

デジタル描画における消し跡の影響に関する基礎的考察 ～試行錯誤的描画の支援を目指して～

山田大誠^{†1} 高島健太郎^{†1} 西本一志^{†1}

概要：描画ソフトウェアを用いたデジタル描画は、紙や鉛筆といった物理的画材を用いた描画と比較すると、一切痕跡を残さずに、描いた線を消すことができるという特徴を持っている。しかし、線を消した後に残る痕跡（消し跡）は、描いたり消したりを繰り返す試行錯誤的な描画においてユーザーの役に立っている可能性があると考えた。本研究は、消し跡が描画にどのような影響を及ぼしているのかを明らかにすることによって、描画の役に立つ消し跡機能を実装するためのデザイン指針を得ること、また、その指針に基づいてより描画に役立つ消し跡機能を実装することを目指す。本稿では、消し跡が描画に与える影響について明らかにするために行った実験について報告する。

1. はじめに

Apple 社の iPad Pro やワコム社の Wacom One などのペンタブレット端末が普及する中、コンピュータ上で行われるデジタルな描画はますます人々に浸透している。デジタル描画の際にペンタブレット端末と共に用いられる、Adobe 社の Photoshop[1] や Illustrator[2]、セルシス社の CLIP STUDIO PAINT[3] などの描画ソフトウェアは、様々な機能でユーザーの表現をサポートしている。

このようなソフトウェアを用いた描画の特徴のひとつに、紙や鉛筆といった物理的画材を用いた描画と比較すると、“操作前と全く同じ状態に戻すことができる”ことがある。物理的画材を用いた場合、例えば鉛筆で描いた線を消しゴムで消したとしても、多くの場合消し跡や紙のへこみといった痕跡が残り、鉛筆で線を引くという操作の前と全く同じ状態に戻すことはできない。一方、描画ソフトウェアを用いた場合、undo（元に戻す）機能や消しゴム機能を用いることで、操作前と全く同じ状態に戻すことができる。

ソフトウェアによる描画の“操作前と全く同じ状態に戻すことができる”という特徴は、修正が容易になるなど、多くの場面でユーザーに恩恵をもたらすと考えられる。しかし物理的画材の、“操作前と全く同じ状態に戻すことができない”という特徴がユーザーに恩恵をもたらしている場面もあるのではないかと我々は考えた。例えば、スケッチを描いている際に失敗した箇所を修正するような場面では、消された線の消し跡が残っていれば、それを参照した上で修正を行うことができると考えられる。このような特徴は、特に描いたり消したりを繰り返す試行錯誤的な描画において重要な役割を果たしているのではないかと考えた。

本研究は、消し跡が描画にどのような影響を及ぼしているのかについて明らかにすることによって、描画の役に立つ消し跡機能の実装のためのデザイン指針を得ること、ま

た、その指針に基づいてより描画に役立つ消し跡機能を実装することを目的としている。

本稿では、消し跡が描画に及ぼす影響について明らかにするために行った実験について報告する。実験は、消し跡に関する機能（消し跡を残す機能や、消し跡に対して操作を行う機能）を搭載した実験用描画ソフトウェアを用いて行い、プロトコル分析を行うためのデータを集めたほか、それとは別にインタビュー調査を行った。現在、プロトコル分析はまだ完了していないため、本稿ではインタビュー調査の結果のみに基づく、考案した消し跡機能の有用性についての基礎的検証結果について報告する。

2. 先行研究

2.1 描画における消し跡に関する研究

描画における消し跡の有用性に着目し、消し跡に関する機能を実装した先行研究事例として、Dixon et al.[4]は、undo 機能などで消されたストローク（線）の痕跡が、同じ失敗の繰り返しを防ぐのに役立つとして、描画ソフトウェアにおいて消し跡を残す機能を実装している。実装された消し跡機能では、undo 機能やストローク消去機能でストロークを消した際、かすかに消し跡を残している。この消し跡は時間経過で徐々に薄くなっていき、最終的には完全に消える。また Schmidt et al.[5]は、sketch-based modeling において、ミスの修正を支援する目的で、3D モデルの一部が消去された際に消し跡を残すシステムを実装した。

