

利き手・非利き手の平均手書き文字における類似性の検証

佐藤大輔^{†1} 新納真次郎^{†1} 中村聡史^{†1} 鈴木正明^{†1}

概要:我々はこれまでの研究において、平均手書き文字や平均手描き図形が、そのオリジナルのものより綺麗になるということを明らかにしてきた。また、利き手平均図形と非利き手平均図形は、主観評価で類似することを明らかにしてきた。本研究では、この傾向が本当に正しいものかを検証するために、利き手と非利き手それぞれにおいて手書き文字データセットを構築し、これらの平均文字を客観的な指標で比較することにより、どれほど類似するものなのか、またどのような違いが現れるのかを明らかにする。さらに、何回分の手書き文字を平均化すると利き手と非利き手それぞれが十分に類似するかについても検証する。

キーワード: 平均文字, 手書き, ペン入力, 非利き手

1. はじめに

コンピュータの普及によって以前より手書きの機会は減っているものの、実際に指や手を動かしてペンなどで文字を書くことは脳の活性化につながるとともに、書いた漢字や語句が長期記憶として定着しやすいことが知られている。また、日本語においてはキーボードによる入力に比べ、手書き入力の方が早く記録できるうえ、記憶に残ることも明らかになっている[1]。さて、日本における手書き教育では、升目に何度も同じ文字を繰り返し練習することが一般的である。また、日本語の文字の書き順などは右利き用に最適化されていることなどもあり、利き手の矯正などを行うことも珍しくない。こうした練習は退屈なものであり、また矯正は労力のかかるものである。

手書きが重視されている一方で、そもそも手書きはどういうものであるのかといった、手書きのメカニズムは十分に明らかになっていない。先述の手書きの練習や矯正といった問題は、こうした手書きのメカニズムが明らかになっていないからこそ、十分に進んでいないと考えられる。つまり、手書きの特性を明らかにすることができると、手書き教育についても刷新できると期待される。また、我々は幼い頃からひらがなや漢字を実際に利き手で書いて学習していくが、怪我や麻痺等で利き手の使用が困難になった場合、非利き手を使わざるを得ない。非利き手では通常うまく書くことができないが、そもそも利き手と非利き手の手書きにどのような違いがあるのかについてもわかっていない。

ここで我々は、過去の研究[2]で手書き文字を平均化する手法を提案しており、その平均手書き文字は綺麗になるということを明らかにしている(図1)。この結果は、ひとの頭の中にある理想をもとに書かれたぶれを含む手書き文字は、平均化することでぶれが相殺され、理想の文字に近づ

くからだと考えられる。また、複数人の手書き文字を平均化したものは、個々の平均手書き文字よりも綺麗になるということを明らかにしている。これも、ひとがもっている理想は様々であり、それを平均化するとそのぶれが相殺されるからであると考えられる。

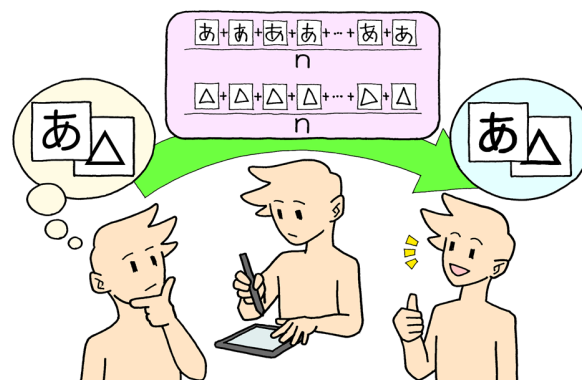


図1 手書き文字と平均手書き文字

一方で我々は、「平均手描き図形」も「平均手書き文字」同様、高く評価されることを明らかにしている[3]。またこの研究では、利き手・非利き手の違いについても分析しており、実験協力者の主観的な評価からは、利き手・非利き手で書かれた手描き図形が類似する傾向が見られた。しかし、これらの研究は主観的な評価に留まっており、定量的なものではない。

そこで本稿では、利き手および非利き手によるひらがなの手書き文字データセット(各10回)を構築し、手書き文字のストロークを数式化した際に、得られたストローク同士のユークリッド距離を算出することで、どれだけ類似しているかを定量的に評価する。また、この評価指標をもとに、どれほど利き手・非利き手の平均文字が似ているかを明らかにする。さらに、手書きを平均化する場合に、何回

^{†1} 明治大学
Meiji University.

