

カテゴリカルカラー分析に基づいた 参照絵画の色彩傾向の写真への適用

張 英夏[†] 齋藤 豪[‡] 中嶋 正之[†]

[†] 東京工業大学 情報理工学研究科,

[‡] 東京工業大学 精密工学研究所

{chang, nakajima}@img.cs.titech.ac.jp, suguru@pi.titech.ac.jp

近年、ノンフォトリアリスティックレンダリング分野において、水彩画や油絵等、絵画風の画像を生成するための様々な研究が行なわれている。これらは、主に画材によるタッチや顔料による色の付き方の特徴を模倣することにより近似的な再現を目標としている。しかし、人間が描く絵画はこのような画材の特徴のみならず、画風という画家特有のフィルターによって表現される。この画風を生み出す要素としてはモチーフやカラーの選択、形状のデフォルメ、タッチなどが考えられる。本稿ではまずこれらの中でカラー要素に着目し、ある絵画に於ける色彩傾向の特徴を捉え、それを写真に適用することを目指とする。この時、人間のカテゴリカル知覚特性を考慮することにより、違和感のない、自動的な色変換を可能にする。

Color Transformation Based on the Basic Color Categories of a Painting

Youngha Chang[†] Suguru Saito[‡] Masayuki Nakajima[†]

[†]Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology.

[‡]Precision and Intelligence Laboratory, Tokyo Institute of Technology.

{chang, nakajima}@img.cs.titech.ac.jp, suguru@pi.titech.ac.jp

Abstract

Painters draw paintings in their own styles. We can consider motif, color, shape deformation and touch as elements that make up the style of a painting. In this paper, we will focus on the “color” element. Since our method is based on color categorization characteristic of human vision, all the process can be done automatically.

1 はじめに

近年、ノンフォトリアリスティックレンダリング (NPR) 分野において盛んに研究が行われており、計算機を用いてあたかも人間が手で描いたような絵画調画像を写真から自動生成する手法が提案されている。しかし、これらは主に画材効果の再現や技法の再現など、絵画一般に見られる共通の特徴を再現することによるものである。一方で人間が手描き風絵画を必要とする場合には、その目的や個人の嗜好により、必要とされる“描かれ方 (画風)” は異なってくる。そこで我々は、入力写真画像を、ユーザが好ましいと思う参照絵画風に変換する手法を提案する。画風を表す要素としてはモチーフやカラーの選択、形状のデフォルメ、タッチなどの効果が考えられる。本稿では画風を模倣する第一歩として、これらの要素の中でカラーに着目する。

絵画はモチーフとして選ばれたオブジェクトに依存して色が塗られる。しかし、例えば赤い薔薇を描くとき、彩度や明度を上げれば強烈な印象を、彩度は下げて明度を上げれば淡い印象を、また明度を下げ黒っぽく描けばまた異なる印象を与えるというように、同じ「赤」でもどのような赤を使用するかによって絵画が与える印象を変えることができる。そこで本研究ではある絵画のこうした色使いの特徴を捉え、それを写真に適用することによって、ある絵画の色使いの特徴を再現することを目標とする。

以下、第2節では従来の関連研究について述べ、第3節では人間の色知覚特性やそれに基づいた我々の色変換アルゴリズムの概要を述べる。そして第4節では我々の色変換アルゴリズムの詳細について述べ、第5節では実験結果、第6節では結論を述べる。

2 従来の関連研究

従来のペインタリーレンダリングの主流はブラシパターンのみにより実現されるさまざまな種類の絵画的表現の再現が主流となっているが、近年、参照画像の特徴を模倣した画像の加工に関する研究が幾つか報告されている。本節ではこれらについて述べる。

まず、Reinhardらによる研究[4]を挙げる。彼らは、色補正法のより一般的な方法として、ある画像のカラー特徴を他の画像に適用する方法を提案している。変換

は、Rudermanらが提案した $l\alpha\beta$ 空間[4]上で、各画像に於けるピクセルの色値の平均および分散をそれぞれ計算し、入力画像の平均や分散が参照画像の平均や分散と同じになるように色の広がりを変形することによって色変換を行なっている。なお、画像間で色構成に類似性がない場合良好な変換が行なわれないので、まず手動で領域分割と領域マッチングをし変換を行い、次に各領域毎に平均および分散をそれぞれ計算し、マッチングされた領域毎に色変換を行なう必要がある。

