

肌透明感の要因追求のための多次元可視化 — 肌画像解析と官能評価からなるデータの解析 —

栃木 彩実[†] 伊藤 貴之[†]

[†]お茶の水女子大学理学部情報科学科 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: † {g1620527, itot}@is.ocha.ac.jp

あらまし 「肌の透明感」は美しい肌の条件の一つとして、世代問わず女性にとって関心が高く重要なキーワードである。しかし、「肌の透明感」が具体的にどのような状態の肌であるかについて明確な定義は見当たらない。現状では肌の透明感の評価は専門家による視感評価などが一般的であり、どのような視覚特性が関与するのかは十分に明らかにはなっていない。そこで本研究では、肌画像から算出される画像特徴量と、肌画像の官能評価結果を分析することで、両者の関係を明らかにすることを目指す。具体的には、平行座標法という多次元可視化の手法を用いて画像特徴量と官能評価結果を比較することで、「肌の透明感」の要因を追求する。データを可視化することによって、特徴量や評価結果の複雑な分布を観察できると考えられる。本報告では、Hidden という高次元データ可視化ツールを用いてデータを観察した結果を示す。

キーワード 肌, 透明感, 官能評価, 画像解析, 多次元可視化

1. はじめに

肌に関する研究は化粧品業界を中心に進展が続いている。肌の印象や状態をあらわす典型的な単語の一つに「透明感」がある。「肌の透明感」の要因を解明することで、新たな化粧品の開発が可能であることだけでなく、情報処理への活用としても例えば、CG を用いたリアルな肌の再現、肌を美しく見せるための肌画像加工技術などへの適用が期待できる。

しかし、「肌の透明感」という表現には感覚的な要素が含まれており、どのような肌を透明感があると称するかについては評価者の主観や経験などによって左右される。このことから、肌の透明感は客観的な評価が難しいとされるだけでなく、未解明な点が多い。一方で、このような客観評価が難しい問題には、官能評価を交えた感性情報処理の適用や、可視化によって探索的にデータを観察する手法の適用が有用であると考えられる。そこで本研究では、肌の測定結果と官能評価結果を多次元可視化によって比較することで、「肌の透明感」の要因を解明することを試みる。

肌状態を測定するための従来手法には専門の精密機器を使用することが多いが、このような方法では環境や設備が整った状況でないと測定できない。そこで本研究では、肌の撮影画像を用いて画像解析によって肌特徴量を抽出し、これと官能評価結果を照合する。このアプローチによって本研究では、精密機器を用いない方法論を模索する。

本報告の構成は以下の通りである。2 章では肌の透明感、多次元可視化に関する関連研究について、3 章は提案手法について述べる。4 章では本手法の実行結

果と考察について、そして 5 章ではまとめと今後の課題について述べる。

2. 関連研究

2.1 肌の透明感と肌特徴との関係

本章では、肌の透明感に影響する要因について報告された内容を簡単に紹介する。

桑原[1]は、肌の透明感の定量評価として光学的な測定による手法を提案している。日本化粧品工業連合会の定義案である「肌の透明感は角質層の光透過性、すなわち入射光に対する透過光の比率が高い」に則って、肌の反射特性に注目し、光反射の測定法を構築した。そして実際の測定結果から、拡散反射成分が多いほど透明感が高いことが判明した。しかし、光透過性だけでは肌透明感を定量的に説明するには不十分であると考えられる。また、西牟田ら[2]は肌の反射特性を画像から計測している。この研究では肌画像から $L^*a^*b^*$ 値および輝度値を取得すると同時に、肌画像を用いた主観評価実験を実施した。その結果、平均輝度が高いほど透明感が高いと評価される傾向が報告されている。また、透明感を与える最適色度について主観評価を実施したところ、その結果には個人差が大きい、同一人物の回答は安定していることがわかった。つまり、透明感と色度の関係は評価者に大きく依存すると言える。この実験では肌画像からでも信頼性の高い結果を得ることが確認されていることから、本研究でもこれに類似したアプローチをとっている。

牟田ら[3]は、皮膚生理特性の計測結果と美容技術者による視感評価結果に対し、PLS 解析 (partial least

square analysis) を適用した。その結果、透明感の高い肌はキメが細かく整っており、角質水分量が多く、メラニン量、ヘモグロビン量が少ないということを報告している。ただし、これらによる透明感の説明分散は55%程度に留まっており、残りの45%程度は原因不明のままである。

