

# マイクロスコープを用いた皮膚画像からの状態推定

## The Quantification of Skin State from Image by microscope

村上 知子<sup>\*1</sup>      近藤 浩一<sup>\*1</sup>      山下 照実<sup>\*2</sup>  
Tomoko Murakami      Koichi Kondo      Terumi Yamashita

<sup>\*1</sup> 株式会社東芝 研究開発センター  
Corporate R&D Center, Toshiba corporation

<sup>\*2</sup> 東芝ホームアプライアンス株式会社  
Toshiba Home Appliances Corporation

In the increasingly-aging society people tend to be more conscious of the health and preventing disease. The blood circulation is one of the crucial factors to judge the state of the health in human daily life. In this paper, we propose a method to estimate it from a still image of human skin. The still image is taken by handy microscope to enable everyone to use without expertise in mechanical operation or medical knowledge for home use. Although various methods to quantify the state of blood circulation using the difference between molar extinction coefficient of melanin and hemoglobin from the image, we propose a new method to estimate it by using variation vector in the color space fluctuating with variation of skin surface temperature. We conduct the experiments to compare the scores before/after soaking the arm in warm water and evaluate the various methods to estimate it.

### 1. はじめに

高齢化社会の到来による健康志向の高まりから、健康な生活を持続するための行動やそれを支援する機器・サービスへの期待が増している。健康な生活の維持にはまず日常生活における健康状態の把握が重要である。近年、計測機器やセンサデバイスの小型化、画像処理技術や無線技術の発展により、携帯可能なデバイスに高度な処理技術を持つセンサを組み込み、生体の状態に関する情報を非侵襲かつ簡便に収集することが可能になった。センサ情報からの生体状態の見える化技術は、収集されたデータを活用した早期異常検知などの健康管理支援サービスの基礎となる。

本論文では、携帯型の撮影デバイスを用いて撮影された皮膚画像から血行状態を推定することを目的とする。皮膚画像から血行状態を計測する技術は、主に化粧品の効能評価を目的とした研究分野で盛んに研究され、いくつかの手法が報告されている。従来、2種類の波長に対する皮膚の吸光率に基づくTakiwaki法、多数の波長に対する吸光率を用いて重回帰分析によって構築された予測モデルに基づいてヘモグロビン量を推定するMasuda手法、感覚の均等性・再現性の観点で人の色彩感覚に近いと言われているCIE-L\*a\*b\*表色系を用いた推定手法の3種類が代表的な手法である。我々は、血行状態は皮膚の表面温度に比例すると仮定し、表面温度の変化に応じたXYZ表色空間における血行度変化ベクトルを求め、それに従い血行度を推定する新しい手法を提案する。さらに、様々な血行状態を仮定して多人数の前腕の湯への浸漬実験を実施し、皮膚の画像データと生体データを収集した。そして、それらの画像データに対して従来手法および提案手法を適用して血行度を推定することによって、手法の性能を検証する。

本論文は以下のように構成される。2章で皮膚画像から血行状態を推定する代表的な手法を紹介し、3章で新規手法を提案する。4章で多人数の皮膚画像に対する提案手法の適用結果に関して報告する。最後に5章で今後の展開を述べる。

### 2. 関連研究

皮膚画像から血行状態を計測する技術は、主に化粧品の効能評価を目的とした研究分野で盛んに研究され、いくつかの代表的な手法が報告されている[1-4]。

#### 2.1 Takiwaki法

従来の医療職の目視による皮膚の診断に対して、Takiwaki等は診断に計測機器を積極的に導入し、皮膚状態を定量的に視覚化して診断に役立てる方法を提唱した。その一貫として滝脇等は、センシングデバイスで撮影された皮膚画像から、血行状態を表す紅斑指数(*EI*: Erythema Index)を計算する手法(takiwaki法)を提案した[3]。紅斑指数は、図1に示すようなメラニンとヘモグロビンの吸光率の違いを利用して、相互の影響を近似的に分離することによって求める。村上等が拡張したtakiwaki法のアルゴリズム[5]を以下に説明する。

