

## CIEDE2000による修正色差式を用いたカラー画像の領域分割

日大生産工(学部) ○鶴岡 倭  
日大生産工 目黒 光彦

### 1 まえがき

画像処理において、物体認識や抽出をする際、画像の画素毎に同じ色や模様を持つ領域ごとに領域を別ける、領域分割と呼ばれる処理が必要である。本処理を行う際に、一般的によく用いられる色空間に国際照明委員会(CIE)が定めた $L^*a^*b^*$ 表色系がある。これは、人間の感じる色差が $L^*a^*b^*$ の座標空間上の距離と一致するように構成された色空間である。 $L^*a^*b^*$ 色空間上でのユークリッド距離を色差として用いるCIELAB色差式がある。しかしながら、CIELAB色差式は、算出した値が人間の目で判断したときの色の類似度評価と一致しない場合がある。例えば、ある二色を人間の目で比較したときに二色の色の差の有無を知覚されない場合に、色差式による測定結果は、0または0に近い数値が望ましい。しかしながらCIELAB色差式では、目視でほぼ同色と判断したにも関わらず、ある程度の色差値を得る場合がある。このように、CIELAB色差式で求めた数値が、必ずしも人間の視感評価と一致するとは限らない傾向がある。そこで、この欠点を改良するために考案されたCIEDE2000色差式<sup>1), 2)</sup>がある。CIEDE2000色差式は、従来のCIELAB色差式に色相、彩度、明度の3種類のパラメータに重み付けをした上で色差を算出する式であり、かつ、これらのパラメータは対象画像ごとに適した値に柔軟に変更できるという利点がある。本研究では、人間の色知覚に沿って考案された $L^*a^*b^*$ 色空間上で領域分割を行い、更にCIEDE2000色差式を使用し、3種類のパラメータを適切に設定しながら、それに伴う領域分割結果を比較することで、CIEDE2000色差式に基づく、カラー画像の領域分割への有効性の検証を行った。適用例を通じて、CIEDE2000色差式に基づくカラー画像の領域分割の有効性を明らかにした。

### 2 領域分割の既存手法と問題点

#### 2. 1 $L^*a^*b^*$ 表色系

国際照明委員会(CIE)は1976年に、色を比較した時に、人間の目視による色の差の度合いが表色系の3次元空間上のユークリッド距離に一致する $L^*a^*b^*$ 表色系と呼ばれる色空間を提案した。 $L^*a^*b^*$ 表色系は $L^*$ 軸、 $a^*$ 軸、 $b^*$ 軸の直交座標で表わされる。 $L^*$ 軸は0を黒、100を白とし、その間で色の明るさを設定している。 $a^*$ 軸は+方向に赤系統色を、-方向に緑系統色を配置し、 $b^*$ 軸は+方向に黄系統色を、-方向に青系統色を配置している。

コンピュータで用いられるRGB値から $L^*a^*b^*$ 表色系へ変換するには、RGBをXYZ表色系へ変換する必要がある。RGBからXYZ表色系への変換式を式(1)に示す。

$$\begin{aligned} X &= 100(0.3933(R/255)^2 + 0.3651(G/255)^2 + 0.1903(B/255)^2) \\ Y &= 100(0.2123(R/255)^2 + 0.7010(G/255)^2 + 0.0858(B/255)^2) \\ Z &= 100(0.0182(R/255)^2 + 0.1117(G/255)^2 + 0.9570(B/255)^2) \end{aligned} \quad (1)$$

更にXYZ表色系から $L^*a^*b^*$ 表色系への変換式を式(2)に示す。

$$\begin{aligned} L^* &= 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 & Y/Y_n > 0.008856 \\ L^* &= 903.29(Y/Y_n) & Y/Y_n \leq 0.008856 \\ a^* &= 500 \left\{ (X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3} \right\} \\ b^* &= 200 \left\{ (Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

XYZ表色系において色の種類を知るためには、xy色度図と呼ばれる馬蹄形の図で表現されている。X、Y、Zはそれぞれ赤成分、緑成分(明るさも含む)、青成分と考えられるが、数値を見てすぐに色との対応を知ることのできる表色系ではない。すべての値が正の値で表現できる表色系として計算を容易に定義されたのがXYZ表色系である。

Color Image Segmentation by Using the CIEDE2000  
Color-Difference formula

Yamato TSURUOKA and Mitsuhiko MEGURO

## 2. 2 CIELAB色差式

$L^*a^*b^*$ 表色系における色差を求める計算式が1976年に制定されて以降、式の修正が繰り返され、1994年にCIE94色差式<sup>3)</sup>が、2001年にはCIEDE2000色差式が発表されている<sup>1), 2)</sup>。修正を繰り返すにつれ、式は複雑になってきており、計算量の違いが顕著になってきている。CIELAB色差式における色差値は、以下の式(3)で求められる。

