

信州大学審査学位論文

デジタルドローイングを対象とした
学習支援環境に関する研究

2018年9月

永井 孝

目次

第1章	はじめに	1
第2章	ドローイング	4
2.1	観察ドローイング	4
2.2	描画プロセスの段階	4
2.3	描画プロセスの時間変化	4
2.4	描画プロセスの段階と区間	6
2.5	ドローイングの指導	6
2.6	ドローイング指導の課題と方針	7
2.6.1	課題	7
2.6.2	方針	7
2.7	研究目的	8
第3章	筆記具としてのデジタルペンの適用可能性	9
3.1	デジタルペンとは	9
3.1.1	電磁誘導方式	9
3.1.2	超音波方式	9
3.1.3	アノト方式	9
3.2	学習支援環境に利用するデジタルペン	10
3.3	筆記具としての適用可能性の検証	11
3.3.1	連続使用時間	11
3.3.2	筆圧と濃度	11
3.3.3	密度と濃度	12
3.3.4	限界傾斜角度	12
3.4	美術専門家へのヒアリング調査	13

第 4 章	学習者の状況を把握するためのモデル	15
4.1	ドローイングの総ストローク数	15
4.2	描画プロセスの幾何的特徴	15
4.2.1	外包領域の増加	15
4.2.2	新規描画率	17
4.2.3	筆圧	20
4.3	描画プロセスラベル	21
4.3.1	描画区間におけるプロセスラベルの出現頻度	21
4.4	ドローイングプロセスモデル	22
4.5	ドローイングプロセスグラフ	22
4.5.1	理想的なプロセスグラフ	23
4.5.2	熟練者のドローイングプロセスグラフ	24
4.5.3	美術入門者のドローイングプロセスグラフ	25
第 5 章	学習支援システム	27
5.1	デジタルドローイング	27
5.2	ドローイング学習課題	27
5.3	学習支援	28
5.3.1	ストローク数を向上させるための支援	28
5.3.2	描画プロセスを改善するための支援	29
5.4	システムの概要と学習の流れ	31
5.4.1	理想的な学習サイクル	32
5.5	支援機能	32
5.6	インターフェイス	32
5.6.1	概要	32
5.6.2	クラスビュー	33
5.6.3	マイページ	33
5.6.4	レッスンビュー	33
5.6.5	ドローイングプロセスビューワ	35
5.6.6	ドローイングプロセスビューワ比較モード	37
5.7	プロセス再生	38

5.8	プロセス比較	38
5.9	振り返り	39
第 6 章	学習支援システムの評価	41
6.1	ストローク数を向上させる支援機能の効果検証	41
6.1.1	実験条件	41
6.1.2	支援機能総体によるストローク数変化	42
6.1.3	個々の支援機能によるストローク数変化	43
6.1.4	考察	48
6.2	描画プロセスを改善させる支援機能の効果検証	52
6.2.1	実験条件	52
6.2.2	プロセスグラフの変化	53
6.2.3	考察	54
6.3	考察	57
第 7 章	おわりに	63
	参考文献	65

表 目 次

1	描画プロセスの段階と内容	5
2	描画プロセスの段階と区間の対応	6
3	デジタルペンの評価結果	13
4	描画プロセスラベルと幾何的特徴との対応	24
5	ドローイングプロセスモデル	24
6	分析対象者のストローク数の特徴	45
7	各分析対象回における平均と分散	45
8	入門者 A の利用数	49
9	使用群が未使用群に比べ達成率が伸びた・伸びなかったルール	57

目 次

1	ドローイングクラスの様子	1
2	edX による美術教育の例	2
3	熟練者のドローイング	6
4	熟練者の描画プロセス	7
5	アノト式デジタルペン デジタルペン本体 (左), アノトパターンを印刷した画 用紙と筆記の様子 (右)	10
6	紙に描いた線 (上) とシステムで再現した線 (下)	12
7	紙に描いた線 (左) とシステムで再現した線 (右)	13
8	外包領域の増加率グラフ (上) と描画結果 (下)	17
9	30 秒区間の平均外包領域増加率	18
10	新規描画率グラフ (上) と描画結果 (下)	19
11	30 秒区間の平均新規描画率	20
12	筆圧相対率グラフ (上) と描画結果 (下)	22
13	30 秒区間の平均筆圧相対率	23
14	熟練者の描画プロセスラベルの出現率	23
15	ドローイングプロセスグラフ	25
16	理想的なプロセスグラフ	25
17	熟練者のドローイングプロセスグラフ (上) と描画区間内の描画結果 (下)	25
18	美術入門者のドローイングプロセスグラフ (上) と描画区間内の描画結果 (下)	26
19	モチーフの紙箱 (左) と紙袋 (右) の一例	27
20	熟練者 (左) と入門者 A (右) の描画結果とストローク数	29
21	熟練者 (上) と入門者 A (下) の区間単位の描画結果とストローク数	29
22	ストローク数が 2,000 本を超えた学習者の 4,5,6 回目のドローイングプロセス グラフと描画結果	30
23	学習の流れ	31

24	システムのインターフェイス概要	33
25	クラスビューのインターフェイス	34
26	マイページのインターフェイス	34
27	レッスンビューのインターフェイス	35
28	ドローイングプロセスビューワのインターフェイス	36
29	ドローイングプロセスビューワ比較モードのインターフェイス	38
30	プロセス再生の様子	39
31	プロセス比較の様子	40
32	振り返りの様子	40
33	入門者の分析対象回におけるストローク数の推移	43
34	経験者のストローク数の推移	44
35	入門者 (L) 右, 入門者 (H) 左のストローク数の推移	46
36	プロセス再生の利用の有無によるストローク数変化	47
37	プロセス比較の利用の有無によるストローク数の推移	48
38	プロセス比較の利用の有無によるストローク数の推移	49
39	入門者 A の 1~3 回目ドローイングにおけるセルフレビュー (左列), 描画結果 (中列), 美術教師の個別指導 (右列)	50
40	入門者 A の 1,2,3 回目の各区間の描画結果とストローク数	51
41	紙箱を描いた経験者 (上段) と入門者 B(下段) の 1 回目から 3 回目の描画結果とプロセスグラフ	55
42	使用群と未使用群の 1 回目と 3 回目における各ルールの達成度比較	59
43	使用群と未使用群の 4 回目と 6 回目における各ルールの達成度比較	60
44	6 回目に Rule1-c を達成した入門者 C の 4 回目 (上段) と 6 回目 (下段) の描画結果とプロセスグラフ	60
45	使用群と未使用群の 1 回目と 6 回目における各ルールの達成度比較	61
46	6 回目で 9 つのルールを達成できた入門者 D の 1 回目と 6 回目の描画結果とプロセスグラフ	62
47	経験者の改良版のプロセスグラフ (上) とドローイング結果 (下)	62
48	A 専門学校におけるデジタルドローイングクラスの様子	64

第1章 はじめに

ドローイングは、美術教育における基礎的なスキルに位置づけられ(岩田, 1971; 佐藤, 2004), 入門者が最初に学ぶべき内容とされる(関根, 1984). 一般にドローイングの学習は, 描いては誤りを修正し, 再び描くことを何度も繰り返しながら正しい手法を身につけていく(Bernshtein, 1967; Latash, 1998, 2002). このような身体動作を伴う学習はスキル学習に分類される(古川, 2004). 個人でこの学習を行う場合, 自分の癖や弱点に自ら気づくのは困難であり, 誤りを生じた時点での指導に効果がある. そのため, 学習者は美術スクールや専門校等の通学コースへ通い学習を進めることが多い.



図 1: ドローイングクラスの様子

一般に通学コースにおけるドローイング学習は, 教室内に美術教師が構成したモチーフ(描画対象)を学習者が描いて行く(図1). 美術教師は学習者が描画をしている中に必要な時に都度指導を行う. これにより, 学習者はいつ, どのような誤りをしたのかを認識し, 修正を行うことができる. また, 他学習者が同じ時と場所で描画しているため, 他学習者のドローイ

ングや描画プロセスを観察することができる。その成果として、新たな描き方の発見や自己の描画の誤りに気づき、以後の自己のドローイングへの反映や描画プロセスの修正が可能となる。しかし、複数の学習者が一人の美術教師に指導されることが多く、一人の美術教師が個々の学習者のドローイングに対してすべてを把握し指導することは困難である。また、指導を受けるためには、教室へ通う必要があるため、時間と場所とに制約がある。

近年、e-learning による美術教育が展開されている (Draw 23, 2018; Drawspace, 2018; The University of Newcastle, 2018; University of the Arts London, 2018)(図 2)。e-learning の特徴は、学習者は都合の良い時と場所とで学習することが可能である。LMS(Learning Management System) により、学習者は自分のペースに合わせて進めることができ、学習記録により、指導者は学習者の達成度合いを把握することが可能である。しかし、ドローイング学習の場合、成果物による評価が中心となり、美術教師は成果物から学習者の描画過程を推測し評価・指導を行う。学習者は指摘された誤り等が、描画過程のいつの行為なのか理解できず、修正が難しいため、通学コースに比べスキル獲得に制約がある。

The figure consists of two side-by-side screenshots of an edX course page. The left screenshot shows the course overview for 'Drawing Nature, Science and Culture: Natural History Illustration 101'. It includes a header with the edX logo and navigation links, a search bar, and a main heading. Below the heading is a description of the course, an 'Enroll Now' button, and a section titled 'About this course' with details on length, effort, price, and prerequisites. The right screenshot shows a lesson page titled 'Positive and negative spaces'. It includes a navigation bar, a sub-heading, and text explaining the concept of positive and negative spaces in drawing. Below the text is a diagram of a shell with labels for 'positive space' and 'negative space'.

図 2: edX による美術教育の例

ドローイング学習支援に関する類似研究として、藤原らによる研究(藤原 亀田, 2009)では、モチーフに紙コップを対象に、正しい比率で描画可能とするための対話式学習支援システムの構築をしている。モチーフの比率データと実際に描画するモチーフおよび描画結果を写真撮影し画像認識処理により比率を比較しアドバイスをを行うものである。曾我らによる研究(曾我, 松田, 瀧, 2008)では、個人による学習支援を対象とし、システムとの対話形式で学習を進めていくものである。学習者の描画を解析するために Wacom 社のペンタブレット上に画用紙

を置き、鉛筆による描画が可能な状態に改造されたデジタルペンを用いて行なっている。学習者がアドバイスを受けた3つの診断項目(形状・構図, ハーフトーン, 三段階陰影)を選択し描画開始することで、システムがアドバイスを提示する。デジタルデバイスを利用することで、学習者のドローイングを診断しアドバイスすることが可能となっている。しかし、モチーフの種類, 構図の影響が大きいため、モチーフが変わるごとに、アドバイスを構成しなければならない。モチーフや構図によらない学習支援が新たな解決すべき問題となっている。

従来のドローイング学習では、学習者が自己の描画過程を振返ることが難しいために、ドローイングスキル獲得には時間と場所とが必要となっている。学習者自ら描画過程の振返りを容易にすることが本研究で解決する課題である。

本博士論文では、デジタルペンによるドローイング学習を対象とした、学習支援環境に関する研究について記す。

第2章 ドローイング

2.1 観察ドローイング

観察ドローイング (Observational Drawing) とは、目前に構成した対象物をよく観察して描くことである (越川, 栗田, 1996)。構図やパース, モチーフの形態やトーンおよび質感を正確に描画する技法を身につけることができる。美術入門者がドローイングの学習を始める際、観察ドローイングから始めることが多い。

構成されたモチーフを観察し、筆記具を使用中紙へ正確に対象物を描くためには、正しい描画手法を身につける必要があり、何度も描いていく過程で、模索し修正を繰り返していくことで身につけていくことが可能である。

2.2 描画プロセスの段階

美術専門家および美術指導の専門家5名に対して、描画プロセスについてのヒアリング調査を行った。その結果から得られた描画プロセスの段階とそれらの内容を表1に示す。段階1では配置物や光の方向などが観察される。段階2では自分の目の高さ (消失点の高さ) を基準に、モチーフの位置が観察される。段階3ではモチーフ全体から描画部分を決定し、構図を決める。段階4ではモチーフの細部 (サイズ・設置位置・方向) および全体像を捉え、構成していく。この際、アタリ線を利用して相互の関係を画面に定着させていく。段階5では補助線を使い直方体→円柱→球という順序で配置物をとらえ輪郭を描く。段階6では光と影を利用してモチーフのトーンを描く。そして、段階7でモチーフの構造との整合性に留意しつつ質感・ディテールを描き作品としていくのである。

2.3 描画プロセスの時間変化

描画プロセスの時間変化について、美術指導者と共に熟練者の描画プロセスデータを再生しながら検討したところ、初期・中期・後期の3区間に分割することを見いだした。図3は、熟練者のドローイングであり、図4は、熟練者の描画プロセスの各区間における描画結果と時間区間および描画特徴である。

描画プロセスの初期 (図4左) は、構図と輪郭を決定する重要な過程である。描画対象を用

表 1: 描画プロセスの段階と内容

段階	内容
1	モチーフをよく観察する.
2	モチーフがどんな位置に置かれているかに注目する.
3	画面に対してのバランスを考えながら構図を決める.
4	ごく単純な形態の構成としてとらえアタリを描く.
5	モチーフの構造を分解的にみながら形をとらえ輪郭を描く.
6	モチーフのトーンを描く.
7	質感・ディテールを描く.

紙に対してどのように配置をするか、全体を外包するアタリを用紙につける、モチーフの構造を分解的にみながら輪郭を描画する。この過程では、構図やパース、形の狂いに対して修正ができるように、かつ、描画結果に影響しないように、筆圧を極力抑えた線で何度も描き、最適な輪郭線を描いていく。

描画プロセスの中期(図4中)は、モチーフの色の調子(トーン)や陰影を描く過程である。初期で描画した輪郭をもとに、面を意識しながらトーンを描画する。トーンを描く際、輪郭内をハッチングを用いて描画していく。面の大きさや方向に注意をしハッチングを行う。部分部分描画するのではなく、常にモチーフ全体を意識して描く。クロスハッチングを用いて徐々にトーンの濃度を上げていく。ハッチングとは、線画による面の表現を行う際に用いる描画技法であり、一定間隔の平行線の集合である。また、クロスハッチングとは、ハッチングを描画した面に角度を変えたハッチングを重ねて描画する技法である。

描画プロセスの後期(図4右)は、仕上げの過程である。トーンを描いたモチーフに対して質感や模様等の詳細を描画する。全体を意識して描き、時間まで作品として高めていく。

これらの各区間における体系的な描画特徴を、初期はアタリと輪郭、中期はトーン、後期はディテールとした。

各区間にかかる理想的な時間を検討した。4名の熟練者による描画プロセスデータを、上記に示した特徴に基づき3区間に分割し、各区間にかかる時間の平均を求めた。その結果、初期が描画開始から4分、中期が4分から12分、後期が12分から20分(描画終了)までであった。

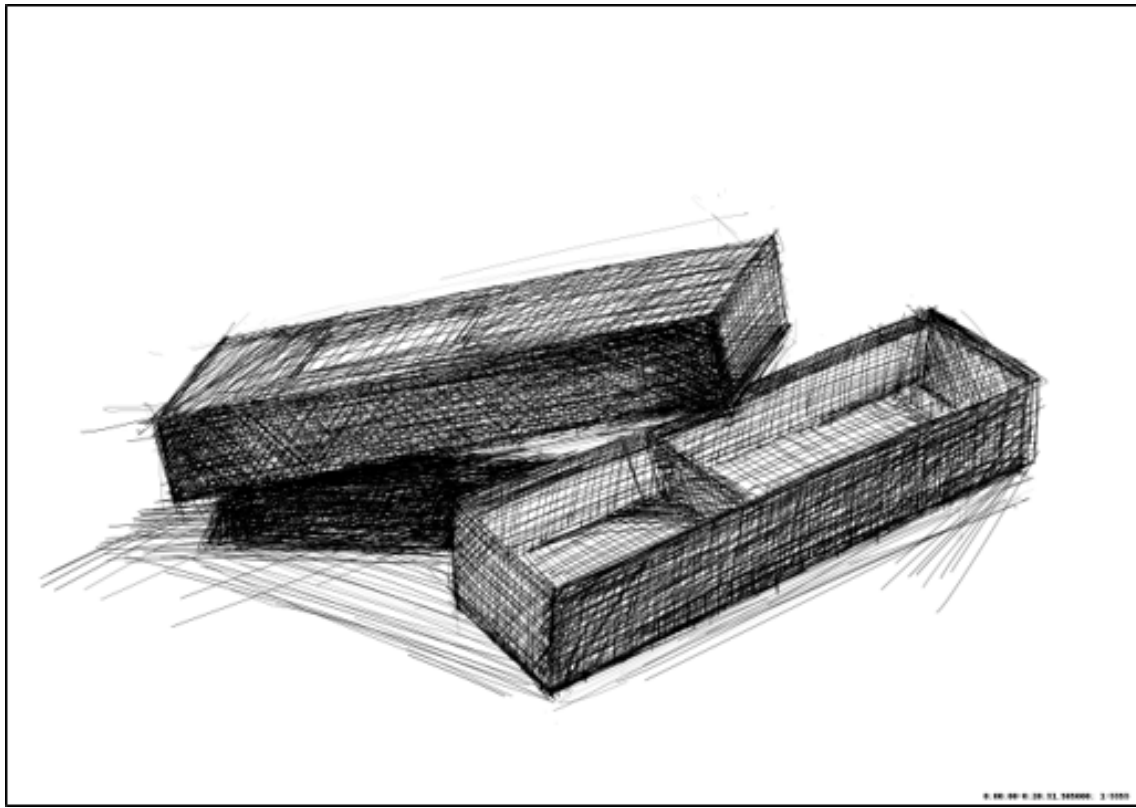


図 3: 熟練者のドローイング

2.4 描画プロセスの段階と区間

表 2 は、描画プロセスの段階 (表 1) と区間 (図 4) を対応付けさせたものである。描画プロセスの段階と区間は、段階 1 から 5 は初期区間に対応し、段階 1 と段階 6 は中期区間に対応し、段階 1 と段階 7 は後期区間に対応する。段階 1 の観察行為は全ての区間に必要なものである。

描画プロセスの段階	描画プロセスの区間
1,2,3,4,5	初期
1,6	中期
1,7	後期

2.5 ドローイングの指導

A 専門学校海外留学科海外芸術大学留学コースは、美術入門者以外に、すでに日本の美術大学や専門学校等で学んだ経験者も入学してくる。ドローイングスキルの獲得レベルに差が

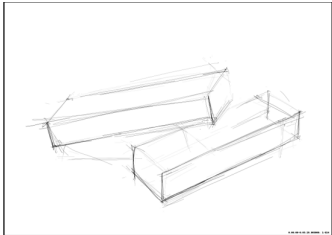
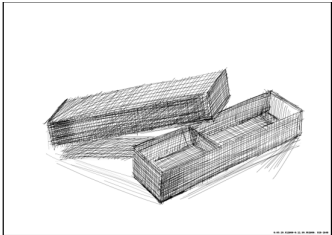
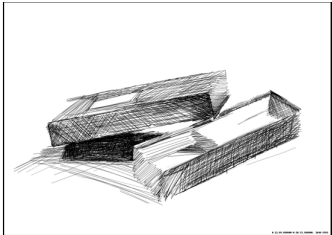
描画 結果			
	初期 / 0-4分	中期 / 4-12分	後期 / 12-20分
描画特徴	アタリ・輪郭	トーン	ディティール

図 4: 熟練者の描画プロセス

あるため、学習者のレベルに応じた指導が必要になる。A 専門学校の美術教師である指導者は、美術入門者に対してはより多くの線を描くように指導する。つまり、沢山の線を描くためには、対象物をよく観察する必要がある、多くのドローイングテクニックが必要とされるからである。次に、ある程度のボリュームが描くことができるようになったら、モチーフの形のとり方、トーンやディティールを表現するためのプロセスや技法の指導をドローイング中の指導が必要なタイミングで行う。

2.6 ドローイング指導の課題と方針

2.6.1 課題

ドローイング指導において、「もっとたくさん描こう」や「真っ黒になるまで描こう」といった感覚的な表現による指導が行われてきた。このような指導では、学習者ごとに受け止め方が異なり、全体に対する効果的な指導が難しかった、との意見が指導者から得られていた。また、先生一人に対し複数名の学習者を同時に指導しているので、全ての学習者に対して必要なタイミングで指導することが難しいことも課題である。

2.6.2 方針

我々は、これらの課題を解決するために、ICTの活用を考え、ドローイングに用いる筆記具にデジタルペンを用いることにした。デジタルペンが記録したドローイングプロセスデータを蓄積および共有し、学習者および指導者らがドローイングプロセスを閲覧できるようにする。ドローイングプロセスデータを再利用することで、e-Learningでも通学コースの学習に近い体験が得られる。ドローイングプロセスの再生を時間と場所とに制約を受けずに再生ができる為、通学コースにおけるドローイングクラスでは難しかった、指導者が全ての学習

者への指導も可能となる。学習者は、他学習者のドローイングプロセスを閲覧することが可能となる。

デジタルペンが記録した幾何的情報から線の数を利用することで、定量的に示すことが可能となる。指導者は、感覚的な表現ではなく「2,000本を目指そう」といった明確な数を示すことで、学習者との解釈の違いを少なくする。また、線の数は、自身の過去や、同じ学習グループの平均を提示することも可能となる。さらに、熟練者の描画プロセスに基づいたモデルを利用することで、学習者の描画プロセスをラベル化し可視化することで、学習者に気づきを促すことが可能となる。

2.7 研究目的

本研究では、描画プロセスの保存・共有・再利用を通して、学習者に気づきを促進させるドローイング学習支援環境の構築を目的とする。ここでは、美術入門者にまず身につけて欲しいドローイングスキルとして、適切な描画プロセスで描くことを想定した。そして、このスキルを獲得するために、学習者自ら気づき実践するための機能やインターフェイスの開発をする。

本研究の特徴は、描画プロセスの保存・共有・再利用を通して、学習者に気づきを促進させることにある。従来のドローイングでは自身の描画プロセスを振り返ることは困難であった。本研究により開発したシステムでは、過去の自身の描画プロセスや、他学習者や熟練者の描画プロセスを時間と場所とに制約を受けず再生することが可能である。美術教師はすべての学習者のスキル獲得状況を把握することが可能である。

第3章 筆記具としてのデジタルペンの適用可能性

3.1 デジタルペンとは

デジタルペンは用紙上に描いた情報をデジタルデータとして記録することができるペンのことであり、情報の取得方式として、電磁誘導方式や超音波方式、アノト方式がある。いずれもペン先はインク交換が可能なボールペンである。

