

# 肌の質感をコントロールする化粧品の研究開発

五十嵐 崇訓

## Development of Cosmetics for Controlling Skin Appearances

Takanori IGARASHI

People are very aware of the appearance of their skin; therefore, skin appearance is a critical subject in some research fields. Especially in cosmetics, methods for controlling skin appearance have been enthusiastically pursued to develop makeup and skincare products that satisfy the aesthetic demands of consumers. For this purpose, evaluation techniques for capturing optical and visual features of skin have been developed. Particularly in recent years, recognition of spatial features of skin as key factors in defining skin appearance has prompted the use of image-analysis devices. This image-assisted approach has, as expected, contributed new insights in the development of cosmetics. This review encompasses a comprehensive overview of recent important studies that employed image-assisted techniques.

**Key words:** cosmetics, cosmetic foundations, skin, face, appearance, reflection, texture, image analysis

肌は人間にとって最も身近な認知の対象である。それゆえ、われわれは肌の外観に対して鋭敏であり、またそのありように強い関心をもっている<sup>1)</sup>。例えば、われわれは、肌の外観から無意識に相手の状態（年齢、健康、心理状態など）を予測したり<sup>2,3)</sup>、これを意識的に装うことで、「なりたい自分」を演出する<sup>3)</sup>。このように、肌の外観はわれわれの社会生活における重要なキューとしての役割を果たしている。以上の理由から、複数の研究・技術分野（例えばコンピューターグラフィックス（CG）、コンピュータービジョン（CV）、医療、化粧品など）において、肌の外観は重要な研究対象となっている<sup>1)</sup>。特に最近、外観の重要な要素である「質感」に大きな注目が集まっている。

本稿で取り上げる化粧品分野では、製品開発を目的として、上記の他分野の研究成果も取り込みながら肌の質感研究が展開されている<sup>4-6)</sup>。特に従来から、いわゆる skin optics<sup>7)</sup> や、CG 分野・CV 分野で検討の進んだ反射モデル<sup>1)</sup> などの知見を参考にした研究が展開され、製品の性能向上にインパクトを与えている。このような一連の研究動向の中、特に最近、画像情報を積極的に活用したアプローチが大きな成果を上げつつあり<sup>5)</sup>、新たな製品開発の展開につながる事が期待されている。以上の技術トレン

ドを受けて、本稿では化粧品分野における画像情報を用いた質感研究の特徴について、先行研究のレビューを通して論じる。

### 1. 化粧品分野における質感研究の特徴

化粧品にはさまざまなアイテムがあるが、例えば乳液や美容液などの「スキンケア化粧品」は素肌を健全な状態に改善または保持することに寄与し、ファンデーション、ポイントメイクなどの「メイクアップ化粧品」はこれを塗布することで即時的に肌や顔の外観を演出することに寄与する。スキンケアでは「素肌」を、メイクアップではこれを塗布した「化粧肌」を対象として、良好な肌質感（例えば透明感）の要因を解明する研究や、質感をコントロールする手法の研究が行われている。特に、メイクアップのうちファンデーションは、その主要機能のひとつに良好な肌質感の創出が求められるため、この機能開発を目的とした質感研究が積極的に展開されている。

このような化粧品開発を目的とした質感研究の特徴は以下の3点である。

- (1) 「実物体としての肌」が研究対象であること
- (2) 「ディテール」「状態」が議論となること

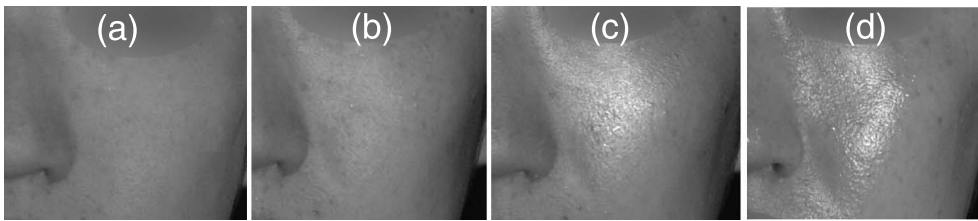


図1 光沢(つや)の程度・ディテールの変化による質感の違い。(a)光沢の弱い肌, (b)光沢を付与してふんわりさせたもの, (c) (b)の強度を上げたもの(よりシャープになる), (d) (c)のディテールを変えて, ぬれたように見せたもの。このように, 光沢の強度やディテールの変化により, 同じ光沢感のあるものでも, 違った質感を付与できる。

