

# 独立成分分析を用いた肌の色素成分分離計測法による 美白剤効果の測定

清水秀人, 植月啓次, 津村徳道, 小島伸俊\*, 三宅洋一  
千葉大学工学部情報画像工学科 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33  
\*花王株式会社 〒131-5801 東京都墨田区文花 2-1-3

## Analyzing the effect of cosmetic essence by independent component analysis for skin color images

Hideto Shimizu, Keiji Uetsuki, Norimichi Tsumura, Nobutoshi Ojima\*, Yoichi Miyake  
Department of Information and Image Sciences, Chiba University,  
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522 Japan  
\*Kao Corporation, 2-1-3, Bunka, Sumida-ku, Tokyo 131-8501, Japan

### Abstract

In development of cosmetic essence, measurement of melanin distribution is required to evaluate the effect of cosmetic essences. However, exact measurement of the melanin distribution is very difficult because it is affected by other pigmentations. In this paper, the decrease of melanin component is analyzed by extracting the melanin distribution from digital color images. The independent component analysis (ICA) is used to extract the melanin component from the color images. The ICA is a technique that extracts the original signals from mixtures of many independent sources without *prior* information on the sources and the process of the mixture. This paper shows that proposed method is effective to observe the change of the melanin distribution without influence of other pigmentations.

### 1. はじめに

化粧品業界において、カラーエンジニアリング技術を製品の設計、評価に利用することが重要視されており、特に美白剤の効果を測定することが期待されている。美白剤は、肌の表皮層にメラニン色素が沈着することで生成されるシミを減少させることを目的として使用される。つまり、美白剤の開発においてメラニン色素の分布を測定することは、美白剤の効果を評価する手段として必要となる。しかしながら、他の色素の影響を受けるため、正確なメラニン色素分布の測定は非常に困難である。

本論文では、デジタルカラー画像からメラニン色素分布を抽出することでメラニン色素成分量の変化を解析し、美白剤効果の測定に用いる。メラニン成分抽出には独立成分分析<sup>[1-5]</sup>を用いた。過去の研究において、筆者らは肌画像をメラニンとヘモグロビンの色素分布に分離することに成功している<sup>[6,7]</sup>。その手法を用い、28名の女性被験者に対して美白剤塗布実験を8週間行い、その結果を独立成分分析によって解析した。

### 2. 独立成分分析

独立成分分析は互いに独立な信号が混合した観測信号から、信号の独立性以外の先見的知識なしにもとの信号を抽出する手法である。観測信号ベクトル  $v$  は次のように表せる。

$$v = As, \quad (1)$$

$s$  は信号源ベクトル、 $A$  は  $m$ (観測信号の次元数)  $\times$   $n$ (独立信号の成分数)の混合行列である。信号源は互いに独立であるという仮定の下、観測信号に独立成分分析を適用すると、先見的知識なしで相対的な信号源が抽出される。分離行列  $H$  を定義すると、相対的な信号源ベクトル  $\hat{s}$  は次のように表せるとする。

$$\hat{s} = Hv, \quad H = [h_1, h_2, \dots, h_m], \quad (2)$$

$h_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ )は分離ベクトルである。式(2)より、分離行列  $H$  を見つけることで、相対的な信号源ベクトルを求めることができる。従って、独立成分分析はこの分離行列  $H$  を推定する問題に帰する。本論文では分離行列推定に Fixed Point algorithm<sup>[2]</sup>を用いた。独立成分分析における信号の流れを Figure 1 に示す。

### 3. 肌モデル構築<sup>[6,7]</sup>

人間の肌の概略図を Figure 2 に示す。肌の構造は大まかに表皮層、真皮層、皮下組織の3層に分類できる。これらの層にメラニン、ヘモグロビン、ビルビリルン、カロチン等の様々な色素が含まれているが、特にメラニンとヘモグロビンはそれぞれ表皮層と真皮層に多く存在する。

肌色を解析するにあたり次の4つのことを仮定する。1: Lambert-Beerの法則、または修正 Lambert-Beerの法則<sup>[9]</sup>が反射光や観測される信号において成り立つとする。2: 画像システムのそれぞれのチャンネルの分光感度範囲において肌の分光分布が緩やかに変化するとする。3: 肌の色はメラニンとヘモグロビンの2つの色素

