

2020 年度 修士学位請求論文

イラストの部分遮蔽による
作画ミス見落とし防止の研究

明治大学大学院先端数理科学研究科

先端メディアサイエンス専攻

高橋 拓

Master's Thesis

A Study on
the Prevention of Overlooking Drawing Mistakes
by Partially Covering Illustration

Frontier Media Science Program,
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences,

Meiji University

Taku Takahashi

概要

イラスト制作、およびその投稿における問題に「作画ミスの見落とし」がある。具体的には、作画中や、作画直後の作品投稿時には自身のイラスト内の違和感や不満点に気付かず、後日になってはじめて発見できるようになる、といった状況のことである。本研究における「作画ミス」とは、作者の意図しない作画がイラスト内に残ってしまうことを指す。ここで、実在する作画対象との比較から描画精度を定義可能な模写とは異なり、想像から描かれるイラストに関しては、イラスト制作者自身しか答えをもたないため、自身で作画ミスを発見するしかない。そのため本研究は、作画直後にイラスト制作者自身が作画ミスを見つけ修正することを促す手法を提案し、満足なオリジナルイラスト制作の支援を目的とする。

作画ミス見落としの現状を把握するため、自身のオリジナルイラストを Web に投稿した経験のあるイラスト制作者を対象とした大規模なアンケート調査と、美術系の大学に通うイラスト制作上級者 4 名を対象とした予備実験を行った。調査の結果、作画ミス見落としは初心者や上級者にかかわらず生じる問題であり、作画ミス見落としを防ぐために普段何らかの工夫を行っている注意深いイラスト制作者であっても、約 58%が日常的に作画ミス見落としを経験している現状が明らかになった。また、解剖学的な誤りや構造的な違和感を意味する「デッサン狂い」と、違和感の原因にはならないが作者の意図した表現が達成されていない「表現のミス」が特に見落とされやすく、それぞれイラスト全体を俯瞰して気付けるようになる全体的なミスと、細部におけるミスに分類可能であることがわかった。作画ミス見落とし防止の既存手法としては「左右反転」「縮尺変更」などが主に普及しているものの、作画ミスの網羅的な発見は達成されていないことが示唆された。また、作画ミス見落としの原因としては、長時間の作画による認知の慣れを問題視する回答が多く、この慣れを構成する感覚としては、イラストの一部分にのみ着目してしまい全体を俯瞰できなくなる現象や、作画対象物に関する自身の記憶や知識を参照した結果、イラストを記号的に描いてしまう認知バイアスなどが存在することが明らかになった。この認知バイアスは写実的な模写において議論されてきた事象だが、本研究が対象とする想像から描くイラストは、イラストにおける多くの要素がイラスト制作者の知識や記憶によって構成されるため、模写以上に認知バイアスの影響を受けやすいと推測できる。

以上の背景から、あえてイラストの一部分を遮蔽することで、イラスト制作者自身での作画直後の作画ミス発見を促すイラストの部分遮蔽手法を提案した。本手法はイラスト制作工程における線画の作成が完了した後に、既存手法と併用することを想定したものである。本手法の仮説として、提示する視覚情報の制限によって、線をまとまりとして認識できなくすることで認知バイアスの低減が可能だと考えた。そのうえで、遮蔽された範囲内のバランスの想像を促すと同時に、非遮蔽範囲における細部のミスにも着目可能になると想定している。実験によって本手法の有用性を調査した結果、手法適用によって実際に感覚の変化が生じ、「遮蔽範囲内を想像することで発見できるようになる作画ミス」と「遮蔽範囲の内容

にかかわらず、意識する箇所の変動によって発見できるようになる作画ミス」の見落とし防止に有効であることがわかった。このとき、遮蔽の境界線によって分断されたパーツに関するバランスのミスや、そのパーツ内の細部のミスの発見が特に多く見られた。分析の結果、特定のパーツ内部を分断し、イラスト制作者が特に意識している箇所とその周囲を分離するような遮蔽パターンの提示が、より効果的である可能性が明らかになった。

次に、入力された線画内の閉領域をイラスト中のオブジェクトのパーツとして認識したうえで、パーツ内部を分断する遮蔽パターンを生成する自動遮蔽システムを実装した。本システムのアプローチとしては、4近傍ラベリング処理によって閉領域を検出し、ランダムで選定された閉領域を囲う矩形の斜め方向の頂点同士を通る斜線を境界線とした遮蔽を生成する。本システムの使用実験の結果、実験参加者全員が満足な作画ミスの修正が可能であったことや、作画タスク中の既存手法の適用では認識できなかった作画ミスの発見が達成されたことなどから、本システムが作画ミス見落とし防止に有効であることを明らかにした。一方で、構造的な誤りではない、絵柄や表現に関する作画ミスの発見にはいたらなかったことが明らかになった。今後は、モルフォロジー演算やスプライン補間などから、途切れている線分の隙間を埋める手順をアルゴリズムに取り入れることで、より多くのイラストに対応可能だと考える。また、視覚的に類似した遮蔽パターンが連続で提示されないシステム設計に改善したうえで、既存のペイントツールの拡張機能としての実装が求められている。

Abstract

One of the problems in creating drawings and submitting them is “overlooking drawing mistakes.” More concretely, many artists cannot recognize a mistake immediately after drawing an image, even though they would probably notice it immediately when looking back at the illustration a few days later. The term "drawing mistakes" in this study refers to part of a drawing that is not intended by the artist. Detecting drawing mistakes mechanically is difficult because not all drawings are intended to be realistic. Therefore, only the artist can determine if something in a drawing is a mistake. This paper proposes a technique that encourages artists to find and correct their own drawing mistakes immediately after making them with the ultimate aim of supporting the creation of works of art that the artist can feel satisfied with.

To understand how people overlook their drawing mistakes, I conducted a large questionnaire survey of 1,000 artists who had posted their own original drawings on the Web and a preliminary experiment with four highly skilled artists attending an art university. Overlooking drawing mistakes was found to be a problem that occurs regardless of whether the person is a beginner or an advanced artist, and about 58% of artists were found to overlook drawing errors on a daily basis, even if they usually took some steps to prevent them. The drawing mistakes that are most likely to be overlooked are anatomical and structural errors and "expression errors" in which the artist's intended expression is not achieved. Although "left-right reversal" and other techniques are widely used as existing techniques to prevent overlooking drawing mistakes, sufficient detection of drawing mistakes has not been achieved. Many respondents stated that a cause of overlooking drawing mistakes was that their visual perception would become distorted after viewing their work for a long period of time. Specifically, the survey revealed phenomena such as focusing on only one part of the illustration, not being able to see the whole picture, and cognitive bias that resulted in drawing the illustration symbolically by referring to one's own memory or knowledge of the object to be drawn.

On the basis of the findings, I propose a technique that hides a part of a picture to facilitate the detection of mistakes immediately after it is drawn. The hypothesis of this technique is that covering part of the image can reduce cognitive bias by making the lines unrecognizable as a coherent whole. In addition, I assume that the technique encourages the artist to imagine the balance within the covered area and to pay attention to the detailed mistakes in the uncovered area at the same time. The experimental results showed that this technique is effective for finding drawing mistakes, especially for ones that are noticed only by looking at the displayed area regardless of the content of the covered area and the mistakes that are

noticed by looking at the surroundings when the cover is removed. Changes to the perception of the artist by covering the pictures and having them imagine the hidden details seem to be the main factors behind the discovery. I also found that presenting a covering pattern in which the boundary passes inside part of the drawn object and separating the part in which the artist is particularly conscious of from the surroundings may be more effective.

Next, I implemented an automatic covering system that recognizes a closed area in an input line drawing as a part of an object in the picture and that generates a covering pattern to divide inside the part. The results of experiments revealed that the system was effective in preventing mistakes from being overlooked because the collaborators were able to detect drawing mistakes that could not be recognized by the application of existing techniques and were able to correct their drawing mistakes satisfactorily. However, this system may not be effective in detecting drawing mistakes related to expression because these are not structural errors. In the future, I will add interpolation of unclosed line drawings to the algorithm, improve the system design so that visually similar covering patterns are not presented in succession, and implement the system as an extension of existing painting tools.

目次

| | | |
|--------|----------------------------|----|
| 第1章 | はじめに | 1 |
| 1.1. | 本研究が扱う作画ミス | 1 |
| 1.2. | 作画ミス見落としの現状と原因 | 2 |
| 1.3. | 作画ミス見落とし防止を目的とした既存手法 | 3 |
| 1.4. | 本研究の目的 | 5 |
| 1.5. | 論文構成 | 5 |
| 第2章 | 事前調査 | 6 |
| 2.1. | クラウドソーシングによるアンケート調査 | 6 |
| 2.2. | イラスト制作上級者を対象とした調査 | 14 |
| 2.2.1. | 実験設計 | 14 |
| 2.2.2. | 調査結果と考察 | 14 |
| 第3章 | 部分遮蔽手法 | 18 |
| 第4章 | 部分遮蔽手法の有用性の検証 | 21 |
| 4.1. | 実験目的 | 21 |
| 4.2. | 実験設計 | 21 |
| 4.2.1. | イラスト制作タスク | 21 |
| 4.2.2. | 作画ミス発見タスクとアンケート | 22 |
| 4.2.3. | 提示する遮蔽パターンの作成 | 22 |
| 4.2.4. | 実験手順 | 24 |
| 4.3. | 実験結果 | 25 |
| 4.4. | 分析と考察 | 31 |
| 4.4.1. | 部分遮蔽手法が有効な作画ミスの傾向 | 31 |
| 4.4.2. | 効果的な遮蔽パターンの考察 | 35 |
| 第5章 | 自動遮蔽システムの実装 | 37 |
| 5.1. | システムの設計 | 37 |
| 5.2. | 遮蔽アルゴリズム | 38 |
| 第6章 | 自動遮蔽システムの有用性の検証 | 42 |
| 6.1. | 実験目的 | 42 |
| 6.2. | 実験設計 | 42 |
| 6.2.1. | イラスト制作タスク | 42 |
| 6.2.2. | 作画ミスの発見と修正タスク | 43 |
| 6.2.3. | 満足度に関するアンケート回答 | 44 |

| | | |
|--------|--------------------------|----|
| 6.2.4. | 実験手順..... | 44 |
| 6.3. | 実験結果..... | 45 |
| 6.4. | 分析と考察..... | 56 |
| 6.4.1. | 自動遮蔽システムの有用性の分析..... | 56 |
| 6.4.2. | 自動遮蔽システムの改善点..... | 58 |
| 6.4.3. | その他の議論..... | 59 |
| 第7章 | 関連研究..... | 60 |
| 7.1. | 描画精度と作画能力に関する研究..... | 60 |
| 7.2. | 全体的処理や視覚的バランスに関する研究..... | 61 |
| 7.3. | システムによる作画支援を行う研究..... | 61 |
| 第8章 | おわりに..... | 63 |

第1章 はじめに

ソーシャルメディアの普及に伴い、イラストの投稿や鑑賞がますます盛んに行われるようになりつつある。日本のイラスト投稿型 Web サービスである pixiv[1]は、2020年9月時点でユーザ登録者数が5800万人を超え、アクティブユーザにおける海外ユーザ比率が40%を超えるなど、国内にとどまらず世界的な盛り上がりを見せている[2]。また、スマートフォンやタブレット端末を用いて、場所を問わずにイラスト制作が可能になったことや、従来に比べ安価な液晶型ペンタブレットが市場に出回り出したことなどからも、デジタルイラスト制作に着手するユーザは今後も増えていくと予想される。

一方で、イラスト制作に着手しはじめた初心者が意のままに作品を描き上げることは困難である。アーティストの作画能力に関しては古くから様々な議論がされており、作画する対象物に関する知識や描画すべき線を適切に選択する能力などが正確な作画に重要であるとされ[3][4]、これらの能力は初心者よりも上級者の方が優れていることが知られている[5][6][7]。また、初心者は作画対象に対する誤認識を起こしやすく、写実的な絵を描くことが難しいとされている[8][9][10]。

ここで、イラスト制作およびその投稿にまつわる問題の一つとして、「作画ミスの見落とし」があげられる。具体的には、作画中や、作画直後の作品投稿時には自身のイラスト中の違和感や不満点といった「作画ミス」に気付かず、この作画ミスが残ったまま Web などに作品を投稿してしまう、同人誌などの形で入稿してしまうなどの状況を指す。この原因の一つとして考えられるのが「長時間同じイラストを見続けることにより、どこに違和感があるのかわからなくなる」という感覚である。本研究はこの一時的に作画ミスの発見が困難になっている状態を「慣れ」の状況下にあると表現する。このとき、数日後に認識可能な作画ミスであれば、作画直後の慣れの状況下に特定のアプローチを挟むことで見落としを回避できると考えた。

また、写実的なデッサンと異なり、イラスト制作者の想像から描かれたオリジナルのイラストにおける描画精度の定義は難しく、機械的な誤り検出などで発見できるミスには限界があると考えられる。そのため本研究は、作画中や作画直後にイラスト制作者自身が作画ミスを見つけ、修正することを促す手法を提案し、満足なオリジナルイラスト制作の支援を目的とする。

1.1. 本研究が扱う作画ミス

従来の作画ミスに関する研究の多くは実物体の模写における作画ミスを調査の対象とし、描画と対象物の比較によって描画精度を定義している。しかし、本研究は実物体や他者の作品の模写ではなく、イラスト制作者の想像から描かれるオリジナルの作品を対象とするも

のである。イラストには写実的なものから抽象的なものまで多種多様な絵柄や表現があり、作品を使用する目的やイラスト制作者の好みによって描画精度の基準は大きく変化する。仮に、写実的な観点では誤りとされるような作画であっても、作風に合わせた簡略化や誇張表現として意図的に描かれることは多い。そのため、本研究における「作画ミス」とは「イラスト制作者自身の意図しない表現」であり、他者評価や機械による判定ではなくイラスト制作者自身が発見する必要がある。また、イラストの評価能力は初心者と上級者に差が見られ[6]、作画ミスの発見に関してもイラスト制作者それぞれに限界があると推測される。そのため、作画から数年後や数ヶ月後などに作画能力向上によって新たに認識できるようになる作画ミスは本研究の対象ではなく、作画能力に変動のない、作画から短期間内にイラスト制作者がミスと認識可能な作画のみを本研究が見落としを防止する作画ミスの対象とする。

1.2. 作画ミス見落としの現状と原因

イラスト制作者の作画ミス見落としの現状を把握するため、事前調査を2件行った。自身のオリジナルのイラストをWebに投稿したことのあるユーザを対象とした上限1000件(有効回答数762件)のアンケートと、美術系の大学に通う学生4名を対象とした作画実験である。これらの調査の結果とその分析方法は2章にて記述し、本章では結果の概要と作画ミス見落としの原因の考察、および作画ミス見落とし防止の既存手法の問題点について述べる。

アンケートにおいて、普段から作画ミスの見落としを防ぐための何らかの工夫をしていると回答した、注意深いイラスト制作者であっても、その半数以上が日常的に作画ミス見落としをしていると回答していた。また、美術系の学生4名全員が実験において作画ミスの見落としをしていたこと、および日常的に見落としを経験していると回答したことから、作画ミス見落としが作画能力を問わず多くのイラスト制作者の抱える問題であることがわかった。

また、見落とされやすい作画ミスとして、人物キャラクターが解剖学的に不自然な姿勢を取っている、一部のパーツのみ立体感が失われている、遠近感が狂っている、などの構造的な誤りである「デッサン狂い」、キャラクターやオブジェクトが設定に沿ったデザインで描かれていない、イラスト全体の雰囲気や構図が狙ったものではない、などのイラスト制作者の意図した表現が達成されていない「表現のミス」があることがわかった。

作画ミス見落としの原因は様々考えられるが、アンケートの回答において、多くのユーザがイラスト制作時に生じる感覚変化を問題視しており、先述の「慣れ」の状況を意味する回答が多く見られた。イラスト制作におけるこの現象の原因は明らかではないが、これとよく似た状況として、ゲシュタルト崩壊[11]があげられる。これは同一の視覚刺激を見続けることで、いくつかの部位で構成されたパターンの全体的な認知が減衰してしまい、全体として

の意味を認識できなくなるといった現象であり、漢字の知覚において生じることが有名である[12]。ゲシュタルト崩壊と先述の感覚が厳密に同一の現象であるかは定かでないが、イラスト制作者の間で共通の用語として使用されることも多く、アンケートでもこの感覚をゲシュタルト崩壊と形容する回答が見られた。また、アンケートにおいて、意識が特定の一点に集中してしまいイラスト全体を把握できなくなる状況、そして作画中にこの意識の偏りを自覚できなくなる状況を問題視する回答が多く見られた。この状況の一例をあげると、作画中に人物キャラクターの顔の作画を意識しすぎた結果、人体の全体的なバランスや、手や足にある細かな作画ミスに気付けなくなる、といったことである。この意識の一点集中は、全体的な認知の減衰といった点でゲシュタルト崩壊と共通している。

また、アンケートにおける「正しいと思い込んでしまう」などの回答から、スキーマによる認知バイアスもこの感覚の原因として考えられる。これはイラスト制作中に生じる誤認識の分類の一つであり、作画対象に対するスキーマが正確な描画を阻害してしまう現象である[13][14]。ここでいうスキーマとは、作画する対象物の記憶化された情報のこと[15]であり、例をあげると「水は青い」「りんごは丸い」などの対象物に関する知識のことである。アーティストはこのスキーマをもとに作画をされると言われている[3]が、これが記号的な認知バイアスを誘発する可能性がある。具体的には「実際には緑や茶色に近い色をしている水を青く塗ってしまう」「実際には複雑な形をしているりんごを正円に近い線で表現してしまい、立体感が失われる」などの作画における失敗が生じてしまう。これらは写実的なデッサンにおける文脈で議論されてきた事象だが、本研究が対象とする想像から描くオリジナルのイラスト、特にある程度の抽象化を含んだイラストの制作では、イラスト内の多くの要素がイラスト制作者の知識や記憶によって構成されるため、認知バイアスの影響をデッサン以上に受けやすいと推測できる。また、Cohenら[8]は、作画とはイラスト制作者が記号（線や色彩で表現されたまとまり）に意味をもたせながら紙面に起こしていく作業であり、その意味をイラスト制作者が認識している以上、実際よりも正確であると認識してしまうため、作画精度にバイアスが掛かってしまう可能性があるとして述べている。

本研究は以上のような感覚の変化や認知のバイアスをまとめて「慣れ」の状況として扱い、一時的に作画ミスの発見が困難になる現象、ひいては作画ミス見落としの原因であると推測する。このような慣れがイラスト制作中に生じた際は、単にイラストを観察するだけでは自身の作画ミスを発見することは難しいため、感覚を変化させるような何らかの工夫が必要だと考えられる。

1.3. 作画ミス見落とし防止を目的とした既存手法

アンケートにおいて、「注意深く観察する」以外の作画ミスの見落としを防ぐ工夫として、主に4つの手法が回答されていた。一つは「作画後に時間を置く」であり、慣れの感覚を通常に戻すといった点において有効な方法である。一方で、イラスト制作に締め切りがあり、

時間をかけることの出来ない状況も存在する。また「他者に見せる」も多くみられたが、1.1節で述べたように本研究が扱う作画ミスはイラスト制作者自身にしか判断できないものである。また、身近に相談できる人がいない状況も多い。また、拡大縮小ツールなどを用いて「縮尺を変更して観察する」といった回答も多くみられた。縮小で全体を俯瞰して拡大で細部を確認するといった、使用理由と期待される効果が明確な手法であるものの、デジタルの作画環境では作画手順として頻繁に拡大縮小を行うことから、「慣れ」の状況下における感覚の変化は生じにくいと想定される。また、縮尺変更を回答したユーザの約60%が日常的な作画ミスの見落としを報告している。

ここで、作画中や作画直後に適用でき、かつ自分自身で作画ミスが発見可能になるとされている手法として「左右反転して確認する」といった回答があげられる。左右反転することで感覚が変化し、客観視できるようになるとされているこの手法は、イラスト制作者に広く認知されており、ダ・ヴィンチの時代から推奨されている再確認手法である[16]。実際に、SAI[17]やCLIP STUDIO PAINT[18]といったイラスト制作現場における主要なペイントツールにおいても、キャンバスの表示を一時的に反転させるツールが実装されている(図1)。左右反転が効果的である理由として、イラストの内容そのものを変化させずに、通常時と異なる視覚情報を提示することで慣れの状況下における感覚変化を促しているのではないかと考えられる。しかし、この左右反転を調査した研究は少なく、その有用性は明確になっていないため、美術系の学生を対象とした作画実験において左右反転の効果を検証した。実験の結果、人体の左右バランスに関する作画ミスなどに作画直後に気付くことが出来た一方で、手足の長さに関する作画ミスや、服装や小物の構造的な作画ミスの発見は達成されなかった。また、アンケート調査において左右反転を回答したユーザの約76%が作画ミス見落としの日常的な発生を回答している。

以上のことから、既存の手法はそれぞれ効果的であるものの、網羅的な作画ミスの発見には不十分であるといった現状がわかる。本研究は、これらの手法に対抗する手法を模索するものではなく、作画中や作画直後に既存手法と並行して実施可能な新たな手法を提案することで、より多くの作画ミスの見落とし防止を目的とする。

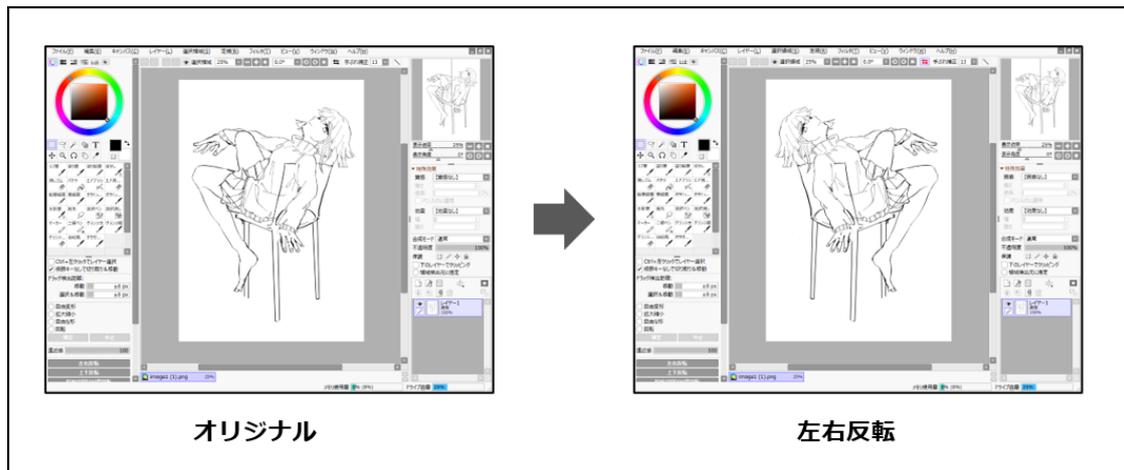


図1 ペイントツールSAIにおける左右反転機能

1.4. 本研究の目的

以上の内容を整理すると、本研究の目的は作画直後の慣れの状況下であっても、より多種にわたる作画ミスが発見が可能な作画ミス見落とし防止手法の実現である。ここで、事前調査で得られた分析から、視覚補完の応用と認知バイアスの低減を仮説とした、イラストの部分遮蔽手法を提案する。具体的には、イラストの一部を遮蔽し、あえて視覚情報を制限した状態で、隠された範囲の想像と表示されている範囲の観察を促す手法である。イラスト制作初心者から中級者を対象に作画実験を行い、本手法の有用性と、より効果的な遮蔽提示方法を分析する。また、入力されたイラストの内容に応じて効果的な遮蔽パターンを自動で生成し、ユーザに提示するインタラクティブな自動遮蔽システムを実装し、ユーザが実際に満足な修正が可能であったかを指標に本システムの効果を検証する。ここで得られた結果から、さらに作画ミス見落とし防止に効果的なシステム設計とその応用を考案する。

1.5. 論文構成

本研究は、本章を含む全8章から構成される。まず本章で作画ミスの見落としの現状と解決すべき問題について述べた。これ以降、2章ではイラスト制作者における作画ミス見落としの現状を把握するための事前調査について述べる。3章では本研究が提案するイラストの部分遮蔽手法の概要について述べ、4章では部分遮蔽手法の有用性を調査するための実験と、その結果から得られた考察を述べる。5章では4章の考察をもとに、部分遮蔽手法を自動でイラストに適用する自動遮蔽システムの設計について述べ、6章ではシステムの使用実験の結果と今後の展望について述べる。7章では従来の描画精度に関する研究や作画を支援するシステムについて述べ、本研究の位置づけを明確化する。最後に8章で本研究のまとめを行う。

第2章 事前調査

本研究は、オリジナルのイラスト制作における作画ミス見落とし防止手法の実現を目的としたものである。ここで、作画ミス見落としという現象は集合知として語られているものの、その実態は明らかになっていない。具体的には、作画能力と作画ミス見落としの関係性や見落としやすい作画ミスの種類、既存の見落とし防止手法の普及度合いやその有用性、作画ミス見落としの原因などを調査する必要がある。ここで、イラスト制作者における作画ミス見落としの現状を把握するため、事前調査として一般のイラスト制作者を対象とした大規模なアンケート調査と、美術系の大学に通う学生4名を対象にした実験を実施した。