分平均化すれば十分に類似するののかについても実験によって明らかにする。

2. 関連研究

我々は過去の研究[2][3]において、収集した手書き文字をフーリエ級数展開によって数式化し、その数式同士の平均をとることで平均文字を生成し、評価実験によりこの平均文字は綺麗になるということを明らかにしてきた。また、イラストにおいても同様の傾向があることを明らかにし、利き手と非利き手で描かれた平均図形を比較する主観的な評価実験を実施している。この実験により、利き手と非利き手の平均図形は類似する傾向が見られたが、定量的な解析は行っておらず、主観的な評価に留まっている。また、この傾向が手書き文字についても同じことが言えるかどうかは明らかになっていない。そこで、本稿では、定量的な解析を行うことで利き手と非利き手の手書き文字がどれほど類似するかを明らかにする。

手書きにおける右利きと左利きや、利き手と非利き手に着目し、それぞれの特徴や違いについて分析した研究も多く存在する。大西ら[4]は、右利き、左利きそれぞれに対して描画、書字の実験を行っており、その差について分析を行っている。実験では、ストロークの向きと回転方向の選択、ストロークの傾き（角度）、空筆部の選択（筆順）に着目し、筆圧を測定することによって書きやすさを分析し、利き手による差について明らかにしている。酒井ら[5]は、書字動作分析装置により利き手と非利き手での動作特性の違いについて○や×なども簡単な図形の描画により検証している。具体的には、所持時間や握り圧、筆圧、筆記具の傾斜角という観点から、それらの違いを明らかにしている。高島ら[6]は、加速度センサデバイスをペン後端、手首、前腕に装着し、書字行為を解析する手法を提案している。またこの提案手法により、非利き手における書字行為に、ポインティング動作における位置決めと角度調整という特徴を見出している。ポインティングとは、非利き手の書字行為において問題と思われる不連続な動きの開始点での動きのことである。我々の研究は、利き手と非利き手で書かれた文字を平均化することで得られる平均文字について、ユーグリッド距離を用いて定量的に差異を算出することで、違いについて分析を行うものである。平均文字で差異を算出しているため、利き手、非利き手によるそれぞれのぶれを軽減したうえでの比較を行うことができている。

手書きをよりよくするための練習システムについての研究もいくつか存在する。大保ら[7]は、非利き手の書字訓練を十分に行うと、利き手と非利き手の筆跡がほぼ同一になるという先行研究の結果から、利き手の自筆をお手本とした非利き手用のなぞり書き書字訓練法を提案し、その有用性を検証している。久保田ら[8]は、ユーザの手書き文字とお手本文字をユーザに気づかせることなく融合させ、綺麗

にすることで書写技能を向上させるプロトタイプシステムを実装している。このシステムにより、ユーザは書字に対するモチベーションを保ったまま、書字能力を向上させることを可能にしている。明崎ら[9]は、非利き手による書字練習実験を行い、なぞり書き練習と書字練習を比較した結果、なぞり書き練習をすることで短時間に書字正確性が向上することを明らかにしている。また辻ら[10]は、非利き手によるグリッド線を用いた書字練習方法を提案し、グリッド線の有無で比較した結果、グリッド線を用いる方は書字正確性が向上することを明らかにしている。我々は、利き手と非利き手の間における違いを平均化という観点から明らかにし、その知見によって、利き手により近いものを非利き手においても再現可能になるのではないかと期待される。

3. データセット構築

非利き手の平均文字が利き手の平均文字にどれほど類似するのかを明らかにするため、手書き文字データセットを構築する。本研究では、明治大学総合数理学部生 10 名（右利き 5 名：A～E、左利き 5 名：F～J）の手書き文字からデータを採取した。まずユーザに対して、ひらがな（ただし、濁音、半濁音を除く）46 種に関する手書き文字を書いてもらった。また、これらの文字を利き手と非利き手で、それぞれ 10 回ずつ書いてもらい、それらの文字に対して平均化を行った。なお、平均化するために文字の画数や書き順を統一して書いてもらい、万が一書き順が間違っていた場合は、我々で出力データの点列入れ替えや、ユーザに再度書き直しをしてもらった。

手書き文字の収集においては、中村ら[2]のシステムを改良して文字を書いてもらった（図 2）。このシステムでは、縦横それぞれ 600 ピクセルのウインドウが表示される。その内部に縦横 500 ピクセルの正方形の入力フィールドが表示され、左上には利き手か非利き手かの指示と、そのフィールドに記入すべき文字がランダムに表示される。また、右上には現在の文字の画数（および、何画目を書いているか）が提示される。



図 2 手書き文字データセット構築システム

手書きされた文字は、平均文字生成手法[1]を用い、ストロークごとに数式として表現する。ここでは、取得した点列データをスプライン補完することで点の数を増やし、フーリエ級数展開によって数式として表現する(図3)。複数文字に対してこの数式化を行い、それらの数式の平均を求めることによって、平均文字を生成する。

