

## セル画調の人物顔の肌色判断への顔形状の影響

韓 惠 軫<sup>†</sup> (学生会員) 内 川 惠 二<sup>†, ††</sup>

<sup>†</sup>東京工業大学 大学院総合理工学研究科

<sup>††</sup>神奈川大学人間情報学部 マルチモーダル研究所

### Influence of Face Shape on Skin Color Judgment of Characters in Cell-Animation Images

Hyejin HAN<sup>†</sup> (*Student Member*), Keiji UCHIKAWA<sup>†, ††</sup>

<sup>†</sup>Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

<sup>††</sup>Faculty of Human Sciences, Research Institute for Multimodal Sensory Science, Kanagawa University

〈あらまし〉2000年に入ってからアニメーション制作現場にデジタル彩色システムが導入され、アニメーションの色再現が重要になってきた。写真の色再現では記憶色を基に再現される肌色が好まれることが知られ、テレビ画像では肌色の許容範囲が狭いことが明らかになるなど、肌色の研究が進んできている。しかし、アニメーション制作においては肌色の表現が難しいにも関わらず、それに関する研究は極めて少ないのが現状である。そこで本研究では、セル画調の人物顔の肌色を対象に、好ましい肌色および肌色判断と顔形状との関係を明らかにすることを目的とした。その結果、セル画調の人物顔における好ましい肌色として、明るい肌色を選ぶ傾向が示された。顔形状に対する好ましい肌色の被験者間の分布範囲が円形刺激の場合よりも狭かった。従って、顔形状間にも違いあることが明らかになった。また、色マッチングの実験で、肌色の判断には顔形状はほとんど関係していないことが示された。ただし、好ましい肌色付近の色における肌色判断が安定であること、また、スクランブル顔、上下逆転顔、パーツ不足顔では肌色の判断が不正確である傾向にあり、顔知覚と肌色判断が関係していることが示唆された。

キーワード：顔知覚，肌色，セル画調，好ましい色，許容範囲

**<Summary>** Color reproduction for animation has become important, because digital coloring systems were developed from 2000s. Skin colors, based on memory color, are preferred for color photography. Moreover, it was clarified that the ranges of skin color tolerance were smaller than other objects on TV. The small range for skin color tolerance was a basis of effective technology for good color reproductions. Because expressions of skin color in animation are difficult, the study of skin color in animation is needed. In this study, the relationship between skin color judgment and face shape in cell-animation images was researched. As a result, bright colors were selected as skin colors in cell-animation images. Ranges of preferred skin color according to facial shapes were smaller than a circular stimulus. Therefore, it means that there are differences among facial shapes. In addition, the skin color judgment was not related to facial shapes as the result of color matching. However, all stimuli with the color, similar to preferred skin color, showed stable skin color judgment. Scrambled faces, inverted faces and face features showed skin inaccuracy of color judgment. It shows that skin color judgment have relevance to face perception.

**Keywords:** face perception, skin color, cell-animation image, preferred color, tolerance

### 1. はじめに

アニメーションの市場規模が大きくなり、その対象は劇映画、ビデオソフト、テレビ、配信(PC,スマートフォン等)のさまざまなメディアを含むようになった<sup>1)</sup>。カラーアニメーションの歴史は長く、米国では1930年代、日本では1950年代に制作され始めた。2000年代に入ると本格的にデジタルで彩

色するシステムが導入され、アニメーションにおける色の研究が重要になってきた。本研究では、カラーアニメーションの色の中でも、これまでカラー画像処理上、特に重要な色として扱われている肌色に注目した。

肌色についての研究も古くからあり、1800年代にカラー写真が開発されて以降、1950年代に入ってから高品質のカラー写真による好ましい色再現の要求が高まり、色再現の評価の

ために肌色が使われてきた。MacAdam<sup>2)</sup>は女性の写真で肌の許容範囲を調べ、写真に写っている女性の額の肌色はそのままで赤みが強すぎ、肌色として許容されないことを示した。実際の額の肌色より青白い色が最も好まれ、その範囲は絵画の肖像画とも異なった。この研究がきっかけとなり、肌色の場合は忠実な色再現よりも好ましい色再現が重要な課題になった。Bartleson<sup>3)</sup>は好ましい肌色について詳細に調べ、実際の肌色に近い色と肌色として記憶される色で作成したカラープリントを用いて実験を行った結果、実際の肌色に近い色は好まれず、記憶されている肌色に近い色が好まれることが分かった。

Bartleson<sup>4)</sup>は記憶色の特性をより多くの色について明らかにするため、肌色を含んだ自然物の記憶色について調べた。実際よりも記憶色の彩度と明度が高くなる他の自然物(草、葉、青空、レンガ、砂、土など)とは異なり、肌色だけは彩度が低下する記憶色の特徴が示された。ここで、Bartleson<sup>5)</sup>は色票において単純に色みや明るさを憶える色記憶(Color Memory)と物の状態や空間的な特性などを考慮して憶える記憶色(Memory Color)の相違をより明確にするため、肌色を含んだ4種類(肌、青空、砂、落葉)の刺激を用いて実験を行った。その結果、色記憶においては、全ての刺激において色相の記憶は比較的忠実であったが、彩度は上昇した。一方、記憶色では、色相が大きく変化し、さらに肌色の場合は彩度が低下した。

Bartleson<sup>6)</sup>らはカラープリントにおいて好ましい色再現を実現するため、自然物に対する記憶色、好ましい色再現、忠実な色との関係を明らかにした。青空、草などの自然物では忠実な色再現が好まれたが、肌色では好ましい色と記憶色を比較すると、明度は記憶色の方が大きかったが、色相と彩度は一致していた。これらの結果から、肌色は忠実に再現された色よりも、記憶色を再現することが好まれることが分かった。肌色は他の自然物の色とは異なり、Hunt<sup>7)</sup>が分類した色再現の定義6種類の中で、全く異なる色に再現する偽カラー(Pseudo Color)と呼ばれる好ましい色再現の代表例として挙げられている。

米国では1950年代、日本では1960年代に入ってからカラーテレビが普及し、映像の中の肌色についても研究され始めた。長谷川<sup>8)</sup>はカラーテレビの映像を構成する要素(肌、花、衣服)における好ましい色とその許容範囲を調べた。その結果、肌色は花や衣服より許容範囲が狭いことが明らかになり、厳しく判断されることが分かった。淵田<sup>9)</sup>は顔の有無における画像の知覚の差異を調べた結果、顔を含んでいる画像の方がわずかな色の変化でも違いを感じ、肌色の有無によって色再現の差の知覚が異なることを示した。Yendrikhovskij<sup>10)</sup>は、様々なシーンに存在する物体の自然さの知覚について調査した結果、肌色の自然さがシーン全体の自然さの評価に強く影響することを示した。これは、シーンの中の肌色に注目して調整することで、シーン全体の色再現性を変えられる可能性を

示唆する。この研究で明らかになった肌色の狭い許容範囲は、少ないデータ量の校正で最大の色再現性を得る技術の基礎的な知見になった。

アニメーションの制作においても、肌色は表現が難しい色として知られているが<sup>11)</sup>、アニメーションの好ましい肌色に関する研究は極めて少ない。その中でアニメーションに比較的似ている画像の例として漫画やイラストを対象とした好ましい肌色の研究がある。西村ら<sup>12)</sup>はカラーテレビ画像を対象に、女性の写真(3種類)と漫画の好ましい肌色を調べた。女性の写真の好ましい色はほぼ同じであったが、漫画で好まれる色は分散が大きかった。青木ら<sup>13)</sup>は女性の写真、男性の写真、女性のイラスト、男性のイラスト、矩形色票を用いて記憶色選択法で好ましい肌色を調べた。その結果、矩形画像と女性のイラストは差がなく、女性の写真と男性のイラストより明度が高かった。他の女性のイラスト画像を用いた実験<sup>14)</sup>でも明るい肌色が好まれた。しかし、実際のアニメーション作品に使われた肌色の調査<sup>15)</sup>では、色相は実際の肌色測定値を含んだ範囲で広くなり、明度は高くなる傾向が見られ、記憶色から影響を受けている可能性が示された。