1. 本文画像を読み込み、 $i$ 番目のピクセルのRとGチャンネルごとに輝度値 $S_{ri}$ ,  $S_{gi}$ を算出

- 1.1.  $i$ 番目のピクセルの反射率 $R_{ri}$ ,  $R_{gi}$ を算出
- $$R_{ri} = S_{ri} / 255$$
- $$R_{gi} = S_{gi} / 255$$

- 1.2.  $i$ 番目のピクセルの吸光率 $A_{ri}$ ,  $A_{gi}$ を算出
- $$A_{ri} = -\log_{10} R_{ri}$$
- $$A_{gi} = -\log_{10} R_{gi}$$

- 1.3.  $i$ 番目のピクセルの紅斑指数 $EI_i$ を算出
- $$EI_i = A_{gi} - \alpha A_{ri}$$
- $\alpha$ : 係数

2. 総紅斑指数 $EI$ を以下の式で算出( $N$ :ピクセル総数)

$$EI = \sum_{i=1}^N EI_i / N$$

なお、補正係数 $\alpha$ はメラニン量による影響を差し引くための係数で、日本人の皮膚に合わせて $\alpha=0.14$ が推奨されている。

連絡先: 村上知子, (株)東芝研究開発センター

住所: 〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1

電話番号: 044-549-2240

メールアドレス: tomoko.murakami@toshiba.co.jp

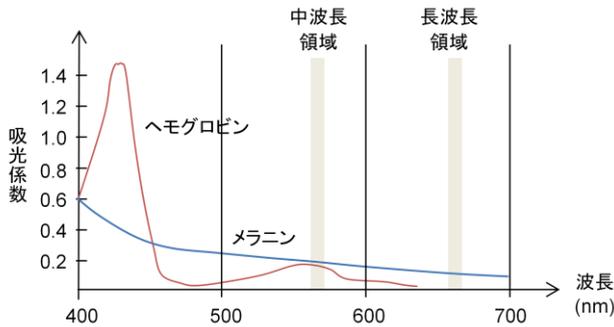


図1. メラニンとヘモグロビンの吸光率

## 2.2 Masuda 法

図 1 に示すようなメラニンとヘモグロビンの吸光度が波長によって異なる性質を利用し、数種類の波長の反射率からヘモグロビン量を求める方法[3,7]に対して、舛田等は多数の波長の反射率を利用したヘモグロビン量の推定手法(Masuda 法)を提案した[4]. Masuda 法では、500nm から 700nm まで 10nm 毎の合計 21 種類の入射光の反射率を利用して、重回帰分析によってメラニン量とヘモグロビン量を求める。

Masuda 法は、図 2 に示す Anderson 等による皮膚の光学モデルに基づいている。Anderson 等は、正常な皮膚では皮膚表面において約 5%、表皮において約 10%、真皮においてはほとんどの入射光が散乱するのに対して、主に表皮基底層に多く存在するメラニンと表皮直下血管網の血液が入射光を吸収し透過する現象をモデル化した[6]. Masuda 等は本モデルに従い、以下の関係式を導いた。

$$A = A_m M + A_h H + \beta$$

ここで、 $A$  を推定される皮膚の吸光度、 $A_m$  をメラニンの吸光度係数、 $A_h$  をヘモグロビンの吸光度係数、メラニン量を  $M$ 、ヘモグロビン量を  $H$ 、真皮の推定吸光度を  $\beta$  とする。具体的には、分光測色計を用いて計測される反射率の逆数の対数を取ることで  $A$  を算出し、 $A_m$  と  $A_h$  は図 1 に示すメラニンとヘモグロビンそれぞれの吸光係数を用い、重回帰分析を適用することによって  $M$  と  $H$  を求める。Masuda 等は、女性 60 名の頬の反射率を計

$$\begin{aligned} \text{ヘモグロビン量 } H = & -32.218 \log_{10} \frac{1}{X} + 37.499 \log_{10} \frac{1}{Y} \\ & - 4.495 \log_{10} \frac{1}{Z} + 0.444 \end{aligned}$$