2.1. クラウドソーシングによるアンケート調査

模写やトレースを除く、自身が描いたオリジナルのイラストをWebに投稿したことがある人を対象に作画ミス見落としに関するアンケート調査を行った。アンケートは、「イラスト制作の経験年数」や「ひと月における作画の頻度」などの回答者の属性のほか、「作画ミス見落としの頻度」「作画ミス見落としを防ぐために普段行っている工夫」「見落としに気付いた時の行動」「見落としていた作画ミスの具体例」「作画ミスの見落としをする原因について想定されること」などの全13項目で構成されている。このアンケートを2020年8月に、Yahoo!クラウドソーシング[19]を用いて実施した。なお、明治大学中村聡史研究室がこれまでに同サービスで実施した調査において、不真面目な回答をしていたユーザ765名を事前に実験依頼対象から除外した。1000件を上限に回答を募集し、無意味な文字列を回答したユーザ、明らかにイラスト制作の経験がないと想定される回答をしたユーザ、全ての記述問題に対して「特になし」と回答したユーザを除外した結果、有効な回答762件が得られた。

図2、図3に「イラスト制作の経験年数」、「一週間の内に作画に費やす時間」の結果をグラフとして表示する。図2から、本アンケートの回答者が初心者から上級者まで幅広く構成されていることがわかる。また図3より、多くても週に5時間程度をイラスト制作に費やす回答者が多数であることから、職業としてではなく趣味としてイラスト制作をしている層の割合がほとんどを占めていると予測できる。

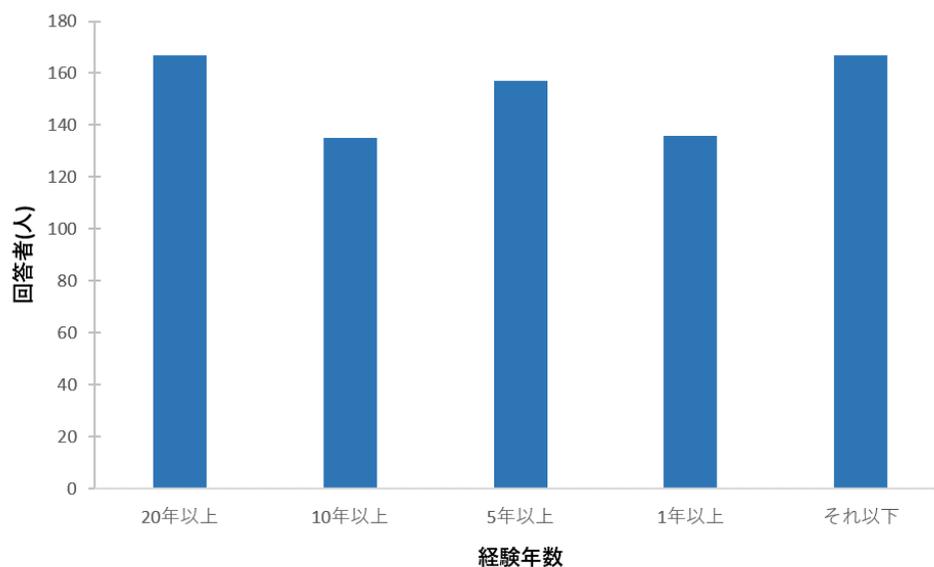


図2 回答者内の作画経験年数における人数の比較

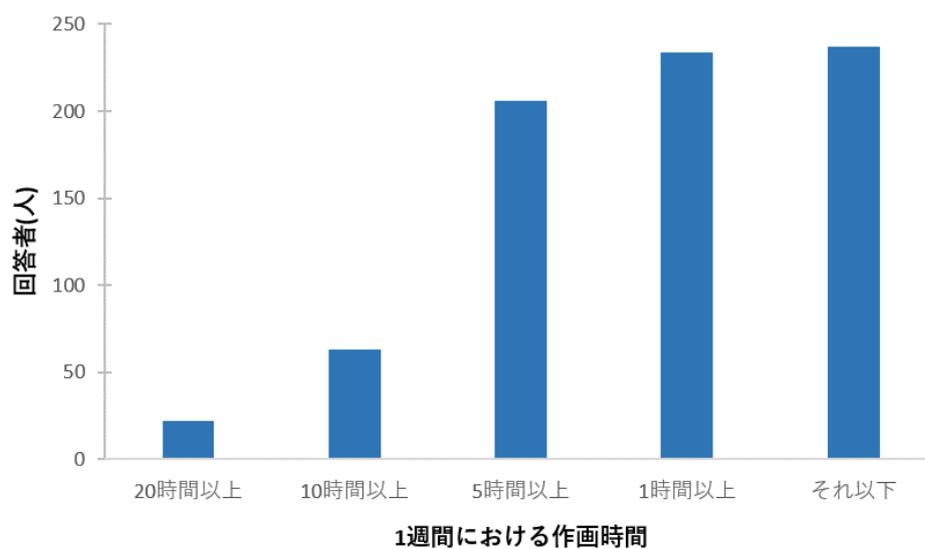


図3 回答者内の週の作画時間における人数の比較

本アンケートの各自由記述項目で得られた回答から、KH Coder[20]で Jaccard 係数を用いた共起ネットワーク図を作成し、頻出単語同士の関係性を可視化したものを図4、および図7から図9に示す。なお、利用する単語は図4が出現数10回以上、図7から図9が出現数5回以上のものであり、すべて Jaccard 係数が0.15以上のまとまりを示している。

図4は、「作画ミス見落としを避けるためにしている工夫」について得られた記述における頻出単語のまとまりを示したものである。最頻出で繋がりが強固な組み合わせとして「左右-反転」が見られることから、左右反転が見落とし防止に広く使われていることがわかる。次いで、「時間-置く」が多くみられ、時間をおいて見直すといった手法の普及がうかがえる。また、「他人-目」などは第三者にイラストを確認してもらおうといった内容を意味している。「拡大-縮小」、「全体-バランス」などは縮尺を変更することで全体を俯瞰する、もしくは細部に着目するといった内容であり、この「縮尺変更」に近い意味の回答は最も多く見られた。その他の「レイヤー分けをする」や「写真を参考にする」などは作画ミスの発生を根本的に防ぐために作画中や作画前に行う工夫を意味しており、作画ミス見落としを防ぐ本研究の目的からは外れる。以上を整理すると、よく利用されているのは「左右反転」「時間経過」「他者に見せる」「縮尺変更」であるといえる。本研究におけるこれらの既存手法の位置づけは、1.3節で述べた通りである。

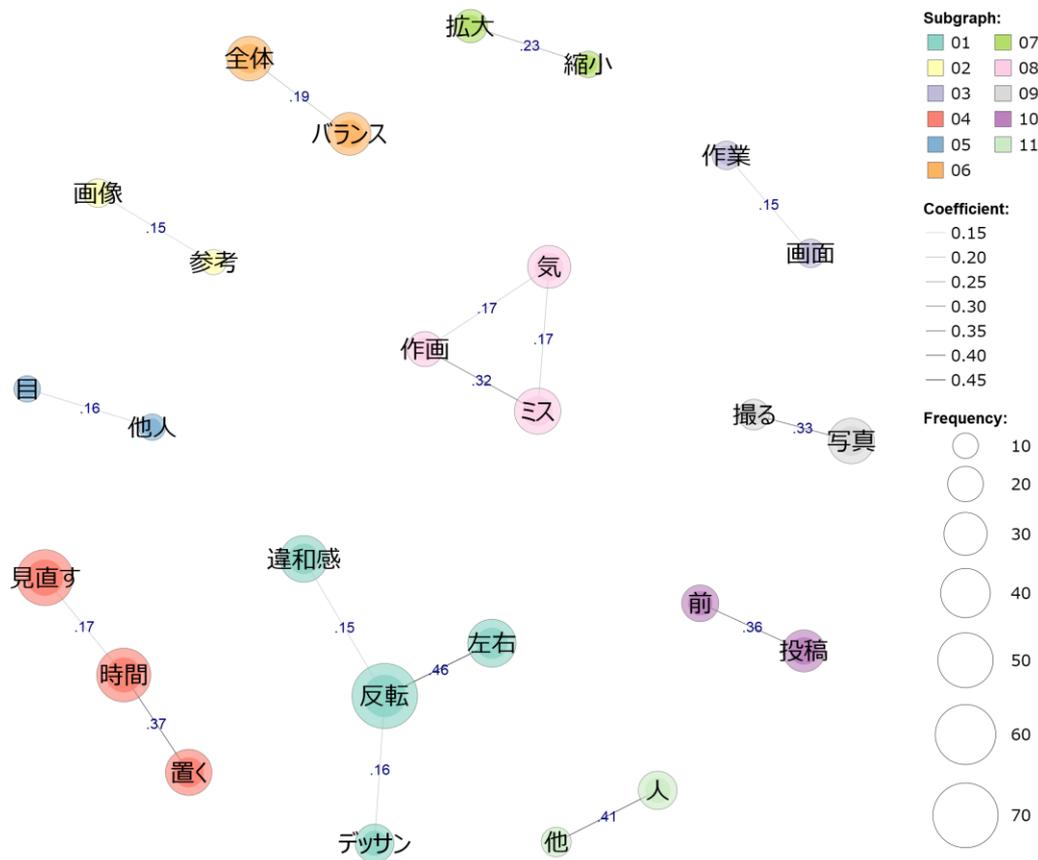


図4 共起ネットワーク（作画ミス見落とし防止の工夫）

ここで、回答者が「工夫」について記述した内容と「経験年数」「作画ミス見落としの頻度」で選択した回答の対応分析を行った。対応分析の結果を図5, 図6に示す。分析の結果、経験年数の少ない回答者ほど作画ミス見落とし防止のための工夫を特に記述しておらず（図5）、工夫を「特になし」と記述した回答者ほど作画ミスの見落としを経験していないと選択していた（図6）ことがわかった。この結果や、1.1節で述べたように上級者ほどイラストの評価能力に優れていることから、「作画ミスの見落とし」という問題を意識するにはある程度の経験が必要であると思われる。このため、本調査の分析については、作画ミス見落としを防ぐために何らかの工夫を記述した回答者（535名）内での記述を対象としている。

表1に、先述した主な既存手法を回答したユーザごとの作画ミス見落とし頻度の割合を示す。手法ごとの大きな特徴はあまり見られないが、全ての手法における半数以上、および「工夫あり」全体の約58%が「よくある」「たまにある」を回答していることから、ある程度の経験を積んだ注意深いイラスト制作者であっても、作画ミスの見落としが日常的な問題であることがわかる。

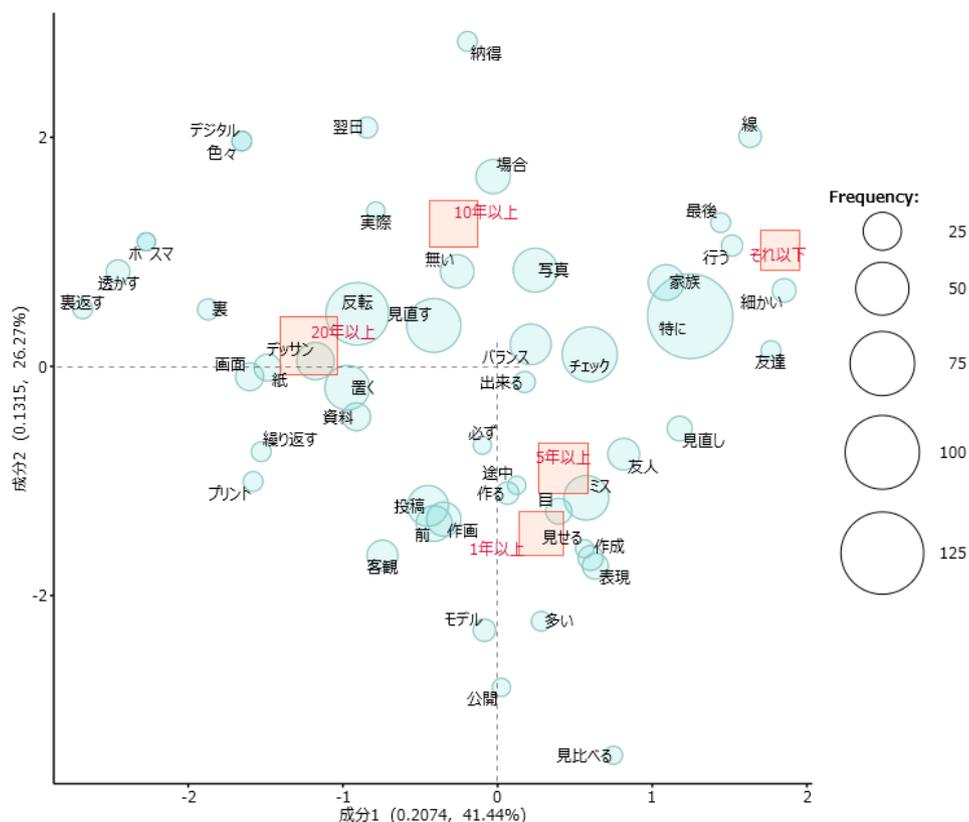


図5 対応分析（作画ミス見落とし防止の工夫と経験年数）

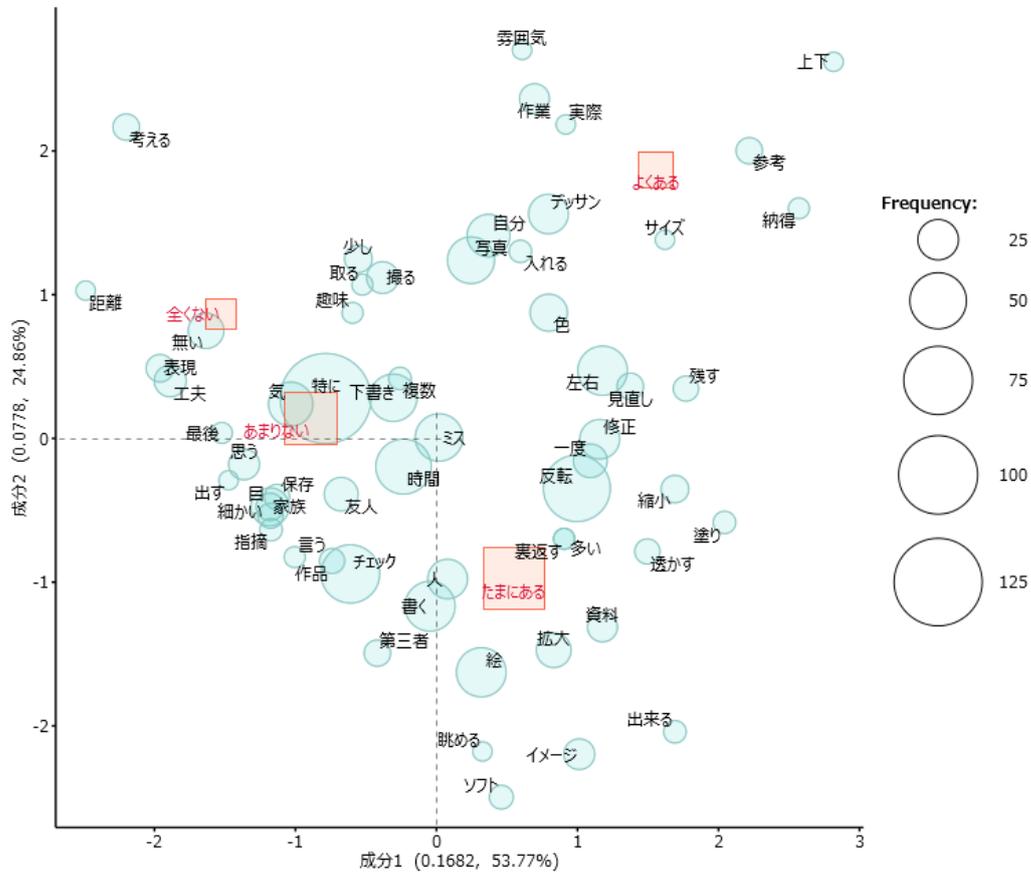


図6 対応分析（作画ミス見落とし防止の工夫と見落とし頻度）

表1 手法ごとの回答者の見落とし頻度割合(人数)

| | よくある | たまにある | あまりない | 全くない | 合計 |
|------|------|-------|-------|------|-----|
| 他者 | 6 | 46 | 41 | 5 | 98 |
| 時間経過 | 8 | 41 | 19 | 10 | 78 |
| 左右反転 | 19 | 46 | 19 | 2 | 86 |
| 縮尺 | 34 | 125 | 92 | 16 | 267 |
| 工夫あり | 66 | 244 | 186 | 39 | 535 |

図7に、「実際に経験した作画ミス見落としの具体例」について得られた記述における頻出単語のまとまりを示す。まず、画像右下の単語群は主に人物イラストにおける作画ミスの回答であり、「顔のパーツのバランスが悪い」や「手足が不自然」などが頻出していた。「デッサン-狂い」は一般に「デッサン狂い」と呼ばれる作画ミスに関する回答であり、先述のバランスの悪さや不自然さなどの解剖学的誤りや構造的な違和感を指すものである。このデッサン狂いとして、バランスの悪さのようなイラスト全体を俯瞰したうえで把握できるミスから、「指-数」のような細部におけるミスまで回答されていることがわかる。また、構造的違和感の原因にはならない、表現におけるミスについても、「構図」といった全体的なものから「装飾-模様-服」「間違い-スペル」などの細部におけるものまで回答されている。「色-塗り-忘れる」「線-消し-レイヤー」などは細部の着色や不要な線の消し忘れを意味しており、これらのようなイラストの内容そのものに直接関係のない、作画手順におけるミスも見られた。以上から、主に見落とされがちな作画ミスとして「デッサン狂い」と「表現のミス」があり、それぞれ全体的なミスと細部におけるミスが存在することがわかる。また、作画工程において生じる作画ミスも頻出していることがわかる。

図8に「作画ミスの見落としをする原因について想定されること」について得られた記述における頻出単語のまとまりを示す。まず、頻出している「客観-見る-全体」のまとまりは、「客観的に見ることが出来ないから」「全体を見ることが出来ないから」といった、作画直後におけるイラストの客観視の難易度への言及を意味している。「作業-没頭」「目-慣れる」などの回答はこれらの感覚変化の理由として回答されている。具体的には、「長く見続けることで目が慣れてしまう」といった回答である。「全体-見る」「バランス-箇所」「視野-狭い」などは、意識が特定の一点に集中してしまい全体を把握できなくなる現象であり、そしてこれを作画中に自覚できていない状況にあることを問題視している。また、客観視できない理由として「正しい-思いこむ」も見られた。以上から、「長時間の作画によって客観的に見ることが出来なくなる」といった「慣れ」の感覚を作画ミス見落としの要因としてきた本研究の前提は支持され、なかでも「意識の一点集中」や「思い込み」はこの慣れを構成する感覚の中でも後日に自覚しやすいものであると考えられる。一方で、「チェック-甘い」「直後-高揚」「仕上げる-早い-気持ち」といった、単純に再確認が足りていないといった旨の回答も見られた。これらの作画ミス見落としの原因に関する考察は、1.2節で述べた通りである。

図9に「作画ミスに気付いた時の行動」について得られた記述における頻出単語のまとまりを示す。「修正-投稿-削除」「アップ-再度-イラスト」は、投稿を削除し、修正可能なものであれば再度投稿するといった内容を意味している。「書く-コメント」「酷い-追記」は作画ミスが存在する旨を投稿に追記するといった回答であり、「次回-反省」は作画ミスを見落とししてしまった経験を反省し、次回の投稿では注意をするといった内容である。このように、作画ミスの見落としに気付いた時に削除などの行動を取るユーザは多く、ネガティブな感情を想起させる記述内容が多く見られた。

以上の結果から、作画ミス見落としが初心者、上級者を問わずイラスト制作者の多くに係る問題であり、効果的な既存手法が広まってはいるが、まだ解決できる余地があることがわかる。ここで、アンケートで得られた既存手法において、作画直後に自身で適用可能な「左右反転」についてはその効果に不明な点が多い。そこで本研究では、既存手法について多くの知識や経験があると予想される、イラストの専門的な教育を受けている上級者を対象に、実際にイラスト制作をしてもらう実験を実施した。

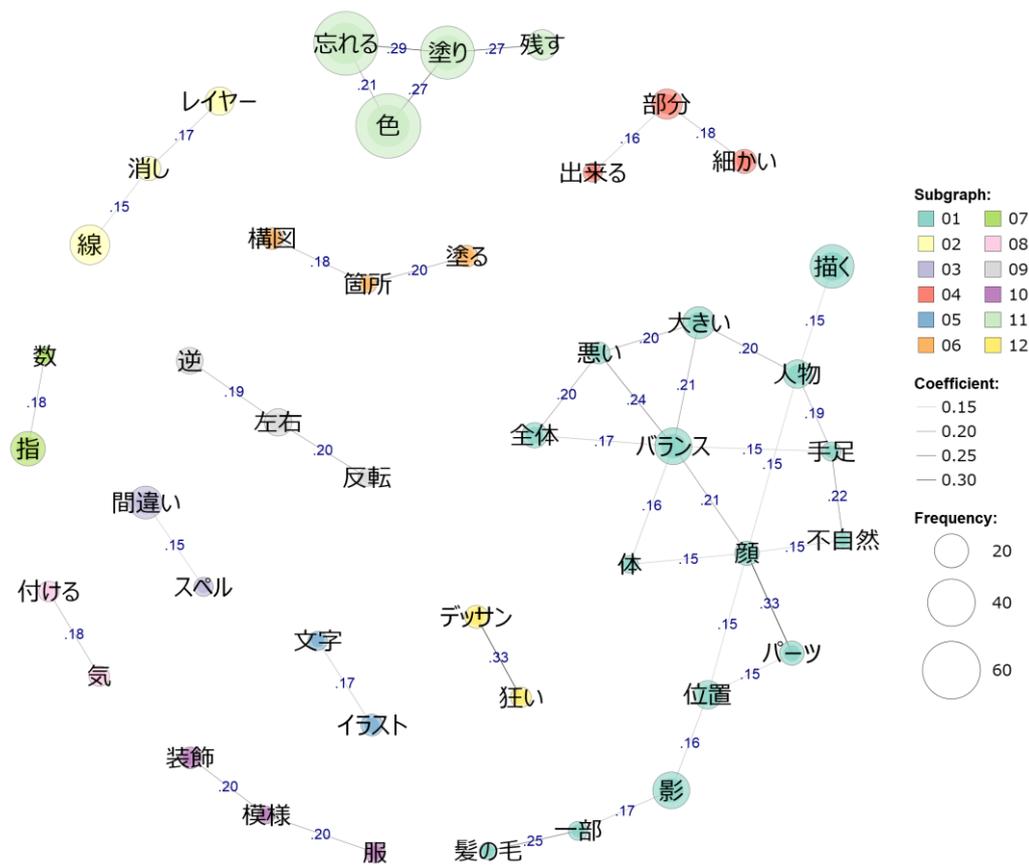


図7 共起ネットワーク（見落としした作画ミスの具体例）

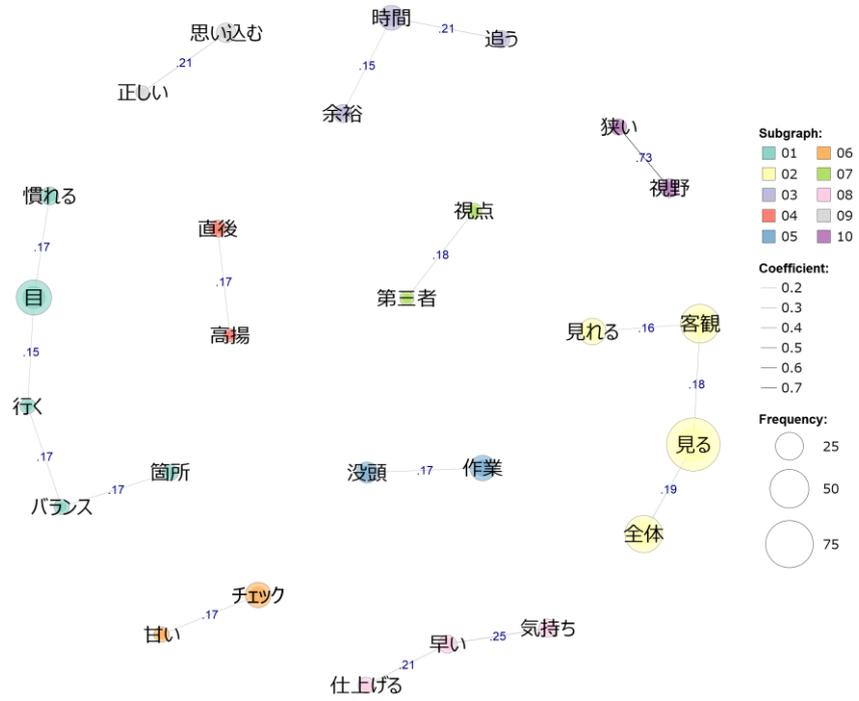


図8 共起ネットワーク（作画ミス見落としの原因）

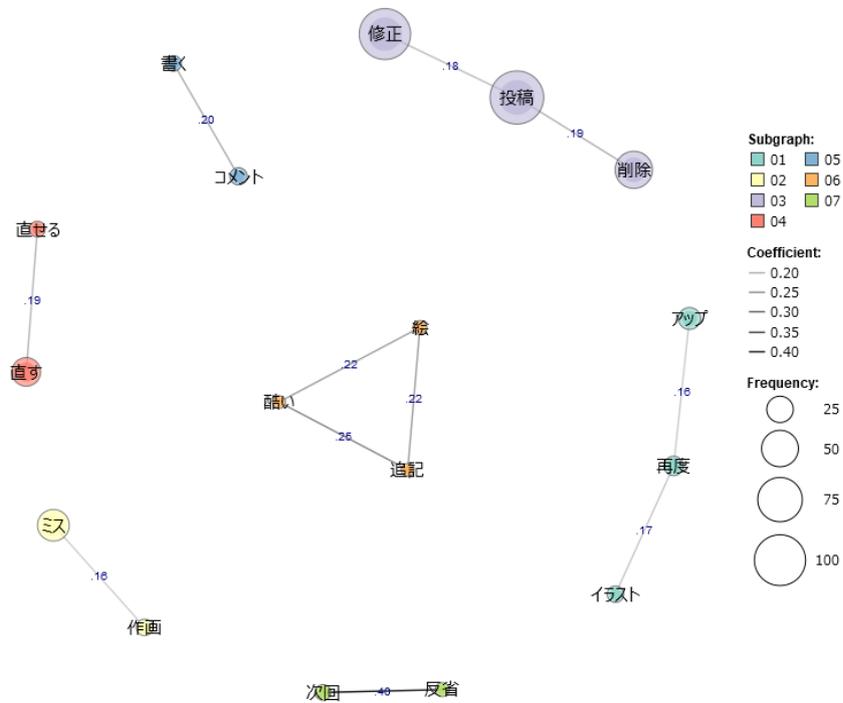


図9 共起ネットワーク（見落としに気付いた時の行動）

2.2. イラスト制作上級者を対象とした調査

慣れの現象の再現と左右反転による見落とし防止効果の検証、および上級者における作画ミス見落としの実態を把握するため、美術系の大学に通う、日常的にイラスト制作をしている大学生4名を対象に実験とインタビューを行った。