3.1.1 電磁誘導方式

電磁誘導方式には、Wacom製のペンタブレットが挙げられる。情報として、時刻、座標、筆圧、ペンの傾きを取得できる。情報取得するためには、センサが敷き詰められたタブレット上にペンを近づけることで位置情報等が取得できる。筆記箇所とセンサが取得する位置のズレが少ないことに特徴がある。サイズとしてA2サイズまで選択可能である。しかし、用紙サイズをA3サイズとした場合、タブレットの重量が重くなるため携帯性が優れない。また、情報の保存は、タブレット内に一時保存できないため、常にPCが必要になる。導入コストも高価となる。

3.1.2 超音波方式

超音波方式には、ぺんてる製のairpenが挙げられる。情報として、時刻、座標を取得できる。超音波を発生するペンと受信機により構成される。クリップ型の受信機を用紙の隅に留め、ペンとの距離から座標を取得する。取得した情報は一時的に受信機に記録され、有線でコンピュータにダウンロードされる。受信機が軽量のため携帯性に優れており、導入コストも安価である。しかし、最大用紙サイズがA4までであること、用紙周辺では座標の取得精度が落ちること、筆圧情報を取得することができないことに弱点がある。

3.1.3 アノト方式

アノト方式には、Anoto製のデジタルペン (Anoto AB, 2017) が挙げられる。情報として、時刻、座標、筆圧を取得できる。専用紙に印刷されたドット (アノトパターン) を、ペンに内蔵されたCCDカメラが読み取り、紙面上の絶対位置を算出し記録する。取得した情報は一時

的にデジタルペン内のメモリに保存され、有線／無線でテキストデータとしてコンピュータにダウンロードされる。デバイスとしてペンのみであり携帯性に優れている。専用紙の用紙サイズは、自由に選択することが可能である。導入コストは安価である。

3.2 学習支援環境に利用するデジタルペン

学習支援環境に利用するデジタルペンとして、ワコム製ペンタブレット、ぺんてる製 airpen, Anoto 製デジタルペンの3機種から検討をした。取得可能情報、用紙サイズ、携帯性の3つを評価した結果、取得情報としては Wacom 製ペンタブレットがよかったが、用紙サイズと携帯性を考慮した結果、Anoto 製デジタルペンを用いることとした。

Anoto 製デジタルペン(図5左)は、インク交換可能なボールペンであり、専用紙にアノトパターンと呼ばれる特殊な配列で印刷されたドットを、ペンに内蔵された CCD カメラが読み取り、紙面上の絶対位置を算出し、ストローク単位で座標遷移を記録する(図5右)。この際、取得日時、筆圧も同時に記録される。これらのデータは一時的にデジタルペン内のメモリに保存され、有線／無線でテキストデータとしてコンピュータにダウンロードされる。

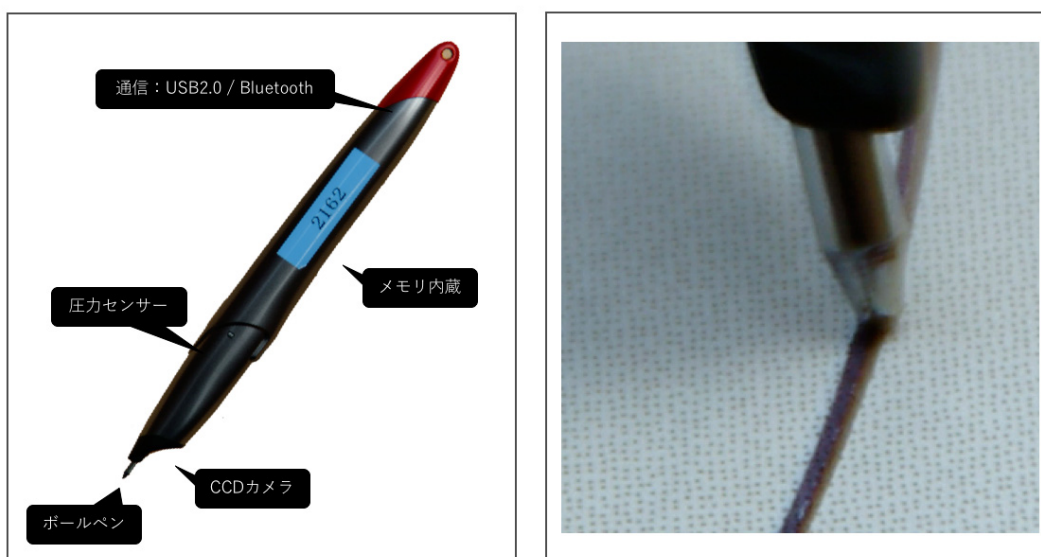


図5: アノト式デジタルペン デジタルペン本体(左), アノトパターンを印刷した画用紙と筆記の様子(右)

3.3 筆記具としての適用可能性の検証

専門学校や美術予備校等におけるドローイングクラスで利用する場合、授業時間を考慮する必要がある。また、学習者の振返りや美術教師の指導・アドバイスにおいて、取得した描画プロセスデータの再現性が重要であるため、デジタルペンの検証が必要である。そこで、授業時間に関して、デジタルペンの連続使用時間を、描画プロセスデータの信頼性として、データの取得限界について、筆圧と濃度、密度と濃度、限界傾斜角度の4項目を評価した。検証には、デジタルペンのペン先にアノト製の純正品を、用紙はコピー用紙を使用した。

3.3.1 連続使用時間

専門学校や美術予備校等におけるドローイングは、90分を1コマとして2コマ単位で実施されることが多い。授業時間はデジタルペンを連続使用できることが望ましい。そこで、ペンの満充電状態からバッテリーがなくなるまでの時間を計測した。計測には、スタンドにデジタルペンを固定させ、用紙を自動回転するターンテーブルに張り付けて行った。

4回の計測を行い、平均210.5分($\sigma=7.23$, 最長218分, 最短199分)であった。平均して200分を超える連続利用が可能であるため、180分以上連続する授業においても適用可能であることがわかった。

3.3.2 筆圧と濃度

熟練者は、ペンの筆圧をコントロールして線を描いており、描画初期においては、筆圧を抑えて描く。そこで、デジタルペンで描画した場合、どの程度まで薄く描いた線がプロセスデータとして取得可能かを筆圧の変化から検証した。紙にペンを徐々に近づけ、筆圧の変化と紙へ描画された線の濃度を変化させた。計測には1インチの領域内にフリーハンドで横線を描画した結果を用い、紙へ描画された線と取得したドローイングプロセスデータとを比較した。この際、描画再生エリアに表示されるドローイングプロセスの確認およびデジタルペンからの出力データの内容を検証した。

図6に紙へ描画した線(上)とシステムで再現した線(下)との比較結果を示す。濃度が極端に薄い線のデータは部分的にしか取得できなかった。美術教師と検討した結果、極端に低い筆圧で描いた線は再現できないが、10以上の筆圧に関しては再現が可能のため、指導に影響しないとの意見を得た。

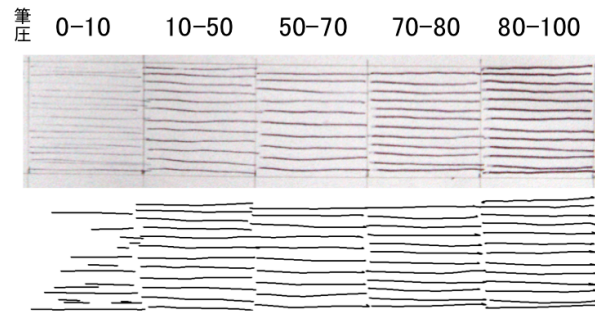


図 6: 紙に描いた線 (上) とシステムで再現した線 (下)

3.3.3 密度と濃度

ドローイングではモチーフの色が濃い場合の表現や陰影部分の表現に際して、多くの線を描き密度を上げて描画することで表現する。すなわち、濃く表現する領域は筆記具により塗りつぶされた状態となる。デジタルペンによる描画で描画密度を上げていく過程において、座標データ取得の限界が重要である。

本研究で使用したデジタルペンは、本体腹部の CCD カメラにより紙面上での絶対座標を取得している。この際、ペンで描画している箇所の周辺領域の計測を行い、ペン先の座標を導き出している。この座標取得の限界となる描画密度を検証するために、1 インチ四方の領域にクロスハッチングによる描画を繰り返し、ペンが座標を取得できなくなるまで描画し続けた。ペンは、座標取得が不可能な場合にはバイブレーションで警告を発する。このような状態が継続的に生じるタイミングを座標読取の限界とした。

図 7 に紙に描いた線 (上) とシステムで再現した線 (下) との比較を示す。紙面上ではボールペンとしてこれ以上密度が上げられない状態まで描画可能であった。この結果より、紙に描いた場合の限界密度に達するタイミングが、ペンでの座標取得限界とほぼ一致することが分かった。すなわち、デジタルペンの出力データから読み取れる情報により、実際のドローイングと同程度の再現が可能であると判断できる。

3.3.4 限界傾斜角度

限界傾斜角度は、ドローイングにおいて、通常のペンや鉛筆の持ち方をした場合、小指側側面による擦れによって紙面を汚す可能性が高い。そのため、ペンをねかせるような状態で持ち、小指のみを紙面に接地させて描かせることが多い。また、筆記具が鉛筆の場合、ねかせる角度により線幅の調節を行わせることもある。本研究で利用したデジタルペンの構造上、座標取得における限界傾斜角度が存在する。ペンの角度を変化させ、座標取得ができなくな

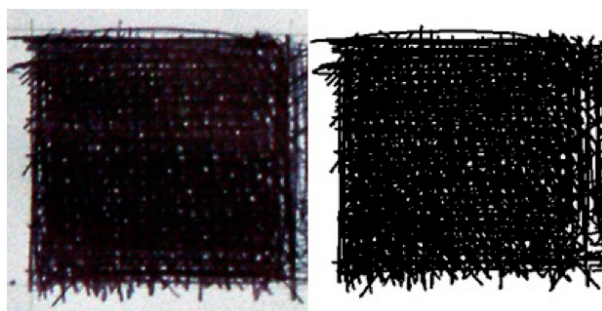


図 7: 紙に描いた線 (左) とシステムで再現した線 (右)

る角度を万能分度器により計測した。

限界角度 θ は、 $43^\circ \leq \theta \leq 137^\circ$ であった。ペンをねかせて持つ方法で描いた際には、座標データが取得できず、ペンのバイブレーションが頻繁に確認された。このため、デジタルペンを極端にねかせて描くことは難しい。ペンがデータ取得が可能な範囲で描画するようにガイダンスすることが必要となる。

3.4 美術専門家へのヒアリング調査

第 3.3 節に示した結果を表 3 にまとめる。これらの結果を美術熟練者に示し、デジタルペンによる描画を体験させた上で、美術教育への導入の可能性に関してヒアリングした。

表 3: デジタルペンの評価結果

評価項目	内容	結果
連続使用時間	ペンの満充電状態からバッテリーがなくなる状態までの連続描画時間	4 回計測: 平均 210 分 (最長 218 分, 最短 199 分)
筆圧と濃度	描画しながらペン先を徐々に紙へ近づけ、筆圧の変化と紙へ描画された線の濃度	濃度が極端に薄い線は描画データを部分的に取得
密度と濃度	特定領域にクロスハッチを描き、ペンがアノトパターンを読みとる限界の密度	ボールペンとしてこれ以上密度があげられない状態まで描画可能
限界傾斜角度	描画データ取得限界となるペンの角度	限界角度 θ : $43^\circ \leq \theta \leq 137^\circ$

いずれの熟練者も基本的な性能は指導上の基準を満たすとした上で、筆圧の制約やペンの傾き限界を考慮した課題設定が必要であると指摘した。さらに、鉛筆と比べた場合、以下の問題点が指摘された。

1. 一度描いた線が消せない
2. 線の幅が変えられない
3. 芯の硬さによる表現ができない

しかしながら、学習対象者を入門者に限定した場合、これらの問題点は指導上有効に機能するとの指摘もある。すなわち、“一度描いた線が消せない”ということは、モチーフへの観察意識を強めることになる。また、“線の幅が一定”ということは、面の表現を線の密度で行うことが必須となるため、トーン表現の学習を強化することにもつながる。さらに、“芯の硬さによる表現ができない”ということは、鉛筆には9Hから6Bまで芯の硬さに種類があり、この硬さによる描画の違いを質感表現に利用しているが、ボールペンはペン先の硬さが単調であるため、質感表現に利用できない。ボールペンでは、筆圧および線の長さや密度で行うことが必須となるため、質感表現の学習を強化することにつながる。これらの結果から、デジタルペンはドローイング用筆記具として適用可能であると判断された。

第4章 学習者の状況を把握するためのモデル

4.1 ドローイングの総ストローク数

ドローイングはストロークの集合からなる。このストロークとは、用紙に対し筆記具で描く1本の連続した線のことを指す。本研究ではデジタルペンのペン先が紙面に接する時間間隔内でのペンの移動を1ストロークと考えることとした。熟練者が学習者と同じ用紙サイズと描画時間でドローインを行なった場合、熟練者の総ストローク数は、学習者にとって目安となる数値であろうと考え、熟練者3名による5描画プロセスデータを分析した。これらの描画プロセスデータは20分間のドローイングである。結果、熟練者のストローク数の平均と標準偏差は $3,147 \pm 424$ 本であった。

4.2 描画プロセスの幾何的特徴

時間区間における描画特徴を熟練者2名による5描画プロセスデータを用いて、初期・中期・後期の幾何的特徴について検討をした。

描画プロセスを単位時間(30秒)で分割し、単位時間区間における幾何的特徴を見た。描画用紙(A3サイズ)を3mm角(140×99ブロック)に分割を行い、各ブロックへの描画の有無、濃度を求めた。3つの描画特徴を、3つの幾何的特徴、外包領域の増加、新規描画率、筆圧の組み合わせで対応付けることが可能ではないかと考えた。

熟練者1名による2つのモチーフの20分間ドローイング3描画を対象に、外包領域・新規描画・筆圧の時間変化を考察する。

4.2.1 外包領域の増加

外包領域は、描画開始からのストロークが加えられた領域を外包する領域のことである。なお、ストロークの筆圧は考慮していない。図8上のグラフは、外包領域の増加を示している。縦軸は用紙に対する外包領域の割合、横軸は描画開始からの経過時間である。グラフ中の数値は3ドローイングの平均値である。全体として、描画の経過時間が進むにつれて外包領域の割合(外包領域ブロック数/全ブロック数)が増えていく。描画終了時点では45%となる。

この変化を時間経過とともに考察する。まず、描画初期に相当する区間で0%から30%まで増加する。この変化は描画開始からの3分間で顕著となる(図中a区間)。中期に相当する

区間では30%から38%まで増加する。その内訳は、描画開始から4分経過した時点から5分30秒までは30%から増加せず(図中b区間)、5分30秒から6分30秒の1分間で5%増加し、8分30秒から9分30秒の1分間で3%増加となる(図中c区間)。後期に相当する区間では、38%から45%まで増加する。この区間では12分から13分30秒までは変化がなく、それ以降は増加しない区間と増加する区間が交互に出現する。

熟練者に対して、このグラフを示しながら、外包領域が増加している区間についてヒアリングした。その結果、以下のコメントを得た。

1. 初期において外包領域が増えるところ(区間a)は、アタリ・輪郭を描いている。
2. 初期のアタリ・輪郭は、モチーフに対して行っている。
3. 中期で陰影を描く時(区間c)も、まずはアタリをつけ、最初ほど厳密ではないが輪郭を描いた後、トーンを描きディテールを描く。
4. トーンやディテールを描く際は、輪郭から1ミリもはみ出さない気持ちで描いている。

図8グラフの区間a,b,c,dにおける描画結果を図8下部に示す。灰色の最終描画に対して、赤色部分が当該区間でのストロークである。

区間aは外包領域が顕著に増加している区間である。初期に相当するこの区間の描画は、モチーフ全体のアタリをつけ用紙への配置を決め、輪郭を描いていることが想定される。実際のストロークから、最終描画の輪郭に相当する箇所が形成されていることがわかる。上記ヒアリング結果の1.と2.に相当する行為が確認された。

一方、区間bでは外包領域は増加していない。この区間の描画結果bから、区間aで形成されたモチーフ輪郭内にトーンを描いていることがわかる。また、区間dはディテールを描いている。実際のストロークから紙箱の質感を描いていることがわかる。そして、中期において外包領域が増加する区間cでは、区間aで描き加えられた輪郭に対してトーンを描いたり陰影を描いている。特に、陰影を加えることにより、外包領域が増加したことがわかる。上記ヒアリング結果の3.と4.に相当する行為が確認された。

これらの結果に基づき、外包領域の増加率に関する描画プロセス毎の閾値を検討する。

図9のグラフは描画プロセスの初期・中期・後期における30秒区間の平均増加率を表したものである。図8のグラフにおける各データ間の増加を、描画時期ごとに平均した。

初期における平均増加率は $3.82\% \pm 0.37$ 、中期は $0.46\% \pm 0.03$ 、後期は $0.41\% \pm 0.02$ であった。

初期はほかの区間に比べて平均増加率が約 10 倍となる．中期と後期の平均増加率は 0.5% に満たない．

このことから，外包領域の増加率に関する描画プロセス毎の閾値は，初期は「高い」，中期以降は「低い」として区分することとする．ここでの高低の区別は，熟練者のコメント 4. から，中期の平均増加率を基に 0.5% とすることとする．

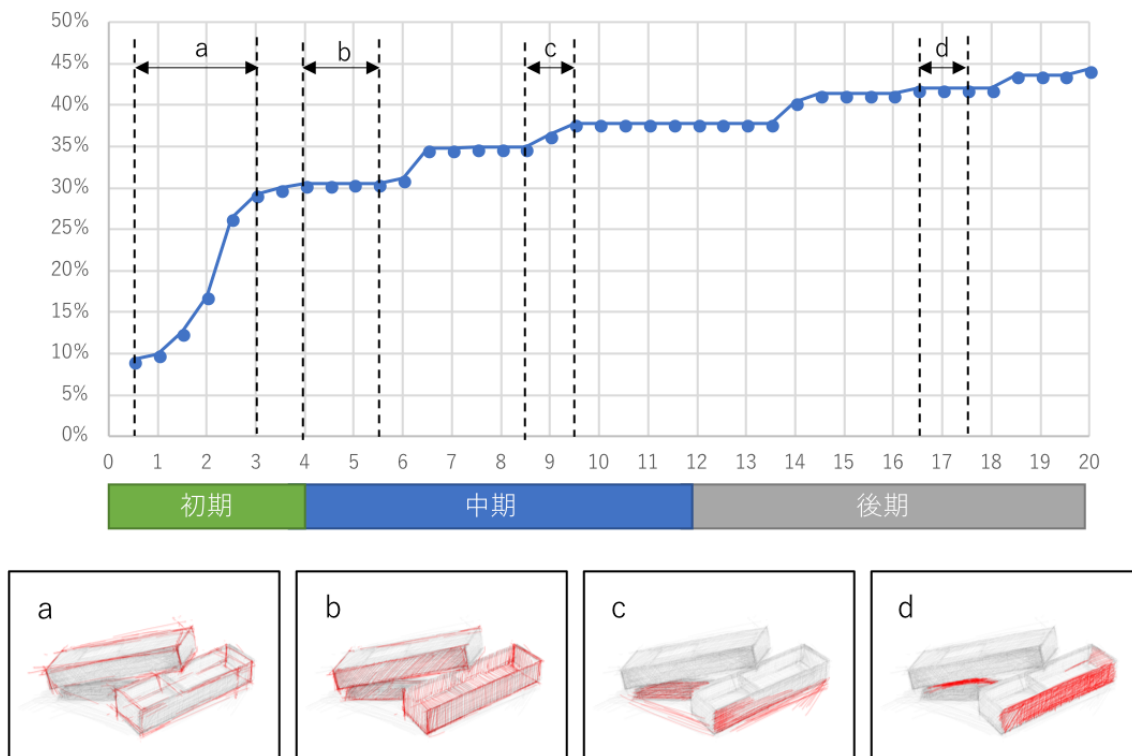


図 8: 外包領域の増加率グラフ (上) と描画結果 (下)

4.2.2 新規描画率

新規描画領域は，30 秒間に描画した領域の内，新たにストロークが加えられた領域のことである．なお，ストロークの筆圧は考慮していない．新規描画率とは 30 秒間に描画した領域に対する新規領域の割合 (新規描画ブロック数/描画ブロック数) である．すでにストロークが存在している領域へのストロークの追加では新規描画領域は生じない．

図 10 のグラフは平均新規描画率の推移を示している．縦軸は新規描画率，横軸は描画開始からの経過時間である．グラフ中の数値は 3 ドローイングの平均値である．

新規描画率は描画が進むにつれ低くなる．描画初期では 100%~40%，中期では 40%~0%、後期では 15%~0% の変化を示した．特に，中期後半と後期前半において，約 10 分から 13 分

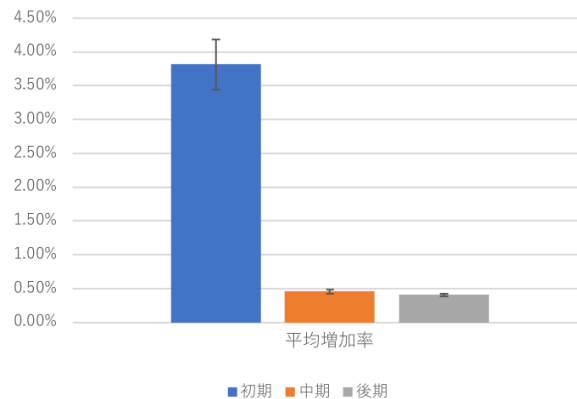


図 9: 30 秒区間の平均外包領域増加率

30 秒付近で 0% となる。13 分 30 秒以降は 15% 以下で推移している。

熟練者に対して、このグラフを示しながら、中期と後期の区間についてヒアリングした。その結果、以下のコメントを得た。

1. 初期で描いたモチーフの輪郭に対して、中期でトーンを描いている (区間 e)。
2. トーンを描くときは、モチーフ全体を意識している為、ハッチングで全体を描いた後、クロスハッチングで濃度を上げていく。
3. 後期はディテールを描き、作品としての完成度を高めている。
4. ディテールを描く箇所 (区間 f) でトーンを描いていない部分は存在しない。
5. 後期後半のグラフで増加する区間は、モチーフとモチーフが置かれたテーブルとの関係 (陰影等) を描いている (区間 g)。

