

## 最適化に基づくテーマカラーへの変換システム

佐藤 周平<sup>1)5)</sup>(正会員) 櫻井 快勢<sup>2)</sup>(正会員) 水嶋 楓華<sup>3)</sup>(非会員) 土橋 宜典<sup>4)5)</sup>(非会員)

1) 法政大学 2) 株式会社サイバーエージェント 3) 富山大学  
4) 北海道大学 5) プロメテック CG リサーチ

## An Optimization-based Recoloring System to Theme-Color

Syuhei Sato<sup>1)5)</sup> Kaisei Sakurai<sup>2)</sup> Fuka Mizushima<sup>3)</sup>  
Yoshinori Dobashi<sup>4)5)</sup>

1) Hosei University 2) CyberAgent, Inc. 3) University of Toyama  
4) Hokkaido University 5) Prometech CG research

ssato @ hosei . ac . jp

### 概要

本研究では、動画像を特定のテーマカラーとして表現するための新しい色変換手法を提案する。このような色変換を実現するには、元画像の見た目の印象を保つために、画像内の全ての色を、元の色関係とテーマカラーの両方に注意して調整する必要がある。この作業は容易ではなく、ユーザは試行錯誤により色を決定するため、多くの時間を要する。この問題に対し、我々はユーザ指定のテーマカラーと元画像の色分布の両方を考慮して自動的に画像の色変換を行う手法を提案する。最初にユーザが入力画像の一部の領域の色を指定し、次にシステムが入力画像の見た目を保持して自動で残りの領域の色を調整する。本手法では、この自動調整を最小化問題として定式化する。ただし、画像内の全ての色を求めると計算量が膨大になるため、画像中の色を量子化するカラーパレットのアイデアを利用し、インタラクティブな色変換を実現する。また、この色変換を動画にも適用できるように拡張する。動画では、全体で統一されたカラーパレットを定義し上記の方法により色変換を行う。この時、動画の全フレームからパレットを構築すると計算量が多くなるため、いくつかのフレームのみを利用する。様々な例により提案手法の有効性を示す。

### Abstract

This paper introduces a novel color transformation method for recoloring an image to colors with a specific theme. To achieve such recoloring, we often need to adjust all colors in an image to keep the natural appearance of the original image. This task, however, is difficult and we usually determine the colors by tedious trial-and-error processes. We address this problem and propose an optimization-based approach that takes into account both the user-specified color theme and the color distribution of the original image. Users first specify a color of some regions in an input image, and then our system automatically adjusts the colors of the rest of the regions to keep the appearance of the input image. This automatic adjustment is formulated as a minimization problem. We accelerate the computation by solving the problem using a quantized color palette. In addition, we extend the method for a video. The color palette is built from the colors on some frames of the video since the calculation of all colors on all frames would be too much cost. We show several examples to demonstrate the effectiveness of our method.

## 1 はじめに

画像や動画は、用途に合わせて編集や加工を施すことで、様々なコンテンツの表現の幅やクオリティを向上させる。このために、動画像の編集や加工の技術が数多く提案されており、動画像編集ソフトや現在ではスマートフォン・タブレット端末においても、それらの技術を用いて画像や動画の編集ができる。それらの技術の中でも色編集は、簡単に動画や画像の印象を変えられる方法として有効なため、様々な場面でよく利用される。しかし、所望の見た目を得るために、動画や画像中の全ての色に対して適切な色の組み合わせを選択することは簡単ではなく、ユーザは大抵時間のかかる煩雑な試行錯誤により色を決める必要がある。

それらに対処するために、様々な色編集の方法が提案されている。その中でも、画像中の色を量子化により少数の代表色として表現したカラーパレットを介して画像全体の色を編集する、パレットベースの色編集手法 [1] は、編集すべき色の数を大きく減らすことができる。ただし、パレットの各色は手動で調整する必要があり、ユーザは面倒で時間のかかる作業から完全には解放されない。一方で、色彩調和理論に基づく色変換 [2] やパレット探索 [3] などの手法では、画像の色を自動的に調整できる。ただし、これらの手法の目的は、元の画像の印象を維持することを考慮せず、また芸術的な編集ではなく、画像の自然な外観を作成することである。特に、特定のテーマカラーを画像に適用したい場合、元画像の印象を残すために、テーマカラーと元の画像の色の両方を考慮する必要がある。動画や画像にテーマカラーを与えることは、表現したい感情や雰囲気などを強化でき、効果的に利用することで、シーンをより印象的にできる。このような編集は、ミュージックビデオや広告などの芸術的な分野で使用されるため、テーマカラーを適用するためのシンプルな色変換システムは、そういったものを制作するアーティストにとって便利である。

本研究では、動画像のテーマカラーへの変換を目的として、ユーザ指定の色と元画像の色分布の両方を考慮して画像の色を自動的に調整する方法および、この画像に対する色変換を動画へ拡張する方法を提案する。まず画像の色変換では、元画像の色、テーマカラーとなるユーザ指定の色、および画像内の色間の相対的な差といった