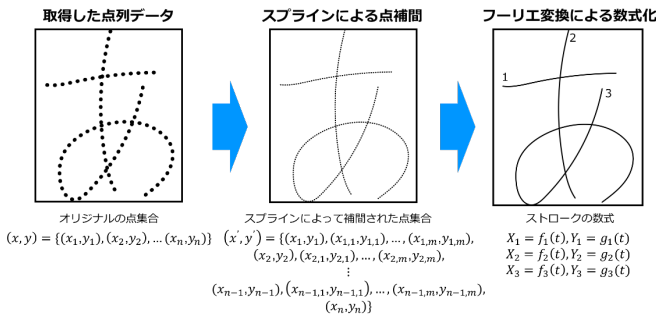


図3 手書き文字の数式化方法

ここでは、各ユーザの利き手・非利き手それぞれにおける46種の平均文字(46文字×利き手・非利き手の2種×10人=920パターン)と、全ユーザの利き手・非利き手の平均文字(46文字×利き手・非利き手の2種=92パターン)のデータセットを用意した。

入力デバイスには、Wacom製のペンタブレットを使用した。またこのシステムを動作させるため、AppleのMacBook Pro (Retina 13-inch プロセッサ 3.3GHz Inter Core i7 メモリ 16GB 2133MHz LPDDR3)を使用した。

4. 文字間の類似度の計算方法

3章で得られた利き手・非利き手の手書き文字がどれほど類似するか、またはどれほど平均化すれば十分に類似するかの解析を定量的に行なっていくため、本章では文字同士の距離を計算する簡易的な手法について説明する。

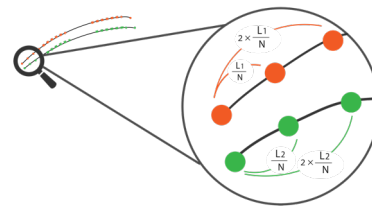
2つの手書き文字がどれだけ類似しているかを定量的に判断するために、対応する各ストロークの特徴点を求め、その特徴点のユークリッド距離を算出することで解析を行う(図4)。ここで、フーリエ級数展開されたストロークの数式が下記のように与えられるとき、

$$\begin{cases} x = f_1(t) \\ y = g_1(t) \end{cases} \quad \begin{cases} x = f_2(t) \\ y = g_2(t) \end{cases} \quad 0 \leq t \leq \pi$$

このストロークの数式は t の値によって疎密が異なるため、単純に t の値をもとに距離計算することができない。そのため、始点から終点を距離に基づいて等分割し、その対応する点同士でユークリッド距離の計算を行う。また、そのユークリッド距離の積分値を使うことによって、類似度を比較していく。

実際には、ストロークの数式から点を取得するときに、ストロークの長さ L を N 分割するような代表的な点

①各ストロークを距離で N 等分するような点を決定する



②各点間におけるユークリッド距離 d_n を算出し、単位点あたりの平均値 D を求める

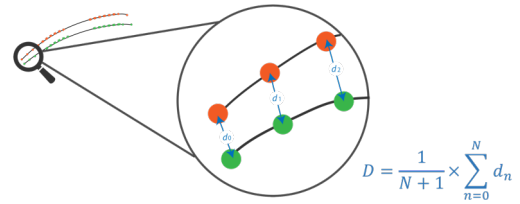


図4 手書き文字の類似度の計算方法

$P_0, P_1, P_2, \dots, P_N$ (始点と終点を含む) を、それぞれのストロークに対して求めることで比較する点の対応付けを行う。ここでストロークを N 分割するような点を求めるには、 $i = 0, 1, 2, 3, \dots, N$ としたとき、始点から $i \times (L/N)$ 離れた点を発見する必要がある。この点については、 t の値を細かく変化させていくことによって取得する。

ここで得られた2本のストロークの対応する点をもとに、対応する2点間のユークリッド距離を算出し、その総和を求める。また、この値を $N+1$ で割ることにより、2ストローク間の点の距離の平均 D を、

$$D = \frac{1}{N+1} \times \sum_{n=0}^N d_n$$

(d_n : n 番目における点間のユークリッド距離)

として表すことができる。この値が0に近ければ近いほど、手書き文字同士が類似したと判断でき、大きな値になるほど、類似していなかったと判断することができる。

本研究においては、ひらがなであれば各ストロークを100分割ほどすれば十分特徴を表現できると判断し、 $N = 100$ と設定し、類似度の計算を行った。なお、ひらがなによってストロークの数にばらつきがあるため、本解析ではストローク数で割ることで文字に対する1ストロークあたりのユークリッド距離の平均値を算出した。