図 10 グラフの区間 e, f, g における描画結果を図 10 下部に示す。灰色の最終描画に対して、赤色部分が当該区間でのストロークである。

区間 e は中期において新規描画率が高い区間である。この区間の描画は初期に描かれた輪郭に対しトーンを描いている。実際のストロークから、モチーフ全体に均一にトーンを描いていることがわかる。上記ヒアリング結果の 1. と 2. に相当する行為が確認された。

区間 f 後期において新規描画率が低い区間である。この区間の描画は中期で描いたトーンに対しディテールを描いている。実際のストロークから、トーンが描かれた箇所に対してディテールを描いていることがわかる。上記ヒアリング結果の 3. と 4. に相当する行為が確認された。

区間 g は後期において新規描画率が高い区間である。この区間の描画はテーブルに投影されたモチーフの影を描いている。実際のストロークから、モチーフ以外のテーブル面を描いていることがわかる。上記ヒアリング結果の 5. に相当する行為が確認された。

これらの結果に基づき、新規描画率に関する描画プロセス毎の閾値を検討する。

図 11 グラフは描画プロセスの初期・中期・後期における 30 秒区間の平均新規描画率を表したものである。初期における平均新規描画率は $61.85\% \pm 7.16$ 、中期は $12.53\% \pm 3.5$ 、後期は $3.88\% \pm 0.82$ であった。新規描画率は、初期が最も高く、中期そして後期の順となる。このことから、新規描画率に関する描画プロセス毎の閾値は、初期および中期は「高い」、後期は「低い」として区分することとする。ここでの高低の区別は、熟練者のコメント 2,4. から、後期の平均新規描画率を基に 5% とすることとする。

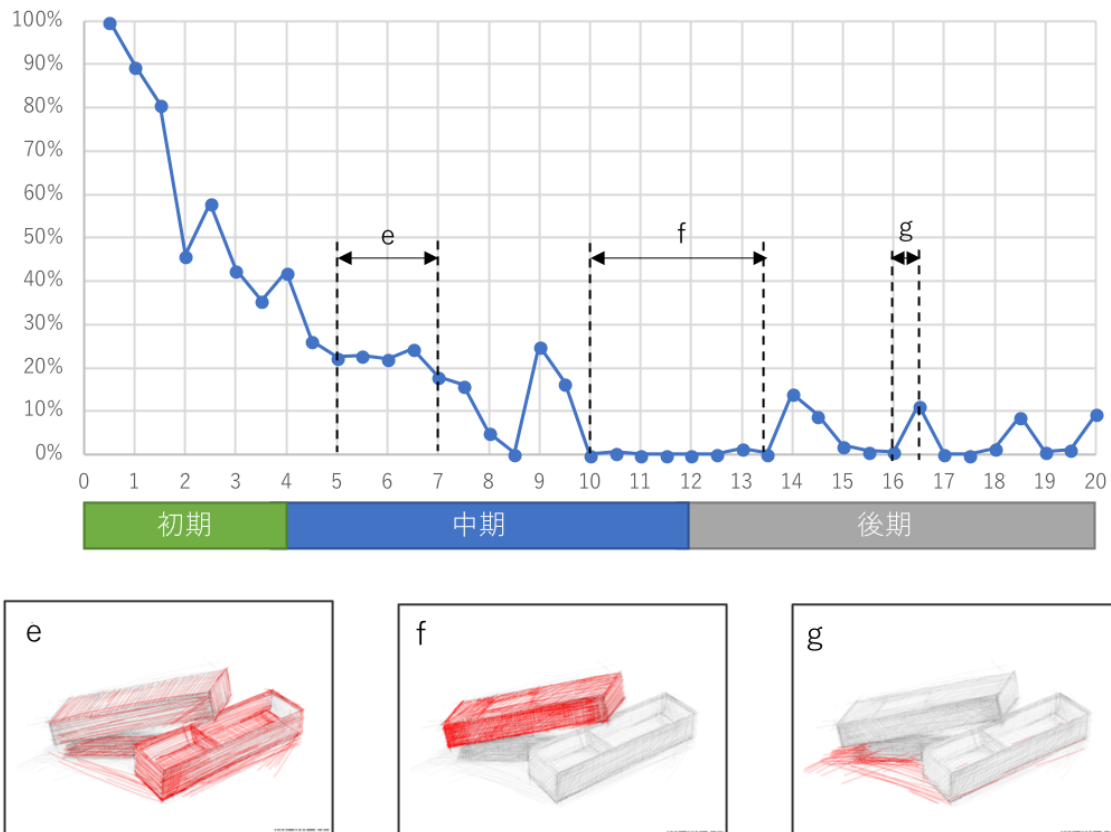


図 10: 新規描画率グラフ (上) と描画結果 (下)

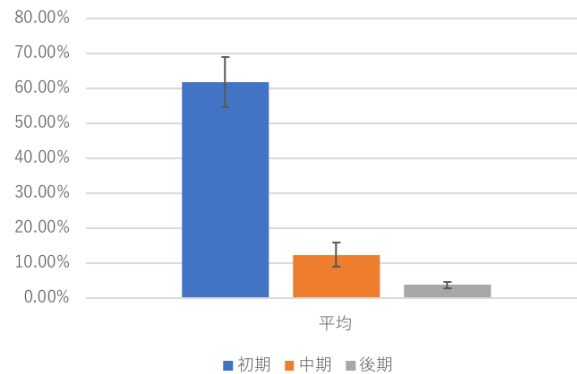


図 11: 30 秒区間の平均新規描画率

4.2.3 筆圧

筆圧は、30 秒間に描画したストローク集合の筆圧平均のことである。筆圧相対率とは 30 秒間に描画したストローク集合の筆圧平均が最大筆圧 (ペンが出力する最大筆圧) に対する割合 (筆圧平均/最大筆圧) である。

図 12 のグラフは筆圧相対率の推移を示している。縦軸は筆圧相対率、横軸は描画開始からの経過時間である。グラフ中の数値は 3 ドローイングの平均値である。

筆圧相対率は、描画初期では 2%~10%、中期では 10%~38%、後期では 20%~53%で推移している。

熟練者に対して、このグラフを示しながら、初期と中期・後期の区間についてヒアリングした。その結果、以下のコメントを得た。

1. 初期はアタリ・輪郭を描くため筆圧を抑えて描いている (区間 h)。
2. 中期はハッチング、クロスハッチング技法により徐々に筆圧を上げトーンを描いてる (区間 i)。
3. 後期はトーンを描いた箇所へのディティールを描いている。筆圧は高くなる (区間 j)。
4. 後期の特に筆圧が高い箇所 (区間 k) は陰影を描いている (区間 k)。

図 12 中の区間 h,i,j,k における描画結果を図 12 下部に示す。灰色の最終描画に対して、赤色部分が当該区間でのストロークである。区間 h は初期において筆圧相対率が低い区間である。この区間の描画はアタリを描き、輪郭を描いている。実際のストロークから、モチーフの輪郭を描いていることがわかる。上記ヒアリング結果の 1. に相当する行為が確認された。

区間 i は中期の平均的な筆圧相対率の区間である。この区間の描画は初期で描いたモチーフの輪郭内にトーンを描いている。実際のストロークから、輪郭が描かれた内側に対してトーンを描いていることがわかる。上記ヒアリング結果の 2. に相当する行為が確認された。

区間 j は後期の平均的な筆圧相対率の区間である。この区間の描画はトーンを描いた箇所に対してディテールを描いている。実際のストロークから、紙箱の質感や模様といったディテールを描いていることがわかる。上記ヒアリング結果の 3. に相当する行為が確認された。

区間 k は後期において筆圧相対率が特に高い区間である。この区間の描画はテーブル面に投影されたモチーフの影を描いている。実際のストロークから、テーブルに投影された紙箱の影を描いてる。上記ヒアリング結果の 4. に相当する行為が確認された。

これらの結果に基づき、筆圧相対率に関する描画プロセス毎の閾値を検討する。

図 13 グラフは描画プロセスの初期・中期・後期における 30 秒区間の平均筆圧相対率を表したものである。

初期における平均筆圧相対率は $4.7\% \pm 0.12$ 、中期は $19.03\% \pm 1.56$ 、後期は $33.46\% \pm 4.16$ であった。筆圧相対率は、初期が最も低く、中期そして後期の順となる。

このことから、筆圧相対率に関する描画プロセス毎の閾値は、熟練者のコメント 1,2,3 から、初期を「低」、中期を「中」、後期を「高」として 3 段階で区分することとする。ここでの低と中の区別は初期の平均値を基に 5% とし、中と高の区別は中期の平均を基に 21% とすることとする。

4.3 描画プロセスラベル

描画プロセスラベルは、描画開始から終わりまでを単位時間 (30 秒) で分割し、その単位区間における、3 つの幾何的特徴を対応させたものである。表 4 に示す。

プロセスラベル A は外包領域の増加率が高く、新規描画率が高く、筆圧が低・中の時である。プロセスラベル B は外包領域増加率が低く、新規描画率が高い時である。プロセスラベル C は外包領域増加率が少なく、新規描画率も低い時である。プロセスラベル N は描画がない時である。プロセスラベル F は外包領域増加率、新規描画率、筆圧がすべて高い時である。

4.3.1 描画区間におけるプロセスラベルの出現頻度

図 14 に描画区間における熟練者 2 名の 4 ドローイングの描画プロセスラベルの出現率を示す。初期においては、プロセスラベル A が多くを占める。中期においては、プロセスラベル B と C が同じぐらいの出現である。後期は、プロセスラベル C が多く出現する。プロセスラ

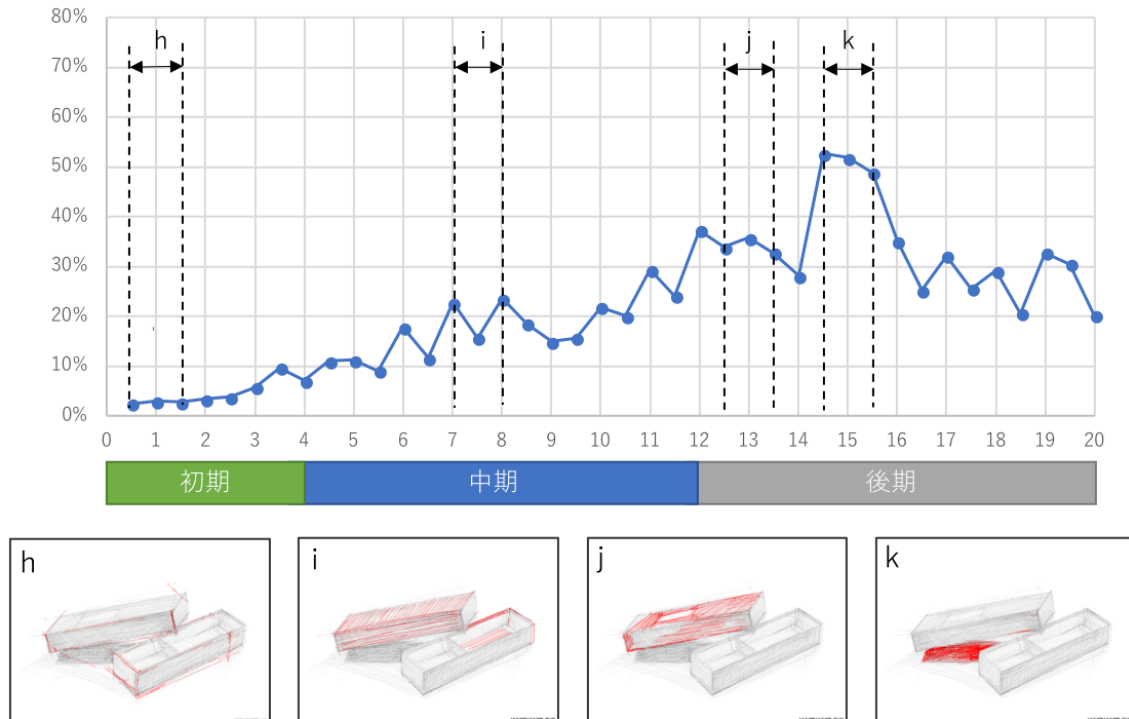


図 12: 筆圧相対率グラフ (上) と描画結果 (下)

ベル F は後期に少し出現し、プロセスラベル N は出現しない。

4.4 ドローイングプロセスモデル

描画区間とその時間区間，5つの描画プロセスラベルを対応させたものがドローイングプロセスモデルである。表5に示す。初期区間は，時間は描画開始から4分までとなり，プロセスラベルは，アタリ・輪郭を描くことからAが多く出現する。中期区間は，時間は4分から12分までとなり，プロセスラベルは，ハッチングを描きクロスハッチングを描くことから，B,Cが同程度出現する。出現順序としてB→Cの順である。後期区間は，時間は12分から描画終了までとなり，プロセスラベルは，中期で描いた箇所に描くので，Cが多く出現する。描画開始から終了までの区間で，プロセスラベルN,Fは出現しない。

4.5 ドローイングプロセスグラフ

ドローイングプロセスグラフは，描画開始から終了までの描画特徴を可視化したものである。図15にドローイングプロセスグラフを示す。描画プロセスラベルをそれぞれ，Aを緑，Bを青，Cを灰，Nを黒，Fを赤色で表し，これらを描画開始から終了まで左から右に順に並

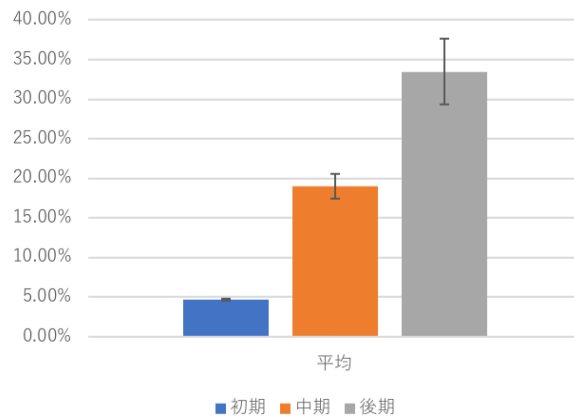


図 13: 30 秒区間の平均筆圧相対率

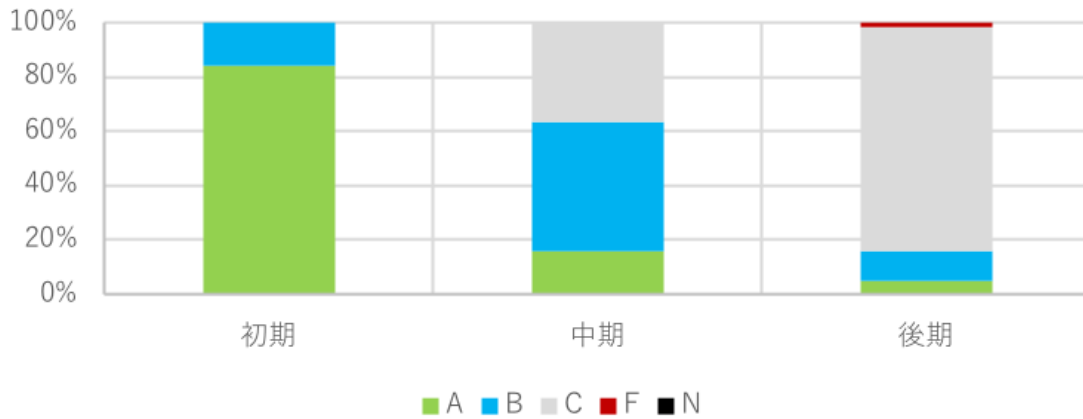


図 14: 熟練者の描画プロセスラベルの出現率

べる。

4.5.1 理想的なプロセスグラフ

ドローイングプロセスモデルを基にした理想的なプロセスグラフを図 16 に示す。初期区間は、アタリ・輪郭を描くことから、この区間におけるプロセスラベルは A(緑色) の連続となる。中期区間は、初期で描いた輪郭内へのトーンを描画である。描画対象全体に対してトーンを描いていく。トーンは徐々に濃度を上げていくように描画する。中期前半のプロセスラベルは B(青色) の連続となり、中期後半は既に描いた箇所に対して描画をしていくことから、プロセスラベルは C(灰色) の連続となる。なお、連続したプロセスラベル C は、B よりも前に出現しない。後期区間は、ディティールを描画してく。中期にトーンを描いた箇所に対し

表 4: 描画プロセスラベルと幾何的特徴との対応

プロセスラベル	幾何的特徴		
	外包領域増加率	新規描画率	筆圧
A	高い	高い	低
F			中
B	低い	高い	高
C			低
			中
N	ストロークなし		

表 5: ドローイングプロセスモデル

描画区間	時間区間	プロセスラベルの出現
初期	0-4分	Aが多い
中期	4-12分	B → Cの順で同程度
後期	12-20分	Cが多い
プロセスラベル N は出現しない		
プロセスラベル F は出現しない		

描くので、プロセスラベルはC(灰色)の連続となる。常に描画をしているので、プロセスラベルN(黒)は出現しない。また、筆圧が高い状態での外包領域を増加させるプロセスラベルF(赤)も存在しない。プロセスグラフは、プロセスラベルA(緑)の連続、B(青)の連続、C(灰色)の連続の順に出現することが理想的である。

4.5.2 熟練者のドローイングプロセスグラフ

熟練者のドローイングプロセスグラフと描画結果を図17に示す。図17上がプロセスグラフであり、左から右へ時間が流れている。図17下は、初期・中期・後期の区間内の描画結果である。

初期は、プロセスラベルAの連続ではじまり、最後にプロセスラベルBが出現する。中期は、初期の最後に出現したプロセスラベルBの連続ではじまり、Cが2区間出現、Bが2区間出現し、C,Aと出現の後、Cの連続となる。後期は、Cの連続で始まり、途中Aが出現後、

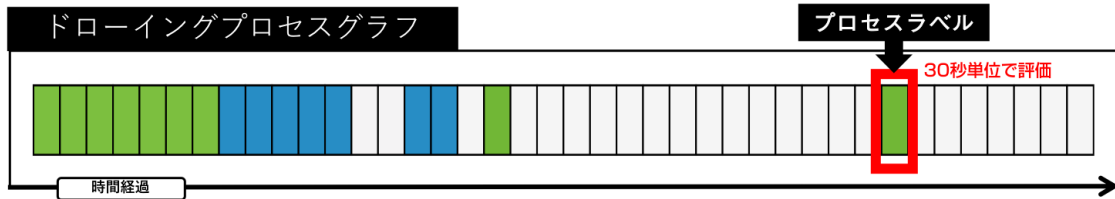


図 15: ドローイングプロセスグラフ

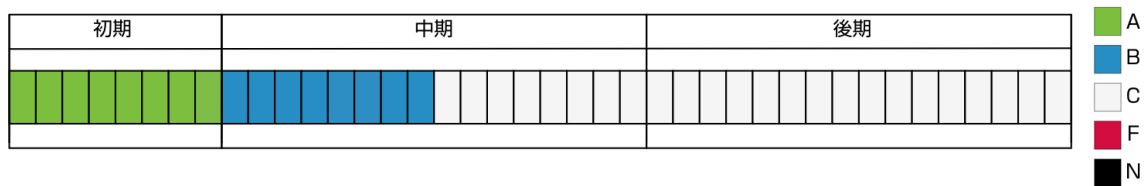


図 16: 理想的なプロセスグラフ

Cの連続となる。プロセスラベルFおよびNは出現していない。

熟練者のプロセスグラフは理想型に近いが一致はしていない。各区間の描画結果を見ると、初期にアタリ・輪郭を描き、中期にトーンを描き、後期にディテールを描いていることが伺える。中期および後期に1つずつプロセスラベルAが出現しているが、描画プロセスビューワーにて確認をしたところ、テーブルに投影された影を描くための輪郭を描いていた。

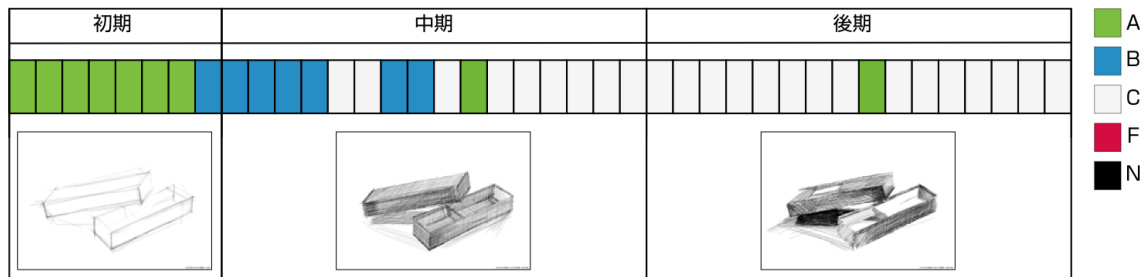


図 17: 熟練者のドローイングプロセスグラフ (上) と描画区間内の描画結果 (下)

4.5.3 美術入門者のドローイングプロセスグラフ

典型的な美術入門者が紙箱を描いた際のドローイングプロセスグラフと初期・中期・後期の区間内の描画結果を図18に示す。図18上がプロセスグラフであり、左から右へ時間が流れている。図18下は、初期・中期・後期の区間内の描画結果である。入門者がドローイングを行うと、全体を捉えることができないため、部分的に描き進めていく。その結果、構図が悪く、モチーフの形が狂ってしまう。また、トーンによる表現ができず、輪郭線で表現してしまう。

理想的なドローイングプロセスグラフ(図16)や熟練者のドローイングプロセスグラフ(図17)は、描画プロセス全体を通して、連続に続くプロセスラベルA,B,Cが順に表示されているのに対して、美術入門者のドローイングプロセスグラフは、プロセスラベルがバラバラに出現している。

初期区間は、プロセスラベルAが連続にならず、Bが2つ出現し、Aが出現、Fが2つ出現し、Cが続く。描画結果をみると、モチーフの一部の輪郭を描き、影を描いている。中期区間は、プロセスラベルBとAが交互に出現し、最後にCが出現する。描画結果は、中期でモチーフの全体像が現れる。輪郭を描きつつ、影を描いている。後期区間は、プロセスラベルBが出現後、Cの連続となり、B、C、A、Cと出現する。描画結果は、模様と影を描いている。

