

# 描画形状把握のための消去指向型描画スタイルの提案と有用性の検証

黒滝 理帆<sup>1,a)</sup> 竹川 佳成<sup>2,b)</sup> 平田 圭二<sup>2,c)</sup>

概要：本研究の目的は描画形状把握のための消去指向型描画スタイルの提案と有用性の検証である。手描きのイラスト描画の基礎練習として、模写がある。模写は、手本を見ずに描画する技法と比較して、描画難度が低いと用いられる技法である。しかし、単純なイラストの中には、例えば階段のような凹凸のある線や、円が複数組み合わせられてきた図形など、模写が困難となるパーツが含まれることがある。この問題を解決するために、本研究では編集操作の中の消去操作に着目する。提案手法では、ユーザーに単純な幾何図形の組み合わせからなる手本を描画させ、余分な線を消去して目的となる図形を完成させる。提案手法が正確かつ容易に図形を模写する支援となるかを検証する比較実験を行った。提案手法を用いずに描画する群と、提案手法を用いて描画する群を比較した結果、提案手法を用いて描画する群は描画の正確性について優れていた。

キーワード：イラスト、描画支援、模写、幾何図形、手描き

## 1. はじめに

素材サイト [6] やイラストの補正技術 [4] によって、個人のイラスト描画の上手下手に関係なくイラストを扱えるようになってきた。しかし、技術に依存することで、紙やペンなどを用いたアナログな描画や、補正のないイラスト描画ツール [9] を使用する際などで困難に陥る。加えて、Renata ら [19] が手書き (handwriting) は個人の基本的な個性としていることから、本研究では手描きでイラストを描画する力 (画力) を育てることで、イラストに描き手の個性が生まれると考える。

個人の画力を向上させる際、基礎練習として手本の模写が推奨される。模写は手本を見ない描画と比較して描画難度が低いと、基礎練習に用いられる。加えて、石橋と岡田 [7] は、高名な画家の多くが他者の作品の模写からさまざまな技術を学んだと述べている。また、模写という言葉は主に絵画などに対して多く用いられるが、まねて描画する行為は漫画やアイコンのようなイラストでも頻繁に行われる。しかし、イラストの中には、姿勢の捉えにくいパーツがあり、そのパーツの模写の難度は高い。例えば図 1 は

実際の絵描き歌 [3] で用いられている形であり、歌の中では未確認飛行物体と歌われている。このような幾何図形ではない形のパーツは描画しなれていないことが多く、姿勢が捉えにくいと、絵の苦手な人が描画すると図 2 のように正しい形に描画できない。

この問題を解決するために本研究では、操作を増やして対応することを考える。例えば  $99 \times 98$  のような 2 桁の乗算をする際に、そのままだと繰り上がりがあり、計算の難度が高い。しかし、(1) 式のように操作を増やすことで、計算が容易になる。

$$\begin{aligned} 99 \times 98 &= (100 - 1) \times 98 \\ &= 9800 - 98 \\ &= 9702 \end{aligned} \quad (1)$$

(1) 式で 99 を  $100-1$  として計算するように、提案手法では、ユーザーに単純な幾何図形の組み合わせからなる手本を描画させ、余分な線を消去して目的となる図形を完成させる。この方法を消去指向型描画スタイルとする。なお、本研究では模写の定義を幾何図形の組み合わせから構成される記号的な図形形状をなるべく同様の形に写し取ることとする。本研究は、今まで日常的にイラストを描画していなかった初心者を対象としている。加えて、その中でも AutoDraw[4] などの補正を使わずに、自力で描画したい人とする。

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院

<sup>2</sup> 公立はこだて未来大学

a) g2117019@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) hirata@fun.ac.jp

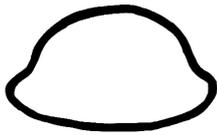


図 1 形姿の捉えにくいパーツ [3]



図 2 絵の苦手な人 2 名が図 1 の図形を模写した例

## 2. 関連研究

### 2.1 描画方法

Dixon ら [2] が絵の勉強アプローチの中に普遍的なアプローチは存在しないとしているように、様々な描画方法がある。

例えばキミ子方式 [12][15] と呼ばれる、色を使った絵の描画方法が存在する。三原色と白だけで色を作り、描きはじめの位置を決め、その部分から隣へと描きすすめていき、最後に構図を決める。構図を決めてから輪郭を描き、色を塗る今までの絵の描き方と逆の方法をとっている。しかし絵の具を使わない描画では、この手法は使えない。

また、「アタリをとる」と呼ばれる顔の輪郭や鼻の位置などを丸や十字で大まかに描画し、絵のバランスをあらかじめ取る方法がある。神志那 [14] は手の描画方法として最初にシルエットでアタリをとっており、戒と宮田 [10] は正しいアタリの柔軟な参考資料を学習者に提供するシステムを構築した。ジャック・ハム [8] は動物の描き方として、手足を多数の四角を用いて形を取ってから、詳細に描画するよう指示している。以上のような描画方法はイラストを描画する際の下書きとして用いられている。しかし、ホワイトボードにイラストを描画して他者に説明するときなど、下書きのしにくい状況では使いにくい。提案手法は下書きとして用いるものではないため、状況による影響は受けない。

