

(千葉大学学位申請論文)

カラープリントの好ましい画質要因に関する研究

2004年1月

山本真理

目 次

第1章 序 論	1
1.1 緒 言	1
1.2 研究の背景	2
1.3 一般ユーザーの実態	4
1.3.1 カラープリントに関する意識動向	4
1.3.2 撮影およびプリントの実態	4
1.4 本論文の目的と構成	7
参考文献	8
第2章 プリントの画質評価への主成分分析の適用	10
2.1 緒 言	10
2.2 主成分分析法	11
2.3 実 験	12
2.4 結 果	16
2.5 考 察	20
2.6 結 言	25
参考文献	26
第3章 カラープリントの主観的画質要因の解析	27
3.1 緒 言	27
3.2 実験方法	28
3.2.1 はじめに	28
3.2.2 実 験	28
3.3 プリントの色再現と評価	36
3.3.1 はじめに	36
3.3.2 プリントの色再現域	36
3.3.3 色再現の評価	38
3.3.4 好ましさの要因の解析	44
3.3.5 評価尺度の検討	53
3.3.6 まとめ	54

3.4 濃度レベルの評価	55
3.4.1 はじめに	55
3.4.2 評価用プリント	55
3.4.3 評価結果	55
3.4.4 まとめ	61
3.5 階調・粒状等の評価	62
3.5.1 はじめに	62
3.5.2 実験	62
3.5.3 評価結果	63
3.5.4 まとめ	65
3.6 物理的画質要因の変化と好ましさの要因	66
3.6.1 はじめに	66
3.6.2 実験	66
3.6.3 主成分分析結果	66
3.6.4 シーンの複雑さの評価	74
3.6.5 まとめ	76
3.7 主観的に受け入れられるプリントの画質条件	78
3.7.1 各シーンの好ましい色再現	78
3.7.2 好ましい再現の条件	81
3.8 結 言	82
参考文献	83
第4章 好ましい肌色を決定する要因	84
4.1 結 言	84
4.1.1 肌色評価	84
4.1.2 評価方法について	84
4.2 画質の新主観評価方法	87
4.2.1 はじめに	87
4.2.2 系統的配置法について	87
4.2.3 実験方法	88
4.2.4 結果および考察	89
4.2.5 まとめ	92

4.3	好ましい肌色の地域性（日中韓を対象として）について	93
4.3.1	はじめに	93
4.3.2	実験方法	94
4.3.3	日中韓大学生の好ましい肌色	97
4.3.4	日韓の全年代を通じた比較	107
4.3.5	まとめ	115
4.4	好ましい肌色を決定する要因について	116
4.4.1	男女差	116
4.4.2	年代の差	116
4.4.3	地域，文化による差	118
4.4.4	まとめ	123
4.5	結 言	124
	参考文献	125
	第5章 結 論	128
5.1	カラープリントの好ましい再現について	128
5.1.1	好ましい再現について	128
5.1.2	好ましい肌色について	129
5.2	これからのプリントサービス	130
	参考文献	130
	本論文に関係する既公表論文リスト	133
	本論文に関連する参考論文リスト	134
	謝 辞	135

第1章 序 論

1.1 緒 言

カラープリントは、工業、医療、商業等多くの産業で利用されるほか、芸術、一般家庭での生活にも深く取込まれており、それぞれ利用目的とするところは異なっている。特に、一般ユーザーが撮影し、その結果に接することが日常化した今日、これらのプリントの好ましさへの要望も多様化してきているものと思われる。

カラープリントの色再現については、カラープリントシステムの進歩および近年のデジタルカメラの普及に対応し、対応する色再現(corresponding color reproduction)の実現に向かってカラーマネジメントの標準化が進んでいる¹⁾ところである。その中で、色再現の最終的目標ともいえる「好ましい色再現」へ向けて、一般ユーザーの嗜好を解析することが、必要と思われる。

本研究では、個々人にとっての「好ましいプリント」へ向けて、一般ユーザーをパネルとして、評価の視点および「好ましさ」を決定する要因について解析する。

1.2 研究の背景

カラープリントの色再現については、Evans らが提起した「色はどう再現されるべきか？」という問題²⁾に対して、Bartleson は記憶色の実験³⁾を行い、青空、草および肌色の好ましい色再現と比較⁴⁾したところ、肌色の「好ましい色再現」は、肌の平均的な色よりも記憶色に色度が近いのに対し、青空や草の好ましい再現は、記憶色より自然の色合いに近いという相違があった。この問題については、後に Hunt が最新の感光材料で実験⁵⁾を行い、好ましい色再現は出力メディアの色域に影響されていることを示した。

カラープリントの処理に関しては、Evanco の提案⁶⁾に基づき一般的な方式であった積分中性方式によるサブジェクトフェリアへの対応として佐藤ら⁷⁾は、色補正を適正に行うアルゴリズムとその実現を図り、高品質のカラープリントを安定して処理することが可能となった。

一方、好ましい肌色の再現に関する基礎的研究として、三宅らは、モデルの人種差、背景の色、肌色の面積など評価用プリントの影響について実験を行い^{8), 9)}、人種の差は基本的には明度の差であり、好ましい肌色の主波長は、ほぼ同程度であること⁹⁾を示した。また、好ましい肌色について、評価者の年代とモデルの年代の関係¹⁰⁾、評価者の人種間の差¹¹⁾などの実験が行われている。

その他、色の嗜好の観点から、Saito は、日本国内の地域差、および東京、ソウル、タイペイの比較研究を行い、色から連想されるイメージが好みに影響していることを報告している¹²⁾。

色以外の画質要因については、Bartleson がプリントのシャープネスと粒状性の相互の影響について主観評価実験¹³⁾を行うほか、白黒プリントの粒状性について、P.G. Engeldrum らが¹⁴⁾、実験を行っている。

また画質とシーンの関係については、H. Freiser¹⁵⁾による MTF と粒状性の関係からシーンへの依存性、および G.P. Corey¹⁶⁾らにより画質のシーン依存性についての研究がある。シーンにおける好ましいシャープネスについては、S. Kubo らが¹⁷⁾実験を行うなど、色およびシャープネスや粒状性の面から多くの画質評価の実験がなされている。

色に関する研究の多くは、「肌色」に関するものであり、種々の実験がなされている。その観点を大別すると (1) パネルの属性の差 (人種、地域性 (国)、年齢、性別等) (2) 評価対象とするシーンの差 (モデルの性別・年齢・人種、背景等周辺色等など) の影響に関するものである。

主観評価のパネルについては、パネルの嗜好自体を目的とする「嗜好型パネル」¹⁸⁾と、画質等の差の判定や、特性の評価などを目的とする「分析型パネル」¹⁸⁾に大別される。画質評価の基礎的実験では、評価対象とする要因についての確に判断する必要性から専門知識や一定の能力等をもった「分析型パネル」による場合が多く、一般のユーザーの嗜好の把握を目的とした例は少ない。

カラープリントが一般の生活の一部となっている今日、「嗜好型パネル」である多数の一般ユーザーの評価から、評価の視点や属性等との関係を解析し、今後のプリントシステムに反映していくことが必要と思われる。

本研究では、一般ユーザーを対象に、好ましいプリントを決定する要因等について解析を行った。

1.3 一般ユーザーの実態

本節は、「好ましいカラープリント」の研究を行うに当たって、一般ユーザーのプリントに対する意識、プリントサービスへの要望および撮影の実態について把握する目的でアンケート調査等を行った結果である。

1.3.1 カラープリントに関する意識動向

アンケート調査は、千葉県西部地域の高校生から70代の一般ユーザー約200人を対象に撮影対象や銀塩写真プリントの仕上り等に対する意識を問うものであり、回答者の性別、年代別および銀塩カメラの所有状況から分類を行った^{19),20)}。

一般ユーザーの撮影対象は、「人物」「風景」「記念写真」の順であり、内容的には「旅行でのスナップ」「家庭で家族や友人」を撮影するとした回答が多く、人物を対象とした写真の撮影頻度が高くなっていった。

一般の男性の方がカメラの所有割合が高いが、女性では60代以上の所有割合が他の年代より高く、「よく撮影する」と回答した割合が高かった。また、60代以上の回答者から、プリントサービスに「価格」よりも「プリントの品質」を重視した割合が高かった。

さらに、「メーカーによるフィルムの差」「店による仕上がりの差」を意識するかの問いについては、「専用カメラを所有しない人」よりは「専用カメラ所有者」、さらには「一眼レフ所有者」が敏感であった。また、プリントサービスに対する不満については、「品質」が25%を占めた。

これらのことから、カメラの一般家庭への普及とそれに伴う撮影頻度の増加とともに、プリントの仕上り具合に対する要求も高くなることが窺える。

一般のカメラユーザーの年代構成については、近年の写真コンテスト(MINOLTACAMERA CLUB, No.184, 196, 214, 226, 232, 238, 244, 256のNew Wave Photo contest)の入選者の年齢分布²¹⁾によれば、60代以上の割合が多い年では、40%を超えていることから、これらの世代のプリントの好ましきへの要求が、厳しいことが想定され、年代傾向を意識した画質設計が望まれるところである。

さらに、近年Digital Cameraの急速な普及による意識の変化についても、今後、注目していく必要があると思われる。

1.3.2 撮影およびプリントの実態

アンケート結果²⁰⁾から、一般ユーザーが撮影する内容としては、「人物」「風景」「記念写真」が撮影頻度の上位を占めており、特に「人物」は、最も撮影頻度が高いものである。

ここでは、一般に撮影する人物の大きさおよびプリントの肌色の範囲を調べるため、中学生から40代の一般ユーザー10名(男性5名、女性5名)に市販のレンズ付きフィルムにより、自由に「人物」写真を撮ってもらい、市中の複数の現像所で処理されたプリントから、人物の「顔」の部分の面積およびその肌色を測定した。レンズ付きフィルムは、メーカー3社の製品10本からランダムに各人に1本渡した。

人物を撮影した計137枚についてプリント全体の面積(L判)に占める顔(首を含む肌色部分)の面積(%)をFig.1-3-1, 1-3-2に示す。

プリント中の人物の1人当りの顔の面積が平均で3.8%、プリント1枚当たりの顔の面積の合計が5.5%であった。1人当りの顔の最小面積(%)は0.15%、最大が64%であり、ほとんどが5%以下であった。1枚当たりに占める顔の面積(%)の最大が74%でほとんどが10%以下であった。

また、撮影者10名の各人の平均値は、1人当りで平均3.52%(0.63~11.05)、1枚当りで平均5.15%(0.72~15.59)であった。また、個人内でのバラツキは差があり、いずれも最小は1%未満であるが最大は1%未満から70%程度まで個人差が大きい。

したがって、一般ユーザーの「人物」を対象とした撮影では、顔の面積が5%程度以下のものが多いと言える。

また、これらのプリントの肌色の測色値(D_{50} , CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 色空間)は平均 $L^*=74.2$, $a^*=9.2$, $b^*=11.4$, $h_{ab}=50.2$, $C_{ab}^*=15.1$ で $L^*=44.6\sim 88.0$, $a^*=0.3\sim 22.3$, $b^*=0.39\sim 34.2$, $h_{ab}=6.9\sim 88.0$ の範囲であった。 L^* の分布のヒストグラムおよび a^*-b^* plane上での分布をFig.1-3-3, 1-3-4に示す。

プリントの肌色の範囲は、相当広範囲にあるが、 $L^*=70\sim 80$ (平均74.2), $a^*=5\sim 15$, $b^*=5\sim 20$ 付近(平均 $a^*=9.2$, $b^*=11.4$)が多く、その付近が一般的な仕上りと見ることができる。

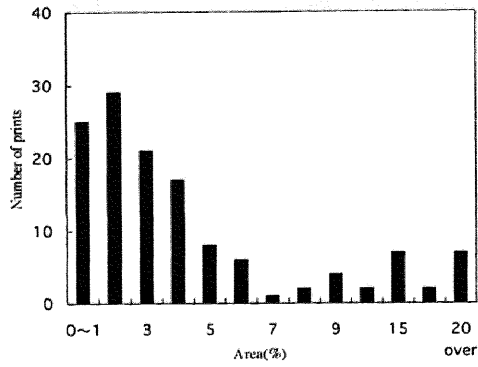


Fig. 1-3-1 Face area percentage of a print.

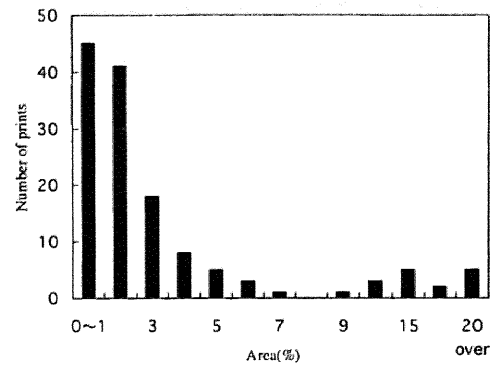


Fig. 1-3-2 Face area of a person in a print.

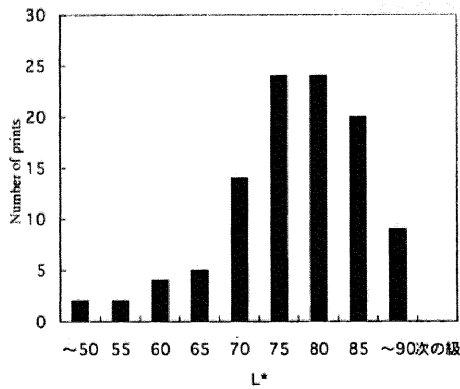


Fig. 1-3-3 L^* of skin colors in the prints processed by photo shops (Average: $L^* = 74.2$).

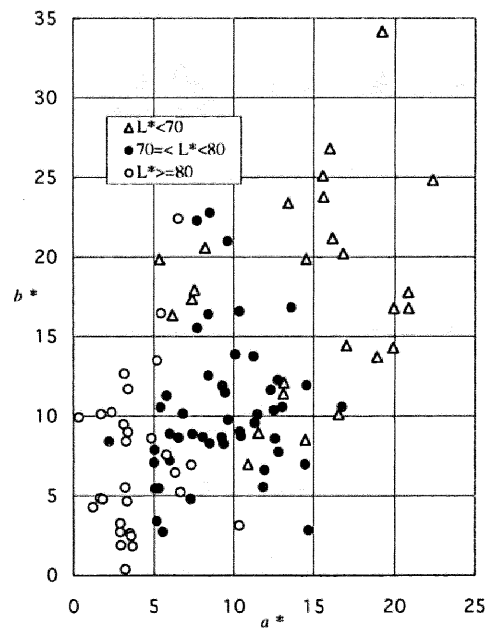


Fig. 1-3-4 Skin colors of the prints processed by photo shops (Average: $a^* = 9.2$, $b^* = 11.4$).

1.4 本論文の目的と構成

本研究では、個々人の嗜好に対応したカラープリントの実現を目指して、一般ユーザーを対象にカラープリントの主観評価を行い、主成分分析等によりプリントの好ましさを決める要因等について解析を行った。また、カラープリントの好ましさの主要因である「肌色」の好ましさについて、日本、中国、韓国を対象に主観評価を行い、地域性、年代等パネルの属性との関係から、好ましい肌色を決定する要因等について考察し、今後の画質設計への提案とする。なお、本研究で対象とした「カラープリント」は、反射型の銀塩プリントである。本論文の構成は次のとおりである。

第1章は研究の背景となった一般ユーザーの実態と研究の目的について述べた。

第2章は、論文の導入に相当する部分で、一般ユーザーの実態に即し、市中の現像所の同時プリントで処理されたカラープリントについて、一般ユーザーを対象に主観評価を実施し、主成分分析法により評価の視点について解析した。

第3章は、第2章で抽出された要因に基づき、各要因の物理量の変化に対応する心理量の関係について、主成分分析等により検討した。また、種々のフィルムを用いて、カラープリントを作成し、色、階調、粒状度、鮮鋭度などの各物理量と主観評価で求めた心理量の関係について比較検討した。

第4章では、第2章および第3章の主成分分析等で、ポートレートの好ましさの主要因である「好ましい肌色」について検討した。ここでは、日本、中国、韓国の大学生の好ましい肌色の比較を行うとともに、日本、韓国については、全年代を対象として比較することにより、好ましい肌色に影響を及ぼす要因について考察した。

参 考 文 献

- 1) 例えば, 日本写真学会・日本画像学会合同出版委員会編, “ファインイメージングとハードコピー”, コロナ社, p.380-388 (1999)など
- 2) R.M.Evans, W.T. Hanson, Jr., and W.I.Brewer, *Principles of color Photography* (John Wiley and Sons), 1953, p.151(New York).
- 3) C. J. Bartleson, “Color in Memory in Relation to Photographic Reproduction”, *Photogr. Sci. Eng.*, **5**(6), 327-331, (1961).
- 4) C.J.Bartleson, and C.P.Bray, “On the Preferred Reproduction of Flesh, Blue-Sky, and Green-Grass Colors”, *Photogr. Sci. Eng.*, **6**(1), 19-25, (1962).
- 5) R.W.G.Hunt, I.T.Pitt and L.M.Winter, “The Preferred Reproduction of Blue Sky, Green Grass and Caucasian Skin in Colour Photography”, *J. Photogr. Sci.*, **22**, 144-149 (1974).
- 6) E.M.Evans, USP2, 571, 697(1951)
- 7) 佐藤恭彰, 紀太章, 三宅洋一, “濃度累積密度関数を用いたカラー写真画像の露光制御と色補正”, *日本写真学会誌*, **54** (1), 15-24 (1991)
- 8) 羽石秀昭, 明道正博, 三宅洋一, “ハードコピーにおける好ましい肌色再現 (I)”, *日本写真学会誌*, **56**(2),123-127(1993)
- 9) 浅田卓哉, 坂上光一, 羽石秀昭, 三宅洋一, “ハードコピーにおける好ましい肌色再現 (II)”, *日本写真学会誌*, **57**(6),399-402(1994)
- 10) 小林美智代, 棟方明博, 鈴木恒男, 岩崎晶子, “好ましい肌色に及ぼす年齢の効果”, *日本色彩学会誌*, **15**(1), 17-18(1991)
- 11) 鈴木恒男, “好ましい肌色再現に関する人種間の比較”, *日本色彩学会誌*, **14**(3), 153-161(1990)
- 12) Miho Saito, “Comparative Studies on Color Preference in Japan and other Asian Regions, with Special Emphasis on the Preference for White”, *Color Reseach and Application*, **21**(1), 35-49(1996)
- 13) C. J. Bartleson, “Combined Influence of Sharpness and Graininess on the Quality of Color Prints”, *J. Phot. Sci.*, **30**, 33-38 (1982)
- 14) P.G. Engeldrum and G.E.Mcneill, “Some Experiments on the Perception of Graininess in Black and White Photographic Prints”, *J. Imag. Sci.*, **29**(1), 18-23 (1985)
- 15) H. Frieser, K.Biedermann, “Experiments on Image Quality in Relation to

- Modulation-Transfer Function and Graininess of Photographs”, *Photogr. Sci. Eng.*, 7(1), 28-33, (1963).
- 16) G.P. Corey, M.J. Clayton, and K.N. Cupery, ” Scene Dependence of Image Quality”. *Photogr. Sci. Eng.*, 27(1), 9-13 (1983)
- 17) S, Kubo, M. Inui, and Y. Miyake, ” Preferred Sharpness of Photographic Color Images”, *J. Imag. Sci.*, 29(6), 213–215 (1985)
- 18) 日科技連官能検査委員会編, “新版官能検査ハンドブック”, 日科技連, 1973, p.578
- 19) 山本真理, “一般消費者の望む D.P. E. サービスとは?”, 日本写真学会, 平成2年度カラーラボセミナー, 東京 (1990) 要旨 p.61-70.
- 20) 山本真理, “一般消費者の望む D.P. E. サービスとは? (その2)”, 日本写真学会, 平成4年度カラーラボセミナー, 東京 (1992) 要旨 p. 10-18.
- 21) 一谷修司, “カラープリントにおける好ましい肌色の年代依存性”, 平成8年度千葉大学工学部画像工学専攻画像基礎工学講座卒業論文

第 2 章 プリントの画質評価への主成分分析法の適用

2.1 緒 言

本章では、主観評価値と写真画像の特性値の関係について総合的な解析を行うに当たっての第 1 段階として、市中の現像所の同時プリントで処理されたカラープリントを用いて主観評価を行い、写真画像の主観的好ましさに関与する要因について解析した。また、要因の抽出にあたっては一対比較法によるデータに主成分分析法を適用し、その適用性等について考察した¹⁾。

実験に使用したプリントは、同一条件で撮影した 13 本のカラーネガフィルム (ISO100) を、市中の現像所 (13 ヶ所) で処理したものである。プリントはいずれも光沢、フチナシである。これら 13 枚のプリントから、視覚的に差が認められる 6 枚のプリントを選び、主要部分の濃度測定、測色を行うと共に、59 人の一般ユーザーを対象に一対比較による主観評価を行い、得られたデータについて主成分分析法により解析を行った。

2.2 主成分分析法

主成分分析法は、多種類の特性値の持つ情報を、互いに独立な少数個の総合特性値に要約することからデータの内部構造分析を行う手法で、因子分析での因子負荷量推定手法の一つとして用いられ、心理学や経済学の分野で発達してきている。

特に色彩や音色など感覚的刺激が与える心理的効果の研究への応用例は多く、5～7 段階の系列カテゴリーによる判断結果に因子分析を行う SD 法 (semantic differential method) では、配色の評価²⁾、音色の基本因子の抽出³⁾などが行われている。食品関係では各世帯の食品群摂取量から、食物消費パターンおよび世帯分類⁴⁾、食品の品質の解析や製品分類⁵⁾、⁶⁾などに主成分分析が応用されている。画質評価関係では、印刷画像の主観評価の解析⁷⁾、⁸⁾に主成分分析が用いられ、質感、カラーバランス、ざらつき感の主成分が抽出されている。

また、心理物理的な画像の評価方法についての研究では、W.W.Woodbury らは、一対比較法によるデータと系列カテゴリー法の比較を行い⁹⁾、両者から得られたデータには、本質的に差がないことを実験的に明らかにしている。

ここでは、一対比較で得た評価者 n 人の各プリントの選択度数 X_{ij} ($i=1, \dots, j$) から主成分分析を行った。

主成分の抽出は、変数を X_{ij} ($i=1, \dots, j$) サンプル数 (評価者) を n とし、 $n \times j$ 次のデータ行列から、変数 (X_{ij}) の相関行列 \mathbf{R} を求める。この \mathbf{R} についての固有方程式

$|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0$ を解き、固有値 $\{\lambda_k\}$ ($k=1, 2, \dots, j$) および固有ベクトルを求める。本節の実験では、評価プリント 6 枚 ($j=6$)、評価パネル $n=59$ 人であるから、 59×6 次のデータ行列から 6×6 次の相関行列を求め固有方程式を解くことになる。

因子負荷量は、

因子負荷量 = 固有値の平方根 \times 固有ベクトル

で与えられ、主成分と各変数との相関を表す。ここでは、因子負荷量が、相関行列から計算されているので、基準化された変数と主成分との相関係数となる。

一対比較法のデータに対しては Thurstone の比較判断の法則に基づき尺度構成¹⁰⁾を行うことが多いが、ここでは一対比較で各パネルから得られた評価得点を基に、写真画像の好みに作用する要因及び傾向を解析する目的から、主成分分析法を応用した。

2.3 実験

(1) 実験条件

評価パネルは、高校生から 60 代まで写真に興味を持つ一般消費者 59 名で、男女比、年代構成がほぼ均一になるようにした。10 代は学生、20～50 代は会社員および主婦等で、写真の専門技術者等は含まない (Table 2-3-1)。

評価方法は、未経験者でも比較的容易に判断できる一対比較法を採用した。評価用プリントは、人物写真(例 ; Fig.2-3-1) 6 枚である。サイズは、同時プリントの E 判プリント (約 8.2×11.5cm, 光沢) を用い、1 人当り $j(j-1)/2=15$ 組のプリントの組み合わせについて「好ましいプリント」を比較判断し、好ましい方を 1 点として合計点をもって各人の 6 枚のプリントの評価得点とした。さらに、評価終了時に、「好ましく思った理由」等感想を求めた。観察条件等は、次に示す。

観察条件 : 2000±500 lx の昼光

反射率 18% グレー板上

濃度測定 : サクラ PDA8112, visual

測 色 : 島津分光光度計 UV-240

CIE 1976 $L^*u^*v^*$ 色空間

CIE 標準の光 C

Table 2-3-1 Number of observers
by age and sex

Age	Number of Observers	
	Male	Female
10~19	5	5
20~29	5	5
30~39	6	6
40~49	6	5
50~59	3	4
60&over	4	5
Total	29	30



Fig. 2-3-1 Numbers indicate points of density measurement. R1 and R2 indicate points of color measurement.

(2) 実験に用いた主観評価用プリント

評価用プリント（プリント①～⑥）の主要部分の濃度測定値及び測色値を、Table2-3-2, Fig.2-3-2 に示す。

測色部分は人物のバックで、オリジナルの色は、ほぼ Munsell N5 の中灰色である。評価用プリントの特徴と、パネルから得た評価は Table2-3-3 に示す。

Table 2-3-2 Density of the points; Measured points from 1 to 8 correspond to those in Fig.2-3-1

Print No.	Measured Point							
	1 Hair	2 Face	3 Locker	4 Paper	5 Sweter	6 Pot	7 Shade	8 Pot
①	1.93	0.46	0.99	0.29	0.48	0.19	0.32	0.23
②	2.05	0.19	0.83	0.18	0.21	0.13	0.20	0.15
③	2.14	0.20	0.91	0.18	0.27	0.13	0.19	0.15
④	1.95	0.20	0.96	0.22	0.36	0.14	0.33	0.17
⑤	1.94	0.24	0.79	0.22	0.25	0.13	0.23	0.16
⑥	1.97	0.32	0.80	0.22	0.27	0.16	0.30	0.20

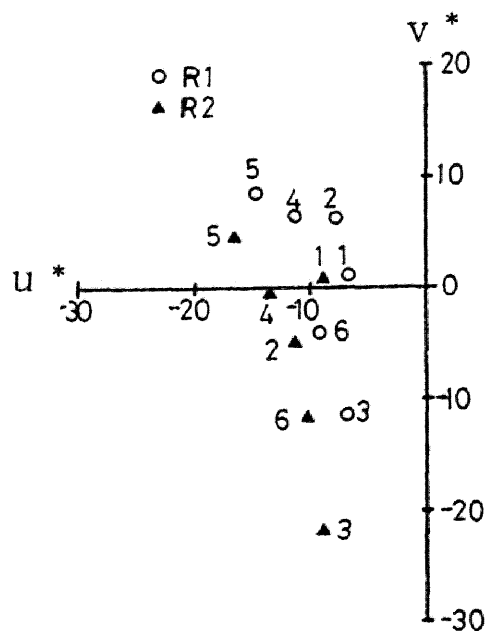


Fig.2-3-2 Chromaticities of colors in the test prints. R1 and R2 are shown in Fig.2-3-1. The original color is neutral gray (N5). Number 1 to 6 correspond to the print number ① to ⑥ listed in Table 2-3-2, respectively.

Table 2-3-3 Evaluation and characteristics of the prints

Print No.	①	②	③	④	⑤	⑥
Tint	Neutral	Neutral, Neutral-Green	Purplish blue-Purple	Neutral-Green	Green	Neutral- Purplish blue
Tone	Soft Higher mid tone density, Higher background density	Hard Lower base density, High contrast	Extra hard High contrast Lower base density	Normal-Hard Higher mid tone density	Extra soft Lower mid tone density	Soft Slightly higher background density
Positive Evaluation	Neutral Realistic Soft	Natural Light Clear	Bright Vivid blue Pinkish	Realistic Clear Strong	Natural color? Unpinkish	Light Soft Pinkish
Negative Evaluation	Dard Dull	High contrast	Unrealistic Purplish Pinkish	Dark	Flat and pale Green Dull	Pinkish Dull Flat and pale

評価用プリントの色調は測色を行った中灰色部分で比較すると、Table2-3-3の「色調(Tint)」の欄に示すとおり、紫系～ニュートラル～グリーン系となるが、パネルの評価では肌色部分の色調が印象に残るため③⑥は「ピンク系」との評価が多く、それによれば「プリントの色調」は主観的には③が「強いピンク系」、⑥が「弱いピンク系」、⑤が「グリーン系」となる。その他はニュートラルに近く、一般に主観的には色調に特色は見られない。階調は②、③が硬調で濃度域が広いのに対し、①⑤⑥は軟調で、最高濃度が低く、濃度域が狭い。

色調が似ている①②④では、①④が人物のバックとなっている N5 付近の中明度域の濃度が高い特徴があり、「暗い」「立体感があり、リアル」という評価がある。④は②③と比べてさほど硬調でないが「はっきり」した印象を与えるプリントである。⑤⑥は軟調でかつ全体的に「白っぽい」という評価がある。

2.4 結果

(1) 主成分の抽出

全データからの相関行列，固有値と寄与率，固有ベクトル，因子負荷量の計算結果を Table2-4-1 に示す。

なお主成分の抽出にあたっては，次のこと¹¹⁾を考慮した。

(a) 主成分 Z_k の固有値 $\lambda_k \geq 1.0$ 以上であること

(b) 主成分の累積寄与率が約 60% 以上になること

(c) 主成分のもとの基準化された変数に対する寄与率 ν_i が，どの X'_i に対しても 50% 以上になること

これらの条件から，ここでは第 3 主成分までを有効とした。

第 1 主成分 (Z_1) の因子負荷量の大きさは， $X_3 > X_6 > X_2 > X_1 > X_4 > X_5$ の順になり，第 1 主成分 Z_1 はプリント③⑥の主観評価得点と正の相関が高く，⑤の主観評価得点と負の相関が高い成分である (Table 2-4-1)。

Table 2-4-1 Principal components analysis($n=59$);
Variable X1 to X6 correspond to observer rating value

Variable	Correlation Matrix Variable					
	X1	X2	X3	X4	X5	X6
X1	1	-0.212	-0.402	0.027	-0.073	-0.269
X2	-0.212	1	-0.335	-0.176	0.218	-0.185
X3	-0.402	-0.335	1	-0.289	-0.497	-0.013
X4	0.027	-0.176	-0.289	1	-0.033	-0.437
X5	-0.073	0.218	-0.497	-0.033	1	-0.207
X6	-0.269	-0.185	-0.013	-0.437	-0.207	1

Variable	Eigenvectors			Factor Loading		
	I	II	III	I	II	III
X1	-0.2861	0.4328	0.6161	-0.3957	0.5169	0.6508
X2	-0.2730	-0.5763	-0.2231	-0.3776	-0.6883	-0.2357
X3	0.5841	0.1615	-0.4127	0.8079	0.1929	-0.4360
X4	-0.3510	0.4645	-0.3856	-0.4855	0.5547	-0.4073
X5	-0.4645	-0.3617	-0.0406	-0.6425	-0.4320	-0.0429
X6	0.4044	-0.3284	0.4999	0.5594	-0.3922	0.5280
Eigen Values	1.9133	1.4263	1.1157			
Cumulative Contribution	0.3188	0.5566	0.7426			

また，この因子負荷量の大きさの順序は，Fig.2-3-2 に示すパネルテスト用プリントの測色値(v^*)の順にほぼ一致している。従って，第 1 主成分は「色調 (グリーン - 紫)」に関する成分であり，肌色に着目すればピンク系を好むかグリ

ーン系を好むかを表している。

第2主成分 (Z_2) の因子負荷量の大きさは、 $X_4 > X_1 > X_3 > X_6 > X_5 > X_2$ の順となり、第2主成分 Z_2 はプリント①④の主観評価値と正の相関が高く、②と負の相関が高い成分である (Table 2-4-1)。①②④は、いずれも色調はニュートラルに近く、色調では、評価の判定がつきにくい。①④は、人物のバック等 中明度部 (Table 2-3-3) の濃度が高いのが特色で「暗い」「立体感があり、リアル」などの評価を得ている。一方、②は高中明度部分の濃度が低く「明るい」「調子をとんでいる」、⑤⑥は「白っぽい」との評価がある。したがって、第2主成分は「明るさ - 暗さ」に関する成分である。

第3主成分 (Z_3) の因子負荷量の大きさは、 $X_1 > X_6 > X_5 > X_2 > X_4 > X_3$ の順となり、第3主成分 Z_3 はプリント①⑥の主観評価値と正の相関が高く、③④と負の相関が比較的高い成分である。①⑥はいずれも軟調で「ソフト」という評価があるが③④は硬調系で「はっきり」「あざやか」などの評価がある。従って、第3主成分は「ソフト - ハード」に関する成分となる。

(2) 全スコアの分布

パネル 59 人の第1～第3主成分のスコアの散布図を Fig. 2-4-1 に示す。

第1主成分が正の領域に 10～30 代の若い世代が多く、特に 10 代学生の 8 割がこの領域にあり、男性の割合がやや高い。さらに、第1主成分正、第3主成分正の領域に 10～30 代が多く、10～30 代にピンク系でソフトな画像を好む傾向がある。また、40 代以上の女性が第1主成分が負の領域に多く、ピンク系の画像を嫌う傾向があるといえる。

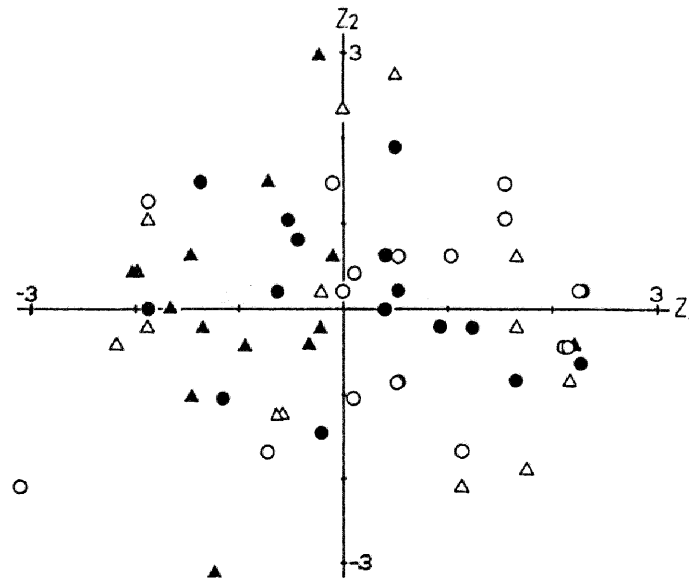


Fig.2-4-1 Principal components scores of the test data plotted on first two principal components. Horizontal axis is component I, vertical axis is component II.