以上のように、過去の研究では肌色に関して多く調べられてきたが、アニメーションの肌色に関する研究は少なく、アニメーションでより好ましい肌色を実現するには知見が十分ではない。このような背景から、本研究では、セルアニメの肌色に注目して、セル画調の顔画像における好ましい肌色の特徴および肌色判断における顔の形状の影響を被験者を用いた3種類の測定実験を行うことにより、明らかにする。

## 2. 実験

### 2.1 実験1: 好ましい肌色の測定

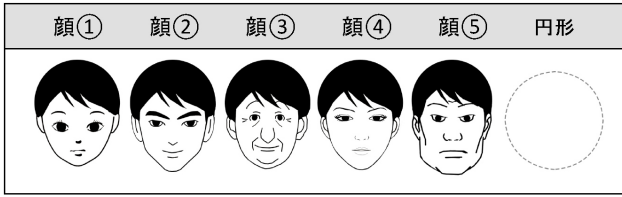
色票と女性の顔における好ましい肌色は知られているが、具体的に顔形状の違いによる好ましい肌色の違いについてはまだ明らかになっていない。そこで実験1では性別と年齢の判断が違うセル画調の人物顔を刺激として選び、これらによる好ましい肌色の違いを調べた。

#### 2.1.1 実験方法

##### (1) 装置

本実験では、テスト刺激は暗室内でコンピュータ(GIGABYTE Phantus P27G V2 I7)で制御されたLCDモニター(Coloredge CG245 24.1"; Eizo Corp.)上に呈示された。LCDモニターのRGB色光(各8bit)は分光放射輝度計(Photo Research Inc., PR650)を用いてキャリブレーションされた。LCDモニターの最高輝度はR: 21.734 cd/m<sup>2</sup>, G: 58.166 cd/m<sup>2</sup>, B: 5.741 cd/m<sup>2</sup>であり、最大輝度(白)は73.040 cd/m<sup>2</sup>, 最低輝度(黒)は0.279 cd/m<sup>2</sup>であった。この三刺激値の測定値をもとに、モニターの最大輝度である白色の三刺激値を用いた定数による変換式を得て、L\*a\*b\*相当値を求めた。

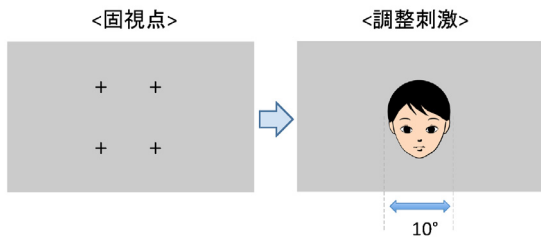
##### (2) 刺激



顔①:女 16 才, 顔②:男 28 才, 顔③:男 63 才, 顔④:女 28 才, 顔⑤:男 41 才. 円形刺激はコントロール刺激として使われた.

図 1 テスト刺激 (5 種類のセル画調の人物顔と円形)

Fig.1 Face stimuli (5 animation faces and a circle)



固視点表示(1 秒)→テスト刺激. テスト刺激の中で好ましい肌色を調整する.

図 2 実験 1 の 1 試行の流れ

Fig.2 A procedure of experiment 1

実験に用いたテスト刺激を図 1 に示す. テスト刺激は灰色背景 (27.280cd/m<sup>2</sup>) 上の横幅視角 10° の 5 種類のセル画調の人物顔とコントロール刺激としての円形刺激である. テスト刺激の肌色の色度は被験者によって調整される. テスト刺激に含まれる髪の色は黒(0.279 cd/m<sup>2</sup>)とし, 髪型は統一した.

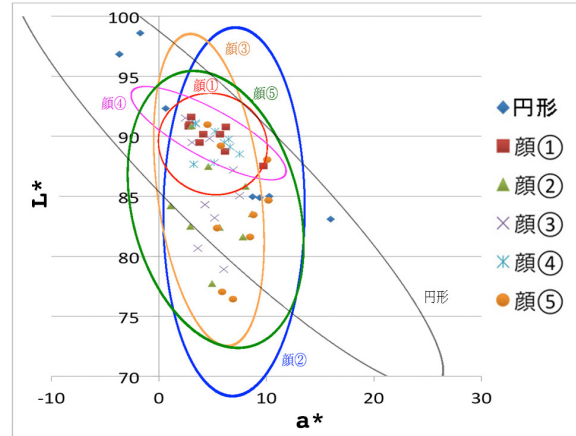
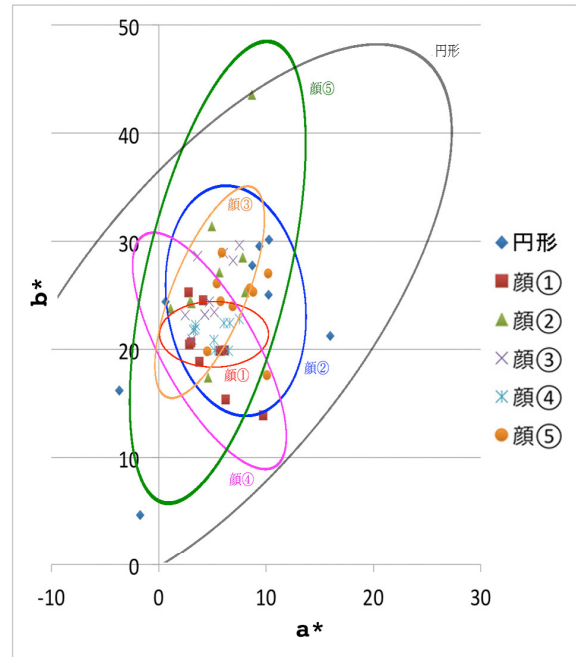
予備実験で顔の刺激に対する性別と年齢の判断における感覚量を測った. 5 段階(Score : 0=女, 4=男)のマグニチュード推定法 (ME 法) により, 被験者 10 名を用いて分類した. その結果, 平均値として顔①(女(1),16 才),顔②(男(4),28 才),顔③(男(2.57),63 才)顔④(女(0.92),28 才),顔⑤(男(3.86),41 才)が得られた.

### (3) 実験手順

本実験では各種類の顔刺激に対して好ましい肌色を下記に示すように刺激の色度と明るさを調整して判断してもらい, その結果から求めることとした. 図 2 に 1 試行の流れを示す. 試行を開始する前に, 被験者は暗順応を 1 分間, その後, 背景(27.280cd/m<sup>2</sup>, x=0.312, y=0.330)への順応を 1 分間行った. 1 試行では, 背景の上に固視点が 1 秒間呈示され, その後にテスト刺激が呈示される. 調整刺激の初期の色は白(73.040 cd/m<sup>2</sup>)にして統一させ, 背景の輝度より高かった.

被験者はテスト刺激の色度と明るさをトラックボールによりテスト刺激の色を好ましいと判断するまで調整し, その後決定ボタンを押す. 以上を 1 試行として, 1 セッション内では 6 種類のテスト刺激に対して各 1 試行を行った. テスト刺激の呈示順はランダムであり, 計 3 セッションを行った.

### (4) 被験者



(上:a\*-b\*平面空間, 下:a\*-L\*平面空間)

各刺激により被験者が 3 回繰り返した結果の平均値をプロット. 顔の形と円形刺激に対する結果を 95%信頼度の楕円でフィッティング.

図 3 顔の形状による好ましい肌色の結果(L\*a\*b\*色空間)

Fig.3 The results of preferred skin color according to facial shapes (L\*a\*b\* color space)

被験者は 10 名(女性 5 名, 男性 5 名)であり, 全被験者とも石原色覚検査表により色覚正常者と判断された. 国籍は日本 (7 名), 韓国(2 名), 台湾(1 名)であった.

