

## ファンデーション塗布色の予測システムの提案

木島, 亜衣 / KIJIMA, Ai

---

(発行年 / Year)

2005-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2005-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

2004年度 修士論文

ファンデーション塗布色の予測システムの提案

指導教授 渡辺嘉二郎教授

大学院工学研究科

システム工学専攻修士課程

03R6116

木島亜衣

# **PREDICTION METHOD FOR THE FOUNDATION-APPLIED SKIN COLOR**

## **Abstract**

When applying cosmetic foundations to the skin, serious care is needed to determine whether the material color suits the user's own skin color. Because of the difference between the material's color that we sense by looking at the foundation in a case and the color of the foundation-applied skin color, it is very difficult to predict the foundation-applied skin color under various foundations without actually applying it at cosmetic stores.

We analyzed the color characteristics of foundation, bare skin, and the foundation-applied skin color from the technique of factor analysis. It was shown clearly that the presumed curve of the foundation-applied skin color is obtained by the spectrum of foundation and bare skin. In this paper, we analyzed the sensory evaluation data by the cosmetics adviser, and found the main valuation bases on FD selection. Moreover, we propose the prediction method for the foundation-applied skin color by using color ratio between bare skin and the foundation and texture parameters extracted from skin image.

*Key Words: the foundation-applied skin color; Kansei Evaluation, prediction, spectral reflectance, texture*

# 目次

第1章 序論 .....	5
1.1 序詞 .....	5
1.2 本論文の構成.....	6
第2章 化粧時における官能評価の分析.....	7
2.1 はじめに .....	7
2.2 問題の記述.....	7
2.3 対象と方法.....	8
2.4 統計的官能評価手法.....	9
2.4.1 素肌の評価.....	9
2.4.2 化粧肌の評価.....	11
2.5 まとめ .....	13
第3章 ファンデーション塗布色の予測システムの提案.....	14
3.1 はじめに .....	14
3.2 システムと問題の記述.....	14
3.2.1 塗布色予測システム.....	14
3.2.2 問題の記述.....	15
3.3 塗布率の定義.....	16
3.4 塗布率と肌画像の関連性.....	20
3.5 計測 .....	20
3.6 ニューラルネットワークによる塗布色予測システムの構築とその検証.....	22
3.6.1 ニューラルネットワーク.....	22
3.6.2 検証.....	22
3.6.3 結果と考察.....	23
3.7 まとめ .....	25
第4章 結論 .....	26
参考文献 .....	27

付録1 色の定量的評価.....	28
付録2 AHPによるファンデーション選択方法の提案.....	29
研究業績.....	33
謝辞	

## 第1章 序論

### 1. 1 序詞

女性は日常生活において化粧をする。化粧とは、身体を清潔にし、紫外線や乾燥などから皮膚や毛髪を守り、人の本能的な欲望としてメイクアップなどにより自分を美しく魅力あるものへと表現し、心を豊かにすることである。機能や目的別に多くの化粧品があり、素肌に好みの色や質感を与える機能を持ち、肌色を演出するのがファンデーション (FD, Fig.1) である。FD の目的は、毛穴、しわ、シミやそばかすを目立たなくし、素肌に近い自然な色で仕上げることである。



Fig.1.1 Foundation (powdery foundation)

ここで肌色とFDの色効果との関係を整理してみる。「外観色」という化粧ケース内のFDの色と、実際に肌に塗った時の色である「塗布色」に違いがある。FDの塗布色は、透過性がなく一定の膜厚のある均一な車などの塗装とは異なり、FDそのものの色に加え地の色である素肌の色が混同された不均一に分散した色になる。このためFDの色によって白く浮いてしまったり黒くくすんでしまったりなど、もともとの素肌の色に合わなくなるといった色選びの失敗が生じる。色相、彩度、明度という色の三要素で分類した肌色の色票の中から自分の肌色はどれにあたるか選んでもらうと、明度で一段階明るめを選ぶ傾向があり、同様にFDを外見だけで選んでもらうと実際の肌色より二段階ほど明るめになる傾向が強いといわれる<sup>[1]</sup>。この違いには、自分の肌に対する「自分の肌色は明るめで白っぽい」という思いがあり、理想の肌色像を持っている。その理想に近づくために実際より明るめの色を選び、FDを塗っているのである。

店頭でのFDの選択方法として次のような方法がある。「頬より下の部分からフェイスラインにかけて肌の赤みなどが目立ちにくい部分で素肌の色を確認する。素肌の色に合う色を何色か選び試してみる。色を確認した部分につけ、1ヶ所に濃くつけるのではなく素肌とのなじみ方も確認する。」この方法は、肌の色は部位によって違うということ、頬に比べ

て首は黄みよりであるという調査結果に基づくものであるが、本人の直感に委ねられたもので最適な色なのかと疑問が起こる。最適なFDを選ぶことができているという根拠を認識できる確実な評価（例えば数値に表す評価）が求められる。

このように素肌にFDを塗布したときどのような塗布色になるか、雰囲気はどう変わるかは、実際に塗布してわかることであり、予測することは困難であるとされてきた。しかし、前もってそのような化粧効果を予測することは実用上で重要なことである。

従来、化粧効果の研究は人間の主観的な感覚に依存する量の評価の研究が多く、人間の五官（五感）を基にした検査・評価技術である官能検査（官能評価）が活用されている。そして塗布色は、FDを素肌に塗布した後、視感判定あるいは測色を行うことにより初めて把握できるものとされてきた。それに対して塗布色の分光反射率をKubelka-Munkの混色理論に独自の修正を加え、クリーム状のFDによる塗布色を予測して、その有効性の報告がある。この手法による塗布色の予測は健常肌への対応にとどまらず、健常部位と患部が混在する太田母斑や血管腫の色調融合において有効であったと報告している<sup>[2],[3]</sup>。これによって、FDを塗布して測色することなく塗布色を数値化できる。しかし、これはクリーム状のFDについて有効であり、固形状「パウダリーファンデーション」の塗布色予測については、FDを肌に塗布した後に肌の分泌物でFD粉末が濡れて、事前に採取した基本データが変化することやその濡れ具合に個人差や環境の違いがありことなどから、濡れの影響の折り込みが難しく、今後の課題であるとされている。また、FDの隠蔽力で覆い隠すのではなく、肌の質感を生かした仕上がり求められている。キメの粗さや毛穴の目立ち、しみ・くすみといった欠点をFDによって自然にカバーできることが重要ポイントとなっている<sup>[4]</sup>。

## 1. 2 本論文の構成

この論文では、塗布色の予測が難しいパウダリーファンデーションを対象とし、素肌とFD外観色および形状から塗布色を予測するシステムを提案する。第2章でFD選択のために主観評価においても色評価だけでなくキメ等の形状評価も重要であることを報告する。第3章で主観評価を考慮した塗布色予測システムを提案し、その有効性を報告する。

## 第2章 化粧時における官能評価の分析

### 2.1 はじめに

人間の感覚を計器として評価する方法が官能評価である，これは私たちが日常生活の中で活用しているだけでなく，産業界で新製品開発や市場調査，品質管理などに幅広く活用されている<sup>[5]</sup>．FD 選択においても，官能評価で肌の色や形状を総合的に判断している．

素肌の色は一人一人異なり，年齢，健康状態や季節の変化によって変わる．毛穴，しわ，シミやそばかすなど肌の状態によっても変化する．また同色の FD を塗布した場合，人，肌によって仕上がりの色，つまり塗布色が変わる．以上の要因から実際に FD を塗布してみなければ，どのように仕上がるかはわからないため，主観で FD を選ぶことは難しい．また，自分流に化粧をした場合，専門の美容技術者つまり第三者にしてもらった場合とのメーキャップに対する満足度は，明らかに美容専門家による場合の方が高いことが知られている<sup>[6]</sup>．自分の肌質に合わせて選ぶことで，強い満足感を得られるのである．そのため肌の色や形状に合った FD 選択のために美容アドバイザー（BA）の評価は欠かせない．

### 2.2 問題の記述

FD は「パウダリーファンデーション」を対象とし，化粧時における官能評価の分析において以下の仮定と問題を設ける．

- (A1) 官能評価は，美容アドバイザー（BA）が行ったものである．
- (A2) 素肌の官能評価は，洗顔後 FD を選択する直前に行う．また化粧肌の官能評価は，FD 塗布直後に行う．
- (P1) 官能評価の各用語の類似関係はどのようになっているか．
- (P2) BA がどのように評価し，各ユーザに似合う適切な FD を選んでいるか．

官能評価用語を Table 2.1 に示す．評価は 5 段階尺度で 10 用語ある．どの用語も FD 選択に欠かせないものであるが，これらは BA が用いる専門用語で，BA は経験をもとに各用語の関連を把握して評価している<sup>[7]</sup>．経験のない一般ユーザが容易に評価できるようにするためには，できるだけ少ない評価用語を用いることが望ましい．問題（P1）は，このよ

