

スマートフォンに向けた運筆リズムの可視化と ペン習字アプリへの応用

浦正広^{†1} 遠藤守^{†2} 山田雅之^{†2} 宮崎慎也^{†2} 安田孝美^{†3}

手書き文字は形状に加えて運筆という動きの情報も持つため、デジタル化することで様々な応用が期待でき、実際にそれを活用したコンテンツも制作されている。一方、スマートフォンの普及に伴い様々なコンテンツが制作されているが、スマートフォンは様々なインタフェースを持つことから、コンテンツ制作においてはそれを考慮する必要がある。本研究では、スマートフォンに向けた運筆リズムの可視化手法を提案し、これを応用してペン習字アプリを制作する。身体動作においてリズムを意識することが短時間での上達に繋がるとされることから、スマートフォンのアプリとすることで、高い上達の効果が期待できるコンテンツを多くの人へ提供可能となる。

Visualizing Stroke Rhythm for Smartphone and Its Application to a Penmanship Application

MASAHIRO URA^{†1} MAMORU ENDO^{†2} MASASHI YAMADA^{†2}
SHINYA MIYAZAKI^{†2} TAKAMI YASUDA^{†3}

Since handwritten characters are composed of not only shape but also motion as writing stroke, we can apply it to various digital contents by digitizing it. Meanwhile, as smartphone has various interfaces, we have to consider it when we create contents for smartphone. This paper presents methods for visualizing stroke rhythm for smartphone, and creating a penmanship application by applying it. We can provide a content which has an effect for progressing handwriting to many people by the methods, because considering rhythm leads to progress of the bodily motion in a short time.

1. はじめに

文字は単語や文を形成するなど、情報を伝達するツールでありメディアであることから、その形状そのものに意味を持つ。そのため、これまでにタイポグラフィなど、形状を活用したコンテンツが数多く制作されている。しかしながら、文字は古くから、書字という人による動作によって書かれてきたものである。そのため、手書き文字の形成には、形状のほかにも、姿勢や筆記具の持ち方といった人自身の所作に関するものや、筆圧やリズムといった書字に関するものなど、筆記具の運びである運筆にまつわる、様々な動きの要素が関係してくる。したがって、この運筆という、文字の持つ動的な要素をコンテンツに取り入れることで、様々な形での応用が期待できる。デジタルコンテンツはコンピューテーションにより複雑な処理を定義できることから、入力に対して様々な出力を利用者に提供することが可能である。そのため、アナログコンテンツに比べ、インタラクティブな、動的な要素を持つコンテンツに適しているといえ、文字の動的な要素を利活用する手段として適していると考えられる。実際に運筆の情報をデジタル化することにより、後述のように、学習を目的としたものなどの様々なコンテンツが提案されている。

一方で、スマートフォンが急速に人々に普及し、デジタルコンテンツの提供の場として広く認知されている。スマートフォンはタッチディスプレイを入出力インタフェースにしていることから、画面上の表示物に直接触れて操作が可能であるなど、直感的なコンテンツが制作可能であるという特徴を持つ。このタッチディスプレイは、画面解像度が高い一方で、携帯性を持たせるために端末自体が小型化されていることから画面サイズは小さく、また、静電容量式であるために入力に一定の面積が必要となり、繊細な入力が難しいといった特徴を持つ。したがって、スマートフォンに向けたコンテンツを制作するうえでは、これらを考慮する必要がある。

そこで本研究では、スマートフォンでの利用を想定した運筆リズムの可視化手法を提案し、これを応用してペン習字アプリを制作する。ICTの普及も相まって自身の手書き文字に自信を持たない人が増加しているが[1][2]、ビジネスの場などにおいて見直されてきているなど[3]、手書きには一定の需要がある。綺麗な文字を書くための要素は様々あるが、運筆のリズムもその1つとされ[4]、また、身体動作においてはリズムを意識することが短時間での上達に繋がるとされる[5]。これらのことから、運筆リズムを練習に活用し、短い空き時間などでも利用可能なスマートフォンのアプリとすることで、多くの人への高い上達の効果が期待できるコンテンツが提供可能となる。実証実験によりアプリの学習効果を示すことで、提案した可視化手法の有効性を確認する。

