

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ためには繰り返し練習する必要がある、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。

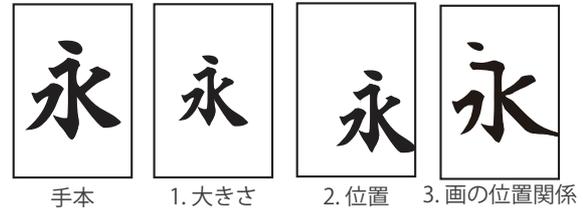


Fig. 1 文字バランスの各要素が整っていない例



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、プロジェクト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

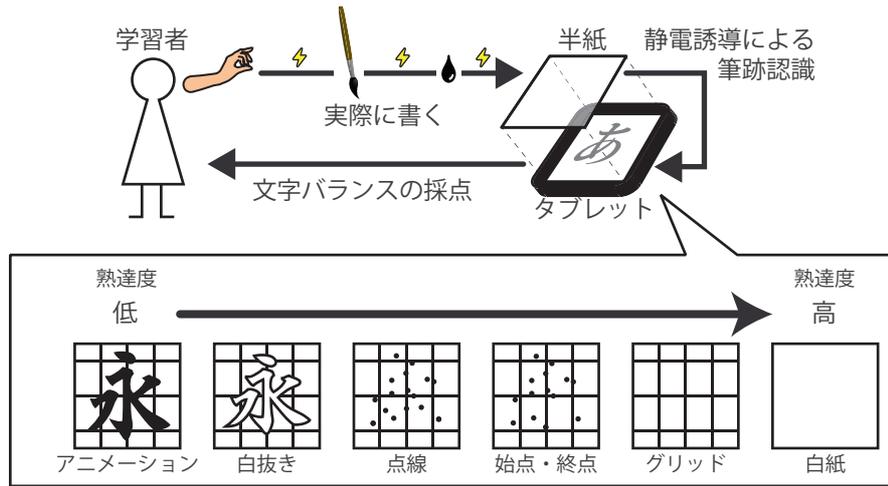


Fig. 3 システム構成

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身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つけた慣れなど、複数の違いがある。成果を十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ができない。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受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せる機能、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 アルミホイールを巻いた毛筆

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な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。書写は基本的に一面を一筆で書くため、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。

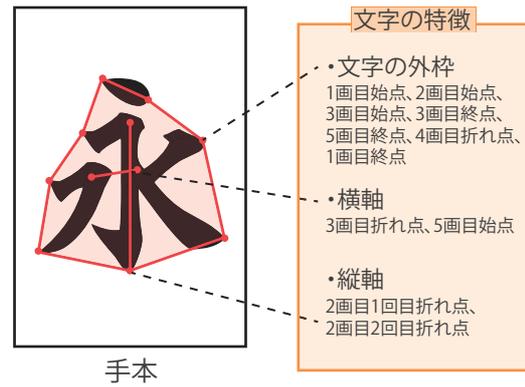


Fig. 5 文字『永』の特徴量

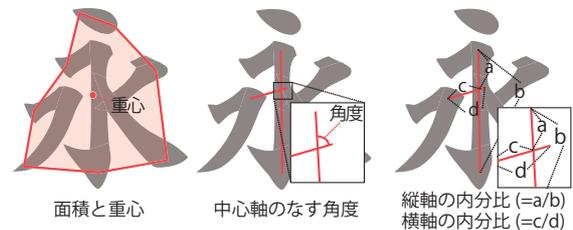


Fig. 6 構成点

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、ベクトル

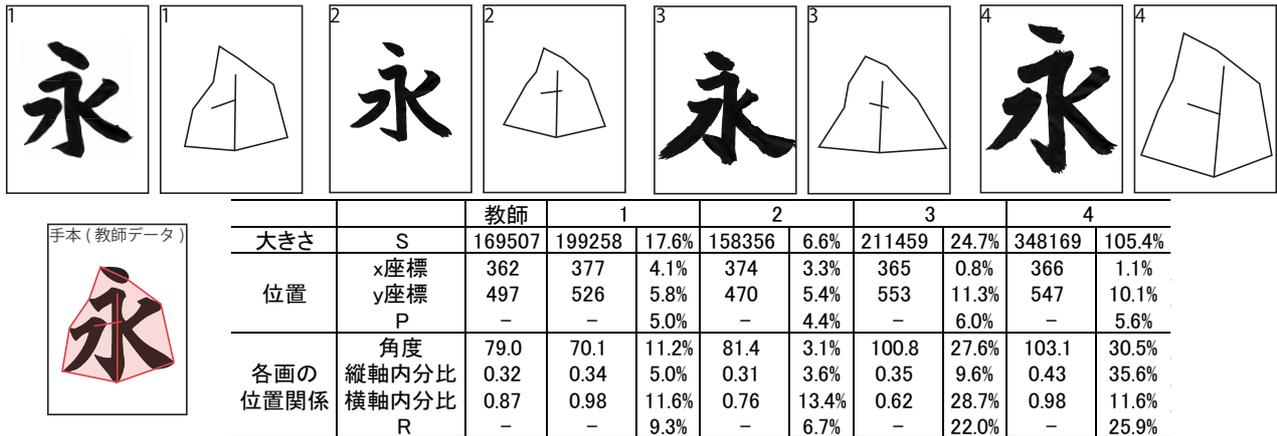


Fig. 7 採点結果

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。

$$S = \left| 1 - \frac{\text{SData の外枠の面積}}{\text{TData の外枠の面積}} \right|$$

$$P = \left(\left| 1 - \frac{\text{SData の重心 (x 座標)}}{\text{TData の重心 (x 座標)}} \right| + \left| 1 - \frac{\text{SData の重心 (y 座標)}}{\text{TData の重心 (y 座標)}} \right| \right) / 2$$

$$R = \left(\left| 1 - \frac{\text{SData の中心軸の角度}}{\text{TData の中心軸の角度}} \right| + \left| 1 - \frac{\text{SData の縦軸の内分比}}{\text{TData の縦軸の内分比}} \right| + \left| 1 - \frac{\text{SData の横軸の内分比}}{\text{TData の横軸の内分比}} \right| \right) / 3$$

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段階（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, 山邊哲生, 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 10 の法則
http://www.narisawashurei.com/jp/essay/lesson_balance.html