

皮膚の分光画像におけるウェーブレット解析

Wavelet analysis of multiband skin image

小西昌宏 Masahiro Konishi 大阪電気通信大学
土居元紀 Motonori Doi 大阪電気通信大学

Osaka Electro-Communication University
Osaka Electro-Communication University

Keywords: 分光画像, ウェーブレット解析, Kubelka-Munk 理論

1. はじめに

皮膚の色素分布を解析することは CG や医療、美容など様々な分野で有用である。皮膚には赤みやシミ、ホクロなどの色の分布がみられる。皮膚の赤みはヘモグロビン色素によるものであり、この色素は波長 500nm~600nm の間に他の色素にはない独特の吸収パターンが存在する。この独特な吸収パターンが RGB カラー画像や帯域数の少ないマルチバンド画像では捉えることができない。よって本研究では 500nm~600nm の間を 10nm 間隔で撮影した分光画像を用いる。また、肌を撮影したときに照明による陰影や細かい皺が画像に含まれる。これらは色素分布の解析に影響を与える。よって、本研究ではウェーブレット関数を用いた多重解像度解析[1]によってこれらの成分を除去し、色素分布の解析を行う。特に陰影に関しては長波長領域の分光画像に反映されているとして、その特徴を用いて除去する。皺や陰影の除去後の分光画像に対し、Kubelka-Munk 理論[2,3]を適用して、皮膚の色に影響するメラニン、ヘモグロビン、デオキシヘモグロビンの色素量を推定する。メラニンはホクロやシミに含まれ、ヘモグロビンは赤み、デオキシヘモグロビンは静脈の色に対応する。

2. 解析手法

皮膚の色素分布の解析では、まず皮膚の分光画像を取得する。次に各分光画像から解析対象領域を切り出す。切り出された解析対象領域に対し、ウェーブレット関数を用いた多重解像度解析に基づいて陰影や皺を除去する。長波長帯の分光画像は皮膚の細かな模様を含まず、全体的な陰影を表す。長波長帯分光画像の低周波数成分を陰影とみなし、分光画像から陰影を除去する。その後各画素について分光反射率を求める。分光反射率に

対して Kubelka-Munk 理論を適用して皮膚に含まれるメラニン色素やヘモグロビン色素、デオキシヘモグロビン色素の分布を推定する。

3. ウェーブレット関数による多重解像度解析

画像の解像度を半分にすると空間周波数が低域の画像が得られ、元画像と低域画像の差分として高域画像が得られる。この画像をレベル 1 の画像とする。低域画像は同様の処理によりさらに高域画像と低域画像に分離できる。この高域画像をレベル 2 の画像とする。このように解像度を変えて信号を解析することを多重解像度解析といい、画像の縦横サイズがそれぞれ 2^n のときレベル n までの画像と直流成分に分解できる。低域画像と高域画像に分解するデジタルフィルタとしてウェーブレット関数を用いる。本研究ではウェーブレット関数として遮断特性の良い関数としてドベシ関数を用いる。

4. Kubelka-Munk 理論

Kubelka-Munk 理論は混濁物質の光の反射と透過について、光の物質内での複雑な散乱経路を考慮することなく、簡単に計算することが出来る手法で、塗装などの分野で良く用いられる。

Kubelka-Munk 理論では物質の層の厚みが D の時の層の反射率 R と透過率 T は物質の散乱係数 S 、物質の吸収係数 K を用いて次式のように導かれる。

$$\begin{aligned} R &= \frac{1}{a + b \coth bSD} \\ T &= \frac{b}{a \sinh bSD + b \cosh bSD} \\ a &= \frac{S+K}{S}, b = \sqrt{a^2 - 1} \end{aligned} \quad (1)$$

皮膚は表皮と真皮の 2 層と仮定して、層間の相互反射も考慮する必要がある。上位層の反射率を R_1 、透過率を T_1 、下位層の反射率を R_2 とした場合の 2 層全体の反射率は、次式で表される。

$$R_{1,2} = R_1 + T_1^2 R_2 (1 + R_1 R_2 + R_1^2 R_2^2 + \dots) = R_1 + \frac{T_1^2 R_2}{1 - R_1 R_2} \quad (2)$$

筆者らは以前 Kubelka-Munk 理論を用いて皮膚の分光反射率を推定する方法を提案した[4]. 本研究ではその手法を用いて分光画像の各画素について色素量を推定し、色素の分布を得る.

