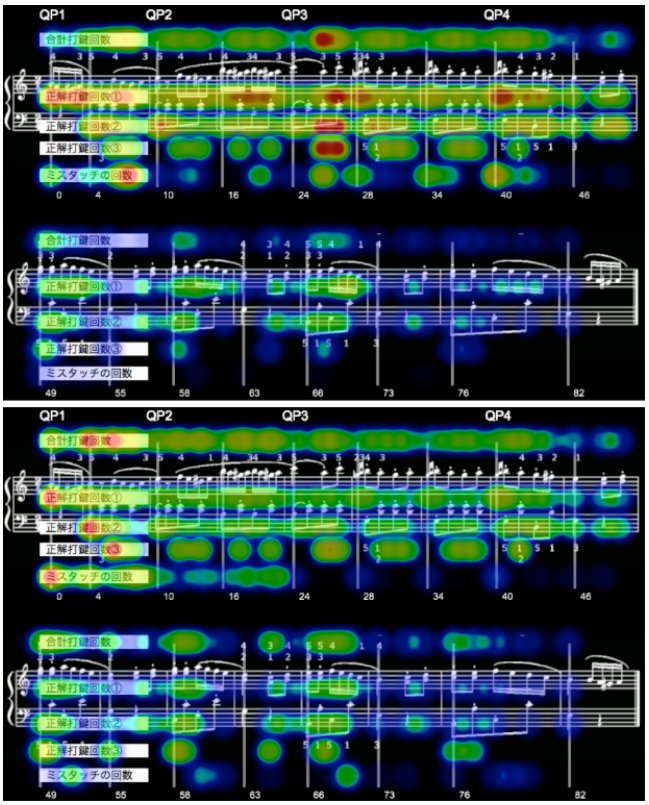


Fig. 8 被験者 A の練習初日 (上) と最終日 (下) の練習ヒートマップ

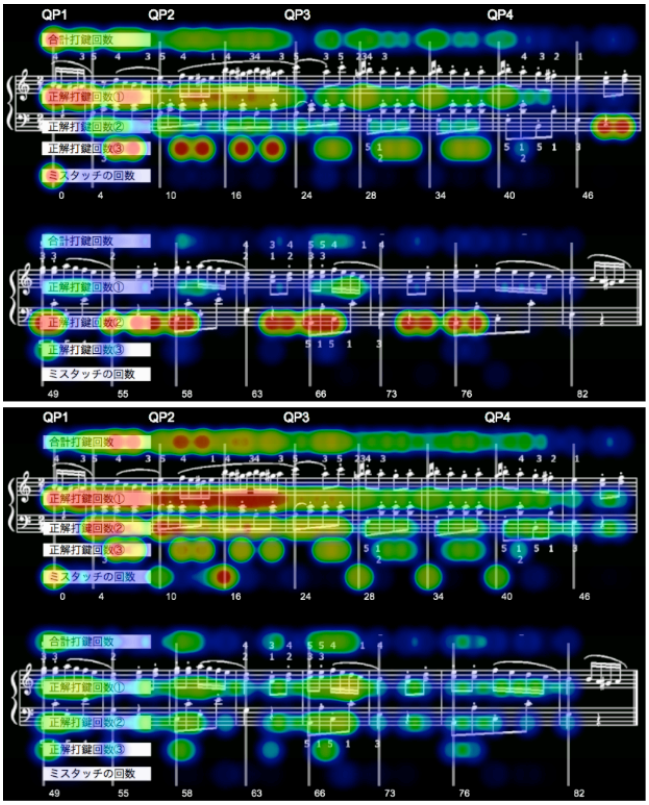


Fig. 9 被験者 B の練習初日 (上) と最終日 (下) の練習ヒートマップ

7 まとめ

本研究では，学習者の打鍵情報や視線情報を基にピアノ練習状況を可視化するシステムを構築し，ピアノ演奏熟達の効率化を目指した．提案システムはヒートマップ形式で課題曲の練習を可視化し，さらに練習モードの選択状況なども計測できるため，ユーザは客観的に練習を分析しながら練習を進めることができる．予備実験を通して，ピアノ演奏熟達にはピアノ経験の有無だけでなく，他の楽器の演奏経験の有無などの音楽的なバックグラウンドの違いも影響を及ぼすことが明らかになった．今後の課題としては，ユーザの視線を観測し，楽譜・譜面上の視線の割合とピアノ演奏熟達の関係を明らかにすることや，練習状況をよりユーザが直感的に理解できる形式で表示すること，ユーザの練習に関する一人称記述を練習の分析に取込むこと，被験者を増やした本実験を行なうことなどが挙げられる．

参考文献

[1] 大島千佳，井ノ上直己，不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムに向けて，情報処理学会研究報告，2007-MUS-71(30)，2007

[2] 森郁彌，西本一志，小倉加奈代，連帯感醸成によるピアノ独習者のための練習動機づけ支援システム，情報処理学会 インタラクション 2012，2012

[3] 田柳恵美子，平田圭二，竹川佳成，椿本弥生，音楽演奏熟達化研究への一人称物語記述手法の導入，知識共創第 4 号 (2014)，2014

[4] 竹川佳成，寺田努，塚本昌彦，運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築，情報処理学会論文誌，Vol.52，No.2，2011

[5] 竹川佳成，寺田努，塚本昌彦，リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装，情報処理学会論文誌，Vol.54，No.4，2013

[6] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌)，Vol.30，No.4，2013

[7] 竹川佳成，椿本弥生，田柳恵美子，平田圭二，鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムにおける熟達化プロセスに関する調査，インタラクティブシステムとソフトウェア XXI，日本ソフトウェア科学会，WISS2013，2013

場面検出を用いた音声マスタリングの自動化

上田雄大　佐藤晴彦　　小山聡　　栗原正仁
(北大情報科学)*　　(北大工)

1　はじめに

近年ではコンピュータの性能の向上もあり、より気軽に声を録音したり、楽曲を製作したりすることが可能となった。最終的にこれらをより高品質に仕上げるためには、演奏や編曲といった音楽的な側面のほかにも、エンジニアリング的な観点から音声や楽曲を調整する必要がある。本稿で扱う「マスタリング」とは、音声データを扱う際の最終的な仕上げの工程であるが、基本的には専門のエンジニアが行うものであり、個人で行うには経験や勘を養うことが必要とされ、初心者へ立ちはだかる壁のひとつである。

本稿は、このマスタリングの自動化の草案をまとめたものである。マスタリングの工程をいかにして自動化できるか（すべきかに）ついて検討を行っていく。また、楽曲の場面検出による精度・品質向上の可能性についてのほか、検出の方法についても考察していく。

2　研究目的

マスタリングを自動化する意義としては、前項で述べたような初心者の救済のほかにも、リファレンスとしてエンジニアの業務を補佐することや、大量の音声データのバッチ処理を可能にすることが挙げられる。また、こうした補正や調整をリアルタイムに行うことができれば、コンピュータを介した音声会話をより明瞭にすることなどにも応用可能であると考えられる。

また本研究では、楽曲の場面（盛り上がりや、またその逆など）の検出を用いて、より品質の高い調節を行うことも視野に入れている。この検出が、本研究目的を達成するために、具体的にどのように役立つと考えているかは、後の章で改めて解説する。

3　特性の抽出と適用

音声信号の調整の際には、必ずしも正解となる答えが定まっているわけではない。その手法や補正目標は各個人の好みや経験によって異なる。そこで本研究では、正解とすべき補正後の信号をただひとつに定めずに、指定した任意の信号に特性を近づけていくといったことを目標とする。たとえば教師データとして市販されている音声 CD からその特性を抽出し、それにユーザーが録音した音声の特性を近づけていくといったことを可能にしていきたい。

特に楽曲に関しては、仕上がりのイメージはユーザーの好みや希望によって、補正する量や方向性が大きく異なってくると考えられる。どのような特性を 2 つのデータから抽出し、いかに比較・補正したのちに適用していくかが本研究の課題となる。

4　何を調整すべきか

マスタリングの過程では、音声に関わる様々な要素が関わってくる。音量や左右のバランスなどといった判断しやすいものから、プロフェッショナルなエンジニアリングにおいては、多岐にわたる部分を、より繊細に調整を行っていくことが求められる。この自動化に際しては、調整すべきパラメータを可能な限り単純化することが必要になる。ここでは、調整すべきで自動化が可能であると現段階で推定している項目について説明したのち、その自動化の方法の草案についてまとめていく。

4.1　レベル・ラウドネス・ダイナミクス

「レベル（ピークレベル）」は音量、すなわち波の大きさのことを示す。CD-DA 規格の量子化 bit 数である 16bit では-0dB（デシベル）が最大値となっており、それを超えたものはデータに表すことができずにクリッピング（いわゆる音割れ）を引き起こす。

ピークレベルの調整は機械的で用意ではあるが、これは必ずしも聴感上の音量とは一致していない。聴感上の音量のことを、「ラウドネス（ラウドネスレベル）」と言い、日本では「音圧」といった言葉で表されることもある。現在のデジタルテレビ放送などではこのラウドネス一定の基準を設けて、いわゆる「CM のときに突然大きな音がなる」といった現象を防止しようという試みがある。測定方法については、様々な手法や規格が存在する。

オーケストラの楽曲や映画などでは、音が大きな場面と小さな場面の差が大きく、これを「ダイナミックレンジが広い」と表現することがある。対照的に、現在のポピュラーミュージックなどでは常に音が大きく聞こえるように調整されていることが多く、これを「ダイナミックレンジが狭い」と表すことができる。聴感上の音量であるラウドネスを上げるならば、ダイナミックレンジをなるべく狭くした状態で、ピークレベルを-0db に達するまで上げることが求められる。

こうしたラウドネスを調整する際には、指定した値を超えたときにレベルを減衰させる「コンプレッサー」が主に用いられることになる。自動化する際には、測定したラウドネスレベルを元にコンプレッサーの動作を調整していくことになるが、このコンプレッサーにどういったパラメータを用意して調整していくかが今後の課題になると考えられる。

札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

4.2 周波数特性

周波数特性とは、音声信号における周波数成分のことを言う。高い周波数のレベルが高ければ、それは高域の音量が大きいことを意味する。エンジニアリングでは、「イコライザー」とよばれる装置を用いて、この周波数成分のレベルを調整し、全体的な音質の補正を行う。たとえば、性能の低いマイクなどを使うと高域のレベルが低くなってしまい、「こもった音」になってしまう。これをイコライザーを用いて高域の成分を増大させることで、音が明瞭に聞こえるように補正することができる。

イコライザーでは原理上、音を一定の周波数帯域ごとに分割していく必要がある。自動化の際には、この分割した帯域をそれぞれ調整し、目的の結果へと近づけていくことになる。

5 場面検出の意義

研究目的で既に述べたとおり、本研究では楽曲の場面検出を行うことで特性補正の質を向上させたいと考えている。楽曲のさまざまな特性は、時間の流れとともに常に変化しており、同じ楽曲の中でも盛り上がっている部分と静かな部分では特性は大きく異なっている。従って、単純に楽曲の時間の長さ分の特性を全て抽出し平均しただけでは、その楽曲の特性が抽出できたとは到底言えない。

そこで楽曲の場面（たとえば上述した盛り上がりなど）を検出し、場面ごとに教師データとの比較・補正を行うことができれば、より精度のよい調整が可能になるのではないかと考えた。しかし場面の検出の方法については、他の実装を済ませ実験を行ってみないことには検討するのは難しいため、こちらは今後の課題である。

6 今後の課題

今後については、場面検出の方法はもちろんのこと、実験の評価方法についても検討していく必要がある。別の項でも述べたように、補正したあとの音声信号について正解・不正解といったものを単純に決めるのは難しい。補正した後の特性が教師データのそれに近づけば、数値上は正解ということにはなるが、果たしてそれが人間にとって心地よい結果となるかは現在のところ不明である。

いずれにせよ、今後は積極的に実装や実験を行っていき、その結果をもとにこれらの課題について改めて考えていく必要があると感じている。

映像キャスティング手法を用いた 看護技術教材作成支援システムの考察

水野凌太郎*† 小林裕美子‡ 林秀彦§ 皆月昭則†
(釧路公立大学)†(釧路孝仁会看護専門学校)‡(鳴門教育大学)§

1 はじめに

ICT(Information and Communication Technology)の進歩により，マルチメディアの活用領域は広がり，PC だけでなく，タブレット端末やスマートフォンなど，各自が端末を持ち歩く時代になった．それに伴い，質の高い学習用コンテンツの作成と提供が求められている．

看護技術は，言葉で伝達困難な経験知，身体知(暗黙知)が多く含まれている．これらの知の効果的な継承方法には視聴覚メディアの利用があり，看護系大学などでは Video on Demand や e-learnig などのネットワークを利用した導入事例が報告されている[2][3][4]．映像教材の課題として，真嶋[5]は「模範映像としてのクオリティーを保つために，映像の内容は充分に推敲され練られたものではなければならない．」と述べている．先行研究以外で映像教材作成支援に関する研究は少なく，真嶋を含む嶌田，寺中らによる映像活用型ナレッジ共有システム SceneKnowledge [5][6][7]を用いた映像教材作成研究を発展させる必要がある．

本研究は，野中ら[1][8]の知識創造における「場」の概念を参考した．複数の教員が映像キャスティング手法を用いながら議論し，映像教材を作成する環境を構築した．

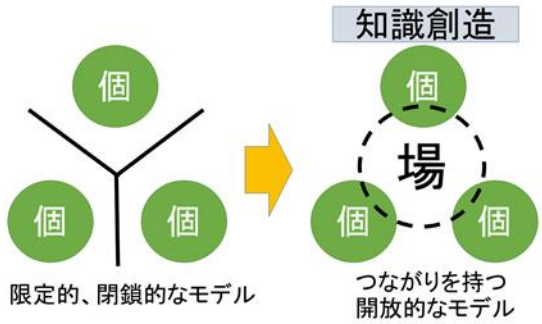


図 1 「場」の概念のイメージ

1.1 自主制作による看護技術映像教材の必要性

一般的に看護技術分野の導入授業は，市販の DVD などによる外部で作成された映像教材を使用することが多い．映像コンテンツには備品や環境の違いによってアプローチが異なったり，新しい技術の導入による手順の変更があるなど，違和感が生じる．よって，その度に教員は補足する必要があり，スムーズな授業展開が難しい状況にある．また，看護技術は日々変化しており，市販の映像教材や業者委託による映像作成に依存することはコスト増になる．したがって，各々の場に適した映像教材と看護技術の変化に合わせてその適切な映像教材を作成していく環境が必要である．

2 ストリーミングメディアの利用

本研究では，重要箇所のキャスティングに，Google が開発したストリーミングメディアレシーバーの Chromecast を用いた．

2.1 Chromecast の概要

Chromecast は，Wi-Fi ネットワーク環境においてテレビやプロジェクタの HDMI 端子に接続することで動画や画像などのコンテンツを大画面に表示することができる端末である．ホストデバイス側でコンテンツの再生指示を送り，それを Chromecast が受信しデコードすることで表示することができる．なお，一つのアプリケーションは Sender アプリケーションと Reciever アプリケーションで構成されている。Chromecast はマルチプラットフォーム(Android，iOS，OS X，Windows，Chrome OS)に対応しており，これらに対応する応用ソフトウェア開発キット(SDK)も利用できるようになっている．

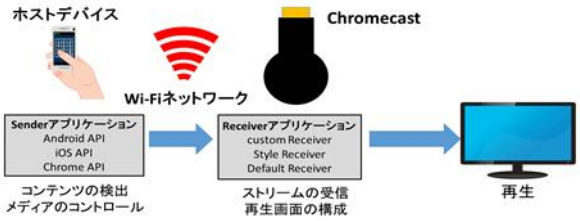


図 2 Chromecast によるキャスティングの仕組み

2.1.1 キャスティングするホストデバイスの比較

Android，iOS，OS X，Windows 各デバイスのセットアップ時間と対応アプリケーションの数を比較し表 1 に示した．

*prog.medic121185@gmail.com
† 釧路市芦野 4 丁目 1 番一号 釧路公立大学
‡ 釧路市愛国 191 番地 212 釧路孝仁会看護専門学校
§ 徳島県鳴門市鳴門町高島字中島 748 番地
鳴門教育大学大学院学校教育研究科

セットアップ時間については，初期状態の Chromecast とホストデバイスの同期が確立するまでの時間を計測した．一度のセットアップで，他のデバイスを追加してキャスティングする場合でも再セットアップする必要はない．アプリケーション数は各アプリストアで「Chromecast」と検索し，その数を抽出した．また，OS X，Windows OS アプリケーションは Chorome ブラウザの拡張機能を用いてタブ内をミラーリングする機能があるため対象外とした．

表 1　デバイス別セットアップ時間とアプリ数の比較

デバイス	セットアップ時間	対応アプリケーション数 (2014/8/25 現在)
Android4.4.3(nexus7 16G)	4分35秒	278種類
iOS7.1.1(iPadmini 16G)	4分07秒	56種類
OS X 10.6.8(Macbook Pro)	10分25秒	－
Windows8.1(Iconia W3)	8分58秒	－

2.1.2　セキュリティーへの考察・検討

Chromecast の導入において，セキュアなネットワーク環境が要求される．本研究で使用する環境では，個々のコンテンツをキャスティングするアプリケーションを用いており，プライベートネットワークを介して表示されるため，コンテンツなど情報漏えいの可能性は極めて低い．また， Google は Chromecast 対応アプリケーションの公開条件として，キャスティングされるコンテンツは HTTPS による保護を必須条件としており，対応させた．ただし，公衆無線 LAN 環境での使用は，同一ネットワーク内のデバイスであれば第三者がキャスティングできる特性から，注意が必要である．

3 研究対象・方法

基礎看護技術「ベッドメーキング」に関する映像教材を作成した．そのプロセスについて述べる．

3.1　研究対象

研究対象者は釧路孝仁会看護専門学校の教員 5 名と同校一年次生 40 名である．なお，ヘルシンキ宣言の倫理的配慮に基づき，研究目的と内容を事前に説明し，参加に同意の得られた者を対象とした．

3.2　検証環境

Wi-Fi 環境が整った教室を使用して検証を行った．Chromcast のコンテンツ投影のためのプロジェクタには Panasonic PT-FW430 を用いた．ホストデバイスは，Android 4.4.3 搭載の nexus7 16G，iOS 7.1.1 搭載の iPad mini 16G, Windows8.1 を搭載したノート PC を使用した．撮影したアーカイブ映像にテキストを挿入した映像と未編集の映像を各ホストデバイスに共有し，キャスティングできる環境を構築した．各デバイスで用いた基本ソフトは, iOS(Photo Cast) ，Android OS(local cast), Windows OS(Chrome ブラウザの拡張機能)を用いた．

3.3 映像の編集・撮影方法と共有方法

映像の編集と撮影は基本的に 2 名の教員が行い，必要に応じて撮影対象として 1 人の教員が演出した．使用したカメラは iPad mini 16G である．編集ソフトは iMovie を使用した．各ホストデバイスへの映像データの共有には Dropbox と Google drive を使用した．

3.4 キャスティング手法を用いた映像教材の作成

5 名の基礎看護技術を担当する教員は，事前に使用するホストデバイスに共有された一連の「ベッドメーキング」に関する映像を視聴し，重要箇所の把握を行った．後日，会議を開き，各教員が重要箇所をホストデバイスでプロジェクタスクリーンにキャスティングする場を設けた．キャスティングごとに議論をして，編集すべき内容を明確化し，これをもとに編集担当者は新たな補足追加映像が必要な場合は撮影を実施し，編集作業をした．同様の会議を再び開き、追加編集された映像について議論し，さらに補足映像や編集の必要がある場合は，再度撮影や編集を実施した．

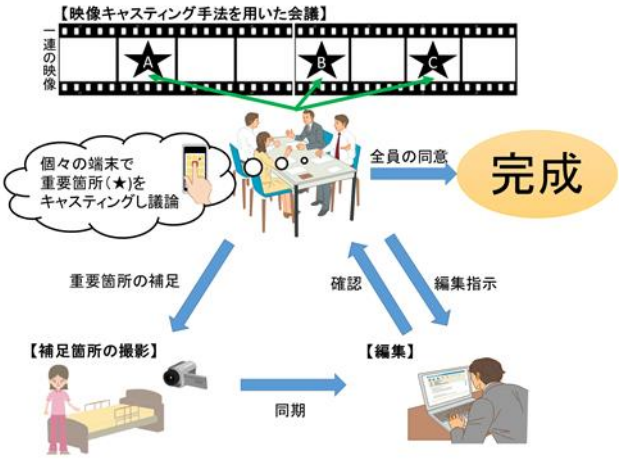


図 3　映像教材完成までのプロセス

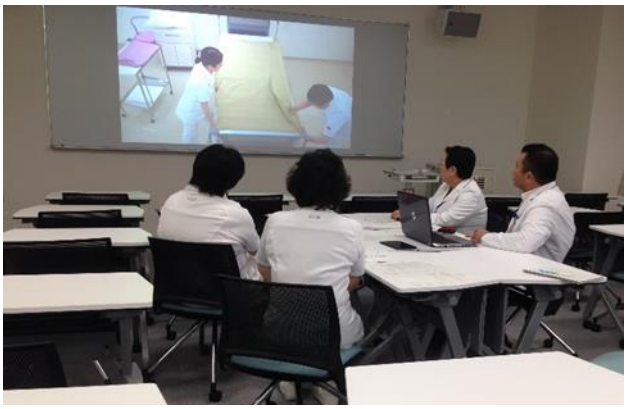


図 4　キャスティングを駆使した会議の様子

4 評価方法

本研究の評価には量的アプローチ・質的アプローチ両方の手法を用いて評価した．質問紙調査は，5 段階評価法を用いて実施した．

4.1 システムに関する評価

映像キャスティング手法を用いた看護技術教材作成支援システムの評価に関しては，映像の作成に携わった 5 名の教員へ無記名式の質問紙調査により実施した．質問紙は【キャスティング手法の有用性】【自主制作による映像教材の必要性】【ディスカッションの必要性】【完成した映像の満足度】【今後への期待】についての回答を求めた．

4.2 映像教材の内容に関する評価

映像教材の内容に関する評価は，1 年次の学生 40 名に映像を視聴してもらい，無記名式の質問紙調査を実施した．質問紙は，【映像教材のわかりやすさ】【映像教材に対する親近感】【今後への期待】についての回答を求めた．

5 結果

5.1 キャスティング手法を用いた会議の内容

会議は二回目でコンセンサスが一致した．

会議の様子をビデオカメラで録画し，発話内容とキャスティング箇所を対応させ，カテゴリ化をし，参加した教員 5 名の発話内容は【映像教材全般に関する意見】【編集方法に関する意見】【看護技術に関する意見】【今後に向けての意見】の 4 つに分類できた．カテゴリ別の意見数とキャスティング数を表 2 のようになる．

表 2　カテゴリ別の意見数とキャスティング数の比較

カテゴリ	意見数	キャスティング数
映像教材全般に関する意見	3	なし
編集方法に関する意見	3	1
看護技術に関する意見	7	5
今後に関する意見	3	なし

5.2 作成した映像教材の概要

映像の総編集時間は約 4 時間であった．

一連の技術動作の映像時間が 8 分 53 秒なのに対し，編集後は 13 分 32 秒になった．これは，【映像教材全般に関する意見】の「初学者を対象とし，復習用として使えるようにする」と【編集方法に関する意見】の「スローモーションや静止画を挿入して説明したほうがいい」と「重要な根拠部分を説明したほうがいい」を反映させた結果が時間増分である．

補足映像の撮影に要した時間は約 1 時間 30 分であった．再撮影箇所は，補助役の手の位置が重要な箇所，シーツの角を三角に作る箇所，横シーツをさばく箇所，タックを作る箇所，枕にシーツを掛ける箇所であった．

図 5　補助側の手の位置が視認困難なアングル

図 6　補助側の手の位置が視認可能なアングル

5.3 教員に対する質問紙調査の結果

集計したデータを以下の表 3 に示す．

表 3　教員に対する質問紙調査の集計結果

【キャスティング手法の有用性】

キャスティングに使用した機器の操作は難しかった	
当てはまる	1 名
どちらでもない	2 名
当てはまらない	1 名
非常に当てはまらない	1 名

画像や動画をキャスティングしてスクリーンに表示することで，意見がしやすかった	
非常に当てはまる	3 名
当てはまる	2 名

画像や動画をキャスティングしてスクリーンに表示されたことで，意見が理解しやすかった	
非常に当てはまる	3 名
当てはまる	2 名

【自主制作による映像教材の必要性】

自主制作による看護技術の映像教材はあったほうがいいと思う	
非常に当てはまる	4 名
どちらでもない	1 名

【ディスカッションの必要性】

他の先生とディスカッションをして、映像教材を作ることは必要だと思う	
当てはまる	4 名
当てはまらない	1 名

【完成した映像の満足度】

完成した映像教材は十分納得のいくものになった	
非常に当てはまる	3 名
当てはまる	2 名

【今後への期待】

他の看護技術の映像教材もあったほうがいいと思う	
非常に当てはまる	4 名
どちらでもない	1 名

5.4 学生に対する質問紙調査の結果

集計したデータを以下の表 4 に示す.

表 4 学生に対する質問紙調査の結果

【映像教材のわかりやすさ】

視聴した映像教材は全体的にわかりやすかった	
非常に当てはまる	31 名 (77.5%)
当てはまる	8 名 (20.0%)
どちらでもない	1 名 (2.5%)

知りたいポイントをしっかりとらえていた	
非常に当てはまる	23 名 (57.5%)
当てはまる	14 名 (35.0%)
どちらでもない	1 名 (2.5%)
当てはまらない	1 名 (2.5%)
非常に当てはまらない	1 名 (2.5%)

【映像教材に対する親近感】

視聴した映像教材に親近感がわいた	
非常に当てはまる	22 名 (55.0%)
当てはまる	17 名 (42.5%)
どちらでもない	1 名 (2.5%)

【今後への期待】

授業以外の時間でも視聴してみたい	
非常に当てはまる	20 名 (50.0%)
当てはまる	13 名 (32.5%)
どちらでもない	6 名 (15.0%)
当てはまらない	1 名 (2.5%)

今回のような映像教材を自分の iPad やスマートフォンに入れて、自己学習に使用したい	
非常に当てはまる	31 名 (77.5%)
当てはまる	7 名 (17.5%)
どちらでもない	1 名 (2.5%)
非常に当てはまらない	1 名 (2.5%)

他の看護技術の映像教材も見てみたい	
非常に当てはまる	34 名 (85.5%)
当てはまる	4 名 (10.0%)
どちらでもない	1 名 (2.5%)
非常に当てはまらない	1 名 (2.5%)

6 キャスティング手法の考察

キャスティング手法を用いた会議内容を分析考察すると，【看護技術に関する意見】の意見数とキャスティング数は他のカテゴリと比較すると多い．これは，看護技術の具体的動作の指摘に，キャスティング手法を多く用いた結果である．また，キャスティング手法を用いた会議では，発話者が抽出したキャスティング箇所を聴取者が視聴することで，発話者とは異なる意見を創出していることが観察された.

教員に対する質問紙調査の【キャスティング手法の有用性】について問う「画像や動画をキャスティングしてスクリーンに表示することで，意見がしやすかった」「画像や動画をキャスティングしてスクリーンに表示されたことで，意見が理解しやすかった」の項目に対しては，どちらも「非常に当てはまる(3 名)」「当てはまる(2 名)」と肯定的回答であった．したがって，キャスティング手法は，会議時において，話者の発言と聴取者の議論の促進・理解の補助で効果的に機能したと言える.

7 おわりに

本論文では映像キャスティング手法を用いた看護技術教材支援システムについて論じた. 今後は，システムの更なる改善と，コンテンツの追加とそれに伴う配信方法の検討を行っていきたい.

謝辞

今回の研究を実施するにあたり，調査にご協力いただいた釧路孝仁会看護専門学校の教職員，学生の皆様に心より御礼申し上げます.

参考文献

[1] 野中郁次郎,紺野登“知識創造の方法論-ナレッジワーカーの作法”東洋経済新報社 (2003)
[2] 佐居由美,豊増佳子,塚本紀子,中山和弘,小澤道子,香春友永,横山美樹,山崎好美“看護技術教材としての e-learning 導入の試み”聖路加看護学会誌,Vol.10,NO1(2010)
[3] 菅原真優美,小山聡子倉井佳子,佐藤信枝,中野充,南雲秀雄“看護技術の自己学習を目的とした動画ストリーミング教材の製作と評価”新潟青稜大学紀要，第 4 号(2004)
[4] 林さとみ,伊豆上智子,北島康子,中村充浩,高橋正子“看護学生に視聴覚教材をオンデマンドに閲覧させる学習支援環境の評価”東京有明医療大学雑誌,Vol.2,13-20(2010)
[5] 真嶋由貴恵“看護技術のスキル学習とノウハウ集約における映像活用”映像情報メディア学会誌 Vol.66,NO.8 ,pp645~649(2012)
[6] 寺中晶郁,東正造，嶌田聡,小島明,真嶋由貴恵“映像活用型ナレッジ共有システムの看護における実利用実験”情報・システム講演論文集 1(2009)
[7] 嶌田聡,筒口拳,小島明,小西宏志,東野豪“映像活用型ナレッジ共有システム SceneKnowledge”NTT ジャーナル(2011)
[8] 野中郁次郎,紺野登“知識創造経営のプリンシプル 賢慮資本主義の実践論”東洋経済新報社(2012)
[9] 清水康敬，向後千春，中山 実“教育工学研究の方法”ミネルヴァ書房(2012)
[10]日本教育工学会，“教育工学事典”実教出版(2000)

情報投影型展示支援手法の提案

瀬川直生* 川嶋稔夫
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

今日, 博物館では, 鑑賞者の展示物に関する理解を促進するために, 様々な場面で情報技術の活用が試みられている. もちろん, 展示物に関する理解を促進するという面においては, 学芸員や専門家とな ど展示物に関する専門知識を持った人物が展示案内して解説を行うことが望ましいが, 人的コストなどの点で難しい面が多い. そのような問題に対し, KIOSK 端末の設置や音声展示解説装置の貸出, さらには鑑賞者の持っているスマートフォンの利用といったような情報技術を用いた解決手段が数多く存在している. さらに近年では拡張現実を使用した展示支援についても研究が進められているが, 特殊なデバイスを装着する必要があるなどの問題が残されている.

本研究では近年低価格化が進んだプロジェクタを用い, さまざまな活用が図られているプロジェクションマッピングに基づく新たな手法を提案する.

2 情報投影型展示支援手法

本研究では展示物の形状に合わせ, プロジェクタを用いて展示物の情報を表面に投影・表示するシステムを提案する. この手法によって情報のオーバレイを行う形で理解の促進を図りながらも拡張現実による支援手法のような負担を鑑賞者に与えない展示支援が可能となる.

2.1 従来型の展示解説

博物館展示で頻繁に使用される解説パネルや KIOSK 端末は文字情報をメインとして展示物に関する情報を提示し, 理解を促すことが可能である. しかしながら展示物と情報提示用媒体の間で視線が行ったり来たりしてしまい, 情報を閲覧しながら展示物を鑑賞するという行為をスムーズに行うことが難しく, また, 提示された情報が展示物のどこに関するものかが判断しづらい. 解説パネルや KIOSK 端末では, 展示物の部分撮影写真を利用して説明文と展示物の関連性を示すことが多いが, 実物がすぐ近くにあるにもかかわらず, 写真で補足しなければいけないのは鑑賞者にとっても手間である.

情報の閲覧と展示物の鑑賞という動きをスムーズに行うための方法として展示物上に情報を直接投影する手法が考えられる. しかし, パネルや端末に表示されるような情報をプロジェクタを使用して展示物に投影する場合も情報提示用媒体を設置するときと同様, 提示された情報が展示物のどの位置にあたるものかを判別しづらい. また, 凹凸や注目すべき部分など, 展示物表面における投影が不可能な位置を無視して投影される可能性や展示物の位置・角度といった展示条件のわずかな変化に対応できない可能性を考えると現実的な手法とは言えない.

2.2 展示説明のモデル化

そこで我々は, 展示説明のモデルを提案する. まず, 特定の対象領域に対する説明を単位として情報を構成し, その単位を注釈とよぶことにする. たとえば,解説パネルや KIOSK 端末に現れる一つの説明文は, いくつかの注釈で構成されていると考えられる. このような, 説明文がいくつか集まって, 解説パネルや KIOSK 端末の情報が構成される. 以下, ある注釈が説明している対象領域を注釈対象領域とよぶことにする.

展示物に関する注釈と注釈対象領域の集合をレンダリングする際に, 展示物上の投影位置の調整が可能で, 展示物の特徴や展示形態に合わせて投影できるように展示支援情報のモデル化を行う. モデルは以下の要素からなる.

1. 説明表示
   展示物に関する説明を行い, 鑑賞者の理解を促進することの中心をになう機能を持つ. 理解を促進するために必要となる情報の提示手段は複数あると考え, 文字情報のほか動画像や音声を用いて展示物の背景や部分ごとの説明を行う. 説明表示の最小単位は注釈である.
2. 対象領域表示
   表示された説明が展示物におけるどの部分にあたるのかを明示するための機能を持つ. 領域を囲む, 領域を明るくするといった鑑賞者の目を引くような表現を行う. 展示物の歴史といった背景の説明を行う場合は特定の領域を指定しない場合も考えられる.
3. 対象領域と説明のリンク表示
   注釈とその対象領域が離れて投影される場合や, 一度に複数の注釈を扱う場合に, 注釈と対象領域の対 応を明示する機能を持つ. 主に直線を投影して用いて対応を示すが, 注釈と対象領域の間に投影不可な部分が存在する場合には,

*b1011226@fun.ac.jp
†北海道函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

これらを回避できるように折れ線や曲線でのリンクも行う.

4. マッピング

展示物の特徴に合わせて投影を自由に配置するための機能を持つ. 展示物の凹凸に合わせることや投影不可な部分を回避して投影する. この他にも展示物もしくはプロジェクタの配置等に微調整が発生した際の修正も容易に行える.

2.3 投影を用いた展示および展示支援の例

投影型の展示としては芝原[1]による前例があるが, そちらは投影対象として専用のジオラマを制作しておりコンテンツとしては使い捨ての物になってしまう. そこで本研究ではマッピングおよび投影内容の編集を自由に行えるシステムを作成し, 投影対象を限定しないことで使い捨てのコンテンツになることを防ぐことも可能になる.

3 ソフトウェアの試作

提案手法に関する実証実験を行うため, モデルを元に投影用ソフトウェアを制作中である. 現時点ではソフトウェアに実装する機能は注釈の表示, 注釈対象領域の指定, 対象領域と注釈のリンクの表示の 3 点である. マッピングは専用ソフトウェアを利用して行う.

3.1 注釈の表示

本機能は展示物に関する注釈の提示を行うものとなっている. 具体的な情報提示の手段として文字・図表・音声・動画といったものを想定している.

文字・図表・動画の挿入はソフトウェアのディスプレイ上にドラッグアンドドロップで行い, 縦横比などを決定する. 文字については注釈のテキスト本文を入力するほか, フォント種, 文字サイズ, 一行の文字数を指定する必要がある.

3.2 注釈対象領域の指定

本機能は表示された注釈が展示物のどの部分に関するものなのかを指定, 強調するものとなっている. 具体的には対象領域を線で囲む機能や明度を変更する機能を実装する. 注釈対象領域を徐々に囲んでいくアニメーションと, そののち囲んだ部分を明るくする表現を用いている. 試作では領域を囲む表現は円形としており, ドラッグアンドドロップで生成することで正円・楕円での表現を可能とする.

3.3 対象領域と注釈のリンク

本機能は注釈とその対象領域とを結ぶリンクを表示するものとなっている. リンクの挿入はドラッグアンドドロップで行う. ディスプレイ上でマウスを押した点を始点, 離した点と

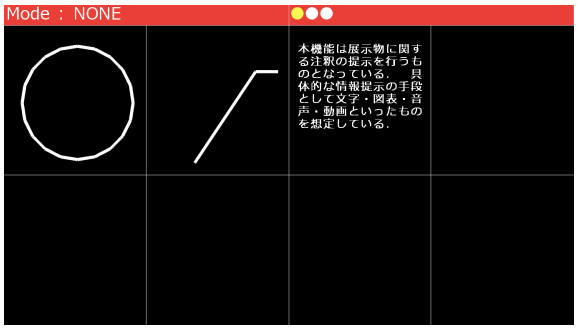


Fig. 1 試作ソフトウェア画面

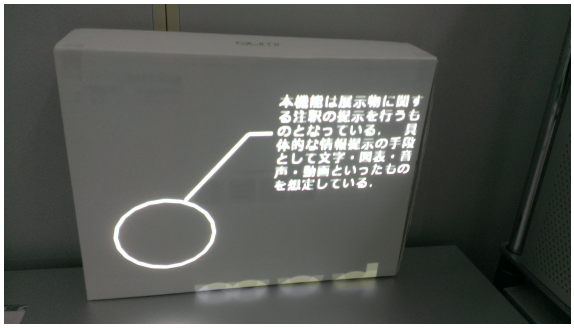


Fig. 2 投影の様子

して始点から終点に向けて線が延びていくアニメーションで線を表示する.

3.4 実装形態

ソフトウェアは Mac OS X, Xcode を開発環境とし, openFrameworks を利用して制作する. 投影位置の指定や物体表面に合わせたパターンの変形といったマッピングは MadMapper を使用する. 結果の一例を Fig. 1, Fig. 2 に示す.

以上の 3 点の機能の実装を中心とし, 博物館の学芸員の方が利用することを想定して, シンプルな操作によって投影が行えることを目指してソフトウェアの制作を行っている.

4 おわりに

情報投影型展示支援手法について, 現在は実験を行うためのテスト用アプリケーションを制作中である. 今後もアプリケーションの制作を進めていき, 実証実験を行いたいと考えている. 実験では設置法や投影の設定, アプリケーションの操作感, 投影対象による視認性について確認したいと考えている.

参考文献

[1] 芝原暁彦, 三次元造型技術とプロジェクションマッピングを用いた精密立体地質模型の開発と, 博物館およびジオパーク地域での活用, GSJ 地質ニュース, 2013.

遺伝的アルゴリズムにおける突然変異率の遺伝子座ごとの設定に関する調査

青山大樹* 栗原正仁 小山聡 佐藤晴彦
(北大情報科学)†

1 はじめに

遺伝的アルゴリズムは生物の遺伝のメカニズムを参考に，交叉と突然変異を繰り返すことで最適解を探索する手法である．遺伝的アルゴリズムはその性質上，局所解に陥りやすく，そこから抜け出すために，突然変異というプロセスを導入している．突然変異は確率的に発生する．突然変異率は解の収束までの時間や解の精度に影響を与える重要な値のため，決定するための手法が多く提案されている[1].

実際の生物の突然変異率に関する研究では，2012 年に Luscombe らによって，大腸菌における突然変異の発生はランダムではなく遺伝子座（遺伝子の位置）ごとに突然変異率が異なり，生存するために必要な遺伝子ほど突然変異確率は低く，そうでない遺伝子の突然変異率は高いままであることが確認されている[2]. このような突然変異率の違いによって，生命活動を維持できないような子孫を作らないようにリスクマネジメントを行っていると考えられる．

遺伝的アルゴリズムにおける突然変異率においても，重要な遺伝子の突然変異率を下げることで探索範囲を狭め収束までの時間が短くなると考えられる．

また，重要な遺伝子とそうでない遺伝子とを分けて考えることは，個体の持つ遺伝子を部分ごとに評価することになる．このように，個体の持つ遺伝子を全体ではなく部分ごとに注目する手法は近年多く報告されている[3].

本研究では重要な遺伝子とそうでない遺伝子を持つ問題について考え，突然変異率をすべての遺伝子座で一定の場合と，遺伝子座ごとに異なるように設定した場合について，実験を行った結果の比較と考察について報告する．

2 遺伝的アルゴリズム

自然界における生物の適応では，ある世代を形成する個体群の中で，環境への適応度が高い個体が生き残り，生き残った個体の交叉や突然変異によって次の世代が形成される．このメカニズムをモデルとして最適解を探索するアルゴリズムが遺伝的アルゴリズムである[4].

遺伝的アルゴリズムでは，個体の特徴はそれぞれが持つ染色体によって決まる．染色体は遺伝子（通常では 0 または 1）の集合によって構成される．また，各遺伝子の置かれている位置を遺伝子座と呼ぶ．

次に遺伝的アルゴリズムの手順について説明する．

1. **初期世代の生成**: ランダムな遺伝子を持つ初期集団を生成する．
2. **評価:** 各個体の遺伝子から適応度を計算する．
3. **選択:** 適応度の高い個体を複数体選ぶ．
4. **交叉:** 選択した個体を元に次の世代を生成する．
5. **突然変異:** 突然変異確率にしたがって遺伝子座から一つ，あるいは複数選びその遺伝子を反転させる．
6. **終了判定:** 再度評価を行い，終了条件を満たしていれば終了する．満たしていない場合は手順 3 選択に戻る．

手順 3 の選択では一般的にエリート保存戦略が用いられる．エリート保存戦略では評価値の高い個体を複数個選び，選んだ個体を次の世代に残す選択方法である．

手順 4 の交叉は一点交叉，多点交叉，一様交叉などさまざまな交叉方法がある[5].

手順 5 の突然変異での突然変異率は通常，すべての遺伝子座で一定の突然変異率である．また，染色体の長さを L としたときの突然変異率は経験上$1/L$の場合が最も良いとされている[5].

3 提案手法の原理

提案手法である遺伝子座ごとに突然変異率を設定する遺伝的アルゴリズムについて説明する．

本手法では重要な遺伝子とそうでない遺伝子に分ける必要がある．遺伝的アルゴリズムにおいて重要な遺伝子とは，他の遺伝子よりも評価に大きく影響を与える遺伝子である．そのため評価に大きく影響を与える遺伝子座における突然変異率を下げ，その他の遺伝子座は従来

*aoyama_daiki@complex.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究

の遺伝的アルゴリズムと同様に$1/L$とする遺伝的アルゴリズムが提案手法である．

4 実験

ここでは実験の概要について説明する．

実験では評価に大きく影響を与える遺伝子とそうでない遺伝子を持つ問題として次のような問題について考える．染色体を 4 等分し，それぞれについて評価を行い，その合計によって評価が決まる．また，4 等分したうちのいくつかは評価関数に大きく影響を与えている．

$$f(x) = \omega_1 f_1(x) + \omega_2 f_2(x) + \omega_3 f_3(x) + \omega_4 f_4(x) \quad (1)$$

$f(x)$は個体の評価関数，$f_k(x)$ (k =1，2，3，4)は 4 等分したそれぞれの染色体の評価値を表している．ω_kは評価の重みであり，この値が高くなるとその部分の遺伝子は個体の評価値により多く影響を与えているといえる．それぞれの染色体はx_{ki} (i =1,2,・・・，N)の遺伝子(1 or 0)を持っている．

$f_k(x)$は次の式で定義される．

$$f_k(x) = \begin{cases} N - \sum_{i=1}^{N} x_{ki} - 1 & \text{if } \sum_{i=1}^{N} x_{ki} < \frac{N}{2} \\ \sum_{i=1}^{N} x_{ki} & \text{if } \sum_{i=1}^{N} x_{ki} \geq \frac{N}{2} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)は，すべての遺伝子が 0 の場合に局所解となり，すべての遺伝子が 1 の場合に最適解となる．また，0 と 1 の遺伝子が混在する場合には低い値となる．このよう関数は，だまし問題としてよく知られている[6].

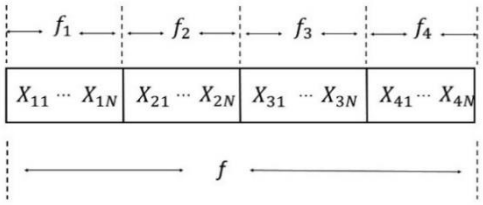


Fig.1 問題の概念図

Fig.1 は 4 等分した染色体と，それぞれの持つ遺伝子とその評価値の関係を表している．

このような問題に対して従来の遺伝的アルゴリズムと提案手法によって探索を行う．

交叉方法は一点交叉で，交差点は染色体の中心に設定する．突然変異率は，従来の遺伝的アルゴリズムではすべての遺伝子座で$1/L$とし，提案手法ではf_2，f_3部分の遺伝子座で$1/4L$と従来法と比べ低い値に設定し，その他の遺伝子座では従来法と同じ$1/L$と設定する．選択はエリート保存戦略を用いる．

このような設定で実験を行い，それぞれについて解の収束までにかかる時間や局所解に陥りやすいかどうかについて調べ，それぞれのアルゴリズムの特徴について検討する．

5 おわりに

本研究では重要な遺伝子とそうでない遺伝子を持つ問題について考え，突然変異率をすべての遺伝子座で一定の場合と，遺伝子座ごとに異なるように設定した場合について，実験を行った結果の比較と考察について報告した．

遺伝的アルゴリズムが提案された 1970 年代に比べて，近年では遺伝学が発展し，自然界の遺伝の仕組みについてより多くのことがわかっている．また，計算機の性能も格段に向上し，複雑な処理も比較的短時間で実行できるようになった．

遺伝的アルゴリズムはもともと生物の遺伝の仕組みをモデルとして考案されたアルゴリズムではあるが，ここで再び自然界の遺伝を参考にすることで，遺伝的アルゴリズムを改良できるだろうと考えている．

今後の課題としては，重要な遺伝子座を動的に特定し，突然変異率を動的に設定することや，並列分散遺伝的アルゴリズムと併用することで解の収束にどのような影響を与えるのかについて検討することなどがあげられる．

参考文献

[1] 北野宏明 (1997)，遺伝的アルゴリズム③，産業図書

[2] Iñigo Martincorena, Aswin S. N. Seshasayee & Nicholas M. Luscombe, Nature **485**, 95-98 (03 May 2012) doi:10.1038/nature10995

[3] 棟朝雅晴，エピスタシス尺度に基づくリンケージ同定手法の提案，情報処理学会論文誌「数理モデル化と応用」，Vol. 43, No. SIG10(TOM7), pp.6-13(2002)

[4] 北野宏明 (1993)，遺伝的アルゴリズム，産業図書

[5] 伊庭斉志 (2002)，遺伝的アルゴリズム，医学出版

[6] 松井，小杉，報酬付きマルコフ過程による遺伝的アルゴリズムの基礎的な解析，電子情報通信学会論文誌(D-II)，vol. J80-D-II，No. 2，pp.607-617(1997)

イベント実施における価値の提供

－北大グルメ Expo を事例として－

浅井 俊行* 平田 圭* 川村 秀憲* 鈴木 恵二*
(北海道大学大学院情報科学研究科)†

1 はじめに

3 年に渡り当研究室は地域活性化イベント「北大グルメ Expo[1]」を 3 回実施してきた．我々はイベントに対していかに工学的なアプローチができるのかを分析・実証実験をするために研究者と運営者両方の立場に立ちイベントを運営してきた[2,3,4]．3 回のイベントを俯瞰して見ると価値提供の流れが変わってきていることがわかった．この変化はイベント設計に置いて理想的な方向に向かっていると考えている[5]．本研究では，北大グルメ Expo における価値提供の変化を取り上げ，提案を行う．

2 北大グルメ Expo

北大グルメ Expo は飲食店を舞台にした電子スタンプラリーである．北海道大学周辺の飲食店に二次元バーコードを配布．そのバーコードをスマートフォンなどで読み取ることで参加者は 1 スタンプ獲得できる．参加者は期間中（約 3 ヶ月）にできるだけ多くのスタンプを獲得し，その獲得スタンプ数に応じて参加店舗の飲食券をプレゼントするイベントである．

二次元バーコードを読み取り，サイトにアクセスすると，いつどこで誰がどの店舗でスタンプを獲得したのかがログとして残り，行動分析等に用いることができるようになっている．

参加者の多くは，20 代前半で，男性の参加者が約 6 割である．スマートフォンの普及により，参加者の多くがスマートフォンで参加している．

3 価値の提供

北大グルメ Expo では 3 種類の関係者がいる．イベント運営者，参加店舗，参加者である．これら 3 方間で価値が提供される．

ここで，価値とは，3 方それぞれに対して目的実現をするために有用な情報，行動，物，そして，イベント全体を盛り上げるものと定義する．提供者は被提供者に対してその価値を何らかの方法で渡すことになる．

情報技術が進歩し，イベントにも情報技術が多く使われるようになり，価値の提供方法が多種多様になってきている．今日では，運営者から参加者へ価値提供する方法は広告ポスター設置，チラシ配布といったアナログな提供から，メール配信，Twitter，Facebook と行ったあらゆるメディアを使った方法へとシフトしてきている．

4 北大グルメ Expo における価値の提供

北大グルメ Expo においても価値の提供の流れが変わってきている．第 1 回から 3 回までを順に価値の提供の変化を比較する．

4.1 第 1 回北大グルメ Expo

第 1 回では，イベントを作り上げるという観点でイベント設計，運営を行ってきた．そのため，価値をどのように提供していくのか熟考していない．そのため，価値の提供を検出する方法もあまりなかった．そのため，図 1 のように一方通行な価値提供に留まっている．

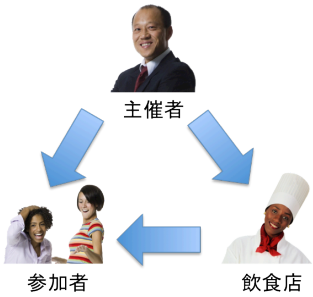


図 1 一方的な価値提供

4.2 第 2 回北大グルメ Expo

第 2 回では，第 1 回の反省を活かし，ランキングゲームの強化を行った．第 1 回では，期間全体で個人でのスタンプ数を競う今年か行わなかったが，第 2 回では表 1 のように個人戦では，週間ランキング，ジャンル別コンプリートを設け，さらに，団体戦を作った．特に，ランキングゲームの団体戦は個人戦に陥りやすいスタンプラリーにソーシャルゲームの要素を追加したゲームとなっている．団体戦ではシステムを提供頂いている調和技研[5]のサービスで地域の観光情報を配信している「あなた情報マガジンびも～る[6]」（以下びも～る）の機能

である「びもトモ」を活用した．びもトモとは，びも～る上で友だち関係を築くその関係のことで，メールアドレスを知っている同士か直接あって友だち関係になることでしかできない．従ってびもトモはリアルの交友関係の一部を反映しているといえる．このびもトモ関係にある参加者同士の合計スタンプ数が自分をリーダーとするチームの獲得スタンプ数となる[図 2].

2 回の価値提供の変化は，団体戦に見られた．団体戦終盤に上位 2 チームの攻防が生まれた[図 3]．この 2 チーム間では，お互いにライバルと認識し，競争を楽しんだと考えられる．そのため，価値の提供では，参加者間の価値の提供が生まれ，それを検出することができたと考えられる[図 4].

個人戦	総合ランキング	イベント期間中に獲得したスタンプ数で競う
	週間ランキング	イベント開催日から1週間毎に獲得したスタンプ数で競う
	ジャンル別コンプリート	中華、和食、洋食、カフェ、カレー、居酒屋の6ジャンルでそれぞれ参加店舗を全て獲得
団体戦	総合ランキング	イベント期間中に獲得した「びもトモ」間での合計スタンプ数で競う

表 1 ランキングゲーム

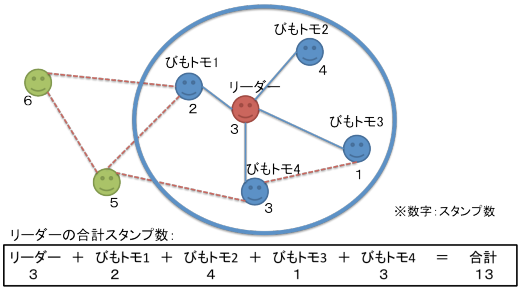


図 2 団体戦ポイント計算例

図 3 団体戦残り 10 分の攻防

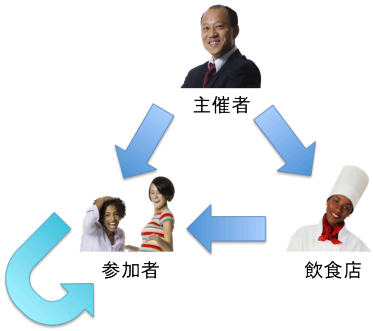


図 4 参加者同士の価値提供が観測

4.3 第 3 回北大グルメ Expo

第 2 回のランキングゲームを引き継いだ．さらに，第 2 回では，団体戦から参加者同士のインタラクションも垣間みられたため，参加者がイベントサイトへコメントを投稿できる機能を強化した．その結果，参加者同士のコメント[図 5]が検出された．さらに，飲食店の店主からのコメントもあり，飲食店から参加者への価値提供が強化される結果となった．

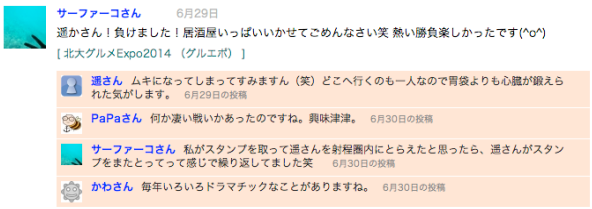


図 5 参加者同士のコメントやり取り

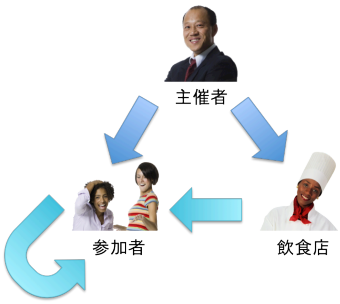


図 6 飲食店からの価値が強化

5 まとめ

北大グルメ Expo では 3 回を通して，価値の提供が変わっていくことが検出され，さらに，検出できるようなイベント設計を作ることに成功した．このように，価値の提供を考慮した設計はイベント運営に置いても重要な要素になると考えられる．基本的には，イベントの関係者間で価値が相互に提供されるようになれば良いため，他のイベントにも同様な思考を取り入れることは容易と考えられる．

参考文献

[1] 北大グルメ Expo：http://bemall.jp/guruepo.

[2] 川村秀憲，鈴木恵二：観光情報学におけるアクションリサーチ-北大グルメエキスポの開催を通して-. 情報処理学会(2012).

[3] Lewin, K. : Action Research and Minority Problems, Journal of Social Issues, Vol.2, Issue 4, pp.34-46 (1946).

[4] 矢守克也：アクションリサーチ，新曜社 (2010).

[5] 中島秀之：サービスとデザイン，サービソロジー vol.1 No.1 (2014)

[6] あなた情報マガジンびも～る：http://bemall.jp.

Crowdsourcing: can workers compete with experts in generating predictors?

Jing Song, Satoshi Oyama, Haruhiko Sato, and Masahito Kurihara *
(Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University)†

1 Introduction

Large companies in developed countries usually send their jobs to India and China since there are large and cheap labor forces there.[1] Based on the same idea, people can outsource Human Intelligence work (HITs) to the "crowd" using online platforms, such as Amazon Mechanical Turk (AMT). The task is divided into some micro-tasks and the users can earn money by finishing these micro-tasks. The process of crowdsourcing is usually fast and of low cost.

One type of human intelligence which is difficult for computers to realize is that human can predict or decide the causation of specified phenomenon. Even though computers can find out the correlation coefficients between two items, they cannot interpret how the relationship works between them. For example, a computer can find out that the average temperature of Singapore, which is 23~31 degree Centigrade, relates to its popularity as a resort, but cannot decide whether the average temperature contributes to its popularity as a resort or its popularity contributes to its weather. However, for human beings, it is apparent that the popularity as a resort cannot affect its local temperature.

In this paper, we propose to use crowdsourcing as a way to generate predicators instead of experts to make use of human intelligence in inferring causation. To control the quality of generated predicators, we propose to hire another group of micro-task workers to give a score to the generated predictors. In the two-way process, we want to find out whether crowdsourcing could be used as a common platform to generate predictors instead of experts and also whether crowdsourcing could be used as a way to give evaluation of HITs.

2 Related work

Bevelander[3] has proposed a method that use crowdsourcing to get childhood predictors of adult obesity. He made users answer questions on a website designed for the research. Besides of answering questions, the users can put forward new questions freely. The demerit of the setting of the process he argues is that users will not answer questions proposed later, which makes some features of the users cannot be obtained.

Paulheim[2] use DBpedia and two other dataset to generate interpretations for the ranking of quality of living and different countries' corruption perception. Since there is almost no human-interruption in the whole process, some generated interpretations are not acceptable for people.

Baba and Kashima[4] proposed to use two stages, the creation stage and the review stage, to control the quality of general crowdsourcing tasks. They carried on research about 3 tasks: logo designing, image description and language translation. The experiment result shows that the two-stage process works well compared with recent well-known statistical methods.

3 Crowdsourcing procedure

We want to use crowdsourcing to generate predictors about the score people will get in an English exam, e.g. TOEIC. Crowdsourcing workers should propose questions which they think are related to the final score they get in the exam. After gathering the questions, we will divide the generated questions into several batches, e.g. 10 questions in one batch, and hire other crowdsourcing workers to give an evaluation of them. We should note that a worker may give score to only one or several batches of questions, not the whole ones. After gathering the score, we want to use statistical methods to analyze the true value of every question and give them a rank. In the last step, we will hire workers to tell us the grade he or she got in the TOEIC exam and answer the questions we have gathered. We expect the workers answer all the questions which we have gathered in the step before. Finally, we want to use regression methods to analyze the correlation coefficients between the predictors and the target exam grade to see whether top ranked predictors work better than the low ranked ones. The whole procedure is illustrated in Figure 1. There are three crowdsourcing tasks in the whole process: generating predictors, evaluating predictors, answering questions.

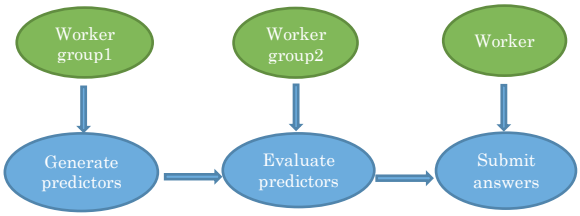


Figure 1. Flow chart of the crowdsourcing procedure

3.1 Task 1: Generating Predictors

We will use online crowdsourcing platforms to gather predictors for the score people can get in the TOEIC exam. In this process, we will not control the process users propose questions unless there are some offensive or inappropriate words.[3] We hope to get various kinds of predictors and find something interesting and new. We decide to gather predictors using the online crowdsourcing platforms such as Lancers for about two weeks.

3.2 Task 2: Evaluating Generated Predictors

We will hire different group (Group 2) of workers to evaluate those questions we have gathered, in other words, using crowdsourcing as a way to evaluate crowdsourcing results. We set the full grade as 5, and let the crowdsourcing workers to give a score to each proposed question. After gathering the score, we will use statistical methods to give the generated predictors a rank.

3.3 Task 3: Submitting answers

Considering the problem in Kirsten's experiment, we expect the workers answer as many questions as possible in order to get enough features for every worker. Besides, we need the worker to tell us how much score they got in the TOEIC exam. If they have taken the exam for many times, we expect the last score they got.

After gathering the answers of different workers, we want to use regression methods to map the features of each worker to the target value to see whether the proposed questions can predict the target value effectively. Besides, we want to compare the predicted result using different groups of predictors based on the rank we calculated in last step to see whether the crowdsourcing evaluation process works.

Through the experiment, we hope to find some effective predictors for the grade people will get in the TOEIC exam. We hope the experiment result could give students some direction on English learning.

4 Preliminary Research

To test whether it is feasible to carry on this research, we did a pre-experiment, in which we prepared 6 questions by ourselves and asked 8 people to answer them. We listed a few questions blow:

1. Do you watch TV play by native English speakers?
2. Do you want to learn another foreign language except English?
3. To learn English, have you attended cram school?

From the answers we gathered from 8 people, we found that question 2 almost have no value in predicting the score in TOEIC because only one student wants to learn another foreign language. Besides, the students who give most questions negative answers tend to have low grade in the exam. From the preliminary experiment, we see two points which we think are worthy to carry on further research. First, whether common people can give predictors like experts. Secondly, whether the evaluation given by the crowd can work.

5 Conclusion

In this pater, we propose to use crowdsourcing as a way to generate predictors and also use it as a way to evaluate crowdsourcing work. We want to see whether the generating stage and the evaluation stage could work well in low cost.

Referencing

[1] Howe J. The rise of crowdsourcing. *Wired magazine*, 2006, 14(6): 1-4.

[2] Paulheim H. Generating possible interpretations for statistics from linked open data./ *The Semantic Web: Research and Applications*, Springer Berlin Heidelberg, 2012: 560-574.

[3] Bevelander K E, Kaipainen K, Swain R, et al. Crowdsourcing Novel Childhood Predictors of Adult Obesity. *PloS one*, 2014, 9(2): e87756.

[4] Baba Y, Kashima H. Statistical quality estimation for general crowdsourcing tasks. *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, ACM, 2013: 554-562.

