

ひらがなの平均手書き文字は綺麗

中村 聡史^{1,a)} 鈴木 正明¹ 小松 孝徳¹

受付日 2016年1月20日, 採録日 2016年9月6日

概要: 綺麗な文字を書くということに日本人の多くは興味を持っていると考えられる。さて、綺麗な文字とはどのような文字だろうか?本研究では、人の手書き文字をフーリエ級数展開によって数式化し、その式の平均を計算することによって、平均的な文字を生成することを可能とした。また、その平均文字を利用した実験により、実際に書いた文字よりユーザの平均的な文字が高く評価されること、ユーザの平均文字より全体としての平均文字が高く評価されることを明らかにした。さらに、ほとんどの人が自身の文字を高く評価する傾向があることも明らかにした。

キーワード: 平均文字, 手書き, 平均手書き, ひらがな, 美化

Average Handwritten Hiragana-characters are Beautiful

SATOSHI NAKAMURA^{1,a)} MASAOKI “Macky” SUZUKI¹ TAKANORI KOMATSU¹

Received: January 20, 2016, Accepted: September 6, 2016

Abstract: Almost Japanese are interested in handwriting beautiful characters. Here, what is beautiful handwritten character? In this paper, we proposed a method to generate average handwritten characters by using Fourier series expansion. Then, an experimental test showed that user’s average characters are more beautiful than user’s handwritten characters. Another test showed that average characters of users are more beautiful than each user’s average characters and that almost all users evaluate own average characters highly.

Keywords: average character, handwriting, average handwriting, hiragana, beautification

1. はじめに

日本では、手書き文字を綺麗にするための参考となる書籍が多数売られているばかりか、日本書写技能検定試験などの検定試験、美文字のためのゲームなども存在する。つまり、日本人の多くは、手書きで綺麗な文字を書くことに興味を持っていると考えられる。また、美文字に関するテレビのバラエティ番組やコーナー（テレビ朝日で放送していた『白黒ジャッジバラエティ 中居正広の怪しい噂の集まる図書館』の美文字大辞典など）もあることから綺麗な文字を書くというのは、一種のエンタテイメントであるとも考えられる。研究としても、手書きストロークの類似するものを平均化して美化する研究 [1] や、テンプレートを用意し、手書き文字に対するテンプレートの適用と楷書体生

成の仕組みを利用して文字を美しくする試み [2] など、手書きを綺麗にする試みは多数なされている。

さて、綺麗な文字とはどのようなものであろうか。日本習字学会の昇級試験などで高位の段を持っている人の書く文字は、綺麗な文字といってよいだろう。しかし、そういった文字は誰もが書けるようなものではない。また、ひとによって綺麗な文字の解釈は異なり、誰の文字を綺麗だと感じるかという点は異なってくると考えられる。日本では、多くの人が幼いころに何らかのお手本をもとに字を書く練習をしているが、手書きの字は人によって大きく異なるものであり、その違いは興味深いものである。

ここで我々は、人は頭の中に何らかの理想とする文字のイメージを持っているが、理想どおりに手が動かないために、毎回ぶれがあると考え、そのぶれはつねに同じ方向なのではなく、さまざまな方向にブレがあると考えた。つまり、ある人が何度も書いた文字の平均文字（ユーザ平均文

¹ 明治大学
Meiji University, Nakano, Tokyo 164-8525, Japan
^{a)} satoshi@snakamura.org

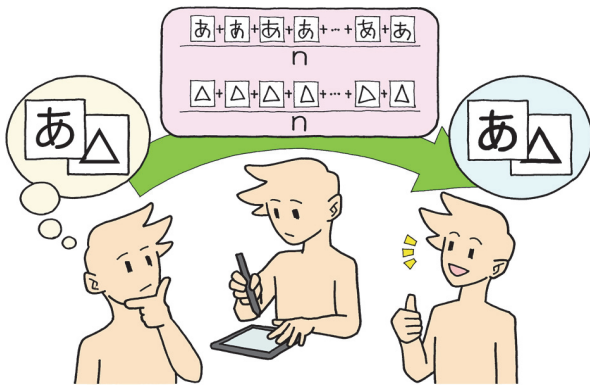


図 1 手書き文字と平均化した文字

Fig. 1 Handwritten characters and their average.

字)となる文字を生成すると、その文字はその人にとって理想とする文字なのではないかと考えられる(図1)。これは文献[1]の研究でも示唆されている平均化による文字美化の可能性である。また、これを発展させ、もともとあった理想的な文字から各人が徐々に離れていって独自の手書き文字を構築していると考えれば、多くの人が頭に思い浮かべる理想とする文字を平均化すると、その文字は多くの人がもともと持っていた理想とする文字となり、多くの人が綺麗だと思えるようになるのではないかと考えられる。さらに、人は自身の手書き文字の好き嫌いにかかわらず、つね日頃より自身の手書き文字を見ることが多いため、字が綺麗であろうがなかろうが、自身の文字はそれなりに綺麗であると評価するのではないかと考えられる。

そこで本研究では、日本語のひらがな文字を対象とし、下記の3つの仮説を検証することを目的とする。

- ユーザ平均文字は、その人が実際に書いた文字より綺麗だと評価される。
- 多くの人の全体平均文字は、そのそれぞれの人が書いたユーザ平均文字よりも綺麗だと評価される。
- どの文字を綺麗と評価するかは人によって異なり、人は自身の文字を高く評価する。

なお、1つ目の仮説については、その傾向が文献[1]において示されているが、類似パターンを発見して自動的に平均化するという高度手法をとっているために平均の本来の良さが発揮されていないと考えられる。また、筆記体の英文を対象としており、崩れた文字が多い。そこで、本稿では改めて実験を行うことによりそれを明らかにする。

上記の仮説を検証するため、平均文字を構築するための手法を提案する。次に、10人が5日間に分けて書いた文字と、そのユーザ平均文字を比較する実験を行うことによって、書いた本人がユーザ平均文字を高く評価することを示す。また、その手法を利用して10人分のユーザ平均文字と全体としての平均文字を生成し、全体の平均文字が高く評価されることを示す。さらに本実験により、人によって綺麗だと感じる文字が違い、自身の文字を高く評価すると

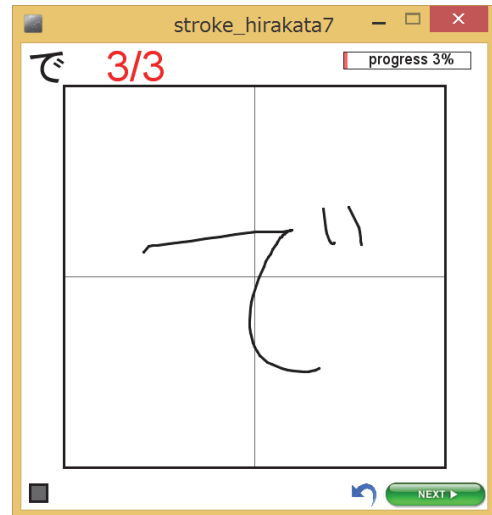


図 2 手書き文字入力システム

Fig. 2 Capturing system of handwritten characters.