うな用語を見つけることを目的とする。問題（P2）について、その評価用語から適切なFDが選択できているかを検討する。

Table 2.1 Evaluation words and scores

	5	4	3	2	1
①肌の明るさ	ある	ややある	ふつう	あまりない	ない
②肌の赤み	ある	ややある	ふつう	あまりない	ない
③肌の黄み	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ
④肌の白さ	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ
⑤肌のつや	ある	ややある	ふつう	あまりない	ない
⑥透明感	感じる	やや感じる	ふつう	あまり感じない	感じない
⑦頬の毛穴が目立ち	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ
⑧きめの粗さが目立ち	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ
⑨しわが目立ち	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ
⑩シミ・そばかすが目立ち	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ

### 2. 3 対象と方法

被験者は、20代～30代の女性36名である。測定で用いたFDの種類は、Fig.2.1に示すベージュオークル00 (B000)、オークル10 (OC10)、オークル20 (OC20)、オークル30 (OC30)の4色である。この中からFDを塗布するBA2名による視感判定で似合う色のFDを選択する。洗顔後、適切なFDの色を選ぶ直前に素肌の評価をし、FDを塗布し化粧肌の評価をした。

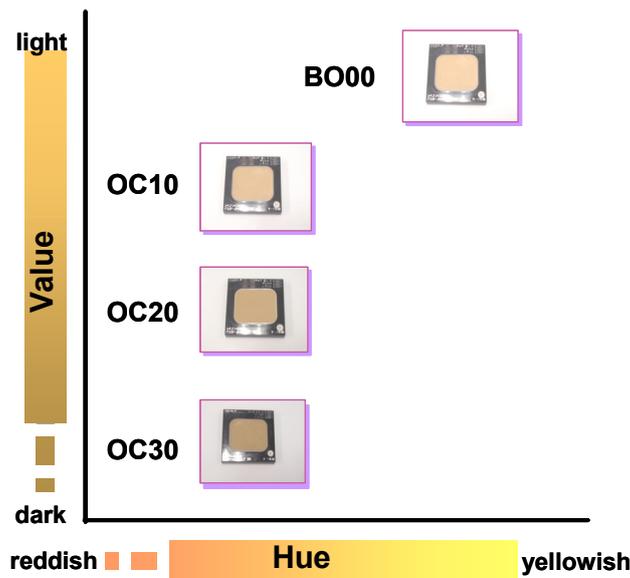


Fig.2.1 Hue and value of foundation color

## 2. 4 統計的官能評価手法

### 2. 4. 1 素肌の評価

官能評価データの主成分分析を行い、結果を Table 2.2 に示す。寄与率は、第4主成分で通常必要とされる 80%を超えた。Fig.2.2 に縦軸を第1主成分、横軸を第2主成分とした分布図、Fig.2.3 には主成分得点を示す。評価基準による識別の例を示してみると Fig.2.4 のようになった。

Table 2.2 Results of principal component analysis (Kansei evaluation of skin color)

	factor1	factor2	factor3	factor4
①肌の明るさ	-0.42	0.27	-0.19	0.12
②肌の赤み	-0.31	-0.10	0.66	-0.27
③肌の黄み	-0.47	0.17	0.17	-0.47
④肌の白さ	0.43	-0.43	0.15	-0.10
⑤肌のつや	-0.02	-0.02	0.05	0.22
⑥透明感	-0.31	0.13	-0.28	0.27
⑦頬の毛穴の目立ち	-0.35	-0.49	0.22	0.45
⑧きめの粗さの目立ち	-0.25	-0.38	-0.11	0.28
⑨しわの目立ち	-0.15	-0.36	-0.05	-0.20
⑩シミ・そばかすの目立ち	-0.16	-0.41	-0.58	-0.49
Eigenvalue	5.94	2.85	1.68	1.09
Contribution Ratio[%]	44.63	21.37	12.64	8.16
Accumulation Contribution Ratio[%]	44.63	66.00	78.64	86.80

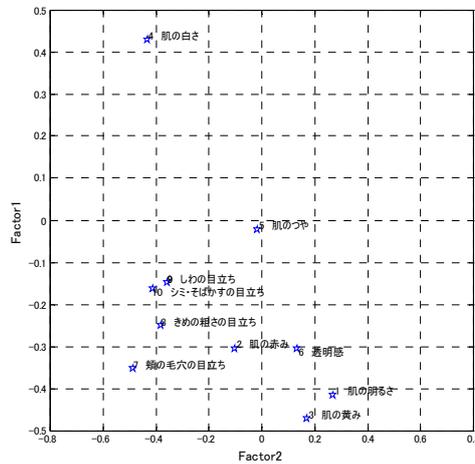


Fig.2.2 Results of principal component (Kansei evaluation of skin color)

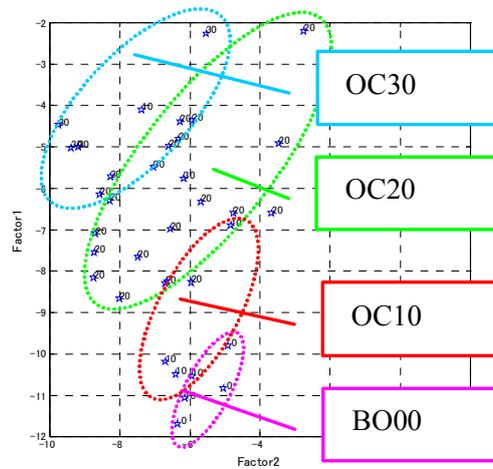


Fig.2.3 Principal component score (Kansei evaluation of skin color)

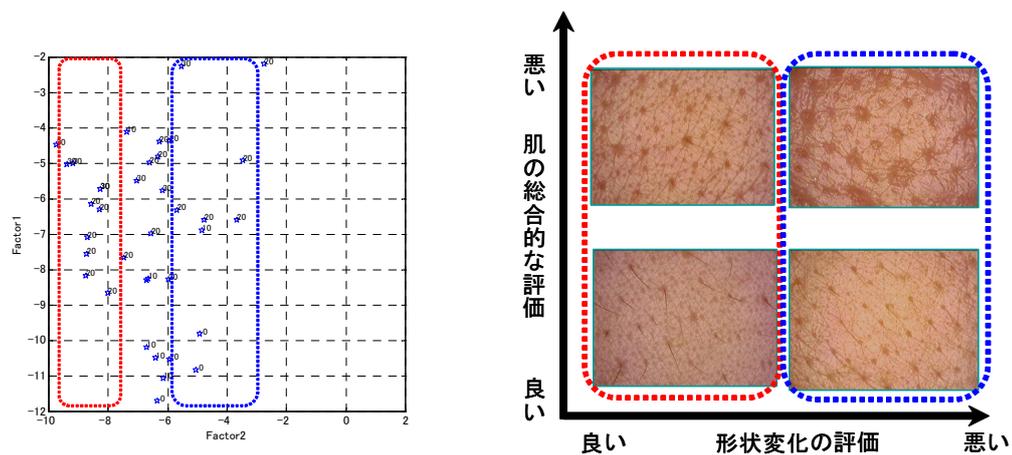


Fig.2.4 Kansei evaluation of skin color

素肌の評価において、第1主成分は全ての因子負荷量がほぼ同値であることから総合的な評価を示している。第2主成分は「頬の毛穴の目立ち」、「シミ・そばかすの目立ち」、「きめの粗さの目立ち」「しわの目立ち」の因子負荷量が高い。したがって第2成分は肌の形状変化の評価を示している。第3主成分は「肌の赤み」、「シミ・そばかすの目立ち」が高い。肌の赤みは肌の色みに類似の表現であると考えられる。またシミ・そばかすは皮膚色素が褐色に変化して現れたものである。これらのことから、色のむら进行评估していると言える。第4主成分は、第1主成分と第2主成分で挙げられた因子負荷量が高い。「肌の黄み」や「頬の毛穴の目立ち」「シミ・そばかすの目立ち」の因子負荷量が際立っている。これらは、色選びに限らない肌の悩みの用語である。したがって、第4主成分は悩み部分の評価を示していると考えられる。

Fig.2.3 において、FDの種類に着目すると得点分布は4つの領域に区分されている。これ

より、2つの主要な評価基準によりFDの色の種類を識別できている。したがって、BAの主要な評価基準は2つに集約でき、官能評価より素肌の色の識別が可能であることが言える。Fig.2.4は、Fig.2.3の分布図で肌画像に特徴がないかを調べるため横軸の肌の形状変化の評価を基準に並べた。赤い点線で囲まれた方はきめが細かく毛穴の小さい肌、青い点線で囲まれた方はきめが粗く毛穴の大きい肌であると判断できる。よって、形状の評価で肌の区別できる。

## 2.4.2 化粧肌の評価

結果をTable 2.3に示す。寄与率は、第4主成分で通常必要とされる80%を超えた。Fig.2.5に縦軸を第1主成分、横軸を第2主成分とした分布図、Fig.2.6には主成分得点を示す。評価基準による識別の例を示してみるとFig.2.7のようになった。

