独立成分分析法を用いた肌色解析とそのシミ解析への応用 Image Analysis of Skin Color Using Independent Component Analysis and Its Application to Melanin Pigmentation Analysis

小島伸俊

花王株式会社
ビューティケア研究センター
〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

Nobutoshi OJIMA

Global R&D Beauty Creation,
Kao Corporation
2-1-3 Bunka Sumida-ku, TOKYO
131-8501, JAPAN

沖山夏子

花王株式会社
ビューティケア研究センター
〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

Natsuko OKIYAMA

Global R&D Beauty Cosmetics,
Kao Corporation
2-1-3 Bunka Sumida-ku, TOKYO
131-8501, JAPAN

上村隆明

花王株式会社
ビューティケア研究センター
〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

Takaaki UEMURA

Global R&D Beauty Creation,
Kao Corporation
2-1-3 Bunka Sumida-ku, TOKYO
131-8501, JAPAN

堀 公彦

花王株式会社
ビューティケア研究センター
〒131-8501 東京都墨田区文花 2-1-3

Kimihiko HORI

Global R&D Beauty Cosmetics,
Kao Corporation
2-1-3 Bunka Sumida-ku, TOKYO
131-8501, JAPAN

論文要旨：肌のシミやソバカスの定量的解析のための新手法を紹介する。肌画像に独立成分分析法を適用することで、メラニン色素成分とヘモグロビン色素成分さらには陰影情報を分離抽出することが可能となった。今回、メラニン色素由来の色素沈着（シミ）の定量的解析システムとして、個々のシミの詳細解析用と顔全体のシミ解析用の2種類を構築し、シミの季節変化、加齢変化、美白剤の連用に伴う変化を定量的に解析した結果を報告する。

Abstract: A practical skin color analysis technique is introduced for evaluating melanin pigmentation such as freckles. Skin color images are analyzed by extracting hemoglobin, melanin and shading components using the independent component analysis. We propose two practical measurement systems. One is for analyzing individual pigmentations on the skin, and the other is for investigating the distribution of pigmentations on the facial skin. The seasonal changes and age-related changes of pigmentations were analyzed as well as the change after use of a whitening essence.

Key words: skin color, skin texture, melanin, hemoglobin, pigmentation, independent component analysis

1 はじめに

消費者の意識調査¹⁾によると、20代～50代女性の肌悩みのなかで、シミ・ソバカス・くすみ等の肌色に関する悩みは常に上位に挙げられている。このような消費者

の要望に応えるべく肌色の改善を目標とした美容施術、化粧品開発、さらにはその評価法に関する研究が盛んに行われている。また、昨年日本化粧品学会化粧品機能評価法検討委員会より新規効能取得のための医薬部外品美白機能評価試験ガイドラインが作成されており、色素沈着測定法についてより精度の高い測定が望まれている。

さて、従来から肌色を測定する手法として、色彩計や

連絡者：小島伸俊
E-mail: ojima.nobutoshi@kao.co.jp

分光光度計による色彩値 ($L^*a^*b^*$ 等) が用いられている²⁾。ところが、得られた色彩値たとえば明度 (L^*) を指標としたシミの濃さを解析する場合には、メラニン色素の変化だけでなくヘモグロビン色素の変化の影響を受けてしまうこと (複数の色素情報の混在)、シミの形状や大きさ解析ができないこと (2次元分布計測の困難性) が大きな課題であった。最近、津村らが提案した肌画像の独立成分分析法により、メラニン濃度計測および2次元分布解析が可能となってきた。本報では、独立成分分析法を応用しシミの解析を行った結果を紹介する。

2 独立成分分析法を用いた肌色解析

津村ら³⁻⁴⁾は通常のRGBカメラで撮影した肌画像に独立成分分析法を適用することで、メラニン成分画像、ヘモグロビン成分画像の算出方法を提案している。偏光画像を用いる以外はとくに照明光の色や照明幾何条件の制約がないため、幅広い応用が期待されている。

撮影に際して、カメラと照明の前に偏光フィルタを設置した偏光撮影系を使用した (Fig. 1(a))⁵⁾。2枚の偏光フィルタの偏光面を平行および垂直に設置後に撮影した一組の画像から、内部散乱画像と表面反射画像を得ることができる (Fig. 1(b))。ここで得られた内部散乱画像にはシミも含めた肌色情報が含まれている⁵⁾。