### 2.1.2 実験結果および分析

被験者 1 名当たりの平均試行時間は, 18.5 秒であった. 図 3 に顔の各形状に対する好ましい肌色を L\*a\*b\*色空間に示す. L\*a\*b\*相当値として算出してモニタの光源色を評価した. 図 3 には, 形状毎に得られた点の分布にフィッティングした楕円 (95% confidence)も示されている. ただし, 円形刺激に対する楕円は図の外側まで広がっている. 図 3 より, 顔の形状ごとに楕円の大きさと形が異なることと, 顔に対する好ましい肌

色の範囲が円形に対する肌色の分布範囲より狭くなっていることが分かる。それぞれのテスト刺激の間で多重比較分析 (Tukey 法) を行った結果,  $L^*$  では顔③-顔④, 顔④-顔⑤の間で有意差があった ( $p < 0.05$ ) が,  $a^*$  と  $b^*$  での評価結果では有意差がなかった ( $p > 0.05$ )。

この結果より, 好ましい肌色の判断は, 円形刺激のように顔の形状がないとばらつきが大きくなるが, 顔の形状がある

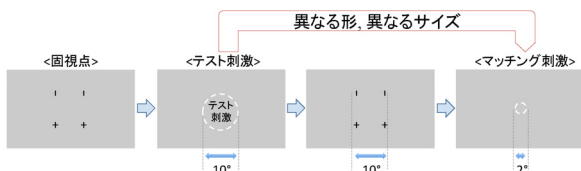
とばらつきが小さくなることが分かった。また, 異なる顔の形状間では, 赤-緑 ( $a^*$ ) と黄-青 ( $b^*$ ) 方向では差がなく, 主に明度 ( $L^*$ ) の方向で差が出るということが分かった。顔の性別の判断が好ましい肌色における  $L^*$  値と  $b^*$  値の変動に影響しているという報告<sup>13)</sup>があり, これは, 本実験から得られた男(③, ⑤)と女(④)の違いによって, 好ましい肌色に明度の差が現れたという結果に一致している。

	①	②	③	④	⑤
1. 顔					
2. 角度					
3. 陰					
4. スクランブル					
5. パーツ不足					
6. 輪郭					
7. コントロール					
8. 刺激色					

<刺激色= $L^*a^*b^*$ >  
 刺激色①=(78.06, 11.09, 18.69)  
 刺激色②=(76.68, 4.09, 13.27)  
 刺激色③=(89.44, 7.18, 19.02)

セル画調の顔 5 種(実験 1 と同一), 顔の角度(45°, 90°, 135°), 陰の表現 (2D, 3D), スクランブル顔(弱, 強, 上下逆転), パーツ不足顔(目, 鼻, 口), 顔の輪郭, コントロール刺激(円形, 球), 刺激色 3 種

図 4 実験 2 と実験 3 のテスト刺激  
Fig.4 Stimuli of experiment 2 and 3



1 試行の流れ: 固視点呈示(1 秒)→テスト刺激(0.5 秒)→固視点呈示(1 秒)→マッチング刺激(テスト刺激の形, 2°)

## 2.2 実験 2: 標準視野刺激による肌色マッチング

顔の形状による肌色の判断についてはあまり知られてない。そこで実験 2 では標準視野刺激(2°)を用いて肌色マッチングを行い, 刺激の顔らしさが色マッチングに及ぼす影響を調べた。

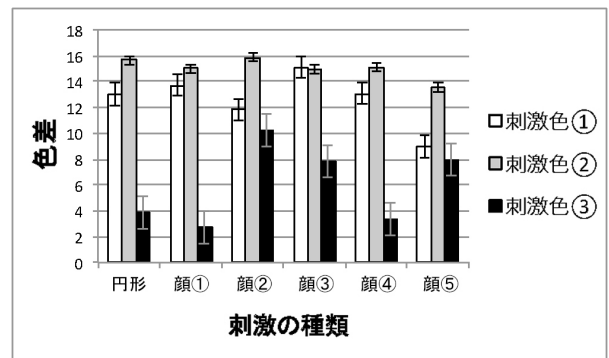
### 2.2.1 実験方法

#### (1) 装置

実験 1 と同じ装置を用いた。

#### (2) 刺激

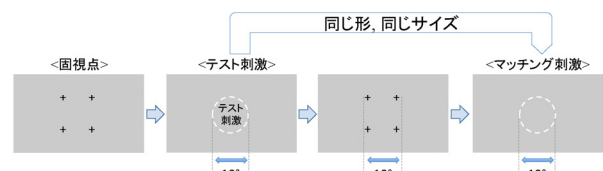
図 4 に用いた刺激を示す。刺激はコントロール刺激も含めて全部で 66 種(形状 22 種×肌色 3 種)である。陰影を加えた刺激 (図 4 の 3) は 3D アニメーションソフトである Autodesk MAYA により, 同じサーフェスシェイダー(Lambertian Shader) のモデリングを用いて 3 つの照明(Directional Light)下で作成



白棒: 刺激色①, 灰棒: 刺激色②, 黒棒: 刺激色③

図 5 刺激色から各刺激における好ましい肌色までの色差

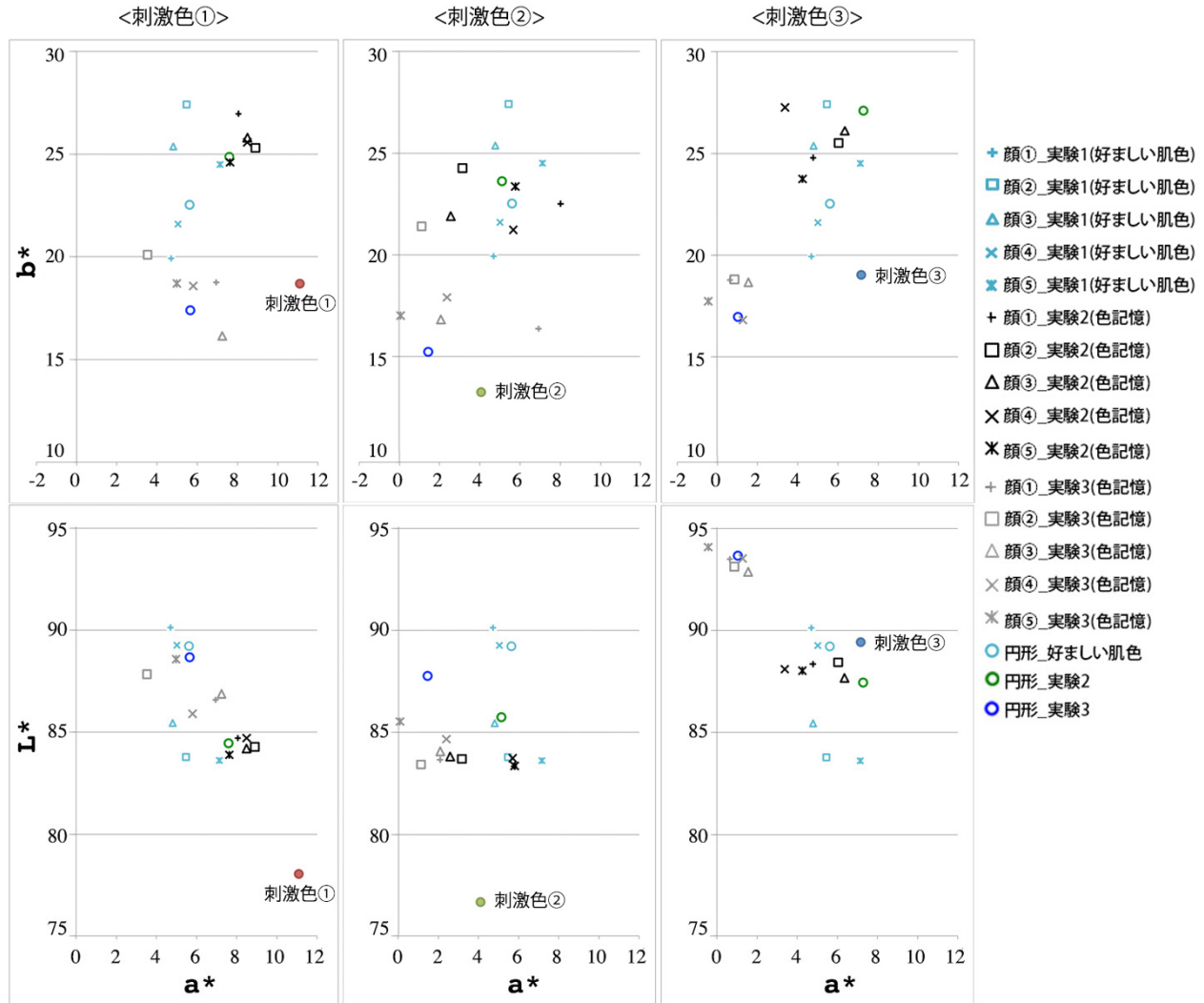
Fig.5 Color difference from preferred skin color to each stimuli