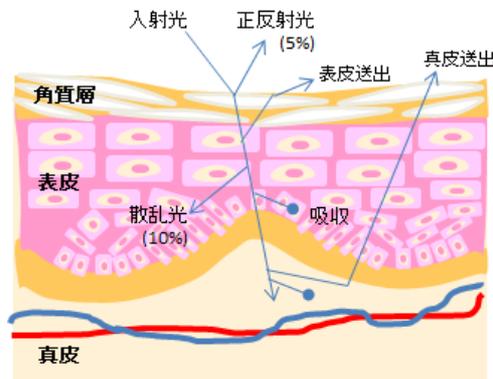


図 2. Anderson 等による皮膚の光学モデル

測し上記手法によって  $M$  と  $H$  を求め、さらに画像の 3 刺激値 ( $XYZ$ ) から  $M$  と  $H$  を求める以下の重回帰式を導いた。

Masuda 等は、湯への浸漬によって血行状態が改善された場合にヘモグロビン量が増加してメラニン量に変化しないことや紫外線照射によって色が黒くなった皮膚に対してヘモグロビン量が変わらずメラニン量が増加することを実験的に示し、提案手法の有効性を検証した。

## 2.3 CIE-L\*a\*b\* 表色系

従来、皮膚計測の研究においては、皮膚の白さやメラニン量は  $L^*$ 、ヘモグロビン量は  $a^*$  に比例するものとして、 $L^*$  をメラニン指数、 $a^*$  を紅斑指数として用いてきた[1].  $L^*a^*b^*$  表色系空間においては、 $x$  軸が赤みを表す  $a^*$ 、 $y$  軸が黄味を表す  $b^*$ 、 $z$  軸が明度を表す  $L^*$  に相当し、色相は  $a^*$ 、 $b^*$  の値で表わされる。 $a^*$  は、画像の RGB 情報 ( $R, G, B$ ) を用いて以下のような計算式で求められる。

$$a^* = 500 \left\{ \left( \frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right\}$$

$$X = 0.4124 * R + 0.3576 * G + 0.1805 * B$$

$$Y = 0.2126 * R + 0.7152 * G + 0.0722 * B$$

$$X_n = 98.071, Y_n = 100.0$$

## 3. 提案手法

本論文では、皮膚画像データから肌の血行状態を推定する新しい手法を提案する。提案手法では、色空間において、皮膚の表面温度が 1 度上がった場合に、観測画像の値が変化する程度を変化ベクトル  $\vec{u}$  によって表すことにする。なお、本論文では、色空間については  $XYZ$  表色系空間を用いることにする。

提案手法の基本的な考え方を図 3 に示す。 $XYZ$  表色系において表面温度の単位温度上昇に伴う血行度の変化ベクトルを  $\vec{u}$  とする。 $\vec{u}$  は基準点 ( $B$ ) と目標点 ( $Q$ ) を結ぶベクトル  $\vec{BQ}$  の単位温度 (1 度) あたりの変化ベクトルとする。基準点 ( $B$ ) は定常時の皮膚の血行状態に相当する座標、目標点 ( $Q$ ) は温熱時等の皮膚の血行の良い状態に相当する座標とする。対象画像  $P$  の 3 刺激値 ( $XYZ$ ) を計算し、以下のように  $\vec{BP}$  の  $\vec{BQ}$  への射影を求め、血行度  $H$  を計算する。

$$H = \frac{|\vec{BP}| * \cos \theta}{|\vec{u}|}$$

ここで、 $H$  は基準点の表面温度と比較した相対的な皮膚温度に相当する。基準点 ( $B$ ) や目標点 ( $Q$ )、変化ベクトル  $\vec{u}$  の値設定が重要で、本提案手法では過去に収集した被験者 40 名の計測データから経験的に以下のように決定する。

$$B = (0.6623, 0.6705, 0.5842)$$

$$\vec{u} = (0.0013, -0.0002, 0.00015)$$

基準点 ( $B$ ) の座標値は、皮膚の表面温度が 30 度時の被験者 40 名の  $XYZ$  中央値とした。また、目標点 ( $Q$ ) の座標値は、表面温度が 36 度時の被験者 40 名の  $XYZ$  中央値とした。

