情報処理学会論文誌 Vol.57 No.8 1861–1870 (Aug. 2016)

推薦論文

臨書初級者のための文字バランス学習支援システムの設計と実装

竹川 佳成[1,a)] 平田 圭二[1,b)]

受付日 2015年7月6日, 採録日 2016年5月17日

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設計と実装を目的とする．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にくい．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手本を見られる．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，学習者の習得度に応じて提示する手本の内容を手動で切り替えられる機能，学習者が書いた筆跡から文字バランスを採点する機能，採点結果を学習者に視覚的にフィードバックする機能といった学習効果を高める機能を提供する．専門家を被験者としたアンケート調査を実施することで，文字バランス採点アルゴリズムの妥当性を検証した．手本と見比べながら練習する従来の臨書練習法を比較手法として評価実験を実施した．提案手法は短時間で文字バランスを習得できることが分かり，提案手法の有用性を確認できた．

キーワード：文字バランス，学習支援システム，臨書，タブレット端末

Design and Implementation of a Support System for Learning Character Balance in Transcription for Beginners

Yoshinari Takegawa[1,a)] Keiji Hirata[1,b)]

Received: July 6, 2015, Accepted: May 17, 2016

Abstract: Learning character balance is important in calligraphy. Transcription is the practice method for learning characters, however it has some problems, for example, it is hard to judge intuitively whether character balance is correct, because the sheet of white paper and the sample image are separate. Therefore, the goal of our study is the construction of a support system for learning character balance in transcription, for beginners. The proposed system uses a tablet-type device. Learners practice transcription in Indian ink on a sheet of white paper laid on top of the tablet-type device which is displaying a sample character. Learners can see the contents displayed by the tablet-type device because a sheet of white paper is thin. Moreover, the tablet-type device can recognize the touch of a Japanese brush wrapped in conductive tape. The system offers a function that changes the sample characters based on the learner's skill level to withdraw from the system support. We have developed a prototype system, and evaluated its effectiveness through actual use of the system. By conducting a questionnaire survey among professional calligraphers, we found that the proposed scoring algorithm was valid. Additionally, we found that the proposed system enabled subjects to acquire correct character balance in a short time.

Keywords: Character balance, Learning suppot system, Calligraphy, Tablet

1 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041–8655, Japan
a) yoshi@fun.ac.jp
b) hirata@fun.ac.jp

本論文の内容は 2014 年 10 月の情報処理北海道シンポジウム 2014 にて報告され，支部長により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である．

© 2016 Information Processing Society of Japan

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，1 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．なか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，**図 2** に示すように，すで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にくい．また，手本の上に半紙を置き，透けた文字をなぞることでも練習（なぞり学習と定義する）できるが，つね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り，時間がかかる．

そこで，本研究ではこれら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手本を見られる．また，筆の一部に導電性テープを貼り付けることで，人体–筆–タブレットが電気的に導通し，タブレットに触れている筆の位置を認識できる．この特性を活かし，学習者の習得度に応じて提示する手本の内容を手動で切り替えられる機能，学習者が書いた筆跡から文字バランスを採点する機能，採点結果を学習者に視覚的にフィードバックする機能を提供する．これらの機能を活用することで，手本からの離脱を促し，学習者に自身の誤りや改善方法に気づかせることができる．

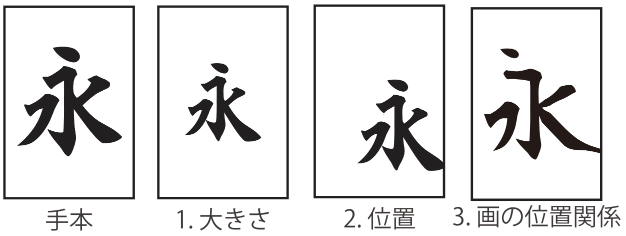

図 1　文字バランスの各要素が整っていない例
Fig. 1　Examples of character balance.

図 2　臨書の形式
Fig. 2　Style of transcription.