次に、Hertzmannらによる研究[1]を挙げる。この手法は、デザイン部と適用部という二つの部分に分けることができる。デザイン部では学習データとして元画像と、それにあるフィルタをかけた画像の2つの画像を必要とし、画像の局所的な特徴を変換するフィルタを生成する。適用部ではデザイン部で得られたフィルタを用い、入力された画像を加工する。この手法では、例えば学習データとしてある絵画とその絵画をBlur等でタッチ効果を消去した画像を用い、入力した画像に対し、学習データで用いた絵画に見れるようなタッチ効果を施すことができる。本手法は実に広い範囲のフィルタを生成することが可能であるが、局所的な特徴に基づいたアーティスティックフィルタとなっており、画像全体の変換に関しては考慮されていない。

最後に、田中らによるCyber Atelier[7]を挙げる。これは、ユーザの描画支援システムの構築を目的としているので本研究とは少し目的が異なるが、絵画の画風を捉え、それを参考に新たな画像を生成しようという点で我々の研究と関連があると考えられる。このシステムは、まず有名な絵画の構図を解析した結果をデータベース化し、ユーザが描こうとする構図に近い例を提示することにより、ユーザの構図を改善する構図情報再利用ツール、有名な絵画の配色を分析、その色の種類と分量を提示し、ユーザの配色を改善するという配色情報再利用ツール、有名な絵画のタッチを抽出してユーザに提示し、テクスチャとして利用することにより、ユーザの描画タッチを改善するテクスチャ情報再利用ツールの3つから成り立っている。この手法はユーザの描画支援システムなので、配色の支援は行なってくれるが、ユーザが塗る領域とその色を選択することが条件となっている。従って、自動的に色を変換してくれる我々のシステムとはその研究目標が異なる。

3 人間の色知覚について

我々の目標とする色変換の条件として、以下の二つを挙げる：

1. 人間が見て違和感のない色変換であること．
2. 色変換プロセスがユーザに負担にならないこと．

そこで我々は人間の色知覚に基づき、自動的に色変換を行なうことにより、この二つの条件を満たすこととする．

人間の色知覚について、Berlin と Kay らは、98 の言語を調べ、発達した言語にはどれも共通した 11 個の基本色名が存在するとの概念を導入した [2]．例えば英語の場合、その基本色名は Black, White, Red, Green, Yellow, Blue, Brown, Pink, Orange, Purple, Gray となるとしている．この理論はその後の多くの研究によって検証されている．例えば、内川らは日本語と英語のような全く異なる言語体系間に於いても基本色の種類とその Focal Color の位置が共通していることを検証している [5]．また、彼らは OSA (Optical Society of America) 均等色尺度色票を用い、被験者にそれら色票に対するカラー名を述べてもらう実験を行い、色空間に於ける基本色カテゴリーの広がり調べている [6]．その他にも様々な文献において、11 個の基本色名の存在は検証されており、この基本色が人間の色知覚に大きな役割を果たしていると考えられている．そこで我々は Berlin と Kay の基本色理論に基づき、以下に示す 2 つの仮定を立て、基本色カテゴリー内の色変換を行なうことにより、人間の知覚に違和感を与えない色変換を目標とする．

1. ある領域が色変換前後に同じ基本色カテゴリーに含まれるのであれば、変換後の画像は人間に大きな違和感を与えない
2. 人間の色知覚能はとても発達しているので、同じカテゴリー内での色変換であっても、その色変換結果は人間のその物体の印象に影響を与える

4 色変換アルゴリズム

本節では実際の色変換アルゴリズムについて述べる．本稿で行なう色変換は、均等色空間である $CIE\ L^*a^*b^*$

色空間上で行なう．

4.1 基本色理論に基づく画像中の色分布計算

本稿では、色空間を基本色カテゴリーに分割するために文献 [6] の実験データを用いる．このデータは、輝度値と xy 色座標値によって示されているので、まず最初にそれを $CIE\ L^*a^*b^*$ 空間へ変換し、 $CIE\ L^*a^*b^*$ 空間に於ける基本色カテゴリーの境界を求める．

