

メディカルビジョン -分光画像計測による肌色モニタ
リングシステム-

津村 徳道, 奥山 真寛, 横山 直広, 三宅 洋一

千葉大学工学部情報画像工学科

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

Medical Vision - Monitoring system for skin color
based on spectral imaging -

Norimichi Tsumura, Masahiro Okuyama, Naohiro Yokoyama,
Yoichi Miyake

Department of Information and Image Sciences, Chiba
University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522
(Received ; Accepted)

英文要旨 (Synopsis)

Real-time monitoring of pigment in human skin is expected for monitoring human health conditions. We are proposing the system for monitoring the human skin. In the system, illuminants are modulated spatially and temporally to obtain an accurate skin color for the monitoring. The accurate skin color is calculated from the spatio-temporal digital video signals by using photometric stereo method. An area of face is measured during the rotation of the face to show the effectiveness of the proposed system.

和文要旨

肌の色素成分の実時間計測により人間の健康状態をモニタリングすることが期待されており，我々は肌色の変化を非接触によりモニタリングするシステムを提案している．提案システムでは，天井に配置された照明を時空間変調する．照明の変調と同期させて得られた複数枚の画像より，照度差ステレオ法により物体の各点における正確な色を計測することができる．被験者が首を振っている間に継続的に顔の一領域の色の变化を測定できると示すことにより，提案システムの有効性を確認した．

1．高齢化社会と肌色計測

日本では高齢化社会が問題となっており，ユビキタス情報化により医療情報の提供や高齢者の健康情報管理を充実させ，高齢者やその家族が安心して豊かに生活する社会を構築することが期待されている．しかし，情報通信技術のみで，高齢化社会におけるユビキタス情報化が行われるわけではなく，高齢者から健康情報などをリアルタイムに取得し，常に監視することができるセンシング技術の開発が重要である．たとえば，人間の肌色には多くの健康情報が含まれており，肌色を常時モニタリングすることにより高齢者の健康管理が実現されると思われる．

近年，ディスプレイやハードコピーの色再現の分野から，少数の広帯域色フィルターで撮影されたマルチバンド画像から事前に得られている分光反射率サンプルをもとに各点の分光反射率を推定する手法が提案されている¹⁻³⁾．これらの手法は，市販のデジタルカメラ等を用いて容易にスペクトル画像が得られるため，光計測の分野でも注目されている．しかし従来，CCDカメラなど非接触型面測定では，照明ムラ，陰などの影響により正確な肌色を

広範囲にモニタリングすることはできなかった．そこで，我々は，デジタルカメラで撮影した分光画像に対してコンピュータビジョン技術を適用することにより，絶対的な反射率を広範囲に計測する手法をメディカルビジョンと称してこれまで研究してきた⁴⁾．また，得られた絶対分光反射率画像に対して逆光散乱解析を行うことによって，肌の色素成分分布を推定する手法を提案してきた^{5,6)}．逆光散乱解析では，計測された分光反射率を入力として，肌の散乱係数，構造などを既知として，メラニン濃度，ヘモグロビン濃度，酸素飽和度を未知とした逆問題を非線形最適化法により肌領域の各点において解いている．最近では，時空間照明変調法を用いることで，高齢者の視覚に対しても負担が少なく，窓などからの外光の影響を受けない計測システムの構成を提案している⁷⁾．

本稿では，時空間照明変調法による肌の常時モニタリングシステムを中心に概説し，その基礎実験結果を紹介する．

2．時空間照明変調法を用いた肌の常時モニタリングシステム

提案しているシステムでは，部屋に配置された複数の照明の点灯時間を制御し，高速に変調させることで高齢者などの肌色を常時正確にモニタリングすることができる．図 1 にその概念図を示す．カメラと照明はホスト・コンピュータによって同期がとられている．これにより，様々な方向から照明された高齢者の肌色画像を常時取得することができる．一方向から照明された画像では，陰の影響などを受け，正しい計測ができない．しかし，人間の知覚周波数を越える周波数で照明の変調を行うことにより，高齢者に視覚的な負担を与えることなく，陰の影響を除去した画像を，コンピュータビジョン技術を用いて得ることができる．陰の影響を除去した分光画像に逆光散乱解析を行うことで肌の状態変化を捉える．これにより高齢者の健康状態の悪化などを検出し，即時にその旨を家族や病院などに通知することができる．また，窓などから入射する外光は，照明の変調周波数に比べてその変化は無視できるため，照明点灯時と非点灯時の光量の差をとることにより，外光の影響を受けない光量の測定が可能である．これにより，高齢者には通常的生活を送っていただきながら，肌を常時モニタリングできると期待される．