3つの要素との差分を評価するエネルギー関数を最小化して最適な色の組み合わせを得る。しかし、画像内の色の数は大抵非常に多いため、最小化問題を解く計算コストが膨大になる。そのため、我々はカラーパレットの技術を用いて、画像を表現する代表色を求めることで色の数を削減し、最適化されたカラーパレットを計算する。このパレットベースのアプローチにより計算を大幅に高速化でき、インタラクティブな色の編集を可能とする。本システムでは、ユーザがパレット内のある1つの色を変更すると、残りの色が自動的に更新され、リアルタイムに結果の画像を表示する。次に動画の色変換では、上記の画像の色変換を動画の各フレームで独立に適用すると、構築されるパレットが異なるためフレーム間で色が不連続になる場合があり、一方で全フレームの画像から1セットのパレットを構築するのは多くの計算時間を要する。そこで、本システムでは動画のあるフレームに対して、その周辺のフレームは大抵大きく色の分布が変化することはないという仮定のもと、パレット構築に用いるフレームをユーザが指定した一定の間隔ごととするすることで、計算コストを削減する。本稿では、写真やイラスト、動画を含む様々な例を示すことで提案手法の有効性を実証する。本稿の内容は、過去の我々の発表 [4] に、動画の色変換を追加したものとなっている。

以降、本稿の構成は、第2節で関連研究について議論する。その後、第3節で提案手法の詳細を説明し、第4節で提案手法を用いた実験結果とその考察および実施したユーザスタディの結果について述べる。そして、最後に第5節でまとめとする。

## 2 関連研究

### 2.1 パレットベースの画像の色変換手法

カラーパレットを利用した画像の色変換手法はこれまでも提案されている。代表的な手法に Chang らの手法 [1] が挙げられる。画像内にある画素の色を集計し、主たる色を並べてカラーパレットを作成する。カラーパレットの色を編集することで画像中の色に反映される。具体的には、k-means 法により画像中の色をクラスタリングする。このとき、クラスタの中心から各色への影響を Gaussian mixture models で決定する。色の変更の際も、パレット上の色の明度を保つため、変更前のパレット間の明度を保持するように自動で調節し、明度の

単調性を保持している。画像中の色をすべて手動で変更するのに比べ、数個のパレットを変更するのみで画像の色を変更でき、画像の色編集にかかる煩雑な作業を大幅に低減できる。ただし、元の画像の色のバランスを保つためには、試行錯誤が必要である。これに対し、本研究ではユーザ指定の色と元の画像の色の両方を考慮した色を自動で算出する。

また、Zhang らの手法 [5] では、画像を色レイヤーに分解することで、これらの特性を保持しながら柔軟に色を変更することができる。最初に k-means 法を用いて代表色を求め、代表色で構成されるパレットを生成する。次に画像全体の色をパレットの代表色に線形結合し分解する色分解最適化を行う。これにより、パレットの色ごとに分解される。ユーザがパレットの色を変更すると、パレットが再結合することで、画像の色に反映される。

Tan らの手法 [6] では、色空間における画像中の色の分布に対して凸包を計算し、その構造からカラーパレットを抽出する。具体的には、5DRGBXY の空間におけるその頂点をパレットの色として抽出する。画像がカラーパレットに対応したレイヤーに分解され、ユーザはインタラクティブに色を編集できる。しかし、5D 凸包の構築には時間を要する。1 枚の画像に数分の処理が必要となる。

Shugrina らの手法 [7] では、元画像からカラーパレットを抽出し、深層学習を用いて、適切なパレットを生成する。自然な色分布を近似できるように学習されているため、色変換後に自然なグラデーションを表現できる。

## 2.2 画像の自動色変換手法

Cohen-Or らの手法 [2] は、色彩調和理論に基づいて色を自動的に変換する。色彩調和理論とは、色やトーンが似ているもの同士は調和するという法則に基づいた、色の組み合わせの理論である。調和テンプレートの 1 つに画像の色彩ヒストグラムがフィットするように色を修正する。この手法では、画像やイラストの最適な色間の調和を得ることができる。入力画像から、色彩ヒストグラムを得ることができ、調和テンプレートの 1 つにフィットするようにヒストグラムをシフトする。そしてシフトされたヒストグラムを適用した画像が出力される。しかし、我々の実験では、この理論に基づいた結果は不自然になることが多いことを確認している。

Lin らの手法 [3] では、白黒画像を自動的に着色する

ための確率因子グラフモデルを提案した。モデルは多数の例示パターンを用いてトレーニングされ、色の組み合わせ、色の空間配置の両方を考慮するように組み込まれる。マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて、ある色から次の色の発生確率を求めることで着色していき、新しいカラーリングの多様なセットを生成する。ユーザは生成された提案を利用することで、ランダムに色を着色した場合に比べて所望の色のパターンの画像を作ることが出来る。しかし、提案される色はデータセット内に含まれるパターンに制約されてしまう。そのため、もし結果が満足のいくものでなければ、追加のデータセットを用意する必要がある。

Mellado らの手法 [8] は、ユーザ指定の色が与えられると、自動的にパレットの色を決定する。具体的には入力画像の色を、色合い、コントラストなどに分別し、色をグラフとして表す。ユーザが色を操作している間、グラフに保存されている制約を満たすように色が更新される。2 つの入力色が与えられた場合、補間された制約を維持しながら 2 つの入力をスムーズにブレンドするために、連続的な色補間を行う。しかし、この手法は元画像の色分布を考慮しないため、結果の画像の印象は、入力画像の印象とは異なるものとなってしまう、我々の目的には合わない。一方で我々の手法は、色の中の相対的な関係を可能な限り保持することで、元画像の印象を保ったまま色を最適化する。

