

# ドローイングストロークの線形回帰に基づく

## パース技術評価に関する基礎的検討

### Basic study on evaluating perspective techniques based on linear regression of drawing strokes.

Kanato SUGII<sup>\*1</sup>, Takashi NAGAI<sup>\*2</sup>, Mizue KAYAMA<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

<sup>\*2</sup> Institute of Technologists

概要：本研究の目的は、ドローイングスキルの習熟度を定量的に評価するための指標の具体化である。観察ドローイングにおいて、奥行きを捉える技術（パース）は重要とされている。本研究では、独自開発した遠隔ドローイング学習支援システムに蓄積されたドローイング作品に含まれる、ストロークの座標データからパースの良不良を評価するための基礎的検討を試みた。具体的には、ドローイング作品のストローク群からパースに関係するものを抽出し、線形回帰により消失点を推定した。本稿ではまず、観察ドローイングにおけるパースと、本研究で取り扱うドローイングデータについて述べる。次に、線形回帰に基づくパースと消失点について示し、学習者と指導者の結果を比較する。その上で、推定消失点のドローイング習熟度評価指標としての可能性と、自動評価の方法について考察する。

キーワード: ドローイング, ストローク, パース, 消失点, 線形回帰, 習熟度評価, スキル獲得支援

## 1. はじめに

ドローイングは美術教育における基本的な技法として位置づけられ、入門者が最初に学ぶべき内容とされている(1)(2)。観察ドローイングにおいて、対象物（以下、モチーフ）の奥行き表現する技術（以下、パース）は重要なものとされている。しかし、パースの技術を初学者が身につけるためには多くの時間を要する。また、初学者が描画中に自身のパースの良不良を認識することも難しい。そこで、本研究ではパースの習熟度を示す定量的な指標を探究することで、初学者におけるドローイングスキルの獲得支援を目指す。永井らの研究(3)によって、ドローイング作品を構成す

る線（以下、ストローク）のキャンバスに対する座標情報の記録が可能となっている。本研究では、描かれたストロークの座標情報に基づく解析から、ドローイング作品に用いられているパースを可視化し、ドローイングスキルの定量的な評価が可能となる仕組みの実現を目指す。その基礎的検討として、本稿では、ドローイング作品におけるパース推定手法を検討し、学習者と指導者の比較から、ドローイングの習熟度を定量的に比較する長指標としての可能性を考察する。

## 2. ドローイン作品のストロークデータ

### 2.1 遠隔ドローイングシステムの概要

ドローイングの学習を個人で行う場合、自分の癖や弱점에自ら気づくことは難しい。そのため、美術スクールに通い指導を受けることが多い。しかし、一对多の授業形態では指導者が学習者一人ひとりのドローイングをすべて把握することは難しい。そこで永井らは、ネットワーク環境を用いた美術入門者のためのドローイング学習支援システムを構築した(3)。このシステムを利用することで、学習者は時間と場所に制約を受けることなく指導者からアドバイスや評価を得られるようになることが期待される。このシステムは、学習者がドローイング作品を描く過程で用いたすべてのストロークの幾何的情報を記録している。

## 2.2 ドローイングのプロセスデータ

永井らのドローイング学習支援システムでは、筆記具としてデジタルペンを、学習プラットフォームとして Plone CMS (以下、CMS) を利用する。デジタルペンが記録したドローイング過程のストロークデータをドローイングプロセスデータと称する。このシステムではドローイングプロセスデータを CMS に蓄積する。ここで、ドローイングプロセスを再生するためのツールであるドローイングプロセスビューアの例を図 1 に示す。これはドローイングプロセスを時系列解析したグラフエリアと再生エリアから構成される。学習者および指導者は、ここで再生されるドローイングプロセスを確認しながら学習や指導を行う。

学習者や指導者はドローイングプロセスビューアを用いてドローイングプロセスを参照・閲覧できる。これにより、オンラインであってもオフラインの学習に近い体験が得られる。時間と場所に制約されずにドローイングプロセスを再生可能なため、指導者は全学習者のドローイングプロセスに対する指導が可能となる。また学習者も他者のドローイングプロセスを参照・再生可能となるため、自身のドローイングプロセ

