

No Pixel Left Behind: Filling Gaps in Anime Colorization

河野 将大[†] 前島 謙宣[‡] 小山 裕己[†] SECHAYK Yotam[†] 五十嵐 健夫[†]

[†] 東京大学 [‡] OLM Digital

E-mail: [†]marckono2825@g.ecc.u-tokyo.ac.jp



図1 GapFill の UI と搭載されているインタラクション機能.

概要

本研究では、アニメ制作現場における彩色工程を対象に事前調査を実施し、ペイントソフトによる下塗り作業で塗りつぶし（パケツ）ツールが広く用いられている一方で、小さな未着色領域「塗り残し」が頻繁に発生し、既存ツールでは十分に対処されていない状況を明らかにした。これを踏まえ、現場の調査・観察に基づいた塗り残し解消支援ツール「GapFill」を開発した。提案ツールは、「塗り残しの検出・拡大・色選択」といった従来避けられなかった反復作業の負担軽減を主目的としている。加えて、既存の多様な制作慣行に馴染む直感的な操作性を追求し、人間の制御性も尊重するような設計思想にも基づいている。内部の色予測機能は、アニメ調画像特有のベタ塗りの配色や塗り残しの発生箇所が色に依らない点に注目し、周辺領域の対応関係を参照して、間接的に色を推定する深層学習手法によって構成されている。13名のプロの彩色者によるユーザスタディの結果、本ツールは従来ツールに比べて塗り残し修正作業の効率性と有用性を向上させることが確認された。さらに、有用性には予測精度だけでなく、AIに対する制御性や信頼感などの要因も関与し、塗り残しの色の正解は一意ではなく、本ツールは既存ツールを補完できる可能性も示唆された。

1 はじめに

日本産アニメーション（アニメ）の制作工程における「彩色」では、輪郭線や色トレス線を含むアンチエイリアス無し線画に対し、色指定表に従って「塗りつぶし（パケツ）」ツールを用い、閉領域をベース色で塗る「ベタ塗り」が一般的である。これは「仕上げ」と呼ばれる最終的な映像品質を左右する重要工程であり、厳格な基準が求められるものの、年間

200本を超える作品が制作される現在においても、依然としてデジタルペイントソフトでの手作業が主流である。

本研究では、制作工程の実態を把握するために事前調査を行った。その結果、既存ツールでは十分に対応できない実務的課題として、「塗り残し」（図1左下）という微小な未着色領域の効率的な解消が浮き彫りになった。これらの領域は特に髪の毛先などの鋭角部で生じやすく、視認や修正に時間を要するため、作業効率を阻害する要因となっている。制作現場を対象とした絵コンテ支援[1]や漫画彩色[2]の研究は存在するものの、塗り残しに特化した解決策は提案されていない。また、近年の自動彩色手法[3]においても、小領域での高精度な色予測は困難である。以上を踏まえ、本研究ではプロの彩色者を想定利用者として、塗り残し解消に特化した彩色支援ツール GapFill を提案し、実際の彩色環境を模したユーザスタディを13名のプロの彩色者に対して実施することで、有用性の評価や既存ツールとの比較検証を行い、現場への導入に向けた知見を収集した。（開発コードや英論文は以下で公開している <https://marc2825.github.io/GapFill>。）

2 提案ツール：GapFill

2.1 設計思想

アニメ制作現場への事前調査により、制作現場における塗り残し対策の実態が明らかとなった。塗り残しの検出には、彩色が概ね完了した段階で拡大縮小操作を繰り返し、単一操作で全体の塗りを一時的に黒へ変換する「ブラックライト法」（図2a）が一般的に用いられる。この操作により未着色部分が白点として浮かび上がり視認しやすくなる。検出された塗り残しは、パケツツールに加え、「すきま塗りペン」[4]（筆跡中の閉領域を指定色で一括で塗る、図2b）や「囲って