Wang らの手法 [9] では、画像内の目的の色テーマを強化するためのデータ駆動型の方法を提案している。目的の色のテーマ、テクスチャと画像内の色の分布および、自動またはユーザ指定の色の制約を同時に考慮する最適化として定式化している。イメージとカラーテーマはそれらの色の組み合わせの加法関係の一般化によって違いを定量化することが出来る。編集された画像の自然な外観を維持するために、写真のデータベースから抽出されたテクスチャと色の関係などの事前知識を定式化により考慮する。しかし、カラーテーマを適用するのみで元画像の色を考慮しない。本研究ではカラーテーマの色だけでなく、元画像の色も考慮する。

## 3 提案手法

本画像の色変換システムの概要を図 1 に示す。まず、与えられた入力画像に対してカラーパレットを作成し、

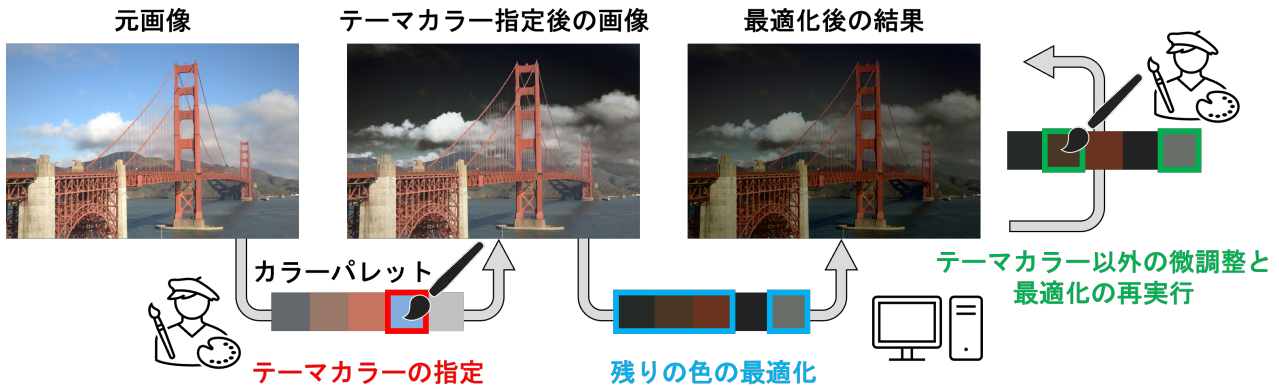


図1 提案する画像の色変換システムの概要.

ユーザがパレット内の1つの色を所望のテーマカラーへ変更する. 次に, 最小化問題を解くことでパレットの残りの色を, テーマカラーと元の色関係の両方を考慮した色へ更新する. そして, パレットが最適化された後, パレットの色を画像に反映させる. また, 本システムでは最適化後にテーマカラー以外の色も調整でき, またテーマカラーと調整された色以外のみを再度最適化を実行して更新できる. これにより微調整も可能である. 以下では各処理の詳細をそれぞれ説明する.

### 3.1 パレットの作成

まず, Chang らの手法 [1] を用いて, 与えられた入力画像に対してカラーパレットを作成する. パレットは, 画像中の代表的な色を示すものである. この方法では, 代表色を選択するために k-means 法を用い, クラスタの中心の色を代表色として使用する. 入力画像の色は, クラスタの中心からの距離が最小のクラスタに各色を繰り返し割り当てることにより分類される. 色間の距離は, Lab 色空間において計算される. k-means 法の結果は初期クラスタの中心に依存するため, この方法では初期中心が一定の距離を保つように初期中心を均一に分散させる. 基本的に, 入力画像のヒストグラムの上から k 番目までの色が, クラスタの初期中心に使用される. 初期中心を分散させるために, この方法では, すでに選択されているクラスタ中心の近くの色を選択することを避ける. さらに, 他のクラスタに多くの暗い色が含まれないようにするため, 初期クラスタの中心の1つに黒色が追加される. 一度カラーパレットが得られると, ユーザは画像の色を編集できる.

### 3.2 パレットの色の最適化

本システムでは, ユーザがパレット内のある1つの色を変更すると, 以下に記述する最小化問題を解くことで即座にパレットの残りの色を更新する. 我々の目的関数は, ユーザの編集した色との差を最小化しつつ, 元画像の印象を保つように設計されている. パレット内の  $n$  番目の色を  $I_n$  とし, ユーザにより編集された色を  $I_u$  とすると, 最小化問題は以下のように定式化される.

$$\arg \min_{\bar{\mathbf{I}}} \sum_{\substack{n=1 \\ (n \neq u)}}^{N_I} \{ \alpha (I_n - I_n^o)^2 + (1 - \alpha) (I_n - I_u)^2 + \frac{\beta}{N_I - 1} \sum_{\substack{m=1 \\ (m \neq n)}}^{N_I} ((I_n - I_m) - (I_n^o - I_m^o))^2 \}, \quad (1)$$

ここで,  $\bar{\mathbf{I}} = \{I_1, \dots, I_{u-1}, I_{u+1}, \dots, I_{N_I}\}$  は  $I_u$  を除くパレットの色のセットであり,  $N_I$  はパレットの色の数である.  $I_n^o$  は入力画像に対して計算された, パレットの元の色を表す.  $\alpha$  と  $\beta$  は, 式 (1) の各項の影響を調整するユーザ指定の係数である. 第1, 2項目は元の色およびユーザ指定の色からの差分をそれぞれ意味する. 第3項目は最適化後の各パレット間の色の差が, 元のパレットにおける色の差を可能な限り保つように働く. 我々は色空間として Lab 色空間を用い, 式 (1) は L, a, b の3つの成分について独立に計算される. 上記の目的関数を未知変数である  $I_n$  で微分することで, 連立一次方程式が得られ, これを LU 分解を用いて解く. パレット表現により色の数を削減しているため, 最適化された色のセットを高速に求められる.

