

## 平均図形も美しい

新納真次郎<sup>†1†2</sup> 中村聡史<sup>†1†2</sup> 鈴木正明<sup>†1</sup> 小松孝徳<sup>†1</sup>

我々は過去の研究で平均の手書き文字が高く評価されることを明らかにしてきた。本研究では、この平均手書き文字生成手法を手描き図形に応用し、様々なパターンに対する手描きデータセットを構築および評価実験を行うことにより、図形の平均化においても同様のことが言えることを明らかにする。ここではさらに利き手と非利き手においても実験を行うことにより、利き手と非利き手の違い、さらにその平均の特徴について明らかにする。

### Average handwritten shapes are also beautiful.

SHINJIRO NIINO<sup>†1†2</sup> SATOSHI NAKAMURA<sup>†1†2</sup>  
MASSAKI “Macky” SUZUKI<sup>†1</sup> TAKANORI KOMATSU<sup>†1</sup>

In our past work, we proposed a method of generating an average handwritten character and showed that average handwritten characters were beautiful. In this paper, we apply this method to the handwritten shapes and clarify the characteristics of average handwritten shapes by generating the dataset of handwritten shapes. In addition, we execute the experimental test about the difference between dominant hand's drawing and non-dominant hand's drawing.

## 1. はじめに

数学や理科などの授業において、円や多角形などをノートに描くときに、形がいびつになり何度も描き直した経験がある人は少なくないだろう。また、絵が思い通りに描けず、絵を描くのが嫌いになってしまった人も珍しくない[1]。このように、思い通りに描けずに、嫌いになってしまう理由は、自身の頭の中にあるイメージと手で再現できるものとの間にギャップがあることが理由の一つであると考えられる。

ここで中村らの研究[2]では、手書き文字を数式化し、複数の手書き文字の数式を平均化することによって、平均的な手書き文字を生成する仕組みを実現している。こうして生成された平均手書き文字に対する評価実験により、「自身の手書き文字より、平均手書き文字が綺麗であると評価されること」や「複数人の手書き文字を平均化した全体平均手書き文字は、各々の平均手書き文字より綺麗であると評価されること」などを明らかにしている。我々はこの手書き文字に関する特徴が、手描き図形にも言えるのではと考え、下記のような仮説を立てた。

- 実際の手描き図形に比べ、複数回の試行を平均化した平均手描き図形は綺麗になる (仮説1)
- 複数人で生成した平均手描き図形は、個人の平均図形よりも綺麗になる (仮説2)

なお、ここで頭の中のイメージの再現という観点では、

利き手で絵を描くときよりも、非利き手で再現する際のズレの方が大きくなるといえるだろう。そこで、人の頭の中に絵に対する理想が存在し、手をうまく動かせないことでそれを再現できないのであれば、非利き手においても、何度も描いて平均化することによって、このズレも削減でき、さらには利き手で描いた図形に近づくのではないだろうかと考えた。そこで仮説1, 2に加え、

- 非利き手で生成した平均図形も、複数回の試行を平均化することで綺麗になり、やがて利き手で生成した平均図形と近くなる (仮説3)

という仮説を立てることとした。

本研究では、この3つの仮説を検証するため、評価実験を実施し、その特徴についても明らかにする。

## 2. 関連研究

Limpaecherら[3]は、クラウドソーシングにより複数人で描かれた手描き図形を収集し、収集されたストロークをもとに、リアルタイムにストロークのズレを修正する手法を提案している。この手法は、大規模データをもとにガウス分布を作り、さらにその平均を算出し、ベクトルを使うことで、ストロークのズレを直すことが可能である。しかし平均化によってどのような結果になるのかは明らかにされていない。

また Zitnickら[4]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。本提案手法は、フーリエ級数展開により手描

†1 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科  
Meiji University.  
†2 JST CREST

き図形を数式化し、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言える。しかし、Zitnick らの手法は、同一人物の同一図形の手描きストロークは、曲率が類似するという点を前提としており、曲率が異なる他者の手描き図形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。

一方、ShadowDraw[5]は、大規模な画像データベースを構築し、絵を描く際にリアルタイムな高速画像検索により、描きたい絵だと推測されるものを影として背景に表示する手法である。これは手描き図形を美しく描くことをアシストするものではあるが、平均化といった観点で研究を行っていない。

五十嵐ら[6]は、計算機を利用した幾何学的図形描画の操作負担を減らす手法として、対話的整形と予測描画を提案し、さらにそのプロトタイプシステムを実装している。この手法により、きれいな平行四辺形や化学器具などを描くことが可能である。我々は単純に平均化によりどういった結果になるかを明らかにするため、本研究を行っている。

永田ら[7]は、人間の顔を平均することによって、得られた平均顔の印象分析を行っている。我々の研究は、図形を平均化することで得られる平均図形に対しての印象を明らかにするものである。

大西ら[8]は、実験的に書字に関する利き手の差を研究していて、ストロークの向き・傾きと空筆部という観点で、利き手と非利き手を比較している。しかし平均化という観点では実験を行っていない。我々は図形の平均化によって得られる利き手と非利き手の差を明らかにする。

### 3. 平均図形構築手法

#### 3.1 手描き図形の入力

本研究ではまず、ユーザに手描き図形をペン入力可能なシステムを用いて入力してもらい、入力時の点列と手描き図形における図形の画一画を平面曲線としてとらえ、それぞれを数式として表す。またある図形の数式集合から、その図形の平均的な図形となる数式を算出し、平均図形として描画可能とする。

手描き図形の入力を受け付けるシステムと、手描き図形を平均化し平均手描き図形を生成するシステムは Processing にて実装した。図 1 は、ユーザがペンタブレットで入力した手描き図形を点の集合として取得するシステムである。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が作成される。その後、縦 520 ピクセル、横 600 ピクセルのウィ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、左肩にはそのフィールドに描画すべき図形を文字列として表示し、その図形が何回描かれたかを表示する。また右肩には、その図形の画数および、現在何画目を描いているかを提示する。



図 1 手描き図形入力システム

Figure 1 Capturing system of handwritten shapes.