^{†1} 中京大学人工知能高等研究所
Institute for Advanced Studies in Artificial Intelligence, Chukyo University

^{†2} 中京大学工学部
School of Engineering, Chukyo University

^{†3} 名古屋大学大学院情報科学研究科
Nara Institute of Science and Technology

2. 運筆のデジタル化の事例

文字は形状に加えて、書字における筆記具や記録媒体への力のかかり具合など、人がその文字を書くための、運筆という動きに関する情報が様々ある。運筆リズムを可視化するなど、これら書字における動きの情報をデジタル化してコンテンツに利用している事例がいくつか存在する。これらは文字の学習に用いられるケースが多いが、そのなかには障害者の訓練に用いられているようなものもある。また、書道家の書字の動作を記録するなど無形文化の保存に活用したり、手書きサインをデジタル的な認証に活用したりといったケースもある。このように、運筆はデジタル化されることにより、様々な用途のコンテンツに利活用されている。

2.1 視覚化

運筆を視覚化し、発達性読み書き障害を持つ児童の識字学習支援に用いている事例がある[6]。これは、字画を文字の書き順に基づいて分解することで立体的に表現して、それを立体視呈示が行えるディスプレイにより提示するというシステムである。運筆を動画で示すなど、時間軸を奥行方向を用いて文字を空間的に表現することにより、児童の持つ空間認知能力を活用した形での、識字能力の向上支援を実現している。

また、動的なぞりという、運筆の可視化による習字支援法を提案している事例がある[7]。この練習法は、手本となる文字形状そのものを表示するのではなく、筆記中のいまの地点から、手本がどのような方向と速さで書かれているかを示す指示棒を提示し、利用者がそれを参考に、追いかけるような形で文字を書いていくものである。この事例では、PCを練習環境として用いており、入力ペンタブレット、出力はディスプレイというように、入出力のインタフェースが異なる。このため、実際とは異なり、手や筆記具ではなく画面を見て書字することとなり、ガイドとなる指示棒は直接なぞらない。このことから、スマートフォンのような、入出力インタフェースでのタッチディスプレイでの利用を考慮した可視化とはなっていないといえる。

そのほか、本研究と同様に、携帯端末をプラットフォームとして用いたコンテンツには、携帯ゲーム機向けのソフトやスマートフォン向けアプリなど様々あるが、そのなかで運筆リズムを取り入れているものに、PDA端末を用いた事例がある[8]。この事例においては、文字の形状を重ねて時系列でその文字の書字の過程を表示することで、運筆リズムを視覚的に確認できるようになっている。練習においては、画面に文字を直接書くといったように、コンテンツとしてはタッチディスプレイの入出力の機能を利用しているが、運筆の利用は、アニメーションとして再生するという出力での提示のみであり、補助的な用途にとどまっている。

2.2 聴覚化

運筆音という形で書字の情報を聴覚化することで、ペン字の上達を支援している事例がある[9]。これは、手本データとなる時系列によりサンプリングした文字の運筆速度に基づいて、1画ごとの長さに応じた仮想的な運筆音を生成・再生するシステムである。運筆音は実際の運筆の音を加工して生成され、この運筆音に合わせて文字を書くことで、利用者の運筆リズムの習得を支援する。視覚情報よりも聴覚情報を用いたほうが脳に情報がダイレクトに伝わって、リズムの習得において有効であるという研究結果もあることから、これは運筆リズムの習得に有効な方法であるといえる。

2.3 力覚化

力覚デバイスを用いて書字の情報を力覚化し、習字支援を行っている事例がある[10]。これは、力覚デバイスであるSPIDARを用いて筆ペンを固定し、利用者の手ではなく筆記具に掛かる力覚を活用するシステムである。達筆な者がシステムを用いて書字を行うことで、遠隔通信によってその教師データが利用者のデバイスに伝送される。これにより、利用者は達筆な者の筆記具の持ち方や筆圧、運筆のリズムなど、書字そのものが体験できる。このため、力覚を通じて多くの要素を学習でき、高い上達の効果が期待できる。