3 . 実験結果

前節で紹介したシステムの予備実験システムの概観を図2に示す．時空間照明変調により，多方向照明画像を瞬時に取得するため，異なる位置に置いた4つのストロボを用いて，4方向からそれぞれ照明された画像を取得した．得られた画像4枚の対応する点において，拡散反射モデルを仮定したPhotometric Stereo法⁸⁾を用いて，正確な反射率と面の法線方向を計算することができる．これにより，照明ムラや3次元形状による陰の影響を除去した絶対分光反射率分布画像を得た．デジタルビデオカメラとストロボをコンピュータで制御することで4方向からの画像4枚を0.144[s]で取得することができる．また，これまでの研究で肌の正確な色素成分分布を得るには3バンドでは不十分なことがわかっている．撮影では，モノクロビデオカメラの前に，プリズムを用いた4バンド分割光学系(MultiSpec Agro-Imager, Optical Insight社)を配置することで，可視光領域で中心波長の異なる4バンド画像を得た．

実験ではカメラに対して額を 0° ， 30° ， 45° と傾けて撮影を行った．それらの画像をもとに額の一部の領域の

平均分光反射率を推定した結果を図3に示す。単方向照明の場合、その入射角に応じて $\cos(\text{入射角})$ に比例して照度が変わるのに対して、本実験では精度良く測定されていることが分かる。図には、分光色測計(CM-2500d, ミノルタ)を用いて接触式により測定した結果も示している。接触式の場合、長波長域が肌内部における散乱の影響を大きく受け、計測点領域の外側に拡散するため今回測定した非接触式よりも反射率が少なく見積もられている。

次に飲酒開始から8分間、被験者に自由に首を動かしてもらった状態で顔全体を測定した。2分毎に撮影された画像に対して Photometric stereo 法により陰の除去を行った結果の画像を図4に示す。また、手動で切り出された頬の四角で囲まれた領域の平均分光反射率に対して、逆光散乱解析を適用し、ヘモグロビン濃度、メラニン濃度、酸素飽和度を求めた。その結果を図5に示す。飲酒によるヘモグロビン濃度の増加を、顔を固定せずに安定に検出することができている。

3．まとめと今後の展開

照明を時空間変調することにより被験者を拘束せずに

肌色をモニタリングするシステムを紹介した．また，計測された肌の分光反射率から色素成分量を測定するデモ実験の結果を紹介した．しかし，本システムは，まだ提案段階であり，実用的に家庭で使用されるためには多くの技術的課題が残されている．

照明は実用的には，白色LEDを用いることで安定に変調することが期待される．しかし，被験者に対して負担を与えない光量に抑える必要があり，また高周波変調のため1フレームあたりの光量が極端に少ないためカメラにおけるS/Nが大きな問題となる．最終的に得られる画像は，フレーム間の対応画素間演算により得られた絶対的な反射率画像であり，ホストコンピュータを介することなくスマートピクセル技術と融合することにより，S/Nを改善し，通信バンドの制約を受けないシステムの構築が期待される．

本稿では紙面の都合上詳しくは述べなかったが，実験において照明位置，光量，カメラ特性などのキャリブレーションに多くの時間を費やしている．被験者がキャリブレーションされた範囲から出た場合には，照明の方向がずれるため測定誤差が大きくなる．我々は被験者に対する照明方向を，眼球表面に映る光源から測定する手法を

提案している⁹⁾。また，反射モデルにおいて陰も考慮することにより，任意照明下で陰を除去した測定を行う手法も提案している¹⁰⁾。以上のように，今後，実用化に向けてより簡易にキャリブレーションする方法を開発するとともに，できる限りキャリブレーションフリーなシステムとアルゴリズムの構築が望まれる。

文献

- 1) M. J. Vrhel and H. J. Trussell: "Color Correction Using Principal Components." Color Res. Appl. 17 (1992) 328-338.
- 2) H. Maitre, F. Schmitt, J. -P. Crettez, Y. Wu and J. Y. Hardeberg: "Spectrophotometric Image Analysis of Fine Art Paintings." Proc. of the Fourth Color Imaging Conference (1996) 50-53,
- 3) 津村徳道，羽石秀昭，三宅洋一：重回帰分析によるマルチバンド画像からの分光反射率の推定．光学 27 (1998) 384-391.
- 4) 津村徳道，メディカルビジョン，Medical Imaging

Technology Vol.20 No.2, (2002) 94-100.