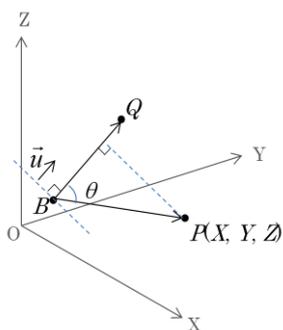


図3. 提案手法の説明図

## 4. 実験

### 4.1 データの収集

本手法の有効性を検証するため、多人数の被験者を対象とした実験を実施してデータを収集した。実験の概要を以下に述べる。

- 実施日: 2013年2月25日から28日までの4日間
- 被験者: 20歳代から40歳代の女性32名
- 選択・除外基準

健康な人、特に、皮膚状態が健常な状態の人のみ対象として、例えばアトピー等のアレルギー症状、肝臓による黄疸などの皮膚に病気の症状が出ている人は除外した。極端な日焼けで皮膚の皮がむけている人も除外した。

#### • 実験方法

被験者毎に、42度から44度のお湯に3分間前腕を浸漬前と浸漬後、0、5、10、20、30分経過毎に、前腕の3箇所を撮影し皮膚表面温度を計測した。なお、実験に際しては、EECGOのガイドライン[8,9]に従い、被験者は温度20度から22度、湿度40%を保った部屋において20分間馴化の後計測を実施した。

#### • 計測機器

実験では、図4に示すように、Scalar社製マイクロスコープ Air Micro<sup>®</sup>とサーモグラフィー Avio Thermo Shot を用いた。Air Micro<sup>®</sup>は画素数27万、倍率40倍のCCDカメラレンズを搭載しており、図4下図のようなVGA(640x480)の皮膚画像が撮影した。Avio Thermo Shotは-20度から100度までの測定可能で、図4中図のような皮膚の表面温度分布画像と表面温度を取得した。図4中図と下図は、共に左からある被験者の湯への浸漬前と浸漬後、0、5、10、20、30分経過後に収集した実際の画像である。実験の様子を図5に示す。

### 4.2 結果と考察

まず、時間変化と皮膚表面温度の関係を調べた。結果を図6に示す。図6の横軸は浸漬前(b)と浸漬後の経過時間(0,5,10,20,30分)、縦軸はサーモグラフィーで取得した皮膚表面温度を表し、色分けされたグラフは各被験者の結果を示している。1名の被験者を除いてはいずれの被験者においても、浸漬前の表面温度に対して浸漬直後に最も温度が高く、その後時間の経過とともに緩やかに減少する様子が見られる。

次に、各手法によって推定される血行度と皮膚表面温度との関係を調べた。収集した皮膚画像に対して4種類の手法を適

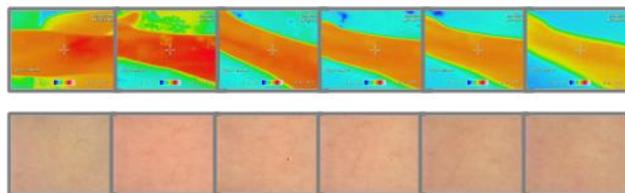


図4. 使用した計測機器(上図)と撮影画像(中図がサーモ画像, 下図が皮膚画像)