この類似度の計算方法をもとに、ひらがなの「ひ」と「る」において2つの手書き文字間のユークリッド距離を算出したものを、図5に示す。

Distance of Strokes:11.666769pixel Distance of Strokes:20.989815pixel

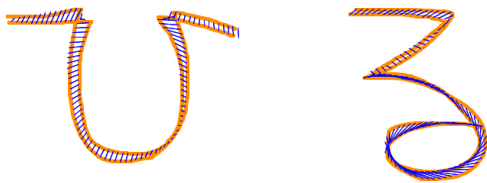


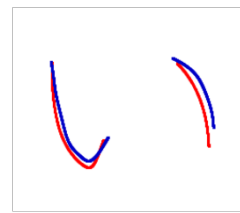
図5 手書き文字間のユークリッド距離の算出例

5. 利き手・非利き手の類似度比較

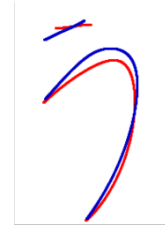
表1は各ユーザ間の利き手の平均文字と非利き手の平均文字のストローク同士のユークリッド距離を算出し、ひらがなの平均値をまとめたものである。この表において、利き手における平均文字を縦に示しており、非利き手における平均文字を横に示している。また、利き手・非利き手どちらにおいても他のユーザより類似度が高かったものを赤いセルで示している。この結果より、10人中9人において、自分自身の利き手・非利き手の平均文字のユークリッド距離が他のユーザよりも最も距離が小さいことがわかる。つまり、自分自身の利き手・非利き手の平均文字は他のユーザのものよりも類似度が高いことが明らかになった。なお、Dのみ類似度が最も高いという結果にはなっていないが、1位と大差ないものとなっている。

表2は、ユーザ間の利き手・非利き手における平均文字を比較したとき、利き手の平均文字と非利き手の平均文字が同一ユーザである割合を算出し、ひらがなごとにその一致率をまとめたものである。全てのひらがなにおいて平均71%の割合で同一ユーザと一致することがわかる。特に、「む」においては100%であることがわかる。一方で、「ち」「の」「ひ」「よ」といった文字においては、40%以下の一致率となり、一致率は低いことがわかる。

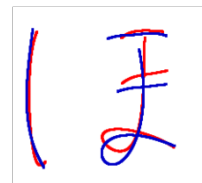
利き手と非利き手の平均文字のストローク同士のユークリッド距離を算出し、ユーザ全体のひらがなそれぞれについて、類似度が高い文字から並べたものが表3である。この結果から、文字によって類似度にばらつきがあることがわかる。特に類似度が高かったのは、「い」「う」「ほ」「り」で、類似度が低かったものは、「そ」「の」「る」「ろ」であった。図6は、各文字の最も類似度の高かったユーザの利き手と非利き手の平均文字とその文字同士のユークリッド距離を示しており、赤線が利き手の平均文字、青線が非利き手の平均文字を示している。また、図7も同様に各文字の最も類似度の低かったユーザの利き手と非利き手の平均文字とその文字同士のユークリッド距離を示している。



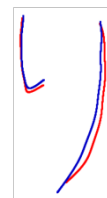
ユーザHの「い」
5.45ピクセル



ユーザHの「う」
5.92ピクセル



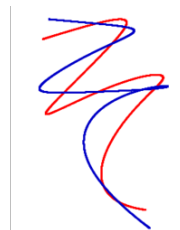
ユーザGの「ほ」
6.56ピクセル



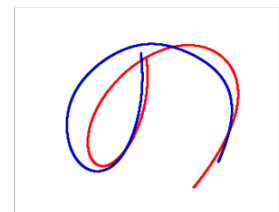
ユーザIの「り」
6.57ピクセル

図6 類似度の高かった文字

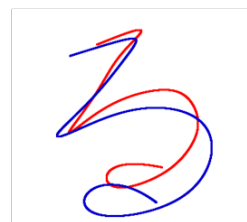
(赤：利き手平均文字，青：非利き手平均文字)



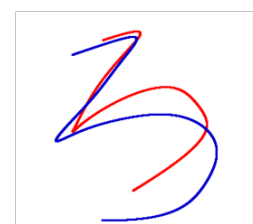
ユーザDの「そ」
31.69ピクセル



ユーザEの「の」
37.54ピクセル



ユーザBの「る」
32.79ピクセル



ユーザBの「ろ」
34.44ピクセル

図7 類似度の低かった文字

(赤：利き手平均文字，青：非利き手平均文字)

