

# 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、彼らの中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。

## 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ことができるシステムも見せた。このシステムは、ラ

\*h-yokoi@sumilab.org

†sumi@acm.org

‡hmatsumur@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

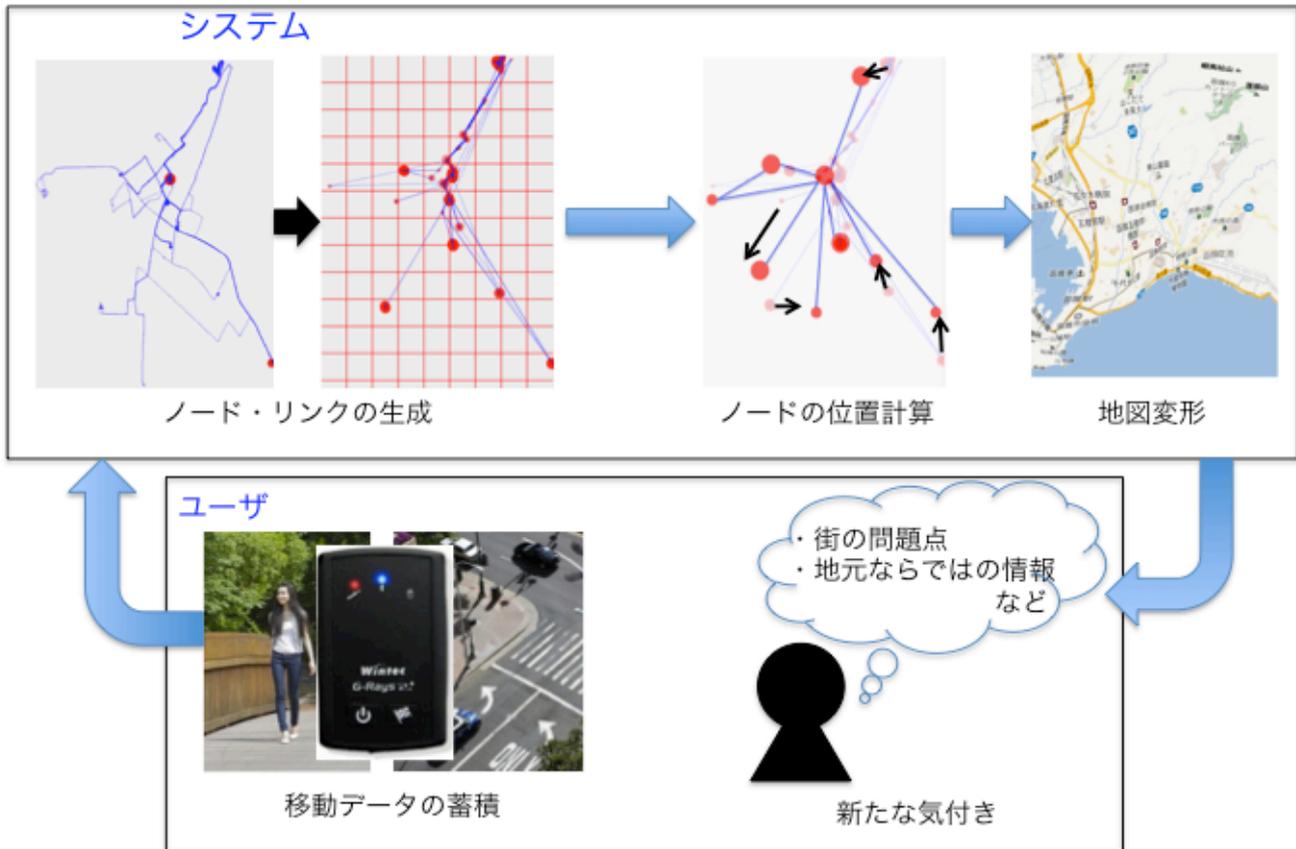


Fig. 1 システム概要図

ノード間で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な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着目し、出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いため、使うのが困難である。Agrawala et al. は、手書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り、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