(3)「理想的な素肌」の光学特性(特に反射・透過特性)を再現することで, 目的とする質感を実現しようとするアプローチが多いこと

(1)について, 化粧品では, 例えばCG分野とは異なり, 実際の肌上で質感をコントロールすることが求められる。この際, 化粧品で扱う「肌」とは, 研究目的に応じて, 顔の部分(例えば頬肌), 空間分布としての肌(例えば毛穴, 色むら), 顔全体などスケールの観点からさまざまであり, それぞれの特性を記述, 解析する方法も異なる<sup>1)</sup>。

(2)については, 化粧品では, 外界の物体属性を理解する上でキューとなる質感(材質感など)<sup>8)</sup>ではなく, そのディテールや状態に関わる質感がおもな研究対象である。例えば光沢感を考えた場合, ファンデーションでは単純な光沢の付与ではなく, 一歩踏み込んで, 光沢の細かなニュアンス・ディテールの操作による質感創出が検討される(図1)。また, 例えば年齢や健康的な印象に関わるものなど, 状態に関わる「高次」の質感認知がしばしば研究対象である<sup>9)</sup>。

(3)については, 多くの場合, 「理想的な素肌」のもつ質感を作り出す成分(材)を開発し, これを製品に配合することが行われる。この材を設計するには, その材の物質・組成・形状などを具体的に特定する必要がある。これらの構造要素を特定する有効な方法として, その材に求められる光学特性を決定することが挙げられる。これは, 光学特性を支配する屈折率や散乱・吸収係数などの光学特性値が, その材の物質・組成・形状と密接な関係をもつためである。実際, 従来から化粧品の質感研究では, 理想的な質感をもつ素肌の光学特性を評価し, この特性を参考にして, 材を設計・具現化する研究アプローチが多い傾向にある。特に光学特性として, 肌の反射・透過を扱うものがほとんどである。

## 2. 従来のアプローチ: ファンデーションにおける事例

本章では, 前章(3)で論じた内容を踏まえ, 「素肌」と

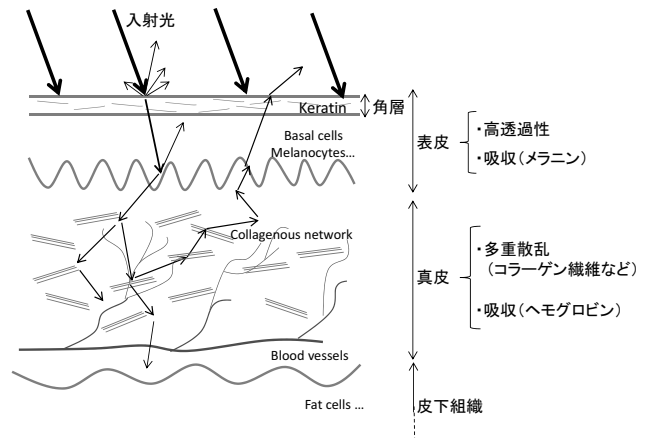


図2 素肌を3層構造(表皮, 真皮, 皮下組織)とした場合における光伝搬のイメージ図。表皮は薄いため光透過率が高いが, メラニンによる吸収層でもある。真皮は実際には表皮よりも圧倒的に厚みがあり, コラーゲン繊維などにより多重散乱が生じる。また, ヘモグロビンの吸収層でもある。

ファンデーションを塗布した「化粧肌」の反射・透過特性の比較を通じて, 質感コントロール技術を開発する際の光学設計上のポイントを論じる。次にこれを受けて, ファンデーション開発を目的とした従来の質感コントロール技術の開発アプローチの特徴を述べ, その課題を指摘する。最後にこの課題の解決手段として, 画像情報に基づいて質感コントロール技術を開発するアプローチの意義を明らかにする。

### 2.1 素肌とファンデーションの反射・透過特性の比較

ファンデーションには, 理想的な素肌(美肌)の外観を再現することを目指して, 肌色補正効果, 肌の欠点(毛穴や色むらなど)を隠すカバー効果, 化粧肌の外観に「自然さ」「透明感」などの理想的な質感を付与する効果, の3つが期待される。ファンデーション開発では, 化粧肌の反射・透過特性を制御し美肌の特性に近づけることで, これらの効果を可能な限り並立させる検討がなされてきた。