- : Male 15 to 39 yrs.
- : Female 15 to 39 yrs.
- △ : Male 40 yrs. & over
- ▲ : Female 40 yrs. & over

Principal components change by the age of observers. The first component for "40 yrs. & over" is "lightness" and that for "15 to 39 yrs." is "color". Significant difference was not found in principal components analysis by sex.

(3) 評価用プリントの分類

プリント①～⑥の主観評価値の第 1, 第 2 主成分について, 因子負荷量の分布を Fig.2-4-2 に示す。Fig.2-4-2 から, 「暗い, 立体感があり, リアル」な印象の①④は補完的選ばれ方をしているが, ①④と「明るい, ソフト」な印象の⑥, および「強いピンク系」の③と「グリーン系」の⑤は対立的に選ばれている。なお, ⑤は軟調でありながら第 3 主成分 (Z_3) との相関はほとんどなく, Z_3 のもとの変数 X'_i に対する寄与率も 60%と他と比べてやや低く, 階調よりも色味で判断が優先されており, 独自性のある選ばれ方をするサンプルといえる。

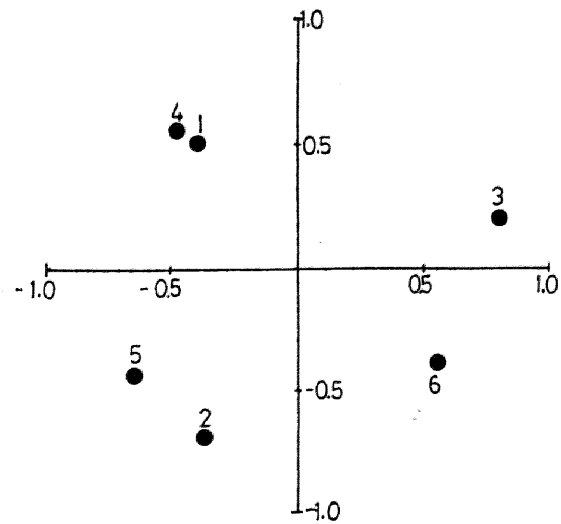


Fig.2-4-2 Plot of factor loadings on first two principal components of observer rating value ($n=59$). Number 1 to 6 corresponding to the print number ① to ⑥ listed in Table 2-3-3. Prints are classified by factor loadings. Print ① and ④ give a similar impression, ③ and ⑤ give an opposite impression.

2.5 考察

スコア分布(Fig.2-4-1)から Z_1 が正の領域に男性の割合が高く、また Z_1 が負の領域に 40 代以上が目立つため、男女別・年代別 (10~30 代, 40 代~) に主成分の抽出を行った。

(1) 男女差

男女別に計算した固有値, 固有ベクトル等を Table2-5-1 に示す。男女別では「男性」が第 2 主成分 ($Z_1(1)$, $Z_2(1)$) まで、「女性」が第 3 主成分 ($Z_1(2)$, $Z_2(2)$, $Z_3(2)$) まで有効である。

Table 2-5-1 Principal components analysis by sex
Eigenvalues and eigenvectors of correlation matrix

Variable	Eigenvectors					
	Male(n=29)			Female(n=30)		
	I	II	III	I	II	III
X1	0.4665	-0.2891	-0.4531	0.0218	0.7347	0.2168
X2	0.3682	0.4192	0.4001	-0.269	-0.6281	0.1308
X3	-0.5776	-0.1916	0.4413	0.5386	-0.1508	-0.5612
X4	0.1879	-0.639	0.0562	-0.4837	0.1048	-0.3149
X5	0.3503	0.3934	0.1589	-0.542	-0.011	0.1035
X6	-0.3939	0.3753	-0.6415	0.3308	-0.1785	0.7149
Eigen Values	2.0426	1.6545	0.9803	1.949	1.4853	1.134
Cumulative Contribution	0.3404	0.6162	0.7796	0.3248	0.5724	0.7614
Variable	Factor Loadings					
	Male(n=29)			Female(n=30)		
	I	II	III	I	II	III
X1	0.6666	-0.3719	-0.4486	0.0304	0.8954	0.2308
X2	0.5263	0.5392	0.3961	-0.3756	-0.7655	0.1393
X3	-0.8255	-0.2464	0.4369	0.7519	-0.1838	-0.5977
X4	0.2686	-0.8219	0.0556	-0.6753	0.1278	-0.3353
X5	0.5006	0.5061	0.1573	-0.7566	-0.0135	0.1101
X6	-0.563	0.4828	-0.6351	0.4618	-0.2175	0.7613

男性, 女性共に全データから計算したものと同様の傾向を示し, いずれも第 1 主成分は「色調」, 第 2 主成分は「明るさ - 暗さ」, 第 3 主成分は「ソフト - ハード」を表していると考えられる。ただし, 男女別に多少の相異点がみられる。「男性」の第 1 主成分 ($Z_1(1)$) の値は③⑥の評価得点が高いほど小さくなることから、「ピンク系の画像を嫌うか, 好むか」に対して「女性」では「ピンク系かグリーン系」に重点が置かれている。また、「男性」の第 2 主成分 ($Z_2(1)$) は④との負の相関が極めて高いのに対し、「女性」の第 2 主成分 ($Z_2(2)$) は「①を好むか②を好むかが強く表れている。その他、「女性」の第 3 主成分 ($Z_3(2)$) は,

ピンク系への特定が強く表れているなどの特色がみられた。

(2) 年代別

年代別の固有値及び固有ベクトルを Table2-5-2 に示す。

年代別では、それぞれ、第 3 主成分まで有効である。「10~30 代」では、第 1 主成分 ($Z_1(3)$) は Z_1 と同様、「色調」に関する成分である。第 2 主成分 ($Z_2(3)$) は①⑤⑥との相関はなく、②⑧④の硬調系に限定されているが、「明るさ - 暗さ」を表わす成分と考えられる。第 3 主成分 ($Z_3(3)$) は Z_3 にほぼ対応する成分と考えられるが、①との相関が高い成分である。

Table 2-5-2 Principal components analysis by age
Eigenvalues and eigenvectors of correlation matrix

Variable	Eigenvectors					
	15~39yrs.(n=32)			40yrs. & over (n=27)		
	I	II	III	I	II	III
X1	0.2574	-0.0103	0.7777	0.4367	-0.1427	-0.6046
X2	0.3823	0.5513	-0.1284	-0.0464	-0.4039	0.6877
X3	-0.4988	0.263	-0.3741	-0.0954	0.6927	0.1747
X4	0.0713	-0.7885	-0.2065	0.6113	-0.0803	0.1729
X5	0.5658	-0.0631	-0.3599	-0.2592	-0.5743	-0.1387
X6	-0.4622	-0.0323	0.2583	-0.5976	-0.0165	-0.2861
Eigen Values	2.015	1.3739	1.2156	2.0482	1.7988	1.2714
Cumulative Contribution	0.3358	0.5648	0.7674	0.3414	0.6412	0.8531
Variable	Factor Loadings					
	15~39yrs.(n=32)			40yrs. & over (n=27)		
	I	II	III	I	II	III
X1	0.3654	-0.0121	0.8574	0.625	-0.1914	-0.6817
X2	0.5427	0.6462	-0.1415	-0.0665	-0.5418	0.7754
X3	-0.7079	0.3083	-0.4124	-0.1365	0.9291	0.197
X4	0.1011	-0.9242	-0.2276	0.8749	-0.1076	0.1949
X5	0.8031	-0.074	-0.3968	-0.371	-0.7703	-0.1564
X6	-0.656	-0.0379	0.2848	-0.8553	-0.0221	-0.3226

「40 代以上」では第 1 主成分 ($Z_1(4)$) の因子負荷量は、①④が正、②③⑤⑥が負であり、特に①④⑥の値の絶対値が大きい。①④は中明度部分の再現濃度が高く、「暗い、立体感がありリアル」という評価があるのに対して、⑤⑥は中低明度部分の再現濃度が低く、「白っぽい、平面的、明るい」などの評価がある。従って、 $Z_1(4)$ は Z_2 に類似しており、「明るさ - 暗さ」を表す成分である。第 2 主成分 ($Z_2(4)$) は③と正、⑤と負の相関は極めて高いが、①④⑥との相関

はほとんどなく、「ピンク系かグリーン系か」「色調」を表す成分である。第3主成分 ($Z_3(4)$) の因子負荷量は、②③④が正、①⑤⑥が負である。特に、①②の絶対値が大きく、 $Z_3(4)$ は、ニュートラル系に重点を置いた「ソフト - ハード」の成分である。

(3) 一対比較法によるデータの検討

一対比較法では j 枚のプリントについて、評価者が矛盾なく評価を行った場合は、各プリントの選択回数は、 $0 \sim (j-1)$ までの順位得点となり、矛盾がある場合は同得点のものが出現する。

一対比較法の判断のふらつきや多次元的構造から生じる矛盾については、「一巡三角形」¹²⁾で示す方法がある。「一巡三角形」の例を Fig.2-5-1 に示す。矢印は「良い」と判断された方に向けてある。

k 個の試料の一巡三角形の数 d は、各々の試料の評価得点を $x_i (i=1,2,\dots,k)$ とすると、

$$d = k(k-1)(k-2)/6 - \sum \{x_i(x_i-1)\} / 2$$

となる。

また $k=6$ のとき d の危険率 5% の限界値は $d_{0.05}=1$ で、 $d \geq 2$ の評価者は、試料を識別する能力がない、一元的に並べられない等の解釈がされる。

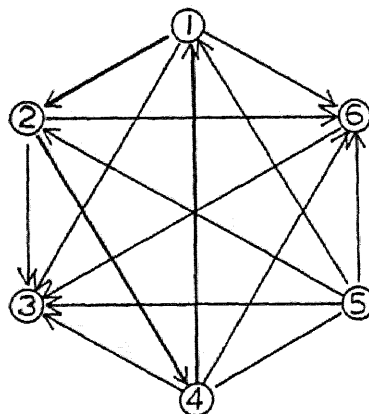


Fig. 2-5-1 Example of circular triad, $\triangle ①②④$ is a circular triad. Arrow heads indicate preferred prints.

本パネルテストの一巡三角形の数を Table 2-5-3 に示す。パネルの約半数が矛盾なく答えており、約 70% が、一巡三角形が 1 個以内である。矛盾のない評価

者の割合は、女性より男性に多く、また 10 代に一巡三角形の多い評価者が目立つ。

一巡三角形の出現傾度の高い試料の組み合わせは、 Δ ①②④及び Δ ①②⑧③であり、各パターン共 59 名中 7 名の評価者に現われている。①②④は、いずれも色調がニュートラルに近く、主観的に差が明白でなく、色調で評価すると判断がつきにくい。①②③では、①と②は色調が似ているが階調が全く異なり、②と③は、階調は似ているが色調は明らかに差がある。①と③は、階調、色調とも全く異なった印象であるが、そのためかえって好ましさの判断に迷いが生じていると思われる。

Table 2-5-3 Number of circular triad by age and sex

Age	Number of Circular Triad							
	Male				Female			
	0	1	2	3 over	0	1	2	3 over
10~19	1	2	0	2	2	1	1	1
20~29	5	0	0	0	2	1	0	2
30~39	5	1	0	0	4	2	0	0
40~49	3	0	1	2	2	0	2	1
50~59	1	1	1	0	2	0	1	1
60&over	3	0	1	0	2	1	2	0
Total	18	4	3	4	14	5	6	5

さらに、矛盾の有無別に主成分分析を行った結果を示す (Table 2-5-4)。 $d=0$ の評価者 ($n=32$) からの計算結果では、第 1, 第 2 主成分の固有値は 1 より大きい、第 3 主成分は 0.95 である。また、もとの変数への寄与率は、第 2 主成分まででは、⑥が 45%と、若干低く、⑥の情報が十分に表されていない。 $d \leq 1$ の評価者 ($n=41$) でも同様であるが、主成分の内容は全データ ($n=59$) からの計算結果に近い。

主観評価実験でも知覚実験のように客観的な判断を求められるものや、画質評価の基礎的実験で専門的知識等に基づいた評価が必要とされる実験に対して、「好み」のように個人の主観自体を把握する目的の実験では、「同得点」が生じることを排除する特段の理由もないため、本研究では「矛盾のあるデータ」を含め全評価者からのデータについて計算を行うこととする。また、今回のパネルテスト($n=59$) から、弁別の正規性及び分散が全て等しいことを仮定した

Thurstone Vによる尺度構成¹⁰⁾は、危険率5%で棄却されず、一次元的尺度構成が可能なケースである。

なお、Thurstone Vによる尺度値と各プリントの選択率（比較判断の選択回数/比較判断の回数）との関係については、3.3.5項に示す

Table 2-5-4 Principal components analysis by observers who have no or one circular triad (n=32, n=41)

Variable	Eigenvectors					
	No Circular Triad			0 or 1 Circular Triad		
	I	II	III	I	II	III
X1	0.5237	0.0826	0.3684	-0.3292	0.4295	0.3584
X2	-0.1541	-0.6137	-0.1156	-0.3122	-0.5759	-0.0404
X3	-0.4046	0.5080	-0.4797	0.5847	0.1070	-0.4570
X4	0.5299	0.2295	-0.0180	-0.2970	0.5020	-0.2845
X5	0.1873	-0.5436	-0.3965	-0.4512	-0.3686	-0.2707
X6	-0.4716	-0.1015	0.6807	0.4005	-0.2929	0.5743
Eigen Values	1.9389	1.6585	0.9467	1.9836	1.6163	0.9479
Cumulative Contribution	0.3231	0.6062	0.764	0.3306	0.6	0.758
Variable	Factor Loadings					
	No Circular Triad			0 or 1 Circular Triad		
	I	II	III	I	II	III
X1	0.7293	0.1077	0.3584	-0.4637	0.5461	0.5381
X2	-0.2146	-0.7998	-0.1125	-0.4397	-0.7322	-0.0393
X3	-0.5634	0.6620	-0.4667	0.8255	0.1361	-0.4450
X4	0.7378	0.2991	-0.0175	-0.4184	0.6382	-0.2770
X5	0.2608	-0.7085	-0.3858	-0.6354	-0.4664	-0.2635
X6	-0.6567	-0.1323	0.6623	0.5641	-0.3724	0.5591

2.6 結 言

同時プリントの評価について、主成分分析により解析を行ったところ、カラープリントの評価要因として影響の大きい方から「色調」「明るさ - 暗さ」「ソフト - ハード」の順に3つの有効な因子が抽出された。

また、男女差、年代差についても解析したところ、男女差については、大きな差は認められなかったが、年代については、40代以上では「明るさ - 暗さ」が「色調」に優先する要因として抽出されており、年代による特色が見られた。

なお、本実験では、ISO100の同一乳剤のフィルムを使用し、しかもプリントサイズが小さく、粒状がほとんど目立たなかったため、粒状の要因については検討を行っていない。また、本実験で使用したカラープリントは、市中のラボの同時プリントを対象としており、系統的に要因を変化させたものではないという制限がある。

参 考 文 献

- 1) 山本真理, “主観的画質の解析に関する研究 (I) —写真プリントの画質解析における主成分分析の応用—”, *日本写真学会誌*, **54** (2), 136-142 (1991).
- 2) 納谷嘉信, “産業色彩学”, 朝倉書店, 1980, p. 122
- 3) 相場 覚, “現代基礎心理学 2”, 東京大学出版会, 1982, p.88
- 4) 豊川裕之, “食の科学”, **84**, 58 (1985)
- 5) 田森他, “農林規格検査所調査研究報告第 12 号”, 農林水産省東京農林規格検査所, p. 1-10 (1988)
- 6) 田森他, “農林規格検査所調査研究報告第 13 号”, 農林水産省東京農林規格検査所, p. 16-18 (1989)
- 7) 大野幸久他, *日本印刷学会・第 72 回春期研究発表会予稿集*, p. 1-4 (1984)
- 8) 大野幸久他, *日本印刷学会・第 72 回春期研究発表会予稿集*, p.5-7 (1984)
- 9) W.W.Woodbury, C.J. Bartleson, “Psychophysical Method for Evaluating the Quality of Color Transparencies: I . Comparison of Categorical- and Comparative –Judgment Data”, *Photogr. Sci. Eng.*, **6**(1), 10-14 (1962)
- 10) ギルフォード著 (秋重義治監訳), “精神測定法”, 培風館, 1959, p. 191
- 11) 奥野忠一他, “多変量解析法”, 日科技連, 1988, p. 194
- 12) 日科技連官能検査委員会編, “新版官能検査ハンドブック”, 日科技連, 1973, p.351

第3章 カラープリントの主観的画質要因の解析

3.1 緒言

カラーフィルムからのプリント処理工程における露光制御は、積分中性方式が一般的であったが、被写体の色分布や輝度分布の偏りから生じるカラーフェリアやデンシティフェリアへの対応として佐藤らは、カラーネガフィルムの B, G, R 各色の濃度累積密度関数を用いてカラーネガフィルムの調子再現特性を推定し、この推定に基づく中性色濃度を基準とし色補正を行う露光制御システムを開発した¹⁾。

これにより、撮影時の照明の影響や一つの色が画面の大部分を占める場合においても、一般ユーザーに受け入れられるプリントの提供が可能となった。

しかし、カラーフェリアやデンシティフェリアの解消や見えの一致による対応する色再現(corresponding color reproduction)の達成がなされたとしても、一般ユーザーにとって「好ましい色再現」は、なお求められるところである。

本章では、「好ましい色再現」を目標として、一般ユーザーの「好ましさ」に対する評価の視点について解析した。実験は、第2章の同時プリントの分析で抽出された主成分に基づき、プリント時の RGB 露光量を定量的に変化させ、全体の色の変化に伴う好ましさの評価²⁾を行った。また、粒状や鮮鋭さなどフィルムに起因する要因も含めて評価を行い、プリントの各物理要因の変化と好ましさの関係について解析した^{3), 4)}。

また、第2章で性別、年代による好ましさの視点に差が見られたため、評価者の属性の差について検討を行った。

3.2 実験方法

3.2.1 はじめに

本実験は、市販の「カラーバランス」「階調」および粒状等の異なるフィルムを用いて撮影を行い、RGB 露光量を段階的に変化させたプリントを作成した。これらのプリントから、「色」「濃度レベル」「粒状等」および「総合的变化」評価用に、選択した一連のプリントについて、大学生から 60 代までの一般ユーザーを対象に主観評価を行ったものである。

3.2.2 実 験

(1) 撮影シーン

使用したフィルムは、ISO25, ISO100 を 2 種類、ISO400 および ISO1600 の計 5 種類の 35mm カラーネガフィルムである。

撮影シーンは Fig.3-2-1 に示す 3 シーンおよび補足実験として行った Fig.3-2-2 に示す 2 シーンである。色再現の指標として、シーン撮影時に同一条件で、Macbeth Color Checker を撮影した。撮影シーンは、いずれも一般のアマチュアが撮影することの多いシーン (1.3.2 節参照) を想定したものである。

シーン A はポートレートの例であり、屋内のスタジオで、5000K 写真用フラッドランプ下で撮影したものである。絵柄から人物の肌の色が重視されることが考えられるが、花など他の部分も人物と一体となって評価対象となる可能性が想定されるシーンである。また、肌や無地の背景 (グレー) 部分から粒状の差が判りやすいと思われるシーンである。

シーン B は、戸外でのスナップの例で、昼光 (自然光) で撮影したものである。人物が主要被写体であることはシーン A と同じであるが、人物の周囲が芝生 (green) であり、green の色の影響があることも考えられるシーンである。

シーン C は建物に人物を配置し、記念撮影を想定したパンフォーカスのシーンで人物が小さく、人物 (肌色) への注目はシーン A, B に比べ少ないものと思われる。また、このシーンでは、建物が評価対象になることも考えられ、色に対する解釈の幅も広いと思われるシーンである。画面は全体的にグレートーンで、目立った色はない。人物の背景はシーン A から B, C へと複雑 (3.6.4 節参照) になっており、粒状性や鮮鋭さの影響がシーンによって異なることが考えられる。



(a) Scene A



(b) Scene B



(c) Scene C

Fig. 3-2-1 Examples of the test prints for the evaluation,
(a) Scene A, (b) Scene B and (C) Scene C



(d) Scene D



(e) Scene E

Fig. 3-2-2 Examples of the test prints for the additional experiment, (d) Scene D and (e) Scene E

なお、補足実験として肌色の評価のため「肌色のみが着目されるシーン」として、グレーの背景に黒いTシャツの女性（シーンD）および「評価者により着目点異なる」と考えられる日焼けの程度異なる男女3人のポートレート（シーンE）についても評価を行った。

プリントは、ミニラボ等で使用されているオートプリンターを用いた。このオートプリンターは1段階につきRGBの各露光量が10%、濃度レベルについては露光量が15%の割合で変化するように設定されている。プリントは自動焦点で、常に最適条件でプリントされるように設計されている。

(2) プrintの作成

プリントの作成は、ミニラボ等で使われているプリンターを使用し、カラーバランスの中心とするプリント（各シーンともNo.1で示す。）を設定した後、magenta-green, red-cyan, blue-yellowの各方向にそれぞれ2段階、1段階につき10%露光量を変化させ、計13種類の色調の異なるプリントを作成した（Fig. 3-2-3）。露光量は、カラーバランスの中心としたプリント（No.1）については、±2段階の計5段階、その他は同一色調について各々±1段階の計3段階、1段階につき15%露光量を変化させた。

中心としたプリント（No.1）は、測色用プリントのグレースケール部分およびシーンのプリントをCIE D_{50} 近似の光源下で観察して設定した。

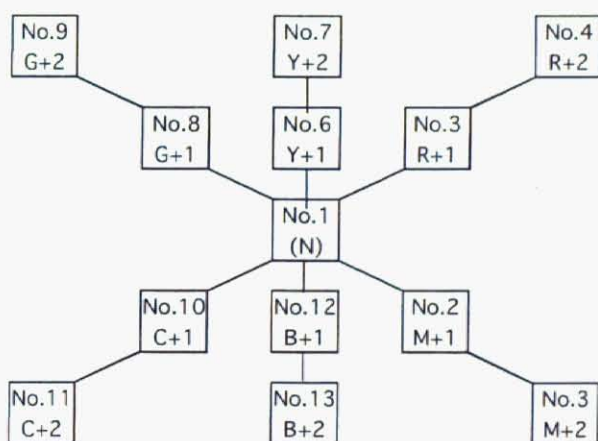


Fig.3-2-3 The test prints for color evaluation.

Upper: print No.

Lower: shift in color balance

(3) 評価用プリント

各フィルムから作成した各シーン 41 枚のプリントから各種評価用プリントを以下のようにして選択した。

①色評価用：

一般ユーザーに通常使用されている ISO400 のフィルムから、red-cyan, green-magenta, blue-yellow 方向に各 2 段階色調を変化させて作成したプリントを用いた。評価用の選択に当っては、中灰色部分の視感濃度がほぼ一致するものを色調毎に選び、各シーン 13 枚を主観評価用プリントとした。

②濃度評価用：

濃度レベルの評価に用いたプリントは、カラーバランスの中心とした No.1 について濃度レベルを±2 段階変化させた 5 枚である。濃度評価用プリントは濃度レベルの低い方から No.D1, D2, D3, D4, D5 で示す。使用したフィルムは最も濃度差が分かりやすく、現在も使用数の多い ISO 100 のフィルムである。

③階調・粒状等評価用：

階調・粒状性および鮮鋭さ等フィルムに起因する要因の評価に用いたプリントは、5 種類のフィルムからシーンの中灰色部分の視感濃度および色調がほぼ一致するものを各 1 枚選択した。一致させた部分の濃度はいずれのシーンも 0.6 ~0.7 である。色合わせは CIE D_{50} 近似の照明下で目視により行った。階調・粒状等評価用プリントは No.F1 ~ F5 で示す。

④総合評価用：

各プリントの「色」「濃度レベル」「階調・粒状等」(①②③)の各要因ができる限り互いに独立で均等にバラツキが生じるように配慮し評価用プリントへの各要因の割り付けを行った(例: Table 3-2-1)。評価用プリントは 10 枚で、いずれのシーンについてもカラーバランスの中心としたプリント(No.1)に対して、粒状度が 3 段階、また、粒状度が medium のプリントの間で階調度の高低が生じるようにした。色調はカラーバランスの中心としたプリント(No.1)から R, G, B, C, M, Y の 6 方向に変化させたプリントを含み、補色となる方向には同一フィルムから作成プリントを割り付けした。

プリントの色調、濃度については第 2 章で用いた市中のラボの同時プリントの色調、濃度に基づき範囲を定めた。

Table 3-2-1 Characteristics of the test prints (Scene A)

Sample No.	Color	Granularity	Gradient	Density (Face)
1	Neutral	Low	Medium	Medium
2	Neutral	High	High	Medium
3	Yellowish	Medium	Medium	Medium
4	Greenish	Medium	Low	Medium
5	Neutral	Medium	High	High
6	Reddish	Low	Medium	Low
7	Neutral	Medium	Low	Low
8	Bluish	Medium	Medium	Medium
9	Cyanish	Low	Medium	Medium
10	Pinkish	Medium	Low	High

(4) 評 価

① 評価パネル

一般ユーザー20歳代から40歳代を中心とし、年齢および男女比が著しく偏らないようにした。着色眼鏡の使用を不可とした他、眼鏡等の使用は日常のプリント観察時の状態とし、評価者の制限等は行わなかった。各シーンの評価パネル数と内訳を Table3-2-2 に示す。なお、シーン A~C の評価では 28 名は各シーン共通のパネルである。

Table 3-2-2 Number of observers by age and sex

Age	SceneA			SceneB			SceneC		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total	Male	Female	Total
10~20's	8	7	15	7	7	14	8	6	14
30's	9	8	17	13	9	22	13	11	24
40's	6	8	14	5	6	11	8	4	12
50's~	4	6	10	1	2	3	0	3	3
Total	27	29	56	26	24	50	29	24	53

Age	SceneD			SceneE		
	Male	Female	Total	Male	Female	Total
10~20's	14	5	19	14	6	20
30's	3	4	7	4	4	8
40's	6	8	14	6	8	14
50's~	2	1	3	2	1	3
Total	25	18	43	26	19	45

② 評価方法

差が判定しやすい一対比較法を採用した。ただし、補足実験（シーン D, E）の色調評価については、パネルの負担の軽減のため 13 枚から 2 枚を選択する選択法とした。

また、評価にあたっては、一連の実験で「色合い」「色の濃さ」など何が変化しているかを説明したが、評価の着目点（「人物の肌色」など）については、指示は行わず、「自分が好ましい（欲しい）と思うプリント」を選ぶよう指示をした。また、一連の実験終了時に「好ましいプリント」を選択した着眼点、理由等感想を求め、参考とした。観察距離は、評価者から 50~60cm の位置にプリントを設定したが、評価時の距離の限定は行っていない。

③ 観察条件

CIE D_{50} に近似した色評価用蛍光灯, 2000 lx, 周辺は Munsell N8

(5) プリント作成条件

① プリントサイズ

2L 判 (12.6cm×17.8cm), 光沢

② プリンター

Konica NPQ-728A (シーン D, E: Rocky SUPER FA-250/270)

③ 色 調

カラーバランスの中心としたプリント(No.1)から R, G, B, C, M, Y 方向へ各 2 段階 (Macbeth Color Checker の light skin の色再現域で $\Delta a^* \cong 10$, $\Delta b^* \cong 15$)

④ 濃度レベル

中心とした濃度レベルから ± 1 段階 (1 段階は, Munsell N5 の再現濃度で $\Delta D = 0.3$ 相当の範囲)

(6) 物理量測定条件

測 色 : Macbeth Color Checker の gray (N5), light skin, red, green, blue, cyan, magenta, yellow の再現色および原票を分光光度計で積分球を用い分光反射率を測定, 0/d, 黒色板で裏当て
CIE D_{50} , 10 度視野で計算, CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間

濃 度 測 定 : $D_R(0^\circ; S_A: 45^\circ; V)^{5)}$

濃度測定箇所 : Macbeth Color Checker の gray scale 部分および、評価用プリントの人物の顔、背景等主要部分

平均階調度 (γ) : Macbeth Color Checker の gray scale 部分の濃度から gray to gray

の再現曲線を作成し JIS K 7612 3.7⁶⁾ を準用

粒 状 度 : microdensitometer (aperture size $125\mu\text{m}\times 125\mu\text{m}$) でプリントのグレースケール部分を測定, $D=1.0$ 相当の RMS 粒状度を算出

S h a r p n e s s : MTF=0.5 の空間周波数 (メーカーのフィルムデータシートの MTF 曲線から算出, 相対値として有効と思われる。)

3.3 プリントの色再現と評価

3.3.1 はじめに

第2章の主成分分析において粒状性の差がほとんどないプリントの場合、第1主成分として「色調」が、第2主成分として「明るさ - 暗さ」が、第3主成分として「ソフト - ハード」が抽出されている。本節では、第1主成分である「色調(a^*, b^*)」に着目し、「好ましい色再現」と各シーンおよび評価者の属性から好ましさの要因について解析する。なお、色の L^* 方向への変化に対しては、第2主成分である「明るさ - 暗さ」に対応すると考えられるため、3.4節で解析する。

3.3.2 プリントの色再現域

シーンAについて、Macbeth Color Checkerのred, green, blue, cyan, magenta, yellow, light skin, gray (N5)の各プリント(13枚)の色再現をFig.3-3-1に示す。また、各プリントNo.との対応(light skin, gray (N5))については、Fig.3-3-2に示す。

全般にプリントのgrayの再現色は、プリントのRGB露光量の変化に対応して、 a^*b^* 空間内でNo.1を中心にほぼ均等な円形に分布するが、light skinについては b^* 方向に長く、 a^* 方向に短い楕円状の分布になる。red, green, yellowについてはlight skinと同様に b^* 方向に長い分布となるが、cyan, blueについては a^* 方向に長い分布となる。また、magentaはchroma方向への変化が目立つ等、各色の変化は必ずしも一様ではない。

なお、各プリントの色再現は、中心としたプリント(No.1)に対し、各色ともにほぼgrayの場合と同方向にシフトしている(Fig.3-3-2)。ただし、人物の肌色の再現の目安となるlight skinの再現に注目すると、grayの再現が中心(No.1)に対しblue方向にあるプリント(No.12, 13)は、light skinの再現では中心(No.1)に対し、magenta方向にあり、肌色については、ピンクがかった印象になる。また、grayの再現が中心よりcyan方向にあるプリント(No.10, 11)はlight skinの再現ではchroma(C_{ab}^*)が低くなり、肌色は白っぽい印象を与える方向にある。また、grayの再現がオリジナルに近いプリント(No.4, 5)では、light skinの再現はred方向でかつ C_{ab}^* が高くなる方向に変化する。

シーンB, CはシーンAに比べ、全体に再現域がややred方向にシフトする

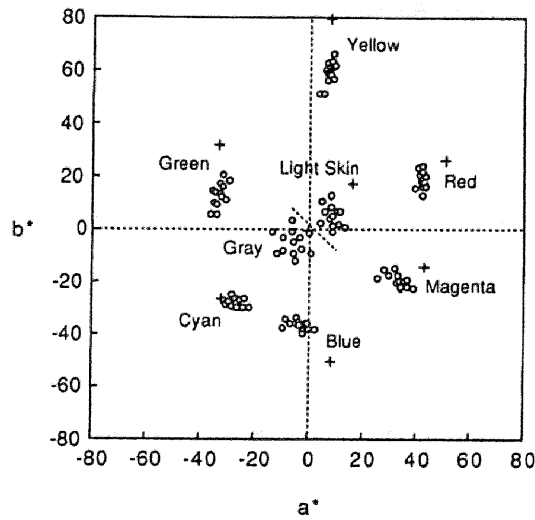


Fig. 3-3-1 Reproduced colors of Macbeth Color Checker correspond to Scene A. The chromaticities of the reproduced colors in the CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space, reference white CIE D_{50} .

+: original color of Macbeth Color Checker
 O: reproduced color of Macbeth Color Checker

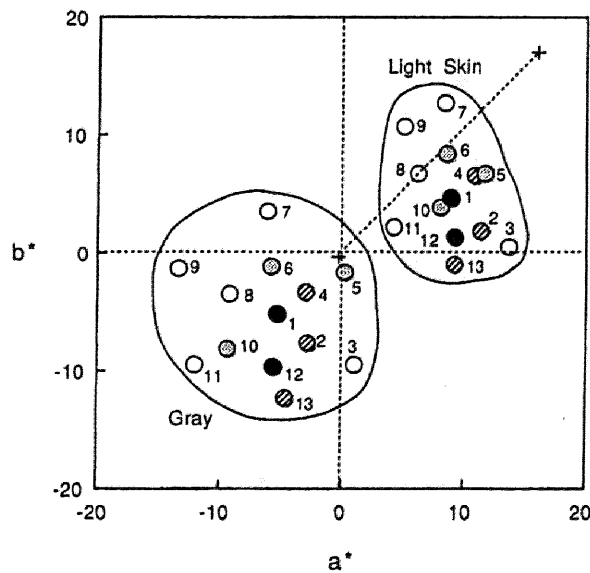


Fig.3-3-2 Reproduced colors of "light skin" and "gray(N5)" of Macbeth Color Checker (Scene A). Number from 1 to 13 indicate the print number. Print No.1 is the center of color balance.

+: original color of Macbeth Color Checker
 ●:reproduced color of the prints, which the ratio of the number of choice to the number of comparison over 70%.