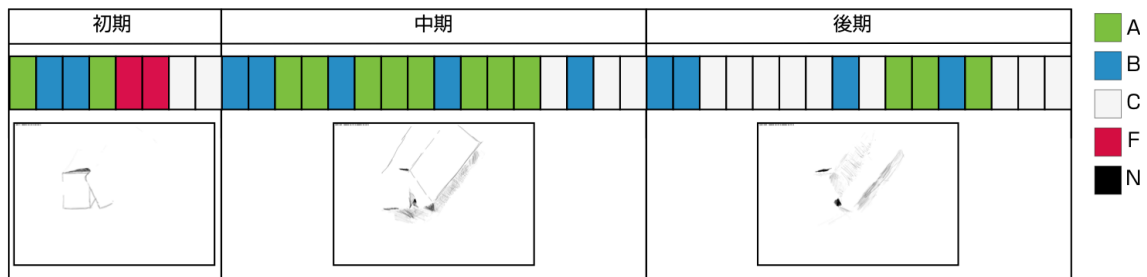


図18: 美術入門者のドローイングプロセスグラフ(上)と描画区間内の描画結果(下)

第5章 学習支援システム

5.1 デジタルドローイング

本研究では提案システムの構築にあたり、A 専門学校海外留学科海外芸術大学留学コースと協力し、2009年から当該コース所属の学生の描画プロセスデータを取得してきた。これまでに取得したプロセスデータは、209名1,093描画プロセスデータである。2010年から2012年まで提案システムのプロトタイプ版を運用しつつ、コースの美術教師と共に、デジタルペンを用いたドローイング学習に適した課題、学習の流れ、指導項目等について検討してきた(永井 香山, 2013; Nagai, Kayama, & Itoh, 2014)。

5.2 ドローイング学習課題

ドローイング課題は、指定したモチーフを机の上に構成し、A3サイズ用の紙に20分間でドローイングをするというものである。モチーフには、紙箱と紙袋を選択した(図19)。選択理由は、ドローイング学習に適した基礎的な形状をしており、初心者にとって描きやすいこと、入手しやすいからである。用紙サイズは、直線を描く際、腕や肩を使って描くことが必要なサイズとしてA3を選択した。時間制限は、時間内に描ききることの意識づけ、および描画プロセス閲覧時の負担を考慮し20分と設定した。なお、この20分間は、初心者にあまり負担をかけない時間であり、ある程度のボリューム感のある絵を描くことのできる時間である。モチーフの描画順序として、紙箱の方が単純な形態をしていることから、まず紙箱を描き、次に紙袋を描くこととした。



図 19: モチーフの紙箱 (左) と紙袋 (右) の一例

5.3 学習支援

5.3.1 ストローク数を向上させるための支援

熟練者と入門者とのドローイングにおいて、描画する数とストロークの形状が違うことが分かっている(崎本, 永井, 香山, 2016)。熟練者に比べて入門者は、ストローク数が少なく、複雑な形状のストロークを用いることが多い傾向にある。一例として、A 美術専門学校入学直後の美術に関する専門的な学習経験のない入門者 A とドローイング熟練者(ここでは A 美術専門学校の美術教師)の20分間でのドローイングとストローク数を図 20 に示す。熟練者のストローク数 3,353 本、入門者 A は 607 本であった。熟練者が描いたモチーフは、蓋身型で長方形の紙箱で、蓋部を身部に対して斜めに置き平面上に構成している。箱の外側は化粧紙が施されており、身部には間仕切りがある。熟練者のドローイングからは、これらを見取ることができる。一方、入門者 A が描いたモチーフは蓋身型の長方形の紙箱で、蓋部を身部の下側に重ね、平面上に構成している。入門者 A のドローイングからは、箱とはわかるが、描き込みが足りず、それ以上のことは伝わらない。入門者 A のドローイングは、面に対する濃淡や、質感の表現が不足し、箱を輪郭で表現している。置かれている床との接面の影が描かれていない。

図 21 は、図 20 に示した熟練者と入門者 A の描画プロセスを描画開始から 4 分、12 分、20 分で分割した区間におけるドローイングとストローク数である。上が熟練者、下が入門者 A である。熟練者は、描画開始から 4 分で輪郭を描き、4 分から 12 分までにトーンを整え、12 分から 20 分で質感やディテールを描いている。一方、入門者 A では、多くの時間を輪郭の描画に費やしている。入門者 A が輪郭を描く行為を描画開始から 4 分以内で完了し、12 分までにトーンを整え、残りの時間で質感やディテールを描くためには、ストローク数を増やすことは必須である。

しかし、「ストローク数を増やしましょう」等の直接的な指導では効果が薄いことは美術教師へのヒアリングから判っている。入門者自身が描画プロセスを振り返り、熟練者との違いに気づき、トーン、ディテールの表現方法に自ら気づく必要がある。したがって、これらのことを支援できる機能を提案システムに取り入れることが有益と考えた。

また、A 美術専門学校でのドローイングの授業では、入門者は描画途中で手を止め、経験者の描画プロセスを観察することが多い。これにより、トーン、ディテールの表現方法を知ることができる。このような機能の導入も有益と考えた。

美術教師と検討した結果、入門者のドローイングに必要とされる本数を 3,000 本とした。このストローク数を即時に実現することは難しい。そのために、スモールステップで目標値に

近づけるよう、入門者個々に達成可能な3,000本よりも少ない目標値を美術教師から随時提示してもらうようにした。

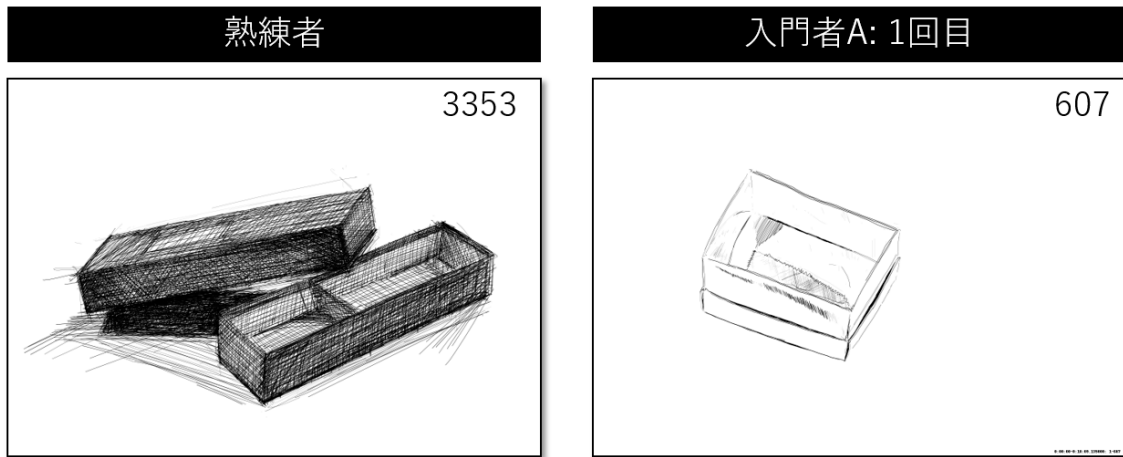


図 20: 熟練者 (左) と入門者 A (右) の描画結果とストローク数

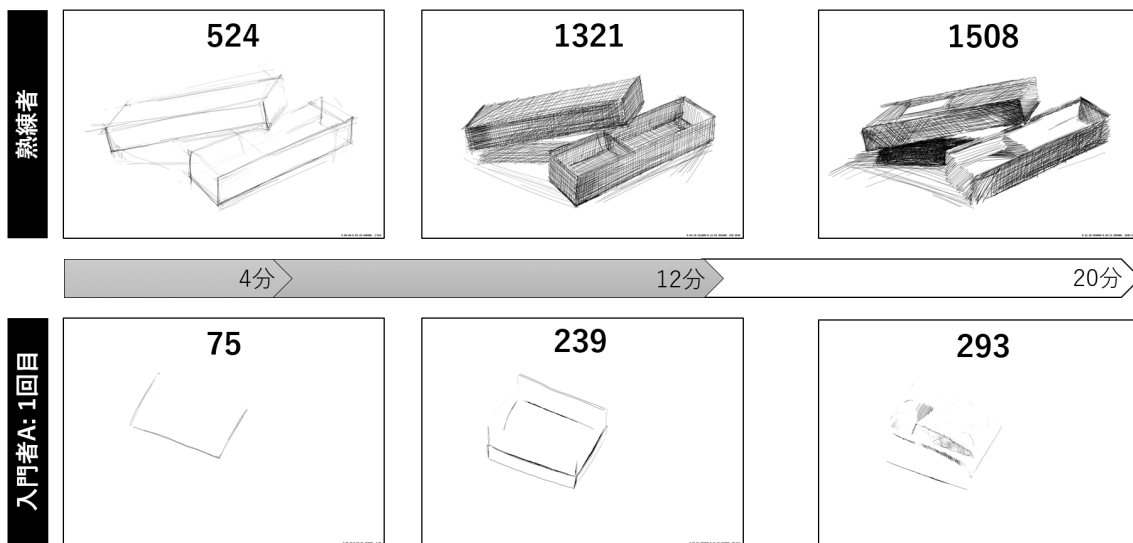


図 21: 熟練者 (上) と入門者 A (下) の区間単位の描画結果とストローク数

5.3.2 描画プロセスを改善するための支援

2013年からA専門学校のドローイングの授業における正規の学習活動としてドローイング学習支援環境を用いた運用を開始し、学習者に対してストローク数を意識させる指導をしている。その際、入門者に対しては、段階的に2,000~3,000本を目指すように指導をしている。ストローク数を意識させることにより、入門者の一定のスキル向上は図れた (Nagai, Sakimoto,

& Kayama, 2016b).

図 22 は，ストローク数向上について段階的に指導を行い，4回目からストローク数が2,000本を超えた学習者のモチーフが紙袋の4, 5, 6回目のプロセスグラフと描画結果である．この学習者の年度では，ドローイングプロセスグラフの提示を行っていない．4回目のドローイングプロセスグラフはプロセスラベル A の連続に始まり，B の連続，C の連続と続いている．理想型に近い並びをしている．描画結果からも丁寧に描いていることがみられる．5回目は，初期のプロセスラベルは F の連続から始まる．輪郭を一度に決めようとしてしまい，形の修正ができず，4回目よりも悪い結果となっている．後期にプロセスラベル B の連続があることからトーンを部分的に描き進めていることが伺える．描画結果からも，線を重ねることをしていないため，表現がよくない．6回目は，5回目同様，プロセスラベル F の連続で始まり，終始 B の連続で終わる．すべてを一度に描いてしまおうとしていることが伺える．描画結果からも明らかである．

この学習者に，ドローイングプロセスグラフを提示していれば，4回目の描画プロセスが良かったことを伝えることができ，図のような5回目以降のような描画プロセスにならなかったと考えられる．我々は，ドローイングプロセスグラフを用いて描画プロセスを提示することで，学習者は自ら描画プロセスの違いに気づきやすくなり，美術教師は優先して指導すべき学習者の発見や，よりの確なドローイング指導が行えるようになると思う．

ドローイングプロセスグラフは，4つのインターフェイス，マイページ，レッスンビュー，ドローイングプロセスビューワ，ドローイングプロセスビューワ比較モード上に実装した．



図 22: ストローク数が2,000本を超えた学習者の4,5,6回目のドローイングプロセスグラフと描画結果

5.4 システムの概要と学習の流れ

我々のドローイング学習支援環境は、筆記具としてデジタルペンを、プラットフォームとして CMS (Contents Management System) をベースとした LMS (Learning Management System) を利用する (Nagai, Sakimoto, & Kayama, 2016a)。デジタルペンが記録した描画プロセスデータを LMS に蓄積し、学習者および指導者らが描画プロセスを閲覧できるようにする。これにより、描画プロセスを時間と場所とに制約を受けず再生が可能となる。指導者は全ての学習者のドローイング指導が可能となり、学習者のドローイングの習得度合いをより細かく把握することができる。学習者は、自己および他者の描画プロセスの観察が可能となる。図 23 に本システムの概要と、本システムを用いたドローイング学習の流れを示す。

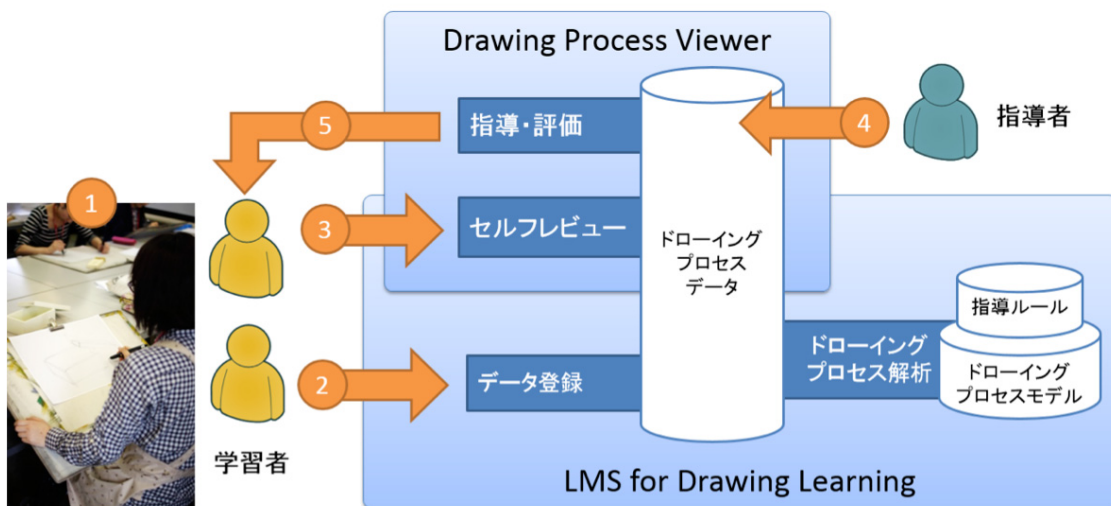


図 23: 学習の流れ

1. 学習者は与えられた課題に対するモチーフを構成しデジタルペンでドローイングを行う。
2. 学習者は描画プロセスデータを LMS に登録する。
3. 学習者は自身の描画プロセスを再生しセルフレビューを行う。
4. 指導者は学習者の描画プロセスを再生し、学習者の描画プロセスに指導と評価を行う。
5. 学習者は指導者からの指導および評価のチェックを確認したり、他者の描画プロセスを再生したりして自身のドローイングを振り返る。

5.4.1 理想的な学習サイクル

本システムを用いた理想的な学習サイクルを以下のように想定した。特に3.では、学習者は、前回のセルフレビューを踏まえて今回工夫した点と難しかった点を振り返る。同時に、次回のドローイングへの目標を意識する。また、指導者は、これまでに個別指導してきた事柄が今回のドローイングに反映ができていのかどうかを評価し、次回のドローイングに期待することについて指導する。このセルフレビューの結果は、次回以降のドローイングに反映されると考える。そのため、これらの学習の流れを2回以上含むサイクルを理想とすることとした。

5.5 支援機能

学習者に気づきを促進させるための支援として以下の機能を実現することとした。

1. 自己を含むデジタルドローイングクラス受講者全員のドローイングの閲覧
2. 描画プロセスの再生
3. 2つの描画プロセスの比較
4. 振り返り(セルフレビュー)と美術教師からの個別指導

5.6 インターフェイス

5.6.1 概要

図24に提案システムのインタフェース概要を示す。インターフェイスとして、ホーム、マイページ、クラスビュー、レッスンビュー、ドローイングプロセスビューワ、ドローイングプロセスビューワ比較モードから構成される。ホームは、利用者が所属するクラスビューとマイページへのリンクである。クラスビューは、レッスンビューの一覧である。マイページは、利用者のドローイングプロセス一覧である。レッスンビューは、自己と他者のドローイングの一覧である。これは、クラス毎、授業日ごとにまとめられている。ドローイングプロセスビューワは、2種のサブツール(プロセス再生、振り返り)からなる。プロセス再生では自己及び他者の描画プロセスを再生することができる。振り返りでは、自己の描画プロセスに対するコメントをセルフレビューとして登録することで、美術教師から個別指導を受けることができる。ドローイングプロセスビューワ比較モードは、プロセス比較では、2つの描画プロセスを同期させて再生することができる。

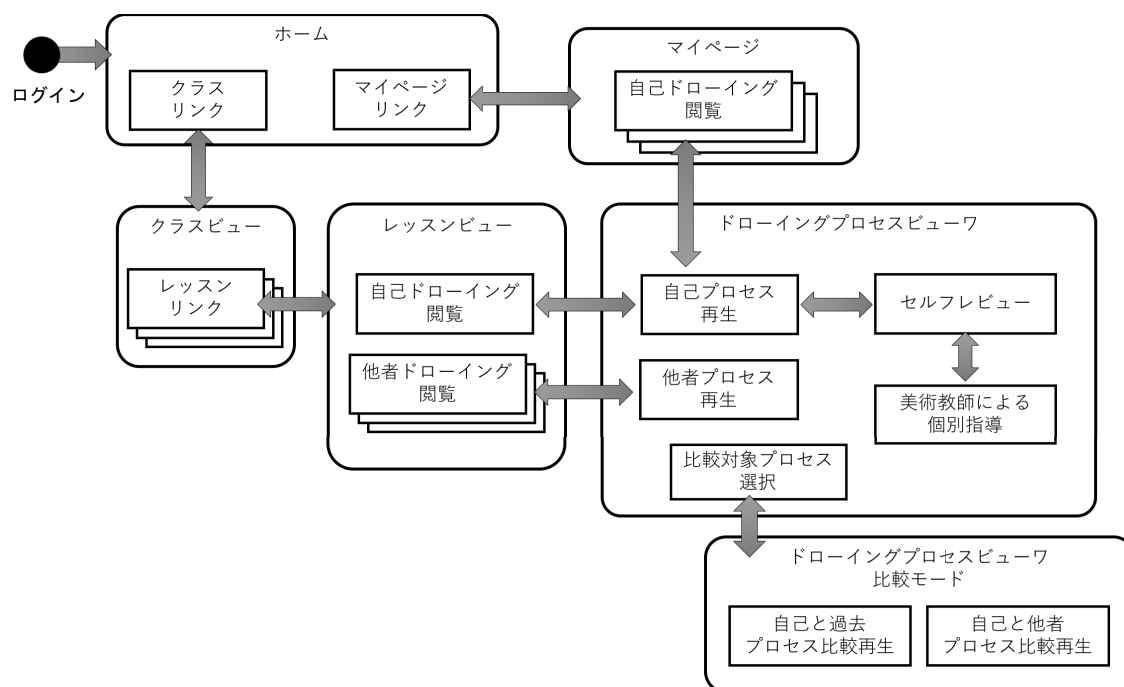


図 24: システムのインターフェイス概要

5.6.2 クラスビュー

ホームから自分のクラス（図 25 参照）へアクセスすると、クラス内にはレッスンの日付一覧が表示され、日付をクリックすることで、レッスンのページ（レッスンビュー）が表示される。

5.6.3 マイページ

ホームからマイページ（図 26 参照）へアクセスすると、マイページ内には、自身のドローイングプロセスがレッスン実施日順に縦に並ぶ。レッスン毎に作品のタイトル、描画結果のサムネイル、総ストローク数、プロセスグラフ、セルフレビューの記述の有無、美術教師による評価、システムによるストローク数評価、指導コメント数、指導者 ID が横に並ぶ。再生したいタイトルもしくはサムネイルをクリックすることでドローイングプロセスビューワが表示される。

5.6.4 レッスンビュー

レッスンビューは、その日の授業で制作されたドローイングがストローク数とプロセスグラフと共に一覧表示される（図 27 参照）。自己のドローイングが上部に、他者のドローイングが下部にサムネイル表示される。図 27 右はサムネイルの詳細である。サムネイルには、ドロー



図 25: クラスビューのインターフェイス

イング、ストローク数、プロセスグラフ、2つの評価(後述)からなる。サムネイル中央にドローイング、その下にプロセスグラフ、ストローク数が示される。これにより、当該のレッスンにおける生徒のストローク数とプロセスグラフのドローイングが確認できる。サムネイルと共に示される2つの評価は、美術教師と提案システムによる描画プロセスに対する評価であり、サムネイル右上の長短2種のリボンの装飾で表す。美術教師による評価は、長めのリボンでリボン内には星マークが表示される。星1つはセルフレビューが記述され、美術教師が個別指導をした場合に与えられる。星2つは、さらに学習者が気づいた改善点や、美術教

日付	タイトル	描画結果 サムネイル	ストローク数	プロセスグラフ	セルフレビューの 有無	レビュー(ストローク数) ストローク数の評価	指導数	指導者ID
2017/4/18	紙箱1		847		記入済 ☆		1	saito
2017/5/9	紙箱2		2326		記入済 ☆		1	saito
2017/5/23	箱3		1750		記入済 ☆		1	saito
2017/6/6	紙袋1		1316		記入済 ☆		1	saito
2017/6/20	紙袋2		1830		記入済 ☆		1	saito

図 26: マイページのインターフェイス

師が以前に指摘した事柄を反映できたと美術教師が判断した場合に与えられる。提案システムによる評価は、当該レッスン内の生徒のストローク数が多い上位5名に対して短めのリボンで表示する。これらのリボンは、再生対象とする他者の描画プロセスを選択する際の指標となる。再生したいサムネイルをクリックすることでドローイングプロセスビューが表示される。この機能は、第5.5節に示した機能の1.に対応する。

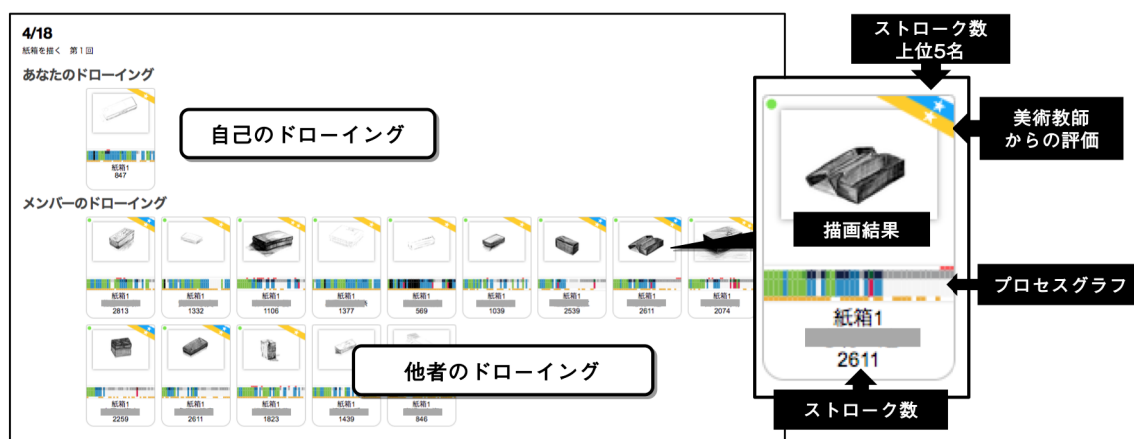


図 27: レッスンビューのインターフェイス

5.6.5 ドローイングプロセスビューワ

第5.4節で示す学習の流れにおける描画プロセスの再生には、ドローイングプロセスビューワ（図28）を用いる。

ドローイングプロセスビューワは、描画プロセスの再生のほかに、学習者の描画プロセスデータから、描画時間、ストローク数、プロセスグラフ、単位時間区間における幾何的特徴（線の種類や筆圧、ストローク数など）の表示をはじめ、学習者のセルフレビュー、指導者から指導と評価を確認することが可能である。