1 試行の流れ: 固視点呈示(1 秒)→テスト刺激(0.5 秒)→固視点呈示(1 秒)→マッチング刺激(テスト刺激の形, 10°)

図 6 実験 2 (左) と実験 3 (右) の試行の流れ

Fig.6 Procedure of experiment 2 (left) and 3 (right)



(左:刺激色①の結果, 中:刺激色②の結果, 右:刺激色③の結果, 上: $a^*b^*$ 平面空間, 下: $a^*L^*$ 平面空間)

図7 刺激1.顔による実験1, 2, 3の結果の比較 ( $L^*a^*b^*$ 色空間)

Fig.7 The results of experiment 1, 2 and 3 according to facial shape ( $L^*a^*b^*$  color space)

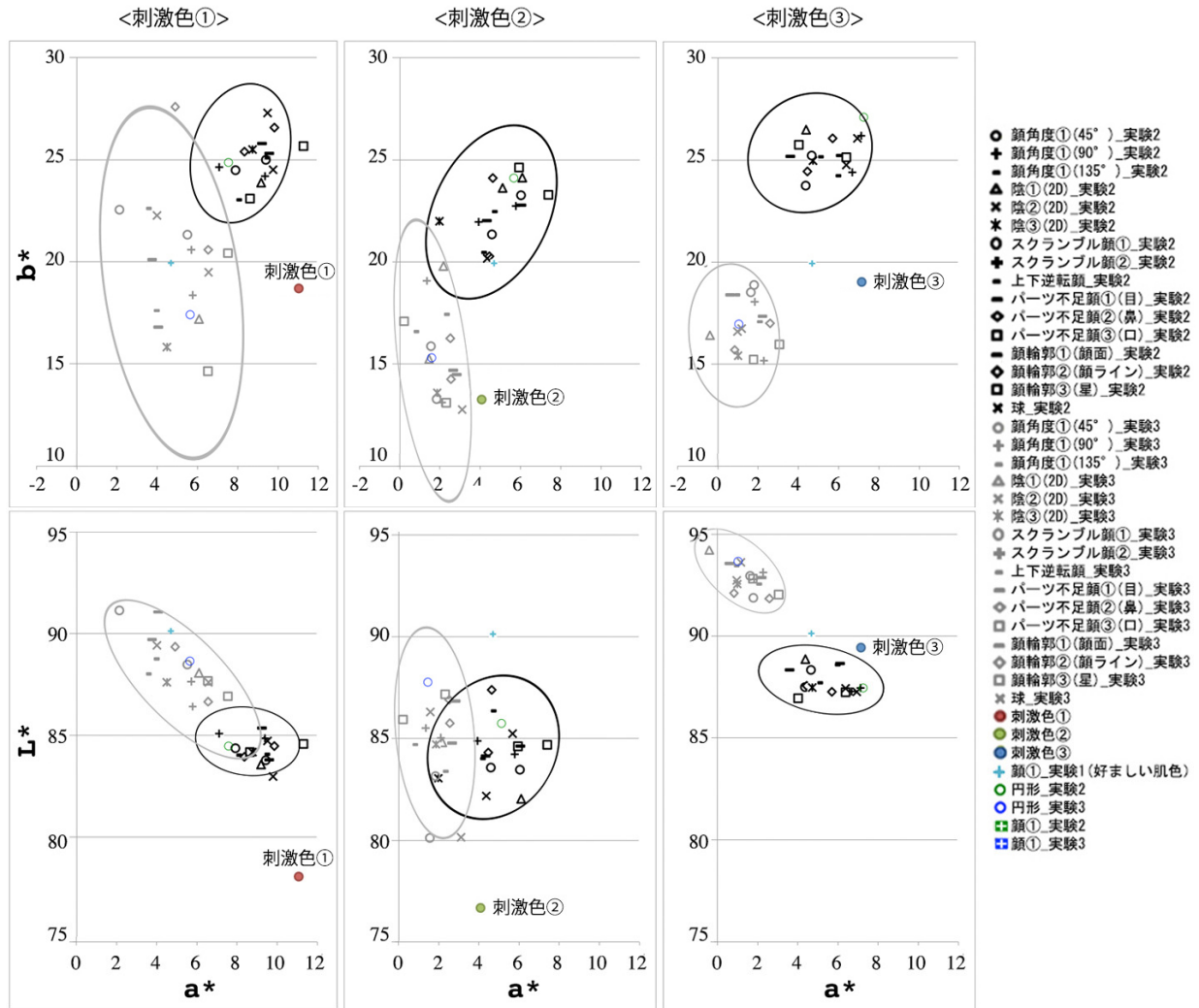
された. 各々の照明は強度(照明① Intensity= 1, 照明② Intensity= 0.8, 照明③ Intensity= 0.3), 角度の条件(照明① Rotation:  $x= -33, y= -31.8, z= 19.28$ , 照明②Rotation:  $x= -31.16, y= -27.8, z= -17.24$ , 照明③Rotation:  $x= -18.86, y= -36.75, z= -51.88$ )であった. 目, 鼻, 口の情報と顔の輪郭を無秩序に変化させたスクランブル顔(図4の4.)の刺激は, 顔らしさの影響を調べるために用いられた. 予備実験で顔らしさに対する感覚を量的に測るため, 5段階(score:最も顔らしくない=0~最も顔らしい=4)のマグニチュード推定法(ME法)を用いた. その結果, 顔(図4の1.①)(3.58), スクランブル顔(弱)(1.14), スクランブル顔(強)(0.264), 上下逆転顔(3.476)であった.

3種類の刺激色(図4の8)は, 実際のアニメーション作品に使われた肌色の範囲<sup>16,17)</sup>を用いた. 刺激色①は赤みがより強い肌色, 刺激色②は黄みがより強い肌色で, 刺激色③は好ま

しい肌色に近い色であった. 図5は実験1で得られた好ましい肌色の結果から実験2の刺激色までの色差を示している. 6種の全ての種類で刺激色③の色差が他の刺激色の色差より小さく, 刺激色③は好ましい肌色に最も近い刺激であった.

### (3) 実験手順

1 試行の流れを図6左に示す. 本実験を開始する前に, 実験1と同じく暗順応を1分間, 背景への順応を1分間行った. その後, 灰色の背景の上に固視点が1秒間呈示され, その後に刺激が0.5秒間呈示される. テスト刺激の種類はランダムに呈示される. 被験者はテスト刺激が呈示された後, マッチング刺激の色みと明るさを記憶内のテスト刺激の色みと明るさに合わせるようにトラックボールを用いて調整する. マッチング刺激は測色標準視野である直径 $2^\circ$ の円形刺激を用いた. 被験者がトラックボールに行う操作は実験1と同様である. 試行は3回繰り返した.