いうことも示す。

2. 平均手書き文字構築手法

2.1 手書き文字の入力

本研究ではまず、ユーザに手書き文字をペン入力可能なシステムを用いて入力してもらい、入力時の点列と手書き文字における文字の1画1画を平面曲線としてとらえ、それぞれを数式として表す。また、ある文字の数式集合から、その文字の平均的な文字となる数式を算出し、平均文字として描画可能とする。

手書き文字入力を受け付けるシステムは Processing で実装され、Windows, Mac OS, Linux 上で動作する。このシステムは、ユーザがスタイラスで入力した手書き文字を点の集合として取得するものである。ユーザがこのシステムを起動すると、まずユーザ名の入力を求められ、ユーザ名が入力されると自動的にそのユーザのデータを格納するフォルダを作成する。その後、縦横それぞれ 550 ピクセルのウィンドウが表示される。その内部に縦横 450 ピクセルの正方形の入力フィールドが表示され(図2)、左肩には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、その文字の画数(および、現在何画目を書いているか)も合わせて提示される。

スタイラスを用いてこのフィールド内に文字を書くと、ペンが画面に接している間には灰色で、そしてペンが画面から離れると黒色でそのペン軌跡が表示される。これらのペン軌跡は、記録された点集合を直線でつないだものである。フィールドの外部から書き始めた場合や、フィールド外部に飛び出した場合は、その入力を取り消すようになっている。フィールド内に指定された文字を記載して next ボタンを押すと、フィールドがクリアされ、次に記入すべき文字が左肩に表示される。また、このときにデータフォルダにその文字のコードからなるファイルを作成し、1画

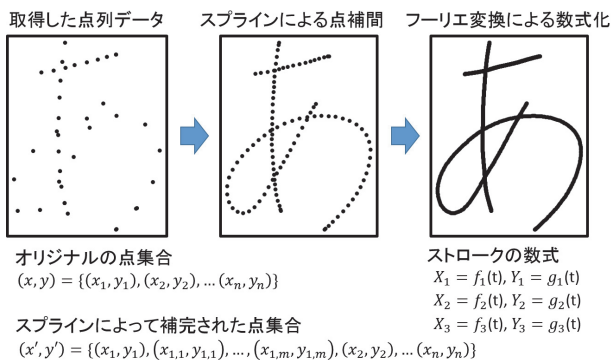


図 3 文字の数式表現の生成手法

Fig. 3 A method of generating equations of handwritten character.

ごとに X 座標, Y 座標の点列データを格納する. ここで, 点列データは X 座標の最小値と最大値の差, Y 座標の最小値と最大値の差をそれぞれ求め, 0~1,000 までの値で正規化を行う. なお, next ボタンの反時計回り型の矢印をクリックすると文字を書き直すことができ, すべての入力があったんクリアされるようになっている.

本システムでは記入すべき文字として, 濁点が付与された「か」「さ」「た」「は」行の 20 文字および半濁点が付与された「は」行の 5 文字に全ひらがな 46 文字を加えた 71 文字, さらに上記と同様の濁点と半濁点を含んだカタカナ 71 文字の合計 142 文字が提示され, その提示順はランダムになるように設定された.

2.2 フーリエ級数による文字の数式化

まず, 図 3 のように文字入力時に生成されたファイルから 1 画ごとの点の座標データを取得し, その点をできるだけ接続するように 3 次スプライン補間を行い, 間を埋める点を生成する. 次に, フーリエ級数は区分的に滑らかな関数に収束することが知られており, その補完された点からなる平面曲線である文字の数式をフーリエ級数によって求める. これにより, 平面曲線において一般的な曲線を媒介変数表示で数式化し, 数式の平均によって平均文字を生成可能とする. なお, ここでスプライン曲線をそのまま利用しない理由は, スプライン曲線は制御点間ごとに数式を取り換える必要があり平均化の計算が複雑になるためである.

数式化の手順としてまず, 各文字の 1 画 (ストローク) の手書き入力に, スプライン補間を適用した点列の座標データを終点で折り返し, そのまま同じ点を通る形で始点まで点を増加させることで閉曲線の点列を作る. ここで閉曲線にする理由は, フーリエ級数によって数式化する際に始点と終点が離れている場合は, 両端をつなごうとして両端近辺で曲線が波打ってしまうためである.

次に, この点列を通る平面曲線の媒介変数表示を,

$$\begin{cases} x = f(t) \\ y = g(t) \end{cases} \quad -\pi \leq t \leq \pi$$

としたとき, $f(t)$ は周期関数ではないが (以下では省略するが, $g(t)$ についても同様に考える),

$$f(t) = f(t + 2m\pi) \quad m \text{ は整数}$$

と定義することにより周期関数と見なすことができる. さらに, 文字の「角」も近似的に急な曲がり方をした滑らかな曲線と見なすことにより, $f(t)$ はフーリエ級数で表示可能である. すなわち,

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt)$$

と表すことができる. ここで, a_n と b_n は

$$\begin{cases} a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \cos nt \, dt \\ b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \cdot \sin nt \, dt \end{cases}$$

で求めることができる. また, 座標のデータは離散であるが, 上記の式は座標データが等間隔に並んでいるとすると, a_n と b_n を求める積分を和で近似することができる. この手法によって, 媒介変数表示された平面曲線としての各画の数式を得ることができる.

ただし, 無限級数のままでは実際にその数式を扱うことができないため, 有限項まで打ち切ったフーリエ級数を用いる必要がある. 何次まででフーリエ級数を打ち切るかについては, 得られた式を画像として出力した際に, 十分収束していると思わせる次数までとする. 具体的には, n 次まででフーリエ級数で得られた文字の画像と $n+1$ 次までのフーリエ級数で得られた文字の画像の各点の差が平均 2 ピクセル以下の差しかないとき, その n 次までの有限フーリエ級数を用いることにする.