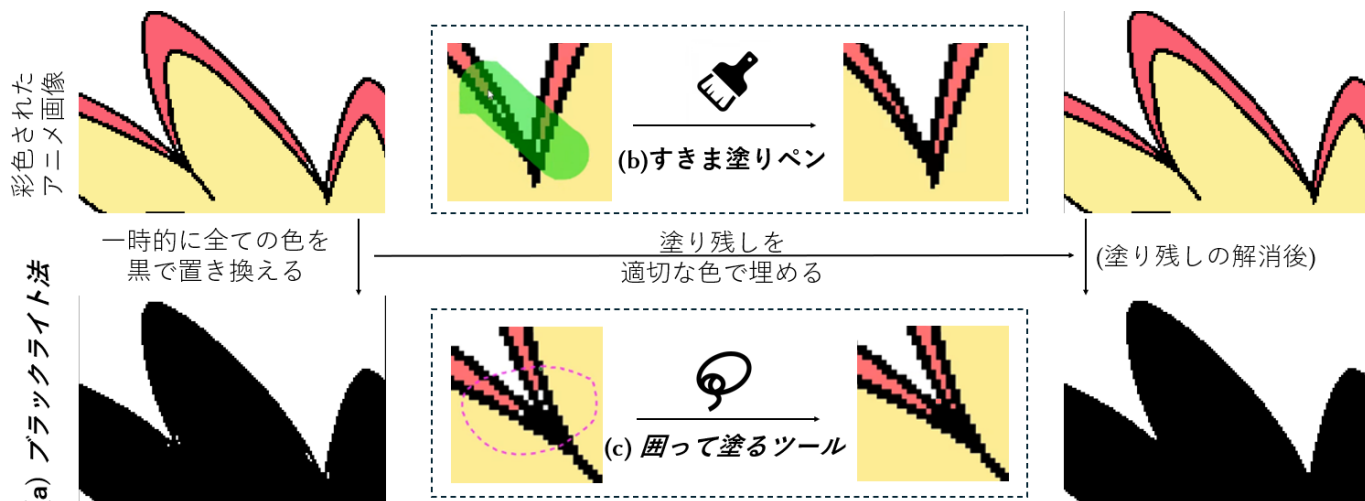


図2 塗り残しに対する従来手法と関連ツール。

塗るツール」[4]（投げ縄内の閉領域を指定色で一括で塗る，[図2c](#)）によって修正される場合が多いことが判明した。これらを踏まえて，以下の設計思想が抽出された。

- 従来手法に必然的に伴う「塗り残し検出」「拡大操作」「色選択」という反復操作を省略する。
- 塗り残し解消には主に周囲の色情報などの局所的な文脈を参照する。
- 現場の彩色者が慣れ親しんだ操作体系から自然に移行できる，直感的で認知負荷の低い操作感を提供する。

2.2 ユーザーインターフェイスの実装と主要機能（[図1](#)）

ユーザーの制作慣行に柔軟に対応するため，GapFill のUIはトグルボタンによって必要に応じて自由に有効化でき，以下の5つの主要機能を備えている。

塗り残しの自動検出と強調表示（[図1a](#)） グリッド上の幅優先探索により未着色の閉領域を自動で検出し，円形マーカーで強調表示する。本機能により，従来必要であった塗り残しの検出操作を省略できる。

塗り残しの自動色予測（[図1b](#)） 検出された各塗り残し領域に対して，予測色を一時的に重ねて表示する。本機能では，アニメ調画像特有のベタ塗りの配色と，塗り残しの発生が使用色に依存しない点に着目し，領域間の対応関係を学習した U-Net ベース [5] の軽量な深層学習モデルを採用した（[図3](#)）。具体的には，塗り残し周辺の線画マスクと塗り残し領域マスクを入力とし，各ピクセルが対象塗り残し領域と同一色である確率を表す確率マップを出力する。最終的に，尤度が最も高い領域の色を予測色として間接的に決定することで，局所的な情報に基づく頑健な色予測を実現する。本機能により，従来必要であった色選択操作を省略できる。

拡大プレビュー（[図1c](#)） 強調表示上にカーソルがある間は，局所的な拡大プレビューが表示され，塗り残し周辺を即座に確認できる。本機能により，従来必要であった

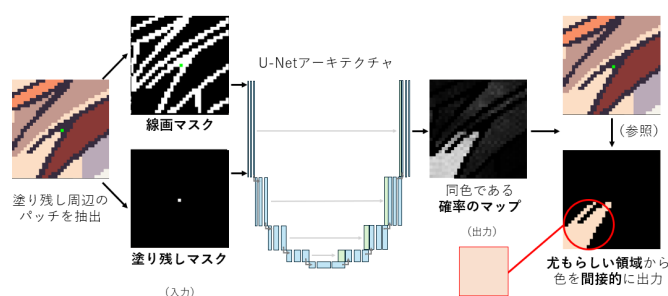


図3 GapFill における色予測手法。

拡大操作を省略できる。

予測色の手動修正（[図1d](#)） 拡大プレビューが表示されている（カーソルが強調表示内にある）状態でドラッグ操作を開始すると，色修正モードが起動する。このモードでは，カーソル下のピクセル色が動的に塗り残しの塗り色へ置換され，ドラッグを終了した位置の色が最終的な塗り色として確定する。本機能により，カラーピッカーに近い馴染み深い操作感を通じて，拡大操作を行うことなく少数の誤予測を手軽に修正できる。

予測色の一括適用（[図1e](#)） 予測色を妥当と判断した場合，カーソルが強調表示外にある状態でドラッグ操作を開始し，色を適用したい強調表示をまとめてなぞることで，複数の塗り残しに対して色予測結果を一括適用できる。また，「全適用」ボタンを押すことで全塗り残しにまとめて結果を適用することも可能である。本機能により，ブラシのような直感的な操作感を通じて，色予測を効率的に活用しながら，塗り残しを迅速に解消できる。