(左:刺激色①の結果, 中:刺激色②の結果, 右:刺激色③の結果, 上: $a^*b^*$ 平面空間, 下: $a^*L^*$ 平面空間)

図8 刺激(2~7)による実験2と3の結果 ( $L^*a^*b^*$ 色空間)

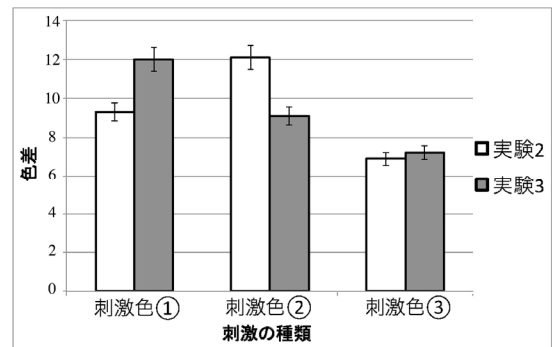
Fig.8 The results of experiment 1, 2 and 3 according to stimuli 2~7 ( $L^*a^*b^*$  color space)

(4) 被験者

実験1と同じ被験者10名が参加した。

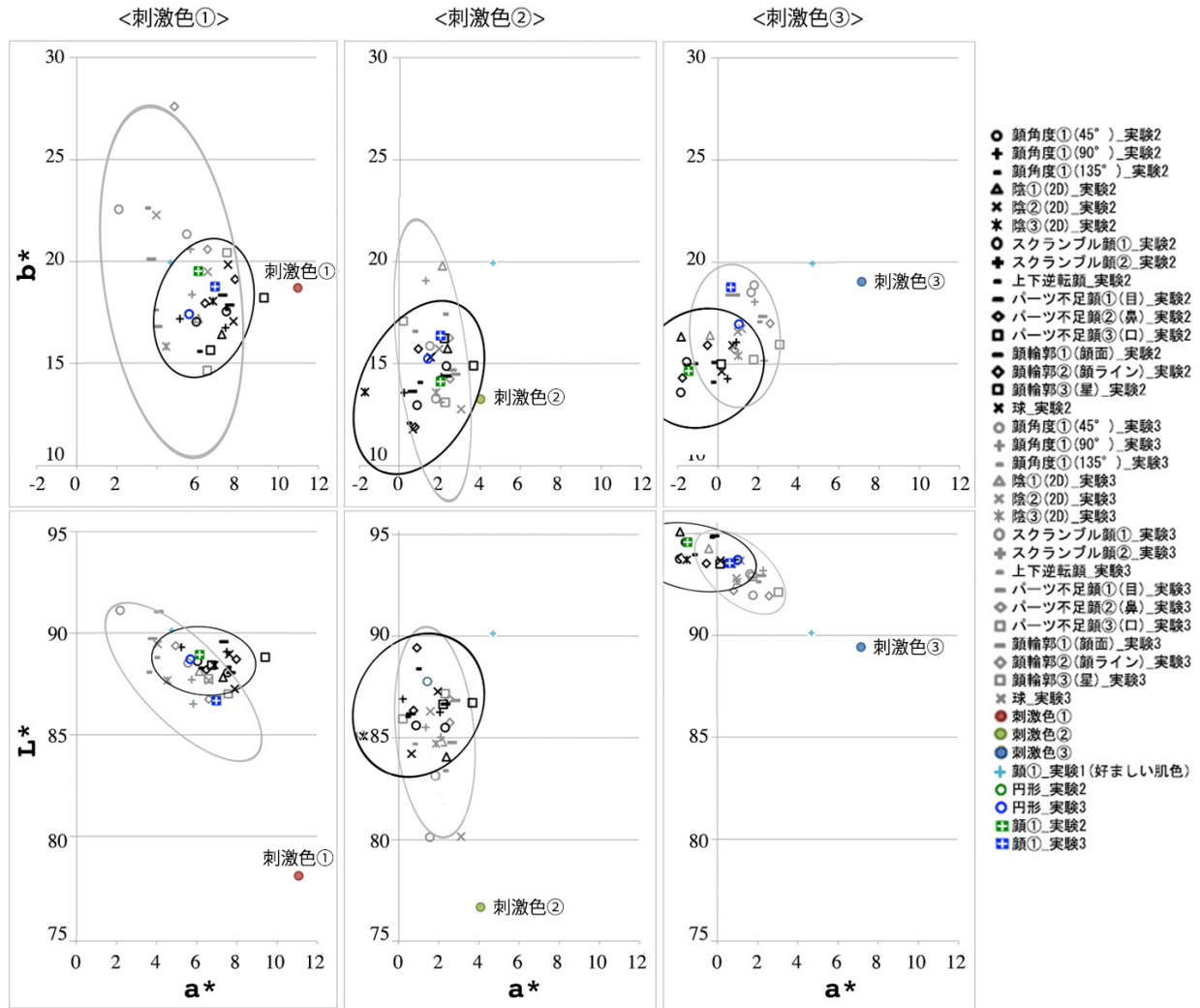
2.2.2 実験結果および分析

被験者の試行時間は平均16.9秒(刺激色①:15.1秒, 刺激色②:20.8秒, 刺激色③:14.9秒)であった。図7には刺激1.顔と刺激7.コントロールの内の円形刺激の結果を, 実験1と3の結果と共に示す。さらに, 実験1で得られた各テスト刺激に対する好ましい肌色の平均値も水色十点で示されている。まず, コントロール刺激である円形刺激に対するマッチング結果を見ると, どの刺激色条件でも, 刺激色の位置とは一致していない。円形刺激はマッチング刺激と形状は同じであるがサイズは異なる。この不一致の原因は, まず, テスト刺激とマッチング刺激のサイズの違いによる色の見えの違いが考えられる。一様な視野の場合は刺激サイズが $10^\circ$ と $2^\circ$ では網膜上の中心窩付近の黄斑色素のために色の見えが異なることが知られている。次に, 不一致の原因としては, 記憶マッチングによって生じるマッチング色のシフトが考えられる。



(マッチング点は刺激の種類の違いによる値の平均)

図9 肌色種類による刺激の実測点とマッチング点との色差の平均  
Fig.9 The results of evaluation from stimuli color to matching color according to skin color



(左:刺激色①の結果, 中:刺激色②の結果, 右:刺激色③の結果, 上:a\*-b\*平面空間, 下: a\*-L\*平面空間)

図 10 シフトした実験 2 と 3 の結果 (L\*a\*b\*色空間)

Fig.10 Shifted results of experiment 2 and 3 (L\*a\*b\* color space)

刺激 1.顔の各形状に対するマッチング点はほぼ円形刺激と同様の位置に分布しているが、顔形状によってどの刺激色でも色シフトの方向や大きさが決まっているようなシステムティックな違いは見られない。刺激色による違いを見ると、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$ のどの方向でも、刺激色の位置に合わせてマッチング点の分布全体がシフトしていることが分かる。

刺激 2.角度～刺激 7.コントロールの結果は刺激 1 の顔①の結果と共に図 8 にプロットされ、95%信頼度の楕円でフィッティングされている。ここでも刺激の形状によってシステムティックなマッチング点の分布の違いは見られない。刺激色による違いを見ると、刺激 1 と同様な傾向を示し、刺激色に合わせて全体的にシフトしている傾向が見える。

各刺激色からマッチング点までのずれを見るために、各刺激色からそれぞれのマッチング点までの色差を取り、その平均値を図 9 に示した。刺激色③では平均色差が小さくなっていることが示されていることが分かる。刺激色①から③の間

を多重比較分析(Tukey 法)で行った結果、実験 2 の刺激色①と②、①と③、②と③の間に有意差があった( $p<0.05$ )。刺激色③は好ましい肌色に最も近い色であることを考慮すると、好ましい肌色付近では判断のばらつきが小さくなることが示唆される。