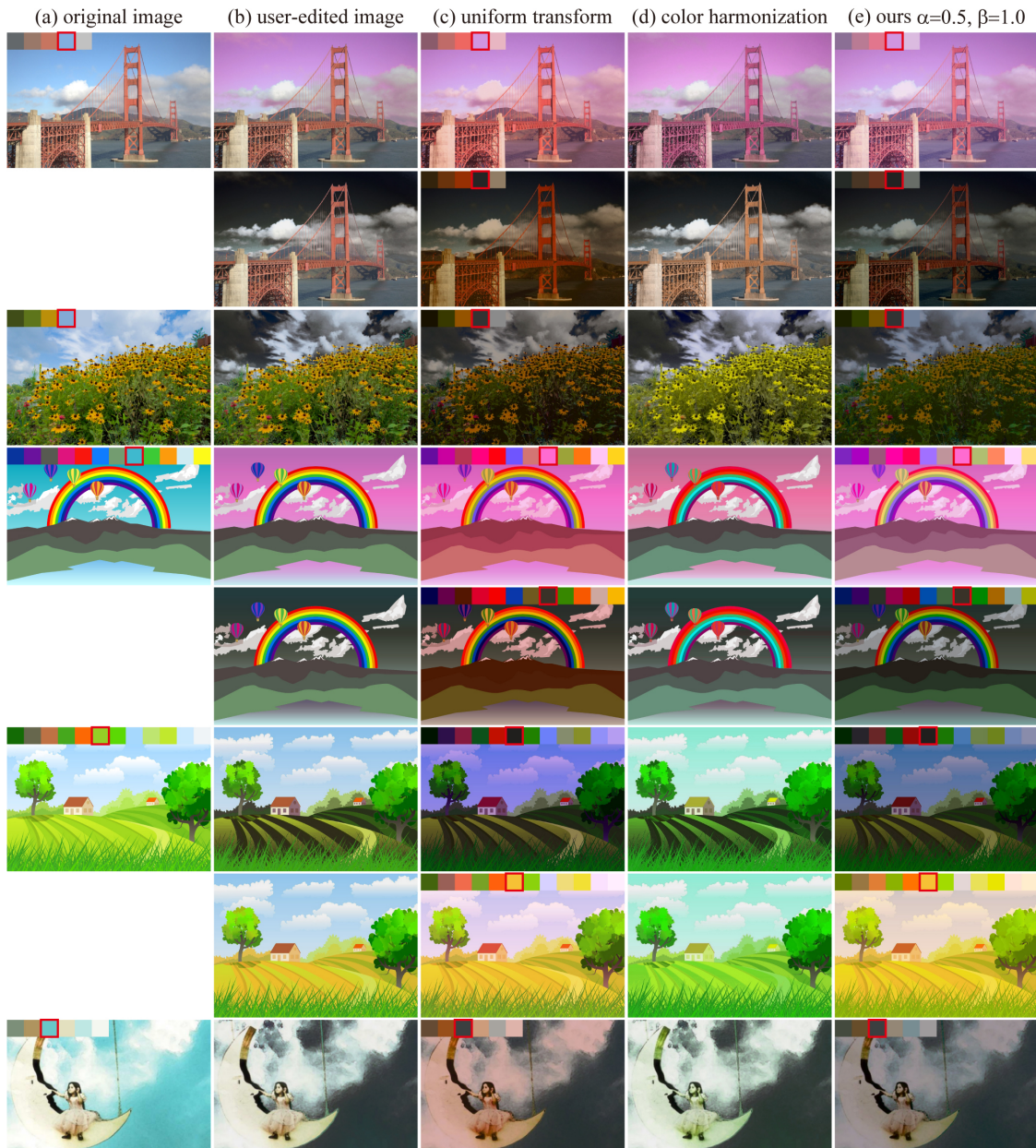


図 2 提案手法による画像への適用例 (画像の出典 : <https://data.csail.mit.edu/graphics/fivek/> (1–3 段目の画像), <https://jospicturelwieg.blogspot.com/2021/05/70-234986.html?3> (4, 5 段目の画像), <https://publicdomainq.net/countryside-field-0033553/> (6, 7 段目の画像), 文献 [9] (8 段目の画像))。

### 3.3 色変換処理

パレットが最適化された後、画像のピクセルの色は次のように更新される。本色変換では、元のパレットと変更されたパレットの差分を考慮してピクセルの色を更新する。これには、入力画像のピクセル色に Lab 色空間での差分を追加する従来手法 [1] を使用する。この方法において、ピクセルに追加される色は、最適化されたパ