表1 ユーザ間の利き手・非利き手平均文字のユークリッド距離

非利き手平均文字

利き手平均文字		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
	A	17.10	25.45	29.23	30.49	25.65	25.81	30.84	27.26	28.98	31.39	27.22
	B	35.82	16.76	24.65	34.83	25.93	31.27	27.98	34.82	24.99	31.96	28.90
	C	36.15	22.29	15.49	29.18	26.64	27.91	32.92	39.07	23.51	27.55	28.07
	D	24.88	25.97	30.53	21.85	27.93	21.23	36.93	33.79	26.49	28.57	27.82
	E	28.84	30.22	27.85	36.62	15.37	31.74	24.41	29.54	33.24	38.27	29.61
	F	25.17	25.17	30.14	29.25	28.68	16.14	33.81	29.34	25.53	27.69	27.09
	G	33.66	31.96	31.10	42.73	27.35	37.03	11.37	27.25	35.57	40.15	31.82
	H	29.92	33.18	34.63	41.51	33.07	35.06	25.74	15.70	36.80	38.32	32.39
	I	32.42	18.46	28.01	26.99	32.44	24.93	37.54	36.36	10.77	24.27	27.22
	J	30.96	22.47	26.78	29.32	29.15	26.42	33.34	34.25	24.33	15.71	27.27
	平均	29.49	25.19	27.84	32.28	27.22	27.75	29.49	30.74	27.02	30.39	

※利き手・非利き手どちらにおいても他のユーザより類似度が高かったものを **赤いセル** で示す。

表2 各文字に対する利き手・非利き手の平均文字における一致率

あ	80%	か	80%	さ	70%	た	90%	な	80%	は	70%	ま	60%	や	80%	ら	90%	わ	90%
い	90%	き	70%	し	70%	ち	30%	に	70%	ひ	40%	み	60%	ゆ	90%	り	80%	を	90%
う	80%	く	70%	す	70%	つ	50%	ぬ	50%	ふ	90%	む	100%	よ	40%	る	70%	ん	80%
え	60%	け	50%	せ	80%	て	60%	ね	80%	へ	60%	め	80%			れ	70%		
お	90%	こ	60%	そ	60%	と	70%	の	40%	ほ	80%	も	80%			ろ	50%	平均	71%

表3 各文字のユーザ全体平均のユークリッド距離の比較

	平均	標準偏差	標準誤差	
い	10.02	3.05	0.97	↑ 高 ↓ 低
う	10.75	3.57	1.13	
ほ	11.32	3.49	1.10	
り	11.98	3.38	1.07	
た	12.05	3.27	1.03	
け	12.61	4.43	1.40	
や	12.61	2.98	0.94	
お	12.75	2.90	0.92	
に	13.23	4.92	1.56	
こ	13.43	5.21	1.65	
む	13.65	3.84	1.22	
ら	13.93	3.62	1.14	
し	13.98	4.71	1.49	
さ	14.06	3.43	1.08	
す	14.23	3.80	1.20	
ま	14.30	4.11	1.30	
と	14.38	3.65	1.15	
な	14.40	3.25	1.03	
せ	14.42	3.44	1.09	
く	14.46	3.11	0.98	
は	14.61	5.45	1.72	
ふ	14.69	5.60	1.77	
ち	14.73	3.95	1.25	
え	14.98	4.43	1.40	
を	15.11	5.39	1.71	
:	:	:	:	
よ	15.23	4.16	1.32	
き	15.35	4.59	1.45	
ゆ	15.45	2.82	0.89	
か	15.59	2.85	0.90	
あ	15.60	3.24	1.02	
へ	16.33	5.69	1.80	
わ	16.46	4.59	1.45	
も	16.75	7.74	2.45	
み	16.88	4.18	1.32	
つ	16.98	6.04	1.91	
め	17.02	4.63	1.47	
ん	17.32	6.20	1.96	
ね	17.46	4.68	1.48	
れ	17.60	4.87	1.54	
て	18.34	7.97	2.52	
ぬ	19.59	6.44	2.04	
ひ	21.97	6.39	2.02	
そ	22.62	5.93	1.87	
の	22.89	7.44	2.35	
ろ	22.97	6.35	2.01	
る	23.64	6.13	1.94	
平均	15.62			