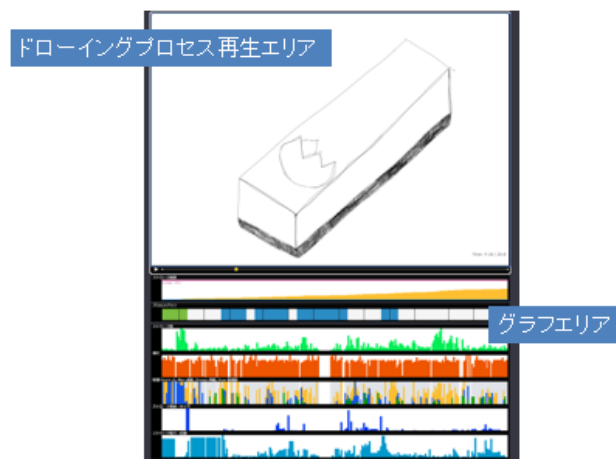


図 1 ドローイングプロセスビューア

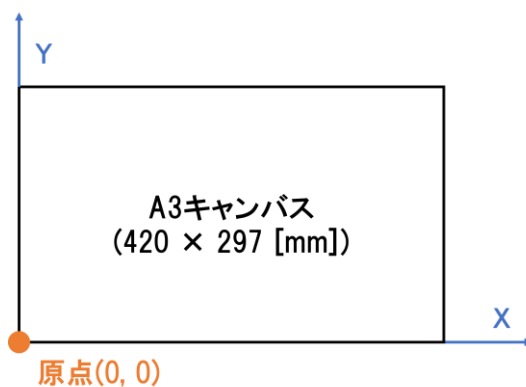


図 2 A3 サイズのキャンバス

スとの違いや優れた描画技法を観察することができる。

## 2.3 ドローイング作品のストロークデータ

ドローイング学習支援システムに蓄積されているドローイングプロセスデータには、ストロークの描かれたタイミングや筆圧、キャンバスに対する座標の情報などが含まれている。これらの情報の中から本解析では、キャンバスに対する座標情報を用いる。座標情報は、図 2 に示すキャンバス上のある 1 頂点を原点とした  $x$  座標  $X(0 \leq X \leq 420 \text{ [mm]})$  と  $y$  座標  $Y(0 \leq Y \leq 297 \text{ [mm]})$  で表される。

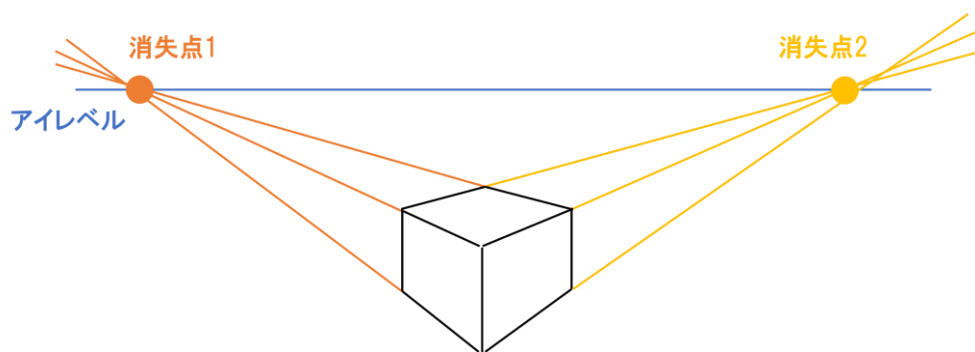


図 3 2点透視法による消失点

### 3. パースの可視化

#### 3.1 パース

パースとは、英単語の **perspective** の略称であり、ドローイングにおいては遠近法を用いた描画手法を指す。パースは、平面上でモチーフの奥行きを感じさせる表現技法である。パースには様々な種類があるが、本稿では線遠近法によるパースを対象として解析することとする。線遠近法は、「人の目には奥へ伸びる平行線が一点へ収束して映ることに起因する人の奥行知覚を利用し、収束する平行なストロークを描くことで遠近感をおこさせる技術である」(4)と定義されている。ストロークが収束する一点を“消失点”と称する。線遠近法には、モチーフに対する消失点の数に応じて3種類(1点透視法、2点透視法、3点透視法)存在する。2点透視法を用いて紙箱のような単純な直方体をモチーフにドローイングを描く場合には、図3のように1つの消失点に対して3つの辺が収束する。全ての消失点はアイレベルと呼ばれる水平線上に位置することが理想とされている。