操作パネルエリアは、描画プロセスの再生、停止、早送り・巻き戻し、再生スピード、比較対象ドローイング選択で構成される。再生速度は、再生スピードにより、1倍から20倍まで等倍間隔で変更できる。早送り、巻き戻しは、5秒から30秒の間隔で指定できる。また、プロセス比較をするための対象ドローイングの選択をすることができる。利用者は再生時間を自由に操作して、描画プロセスを閲覧することができる。

別レッスンのドローイングエリアは、プロセス再生対象ドローイングの制作者の列レッスンのドローイングをサムネイル表示する。サムネイル内には、ドローイング、ストローク数、プロセスグラフを示す。利用者は、ドローイングとストローク数およびプロセスグラフの推

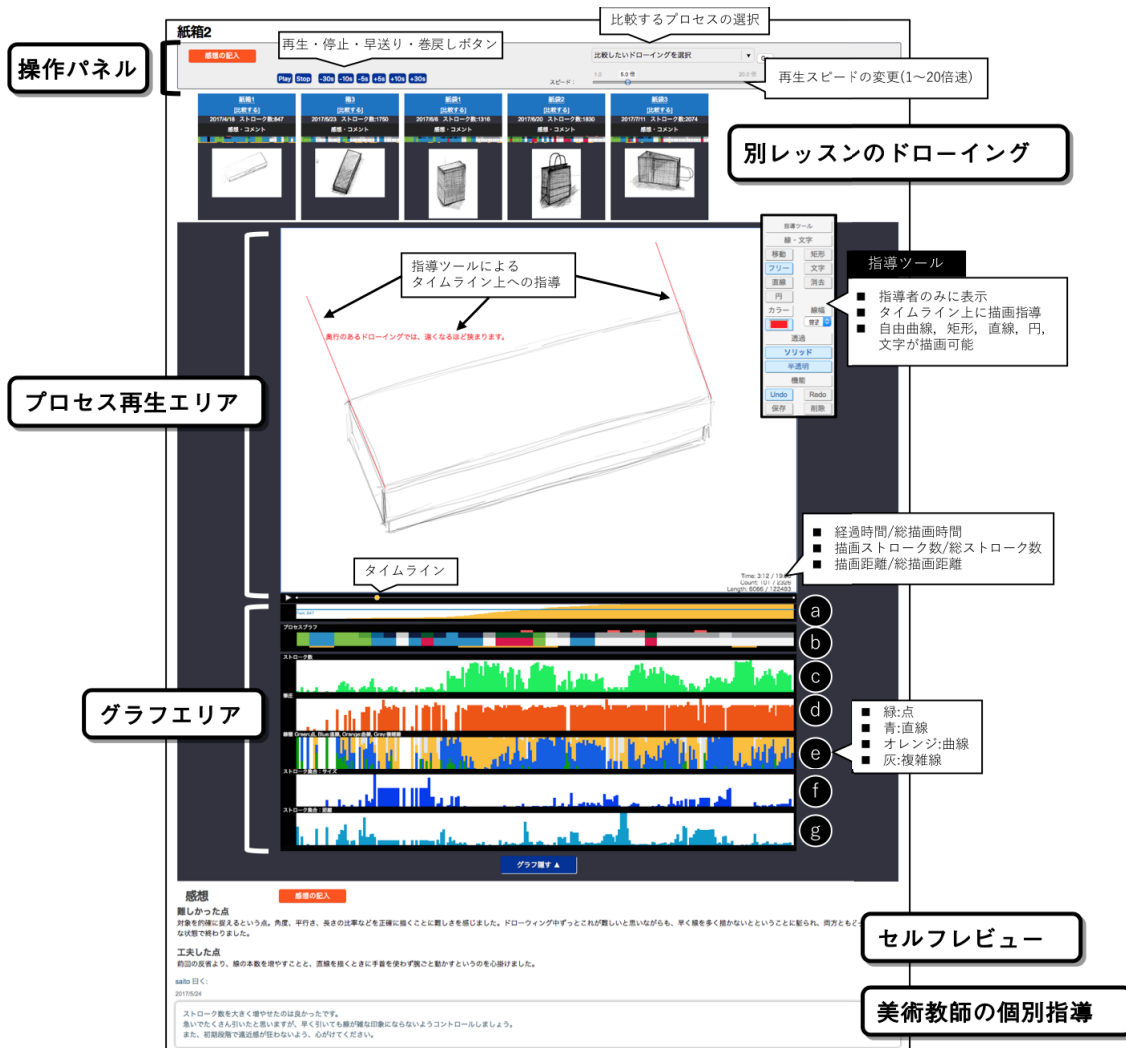


図 28: ドローイングプロセスビューワのインターフェイス

移を確認することができる。

プロセス再生エリアは、描画プロセスをプレイバックする。このエリアの右下には、描画開始からの経過時間、ストローク数、描画距離が表示される。エリア下部にあるスライダーにより、再生開始箇所を自由に決めることができる。指導者は、指導ツールを使い、描画プロセスにおいて、指導が必要なタイミングで、コメント文や指導のためのドローイングなどの注釈として追加できる。

ドローイングプロセスビューワの中央下部は描画プロセスデータを分析したグラフである。学習者は描画プロセスデータを再生するとき、ストロークの幾何的特徴から解析した6つのグラフを閲覧することで、スキル獲得に役立てる。グラフエリアは、グラフの横軸を経過時

間として、上から順に、(a) ストローク数推移、(b) プロセスグラフ、(c) ストローク数、(d) 筆圧、(e) 線種、(f) ストローク集合のサイズ、(g) ストローク集合間の距離である。(a) のグラフは、描画プロセスの時間変化に対するストローク数推移を表示する。横軸に経過時間、縦軸にストローク数である。同時に、当該レッスンでの平均ストローク数とプロセス再生対象ドローイングの制作者の前レッスンのストローク数を表示する。(b) はプロセスグラフを表示する。(c)～(g) は5秒単位でストロークを分析した特徴である。(c) は単位時間のストローク数の相対値である。(d) は単位時間の筆圧の相対値である。(e) は線の種類を点、直線、曲線、複雑線で分類したものを出現頻度で表している。(f) はストローク集合のサイズを表し、(g) はストローク集合間の距離を表す。なお、ストローク集合とは、連続する時間で同じ領域を描いている複数のストロークを指す。

セルフレビューエリアは、自己の描画プロセスに対する振り返りコメントの記述する。記述する項目は、美術教師から指示により、難しかった点と工夫した点とした。美術教師の個別指導エリアは、セルフレビューと描画プロセスに対する、美術教師からのコメントやアドバイスを表示する。

5.6.6 ドローイングプロセスビューワ比較モード

ドローイングプロセスビューワ比較モードは、比較したい2つのドローイングプロセスを左右に並べ描画プロセスの再生をする。それぞれの描画プロセスデータから、描画時間、ストローク数、プロセスグラフ、単位時間区間における幾何的特徴（線の種類や筆圧、ストローク数など）の表示をすることが可能である。

操作パネルエリアは、描画プロセスの再生、停止、早送り・巻き戻し、再生スピード、比較対象ドローイング選択で構成される。再生速度は、再生スピードにより、1倍から20倍まで等倍間隔で変更できる。早送り、巻き戻しは、5秒から30秒の間隔で指定できる。また、別のドローイングプロセス比較対象に選択をすることができる。利用者は再生時間を自由に操作して、2つの描画プロセスを比較することができる。

プロセス再生エリアは、2つの描画プロセスをプレイバックする。このエリアの右下には、描画開始からの経過時間、ストローク数、描画距離が表示される。エリア下部にあるスライダーにより、再生開始箇所を自由に決めることができる。グラフエリアは、グラフの横軸を経過時間として、上から順に、(a) ストローク数推移、(b) プロセスグラフ、(c) ストローク数、(d) 筆圧、(e) 線種、(f) ストローク集合のサイズ、(g) ストローク集合間の距離である。(a) のグラフは、描画プロセスの時間変化に対するストローク数推移を表示する。横軸に経過時間、

縦軸にストローク数である。

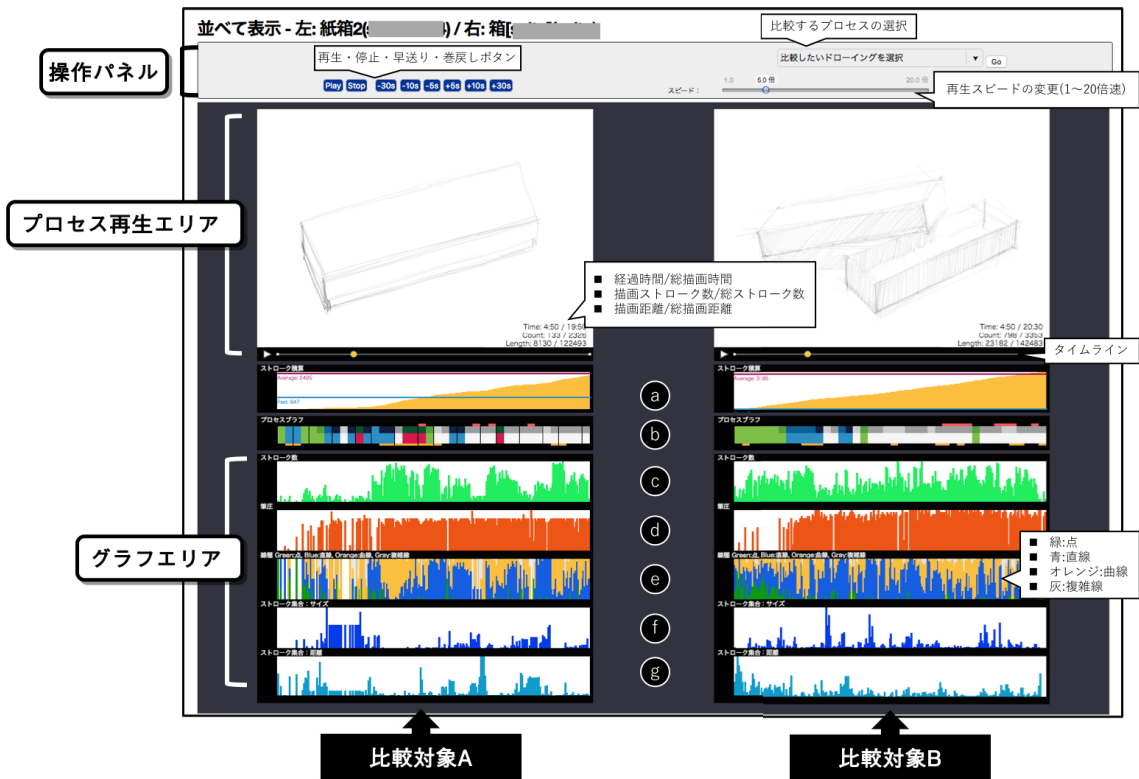


図 29: ドローイングプロセスビューワ比較モードのインターフェイス

5.7 プロセス再生

この機能は、第 5.5 節に示した機能の 2 に対応する。ドローイングプロセスビューワにおいて、自己または他者の描画プロセスを 1 つだけ再生する機能である。図 30 はドローイングプロセスビューワのプロセス再生エリアで描画プロセスを再生したものである。描画開始から 4 分、12 分、20 分までのドローイングを示している。自己の描画プロセスを再生することで、自分がどのようにストロークを重ねていくのかが確認できる。また他者の描画プロセスを再生することで、ストローク数を伸ばすためのトーンやディテールの描画技法を確認できる。

5.8 プロセス比較

この機能は、第 5.5 節に示した機能の 3 に対応する。プロセス比較は、異なる 2 つの描画プロセスを同期して再生することができる。ドローイングプロセスビューワから比較対象ドローイングを選択することにより、再生エリアに表示されたドローイングとの比較が可能に

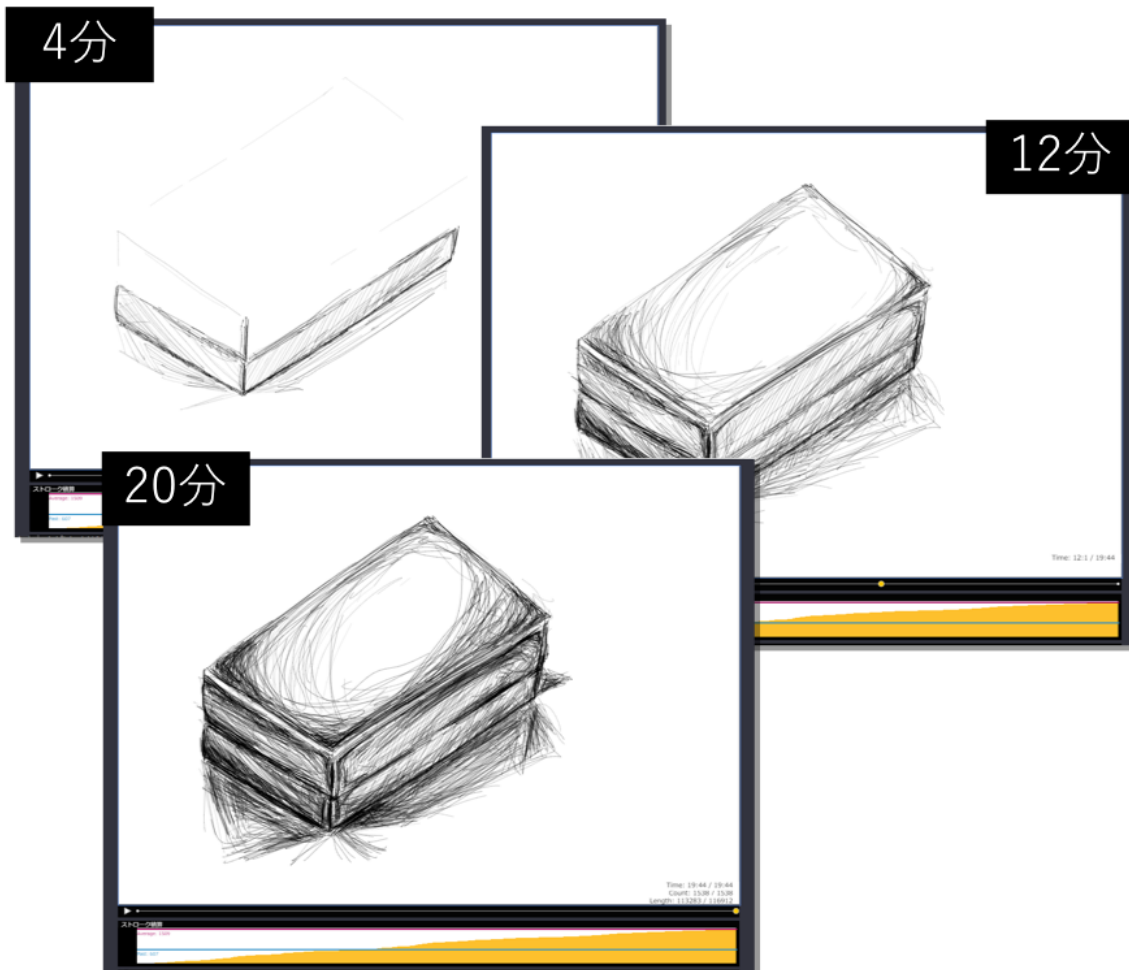


図 30: プロセス再生の様子

なる。図 32 は、プロセス比較の様子を示す。図 32 左が入門者のドローイングで図 32 右が熟練者のドローイングである。図は、描画開始から 12 分までのドローイングを表示しており、ストローク数は入門者が 314 本、熟練者が 1,845 本であった。比較をすることで、ストローク数の変化や、輪郭やトーン、ディテールを描きこむタイミングの違いが確認できる。これにより、自己ドローイングの改善点をより明確に認識できると考える。

5.9 振り返り

この機能は、第 5.5 節に示した機能の 4 に対応する。振り返りは、ドローイングプロセスビューワのセルフレビューエリアと美術教師の個別指導エリアで行う。図 32 はドローイングに対する振り返りの様子を示す。入門者はドローイングプロセスに対し、セルフレビューと

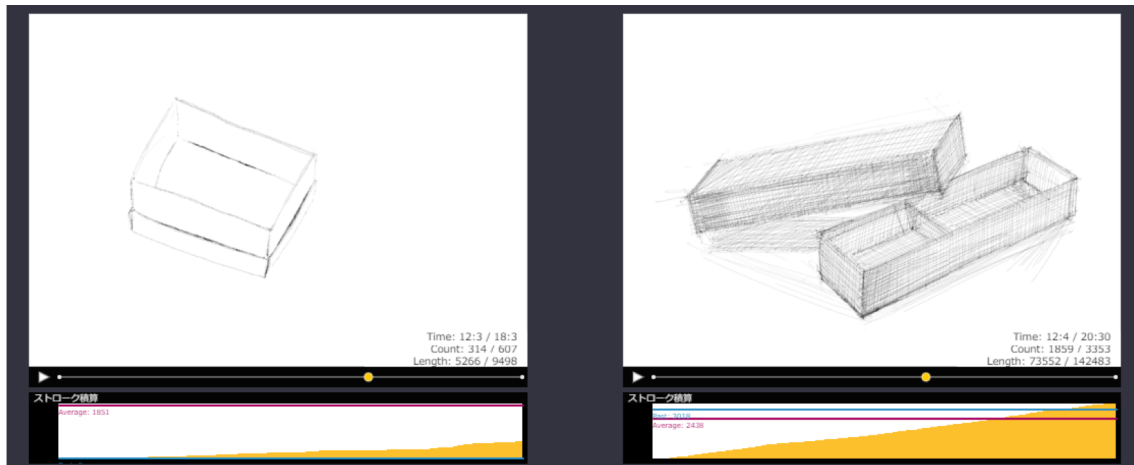


図 31: プロセス比較の様子

して難しかった点と工夫した点を記述している。難しかった点は「表面の光の感じが気になって、各面の明暗をしっかりと描けなかった。」と、ドローイングでのトーンについて言及している。また、工夫した点として「前回よりストローク数を増やそうと意識しながら描いたが、他の人に比べてもまだ確実に少ないのもっと暗い面を意識して描く。」と、記述しており、ここではストローク数への意識と他者との違いについて言及されている。このセルフレビューに対し美術教師からは、ドローイングの輪郭やトーンに対する具体的な指示がなされている。

難しかった点
表面の光の感じが気になって、各面の明暗をしっかりと描けなかった。

工夫した点
前回よりストローク数を増やそうと意識しながら描いたが、他の人に比べてもまだ確実に少ないのもっと暗い面を意識して描く。

難しかった点
表面の光の感じが気になって、各面の明暗をしっかりと描けなかった。

工夫した点
前回よりストローク数を増やそうと意識しながら描いたが、他の人に比べてもまだ確実に少ないのもっと暗い面を意識して描く。

saiko 曰く:
2013/6/10

箱のように規格が決まったものを描く際は、ハッチングもある程度規則的に描く方が質感が出ます。蓋の中心が抜けて見えるのも、描いていないということに加えて円形を作っていることが影響していると思います。全体にパースペクティブの狂いがありますが、今後は描き出しの段階から意識して修正していきましょう。

図 32: 振り返りの様子

第6章 学習支援システムの評価

6.1 ストローク数を向上させる支援機能の効果検証

6.1.1 実験条件

デジタルドローイングクラスの受講者を対象に、5.5節に示した機能によるストローク数向上の効果を検証する。分析対象とする描画プロセスデータの取得は、A 美術専門学校への入学から3ヶ月間、2週間毎に6回実施することとした。この時のドローイング課題は、指定したモチーフを机の上に構成し、A3サイズ of 用紙に20分間で描画するというものである。モチーフには、紙箱と紙袋を選択した。選択理由は、ドローイング学習に適した基礎的な形状をしており、初心者にとって描きやすいからである。用紙サイズは、直線を描く際、腕や肩を使って描くことが必要なサイズとしてA3を選択した。時間制限は、時間内に描ききることの意識づけ、および描画プロセス再生時の負担を考慮し20分と設定した。なお、この20分間は、初心者でもある程度のボリューム感のある絵を描くことのできる時間である。モチーフの描画順序として、紙箱の方がより単純な形態をしていることから、まず紙箱を描き、次に紙袋を描くこととした。データ取得の1から3回は紙箱を、4から6回は紙袋とした。

受講者には、ストローク数への意識を促し、自己や他者のドローイングを閲覧したうえで描画プロセスを再生し、自己のドローイングへのセルフレビューを記述するように美術教師から指導してもらった。

検証にあたり、2012年から2016年の期間に、デジタルドローイングクラスを受講した114名を以下のように分類した。すなわち、2012年は予備実験期間であり、提案システムの機能の妥当性とドローイング課題の条件の確認を行った。2013年から2016年を運用実験とした。この期間で89名の実験参加者を得た。

第5.5節に示した支援機能の利用回数を総数(平均)で次に示す。プロセス再生は3,701(41.6)、プロセス比較は244(2.7)、振り返りは189(2.1)。各機能を1回も利用していない実験参加者は1名もいなかった。

以下では、提案システムの運用実験参加者の内、入門者(78名)かつ実験中の欠席がなかった60名と、経験者(11名)かつ実験中の欠席がなかった9名を評価対象とする。

2つのモチーフのドローイングについて、それぞれ初回(1回, 4回)と最終回(3回, 6回)

を取り上げ、分析対象とする。比較対象は、各モチーフの初回と最終回(1回と3回, 以下1-3と略記。4回と6回, 以下4-6と略記), および全ドロ잉の初回と最終回(1回と6回, 以下1-6と略記)とする。ここでは、1-3, 4-6, 1-6について、ストローク数に違いが無いと帰無仮説を立て、ストローク数の差を分析する。

6.1.2 支援機能総体によるストローク数変化

入門者60名の分析対象回におけるストローク数の推移を図33に、平均と分散を表1左列に示す。これらのストローク数について、平均値の差を検定した(Welchのt検定)。その結果、平均値の差については、1-3で有意差が示された($t(59)=-2.45, p<0.05$)。