Table 2.3 Results of principal component analysis  
(Kansei evaluation of the foundation-applied skin color)

	factor1	factor2	factor3	factor4
①肌の明るさ	-0.15	0.36	-0.10	0.20
②肌の赤み	-0.11	-0.48	-0.63	-0.26
③肌の黄み	-0.11	0.08	-0.51	-0.33
④肌の白さ	0.11	-0.75	0.29	0.08
⑤肌のつや	0.09	-0.23	-0.04	0.34
⑥透明感	-0.13	0.10	-0.16	0.19
⑦頬の毛穴の目立ち	-0.62	-0.10	-0.15	0.35
⑧きめの粗さの目立ち	-0.58	-0.09	0.17	0.19
⑨しわの目立ち	-0.30	-0.04	0.25	-0.26
⑩シミ・そばかすの目立ち	-0.32	0.01	0.33	-0.63
Eigenvalue	2.71	1.95	0.98	0.61
Contribution Ratio[%]	35.73	25.73	12.90	7.98
Accumulation Contribution Ratio[%]	35.73	61.46	74.36	82.34

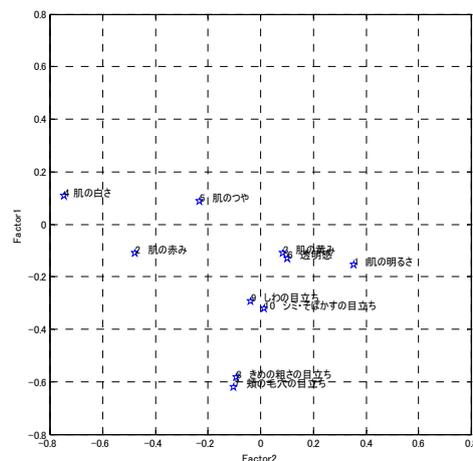


Fig.2.5 Results of principal component  
(Kansei evaluation of the foundation-applied skin color)

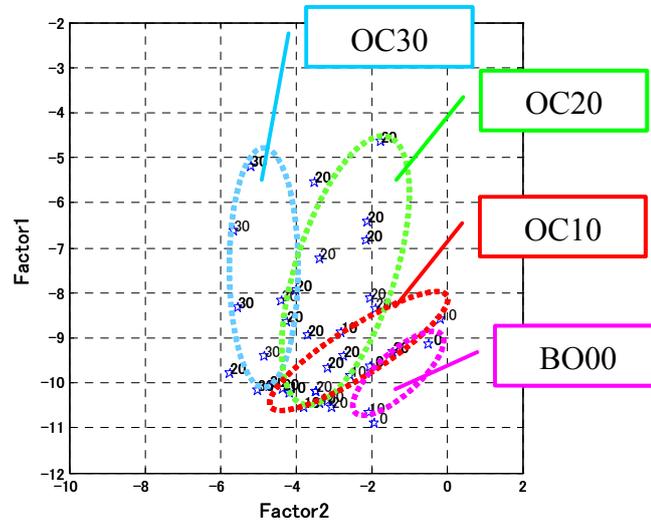


Fig.2.6 Principal component score  
(Kansei evaluation of the foundation-applied skin color)

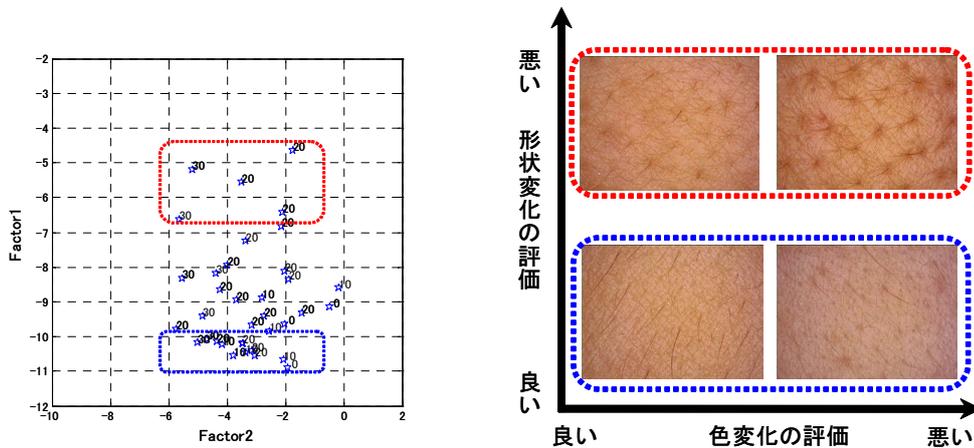


Fig.2.7 Kansei evaluation of the foundation-applied skin color

第1主成分は「頬の毛穴の目立ち」「きめの粗さの目立ち」の因子負荷量が際立っており、形状変化の評価を示している。第2主成分は「肌の白さ」「肌の赤み」「肌の明るさ」の因子負荷量が目立ち色変化の評価を示している。第3主成分は「肌の赤み」、「シミ・そばかすの目立ち」が高い。色のむら进行评估していると言える。第4主成分は「肌のつや」「頬の毛穴の目立ち」「シミ・そばかすの目立ち」という形状を表す用語が目立つ。ここでは肌の良い・悪いという質感を示していると思われる。

素肌の評価と化粧肌の評価とを比較してみると、素肌の場合は総合的な肌の評価に対し、化粧肌の場合は形状と色の変化に分けて評価している。FDを塗布することによって、相対

的に色みを表す影響が低くなっている。反対に状態を表す成分が目立ってきているということから、FD の効果が表れていると思われる。

Fig.2.6 において、素肌の場合と同様に FD の種類に着目すると FD の種類別の領域に分かれている。素肌の主成分得点の分布は広範囲だったことに比べ、化粧肌の場合の分布は狭く密集しているため若干難しいが、同じ2つの評価基準でどの色の FD を塗布しているかを推測できると思われる。Fig.2.7 は、Fig.2.6 の分布図で縦軸の肌の形状変化の評価を基準に肌画像を並べた。青い点線で囲まれた方はきめが細かい仕上がりで、赤い点線で囲まれた方は毛穴が大きく目立つ悪い仕上がりに区別されていると判断できる。後述する FD 粉末のデータの係数である塗布率係数  $b$  と照らし合わせてみると、形状変化の評価が良いと大きい値、悪いと小さい値になっていた。FD の塗布量の多・少は、形状変化の評価に対応していると考えられる。

## 2. 5 まとめ

BA による官能評価の主成分分析より、素肌の評価基準については第1主成分が総合的な評価、第2主成分が肌の形状変化の評価を示している。また化粧肌の評価基準については、第1主成分が形状変化の評価、第2主成分が色変化の評価を示している。これらを総合してみると、素肌の状態で肌の色と肌の形状の2つを基準に評価をすると素肌の色、形状に合った適切な FD を選ぶことができることが言える。これは適切な FD 選びに反映させることができ、BA の評価基準を組み込み、素肌の色と FD 外観色を入力、塗布色を出力とする FD 塗布色予測システムを構築する見通しがついた。

## 第3章 ファンデーション塗布色の予測システムの提案

### 3.1 はじめに

固形状「パウダリーファンデーション」は、肌に塗布した後に肌の分泌物でFD粉末が濡れて、事前に採取した基本データが変化することやその濡れ具合に個人差や環境の違いがあるということから、塗布色の予測が難しいとされている。そこで「パウダリーファンデーション」による塗布色の予測システムを構築することを考えることにした。

研究過程において以下の2つのことが明らかになった。

- ①素肌とFDの分光反射率から塗布色の分光反射率を推定できる。
- ②官能評価の分析よりBAが用いている評価基準は、素肌の色と形状の2つの評価成分に集約できる。

これらより、BAの評価基準を組み込んだ、素肌の色とFD外観色を入力、塗布色を出力とする「パウダリーファンデーション」による塗布色予測システムを構築できると考えた。

### 3.2 システムと問題の記述

#### 3.2.1 塗布色予測システム

分光反射率をベースとして素肌の色とFD外観色および肌形状から塗布色を予測するシステムをFig.3.1に示す。肌形状評価成分として肌の質感の指標となるパラメータを肌画像から抽出し、SVD (Singular Value Decomposition, 特異値分解) に基づいたニューラルネットワークを用いて、素肌の分光反射率とFDの分光反射率と肌形状のパラメータから素肌本来の色の割合とFD外観色を塗布する割合 (以下、塗布率) を求め、塗布色を予測する。