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 [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] がある．これは，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持つ．また，魏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したり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，学習者につね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 [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，七戸ら以外の事例はすべて，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異なる．特に，毛筆においては，筆そのものの取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．

© 2016 Information Processing Society of Japan

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，補助の利用の有無を示す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練習し，最終的には手本がな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 点があげられる．

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，半紙とタッチパネルディスプレイの素材の違いや，タッチペンと毛筆の違いなど，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（学習者がふだん利用している毛筆・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．練習の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することがのぞましい．このため，臨書においては，学習者自身がふだん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　1 章で述べたように，臨書練習では，手元の手本と実際に文字を書く半紙が離れているため，書字行為中に，書いている画が適切かどうか，正しい画の位置はどこかなどを直観的に判断しにくい．このため，本研究では，手本の上に半紙を置き，透けた文字をなぞる練習スタイルである「なぞり学習」を採用する．なぞり学習はつねに手本が提示されているため，容易に手本と同じ文字バランスの文字を書けるが，手本に依存してしまい，手本を利用せずに正しい文字バランスで書けるようにならない．一方で，手本を見ながらなぞっていた状態から，手本を利用せずに練習すると，臨書練習と同様の問題が生じる．そこで，学習者が補助からスムーズに離脱できるように，本研究では，学習者の習得度に応じて提示する手本の内容を変える機能を提供する．

文字バランスの評価　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，タブレットに表示された手本が透けて見える．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

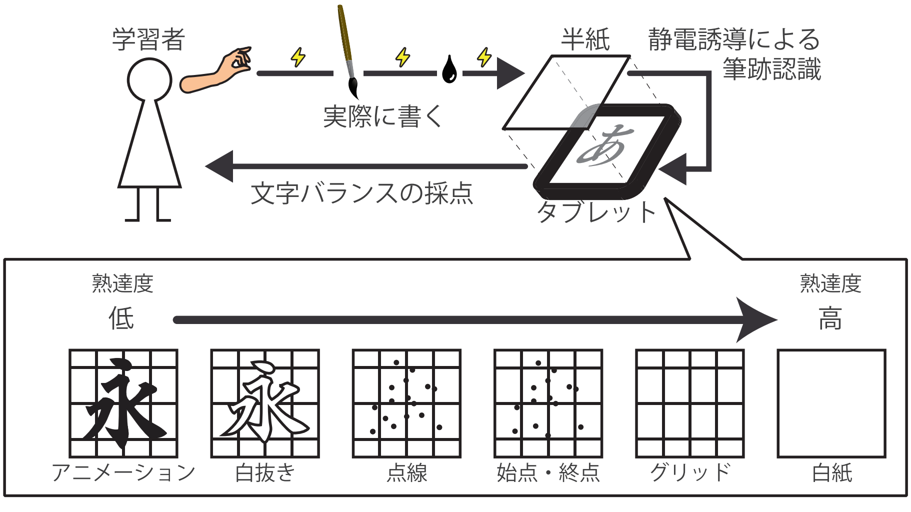

図 3　システム構成
Fig. 3　System structure and presented contents.

© 2016 Information Processing Society of Japan

図 4　アルミホイルを巻いた毛筆
Fig. 4　Japanese brush wrapped conductive tape.

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いたりするが，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習得度に応じたステップを選択する．習得度の低い順から，アニメーション，白抜き，点線，始点・終点のみ，グリッドのみ，手本提示なしの 6 個のステップがある．アニメーションでは書き順，白抜きでは大まかな形，点線では各画の骨格，始点・終点では画における重要部のみの骨格，グリッドでは画の間接的な位置（グリッドステップより前のステップでは，各画の位置を直接的に提示されていたが，グリッドステップでは提示されたグリッドを目安に画の位置を間接的に教示している）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，学習ポイントを明確にすることで，効率的に文字バランスを習得できる．同時に，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．

3.4　採点機能

本研究では文字バランスを，図 1 に示すように，半紙を

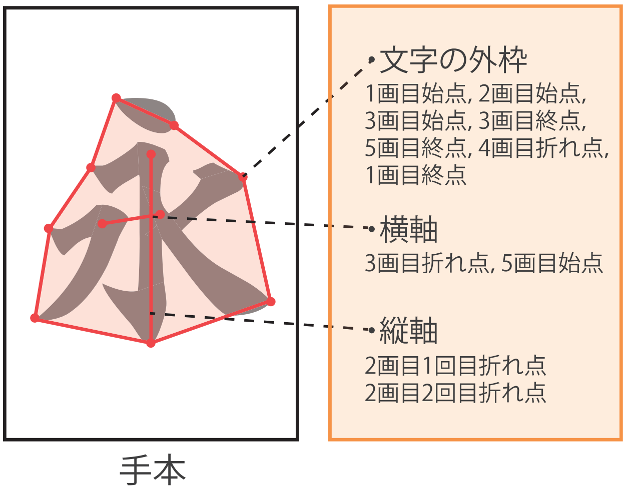

図 5　文字「永」の特徴点と中心軸
Fig. 5　The feature points and the cnter axes of the character 「永」.