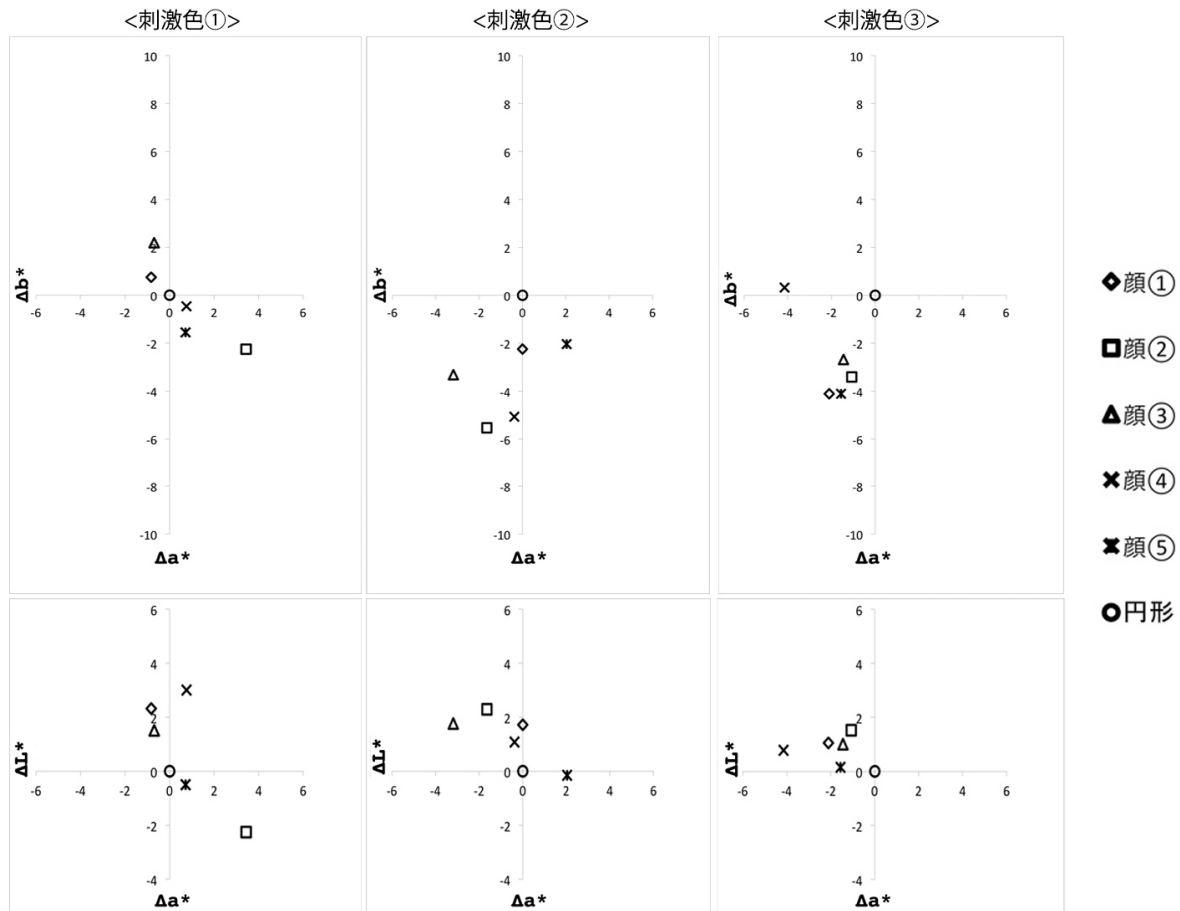
### 2.3 実験 3：同一形状刺激による肌色マッチング

標準視野刺激を用いた実験 2 の肌色マッチングでは、顔形状による色シフトが明らかにならなかった。そこで顔形状による違いをより明らかにするため、実験 3 では同一形状刺激(10°)を用いて肌色マッチングを行った。

#### 2.3.1 実験方法

##### (1) 装置と刺激

実験 1 と同じ装置、実験 2 と同じ刺激を用いた。



(左:刺激色①の結果,中:刺激色②の結果,右:刺激色③の結果, 上:a\*-b\*平面空間,下:a\*-L\*平面空間)

図 11 顔刺激の種類と形状毎の差 (L\*a\*b\*色空間)

Fig.11 The differences of face stimuli from shifted results of experiment 2 to experiment 3 (L\*a\*b\* color space)

(2) 実験手順

実験 2 ではテスト刺激とマッチング刺激の形状とサイズが異なっている. そこで, 実験 3 では, マッチング刺激サイズと形状が影響を調べるために, 図 6 右のように, テスト刺激とマッチング刺激の形状とサイズ (10°) を等しくした. 実験 2 と異なるのはマッチング刺激のみである. 試行は計 4 回繰り返された.

(3) 被験者

実験 2 に参加した被験者 4 名と実験の経験がない被験者 1 名の合計 5 名(男性 4 名, 女性 1 名)が参加した.

2.3.2 実験結果および分析

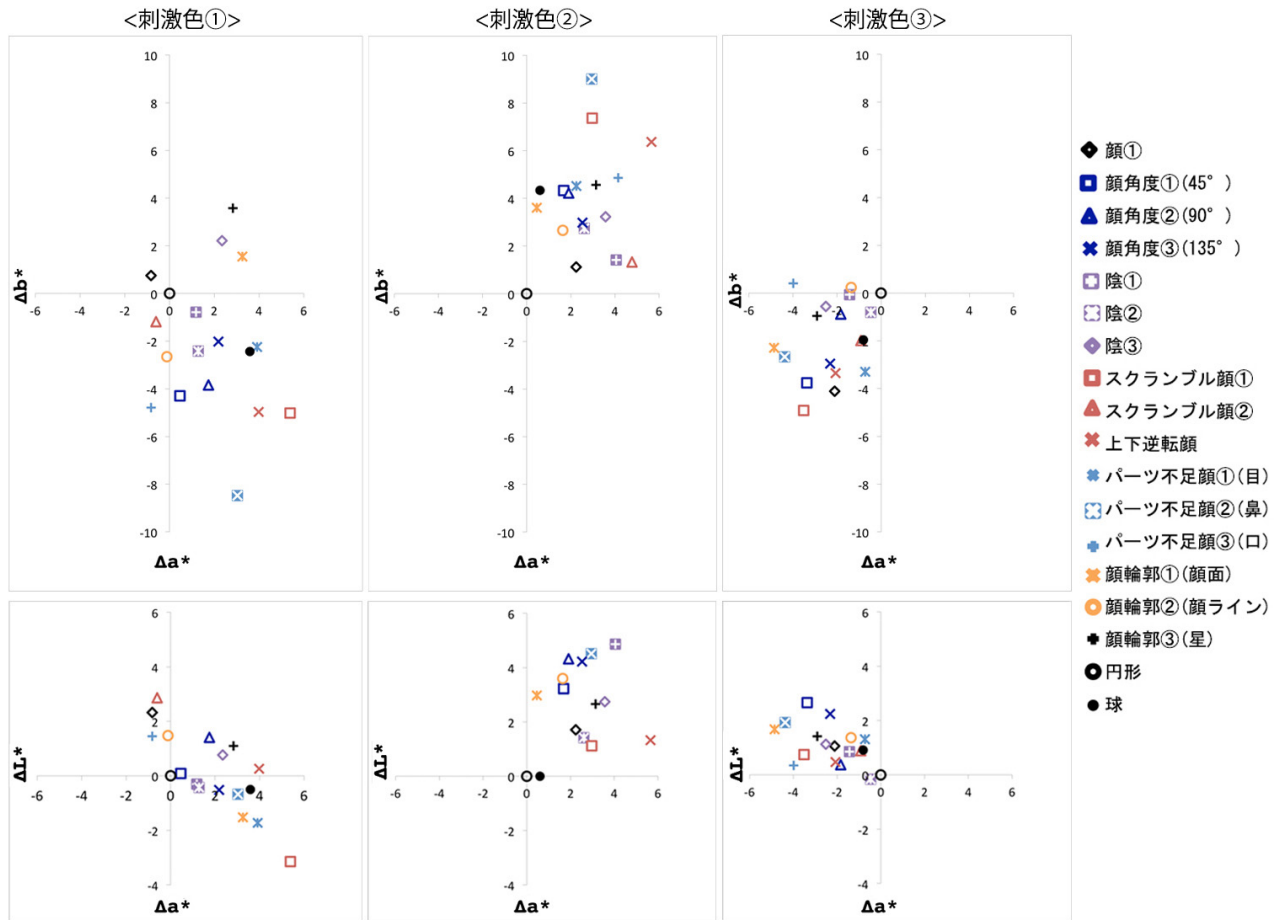
被験者の試行時間は平均 12.8 秒(刺激色①:14.3 秒, 刺激色②:12.1 秒, 刺激色③:12.0 秒)であった. 図 7 に刺激 1.顔と刺激 7.コントロールの円形刺激のマッチング結果を示す. 円形刺激のマッチング位置を見ると, 実験 3 でも刺激色の位置とは一致していない. ここではマッチング刺激とテスト刺激のサイズと形状は等しいため, この不一致は記憶マッチングによる色のシフトが原因と考えられる. 各顔形状に対するマッ