マウスやペンタブレットなどを用いてこのフィールド内に図形を描くと、ペンが画面に接している間には赤色で、そしてペンが画面から離れると青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単純に直線でつないだものである。フィールドの外部から描き始めた場合や、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。また、左下に一画戻すボタンを押すことで、一画前の状態から描き直すことができる。さらにフィールド内に指定された図形を描画して NEXT ボタンを押すと、フィールドがクリアされ、次に描画すべき図形が左肩に表示される。この時、データフォルダにその図形の名前のフォルダが作成され、一画ごとの X 座標、Y 座標の点列データと、入力フィールドをキャプチャした PNG ファイルが保存される。なお、描画した図形の画数が、目的の図形と一致しない場合は、データは追加せず再度描き直してもらうことにした。

#### 3.2 フーリエ級数による図形の数式化

まず、図 2 のように図形入力時に生成された点列が格納されているファイルから一画ごとの点の座標データを取得する。その点を出来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、平面曲線とみなした図形をフーリエ級数で表すことができることから、その補完された点を順に通る平面曲線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図形を生成可能とする。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。

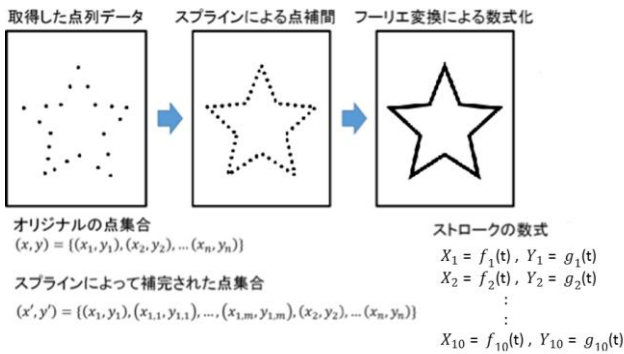


図2 図形の数式表現の生成手法

Figure 2 A method of generating equations of handwritten shapes.

数式化の手順としてまず、各図形の一画（ストローク）の手描き入力に、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に、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、

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

としたとき、 $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  は周期関数ではないが、

$$f_i(t) = f_i(t + 2n\pi) \quad n \text{は整数}$$

と定義することにより周期関数とみなすことができる。さらに、図形の「角」も近似的に急な曲がり方をした滑らか曲線とみなすことにより  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  はフーリエ級数で表示可能である。すなわち、

$$f_i(t) = \frac{a_{i,0}}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_{i,n} \cos nt + b_{i,n} \sin nt)$$

と表すことができる。ここで、 $a_{i,n}$  と  $b_{i,n}$  は

$$\begin{cases} a_{i,n} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f_i(t) \cdot \cos nt \, dt \\ b_{i,n} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f_i(t) \cdot \sin nt \, dt \end{cases}$$

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、 $a_{i,n}$  と  $b_{i,n}$  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、 $n$  次までフーリエ級数で得られた図形の画像と  $n+1$  次までのフーリエ級数で得られた図形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。

### 3.3 平均図形画像生成

フーリエ級数によって数式化された図形の各ストロークは、 $(x, y) = (f_1(t), f_2(t))$  のように  $t$  の式で表示される。ここで、平均的な図形は、平均的なストロークの組み合わせで表される。求めたい平均ストロークの数式は、フーリエ級数によって得られた各ストロークの数式の平均をとることで導出することができる。

また、ある図形を表現する際に必要なストロークの数だけ平均の式を求め、 $t$  の値が 0 から  $\pi$  までの部分を平均図形画像として生成し、PNG フォーマットで保存する。

## 4. データセット構築

平均手描き図形が美しいかどうかを明らかにするために、データセットを構築した。ここでは、基本的な図形（本稿では以降、単純図形と呼ぶ）4 種と、絵描き歌が存在し、多くの人が見慣れている絵（以降、複雑図形と呼ぶ）4 種に関する手描き図形を収集し、その平均化を行った。

本データセット構築において選んだ 8 種類の図形は表 1 の通りである。これらの図形を利き手・非利き手にわけ、それぞれ 5 回描いてもらった。なお、図形の描き順や描き方向は、図 3 のように指示し、明治大学 総合数理学部の学部生 8 名（右利き 5 名、左利き 3 名）からデータを採取した。入力デバイスには、Wacom 製のペンタブレット Intuos CTH-480 を使用した。またこのシステムを動作させるにあたって、Apple MacBook Pro (Retina 13-inch プロセッサ 2.8 GHz Inter Core i5 メモリ 16GB 1600MHz DDR3) を使用した。

表 1 実験で得るデータ

Table 1 Drawing dataset.

|      | 描く図形   | 利き手 | 非利き手 |
|------|--------|-----|------|
| 単純図形 | 平行な線   | 5回  | 5回   |
|      | 垂直な線   | 5回  | 5回   |
|      | 円      | 5回  | 5回   |
|      | 星      | 5回  | 5回   |
| 複雑図形 | ドラえもん  | 5回  | 5回   |
|      | アンパンマン | 5回  | 5回   |
|      | バイキンマン | 5回  | 5回   |
|      | コックさん  | 5回  | 5回   |

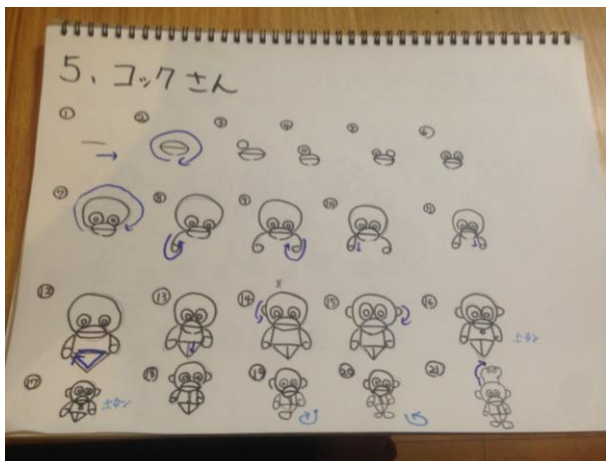


図3 描き順や描く方向の提示

Figure 3 An example of steps to draw.