基準とした，文字の位置，大きさ，画の位置関係という 3 つの要素から構成されていると定義し採点アルゴリズムを構築した．本論文では，書写の基礎練習で頻繁に利用される文字「永」における採点機能について述べる．なお，一般的な臨書では，手本が印刷された紙の大きさと半紙の大きさが異なるため，学習者は手本を脳内で拡大あるいは縮小し，「半紙の大きさ」と「実際に書く文字の大きさ」の比率と，「手本が印刷された紙の大きさ」に対する「手本の大きさ」の比率が同じになるように，実際に書く文字の大きさを調整する能力が求められる．この第 1 段階として，本研究では，手本とまったく同じサイズの文字を書けるようになる能力の獲得をめざす．これは，前者の能力は後者の能力より高度で，前者の獲得には後者の獲得が欠かせないからである．後者の能力に関する支援機能および採点機能の提案は今後の課題とする．

3.4.1　特徴点の抽出

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抽出した外枠と，文字の中心軸であ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，角度がしきい値を超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．

© 2016 Information Processing Society of Japan

これにより，実際に書かれた文字に対して自動的に特徴点を算出できる．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ことではないため，もう一度最初から書いてもらう．

3.4.2　採点アルゴリズム

図 6 に示すように，特徴点から面積や重心などの文字の特徴量を算出する．文字の大きさは外枠の面積，位置は外枠を構成する特徴点の重心，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」に対応し，文字バランスの各要素の採点結果は特徴量の誤差率（相対誤差）となる．

具体的には，文字の大きさ・位置・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．

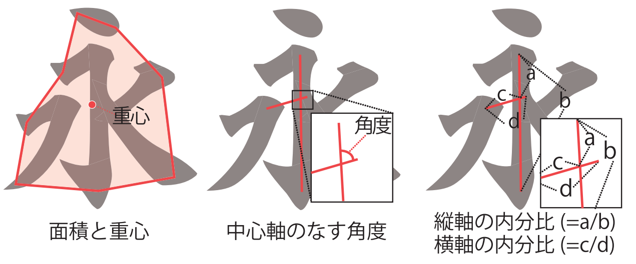

図 6　文字「永」の特徴量

Fig. 6　Feature value of the character「永」.

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

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

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

3.4.3　採点結果のフィードバック

学習者が提案システムの任意のステップを利用してタブレット上に「永」の文字を書いた後，システムは採点を行い，**図 7** に示す採点結果を提示する．図 7 に示された白抜きの「永」の文字は手本を，点線は学習者が書いた「永」の筆跡を示している．また，手本および学習者が書いた文字に対して，文字バランスに影響する特徴量（外枠・中心軸・重心）を視覚的に提示する．学習者が書いた文字の特徴量は赤色で，手本の特徴量は青色で示されており，学習者は容易に手本と自身が書いた文字を比較できる．