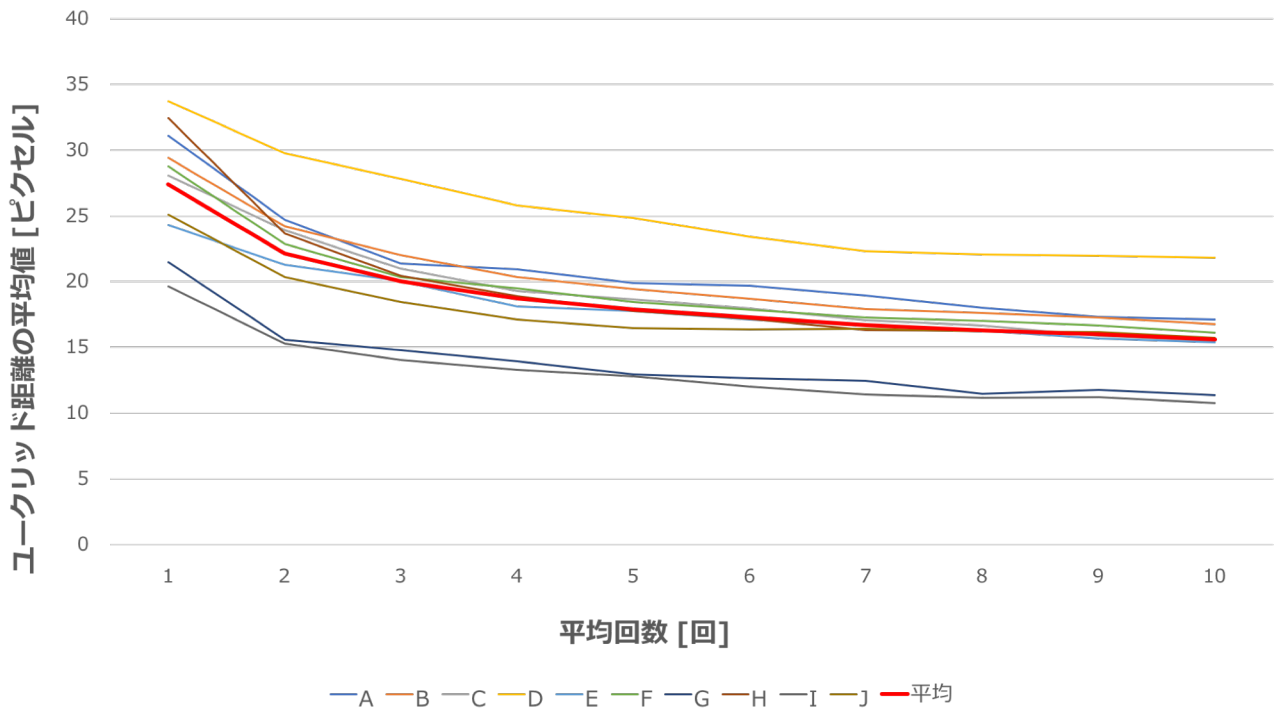


図8 平均回数に対する各ユーザのユークリッド距離の推移

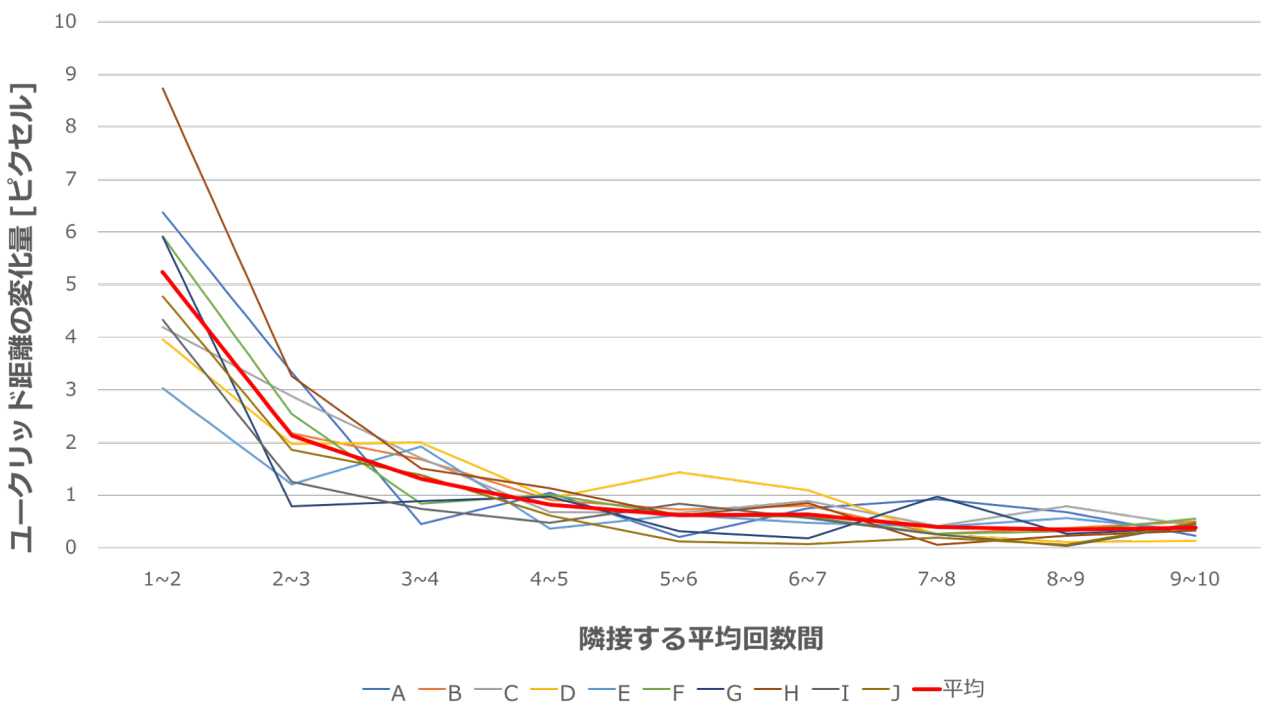


図9 隣接する平均回数間における各ユーザのユークリッド距離の変化量の推移

図8は、手書き文字の平均回数に対して、ひらがなの平均のユークリッド距離の推移をユーザごとに表したグラフである。横軸に平均回数を示し、縦軸にユークリッド距離をピクセル数で示している。ユーザによって、ユークリッド距離の値は様々であるが、どのユーザにおいても平均回

数を重ねることでユークリッド距離の値が小さくなっていることがわかる。また、図9は、ユーザごとに隣接する平均回数同士のユークリッド距離の変化量を取り、その推移を表したグラフである。横軸に比較した平均回数を示し、縦軸はユークリッド距離の変化量を示している。例えば、

横軸の「2~3」は2回平均したときと3回平均したときのユークリッド距離の変化量を表している。図9より、どのユーザにおいても平均回数を重ねるごとにユークリッド距離の変化量は減少していることがわかる。

6. 考察

今回の実験より、手書き文字においても利き手と非利き手による文字の平均化した文字は類似する傾向があることが明らかになった。

表1より、自分自身の利き手・非利き手の平均文字は他のユーザのものよりも類似度が高いことがわかる。この結果より、書字の上手さ、下手さに関係なく個人の利き手と非利き手の手書き文字には同様な個性が表れるということが考えられる。また、ユーザGとIについては特に類似度が高い結果が出ている。この結果を踏まえて、後日非利き手の書字経験と利き手の怪我の有無についてユーザ全員に調査したところ、ユーザGは幼い頃非利き手である右手への矯正をするため書字練習を行っていたと回答し、ユーザIとJは長期間、非利き手での書道経験があると回答し、その他のユーザは非利き手の書字経験がない、あるいは非利き手の書字経験期間が短いと回答した。また、利き手の怪我の有無に関しては全員が特にないと回答した。この調査から、非利き手での書字経験がある場合、利き手と非利き手の書字能力の差が小さくなることでバランスが取れ、利き手と非利き手どちらの手書き文字も安定し、類似度が高くなることが考えられる。