#### 3.2 解析対象

##### 3.2.1 対象データ

永井らの遠隔ドローイング支援システムには841件のドローイングプロセスデータが蓄積されている。これらのデータは2012年～2022年までの11年間、美術専門学校でのデジタルドローイングクラスにおいて生成された。デジタルドローイングクラスでは、規定時間以内に指定されたモチーフに対してデジタルペンでドローイングを行う。規定時間は20分とされ、指定モチーフはクラス前半が紙箱、後半が紙袋とされた。

本稿では予備解析として841件のデータの内、学習者3名(以下、A, B, C)と、指導者1名の計4名のドローイングプロセスデータを解析対象とする。上記の3名はドローイング指導者により、デジタルドローイングクラスでの成長の度合いが高いと判断された学習者である。なお、AとBは完全な初学者であり、Cはドローイング学習の経験を有する学習者である。

ドローイングプロセスデータのモチーフは、紙箱

と紙袋である。予備解析ではパースの可視化が容易である紙箱をモチーフとした12のドローイング作品(以下、紙箱ドローイング)を対象に解析する。解析対象とする12種のデータは、解析対象者4名それぞれに、異なる紙箱をモチーフとした3回分のプロセスデータである。なお、学習者については、1回目の紙箱ドローイングが初回学習であり、2回目、3回目の紙箱ドローイングはそれぞれ前回のドローイング学習から2週間後に描かれたものである。解析対象とした12種の紙箱ドローイングのアウトライン描画段階の終了時刻は、浅井らの先行研究(5)によって定義済みである。

##### 3.2.2 アウトライン描画段階

本研究では、ドローイングプロセスデータのうち、描画開始からアウトライン描画段階(5)までの区間を対象にパース解析を行う。アウトライン描画段階とは、「ドローイングにおいて、最初のストロークを描き始めてから1番最初のトーンが描かれるまでの段階」のことを指す(5)。トーンとは、モチーフの明暗や質感を描画するために引かれる複数のストロークを指す。

以下に、アウトライン描画段階までのプロセスデータを用いる理由を示す。

- ① アウトライン描画段階は、モチーフの概形を捉える段階であり、パースの正確さはこの段階でほぼ決定する。
- ② トーンが描かれる前のドローイング作品から、パースを構成しているストロークを判別することは可能である。

図4では、アウトライン描画段階終了時のドローイングと指導者の1個目の紙箱ドローイングの完成

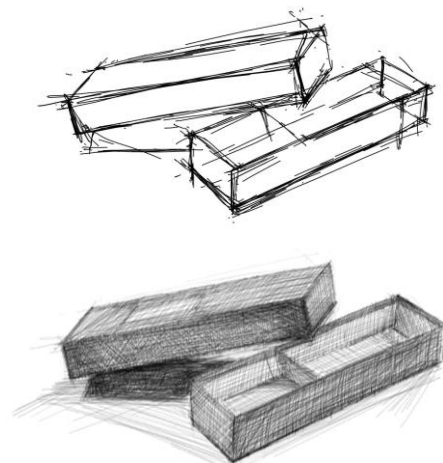


図4 アウトライン描画段階終了時(上)と完成時(下)の紙箱ドローイング

作品を比較する。アウトライン描画段階終了時と完成時において、モチーフのアウトラインに大きな差はないことが分かる。また、アウトライン描画段階終了時にはトーンが描かれていないため、パースを構成しているストロークを見分けやすいことが分かる。

### 3.3 解析手法

解析は以下の手順でおこなう。

- I. ストロークをモチーフの辺ごとに分類する。
- II. 分類されたストローク群の座標データを用いて線形回帰をおこない、求められた傾きと切片から辺の延長線を可視化する。
- III. 可視化された辺の延長線を、同じ方向に向いている 3 本 1 組で分類し、消失点方向における交点を求める。この 3 本 1 組の辺を“消失点構成辺”と定義とする。
- IV. IIIで求めた交点の重心を消失点として推定する。なお、交点が 1 つであった場合には、その 1 点を消失点とした。