採点結果のフィードバックとして誤差率ではなく，書いた文字と手本とのずれを図として視覚化することで，直観的に誤りや，その修正方法を学習者は理解できる．

3.4.4　採点結果の妥当性

採点アルゴリズムが妥当であることを客観的に検証するために，書道師範の資格を持っている専門家 4 名を被験者

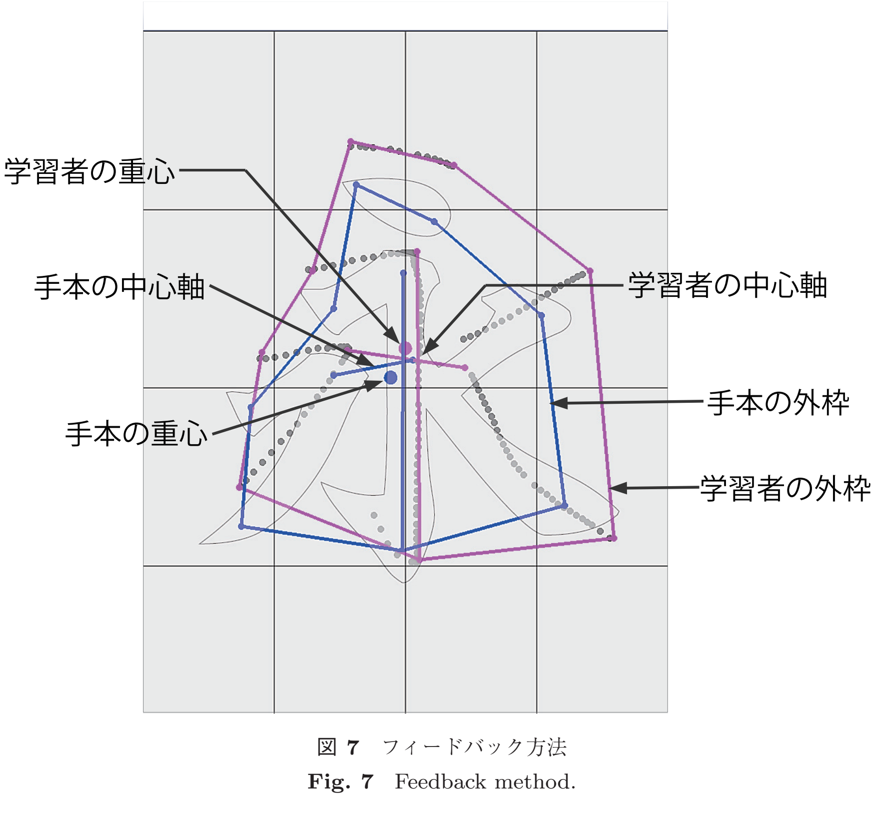

図 7　フィードバック方法

Fig. 7　Feedback method.

© 2016 Information Processing Society of Japan

情報処理学会論文誌 Vol.57 No.8 1861–1870 (Aug. 2016)

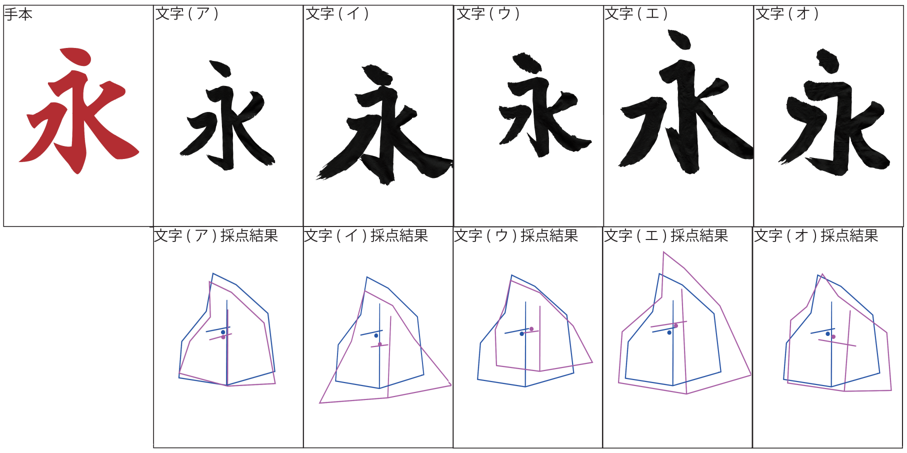

図 8 アンケートで使用した文字
Fig. 8 The characters used in the questionnaires.

表 1 アンケート結果
Table 1 The results of the questionnaires.

文字	大きさ		位置		画の位置関係	
	システム	被験者	システム	被験者	システム	被験者
ア	2	2	1	1	1	1
イ	4	3	4	2.5	3	3
ウ	3	4.5	5	5	4	4
エ	5	4.5	3	4	2	2.5
オ	1	1	2	3	5	4.5
W	0.8**		0.5*		0.5*	
r	0.8***		0.7**		1.0***	

W: Kendall の一致係数 r: Spearman の順位相関係数
∗ $p < .10$ ∗∗ $p < .05$ ∗∗∗ $p < .01$

とし，**図 8** の上段に示す 5 つの文字に対して，文字バランスの要素ごとに手本と近い順（1 位：手本と同じである，5 位：手本と同じでない）に順位を付けてもらうというアンケート評価を実施した．図 8 の上段はアンケートで使用した文字である．また，図 8 の下段は，アンケートで使用した各文字においてシステムが生成した採点結果を示している．文字（ア）～文字（オ）の特徴量は青色で，手本の特徴量は紫色で示されている．被験者には図 8 の上段のみを提示し，システムの採点アルゴリズムを教示したり，採点結果を提示したりしなかった．

アンケート結果を**表 1** に示す．表 1 中に示す被験者の列に対応する値は，該当する文字に対して，被験者 4 名が回答した順位の中央値を示している．また，システムの列に対応する値は，採点アルゴリズムをもとに算出した誤差率の順位を示している．