しかしこれらの研究では、消し跡が描画にどのような影響を及ぼしているのかについて詳しく分析されていない。これらの研究例も含め、我々の知る限りでは、消し跡に注目してそれが描画にどのような影響を及ぼしているのかを分析した研究例は見当たらない。

2.2 操作履歴を用いた描画の支援に関する研究

消し跡を用いて描画を支援することを目指す本研究は、操作履歴を用いた描画の支援に関する研究の 1 つとしても位置付けることができる。操作履歴を用いた描画の支援に

^{†1} 北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科
Graduate School of Advanced Science and Technology,
Japan Advanced Institute of Science and Technology

は、多くの先行研究がある。たとえば Su et al.[6]は、選択的 undo (最も新しい操作ではなく、それより前の一部の操作を取り消す undo) のための直感的インターフェイスとして、映画やアニメーションの制作で用いられる絵コンテ (Storyboard) のような描写を用いて操作履歴を表示する手法を提案している。Nakamura and Igarashi[7]は、任意の GUI アプリケーションの操作履歴を可視化することができる、アプリケーションに依存しない操作履歴の可視化手法を提案している。

これらのような操作履歴を用いた描画の支援手法では、ほとんどの場合、履歴は描画領域とは別の場所 (ウィンドウ) に表示される。描画領域に表示されるものでも、ユーザーが描画中ではないタイミングで描画領域に表示される。これに対し消し跡は、ユーザーの描画中に、描画領域に表示されることによって描画を支援するという点で、他の操作履歴を用いた支援手法とは異なっている。つまり消し跡は描画中、線を引くなどの操作を行っていて、描画領域に意識が集中しているような場面においても参照することができる点が特徴である。

3. 予備的調査

消し跡が描画に与える影響を大まかに把握し、実験デザインや実験用描画ソフトウェアの設計のための指針を得ることを目的として、予備的調査を行った。予備的調査では既存の描画ソフトウェア (セルシス社の CLIP STUDIO PAINT[3]) 上で、どれだけこすっても必ず薄く消し跡が残る消しゴム機能と、一度こすただけで一切の消し跡を残さずに消すことができる消しゴム機能の2つを簡易に実装し、それを用いた模写課題を3名の実験協力者に行ってもらった。課題では写真の模写を4回行ってもらい、うち2回は消し跡が必ず残る消しゴム機能を使用してもらい、残りの2回は消し跡が一切残らない消しゴム機能を使用してもらった。なお、この予備的調査ではペンで線を引く機能と消しゴム機能のみを使用するように教示しており、undo 機能などといったその他の機能を使用することを禁じた。

模写課題後、消し跡機能に関するインタビューを行った。インタビューの結果、以下のような意見が得られた。

- 消し跡に対するポジティブな意見：
 - ▶ 過去のミスから自分の描くべき線を修正できる。
 - ▶ 自分がなぜ消したのかを把握しながら描くことができ、さらにその跡を元に新しい線をどこに描くべきかを考えることができた。
 - ▶ 跡を見ることで訂正が上手くいく。
 - ▶ 過去の自分の過ちが可視化されているという印象。
 - ▶ 消し跡が残ることで、線を消す際になんとなく安心感があった。
- 消し跡に対するネガティブな意見：
 - ▶ 大幅なミスをした場合、消し跡に引っ張られてしま