### 2.2 手描き補正

Zelevnik ら [22] はユーザーが描画した図形や線を、描画し終わってすぐに正多角形や直線に置換するシステムを作成した。加えて Zelevnik ら [22] のシステムは、図形の一部の線の消去や、大きさの変更も可能である。Cheema ら [1] は全体図を描画し終えた後に、図を正多角形や直線に置換するシステムを作成した。正しく表現された図が求められる際に活用できるとしている。Khomenko ら [11] のシステムは文字や数式、図形の補正だけでなく、手描きされた下線や取り消し線などの編集パターンも認識できる。しかし、システムに組み込まれていない図形は何もされずに出

力される。図形置換はすでに Web 上のサービスも存在しており、Auto Draw[4] ではユーザーの描画したイラストの置換候補を多数表示して、ユーザーが選択できるようにになっている。

Zitnick[23] は手描きを活字や幾何図形、直線などに置換する補正ではなく、手描きのストロークを平均化する補正を提案している。これにより、ユーザーの手描きの個性を残すことが可能となる。

これらの補正技術によって、描き手以外の他者は文字などの認識をしやすくなるが、描き手自身の画力は向上できない。

### 2.3 手描きの模写支援

手描きによる模写の学習支援には、手本の多様性による支援と、評価方法による支援がある。

手本の多様性による支援では、城内ら [17] は AR を用いて、仮想空間にあるコップなどのモチーフを自由な角度で表示できるシステムを構築した。加えてこのシステムは、音声によって輪郭描画のアドバイスをを行っているため、学習者の目線の移動を軽減できる。山田ら [20] は、様々な方向から見た人物の全身の輪郭線を正しくスケッチできるスキルを身につけることを支援する学習支援環境を構築した。3D モデリングを使用することで、使用者の描きたい構図を選択しやすくしている。

評価方法による支援では、Murakami and Murayama[16] は人物キャラクターの描画を独習するための採点機能付き学習システムを開発した。システムは学習者が描画した模写画像を 5 種類の評価用画像に加工し、それを比率、サイズ、位置の 3 つの観点から評価して、その評価点を学習者にフィードバックする。山田ら [21] は、アニメや漫画キャラクターの描画学習支援システムを開発した。学習者が模写した実際のアニメのキャラクターを、その模写画像と手本画像の特徴量の差から、目の大きさや縦横の比率などを採点する。曾我ら [18] は、カメラで撮影した画用紙上のデッサン画を、評価するシステムを開発した。このシステムには、形状だけでなく陰影のアドバイスも搭載している。

手本の多様性による支援は描画する前の補助をしており、評価方法による支援では描画した後の補助をしている。提案手法は描画している最中の補助と位置付けられる。

## 3. 提案手法

本研究では模写の支援として、模写する図形を幾何図形の組み合わせに近似し、その組み合わせから不要な線を消去する描画手法を提案する。本研究における消去の定義は、一度描画した線をその後の操作で消すことである。消去の対象となるイラストは、複数の線や図形を組み合わせで構成されるイラストである。特に対称性や法則性のあるイラストでは、消去を用いやすい。図 3 は、図 1 に提案手法を

図3 提案手法を適用して図1の図形を模写した例

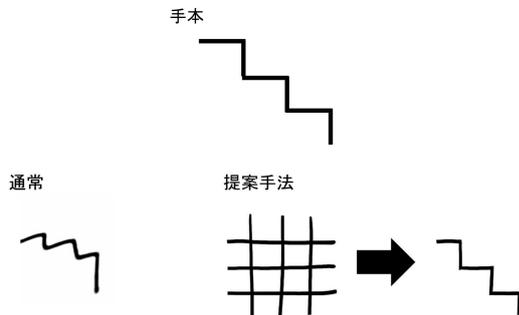


図4 均一かつ平行に模写できる例

適用した際の手順である。(a)で楕円を2つ重ねて描画した後、(b)の点線部分を消去する。これにより図1と似た(c)の図形が完成する。CADソフトなどには提案手法と同様の機能を持つものがあるが、ユーザーの手描きには対応していない。また、Iarussiら[5]は、手本にしたいモチーフの画像を入力すると、その画像を多角形に近似して提示するシステムを開発した。Iarussiら[5]は多角形という大まかな形を提示することで、最初から詳細に描画するよりも描画難度を下げている。しかし、モチーフが複雑になるほど近似する多角形の角の数は増え、三角形や四角形と比較して描画難度が高くなると考える。本研究では近似する図形を楕円、四角、三角、線に限定する。

提案手法を用いると、描き手は手本通りの形に正確かつ容易に描画できるようになり、特に均一性が保たれた描画ができる。例えば、図4の上図のような階段状の線を描画する際、通常の描き方では、線の長さや角度が箇所によって異なり、描き手は線同士が平行であることを再現できない。しかし、格子状になるように線を描画し、不要な箇所を消去する提案手法では、描き手は正方形を意識して描画でき、線の長さや間隔を捉えやすい。その結果、提案手法は、長さが均一で線同士が平行な図形を容易に描画できる。

