

# 臨書初級者のための文字バランス学習支援システム

竹川佳成 野波淳里\*

**概要.** 本研究では、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。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。そこで提案システムは、手本を表示したタブレット上に半紙を置き、学習者が手本をなぞる学習スタイルを採用する。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正確に認識できる。この特性を活かし、学習者の熟達度に応じて提示する手本の内容を変化する機能や手本を学習者が書いた筆跡を採点する機能といった手本からの離脱を促進し学習効果を高める機能を提供する。

## 1 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、一面の線の太さ、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・画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、手本の上に半紙を置き、透けた文字をなぞることで練習（なぞり学習と定義する）できるが、常に正解が提示されているため弱点に気づきにくく、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。時間が掛かる。

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。

なお、本研究は文献[1, 2]ですでに発表している。これらの文献との差分は採点アルゴリズムの改良および再評価実験を実施したことである。

## 2 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[3, 4]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[5]がある。これ

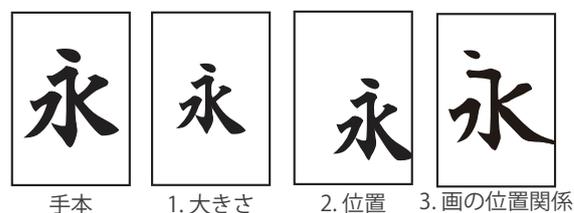


図 1. 文字バランスの各要素が整っていない例

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[6]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[7]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[8]やRyoら[9]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、土屋ら[10]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、七戸ら以外の事例は全て、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、システム利用環境と実際の書字環境が



図 2. 臨書の形式

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らず、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 [11] 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いのか確認でき、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。

### 3 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。

#### 3.1 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3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書字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（学習者が普段利用している毛筆・墨汁・半紙を利用して文字を書く環境）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。

**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。1章で述べたがなぞり学習においても同様の問題がある。したがって、既存の臨書やなぞり学習では、学習者は漫然と繰り返し練習するしかなく効率的に文字バランスを学習できない。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られる機能を提案する。

**文字バランスの採点** 書写には文字バランス以外に線の太さや、はね・はらいといった技法などが複雑に絡み合っており、学習者自身が書いた文字から文字バランスだけを抽出して客観的に判断することは難しい。これは紙面の制約のため詳細に記載しないが、実際に予備実験を行い確認している。そこで、本研究では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。

#### 3.2 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。

#### 3.3 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、

臨書初級者のための文字バランス学習支援システム

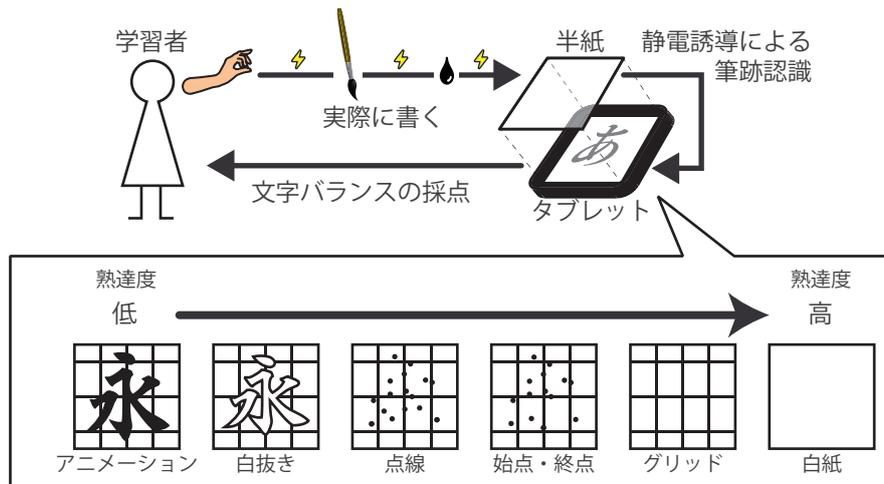


図 3. システム構成



図 4. アルミホイルを巻いた毛筆

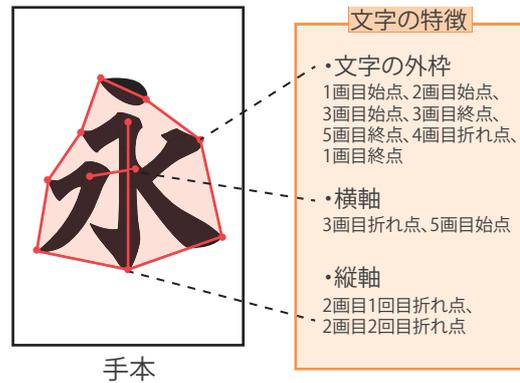


図 5. 文字『永』の特徴量

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表示され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。