次に、入力写真画像に対して、その各ピクセルの色値を $CIE\ L^*a^*b^*$ 色空間上にプロットし、その広がりを求める．そして、先に求めた基本色カテゴリーの境界データを利用し、各ピクセルがどの基本色カテゴリーに入るのかを計算する．最後に、図 1 に示すように、各基本色カテゴリー毎にデータ点の存在領域を囲む凸包体を計算する．以下、この凸包体を基本凸包と呼ぶ．

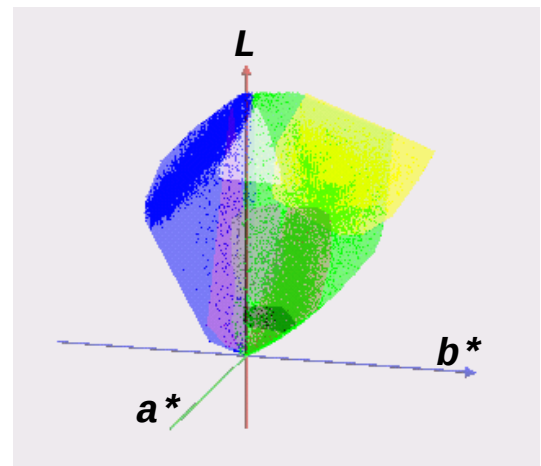


図 1: 基本凸包生成例

参照絵画画像に対しても同様に基本凸包を求める．

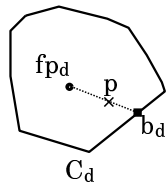
4.2 対応置換色の計算

第 4.1 節により入力写真画像と参照絵画画像に対する基本凸包を生成した．次に、入力写真画像の各ピクセルに対し、変換されるべき対応置換色を計算する．

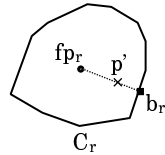
例えば今、入力写真画像のあるピクセル p の置換色 p' を求めたいとする．この p は青の基本色カテゴリーに入っているとする．この場合、もし p が入力写真画像で

使われている青の中で比較的明るい青であれば絵画画像で使われている青の中でも比較的明るい青へ変換されるのが望ましく、また、もし青の中で比較的緑に近い青であれば絵画画像で使われている青の中でも比較的緑に近い青へと変換させたい。このように利用されている基本色の広がりの中での相対位置を考慮しそれに基づいた変換を施すために、我々は基本凸包とその基本凸包の重心を利用する。つまり、各変数を図2に示すように定義した時、 p の対応点 p' は、 $Dist(fp_d, b_d) : Dist(fp_d, p) = Dist(fp_r, b_r) : Dist(fp_r, p')$ になるように設定する。ここで $Dist(a, b)$ は a と b 間のCIE $L^*a^*b^*$ 空間上での距離を表す。これを式で表すと式(1)のようになる。

$$p' = \frac{Dist(fp_d, p)}{Dist(fp_d, b_d)}(b_r - fp_r) + fp_r \quad (1)$$



(a) C_d の模式図



(b) C_r の模式図

C_d : p が含まれている入力写真基本凸包

C_r : C_d に対する参照絵画の同一基本凸包

fp_d : C_d の重心

fp_r : C_r の重心

b_d : fp_d から p 方向へ延びる線と C_d の境界面との交点

b_r : fp_r から b_d と同方向へ延びる線と C_r の境界面との交点

図 2: 各変数の定義

5 グラデーション領域の処理

第4節で述べた処理により、入力写真画像を参照絵画画像の色調に合わせることが可能となる。しかし、図3(a)に示すような、2つの基本色空間にまたがるグラデーションをもつ入力画像に適用するとカテゴリ色の分類は同(b)のようになるため、カテゴリ色が切り変わる部分で色変化が急激に起きてしまい、同(c)のように連続性が失われる。これは、前節手法に於いて変換の際にピクセルの画像上での隣接関係が考慮されてい