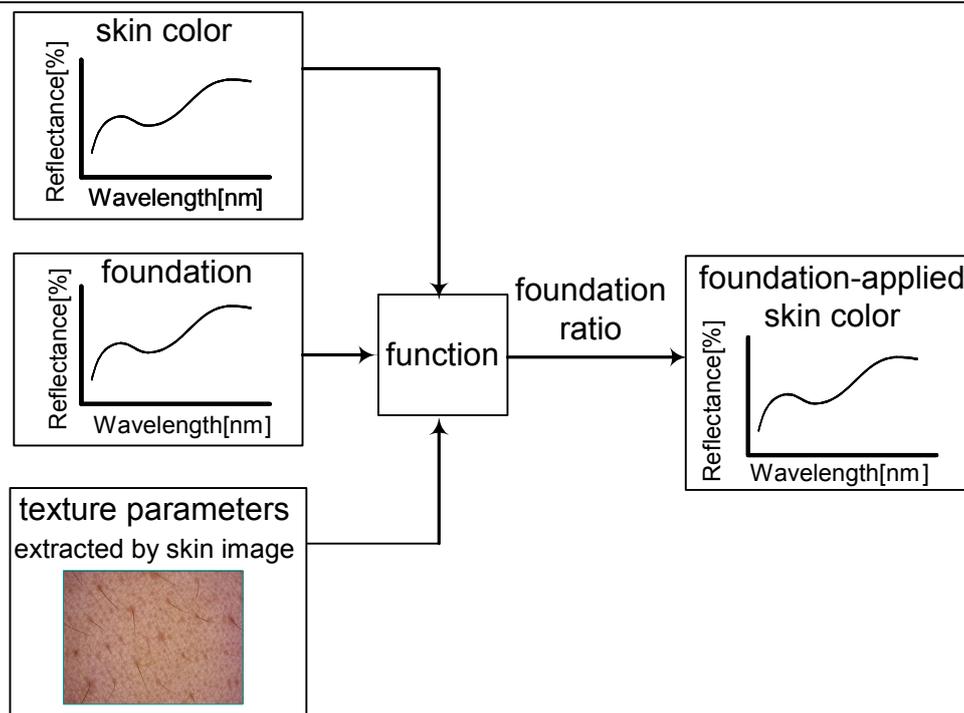


Fig.3.1 Prediction system for the foundation-applied skin color

### 3. 2. 2 問題の記述

FD は、「パウダリーファンデーション」を対象とし、以下に仮定と問題を挙げる。

(A1) 肌画像から抽出する肌形状評価成分をキメに限定する。

前章において、BA が用いている評価基準は2つの評価成分に集約でき、そのうちのひとつが肌の形状評価であった。肌形状を表すものには、キメ、毛穴の目立ち、しわがある。この中でもキメは、肌の質感の指標となる。皮膚表面の形態をキメといい、溝の部分である皮溝と溝に囲まれて高くなっている部分である皮丘から形成される紋様である。体調や環境、加齢によって変化するため、キメは皮膚の美しさに関与する重要な因子としてよく知られている。Fig.3.2 にキメの違いを示す。キメの細かい(a)に対して、(b)は皮溝が広がって皮丘部分が不明確になっている。このようにキメの粗さは肌の質感の指標となり、キメを測定・評価することは肌の質感を知るには極めて重要なことである。そこで仮定 (A1) を設けた。

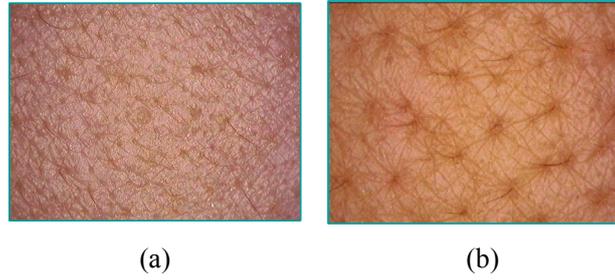


Fig.3.2 Delicate skin and rough skin

- (P1) 素肌本来の色の割合と FD 外観色を塗布する割合と肌の形状には相関関係はあるか。  
 (P2) 素肌の色・形状と FD 外観色からどのように塗布色を予測するか。  
 (P3) 提案する塗布色の予測法は可能かどうか。

問題 (P1) については、まず素肌の色と FD 外観色がどのくらいの割合で混合されて塗布色になっているかは、各々の割合を数値に表すための計算方法より算出する。これは素肌の分光反射率と FD の分光反射率および塗布色の分光反射率の相関関係から導き出す。また、肌形状のひとつであるキメについて、肌画像の解析をする。算出される 341 個のパラメータから塗布率との相関の高いものを抽出し、キメパラメータとする。問題 (P2) については、SVD に基づいたニューラルネットワークを用いる。そして予測システムで予測した塗布色と測色した塗布色との色差を求め、予測システムの有効性を検証することが問題 (P3) の目的である。

### 3. 3 塗布率の定義

塗布色は、素肌の色と FD 外観色がある割合で混合された色になっている。その割合のうち肌に FD を塗布する量を塗布率と呼ぶ<sup>[8]</sup>。塗布率は、素肌の色の分光反射率、FD 外観色の分光反射率および塗布色の分光反射率の相関関係を表す方程式より算出する。ここで、次のように変数を定義する。

$\lambda_i$  : 波長

$s_j(\lambda_i)$  : 波長  $\lambda_i$  における素肌の反射率

$t_j(\lambda_i)$  : 波長  $\lambda_i$  における塗布色の反射率

$f(\lambda_i)$  : 波長  $\lambda_i$  における FD の反射率

$$t_j = [t_j(\lambda_1) \ t_j(\lambda_2) \ \dots \ s_j(\lambda_{31})]^T \quad (1)$$

$$s_j = [s_j(\lambda_1) \ s_j(\lambda_2) \ \dots \ t_j(\lambda_{31})]^T \quad (2)$$

$$f = [f(\lambda_1) \ f(\lambda_2) \ \dots \ f(\lambda_{31})]^T \quad (3)$$

$i$  は波長点数,  $j$  は被験者数を示す. 素肌の分光反射率と FD 外観色の分光反射率および塗布色の分光反射率の相関関係を調べるため,

$$t_j = g(s_j, f) \quad (4)$$

となる一般的な関数  $g$  を求める. 測定データより被験者によって素肌の色および塗布の効果は異なる. これは, 被験者の素肌の色に関係なく肌の色・形状に関係があるのではないかと考え, 次式のように線形関数に近似できるとし重回帰分析により相関係数を求める.

$$t_j = a_j \cdot s_j + b_j \cdot f \quad (5)$$

$a_j$ ,  $b_j$  は各波長, 各被験者に依存しないとし, 重回帰分析より次の方程式を得る.

$$\begin{bmatrix} a_j \\ b_j \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} s_j \\ f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_j & f \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} s_j \\ f \end{bmatrix} t_j \quad (6)$$

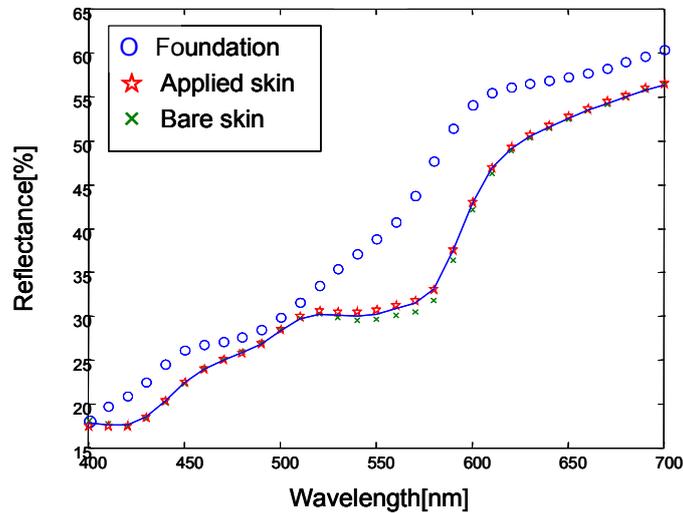


Fig.3.3 Spectral reflectance

測定した素肌, FD 外観色および塗布色の分光反射率は, Fig.3.3 のような波長依存性を示す. 式 (6) より定められる  $a_j$ ,  $b_j$  を式 (5) に代入すると塗布色の分光反射率を推定する方程式となる. この方程式から推定された塗布色の分光反射率は実測値とほぼ一致する (Fig.3.3 の実線).