2.3 平均文字画像生成

ここで, フーリエ級数によって数式化された, N 回書いたある文字の i 画目のストロークは

$$(x, y) = (f_{i,1}(t), g_{i,1}(t)), (f_{i,2}(t), g_{i,2}(t)), \dots, (f_{i,N}(t), g_{i,N}(t)))$$

のように t の式で表される. この, N 回分のストロークの数式を下記の式で平均化する.

$$\begin{cases} x = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N f_{i,k}(t) \\ y = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N g_{i,k}(t) \end{cases} \quad 0 \leq t \leq \pi$$

この計算により, N 回分の平均ストロークの数式を得ることができる. そして平均ストロークは, この数式の値を t の値が 0 から π まで変化させて点をプロットすることにより描画することができる (描画において t の値が 0 から

π までとなっているのは、フーリエ級数によって数式化する前に閉曲線となるよう折り返しているためである。

さらに、この平均ストロークを組み合わせることで、平均文字を導出することができるので、すべてのストロークについて t の値が 0 から π までの点を画面上にプロットしたものを平均文字画像として生成し、PNG フォーマットで保存する。

フーリエ級数による数式表現および、平均文字生成のための平均の計算および画像化においては、*Wolfram Mathematica* を用いた。

3. データセット構築

データセット構築のための入力システムとしては、2.1 節で説明した文字入力システムを Microsoft Surface Pro 上で動作させ、付属のペンを利用して入力してもらうこととした。データセット構築には著者 3 人を含む 10 人（男性：6 人，女性 4 人：19 歳～50 歳）がボランティアとして参加した。データセット構築者には、まずシステムを渡し、慣れるまで入力および操作してもらった。

次に、データセット構築者には、1 日 1 度、濁点、半濁点を含んだ全ひらがな 71 文字および濁点、半濁点を含んだ全カタカナ 71 文字の計 142 文字を入力するように依頼した。これらの文字入力においては、next ボタンを押すまでは何度でも文字を書き直してもよいこととした。なお、これら 142 文字の入力作業に要する時間は約 15 分程度であった。また、入力作業をデータセット構築者にとって都合の良い 5 日間にわたって行うよう依頼した。これらの入力作業は平成 24 年 5 月 8 日から 5 月 28 日にわたる 21 日間で行われた。なお著者を除くデータセット構築者には参加への謝礼として 500 円程度の粗品が進呈された。

10 人分 5 回の手書き文字データのうち、本研究では濁点および半濁点が付与された文字以外のひらがな 46 文字を抽出し、2.2 節の手法を利用することによって各データセット構築者、各文字、各入力日の文字をフーリエ級数によって数式表現を行った（これにより、2,300 パターンの数式を得た）。また、フーリエ級数による数式表現から、データセット構築者の各文字の平均値を数式として求め、その 5 日分の文字に関する数式と、平均の数式（ユーザ平均文字の数式）をもとにデータセット構築者の各文字とユーザ平均文字を横幅 360 ピクセル、縦幅 360 ピクセルの PNG 画像として生成した。さらに、その 10 人分のユーザ平均文字を数式化したものを利用して平均となる数式（全体平均文字の数式）を計算し、全体平均文字画像を上記と同じサイズで生成した。

上記手続きによって、10 人のデータセット構築者の 5 日分の手書き文字画像と、10 人分のユーザ平均文字画像、さらに 10 人の平均である全体平均文字画像を作ることができる。実験では、この日々の手書き文字画像、ユーザ平均

文字画像、全体の平均文字画像を利用して行う。結果的に構築された画像データセットは、46（文字）× 5（日間）× 10（人）の 2,300 パターンの日々の文字画像と、46（文字）× 10（平均文字）の 460 パターンのユーザ平均文字画像、46 パターンの全体平均文字画像からなる。

なお、データセット構築過程において、文字を書く順序や書く方向が異なるデータセット構築者がいたため、その際は点列データの順番を差し替えたり、数式を逆転させたりすることによって補正を行った。

4. ユーザ平均文字と日々の文字との比較実験

4.1 実験内容と手続き

ユーザが実際に書く文字の筆跡は、ユーザの理想からは多少のぶれがあるものであり、その筆跡の平均をとったユーザ平均文字は、実際に書いた文字より綺麗だと評価されるのではという仮説を検証するため、実験用システムを構築した（図 4）。

実験用のシステムでは、ユーザ自身が実際に書いた文字と、実際に書いたわけではないユーザ平均文字とを比較してもらう。比較では、データセット構築者の書いた 5 日分の手書き文字画像と、その 5 日分のユーザ平均文字画像の合計 6 枚をランダムに提示し、提示された画像集合に対して綺麗だと思う順番に 1～3 位までの順位をウェブシステムで付与するよう依頼した。なお、本実験においては、こういったものを綺麗と考えるのかという明確な教示は行わず、各々の判断に任せた。本実験においては、「綺麗」1～3 位までの順位を付与すると、「次の評価」というボタンがクリック可能となり、次の文字の評価を行うことができるようになる。ここで、文字の出る順番はランダムとなっている。

実験では、データセット構築者である 10 人に依頼し、データセット構築者自身が書いた手書き文字と、ユーザ平均文字がどれかを隠した状態で比較してもらった。実験



図 4 5 日間の手書き文字とユーザ平均文字の比較をする実験システム

Fig. 4 Examination system for comparing five-days' handwritten characters with the user's average character.

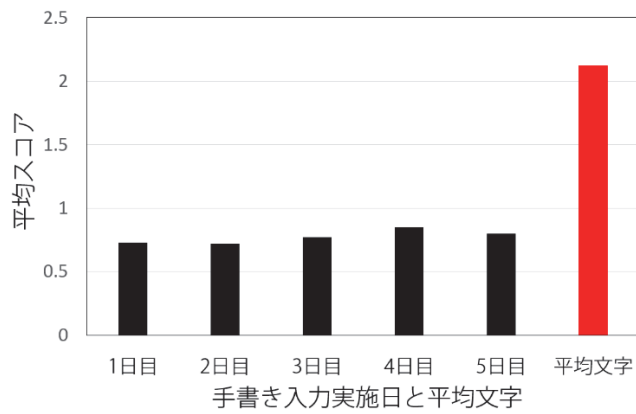


図 5 5 日間の手書き文字とユーザ平均文字の比較結果

Fig. 5 Experimental results of comparing user's average characters with five-days' handwritten characters.

表 1 5 日間の平均文字とユーザ平均文字の比較結果

Table 1 Experimental results of comparing user's average characters with five-days' handwritten characters.