Fig. 1 偏光を用いた肌画像の撮影方法
(a)偏光を用いた撮影系, (b)肌の反射光成分

次に、偏光撮影系で得られた内部散乱画像を用いてメラニン成分、ヘモグロビン成分を分離するステップを説明する。まず、肌色が主に2色素成分からなりそれぞれが表皮層、真皮層に独立に存在する2層モデルを仮定する。照明ムラが十分少ない小領域を考えた場合、各画素 (x, y) の肌色 $C(x, y)$ の対数値はメラニン色素成分 σm とヘモグロビン成分 σh とがそれぞれの色素量 $m(x, y)$, $h(x, y)$ にて線形的に足しあわされた表現が可能となる。ただし、 $Bias$ はバイアス成分 (定数) である。

$$-\log \{C(x, y)\} = \sigma m \cdot m(x, y) + \sigma h \cdot h(x, y) + Bias$$

ただし、 $C(x, y) = [Red(x, y), Green(x, y), Blue(x, y)]$

実際、肌画像のほぼ領域 (100画素 × 100画素) の画素値をプロットした際にほぼ平面上に分布しており主に2成分で表現できることがわかった (Fig. 2)。なお、平面を構成する2成分は独立成分分析法により決定した。実際、独立成分分析法⁶⁾により抽出された色素成分が適切か否かを判断するために、紫外線照射2週間後のメラニン色素斑およびニコチン酸メチルによる血行促進部位を解析⁷⁻⁸⁾したところ、それぞれの色素パターンが第1、第2独立成分に分離抽出できることがわかった。以後、抽出された2つの独立成分をメラニン成分、ヘモグロビン成分と呼び、メラニン成分画像 $m(x, y)$ およびヘモグロビン成分画像 $h(x, y)$ を画像として表示した。なお、顔画像に適用する際に発生する照明ムラや陰影情報を除去する手法^{7, 9)}を導入することで解析精度の向上を実現した (Fig. 3)。

Fig. 2 独立成分分析法を用いた肌画像の解析
(a)肌色分布 (3次元色空間), (b)分離後の色素成分画像

Fig. 3 独立成分分析法による色素成分分離結果
(a)陰影除去を行っていない場合, (b)陰影除去を行った提案法

3 シミの解析システム

前述の独立成分分析法を色素沈着（シミ）計測に応用するため、専用の解析システムを2種類構築した。1つは個々のシミの解析システム（デジタルマイクロスコープ）であり、他方は顔全体のシミ・ソバカスの解析システム（顔撮影装置）である（Fig. 4）。今回は前者についてのみ報告する。

	(a) 個々のシミ解析システム	(b) 顔全体のシミ解析システム
撮影手法	デジタルマイクロスコープ（偏光板内蔵） 16mm シミ画像	顔撮影装置 顔画像
特徴	○個々のシミを精度良く測定可能（同じ角度、高解像度） △広範囲のシミ計測不向き	△個々のシミの高精度測定が困難 ○シミの分布・広範囲に測定可能

Fig. 4 シミ解析システム

(a) 個々のシミ解析用システム, (b) 顔全体のシミ解析用システム

デジタルマイクロスコープは偏光フィルタを内蔵しており¹⁰⁻¹¹⁾、11 mm × 16 mm 領域のシミの内部拡散画像を拡大取得することが可能である。さらに、センサー先端部にガラス板を装着することにより皮膚の隆起による測定誤差を軽減でき、シミの面積・形状を繰り返し安定な測定を可能とした。

4 シミの実態解析への応用

シミの実態および化粧品の連用効果時の変化を解析するため、以下の条件にてシミの調査を行った。とくに、被験者本人が気にするシミを個々に追跡し、その面積変

化や濃度変化の解析を行った。

- ・対象者人数：20代～60代の女性105名
- ・対象：本人の気にするシミ1～3個/1人
- ・測定期間：2004年9月～2005年6月（3ヵ月間隔）
- ・解析項目：①シミの季節変化（濃さ、大きさ変化）、②シミの年代別変化、③美白美容液（カモミラET配合処方）の機能評価

解析に際しては、シミを含む撮影画像に独立成分分析法を適用し、得られたメラニン画像のノイズ除去および2値化処理をして、シミの面積またその領域の濃度計測を行った（Fig. 5）。3つの解析項目に対する結果は次のとおりであった。