中西ら[4]は透明感評価において光沢のある肌が好まれないことを提示している。一方で、安盛ら[5]はツヤ強度が低いほど「くすみが目立つ」という結果を報告している。これらの結果は、透明感にツヤや光沢が関係ないとは言いきれないことを示唆している。

また、征矢ら[6]は肌の透明感の言語的構造に注目した実験結果を発表している。具体的には、「透明感のある肌」についての意識内容を言語的に分析し、肌のキメ、色、潤いなどの三つの要素を基本要件とする複合概念であることを示した。本研究では、複合的な概念である透明感と肌特徴を表す表現の関係に注目し、官能評価を行うことでより「肌の透明感」を具体化することを目指す。

2.2 多次元データの可視化

多次元データから重要な次元を選択し、低次元の状態で可視化する手法は近年多く発表されている。伊藤ら[7]は Hidden という高次元データ可視化ツールを発表している。Hidden は複数の平行座標法による低次元部分空間群を対話操作によって表示し、次元散布図がその操作をサポートするといった仕組みである。平行座標法はデータ内のすべての次元を一度に視認することが可能であるが、複数の折れ線の交わりによる視認性の低下や隣り合わない次元間の相関関係が読み取りにくいというデメリットがある。Hidden はそのような問題の解消を実現した。本報告では、肌画像から抽出された特徴量と官能評価結果を合わせた多次元データを可視化する際に、上記の特徴を持つ Hidden を適用する。

3. 肌特徴量と官能評価結果の可視化

本章では肌特徴量の算出手法、官能評価の実施手順、およびこれらの結果の可視化について述べる。3.1 節で肌撮影の環境、3.2 節で肌画像の解析手法、3.3 節で官能評価の実施手順、そして 3.4 節で多次元データの生成および可視化について説明する。

3.1 肌撮影

本研究では専用の肌撮影環境を設営した。ここで、肌の透明感を撮影画像から評価するのに際して、環境光の反射がその印象に影響を与えることから、環境光を排除した撮影環境が必要であると考えた。そこで本報告では、縦 2m×横 2m の暗室を設置し、その中で肌を撮影することで、撮影用に設置した光源以外の光の

影響を排除した。本研究では 20 代の女性 15 人の肌(左右頬)を被写体とし、化粧や日焼け止め等をつけていないすっぴんの状態で、デジタル一眼レフカメラ (Canon EOS Kiss X10) で各被験者の両頬を撮影した。その際に、光源 (LED ライト, 5600K) と被写体との向きを固定した。左頬を撮影する場合は中心から左に 45 度の位置、右頬を撮影する場合は中心から右に 45 度の位置に設置した。

3.2 肌画像の解析による特徴量の抽出

2 章で紹介した参考研究より、肌の透明感は肌の色と反射特性に大きく関与していることがわかる[1]~[5]。本研究は、実際の肌を測定するのではなく、画像から特徴量を抽出する。よって、肌内部を測定しなければならない情報や、キメや毛穴といったマイクロな情報は抽出する項目から除外した。3.1 節で撮影した画像から読み取れる情報のうち、肌の色と反射特性に関する以下の肌特徴量を抽出する。

- ① 拡散反射, 鏡面反射
- ② 色相, 彩度, 明度
- ③ 赤み, 黄み
- ④ 輝度
- ⑤ ヘモグロビン, メラニン

このうち①については、偏光フィルタを使用して撮影した偏光画像から拡散反射画像、鏡面反射画像を生成可能である[8]。拡散反射は肌内部で反射することから偏光性が全くなくなる。対して、鏡面反射は肌の表面で反射することから入射光と同じ偏光面を持つ直線偏光である。この偏光性の違いを利用して生成された画像を図 1 に示す。フィルタを用いずに撮影した(1)

