色彩画像処理による顔色の分析と合成*

黒 田 勉^{*1}, 渡 辺 富 夫^{*1}

Analysis and Synthesis of Facial Color Using Color Image Processing

Tsutomu KURODA and Tomio WATANABE

The natural color of five representative areas of the human face, the lip, brow, nose, left cheek and right cheek, is analyzed using HSV (hue, saturation, value) color space which is fitted with human color sense. From the relationships among the HSV parameters of these areas, it is found that the hue of the lip is not correlated with that of the other areas. This suggests that the hue of the lip in a virtual face image can be treated independently from other facial colors. Then a virtual facial color image is synthesized using the average of facial colors in HSV color space, determined from 64 males. On the basis of the difference in color of each pixel between the averaged face image and an individual one, a method for emphasizing the individual characteristics in facial color is proposed and the effectiveness of the method is demonstrated through sensory evaluation by paired comparison of enhanced virtual face images.

Key Words: Human Interface, Color Image Processing, Facial Color, Virtual Face Image, Characteristic Emphasis

1. 緒 言

顔画像は、エージェント等のコンピュータシステムと人間との円滑なコミュニケーションに重要な役割を果たしている。これまで、顔画像の分析合成符号化方式をはじめとした顔画像によるヒューマン・インタフェースの向上を目指した研究が進められている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、これらの研究では主として表情に着目しているため、顔色はテクスチャマッピングされたものを張り付けたものであり、顔色が個人識別、バーチャル顔画像での自然な画像作成、情動表出などに重要な役割を果たすと期待されるにもかかわらず、顔色そのものに着目した検討がなされていない。

著者らは、カラー画像処理を用いて顔の唇周辺の色彩を人間の色彩感覚に合致した HSV 表現法により定量化することで、唇の抽出に利用することを提案し、抽出精度が高まることを確認している⁽³⁾。本論文では、色彩データベースの構築やバーチャル顔画像作成への応用を目指して、まず顔を唇、左頬、右頬、鼻梁、眉間の五つの領域に分け、各領域を HSV 表現法で定量化することで顔色を分析し、特に領域間の色彩の関

係について相関分析を行っている。さらに、HSV 表現での平均の顔色をもつ顔画像を合成して、その平均顔画像と個人の顔色画像との対応する画素ごとの色彩の差に基づいた個人の顔色の強調手法を提案し、その有効性を示している。

2. 顔色の定量化

2・1 HSV 表現法 HSV 表現法は、色彩を色相(H, hue:種類)、彩度(S, saturation:濃さ)、明度(V, value:明るさ)の3パラメータで示したもので、色相(H)を角度、彩度(S)を直径、明度(V)を高さとする円筒座標系で表され、カラー画像処理装置で用いる RGB 信号より人間にわかりやすく表現されている。色相は、H=0 で赤、H=120 で緑、H=240 で青を示している。彩度は、S=0 のとき、色味のない無彩色、S=100 のとき、その色相で最も濃い色彩となる。明度は、V=0 のとき最も暗く、V=100 のとき最も明るくなる⁽⁴⁾。

2・2 実験装置および測定条件 図1は、顔画像の取込みの概要を示したもので、光源の状態を一定とするために、測定は外光を一切遮断した暗室内で行い、被験者の背後に暗幕を引くことで暗室内での不要な光の反射を押さえている。本研究で使用しているカラー

* 原稿受付 1996年2月23日。

*¹ 正員、岡山県立大学情報工学部 (〒719 11 総社市窪木111)。

Fig. 1 Set up of the experiment

画像処理装置(三谷 IMC-512 V 8)は、画素数 $512 \times 512(480)$ 、RGB 各 8 ビット(256 階調)の 1677 万色の表示が可能である。

光源には、写真撮影用のデライト用フォトリフレクタランプ(色温度 5500°K)4 灯を使用した。ランプと被験者の顔との距離を約 100 cm とし、ランプの高さは、座った被験者の顔の高さとほぼ等しくなるように床より 120 cm とした。被験者の顔が画面中央に大きく取込みができるように、カメラと被験者の距離を 100 cm とした。

