情動変動に伴う顔色の画像分析と
バーチャル顔画像合成*黒田 勉^{*1}, 渡辺 富夫^{*1}Facial Color Image Analysis and Synthesis
for the Virtual Face Image in Emotional ChangeTsutomu KURODA^{*2} and Tomio WATANABE^{*2} Okayama Prefectural University, Dept. of System Engineering,
111 Kuboki, Soja, Okayama, 719-1197 Japan

Human facial color can be applied to the display of virtual face image, emotional evaluation, individual identification, and remote health care. We already developed a method for emphasizing the individual characteristics in facial color based on a virtual face image using the HSV (hue, saturation, value) color space. To make virtual face images more natural and richer, the clarification of the relation between facial color and emotion would be expected. In this paper, we propose a synthetic method for the virtual face image based on the analysis of facial color in emotional change. First, the facial colors under the emotion of joy or anger are determined quantitatively by using the HSV color space. Secondly, we examined the relation between the facial color and the physiological index of facial skin temperature, which indicates the change of blood flux, in drinking for the emotion of joy. Also, we examined the relation between the change of facial color and that of skin temperature under the joy in laughing. Finally, on the basis of these results, we synthesized seven enhanced facial color images based on an average facial color image from 68 females, and evaluated the effectiveness of these images through sensory evaluation by paired comparison.

Key Words: Human Interface, Color Image Processing, Facial Color, Virtual Face Image, Emotional Change

1. 緒 言

顔色は、個人識別や自然なバーチャル顔画像合成、情動計測などのヒューマンインタフェースへの応用をはじめ、個人の健康状態把握など今後の遠隔医療分野に応用できると考えられる。これまで著者らは、カラー画像処理を用いて顔の各部位の領域を HSV 表現法で定量評価することで顔色の分析を行い、平均の顔色の顔画像を合成するとともに、平均顔画像と個人の顔画像との色彩の差に基づいて、顔色による個性の強調について検討することで、顔色が本人らしさの属性としての役割を果たすことを明らかにしてきた⁽¹⁾⁽²⁾。

一方、従来の画像呈示手法によるバーチャル顔画像などでの情動の呈示は、顔の形状変化を中心としたものであり、顔色に関しては情動と関連付けたものではない⁽²⁾。そこで、情動変動に伴う顔色の果たす役割を明らかにすることで、より自然なバーチャル顔画像合成ができると考えられるが、そのためには、情動変動と顔色の変化を定量的に関連付ける必要がある。

本研究では、情動変動に伴う顔色の変化を定量的に分析し、その分析結果に基づいて、情動変動に伴う自然なバーチャル顔画像合成法を提案している。まず、顔色の変化が大きいと考えられる快情動と不快情動下(喜びと怒りの情動下)での顔色を HSV 表現法により計測・分析し、情動の変化に基づいた顔画像色彩の定量評価を行う。次に、強制的に情動を快状態にする飲酒時における顔色の変化と顔面皮膚温を同時計測し、顔色の変化と生理指標との関連性を定量的に検討している。なお、顔面皮膚温計測による情動評価は、自律神経活動の影響を血管収縮拡大による皮膚温度の変化としてとらえるものである⁽⁶⁾。また、快情動下における顔色の変化と顔面皮膚温の変化の関連性について検討し、情動と顔色、顔面皮膚温の関係を明らかにする。最後に、計測により得られた顔色の変化量を用いて、著者らが合成した平均顔画像を基に、顔色の変化を強調した画像を新たに合成する。合成した画像の評価は、一対比較による官能検査に基づき検討し、快情動下での顔色の強調の有効性を示している。

2. 顔画像色彩の定量化

2.1 HSV 表現法 本研究では、色彩の定量化手法として HSV 表現法を用いている。HSV 表現法は、

* 原稿受付 1998年12月25日。

^{*1} 正員、岡山県立大学情報工学部(〒719-1197 総社市窪木111)。E-mail: kuroda@cse.oka-pu.ac.jp
watanabe@cse.oka-pu.ac.jp

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 信号より人間に判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⁽⁵⁾。