*{jingsong, oyama, haru, kurihara}@complex.ist.hokudai.ac.jp

コーンビーム型 X 線 CT 画像に対する画質改善処理

孫氷玉（Sun Bing-Yu）* 董建（Dong Jian）† 張昕源（Zhang Xin-Yuan）早川吉彦
(北見工業大学大学院情報システム工学専攻、医療工学専攻)†

1 はじめに

コーンビーム（Cone Beam）型 X 線 CT（Computed Tomography）撮影装置（CBCT）は，21 世紀になってから歯科医院と放射線治療施設に普及している．歯科医療では，口腔外科的疾患だけでなく，インプラント術や歯科矯正のための診査，歯根破折，歯内療法のための根管形態の診査，歯周病検査などのための画像診断に使用されている．

日本を含む先進諸国では，患者への被ばく線量を最適化するための撮影プロトコールが普及している. Sagawa, M.らは，３次元のガウシアンーラプラシアンフィルタの応用で画質改善を図った[1]．特に，Multiplanar Reconstruction (MPR) Method の正中矢状断における解剖学的構造物の明瞭化を示した．

一方，Kondo, A.や Dong, J.らは，歯顎顔面・口腔領域の X 線撮影で避けられない金属アーチファクト（metal-induced streak artifact）を軽減する研究を行った[2-5]．これは，MDCT（Multi-Detectors-Row Computed Tomography）装置による画像に対して示された．この研究は，歯顎顔面・口腔領域において，他のどの部位よりも薄いスライス厚さという設定で CT 撮影が行われているという特徴を利用し，統計的画像再構成法を応用したものである．

高原子番号物質である金属の X 線吸収が大きいため，通常の画像再構成法，Filtered Back Projection ではアーチファクトの出現が避けられない. CBCT では MDCT よりその出現は弱いが，今回は，MDCT で示された方法を CBCT に応用して，アーチファクトの軽減を図った．

2 材料と方法

使用した CBCT 画像は，CB Throne（日立メディコ）で撮影されたものである[1]．主要な撮影のパラメータは，I-mode, FOV の直径 10cm, 管電圧 120kV, 管電流 15mA, スライス厚さ 0.2mm，照射時間 10sec であった．作成される画像は，等方的ボクセル（サイズ : 0.2mm x 0.2mm x 0.2mm）からなり，画素数は 512 x 512 x 512 となる．

これまでに，Kondo, A.や Dong, J.らは，MDCT の画像に対して，金属の存在によるストリーク上のアーチファクトを軽減する方法を提案した[2-5]．そのコンセプトは，隣接するスライスのプロジェクション・データ（サイノグラム）を利用するということである．歯顎顔面・口腔領域は，臨床的に観察したい解剖学的構造が細かい（周波数が高い）ため，薄いスライスで CT 撮影されることが多い．したがって，金属アーチファクトが発生しているスライスに隣接して，極めて似た解剖学的構造を描出したスライスがアーチファクト・フリー状態で存在する．そこで，このインタクトな（intact）スライスのプロジェクション・データを利用して，逐次近似法（iterative restoration）で近づけていくという方法を採用した．

今回は，MDCT における成果を利用し，次のように CBCT 画像に応用した．

- 核医学診断法など多分野で応用されている逐次近似法として，ML-EM（Maximum Likelihood-Expectation Maximization）法と OS-EM（Ordered Subsets-Expectation Maximization）を比較した結果，スライスあたりの計算時間を約 5 分の 1（22%）に短縮できた．ML-EM 法では逐次近似回数を 50 回を最適とし，OS-EM 法ではサブセット数 8 と繰り返し回数 10 を最適とした．そこで, この設定による OS-EM 法をここでは採用した．
- インタクトなスライスのプロジェクション・データですぐ隣にあるスライスのアーチファクトを減らしたら，そのプロジェクション・データで，次に隣接するスライスのアーチファクト軽減を行うという処理を successive iterative restoration と名付けた[3-5]．今回もこの方法を採用した．
- 計算時間短縮と不要な構造を再構成から除くために，small ROI（Region of Interest）を設定する方法が有効であることを既に示した[4]. 今回も適宜これを採用した．
- GPGPU マシンと CUDA プログラミングによって計算時間が約 4 分の 1 になることを示した[5]. 今回も必要に応じてこれを採用した．
- 上顎部分の構造は from Head to Foot 方向で処理をし，下顎部分の構造は from Foot to Head 方向で処理するとよいことを既に示した[4]. 今回も必要に応じてこれを採用した．

*sunbingyu@126.com
北見市公園町 165 北見工業大学大学院情報システム工学専攻

これに加えて，Sagawa, M.らが示した画質改善処理[1, 6]として，３次元のガウシアンーラプラシアンフィルタを，アーチファクト軽減処理で得られた画像に働かせた．また，そのデータを使った３次元像の画質改善，歯顎顔面部の薄い骨の描出能の向上を目指して領域拡張（region growing）法[6]を応用した．

3 結果

図 1 は，強いアーチファクトのある CBCT 画像の例（左）とそのプロジェクション・データ（右）である．

図 2 と図 3 は，successive な OS-EM 法による処理を示した．図 2 は連続的なスライス 16 枚で，これを処理したものが図 3 である．スライス厚さが 1 枚あたり 0.2mm に過ぎないので，連続した 16 枚でも 3.2mm に過ぎない．しかしながら，図 2 のように．上から下へ，徐々に強くなっている金属アーチファクトが，図 3 では弱くなっている．

図 1

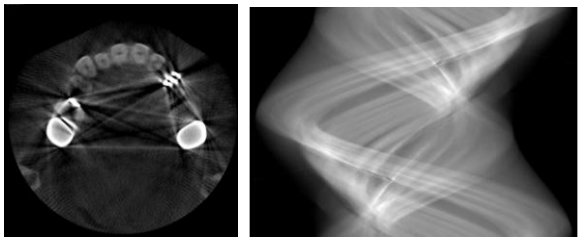


図 2

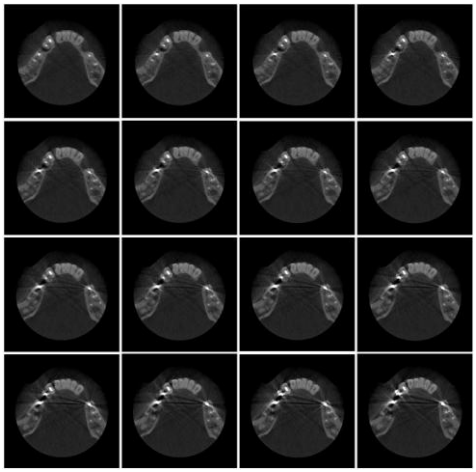
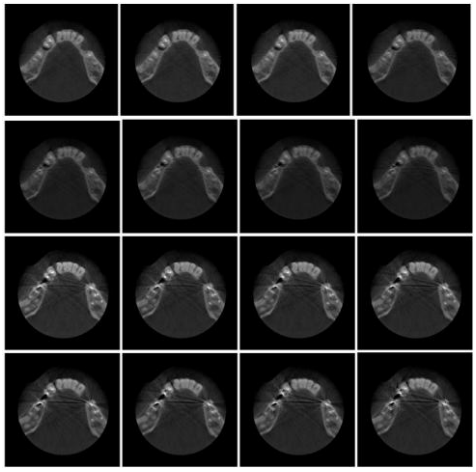


図 3



なお，３次元フィルタと領域拡張法による結果はポスターに示す．

4 まとめ

CBCT は MDCT に比較して，非常に少ない線量で撮影されている．薄いスライスでもあるのでノイズが多いという欠点がある．しかし，金属アーチファクトは MDCT ほど強くない．また，金属に隣接した部分で，X 線透過像（画像上の黒い部分）が強く出すぎているのかという懸念がある．今後はこの減少の解明も行いたい．

参考文献

[1] Sagawa M, Miyoseta Y, Hayakawa Y, Honda. A. Comparison of two- and three-dimensional filtering methods to improve image quality in multiplanar reconstruction of cone-beam computed tomography. *Oral Radiology* Vol.25, No2:154-158, 2009.

[2] Kondo A, Hayakawa Y, Dong J, Honda A. Iterative correction applied to streak artifact reduction in an X-ray computed tomography image of the dento-alveolar region. *Oral Radiology* Vol.26, No.1:61-65, 2010.

[3] Dong J, Kondo A, Abe K, Hayakawa Y. Successive iterative restoration applied to streak artifact reduction in X-ray CT image of dento-alveolar region. *International Journal of Computer Assisted Radiology & Surgery* Vol.6,No.5, pp635-640, 2011.

[4] Dong J, Hayakawa Y, Kannenberg S, Kober C. Metal-induced streak artifact reduction using iterative reconstruction algorithms in X-ray CT image of the dento-alveolar region. *Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology* Vol.115, No.2, pp.e63-e73, 2013.

[5] Dong J, Hayakawa Y, Kober C. Statistical iterative reconstruction for streak artefact reduction when using multi-detector CT to image the dento-alveolar structures. *Dentomaxillofacial Radiology* Vol.43, No.5, 20130373, 2014.

[6] 白鳥則郎監修，大町真一郎，陳謙，大町方子，宮田高道，長谷川為春，早川吉彦，加瀬澤正，塩入諭著，未来へつなぐ デジタルシリーズ 28 巻，画像処理，第 7 章 特徴抽出，第 8 章 画像認識，共立出版，2014 年 10 月．

情報処理北海道シンポジウム 2014

ピアノ熟達におけるチャンク形成要因の分析

大角悠華 * 竹川佳成 † 平田圭二 ‡
(公立はこだて未来大学)§

概 要

楽器の演奏には多大な労力や時間を必要とするため,練習を断念してしまう演奏者が多く見られる．この問題を解決するために，竹川らは電子鍵盤楽器へのプロジェクションマッピングにより鍵盤上に演奏補助情報を提示するピアノ学習支援システムを開発した．また，田村らはより効率的なピアノ学習を提案するために，竹川らのピアノ学習支援システムを成人ピアノ初心者に利用してもらい，未熟から熟達にかけてのチャンク（一連の複数の音符をまとまりやパターンとして認識する単位）形成過程について調査した．その中でピアノ演奏におけるチャンク形成の変容に一定の傾向がある事が明らかとなったが，ピアノ演奏は，譜読み，打鍵行為，演奏音の聴取などさまざまな要素が複雑に絡み合っており，どの要素がチャンク形成に関わっているのか調査できていない．また，熟達度によってもチャンク形成に影響する要素は異なると考えられる．そこで本研究では，ピアノ演奏の熟達におけるチャンク形成要因の調査を目的とする．本研究ではピアノ初心者の熟達とチャンク形成との関係を分析するために，ピアノ演奏に影響する 3 要素（運動・認知・知覚）の増減を制御した実験を実施する．

1 はじめに

ピアノ演奏には譜読み，正確な打鍵音の強弱，リズム感覚等といった様々な技術力が求められ，それらを修得するためには長期間の基礎的な練習を必要とする．そのため，敷居の高さに練習を断念したり，熟達効率の低さから挫折をしてしまう演奏者が多い．この問題を解決するために竹川らの研究グループは，プロジェクタを用いたピアノ学習支援システムを構築した [1],[2],[3],[4]．特に田村ら [5] は，そのピアノ学習支援システムをピアノ初心者に利用してもらった評価実験から，ピアノ初心者は未熟な段階において楽譜上の音符を個別に認識していたが，熟達するにつれ一連の複数の音符をまとまり（チャンク）として認識し演奏している様子が観測された．具体的に，(1) 記録したチャンクは大きく，運指の難しい箇所で形成しやすい高難度チャンク，運動や聴覚的な認知によりパターンを見出すことで形成されるパターンチャンク，演奏時の聴覚や音楽構造によって認知するフレーズチャンクの 3 種類に分類される．(2) 一般に，練習初期段階では高難度やパターンによる小さなチャンクが多数形成されやすいが，習熟度が上がるにつれ大きなパターンやフレーズのチャンクが少数形成されることで楽曲全体を理解するようになる．また，最終的に形成されるチャンクは類似傾向にあることも明らかになった．ピアノ学習支援システムが提示する知覚情報，打鍵運動，認知 (音楽知識，記憶) 等から学習者は熟達すると同時にチャンクを形成していくが,「熟達過程においてどの要素がチャンク形成に影響するのか」という熟達とチャンク形成の関係は十分調査されていなかった．そこで，ピアノ演奏の熟達におけるチャンク形成要因の調査を目的とする．

2 関連研究

これまでもピアノ演奏におけるチャンクに関わる研究は行われている．Weaver はピアノ熟達者の譜読みにおけるチャンク能力について調査をし，演奏経験者は譜面上の和音をまとめて読み取るといったチャンク形成能力を活用していることを明らかにした [6]．しかし本研究ではピアノ初心者を対象としている点，譜読みだけに着目せず，チャンクの形成要因に注目する点で異なる．Sakai らは単純なボタン型キーボードを利用し，視覚的な提示情報を見ながら打鍵操作を行う場合における，チャンクの存在を明らかにした [7]．ピアノ演奏では、視覚だけではなく聴覚やフレーズといった音楽的知識もチャンク形成に寄与するため，より高次なレベルでの解析が求められる．また，大澤智恵らは，ピアノ学習によって獲得されるチャンクには調性音楽の様式だけでなく他に鍵盤上の黒鍵と白鍵の配列の位置関係に規定されるものにも影響することを明らかにした [8]．

3 実験環境

本研究では，田村らの研究成果をもとにチャンクに関する調査の深化を目的としているため，田村らの実験環境を再利用する．

3.1 システム構成

本実験で使用したピアノ学習支援システムの外観およびシステム構成を図 1 および図 2 にそれぞれ示す．このシステムでは鍵盤上部に設置したプロジェクタを用いて鍵盤上に演奏補助情報を提示する．また，演奏者の前方に視線追跡機能付ディスプレイを配置し，プロジェクタと同様に演奏補助情報を提示している．システムは，MIDI 鍵盤による MIDI データ（打鍵位置や打鍵強度）および視線追跡装置による視線データ（ディスプレイ上における注視点の座標および記録時刻）を入力とする．演奏の様子を記録するためにビデオカメラを設置した．映像生成および視線・MIDI データ記録用の PC として TOSHIBA 社の RX-2L/E7LE を使用した．また，MIDI 鍵盤として CASIO 社の PriviA PX-110 を使用した．視線追跡装置として Tobii 社の TX-300 を使用した．プロ

* b1011007@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 函館市亀田中野町 116 番地 2

ジェクタとして BenQ 社の MP776 ST を使用した．プロジェクタの鍵盤投影領域は 6 オクターブ（72 鍵）で，プロジェクタの映像がよく見えるように黒鍵を白く塗った．PC 上のソフトウェアの開発は，Windows 7 上で Microsoft 社の Visual C++ 2010 を用いて行った．

3.2 提示コンテンツ

ディスプレイと鍵盤上に表示されたコンテンツについて図 3 および図 4 を用いて述べる．各図中の番号は以下の箇条書き番号に対応している．

(1) 既存の紙媒体の楽譜と同様の楽譜を提示する．

(2) 現在の演奏位置を提示する．これにより，学習者は現在どこを演奏しているかを直感的に理解できる．正しい鍵を弾いた時のみ提示される演奏位置が進む．

(3) 次に演奏する鍵上に色付枠を提示する．運指情報は運指番号（親指から小指にかけて 1 から 5 の番号がそれぞれ割り当てられている）ごとに対応している輪郭の色や，鍵上に運指番号を提示することで示す．これにより学習者は容易に打鍵位置や運指を把握できる．また、ディスプレイにも鍵盤と同様の打鍵位置情報や運指情報を提示する．ディスプレイには打鍵位置となる鍵の枠のみ表示されるが，鍵盤上に提示された情報と比較して得られる情報は少なく，直感性に欠ける．(2) の演奏位置提示とこの打鍵位置提示は，アイコンを投影した演奏に使用しない鍵の打鍵により切り替えが可能であり，演奏者は自分の演奏熟達度に合わせて情報提示の On/Off を切り替えることができる．

(4) 楽譜上に表示される番号付きの黒塗りの四角形は，現在の演奏位置を変更するキューポイントである．演奏中にキューポイントの提示位置まで演奏位置を変更することができ，これは学習者が任意の箇所を集中的に練習したい場合や，途中から演奏したい場合に有効である．打鍵位置提示および演奏位置提示と同じく，キューポイントも鍵盤上に設定した鍵を打鍵することでユーザが選択的に利用できる．

(5) 学習者が演奏をする際，右手のみあるいは左手のみでの演奏が可能となるよう，当システムは片手演奏に対応した打鍵位置提示も可能となっており，片手のみ打鍵位置を提示している時は片手のみの演奏で演奏位置や打鍵位置の提示が進む．また，模範演奏を再生する機能を持ち，これらの機能も鍵盤上に設定した鍵の打鍵により利用できる．

3.3 方針

上述したように，ピアノ学習支援システムを利用して熟達する学習者は，図 5 に示すように，ピアノ学習支援システムが提供する楽譜・次の打鍵位置・鍵盤の外観といった視覚的な情報，打鍵時に出力される演奏音，模範演奏といった聴覚的な情報，打鍵行為という運動に影響され熟達していく．我々は，これらの提示情報や運動がチャンク形成も影響を与え，熟達度や学習方法によってチャンク形成過程は異なるという仮説を立てる．

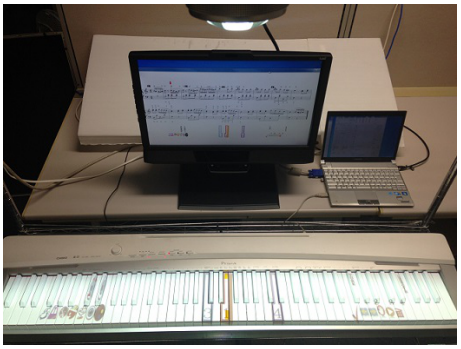


Fig. 1 ピアノ支援システムの外観

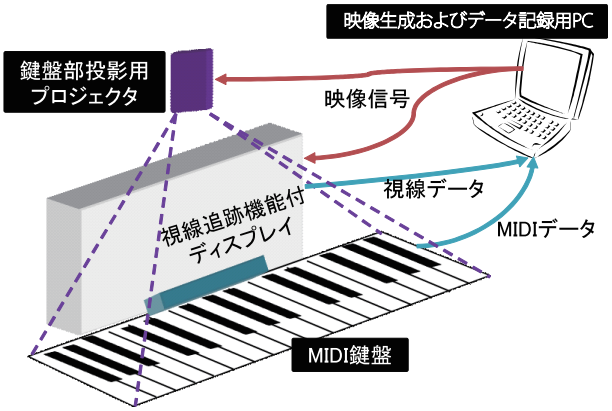


Fig. 2 システム構成

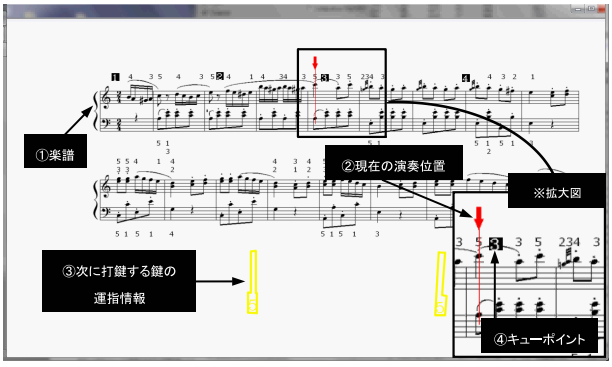


Fig. 3 ディスプレイに提示されたコンテンツ

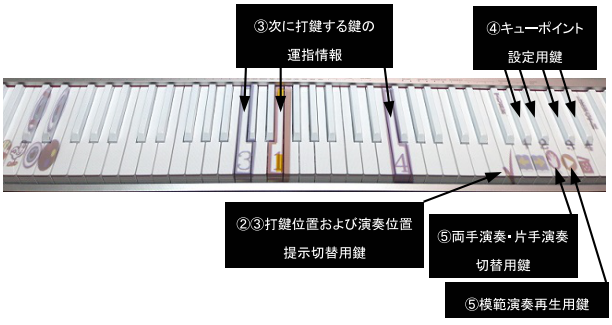


Fig. 4 鍵盤に提示されたコンテンツ

そこで，本研究では，この仮説を検証するために，表 1 に示すように，模範演奏聴取の有無・楽譜そのものの

有無・楽譜を構成する一部情報の有無・打鍵行為の有無・音楽知識の有無といった各種提示情報を被験者群ごとに変化させることで，チャンク形成に影響する要因を調査する．

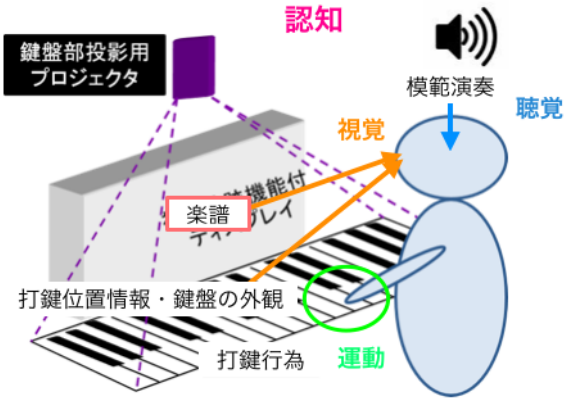


Fig. 5 チャンク形成の要因

4 評価実験

評価実験では，演奏初期段階（ピアノ初心者が初見の楽曲に対して運指や打鍵位置を覚えるために練習する段階）におけるチャンク形成に関与する要因に制約をかけた，ピアノ学習支援システムを用いた際の楽曲の習熟度とチャンク形成の関係を，被験者が楽譜上に記述したチャンクと内省報告，打鍵情報をもとに分析する．

4.1 実験内容

被験者数 ピアノ初心者 3 名を被験者とした．表 2 に示すように，被験者 A は演奏音を出力しない状態で，被験者 B は模範演奏の聴取を禁止し，被験者 C は図 6 に示すように連桁のない楽譜で練習をしてもらった．課題曲の事前知識の有無によるチャンク形成影響を調査したかったため，模範演奏の聴取を禁止した実験環境の被験者（被験者 B）は課題曲をもともと知らなかった．なお，被験者にはあらかじめピアノ学習支援システムの各機能の使い方を説明し，初心者には楽譜の読み方（楽譜上に記される音符や記号の意味）や演奏法も説明した．また，被験者 B に関しては現在実験が途中段階のため，それまでの結果を示す．

課題曲 課題曲として，W.A.Mozart のピアノソナタ第 11 番第 3 楽章トルコ行進曲の冒頭部分 (最初から 8 小節目まで) を課題曲とした．

実験方法 トルコ行進曲を制約付ピアノ学習支援システムを使用し毎日 20 分かけて練習した後，到達度テストとしてピアノ学習支援システムの利用無しで課題曲の譜面のみの提示で最初から最後まで一通り演奏するという試行を毎日行う．これは到達度テストにおける打鍵ミス数が 0 回となるまで実験を続けてもらう．実験中は視線計測装置が生成する視線データ，MIDI 鍵盤が生成する打鍵データをシステムに記録し演奏中の様子をビデオカメラで記録する．到達度テストでは練習中で計測している打鍵データを元に打鍵ミスを計測する．打鍵ミスは誤打鍵，未打鍵，余打鍵を打鍵ミスと見なす．チャンクの形成方法を記録するため到達度テスト終了後，被験者が認識しているチャンクを楽譜へ記入してもらうとともに，その根拠について報告を得る．なお，被験者 C は連桁のない楽譜を利用しており，到達度テストおよびチャンクの書き込み時においても連桁のない楽譜を利用した．また，被験者 A は到達度テストにおいて演奏音を出力しない状態で到達度テストを受講し，チャンクを書き込み，その後，演奏音を出力した状態で到達度テストの受講およびチャンクを書き込んでもらった．

Table 2 各被験者に与えた制限とかかった日数

被験者名	実験	環境実験実施日数
被験者 A	出力音無し	3 日
被験者 B	模範演奏聴取無し	実験途中
被験者 C	連衡無し楽譜	3 日

4.2 結果

練習中の様子 表 2 に被験者ごとの実験に要した日数を，図 7 に被験者ごとの到達度テストにおける打鍵ミス数の推移を示す．いずれの被験者も，2 日目には，4 小節目までを弾けるようになっていた．実験初日や 2 日目は片手のみで練習を繰り返す様子が見られたが，被験者 A は，2 日目には両手で練習を行う様子が観測された．片手での演奏上達後，両手演奏の練習を試みるが，個人差はあるもののスムーズに両手で演奏できない状況が続いた．実験最終日における両手演奏では，練習中における打鍵ミスは減少した．難所にさしかかった際，練習を中断し正しい鍵盤位置をさがす，またはキューポイントを使用しその箇所を集中的に練習する様子が観測された．実験最終日の練習の終盤であっても，楽曲全体を一定のテンポで演奏する事は難しい状況であった．練習方法については，被験者ごとに様々な練習方法が見受けられた．被験者 A は実験初日から両手で練習していた．被験者 B や被験者 C は片手で練習していた．いずれの被験者もキューポイント機能を頻繁に使用し，練習したい箇所を何度も練習する姿が見受けられた．被験者 C は片手のみの打鍵位置を表示し，両手の練習を行うといった独自の練習方法を行う姿が見受けられた．また，難所は模範演奏を聞いてから繰り返し練習を行なっていた．

チャンク形成過程 図 8〜図 11 に各被験者のチャンク記録結果を示す．図中では，それぞれ上段が 1 日目の記録，下段が最終日の記録である．ただし，被験者 A は上述したように演奏音がない状況でのチャンクと，演奏音

Table 1 チャンク形成要因を検証するための実験環境

種類	要因	内容
運動	運指の固定	常に同じ指を使って演奏してもらう
	打鍵行為無し	模範演奏の聴取および楽譜の観察のみで打鍵しない
聴覚	演奏音無し	打鍵した時に音が出ない
	模範演奏聴取無し	模範演奏を聴かない
	演奏音の固定	どの鍵からも同じ音が出る
	打鍵ミス音無し	どの鍵を押しても常に正しい音が出る
視覚	不完全五線譜	一部の音符および音楽記号（連桁，スラー，小節線など）を提示しない
	光る鍵盤なし	次の打鍵位置を提示しない
	白鍵のみ	物理的に黒鍵がない鍵盤をつかって演奏する
認知	音楽理論の知識付与	楽式やフレーズといった音楽構造に関する知識を教える

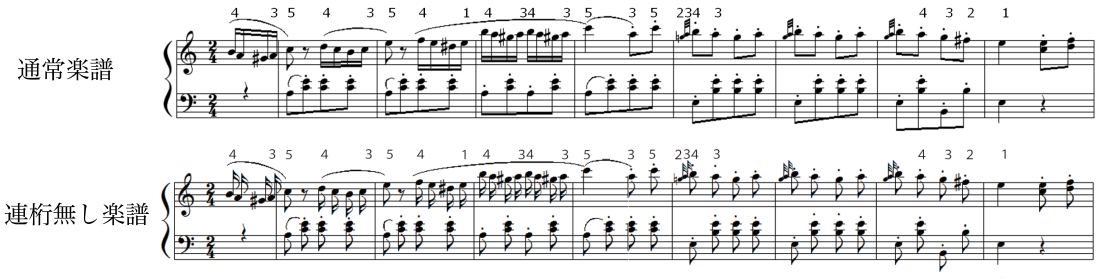


Fig. 6 通常の楽譜と連桁無し楽譜の比較

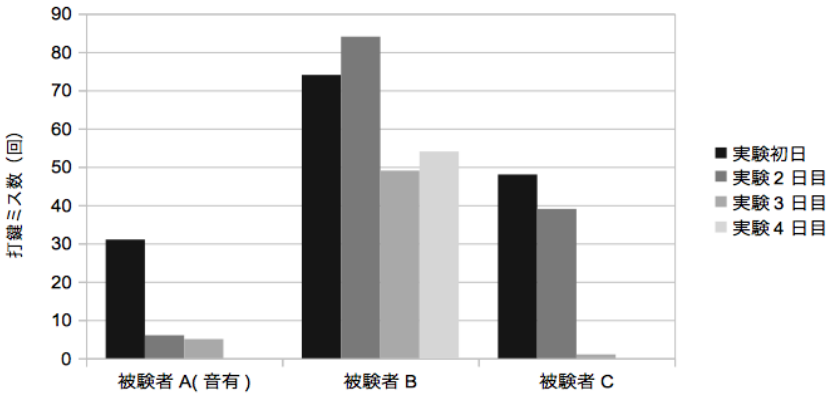


Fig. 7 到達度テストにおける打鍵ミス数の推移

がある状況でのチャンクを記録したため，2 種類のチャンク結果を示す．結果の考察を進める上で，被験者の内省報告を聞き，それらとチャンクを比較し考察を行なった．

考察

被験者 A(**打鍵音の有無**)　被験者 A は図 8 の初日（1 段目）の 1 小節目左手部分を動き方や手の位置によってチャンクの形成を行なっていた．これは練習中に打鍵音がなかった事から，聴覚によってできたチャンクではなく，運指によってできたチャンクであるとおもわれる．これより，運指はチャンク形成に関わっているのではないかと考えられる．また，被験者 A は原曲を覚えていたため，実験後のヒアリングから，記憶をたよりに課題曲の 1 小節目 2 小節目といった繰り返し出てくるフレーズにチャンクが形成された．この事から，曲に対する記憶が，チャンクの形成に影響をしていると考えられる．打鍵音の有無によるチャンク形成結果を比べると，音を聞く事によって初めて間違いに気づいた，音の高さが同じだという認知をしたというコメントが得られた．これは，被験者 A は練習中等，打鍵ミスをその場その場では認識しているが，実際に打鍵した音をきく事により，打鍵ミスの意識がより強くなったのではないかと考えられる．さらに，図 8 および図 9 を比較した際，右手の第 4 小節目

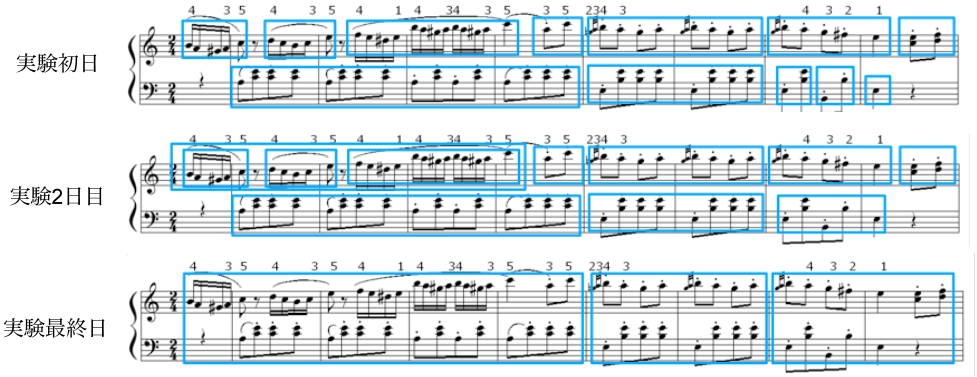


Fig. 8 被験者 A（音無）

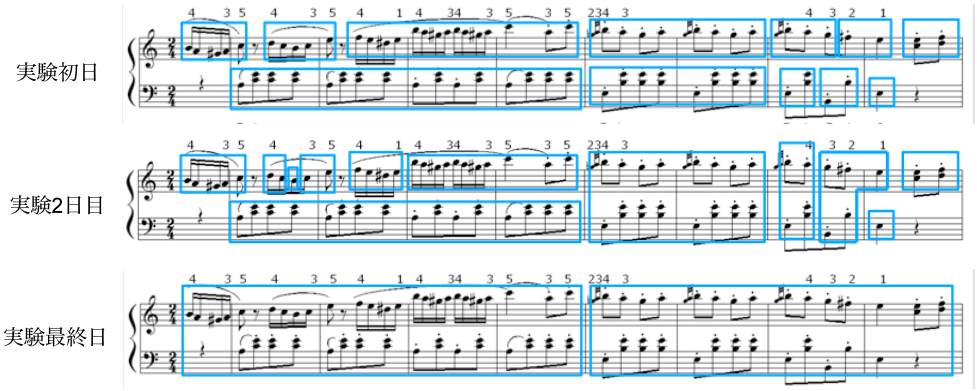


Fig. 9 被験者 A（音有）

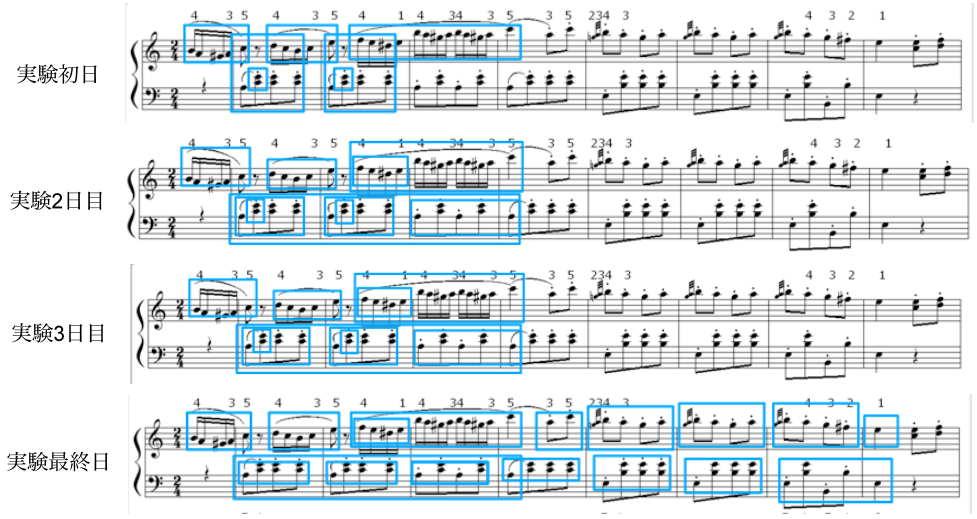


Fig. 10 被験者 B

が変化する等，聴覚的な要素が加わる事により，チャンクの形成に変化が起こった．この事から，聴覚はチャンクの形成にとても大きな役割を果たしていると考えられる．

被験者 B(模範演奏聴取の有無) 被験者 B は楽譜を読めないため，練習中はほとんど楽譜を見ず，鍵盤を見て打鍵位置や運指を覚えていた．また，休符と左手の打鍵音のタイミングを意識しており．右手の休符の際に打鍵する左手の打鍵音にチャンクを形成していた．この事か

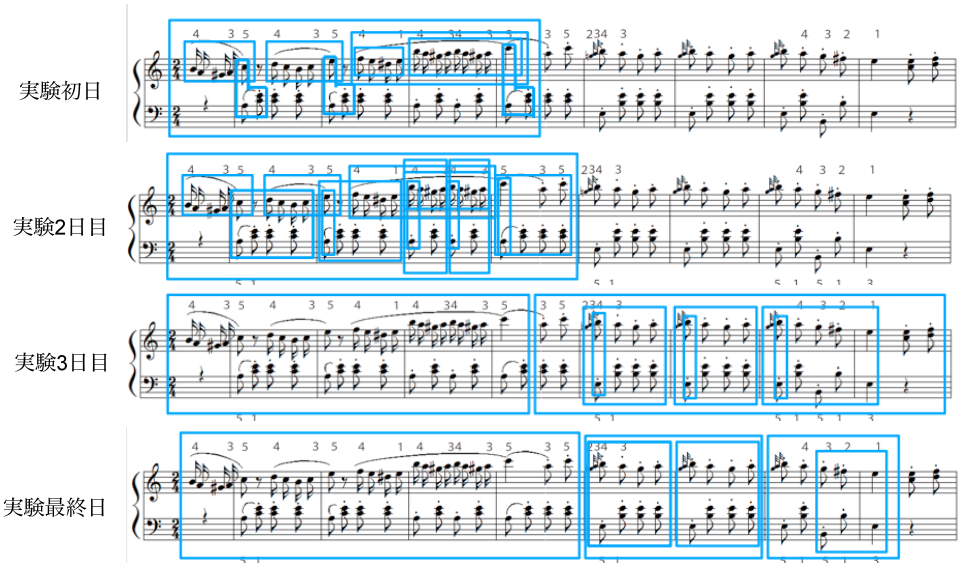


Fig. 11 被験者 C

ら音符よりも休符がチャンク形成に関係があると考えられる．被験者 B は上述したように，原曲をもともと知らなかったため，曲に対する記憶による影響を受けていない．しかし，練習を積み重ねる事により，きれいなチャンクを形成するようになった．これは，楽曲を弾いていくうちに自分の中で音楽構造を理解していくために最終的にある程度きれいなチャンクの形成を行なうようになったのではないかと思われる．

被験者 C(連衡の有無)　被験者 C は，図 11 の初日（1 段目）第 1 小節目のように左手のタイミングやフレーズが変わるところでチャンクが切り替わる等，左手の動きや音を意識したチャンクを形成しており，右手よりも左手の運指の動きがチャンク形成に影響していた．被験者 C は，楽譜や鍵盤の両方を見ながら打鍵位置の学習をしていたが，連桁の有無によるチャンク形成の変化は観測されなかった．また，チャンク形成において楽譜中の休符を意識したというコメントが得られた．このことから音符上の連桁よりも休符がチャンク形成に関係があると推測される．

5　まとめ

本研究では，ピアノ初心者を対象とし，ピアノ演奏においてチャンクを形成するための要因について調査･分析を行なった．実験結果より，聴覚や曲に対する記憶，運指は，チャンク形成に大きく関わっている事や，音符よりも休符がチャンク形成に関係するという事が考えられた．また，形成されたチャンクは他の要因によって容易傾向が観測された今後の研究課題としては，被験者数を増やした実験，運指や曲に対する記憶と言った要因を含むさまざまな要素に注目したチャンク形成要因の調査やそれらを利用したピアノ学習支援システムの提案等がある．

参考文献

[1] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦：運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌,Vol.52,No.2（2011 年）.

[2] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦：リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの設計と実装, 情報処理学会論文誌,Vol.54,No.4(2013 年)

[3] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦：システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装, コンピュータソフトウェア（日本ソフトウェア科学会論文誌）,Vol.30,No.4(2013 年).

[4] 竹川佳成, 椿本弥生, 田柳恵美子, 平田圭二：鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムにおける熟達化プロセスに関する調査, インタラクティブシステムとソフトウェア XXI：日本ソフトウェア科学会 WISS2013(2013 年).

[5] 田村速人, 竹川佳成, 平田圭二, 田柳恵美子, 椿本弥生 : ピアノ初心者の演奏熟達におけるチャンク形成過程の分析, はこだて未来大学, 情報処理学会研究報告 (2014 年)

[6] Weaver,H.E.: Studies of Ocular Behavior in Music Reading Psychological Monographs, 1943

[7] Sakai, K., Kitaguchi, K., Hikosaka, O.:Chunking During Human Visumotor Sequence Learning,Experimental brain research, 2003.

[8] 大澤智恵. 鍵盤楽器演奏技術の習得-visumotor 系列学習の側面から-, 新潟大学, 現代社会文化研究 38（2007 年）.

Leveraging Crowdsourcing to Make Models in Multi-label Domains Interoperable

Lei Duan* Oyama Satoshi Haruhiko Sato Masahito Kurihara
(Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University)†

Abstract

Recently, the issue of learning from multi-label data has attracted significant attention. Due to different aspects that multi-label classifiers want to capture, personal preferences of researchers, or just inconsistency in terminology usage, the employed models may differ from each other. Therefore, model interoperability is a big concern in multi-label domains. Our study focuses on exploiting effective interoperation between two different models in a multi-label domain through the application of harmonised mapping established in a crowdsourced setting.

Keywords
Multi-label domain, Interoperability, Harmonised mapping, Crowdsourcing

1 Introduction

Traditional multi-class classification aims at categorizing instances into a set of candidate labels, in which each instance is associated with a single label. Multi-label classification is a generalization of multi-class classification where each instance is associated with a subset of candidate labels. Recently, the issue of learning from multi-label data has attracted significant attention, mainly motivated from applications such as topic categorization of news article [1] and web page [2], affect analysis in narrative [3] and music [4], and semantic annotation of image [5] and video [6]. A good survey on multi-label classification is presented by Tsoumakas *et al.* [7].

The first step towards solving a problem in a multi-label domain is to adopt or create an appropriate model. Simply put, a model can be represented by the candidate labels (also referred to as classes, categories, terms or tags) applied to the collected instances. Due to different aspects that multi-label classifiers want to capture, personal preferences of researchers, or just inconsistency in terminology usage, the employed models may differ from each other. A noteworthy example is affect analysis. Even though the model of Ekman's six basic emotions (*happiness*, *fear*, *anger*, *surprise*, *disgust* and *sadness* [8]) has been used very broadly to cover a wide range of affect analysis research, other emotion models also exist. For example, Trohidis *et al.* employed other six emotions (*amazed-surprised*, *happy-pleased*, *relaxing-calm*, *quiet-still*, *sad-lonely* and *angry-fearful*) based on the Tellegen-Watson-Clark model [9] to conduct the automated detection of emotion in music; the model that the *manifold* sentiment analyser [10] was developed on consists of a collection of 32 emotions; the WordNet-Affect [11] even hierarchically organized a collection of 288 emotions. Moreover, given the complexity of human thinking, social and cultural background plays an significant part in emotion interpretation. A noteworthy example is that being different from the English-oriented affect analysis research listed above, a lot of Japanese-oriented research (e.g., [3, 12]) prefers to employ the ten emotions (喜, 好, 安, 怒, 哀, 怖, 恥, 厭, 昂 and 驚) based on Nakamura's *Emotive Expression Dictionary* [13]. A complete discussion on the models for affect analysis is out of the scope of this paper, and can be found in Calvo *et al.* [14]. However, it is certain that unfortunately, as of date, no general model of emotions has yet been agreed on [15].

Although different emotion models are founded on different psychological theories and fit specific purposes of particular affect analysis research in various fields, complications still arise when they are employed. First, it is hard to integrate an affect analyser and an affect application to allow them work together. One typical example is that a text-oriented affect analyser classifies a linguistic unit (often a sentence) into relative emotions from the Nakamura's model, but a text-to-speech synthesis requires a linguistic unit with its relative emotions from the Ekman's model as the input for affective pronunciation. The output of the affect analyser cannot be used as the input of the affect application since the model followed by the output does not match the one followed by the input. Second, training data cannot be shared among supervised affect analysers employing different emotion models, which results in waste of resources. Third, the lack of harmonisation among different emotion models poses barriers to comparative experiments, so it is hard to evaluate that of two affect analysers (or applications) employing different emotion models, which one performs better. Thus, regardless of

*duan@ec.hokudai.ac.jp
†Kita 14, Nishi 9, Kita-ku, Sapporo, Japan

the models chosen to represent the emotions, how to make them interoperable is a necessary and important problem.

Interoperability, which is a big concern in the computer world, is the ability to make systems and organizations work together (inter-operate). The term was initially defined for information technology or systems engineering services to allow for information exchange. For most problems in multi-label domains, a large number of class terms have been employed, and of course, not everyone will agree on what a "standard" list of terms should be – such as the affect research illustrated above and film genre classification (taking the list of genres from IMDB[1] or Netflix[2]). Therefore, interoperability is actually a pretty big concern in multi-label domains as well.

On-line crowdsourcing services provide an inexpensive means for outsourcing various kinds of tasks to hundreds of thousands of people, and it is being used more frequently in the annotation community. We propose leveraging crowdsourcing to make different models in a certain multi-label domain interoperable. Suppose that there is a large collection of multi-label instances with model X, but information of model Y is considered more important for the goal being pursued. Therefore, we can first (randomly or deliberately) select a part of all instances, and ask crowdsourcing workers to assign the relative labels from model Y to each of the selected instances. The optimum mapping from model X to model Y are then established according to the obtained triplets {(instance, relative label set in model X, assigned label set in model Y)}. Using the established mapping, the rest of the multi-label instances with relative label set in source model X can directly obtain their respective relative label set in object model Y.

Although data can be obtained from a crowdsourcing service at very low cost (time and expense), crowdsourcing workers are rarely trained and generally do not have the abilities needed to accurately perform the offered task. Therefore, ensuring the quality of the results submitted by workers is one of the biggest challenges in crowdsourcing. In addition to the exploration of regulatory mechanism such as giving monetary bonuses to high-performance workers and denying payments to low-performance ones, and injecting a collection of tasks with known correct answers into tasks to measure a worker's performance automatically, crowdsourcing service researchers have also explored sophisticated statistical strategies. A commonly used approach is by aggregating the responses produced by multiple workers to produce a consensus result. The problem is how to construct reliable results with a minimum of human effort. In the multi-label domain, Duan *et al.* [12] has proposed an effective method for estimating multiple relative labels for each repeatedly crowdsourced multi-labeled instance. Our study focuses on exploiting effective interoperation between two different models in a multi-label domain through the application of harmonised mapping established in a crowdsourced setting.

[1] http://www.imdb.com/genre
[2] http://www2.netflix.com/allgenreslist

2 Problem Definition and Proposed Methods

2.1 Problem Definition

Let I be the set of annotated instances, X be the source model, and Y be the object model. $\mathcal{X}_i \subseteq X$ $(i \in I)$ denotes the gold (or estimated beforehand) labels in X of instance i. Let K be the set of crowdsourcing workers, and $\mathcal{K}_i \subseteq K$ $(i \in I)$ be the set of workers who annotated instance i. (Note that it is not necessary to ask every worker to annotate all the instances.) $\mathcal{Y}_i^k \subseteq Y$ $(k \in \mathcal{K}_i, i \in I)$ denotes the assigned labels in Y by worker k of instance i. Let $T = \left\{\mathcal{X}_i, \mathcal{Y}_i^k : k \in \mathcal{K}_i, i \in I\right\} \subseteq 2^X \times 2^Y$ be the set of obtained examples, where 2^X (or 2^Y) is the power set of X (or Y). The goal is to learn a mapping f: $2^X \to 2^Y$ from T, where f is chosen from a hypothesis class F, such that a loss function: $F \times 2^X \times 2^Y \to \mathbb{R}_0^+$ is minimized.

2.2 Proposed Algorithms

2.2.1 Maximum Likelihood Estimation (*MLE*)

The simplest way to learn a harmonised mapping between two models is the maximum likelihood estimation. For each instance i, two sets of indicator variables are defined as follows:

$$m_{i\mathcal{X}}\,(i \in I, \mathcal{X} \subseteq \mathcal{X}) = \begin{cases} 1, & \mathcal{X} = \mathcal{X}_i \\ 0, & \mathcal{X} \neq \mathcal{X}_i \end{cases}$$

$$n_{i\mathcal{Y}}^k\,(k \in \mathcal{K}_i, i \in I, \mathcal{Y} \subseteq Y) = \begin{cases} 1, & \mathcal{Y} = \mathcal{Y}_i^k \\ 0, & \mathcal{Y} \neq \mathcal{Y}_i^k \end{cases} .$$

The maximum likelihood that $\mathcal{Y}$ is the object label set of $\mathcal{X}$ is estimated as:

$$P\,(\mathcal{Y} \mid \mathcal{X}) = \frac{\sum_{i \in I} \sum_{k \in \mathcal{K}_i} m_{i\mathcal{X}} n_{i\mathcal{Y}}^k}{\sum_{i \in I} m_{i\mathcal{X}} |\mathcal{K}_i|}\,, \qquad (1)$$

and the optimum object label set in Y for $\mathcal{X}$ is the one that achieves the maximum likelihood:

$$\arg\max_{\mathcal{Y}\subseteq Y} P\left(\mathcal{Y} \mid \mathcal{X}\right).$$

Equation (1) just equally treats annotations given by different workers. However, the fact is that the ability of workers is varying. Another method is to estimate in advance the relative label set in Y for each instance using quality control methods (such as the one proposed by Duan *et al.* [12]) given the obtained annotations $\left\{n_{i\mathcal{Y}}^k \in \{0,1\} : k \in \mathcal{K}_i, i \in I, \mathcal{Y} \subseteq Y\right\}$. Let $t_{i\mathcal{Y}} \in \{0,1\}$ $(i \in I, \mathcal{Y} \subseteq \mathcal{Y})$ be the indicator variable: if the estimated label set of instance i is $\mathcal{Y}$, then $t_{i\mathcal{Y}} = 1$ and $t_{i\mathcal{Y}'} = 0$ for $\mathcal{Y} \neq \mathcal{Y}'$. At this time, Equation (1) is transformed into:

$$P\left(\mathcal{Y} \mid \mathcal{X}\right) = \frac{\sum_{i\in I} m_{i\mathcal{X}} t_{i\mathcal{Y}}}{\sum_{i\in I} m_{i\mathcal{X}}}.$$

Because the states of labels in both source model X and object model Y are binary-valued, the MLE method needs to estimate an object label set $\mathcal{Y}$ for each of the $2^{|X|}$ different source label sets in X. This means that it is necessary to at least select $2^{|X|}$ instances to cover all possible label sets in X. But at the practical level, it is too expensive and nearly impossible to select a sufficient number of instances for every perspective and ask workers to annotate them.

2.2.2 Optimum Transformation-matrix Estimation (*OTE*)

To overcome the shortage of the *MLE* method mentioned in Section 2.2.1, we propose a more robust method. In linear algebra, the problem of learning a mapping $2^X \to 2^Y$ can be solved by constructing a linear transformation mapping $f : \{0,1\}^{|X|} \to \{0,1\}^{|Y|}$:

$$\vec{y} = f\left(\vec{x}\right) = \vec{x}\mathbf{A}, \tag{2}$$

where $\mathbf{A}$ is a $|X| \times |Y|$ transformation matrix of mapping f. Establishing the optimal mapping f is then equivalent to minimizing the sum of the distances between the two vectors of all annotated instances:

$$\arg\min_{\mathbf{A}} \left\{ \sum_{i\in I} \sum_{k\in\mathcal{K}_i} \mathrm{dis}\left(\vec{x}_i\mathbf{A}, \vec{y}_{ki}\right) \right\},$$

where $\mathrm{dis}\left(\cdot,\cdot\right)$ denotes the distance between two vectors, and $\vec{x}_i$ (or $\vec{y}_{ki}$) is the corresponding binary vector: if an element's corresponding label exists in $\mathcal{X}_i$ (or $\mathcal{Y}_i^k$), its value is 1, and 0 otherwise.

Here we give a simple method to approximately calculate $\mathbf{A}$. Let $\mathbf{A}_i^k$ $(k \in \mathcal{K}_i, i \in I)$ be the transformation matrix, which is defined as:

$$\vec{y}_{ki} = \vec{x}_i\mathbf{A}_i^k,$$

each transformation matrix in $\left\{\mathbf{A}_i^k : k \in \mathcal{K}_i, i \in I\right\}$ is the single unique solution of the system of linear equations if $|X| = |Y|$, or the optimal solution of the underdetermined or overdetermined system if $|X| > |Y|$ or $|X| < |Y|$. And then $\mathbf{A}$ can be estimated as the average of $\left\{\mathbf{A}_i^k : k \in \mathcal{K}_i, i \in I\right\}$:

$$\mathbf{A} = \frac{\sum_{i\in I} \sum_{k\in\mathcal{K}_i} \mathbf{A}_i^k}{\sum_{i\in I} |\mathcal{K}_i|}. \tag{3}$$

Because the result of the object vector $\vec{y}$ calculated using Equation (2) is not necessarily a binary vector, we have to determine a threshold (normally being 0.5) so that an element's value is transformed to 1 if it is above the threshold, and 0 otherwise.

Similar to Equation (1), Equation (3) also treats assignments given by different workers equally. Therefore, we propose giving more weight to the annotations given by high-performance workers and less weight to those given by low-performance workers. We introduce a temporary vector $\vec{z}_i$ $(i \in I)$, whose elements' values are the assigning probabilities of their corresponding labels:

$$z_i^\imath = \frac{\sum_{k\in\mathcal{K}_i} y_{ki}^\imath}{|\mathcal{K}_i|},$$

where $z_i^\imath$ (or $y_{ki}^\imath$) $(\imath \in Y)$ is the value of element $\imath$ in $\vec{z}_i$ (or $\vec{y}_{ki}$). (Note that $\vec{z}_i$ can also be estimated using the method in Duan *et al.* [12] to be a binary vector.) Let $w_k \in [0,1]$ $(k \in K)$ denote the *individual contribution-rate* of worker k, which is defined as

$$w_k = \frac{\sum_{i\in\mathcal{I}_k} \mathrm{sim}\left(\vec{y}_{ki}, \vec{z}_i\right)}{|\mathcal{I}_k|},$$

where $\mathcal{I}_k \subseteq I$ $(k \in K)$ is the set of instances annotated by worker k and $\mathrm{sim}\left(\cdot,\cdot\right)$ is the similarity between two vectors. A simple similarity metric can be defined as

$$\mathrm{sim}\left(\vec{y}_{ki}, \vec{z}_i\right) = \frac{\sum_{\imath\in Y} \left(1 - |y_{ki}^\imath - z_i^\imath|\right)}{|Y|},$$

since $y_{ki}^\imath \in \{0,1\}$ and $z_i^\imath \in [0,1]$. We can also employ other metrics such as *cosine coefficient*, *correlation coefficient*, etc. The *individual contribution-rates* can be viewed as the probability that worker k assigns the correct label set to an instance. After incorporating the *individual contribution-rates*, Equation (3) is transformed to

$$\mathbf{A} = \frac{\sum_{i\in I} \sum_{k\in\mathcal{K}_i} w_k\mathbf{A}_i^k}{\sum_{i\in I} \sum_{k\in\mathcal{K}_i} w_k}.$$

3 Conclusion

In multi-label domains such as affect analysis, different models are employed on the basis of what information is considered important for the goals being pursued, researchers' personal preferences, or just inconsistency in terminology usage. We focused on leveraging crowdsourcing to making different models interoperable. This can benefit in a few ways. First, an application can have the advantage of using a classifier that has already been vetted, and one that may also come with an annotated corpus, which can be used to train other classifiers or just argument the original dataset if the usage restrictions on the corpus allow for that. Finally, it makes interrelated classifiers and applications comparable. We proposed two algorithms, *MLE* and *OTE*. The *MLE* algorithm has a high requirement on the coverage on source model, while the *OTE* algorithm is more robust in solving the data sparsity problem. In order to test the efficiency of these algorithms, in future work we will concentrate on conducting experiments on real crowdsourcing datasets to see whether prospective results can be obtained.

参考文献

[1] Schapire, R. E., & Singer, Y. (2000). BoosTexter: A boosting-based system for text categorization. Machine learning, 39(2-3), 135-168.

[2] Ueda, N., & Saito, K. (2002). Parametric mixture models for multi-labeled text. In Advances in neural information processing systems (pp. 721-728).

[3] Ptaszynski, M., Dokoshi, H., Oyama, S., Rzepka, R., Kurihara, M., Araki, K., & Momouchi, Y. (2013). Affect analysis in context of characters in narratives. Expert Systems With Applications, 40(1), 168-176.

[4] Trohidis, K., Tsoumakas, G., Kalliris, G., & Vlahavas, I. P. (2008, September). Multi-Label Classification of Music into Emotions. In ISMIR (Vol. 8, pp. 325-330).

[5] Yang, S., Kim, S. K., & Ro, Y. M. (2007). Semantic home photo categorization. Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on, 17(3), 324-335.

[6] Qi, G. J., Hua, X. S., Rui, Y., Tang, J., Mei, T., & Zhang, H. J. (2007, September). Correlative multi-label video annotation. In Proceedings of the 15th international conference on Multimedia (pp. 17-26). ACM.

[7] Tsoumakas, G., Katakis, I., & Vlahavas, I. (2010). Mining multi-label data. In Data mining and knowledge discovery handbook (pp. 667-685). Springer US.

[8] Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. Cognition & Emotion, 6(3-4), 169-200.

[9] Tellegen, A., Watson, D., & Clark, L. A. (1999). On the dimensional and hierarchical structure of affect. Psychological Science, 10(4), 297-303.

[10] Kim, S., Li, F., Lebanon, G., & Essa, I. (2012). Beyond sentiment: The manifold of human emotions. arXiv preprint arXiv:1202.1568.

[11] Strapparava, C., & Valitutti, A. (2004, May). WordNet Affect: an Affective Extension of WordNet. In LREC (Vol. 4, pp. 1083-1086).

[12] Duan, L., Oyama, S., Sato, H., & Kurihara, M. (2014). Separate or joint? Estimation of multiple labels from crowdsourced annotations. Expert Systems with Applications, 41(13), 5723-5732.

[13] Nakamura, A. (1993). Kanjo hyogen jiten [Dictionary of Emotive Expressions] (in Japanese). Tokyodo.

[14] Calvo, R. A., & D'Mello, S. (2010). Affect detection: An interdisciplinary review of models, methods, and their applications. Affective Computing, IEEE Transactions on, 1(1), 18-37.

[15] Schröder, M. (2004). Speech and Emotion Research: An overview of research frameworks and a dimensional approach to emotional speech synthesis. Institut für Phonetik, Universität des Saarlandes.

管楽器初心者を対象とした音高正誤判定能力向上のための学習支援システム

池田絵里 * 竹川佳成 † 平田圭二 ‡
(公立はこだて未来大学)§

概 要

管楽器演奏において，正しい音高での演奏は重要な能力であるが，予め調律されているピアノ等の楽器とは異なり，自らの音感やチューナーを用いて音高を調整しなければならない事や，正しい音高を判断するための耳の良さを鍛えるのに時間を要するといった理由から，演奏時に高精度な音高認識能力が求められる．そこで, 本研究では管楽器初心者を対象とした音高正誤判定能力向上のための学習支援システムの構築を目的とする．

1 はじめに

管楽器演奏において，正しい音高で演奏する事は重要であるが，自らの音感やチューナーを用いて音高を調整しなければならない事や，正しい音高を判断するための耳の良さを鍛えるのに時間を要するといった理由から，その能力の獲得は難しい．特に，吹奏楽やオーケストラにおいては純正律という和音の響きを重視した音高の取り方が用いられる事が多いため，シビアな音高正誤判定能力が求められている．例えば，和音は基本的には低音の方から根音・第 3 音・第 5 音といった 3 つの音で構成されるが，純正律を用いてより奇麗な響きを得ようとした場合には，第 3 音の音高を低めに取った方が良いとされる場合がある．一般的な練習方法としては，合奏時の基礎練習として和音練習を行う事が挙げられる．しかし，合奏の大人数の場では自分の出している音程が適切かどうかを判別しにくいといった問題点が挙げられる．また，1 人で和音を演奏する事は難しく，和音の練習を行うためには最低でも 3 名で練習を行わなければならない．さらに，カラオケ等歌唱学習においては，ガイドメロディによる聴覚的な提示や，発音中の音高の視覚的な提示を利用する事で，学習者は正しい音高で演奏できているかどうかリアルタイムに確認し，補正できる．しかし，これらの学習支援システムは，ガイドを提供するだけで，ガイドからの離脱には考慮していない．したがって，ガイドに依存しがちになったり，自分はどこが間違えやすく，それを回避するためにどこに気を付ければ良いかというメタな認知能力が養われない．ガイドだけでなく，ガイドからの離脱を考慮する事で，目の前にある課題曲をガイド無しで正しい音高で演奏出来るようになるだけでなく，新たな楽曲にも対応できる応用力が養われる．

そこで，本研究では管楽器における音高正誤判定能力の向上を考慮した学習支援システムの設計と実装を目的とする．

提案システムは視覚的及び聴覚的な演奏補助情報を提示することで，学習者は正しい音高で演奏できているか確認できる．また，管楽器の学習における特性を活用した演奏補助情報からの離脱方法を提案する．さらに，音高正誤判定能力を高めるために，自身の過去の演奏を聴取した時の正誤判定テストを行い，このテストの結果を補助度合いにフィードバックする機能を提供する．

2 関連研究

近年，歌唱力を向上させるために，自分の歌声の音高を軌跡として可視化し，歌唱への理解を支援する「MiruSinger[1]」というシステムが提案されている．マイクからリアルタイムで歌唱したものを取得し，歌い方に誤りがあった場合に瞬時にその部分を判定する事ができる事や，手本の楽曲と自分の歌声との差異等を明確にする事ができるため，練習に反映させやすいとされる．さらに，MiruSinger の他にもいくつかの歌唱力学習支援システム [2,3,4] が提案されている．これらの研究においても，学習者の歌声を可視化及び録音・再生する事で自分の歌声と手本の歌声を比較し，学習者の上達につなげていくという目的がある．しかし，これらのシステムでは手本からの離脱は考慮されておらず，システムを外した場合に急に自信が無くなり，上手く歌う事が出来なくなってしまう事が懸念される．一方で，補助からの離脱を考慮した学習支援システム [5,6] が提案されている．これらの研究では既存の学習システムを分析し，離脱方法やタイミングに関して検討し，その有用性を検証している．具体的には，補助にどれだけ頼ったかを明確にして離脱を促すアプローチや，視覚的情報を段階的に減らして行くアプローチが挙げられたが，本研究では視覚的なものに加え，聴覚的アプローチを段階的に減らして行く事によるシステムからの離脱について考慮していきたいと考えている．加えて，歌唱の際，提示音の違いのよってピッチ知覚に差異が生じる場合があるという研究 [7] がある．これらの研究から，手本として提示する音の種類によっても学習の効率に影響する可能性があることが示唆される．このため，手本として提示する音の種類を考慮する必要がある．

3 設計

本研究では，音高正誤判定能力向上のための学習支援システムを構築する．管楽器初心者を対象とし，学習者

* b1011234@fun.ac.jp
† yoshi@fun.ac.jp
‡ hirata@fun.ac.jp
§ 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2

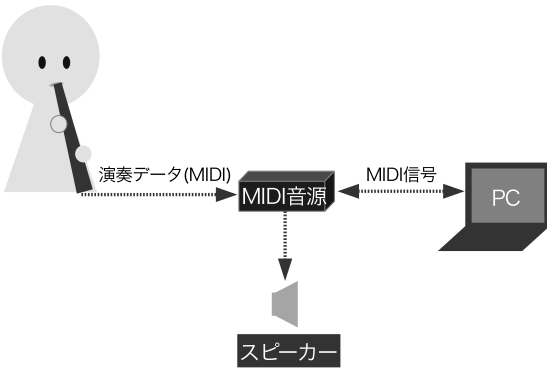


Fig. 1 システム構成

自身が自身の耳で正誤を判定し，適切な音高で演奏できることを目指す．この目的を満たすために，本システムの設計方針として下記の 3 点を挙げる．

(1) 実際の楽器演奏に出来るだけ近い形態を取る．
(2) 補助からの離脱を考慮する．
(3) 正誤判定能力を育成する．

(1) については，ウインドシンセサイザで練習を行った後に，実際の楽器で練習の成果を活かせる事が望ましいため，ウインドシンセサイザの設定を可能な限り実際の楽器の吹奏感に近づけておく必要がある．
(2) については，最終的に，視覚・聴覚的補助を使わずとも適切な音高の音を演奏できるようになる事が望ましいため，学習者の習熟度によって段階的に補助を減らしていき，自然と補助からの離脱を行う事ができるような工夫が必要である．
(3) については，管楽器の音高の微妙な差異を判断する事は，ピアノ演奏における打鍵ミスのようなものに比べて分かりにくいため，音高の正誤を自ら判定出来る能力を身につける事が重要である．

3.1 システム構成

提案するシステムは図 1 に示すように，ウインドシンセサイザ・MIDI 音源・PC を接続して音高を取得をする．取得した音高を PC のウインドウ上で可視化することで，吹き込んだ音の音高が認識可能になる．また，管楽器は，一般的に，マウスピースの噛み具合や息の吹き込み量によって，ピッチベンドや音量を制御する．ウインドシンセサイザもこれらの制御が可能で，実際の管楽器と同じ感度に設定する．加えて，MIDI 音源を用いて音を出している事から，様々な種類の音色にて演奏する事が可能である．

3.2 演奏音の制御

一般的に管楽器では，楽器に息を吹き込む量によって演奏音の音量を制御する．また, 管楽器上のキーを押し下すことにより音高が変化する．さらに，マウスピースの噛み具合によって，50〜100 セント程度のピッチ変更が可能である．設計方針 (1) で述べたように，提案システムを利用して学習者が演奏音を制御する場合においても，既存の管楽器と同じような制御方法を再現すべきである．したがって，提案システムは音高・ピッチベンド・音量の制御機能を持つ．

音高制御
実際の楽器演奏において，管楽器上のキーを押したり離したりする事により，音高を変化させる事が可能である．本研究で用いているウインドシンセサイザにおいても，キーの押し離しの動作により，音高を変化させる事が可能となっている．なお，本研究で用いるウインドシンセサイザは，実際の楽器よりも 2 オクターブ程度広域の音域を演奏する事が可能である．

ピッチベンド制御
実際の楽器演奏において，マウスピースの噛み具合によって 50〜100 セント程度のピッチ変更を行う事が可能である．そこで，本実験で用いるウインドシンセサイザにおいても，マウスピースの噛み具合によって実際の楽器と同程度のピッチ変更が可能なよう設定を行った．このため，ウインドシンセサイザにおいても微妙な音高調節が可能となる．加えて，後述する音の可視化部分とも連動しており，息を吹き込んでから噛み具合を変更して音高を変化させた場合，ピッチベンド部分の音高も可視化される．

音量制御
実際の楽器演奏において，吹き込む息の量によって音量を調節する事が可能である．息の量が少なければ小さな音，多ければ大きな音となる．本実験で用いるウインドシンセサイザにおいても，ある程度同様の音量調節が可能となっている．

3.2.1 補助機能

学習者が正しい音高で吹奏できるよう，視覚的及び聴覚的補助機能を提案する．視覚的補助として，学習者が演奏した音の音高を提示する．音を可視化する事により，学習者自身が正しい音高で演奏出来たのか，もしくはどの程度ずれた音高で演奏したのかを判断する基準となる．聴覚的補助としては，ガイド音提示を行う．演奏すべき音高の音を提示し，それに合わせるように演奏する事で学習者がより正しい音高で演奏できるようにする．

3.2.2 離脱機能

学習者が補助を利用せず，正しい音高で吹奏でき，かつ，正確に正誤を判定できるように，補助からの離脱機能を提案する．離脱手順のイメージを図 3 に示す．例え

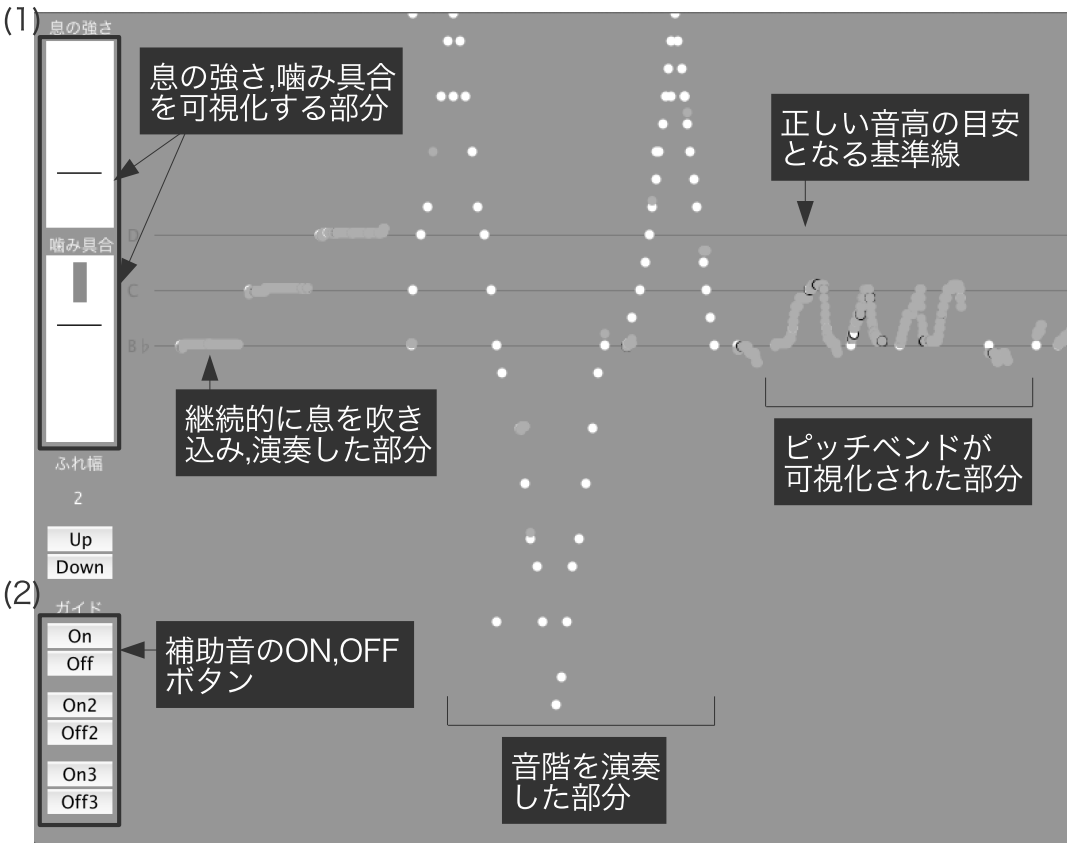


Fig. 2 プロトタイプシステムのスナップショット

ば，学習者の練習履歴をシステム上で記録し，正しく演奏されるようになった部分に関しては，音量を小さくしていく，提示音のオクターブ違いの音を出す等，段階的に補助を減らして行く．

3.2.3 確認テストの導入

練習後に確認テストを行う事で習熟度の確認を行う．方法としては，学習者が練習中に演奏した音を記録し，練習後に手本の音と聴き比べを行う事を想定している．これにより，演奏していない状態における音高正誤判定能力を確認できる．この結果をもとに，次の日以降の補助度合いを変化させる．

4 実装

4 章で述べた学習支援システムのプロトタイプを実装した．PC 上での動作を想定とし，Processing を用いてシステムを実装した．また，ウインドシンセサイザは YAMAHA-WX5 を使用し，MIDI 音源には Roland SD-50 を用いた．

提案するプロトタイプシステムのスクリーンショットを図 2 に示す．図 2 では，学習者は和音 (B5，D6，F6) の

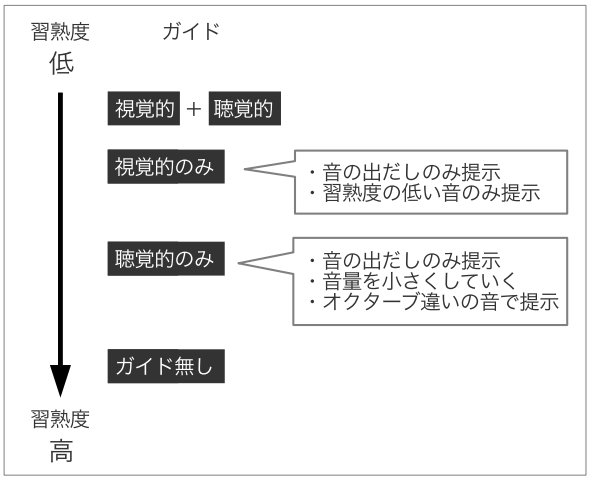


Fig. 3 離脱手順

上から 2 つ目の音 (D6) を練習している．図 2 の中の (1) に示すように，息の強さやマウスピースの噛み具合をレベルメータを使って視覚的に提示する．また，(2) に示

すように，補助音の有無をアプリケーション上のボタンを押す事で選択できる．三和音であるため，各和音を構成する音の補助音を選択できる．

5 まとめ

本研究では，管楽器初心者を対象とした音高正誤判定能力向上のための学習支援システムを構築した．提案システムは，ウインドシンセサイザという電子楽器と PC 上のシステムを用いて，視覚的及び聴覚的補助を用いて正しい音高での演奏を練習するシステムである．また，習熟度が上がった部分から随時段階的に補助の量を減らし，最終的には補助からの離脱も考慮する手法を提案した．

今後の課題としては，システムのプロトタイプを完成させ，評価実験を行いシステムの有用性を検証する事や，機能の検討を図っていきたい．

参考文献

[1] 中野倫靖, 後藤真孝, 平賀譲,“MiruSinger:歌を「歌って/聴いて/描いて」見る歌唱力向上支援インターフェース”, 情報処理学会 インタラクション 2007 論文集 (インタラクティブ発表), pp195-196, 2007.