素肌と化粧肌の反射・透過特性は, その光伝搬過程由来する差異が生じる。素肌の場合, 入射光の一部は表面

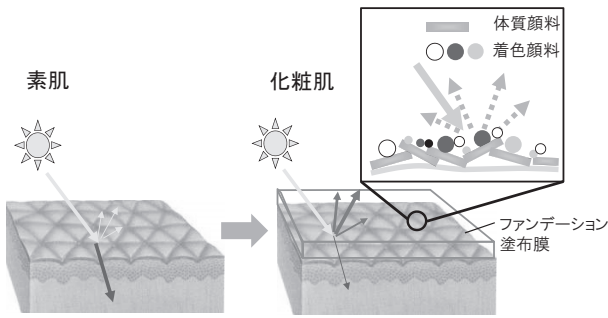


図3 「素肌」とファンデーションを塗布した「化粧肌」。ファンデーションは、おもに体質顔料と着色顔料から構成される。このうち着色顔料は色を呈する高屈折率体である。ファンデーション塗布膜が肌上に形成されることで、化粧肌は素肌とは異なる反射パターンを示す(透過光量の低下, 表面反射パターン・スペクトルの違いなど)。その結果, 化粧肌では素肌特有の質感が損なわれることがしばしば生じる。

で反射するが、多くの光は肌内部に侵入する。侵入光は、内部組織により散乱と吸収を受けながら肌外部に再放射される(図2)。この過程で生じた内部反射の大半を占める多重散乱の影響を受けた成分  $S_d$  は、近似的に spatially resolved diffuse reflectance<sup>10)</sup>  $R_d$  を用いて式(1)のように表される<sup>11)</sup>。

$$S_d(x, \vec{\omega}; x', \vec{\omega}') = 1/\pi F_t(\eta, \vec{\omega}) R_d(\|x' - x\|) F_t(\eta, \vec{\omega}') \quad (1)$$

ここで、 $x, x'$  はそれぞれ光の入射点と出射点であり、その際の方角は  $\vec{\omega}, \vec{\omega}'$  である。また、 $F_t(\eta, \vec{\omega}), F_t(\eta, \vec{\omega}')$  は、それぞれ屈折率  $\eta$  における方角  $\vec{\omega}, \vec{\omega}'$  のフレネル透過率である。この式が示すように、 $S_d$  の特性は  $R_d$  の記述に由来して、光の入射点  $x$  と出射点  $x'$  のずれ  $r = \|x' - x\|$  の影響を受ける。よって、素肌は半透明性に由来する光学的特徴を有する<sup>1)</sup>。一方、化粧肌では、肌色補正効果とカバー効果が付与されるため、高屈折率の着色体(着色顔料)を含むファンデーション塗布膜が肌表面に形成される。これにより肌色が創出されると同時に、肌内部への光侵入が抑制され(図3)、色むらなどに対するカバー効果が発現する<sup>12)</sup>。

このような素肌と化粧肌の光伝搬の差異は、反射の角度特性、波長特性や半透明性のずれとして表れる<sup>13)</sup>。そのため、これらの特性のずれを抑制するための材の開発が従来から行われている<sup>12)</sup>。これらの多くの研究は、分光器等で計測した顔のある部分(例えば頬の一部)の反射・透過挙動を、美肌とそうではない肌の違いの観点から議論したものである。

## 2.2 化粧品の質感研究における画像情報の利用意義

2.1節で紹介した従来研究アプローチは、化粧品の質感コントロール技術の向上に大きな成果をもたらした。一方で、以下の3点の課題が指摘できる。

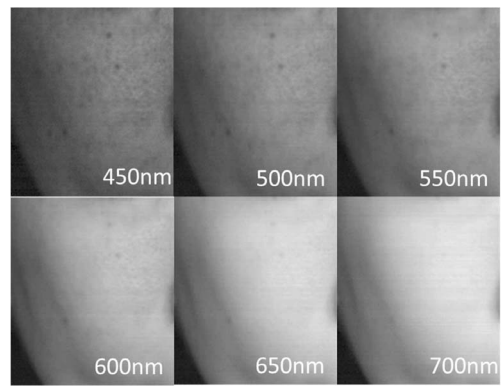


図4 素肌のハイパースペクトル画像(50 nm おきに抜粋したもの)。600 nm 以上では肌の色むらに由来する不均一性が小さくなる傾向にある。これは、素肌における光透過の波長依存性と色むらの主要因であるメラニンの分光スペクトルの特性に由来する。

- (1) 肌の反射には空間分布(テクスチャー)が存在し、これが質感の本質的因子であるが、多くの従来研究で用いられた計測器が取得する反射・透過データは計測肌面の「平均的」特性値であったため、計測面中のテクスチャーに関わる直接的な評価ができない。
- (2) 計測面が限定されており、ある程度の面積をもつ対象(例えば顔全体)から想起される特徴が議論できない(第1章で触れたように、化粧品分野でいう「肌」には実際にはさまざまなスケールがある)。
- (3) 光学的な見地からは不正確でも「そのように見える」ものを作るという、光学的アプローチとは「逆」過程の立場からの議論(視覚的情報から質感を作り出す要件を推定して目的の質感を実現する逆光学的なアプローチ)ができない。