う。

- ▶ 消し跡が残ることによってミスをする事へのプレッシャーが生まれ、線を描くのに慎重になった。
 - ▶ 消し跡は残ってもいいが、消し跡を消したい時たまにある。
 - ▶ 消し跡か、薄く描いた線かが分からなくなった。
 - ▶ 消し跡が邪魔だと思うこともあった。
 - ▶ 消し跡が残るので気軽に描けないことも少しあった。
 - その他の意見：
 - ▶ 邪魔にもならないが役に立たない場面がほとんどだった。時々役に立った。
 - ▶ 消しゴム機能ではなく undo 機能を使って線を消すのに慣れているので、undo 機能を使いたかった。
- インタビューの結果から、模写課題において、線を修正したい場面で消し跡が役に立つ可能性が示唆された。また、消し跡は役に立ちうるが邪魔にもなりうる事が示唆された。予備的調査で得られた知見から、実験用の描画ソフトウェアの設計・実装と、実験のデザインを行った。

4. 実験

消し跡が描画のプロセスに及ぼす影響についてより詳しく分析するために実験を行った。特に、消し跡がどのような修正の場面においてどのように役に立っているか、消し跡が邪魔になるのはどのような場面なのかについて具体的な知見を得ることを目標に、実験用の描画ソフトウェアの設計・実装と、実験のデザインを行った。

4.1 実験用描画ソフトウェアの設計・実装

実験用描画ソフトウェアは、ユーザーの消し跡に対する態度を行動として可視化することを目的として、以下に示す5つの機能を実装した。なお、消し跡に関する操作を含めたユーザーの全ての操作は、分析を行うために記録している。

(1) 消し跡を残す消しゴム機能

この実験用描画ソフトウェアでは、消しゴム機能としては、線を消した際に必ず消し跡が残る消しゴム機能のみを実装し、消し跡の残らない通常の消しゴム機能は実装していない。なお、このソフトウェアでは実装の都合上、1本の線を1つのオブジェクトとして扱っているため、消しゴム機能を使った際、1本の線の一部を消すことはできず、線の一部に消しゴムが触れた時点で線を1本丸ごと消すという実装になっている。

(2) 消し跡を残す undo 機能

予備的調査で得られた意見に「消しゴム機能ではなく undo 機能を使って線を消すのに慣れているので、undo 機能を使いたかった」というものがあつたことから分かるように、ソフトウェア上の描画で線を消す際には undo 機能が用いられることも多い。そこで、undo 機能を使って線を消した場合においても消し跡を残す機能を実装した。

(3) 消し跡の表示・非表示を切り替える機能

予備的調査では、消し跡が役に立つ場面と邪魔になる場面の両方があることが示唆された。そこで、消し跡の表示・非表示を切り替える機能を実装した。この機能によって、全ての消し跡の表示・非表示を一括で操作できる。

ユーザーは、消し跡が必要だと思った場面では表示状態に、消し跡が邪魔だと思った場面では非表示状態に、簡単に切り替えることができる(図1)。この機能は、どのような場面で消し跡が必要とされ、どのような場面では邪魔になるのかという、場面ごとの消し跡に対するユーザーの態度を明らかにする目的で実装している。

(4) 消し跡の濃さ・色を変更する機能

予備的調査で得られた、「消し跡が、薄く描いた線か分からなくなった」という意見は、消し跡の色や濃さが、消し跡に関する機能の使いやすさに影響を及ぼしている可能性を示唆している。そこで、消し跡の濃さ・色をユーザーが自由に変更できる機能を実装した。なお、消し跡の濃さとは不透明度のことであり、色とは別の数値として管理されている。

ユーザーは、消し跡を強く参照したい場面では濃く・目立つ色に、少しだけ参照したい場面では薄く・目立たない色に変更することができる(図2)。この機能も、消し跡の表示・非表示を切り替える機能と同様に、場面ごとの消し跡に対するユーザーの態度を明らかにする目的で実装している。

(5) いらぬ消し跡を消すための、消し跡用消しゴム

予備的調査で得られた、「大幅なミスをした場合、消し跡に引っ張られてしまう」という意見や、「消し跡は残ってもいいが、消し跡を消したい時たまにある」という意見は、全ての消し跡が役に立つわけではなく、邪魔でいらぬ消し跡もあるということを示唆している。