一方、経験者9名について、分析対象回におけるストローク数の推移を図34に、平均と分散を表6右列に示す。これらのストローク数について、入門者同様に、平均値の差を検定した。その結果、全ての比較において平均値に有意な差は示されなかった。以下では、特に入門者に対する結果を示す。表1から各分析対象の回でのストローク数の分散が大きく、被験者毎にストローク数の差が大きいことが示唆された。そこで、入門者60名を、実験の初回のドロ잉におけるストローク数の平均より大きいグループ(H)と小さいグループ(L)とに分けた。各グループの人数はそれぞれ30名である。

図35に、両グループの分析対象回におけるストローク数の変化を示す。薄灰色はLグループ、白色はHグループである。両グループの分析対象回におけるストローク数の平均と分散を表1中列に示す。これらのストローク数について、平均値の差を検定した。

その結果、Lグループについては、1-3と1-6で有意な差が示された(1-3: $t(29)=-3.678, p<0.001$ 。1-6: $t(29)=-3.24, p<0.01$)。Hグループについては、全ての比較で有意な差が示された(1-3: $t(29)=2.20, p<0.05$ 。4-6: $t(29)=2.13, p<0.05$ 。1-6: $t(29)=3.23, p<0.01$)。また、各分析対象回でのLグループとHグループの比較では、実験の初回で平均値に有意な差が示された($t(57)=-9.33, p<0.001$)が、3,4,6回では有意な差が示されなかった。

これらのことから、支援機能総体の利用は、経験者よりも入門者のストロークを有意に向上させる効果があることがうかがえる。そして、入門者については初回でのストローク数の違いに関係なく、ストローク数を有意に向上させていたことが示唆された。また、Lグループの入門者においては、初期の学習でストローク数を向上させ、それ以降はそのストローク数を維持させる。Hグループの入門者においては、最適化するために減少させる傾向にあるとも考えられる。

デジタルドロ잉導入前のストローク数データは存在していないが、美術教師からは

「このシステムの導入前に比べ、学生のドローイングスキル獲得が1ヶ月程度早まっている。」とのコメントを得ている。

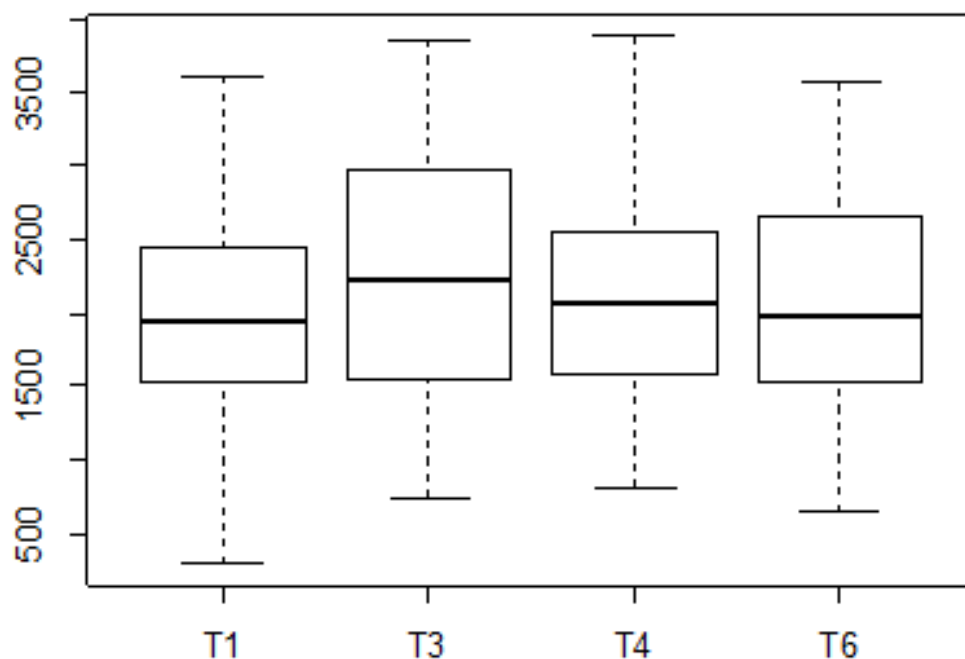


図 33: 入門者の分析対象回におけるストローク数の推移

6.1.3 個々の支援機能によるストローク数変化

本節では、各支援機能のストローク数向上への寄与について分析する。分析対象は、プロセス再生、プロセス比較、振り返りの各機能とする。前章に示したこれらの機能を用いた理想的な学習サイクルに基づき、本分析では、以下に示す閾値を設け、各機能の利用の有無を区別することとした。

プロセス再生については、自己の描画プロセスに対しては2回、他者の描画プロセスに対しては1回を閾値として、「有」と「無」を分類した。プロセス比較については、1回を閾値として「有」と「無」を分類した。振り返りについては2回を閾値として、「有」と「無」を分類した。

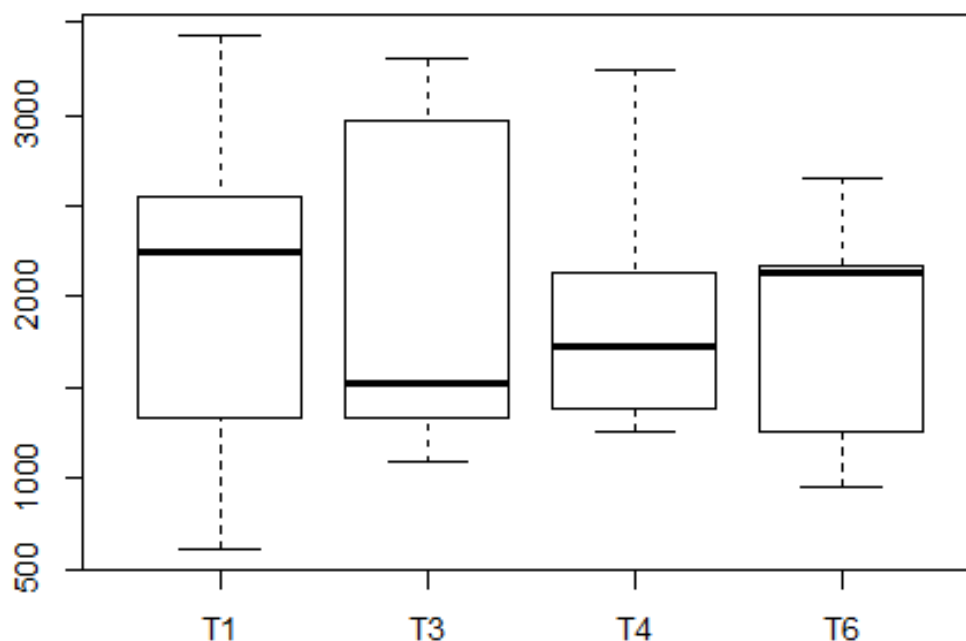


図 34: 経験者のストローク数の推移

これらの閾値に基づき、6回のデジタルドローイングでの支援機能を利用した回数に応じてグループ分けした。各分析対象回における平均と分散を表7に示す。

プロセス再生

プロセス再生の有無でグループ分けした入門者のストローク数の変化を図36に示す。ここでの再生状況とは自己の描画プロセスの再生の有無と、他者の描画プロセスの再生の有無を組み合わせで表現する。例えば、有無は自己の描画プロセスを再生し、他者の描画プロセスの再生していないことを示している。今回の分析対象とした入門者では、自己の描画プロセスを再生していない者は1名もいなかった。そのため、有有と有無の2カテゴリで分類している。図12薄灰色は有無、白色は有有である。それぞれの人数は有無が11名、有有が49名である。

プロセス再生の有無によるストローク数の変化を検証する。プロセス再生状況 (有無 [S100])

表 6: 分析対象者のストローク数の特徴

	入門者	Lグループ	Hグループ	経験者
1回	1948.0 ± 527,269.4	1,390.1 ± 200,076.3	2,505.9 ± 228,712.2	2,019.9 ± 767,829.4
3回	2,270.4 ± 719,041.9	2,089.0 ± 667,030.3	2,451.8 ± 727,779.2	2,054.8 ± 823,939.4
4回	2,154.9 ± 532,187.4	1,978.8 ± 499,778.3	2,330.9 ± 518,835.3	1,930.1 ± 458,923.6
6回	2,095.0 ± 559,880.0	1,928.0 ± 541,357.9	2,261.9 ± 540,030.0	1,793.9 ± 379,367.9

表 7: 各分析対象回における平均と分散

	プロセス再生		プロセス比較		振り返り	
	有有	有無	有	無	有	無
1回	1,955.7 ± 425,095.9	1,913.5 ± 1068,832	1,945.8 ± 58,3016.0	1,950.5 ± 482,780.2	2,023.8 ± 581,223.8	1,834.3 ± 445,610.0
3回	2,154.1 ± 752,891.6	2,788.2 ± 267,252.0	2,504.6 ± 643,397.7	2,002.8 ± 693,213.2	2,421.9 ± 708,928.2	2,043.2 ± 675,947.6
4回	2,181.9 ± 548,850.6	2,034.5 ± 485,923.1	2,328.0 ± 593,143.6	1,957.0 ± 405,811.5	2,185.1 ± 569,308.0	2,109.5 ± 495258.9
6回	2,054.1 ± 586,737.5	2,276.9 ± 442,364.1	2,155.7 ± 673,976.5	2,025.5 ± 440,243.1	2,040.9 ± 537,796.7	2,176.0 ± 606,407.7

と有有 [S1O1]) と描画回 (1[T1],3[T3],4[T4],6[T6] 回) を独立変数, ストローク数を従属変数として, repeated-measures ANOVA を実施した. その結果, 1-3 において, 再生状況と描画回に相互作用が確認された ($F(58)=4.16, p<0.05$). 事後検定の結果, 3 回の有有と有無, 有無の 1-3 に有意差が示された (3 回: $t(24)=-3.18, p<0.01$. 有無: $t(10)=-2.99, p<0.05$). また, 4-6 と 1-6 では再生状況と描画回の違いについて有意な差が示されなかった.

また, 初回のストローク数の多少を独立変数に加えた repeated-measures ANOVA を実施した結果, プロセス再生の有無による優位差は示されなかった. これらの結果から, 学習の初期では, 自己の描画プロセスを再生し, かつ他者の描画プロセスを再生しない方が有意にストローク数の向上が優位であること示唆された.

プロセス比較

プロセス比較の有無によるストローク数の変化を検証する. プロセス比較の有無でグループ分けした被験者のストローク数の変化を図 37 に示す. 薄灰色は比較無, 白色は比較有であ

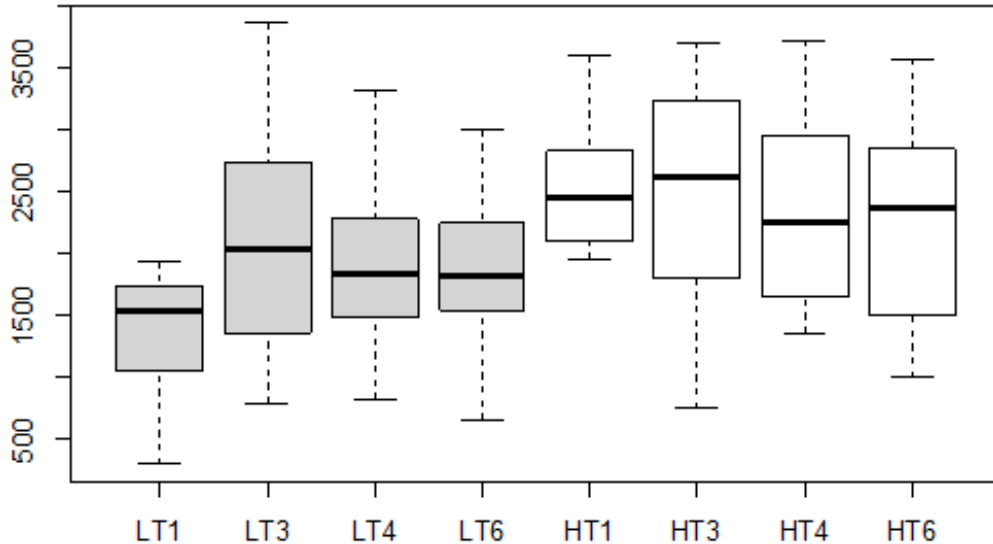


図 35: 入門者 (L) 右, 入門者 (H) 左のストローク数の推移

る。それぞれの人数は、比較無が 28 名、比較有が 32 名である。

ストローク数に、描画プロセス比較機能の利用の有無と描画回の差が存在するか否かを検証するために、プロセス比較の利用の有無 (比較無 [C0] と比較有 [C1]) と描画回 (前述) を独立変数に、ストローク数を従属変数として、repeated-measures ANOVA を実施した。その結果、1-3 において、描画回に関する有意な差が示された ($F(58)=6.28, p<0.05$)。一方、比較の有無では有意な差が示されなかった。4-6 と 1-6 では、描画回、および比較の有無での有意な差が示されなかった。これらの結果から、描画プロセスの比較の有無によるストローク数の有意な差は示されなかった。

また、初回のストローク数の多少を独立変数に加えた repeated-measures ANOVA を実施した結果、1-3 においてプロセス比較機能の利用の有無による有意差が示された ($t(56)=6.31, p<0.05$)。

振り返り

振り返りの有無によるストローク数の変化を検証する。振り返りの有無でグループ分けした被験者のストローク数の変化を図 38 に示す。薄灰色は振り返り無、白色は振り返り有で

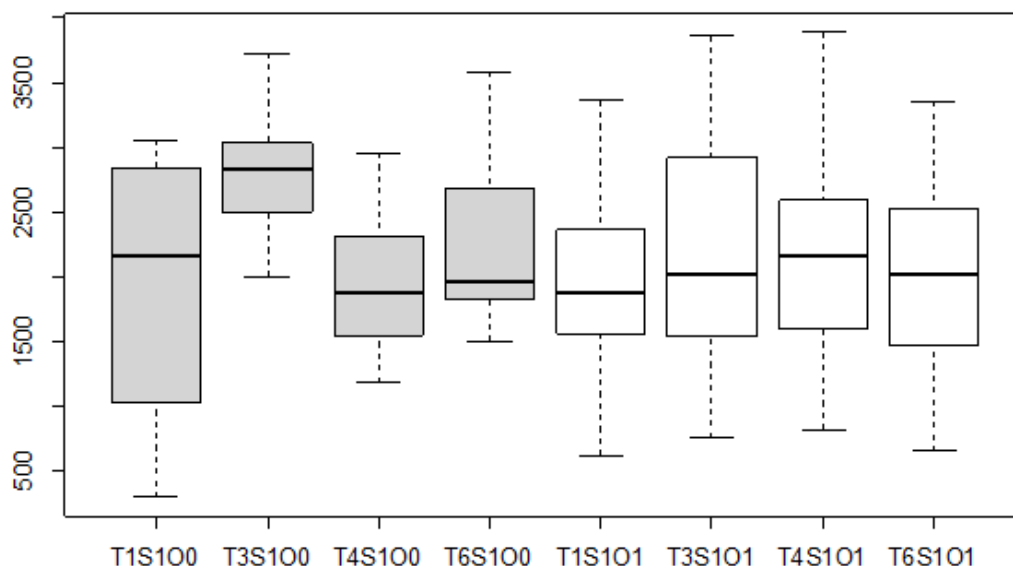


図 36: プロセス再生の利用の有無によるストローク数変化

ある。それぞれの人数は、振り返り無は 24 名、振り返り有は 36 名である。ストローク数に、振り返り状況と描画回の差が存在するか否かを検証するために、振り返りの有無（振り返り無 [R0] と振り返り有 [R1]）と描画回（前述）を独立変数、ストローク数を従属変数として、repeated-measures ANOVA を実施した。

その結果、1-3 において、描画回に関する有意な差が示された ($F(58)=5.94, p<0.05$)。一方、振り返りの有無では有意な差が示されなかった。4-6 および 1-6 では、描画回、および振り返りの有無に関して有意な差が示されなかった。また、初回のストローク数の多少を独立変数に加えた repeated-measures ANOVA を実施した結果、振り返りの有無による優位差は示されなかった。

これらの結果から、振り返りの有無によるストローク数の優位な差は示されなかった。

まとめ

以上の結果から以下を見いだした。

1. 支援機能総体として、入門者の初期のストローク数を向上させる

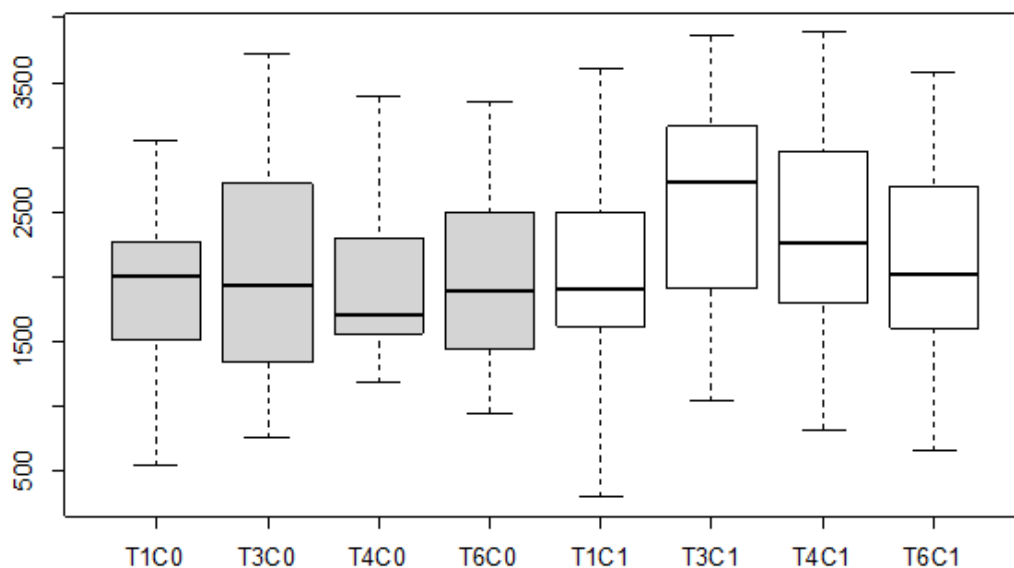


図 37: プロセス比較の利用の有無によるストローク数の推移

2. 入門者の初回のストローク数の多いグループと少ないグループ両方で、1回目に比べて6回目のストローク数が向上した。
3. 入門者は初期において自己プロセスを再生し他者プロセスを再生しないと、ストローク数が向上した。
4. 入門者は初期においてプロセス比較を利用すると、ストローク数が向上した。

6.1.4 考察

前項において、入門者のストローク数向上に対する支援機能の効果を定量的に示した。本項では、支援機能を利用した具体的な学習事例を示すことで、定性的な効果と問題点を検討する。

支援機能を利用した学習例

ここでは、入門者 A の紙箱モチーフについての3回のドローイングを取り上げる。振り返り機能でのセルフレビューと美術教師からの個別指導コメントを元に、3種の支援機能の利用

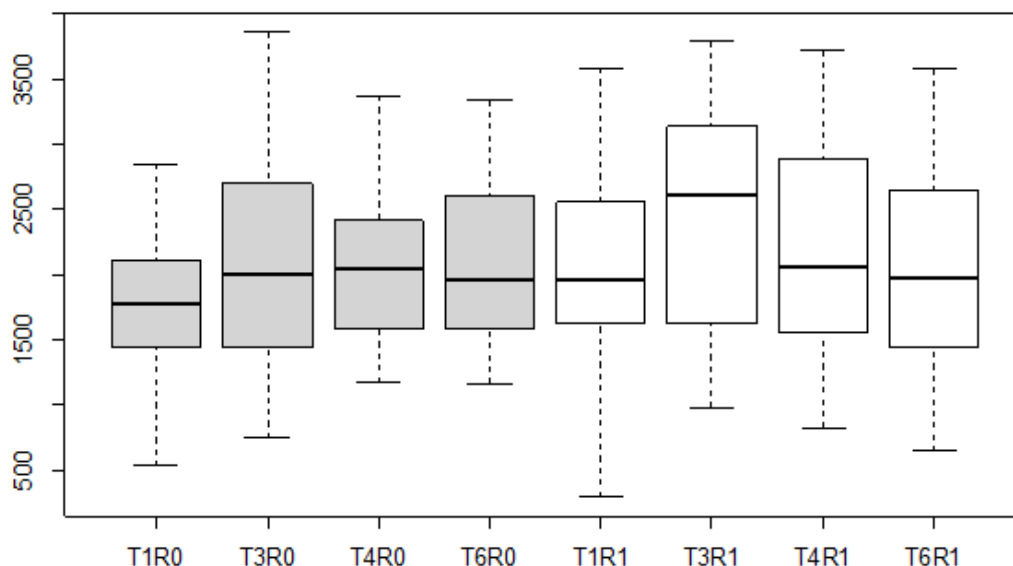


図 38: プロセス比較の利用の有無によるストローク数の推移

回数と利用時期，および各ドロ잉の途中描画結果とから，支援機能の利用と入門者の気付きとの関係を考察する．

表 8 に入門者 A の描画 1 回から 3 回の紙箱における，ストローク数，プロセス再生数，プロセス比較数，振り返りの有無を示す．図 39 に入門者 A の描画回 1 から 3 回の各回のドロ잉とセルフレビュー，および美術教師からの個別指導を示す．図 39 左は入門者 A のセルフレビュー，図 39 中がドロ잉，図 39 右は美術教師からの個別指導である．ドロ잉内の数値はストローク数である．図 39 中上段が 1 回，中段が 2 回，下段が 3 回の描画回となる．図 40 に入門者 A の 1 回目と 2 回目と 3 回目の各区間の描画結果とストローク数を示す．