いずれの課題も、取得データの次元を拡張して画像情報を取り扱い、その特徴を評価することにより解決ができる。そのため、最近では化粧品分野においても、画像情報に基づいた光学的・視覚的アプローチによる質感研究が多く報告されるようになってきた。

## 3. 画像情報を利用した研究事例

本章では、画像情報を積極的に活用した代表的な研究事例を、いくつかの質感(または印象)ごとにレビューする。

### 3.1 素肌らしさ(自然さ)に関する研究例

美しい素肌をもつ質感(例えば透明感)をファンデーションで再現するには、色むらなどの欠点の隠蔽による肌の均一性の演出と、素肌のような自然な質感を両立することが必要である。これを実現するため、「色むら」に由来するテクスチャーの分光特性に着目したアプローチが提案されている<sup>12)</sup>。素肌のハイパースペクトル画像(図4)の



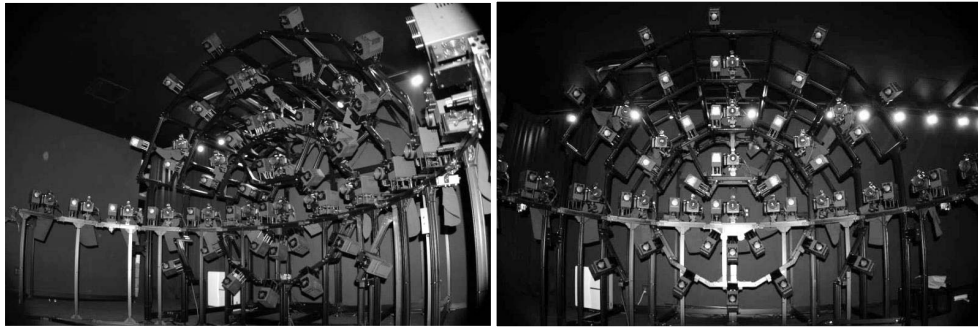


図5 Multi-angle image capturing system の横から (左) と正面から (右) の全体像。20 台のカメラと 40 台のライトを 15° おきに球面座標系に沿って等間隔に配置した構造をとり、顔画像をさまざまな照明条件下、多視点で取得できる。



図6 形状を正規化した顔画像の例。ワーピング技術を用いて、オリジナルの顔画像をすべて平均顔の形状に統一することによって、テクスチャーのみが異なる顔画像を生成する。これにより、顔のテクスチャーに評価を絞った研究を実現できる。

空間分布特性を解析すると、色むら由来のテクスチャーは約 600 nm 以下でも観察され、それ以上の波長では肌のテクスチャーは比較的均一であると予想された。これは、短中波長域にのみカバー力が付与されれば、色むらはある程度隠すことができることを示す。この結果から、600 nm 以下の入射光を中心に吸収により光透過量を抑制することでカバー力を付与し、それ以上の波長の光は透過散乱する「半透明性」(2.1 章参考) に優れた材が、FDTD (finite-difference time-domain) 法<sup>14)</sup>を用いて設計された。

このように、化粧の自然さの演出とカバー効果の両立は良好な化粧肌の質感の実現に不可欠であり、これらを評価する手法も検討されている。例えば、自然さとカバー効果の関係性を顔画像のテクスチャーを統計的に画像解析することで定量化する手法が提案され、製品評価に応用されている<sup>15)</sup>。統計的画像解析を行うためには、学習データとなる顔画像データベースの構築が必要である。そこで、多視点・多照明顔画像撮影システム (図5) を開発し、これを用いて多数の素顔と化粧顔の画像から成る多視点・多照明顔画像データベースを構築した。次に、データベースの顔画像のうち正面顔画像について、その顔形状をワーピングにより「平均顔」形状に正規化し (図6)、これらに統計解析を適用した。形状正規化により、化粧が制御対象とする肌のテクスチャーにのみ対象を絞った (化粧で制御できな