線形回帰には、Python の scikit-learn を用いた。4 名の対象者が描いた紙箱ドローイングは、B の 3 回目は 1 点透視法で、それ以外は 2 点透視法で描かれていた。このことを踏まえて、パースを以下の 3 つの項目で定量評価する。

- ① 消失点構成辺の交点の数：3 つの交点が存在している状態を理想とし、交点の数が多いほど理想に近いとする。
- ② 消失点構成辺の交点同士の距離の総和：交点同士の距離の総和が小さいほど理想に近いとする。
- ③ 2 つの消失点の y 座標の距離の差：2 点透視法の場合に、2 つの消失点の y 座標の距離の差が少ないほど理想に近いとする。

ここで、②については、①の交点が 2 つ以上存在することを前提とする。また③は、①の交点が 1 つ以上であることと、解析対象のパースにおけるアイレベルがキャンバスの底面に対して水平であることを前提とする。このことから、図 4 に示したような 2 つの重なっている紙箱をモチーフとしたドローイングでは、紙箱の底面が地面に接しているデータを評価対象とした。

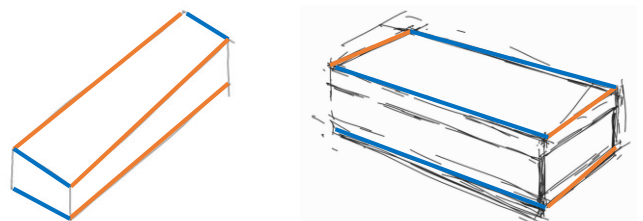
### 3.4 解析結果

解析結果の例として、学習者 A の 1 回目のドローイングと、指導者の 2 回目のドローイングのパースを可視化した成果を図 5 と図 6 に示す。図 5 は、それぞれのドローイングのアウトライン描画段階終了時の消失点構成辺を示している。それぞれの消失点構成辺を青色とオレンジ色で色分けした。どちらのドローイングも 2 点透視法で描かれている。図 6 は、箱の各辺を構成しているストローク群の座標情報に対して線形回帰をおこなった結果である。図 6 中の 4 つの黒丸はそれぞれ、A3 キャンバスの 4 つの頂点を表している。図 6 上に示す学習者 A の結果から、オレンジ色の消失点構成辺は収束傾向にあるが、青色の消失点構成辺は収束傾向にないことが分かる。一方で指導者は、オレンジ色と青色の消失点構成辺共に、一点に収束している。

解析対象である 12 個の紙箱ドローイングにおいてパースを定量評価した結果を表 1 に示す。定量評価の項目は、3.3 節で述べた 3 項目である。例えば、学習者 A さんの 1 回目の紙箱ドローイングについては、2 点透視法で描かれているので 2 組の消失点構成辺に対する解析結果が示されている。消失点 1 の方向の消失点構成辺は、交点が 2 個存在し、その 2 点間の距離は 1999[mm]であった。消失点 2 の方向の消失点構成辺は交点が存在しなかったため 0 個とした。また、交点が 0 個であるため、交点の距離の総和による評価と、消失点 1 と消失点 2 が同一のアイレベルに位置しているかの評価結果は記号「-」で示した。

### 3.5 考察

3.3 に示した各定量評価項目の有用性を考察する。まず、消失点構成辺の交点の数は、消失点構成辺がどの程度 1 つの消失点に集まっているかを示している。つまり、交点の数が多いほど消失点を意識したドローイングができていると解釈できる。よって、交点の数



—90— 図 5 学習者 A の 1 回目の紙箱ドローイング (左) と指導者の 2 回目の紙箱ドローイング (右)