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	平均文字
平均	0.74	0.73	0.78	0.84	0.80	2.11
標準偏差	0.26	0.13	0.20	0.15	0.18	0.46
標準誤差	0.08	0.04	0.06	0.05	0.06	0.14

後, 1 位と評価された文字に 3 点, 2 位と評価された文字に 2 点, 3 位と評価された文字に 1 点を付与するようにした。

4.2 実験結果

実験結果は図 5 および表 1 のとおりである。図の横軸にはその対象とする文字を書いた日の文字の評価が左から順に並んでおり, 最後にユーザ平均文字の評価が提示されている。縦軸はその文字に対して付与された評価点の平均を示している。合計の評価点は 1 文字あたり 6 点となるため, 評価点の期待値は 1 点である。表 1 は, そのそれぞれについて人ごとに計算し, 標準偏差と標準誤差を求めたものである。

図 5 より, 1~5 日目の文字については 0.7~0.9 の値と期待値以下になっているにもかかわらず, ユーザ平均文字だけ 2 以上という突出した値になっていることが分かる。また, いずれのデータセット構築者による評価も, 平均文字が最も高い評価となっていた。

この実験の結果より, 実際にユーザが書いた 5 日間の手書き文字より, 実際には存在しないユーザの手書き文字の平均が高く評価されていたということが分かる。

ここで綺麗であると評価された文字は必ずしも理想の文字そのままではないとは考えられる。しかし, 少なくとも本人が綺麗だと思う文字は, その比較対象となった文字に比べ理想とする文字に近いものであったため綺麗であると評価されたと考えられる。つまり, 各ユーザがいろいろな日に記入した文字の平均文字を生成すると, それはそのユーザの目標とする理想の文字に近づいていくと期待される。

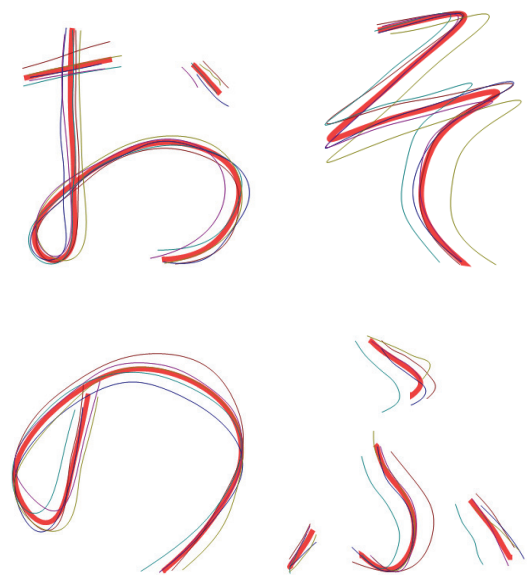


図 6 5 日分の手書き文字と平均文字をミックスした例

Fig. 6 Examples of mixing five-days' handwritten characters and the average.

最もユーザ平均文字を高く評価していたデータセット構築者の日々の筆跡と, ユーザ平均文字を組み合わせて画像化したものが図 6 である。日々の筆跡は細い線で, ユーザ平均文字は太い赤線で描画されている。この結果からも明らかのように, 日々の筆跡にはブレがあるものの, 平均的な文字はその中心的な位置に配置されていることが分かる。

以上のことより, 文献 [1] で示唆されていた平均することによって美化されるという結果をひらがなの手書き文字においても確かめることができた。また, ユーザの実際に書くひらがなの筆跡は, 毎回ぶれがあるものであること, そして, その筆跡の平均をとったユーザ平均文字は, 実際に書いた文字より綺麗だと評価されるのではないかという仮説が正しいということを示した。

5. ユーザ平均文字と全体平均文字の比較実験

5.1 実験内容と手続き

多くの人の筆跡を平均化した文字 (全体平均文字) は, そのそれぞれの人にとって理想に近いユーザ自身の平均文字 (ユーザ平均文字) よりも綺麗だと評価されるのではないかという仮説を検証するとともに, どの文字を綺麗と判断するかは人によって異なり, 人は自身の文字を綺麗であると評価する傾向があるという仮説を検証するため, 実験用のシステムを構築した (図 7)。

評価実験のシステムでは, ある文字について 10 人の 5 日間にわたる試行で構築された 10 人分のユーザ平均文字画像と, 10 人全員の全体平均文字画像の合計 11 パターンの平均文字画像を同時に提示 (提示する順序は毎回ランダムに変更) し, 評価者が綺麗だと思う順番に 1 位から 3 位までの順位を付与可能とするウェブシステムとなっている。

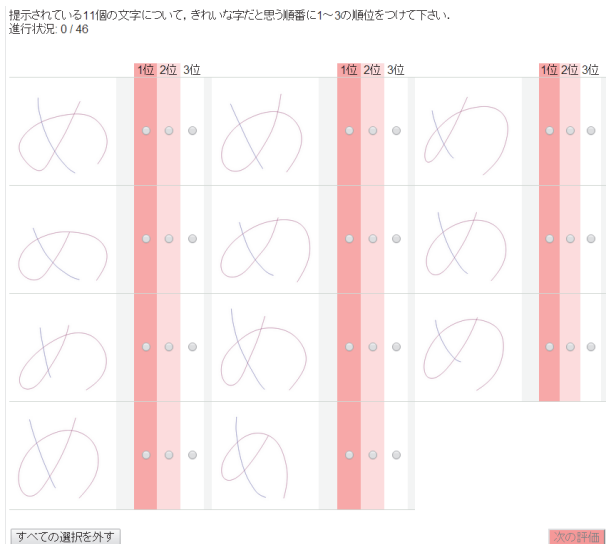


図 7 10 人のそれぞれのユーザ平均文字と、全体平均文字を比較する実験システム

Fig. 7 Examination system for comparing ten users' average handwritten characters with the average character.

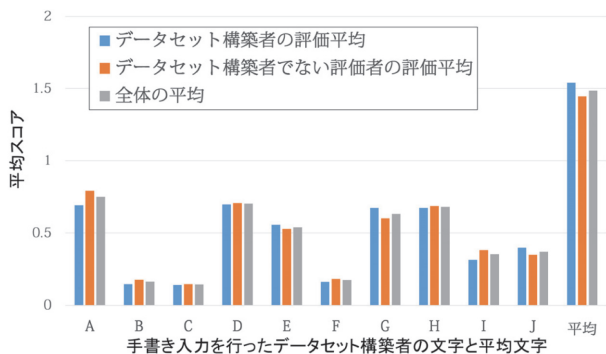


図 8 10 人のユーザ平均文字と、全体平均文字との比較実験の結果
Fig. 8 Experimental results to compare the average characters with ten-users' average characters.