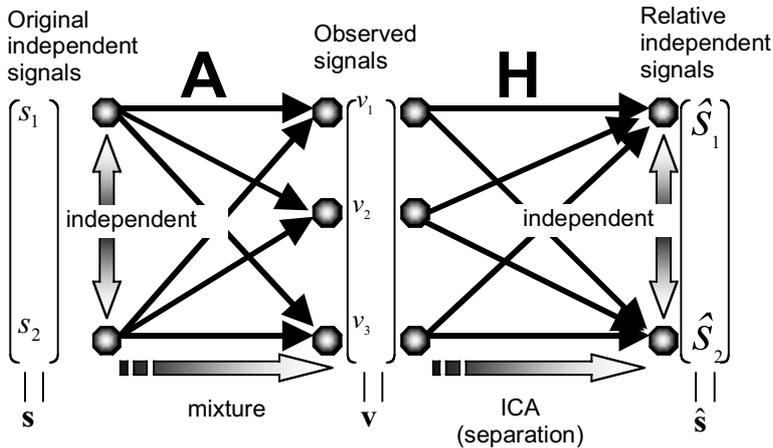


Figure 1: Flow of the signals in ICA

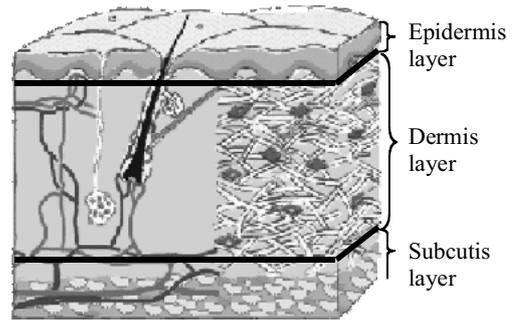


Figure 2: Schematic model of human skin

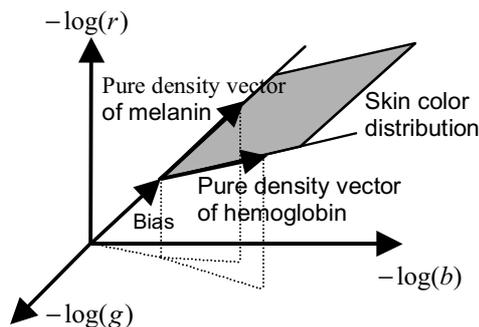


Figure 3: Skin color model in the optical density domain of three channels

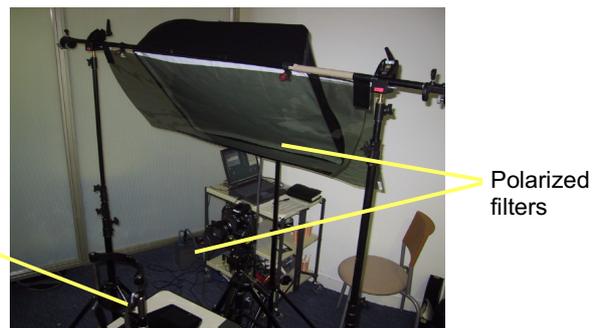


Figure 4: Experimental setup

の空間的な変化によって構成される．4：色素の分布は互いに，空間的に独立である．これら 4 つの仮定を考慮して構築した濃度空間での肌モデルを Figure 3 に示す．肌色の 3 つの濃度(-log(R), -log(G), -log(B))が，メラニンとヘモグロビンの色ベクトルが張る 2 次元平面に分布していると仮定できる．色濃度ベクトル  $v^{l,m}$  と色素ベクトル  $s^{l,m}$  の関係を式(1)を用いて次のように定義する．

$$v^{l,m} = A s^{l,m} \tag{3}$$

混合行列 A は 2 つの色素の色ベクトルから構成されている．分離行列 H を推定することで，RGB デジタル画像からメラニン，ヘモグロビンの色素成分を抽出，分離することができる．Figure 5 にその分離例を示す．メラニンの沈着によるシミはメラニン成分画像のみに，ヘモグロビンが集中しているニキビはヘモグロビン画像のみに存在しており，色素分離が良く行われていることがわかる．

#### 4．美白剤効果の測定

28 名の女性被験者の顔画像をデジタルカメラ(Nikon D1)で撮影した．撮影環境を Figure 4 に示す．表面反射光を取り除くため，カメラと照明の前に偏光板を設置した<sup>[8]</sup>．実験被験者の頭は，実験中同じアングルで撮影するためにあご台に固定する．被験者の方には 8 週間，毎日美白剤を顔に塗布していただいた．美白剤使用前，2 週間後，4 週間後，8 週間後に顔画像を撮影した．独立成分分析を全ての画像に適用し，メラニン成分を抽出した<sup>[6,7]</sup>．抽出したメラニン成分量を計算し，美白剤使用前と使用後 8 週間とで比較した．ヘモグロビン色素成分に対しても同様な処理を行い，成分量の変化の平均を百分率で示した(Table 1)．Figure 6 に色素解析実験の結果画像を示す．メラニン色素よりもヘモグロビン色素が肌の色に大きく影響していることがわかる．ヘモグロビンは健康状態や精神状態によって非常に変化しやすい．そのヘモグロビンの影響を除いてメラニン色素の変化量を測定する本手法は美白剤効果の測定に非常に有効であることがわかる．

#### 5．おわりに

メラニン成分の変化をデジタルカラー画像から抽出したメラニン分布により解析した．提案手法は色素成分の変化量を確認することができ，適切に美白剤の効果を測定できることを示した．また本手法の，肌の疾病などの色素解析等，医用分野への応用を考えている．