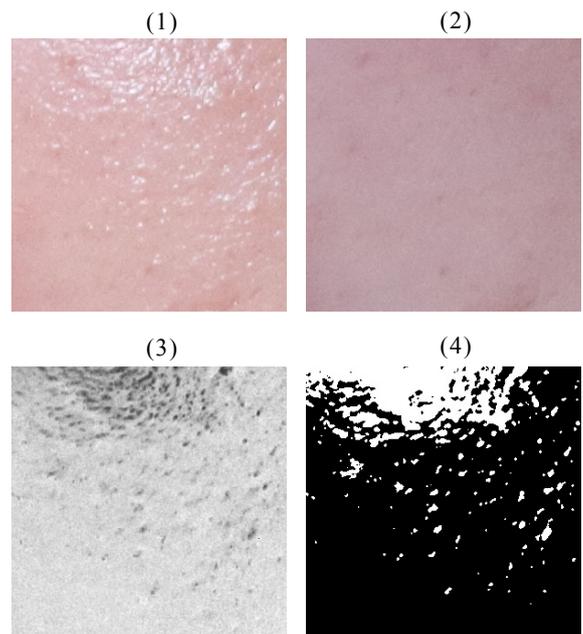


図 1 (1)偏光フィルタを用いずに撮影した通常の肌画像。(2)拡散反射画像。(3)鏡面反射画像(グレースケール)。(4)(3)の2値化画像。

の画像と(2)の拡散反射画像を比べると、いわゆるテカリ、ツヤと呼ばれる部分が除去されていることがわかる。(3)の鏡面反射画像は(1)の光沢部分とそうでない部分が分かれていることが確認できる。そして、各画像に対して閾値を設定して2値化を行った結果が図1(4)である。この2値化画像から一定以上の強さの鏡面反射が見られる部位の面積、言い換えればテカリやツヤがある部位の面積を算出する。

②③④は、肌画像の各ピクセルから得られるRGBの値をそれぞれ①HSV, ②L*a*b*, ③グレースケールに変換することで算出する。このとき画像ごとに、それぞれの特徴量の平均値、標準偏差を算出する。標準偏差は肌の色むらや凹凸による光反射のむら等の指標と考えることができる。

また⑤に関しては、光源の影響による光沢等の現象を排除するために、拡散反射画像を用いる。人間の肌の構造を図2に示す。肌の表皮層と真皮層には様々な色素が存在するが、メラニンは表皮層、ヘモグロビンは真皮層に多く存在する。そのため、2つの色素がもたらす光反射は独立であると考えられる。そこで、肌画像に対して独立成分分析(ICA: Independent Component Analysis)を適用することで、ヘモグロビン色素による光反射とメラニン色素による光反射の分離することが可能である[9]。

肌色画像の各画素におけるRGB値を $r^{x,y}$, $g^{x,y}$, $b^{x,y}$ とすると、各値の画素値の逆数の対数: $-\log(r^{x,y})$, $-\log(g^{x,y})$, $-\log(b^{x,y})$ をとった色濃度空間において観測される肌色は、図3のようにベースの色に加え、ヘモグロビンとメラニンの色ベクトルによって張られる2次元平面上に分布する肌色モデルで示される。したがって、以下のような線形和で表すことができる。

$$-\log[r^{x,y} \ g^{x,y} \ b^{x,y}] = s_1^{x,y} a_1 + s_2^{x,y} a_2 + Bias \quad (1)$$

ただし、 $s_1^{x,y}$, $s_2^{x,y}$ はヘモグロビンとメラニン色素量、 a_1 , a_2 はヘモグロビンとメラニンの単一色ベクトルとする。またBiasはバイアス成分(定数)であり、本報告では各画像の色濃度の最小値をベースの色と仮定し、バイアス成分とする。

(1)における色ベクトル a_1 , a_2 は独立成分分析を用いて求めることが可能である。ここで $A = [a_1 \ a_2]$ とする。全ての肌画像のヘモグロビンとメラニンの色素量の大きさを揃えるために、Aを正規化する。正規化されたAを $E = [e_1 \ e_2]$ とすると(1)は以下のように書き換えられる。

$$-\log[r^{x,y} \ g^{x,y} \ b^{x,y}] = s_1^{x,y} e_1 + s_2^{x,y} e_2 + Bias \quad (2)$$

ただし $s_1^{x,y}$, $s_2^{x,y}$ はそれぞれに対応するヘモグロビンとメラニンの色素量とする。本報告では、②③④と同様に各色素量の平均値と標準偏差を算出する。

