

色覚特性を考慮した色弁別しやすい画像への色変換

日大生産工（院）
日大生産工

○日原洋平
目黒光彦

1 はじめに

カラーによる表現や技術の発達，パソコンの普及により，我々は色を重要な情報として視覚的に伝達することが多くなってきている．しかしながら，色の弁別が困難な色覚特性を持つ人にとって，色の弁別が困難であるために，見にくい情報が氾濫している．

本稿では，色覚特性を持つ人たちにとって，カラー画像中の色の弁別が困難な色の組み合わせを，容易に色弁別を行えるように，混同している領域の色変換をする手法を提案する．

カラー画像中の色を，色弁別が困難な色覚特性を持つ人たちにとって，弁別容易な色へ変換する研究はこれまでも行われている [1,2]．Karl らは多次元尺度構成法と呼ばれる手法により，色弁別しやすいカラー画像の生成法を提案している [1]．また，Vischeck という Web サイト上で，Daltonize と呼ばれる手法を用いて，色の弁別がなされやすい色への変換を行うシステムも開発されている [2]．これまで提案されてきた手法のほとんどは，三次元の色空間において色の組み合わせを探索する組み合わせ最適化手法である．多くの色の組み合わせを選択できる反面，画像処理を行う上での処理の負担が大きいという問題点があった．

そこで筆者らも，色の弁別の困難な混同色が， xy 色度図上において直線上に並ぶ，混同色線理論 [3] を用いて，一つのパラメータの修正により色変換を行う手法を提案している [4]．この手法は，処理の負担を非常に小さく抑えながら，色覚特性を持つ人にとっても容易に色弁別が可能である画像を作成するものである．しかしながら，この手法は色数が多くなっていくと，色修正後に新たな色との混同が起きてしまう可能性がある欠点があった．さらに筆者らは，文献 [4] で提案した手法における一次元の色探索を二次元色平面における探索に拡張し，カラー画像内における代表色のすべての組み合わせにおける色混同を考慮にいれ，組み合わせ最適化の手法の一つであるシミュレーテッド・アニーリング法を用いて色変換を行った [5]．この手法は， K -means アルゴリズムにおけるクラスタ

リングにより代表色を決定するが， K -means アルゴリズム法には初期クラスタの設定によって結果が変化してしまう欠点がある．

そこで本稿では， K -means アルゴリズムによるクラスタリングの問題点を解決するために，ISO-DATA アルゴリズムによるクラスタリングを用いることで，自動的に最適なクラスタリングを実現した色修正アルゴリズムを提案する．適用例を通じて，本手法の有効性を示す．

2 クラスタリングによる領域分割

2.1 K -means アルゴリズム

K -means アルゴリズムとは，ユーザがあらかじめ定めたクラスタ数 K とその K 個のクラスタ中心をランダムに決め，サンプル点を K 個の中心との距離を計算することで，最も近いクラスタ中心に分類することで，クラスタリングを行う手法である．

クラスタリング時に，同一クラスタに該当するサンプル点の重心を計算し，クラスタ中心の更新を繰り返し，クラスタ中心の更新が収束したら処理を終了させる．

K -means アルゴリズムは，その処理の前にクラスタ数の設定を行う必要がある．クラスタ数の違いにより処理結果が大きく変わってしまう．そのため，設定したクラスタ数が必ずしも最適なクラスタ数であるとは限らない．この問題点を解決するために，本研究では ISODATA アルゴリズムによるクラスタリングを用いる．

2.2 ISODATA アルゴリズム

ISODATA アルゴリズムとは， K -means アルゴリズムによって生成したクラスタを，一定の基準にしたがって分割，または結合し，最終的なクラスタを導いていく手法である．この手法を用いることで， K -means アルゴリズムの初期クラスタ数設定の問題を改善することができる [6]．

Color Conversion for Color Defective Users Based on Combinatorial Optimization

Youhei HIBARA and Mitsuhiko MEGURO

クラスタ分割は、クラスタ内の標準偏差を計算し、それが任意に定めた閾値よりも大きなクラスタの場合はクラスタ領域が大きくなり、領域分割を目的とする処理としてはあまり適切でない。そのため閾値よりも大きなクラスタを削除後、中心点から任意に定めた値を加えたものを2つ作成し、それを新しいクラスタ中心点として新しい色を作成していく。

