Color Science Association of Japan

角膜表面像からのシーンの分光反射率推定
Estimation of Scene Spectral Reflectance from Corneal Surface Image

鈴木 渉 Wataru Suzuki 大阪電気通信大学 Osaka Electro-Communication University
西 省吾 Shogo Nishi 大阪電気通信大学 Osaka Electro-Communication University
大寺 亮 Ryo Ohtera 神戸情報大学院大学 Kobe Institute of Computing
富永昌治 Shoji Tominaga 千葉大学大学院 Chiba University

Keywords: 角膜反射像，虹彩，分光反射率，広範囲シーン推定.

1．はじめに

広範囲なシーンの情報を取得することは，コンピュータビジョンや色彩工学の分野において非常に重要であり，その為の手法として，鏡面球や魚眼レンズを用いた全方位カメラシステムがこれまで提案されている [1), 2)]．これらのシステムでは，広範囲な視覚情報の取得が可能な反面，高額な機器や繊細なキャリブレーションが必要とされる問題がある．一方，人間の眼球を観測した時，角膜の表面には周囲のシーンが写り込む．この角膜表面の反射像には，周囲のシーンの有用な情報が含まれている．そこで広範囲なシーン情報を取得するために，鏡面球の代わりに人間の眼球を利用した手法を提案した [3)]．提案手法では，カメラの分光感度が既知であれば，過去に取得した高解像度顔画像からも色信号の推定が可能である．提案手法により，特別な機器やキャリブレーションを必要とせず，簡易な計測システムで広範囲なシーンの色信号を取得できることを実証した．しかし，シーン情報の取得範囲や，視力矯正器具の着用による色信号の推定精度への影響について検証が不十分であった．本稿ではこれらについて検証することを目的とする．

2．角膜反射像からの分光反射率推定

本研究では，角膜反射像を取得するために，高解像度RGBカメラであるCanon EOS D60を使用した．カメラの各チャンネルは12ビットで量子化され，画像サイズは2052×3088ピクセルである．取得画像から幾何補正を行い，Wiener推定を用いて角膜に写り込んだシーンの分光反射率を推定する．入射光の分光分布を $E(\lambda)$，カメラの分光感度を $R(\lambda)$，シーン中の物体の分光反射率を $S(\lambda)$とし，n_iをセンサノイズとすると，カメラの出力ρ_iは次式で表現することができる．

$$\rho_i = \int_{400}^{700} E(\lambda)S(\lambda)R(\lambda)d\lambda + n_i \quad (1)$$

ここで，iはカメラチャンネルを表している．それぞれの色信号は，可視光の波長である400nmから700nmの範囲を5nm間隔でサンプリングした，61次元ベクトルで表現する．ここで，$\mathbf{R}$をカメラの分光感度ベクトル，光源を含む反射光分布の相互相関行列を$\mathbf{C_{ss}}$，$\sigma^2\mathbf{I}$をカメラノイズとする（$\mathbf{I}$は単位行列）．また，ρをカメラ出力ベクトルとすると，眼球に写り込んだ物体の分光反射率$\mathbf{E}$は次式で表すことができる．

$$\mathbf{E} = \mathbf{C_{ss}}\mathbf{R}^t\left(\mathbf{R}\mathbf{C_{ss}}\mathbf{R}^t + \sigma^2\mathbf{I}\right)^{-1}\rho \quad (2)$$

推定された虹彩領域上の角膜反射像は，虹彩上の拡散反射成分と角膜表面の鏡面反射成分との線形和で表現される．一方，瞳孔領域上の角膜反射像は，鏡面反射成分のみで表現される．そこでシーン内のいくつかの物体は，虹彩領域と瞳孔領域の境界に跨って写り込むと仮定した．図1に示すように，虹彩領域上で推定された色信号（拡散反射成分＋鏡面反射成分）を$\mathbf{E_{I(S+D)}}$，瞳孔領域上で推定された色信号（鏡面反射成分）を$\mathbf{E_{P(S)}}$とする．この時，虹彩領域上の鏡面反射成分と瞳孔領域上の鏡面反射成分が等しい（$\mathbf{E_{I(S+D)}}=\mathbf{E_{P(S)}}$）と仮定すると，虹彩上における拡散反射成分の色信号$\mathbf{E_{I(D)}}$は次式により得られる．

$$\mathbf{E_{I(D)}} = \mathbf{E_{I(S+D)}} - \mathbf{E_{P(S)}},\ \mathbf{E_{I(S)}} = \mathbf{E_{P(S)}} \quad (3)$$

虹彩には紋理と呼ばれるテクスチャが存在するが，本研究では虹彩の拡散反射成分が一様であると仮定する．したがって，虹彩領域上の角膜反射像における，鏡面反射成分のみの色信$\mathbf{E_{I(S)}}$は，$\mathbf{E_{I(S+D)}}$から式(3)によって得られる虹彩上における拡散反射成分$\mathbf{E_{I(D)}}$を差し引くことで得られる．