文字バランスの各要素において，被験者間で回答が一致しているかを検証するために，Kendall の一致係数 W（$0 \leq W \leq 1$，0：完全に不一致，1：完全に一致）を求めたところ，全要素において一致係数は 0.5 以上を示し，有意水準 10%の有意傾向が観測され，被験者間での回答の一致が検証できた．次いで，システムと被験者間において，Spearman の順位相関係数を求めたところ，全要素において相関係数は 0.7 以上を示し，有意水準 5%の有意差が観測され，システムおよび被験者間において高い相関が観測された．最高順位および最低順位に着目すると，全要素においてシステムと被験者は同じ結果を示した．一方，中盤の順位に着目すると，特にシステムと被験者とで異なる結果となった文字が，大きさにおいては文字（ウ），位置においては文字（イ）でいずれも 1.5 ポイント離れていた．文字（ウ）に関して，4 名中 2 名の被験者は，システムが最低順位をつけた文字（エ）と同等の評価をしていた一方，システムは 3 位と評価した．このようになった原因は調査中であるが，文字が小さ過ぎる場合と，文字が大き過ぎる場合とで，誤差の印象が異なるのではないかと推測される．また，文字（イ）においてシステムと異なる結果を回答した被験者 1 名に文字の位置の判定基準についてヒアリングしたところ，「半紙の上下左右の余白を考慮している」というコメントが得られた．また，同被験者から「余白に注目したところ，文字（ウ）は全体的に右よりに，文字（エ）は全体的に上にずりあがっている．文字（イ）はやや右に寄っているが上下方向はほぼ半紙の真ん中に来ている．文字（イ）の位置は文字（ウ）や文字（エ）よりも優れていると思う」というコメントが得られた．一方，システムの採点アルゴリズムは，文字の外枠の重心を文字の位置としている．したがって，文字（イ）は全体的に下に配置されているとシステムに判断され，文字の位置に関しての順位が低くなった．

以上から，採点アルゴリズムと専門家の回答は統計的に一致しており，採点アルゴリズムの妥当性は検証できたが，上述した点について改善の余地があり，これは今後の課題とする．

4. 評価実験

評価実験では，臨書の初期段階（臨書初級者が特定の文

© 2016 Information Processing Society of Japan

情報処理学会論文誌　Vol.57　No.8　1861–1870 (Aug. 2016)

字を練習し始める段階）にある臨書初級者を対象に，従来の練習方法である臨書を従来手法とし，提案システムおよび従来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．

比較対象　評価実験では，3 章で説明した提案システムを利用した場合と，半紙の隣に手本を置くという一般的に普及している臨書の練習方法を利用した場合についてそれぞれ比較した．なお，この臨書の練習方法を従来手法と呼ぶ．なお，手本が印刷された紙および半紙のサイズ，タブレットの画面サイズはすべて同じ大きさで，具体的には，19.8 cm（縦）× 14.8 cm（横）である．

被験者　実験に参加した被験者は 16 名で，小学校および中学校の国語の授業で書写を受講した程度で，書道教室など専門的な教育をうけていない大学生および大学院生である．提案手法および従来手法にそれぞれ 8 名の被験者を割り当てた．実験はすべて異なる被験者に対して個別に実施し，提案手法を利用した被験者には，提案システムが持つ各種機能の使い方を説明した．また，「手本の大きさ・位置・画の位置関係に注意して，手本と同じ文字を書くようにしてください」と全被験者に指示し，大きさ・位置・画の位置関係に関する採点基準について図 6 を利用しながら全被験者に説明した．

実験の流れ　実験の流れは以下のとおりである．

(1) 最初に毛筆に慣れてもらうために 5 分間，自由に練習してもらった．
(2) 評価文字「小」の手本を半紙の隣において，「小」を一度だけ書いてもらった．
(3) 20 分間，割り当てられた練習方法で課題文字「永」を練習してもらった．
(4) 練習後に到達度テストとして，手本を見ずに課題文字「永」を一度だけ書いてもらった．
(5) 評価文字「小」の手本を半紙の隣において，再度，「小」を一度だけ書いてもらった．

課題文字「永」の到達度テストの結果から，提案手法あるいは従来手法で練習したときにおける文字バランスの習得度が分かる．また，課題文字「永」の練習前および練習後それぞれにおける評価文字「小」の誤差率の差分を，提案手法および従来手法間で比較する．これにより，課題文字の練習を通じてバランスの良い文字を書く方法を習得できたか，すなわち応用力が向上したか検証できる．