◐ :ratio, from 60% to 69% ◑ :ratio , from 50% to 59%

○:ratio 50% under

するが、各色とも過半数は同一範囲内にある。

3.3.3 色再現の評価

色調評価用プリント (3.2.2 項 (3) ①) の評価結果は次のとおりである。シーン A~C について、Macbeth Color Checker の gray(N5) および light skin の色再現と各々に対応するプリントの評価を Fig.3-3-2~3-3-4 に示す。

色調評価については、当該プリントの比較の総数に対し、そのプリントが選択された割合を「選択率(%)」とし、「選択率」から好ましい色再現の検討を行った。

選 択 率 : $p(\%)=100*(k/(n-1)N)$

評価するプリントの数: n

一対比較で好ましいとして選択された回数: k

評価者数 : N

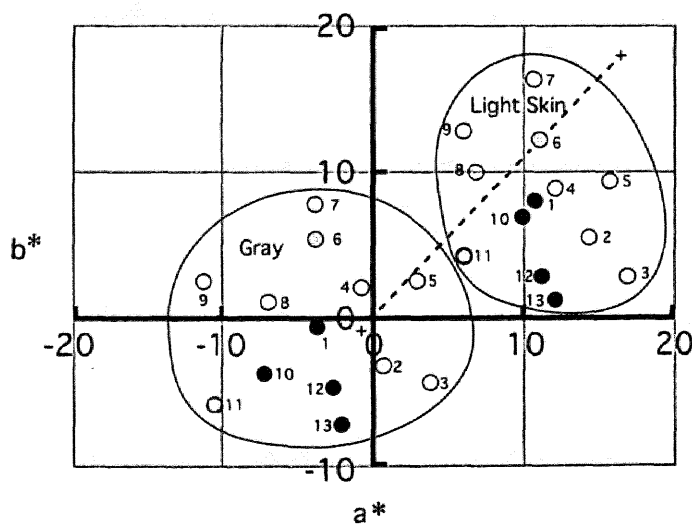


Fig.3-3-3 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene B). Symbols correspond to those in Fig.3-3-2

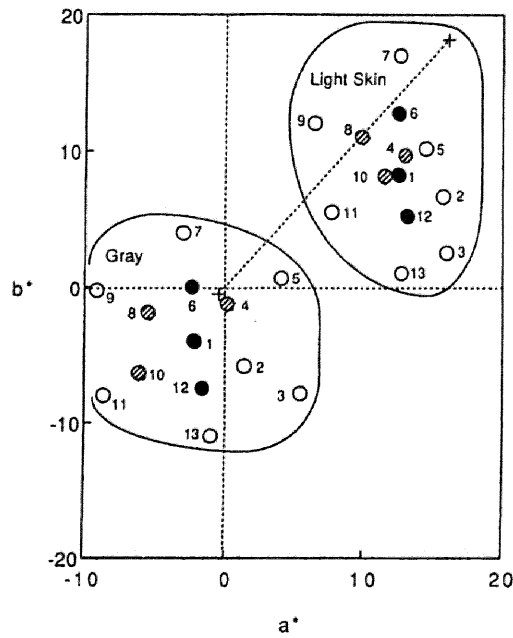


Fig.3-3-4 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene C). Symbols correspond to those in Fig.3-3-2

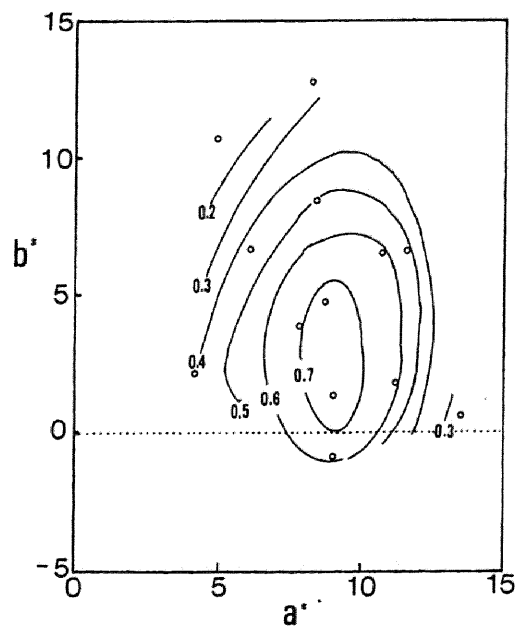


Fig.3-3-5 The elliptical curves are contour line of the zone for preferred color reproduction of “light skin (Scene A)”. The numbers indicate the ratio of choice. Open circles indicate reproduced color of “light skin” of Macbeth Color Checker.

(1) シーン A

シーン A は女性のポートレートであり、背景はグレーである。シーン A については、パネルのほとんどが肌色に注目しており、「肌色の好ましさを重視し全体の色調等を考慮して評価した。」と答えている。したがってシーン A では、Macbeth Color Checker の light skin と gray (N5) の再現を中心に検討する。

Fig.3-3-2 に示すとおりシーン A において選択率 50% 以上を示したプリントは、いずれも原色票の light skin より、色相角 (h_{ab}) が red, magenta 側にある。特に、 h_{ab}° が $-6 \sim +31^{\circ}$ 、 C_{ab}^{*} が 9~13 の範囲に選択率が 60% を超えるプリントが集中する。 h_{ab} がこの範囲にあるにもかかわらず、評価が低かったプリントは、gray (N5) の再現において C_{ab}^{*} が高く、プリント全体の色の偏りが目立ったものである。

また、プリントの選択率の等高線を Fig.3-3-5 に示すが、yellow-blue 方向に長径をもつ楕円状の分布となる。

(2) シーン B

シーン B は人物を中心とした写真であるが、シーンに対して、背景は芝生や木等が多く、自然環境中でのスナップを想定したものである。

シーン B では、シーン A と同様に、「人物の肌色に重点をおいた」とするパネルが多いが、「芝生の緑等背景の色の好ましさも評価の対象にした」と答えたパネルも多く、シーン A に比べて肌色の好ましさ以外の要素が多くなっていると考えられる。したがって、シーン B では、Macbeth Color Checker の light skin と背景の主要色である green の再現を中心に検討する。light skin および green の再現を Fig.3-3-6, 3-3-7 に示す。

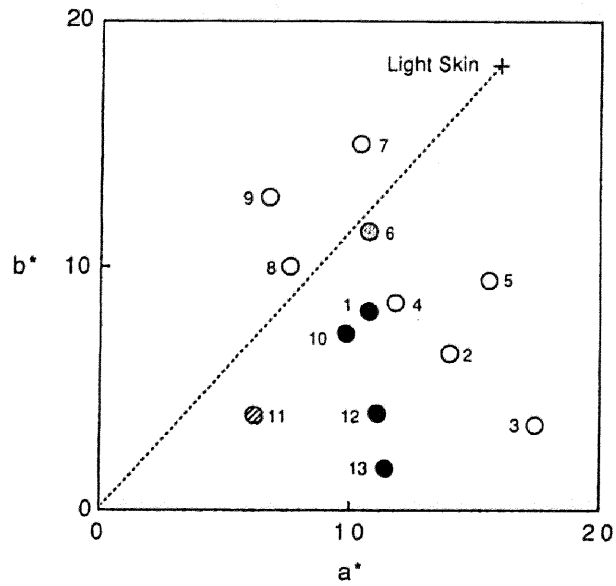


Fig.3-3-6 Reproduced colors of "light skin" of Macbeth Color Checker (Scene B). Symbols correspond to those in Fig.3-2-3

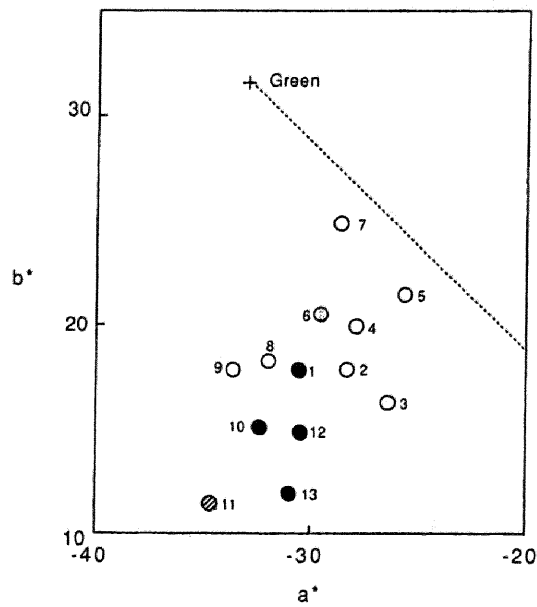


Fig.3-3-7 Reproduced colors of "green" of Macbeth Color Checker (Scene B). Symbols correspond to those in Fig.3-3-2

シーン B において選択率 50%以上を示したプリントは light skin の再現色の h_{ab} が原色票の測色値より赤味方向にあり、特に選択率 60%以上では $h_{ab} +9\sim 37^\circ$, C_{ab}^* 7~13 の範囲にある。また、背景色として、プリントの評価に影響を与えたと考えられる green については選択率 60%以上のプリントは原色票の測色値から h_{ab} で blue 側へ $13\sim 25^\circ$ の範囲に集中しており (Fig.3-3-7), light skin と green の双方の好ましい色再現を満たすものが評価されているといえる。

シーン A との比較では、light skin の好ましい再現域に多少の相違はあるが、各シーンの再現域内での比較対照での選択であることを考慮すると、light skin の好ましい再現域は基本的には差がないと考えられる。

(3) シーン C

シーン C は建物に女性を配置し、記念撮影に見られるようなパンフォーカス的なシーンで、パネルにより主題のとり方も異なる。

評価の着眼点としては、建物や、全体の色調に重点を置いたと答えたパネルが、人物の肌色に重点を置く者を上回る。したがって、シーン C では Macbeth Color Checker の gray (N5), light skin の再現を中心に検討する (Fig.3-3-4)。

選択率 60%以上を示したプリントの gray の再現域をシーン A, B と比較すると、原色票の測色値に近いプリントの評価が高くなっている。一方、light skin の再現に関しても $h_{ab} 22\sim 48^\circ$, C_{ab}^* 14~18 の範囲に評価の高いプリントが多く、他のシーンに比べ、原色票の測色値に近いものが多い。これはシーン C の評価の着眼点が A, B と異なり、画面全体の色調がニュートラルなものが選択されていることを示している。

シーン C のプリント選択率の等高線を gray (N5) について Fig.3-3-8 に示すが、Fig.3-3-5 と同傾向を示す楕円である。

(4) 考察

以上の結果を総合すると、選択率 50%以上のプリントに着目すると、それらはいずれのシーンについても light skin の再現色が Macbeth Color Checker のオリジナルの light skin の色相角 (h_{ab}) よりも red の方向にある。また、色票の light skin の再現色と選択率の等高線 (Fig.3-3-5, 3-3-8) は、いずれのシーンについても b^* 方向に広く、 a^* 方向に狭い楕円状となり a^* 方向に厳しく、 b^* 方向に広い許容域を有している (シーン A のプリント作成条件では、blue-yellow 方向には 4 段階の変化が受け入れられるのに対し、magenta-green 方向では 3 段階未満となる。)

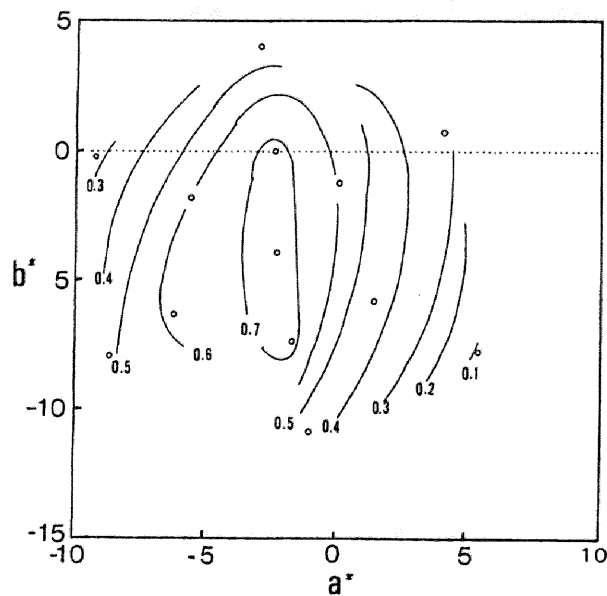


Fig.3-3-8 Contour lines of the ratio of choice (Scene C, gray (N5)).

また、プリント全体の色のイメージの目安になると考えられる gray の再現については、gray-to-gray を満たすプリント（シーン C; No.4, シーン A; No.5）についてはいずれも選択率 50%以上ではあるが、最も高い選択率を示したプリントとの一致はなく、プリントの好ましさを決定する絶対的条件とはなっていない。ただし、gray 部分に赤味が感知されるプリント ($a^* > 0$, かつ $b^* > 0$) は急激に評価が低くなる。

各シーン間の関係では、シーン A, B では評価の高いプリントの light skin の再現域は基本的には差がないが、シーン C では、他のシーンに比べて gray の再現が原色票に近いもの (No.4, 6), light skin の再現が、原色票の h_{ab} に近い (No.6, 8) ものの評価が高く、シーン A, B と比べオリジナルに近いことが受け入れられており、そのシーンで着目される色の再現が重要と考えられる。また、シーン C の No.12 の選択率が高いのは人物の肌色を重視した評価と考えられ、このようなシーンではパネルにより着目する対象が異なることを示している。

参考のためシーン D, E の結果と比較すると、シーン D は肌色以外に着目する色がないケースであるが、この場合一対比較法の選択率 70%以上に相当する

プリント (4.1.1 項参照) の light skin の再現でみると, シーン C 以上に原色票の $h_{ab}(46^\circ)$ に近いもの ($43\sim 48^\circ$) が高い選択率を示している。一方, シーン E では, h_{ab} が $22\sim 32^\circ$ のプリントの評価が高く, シーン A, B に近い傾向を示している。なお, シーン D では諧調等の異なる 3 種類のフィルムから作成したプリントに対して種類毎に評価を行ったが, 評価の高いプリントは light skin の再現域がほぼ一致した。

これらのことから, 画面に評価対象となる色が少なく評価部分がおのずと限定されるような場合は, オリジナルに近い再現が求められるが, 通常のアマチュアのポートレート等多くの色を含む画像では, 画面全体の色のバランスを加味して評価される傾向があることが示唆される。

3.3.4 好ましさの要因の解析

(1) 解析方法

好ましさの評価がどのような視点でなされたのかを解析するため, 第 2 章と同様に各評価者の一対比較の選択度数を主観評価値として, 因子分析法の一手法でもある主成分分析法により要因の解析を行なった。

2.2 節と同様に, 評価用プリント 13 枚 (No.1~13) について一対比較による選択度数 X_i ($i=1, 2, \dots, 13$) を変数とした。パネルの人数 n から, $n \times 13$ 次データ行列を作成し, プリント間の相関行列を求め, 13×13 次の相関行列についての固有方程式を解き, 固有値 (λ), 固有ベクトルおよび因子負荷量を求めた。

因子負荷量=固有値の平方根 \times 固有ベクトル

で与えられ, ここでの因子負荷量は, 相関行列から計算されたものであるから, 抽出された主成分と規準化された各変数との相関係数を示す。したがって, 因子負荷量の大きさと, 対応するプリントの Macbeth Color Checker の再現色 (a^*, b^*) に注目して, 主成分の内容について考察した。

なお, 本実験では, $n=50\sim 56$ であるので, 相関の有意性から

| 因子負荷量 | ≥ 0.3 である変数に対応するプリントを対象とした。

有効な主成分の数 m については絶対的な基準はないが, m 個までの主成分の累積寄与率が $60\sim 80\%$ を超えること, 第 m 番目の主成分が平均以上の情報量をもつこと, 即ちここでは固有値 $\lambda_m \geq 1$ であることなどが一応の基準⁷⁾となる。

これらに基づき主成分分析を行い, 好ましさの要因について解析した。また,

各シーンとも、パネルを男女、年代で 2 分割し、各々についても主成分分析を行い、パネルの属性による差について検討した。

(2) 主成分分析結果

① シーン A

シーン A の固有値、因子負荷量を Table3-3-1 に示す。

シーン A では、第 4 主成分までが固有値 1 以上を示し、累積寄与率は 72.98% である。

第 1 から第 3 主成分の因子負荷量の絶対値が 0.5 を超えたプリントを、Fig. 3-3-9 の a^*b^* 座標上で示す。

第 1 主成分は light skin の再現において、中心 (No.1) に対し magenta から red 方向にある No.2, 3, 5, 4 と負の相関が高く、green 方向の No.8, 10, 9 と正の相関が高い。また、プリントの a^* の値と因子負荷量との相関が高い ($r=0.87$) ことから第 1 主成分は「red-green」に関する成分と考えられる。

第 2 主成分は第 1 主成分と対立する方向に、因子負荷量の絶対値の大きいプリントがある。また b^* の値と因子負荷量との相関が高い ($r=0.80$) ことから「blue-yellow」に関する成分と考えられる。

第 3 主成分は light skin の再現域のほぼ中心にあるプリントと、yellow が強いプリントに関する成分である。

第 4 主成分は「yellow-blue 系 対 green-magenta 系」に関する成分である。

また、第 1 主成分の因子負荷量が高い No.9 から No.3 (magenta-green 方向) の色差 (ΔE_{ab}^*) およびメトリック色相差 (ΔH_{ab}^*) を第 2 主成分の因子負荷量が高い No.13 から No.7 (blue-yellow 方向) と比較すると、色差等 ($\Delta E_{ab}^*, \Delta H_{ab}^*$) がほぼ等しいにもかかわらず、第 1 主成分の寄与率が第 2 主成分の約 1.5 倍であり、magenta-green (a^*) 方向が blue-yellow (b^*) 方向に対し、色調の好みに強く影響を与えている。

② シーン B

シーン B の固有値、因子負荷量を Table3-3-2 に示す。

シーン B では、第 3 主成分までが固有値 1 以上を示し、累積寄与率は 66.54% である。

第 1 から第 3 主成分の因子負荷量の絶対値が 0.5 を超えたプリントを、Fig. 3-3-10 に示す。

Table 3-3-1 Principal components analysis on Scene A($n=56$); Variables X1 to X13 correspond to observer rating value of print No.1 to 13.

Variable	Factor Loading			
	I	II	III	IV
X1	0.072	-0.240	-0.783	-0.138
X2	-0.831	0.093	0.056	-0.161
X3	-0.685	0.114	0.295	0.458
X4	-0.514	-0.594	-0.204	-0.011
X5	-0.590	-0.541	-0.260	0.262
X6	0.485	-0.492	0.286	-0.466
X7	0.415	-0.615	0.535	-0.131
X8	0.808	0.021	-0.039	0.213
X9	0.557	-0.120	0.357	0.461
X10	0.563	0.117	-0.488	-0.271
X11	0.495	0.517	-0.257	0.326
X12	-0.267	0.466	0.245	-0.671
X13	-0.105	0.836	0.110	-0.038
Eigenvalue	3.792	2.563	1.685	1.447
Cumulative Proportion	0.2917	0.4888	0.6185	0.7298

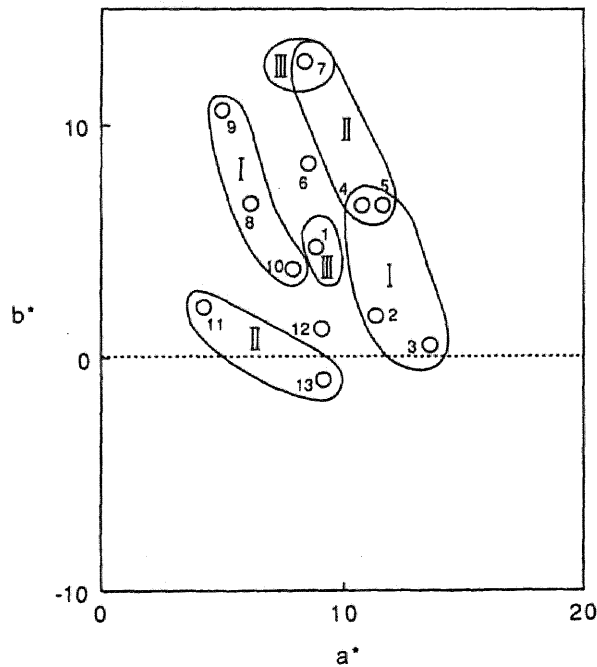


Fig.3-3-9 Reproduced colors of "light skin" of Macbeth Color Checker(Scene A) and principal components analysis. The prints in the area I indicate high absolute value (0.5 over) of factor loadings on the first component. The area II and III correspond to the second and the third component, respectively.

Table 3-3-2 Principal components analysis on Scene B ($n=50$); Variables X1 to X13 correspond to observer rating value of print No.1 to 13.

Variable	Factor Loading			
	I	II	III	IV
X1	0.361	-0.372	0.513	0.507
X2	-0.807	-0.179	-0.300	-0.156
X3	-0.766	0.223	-0.134	-0.345
X4	-0.350	-0.763	0.079	0.116
X5	-0.536	-0.590	0.123	-0.118
X6	0.531	-0.482	-0.187	-0.202
X7	0.499	-0.437	-0.515	0.190
X8	0.826	0.247	-0.218	0.052
X9	0.684	0.401	-0.355	0.079
X10	0.482	-0.147	0.577	-0.376
X11	0.448	0.560	0.353	-0.258
X12	-0.598	0.369	0.117	0.453
X13	-0.611	0.645	0.038	0.186
Eigenvalue	4.630	2.683	1.339	0.963
Cumulative Proportion	0.3561	0.5625	0.6654	0.7395

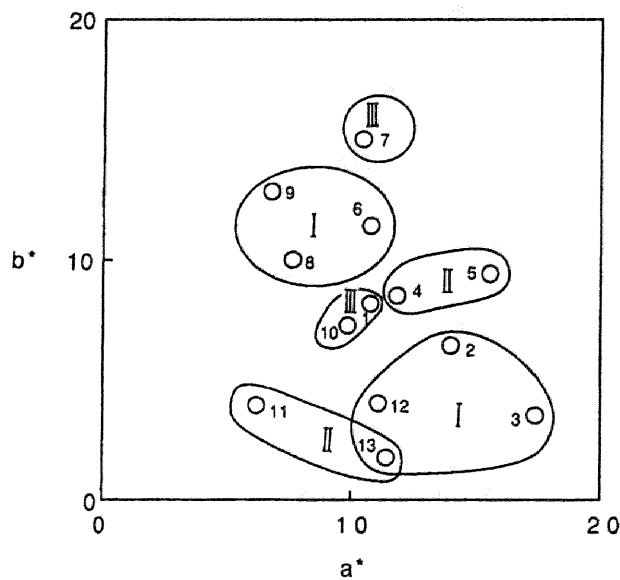


Fig.3-3-10 Reproduced colors of “light skin” of Macbeth Color Checker(Scene B) and principal components analysis. The area I to III correspond to those in Fig.3-3-9 .

第 1 主成分はプリントの a^* の値と因子負荷量との相関係数 $r=0.80$ であり、シーン A と同様、light skin の再現が、magenta, red 系か、green 系かに関する成分である。第 2 主成分は、 b^* の値と因子負荷量の相関係数が $r=0.54$ とシーン A ほど明確ではない。これを green の再現についてみると、 h_{ab} と因子負荷量の相関係数が $r=0.82$ を示す。したがって、第 2 主成分は green が blue 系統か yellow 系統かを示す成分と考えられる。

第 3 主成分はシーン A とほぼ同様の成分である。

③ シーン C

シーン C の固有値、因子負荷量を Table 3-3-3 に示す。

シーン C では、第 4 主成分までが固有値 1 以上を示し、累積寄与率は 74.78% である。

第 1 から第 3 主成分の因子負荷量の絶対値が 0.5 を超えたプリントを Fig. 3-3-11 に示す。

第 1 主成分、第 2 主成分はシーン A と同様にそれぞれ red - green, blue - yellow に関する成分である。

第 3 主成分は全体の色調 (gray) が red, magenta に偏りが強いかな否かに関する成分である。また、第 4 主成分は、gray の再現の中心である No.1 に関する成分である。

また、gray の色再現域において第 1 主成分と相関が高い magenta - green 方向 (No.3 から No.9) と第 2 主成分と相関の高い blue - yellow 方向 (No.13 から No.7) の比率を考慮して第 1, 第 2 主成分の寄与率を補正するとシーン A とほぼ同様に第 1 主成分が第 2 主成分の約 1.5 倍となる。

(3) 評価者の属性との関係

各プリントの選択率について、年代別に分類したところ、シーン A, B, C とともに 40 代以上に比べ 10~20 代で No.13(B+2) の選択率が 10% 以上高く、シーン A, C では、40 代以上が 10~20 代に比べ、No.6(Y+1), No.7(Y+2), No.8(G+1) の yellow~green 系プリントで、選択率が 15% 以上高いプリントがみられた。特にシーン C では、40 代以上では、yellow 系のプリント (No.7) の選択率が高く、選択率 70% 以上のプリントの平均値と比較すると、10~20 代より $\Delta b^* \approx 5$ 高く、yellow 系への好みの中心のシフトが顕著である。年代 (10~20 代と 40 代以上) による選択率の χ^2 検定では、シーン A, C では有意差が認められた ($\alpha = 0.05$)。年代による選択率の差は、40 代を境として黄~緑の飽和度識別能力の

低下が目立つとする報告⁸⁾と関係すると思われる。

Table 3-3-3 Principal components analysis on Scene C ($n=53$); Variables X1 to X13 correspond to observer rating value of print No.1 to 13.

Variable	Factor Loading			
	I	II	III	IV
X1	0.459	0.272	-0.035	-0.651
X2	0.676	-0.200	0.258	0.324
X3	0.463	-0.411	0.569	0.296
X4	0.714	0.308	0.088	-0.036
X5	0.682	0.370	0.423	-0.014
X6	0.026	0.584	-0.628	0.328
X7	-0.421	0.726	-0.170	0.146
X8	-0.795	0.075	0.254	-0.165
X9	-0.810	0.086	0.240	0.022
X10	-0.570	-0.407	-0.132	0.430
X11	-0.763	-0.367	0.196	-0.304
X12	0.497	-0.440	-0.534	-0.072
X13	0.198	-0.738	-0.466	-0.169
Eigenvalue	4.518	2.437	1.682	1.085
Cumulative Proportion	0.3475	0.535	0.6644	0.7478

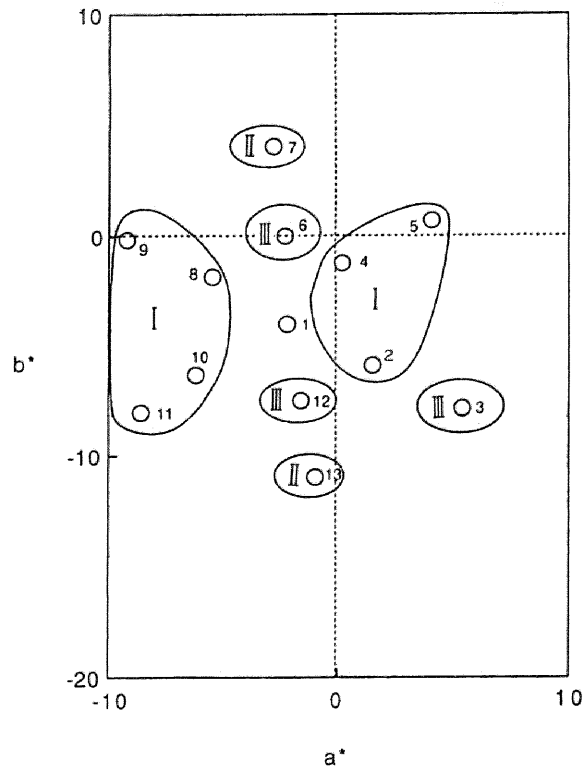


Fig.3-3-11 Reproduced colors of "gray(N5)" of Macbeth Color Checker(Scene C) and principal components analysis. The area I to III correspond to those in Fig.3-3-9

また、男女差についての χ^2 検定ではシーン A~C とも有意差はなく ($\alpha = 0.05$) 各プリントの選択率の差は、ほとんどない。

年代による好みの要因の変化について検討するため、シーン A, C について 40 歳付近でほぼ人数が等しくなるよう 2 分割 (シーン A : 40 歳, シーン C : 37 歳) し、主成分分析を行った。

シーン A, C についての年代別主成分分析で因子負荷量の絶対値が 0.5 を超えたプリントを Fig.3-3-12 および Fig.3-3-13 に示す。

シーン A の第 1 主成分は各年代共 red (magenta) - green に関する成分であるが、20~30 代のデータでは、magenta - green 系のプリントとの相関が特に高いのに対して、40 代以上のデータでは magenta - green への特定は弱くなる。第 2 主成分は 20~30 代のデータからは、yellow - blue 方向への変化との相関が高いのに対し、40 代以上では yellow より、green 系のプリントに比重がかかる。第 3 主成分は全年代から抽出した主成分とほぼ同様である。

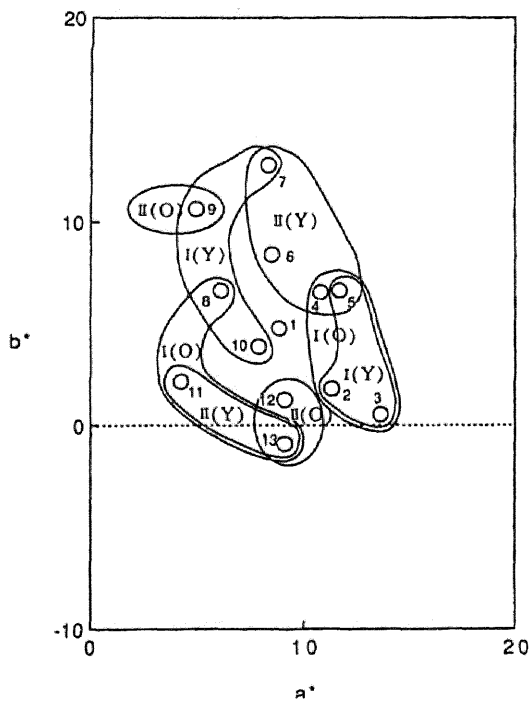


Fig.3-3-12 Reproduced colors of "light skin" of Macbeth Color Checker(Scene A) and principal components analysis by age. The area I to III correspond to those in Fig. 3-3-9
(Y):20 to 39 yrs.
(O):40 yrs. and over

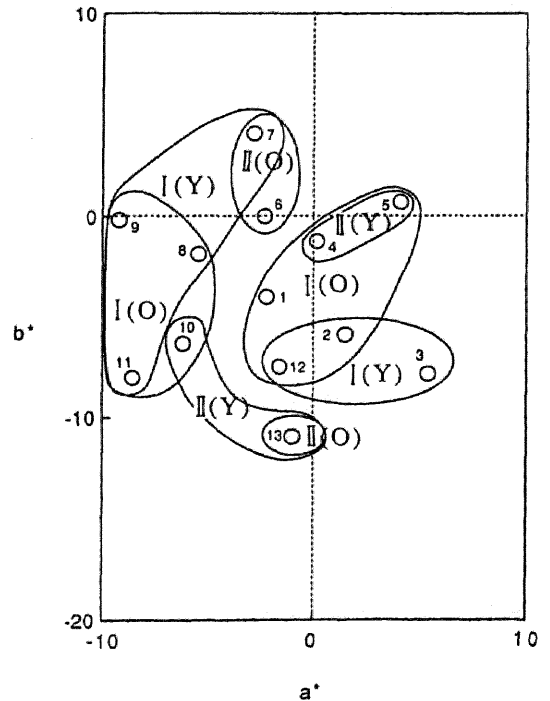


Fig.3-3-13 Reproduced colors of "gray(N5)" of Macbeth Color Checker(Scene C) and principal components analysis by age.
(Y):20 to 36 yrs.
(O): 37 yrs. and over

シーン C の第 1 主成分はシーン A と同様 red - green に関する成分であるが、37 歳未満からのデータは、magenta 系のプリントとの相関が高いのに対して、37 歳以上のデータでは、red 系との相関が高い。第 2 主成分は blue - yellow に対応する成分であるが、37 歳未満のデータでは red 系に比重がかかる。第 3、第 4 主成分はいずれも、全体の色調の偏りが無いプリントとの対照に関する成分である。

主成分分析からは、抽出された主成分は、多少差はあるものの、好ましいプリントを選択する因子として magenta 系か green 系かが最も大きな要因であることは変化なく、年代により基本的要因に大きな変化はないといえる。

(4) 背景との関係

本章の実験において、シーン B については、人物周辺の芝生(green)の色の好ましきについても、評価対象となっていたことから、人物と背景が一体となって評価されると思われるシーンについて、補足実験を行った。

背景色の影響については、同一被写体に対し背景の色（赤、緑、青）および明暗（白、黒）を変えて、人物の好ましい肌色の評価を行う基本的な実験を羽石らが行っており、均一な背景の明るさや色は好ましい肌色に影響を与えないとしている⁹⁾。また、背景が均一な色ではなく、実際のシーンを用いて、「好ましい肌色」を評価した実験¹⁰⁾においても、「好ましい肌色」に差はなかった。

しかし、例えば夕焼けのシーン(Fig.3-3-14 (c))のように光源の色温度が低いことが想定されるようなシーンや、人物と背景が一体となり、評価されるシーンについては、なお検討の予知があるものと考えられる。

荻上は¹¹⁾、海(シーン F-b)、森(シーン F-g)、夕日(シーン F-y)、紅葉(シーン F-r)の 4 シーンについて背景の色を一定とし、人物の肌色を変化させたプリント(Fig.3-3-14)を各 13 枚作成し、一対比較法により好ましい肌色の評価を行った。

このデータを基に、選択率 60%以上を示したプリントの肌色の分布を a^*-b^* 平面上に示す(Fig.3-3-15)。シーンごとの肌色の色再現範囲の差を考慮しても、黄～赤が支配的なシーン F-y やシーン F-r で b^* 方向への広がりが見られ、これらのシーンで b^* が低いピンク系の肌色が好まれる傾向が見られた。

また、これらのデータについて主成分分析を行ったが、シーンに依存する一定の傾向は認められなかった。



(a) Scene F-b



(b) Scene F-g



(c) Scene F-y



(d) Scene F-r

Fig.3-3-14 Sample prints for evaluation.

これらのことから、シーン B で green に関する成分が抽出されたのは、肌色以外に芝生 (green) の色の好ましさに着目した評価があったことを示しているものと思われる。

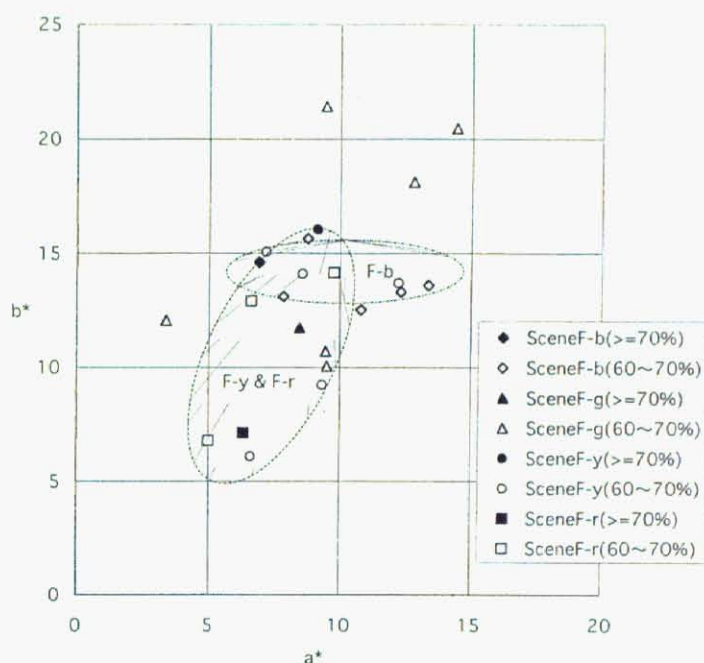


Fig.3-3-15 Preferred skin colors in the various scenes.