チング点は実験 2 と同様に円形刺激のマッチング点の付近に分布し, 形状によるシステムティックな違いは見られない. しかし, 分布全体では実験 2 の結果と異なっている. この違いは, 実験 2 ではマッチング刺激の形状(円形刺激)とサイズ(2°)が共にテスト刺激とこの異なっているが, 実験 3 ではマッチング刺激の形状もサイズ(10°)もテスト刺激で同じであることが原因と考えられる.

刺激色による違いを見ると, 刺激色③では分布のばらつきが小さくなり, 実験 2 と同様な結果を示している. 図 9 では, 実験 3 の刺激色①と②, ①と③の間には有意差があったが (p<0.05), ②と③の間には有意差がなかった(p>0.05).

刺激 2~7 の結果は図 8 に示され, 実験 2 と同様に 95%信頼度の楕円でフィッティングされている. 実験 3 でも刺激の種類によってシステムティックなマッチング点の分布の違いは見られない. 刺激 2~7 の場合も, 刺激 1 と同様に実験 2 の結果と異なっている.





(左:刺激色①の結果,中:刺激色②の結果,右:刺激色③の結果, 上: $a^*-b^*$ 平面空間,下: $a^*-L^*$ 平面空間)

図 12 刺激 2~7 の種類と形状毎の差 ( $L^*a^*b^*$ 色空間)

Fig.12 The differences of stimuli 2~7 from shifted results of experiment 2 to experiment 3 ( $L^*a^*b^*$  color space)

### 3. 考察

#### 3.1 マッチング刺激のサイズと記憶による色シフトの影響の除去

実験 2 と実験 3 では、結果に差が現れた。この原因は、まず、マッチング刺激のサイズが実験 2 では  $2^\circ$  であり、実験 3 では  $10^\circ$  であるために、刺激サイズによって色の見えの違いが結果に現れたことが考えられる。次に、実験 2 ではマッチング刺激は全ての条件で同一であるが、実験 3 ではマッチング刺激はテスト刺激に合わせてその形状が変わっているため、テスト刺激の形状の違いによって肌色判断に影響があったとしても、実験 3 の結果には現れないことになる。実験 3 では、記憶マッチングによる色のシフトだけが結果に現れることになる。以上のことから、実験 2 と実験 3 の円形刺激に対するマッチング点の差はマッチング刺激サイズが原因であり、他の刺激に対するマッチング点の差はテスト刺激の形状による原因がさらに加わっていると考えられる。そこで、実験 2 の円形刺激のマッチング点を実験 3 の円形刺激のマッチング点に

重なるように、実験 2 の全マッチング点をシフトすると、マッチング刺激サイズの違いによる結果の差をキャンセルできる。ここでは、刺激サイズによる色の見えへの影響は円形刺激と他の刺激とは違いがないと仮定している。このように、実験 2 の結果をシフトした図を図 10 に示す。

まず、図 10 を見ると、実験 2 と 3 の結果の分布はほとんど重なり、両者は類似していることが分かる。分布全体はどの刺激色条件でも、それぞれの刺激色から好ましい色の方向にシフトしている傾向にある。

次に、刺激の形状毎に実験 2 と実験 3 のマッチング点の差を取れば、記憶による色のシフトもキャンセルでき、テスト刺激の形状の違いによる肌色判断の差のみが求まることになる。このようにして刺激の種類と形状毎に( $L^*, a^*, b^*$ )の差を取り、プロットした図が図 11 と図 12 である。

図 12 では、刺激全体の分布が刺激色によって  $a^*$  方向にシフトしているが、形状によるシステマティックな違いは見られない。各テスト刺激の原点からの色差を図 13 に示す。

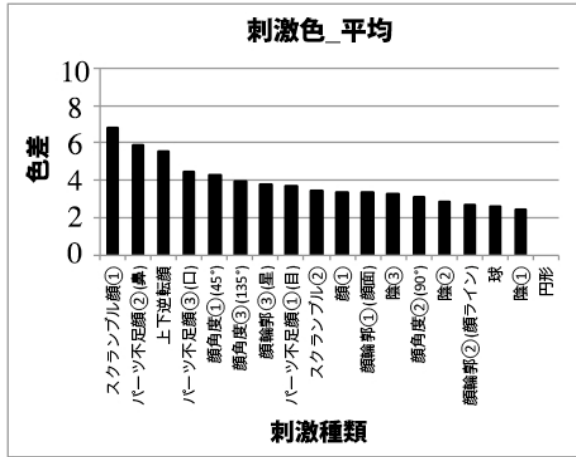


図 13 原点(サークル)から各テスト刺激までの色差

Fig.13 Color differences from a starting point (circle) to stimuli 2-7

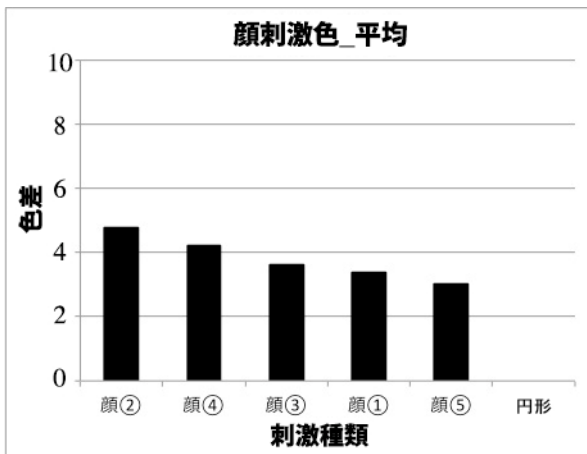


図 14 原点(サークル)から各顔刺激までの色差

Fig.14 Color differences from a starting point (circle) to facial stimuli

### 3.2 顔知覚との関係

図 13 を見ると、スクランブル顔①、パーツ不足顔②(鼻)、上下逆転顔のテスト刺激では色差 5 以上の大きい色差として知覚したため、肌色判断が困難であったことを示している。これらの顔の形状は顔であることは分かるが、顔としては不自然である。一方、陰①、②、③はいずれも顔①よりも色差は小さい。テスト刺激が一見して顔であることがわかることが肌色判断に重要な点であることを示唆している。

Tong らの報告によると、顔の中で目だけ残した刺激に対して完全な顔とほぼ同じ FFA(Fusiform Face Area)反応を示し、パーツ不足顔②(鼻)とパーツ不足顔③(口)は完全な顔における FFA 反応より弱かった<sup>18)</sup>。これは目だけでも顔として知覚することを示す。この結果は、顔のパーツが肌色の判断に影響していることを示している。