2.2 実験装置

2.2.1 情動による顔色の変化の計測装置 図1に, 装置の概要を示す。カラー画像処理装置(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 万色の表示が可能なものを用いている。この画像処理装置をパーソナルコンピュータ(NEC PC-9821 An)に接続し, 色彩の分析, RGB 信号から HSV 表現法への変換, 画面間の演算処理などを行っている。

顔色の計測は, 光源の状態を一定に保ち, 外光の影響を全く受けない暗室内で行った。光源は, 写真撮影用のデライト用フトリフレクタランプ(色温度 5500°K)を 4 灯使用した。被験者が暗室内に入る時間は顔色に温度上昇による影響が出ない 5 分以内とし, 暗室内の温度の影響を最小限に抑えている。

フトリフレクタランプと被験者の顔との距離を約 100 cm とし, 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。また, ランプの高さは, 座った被験者の顔の高さと等しくなるように床より 120 cm とした。このとき, 白色色票の取り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, 色温度による影響を最小限に抑えている。また, 被験者の顔が画面中央に

大きく取り込みができるように, カメラと被験者の距離は 100 cm とした。被験者の背後には暗幕を引き, 暗室内での不要な光の反射を押さえている。

2.2.2 顔色と顔面皮膚温の変化の同時計測装置

図2に装置の概要を示す。2.1 節の場合と異なり, 長時間にわたって顔色と顔面皮膚温を同時計測するために, 暗室内での計測ではフトリフレクタランプの発生する熱による暗室内の温度上昇の計測への影響が考えられる。そのため, 被験者を通常の室内で撮影し, 照明は室内の蛍光灯を用いた。なお, 計測に使用した部屋は窓が北向きで, さらに外光の変化が少ない時刻を選んだ。カメラと被験者の顔との距離は 100 cm とし, 被験者の頭部が移動しないように, ウレタンフォームによる固定治具を用いた。

顔面皮膚温は, 一回の計測で 512 フレーム(画面)記録できるサーモグラフィ装置(日本アビオニクス TVS-8000)で自動計測し, 顔色の変化はカラー画像処理装置を用いて手動で記録した。

2.2.3 一対比較による官能検査 カラー画像処理装置に RGB 信号で直結したカラーモニタ(SONY PVM-2054 Q)を判定者から 100 cm 離れた位置に置き, 一対比較による画像の判定を行った。照明は, 室内照明用の蛍光灯を用い, 画面に蛍光灯が写り込まないようにした。

2.3 計測条件および解析方法

2.3.1 情動変動に伴う顔色の変化 各被験者の情動変動に伴う顔色の変化の計測は, まず最初に安静状態で顔画像を取り込み, すぐに喜びの快情動の顔画像を取り込んだ。次に, 変化した顔色がほぼ元に戻るように約 10 分の間をおいた後に安静状態で顔画像を取り込み, その直後に怒りの不快情動の顔画像を取り込んだ。引き続き約 10 分後に顔画像を再度取り込み, 安静状態の顔色に戻っていることを確認した。

計測領域は, 顔色の変化が起こる頬を中心に広く変

Fig. 1 Setup of the experiment for taking facial images

Fig. 2 Setup of the experiment for taking facial temperature and color

化をとらえるため、図3で示すように額部分の領域(BR)、および目の下から唇上部の領域(頬の部分:CK)を対象とした、計測した被験者は、18~21歳の女子学生18名である。なお、Vの値が20未満の画素については、背景および鼻孔、毛髪などの顔色でない領域となるので計測の対象から外している。

2.3.2 飲酒による顔色と顔面皮膚温の変化 顔色の変化と情動の変化に伴う顔面の血流量の変化の関連性を確認するために、アルコールの摂取により強制的に快状態にして血流量を増加させたときの顔色の変化と顔面皮膚温を同時に計測した。また、顔の輻射熱の違いを明らかにするために、向かって左側の頬に墨を塗った。図3で示した頬の領域の色彩と顔面皮膚温の変化を計測した。被験者は22歳と23歳の男子学生2名で、飲酒量は約200mlである。顔色と顔面皮膚温の計測は、飲酒20分前に4分間、飲酒直後に8分間、そして飲酒20分後に4分間行った。