3.3.5 評価尺度の検討

一般に一対比較法で得られた選択度数に対しては、間隔尺度として扱うために、Thurstone のケース V¹²⁾等により尺度構成法が用いられる。

Thurstone の比例判断の法則は、刺激 X に対して心理量 v を感じるとすると、刺激 X の繰り返しに対する v は、平均値 μ の周辺で正規分布に従うと仮定したものである¹³⁾。ケース V は、2つの刺激 X, Y に対する心理量 v_x, v_y が独立 (相関がない) であり、分散がほぼ等しいことを仮定したものである。

Thurstone の尺度構成では、各々の対 (刺激) の観測確率 (選択率に相当) を求め、それらを基準正規偏差 (Z) に変換し、刺激ごとの平均値から尺度値を計算する。

各シーンについて Thurstone のケース V による尺度構成を行ったところ、シーン A, C では内的整合性の χ^2 検定が $\alpha=0.05$ で有意となり、正規性の欠如、1次元性の欠如、あるいは標準偏差が等しくないかのいずれかであるとされる。また、シーン B については、ケース V の尺度構成の内的整合性の検定において、 $\alpha=0.05$ で棄却されない。これは、シーン A, C が年代により選択に有意差があるが、シーン B は有意差がなく、1次元的に選択されていることも関係していると思われる。

第3章で対比較法のデータに適用した選択率 (=選ばれた回数/比較判断の回数) は、Thurstone の尺度構成で、正規分布を適用する過程を省略したものとみることができる。累積確率 p と基準正規偏差 Z の関係から、 $p=0.2\sim 0.8$ では、 p と Z の相関係数が $r=0.999$ でほぼ直線で近似でき、 $p=0.1\sim 0.9$ では $r=0.997$ となる。したがって、選択率 $0.1\sim 0.9$ 程度の場合は、Thurstone の尺度構成値と選択率は、相対的にはほぼ同じとみなすことができる。

本結果に Thurstone のケース V を適用した尺度値と選択率の関係は、シーン A, B, C いずれについても極めて高い相関 ($r=0.996\sim 0.999$) を示しており、選択率での尺度の代用が可能であると思われる。

また、対比較法では刺激の範囲があまりにも広く、一方の選択度数が 0 となるなど刺激の差が大きく、結果が一方的になるものは Z が発散するため、適当でないとされる。本実験ではシーン B の No.11 が相当するが、これを除いて計算した選択率および主成分分析結果については、より主成分の内容が明瞭になる傾向はあるが基本的に差はない。

3.3.6 ま と め

好ましい色再現は、シーンの主要色の好ましさによって決まり、人物を中心としたものでは、light skin の再現色の色相角(h_{ub})が原色票の original より red 側にあることが重要であるが、人物の割合が小さいシーンでは、gray の再現に重点が置かれ、全体の色調の備りが少ないことが重要となる。

また、評価に関する要因としては red (magenta) - green [a^*] 方向への色調の変化が blue - yellow [b^*] 方向の変化が優先して好みに影響を与える。

年代により「好ましい色再現」に変化がみられ、40代以上で10~20代と比較し、magenta系のプリントへの好みが増え、相対的にyellow系のプリントに対する選択率が増加する。

3.4 濃度レベルの評価

3.4.1 はじめに

第2章で第2主成分として「明るさ - 暗さ」の要因が抽出されたことから、プリントの濃度レベルを変化させたプリント(3.2.2節(3)②)について主観評価を行い、一般消費者の評価の視点および評価者の属性による差について検討を行った。

3.4.2 評価用プリント

シーンA~CにおけるNo. D1~D5のMacbeth Color Checkerのgray(N5)およびlight skin再現色の変化をFig.3-4-1~3-4-3に、シーンAのNo.D1~D5の調子再現曲線をFig.3-4-4に示す。また、比較のため各シーンのNo.D3(Medium)のプリントに関する調子再現曲線をFig.3-4-5に示す。

色再現から見ると、プリントの露光量の増加(No.D1~D5)に伴い、再現色の L^* はlight skinで $\Delta L^*=14.2\sim 19.4$ 、gray(N5)で $\Delta L^*=25.5\sim 25.9$ 減少し、 C_{ab}^* は増加する。シーンB,Cでは、 h_{ab} はほぼ一定である。

3.4.3 評価結果

最適焼き度のプリントを求めるため、各シーンの焼き度(No.D1~D5)とそのプリントの主観評価結果に関するThurstoneケースV¹²⁾による尺度値の回帰曲線を求め、主観評価値を最大とする焼き度を算出した。なお、回帰曲線はNo. D5を除いた範囲で、 $r^2=0.999$ 以上となる2次曲線で近似した(Fig.3-4-6)。

回帰曲線から算出した最適焼き度の調子再現曲線をFig.3-4-7に示す。各シーンの階調度、最高濃度は多少異なるが、中間部からハイライト部分にかけてかなり一致が示され、中間部からハイライト部分の濃度が高いと「暗い」という印象が多いこと¹⁴⁾と対応していると考えられる。これはポートレートでは「顔」の濃度の重要性を示していると思われる。なお、Macbeth Color checkerのLight skinおよびgray(N5)の再現色では、light skinで $L^*=78\sim 83$ 、gray(N5)で $L^*=63\sim 66$ となり色票のオリジナルより $\Delta L^*=10\sim 15$ 高く再現されたプリントが好ましいとされた。

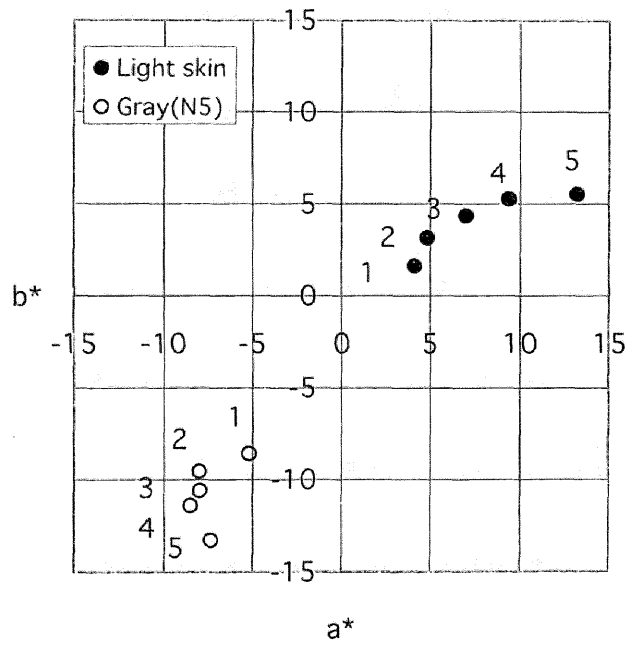
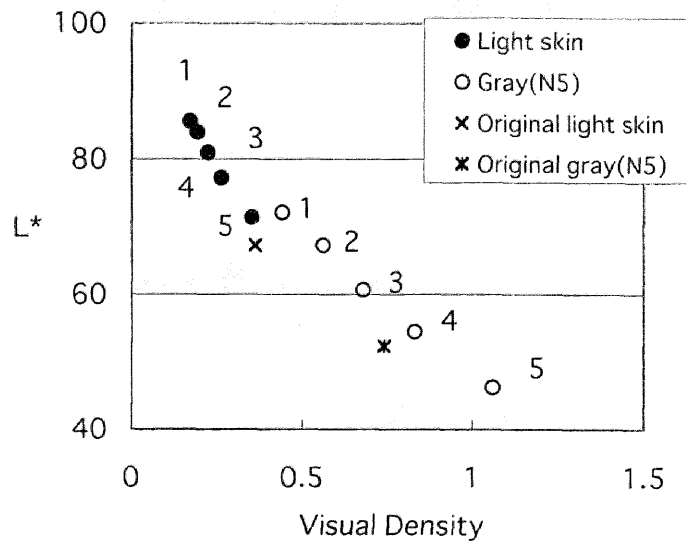


Fig.3-4-1 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene A: D1~D5).

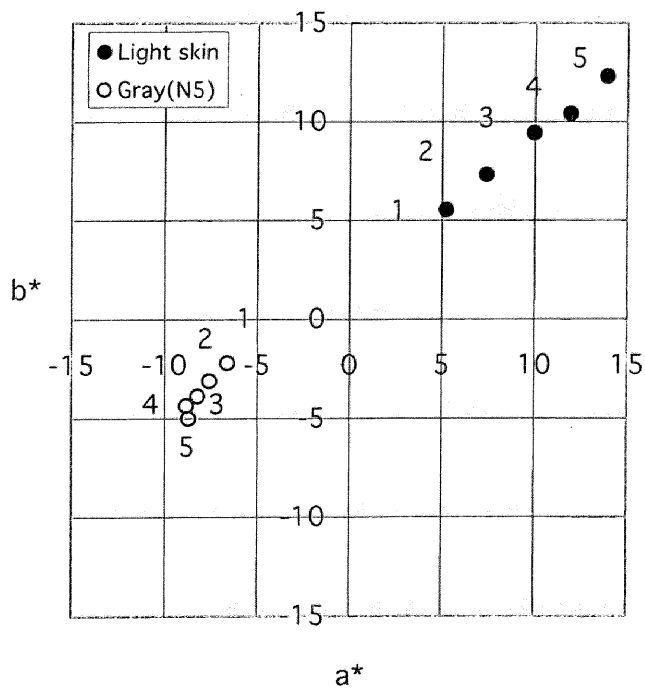
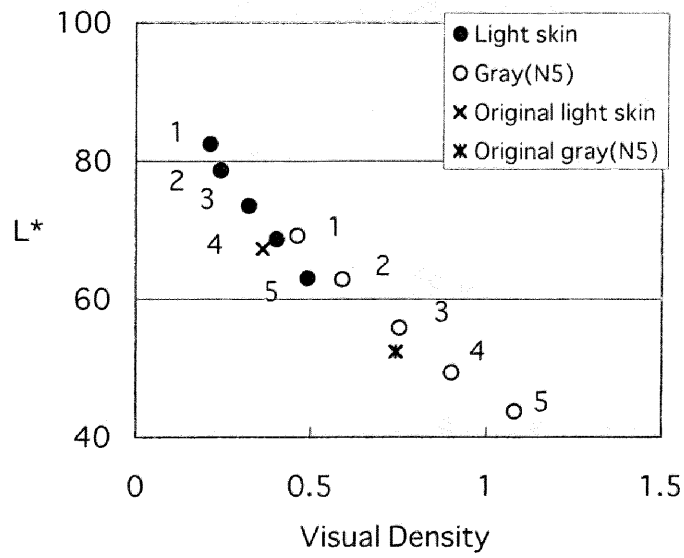


Fig.3-4-2 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene B: D1~D5).

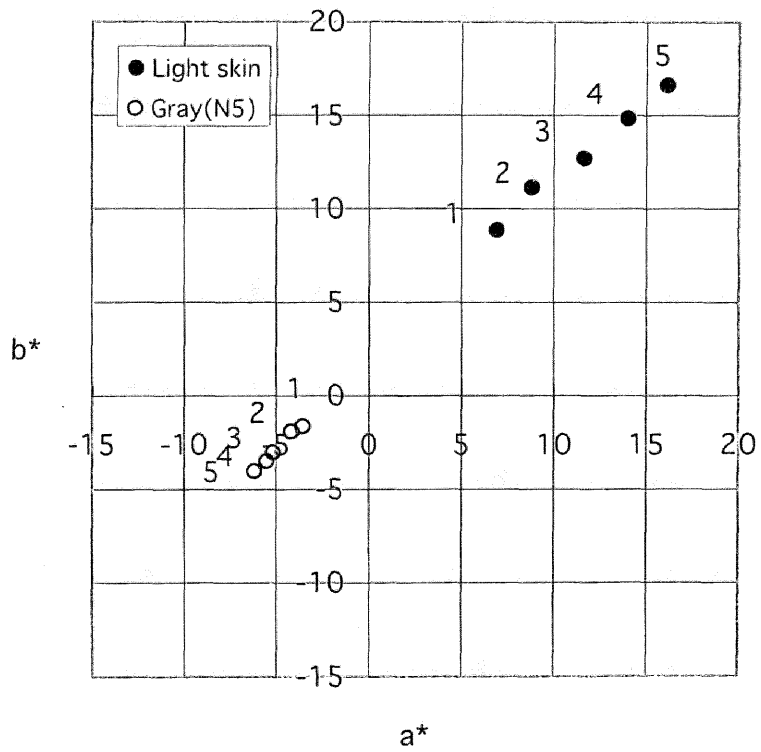
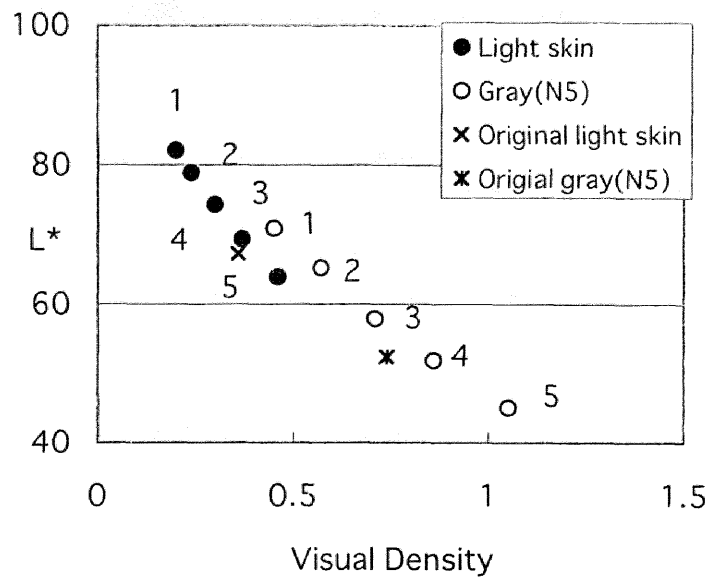


Fig.3-4-3 Reproduced colors of "light skin" and "gray(N5)" of Macbeth Color Checker (Scene C: D1~D5).

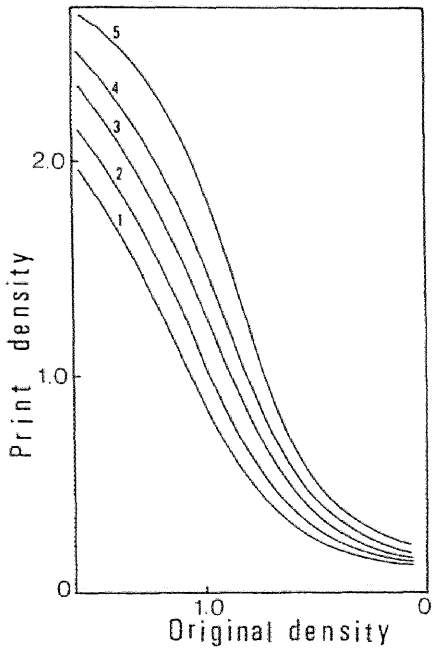


Fig.3-4-4 Gray to gray reproduction characteristics of the test prints for the evaluation on print density (Scene A). Number 1 to 5 correspond to the print No.D1 to D5, respectively.

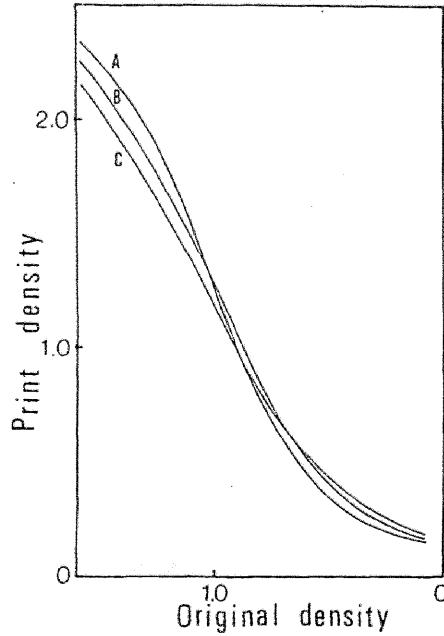


Fig.3-4-5 Gray to gray reproduction characteristics of the test prints No.D3 each scene (Scene A, B, C). No.3 is the center of density levels for evaluation.

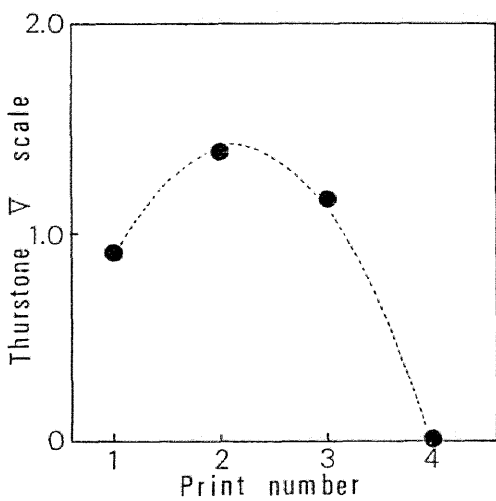


Fig.3-4-6 Regression curve between print density level and psychological scale by Thurstone V. Number of abscissa correspond to print number No.D1 to No.D4, respectively.

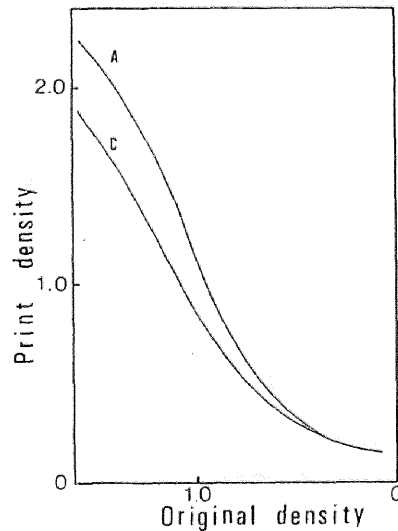


Fig.3-4-7 Gray to gray reproduction characteristics of the best print for the evaluation of print density level on each scene (Scene A, C). Characteristic curve of Scene B is between A and C.

補足のため行ったシーン D では、3 種類の階調・粒状等が異なるフィルムの種類別に評価を行ったが、いずれも人物の頬の部分の平均濃度(visual density)が 0.30 前後($L^*=76$ 程度)で最も高い評価を得ており、階調にかかわらず「顔」の部分の濃度が重要であり「明るさ - 暗さ」感の要因となっていると思われる。なお、「顔の濃度」に代わる濃度レベルの指標として、シーン A~C の結果から「Munsell N6.5 (実測値 $D \doteq 0.48$, $L^* \doteq 65$)」の再現濃度でのコントロールが有効と考えられる。

評価結果について 20 代以下と 40 代以上のデータを比較すると、40 代以上のデータからの選択率では、A~C いずれのシーンでも選択率のピークが高濃度方向に 1 段階相当シフトしている (Fig.3-4-8)。また 20 代以下のデータでは D1 のように濃度レベルが低く、中灰色(N5)がオリジナルより 0.3 程度低いプリントを「明るい」という理由で好ましいとする割合が高いなど、年代による差が見られた。しかし、いずれの年代においても一定以上の濃度レベル (N6.5 の再現濃度で 0.45 以上) では、ほとんど受入れられず低濃度への許容が高い。

男女差については、ほとんど同じ傾向を示しており大きな差はない。

年代については、階調等が異なるフィルムからの実験 (シーン D, 3 種類のフィルム) においても、いずれのフィルムでも 40 代以上の方が濃度レベルの高いプリントの選択率が高かったなど同様の傾向が見られた。

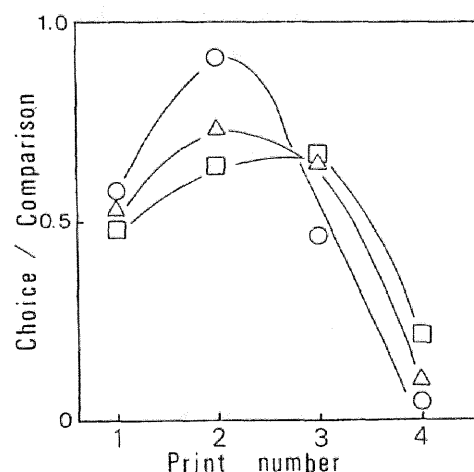


Fig.3-4-8 Preferred print density level by panel's age (Scene A). (○: 20 to 29 yrs. △: 30 to 39 yrs. □: 40 yrs & over) Abscissa is correspond to those in Fig.3-4-6. Ordinate is the ratio of the number of choice to the number of comparison.

3.4.4 まとめ

濃度レベルについては、人物の顔の部分の濃度が重要であり、目安としては、人物の頬の部分又は MunsellN6.5 の再現濃度で概ね $0.25 \sim 0.45 (L^* = 66 \sim 80)$ の範囲内である。また、20代以下では、低濃度レベルへの許容が大きい。

3.5 階調・粒状等の評価

3.5.1 はじめに

本節では、3.6 節で実施する画質の物理的要因の変化を解析するための前段の実験として、異なるフィルムから作成したプリント (3.2.2 項 (3) ③) について主観評価を行い、第 2 章の第 3 主成分である「ソフト - ハード」に対応すると考えられる平均階調度および RMS 粒状度等との関係並びに評価者の属性による差について把握することを目的として実施した。

3.5.2 実験

評価者に対しては、「階調」「粒状性」「鮮鋭性」について、説明を行い「好ましいと思うプリント」を選択させた。

階調・粒状性等の評価に用いたプリントの調子再現曲線を Fig.3-5-1 に示す。

シーン A は $\bar{a}=1.20\sim 1.88$ の範囲にあり、背景部分の濃度を一致させたため、オリジナル濃度 0.7 から 0.8 で再現曲線が交差する。評価プリント間の背景部分の最大濃度差は 0.07、他のシーンでは Munsell N5 相当部分で 0.06 から 0.07 である。

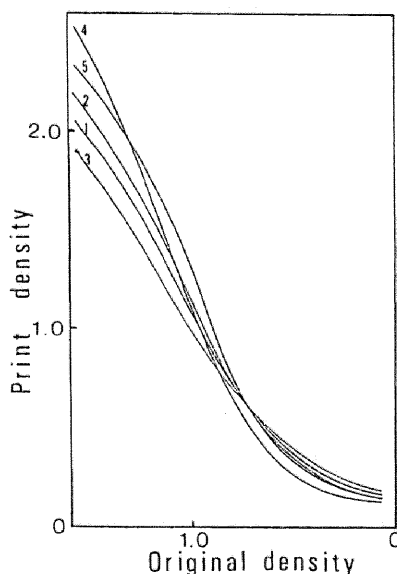


Fig.3-5-1 Gray to gray reproduction characteristics of the test prints for the evaluation on gradient, graininess, etc. (Scene A). Number 1 to 5 correspond to the print No.F1 to F5, respectively.

測定値およびパネルの感想から、No.F1～F5 の階調・粒状等の特徴を Table3-5-1 に示す。粒状度と sharpness の相関係数は $r = -0.867$ で粒状度の低いプリントほど、sharpness は高い。

Table 3-5-1 Characteristics of the test prints (Scene A)

Print No.	F1	F2	F3	F4	F5
Gradient	1.33	1.53	1.20	1.88	1.64
Granularity*	35	26	40	69	35
Sharpness**	43	66	47	32	55

*RMS granularity(D=1.0)

**Spatial frequency (MTF=0.5)from film data sheet(lines/mm)

3.5.3 評価結果

一対比較法から得られた選択度数について、Thurstone ケースVによる尺度構成を行い、Thurstone ケースVによる尺度値を主観評価値としてプリントの特性値との関係について検討した。

各シーンのプリントの主観評価値とプリントの RMS 粒状度の関係を Fig.3-5-2 に示す。なお、Fig.3-5-2 の主観評価値はシーン毎に Thurstone ケースVによる尺度値の最大値から最小値を 100 から 0 に基準化したものである。

Fig.3-5-2 に示すように、人物を主要被写体とするシーン A, B では、粒状度の最も高いプリント (No.F4) の評価が著しく低いが、その他では大差なく、粒状度が高いプリント(RMS 粒状度 69 (D=1.0))以外は粒状度等の影響は少ないと考えられる。一方、シーン C では、最も粒状度の高い No.F4 よりも No.F5 の評価が低く、パネルの感想からも、F4 の粒状性の悪さの指摘は少ない。また最も粒状度が低く sharpness の高い F2 の評価が際立って高いことから、過去の多くの実験で指摘されたように、人物が主要被写体であるか、背景が複雑か否か等、シーンにより好ましさに影響する粒状度および sharpness の相違が現われていることが考えられる。

プリントの平均階調度 (\bar{r}) と、Thurstone ケースVによる尺度値の関係 (シーン A) を Fig.3-5-3 に示す。回帰曲線から、ポートレートでは調子再現曲線の $\bar{r} = 1.4$ 程度のプリントが最も好ましい階調となる。なお、回帰曲線は粒状等の影響が強い No. F4 を除き、残差が最小となるように 2 次曲線で近似した ($r = 0.998$)。

男女別および年代別 (20 代以下, 40 代以上) のデータの比較では、プリントの選択率に大きな差がないが、粒状度や鮮鋭度で劣る高感度フィルム (RMS

粒状度:69 ($D=1.0$, $CTF=0.5$: 2.5lines/mm) からのプリント(No.F4)について40代以上のデータからの選択率が20代以下に比べA~Cいずれのシーンでも高くなっており, 粒状や鮮鋭度の変化による好ましさの差が20代以下と比べて小さいと思われる。

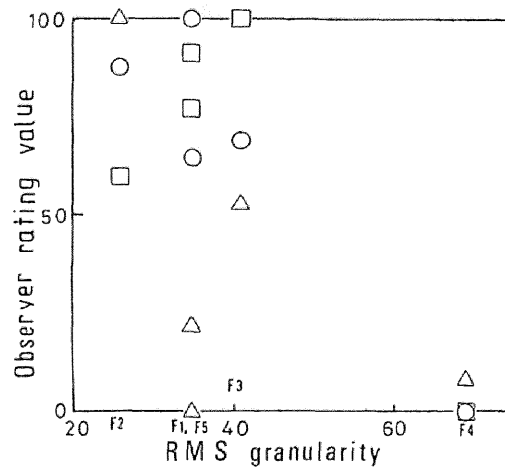


Fig.3-5-2 Plots of RMS granularity and observer rating values of the prints on each scene. Psychological scale values obtained by Thurstone \bar{V} adjusted 1 to 100 in observer rating value(\circ : Scene A, \square : Scene B, \triangle : Scene C).

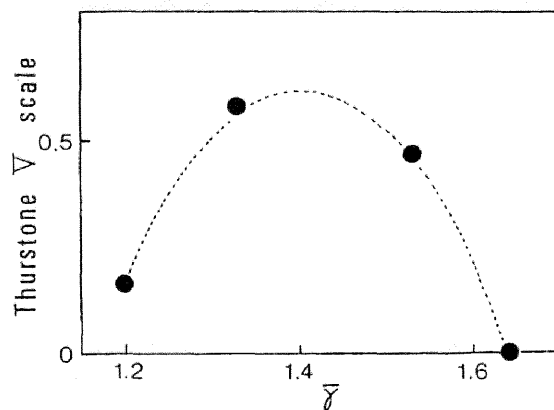


Fig.3-5-3 Regression curve between $\bar{\gamma}$ and psychological scale by Thurstone \bar{V} (Scene A). The best $\bar{\gamma}$ is 1.4.

3.5.4 まとめ

階調・粒状等フィルムに起因する複合要因の評価の結果では、ポートレート（シーン A, B）では ISO25~400 のフィルムからのプリントの差は小さく、一般ユーザーにとって、プリントの粒状等の影響は(RMS 粒状度:26~40 ($D=1.0$), CTF=0.5 の空間周波数で 3.3~2.9 lines/mm)では、ほとんどないと考えられる。階調の面からは、ポートレート（シーン A）で、gray to gray の再現曲線の $\bar{\gamma}=1.4$ 程度が好まれた。

また、年代による差では、40 代以上では、10~20 代に比べて、粒状度および鮮鋭度の変化に対する評価の差が小さい傾向がある。

3.6 物理的画質要因の変化と好ましさの要因

3.6.1 はじめに

本節では3.3節で行った色評価に濃度レベル(L^*)および粒状等の要因を加えて主成分分析を行い、一般ユーザーの好ましさの視点について解析を行った。また、粒状等の評価で関係があると思われる「シーンの複雑さ」について、主観的側面から実験を行った。

3.6.2 実験

3.2.2項(3)④の総合評価用プリントを用いて、一対比較による主観評価を行い、主成分分析を行った。また、男女別および年代別に主成分分析を行い、属性の差について解析した。

3.6.3 主成分分析結果

(1) シーン A

シーン A の固有値および因子負荷量を Table3-6-1 に色票の light skin および gray (N5) の再現色を Fig.3-6-1 に示す。

シーン A では第1から第4主成分までが固有値 1.0 以上、累積寄与率 76.82% となるため、第4主成分までの内容について考察する。

各主成分の因子負荷量と対応するプリントの再現色 (light skin, gray (N5)) の a^* , b^* , \bar{r} , RMS 粒状度, 人物の顔の部分の濃度, 背景および Munsell N5 濃度等との相関を求め主成分の内容について検討した。

第1主成分の因子負荷量と対応するプリントの \bar{r} との相関係数は $r = 0.826$ で、相関は有意 ($\alpha = 0.05$) である (Fig. 3-6-2)。また、第1主成分は Macbeth Color Checker の再現色 (light skin, gray (N5)) の a^* , b^* , \bar{r} , 粒状度および主要部分の濃度と因子負荷量との有意な相関はない。したがって、第1主成分は「階調」を表す成分である。

第2主成分の因子負荷量と色票の再現色 (light skin, gray (N5)) の a^* との相関係数は $r = 0.850$ (light skin), $r = 0.720$ (gray (N5)) で有意 ($\alpha = 0.05$) である (Fig.3-6-3)。また他の特性値との有意な相関はない。したがって、第2主成分は「色調 (red - green)」に関する成分である。

Table 3-6-1 Principal components analysis on Scene A($n=56$); Variables X1 to X10 correspond to observer rating value of print No.1 to 10.

Variable	Factor Loading			
	I	II	III	IV
X1	0.233	0.631	-0.074	-0.606
X2	0.611	0.173	-0.137	0.415
X3	0.419	-0.227	-0.667	-0.430
X4	-0.335	-0.731	-0.441	0.103
X5	0.471	0.506	-0.249	0.266
X6	-0.661	0.239	0.298	-0.405
X7	-0.849	-0.213	-0.093	0.066
X8	0.616	-0.161	0.627	-0.023
X9	0.308	-0.699	0.466	-0.115
X10	-0.599	0.582	0.102	0.308
Eigenvalue	2.929	2.228	1.444	1.082
Cumulative Proportion	0.2929	0.5157	0.6600	0.7682

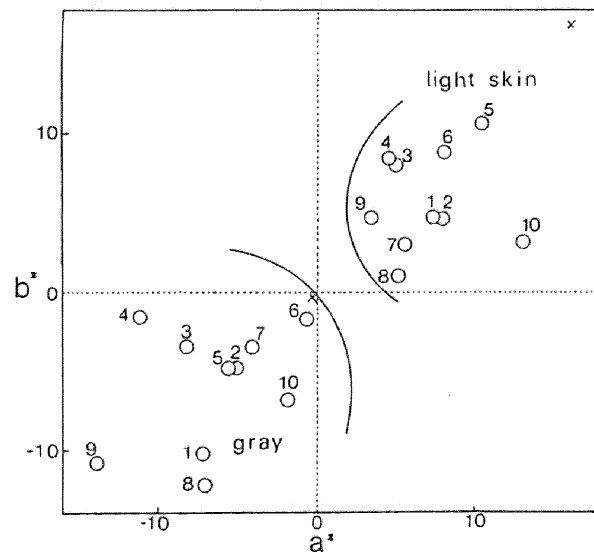


Fig.3-6-1 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene A), which are plotted in the CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space, reference white CIE D_{50} . Numbers from 1 to 10 indicate the print numbers.

×: original color of Macbeth Color Checker

○: reproduced color of Macbeth Color Checker

第3主成分の因子負荷量と色票の gray (N5) の再現色の b^* との相関係数は $r = -0.643$ で有意 ($\alpha=0.05$) である (Fig.3-6-4)。また、有意ではないが、次いで、色票 light skin の再現色の b^* との相関が $r = -0.562$ と高く、特に因子負荷量の絶対値の大きい No.3, 4 と No.8, 9 は Fig.3-6-1 に示すように、 b^* 軸と平行に配置している。なお、他の特性値との有意な相関はない。したがって、第3主成分は「色調 (blue - yellow)」に関する成分である。

第4主成分の因子負荷量とプリントの RMS 粒状度の相関係数は $r = 0.707$ で有意 ($\alpha=0.05$) である (Fig.3-6-5)。また、色調、濃度、階調に関する特性値と有意な相関はない。なお、粒状度と鮮鋭度の相関係数は $r = 0.948$ で、鮮鋭度と第4主成分の因子負荷量の相関係数は $r = 0.782$ となる。パネルの感想からは、粒状とシャープさ双方の指摘があり、第4主成分は「粒状およびシャープさ」に関する成分である。

シーン A では、男女別では大きな差はないが、年代別では「中高年 (40 歳以上)」のグループでは、第1主成分の因子負荷量と「色調 (red - green)」および「顔の部分の濃度」、第2主成分と \bar{a} が有意な相関を示し、「青年 (40 歳未満)」と主成分の順序が入れ代わる。この第1主成分と「顔の部分の濃度」との相関が有意であったことは、1.4 節で 40 歳以上のグループでは「明るさ - 暗さ」の成分が「色調」に優先して抽出されたことと関係があると思われる。

また、シーン A でパネル全体からの主成分分析から「濃度」の要因が抽出されなかったのは、プリントの主要各部分の濃度差が最大となる No.5 - No.7 が、階調の差も最大となったため、「濃度」の要因が「階調」の中に吸収された可能性もあると思われる。

(2) シーン B

シーン B の固有値および因子負荷量を Table3-6-2 に、色票の light skin および gray (N5) の再現色を Fig.3-6-6 に示す。

シーン B では第1から第3主成分までが固有値 1.0 以上、累積寄与率 66.04% である。シーン A と同様に、各主成分の因子負荷量とプリントの写真特性値との相関を求め、有意 ($\alpha=0.05$) な相関を示した特性値から、主成分の内容を検討した。

シーン B の第1主成分の因子負荷量は、「顔の部分の濃度」との相関係数が $r = -0.708$ 、「背景部分の濃度」と $r = -0.672$ で、有意であり、他の特性値と有意な相関はない。したがって、第1主成分は「濃度」に関する成分である。

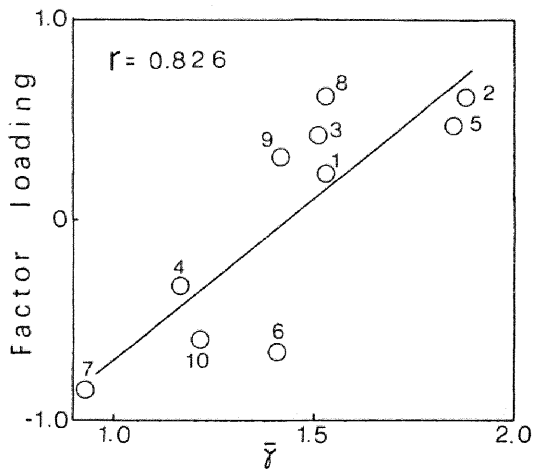


Fig.3-6-2 Relationship between factor loadings on the first component and $\bar{\gamma}$ (SceneA). Numbers from 1 to 10 indicate the print numbers.