「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．

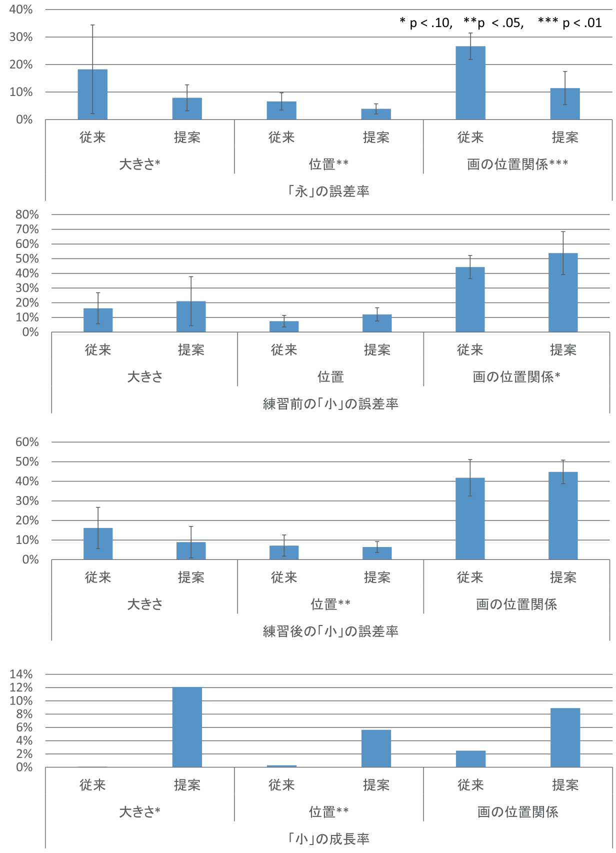

図 9　実験結果
Fig. 9　Evaluation result.

4.2　結果

4 章で説明した採点アルゴリズムをもとに算出した課題文字「永」の到達度テストの誤差率・評価文字「小」の練習前の誤差率および練習後の誤差率・評価文字「小」の成長率（練習前の「小」の到達度テストの誤差率–練習後の「小」の到達度テストの誤差率）を**図 9** に示す．誤差率が低いほど手本の文字バランスと似ていることを示しており，成長率が高いほど上達したことを示す．また，図 9 中の各要素の右肩に挿入されている * は，従来手法および提案手法間で適用した t 検定の結果を示している．

「小」の採点アルゴリズムは，**図 10** および**図 11** に示すように，「永」の採点アルゴリズムとほぼ同じである．「永」の横軸は 1 本であるが，「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）であるため，画の位置関係が上段と下段の 2 カ所ある点が「永」の採点アルゴリズムと異なる．「小」の画の位置関係の誤差率は，上段と下段の誤差率の平均値とした．

図 9 における「永」の誤差率の結果より，「永」の 20 分

© 2016 Information Processing Society of Japan

間の練習の末，「永」に関して文字の大きさ，位置，画の位置関係のいずれにおいても，提案手法の誤差率は従来手法の誤差率より低い．また，大きさは有意水準10%の有意傾向が，位置および画の位置関係は有意水準5%および1%の有意差が観測された．したがって，提案手法の方が従来手法より，手本に近い文字バランスで書かれている．

「小」に関して，練習前の「小」の誤差率に注目すると，全体的に提案手法の被験者の誤差率は，従来手法の被験者の誤差率よりも大きく，画の位置関係に関しては10%の有意傾向が観測されている．また，練習後における「小」の誤差率の結果に注目すると，画の位置関係以外に関して，提案手法を利用した被験者の誤差率が低くなっており，位置に関しては5%の有意差が観測された．さらに，成長率に着目すると，提案手法を利用した被験者は，従来手法を利用した被験者よりも高い成長率を示しており，大きさや位置においてそれぞれ10%の有意傾向および5%の有意差が観測されている．

したがって，提案手法を利用した被験者は，課題文字および評価文字それぞれにおいて，従来手法を利用した被験者よりも上達しており，提案手法は，練習した文字の文字バランスを短時間で習得できるだけでなく，その習得した能力を他の文字にも転用できる応用力の向上に貢献するといえる．

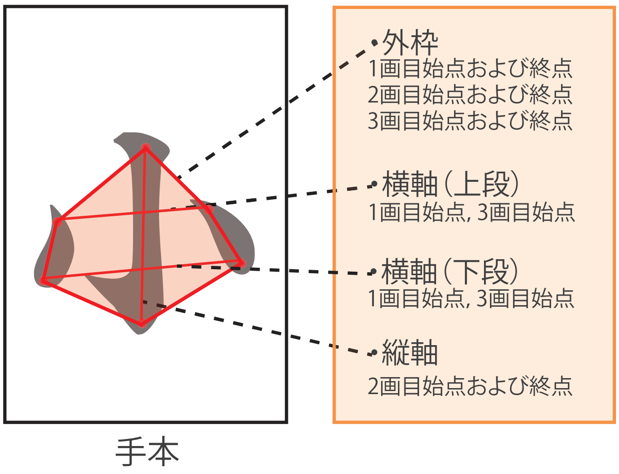

図 10　文字「小」の特徴点と中心軸

Fig. 10　The feature points and the cnter axes of the character「小」.