表2より、文字によって一致率のばらつきがあるが71%という高い割合でユーザが一致することから、ひらがなは利き手と非利き手の手書き文字のどちらにおいても同様な個性が出やすく、類似性が表れやすい傾向があると考えられる。

また、表3より、平均した利き手と非利き手の文字のユークリッド距離の全体平均という観点からみると、類似度の高い文字の特徴として縦に描画するストローク部分を多く含むということが挙げられる。また、大西ら[4]の研究において、8方向への描画の筆圧を分析しており、下方向へのストロークが最も筆圧が低く、力を入れずに書けることから、下方向へのストロークがある文字は書きやすかったということが考えられる。さらに、個々のユーザの持つ文字の書くときの個性が非利き手の平均文字にも反映されやすい文字であったことが考えられる。一方で、類似度が低かった文字の特徴として、ストロークの途中に尖った折り返しと急な曲がりがあることに加え、1ストロークが長いストロークがある文字が挙げられる。また、「そ」「る」「ろ」に関しては、我々の先行実験[2]である手書き文字の評価実験において最も評価の低かった3文字と一致していた。類似度が低くなった原因として、横の描画をするときに、右手で書くときは「引く」という動作に対して、左手で書く

ときは「押す」という動作を行うように、利き手から非利き手に持ち替えたときの動作の違いに慣れていないことが考えられる。また、急な折り返しでのストロークの位置の対応づけの問題も考えられる。「ひ」「そ」「る」「ろ」などの急な曲がりがある文字に関しては、文字のストロークの書き位置の違いと文字の大きさの違いにより大幅なずれが生じたことにより類似度が低くなったと考えられる。これらの文字に関しては、正規化処理を行い、さらにストロークを分断して、ストロークの位置の対応づけを行うことで類似度が上がると考えられる。