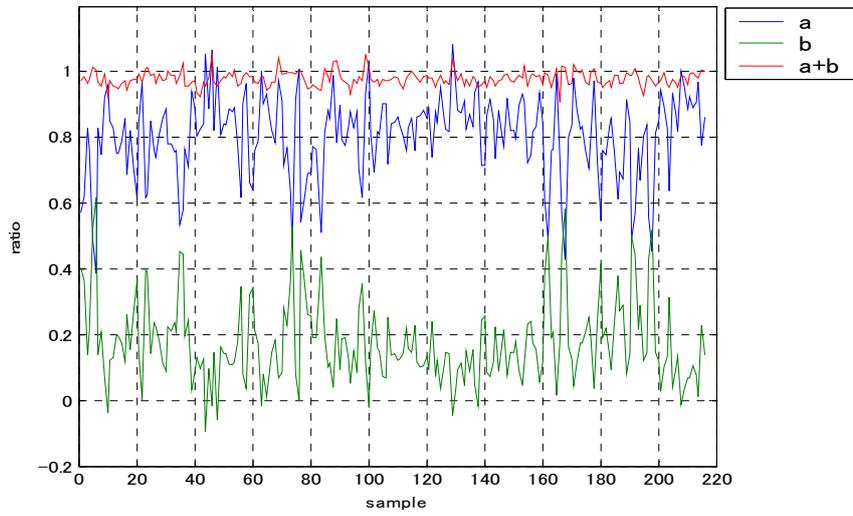


Fig.3.4 Estimated a and b and a+b

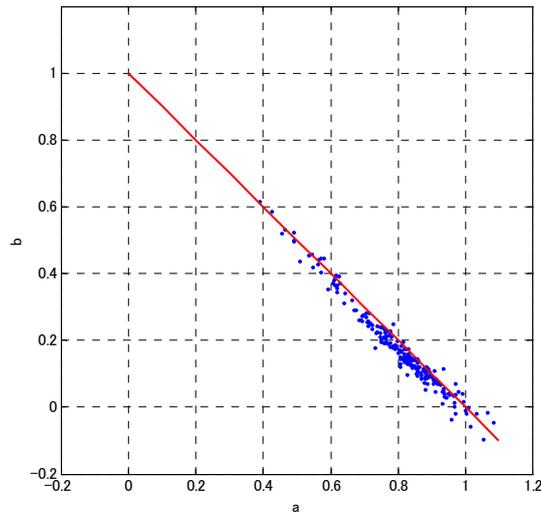


Fig.3.5 91% of the estimated parameters that satisfied by the equation  $a + b = 1$  within 5%

Fig.3.4 に式 (6) で求めた  $a$ ,  $b$  の関係を示す. この 2 つの相関係数は FD 塗布後の素肌の色と FD 外観色の割合を表し,  $a + b \doteq 1$  である.  $a$  を素肌パラメータ,  $b$  を FD パラメータと呼ぶことにし, FD パラメータ  $b$  が塗布率に相当する. Fig.3.5 に示すように求めた  $a$ ,  $b$  の組み合わせの 91% は, 方程式  $a + b = 1$  によって満たされ, (5) は (7) と表すこともできる.

$$t_j = (1 - b_j) \cdot s_j + b_j \cdot f \tag{7}$$

つまり塗布色の分光反射率 $t_j(\lambda_i)$ は、FDが塗布されている面積の比率 $b_j$ と塗布されていない面積の比率 $(1-b_j)$ により定まると表すことができる。これらの比率は波長 $\lambda_i$ によっても変化し、 $t_j(\lambda_i)$ は次のように表現することができる。

$$t_j(\lambda_i) = s_j(\lambda_i)\{1 - b_j(\lambda_i)\} + f(\lambda_i)b_j(\lambda_i) \quad (8)$$

式(11)を変形すると、次のように整理される。

$$t_j(\lambda_i) - s_j(\lambda_i) = b_j(\lambda_i)\{f(\lambda_i) - s_j(\lambda_i)\} \quad (9)$$

今、

$$g(\lambda_i) = f(\lambda_i) - s_j(\lambda_i) \quad (10)$$

$$h(\lambda_i) = t_j(\lambda_i) - s_j(\lambda_i) \quad (11)$$

とすると、式(13)は、

$$h(\lambda_i) = a(\lambda_i)g(\lambda_i) \quad (12)$$

と表せる。したがって、

$$a(\lambda_i) = h(\lambda_i)/g(\lambda_i) \quad (13)$$

よりFDが塗布されている面積の比率 $b_j(\lambda_i)$ 、すなわち塗布率が求められる。Fig. 3.6のような塗布率と塗布色の関係を示すことができる。塗布率の値を決定すると、素肌の色の割合とFD外観色の割合がわかり、塗布色が予測できる。

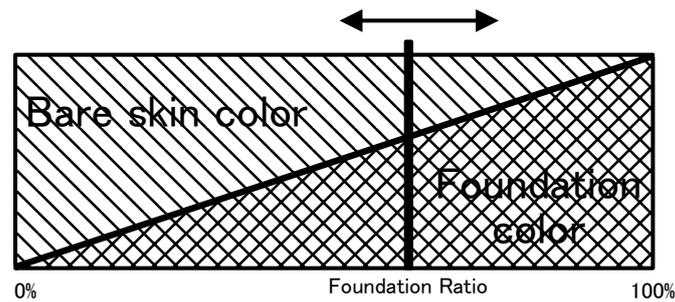


Fig. 5 Illustration of the relation of the Foundation ratio

### 3. 4 塗布率と肌画像の関連性

得られた素肌の肌画像を解析し、考えられる皮丘や面積率など 341 個のキメパラメータが算出する。それらの中から  $a$ 、 $b$  に関連するパラメータとして相関の高いものを抽出する。抽出したキメパラメータは、5 つあった。

ここで、重回帰分析において、説明変数の中に非常に相関の高い変数が含まれているときに起こる多重共線性を考慮する必要がある。多重共線性は、

- ① 偏回帰係数を求めるとき、大きな計算誤差を伴うか、計算不能になってしまう。
- ② 求められた偏回帰係数が、1 つのサンプル追加やちょっとした誤差によって大きく変化してしまう。

という問題が起きることをいう。偏回帰係数を解釈しないような重回帰モデルでも、構造の違う新規データに対して予測式を適用した結果が非常に大きな予測値の相違をもたらすことがあり、役に立たないことになる。したがって、多重共線性問題の可能性を考慮する必要がある。

抽出したキメパラメータの相互間の多重共線性があるかどうかを調べたところ、2 通りのパラメータ間において強い相関が見られた。これより、5 つのうち 3 つを  $a$ 、 $b$  に関連するキメパラメータとして用いる。

### 3. 5 計測

20 代～30 代の日本人女性 36 名を対象に、素肌、FD 外観色、塗布色それぞれの分光反射率を計測し、マイクロスコープでコンピュータに肌画像を取り込む。分光反射率データは、波長 400nm～700nm、10nm 間隔の 31 波長点である。使用した FD の色の種類は、B000、0C10、0C20、0C30 の 4 色である。これらの中から各々の似合う色を 1 色選択し、塗布する。対象部位は顔の左右の目の下 (Fig3.7) で、1 被験者につき 2 箇所である。塗布色の計測する。洗顔後に素肌の測定を行い、また同様に塗布後の測定を行った。被験者 36 名の測定全デー

タ (Fig3.8) と FD 4 色の全データ (Fig3.9) を以下に示す.



Fig.3.7 Spectral reflectance measured area

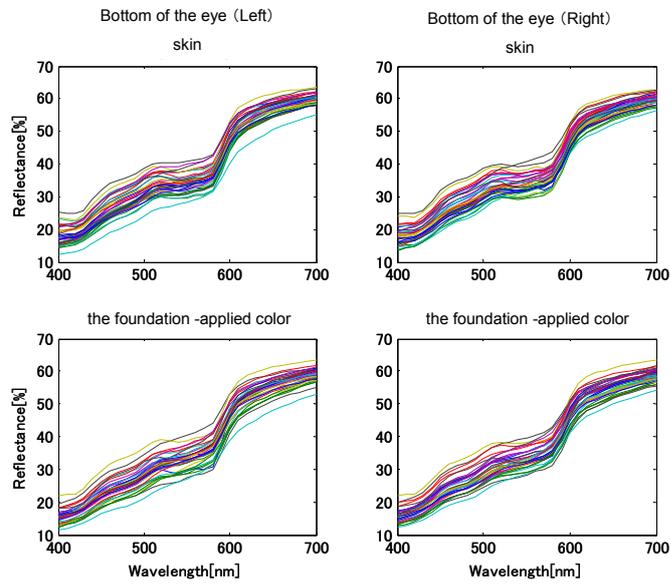


Fig.3.8 Spectral reflectance of measured the bare skin color and the foundation -applied color