2.3 自動色予測モデルの学習方法

実アニメ画像データの分析から，小さな領域は周辺領域と同じ色を持つことが多いことを確認した。その上で，実アニメ1クール分の線画を閉領域分割し，面積が閾値の10画素未満の極小領域を「潜在的な塗り残し」として抽出した後，各候補を中心とする 32×32 の局所パッチを生成し，回



図4 ユーザスタディで使った2種類のペイントソフトの概要(赤枠は差分であり、タスクAの様子を表示している)。

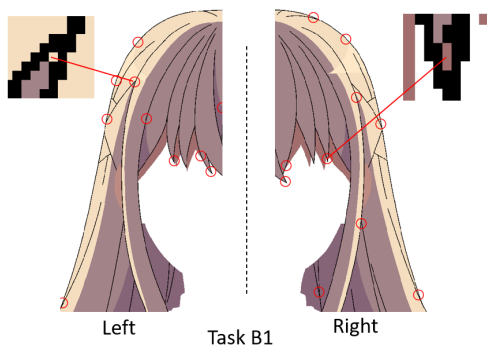


図5 タスクB1で用いた左右分割画像(赤丸は設定した塗り残り位置を、拡大図は色予測の誤りを注記している)。

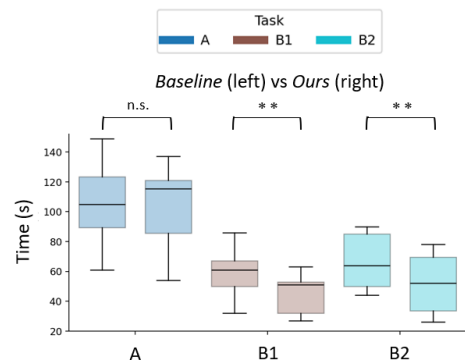


図6 各タスクの作業完了時間の比較。

転・反転によるデータ拡張を行った。これらを用いて、線画マスクと塗り残りマスクから、正解彩色済み画像上で最も近い同色の大領域を対応付けるようなモデルを学習した。

3 評価実験

3.1 評価実験の内容

GapFillの有用性と効率性を評価するため、13名の多様な経験年数を持つプロのアニメ彩色者を対象にユーザスタディを実施した。実験には、業界標準のClip Studio Paint (CSP) [4]*1の基本機能や操作感を再現し、実際の彩色工程を模した自作のWebベースペイントソフト(図4)やタスクを用いた。また、基本ツールを共通とし、事前調査で判明した従来の塗り残り解消手法を利用する条件と、提案手法のGapFillを利用する条件を設け、両者を比較した。

具体的には、実際のアニメ制作データから、事前調査において塗り残しが特に生じやすいとされた髪の毛の先を含む画像を選定し使用した。課題の内容としては、アニメ線画を一から彩色するタスクA(図4)と、ほぼ彩色済みの画像から塗り残しを検出・修正するタスクB1・B2(図5)を実施した。タスクAでは一連の彩色工程における有用性を、タスクBでは最終確認時の塗り残り修正における有用性を評価することを目的とした。比較の公平性を保つため、概ね左右対称な画像を分割して用い、特にタスクBでは塗り残しの位

置・数や誤予測数も調整するとともに、UI条件の提示順や使用画像を参加者間で入れ替え、学習効果を抑制した。

そして、GapFillのユーザビリティ(ISO 9241-11[6])を、(1)タスクA・Bにおける作業完了時間(効率性)と見落とした塗り残り数(有効性)による客観的なタスク性能、(2)7段階リッカート尺度・記述式併用のアンケートや半構造化インタビューを通じた主観的な有用性・操作感(満足度)、(3)各機能単位の評価やAI支援への信頼度などに基づいた実制作への導入可能性、の3つの観点から検証した。さらに、色予測手法そのものの評価に関しては、塗り残しの適切な色は必ずしも一意ではないとの仮説に基づき、極小領域へ自動色予測結果を一括適用した画像を観察・主観評価してもらうような、次工程への提出前確認を想定したタスクCも実施した。また、ユーザスタディとは独立して、未知のデータセットを用いた定量評価も行い、予測精度を客観的に検証した。

3.2 結果

まず、タスクA・Bにおける作業完了時間を比較した結果を示す(図6)。外れ値を除外した上で片側Wilcoxonの符号順位検定($\alpha = .01$)を行ったところ、タスクAでは従来手法($M = 106.50$ 秒, $SD = 26.65$)とGapFill($M = 104.17$ 秒, $SD = 25.15$)の間に有意差は認められなかった($W = 28, p = .212$)。一方、塗り残しの検出・修正に特化したタスクBでは、B1で従来手法の $M = 57.69$ 秒($SD = 15.59$)に対してGapFillは $M = 45.15$ 秒($SD = 12.28$)、B2では従来手法の $M = 66.27$ 秒($SD = 18.46$)に対してGapFillは