[2] 中野倫靖, 後藤真孝, 平賀譲,“楽譜情報を用いない歌唱力自動評価手法”, 情報処理学会 インタラクション 2007 論文集 (インタラクティブ発表), pp227-237, 2007.

[3] 羽賀翼, 香山瑞恵, 伊藤一典, 池田京子, 橋本昌巳, 大谷真, 山下泰樹, 浅沼和志“「声の見える化」による歌唱学習支援システムの開発－録音・再生機能の概要－”, 教育システム情報学会第 38 回全国大会, pp143-144, 2013.

[4] 羽賀翼, 香山瑞恵, 伊藤一典, 池田京子, 橋本昌巳, 大谷真, 山下泰樹, 浅沼和志“歌声に含まれる音響特徴量の可視化に基づく歌唱指導支援システムの設計”, 教育システム情報学会第 38 回全国大会, pp21-22, 2013.

[5] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦,“システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装”, コンピュータソフトウェア (日本ソフトウェア科学会論文誌), Vol.30,No.4, pp51-60, 2013.

[6] 野波淳里, 竹川佳成,“臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの提案”, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-EC-32,No,16, pp1-8, 2014.

[7] 新山王政和,“異なる提示音の間で出現するピッチ知覚の相違に関する実験的研究－フラットシンギングとの関係に着目して－”, 音楽教育学. 2008, 38(1), pp1-9, 2008.

情報処理北海道シンポジウム 2014

γ ダイバージェンスを用いた非負値行列因子分解法

町田浩平 * 竹之内高志 †
(公立はこだて未来大学大学院)‡

1 はじめに

世の中には様々な種類のデータが存在する．例えば，パワースペクトル，画像のピクセル値などは非負値を取る行列型データとして表現することができる．このような行列型データを解析して特徴抽出する技術が，テキストマイニング，音響信号処理，画像処理などに応用されている．例えば画像処理では，複数の画像から特徴抽出を行う場合，各々の画像を列ベクトルとして結合して行列型データとして扱う．1 メガピクセルの画像をベクトルとして表現した場合，100 万次元ベクトルとなるため，画像が m 枚ある場合には，$1000000 \times m$ の巨大な非負値行列を処理することになる．このような，非負値の行列型データの解析手法として，非負値行列因子分解（Non-negative Matrix Factorization，NMF）が提案された [8]．NMF は，非負値行列を二つの低ランクの非負値行列に分解する多変量解析の手法である．低ランクの非負値行列に分解することにより，観測したデータより少量のパラメータで，データの特徴を表現することができる．また非負値制約を課すことによって，二つの非負値行列はスパースになり，人間が解釈可能な特徴が抽出されやすいという性質がある．従来の NMF では，コスト関数としてユークリッド距離や KL ダイバージェンスといった距離尺度が用いてきた．しかし，しばしば観測データは非観測なノイズを含んでいるため，これらの距離尺度を用いた NMF ではノイズの影響を強く受ける場合がある．このようなノイズに対処するために，一般化ダイバージェンスの一つであり，ノイズに対して頑健である β ダイバージェンスをコスト関数として用いた NMF が提案されている．本稿では，ノイズに対してより頑健な性質を持つことで知られる γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムについて検討する．

2 章で NMF の定式化について述べ，3 章で一般化ダイバージェンスの一例である β ダイバージェンスと γ ダイバージェンスについて解説する．4 章において，γ ダイバージェンスをコスト関数とした NMF アルゴリズムを 2 種類の定式化で導出する．5 章で，数値実験により導出したアルゴリズムの性質・性能を検証し，考察する．

2 設定

NMF では，解析対象のデータ行列 $V \in \mathrm{R}^{n\times m}$ を二つの非負値行列 $W \in \mathrm{R}^{n\times r}$，$H \in \mathrm{R}^{r\times m}$ の行列積を用いて近似する．W，H は以下の最適化問題を解くことで求めることができる．

$$\begin{aligned} &\arg\min_{W,H} \quad D(V||WH) \\ &\text{subject to} \quad W_{ij} \geq 0, H_{jk} \geq 0 \\ &(i = 1,\ldots,n, j = 1,\ldots,r, k = 1,\ldots,m) \end{aligned} \tag{1}$$

ただし，行列 M に対し，M_{ij} を M の (i,j) 要素とする．W の各列は V を表現するための r 個の基底を表し，H の各行は W の r 個の基底に対応する重みを表す．基底の数 r は $nm > r(n+m)$ を満たす自然数であるとき，V の持つ特徴を低ランクの W に縮約することができる．$D(\cdot||\cdot)$ は，二つの確率分布間，もしくは二つの行列間の隔たりを測るコスト関数である．従来，NMF の文脈では，二つの行列間の近似度を測るために，以下に示すユークリッド距離 D_{EU}，KL ダイバージェンス D_{KL}，板倉斉藤距離 D_{IS} といった距離尺度が用いられてきた [4, 9, 10, 11]．

$$D_{EU}(A||B) = \sum_{i,t}(A_{it} - B_{it})^2. \tag{2}$$

$$D_{KL}(A||B) = \sum_{i,t}(A_{it}\log\frac{A_{it}}{B_{it}} - A_{it} + B_{it}). \tag{3}$$

$$D_{IS}(A||B) = \sum_{i,t}(\frac{A_{it}}{B_{it}} - \log\frac{A_{it}}{B_{it}} - 1). \tag{4}$$

ただし，$\sum_{it}$ は行列の全要素に関する和を表す．KL ダイバージェンスや板倉斉藤距離は確率分布間の隔たりを測るために標準的に用いられる距離尺度である．適用する距離尺度に応じて異なる最適化問題を解くことになるため，距離尺度ごとに抽出されるパターンや特徴が異なることに注意する．一般に，観測データにはなんらかの非観測なノイズが加わっており，ノイズの種類を仮定した上で推定を行う．例えば，ユークリッド距離を適用した場合は，観測データに正規分布に従うノイズが加わっていると解釈することができる．データに加わるノイズの分布型は未知であるが，何らかの方法でノイズに適した距離尺度を用いることができれば，より適切な特徴抽出を行うことが可能となる．従来提案されている NMF アルゴリズムは，行列間の隔たりを上述の距離尺度で直接測り，最小化することで W，H を求めている．その一方で，V と WH の隔たりを統計モデルを用いて表現・推定することで W，H を求めることもできる [4]．本稿では，これらの二つの異なる定式化に基づき，これらの γ ダイバージェンスを用いた 2 種類の NMF のアルゴリズムを導出し，その性質，性能を検証する．

*g2114029@fun.ac.jp
†ttakashi@fun.ac.jp
函館市亀田中野町 116 番地 2

3 一般化ダイバージェンス

二つの行列 A，B 間の β ダイバージェンス D_β，そして γ ダイバージェンス D_γ は以下のように定義される [1, 3, 6].

$$D_\beta(A||B) = \frac{1}{\beta(\beta-1)}\sum_{i,t}(A_{it}^\beta + (\beta-1)B_{it}^\beta - \beta A_{it}B_{it}^{\beta-1}) \tag{5}$$

$$D_\gamma(A||B) = \frac{1}{\gamma(\gamma+1)}\log\frac{(\sum_{i,t}A_{it}^{\gamma+1})(\sum_{i,t}(B_{it}^{\gamma+1})^\gamma)}{(\sum_{i,t}(A_{it}B_{it}^\gamma))^{\gamma+1}} \tag{6}$$

β，γ はそれぞれダイバージェンスを規定するパラメータである．各ダイバージェンスは非負値を取り，$A=B$ のときのみ 0 となる．β ダイバージェンスは，$\beta\to 1$ の極限でユークリッド距離と等価となり，$\beta\to 0$ の極限で KL ダイバージェンスと等価となる [1, 2] ．また，β ダイバージェンスは，パラメータ β を大きく設定するとノイズに対する頑健性が向上する一方で，学習効率が低下する．つまり，パラメータ β は頑健性と学習効率を制御しており，両者はトレードオフの関係にある．これまでの研究では，コスト関数として β ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムが提案されている [5]．γ ダイバージェンスは，$\gamma\to 0$ の極限で正規化 KL ダイバージェンスに収束する [3].

$$\lim_{\gamma\to 0} D_\gamma(A||B) = \sum_{i,t}(\tilde{A}_{it}\log\frac{\tilde{A}_{it}}{\tilde{B}_{it}}) \tag{7}$$

ただし行列 M に対して行列 $\tilde{M}$ を以下で定義する．

$$\tilde{M}_{it} = \frac{M_{it}}{\sum_{kl}M_{kl}} \tag{8}$$

(8) の $\tilde{M}$ は全要素の総和を取ると 1 となる．また，γ ダイバージェンスは以下の性質を持つ [1].

$$D_\gamma(c_1A||c_2B) = D_\gamma(A||B) \tag{9}$$

c_1，c_2 は正の任意定数である．この性質は，スケール不変性と呼ばれ，c_1，c_2 はどのような値であっても γ ダイバージェンスの値は変わらない．さらに，γ ダイバージェンスはデータに加わっているノイズを自動的に無視する性質がある [6]．本稿では，NMF の頑健性を向上させることを目的として，γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムを導出し，その性質について検証する．

4 アルゴリズム

最適化問題 (1) を解くために，Lee らはユークリッド距離と KL ダイバージェンスを適用した場合に対して，Multiplicative update rules を提案した [9]．このアルゴリズムの特徴は，正の値を取るパラメータ W，H の積の形で更新式が表されることによって，行列の非負性が保たれることにある．本章では，γ ダイバージェンスをコスト関数として適用した場合に導かれる二種類の Multiplicative update rules の導出を行う．

4.1 行列間の隔たりに基づく方法

本章では，V と WH の隔たりを直接 γ ダイバージェンスを用いて測ることを考える．γ ダイバージェンスを用いた NMF のコスト関数は以下で定義される．

$$D_\gamma(V||WH) = \frac{1}{\gamma(\gamma+1)}\log\frac{(\sum_{i,t}V_{it}^{\gamma+1})(\sum_{i,t}((WH)_{it}^{\gamma+1})^\gamma)}{(\sum_{i,t}(V_{it}(WH)_{it}^\gamma))^{\gamma+1}} \tag{10}$$

(10) を最小化する W，H を求めるために勾配法を用いる．W_{kl} に対する (10) 式の勾配は

$$\frac{\partial}{\partial W_{kl}}D_\gamma(V||WH) = \frac{\sum_t(WH)_{kt}^\gamma H_{lt}}{\sum_{i,t}(WH)_{it}^{\gamma+1}} - \frac{\sum_t V_{kt}(WH)_{kt}^{\gamma-1}H_{lt}}{\sum_{i,t}V_{it}(WH)_{it}^\gamma} \tag{11}$$

となり，勾配法に基づいた W_{kl} の更新式は，

$$W_{kl} \leftarrow W_{kl} - \eta_{kl}\left[\frac{\sum_t(WH)_{kt}^\gamma H_{lt}}{\sum_{i,t}(WH)_{it}^{\gamma+1}} - \frac{\sum_t V_{kt}(WH)_{kt}^{\gamma-1}H_{lt}}{\sum_{i,t}V_{it}(WH)_{it}^\gamma}\right] \tag{12}$$

となる．η_{kl} は正の値を取る学習係数である．学習係数は任意の値に設定できるため，

$$\eta_{kl} = W_{kl}\frac{\sum_{i,t}(WH)_{it}^{\gamma+1}}{\sum_t(WH)_{kt}^\gamma H_{lt}} \tag{13}$$

と設定すると，更新式 (12) は以下のように書き換えることができる．

$$W_{kl} \leftarrow W_{kl}\frac{\sum_{i,t}(WH)_{it}^{\gamma+1}\sum_t V_{kt}(WH)_{kt}^{\gamma-1}H_{lt}}{\sum_{i,t}V_{it}(WH)_{it}^\gamma\sum_t(WH)_{kt}^\gamma H_{lt}} \tag{14}$$

W，H は非負値であるため，更新式 (14) により W の非負性が保たれる．同様に H_{pq} の更新式は，

$$H_{pq} \leftarrow H_{pq}\frac{\sum_{i,t}(WH)_{it}^{\gamma+1}\sum_i V_{iq}(WH)_{iq}^{\gamma-1}W_{ip}}{\sum_{i,t}V_{it}(WH)_{it}^\gamma\sum_i(WH)_{iq}^\gamma W_{ip}} \tag{15}$$

となる．まとめると，γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムは以下のように書くことができる．

1. W，H の要素を適当な方法で初期化する．
2. 収束するまで (15) と (14) を交互に繰り返す．

4.2 統計モデルに基づく方法

4.1 では，V と WH の隔たりを γ ダイバージェンスを用いて直接測ることで NMF のアルゴリズムを導出した．本章では，V と WH の隔たりを統計モデルを用いて表現し，データ行列から定義される経験分布と統計モデル間の距離尺度として γ ダイバージェンスを用いることで NMF のアルゴリズムを導出する．

行列 V の各要素を独立かつ同一の分布 (i.i.d) から得られたサンプルとみなし，以下のような統計モデルを考える．

$$q(V_{it};(WH)_{it},\sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}\exp\left(-\frac{(V_{it}-(WH)_{it})^2}{2\sigma^2}\right) \tag{16}$$

データ行列 V から定義される経験分布 $\tilde{p}$ と統計モデル q 間の γ ダイバージェンスは,

$$D_\gamma(\tilde{p}||q) = C - \frac{\gamma-1}{2(\gamma+1)}\log(\sigma^2) - \frac{1}{\gamma}\log\left(\sum_{i,t}\exp\left(\frac{-\gamma\delta_{it}^2}{2\sigma^2}\right)\right) \tag{17}$$

となる．ただし，C は W，H に依存しない定数であり，$\delta_{it} = V_{it} - (WH)_{it}$ とする．(17) を W，H に関して最小化することで，アルゴリズムを導出することができる．$\gamma = 0$ としたとき，γ ダイバージェンスは正規化 KL ダイバージェンスと一致するため，コスト関数 (17) の最小化は D_{EU} に基づく通常の NMF アルゴリズムと等価となる．また，統計モデル (16) において，正規分布ではなくポアソン分布を仮定し，KL ダイバージェンスを用いた場合は，D_{KL} を用いた NMF アルゴリズムと等価となる．W の kl 要素である W_{kl} に対する (17) の勾配は,

$$\frac{\partial}{\partial W_{kl}} D_\gamma(\tilde{p}||q) \propto \frac{\sum_t \delta_{kt}\exp(\frac{-\gamma\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})H_{lt}}{\sum_{i,t}\exp(-\frac{-\gamma\delta_{it}^2}{2\sigma^2})} \tag{18}$$

となる．よって，勾配法に基づく更新式は,

$$W_{kl} \leftarrow W_{kl} - \eta_{kl}\frac{\sum_t \delta_{kt}\exp(\frac{-\gamma\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})H_{lt}}{\sum_{i,t}\exp(-\frac{-\gamma\delta_{it}^2}{2\sigma^2})} \tag{19}$$

となる．η_{kl} は正の値を取る学習係数である．学習係数は任意の値に設定できるため,

$$\eta_{kl} = W_{kl}\frac{\sum_{i,t}\exp(-\frac{-\gamma\delta_{it}^2}{2\sigma^2})}{\sum_t \exp(\frac{-\gamma\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})(WH)_{kt}H_{lt}} \tag{20}$$

と設定すると，次の更新式が得られる．

$$W_{kl} \leftarrow W_{kl}\frac{\sum_t V_{kt}\exp(\frac{-\gamma\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})H_{lt}}{\sum_t (WH)_{kt}\exp(\frac{-\gamma\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})H_{lt}} \tag{21}$$

同様に，H_{pq} における更新式は,

$$H_{pq} \leftarrow H_{pq}\frac{\sum_i V_{iq}\exp(\frac{-\gamma\delta_{iq}^2}{2\sigma^2})W_{ip}}{\sum_i (WH)_{iq}\exp(\frac{-\gamma\delta_{iq}^2}{2\sigma^2})W_{ip}} \tag{22}$$

となる．以上をまとめると，γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムは以下のように書くことができる．

1. W，H，σ^2 を適当な方法で初期化する．
2. (22) と (21) に従い W，H を更新する．
3. (17) を最小化する σ^2 を求める．
4. 収束するまで 2. 及び 3. の手順を繰り返し行う．

3 における σ^2 に関する最小化は一次元の最小化であるため，勾配法で比較的簡単に求めることができる．

ここで，γ ダイバージェンスの代わりに，β ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムについて考える．経験分布 $\tilde{p}$ と統計モデル q の間の β ダイバージェンスは,

$$D_\beta(\tilde{p}||q) = C + (2\pi\sigma^2)^{\frac{1-\beta}{2}}\left(\frac{1}{\beta^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{nm(1-\beta)}\sum_{i,t}\exp\left(\frac{(1-\beta)\delta_{it}^2}{2\sigma^2}\right)\right) \tag{23}$$

となる．(23) を γ ダイバージェンスの場合と同様に，勾配法に基づき Multiplicative update rules を導出すると，以下の更新式が得られる．

$$W_{kl} \leftarrow W_{kl}\frac{\sum_t V_{kt}\exp(\frac{1-\beta)\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})H_{lt}}{\sum_t (WH)_{kt}\exp(\frac{(1-\beta)\delta_{kt}^2}{2\sigma^2})H_{lt}} \tag{24}$$

$$H_{pq} \leftarrow H_{pq}\frac{\sum_i V_{iq}\exp(\frac{(1-\beta)\delta_{iq}^2}{2\sigma^2})W_{ip}}{\sum_i (WH)_{iq}\exp(\frac{(1-\beta)\delta_{iq}^2}{2\sigma^2})W_{ip}} \tag{25}$$

(21) と (24)，(22) と (25) はそれぞれ，$\gamma = \beta - 1$ とすると等価な更新式となる．したがって，β ダイバージェンスを用いた統計モデルに基づく NMF アルゴリズムは，σ^2 に関する最適化を除き γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムと等価となる．

5 実験

γ ダイバージェンスの頑健性を検証するために人工データ実験を行う．V の各要素を $[0, 100]$ 上の一様分布で生成し，以下の手続きで実験を行う．

1. 行列 $V \in \mathrm{R}^{30\times 30}$ を生成する．
2. V に外れ値ノイズを加え，V_{noise} とする．
3. V_{noise} を用いて W，H を学習する．ただし，基底数 $r = 15$ とする．
4. 得られた W，H の行列積 WH と V の誤差を平均二乗和誤差 (Mean squared error，MSE) $\frac{1}{nm}D_{EU}(V||WH)$ で測りノイズに対する挙動を検証する．

手順 4 において，V_{noise} ではなく，V との誤差を測っていることに注意する．γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムにおける W，H の各要素の初期値は,

$$\sqrt{\frac{V_{median}}{r}} + \epsilon \tag{26}$$

とする．ただし，V_{median} は V の中央値を表し，ϵ は正規乱数により生成された微小ノイズである (平均 0，分散 0.01)．手順 2 におけるノイズは V の全要素のうち．ランダムに選ばれた 3 %の要素をノイズとし，値を 250 とした．また，上述の実験を 20 回行うことで，手法の平均的な性能を検証した．γ の値は $0 \le \gamma \le \mathrm{e}$ の範囲で探索して各 γ におけるアルゴリズムの頑健性を検証する．

Fig.1 は，4.1 で導出した行列同士の近似度を測るアルゴリズムにより得られた結果であり，Fig.2 は，4.2 で導出した統計モデルを用いたアルゴリズムにより得られた結果を示す．各図において，横軸は γ を表し，縦軸は MSE を表す．Fig.1 における $\gamma = 0$ の点は，行列間の正規化 KL ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムに対

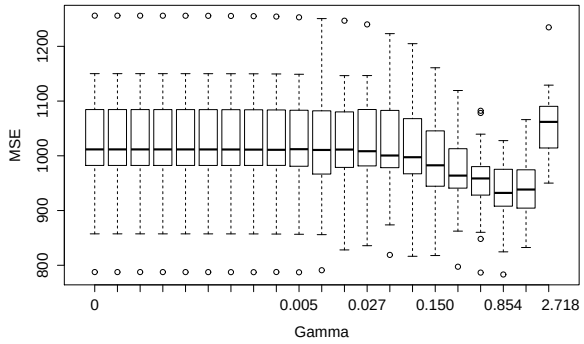


Fig. 1 行列間の隔たりに基づく NMF アルゴリズムによる MSE．横軸は γ，縦軸は MSE を表す．

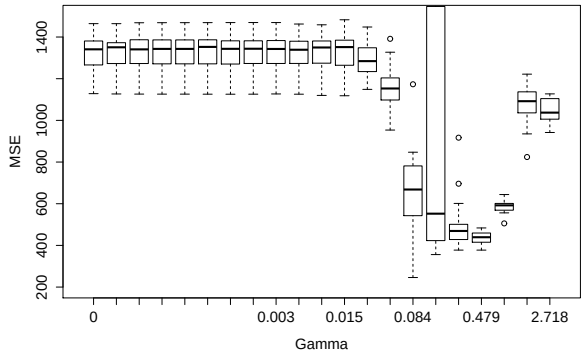


Fig. 2 統計モデルに基づく NMF アルゴリズムによる MSE．横軸は γ，縦軸は MSE を表す．

応し，Fig.2 における $\gamma = 0$ の点は行列間のユークリッド距離 D_{EU} に基づく通常の NMF アルゴリズムに対応することに注意する．Fig.1，Fig.2 共に，$\gamma = 0.1$ 付近で MSE が小さくなり始めているが，MSE が最小となる γ の値は二つのアルゴリズムで異なっている．ユークリッド距離，正規化 KL ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムと比較して，γ ダイバージェンスに基づく NMF アルゴリズムがノイズに対して頑健であることが確認できる．また，統計モデルに基づく NMF は行列間距離に基づく NMF より，小さな MSE を達成しており，適切に γ を選択することができれば，ノイズに対してより頑健となることを示している．

6 まとめ

本稿では，ノイズに対する頑健性に着目して，一般化ダイバージェンスの一つである γ ダイバージェンスをコスト関数として用いた NMF アルゴリズムを，行列間の隔たりに基づく方法と統計モデルに基づく方法の 2 種類の方法で導出を行った．導出した NMF アルゴリズムの頑健性を検証するために実験を行い，外れ値ノイズに対して統計モデルに基づく NMF アルゴリズムが特に頑健であることを確認した．本稿では，観測データの全要素を用いて特徴抽出を行ったが，データに欠測が生じることがしばしばあるため，データの一部を利用して特徴抽出を行うようにアルゴリズムを拡張する必要がある．また，実験では γ の値を網羅的に探索し γ ダイバージェンスを用いた NMF アルゴリズムのノイズに対する頑健性を調べたが，実データに適用する際には，交差検証法などを用いてデータから適切な γ を決定する必要がある．

参考文献

[1] A. Cichocki and S. Amari, “ Families of Alpha-Beta- and Gamma- Divergence: Flexible and Robust Measures of Similarities, ”Entropy, 12(6), pp. 1532-1568, 2010.

[2] A. Cichocki, C. Sergio and S. Amari, ”Generalized Alpha-Beta Divergences and Their Application to Robust Nonnegative Matrix Factorization,” Entropy, 13(1), pp. 134-170, 2011.

[3] O. Dikmen, Z. Yang, and E. Oja, ”Learning the Information Divergence,” arXiv:1406.1385, 2014.

[4] C. Fevotte, N. Bertin and J. Durrieu, “ Nonnegative matrix factorization with the Itakura-Saito divergence. With application to music analysis., ” Neural Computation , 21(3), pp. 793-830, 2009.

[5] C. Fevotte and J. Idier, “ Algorithms for nonnegative matrix factorization with the beta-divergence,” Neural Computation, 23(9), pp.2421-2456, 2010.

[6] H. Fujisawa, S. Eguchi, ”Robust parameter estimation with a small bias against heavy contamination,” Journal of Multivariate Analysis, 99, pp. 2053-2081, 2008.

[7] T. Kanamori and H. Fujisawa, ”Robust Estimation under Heavy Contamination using Enlarged Models,” arXiv:1311.5301, 2013.

[8] D. D. Lee and H. S. Seung, “ Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization, ” Nature, vol.401, pp. 788-791, 1999.

[9] D. D. Lee and H. S. Seung, “ Algorithms for Non-negative Matrix Factorization, ” Neural Information P

[10] S. Lyu and X. Wang, “ On Algorithms for Sparse Multi-factor NMF, ” Neural Information Processing Systems, pp. 602-610, 2013.

[11] K. Takeuchi, K. Ishiguro, A. Kimura and H. Sawada,“ Non-negative Multiple Matrix Factorization, ” International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 1713-1720, 2013.

飛距離を伸ばす投球イメージ トレーニングシステムの研究

塚本 裕樹*
角 薫*
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

幼少時にクラブ活動や部活などで運動をしている人と，していない人を比較すると，運動をしている人ほど生涯を通じて運動を行う機会が多くなることが文部科学省から報告されている．さらに近年は子どもの運動離れが進み，運動記録も年々低下している．この問題は子どもの発育に影響を及ぼす可能性もある．子どもの運動時間の低下は，児童期，青年期への運動やスポーツに親しむ資質や能力の育成の阻害に止まらず，意欲や気力の減弱，対人関係などコミュニケーションをうまく構築できないなど， 心の発達にも重大な影響を及ぼすことにもなりかねない．

これらの背景から本研究では，運動することがより楽しくなり，苦手意識を持っていた子どもが少しでも運動・スポーツに対して興味を抱いてくれるシステムを目指す．そのために，運動が苦手な子どもの運動記録を伸ばすことで，苦手意識を軽減するシステムの開発を行う．２章ではこれまで研究してきた，投球トレーニングシステムについて述べる． 3 章では，改善案のためのアイデアにつながる関連研究について述べる．4 章では，今回行う研究についての提案を述べ，5 章では今回の研究の考察を述べる．

2 投球フォームトレーニング

これまでの研究での関連研究として運動支援ゲームの，九州大学シリアスゲームプロジェクトの「樹立の森リハビリウム」の高齢者運動支援や，Wii や Kinect などのゲームや，全身を使って遊ぶ体感スポーツゲームである「e スポーツグラウンド」があった．近年これらシリアスゲーム[1]やゲーミフィケーション[2]などといわれるゲームを利用することによる学習効果が注目されている．エンタテインメントゲームを含む大衆メディア複雑化によって，人々の認知能力が高められているという指摘[3]や，ゲームを子どもの教育に積極的に利用することの重要性が示される[4]などゲームに対する社会的認識は好転しつつある． 海外ではシリアスゲームを学校教育や職業訓練等へ利用することへの関心が年々高まってきている[5]．最近では身体を動かしてプレイするゲームを体育の授業で利用する取り組みがある．これらは運動に楽しさを付加することで運動に対して良いイメージを付け加えている．

これまでの研究の目的は，システムを使ってトレーニングを行うことで，新体力テストにおけるボール投げの記録をことで伸ばすことであった．平成 25 年 12 月 8 日に函館市立赤川小学校 6 年生 27 人(男子 12 名，女子 15 名) にボール投げの調査実験を行った[10][11]．対象にボール投げを行ってもらい，システムを使用する使用前後で記録に変化が生じるかを調査した．この時の目的は，システムを使ったボール投げのトレーニングによってボール投げの記録が伸びるのかを調査であった．

この時使用したシステムは，画面上に見本と自分の動きが表示され，ユーザは見本の動きに合わせて腕を振り，投球フォームを身につけさせるようにした．腕が下がっている場合は音声と文字で指導を行った．

図 1. 投球フォームトレーニングトレーニングシステム

調査結果から，システムを使うことで記録が伸びる可能性があること．ボール投げの結果が上がっていた子どもの多くは，男子児童，または事前測定で高い記録を出している女子児童であるという傾向があった．

†g2114022@fun.ac.jp
†北海道函館市亀田中野町公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

この時の実際の結果は，事前の測定では，全体の平均記録，22.1m，男子の平均記録 29.4m，女子の平均記録 16.6m であった(表１)．システムの使用後は，全体の平均記録は，23.9m，男子の平均記録 32.8m，女子 17.2m であった(表２)．

表１．全体の記録の変化

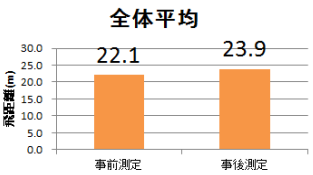
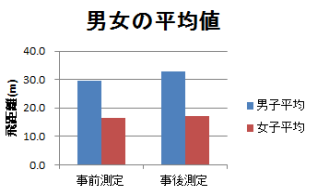


表２．男女平均の変化



函館市立赤川小学校での実験を行った結果から，システム使用前後を比較し記録が伸びたことを確認できた．男子で最大 7m，女子で最大 4m 伸び，記録が伸びている人は 17 名であった．全体の平均記録はシステムの使用前と使用後で 1.8m の伸びを確認した．特に男子の記録が大きく伸びるという結果になった．これは，男子の方が外遊びなどでボールを投げる機会が多く，システムに対応した投げ方に早く慣れることが出来ていたためであると考えられる．また，プロ野球選手が興味を抱きやすい対象であったのではないかと考えられる．

システムを使って記録があまり伸びていなかった子どもの多くは，事前の測定で低い記録を出していた子どもであった．この考察として，運動記録が低い子どもは，正しい投げ方をあまり見る機会がなく，プロ野球選手の投げ方を見ても参考になっていなかったと考えられる．また，このシステムでは自分の動きは鏡のような形で画面上に現れていたために自分では出来ていると錯覚してしまっていた可能性が高いと考える．実験終了後のアンケートを取った際，あまり記録が伸びていなかった子どものコメントに，「野球選手ではなくキャラクターの方が良い」や，選手を知らないなど子どもたちにとってあまり興味のないシステムになってしまっていたからである可能性がある．

この調査実験の考察として，システムを使い，自分のフォームを見ることで記録が伸びた．これは，システムを使うということ自体によって，モチベーションが上がったと考える．その結果として全体として記録を伸ばすことに繋がった．しかし，運動が苦手な子どもの記録を伸ばすことにはつながらなかった．ここから，モチベーションを上げるためにイメージトレーニングによる指導を行い，さらに，自分の動きを客観的に振り返ることが必要であると考える．

3 イメージトレーニングとフィードバック

これまでの研究の改善点として，運動が苦手な子どもの記録を伸ばすために，観察・客観的に見る，さらに子どものモチベーションを上げるためのシステムを作っていく必要がある．今回のシステムでは，イメージトレーニングとフォードバックを使って上記の点を改善していこうと考える．

まず，イメージトレーニングとは，実際に体を動かして練習をするのではなく，頭の中で運動のイメージを描くことによって技能の向上を図る練習方法である．本研究は，イメージトレーニング支援システムを目指す．運動のイメージを伝えるために，映像と言葉を用いてトレーニングを行う．具体的に行うトレーニングは，子どもに『運動が出来る』というイメージと，『運動は楽しいもの』というイメージさせること．また，運動の動きをフィードバックすることによって子どもが構築したイメージに，体の動きを近づけていくことである．

モーションキャプチャシステムを利用した左右反転動作スキル習得支援環境の構築[6]では，左右反転した動作について研究を行っている． 利き手の動きを学び，体験者の左右の差異に合わせて左右反転スキルの習得を効率的に行っていくようになっている.Kinect を用いたダーツにおける練習支援システムの開発[7]は，ダーツを用いた正確投げの学習を行うための研究である.自身のダーツフォームの矯正を促すことを目的としている.本手法は優位性を確認している．

また，スポーツ・運動のスキル向上についてはフィードバックが大切である．動作映像の即時フィードバックを用いた技術指導の効果[8]では，フライングディスクでのサイドアームスローについて，フィードバックシステムが与える影響について調査をしている．映像による即時フィードバックを利用した技術指導の方法に関する検討[9]では，動き回るスケートのようなスポーツに対してもフィードバックが有効であるかについて調査をしている．視覚的フィードバックが運動スキル獲得に与える影響[10]は，バスケットのレイアップ指導についてであった．フィードバックを用いることで問題点が明確になり，運動のスキル向上につながった．これらの研究は有効であるという結果を出している．

本研究の目的は，運動することがより楽しくなり，苦手意識を持っていた子どもが少しでも運動・スポーツに対して興味を抱いてくれるシステムを目指す．そのために，運動が苦手な子どもの運動記録を伸ばすことで，苦手意識を軽減するシステムの開発を行う．調査として，小学校で子どもたちにそのシステムを体験してもらう予定である．

本研究では子どもの運動嫌い克服のための題材として，『ボール投げ』を対象とする.これは，ソフトボール投げの記録は 30 年前から比較すると 5.2m 程度も低下している点，「投げる」という動作が「歩く」「走る」動作に比べて後天的に取得されるスキルのため，指導によってスキルが向上しやすい点から選択した．

これらのシステムを使用し子どもたちに指導を行う．子どもに運動のイメージさせることと，運動時にフィードバックを提示することで運動記録を向上させ，運動に対する苦手意識を取り除いていきたいと考えている．

4 イメージトレーニングシステム

本研究では，子どものボール投げの運動能力向上のためのトレーニングシステム開発を行う．本研究では，子どものボール投げの距離を向上させることに重点を置く．そして，記録が伸びることで運動に対する苦手意識を取り除く．

運動記録を伸ばすための方法として，具体的に観察・実践・フォードバック・トレーニングのシステムの流れを用いてトレーニングを行う．

この時子どもに対してシステムを使って運動指導を行っていく．運動指導の良い点は，運動を行っている選手が気づくことが出来ない場所の指摘や，選手の持っている癖を客観的に指導することが出来る点である．特に，運動指導の場において，選手指導に擬音語・擬態語を用いた「オノマトペ」がしばしば利用される．これは，オノマトペが運動感覚・指導を伝える点において有効であるからである[11] [12].

「映像」と「オノマトペ」を用いた練習は，認知的な観点から練習の効率を上げることが出来ると考えられる．Annett の提唱したモデルでは，人間の運動は，運動を「人間の運動(イメージ)」と「言葉のよる教示」によって理解がなされる．これらは，知覚処理から運動処理へ段階を経て進んでいく．途中で相互に影響を及ぼしながら運動や，発話といった形になる．具体的には，人間は運動を身につける時，運動と言葉によって理解を深めることが理解につながる．よって映像(フィードバック)と，言葉による教示によって理解度が上がると考えられる．

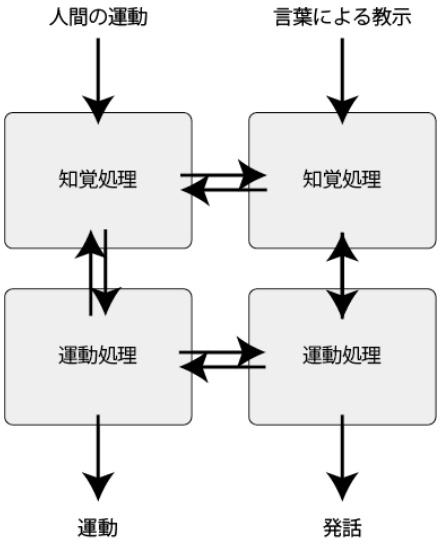


図 2. Annett の提唱したモデル

以上から，オノマトペを使用し，運動感覚を伝達しやすい言葉の選定や，イメージを用いたシステムの構想を行った． 本研究では運動においての「コツ(リズム・タイミング)」を重視した練習を行うことにする．

ここでの「コツ」とは，感覚的なものある運動・モーション・リズム・タイミングのことを指す．これらを『映像』と『オノマトペ』を用いて指導を行う．映像を使用する目的は，自分の動きがどのようなものであるかを示すためと，一般的に正しいと言われている動きを知ってもらう点である．これは，運動が苦手な子どもは，指導時の言葉を聞いても動きと指導内容が連動出来ず理解につながらない．そのため，3D モデルを使い，動きモデルを使用し表示し，その動きに合わせたオノマトペを使用する(図 3).

図 3. システム使用時の VR のイメージ

開発は，Unity と Kinect をメインに用いる．ここにヘッドマウントディスプレーを組み合わせて，仮想世界の

中に入り込めるようにする．Kinect を複数台使用することで視点を変えて，動きを見ることが出来るようにする(図 4)．また，その後，ヘッドマウントディスプレーを使用し，自分の実際の動きを見られるようにする．

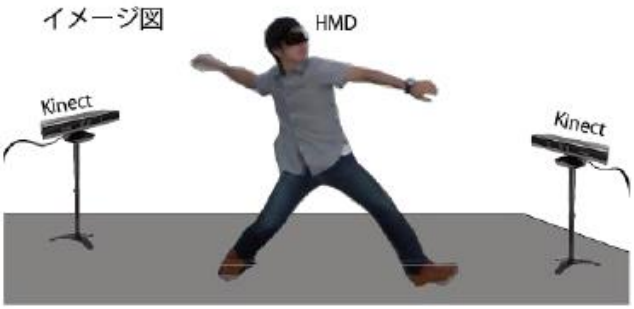


図 4. 全体配置

本システムは，観察・実践・フォードバック・トレーニングの流れでシステムを進めていく(図 5)．フィードバックの後で，再度自分の動きの確認するために実践に戻ることが出来るようにする．

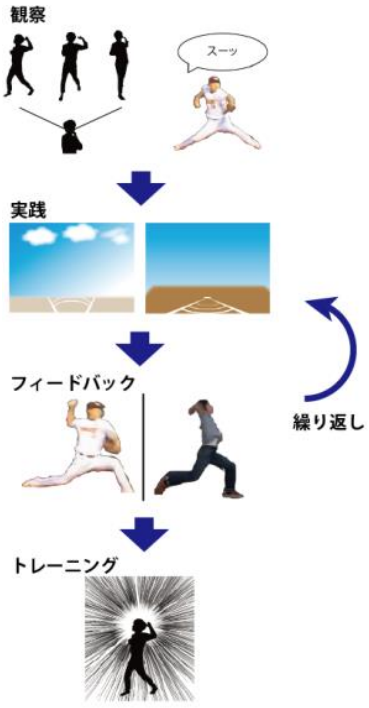


図 5. システムの遷移図

4.1 観察

観察は，見本となる 3D モデルを使って行う．この時，野球経験が 5 年以上のモーションを撮影してモデルとして扱う．体験者は見本を見て観察を行う．ユーザはさまざまな角度から投球フォームを観察してもらう．この時，Unity を使用し，カメラアングルを自由に変化させられるようにする．また，Kinect のジェスチャー認識を使って左右上下にモデルを回せるようにする．これによって，体験者はいつも意識して見ることが出来ていいなかったところを見ることが出来る．また，見ることが出来る状況を作ることで興味を持って見ることにつなげようと考えている．

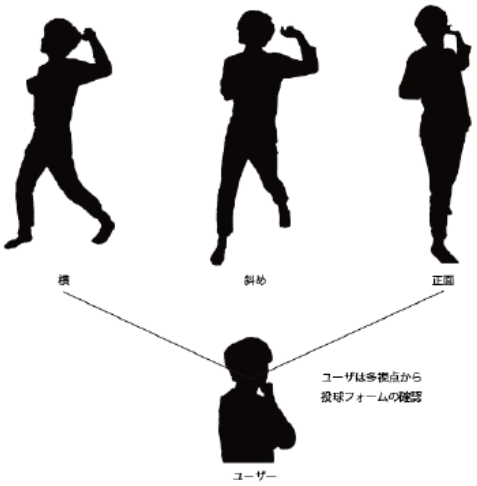


図 6. チェックする項目

この時いくつかオノマトペを表示する．使用するオノマトペは図 4 のように，リズムを伝えるものと，力の入れ具合を表すオノマトペを使用する．これらを使うことで投球のイメージをより伝えやすくする狙いである．

表 3. 使用するオノマトペ一覧

リズムを伝える	力の入れ具合を表す
1・2・3	スー
タン・タ・タン	ダラー
スーッ・グッ・パッ	バッ

映像と言葉を同時に合わせることで図 5 のようなものを作成する．3D モデルを使った映像と，リズム・力の入れ具合を表すオノマトペを合わせることで理解しやすいようにする．

図 7. イメージ図

4.2 実践

実践では，見本で見た動き元にシミュレーションを行ってもらう．なるべく実際に投げている状況に近づけるために HMD と Kinect を使い，学校の運動場や，競技場などの場面にあたかもいるようにイメージさせる．実際の場面に近づけることで意識して実践を行ってもらう．この時，ユーザの動きを撮影し保存する．

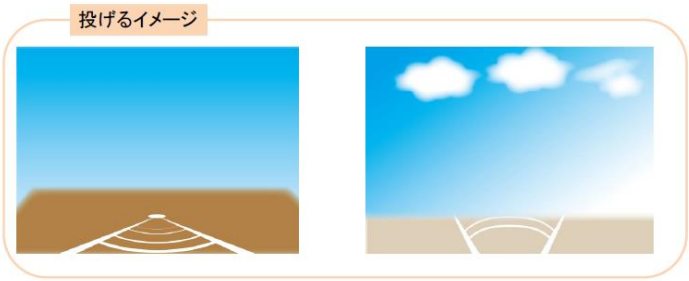


図 8. シミュレーション(運動場)

4.3 フィードバック

フィードバックでは，ユーザの動きと見本の動きを並べて実際に正しい動きが出来ていたかについてフィードバックを行う(図). この時, 体験者と見本を両方配置し，振り返りが行いやすい状況を作る．また，ここでチェックする項目については，リズム良く動けていたか・腕がしっかりとあげることが出来ていたかである(表). この時，音声と，言葉によって指導項目を提示していく．フィードバックを通じて自分の出来ていないところを洗い出し，出来ていないところを意識させる．

図 9. フィードバック画面

表 4．チェックする項目

チェック項目
リズムよく投げることが出来ていたか
力がしっかりと入れることができていたか ・腕がしっかりと上がっているか？(スッー) ・足がしっかり開いているか？(スッー) ・胸を張って投げられているか？(グッ) ・しっかり腕が振れているか？(パッ)

4.4 トレーニング

トレーニングでは，フォードバックまでを行い自分の動きを客観的に見て，自分の動きが意識出来るようになったあとに行う．このトレーニングで行うことは，フィードバックまででユーザが身につけた投球スキルを複数回練習することである．

ここでは，フォームが出来ているという仮定のもと，より強く腕を振ることにつなげるシステムを考えている．そのためのアイデアとして，２つの方法を考えている．1 つ目はマンガのスピード線を使い強く腕が振れているようにイメージさせる．Kinect を使って加速度を取得する．加速度によってスピードが出ているように見せ，腕を強く振る練習をさせる．

図 10. トレーニング(スピード線)

2 つ目は，トレーニングで撮影した映像にエフェクトをかける方法である．これは，腕を振るときの速さや，体の使い方によってシステム内で動画にエフェクトをかける．これによってユーザに投げる楽しさを伝えていこうと考えている．この２つのアイデアについては事前に実験を行う．どちらの方が印象に強く残りやすいか，練習をしたくなるかについてアンケートを行っていく．

5 考察

本研究の目的は，システムを使いボール投げのトレーニングを行うことで運動記録を伸ばすことである．これまでの研究で，子どもたちに自分のフォームを客観的に

見られるシステムを使うことで運動記録が向上することが考えられている．ここから，子どものモチベーションを上げるトレーニングを行っていこうと考える．そのために，イメージトレーニングとフィードバックを使用し自分の動きを確認させ，さらにイメージさせるトレーニングについて構想した．システムを使うトレーニングと，指導者が行う指導と比較する時いくつかのメリットが考えられる．(表 5)

表 5. システムを使うことのメリット

・動きを取得することが可能
・ボール投げ以外で楽しさを付加することが可能
・再確認が行いやすい
・データとして登録しておける
・場所・時間を問わない
・演出によるモチベーション向上

今後は，小学生に対し調査実験を行う．調査実験では，ボール投げのトレーニングによって運動記録が向上したのかについて調査を行う．そのため，小学校に訪問する前に事前測定を行う．その後，小学校に訪問し，トレーニングとボール投げの測定を行う．その後アンケートを実施し，もう一度練習したくなったか・運動に対する苦手意識軽減につながったかについて調査を行う．

この時，システムを使った指導と，指導者による指導とどちらが記録の変化を及ぼしやすいか，2 つのグループに分けて実験を行う．この時の仮説としては，システムによる運動指導によってボール投げの記録が伸びる．また，システムによって自信が付き，トレーニングを継続して行いたい被験者が増えると考えている．

7 まとめ

本研究では，イメージトレーニングとフィードバックを用いたトレーニングシステムの手法を提案した．トレーニングシステムを使用することで，運動することがより楽しくなり，苦手意識を持っていた子どもが少しでも運動・スポーツに対して興味を抱いてくれると考えられる．考察として，システムを使って指導を行うことで子どものモチベーション向上につながると考えられる．

参考文献

[1] 藤本　徹，シリアスゲーム教育社会に役立つデジタルゲーム東京電機大学出版局.2007.

[2] ジェイン・マクゴニガル，妹尾堅一郎，武山政直，藤本徹．幸せな未来は「ゲーム」が創る．早川書房.2011/10/7.

[3] Johnson, S. Everything Bad Is Good for You. Riverhead. 2005.

[4] Prensky, M. Don’t bother me mom – I’m learning! Paragon House. 2006.

[5] 藤本徹. 海外におけるシリアスゲームの最先端エンタテインメントゲームの可能性.ペンシルバニア州立大学大学院. Jasag シンポジウム.2006.

[6] 石井和喜， 曽我真人， 瀧寛和. モーションキャプチャシステムを利用した左右反転動作スキル習得支援環境の構築. 情報処理学会インタラクション，2011.

[7] 孛胡 祐作. Kinect を用いたダーツにおける練習支援システムの開発. 東京工科大学卒業論文.2013.

[8] 村山光義，村松憲，佐々木玲子，清水靜代，野口和行. 動作映像の即時フィードバックを用いた技術指導の効果 －フライングディスク・サイドアームスロー導入時の事例－,慶應義塾大学体育研究所紀要第 46 巻第 1 号, 1 -15. 2007

[9] 竹内 洋輔，野口 和行，中村 正雄．映像による即時フィードバックを利用した技術指導の方法に関する検討. 法政大学スポーツ健康学部紀要第 30 巻. 2014.

[10] 佐々木直基．視覚的フィードバックが運動スキル獲得に与える影響．びわこ成蹊スポーツ大学研究紀行 8 号 p121-p127,2011.3

[11] 藤野 良孝，スポーツ指導者・体育学習者のためのオノマトペ辞典の開発，日本教育工学会 第 20 回全国大会発表論文，2004

[12] 藤野 良孝，柔道の技能習得に着目したスポーツオノマトペデータベース学習指導法の提案，朝日大学経営学部電子計算機室年報 19 pp1-pp12， 2011

[13] 塚本裕樹，投球トレーニングの研究，公立はこだて未来大学卒業論文，2013.

[14] 塚本 裕樹，角 薫 : 飛距離を伸ばす投球フォームトレーニングのためのシリアスゲームの研究，日本デジタルゲーム学会 2013 年度年次大会，pp.178-182, 日本デジタルゲーム学会 2014.3.

[15] 塚本 裕樹，角 薫 : 飛距離を伸ばす投球フォームトレーニングのための研究，人工知能学会 2014 年度年次大会，p 131p.-134,人工知能学会 2014.5.

心音の時間的特徴に基づく正常・異常心音の識別

田邊圭佑**，三上 剛***

1 はじめに

心臓病には，心血管障害等の生活習慣病に含まれる疾患が存在する．生活習慣病は，早期に発見することで改善が容易となる．しかし，症状の変化が緩やかであるため，定期的な診断を行わなければ的確に診断されない，または発見されないまま症状が進んでしまう可能性がある．以上のような心臓病では，自覚症状が現れるのは病状がある程度進行してからとなるので，自覚症状が現れてからの検診では改善が困難となってしまう場合がある．以上の事から，心臓病の対策として，心臓の定期的な検診(スクリーニング)が重要となる．

心臓病の検診は，1次医療として聴診が用いられている．様々な心音の特徴を聞き分けることで，多くの心臓病を診断することができる．また，聴診は，使用する器具が聴診器のみであり，かつ検診に必要な時間が短いことおよび人体に影響をほぼ与えない診断法であることが利点である。しかし，聴診器から聞こえる心音から診断を行うためには，医療の知識・経験が必要となるため，病院以外では活用される機会が少ない．そこで，聴診器を用いて録音した心音を自動で聴診することが実現すれば，各家庭における心臓のスクリーニングが期待できる．各家庭においてスクリーニングを行うことで，異常心音と識別された場合に医師にかかることを促し，心臓病を早期に発見することができる．

本研究では，聴診器から録音された心音をコンピュータを用いて自動聴診を行う手法を提案する．筆者らは文献[1]において，最近傍法を用いた異常心音の検出法に提案した．本稿では，検出法としてk近傍法を用いて，近傍数kを変化させたときの心音の識別性能について，感度・特異度を用いて評価する．

2 心音の時間的特徴

本研究で使用した心音のデータは，内科の医師が聴診の訓練用に用いる書籍[2-3]に付属しているCDのデータを用いる．CDには，様々な症状が顕著に表れている心音のサンプルが収録されている．

CDの心音データから，サンプリング周波数 8[kHz]，時間幅 0.85 秒として，心音1周期を手動で切り出した．

Fig.1 に正常心音および異常心音の1例を示す．心音は，Ⅰ音からⅡ音を1周期とする周期信号である．Ⅰ音からⅡ音の期間を収縮期，Ⅱ音から次の周期のⅠ音の期間を拡張期という．正常心音はⅠ音とⅡ音を繰り返す心音信号である．異常心音の場合は，収縮期・拡張期に雑音が混入する場合や，Ⅰ音・Ⅱ音が亢進・減弱・分裂する場合等がある．

3 心音の特徴量の計算方法

3.1 心音の識別方法

まず，切り出したそれぞれの1周期分の心音データに対して，一定時間幅の区間に分割する．次に，分割した区間毎に，信号強度を用いた特徴量を算出する．最後に，計算した特徴量にk近傍法を適用し，心音を識別する．

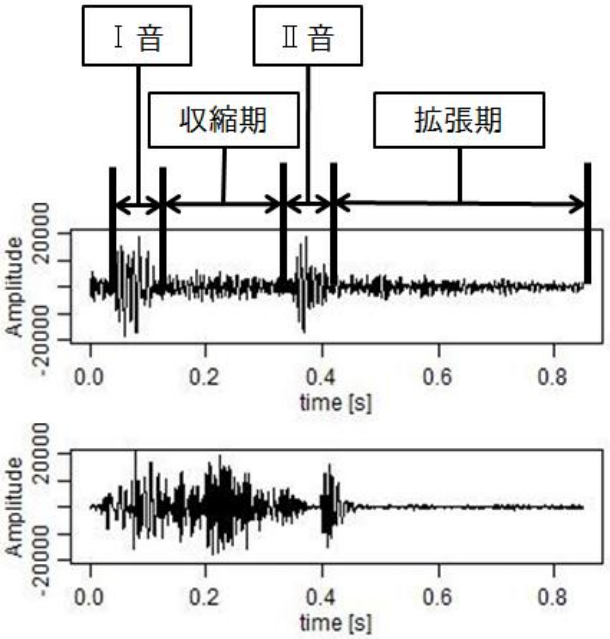


Fig.1 心音の1例(上：正常 下：異常)

3.2 区間毎の心音の特徴量

分割した区間毎の心音データに対して，心音の時間的な特徴を利用して特徴量を算出した．

心音の区間設定は，心音データの開始時点を起点として，10[msec]の区間に分割することで行った．本研究では，特徴量の識別率の比較のために，信号強度の(1)平均，(2)最大値，(3)2乗平均を算出した．心音の特徴量は，分割した各区間の心音データに対して，区間内の特徴量を時系列に並べることによって生成する．

(1) 信号強度の平均

信号強度の平均による特徴量は，次式より求める．

$$F_{ave_l} = \frac{1}{N}\sum_{i=lN+1}^{(l+1)N} x(i)$$

ここで，F_{ave_l}は区間内の信号強度の平均，lは区間番号，$x(i)$は心音の信号強度，Nは区間の長さを示す．F_{ave_l}を時系列毎に並べた時系列ベクトル$\{F_{ave_1}, F_{ave_2}, \cdots, F_{ave_n}\}$を，心音の特徴量とする．

Fig.2 に，Fig.1 の心音に対する信号強度の平均による特徴ベクトルの1例を示す．

(2) 信号強度の最大値

信号強度の最大値による特徴量は，区間内において，信号強度の最大値F_{max_l}を区間内の特徴量とする．ここで，lは区間番号とする．F_{max_l}を時系列毎に並べたベクトル$\{F_{max_1}, F_{max_2}, \cdots, F_{max_n}\}$を，心音の特徴量とする．

Fig.3 に，Fig.1 の心音に対する信号強度の最大値による特徴ベクトルの1例を示す．

* 原稿受付 平成26年 9月5日
** 苫小牧工業高等専門学校 電子・生産システム工学専攻
*** 苫小牧工業高等専門学校 情報工学科

(3) 信号強度の２乗平均

各区間の信号強度の２乗平均による特徴量は，次式より求める．

$$F_{square_l} = \frac{1}{N}\sum_{i=lN+1}^{(l+1)N} x(i)^2$$

ここで，F_{square_l}は区間内の信号強度の平均，lは区間番号，$x(i)$は心音の信号強度，Nは区間の長さを示す．F_{square_l}を時系列毎に並べた時系列ベクトル

$\{F_{square_1}, F_{square_2}, \cdots, F_{square_n}\}$を，心音の特徴量とする．Fig.4 に，Fig.1 の心音に対する信号強度の２乗平均による特徴ベクトルの１例を示す．

4 結果と考察

4.1 心音信号のデータについて

前章の方法によって算出された心音の各特徴量に対して，k 近傍法を適用することによって心音の識別を行う．

k 近傍法の学習用データは，正常心音 99 音(被験者 3 名)，異常心音 451 音(被験者 32 名)を利用した．テストデータについては，正常心音 100 音(被験者 3 名)，異常心音 452 音(被験者 32 名)を利用した．

4.2 最近傍法による心音の識別

k 近傍法において，近傍数 k=1 として，各特徴量を用いた心音の識別の結果を Table.1 に示す．

Table.1 より，信号強度の平均を特徴量とした場合の，正常心音の識別率が著しく低い．これは，心音の特徴量が心音の振幅によって表現されているため，振幅の平均を取ると，各振幅の最大値と最低値が平均化されてしまうためだと考えられる．また，最も識別率が高くなる特徴量は，信号強度の２乗平均である事がわかる．これは，振幅の最低値が絶対値化されるため，心音データの特徴を精度よく表現できているためである．Fig.2-4 を参照すると，信号強度の２乗平均において，収縮期の正常・異常心音の特徴量が特に変化していることがわかる．

4.3 近傍数 k を増加した場合の感度・特異度の変化

特徴量を信号強度の２乗平均とした場合の，k 近傍法における近傍数 k の値を変動させた場合の感度および特異度の変化について Fig.5 に示す．

ここで，感度および特異度は以下の式より算出した．

$$\left(\text{感度}\right) = \frac{\left(\text{正常心音の識別成功回数}\right)}{\left(\text{テストデータの正常心音数}\right)} \times 100\ [\%]$$

$$\left(\text{特異度}\right) = \frac{\left(\text{異常心音の識別成功回数}\right)}{\left(\text{テストデータの異常心音数}\right)} \times 100\ [\%]$$

Fig.5 より，近傍数 k の値を変化させた場合，特異度についてはほぼ変化しないことがわかる．しかし，感度について，k の値が大きくなると，感度が低下していることがわかる．これは，異常心音のデータ数が正常心音のデータ数に比べて約 4.5 倍となっているため，近傍数 k を増やすことによって，異常と正常の境界線付近に存在する正常心音のデータが異常であると判断されてしまう(Fig.6)ためであると推定する．

以上の事から，近傍数 k の値を大きくすることで，感度が低下してしまい，結果として心音の識別率が低下してしまうと言える．

Table.1　心音の識別結果

信号強度の特徴量　種類	有効度[%]		
	正常	異常	全体
平均	66.00	92.26	79.13
最大値	82.00	96.46	89.23
２乗平均	92.00	97.12	94.56

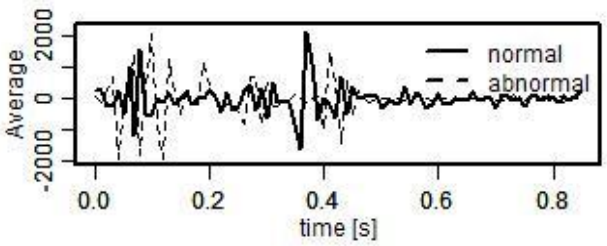


Fig.2　信号強度の平均

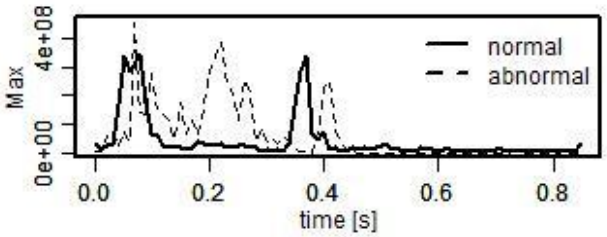


Fig.3　信号強度の最大値

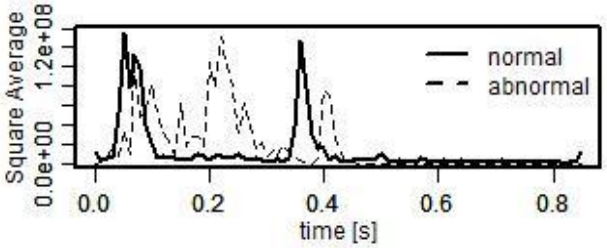


Fig.4　信号強度の２乗平均

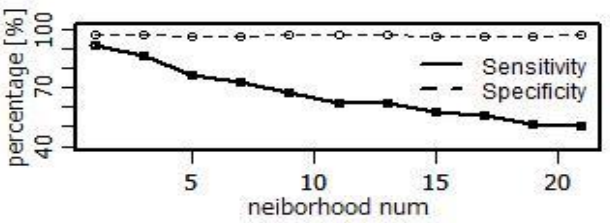


Fig.5　心音識別の感度・特異度

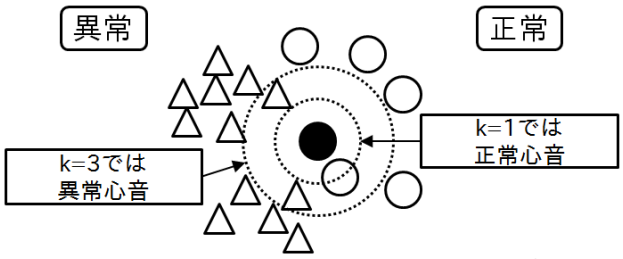


Fig.6　近傍数 k を増加した場合の識別時の推定

5 おわりに

本研究では，聴診における心音データに対して，その時間的特徴を用いた特徴量を用いて心音の識別を行った．

結果として，心音信号の信号強度の２乗平均によって算出した特徴量が，最近傍法において約 95[%]という高精度の識別率を示した．また，心音の時間的特徴を用いた心音の識別において，感度・特異度ともに高精度の識別率となる k 近傍法の近傍数 k=1 の場合の識別法が有用であると言える．