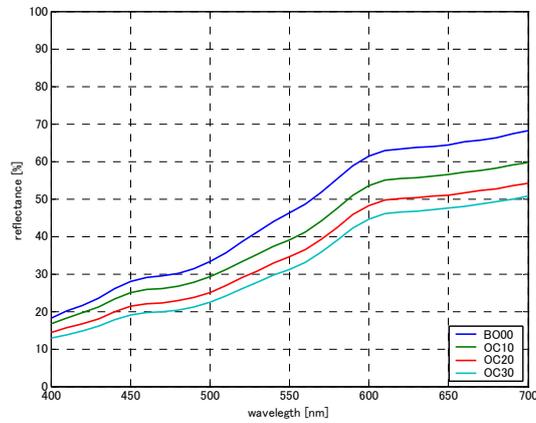


Fig.3.9 Spectral reflectance of foundation

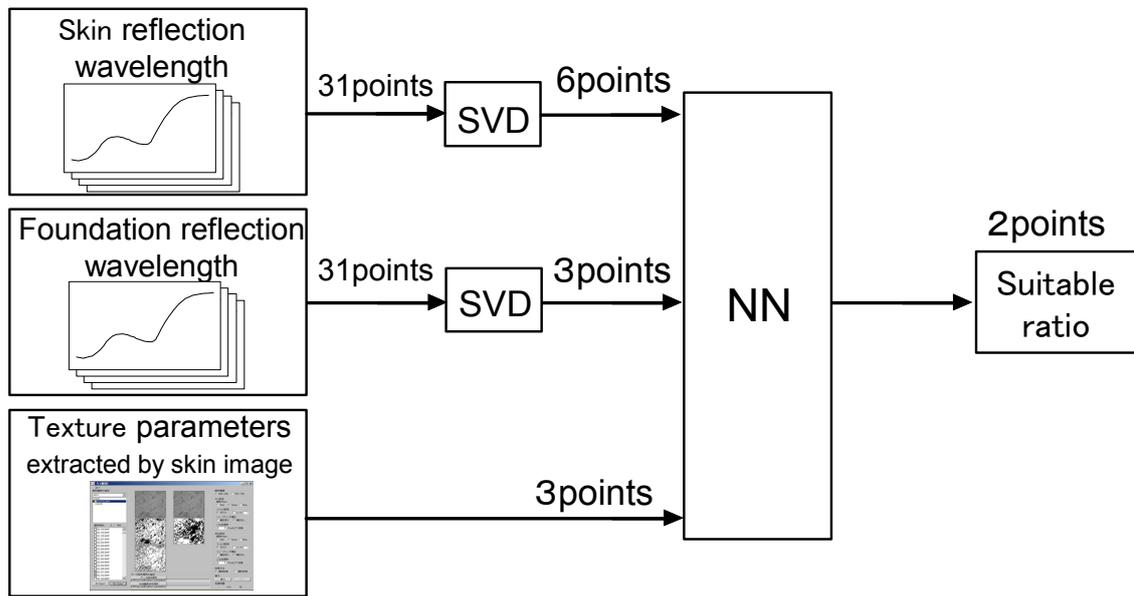
### 3.6 ニューラルネットワークによる塗布色予測システムの構築 とその検証

#### 3.6.1 ニューラルネットワーク

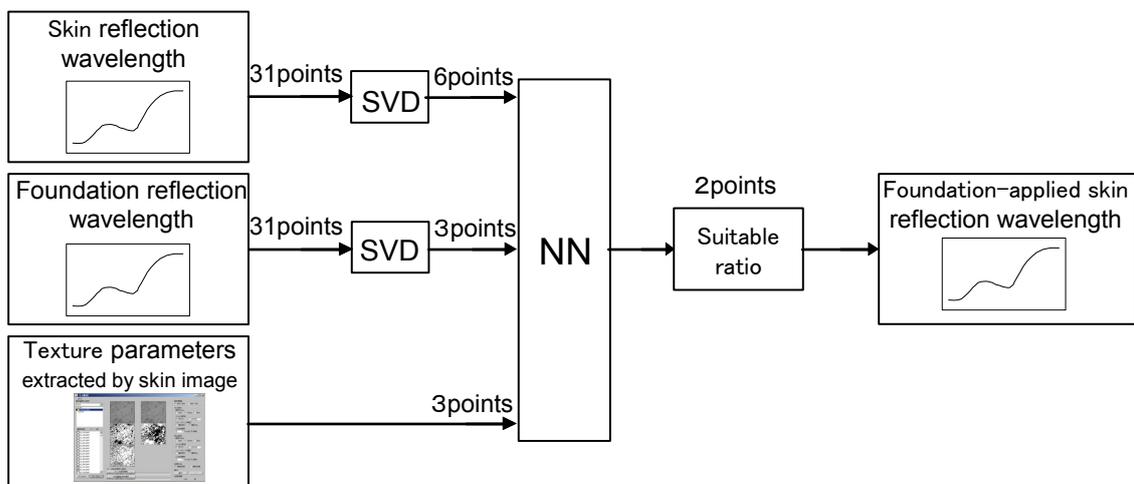
素肌, FD 外観色および塗布色の分光反射率の相関関係を表す方程式から, 素肌の色の割合  $a$  と塗布率  $b$  表すとともに, 塗布色の分光反射率を推定することができる. しかし, 色混合結果を非線形に表しただけのため形状を含めた塗布色を予測するには十分でない. そこで SVD (特異値分解) に基づいたニューラルネットワークを用いる. Fig.3.10 に概要を示す. ここで使用するニューラルネットワークは3層のバックプロパゲーションである. 入力層は SVD によって選出した素肌・FD の分光反射率データとキメパラメータ, 出力層は  $a$ ,  $b$  である. 中間層のユニットとしてシグモイド関数, 出力層のユニットとしてリニア関数を用いて学習させ  $a$ ,  $b$  を予測し塗布色の計算を施す.

#### 3.6.2 検証

34名の分光反射率データとキメパラメータを使用し, 予測した塗布色と測色した塗布色の色差を示す. 31個の分光反射率データは, SVD によって素肌のデータを6つ, FD データを3つで表すことができる<sup>[8]</sup>. よって, 入力データは, 分光反射率データ 9, キメパラメータ 3, 合計 12 で, 出力は  $a$ ,  $b$  の 2 である. 予測された  $a$ ,  $b$  より塗布色を計算して, 測色した塗布色と色差の比較をする.



(a) Summarized schematic diagram for training



(b) Summarized schematic diagram for prediction

Fig.3.10 Summarized schematic diagram for proposed SVD-based neural network

### 3. 6. 3 結果と考察

ニューラルネットワークによる塗布色予測システムで予測された塗布色と測色した塗布色の色差をFig.3.11に度数分布で示す。すべてが色差3以内で、87%が2以内であった。また、Fig.3.12には、形状のパラメータを含まない場合で、85%が色差3以内、70%が2以内で予測された結果であった。これらを比較してみると、精度が上がっている。よって、形状を表す

キメパラメータを加えた予測は有効である。

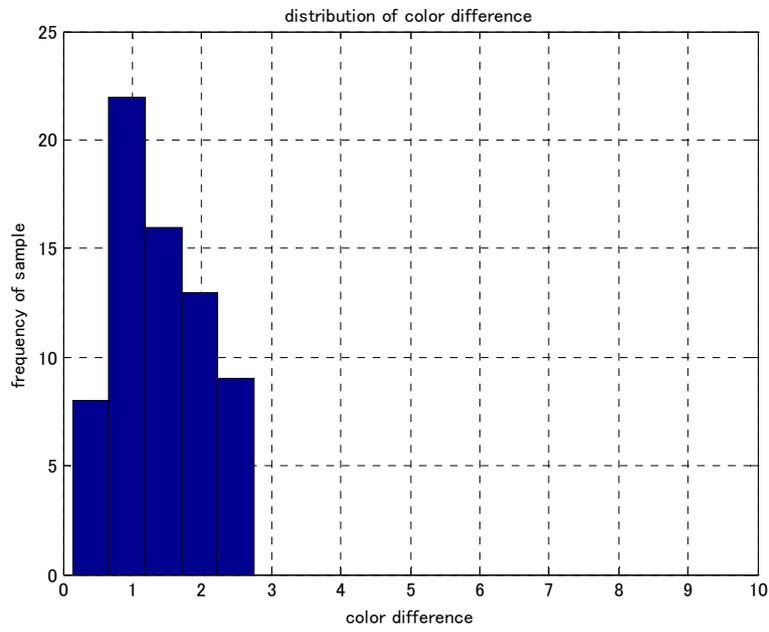


Fig.3.11 Frequency about color difference  
(Result of neural network)