## 4. 実験

イラストの模写の描画支援における提案手法の有用性を検証するために、実験を実施した。統制群は提案手法を用いずに課題イラストを描画し、実験群は提案手法を用いて課題イラストを描画する。被験者が描画したイラストを、各群および各課題で分析する。

### 4.1 実験の手順

実験の手順を以下に示す。

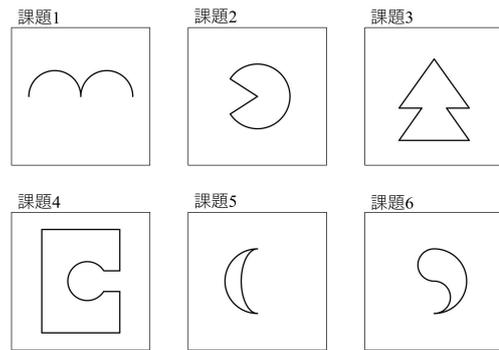


図5 実験の課題イラスト

#### 4.1.1 被験者

被験者は18名で、各群9名である。両群に参加する被験者はいない。すべての被験者は実験時に大学生である。すべての被験者は小学校から高等学校までの学校教育で絵を描画した経験はあるものの、絵画教室など絵の専門的な教師あり学習は受けていない。また4.1.3項で説明する実験システムを初めて使用する。

#### 4.1.2 課題イラスト

図5は被験者が描画する課題イラストである。課題イラストと提示順序は被験者や群によって差はない。

課題イラストは曲線のみ、直線のみ、直線と曲線のいずれかで構成されている。また、提案手法を用いる際に描画する図形は、円のみ、円と線、多角形のみ、円と多角形のいずれかで構成されている。

#### 4.1.3 実験システム

実験にはSurface Pro 3とSurface Penを使用し、画面サイズは2160px × 1440pxである。図6は実験群のシステム、図7は統制群のシステムである。実際の画面には図6、および図7上にある日本語は表示されていない。

実験群が使用するシステムには固有の機能として、交点検出とDelete機能がある。交点検出では図8に例示する方法を用いる。図中のように白線a、黒線bが順に描画されている場合、まず白線a上の点n、点n+1と黒線b上の点m、点m+1から交点pが算出される。算出された交点pが点n、点n+1、点m、点m+1の範囲内にあれば、交点として採用されるため、交点pは不採用となる。これをすべての線のすべての隣り合う2点の組み合わせで行う。図8の結果では、点n+1、点n+2、点m+1、点m+2から構成される領域内に交点qが表示される。交点検出によって、被験者の描画した線は図9のように始点～交点、交点～交点、交点～終点、交点のない線の4種類の線分に分けられる。Delete機能では、被験者が消去したい線分にタッチすると、図9の4種類の線分のどれに該当するのかがシステムが判断し、その線分が消去される。Delete機能を導入した理由は、タッチペンで過不足なく線を消すスキルなどの外的要因によって、本実験の目的である提案手法の有用性

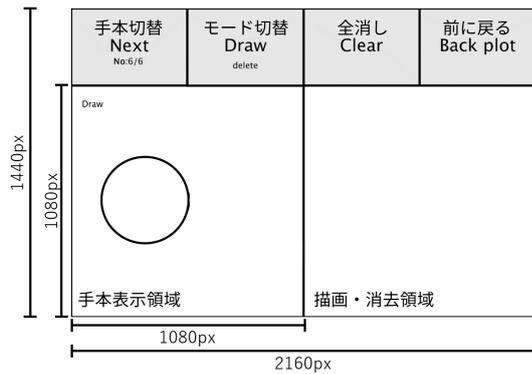


図 6 実験群が使用した実験システムの GUI

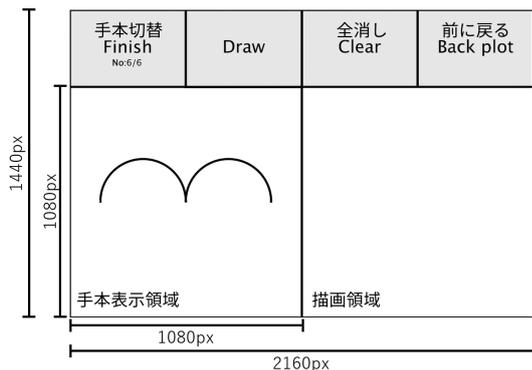


図 7 統制群が使用した実験システムの GUI

の検証に影響が及ぼされないようにするためである。

両群に共通する機能として、線を描画できる Draw 機能、一つ前の操作を取り消せる Back Plot 機能、描画した線をすべて消去できる Clear 機能がある。

手本表示領域に表示される手本は、群によって異なる。統制群には図 5 の課題イラストそのものを提示する。統制群は描画する形が 1 つであるため、手順を提示しない。一方、実験群は描画する形が複数あるため、図 10 に示す手順を提示した。例えば課題 1 に提案手法を適用する場合、1 画目と 2 画目に円を描画し、3 画目は 2 つの円を横断するように横線を引く。最後は、課題イラストと同じになるまで線を消去する。