なお、誰がどの文字を書いたのかということは隠して提示した。実験システムでは、1~3 位までの順位をつけると、「次の評価」というボタンを押すことが可能となり、「次の評価」のボタンを押すと次の文字の評価へと遷移する。なお、評価対象となる文字は任意の順番で提示することとした。こちらの実験においても、ユーザにどういったものを綺麗と考えるかという説明は行わず、各自の判断に任せた。

手書き入力を行った 10 人の評価者 (=データセット構築者, A~J とする) と、手書き入力を行っていない 14 人の評価者の合計 24 人 (男性 14 人, 女性 10 人: 18 歳~50 歳) に、図 7 のシステムを用いてひらがな 46 文字分の評価を行ってもらった。

5.2 実験結果

評価実験の結果は図 8 のとおりである。グラフの横軸は手書き入力を行った 10 人のそれぞれのユーザ平均文字と、

全体平均文字が並んでいる。縦軸は、評価者の 1 位評価を 3 点, 2 位評価を 2 点, 3 位評価を 1 点としたときの評価平均を示している。さらに、グラフの 3 つの縦棒はそれぞれ左から順にデータセット構築者による評価の平均, データセット構築者でない評価者の評価平均, 全体の平均となっている。1 文字あたりの評価点合計は 6 点となるため、評価平均の期待値は 0.545 である。

実験結果より、データセット構築者とデータセット構築者でない評価者との間に、評価の差がほとんどないことが分かる。また、いずれの評価者のグループであっても A, D, E, G, H によるユーザ平均文字が高く評価され, B, C, F によるユーザ平均文字が低く評価されていることが分かる。さらに、全体平均文字が最も高く評価されており、その評価値は 10 人の中で最も高く評価されているデータセット構築者 A のユーザ平均文字の 2 倍近い値となっていることが分かる。

以上のことから、ある程度字が綺麗だと評価されている A, D, G, H の理想とするユーザ平均文字に比べ、字が綺麗なデータセット構築者、字があまり綺麗とはいえないデータセット構築者を融合した全体平均文字の方が高く評価されることが分かった。つまり、多くの人の筆跡を平均化した文字 (全体平均文字) は、そのそれぞれの人が綺麗であると評価するユーザ自身の平均文字 (ユーザ平均文字) よりも綺麗だと評価されるのではないかという仮説が正しいということを明らかにした。

次に、手書き入力を行った評価者 (データセット構築者) が、誰の平均文字に対して高く評価したかを示しているのが表 2 である。この表において、横にデータセット構築者である A から J までのユーザ平均文字と全体平均文字が順に並んでおり、縦にそのそれぞれの平均文字に対して A~J がどのようなスコアを付けたのかを示している。また、表の下部の下から 2 行目はそのユーザ平均文字および全体平均文字に対する平均スコアであり、最も下の行はそのユーザ平均文字に対するデータセット構築者自身を除いた評価の平均スコアである (例: A の文字の平均*は, A を除く B~J が評価したスコアの平均)。

表中の太字はそのデータセット構築者の手書き文字に対して最も高い評価をしている評価者のスコア, 赤色の背景になっているのは、10 人の評価者の平均の 2 倍以上のものである。また、青色の背景は、全体平均文字が 1 位評価となっていない結果を示している。

この結果より、10 人中 9 人の評価者 (A~H と J) は、どのユーザ平均文字が誰のものであるのかということを明らかにされていないにもかかわらず、自身のユーザ平均文字を最も高く評価しており、その評価値は他者による評価平均の 2 倍以上であることが分かる。また、D, E, H, J のユーザは、全体平均文字よりも自身のユーザ平均文字を高く評価している。このことより、どの文字を綺麗と判断す

表 2 実験結果. 誰が誰を高く評価したか?

Table 2 Experimental results. Who did put a high value to whom?

手書き文字のデータセット構築者

	Aの文字	Bの文字	Cの文字	Dの文字	Eの文字	Fの文字	Gの文字	Hの文字	Iの文字	Jの文字	平均文字
A	1.413	0.130	0.087	0.500	0.283	0.065	1.000	0.413	0.130	0.065	1.913
B	0.587	0.609	0.196	0.391	0.543	0.109	0.413	0.522	0.587	0.065	1.978
C	0.587	0.196	0.500	0.304	0.522	0.130	0.826	0.587	0.348	0.326	1.674
D	0.826	0.130	0.000	2.043	0.500	0.152	0.587	0.239	0.065	0.348	1.109
E	0.391	0.130	0.196	0.696	1.326	0.109	0.348	0.522	0.500	0.522	1.261
F	0.283	0.022	0.043	0.478	0.696	0.543	0.543	1.217	0.391	0.239	1.543
G	0.870	0.043	0.087	0.283	0.283	0.043	1.370	0.283	0.283	0.152	2.304
H	0.717	0.043	0.065	0.761	0.522	0.174	0.261	1.826	0.152	0.283	1.196
I	0.848	0.109	0.174	0.630	0.413	0.174	0.870	0.652	0.522	0.478	1.130
J	0.413	0.043	0.065	0.891	0.478	0.109	0.522	0.478	0.174	1.522	1.304
平均	0.694	0.146	0.141	0.698	0.557	0.161	0.674	0.674	0.315	0.400	1.541
平均*	0.614	0.094	0.101	0.548	0.471	0.118	0.597	0.546	0.292	0.275	

評価者

るかは人によって異なるという仮説が正しいことを明らかにした。また、多くの方は自身の文字が好みであるという仮説も明らかになった。

ここで興味深いのは、多くの人が低い評価をつけていた B, C, F については、事前調査で手書き文字が綺麗ではないという自覚があり、自身の文字をあまり好きではないと回答していたことである。しかし、実際には B, C, F の文字を最も高く評価しているのは B, C, F 自身であり (平均の 3 倍以上)、手書き文字のうまさにかかわらず、自身の手書き文字を高く評価するのは自分自身であることが分かる。

ひらがなの手書き文字について平均化した場合に評価が高くなる文字と、平均化した結果評価が低くなる文字の違いを分析するため、「あ」から「ん」までのユーザ平均文字と全体平均文字の評価の平均を示したのが表 3 である。表中のピンク色背景のものは最も高く評価された平均文字とそのスコアを示している。