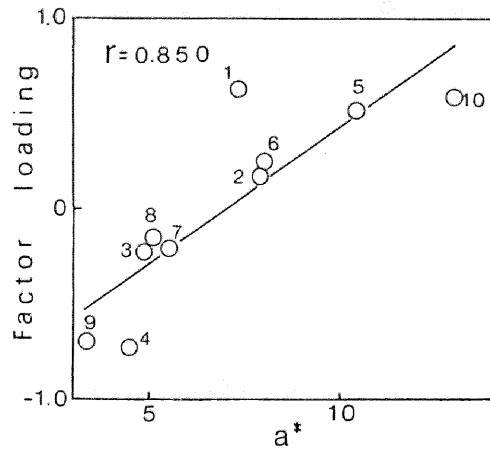


Fig.3-6-3 Relationship between factor loadings on the second component and reproduced colors of Macbeth Color Checker (light skin; Scene A). Numbers from 1 to 10 indicate the print numbers.

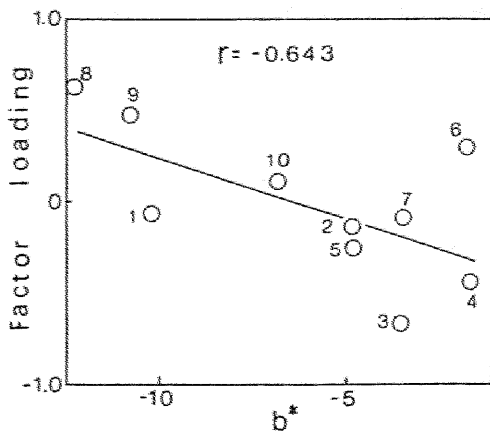


Fig.3-6-4 Relationship between factor loadings on the third component and reproduced colors of Macbeth Color Checker (gray(N5); SceneA). Numbers from 1 to 10 indicate the print numbers.

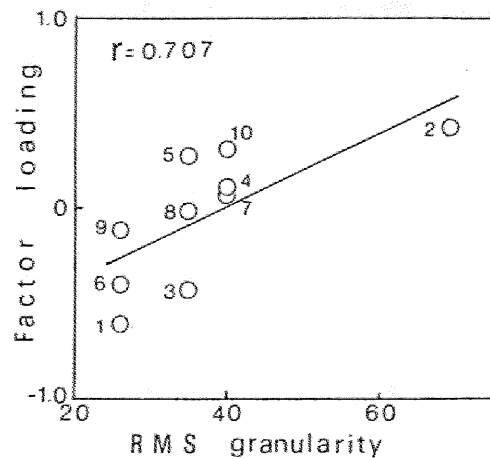


Fig.3-6-5 Relationship between factor loadings on the fourth component and RMS granularity of the test prints (SceneA). Number from 1 to 10 indicate the print number.

Table 3-6-2 Principal components analysis on Scene B($n=50$); Variables X1 to X10 correspond to observer rating value of print No.1 to 10.

Variable	Factor Loading		
	I	II	III
X1	0.766	0.291	0.186
X2	0.861	0.056	0.163
X3	0.420	-0.697	0.100
X4	0.230	-0.779	-0.094
X5	0.316	0.594	-0.464
X6	-0.640	-0.258	-0.433
X7	-0.525	-0.292	0.156
X8	-0.515	0.359	0.601
X9	-0.711	0.175	-0.372
X10	-0.479	-0.011	0.639
Eigenvalue	3.341	1.848	1.415
Cumulative Proportion	0.3341	0.5189	0.6604

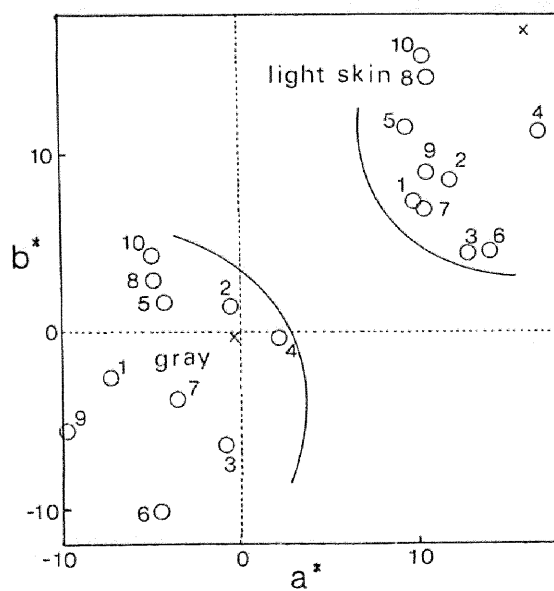


Fig.3-6-6 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene B). Symbols correspond to those in Fig.3-6-1

第2主成分は因子負荷量と色票の再現色の a^* (light skin, gray (N5)) との相関係数が $r = 0.804$ (light skin), $r = 0.659$ (gray (N5)), 粒状度および鮮鋭度との相関係数が $r = 0.695$ (粒状度), $r = 0.791$ (鮮鋭度) と有意である。また, a^* (light skin, gray (N5)) と粒状度および鮮鋭度の間には相関はない。このことは, 第2主成分は粒状および色調の双方を複合した成分で, 「粒状が細かく red 系の色調」又は「粒状が粗く green 系」であるかを表している。

しかし, 男女別および年代別の主成分分析では, 「女性」および「37 歳以上」のグループでは第2主成分の因子負荷量と有意な相関を示したのは a^* (light skin) のみである。それらのグループでは粒状等は第3主成分として抽出される。「男性」および「36 歳以下」のグループでは, 第2主成分と色調, 粒状度双方が有意な相関を示す。このことから, 必ずしも色調と粒状が複合して評価されたのではなく, 色調での評価と粒状性での評価が混在したためによると思われる。

したがって, 第2主成分は「色調 (red - green)」および「粒状」に関する成分であるが, 「色調 (red - green)」の方が主であると思われる。

第3主成分の因子負荷量は, 色票の gray および light skin の再現色の b^* との有意な相関はないが, green の b^* とは有意である。したがって, 第3主成分は green (芝生) の色が青味がかっているか, 黄色がかっているかを表す成分である (Fig.3-6-7)。

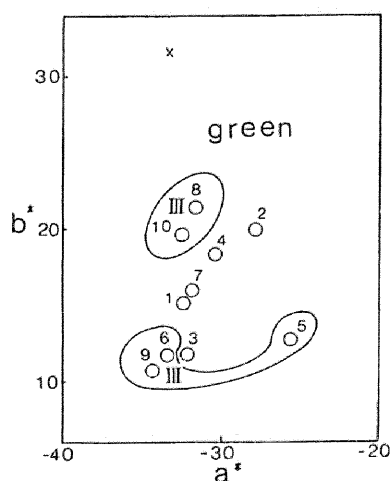


Fig.3-6-7 Reproduced colors of “green” of Macbeth Color Checker (Scene B). The prints in the area III indicate to have significant correlation for the third component.

これは、色調の変化の解析において、シーン B の第 2 主成分として、green の b-y に関する成分が抽出されたことと対応している。また、評価後のパネルの感想で、「芝生の色」と「肌色」の双方の好ましさを評価したとするものも多く、一般ユーザーの評価では、人物が主要被写体であっても肌色以外の部分も評価対象となる場合があることを示している。

(3) シーン C

シーン C は第 5 主成分までで固有値 1.065、累積寄与率は 80.20%となる。

シーン C の固有値および因子負荷量を Table 3-6-3 に、色票の gray (N5) および light skin の再現色を Fig. 3-6-8 に示す。

Table 3-6-3 Principal components analysis on Scene C ($n=53$); Variables X1 to X10 correspond to observer rating value of print No.1 to 10.

Variable	Factor Loading				
	I	II	III	IV	V
X1	0.337	0.520	-0.256	0.486	0.356
X2	-0.443	0.269	-0.429	-0.486	-0.229
X3	-0.016	-0.267	-0.777	-0.111	-0.195
X4	-0.798	0.122	-0.009	0.015	0.474
X5	0.675	-0.041	-0.296	0.441	-0.190
X6	0.741	0.041	0.068	-0.258	0.190
X7	-0.129	0.662	0.569	0.001	-0.220
X8	-0.201	-0.814	0.199	0.120	0.390
X9	0.656	-0.271	0.367	-0.430	-0.064
X10	-0.395	-0.334	0.259	0.431	-0.589
Eigenvalue	2.598	1.717	1.510	1.131	1.065
Cumulative Proportion	0.2598	0.4314	0.5824	0.6956	0.8020

シーン C では、第 1 主成分の因子負荷量と濃度（人物の顔、背景、N5）（ $r=0.833\sim 0.740$ ）および a^* （light skin; $r=0.757$ ）との相関が有意であり第 1 主成分は「高濃度で red 系を好む」又は「低濃度で green 系を好むか」を表す。また、各部分の濃度と a^* （light skin）の相関も有意である。この場合は評価プリントに起因するため濃度と色の分離はできないが、年代別の主成分分析で「37 歳以上」のグループでは「濃度」のみと有意な相関があること、濃度との相関の方が色調より高めであること、およびシーン C では肌色に注目したパネルは少なく、gray の色再現がより注目度が高いと思われるにもかかわらず gray との相関がないことから、「濃度」の方に依存している可能性が高い。

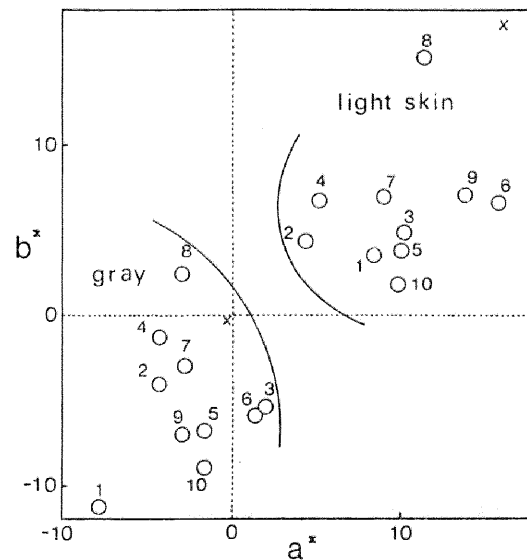


Fig.3-6-8 Reproduced colors of “light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker (Scene C). Symbols correspond to those in Fig.3-6-1

第 2 主成分は \bar{a} と、第 3 主成分は粒状度および鮮鋭度と有意な相関があり、各々「階調」、「粒状およびシャープさ」に関する成分である。

第 4 主成分は各特性値との有意な相関はないが、因子負荷量の正負に着目すると同じフィルムから作成したプリントである No.1, 2 および No.9, 10 に対立的に表れる成分である。因子負荷量が正である No.1, 5, 10 は濃度レベルが中程度であるが、負である No.2, 9 はプリント濃度が低いものと高いものであり、「濃度がミディアムか否か」を表す成分と考えられる。3. 3. 4 項でもシーン A, B の色調についての第 3 主成分で「色がニュートラルであるか否か」の成分が抽出されているが、「濃度」に関しても同様な成分が抽出されたことになる。また、濃度に関して 2 成分が抽出されたことは、このシーンでは濃度が重視されたことを示している。

第 5 主成分は各特性値との有意な相関はないが、色票の再現色 (light skin) の b^* との相関係数が $r=0.565$ と他の特性値 ($r=0.377$ 以下) と比べ高めである。また、因子負荷量の絶対値の高い No.10 と No.8 は同じネガを $b-y$ 方向に変化させて作成したプリントであることから $b-y$ に関する成分と思われる。また、

他のシーンと比べ b-y 成分の寄与率が低かったのは、色調評価で選択率 70%を超えたプリントが b-y 方向に他のシーンより広く分布し、b-y 方向の許容度が高かったことに対応していると思われる。

3.6.4 シーンの複雑さの評価

主観評価 (3.3 節) において、パネルの感想で「シーンの複雑さ」の指摘があることから、シーン A~F についてシーンの「複雑さ~シンプルさ」の主観評価を行い、主観評価値とプリントの「人物の顔の面積」および RGB 成分の空間周波数特性等との関係から「主観的複雑さ」の指標について検討した。空間周波数特性の指標としては、 $f=0.1\sim 10$ c.p.d における高周波成分(H)と低周波成分(L)の比である、H/L 比¹⁵⁾を用いた。

(1) 評価方法

評価プリント：シーン A~E およびシーン F (F-b, F-g, F-y, F-r) で最も色調評価が高かったプリント (2L 判：12.6×17.8cm, ISO400 のフィルムからのプリントを使用) 計 9 枚

評価人数：20 人

評価方法：順位法、「合成標準法」¹⁶⁾により尺度構成。

観察条件：CIE D_{50} に近似した色評価用蛍光灯，2000 lx.

観察距離 50~60cm

周辺条件：Munsell N8

(2) 評価結果

各シーンのパワースペクトルの $f=0.1\sim 10$ c.p.d における H/L 比 (RGB 成分の単純平均値) と主観評価の相関係数が最も高かった $f=0.3$ の例を Table3-6-4 および Fig.3-6-9 に示す。

H/L 比による客観評価の順位は $f=0.3\sim 3$ の範囲で、シーン C が最も高く、シーン D が最も低く、ほぼ同じ傾向を示している。主観評価による順位と比較して特徴的なのは、H/L 比の高いシーン A, B が主観評価では「複雑さ」が低く、H/L 比の低いシーン F-b が客観評価では比較的「複雑さ」が高い結果を得ている。特にシーン A はモデルの服の模様の細かさや、手に持っている花の部分から、高周波成分の高い画像になっていると思われるが、主観的にはむしろ「シンプル」と認識されている。

主観評価ではシーン C, F-r, F-g 等人物の顔の占める割合が小さく、バック

が複雑な画像が上位になり、背景が無地に近く注目する点が限定される画像は主観的にはシンプルな画像と認識される傾向がある。

今回の評価用画像のうち、背景のみが異なるシーン F-r, F-g, F-y, F-b の 5 枚についてのみ同様に H/L 比と主観評価値を求め、相関係数を算出すると $f=0.3, 0.5, 1$ の G 成分で、 $r=0.994\sim 0.997$ と極めて高い値を示したことから、背景のみの変化に限定すれば、 $f=0.3\sim 1$ の G 成分の H/L 比が「主観的複雑さ」に寄与していると考えられる。なお、本実験では、RGB の単純平均と加重平均 (R:G:B = 3:6:1) では、単純平均の方が相関係数が高い傾向があった。

また、比較的顔の占める面積が大きい女性ポートレートであるシーン A, B, D の 3 枚では、主観評価と客観評価の値の順位は一致しており、顔の面積がほぼ同程度の画像については H/L 比を画像の複雑さ指標とできると思われる。ただし、シーン E のような複数の人物写真では客観評価値に比べ主観評価では、「複雑」と認識される傾向があり、1 人当たりの顔の面積が、ひとつの目安となると思われる (Fig.3-6-10)。

Table 3-6-4 Evaluation on the scenes

SCENE		C	B	F-g	F-r	F-b	A	E	F-y	D
scalingZ	Thurstone V	2.734	1.370	1.539	1.871	1.046	1.118	1.244	0.988	0.000
f=0.3	Blue	0.370	0.283	0.214	0.343	0.111	0.331	0.244	0.247	0.188
	Green	0.403	0.357	0.219	0.296	0.143	0.301	0.236	0.118	0.141
	Red	0.396	0.320	0.279	0.234	0.217	0.195	0.189	0.126	0.088
	Simple Ave.	0.390	0.320	0.237	0.291	0.157	0.276	0.223	0.164	0.139

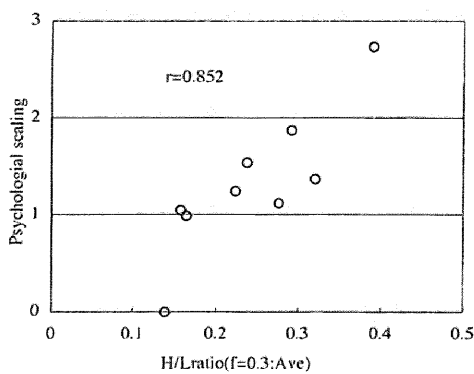


Fig. 3-6-9 Relationship between H/L ratio and psychological scaling.

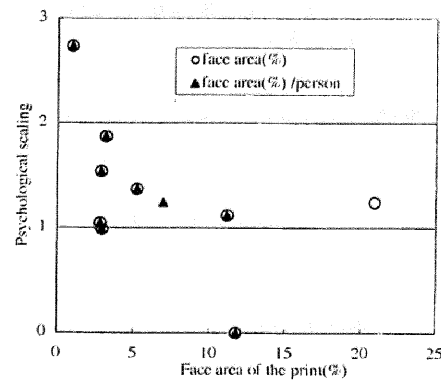


Fig.3-6-10 Relationship between face area (%) and psychological scaling.

(3) 結果概要

人物写真における主観的な画面の「複雑さ」については、1人当りの顔の面積(%)が指標になると考えられる。また、顔の面積が同程度の場合は $f=0.3\sim 1.0$ c.p.d.付近で区分した空間周波数の H/L 比が寄与しており、G 成分との相関が高い。

特に、1人当りの顔の面積(%)が大きいシーンは、画面の H/L 比が高くてもシンプルな画像と認識される傾向がある。

3.6.5 まとめ

色調、階調、濃度レベル、粒状等プリントの物理的画質の変化にともなう「好ましさの要因」の解析を、主成分分析法を用いたところ、3.3.4 項と同様にいずれのシーンについても「色調」に関する要因が r-g, b-y 方向に分離して抽出され、r-g が b-y に優先して抽出された。各シーンで抽出された成分を Table3-6-5 に示す。

シーン C については b-y の要因が他のシーンに比べ小さいのは、b-y 方向に色調評価の選択率が高かったことに (Fig.3-3-4) 対応している。また、シーン B で green 部分についての主成分が抽出されたことも、3.3.4 項で第 2 主成分として green に関する成分が抽出されたことと対応しており、「色調」に関しては他の要因を含んでも基本的な好ましさの構造は変化しない。

「粒状性および鮮鋭さ」の成分についてはシーン B で「色調」と複合して抽出された例もあるが、寄与率は、10~18%の範囲であり、いずれのシーンについても「色調」や「濃度」の寄与の方が高く、現在の 35mm フィルムから 2L 判へのプリントでは、粒状等よりも「色調」「濃度」の影響が大きい。最も粒状が目立つと考えられるシーン A で粒状等の寄与が低いのは、ポートレートでは粒状性の良さが必ずしも良い評価にはつながらないことを意味していると思われる。

また「階調」についてはシーン毎にプリントの \bar{r} の範囲 ($\Delta \bar{r}$; $\Delta \bar{r} \leq \bar{r}_{\max} - \bar{r}_{\min}$) が異なっていたため一定した傾向はないが、「階調」に関する主成分と「粒状…」に関する主成分の寄与率の比から、 $\Delta \bar{r} \geq 0.5\sim 0.6$ では粒状等に優先して主観評価に影響すると推定される。

また、人物を主要被写体としたシーン A, B に対し、シーン C では濃度の要因が 2 成分抽出されたことは、他のシーンに比べ濃度要因が重視されたことを

示しており、評価対象として色が特に着目されるケースでない場合、濃度要因が重要になることがうかがえる。

Table 3-6-5 Principal components of each scene

Principal Components	Scene		
	A	B	C
I	Gradient	Density (face)	Density (Color(r-g))
II	Color(r-g)	Color(r-g)	Gradient
III	Color(b-y)	Graininess & Sharpness Color(b-y)	Graininess & Sharpness
IV	Graininess & Sharpness	-	Density
V	-	-	Color(b-y)

3.7 主観的に受け入れられるプリントの画質条件

3.7.1 各シーンの好ましい色再現

シーン A~C および D, E の結果から好ましい色再現の条件について考察する。

各シーンにおいて色評価で、選択率 67%以上（概ね正規分布の標準偏差相当以上の観測確率）を得たプリントの gray, light skin の再現色(a^* , b^*)の加重平均値を Fig.3-7-1 に示す。

平均値は, Macbeth Color Checker の light skin (original)の h_{ab} に対し+1.4~-28.6° の範囲にある。また, C_{ab}^* はオリジナル（原色票）より低い。プリント全体の色調の偏りの目安となる gray の再現は, $C_{ab}^*=4\sim 10$ ($a^*\leq 0$, かつ $b^*\leq 0$)であり, 特にポートレートでは, gray の blue~green 方向への偏りは, 許容されている。

また, これらの 5 種類のシーンのうち, シーン C を除いて, 最も好ましいとされたプリントが, カラーバランスの中心(No.1)としたプリントより b^* 方向に 1 段階($b^*\cong$)blue 方向 (light skin ではピンク系の方向) にあった。このことは, 一対比較による相対評価であることを考慮すると, 人物を主要被写体とするシーンでは, light skin の再現色が相対的にややピンク系のプリントが好まれているといえる。

シーン D については, フィルムの階調等に関わらず, 色票(light skin)の再現色の h_{ab} がオリジナル（原色票）の値とほぼ等しいプリントの評価が高い。シーン E は, 複数の人物写真で注目する点も多いと考えられるシーンであるが, 好ましいとされたプリントの light skin の再現色(h_{ab})は, シーン A~C に近い。

シーン D については, 肌色以外に着目する色がなく, 評価対象がおのずと限定されるため, 「肌色自体の好ましさ」が評価されたと考えられるが, 一般ユーザーの撮影する人物写真のシーンでは, 肌色が重視されるといえども, 厳密な対応する色再現の実現よりも画面のイメージに合致した再現を求めていると考えられる。

シーン A~E の評価を行ったプリントの人物の肌色部分の測色値を Fig.3-7-2 に示す。ポートレートの女性の肌色 (シーン A, B, D, E) は, $a^*\cong 10$ 付近に集中しており, シーンによって b^* 方向に広がりを見せており, h_{ab} では+18~63° の範囲となっている。なお, シーン E は, 3 名の人物写真であるが, 男性, 女性と膚の色は異なっているが, h_{ab} はほぼ等しく日本人の膚の色の差は概ね C_{ab}^*

および L^* の差と考えられる。このことは、白人、黄色人および黒人の好ましい肌色の差が基本的にクロマの差であること¹⁰⁾ と対応している。

また、好ましいプリントの肌色（女性） L^* は概ね 70~80 の範囲にあり、視感濃度で 0.4~0.25 程度となる。

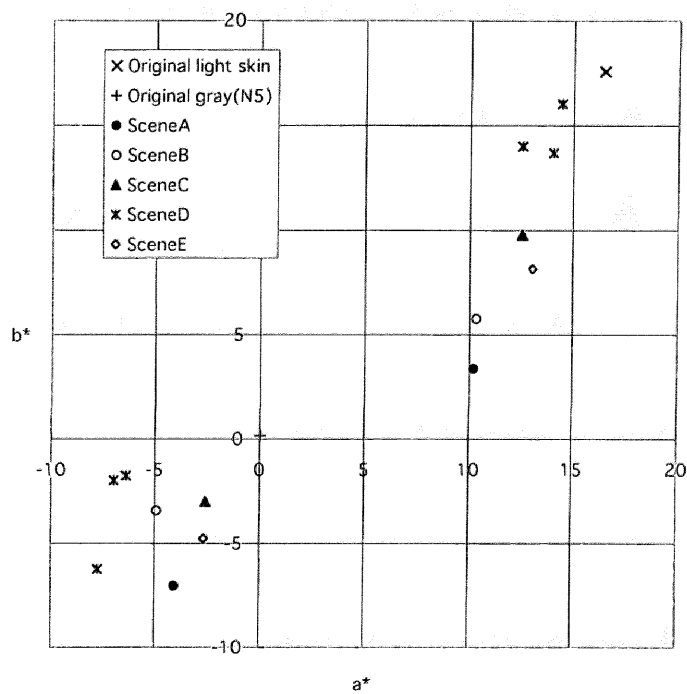


Fig. 3-7-1 “Light skin” and “gray(N5)” of Macbeth Color Checker reproduced in the preferred prints (ratio of choice ≥ 0.67).

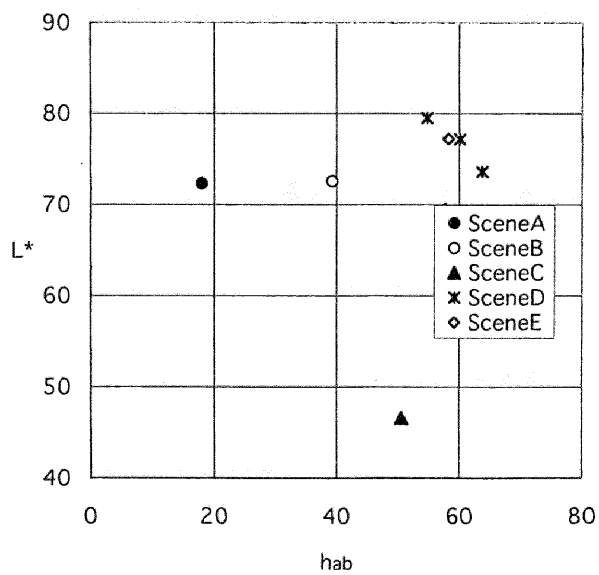
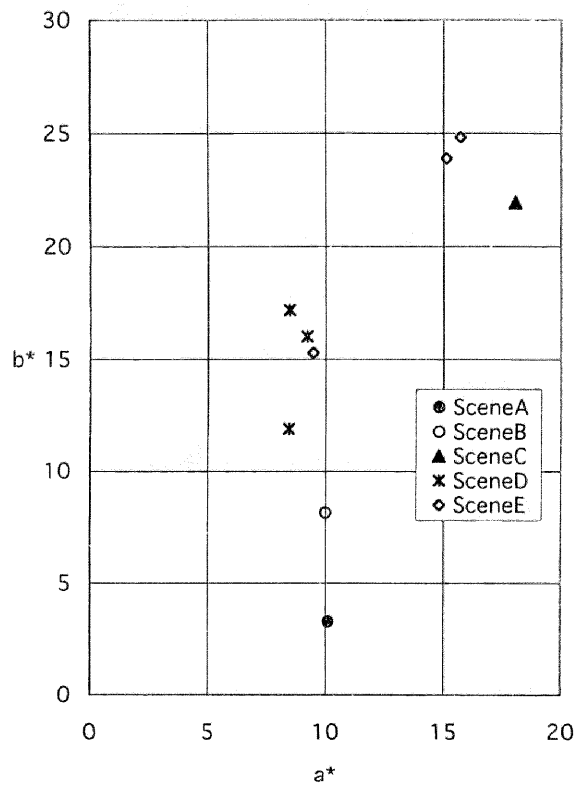


Fig. 3-7-2 Preferred skin colors of each scene.

a) a^*-b^* plane

b) Relationship between h_{ab} and L^*

3.7.2 好ましい再現の条件

好ましいプリントの色(a^*-b^* plane)は、そのシーンで着目される色の再現が重要であるが、一般的なポートレートでは light skin の再現色が原色票 light skin の h_{ab} よりも red 側にあり、かつ gray 部分に赤味が感知されないことが、受け入れられる条件となる。一方、人物が主要なテーマではないプリントではオリジナルに近い再現が求められる。

ポートレートおよび一般被写体では green - magenta 方向の変化に比べて blue - yellow 方向への変化の許容度の方が大きい。特に中高年(40 代以上)では、20 代に比べ広い範囲を受け入れる傾向がある。

濃度レベルは「顔」の部分の濃度が重要であり、頬の部分または Munsell N6.5 の再現濃度などでの濃度コントロールが有効であり、その目安は概ね 0.25～0.45 の範囲内、 L^* で 66～80 程度である。

また、評価者の年代と共に選択率のピークが高濃度方向に 1 段階相当 (Munsell N6.5 で 0.05～0.1) シフトすると共に、濃度レベル毎の選択率の差が小さくなる傾向があり、20 代に比べ 40 代以上では、「N6.5」で 0.05 程度高い方が好ましいとされる。しかし、いずれの年代においても一定以上の濃度レベル (N6.5 の再現濃度 0.45 以上) ではほとんど受け入れられず、低濃度レベル側への許容度が高い。

階調はポートレートでは gray to gray の再現曲線で $\bar{a} = 1.4$ 程度が好まれている。また、シーン C など顔の面積割合が小さく(1%程度)、主観的に、複雑と認識されるシーンでは、鮮鋭度の高いプリントがより求められており、ポートレートより風景が、より高い MTF が要求される¹⁷⁾ことに対応していると思われる。また、40 代以上では、ポートレートにおいて、粒状性や鮮鋭性を 20 代ほどには、重視していない一方、階調を重視する傾向があることは、眼の機能の他、プリントへの接する機会の差など鑑識能力の問題もあると思われる。

3.8 結 言

色の評価に関する主成分分析の結果、いずれのシーンでも第 1 主成分として r-g (a^*)方向の成分が b-y (b^*)方向に優先されて抽出された。また、ポートレートでは、Macbeth Color Checker の light skin の再現色と因子負荷量との相関が高かった。

各種物理要因の総合的变化に対する主成分分析では、「色」「濃度」の寄与が、いずれのシーンでも高く、一般ユーザーが利用する 35 ミリフィルムから 2L 判へのプリントでは、粒状等 (RMS 粒状度 26~40 ($D=1.0$), CTF=0.5 の空間周波数 2.9~3.3 lines/mm) よりも影響が大きい。また、ポートレートでは Macbeth Color Checker の light skin の再現色や人物の顔の部分の濃度との相関が高い成分が抽出されるなど、人物の肌への着目が大きい。

色の好ましきについては、そのシーンで注目される色の再現が重要である。例えば、ポートレートなど、人物を中心とするシーンでは、Macbeth Color Checker の light skin の再現色は、原色票に対し hue-angle が赤味方向にあるものが好まれた。しかし、シーンによっては、肌色のみの好ましきだけでなく、プリント中の特定の色についても評価対象となる場合があり、一般ユーザーのプリントの評価では、総合的に肌色の評価がされていると考えられる。

プリントの肌色については、モデル等シーンによる差が大きく、階調・粒状等の差による好ましい色再現への影響は小さい。同じ図柄の場合、評価者やプリントの階調等による好ましい肌色の違いは、概ね b^* 方向の差である。

主成分分析等により、一般ユーザーのプリントの評価において、肌色への着目が明確になったことから、第 4 章では、「好ましい肌色」に向けて、「肌色」の評価を行い、好ましい肌色を決定する要因について考察する。

参 考 文 献

- 1) 佐藤恭彰, 紀太章, 三宅洋一, "濃度累積密度関数を用いた写真画像の露光制御と色補正", *日本写真学会誌*, **54**(1), 15-24 (1991)
- 2) 山本真理, 友廣淳二, 塩入諭, 久保走一, "主観的画質の解析に関する研究(Ⅱ)", *日本写真学会誌*, **55**(5), 315-324 (1992)
- 3) 山本真理, 友廣淳二, 塩入諭, 久保走一, "主観的画質の解析に関する研究(Ⅲ)", *日本写真学会誌*, **56**(3), 197-204 (1993)
- 4) 山本真理, 久保走一, "主観的に受け入れられる写真プリントの画質条件", *日本写真芸術学会誌*, **2**(1), 45-53 (1994).
- 5) ISO5/1-1984 Photography - Density measurements - Part I : Terms, Symbols and notations
- 6) JIS K 7612-1986 3.7
- 7) 奥野忠一他, "多変量解析法", *日科技連*, 1988, p194
- 8) 小暮慎二, "飽和度識別能に関する研究第1報 正常者の色覚について", *日本眼科学会誌*, **84**, 537-544 (1980)
- 9) 羽石秀昭, 明道正博, 三宅洋一, "ハードコピーにおける好ましい肌色再現(Ⅰ)", *日本写真学会誌*, **56**(2), 123-127 (1993)
- 10) 浅田卓哉, 坂上光一, 羽石秀昭, 三宅洋一, "ハードコピーにおける好ましい肌色再現(Ⅱ)", *日本写真学会誌*, **57**(6), 399-402 (1994)
- 11) 荻上直子, "ポートレート写真の評価における背景の影響", 千葉大学工学部画像工学科 画像工学情報講座 視覚工学分野 1993年度卒業論文
- 12) ギルフォード著(秋重義治監訳), "精神測定法", 培風館, 1959, p.191
- 13) 相場 覚, "現代基礎心理学2", 東京大学出版会, 1982, p.195
- 14) 山本真理, "主観的画質の解析に関する研究(Ⅰ)" *日本写真学会誌*, **54**(2), 136-142 (1991)
- 15) K.Nakajima, T.Ikeda, S. Shioiri, H. Arai, and S. Kubo, "Suitable ΔD for Tone Reproduction and Spatial Frequency of Images", *Journal of Imaging Science and Technology*, **38**(1), 40-43 (1994)
- 16) ギルフォード著(秋重義治監訳), "精神測定法", 培風館, 1959, p.229
- 17) H.Frieser and K.Biedermann, "Experiments on Image Quality in Relation to Modulation-Transfer Function and Graininess of Photographs", *Photographic Science and Engineering*, **7**(1), 28-33 (1963)