#### 4.1.4 被験者への指示

両群には課題イラストと同様の位置、同様の大きさ、同様の形で描画するように指示した。また、両群には描き始めの位置や線を描画する方向は指示しなかった。すなわち、上下左右どこから描き始めてもよい。例えば、統制群の課題 5 や実験群の円を描画する際に、上から反時計回りや、下から時計回りなどの向きで描画してもよい。

#### 4.1.5 実験の流れ

実験は大きく 2 段階ある。

- (1) 実験システムの説明および練習
- (2) タスクの実施

(1) 実験システムの説明および練習では、実験者は被験者に 4.1.3 項の実験システムの各機能について説明する。

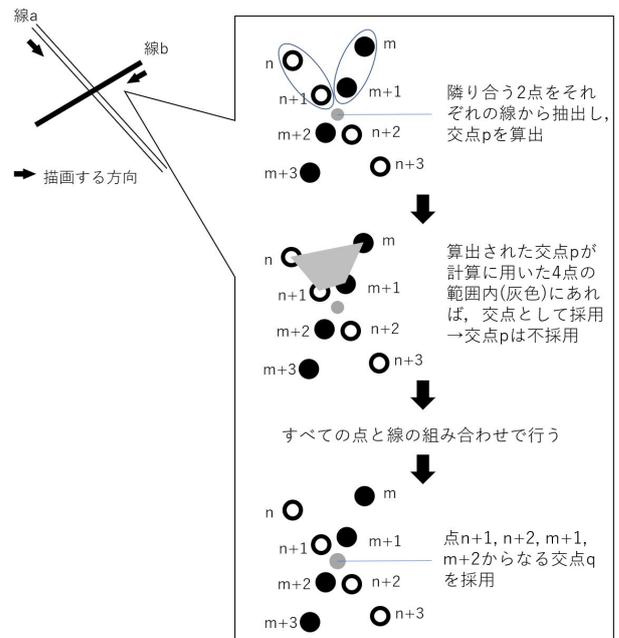


図 8 交点の検出方法

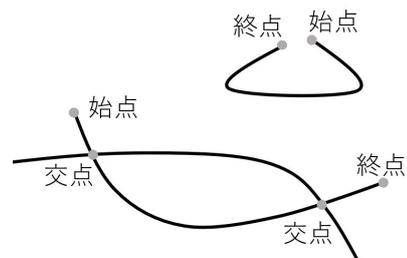


図 9 消去対象となる 4 種類の線分

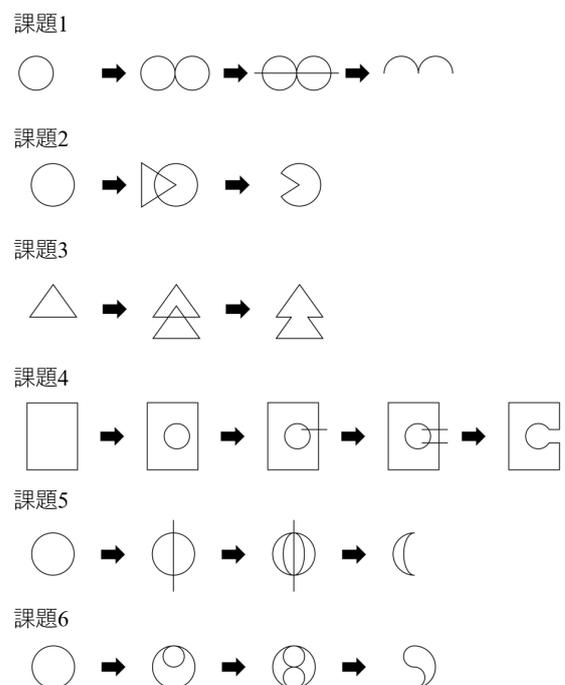


図 10 課題の手順

次いで、被験者はシステムの操作を、以下のように一通り練習する。説明と練習は10分を限度とし、被験者が満足するまで行われる。

**Draw 機能** 線を数本描画する

**Delete 機能** 描画した線の一部を消去する

**Back Plot 機能** 一つ前に描画した線が消えること、もしくは消去した線が元に戻ることを確認する

**Clear 機能** 描画した線がすべて消え、Back Plot 機能を使用しても元に戻らないことを確認する

(2) タスクの実施では、被験者は4.1.2項の6種類の課題イラストを模写する。被験者はタスクの実施中にその都度実験者に質問でき、結果に影響のない範囲で回答を得られる。また、各課題イラストの描画に時間制限は設けず、被験者が満足するまで繰り返し描画してもらう。

## 4.2 評価手法

本研究では、正確性として4つの指標、迅速性で1つの指標を用いて描画イラストを評価する。描画イラストとは被験者が各課題で最後に描画したイラストであり、途中で消されたイラストや描き直されたイラストは評価対象としない。なお、平行性、円形度、対称性においては、対応する課題のみに適用する。