### 3.4 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と定義して[12]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。

#### 3.4.1 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。

### 3.4.2 採点アルゴリズム

図6に示すように、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。

具体的には、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に近いほど手本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。

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

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

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

### 3.4.3 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の妥当性を検証する。全体的に図7中の1および2の文字は3および4の文字と比べて文字バランスが整っていることが見て取れ、採点結果もそのような傾向になった。各要素について細かく検証

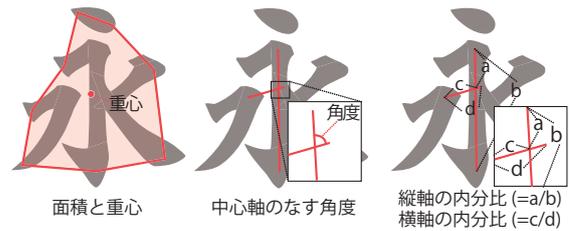


図6. 採点ポイント

すると、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、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。また、学習者が視覚的に大きさを判断することは容易であるが、例えば、文字の大きさを無視して文字の位置や画の位置関係を判断することは難しい。さらに、5画目の始点は、2画目と4画目と重なるため視覚的に判断できないときもある。このように視覚的に判断しづらい箇所や判断できない箇所を補完できることも採点機能の優位な点であるといえる。

## 4 評価実験

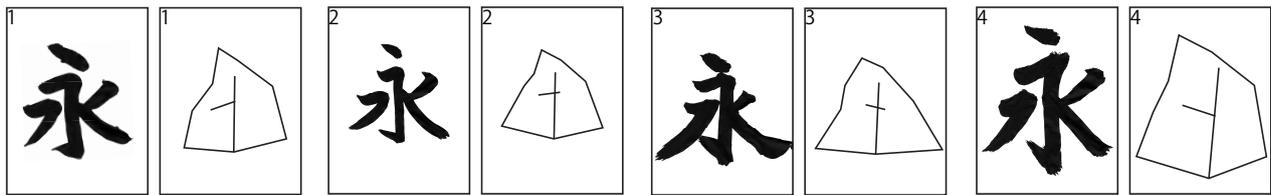
評価実験では臨書初期段階（臨書初級者が特定の文字を練習し始める段階）において、従来の練習方法である臨書を比較手法とする。また、提案システムおよび比較手法を用いた場合における文字バランスの習得効率を、3.4節で提案した文字バランスを構成する要素の誤差率をもとに検証する。

### 4.1 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及び大学院生16名で、提案手法及び比較手法それぞれ8名の被験者を割り当てた。なお、実験は全て異なる被験者に対して個別に実施した。

**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を伝え、20分間、割り当てられた学習方法で課題文字を練習してもらった。提案手法を割り当てた被験者は、情報の量が異なる手本を選択できるが、手本選択については自由と指示し、例えば、慣れてきたら情報の少ない手本を利用するようといった指示はしていない。練習後に



		手本	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%
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%

図 7. 採点結果

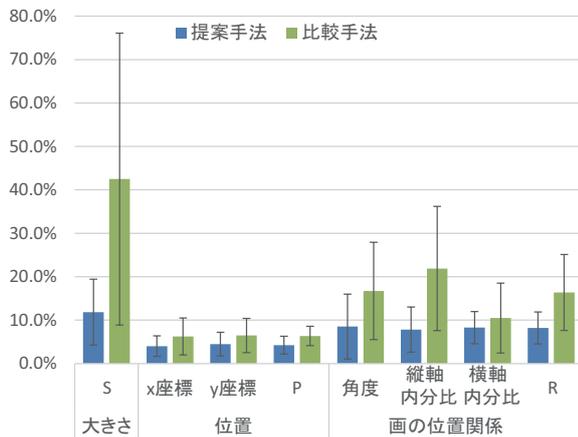


図 8. 実験結果 (誤差率)

到達度テストとして、手本なしで課題文字を書いてもらい、そのときの文字バランスを評価した。なお、いずれの練習方法においても、難しく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。なお、本実験では、提案システムにおける手本からの離脱の効果を中心に調べるために、20分間の練習においては採点機能を利用しなかった。

**比較手法** 一般的に普及している臨書の練習方法である、半紙の隣に手本を置くという練習方法を比較手法とした。

#### 4.2 結果と考察

到達度テストで書いてもらった文字に対して、3.4節で述べた採点アルゴリズムを適用し、提案手法を利用した被験者群および比較手法を利用した被験者群の平均点を表8に示す。値が小さいほど手本に近いことを意味する。文字の大きさ、位置、画の位置

関係のすべてにおいて提案手法は比較手法より良い結果になり、大きさS、位置P、画の位置関係Rいずれも有意水準5%で有意差が観測された。したがって、提案手法の方が比較手法より、手本に近い文字バランスで書かれている結果が得られた。