サーモグラフィ装置の記録時間の間隔は、飲酒前、飲酒後の定常状態では0.5秒に、飲酒直後の変化の計測時には1秒に設定した。なお、記録データを光磁気ディスクに格納するのに約10分間必要であるため、飲酒前の定常状態と飲酒直後、飲酒直後と飲酒後の定常状態との間隔をそれぞれ15分間取った。

2.3.3 笑いの情動変動下での顔色と顔面皮膚温の変化 薬理的効果のない情動変動に伴う顔面皮膚温

Fig. 3 Analyzing area of face

と顔色の変化を計測して、顔色と顔面皮膚温の変化の関連性を計測した。図3で示した頬の向かって右側領域の色彩と顔面皮膚温の変化を計測した。被験者は19歳から23歳の女子学生6名である。まず、被験者の顔色と顔面皮膚温を定常状態で約4分間計測を行い、その後、ほかの学生の面白い話を聴かせて、笑った状態の顔色と顔面皮膚温を約2分間計測した。顔色と顔面皮膚温は、2.3.2項で行ったものと同一の計測領域とした。

3. 顔色の情動による変化の解析結果

3.1 情動変動に伴う顔色の変化 初期安静状態の色相と彩度を基準にし、喜び(快動)と怒り(不快情動)での色相・彩度の変化を遷移量と定義し、それぞれ記号 ΔH , ΔS で表す。

図4は、喜びと怒りの情動下における ΔH , ΔS の分布を示したもので、表1は、喜びと怒りの情動下での ΔH , ΔS の平均を示したものである。喜びの情動下では、頬はほとんどの被験者(18人中16人)で色相が標準状態より減少しており(平均-1.51)、全被験者の彩度が上昇する(平均1.51)。また、額は色相は減少する(平均-1.73)が、彩度には一定の傾向は見られないことがわかった。また、怒りの情動下での遷移は、喜びの情動下での遷移と各部位ごとに傾向が類似しており、遷移量は喜びの情動下の約半分であった。

図5は、図4の遷移状態を各被験者ごとにHS平面上で示したもので、■と●が喜びの情動下、○と□が

Table 1 Average of ΔH and ΔS

		ΔH	ΔS
Joyful face	Cheek	-1.51	1.51
	Brow	-1.73	-0.13
Angry face	Cheek	-0.76	0.80
	Brow	-0.82	-0.15

Fig. 4 Relations between the change of hue ΔH and that of saturation ΔS

Fig. 5 Transition of facial color on HS-plane

Subject A

Subject B

Fig. 6 Transition of facial temperature and hue in drinking alcohol

怒りの情動下での顔色を示している。これより、笑顔の顔色は通常の顔色と比較して、赤みが増し、色が濃くなることが明らかになった。

したがって、快情動下での顔色を合成する場合、頬の領域は赤みを増して色を濃く(色相減少, 彩度増加)し、額の領域は赤みだけを増す(色相減少, 彩度変化無し)ようにすればよい。

以上、快情動における頬の色相の変化が大きいことが示されたので、快情動を呈示するための色彩の指標として、頬領域の色相を用いることにする。

3・2 飲酒による顔色と顔面皮膚温の変化 図6は、各被験者アルコール摂取による顔面皮膚温の変化と色相の変化を経過時間ごとに示したものである。その結果、2人の被験者いずれも飲酒後約5分で変化が

起き始め、8分後に顔面皮膚温、色相ともに一定の定常状態になった。顔面皮膚温は、31.5°C以下であったものが約2.2°C上昇した。また、墨を塗ることで、顔面皮膚温は約0.5°C低下した。

色相の変化については、飲酒前はH=25~28であったものが、飲酒後の定常状態ではH=20~23となり赤色の方に遷移した。なお、墨を塗った場合でも、同様の結果となったが、墨の隠蔽効果により、色相の値は3程度低くなった。この飲酒による色相の変化量は、喜びの情動による変化量の2倍以上である。