また、群間評価と課題間評価の比較の2種類を行う。群間評価では、提案手法が既存手法よりも有意に機能するかを明らかにする。そのため、5つの指標を同じ尺度で表す必要がある。各指標の両群の値の中で最も悪い値を0、最もよい値を100として正規化し、点数とする。課題間評価では、どの課題及びどのような形に提案手法が有意に機能するかを明らかにする。

### (1) 一致度 (全課題)

図11に示すように、描画イラストを課題イラストに重畳し、一致面積を算出する。この時、描画イラストと課題イラストの重心を合わせる。(2)式に各値を代入し、一致度を算出する。一致度が高いほど、同じ形に描画できている。群間評価では、一致度が高いほど100に近い点数となる。

$$\text{一致度} = \frac{\text{一致面積}}{\text{課題イラストの面積}} \quad (2)$$

### (2) 平行性 (課題3, 4)

描画イラストにハフ変換[13]を適用し、直線を検出する。検出された直線の中から、図12の太線で表示されている線分ペアの角度を算出する。なお図中の3-a, 4-bなどは線分ペア名である。ハフ変換で検出された線が複数ある場合は、角度の平均を取る。角度の平均値が低いほど、平行に描画できている。群間評価では、角度の平均値が低いほど100に近い点数となる。

### (3) 円形度 (課題1, 2, 5, 6)

円形度[13]を算出する。円形度は図形がどれだけ

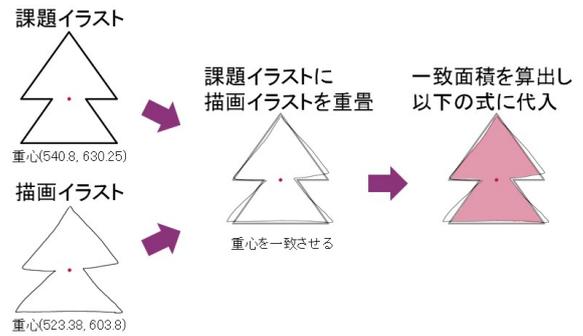


図11 一致面積の算出方法

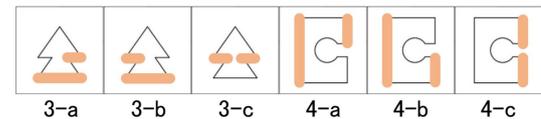


図12 平行性を評価する線分ペア

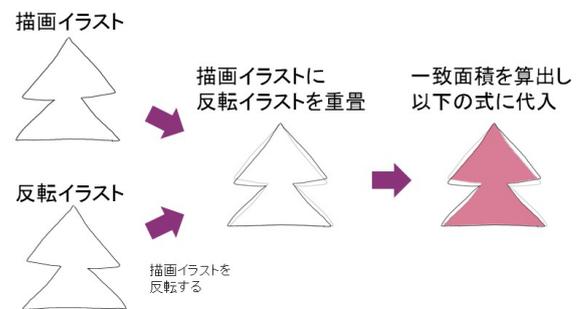


図13 対称性における一致面積の算出方法

円に近いかを表す尺度である。本研究では円形度そのものの高さではなく、描画イラストの円形度と課題イラストの円形度の差を比較する。円形度の差が低いほど、課題イラストと同様に曲線が描画できている。群間評価では、円形度の差が低いほど100に近い点数となる。

### (4) 対称性 (課題1, 2, 3, 4, 5)

対称性の中でも鏡像対称性を検証する。図13に示すように、描画イラストをx軸もしくはy軸で反転し、反転イラストを作成する。その反転イラストと描画イラストを、鏡映軸を基準に重畳し、一致面積を算出する。(3)式に各値を代入し、対称度とする。対称度が高いほど、対称的に描画できている。群間評価では、対称度が高いほど100に近い点数となる。