*1 CSPは外部アドオン実装に基本的に対応していない点に注意する。

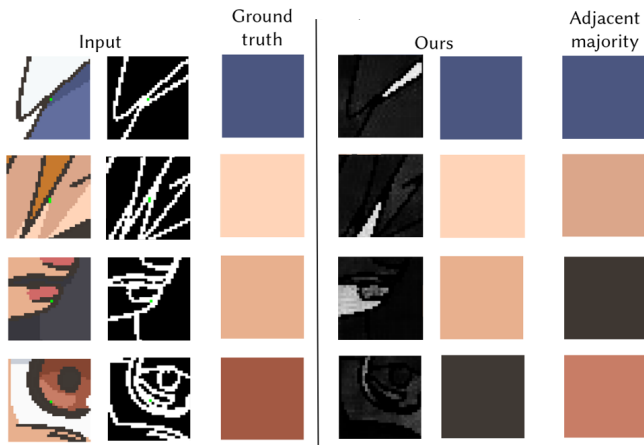


図7 塗り残し（緑色で強調）に対する、提案手法（確率マップ付き）と単純な貪欲法の色予測結果の比較例。

$M = 51.91$ 秒 ($SD = 19.66$) となり、いずれも有意な短縮が確認された ($B1:W = 6, p = .003$; $B2:W = 3, p = .002$)。また、GapFill では全参加者・全タスクを通して塗り残しが残らなかったのに対し、従来手法ではタスク A, B1, B2 でそれぞれ計 1 個、2 個、10 個の塗り残しが見落とされた。以上から、GapFill は特に最終確認時の塗り残し検出・修正において、従来手法より効率性・有効性の両面で優れることが示された。一方でタスク A では個人差も見られ、彩色中に塗り残しが発生するや否や従来手法で修正する方が慣れていると主張する参加者や、従来手法と GapFill を同時に使用してみたいと意見する参加者も存在したことから、従来手法と GapFill を相補的に活用できる可能性も示唆された。

主観評価においても GapFill は従来手法と比較して概ね高く評価され、特に塗り残しの検出支援に対する評価が高かった。タスク A では 13 名中 8 名、タスク B では 11 名が従来手法より GapFill を高く評価し、操作の直感性および修正後の確信度について各 10 名、作業負担の軽減について 9 名が肯定的に回答した。また、実制作への導入可能性については 12 名が肯定的であり、締切が迫る状況などで確認作業を短縮できる点などが評価された。一方で、新しい操作への慣れや AI への信頼に不安を示す参加者も存在し、GapFill による検出結果を従来手法でも再確認したいという意見までもが得られた。これらの結果から、実制作への導入においては単なる予測性能だけでなく、ユーザーが結果を確認・修正できる制御性や信頼感、そして既存の制作慣行との親和性が重要な役割を果たすと考えられる。

各機能単位の有用性に関しても概ね肯定的な評価が得られた。特に、塗り残しを自動検出するとともに円で強調表示する機能は全参加者から肯定的に評価され、従来必要であった拡大縮小や画面移動を繰り返しながら目視確認する負担が軽減されるとの意見が多かった。自動色予測は色選択の手間を削減する点が評価された一方、予測色の参照元をより明示してほしいとの意見も得られた。ホバー時の拡大プレビュー表示は概ね高く評価され、頻繁なズーム操作を減らせる点が好評であった一方、色の違いをより確認しやすくする

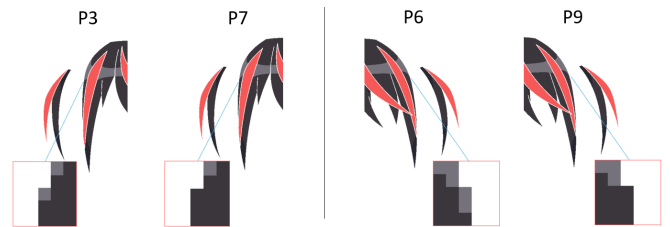


図8 タスク A における彩色結果の例。拡大図に示すように、塗り残しでは参加者間で異なる色選択が時折見られた。

ための表示サイズや倍率の改善が求められた。予測色の手動修正は全参加者から肯定的に評価され、周辺色を直感的に選択して AI の誤予測を修正できる点が好評であった一方、RGB 値などの補助情報の表示が改善案として挙げられた。また、複数の候補をまとめて適用する機能も全参加者から肯定的に評価されたが、一つずつ確認して最後に全適用ボタンを使用する参加者と、近接した候補をまとめてなぞって適宜適用する参加者に分かれた。これらは今後の社会実装に向けた改善の手がかりとなるとともに、ユーザーごとの多様な好みや作業方法を尊重し、柔軟に受け入れる設計こそが、現場への導入において肝要であることを示唆している。