5) Norimichi Tsumura, Miki Kawabuchi, Hideaki Haneishi, Yoichi Miyake: "Mapping pigmentation in human skin from multi-channel visible spectrum image by inverse optical scattering technique," Journal of Imaging Science and Technology Vol 45, No. 5, (2001) 444-450

6) 中尾大輔, 津村徳道, 三宅洋一, 実時間分光画像処理による肌の色素成分分布変化の測定, Medical Imaging Technology Vol.20 No.2 (2002) 123-133.

7) 横山直広, 奥山真寛, 中尾大輔, 津村徳道, 三宅洋一, メディカルビジョン - 時空間照明変調法による正確な色計測 -, Optics Japan 2002 予稿集 (2002)230-231.

8) Robert J. Woodham : "Photometric method for determining surface orientation from multiple images," Optical Engineering 19 (1980) 139-144, .

9) ダンミングイエ, 津村徳道, 三宅洋一: 顔の3次元形状復元のための眼球反射光を用いた光源方向の正確な推定, 第50回 応用物理学関係連合講演会 (2003.3.27) (予定)

10) 清水秀人, 津村徳道, 小島伸俊, 三宅洋一: 陰影の影

響を受けない肌の色素成分計測法，第 49 回 応用物理学
関係連合講演会（2002.3.28，神奈川）987.

Figure Captions

- 図 1 時空間照明変調法による肌のモニタリング
- 図 2 実験で用いた時空間照明変調法による肌のモニタリングシステム
- 図 3 カメラに対する顔の角度を変化させた場合の計測結果
- 図 4 飲酒後 0，2，4，6，8 分後の陰除去後の画像
- 図 5 飲酒後 0，2，3，6，8 分後の色素成分の相対値（0 分で規格化）