そこで、いらぬ消し跡を消すための、消し跡用の消しゴムを実装した。ユーザーはこの機能を用いて、描画の邪魔になるいらぬ消し跡を選択的に消すことができる(図3)。この機能を使って選択的に消された消し跡は完全に消えたと扱われ、消し跡の表示・非表示状態に関係なく一切見えなくなる。この機能は、それぞれの消し跡に対するユーザーの態度を明らかにする目的で実装している。

4.2 実験のデザイン

描画のプロセスにおける消し跡の影響について詳しく分析するために、認知プロセスを分析する際に用いられるプロトコル分析法による実験を行うことにした。プロトコル分析法とは、実験協力者が課題を行っている際に考えていることを口頭で報告させ、その発話データをもとに分析を行うものである。プロトコル分析法には、課題を行っている最中に、逐一考えていることを発話してもらうシンクアラウド法と、課題を行っている様子をビデオカメラで記録し、実験後にその映像を実験協力者に見てもらい、各行

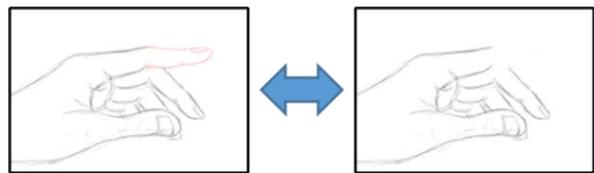


図1 消し跡の表示・非表示切り替え機能

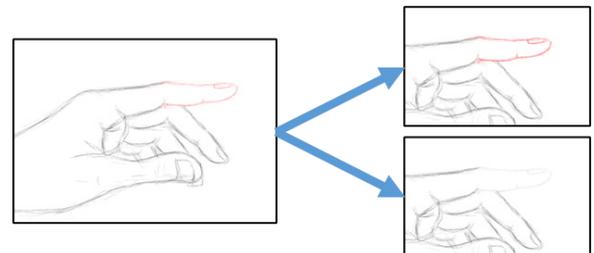


図2 消し跡の濃さや色を変更する機能

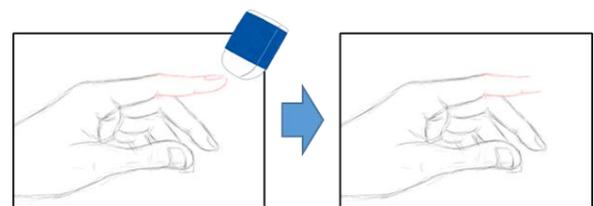


図3 消し跡用消しゴム機能

動時に何を考えていたか発話してもらうレトロスペクティブレポート法の2つがある。

シンクアラウド法は、課題の実行とその時考えていることの発話の、2つの作業を同時に行うことを実験協力者に求める。この手法では、すぐに忘れてしまうような細かい思考プロセスまでとらえることができる。しかし、認知的な負担が大きく、普段通りに課題を実行できない、つまり課題遂行のプロセスが変容する可能性があるというデメリットがある。一方、レトロスペクティブレポート法は、課題の実行中に発話を要求しないため、実験協力者の認知的な負担が小さく、より普段通りに近い状態で課題を実行してもらうことができる。しかし、課題が終わってから考えていたことを発話してもらうため、記憶の薄れにより細かい思考プロセスをとらえることができない可能性があるというデメリットがある。

今回の実験の課題である描画は、実験協力者への認知的負担が大きい課題であり、シンクアラウド法を用いることで課題遂行のプロセスが大きく変容する可能性がある。しかしその一方で、描画は細かい思考プロセスが重要なデータになる可能性が高い課題であるとも考えられる。そこで今回の実験では、シンクアラウド法とレトロスペクティブレポート法の両方を実施することにした。

描画課題として、2名の実験協力者に写真に写った手の

模写を行ってもらった。実験では、前節で示した実験用描画ソフトウェアを使用してもらい、消し跡に関する機能を有効にしている状態で2回（シンクアラウド法とレトロスペクティブレポート法を各1回ずつ）、消し跡に関する機能を無効にしている状態で2回、計4回実験を行った。なお、描画課題に制限時間は設けておらず、実験協力者が完成したと思った時点で実験を終了した。実験用の機器として、ワコム社のペンタブレットであるCintiq 16を使用した。実験の記録には、PCの画面録画機能および録音機能を用いた。