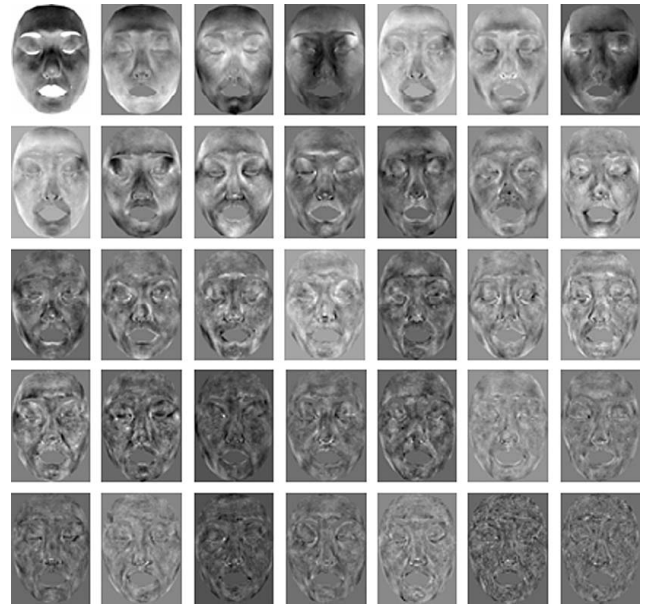


図7 顔形状を正規化したデータベースから PCA によって得られた基底の例 (固有顔)。

い顔の形状の要素を除いた) 評価が実現できる。統計解析として主成分分析 (PCA) を用いることで<sup>15)</sup>、評価顔画像のテクスチャー  $\vec{x}$  は、すべての顔画像の平均ベクトル  $\vec{m}$ 、算出された固有空間を形成する基底 (固有顔: 図7) である  $\vec{v}_i (i = 1 \sim n)$  とその係数  $y_i$  を用いて式 (2) のように記述される。

$$\vec{x} = \vec{m} + y_1 \vec{v}_1 + \dots + y_n \vec{v}_n \quad (2)$$

ここで、固有空間では固有値の小さい高次基底ほどテクスチャーは高周波成分を含む傾向にある。心理評価を組み合わせた検討の結果、「白浮き」などのない素肌のような自然さを演出するには、低次基底群が形成する部分固有空間 (低周波成分、本研究では累積寄与率 70% 相当まで) において、化粧前後の基底の係数変化を抑制する必要があることが示された。一方、肌に均一感をもたらすカバー効果を与えるには、高次基底群の部分固有空間 (高周波成分) に

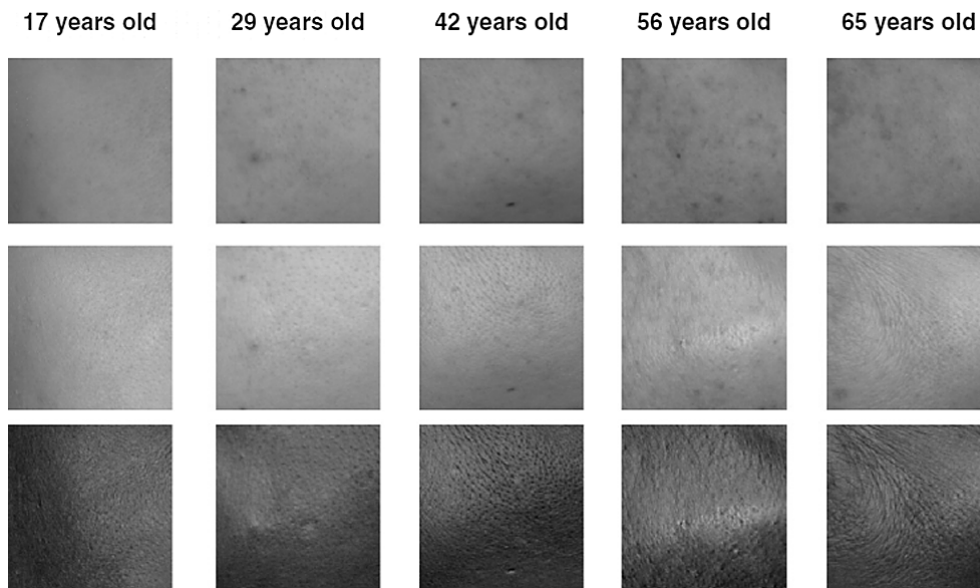


図8 実験に用いた画像の例. 上段は鏡面反射成分を除いた「Diffuse 画像」, 中段は拡散と鏡面反射成分を共に含む「Full 画像」, 下段は鏡面反射成分の画像. 文献20の Fig. 1 (p. 168) より転載.

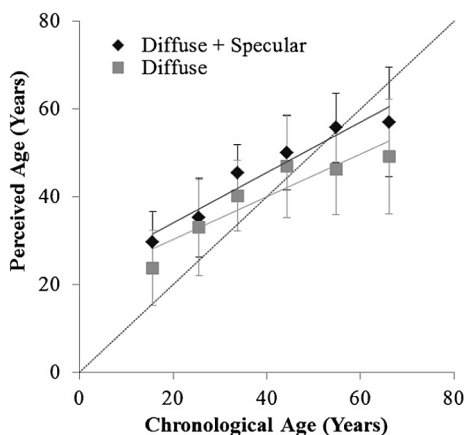


図9 実年齢と推定年齢の関係. 文献20の Fig. 2 (p. 168) より転載.