$$\text{対称度} = \frac{\text{一致面積}}{\text{描画イラストの面積}} \quad (3)$$

### (5) 描画時間 (全課題)

各課題の描画時間をストップウォッチで計測する。描画時間が短いほど、早く描画できている。群間評価では、描画時間が短いほど100に近い点数となる。

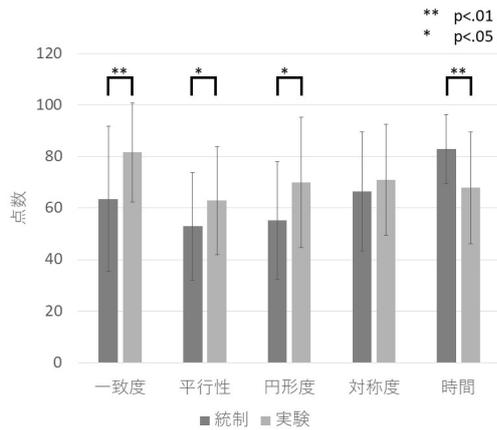


図 14 群ごとの評価結果

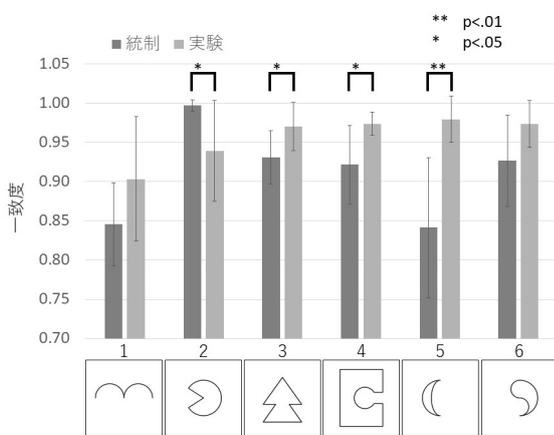


図 15 一致度に関する結果

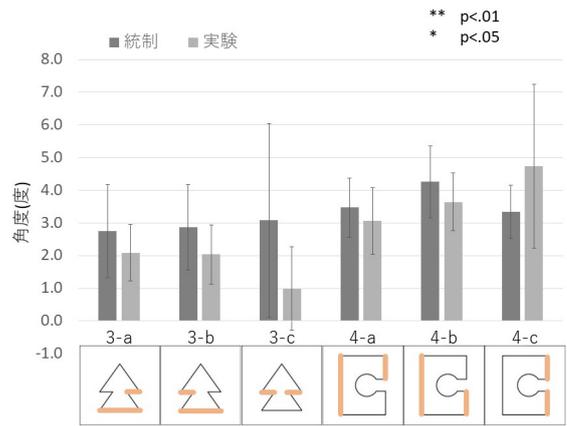


図 16 平行に関する結果

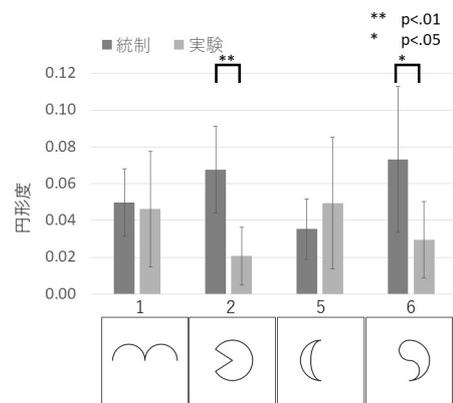


図 17 円形度に関する結果

## 5. 結果

### 5.1 群間評価

図 14 に群間評価に関する結果を示す。正確性の 4 つの指標において、実験群の平均点数が統制群よりも高かった。また、一致度、平行性、対称度において実験群の標準偏差が統制群よりも高かった。Welch の t 検定を適用したところ、一致度、平行性、円形度の点数では有意水準 5% で有意差が観測された (一致度  $p=0.0003$ , 平行性  $p=0.02$ , 円形度  $p=0.02$ )。しかし描画時間では、実験群の方が統制群よりも時間がかかっていた。

### 5.2 一致度

図 15 に一致度に関する結果を示す。課題 1, 課題 3, 課題 4, 課題 5, 課題 6 で、実験群の一致度が統制群よりも高かった。また、課題 3, 課題 4, 課題 5, 課題 6 で実験群の標準偏差が統制群よりも低かった。Welch の t 検定を適用したところ、課題 3, 課題 4, 課題 5 の一致度において有意水準 5% で有意差が観測された (課題 3  $p=0.04$ , 課題 4  $p=0.02$ , 課題 5  $p=0.001$ )。

### 5.3 平行性

図 16 に平行に関する結果を示す。課題 3 では 3 つすべて、課題 4 では 4-a と 4-b で実験群の角度が統制群よりも小さかった。また、課題 3 のすべてと 4-b で実験群の標準偏差が統制群よりも低かった。Welch の t 検定を適用した有意差は観測されなかった。

### 5.4 円形度

図 17 に円形度に関する結果を示す。課題 1, 課題 2, 課題 6 で実験群の円形度の差が統制群よりも低かった。また、課題 2, 課題 6 で実験群の標準偏差が統制群よりも低かった。Welch の t 検定を適用したところ、課題 2 と課題 6 の円形度において有意水準 5% で有意差が観測された (課題 2  $p=0.0002$ , 課題 6  $p=0.02$ )。

### 5.5 対称性

図 18 に対称性に関する結果を示す。課題 1, 課題 3, 課題 4, 課題 5 で実験群の対称度が統制群よりも高かった。また、課題 1, 課題 3, 課題 5 で実験群の標準偏差が統制群よりも低かった。Welch の t 検定を適用したが有意差は観測されなかった。