最後に、色予測手法に関して、4 枚の代表画像を用いたタスク C による実制作上の主観評価は 7 段階で中央値 5 ($M = 4.5, SD = 1.6$) となり、全体としてやや肯定的な評価が得られた。特に極少数の単色領域に囲まれる箇所での高い精度が評価された一方、瞳など複数の細かな色領域が密集しかつ目立つ箇所では修正が必要であると度々指摘された。ただし、これらの誤りは局所的かつ修正箇所を把握しやすく、制作状況によっては十分実用的であるとの意見も得られた。また、微小な色の不一致は視聴者に気付かれにくい場合もある一方で、プロの彩色工程では基本的に高い精度が求められることが再確認された。さらに、学習に使用していないアニメ作品 1 話分を用いた客観評価 (図 7) では、提案手法は 102,041 個の極小領域中 83,345 領域で正しい色を予測し、正解率 81.68% を達成した。これは隣接 8 近傍の最多色を選択する単純な貪欲法の 37.02% (37,776/102,041) を大きく上回っている。また、NVIDIA RTX 6000 Ada 上で 1 パッチあたりの平均推論時間は 74 ms であり、インタラクティブ利用に十分な処理速度を有している点も実証された。

4 考察・結論および今後の展望

まず、色予測精度が GapFill の有用性に寄与する度合いについて考察する。提案した色予測手法は、未使用のデータセットに対する客観評価で 81.68% の精度を達成した一方、ユーザスタディでは予測誤りに対する受け止め方に個人差が見られた。誤予測が存在しても容易に手動修正できるため実用上問題ないとする参加者がいる一方で、一度でも誤りを確認すると AI への信頼が低下し、従来手法による再確認を求める参加者も存在した。また、納期などの制作状況によって許容できる誤りの程度が変化すると意見も得られた。し

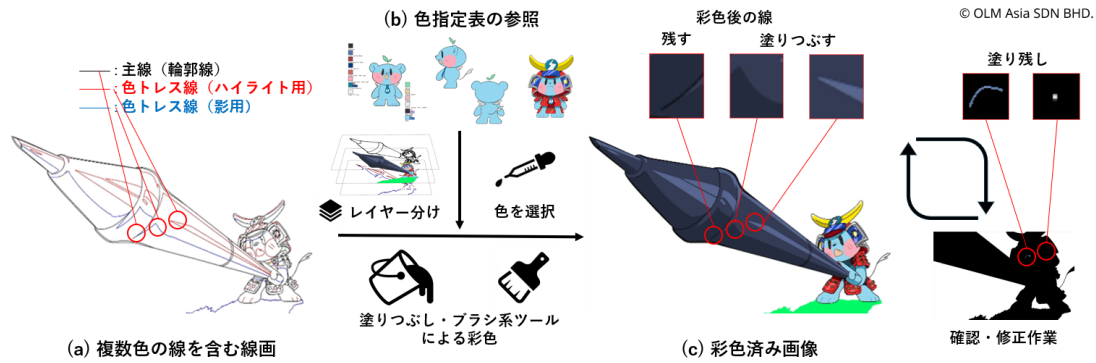


図9 [付録] 事前調査で判明した典型的なアニメ彩色工程: (a) 主線およびハイライト・影用の色トレス線を含む線画を準備し, (b) 色指定表から色を選択して分けられたレイヤー上で彩色を行い, (c) 最終的な彩色済み画像を完成させる。

たがって、実制作における有用性は予測精度のみで決まるものではなく、誤りを容易に確認・修正できる制御性や、タスクの重要度・制作状況などとの組合せによって決まると考えられる。さらに、本研究の問題設定では「予測精度」そのものの定義についても再考する余地があると思われる。塗り残しは数ピクセル程度の微小領域であり、色指定表に従って大領域を彩色する場合とは異なり、必ずしも唯一の正解色が存在するとは限らない。実際、タスク A の彩色結果を参加者間で比較すると、見た目にはほとんど差がないにもかかわらず、同一の塗り残しに異なる周辺色が選択される例が確認された（図 8）。加えて、タスク C でも全体的な精度は高く評価された一方、瞳などの視覚的に重要でもある領域では修正の必要性が相次いで指摘された。このことから、単純な画素単位の正解率だけでなく、塗り残しの大きさ・位置・周囲とのコントラストや視聴者目線の視覚的重要度を考慮した、知覚的・状況依存的な精度基準を検討することこそが、今後の自動彩色研究における核心的な貢献となり、制作現場の実用性向上に直結すると推察できる。

また、GapFill の現場導入を考える上では、新たな AI 支援への信頼と既存ツールとの関係も重要である。ユーザスタディでは、GapFill による自動検出や拡大表示を高く評価しながらも、最終確認では使い慣れたブラックライト法やツールを併用したい、あるいは工程次第では従来手法の方が扱いやすいとする意見が複数得られた。これは、新たな支援機能が既存の制作慣行を単純に置き換えるのではなく、それぞれの長所を活かしながら補完する形で導入されることの重要性を示している。特にプロの制作現場では最終的な品質への責任が制作担当者に残るため、AI に処理を全面的に委ねるのではなく、必要に応じて結果を確認・修正し、従来手法とも自由に使い分けられる設計が実用上肝要であると考えられる。これを踏まえると、今後は技術面とインタラクション面の双方から改善を進めるのが好ましいと思われる。色予測については、瞳などの細部における精度向上に加え、色指定画像や前後フレームを参照した予測、周辺領域が十分に彩色されていない場合への対応、ユーザーによる修正結果を逐次反映する仕組みなどが考えられる。UI についても、塗り残しが密集した際の強調表示の重なり抑制や、既存手法・ツ