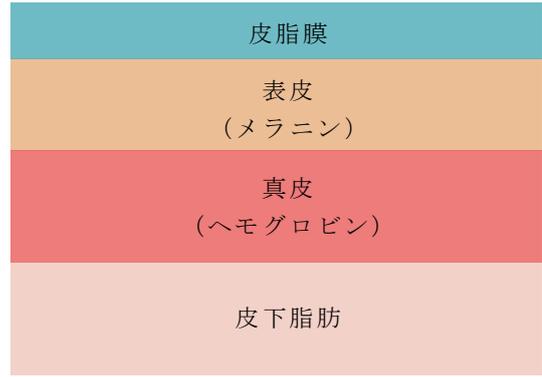


図2 肌構造

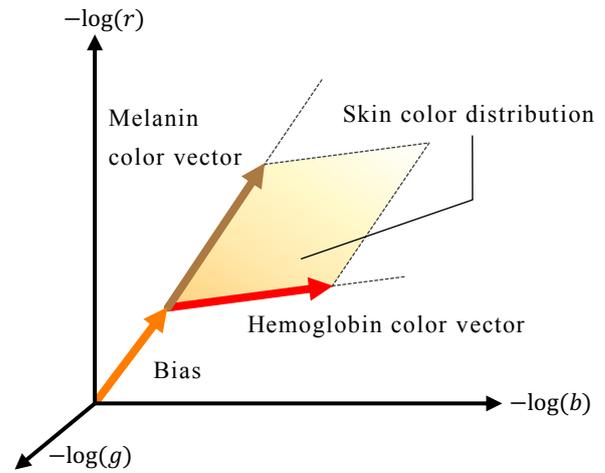


図3 色濃度空間における肌色モデル

3.3 官能評価

肌特徴量が肌の透明感に及ぼす影響を調べるために官能評価を実施した。3.1節に示した手順で撮影した肌画像29枚(1枚は評価するのに不適だったため除外した)を評価対象とし、肌撮影の被写体となった15人とは別の10代~20代の女性90人を評価者とした。

本研究では官能評価にSD法(Semantic Differential)を採用し、肌の特徴を表す形容詞対に対する適合度を5段階で回答させる形式で評価を実施した。評価項目は表1の通りである。評価者全員の環境を統一するために、評価者全員に同じ部屋で特定のPCディスプレイを使用させ、画面の明るさ、部屋の照明も統一した上で評価を実施した。評価結果を収集後にその内容を精査し、特異な評価をする者がいなかったことを確認している。

3.4 多次元可視化

3.2節, 3.3節に示した手順で得たデータをHidden[7]を用いて可視化する。肌特徴量および官能評価結果は全て実数型変数とした。詳細は表2(a)(b)の通りである。また、(b)は全て各画像の評価結果の平均値とする。

表 1 評価項目

	非常に	やや	どちらでもない	やや	非常に	
	1	2	3	4	5	
1. 色白	-----	-----	-----	-----	-----	色黒
2. 赤みを感じる	-----	-----	-----	-----	-----	赤みを感じない
3. 黄みを感じる	-----	-----	-----	-----	-----	黄みを感じない
4. 肌色が均一	-----	-----	-----	-----	-----	肌色にムラがある
5. なめらか	-----	-----	-----	-----	-----	ザラザラ
6. 毛穴が目立つ	-----	-----	-----	-----	-----	毛穴が目立たない
7. ツヤを感じる	-----	-----	-----	-----	-----	ツヤを感じない
8. テカリを感じる	-----	-----	-----	-----	-----	テカリを感じない
9. クリアを感じる	-----	-----	-----	-----	-----	くすみを感じる
10. 透明感を感じる	-----	-----	-----	-----	-----	不透明を感じる

表 2 多次元データ

(a) 画像解析によって得られる実数型変数

実数型変数 (画像解析)	
Hmean	色相の平均
Hstd	色相の標準偏差
Smean	彩度の平均
Sstd	彩度の標準偏差
L*mean	明度の平均
L*std	明度の標準偏差
a*mean	色み (赤⇄緑) の平均
a*std	色み (赤⇄緑) の標準偏差
b*mean	色み (黄⇄青) の平均
b*std	色み (黄⇄青) の標準偏差
Ymean	輝度の平均
Ystd	輝度の標準偏差
Hmmean	ヘモグロビン色素量の平均
Hmstd	ヘモグロビン色素量の標準偏差
Mlmean	メラニン色素量の平均
Mlstd	メラニン色素量の標準偏差
Specular	光沢部分の面積