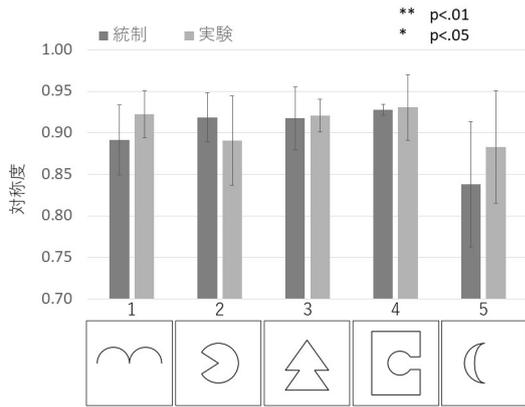


図 18 対称性に関する結果

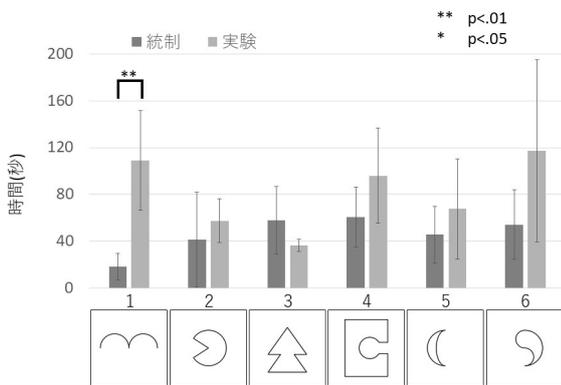


図 19 描画時間に関する結果

## 5.6 描画時間

図 19 に描画時間に関する結果を示す。課題 3 で、実験群の描画時間が統制群よりも短かった。しかし、課題 1、課題 6 は実験群の方が統制群よりも 2 倍以上の時間がかかっていた。また、課題 2、課題 3 で実験群の標準偏差が統制群よりも低かった。Welch の t 検定を適用したが有意差は観測されなかった

## 6. 考察

### 6.1 全体

描画の正確性を測る評価指標のすべてで、実験群の平均点数が統制群よりも高い結果となっていた。一方、実験群は、統制群よりも描画する図形の数や消去操作が増えてしまい、描画時間が多くかかった。しかし、本研究では正確かつ容易に描画できることを目的としているため、正確性の高い提案手法のほうが優れていると考える。

### 6.2 一致度

6 種類の課題のうち 5 種類の課題で実験群の一致度が統制群よりも高かったことから、提案手法は手本と同じ形に描画できているといえる。また、課題 2 にて統制群の一致度が実験群よりも高かった要因は、図 20 のように面積を手本よりも大きく描画する被験者が多く、重心を合わせると

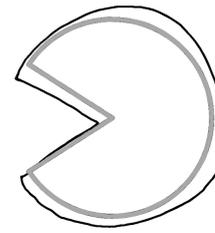


図 20 重心を合わせた課題 2 の一例  
(黒線: 被験者の描画イラスト, 灰線: 手本)

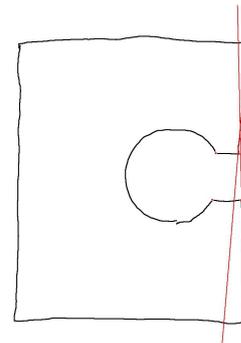


図 21 ハフ変換による直線の検出例

手本よりも描画イラストがはみ出たことが挙げられる。はみ出た面積を考慮するなど、評価方法の改善が考えられる。

### 6.3 平行性

課題 3 では横線、課題 4 では縦線をそれぞれ比較しており、その両方で実験群の角度が統制群よりも小さかったことから、提案手法には線の向きによる違いはないと考える。つまり同一直線状にある離れた線をそれぞれ描画するよりも、1 度に描画して不要な箇所を消去した方が平行に描画できる。4c で統制群の角度が実験群よりも小さかった要因として、ハフ変換による直線検出にて、図 21 のように交差する線が検出されたことが挙げられる。まっすぐな線を引くよう気を付けて描画しても、直線の長さによっては途中で曲がってしまい、平行性の評価が低下してしまうことが分かった。

### 6.4 円形度

提案手法のように円を描画してから消すことで、曲線が入ったイラストにおいて、描画イラストと手本との円形度の差を通常の描画と比較して小さくできることが分かった。加えて、有意差が観測された課題 2、課題 6 と観測されなかった課題 1、課題 5 の違いとして、右半分の半円が描画されている点がある。被験者はすべて右利きだったため、自分の手で隠れてしまう右側の半円は直接描画しづらくなる。提案手法では、円そのものを描画しているため、バランスを保ったまま描画できたと考える。

## 6.5 対称性

統制群と実験群の結果の差が大きかった課題 1, 課題 5 は, 円と線を描画しており, 最終的には曲線だけの組み合わせとなる. そのため, 直線同士の角のない図形に提案手法を適用すると, 対称性に効果があると考えられる.

## 6.6 描画時間

本実験の課題イラストは, 通常の描画方法を用いると一筆で描画できる. そのため, 被験者の中には一筆で描画し, すぐに次の課題に進んだ人もいた. しかし, 提案手法では複数の図形を描画して余分な線を消すため, 操作が複数となり, すぐ次の課題に進めない. そのため, 描画する図形の数と消去する線の数の総数が多い実験群は, 統制群よりも時間がかかっていた.

## 7. まとめ

本研究では, 描画形状把握のための消去指向型描画スタイルを提案しその有用性を検証した.