本システムでは単純に数式の平均をとっているだけなので、描き順や描き方向を統制する必要がある。そのため、図4のように画数ごとに線の色を変え、色の濃度で描き方向をわかるようにした画像を最後に提示し、参加者に描き順、描き方向がお手本と合っているかを確認してもらった。データ入力後、平均化の際に間違いを発見した場合は、我々で筆跡データの画数の順番を入れ替えるか、もう一度その絵を参加者に描いてもらうなどの配慮を行った。

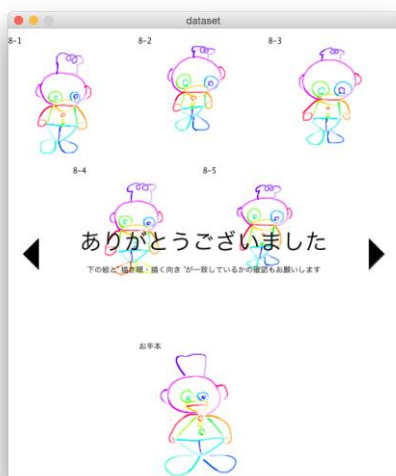


図4 実際のデータと描き順・描く向きのお手本

Figure 4 Capturing system of checking one's own handwritten shapes.

## 5. 単純図形に対する定量的な解析

### 5.1 内容と手続き

個人が複数回描いた図形は綺麗になるのか(仮説1)、複数の人が描いた図形の平均は綺麗になるのか(仮説2)を定量的に検証するため、単純図形に関するデータセットの解析を行った。具体的には4つの単純図形について、平行度

合い、垂直度合い、円である度合い、星である度合いの分析を行う。ここで、各図形の度合いは下記の方法で求める。

- 平行度：描かれている2本の平行な線について、最小二乗法を用いて近似直線を求める。次に、この近似直線のなす角度(ラジアン)を計算する。この値は、 $-\pi/2$  から  $\pi/2$  までの値となり、0であれば平行で、絶対値が0より大きいほど平行でないと言える。
- 垂直度：描かれている2本の垂直な線について、最小二乗法を用いて近似直線を求める。次に、この近似直線の一方を  $\pi/2$  だけ回転させ、平行度を計算することで垂直度を計算する。この値は、 $-\pi/2$  から  $\pi/2$  までの値となり、この値が0であれば垂直で、絶対値が0より大きいほど垂直でないと言える。
- 円(真円度)：描かれた円がどの程度「円」に近いのか(ブレがないのか)ということにより計算する。ここでは、円らしさを測る指標として知られている真円度を利用する。真円度は、描かれた手描きの円の外接円と内接円を計算し、外接円の半径を内接円の半径で割ることで計算するものであり、1であれば真円に近く、1より大きければ大きいほど円からぶれていることになる。
- 星(星度)：星らしさを計算する明確な方法があるわけではないので、今回は星をなす10本の線分の長さを計算し、その10本の長さの分散を計算することによって求める。この分散値が小さければ小さいほど、星である度合いは高い。

上記の内容について、個人の単純図形と、個人の平均単純図形、全員の単純図形の度合いを計算し、比較を行う。

### 5.2 解析結果

図5は、5回分の手描き図形と5回分をまとめた平均手描き図形について対応する度合い(平行度、垂直度、新円度、星度)を計算し、6個の度合いの内、平均手描き図形が何番目に低い値(評価が高いスコア)であるかを求め、順位ごとの数を棒グラフとして表現したものである。横軸に平均図形の順位、縦軸に各順位の回数を示している。

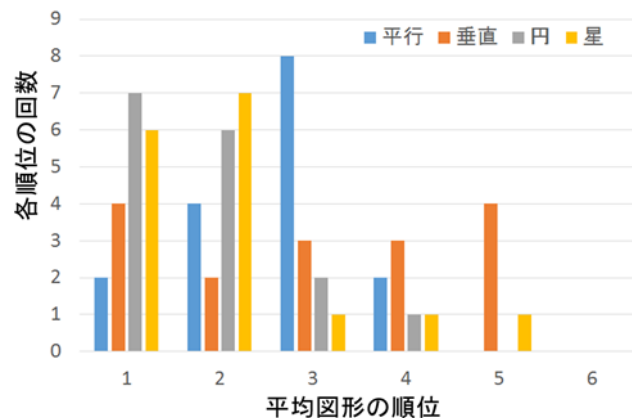


図5 実験結果

Figure 5 Experimental results.