また、消し跡に関する機能を有効にしている状態での実験終了後には、プロトコル分析法のデータとは別に、録画した映像を見ながら消し跡に関するインタビューを行った。インタビューでは、消し跡がどのような場面で、具体的にどのように役に立ったと感じたか、そして、消し跡に対して操作を行う機能（消し跡の表示・非表示を切り替える機能、消し跡の濃さ・色を変更する機能、消し跡用消しゴム機能の3つ）をどのような場面で、なぜ使用したかについて質問した。

5. 実験結果と考察

現在、プロトコル分析はまだ完了していないため、本章ではインタビュー調査の結果について報告し、それに基づき消し跡が描画に及ぼす影響について考察する。

5.1 消し跡がどのような場面でどのように役立つか

2人の実験協力者（協力者A・B）に、消し跡がどのような場面で、具体的にどのように役に立ったと感じたかについて、録画した映像を使いながら説明してもらった。

インタビューの結果、以下のような意見が得られた。

- 細かい微調整のような修正を行う際に、消し跡を参照して修正することができる。（協力者A）
- 消し跡が残ることで大胆な修正ができる。修正が大胆過ぎたとしても、消し跡が残っていれば、それをなぞることで後戻りができるという安心感があった。（協力者A）
- 消し跡が残ることで、修正前と修正後の比較をして、どちらがよりしっくりくるかを考えることができた。（協力者A）
- 反面教師のような役割で消し跡を活用することができた。一回描いてみて、違うなと思って消した後、消し跡を参考にしつつ、消し跡とは違うように描こうという感じで使えた。（協力者B）
- 描いたものの形はそのまま、位置だけ修正したいという場面で、消し跡の形を参考に、形をそのままに位置だけを変えて写すことができた。（協力者B）
- 消し跡を下書きとして使うことができた。（協力者A・B）

これらの意見から、消し跡は主に修正を行う際に役立つ

ことが分かる。しかし、どのような修正の場面で役立つのか、具体的にどのような形で役立つのかについては、2人の実験協力者で異なっている部分が多い。また、2人の実験協力者は、実験用描画ソフトウェアの使用を重ねる中で、自分なりの消し跡の活用方法を徐々に発見していた。

5.2 消し跡に対して操作を行う機能について

2人の実験協力者（協力者A・B）に、消し跡に対して操作を行う機能（消し跡の表示・非表示を切り替える機能、消し跡の濃さ・色を変更する機能、消し跡用消しゴム機能の3つ）をどのような場面で、なぜ使用したかについて、録画した映像を使いながら説明してもらった。

インタビューの結果、以下のような意見が得られた。

(1) 消し跡の表示・非表示を切り替える機能

- 消し跡を邪魔だと思ふ場面はなかったため、この機能を使うことはなく、ずっと消し跡を表示していた。（協力者A）
- 一度大まかに全体を描き切るまでは、消し跡は使わないと思い、消し跡を非表示にした。（協力者B）
- 修正したいと思った場面で、消し跡を参照するために消し跡を表示に切り替えた。（協力者B）
- 修正の回数が多くなり、消し跡が多くなって見えにくくなった部分があったので、非表示にした。消し跡を薄くする機能はあったが、いちいち薄くするのは面倒だった。（協力者B）
- 消し跡を参照して修正を行った後、うまく描けているかをチェックする時に消し跡が邪魔になったので、非表示にした。（協力者B）
- 修正前の線が、参考にならないほど全く違うと感じた時は、消し跡を非表示にして修正を行った。（協力者B）
- 全体をチェックする時に、消し跡があるとどうしても見づらくなったので、消し跡を非表示にしてチェックを行った。（協力者B）