2.2.1. 実験設計

実験の流れとして、まず実験協力者（以下、協力者と表記する）に指定したイラストを制作してもらい、作画直後の単純な観察、左右反転されたイラストの観察、そして4日後の単純な観察の順で自身の作品の観察を行い、それぞれの条件において新たに発見された作画ミスと比較することで、左右反転の作画ミス見落とし防止の有用性を検証する。作画環境は協力者が普段使用しているデバイスに近いものを選択してもらい、協力者Aが紙面にシャープペンシルで作画、Bが自身のiPadとCLIP STUDIO PAINTで作画、CとDが監督者の用意した液晶型ペンタブレットとペイントツールSAIを用いて作画した。このとき、初回の観察はそれぞれの作画環境のまま実施したが、反転されたイラストの観察時は左右反転効果の統制を取るため、監督者の用意したディスプレイを用いた。

作画タスクとして、自身が普段描かない構図や苦手としているポーズでオリジナルの人物キャラクターの全身を描くように指定した。これは分析のために作画ミスを誘発することを目的としている。なお、スムーズな調査のため「制限時間60分」で「線画まで制作」といった制限を設けた。このとき、すべての協力者が制限時間以内に細部まで十分に識別できる状態まで作画できた一方で、2名の協力者に関しては時間が足りず、認識に影響がない範囲での線の途切れやぶれが作品内に残ってしまった。このような、明らかに時間不足が原因のミスは作画ミスとして集計していない。

すべての実験が終了後、実験中を通してのイラストに対する感覚や見え方の変化や、普段のイラスト制作における作画ミスの見落としについてインタビューを行った。

2.2.2. 調査結果と考察

協力者ごとの、それぞれの観察によって新たに発見された作画ミスの個数を表2に示す。また、協力者ごとの制作物と左右反転、時間経過（4日後）で発見された作画ミスの内容を図10に示す。図中右に示した作画ミスの内容は、協力者の回答した内容を要約したものである。

| | | |
|---|---|---|
| A |  | <p>左右反転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・主に顔の左右のバランスが崩れている ・椅子の形をもっと正確に描きたい <p>時間経過</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上半身に対して下半身が小さい ・椅子にボリュームを出したい ・王冠の立体感がなくなっている |
| B |  | <p>左右反転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・首から下のつながりが不自然 ・服の構造に違和感 <p>時間経過</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ひざ下の長さが気になる |
| C |  | <p>左右反転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・左足のひざを短くしたい <p>時間経過</p> <ul style="list-style-type: none"> ・右足を付け根の場所を意識して描きなおしたい ・缶コーヒーの形を修正したい |
| D |  | <p>左右反転</p> <p>特になし</p> <p>時間経過</p> <p>特になし</p> |

図10 協力者ごとの制作物と発見した作画ミスの内容

表2 協力者ごとの新たに発見した作画ミスの個数

| | A | B | C | D |
|------|---|---|---|---|
| 作画直後 | 4 | 1 | 3 | 0 |
| 左右反転 | 2 | 2 | 1 | 0 |
| 時間経過 | 3 | 1 | 2 | 0 |
| 合計 | 9 | 4 | 6 | 0 |

表2において、左右反転によって新たに作画ミスを発見していることから、実験中にイラストに対する慣れ之感覚が生じていたこと、および左右反転の作画ミス見落とし防止効果が確認できる。また、左右反転したことで生じた感覚変化のアンケートにおいて、「脳が改めてバランスを再確認したように感じた」「左右のバランスの狂いに気が付けるようになった」「反転するとバランスの悪い部分のはっきりわかるので普段もやっている」との回答が得られた。一方で、4日後にはじめて認識した作画ミスがあったことから、左右反転だけでは完全な見落とし防止が達成できなかった。

図10において、左右反転と時間経過それぞれで発見された作画ミスの内容を比較すると、左右反転をすることで「左右の足の長さのバランス」「主に顔が左右非対称に見える」などの左右のバランスの再確認が達成できた一方、「ひざ下の長さが気になる」「上半身に対して下半身が小さくなっている」などの上下のバランスや、「アクセサリーの立体感」「小物の形状」などの細かな箇所における作画ミスを見落とししていることがわかる。これらの結果から、左右反転は見落とし防止に効果的である一方、左右のバランスに関する作画ミスの発見に特化している可能性がある。

実験後のアンケートにおいて、協力者全員が普段から慣れの現象と作画ミスの見落としを経験していると回答した。また、この実験においても慣れが生じていたと全員が回答した。「この現象はイラスト制作経験を積むほどに無くなっていくと思いますか？昔に比べて減りましたか？」といった質問に対しては、「むしろ増えた」「“とりあえず描けた”といった満足感がなくなるのでより細かい部分に気付く」「目が肥えるほど気付くようになる」といった回答が得られた。このことから、作画ミスの見落としは作画能力を問わず生じる現象であると言える。

また、実験中の感覚変化に関して協力者Dは作画ミスの発見は無かったものの「画面が変わると何故かよりはっきり見えた気がした」と回答していた。これは、左右反転時の観察においてディスプレイを変更したことによる感覚の変化が生じていた可能性がある。実際に、前節で述べたアンケートでは普段行っている見落とし防止の工夫として「表示するディスプレイを変更する」「プリントアウトして確認する」などの回答が数件見られた。このことから、本実験は左右反転とディスプレイ変更を組み合わせたときの感覚変化の効果を検

証したものになっている可能性がある。既存手法で十分な見落とし防止が達成できなかったという本実験の結論に影響はないが、今後の実験においては画面変更による効果を考慮した実験設計が必要になると考えられる。

ここで、「左右反転以外で客観視ができるようになった経験はあるか」といった質問に対し、「SNS に投稿した際に、イラストの一部をトリミングしたものをサムネイルとして表示されたことで、表示された箇所の作画ミスにはじめて気付くことが出来た」といった回答が得られた。これは、一部分のみ表示されることで意識が表示箇所に誘導されただけでなく、自身の想定していない形での表示が慣れの感覚を低減した可能性がある。本研究は、この部分的な表示から着想を得たイラストの部分遮蔽手法を提案する。

以上の事前調査で得られた結果をまとめる。作画ミスの見落としは初心者や上級者にかかわらず生じる問題であり、見落とされることの多い作画ミスは「デッサン狂い」と「表現のミス」に分類可能であり、それぞれ全体的なものから細部におけるものが回答されていた。見落としの原因としては単純な不注意よりも、目や脳の「慣れ」といった作画中に生じる感覚変化を問題視するユーザが多く、具体的には「意識の一点集中」と「思い込み」が回答されていた。これを防ぐための既存手法としては「左右反転」「時間経過」「他者に見せる」「縮尺変更」が主なものである。一方で、それぞれの既存手法にはリミテーションがあり、網羅的な作画ミス見落とし防止は達成されていないことが示唆された。このことから、本研究では作画中に既存手法と組み合わせて適用可能かつ、多種にわたる作画ミスの発見が達成可能な手法の提案を目的とする。

第3章 部分遮蔽手法

本研究の目的は、慣れの状況下である作画直後に適用可能かつ、短時間でさまざまな作画ミスの発見を促す手法の実現である。

1章で述べたように、この慣れの感覚の要因としてイラスト制作者が自身の作品を認識する際にスキーマによるバイアスを受けている可能性がある。例として、イラスト制作者が知識として持っている手や足の形に影響を受けた線がイラスト内に配置されることで、手や足が他のパーツより記号的に描かれてしまい、意図せず歪んだ立体感や解剖学的に正しくない作画が生じてしまう状況のことである。こうした作画ミスの発見を促すためには、イラスト制作者が抱えているバイアスを取り去ることが重要である。ここで、見落とし防止の既存手法である左右反転や時間経過は、この認知バイアスの低減ができていものである可能性がある。左右反転は、線やイラストそのものに手を加えず、イラスト制作者の視覚情報を変化させることでイラスト内の意味を保ちながら新鮮な視覚刺激の提示を可能としている。また、時間経過では単純にイラストそのものを見ていない時間が、自身が線にもたせた意味を忘れさせて認知を正常に戻しているのだと考えられる。こうした一時的な視覚情報の変化と情報の非表示を同時に達成可能な手法が作画ミスの発見に有効であると考えられる。

そこで、本研究では人間の視覚認知の補完能力に着目した。視覚認知における補完能力とは、物体の輪郭の一部が他の物体に遮蔽されている状況においても、実際にそこにあるかのように補完して知覚することができるというものであり[21]、遮蔽された箇所を整合性の取れた形で補完することが知られている。また、この視覚補完能力にアーティストと非アーティスト間の差がないことがわかっているため[22]、作画能力にかかわらずイラストのバランスの再確認が促せる可能性がある。本研究は、一時的な視覚情報の変化と情報の非表示を同時に達成可能かつ、この視覚的な補完を応用したイラストの部分遮蔽手法を提案する。

部分遮蔽手法のイメージを図11に示す。図のように、遮蔽によって線を分断し、線のまとまりを記号として認識できなくすることで線にもたせた意味を崩壊させ、イラスト制作者にとって新鮮な視覚刺激の提示が達成できる可能性がある。また、自身の絵の一部を見せないことによって、ある程度の時間経過同様の効果が得られると考える。これによってバイアスの低減が生じれば単純な観察では認識できなかった作画ミスを認識させることができるようになる。このような、ある程度感覚をリセットした状態であれば、全体を意識していたときには気付かなかった、遮蔽されていない範囲（以下、非遮蔽範囲とする）内に存在する作画ミスに着目させることができる可能性もある。図11を例にすると、仮に作画時の意識が足に集中していた場合、下半身を遮蔽することで意識する箇所が上半身に移動し、表情や髪に関する作画ミスへの気付きを促すというものである。このように「慣れ」を構成する現象である「意識の一点集中」についても解決可能であると考えられる。

またこのとき、視覚補完を促すことで、遮蔽物（以下、遮蔽範囲とする）の向こうにイラスト制作者の最も理想とする下半身のバランスを想像することが容易になると考えた。この補完状態を意識した後に、イラスト全体を再度確認することで「下半身が短すぎる」などといったバランスの狂いに気付くことができると期待される。また、実際にイラスト内に描かれている情報を手がかりに再度イラストの全体像を意識することで、何も描かれていないキャンバス上に自身の知識や記憶から描く条件よりも、イラストの内容に応じた詳細な想像が容易になる可能性がある。

くわえて、図 11 のように境界線が斜めに傾いた遮蔽を提示することで、作画中の拡大縮小ツールなどで表示されることのなかった新鮮な視覚刺激の提示が可能になり、感覚の変化が生じやすくなるのではないかと考える。

本手法はイラスト制作における手順の一つである「線画」が完成した時点で適用することを想定している。線画というのは主に対象物の輪郭を表現したものであり、着彩前にイラスト内に描かれている内容を詳細に認識できようになる最初の段階であることが多く、この時点で作画ミスを発見し修正することが望ましい。また、本手法をイラストに適用した際は、図 12 のように遮蔽範囲と周囲の色の区別が付くようにする。これは、イラスト全体のバランスの認識をさせる際に、イラストのキャンバスサイズを認識できなければ満足な補完が難しいと考えられるからである。

以上の仮説を前提としたうえで、本手法をイラストに適用する際、遮蔽箇所や遮蔽範囲の設定が特に重要になると考えられる。このため、部分遮蔽手法の有用性、および効果的な遮蔽箇所や範囲設計を実験によって明らかにする。

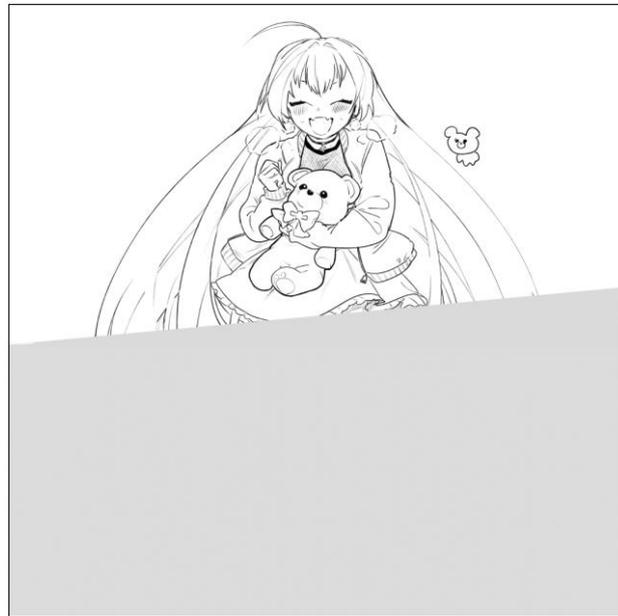


図 11 部分遮蔽手法のイメージ

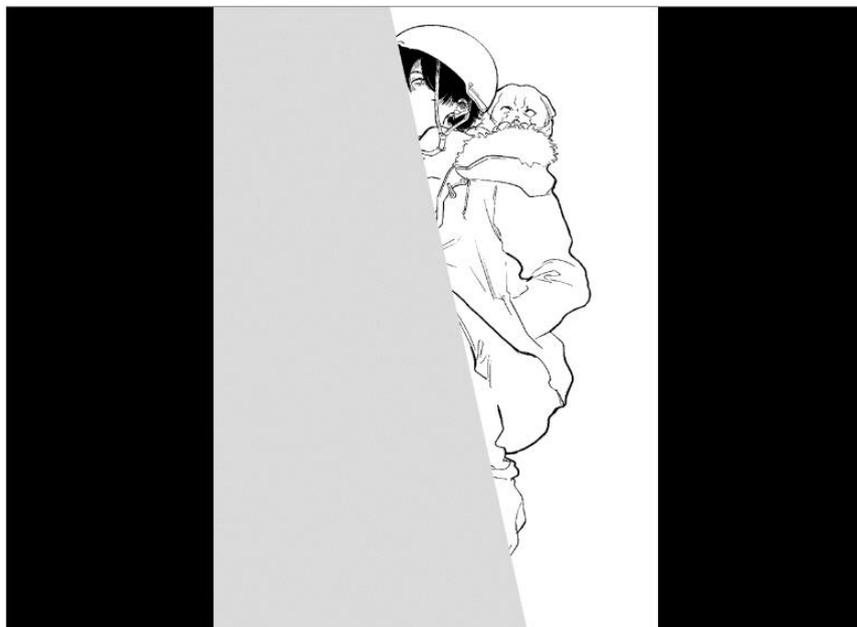


図 12 部分遮蔽手法適用時のディスプレイ表示

第4章 部分遮蔽手法の有用性の検証

4.1. 実験目的

本実験の目的は、「部分遮蔽手法が作画ミス発見に対して有用である」という仮説の検証、および効果的な遮蔽提示方法の分析である。このため、実験協力者（以下、協力者と表記する）には指定した内容のイラストを制作するタスクを課し、作画直後の慣れの状況下で単純に観察したときに発見した作画ミス、本手法の適用によって新たに発見した作画ミス、慣れの感覚が消失して正常な状態に戻ると予想される2日後に再び単純に観察したときに新たに発見した作画ミスをそれぞれアンケートに回答してもらい、それぞれのミスの傾向を比較する実験を行う。また、手法を適用した際と、数日の時間が経過した際に、イラストに対する感覚がどのように変化したのかをアンケートによって調査する。さらに、協力者がイラストを観察した際の視線データを計測し、手法の有効性の分析に利用する。

4.2. 実験設計

4.2.1. イラスト制作タスク

協力者には、指定したイラストを制作するタスクを行ってもらう。タスクとして、描かれる機会が多く十分に複雑なものとして、「眼鏡」「マグカップを持った手」「人物キャラクターの全身」の3種類を選定した。今後、それぞれのタスクを「眼鏡タスク」「マグカップタスク」「人物タスク」と表記する。このとき、作画ミスを誘発するために、協力者には自身のあまり得意ではない構図を考えたとうえで、その構図で描いてもらうよう指示した。また、スムーズな調査を行うために、制限時間を設けたうえで、線画までの作画を指示した。この制限時間は著者の主観で設定し、眼鏡タスクを15分、マグカップタスクを20分、人物タスクを80分とした。一方で、制限時間が経過した時点で線画として対象物を認識できる最低限のものが描ききれなかった場合は作画ミスの発見も不可能であるため、協力者が達成できたと感じるまで作画を継続してもらった。

イラスト制作環境として、液晶ペンタブレットのWacom MobileStudio Pro 16と、ペイントツールSAIを使用した。また、作画中にインターネットで参考資料を調べることを許可した。これは、普段のイラスト制作において資料を見ずに描くことは少なく、資料なしに描きたいイメージを構築することは難しいためである。しかし、模写やデッサンの域での参考は本研究の趣旨が変わってしまうため、協力者には資料そのものの描画にならないよう伝えた。

4.2.2. 作画ミス発見タスクとアンケート

イラスト制作タスクの後、協力者は自身のイラストを観察し、修正したい箇所をアンケートに記入するタスクを3回行った。観察はすべて監督者の用意したディスプレイ上で行い、協力者の観察時の視線データを同時に集計した。視線計測システムは Processing で実装し、視線情報の取得には Tobii EyeX[23]を使用した。

作画直後の単純な観察後のアンケートでは発見した作画ミスを全て回答してもらった一方で、遮蔽手法適用時の観察後アンケートでは、新たに発見したミスのみを回答してもらった。これは、単純な観察で得られた結果と、遮蔽手法によって得られた結果を区別するためである。このとき初回の単純な観察において発見した作画ミスは、ディスプレイ変更によって生じる感覚変化や制限時間設定によって生じた不満箇所であるとし、分析には利用しない。2日後のアンケートにおいては、時間経過によって初日の回答内容を覚えていない可能性があるため、観察で得られた気づきを再度全て回答してもらい、分析の際には初日に記述したものと同一内容の気づきを取り除いた。

また、アンケートでは発見した作画ミスの回答のほか、感覚変化に関する調査も行った。遮蔽手法や時間経過によってイラストに対する感覚や見え方がどのように変化したかを回答してもらい、その結果から提案手法の有用性を考察していく。

4.2.3. 提示する遮蔽パターンの作成

部分遮蔽手法をイラストに適用する際、遮蔽範囲の設定が重要になると予測される。しかし、現時点において最も有効な遮蔽箇所や遮蔽範囲は明らかではない。そのため本実験においては、イラスト内の視覚情報がおよそ半分となるような遮蔽パターンにおける効果を検証する。これは、提示する情報が過剰であれば意識の変化が起こりにくく、不足していれば満足な視覚補完を起こせない可能性があるかと予想されるためである。このとき、イラスト面積の単純な等分ではイラストの構図による効果の偏りが生じる可能性があるため、それぞれのイラストの内容を考慮した、上下左右それぞれ斜めに分断する4パターンの遮蔽を監督者が作成する。それぞれの遮蔽イメージを図13、14、15に示す。

遮蔽の境界線の設定基準について述べる。左右の遮蔽パターンについては、メガネタスクのときはブリッジの中央を、マグカップタスクのときはカップの持ち手部分を、そして人物タスクのときは両目の中央を目安に設定する。上下の遮蔽パターンについては、メガネタスクではレンズ部分と「つる」の部分に分けるように、マグカップタスクでは手首の中央を目安に、人物タスクではへそのあたりを腰のラインと並行になるように境界線を設定した。

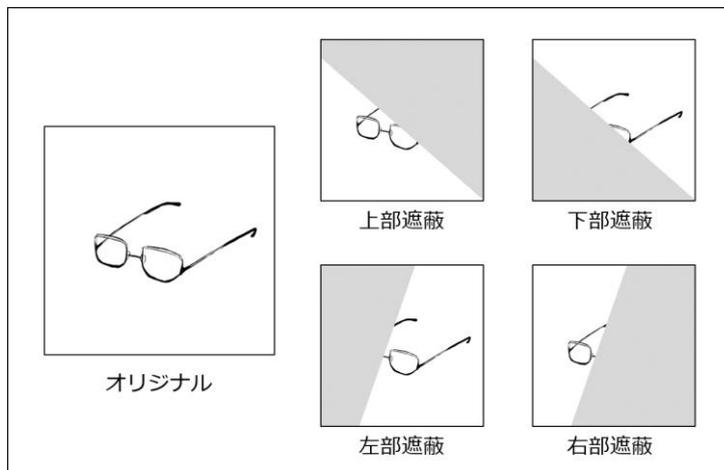


図 13 眼鏡タスクにおける遮蔽パターン

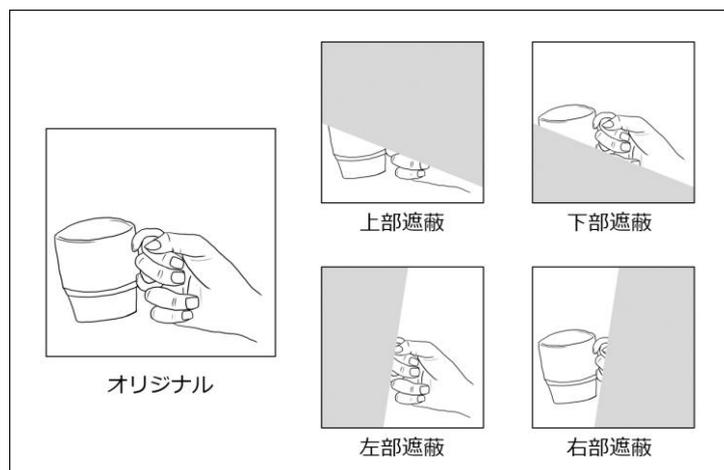


図 14 マグカップタスクにおける遮蔽パターン

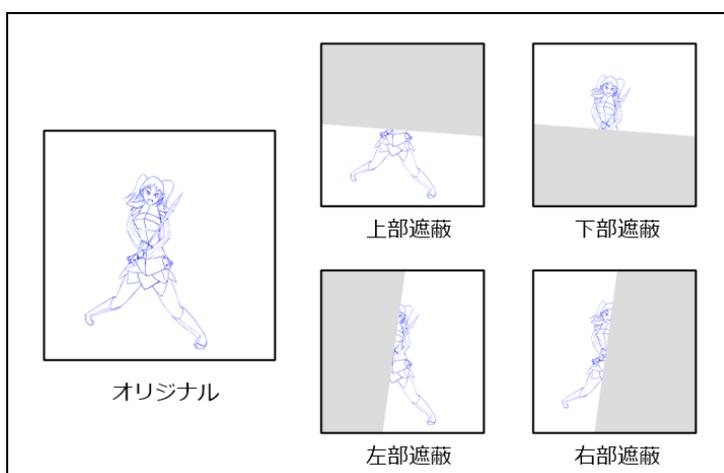


図 15 人物タスクにおける遮蔽パターン

4.2.4. 実験手順

情報系の大学に通う18歳から24歳の大学生9名を対象に実験を行った。協力者は全員イラストの専門的な教育を受けていない初心者から中級者であった。また、このとき協力者の日程の都合やイラストの習熟度を考慮し、それぞれの作画タスクに対し5名の結果が得られるようにタスクの分配を行った。実験の流れを図16に示す。

協力者は実験の説明を受けたのち、実験環境での作画に慣れるため5分間の試し描きを行う。その後、指定されたイラスト制作タスクに取り組む。また、他者に見られている感覚が作画行為やその後のアンケートに影響を及ぼさないように、実験監督者以外には干渉されない環境で作画を行い、監督者による干渉も最低限にとどめた。

制作タスク終了後、協力者はイラスト内に修正したい箇所があればアンケートに記述するよう説明を受けたのち、監督者の用意したディスプレイ上に提示された自身のイラストを観察した。ここで提示するイラストは、部分遮蔽手法を適用せず、協力者が制作したイラストそのものである。このとき、観察と同時に1分間の視線計測を行ったのち、観察を継続したままアンケートに記入してもらった。なお、発見した作画ミスを含めて回答してもらうため、アンケート自体に制限時間は設けなかった。