この結果より、円と星の平均図形はかなり良い結果となっているが（6個の図形中ほとんど1位または2位）、平行な線や垂直な線については、平均図形の順位は期待したほど高くないことがわかる。

一方、表2は利き手または非利き手で描かれた各図形の平行度合い、垂直度合い、円である度合い真円度、星である度合いの平均値と標準偏差、そして全員分の各平均図形の上記の評価値をまとめたものである。この結果より、利き手、非利き手問わず、全員分の平均図形が、各々の手描き図形に比べ良い結果となっていることがわかる。また、利き手に比べ、非利き手の方が標準偏差は大きいことが分かる。

表2 利き手と非利き手の比較

Table 2 Results between dominant hand's handwritten figures and non-dominant hand's handwritten figures.

|          | 平行      | 垂直      | 円       | 星        |
|----------|---------|---------|---------|----------|
| 利き手の平均値  | 0.028   | 0.072   | 1.145   | 662.3    |
| 括弧内は標準偏差 | (0.032) | (0.073) | (0.071) | (654.5)  |
| 非利き手の平均値 | 0.068   | 0.065   | 1.218   | 1365.9   |
| 括弧内は標準偏差 | (0.059) | (0.065) | (0.101) | (1265.5) |
| 利き手平均図形  | 0.014   | 0.046   | 1.048   | 185.3    |
| 非利き手平均図形 | 0.055   | 0.046   | 1.058   | 239.1    |

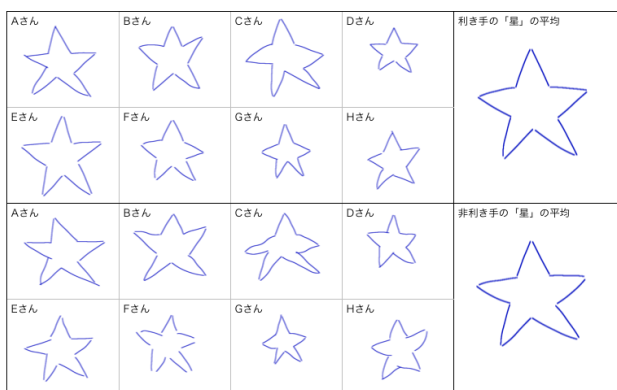


図6 8人の描いた平均としての「星」と、全体の平均としての「星」。

(上) 利き手平均図形 (下) 非利き手平均図形

Figure 6 Users' average shapes of "star" by eight subjects and the average of them.

Top figures are dominant hand's average shapes, and bottom figures are non-dominant hand's average shapes.

図6は、星についての各データセット構築者の利き手平均図形（上図）と非利き手平均図形8個と、全員の両手による星の平均図形（右の図形）である。見た目からも全体の平均星は綺麗になっていることがわかる。

### 5.3 考察

今回の実験では、円と星については平均化により真円度、星度が良い結果となっており、単純図形の円と星については仮説1が検証されたと言える。一方、平行な線や垂直な線において平均図形の順位が期待したほど高くなかった。この理由は、平行度については、平均が良くなるか悪くなるかは、その2つの線がどちらに傾いているのかという点が重要となるためである。図7のAのように右側が広がっているものと、Bのように左側が広がっているものがある場合、それぞれの広がりを打ち消し合って平行に近づくが、AタイプのみまたはBタイプのみの場合、この打ち消しが発生せず、その中央の値となる。構築されたデータセットでは、ユーザによってAのみまたはBのみになることがあり、そうしたユーザでは期待したほど良い結果にならなかった事が、平行な線や垂直な線において思った以上の結果が得られなかった理由であると考えられる。

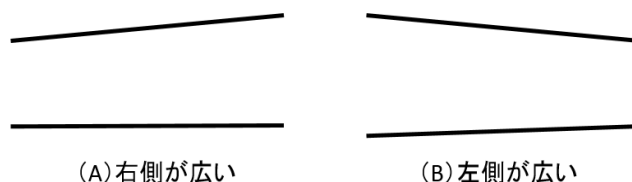


図7 どちらの方向が広がっているか

Figure 7 Deviation of parallel lines

また、最小二乗法を使うと近似によりそもそも平均化されてしまう。そのため、すでに平均図形に似た効果がでており、今回のように差がでなかったのではと考えられる。今後は元々の手描き図形の比較を行い、平行らしさ、直角らしさを検証していく必要がある。

平行な線や垂直な線に比べ、円や星については十分よい結果となっているのは、図形としての複雑さが増すと各々の手描き図形に比べ、平均図形は十分綺麗になると期待される。

各々の手描き図形や、各々の平均手描き図形に比べ、全員分の手描き図形を平均化したものは全て良い結果となっていた。図6などから、この傾向は顕著にあることが見て取れる。このことから、複数ユーザを融合した平均図形は、その各々の図形の中では綺麗なグループに入ると言え、単純図形については仮説2が検証されたことになる。

一方、平行な線を除き、利き手と非利き手の差がほとんどなくなっていた。例えば、図8は左から順に利き手の全員分の平均手描き円、非利き手の全員分の平均手描き円、全員分の両手の平均手描き円となっているが、いずれも真円に近づいている。また、図6の星についても、個々の図形は形が異なるものの、全体の平均図形は似通っているように見える。このように図形の平均化は、利き手・非利き手の差をなくしていくのではと期待される。

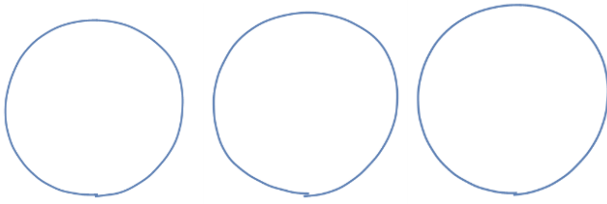


図8 平均の円

Figure 8 Average shapes of "circle" by eight subjects

## 6. 複雑図形に対する主観的な評価実験

### 6.1 個人で生成した平均図形に対する実験

#### 6.1.1 実験内容と手続き

同じユーザが複数回描いた図形の平均は、1回で描かれた図形よりも綺麗になるという仮説1を複雑図形において検証するために、構築したデータセットの複雑図形がどのように評価されるのかについての実験を実施した。具体的には、データセットを構築した参加者が利き手および非利き手で描いたそれぞれ5回分の複雑図形と、利き手の平均図形、非利き手の平均図形、両手による平均図形の合計13個の図形をシャッフルし、図9のように、どの参加者がどの図形を描画したのかわからないように配慮したアンケートを作成した。