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

これは、 $L^*a^*b^*$ 空間座標上の2色の明度差と二つの色度差のユークリッド距離を算出しており、空間座標上の距離が色差値を表している。しかしながら、この色差式では、算出した結果と視感評価による差が大きい場合がある。そこで、その差を埋めるために修正された色差式である、CIE94色差式、更に修正を加えたCIEDE2000色差式がある。本研究では、この中で最も新しいCIEDE2000色差式を、定量的な二色間の色差式算出に使用する。

CIEDE2000色差式は、従来のCIELAB色差式にパラメトリック係数( $K_L, K_C, K_H$ )と呼ばれる定数や、重係数( $S_L, S_C, S_H$ )で補正を加えたものであり、 $L^*a^*b^*$ 表色系における最も新しい色差式である。これら6種類の係数がCIEDE2000色差式の中に組み込まれている。式(4)にCIEDE2000色差式を示す。

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)} \quad (4)$$

## 2. 3. クラスタリング

対象画像の中から、似た色系同士を、クラスタと呼ばれる一つのグループにまとめ、いくつものクラスタを作成していく手法をクラスタリングという。

本研究では、代表的な非階層型クラスタリング手法として知られる、K-Means法及び、ISODATA法を用いる。

### 2. 3. 1 K-Means法

K-Means法とは、始めに、任意のクラスタ中心を $k$ 個定め、画像中の全ての画素に対し、最も距離の近いクラスタ中心に該当するクラスタに属することとしながらグループ分けを行っていき、最終的にデータすべてを $k$ 個のクラスタに分類される手法である。この手法では、基本的に使用されるパラメータが初期クラスタ数とクラスタ中心値のみと少ないため、実装が簡単である。

しかしながら、処理結果は初期クラスタ数およびそのクラスタ中心値の初期値に依存してしまうため、適切な処理結果を得るには、予め大まかなクラスタ数を知っておく必要がある。もし未知の場合は、初期クラスタ数を多めに設定し、最終的に得られたクラスタの中心値同士の距離を計算して、近いクラスタ同士を併合する必要もある。クラスタリング時に、クラスタの分割と統合の処理を内包したISODATA法も提案されている。以下に、クラスタ数を30、20、10に設定して領域分割した結果を、それぞれ図1、図2、図3に示す。



図1. 初期クラスタ数30の領域分割結果



図2. 初期クラスタ数20の領域分割結果



図3. 初期クラスタ数10の領域分割結果

図1、図2、図3から、クラスタ数が低くなるにつれ、画像全体の配色数も減っていることが確認できる。

### 2. 3. 2 ISODATA法

初期クラスタ数が最終ステップに至るまで不変であるK-Means法に、クラスタの分割、統合処理条件を加えた手法がISODATA法である。これは、クラスタ内の分散パラメータで分割を行うかを決定し、クラスタ中心間の距離パラメータで統合するかどうかを決める。これによりクラスタ数を条件に従いながら調整していくことでクラス分けを行っていく。なお、本研究で使用されるパラメータは、初期クラスタ数、各クラスタにおける中心の

補正に対する誤差の許容値、クラスタの分裂パラメータ、クラスタの融合用パラメータ、分裂時に新たな初期クラスタに指定される際のパラメータ、分裂の際の最大制限個数の以上6つのパラメータを設定する。

以下に、初期クラスタ数を30、20、10に設定して領域分割した画像を、それぞれ図4、図5、図6に示す。



図4. 最終クラスタ数25の領域分割結果



図5. 最終クラスタ数19の領域分割結果



図6. 最終クラスタ数6の領域分割結果

本研究では、このように最終クラスタ数が可変であるISODATA法を用いて領域分割を行う。

### 3. 提案手法

#### 3. 1. ラベリングによる領域処理の効率化

ISODATA法などのクラスタリング手法では、画素値のみを特徴量として使用しているため、画素単位の位置情報は考慮されたクラスタリングはなされない。そこで、本研究では、ISODATA法適用後のクラスタリング済みの各クラスタ内に属する画素集合の位置情報を得るためにラベリング処理を施す。ラベリングとは、画像内の画素を探索し、隣接する画素でかつ、同一クラスタの画素を、同一領域として同じ番号(ラベル)を割り当てる。

ラベリング処理が用いられることで、同じラベルが割り振られた領域の面積を求めることや、画素同士の連結成分の抽出が容易となる。ラベリング処理をすることで、クラスタに属する画素集合を一つの領域として処理できるようになり、ISODATA法適用後の色差判定に基づくクラスタの統合処理を効率的に行うことが可能となる。