また、このような仕組みを視覚障害者の書字訓練に用いている事例もある[11]。力覚デバイスであるPhantom Omniの操作部分をペン先に見立てて、運筆の力覚を教師データにすることで、運筆における字画の距離感覚を段階的に習得するシステムとなっている。視覚障害者にとり、漢字のような画数の多い文字、筆記具と書かれた文字との位置関係が把握しづらいため、距離感覚が身に付くことで、バランスのよい文字が書けるようになる。

一方で、書道家の書字動作を記録し、再現している事例もある[12]。これは、マスタ側のアクチュエータを用いて力覚情報をデジタル化し、それをスレイブ側のアクチュエータで再現することにより実現している。書道などの芸術性の高い作品の制作は、制作者の感性に委ねられる部分が大きく、模倣や継承が容易ではない。そのため、このような芸術制作の動作をデジタル化することは、無形文化の保存という観点からも意義があるといえる。

そのほかにも、手書きサインの認証に用いている事例もある[13]。圧力センサにより入力面方向に加わる力覚を取得し、その力覚を認証元データと時間軸で比較する。力覚を用いることにより、サインの形状に加えて、運筆リズムや筆圧といった複数の観点による認証が行えるため、偽造の防止に有効である。サインは欧米では日本における印鑑のように用いられており、同一のものが書けるよう、幼少より繰り返し練習して身に付ける。そのため、これをデジタル化することで、自然な認証が行えるようになる。

3. スマートフォンに向けた運筆の可視化

スマートフォンでの利用を目的とした、運筆リズムの可視化手法を提案する。スマートフォンにおけるデジタルコンテンツの形態としては、静止画、動画、音楽、Web ページ、アプリなどがある。これらのうちでアプリ以外は、制作における内部的なデータをスマートフォンではなく、それぞれの制作環境で扱うことが可能である。そのため、アプリ制作におけるプログラミングにおいて運筆リズムを可視化するための、文字データの定義、および、表示手法を提案する。また、その手法を応用して、書字の練習に運筆リズムを取り入れることで、短時間での上達を支援するペン習字アプリを制作する。

3.1 文字データの定義

運筆リズムを可視化するためには、それを再現できるような構造を持つ文字データを定義する必要がある。文字自体の持つリズムを再現するためには、時系列に基づいた書字における各時間の筆記の状態、つまり、筆記具と媒体との接点の座標値を保持できればよく、これは前章で述べた事例においても用いられている一般的な方法である。

Android や iOS, Windows Phone など、スマートフォン用の OS はいくつかあるが、それらのアプリで大量のデータを扱う手段として sqlite が用いられている。そこで、sqlite において文字データを扱うための、テーブルの構成の一例を表 1 に示す。文字は個体識別のための ID、書字における第 1 画の起筆からの経過時間、その経過時間における筆記具先端と記録媒体の接点の x 座標値、同 y 座標値、運筆速度の各要素により構成する。文字はデジタル環境では文字コードにより扱われているため、文字の ID は文字コードを利用する。運筆速度については、現在の経過時間の xy 座標値と、1 つ前の経過時間の xy 座標値の距離を算出することにより求まるので、これを格納する。

このテーブルにおいて 1 つの文字の運筆リズムを取得するには、プログラム中で目的の文字を文字列ではなく文字として記述し、それを ID 検索のキーとして、当該 ID を持つ行を経過時間の小さい順にソートして抽出する。これにより、目的の文字の座標値や運筆速度のデータを、書字開始からの経過時間の時系列により取得することが可能となる。

表 1 文字データテーブル

Table 1 Table for character data.