次に、イラストに部分遮蔽手法を適用した状態でディスプレイ上に提示し、遮蔽物で隠されている箇所を想像しながら観察するように伝え、再び1分間の視線計測と観察を行った。その後、遮蔽されていない状態でのイラストを再度提示し、初回と同様の流れで視線計測とアンケートを実施した。この遮蔽状態の提示、遮蔽なしでの提示、アンケートといった一連の流れを、上下左右4種類の遮蔽パターン分繰り返した。なお、順序効果を考慮し、提示するパターンの順序は協力者によってそれぞれ変化させた。全パターンの集計が終了後、協力者が複数の作画タスクを課されている場合は、10分間の休憩をはさんだのち、取り組んでいないタスクに変更し、再度実験を行った。すべての工程が終了した後、部分遮蔽手法による感覚変化に関するアンケートを実施し、初日の実験を終了する。

2日後、初回と同様に1分間のイラスト全体の観察と視線計測、発見した作画ミスに関するアンケート回答に取り組んだタスクの数だけ行い、時間経過によって生じた感覚変化に関するアンケートを実施し、全ての実験が終了となる。

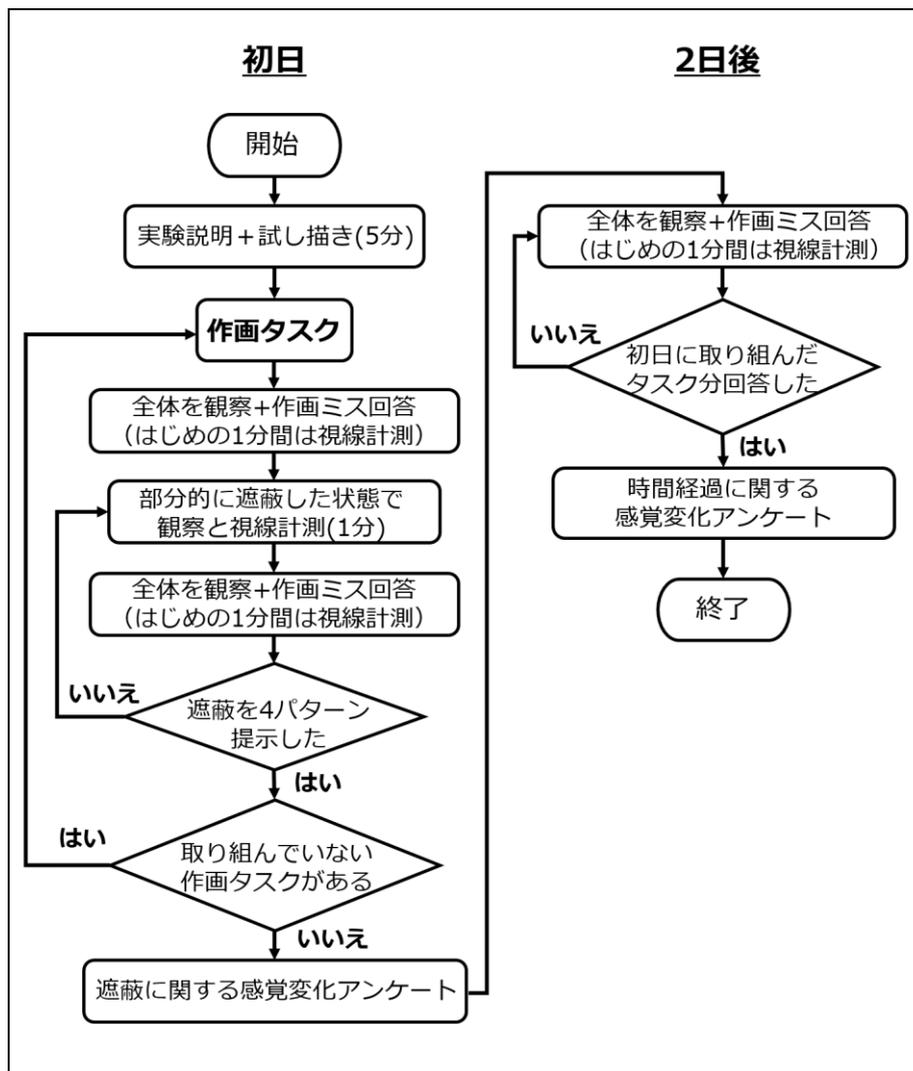


図 16 実験の流れ

4.3. 実験結果

それぞれのタスクにおける制作物を図 17 に示す。表 3, 4, 5 にそれぞれのタスクにおける、作画直後、部分遮蔽手法適用後、2 日間の時間経過後のそれぞれの状況で新たに発見された作画ミスの個数をまとめる。また、それぞれのタスクにおける部分遮蔽手法適用後と時間経過によって新たに発見された作画ミスの一例を図 18, 19, 20 に示す。これらの図中では実験時に提示した遮蔽パターンを左側に示し、協力者がアンケートに記入した作画ミスの気づきを右側に表記している。このとき、最下段にはイラストの全体像と、時間経過によって発見された作画ミスの回答を表記した。

部分遮蔽手法と時間経過による感覚の変化に関するアンケート結果をそれぞれ以下にまとめる。

部分遮蔽手法による感覚変化については、

- 提示部分のミスに気付くことが多かった。改善点が多く見つかった。また、遮蔽物を取り払った後に、その遮蔽の境界付近が気になった
 - 見る場所が限定されたためか、細かなバランスの崩れなどに気付けた気がした
 - 立体感の歪みの発見がしやすかった。また、遮蔽状態から全体に戻った時に先ほど見えていた部分が気になりやすかった。遮蔽後は境界線付近に意識が行った
 - 限られた場所だけに目が行くので細かいミスに気付けた。その後、遮蔽がとれたときに、その周辺との対応で変なところがあったときに、より気付けた。全体のバランスを見たときは隠さない方が気付きやすいと思った
 - 細部を見ていたが体勢を気にするようになった
 - 見えている部分に集中できるので見逃していた修正点が見つけれられた
- などの回答が得られ、実験協力全員が手法によって作画ミスを発見できるようになったという内容が記述されていた。

一方、時間経過による感覚変化については、

- 遮蔽したときの方がミスに気付けた気がする
- 実験時から若干変化した。違和感が増した気がした
- 前は自分がこだわった部分や時間のかかった部分にどうしても集中しがちだったが、時間経過によって新鮮な気持ちで全体的に見ることができた
- あまり変わらなかった
- 前以上におかしい点が気になった
- 全体的に線のゆがみが気になるようになった

などの回答が得られた。

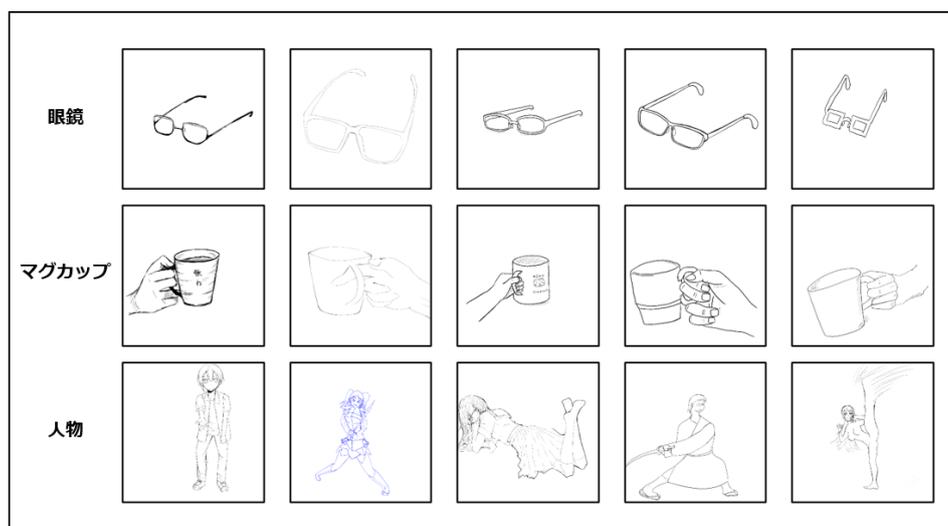


図 17 協力者ごとの制作物一覧

表3 眼鏡タスクにおける作画ミス発見個数

| 眼鏡 | A | B | C | D | E |
|------|---|----|---|----|---|
| 作画直後 | 3 | 5 | 2 | 3 | 2 |
| 部分遮蔽 | 4 | 3 | 3 | 6 | 5 |
| 時間経過 | 1 | 2 | 1 | 2 | 0 |
| 合計 | 8 | 10 | 6 | 11 | 7 |

表4 マグカップタスクにおける作画ミス発見個数

| マグカップ | A | B | C | D | F |
|-------|----|----|---|----|---|
| 作画直後 | 4 | 5 | 1 | 5 | 2 |
| 部分遮蔽 | 6 | 5 | 3 | 7 | 6 |
| 時間経過 | 1 | 5 | 2 | 3 | 0 |
| 合計 | 11 | 15 | 6 | 15 | 8 |

表5 人物タスクにおける作画ミス発見個数

| 人物 | A | B | G | H | I |
|------|----|----|---|----|----|
| 作画直後 | 3 | 7 | 2 | 6 | 4 |
| 部分遮蔽 | 4 | 11 | 2 | 6 | 5 |
| 時間経過 | 3 | 3 | 1 | 0 | 2 |
| 合計 | 10 | 21 | 5 | 12 | 11 |

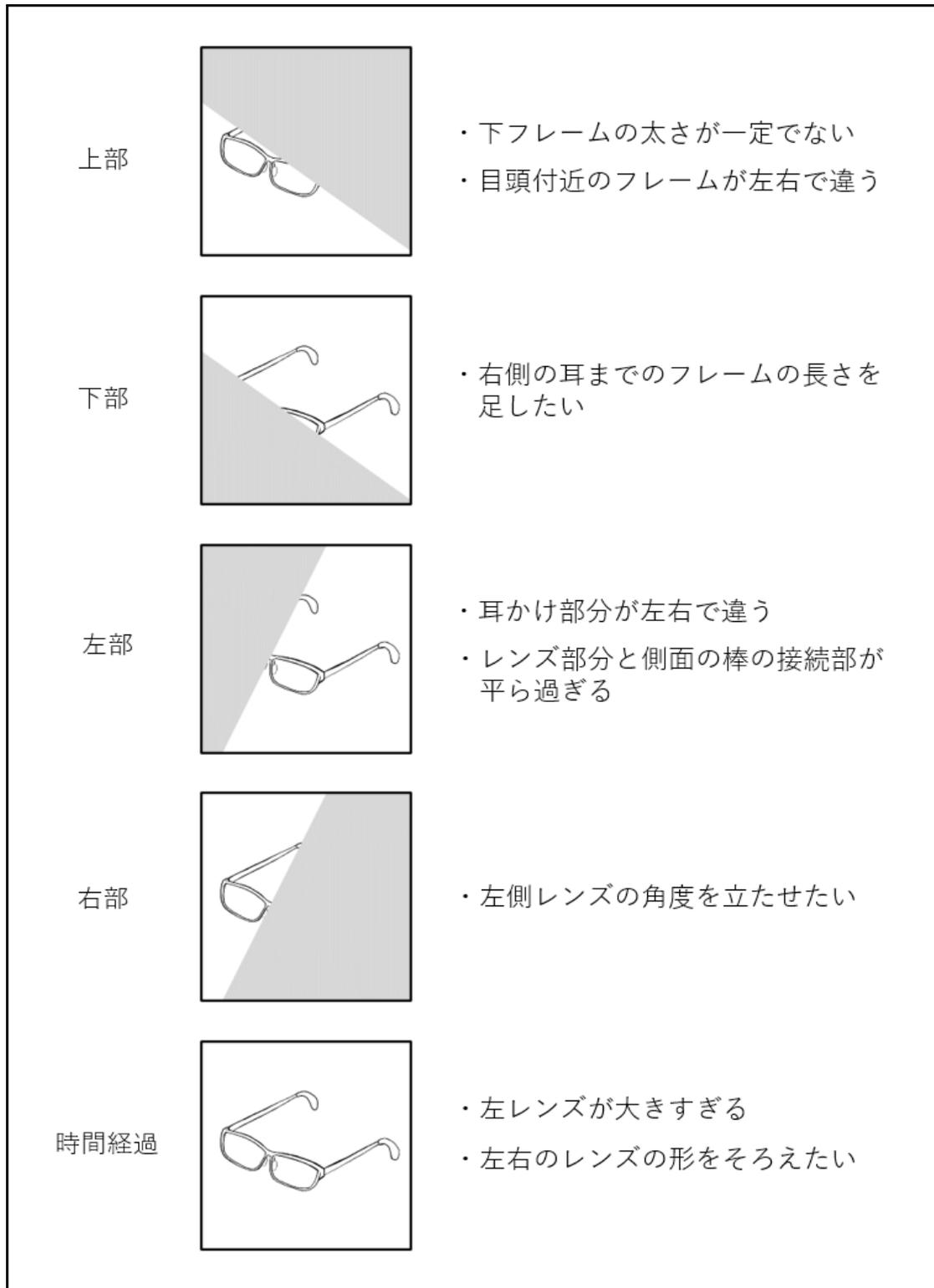


図18 眼鏡タスクにおける作画ミスの発見例（協力者D）

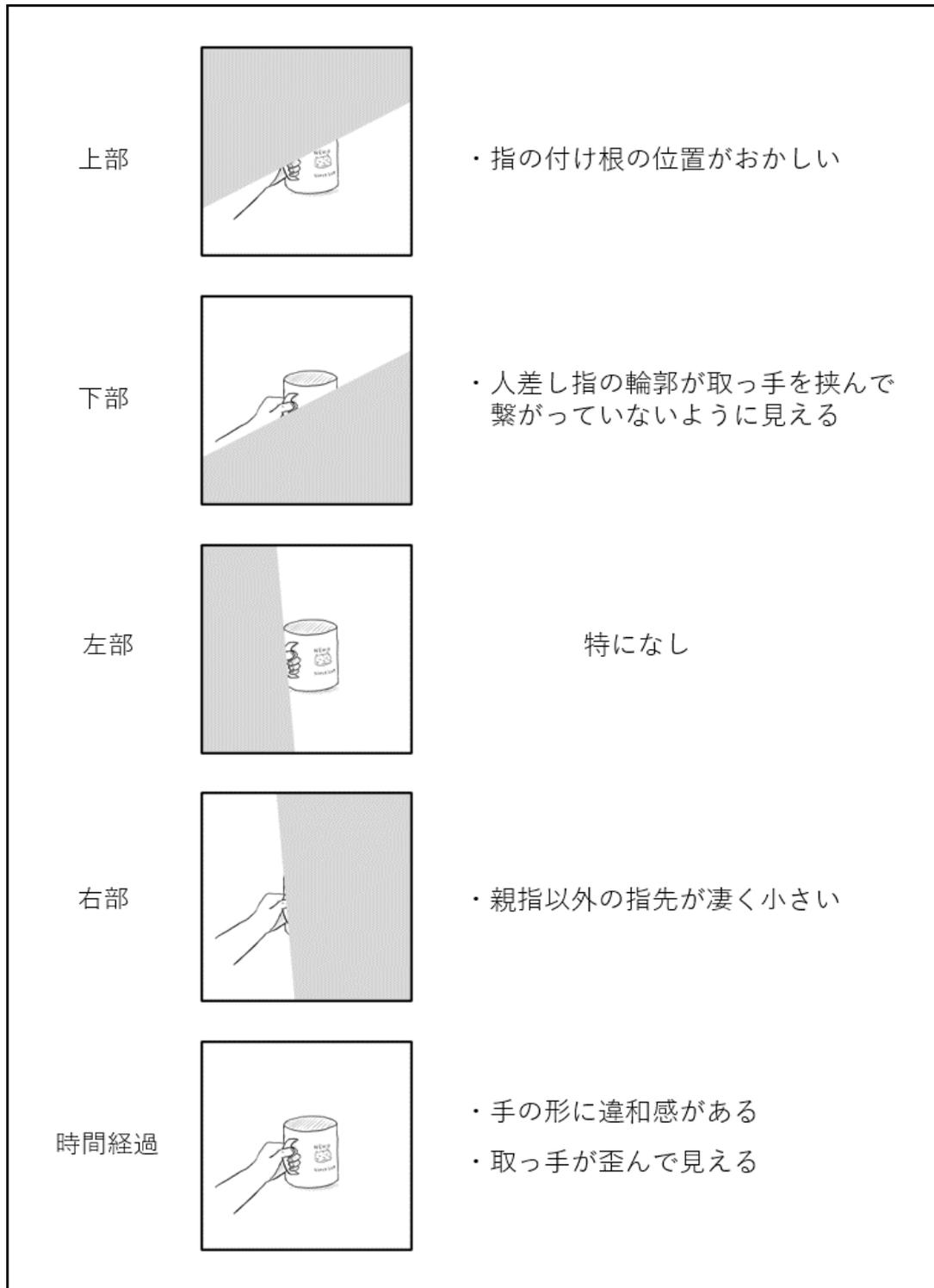


図 19 マグカップタスクにおける作画ミスの発見例 (協力者 C)

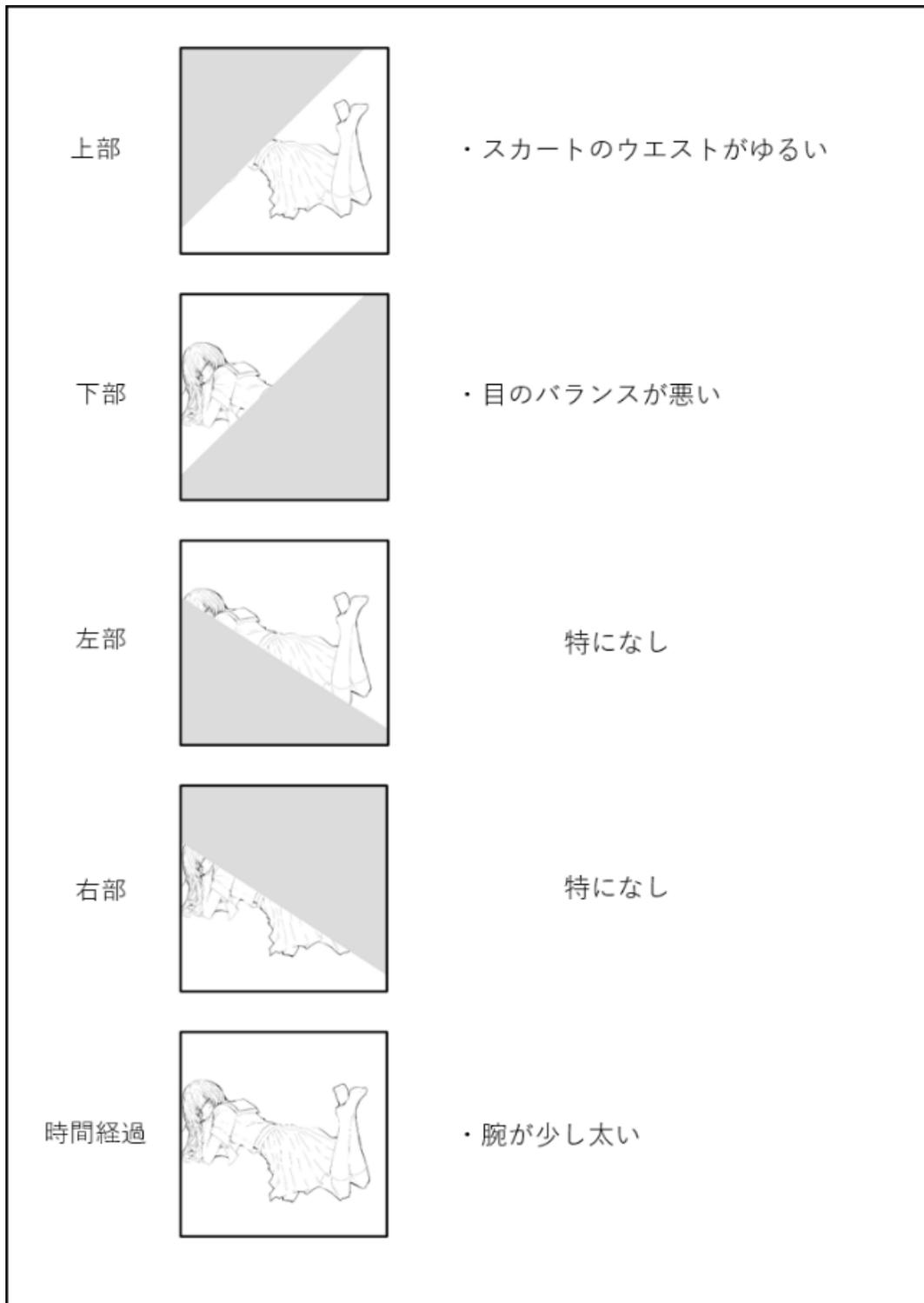


図20 人物タスクにおける作画ミスの発見例（協力者G）

表3, 表4, 表5において, 全ての協力者が部分遮蔽手法適用後に新たな作画ミスを発見していることがわかる. この結果と上記のアンケート結果から, 部分遮蔽手法が作画ミス見落とし防止に有効であるといえる. 一方で, 時間経過によってはじめて気付ける作画ミスがあったことから, 部分遮蔽手法のみでの全ての作画ミスの発見は達成できなかったことがわかる.

4.4. 分析と考察

本章では, 部分遮蔽手法によって発見された作画ミスを分類することで, 本手法が有効な作画ミスの傾向を分析するとともに, 手法による作画ミス発見の要因を考察する. その後, より効果的な遮蔽方法の自動生成に向けた考察を行う.

4.4.1. 部分遮蔽手法が有効な作画ミスの傾向

本手法を適用することで発見可能になった作画ミスを分類する.

図21, 22, 23に, 人物タスク, マグカップタスク, 眼鏡タスクにおける作画ミス発見時の視線のヒートマップの一例を示す. 図21において, 協力者が回答した作画ミスは「耳を小さくしたい」「表情を変えたい」であった. また, 図22においては「親指の付け根をふくらませたい」「手首が細すぎる」「指の第一関節が全体的に短い」であり, 図21においては「左レンズと真ん中がくっついていない」であった. これらは全て非遮蔽範囲内に存在する作画ミスの発見であり, 遮蔽範囲内の下半身, マグカップ, 右レンズがどのような形であれ, 作画ミスだと認識できるものである. このような, 非遮蔽範囲内だけで完結するような作画ミスが全てのタスクにおいて多数発見された. この理由として, イラスト全体, もしくは気になる箇所に集中していた意識が, 遮蔽によって非遮蔽範囲内のみに向かったためだと考えられる. 実際に, 図21では顔全体に, 図22では手首と親指の付け根のふくらみに, 手法適用時にはじめて視線が集中したことがわかる. 「限られた場所だけに目が行くので, 細かいミスに気付けた」「見えている部分に集中できるので見逃していた修正点が見つけられた」といったアンケート結果も, この意識の移動による発見を示唆している.

一方で, 作画直後と手法適用時のどちらにおいても視線が集中しているにもかかわらず, 手法適用時になってはじめて作画ミスを発見できた例(図22における指先, 図23におけるレンズとブリッジの接続部など)が複数見られたことから, 単純な視線誘導の効果ではなく, 遮蔽によるバイアス低減や感覚の変化が推測できる. 以上の結果から, 本手法は, 視覚刺激変化による感覚変化と遮蔽による意識の移動が「遮蔽範囲の内容にかかわらず, 非遮蔽範囲を見るだけでミスだと気付ける作画ミス」の発見を促す効果があるといえる.