第4章 好ましい肌色を決定する要因

4.1 緒言

4.1.1 肌色評価

本章では、プリントの評価で重要視される「肌色」の好ましきについて主観評価を行う。また、評価者の属性等から「好ましい肌色」を決定する要因について考察する。

評価者の属性による色の好みについては、年代、性別の他、地域性などの観点からの研究が行われ、地理的文化的影響が指摘¹⁾されている。好ましい肌色については、Bartlesonの「肌の natural color より記憶色」に近いとする研究²⁾があるが、鈴木は、好ましい肌色に対する人種間の比較等の研究³⁾を行ない、黄色人種（日本人）と白人では肌色の許容範囲に差があり、記憶色との関係について報告している。これらのことから、肌色の好ましきが「肌の記憶色」により決定されるものならば、同じ黄色人種間では、好ましい肌色はほとんど差がないことが考えられる。

本章では、同じ黄色人種で同じ文化的背景をもつ日本中国韓国（以下「日中韓」と記す。）の大学生をパネルとして、好ましい肌色を決定する要因について考察した⁴⁾。特に、地理的文化的に近い日韓については、全年代を通じて比較⁵⁾を行った。

また、第3章までは、一般ユーザーの実態に即した評価を行うため、カラーフィルムからのプリントによる実験を行ってきたが、肌色のみを系統的に変化させるのには限界があること、および近年急速なデジタル写真の一般ユーザーへの普及の現状から、本章の実験では、デジタルデータを用い、画像の肌色部分のみを変化させたプリントにより実験を行った。また、評価画像は、シーンの問題を考慮し、SCIDの肌色評価用の画像であるポートレート(N1)⁶⁾を使用して属性による相対的比較を行った。なお、第3章ではフィルムからのプリントのコントロール要因として濃度レベルでの評価を行ってきたが、本章では特定部分の系統的な色変化(L^*)の一環として相当範囲の評価を行った。

4.1.2 評価方法について

(1) 一対比較法の長所と短所

第3章までの評価実験では、原則として初心者でも判断しやすい一対比較法で行ってきた。一対比較法は、2つの刺激（画像）を比較し、優劣を判断する評価方法であり、微少な差でも鋭敏に反応する長所があるが、全組合せについて比較判断するため、多数の画像を評価する場合、時間がかかり、評価者の負担が多いという問題点がある。また、相対的な差を検出するには、きわめて有効であるが、絶対評価ではなく、特に、主観的に同程度である場合もどちらかに判断をしなくてはならないという欠点がある。

(2) 一対比較法と他の評価方法の結果について

一対比較法と系列カテゴリ法による比較については、両者から得られたデータについて、本質的な差がない⁷⁾とされている。また、第3章の補足実験においてパネルの負担を軽減するため、シーン D、E の色評価の実験では、上位2枚を選択する選択法を採用した。

選択法は、順位法の極端な事例ともいえ、順位を目的にしたものであり、個々のパネルの判断数は少ないが、尺度化には判断者が多いことが必要とされる。尺度化の手続きを適用するには、刺激ごとの平均選択数が50を下回らない事態に限るのが良い⁸⁾とされている。この基準を基にすると、例えば10枚から上位2枚の選択では、尺度化には250人のパネルが必要となる。

シーン A~C の色評価のデータ（一対比較法）を用いて、一対比較の全データからの選択率と上位2枚のデータからの選択率を比較したものを Fig.4-1-1 に示す。

上位2枚の選択法では、上位のプリントは、全データを比較した一対比較と差がないが、一対比較の選択率50%以下のプリントについては、選択率がほとんど0となる。したがって、上位のプリントを決定するには、効率的であるが、全プリントの順位付けはできない。

なお、順位法（合成標準法）⁹⁾と一対比較法（Thurstone V）の双方の評価を行い尺度構成した例を Fig.4-1-2 に示すが、 $r=0.999$ と極めて高い相関を示した。

一対比較法は、第3章の色評価の実験(13枚)では、78回の比較を行っており、パネルの疲労等を考慮すると、一般ユーザーを対象とした実験では、評価枚数は限度に近いと考えられる。また、順位法についても、順位付けに困難を生じると考えられるため、多数のサンプルの評価ができて、評価者の負担が少ない方法で、しかも絶対値の比較ができる方法が必要とされる。そこで、多数の画

像の評価を効率的に行う新しい評価方法¹⁰⁾について検討した。

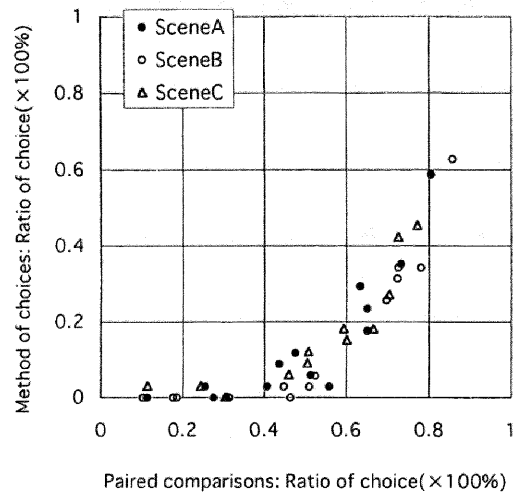


Fig.4-1-2 Relationship between paired comparison and rank order.

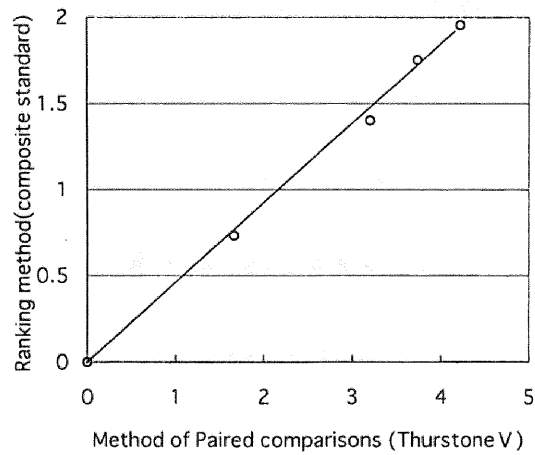


Fig.4-1-1 Relationship between paired comparison and method of choice.

4.2 画質の新主観評価方法について

4.2.1 はじめに

画質の主観評価の方法としては、一対比較法、系列カテゴリー法等が多く用いられているが¹¹⁻¹⁴⁾いずれもランダムに提示される画像について評価し、心理尺度構成が行われる。

カラープリントの主観評価では、 $L^*a^*b^*$ 等複数の各画質要因を系統的に変化させ膨大な数の画像を評価する必要があることがある。

「好ましい肌色」など、嗜好型パネル¹⁵⁾による評価では、未熟練者でも容易な評価方法で多数のパネルを用いることが望まれる。一対比較法ではサンプル数を n とすると評価回数が $n(n-1)/2$ となり、15枚の評価でも105回の比較が必要でありパネルの疲労等の問題から困難をきたすことがある。また、一対比較法は相対評価であるため、パネル間のデータの比較において選択度数の一致が必ずしも絶対的な評価の一致とならない。

一方、系列カテゴリー法では系列的カテゴリーに基づく絶対評価が可能であるが、基準とする画像がない場合、未熟練者には判断等が困難になることもある。

ここでは、多数の画像を系列的カテゴリーにより効率的に評価するために、評価用画像を要因の変化に従い、系統的に一覧表に配置した「系統的配置法」を開発し、その有効性について検討した。

4.2.2 系統的配置法について

ここで提案する系統的配置法は、A3サイズ1枚の画面に評価用プリント36枚を、プリント中の人物の肌色部分のクロマチックネス指数 a^*, b^* の変化に従い、系統的に配置したものであり、全画像が一覧できるのが特徴である。そのため本方法では、パネルは個々の画像について、全体と比較しながら、容易に系列カテゴリーによる評価を行うことができる。

しかし、1画面に多くの評価用プリントが配置されるため、必然的に個々の評価対象画像が小さくなり、一般に流通しているL判や2L判に比べ視野の影響および周辺画像の色による対比等の影響が考えられる。

画像中の肌色の面積比や、背景の色の影響等については、いずれも好ましい肌色に明らかな影響はないとされている^{12),16)}が、プリントサイズ自体の主観評

価への影響についての検討はなされていない。また多数の評価プリントを1画面に配置した場合、対比効果など色の影響のみではなく、中央に配置されたプリントが注目されやすいなどの心理的影響により評価値に偏りを生じることも考えられる。

そこで本法の有効性の評価については、評価時間および従来法(3.2 節)とは異なる画像サイズの影響、観察方法の影響を検定することにより行った。

4.2.3 実験方法

実験に使用した4組の評価用プリントのサイズ、色の範囲等について、Table 4-2-1 に示す。

Table 4-2-1 Sample prints

	TEST 1		TEST 2	
	SET I	SET II	SET III	SET IV
SIZE(cm)	16.0×11.5	6.5×4.6	6.5×4.6	(6.5×4.6)
Number of Test Print	14	14	36	36 prints/1 sheet(JIS A3)
Chromaticity	$L^*=73$ $a^*=12\sim 20 (\Delta a^*\cong 2)$ $b^*=7\sim 21 (\Delta b^*\cong 4)$		$L^*=73$ $a^*=10\sim 22 (\Delta a^*\cong 2)$ $b^*=2\sim 25 (\Delta b^*\cong 4)$	

SET(I and II) and SET(III and IV) were used for test of influence of print size (TEST1) and the presentation method (TEST2) upon evaluation time, respectively.

評価用プリントは女性ポートレートで人物の肌色部分の a^*, b^* を変化させたものである。1段階の変化量は今までの実験(3.3 節)での変化量を参考に $\Delta a^*\cong 2$, $\Delta b^*\cong 4$ とした。

SET I は写真プリントの 2L 判相当(16.0×11.5 cm)の大きさのものである。

SET II は SET I と同一色でサイズのみが 1/6(6.5×4.6 cm)となっている。

SET III は SET II と同一サイズで、SET II の 14 枚の色を含む範囲の画像である。

SET IV は SET III の 36 枚のプリントを A3 サイズの 1 画面に肌色の a^*, b^* に従い、系統的に配置したものである。

なお、SET I, II の肌色の色は SET III, SET IV の内から a^*-b^* 平面上で中心部分に存在する 14 枚と同一のものである。したがって、SET II の 14 枚と全く同一の画像が SET III に含まれることになる。

SETIV以外の評価用プリントは、ランダムな順序で重ねられた状態でパネルに渡される。

なお、評価用プリントの肌色部分の色の設定に当たっては、これまでの実験結果(3.3節)等を参考にして決定した。

また、これらの実験でパネルは評価用プリントの各組 (SET)について画像評価を行うことになるが、実験実施の順序については、パネルの学習効果を考慮し、パネルごとに実施する組の順序を変化させた。

評価用プリント各組共通の実験条件は次のとおりである。

(実験条件)

評価画像：SCID 画像⁶⁾「ポートレート」の肌色部分の色のみ変化させた画像

出力：銀塩プリント, 200dpi, 24bit

パネル：大学生 27 人 (男性 26 人, 女性 1 人)

観察条件：色評価用蛍光灯 D_{50} , 2000 lx.

評価方法：5 段階系列カテゴリー法(Table 4-2-2)により「肌色の好ましき」について評価

測色：分光測色計, D_{50} , 2 度視野

観察距離：特に指定しない

Table 4-2-2 Five categories and corresponding scores

Category	Score
Excellent	5
Good	4
Fair	3
Poor	2
Bad	1

4.2.4 結果および考察

各組の評価時間の比較結果について Fig.4-2-1, 4-2-2 に示す。

Fig.4-2-1 は、同じパネルの SET I および SET II (画面サイズの差), Fig.4-2-2 は SET III および SET IV (提示方法の差) における評価時間を比較できるように、それぞれで要した時間を縦軸および横軸にとり、プロットした。このプロット

が原点を通る傾き 45 度の直線上にあれば両方法による評価時間の差はないことを表わす。

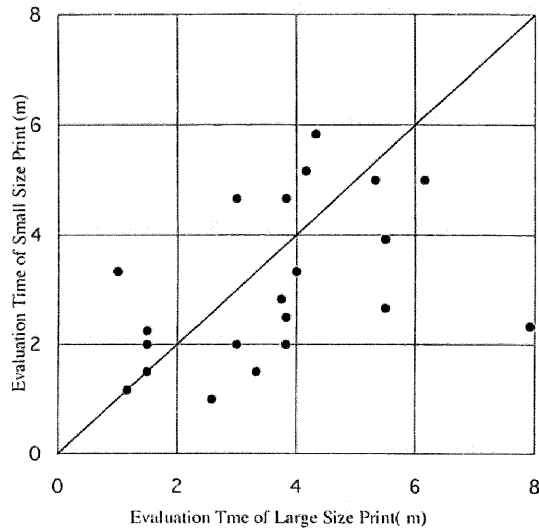


Fig.4-2-1 Plot of evaluation time of large print vs. small print for each panel. Difference in the mean evaluation time between the two print sizes was small.

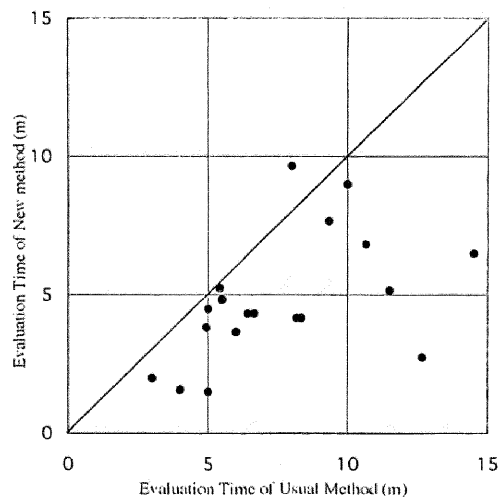


Fig.4-2-2 Plot of evaluation time of the new method, "systematic arrangement method" vs. a usual successive categories method. Evaluation time with the new method shortened by ca.36% compared with the usual method.

画面サイズの差 (SET I, II) の検定については評価時間の平均値に有意差がない ($\alpha=0.05$) のに対し、提示方法の差 (SET III, IV) については、SET III の評価時間のパネル平均値 7 分 38 秒に対し SET IV では 4 分 49 秒と有意差を生じ (t 検定, $\alpha=0.05$)、系統的配置法 (SET IV) では従来法の約 60% の時間で評価が終了する。特に従来法で評価時間の長いパネルについて、短縮化が著しい傾向が見られた。また、パネルから系統的配置法の方が判断しやすいとの感想もあった。

以上のことから、系統的配置法は未熟練のパネルを用い、多数の画像の主観評価を効率的に行う場合に、有効な方法と考えられる。

また、画面サイズおよび提示方法が主観評価結果に与える影響について検討すべき内容として次のことが考えられる。

- (1) 各プリントの評価得点の分布
- (2) 各比較検討における対応するプリントの評価得点の相関係数の有意性
- (3) 各プリントに対するパネル評価得点の母平均の差
- (4) 各パネルの評価得点から算出した好ましさの中心の a^*, b^* 値の変化
- (5) 一覧表に配置することによる系統的偏り

これらのうち(1)~(3)の事項については、次の 2 点について統計的検定等を行った。いずれも危険率 5% である。

① SET I, II (画面サイズの影響)

② SET III, SET IV (提示方法の影響)

(1) については、分割表により各プリントの評価得点の期待度数と実際の評価得点 (観測度数) の適合性について χ^2 検定を行った。

(4) の好ましさの中心の変化については、 a^*-b^* 平面上において、各パネルの評価得点の等高線を楕円近似することにより各パネル毎に「好ましさの中心」を求め、SET III, SET IV の平均値の差を比較した。

(5) は a^*-b^* 平面上で、SET III, SET IV での「各パネルの好ましさの中心」の変化ベクトルを、SET IV の sheet の中心画像に相当する座標を原点とし、中心方向と接線方向に成分分解し、中心方向の移動量が有意であるかの検定を行った。

検定結果の一覧を Table 4-2-2 に示す。

(1)~(3) の検定では、(3) の各プリントの評価得点の母平均では「①画面サイズの比較」で 1 枚、「②提示方法の比較」で 2 枚のプリントで有意差が生じたが、(1) の分布割合の適合性および(2) の相関の有意性については、棄却されず、評価得点の全体の分布パターンからは、従来型の系列カテゴリー法との整合性を

保持できる。

Table 4-2-3 Test of significant difference

	TEST 1	TEST 2
(1) Goodness of Fit (distribution of observer rating value)	Not Significant	Not Significant
(2) Correlation Coefficient(significance test)	Significant	Significant
(3) Mean of Observer Rating Value (each print)	1/14 Rejection	2/36 Rejection
(4) Center of Preference(a^* - b^* plane)	Not Significant	Not Significant
(5) Central Shift of Preference Caused by Using Systematic-Arrangement Method	—	Not Significant

(1): χ^2 -test, (2)~(5): t -test ($\alpha=0.05$)

また、画面の中心方向への好ましさの中心のシフトなど一覧表への配置による系統的な偏り ((4), (5)) については、有意性のない範囲であった。

なお、実験では、肌色部分が評価対象となるが、本画像の肌色周辺は gray 等 neutral な色が支配的で、隣に配置された画像と肌色部分が接することはなく、隣接画像の影響を比較的受けにくい状態であった。このことを考慮すると、画質評価への本方法の適用に当たっては、さらに検討を要するケースもある。

また、本評価方法では、ある色領域で、同一評価得点となる画像がまとまって出現することがあるため、最高点の座標の確定には適当でないケースも予想される。しかし、相対的傾向を見る手段としては、色以外の画質評価においても有効と思われる。

また、さらに a^* - b^* 方向に多数の主観評価を必要とする場合や、 L^* の要因を加え 3 次元的方向に拡張する場合についても数枚の一覧表に補正のための指標等を入れることにより対応可能と思われる。

4.2.5 まとめ

多数の画像を効率的に評価する方法として、画質要因を系統的に変化させ、一覧表として配置する方法について、従来法と比較したところ、パネルテストの時間の短縮化に有効であり、評価結果も整合性を保持できる。

特に、画質要因を系統的にコントロールでき、評価値も連続的变化が予想される場合、微妙な変化に対する評価を必要とする場合、および未経験者を対象とする場合などはパネルテストの効率化に有効と考えられる。

4.3 好ましい肌色の地域性（日中韓を対象として）について

4.3.1 はじめに

カラー写真の肌の色の好ましい再現については、多くの研究課題となってきた。Evans らは、「色はどう再現されるべきであるか」という色再現の基本的問題を提起¹⁷⁾しており、それに対して Bartleson が、肌色や青空および草の再現について測色の観点で実験を行った²⁾。それによれば、顔の色の好ましい色は、肌色の記憶色の平均値と同じ色度であり、知覚的にも統計的にも平均的な白人の肌の色度と異なっていた。一方、青空や草の好ましい色は平均的な自然の色と同じ hue であり知覚的統計的に対応する記憶色の平均値とは、異なっていることが示された。即ち、好ましい青空の再現は記憶色に比べ「より」青紫であり、草は低彩度において「より」黄緑であった。そして、記憶色は好ましい色再現を決定する十分な判断基準ではないと結論づけた。

その後 Hunt らは、青空や草や白人の肌の好ましい再現について典型的な近代のカラー写真を使って実験を行い¹⁸⁾過去の研究と比較した。プリントでは、好ましい青空は平均的な実際の空よりも刺激純度が高く、好ましい草や白人の肌色は平均的なサンプルと比較して刺激純度は同程度であるが、わずかに黄色がかっていることがわかった。これらの結果から、写真プリントにおける記憶色の好ましい再現は、出力装置の色域の広さやカラー処理がより洗練されるなど、技術の進歩につれて変わるものであるとしている。

また、小椋は、一般に普及しているインクジェットプリンターを用いて、光沢紙と専用コート紙における好ましい肌色の比較を行っている¹⁹⁾。この結果では、光沢紙の方が好ましい肌色の L^* が低く、コントラストや色域の相違が指摘されている。

多くの研究において、プリントの好ましい肌色は、例えば被写体の人種¹⁶⁾や年齢^{20,21)}などのシーンによる影響だけではなく、評価者の年齢²⁰⁾や人種³⁾などの属性によって影響することが指摘されている。

浅田らが行った被写体の人種による好ましい肌色の比較¹⁶⁾では、日本人が白人と黄色人種と黒人の画像の肌色を評価しているが、好ましい再現は基本的に chroma と lightness の違いに基づいており、hue によらないと報告している。

一方、鈴木による、好ましい肌色による人種（評価者）間の差の研究³⁾では、黄色人（日本人）は白人より赤味がかった肌色を許容するのに対し、白人は黄

色人種よりも黄色がかった肌色を許容するとしている。また、好ましい肌色を決定する要因は自分自身のイメージしている肌の色の記憶色に基づく願望等自己認識であるとしている²³⁾。

評価者の年代による好みでは、小林らが評価者の年代とモデルの年代相互の関係から、年代による特色を報告している²⁰⁾。

齊藤は、被験者にカラーチャートから最も好きな色3色と、最も嫌いな3色を選ばせる方法により、東京、ソウルおよびタイペイで色の好みの調査を行い、年齢や性別に加えて、文化や環境の反映である色から連想されるイメージが好みに影響を与えていることを報告¹⁾している。

本章では、同じ黄色人種であり、同じ東アジア文化圏に属する、日本、中国、韓国において、カラープリントにおける好ましい肌色の比較研究を行ったものである。パネルは全てアジア人で、大学生については、画像工学を学んでいる主に20代前半の学生である。大学は全て比較的大都市であり、温帯地域にあるなど類似した条件にある。

また、日韓については、大学生(20代)のほか10代および30代~60才代までの全年代について比較を行った。

これらの結果から3地域(国)での好ましい肌色を比較し、好ましい肌色を決定する要因が、肌の記憶色によるものか、地域(国)の文化的要因等によるものかについて検討を行うこととする。

4.3.2 実験方法

(1) サンプルの作成

評価に使った画像は、SCID⁶⁾(ISO/JIS Standard Colour Image Data)のportrait(N1)(肌色の評価用の女性ポートレート)である(Fig.4-3-1)。肌色は、CIE 1976 $L^*a^*b^*$ color space においてルックアップテーブル ($L^* \cong 70 \sim 84 (\Delta L^* \cong 4)$, $a^* \cong 10 \sim 20 (\Delta a^* \cong 2)$, $b^* \cong 5 \sim 30 (\Delta b^* \cong 4)$)により規則的に配置するように系統的に変化させた。肌色の範囲は3.2節および4.2節を参考に決定した。なお、第3章の濃度要因については、 $L^*a^*b^*$ 空間での相当範囲(L^*)で設定した。サンプル数は180枚でサイズは6.5cm × 4.5cmである。プリントは、Fuji Photo film Pictography PG 3000 printer を用い200 dpi で出力した。

(2) サンプルの提示方法

180枚のプリントは、 L^* 値に基づき36枚づつ5段階に分類した。各 L^* 毎の36

枚(6×6)のプリントは 32.9 cm × 48.3 cm (JIS A3)のボードに a^* 値が横軸方向に b^* が縦軸方向にほぼ等間隔で変化するように配置した。また, Reference Board は, 得点を補正するために用意した。Reference Board は, 6行5列のプリントからなり, 各列は Board 1 から 5 の各ボードの中央の列をピックアップしたものである。



Fig. 4-3-1 A sample for evaluation.

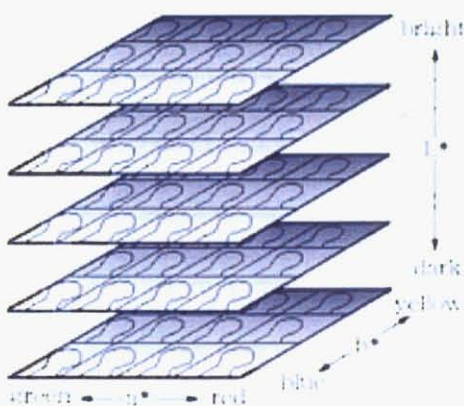


Fig.4-3-2 Arrangement of prints

主観評価の方法は 4. 2 節で提案したものである。プリントの配置の例は Fig.4-3-2 に示す。

系統的配置法では、一度に多くのサンプルを見ることができるので、評価に当ってのパネルの負担が小さく、単刺激の系列カテゴリー法に比べ評価時間が短縮され、しかもスコアに系統的な偏りがないという長所がある。

(3) 評価

主観評価は 6 枚のボードにある合計 210 の各サンプルについて 5 段階系列カテゴリーで評価を行った。5 段階の系列カテゴリーは、Table4-3-1 に示す。最初に、評価者は補正用の Reference Board について評価を行い、その後 Board1 から 5 についてランダムな順で評価を行った。

Table 4-3-1 Five categories and corresponding scores

Category	Score
Excellent	5
Good	4
Fair	3
Poor	2
Bad	1

パネルは、日本（千葉大）、中国（Chongju, 黄河中流）および韓国(Chonan, ソウルから 90km 南) の 20 代初めの大学生、および大学周辺の 10~60 代までの一般ユーザーであり、年代毎に男女比がほぼ等しくなるよう配慮した。

また、外国での評価に当っては、日本と同一条件で行えるように、パネルへの説明をはじめとしたマニュアルを作成し、評価用照明器具等とともに送付した。マニュアルは日本語であり、現地での実験は、日本で画像教育を受けた中国人および韓国人の大学教官が実施した。

(観察条件)

東芝色評価用蛍光灯, 5,000K, 2,000Lx.

周辺条件 ; Neutral gray (Munsell N5)

観察距離 ; 指定しない。

(4) サンプルの測色

装置 : MINOLTA CM-1000R

条件： D_{50} , 2 度視野, $d/0$

CIE 1976 $L^*a^*b^*$ 色空間

測色に用いたのは、サンプル画像のモデルの顔や手から 1 pixel ずつ 100 箇所から合計 100pixel をピックアップしたパッチを作成した。パッチは解像度を低くして、色を均一化したものをカラーメーターで測色した。

(5) 評価データの補正

系統的配置法では、観測者は 1 枚のボード上にあるサンプルを相対的に一貫して評価できるという利点があるが、サンプルの評価は周辺のサンプルに影響されるため、ボード間で一貫性を保つことは困難であると考えられる。そのため、BOARD(Reference board)の評価データから BOARD1~5 のスコアを補正した。

1 次補正は、各ボード (BOARD1~5) のスコアは各ボードの中央の列のスコアの合計と対応する補正用 BOARD の列の合計の比で補正した。

(1 次補正)

補正用 Board のサンプルのスコアを r_{ij} ($i=1$ to 5, $j=1$ to 6), BOARD n のスコアを x_{nij} ($i,j=1$ to 6, $n=1$ to 5) とすると,

補正用 Board の n 列の平均値： $r_n = \sum r_{in}/6$ ($i=1$ to 6)

BOARD n の第 4 列の平均値： $x_{nd} = \sum x_{id}/6$ ($i=1$ to 6)

また、BOARD n の 1 次補正係数を $k_n = r_n/x_{nd}$ とすると,

1 次補正值： $X_{nij} = k_n x_{nij}$

2 次補正では、各評価者のスコアの合計が変化しないように、評価者のスコアの生データの合計と 1 次補正後のスコアの合計の比で補正した。

(2 次補正)

BOARD n の生データの合計： $n = \sum x_{nij}$

BOARD n の 1 次補正後の合計： $n = \sum X_{nij}$ とした時

BOARD n の 2 次補正係数を $m_n = \sum x_{nij} / \sum X_{nij}$ とすると

2 次補正值： $y_{nij} = m_n X_{nij}$

4.3.3 日中韓大学生の好ましい肌色

(1) はじめに

ここでは、同じ黄色人種であり、同じ文化的背景を持ち、画像に関する知識を持つ 20 代前半の日中韓の大学生を対象に行うことにより、パネルの属性（地

域) による好ましい肌色について, 検討を行うことを目的とした。

日中韓のパネルの人数は, 国ごと, 男女別にほぼ同人数とした。

(パネル数)

日本人: 大学生 60 名 (男性 30, 女性 30)

中国人: 大学生 65 名 (男性 32, 女性 33)

韓国人: 大学生 60 名 (男性 29, 女性 31)

(2) 日中韓大学生における許容率 50%以上のサンプルの L^* , h_{ab} および C_{ab}^*

プリントの許容率は, プリントのスコアを 3 以上と評価した人数の割合 (%) とした。

各国の許容率 50%以上のサンプルを a^*-b^* plane 上での分布を Fig.4-3-3~4-3-5 に示す。これらのサンプルの L^* , a^* , b^* , h_{ab} および C_{ab}^* の平均値を Table4-3-2 に示す。平均値は, 単純平均と加重平均で差がなかったため, サンプルの L^* , a^* , b^* の単純平均を用いた。

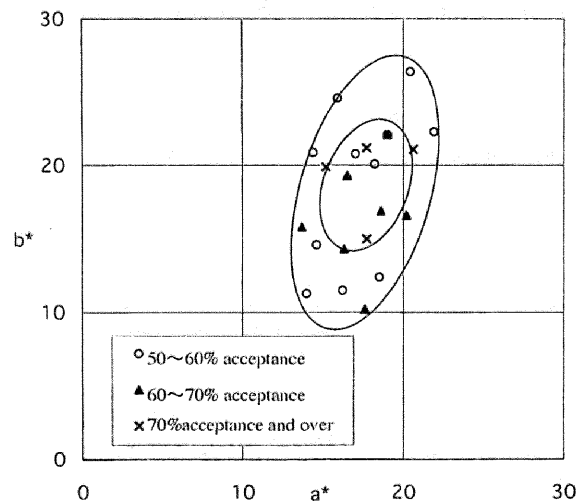


Fig.4-3-3 Distribution of flesh colors accepted by Japanese students. The contours approximate the locus of the 50% and 70% acceptance rates.

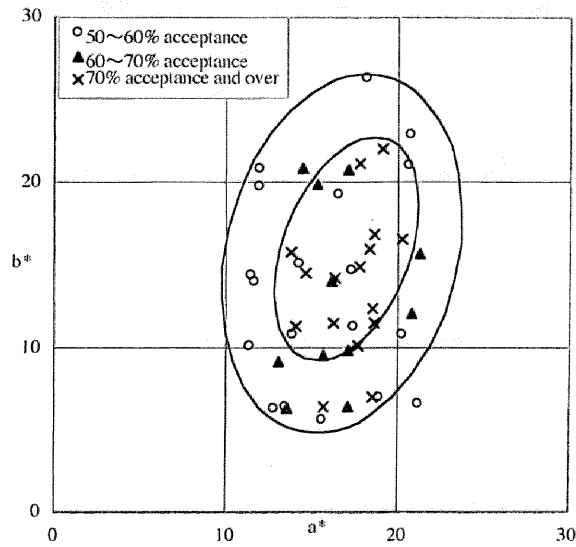


Fig.4-3-4 Distribution of flesh colors accepted by Chinese students. The contours approximate the locus of the 50% and 70% acceptance rates. The ellipses for each acceptance level show almost concentric ellipses.

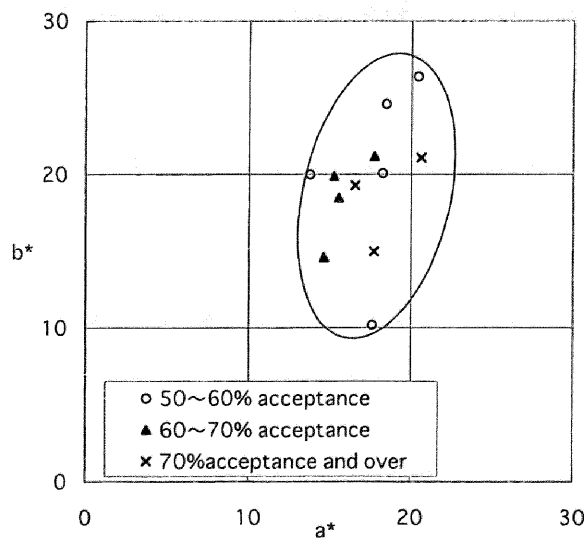


Fig.4-3-5 Distribution of flesh colors accepted by Korean students. The contour approximates the locus of the 50% acceptance rate.