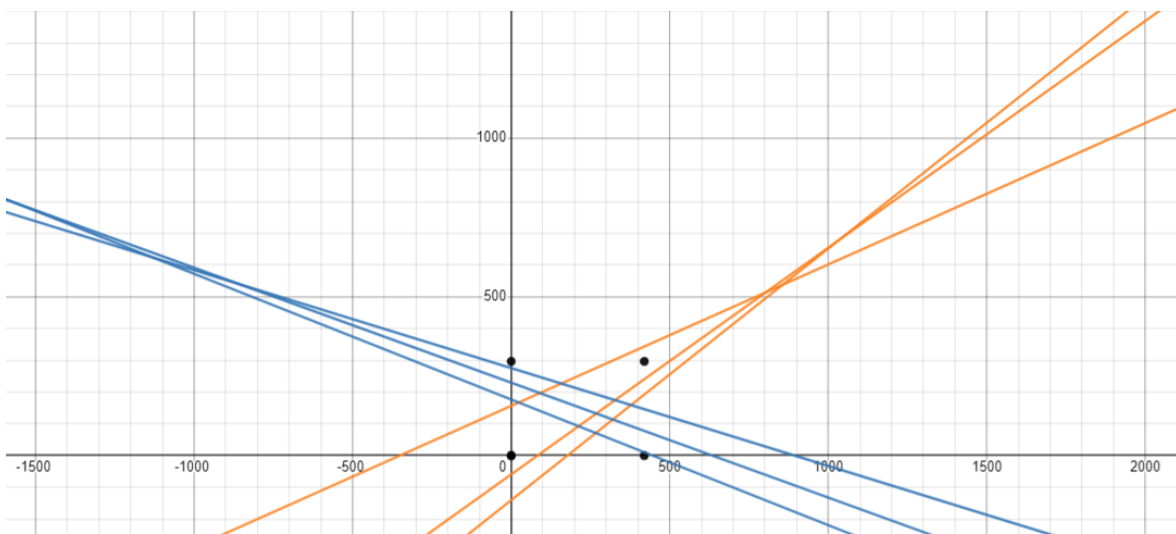
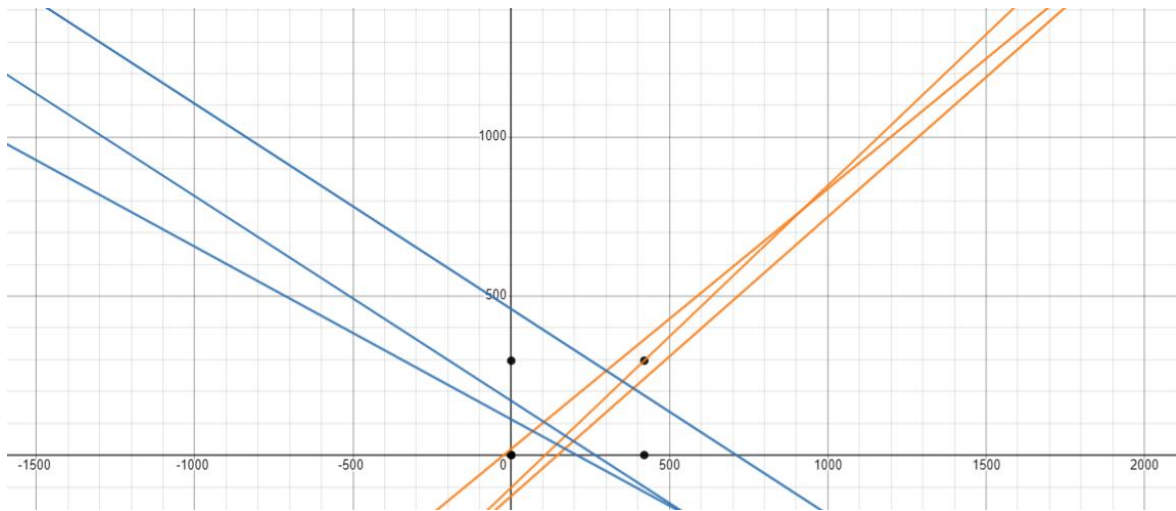


図 6 学習者 A の 1 回目の紙箱ドロ잉の可視化パース（上）と  
指導者の 2 回目の紙箱ドロ잉の可視化パース（下）

は、消失点を意識したアウトライン描画の評価に繋がると考えられる。次に、消失点構成辺の交点同士の距離の総和は、消失点構成辺が 1 つの消失点に向かっていることを前提として、それがどのくらいの精度かを知ることができる。つまり、距離の総和が少ないほど、消失点に向かってストロークを引く技術が高いといえる。よって消失点構成辺の交点同士の距離の総和は、消失点に向かって正確なストロークを引く技術の評価に繋がると考えられる。そして、2 つの消失点の y 座標の距離の差は、2 点透視法において 2 つの消失点がアイレベルからどの程度ずれているかを表している。よって、2 つの消失点とアイレベルとの関係を意識したドロ잉の評価に繋がると考えられる。