平均図形 評価実験3 (コックさん)  
名前 ( Bさん )

A~Mの絵に対して、綺麗な絵だと思う順番に1~3の順位をつけてください

|   |                |   |                |   |                |
|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| A | 1位<br>2位<br>3位 | F | 1位<br>2位<br>3位 | K | 1位<br>2位<br>3位 |
| B | 1位<br>2位<br>3位 | G | 1位<br>2位<br>3位 | L | 1位<br>2位<br>3位 |
| C | 1位<br>2位<br>3位 | H | 1位<br>2位<br>3位 | M | 1位<br>2位<br>3位 |
| D | 1位<br>2位<br>3位 | I | 1位<br>2位<br>3位 |   |                |
| E | 1位<br>2位<br>3位 | J | 1位<br>2位<br>3位 |   |                |

図9 利き手・非利き手で描かれた実際の図形と、その平均図形を混ぜ、順位付けをさせるアンケート

Figure 9 A questionnaire comparing average shapes with handwritten shapes

参加者8名に対して、これら13個の複雑図形の中で綺麗だと思う順に1~3位の順位を付けてもらった。ここでは複雑図形である「ドラえもん」「アンパンマン」「バイキンマン」「コックさん」の4つの図形に対して評価を依頼し、すべての実験終了後に集計をした。

#### 6.1.2 実験結果

評価実験の結果を図10に示す。グラフの横軸には、利き手・非利き手で描かれた図形と、利き手で描かれたものだけを平均した利き手平均図形、非利き手で描かれたものだけを平均した非利き手平均図形、それら全てを平均した全体図形が並んでいる。ここでは便宜上、利き手で*i*回目に描いた図形を $d_i$ 、非利き手で*i*回目に描いた図形を $n_i$ 、利き手で描いた5回分の平均図形を  $d\text{-avg}$ 、非利き手で描いた5回分の平均図形を  $n\text{-avg}$ 、利き手・非利き手で描いたものすべてを平均した平均図形を  $\text{all-avg}$  と表記する。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点とした時の評価平均を示している。1つの図形あたりの評価合計点は6点となるため、評価の期待値は0.4615である。

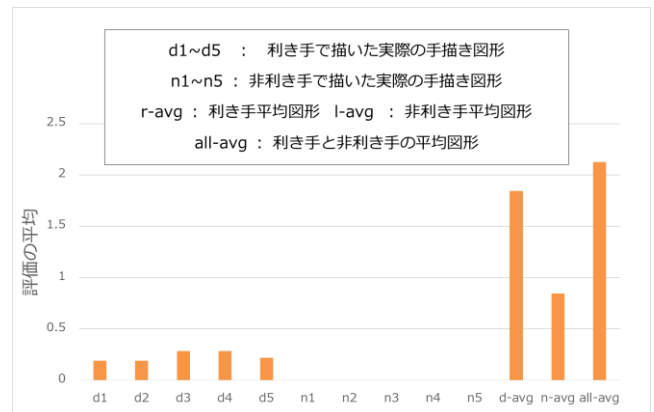


図10 実際の手書き図形と、ユーザ平均図形の比較

Figure 10 Experimental results of comparing average shapes with handwritten shapes

実験結果より、非利き手で描いた図形には点がまったく入っておらず(一度も3位以内に入っておらず)、低く評価されていることがわかる。それにもかかわらず、その平均をとった非利き手平均図形は、利き手で一度描いた図形それぞれより高く評価されている。また、利き手平均図形は非利き手平均図形に対して2倍以上評価されている。さらに、利き手・非利き手を組み合わせた平均図形は、利き手だけの平均図形よりも高く評価されていることがわかる。

#### 6.1.3 結果の考察

今回の実験により、複数回の試行を平均化した平均手書き図形は綺麗だと評価されるのではないかという(仮説1)が複雑図形において正しいことを明らかにした。

なお、非利き手で1回描いたものはまったく評価されないが、非利き手の平均は利き手で描いたものよりも高く評

価されている点は興味深い。このことから、例えば利き手を怪我したとしても、非利き手で5回以上描けば理想的な複雑図形を描けるのではないかと期待される。

一方、利き手平均図形が非利き手平均図形よりも高く評価されたことについては、非利き手におけるブレのほうが大きく、5回の試行を平均しただけでは修正しきれていないことが問題であると考えられる。今後は、試行回数を増やすことで、非利き手による平均図形がどこまで利き手による平均図形の評価に近づけるのかを検証する予定である。

利き手平均図形と非利き手平均図形を平均した両手平均図形が一番高く評価されたことについては、利き手におけるクセと非利き手におけるクセが打ち消しあって綺麗になっているという可能性と、単純に平均化の母数が増えた事で綺麗になったという可能性が考えられる。利き手におけるクセを調査した研究[8]にもあるように文字・図形をかく際に左右で違うクセが表れることが明らかにされている。今後は平均図形を生成する際に用いる試行数をそろえることで、利き手と非利き手、両手の平均を求め、何が影響しているのかを検証する予定である。

## 6.2 複数人で生成した平均図形に対する実験

### 6.2.1 実験内容と手続き

平均図形 評価実験2 (コックさん 0 )  
名前 ( )