図5. 実験の様子

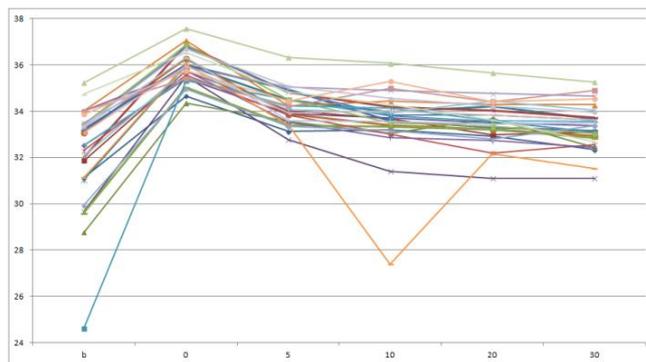


図6. 経過時間と表面温度の関係

用して血行度を推定した結果を図7に示す。図7の最上図はTakiwaki法、中上図はMasuda法、中下図はa\*, 最下図は提案手法による推定結果を示している。各グラフの横軸は表面温度、縦軸は各手法で推定される血行度を表し、推定値と次数2の多項式近似式が被験者毎に色分けしてプロットされている。表面温度が高くなるほど血行状態が良く血行の推定値も高くなることを期待される。そこで、近似式の形状により以下の4種類に分類し、それらに該当するに被験者数で各手法を評価する。

- (1) 上昇: 表面温度が上昇するにつれて共に推定値が高くなる傾向を示す曲線
- (2) 山型: 低温時に上昇傾向を確認できるが高温時に下降傾向を示す曲線
- (3) 谷型: 低温時に下降傾向を示すが高温時に上昇傾向が認められる曲線
- (4) 平行・下降: 表面温度の上昇とは逆に推定値が低くなる傾向を示す曲線や変化が認められない曲線