参考文献

[1] 田邊圭佑・三上 剛，自動聴診のための心音の時間的特徴量を用いた異常心音の検出，2014年度精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集，pp23-24，2014
[2] 山崎直仁・土居義典，DVDでトレーニング デジタル心音図との対比で学ぶ心臓の聴診，禁芳堂
[3] 沢山俊民，CDによる聴診トレーニング心音編，南江堂

Kinect センサーカメラによる姿勢変位推定を用いた CPR 学習システムの開発

渡邊 宏尚[†] 土田 栞[†] 林 秀彦[§] 皆月 昭則[†]
(釧路公立大学)[†] (鳴門教育大学)[§]

1 はじめに

心肺蘇生法(CPR)における胸骨圧迫は、AED による除細動の成功に関与してくる。すなわち胸骨圧迫において圧迫深度が浅い場合、除細動成功率が低下する[1]ことが報告されており、正確な圧迫手法術の会得が救命率向上につながる。CPR は講習会等での体験学習などあるが、圧迫姿勢の問題点を指摘する機会がないため、CPR 実践時の姿勢評価が不可欠である。また、従来、胸骨圧迫時の両腕と圧迫力の関係に着目した体験学習指導は不可能であったが、正しい姿勢と圧迫力の評価は、質の高い CPR で避けて通ることができない重要な術である。

本研究では胸骨圧迫実践時の両腕の状態に着目し、センサーカメラを用いた両腕の角度により姿勢変位の状態推定とバランス Wii ボードによる圧迫加重変化監視、そして拡張現実機能(AR)によるユーザインタフェースによる視覚的補正学習システムを開発し、検証した。

2 質の高い心肺蘇生(CPR)の要件

正しい胸骨圧迫は、圧迫深度値は 5cm、毎分 100 回以上の圧迫を最小の中断時間（数秒程度）で継続することが必要である[2]。また、傷病者の胸の真中に対して指先を胸壁にあてず、手掌基部を用い、肘から手掌基部へ外力が鉛直に加わるように圧迫することが必要である。システムでは,両腕が伸展位（真っ直ぐに伸びた状態）と屈曲位（真っ直ぐでない状態）を検出評価し、同時に圧迫時の圧力(kg)判定が可能なシステム要件を満足した。

図 1 伸展位圧迫検出(左)と屈曲位圧迫検出(右)

*s122107@kpu.kushiro-pu.ac.jp
[†]釧路市芦野 4 丁目 1 番 1 号 釧路公立大学
[§]徳島県鳴門市鳴門町高島字中島 748 番地
鳴門教育大学大学院/情報基盤センター

3 システム構築の概要

ユーザはバランス Wii ボード上に設置された胸骨圧迫訓練用マネキンに対して胸骨圧迫を実施する。システムはバランス Wii ボードで取得したユーザの圧迫力を定量化し、同時に Kinect for Windows のセンサーカメラでユーザの姿勢状態を両腕の状態推定（角度）によって,伸展位と屈曲位の判定処理をする。取得したユーザの両腕の位置を AR によるリアル変換処理して、ユーザ側の視線前方直下のモニターに表示し、圧迫ごとに胸骨圧迫の状態変位の評価値をコメント付きで返すようにした。

3 .1 システムの開発環境

システムの開発環境は、Microsoft Visual Studio 2013、.NET Framework4.5 の環境において C#言語を用いた。システムの構成は①Kinect for Windows ②バランス Wii ボード ③Bluetooth USB アダプター ④Windows 7OS 搭載ノート PC ⑤ユーザ側の姿勢視認モニター（平面置き LCD モニター）である。

図 2 開発した CPR 学習システム

3.2 システムの機能

3.2.1 Kinect センサーカメラによる腕の角度変位推定

ユーザの姿勢変位の状態推定の判定は Kinect センサーカメラが取得する腕の三点(肩・肘・手首)の座標値を取得処理した。左肩から左肘の場合、左肩の座標の点 P(X1,Y1)から左肘の座標の点 Q(X2,Y2)で構成する線分 PQ の角度を三角法の余弦値を用いた定式で導出した。

3.2.2 圧迫姿勢の拡張現実 (AR)表示機能

システムでは、センサーカメラからのユーザ姿勢映像重畳表示するようにした。システム開始時にユーザの骨格情報を取得する際に、取得成功の確認機能として、両

肩・両腕が白色ラインで強調表示される。ユーザは腕や肩・頭の姿勢推定の AR 表示を意識しながら、腕が伸展位になるような姿勢を維持しようとする結果、正しい胸骨圧迫が可能になった。

3.2.3 圧迫のテンポと圧迫力の導出

ユーザが胸骨圧迫の開始姿勢に移行すると、毎分 100 回のビープ音を報知するようにした。圧迫力はバランス Wii ボードを用いて検出した処理判定をして、40kg 以下の圧迫の場合、圧迫不足と判定表示される。

3.2.4 角度のアラート表示

本システムでは、Kinect センサーが推定した角度(左肩から左肘、左肘から左手首、右肩から右肘、右肘から右手首)の構成を検知して、腕が伸展位であるか屈曲位であるかの判定をする。判定は両腕の 4 つの角度について、基準となる角度と閾値を設定しており、腕の角度が外れるごとにユーザインタフェース上にアラートを重畳表示する。

3.2.5 学習フィードバック

図 4 のように 1 分間の胸骨圧迫後、伸展位圧迫と屈曲位圧迫それぞれの回数、評価コメントを表示する学習評価モジュールを実装した。図 5 は 80 回以上の伸展位圧迫が達成できた時の画面表示である。

図 4 ユーザ側の姿勢視認モニター表示

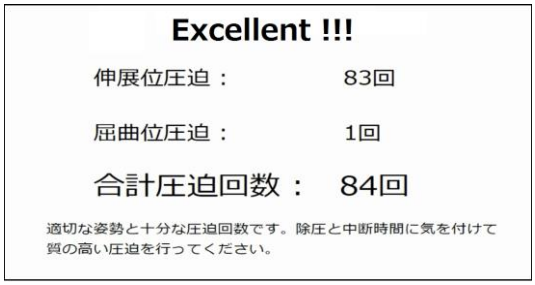


図 5 学習フィードバック画面

4 検証

検証ではシステムの有用性と学習効果を分析考察するため、CPR の未経験者 16 名に対して、2 週間ごとのシステム体験を実施して、熟練度・学習効果におけるパネル調査（追跡）を実施して、その後、40 名の CPR 経験者（看護学生や医療者）などにも使用した。

5 結果（検証による詳細データと映像）

ポスターセッション時に発表する。

6 考察の概要

検証では、システムによる姿勢学習による補正を行うことで、ユーザの熟練度が向上し、両腕が伸展位状態の圧迫回数が増えた。また、本システムを利用することで正しい胸骨圧迫姿勢による救命率に期待される。

7 リバイビング・プロジェクトの普及

本研究では正しい姿勢に着目した質の高い CPR に関する社会的普及の取り組みとして、本システムによる胸骨圧迫の学習支援の紹介と体験を実施した。初回は看護学科学生に対して本システムの体験学習を行った。また、ホームページによる手法の紹介や活動報告等を通して、正しい心肺蘇生に対する関心を社会に広げている。

図 6 看護学生によるシステム体験学習

8 今後の展望

一般人のＣＰＲトレーニングは、路上に倒れている傷病者に対して行うことを想定しているが、将来的には、在宅医療の増加に伴い、ベッド横たわる傷病者に対して急変時対応の可能性が増加してくると考えられる。そのため、現在、直立状態での圧迫を想定したシステムの改良をしている。

参考文献

[1] Dana P. Edelsona, Benjamin S. Abellab, Jo KramerJohansenc, LarsWikc, Helge Myklebustg, Anne M. Barry, Raina M.Merchantb,Terry L. Vanden Hoek, Petter A. Steenc, Lance“Resuscitation”,j.resustitation(2006),pp.137-145

[2] JRC ガイドライン 2010 成人の二次救命処置(2010), 日本蘇生協会サイト http://jrc.umin.ac.jp/pdf/G2010_02_ALS_120208.pdf

韓国語における比喩的素描手法に関連する一考察

Study on Analysis of Figurative Descriptions for Korean Language

Ha Heon-myeong* 桝井文人 Pham Xuan Quyen, Michal Ptaszynski
(北見工業大学)†

1 はじめに

日本と韓国は歴史的にも地理的にも多くの知識や問題を共有している．特定の語に対する解釈も同様であり，両国において共通のイメージを持つ語も多い．例えば，「米（쌀）」という語を例に挙げると，韓国においても日本においても，「主食（주식）とする穀物（곡물）」といった共通イメージが連想される．

これに対し，互いに相容れないイメージを持つ語も存在し，その典型例として「靖国神社（야스쿠니 신사）」が挙げられる．日本における「靖国神社（야스쿠니 신사）」のイメージは「神聖な場所（신성한 장소）」や「死者を祀るところ（죽은자를 모시는 장소）」，「宗教（종교）」，「歴史的神社（역사적인 장소）」など比較的ポジティブなイメージが連想される傾向にあるが，韓国において「靖国神社（야스쿠니 신사）」は세계전쟁 주범참배（世界戦争主導者の参拝）」や「불길한 장소（不吉な場所）」，「식민지 역사（植民地の歴史）」といったネガティブなイメージが連想され，両国間で大きく異なることがわかる．

上で述べたような語に対するイメージの相違は日韓両言語間のコミュニケーションに少なからず影響を与えると考えられる．例えば，「靖国神社を参拝する」という文を直訳した場合「야스쿠니 신사를 참배하다.」となり，表層上の翻訳には問題は生じない．しかし，文の解釈においては，日本語では通常の神社参拝に近い意味として解釈されるのに対し，韓国語においては非常にネガティブな行為として理解されてしまう．

このように「靖国神社，야스쿠니 신사」だけではなく，「竹島，독도」「慰安婦，위안부」などの日韓両国が対立する問題を解消するためには，別の語や表現への換言や，語に対する補足情報を付与するといった対応が必要となる．

桝井ら[1]は，WWW から収集した知識断片 (descriptor) を用いて語の意味を比喩的に素描する手法を提案している．彼らは評価実験を通して，彼らの手法が有効なイメージ知識を自動構成できることを検証し，さらにユーザが未知語の意味を連想的に把握する際の支援策としても有効であることを確認している[2].

また，彼らが提案した比喩的素描手法は，比喩的な関係を持つ語と語の関係を利用するという点で言語依存性が低い．すなわち，比喩的素描手法を韓国語に応用することは可能である．この手法を日韓両言語に適用して関連付けることで，両言語間においてイメージの齟齬が発生する語を発見し，適切な換言処理や補足付与を適用することが期待できる．そこで本研究では，日韓両言語間における語解釈の齟齬解消を目的として，比喩的素描手法システムを利用した知識の比較とギャップの判定について検討する．具体的には，まず韓国語に対して比喩的素描手法を適用し，その有効性と課題について考察する．さらに，同じ query 語に対して日韓両言語の知識源から比喩的素描を行い，それぞれの知識断 (descriptor) を比較する．比較においては，被験者を用いた心理学実験を実施し，その結果を分析する．

*m1252408011@ialab.cs.kitami-it.ac.jp
†北海道北見市公園町 165 番地

2 韓国語の特徴

現在韓国では韓国語（朝鮮語）を公式に表記する文字としてハングルが用いられているが，それ以前は漢文が使用されていた経緯から，韓国語の基本単語の多くは漢字に由来している．また，20 世紀前半には日本により植民地統治されたことにより，日本の言語や文化の影響を受けた言語表現も多い．分類上は，アルタイ諸語との関連性から，日本語と同系統に類別されることもある．統語的には SOV 型の語順を持つこと，膠着言語であること，助詞が主題を特徴付けるなど，日本語との類似性は極めて強いことが特徴である．

しかしながら，語義やイメージについては異なる点も多い．例えば，「犬(개)」という単語を提示してみると，日韓両国とも「動物」であると認識する点で共通するものである．しかし，日本では「獣」や「ペット」などのイメージが強く，「回し者」や「スパイ」といった解釈は第二義的である．これに対し韓国の「犬(개)」は，「悪いイメージ」や「侮辱」を比喩的に表現する場合が多く，日韓で異なるイメージが解釈されることになる．

3 比喩的素描手法

桝井ら[1]は，WWW から収集した descriptor を使って比喩的に素描する手法を提案し，日本語を対象とした実装システム Murasaki (以下, J-Murasaki と呼ぶことにする) を構築している．桝井らの手法は，直喩表現を生成する指標パターンを利用して，WWW から大量の名詞句の関係を抽出する．そしてこれらの情報に基づいて，descriptor 候補と呼ばれる query 語を素描する断片知識を獲得する．各 descriptor 候補の一般性と局所性を考慮してその記述力を推定し，これに基づきランキングを行ない視覚化する．その結果 query 語の定義がイメージでき，理解を促すのに十分な補足知識を提供する．

J-Murasaki は 9 つの処理過程から構成される．(STEP1) query 語の取得，(STEP2) 比較表現 (A) の生成，(STEP3) 比較表現 (A) 検索，(STEP4) descriptor 候補の抽出，(STEP5) 比較表現 (B) の生成，(STEP6) 比較表現 (B) 検索，(STEP7) スコア計算，(STEP8) descriptor 候補 集合構築，(STEP9) descriptor 候補の分類・整理と可視化からなる．Murasaki の構成を図 1 に示す．

我々は，上述した比喩的素描手法を韓国語にも適用する．ただし，ハングル文字に対応した高性能な形態素解器は入手できなかったため，STEP2，4，5 における単

語認識は人手で実施した．簡単のために，本手法を K-Murasaki と呼ぶことにする．

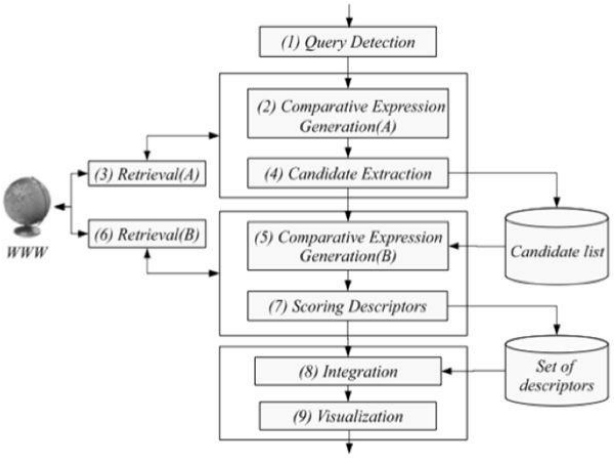


図 1：Murasaki の構成

4 評価実験

K-Murasaki の処理能力を検証するために評価実験を行った．以下，評価環境と評価結果について述べる．

4.1 評価環境

20 個の query 語を用意し，これらに対して日本語と韓国語の両言語に対して比喩的素描手法を適用して descriptor を収集した．実験に用いた query 語を以下に示す．

バイク(바이크)，桜(벚꽃)，ペンギン(펭귄)，
蓮(연꽃)，マグロ(참치)，ベトナム(베트남)，
サッカー(축구)，砂(모래)，犬(개)，韓国(한국)，
台湾(대만)，中国(중국)，梅(매실)，夢(꿈)，
富士山(후지산)，雪(눈)，日本(일본)，
リンゴ(사과)，野球(야구)，ブドウ(포도)

処理結果として得られた descriptor は，日本語については平均 23.5(最大 32，最小 7)個，韓国語については平均 25(最大 41，最小 16)個であった．

上述した descriptor と query 語のセットを刺激語として日本語または韓国語を母国語とする被験者 14 人（日本語 14 人，韓国語 14 人）に見せ，descriptor の妥当性を評価してもらった．評価にあたり，以下の基準を設定した．

○（十分妥当）： query 語を説明／連想できる．

×（妥当でない）： query 語を説明／連想できない．

また，両言語間におけるイメージの齟齬の発生状況を調べるために，query と descriptor を相互に翻訳（日本語の結果を韓国語へ，韓国語の結果を日本語へ）し，上記の被験者に再度評価してもらった．

4.2 評価結果

前節で述べた評価実験の結果について述べる．
実験において，日本人被験者と韓国人被験者の評価結果のばらつきを考慮するために被験者間の判定結果の κ 値を計算した．その結果，韓国人被験者間の平均 κ 値として 0.67, 日本人被験者間の平均 κ 値として 0.64 が得られ，両者とも被験者間の一致度は強いことが確認できた．さらに，日本語 descriptor の翻訳結果を評価した韓国人被験者間の κ 値を計算したところ，0.73 が得られた．

次に，K-Murasaki の抽出性能について述べる． 図 2 は，日韓両言語における descriptor 抽出性能を適合率で示したものである. 対象とした 20 個の query に対する平均適合率は 79.25%であった. 適合率のスコア上位は「桜」「バイク」「韓国」「夢」「中国」に対する 100%であり，スコア下位は「ペンギン」「リンゴ」に対する 40%, 38%であった.

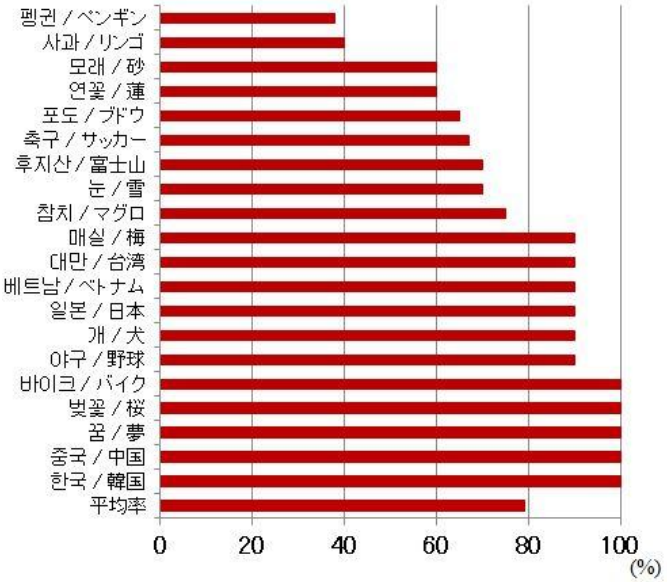


図 2 ：K-Murasaki の適合率

さらに，両言語間で descriptor がどの程度一致しているか（あるいは齟齬が生じているか）を調べた結果について述べる．具体的には，処理対象とした 20 個の query 語の中から無作為に 10 個を選び，それらに関して日韓両言語の descriptor を比較し，相互に相対再現率を計算した．

試行を 7 回繰り返し，相対再現率平の均値をその結果をグラフ化したものを図 3 に示す. グラフでは, descriptor に付与されたスコアに基づいて 1〜5 位, 6〜10 位というように 5 位毎の階級を設定し, 各階級における descriptor の相対再現率を示している．青色のバーは J-Murasaki の相対再現率であり, 紫色のバーは K-Murasaki の相対再現率である．

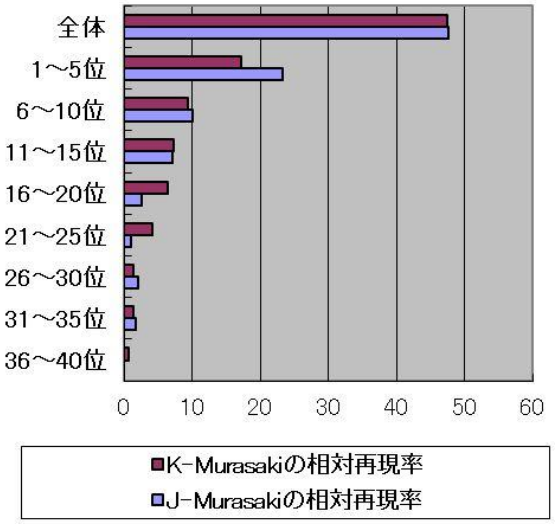


図 3：K-Murasaki と J-Murasaki の相対再現率

この結果を詳しくみると，青色のバーでは，全体の相対再現率が 47.5%であり，階級別では 1～5 位が 17.1%，6～10 位が 9.4%，11～15 位が 7.3%，16～20 位が 6.3%，21～25 位が 4.1%，26～30 位が 1.4%，30～35 位が 1.3%，30 位未満は 0.6%であった．紫色のバーで示す相対再現率は全体で 47.7%であり，階級別にみると，1～5 位が 23.3%，6～10 位が 10.1%，11～15 位が 7%，16～20 位 が 2.6%，21～25 位が 1%，26～30 位が 2.1%，30～35 位が 1.6%，30 位未満は 0%であった．

全体的には両者とも上位階級ほど相対再現率が高い傾向がみられた．さらに，J-Murasaki の結果が K-Murasaki の結果を上回っており，1～5 位の階級で 6.2 ポイントと最も顕著な差が得られた．16～20 位が 3.7 ポイント，21～25 位が 3.1 ポイントと，K-Murasaki の相対再現率が J-Murasaki をわずかではあるが上回った．これは，日韓の言語に対して比喩素手法のランキングが機能しており，上位ほど精度よく descriptor が抽出されていることを示している．

表 1 は query 語毎に日韓両言語で意味が一致する descriptor を示している．descriptor 右側の数字は付与されたスコアに基づく順位である．

5 考察

評価結果に対する考察を行なう．

まず，図 2 を見ると K-Murasaki よに得られた descriptor の平均適合率は 79.3%と，J-Murasaki の結果（68.1%）をうまわっている．このことから K-Murasaki の descriptor 抽出性能は一定の有効性を示しているといえる．国々の query 速についてみると適合率が高がった「桜」「韓国」「中国」「夢」「バイク」については，日韓とのイメージが交通であることが示唆され，適合率が低い「ペンギン」「リンゴ」は日韓でのイメージにギャップがあることが示唆される．表 1 に，上記の query に関する J-Murasaki の結果と K-Murasaki の結果を示す．

表 1：J-Murasak と K-Murasaki の共通 descriptor

query 語	共通 descriptor	
축구 サッカー	운동(1)，스포츠(2)	スポーツ(2)
	게임 (3)	ゲーム(3)
	구기(4)	ボール(12)
	격렬한운동(16)	激しい(19)， 激しいスポーツ(29)
	단체경기(18)	チームスポーツ(13)， 団体スポーツ(34)
	놀이(24)	遊び(17)
포도 ブドウ	과일 (2)	フルーティ(5)， 果実(13)
	열매 (5)	実(2)
	맛(7)	味(4)
	새콤한과일(8)	酸味(9)
	눈(11)	目(11)
	당분(17)，단맛(20)	甘み(15)
후지산 富士山	옥녀봉(1)，302 봉(23)	独立峰(2)
	활화산(2)	火山(3)
	산(6)	山(1)
	원뿔형 화산(9)	コニーデ型火山(9)
	높은산(15)	高山(7)
	모양(16)	姿(4)，形状(5)
펭귄 ペンギペン	동물(2)	動物(26)
	모습(4)，모양(15)	形状(1)，格好(9)， 容姿(21)，姿(3)， 模様(34)，外見(32)
	사람(7)	人間 (28)
	새(13)，조류(4)	鳥類(12)，鳥(7)
	워킹(18)， 걸을걸이(21)	歩き方(2)
	동작(34)	動き(17)
중국 中国	나라(1)，국가(3)	国(13)
	큰나라(6)，대국(18)， 거대한나라(30)	巨大国家(10)
	신흥국(12)， 신흥경제대국(21)， 신흥강국(31)	新興国(6)
개 犬	동물(17)	獣(5)
	이야기(13)	人のお話(10)
매실 梅	열매(1)， 열매류(2)	実(12)
	나무(9)	木(11)
대만 台湾	나라(1)	国(1)
	친일국가(17)	親日国(5)， 親日的(7)
야구 野球	스포츠(1)，운동(2)	スポーツ(1)
	단체종목(16)	集団スポーツ(8)， 団体スポーツ(5)， チームプレイ(3)
사과 リンゴ	내피부(15)	皮(2)

次に，図 3 の相対再現率についてみると，J-Murasaki と K-Murasaki とも 47.7%，47.5%とほぼ同等である．両言語ともほぼ半数の descriptor が共通であることがわかる．

対象とした query 数が少ないため厳密な議論は避けるが，語のイメージについていえば，両言語とも約半数の共通イメージを持っている可能性がある．イメージが共通する傾向の強い結果として，「サッカー（축구）」「ぶどう（포도）」がある．例えば「サッカー」については，日韓両国において非常にメジャーなスポーツとして認

知されており，ルールや道具なども共通していることで，共通 descriptor の一致率が高くなったと思われる．

これに対し，両者の間で descriptor が一致しない場合も半数存在する．例えば，「야구，野球」「사과，リンゴ」「매실，梅」「대만，台湾」「개，犬」などがある．

query 語「사과，リンゴ」「매실，梅」の場合，日韓で大きくイメージが異なる．「リンゴ（사과）」は，韓国では子供向け歌謡曲の曲名および歌詞として「リンゴのような私の顔」という表現が広く認知されているため，これらに関する descriptor が大量に取得されたことが不一致の主要因であると思われる．

同様に，query 語「매실，梅」は，両国における梅の食べ方に違いがあることが descriptor の齟齬に繋がっていると思われる．

「台湾（대만）」について考えると，日本では台湾は親日国として知られているためポジティブな descriptor が多数得られているが，韓国では台湾は敵対的なイメージが強いためネガティブな descriptor が多くなったことが相対再現率を低下させる原因であると考えられる．

「犬（개）」の場合，両国の文化の違い強く影響していると考えられる．韓国では，従来から「悪人」「蔑み」の比喩として「犬」という語が多用されてきたためネガティブなイメージが強い．日本においても同様のイメージは存在するが．「ペット」や「愛犬」といったポジティブなイメージの方が先行するため，相対再現率が低下したと考えられる．

被験者間の κ 値をみると，韓国人被験者の κ 値は母国語に対するより日本語の結果に対する評価でより強かった．これは，両言語間でイメージに齟齬が生じる query 語については連想可能な許容範囲を超えているため，判断が容易であったためではないかと思われる．このことを確かめるためには，同様の実験規模を拡大して κ 値を計算してみればよい．

以上のことから，相対再現率は日韓両言語におけるイメージの共通性や齟齬をよく反映しているといえ，一致率を利用すれば誤解の生じ易い語を推測できる可能性がある．

一方，J-Murasaki の手法を韓国語に適用した場合，同音異義語が問題となる．ハングルは母音と子音の組み合わせを表す表音文字であるため，漢字のように文字単体で意味を表すことがない．よって，同じ文字列の単位が複数の単語となりうるという曖昧性が頻発する．例えば，「배」という単語には「船」「梨」「腹」という３つの意味を持つ可能性があり，いずれの意であるかを断定するには単語が出現する箇所の前後の文脈を読まなければならない．

このような問題は query 語の検索と descriptor 候補の抽出から検出される確率がかなり高い．同音異語は現在にも韓国で大きいな課題で残っている．そこで，次のような対応を考える．同音異語のような問題を減らすために，query 語の検索や descriptor 候補の抽出する過程で分流カテゴリを構築することを具象している．分流カテゴリを繋がって検索することで同音異語の完全な除去は無理であるが，同音異語を持つ descriptor 候補の意味を分別することで，同音異語の解決策としても期待できる．

6 おわりに

本研究では，日韓二言語間における語解釈の齟齬解消を目的とした議論を行った．まず，桝井らが提案した日本語テキストを対象とした比喩的素描手法を拡張し，韓国語に対応する比喩的素描手法を提案した．次に，二つの比喩的素描手法を利用して両言語の素描知識を収集し，二言語間の知識の比較と知識のギャップについて議論した．

提案手法の有効性を検証するために，20 個の query 語を提案手法に適用し，評価実験を行なった．その結果，79.25%の適合率が得られ，提案手法が一定の性能を発揮することが確認できた．

さらに，query 語を日本語に翻訳して J-Murasaki にも適用し，提案手法の結果と J-Murasaki の結果を比較した．その結果，得られる desciptor のほぼ半数が両言語間で共通していることがわかった．

J-Murasaki と K-Murasaki の共通性や K-Murasaki の評価結果が上記のような結果が得られることで，K-Murasaki は韓国語の意味を比喩的に素描する方法により高い効力を持つと期待できる．また，日韓両国で，言葉の意味差が大きくないことが判断され，K-Murasaki と J-Murasaki が直接的に比べることができれば，両国の言葉から起きる意味の差を減少させることができると思われる．

今後は，Fuji らの研究[3]を利用して，日韓両言語で得られた descriptor を相互に翻訳し，その妥当性を評価することで，クロスリンガル比喩的素描の可能性について検討する予定である．

参考文献

[1] 桝井文人，ジェプカ・ラファウ，木村泰知，福本淳一，荒木健治：”WWW 活用による語の比喩的素描手法”，知能と情報，Vol.22，No.6，pp.707-719(2010)

[2] 川村佳史，桝井文人，河合敦夫，井須尚紀：”WWW からの descriptor 抽出システムの開発とその評価”，言語処理学会第 13 回年次大会発表論文集，pp.1133-1136(2007)

[3] Atsushi Fujii, Tetsuya Ishikawa, Jong-Hyeok Lee: “Term Extraction from Korean Corpora via Japanese”, Proceedings of 3rd International Workshop on Computational Terminology (CompuTerm2004), pp.71-74(2004)

お産アプリを用いたプロジェクト「KODO」による ジェンダー意識の変容期待に関する研究

土田 栞[†]* 渡邊 宏尚[†] 上川原 ひろみ[‡] 斉藤 唯[‡] 小松 望[†‡]
林 秀彦[§] 皆月 昭則[†]
釧路公立大学[†] 市立釧路総合病院[‡] 白糠町役場[†‡] 鳴門教育大学[§]

1 はじめに

多くの女性が、お産への期待と不安を抱いている。現代社会は家族構成が夫と二人世帯、あるいは、お産について近隣に相談できる人がいないなど少子化問題の深層は深い。地方の僻地に住んでいる女性にとっては産科の減少だけではなく、お産予定の病院から遠いなど、子供を産みたくても不安要因が多くある。大学生に面接調査をしたところ、安心して子供を産める社会環境などソーシャルサポートがあれば将来、結婚して生みたいという希望が聞かれた。本研究では、お産を望む女性(女子)の教育支援そして現在、実際にお産時期になった女性を支援するための陣痛ダイアリーと称するスマートフォン向けアプリケーションを開発し公開配布した。また、研究では安心して子どもを産み育てるまちづくりを基本目標の一環として掲げる町[5]を中心に検証を行った。現状、産科が消滅し、お産可能な病院までが遠く、大いに不安を感じている女子・妊婦に向けたプロジェクトである。

2.陣痛の種別

陣痛とは不随意に周期的に反復して起こる子宮洞筋の収縮である。陣痛発作と陣痛間欠を繰り返す[2]。図 1 は陣痛間欠の推移例である[1]。

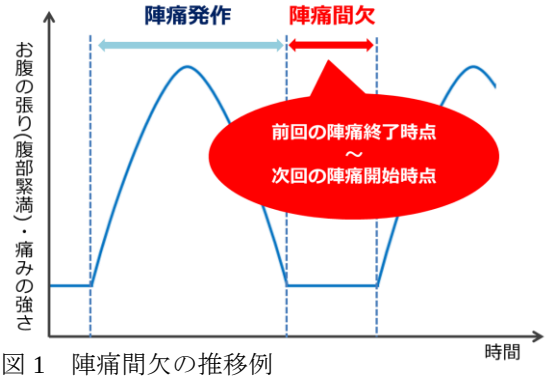


図 1 陣痛間欠の推移例

2.1.前駆陣痛

妊娠中に起こる子宮収縮が前駆陣痛である。測定すると、間欠時間が不規則になる。

北海道釧路市芦野 4 丁目 1-1
Mail: prog.medic122068@gmail.com

2.2.分娩陣痛

分娩開始から分娩終了までが分娩陣痛である。陣痛発作と間欠時間は、分娩の進行時期によって変化する[1]。分娩初期には陣痛発作は短く間欠時間は長いが、分娩の進行とともに陣痛発作はしだいに長くなり間欠時間は短くなる。実際の陣痛の強さは、病院(分娩室)で内測法により測定した子宮内圧によって判断されるが、病院前に間欠時間と発作時間によって判断も可能である[2]。アプリケーションでは陣痛開始時点にみられる陣痛間欠時間の規則性を抽出し、早期に医療機関への連絡・受診を促す機能を開発した。

3.アプリケーションの概要

本アプリケーションは、陣痛間欠時間を計測・記録することで妊婦に病院受診を促す。アプリケーションの判断ルールは妊婦の主観的感覚尺度に対応するため、お腹の張り(腹部緊満)感覚時から入力可能であり、デバイス内では陣痛とみなし記録保存ができる。すなわちお腹の張り(腹部緊満)時期から間欠時間の規則性を抽出し病院受診を促す。

本研究は Android OS に対応したアプリケーションの開発を行った。女子・妊婦への教育・知識機能に加えてお産時期(正産期)の妊婦を支援する。

3.1 アプリケーションの処理アルゴリズム

アプリケーションの主な機能は、①前回の陣痛終了時点～次回の陣痛開始時点までの間欠時間の計測、②計測した間欠時間の記録保存、③記録データの導出値によって、その先を予見した安全上の注意点や確認事項を喚起する評価コメント文の表示、④csv 形式での記録保存データのマイクロ SD カードへの出力(パソコンで閲覧可能)の 4 つである。

個別性の高いおなかの張り(腹部緊満)感覚・痛みの開始時点と終了時点にボタンをタッチすることで、陣痛間欠時間の記録保存が可能であり、履歴一覧として確認できる。また、間欠時間データの計測値に基づく評価コメント表示は、3 条件を判定する。①20 分以内、②30 分以内、③30 分以上、すべての条件で過誤防止のため病院受診を常に意識させるような表示になっている。図 2 にアプリケーションの処理と使用プロセスを図示した。

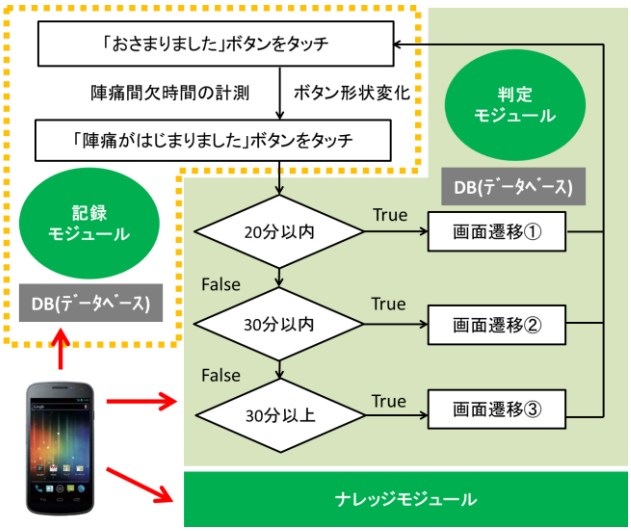


図 2 アプリケーションの処理と使用プロセス

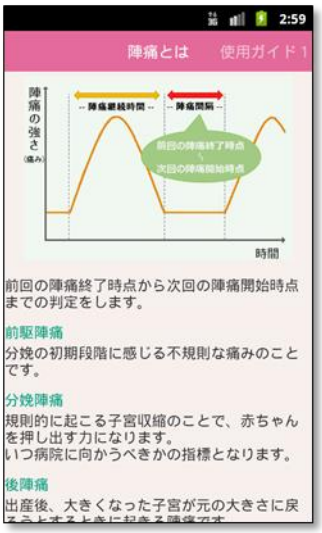
3.2 計測値による導出コメント機能

本アプリケーション内で提示されるコメント文は、市立釧路総合病院の助産師の知見をもとに作成した。計測した陣痛間欠時間によって、①20 分以内、②30 分以内、③30 分以上の 3 条件でコメントが異なる。各コメントはその時点における留意点を示し、破水や多量の出血がないか確認を促す。経産婦は初産婦にくらべて陣痛開始から出産までの期間が短いため、病院に連絡するタイミングの参考が異なる[4]。アプリケーションの判断ルールは妊婦の主観的感覚に依拠しながらも、異常を感じた場合は、計測結果に関わらず、すぐに医療機関に連絡する注意喚起表示を重視した。

図 3(左図) 20 分以内の導出コメント例
図 4(右図) 30 分以内の導出コメント例

3.3 お産に関するナレッジ取得機能

アプリケーションに実装したチュートリアル機能では、ナレッジモジュールによってお産に関する一般的な知識が学習できる。



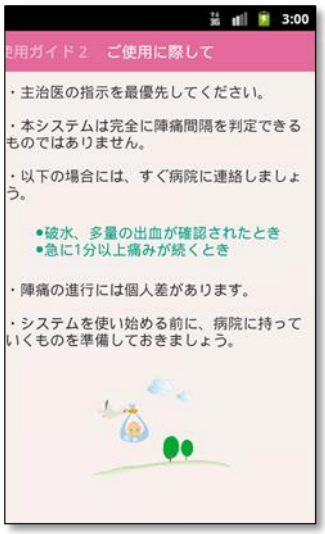


図 5 (左) 陣痛の種別に関する教育画面
図 6 (右) 使用上の留意点

4 期待される効果

1)妊婦の身体的負担や精神的不安の軽減

陣痛間欠時間を手記で時計を見ながら計測する妊婦が多くいる。陣痛の発生時、計測・記録を行うことは妊婦の身体的負担や精神的不安は多大である。アプリケーションでは、ボタンをタッチするだけで簡単に計測・記録が可能であるため、妊婦の従来の負担を軽減する効果が期待される。

また、前回からの陣痛間欠時間の計測値を比較照合して妊婦の状況を類推したコメントが表示することによって、計測時点での安全関する留意点が確認できる。総合的な効果として看護師が寄り添ってくれているような安心感を与え、妊婦の孤独感を軽減することが期待される。

2)正確な計測情報による問診媒体の生成

ボタンタッチ操作によって、陣痛間欠時間の開始時刻や前回からの間隔、継続時間が自動保存されるため、病院に連絡する際、正確な計測情報を整理して伝えることができる。

3)csv 形式のデータファイルのエクスポート

記録したデータを csv 形式のファイルで端末から外部に保存することができる。csv ファイルはパソコンに USB ケーブルで接続し、転送・閲覧することができる。

5.KODO プロジェクトの展開

「KODO プロジェクト」は開発したアプリケーションを地域・社会環境へ投入し、ソーシャルサポートとしてお産時期の妊婦支援や大学生などに教育を実施し、少子化問題を直接的に捉えた企画である。プロジェクトの実施において、活動内容は、妊婦へのサポート（計測ツールとしての活用）と大学生など若者への教育啓発（教育ツールとしての活用）の 2 つに大別できる。妊婦へのサポートでは、白糠町の妊婦にアプリケーションを配布し、アンケート調査を実施した。また若者への教育として、大学内でレクチャーを実施した。これまでの先行研究

[6][7]では明確になっていない質問項目を設定するなど、出産や陣痛における学生意識に関する調査を実施した。

5.1.計測ツールとしての妊婦へのサポート

北海道の道東地方にある白糠町の行政・保健師の協力を得て、実際にお産時期の妊婦の自宅を訪問し、対面方式でアプリ使用法について説明した。図７は妊婦の自宅訪問時の様子である。妊婦に対しては、計測ツールの有効性などを確認するためのアンケートを出産後に実施した。実際にお産で使用した妊婦からは、遠く離れた病院への連絡コミュニケーションや病院受診の意思決定タイミングに有用であったという意見が得られた。

図７.妊婦の自宅訪問時の様子(奥が開発者の第一著者)

5.2.ツール開発と改良へのアプローチ手法

開発から KODO プロジェクトの進行過程では、妊婦の感覚や気持ちを知るために、医療者の知見を収集した。開発プロセスでは、母性学の知識を学び、妊婦の模擬体験を開発者（第一著者）自身で体感した（図８）。結果、将来、母親あるいは父親になる若者に対して「お産や親になること」への期待や不安要因が整理できた。開発したツールを用いて、レクチャー講師を開発者自らで担当して開催している。女子学生だけではなく男子学生にも実際にアプリケーションを模擬的に使用させることで、「妊娠・出産に優しい社会」を想起させることになった。

図８.妊婦の模擬体験に挑む様子（妊婦服が開発者）

5.3.教育ツールとしての活用

KODO プロジェクトのレクチャーにアプリケーションを参加者にダウンロードさせて使用してもらい、計測デモデータで陣痛イメージを想起させた（図 9・図 10）。学生男女 20 人を対象にアンケート調査を実施した。「妊娠・出産・育児」に関する質問項目から、妊娠・出産・育児に対してもつイメージを「ポジティブなイメージ」群、「ネガティブなイメージ」群、「両価的イメージ」群の 3 つをカテゴリー化して作成した。アンケート結果の詳細は登壇時に公表する。

アプリケーションの試行的な使用による面接調査では、大学生男女ともに安心して子どもを産み育てることができる地域・社会環境などソーシャルサポートに大きな期待がある。将来子どもをもちたいという意見が得られたが、お産に関する知識やイメージにおいてジェンダー差が見られた。

図９（左写真）.KODO プロジェクトのレクチャー
図１０（右写真）.実機を使ったお産時の計測実習

5.4 プロジェクト普及に向けた情報発信

開発したアプリ「陣痛ダイアリー」による妊婦のサポートや学生などの若者に対する教育について「KODO プロジェクト」の名称でホームページ公開している。内容として、お産に関する一般的な知識やお産時期の妊婦を支援しており、PC 版とスマートフォン版コンテンツを公開中である。アプリの配布普及のみでなく、ソーシャルサポートとして情報発信している。「お産や子どもを持つこと」にあまり関心を向けていなかった人々の意識変容を期待しており、著者と同じ考えを持つ人へ「KODO プロジェクト」への参加を呼びかけている。

図 11. ホームページでの情報発信

6.張り(腹部緊満)～陣痛までの感覚尺度

アプリケーションの支援範囲は、医療機関が介入する前(病院前)である。分娩陣痛がはじまる前の計測支援を発展させるため、「張り・痛み」の感覚尺度を用いたアプリケーションを試行開発して配付中である。お腹の張りや痛みの感覚と陣痛間欠時間の最短値を抽出し、医療機関受診時の重要な問診要素を抽出整理する機能を実装した。病院前において、お腹の張り(腹部緊満)の強さが「強い」「中くらい」「弱い」の 3 つの感覚尺度に分けて判定処理(図 12)した。医療介入前のお腹の張り(腹部緊満)～痛み（陣痛）までの経過をダイジェストで振り返る機能を有しており、試行期間終了後、今後の KODO プロジェクトに加えていく予定である。

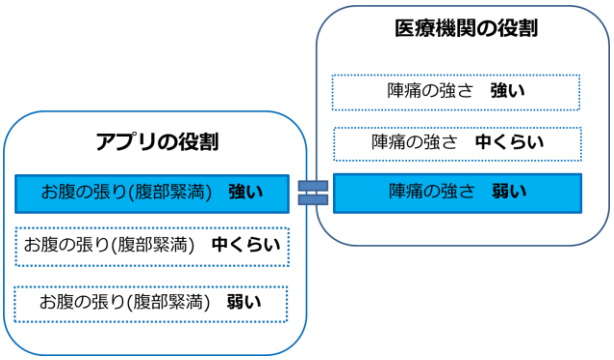


図 12.「張り・痛み」過程の感覚尺度の実装

6.1.産期の計測に特化したアプリケーション

お産の計測支援に特化したアプリケーション「陣痛ウォッチ」を開発した。アプリケーションの判断ルールは「張り・痛み」のどちらかの主観的感覚の「曖昧さ」を含むため、新たに 3 段階の感覚尺度を設定（張り 3 段階・痛み 3 段階）として設定した。医療の安全を考慮して、計測時のお腹の張り(腹部緊満)の「強」を陣痛の「弱」として取り扱うべきと、医療者と検討した。また、計測時点から 12 時間前まで 1 時間の間隔ごとに、強(中または弱)の種別で「張り・痛み」の回数を抽出するマルチフォーカス機能を開発した。フォーカス項目は医療者にとって妊婦の状況を把握する重要な要素である。また、間欠時間の最短値を同様にフォーカスするため、進行や異変の察知が迅速になると期待される。「陣痛ウォッチ」は計測に特化した機能であるため教育的なナレッジモジュールは実装していない。メイン画面中央に大きなボタンの配置、就寝時の暗闇使用でも目の疲労感を軽減する視認性に配慮したデザインである。

図 13.メイン画面

図 14.データベース画面

7.まとめと展望

出産に際して、女性は不安で孤独なお産時期を過ごす。陣痛が発生する際、計測を手記で行うことは妊婦にとってまさに産みの苦しみである。2 種のアプリケーションでは、ボタンタッチのみの簡単操作で妊婦の負担や不安を軽減させ、正確な計測情報によって病院との連絡ツールとして役立てることが可能である。また、お産に関する一般的な知識を学習できるナレッジモジュール機能は、お産までの不安を軽減する。今後は道東地域の白糠町を起点とした「KODO プロジェクト」を継続し、北海道内で産科がない根室地域や全国の中山間地など、病院までの移動距離が長い地域の妊婦のために地方から全国へ活動を拡大推進していく。

また、現代社会では核家族化や近所づきあいの希薄化など身近なところでお産経験を聞く、あるいはお産について相談できる人々が少ない現状で、一番そばにいる男性のサポートが重要になる。現状、お産のつらさを理解できないなど、お産に対する意識差によってジェンダー間で大差がみられ、少子化問題の根本はジェンダー観である。「KODO プロジェクト」として、妊婦へのサポートや大学生など若者への教育啓発を通じて、ジェンダー意識の差を小さくし、お産に対する女性の不安解消策の一つとして活動を継続する。

謝辞

本研究にご協力いただいた市立釧路総合病院の看護局の皆様、白糠町役場保健福祉部の皆様と町民の皆様に、心から深謝致します。

参考文献

[1]“妊娠大百科” 株式会社学研パブリッシング(2014).
[2]杉野法広 “産科疾患の診断・治療・管理 3. 分娩の生理・産褥の生理”，山口県立大学看護学部紀要 日本産科婦人科學會雜誌 59(10), “N-637”-“N-643”, 2007-10-01 (2007).
[3]“科学的根拠に基づく快適で安全な妊娠出産のためのガイドライン” 金原出版株式会社，厚生労働科学研究 妊娠出産ガイドライン研究班編集(2013).
[4]株式会社永岡書店，“はじめての妊娠・出産 安心マタニティブック” (2006)
[5]北海道白糠町，“次世代育成支援後期行動計画” (2010).
[6]吉村昭子，山口佳子，鳥越郁代，“女子大学生の出産に対するイメージと陣痛・産痛緩和方法についての意識に関する調査” 母性衛生 54(3), 239, 2013-10-04
[7]中村恵里子，黒田緑，“大学生がもつ出産のイメージと関連要因”． 母性衛生 54(3), 239, 2013-10-04
[8]木本喜美子，榎一江,“ジェンダー平等と社会政策”, 社会政策学会誌
[9]大口勇次郎，成田龍一，服藤早苗,“新 体系日本史 9 ジェンダー史”, 株式会社山川出版社
[10]内田明香，坪井健人，“産後クライシス”，ポプラ新書
[11]Kukiko Ogawa, Kumiko Adachi, Fumie Emisu, “Distressing experiences of and changes in adolescent mothers who hace just started parenting”, The Journal of Japan Academy of Health Sciences p.63~76
[12]高橋 恒男, “分娩誘発・陣痛促進時の分娩監視方法”, 日本産科婦人科学会雑誌 ACTA OBST GYNAEC JPN Vol.63, No.7, pp.1395-1400, 2011(平成 23, 7 月)

議論タイムスパン木生成ルールの提案について

能登 楓* 三浦寛也† 竹川佳成‡ 平田圭二§
(公立はこだて未来大学)¶

1 はじめに

一般に, 議事録は会議の内容共有や振返りに有効であり, 一人の書記によって作成されている [1]. しかし, 個人により必要とされる情報が異なるため, 関係者全員にとって有用な議事録を作成するのは難しい. そこで三浦らは, ルールを置き換えることで個人が必要とする情報を適切に含むような議論タイムスパン木の作成法を提案した [2]. 議論タイムスパン木の役割は, 議論に含まれる発言間の意図構造を木構造として表現することである. 三浦らが提案したグルーピングのルールでは, 比較的発言の表層的な特徴を重視するので, 意図の近い発言が異なるグループに振り分けられる場合が多かった. そのため, 例えばその木構造から議論の要約を作成しようとすると, 発言の意図を重視するのが困難であった. そこで我々は発言間の結束性に関するルールを導入する. これより, 例えば発言の意図を十分に反映した議論の要約を作成することが可能となる.

2 関連研究

既存の要約手法に関する研究として, 発話意図を考慮し, 発話群をグルーピングする手法がある [3]. 言葉の表層的な意味以上を考慮し, 話題が同じ発話をまとめる点では本稿のグルーピング作成手法に近い. またその他の研究としては, 同じ話題のテキスト群から要約を作成する方法がある [4]. この方法は本稿で提案している議論タイムスパン木作成における同じ話題の発言をグルーピングする方法に近い. しかし, 要約の対象が同一の視点でかかれているテキスト群と複数視点からなる発話群という点では異なる.

議論タイムスパン木に関する研究としてグルーピングの獲得と重要発言の選定をすることによってタイムスパン木を生成する手法がある [2]. DM システム [5][6] より得られた会議記録より得られた発話に対してグループ構造獲得と重要発言の選定をすることによってタイムスパン木を生成する. 先行手法では会議記録の各発言の重要度を階層的に表現でき, また使用するルールの数の調節によって木構造を柔軟に表現できる. 比較的発言の表層的な特徴を重視しているため, ルールの提案において本稿と観点が異なっている.

* b1014018@fun.ac.jp
† g2113031@fun.ac.jp
‡ yoshi@fun.ac.jp
§ hirata@fun.ac.jp
¶函館市亀田中野町 116 番地 2

3 発言の意図を重視した要約のための議論タイムスパン木生成方法

3.1 発話意図を重視したグルーピングのための提案

ルール提案は以下を考慮して行った: (1) 同一トピックを同じグループに配属すること, (2) 発話者の意図に基づいたグルーピングが作成されること. 次に示されているグループ構造獲得ルールは発話の意図を特に重視したルールを抜粋したものであり, 本研究で提案するものである.

グループ構造獲得ルール

1. まとめの発言を直前の発言とグルーピングする.
2. お世辞発言を直前の発言とグルーピングする.
3. 従属発言がある場合は直前とグルーピングされる.
4. 重要単語の頻出度合いでグルーピングする.

3.2 重要発言選定ルールの提案

重要発言選定は発言の性質に対するルール (1, 2) と, 発言の情報量に対するルール (3, 4, 5, 6) を提案した. また, ルールの競合が生じることへの対処として, 観点の異なるルールを階層別に使用することにした (Fig.1). 図中, 上半分がタイムスパン木である. この方法によって発言順序に依存することなく重要発言を選定できる.

重要発言選定ルール

1. 導入発言を重要発言とする.
2. 結論と後続を同時に含んだ発言を重要発言とする.
3. 情報量の多い発言を需要発言とする.
4. 発話時間の長いものを重要発言とする.
5. 発話量の多いものを重要発言とする.
6. 頻出単語を多く含むものを重要発言とする.

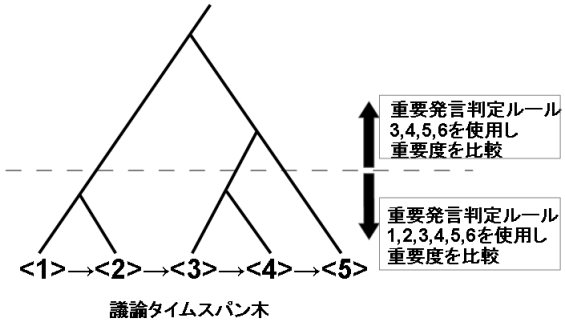


Fig. 1 階層的な重要発言選定ルールの使用

Table 1 議論の発言要旨

⟨1⟩, N 00：10	実験で何を評価するつもりなのか.
⟨2⟩, K 00：58	研究活動を支援する, といった感じではあるが具体的にはわからない.
⟨3⟩, N 03：05	被験者をグループに分け, タスクを振り分け達成具合を評価してはどうか.
⟨4⟩, K 00：14	いいと思います. 実験をやるために早く実装したい.
⟨5⟩, M 01：08	N さんの実験でも良いが, 支援がどう役立つかわからないので観察したほうが良い.
⟨6⟩, N 01：52	M さんの方法は私のと若干違う. 使用者の意見を取り入れ, 実験を練っていくべきだ.

4 提案手法による議論タイムスパン木の作成

本稿で述べた議論タイムスパン木生成のアプローチに基づくケーススタディを行う. ここでは上記の議論セクションを対象とし, タイムスパン木を作成した. 表の左側は発言に要した時間 (例：0:10(10 秒の意)) である. 発言者 N による導入発言 ⟨1⟩ を聞いて発言者 K による継続発言 ⟨2⟩ が生じ, さらなる継続発言が生じたことを表している. ⟨1⟩ から ⟨6⟩ までの 1 セクションを 1 グループとする. このグループに対し, 先行手法によって作成される議論タイムスパン木と本稿で紹介するルールによって作成される議論タイムスパン木を比較する (Fig.2).

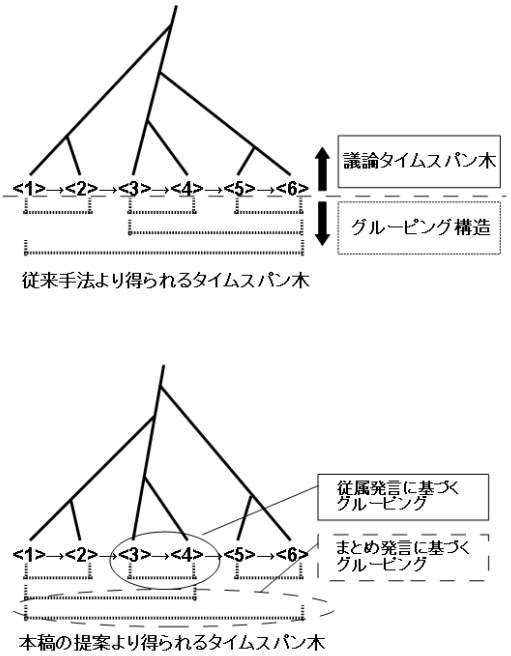


Fig. 2 得られる議論タイムスパン木

先行研究において提案されている手法と本稿で提案されている手法とで使用するルールに違いがあるが, 最重要発言, 最小のグルーピングはどちらも同じであった. 従来手法では情報量の変化に基づくグルーピングを行ったため, 実験の内容に関するグループ ⟨3⟩-⟨4⟩-⟨5⟩-⟨6⟩ が作成された. 対して本稿で紹介した手法では実験の内容に関するグループ ⟨1⟩-⟨2⟩-⟨3⟩-⟨4⟩ と実験への意見のグループ ⟨5⟩-⟨6⟩ に分けられた. 結果として発言をまとめるという意図を表現できた. 発話の意図を表すことによって従来手法よりトピックの近い発言同士での重要発言の選定が可能となる.

5 まとめ

本研究ではタイムスパン木生成に対し, 発言の意図を重視し, ルールの提案を行った. 本研究のルールを使用する場合の特徴として, まとめ発言が比較的上位に見られる. そのため, 問題として挙げられることは, まとめ発言がセクション内の内容とずれている場合に従来手法に比べ不正解となる可能性が高くなること. そのほか, ルールの定義が曖昧な部分 (まとめ発言, お世辞発言など) があることがあげられる. 問題に対処する為に, 厳密なルールの提案とさらに多くの木を作成し, 統計的な違いの検証, 導入したルールの妥当性を調べることを今後の課題とする. そのほか, 発言の性質による木構造のパターン作成も考えている.

参考文献

[1] 鈴木健, 究極の会議, ソフトバンク クリエイティブ (2007).

[2] 三浦寛也, 森理美, 長尾確, 平田圭二, 音楽理論 GTTM に基づく議論タイムスパン木の生成方式とその評価, 人工知能学会全国大会（第 28 回）論文集, 1F2-4 (2014).

[3] 石崎 雅人, 伝 康晴, 談話と対話, 東京大学出版会 (2001).

[4] 奥村学, 難波英嗣, テキスト自動要約に関する最近の話題, 自然言語処理, Vol9, No.4, pp.97-116 (2002).

[5] 長尾研究室, ディスカッションマイニングプロジェクト, http://dm.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/ (2014/09/05 アクセス).

[6] 土田貴裕, 議論内容の獲得と再利用に基づく知識活動支援システムに関する研究, 名古屋大学院情報科学研究科学位論文, http://www.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/paper/11309.html (2014/09/05 アクセス).

ユーザの嗜好に基づいたイベント推薦システムの構築

兵藤允彦* 奥野拓
(はこだて未来大)†

1 はじめに

全国の地方自治体では，現在様々な方法でイベントの発信が行われている．近年ではインターネットの普及に伴い，Web を活用した発信も積極的に行われている．Web を活用したイベントの発信の例として，北海道札幌市のイベント情報を網羅的に発信している「あなた情報マガジンびもーる」がある．また，北海道函館市では，函館市地域交流まちづくりセンターが運用している「イベント検索サービス HakoEve」という市民向けイベントを発信する Web サイトがある [1].