項目	型	内容
code	INTEGER	文字コードに基づく文字 ID
time	INTEGER	書字開始からの経過時間 (ms)
x	INTEGER	その時間における文字の x 座標値
y	INTEGER	その時間における文字の y 座標値
speed	INTEGER	その時間における運筆速度

3.2 運筆リズムの可視化

スマートフォンは、その多くが静電容量式のタッチディスプレイを採用しており、入力検知の接地に一定の面積を要する。そのため、入力の際、指やスタイラスペンにより接地面付近の画面の一定領域が隠れる。このことから、コンテンツにおいて利用者に文字とのインタラクションを発生させたい場合、単一幅の線による文字に運筆リズムを重ねて再生、表示するようなシンプルな方法では、上述の理由により、利用者がリズムを適切に把握できない可能性が生じる。

そこで、強調付けにより運筆リズムの可視性を高める表示方法を提案する。書道では文字の強弱が形状として表れるため、運筆リズムにも通ずる「とめ・はね・はらい」などの文字の特徴が把握しやすい。線の太さと運筆速度には明確な相関はないものの、一般的に細いところは速く、太いところは遅くなる傾向があり、これを可視化に取り入れる。図 1 は、運筆速度に反比例するように、線を太くした例である。(a) は実際の線であり、(b) は全体を、(c) は経過時間の地点のみを円を用いて太く描画している。これを組み合わせることで、広い領域に運筆リズムが表示可能になるため、手や筆記具に完全に隠されない提示が実現できる。

また、このような表示を行うためには、描画 API のプリミティブ描画により形状を生成する必要があるが、前節の文字データでは 1 字を構成する頂点数が多くなり、画面更新ごとの再描画は処理に時間が掛かる。そこで、表 2 で示すように用途に合わせた描画方法を選択する。静的な表示でよいものは、読み込み時に画像を生成し、そこにプリミティブを描画して一枚の画像として扱う。また、動的な表示が必要なものは、そのままプリミティブで描画する。徐々に描かれる線のように、動的な表示の軌跡を残したい場合は、静的な表示同様に画像として扱い、更新に応じて追記する。これにより、実時間での提示が可能となる。

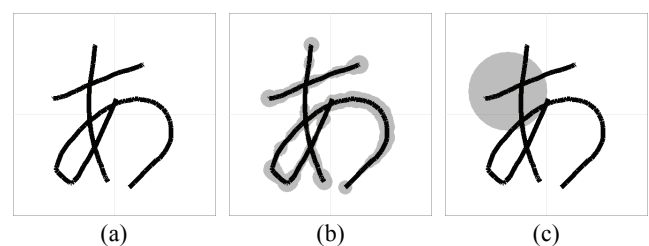


図 1 運筆リズムの可視化

Figure 1 Visualization of stroke rhythm.

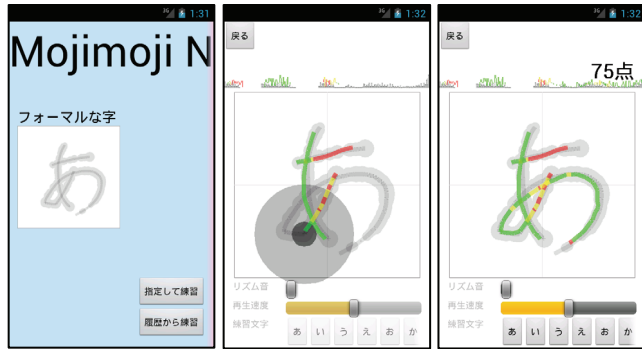
表 2 用途に応じた描画方法

Table 2 Drawing method according to use.

用途	描画方法
静的な表示	画像を生成しプリミティブを描画
動的な表示	プリミティブとして描画
動的な表示を残す	画像を生成しプリミティブを追記

3.3 ペン習字アプリへの応用

前節までで提案した運筆リズムの可視化手法を応用することにより、Android 2.2 を対象としたスマートフォン用のペン習字アプリを制作する[14]。図 2 で示すように、アプリは運筆リズムの練習と採点の機能により構成する。



(a) タイトル (b) 練習 (c) 採点

図 2 運筆リズムの可視化によるペン習字アプリ

Figure 2 Penmanship application by visualizing stroke rhythm.