クラスタ結合は、クラスタ間の距離を計算し、それが任意に定めた閾値よりも小さい場合はクラスタ同士の色が似ていると推測し、閾値よりもクラスタ間の距離が小さいものから結合を行っていく。クラスタ結合後の中心点は、結合したクラスタ中心点同士の間に取り新しい色を作成していく。

ISODATA アルゴリズムによるクラスタ領域の分割、結合が行われなくなった時点で処理を終了する。

3 色覚特性を考慮した組み合わせ最適化を用いた色変換

3.1 弁別困難色と色変換

色覚異常者にとって弁別困難な色は、 xy 色度図において混同色線と呼ばれる直線上に存在している。混同色線とは xy 色度図上で混同色中心と呼ばれる座標から放射状に無数に引かれる線のことである。混同色中心は、色覚特性の特性により、それぞれ独自の原点を持っている。本研究では、 $L^*a^*b^*$ 表色系において色変換を行うため、図1として xy 色度図上での混同色線を $L^*a^*b^*$ の中で a^*b^* 色度図に写像したものを図1として示しておく。

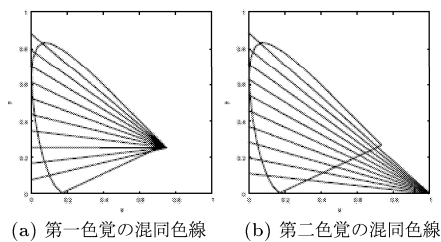


図1: xy 色度図における混同色線

色覚異常者にとって弁別しやすい色修正を最小限の処理で実現するには、混同色線の軌跡に対して直行する方向、すなわち法線方向に色を修正していかなければならない。図2として a^*b^* 色度図上での各色覚特性における弁別可能な色の修正方向をそれぞれの色覚特性において示しておく。本研究は色度方向だけではなく、輝度方向にも修正を行って色修正を行う。

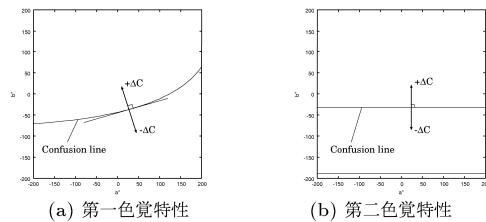


図2: a^*b^* 色度図上における色修正方向

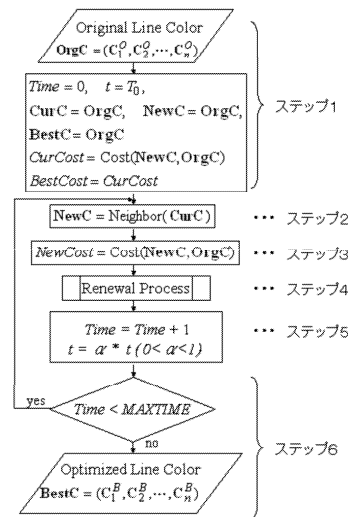


図3 アニーリング法による色変換のアルゴリズム

3.2 アニーリング法における組み合わせ最適化

本節では、 $L^*a^*b^*$ 空間の中ではなく、 a^*b^* 色度図における混同色の法線方向、および輝度方向からなる二次元平面に限定する。また色の組合せの探索は組み合わせ最適化の手法の一つである、アニーリング法を用いる。アニーリング法とは、解が良くなる場合のときだけではなく、悪くなる場合も含めて解探索の候補として選択する可能性を与えることで、局所最適解からの脱出が可能となる最適化手法である。以下にアニーリング法における流れを **STEP** として記述し、それを図3として示す。

STEP1 原画像における領域の色を $OrgC$ 、アニーリング中における暫定解を $CurC$ 、 $CurC$ を基に新しく生成される色を $NewC$ 、アニーリングにより得られた最適な色を $BestC$ として、以下の式のように定める。

$$OrgC = (C_1^O, C_2^O, \dots, C_n^O),$$

$$CurC = (C_1^C, C_2^C, \dots, C_n^C),$$

$$NewC = (C_1^N, C_2^N, \dots, C_n^N),$$

$$BestC=(C_1^B, C_2^B, \dots, C_n^B).$$

ただし,

$$\begin{aligned} C_i^O &= (L_i^O, a_i^O, b_i^O), \\ C_i^C &= (L_i^C, a_i^C, b_i^C), \\ C_i^N &= (L_i^N, a_i^N, b_i^N), \\ C_i^B &= (L_i^B, a_i^B, b_i^B), \end{aligned}$$