この結果より、ほとんどの文字において全体平均文字が最も高く評価されていることが分かる。実際に、図 9 に示すように、さまざまな手書き文字の「お」がある中で、全体平均文字の「お」は最も整っており、綺麗であると見なす傾向が高いように思われる。特に評価が高かったのは、「め」「ぬ」「き」(図 10, 図中の赤い太線が全体平均文字, 細い線がそれぞれのユーザ平均文字) で、評価が低かったものは「そ」「る」「ろ」(図 11, 図中の赤い太線が全体平均文字, 細い線がそれぞれのユーザ平均文字) であった。特に、「そ」「る」「ろ」の評価の低さは顕著であった。「そ」「る」「ろ」について高く評価されていたユーザ平均文字は図 12 のとおりである。

図 11 と図 12 を比較すると、折り返しの部分の尖る部分に大きな違いがあると考えられる。「そ」の場合は 3 つ、「る」と「ろ」については 2 つの尖った折り返しがあるが、このそれぞれについて全体平均文字は柔らかく折り返しており、高評価だったユーザ平均文字は鋭角に折り返してい

表 3 各文字に対する評価

Table 3 Evaluations to each character.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
あ	0.583	0.125	0	1.625	0.083	0.167	1.125	0.042	0.292	0.208	1.75
い	0.375	0	0.25	1.833	0.625	0.25	0.625	0.083	0.083	0.25	1.625
う	1.208	0	0	0.667	0.25	0.667	0.5	0.333	0.208	0.208	1.958
え	1.292	0.125	0	0.75	0.167	0.125	0.583	0.375	0.958	0.25	1.375
お	1	0	0	0.333	0.208	0.042	0	1.5	0.292	0.708	1.667
か	0.417	0	0	1.375	1.25	0	0.542	0.167	0	0.5	1.75
き	0.583	0.333	0.042	0.333	0.5	0	0.708	0.667	0.083	0.625	2.125
く	0.5	0.333	0.792	0.458	0.792	0.708	0.375	0.25	0.792	0.042	0.958
け	0.25	0.083	0.583	0.25	0.375	0	1.5	0.25	0.417	0.708	1.583
こ	0.333	0.542	0.292	0.5	0.75	0.042	1.125	0.333	0.25	0.167	1.667
さ	0.833	0.167	0	0.333	0.292	0	0.375	1.375	0.125	0.5	2
し	0.042	1.375	0.292	0.708	0.75	0.833	0.125	0.333	0.167	0.167	1.208
す	0.833	0	0.042	1.333	0.292	0	0.5	0.042	1.083	0.333	1.542
せ	0	0.042	0.333	2.083	0.208	0	0.5	0.458	0	0.833	1.542
そ	0.958	0	0.042	0.708	0.583	0	0.958	2.125	0.083	0.292	0.25
た	1.417	0	0	0.25	0.958	0	0.625	1	0	0.125	1.625
ち	1.167	0	0.333	0.25	0.375	0.125	0.875	0.5	0.167	0.125	2.083
つ	0.333	0	0.375	0.083	0.5	1.542	1.375	0	0	0.75	1.042
て	1	0.125	0	0.958	0.208	0	0.375	1.458	0.375	0	1.5
と	0.583	0	0.25	0.208	1.375	0.042	0.5	1.083	0.375	0.083	1.5
な	0.542	0.167	0	0.333	1	0.708	1.042	0.417	0	0.25	1.542
に	0.667	0.208	0.375	0.667	0.333	0	0.5	1.458	0.375	0.25	1.167
ぬ	0.708	0.458	0.333	0.208	0.125	0	1.042	0.167	0.208	0.542	2.208
ね	0.417	0.625	0.125	0.458	0.208	0.208	0.125	0.708	0.667	0.583	1.875
の	0.458	0.375	0	0.167	0.583	0.042	1.042	1.208	0.292	0.5	1.583
は	1.75	0.042	0	1.417	0.167	0	0.625	0.167	0.208	0.208	1.417
ひ	0.75	0.125	0.083	0	0.833	0.542	0.375	1.083	0	0.542	1.667
ふ	1.625	0.083	0	0.458	0.208	0.75	0.333	0.625	0	0.167	1.75
へ	1.875	0.292	0.25	0.167	0.125	0.208	0	1.292	0.125	0.542	1.125
ほ	0.667	0.125	0.083	1.25	0.333	0	0.667	0.708	0.042	0.417	1.708
ま	1.208	0.042	0.083	0.125	1.625	0.083	0.417	1.25	0	0.125	1.042
み	0.25	0	0	1.042	0.208	0.167	0.875	0.542	0.625	0.417	1.875
む	0.917	0.125	0.083	1.833	0.667	0	0.208	0.125	0.25	0.958	0.833
め	0.75	0.167	0	0.667	0.125	0	0.667	0.125	0.833	0.208	2.458
も	0.25	0	0	0.542	0.875	0	0.5	0.667	0.708	0.583	1.875
や	0.583	0	0.125	0.75	0.583	0.083	0.292	0.125	1.333	0.417	1.708
ゆ	0.125	0.208	0.25	0.083	0.208	0.125	0.542	2.042	0.417	0.208	1.792
よ	1.708	0	0	0.708	1.25	0.042	0.667	0.583	0	0.125	0.917
ら	0.083	0.208	0.125	1.208	0.333	0.042	1.625	0.167	0.417	0.125	1.667
り	0.708	0	0.125	0.833	0.625	0	0.708	0.125	0.833	0.708	1.333
る	0.792	0	0	0.875	1.333	0	0.625	1.208	0.333	0.625	0.208
れ	0.292	0.5	0.333	0.5	0.208	0	0.583	1.333	0.583	0.208	1.458
ろ	1.208	0	0	1.25	0.625	0	0.083	1.75	1	0.083	0
わ	0.125	0.542	0.125	0.833	0.5	0.167	0.917	0.667	0.208	0.333	1.583
を	1.542	0	0.375	0.083	1.208	0.125	0.125	0.25	0.292	0.542	1.458
ん	0.833	0	0.125	0.833	0	0.167	0.167	1.167	0.833	0.542	1.333

る。つまり、この部分が評価を下げたのではないかと考えられる。

今回扱った文字は、ひらがなばかりである。小松らは、ひらがなは丸みを帯びている文字であるとその曲率を計算

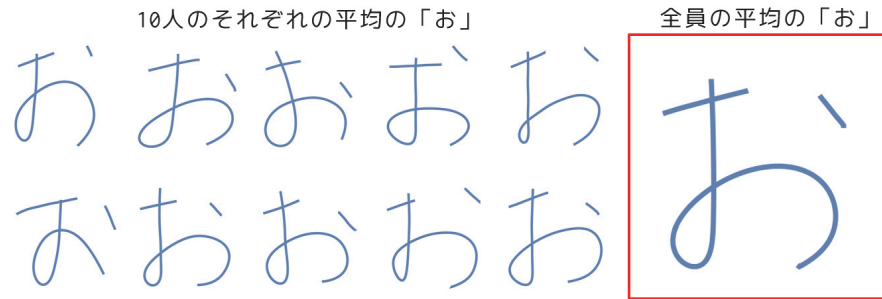


図 9 10 人の書いた「お」と全体の平均としての「お」

Fig. 9 Users' average characters of "O" by ten subjects and the average of them.