被験者の顔の位置で白色の JIS 標準色票(N 9.0)の明度が 80 になるようにランプと被験者の位置とレンズの絞りを調節した。このとき、白色色票の取込まれた画像の彩度が $S=0$ の無彩色となるようにカメラの RGB 信号の出力比を調整した。これにより、色温度による影響を最小限に抑えている。

被験者は、18~21 歳の男子学生 64 名、撮影時は閉唇で、額を出すようにした。

2・3 顔の部位の定義 測定を行う顔の部位は図 2 に示す唇(LP)、左頬(LC)、右頬(RC)、鼻梁(NS)、眉間(BR)の 5 箇所とした。各領域の頂点の座標は両目の中心(E1, E2)、鼻の左右の穴(N1, N2)、唇の上下(L1, L2)、口の中心(Lc)の座標をもとに計算する。

各測定点の座標を以下に示すように定義する。なお、領域の絶対的な大きさは各個人によって異なっている。

右目(E1) : (x_{e1}, y_{e1}) , 左目(E2) : (x_{e2}, y_{e2})

右鼻腔(N1) : (x_{n1}, y_{n1}) , 左鼻腔(N2) : (x_{n2}, y_{n2})

上唇(L1) : (x_{l1}, y_{l1}) , 下唇(L2) : (x_{l2}, y_{l2})

口の中心(Lc) : (x_{lc}, y_{lc})

両目間の中点(Ec) : (x_{ec}, y_{ec})

ただし、 $x_{ec} = (x_{e1} + x_{e2})/2$, $y_{ec} = (y_{e1} + y_{e2})/2$

両鼻腔間の中点(Nc) : (x_{nc}, y_{nc})

Fig. 2 Analyzing area of Face

ただし、 $x_{nc} = (x_{n1} + x_{n2})/2$, $y_{nc} = (y_{n1} + y_{n2})/2$

これらの測定点の座標値より、各領域の位置づけと頂点の座標の計算式を以下に示す。

(1) 眉間(BR)

x 方向：両目間の 3 等分の中間

y 方向下辺：両目間の中点

上辺：下辺から両目間と両鼻腔間の距離の半分上方

$$x_{BR1} = x_{e2} + |x_{e1} - x_{e2}|/3$$

$$x_{BR2} = x_{e2} + 2 \times |x_{e1} - x_{e2}|/3$$

$$y_{BR1} = y_{ec}$$

$$y_{BR2} = |y_{ec} - y_{nc}|/2 \dots \dots \dots (1)$$

(2) 右頬(RC)

x 方向：右目の位置から右に鼻腔間の距離を加えた値

y 方向上辺：右目と右鼻腔との間を 3 等分した中間

下辺：右鼻腔の位置

$$x_{RC1} = x_{e1}$$

$$x_{RC2} = x_{RC1} + |x_{n1} - x_{n2}|$$

$$y_{RC1} = y_{e1} + |y_{e1} - y_{n1}|/3$$

$$y_{RC2} = y_{e1} \dots \dots \dots (2)$$

(3) 左頬(LC)

右頬と対象の座標値を用いる

$$x_{LC1} = x_{e2}$$

$$x_{LC2} = x_{LC1} + |x_{n1} - x_{n2}|$$

$$y_{LC1} = y_{e2} + |y_{e2} - y_{n2}|/3$$

$$y_{LC2} = y_{e2} \dots \dots \dots (3)$$

(4) 鼻梁(NS)

x 方向：両鼻腔間の値

y 方向：両目と両鼻腔との間を 3 等分した中間

$$x_{NS1} = x_{n1}$$

$$x_{NS2} = x_{n2}$$

$$y_{NS1} = (y_{nc} + y_{ec})/3$$

$$y_{NS2} = 2 \times (y_{nc} + y_{ec})/3 \cdots \cdots (4)$$

(5) 唇(LP)

x 方向：両鼻腔間の値

y 方向：画面からの入力値

$$x_{LP1} = x_{n1}$$

$$x_{LP2} = x_{n2}$$

$$y_{LP1} = y_{l1}$$

$$y_{LP2} = y_{l2} \cdots \cdots (5)$$

各領域の頂点の座標は、これらの四つの xy 座標値の組合せで得られる。

2.4 顔の部位の HSV 表現での範囲 人間の顔周辺の色相の範囲は、340～359、0～40の間(赤紫から赤、橙まで)にあり、 H が90～300の緑、青系統の色彩は存在しない。また、彩度の範囲は20以上、明度の範囲は30以上となっている。五つの部位ごとに領域すべての画素の HSV 値を求め平均値を各部位の HSV 代表値(小数点1位)とした。