レットの色と元のパレットの色との差の加重平均として得られる。ピクセルの色に近いパレットの色には大きな重みが割り当てられ、逆に遠いパレットの色に対する重みは小さくなる。この重みは、放射基底関数を使用して計算される。本手法では、Chang らの手法 [1] と同様に、ガウシアンカーネルを放射基底関数として使用した。新しいピクセルの色が Lab 色空間の範囲を超えてしまった

場合は、その色を色空間の境界に投影する。

### 3.4 パレットの微調整

ユーザは最適化後のパレットの色  $\bar{I}$  を編集することで、色を微調整することが出来る。そして、テーマカラーと微調整したパレットの色を考慮して再び最適化したい場合、微調整していないパレットの色のみを更新することが出来る。 $\bar{I}$  から微調整された色を除くことで、微調整していない色のセット  $\bar{I}'$  を構築する。そして、式 (1) において、 $\bar{I}$  を  $\bar{I}'$  に置き換えて計算する。

### 3.5 動画の色変換

本節では、前述までの画像の色変換に基づき、動画の色変換する方法について述べる。動画の各フレームで独立にパレットの構築を行うとフレーム間で色が不連続になる場合があり、一方で全フレームの画像から 1 セットのパレットを構築するのは多くの計算時間を要する。そこで、本システムでは動画のあるフレームに対して、その周辺のフレームは大抵大きく色の分布が変化することはないという仮定のもと、パレット構築に用いるフレームをユーザが指定した一定の間隔ごととするすることで、計算コストを削減する。構築されたパレットの色をユーザが変更すると色が最適化され、最適化された色を全フレームに反映させる。パレット化、最適化、色の反映は前節までで述べた手法と同一である。

## 4 実験結果

図 2 に、提案手法および他の 2 つの色変換手法による比較を示す。(a) は入力となる元画像であり、左上にそれぞれの入力画像において計算されたパレットの画像を示す。パレット内の赤色の矩形はユーザが編集した色を示している。(b) はユーザが赤色矩形で示すパレットの色を変更した後の画像である。ユーザは最初に指定したい領域のパレットを 1 つ選択し、次にテーマカラーを CIELAB 色空間で指定する。(c) では、ユーザが編集したパレットの色と、そのパレットの元の色との差分の半分の量だけ、残りのすべてのパレットの色を一様に変更した場合の結果である。(d) は (b) の画像に対し、color harmonization の手法 [2] を適用して得られたものである。そして、(e) は提案手法による結果であり、2 つのパラメータはそれぞれ、 $\alpha = 0.5$ ,  $\beta = 1.0$  に設定した。

図 2 の上から 3 段目までの結果は実写画像への適用例である。これらを見て分かる通り、(c) の一部の領域で

は、元の画像とテーマカラーの色相から大きく逸脱している。特に橋の画像の例 (1 段目と 2 段目) では、空、山、海の領域に赤みがかった色が見られる。(d) では、指定した領域以外の色がテーマカラーの色相から逸脱している結果となった。特に、花の色 (3 段目) が元の色よりも黄色くなってしまっている。また、(d) では、いくつかの領域の色が元画像から大きく変化してしまっているが、明るさは (b) とほとんど同じままであり、不自然な見た目となっている。これら他の色変換の結果に対し、提案手法ではユーザ指定の色を反映しつつ、元画像の各色間の関係性を保つことが出来ている。

図 2 の 4 段目以下はイラストに対しての適用例である。イラストの場合、(c) の一部の領域で元の画像やテーマカラーにはない色が見られる。4 段目の例では山と雲が赤くなっており、8 段目の例でも雲と月が赤みを帯びている。(d) では、実写の例と同様に、いくつかの領域の色が元画像から大きく変化してしまっているが、明るさは (b) とほとんど同じままであり、不自然な見た目となっている。イラストを用いた結果も同様に、他の色変換の結果に対し、提案手法ではユーザ指定の色を反映しつつ、元画像の各色間の関係性を保つことが出来ている。

続いて図 3, 4 に、動画に対して提案手法の色変換を行った結果を示す。図 3 では 85 フレーム間隔で 3 フレーム分、図 4 では 150 フレーム間隔で 5 フレーム分の画像を抽出し、パレットを構築した。図 4 の方が動画の時間が長いので、フレームを多めに指定している。いずれも左の画像から動画が開始し、順に一定時間経過後のフレームを掲載した。どちらの結果もユーザが指定した色を考慮しつつ、元画像の各色間の関係性が保たれている。これら動画への適用例や本システムを用いた編集の様子を含むビデオを補足資料として添付しているので、参照いただきたい。

しかし、一部の画像では図 2 の一様な変換 (c) と提案手法 (e) の結果の違いがわずかであった。そのため、提案手法の有効性を検証するためユーザスタディを行ったので次の節で述べる。

### 4.1 ユーザスタディ

上述の通り、提案手法と一様な変換との間には大きな違いがない例も存在する (図 2 の (c) と (e) を参照)。そこで、「元画像の印象を保ちつつ、画像の色をテーマカラーへ変更する」という目的に適した結果を検証するた



図3 動画への適用例 1.