A~Iの絵に対して、綺麗な絵だと思う順番に1~3の順位をつけてください

|   |   |          |   |   |          |
|---|---|----------|---|---|----------|
| A |  | 1位・2位・3位 | F |  | 1位・2位・3位 |
| B |  | 1位・2位・3位 | G |  | 1位・2位・3位 |
| C |  | 1位・2位・3位 | H |  | 1位・2位・3位 |
| D |  | 1位・2位・3位 | I |  | 1位・2位・3位 |
| E |  | 1位・2位・3位 |   |   |          |

図 11 個人の平均図形と複数人で平均した全体平均図形を評価するアンケート

Figure 11 A questionnaire comparing the individual average shapes and all users' average shapes

個人が生成した平均手描き図形に比べ、複数人が生成した平均手描き図形のほうが綺麗になるという仮説(仮説2)を複雑図形において検証するため、8人それぞれの平均図

形と、8人全体の平均図形を誰がどれを描いたのかという事を伏せた状態でランダムに並べたアンケート(図11)を用意した。次に、各参加者に対して綺麗だと思う順に1~3位の順位を付与してもらった。

なお、実験では利き手と非利き手両方について行った。また、実験の対象はデータセットを構築した8名とした。

### 6.2.2 実験結果

図12は実験の結果である。横軸に手描き入力を行った8人のそれぞれの平均図形と、それらを平均した全体平均図形を並べ、縦軸には1位と評価された図形に3点、2位と評価された図形に2点、3位と評価された図形に1点を付与するようにし、その評価点の平均を示している。一つの図形あたりの評価合計点は6点となるため、評価平均の期待値は0.667となる。

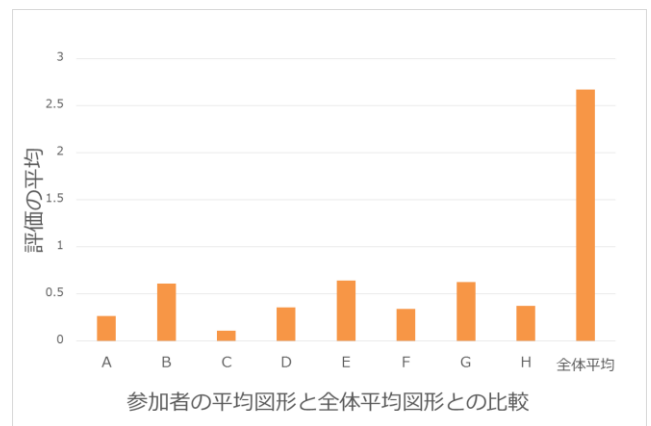


図 12 各参加者に対するスコア平均と全体の平均図形のスコア比較

Figure 12 Experimental results to compare the average shapes with all users' average shapes.

この実験結果より、全体平均図形が圧倒的に高く評価されており、全体平均図形は個々の平均図形より綺麗であると評価されることが分かる。また、個々の平均図形の中ではBとE、Gが高く評価されており、AとCについては低く評価されていることが分かる。

手描き入力を行った評価者(データセット構築の参加者)が、誰の平均図形を高く評価したのかを示しているのが表3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~Hまでのユーザ平均図形と、全体平均図形が順に並んでおり、A~Hまでのユーザ平均図形と、全体平均図形が順に並んでおり、縦にそのそれぞれの平均図形に対してA~Hがどのようなスコアを付けたのかが示されている。また、下から2行目はユーザ平均図形に対する全員の評価の平均スコアであり、最も下の行はユーザ平均図形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。(例えば、Aの平均図形に対する平均\*は、BからHまで

表 3 誰が、誰の図形を評価したか  
Table 3 Who did put a high value to whom?

データセット構築に協力した参加者の平均図形

|     | Aの図形       | Bの図形       | Cの図形       | Dの図形       | Eの図形       | Fの図形       | Gの図形       | Hの図形       | 平均図形     |
|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| A   | 0.875      | 0.5        | 0.25       | 0.25       | 0.625      | 0.125      | 0.5        | 0          | 2.875    |
| B   | 0.125      | 1.25       | 0          | 0.375      | 0.5        | 0.625      | 0.125      | 0.5        | 2.5      |
| C   | 0.5        | 0.875      | 0.25       | 0          | 0.25       | 0.25       | 0.5        | 0.5        | 2.875    |
| D   | 0.25       | 0          | 0          | 0.875      | 0.5        | 0.25       | 0.75       | 0.5        | 2.875    |
| E   | 0          | 0.875      | 0.125      | 0.5        | 1          | 0.5        | 0.375      | 0          | 2.625    |
| F   | 0          | 0.375      | 0          | 0.25       | 0.875      | 0.625      | 0.875      | 0.375      | 2.625    |
| G   | 0          | 0.125      | 0.125      | 0.375      | 1.125      | 0.125      | 1.375      | 0.375      | 2.375    |
| H   | 0.375      | 0.875      | 0.125      | 0.25       | 0.25       | 0.25       | 0.5        | 0.75       | 2.625    |
| 平均  | 0.265625   | 0.609375   | 0.109375   | 0.359375   | 0.640625   | 0.34375    | 0.625      | 0.375      | 2.671875 |
| 平均* | 0.17857143 | 0.51785714 | 0.08928571 | 0.28571429 | 0.58928571 | 0.30357143 | 0.51785714 | 0.32142857 |          |

の評価者の平均を意味している)。また、図中で赤色背景になっているセルは、平均\*の2倍以上になっている部分である。この結果より、手描き図形の綺麗さにかかわらず、自身の平均手描き図形を高く評価する傾向があることがわかる。

### 6.2.3 結果の考察

今回の結果より、平均文字の研究と同じように個人の絵に対する認識のブレが、複数人で平均化することにより、本来の図形の形により近づくことが示唆された。以上の結果により、個人の平均図形よりも複数人が描いたものを平均した全体平均図形のほうが、より綺麗であるという仮説（仮説2）を複雑図形においても明らかにした。