3. 顔の部位間の色彩の関係

3.1 顔の部位の色相と彩度の分布 図3は、各領域の HS 平面上での分布を示している。これより、唇の HS 平面上での分布は、他の部位と異なることがわかる。また、鼻梁の彩度は、頬や眉間よりも彩度が高く、濃い色彩であることも明らかになった。

3.2 顔の部位間の色相の関係 図4は、唇の色相(LP)を基準にした各部位の色相の分布を示している。

表1は、各部位を基準とした他の部位との色相の相関係数を示し、図5は、各領域での色相の平均値とそ

の標準偏差を示している。唇(LP)と他の領域の相関係数は零に近く、最も相関の高い左頬(LC)で-0.137であった。このとき、唇と他の領域の色相が無相関であること($H_0: r=0$)を検定するために、 t 分布における両側検定を用いると自由度 $N-2=64$ に対する有意水準5%における r のしきい値は0.177となり、仮説は棄却されない。したがって、唇と他の領域の色相は無相関とみなすことができる。これは、唇は他の領域の色相に関して独立であり、唇抽出にあたっては、顔色の情報を得ることなく唇領域のみに着目しても十分であることを示すもので、著者らの提案した色相による唇抽出法の有効性が保証できると考えられる。

唇以外の領域間では相関係数が高く、特に左右の頬(LC, RC)では相関係数が0.937である。

3.3 顔の部位間の彩度の関係 部位間相互の相関係数を表2に示す。唇以外の部位の領域の相関では相関関係が高く、特に左右の頬では相関係数が0.945

Table 1 Correlations of hue

Area	NS	BR	RC	LC
LP	-0.001	0.031	-0.073	-0.137
LC	0.516	0.531	0.937	
RC	0.519	0.570		
BR	0.586

Fig. 4 Relations of the hue of lip with that of the other areas

Fig. 5 Average and standard deviation of hue for each area

Fig. 3 Distribution in H-S plane for each area

Table 2 Correlations of Saturation

Area	NS	BR	RC	LC
LP	0.358	0.404	0.258	0.264
LC	0.791	0.772	0.945	
RC	0.791	0.772		
BR	0.773

Fig. 6 Average and standard deviation of Saturation for each area

Table 3 Correlations of Value

Area	NS	BR	RC	LC
LP	0.579	0.519	0.573	0.511
LC	0.818	0.748	0.939	
RC	0.866	0.725		
BR	0.690

Fig. 7 Average and standard deviation of value for each area

である。

図6は、各領域での彩度の平均値とその標準偏差を示したもので、唇と眉間以外の領域は、ほぼ同じ彩度をもつ。唇抽出を行った後の画像において彩度を利用することで、鼻梁部分の抽出ができることになる。

3・4 顔の部位間の明度の関係 各部位間相互の相関係数を表3に示す。明度は部位間の相関が高く、個人差は顔全体の明るさとして現れることを示している。

図7は、各領域での明度の平均値とその標準偏差を示したもので、唇と他の領域との区別は色相・彩度ほど顕著ではない。

以上のことより、唇領域の色彩は、他の領域と無関係で独立していること、色相、彩度、明度ともに左右の顔の相関が高く、顔の色彩の左右対象性を有していることが明らかになった。

4. 平均顔色画像の合成と個性の強調

4・1 顔画像の大きさの平均化 取込んだ顔画像の絶対的な大きさは、個人の顔の大きさとカメラとの距離に左右され、同じとはいえない。そこで、顔の大きさの基準として、 x 軸方向は両目間の距離を顔画像の幅と定義し記号 W で、 y 軸方向の基準として目と口の距離を高さとして定義し記号 T で表す。2・3節の記号を用い、被験者の顔の大きさの求め方を以下に示す。