このような Web サイトを活用して，ユーザは自分の興味のあるイベントを探すことになる．しかし，イベントの数がたくさんあると興味のあるイベントを探すのが困難になる．また，市民イベントの多くは市民活動団体が主催していることから，商業イベントに比べ，積極的にイベントの宣伝をするのは難しい．

そこで本研究では，ユーザの興味のあるイベントとの出会いを促進するために，ユーザの嗜好に基づいて市民イベント推薦システムを構築し，その有効性の検証を行う．

2 ユーザ嗜好に基づいたイベント推薦

多くのイベント情報発信サイトでは，トップページにイベント名，開催日時，開催場所などが一覧表示されていて，その中からユーザが興味あるイベントを選び，そのイベントの内容や出演者などが記載された詳細情報を閲覧するという構成になっている．しかしこれでは，前述したようにイベントの数が多くなると，ユーザがその中から興味あるイベントを探すのは困難になる．Fig.1 に「旧函館区公会堂コンサート 2014」というイベントに登録されている詳細情報の一部を例として示す．

日時： 2014年8月16日(土) 14:00〜
コンサート名： 第２２回トランペット倶楽部プロムナードコンサート
出演団体： トランペット倶楽部

Fig. 1 詳細情報 (一部) の例

2.1 タグを利用したイベント推薦

ユーザの嗜好に基づいてイベントを推薦する手法として，イベントに付与されたタグを利用して推薦する吉田らの研究がある [2]．これは，イベントの特徴を表すタグとユーザの嗜好を表すタグをそれぞれ定義し，タグの一致度に基づいてイベント情報を推薦するという研究である．しかし，タグだけではそのイベントの詳細な特徴までを網羅することは難しい．そこで，本研究ではイベント情報に含まれている詳細情報を利用した推薦システムを構築する．

2.2 詳細情報を利用したイベント推薦

本研究では，イベントの詳細情報を活用したイベント推薦システムを構築する．イベントの詳細情報からそのイベントの特徴を得る必要がある．本研究での「特徴」とは，イベント情報に含まれる詳細情報の中で，どのようなイベントであるかを示す部分を指す．すなわち本研究では,「日時」や「開催場所」は特徴と定義しない．詳細情報から特徴となりうるキーワードを抽出する際，Wikipedia のカテゴリを用いて概念階層を生成する．その理由は，イベントに対して抽出したキーワードがどのような特徴を示しているかを判断するためであるとともに，より関連性の高いイベント推薦が可能になるからである．

3 システム提案

本研究では，ユーザの嗜好に基づいたイベント推薦システムを構築する．Fig.2 にシステムのイメージを示す．提案するイベント推薦システムは，機能を「ユーザの嗜好抽出」,「イベントの特徴キーワード抽出」,「嗜好に基づいたイベント推薦」の 3 つに分けることができる.「ユーザの嗜好抽出」の結果を用いてユーザ嗜好プロファイルを作成し,「イベントの特徴キーワード抽出」の結果を用いてイベント特徴プロファイルを作成する．

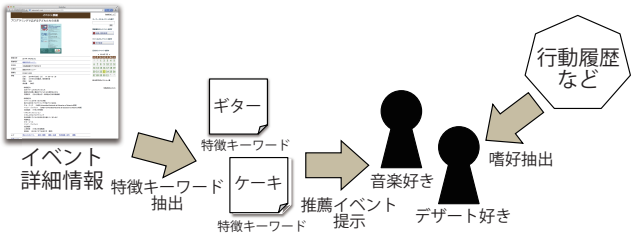


Fig. 2 システムのイメージ

3.1 ユーザの嗜好抽出

ユーザの嗜好に基づいてイベントを推薦するために，まずユーザがどのような嗜好を持っているかを抽出しなければらない．ユーザの嗜好を得る方法としては，ユーザ自身にユーザの性別や年齢，好きなジャンルなどの属性情報を入力してもらう方法が考えられる．また，Web ページの閲覧履歴やマイクロブログの投稿履歴などの Web 上

*b1011057@fun.ac.jp
†函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学

における行動履歴から嗜好を予測する方法もある．ユーザの負担という観点から考えた場合，負担が少ない後者の方が適切であると考えられる．しかし，本研究では行動履歴からの嗜好抽出は今後の課題とし，前者の方法で嗜好を抽出する．ユーザ嗜好プロファイルには，複数の嗜好キーワードが格納されていて，イベント特徴プロファイルに含まれるキーワードと統制できるようにマッチングを行う．また，イベント推薦時の優先度を決めるために，それぞれの嗜好キーワードに順位付けを行い格納する．

3.2 イベントの特徴キーワード抽出

本研究では，イベント情報に含まれている詳細情報を利用して推薦システムの構築を行う．特徴となるキーワードを抽出する方法として，本研究では Wikipedia のカテゴリを利用した抽出アルゴリズムを提案する．このアルゴリズムを実行する上で,「大カテゴリ」というものを定義する必要がある．定義は，Wikipedia に含まれる「イベント」,「市民活動」カテゴリに注目し，この下位カテゴリから市民イベントを特徴付けるようなカテゴリを選別する．大カテゴリの例として「音楽」,「祭」,「福祉」が挙げられる．提案するアルゴリズムは以下の通りである．

1. イベントの詳細情報を形態素解析し，抽出した名詞群から，除外対象に該当する名詞を除外する．残った名詞群それぞれを特徴キーワード候補とする．
2. 特徴キーワード候補が Wikipedia の見出し語に存在するか調べる．存在した場合は，Wikipedia におけるそのキーワードの上位カテゴリを調べる．存在しない場合は，特徴キーワード候補から除外する．
3. 特徴キーワード候補の上位カテゴリが，大カテゴリと一致または予め定義した大カテゴリの下位カテゴリに含まれているか調べる．含まれる場合は，その特徴キーワード候補を特徴キーワードとする．含まれていない場合は，その特徴キーワード候補を候補から除外する．
4. 特徴キーワードが決定したら，そのキーワードが大カテゴリに到達するまで，特徴キーワードの上位カテゴリを繰り返し調べ，それをリストに追加する．
5. 詳細情報が不十分で特徴キーワードが抽出できない場合は，イベント名を利用し 1 から 4 の処理を行う．さらに，イベント名でも特徴キーワードを抽出できない場合，そのイベント情報を推薦候補から除外する．
6. リストに追加された特徴キーワードとその大カテゴリまでのカテゴリを概念階層として格納し，特徴プロファイルを作成する．
7. 1 の特徴キーワード候補全てに対して 2，3，4，6 を実行する．

ここで，手順 2 を適用するために,「除外対象に当てはまる名詞」を定義する必要がある．多くのイベント情報で使われている単語，つまり出現頻度の高い単語は特徴キーワードと判断するべきではない．このような単語を除外するため，TF-IDF 法を用いる．さらに，イベントの特徴を示す単語として可能性の低い「地名」,「数字」,「1 字のみの単語」,「イベント名に含まれる名詞」,「開催場所」,「固有名詞」についても除外対象とする．

3.3 嗜好に基づいたイベント推薦

作成したユーザ嗜好プロファイルとイベント特徴プロファイルを用いてイベント情報を推薦する．推薦するべきイベント情報の選定についても，本研究では Wikipedia のカテゴリを利用したアルゴリズムを提案する．提案するアルゴリズムは以下の通りである．

1. ユーザ嗜好プロファイルに含まれる順位の高いキーワードからイベント特徴プロファイルに含まれるキーワードを順に調べる．一致した場合，最も優先的にそのイベントを推薦する．
2. 一致しない場合，ユーザの嗜好が Wikipedia において特徴キーワードの上位にあるカテゴリの下位カテゴリに含まれているか調べる．一致した場合，そのイベントを推薦する．
3. 含まれていない場合，ユーザの嗜好がさらに一つ上位にあるカテゴリの下位カテゴリに含まれているか調べる．一致した場合，そのイベントを推薦する．
4. 2 と 3 の操作を大カテゴリに到達するまで続ける．

4 評価

前述したアルゴリズムを適用し，作成したユーザ嗜好プロファイルとイベント特徴プロファイルを用いて市民イベント推薦システムを構築する．構築したシステムを利用してもらいアンケートを実施し，本研究の有効性を検証する予定である．検証のために必要なイベント情報は,「イベント検索サービス HakoEve」に登録されているものを利用する．

5 まとめ

本研究では，イベント発信における現状について述べ，イベント詳細情報からの特徴キーワード抽出方法，それを用いたイベント推薦方法について提案した．今後は上記の方法に基づき，イベント推薦システムを構築し，その有効性の評価を行う．

参考文献

[1] 函館市地域交流まちづくりセンター,
イベント検索サービス HakoEve,
http://hakomachi.com/hakoeve/events

[2] 吉田耕陽, 遠藤聡志, 當間愛晃, 赤嶺有平, 山田孝治,
タグを用いた嗜好抽出による観光イベント推薦システム, 情報処理学会研究報告, Vol. 2010-MPS-80, No.1, pp. 1-6, 2010

情報処理北海道シンポジウム 2014

文章における言葉遣いが提示内容の理解に与える影響

北信生* 松原仁
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

1.1 背景

コンピュータ技術の発展に伴い，インタフェースはより現実世界に近いものへと変化してきた．その身近な例が，近年急速に発展を遂げている自然言語による対話型のインタフェースだろう．アップル社が iOS に搭載した Siri は，その後のスマートフォンにおける音声アシスタント機能の先駆けとなったと考えられる．またつい先ごろソフトバンク社が発表した「Pepper」は，自然な長い対話を音声により行って話題となった．これらのインタフェースは主に音声理解や顔認識などの入力面で注目されることが多いが，利用しやすいインタフェースとなるためには発話によって人に与える印象も重要な要素であると考えられる．実際，先述のインタフェースはどちらも単なる情報提供を行う以上に，ユーモアを感じさせるような発言を行うように作られているのが特徴であり，それによって人気を得ている面もある．しかし印象を良くするための方策によって，本来の情報提示という役割が疎かになってしまってはいけない．そのため，印象を変化させる手法が情報の内容の理解に与える影響について研究する必要がある．

1.2 先行研究

この問題と関係すると思われる事柄として，Nass らはコンピュータから情報を提供する場面において，インタフェースの表現する性格と人が持つ性格とによって，抱かれる印象やインタフェースへの評価が変化することを明らかにした [1]．この研究では，事前のアンケートで「支配的」,「服従的」と判断された被験者に課題を与え，それらの性格を表現されたインタフェースとやりとりして課題を解決するという実験を行った．インタフェースの性格は言葉遣い，表示する自信度の得点，やりとりの順序，そして名前という 4 つの要素によって表現された．そして課題の後，インタフェースの親近性と能力，やりとりの満足度と有用性を評価させた結果，自分と似た性格のインタフェースとやりとりした被験者のほうがより高く評価をしており，インタフェースであっても人間は似た性格の相手を好むことが示された．

また文章の理解しやすさに関して，表現形式や意味内容によって研究した例では三宮や石田らの研究がある [2, 3]．三宮の研究においては具体的な文と抽象的な文の 2 種類を与えて記憶させ，再生した文の単語が元の文の単語と等しければ正答とする逐語得点と，単語が異なっても意味的に等しければ正答とする意味得点により，表現と意味の記憶について評価した．その結果，これらは独立したものであることが示唆された．石田らの研究では，主語と目的語の順序を倒置した文と通常の文を与えて手がかりをもとに文を再生させることで，再生手がかりとしての主語と目的語がどのように影響しているかを実験した．結果として，日本語では主語かどうかよりも文頭であることが記憶において重要であることが示唆された．

以上の研究から，文章の特徴の変化は印象や理解に影響をあたえていると考えられるが，主に行われている研究は文法的な構造の変更により内容の理解度を確かめるものであり，語尾や言い回しといった文章の印象を変化させる手法と，内容の理解しやすさの間にある関係は明らかにはなっていない．もしも印象変化の手法と理解の間に相関があれば，文章の理解しやすさ研究において新たな評価軸となるし，現在一般に用いられているインタフェースの文章を再考する必要も出てくると考えられる．従って文章表現の変化は印象の変化だけでなく，実際の内容理解にも影響を与えていることを確かめることを今回の目的とした．

2 実験方法

今回の実験では，文章表現と印象や理解との間にある関係を明らかにするため，紙による文章のみを用いた情報提示の場面を対象として，語尾の変化を比較の条件とし実験を行った．実験では，参加者に異なる語尾で書かれたナンバープレースパズルの解法を提示した後パズルの問題を解かせ，その正答数を測定した．そして語尾による印象の変化を測定するため，特性形容詞尺度により文章から受けた印象を評価させた．

2.1 ナンバープレースパズル

与えられた知識の理解度を定量的に測定するための課題として，ナンバープレースパズルを用いた．ナンバープレースパズル (ナンプレ，数独とも呼ばれる) とは，9 かける 9 のマス目で構成された盤面上を，ルールに従って 1 から 9 までの数字ですべて埋めることを目指すパズルゲームである (Fig. 1)．そのルールとは，盤面上には横 1 列に並んだマスを指す「行」，同じく縦 1 列のマスを指す「列」，3 かける 3 の小領域（図の太枠に囲まれている 9 マス）を指す「ブロック」という 3 種類のグループがあり，一つのグループに同じ数字は 1 つしか入れてはいけないというものである．ゲームの開始時点で，既

* g2114010@fun.ac.jp
† 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

に盤面には虫食い状態である程度数字が入っているため，それを手がかりにしつつ空きマスを埋めていくのが主な手順となる．

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

Fig. 1 ナンバープレースパズルの例

実験の課題にナンバープレースパズルを選択した理由として，まずナンバープレースパズルの問題は常に論理的に解決でき，かつ答えが一意に求まるように作問されているという点が挙げられる．このため，被験者が文章で提示した内容を理解したかどうかを，解答の正解との一致率という形で容易に評価できる．加えて，ナンバープレースパズルはその解法について研究が重ねられており，実際の問題を解くうえで役に立つことが保証されていると考えたため，今回被験者に提示する知識の内容もそれらの知見を用いて作成することとした．

2.2 印象評価方法

本実験では提示する文章の語尾が印象に与える影響を評価するために，林によって開発された特性形容詞尺度を用いた [4]．これは人間が相手の印象をどのように評価しているかを研究して開発されたもので，対象とする相手の印象が，与えられた形容詞対のどちらにどれだけ近いかを 7 件法で回答することで対象人物への印象を定量的に測定するものである．形容詞対は全部で 20 対あり，相関より「個人的親しみやすさ」,「社会的望ましさ」,「力本性」という 3 つの評価軸に分類されている．その内訳は以下のとおりである．

- 個人的親しみやすさ（8 対）
  - “人のよい” - “人のわるい”
  - “なまいきでない” - “なまいきな”
  - “人なつっこい” - “近づきがたい”
  - “かわいらしい” - “にくらしい”
  - “心のひろい” - “心のせまい”
  - “感じのよい” - “感じのわるい”
  - “親しみやすい” - “親しみにくい”
  - “親切な” - “不親切な”
- 社会的望ましさ（6 対）
  - “責任感のある” - “責任感のない”
  - “慎重な” - “軽率な”
  - “重厚な” - “軽薄な”
  - “分別のある” - “無分別な”
  - “意欲的な” - “無気力な”
  - “自信のある” - “自信のない”
- 力本性（6 対）
  - “積極的な” - “消極的な”
  - “社交的な” - “非社交的な”
  - “恥知らずの” - “恥ずかしがりの”
  - “うきうきした” - “沈んだ”
  - “堂々とした” - “卑屈な”
  - “気長な” - “短気な”

ここでは説明のため，各軸ごとに，形容詞対のうち軸の評価に正の効果を持つ形容詞を左，負の効果を持つ形容詞を右側に並べてある．従って，例えば “人のよい” の方に近いと回答した場合ほど，より個人的親しみやすさの評価が高いと判断される．ただし，実験の際には順序による回答への影響を排除するため，形容詞の左右は適当に入れ替え，さらに形容詞対は無作為な順序で提示した．

2.3 比較条件

今回の実験では，同じ文章を 3 つの条件で語尾を変化させたものを用意し，比較を行った．その条件とは常体（だ，である調），推量（「だろう」「と思う」など）敬体（ですます調），の 3 つであった．変化させる条件を語尾に限定したのは，文体での性格表現として Nass らの研究でも用いられていた断定形の表現と推量形の表現に加え，一般的に情報を提示する文章で用いられている丁寧語を同一の条件で比較するためであった．語尾以外に表現を付け加えてしまうと，それぞれの条件の間で文章量が異なってしまい，正しく比較が出来ないと考えたためである．

条件による文章の書き換えの例として,「あるグループに空きマスが 1 つしかないならば，入れられる数字は必ず 1 種類である」という知識がそれぞれの条件によって書き換えられた文章は以下のようになる．

常体条件 「あるグループに開いているマスがひとつしか無い場合，入れられる数字は必ず一つに決まる.」

推量条件 「あるグループに開いているマスがひとつしか無い場合，入れられる数字は必ず一つに決まると思われる.」

敬体条件 「あるグループに開いているマスがひとつしか無い場合，入れられる数字は必ず一つに決まります.」

2.4 実験参加者

今回は，情報自体の与える効果を統一して語尾が与える影響のみを測定するため，ナンバープレースパズルを解いた経験がない者を募集した．その結果公立はこだて未来大学学生 27 名 (18-24 歳，男 25 名女 2 名) が実験に参加した．

2.5 実験手順

実験は 2014 年 6 月 16 日から 7 月 11 日までの 4 週間に，遮音された個室に参加者を 1 人づつ呼び出して行った．参加者にはまずナンバープレースパズルの解き方に

ついて書かれた文章を渡し，3 分間でその内容を覚えるよう教示した．次に 10 分間でできるだけ多くナンバープレースパズルの問題（全 5 問出題）を解かせた．最後に特性形容詞尺度による印象評価に回答させ，実験は終了とした．

2.6 仮説

今回の実験では，語尾の条件によって印象およびパズルの正解数がどう変化するかについて仮説を立て検証を行った．その予測は Table 1 のとおりである．

Table 1 語尾と印象評価，正解数の関係の予測

被説明変数	常体	推量	敬体
個人的親しみやすさ	低	低	高
社会的望ましさ	高	低	中
力本性	高	低	中
正解数	高	低	中

語尾条件から個人的親しみやすさへの影響については，Nass らの研究において，利用者自身の性格との異同によって支配的と服従的のどちらの性格が好まれるかは変化するということが明らかになっていたことを参考とした (1.2 節, [1])．従って，常体と推量の好ましさは人によって変化するためどちらも高くならず，一般的に常体よりも表現が柔らかくなると考えられる敬体が最も親しみやすく感じられ，個人的親しみやすさが高くなると考えた．また社会的望ましさについては，筆者の研究で常体の口調を用いた文章の印象は敬体，間投詞などを用いた文章よりも社会的望ましさが有意に高くなるとの結果が得られていた [5]．従って今回の実験でも，社会的望ましさは常体条件が最も高くなると考えた．逆に推量条件が最も低くなるとした理由は，社会的望ましさは相手への信頼性に関わると考えられるため，自信のない発言をする相手への信頼性は高くならないと予想したためであった．そして相手の活動性を評価する尺度である力本性では，断定的であり自信度が高く感じられるため常体条件が最も高くなり，発言の曖昧性が上がり自信度が低く感じられるため推量条件が最も低くなると予測した．これらの検証により，今回作成した文章によって印象に与えられている影響を確かめた．

一方語尾が成績へ与える影響は，明確で具体的な表現ほど内容を理解しやすいと考えられるため，常体条件＞敬体条件＞推量条件の順で正解数が多くなると考えた．

3 結果

語尾と印象の相関について，特性形容詞尺度の各軸とパズルの 1 問目の正解数を目的変数，語尾条件を説明変数とする分散分析を行った結果を Fig. 2, 3 に示す．なお全ての語尾条件で被験者数は 9 名であり，ナンバープレースパズル 1 問目の空白マス数＝正解数の最大値は 40 であった．1 問目のみを用いて分析したのは，2 問目以降を回答できた被験者が少なく，分析に十分な量のデータを集めることが出来なかったためである．

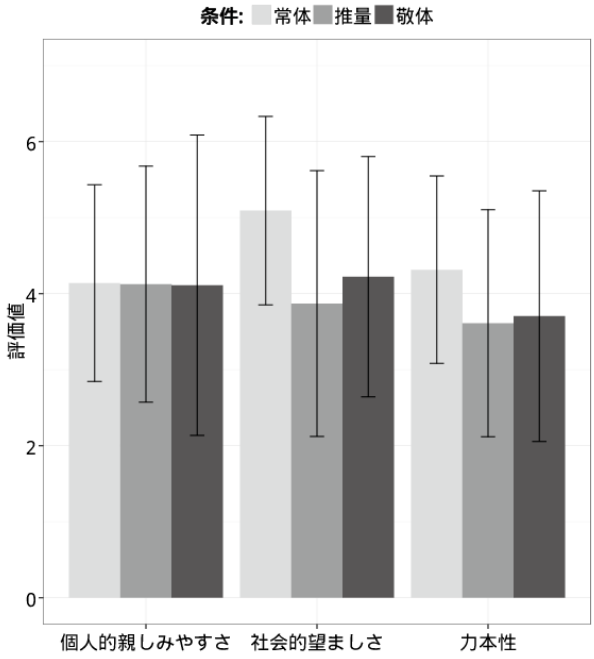


Fig. 2 条件ごとの印象評価値比較（軸別）

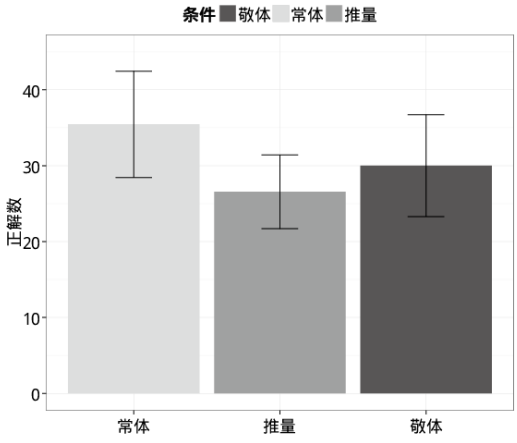


Fig. 3 条件ごとの正解数比較

またその項目ごとに，各条件間で Ryan の方法による多重比較を行った結果は，Table 2 のようになった．

これらより，次のことが言える．まず，個人的親しみやすさ項目においてはどの条件間にも有意差が見られなかった．従って，敬体条件が他と比べて親しみやすくなるという仮説は支持されなかった．次に，常体条件の社会的望ましさは他の 2 条件と比較して有意に高くなっていたが，敬体条件と推量条件の間には有意差が見られな

Table 2 各条件間での多重比較結果 (t 値)

	常－敬	常－推	敬－推
個人的親しみやすさ	0.10	0.06	0.05
社会的望ましさ	3.38 **	4.55 **	1.12
力本性	2.22 *	2.74 *	0.30
正解数	1.54	3.05 *	0.93

('**' $p < .01$, '*' $p < .05$)

かった．従って，常体条件の社会的望ましさが最も高くなるという仮説は支持されたが，推量条件の社会的望ましさが最も低くなるという仮説は支持されなかった．また，力本性に関しては常体条件が有意に最も高くなっていたが，敬体条件と推量条件の間には有意差が見られなかった．従って，常体条件の力本性が最も高くなるという仮説は支持されたが，推量条件の力本性が最も低くなるという仮説は支持されなかった．

最後に正解数において，常体条件と推量条件の間には有意差が見られたが，それ以外の 2 条件間ではどちらも有意差が見られなかった．従って常体条件の正解数が推量条件よりも多くなるという仮説は支持されたが，常体条件より敬体条件，敬体条件より推量条件の正解数が多くなるという仮説は支持されなかった．

4 考察

今回の実験において，社会的望ましさと力本性の群において，常体条件に関して仮説が支持された．これより，常体の文章は敬体や推量形の文章に比べ，社会的な地位のある人に求められる特徴を持っており，活動性が高いことを表現している文体であることが示されたと言える．これは常体により信頼性を高めることができるという予想をほぼ裏付けるものであり，信頼性の高さを表現するには常体を用いると有効であることが示唆された．一方個人的親しみやすさにおいてはどの条件間にも有意な差が見られなかったことから，今回比較した 3 条件のどれが最も好まれるのかについてはまだわかっていないと言える．

また，常体条件と推量条件との比較では正解数においても有意に高いという結果が出たことは，常体の文章が推量形の文章よりも内容の理解を促進したことを示していると考えられる．従って，提示する情報の確実性を下げる必要のない場合には曖昧な表現を避けて断定的に述べるほうが，受け手の理解には役立つと思われる．しかし常体条件と敬体条件の差は有意でなかったことから，完全に断定的であったほうがいいのかそれとも丁寧な表現を用いたほうが理解しやすいのかは今回の結果からは判断できない．ただし敬体条件と推量条件の差も有意でないため，丁寧語により理解が阻害されてしまう可能性も残っていることには注意が必要だと思われる．

5 まとめ

今回の実験では，文章の語尾と印象，内容の理解の間にある相関を明らかにするため，特性形容詞尺度の回答とナンバープレースパズルの正解数を元に分析を行った．その結果，文章に常体を用いることにより社会的な望ましさや力本性が高く評価され，内容の理解も促進されることが示唆された．このことから，正しいことが明らかな情報を提示する文章では常体を用いたほうが，理解の面では有用な可能性がある．今回の実験では個人間での関係における親しみやすさが常体と敬体で差があるかどうか判別できなかったため，個人的親しみやすさに差があるかどうかを検証し，さらに親しみやすい印象と内容の理解しやすさのどちらがインタフェースの設計において重要なのかを今後の実験で明らかにしていきたい．

一方推量条件と敬体条件の間に関してはほとんど有意差が見られなかった．この理由として，推量条件は敬体と変わらない効果を持つという解釈の他に，今回の実験では何らかの理由で推量条件の効果が強く出ていなかったと考えることもできる．この原因を検証するために，推量条件と敬体条件の差について信頼区間を設定し，本当に差がないのかどうかを確かめる必要がある．

また今回は個々の形容詞対の意味について触れず，特性形容詞尺度で説明される 3 軸でのみ分析を行ったため個人的親しみやすさの軸については有意差が見られなかったが，個人的親しみやすさの軸に属する項目の中には一部有意な差の見られた形容詞対が存在した．そのため今後は各形容詞対の意味を検討し，細かく仮説を立てて検証する取り組みも必要だと思われる．

参考文献

[1] Nass, C., Moon, Y., Fogg, B. J., Reeves, B., Dryer, C. : Can Computer Personalities Be Human Personalities?, *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems*, CHI '95, New York, NY, USA, ACM, pp. 228–229 (1995).

[2] 三宮 真智子 : 文章記憶における表現形式と意味内容の関係，心理学研究，Vol. 53, No. 5, pp. 308–311 (1982).

[3] 石田 潤，森 敏昭 : 文の記憶表象におよぼす語順と助詞の効果，広島大学教育学部紀要. 第一部， Vol. 32, pp. 163 – 168 (1984).

[4] 林 文俊 : 対人認知構造の基本次元についての一考察，名古屋大學教育學部紀要. 教育心理学科， Vol. 25, pp. 233–247 (1978).

[5] 北 信生 : 文章での情報提供場面において言葉遣いが印象に与える影響，公立はこだて未来大学卒業論文 (2014).

スマートフォンによるテクスチャ解析を用いた生ウニのおいしさの簡易判別

本間朝博* 三上貞芳
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

私達が日常生活で食材を購入する時には，その食品が新鮮であるかやおいしいかどうかを，食材を見て判断している．例えば，肉ではまず血やドリップが流れていないかや脂のサシ具合等がある．また，魚では皮膚にみずみずしい光沢があるかや目が血走ってなく透明であるか等で判断する[1][2]. これらの判断要素として共通しているのはツヤ（艶）やキメ（肌理）である．このように普段から目利きをする機会の多い食材について私達はある程度の知識を持ち，実際の食材と見比べることで判断をしている．しかし，私達が普段見慣れない食材のおいしさを見た目で判断するのは難しい.

そこで，消費者にとっては，目の前の食材のおいしさをアドバイスしてくれるツールが存在することが望ましく，一例としてスマートフォンで撮影することで自動的に評価を提示してくれるようなアプリケーションが考えられるが，現状では生鮮品，特に海産物を対象としておいしさを判別してくれるようなシステムは提案されていない.

そこで著者らは，スマートフォンレベルで処理可能なテクスチャ解析と機械学習を用いて，生鮮品のおいしさを簡易判別するアプリケーションの実現を目指している．今回，生鮮品の中でも海産物である生ウニを対象として，簡易判定を可能とするシステムを構築したので報告する.

食品の見た目のおいしさについて，食品の種類ごとに研究が進められている．池田らはケーキの見た目のおいしさと視覚的物理特性との関係について研究を行っている[3]．一方で，画像から食品の品質を推定する研究も同様に研究が進められている．例えば，Chandraratne らは羊肉の脂の入り具合をテクスチャ解析により定量化し，羊肉の等級の自動判別を行っている[4] ．また，Irwin らはクルミのスライスのテクスチャ解析により，品質を自動判定する試みを行っている[5].

著者らが開発したシステムは，海産物である生ウニについてのおいしさをテクスチャ解析，画像特徴量，機械学習の 3 点で求める．生ウニのおいしさの判断基準を畠山らはウニの粒がはっきりとしているかという点と，適度な水分が表面にあるかとしている[6]. この 2 点を本研究でもキメとツヤをおいしさの判断基準とした.

ウニのキメを検出する方法として，本論ではテクスチャ解析の同時生起行列(GLCM)を採用し，特徴量として角 2 次モーメントを用いる[8]. ツヤ検出の方法としては輝度ヒストグラムの歪度を採用した[10]. これらの特徴量に対して，人が判断したおいしさの評価を対応させるために，機械学習手法である Naïve Bayes を採用した.

これらの方法をスマートフォンのアプリケーションとして実装する．アプリケーション上でスマートフォンの内蔵カメラを起動し，生ウニを撮影することでつぶつぶ度合い，つやつや度合いの数値とランクが結果として表示される．これにより，消費者が手軽にカメラで撮影して見た目から生ウニのおいしさを簡単に知ることが期待される.

また、GLCM による角 2 次モーメントと歪度でおいしいウニとおいしくないウニのクラス分けが可能か，実装したアプリケーションと生ウニのサンプルを用いて実験を行った．つぶつぶ度合いとつやつや度合いの数値からグラフを作成し，明確な形状の違いが見られる生ウニに対しては明確な分離が見られた．これにより，2 つの方法でおいしさの判断指標となる特徴量の習得が可能となった.

この報告では，GLCM を用いた角 2 次モーメントのテクスチャ解析，輝度ヒストグラムの歪度による画像特徴量，Naïve Bayes による識別の方法の提案，さらにスマートフォンのアプリケーションによる実装と実験について述べる.

2 食品の自動判別

食品の画像から品質を推定する研究は食品の種類ごとに固有の研究が進められている．見た目からのおいしさの評価では[3]のようにニューラルネットワークを用いた研究, [4]や[5]のようにテクスチャ解析により定量化し，品質の自動判別を行っている研究も進められている．また，[7]は本論と同様に GLCM を用いて食品の品質分析を追う研究例であり，プラムケーキとコーンフレーク

の画像から質の判断を行っている．しかし，生鮮海産物の画像から品質を推定するような研究は進んでいない．

そこで，今回は生鮮海産物の中でも，切断などによる形状の変化が比較的行われにくい対象である生ウニに着目して，画像からおいしさの自動判別を行うと共にその妥当性を検証する．

3 海産物における見た目のおいしさ

一般的に，おいしい海産物は，見た目において，(1)表面のキメがはっきりしているという点と，(2)過剰な水分が表面にあらわれていないか(ドロッとしておらず, みずみずしい)ではないかとする考察がある[6].

生ウニにおけるキメは粒に弾力があり，水分が抜けていないことであり，画像では表面の境界がはっきりしている，同じようなテクスチャが繰り返しあるということである．

生ウニにおけるツヤは，表面の溶け具合に相当する.. つまり，表面のハイライト領域が大きい場合には，水分が多量で表面が溶けているように見える．

以上のことから, 生ウニのキメ(以下つぶつぶ度合いと呼ぶ)，表面のハイライト量(以下つやつや度合いと呼ぶ)の特徴量を判断基準（属性）とする．

4 おいしさを表す画像特徴量

4．1 つぶつぶ度合い（GLCM，角 2 次モーメント）

画像の生ウニのキメであるつぶつぶ度合いを検出する方法として同時生起行列, Gray Level Co-occurrence Matrix 通称 GLCM を採用する．同時生起行列とはテクスチャ解析の手法の一つであり，衛星画像の解析などで，緑地・森林・砂漠などの特徴的なテクスチャを検出するのに優れている[8].

また，[7]では GLCM が採用されており，食品のテクスチャ解析をする上で十分に信頼できると言える．このことからウニの粒の形状のキメを特徴として識別できる可能性がある．本研究では，GLCM の対象とする画像は元のウニ画像にヒストグラム平滑化をかけて NTSC[9]でグレースケール化した画像を用いた．NTSC によるグレースケール化は輝度信号 Y， 出力色信号赤 R，緑 G，青 B としたとき，以下の式で求める．

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

GLCM は，画素値 i の点から決められた位置関係 $\delta = (d, \theta)$ から離れた画素値 j との組み合わせを正方行列にしたもので表すことが出来る[8]．今回，GLCM はウニ画像の中心部の 500×500 ピクセルの画像を 100×100 ピクセルに線形縮小したグレースケール画像（NTSC グレースケール化，ヒストグラム均一化処理後）で，16

0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

図 1.　おいしいと判断されたウニの同時生起行列

0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

図 2．おいしくないと判断された生ウニの同時生起行列

段階の画素値，1 ピクセル隣接（$d = 1$），対角 4 方向（$\theta = 0°, 45°, 90°, 135°$）で作成した．そのため，16×16 の 4 つの行列から構成される．例として，おいしい，おいしくはないと判断した生ウニの，$\theta = 0°$方向の同時生起行列のサンプルを図 1，図 2 に示す．図 1,2 ともに，行方向が参照画素値，列方向が隣接画素値を表す[8].

同時生起行列を元に，元画像のグレースケール画素値をまとめ上げ，スカラー値の様々な特徴量が算出できる．本研究では，角 2 次モーメントを，素材のキメの特徴量として求めることにした．これは画像内のテクスチャの一様性を表している．例えば，ホワイトノイズ画像であると，角 2 次モーメントの値は数値的に大きくなり，規則的なパターンを持つテクスチャの場合はそのパターン固有の値をとる．以下に画素値 i を行，画素値 j を列とした要素 $P(x, y)$ とした時，角 2 次モーメントは以下の式で求める．

$$\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \{P(i, j)\}^2$$

*b1011258@fun.ac.jp
†函館市亀田中野町 116-2, 公立はこだて未来大学

本研究では 4 つの対角方向の角 2 次モーメント特徴量を平均化した値を，キメの特徴量として扱うことにした．

4. 2 つやつや度合い(歪度)

画像の生ウニのツヤを検出する方法として輝度ヒストグラムの歪度を採用する[10]．歪度はヒストグラムの非対称性を表し，人間の脳が対象の画像にツヤを感じるかどうかはヒストグラムの歪度で判断できることが知られている [10]．歪度が 0 なら対照的なヒストグラムであることを表す．歪度が正の場合の画像は人間には光沢があるように認識され，ヒストグラムは右向きとなり(図 3)，歪度が負の場合の画像は光沢がないように認識され，ヒストグラムは左向きとなる(図 4)．

歪度によってカメラで撮影した生ウニにつやを感じるかどうかを判断できると期待できるが，これは生ウニの表面の水分による光の照り返しを判断するものであり，対象がどろっとしているか，張りがあるかなどの指標となることが期待できる．

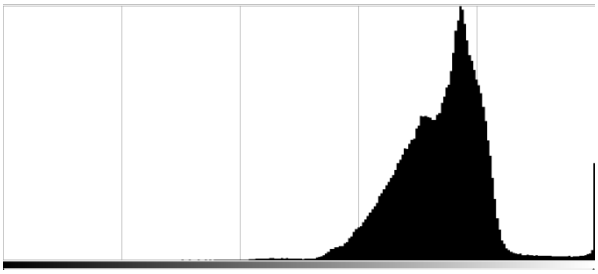


図 3. 右向きのヒストグラム

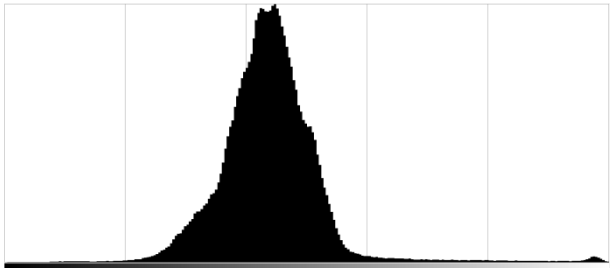


図 4. 左向きのヒストグラム

5 Naïve Bayes による識別

以上 2 つの特徴量を用いて，生ウニのおいしさの識別には機械学習の方法の一つである Naïve Bayes[11]を採用する．Naïve Bayes とは，属性がそれぞれ独立した事象として扱えることを仮定して，ベイズの定理の確率推定を用いた機械学習の一種であり，与えられたデータがクラスへ属する確率を出力できるという特徴がある．

例として，表 1 のようなウニの特徴量と，専門家によるおいしさの判断による教師データがあるとする．

表 1. ウニの特徴量による学習データ

画像	角2次モーメント a	歪度 s	おいしさの評価 class (おいしい=G,おいしくはない=N)
1	10	-1	G
2	5	1	N
3	5	0	G
…	…	…	…

表 1 には画像，角 2 次モーメント，歪度，おいしさの評価が記載されている．ここで，ある画像を提示した時においしいと判断される確率を求めるとは，角 2 次モーメントと歪度の値を求め，それが $class = G$ となる確率を求めることになる．具体的には，

$$\Pr[class = G | (a = 10,\ s = -1)] = \Pr[a = 10 | class = G] * \Pr[s = -1 | class = G] * \Pr[class = G] / \Pr[(a = 10,\ s = -1)]$$

で表される．

ここで，クラスが G，N のときの角 2 次モーメント a，および歪度 s が，それぞれ平均 μ_{ga}，μ_{na}，μ_{gs}，μ_{ns}，および分散 σ_{ga}，σ_{na}，σ_{gs}，σ_{ns} の値をとる正規分布に従うと仮定する．すると，$\Pr[a = x | class = G]$ は近似的に，平均 μ_{ga}，σ_{ga}，の正規分布の，x における確率密度関数の値

$$f(x, \mu_{ga}, \sigma_{ga}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ga}^2}} exp\left(-\frac{(x-\mu_{ga})^2}{2\sigma_{ga}^2}\right)$$

で置き換えることができる．

これを用いれば，与えられた 2 つの特徴量である角 2 次モーメント $a = x_1$，歪度 $s = x_2$ に対して，クラスが $class = G$ と判断される確率は以下のようになる．

$$\Pr[class = G | (a = x_1,\ s = x_2)] = \Pr[a = x_1 | class = G] * \Pr[s = x_2 | class = G] * \Pr[class = G] / \Pr[(a = x_1,\ s = x_2)]$$

ここで，

$$\Pr[(a = x_1,\ s = x_2)]$$

を消去するために同様に

$$\Pr[class = N | (a = x_1,\ s = x_2)]$$

を計算し，

$$\frac{\Pr[class = G | (a = x_1,\ s = x_2)]}{\Pr[class = G | (a = x_1,\ s = x_2)] + \Pr[class = N | (a = x_1,\ s = x_2)]}$$

によって，生ウニがおいしいと判断される確率を求めることができる．

6 スマートフォンアプリケーションによる実装

前述で述べた方法をスマートフォンのアプリケーションとして実装する．アプリケーション実装のターゲットを Android とし，アプリケーションの動作テストには Google Nexus S を用いた．

図 5. SEE Fooder アプリケーション表示画面例

SEE Fooder と名づけたこのアプリケーションでは，生ウニのおいしさ簡易判別をカメラ撮影により行う．まず，START ボタンを押すことでスマートフォンの内蔵カメラが起動する．カメラ起動後，生ウニ一房分が中心に来るように撮影する．撮影した生ウニの画像はスマートフォンの内部ストレージに保存され，中心部分の 500×500 ピクセルを判定用画像として使用する．判定用画像からつぶつぶ度合いとつやつや度合いの数値を算出する．算出した数値は，事前に著者らの判断による教師データにより作成した Naïve Bayes のモデルによっておいしいウニかおいしくないウニかの確率を総合的に判定する．結果は撮影した画像，つぶつぶ度合いとつやつや度合いの数値，確率を星で表したランクと共に画面上に表示する（図 5）．著者らの教師データを用いた場合，つぶつぶ度合いが低く，つやつや度合いの数値が低いと一般的に総合判定はおいしいウニとなる傾向が見られた．図 4 は，左が撮影した画像，右上が判定用に切り取った画像，右下が切り取った判定用の画像をグレースケール化した画像である．

7 実験

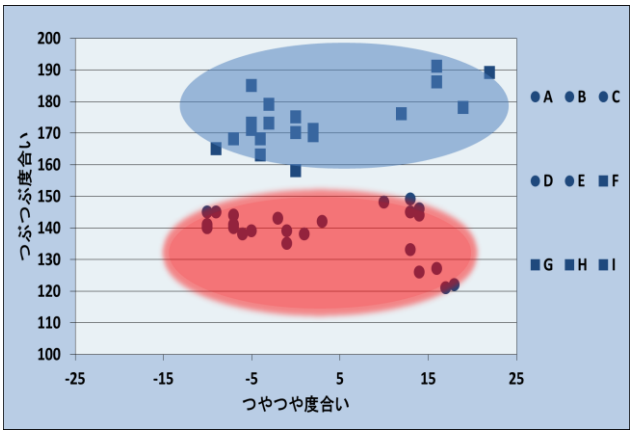


図 6. 撮影した生ウニの数値グラフ

4 章で述べた方法でクラス分けが可能かを検証する為，アプリケーションで生ウニのサンプルを 5 回撮影し，つぶつぶ度合い(GLCM)の特徴量と，つやつや度合い(歪度)の特徴量の数値を出力させ，それらを 2 次元グラフ上にプロットした(図 6). 今回実験で使用した生ウニのサンプルは，著者らの主観的判断でおいしいと感じた生ウニ 5 個，おいしくないと感じた生ウニ 4 個，計 9 個であり，サンプル名をそれぞれアルファベット順の A~I とした(図 7，図 8)．尚，図 7，図 8 の生ウニの画像は実験で使用したサンプルの一部分を切り取ったものである．

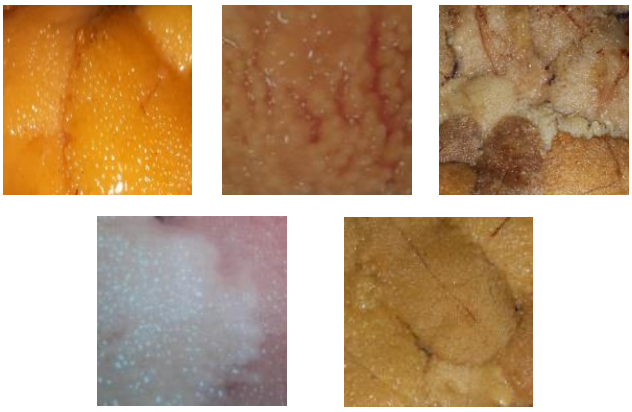


図 7. 著者らがおいしい感じた生ウニのサンプル

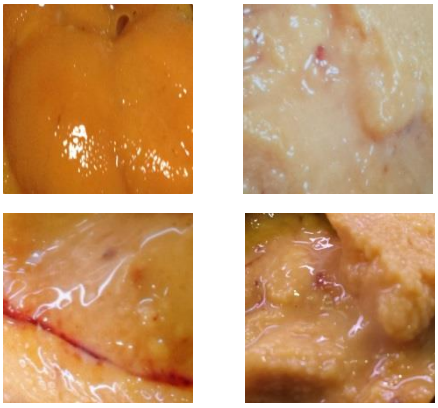


図 8. 著者らがおいしくないと感じた生ウニのサンプル

図 6 のグラフの丸のプロットが，著者らの主観的判断でおいしいと感じたウニ，四角のプロットがおいしくないと感じたウニである．また，グラフの楕円はつぶつぶ度合いとつやつや度合いのプロットの位置から決定したおいしいウニかおいしくないウニかのクラスの範囲である．下の楕円がおいしいと判断されたウニのクラスの範囲，上の楕円がおいしくないと判断されたウニのクラスの範囲である．図 9，図 10 にアプリケーション上でおいしいと判断されたウニとおいしくないと判断されたウニの画像の一例を示す．

おいしいとされるウニは見た目から，粒の形状がはっきりとしていて，水分が適量である．よって，つぶつぶ度合いの数値と低く，つやつや度の数値も低い．対しておいしくないとされるウニは見た目から，粒の形状がはっきりとしていない箇所が見られ，水分が多量で表面が溶けているように見える．よってつぶつぶ度合いの数値が高く，つやつや度合いの数値も高い．この例では図のサンプル画像のように，明確な形状の違いが見られるサンプルを用いたため，明確な分離が見られ，特につぶつぶ度合いが支配的なように見受けられる．しかし，他の事例では多くの重なり領域が見られる場合もあり，今後はより多くの例で検証が必要と考えている．しかし，見た目が大きく異なる例に対しては， GLCM と歪度で明確なクラス分けが可能となることが期待される．

図 9. おいしいと判断されたウニの例

図 10. おいしくないと判断されたウニの例

8 結論

今回提案した生ウニのおいしさ簡易判別アプリケーションでは，同時生起行列(GLCM)によるテクスチャ解析と，歪度による光沢の解析を用いることで，判断の指標となる特徴量を習得できた．また，スマートフォンレベルの情報機器で簡単に生ウニのおいしさを判別できることがわかった．実験結果から，見た目が大きく違う典型的なケースでは，生ウニはつぶつぶ度合いの方がつやつや度合いよりもおいしさの指標として重要であることがわかった．しかし，今回実験で使用した生ウニのサンプル数，特においしくないと感じたウニが少ない事，歪度の数値が多少ではあるが，サンプルごとに異なる点が挙げられる．サンプル数が少ない点は，生ウニのサンプルをより多く収集することで解決できる．収集したサンプルから教師データを追加し，Naïve Bayes のモデルを修正することで，生ウニのおいしさの確率推定の精度が高まることが期待される．歪度については，判定用の画像を少々大きくするなどしてアプリケーションのプログラムを修正する必要がある．

アプリケーションの実装において，アプリケーションのテスト動作に使用した Android 端末は，スマートフォンの Nexus S とタブレット端末の Nexus 7 であった．端末の内臓カメラの性能によって，アプリケーションで撮影した生ウニの画像の歪度に若干の差異が生じる傾向がみられているため，前処理の工夫や，他機種での検証を行うことが課題として残されている．

今後は先程述べた問題点を改善するとともに，消費者の食材へ理解を深めてもらう目的で，アプリケーションを広く使ってもらうために，多言語化や生ウニと似たような特徴を持つ生鮮品への応用を目指し研究を進めてゆきたい．

参考文献

[1] 生田與克,おいしい魚の目利きと食べ方, PHP 研究所,2011.

[2] 渡邊悦生,加藤登,大熊廣一,濱田奈保子,ビジュアルでわかる魚の鮮度-おいしさと安全へのこだわり-, 成山堂書店,2007.

[3] 池田光栄,志堂時和則,ケーキの物理特性と見た目のおいしさの関係,電子情報通信学会技術研究報告. HIP,ヒューマン情報処理 106(410),51-56,2006

[4] Chandraratne, M. R. , et al. , “Prediction of lamb carcass grades using features extracted from lamb chop images”, Journal of Food Engineering, Volume 74, Issue 1, pp. 116-124, May 2006.

[5] Irwin, R. et al. , “Assessment of chestnut (Castanea spp.) slice quality using color images”, Journal of Food Engineering, Volume 115, Issue 3, pp. 407-414, 2013.

[6] 畠山大樹,テクスチャ解析による食品のおいしさの簡易判定,平成 25 年度公立はこだて未来大学卒業論文,2014

[7] Tadhg Brosnan,Da-Wen Sun, “Improving quality inspection of food products by computer vision-a review”, Journal of Food Engineering, Volume 61,Issue 1, pp. 3-16,2004.

[8] 高木幹雄,下田陽久監修,新編 画像解析ハンドブック,東京大学出版会,2004.

[9] 奥富正敏,ディジタル画像処理,CC-ART 協会,2004.

[10] Motoyoshi, I, et al., “Image statistics and the perception of surface qualities”, Nature, Vol. 447, pp. 206-209, 10 May 2007.

[11] Ian H. Witten,Eibe Frank,Data Mining,Morgan Kaufmann Publishers,2000.

ノイズあり教師によるパーセプトロン学習の解析

本田新*, 岩館健司, 鈴木育男, (北見工業大学)†
池田和司 (奈良先端科学技術大学院大学)†

1 はじめに

ニューラルネットワーク(Neural Network : NN)とは, 脳の機能を司る神経素子(ニューロン)のモデルであり, 高次の情報処理を行うための手法として知られている. NN の一種である単純パーセプトロンによる機械学習はパターン認識やデータマイニングにも応用され, その学習曲線は情報統計力学の枠組みで理論的に解析されている[1]. 単純パーセプトロンにおける教師付き学習において望ましい出力を与える教師機械と学習の対象機械である生徒機械を考えた際, 教師機械の出力にガウスノイズが重畳する場合の学習曲線の解析[2]が行われており, ノイズがない場合と異なり学習曲線がオーバーシュート現象を起こすことが知られている. 先行研究では学習曲線を求めるための理論式を数値解析から求め, 近似的にオーバーシュート現象の原因を示している. そこで本稿では学習曲線に必要なパラメタを解析的に導出することを目的とする.

2 解析手法

本研究の目的として, パーセプトロンの学習曲線を理論的に求めるために解析を行う. 以下, 解析に必要な理論について記述する.

2.1 パーセプトロン

パーセプトロンは神経細胞と, 神経細胞同士をつなぐ軸索を模擬した NN の代表的なモデルであり, 複数の入力と結合荷重の積和の総和を内部状態とし, 符号関数で出力を決定する.

2.2 情報統計力学

情報統計力学とは, 物理現象を微視的な視点から確率的に考えてその現象を導き出すことが目的の統計力学の手法を使い, 高次元で確率的なものを扱う情報の問題を解析していく枠組みである. 統計力学の応用として, 統計力学の代表的な理論であるスピングラス理論を神経細胞の興奮パターンや NN の入出力など微視的なものに適用し, 連想記憶やパーセプトロンの容量など巨視的な性質を導き出すことができる. また機械学習において

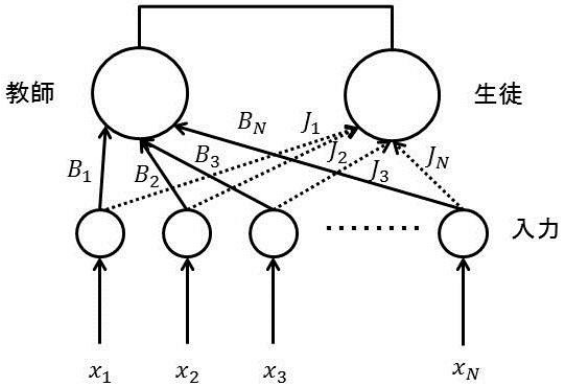


Fig.1 教師と生徒

重要である, 未知の入力に対する正しい出力との誤差の平均である汎化誤差を理論的に導き出すことができる.

2.3 問題設定

本研究で対象とするパーセプトロンは入力と出力のみをモデルとする単純パーセプトロンを考える. パーセプトロンがとりうるすべての出力パターンは, そのパーセプトロンと同じ構造を持つパーセプトロンで表現されるため, 図 1 に示すように学習するパーセプトロンと同じ入力を持ち, あらかじめ定められた結合荷重を持つパーセプトロンを訓練データの生成に用いる. 以下, 学習する側のパーセプトロンを「生徒」, 訓練データを生成するパーセプトロンを「教師」と呼ぶ. 教師と生徒の結合荷重を B, J とする. 教師 $B=(B_1,...,B_N)$, 生徒 $J=(J_1,...,J_N)$ および入力 $x=(x_1,...,x_N)$ は N 次元ベクトルであり, B の各要素 B_i, J の初期値 J^0 の各要素 J_i^0 はそれぞれ独立に正規分布 $N(0,1)$ に従い, 入力 x_i は $N(0,1/N)$ に従う. また B は不変であるとする. 生徒は結合荷重を変え教師の出力に一致させようとするため, B, J の一致度 R を学習の度合いとする. R は式(1)に表される.

$$R=\frac{B\cdot J}{\|B\|\|J\|} \tag{1}$$

巨視的な性質を見るため, $N\to\infty$ の状態を考えると, B, J^0 および x の期待値は

$$\|B\|=\sqrt{N},\|J^0\|=\sqrt{N},\|x\|=1 \tag{2}$$

となる. $\|J\|$ は時刻により変化するため, 初期値 $\sqrt{N}$ に対する比を l^m とすると, $\|J^m\|=l^m\sqrt{N}$ と表せる.

*havoc0214@yahoo.co.jp
†北見市公園町 165 北見工業大学情報システム工学科

ここでmは時間ステップである.教師の出力y^mは符号関数$\mathrm{sgn}(B\cdot x^m+n_B^m)$により生成され，$N(0,\sigma_B^2)$に従うガウスノイズ$n_B$が重畳する.

生徒の結合荷重は学習則をf^mとして$J^{m+1}=J^m+f^m x^m$として更新される．ここで，$f^m=\eta y^m\Theta(-y^m J^m\cdot x^m)$であり，$\eta$は学習係数である．また$\Theta(\cdot)$はヘヴィサイドの階段関数である．この時パラメタを$v^m=B\cdot x^m$，$u^m l^m=J^m\cdot x^m$とし平均時間$t=m/N$とすると，$l$および$R$の微分方程式が式(3),(4)に表される.

$$\frac{dl}{dt}=<fu>+\frac{<f^2>}{2l} \tag{3}$$

$$\frac{dR}{dt}=\frac{<fv>-<fu>R}{l}-\frac{R}{2l^2}<f^2> \tag{4}$$

ここで$<\cdot>$は中心極限定理から平均 0 分散 1 共分散Rの正規分布に従う(u,v)およびn_Bに関するサンプル平均である．サンプル平均は以下のように計算される.

$$<fv>=<\eta\Theta(-u(v+n_B))\mathrm{sgn}(v+n_B)v> \tag{5}$$

$$=\eta\int_{-n_B}^{\infty}dv\int_{-\infty}^{0}du\int_{-\infty}^{\infty}dn_B P(u,v)P(n_B)v$$

$$-\eta\int_{-\infty}^{-n_B}dv\int_{0}^{\infty}du\int_{-\infty}^{\infty}dn_B P(u,v)P(n_B)v \tag{6}$$

$$P(u,v)=\frac{1}{2\pi\sqrt{1-R^2}}\exp\left(-\frac{u^2+v^2-2Ruv}{1-R^2}\right) \tag{7}$$

$$P(n_B)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_B}}\exp\left(-\frac{n_B^2}{2\sigma_B^2}\right) \tag{8}$$

ここで，$P(u,v)$と$P(n_B)$は正規分布であり，$<fu>$，$<f^2>$についても同様に計算される[2].

3 解析結果

3.1 $<fv>$の計算結果

$<fv>$の計算結果を式(9),(10)に示す.

$$<fv>=\frac{\eta(1-R^2)}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dn_B}{\sqrt{2\pi\sigma_B}}\exp\left(-\frac{n_B^2(1+\sigma_B^2)}{2\sigma_B^2}\right)erfc\left(-\frac{Rn_B}{\sqrt{2(1-R^2)}}\right)$$

$$-\frac{\eta R}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dn_B}{\sqrt{2\pi\sigma_B}}\exp\left(-\frac{n_B^2}{2\sigma_B^2}\right)erfc\left(-\frac{n_B}{\sqrt{2(1-R^2)}}\right)$$

$$+\frac{\eta R^2}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{dn_B}{\sqrt{2\pi\sigma_B}}\exp\left(-\frac{n_B^2(1+\sigma_B^2)}{2\sigma_B^2}\right)$$

$$\times erfc\left(-\frac{Rn_B}{\sqrt{2(1-R^2)}}\right) \tag{9}$$

ここで，$erf(\cdot)$，$erfc(\cdot)$は誤差関数，相補誤差関数であり

$$erf(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x\exp(-t^2)dt \tag{10}$$

$$erfc(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_x^{\infty}\exp(-t^2)dt \tag{11}$$

と定義される．$erf(\cdot)$は奇関数である．式(9)の第一項から第三項までの計算は部分積分より，

$$\int_{-\infty}^{\infty}dx\exp(-a^2x^2)erfc(-bx)$$

$$=\frac{\sqrt{\pi}}{2a}\left[erf(ax)erfc(-bx)\right]_{-\infty}^{\infty}$$

$$-\frac{\sqrt{\pi}}{2a}\int_{-\infty}^{\infty}dx erf(ax)\left(\frac{-2b}{\sqrt{\pi}}\exp(-b^2x^2)\right)$$

$erf(\infty)=1, erf(-\infty)=1, erfc(\infty)=0, erfc(-\infty)=2$であるので

$$=\frac{\sqrt{\pi}}{a}-\frac{b}{a}\int_{-\infty}^{\infty}dx erf(ax)\exp(-b^2x^2) \tag{12}$$

a,bは定数であり,式(12)の第二項は奇関数であるため 0 となり，積分計算結果は$\sqrt{\pi}/a$と計算でき，最終的な積分結果は式(13)となる.

$$<fv>=\eta\sqrt{\frac{\sigma_B}{2\pi(1+{\sigma_B}^2)}}-\eta R\sqrt{\frac{\sigma_B}{2\pi}} \tag{13}$$

3.2 比較実験

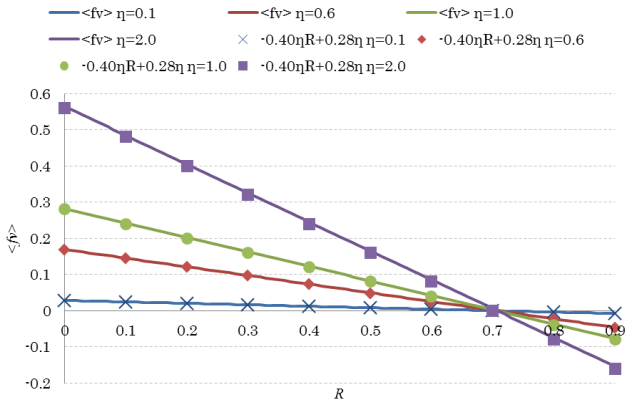


Fig2.サンプル平均と 1 次近似線（$(\sigma_B=1.0)$）

先行研究[2]により得られた近似直線と本研究により導出した解析結果を図 2 に示す．解析結果は近似直線と一致した.

4 まとめ

本稿では教師にノイズが重畳するパーセプトロン学習におけるRとlの微分方程式を解くためのサンプル平均$<fv>$を解析的に導出した．今後の展開として$<fu>$と$<f^2>$を導出し，Rとlの微分方程式を解析することが必要である.

参考文献

[1] 西森秀稔　スピングラス理論と情報統計力学　岩波書店(1999)

[2] Kazushi Ikeda and Hiroaki Hanzawa and Seiji Miyoshi : Convergence Properties of Perceptron Learning with Noisy Teacher:ISciDE2012 LNCS7751, pp. 417-424, (2013)

RDF を利用した推論に基づくリスト型質問応答システム

名取拓也 * 佐藤晴彦 小山聡 栗原正仁
(北大情報科学)†

1 はじめに

インターネット関連技術の発達に伴い，現代は情報爆発の時代と呼ばれるようになってきている．黎明期のインターネットでは，コンピュータや Web に関する知識を有する者だけが情報を発信することができたが，いわゆる Web 2.0[1] の到来により，そのような知識を持たない一般の利用者でも容易に情報を発信できるようになり，情報爆発を一層加速した．

そのような中，これらの豊富な情報の利用方法の一つとして，質問応答への知識源としての応用が近年注目を浴びている．質問応答は，主に自然言語を用いた質問文に対し，知識源の中から適切な回答を探し出し提示する技術であるが，その中でも「北海道出身の金メダリストは誰ですか？」といった，正答が複数存在しうるものをリスト型質問応答と呼ぶ．

一方で，更なる次世代の Web として，セマンティック Web（Web 3.0）が現在提案されている [2]．従来の Web は，文書などのリソースについて，人間がハイパーリンクをたどり，別のリソースに移動することができるというものである．それに対しセマンティック Web では，リソースやリソース間のリンクに関するメタデータを充実させ，計算機がリソースの意味を解釈できるようにすることで，より高度な情報処理を目指している．

これらを踏まえ本研究では，Web から取得可能な RDF を背景知識として利用することで，リスト型質問応答において重要となる回答候補のスコアを改善することを目指す．

2 関連技術

2.1 リスト型質問応答システム

典型的なリスト型質問応答システムの処理の流れを Fig. 1 に示す．

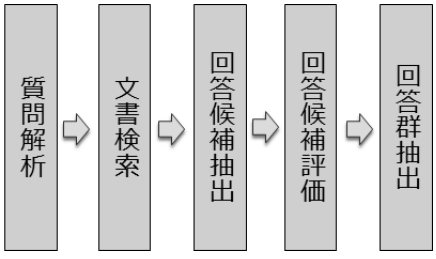


Fig. 1 一般的な質問応答システムの構成

回答候補評価部では，それぞれ回答候補に正答らしさを示すスコアを与え，スコアが高いものを優先して回答とする．通常の質問応答を行うシステム，即ち正答が単一となるようなシステムでは，最もスコアが高いものを回答として選択すればよく，システムの良し悪しは，知識源の生成や回答の抽出方法，質問文の解析，スコア付けのアルゴリズム等の性能から議論される．

しかしながら，リスト型質問応答システムにおいてはこの手法を適用することはできない．何故ならば，正答の数は必ずしも明確ではなく，更に正答が順に良いスコアを付与されているとは限らないためである．スコア付けされた回答候補からの回答選択の手法として，これまでに単純に上位から回答を採用していく方法 [4] の他，スコア分布を用いる方法 [5]，集合拡張 (Set Expansion) を行う方法 [6] などが提案されている．

しかしながら，Rzmara らの研究 [7] によれば，回答の良さはスコア付けの方法に大きく依存すると報告されている．そこで Aqualog[8] では，RDF を用いることでノイズの多いスコアへの対応を試みているが，山本らの研究 [9] では，同様に RDF を背景知識としているもののベイズ推定を行うことで，RDF 特有のプロパティ選定の煩わしさからの脱却を実現している．

2.2 ベイズ推定

山本らの手法では，RDF を背景知識として利用するためにベイズ推定を行っている．本研究でもこの手法を用いるため，ベイズ推定について簡単に紹介する．

ベイズ推定は，事後分布は尤度と事前分布の積に比例するという性質 (ベイズの定理; 式 1) を利用し，事前分布から事後分布を推定する方法である．

$$\begin{aligned} P(A|X) &= \frac{P(X|A)P(A)}{P(X)} \\ &= \frac{P(X|A)P(A)}{\sum_A P(X|A)P(A)} \end{aligned} \tag{1}$$

ここに，X はデータ，A はパラメータであり，$P(X)$ および $P(A)$ はその確率分布である．事前分布 $P(A)$ は既に得られている知見などによる確率分布であり，$P(A|X)$ は新たな観測値 X に基づいて訂正された事後分布である．

2.3 RDF

RDF (Resource Description Framework) は，Web 標準化団体である W3C (World Wide Consortium) の提唱する，リソース間情報を記述するための枠組みである．

* ntry@complex.ist.hokudai,ac.jp
† 札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

RDF では，あるリソースに関する情報が「主語」(Subject),「述語」(Predicate, Property),「目的語」(Object) の三つ組（トリプル）の形で表される。主語にあたるリソースと，目的語にあたるリソース（またはリテラル）について,「主語に対して目的語がどのような関係であるか」が述語によって表現されている．RDF の例として Fig. 2 では，”Foo Bar”という事物を Web 上の URI で定義し,「この URI で表されるリソース（Foo Bar）は人間である」ことを示している．

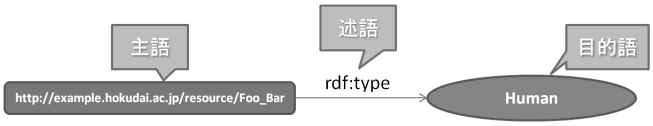


Fig. 2 RDF トリプルの例

2.4 Wikipedia

Wikipedia[3] は，フリーのインターネット百科事典であるが，その内容は誰もが自由に加筆訂正することができ，Web 2.0 代表的なのユーザーベースコンテンツとなっている．Wikipedia には分野の高い網羅性，コピーレフトの利用性，文書の構造性など多くの利点があり，かつスクレイピングが容易であるため，情報源としての利用を目指す研究が多数ある [10].