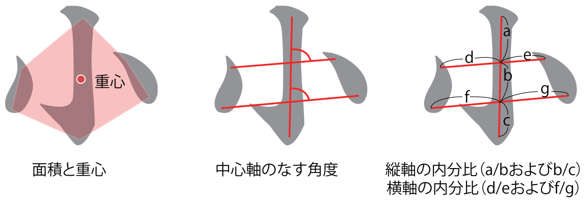

図 11　文字「小」の特徴量

Fig. 11　Feature value of the character「小」.

4.3　考察

以下，実験結果について考察する．

課題文字「永」の習得　「永」において提案手法が従来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，提案手法が提供する手本からの離脱機能および採点機能の効果が考えられる．

図 12 に示すように，被験者 E のみはステップ 3（始点・終点）を利用しなかったが，それ以外の被験者はステップ 0（アニメーション）からステップ 4（グリッド線）まで順番に利用していた．その後，ステップ 4（グリッド線）やステップ 5（白紙）を中心に繰り返し練習しているものの，被験者 E 以外はステップ 1（白抜き）〜ステップ 3（始点・終点）といった簡単なステップにいったん戻っている．ステップ 3（始点・終点）以前は半紙上に置くべき筆の位置位置が直接的に教示されているが，ステップ 4（グリッド線）ではグリッド線をもとに筆の位置を決める必要があり間接的にしか位置が教示されていない．ステップ 3（始点・終点）とステップ 4（グリッド線）には教示情報の種類が異なるため，ステップ 3（始点・終点）以前とステップ 4（グリッド線）以降の使い方に差が出たと考えられる．被験者は，ステップ 4（グリッド線）とステップ 3（始点・終点）の間にある異なる種類の教示情報に気づき，ステップ 4（グリッド線）以降で適切な文字バランスでうまく書けない場合に，直接的に位置を教示するステップに戻り，正しい筆跡を身体に覚えさせ，再度，間接的に位置を教示するステップ 4（グリッド線）や，何も教示しないステッ

被験者	ステップ（0：アニメーション，1：白抜き，2：点線，3：始点・終点，4：グリッド線，5：白紙）
A	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 4 > 4 > 4 > 5 > 3 > 5 > 2 > 4 > 4 > 4 > 5 > 5
B	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 4 > 3 > 5 > 4 > 5
C	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 4 > 5 > 2 > 4 > 4 > 1 > 1 > 4 > 4 > 5
D	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 5 > 2 > 4 > 4 > 4 > 5 > 5
E	0 > 1 > 2 > 4 > 4 > 5 > 4 > 5 > 5 > 4 > 4 > 5
F	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 1 > 4 > 4 > 2 > 3 > 5 > 4 > 4 > 5
G	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 4 > 5 > 1 > 4 > 5
H	0 > 1 > 2 > 3 > 4 > 1 > 4 > 5 > 2 > 4 > 4 > 5 > 5

図 12　ステップの使用順序

Fig. 12　Order of the step.

© 2016 Information Processing Society of Japan

プ５（白紙）の練習に取り組んだ．また，簡単なステップに戻ったときは，白抜きや特徴点といった手本の輪郭だけでなく，グリッド線と手本の輪郭との関係も注目していたと，実験後のヒアリングでコメントしている．このように，離脱機能により，直接的な位置教示・間接的な位置教示・位置教示なしを循環し，簡単なステップに後退したときも「どの画の何を確認すべきか」などより難しいステップを攻略するために必要な学習方略を構築したうえで学習に取り組める．

また，採点機能を利用しながら，被験者は手本と自身が書いた文字について，各画の長さの違いを比較したり，文字全体の位置を確認したりなど，画単位および文字単位といった異なる粒度で，「どこが誤っているのか」あるいは「どうすれば正しく書けるのか」について分析していた．特に，ステップ４（グリッド線）は高い頻度で利用されたが，採点機能により誤っている箇所を理解でき，グリッド線と各画の位置関係を覚えようとする練習が観測された．これらは実験者が実験中の観察で気づいたことであるが，実験後に，この推察が正しいことを全被験者から確認している．

一方，従来手法を利用した被験者は，「採点基準は理解できるが具体的にどこをどう修正すればよく分からない」とコメントしており，提案手法を利用した被験者のような振り返りや練習方法を検討するような学習する態度は観察されず，漫然と繰り返し練習をしていた．

このように採点機能を利用することで苦手箇所への気づきや，解決策の発見を促す効果があり，離脱機能をさらに利用することで，苦手箇所の克服に集中できる環境や，解決策を適用しやすい環境を提供できる．