ルとの統合が課題となる。さらに、アンチエイリアスを含む線画へ対象を拡張することで、アニメ制作に限らない彩色支援への応用も期待できる。すなわち、単に高い予測精度のみを追求するのではなく、人間の知覚・判断や既存の制作慣行を含めて支援手法を設計・評価することが、実制作に適した AI 支援ツールの実現に向けて重要であると結論付けられる。

謝辞

本研究で使用した画像は、「©IIS-P / ぼんのみち製作委員会」の素材に基づいて作成しました。本論文は、経済産業省と国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が実施する、国内の生成 AI の開発力強化を目的としたプロジェクト「GENIAC (Generative AI Accelerator Challenge)」の成果より作成されました。また、本研究は JST CRONOS JPMJCS25K1 の支援も受けました。

参考文献

- [1] J. Kato, K. Hara, and N. Hirasawa, “Griffith: A storyboarding tool designed with japanese animation professionals,” in *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2024, pp. 1–14.
- [2] C. Yan, J. J. Y. Chung, Y. Kiheon, Y. Gingold, E. Adar, and S. R. Hong, “Flatmagic: Improving flat colorization through ai-driven design for digital comic professionals,” in *Proceedings of the 2022 CHI conference on human factors in computing systems*, 2022, pp. 1–17.
- [3] A. Maejima, S. Shinagawa, H. Kubo, T. Funatomi, T. Yotsukura, S. Nakamura, and Y. Mukaigawa, “Continual few-shot patch-based learning for anime-style colorization,” *Computational Visual Media*, vol. 10(4), pp. 705–23, 2024.
- [4] Celsys, “Clip studio paint,” Website, 2025, retrieved August 21, 2026 from <https://www.clipstudio.net>.
- [5] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox, “U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation,” in *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*. Springer, 2015, pp. 234–241.
- [6] N. Bevan, J. Carter, and S. Harker, “Iso 9241-11 revised: What have we learnt about usability since 1998?” in *International conference on human-computer interaction*. Springer, 2015, pp. 143–151.

GapFill: アニメ調彩色における塗り残しの解消を支援するツール

河野 将大* 前島 謙宣†‡ 小山 裕己* SECHAYK Yotam* 五十嵐 健夫*

概要. 本研究では、アニメ制作現場における彩色工程を対象に事前調査を行い、ペイントソフトによる下塗り作業で塗りつぶし（バケツ）ツールが広く用いられている一方で、小さな未着色領域（「塗り残し」）が頻繁に発生し、既存ツールでは十分に対処されていない現状を明らかにした。これを踏まえ、現場の制作慣行に即した塗り残し解消支援ツール「GapFill」を提案する。提案ツールは直感的な操作性を通じて、「塗り残しの検出」「拡大操作」「色選択」といった従来では避けられなかった反復的作業の負担軽減を主目的としている。内部の色予測機能は、アニメ調画像特有のベタ塗りの配色に注目し、周辺領域の対応関係を参照して間接的に色を推定する深層学習手法によって構成されている。13名のプロの彩色者によるユーザスタディの結果、本ツールは従来ツールに比べて塗り残し修正作業の効率性と有用性を向上させることが確認された。

1 はじめに

日本産アニメーション（以下アニメ）の制作工程における「彩色」は、輪郭線や色トレス線などを含む線画に対し、色指定表に従って「塗りつぶし（バケツ）」ツールを用い、閉領域をベース色で塗りつぶす方法が一般的である。これは「仕上げ」と呼ばれる最終的な映像品質を左右する重要な工程の一部であるものの、年間200本を超える作品が制作される現在においても、依然としてデジタルペイントソフトによる手作業に依存している。

本研究では、制作工程の実態を把握するために事前調査を行った。その結果、既存ツールでは十分に対応できない実務的課題として、「塗り残し」という微小な未着色領域の効率的な解消が浮き彫りになった。これらの領域は特に髪の毛先の鋭角部で生じやすく、視認や修正に時間を要するため、作業効率を阻害する要因となっている。制作現場を対象とした絵コンテ支援 [2] や漫画彩色 [5] の研究は存在するものの、塗り残しに特化した解決策は提案されていない。また、自動彩色手法 [3] においても、小領域での高精度な色予測は困難である。以上を踏まえ、本研究ではプロの彩色者を想定利用者とし、塗り残し解消に特化した彩色支援ツール GapFill を提案する。