中でも，Wikipedia における種々の構造性に着目し，RDF トリプルを抽出しようとする試みは既にいくつかあり [11][12][13][14]，インフォボックスと呼ばれる統計情報や，カテゴリ階層，抄録，箇条書き情報などが生成の対象となっている．これらの構造的部分は，定まった書式で記述されているためデータの関係性が推測し易く，計算機に RDF トリプルを自動生成させることが可能である．Fig. 2 を RDF/XML と呼ばれる形式で表現すると，Fig. 3 となり，手作業で膨大な RDF データを拵えるのは現実的ではない.

```
<rdf:RDF
 xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
 xmlns:dc="http://purl.org/dc/elements/1.1/">
    <rdf:Description rdf:about=http://en.wikipedia.org/wiki/Tony_Benn>
        <dc:title>Tony Benn</dc:title>
        <dc:publisher>Wikipedia</dc:publisher>
    </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

Fig. 3 RDF/XML による表現

加えて，Wikipedia の各記事は固有の URI を持っており，容易に RDF のリソースとして充当することが出来る.

3 システムの提案

3.1 概要

本研究では，山本らの提案したシステムを参考に，自動的な Wikipedia からの RDF データ生成を行い，更にリスト型質問応答において背景知識として利用し推論を行うシステムを提案する.

3.2 システムの構成

本システムの処理の流れを Fig. 4 に示す．本システムでは，予め回答候補とスコアの組み合わせが与えられるものとし,「RDF ストア生成部」および，Fig. 1 における「回答群抽出部」を実装するものである.

以下では，システムの各モジュールの設定や詳細について述べていく.

3.2.1 RDF ストアの生成

Web が知識減であるため本来なら動的に RDF を生成するシステムが望ましいが，Wikipedia ではクロールが禁止されている．従って，システムを動作させる準備として事前に Wikipedia よりダンプデータを取得し，先述した構造性を利用して RDF を抽出しデータベース化しておくことが望ましい．また，有用な RDF ストアのエンドポイントが公開されている場合には，これを利用するのも良い.

3.2.2 RDF データからの情報抽出

回答候補として与えられたリソースを含む RDF を，SPARQL を用いてデータベースより検索し抽出する．SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) は，RDF を検索するのに用いられるクエリ言語であり，ワイルドカードを含んだ検索が可能である．これを全ての回答候補に対して行い，RDF トリプルのパターンを得る.

3.2.3 関係マトリックスの生成

各回答候補について，抽出した RDF トリプルのパターンを持つか否かを下記の関係マトリックス（以下 RM）で表す.

$$RM = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & & r_{2,n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{pmatrix}$$

$$r_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{回答候補}_i\text{が RDF パターン}_j\text{を持つ} \\ 0 & \text{回答候補}_i\text{が RDF パターン}_j\text{を持たない} \end{cases}$$

ここで，m は入力される回答候補の数，n は抽出された RDF パターンの数である．ここで言う RDF パターンとは，検索対象が一要素として出現する RDF トリプルの残りの要素の組み合わせを指す.

3.2.4 ベイズ推定

ここでは，RDF データより生成した RM と，回答候補に与えられているスコアを用いて正答らしい RDF パターンの推定を行う．RDF ストアに質問に関わる正しいデータが蓄積されているならば，正答となる回答群が持つ特定の RDF パターンが共通していると考えられる.

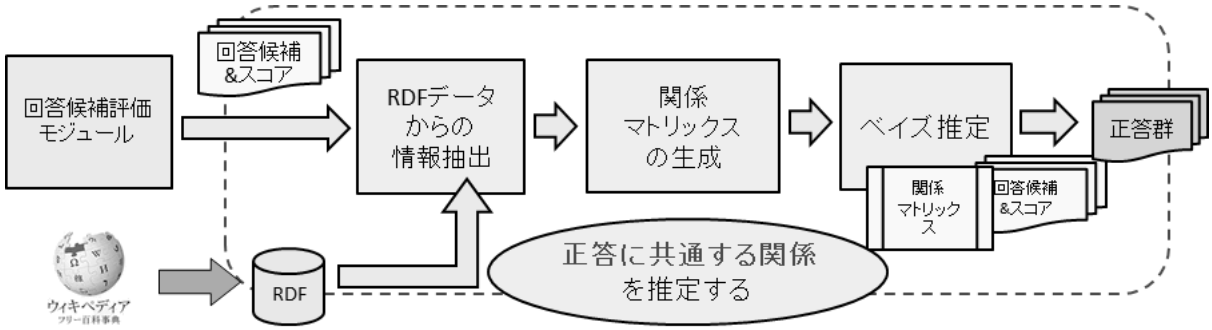


Fig. 4 提案システムの構成

そこで，ある R_j が正答群に共通する RDF パターンである事後確率 $P(R_j|S)$ をベイズ推定によって求める．$S = \{s_1, s_2 \ldots s_m\}$ であり，s_i は，i 番目の回答候補のスコアを示す．ベイズの定理にこれらを代入すると式 2 のようになる．

$$P(R_j|S) = \frac{P(S|R_j)P(R_j)}{P(S)} = \frac{P(S|R_j)P(R_j)}{\sum_{k=1}^{n} P(S|R_k)P(R_k)} \quad (2)$$

また，式 2 のうち分母は正規化の役割であり，事後分布は尤度と事前分布の積に比例するということを考慮すると，式 2 は式 3 のように変形される．

$$P(R_j|S) = \alpha P(S|R_j)P(R_j) \quad (3)$$

ただし，α は正規化のための係数であり，$0 \leq \alpha \leq 1$ である．

また，それぞれの j において s_i は $r_{i,j}$ に対し独立であると仮定すれば，式 3 の尤度関数は式 4 のように導かれる．

$$P(S|R_j) = \prod_{i=1}^{m} P(s_i|r_{i,j}) \quad (4)$$

今，尤度関数 $P(s_i|r_{i,j})$ は，i 番目の回答候補に対する j 番目の RDF パターンの有無が与えられたとき，s_i を観測する尤もらしさであり，R_j が正答特有のパターンであるならば，$r_{i,j} = 1$ となる場合には高いスコアが，$r_{i,j} = 0$ となる場合には低いスコアが与えられるはずである．従って，s_i と $r_{i,j}$ の値の差は必然的に小さくなると考えられるため，$P(s_i|r_{i,j})$ はこれらの差に対し単調減少であることが望ましい．例として，ユークリッド距離（式 5）やシグモイド関数（式 6）などが挙げられる．

$$P(s_i|r_{i,j}) = |s_i - r_{i,j}| \quad (5)$$

$$P(s_i|r_{i,j}) = \frac{1}{1 + exp\left[\lambda(|s_i - r_{i,j}| - 0.5)\right]} \quad (6)$$

また，$P(R_j)$ は事前分布であるが，事前確率の設定として一様分布（式 7）や，質問文中のキーワードが出現する頻度（式 8）などが考えられる．

$$P(R_j) = \frac{1}{n} \quad (7)$$

$$P(R_j) = \frac{t_j + \epsilon}{\sum_{k=1}^{n}(t_k + \epsilon)} \quad (8)$$

ただし，ϵ は $P(R_j) = 0$ となることを防ぐためのパラメータ，t_k はキーワードがある k 番目の RDF パターンに出現する数である．

こうして得られた事後分布 $P(S|R_j)$ を評価し，最も高い値を示す R_j を正答らしい RDF パターンとして，$r_{i,j} = 1$ となる i 番目の回答候補を出力する．

4 おわりに

本研究では，Wikipedia の構造性を利用した情報抽出と，リスト型質問応答システムへの応用手法を検討した．

今後の展望として，実データを揃えた上での実証実験や，アプリケーションの開発などに取り組んでいく．また，Wikipedia が持つ類義語や同音異義語への対応機能の利用を検討していきたい．

参考文献

[1] Tim O ' Reilly. what is web 2.0, http://www.oreillynet.com/pub/a/oreilly/tim/news/2005/09/30/what-is-web-20.html

[2] T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila, et al. The semantic web. Scientific American, Vol. 284, No. 5, pp. 28-37, 2001.

[3] Wikipedia, http://wikipedia.org/

[4] Edward W. D. Whittaker, Matthias H. Heie, Josef R. Novak, and Sadaoki Furui. Trec 2007 question answering experiments at tokyo institute of technology. In TREC, 2007.

[5] 石下円香, 森辰則. 優先順位型質問応答の解スコア分布に基づくリスト型質問応答. 情報処理学会研究

報告. 自然言語処理研究会報告, Vol. 2005, No. 94, pp. 41-47, 2005-09-29.

[6] Richard C. Wang, Nico Schlaefer, William W. Cohen, and Eric Nyberg. Automatic set expansion for list question answering. In Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, EMNLP '08 pp. 947-954, Stroudsburg, PA, USA, 2008. Association for Computational Linguistics.

[7] Majid Rzmara and Leia Losseim. Answering list questions using co-occurrence and clustering. Proceedings of the Sixth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC '08), Marrakech, Morocco, may 2008. European Language Resources Association (ELRA). http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2008/.

[8] Vanessa Lopez, Victoria Uren, Enrico Motta, and Michele Pasin. Aqualog: An Ontology-driven question answering system for organizational semantic internets. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Vol. 5, No. 2, 2007.

[9] 山本康貴 , 佐藤晴彦 , 小山聡 , 栗原正仁 . リスト型質問応答システムにおける RDF データの利用 . 情報処理北海道シンポジウム 2013 講演論文集 pp. 205-208 , 2013 .

[10] 中山浩太郎 , 伊藤雅弘 , Maike Erdmann, 白川真澄 , 道下智之 , 原隆浩 , 西尾章治郎 . Wikipedia マイニング : Wikipedia 研究のサーベイ . 情報処理学会論文誌 . データベース , No. 4, pp. 49-60, 2009.

[11] Soren Auer, Christian Bizer, Georgi Kobilarov, Jens Lehmann, Richard Cyganiak, and Zachary Ives. Dbpedia: A nucleus for a web of open data. The Semantic Web, pp. 722-735, 2007.

[12] 玉川奨 , 森田武史 , 山口高平 . 日本語 wikipedia からのクラススキーマ階層の自動構築と利用 . 第 26 回人工知能学会全国大会 , 2C1-NFC-2-1, 2012.

[13] 藤原嵩大 , 吉岡真治 . Wikipedia の階層関係を分析するためのカテゴリパターンの提案 . 第 26 回人工知能学会全国大会 , 2C1-NFC-2-4, 2012.

[14] 柴木優美 , 永田昌明 , 山本和英 . 日本語語彙大系を用いた wikipedia からの汎用オントロジー構築 . 情報処理学会研究報告 . 自然言語処理研究会報告 , Vol. 2009, No. 4, pp. 1-8, Nov 2009.

地域デジタルアーカイブスを活用した観光振興

－五稜郭築造 150 年祭を契機にしたミュージアムが街に出る仕組みを構築する試み－

木村健一*　蝦名奏子 川嶋稔夫
(公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科)†

1 はじめに

これまで多くの自治体が地域の文化財を中心とした事物をディジタル化し、DVD や Web を通じて公開を進めてきた。地域の歴史や文化的営み，自然や街並みを，俯瞰的な視点から客観的に眺めることができるような環境が整いつつある、ということである。

しかし、一方では、作られた「コンテンツ」が想定されていた通りには、産業振興につながっておらず、所謂文化事業としての成果に留まっている傾向が強いことはいなめない。

それでも，文化財などの事物のディジタル化が生み出したものは大きい。ディジタル化によって地域に潜在化していた事物が顕在化して多くの人の目に触れることで、人々が触発され、地域の再発見が進んでいる事の重要性も看過できないものがある。

そこで、本稿では筆者らが推進してきた、函館におけるデジタルアーカイブスのこれまでの取り組みに触れながら、函館市の産業振興セクタと観光産業関連企業が一体となって取組んだ「五稜郭築造 150 年祭」で用いた誘客のための宣伝・広報手法であるメディアミックスと、事業の核の一つとなったリトファスゾイレ（円柱型広告塔）の設計と実装とその成果について述べる。

メディアミックスとは、放送や新聞、雑誌等のマスメディアに事業内容を取り上げてもらう為の各種広報活動に加え、ポスターやチラシ等の宣材配布や街頭への掲示、街路灯へのフラッグの掲出、バスや電車のラッピング広告の掲出を含む多種多様な媒体を総合的に用いる宣伝・広報手法の事をいう。

リトファスゾイレは、ヨーロッパを中心に、都市景観保全を積極的に誘導している都市において、看板やポスター等の宣材が無秩序に掲出されることを防止するために考案されたもので、広く普及している。デザインコントロール（掲出物の色や内容について一定のルール）が施されたを課す）ポスターやチラシが集約掲出され、街路に一定の秩序と美しさを演出している。

*kimura@fun.ac.jp
†北海道函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

2 地域デジタルアーカイブ

2.1 函館の図書館コレクション

まず、本稿で紹介する試みのベースとなった取り組みを紹介する。

川嶋らは、2003 年より市立函館博物館（現、函館市中央図書館）館長の依頼を受け、図書館が所蔵する資料のディジタル化に関する検討を行っている。［1］

同館のコレクションの特徴の一つは、古写真であり、最古の写真には 1854 年のペリー艦隊の来航時まで遡る。幕末には函館に写真師田本研三が登場し、土方歳三の肖像写真など、多くの写真記録が残されている。人物や建物、風景パノラマ写真が撮影されている。

古写真の他に、同館が所蔵するコレクションには、絵葉書、古文書、古地図、絵画、新聞、雑誌、商業ポスター等、さまざまな形態の地域の歴史を語るうえで重要な資料が、収集され保管されてきた。

2.2 函館圏地域デジタルアーカイブス

函館市と周辺地域を含む函館圏には、函館コレクションと呼ぶべき歴史文化資料が残っている。これらを、以下の３つのクラスに分類［2］してデジタルアーカイブ化が進められてきた。

(1)すでにアーカイブ化された資料のデジタル化
(2)ディジタル技術を活用した収蔵物のアーカイブ
(3)ディジタルデータを収集対象としたアーカイブ

川嶋らは、函館市中央図書館の資料について(1)(2)を推進するとともに、独自に(3)の取り組みも行っている。これらの成果は、「函館市中央図書館デジタルアーカイ

図 1

ブ」として図１のように Web で公開されている。［3］このように資料の公開を行う事で、地域に眠っていた文化財の顕在化が図られ、観光コンテンツの素材として関係者に意識してもらう活動が進められてきた。

貴重な資料がディジタル画像に変換されることで、格段に活用の範囲が広がっている。通常、貴重な資料は館内での閲覧が原則であり、実物を限られた時間内で調査しなければならない。手続き上、数千件の資料を館内で閲覧することは困難であり、Web や館内端末を介したディジタル資料の閲覧であれば、問題なく対応が可能である。

「函館市中央図書館デジタルアーカイブ」の運用開始後は、印刷物等への画像データの提供がディジタルデータでの貸与で済む。管理業務の大幅な効率化が図られ、資料利用のハードルが低くなった。函館に関する雑誌記事での古地図・古写真資料の利用が飛躍的に増え、記事内容の充実につながっている。

デジタル資料の活用例としては、カレンダー、書籍、観光パンフレット、会報、会議資料、その他のイベント案内ポスターなどへの画像データの提供が多い。明治期の函館の街並みを記録した写真や地図、鳥瞰図風に描かれた函館の錦絵などが良く利用されている。

雑誌は歴史関係のものが多いが、各種広報誌，観光情報誌なども含まれ、最近では「街歩き型観光」がブームになっており、歴史散策マップなどの制作を通じた観光客への情報提供が増えている。

3 観光コンテンツとしての活用

3.1 五稜郭築造 150 年祭の統一的なデザインの設計

アーカイブ構築者の熱心な普及活動によって、函館圏において地域デジタルアーカイブスの利用が拡大している事を前項で示した。

以下では、函館において 2014 年度に官民一体となって取組んでいる観光産業振興に関わる地域デジタルアーカイブスの利用事例を紹介する。

函館を代表する観光地として、重要な文化財として著名な五稜郭の築造が 150 年目を迎える事から、全市的な取り組みとして「五稜郭築造 150 年祭」が企画された。

実施にあたり、シンボルマークの募集が行われ、筆者の一人である蝦名のデザイン案が採択を受け、筆者らが同祭の統一的なデザインの設計にあたる事となった。

そのコンセプトは、地域デジタルアーカイブスを活用して、街歩き型観光を楽しみながら、五稜郭築造時に前後する函館の歴史を体感できるようにする、というものである。

いわば、ミュージアムの資料を街に出す仕組を作り、街歩き観光という娯楽の枠組みの中で楽しんでもらおうという狙いである。

採択された五稜郭築造 150 年祭シンボルマークは図２の通り。五稜郭のシルエットを 150 個あしらい、全体として北を示すコンパスを意味している。図の中心に一個分の空白を開け，151 年目に相当する一個のピースを函館市民自らが嵌め込むことを促し、五稜郭の未来を築いて行く事を象徴的に表した。

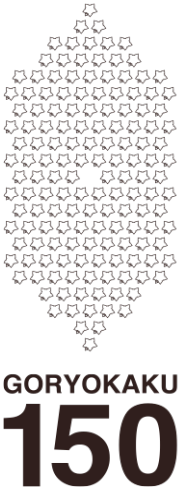


図 2

このシンボルマークを手がかりに、先に示したコンセプトを同祭に関連した事業全体のイメージとなるようデザインの統一を計る Visual Identity 手法（以降 V.I.と表記する）を導入した。

V.I.とは、シンボルマークを法人等が製造もしくは所有する総ての人工物に掲出し、イメージの統一を図るデザインの設計手法の一つである。今回は、同祭の実行委員会内にデザイン制作部会を設置し、筆者が V.I.の運用を行う責任者であるアートディレクターとなり、全体のデザイン監修を行った。

3.2 メディアミックス

筆者が最初に着手したのは、ポスター（図３）や街路灯に掲出するフラッグ（図４）等々である。以下に示す。

ポスターにはシンボルマークをあしらい、五稜郭築造時の設計図面をレイアウトし、シンボルカラーの紫色を全面に用いた。フラッグも同様のデザインとし、主要駅の JR 函館駅から五稜郭に至る主要経路にある街路灯に、

図 3

図 4

観光客の誘導を図る事を目的にイメージが途切れる事の無いように連続して掲出した。

また、各種のノベルティの活用を図った。代表的なものとして、発売地を限定した麦酒缶（図５）や、街歩き型観光を楽しむ観光客が良く利用する路面電車用一日乗車券（図６）にも展開した。この一日乗車券は同祭が本格化した 2014 年６月の１ヶ月間で 5085 枚を売り上げている。

図 5

こうした各種媒体への展開がマスメディアへの同祭に関連した記事の掲載や、TV 番組での紹介へとつながった。

また、街歩き型観光スアーの企画と発売、関連イベントの開催へと連鎖していった。

加えて、市立函館博物館において、同祭の歴史的な側面を通観する事を目的とした「五稜郭築造と函館戦争展」が開催された。

図 6

同展のポスターも勿論同様のデザインを採用した。（図７）

メディアミックスで目指していた、ポスターやチラシ等の宣材配布や街頭への掲示、街路灯へのフラッグの掲出、公共交通機関への掲出を含む多種な媒体を用いた宣伝・広報を実施し、同祭が函館市における官民一体のイベントであることを市民や観光客に印象付けることを試みた訳である。

図 7

4 ミュージアムが街に出る

4.1 ミュージアムが街に出る仕組み

メディアミックスによって、醸成された街歩き観光への興味関心を地域デジタルアーカイブスの活用に結びつける試みとしてリトファスゾイレの制作と設置を行った。

先に紹介したように、函館市には「函館市中央図書館デジタルアーカイブ」があり、函館の歴史をディジタル化されたドキュメントや写真で通観できる体制ができている。

東京大学総合研究博物館ではモバイルミュージアムと称して収集、研究成果を博物館外に持ち出し、店舗や企業のエントランスホール等で展示する試みを行っている。［4］

これは、いわばミュージアム資料を市民に最も近い場所まで出前し、閲覧を乞う仕組みである。現物展示を主とするこの方法はインパクトがあり、注目を集めている。

本項で紹介するのは、上で示したような「ミュージアムを街に出す」方法の一つである。異なる点は、地域デジタルアーカイブスが有するドキュメントや写真を用いて、長期間に渡り（2014 年 4 月 26 日から 2015 年 2 月 28 日まで）屋外に置き、掲載コンテンツと関連の深いポイント設置にしているところである。

加えて、市立函館博物館の「五稜郭築造と函館戦争展」と併催して、原資料の理解を促す為の現物を展示解説している点である。

4.2 リトファスゾイレの制作

制作にあたっては、企業・団体の協賛金によっている。プロデューサーには、同祭実行委員会の事務局長の中野晋があたり、ドキュメントの編集には、岸甫一（はこだて外国人居留地研究会会長）、清水憲朔（同副会長）、田原良信（箱館奉行所館長）、木村朋希（五稜郭タワー企画室長）があたり、グラフィックデザインには渡部真証（クリエイティブエージェンシー スタイルシックス）らが、施工には三好紀行（コジマ店装）らがあたっている。

内容は、土方歳三、榎本武揚ら、開港場として発展し、幕末期には動乱の舞台となった函館にゆかりの人物の肖像写真や絵画をメインビジュアルとして、関連の事象を全部で 30 本のリトファスゾイレにレイアウトしている。

各リトファスゾイレは、初代箱館奉行の竹内下野守保徳であれば、五稜郭内の復元された箱館奉行所に、というようにゆかりの場所に設置していった。

サイズは高さ 2500㎜、直径 700㎜、800㎜、900㎜ の三種とし、紙製のボイド管（鉄筋を入れてコンクリートを打設する建築資材）を用い、雨対策のために上部をプラスチック製のキャップで閉じ、屋外の場合はコンクリー

ト土台を施工して固定し、室内の場合は土台に重りを起き倒壊防止を図った。(図８)(図９)

図 8　箱館奉行所前のリトファスゾイレ

図 9 リトファスゾイレの背面は解説面

図 10 レイアウトの一例　箱館戦争の錦絵なや五稜郭周辺の古地図や関連人物についても掲載している。

デザインにあたっては 3-1 でも示したように、同祭としてのデザイン的な統一感を作る為に、シンボルマークとシンボルカラーの紫と赤のラインを用いている。

また、30 本が函館市内 17 カ所に点在しているため、設置場所を示した地図も制作した。（図 10）

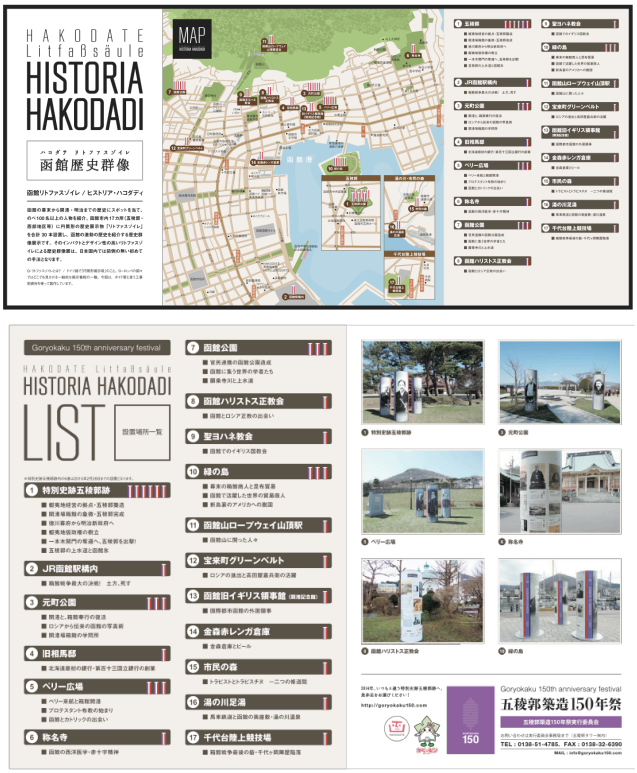


図 10

5 まとめ

本稿では、五稜郭築造 150 年祭を契機にした、函館の地域アーカイブスを観光振興に結びつけるメディアミックスと、V.I.というデザイン手法を組み合わせた試みを通じてミュージアムが街に出る仕組の構築行った事について、具体的な事例で紹介した。

観光振興に直結したのか、観光入込数のような数値で示す事を検討したが、前年とほぼ同様の数値で、差分を示して本手法の優位性を示す事はできなかった。

しかし、対象とした街歩き型観光者の増加を示す値と見なされている路面電車の一日乗車券の販売数が、前年比で微増であったため、一定の効果ありと類推できそうである。

参考文献

[1] 川嶋稔夫:デジタルアーカイブを活用した観光コンテンツ、情報処理、Vol.5 No.11、 pp1192-1197、2012.

[2] 笠原晴夫：デジタルアーカイブの構築と運用、水曜社、2004.

[3] http://www.lib-hkd.jp/digital/index.html（2014 年 9 月 4 日現在）

[4] 西野嘉章:モバイルミュージアム行動する博物館の文化経済論、平凡社、2012.

でこぼこスケッチ:凹凸のあるキャンバスを用いた立体スケッチインタフェース

友広歩李 * 角康之 † 松村耕平 ‡
(公立はこだて未来大学)§ (立命館大学)

1 はじめに

1.1 研究概要

本研究では，デザイナを対象とし，空間構造の理解や新しいデザインを促すスケッチインタフェースを提案する．このシステムでは手書きのスケッチに三次元構造を組み合わせることで，奥行きのついたスケッチの世界を歩き回ることや，空間内にメモやアイディアを描き加えることを可能にする．複数人で同じ空間にスケッチを行うことや，スケッチ後の空間が共有でき，デザインにおける情報の記録から活用までを支援するシステムを目指す．今回は，タブレット PC とデプス (depth) カメラを用いてプロトタイプのスケッチインタフェースを開発した．

1.2 スケッチとデザイナ

近年，デザインの対象はプロダクトから UX やサービスなどの経験全体を包括したデザインへと変化し，ユーザにより注意を払ったインタフェースの設計が推奨されるようになった [1][1]．デザイナは人々の行動や日常を含めてデザインを考えるために，現場へ赴いて観察し，自らがその行動をともにし体験するということもある．そこで何が起きているかの情報を素早く記録し，あとで見返すこと，あるいはチーム全体でひとりひとりが集めた情報を共有することはそこで何が起きているかを知り，経験を対象としたデザインを進めて行くうえで重要なことである．

スケッチはデザイナがデザインプロセスの中で使うツールの一つである．スケッチとは，自分の見たものや風景，状況など，あるいはまだ実在しない形を表現し，素早く紙の上などに書き留めることをいう．情報の記録，共有，そしてアイディアの発想からそのプロトタイピングまで，様々な目的で柔軟に活用されている．スケッチは，創造的な解を得るための優れた思考環境であるとも言われている [2]．スケッチは頭の中にはじめからある像を絵の形にすることではなく，描いていく中で意味のある線が生まれ，描く事によってはじめてそこに何がありどんなことが起きているのかを見る行為なのである．スケッチにおいては，表現の方法はただ見える風景やものをイラストのように描くだけではない．変化する状況を描くための素早さが必要とされるため，文字情報や一部分の拡大図，余白に寄せ書きのように描き込む，視点を宙に浮かばせた俯瞰図など，様々な工夫の中で情報に対して相応しい表現がなされている．このように描かれたスケッチは，描き手の見たものや考えを直感的に人に伝えるツールとなる．

2 関連・先行研究

2.1 スケッチによる創造的な活動支援

手書きのスケッチを入力としたコンピュータ上での創造的な活動の支援の試みには，近藤らによる紙のスケッチブックの絵を CG で拡張し絵の変化を楽しむツール [3] や鈴木らの二次元の複数のスケッチを 3D 空間に配置できるツール [4] などがある．

立体的な構造の表現支援においては閉じたスケッチのストロークから 3D モデルを作成する五十嵐らの Teddy[5], 仮想の三次元空間にスケッチを行える Web サービスとしては Rompola[2] やはてなろくろ [3] などが公開されてきた．

HMD を利用し目の前の拡張現実空間をキャンバスとして空中にペンで描き，3D モデルの作図を可能にした Gravity[4] や BlueGrotto[6] もある．

これらのシステムでは，あらかじめ頭の中にある二次元や 3D のイメージを形にすることが得意であり，モノや空間の構造を 3D モデルとして描く事ができる．しかしうまく描けるかどうかはユーザが頭のなかでどれだけ立体的に考えることができるかによる．また，現存する部屋や建物といったおおきな空間や物を，立体構造を保持したまま描くことは困難である．

2.2 センサを用いたスケッチの拡張

深度センサを用いてスケッチを拡張する研究では，名取らの DepthSketch[7] がある．この研究は写真のなぞり書きでスケッチを生成し，スケッチのストロークを近いものは太く，遠いものは細く変える事で対象の遠近を表現し，一枚のスケッチとしての質を高めるものである．

本研究ではスケッチの質は描き手によって状況から切り取られ，記録しようとされていた情報によって決まると考えており，描かれたスケッチ空間の構造の理解を促す事を目的としている．本研究が目指すシステムはスケッチを記録として活用するためのシステムであるといえる．

* a-tomohiro@sumilab.org
† sumi@acm.org
‡ natsumur@acm.org
§ 函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学システム情報科学部情報アーキテクチャ学科

[1] http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=52075

[2] http://rompola.com/

[3] http://rokuro.hatelabo.jp

[4] http://gravitysketch.com/

3　提案するインタフェース

3.1　提案方法

本研究ではタブレット PC とデプス (depth) カメラを組み合わせたシステムを用い，スケッチとして描いた空間構造の理解や立体的なラフデザインを促すスケッチインタフェースを開発する (図 1)． 手書きのスケッチに描画対象の世界の三次元構造を組み合わせることで，奥行きのついたスケッチの世界を歩き回ることや，回り込み，他の視点からの描き込みが可能になる．描き手ははじめに深度の取れるデプスカメラを用いてこれから描く対象の写真を撮影する．スケッチの画面のどこに何を描くのかを写真で大まかに確認したあとで，なぞり書きの要領で素早くスケッチを描く．描いた線は 2 次元的に見えるが，システム内では撮影時に取得した深度情報をもとにしたでこぼこなキャンバスへ張り付くように配置されており，二次元のスケッチが三次元のスケッチとして表現されている．このスケッチ空間を作る事で，描画中や描画後に空間内へ入って行ったり，新たに情報を描き込む，仮想的なメモや他のスケッチを付箋のように貼付けるといった事が可能になる．

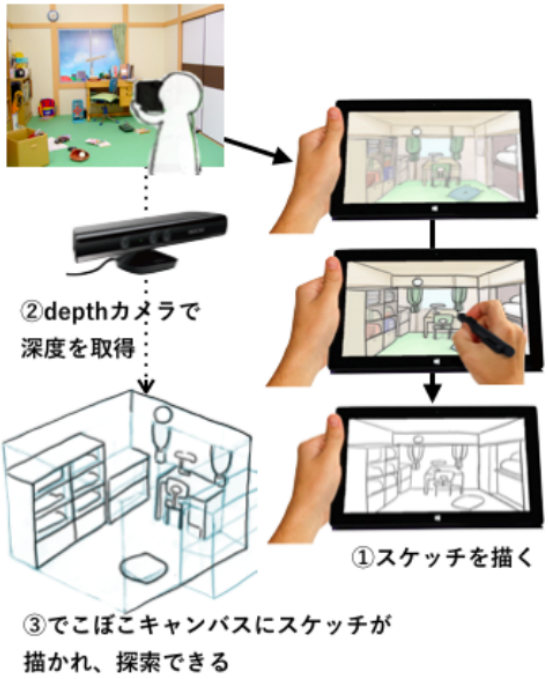


Fig. 1　スケッチシステムのメカニズム

3.2　プロトタイプのスケッチインタフェース

このスケッチシステムではタッチペンベースで操作を行えるタブレット PC(Surface Pro) と，RGB センサ及び深度センサのついたデプスカメラ (Xtion PRO LIVE) を組み合わせてスケッチを行う (図 2)．スケッチの描き手はこれから描く対象をカメラで撮影し，撮影した写真へのなぞり描きによってスケッチの描画をはじめる (図 3)．写真をなぞることにより，短時間でも対象物の位置や形，その場の状況などを描き出すことが可能になる．スケッチにはタブレット PC に対応するタッチペンやマウスを使う事ができ，拡張された機能はスケッチインタフェースに実装されているツールパレット (図 4) と，キーボード操作により行うことができる．

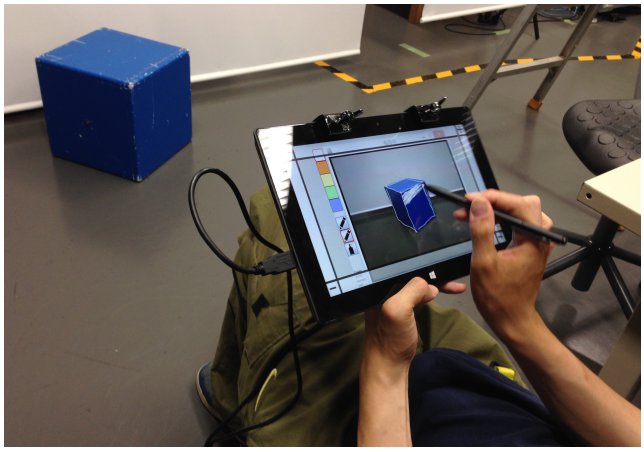


Fig. 2　スケッチシステムのメカニズム

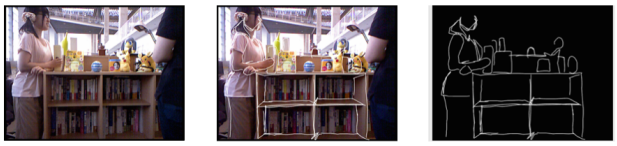


Fig. 3　写真からスケッチへの遷移

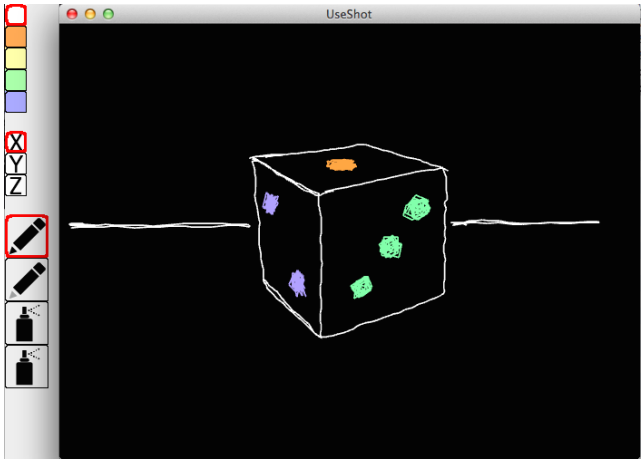


Fig. 4　スケッチシステムの画面とツールパレット

スケッチの線の色は初期設定では白になっており，スケッチのキャンバス色は黒となっている．これは，写真に対してなぞり書きをする際に，写真に再現される色は影や光の影響を受け，黒に近い色になる部分はあっても白に近い色になる部分の方が少なく，描いた線が黒よりも引き立つと考えたためである．

3.3 ツールパレット

ツールパレットはスケッチや写真を表示する画面の左側についているウィンドウを指す．上から順番に，ペン色を選ぶ 5 つボタン，二つ以上のスケッチを扱う時に使う軸を選ぶ 3 つのボタン，スケッチに使用するツールを選ぶ 4 つのボタンを用意している．

スケッチに使用する色は白とパステルカラーと呼ばれる四色である．白い色については 3.1 で述べている．パステルカラーは彩度が低く，明るい色の総称である．光の三原色といった彩度の高い光は黒いキャンバスの上ではより引き立って見えるため，目に負荷をかけると考え，黒いキャンバスの上で見えやすく負荷の少ないと思われるパステルカラーから四色を選んだ．

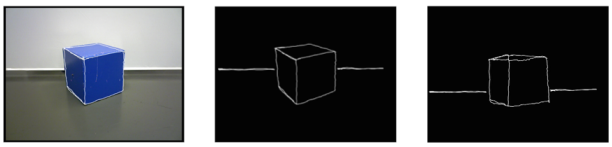
スケッチに使用する 4 つのツールについては 3.4，二つ以上のスケッチを扱う時に使う軸のボタンについては 3.6 で記述する．

3.4 新規スケッチ操作

新規スケッチ操作は写真を撮影し，写真の上になぞり書きのように手書きでスケッチを描く事で実現される．写真の表示・非表示を切り替えることでスケッチとしての整合性を確認しながら描いていくことが可能である．システム上でスケッチを行うためのツールとして，四つのモードを実装した．以降で四つのツールについて解説する．

3.4.1 ツール 1 : ペン

線を引いた位置に対応する深度情報に基づいて三次元空間での線の位置を決定するペンツールである (図 5)．位置決定は深度データに完全に依存しているためデータの抜けやブレによって線がゆれる現象が起きる．また，深度情報が無い部分への書き込みはできないようになっている．



a)写真とスケッチ　b)スケッチ　c)回転したところ

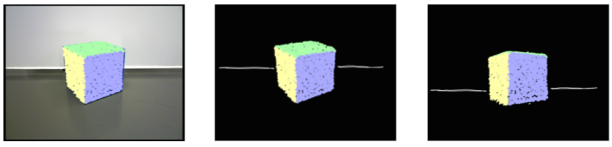
Fig. 5 ツール 1 : ペンによるスケッチ

3.4.2 ツール 2 : 補正ペン

オブジェクトの輪郭線などを描く際に，ある視点から描いたスケッチを他の視点から見ると，手前のオブジェクトと奥のオブジェクトにまたがり線が描かれてしまい，スケッチが崩れる場合がある．これは，同じ深度にあるオブジェクトの領域から線がはみ出てしまい，他の深度領域の影響を受けるためである．そこで連続したオブジェクトの面や線を描くことを補助する補正ペンを実装した．補正ペンでは線を描こうとしている位置の深度とそれまで描いていた深度との差の絶対値をとり，一定値を超えた場合に書き込み時の深度を直前の深度に一致させることでスケッチが崩れないようにした．

3.4.3 ツール 3 : スプレー

スプレーは広い面や塗りを表現するツールである (図 6)．スケッチではたくさんの線を重ねることで陰影の濃さや面の表現を行うことがあるが，このツールではスプレーのように点群を用いて深度データを覆うように塗ることで面を表現出来るようにした．不透明な面を作る際にも使用することができる．



a)写真とスケッチ　b)スケッチ　b)回転したところ

Fig. 6 ツール 3 : によるスケッチ

3.4.4 ツール 4 : 消しゴム

スケッチの間違いや深度データによる意図しない線のゆれのために引かれた余分な線を消すためのツールである．三次元空間上に線が存在するため，線をこすって消すのではなく，カッターのように線を切る操作で消えるように実装した．

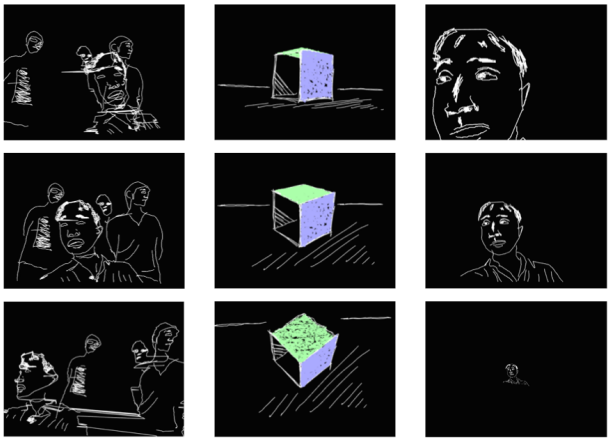
3.5 スケッチ空間の探索

描かれたスケッチを違った視点から見るには，スケッチの描かれた空間を上下左右方向への回転を行う．空間の拡大縮小を回転と組み合わせる事で任意視点からスケッチを見たり，裏側へ回り込むことを可能にした．また，スケッチを他の視点から見ることは，描かれているものの実空間上の位置やそのもの自体の立体的な構造の理解をより直感的に示す事ができるようになる (図 7)．

3.6 スケッチ空間及び深度データの合成

2 枚のスケッチデータを合成することで 1 枚のスケッチとして不十分な情報を補い，さらに広い空間の表現や把握をすることができる (図 8)．スケッチできる範囲は写真に映り込む範囲に限定されしまうため，この機能を使うことでより広く沢山の情報を 1 枚のスケッチに盛り込むことができるようになる．

スケッチの合成では，2 枚のスケッチ空間を任意の位置に動かして繋ぎ合わせるために片方のスケッチ空間を移動，回転させる方法を取った．この移動や回転の値は描き手自身が手動で行う必要がある．そこで，ツールパレットに x，y，z を決定するのボタンを用意し，どの軸に対して移動を行うかを決定できるようにした．軸を決定した後にキーボードの左右キーによって移動量を決定



a)左右方向の回転　b)縦方向の回転　c)拡大と縮小

Fig. 7　スケッチの回転と拡大縮小の例

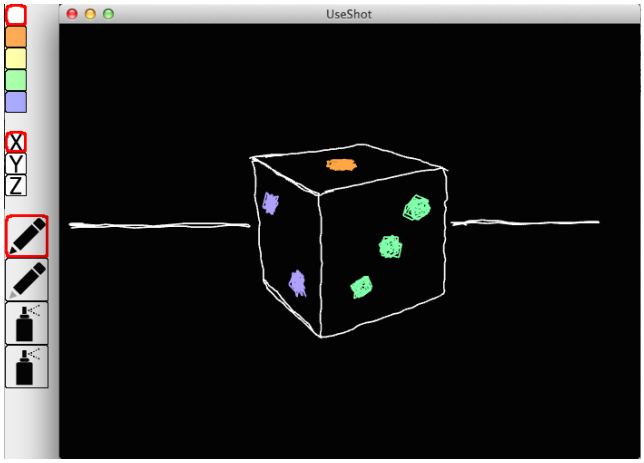


Fig. 8　スケッチシステムのメカニズム

することができる．また，軸を決定した後に Shift キーを押しながら左右キーを操作することで，軸方向の空間の回転操作を行うことができる．

スケッチの合成機能は同一空間の別々なスケッチを合成するだけでなく，別の時間の同じ場所のスケッチや，時間も場所も全く違う空間をおなじスケッチ空間に存在するかのように配置するといった使用も可能である．状況の時間変化等の情報を一つのスケッチ空間として生成することが可能になる．

4　スケッチ空間生成システムの実現環境

4.1　ハードウェア

4.1.1　タブレット PC

タブレット PC として Microsoft 社の Surface Pro*6(以下 Surface) を使用した．画面サイズは 10.6 インチ，重さは 903 グラムである．描き手がデプスカメラと組み合わせた PC を両手で持ちながら自由に歩き回ることや対象の撮影を行うことができる．Surface の画面はタッチスクリーンになっており，デジタルペンが付属している．マウスやタッチによる操作も可能だが，ペンを使うと，紙に書くように手書きのスケッチが行えるので効率的にシステムを利用することが出来るようになる．

4.1.2　センサと取得できる深度データ

デプスカメラとして ASUS 社の Xtion PRO LIVE(以下 Xtion) を使用した*5．このカメラには RGB センサと深度センサが搭載されている．深度センサは赤外線によって対象までの位置を計測できるものであるため，日光の影響を受けない屋内での使用が推奨されている．センサの有効範囲は水平 58 °，垂直 45 °，対角 70 °とされている．センサの有効範囲内にあり，かつ計測できたデータはポイントクラウドデータと呼ばれる三次元の座標を持つ点群として保存でき，本研究ではこのデータを深度データとして使用している．

4.1.3　センサを固定する台座

描き手がスケッチや撮影のために自由に移動できるよう，Xtion を Surface 本体に固定し持ち運ぶための器具を製作した (図)．Xtion を載せる台となる金属製の金具とその金具を Surface に留めるための蝶ボルトを組み合わせたものを二組用意した．万力のように Surface 本体上部の二カ所に固定することで，Xtion を載せる台として使用することが出来る．蝶ボルトの先端部分が直接 Surface の画面に触れて傷がつくことを防ぐために，先端部分は弾性接着剤を塗布している．弾性接着剤とは硬化するとゴムのように弾性をもった熱やショックに強い物質に変化する接着剤のことである．

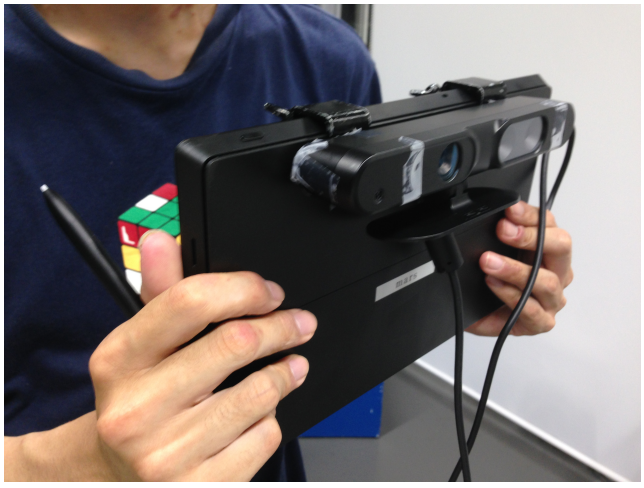


Fig. 9　センサの固定例

4.2　ソフトウェア

ソフトウェアの開発には Processing を使用した．Processing は Java ベースで設計された開発言語及び統合開発環境である．Processing 上でデプスカメラを用いてデータを取得するために，OpenNI，NiTE，Simple OpenNI といったライブラリを利用している．OpenNI と NiTE

はKinectやXtionといったデプスカメラからデータを取得するためのライブラリであり，それらのデータをProcessingから使用することができるようにするのがSimple OpenNIである． プロトタイプシステムを動かすにはProcessingと上記のライブラリがPCにインストールされている必要がある．

5 おわりに

本研究ではタブレットPCとデプスカメラを用いることで，素早く立体的なスケッチを描くことができるスケッチインタフェースを開発する．スケッチで描いた空間の中へ入り，探索的に視点を変えたり，メモ等を空間に貼付けることが可能なシステムである．

今後の発展としては以下のように考えている．

5.1 複数スケッチの位置合わせの自動化

現在のシステムでは，複数のスケッチ空間をひとつの空間として再構成する場合は同じ空間として矛盾がないように人の手で調整を行っている．今後は，深度データの類似度から自動で位置合わせを行う改良を加え，より素早くスケッチ空間の生成を行うことを可能にする．

5.2 スケッチ空間の探索的な移動

スケッチ空間を別な視点から見る方法として，現在のスケッチ空間そのものを回転させる方法は探索的な見方とは言えない．そこで，スケッチ空間内に三人称視点で入り込み，その視点を持つ第三者を仮想的に操作することで探索を行えるように変更する．スケッチでつくられた世界を歩き回る体験により近づくことができると考えている．

5.3 ラフなプロトタイプ作成の支援

デザインにおけるラフなプロトタイピングとしてのスケッチに焦点をあて，活用方法を模索する．例えば，アイディアを表現するためにはスケッチで空間を表現するだけでなく，その空間に存在するオブジェクトを余白に描いたり，文字による情報の補完が考えられる．これらの補助情報をスケッチ空間での表現を実現することでアイディアを表現するツールとしてシステムを拡張する．

参考文献

[1] 近藤朗，近藤 尚子： サービス・デザインの方法論に関する考察（２），日本デザイン学会第59回研究発表大会 (2012)

[2] 岡本誠：共有するデザインシンキング，デザイン学研究. 特集号 20(1)，12-15，(2012-12-31)

[3] 近藤菜々子，水野慎士：スケッチブックでのお絵描きを三次元CGで拡張する映像ツールの提案とその実現方法，情報処理学会論文誌 デジタルコンテンツ Vol.1 No.1 1–9 (Aug. 2013)

[4] 鈴木昭弘，和嶋雅幸： 二次元ペイントと Wii リモコンによる直感的3Dお絵かきシステムの開発と研究，情報システム学会第4回全国大会・研究発表大会，D1–1(2008).

[5] 五十嵐健夫，松岡聡，田中英彦：手書きスケッチによるモデリングシステム Teddy，情報処理学会シンポジウムシリーズ (インタラクション'99 論文集)，March，147–148(1999)

[6] 井上智之，西住直樹，鈴木伸明，安福尚文，佐賀：仮想空間中での手書き認識に基づいた3次元モデリングインターフェース "BlueGrotto " の提案，電子情報通信学会論文誌 D，pp.1309–1318， Vol.87，No.6(2004).

[7] 名取則行，福地健太郎： DepthSketch:深度情報を利用してスケッチに遠近感を与える描画手法，情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告 2014–HCI–157(23), 1–6, 2014–03–06

自律的ネットワークにおける選択的攻撃の影響と媒介中心性を考慮した修復手法

有澤　俊裕*　　大沢　英一†
(公立はこだて未来大学大学院)‡　(公立はこだて未来大学)§

1　はじめに

特定の目的で作られたセンサネットワークや，各種レーダーシステムなどに代表される大規模分散システムは，様々な事象の観測など多くの分野で利用が広がっており，今日の我々の生活において重要な役割を担っている．このような大規模分散システムはその用途の性質から，優れた耐障害性など“頑健”であることが求められる．そのため，ネットワークの構造を工夫するなどして耐障害性を向上させる研究がなされてきた [1][2][3][4].

ところで，2011 年に発生した東日本大震災以降，レジリエンスという言葉が注目されている．レジリエンス (Resilience) とは，Resistance と Recovery の 2 つの意味を併せ持つ単語である．Resistance は機能の維持を，Recovery は障害からの回復力をそれぞれ意味している．すなわち，レジリエンスを持つということは,「想定外」に対応するための備えを持つと解釈することができる．

本論文では，このレジリエンスという言葉を大規模分散システムに当てはめて考える．自然災害と同様に，システムの設計者が想像もしなかった障害が発生する可能性を否定することはできない．先に述べたように，システムの耐障害性を向上させる研究は多くなされてきた．しかし，攻撃などによってシステムの性能が低下してしまった場合，そこからいかにシステムを自律的に修復し，低下した性能の回復を図るかという問題に対する研究は十分なされているとは言いがたい．

本研究は，大規模分散システムのレジリエンス性の向上に貢献するため，選択的攻撃を受けたシステムの自律的回復手法を提案し，その手法の効果を検証することを目的とする．そこで，選択的攻撃が大規模分散システムにどの程度被害を与えるのか，自律的な性能回復としてどのような方法が有効なのかを考察した．また，本論文では自律的回復手法を,「末端にあるノードが，局所情報のみを用いて自らシステムの性能を回復させる手法」と定義する．

2　先行研究

本章では，本論文の内容に関係する先行研究について，その概要を述べる．

2.1　カスケード故障

ネットワーク内のあるノードの故障から過負荷故障が連鎖し，最終的に大規模な故障に至る現象をカスケード故障と呼ぶ．あるノードが担っていた負荷を周辺に肩代わりさせることによって，肩代わりしたノードも過負荷によって故障してしまい，さらにそれが連鎖することを表している．

林らはこの問題に対し，結合相関の正負がカスケード故障に与える影響について調査した上で，隣接ノード間のリンク張り替えによる防御戦略を提案した [1]．結果として，ネットワークの結合相関はカスケード故障に対し影響を与えるが，それだけでは被害規模は単純に決まらないことを示唆した．また，防御戦略についてはノードの負荷容量に関する耐久性に応じて，提案手法と従来手法を使い分けることが効果的であると論じている．

2.2　ネットワークの機能不全と構造最適化

谷澤は故障と攻撃の双方に強いネットワークについて考察している [2]．まず，故障 (ここではネットワーク内のノードがランダムで故障するとしている) に対しては，ハブの存在が有効であると述べている．ハブが低次数のノードを支配下に置き，更にハブ同士も連結しあうことによってランダムな故障に耐えうるネットワーク構造を実現する．一方で，ハブを狙った選択的な攻撃に対して脆弱になってしまうため，ハブを多く導入することはできない．

結論として，故障と攻撃の双方に対して最も頑強であるネットワーク構造は，二極次数分布構造を持つネットワークであるとしている．二極次数分布とは，2 つの次数 k_1，k_2 のみの次数分布である．しかし，このような極端な次数分布を持つネットワーク構造を持つネットワークは実世界に多く存在しているとは言いがたく，応用面での難点を持つ．

3　前提知識

本章では，本論文の内容で用いる技術や知識について，その概要を述べる．

3.1　複雑ネットワークの概要

実世界におけるネットワークの大多数は単純ではないネットワーク，すなわち複雑ネットワークである [5]．例えば，人間の社会的ネットワークやインターネット，神経細胞，交通網なども複雑ネットワークに属する．複雑ネットワークはレギュラーネットワーク (完全に規則的なネットワーク) とランダムネットワーク (規則性の見られ

* g2114002@fun.ac.jp
† osawa@fun.ac.jp
‡ 函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
§ 函館市亀田中野町 116-2 公立はこだて未来大学大学 システム情報科学部複雑系知能学科

ないネットワーク) の中間のような構造をしている．その形は多種多様であるが，スケールフリー性やスモールワールド性など，共通する特性を見出すことができる．

また，複雑ネットワークには，ハブと呼ばれるノードが存在することが多い．ハブは他のノードと多く繋がっており，複雑ネットワークにおいて重要な役割を果たしている．このようなハブは複雑ネットワーク全体の平均経路長の短縮などに貢献しているため，選択的攻撃の対象になりやすい．次数の集中した上位 5 パーセントのノードが故障したとすると，系全体の平均経路長は約 2 倍にまで増大してしまうことがわかっている．

3.2 複雑ネットワークの特性

以下に，複雑ネットワークの特性について示す.

3.2.1 スケールフリー性

実世界に存在するネットワークのノードが持つ次数 (ノードに接合するリンクの数) の分布はべき乗則に従っていることが知られている．つまり，一部のノードは大きな次数を持っている一方で，大多数のノードは次数が小さいということを表している．べき乗則に従ったネットワークはスケールフリー性を有している．また，スケールフリー性を有するネットワークは，ランダムに発生する障害 (選択的に発生しない障害) に対して高い頑強性を有することが知られている．

3.2.2 スモールワールド性

スモールワールド性は，ネットワークの平均経路長がネットワークの規模に対して小さいという性質である．具体的な内容については後述するが，平均経路長とは任意のノード v_i から v_j に行くまでの最短距離の平均である．つまり，スモールワールド性を満たすということは，ネットワーク内の任意の 2 つのノードが，その中間にわずかな数のノードを介するだけで接続されているということである．

3.3 複雑ネットワークの統計的指標と中心性

本節では，複雑ネットワークの統計的な指標とネットワークの中心性について説明する．特に，本研究と関連するものに絞って述べる．

3.3.1 平均経路長

平均経路長とは，ネットワーク内の任意の 2 ノード間の最短距離の平均を表す指標であり，ネットワークのおおよその大きさを表現することが可能である．平均経路長 L は以下の式で求めることができる．

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} l(i,j)}{{}_nC_2} \tag{1}$$

L がネットワーク内の全ノード数 n に対して，$log(n)$ に比例する程度であれば，スモールワールド性を満たすと定義されている．

3.3.2 次数分布

次数分布は，ある次数 k を持つノードの分布を表したものであり，ネットワークの持つ性質によってその分布が異なる．先述の通り，この分布がべき乗則に従えばスケールフリー性を満たす．また，ランダムネットワークの次数分布は正規分布であり，特定のピークを持つことが知られている．

3.3.3 媒介中心性

媒介中心性は，情報を橋渡しすることに関与している度合いを示すものである．ネットワーク内の任意の 2 ノードを選び，それぞれの組み合わせの最短経路内にあるノードが存在する確率によって決定される．ノード v_i の媒介中心性 B_i は，始点 v_{i_s} から終点 v_{i_t} の最短経路の中で v_i を通るものを $g_i^{(i_s i_t)}$ とし，最短経路の総数を $N_{i_s i_t}$ とした時，以下の式で算出する．

$$B_i = \frac{\sum_{i_s=1;i_s\neq i}^{n}\sum_{i_t=1;i_t\neq i}^{i_s-1}\frac{g_i^{(i_s i_t)}}{N_{i_s i_t}}}{(N-1)(N-2)/2} \tag{2}$$

また，媒介中心性の高いノードが破壊された場合には平均経路長の増大など，ネットワーク内の情報伝達に大きな影響が生じる可能性が高い．

3.4 BA モデル

BA(Barabasi-Albert) モデルとは，ネットワーク生成モデルのひとつであり，複雑ネットワークの特性を有する [6]．以下に，生成の手順を示す.

1. ノード数 m_0 の完全グラフを用意する．
2. m 本のリンクを持ったノードを 1 個追加する．ただし, $m \leqq m_0$ とする．
3. 追加したノードと既存のノードを結びつける．ただし，同じノードから 2 本以上のリンクをつなぐことは禁止とする．また，新規ノードと結合するノード v_i の選択は，v_i の次数を k_i，既存ノードの数を n として以下の式によって確率的に決定する．

$$\prod(k_i) = \frac{k_i}{\sum_{j=1}^{n} k_j} \tag{3}$$

4. 目的のノード数になるまで 2.，3. を繰り返す.

この BA モデルでは，(2) 式により，次数の高いノードに新しいリンクが加わりやすいとしている．これを優先的選択という．優先的選択をしている理由は，等確率で新たに結びつくノードを選択すると，スケールフリー性を満たさないネットワークが生成されるためである．この優先的選択によって，一度次数が高くなったノードは

その後も新しいリンクを獲得しやすく，ハブになりやすい．このモデルでは，ノードの次数分布がべき乗則に従い，スケールフリー性を満たす．また，平均経路長は短くなり，スモールワールド性も満たす．しかし，BA モデルはクラスター性は満たさない．

4 実験モデル

本章では，シミュレーションのための実験モデルや，修復手法の詳細について説明する．本実験モデルは，実世界のセンサネットワークを想定したものである．ただし，シミュレーションの単純化のために，センサネットワークの設置における地理的な制約や物理的な距離などについては考慮せず，あくまで数理的なモデル上でのシミュレーションを行うものとする．

4.1 各エージェントと環境のパラメータ

ノードをエージェント a_iとみなし，その集合を $A = \{a_1, a_2, ..., a_n\}$ とする．ここで各エージェントはセンサネットワークにおける，末端のセンサに相当する．また各エージェントは，タスクを処理実行する上での能力に対応する R_iを持つものとする．

処理能力 R_i は，エージェント a_i が単位時間あたりに処理できるタスクの量を表す．この処理能力は，攻撃前のネットワークにおける媒介中心性を元に決定する．エージェント a_i の媒介中心性を B_i としたとき，以下の式に従って R_i を決定する．

$$R_i = (1+\alpha)B_i, i = 1, 2, ..., n \quad (\alpha\text{は定数}) \quad (4)$$

媒介中心性の値が高いほど，処理能力も高くなる．これは，実世界のセンサネットワークにおいて媒介中心性が高いノードは処理能力を高く設定しているという前提での設定である．また，ネットワークを修復する際，能力の高いものに張り替えが集中しないようにするための許容量 $CA(a_i)$ を設定する．詳細については後述する．