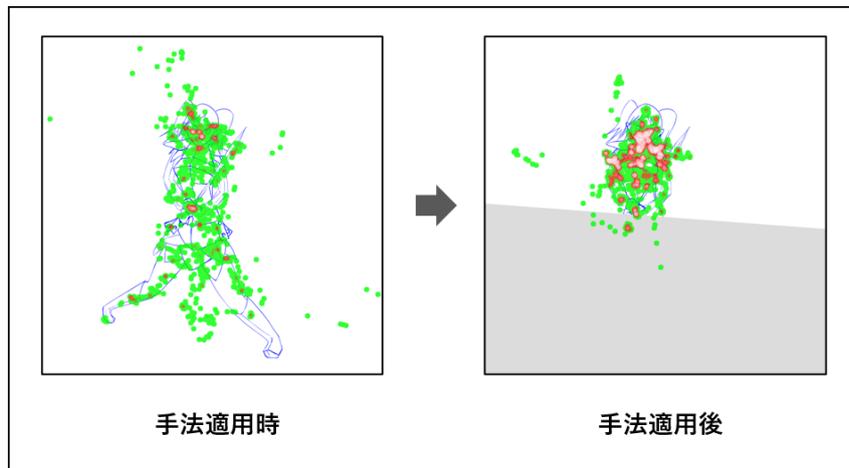


図21 非遮蔽範囲内のミス発見時の注視点の例（人物）

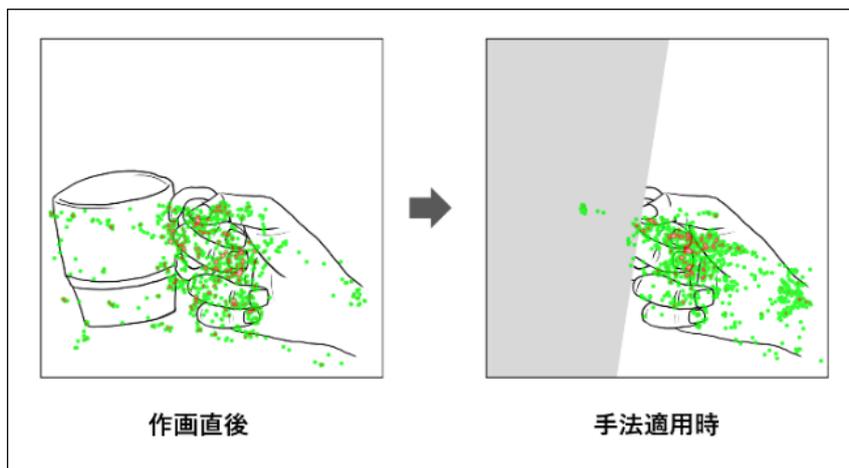


図22 非遮蔽範囲内のミス発見時の注視点の例（マグカップ）

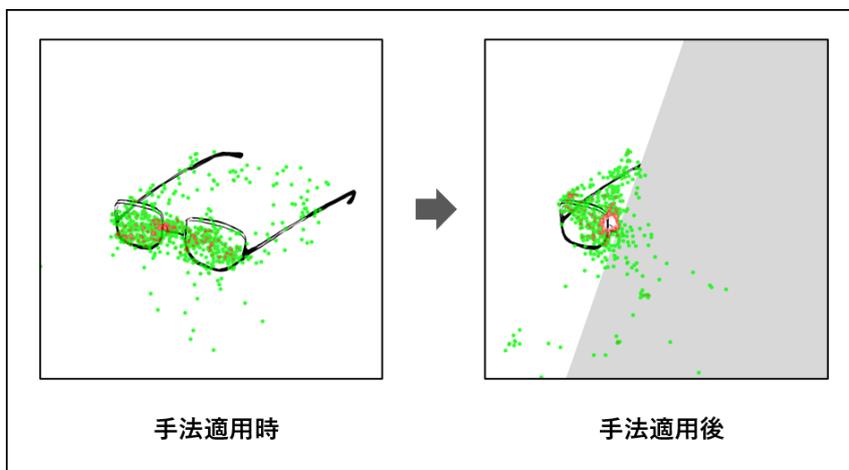


図23 非遮蔽範囲内のミス発見時の注視点の例（眼鏡）

図24, 25に, マグカップタスクと人物タスクそれぞれにおけるミス発見時の視線のヒートマップを示す。図24において, 協力者が回答した作画ミスは「親指以外の指先が凄く小さいので大きく直したい」であり, 図25においては, 「剣先の線の汚れを取りたい」「右の鎧の外側の線を細くしたい」であった。これらは全て手法適用時の遮蔽範囲に存在し, かつ非遮蔽範囲内に一部分が見えていたパーツ内に存在する作画ミスである。また, 非遮蔽範囲内に存在する作画ミスでありながらも, 遮蔽を非表示にして再度全体像を再確認することで, はじめてそれがミスだと認識できるようになった事例もいくつか見られた。これらの結果や, アンケートにおいて「遮蔽物が取れたときに, その周辺との対応で変なところがあったときにより気付けた」「全体に戻った時に, 見えていた部分が気になりやすかった」「遮蔽物を取り払った後に, その遮蔽の境界付近が気になった」といった回答が得られたことから, 遮蔽範囲を想像し, 再度全体を確認することで遮蔽によって分断されていたパーツ内部の作画ミスを発見できるようになると考えられる。

また, 図26に, 眼鏡タスクにおけるミス発見時の事例を示す。このとき発見された作画ミスの回答は「レンズと耳掛け部分の接続部が左右で違う」であった。このような, 非遮蔽範囲内と遮蔽範囲内のそれぞれの内容を比較することで発見できるようになった作画ミスもいくつか見られた。以上の結果をまとめると, 本手法は遮蔽範囲内の想像を促し, 「遮蔽を取った時に, 周囲との対応を見ることで気付ける作画ミス」の発見に効果的であるといえる。

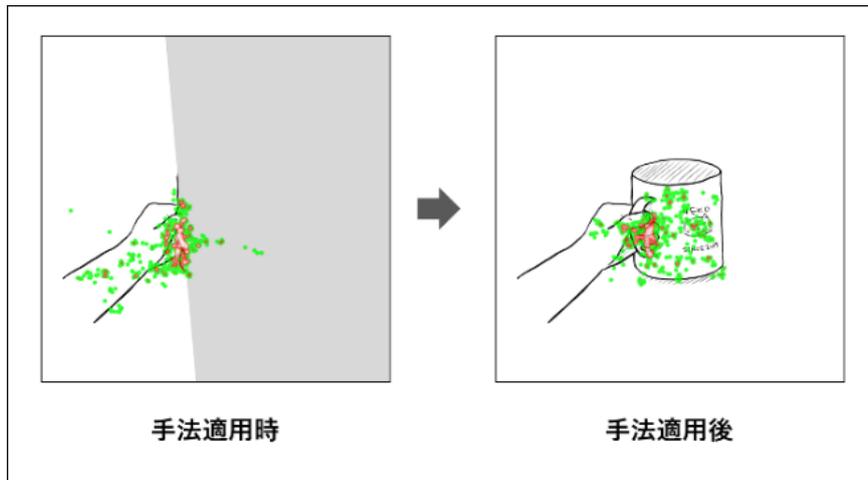


図24 遮蔽範囲内のミス発見時の注視点の例（マグカップ）

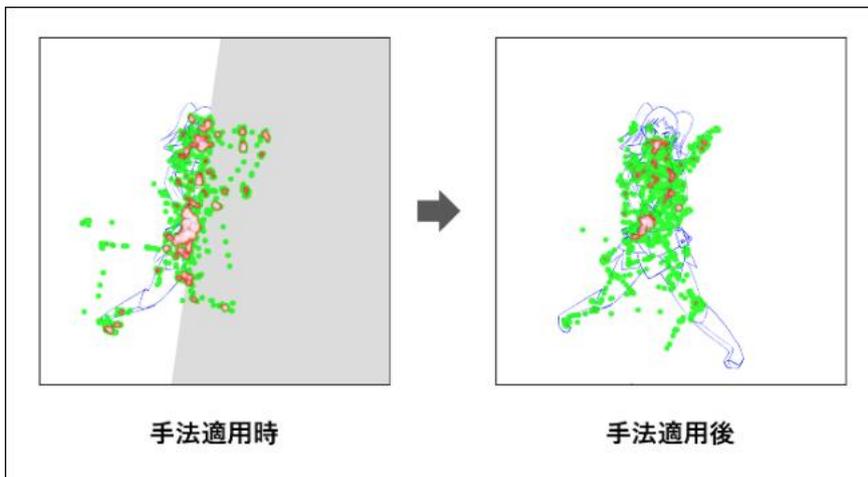


図25 遮蔽範囲内のミス発見時の注視点の例（人物）

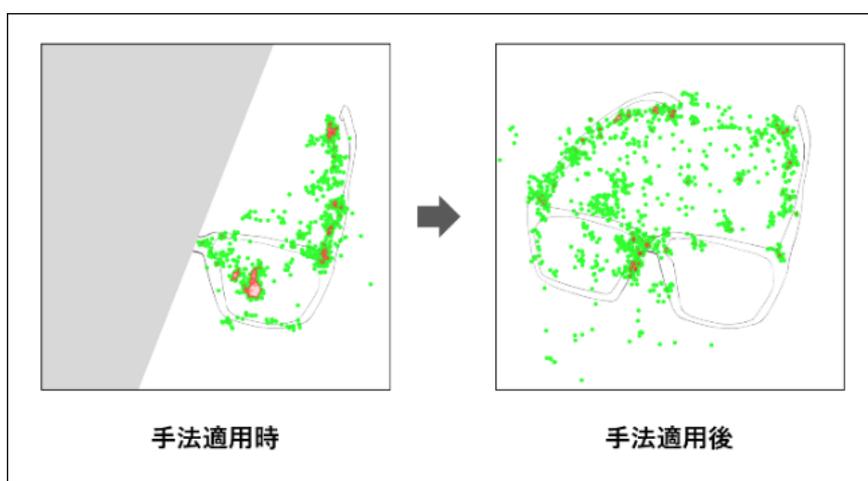


図26 遮蔽範囲内のミス発見時の注視点の例（眼鏡）

4.4.2. 効果的な遮蔽パターンの考察

分析から、部分遮蔽手法が「遮蔽範囲の内容にかかわらず、非遮蔽範囲を見るだけでミスだと気付ける作画ミス」と「遮蔽を取った時に、周囲との対応を見ることでミスだと気付ける作画ミス」に有効であることがわかった。ここで、より多くの作画ミスが発見可能な遮蔽パターンを作成するために、現状の遮蔽では発見することができなかった作画ミスに着目する。

表6に、手法によって発見された作画ミスの個数を手法適用時に属していた範囲によって分類したものを示す。表から、マグカップタスクにおいて、遮蔽範囲に属していた作画ミスの発見が他のタスクに比べて少ないことがわかる。この理由として、今回マグカップタスクにおいて作成した左右の遮蔽パターンが、図14のようにマグカップと手を完全に分離するような表示であったことが原因であると考えられる。分断された取っ手や指先に関する作画ミスの発見は見られたが、手だけを提示する遮蔽パターンにおいてマグカップの作画ミスに気付く、もしくはその逆の事例は見られなかった。この傾向がマグカップタスクにおける遮蔽範囲内の気付きの少なさにつながったと考えられる。このとき眼鏡タスクや人物タスクは、イラスト全体を眼鏡と人体といった一つのオブジェクトとして認識可能であることが、遮蔽範囲内の作画ミスの気付きの多さにつながっているとも言える。

また、本手法の適用によって、レンズやマグカップの取っ手などの特定のパーツの大きさに関する発見が得られた一方で、「カップに対して手が大きい」といった作画ミスが時間経過によってはじめて見られたことや、アンケートにおいて「全体のバランスを見たいときは隠さない方が気付けた」などの回答が得られたことから、本手法が仮説としている視覚補完は遮蔽によって分断されたパーツにおけるバランスの確認に有効であり、イラスト全体の構図やオブジェクト配置に関する作画ミスには効果的でない可能性がある。

以上の考察から、非遮蔽範囲内にパーツやオブジェクトの一部分が見えているとき、そのパーツの遮蔽範囲内の想像を効果的に促せるのだと推測される。つまり、遮蔽パターンを自動生成するときは、物体やパーツなどの一つの「つながり」内部を分断するように境界線を設定することで、より多くのミスの発見が促せると考えられる。

また、図27に人物タスクにおける作画直後のヒートマップと、提示した遮蔽パターンの一例を示す。この協力者は2日後にはじめて「腕が太すぎる」といった作画ミスを発見していた。図左側に示した作画直後の視線のヒートマップから、協力者の意識が顔と手に集中していた事がわかる。また、図右側に示した遮蔽パターンから、全てのパターンにおいて腕と顔と手が常に同じ非遮蔽範囲内に含まれていたこともわかる。以上のことから、この協力者は実験を通して腕に意識が向かうことはなかったのだと考えられる。このことから、イラスト制作者の意識が集中している箇所と、その周辺が常に同じ非遮蔽範囲に属さないように遮蔽することがより作画ミスに効果的であると考えられる。

表6 手法適用時の作画ミス発見個数

| | 眼鏡 | マグカップ | 人物 |
|------|----|-------|----|
| 提示範囲 | 14 | 23 | 14 |
| 遮蔽範囲 | 7 | 4 | 14 |
| 合計 | 21 | 27 | 26 |

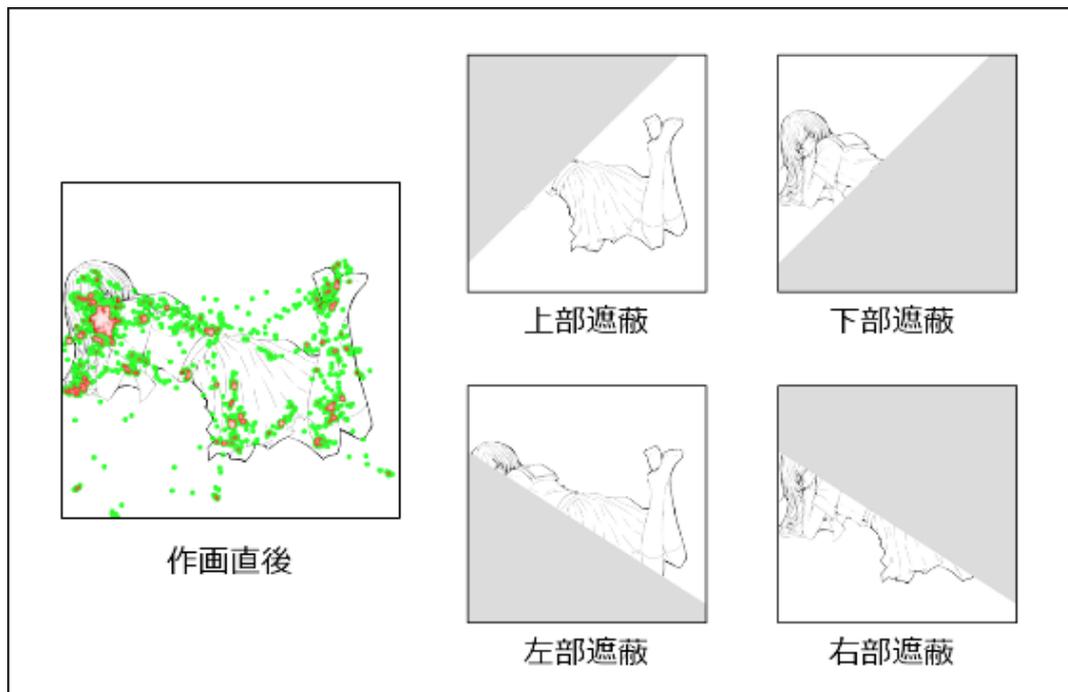


図27 作画直後のヒートマップと遮蔽の例(人物)

本実験で得られた考察をまとめる。まず、部分遮蔽手法による感覚の変化と作画ミスの発見は確認された。本手法は「遮蔽範囲内を想像することで発見できるようになる作画ミス」と「遮蔽範囲の内容にかかわらず、意識の移動によって発見できるようになる作画ミス」の見落とし防止に効果的であり、これらの作画ミスの発見を増加させるには物体やパーツ内部を分断する遮蔽や、特に意識されている箇所とその周囲を分離するような遮蔽の提示が重要である可能性がある。本研究はこれらの分析をもとに、自動で効果的な遮蔽パターンを生成し提示するシステムの実装を行う。

第5章 自動遮蔽システムの実装

5.1. システムの設計

本研究の目的は作画直後の慣れの状況下であっても、より多種にわたる作画ミスが発見可能な作画ミス見落とし防止手法の実現である。ここで、入力されたイラストの内容に応じて適切な遮蔽パターンを自動生成する、自動遮蔽システムの実装を考える。前章での考察から、つながりの内部を分断する遮蔽の提示や、意識の集中している範囲とその周辺を分離するような遮蔽の提示によって発見できる作画ミスの増加を促せる可能性が示唆された。

ここで重要となるのが、イラスト制作者がつながりとして認識している範囲や意識の集中している箇所を推定することである。前章の実験結果では、アンケート結果から「マグカップ」などの物体全体や、「マグカップの取っ手」などの物体を構成するパーツが一つのつながりだと推測でき、視線の移動の軌跡などからおおまかにその範囲が推定可能だと考えられる。また、イラスト制作者が特に意識している箇所は視線のヒートマップに顕著に表れている。これらを踏まえると、自動遮蔽システムのアルゴリズムに視線データを応用することが効果的だと考えられるが、本システムを実装した 2020 年時点で一般に視線計測機器は普及しておらず、視線データを必須とすると、限られたユーザのみ使用可能なシステム設計となってしまう。より多くのイラスト制作者がシステムを利用して作画ミスの見落としを防げるような設計のためには、外部デバイスに頼らない、イラスト内の情報のみを使用した推定が重要になる。

ここで、線画における閉領域はオブジェクトやパーツの輪郭線としてあらわれることが知られている[24]。本システムは、このイラスト内部に配置されている閉領域をそれぞれイラスト制作者がつながりと想定して描写した範囲であると仮定し、閉領域を分断する斜線を境界線とした遮蔽パターンの自動生成を考える。このとき、イラスト制作者が特に意識している箇所の推定は達成されないが、ランダムに選出された閉領域をもとに、さらに複数パターンの遮蔽が生成できれば、特定のパーツ A と B が常に同範囲に存在するような状況は発生しにくいと予想される。このため、本システムはユーザが満足するまで新たな遮蔽パターンのランダム生成と表示を繰り返すような仕様となっている。また本研究は、この自動遮蔽システムについて実際に使用実験を行い、より効果的なシステム設計を模索することを目的としている。そのため、本章で解説するシステム設計は 6 章における使用実験を前提としたものになっている。

システム利用の流れは以下のとおりである。ユーザが保存した線画をドラッグアンドドロップで本システムに入力することで、自動遮蔽が開始される(図 28)。遮蔽パターンが表示され次第、ユーザは非遮蔽範囲の観察と遮蔽範囲の想像を行う。このとき SHIFT キー入力での遮蔽の表示/非表示を切り替え、遮蔽範囲の想像と全体の確認を繰り返すことができ

る。表示されている遮蔽パターンで発見できるミスがなくなったと感じた時に、ENTER キーを入力することで、新たな遮蔽パターンがシステム上に生成される。ユーザはこの流れを作画ミスの発見が満足にできたと感じるまで続けることができる。

また、部分遮蔽手法が意識の移動を前提としているため、イラスト以外に視線や意識が誘導されないようなシステム設計が重要になる。そのため、インターフェースは全てキー入力に統一し、システム左下には背景色と同化するように遮蔽ナンバーを表示している。この遮蔽ナンバーは、現在表示されている遮蔽パターンが実験開始から何番目に生成・表示されたものであるかを意味しており、使用実験に利用するために表示している。くわえて、使用実験における分析で利用するため、遮蔽が新たに生成されるたびにシステム内部のフォルダに遮蔽パターンのキャプチャ画像が保存される設計になっている。

本システムの実装には Processing を用いた。

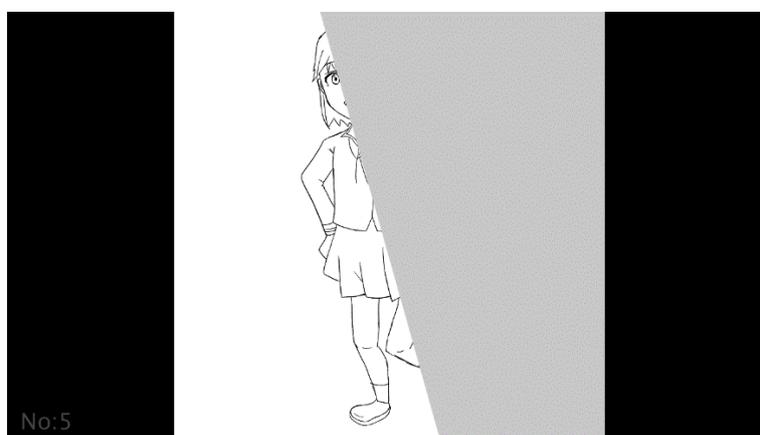


図 28 自動遮蔽システムの動作の様子

5.2. 遮蔽アルゴリズム

遮蔽アルゴリズムの手順を図 29 に示す。入力されたイラストに対し、二値化処理と 4 近傍ラベリング処理を行うことで閉領域の検出を行う。このとき、特定の閉領域に完全に包括されている閉領域は同一の領域として扱うようにラベリングの調整を行う。これは、顔における目や口、服におけるポケットや柄などは一つのパーツとしてそれ自体をユーザに意識させるよりも、それを含んだ大まかなつながり（顔や服）を意識させることで、つながり内のパーツの配置バランスや形状の想像を促すことが重要であると考えたためである。このように、ランダムで選出される閉領域の絶対数のある程度減少させることで、ユーザに大まかなつながり内の想像を促す機会が増加すると予想される。

ラベリングの調整後、ランダムで閉領域を選出する。ここで、閉領域を囲うように接する矩形の斜め方向の頂点同士を通る斜線の一つを、遮蔽の境界線の設定として採用した。これは、3 章で述べた新鮮な視覚刺激提示といった部分遮蔽手法の前提を達成するためである。

図 29 中ではキャラクターの顔が選定され、斜めに分断するような遮蔽が表示されている。このとき、選定された矩形につき 4 種類の遮蔽パターンをランダムで生成する。キャラクターの顔が選定された際の 4 パターンの遮蔽を図 30 に示す。また、図中では解説のために閉領域に接する矩形を同時に表示しているが、実際のシステムでは遮蔽のみが表示されている。

このとき、図中の腕と身体で囲われた空間のような、オブジェクトの存在しない空白の範囲がパーツとして選定されることになる。このような空白はネガティブスペースと呼ばれ、対象物のシルエットやイラスト全体の構図を決定する要素であるため、パーツでなくても除外しないこととした。

ここで、本アルゴリズムで遮蔽が生成可能なイラストは線が正確に繋がれているものに限定されている。線画後の着色を容易にするために線を完全に閉じることがデジタル作画における日常的な条件ではあるが、実際のイラストには線画を繋げない絵柄も多い。このようなりミテーションについては本研究の最後に改善案とともに記述する。

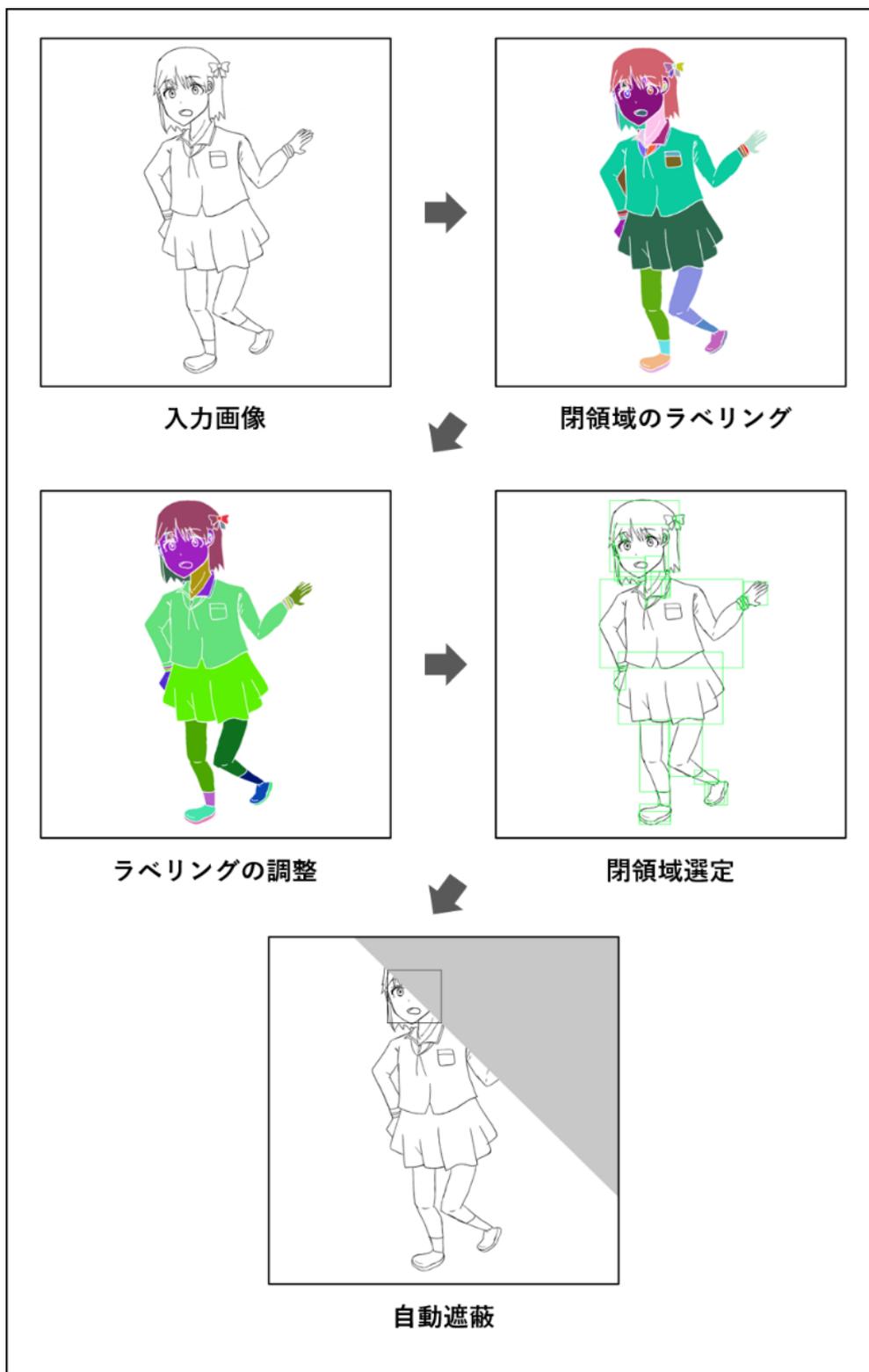


図 29 自動遮蔽アルゴリズムの手順

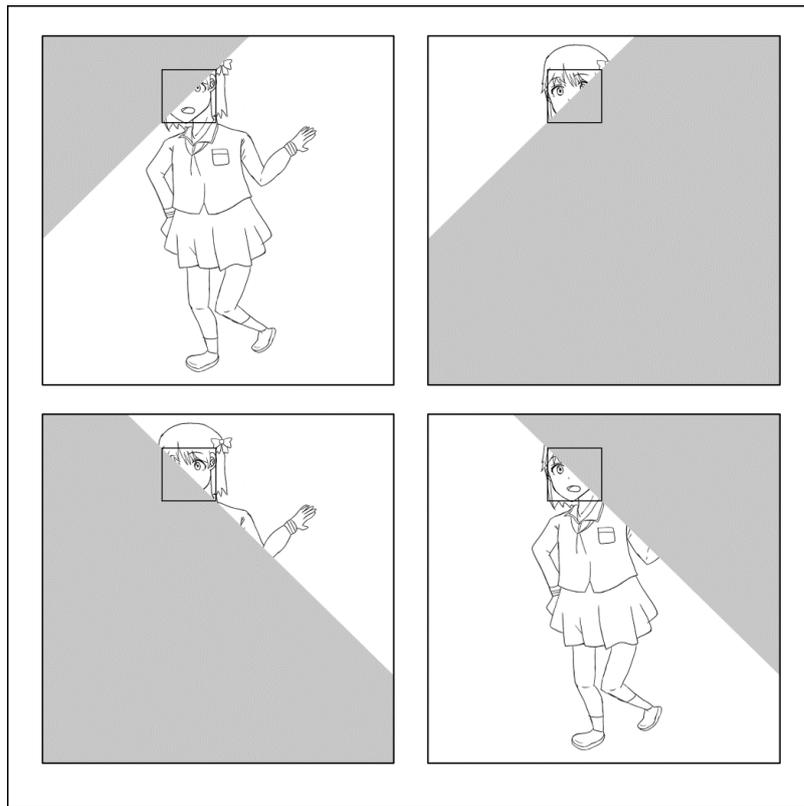


図 30 自動遮蔽パターンの生成

第6章 自動遮蔽システムの有用性の検証

6.1. 実験目的

本実験の目的は、自動遮蔽システムの有用性の調査、およびシステム設計改善のためのアンケート調査である。ここで、現時点において部分遮蔽手法による作画ミスの発見は達成されているが、手法によって発見した作画ミスをユーザが実際に修正可能であるか、また修正した結果満足なイラスト制作が達成されるのかは判明していない。くわえて、ユーザの普段のイラスト制作環境における手法の効果は不明である。以上のことから、実際のイラスト制作環境において本システムを使用し修正した時の、ユーザの自身の制作物に対する最終的な満足度を本システムの有用性の指標として調査する。