において、化粧前後の基底の係数変化を大きくする必要が示された。以上の結果は、化粧による肌テクスチャーの周波数操作の重要性を示唆する。なお、本研究は静止した正面顔画像に対する研究であったが、顔画像の特徴は観察・照明の角度の違い<sup>16)</sup> や動き(表情など)によって変化するため、質感もこれらの影響を受けると予想される。

今後は、角度・動きを扱った統計画像解析法<sup>17,18)</sup>などをうまく応用して、質感評価技術に展開することも期待される。

### 3.2 肌画像からの年齢認知に関する研究例

肌画像を用いて、年齢の認知(perceived age)を拡散・鏡面反射成分の効果および画像統計量の観点から評価した研究が報告されている<sup>19,20)</sup>。例えば、図8のような拡散反射成分+鏡面反射成分からなる「Full 画像」と、これから鏡面反射成分を除去した「Diffuse 画像」を被験者に提示し、年齢を推定させた結果、鏡面反射成分が年齢を高く推定させる要因となりうること(図9)、肌画像中の $L^*$ と $b^*$ のヒストグラム統計量が年齢推定に影響が大きい傾向にあることが示された(表1)<sup>20)</sup>。これらの結果は光学・視覚的特性の両面から化粧品設計に重要な示唆を与える。

顔画像を用いた年齢認知に関する研究も報告されている<sup>21)</sup>。ここでも、3.1節の事例と同様に顔のテクスチャーにのみ評価を絞るため、さまざまな年齢の顔画像を同一形状に正規化して評価が行われた。この形状正規化画像を主観評価により実年齢よりも「若く見える」「年齢相応」「老

表1 「Full 画像」の $L^*$  $a^*$  $b^*$ 成分の画像統計量と年齢の相関性.

	$L^*$			$a^*$			$b^*$		
	Mean	Std. dev.	Skew	Mean	Std. dev.	Skew	Mean	Std. dev.	Skew
Corr. chron. age	-0.70	0.79	0.88	-0.29	0.70	0.48	0.83	0.47	-0.79
$p$	0.12	0.06	<0.05	0.57	0.12	0.34	<0.05	0.35	0.05
Corr. chron. age	-0.62	0.80	0.84	-0.53	0.46	0.56	0.95	0.23	-0.81
$p$	0.18	0.06	<0.05	0.28	0.36	0.23	<0.01	0.66	<0.05

文献20の Table 3 (p. 169) より転載.

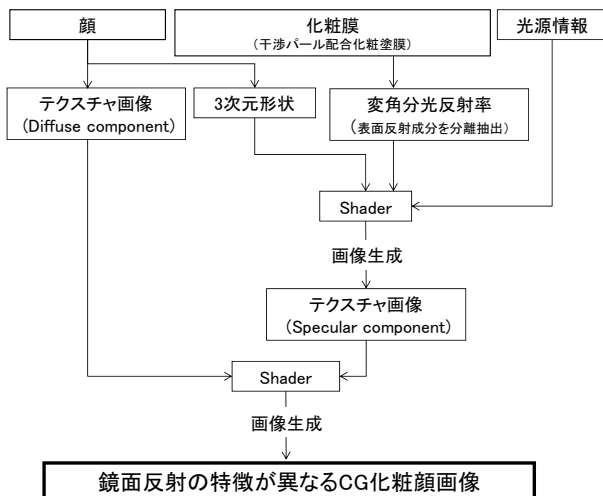


図10 CGシミュレーターのアルゴリズム。文献26(南浩治ら：日本化粧品技術者会誌，39(2005)16-25)のFig.3(p.18)を元に作成。

けて見える」群に分類し、これらの年齢認知に及ぼすテクスチャーの要素を画像解析と主観評価を組み合わせることで評価した。その結果、毛穴や色むらに由来する輝度、色の均一性の欠如が年齢を高く認知させる要因であることがわかり、これを補正するためのファンデーション用粉体が開発された。

### 3.3 光沢に関する研究例

肌の光沢(つや)についても、画像情報を有効に活用した研究が展開されている。例えば、カメラによる変角計測を通して、「つや感」<sup>22)</sup>(好ましい質感)の発現には反射の輝度(または明度)と彩度(色味)の両因子が寄与することが示された。一方、二色性反射モデルをベースにした画像解析から、「てかり」<sup>23)</sup>(好ましくない質感)は、反射成分のうちおもに鏡面反射に由来することが指摘された。このほかに関連する研究として、多重解像度解析による肌の光沢感のきれいさ(好ましさ)の評価<sup>24)</sup>なども報告されている。