一方、中村らの平均手書き文字に関する研究[2]では、手書き文字の綺麗さに関わらず、自身の文字を高く評価する傾向があるということを明らかにされていたが、表3結果より、手描き図形についても、絵の上手さ、下手さに関わらず自身の平均手書き図形を好む傾向があることがわかる。このように、自身の平均図形を高く評価するという傾向は興味深く、今後の研究でさらに検証していく予定である。

## 6.3 利き手と非利き手の比較に対する実験

### 6.3.1 実験内容と手続き

非利き手で生成した平均図形も、複数回の試行を平均化することできれいになり、やがて利き手で生成した平均図形と近くなるという仮説（仮説3）を複雑図形において検証するために、手描き入力を行った8人の評価者（＝データセット構築者A～Hとする）と、手描き入力を行っていない8人の評価者の合計16人に対して、2つの評価実験を行った。

1つ目の実験は、図13のように、それぞれの利き手平均図形と、非利き手平均図形をランダムに並べたものを作成し、参加者に対して似ていると思うものを線で繋いでもらうことを依頼するものである。なお、一か所に複数繋ぐこと、どこにも線を繋がないことを禁じた。

2つ目の実験は、全体での利き手平均図形、非利き手平均図形、両手平均図形をランダムに提示し、その中でどれが一番きれいであるかを評価してもらう実験である。この図では左肩に利き手、非利き手、両手と示してあるが、実験ではそれらを提示しなかった。

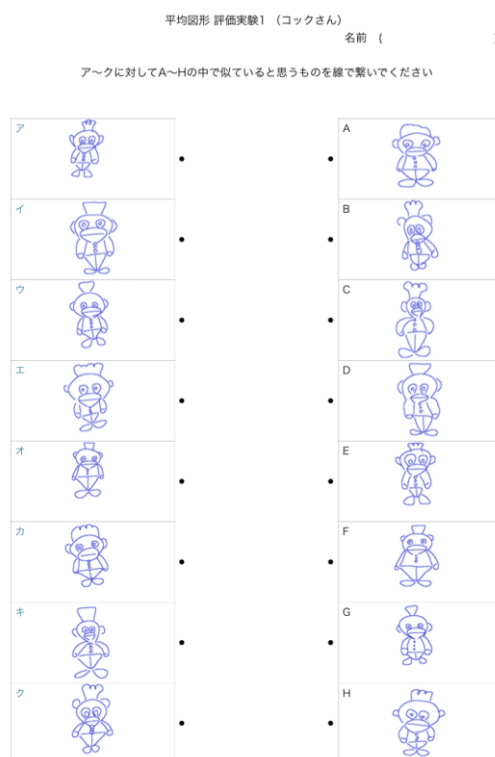


図 13 どの図形同士が似ているかを問うアンケート  
Figure 13 A questionnaire comparing dominant average shapes with non-dominant average shapes.

### 6.3.2 実験結果

似ている図形同士を線で繋ぐという実験の結果は、図14の通りである。図の横軸は対象とした複雑図形と、データセット構築者および、非データセット構築者、全体の平均が並んでおり、縦軸はその正解率の平均である。



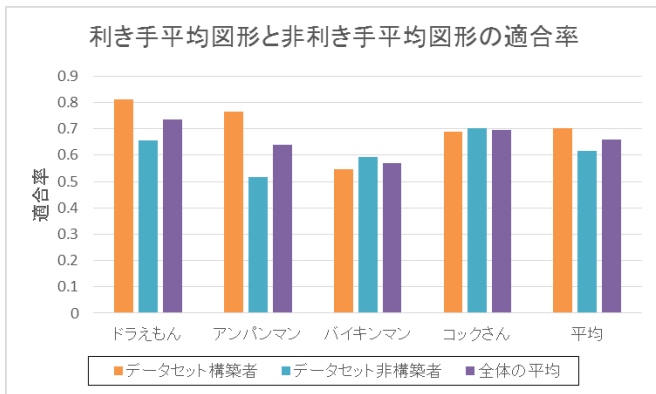


図 14 利き手平均図形と、非利き手平均図形  
Figure 14 Comparison of the collected data.

ランダムに選択した際の正解率の期待値は 0.125 であるが、全体の正解率の平均は 0.667 となっており、利き手と非利き手で描いたものは似ているということが示唆される。特に「ドラえもん」に関しては、データセット構築者は 0.81 の確率で同一人物が描いたものを当てることができていた。また、「バイキンマン」と「コックさん」についてはデータセット構築者と非構築者の間で差がほとんどなかった。

一方、データセット構築者全員による利き手の平均図形と、非利き手の平均図形、両手の平均図形の 3 つを比較した実験の結果は、図 15 の通りである。図の横軸は評価対象の図形が並んでおり、縦軸には利き手、非利き手、両手のどれが選ばれたのかという割合が示されている。この結果より、「ドラえもん」と「バイキンマン」については両手の平均図形が圧倒的に高く評価されていることが分かる。一方、「アンパンマン」と「コックさん」については、利き手平均図形に比べ、非利き手平均図形の方が高く評価されていることがわかる。

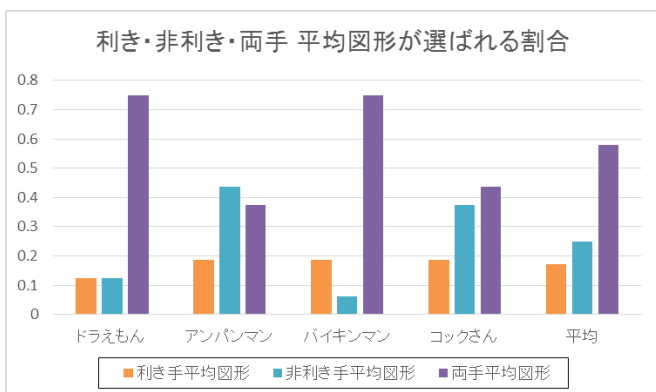


図 15 利き手平均図形・非利き手平均図形・両手平均図形の評価平均

Figure 15 Experimental results to compare both hands average shapes and one hand average shapes.