実験協力者（以下、協力者と表記する）は指定された内容のイラストを制作した後、作画ミスの発見とその内容に応じたイラストの修正を作画直後と本システム適用後の2回行う。作画から2日後に最終結果を再度確認し、修正前と比較したときのイラストの満足度の変化やシステムの使用感をアンケートに回答する。アンケートの内容から本システムの有用性を分析する。また、自動遮蔽システム使用中に発見した作画ミスと、そのときに表示されていた遮蔽パターンを集計することで、より効果的な遮蔽パターンが提示可能なシステム設計考案のための分析に利用する。

本実験は、イラストの専門的な教育を受けていない初心者から中級者9名を対象に行った。

6.2. 実験設計

6.2.1. イラスト制作タスク

協力者には、指定したイラストを制作する作画タスクを行ってもらう。タスクとして、「車」「ヘッドフォンを耳に装着した人物キャラクターの胸部まで」の2種類を選定した。今後、それぞれのタスクを「車タスク」「ヘッドフォンタスク」と表記する。選定の理由として、これらのタスクは多くのパーツで構成され、かつ正確な立体感の描画が困難な作画対象であり、分析に利用するデータの集計に適切だと判断したためである。このとき、さらに作画ミスを誘発するために、自身のあまり得意ではない構図や、簡略化しすぎない絵柄で描いてもらうよう指示した。

システムによる遮蔽パターンの自動生成を可能にするため、イラストに制約を設けた。この制約条件は以下のとおりである。

- 線が完全に閉じている
- 線がキャンバスの外周に触れていない
- 線で陰影や質感の表現をしない

また、イラストの情報量をある程度統一するため目安の制作時間を20分に設定した。協力者は目安の時間経過後も、イラストが完成したと感じるまで作画を継続可能とした。

イラスト制作環境として、協力者が普段使用している作画デバイスやペイントツールを用いるように指示し、自身の日常的な作画環境や状況で作画してもらうよう求めた。また、作画中にインターネットで参考資料を調べることを許可した。これは、普段のイラスト制作において資料を見ずに描くことは少なく、資料なしに描きたいイメージを構築することは難しいためである。しかし、模写やデッサンの域での参考は本研究の趣旨が変わってしまうため、協力者には資料そのものの描画にならないよう伝えた。

6.2.2. 作画ミスが発見と修正タスク

作画タスク完了後、協力者にはイラストの「こだわった点」「気に入っている点」「難しかった点」をアンケートに回答してもらった。その後、イラストを満足いくまで観察し、修正したい箇所をアンケートに記入したのち実際にイラストを修正してもらった。この初回の修正後のイラストを元画像と表記する。このとき、観察にはあらかじめ配布した初回観察用のシステムを使用してもらった。これは自動遮蔽システムから自動遮蔽機能を取り除いた単純な画像表示機能だけのシステムであり、イラストをシステムに表示することによる感覚変化が存在すれば、これを初回に引き起こすことで、のちの自動遮蔽システムによる感覚変化のみを分析するための手順になっている。

初回の修正後、協力者は自動遮蔽システムに自身のイラストを入力してもらい、自身の満足いくまで遮蔽の生成と観察を繰り返してもらった。修正したい箇所と、作画ミスを発見した際にシステムに表示されている遮蔽ナンバーをあわせてアンケートに記入したうえで、再度イラストを修正してもらった。このとき、早い段階で修正箇所が見つからなくなったと感じても、最低でも遮蔽ナンバーが10になるまでは観察を続けるよう指示した。

また、このアンケートでは発見した作画ミスの回答のほか、自動遮蔽システムに遮蔽されることによる感覚変化に関する調査も行った。遮蔽を繰り返すことでイラストに対する感覚や見え方がどのように変化したかを回答してもらい、その結果から本システムの有用性を考察していく。なお、初回と遮蔽システム適用後、どちらの修正においても時間制限は設けていない。

6.2.3. 満足度に関するアンケート回答

作画の2日後、協力者には自身の制作物の満足度に関するアンケートに回答してもらった。

はじめに、車タスクとヘッドフォンタスクそれぞれの修正後の画像を提示し、気になる箇所や修正したい箇所を回答してもらった。その後、修正の満足度を5段階で回答してもらうとともに、その理由をあわせて記述してもらった。ここで、修正しない方が良かった箇所、もしくは修正したことで新たに生じた作画ミスがあれば追加で回答してもらった。

最後に、「本システムの適用が作画ミスの見落とし防止に有効だと思うか」、「普段のイラスト制作においても使いたいと思うか」について5段階で回答してもらい、その理由をあわせて記述してもらった。そして「本システムに望む改善点」と「今後、どのような形でシステムが実装されたら利用したいと思うか」について記述してもらうことで、実験終了とした。以上の結果から、本システムの有用性および、より効果的なシステム設計を考察する。

6.2.4. 実験手順

実験の手順を図31に示す。協力者は実験の説明を読んだのち、普段の作画環境において指定されたイラスト制作タスクに取り組む。タスク終了後、協力者は初回観察用のシステムにイラストを入力し、作画ミスの発見と修正タスクを行う。修正後、自動遮蔽システムにイラストを入力し、自身の満足いくまで観察を繰り返し、修正したい箇所のアンケート回答と修正を行う。この一連の流れを2回の作画タスク分行った。なお、順序効果を考慮し、取り組む作画タスクの順序は協力者によってそれぞれ変化させ、実験の間には無制限の休憩を設けた。また、2日後まで制作物が協力者の目に入らないよう、初日の実験終了後、作成データを監督者に送付次第データを全て削除するように指示した。2日後、後日アンケートに回答し実験終了となる。

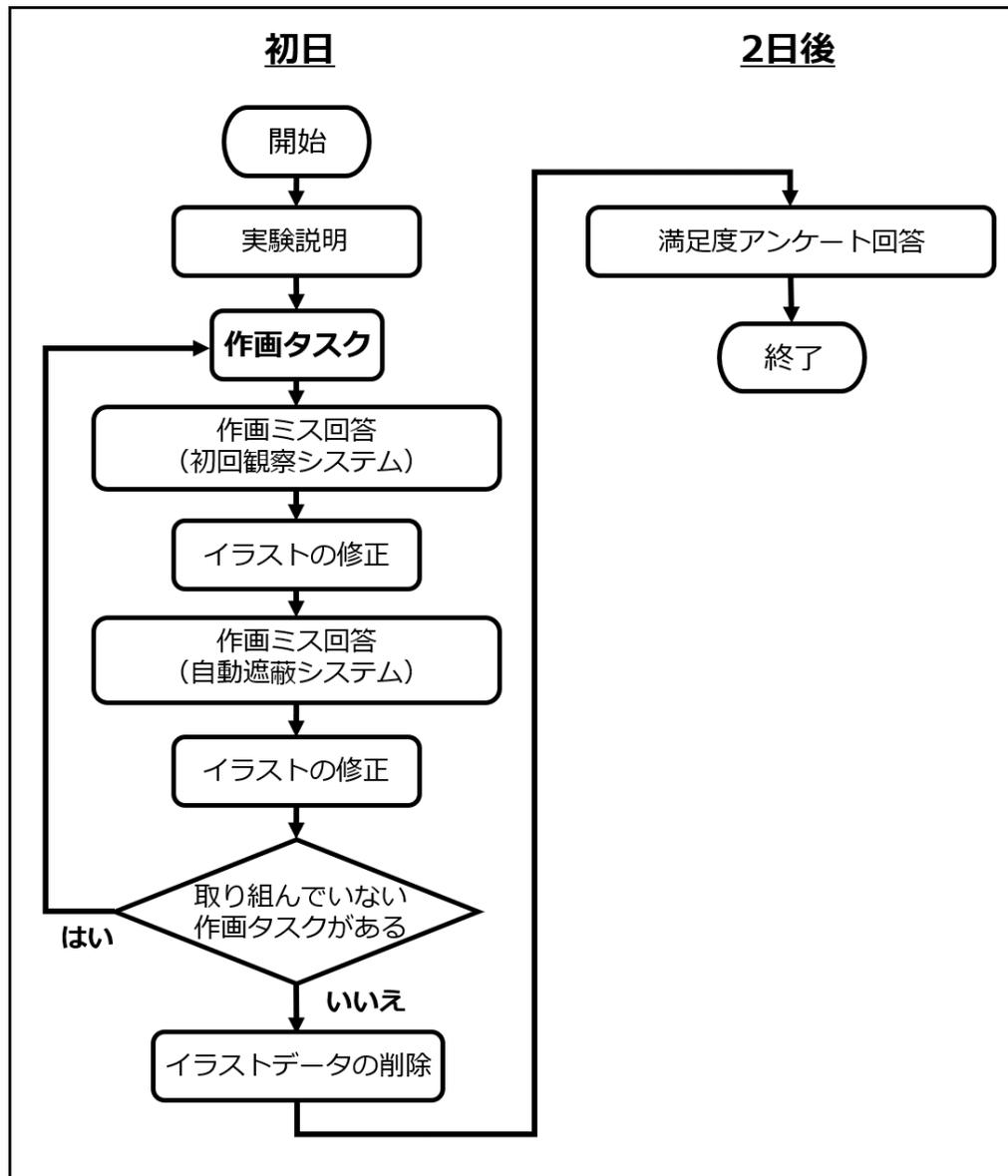


図 31 実験の流れ

6.3. 実験結果

図 32 から図 40 に、協力者ごとの元画像と修正後の画像を示す。また、図 41 から図 56 に、元画像に対して自動遮蔽システムを適用することで発見可能になった作画ミスの回答と、この作画ミスを実際に修正した結果である修正後の画像を 2 日後に確認したときに気付いた、見落としてしまった作画ミスの回答を協力者ごとに示す。図左に示した数字は、右の遮蔽パターンの遮蔽ナンバーを意味している。このとき、回答中の左右に関する言及はすべて鑑賞者から見た左右の位置関係に統一されている。なお、実験手順に誤りが見られた協力者 H と I のヘッドフォンタスクはこれ以降の結果から除外している。