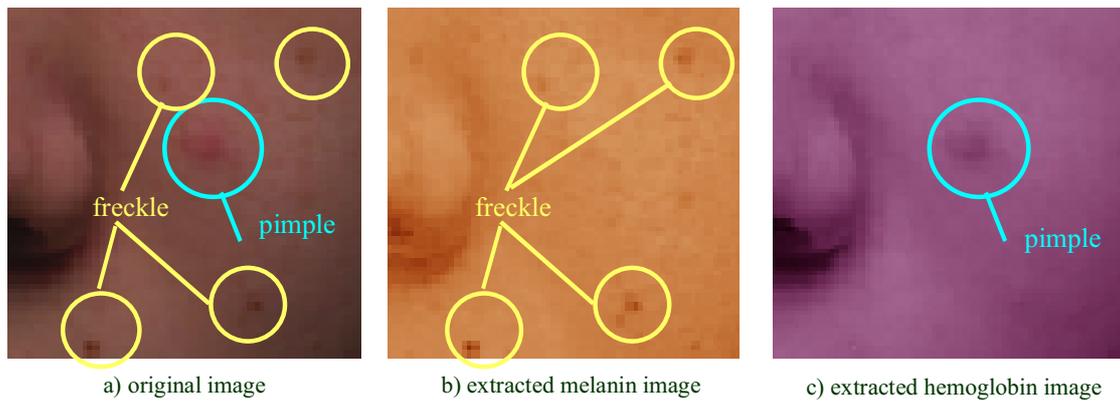


Figure 5: The resultant images captured at beginning of the experiment  
 (a) original image, (b) extracted melanin image, (c) extracted hemoglobin image

Table 1 Averaged value of changes between the images of beginning and 8 weeks later in the experiment

	melanin	hemoglobin
variation	-2.8%	-4.5%

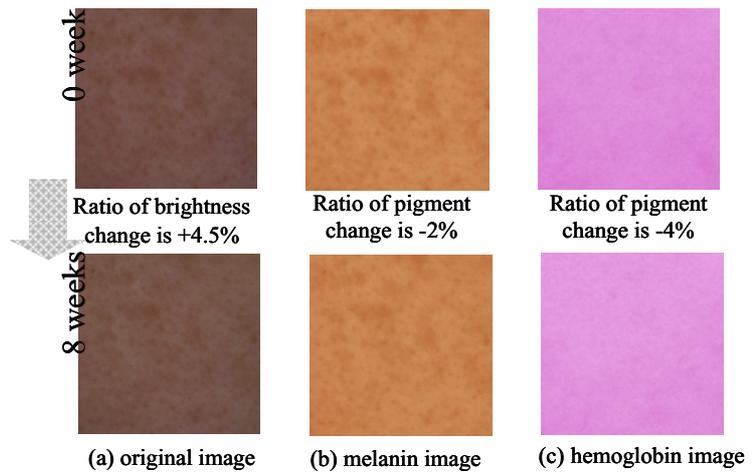


Figure 6: The resultant images of the experiment  
 (a) original image, (b) melanin image, (c) hemoglobin image

#### 参考文献

- [1] G. Burel, "Blind separation of sources: a nonlinear neural algorithm," *Neural Networks* **5**, 937-947 (1992).
- [2] A. Hyvärinen and E. Oja, "A fast fixed-point algorithm for independent component analysis," *Neural computation* **9**, 1483-1492 (1997).
- [3] C. Jutten and J. Hearult, "Blind separation of sources, Part I : An adaptive algorithm based on neuromimetic architecture," *Signal Processing* **24**, 1-10 (1991).
- [4] J. Karhunen, E. Oja, L. Wang, R. Vigário and J. Joutensalo, "A Class of Neural Networks for Independent Component Analysis," *IEEE Trans. on Neural Network* **8**, 486-504 (1997).
- [5] H.H. Yang and S. Amari, "Adaptive online learning algorithms for blind separation: maximum entropy and minimum mutual information," *Neural computation* **9**, 1457-1482 (1997).
- [6] N. Tsumura, H. Haneishi, Y. Miyake: "Independent component analysis of skin color image," *Journal of Optical Society of America A* Vol. 16 No.9 2169-2176 (1999).
- [7] N. Tsumura, H. Haneishi, Y. Miyake, "Independent component analysis of spectral absorbance image in human skin," *Optical Review* Vol. 7, No.6 . 479-482 (2000).
- [8] N. Ojima, H. Haneishi and Y. Miyake, "The Appearance of skin with Make-Up (II) - Analysis of Surface Topography of Skin with Make-Up-," *Journal of the Society of Photographic Science and Technology of Japan* Vol. 56 No. 4, pp.264-269(1993)[in Japanese].
- [9] M. Hiraoka, M. Firbank, M Essenpreis, M. Cope, S. R. Arridge, P. v. d. Zee, and D. T. Delpy, "A Monte Carlo investigation of optical pathlength in inhomogeneous tissue and its application to near-infrared spectroscopy," *Phys. Med. Biol.* **38**, 1859-1876(1993).