手順として、まず、ISODATA法適用後の領域分割処理結果により得られたクラスタに対して、ラベルを振っていく。全てのクラスタに対してラベルを振り終わったら、隣接する画素のクラスタ値を調べ、同じクラスタ値を持つ画素に対して、同じラベルを振るようにする。

最後に、隣接している異なるクラスタの領域間で、CIEDE2000色差式により色差を求め、似た色と判定された隣接領域同士を統合することで、領域分割処理を終える。

#### 3. 2 CIEDE2000色差式

従来のCIELAB色差式では、測定結果の数値と目視による差との相違があるため、本研究では、その差が修正されたCIEDE2000色差式を用いてクラスタ同士の統合を行う。処理手順として、ラベリング処理が終了したあとに、代表クラスタごとに色差を算出していく。このとき、求めた色差が閾値内であればクラスタの統合を行う。その際、比較したクラスタの片方は消滅させてしまうため、消滅するクラスタに属する領域を、生存するクラスタに属させる、ラベリングを修正させる。

#### 4. パラメータ変更による領域分割結果

CIEDE2000色差式の特徴は、明度、彩度、色相に関するパラメータである $K_L$ 、 $K_C$ 、 $K_H$ を任意に変更可能なことである。標準で設定されている値はいずれも1である。本項では、これらパラメトリック係数( $K_L$ 、 $K_C$ 、 $K_H$ )を、 $K_C$ 、 $K_H$ を標準値で固定し、明度 $K_L$ のみを変更していった出力結果画像、明度 $K_L$ 、色相 $K_H$ を標準値で固定し、彩度 $K_C$ のみを変更していった出力結果画像、更に、明度 $K_L$ 、彩度 $K_C$ を標準値で固定し、色相 $K_H$ のパラメータを変更していった出力結果画像を比較し、3種類のパラメータの違いでどのような領域分割結果が得られるかを比較する。なお、クラスタ間の統合条件として、クラスタ中心間のCIEDE2000色差が、閾値2.0以下として、領域統合を行った。

## 4. 適用結果

ISODATA法適用後の領域分割結果である図7に、CIEDE2000色差式による統合処理を加えた結果を示す。



図7. ISODATA法適用画像

まず、明度に関する重み $K_L$ の値を1に設定し、順に2、3、と値を上げていき、10まで上げた時の結果画像を比較したところ、値が1から6までは大きな差は見られず、8以降で変化が見られたが、それ以降変化はなかった。図8、図9に、 $K_L$ の値を変えたときの領域分割結果を示す。



図8.  $K_L = 7$ の画像



図9.  $K_L = 8$ の画像

次に、 $K_C$ を1から10に設定したところ、5までは変化が見られず、6以降で変化が見られ、10に設定時は著しい変化が見られた。図10、図11、図12に、 $K_C$ の値を変えたときの結果を示す。



図10.  $K_C = 6$ の画像

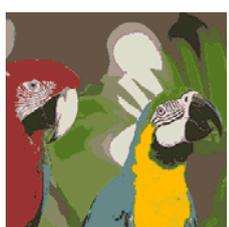


図11.  $K_C = 9$ の画像



図12.  $K_C = 10$ の画像

最後に、色相に対する重み $K_H$ を1から10に設定を変えたとき、5より大きくしたところで領域統合が始まった。図13、図14、図15に、 $K_C$ の値を変えたときの結果を示す。



図13.  $K_H = 5$ の画像



図14.  $K_H = 8$ の画像



図15.  $K_H = 10$ の画像

## 5. まとめ

明度の係数値変更の処理では著しい結果は見られなかった。しかしながら、彩度、色相の設定値を上げていくと、領域ごとに変化が目立ってくるのがわかる。このように、3種類の係数値を1種類ずつ変更しても、結果に偏りが生じることが分かった。

さらに、3種類の係数値の変更を重ね、良好だと思われる出力結果の各パラメータ値は、 $K_L=6$ 、 $K_C=4$ 、 $K_H=5$ の設定であり、そのときの領域分割結果を図16に示す。

三種のパラメータの設定により、どのような領域分割結果があるかの検証を進め、設定の指針を得ることを今後の課題とする。



図16. 明度6, 彩度4, 色相5の結果画像

## 「参考文献」

- 1) CIE Publication No. 142 : Improvement to Industrial Colour-Difference Evaluation (2001).
- 2) Gaurav Sharma, Wencheng Wu, and Edul N. Dalal, "The CIEDE2000 Color-Difference Formula: Implementation Notes, Supplementary Test Data, and Mathematical Observations", COLOR research and application, Volume 30, Number 1, February (2005) pp. 21-30.
- 3) CIE Publication No. 116 : Industrial Colour-difference evaluation (1995).