図 32 協力者 A の制作物

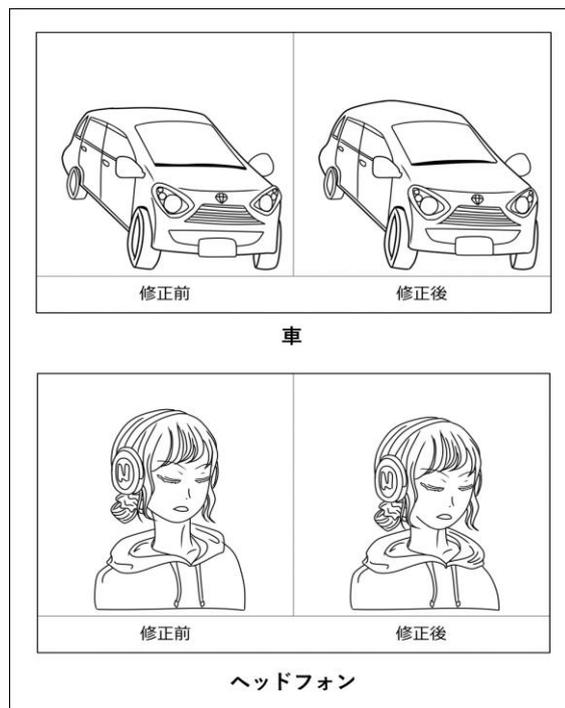


図 33 協力者 B の制作物



図 34 協力者 C の制作物

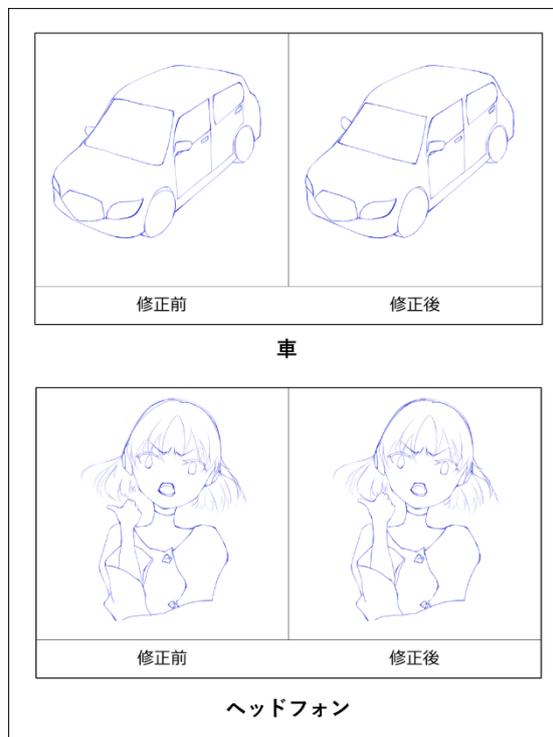


図 35 協力者 D の制作物

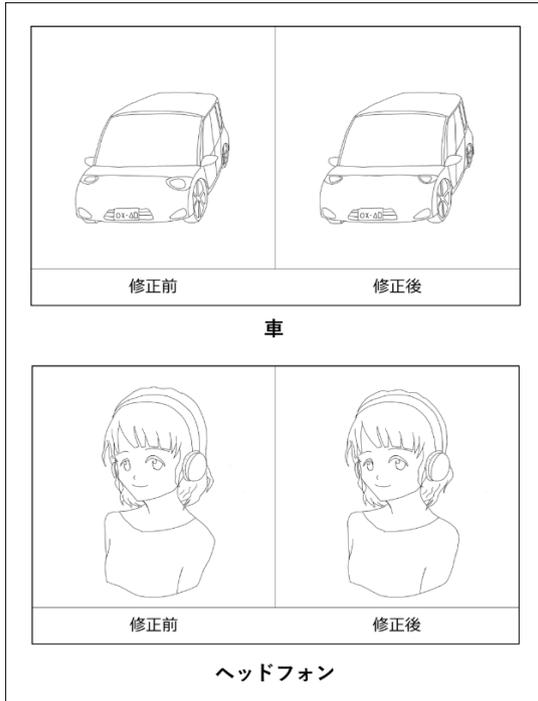


図 36 協力者 E の制作物



図 37 協力者 F の制作物

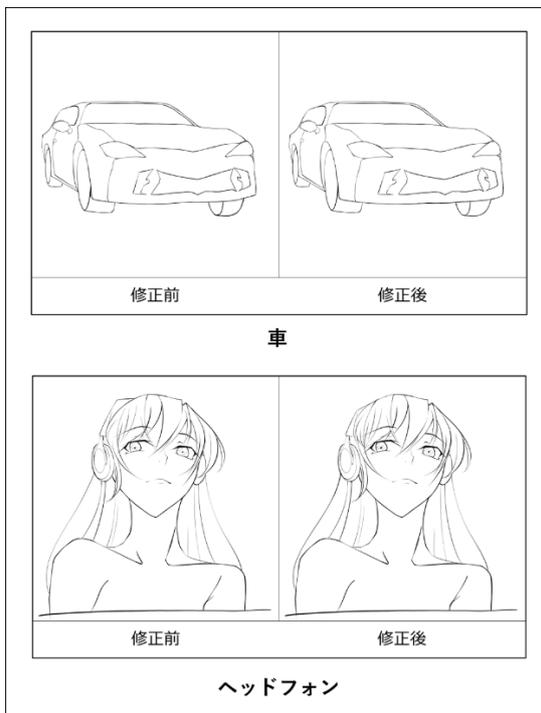


図 38 協力者 G の制作物

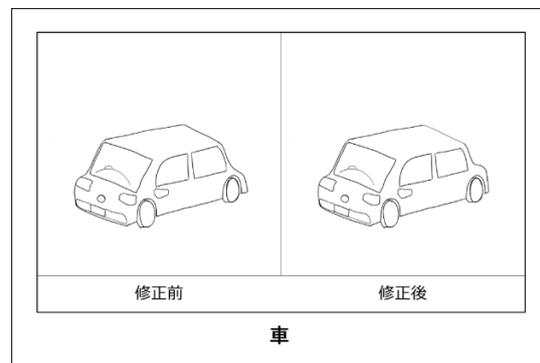


図 39 協力者 H の制作物

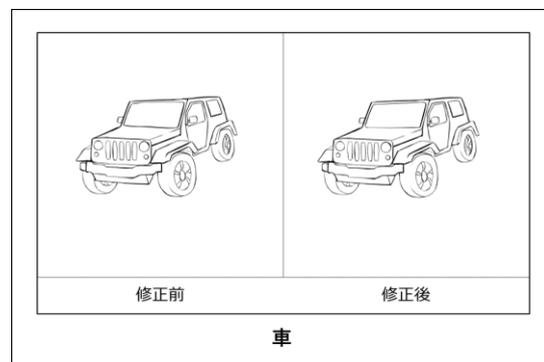


図 40 協力者 I の制作物

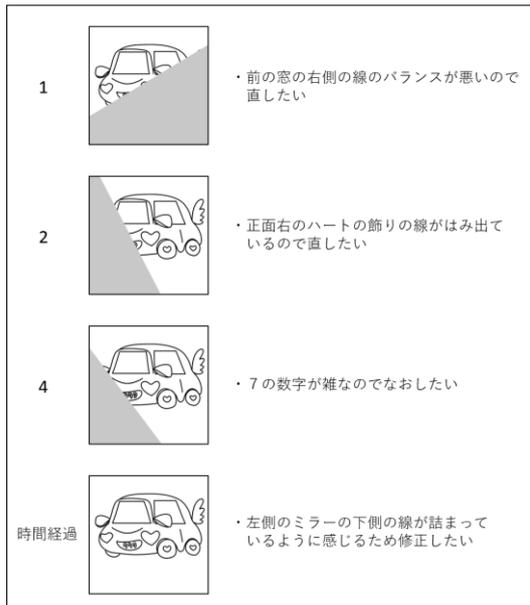


図41 協力者Aの車タスクにおける作画ミスの発見



図42 協力者Aのヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

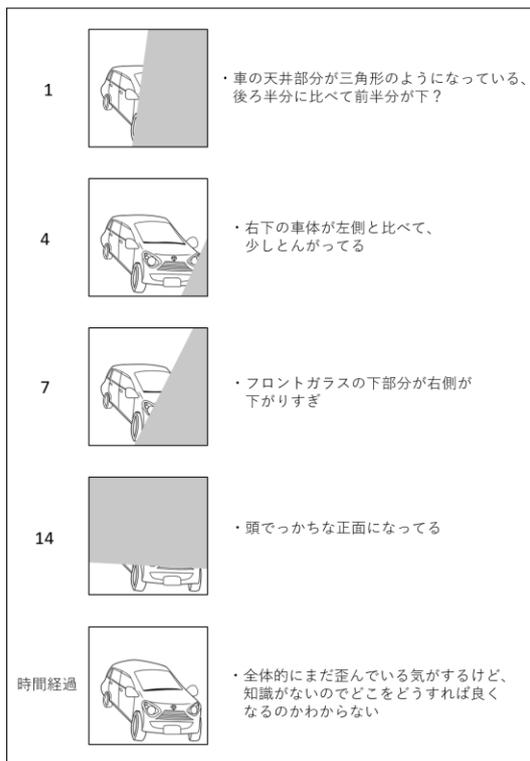


図43 協力者Bの車タスクにおける作画ミスの発見

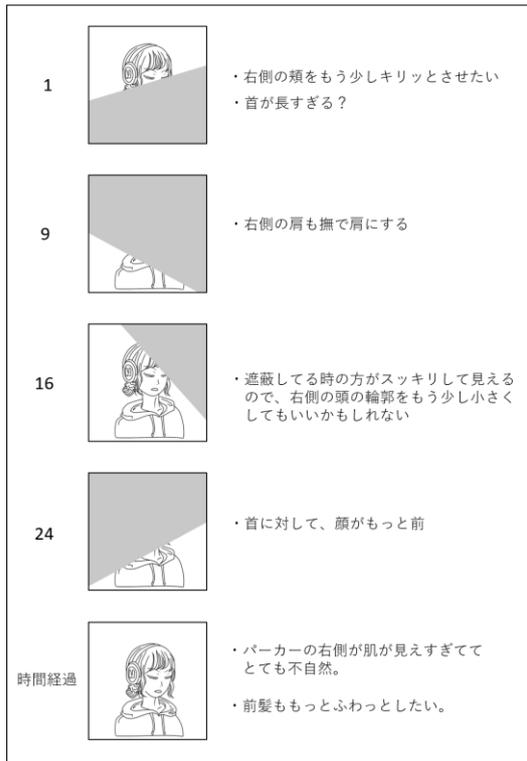


図44 協力者Bのヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

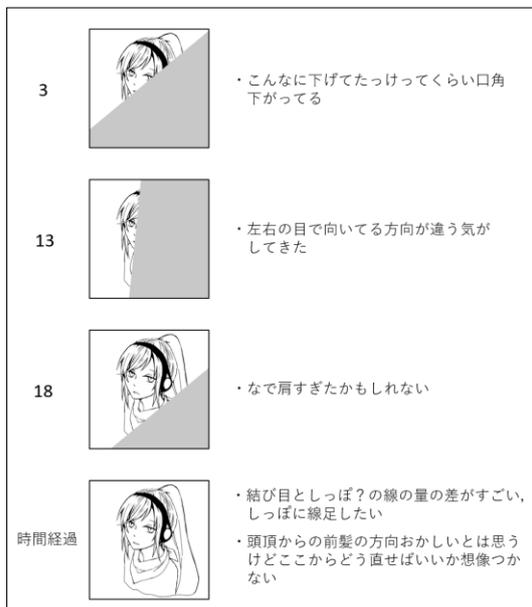


図46 協力者Cのヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

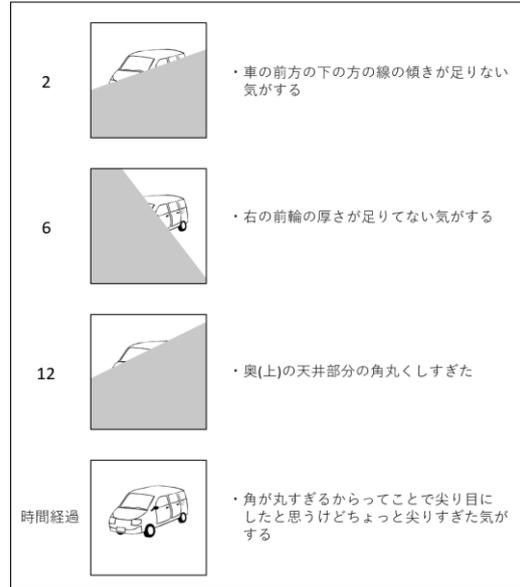


図45 協力者Cの車タスクにおける作画ミスの発見

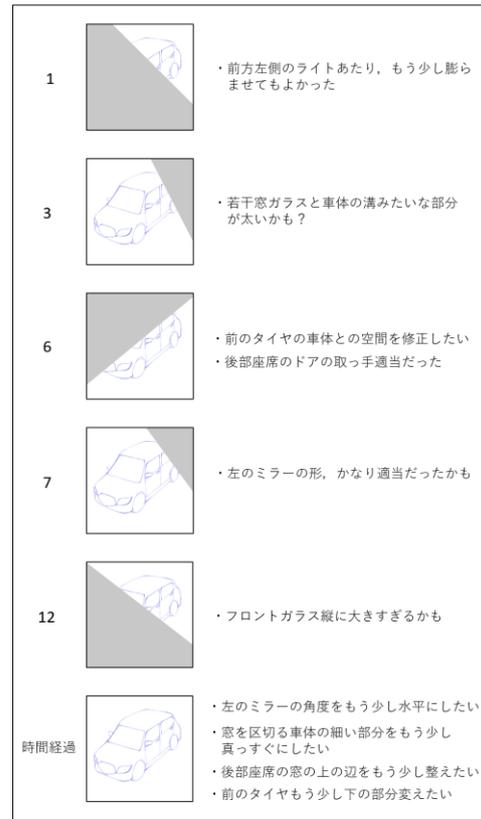


図47 協力者Dの車タスクにおける作画ミスの発見

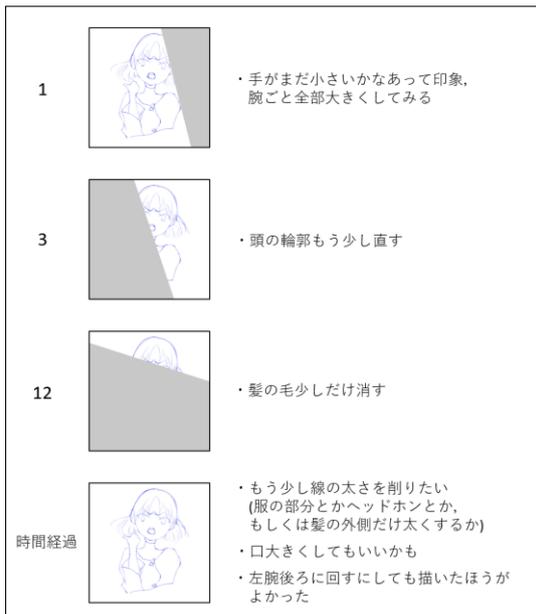


図 48 協力者 D のヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

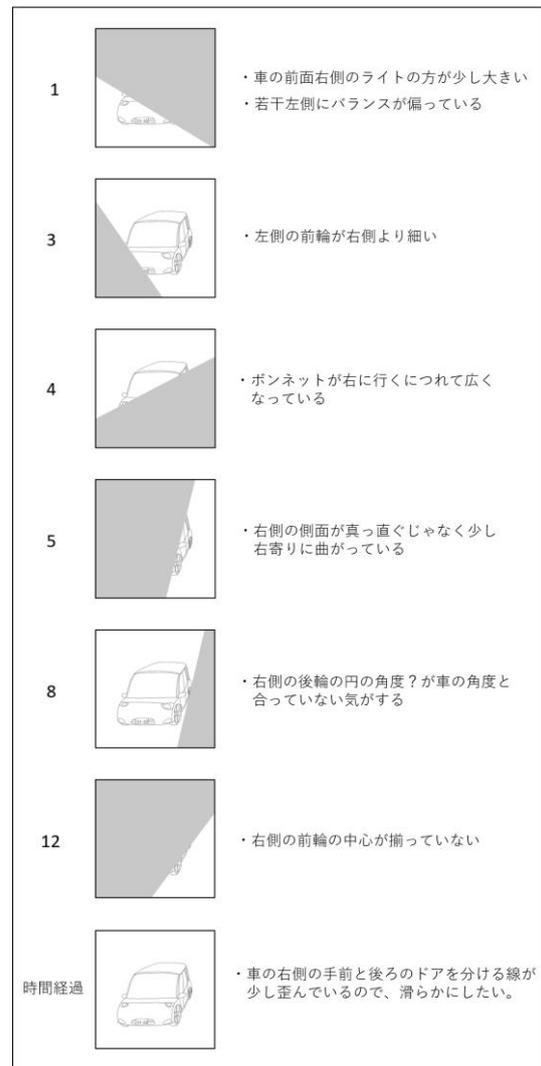


図 49 協力者 E の車タスクにおける作画ミスの発見

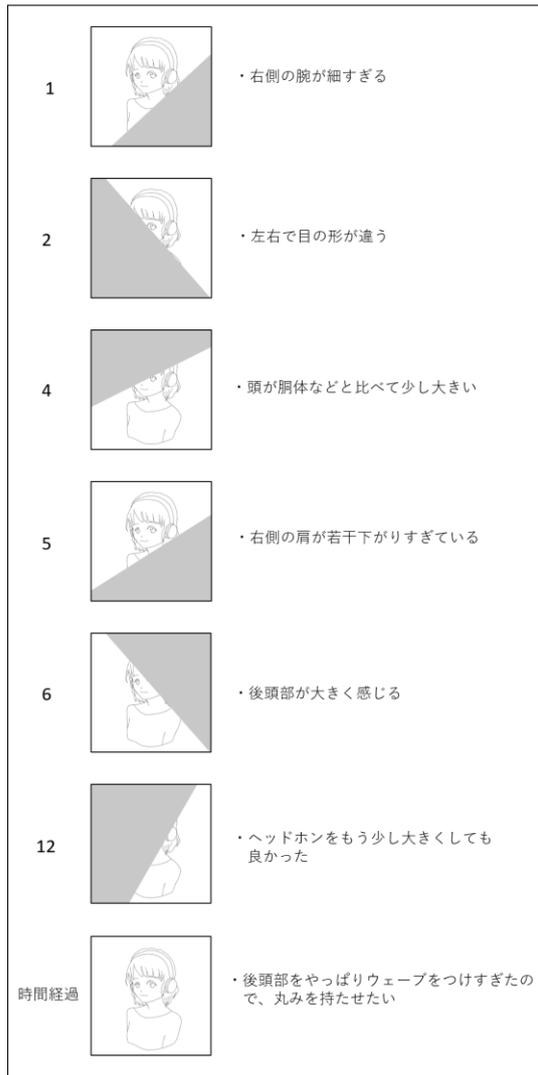


図50 協力者Eのヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

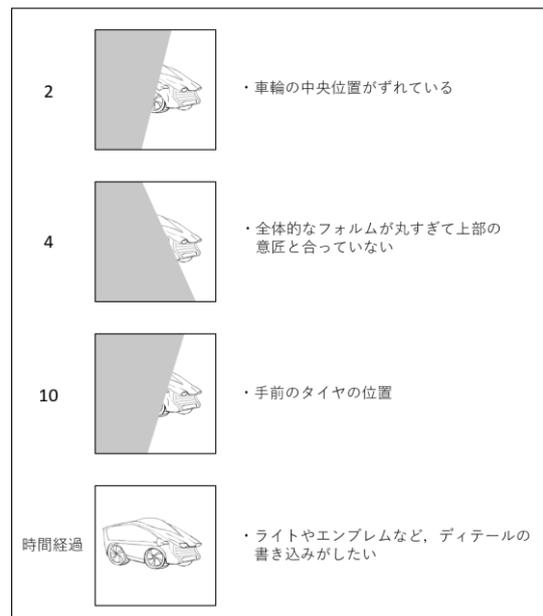


図51 協力者Fの車タスクにおける作画ミスの発見

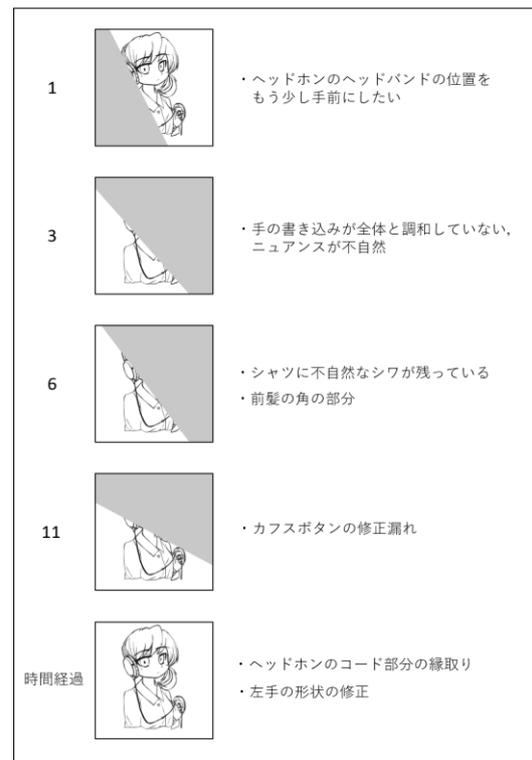


図52 協力者Fのヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

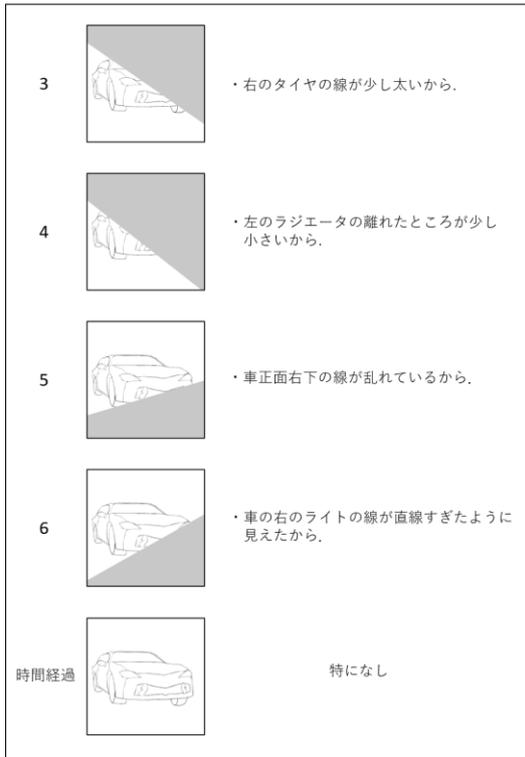


図 53 協力者 G の車タスクにおける作画ミスの発見

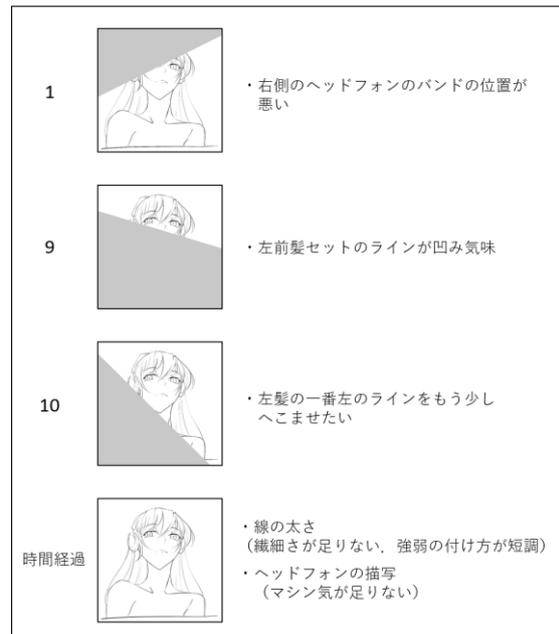


図 54 協力者 G のヘッドフォンタスクにおける作画ミスの発見

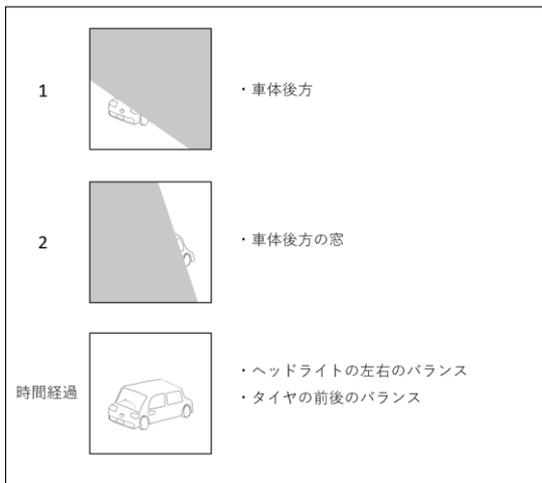


図 55 協力者 H の車タスクにおける作画ミスの発見

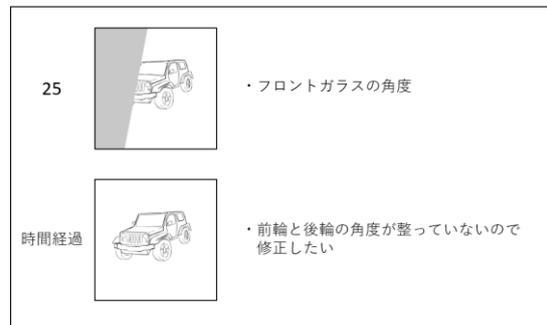


図 56 協力者 H の車タスクにおける作画ミスの発見

表7にそれぞれのタスクにおけるシステム適用によって発見された作画ミスと2日後の再確認で発見された作画ミスの個数を示す。表から、全てのタスクにおいてシステムによる作画ミスの発見を達成している。このときの作画ミスとしては、細部の作画ミスやバランスの作画ミスなどの、部分遮蔽手法が効果的だと明らかにした種類の作画ミスであり、4章の実験結果の再現ができたといえる。一方で、2日後にはじめて発見されたミスがあることから完全な見落とし防止は達成されていない。

表8に協力者のタスクごとの修正の満足度を5段階で回答した結果を示す。このとき「満足ではない」「どちらかと言えば満足ではない」「どちらでもない」「どちらかと言えば満足だ」「満足だ」を1から5で表記している。この平均値は4.0となり、協力者全員が修正に満足感を抱いていることがわかる。

次に、表9と表10にはそれぞれ「本システムの適用が作画ミスの見落とし防止に有効だと思うか」、「普段のイラスト制作においても使いたいと思うか」に対する5段階の回答とその理由を記述したものを示す。このとき「思わない」「どちらかと言えばそう思わない」「どちらでもない」「どちらかと言えばそう思う」「そう思う」を1から5で表記している。平均値はそれぞれ4.3と4.0であり、記述内容からも協力者全員が本システムの適用が見落とし防止に有効であると感じたことがわかる。

表7 タスクごとの作画ミス発見個数

| | | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 車 | システム適用 | 3 | 4 | 3 | 6 | 7 | 3 | 4 | 2 | 1 |
| | 2日後 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| ヘッドフォン | システム適用 | 5 | 5 | 3 | 3 | 6 | 5 | 3 | — | — |
| | 2日後 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | — | — |

表8 タスクごとの修正の満足度

| 満足度 | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 車 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| ヘッドフォン | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 5 | — | — |

表9 「システムは作画ミス見落とし防止に有効だと思うか」への回答

| 協力者 | 回答 | 記述 |
|-----|----|---|
| A | 4 | 細かい部分のミスには有用だと感じた |
| B | 5 | イラストを描いた直後は全く気が付かなかったミスに気が付きやすくなった。 |
| C | 5 | 普段絵描いてるときも顔半分隠したりしてバランス確認したりはしてたから、色々な隠し方されることで普段よりもっと変なところに気づけたと思うから。 |
| D | 4 | 車でいえば窓やライトあたりの(形状や角度といった)大きなミス、 人でいえば手の大きさのミスなど、 目立つミスだけど自分ではなかなか気づけない部分に気づけた気がするから |
| E | 5 | 全体像を見ただけでは観察しないような場所を観察できたため。 遮蔽をとった瞬間に思ったよりもバランスがとれていないことに気づけたため。 |
| F | 4 | 普段注視するポイントに癖がある(自分が気合入れて描いてる場所をとにかく見る)ので、その癖を矯正するのに有効であると思われるため |
| G | 4 | 隠れた部分との境界に注目できたから、観察するポイントを示されることを繰り返すことで、細かい場所に注意がいくため。 |
| H | 4 | 描いている時とは違う視点で見ることができ、絵のバランスの悪さに気づくことができると感じた。 |
| I | 4 | 見えない部分を想像してから再度見ると違和感を感じたから |

表10 「システムを普段のイラスト制作でも使いたいのか？」への回答

| 協力者 | 回答 | 記述 |
|-----|----|---|
| A | 4 | 見落としやすい細かいミスについて気づくことができるため |
| B | 4 | ミスを減らせるので是非使いたいけど、スマホでイラストを書く派なので一回パソコンに移すのはちょっと面倒に感じるかもしれない |
| C | 5 | システム使うことでより多くのミスに気付いて直せるとこは直したいから |
| D | 4 | ミスにいち早く気づきたいから |
| E | 4 | 遮蔽する回数が多くなるにつれて観察するのが面倒になっていったものの、 描いている途中では気づけなかったミスに気づけたため。 色を塗る前の線画の時点でミスに気付けるというのが利点だと思ったため。 |
| F | 3 | 金銭が発生するようなイラストや、画力向上の訓練をしている場合であれば、 細かいポイントに十分気をつける必要があるため使用したいと感じるが、 単なる落書きや説明のためのイラストであればなくても問題ないと感じるため |
| G | 4 | 普段から手で隠してバランスを見たりなどの方法で自分の絵を観察することがあるため。ただ、それ専用のシステムを介するのは面倒だと感じる。 |
| H | 4 | 左右反転させたりサイズを変えたりするのが絵の修正点を見つけるのには 手っ取り早く有効ではあるが、絵の一部がランダムで遮蔽される機能が ClipStudio等に搭載されていたらサブ的に使うかもしれない。 |
| I | 4 | 「有効だと思うか」の回答と同文 (見えない部分を想像してから再度見ると違和感を感じたから) |

また、システムを適用することで生じたイラストに対する感覚変化に関する回答例を以下に示す。

- 隠した部分が見えた瞬間に、その部分に目が行く感覚があり、ミスに気づくことがある
- 隠されたパーツによって、すごくフワッとしたイラストに対する違和感から、なんとなくここが違うんじゃないか…と少し具体的な違和感に変わった気がする
- 遮蔽されてない部分に対する、遮蔽されてる部分の歪みや左右差がよくわかるようになった
- 隠れてる部分をイメージしてから全体表示にしたら、思ってた線と違ってたのが何回かあった。平行に近い線の歪みには気づきやすいかもしれないと思った。
- 輪郭の違和感とか、何か大きいミスについて気が付けた気がする
- パーツや体のバランスに対する見え方が少し変化したと思った。隠す部分が大きすぎると、隠された部分が想像しづらかった。
- いつも自発的にバランスを見直す補助をされている感覚がしました。

本システムの改善して欲しい点に対する回答例を以下に示す。

- イラストのほぼ全てが隠されてしまった場合があった
- 同じような場所を遮蔽するのが連続した時に観察するのが少し面倒だったので、遮蔽する部分が大きく異なるものが続けてきてくれるといいと思いました。
- 遮蔽部分の透明度を選べるようにしてほしい。注視するポイントを提案してくれるときに、全体感も一緒に把握できると嬉しいので。
- 線画が閉じている必要があった点

今後どのような形で実装されたら使用したいか？に対する回答例は以下のとおりである。

- 使ってるアプリケーション内で実装されていたら、とても嬉しい
- サイトとかへの投稿の直前に軽くこの手法で確認させてくれる。
- 普通にこのままでシステムとしてほしい
- 色を塗る前に最終確認的な感じで、自動で出してくれたら使いたいと思う。
- 外部ソフトではなく、イラストソフトのビュー機能の一つとして組み込まれていたら嬉しい。

以上の結果から、本システム適用が作画ミス見落とし防止に有効であり、比較的満足な修正が可能であることが明らかになった。以下の考察では、実験における遮蔽パターン生成の流れと作画ミス発見の事例の関係から、詳細な有用性の分析とシステムの改善案を考察する。

6.4. 分析と考察

6.4.1. 自動遮蔽システムの有用性の分析

図 57 に実験結果の一例として協力者 B のヘッドフォンタスクにおける作画ミスの回答（画像左列），および生成された遮蔽パターン一覧を示す（画像右列）．左列の画像左と右列の画像右下に表示した数字はどちらも遮蔽ナンバー（以下，#番号で示す）を意味している．このとき，協力者 B はこだわった点を「表情・髪型」，気に入っている点を「目・眉」，難しかった点を「髪型・パーカー」と回答し，初回の観察では「パーカーと身体の左右バランス」「口と鼻の距離」を修正した．ここで，#1 の遮蔽によってパーカーが完全に隠れ，頭部も分断されたことで，遮蔽範囲内の顔の想像と，顔より下の人体バランスを意識することができたと思われる．このときの回答は「右側の頬をもう少しキリッとさせたい」「首が長すぎる？」であった．次に作画ミスが回答されたのが#9 であり，はじめて頭部が完全に隠れたパターンだった．これによって胴体のみバランスを意識することができ「右肩もなで肩にする」が回答されたと予想される．#16 では「右側の頭の輪郭をもう少し小さくしてもいいかもしれない」といった回答が得られた．頭部の右上のみが遮蔽されているのは#4 も同じであるが，#16の方が隠されている範囲が広く，わずかな差により気付きが変化することがわかる．#24 は頭部が完全に隠されている点において#9 と同じだが，首が一部見えている点で異なり，首を基準にした人体構造の想像が促された結果，はじめて頭の位置に関するミスに気付けたと思われる．

図 57 における見落とし防止が達成されなかった作画ミスとして，「パーカーの右側が肌が見えすぎてとても不自然」がある．この原因として，システム適用によって右肩に意識が向き，同じ右肩に位置する右側のパーカーに意識が向かなかつたと想定される．実験を通して肩とパーカーを分離する遮蔽は生成されなかつたことが見落としの原因として考えられる．また，他の協力者においても一度意識の向いた作画ミスに近接している作画ミスに気付けない例が見られたことや，修正することで新たに増えた作画ミスが 2 件見られた（協力者 B の車タスクにおける「フロントガラスの下側のラインの角度を修正したが，少し直すぎた気がするのでもうちょっと平行めに引きたかった」，協力者 C の車タスクにおける「丸すぎ→尖りすぎ? に変わった」）ことから，修正したものに再度システム適用することで，こうした作画ミスが減少する可能性がある．一方で，2 日後の後日アンケート冒頭で実施した，修正前後のイラストをランダムな順で並べて提示し，直感的に好みのイラストを選択させるタスクにおいて，協力者 A の車タスクを除いた全てのタスクで修正後が選ばれていることから，修正によって自身の好みの表現が損なわれるといった現象は生じていないと推測できる．協力者 A の車タスクは修正の満足度が 3 であり，その回答理由が「後から見直すことで気づくものもあったため」であることから，満足な作画ミス発見自体が達成されなかつたタスクであることが，修正後が選ばれなかつた原因であると推測できる．

また、図において「前髪をふわっとしたい」も2日後にはじめて回答されている。これは前髪より上が遮蔽されている#17で気付けた可能性があるが、実際には発見されなかった。このような表現の作画ミスの見落としは実験全体で多数見られた(口大きくてもいい(協力者D・ヘッドフォンタスク)」「ディティールの描き込みがしたい(協力者F・車タスク)」「ヘッドフォンのデザイン(協力者G・ヘッドフォンタスク)」など)。これは4章の実験においてもあまり発見できなかった作画ミスであり、部分遮蔽手法が効果的ではない可能性がある。一方で、本研究を通しての実験の協力者が全員初心者から中級者であり、イラストの基礎となるデッサン狂いを優先して見つけようとしている可能性がある。デッサン狂いが生じにくいと予想される上級者を対象とした実験を行えば、絵柄や表現における作画ミスの発見が見られる可能性がある。

また、システム提示による感覚変化として「曖昧な違和感から、少し具体的な違和感に変わった気がする」といった回答があったことから、限られた情報から想像をしたことで、修正可能な段階まで慣れ之感覚を低減できた可能性が示唆された。

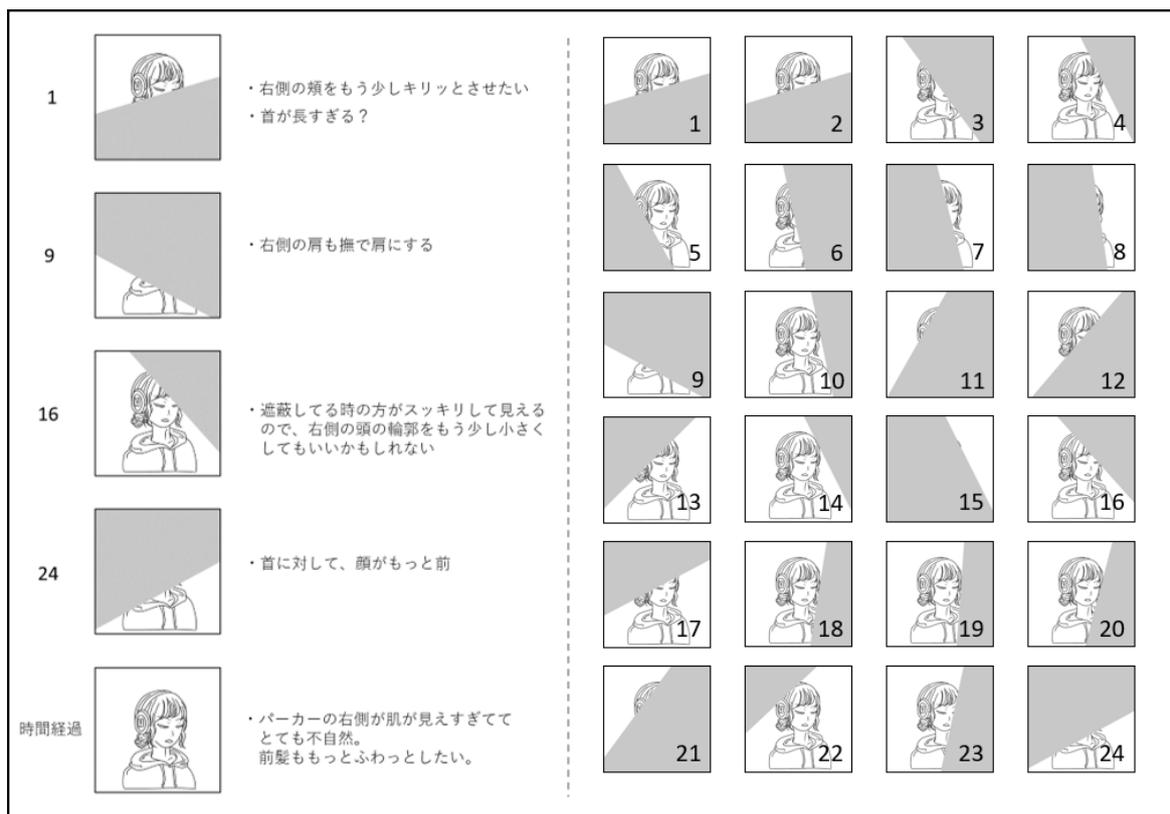


図 57 協力者 B の作画ミス回答と遮蔽パターン一覧

以上から、本システムは可能な限り遮蔽パターンを生成することでより作画ミスが発見が増えて行くものであると考えられる。ここで、「作画ミスの見落としを防ぐための工夫を作画中にしたか?」といった質問に対し5名が左右反転をしたと回答し、3名が縮尺変更をしたと回答していた。このような既存手法を行ったうえで認識できなかった作画ミスの本システムの適用によって見落とし防止できた点においても、本研究の目的は達成されたといえる。