ここで、交点の数に注目すると、初学者である学習者 A と学習者 B については、3 つの交点を有する

消失点構成辺が存在しなかった。それに対して、ドロ잉学習経験を有する学習者 C と指導者については、3 つの交点を持つ消失点構成辺が複数データにおいて確認された。また、3 名の学習者の各ドロ잉の交点の数の総和を図 7 に示す。図 7 より、ドロ잉の回数を重ねるにつれて交点の数が増加していく傾向が確認できる。なお、学習者 B の 3 回目の紙箱ドロ잉については、1 点透視法で描かれているため、交点の総和が少なくなったと考えられる。

一方で、交点同士の距離の総和と 2 つの消失点の y 軸の距離の差については、3 名の学習者の値の変化幅は、指導者の値の変化幅に比べて大きい傾向にある。このことから、指導者は常に消失点を意識してアウトラインを描いており、消失点に向かってストロークを引く技術も高いと評価することができる。それに対し

表 1:各紙箱ドローイングの解析結果

対象者		交点の数 [個]	交点の距離 の総和[mm]	2つの消失点の y座標の距離の 差[mm]
A	1回目			
	消失点 1	2	1999	-
	消失点 2	0	-	
	2回目			
	消失点 1	2	6550	3097
	消失点 2	2	1244	
	3回目			
	消失点 1	2	503	153
消失点 2	2	364		
B	1回目			
	消失点 1	0	-	-
	消失点 2	0	-	
	2回目			
	消失点 1	2	2603	11
	消失点 2	2	2057	
3回目				
消失点 1	1	-	1点透視法	
C	1回目			
	消失点 1	2	1389	801
	消失点 2	2	6015	
	2回目			
	消失点 1	2	3751	833
	消失点 2	3	187	
	3回目			
	消失点 1	3	823	980
消失点 2	2	4749		
指導者	1回目			
	消失点 1	3	2344	49
	消失点 2	3	1764	
	2回目			
	消失点 1	3	574	76
	消失点 2	3	1507	
	3回目			
	消失点 1	3	695	34
消失点 2	3	1578		

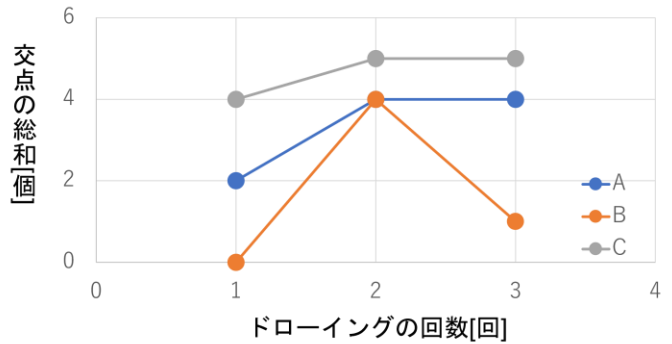


図 7 学習者のドローイング回数と交点の総和の関係

て学習者は、消失点を意識できていなかったり、ストロークを引く技術が未熟であったりすることが定量評価項目の数値から評価できる可能性がある。また、パースが習熟し、消失点構成辺が 3 つの交点を持つようになると、数値による他者との比較が可能となり、評価項目の数値の解釈が多様になると考えられる。しかし、この交点同士の距離の総和と 2 つの消失点の y 軸の距離の差に関しては、交点の数に依存する数値となるため、厳密な比較方法は今後の検討課題となる。

これらのことから、表 1 に示した解析結果は定量的な成長指標として適用できる可能性があると考えられる。特に、交点の数は「消失点を意識して描けているか」というパースを習熟していく上で重要な要素を評価できる可能性がある。