今後の課題として, 異なる手本を用いた実験と学習支援システムの検討が挙げられる. 異なる手本を用いた実験では, 今回用いたイラストよりも画数や消去数の多いイラストや, 描画してから消去し, 再度新しい箇所を描画するといった描画と消去の手順が複雑に組み合わさったイラストなどを手本として考えている. 学習支援システムの検討では, システムに模写したい画像を入力することで, 幾何図形の組み合わせを出力するシステムを考える. また, 学習者が自ら幾何図形の組み合わせを考案できるように, 幾何図形の組み合わせ方法を学習するシステムも考える. 学習者が課題となる対象に幾何図形を当てはめていき, システムが使用した図形の個数などからアドバイスを与えることで, 組み合わせ方法を身につけることを目指す.

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP15K00279 の助成を受けたものである. また, 評価方法について適切なアドバイスをしてくださった寺井あすか准教授 (公立はこだて未来大学) に感謝いたします.

## 参考文献

[1] Cheema, S., Gulwani, S. and Laviola, R.: QuickDraw: Improving Drawing Experience for Geometric Diagrams, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1037-1046 (2012).  
[2] Dixon, D., Prasad, M. and Hammond, T.: iCanDraw? Using Sketch Recognition and Corrective Feedback to Assist a User in Drawing Human Faces, *Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 897-906 (2010).  
[3] えかきうた.com: どうぶつえかきうた (オンライン), 入手先 <https://www.youtube.com/watch?v=KQLUOQiLgfk>

(参照 2018).  
[4] Google Inc.: AutoDraw (online), available from <https://www.autodraw.com/> (accessed 2018).  
[5] Iarussi, E., Bousseau, A. and Tsandilas, T.: The Drawing Assistant: Automated Drawing guidance and feedback from photographs, *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (2013).  
[6] いらすとや: いらすとや (オンライン), 入手先 <https://www.irasutoya.com/> (参照 2018).  
[7] 石橋健太郎, 岡田 猛: 創造のための「芸術作品の知覚」経験: 模倣に焦点をあてて, *認知科学*, Vol. 11, No. 1, pp. 51-59 (2004).  
[8] ジャック・ハム 著, 島田照代 訳: 動物の描き方, 株式会社嶋田出版 (1977).  
[9] 株式会社セルシス: CLIP STUDIO PAINT(オンライン), 入手先 [https://www.celsys.co.jp/service/studio\\_paint](https://www.celsys.co.jp/service/studio_paint) (参照 2018).  
[10] 戎 直哉, 宮田一乗: 顔のあたり描画支援システム, *映像情報メディア学会技術報告*, pp. 27-30 (2013).  
[11] Khomenko, V., Volkoviy, A., Degtyarenko, I. and Radyvonenko, O.: Handwriting Text/Non-Text Classification on Mobile Device, *Proceedings of International Conference on Artificial Intelligence and Pattern Recognition* (2017).  
[12] キミコ・プラン・ドウ.: キミ子方式とは (オンライン), 入手先 <http://www.kimiko-method.com/rule.htm> (参照 2018).  
[13] デジタル画像処理 [改訂新版]: 公益財団法人画像情報教育振興協会 (2015).  
[14] 神志那弘志: 手の描き方 神志那弘志の人体パーツ・イラスト講座, 株式会社エムディエヌコーポレーション (2017).  
[15] 松本昭彦: キミ子方式と大学生, *愛知教育大学教育実践総合センター紀要*, Vol. 8, pp. 189-196 (2005).  
[16] Murakami, R., Muranaka, N.: Grading Evaluation Method in Character Drawing Study Support System, *IEEE 45th International Symposium on Multiple-Valued Logic*, pp. 127-131 (2015).  
[17] 城内和也, 曾我真人, 瀧 寛和: AR で自由に決定した視点位置でのスケッチ描画を支援する学習支援環境, *インタラクシオン 2010* (2010).  
[18] 曾我真人, 松田憲幸, 高木佐恵子, 瀧 寛和, 岩城朝厚, 辻 達也, 大西隆裕, 吉本富士市: 自動診断助言可能な鉛筆デッサン学習支援システム, *インタラクシオン 2005*, pp. 27-28(2005).  
[19] Renata, H., Jiri, S: Cross-Curricular Physics and Criminology Relationship on Example of Handwriting, *US-China Education Review A*, Vol. 7, No. 7, pp. 323-335 (2017).  
[20] 山田 卓, 曾我真人, 瀧 寛和: 視点を自由に設定可能な人物の輪郭線スケッチ学習支援環境の構築, *情報処理学会インタラクシオン 2011* (2011).  
[21] 山田太雅, 棟方 渚, 小野哲雄: 人物キャラクタの模写における絵の評価システムの提案, *エンタテインメントコンピューティングシンポジウム*, pp. 574-579 (2015).  
[22] Zeleznik, R., Bragdon, A., Liu, C.-C. and Forsberg, A.: Lineogrammer: Creating Diagrams by Drawing, *Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 161-170 (2008).  
[23] Zitnick, C. L.: Handwriting Beautiful Using Token Means, *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 32, No. 53 (2013).