(1) 運筆リズムの練習

前節で示した手法により、運筆リズムを可視化した手本を提示することで、それをなぞってペン字の練習を行えるようにする。図 3 に「あ」の運筆リズムを可視化したものを、時間経過順にキャプチャしたものを示す。(a)~(d)は 1 画目、(e)~(h)は 2 画目の起筆前の状態を示している。

手本の文字は、前節で示したように実際の文字の線、および、運筆速度に反比例した太さのものにより構成されている。また、図中の円は運筆リズムをなぞるためのガイドである。中心の濃い灰色の円はサイズを固定してあり、周囲にある薄い灰色の円は運筆速度に反比例するようにサイズが大きくなる。これにより、常にペン先を接地する位置がわかるようになり、また、円の大小により速度を視覚的に把握できるようにする。このガイドにより、書字における現在の地点を中心とした全方向に運筆リズムが示されることから、手や筆記具により隠れることのないガイドが実現可能となる。

また、書字には全体の流れがあり、実際に媒体に筆記している運筆だけでなく、1 画の収筆からつぎの 1 画の起筆までの間も重要な要素となる。制作アプリでは、手本データをスマートフォンにより作成しているため、画面に入力されない、この間の運筆は取得できない。そのため、(e)~(h)で示すように、起筆のタイミングを提示する。まず、(e)のように、つぎの記筆点にガイドを表示する。時間が経つにつれて、(f)、(g)のように記筆のタイミングを表すガイドを表示し、これらが重なったタイミングで(h)のように実際の筆記が開始される。(b)、(c)の移動速度は、(d)で起筆する際の運筆速度であるため、これにより各画の起筆におけるリズムがわかり、全体の流れが把握可能となる。

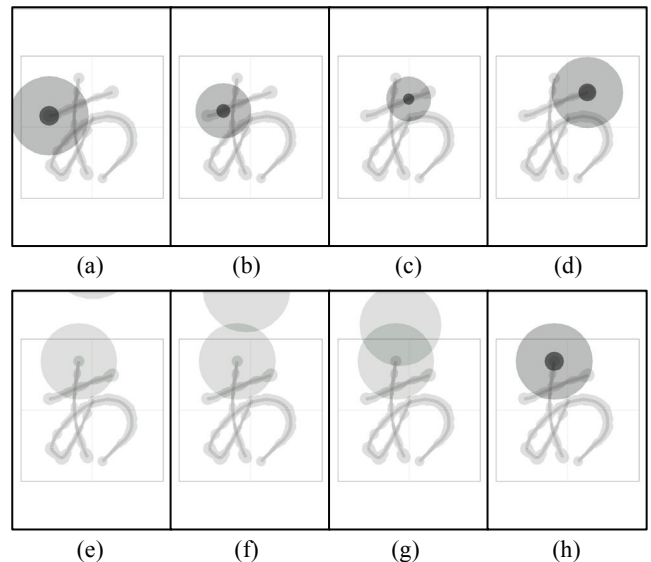


図 3 可視化された運筆リズム

Figure 3 Visualized stroke rhythm.

(2) 運筆リズムの採点

上達のためには、自身の状況を客観的に把握することが重要である。そこで、運筆リズムに基づいて練習結果を採点する手法を提案する。手本の線をリズム通りになぞっていると仮定し、各時間における手本データと入力データの座標の距離を算出する。この距離の遠近を手本との一致率として用いる。図 4 (a)は手本データと練習結果における運筆リズムの差異を、練習結果の文字の上に表わしたものである。距離が近いと緑、少し離れていると黄、離れていると赤といったように、色により差を表すことで、手本と自身の文字の形状、および、運筆リズムの差を、視覚的に確認できる。また、色をポイント化し、各時間における色の和に基づいて点数も表示することで、色から受ける印象だけでなく、定量的な指標により確認も可能になる。

一方で、反応速度には個人差があり、ワンテンポ遅れて手本の運筆リズムの通りに入力が行えているケースも想定される。そこで、(b)で示すように、横軸が時間で縦軸が運筆速度のグラフを表示する。この形状を比較することにより、自身の練習データが、手本データとどの程度の違いがあるかを確認することが可能となる。

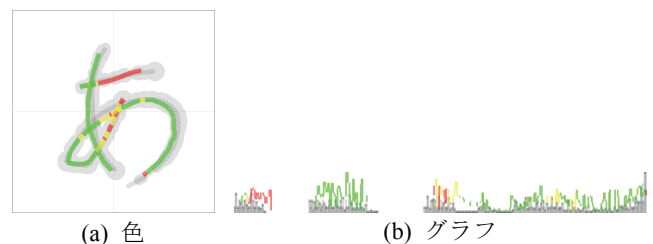


図 4 運筆リズムの採点

Figure 4 Scoring for stroke rhythm.