#### 4. スキル獲得支援への適用例

本章では、前章までに示した解析手法と結果の解釈の成果に基づくドローイングスキル獲得支援機能として、パースの可視化と直線精度評価を提案する。

##### 4.1 パースの可視化による評価機能

先行研究である遠隔ドローイング学習支援システムに対して、学習者のドローイングプロセスデータを基に図 5 や図 6 のような形でパースを可視化する機能を導入する。これにより、学習者は自身の描いたストロークが消失点に収束するか否かを視覚的に確認することができる。さらに、3.3 の定量評価項目の値を表示することで、どの程度消失点を意識できているかをフィードバックすることができる。さらに、消失点構成辺の交点が 3 つに満たなかった場合に、どの

辺をどの方向に描けば交点が 3 つになるかをナビゲートできる機能も有用であると考えられる。

#### 4.2 直線の精度評価機能

ドローイングでは、短い線を重ねてアウトラインを表現する方法が存在する。一方、中上級者のドローイングにおいては、長い 1 本のストロークを思い通りの線として描けるか否かが重要となる (6)。先行研究により、長いストロークで円を描くための支援システムが提案されている (6)。一方で、長い直線を描くための支援機能は未だ提案されていない。

それに対して、本稿で述べたストロークの座標データに線形回帰をおこなう手法を適用することで、直線の精度を評価する機能が実現できる可能性がある。学習者が描いた長い直線の座標データに対して、線形回帰の決定係数を求める。この決定係数を評価指標として、描かれた直線と一次方程式の直線との近似の程度を定量的に評価する。この評価をリアルタイムでフィードバックすることで、学習者は直線を上手く描いた際の身体動作を自覚しやすくなると考えられる。直線の精度を評価する機能は、円を描くことに対する支援機能よりも初歩的なものであろう。初学者が紙箱などの単純なモチーフをドローイングする際の支援に役立つことが期待される。

### 5. おわりに

本研究の目的は、ドローイングにおけるパースの習熟度を定量的に評価するための指標の具体化である。本稿ではまず、遠隔ドローイング学習支援システムと、それによって蓄積されたプロセスデータについて説明した。次に、パースの定義を示し、ドローイングプロセスデータに対する線形回帰による解析手法と評価指標を提案した。そして、複数の学習者と指導者のドローイングに対する解析結果を比較することで、パースに関する成長指標としての可能性を考察した。

今後は、本稿で提案した解析手法と評価指標の妥当性をさらに探究する。そのために、今回は解析対象としなかったドローイングプロセスデータを解析していく。そして、提案指標のスキル評価性能を精査した上で、ドローイング支援機能として実装していく。

### 謝辞

遠隔ドローイング支援システムを 2012 年より美術教育に導入頂き、多くの助言を頂いている日本外国語専門学校留学科海外芸術大学留学コースの教員と学生の皆様に感謝いたします。本研究は科研費 23K17015 により支援されています。

### 参考文献

- (1) 佐藤聖徳, “美術・デザイン系大学におけるデッサン指導の発展的試み”, 静岡文化芸術大学研究紀要, 4, pp.153-162, 2004.
- (2) 関根英二, “美術体系の試み”, 美術教育学会大学美術教科教育研究会報告, 6, pp.89-100, 1984.
- (3) Takashi Nagai, Mizue Kayama, Kazunori Itoh, “A Drawing Learning Support System based on the Drawing Process Mode” Interactive Technology and Smart Education, 11(2):146-164 2014(Apr.)
- (4) 遠近法-Wikipedia  
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%81%A0%E8%BF%91%E6%B3%95> (2023 年 6 月 11 日確認)
- (5) 浅井雄大, 香山瑞恵, 館伸幸, 永井孝, “ドローイングプロセスのアウトライン描画段階における定量的特徴に関する基礎的検討”, 教育システム情報学会北信越支部学生研究発表会, 2023
- (6) 山本景子, 安田和夫, 山本豪志朗, 倉本到, 辻野嘉宏, “学習者自身の運筆動作で教示する個性を伸ばすためのドローイング学習支援システム”, 情報処理学会インタラクティブ 2014 論文集, pp.554-561, 2014
- (7) Pengli Du, Yingbin Liu, “The Techniques and Evaluation Method for Beautification of Handwriting Chinese Characters Based on Cubic Bézier Curve and Convolutional Neural Network”, International Conference on Computer Science & Education (ICCSE), 2019