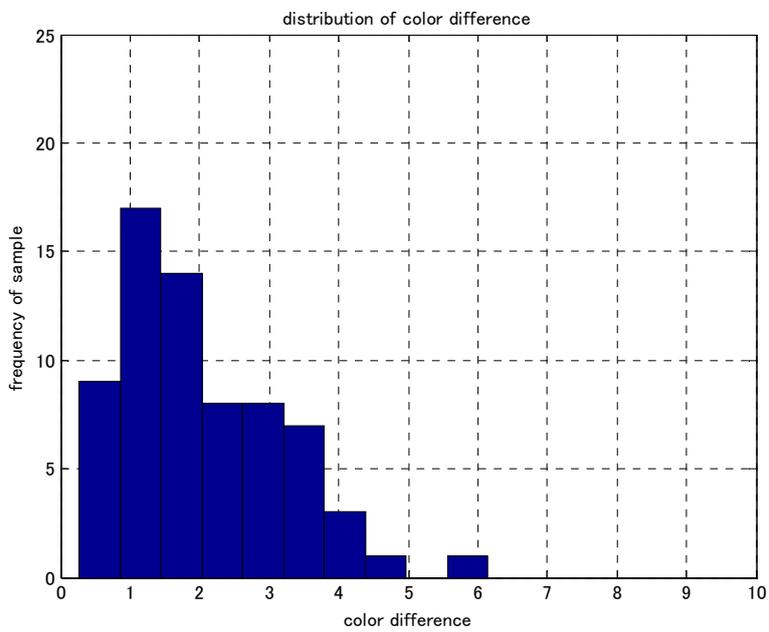


Fig.3.12 Frequency about color difference

### 3.7 まとめ

主観的判断であるBAの評価基準を組み込んだ新しい塗布色の予測システムを考え、素肌の色とFD外観色を入力、塗布色を出力とするSVD(特異値分解)に基づいたニューラルネットワークを用いた予測システムを構築した。この予測システムは、素肌の分光反射率とFD外観色の分光反射率と形状情報を表すキメパラメータから素肌の色の割合である素肌パラメータとFD外観色を塗布する割合である塗布率を導き出し、塗布色を予測するものである。これより予測された塗布色と測色の色差は3以内に満され、この予測システムは有効であることが示された。また、本システムは予測が難しいパウダリーファンデーションを対象とし、その塗布色を素肌の色とFD外観色および形状から塗布色を予測することが可能であることが示された。

## 第4章 結論

素肌に近い色が好ましいとして予測法を考えてきた。しかしどのような肌色が美しいかは、流行によって移り変わっている。もっと白くしたいと思う人がいる一方で、日焼けしたような色を好む人もいて多様な肌色が存在している。提案した塗布色予測システムより予測された塗布色を基準の色としてFD選択をすれば、FDによる多様な肌色を演出できるのではないだろうか。また、このような予測法はFD選択に有効な手段となるだけでなく、化粧品類一般の特性解析や使用方法の開発にも有益な手法を提供することが期待される。

---

## 参考文献

- [1] 村澤博人, 佐藤敏子:「肌色をもっときれいにする本」—肌色の文化からベースメイクの知識まで, ポーラ文化研究所 (1999)
- [2] 川口由紀子, 金子治:ファンデーションの塗布色の研究 (第1報), 日本化粧品技術者会誌 Vol.30 No.2, pp176-183 (1996)
- [3] 川口由紀子, 金子治:ファンデーションの塗布色の研究 (第2報), 日本化粧品技術者会誌 Vol.31 No.1, pp31-43 (1997)
- [4] 樫本明生:最近のファンデーションの機能と開発動向, フレグランスジャーナル, pp11-21 (2003,4)
- [5] 天坂格郎, 長沢伸也:官能評価の基礎と応用 自動車における感性のエンジニアリングのために, 日本規格協会 (2000)
- [6] 尾澤達也:化粧品の科学, 裳華房 (1998)
- [7] 妹尾正巳, 竹本裕子:主成分分析によるスキンケア化粧品の評価, JUSE パッケージ活用事例シンポジウム第10回 (2001)  
<http://www.i-juse.co.jp/statistics/support/sympo/m10/m10-j03.html>
- [8] K. Kobayashi, A. Kijima, K. Watanabe, M. Fukuoka, N. Toyoda, Y. Yoshikawa: The foundation-applied skin color prediction using SVD-based neural network, The 4th Japan-Korea International Symposium on Kansei Engineering, pp.313, 2003
- [9] 日本色彩学会編:色彩科学ハンドブック (第2版) (1998)
- [10] 川上元朗:色彩の事典, 朝倉書店 (1987)
- [11] 長町三生:感性工学のおはなし, 日本規格協会 (1995)
- [12] K. Watanabe, H. Kosaka: Evaluation of Keyboard Switches Based on Kansei (Human Sensitivity) Information, IEEE International Workshop on Robot and Human Communication, 1995
- [13] 田中豊, 脇本和昌:多変量統計解析法, 現代数学社 (1983)
- [14] 涌井良幸, 涌井貞美:図解でわかる多変量解析, 日本実業出版社 (2001)
- [15] 木下栄蔵:孫子の兵法の数学モデル, 講談社 (1998)
- [16] 木下栄蔵:入門 AHP, 日科技連出版社 (2000)
- [17] 木下栄蔵:AHP の理論と実際, 日科技連出版社 (2000)

## 付録 1 色の定量的評価

二つの色が提示された場合、視覚的に判断し、その色の差の程度を判定することができる。この色の知覚的な差を定量的に表したものを色差という。色の表示方法は、波長の関数としての異なった放射束に対する網膜の感度によって決定される要素を含むものである。同様に、色差も刺激差に対する肉眼の感度によって決定されるものである。

実験的な公式である色差式は、表面色が 3 次元的な均等色空間によって表されるという仮定に基づいて取り扱う。人間の色感覚に合った色度図を均等色度図、人間の明るさ感覚の特性と対応するような関数を明度関数という。この均等色度図と明度関数を組み合わせて 3 次元空間にしたものが均等色空間である。そのような色空間では、等明度面は等色度で明度の変化を表す直線に垂直である。したがって、色度差を  $\Delta E_C$ 、明度差を  $\Delta E_L$  とすると、色差  $\Delta E$  は、

$$\Delta E = [(\Delta E_C)^2 + (\Delta E_L)^2]^{1/2} \quad (\text{A } 1)$$

表される。

色空間は様々な表現がされている。そのひとつで、座標上で示される 2 色の色の一定距離がどの領域においても、一定の知覚的な色差に対応するように定められている  $L^*a^*b^*$  色空間がある。この均等色空間において、明度  $L^*$ 、色相  $a^*$ 、彩度  $b^*$  とした任意の 2 色の  $L^*a^*b^*$  を  $(L_1^*, a_1^*, b_1^*)$ 、 $(L_2^*, a_2^*, b_2^*)$  とするとその色差  $\Delta E$  は次式で計算される。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (\text{A } 2)$$

$$\Delta L^* = L_2^* - L_1^* \quad (\text{A } 3)$$

$$\Delta a^* = a_2^* - a_1^* \quad (\text{A } 4)$$

$$\Delta b^* = b_2^* - b_1^* \quad (\text{A } 5)$$

式 (A 2) より色の定量的評価をする。

## 付録 2 AHP によるファンデーション選択方法の提案

美容アドバイザー (BA) による官能評価を主成分分析したところ、ファンデーション (FD) の選択における評価基準が明らかになった。このことを踏まえ、ユーザの好みに合った、また、肌に対して合理的なアンケートを作成し、AHP により簡易にユーザ自身が適切な FD を選ぶことができる方法を提案する。

### 1. AHP

いくつかの代替案の中から最適な選択を評価基準に基づいて行うことを意志決定という。現実社会において、最適化理論のような単純な最適化は存在せず様々な条件が絡み合った中で総合的な評価を行う必要があり、問題の分析において、主観的判断とシステムアプローチを上手くミックスした問題解決型意思決定手法がいくつか考案されている。この中の一つの手法が AHP (Analytic Hierarchy Process) である。AHP とは、階層分析法といい、評価属性 (評価項目) が複数存在する場合に、個々の属性を階層的な構造として認識し、より具体的な評価項目によって階層構造モデルとして取り扱い、一対比較によって、個々の項目の評価と意思決定を同時に行うことが出来る。この手法は経済問題・経営問題・エネルギー問題・政策決定・都市計画など多岐にわたって適用されている。

Fig.A3.1 に示すように AHP の基本的な階層構造モデルは、いちばん上に総合目的、それより下は問題解決の当事者の判断で評価基準を決め、階層のいちばん下に代替案を置く。

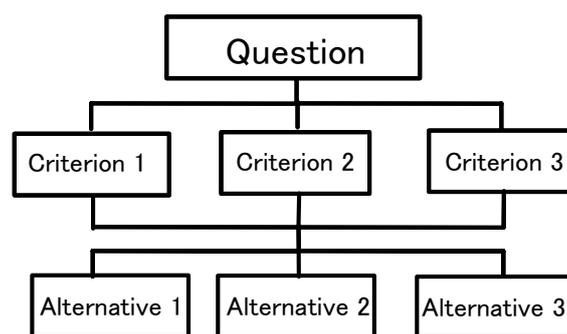


Fig.A3.1 AHP Hierarchical Structure

### 2. 選択の方法

選択方法の主な流れは、「①選択方法の構造を提示する. ②肌についての合理的なアンケ

ートを作成する。③客観的な判断を行う。」である。この方法を FD 選択に適用する。そこで、

- (A1) 選択すべき FD は、それぞれ色みの異なる B000, OC10, OC20, OC30 の 4 つのいずれかである。
- (A2) 評価基準は、BA による官能評価の主成分分析で第 1 主成分の因子負荷量が高かった「肌の白さ」「肌の黄み」とする。