ないからである。そこで本節では色空間を分割する際に画像空間上での隣接ピクセル間の関係も考慮することにする。

まず、ピクセル間の色差を判定条件とした領域拡大法、すなわち、色差が小さい隣接ピクセルをまとめていくことにより画像上のサブ領域を生成する。次に、その領域中の各ピクセルが全て同じ基本色カテゴリに属しているかを調べ、もし、異なる基本色カテゴリに含まれる場合はグラデーション領域と判断する。その場合、その画像に於いてはそれらの基本色カテゴリの境界を目立たせないように色変換するために、第4.1節で述べた基本凸包の作成法に変更を加える。具体的にはグラデーション領域を構成する基本色カテゴリの一つにまとめた基本凸包を生成する。

また、参照絵画画像に於ける同一基本色カテゴリの基本凸包も統合する。

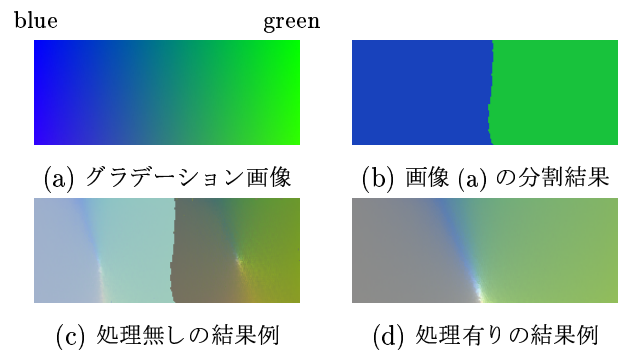


図 3: グラデーション画像の例

6 実験および考察

図4に第4節で述べたアルゴリズムの適用結果を示す。(a)は実験に用いた入力写真画像、(b)は参照絵画画像である。(c),(d)はそれぞれ本アルゴリズムによって画像(a),(b)を色分割した結果、そして(e)には色変換結果画像である。この実験結果で分かるように、本アルゴリズムによって人間の色知覚に違和感のない色分割が可能となり、またその色変換結果も人間に違和感のないものとなっていることが分かる。

次に、第5節で加えたグラデーション処理の効果を図5を示す。(a),(b)が各実験に用いた入力写真画像と

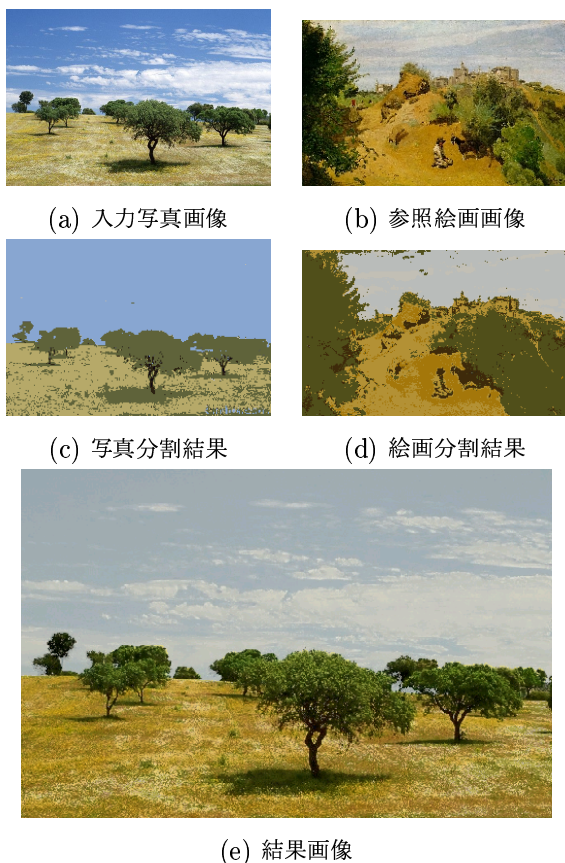


図 4: 色変換実験結果

参照絵画画像，そして，(c) がグラデーション処理を行なわなかった場合の結果画像，(d) がグラデーション処理を行なった場合の結果画像である．花びらの部分を見ると分かるように，グラデーション処理を行って，画像上での隣接ピクセルとのつながりを考慮することにより，より自然な変換結果を得ることが可能となることが分かる．