表 8: 入門者 A の利用数

	ストローク数	プロセス再生	プロセス比較	振り返り
1回	607	33	3	有
2回	1,538	10	0	有
3回	2,708	11	0	有

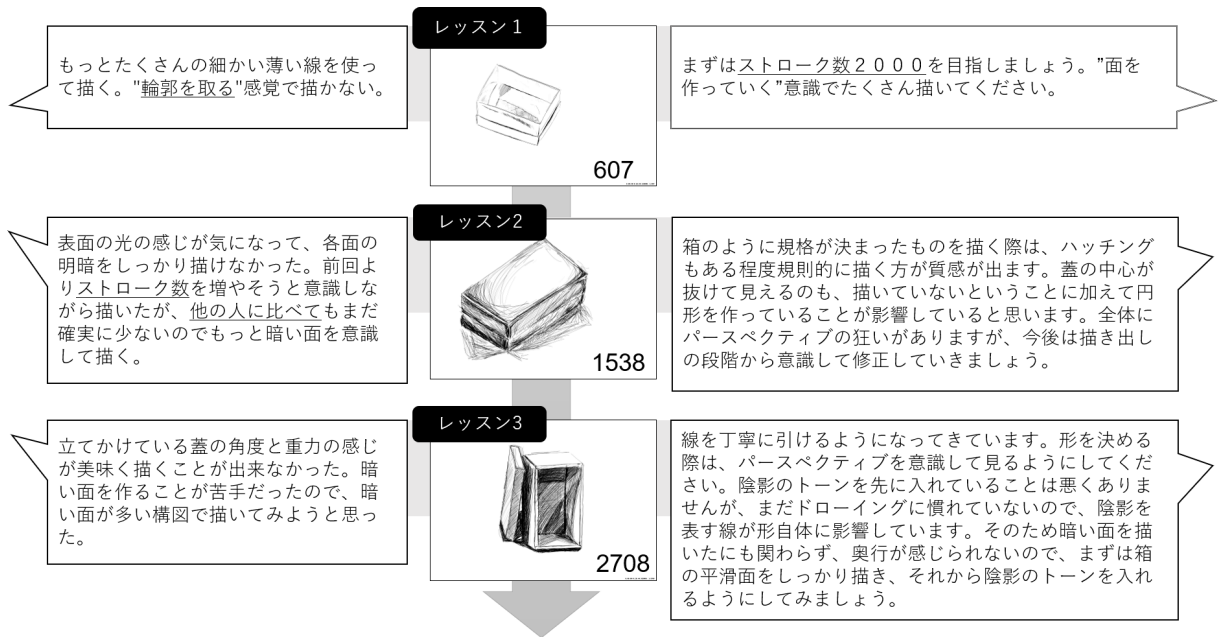


図 39: 入門者 A の 1~3 回目ドローイングにおけるセルフレビュー (左列), 描画結果 (中列), 美術教師の個別指導 (右列)

1 回目の学習サイクル

1 回目のドローイングでは、開始から 12 分かけて輪郭を描いている、この区間でのストローク数は 4 分で 75 本、12 分で 239 本である。12-20 分でトーンを描き始めた途中で描画が終了している。各区間ともストローク数が少ない (図 40 上段)。このドローイングを制作した後で、入門者 A は、33 回のプロセス再生を行っている。この内、10 回は自己の描画プロセスの再生である。その後、自己の描画プロセスと、経験者 1 名および入門者 1 名の描画プロセスを比較している。比較回数は、経験者を 2 回、入門者を 1 回している。経験者のドローイングのストローク数は 1,716 本である。この経験者のドローイングは、ストローク数は少ないものの描画プロセスは図 4 に示した熟練者と同等である。また、プロセス比較対象となった入門者のストローク数は 2,504 本である。このドローイングは形を正確にとらえているものである。これらの比較の後に、セルフレビューを登録している。

セルフレビューから、輪郭を強調して描いていることへの気づきを確認される。美術教師は、ストローク数を 2,000 本と具体的に数値を示し、モチーフをより観察すること、面の意識をすることでストロークを多く描くように個別指導をしている。

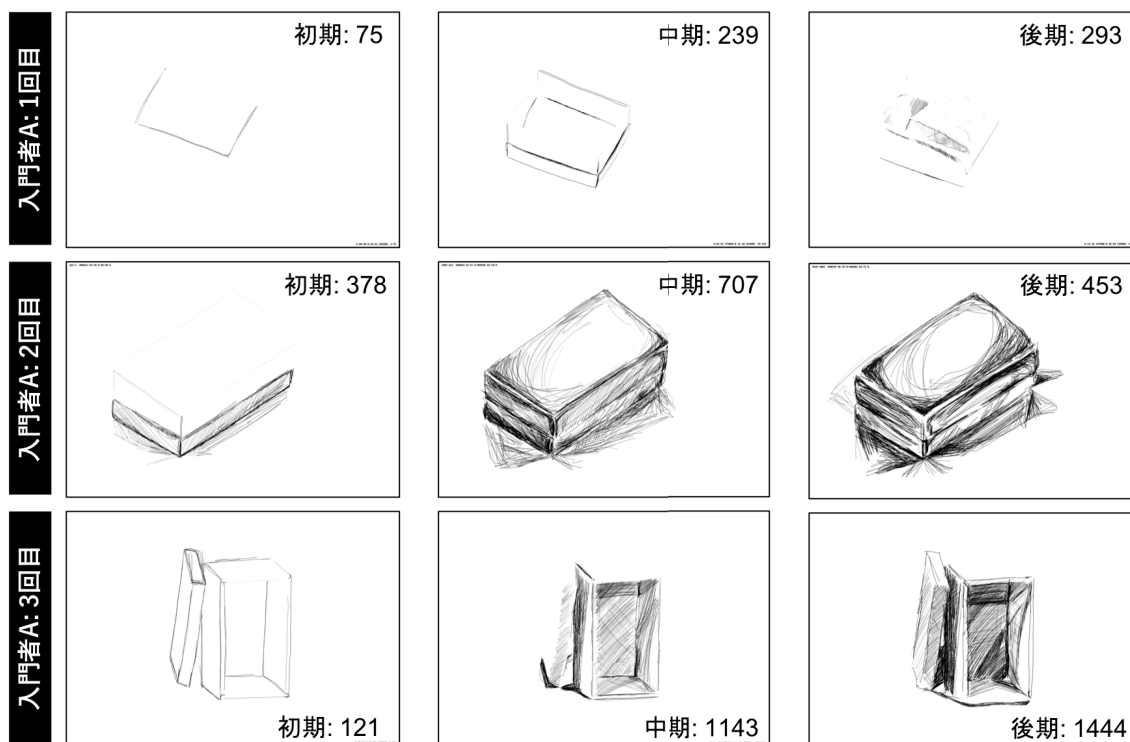


図 40: 入門者 A の 1,2,3 回目の各区間の描画結果とストローク数

2 回目の学習サイクル

2 回目のドローイングでは、開始から 4 分で輪郭取り終え面を描き始めている。4 分以降は、曲線を用いて面を描いている。4 分でのストローク数が 378 本あり、一回目の学習サイクルの約 5 倍である (図 40 中段)。ストローク数を伸ばそうとしたことが想像できる。入門者 A は、14 回のプロセス再生を行い、その内、自己のプロセス再生は 10 回である。自己の描画プロセスを再生した後、一度セルフレビューの登録を行う。その後、他者の描画プロセスの再生を行い、自己のストローク数がまだ足りないことに気づく。それをふまえ、再度、セルフレビューを行う。美術教師は、パースペクティブが十分でないのに、早期に輪郭の決定をし、面を描き始めていることを指摘した上で、パースペクティブの狂いを初期段階で修正していくことと、ディテールを描く技法について個別指導をしている。

3 回目の学習サイクル

3 回目のドローイングでは、開始から 4 分で輪郭を正確にとっている。4 分から 12 分ではトーンを、12 分から 20 分ではさらにディテールを描いている (図 40 下段)。この回になるとストローク数は当該レッスンの平均 2,441 本を超え、モチーフに合わせたトーンやディテール

ルを描けるようになっていく。プロセス再生は16回あり、この内、11回は自己の描画プロセスの再生である。セルフレビューから、前回の振り返りであった暗い面の描画について実践していることがうかがえる。美術教師は、トーンを描く際の手順として、面を描いてから陰影を入れるように個別指導をしている。

まとめ

入門者Aの前項の分類で、Lグループで、プロセス再生は有有、プロセス比較は有で、振り返りは有の受講者であった。前節で示した例では、他者プロセスの再生を行うことよりも、自己と他者のプロセスを比較することの方が改善への気づきが一層促されていたことが伺える。

一方、前項において、自己の描画プロセスを再生し他者の描画プロセス再生をしない方がストローク数が向上するという結果を得ている。同時に、プロセス比較をすることでストローク数が向上するという結果も得ている。

これらのことより、他者の描画プロセスは単独で再生するよりも、自己の描画プロセスと比較再生することでの教育効果が示唆された。

6.2 描画プロセスを改善させる支援機能の効果検証

6.2.1 実験条件

デジタルドローイングクラスを受講者を対象に、描画プロセスグラフの提示による効果を検証する。プロセスグラフの提示をした2017年度の学習者を使用群、プロセスグラフの提示をしていない、2013年から2016年度の学習者群を未使用群とする。使用群は入門者(15名)かつ実験中の欠席がなかった11名を、未使用群は入門者(78名)かつ実験中の欠席がなかった60名を評価対象とする。

評価内容として、10項目のルール条件(Rule0-6)について、2つのモチーフによるドローイングの初回と最終回(紙箱:1回目と3回目,紙袋:4回目と6回目)、デジタルドローイングクラスの初回と最終回(1回目と6回目)を比較した。

ルール条件

プロセスグラフの検証のために、理想的なプロセスグラフと熟練者のプロセスグラフを元に10項目を設定した。Ruleはストローク数とプロセスグラフ内におけるプロセスラベルの出現タイミングによるものである。Rule1,1-a,1-b,1-c,2,3,4,5,6に対する評価は、Rule0の条件を満たした者のみを対象にしている。以下は各Ruleの評価内容となる。

Rule0 総ストローク数による評価であり、閾値を 2,000 本以上を達成とした。

Rule1 初期にプロセスラベル A の連続区間が含まれ、中期にプロセスラベル B の連続区間が含まれ、後期にプロセスラベル C の連続区間が含まれる。各プロセスラベルの連続区間は、A を 1.5 分以上、B を 2 分以上、C を 3 分以上とした。この時間設定は、熟練者 2 名の 2 描画プロセスを元に設定した。

Rule1-a 初期にプロセスラベル A の連続区間が含まれる。

Rule1-b 中期にプロセスラベル B の連続区間が含まれる。

Rule1-c 後期にプロセスラベル C の連続区間が含まれる。

Rule2 初期においてプロセスラベル A の連続ではじまる。

Rule3 中期においてプロセスラベル C の連続ではじまらない。

Rule4 プロセスラベル N を含まない。

Rule5 プロセスラベル F を含まない。

Rule6 初期にプロセスラベル C を含まない。

6.2.2 プロセスグラフの変化

図 41 は、紙箱のモチーフに経験者(図上段)と 3 回目で条件を多く満たした入門者 B(図下段)の 1 回目から 3 回目までの描画結果とプロセスグラフである。経験者のプロセスグラフを見ると、初期はプロセスラベル A の連続が続き、しっかりとアタリ・輪郭を描いている。中期は、B2 つと C2 つがくり返し続いたのち C の連続となる。後期は、C の連続で始まり、B2 つ、C2 つが繰り返し続く。描画結果から初期がしっかりできていたので形の狂いは少ないが、中期に全体にトーンを描いていないため、トーンにばらつきがある。中期の描画プロセスの改善をする必要がある。

入門者 B は、1 回目、2 回目共にストローク数が足りないため、Rule1 以降の評価は行われなかった。3 回目は、Rule5 を除く 9 項目の条件を満たした。入門者 B の 1 回目のプロセスグラフを見ると、初期はプロセスラベル A,C,B と続き A ののち N が出現する。中期は B の連続のち A,B,A の連続、B の連続となる。後期は、B の連続、A,C,B の連続で終わる。描画結果を見ると、輪郭による描画であることがわかる。モチーフの形をとったのち、トーンを描画せず、紙箱の模様を描いている。本人によるセルフレビューでは、「柄のバランスを確認

しながら描きました。時間内に描き終わらないです。」との感想を記述している。これに、美術教師は「柄などの装飾は、まず本体があって、その上に施されるものです。ドローイングもその順番で描きますので、柄は一番最後となります。」とコメントし描画プロセスを改善するように指導している。入門者Bの2回目のプロセスグラフを見ると、初期は、Aの連続で始まりBが3つ続く。中期は、Cが3つ続き、F,A,C,F,B2つとC2つとなる。後期は、Bの連続で始まり,C,Bの連続,Cとなる。初期の描画プロセスが改善されている。描画結果をみると、前回に比べトーンを描いているが、部分的にしか描いておらず、まだ柄を描く傾向にある。本人のセルフレビューでは「全体的な線を早めにとれるように気を付けました」と感想を記述している。中期・後期の描画プロセスの改善が必要である。入門者Bの3回目のプロセスグラフを見ると、初期は、Aの連続で始まり、B,Aの連続となる。中期は、C,A,B,A,Fと出現し、Bの連続、C2つ,B3つ,Cとなる。後期はC,B2つ,C4つ,A,B,Cの連続,Bとなる。描画結果を見ると、トーンにより、モチーフの明暗や陰影を表現している。中期・後期の描画プロセスが改善されている。美術教師からは「線が入っていない面がありますが、何も描いていないと、穴があいているように見えます。ドローイングは全体を同じように描き進めることが必要です。もう少し長い線を早く引くようにし、トーンが全体に行きわたるようにしましょう。」とコメントし、全体を意識して描き進めるように指導をしている。入門者Bは、ドローイングを重ねる度に、描画プロセスが改善している様子が伺える。

6.2.3 考察

1回目と3回目

図42は、使用群と未使用群における、モチーフが紙箱の初回(1回目)と最終回(3回目)の各ルール達成度の比較である。Rule0の達成度は条件を満たした人数を全体の人数で割った割合であり、Rule1, 1-a, 1-b, 1-c, 2, 3, 4, 5, 6の達成度は、Rule0の条件を満たした者のみを対象にし、条件を満たした人数を全体の人数で割った割合である。各Ruleに対して、各描画回をフィッシャーの正確確率検定による検定を行ない比率に有意な差がなかった。

使用群において、未使用群に比べ達成度が伸びたルールは、Rule0, 1, 1-a, 1-c, 2, 4である。Rule1-a, 1-c, 2, から初期および後期の描画プロセスに対する好意が達成できる学習者が未使用群に比べ増えている。加えて、Rule4が伸びていることから、途中で手を止めることなく描き続ける学習者が未使用群に比べ増えている。使用群において、達成度が伸びなかったルールは、Rule 1-b, 3である。3回目では、未使用群とほぼ同じ達成度になっている。

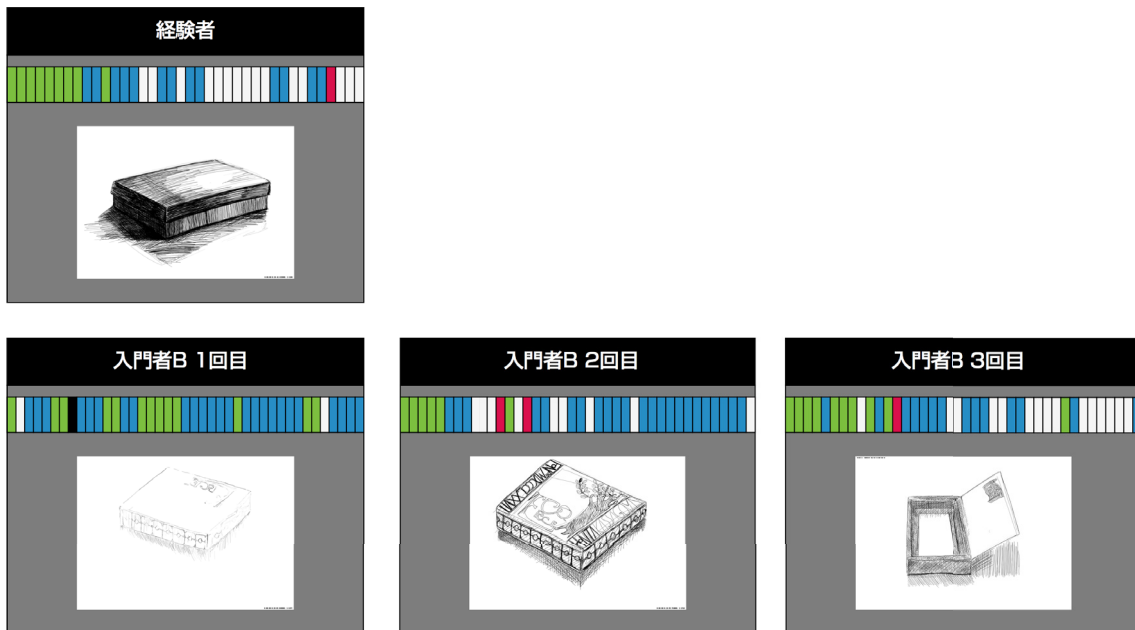


図 41: 紙箱を描いた経験者 (上段) と入門者 B(下段) の 1 回目から 3 回目の描画結果とプロセスグラフ

4 回目と 6 回目

図 43 は、使用群と未使用群における、モチーフが紙袋の初回 (4 回目) と最終回 (6 回目) の各ルールの達成度の比較である。Rule0 の達成度は条件を満たした人数を全体の人数で割った割合であり、Rule1, 1-a, 1-b, 1-c, 2, 3, 4, 5, 6 の達成度は、Rule0 の条件を満たした者のみを対象にし、条件を満たした人数を全体の人数で割った割合である。各 Rule に対して、各描画回をフィッシャーの正確確率検定による検定を行ない比率に有意な差がなかった。

使用群において、未使用群に比べ達成度が伸びたルールは、Rule0, 1-c, 6 である。Rule1-c から後期にプロセスラベル C の連続区間の出現率が増え、Rule6 から初期において C の出現が減少している。

使用群において、達成度が伸びなかったルールは、Rule 1-a, 2 である。初期にプロセスラベル A の連続区間の出現率が減少している。

図 44 に使用群で 6 回目に Rule1-c を達成した入門者 C の 4 回目 (上段) と 6 回目 (下段) の描画結果とプロセスグラフを示す。図 44 上段の 4 回目は、初期から中期にかけて、アタリ・輪郭をとることをしており、トーンによる表現が十分でない。6 回目になると Rule1-b, Rule1-c, 6 を達成することができた (図 44 下段)。初期は 4 回目とプロセスラベルの変化はない。中期では、4 回目と異なり、プロセスラベル B の連続と C の連続が出現している。後期では、プロ

セスラベルCの連続が出現し、ほとんどの時間を使っている。4回目と6回目の描画結果を比較すると、Rule1-b,1-cを達成している6回目の方がトーンの表現ができています。

1回目と6回目

図45は、使用群と未使用群における、デジタルドローイングクラスの初回(1回目)と最終回(6回目)の各ルールの達成度の比較である。Rule0の達成度は条件を満たした人数を全体の人数で割った割合であり、Rule1, 1-a, 1-b, 1-c, 2, 3, 4, 5, 6の達成度は、Rule0の条件を満たした者のみを対象にし、条件を満たした人数を全体の人数で割った割合である。各Ruleに対して、各描画回をフィッシャーの正確確率検定による検定を行ない比率に有意な差がなかった。

使用群において、未使用群に比べ達成度が伸びたルールは、Rule 0, 1-a, 1-c, 2, 4, 5, 6である。Rule0から利用者群の学習者がストローク数2,000本以上描くことが可能となっていた。初期および後期に関するルールの達成度が伸びている。Rule4が伸びたことから常に手を動かして描くようになり、Rule5が伸びたことで筆圧コントロールができる学習者が増加している。使用群において、未使用群に比べ達成度が伸びていないルールは、Rule1, 1-b, 3, である。

図46は、使用群で6回目において9つのルールを達成できた入門者Dの1回目(上段)と6回目(下段)の描画結果とプロセスグラフである。図46上段の1回目はRule0(ストローク数2,000本以上)が達成できていない。初期は、アタリ・輪郭の時間を十分にとっていないため、形が狂っており、構図も悪い。トーンによる表現でなく、輪郭を強調した描画になっている。6回目になるとRule5を除く9つのルールを達成することができた。図46下段のプロセスグラフ下にある描画結果は初期・中期・後期区間内の描画結果である。初期は、1回目と比べ時間を使ってアタリ・輪郭を描いている。中期では、中期前半でモチーフ全体にトーンを描くことができ、中期後半からトーンの濃度を上げることができている。後期では、モチーフへの全体のトーンを整え、ディテールを描けている。

まとめ

表9に使用群が未使用群に比べ達成率が伸びた・伸びなかったルールをまとめる。使用群の達成率の伸びが未使用群に比べ伸びたルールは、1回目と3回目の比較では、Rule0, 1, 1-a, 1-c, 2, 4であり、4回目と6回目の比較では、Rule0, 1-c, 6であり、1回目と6回目の比較では、Rule0, 1-a, 1-c, 2, 4, 5, 6であった。

1回目と3回目および1回目と6回目において、使用群がRule1-a, 1-cに伸びている。描画プロセスグラフを表示することにより、初期において、筆圧を抑えた線でアタリ・輪郭を

描くようになり、後期においては、早い段階で輪郭を描くことができたので、ストロークを重ねることが可能になったと考える。一方、1回目と3回目および1回目と6回目において、Rule1-bが伸びていない。使用群のプロセスグラフを見ていくと、中期において、BとCが2つから3つの塊で繰り返し出ている。つまり、トーンを描く際、全体の意識が弱く、部分的に描いている。学習者には、全体を描画していくように指導をしていく必要がある。

プロセスグラフについて、美術教師にヒアリングをしたところ「レッスンビューにおいて最初に見るべき学習者を探しやすくなった。ドローイングプロセスビューでは、再生確認するポイントを見つけやすくなった。しかし、学習者への提示方法については改善した方がよい。」との感想を得た。

表 9: 使用群が未使用群に比べ達成率が伸びた・伸びなかったルール

	伸びたルール	伸びなかったルール
1回目と3回目	Rule0, 1, 1-a, 1-c, 2, 4	Rule1-b, 3
4回目と6回目	Rule0, 1-c, 6	Rule1-a, 2
1回目と6回目	Rule0, 1-a, 1-c, 2, 4, 5, 6	Rule1, 1-b, 3

6.3 考察

新たにプロセスグラフを提示することでストローク数の向上もみられた。表9を見ると、Rule0が全てにおいて伸びている。Rule0は、ストローク数に関する条件でありストロークを2,000本以上描いている必要がある。描画プロセスが改善することで、学習者がスムーズに描画をすることが可能になったと考えられる。

ストローク数の向上および描画プロセスの改善がされた次のステップとして、ドローイングの質の改善である。つまり、ストロークの質の改善が必要となる。我々は、ストロークの質を改善するために、プロセスグラフに情報を追加することで改善を期待する。新たにプロセスグラフのプロセスラベルに2つの情報を追加する。1つ目は、線種として複雑線を一定本数以上描いた場合であり、プロセスラベル上部にマゼンタカラーで表示する。2つ目は手首で描いた線を一定本数以上で描いた場合、プロセスラベル下部に黄色で表示する。