6.4.2. 自動遮蔽システムの改善点

より効果的なシステム設計考案のため、実験で得られた結果や回答から改善案を考察する。

表9において、イラスト全体のバランスの再確認が可能になったという回答と、細かなミスにのみ有用だと感じている回答が見られる。視覚補完能力に個人差が生じない[22]ことを考えると、個人の想像の仕方に結果が影響されている可能性がある。実際、遮蔽による感覚変化の回答において、想像に関しての言及がない協力者Aは細部の作画ミスにのみ気付いていた。今後は非遮蔽範囲への単純な意識誘導にならないよう、遮蔽範囲の想像を促すような注意書きやインターフェース設計が必要であると考えられる。

また、本システムの使用感として「同じような遮蔽が提示されることがあった」という回答が複数見られた。分断するパーツが完全にランダムで選出される仕様ではあったが、偏りが生じてしまったことがうかがえる。これは、新鮮な視覚刺激の提示という部分遮蔽手法の前提に反してしまうため修正が必要である。一方で、視覚的に類似した遮蔽パターンであっても、完全に同一でなければ別の作画ミスの発見が促されていることから、あくまでも連続して提示しないような工夫が重要である。

ここで、本システムの制限として「線が繋がっていただけない」がある。これは実際に協力者からも改善して欲しい点として回答されているため、モルフォロジー演算による線画の補間や、線画をスプライン補間することなどで改善予定である。このような、途切れている線分の隙間を埋める手順をアルゴリズムに取り入れることで、より多くの線画に対応するシステムが実現できると考えられる。

また、表10の記述やシステムの改善点への回答として「既存のペイントツールの一機能として実装されていれば嬉しい」といった内容が多くあった。現状として、左右反転や拡大縮小のイラストへの適用はペイントツール内で完結する一方で、部分遮蔽手法を適用するためには専用のシステムを介さないといけない。この解決策として、PC版CLIP STUDIO PAINTのプラグイン追加による機能の拡張があげられる。そこで今後は、既存ペイントツールのプラグイン追加による機能として実装することも考えている。

6.4.3. その他の議論

最後に、本研究の有用性を向上させる可能性のある調査項目や応用について述べる。

本研究では、部分遮蔽手法と自動遮蔽システムの有用性として、遮蔽による感覚の変化をあげている。このとき、この感覚の変化に「実験監督者やシステムによって勝手に遮蔽される」といった受動的な体験が寄与している可能性がある。今後は、この受動の重要性を明確にすることで、自動遮蔽システムの有用性のさらなる主張が可能になると考えている。具体的には、自動遮蔽システムを既に体験したことがあるなど、本システムの概要や有用性を理解しているイラスト制作者に対して実験を行い、ペイントツール上で自身で遮蔽を生成した場合とシステムを利用した場合の、主観的な評価や作画ミス発見の傾向の違いを分析することで更に議論が深まると予想される。

また、本研究では効果的な遮蔽物の形状に関する議論はされていない。現時点では、斜めの直線を境界とした、単独の遮蔽物の提示による有用性の調査にとどまっている。このとき、この遮蔽物の形状が異なれば、提示される視覚情報も大きく変化し、イラスト観察時の認知にも差異が生じると予測される。今後は、曲線で構成された遮蔽や、境界線がぼかされた遮蔽、複数の遮蔽物の提示などによる有用性の調査を行うことも考えられる。

本研究は線画に適用する手法を想定したものであるが、イラストには輪郭線を描写しない絵柄も多く存在し、線画の段階が存在しない場合がある。このとき、着彩された色の境界を輪郭線として抽出することで、本システムによる作画ミス見落とし防止が達成できる可能性がある。今後は、対応するイラストの種類を増やしていく方向での応用が考えられる。

また、本研究が作画ミス見落としの原因としている慣れの状況は、イラスト制作に限らず様々な場面にて報告されている事象である。このため、一時的な情報の非表示によるバイアスの低減や、提示された情報から再度想像を促すといった本手法の考え方は、文章執筆や作曲など、イラスト制作以外の創作活動にも応用できる可能性がある。それぞれの分野における慣れの要因は異なると予想されるため、別途調査が必要ではあるが、部分遮蔽の考えを発展させた研究の開拓を期待している。

第7章 関連研究

7.1. 描画精度と作画能力に関する研究

アーティストの作画能力と写実的なデッサンにおける描画精度の関連性を調査した研究は古くから数多く行われている。

Cohenら[8]は、写実デッサンにおけるミスの発生要因を「作画対象物の誤認」「描画の誤認」「運動能力」「具象的意思決定」の4段階に定義し、特に「作画対象物の誤認」が中心にあると考えた。この物体の誤認識に関しては、物体に対する知識由来の誤認を抑制して正確な知覚を得ることを重視するボトムアップ型の考え方と、知識を活用して描写に重要な情報を選択することを重視するトップダウン型の考え方の2つの理論が提案されている。この物体に対する知識はスキーマとよばれ、Bartlett[15]のスキーマ理論まで遡るものである。

古くから提唱されているトップダウン型の考えとして、Gombrich[3]は描かれている物体の構造に関する知識と理解がより重要であると主張した。この理論はTchalenko[5]やKozbeltら[6]の実験結果においても支持され、対象物への知識をもった専門家は初心者よりも優れた描画を行っている。

ボトムアップ型の考えとして、Ruskinのイノセントアイ仮説[25]があげられる。これは物体認識能力やスキーマが正確な描画を妨げると主張したものであり、この仮説をもとに、Edwards[26]は人の顔を上下逆にしたうえでデッサンすることで、高次の視覚知識からの干渉を減らし、描画の幾何学的な側面に集中できる、といった練習法を編み出している。しかし、この上下反転手法の有用性を調査した研究は多くDayら[27]は、直立した描画が反転した描画よりも正確であることを示した。

このようなスキーマによるポジティブな影響を支持する研究がある一方で、知識が描画行動に及ぼす負の効果を検証した研究も多い。Carmichaelら[13]やRosielleら[14]は、実験によってイラストがスキーマからバイアスを受けることを明らかにしている。Glazekら[10]の実験結果は、非芸術家が見慣れた物体を描く際に芸術家よりもスキーマの影響を受けていることを示している。また、Matthewsら[9]は、アーティストの内部的な視覚表現がデッサンの不正確さの原因になっていると主張している。Carbonら[28]は、非芸術家が頻繁に顔の目を頭の上の方に描きすぎてしまう原因を、顔が平たい箱形として構想されているためと結論付けた。Ostrofsky[7]らは、実験によってボトムアップとトップダウンの両方の要因が正確さを引き出す可能性を示唆している。Chamberlainら[4]は以上のような描画精度と作画能力に関する研究を広くまとめている。

本研究はこれらの研究が調査した描画精度の低下要因を参考にしながら、模写ではなく実際には存在しない対象物の描画の作画ミスを対象とする。また、作画ミスが発生すること

を防ぐのではなく、作画ミスに気付かせることを目的としている点においても異なっている。

7.2. 全体的処理や視覚的バランスに関する研究

本研究では、同一のイラストを見続けたときに生じる感覚変化が作画ミス発見を阻害する要因の一つであると位置づけている。このような視覚刺激による認知の変化の代表例として、ゲシュタルト崩壊[11]があげられる。これは図形を注視し続けるとそのパターンの全体形態の認知が減衰してしまう現象であり、漢字などの文字認識において起こることがよく知られている[12]。漢字のような全体処理は顔の認識においても生じ、Tanakaら[29]は、顔は他の物体と異なり全体処理によって認知され、目や鼻といったそれぞれのパーツの特徴とパーツ間の距離を含めて認識していることを明らかにしている。この顔の認識について、Sagivら[30]は線画で描かれたスケッチの顔においても実際の人間の顔と同様の認知が生じることを示している。また、持続的注視によって周辺視野に位置するパターンの一部、あるいは全体が消失する現象に Troxler 効果がある[31]。

人間の視覚補完能力に、アモーダル補完がある[21]。これは、感覚入力がないにも関わらず、オブジェクトの遮蔽部分が補完されて知覚される現象である。Perdreauら[22]は、アーティストと非アーティストの間でアモーダル補完に差がないことを発見した。本研究が提案する部分遮蔽手法は、このアモーダル補完を応用することで、隠されたイラストに対する視覚補完を引き起こし、イラスト全体やパーツのバランスの再確認を目指すものである。また、画像内のオブジェクト配置における知覚的バランスを定量的なスコア化する研究も存在する[32][33]が、本研究が扱うような複雑なイラストへの適用にはいたっていない。

7.3. システムによる作画支援を行う研究

作画行為を支援する目的の研究は多く行われている。システムによる正確な作画を支援する目的の研究として、松田ら[34]は、学習者の鉛筆デッサン画像に含まれる写実誤りを顕在化した三次元モデルを構築することで初心者が自己のデッサンのミスに気付きやすくするシステムを実装している。菅野ら[35]は、模写対象物の観察時に言語化を促すシステムの実装を目指した研究を行っている。Willifordらは、入力した写真から描画チュートリアルを生成する、イラスト制作初心者向けの DrawMyPhoto[36]を実装した。また、川連ら[37]は、人物画中の人物の姿勢を Deep Learning を用いて推定し、3D モデルで表示することによって初心者が自身のデッサンの整合性を確認できるシステムを提案している。また山田ら[38]は、人物キャラクターの模写における絵の評価を特徴量抽出から行っている。これらの研究の「正確な作画の達成」といった目的は本研究と共通しているが、本研究は模写やデッ

サンのように比較する対象が存在しない場合のイラストを想定したものであり、描画精度も制作者の主観にゆだねている。

また、線画の作成を支援している研究として、Leeらは、大規模なデータベースからユーザの描きたい絵の推定を行い、リアルタイムに影として提示することで描画の支援をするShadowDraw[39]を提案している。Matsuiら[40]は、スケッチ画像のデータベースから提示フィードバックと変形フィードバックを可能としたインタラクティブな描画システムを実装している。また、Simo-Serraらは、深層学習を応用して対話的にラフスケッチのペン入れができるSmart Inker[41]を提案している。また、Niinoら[42]は、ストロークを平均化することで綺麗な線画を作成する研究を行っている。同様に、手本と自身の線を平均化し、作画技術の向上を目指す研究も存在する[43]。

機械学習を利用したイラスト自動生成の研究は年々盛んになっており、Jinら[44]はDRAGANを用いたアニメキャラクターの顔画像を自動生成することに成功している。Leeら[45]は、参照画像が与えられた場合の線画の自動着色を機械学習により実装している。Hudonら[46]は、入力画像に応じてノーマルマップを自動生成することで、設定した光源に応じた陰影の着色の自動化を行っている。また、この自動シェーディングをセルアニメーションに応用している[47]。

本研究の目的は、これらの研究のような作画行為の支援や自動生成ではなく、作画後における作画ミス見落としをシステムによって防止するものである。

第8章 おわりに

本研究では、作画ミス見落としの現状を明らかにするための大規模なアンケート調査を行った。作画ミスの見落としは初心者や上級者にかかわらず生じる問題であり、特に見落とされている作画ミスとしては「デッサン狂い」と「表現のミス」があり、それぞれ全体的なミスと細部におけるミスがある。これまで見落としの要因として扱ってきた「慣れ」の状況を構成する感覚として「意識の一点集中」や「思い込み」があり、部分遮蔽手法によってこれらの解決が達成されていることが示唆された。また、有効な見落とし防止の既存手法として「左右反転」「時間経過」などが普及しているが、網羅的な作画ミス見落とし防止は達成されていないことがわかった。以上から、本研究は既存手法とあわせて適用可能かつ、より多くの作画ミス見落としを防止可能な手法の実現を目指した。

本研究は作画ミス見落としの原因を、認知バイアスなどから生じる慣れの感覚であると考え、これを低減しつつ視覚補完を促すことで、イラスト制作者自身での作画直後の作画ミス発見を目的としたイラストの部分遮蔽手法を提案した。実験によって部分遮蔽手法の有用性を調査した結果、「遮蔽範囲内を想像することで発見できるようになる作画ミス」と「遮蔽範囲の内容にかかわらず、意識する位置の移動によって発見できるようになる作画ミス」に有効であり、慣れの感覚を低減したうえでバランスのミスや細部のミスなどの発見を促せることを明らかにした。このとき、あるパーツ内部を分断する遮蔽パターンやイラスト制作者が特に意識している箇所とその周囲を分離するような遮蔽パターンの提示が効果的である可能性が明らかになった。

次に、入力された線画内の閉領域をイラスト中のオブジェクトのパーツとして認識し、パーツ内部を分断するような遮蔽パターンを自動生成する自動遮蔽システムを実装した。システムの使用実験において、協力者が満足な作画ミスの修正が可能であったことや、既存手法で認識できなかった作画ミスの発見が達成できたことなどから、本システムの有用性を明らかにした。なお、遮蔽範囲の想像を促せなかった協力者がいたことや、現状のアルゴリズムではシステムを適用できるイラストが限られていることから、さらなるシステム設計の改善を行うとともに、既存のペイントツールの拡張機能としての実装を目指す。本システムの普及が、より多くの人の満足なイラスト制作につながることを、そしてこれからイラスト制作をはじめるとする人の助けになることを望む。

参考文献

- [1] “pixiv - 広告掲載”. <https://www.pixiv.net/ads/>, (参照 2020-12-16).
- [2] “pixiv がサービス開始から 13 周年！～月間海外投稿数 20 万作品を突破, インフォグラフィックを公開～”. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000102.000035885.html>, (参照 2020-12-16).
- [3] Gombrich, E. H.: *Art and Illusion*. Princeton, NJ: Princeton University Press. 1960.
- [4] Chamberlain, R. and Wagemans, J.: The genesis of errors in drawing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, Vol.65, pp. 195-207. 2016.
- [5] Tchalenko, J.: Segmentation and accuracy in copying and drawing: Experts and beginners. *Vision Research*, Vol. 49, No. 8, pp. 791–800. 2009.
- [6] Kozbelt, A., Seidel, A., Elbassiouny, A., Mark, Y. and Owen, D.: Visual Selection Contributes to Artists' Advantages in Realistic Drawing. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, Vol. 4, No. 2, pp. 93-102. 2010.
- [7] Ostrofsky, J., Kozbelt, A. and Seidel, A.: Perceptual Constancies and Visual Selection as Predictors of Realistic Drawing Skill. *Psychology of Aesthetics Creativity and the Arts*, Vol. 6, No. 2, pp. 124-136. 2012.
- [8] Cohen, D. J. and Bennett, S.: Why can't most people draw what they see?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 23, No. 3, pp. 609-621. 1997.
- [9] Matthews, W. J. and Adams, A.: Another reason why adults find it hard to draw accurately. *Perception*, Vol. 37, No. 4, pp. 628–630. 2008.
- [10] Glazek, K. and Weisberg, R.: Expertise in Visual Art is Associated with Altered Perceptual Strategies Within and Across Domains: Evidence from Eye Tracking. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, Vol. 32, pp. 417-422. 2010.
- [11] Faust, V.C.: Über Gestaltzerfall als Symptom des parietooccipitalen Übergangsbereiches bei doppelseitiger Verletzung nach Hirnschuss. *Nervenarzt*, Vol. 18, pp. 103-115. 1947.
- [12] 二瀬由理, 行場次朗: 持続的注視による漢字認知の遅延—ゲシュタルト崩壊現象の分析—. *The Japanese Journal of Psychology*, Vol. 67, No. 3, pp. 227-231, 1996.
- [13] Carmichael, L., Hogan, H. P. and Walter, A. A.: An experimental study of the effect of language on the reproduction of visually perceived form. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 15, No. 1, pp. 73-86. 1932.
- [14] Rosielle, L. J. and Hite, L. A.: The caricature effect in drawing: evidence for the use of categorical relations when drawing abstract pictures. *Perception*, Vol. 38, No. 3, pp. 357-375. 2009.

- [15] Bartlett, F. C.: Remembering: a study in experimental and social psychology. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 1932.
- [16] Kelen, E. (Ed.): Leonardo da Vinci's advice to artists. Philadelphia, PA: Running Press. 1990.
- [17] “SYSTEMAX Software Development - ペイントツール SAI “. <https://www.systemax.jp/ja/sai/>, (参照 2020-12-16).
- [18] “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).
- [19] “Yahoo!クラウドソーシング”. <https://crowdsourcing.yahoo.co.jp/>, (参照 2020-12-16).
- [20] “KH Coder: 計量テキスト分析・テキストマイニングのためのフリーソフトウェア”. <https://kncoder.net/>, (参照 2020-12-16).
- [21] Gerbino, W.: Amodal Completion Revisited. *i-Perception*, Vol. 11, No. 4, pp. 1-26. 2020.
- [22] Perdreau, F. and Cavanagh, P.: Do Artists See Their Retinas?. *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 5, Article 171, pp. 1-8. 2011.
- [23] Tobii EyeX. <https://tobiigaming.com/product/tobii-eyex/>, (参照 2020-12-16).
- [24] Forrester, C., Aleksey, G., Alex, L., Heather, S. B., Adam, F., Thomas, F. and Szymon, R.: Where do people draw lines?. *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, Vol. 27, No. 3, pp. 1-11, 2008.
- [25] Ruskin, J.: *Modern painters*. -5 vol (Vol.3). New York: J. Wiley & Son. 1866.
- [26] Edwards, B.: *Drawing on the right Side of the brain: A course in enchanting creativity and artistic confidence*. New York: Jeremy P. Tarcher. 1989.
- [27] Day, J. A. and Davidenko, N.: Physical and perceptual accuracy of upright and inverted face drawings. *Visual Cognition*, Vol. 26, No. 2, pp.89-99. 2018.
- [28] Carbon, C. C. and Wirth, B. E.: Neanderthal paintings? Production of prototypical human (*Homo sapiens*) faces shows systematic distortions. *Perception*, Vol. 43, No. 1, pp. 99-102. 2014.
- [29] Tanaka, J. W. and Farah, M. J.: Parts and wholes in face recognition. *The Quarterly journal of experimental psychology*, Vol. 46, No. 2, pp. 225- 245. 1993.
- [30] Sagiv, N. and Bentin, S.: Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, Vol. 13, No. 7, pp. 937-951. 2001.
- [31] Wade, N. J.: Distortions and disappearances of geometrical patterns. *Perception*, Vol. 6, No. 4, pp. 407-433, 1977.
- [32] Wilson, A. and Chatterjee, A.: The Assessment of Preference for Balance: Introducing a New Test. *Empirical Studies of The Arts*. Vol. 23, No. 2, pp. 165-180. 2005.
- [33] Hübner, R. and Fillinger, M. G.: Comparison of Objective Measures for Predicting Perceptual Balance and Visual Aesthetic Preference. *Frontiers in Psychol*, Vol. 7, pp. 1-15. 2016.
- [34] 松田憲幸, 高木佐恵子, 曾我真人, 堀口知也, 平嶋宗, 瀧寛和, 吉本富士市: 鉛筆デッサンが

- 表す写実誤りの三次元モデルによる顕在化. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No.2, pp.324-332. 2008.
- [35] 菅野一平, 高橋拓, 中村聡史: 個人のイラスト制作における観察に対する支援手法の検討, 情報処理学会 研究会報告デジタルコンテンツとクリエイション研究会 (DCC) , Vol. 2020-DCC-24, No.8, pp.1-8, 2020.
- [36] Williford, B., Doke, A., Pahud, M., Hinckley, K. and Hammond, T.: DrawMyPhoto: Assisting Novices in Drawing from Photographs. Proceedings of the 2019 on Creativity and Cognition (C&C '19), pp. 198–209. 2019.
- [37] 川連一将, 渡邊恵太: Illustpose: 姿勢データを利用した人物デッサン支援システム. WISS 2015 予稿集, 3-R12. 2015.
- [38] 山田太雅, 棟方渚, 小野哲雄: 人物キャラクター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 2015 論文集, pp. 574-579. 2015.
- [39] Lee, Y. J., Zitnik, C. L. and Cohen, M.: ShadowDraw: Real-Time User Guidance for Freehand Drawing. ACM Transactions on Graphics, Vol. 30, No. 4, pp. 879-887, 2011.
- [40] Matsui, Y., Shiratori, T. and Aizawa, K.: DrawFromDrawings: 2D drawing assistance via stroke interpolation with a sketch database. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 23, No, 7, pp. 1852-1862. 2016.
- [41] Simo-Serra, E., Iizuka, S. and Ishikawa, H.: Real-time data-driven interactive rough sketch inking. ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), Vol. 37, Vol. 4, pp.1-14. 2018.
- [42] Niino, S., Hagiwara, N., Nakamura, S., Suzuki, M. M. and Komatsu, T.: Analysis of Average Hand-drawing and Its Application. INTETAIN2017, pp. 34-48. 2017.
- [43] Kubota, N., Niino, S., Nakamura, S. and Suzuki, M. M.: A Sustainable Practice Method of Hand-drawing by Merging User's Stroke and Model's Stroke. MANPU '16 Proceedings of the 1st International Workshop on coMics ANalysis, Processing and Understanding, pp.1-6. 2016.
- [44] Jin, Y., Zhang, J., Li, M., Tian, Y., Zhu, H. and Fang, Z.: Towards the automatic anime characters creation with generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1708.05509, pp.1-16. 2017.
- [45] Lee, J., Kim, E., Lee, Y., Kim, D., Chang, J. and Choo, J.: Reference-Based Sketch Image Colorization Using Augmented-Self Reference and Dense Semantic Correspondence. arXiv preprint arXiv: 2005.05207, pp. 1-23. 2020.
- [46] Hudon, M., Grogan, M., Pagés, R. and Smolić, A.: Deep Normal Estimation for Automatic Shading of Hand-Drawn Characters. Leal-Taixé L., Roth S. (eds) Computer Vision – ECCV 2018 Workshops. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 11131, pp. 246-262. 2019.
- [47] Hudon, M., Pagés, R., Grogan, M., Ondřej, J. and Smolić, A.: 2D shading for cel animation. Proceedings of the Joint Symposium on Computational Aesthetics and Sketch-Based

Interfaces and Modeling and Non-Photorealistic Animation and Rendering (Expressive '18).
pp. 1–12. 2018.

研究業績

- [1] 高橋拓, 福地翼, 山浦祐明, 松井啓司, 中村聡史: 周辺視野における妨害刺激の減衰が集中度に及ぼす影響. 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , 2017.
- [2] 高橋拓, 福地翼, 山浦祐明, 松井啓司, 中村聡史: タスク作業中の周辺視野への視覚刺激提示が集中に及ぼす影響の調査. 電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション基礎研究会 (HCS) , 2018.
- [3] 桑原樹蘭, 高橋拓, 中村聡史: 一点注視型タスクにおける周辺視野への視覚刺激提示が集中度に及ぼす影響. 情報処理学会 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , 2018.
- [4] 高橋拓, 中村聡史: イラスト客観視のための部分遮蔽手法の検討. 情報処理学会 研究報告デジタルコンテンツクリエーション (DCC) , 2019.
- [5] 高橋拓, 中村聡史. 作画ミス発見のためのイラストの部分遮蔽手法の検証. 情報処理学会 研究会報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , 2020.
- [6] 菅野一平, 高橋拓, 中村聡史. 個人のイラスト制作における観察に対する支援手法の検討. 情報処理学会 研究会報告デジタルコンテンツとクリエーション研究会 (DCC) , 2020.
- [7] 高橋拓, 中村聡史. 作画ミス見落としに関する基礎調査とその防止のためのイラストの自動遮蔽システムの実現. 情報処理学会 ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) , 2021.
- [8] 菅野一平, 高橋拓, 中村聡史. 言語化と画像の分割表示による模写時の観察支援手法の検討. 情報処理学会 第 59 回エンタテインメントコンピューティング研究会 (EC) , 2021.