以上、顔面皮膚温の上昇と色相の変化については、アルコールの血管拡張作用による顔面の血管の血流量の増大により皮膚から放射される熱量が増えるとともに赤みが増すと考えられ、顔色の変化と顔面の血流量

の変化の関連性を定量的に示すことができた。また、墨を塗った状態でも、変化量そのものはほぼ同じ値を取ることから、墨を塗っただけでは、完全に皮膚からの輻射と皮膚の色彩の変化を隠蔽できないことも示された。

3・3 笑いの情動下での顔色の変化と顔面皮膚温の関係 笑いの情動下での顔色の色相と顔面皮膚温の変化の一例を図7に示す。飲酒時の場合と同様、笑いの情動下においても色相の低下と顔面皮膚温の上昇が同時に計測された。この被験者の場合、顔面皮膚温が笑う前は31°C未満であったものが、笑い始めてから次第に上昇し30秒後には31°Cを越え、計測終了まで維持されている。これは、いわゆる「笑った後、顔が火照る」状態を示している。一方、顔色を示す色相の変化は、笑った直後に27.5から23に下がり(赤みを帯び)、40秒経過すると笑う以前の顔色に戻る。これより、顔色の変化は極めて短時間に行われることが明らかになった。これは、「一瞬で顔色が変わる」ことを示すものと考えられる。この傾向は、6名中4名に見られた。

4. 色彩の強調による顔面像合成

4・1 顔画像の合成手法 顔色の強調の原画像として女子の平均顔色顔画像⁽²⁾を使用した。この画像は、女子学生68人の平均の顔色を求めたものであり、特定の個人の顔ではないので判定者に対する個人差(例えば、顔見知りか否か)を排除できる。原画像の色相と彩度を強調した同一形状の新たな顔画像を合成し、原画像と並列表示して、色彩の強調の影響を一对比較により官能検査した。図8に原画像を示す。また、形状による変化の差の影響を除去するために、目の部分と計測領域から下の部分(口元)には黒いマスクをかけた。

4・2 合成顔画像の色彩の強調 平均顔色画像の

Fig. 7 Transition of facial temperature and hue in laughing

計測領域(記号Nで示す)は、図5のHS平面上で■(頬)と●(額)で示す位置にある。この平均顔色画像の顔色に ΔH , ΔS の α 倍したものを加えて顔色の変化を強調した画像を合成した⁽⁶⁾。

ここで、平均顔色画像の色相、彩度をそれぞれ H_0 , S_0 、強調顔画像の色相、彩度をそれぞれ H_e , S_e とし、対応する各画素において、式(1)を用いて色彩の強調を行う。

$$\begin{cases} H_e = H_0 + \alpha \cdot \Delta H \\ S_e = S_0 + \alpha \cdot \Delta S \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

α を強調係数と呼び、任意の整数値を取るものとする。本研究では、被験者全体の顔色の分布から外れる $\alpha=7$ を最大値とし、それぞれ、 $\alpha=1, \dots, 7$ としたものを記号E1, E2, ..., E7として示す。E1からE7の変化は図5の□(頬)と○(額)で示している。なお、5章で述べる最も評価の高かったE4は■, ●で示している。

Fig. 8 Average facial color image

Fig. 9 One of display images

5. 合成顔画像の評価

4・2節で合成した画像(E1, ..., E7)と平均顔色画像(N)の8種類の内2種類をカラーモニタ上で同時に並列表示させ、判定者がより笑顔に見えるほうを二者択一させた。位置による見えの差を考慮して、判定者には左右入れ替えた画像対を含め、合計56対について一対比較させた。判定者は、18~22歳の男女学生10人である。図9に、判定者に提示した画像の一例を示す。

判定結果を表2に示す。笑顔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⁽⁷⁾。

$$P_{ij} = \frac{\pi_i}{\pi_i + \pi_j} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum \pi_i = \text{const.} \quad \dots\dots\dots (3)$$