協力者Aが消し跡を表示状態にしたまま一度も切り替えなかった一方で、協力者Bは表示・非表示を頻繁に切り替えており、消し跡をどのように認知しているのかについて、個人差があることがわかる。協力者Bの場合、模写の出来をチェックする場面や、消し跡が参考にならないほどに大幅な修正を行う際、消し跡が邪魔だと感じることもあった。

(2) 消し跡の濃さ・色を変更する機能

- 描き始めの方に消し跡の濃さを調整する機能を使ったが、場面によって濃さを変えることはしなかった。（協力者A・B）
- 消し跡の色は、初期設定の赤色から変更しなかった。（協力者A・B）

消し跡の濃さや色は、場面によって変更されることはなかった。

(3) 消し跡用消しゴム機能

- 絶対に修正に役立つことが無いと思った消し跡を消した。(協力者 A・B)
- 修正前と修正後を比較する際に、比較したい消し跡がもっと明確に見えるように、比較の邪魔になる参考にならない消し跡を消した。(協力者 A)
- 消し跡を参照して修正する時に、参考にならない消し跡が残っていると気になって見づらくなるので消した。(協力者 B)
- 何度も修正を繰り返して、消し跡がたくさん重なってくると見づらくなって消し跡を消した。消し跡が1本あれば十分だと思った。(協力者 B)

協力者 A・B ともに消し跡用消しゴム機能を使っていることから、全ての消し跡が役に立つわけではなく、邪魔で役に立たないと判断される消し跡もあることがわかる。機能をどのように活用したかについては2人の協力者で異なっている部分が多いが、役に立つ消し跡の効用をより高めるために、邪魔になる消し跡を消したという点は共通している。

6. おわりに

本稿では、描画ソフトウェアにおいて、消し跡が描画に与える影響について明らかにするために行った実験について報告した。実験で得られた消し跡の影響に関する知見は、描画の役に立つ消し跡実装のためのデザイン指針を得ること、またその指針に基づいてより描画に役立つ消し跡機能を実装することに役立つと期待される。

今後は、消し跡の影響に関するより深い知見を得るため、実験で得られたデータを元にプロトコル分析を進める。ま

た、本研究の目的である、描画の役に立つ消し跡機能の実装のためのデザイン指針を得ること、その指針に基づいてより描画に役立つ消し跡機能を実装することを目指し、検討と実験等を進めていく。

謝辞 本研究での長時間にわたる実験に協力いただいた実験協力者の皆様に感謝申し上げます。本研究は JSPS 科研費 JP18H03483 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 写真, 画像, デザインエディター | Adobe Photoshop : <https://www.adobe.com/jp/products/photoshop.html>, (参照 2020-12-16).
- [2] 業界最先端のベクターグラフィックソフトウェア | Adobe Illustrator : <https://www.adobe.com/jp/products/illustrator.html>, (参照 2020-12-16).
- [3] イラスト マンガ制作ソフト・アプリ CLIP STUDIO PAINT (クリップスタジオペイント) : <https://www.clipstudio.net/>, (参照 2020-12-16).
- [4] Dixon, D., Prasad, M., and Hammond, T.: iCanDraw: using sketch recognition and corrective feedback to assist a user in drawing human faces, In Proc. of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 897-906 (2010).
- [5] Schmidt, R., Isenberg, T., Jepp, P., Singh, K., and Wyvill, B.: Sketching, scaffolding, and inking: a visual history for interactive 3D modeling, In Proc. of the 5th int'l. symp. on Non-photorealistic animation and rendering, pp. 23-32 (2007).
- [6] Su, S. L., Paris, S., Aliaga, F., Scull, C., Johnson, S., and Durand, F.: Interactive visual histories for vector graphics, MIT-CSAIL-TR-2009-031 (2009).
- [7] Nakamura, T., and Igarashi, T.: An application-independent system for visualizing user operation history, In Proc. of the 21st annual ACM symp. on User interface software and technology, pp. 23-32 (2008).