5. 実験

腕の皮膚について 2cm 四方の領域が一辺 256 画素になるように分光画像を撮影した. メラニンが集中した部分としてホクロがある個所と酸化ヘモグロビンが集中した部分としてワサビを塗ったあとに炎症が出た個所を解析した.

分光画像の撮影には波長プログラマブル光源と高感度モノクロカメラを用いた. 波長プログラマブル光源は光を分光し、各波長の光を任意の強度に変化させて照射することが可能な光源である. 照射する光は可視光内である 405nm から 695nm までを狭帯域で分割して用いる. 本研究では対象物を皮膚としているため、ヘモグロビン色素の特徴がある波長 500nm~600nm の範囲は 10nm 間隔と細かく分け、他の波長帯域では 30nm と広い間隔で広帯域の光を照射した.

ホクロの個所の分光画像(図 1)から長波長領域の画像を用いて陰影を除去した画像を多重解像度解析で分解する. さらにレベル 1 から 3 のみ再合成した高域画像を皺として分離する. レベル 4 から 8 で再合成した低域画像を色素の分布を反映した分光反射率画像とする(図 2). 図より皺や光沢を高域画像として分離できていることが分かる. 得られた分光反射率画像に対して Kubelka-Munk 理論により各画素の色素量を求め、その分布を画像として出力する. 結果を図 3 に示す. 図は色素の濃度が高いほど黒くなるよう作成した. この図よりメラニン(M)の濃度が高いホクロがメラニンの画像では黒く、ほかでは特徴がないことが分かる. またデオキシヘモグロビン(Hb)は静脈に多く含まれるので、この図でも 680nm で静脈が写っている部分に高い色素量が表れている. 同様に解析した炎症のある皮膚画像では、炎症が起こった部分にヘモグロビンが集中していることが確認できた.

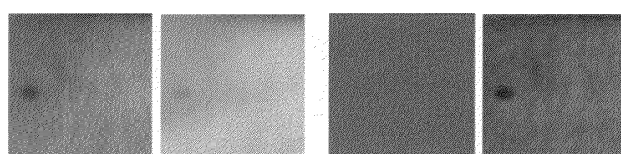
6. まとめ

本研究では分光画像に対し、ウェーブレット解析と Kubelka-Munk 理論による解析を行うこと

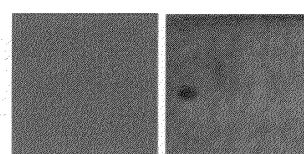
によって、皮膚表面の色を表す 3 つの色素の分布を推定する手法を提案した. 実験によりウェーブレット解析で陰影や光沢などを分離できることが確認できた. そして、陰影や光沢を除去した分光画像から Kubelka-Munk 理論により 3 つの色素分布を抽出できることがわかった.

参考文献

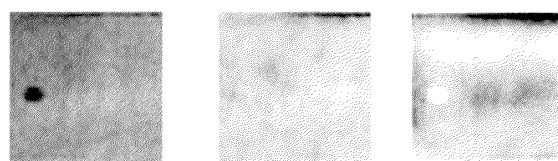
- 1) S. Mallat, A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation, IEEE PAMI 2, 7 (1989) 674-692.
- 2) P. Kubelka: New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part I, JOSA, 38, 5 (1948) 448-457.
- 3) P. Kubelka: New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part II: Nonhomogeneous Layers, JOSA, 44, 4 (1954) 330-335.
- 4) M. Doi, N. Tanaka, S. Tominaga: Spectral Reflectance Estimation of Human Skin and Its Application to Image Rendering, JIST, 49, 6 (2005) 574-582.



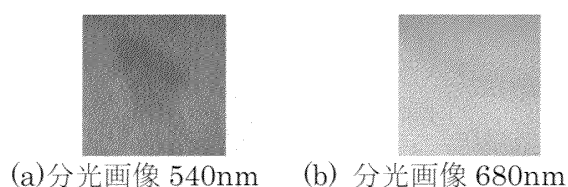
(a)540nm (b)680nm
図 1 分光画像



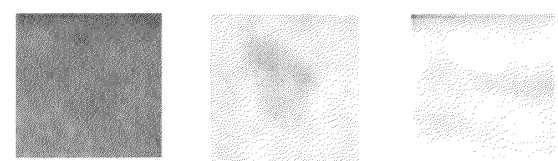
(a)高域 (b)低域
図 2 ウェーブレット解析(420nm)



(a)M (b)HbO2 (c)Hb
図 3 推定した色素分布



(a)分光画像 540nm (b) 分光画像 680nm



(c)M (d)HbO2 (e)Hb

図 4 炎症部分の分光画像(一部)と色素分布