図 6 は，一つの入力写真画像に対し，様々な参照絵画画像を用いて各々色変換した結果例である．この時，入力写真画像は図 4 と同一のものである．この実験結果から分かるように，色変換結果画像は参照絵画画像の色調を模倣しているため，同じ入力写真画像に対しても異なる色合いの結果画像を生成することが出来ていることが分かる．

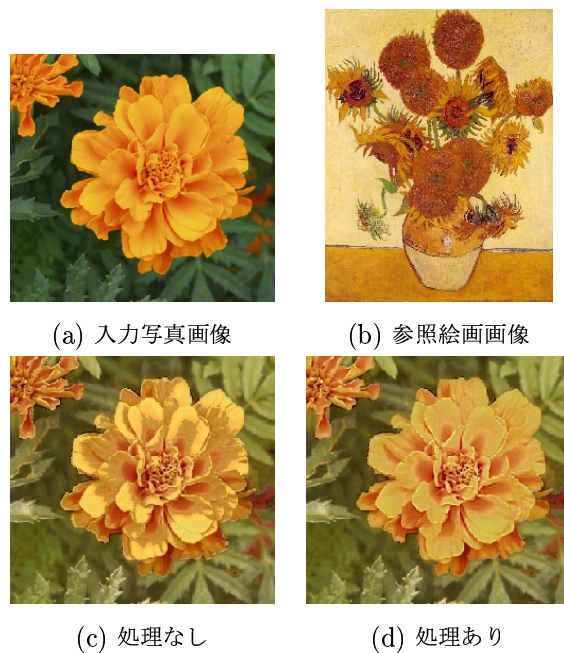


図 5: グラデーション処理有無の比較

7 おわりに

本稿では色のカテゴリカル知覚に基づき参照絵画画像の色の特徴を捉え，入力写真画像の色を置換する方法を提案した．今後は，参照絵画画像には存在しないカテゴリに入る色が入力写真画像に存在する場合の色置換に関する問題などについて考察を行なっていく予定である．

さらにはタッチなど，他の画風を構成する要素についても考慮することにより，より参照絵画画像に近い出力画像の生成を検討していく予定である．

謝辞

カテゴリカル色データを提供して下さった東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報システム創造専攻の内川恵二教授に感謝致します．

絵画画像の一部は *MarkHarden's Artchive* を利用させて頂きました．

参考文献

- [1] Aaron Hertzmann and Charles E. Jacobs and Nuria Oliver and Brian Curless, David H.

Salesin : “Image Analogies”, Proceedings of SIGGRAPH2001, pp.327-340, 2001

- [2] Brent Berlin, Paul Kay : “Basic Color Terms: Their Universality and Evolution”, University of California Press, 1969
- [3] Daniel L. Ruderman, Thomas W. Cronin, Chuan-Chin Chiao : “Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding”, Journal of Optical Society America, Vol. 15, No. 8, pp.2036-2045, 1998
- [4] Erik Reinhard, Michael Ashikhmin, Bruce Gooch, Peter Shirley : “Color Transfer between Images”, IEEE Computer Graphics and Application, Vol. 21, No. 5, pp.34-41, 2001
- [5] Keiji Uchikawa, Robert M. Boynton : “Categorical Color Perception of Japanese Observers: Comparison with That of Americans”, 色彩研究, Vol. 47, No. 2, 2000
- [6] 内川恵二, 栗木一郎, 篠田博之 : “カテゴリー比率評価法による開口色と表面色モードの色の見えの表現”, 照明学会誌, Vol. 78, No. 2, pp.83-93, 1994
- [7] Shoji Tanaka, Jun Kurumizawa Keiko Nakao, Yuichi Iwadate : “Cyber Atelier: A Creative Learning Environment Assisting Non-professional Multimedia Productions”, ICME2000



(a) 参照絵画画像 1



(b) 参照絵画画像 2



(c) (a) に対する結果画像



(d) (b) に対する結果画像

図 6: 様々な参照絵画画像に対する実験結果