タスク $T = \{t_1, t_2, ..., t_m\}$($m$ はタスクの総数) は各エージェントに対する環境情報取得要求に相当する．本実験モデルではタスクの処理内容を，タスタを割り当てられたエージェントから距離 2 以内のエージェントを協力者と定め，協調してセンサから環境情報を取得し，出力することと想定した．タスクの処理を完了させるためにはコスト $Cost(t_i)$ を要するものとする．エージェント a_iから距離 2 位内のエージェントの数を $NE(a_i)$ とし，$Cost(t_i)$ を以下の式で定義する．

$$Cost(t_i) = \beta NE(a_i), i = 1, 2, ..., n \quad (\beta\text{は定数}) \quad (5)$$

センサネットワークは，各ノードの接続関係を表す無向グラフ $G = (V, E)$ で表す．エージェント a_iは自身から距離 2 位内のエージェントと通信が可能であるとする．それ以外の場合は通信が行えず，各種情報伝達は不可能であるとする．ただし，攻撃によってエージェントが孤立してしまった場合には，故障したエージェントの近傍からランダムで接続できるものとする．また，本実験ではシミュレーションの単純化のため，通信遅延や，情報伝達に必要なコストなどについては考慮しない．

4.2 シミュレーターと各エージェントの動作

本研究では，センサネットワークの動作によって提案手法の性能を評価する．センサネットワークは Fig. 1 のような Step により動作する．以下に，シミュレーターと各エージェントの動作を示す．

Step1 タスクの割り当て
: 各エージェントが処理するタスクは，ネットワーク内のエージェントにランダムで割り当てられる．タスクにかかるコストは上記の式に従って決定する．

Step2 環境情報の取得
: 割り当てられたエージェント a_i は，自身から距離 2 以内に存在するエージェント (協力者と定義する) に対し，環境情報 (各エージェントがセンサから取得できる情報) を取得するように指示を送信する．指示を受けたエージェントは，センサから環境情報を取得する．

Step3 環境情報の統合
: 協力者となったエージェントは環境情報を取得した後，その環境情報をエージェント a_i に送信する．

上記の 3 つの Step を完了するまでにかかる時間を処理時間とする．

4.3 効率の指標

この実験モデルの効率は，(1)1 タスクの平均処理時間，(2) 平均協力者数，(3) 平均処理能力で評価する．ここでの処理能力とは，協力者数を処理時間で割った値とする．この指標は，協力者数によってコストが変化することを考慮して設定した．さらに，ネットワークの統計的指標についても比較する．

4.4 ネットワークの修復手法

ネットワーク修復の手順を以下に示す．

Step1 攻撃の検知
: 攻撃を受けたエージェント (仮に a_i とする) の近傍に位置するエージェント $V_j(a_i)$ は，次数の変化によって攻撃を検知する．

Step2 張り替え先の決定
: エージェント $V_j(a_i)$ は，自身から距離 2 に位置するエージェントの中から許容量 CA の最も高いエージェント (仮に a_j とする) を選択し，接続する．その後，a_j の許容量 $CA(a_j)$ を γ だけ減少させる．ただし，γ は定数とする．

ここで，Step2 の 許容量 $CA(a_j)$ について説明する．常に許容量の最も高いエージェントを張り替え先として

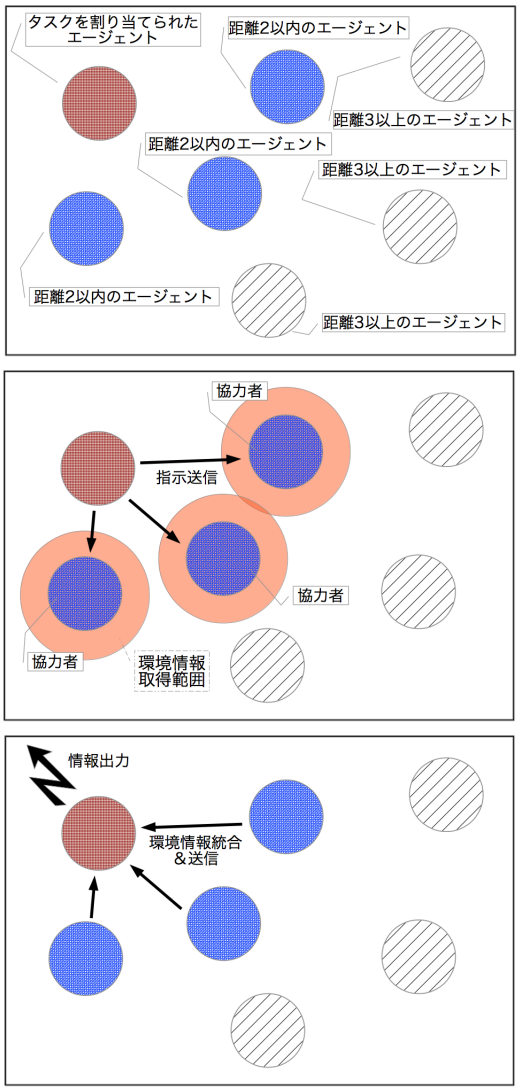


Fig. 1 シミュレーターの各ステップ

選んだ場合，同じエージェントに張り替えが集中してしまう可能性がある．このような状況では，カスケード故障など他の障害を引き起こしてしまうことが考えられる．そこでこのような許容量を設定し，張り替えの際にその許容量を下げることで次回修復時の張り替え先候補として選択されにくくすることにより，リンクの集中を防ぐものである．

5 実験

攻撃によるネットワークの性能低下，および提案する修復手法の性能を評価するための実験を行った．以下にその詳細を示す．

5.1 実験のパラメータ

ネットワークはノード数 N=1000 とし，BA モデルを用いて生成した．ネットワークを生成するパラメータは，m_0=7，m=4 とした．タスクの総数は 1000 とし，タスクのコストは前章の式に従い決定する．また，単位時間毎のタスク生起数は 10 と設定した．攻撃を行う個数 BR は 1,2,10,20,30,40,50,100 とし，次数上位 5%の中からランダムで $BR/2$ 個，同じく処理能力上位 5%の中から $BR/2$ 個に対して攻撃を行った．ただし，BR=1 の時は次数最上位のエージェントに対し攻撃を行った．

5.2 実験結果および考察

各実験結果と考察を以下に示す．

5.2.1 平均処理時間の比較

平均処理時間を Fig. 2 に示す．Fig. 2 の平均処理時間の結果を見ると，攻撃直後と修復後には大きな違いが見られなかった．また，攻撃個数が 100 個を超えた場合，処理時間が大きく増大することが観測された．しかし，先述の通りタスクの処理にかかる時間は，協力者数に影響されることに注意されたい．後述の平均協力者数の結果を見ると，修復後のほうが協力者が多い．つまり，修復後の方が，より大きなコストのタスクを処理しているということになる．

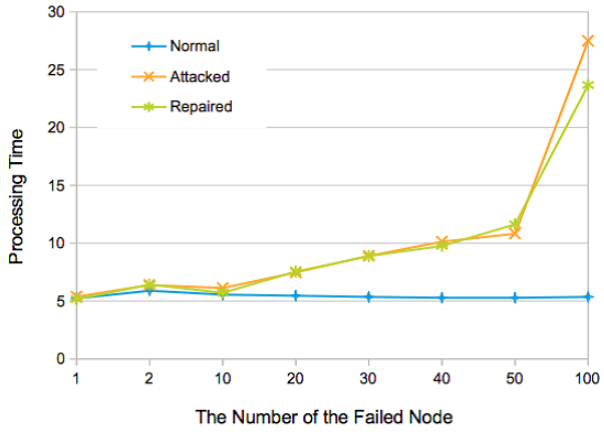


Fig. 2 平均処理時間

5.2.2 平均協力者数の比較

平均協力者数を Fig. 3 に示す．Fig. 3 から，修復を行わなかった場合，協力者数の減少が著しいという結果が得られた．修復を行った場合，協力者数は攻撃前と同じか，あるいは改善が見られた．これは，修復を行ったエージェントが攻撃前よりも次数の高いエージェントにリンクを張り替えることにより，協力者数を増加させることが可能となったことが理由と思われる．しかし，攻撃個数が 100 個の場合に協力者数が減少していることから，回復には限界があると考えられる．前提知識で述べたとおり，スケールフリーネットワークは次数の上位 5%が破壊された場合に大きく性能が低下することがわかっている．本実験の結果でも，その影響が現れたと考えられる．

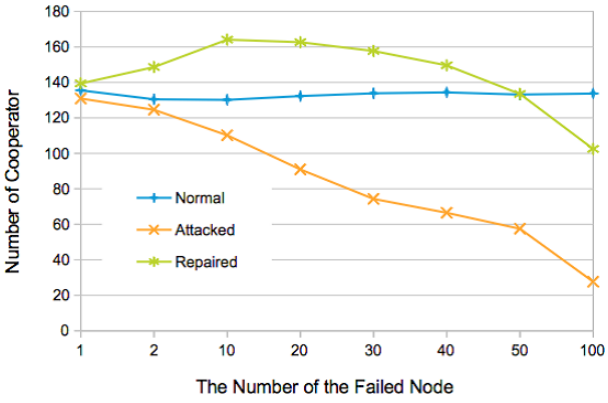


Fig. 3 平均協力者数

5.2.3 平均処理能力の比較

平均処理能力を Fig. 4 に示す．Fig. 4 より，修復手法を適用することにより，ある程度処理能力の回復が見られる．しかし，攻撃前の能力と同等までに回復しているのは攻撃個数が全体の 1%の場合までで，それ以降は攻撃直後よりは高い数値を示しているものの，処理能力が低下してしまうという結果が得られた．処理能力は，協力者数を処理時間で割ることにより算出している．本実験結果では協力者数の上昇が見られているため，処理時間を改善することができればこの処理能力も改善されると思われる．よって，処理時間を改善するための対策が必要となる．

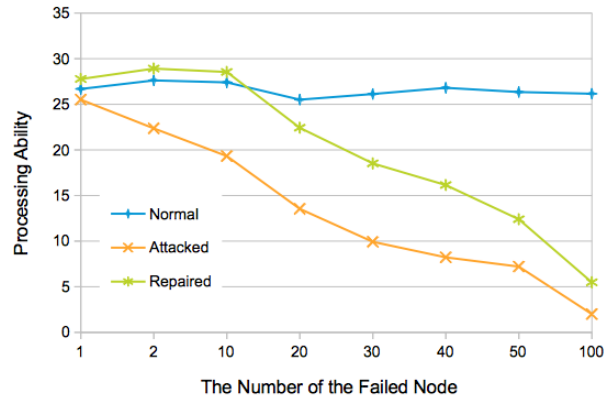


Fig. 4 平均処理能力

5.2.4 次数分布の比較

Fig. 5 の (a)，(b)，(c)，(d) にノードの破壊個数を 1 個，30 個，50 個，100 個と設定した時の次数分布を示す．ノードの破壊個数の増加に伴って，攻撃後の次数分布が変化していることがわかる．ハブなどの高次数のノードが破壊されることにより，低次数のノード (例えば次数が 10 以下のノードなど) が増加するという結果はどの場合においても見られるが，破壊個数が多い場合はその傾向が強くなることが見て取れる．しかし，攻撃前と修復後の次数分布は，破壊個数 100 個の場合を除き，ほとんど違いが見られない．この結果は，修復手法は破壊されたハブの代わりとなるノードを作り出し，その構造を保つことに成功したからであると考えられる．ただし，破壊個数 100 個の場合に次数分布が攻撃前とは異なる形を見せている．よって，平均協力者数の比較で述べたように修復手法で対応できる破壊個数には限界があると考えられる．

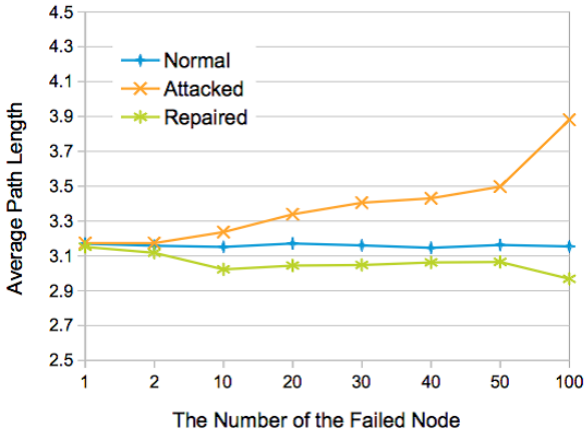


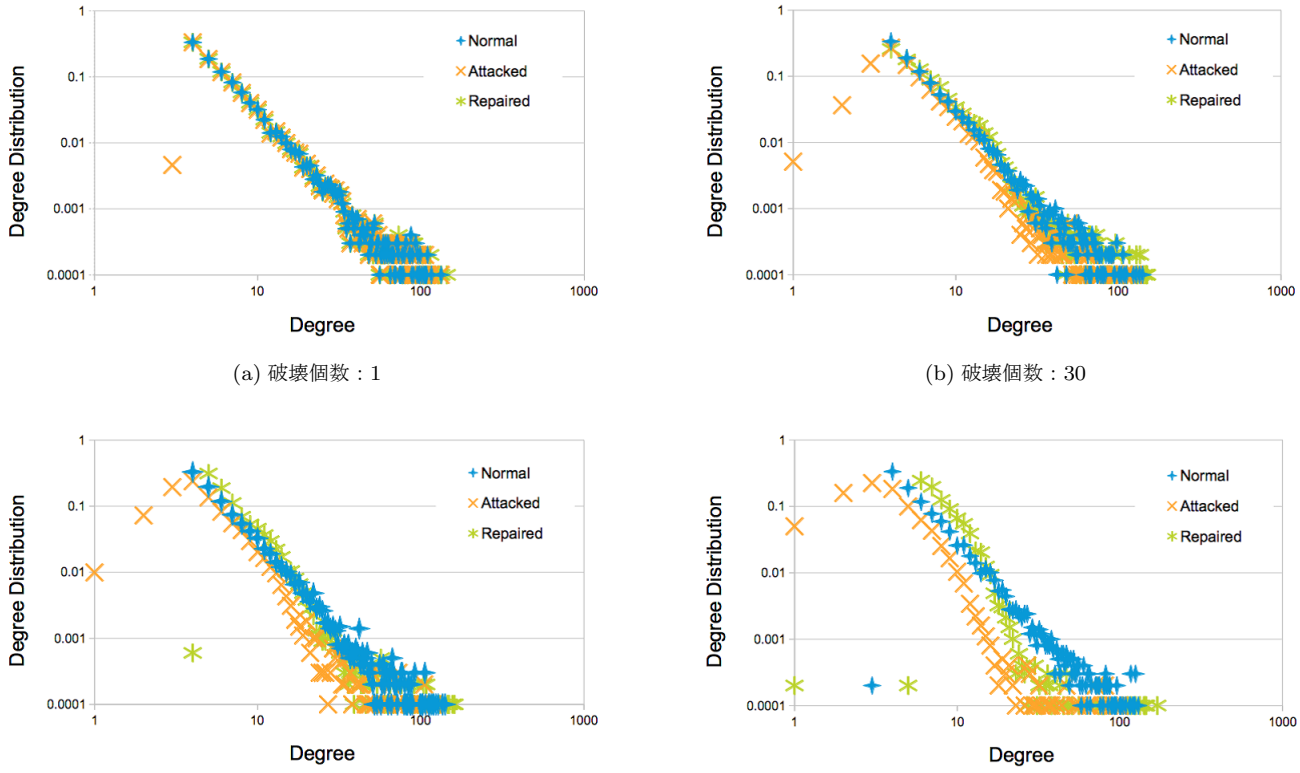
Fig. 6 平均経路長

5.2.5 平均経路長の比較

Fig. 6 に平均経路長を示す．平均経路長を比較すると，全てにおいてスモールワールド性を満たしているものの，攻撃後では平均経路長が長くなっていることが確認できる．逆に修復後では攻撃前よりも平均経路長が短くなっていることがわかる．これは平均協力者数の比較でも述べた通り，リンクの張り替えによって元々繋がっていたノードより平均経路長の短縮に貢献するノード (例えば高次数のノードや媒介中心性の高いノードなど) に繋がることが可能となったためであると考えられる．しかし，攻撃によって平均経路長が増加しているとは言え，予測よりもその増加量は少なかった．これはネットワークの持つ次数分布に影響されるものと考えられる．次数分布がより極端な分布であれば，選択的攻撃によって平均経路長は今回の実験結果よりも増加すると考えられる．よって，様々な次数分布のネットワークを用意し，実験を行う必要がある．

5.2.6 全体の考察

以上の結果より，攻撃個数がネットワーク全体の 1%程度であれば，攻撃前の性能を維持することが可能であることが示された．また，1%以上破壊された場合には，破壊個数の増加とともに性能も低下することがわかった．統計的指標の観点からの比較では，破壊個数 50 個までは攻撃前と修復後でほぼ同じ次数分布しているのに対し，



(a) 破壊個数：1

(b) 破壊個数：30

(c) 破壊個数：50

(d) 破壊個数：100

Fig. 5　次数分布

破壊個数 100 個では分布に変化が見られた．このことから，修復手法で対応できる破壊個数には限界があると考えられる．今後の課題としては，修復手法の更なる改善による平均処理時間の短縮と，処理能力の向上が挙げられる．

6　まとめ

本論文では，選択的攻撃が大規模分散システムに与える被害の規模の調査と，どのような方法が自律的な性能回復として有効なのかを考察した．実験では，提案手法によって協力者数を維持，あるいは増加させることが可能であるという結果が得られた．

本研究では，BA モデルのみ用いてネットワークを構成したが，提案手法の有用性を確認するためには，様々な次数分布を持つネットワークや，生成モデルの異なるネットワークを用いて実験を行う必要がある．さらに，各パラメータの設定によっては，結果に違いが見られる可能性もある．今後は，本実験と異なるネットワーク構造を実験環境に設定し，各種パラメータの設定を変更して実験と考察を行う予定である．さらに，その結果を踏まえてより良い自律的性能回復手法の模索を行いたい．

参考文献

[1] 林　幸雄，宮崎敏幸，“結合相関を持つ Scale-Free ネットワーク上のカスケード故障に対する防御戦略，” 情報処理学会論文誌，vol.47, No.3, pp.802–812, March 2006.

[2] 谷澤俊弘，“故障と攻撃の両方に強い繋がり方とは?–ネットワークの機能不全と構造最適化–，” 情報処理学会論文誌，vol.49, No.3, pp.282–289, March 2008.

[3] 山本聡彦，生天目　彰，“進化手法による最適同期ネットワークの設計，” 情報処理学会研究報告，vol.2009-MPS-75, No.10, September 2009.

[4] 小林直樹，白山　晋，“ネットワークトポロジーの最適化とその過程の分析，” JAWS2010 論文，2010.

[5] 増田直紀，今野紀雄 “複雑ネットワーク–基礎から応用まで–，” 近代科学社，2010.

[6] A.L. Barabasi, R. Albert ,“Emergence of scaling in random networks,” Science, vol.286, pp.509–512, 1999.

スマートフォン向けテキスト入力システムの提案と試用

–コンテクストアウェアなテキスト入力の実現へ向けて–

鈴木孝宏* 角康之 美馬義亮

(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

スマートフォンなど携帯情報端末において，テキスト入力は操作の多くを占めている．入力は、画面に表示されたソフトウェアキーボードが用いられるが，スマートフォンの小さな画面ではキーが小さく入力しにくいという問題がある．一方ユーザは，なるべく短時間でテキストを入力したいというニーズを持っている．スマートフォンを介したコミュニケーションは，Twitter や LINE のように短い文章によるものへの変化したが，ソフトウェアキーボードを用いてすべての文字を入力する必要がある．POBox[1] のような予測入力を利用して入力する場合も，入力したい単語やフレーズの最初の数文字を入力し，変換候補の中からユーザが選択して文章を作成しなければならない．このことから，整形された文章を選択するだけでテキストを入力できるスマートフォン向けのテキスト入力システムを提案する．

本稿では，Twitter にテキストを投稿するという状況を想定し，システムから提示した 140 字以内の短い文章を選択するだけで Twitter に投稿できるシステムを開発した．これにより，通常，投稿時にテキストを入力していたものを，投稿時にはテキスト入力をしなくても Twitter へ投稿できるようにする．具体的には，投稿するテキストを予めテンプレートとして登録しておき，投稿時には登録したテキストを呼び出す簡単なタップ操作のみで投稿が完了するというアプローチによりステップを簡略化する．システムは，地域のコミュニティFM の方にシステムを試用してもらった．

以下の節では，まずスマートフォンにおけるテキスト入力の現状について整理し，その後，開発したシステムの詳細と使用方法，システムの試用の結果について述べていく．

2 スマートフォンのテキスト入力の現状

2.1 入力インタフェース

スマートフォンでは，ソフトウェアキーボード（オンスクリーンキーボード）を介してテキストを入力するのが一般的である．ここではまず，スマートフォンにおける主なテキスト入力のインタフェースを整理する．

表??では，3 種類の入力方式とその問題点を整理している．まず，キーボード入力は，ひらがなのみで比較的速く入力可能である一方，長く読みを入力しなければならない．また，変換時に意図とは異なる変換がなされることもあり，手間が掛かることもある．手書き入力は，入力したい文字を書く振る舞いがそのまま入力になるため，余計な操作を覚える必要は無い．しかしながら，入力に掛かる負荷は文字の画数に比例し，誤認識もしばしば発生する．音声認識入力は，画面をタップすること無く入力可能で簡単であるが，雑音の多い状況，私語を慎む状況での入力には向いていない．以上のことから，キーボードによるテキスト入力が一般的になっている．

2.2 キーボードによる入力

では，キーボードによる入力についてさらに整理する．スマートフォンでは，主に QWERTY キーボードか，携帯かな配列により入力する．

QWERTY キーボードで日本語を入力する場合，ローマ字入力により入力する．かなとアルファベットのいずれも共通のインタフェースで入力できる利点があるものの，小さなスマートフォンの画面に表示するにはキーの数が多い．その結果，キー同士の間隔が狭く操作しづらいという問題を抱えており，QWERTY キーボードで入力をする際は，誤入力が発生しやすく円滑な入力ができずに困ることがある．

一方，携帯かな配列ではトグル入力[1] と，フリック入力[2] を選択できる．トグル入力とフリック入力いずれも，キーに割り当てられたひらがなが行ごと（ア行，カ行…）になっていることから，入力したいひらがなにたどり着くことは容易である．しかしながら，トグル入力はエ段，オ段ではキーを 4 回，5 回とタップする必要がありタップ数が多くなりがちである．また，フリック入力はトグル入力より比較的高速に入力できる一方，バスや電車内など揺れが大きい環境においては，スライドする指の方向が安定せず入力が難しいこともある．

2.3 予測入力・予測変換

テキスト入力を効率化する技術に，予測入力・予測変換がある．POBox[1] に代表される携帯電話の予測変換は，ユーザが入力した数文字のひらがなに基づいてユーザが入力しようとしている単語やフレーズを予測・提示する技術である．こうした入力予測・予測変換は，携帯端末には欠かせない機能になっており，テキストを入力する際のタップ数を減らす手助けになっている．しかしながら，適切な予測ができず結果的に全ての文字を入力

§g2113017@fun.ac.jp

北海道函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

[1] キーを押した回数により，キーに割り当てられたひらがなが「あ→い→う→え→お→ぁ→…」と変化する

[2] キーに触れた指を上下左右のひらがなが割り当てられた方向にスライドすることで入力する

Table 1 スマートフォンにおける主なテキスト入力方法

	長所	短所
キーボード入力	ひらがなのみで入力可能，比較的速い入力	長い読みを入力，意図と異なる変換
手書き入力	紙に書く振る舞いを利用，直接的な入力を実現	手数は画数に比例，誤認識も少なくない
音声認識入力	タップすることなく入力可能	状況によっては不適，ネットワーク接続が必須

しなければ意図したテキストが入力できないこともある．これは，システムがユーザの意図にまでアクセスできないことから発生する．

2.4 入力の環境や目的の変化

スマートフォンは，自宅や会社だけでなく，電車やバスに乗って移動している最中でも使用される．この点は，従来の物理的なキーボードで入力するパーソナルコンピュータとは異なる点である．また，スマートフォンでは 140 字以内のつぶやきを共有する Twitter へのテキスト投稿や，友人とショートメッセージをやりとりする LINE など，短いテキストをやりとりする機会が頻繁にある．テキストの内容は「これから帰ります」「ゼミに遅れます」といったようなユーザ自身の周囲の状況を伝える短めのテキストになっている．

荒川らは，Twitter に投稿された日本語のツイートと，それに付加されていた位置情報の関係を解析した [2]．それによれば，ツイートに含まれるランドマークや地名のキーワードと位置情報に相関関係があったと述べている．人間の行動は「状況に埋め込まれている [3]」という言葉にあるように，スマートフォンのテキスト入力は，パーソナルコンピュータでメールを書いたり，論文を書くような，テキストをじっくり吟味するタイプの入力とは，異なっていることが分かる．

3 コンテクストに基づく入力へのアプローチ

これまで述べてきたように，スマートフォンにおいて入力されるテキストは，比較的短い文章であり，さらに，ユーザの置かれている状況が表れている．このことから本稿では，短い文章を入力しやすく，選択するだけでテキストを入力できるシステムを開発する．

効率的なテキスト入力の実現へ向けたアプローチは，システムのアルゴリズムの側面とユーザインタフェースの側面，双方を考慮する必要がある．ここではまず，その両側面について整理する．

3.1 アルゴリズムの側面

スマートフォンは，ネットワークに接続されているだけでなく，様々なセンサが搭載されている．これにより，ユーザの位置情報を取得したり行動状態を推定することができる．このことから，使用履歴や時刻・位置情報といったコンテクストを利用してテンプレートをユーザに推薦するというアプローチが考えられる．では，具体的にどのようなコンテクストが存在するのか．Chen ら [4] は，以下のようなコンテクストの分類を提唱している．

計算機周辺コンテキスト ネットワークの接続状態や速度，周辺デバイスなどのリソース

利用者コンテキスト ユーザのプロフィールや位置情報，近くにいる人など

物理的コンテキスト 明るさ，騒音レベル，道路の混雑具合，気温など

時間的コンテキスト 日時，季節など

これらはいずれもネットワークに接続されたスマートフォンで取得できるものである．これらをテキスト入力に応用することができれば，スマートフォンの利用に合わせた入力が実現できると考えられる．

3.2 インタフェースの側面

2.2 で述べたように，スマートフォンにおいて一般的なキーボード入力には，キーが小さいなどの問題点があった．このことから，短い文章を入力する際に，よりシンプルな操作で入力が達成できるシステムが必要である．たとえば，あらかじめ整形してあるテキストを一覧性を持ったレイアウトで画面に表示するというアプローチが考えられる．これにより，ユーザは提示されたテキストを選択するだけでテキストを利用できるようになる．

他には，Dasher[5] のようなキーボードとは異なる入力インタフェースとすることも考えられる．タッチパネルデバイスの中でも，スマートフォンは画面が小さいという点があることを考慮すると，図 1 のような，線による入力も可能であると考えられる．これは，筆者がプロトタイプとして開発した PictText というシステムで，画面をなぞるだけで文章を生成・入力できるシステムである．このシステムでは，コンテクストを大学・研究・講義というシチュエーションに固定し，そのコンテクストから想定しうるテキストを生成する仕組みになっている．このように，スマートフォンならではのインタフェースで実装することも，コンテクストに基づくテキスト入力には効果があると考えられる．

Fig. 1 PictText のスクリーンショット

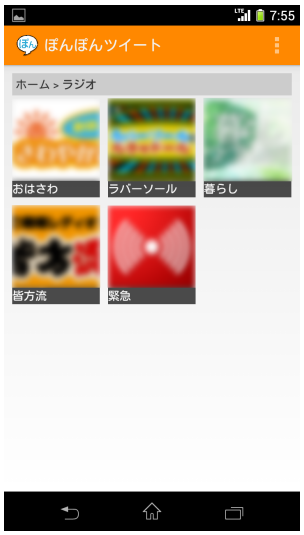


Fig. 2 システムのスクリーンショット（カテゴリ層）

3.3 本稿でのアプローチ

本稿では，スマートフォンでテキスト入力を行う主な状況として Twitter へテキストを投稿する状況を想定することとした．その状況での入力を効率化できるよう，以下の要件を設定した．

- 事前に投稿するテキストをテンプレートとして用意しておくことで，投稿時のテキスト入力の手間を省く
- 投稿に掛かるステップ数（タップ数）を極力少なくする
- 用意したテキストを投稿時にすぐ呼び出せるシステム設計

これを実現する手法として，野田らによる例文分類辞書 [6] の考え方を参考にした．テンプレートを使用する状況ごとに分類できるよう設計することで，特定の状況に遭遇したときにテンプレートを呼び出しやすくする．本稿では，テンプレートを選択するだけで Twitter へテキストを投稿できるよう，まずはインタフェースの側面からシステムを設計することとした．

4 提案システム

本稿では，Twitter へ投稿するテキストを予めテンプレートとして登録しておき，テンプレートを選択するタップ操作のみで Twitter に共有することのできるシステムを開発することによって，Twitter 投稿時の入力の負担を軽減する．開発したシステムのスクリーンショットを図 2 に示す．前節で設定した要件にも触れながら，システムの全体像について以下で述べていく．

4.1 システムの全体像

このシステムでは，システムに登録したテキストを分類して管理できるように設計してある．投稿されるテキストのテンプレートと，それを分類するためのカテゴリに分かれている．システムは，カテゴリ層を 3 階層，テンプレート層を 1 階層の 4 つの階層構造でテンプレートを分類することができる仕様になっている．なお，カテゴリやテンプレートの準備は，ユーザ各自が行う仕様になっている．

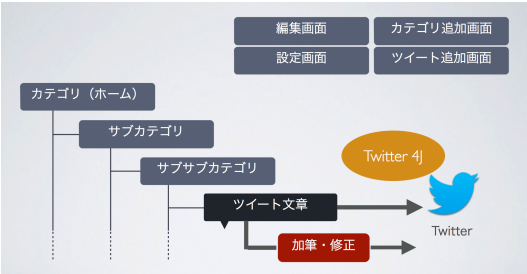


Fig. 3 アプリケーションの階層構造の概念

図 3 に，アプリケーションの階層構造を示す．テンプレート層から Twitter への投稿は，Twitter API の Java ラッパである「Twitter4J[7]」を利用した．

4.2 操作方法とテキスト投稿

図 2 はアプリケーションを起動してすぐに表示される 1 階層目のカテゴリ層の画面である．1 画面で最大 9 つのカテゴリを管理することができる．アイコンはカテゴリを表しており，端末に搭載されているカメラで撮影した画像を設定出来るようになっている．

4 階層目はテンプレートを管理する．このテンプレート層は，カテゴリ層と異なりテキストのみをリスト表示する設計にしてある（図 4）．また，アイコンの設定は行わず，投稿されるテキストの全文を一覧できるようなレイアウトにした．テンプレート層では，投稿したいテキストをタップするだけで設定した Twitter アカウントにテキストを投稿できるようになっている．

テンプレート層で，投稿したいテキストを選択すると，画面にポップアップが表示される（図 5）．ここでは，テンプレートに登録したテキストをそのまま投稿するか，

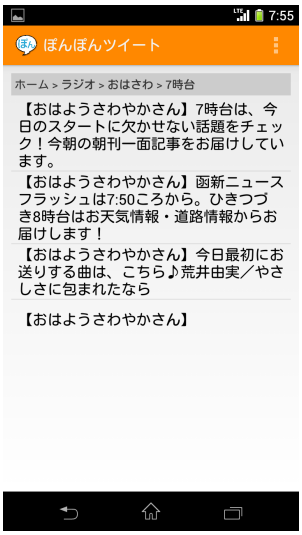


Fig. 4 テンプレート層のスクリーンショット

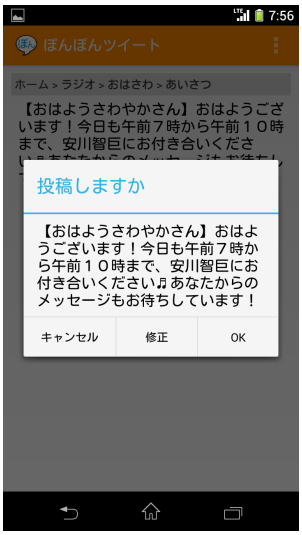


Fig. 5 テキスト投稿時のポップアップ

修正して投稿するかを選択できるようにしてある．

テンプレート，カテゴリいずれも使用履歴によるソート機能を持たせている．この機能は，ユーザの好みに応じて無効にもできるよう，設定画面で無効にすることによりソートしない設定にもできる（図 6）．また，カテゴリ・テンプレートの編集機能も実装し，登録したテキストや画像を後から変更できるようになっている．変更時に誤って Twitter へつぶやくことのないよう，Twitter 投稿機能の無効化もできるように設定画面を実装してある．

このように，あらかじめ整形しておいたテキストを，タップ操作のみで呼び出し，テキストを Twitter に投稿できるようシステムを開発した．Twitter 投稿時のテキスト入力の手間を省けるようにすることで，投稿時に入力するには手間の掛かる文章も，手軽に投稿できるようになった．また，テキストを使用する状況ごとに分類し

Fig. 6 設定画面のスクリーンショット

て管理することで，状況を絞り込んでいくタップ操作のみでテキストを呼び出すことができるようになった．

5 システムの試用

5.1 コミュニティFM における試用

本稿で開発したアプリケーションを，地域のコミュニティFM 局の社員の方に協力してもらい，現場で試用してもらった．コミュニティFM 局の社員の方を対象とした理由は，以下の通りである．コミュニティFM は Twitter を利用して番組と連動する内容や，地域の情報を提供している一方で，人員も多くないことから放送業務からトーク，番組宛に届くメッセージの選別などを 1 人ですることがある．このようなことから，本システムを使用することで生放送中の Twitter への文章投稿作業，入力作業を効率化できると考え，コミュニティFM にてシステムの試用を行った．実際に放送している様子を，図 7 に示す．たとえば，CM や音楽を流している間も，次に読む原稿の下読みをしたり，番組宛に届いたメッセージの整理をしたりと，番組と連動する情報を Twitter に投稿するのは難しい．このことからも，本システムを活かすことの出来る状況と考え，試用をお願いすることにした．

5.2 試用の準備・結果

番組は時々刻々と状況が変化するが，展開はある程度定まっている．そのため，あらかじめテキストを用意しておくことができる．今回は，図 8 にあるように番組名や時間帯によってテンプレートをカテゴライズしておき，試用を行った．詳細なカテゴライズは，図 9 に示す．

実際につぶやかれた内容は，以下の図 10 のようになっている．普段の放送では，番組開始の 1 回目のツイートのみであることが多いが，番組開始から 1 時間の間に，さらに 2 回の情報提供をしてもらうことができた．合計

Fig. 7 コミュニティFM において 1 人で生放送する様子

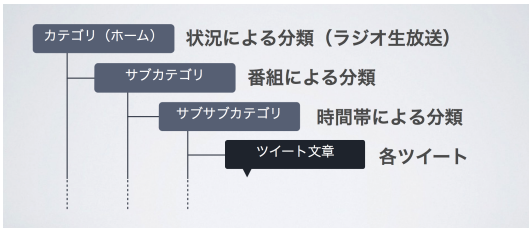


Fig. 8 コミュニティFM での試用時の階層の設定

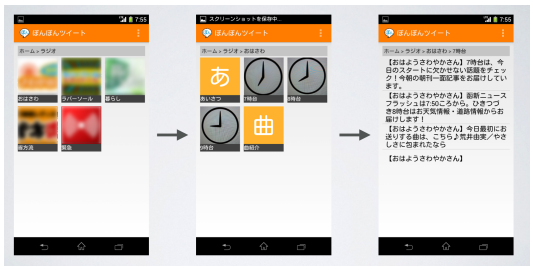


Fig. 9 コミュニティFM での試用時の具体例

3 回のツイートは，いずれも音楽を流している間，15 秒かからずにツイートを投稿することが出来た．

試用後，システムを使用した感想のヒアリングを行った．システムについて「修正機能があることで安心して使うことができる」という評価を得ることができた．修正機能があることで，生放送の展開に合わせてテンプレートを変化させてテキストを投稿することも可能にした．このシステムを使用して提供していきたい情報としては「番組内のコーナーや，放送中の音楽が紹介できる．また，緊急時や災害時のツイートを用意しておき，迅速な情報発信に活用できそう.」とのことだった．

6 まとめ

本稿では，スマートフォンを使用して Twitter につぶやきを投稿するために掛かるステップを簡略化するシステムを開発し，コミュニティFM の方にシステムを試用してもらった．スマートフォンにおけるテキスト入力は，キーボードによるものが一般的だが，キーが小さく入力しづらいという問題を抱えていた．スマートフォンでは Twitter など SNS にテキストを投稿することが多いだけでなく，電車やバスなどの揺れる状況で入力することも少なくない．このことから，Twitter へのテキスト投稿の手数を軽減できるようシステムを設計した．投稿するテキストを予めテンプレートとして登録しておくというアプローチを用いてシステムを開発した．テンプレートを階層構造で管理すること，アイコンとしての画像を設定すること，登録出来るカテゴリ・テンプレート数に上限を設けるという要件を設定し，本稿で提案するアプリケーションを開発した．操作性の向上やテンプレート選択時の負担を軽減できる仕様を目指した．

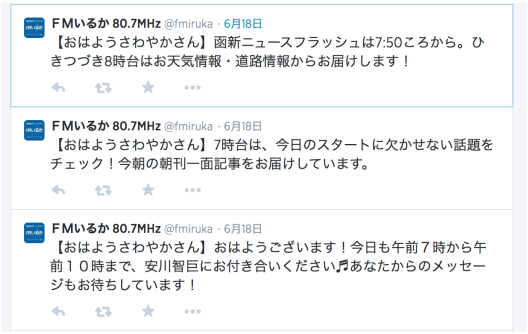


Fig. 10 実際に Twitter に投稿された内容[3]

地域のコミュニティFM における試用では，システムを使用していない時は番組開始時の 1 回だけだったツイートが，システムを使用した際は，テキストをあらかじめ用意しておいたことで 1 時間に 3 回のツイートを投稿することが出来た．その後のヒアリングでは，修正投稿機能に対するポジティブなフィードバックや，現場で使用する際の応用先のアイデアを得ることができた．

6.1 今後の課題

今回の実装では，コンテクストにより自動的にユーザにテンプレートを推薦するなどの自動化する実装は行わなかった．スマートフォンが取得できるコンテクストを活用し，効率的なテキスト入力の実現には，テンプレートの自動推薦機能を実装していく必要がある．

テンプレートの扱いにも課題はまだあり，たとえば綾塚らの GhostTweet[8] のようにテンプレートを柔軟に変化できるようにしたり，頻繁に使用する単語やフレーズを修正投稿時に入力しやすくするなど，さらなる発展があると考えられる．

[3] https://twitter.com/fmiruka より引用

また，提案したシステムはテンプレート登録時には通常のキーボードによる入力を必要としており，キーボードに依存している側面もある．テンプレートの自動追加機能や，入力履歴からテンプレートを自動で生成するなどの機能の実装を検討しなければならない．

謝辞

本論において提案したシステムは，IPA2013 年度未踏 IT 人材発掘・育成事業の支援を受けて開発しました．開発の指導をして下さった大阪大学の石黒浩教授に感謝申し上げます．

参考文献

[1] T. Masui,“An efficient text input method for pen-based computers,” in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, NY, USA, 1998, pp. 328-335.

[2] 荒川豊, 田頭茂明, and 福田晃,“Twitter を用いたコンテキストと入力文字列の相関関係分析,”情報処理学会論文誌, vol. 52, no. 7, pp. 2268—2276, Jul. 2011.

[3] L. A. Suchman, 佐伯胖, 上野直樹, 水川喜文, and 鈴木栄幸, プランと状況的行為: 人間-機械コミュニケーションの可能性. 産業図書, 1999.

[4] G. Chen and D. Kotz,“A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research,” Dartmouth College, Computer Science, Hanover, NH, TR2000-381, Nov. 2000.

[5] Inference Group: Dasher Project, 入手先 http://www.inference.phy.cam.ac.uk/dasher/. (2013.01.23).

[6] 野田隆裕, 白井治彦, 黒岩丈介, 小高知宏, and 小倉久和,“携帯情報端末における例文に基づく日本語入力方式,”福井大学大学院工学研究科研究報告, vol. 56, pp. 69-76, Mar. 2008.

[7] Twitter4J - A Java library for the Twitter API, 入手先 http://twitter4j.org/ja/ (2014.04.30).

[8] 綾塚祐二 and 那和一成,“GhostTweet: 短い文の入力のための新たなパラダイム,”情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, vol. 2012, no. 6, pp. 1-5, Jul. 2012.

情報処理北海道シンポジウム 2014

座面の圧力センサを使用した着席者の動作分析

鈴木駿介* 工藤峰一
(北海道大学情報科学研究科)†

1 はじめに

近年，個人の趣味や趣向に合わせたパーソナライズドサービスの提供を目的として人間の行動を自動で理解あるいは予測する研究が行われている．しかし，こういった研究の多くは，歩行や腕の振り上げなど大きな動作を伴う行動の時間的変化を認識して記録するものが主である [1, 2].

それに対して本研究ではオフィスワークに見られる小さな動作の分析と記録を行う. 具体的には着席時の動作の小さな差を識別する．着席時の動作とはタイピングやマウス操作などである．このためにユーザが着席する椅子の座面と背もたれに圧力センサシートを設置して，それらから得られる圧力データを動作の識別に利用する．

想定としては 1 日程度のタイムスケールにおいて，その人が着席時に行った動作を履歴として残す．このシステムにより各ユーザが 1 日に行った作業内容が明確となり，作業効率の向上や過労判定などに利用できると期待される．また，ユーザの行動管理を行うことも可能である．

2 従来研究

先行研究として，Tan らは [3] は座面と背もたれに圧力センサを設置して，10 種類の姿勢の識別を行ってる．着席するユーザが既知の場合には平均識別率約 95 %，未知の場合には平均識別率約 79 %を得ている．

紙谷 [5] も同様の方法で姿勢識別を行いつつ，着席するユーザが未知の場合の識別率の改善を行った．また，着席位置の正規化を施すことにより，平均識別率を約 93 %まで向上させている．これらの研究は静的な「姿勢」に留まっており,「動作」の分析ではない.

山田らは [4] は座面にのみ圧力センサを敷設して, 被験者が 1 名ではあるものの姿勢ではなく「立ち上がる」,「座る」,「動く」,「休む」といった大まかな動作に関しての分析からそれらの動作において，圧力分布に違いがあることを示した．しかし，実際にものの動作の分析や認識までは行っていない．本研究ではより具体的なオフィスワーク中に動作に注目してそれらの動作の認識を行う.

3 装置と予備的検討

3.1 使用する装置

本研究で用いる圧力分布測定装置 FSA(Force Sensitive Application) の仕様を表 1 に示す．装置の外観を図 1 に，実際にユーザが着席した時の様子を図 2 に示している．また，FSA から得られた圧力データの例を図 3 に示す．椅子には座席と背もたれの両方に同じ仕様の圧力センサシートを設置して，圧力データを測定した.

Fig. 1 FSA が敷席された椅子

Fig. 2 着席したユーザの様子

*shu-y2j@main.ist.hokudai.ac.jp
†札幌市北区北 14 条西 9 丁目北海道大学大学院情報科学研究科

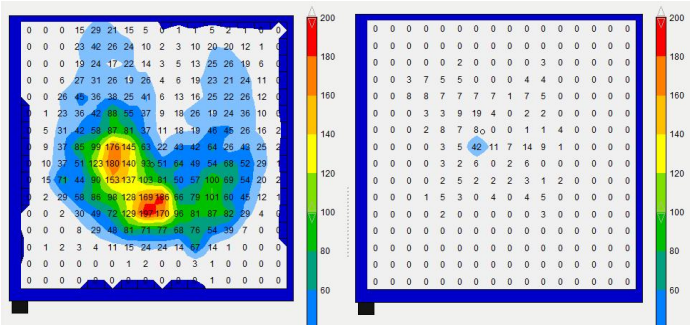


Fig. 3 FSA から得られる圧力データ (左に座面，右に背もたれの圧力データを示す．)

Table 1 圧力センサシートの仕様

マット面積	43 × 43[cm]
測定可能面積	33 × 33[cm]
測定範囲	0-200[mmHg]
センサ数	256 個 (16 × 16)
センササイズ	17.5 × 17.5[mm]
センサ間隔	3.3 × 3.3[mm]
センサタイプ	Piezo 抵抗型センサ
マット表面素材	撥水加工生地張り/ナイロン

3.2 予備実験

予備実験として，被験者 1 名 (成人男性右利き体重 60kg) に対し，机 (80cm × 50cm × 50cm) の前に着座させて 5 つの動作を行わせた．姿勢の具体的な内容の指示は特に行わずに自然な姿勢で指定の動作を行うよう指示した．指定した 5 つの動作は軽食摂取 (EAT)，スマートフォンの操作 (SMP-OP)，マウス操作 (MOUSE-OP)，タイピング (TYPE)，読書 (READ) であり，この順番で各動作 1 分程度で各動作毎にインターバルを設けて測定をした．また，サンプリングレートは 5Hz とした．

すべての動作の中で EAT を行った時に 1 番大きな圧力変動が見られた．これは EAT では様々な動作が連続するためだと考えられる．一方，SMP-OP では圧力変動がほとんど見られなかった．これは指先以外の身体の動きがほとんどなく，さらに被験者の腕が机に接触していたためだと考えられる．MOUSE-OP では小さな圧力変動が計測された．これはマウスを動かす際の腕全体の運動が計測されたためと考えられる．TYPE の圧力変動は SMP-OP の圧力変動とほとんど区別できなかった．READ では時折ページをめくる動作において変動がある他は変動がほとんど見られなかった．

背もたれにかかる圧力は座面にかかる圧力と比較して微量であった (図 4)．しかし，数値が 0 か否かにより前傾か後傾かを知ることはできた．

予備実験からわかった問題点として，多くの動作において机に腕が接触することが挙がった．これにより座面での圧力変動が少なくなり，結果として識別情報が少なくなると予想された．そのため，以後の実験においては，机に腕をのせないように指示して，足は床につけるよう指示した．

4 提案手法

4.1 注目領域の定義

山田らの研究 [4] および予備実験の結果から，圧力の変動が見られる範囲はかなり小さいことが判明した．そこで本研究では，次元削減のために，変動の大きい重心と膝の間の太股の辺りを「注目領域」と呼び，この領域内の圧力分布のみを測ることとした．

図 4 のように座面の点 (感圧素子) の座標 (配置) を (x,y)(x=1，2，... 16，y=1，2，... 16) とする．注目領域を S としてその中の座標を (x,y)$\in S$ のように書く．さらに，点 (x,y) での圧力を P(x,y) と書き，時間変動を考慮して，P_t(x,y) と書く．本研究では着席者が 3 秒間停止した時の状態を定常状態とみなしてその時点から測定を開始する．直近 W 個のデータをウィンドウで区切り，時刻 t におけるウィンドウ内の注目領域内の圧力の平均 $\hat{\mu}$ と標準偏差 $\hat{\sigma}$ を以下のように求める:

$$\hat{\mu}_t = \frac{1}{W}\sum_{u=t}^{t-W} P_s(u) \tag{1}$$

$$\hat{\sigma}_t = \sqrt{\frac{1}{W}\sum_{u=t}^{t-W}(P_s(u)-\hat{u}_t)^2} \tag{2}$$

この $(\hat{\mu}_t, \hat{\sigma}_t)$ を特徴ベクトルとして識別を行う．

4.2 注目領域の決定法

座標平面を左右 2 つの領域に分ける．着席者が定常状態になった時刻において，それぞれの領域での最大圧力点を M，最小圧力点を m とする．この M と m の中点を中心とするように 3 × 3 の領域を考える．左右これらの領域内の圧力の値の合計が大きい領域を選び注目領域 S とする．

4.3 識別方法

特徴ベクトル $(\hat{\mu}_t, \hat{\sigma}_t)$ において，識別率は被験者 6 名のうち 1 名を検査データとする方式で 6-fold cross valiation で算出した．そして，最近平均法を用いて各動作の識別を行った．

5 実験

被験者 6 名に対して 3 種類の基本動作に関する識別実験を行った．

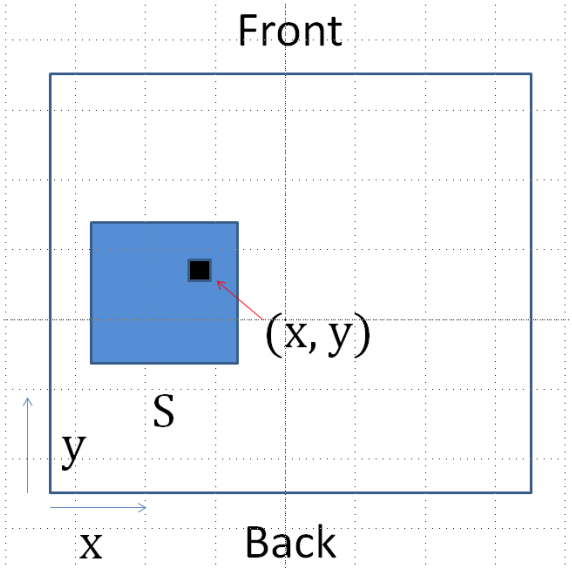


Fig. 4 注目領域，S の青枠内

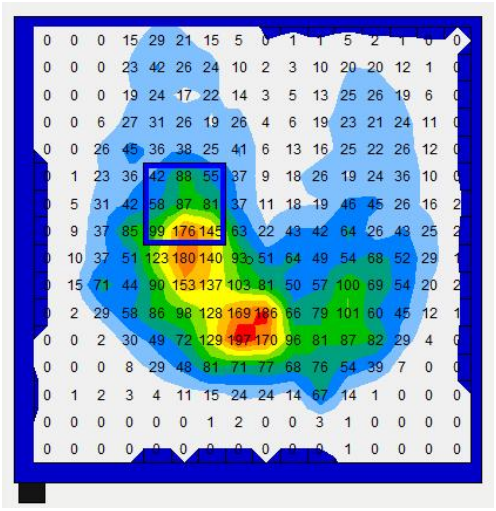


Fig. 5 座面の注目部位，青枠内 3 × 3 マス

5.1 実験概要

被験者 6 名 (右利き 5 名，左利き 1 名) で実験を行った．サンプリングレートは予備実験と同様に 5Hz とした．注目領域の例を図 5 に示す．

今回は基本動作を以下の 3 種類 (クラス数が 3) とした．識別したクラス数は 3 でその内容を以下に記す．

- 腕を肩の高さまで上げ，右手を左右にすばやく 5 回動かす (左右)．
- 腕を肩の高さまで上げ，右手を上下にすばやく 5 回動かす (上下)．
- 着席したまま上半身全体を左右にひねる.(回転)．

データは着席後 3 秒待って観測を初め，その後 5 秒間 (W=1) の波形から $(\hat{\mu}_t, \hat{\sigma}_t)$ を計算して 1 つのデータとした．識別結果を表 2 に示す．また，各動作における注目領域内にかかる圧力の変動を図 7-図 9 に示す．

Table 2 識別結果

実際の動作	識別した動作		
	左右	上下	回転
左右	5	1	0
上下	1	2	3
回転	3	2	1

5.2 結果と考察

各動作の識別率は右手の左右の運動だけは 83 %と高い精度で認識ができたものの，残りの 2 つは，右手の上下の動作が 33 %，回転運動は 16 %と低い精度に留まっている．これは個人差により分布の平均がクラス情報を安定的に示さなかったことが原因と考えられる．

Fig. 6 3 つの基本動作の移動方位

動きの程度としても腕を左右に振る動きでは他の動作と比べて十分な情報があったものの上下と回転では圧力分布に十分な差異がなかったと考えられる．

6 まとめと今後の課題

オフィスワークでの動作分類を椅子と背もたれに敷席した圧力センサシートで行った．残念ながら現状では 3 つの基本動作ですら満足に分類することはできなかった．これは適切な特徴量を用いていないことと，個人差を十分吸収できていないことが大きい．今後時系列としての性質を適切に抽出することで精度の改善を計りたい．

参考文献

[1] 河合純･永田章二･清水宏章･新谷公朗･金田重郎, モーションセンサとビデオカメラを用いた個人識別型位置検出手法. 情報処理学会・ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 2004, 1-8.

[2] N. Kern, S. Antifakos, B. Schiele and A. Schwaninger, A model for human interruptability: experimental evaluation and automatic estimation

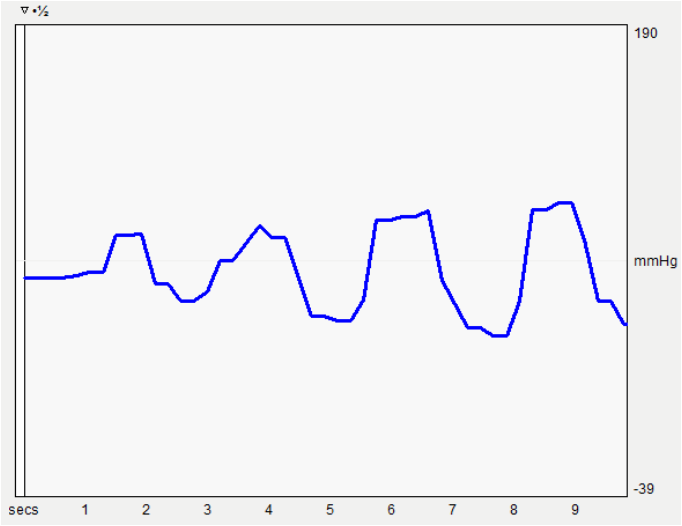


Fig. 7 右手左右の動作の定常状態からの変動

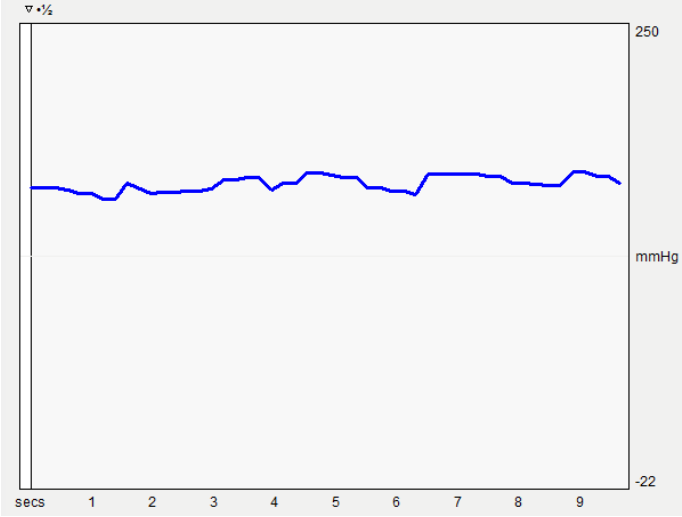


Fig. 8 右手上下の動作の定常状態からの変動

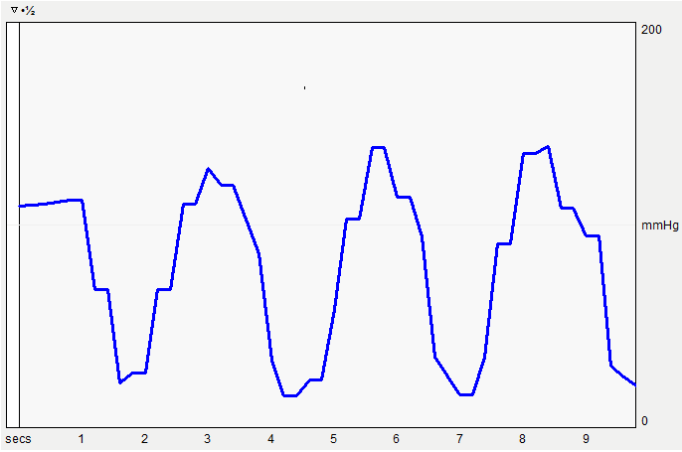


Fig. 9 上半身の回転運動の定常状態からの変動

from wearable sensors. Eighth Interna- tional Symposium on Wearable Computers, 1(2004),158-165.

[3] H. Z. Tan, L. A. Slivovsky and A. Pentland, A sensing chair using pressure distribution sensors. *IEEE/ASME* Transactions on Mechatronics, **6**-3(2001), 261-268.

[4] M. Yamada, K. Kamiya, M. Kudo, H. Nonaka and J. Toyama, Soft authentication and behavior analysis using a chair with sensors attached: hipprint authentication.*Pattern Analysis and Applications*,**12**-3(2009), 251-260.

[5] 紙谷一啓, 着席者の姿勢識別と疲労検出の研究. 北海道大学大学院情報科学研究科修士論文, 2009.

リモート魚群探知機の開発

和田雅昭*　安井重哉　畑中勝守
(はこだて未来大†　東農大)

1 はじめに

本報では，著者らが開発した定置網漁業支援のためのリモート魚群探知機について報告する．北海道南西部に位置する函館市の沿岸海域は寒流と暖流が交わることで豊かな漁場が形成され，毎年 4 月から 12 月までの期間に定置網漁業が行われており，マグロやイカ，ブリ，サケが漁獲されている．定置網漁業は回遊魚を垣網により身網に誘導して漁獲する漁法であるが，近年，漁獲される魚種や漁獲時期，漁獲量が大きく変化している（図 1）．例えば，函館市の 2012 年のブリの漁獲量は 3,661 トンであり 2006 年の 450%に増加しており，反対にサケの漁獲量は 989 トンであり 2006 年の 34%に減少している．著者らは，2012 年から身網の近くに著者らが開発した海水温観測ブイを設置し[1], 漁業者に海水温情報を提供している. 海水温観測ブイの設置深度は約 60m であり，表層から 50m まで 10m 毎に 6 層の海水温を 1 時間毎に観測している．寒流の影響により表層の海水温に比べて中層，下層の海水温は変動が大きく，表層と下層の温度差が 10℃を越えることも珍しくない．漁業者は中層，下層の海水温を参考に，魚種や漁獲量を予測し，網起こしや出荷の準備をしている．しかしながら，海水温だけでは魚種や漁獲量の十分な予測ができないことから，身網に設置するブイ型の魚群探知機への需要が高かった．そこで，著者らはリモート魚群探知機の開発を行った．

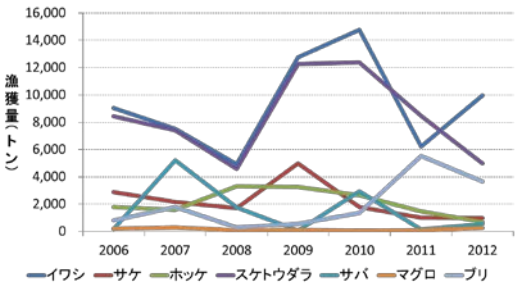


図 1　定置網漁業における魚種別漁獲量の推移（函館市）

2 リモート魚群探知機の開発

リモート魚群探知機は浮体となる筏，制御ボード，トランスデューサ，通信アンテナ，マリンバッテリで構成される．制御ボード，通信アンテナ，マリンバッテリは筏に搭載し，筏は網起こしの邪魔にならないように身網の外側に浮かべる（図 2）．トランスデューサは身網の中に小さなフロートを用いて海面から約 0.5m の深さに吊り下げる．なお，トランスデューサのケーブル長は 100m あり，ひとつの制御ボードに 2 つのトランスデューサを接続することができる．

図 2　函館市古部地区に設置したリモート魚群探知機

図 3 に開発した制御ボードを示す．制御ボードはアナログ部とディジタル部で構成される．アナログ部は超音波の送受信を行い，受信したアナログデータは CPU 内蔵の A/D 変換器によりディジタルデータに変換される．ここで，空間分解能は 320 段階であり，深度を 80m に設定した場合には，水深 0.25m 毎の反射強度を取得することができる. また, 反射強度の分解能は 256 段階である．ディジタル部は超音波の送受信の制御とクラウドサーバへの音響データのアップロードを行う．制御ボードには 3G HSPA モジュールを搭載しており，取得した音響データはパケット通信でインターネットに接続し，SMTP でアップロードする．デフォルトの設定は，超音波の送受信が 6 秒に 1 回，音響データのアップロードが 120 秒に 1 回である．すなわち，20 セットの音響データをまとめてアップロードしている．制御ボードの主な仕様を表 1 に示す. 定置網が設置されている海域の深度は，最大でも 70m 程度であることから超音波の送信出力を 16W に抑えるなどの省電力化の効果により，12V-160Ah のマリンバッテリで約 3 ヶ月の長期運用が可能である．

*wada@fun.ac.jp
†函館市亀田中野町 116-2　公立はこだて未来大学　システム情報科学部

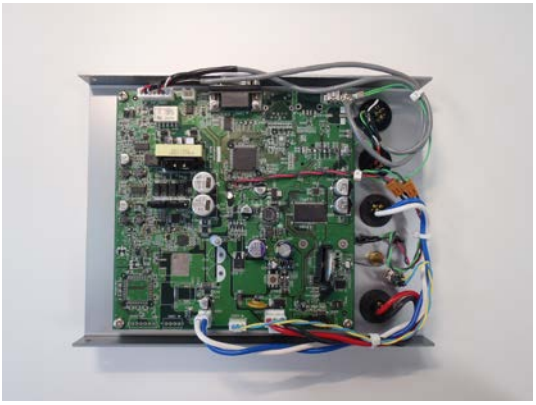


図 3　リモート魚群探知機の制御ボード

表 1　制御ボードの主な仕様

CPU	Renesas RX600 series (32-bit)
SRAM	Cypress 4 M-Bit (256 kB×16)
基板寸法	144 mm×144 mm
送信周波数 / 出力	50 kHz / 16 W
電源電圧 / 消費電力	10.8～31.2 VDC / 24 W
3G HSPA モジュール	Huawei EM770W

3 iPad アプリケーションの開発

iPad アプリケーションは，リモート魚群探知機で取得した音響データを魚群映像として表示するための iPad アプリケーションである．iPad アプリケーションのユーザインタフェース（以下 UI）のデザインコンセプトは「いつでも，どこでも，誰でもが使うことができる」ということである．そのために，5 つの UI デザインの基本方針を立てた．①操作性はできる限り単純，かつ，直感的なものにする．②ユーザが魚群映像に集中できるように，できる限り UI 上から余計な情報となるような要素を排する．③ランドスケープモードで使用するアプリケーションとすることにより，限られた UI 面積の中でも必要な情報の表示比率が高まるような UI レイアウトを実現する．④文字情報に頼らず操作できるように，ボタン上のラベル表示にはアイコン（絵文字）を活用する．⑤通信，および，描画処理の負担とならないような UI 表現と UI 要素のレイアウトにする．この方針に基づき操作部と表示部に分かれた UI 画面をデザインした．操作部には「画面キャプチャ」「リロード」「日付移動」の 3 つの操作ボタンが存在している．また，表示部には，2 つのトランスデューサで取得した音響データを魚群映像として上下に並べて表示する．

iPad アプリケーションは，クラウドサーバから音響データをダウンロードし魚群映像として表示する．また，ユーザの好みに合わせた色調で魚群映像を表示することができ，表示パラメータはクラウドサーバに置かれたユーザ別の json ファイルに記載されている．なお，リモート魚群探知機は cellular data number で，iPad は GUID で識別することができ，リモート魚群探知機と iPad の組み合わせはクラウドサーバで厳重に管理している．

4 おわりに

リモート魚群探知機の実験を 2014 年 6 月 24 日から函館市古部地区で実施している．図 4 はスルメイカの水揚げが約 5 トンあった平成 26 年 8 月 4 日の音響データを iPad アプリケーションで魚群映像として表示したものである．iPad アプリケーションでは，左右へのスワイプ操作により時間軸を進めたり戻したりすることができるほか，カレンダー機能により日付を指定して過去の魚群映像を閲覧することもできる．漁業者はリモート魚群探知機と iPad アプリケーションを活用し，網起こしや出荷の準備に役立てている．今後は音響データを解析し，統計処理と画像処理の 2 つの手法により，魚種と漁獲量を推定するアルゴリズムの開発に取り組む計画である．

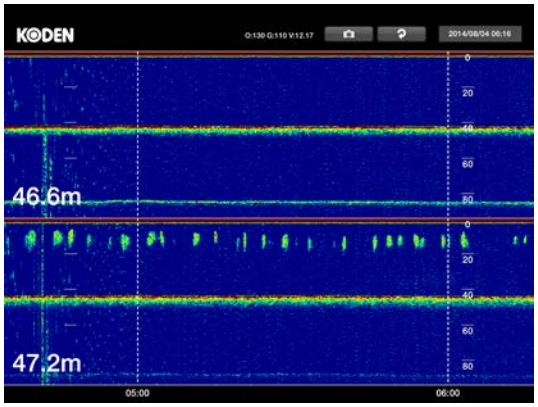


図 4　UI 画面とスルメイカの魚群映像

謝辞

本研究は，総務省「戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）地域 ICT 振興型研究開発」の支援により実施しています．また，本研究は株式会社光電製作所の協力により実施しています，ここに記して謝意を表します．

参考文献

[1] M.Wada, K.Hatanaka, “Real time seawater observation network for aquaculture,” Proceedings of the OCEANS 2011 MTS/IEEE, 6 pages in CD-ROM, 2011.9

スマートフォンを用いた AR 花札システムの開発

圓谷将大*
(北海道大学大学院情報科学研究科)[1]

高井昌彰
(北海道大学情報基盤センター)[2]

1 はじめに

日本伝統のカードゲームの一つとして花札が知られている．しかし，一般的なトランプのカードとは異なり，花札の各札には「点数」や「月」を直接示すような文字情報が示されていないという点に加え，札の組み合わせによる多様な種類の「役」や地域固有のローカルルールを覚えなければならないため，初心者にとっては少々難しいゲームとなっている．

そこで本研究ではこのような問題を解決するために，花札の画像認識と拡張現実（AR）を応用し，実際の札から視覚的にその情報を得ることが出来る初心者支援 AR 花札システムを構築する．

2 関連研究

ゲーム支援において，画像認識を用いた研究は様々なものがある．花札と同様なカードゲームでは，トランプの札認識と役判定を行いプロジェクタ照射により視覚的なエフェクトを生じさせる研究[1]がある．また，スマートフォンの内蔵カメラを使いた AR システムでは，麻雀牌（手牌の画像）を認識し最適な捨牌を AR で可視化する初心者支援システムの研究[2]がある．

3 システムの概要

本システムは花札の遊びの一つである「花合わせ」を対象とする．システムの処理の流れを図 1 に示す．

まず，配られた札をスマートフォンで撮影し，画像認識によって札を特定することで手札を把握する．ゲーム開始後は自分の手番が回ってくるたびに，場札，山札を撮影し，特定された場札（山札）と手札（場札）を比べることで獲得できる札の組み合わせを調べ，その情報を撮影画像中の札の上に可視化する．ユーザはこの支援情報をもとに獲得する札を選択する．

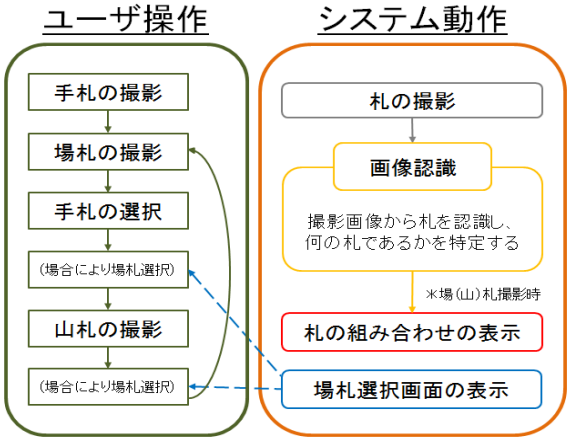


図 1　システムの概要図

*enya@iic.hokudai.ac.jp
[1]札幌市北区北 14 条西 9 丁目　北海道大学大学院情報科学研究科
[2]札幌市北区北 11 条西 5 丁目　北海道大学情報基盤センター

4 札の認識

はじめに複数枚の札が撮影された画像の中から札を含む矩形領域をラベリング処理で抽出する．この処理は場札撮影時のみ行われる．次に，一枚の札が撮影された画像に対し札の絵柄部分のみを抽出する．その後，絵柄の特徴に基づき，札の種類を判定する．

4.1　複数の札領域の抽出

複数枚の札が撮影された画像から一枚の札を含んだ矩形領域を抽出する方法について述べる．まず，画像を HSV 空間に変換した後，65 < H（色相）< 110 の範囲の画素を 0，他を 1 として二値化し，マスク画像を生成する．（本来は 0≦H≦360 だが，OpenCV[3] では 0≦H≦180 で表現）続いてオープニング・クロージング処理でノイズを除去し，ある一定以上の画素数の閉領域をラベリング処理により検出することで，札領域を複数抽出することができる．

4.2　札の絵柄部分の抽出

一枚の札が撮影された画像から札の絵柄部分のみを抽出する方法について述べる．まず，4.1 と同じ方法で二値化処理を行った後，札の辺にあたるエッジを検出し，確率的ハフ変換を用いて札枠を示す線分を検出する．それらの線分の傾きから，画像全体を回転し傾きを補正する．次に実際の札の縦横比と絵柄部分の縦横比を用いて，絵柄部分のみを抽出する．

4.3　札の特定方法

札の絵柄画像から札を特定する方法について述べる．前準備として，4.2で得た絵柄部分の画像から［赤, 黄, 緑, 青, 黒］の五種類の色ごとのマスク画像を生成し，各色の札全体に対する割合を求めておく．札の種類数と，スマートフォン実装の容易さや処理速度の観点から，一般的な画像特徴点抽出やパターン学習による方法を用いず，花札特有の絵柄に基づいた逐次判別による方法を用いた．判定の分岐図を図2に示す．条件判断は計38個あるが，これらは以下に示す5分類に大きく類型化される．判別の際，札画像が上下反転している可能性があるので，どちらの状態でも判定可能な条件となっている．

1. **特徴のある色に基づく判定**