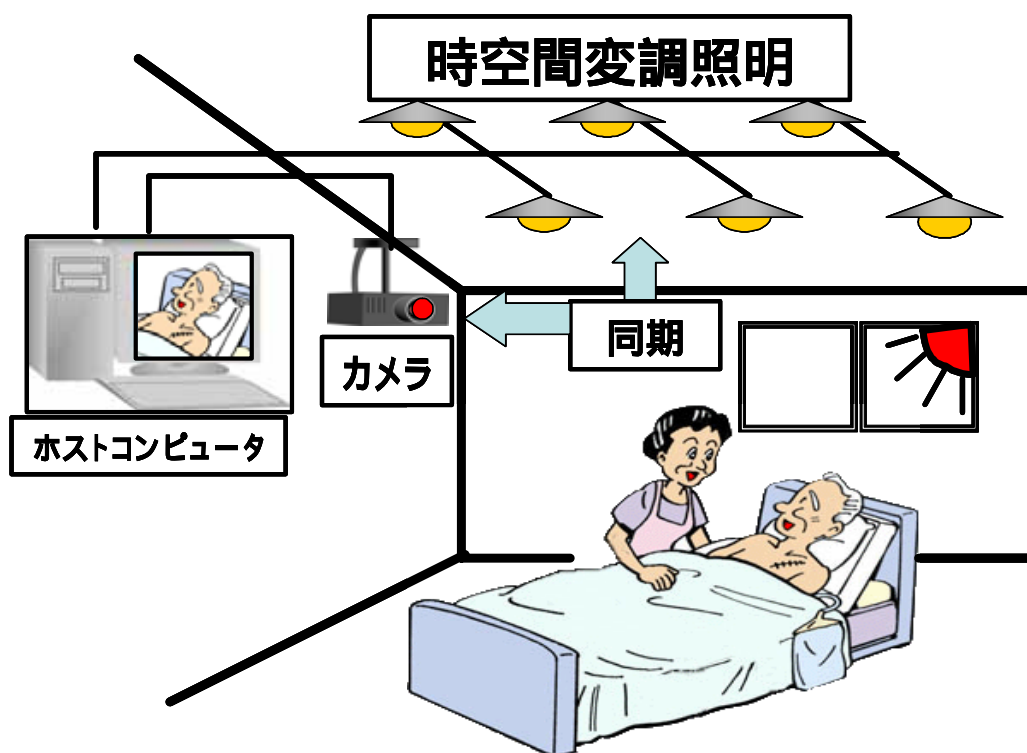


図1 時空間照明変調法による肌色のモニタリング

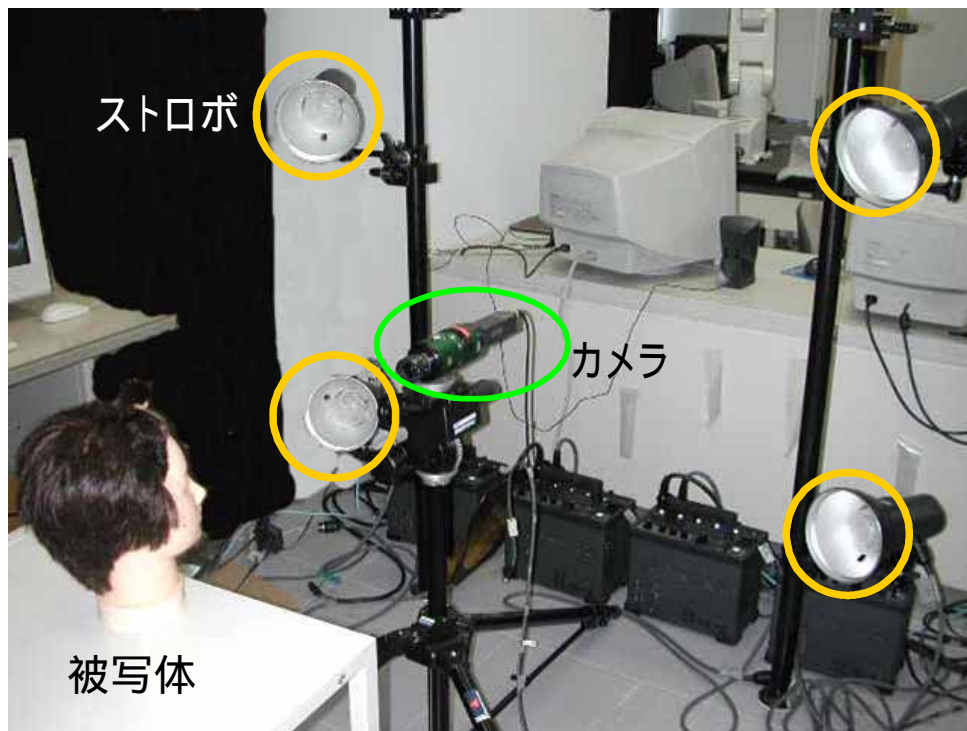


図2 実験で用いた時空間照明変調法による
肌色のモニタリングシステム

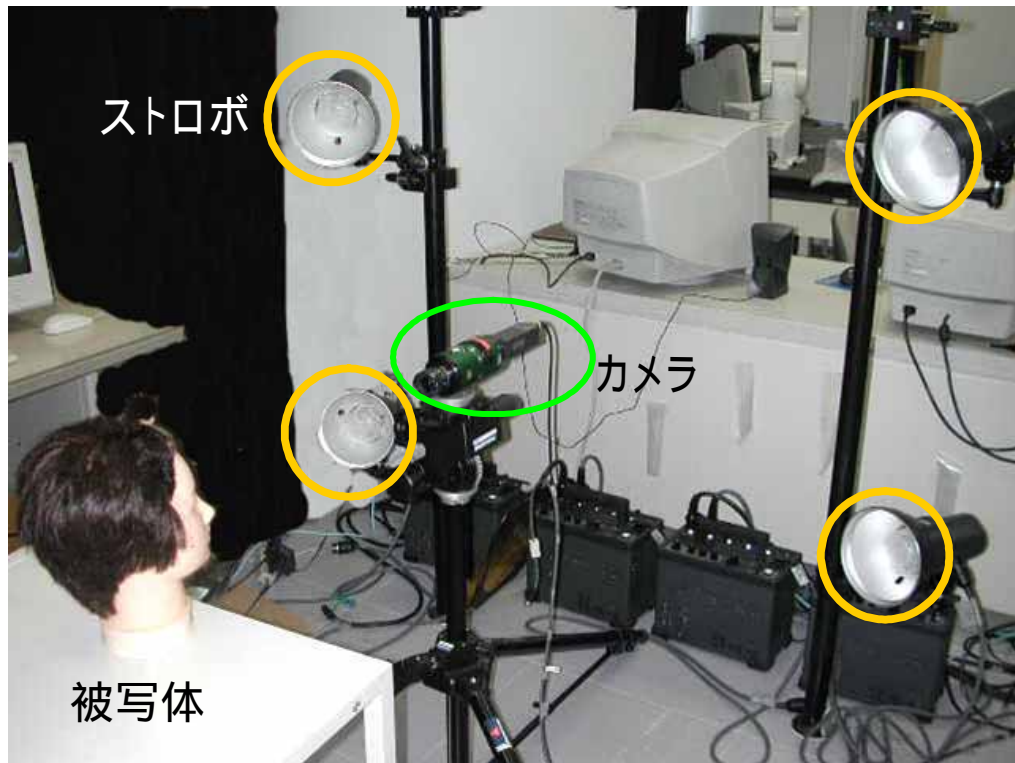