となる。まず, $CurC$, $NewC$, $BestC$ をそれぞれ $OrgC$ により初期化, またアニーリング時間 $Time$, 温度 t を設定し, $CurCost$ を算出する。

STEP2 $CurC$ を基に $NewC$ を生成する。 $NewC$ 中の各色 C_i^N は, C_i^C を色度図方向に ΔC_i , 輝度方向に ΔL_i へ修正させることで生成。色度方向へは $a*b$ 色度図において混同色線の法線方向へ修正させる。 ΔC_i , ΔL_i は以下の式で求めることができる。

$$\Delta C_i = Random * C_{max} * \exp(\beta * Time)$$

$$\Delta L_i = Random * L_{max} * \exp(\beta * Time)$$

ここで示す $Random$ は-1~+1の範囲のランダムな値, C_{max} , L_{max} はそれぞれ色度, 輝度方向における最大の修正量, $\exp(\beta * Time)$ は, アニーリング時間 $Time$ が進むにつれ, 修正量を減少させる関数で $\beta < 1$ である。

STEP3 $NewC$ に対するコスト $NewCost$ を算出する。

STEP4 $NewC$ を採択し, $CurC$ を更新するかどうかを決める。採択判定アルゴリズムを図3で示しておく。まずコスト $\Delta Cost = NewCost - CurCost$ を算出する。

$\Delta Cost \leq 0$ の場合

$$CurC = NewC, CurCost = NewCost$$

$CurCost < BestCost$ の場合

$$BestC = CurC$$

$\Delta Cost > 0$ の場合

$\exp(-(\Delta Cost/t))$ の確率で

$$CurC = NewC, CurCost = NewCost$$

とする。

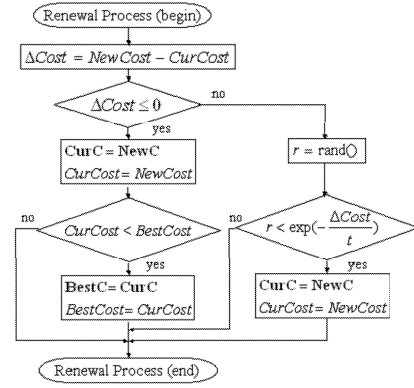


図4 採択判定アルゴリズム (STEP4)

STEP5 時間 $Time$ を1増やし, 温度 t を係数 α ($0 < \alpha < 1$) により更新する。

STEP6 時間 $Time$ がアニーリング許容時間 $MAXTIME$ に満たない場合はSTEP2へ, 満たした場合は得られた場合で最適な色 $BestC$ を出力してアニーリングを終了する。アニーリング終了後は, 画像中の色 $OrgC$ を $BestC$ で置き換えて, 最終的な画像を出力する。

3.3 コスト関数

STEP1,3 におけるコストの算出法を以下の式に示す。

$$Cost = \sum_{\substack{i < n-1, j \leq n \\ i=0, j=i+1, i \neq j}} k_1 (\Delta E'_{New(i,j)} - \Delta E_{Targ(i,j)})^2 + k_2 (\Delta E_{New(i,j)} - \Delta E_{Targ(i,j)})^2$$

4 適用例

本章では, 第2, 3章で挙げた手法を用いた色変換結果を示す。表1では, アニーリング法における初期条件, パラメータ名, 値, パラメータの詳細を示す。図5では, K -means法のみでクラスタ数を(b)5個, (c)10個, (d)15個ずつで行った結果を示す。図6としてISODATA法を用いての最適なクラスタ数を用いた結果を示す。最後に, 色変換を行った結果を色変換前と変換後の見えを図7に, 色変換前のコストを ΔE_{Org} として, 変換後のコスト ΔE_{Best} として, 表2に示す。また色変換の際に使用した画像は, ISODATA法でクラスタリング行った(f)の画像を使用している。

表 1 : アニーリング法における各パラメータの値

パラメータ名	値	備考
n	9	領域内の色数
T_0	100000	初期温度
α	0.9995	温度の更新パラメータ
C_{max}	30	色度方向最大修正量
L_{max}	30	輝度方向最大修正量
β	0.00015	修正量調節パラメータ
ΔE_{TH}	30	コスト設定の閾値
MAXTIME	30000	アニーリング許容時間