以下、実験結果について考察する。なお、以下に示す被験者の行動は実験者が観察したもので、実験終了後に被験者に確認している。

**比較手法と提案手法** 提案手法が比較手法と比べて文字バランスの学習効率が高まった原因として、手本からの離脱機能の有無が大きい。比較手法を利用した被験者は漫然と繰り返し練習していたが、提案システムを利用した被験者は画の位置を覚えるように練習していた。提案システムを利用することで、文字バランスの習得に必要な学習ポイントを被験者に気づかせ、手本からの離脱を意識づけさせ、結果、短時間の練習での文字バランスの習得に成功した。本実験では実施しなかったが、手本をなぞる学習法と比較したとしても、なぞり学習だけでは、手本からの離脱が意識されないため、漫然と繰り返し練習するスタイルに陥ると考えられるがこの点については今後実際に検証する必要がある。

また、全体的に到達度テストにおける比較手法を利用した被験者の文字は大きく、提案手法を利用した被験者の文字は小さくなった。これは、練習直後の実験初期段階において、提案手法を利用した被験者の多くは、タブレット端末の上から墨汁で実際に文字を書いたときに、半紙から筆がはみ出しタブレット端末を汚してしまうという心配をしており、比較的小さい文字が書かれた。しかし、実験が進むにつれ、タブレット端末の画面上に墨汁が付着しても簡単に拭き取れることを実体験により理解し、提示された手本と同サイズの文字を次第に書くようになった。一方、比較手法を利用したときに文字が大きくなる原因については不明であるが、手本をなぞる学習スタイルではなく、手本と見比べる学習スタイルが起因している可能性も考えられる。今後の課題で

あるが、提案手法に比較手法のような手本と見比べるような機能を追加し、文字の大きさの精度を向上していきたい。その他の改善手法として、画ごとに採点し、小さく書きがちな画は手本の文字を太く表示するといった、画ごとに手本の見え方を変更するシステムが挙げられる。

**提案システムの使いやすさ** 実験終了後に提案システムの使いやすさについてヒアリングしたところ、動的な手本提示に対して肯定的な意見もあったが、改善点もいくつかあった。提案手法で用いたタブレット端末では、練習までの段階を指でタッチして進め、練習の段階になってから半紙を載せて墨汁で実際に練習するという流れになっている。このため、練習を行なう場面でも誤って画面をタッチしてしまい、誤操作の原因となることがあった。比較手法である臨書では、学習者は実際に半紙を自分の手で押さえながら練習するが、提案手法では半紙の押さえ方によっては誤操作の原因になってしまう。また、最も難度の低いアニメーションで練習する場合、練習開始ボタンを押した後、アニメーションがスタートする。しかし、実際にはタブレット上に半紙を置いたり、筆をもち墨汁に浸す必要がある。この準備に手間取った場合、アニメーションを見逃してしまう。したがって、画面の四隅や端など文字の描画で使わない箇所に専用のインタフェースを用意し、半紙上からそのインタフェースをタッチすることで書字モードとなったり、書字モードになれば誤操作の原因となる機能をロックするといったことでこれらの問題を解決できる。

**手本からの離脱** 提案システムはアニメーションによる手本提示から経験を重ねて最終的には補助からの離脱をめざしてシステムを構築した。実験中の被験者の様子を見ると、特に利用された手本提示はアニメーション、点線、グリッドの3種類であった。これは白抜きと始点・終点のみの手本提示は、アニメーションおよび点線の手本提示によって補えることが原因と考えられる。このことから、本研究では6種類の手本提示を提案しているが、使用履歴にもとづく利用時間の算出といった定量的な分析や、被験者へのインタビューにもとづく定性的な分析から手本提示の段階数について今後検討する必要がある。

## 5 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用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。評価実験結果より、提案システムは従来手法の臨書より文字バランスを効率的に学習できることが明らかになった。

今後の課題として、採点結果の提示方法の検討、熟達度に応じて動的に手本情報を減らす機能や、さまざまな文字を学習支援システム上で取り扱えるよ

うにするための拡張などがあげられる。

## 参考文献

- [1] 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, pp. 1-8 (2014年5月).
- [2] Nonami, J., Takegawa, Y.: Construction of a Support System for Learning Character Balance in Transcription for Beginners, Proceeding of IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2014), 採録決定 (Oct. 2014).
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] DS 美文字トレーニング.  
<http://www.nintendo.co.jp/ds/avmj/>
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 土屋 喬, 小宮山 撰, 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.
- [11] 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.
- [12] 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](http://www.narisawashurei.com/jp/essay/lesson_balance.html)