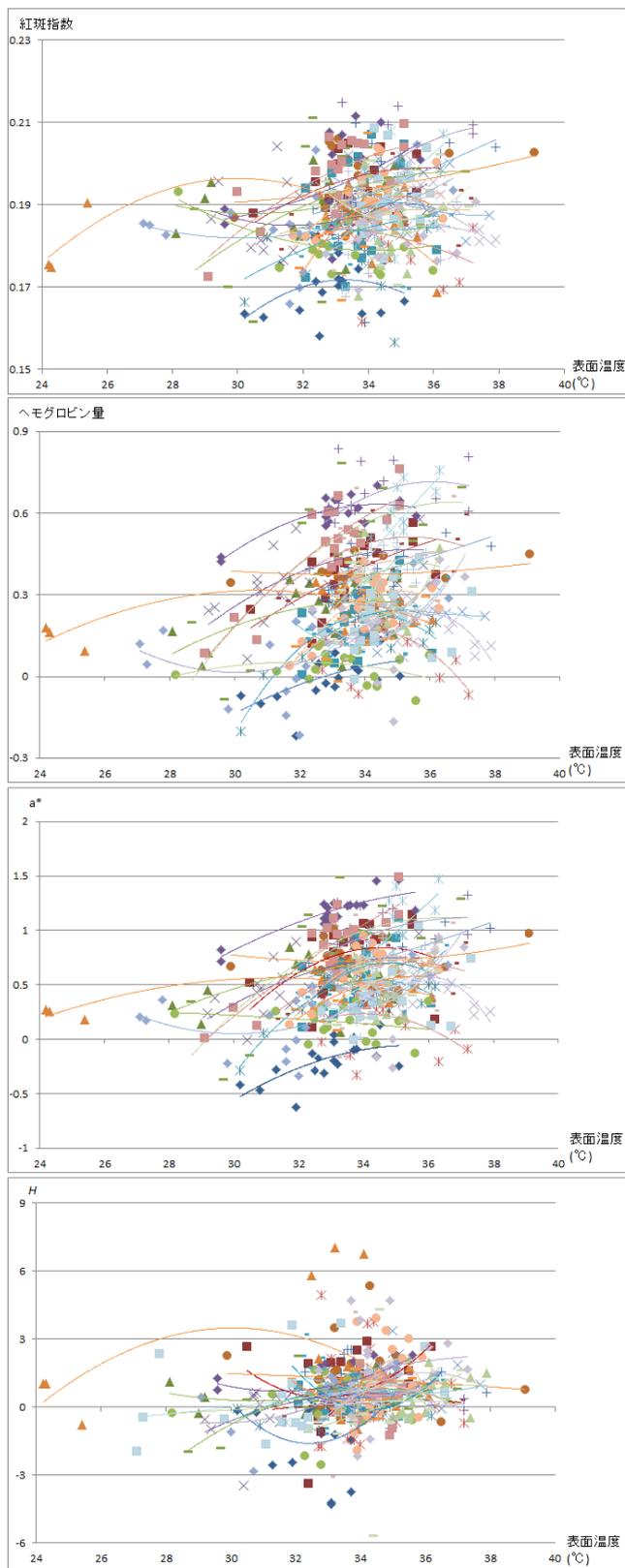


図 7. 推定値と表面温度との関係(最上は Takiwaki 法, 中上は Masuda 法, 中下は a\*, 最下は提案手法による推定結果)

表 1. グラフの種類のカテゴリ

	上昇	山型	谷型	平行・下降
takiwaki 法	11	10	4	4
masuda 法	10	11	4	4
a*	11	10	5	3
提案手法	14	7	6	2

(単位:人)

結果を表1に示す. 既存3手法の上昇曲線が10,11人であるのに対して提案手法は14人と最も多く, かつ平行・下降曲線が2人と最も少ないことから, 他手法より良い性能を示していることが分かる. 本実験により, 皮膚画像から血行状態を推定する法として提案手法が有効であることを確認することができた.

### 5. 終わりに

本論文では, 生体の状態に関する情報を非侵襲かつ簡便に収集することを目的として, 携帯型の撮影デバイスを用いて撮影された皮膚画像から血行状態の推定を試みた.メラニン・ヘモグロビンの吸光率の差異を利用した従来手法に対して, 表面温度の変化に応じた色空間における変化ベクトルを利用して血行度を推定する手法を提案した. さらに, 多人数の被験者による湯への浸漬実験を通じて, 従来手法に対して提案手法が優れていることを確認した.

今後は,メラニン量の影響を考慮した血行状態の推定を検討し, 日常生活において容易に健康管理が可能なシステムの開発を目指す.

### 参考文献

- [1] 高橋元次, "最近の皮膚計測工学の進歩と有用性評価への導入", *Fragrance Journal*, pp.173--180, (2007).
- [2] 小島伸俊, "独立成分分析による肌色の画像解析とそのシミ解析への応用", *日本化粧品技術者会誌, J. Soc. Cosmet. Chem. Japan*, Vol.41, No.3, pp.159-166, (2007).
- [3] Takiwaki H, et al., "Quantification of erythema and pigmentation using a video-microscope and a computer", *British Journal of Dermatol*, Vol.131, No.1, pp.85-92, (1994).
- [4] 舛田勇二等, "新しいシミ計測法の開発", *日本化粧品技術者会誌*, Vol.35, No.4, pp. 325-332, (2001).
- [5] 村上知子等, "マイクロスコープを用いた皮膚画像からの血行計測", 第11回情報科学技術フォーラム(FIT2012) 論文集, (2012).
- [6] R. R. Anderson, J. A. Parrish, "The optics of Human Skin", *The Journal of Investigative Dermatology*, Vol.77, pp. 13-19, (1981).
- [7] J. B. Dawson et al. "A theoretical and experimental study of light absorption and scattering by *in vivo* skin", *Journal of Physics in Medicine and Biology*, Vol. 25, pp.695-709, (1980).
- [8] Joachim W. Fluhr (Editor), "Practical Aspects of Cosmetic Testing:How to Set up a Scientific Study in Skin Physiology", Springer, (2011).
- [9] EECGO:European Group for Efficacy Measurements on Cosmetics and Other Topical Products.