(b) 官能評価によって得られる実数型変数

実数型変数 (官能評価)	
Whiteness	白さ
Redness	赤み
Yellowish	黄み
Even	色むら
Smooth	なめらかさ
Pore	毛穴
Gloss	ツヤ
Oily	テカリ
Clear	クリアさ
Transparency	透明感

4. 可視化結果

本章では Hidden で可視化した結果をもとに得られる知見について述べる。

Hidden が搭載する平行座標法では、多次元データを折れ線の集合で可視化する際に、何種類かのカテゴリで折れ線を色分けすることで視認性を向上することができる。そこで表 2 に示す変数のいずれかを用いて画像群をカテゴリ分類し、それに対応して折れ線を色分けすることが有効となる。今回の実行結果では、透明感の評価結果 Transparency の数値範囲を 3 等分する。この 3 つのカテゴリをそれぞれ透明感の高い肌(赤)、中程度の肌(緑)、低い肌(青)とする。

本章では、全ての変数を可視化した状態から特定の次元を選択した可視化結果から読み取れる情報について述べる。4.1 節で透明感の高い肌の共通した特徴、4.2 節で透明感と肌の色みの関係性、4.3 節で透明感と肌の光反射の関係性について言及する。

4.1 透明感が高い肌の共通要因

透明感が高い肌と低い肌を図 4 で比較すると、両者は正反対の関係であることが読み取れる。図 4 から、透明感の高い肌は毛穴が目立たない滑らかで明るいクリアな肌であるといえる。特にクリアさは透明感評価と同じような結果であり、透明感とクリアさを評価する際の評価基準が近いことが予想される。また、肌の凹凸や明るさが透明感の要因として重要であることが示唆される。

4.2 透明感と肌色の関係

続いて図 5 から、彩度、赤み、黄みの関係に注目した。その結果、肌の赤みは透明感による結果の違いがあまり現れなかった。それに対し、透明感の高い肌の

うち、彩度と黄みは以下の2パターンにわけられることがわかった。

パターン①：彩度が低く、黄みがかってない肌

パターン②：彩度が平均的で、黄みがあった肌

透明感が高い肌の多くはパターン①に該当する。先行研究[10]でも透明感の高い肌は彩度が低い傾向があることが指摘されている。一方でパターン②の場合では、透明感が低い肌でも同じような傾向が見られる。そこで、図5の輝度と白さの軸に注目すると、パターン②のうち透明感の高い肌は輝度が高く、色白であることが読み取れる。すなわち黄みがあった肌であると判断されても、明るく白い肌であれば透明感が高いとされる場合があることがわかる。

肌の平均色度がピンク色から遠ざかるほど透明感が低くなるという知見がある[4]のに対して、本研究では、赤み寄りの肌でなく黄み寄りの肌でも透明感が高く感じられる場合があることがわかった。

4.3 透明感と反射特性の関係性

次に図6にて、輝度と白さの関係に注目する。ここで4.2節と同様に、透明感の高い肌には以下の2パターンがあることが読み取れる。

パターン③：輝度の平均値が高く、標準偏差が低い色白の肌

パターン④：輝度、白さ共に平均的な肌

ここでパターン③に該当する輝度の標準偏差が低い肌は、その明るさのムラが少ないと考えられる。その理由として、肌の凹凸が少なく光反射が一様である、または肌の色が白く光源の色に近い、といった点が考えられる。

次にパターン③とパターン④を比較する。パターン③と比較して、パターン④に該当する肌は透明感が高い肌のみでなく、透明感が中程度であると判断された肌も多い。そこで、図6のテクカリとツヤに着目する。パターン④に該当する肌について、テクカリの評価は両者ともにあまり大差がない。しかし、ツヤは透明感が高い肌の方が高いことが読み取れる。このことからパターン④では、ツヤが透明感の要因であることが示唆される。ここでツヤとは、主に肌表面での鏡面反射によるものである。先行研究では、拡散反射に比べ鏡面反射は透明感との相関があまりないため、重要視されていなかった[1][4]。しかし本研究によって、鏡面反射も透明感の要因になり得ることが判明した。