Fig. 5 シミ解析の流れ

- ① 季節変化：シミの面積は6月に有意に大きくなること、シミの濃さは3月に比べて薄くなり6月に比べて濃くなることわかった（Fig. 6）。また、20代や40代とは異なり60代では3月にシミがあまり薄くならず夏場（6月）に濃くなった。
- ② 9月における年代別変化：年代が高くなるほどシミが濃く、大きくなることが確認できた。従来報告¹³⁾されている顔全体のシミの変化と同様の結果

(シミ個数 N=115、サンプル未使用群 * : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$)

Fig. 6 シミの季節変化 (a) シミの濃さ, (b) シミの面積比

Fig. 7 シミの年齢変化 (a)シミの濃さ, (b)シミの面積比

であった (Fig. 7)。

- ③ 美白剤使用群のシミの変化：9月～12月の3ヵ月間連用後のシミの面積変化 (N=68個) を解析した結果，美白剤未使用群のシミ (N=115個) に比べ有意に面積が減少した (Fig. 8)。

Fig. 8 美白剤連用に伴うシミの変化

今回，デジタルマイクロスコープを用いたシミ解析システムを紹介したが，撮影領域を超える大きなシミや広域に存在するしみ・そばかすの解析に困難が残る。顔全体の解析システムとの併用による課題の補完が望ましい。

5 おわりに

独立成分分析法によるメラニン色素画像を用い，シミの定量化方法について紹介した。今回は割愛したが，解析により蓄積したシミや肌の動態をモデル化し，個々の肌画像でシミ増減や肌の色の変化シミュレーションを行う試みがなされ始めている¹²⁾。今後とも肌の色やシミなどの変化の豊富な蓄積が望まれるとともに，黒人から白人までの幅広い肌の色に対しての適用可能性の検討など，

肌色解析手法自体の開発が望まれている。

なお本原稿は，2007年2月21日の第31回 SCCJ セミナー『アンチエイジング化粧品開発の新潮流～評価系から素材・処方の設計，開発まで～』の講演資料を一部修正したものである。

謝辞

本研究は，花王(株)美容センターと千葉大学工学部情報画像工学科 三宅・津村・中口研究室との共同研究である。南浩治氏，三宅教授，津村助教授，中口助手，学生の皆様に心より感謝します。

文 献

- 1) 赤崎秀一ら，日本化粧品化学会誌，17, 6 (1993).
- 2) 田島譲二，羽石秀昭，小島伸俊，塚田正人，画像電子学会誌，31, 768 (2002).
- 3) N. Tsumura, H. Haneishi & Y. Miyake, *J. Opt. Soc. Am. A*, 16, 2169 (1999).
- 4) 津村，羽石，三宅，画像ラボ，1999 (2), 1 (1999).
- 5) 小島伸俊，羽石秀昭，三宅洋一，日本写真学会誌，56, 264 (1993).
- 6) S. Roberts & R. Everson, *Independent Component Analysis Principles and Practice*, Cambridge University Press (2001).
- 7) N. Tsumura, N. Ojima, K. Sato, M. Shiraishi, H. Shimizu, H. Nabeshima, S. Akazaki, K. Hori & Y. Miyake, "Image-based skin color and texture analysis/synthesis by extracting hemoglobin and melanin information in the skin", In *Proceedings of SIGGRAPH2003*, 22 (3), 770-9 (2003).
- 8) N. Ojima, N. Tsumura, S. Akazaki, K. Hori & Y. Miyake, *J. Imaging Sci. Technol.*, 48, 222 (2004).
- 9) 清水，津村，小島，三宅，陰影の影響を受けない肌の色素成分計測法，第49回応物予稿集，987 (2002).
- 10) 上村隆明，沖山夏子，武内栄次郎，執印美加，涼松淳，南浩治，小島伸俊，堀公彦，独立成分分析法を用いたシミ評価法の開発，第31回日本化粧品学学術大会講演要旨，28 (2006).

- 11) 沖山夏子, 小山内幸, 上村隆明, 武内栄次郎, 南浩治, 小島伸俊, 堀公彦, 日本化粧品学会誌, 投稿中 (2007).
 - 12) N. Tsumura, T. Nakaguchi, N. Ojima, K. Takase, S. Okaguchi, R. Usuba, M. Shiraishi, N. Okiyama, K. Hori & Y. Miyake, Real-time image-based control of skin melanin texture, ACM SIGGRAPH2005 sketches (2005).
 - 13) 新井清一, 原由起子, 三村邦雄, 永澤久直, 西島靖, *J. Soc. Cosmet. Chem. Jpn.*, 23 (1), 31 (1989).
-