4. 評価

提案した運筆リズムの可視化手法、および、制作アプリの有効性を確認するために、表 3 で示す環境で被験者実験を行う。実験では、文字の形状のみをなぞる一般的な練習と、形状に加えて可視化された運筆リズムをなぞる提案手法による練習を行う。まず、被験者に白紙の画面上に対象となる文字を書いてもらう。つぎに、スマートフォン上で 5 回の練習を行ってもらい、その後、改めて白紙の画面上に文字を書いてもらう。その際の形状や運筆リズムを記録し、双方の練習における結果を比較することにより、提案手法の有効性を確認する。練習では、画数が 4 画で、送筆の際に輪になる「まがり」が 1 つ、収筆の際に「はね」が 1 つという、構成要素に類似性を持つ「ほ」と「な」を用いる。「ほ」は形状のみをなぞる、「な」は運筆リズムもなぞる練習に用いる。なお、手本データは、書道高段者にスマートフォン上で通常の書字と同様に書いてもらったものであり、なぞることが想定されていない。初見である被験者には運筆速度が速すぎることが考えられるため、運筆リズムをなぞる練習では速度を 1/2 にしたものをを用いる。

表 3 実験環境

Table 3 Examine environment.

スマートフォン	端末	Galaxy S (SC-02B)
	OS	Android 2.2
スタイラスペン	JOT-RD	
練習する文字	形のみをなぞる	ほ
	リズムもなぞる	な

実験結果を示す。図 5 は文字の形状のみ、図 6 は形状に加えて運筆リズムをなぞる実験の結果であり、左の文字は (a) が書道有段者による手本、(b) が被験者による練習前のもの、(c) が 5 回の練習後のものである。右のグラフは左の文字の運筆リズムを表したものであり、横軸を時間、縦軸を速さとしており、グラフの下の実線が 1 画、点線が 1 画の収筆からつぎの 1 画の起筆までの間を表している。また、表 4 および表 5 は、それぞれ図 5 と図 6 のグラフにおける、その文字の書字に要した時間を 1 とした際の、1 画と各画の間の所要時間の比を表したものである。

文字の形状をみると、図 5 が示すように、形状のみをなぞった場合、練習前後で差があまりみられない。一方、図 6 が示すように、運筆リズムをなぞって練習した場合、練習前の (b) と後の (c) では形状に差がみられ、(c) は手本である (a) に近づいているように見える。手本制作者である書道高段者の見解も、単純になぞって練習した図 5 (c) の文字は練習前とあまり変化はなく、提案手法で練習した図 6 (c) の文字は、全体のバランスや線の「そり」などが手本に近づき、上達がみられるというものであった。

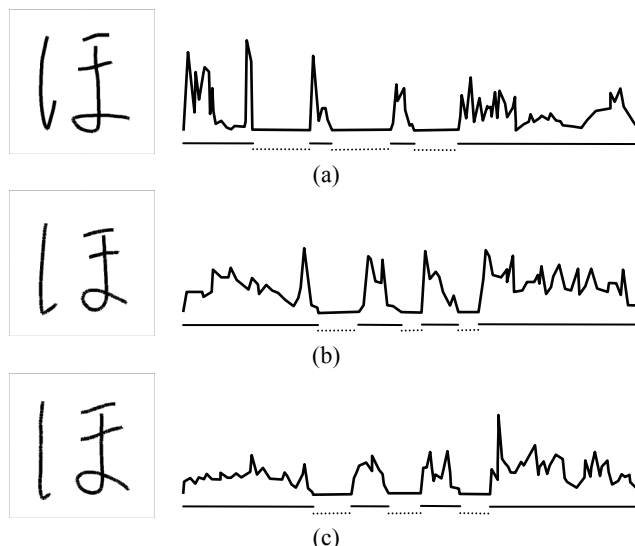


図 5 形のみをなぞった練習の結果
 Figure 5 Result of tracing only shape.