評価文字「小」の習得　評価文字「小」において，提案手法を利用した被験者の成長率が，従来手法を利用した被験者の成長率よりも高くなった原因として，課題文字「永」の練習で獲得した文字バランスに関するノウハウを転用できたためである．

上述したように，提案手法を利用した被験者は，離脱機能や採点機能を活用しながら，課題文字「永」の文字バランスを習得した．この習得過程において，全被験者は「グリッド線の重要性に気づいた」と実験後のヒアリングにより述べている．また，評価文字「小」を練習後に書くときに，「手本や半紙にグリッド線は提示されていないが，頭の中でグリッド線を思い描き，文字の始点・終点・折れ点を決めていった」と報告している．

また，被験者４名は，採点機能により「文字の軸の重要性にも気づいた」と報告しており，「評価文字「小」を練習後に書くときに，手本から軸を抽出し，軸を意識しながら書いた」と述べている．

このように，離脱機能や採点機能を利用することで，課題文字の採点基準の理解の深化，採点基準を実際に運動として実行する能力，それらを評価文字へ応用する能力が向上したといえる．

提案システムの改善点　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，いくつか改善点があがった．

提案手法はタブレット端末では，3.3 節で述べたように，ステップを選択した後に，練習開始となる．ステップは指で選択されることを想定しており，練習開始の段階に遷移した後，ディスプレイ上に半紙を載せて筆に墨汁を浸して練習する．半紙をディスプレイに載せたり，実際の臨書と同様，非利き手で半紙を押さえたりするときに，誤ってディスプレイに触れてしまい，１画分の筆跡としてシステムが誤認識してしまう場面が少なからずあった．この場合，ステップ選択から再スタートとなってしまう．この問題に関しては，より大きいタッチパネルディスプレイを利用して操作領域と書字領域を分けてしまう方法や，明らかに手本から外れた筆跡に関しては筆跡と見なさないという解決方法が考えられる．

また，採点結果のフィードバックについて，図７に示すように，手本と自身の筆跡を重畳させて提示しているが，手本と自身の筆跡の位置（重心）が異なる場合に，手本と自身の筆跡とでずれが生じるため，大きさや画の位置関係の比較がしにくいというコメントがあった．この問題に関しては，自身の筆跡を移動できる機能を提供することで解決できる．これを一般化し，自身の筆跡を回転・拡大・縮小できる機能を提供することで，ある１つの要素に注目して分析できるなど，各要素の分析が深まると思われる．

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構築した．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，および採点機能を持つ．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，習得度に応じて動的に手本情報を減らす機能や，様々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．

謝辞　評価実験実施を担当した小田川玲奈氏（当時，公立はこだて未来大学）に謝意を表する．また，本研究は JSPS 科研費 15K00279 の助成を受けたものである．

参考文献

[1]　岡村吉永：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

© 2016 Information Processing Society of Japan

(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，入手先 ⟨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] Henmi, K. and Yoshikawa, T.: Virtual Lesson and Its Application to Virtual Calligraphy System, *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.1275–1280 (1998).
[7] Ryo, K. and Tsuneo, Y.: Haptic display device with fingertip presser for motion/force teaching to human, *Proc. 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).

推薦文

本論文は，情報処理学会北海道支部シンポジウムにて，発表（ポスター形式）を行った論文（6 ページ）で，査読者 2 名から推薦があり，かつ当日の発表審査員の投票が高かったため，同シンポジウムにて優れた研究に贈られる学術研究賞を受賞した．ユニークなテーマで示唆に富み，支部年間推薦として十分なレベルを有すると判断し，本論文を推薦する．（情報処理学会北海道支部支部長　山本雅人）

竹川 佳成　（正会員）

2007 年大阪大学大学院情報科学研究科博士課程修了．同年より神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教．2012 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部助教．2014 年より公立はこだて未来大学システム情報科学部准教授，現在に至る．2011 年には MIT Media Lab. にて Assistant Visiting Professor を兼務．博士（情報科学）．教育工学，エンタテインメントコンピューティング，音楽情報科学の研究に従事．

平田 圭二

1987 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了．工学博士．同年 NTT 基礎研究所入所．1990～1993 年（財）新世代コンピュータ技術開発機構（ICOT）に出向．2011 年より公立はこだて未来大学教授．1993 年音楽情報科学研究会初代主査．2005～2007 年および 2011～2013 年本会理事．2010～2015 年デジタルプラクティス誌編集委員長．本会フェロー，シニア会員．現在，音楽情報学に加え，うつ病家族看護者の ICT 支援，スマートシティの研究に従事．

© 2016 Information Processing Society of Japan