図8よりどのユーザも平均回数を重ねるごとにユークリッド距離が縮まりグラフの傾きが緩やかになっていることがわかる。また図9より、平均回数が少ないほど変化量は大きくなり、平均回数が多くなると変化量は小さくなっていることがわかる。つまり平均回数を増やしていくと変化量は0に収束していくと考えられる。ここで、ユーザ全員平均の変化量は4回平均と5回平均のとき1ピクセル未満となっており、ほとんど変化がないことがわかる。つまり4回程度平均することにより十分な類似性が見ることができると考えられる。

7. まとめと今後の展望

本稿では、利き手と非利き手それぞれにおいて手書き文字を平均化したときの類似性を検証するため、利き手と非利き手の平均文字同士のユークリッド距離を算出することで定量的な比較実験を行った。この実験により、自分自身が書いた利き手と非利き手の平均文字は、平均する回数を重ねるごとに類似する傾向があることを明らかにした。また、平均回数が増加していくと、やがてその変化量は収束していき、4回程度平均をすることで十分な類似性が表れることも明らかになった。さらに、文字の特徴によって利き手と非利き手の平均文字の違いが現れ、類似性に大きく影響を与えることを明らかにした。

なお、今回類似度が低かった文字の特徴として、急な曲がり存在するということがあげられる。これは、今回は単純に距離をベースに比較しているため、急な曲がりの地点で対応付けができていないからだと考えられる。そこで、今後より正確な解析を行っていくにあたり、共通して急な曲がり存在するストロークによっては、その地点でストロークを分断するといった手法が考えられる。また、この手法を確立することにより、ひらがなだけでなくカタカナや漢字といった急な折り返しが多い文字に対しても精度の高い比較を行うことが可能になると考えられる。

今回の実験結果から得た知見から、利き手を使うことが困難になった場合における、非利き手での手書きの補正システムや、非利き手での手書き練習などのリハビリテーションシステムなどへの応用を今後行っていく予定である。

謝辞 本研究の一部は JST ACCEL (グラント番号 JPMJAC1602), 明治大学重点研究 A の支援を受けたものである。また, 利き手と非利き手の手書きなど, 手書きに関する示唆に富んだコメントを頂いた上越教育大学の押木秀樹先生に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] ムハマドズルキフリー, 田野俊一, 岩田満, 橋山智訓. 日本語のメモ書き作業における手書き入力の有効性. 電子情報通信学会論文誌, 2008, p.771-783.
- [2] 中村聡史, 鈴木正明, 小松孝徳. ひらがなの平均手書き文字は綺麗. 情報処理学会論文誌, 2016, vol.57, no.12, p.2599-2609.
- [3] 新納真次郎, 中村聡史, 鈴木雅明, 小松孝徳. 平均図形も美しい. エンターテイメントコンピューティングシンポジウム 2015, 2015, p.469-478.
- [4] 大西愛, 押木秀樹. 書字等の動作における利き手の差に関する基礎的研究, 上越教育大学国語教育学会, 2015, p.34-48.
- [5] 酒井涼, 山田克範, 石田圭二, 小林康孝, 滝本真悦. 右利き者の左手書字動作分析—書字動作分析装置を使用した研究—. 福井医療科学雑誌, 2015, vol.12, p.39-42.
- [6] 高島孝太郎, 仰木裕嗣, 安村通晃. 非利き手の書字行為における運動解析に関する研究. 情報処理学会第 66 回全国大会, 2004, p.269-270.
- [7] 大保景子, 大西祐哉, 大矢哲也, 川澄正史, 小山裕徳. 非利き手のための書字訓練法の検討. 情報科学技術フォーラム講演論文集, p.677-678.
- [8] 久保田 夏美, 新納 真次郎, 中村 聡史, 鈴木 正明. Mojivator: 手書き文字の自動融合により書きたくなる練習支援システム. 第 24 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS2016) 論文集, 2016.
- [9] 明崎禎輝, 川上佳久, 平賀康嗣, 野村卓生, 佐藤厚. 非利き手の書字正確性を向上させる練習方法—なぞり書き練習の有用性—. 理学療法科学, 2009, vol. 24, no.5, p.689-692.
- [10] 辻陽子, 明崎禎輝, 出田めぐみ, 荒牧礼子. 非利き手による書字練習方法の検討: グリッド線を用いた模写練習方法の有効性. 日本職業・災害医学会会誌, 2016, p.84-87.