以上により、透明感が高いと評価される肌には、色白で明るい肌だけでなく、色や明るさは平均的だがツヤを感じる肌という場合もあり得ることがわかった。

5. まとめと今後の課題

本報告では、肌画像解析によって算出された特徴量

と官能評価との関係を多次元可視化によって観察することで、肌の透明感の要因を追求した。その結果、透明感の要因として肌の凹凸や明るさが重要であることがわかった。また、肌の色や光沢に関しては、透明感があると感じられる肌には単一の定型的なパターンがあるわけではなく、以下のような複数のパターンが観察されることがわかった。

- 色白で明るい滑らかな肌
- 黄みがかっているが、明るく色白な肌
- 色や明るさは平均的だが、ツヤ感のある肌

このことから、肌の色が黄みがかっていても明るく色白であれば、透明感が高い肌であると認識されることが判明した。また、肌のパターンによって、鏡面反射が透明感を決定する要因になり得ることもわかった。以上より、多次元可視化を用いて多くの肌特徴量を比較する本手法が透明感の要因を追求するのに有用であることがわかった。

今後の課題として、まず肌画像データの増量があげられる。本報告では29枚の肌画像に関する特徴量を可視化した。この枚数は決して多いとはいえない。さらに、カテゴリ型変数の活用も検討する必要がある。本報告で使用したデータは実数型変数であり、透明感を3つにカテゴリ分けする以外にカテゴリ型変数を設けなかった。画像数の増量やカテゴリ型変数の活用によって、説得力ある可視化結果の生成や、それによってもたらされる新しい知見の発見が期待できる。

また、現時点の画像解析手法には改善の余地があるものがいくつかある。例えば、光沢部分の抽出では面積しか考慮していない。今後は、面積に加え光沢部分の輝度や、光沢部分とそうでない部分との輝度の比なども考慮することを検討している。

長期的な展望として、化粧を施した肌でも同様の実験を適用し、すっぴんと化粧肌の透明感の要因における違いを追求したいと考えている。

謝辞

官能評価のご助言をいただいた資生堂グローバルイノベーションセンター豊田成人様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 桑原智裕, “肌の透明感測定”, 光学, Vol. 39, No. 11, pp. 524-528, 2010.
- [2] 西牟田大, 五十嵐崇訓, 岡嶋克典, “肌の透明感における輝度と色の影響”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 68, No. 12, pp. J543-J545, 2014.
- [3] 舛田勇二, 國澤直美, 高橋元次, “肌の透明感測定とその対応化粧品の有用性評価”, 日本化粧品技術者会誌, Vol. 39, No. 3, pp. 201-208, 2005.
- [4] 中西ゆな, 五十嵐崇訓, 岡嶋克典, “肌透明感と画像統計量・測定値の定量的関係”, 日本色彩学会誌, Vol. 41, No. 6, pp. 29-30, 2017.

- [5] 安盛花季, 三枝千尋, 沖山夏子, 黒谷成幸, “肌のツヤが魅力印象に及ぼす効果の顔特徴による違い”, 日本色彩学会誌, Vol. 42, No. 6, pp. 56-57, 2018.
- [6] 征矢智美, 野村美佳, 林照次, 長谷川敬, “肌の透明感の意識構造と皮膚生理特性-若年層と中高年層の比較-”, 日本化粧品技術者会誌, Vol. 38, No. 2, pp. 115-124, 2004.
- [7] T. Itoh, A. Kumar, K. Klein, J. Kim, “High-Dimensional Data Visualization by Interactive Construction of Low-Dimensional Parallel Coordinate Plots”, Journal of Visual Languages and Computing, Vol. 43, pp. 1-13, 2017.
- [8] 小島伸俊, 羽石秀昭, 三宅洋一, “化粧品肌の質感測定(II)(肌の凹凸情報の定量化)”, 日本写真学会誌, Vol. 56, No. 4, pp. 264-269, 1993.
- [9] N. Tsumura, H. Haneishi, Y. Miyake, “Independent Component Analysis of Skin Color Image”, Journal of the Optical Society of America A, Vol. 16, No. 9, pp. 2169-2176, 1999.
- [10] 高松操, 石上桂子, 乾宏子, 丸山眞澄, 市場丈規, 高橋晋也, “物理測色と肌印象視感評価から分かる肌の色特有の見え”, 日本色彩学会誌, Vol. 41, No. 3, pp. 102-105, 2017.