鏡面反射成分の色を制御して、顔の質感・印象をコントロールする研究も報告されている。通常、鏡面反射成分のスペクトルは光源と一致するので、一般環境下では認知上その色は白である。一方、化粧肌の場合は鏡面反射に色を付与することができる。これは、その光学特性に由来して鏡面反射成分に色を付与できる「干渉パール顔料」をファンデーションに配合することで実現される。質感・印象制御を目的とした干渉パール顔料のファンデーションへの応用研究は従来から数多く検討されており<sup>12)</sup>、その中で例えば、干渉パール顔料塗布膜の鏡面反射成分(干渉色)の彩度制御や、反射の角度特性を制御する手法なども検討され

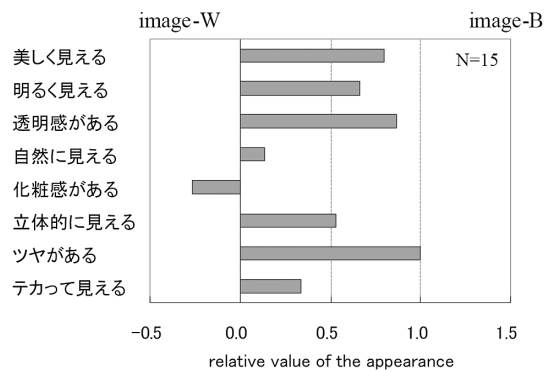


図11 CGを用いた心理評価の結果、image-W, image-Bはそれぞれ鏡面反射成分の色が白と青の画像を示す。文献26(南浩治ら：日本化粧品技術者会誌，39(2005)16-25)のFig.11(p.23)より転載。

てきた<sup>25)</sup>。これに呼応するように、評価手法においてもBRDFに基づいて化粧膜の鏡面反射成分の特徴を変化させた多様な化粧顔をCGにより生成するシミュレーションシステム(図10)が開発され<sup>26)</sup>、生成したCG顔画像を用いて鏡面反射成分の特徴変化が質感・印象に与える効果の評価が行われた<sup>26,27)</sup>。その結果、

- (1) 地肌の明るさが光沢感に影響を与えること
- (2) 鏡面反射成分の色に青を選択すると、白の場合に比べて肌の知覚的な明るさ、知覚的なつや、透明感、立体感が高まること

などが示され(図11)<sup>26)</sup>、これらの知見が干渉パール顔料を用いたファンデーションの設計に活かされた。なお、この事例のようなCGを用いた質感設計の報告がこのほかにも最近報告されており<sup>28)</sup>、今後の有用な製品開発手法として成長が期待される。

本稿では、化粧品、特にファンデーションの開発における画像情報に基づいた質感コントロール技術の開発研究に関して報告した。画像情報の利用により、2.2節で指摘した課題を直接的に扱うことができ、その結果、第3章で示した事例のような新たな知見が得られている。このような画像情報を積極的に活用した一連の研究の継続により、肌の質感認知に関する基礎知見が深まり、化粧品の感性的品質がさらに向上することが期待される。

## 文 献

- 1) T. Igarashi, K. Nishino and S. K. Nayar: "The appearance of human skin: A survey," *Found. Trends Comput. Graphics Vision*, **3** (2007) 1-96.
- 2) M. A. Changizi, W. Zhang and S. Shimojo: "Bare skin, blood and evolution of primate colour vision," *Biol. Lett.*, **2** (2006) 217-221.
- 3) 南 孝司: "メイクアップ化粧品", 化粧品事典, 日本化粧品技