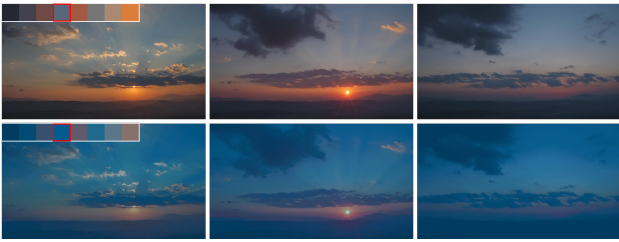


図4 動画への適用例 2 (動画の演出:  
<https://pixabay.com/videos/sunset-sea-sun-evening-atmosphere-153976/>).

めユーザスタディを行った。我々のユーザスタディではまず、実験の参加者に元画像、テーマカラーおよびその指定箇所を示す。また、提案手法と一様な変換によって得られた画像を提示する。次に参加者は目的により適した画像を1つ選択する。この実験では、図2の8つの画像を使用した。図5は、ユーザスタディで参加者に提示した画面のスクリーンショットである。実験の参加者は、1年半以上の研究経験を持つ修士課程の学生と半年以上の研究経験を持つ学部生からなる9名である。この9名は、資料作成などのための簡単な画像編集の経験があり、画像処理を授業で学んだ情報系の学生である。また、年齢は22~24歳、性別は9名全員男性である、実験は1人当たり5~10分かかった。謝礼等は出しておらず、無償で実験への協力を依頼した。

ユーザスタディの結果を図6に示す。横軸の数字は図2の行に対応し、縦軸は投票数を表す。ほとんどの例で、より提案手法の方が多くの票を獲得している。一方、一様な変換のほうが投票の多い3番目、7番目の例でも大きな差はなく、ほぼ同数となった。これは、これらの例では提案手法と一様な変換の画像の間にわずかな違いしか見られないため、このような結果になったと考えられる。これらのユーザスタディの結果から、提案手法は一

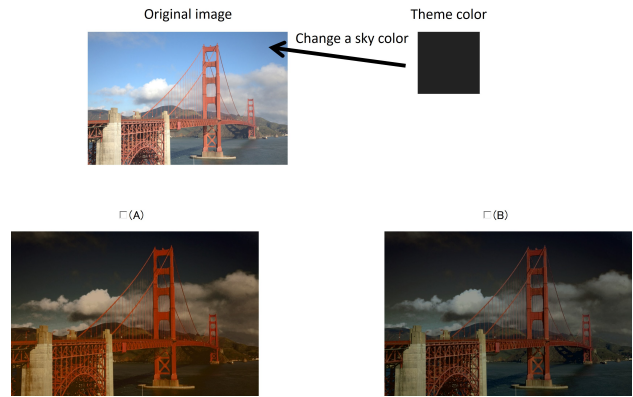


図5 ユーザスタディで実際に使用された画面のスクリーンショット。

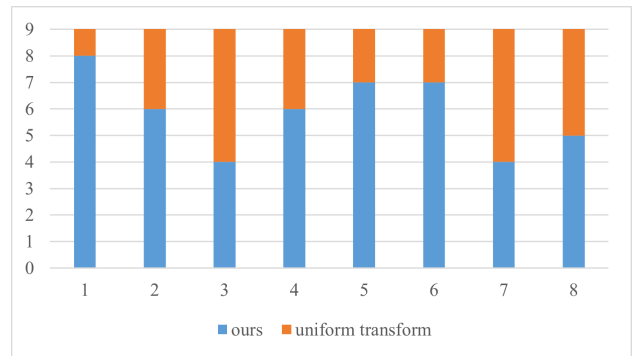


図6 ユーザスタディにおける各実験の分布。

様な変換よりも優れた、または同様の結果を得られることがわかった。そのため、我々の定式化は元画像の印象を保ちつつ画像の色をテーマカラーへ変更する手法として効果的であると言える。

## 5 まとめと今後の課題

本稿では、ユーザ指定の色と元画像の色分布の両方を考慮した色変換手法を提案した。最適化される色の数を減らすためにパレットベースの色の量子化手法を利用した。ユーザーが1つの色を指定すると、最小化問題を解くことにより残りの色が自動的に決定され、最適化された色が画像に反映される。結果のカラーパレットは、ユーザー指定の色と元画像の色間の関係を反映する。動画の色変換では、数フレームからパレットを構築しても違和感なくテーマカラーへの変換が出来ることを確認した。我々のシステムはインタラクティブに結果を得られるため、ユーザは本システムで目的の画像の初期解を

作成し、その後手動で微調整する、といったことも可能である。また、微調整後には、変更していないパレットの色のみを本手法により再度最適化することもできる。

本手法では、パレットベースの色変換手法をベースとしており、指定するパレットの色の数によって、パレットの色と各ピクセルの対応関係が変わる。実写では色の数が多いため、パレットの色数を多くしてしまうと空や平原などの同じ領域に属するピクセルが別々のパレットの色に対応してしまい、色を直感的に編集することが難しくなる。一方色数の少ないイラストでは、パレットの色数を多くしても同じ領域のピクセルが同じパレットの色に対応づくため柔軟な編集が可能である。このことからパレットの色数を自動で最適化できればより簡単に色を編集できると考えられ、今後そのような最適化について検討する予定である。

ユーザスタディの結果の8段目の例で、提案手法と一様な変換の色相が異なる部分があるにも関わらず、投票数はほぼ同じとなった。今後の課題として、この理由を調査し、最適化の式をさらに改善する。また、画像の領域ごとに複数のテーマカラーを指定したい場合にも対応できるよう、手法を拡張することも考えている。