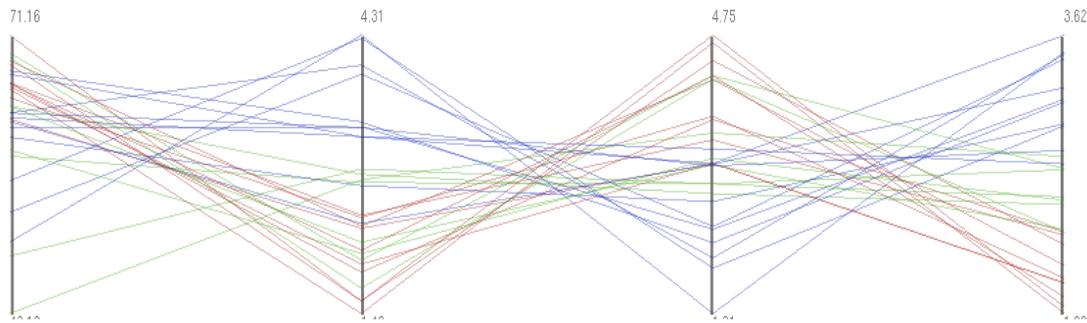


図 4 可視化結果(1)
(左から, 明度の平均値, なめらかさ, 毛穴, クリアさの軸を表す)

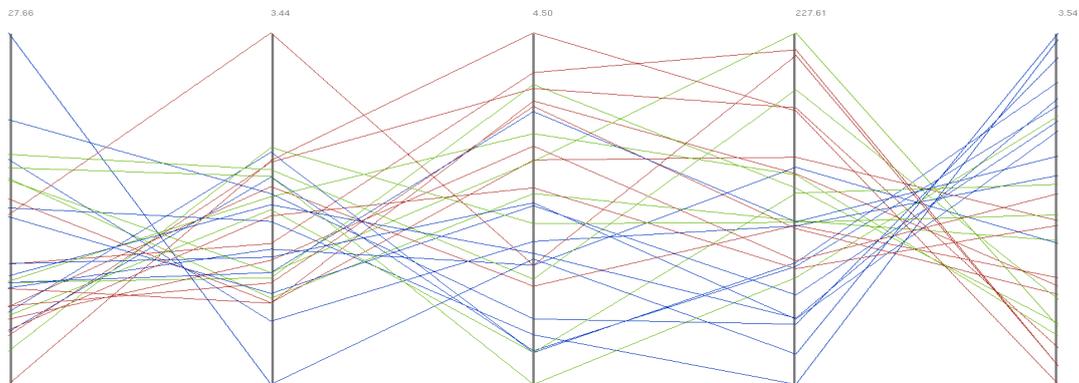


図 5 可視化結果(2)
(左から, 彩度の平均値, 赤み, 黄み, 輝度の平均値, 白さの軸を表す)

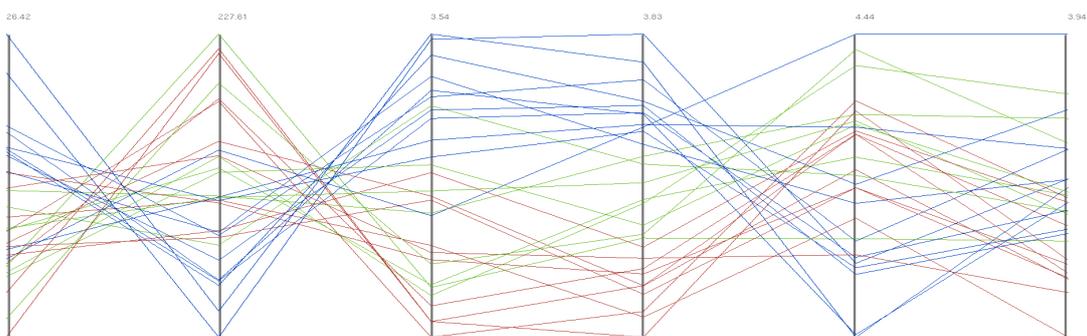


図 6 可視化結果(3)
(左から, 輝度の標準偏差, 輝度の平均値, 白さ, 透明感, テカリ, ツヤの軸を表す)