Table 4-3-2 The mean values of flesh colors (50% acceptance and over)

		L^*	a^*	b^*	h_{ab}	C_{ab}^*
Japanese	mean	76.98	17.43	18.29	45.70	25.43
	$n=23$ σ	2.51	2.22	4.48	6.99	4.02
Korean	mean	74.88	17.18	19.24	47.69	25.94
	$n=12$ σ	3.52	2.16	4.39	6.93	3.92
Chinese	mean	78.12	16.40	13.74	38.70	21.81
	$n=46$ σ	2.33	2.86	5.41	11.45	4.36

$C_{ab}^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$ $h_{ab}=\tan^{-1}(b^*/a^*)$ $(0^\circ < h_{ab} < 90^\circ)$

日本、中国および韓国で L^* の平均値について有意差 (t -test, 有意水準は, 韓国: 日本 $\alpha=0.1$, 韓国: 中国 $\alpha=0.05$, 中国: 日本 $\alpha=0.1$) が観察された。しかし, h_{ab} および C_{ab}^* の平均値については, 韓国: 日本では有意差がなく, 中国は他の 2 ケ国に対し h_{ab} , C_{ab}^* とともに有意に低かった ($\alpha=0.05$)。

3 段階の L^* レベルについて, 許容率 50% 以上のプリントの a^* , b^* の値を Fig.4-3-6 に示す。また, 各 L^* レベル毎の許容率 50% 以上の a^* - b^* の分布を Fig.4-3-7 に示す。Fig.4-3-7 は日本の大学生についてのみ表わしたものであるが, 一般に日中韓とも, C_{ab}^* は L^* レベルの増加とともに減少する。しかし, 中国人大学生が好んだ肌色の C_{ab}^* は, 他の国の同じ L^* レベルと比べ低く, 中国では, C_{ab}^* が低い肌色を好むといえる。

許容率 50% 以上のプリントの L^* , h_{ab} および C_{ab}^* の度数分布を Fig.4-3-8~4-3-10 に示す。

L^* 値に関しては, 日本人のデータは最頻値(mode)を $76 < L^* \leq 78$ とし, ほぼ正規分布で $72 \sim 82$ の範囲に分布しているが, 中国人のデータは $78 < L^* \leq 80$ をピークに $L^* > 74$ の範囲に分布している。韓国人のデータは, $68 \sim 80$ の範囲に分布しており, $L^* \leq 70$ の領域にあるのは, 男性に多く受け入れられたプリントである。 h_{ab} の値に関しては, 日本の最頻値が $45 < h_{ab} \leq 50$ であるのに対し, 韓国の最頻値は $50 < h_{ab} \leq 55$ であり, 日本に比べ韓国は, 黄色方向に約 5° 高い。また, 中国人のデータは $40 < h_{ab} \leq 45$ をピークに $16 \sim 65$ の広い範囲にわたって分布している。なお, 中国の, h_{ab} が高いプリントは, 女性に多く受け入れられているものである。 C_{ab}^* については, 日本が $20 \sim 30$ に多く, また韓国では $24 < C_{ab}^* \leq 26$ をピークに分布しているのに対し, 中国人データは, C_{ab}^* が $16 \sim 26$ の低い領域

に多く分布している。これら C_{ab}^* が低い領域にあるのは、 L^* が高く、女性により多く受け入れられているプリントである。

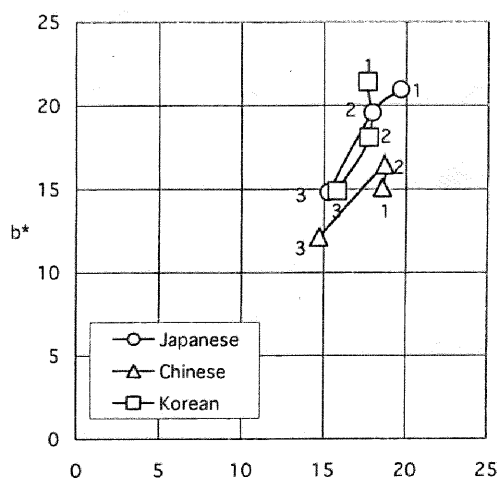


Fig.4-3-6 Accepted flesh colors for each L^* level. C_{ab}^* decreased as L^* level increased. (1: $L^* < 76$, 2: $78 > L^* \geq 76$, 3: $L^* \geq 78$)

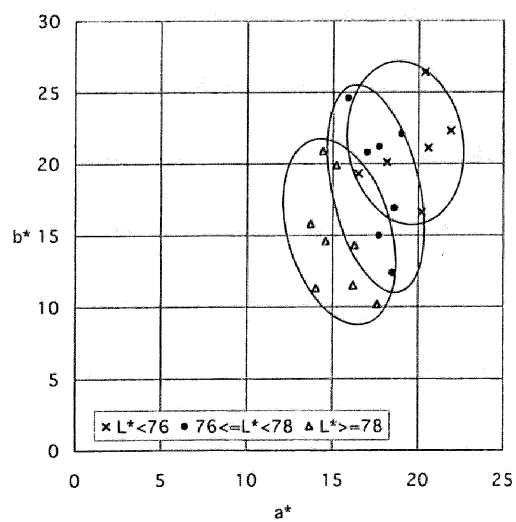


Fig.4-3-7 L^* dependence of flesh color accepted by Japanese students. C_{ab}^* decreased with an increase in L^* .

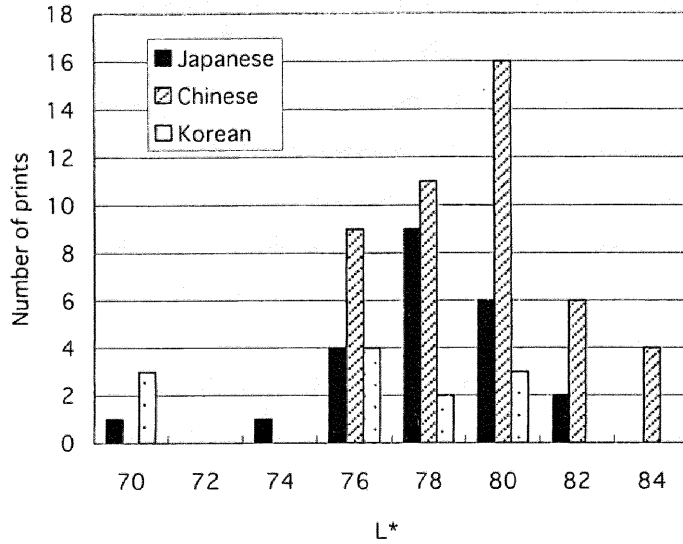


Fig.4-3-8 L^* frequency distribution of flesh colors of prints accepted by 50% or more of observers.

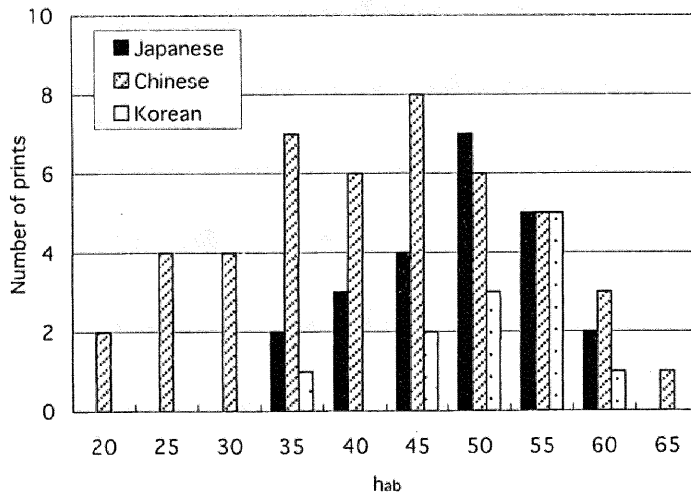


Fig.4-3-9 h_{ab} frequency distribution of flesh colors of prints accepted by 50% or more of observers. The Chinese observers accepted a wide range of h_{ab} values.

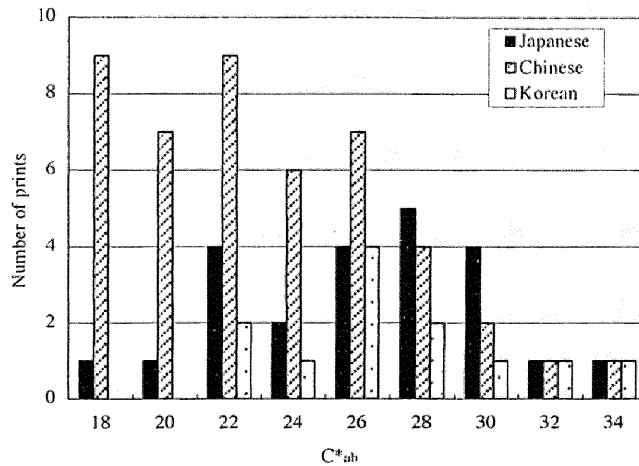


Fig.4-3-10 C^*_{ab} Frequency distribution of flesh colors of prints accepted by 50% or more of observers.

(3) 日中韓大学生の受入れ範囲

許容率 50%以上のプリントの $L^*a^*b^*$ の範囲は、日本人および韓国人では、 $\Delta a^*=7 \sim 8$ 、 $\Delta b^*=16$ であるが、中国人では $\Delta a^*=10$ 、 $\Delta b^*=21$ であった。また、 ΔL^* はいずれの国も 9~11 の範囲であった。

また、許容率 50%以上のプリントの数は、日本人では 23 枚、韓国人では 12 枚、中国人では 46 枚であった。中国人では許容率 80%以上のプリントが 11 枚あり、日本人の 1 枚、韓国人では 0 枚に比べ、中国人の許容率は一般に高かった。これらのことから、中国人の受入れ範囲は日韓に比べ a^*-b^* plane 上に広く分布しており許容域が広い特色がある。

また各国とも L^* 、 a^* および b^* 値の平均値は、許容率 50~60%、60~70% および 70%以上の各レベルともにほぼ等しく、データは同心の楕円状の分布をしている (Fig.4-3-3, 4-3-4)。

(4) 日中韓大学生における男女間の差

男女間の差については、男女間の好みの特徴を抽出するため、許容率 50%以上のプリントを対象に、男女いずれかが、一方に対し有意に高く許容しているプリントについて、男女毎に L^* 、 h_{ab} 、および C^*_{ab} の平均値を算出した (Table 4-3-3, Fig 4-3-11, 4-3-12)。ただし、韓国女性、中国女性では、男性に対し有意に許容率

が高いプリントがなかったため、女性の方が許容率の高いプリント等の値を用いた。各国とも女性により多く許容されたプリントの L^* の平均値は、男性により多く許容されたプリントの L^* より高かった ($\alpha=0.05$, 有意)。また、中国人のデータでは、男女間で h_{ab} および C_{ab}^* の平均値にも有意差が認められた。

Table 4-3-3 Difference in accepted flesh color between male and female observers (t-tests of mean L^* , h_{ab} and C_{ab}^* difference)

	Japanese		Korean		Chinese	
	Male(n=9)	Female(n=7)	Male(n=7)	Female(n=8)	Male(n=15)	Female(n=20)
L^*	76.15	78.55**	73.05	76.20*	76.41	78.94**
	Significant($\alpha=0.05$)		Significant($\alpha=0.1$)		Significant($\alpha=0.05$)	
h_{ab}	43.47	42.46	44.67	45.39	35.38	41.96*
	Not Significant($\alpha=0.1$)		Not Significant($\alpha=0.1$)		Significant($\alpha=0.1$)	
C_{ab}^*	22.41	23.75	27.01	24.48	25.37**	20.57
	Not Significant($\alpha=0.1$)		Not Significant($\alpha=0.1$)		Significant($\alpha=0.05$)	

*significant($\alpha=0.1$)

**significant($\alpha=0.05$)

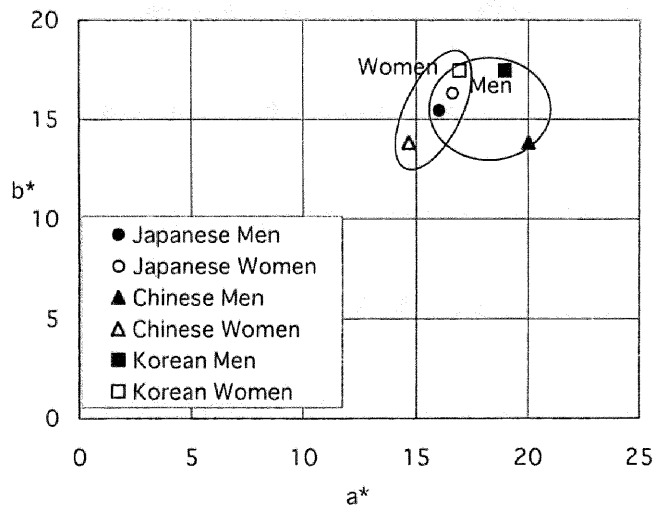


Fig.4-3-11 Comparison between male and female preferences towards flesh color on the a^* - b^* plane. The difference between Chinese men and women is large.

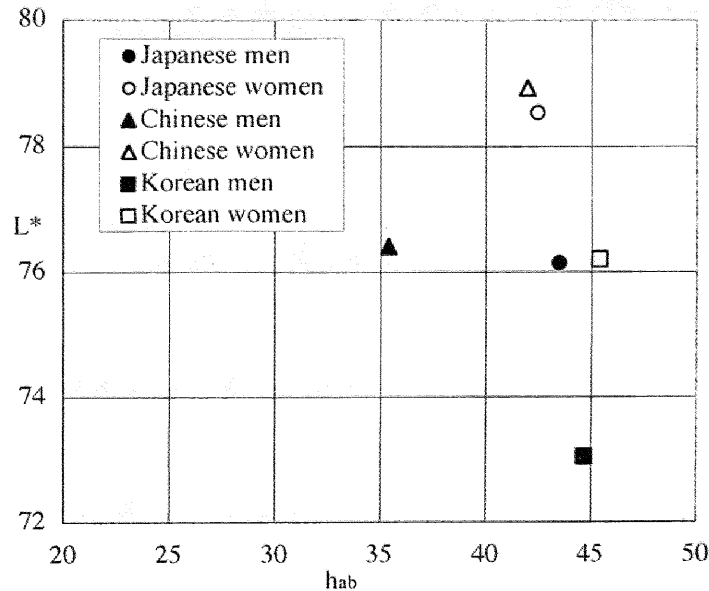


Fig.4-3-12 Comparison of male and female preferences towards flesh color with regard to the L^*-h_{ab} distribution. Women in each country preferred lighter flesh colors than men.

また、各国とも男性は女性より L^* が低いプリントを許容しているが、特に韓国人男性は L^* が低いプリントを許容した。 h_{ab} および C^*_{ab} に関しては、日本および韓国では男女間に有意差はなかったが、中国人のデータでは、男女差は有意であり、中国人男性は L^* が低く C^*_{ab} が高い赤味がかかった肌色を受入れるが、中国人女性は、白っぽいピンク系の肌色を受入れた。中国人女性に受け入れられたプリントの L^* の平均値は、日中韓男女別の中で最も高く、 C^*_{ab} は最も低かった。

(5) 日中韓大学生の相互受入の比較

3ヶ国間で、許容レベルが大きく異なることから、各国で許容率が上位10位以内のプリントの肌色の分布から各国で受け入れられたプリントの特性について考察した。Fig.4-3-13の○、△、および□は、それぞれ日本、中国および韓国のみで10位以内、▲および■はそれぞれ「中国および日本」「韓国および日本」で10位以内、×は3ヶ国全てで10位以内であったプリントである。3ヶ国での総合的な好みの特徴は次のとおりである。

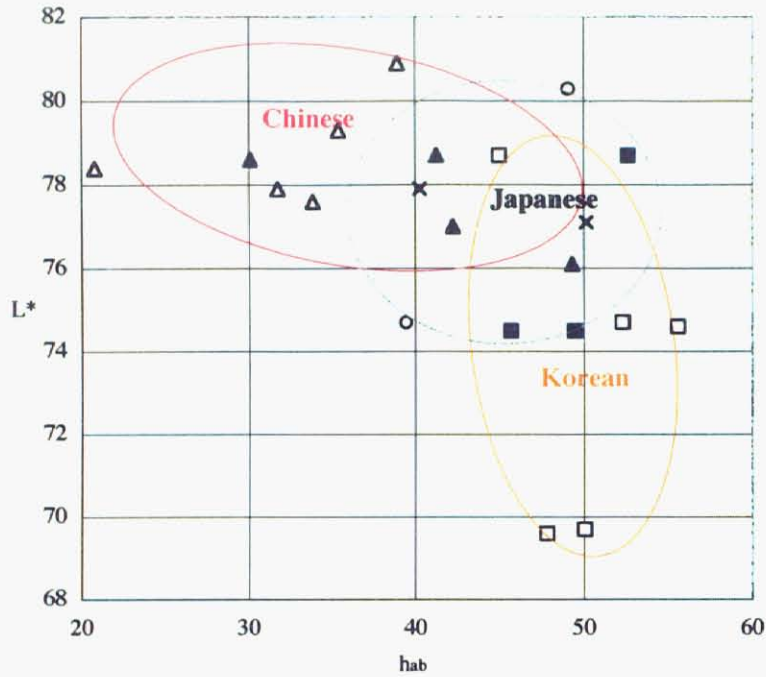


Fig.4-3-13 L^* - h_{ab} distribution of flesh colors accepted by each country.

×: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by all three countries.

○: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only Japanese observers.

△: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only Chinese observers.

□: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only Korean observers.

▲: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by Japanese and Chinese observers.

■: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by Japanese and Korean observers.

中国人は hue に対しては、20～50 程度の範囲に及び許容範囲が広く、特に hue が低い赤味方向に寛容であるが、lightness については、 $L^*=74$ 以下は許容されず、許容条件がシビアである。中国人独自の好みは、明るいピンクがかった肌色にある。一方韓国人は、lightness に対しては $L^*=69\sim77$ 付近と比較的広い範囲を受入れており寛容であるが、hue については hue-angle が 50° 付近に集中しており、許容条件がシビアである。韓国人独自の好みは、暗めの黄色がかった肌色にある。日本人に許容されたプリントは中国と韓国に許容されたプリントの間に位置し、中国人ほど赤味がかかった肌色を許容しないが、また韓国人ほど L^* が低いプリントは許容しない。

なお、単に許容率 50%以上のプリントの平均値の比較では、国や性別による明確な相違はなかったが、日中韓の差については、国によって許容率に差があるような、プリントを比較することにより、また性別については、男女いずれかが、一方に対し有意に許容率が高いプリントを比較することにより抽出できた。

4.3.4 日韓全年代を通じての比較

(1) はじめに

4.3.3 項では、好ましい肌色について日中韓大学生の結果について述べたが、本項では、特に結果の類似性が高く、地理的文化的な面でも類似性が高いと考えられる日韓について、10~60 代を対象に実験を行い全世代を通じての比較を行う。

年代の差による好みについては、第 3 章の実験は、プリント全体の色を変化させた場合のプリントの相対比較（一対比較）としての結果であるが、40 代以上のパネルでは 20 代の学生に比べ、黄色がかったプリントに対し、より寛容であったことを報告した。

第 4 章では、肌色の部分のみを変化させたプリントについて「好ましい肌色」の評価を全世代で行うことにより、年齢による影響と文化的要因について考察する。本実験でのパネルについては、Table4-3-4 に示す。

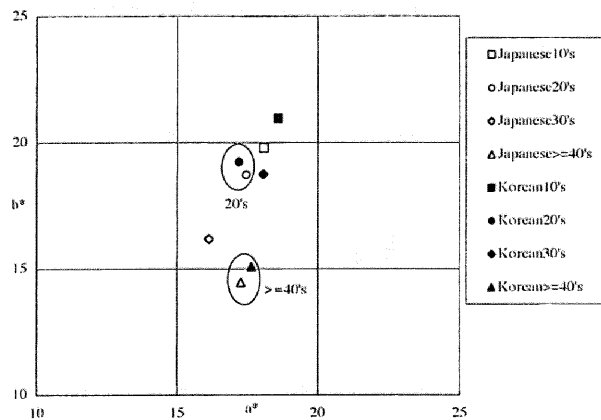
Table 4-3-4- Number of observers

	Number of Observers	
	Japanese	Korean
10's	54	30
20's	60	60
30's	12	20
>=40's	24	60
Total	150	170

(2) 日韓年代別の許容率 50%以上のサンプルの L^* , h_{ab} , および C^*_{ab}

各世代で許容率 50%以上を示した肌色の平均値の a^*-b^* plane 上での分布を Fig.4-3-14 に示す。また、許容率 50%以上の肌色について各世代の L^* , h_{ab} および

C_{ab}^* の平均値の変化を Fig.4-3-15~4-3-17 に示す。 L^* の平均値については、日韓のいずれの世代についても有意差 (20 代日本人 : 20 代韓国人, 30 代日本人 : 30 代韓国人, 有意水準: $\alpha=0.1$, t -test. その他の年代日本人 : 韓国人, $\alpha=0.05$, t -test.) が認められ、日本人の L^* の平均値は韓国と比べ全年代を通じで有意に高い。



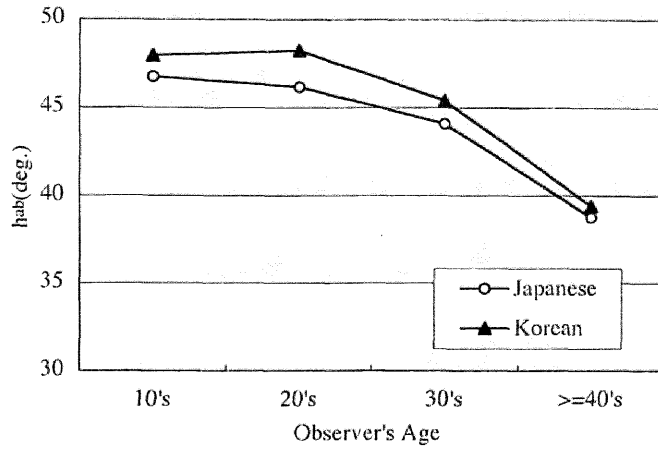


Fig.4-3-16 Variation of the mean h_{ab} of the preferred flesh colors with the age of observers.

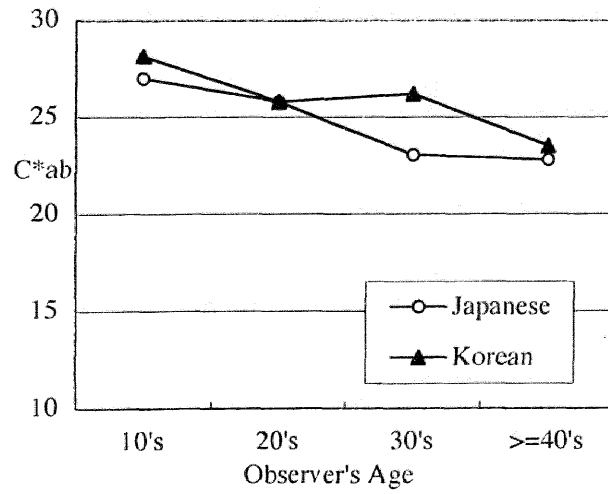


Fig.4-3-17 Variation of the mean C^*_{ab} of the preferred flesh colors with the age of observers.

C_{ab}^* の平均値は、30代で韓国人が日本人より有意に高く($\alpha=0.1$),その他の世代でも全世代を通じて日本人より高い。また、韓国人に受入れられた肌色の h_{ab} の平均値は日本人と比べ全ての年代で高く、yellow 方向にある。

年代との関係では、 C_{ab}^* の平均値は年代が上がるにつれ、減少する傾向がみられ、 h_{ab} の平均値は年代が上がるとともに赤味がかかった肌色の方向に好みが変わ化する。 h_{ab} の平均値については、20代と40代以上では、韓国日本共に有意差($\alpha=0.05$, t -test)が観察された。40代以上と20代の比較結果については、4.4節で考察する。

(3) $L^*a^*b^*$ 空間での受入範囲と分布

許容率50%以上のプリントの範囲は、日本人および韓国人パネルで20代は、 $\Delta a^*=7\sim 8$, $\Delta b^*=16\sim 17$, $\Delta L^*=9\sim 11$ であるが、40代以上では $\Delta a^*=9$, $\Delta b^*=20$, $\Delta L^*=6\sim 9$ であり、40代以上の方が a^*-b^* 平面上の特に b^* 方向に広く分布している(Fig.4-3-18,4-3-19)。日韓の20代および40代以上に受入れられた肌色の平均値をTable 4-3-5に示す。

この許容率50%以上の範囲にあるプリントの枚数は、20代の日本人で23、韓国人で12であるが、40代以上では、日本人が30、韓国人で32である。一般的に、40代以上のパネルの許容率は高く、許容率80%以上を示したプリントが40代以上(日韓)では4~5枚に対し、日本の20代では1枚、韓国の20代では0枚である。

Table 4-3-5 The mean L^* , a^* , b^* , h_{ab} , C_{ab}^* values of flesh colors accepted 50% or more observers.

		L^*	a^*	b^*	h_{ab} (deg.)	C_{ab}^*
20's	Japanese	76.9	17.4	18.7	46.2	25.8
	Korean	74.9	17.2	19.2	48.2	25.8
>=40's	Japanese	77.3	17.3	14.5	38.8	22.8
	Korean	75.0	17.6	15.1	39.4	23.5

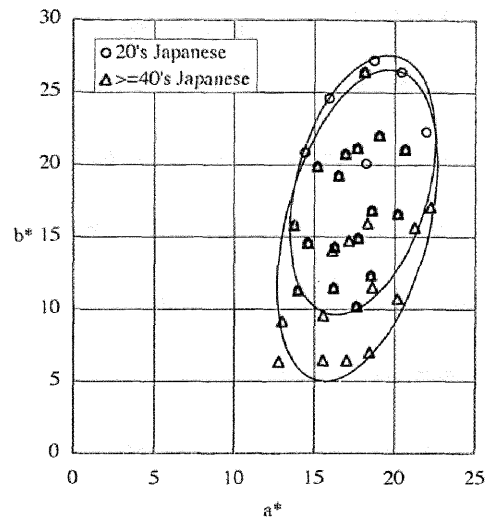


Fig.4-3-18 Distribution on the $a^* - b^*$ plane of the flesh colors of samples accepted by “20’s” and “40’s and over” Japanese observers with 50% acceptance and over.

The contour of the elderly observers (40’s and over) spread more widely than the young observers (20’s) toward b^* axis.

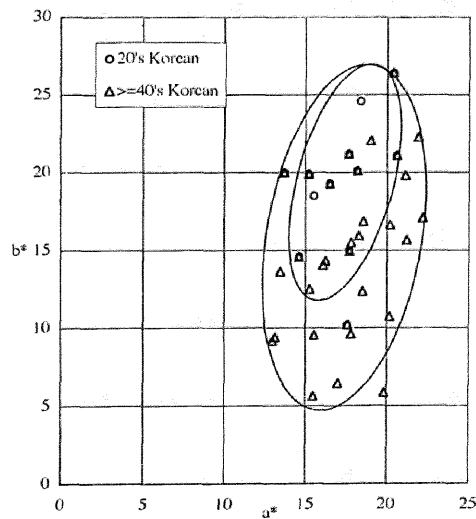


Fig.4-3-19 Distribution on the $a^* - b^*$ plane of the flesh colors of samples accepted by “20’s” and “40’s and over” Korean observers with 50% acceptance and over.

(4) L^* , h_{ab} および C^*_{ab} の度数分布

許容率 50%以上のプリントの肌色の L^* , h_{ab} および C^*_{ab} の度数分布を Fig.4-3-20 ~4-3-22 に示す。

L^* 値に関しては、日本人のデータは、20代および40代以上ともに韓国人より高い領域に分布しており、最頻値も共に高い。なお、20代の韓国人データで低い領域にあるものは、男性の許容率が高いプリントである。 h_{ab} については、20代では、韓国人のデータでは、最頻値が $50^\circ < h_{ab} \leq 55^\circ$ にあるが、日本人では、 $45^\circ < h_{ab} \leq 50^\circ$ である。同様に40代においても韓国人の最頻値が $40 \sim 50^\circ$ に対しては日本人は $35 \sim 45^\circ$ のレベルにあり 5° 高くなっており、韓国人は日本人より黄色がかった肌色を好む傾向がある。 C^*_{ab} については、全般的には、差がないが、20代の日本人のデータは、韓国人よりよりやや低い領域に分布している傾向が見られた。

(5) 日韓年代別に受入れられたプリントの特性

日韓の国別、年代別に許容率ごとのプリント数に差があるため、国別年代別に上位 10 以内のプリントの肌色の分布から、国と年代による好ましい肌色の特性について考察した(Fig.4-3-23)。

○および●は、「20代日本人」および「40代以上の日本人」のみで受け入れられたプリントを示す。また、「20代韓国人」および「40代以上の韓国人」のみで受入れられたプリントは△および▲で示す。記号*は、「日韓全ての年代」で受入れられたプリント、■は、「日韓40代以上」、+は、「全年代の日本人」、×は、その他のケースである。なお、「全年代の韓国人」のみで、受入れられたプリントはない。この結果から日韓の国および年代による好みの特色は次のとおりである。

年代別では、韓国人の20代は L^* に対しては、広い範囲を許容しており、特に L^* が低い領域を許容していることが特徴的である。 h_{ab} については、日韓年代別の4グループの中で最も高い領域を中心としており、相対的に許容範囲は狭く、yellow系の肌色を好み、 h_{ab} の低い赤味がかかったプリントは許容されない。一方、日本人の20代は h_a については、韓国の20代より若干赤味がかかった領域にあり、20代韓国人と比べると、 L^* が高く h_a よりも L^* について許容範囲が狭い。また、40代以上では、日韓とも20代と比較すると h_a について広く分布しており、 L^* は、韓国人において、20代と比べ高い領域にある。

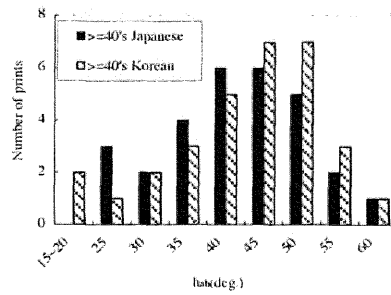
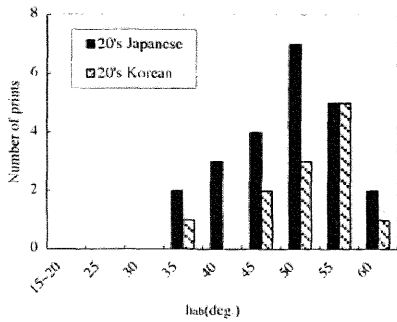


Fig.4-3-20 h_{ab} frequency distribution of the preferred flesh colors of prints accepted by 50% or more of observers in each generation. The elderly observers accepted lower h_{ab} level than the young observers. The mode of the Japanese data was lower than that of the Korean data in each generation.

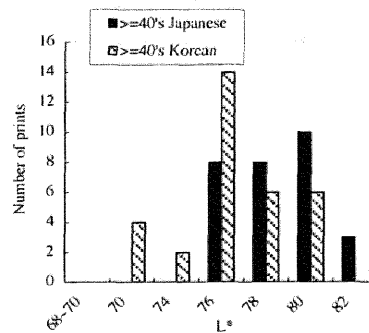
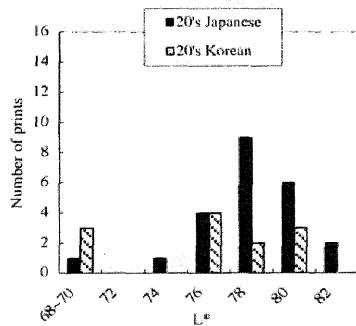


Fig.4-3-21 L^* frequency distribution of the preferred flesh colors of prints accepted by 50% or more of observers in each generation. The mode of the Japanese data was higher than that of the Korean data in each generation.

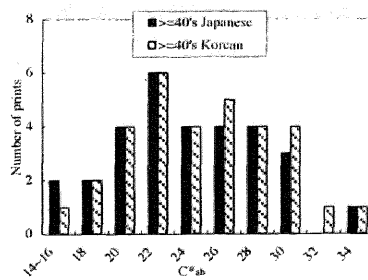
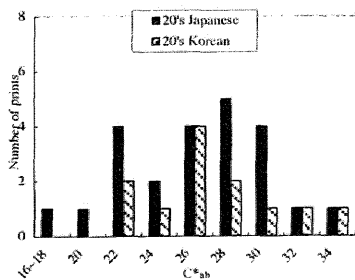


Fig.4-3-22 C_{ab}^* Frequency distribution of the preferred flesh colors of prints accepted by 50% or more of observers in each generation. The 20's Japanese data was distributed across a wide region, compared to the 20's Korean data.

なお、20代ほど顕著ではないが、40代以上でも、20代と同様に日本の方が h_{ab} に対し許容範囲が広く、韓国の方が L^* に関し低い方向に許容範囲が広がっており、40代以上では、両国とも好ましい肌色が赤味方向にシフトしているものの、20代で顕著である日韓の特色は保持している。

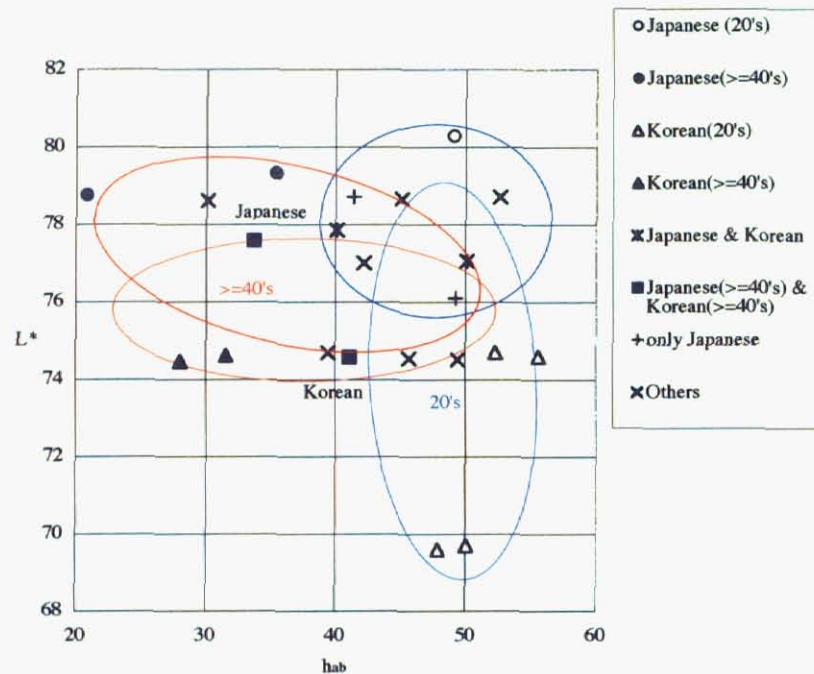


Fig.4-3-23 L^*-h_{ab} distribution of the flesh colors accepted by each country.

- : Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only 20's Japanese observers.
- : Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only 40's over Japanese observers .
- △: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only 20's Korean observers.
- ▲: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by only 40's over Korean observers .
- *: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by Japanese and Korean observers .
- : Flesh colors accepted within the tenth-ranking by 40's over Japanese and Korean observers .
- +: Flesh colors accepted within the tenth-ranking by Japanese observers .
- ×: Others.