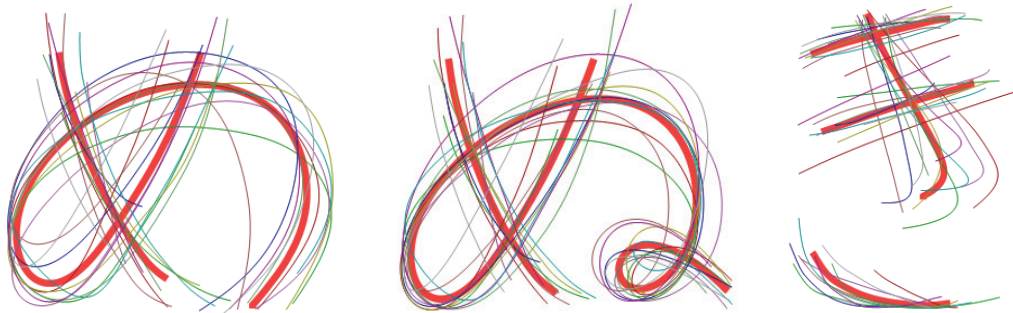


図 10 評価の高かった3つの全体平均文字

Fig. 10 Average characters that received high evaluation.



図 11 評価の低かった3つの全体平均文字

Fig. 11 Average characters that received low evaluation.



図 12 「そ」「る」「ろ」について評価が高かった3つのユーザ平均文字

Fig. 12 Users' average character "So," "Ru" and "Ro" that received high evaluation.

することで明らかにしている [3]. 「そ」「る」「ろ」の結果から考えると、滑らかで丸みのあるひらがなにおいては平均文字が美しく、折り返しが多いカタカナや漢字などにつ

いては平均文字が美しくないという可能性も考えられる。今後は、カタカナについても比較実験を行うことによって、平均文字の可能性について取り組んでいく予定である。

平均手書き文字の応用である、平均手描き図形に関する研究 [11] でも手書き平均文字に類似した傾向が示されており、個々の描画より平均化された描画の方が、個人の平均より複数人の平均の方が綺麗であると評価されることが分かっている。しかし、平均手書き文字の方がより自身の文字に対する評価を高くしており、これはふだん見慣れているかどうかの差が大きく影響していると考えられる。この書き慣れている度合いに着目した研究も今後やっていきたいと考えている。なお、この研究では利き手、非利き手も類似する傾向を明らかにしている。本研究でも、こうした利き手の平均文字と非利き手の平均文字の差についても調査を行っていく予定である。

6. 関連研究

これまでも手書き文字を美しくする（綺麗に整える）研究は多数なされている。まず、Vinciarelliらは、筆記体の手書き文字にある文字自体の傾きや単語の下部の傾きなどを排除するための正規化手法を提案し、その有効性を示している [4]。また、Xiaらは手書き文字にお手本となるテンプレートを適用することによって、手書き文字をお手本に近づけつつ、楷書体生成手法を使うことにより、整った手書き風の楷書体を生成する手法を実現している [2]。ただ、こうした手法では文字の平均化などについては注目されていなかった。

一方、Zitnickは、曲率を利用してこれまでに書いたストロークとの一致度を計算し、その一致度が高いものを集めて平均化することにより、手書きを美化する手法を提案している [1]。本提案手法は、フーリエ級数展開により手書き文字を数式化し、平均化するという点で、手法は違うものの類似した研究であるといえる。しかし、Zitnickの手法は、同一人物の同一文字の手書きストロークは、曲率が類似するというを前提としており、曲率が異なる他者の手書き文字の平均化には向いていない。また、この研究では平均化によって個々の文字は美化されるのかといったことに対する実験は十分ではなく、複数人の文字の平均化や平均文字の特性については明らかにしていなかった。

ユーザの文字を平均化することで新しいフォントを作り上げるプロジェクトとして、BICのUniversal Type Face [5]が2014年に始まった。このプロジェクトは内部の手法が明らかにされていないためその詳細は不明であるが、いろいろな画数を許容し、変な入力順序のものも許容していることから、イレギュラーな入力は排除しているか、骨格となる文字を用意しておきその骨格と入力された文字の平均をとることで動かすものであると考えられる。我々は、平均文字をフーリエ級数による数式表現を可能とし、実験によりその文字が美しいということをお手本、さらに全体として明らかにしたものである。

手描きの平均化については、Limpaecherらが取り組ん

でいるクラウドソーシングを活用したドローイングシステムがある [6]。このシステムでは、画像に対するなぞり書きタスクにおいて、これまでに他者がなぞり書きしたものを有効活用し、手描きストロークをより良いものにするというものである。こうした事例からも、我々の平均手書き文字の図形や絵の描画への応用可能性が考えられる。

本稿では、文字を平面曲線ととらえたうえで、文字のそれぞれの画をフーリエ級数によって数式化し、平均文字を求める手法を提案したものである。このアプローチに関連した研究としてまずは、オンライン手書き文字の認識に関する研究があげられる。これらの研究では、文字を構成する筆点列から何らかの特微量の抽出を行い、それを辞書データと対応付けることで文字の識別を行うものである [7]。その特徴点の抽出の際には、Ramerの方法 [8]が多く用いられている。この方法以外にも、複素フーリエ変換 [9]、フーリエ記述子 [10]を用いた方法も提案されている。本手法は、こうした認識技術で集められていた手書き文字を可視化し、平均化することでどのようなことが見えてくるかを明らかにしたものである。

7. まとめ

本研究では、手書き文字の平均は綺麗であるという仮説を検証するため、複数の実験を行った。

まずユーザが実際に書いた文字より、ユーザが実際に書いた文字ではないユーザ平均文字の方がそのユーザに高く評価されることを明らかにした。次に、各ユーザの平均文字よりも、文字が綺麗なユーザ、文字があまり綺麗とはいえないユーザの文字を融合した全体の平均文字の方が高く評価されることも明らかにした。さらに、人によって高く評価する文字は大きく異なり、自身の文字を高く評価する傾向が高いということを明らかにした。