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、すなわち笑顔らしさを表し、このモデルを想定することにより、一対比較による笑顔らしさを一義的に求めることができる。ここでは、 π を最尤推定した。いま、 π_i^0 ($i=1, 2, \dots, 8$)1つの近似値として、

$$\hat{\pi}_i = \frac{T_i}{\sum_{j(i \neq j)} \frac{N}{\hat{\pi}_i^0 + \hat{\pi}_j^0}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

を求める。ただし、 N は呈示した画像の総数で、 T_i は、 i の総勝ち数である。これを

$$\sum_i \hat{\pi}_i = K \quad \dots\dots\dots (5)$$

K : 任意の定数、ここでは80

を満たすようにスケーリングして、

$$\hat{\pi}_i^1 = \frac{K \hat{\pi}_i}{\sum_i \hat{\pi}_i} \quad \dots\dots\dots (6)$$

とする。 $\hat{\pi}_i^1$ を新たな近似値として収束するまで式(4)~(6)の計算を繰り返す。このようにして得られた計算結果を表2に示す。

その結果、E4の π_i が最も高く、その次がE5であった。したがって、色相、彩度とも4倍から5倍程度強調することで笑った情動を示す顔色に見えることが示された。また、6倍以上強調すると顔色の色相・彩度の分布から外れ不自然な顔色になり、2倍以下では平均顔色画像との区別が明確につけられないことが示された。

6. 結 言

本研究では、情動変動に伴う顔色を定量的に分析評

Table 2 Results of the paired comparison of enhanced colors

$i \backslash j$	N	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Total	π_i
N		5	1	2	1	7	9	15	40	3.85
E1	15		4	1	2	3	8	14	47	4.80
E2	19	16		0	3	4	6	14	62	7.46
E3	18	19	20		2	6	10	11	86	14.90
E4	19	18	17	18		9	12	15	108	30.24
E5	13	17	16	14	11		15	15	101	23.77
E6	11	12	14	10	8	5		16	76	11.14
E7	5	6	6	9	5	5	4		40	3.85

価するとともに、顔色(とくに頬の色相)の変化が情動変動に基づくものであることを顔面皮膚温の生理指標から明らかにし、バーチャル顔画像の顔色合成に応用できることを示した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 快情動下では、ほとんどの被験者の色相が減少し、被験者全員の頬周辺の彩度が上昇した。したがって、色彩による自然なバーチャル顔画像の合成において、顔画像の色相を減少させ(赤みを増し)、彩度を上昇させる(色を濃くする)ことで快情動を呈示できる。

(2) アルコールによって強制的に顔面の血流量を増大させることで、顔色の赤みが増し、顔面皮膚温が上昇した。これより、快情動下で顔色が赤くなること、顔面の血流量の増大によるものであることを定量的に示した。また、顔面に墨を塗ってもその傾向は変わらないことも示した。

(3) 快情動下において、顔色と顔面皮膚温との同時計測を行った結果、顔色は笑い始めてすぐに変化し数十秒で元に戻るが、顔面皮膚温は顔色が変化してから上昇し、短時間(1分程度)では元に戻らないことが明らかになった。

(4) バーチャル顔画像での顔色においては、原画像からの遷移量の4倍から5倍したものが最も有効であり、6倍以上では強調のしすぎ、2倍以下では強調の度合いが不足していることが示された。

文 献

- (1) 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.
- (2) 黒田勉・渡辺富夫, 色彩画像処理による顔色の分析と合成, 機論, 63-608, C(1997), 1255-1260.
- (3) Morishima, S., Expression Recognition and Synthesis for Face-to-Face Communication. Advances in Human Factors, Ergonomics, 21B (1997), 415-418.
- (4) Watanabe, T., Okubo, M. and Kuroda, T., Evaluation

- of Emotion by using Peripheral Skin Temperature; The Effectiveness of Measurement on the Back of Finger, Preprints of the 7th IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems, (1998), 401-405.
- (5) 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.
- (6) Kuroda, T. and Watanabe, T., Facial Color Image Analysis and Synthesis for Emotional Change, Proc. 7th IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, (1998), 456-461.
- (7) 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.
-