2 提案ツール：GapFill

2.1 設計思想

事前調査により、制作現場における塗り残し対策の実態が明らかとなった。塗り残しの検出には、彩色

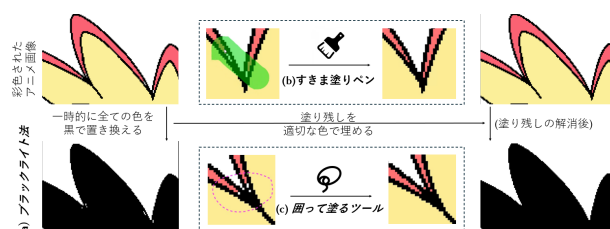


図 1. 塗り残しに対する従来手法

が概ね完了した段階で拡大縮小操作を繰り返し、単一操作で全体の塗りを一時的に黒へ変換する「ブラック/ホワイト法」(図 1a) が一般的に用いられる。この操作により未着色部分が白点として浮かび上がり視認しやすくなる。検出された塗り残しは、バケツツールに加え、「すきま塗りペン」 [1]（筆跡中の閉領域を指定色で一括で塗る、図 1b）や「囲って塗るツール」 [1]（投げ縄内の閉領域を指定色で一括で塗る、図 1c）によって修正される場合が多いことが判明した。

これらを踏まえて、以下の設計思想が抽出された。

- 従来手法に必然的に伴う「塗り残し検出」「拡大操作」「色選択」という反復操作を省略する。
- 塗り残し解消には主に周囲の色情報などの局所的な文脈を参照する。
- 現場の彩色者が慣れ親しんだ操作体系から自然に移行できる、直感的な操作感を提供する。

2.2 ユーザーインターフェイスの実装 (図 2)

塗り残しの自動検出と強調表示 幅優先探索により未着色の閉領域を自動検出し、円形マーカーで強調表示する。本機能により、従来必要であった塗り残しの検出操作を省略できる。

塗り残しの自動色予測 検出された各塗り残し領域に対して、予測色を一時的に重ねて表示す

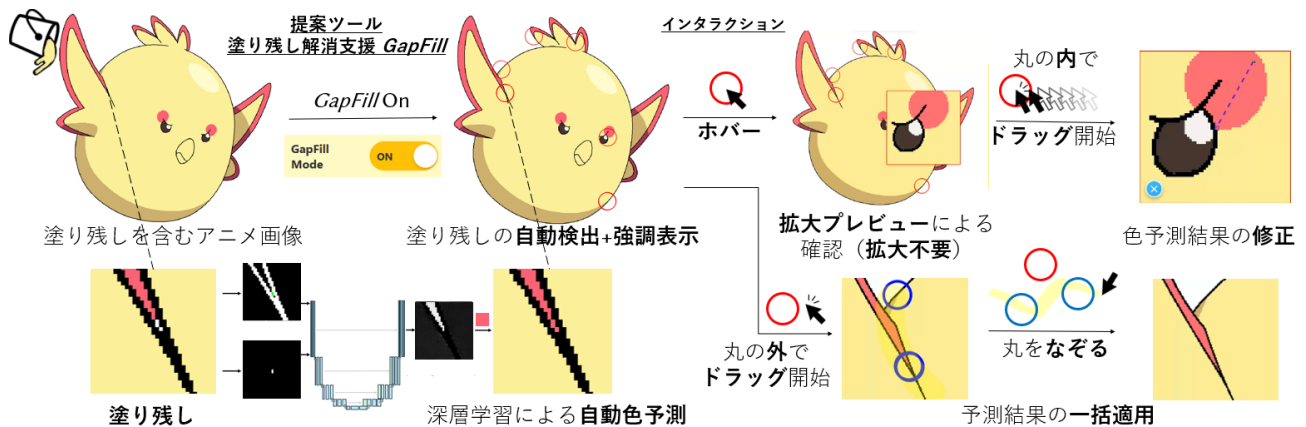


図 2. GapFill に搭載されているインタラクション機能

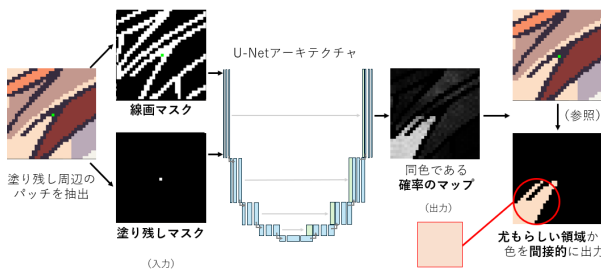


図 3. GapFill における色予測手法

る. 本機能では, アニメ調画像特有のベタ塗りの配色と, 塗り残しの発生が使用色に依存しない点に着目し, 領域間の対応関係を学習した U-Net ベース [4] の深層学習モデルを採用した (図 3). 具体的には, 塗り残り周辺の線画マスクと塗り残り領域マスクを入力とし, 各ピクセルが対象塗り残り領域と同一色である確率を表す確率マップを出力する. 最終的に, 尤度が最も高い領域の色を予測色として間接的に決定することで, 局所的な情報に基づく頑健な色予測を実現する. 本機能により, 従来必要であった色選択操作を省略できる.

拡大プレビュー 強調表示上にカーソルがある間は, 局所的な拡大プレビューが表示され, 塗り残り周辺を即座に確認できる. 本機能により, 従来必要であった拡大操作を省略できる.