顔画像の幅と高さの定義：

$$W = |x_{e1} - x_{e2}|$$

Fig. 8 Average facial color image

$$T = |y_{ec} - y_{ic}| \dots \dots \dots (6)$$

平均の幅と高さ $\bar{W}$, $\bar{T}$ の定義：

$$\bar{W} = \sum_{k=1}^n w_k / n$$

$$\bar{T} = \sum_{k=1}^n T_k / n \dots \dots \dots (7)$$

各被験者の W と T が、 $\bar{W}$ と $\bar{T}$ の値と等しくなるように x 軸方向と y 軸方向それぞれについて拡大または縮小を行い、顔の大きさの規準化を行う。被験者によっては、 x 軸方向は拡大するが、 y 軸方向は縮小する(またはその逆)という場合も存在する。この手法により被験者の顔画像を拡大・縮小し、位置を移動した規準化顔画像を作成した。

4・2 平均顔色画像の合成 各被験者の規準化顔画像から、各画素ごとの HSV 各パラメータの平均値を計算し、平均の顔色の顔画像(以下、平均顔色画像と呼ぶ)を合成する。図8は、求められた平均顔色画像を示す。

4・3 個性を強調した顔色画像の作成法 平均顔色画像をもとに、各個人の色彩について平均との差を求め、その値を α 倍した値を平均の値に加えて新たな顔色画像として表示する。この顔画像を顔色強調画像と呼び、 α を強調係数と呼ぶ。

ある被験者の規準化顔画像での任意の位置の画素を x 軸方向を記号 i 、 y 軸方向を記号 $j(0 \leq i \leq 511, 0 \leq j \leq 479)$ で示す。 (i, j) の位置の HSV パラメータ値を H_{ij}, S_{ij}, V_{ij} で示す。同様に平均顔色画像の HSV パラメータ値を $\bar{H}_{ij}, \bar{S}_{ij}, \bar{V}_{ij}$ 、顔色強調画像の HSV パラメータ値を h_{ij}, s_{ij}, v_{ij} で示す。顔色強調画像の HSV パラメータ値は式(8)で求められる。ただし、被験者の規準化顔画像が平均顔色画像からはみ出す場合、または平均顔色画像が被験者の規準化顔画像からはみ出す場合には、被験者の規準化顔画像のデータを優先して使用する [式(9)]。

規準化顔画像と平均顔色画像が重なっている場合：

$$\begin{aligned} h_{ij} &= \alpha(\bar{H}_{ij} - H_{ij}) + \bar{H}_{ij} \\ s_{ij} &= \alpha(\bar{S}_{ij} - S_{ij}) + \bar{S}_{ij} \\ v_{ij} &= \alpha(\bar{V}_{ij} - V_{ij}) + \bar{V}_{ij} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

規準顔画像と平均顔色画像が重なっていない場合：

$$\begin{aligned} h_{ij} &= H_{ij} \\ s_{ij} &= S_{ij} \\ v_{ij} &= V_{ij} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

また、強調係数 α の値は任意で、顔色画像合成時に入力できる。

4・4 色相の顔色強調画像の作成 色彩の中で最も効果があると考えられる色相について、顔色強調画像作成を行った。

図9は、 $\alpha=1$ とした色相の強調を示したもので、記号○は、被験者全員の左頬の HS 平面上での分布を示し、被験者全体の平均値 ($H=18.2$) を●で示している。記号▲は最も色相が高い値を示した被験者の左頬の実測値 ($H=23.5$)、記号■は、強調係数 $\alpha=1$ とし

Fig. 9 Emphasis of Hue ($\alpha=1$)