4.3.5 まとめ

日中韓の大学生および日韓全年代を通じての好ましい肌色の比較により次のことが明らかになった。

1. 許容率 50%以上を示した肌色の L^* の平均値は中国, 日本, 韓国の順で低下し, その差は有意であった。また, 日韓の全年代を通じて日本の L^* の方が有意に高く, 日韓の差が明確になった。
2. h_{ab} および C_{ab}^* の平均値は, 韓国, 日本, 中国の順で低下し, 中国の値はいずれも有意に低く中国で赤味がかかった明るい肌色を好む傾向が顕著であった。また, 日韓の 20 代と 40 代以上の比較では, 両国とも 20 代の方が h_{ab} および C_{ab}^* の値が高い傾向があり, 特に h_{ab} の差が顕著であった。
3. 男女差については, 日中韓大学生に共通して, 女性が L^* が高い肌色を特徴的に好む傾向が見られた。中国人大学生では, 色相やクロマについても男女の好みに特徴的な差が見られた。また, 日韓とも 40 代以上については男女差が見られなかった。

4.4 好ましい肌色を決定する要因について

4.4.1 男女差

4.3 節で示したとおり、日中韓大学生(20 代)の男女間の差については、男女それぞれに好まれたプリント(男女一方に対して有意に許容率が高いプリント等)を比較すると、3ヶ国とも女性が男性より L^* が高い肌色を好む特色があった。特に中国人大学生のデータでは、許容率 50%以上のプリントの平均値(L^*)で有意な差があるなど男女の好みの差が明確であった。しかし、40 代以上のグループでは、日韓とも男女差はほとんどなかった。

好ましい肌色に関連する研究では、青木らはイラスト画等に肌色を塗ることにより、肌色の記憶色等を調べた²³⁾。その結果 30 歳未満の男性で黄色味の強い肌色を好み、30 歳以上の女性で黄色味の少ない肌色を好む傾向を指摘しているが、同世代の男女間での顕著な差は見られていない。

一般的な色彩の嗜好調査では、千々岩は、はっきりした性差があると報告したものは少ないとしており、女性が白や明淡色を好む傾向が男性よりやや強い程度²⁴⁾であるとしている。

鈴木は、女子学生を対象に、好ましい肌色を規定する要因について、記憶構造からその影響の解析を行い、自分自身の肌色に対する認識が大きな要因になっている²²⁾としている。即ち、「好ましい肌色」は「自分自身の肌色の記憶」に基づいており、自分自身の肌色を否定的に認識している場合は、「好ましい肌色」は記憶色の近傍とならないとしている。

本実験の日中韓の女子学生の L^* が男性に比べ高いことについては、同世代と思われるモデルの肌色に対し、色白への願望等が反映されたものと思われる。40 代以上の女性では、モデルに対し客観的立場で判断されたため、男女差は生じなかったものと思われる。

4.4.2 年代の差

年代については、日韓とも 40 代以上の方が、20 代と比べ受け入れられた肌色の h_{ab} が低くピンク系の肌色を好む傾向がある。また、40 代以上に受け入れられた範囲は a^*-b^* plane 上の特に b^* 方向に広く分布しており、20 代と比べ許容範囲が広い(Fig.4-3-18, 4-3-19)という特色がある。

年代の差については、概ね b^* 方向の差であり、 C_{ab}^* についても日韓とも 40 代

以上が低くなる（日本： $\alpha = 0.05$ で有意）。 L^* については、一定の傾向はなくほとんど変化はなかった。なお、日本人を対象とした補足実験においても、好ましい肌色の h_{ab} および C_{ab}^* に関して、40 代データは、20 代より有意に ($\alpha = 0.05$, t -test) 低く、4.3 節の実験と同じ傾向を示した。

さらに、40 代以上の世代では、 h_{ab} および C_{ab}^* については、年代が上がるにつれ、概ね減少傾向にはあるが、その差は小さく 40 代が節目と思われる。

好ましい肌色等の年代の比較については、同様な傾向を指摘する文献^{20),25)}がみられる。

小林らは、評価画像（モデル）の年代と評価者の年代の関係²⁰⁾の実験を行い、20 代が最も明るい肌色を好み、20 代の評価画像については、「20 代、30 代」が「40 代、50 代」より h_{ab} の高い、黄色味が強い肌色を好むとしている。また、テレビジョン画像において、高齢者と若年者の好ましい肌色を比較した研究²⁵⁾で、高齢者の好ましい肌色の主波長が若年者より長波長側にシフトし、刺激純度が低下するとの報告がある。

これらのことは、40 代以上で h_{ab} が赤味方向にシフトすること、および C_{ab}^* が低下する傾向があること（4.3.4 項）と一致している。

さらに、一般的な色彩の嗜好において、青年の嗜好と年配者の嗜好があり、50 才前後が嗜好の節目に当たると考えられるとされており²⁴⁾、年代については、性別に比べ差を指摘するデータが多い。

年代の差については 40 代以上が、 h_{ab} が低い赤味がかった（ピンク系）の肌色を好むことは、水晶体の黄変による生理的機能の変化が要因のひとつと推測される。即ち、年齢とともに、水晶体の黄変により短波長域の透過率が減少²⁶⁾し blue の感度が低くなる。そのため黄色味を帯びて知覚されることの補償として 40 代以上で、ピンク系の肌色への好みのシフト（ $-b^*$ 方向）が生じたと思われる。

年代による透過率の減少の曲線（53 歳）²⁶⁾を基に、Macbeth Color Checker の light skin の変化の計算例を Fig. 4-4-1 に示す。計算は「水晶体の黄変が始まる前の透過率」に対する相対透過率を Macbeth Color Checker の light skin の分光反射率に乗じることにより算出した。計算上は、大幅に黄色方向にシフトするとともに透過率の減少から L^* が低くなり、黄変が始まっていない 20 代と比べ、黄色がかり暗く認識されることが考えられる。

水晶体の黄変による見え方の変化については、森らは、照明光の順応の少な

い状態で正常な眼と黄変した眼との変化を測定し、黄変は色温度変換フィルターの性質と似ているとしている²⁷⁾。また、色ずれの大きさは、感覚変化の実測値の方が計算値よりも少ないとしている²⁷⁾。

水晶体の黄変は長期間をかけて徐々に進行することから、計算上ほどには知覚されないことが考えられるが、黄色付近の識別が困難で、白と認識される範囲もバラツキが大きくなることが推測される。

また、矢野らが、色温度の異なる照明による心理的印象や肌色の見え方について実験を行っているが、順応光の色温度にかかわらず、肌色の見えで評価されている²⁸⁾としている。

したがって、黄変の度合いがそのまま肌色の好みに反映されるものではないと思われるが、ある程度の影響があることが考えられる。また、年代による嗜好自体の変化もあることが考えられる。

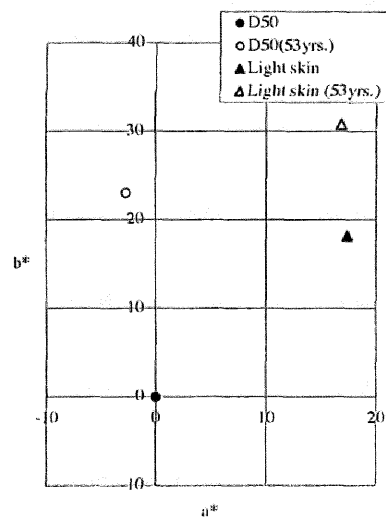


Fig.4-4-1 Light skin of Macbeth Color Checker(D_{50}) through a 53- year-old person's* lens (*Edward A Boettner and Reimer Woloter, Investigative Ophthalmology, 1 (6) 776-783 (1962)).

4.4.3 地域，文化による差

色彩嗜好の地理的文化的要因については、数多くの研究^{1,24,29-31)}があり齊藤ら^{1),24),31)}は、地理的文化的要因が色のイメージに影響しているとしているが、また文化的要因に影響されない色彩嗜好²⁹⁻³⁰⁾の側面があることも示している。

また、色紙から選ばせる嗜好色に比べ、肌色等実際の事物の色については、そのものに対する記憶色や社会的要因や個人の願望など複雑な面があり、色彩自体の嗜好と単純に比較出来ない面もある。

日中韓大学生において、許容率 50%以上を示したプリントの L^* の平均値は、中国>日本>韓国の順でいずれも有意差をもって減少している。また、 h_{ab} および C^*_{ab} の平均値については韓国>日本>中国の順で減少し、中国の値は有意に低い。

Fig.4-4-2 は、各国で受入れられた肌色を文献等の肌色と比較したものである。日本および韓国人大学生で受入れられた肌色の平均値は a^*-b^* 平面上で 45° の傾きの直線の近くにある。また、hue-angle は、Macbeth Colour Checker の light skin, 日本人の肌色（演色評価数の計算に用いる試験色, 1YR6/4: CIE1974, JIS Z 8726）および日本人の膚の測定値³²⁾（眼の下, 首および頬）に近い。このことは、日韓の好ましい hue に関しては、肌色の好みはアジア人（黄色人種）の膚の色の記憶色に基づくものであることを示唆している。また、韓国, 日本および中国人大学生で受入れられた肌色の lightness (Fig.4-3-12) は、黄色人種の若い女性の膚³³⁾, 黄色人種の若い女性の化粧膚³³⁾ および白人女性の肌色³³⁾ の記憶色にそれぞれ近い。

受入れられた肌色の分布（許容率 50%のライン）は短径, 長径の比が約 1:2 ($a^*: b^*=1:2$) の楕円となり、3.3 節の楕円の等高線と形状がほぼ合致する。また、許容率 50%の肌色の平均値付近では、これらの楕円の形状は、色の識別能力に関する、MacAdam の楕円³⁴⁻³⁶⁾ の形状と一致している (Fig.4-4-3)。このことは、好ましい肌色の分布は評価者の色合いを識別する能力と関係していることを示唆している。

齊藤³⁷⁾は東京, ソウルおよびタイペイで色の好みの調査において、東京では bluish および blue-greenish light colors により、ソウルでは yellowish および yellow-reddish dull colors により、タイペイでは purplish および purple-bluish pale colors への好みによって特色づけられることを報告している。

これらの相対的な特徴は、日本に比べ、韓国では、特に L^* の低い黄色がかった肌色が、また中国では L^* が高くピンク系の肌色が受け入れられたこと (4.3.3 項) と方向的に対応している。

また、日韓の全世代を通じての比較から好ましい肌色の地域的特色が明確になった。この結果は、日韓では全世代を通じて好ましい肌色が異なり、違いに

一定の傾向があることを示している。即ち、日韓で受け入れられたプリントの好ましい肌色の L^* の平均値は、どの世代においても日本が韓国より高い。また、Fig.4-3-15, Fig.4-3-20 に示すように、韓国人評価者は各世代を通じ日本人より黄色がかった暗い肌色を好む傾向がある。これらから性別や年代以外の地域に依存する要因が肌色の好みに影響していることが伺われる。

また齊藤¹⁾は、環境および文化的側面の反映ともいえる色から連想されるイメージが、色の好みに影響を与える重要な要因かもしれないと報告している。しかし、この環境および文化的影響の観点については、当該地域のカラープリント等の実態や画像に関する環境および社会学的側面からさらなる調査が必要と思われる。

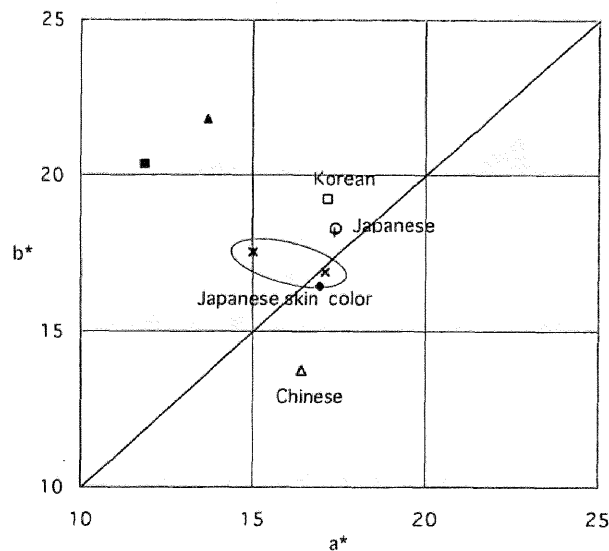


Fig.4-4-2 Preferred flesh colors and measured skin colors in literature.

○, △, □: Mean flesh colors (acceptance $\geq 50\%$) accepted by Japanese, Chinese and Korean observers, respectively.

+: Light skin of the Macbeth Color Checker. ▲, ◆: Skin colour of Caucasian and Japanese (Test colors to evaluate color rendering properties). *, ×, ■: Measured Japanese skin colors (Cheeks, below eyes, neck, respectively).

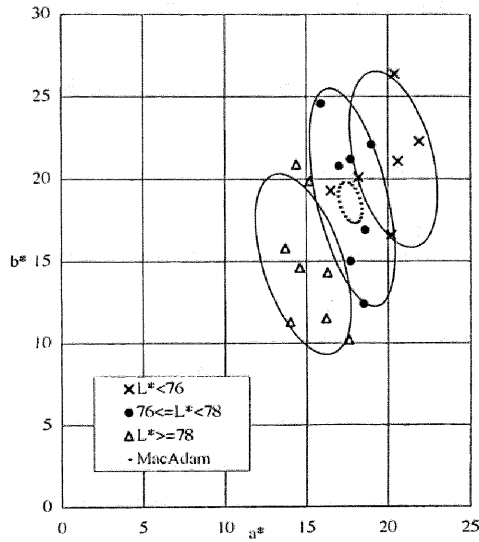
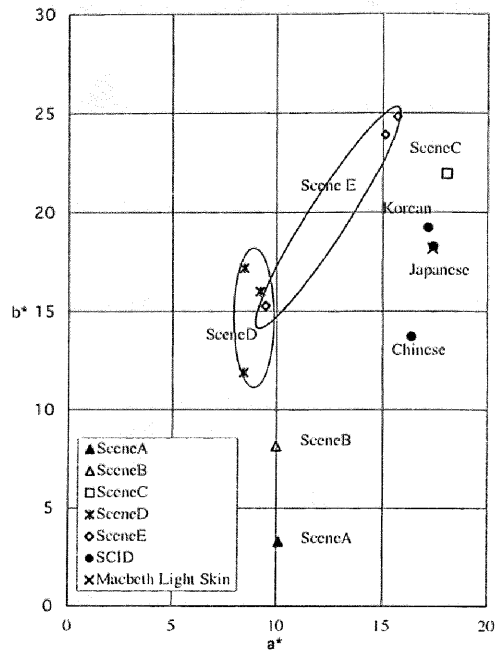


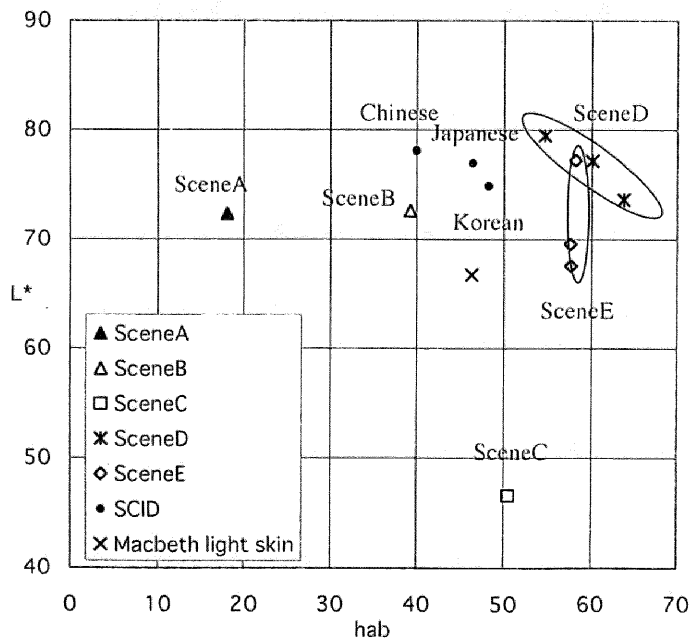
Fig.4-4-3 Distribution of flesh colors accepted by Japanese observers and MacAdam ellipse.

なお、日中韓の好ましい肌色と第3章の実験で好ましいとされたプリントの肌色の測色値 (Fig.3-7-2) を Fig.4-4-4 に示す。シーン A~E については、「肌色」の評価を目的としたものではなく、一概に比較はできないが、全般にシーンによる差が大きい。日中韓間の差は同じシーンを用いた (階調・粒状等が異なる) プリント間の差 (シーン D) と同程度である。また、同一シーンの場合の差は a^* - b^* 平面上では概ね b^* 方向の差である。両シーンとも L^* が高いほど h_{ab} が低く赤味がかった肌色が好まれている。

シーン E から、日本人間の膚の色の差は、 C_{ab}^* および L^* の差であり色相に差はないことがわかる。これは、黒人、黄色人種、白人の好ましい肌色の差が基本的に明度の差¹⁶⁾ であることと対応していると思われる。なお、日中韓の比較うち日本人の好ましい肌色の L^* 値 (≈ 77) は、3.4.3 項に示した顔の好ましい濃度 ($D=0.30$, $L^* \approx 76$) やプリントの実態 (Fig.1-3-3) とほぼ一致している。



a) a^*-b^* plane



b) $h_{ab}-L^*$ plane

Fig.4-4-4 Skin colors in the preferred prints in Chapter 3 and those preferred in Chapter 4.

a) a^*-b^* plane, b) $h_{ab}-L^*$ plane

4.4.4 まとめ

好ましい肌色を決定する要因として次のことが考えられる。

1. 日韓の年代比較で、両国とも年代間について共通の差が認められた。特に色相に関しては、年代への依存が明確である。また、許容される肌色の範囲については、MacAdam の楕円と方向が一致していることから、肌色の差に対する人間の眼の識別能力等が関与していることが考えられる。
2. 日中韓で許容された肌色の有意差から、地域（国）による差があることが明らかになった。特に日韓の全年代を通じて共通する差が認められたことは、好ましい肌色には、肌色の記憶、性別や年代以外の地域に依存する要因が、寄与していることが考えられる。

4.5 結 言

本章では、多数の画像を効率的に評価する方法として、系統的配置法¹⁰⁾を開発し、日中韓の大学生等を対象に主観評価を行った。

同じ黄色人種で、同じ東アジア文化圏に属する日中韓の大学生および日韓の全年代について好ましい肌色の評価を行ったところ、日中韓大学生間で許容率50%以上のプリントの L^* の平均値に有意差（中国>日本>韓国）が認められた。特に、日韓では、全年代を通じて日本の方が L^* の平均値が有意に高く、好ましい肌色が肌の記憶色のみに基づくものでないことを示唆している。中国については、 h_{ab} および C_{ab}^* が日韓に比べて有意に低いなどの特色がみられた。

日中韓の特徴的な差として、日本と比べ中国では、明度が高く、赤味がかかったピンク系の肌色を好むのに対して、韓国では、明度が低く黄色がかかった肌色を許容する傾向が見られるなど、地域（国）による差がみられた。

また、日韓でいずれも40代以上が、赤味がかかった肌色を好むなど、年代に共通した特色も見られ、眼の識別能力等生理的要因や嗜好の変化等が考えられる。しかし、その場合でも日韓の L^* に対する差等の特色は保持されており、性別や年代以外の地域に関する要因が好ましい肌色の決定に関与しているといえる。

参 考 文 献

- 1) Miho Saito, "Comparative Studies on Color Preference in Japan and other Asian Regions, with Special Emphasis on the Preference for White", *Color Research and Application*, 21(1),35-49(1996)
- 2) C.J.Bartleson, and C.P.Bray, "On the Preferred Reproduction of Flesh, Blue-Sky, and Green-Grass Colors", *Photogr. Sci. Eng.*, 6(1), 19-25, (1962).
- 3) 鈴木恒男, "好ましい肌色再現に関する人種間の比較", *日本色彩学会誌*, 14(3), 153-161(1990)
- 4) M.Yamamoto, Y-H Lim, X. Wei, M. Inui and H.Kobayashi, "On the preferred flesh colour in Japan, China and South Korea", *Imaging Science J.*, 51, 163-174(2003)
- 5) M.Yamamoto, Y-H Lim, N.Aoki and H.Kobayashi, "On the Preferred Reproduction of Flesh color in Japan and South Korea, Investigated for All generation", *J. Soc.Photogr.Sci. Technol. Japan*, 65(5), 363-368(2002)
- 6) ISO/JIS-SCID, JIS X 9201-1995 "Graphic technology pre-press digital exchange-standard color data (SCID), N1 portrait ISO 400"
- 7) W.W.Woodbury, C.J. Bartleson, "Psychophysical Method for Evaluating the Quality of Color Transparencies: I . Comoarison of Categorical- and Comparative -Judgement Data", *Photogr. Sci. Eng.*, 6(1) ,10-14 (1962)
- 8) ギルフオード著 (秋重義治監訳), "精神測定法", 培風館, 1959, p. 237
- 9) ギルフオード著 (秋重義治監訳), "精神測定法", 培風館, 1959, p. 229
- 10) 山本真理, 一谷修司, 犬井正男, 大川祐輔, 大野隆司, 小林裕幸, "画質の新主観評価方法—系統的配置法の提案—", *日本写真学会誌*, 61(2)102-105(1998)
- 11) 山本真理, "主観的画質の解析に関する研究 (I)" *日本写真学会誌*, 54 (2) , 136-142 (1991)
- 12) 羽石秀昭, 明道正博, 三宅洋一, "ハードコピーにおける好ましい肌色再現 (I)", *日本写真学会誌*, 56(2),123-127(1993)
- 13) C. J. Bartleson, "Combined Influence of Sharpness and Graininess on the Quality of Color Prints", *J. Phot. Sci.*, 30, 33-38 (1982) .
- 14) テレビジョン学会編, "テレビジョン画像の評価技術", コロナ社, 1986,p.92
- 15) 日科技連官能検査委員会編, "新版官能検査ハンドブック", 日科技連, 1973, p.578

- 16) 浅田卓哉, 坂上光一, 羽石秀昭, 三宅洋一, "ハードコピーにおける好ましい肌色再現(Ⅱ)", *日本写真学会誌*, **57**(6),399-402(1994)
- 17) R.M.Evans, W.T.Hanson Jr. and W.I.Brewer, *Principles of color Photography* (John Wiley and Sons), 1953, p.151(New York).
- 18) R.W.G.Hunt, I.T.Pitt and L.M.Winter, "The Preferred Reproduction of Blue Sky, Green Grass and Caucasian Skin in Colour Photography", *J. Photogr. Science*, , **22**, 144-149(1974).
- 19) 小椋王祐, "インクジェットプリンタ画像における好ましい肌色", 平成9年度千葉大学工学部画像工学科画像基礎材料教育分野卒業論文
- 20) 小林美智代, 棟方明博, 鈴木恒男, 岩崎晶子, "好ましい肌色に及ぼす年齢の効果", *日本色彩学会誌*, **15**(1), 17-18(1991).
- 21) 鈴木恒男, "好ましい肌色を規定する要因の解析—その1 年齢の効果と見えのモード—", *慶應大学日吉紀要自然科学*, No.14, 36-52(1993).
- 22) 鈴木恒男, "好ましい肌色を規定する要因の解析—記憶構造からのアプローチ—", *日本色彩学会誌*, **21**(1) 25-33(1997).
- 23) 青木直和, 鈴木正和, 小林裕幸, "好ましい肌色の研究 -記憶選択法による評価-", *映像情報メディア学会誌*, **57**(3), No.3, 409-412(2003)
- 24) 千々岩英彰, "色彩学", 福村出版(1989), p.157-159
- 25) 磯野春雄, 山田千彦, "高齢者の視覚特性とカラー画像の好ましい色再現", *電気通信普及財団研究調査報告書第18号*, 電気通信普及財団(2003)
- 26) Edward A. Boettner and Reimer Wolter ; *Investigative Ophthalmology*, **1** (6)776-783(1962)
- 27) 森礼於, 河本康太郎, 秋山順悦, 土方清乃, 東莞, "水晶体着色による色の見え方変化の心理物理的測定", *日本色彩学会誌*, **7**(3), 107-114(1983)
- 28) 矢野正, 橋本健次郎, "照明光の色温度の違いによる顔色の評価", *照明学会誌*, **79**(11), 55-61(1995)
- 29) H.J.Eysenck, "A critical and experimental study of color preference", *Am. J. Psychol.*, **54**. 385-394 (1941).
- 30) F.M.Adams. and C.E.Osgood, "A cross cultural study of the affective meaning of color", *J. cross-cultural Psychol.*, **7**, 135-157 (1973).
- 31) A.Choungourian," Color preference and cultural variation", *Perceptual and Motor Skills*, **26**, 1203-1206(1968).
- 32) JIS TR X0012:1998, Standard Object Colour Spectral Database for Colour

Reproduction Evaluation (SOCS)

- 33) 柳瀬, 児玉, 田中, 矢部, “肌色の記憶色に関する研究”, 色彩研究, 日本色彩研究所, **17**(1), 2-17(1970).
- 34) MacAdam, D.L. ,” Visual Sensitivities to Color Differences in Daylight”, *J. Opt. Soc. Am.*, **32**(5), 247-274(1942).
- 35) MacAdam, D.L. “Specification of small chromaticity differences”, *J. Opt. Soc. Am.*, **33**, 18-26(1943).
- 36) Brown, W.R.J and MacAdam, D.L. ,” Visual sensitivities to combined chromaticity and luminance differences”, *J. Opt. Soc. Am.*, **39**, 808-834(1949).

5. 結 論

5.1 カラープリントの好ましい再現について

5.1.1 好ましい再現について

一般ユーザーを対象にカラープリントの主観的好ましさの要因について解析したところ、以下の結果が得られた。

第2章では、一般ユーザーの実態に即し、市中のラボで得られたフィルムからのカラープリントを利用し、一対比較法による主観評価を実施し、主成分分析法を適用した。主成分分析では、第1主成分として「色調」、第2主成分として「明るさ - 暗さ」および第3主成分として「ソフト - ハード」3つの有効な成分が抽出された。このことから、一般ユーザーの視点でもプリントの色調が最も評価に寄与していることが確認できた。また、40代以上では、「色調」より「明るさ - 暗さ」を重視する傾向がみられた。

第3章では、前章の結果を受けて、フィルムから「色」、「濃度レベル」を系統的に変化させたプリントを作成し、主観評価を実施した。「諧調および粒状等」の要因については、フィルムの種類を変化させて評価用プリントを作成した。

これらのプリントについて、変化させた要因ごとに一対比較法による主観評価を実施した。また、各物理的画質要因の総合的变化に対する評価を行い、主成分分析から画質要因の主観的好ましさへの寄与について解析した。

「色調(a^* - b^* 平面)」に関しては、好ましさの要因として、いずれのシーンでも r-g 方向と b-y 方向の成分が抽出され、r-g 方向が優先して抽出された。これらは、濃度レベル、階調・粒状等の要因を加えて解析した場合でも、変化はなく、プリントの色調の好ましさについて、r-g(a^*)方向の変化が好みへの寄与が高いといえる。

また、各種物理要因の総合的变化に対する主成分分析では、「色」「濃度」の寄与がいずれのシーンでも高く、一般ユーザーが利用する 35 ミリフィルムから 2L 判へのプリントでは、粒状等よりも影響が大きい。特に、ポートレートでは Macbeth Color Checker の light skin の再現色や人物の顔の部分の濃度との相関が高い成分が抽出されるなど、人物の肌への着目が大きい。

年代について、プリント全体の色調については、40代以上で yellow-green 方向に対し許容範囲が広く、濃度レベルについては 20代以下で低濃度レベル（高明度）のプリントへの許容が大きい。

5.1.2 好ましい肌色について

第4章では、ポートレートの評価で重要視される「肌色の好ましき」に焦点をあて主観評価を実施した。実験はデジタルデータを用い、「肌色」部分を $L^*a^*b^*$ 空間で系統的に変化させた。また、評価を行うに当って、一般ユーザーの評価に適した多数の画像を効率的に評価できる新主観評価方法（系統的配置法）を開発し、その有効性について確認した。

好ましい肌色については、「肌の記憶色」との関係が Bartleson らにより指摘されている¹⁾が、本研究では、同じ黄色人種である日本、中国、韓国を対象に評価実験を行い地域性、年代等との関係から「好ましい肌色を決定する要因」について考察した。

地域性については、年代、性別構成、教育等をほぼ同じにする日中韓の大学生を対象に実験を行ったところ、日中韓の間で有意差が見られた。また、各国相互の許容状況から、日本に比べ、中国は相対的に lightness が高く赤味がかかった肌色を好み、韓国は lightness が低く黄色味がかかった肌色を好む特色が認められた。

年代については、日韓ともに 40代以上が赤味方向に許容度が高く有意差を示した。また、日韓の全年代を通じて日本人のデータの lightness が高いなど、性別、年代以外の地域に依存する特色がある。

日中韓の大学生および日韓 40代以上に好まれるプリントの例示を Fig.5-1-1, 5-1-2 に示す。

なお、男女差については、日中韓の大学生で女性が L^* の高い肌色を好む傾向が見られたが、40代以上のパネルや他のシーンについては、男女差は見られず一般的傾向は明らかではない。

5.2 これからのプリントサービス

これまでの結果から、好ましいプリントは、地域や年代によって異なり、それらの多様性に対応し、一般のカメラユーザー等に対したきめ細かなプリントサービスが望まれる。また、モデル等シーンによっても重視される色や条件が異なるため、それらをも考慮することが望まれる。

特に、現在デジタルカメラや携帯電話など電子器機の普及はめざましく、平成 13 年度には、国内出荷台数が銀塩カメラを上回り²⁾、高齢者層を含め広い層に普及しつつある状況にあると思われる。デジタル処理では、顔パターン領域抽出³⁾などにより、顔の部分の面積等からシーンを判断し、好ましい肌色に変換することが可能となる。

これからのユビキタス社会に向けて、特に携帯電話を利用したサービスシステムは進展していくと思われる。プリンターについても、パソコンや携帯電話に登録している年齢（生年月日）地域（国）などの情報を利用し、ユーザーの属性に応じて好みにあった肌色を再現し、プリントを作成するシステムなどが期待できる。これらの実現にあたって、本研究の成果が指針として活用できる。

参 考 文 献

- 1) C.J.Bartleson, and C.P.Bray, "On the Preferred Reproduction of Flesh, Blue-Sky, and Green-Grass Colors", *Photogr. Sci. Eng.*, **6**(1), 19-25, (1962).
- 2) "平成 15 年度カメラ等品目別出荷見通し", カメラ映像機器工業会 *PRESS RELEASE*, 平成 15 年 1 月 22 日
- 3) Y.Satoh, Y.Miyake, H.Yaguchi and S.Shioiri, "Facial Pattern Detection and Color Correction from Negative Color Film", *J. Imaging Technology*, **16**(2), 80-84(1990).

本論文に関連する既公表論文リスト

- 1) 山本真理, “主観的画質の解析に関する研究 (I) —写真プリントの画質解析における主成分分析の応用—”, *日本写真学会誌*, **54** (2), 136-142 (1991).
- 2) 山本真理, 友廣淳二, 塩入 諭, 久保走一, “主観的画質の解析に関する研究 (II) —写真プリントの色再現と評価—”, *日本写真学会誌*, **55** (5), 316-324 (1992).
- 3) 山本真理, 友廣淳二, 塩入 諭, 久保走一, “主観的画質の解析に関する研究 (III) —写真プリントの物理的画質要変化と好ましさの要因の解析—”, *日本写真学会誌*, **56** (3), 197-204 (1993).
- 4) 山本真理, 久保走一, “主観的に受け入れられる写真プリントの画質条件”, *日本写真芸術学会誌*, **2** (1), 45-53 (1994).
- 5) 山本真理, 一谷修司, 犬井正男, 大川祐輔, 大野隆司, 小林裕幸, “画質の新主観評価方法 —系統的配置法の提案—”, *日本写真学会誌*, **61** (2), 102-105 (1998).
- 6) Mari.Yamamoto, Yang-Hwan Lim, Naokazu Aoki and Hiroyuki Kobayashi, “On the Preferred Reproduction of Flesh color in Japan and South Korea, Investigated for All generation”, *J. Soc. Photogr. Sci. Technol. Japan*, **65** (5), 363-368 (2002).
- 7) M Yamamoto, Y-H Lim, X Wei, M Inui and H Kobayashi, “On the preferred flesh colour in Japan, China and South Korea, *Imaging Science J*, **51**, 163-174 (2003).

本論文に関連する参考論文リスト

- 1) 山本真理, “一般消費者の望む D.P. E. サービスとは?”, 日本写真学会, 平成2年度カラーラボセミナー, 東京 (1990) 要旨 p.61-70.
- 2) 山本真理, “カラープリントの品質とユーザーの評価”, 写真工業 1990 年 8 月号, 写真工業出版社, 48 (8), 28-33 (1990).
- 3) 山本真理, 友廣淳二, 塩入 諭, 久保走一, “好ましいカラー写真の画質解析”, 日本写真学会 1992 年度年次大会, 東京 (1992)要旨 p.154-156.
- 4) 山本真理, “一般消費者の望む D.P. E. サービスとは? (その2)”, 日本写真学会, 平成4年度カラーラボセミナー, 東京 (1992) 要旨 p. 10-18.
- 5) 山本真理, 一谷修司, 犬井正男, 大川祐輔, 小林裕幸, 大野隆司, “カラープリントにおける好ましい肌色の年代依存性”, 日本写真学会 1997 年度年次大会, 東京 (1997) 要旨 p.140-141.
- 6) 山本真理, 内藤 宏, 一谷修司, 犬井正男, 大川祐輔, 大野隆司, 小林裕幸, 林 亮煥, 魏 先福, “日・中・韓におけるカラープリントの好ましい肌色”, 日本写真学会 1997 年度秋季大会, 大阪 (1997) 要旨 p.98-99.
- 7) Mari Yamamoto, Yang-Hwan Lim, Naokazu Aoki and Hiroyuki Kobayashi, “On the Preferred Reproduction of Flesh Color in Japan and South Korea and Its Generation Dependence”, *International Congress of Imaging Science 2002*, Tokyo (2002) p.471-472.

謝 辞

本論文を申請するに当たり、審査の労をおとりいただきました千葉大学工学部情報画像工学科、小林裕幸教授、大野隆司教授、三宅洋一教授、矢口博久教授および電子機械工学科、渡部武弘教授、並びに東京工芸大学工学部画像工学科犬井正男教授に感謝いたします。

小林裕幸先生には、本研究の計画・実施段階から、御指導をいただくとともに数多くの助言を賜りました。大野隆司先生、三宅洋一先生、矢口博久先生、渡部武弘先生および犬井正男先生には、論文を御精読いただき数多くの御指導、助言を賜り重ねて御礼申し上げます。

また、韓国祥明大学教授林亮煥先生、中国鄭州測繪学院の魏先福先生には、各国での主観評価を実施していただき、貴重なデータを得ることができました。謹んで感謝いたします。

実験にあたっては、犬井先生から、具体的な助言および指導をいただきました。また、千葉大学工学部情報画像工学科助手青木直和先生には、サンプルの作成等に御協力をいただくとともに、多くの助言をいただきました。

サンプルの作成については、コニカ株式会社（当時）の太田健次氏、富士写真フィルム株式会社の佐々木光一氏に御協力いただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

本研究は、千葉大学名誉教授、久保走一先生の御指導によって始まり、数々の助言や御指導を賜りました。心より感謝申し上げます。

また、本研究は現セイコーエプソン株式会社友廣淳二氏、コニカミノルタテクノロジーセンター株式会社一谷修司氏をはじめとする千葉大学の多くの卒業生の努力ならびに千葉県消費者センター、千葉県環境研究センター水質地質部等多くの機関の方々の御協力があって成立したものであり、ここに付記し感謝申し上げます。

2004年1月

山本真理

山本真理