動画で色変換を行う際、現状のシステムではパレット化に使用するフレームをユーザにより指定する必要がある。今後は、パレットの計算に使用する画像を自動で決定するような方法を開発する予定である。具体的には、前のフレームと比較し、パレットの色が一定以上変化したフレームを抽出する、もしくはパレットを属するピクセル数順に並べ、その順番が変わった際のフレームを抽出するなどの方法が有効だと考える。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP23K18514, JP23H03514 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Huiwen Chang, Ohad Fried, Yiming Liu, Stephen DiVerdi, and Adam Finkelstein. Palette-based photo recoloring. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 34, No. 4, July 2015.
- [2] Daniel Cohen-Or, Olga Sorkine, Ran Gal, Tommer Leyvand, and Ying-Qing Xu. Color harmonization. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 25, No. 3, p. 624–630, July 2006.
- [3] Sharon Lin, Daniel Ritchie, Matthew Fisher, and Pat Hanrahan. Probabilistic color-by-numbers: Suggesting pattern colorizations using factor graphs. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 32, No. 4, July 2013.
- [4] 水嶋楓華, 佐藤周平, 櫻井快勢, 土橋宜典, 高尚策, 唐政. インタラクティブなパレットベースの色変換のための最適化手法. 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会 第184回研究発表会, No. 23, 2021.
- [5] Qing Zhang, Chunxia Xiao, Hanqiu Sun, and Feng Tang. Palette-based image recoloring using color decomposition optimization. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 26, No. 4, p. 1952–1964, February 2017.
- [6] Jianchao Tan, Jose Echevarria, and Yotam Gingold. Efficient palette-based decomposition and recoloring of images via rgbxy-space geometry. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 37, No. 6, December 2018.
- [7] Maria Shugrina, Amlan Kar, Karan Singh, and Sanja Fidler. Nonlinear color triads for approximation, learning and direct manipulation of color distributions. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 39, No. 4, July 2020.
- [8] Nicolas Mellado, David Vanderhaeghe, Charlotte Hoarau, Sidonie Christophe, Mathieu Brédif, and Loic Barthe. Constrained palette-space exploration. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 36, No. 4, July 2017.
- [9] B. Wang, Y. Yu, T.-T. Wong, C. Chen, and Y.-Q. Xu. Data-driven image color theme enhancement. *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 29, No. 6, December 2010.



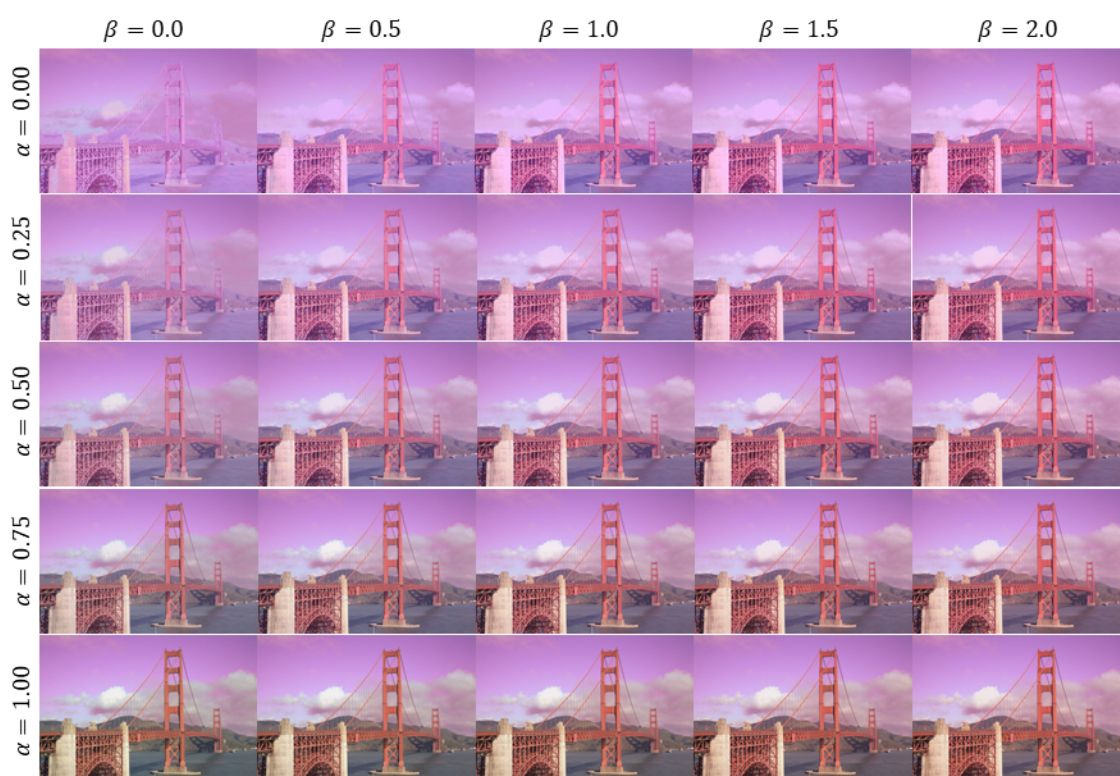


図 7 実写画像において  $\alpha$  および  $\beta$  を変化させた場合の最適化結果の違い (画像の出典: <https://data.csail.mit.edu/graphics/fivek/>).