予測色の手動修正 拡大プレビューが表示されている (カーソルが強調表示内にある) 状態でドラッグ操作を開始すると, 色修正モードが起動する. このモードでは, カーソル下のピクセル色が動的に塗り残しの塗り色へ置換され, ドラッグを終了した位置の色が最終的な塗り色として確定する. 本機能により, カラーピッカーに近い馴染み深い操作感を通じて, 拡大操作を行うことなく少数の誤予測を修正できる.



図 4. ユーザスタディで使用した 2 種類のペイントソフトの概要 (赤枠は差分, タスク A の様子)

予測色の一括適用 予測色が妥当と判断された場合, カーソルが強調表示外にある状態でドラッグ操作を開始し, 対象の強調表示をなぞることで, 複数の塗り残りに対して色予測結果を一括適用できる. また, 「全適用」ボタンを押すことで全塗り残しにまとめて結果を適用することも可能である. 本機能により, ブラシのような直感的な操作感を通じて, 色予測を効率的に活用しながら, 塗り残しを迅速に解消できる.

3 評価実験の概要

業界標準の Clip Studio Paint [1] の基本機能や操作感に加え, 実際の彩色工程を模した自作ペイントソフト (図 4) を用いて, 13 名のプロのアニメ彩色者を対象にユーザスタディを実施し, 従来手法と提案手法を比較した. 実験では, 髪を含んだ殆ど左右対称なアニメ画像を半分に分割したものを用意し, 実際のアニメ線画を一から彩色するタスク A (図 4) と, 塗り残しの発生条件が公平になるよう調整した部分的彩色済み画像を用いた塗り残り検出・修正特化タスク B1・B2 の 2 種類の課題を行わせた. タスクの遂行時間による定量評価の結果, 提案ツールはタスク B において有意な改善を示した. さらに, アンケート及び半構造化面接による主観評価では, 概ね肯定的な意見が得られるとともに, 提案手法が既存手法を補完しうる可能性が示唆された. また, 現場導入に向けた機能単位での評価や改善案も収集された.

謝辞

本研究で使用した画像は、「©IIS-P／ぽんのみち製作委員会」の素材に基づいて作成しました。また、本論文は、経済産業省と国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施する、国内の生成 AI の開発力強化を目的としたプロジェクト「GENIAC（Generative AI Accelerator Challenge）」の成果をもとに作成されました。本研究は、JST CRONOS JPMJCS25K1 の支援も受けたものです。

参考文献

- [1] Celsys. CLIP STUDIO PAINT. Website, 2025. Retrieved October 24, 2025 from <https://www.clipstudio.net>.
- [2] J. Kato, K. Hara, and N. Hirasawa. Griffith: A Storyboarding Tool Designed with Japanese Animation Professionals. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–14, 2024.
- [3] A. Maejima, S. Shinagawa, H. Kubo, T. Funatomi, T. Yotsukura, S. Nakamura, and Y. Mukaigawa. Continual few-shot patch-based learning for anime-style colorization. *Computational Visual Media*, 10(4):705–723, 2024.
- [4] O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention*, pp. 234–241. Springer, 2015.
- [5] C. Yan, J. J. Y. Chung, Y. Kiheon, Y. Gingold, E. Adar, and S. R. Hong. FlatMagic: Improving flat colorization through AI-driven design for digital comic professionals. In *Proceedings of the 2022 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 1–17, 2022.

未来ビジョン

提案した色予測手法そのものは、未使用のデータセットを用いて客観的に精度を評価できる（実際 82 % の精度を達成している）一方で、問題設定自体を揺るがしかねない本質的な問いが存在する。それは、そもそも視認が困難なほど塗り残しが小さいのであれば（色指定表に基づく大領域の彩色とは異なり）、果たして「絶対的に正解となる色は存在するのか」という点である。もし尤もらしい「正解」が複数許容されるのであれば、単純に周囲の最頻色で埋めるだけでも実用上十分であり、有用性に対する予測精度の寄与を再考する必要性が生じる。

この仮説を検証するために、ユーザスタディでは、色予測結果の主観的評価を問うタスク C も実施した。その結果、客観的な精度評価に比べて主観評価は大きく向上せず、多くの参加者は概ね高精度と評価しながらも、瞳のように人目につきやすく現手法が苦手とする領域では修正が必要と指摘した。

また、タスク A で得られた彩色結果を参加者間で比較すると、見た目には差異がない一方で、数ピクセル単位で異なる色選択が複数確認された。これらを踏まえると、「精密な予測が求められる状況」を慎重に検討したうえで、視聴者の知覚に基づく本質的な「精度」を定義することこそが、自動彩色研究における核心的な貢献となり、制作現場の実用性向上に直結すると推察できる。

このように、ほんの数ピクセルの世界にしか思えない、一見すると些末な問題設定の中に、人間の認知や判断にまで関連するような深淵な問いが潜んでいる——この思いがけない繋がりが見えこそが、本研究が投げかける最も興味深い示唆であろう。