また、学校教育の分野においては手書き文字に関して、さまざまな問題や疑問が呈されているものの、これらに対して直観的な議論が行われるのみであった。よって、本研究で提案する、手書き文字の数式化およびそれらに対して算術を施すという枠組み（本稿では文字の平均化）は、これら既存研究で示されている問題に対して、客観的な解決方法を提案できるという工学的な貢献があるといえる。

はじめにでも述べたとおり、綺麗な文字を書くということに興味を持っている日本人は多いと考えられ、バラエティ番組などで取り上げられていることなどから綺麗な文字というのはエンタテインメントの一要素であるといえる。また、自分の手書き文字はどういうものであるのかということを知ることができるという体験は面白いものである。さらに、多くの人が書く平均的な文字が、綺麗であると評価されるということは面白い事実である。ただ、今回行った研究では、10人の平均であり、日本国民の平均文字を生成したわけではない。こうした平均化の可能性について

は、性差や年齢差などを考慮した平均文字を明らかにしていくとともに、今後取り組んでいきたいテーマである。

今後は、ひらがなだけでなくカタカナや、漢字などに応用して評価を行っていく予定である。また、他言語についても実験を行うことによって、どのような言語では平均文字が綺麗で、どのような言語では平均文字が綺麗でないのかなどについても明らかにしていく予定である。さらに、手書き文字、手描き図形にも応用し、その可能性について探る予定である。

今回のデータセット構築では Windows Surface を用いたため、ややペンが滑りやすかった字を書くことができていないこともあった。綺麗に書くことができなかった場合は、矢印型のボタンを押すことで入力をやり直すことが可能となっていたが、それでも満足がいく文字が書けたとは限らない。今後は、本人にとってより良い文字を書くことができるようにするため、書き心地が良いペンタブレットを利用して入力システムの再実装を行うとともに、さらなる実験を行う予定である。

ユーザ平均文字は、その文字を書いたユーザにとって理想に近い文字であると考えられる。また、我々の手法を利用することで、ユーザの平均文字と、他者の平均文字との近さを計算することが可能となる。そこで、目標とするユーザの平均文字や、全体平均文字と、ユーザ自身の平均文字とのギャップを計算することで、文字をより綺麗に書くためのガイドなどを表示することが可能になると期待される。このために、フーリエ係数や曲率、回転数などを比較することにより手書き文字の距離を計算する手法の実現に取り組む予定である。

今回実現した平均化手法は、自身でも綺麗であると評価できる自身の平均手書き文字や、他者との平均手書き文字を生成することができる。こうした技術を使うことによって、個性豊かな文字が量産され、CGM コンテンツもさらに豊かなものになると期待される。

謝辞 本研究の一部は、明治大学重点研究 A、および JST、CREST によるものである。

参考文献

- [1] Zitnick, C.L.: Handwriting Beautification Using Token Means, *ACM SIGGRAPH 2013 Conference Proceedings*, Vol.32, No.4, pp.53:1–53:8 (2013).
- [2] Xia, W. and Jin, L.: Calligraphic Beautification of Handwritten Chinese Characters: A Patternized Approach to Handwriting Transfiguration, *Proc. ICFHR2008*, pp.135–140 (Aug. 2008).
- [3] 小松孝徳, 中村聡史, 鈴木正明: 「ひらがなはカタカナよりも丸っこいよね?」: 文字の数式表現および曲率の利用可能性, 情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会 (2014).
- [4] Vinciarelli, A. and Lauettin, J.: A new normalization technique for cursive handwritten words, *Pattern Recognition Letters*, Vol.22, No.9, pp.1043–1050.

- [5] BIC: Universal Type Face, available from (<http://theuniversalitytypeface.com/home>) (2014).
- [6] Limpaecher, A. Feltman, N. Treuille, A. and Cohen, M.: Real-time drawing assistance through crowdsourcing, *ACM SIGGRAPH 2013 Conference Proceedings*, Vol.32, No.4, pp.54:1–54:8 (2013).
- [7] 朱 碧蘭, 中川正樹: オンライン手書き文字認識の最新動向, 電気情報通信学会誌, Vol.95, No.4, pp.335–340 (2012).
- [8] Ramer, U.: An iterative procedure for the polygonal approximation of plan closed curves, *Computer Graphics and Image Processing*, Vol.1, No.3, pp.244–256 (1972).
- [9] Granlund, G.H.: Fourier Preprocessing for Hand Print Character Recognition, *IEEE Trans. Comput.* Vol.C-21, No.2, pp.195–201 (1972).
- [10] 大仲 齊, 馬籠良英: フーリエ記述子を用いたオンライン文字認識, 情報処理学会第 46 回全国大会, 2-203, 7C-8 (1993).
- [11] 新納真次郎, 中村聡史, 鈴木正明, 小松孝徳: 平均図形も美しい, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2015 論文集, pp.469–478 (2015).



中村 聡史 (正会員)

1976 年生。2004 年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年独立行政法人情報通信研究機構専攻研究員。2006 年京都大学大学院情報学研究科特任助手, 2009 年同特定准教授, 2013 年明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科准教授, 現在に至る。サーチとインタラクションや, ネットバレ防止技術, 平均手書き文字, BADUI 等の研究活動に従事。ヒューマンインタフェース学会等の会員。博士 (工学)。



鈴木 正明

1974 年生。2003 年東京大学大学院数理科学研究科博士課程修了。同年日本学術振興会特別研究員。2006 年秋田大学教育文化学部助教授。2007 年同准教授。2013 年明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科准教授, 現在に至る。数学において位相幾何学, 特に計算機を利用しながら低次元トポロジーの研究活動に従事。日本数学会会員。博士 (数理科学)。



小松 孝徳 (正会員)

1974年生。1997年芝浦工業大学工学部卒業。2003年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士(学術)。2003年公立ほこだて未来大学システム情報科学部助手。2007年信州大学ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点助教，2012年信州大学繊維学部准教授，2013年明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科准教授，現在に至る。人間の「いい加減な能力」という視点から，人間と人工物とのインタラクションを考察する研究活動に従事。日本認知科学会，人工知能学会，ACM各会員。

者育成拠点助教，2012年信州大学繊維学部准教授，2013年明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科准教授，現在に至る。人間の「いい加減な能力」という視点から，人間と人工物とのインタラクションを考察する研究活動に従事。日本認知科学会，人工知能学会，ACM各会員。