   花札の中で緑色領域を持つ札は1枚，青色領域を持つ札は2枚だけである．またオレンジ色を持つ札は複数存在するが，逐次判別の過程で1枚に絞りこまれるケースもある．このように候補の中で特徴のある色を持つものを見つけ出すことで札を特定する方法．
2. **全体の色の割合に基づく判定**
   例えば同じ赤色領域を持つ札が複数枚あった場合でも，札全体に占める赤色領域の割合が大きく異なることがある．そのような場合に判定対象のある色の領域の割合を調べることで札を特定する方法．

3. 色の分布の偏りに基づく判定

1枚の札画像を上下または左右に二等分したとき，その二つの領域で，ある色の割合に偏りが見られることから札を特定する方法.

4. 角部分の色の組み合わせに基づく判定

札画像の右上角と左下角の色の組み合わせが（黄, 黄）であればA, （赤, 白）であればBなど，二つの箇所における色の組み合わせで札を特定する方法.

5. ある色の領域数に基づく判定

札画像に含まれる，ある色を有する領域の数から札を特定する方法.

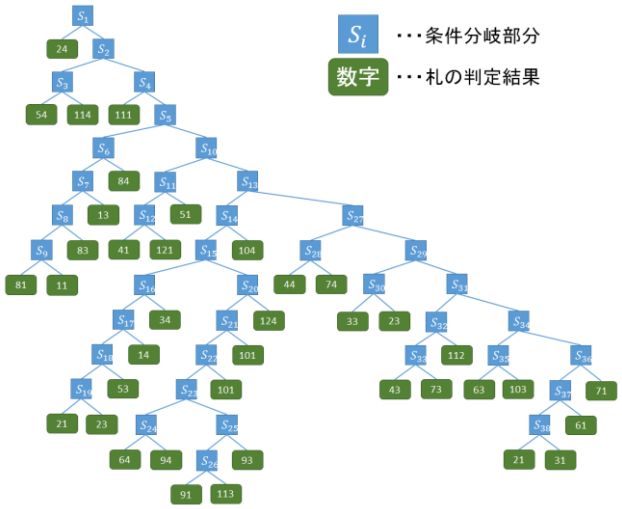


図２　札の判定二分木グラフ

花札の種類は全部で48種類存在するが，同じ月の同じ点数の札は同一の札と判定して差支えないので，36種類に分類できればよい．しかし，同じ月の同じ点数の札がどちらも同じ柄であるとは限らないため，異なる判定法を要する場合がある．その結果，札判定に必要な条件判断は38種類となり，どんな札でも最大で14回の判定を行うことで特定が可能である.

5 組み合わせと役の AR 可視化

札の組み合わせによって獲得できる点数や役はそれぞれテキストで表現される．これらはスマートフォンの撮影画像内の該当する札の上に重ねて可視化されるため，視覚的にどの札を取ればどんな役で何点獲得できるかが容易に分かる．また，役が取れる場合，そのテキストは拡大・縮小のアニメーションでより強くユーザに情報を伝えている．実際の実行画面を図3に示す.

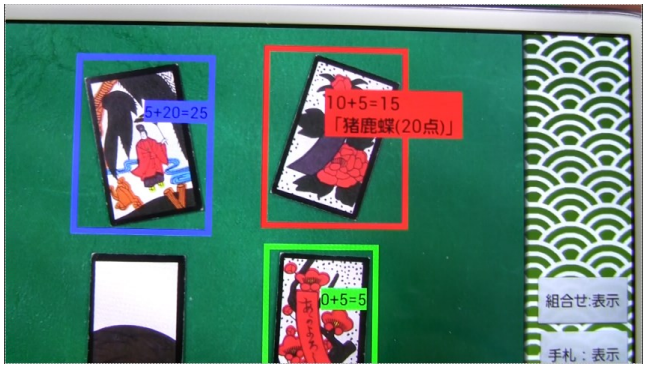


図３　情報のAR表示結果

6 システムの実装と動作実験・結果

実験に用いたスマートフォンはGALAXY Note SC-02E（OS: Android4.1, CPU: 1.6GHz, RAM: 2GB）であり，開発言語はJava言語とC++言語（JNIを利用）である．また，画像認識のためにOpenCVを利用した.

室内の蛍光灯下のもと，間接照明で場を照らして撮影した場合，札の特定率は手札・山札撮影では100%，場札撮影では98%となり，全体として98.9%の特定率となった．しかし，複数の札が部分的に重なった状態では札検出ができないという問題点が存在する.

7 問題点解決のための手法

前節で述べた現システムの問題点を解消し，加えて理想環境外での認識率向上を図るため，SURF による特徴点を用いた札認識手法を現在検討・実装中である．この手法は，各札の元画像から予め適切な特徴点を抽出しておき，撮影された札画像（部分的でも可）から得た特徴点とのマッチングを行うものである．正しいマッチングが期待できる特徴点集合を札ごとに厳選することで処理時間の短縮と認識精度向上を図る．加えて各特徴点をクラス分けし，各クラスでのマッチング類似度を利用することで，画像の欠損に強い認識の実現を狙っている．厳選した特徴点のクラス分けの例を図 4 に示す.

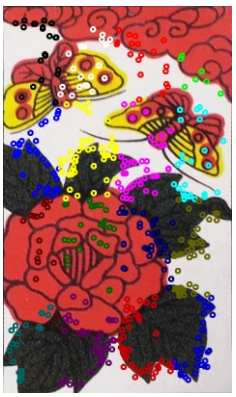


図４　特徴点のクラス分け結果

8 まとめ

本稿では，スマートフォンで撮影した画像から花札を検出し，場面に合わせた情報をAR可視化する花札初心者支援システムについて述べ，札の判定方法と可視化手法をプロトタイプの実装とともに示した．また，札判定の精度についても検証し評価を行った.

部分的に重なった札の認識に関する課題解決のため，新手法でのプロトタイプを現在実装中である.

参考文献

[1] 田中希武, 村田哲史, 藤波香織: "プロジェクタ・カメラシステムによるトランプゲームの拡張環境の構築"，情報処理学会 インタラクション 2012, (2012/3/16)

[2] 矢田和也, 高井昌彰: "スマートフォンを用いた初心者支援 AR 麻雀システムの開発”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.385, MVE2012-51, pp.35-40, (2013)

[3] Open Source Computer Vision Library (http://opencv.jp/)

情報処理北海道シンポジウム 2014

並列二重倒立振子の振り上げ安定化制御

櫻井仁貴* 渡辺美知子 鈴木育男 岩館健司
(北見工業大学)†

1 はじめに

倒立振子問題は, 従来の古典的な手法や最適化手法を用いた制御系設計手法の検証用として古くから知られている. この問題は, 単純な倒立振子から振子を直立に接続した直立二重振子や直立三重振子, 並列二重振子など難易度の高い倒立振子問題もいくつか成功例が報告されている.

近年, 物理エンジンを用いて三次元仮想空間内にロボットや人工生物モデルを作成し, 様々な環境下において目的に沿った自律的な行動を獲得させる研究が盛んに行われている. これらの研究で 古川ら[1]は, 自律行動の獲得に学習機能を持たせたモデルをアニボット(Animated Robot, Anibot)と名付けて活発に研究が進められている.

本研究では, 三次元空間内に振子二本を並列に接続させた並列二重倒立振子の振り上げ安定化制御を目的とする. 安定化制御には, 人工ニューラルネットワーク**(Artificial Neural Network, ANN)**, **ANN** のニューロン間の結合荷重の最適化に進化計算の一手法である遺伝的アルゴリズム **(Genetic Algorithm, GA)**を採用する. 最後に, 提案手法の有効性を数値シミュレーション実験で検証する.

2 物理環境

本研究では, **NVIDIA** 社の物理エンジンである **PhysX** を用いて三次元物理環境を生成し, モデリングとそのシミュレーションを行う. **PhysX** では重力や摩擦, 衝突判定など高速にシミュレーションすることが可能である. また, これらの機能を用いて環境設定が実現でき, 水中や無重力空間などの様々な環境下におけるシミュレーションを可能としている.

3 関連研究

倒立振子関連の研究としては, 過去に直列二重倒立振子や直列三重倒立振子などの研究が報告されている. 島根大学総合理工学研究科[2]では, 状態フィードバック制御による並列二重振子の倒立安定化制御実験が行われて成功している. また, 東京工業大学[3]では今回の研究テーマと同じ, 並列二重倒立振子の振り上げ安定化の研究内容の成功が報告されている.

4 モデル

倒立振子モデルには, レール式, 車輪式, アーム式など様々な種類があり, 本研究では, レール式を導入して台車に加わる力を制御する台車式倒立振子を採用する.

図 1 は一般的な並列二重倒立振子の概略図, 図 2 はモデルの全体図である. 図 3 は台車と並列二重振子を示し, この図の左側の棒の長いほうが手前である. 図 2 に示すように駆動台車は, 移動するレールが 2 本とも左右の支柱で支えられている. 支柱の高さは 1m, レールの長さは 500m として実験を行ったが, 図では全体が見えるように長さを 20m としている. 図 1 では, 台車にタイヤが付いているが, 今回作成したモデルはレール式を採用しているのでこれをつけていない. 台車がスムーズに動くためにレールと台車の間の摩擦はゼロとしている. また振り子と支持柱, 台車の接合部の摩擦もゼロとしている. そのため駆動台車が滑り落ちないように, 図 3 のように駆動台車は直方体のプリミティブを I 型に組み合わせ, レールを挟む形で作成した.

本研究では, 図 3 に示すモデルを採用する. この理由としては, 図 1 のモデルを用いた場合に 2 本の振り子が互いにぶつかってしまい動きが制限されるのを考慮し, 図 3 に示すようにそれぞれの振り子を手前と奥に配置するという形でモデルを作成した. ここで振り子は全く同じモデルを使用した場合, 単振子と変わらないと考えたため, それぞれ長さが異なるように設計した. 図 2 の左手前側を *pen*1, 右奥側を *pen*2 とする. ただし, 幅や奥行きは両モデルとも同じ値である. 下の表 1 は, それぞれの振り子の設定値を示す.

表 1. 振り子の設定値 [m]

	Pen1	Pen2
幅 [x]	0.03	0.03
高さ [y]	0.4	0.3
奥行き [z]	0.02	0.02

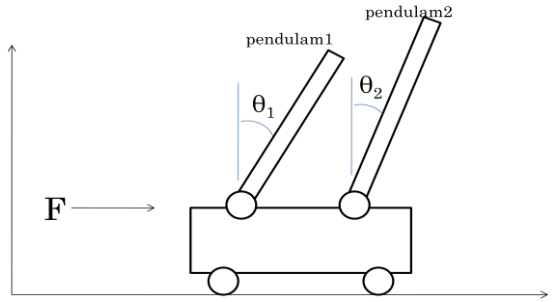


図 1.一般的な並列二重倒立振子の概略図

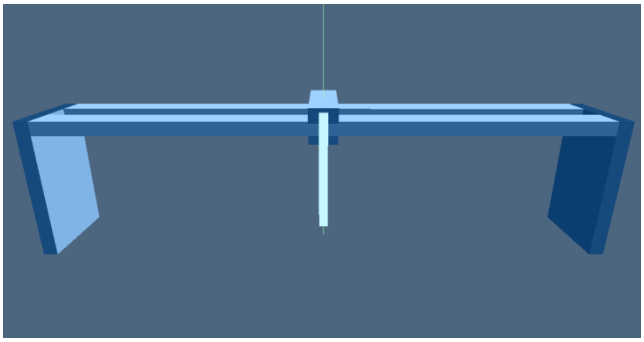


図 2.モデルの全体図

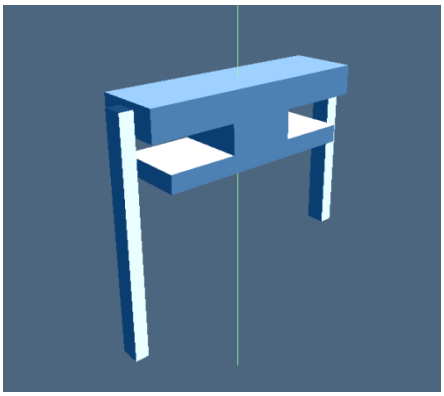


図 3.台車と並列二重倒立振子

5 制御方法

レール式の並列二重倒立振子の制御に **ANN** を用いる. **ANN** の入力値は, 2 つの振り子の回転角度 θ と角速度 ω を [-1,1]に正規化した値と, 台車の速度 *v*, 台車の位置 *x* を与え,

台車に加える力 F を出力させる．また **ANN** のニューロン間の結合荷重 w の最適化に **GA** を用いる．

5.1 人工ニューラルネットワーク（ANN）

人工ニューラルネットワーク（**ANN**）とは，生物の神経回路網の一部を人工的に模倣した手法である．この神経回路網は，複数のニューロンがシナプス結合を通してネットワークを形成している．**ANN** のネットワーク構造には，階層型のフィードフォワード型と双方向のリカレント型があるが，本研究では前者の階層型ネットワーク構造を用いる．

今回は，倒立振子を制御するコントローラに 3 層の **ANN** を採用し，入力層 6，中間層 10，出力層 1 とする．また，**ANN** の出力関数には，式(1)のシグモイド関数を用いる．**ANN** の出力値の範囲は，[1，0]としている．式(2)は，台車に加える外力を示している．*Output* は，*f(x)*よって算出された出力値である．この式(2)の中で，式(1)で求めた *Output* を[1，-1]の範囲に変換し，これを任意の値である最大の力 F_{max} に乗じて外力の値を算出する．

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\left(\frac{x}{T}\right)}} \qquad (1)$$

$$F = F_{max}(2 \cdot Output - 1) \qquad (2)$$

5.2 遺伝的アルゴリズム（GA）

遺伝的アルゴリズムとは，生物が環境に適応して進化していく過程を工学的に模倣したメタヒューリスティックであり，最適化問題に多く利用されている．本報告では，結合荷重 w を最適化することで，振り子の立ち上がりの安定化制御を獲得することを試みる．

遺伝オペレータには，交叉，突然変異，選択，淘汰を用いる．突然変異は，一様突然変異，境界突然変異，微小量を遺伝子要素に加算する方法の 3 種法を併用した．この併用により単に乱数を発生させるだけの時よりも，最適値に収束しやすくなると考えた．選択には，最も優秀な個体を保存するエリート保存を用いた。

評価値には，以下の式(3)を用いる．ここで C_1，C_2 は，それぞれ振り子 pen1 と台車，振り子 pen2 と台車の座標の内積値である．並列二重倒立振子の評価は，それぞれの内積値を[1,0]に正規化して乗じた値の合計値を用いる．

$$E = \sum_{t=0}^{s}(0.5 \cdot C_1 - 0.5) \cdot (0.5 \cdot C_2 - 0.5) \quad (3)$$

GA の各パラメータは，以下の表 2 に示すとおりである．

表 2. GA のパラメーター

個体数	200
世代数	200
交叉率	0.5
突然変異率	0.5
淘汰率	0.2
ステップ数	1200

6 数値シミュレーション実験

数値シミュレーション実験は，並列二重倒立振子の立ち上がり安定化行動を獲得するために **ANN** と **GA** を用いて行った．実験は，1step を 1/60sec とした．

6.1 実験結果

今回の数値シミュレーション実験では，並列二重倒立振子の立ち上がりの安定化制御までには至らなかった．図 4 は，実際にシミュレーション実験を行った時の学習の収束状況である．このグラフからは，はじめは低い数値から始まり，徐々に数値が高くなりつつ，ある一定の値に収束していくのがわかる．この結果からは，ステップ数が 1200 なので理論上 C_1，C_2 の乗じた値の合計値が 600 を超えていれば，2 つの振子が立ち上がっている状態だと考えられる．シミュレーション途中では，台車が左右に揺れ，振子を立ち上がらせる行動をしているのが観察できた．また，垂直ではないが，数秒間 2 つの振り子が上にあがった状態でバランスを取ろうとしている行動も観察できたので，実際に安定化のための行動を試みているのがわかった．

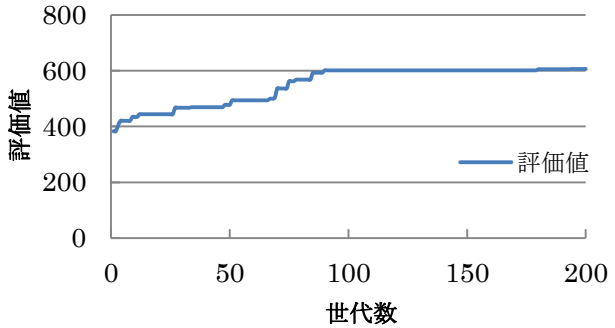


図 4. 評価値の収束状況

6.2 考察

数値シミュレーションの実験結果からは，立ち上がり行動の獲得はできたものの安定化までには至らなかった．直接的な原因としては，**GA** の世代数が足りなかったことが考えられる．実験自体は良好におこなえていたので，世代数を増やせばより良い結果が出せるのではないかと思われる．また，世代数だけでなく他の **GA** のパラメータや，**ANN** のニューロン数の調整が不十分であることも考えられる．

7 終わりに

本研究では，三次元物理空間内に並列二重倒立振子をモデリングし，その安定化制御に **ANN** と **GA** を用いて行った．その結果，立ち上がり行動の獲得はできたが，安定化までには至らなかった．今後の改良点は，以下に挙げられる．

(1) パラメータの最適値を導き出すこと
(2) ANN のニューロン数を考慮すること
(3) 結合荷重の最適化手法に他の手法を利用すること
(4) ANN の入力値の改良など

以上の改良点を考慮しながら単一倒立振子の安定化制御を獲得後，並列二重倒立振子，更に並列三重倒立振子などの複雑な問題に挑みたいと思っている．

参考文献

[1] 古川正志他著，メタヒューリスティックスとナチュラルコンピューティング，コロナ社，2012
[2] 吉田和信，台車移動幅の制限を考慮した直列および並列型二重倒立振子の安定化制御，計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集，19th，pp2-7，2010
[3] 井口圭一，木村元，小林重信，GA による並列二重倒立振子の振り上げ安定化制御，自立分散システム・シンポジウム資料，13th，pp277-282
[4] 井上祐平，渡辺美知子，直列二重倒立振子の安定化制御の自律的獲得，情報処理北海道シンポジウム 2011，pp165-166， 2011
[5] 佐藤航，渡辺美知子，鈴木育男，岩館健司，学習による倒立振子の安定化制御に関する研究，情報処理北海道シンポジウム 2012，pp35-36，2012
[6] 次原慧，渡辺美知子，鈴木育男，岩館健司，自律移動ロボットの安定化制御，情報処理北海道シンポジウム 2013，pp9-10，2013

DTM(DeskTop Music)での音づくり支援システムの構築

齋藤 創*　大場 みち子
(公立はこだて未来大学)†

1 はじめに

近年 PC 上で作曲活動を行う DTM(DeskTop Music)が活発になってきている．これは DTM 用の音声合成ソフトウェアである「初音ミク」等の発展や，作曲した作品を発表する場として「YouTube」や「ニコニコ動画」等の消費者生成系メディアの発展による影響が大きい[1].

DTM には膨大な時間と労力を要する．本研究では，DTM の現状とその問題点を調査するため DTM 作曲者に対してヒアリングを行った．ヒアリングは事前に準備した質問項目を基に DTM 作曲者に対して 30 分程度行った．その結果，「音づくり」という作業に時間と労力を費やしている事が判明した．音づくりとは，仮想音源(PC 上の音源データ)等のパラメータを調整し，作成する楽曲に適した音色を作成する作業の事である．

音色に関する先行研究として，音色の登録と検索機能を有する電子音色辞書が山田らにより開発されている[2]．この電子音色辞書では，任意の音色により作成されたオーディオファイルを登録および検索する事が可能である．一方，従来研究では音づくりの方法が分からないため，その音色を用いて別の旋律を作成する事ができず，DTM 作曲者が求める音色を用いて別の楽曲を作曲する事が難しいという課題もある．

以上より本研究では，DTM 作曲者が求める音色をより効率的に作成する事を目的とする．この目的を達成するため，音づくり情報に関する次の 2 点を目標とする．

(1) 音づくり情報を再利用可能な状態で記録できるようにする

(2) 求める音づくり情報を容易に見つける事ができるようにする

本研究では，音づくりをする際に必要となる音色のオーディオファイルや仮想音源の情報，各種パラメータの値等の情報を「音色情報」と定義する．同様に，音色情報と音づくりをする際に参考にした情報源を「音づくり情報」と定義する．

2 課題と課題解決アプローチ

2.1 課題

音づくりを効率よく行うための課題として，次の 2 点がある．

(1) 音づくり情報をうまく記録できていない

音づくりをした際，自身で作成した音色情報をうまく記録できていない．同様に，音づくりをする際に参考になった Web サイトの情報もうまく記録できていない．音づくり情報の再利用性がないため，過去に作成した音色を再現するために時間と労力を費やしてしまうという課題や，過去に参考にした Web サイトを再び探さなければならないという課題がある．

(2) 求める音色を作成するための音づくり情報が探しづらい

現在 DTM での音づくりに関する Web サイトが無数に存在している．DTM 作曲者はその中から参考になりそうな Web サイトをキーワード検索で検索している．しかし，Web サイトを絞り込むための適切なキーワードがわからないため，DTM 作曲者が求める音色を作成するための情報を見つける事が困難である．

2.2 課題解決アプローチ

2.1 節の課題を解決する次の 2 つの解決アプローチを提案する．

(1) 音づくり情報登録手法

2.1 節課題(1)の解決アプローチとして，音づくり情報にタグを付加し，再利用可能な音づくり情報として残せる登録手法を提案する．この手法により，DTM 作曲者が音色情報や参考にした Web サイト等の音づくり情報を再利用可能な状態で登録する事が可能になる．

この手法では「DTM 作曲者が自身で作成した音色情報の登録」と，「DTM 作曲者が音づくりをする際に参考になった音づくり Web サイトの登録」の 2 つ

*b1011177@fun.ac.jp
† 函館市亀田中野町 116 番地 2 公立はこだて未来大学

の登録パターンが存在する．本研究では，これら 2 つの登録パターンを次の 2 つの機能で実現する．

a) 音色情報登録機能

DTM 作曲者が音色を作成した際，その音色情報を登録する．登録の際には音色情報に適するタグを付加させる．本手法ではタグを「仮想音源」「ジャンル」「雰囲気」の 3 種類に分類分けする．また，タグを入力する際に表記揺れが発生しないように，入力の補完もしくは該当分類のタグを一覧表示し，表記揺れが発生しないように支援する．

b) 音づくり Web サイト登録機能

DTM 作曲者が，音づくりをする際に参考にした音づくり Web サイト(以下，単に Web サイトと記す)を音色情報登録機能と同様にタグを付加して登録する．本機能では，参考にした Web サイトの URL 等の情報を本システムに入力することで，本システムが Web サイト内の特徴語(特徴的な語句)を抽出する．抽出した特徴語を登録者にタグとして推薦することで登録の補助を行う．

(2) 音づくり情報検索手法

2.1 節課題(2)の解決アプローチとして，2.2 節の音づくり情報登録手法にて登録された音づくり情報のタグを用いた検索手法を提案する．この手法では，「仮想音源」「ジャンル」「雰囲気」の 3 つに分類されたタグを用いて，DTM 作曲者が登録された再利用可能な音づくり情報から容易に求める音づくり情報を検索する事が可能となる．

2.3 仮説

本研究では 2.1 節の課題に関して，次の 4 つの仮説を立てた．

(1) タグによる音づくり情報の管理

「ギター」「ロック」「迫力がある」等，データを関連づける具体的な情報要素[3]に基づいて情報を管理し，各情報要素をタグと呼称する．タグによる音づくり情報の管理を行う事で，DTM 作曲者が求める音づくり情報を分類し，その分類を用いることで，早く的確に検索をする事ができる．

(2) 特徴語抽出による入力の補助

音づくりをする際に参考になった情報源が Web サイトの場合，その Web サイト内から抽出した特徴語(特徴的な語句)が，タグとして利用できる．

(3) タグの分類

音づくり情報に付加するタグの分類は，次の 3 分類で検索語句の分類として適しており，登録する語句の分類としても適している．

① 仮想音源 ：作成した音色の音源名
② ジャンル ：音色に適する楽曲のジャンル名
③ 雰囲気 ：音色の雰囲気

また，「雰囲気」のタグは，曽根らの音色の評価に用いられる因子行列[4]の語句およびそれらの語句の対義語(以下，雰囲気要素群と記す)と一致する．

3 予備実験

3.1 実験目的

本研究では，2.3 節の仮説に関連する次の項目を確認するための予備実験を行った．

(1) タグ検索とキーワード検索との差異
(2) 特徴語抽出が補助機能として適しているか
(3) 用いられるタグが「仮想音源」「ジャンル」「雰囲気」の 3 種類で必要十分か

3.2 実験内容

予備実験では，Evernote を疑似システムとして利用した．実験は DTM 作曲者 7 名を被験者として，被験者が音づくりを行う様子を記録する次の 4 種類の実験を行った．

実験1: 被験者が普段どのように音づくり情報を探しているのかを確認するため，普段通りに音づくり作業を行うように教示した．

実験2: 被験者が音づくりをする際，参考になった Web サイトに対してどのようなタグを付けるのかを確認するため， 被験者に Evernote Web Clipper を用いて参考にした Web サイトに任意のタグを入力し疑似システムに登録するように教示した．

実験3: 被験者が「仮想音源」「ジャンル」「雰囲気」の 3 種類のタグ分類で違和感なく入力できるか，それぞれの分類に入力するタグがどのようなものかを確認する．被験者には実験 2 と同様に参考になった Web サイトを 3 種類のタグ分類を考慮してタグを入力し，疑似システムに登録するように教示した．

実験4: 被験者が実験 2，実験 3 にて登録した Web サイトに対して雰囲気要素群を語群とし，雰囲気のタグとしてふさわしい語句を選択するように教示した．

語群がその Web サイトで紹介している音色の雰囲気として適さないと判断した場合は，「なし」と選択するよう教示した．

各実験時間は 20 分程度とした．実験 1，2，3 では音づくり作業にのみ焦点を当て，実験用の楽曲として用意した MIDI(Musical Instrument Digital Interface)ファイルの音色のみを変更するように教示した．実験で配布した MIDI ファイルは A，B，C の 3 種類あり，それぞれ曲調の異なる 4 小節の短いモチーフを準備した．普段と異なる環境による学習コストが結果に影響しないように，被験者が普段 DTM を行う機器を用いて実験を行った．実験 1，2，3 で被験者がどのように音づくりをするのかを把握するため，画面録画ソフトを用いて録画を行い，作成したオーディオファイルとともに提出するよう教示した．実験終了後，それぞれの実験でどのような音色にしようとしたのかをヒアリングを行った．

3.3 実験結果

実験 1，2，3 より，各実験で被験者が閲覧する Web サイトの平均は 5.6 サイトであった．実験 2，3 より，一つの Web サイトを見つけるために用いたキーワードの種類とその Web サイトに付加するタグの種類を比較した．その結果を表 1 に示す．

表 1：キーワード・タグ比較表

	種類数	1 サイトあたりの平均
キーワード	77	2.96
タグ	55	2.12

実験後のヒアリングより，「音色を探すための語句を知らなければ，キーワード検索はとても使いづらい」といった意見が出た．

実験 2，3 より，任意のタグと登録された Web サイトの特徴語を比較すると，表 2 のような結果が出た．

表 2：タグ・特徴語一致率

	任意のタグ	分類分けされたタグ		
		仮想音源	ジャンル	雰囲気
特徴語との一致率		56%	13%	25%
	25%	29%		

表 2 より，分類されたタグと特徴語を比較すると，「仮想音源」として登録されたタグのうち 56%が特徴語として現れた．一方，「ジャンル」のタグの一致率は 13%，「雰囲気」のタグは 25%程度だった．

実験 3 よりタグの分類に関して「仮想音源」および「ジャンル」は各 7 種類，「雰囲気」は 12 種類のタグを得た．「仮想音源」のタグの内 4 種類は検索キーワードに含まれる語句であった．実験 2 にて入力された任意のタグを 3 分類に分けると，「仮想音源」「ジャンル」「雰囲気」に適する語句がそれぞれ現れた．しかし，各パラメータ名や音源のプリセット名等，3 分類に属さない語句も多数現れた．「雰囲気」のタグでは，雰囲気要素群と完全に一致するものは「明るい」という語句のみだったが，「のびやかな」「のびのびした」等，被験者が入力した語句と雰囲気要素群の意味が極めて近い語句が数語確認できた．「雰囲気」のタグとして，「ピコピコ」等の擬音語や「森」等の抽象的な語句等，想定していない語句も現れた．実験 4 にて，語群として雰囲気要素群を提示した状態で Web サイトの雰囲気のタグ付けを行うと，1 つの Web サイトあたりに平均約 2 語が登録された．一方，該当語句が無いという結果が 2 件あった．

登録されたタグを分析すると「FAMISYNTH-Ⅱ」「ファミシンセⅡ」等の表記揺れの発生を確認した．

3.4 考察

3.3 節の実験結果をもとに，3.1 節の確認項目および表記揺れの問題に対して考察を行った．

(1) キーワード検索との差異

実験結果より，一つの Web サイトを見つけるため約 3 種類のキーワードを用いている事が分かる．一方，一つの Web サイトに対して付加するタグの種類は，検索に用いたキーワードの種類より少ない約 2 種類だった．以上より，一つ Web サイトを見つけるために必要な語句よりタグとして登録したい語句の方が少ないと言う事が判明した．これは，キーワード検索における表記揺れや，適当な検索語句がわからないといったキーワード検索のデメリットに関係するもとであると考えられる．一方，タグによる検索を導入した場合，タグを一覧する事により，表記揺れの問題を解決し検索語句を選ぶだけで検索が可能になるため，より少ない語句での容易な検索が期待できる．

(2) 特徴語抽出が補助機能として適しているか

実験 2，3 より，特徴語抽出による分類分けされたタグの推薦精度は 29%程度であり，「仮想音源」のタグの一致率が 56%と高い値を示した．「ジャンル」

のタグと一致する特徴語の出現率が低かった原因として，音色に適する楽曲のジャンルが一つに定まらず，Web サイト内で明記していないためであると考えられる．以上より，「仮想音源」の分類分けは有効であるが，「ジャンル」「雰囲気」は参考として提示する．

(3) 用いられるタグが「仮想音源」「ジャンル」「雰囲気」の 3 種類で必要十分か

「仮想音源」のタグとして登録された語句に関して，7 種類の語句のうち 5 種類がキーワード検索に用いられている事から，この分類は必要であるという事が判断できる．一方，「ジャンル」のタグ分類に関して，3.4 節考察の(2)で記したように，音色に適する楽曲のジャンルが一つに定まらないという問題があるため，ジャンルの複数入力などを検討する必要がある．「雰囲気」のタグ分類に関して，雰囲気要素群と完全に一致する語句は 1 つのみ現れたが，非常に近い意味の語句が多数現れた．これは「雰囲気」のタグとして登録された語句と雰囲気要素群との表記揺れや，用語の統一等が行われていない事が原因の一つであると考えられる．実験 2 にて登録されたタグの内，3 分類に分類できなかったものを分析すると，パラメータ名や，求める音色のプリセット名等が登録されていた．以上より，「ジャンル」「雰囲気」のタグ分類と登録されたタグのうち分類できなかった語句の対応等を検討する必要がある．

(4) 表記揺れの発生

予備実験では Evernote Web Clipper が補完機能を有しているため，表記揺れの発生を想定していなかった．しかし被験者がタグを登録する際，「FAMISYNTH-Ⅱ」など英語表記で登録されていたタグに対して「ファミシンセⅡ」の様にカタカナ読みでタグを付加したため，このような表記揺れが発生したと考えられる．

以上より，今後「ジャンル」「雰囲気」のタグや，分類できなかった語句をどのように扱う必要があるのか検討する必要がある．表記揺れの問題に関しても同様に解決する方法を検討する必要がある．

4 システム化と評価

本研究では，2.1 節の課題解決アプローチと 3.3 節の予備実験の結果を基に，音づくり情報登録機能と音づくり情報検索機能を有する「音づくり支援システム」を構築する．構築した音づくり支援システムの機能の有効性の評価は DTM 作曲者の本システム利用により，次の 2 種類で実施する．

(1) 本システムを用いた時と用いなかった時の時間および行動を記録し，実際に効率よく音づくりを行う事ができているかどうかを評価する．

(2) アンケートにより次の項目を評価する．

- タグによる検索機能の有効性
- 特徴語推薦機能の妥当性
- 音づくり情報の再利用性

5 おわりに

本研究では DTM における「音づくり」という作業に着目し，音づくり情報を再利用可能な状態で登録およびタグによる検索を行う事ができるシステムを提案した．また，予備実験を行い，タグの取り扱いに関する評価および検討を行った．

今後は音づくり支援システムを開発する．その後，実際に DTM 作曲者に利用してもらい，システムの有効性を評価する．

参考文献

[1] 辰巳直也，馬場隆，森勢将雅，片寄晴弘，ロックボーカルレゾネータ Vocaloid 歌唱をロックボーカリスト風の歌い方に変換するシステム，情報処理学会研究報告 Vol.2012-MUS-94 No.12Vol.2012-SLP-90 No.12，pp.1-6，2012-2-4

[2] 山田祐雅，小坂直敏，C++によるクロスプラットフォーム化した電子音色辞書の構築，情報処理学会研究報告，Vol2014-MUS-103 No.57，pp.1-6，2014-5-25

[3] 江原顕雄(2008)，Web の情報を関連付けるタグで管理・検索を便利に，<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/0608/02/news116.html>(参照 2014-8-10)

[4] 曽根敏夫，城戸健一，二村忠元，音の評価に使われる言葉の分析，日本音響学会誌 18(6)，pp.320-326，1962-11-30

多者間での身体的相互作用による個性の発現

齋藤宗太郎* 飯塚博幸** 山本雅人**
(北大工)† (北大情報科学)††

1 はじめに

人間が社会の中での自己を認識するには，他者との相互作用が必要であるため，相互作用は暗黙的に社会認知のための行動といえる．人間同士のリアルタイムな相互作用を限られた感覚と運動のみで計算機上で再現するための実験手法として Perceptual Crossing が提案された[1]．単純な感覚と運動を用いることで，人の社会認知がどのように形成されるかを構成論的に明らかにしようとする．Perceptual Crossing における実験環境を図 1 に示す．2 人の被験者が実験に参加し，それぞれの被験者は 1 次元の空間上に存在する自分のアバタを動かす．被験者のコンピュータマウスの左右方向に対する動きがアバタの 1 次元空間上の運動へと変換され，アバタが他の物体と接触すると被験者は単純な振動刺激を受ける．空間上には 2 者のアバタ以外に，全く動くことない静止物体とアバタと一定の距離を保ちながら，客観的に全く同じ動きをする「影」オブジェクトが存在する．これらのオブジェクトと接触したときの振動刺激には違いがないため，接触物体が何であるかを認識するためには，相手との相互作用から判断するしかない．Auvray らはこの Perceptual Crossing の実験から人が動かしているアバタと客観的に同じ動きをしているオブジェクトの区別はリアルタイムの相互作用において，相互作用が安定して成立するという観点を用いることで可能であることを示した．

Froese らの研究[2]では, Perceptual Crossing と同等の実験環境において，より厳密に試行回数や教示をコントロールし，人が動かしているアバタと影オブジェクトを区別することが可能であることを示し，主観報告とともに振る舞いを解析している．飯塚らの研究[3]では，影オブジェクトを用いない同様の実験環境で，相互作用している相手が人であるかどうかを判断するときに人同士の相互作用においてどのような相互作用が形成されるかの実験を行っている．このとき，相手との役割の転換であるターンテイキングの生成と人であることの識別率に相関があることを示している．

このように，従来の研究では，相手のオブジェクトを人が動かしているのか，それも人でないものなのかを区別することに焦点をあてて研究が行われてきたが，社会的相互作用において，たとえ相手が人であった場合にもそれがいったい誰であるのか，昨日あった人と同じであるのかどうか，を判断しなければならない．一見，外見からそれは簡単に判断できるように思えるかもしれないが，相手の人のその人らしさは，外見だけにかかわらず，その人固有の相互作用の仕方があるはずである．本稿では，その人固有の相互作用の仕方，アイデンティティが社会的相互作用においていかに生成されるかを Perceptual Crossing の実験環境を用い実験的に再現することで，明らかにする．

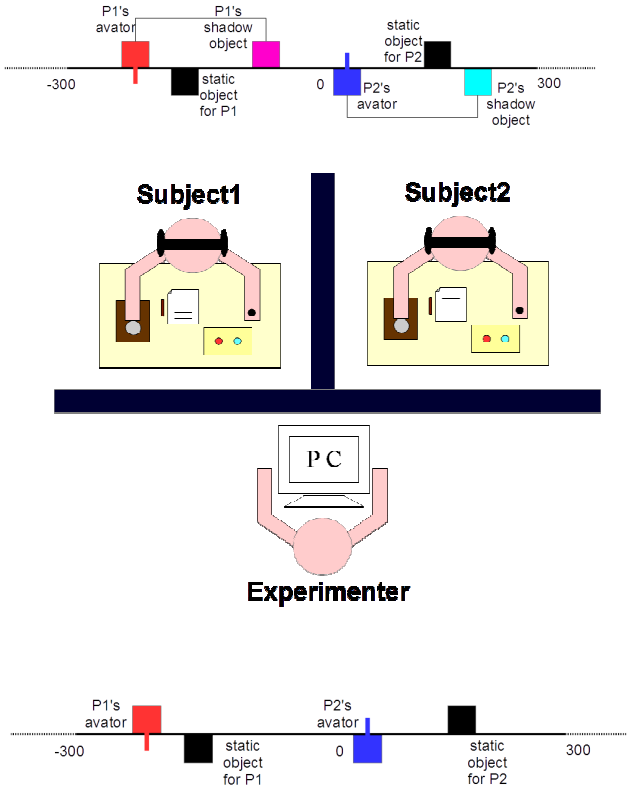
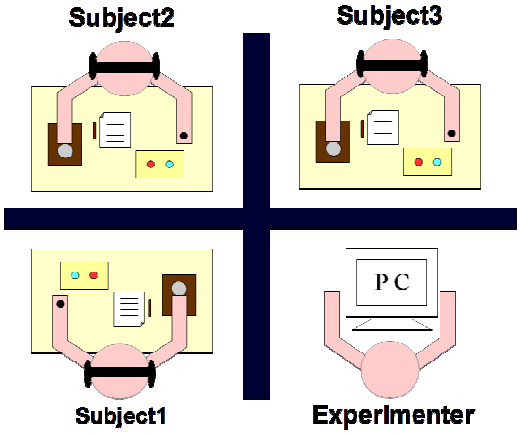


図 1 Perceptual Crossing の実験モデル



2 実験

複数間の相互作用による個性の発現を確認するため，Perceptual Crossing を 3 者間に拡張する．ここで，個性とは，他者が一貫して同一人物であると認識するための特定の運動，もしくは，相互作用を個性と定義する．図 2 に実験モデルと環境を示す．各被験者は，図 2 のように隔離され，3 人のうち任意の 2 人が実験に参加する．本モデルでは，被験者が静止する行動をとるのを防ぐために，静止物体を設置している．先行研究で用いられてい

た影オブジェクトは本目的とは関係ないために用いない．

2.1 実験条件

実験は 3 人 1 組で行い，被験者は事前に周囲から隔離され，試行ごとに 3 人のうち 2 人をランダムに選択する．選択の組み合わせ順は，全員の試行回数が同じになる条件の下，事前にランダムに決定する．被験者は試行中，環境上を自由に動くことができる．被験者は 1 回の試行の終わりに仮想空間にいた相手がどちらであるか回答する．回答は，相手 2 人の行動パターンを元に A，B と判別する．被験者は，できる限り同一人物が動かしている相手に対して同一のラベル(A or B)を一貫して応えるように求められる．回答は強制 2 択であり，各試行の後に紙に記入させた．被験者はお互いに協力し合うことで，3 人全員の回答の正答率の向上を目的とすることが教示される．しかし，実際の正答率はフィードバックされない．本実験は 1 試行 1 分で，全 30 試行である．各被験者は，20 試行において相手を判別し，選択されないときは休憩する．

2.2 評価基準

2.2.1 正答率

以下から各被験者をそれぞれ被験者 1，被験者 2，被験者 3 と区別する．

前半 10 試行では，各被験者独自の行動パターンは定まらず，相手の判別が困難な状態であるため，正答率の評価には，後半 10 試行の回答のみを用いる．

被験者の回答の正答率の計算は以下の式(1)を用いる．

$$P(x)=\begin{cases}1-x & (0\le x<0.5)\\ x & (0.5\le x\le 1.0)\end{cases} \qquad (1)$$

ここで，x は被験者の正答率で $P(x)$は評価に用いる正答率である．例えば，被験者 1 の正答率を計算する場合，正解が「被験者 2 が A、被験者 3 が B」だと仮定し，正答率を計算する．被験者が判別に相手の行動パターンを考慮せず，相手がすべて A だと回答するとき，各試行の正答率は 50%，すなわち，最終的に計算される被験者の正答率は 50%となる．そのため，もし得られた被験者 1 の正答率が 50%を下回るならば，正解を「被験者 2 が B，被験者 3 が A」だとして被験者 1 の正答率を計算する．このときの正答率は，はじめに計算した確率の余事象である．以上の計算方法を示すものが式(1)である．

2.2.2 ターンテイキング

ターンテイキングとは，図 3 のように，2 人の間で積極的に相手へ接触を仕掛けていく役割と，相手からの接触を静止して受け取る役割の 2 つが，一定時間ごとに転換していく現象のことを指す[3]．本実験でターンテイキングが起きるか観測する．

3 実験結果

実験を行った結果，最後の 10 試行の各被験者の正答率は，被験者 1，被験者 2 は共に 80%，被験者 3 は 100%であった．各被験者の正答率の推移を図 4 に示す．実験中の正答率は，被験者の最近 6 回の回答の正答率を計算することで評価する．各被験者が 6 回回答するまで正答率が計算できないため，図 3 のグラフははじめが欠損している．長期間の正答率の推移を見るには，データ欠損を減らすために評価する回答の個数を減らす必要がある．また，正答率の精度を上げるためには，データの母

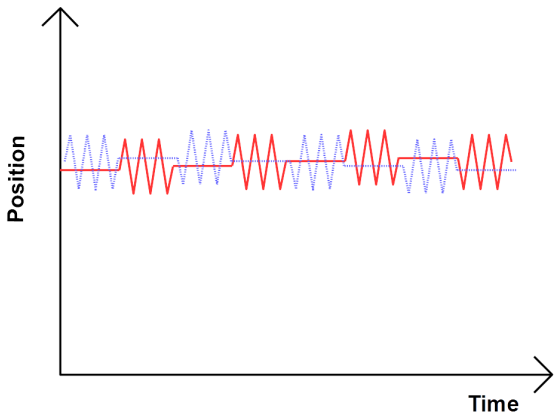


図 3 ターンテイキング

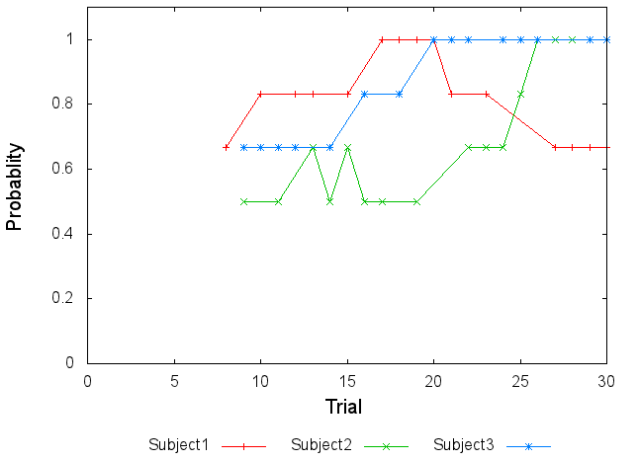


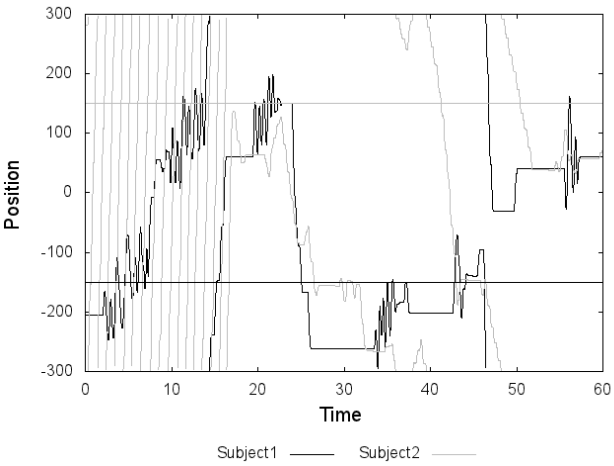
図 4 被験者の正答率の推移

数を増やすため評価する回答の個数を増やす必要がある．以上 2 つのバランスを考慮し，評価する回答の個数は 6 個が妥当だと判断する．

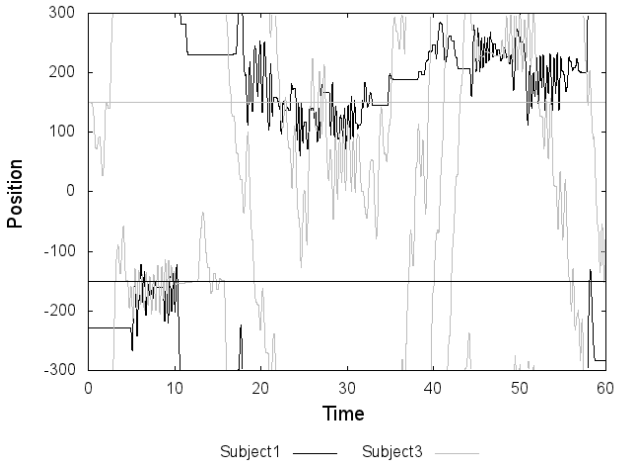
つぎに，各被験者が得た行動パターンの様子を図 5，図 6 に示す．図 5 は，個性が発現する以前の例として，各被験者のペアが 3 回目に相互作用するときの行動の様子を示し，図 6 は，個性が発現した以降の例として，各被験者のペアが 10 回目に相互作用するときの行動の様子を示す．例えば，図 5(1)，図 6(1)は被験者 1 と被験者 2 の相互作用の様子である．2 本の実線はそれぞれ，被験者 1，被験者 2 の位置を示す．縦軸 150，-150 の位置にある破線はそれぞれ，被験者 1 に対する静止物体，被験者 2 に対する静止物体の位置を示す．

図 5(1)，図 6(1)の比較から，被験者 1 は，どの試行でも，相手を探索せず静止し，相手と出会うとき自身の位置を左右に細かく移動させる．この行動パターンは，図 5(2)，図 6(2)にも現れる．したがって，被験者 1 の，相手を探索せず静止し，相手からの接触によりはじめて移動する行動パターンは，実験全体を通して変化しないことが分かる．

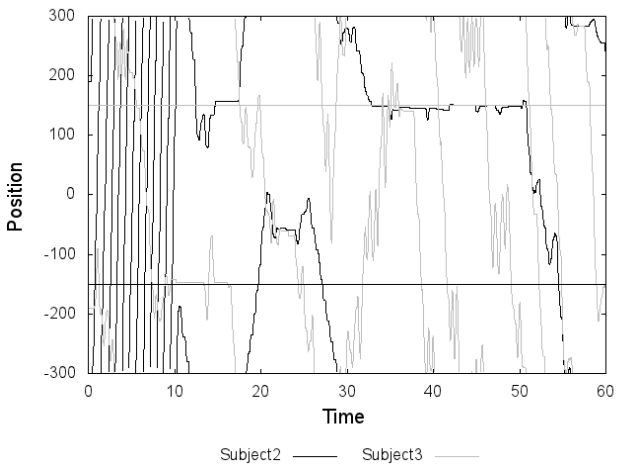
図 5(1)，図 5(3)から，被験者 2 は，実験の序盤では，仮想空間上をゆっくりと探索し，相手と出会う時，その場で立ち止まる．図 6(1)，図 6(3)から，被験者 2 は，相手と出会うとき，立ち止まる行動から，自身の位置をゆっくりと左右に移動させる行動へと行動パターンを変化させることが分かる．



1) 被験者 1，被験者 2（3 回目）

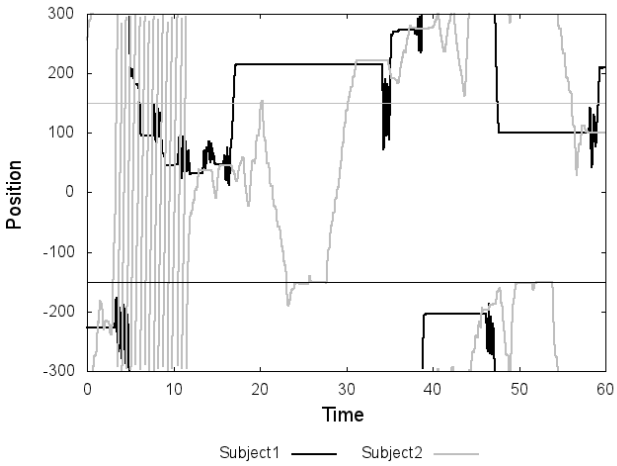


2) 被験者 1，被験者 3（3 回目）

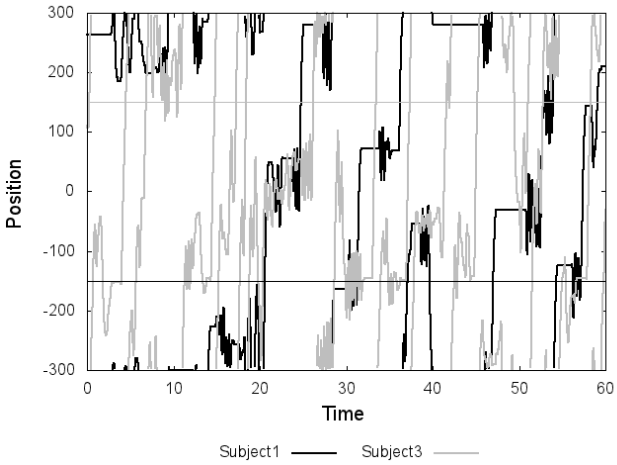


3) 被験者 2，被験者 3（3 回目）

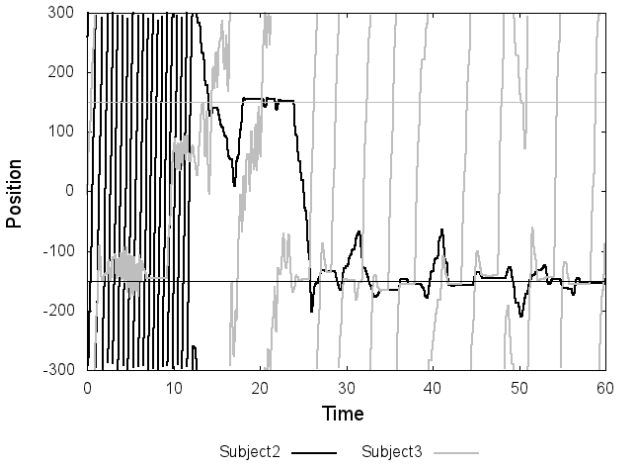
図 5 3 回目の相互作用



1) 被験者 1，被験者 2（10 回目）



2) 被験者 1，被験者 3（10 回目）



3) 被験者 2，被験者 3（10 回目）

図 6 10 回目の相互作用

図 5(2)，図 5(3)から，被験者 3 は，仮想空間上を素早く探索し，相手を発見したとき，自身の位置を左右に激しく移動させる．また，探索の方向は不規則で，探索中でも，たまに自身の位置を左右に振動させる．図 6(2)，図 6(3)から，探索は一方向に定まり，探索中に自身を振動させない．被験者 3 は，図 6(2)では，相手と接触したとき，自身の位置を激しく振動させるが，図 6(3)では，ほとんど振動させず，すぐに探索を再開する．以上から，被験者 3 は，自身の行動パターンを，相手によって異なる行動パターンへ変化させたことが分かる．

4 考察

4.1 各被験者の正答率と評価

本実験では，被験者は全員 80%以上の正答率となった．よって，各被験者は相手の識別が可能であるといえる．各被験者は独自の行動パターン，すなわち，個性が発現するため，相手の個性を判断基準とし，相手の判別をすることで，回答の正答率を上げたと推測する．

被験者は，3 人の間での相互作用により，自身の行動パターンを，他の 2 人と重複しない行動パターンに変化させる．そして，3 人が自分独自の行動パターン，すなわち，個性が発現するため，被験者全員の正答率が上昇する．

4.2 被験者間の正答率の差

被験者 1 の最終的な正答率は 80%だが，図 3 から，被験者 1 の正答率は実験の後半に下がる．図 5(1), 図 5(2), 図 6(1)，図 6(2)から，被験者 1 の行動パターンは実験中の変化がほとんどない．また，被験者 1 の正答率が下がるとき，被験者 2，被験者 3 の正答率は上がる，すなわち，被験者 2，被験者 3 はいままでの個性を変化させ独自の個性を発現させる．以上から，被験者 1 は，他 2 人が個性の変化に対応できないために正答率が下がると推測する．相手の行動パターンの変化に対応できないことは，自身の行動パターンが変化しないことを意味する．すなわち，被験者 1 の個性の発現が途中で終わることを意味する．したがって，もし被験者 1 が，他 2 人の個性の変化に対応するのに十分な実験の試行回数があったならば，3 人の正答率は全員 100%になると推測する．

被験者 3 は，被験者 2 と比較して，早い段階で正答率が 100%に安定する．被験者 2 は，図 6(1)，図 6(3)から，相手と接触するあとの行動は実験前後で変化するが，被験者 1，被験者 3 のどちらにも同じ行動をする．一方，被験者 3 は，図 6(2)，図 6(3)から，相手ごとに行動パターンが異なる．以上から，被験者 3 は，相手ごとに 2 つの個性を使い分け，現在使用している個性に対する相手の反応を新たな判別基準としているために，正答率が早い段階で 100%に安定すると推測する．

4.3 ターンテイキング

本実験では，既存研究で見られたターンテイキング現象がどの被験者間でも発現しない．本実験でターンテイキングが発現しない原因は，本実験の仮想空間上に相手と静止物体のみ存在する条件では，被験者にとってターンテイキングは相手の識別に無効なことであると推測する．Froese ら，および，飯塚らによると，被験者はターンテイキングが正しく行われる移動物体を人間と判定する．しかし，本実験の条件では，仮想空間上の移動物体は必ず人間であるため，被験者はターンテイキングによる移動物体の識別が必要ない．実際，ターンテイキングを用いずに，各被験者は独自の行動パターンを発現し，相手の識別に成功した．

5 おわりに

本稿では, Perceptual Crossing の実験を 2 人から 3 人に拡張し，3 人の間にそれぞれ特徴のある独自の行動パターン，すなわち，個性が発現することを確認した．

今回は，被験者間にターンテイキングは発現しなかった．しかし，Nadel ら[4]の研究が示すように，人同士のコミュニケーションの根本にはターンテイキングが存在する．

本実験では，被験者は人と影の識別をしないために，被験者間でターンテイキングは発現しなかったと推測する．そのため，ターンテイキングが発現するための条件を明らかにし，ターンテイキングが発現する条件下で，個性はどのように発現するか明らかにすることが今後の目標である．

参考文献

[1]Malika Auvray, Charles Lenay, Jhon Stewart: Perceptual interactions in a minimalist virtual environment. *New Ideas in Psychology 27, 32-47, 2009*

[2]Tom Froese,Hiroyuki iizuka & Takashi Ikegami: Enbodied social interaction constitutes social cognition in pairs of hu
mans: A minimalist vitual reality experiment. *Scientific Reports 4, Article number: 3672, 2014*

[3]飯塚博幸、安藤英由樹、前田太郎: 身体的相互作用におけるコミュニケーションとターンテイキングの創発、*電子情報通信学会論文誌.A,基礎・境界 J95　-A(1),165-174, 2012*

[4]Jacqueline Nadel, Isabelle Carchon, Claude Kervella, Daniel Marcelli, and Denis Réserbat-Plantey: Expectancies for social contingency in 2-month-olds. *Dev. Sci. **2**, 164–173, 1999.*

うつ病患者の周辺看護者のための検索手法の提案

齋藤俊英* 平田圭二† 竹川佳成‡ 荒牧英治 宮部真衣
(公立はこだて未来大学)§ (京都大学学際融合教育研究推進センター)

1 はじめに

うつ病は，気分障害の 1 つであり，それは精神症状や身体症状としてあらわれる．しかし，うつ病が与える影響は患者の精神や身体ばかりではなく，患者の周囲にいる人々にまで及ぶ．最近では病気や症状に関する情報が様々なメディアを通して知ることができるようになり情報が溢れる一方で，患者を身近で手助けする人々（以降，周辺看護者）のための情報はそれに埋もれてしまっている．そのため周辺看護者は欲しい情報を得ることが出来ず，ストレスを大きくしながら患者を看護するといった状態に陥ってしまう．周辺看護者が知りたい情報の 1 つに，自分と同じ境遇にある人がどのように悩みに対処してきたのか，しているかということがある．しかし検索結果として出てくるのは，概略の情報や一般的な知識などであり，その中から自身の状況に類似した候補を見つけ出すことは困難である．そこで本研究では周辺看護者が必要とする情報を得ることを可能にするための検索方法を提案をする．

2 関連研究・関連サイト

山下らはうつ病患者の看護経験のある 15 名にインタビューを行い，家族看護者の精神的および社会的ストレスに関して解決すべき重要な課題を 3 つ見いだした [1]．本研究は，そのうちの 1 つである探究と逃避のジレンマにおける，探求の支援を行う．

周辺看護者にとって有用な文章や記事が Web 上のどこにどのように投稿・公開されているかの実態調査を行う必要がある．そこで，うつ患者の周辺看護者が情報収集を行ったり，悩みについて質問・共有をすると考えられる関連サイトを以下に記す．

- TOBYO[2] ：株式会社イニシアティブが運営する，闘病サイトやブログの情報サイトである．TOBYO で目的のサイトを検索する方法は主に 2 つあり，カテゴリから探す「TOBYO 図書室」とキーワードから探す「TOBYO レファレンス」である．また「闘病記プロフィール」から患者本人か家族の情報を知ることができる．
- LifePalette[3] ：株式会社メディエイドが運営する，患者同士のコミュニティサイトである．その中には患者を支える家族の投稿も存在する．日記や闘病記の共有を行ったり，体験 Q&A という項目において投稿者とのやりとりが可能である．全項目を対象とした検索が可能だが，うつ病に対する候補は数十件程度である．
- 発言小町 [4] ：読売新聞社が運営するニュースサイトの掲示板である．投稿は 11 種類のジャンルに分類される．すべてのジャンルそして投稿に対する第三者のコメントからもキーワードに一致するものの検索が可能である．紹介する投稿系のサイトの中ではうつ病というキーワードに対するヒット数は最も少ないが，相談や気持ちを吐き出すためものといった内容の投稿が多い．
- OKWave[5] ：株式会社オウケイウェイヴが運営する，日本発の最大級 Q&A サイトである．200 万人が参加している．全体に対してのキーワード検索のほか，カテゴリを絞った検索をすることが出来る．19 種類の大カテゴリがあり，それぞれがさらに細かいカテゴリで構成されている．相談のような内容の投稿の占める割合が比較的大きいため，周辺看護者の投稿が見つけやすい．
- 知恵袋 [6] ：ヤフー株式会社が提供する知恵の共有サービスである．細かいカテゴリで構成される 17 種類の大カテゴリがある．紹介する投稿系のサイトの中ではうつ病というキーワードに対するヒット数は最も多い．しかし，症状や病院，薬の効果といった内容が多く目につく．
- 教えて goo[7] ：エヌ・ティ・ティレゾナント株式会社の提供する，総質問・回答数が 2600 万件以上の Q&A コミュニティサービスである．知恵袋同様，一般的な質問が多い．

3 周辺看護者の検索における課題

インターネットによる情報検索は周辺看護者は悩みのストレスを解消するための方法の 1 つである．検索において周辺看護者が期待するのは，他の周辺看護者の記述した文章である．その中でも特に価値があると考えられるのは，自分と近い状況にある周辺看護者や自分と同じ悩みを持つ周辺看護者の文章である．しかし実際に既存の検索エンジンで検索を行うと，周辺看護者の作成した文章を見つけることは困難である．これは患者自身のブログや闘病記，専門機関のサイトなどのページがキーワードにヒットしてしまうからである．

システムを用いた効率的な情報検索のためにまず必要なのは，周辺看護者の作成した文章の識別である．「うつ病」に対する候補の多くは患者自身や専門機関が作成し

* g2114012@fun.ca.jp
† hirata@fun.ac.jp
‡ yoshi@fun.ac.jp
§ 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2

たものであり，通常の検索では周辺看護者の記述を検索するには不十分である．そこでまず検索の条件として考えられるのは「看護する対象としての患者の存在」である．なお自身がうつ病でも，他にうつ病患者の存在がある場合，周辺看護者として考えられる．

次に必要な要素は，自分と近い状況にある他者を見つけるための状況の識別である．文章中に記される年齢，性別，職業，配偶者の存在や子どもの有無といった家族構成などの情報から検索者の状況と近いページを探す．明確に記されない場合も多くあるため，不明として許容する柔軟性も必要である．

最後に考えられるのは，自身の持つ悩みと同じまたは近い悩みを探し出すための，悩みの対象の識別である．性別，年齢，家族構成といった状況が同じであっても，患者との関係性についての悩みと費用についての悩みでは内容が大きく異なる．そのため，何についての悩みなのかをシステムが認識可能でなくてはならない．

4 提案する解決策および構想

システムが Web 上の文章から周辺看護者が執筆したものを探し出すための方法を提案する．考えられるアプローチは用語の抽出と文章の分類という 2 つである．この 2 つのアプローチの一方もしくは両方を用いて，多くの候補の中から周辺看護者の固有の問題に類似した内容を含むページを見つ出す．

4.1 用語の抽出

Conditional Random Field(CRF) を用いた自動タグ付けにより，システムの文章を通して状況理解および周辺看護者の執筆したものかどうかの判断を可能にする．人手によりタグ付けされた文章を学習し，学習結果をもとにしてその他の素の文章にタグ付けを行う．正しいタグ付けのためには，周辺看護者の状況を適切に再現できるタグの定義が必要になる．またどこからどこまでをタグ付けするのかといったポリシーについても考えなくてはならない．

4.2 文章の分類

Support Vector Machine(SVM) を用いた文章の自動分類により，周辺看護者の執筆したものかどうか，そしてさらに状況による詳細な分類を可能にする．CRF と同様，人手によりあらかじめ分類された文章を学習し，未知の文章を自動分類する．同じように適切なカテゴリを設定する必要がある．

4.3 タグとカテゴリの調整

タグとカテゴリを定義する上で重要だと考えられるのは，文章中の登場人物とそれらの間の関係性である．文章中に登場するのは少なくとも執筆者である周辺看護者とうつ病患者の 2 人である．例えばタグ付けを行う場合，誰から誰へといった方向が 2 方向存在する．文章分類の上では，親子・兄弟・親戚・同僚・恋人など，複数のパターンも考えられる．もちろん文章中に第三者が現れることが多くあるため，パターンはそれ以上に増える．さらに文章中では属性や関係性が明確に記述されない人物が登場することもあり，不明というパターンも必要となる．そのため，完全一致だけではなく，部分一致や半構造化データの類似度なども考慮して，タグやカテゴリを決定しなければならない．さらに，特定のタグやカテゴリのみが集中して用いられるのは好ましくないので，できるだけ同程度の頻度で使用されるようなタグやカテゴリを導入することも大切である．

5 おわりに

本研究では，うつ病患者の周辺看護者の持つ悩みについて適切な記述方法を解明し，情報検索の支援を目指す．まず関連研究・関連サイトについて紹介し，解くべき問題についての考えを整理した．それをふまえ，具体的な解決方法として CRF によるタグ付けと SVM による文章の分類を提案した．今後の課題として柔軟性を持つ適切なタグやカテゴリの定義を行うことがあげられる．

参考文献

[1] 山下直美, 葛岡英明, 平田圭二, 工藤喬: うつ病患者の家族看護者が抱える社会的負担を構成する要素の解明, 情報処理学会論文誌 Vol.55, No.7, pp.1706-1715 (2014).

[2] TOBYO :: 日本の闘病記 46000, http://www.tobyo.jp/, 2014.

[3] がん、乳がん 子宮がん 闘病記を、読む、書く、共有できる － LifePalette（ライフパレット）, http://lifepalette.jp/, 2014.

[4] 発言小町 : 大手小町 : 読売新聞（YOMIURI ONLINE）, http://komachi.yomiuri.co.jp/, 2014.

[5] 質問・疑問に答える Q&A サイト OKWave, http://okwave.jp, 2014.

[6] Yahoo!知恵袋 - みんなの知恵共有サービス,http://chiebukuro.yahoo.co.jp，2014.

[7] 質問&回答 (Q&A) コミュニティ - 教えて！goo, http://oshiete.goo.ne.jp, 2014.

情報処理北海道シンポジウム 2014 (Info Hokkaido 2014)

講演論文集

実行委員会

委員長

松原 仁 (公立はこだて未来大学)

副委員長

角 康之 (公立はこだて未来大学)

委員

飯塚 博幸 (北海道大学)
伊藤 恵 (公立はこだて未来大学)
岡田 信人 (株式会社テクノフェイス)
奥野 拓 (公立はこだて未来大学)
佐藤 生馬 (公立はこだて未来大学)
寺沢 憲吾 (公立はこだて未来大学)
長崎 健 (公立はこだて未来大学)
三上 剛 (苫小牧工業高等専門学校)
棟方 渚 (北海道大学)
和田 雅昭 (公立はこだて未来大学)

支部長

山本 雅人（北海道大学）

事務局

竹中 加代子

アドバイザー

大沢 英一（公立はこだて未来大学）
大場 みち子 (公立はこだて未来大学)

平成 26 年 10 月 4 日発行
情報処理学会北海道支部