- 術者会編 (丸善, 2003) pp. 131-142.
- 4) 五十嵐崇訓: “最近のファンデーションの研究開発動向”, *Fragrance J.*, **34** (2006) 17-28.
  - 5) 五十嵐崇訓: “光学・画像を用いたファンデーションの設計評価”, 化粧品開発のための美容理論, 処方 / 製剤, 機能評価の実際—基礎・応用・最新技術—, 五十嵐崇訓, 鈴木敏幸, 正木 仁編 (技術教育出版, 2014) pp. 187-196.
  - 6) 五十嵐崇訓: “ファンデーションの製品開発動向と課題”, *Fragrance J.*, **35** (2007) 47-52.
  - 7) M. J. C. van Gemert, S. L. Jacques, H. J. C. M. Sterenborg and W. M. Star: “Skin optics,” *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **36** (1989) 2246-2254.
  - 8) R. W. Fleming: “Visual perception of materials and their properties,” *Vision Res.*, **94** (2014) 62-75.
  - 9) 岡嶋克典: “視覚情報から物体の経時変化を推定する高次元質感認知”, 日本色彩学会関東支部・視覚情報基礎研究会共催シンポジウム「質感知覚とその評価」講演要旨集 (2014) pp. 8-13.
  - 10) T. J. Farrell and M. S. Patterson: “A diffusion theory model of spatially resolved, steady-state diffuse reflectance for the noninvasive determination of tissue optical properties in vivo,” *Med. Phys.*, **19** (1992) 879-888.
  - 11) H. W. Jensen, S. R. Marschner, M. Levoy and P. Hanrahan: “A practical model for subsurface light transport,” *Proc. Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH)* (2001) pp. 511-518.
  - 12) 五十嵐崇訓: “ファンデーションの光学特性”, *色材協会誌*, **85** (2012) 156-163.
  - 13) T. Okamoto, T. Kumagawa, M. Motoda, T. Igarashi and K. Nakao: “Monte Carlo simulation of light reflection from cosmetic powder particles near the human skin surface,” *J. Biomed. Opt.*, **18** (2013) 061232.
  - 14) E. Yu: *Electromagnetic Simulation Techniques Based on the FDTD Method*, 1st ed. (Wiley, New Jersey, 2009) pp. 1-16.
  - 15) 五十嵐崇訓, 守口順二, 瀬尾昌孝, 中尾啓輔, 陳 延偉: “ベースメイクアップの化粧効果を定量化する Eigen Dual-Subspace 法の開発”, *電子情報通信学会誌 D*, **J97-D** (2014) 523-532.
  - 16) O. G. Cula, K. J. Dana, F. P. Murphy and B. K. Rao: “Skin texture modeling,” *Int. J. Comp. Vision*, **67** (2005) 97-119.
  - 17) X. Qiao, X. Han, T. Igarashi, K. Nakao and Y.-W. Chen: “Tensor-based subspace learning and its applications in multi-pose face synthesis,” *Neurocomputing*, **73** (2010) 2727-2736.
  - 18) S. Osawa, G. Duan, M. Seo, T. Igarashi and Y.-W. Chen: “Reconstruction of 3D dynamic expressions from single facial image,” *Proc. Inter. Conf. Image Processing* (2013) pp. 1386-1390.
  - 19) C. Arce-Lopera, T. Igarashi, K. Nakao and K. Okajima: “Image statistics on the age perception of human skin,” *Skin Res. Technol.*, **19** (2013) 273-278.
  - 20) C. Arce-Lopera, T. Igarashi, K. Nakao and K. Okajima: “Effects of diffuse and specular reflections on the perceived age of facial skin,” *Opt. Rev.*, **19** (2012) 167-173.
  - 21) 上原孝一, 南 浩治, 岩本 啓, 長田みゆき, 五十嵐崇訓, 中尾啓輔, 大崎和友, 植松隆史, 野尻尚材, 榎本明生, 福田啓一: “透過光制御による若顔印象ファンデーションの開発”, *日本化粧品技術者会誌*, **44** (2010) 48-56.
  - 22) N. Ikeda, K. Miyashita, R. Hikima and S. Tominaga: “Reflection measurement and visual evaluation of the luminosity of skin coated with powder foundation,” *Color Res. Appl.*, **39** (2014) 45-55.
  - 23) 大槻理恵, 引間理恵, 坂巻 剛, 富永昌治: “分光顔画像を用いた化粧崩れ評価方法”, *日本色彩学会誌*, **37** (2013) 113-123.
  - 24) 藤井 誠, 三崎裕子, 佐々木一郎: “多重解像度解析を用いた肌のつやの客観的評価方法の応用”, *日本化粧品技術者会誌*, **43** (2009) 72-78.
  - 25) 五十嵐崇訓, 長谷 昇: “干渉パール顔料塗布膜の反射光制御”, *色材協会誌*, **77** (2004) 2-6.
  - 26) 南 浩治, 金子智道, 鍋島博英, 岩本 啓, 小島伸俊, 長谷昇, 堀 公彦: “CG 画像によるベースメイクの光沢感の評価”, *日本化粧品技術者会誌*, **39** (2005) 16-25.
  - 27) K. Minami, T. Kaneko, T. Suzawa, T. Aosaki, N. Nagatani, H. Hotta and K. Hori: “Changes in facial impressions by controlling the color of surface reflection from cosmetic foundations: Appearance evaluation and formulation technique,” *IFSCC Mag.*, **10** (2007) 111-117.
  - 28) K. Nishiyama, K. Tobitani, A. Ishida, L. Park, N. Nagata and A. Okada: “Three-dimensional computer graphic simulation to develop base makeup for pearly skin,” *Proc. 22nd International Federation of Societies of Cosmetic Chemists (IFSCC 2013)* (2013) pp. 190-191.

(2014年2月28日受理)