### 6.3.3 結果の考察

同じ見本を見ながら描いているにも関わらず、似ている図形同士を線で繋ぐという実験結果において正解率が高くなった理由は、非利き手で描いた歪んだ図形も平均化することで綺麗になること。そして、その平均的な図形にその人の個性が反映されており、この個性は利き手・非利き手に関わらず表れているからであると考えられる。

なお、データセット構築者とそうではない人では多少差があり、データセット構築者のほうが数字としては正解率が高かった。これは、自分らしい図形がどれだか見分けがつく分、正解率が上がったものと考えられる。

また図 15 において、「アンパンマン」と「コックさん」は、非利き手平均図形のほうが高く評価されているが、これは利き手平均図形も非利き手平均図形も大した差がなく、選びぬいた末こうなったものだと考えられる。この結果から見ても、非利き手で描いた図形も平均をとっていけば利き手平均図形と同様に綺麗になることがわかる。

図 16 は、データセット構築者が生成した「コックさん」の両手平均図形と、それら全てを平均した「コックさん」であり、それぞれの絵に比べて十分「かわいいコックさん」になっていると考えられる。



図 16 8 人の描いた平均としての「コックさん」と、全体の平均としての「コックさん」

Figure 16 Users' average shapes of "Cook-san" by eight subjects and the average of them.

これらの結果により、非利き手で生成した平均図形も、複数回の試行を平均化することで綺麗になり、やがて利き手で生成した平均図形と近くなるという仮説（仮説 3）を複雑図形において明らかにした。また、非利き手においてもその人が図形を描くときの個性が反映され、平均化することでその個性が顕著に浮かび上がり、やがて利き手で描いたものに近くなるということが明らかになった。

## 7. まとめ

本研究では、手描き図形を平均したものは綺麗になるということを明らかにするために、データセットの構築を行い、複数の実験を行った。

まず、平行な線、垂直な線、円、星、という単純な図形については定量的な評価実験を行った。この実験より、単

純図形において平均手描き図形はユーザが実際に描いた図形より綺麗になることをということ（仮説 1）を明らかにした。また個人で生成された平均図形よりも、複数人で生成した平均図形の方が高く評価されること（仮説 2）を明らかにした。さらに非利き手で描いた図形も平均化することで綺麗になり、やがて利き手で描いた図形と似通った形になることを明らかにした。

次に「ドラえもん」「アンパンマン」「バイキンマン」「コックさん」という複雑な図形に対しては主観的な評価実験を行った。この実験より、複雑図形において平均手描き図形はユーザが実際に描いた図形より綺麗になること（仮説 1）を明らかにした。また個人で生成された平均図形よりも、複数人で生成した平均図形の方が高く評価されること（仮説 2）を明らかにした。さらに非利き手で描いた図形も平均化することで綺麗になり、やがて利き手で描いた図形と似通った形になること（仮説 3）を明らかにした。

以上のことから、8 人により生成されたデータセットを利用した実験では単純図形について仮説 1~2 を、複雑図形について仮説 1~3 を明らかにすることが出来た。今後は、この人数を増やすことでさらなる仮説の検証を行う予定である。

今回のデータセット構築では本手法の制約上、図形の描き順や描く向きを指定したため、実験協力者から描きにくいといった意見が出ていた。制約がある場合、これは自然な絵と言いつてもいいため、今後は描き順や描く向きに依らない平均化システムを作ることが課題である。また今回はペンタブレットを使ってデータセット構築をしたが、ペンタブレットの使用に慣れてなく、うまく描けないといったこともあった。この点については、より描きやすいデバイスを利用するなどして再実験を行う予定である。

## 謝辞

エンタテイメントコンピューティング 2014 においてモシシステムを触っていただき、多くのコメントを頂いた皆様に感謝します。特に、絵の平均化について議論させていただいた T-D-F の園山隆輔様、明治大学の橋本直先生に感謝いたします。なお、本研究の一部は、明治大学重点研究 A によるものです。

## 参考文献

- [1] 磯部錦司: 子どもが絵を描くとき, 一藝社 (2006).
- [2] 中村聡史, 鈴木正明, 小松孝徳: 平均文字は美しい, エンタテイメントコンピューティングシンポジウム 2014.
- [3] Alex Limpaecher, Nicolas Feltman, Adrien Treuille, Michael Cohen: Real-time drawing assistance through crowdsourcing, ACM SIGGRAPH 2013 Conference Proceedings, Volume 32 Issue 4, No. 54, July 2013.
- [4] C. Lawrence Zitnick: Handwriting Beautification Handwriting Beautification Using Token Means, SIGGRAPH, 2013.
- [5] Yong Jae Lee, C. Lawrence Zitnick, Michael F. Cohen:

ShadowDraw: Real-Time User Guidance for Freehand Drawing, SIGGRAPH, 2011.

[6] Takeo Igarashi, Sachiko Kawachiya, Hidehiko Tanaka, Satoshi Matsuoka, Drawing System for Rapid Geometric Design, ACM Conference on Human Factors in Computing System (CHI'98), 1998.

[7] 永田明徳, 金子正秀, 原島博: 平均顔を用いた顔印象分析, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J80-A, No.8, pp.1266-1272 (1997).

[8] 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 No.29 pp48-34 (2015).