表 4 図 5 の各画の所要時間の比

Table 4 Examine environment in Figure 5.

	1	-	2	-	3	-	4
(a)	0.15	0.12	0.05	0.13	0.05	0.09	0.40
(b)	0.29	0.09	0.10	0.04	0.08	0.04	0.36
(c)	0.28	0.08	0.08	0.07	0.09	0.07	0.33

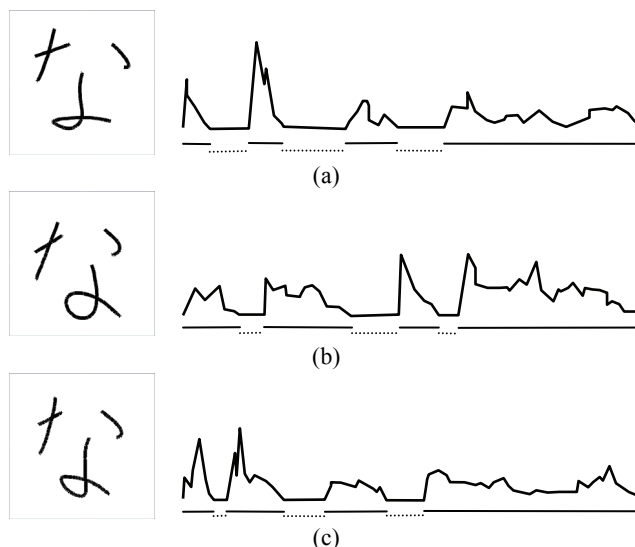


図 6 リズムをなぞった練習の結果
 Figure 6 Result of tracing stroke rhythm.

表 5 図 6 の各画の所要時間の比

Table 5 Examine environment in Figure 6.

	1	-	2	-	3	-	4
(a)	0.06	0.08	0.07	0.15	0.11	0.10	0.43
(b)	0.13	0.05	0.19	0.10	0.09	0.04	0.40
(c)	0.07	0.03	0.12	0.09	0.13	0.08	0.48

また、運筆リズムをみると、この見解と一致する結果が得られた。表 6 に示すように、表 4 および表 5 で示した各画と画の間の所要時間をパラメータとして、各文字の運筆リズムのコサイン類似度を算出した。結果、形のみをなぞった表 4 の場合、練習後の運筆リズムである(c)を基準にすると、練習前である(b)との類似度 0.99 に対して、手本である(a)の類似度 0.93 と、練習後の運筆リズムは練習前と極めて近い、つまり、練習による変化が少ないという評価が得られた。また、手本の運筆リズムである(a)を基準にすると、練習前の(b)との類似度 0.92 に対して、練習後の(c)との類似度 0.93 と、いずれも一定の差があるという評価が得られた。一方、運筆リズムをなぞった表 5 の場合、練習後の運筆リズムである(c)を基準にすると、練習前である(b)との類似度 0.97 に対して、手本である(a)との類似度 0.98 であり、練習後の文字の運筆リズムが練習前よりも手本に類似しているという評価が得られた。また、手本の運筆リズムである(a)を基準にすると、練習前である(b)との類似度 0.94 に対して、練習後である(c)との類似度 0.98 と、練習後の文字の運筆リズムは練習前よりも手本に近くなったという評価が得られた。

今回は被験者が 1 名のみであったことから、個人差なども考慮する必要があるものの、文字の形状も運筆のリズムも、形状のみをなぞる通常の練習に比べて、運筆リズムをなぞる制作アプリによる練習では、練習前と後とで変化がみられた。形状については、手本に近づき上達しているという書道高段者による見解が得られた。また、運筆リズムについては、コサイン類似度による比較において、制作アプリにおける練習前の文字と練習後の文字では、練習後のほうが手本との類似性が高いことが示された。比較対象が各画とその間に要する時間のみで、各画の内部の速度までは比較しておらず、これも精査する必要はある。しかしながら、単純に形状のみをなぞった場合にはこれらの変化は得られておらず、これは練習法の違いによる有意な差といえる。