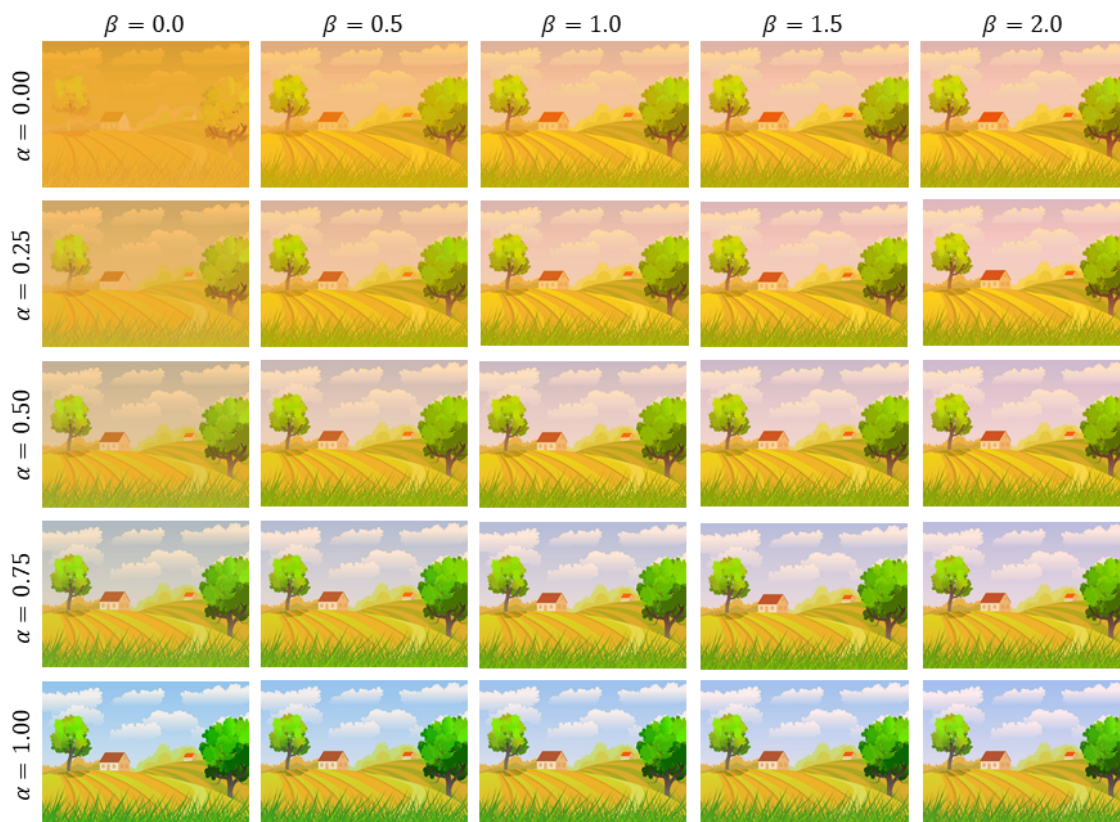


図 8 イラストにおいて  $\alpha$  および  $\beta$  を変化させた場合の最適化結果の違い (画像の出展: <https://publicdomainq.net/countryside-field-0033553/>).

## 付録

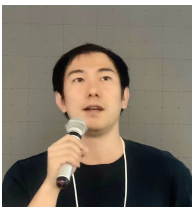
図 7, 8 に, 式 (1) におけるユーザ指定の係数  $\alpha$  と  $\beta$  を徐々に変化させた場合の色変換結果をまとめる. 図 7, 8 から  $\alpha$  の値を大きくすると元画像の色に近づき, 小さくするとユーザ指定の色に近づいているのがわかる.  $\beta$  の値を大きくすると, 他のパレットとの色差が考慮されるため, 元画像での色差が保持されるようになる. このように, 2つのパラメータによって2つの項の影響を簡単に調整することができる.

### 佐藤 周平



2009年北海道大学工学部卒業. 2011年北海道大学大学院情報科学研究科修士課程修了. 2014年同博士後期課程修了. 同年(株)ユビキタスエンターテインメント研究員. 2015年(株)ドワンゴ研究員. 2019年プロメテック・ソフトウェア(株)研究員. 同年富山大学工学部助教. 2022年法政大学情報学部准教授. 博士(情報科学). コンピュータグラフィックス, 特に流体シミュレーションに関する研究に興味を持つ. ACM, 情報処理学会, 画像電子学会, 芸術科学会, 各会員.

### 櫻井 快勢



2023年よりサイバーエージェント AI Lab に入社. 2013年 JAIST 博士後期課程修了. グラフィックスに関するモデリングの研究に従事.

### 水嶋 楓華



2021年富山大学工学部知能情報工学科卒業. 2023年富山大学大学院理工学教育部知能情報工学専攻修士課程修了.

### 土橋 宜典



1992年, 広島大学工学部卒業. 1994年, 同大大学院工学研究科博士課程前期修了. 1997年, 同大博士課程後期修了. 同年, 広島市立大学情報科学部助手. 2000年, 北海道大学大学院工学研究科助教授. 2004年, 同大大学院情報科学研究科助教授. 2008年, 同大大学院情報科学研究科准教授. 2020年, 同大大学院情報科学研究院教授. 工学博士. 主としてコンピュータグラフィックスに関する研究に従事.