図47に経験者の改良版のプロセスグラフ(上)とドローイング結果(下)を示す。経験者の描画結果を見ると、箱の形が歪んでいることが見える。これは、ストロークを雑に描いているのが原因である。美術教師からも「ドローイングにある程度慣れていたので、早く手を動かせる反面、手首で描く段階で終わってしまいました。鉛筆と違って消すことはできないので、直線になっているかを早めに意識し、気づいた時点で修正できるようにしましょう。」と

指導がされている。改良版プロセスグラフ(図上)を見ると、初期後半から中期にかけ、2つの情報が出現している。初期後半は輪郭を確定していく過程で、ここで複雑線を多く描いてしまうと形が歪んでしまう。中期に、手首で描いた線が多いと面の平滑性が出なくなってしまふ。プロセスグラフに追加した情報を元に学習者が気づききっかけになることを期待する。

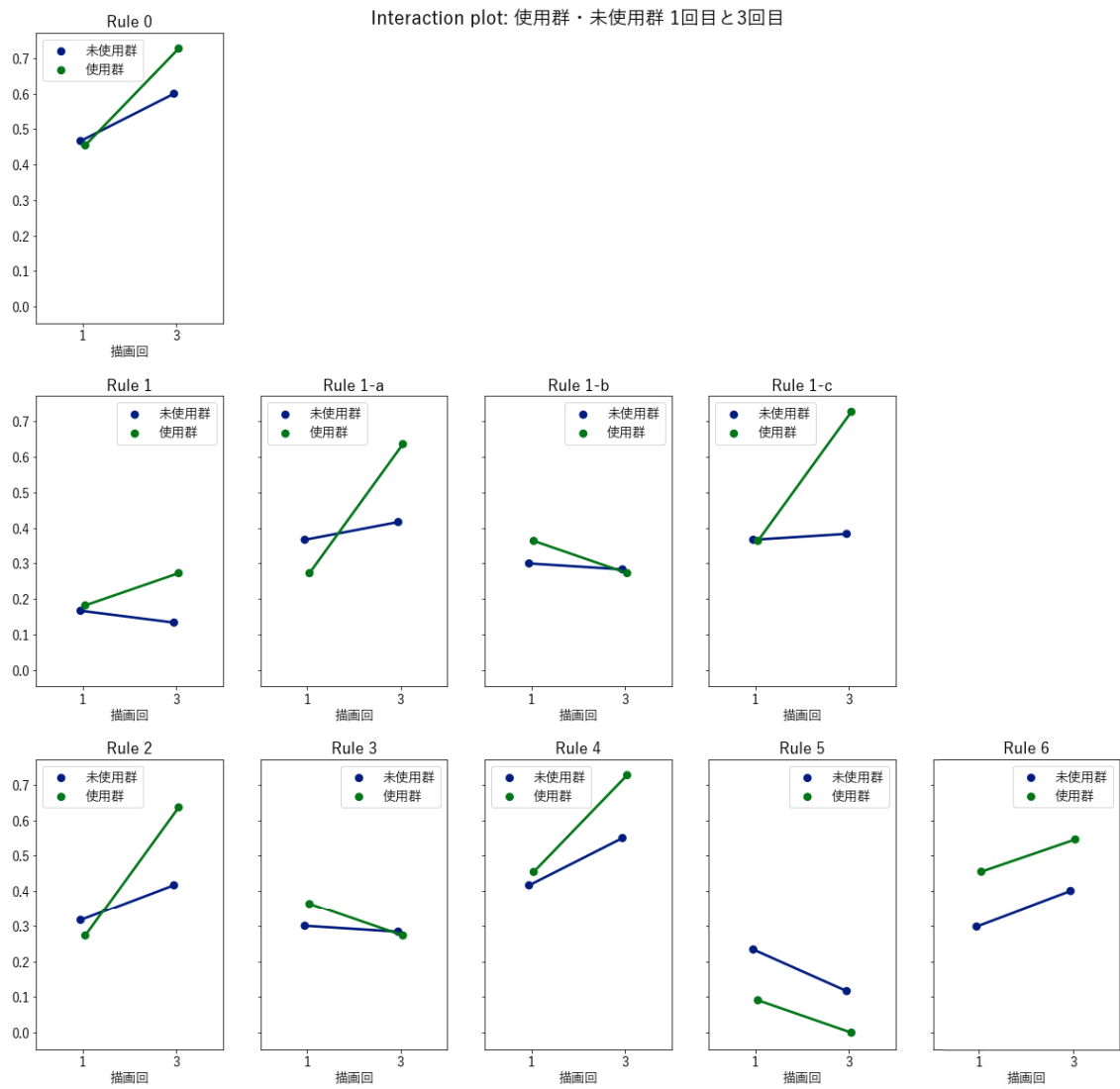


図 42: 使用群と未使用群の 1 回目と 3 回目における各ルールの達成度比較

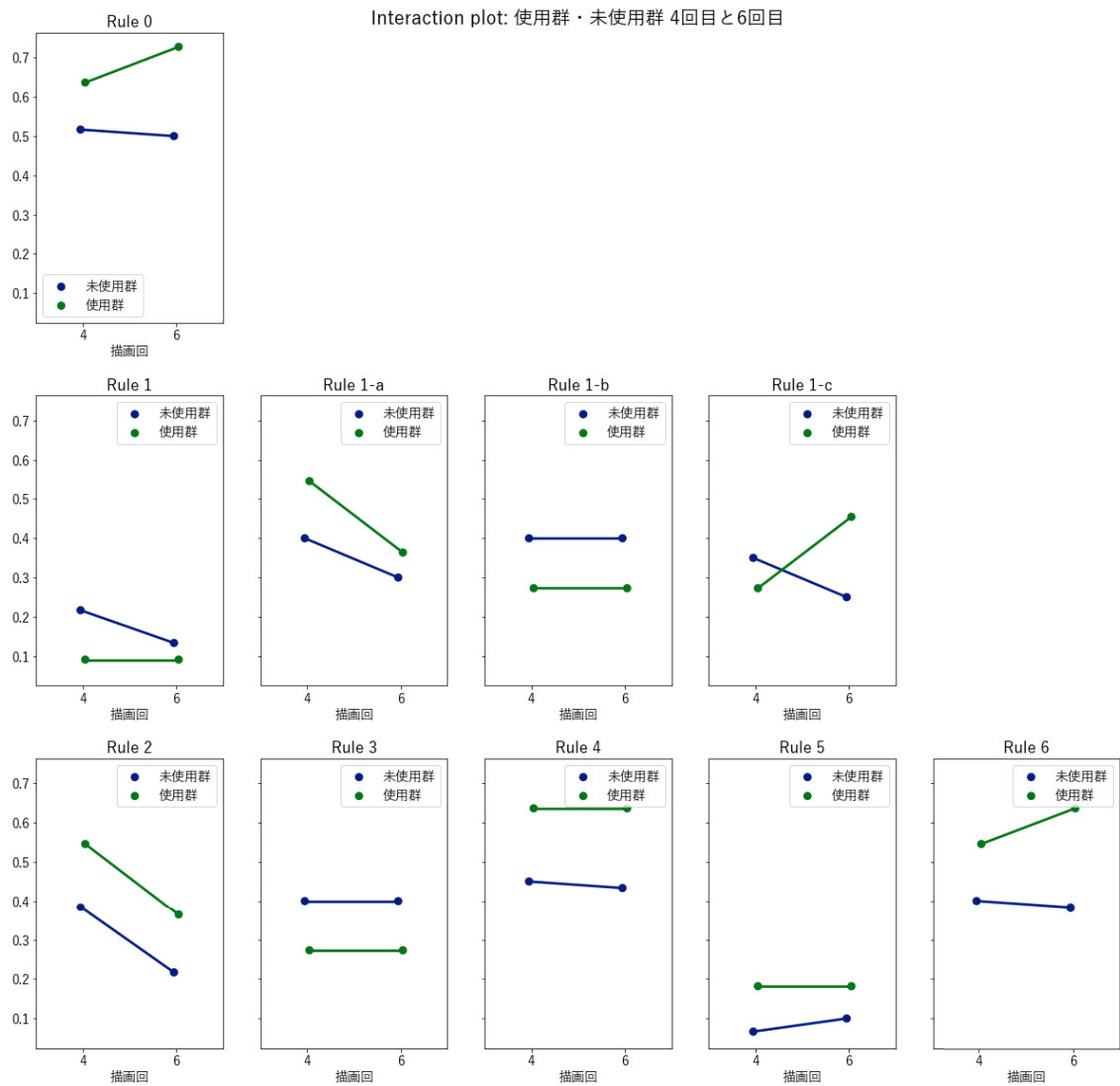


図 43: 使用群と未使用群の4回目と6回目における各ルールの達成度比較

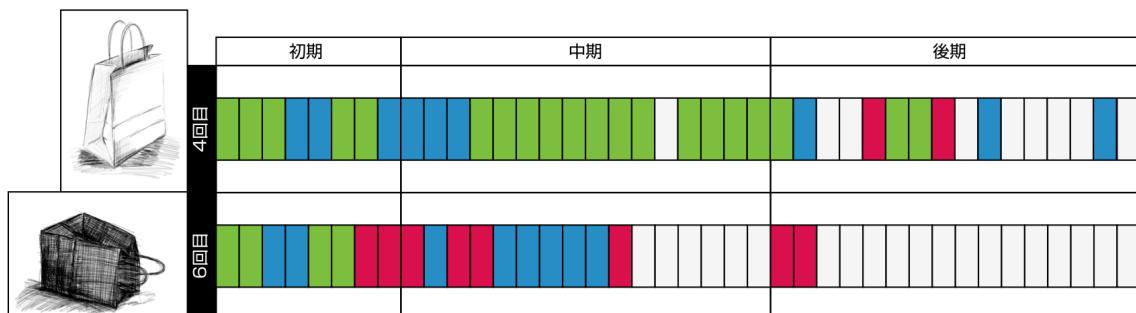


図 44: 6回目に Rule1-c を達成した入門者 C の4回目 (上段) と6回目 (下段) の描画結果とプロセスグラフ

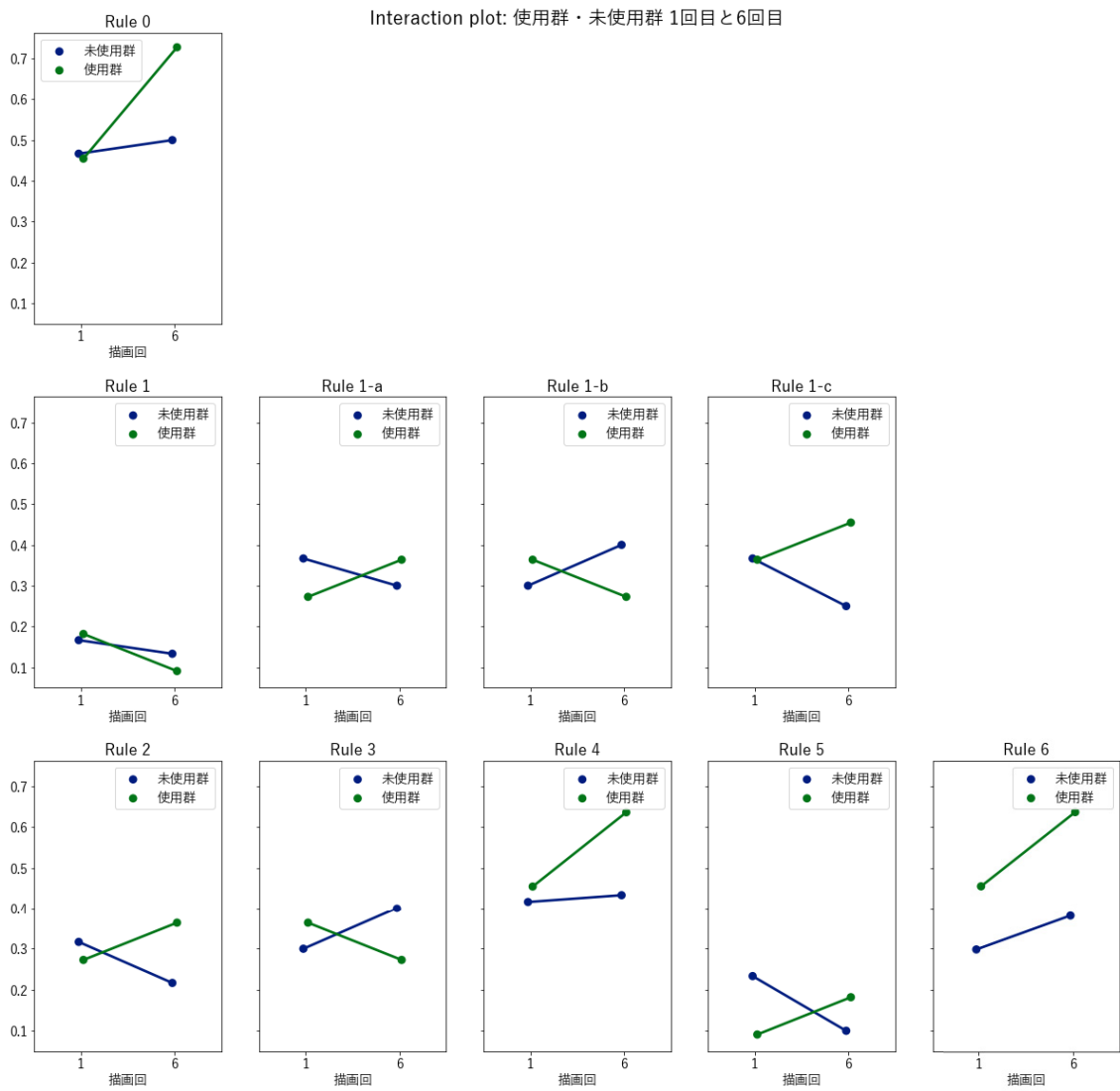


図 45: 使用群と未使用群の 1 回目と 6 回目における各ルールの達成度比較

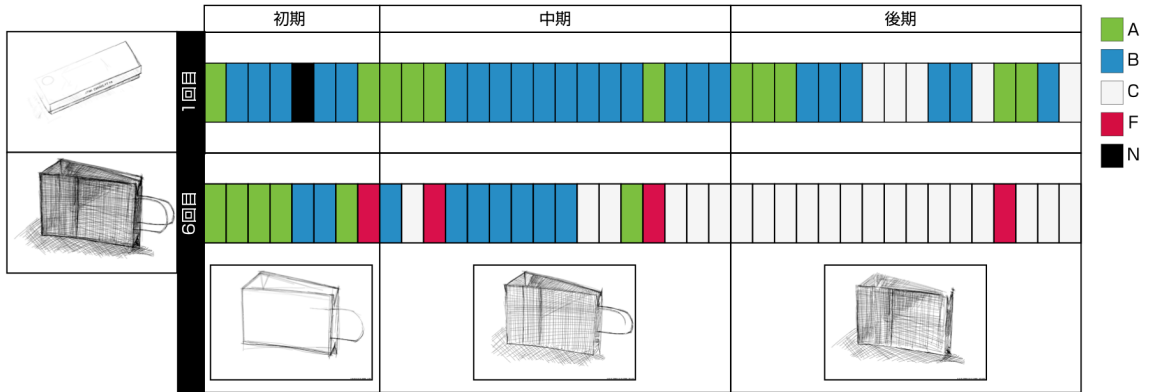


図 46: 6回目で9つのルールを達成できた入門者Dの1回目と6回目の描画結果とプロセスグラフ

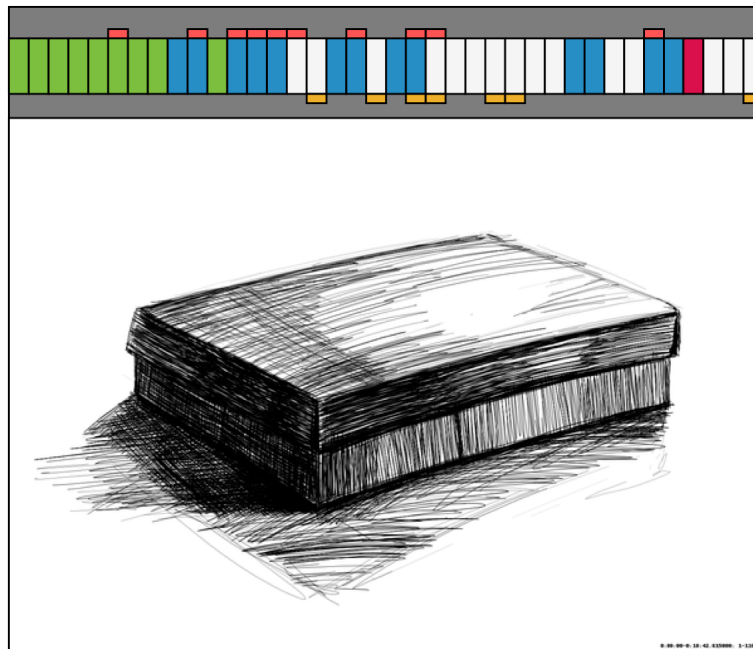


図 47: 経験者の改良版のプロセスグラフ (上) とドローイング結果 (下)

第7章 おわりに

本稿では、ドローイングのストローク数と描画プロセスについて概観した上で、学習者に気づきを促進させるための支援機能として、1) クラス受講者全員のドローイングの閲覧、2) プロセス再生、3) プロセス比較、4) 振り返りの4種の機能の必要性と実装成果について述べた。そして、これらの機能を実装した学習支援システムを用いた学習を対象に、ストローク数の向上の効果および描画プロセスの改善の効果について検討した。

その結果、ストローク数向上では、これらの支援機能は、総体として入門者に効果があることがわかった。さらに、プロセス再生とプロセス比較が初期の学習におけるストローク数向上に寄与する可能性を見出した。また、振り返り機能の結果に基づき、支援機能を利用した具体的な学習の様子を考察することで、プロセス再生と比較による自己のドローイングの不具合な点への気づきの様子がうかがえ、その気づきを次回以降のドローイングに活かそうとする意識の存在も確認できた。描画プロセスの改善では、支援機能1,2,3のインターフェイス上にドローイングプロセスグラフを表示させた使用群が未使用群に比べ改善する傾向にあった。さらに、ストローク数の向上も見られた。描画プロセスを改善することにより、スムーズに描画を進めることができるようになったと考えられる。一方、ストローク数の向上および描画プロセスの改善もしているがドローイングに更なる改善が必要な学習者の存在も確認された。

A 専門学校の海外芸術大学留学コースは、1年間で海外の美術大学の正規コースへの留学準備をする。短期間で留学に必要な美術と語学を習得する必要がある。そのため、ドローイングの授業は前期の週2コマしかない。短期間で効率よくスキル獲得をする必要がある。2013年からドローイングの授業における正規の学習活動としてのデジタルドローイングクラスの運用を始めた(図48)。この授業は、対面の授業内でデジタルドローイングを実施し、授業後に描画プロセスを登録、2週間で自己のドローイングへのセルフレビューおよび美術教師からの評価・指導をするという形式で展開されている。この授業の運営には、本研究で開発したドローイング学習支援システムが取り入れられている。

今後は、学習者自ら気づき実践するための機能の充実を目指して、ストロークおよび描画プロセスの特徴整理の精緻化を図り、描画プロセスへの意識付けを促す適切な指導方法につ



図 48: A 専門学校におけるデジタルドローイングクラスの様子

いてさらに検討をしていく。

参考文献

- Anoto AB (2017). Digital Writing Solutions. <http://www.anoto.com/archive/products/how-it-works>.
- Bernshtein, N. (1967). *The Co-ordination and Regulation of Movements*. Pergamon Press, New York.
- Draw 23 (2018). Draw lessons. <http://www.draw23.com>.
- Drawspace (2018). Now Everyone Can Draw. <http://www.drawspace.com>.
- Latash, M. L. (1998). *Progress in Motor Control: Bernstein's Traditions in Movement Studies*, Vol. 1. Human Kinetics, Urbana, IL.
- Latash, M. L. (2002). *Progress in Motor Control: Structure-Function Relation in Voluntary Movement*, Vol. 2. Human Kinetics, Urbana, IL.
- The University of Newcastle (2018). Drawing Nature, Science and Culture: Natural History Illustration 101. <https://www.edx.org/course/drawing-nature-science-culture-natural-newcastlex-nhi101x-0/>.
- University of the Arts London (2018). MA Fine Art Digital. <http://www.arts.ac.uk/camberwell/courses/postgraduate/ma-fine-art-digital/>.
- 越川倫明, 栗田秀法 (編) (1996). 『大英博物館所蔵イタリア素描展：ルネサンスからバロックへ』. 東京新聞.
- 崎本貴之, 永井孝, 香山瑞恵 (2016). 「ドローイングプロセスビューワを用いた美術入門者に対するドローイング学習支援方法の基礎的検討」, 『信学技報 ET2016-37』, **116** (228), 19-24.

- 佐藤聖徳 (2004). 「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**, 153–162.
- 関根英二 (1984). 「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**, 89–100.
- 永井孝, 香山瑞恵 (2013). 「ドローイングプロセスビューワを用いた美術入門者に対するドローイング学習支援方法の基礎的検討」, 『教育システム情報学会研究報告』, **28** (4), 21–26.
- Nagai, T., Kayama, M., & Itoh, K. (2014). A drawing learning support system based on the drawing process model. *Interactive Technology and Smart Education*, **11** (2), 146–164.
- Nagai, T., Sakimoto, T., & Kayama, M. (2016a). Blended Learning Model for Drawing Lesson in Professional Art Education. *Proc. of 15th European Conference on eLearning*, , 119.
- Nagai, T., Sakimoto, T., & Kayama, M. (2016b). *DEGITal Drawing: An innovative challenge for drawing skill development in art education*, pp. 133–154. acpi.
- 古川康一 (2004). 「スキルサイエンス」, 『人工知能学会誌』, **19** (3), 355–364.
- 曾我真人, 松田憲幸, 瀧寛和 (2008). 「デッサン描画中に描画領域に依存したアドバイスを提示するデッサン学習支援環境」, 『人工知能学会論文誌』, **23** (3), 96–104.
- 藤原達朗, 亀田昌志 (2009). 「初心者向け対話的デッサン学習支援システムの基礎的検討 - 比率の捉え方学習における実装と評価実験」, 『電子情報通信学会技術研究報告. ITS』, **108** (424), 75–80.
- 岩田弥富 (1971). 『造形的修練としての素描論』. 芸術選書. 7号. 芸大出版会.