以上より、被験者を増やすなど、より詳細な実験を行う必要があるものの、制作アプリには手本となる文字の習得において一定の有効性がみられる。これは、運筆リズムを習得できているといえ、制作アプリで運筆リズムの可視化が適切に行われていることを示しているといえよう。

表 6 運筆リズムのコサイン類似度

Table 6 Cosine similarity of stroke rhythm.

表 4			表 5				
	(a)	(b)	(c)		(a)	(b)	(c)
(a)		0.92	0.93	(a)		0.94	0.98
(b)	0.92		0.99	(b)	0.94		0.97
(c)	0.93	0.99		(c)	0.98	0.97	

5. おわりに

本研究では、スマートフォンでの利用を想定した運筆リズムの可視化手法を提案し、これを応用したペン習字アプリを制作した。実験により、制作アプリでの練習の有効性を示すことで、提案手法によりスマートフォンにおいて運筆リズムが効果的に可視化できていることを確認した。

今後は、被験者を増やしたり様々な手法と比較したりするなど、提案手法の有効性を広く確認したい。また、アプリについても、1 文字だけではなく単語や文などのまとまった形で練習したり、サインのような複雑な形状のものも練習できるようにするなど、用途の幅を広げていきたい。

謝辞 中京大学情報理工学部 磯部左弥花氏、同卒業生大竹杏奈氏に感謝します。なお本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金、中京大学プロジェクト型研究教育助成による。

参考文献

- 1) セガ: 文字に関する意識調査 (2009).
- 2) アイシェア: 文字に関する意識調査 (2009).
- 3) 田中紹夫: 消費感度の高い「手書き派」が増加中, 日経消費ウォッチャー, No.44, pp.26-31 (2012).
- 4) 山下静雨: もっと「きれいな字!」が書ける本, 三笠書房 (2003).
- 5) NHK: リズムで脳を刺激せよ 卵焼き・チャーハン・ゴルフまで!, ためしてガッテン (2012).
- 6) 山添 (池下) 花恵, 科三家礼子, 河合隆史, 佐藤正, 山形仁, 山崎隆, 宮尾益知: 発達性読み書き障害児における立体視を用いた平仮名識字学習の効果, 教育工学会論文誌, Vol.32, No.4, pp.417-424, (2009).
- 7) 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科 平成 23 年度修士論文 (2012).
- 8) 山口達也, 村中徳明, 徳丸正孝: ペン習字学習支援システム ~ PDA を用いた学習効果 ~, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.110, No.334, ET2010-73, pp.41-46 (2010).
- 9) 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.117-123 (2010).
- 10) 佐久間正泰, 正守晋, 原田哲也, 平田幸広, 佐藤誠: SPIDAR による遠隔書道教示システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.99, No.363, MVE99-52, pp.27-32 (1999).
- 11) 村井保之, 巽久行, 宮川正弘: 力覚デバイスを用いた視覚障がい者運筆訓練システム, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.109, No.387, ET2009-98, pp.37-42 (2010).
- 12) 大西祥裕, 桂誠一郎: 書道動作再現のためのモーションコンピュータシステム, 平成 25 年度電気学会全国大会講演論文集, pp.301-302 (2013).
- 13) 田吹隆明, 茶位利昭, 安田利弘: 動的署名照合による個人認証システム「Cyber-SIGN」, 日本機械学会情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, Vol.2000, pp.5-8 (2000).
- 14) Sayaka Isobe, Masahiro Ura, Mamoru Endo, Masashi Yamada, Shinya Miyazaki, Takami Yasuda: A Smartphone Application for Penmanship by Visualizing Brush-Stroke Rhythm, Proc. of International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2013, SPS-19, p.796 (2013).