と仮定し、評価用語を総合的に判断する。第 2 章の Fig.2.2 において第 1 主成分を軸にすると、この 2 つの評価用語は相反する表現であることが読み取れる。このことから仮定 (A2) を設けた。Fig.A3.2 は、AHP による FD 選択のための階層構造である。ここでの階層構造は、単純な AHP とは異なり、評価基準が「肌の白さ」と「肌の黄み」の 2 つにわけ、それぞれの評価に対しアンケートによりどちらの結果を重視するかを決定していく方法をとった。したがって、今回の階層構造は、いちばん上に総合目的である FD 選択、評価基準に「肌の白さ」「肌の黄み」とし、評価基準の程度ごとの層を設け、いちばん下に代替案として FD とした。

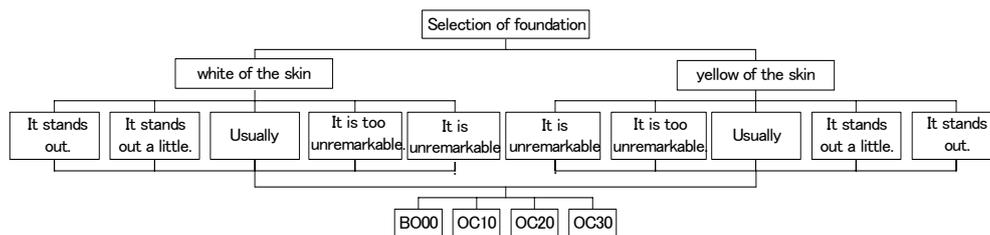


Fig.A3.2 AHP Hierarchical Diagram of foundation selection

Fig.A3.3 に意志決定までの流れを示す。第 1 段階として「あなた自身は「肌の白さ」と「肌の黄み」ではどちらの方が気になりますか？」というアンケートをし、その結果から評価基準の重み付けをする。第 2 段階として「肌の白さまたは肌の黄みの目立ちはどの程度だと思えますか？」というアンケートをし、その結果から評価尺度ごとの重み付けをする。第 3 段階としてファンデーションの色特性による重み付け、つまり代替案ごとの重み付けをする。最後に総合目的に対する総合評価として階層全体の重み付けをする。第 1 段階、第 2 段階の答え方は Table A3.1 に示すように 5 段階とした。重み付けは、Table A3.2 の数値を参考にしながら、一対比較で行う。

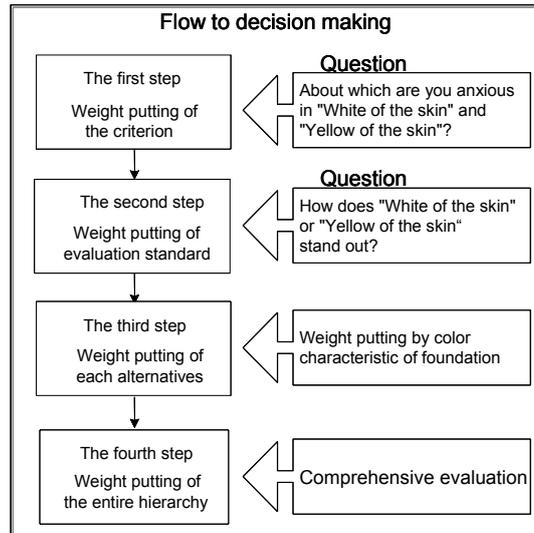


Fig.A3.3 Flow to decision making

Table A3.1 Questionnaire based on AHP

	5	4	3	2	1
肌の黄み	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ
肌の白さ	目立たない	あまり目立たない	ふつう	やや目立つ	目立つ

Table A3.2 Paired comparison

重要性の尺度	1	3	5	7	9
定義	同じくらい重要	やや重要	かなり重要	非常に重要	きわめて重要

### 3. 分析と結果

第1段階で「肌の白さ」の方が「少し気になる」、第2段階で肌の白さが「目立つ」と答えた場合について、Table A3.3, Table A3.4 に示す。また第3段階でFDの色自体特性（明度，色相）を考慮して各代替案の一対比較をした（Table A3.5）。最後の総合評価として階層全体の重み付けをした（Table A3.6）。

Table A3.3 Results of the first step (Weight putting of the criterion)

	肌の白さ	肌の黄み	重み
肌の白さ	1	3	0.7500
肌の黄み	1/3	1	0.2500

C.I.=0.0

Table A3.4 Results of the second step (Weight putting of evaluation standard)

	目立つ	やや目立つ	普通	あまり目立たない	目立たない	重み
目立つ	1	3	5	7	9	0.5028
やや目立つ	1/3	1	3	5	7	0.2602
普通	1/5	1/3	1	3	5	0.1344
あまり目立たない	1/7	1/5	1/3	1	3	0.0678
目立たない	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0.0348

C.I.=0.0607

Table A3.5 Results of the third step (Weight putting of each alternative)

	B000	OC10	OC20	OC30	重み
B000	1	3	5	7	0.5579
OC10	1/3	1	3	5	0.2633
OC20	1/5	1/3	1	3	0.1219
OC30	1/7	1/5	1/3	1	0.0569

C.I.=0.0395

Table A3.6 Results of the fourth step (Weight putting of the entire hierarchy)

B000	OC10	OC20	OC30
0.3742	0.3049	0.2147	0.1060

Table A3.6 より、重みの値の大きいものを選ぶと最適である。よってこの場合は、B000 の FD を選択するとよいことになる。比較判断の信頼性が高めるため、第 2 段階（評価尺度ごとの重み付け）において、標準色のサンプルを提示する方が良いと考えている。

#### 4. まとめ

一対比較によって意思決定ができる AHP による手法を用いて、ユーザの肌、好みに合った FD をユーザ自身が選択できる方法を提案することを考えた。FD 選択において、ユーザ自身の肌評価に関するアンケートを採り、適切な FD 選択ができる階層構造モデルを提案した。この提案する階層構造モデルを使うことで、ユーザ自身が容易に直感的に適切な FD を選択することができるようになると思われる。

---

## 研究業績

2003 年度

<国内会議>

木島 亜衣, 渡辺 嘉二郎, 小林 一行, 福岡 正和, 豊田 成人, 吉川 拓伸, “化粧肌と官能評価の関係”, 第 5 回日本感性工学会, 大会・総会, Proceedings of the 5th Annual Conference of JSKE2003(2003)

K.Kobayashi, A.Kijima, K.Watanabe, M.Fukuoka, N.Toyoda, H.Yoshikawa, "The foundation-applied skin color prediction using SVD-based neural network", 第 4 回感性工学日韓シンポジウム, The 4th Japan-Korea International Symposium on *Kansei Engineering* (2003)

2004 年度

<国内会議>

木島 亜衣, 渡辺 嘉二郎, 小林 一行, 福岡 正和, 豊田 成人, 吉川 拓伸, “AHP によるファンデーション選択方法の提案”, 第 6 回日本感性工学会, 大会・総会, Proceedings of the 6th Annual Conference of JSKE2004 (2004)

S.Nagasawa, T.Kanda, E.Cooper, K.Kamei, K.Kobayashi, A.Kijima, K.Watanabe, M.Fukuoka, N.Toyoda, H.Yoshikawa, H. Kosaka, Y.Yamashita, H.Nishitani, P.Tsai, "Introduction to Kansei Engineering as a International Technique", Proceeding of the 6th Annual Conference of JSKE 2004, pp.64-65

<国際会議>

"The prediction of Foundation-Applied Skin Color Based on SVD-Based Neural Network", Kazuyuki Kobayashi, Ai Kijima, Kajiro Watanabe, Masakazu Fukuoka, Naruhito Toyoda, Hironobu Yoshikawa, Proc. of 2nd ICAIET 2004, August 3-5, 2004, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, pp.313-317

---

## 謝辞

本研究を進めるにあたり渡辺嘉二郎教授，小林一行助教授にご指導をいただきました。渡辺嘉二郎教授には研究の進め方，論文の書き方など学ばせていただきました。小林一行助教授には大変迷惑をかけ，研究全般で助けていただきました。深く感謝申し上げます。

本研究の全体に渡ってご協力をしていただいた株式会社資生堂の豊田成人さんには，大変お世話になりました。また，研究の繋がりから始まった御社でのアルバイト経験は貴重なものとなりました。厚く御礼申し上げます。

感性工学会にて出会った株式会社イノアックコーポレーションの今井由美さんには，研究内容が近いこともあって，参考文献となる資料を送っていただき，先輩のように接しさせていただきました。厚く御礼申し上げます。

渡辺研究室，小林研究室のみなさん，大変お世話になりました。学会や発表前は張り詰めた空気になりますが，時には笑いが耐えない研究室でした。悩んだとき貴重な助言をもらうこと，勇気付けられとても嬉しく感謝しています。本当にありがとうございました。そして，研究室外において私を支えてくれた多くの友人たちに心から感謝いたします。

最後に，あらゆる場面で相談に耳を傾けアドバイスしてくれて，東京の大学さらに大学院まで進学されてくれた両親に深く感謝いたします。