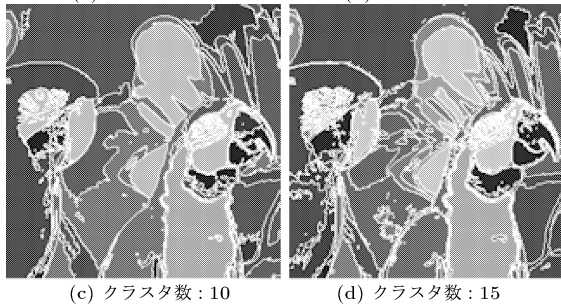
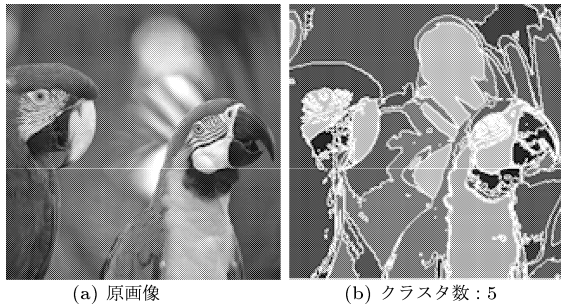


図 5 K-means 法によるクラスタリング結果

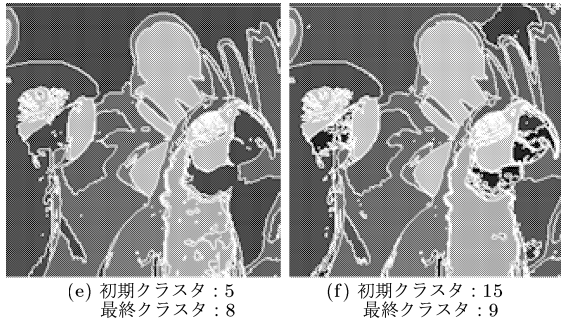


図 6 ISODATA 法による最適なクラスタ数によるクラスタリング結果

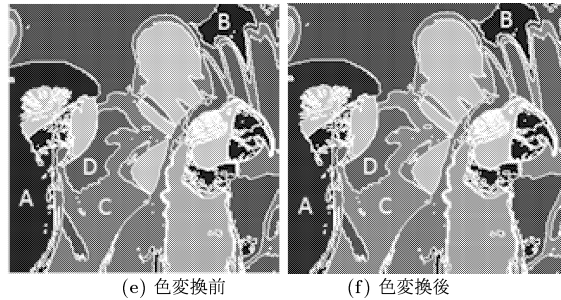


図 7 組み合わせ最適化を用いた色変換結果

表 2 : 色修正による色の色差によるコスト変化

	修正前	修正後
色の対	ΔE_{Org}	ΔE_{Best}
A-B	7.22	52.27
C-D	10.93	46.10

5 おわりに

本研究では, K -means アルゴリズムに ISODATA アルゴリズムを使用して, 最適なクラスタ数を用いたクラスタリングによる領域分割を行い, アニーリング法を用いて, カラー画像における色覚特性者が弁別しづらい色の組み合わせの色変換する手法を提案した. ISODATA クラスタリングによる領域分割は, 初期クラスタ数が少ない場合, 多い場合でも適切にクラスタリングがなされた. さらに, アニーリング法を用いた最適化手法による色弁別がしやすい色への変換について, 良好な処理結果が得られたことを適用例を通じて明らかにした.

参考文献

1. K. Rasche, R. Geist, and J. Westall, "Re-coloring Images for Gamuts of Lower Dimension", EUROGRAPHICS, Vol.24, No.3, 2005.
2. <http://www.vischeck.com/daltonize/>
3. 日本色彩学会, "新編色彩科学ハンドブック", 東京大学出版会, 1989
4. 目黒光彦, 高橋知紘, 古閑敏夫 "混同色線理論と色覚モデルに基づくカラー画像からの弁別困難色の検出と弁別しやすい色への変換", 電子情報通信学会技術研究報告, SIP2004-79, pp.19-24, Oct,2004.
5. 星野隆太, 目黒光彦, 古閑敏夫 "組み合わせ最適化に基づく色格異常者におけるカラー画像中の弁別困難色の変換", 電子情報通信学会技術研究報告, SIS20006-76, March, pp27-32, 2007.
6. 高橋圭子, 安部圭一, "ISODATA クラスタリング法を用いたカラー画像の領域分割" 電子情報通信学会論文誌, Vol..J82-D-II, No.4, pp751-762, Apr.1999.