図2 実験で用いた時空間照明変調法による
肌色のモニタリングシステム

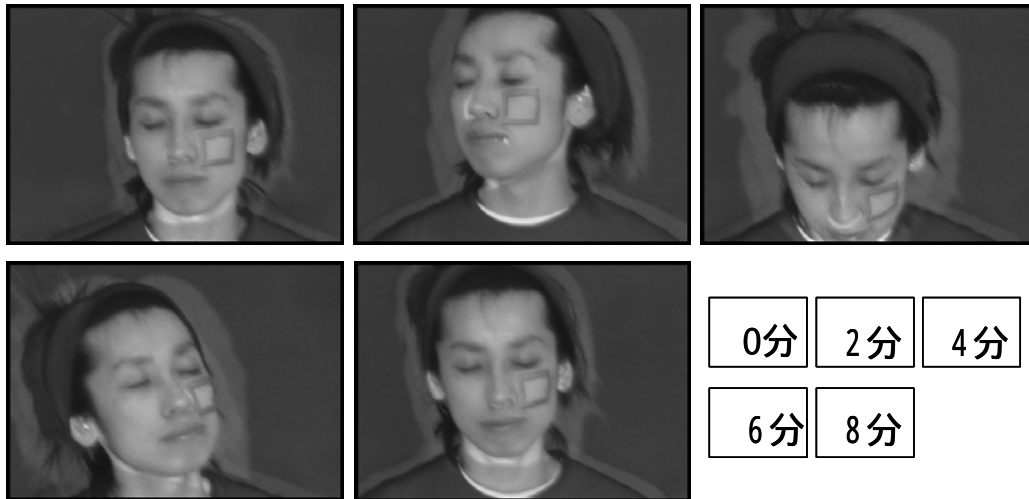


図4 飲酒後0, 2, 4, 6, 8分後の陰除去後の画像

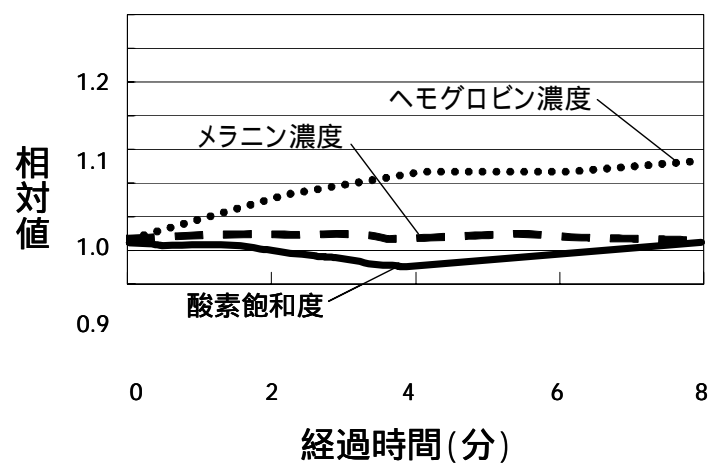


図5 飲酒後0, 2, 3, 6, 8分後の色素成分の相対値(0分で規格化)