て、強調した値 ($H=28.8$) を示している。

4・5 顔色強調画像の評価 強調係数 $\alpha=0$ (オリジナルの顔色画像、すなわち規準化顔画像)、0.5、1 とした3種類の顔色強調画像の内2種類を画像処理装置に RGB 信号で直結したカラーモニタ (SONY KV 21-HVS) 上で同時に並列表示させて、判定者がより本人らしく見えるほうを二者択一させた。位置による見え方の差を考慮し、判定者には左右入れ替えた画像対を含め、合計6対について一対比較させた。判定者は、顔色強調画像にした被験者と面識のある学生3名である。図10は並列表示画像の一例で、左側が顔色強調画像 ($\alpha=1$)、右側が規準化顔画像 ($\alpha=0$) である。

なお、予備実験において、強調係数 α の値を1.5と2.0とした場合の顔色強調画像も合成したが、明らかに強調のしすぎで不自然な顔色画像となったために、本実験での α の値は0.5と1.0を選定した。

判定結果を表4に示す。本人らしさの判定結果を定量的に示すために以下の Bradley-Terry モデルを想定した⁽⁵⁾。

$$\begin{aligned} P_{ij} &= \pi_i / (\pi_i + \pi_j) \\ \sum \pi_i &= \text{const} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

(π_i : i の強さの量, P_{ij} : i が j に勝つ確率)

π_i (平均10) は、 i の強さ、すなわち本人らしさを表し、このモデルを想定することにより、一対比較に基づく本人らしさを一義的に定めることができる。 π を最ゆう推定した結果を表4に示す。強調係数 $\alpha=1$ のほうが原画像 ($\alpha=0$) よりも π_i が高く、色相を平均との差の大きさ分だけ移動させることで本人らしさ(個性)が強調されることが示された。

Table 4 Paired Comparison of Enhanced Hue

$i \backslash j$	0	0.5	1	Total	π_i
0		3	3	6	4.73
0.5	7		2	9	7.36
1	7	8		15	17.91

Fig. 10 Emphasized (left, $\alpha=1$) and original face color image

5. 結 言

本論文では、人間の色彩感覚に合致した HSV 表現法により顔画像の色彩を定量化し、唇、眉間、鼻梁、左頬、右頬の五つの部位間相互の色彩の関係について明らかにした。また、平均の顔色を持つ顔画像を合成し、平均顔色画像と個人の顔色画像との対応する画素ごとの色彩の差に基づいた個人の顔色の強調手法を提案し、その有効性を示した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 本論文で対象とした 18~21 歳の男性の唇の色相とそれ以外の領域の色相の関係は、無相関とみなせる。したがって、同年代の自然なバーチャル顔画像の合成においては、本論文で示した唇の色相の範囲内であれば、唇の色相を頬等の顔色とは独立に選定可能である。また唇の色相の分布は他の領域と異なることから、唇抽出にあたっては顔全体の色彩情報を得ることなく、唇周辺のみに着目すればよい。

(2) 色相を強調して合成した顔色画像の一対比較による官能検査での評価により、顔色を強調することで本人らしさを強調できることを明らかにした。これは、顔色が本人らしさの属性としての役割を果たすことを示すものである。

本研究では、18~21 歳の男性を対象としたため、結論をすべての年代の男性全般にまで一般化するためには、各年代別の顔色のデータの収集・分析評価が必要である。さらに、性別、季節変動等の各種条件下での広範囲な顔色データの収集・分析評価を行い、バーチャル顔画像の色彩決定への応用が今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は、電気通信普及財団の補助による。

文 献

- (1) Morishima, S. and Harashima, H., A Media Conversion from Speech to Facial Image for Intelligent Man-Machine Interface, *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, **9**-4 (1991), 594-600.
- (2) 相澤清晴・原島博・斉藤隆弘, 構造モデルを用いた画像の分析符号化方式, 電子情報通信学会論文誌, B-I, Vol. J 72-B-I, No. 3 (1989), 200-207.
- (3) 黒田勉・渡辺富夫, HSV 表現法に基づく顔画像の唇抽出法, 機論, **61**-592, C (1995), 4724-4729.
- (4) Harrington, S., 郡山彬, アルゴリズムとプログラムによるコンピュータグラフィックス [II], マグロウヒル, (1988), 484-499.
- (5) 渡辺富夫, 動画合成による歩行動作の自然さの評価, 機論, **54**-502, C (1988), 1291-1296.