顔情報処理はV1からV4を経て側頭葉のFusiform領域におい

て行われる。顔か顔ではないかによる判断では FFAでの反応が異なることが知られている<sup>19), 20)</sup>。この領域では顔に見える時に反応が活発になり<sup>21)</sup>、漫画の顔(Cartoon Face)でも実際の人の顔ほど反応がある<sup>18)</sup>。BruceとYoungの顔認識のモデルによると、顔か顔ではないかに関する判断は顔知覚(Face Perception)で初期段階に該当する<sup>22)</sup>。顔らしさが曖昧である刺激に対して肌色の判断が難しいことを見る(図13)と、肌色判断と顔知覚とが統合されて処理されている可能性がある。

### 3.3 顔の性別と年齢による肌色判断の差異

性別は肌色の特徴に重要な要因であり、男女の差における好ましい肌色が研究されている<sup>13), 23)</sup>。青木ら(2003)<sup>13)</sup>は記憶している肌色は理想的な女性の肌色に近いことを報告している。また、年齢による肌色の好ましさの違いに関する報告<sup>24)</sup>では、画像の年齢が上がると好ましい肌色が黄色寄りになり、明度は低下する傾向が示されている。本研究で用いた顔1の刺激は顔①(女(1),16才),顔②(男(4),28才),顔③(男(2.57),63才),顔④(女(0.92),28才),顔⑤(男(3.86),41才)のように評価されている。図14は図13に対応した肌色判断の正確さを示し、図11の原点から色差を刺激1.顔で求めた結果である。この結果を見ると、顔の種類による傾向は見られず、特に性別と年齢が肌色判断に大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。

## 4. おわりに

本研究はセル画調の人物顔における肌色判断への形状による影響を調べた。顔の形状と顔の要素が入っている刺激を用いて好ましい肌色と肌色判断実験を行い、それらの結果を比較した。結果として、セル画調の人物顔における好ましい肌色として、明るい肌色を選ぶ傾向が示された。これはノンリアルのイメージが持つ肌色の特徴として考えられる。顔形状に対する好ましい肌色の被験者間の分布範囲が円形刺激の場合よりも狭く、顔形状間にも違いあることが明らかになった。しかし、顔形状に対する肌色判断の正確さには有意差がなく、肌色の判断には顔形状はほとんど関係していないことが示された。ただし、好ましい肌色付近の色における肌色判断が安定であること、また、スクランブル顔、上下逆転顔、顔のパーツ刺激では肌色の判断が不正確である傾向にあり、顔知覚と肌色判断が関係していることが示唆された。

本研究で得られた結果はセル画調の人物顔の肌色を決めるためのデータベースの制作に役立つと考えられる。

### 謝辞

本研究は神林留学生奨学会、科研22135004、25245065、15K12125から支援を受けた。

### 参考文献

1) メディア開発総研：“2014年のアニメ市場は過去最高の規模に”、

メディア開発総研発表 PDF 版 (2015).

<http://www.mdri.co.jp/review/data/アニメプレスリリース 2014 年版.pdf>

- 2) D.L. Macadam :“Reproduction of Colors in Outdoor Scenes”, Proceedings of the IRE, Vol.42, pp.166-174 (1954).
- 3) C.J. Bartleson :“Some Observations on the Reproduction of Flesh Colors”, Phot. Sci. Eng., Vol. 3, pp.114-117 (1959).
- 4) C.J. Bartleson :“Memory Colors of Familiar Objects”, J. Opt. Soc. Am., Vol.50, pp.73-77 (1960).
- 5) C.J. Bartleson :“Color in Memory in Relation to Photographic Reproduction”, Phot. Sci. Eng., Vol. 5, pp.327-331 (1961).
- 6) C.J. Bartleson, C.P. Bray :“On the Preferred Reproduction of Flesh, ” blue-sky, and green-grass colors, Phot. Sci. Eng., Vol. 6, pp.19-25 (1962).
- 7) R.W.G. Hunt :“The Reproduction of Colour, 6th Edition”, Wiley (2004).
- 8) 長谷川敬 :“色再現の許容範囲について”, 日本色彩学会誌, Vol. 8, No.1, pp.68-69 (1984).
- 9) 瀧田隆義 :“カラー画像色量子化における肌色依存性”. 照明学会誌, Vol. 81, No.2, pp. 3-79 (1997).
- 10) S.N. Yendrikhovskij, F.J.J. Blommaert, H. Ridder :“Color Reproduction and the Naturalness Constraint”, Color Res. Appl, Vol. 24, pp.52-67 (1999).
- 11) 柴口育子 :“アニメーションの色職人”, 徳間書店 (1997).
- 12) 西村武, 太田益富 :“カラーテレビ画像の好ましい色再現, テレビジョン”, Vol. 28, No.8, pp.623-632 (1974).
- 13) 青木直和, 鈴木正和, 小林裕幸 : “好ましい肌色の研究”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 57, No.3, pp.409-412 (2003).
- 14) H. Han :“Effects of Makeup on Facial Images of Illustrations”, Journal of Korea Society of Color Studies, Vol.29, No.1, pp.49-58 (2015) (in Korean).
- 15) Y. G. Ichihara :“Color Constancy in Japanese Animation”, Electronic Imaging 2006, International Society for Optics and Photonics, pp. 60580C-60580C (2006).
- 16) H. Han, S. Lee : “The Study of Color Planning for Film Image”, Journal of Korea Society of Color Studies, Vol.28, No.1, pp.187-196 (2014) (in Korean).
- 17) H. Han :“Preferred Skin Color of Facial Image in Animation”, The Korean Journal of Animation, Vol.11, No.1, pp.241-261 (2015) (in Korean).
- 18) F. Tong, K. Nakayama, M. Moscovitch, O. Weinrib, N. Kanwisher :“Response Properties of the Human Fusiform Face Area”. Cognitive Neuropsychology, Vol. 17, No.1-3, pp.257-280 (2000).
- 19) G. McCarthy, A. Puce, J. C. Gore, T. Allison :“Face-specific Processing in the Human Fusiform Gyrus”. Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 9, No.5, 605-610 (1997).
- 20) N. Kanwisher, J. McDermott, M. M.Chun :“The Fusiform Face Area: a Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception”, The Journal of Neuroscience, Vol. 17, No.11, pp.4302-4311 (1997).
- 21) T. J. Andrews, D. Schluppeck, D. Homfray, P. Matthews, C.

Blakemore :“Activity in the Fusiform Gyrus Predicts Conscious Perception of Rubin's Vase-face Illusion”. Neuroimage, Vol. 17, No.2, pp. 890-901 (2002).

- 22) V. Bruce, A. Young :“Understanding Face Recognition”, Br J. Psychol., Vol. 81, pp.361-380 (1986).
- 23) Y. Yuan, L.C. Ou, R. Luo :“Gender Difference in Judging Facial Attractiveness based on Skin Tone”. AIC 2012 Interim Meeting, pp.290-293 (2012).
- 24) 鈴木恒男 :“好ましい肌色を規定する要因の解釈-その 1 年齢の効果と見えのモード”, 慶應義塾大学日吉紀要自然科学, Vol. 14, pp.36 (1993).

(2016 年 2 月 1 日 受付)

(2016 年 5 月 18 日 再受付)



韓 惠 軫 (学生会員)

2007 年 国立韓国芸術総合学校映像院マルチメディア映像科卒業. 2009 年 Kingston University MA Illustration and Animation (修士) 修了. 2014 年女子美術大学大学院色彩学修士課程修了. 現在, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程に在学. アニメーションに関する色彩研究に従事.



内 川 恵 二

1980 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了. York Univ. (Canada) Post doctoral fellow. 1982 年東京工業大学助手. 1986-87 年 UCSD Visiting Researcher. 1989 年東京工業大学助教授, 1994 年同教授. 2016 年東京工業大学名誉教授. 工学博士. 現所属: 神奈川大学人間情報学部・マルチモーダル研究所. 専門: 視覚情報処理, 色覚学, 色彩工学, 心理物理学. 所属学会: 日本視覚学会, 映像情報メディア学会, 日本光学会, 日本感性工学会, Vision Sciences Society, Optical society of America, International Color Vision Society.