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

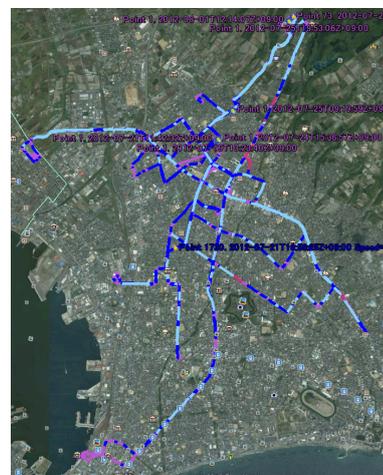


Fig. 2 移動軌跡

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．

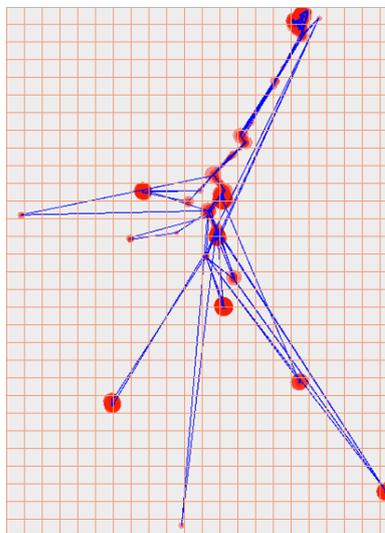


Fig. 3 ノード・リンクの生成

#### 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．

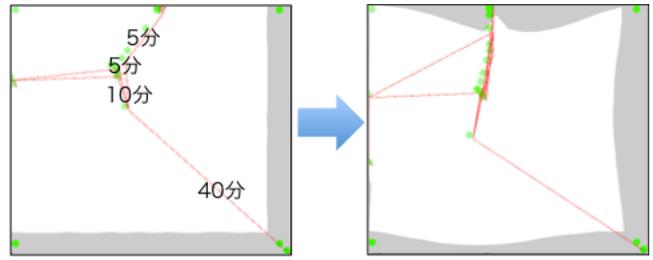


Fig. 4 ノードの位置計算の例

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によって，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させる必要がある．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

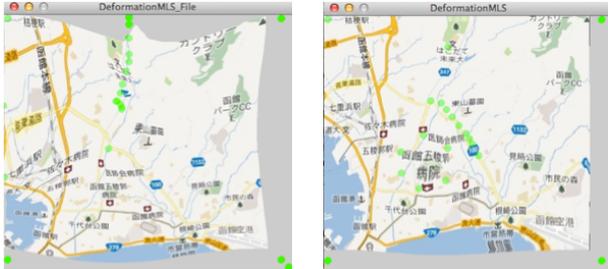


Fig. 6 ユーザによる行動マップの比較

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

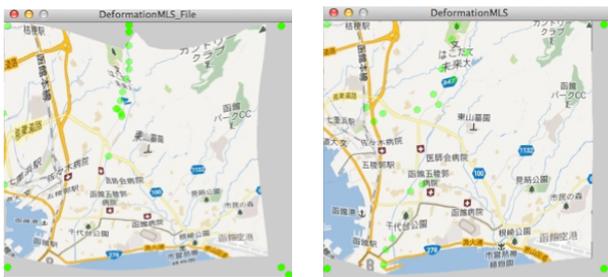


Fig. 7 季節による行動マップの比較

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づきの調査を行った。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。

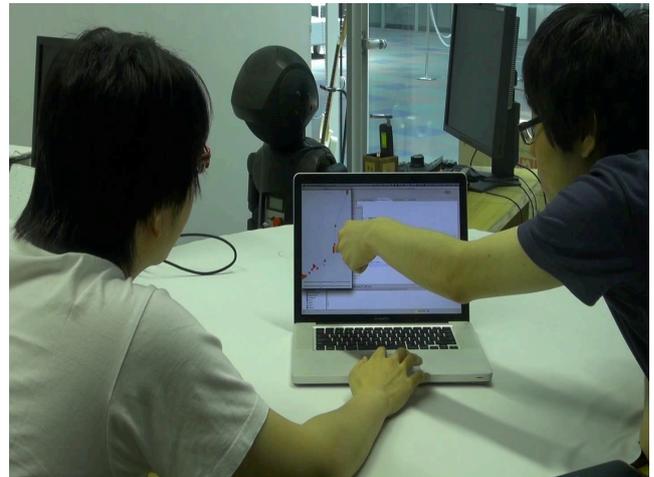


Fig. 8 気づきを話し合う様子

### 6.1 条件設定

行動マップを見せ合うことによる気づき、及び気づ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種類の気づきを得られた。

- ノードよる気づき
  - － 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の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い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。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] 白田 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回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.