本手法によるシーンの取得範囲を検証する為に，図2のような眼球の幾何モデルを仮定した．r_cは角膜の曲率半径，r_Iは瞳孔を含む虹彩の半径を表し，t_bは角膜表面から瞳孔までの距離を表す．角膜輪部上のある点Sで入射光V_iに対し，反射光V_rが角度γ

NII-Electronic Library Service

Color Science Association of Japan

で反射したとすると，瞼やまつ毛の影響を考慮しない場合，約±90度の角度範囲の反射像が角膜表面に映り込んでいることが明らかになった．これは魚眼レンズとほぼ同等の画角といえる．

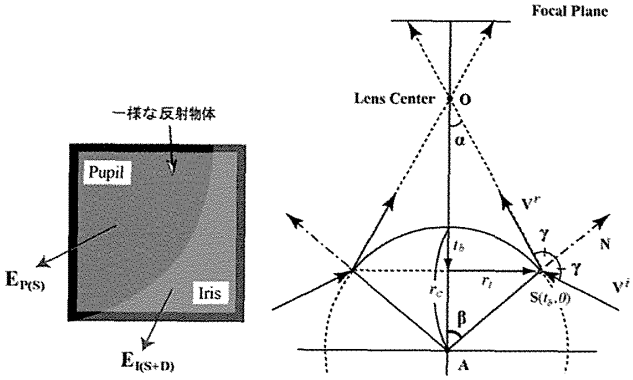

図 1. 角膜反射像の反射成分　図 2. 眼球の幾何モデル

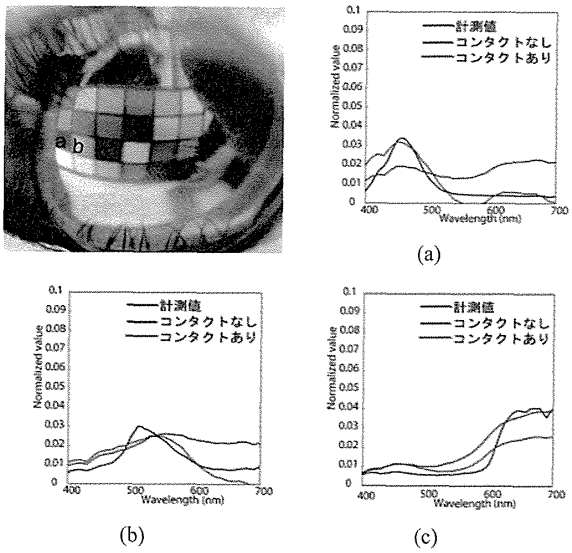

図 4. ハードレンズ装着による推定結果

3．実験結果

自然環境下にて，視力矯正器具を装着した被験者を撮影することで，分光反射率の推定精度への影響を検証した．本稿ではコンタクトレンズを対象にし，さらにソフトタイプとハードタイプの2種類に分けて実験を行った．各レンズを装着した状態で撮影を行い，角膜反射像から色票の分光反射率の推定を行った．推定結果を図3と図4に示す．ソフトコンタクトレンズの場合は，装着の有無に関わらず，概ね良好な推定結果を得ることができた．一方，ハードコンタクトレンズの場合，装着の有無で分光反射率の推定精度に明らかな差が確認できた．反射率がゼロ以下になっている部分は，処理の過程で虹彩除去のための減算を行った影響と考えられ，虹彩の分光反射率の特性上，長波長側で減算の影響が顕著になる．しかし，複数回の撮影を行った結果，コンタクトレンズの種類に依存するよりは，むしろ，装着時のコンタクトレンズの表面状態（くもり，汚れ等）に強く影響を受けることが明らかになった．

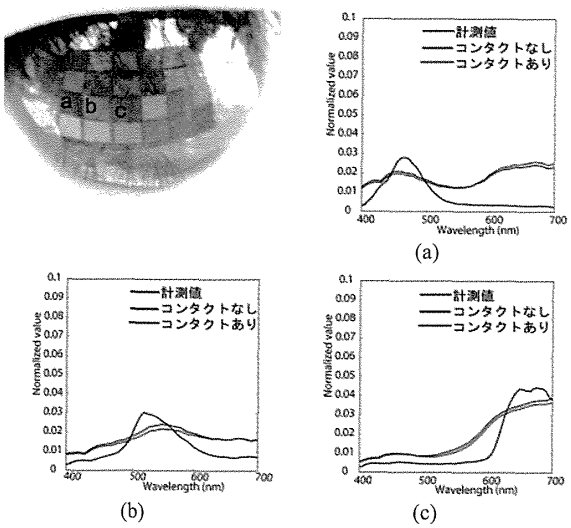

図 3. ソフトレンズ装着による推定結果

4．おわりに

角膜反射像を利用した広範囲なシーンの分光反射率推定手法について，シーン情報の取得範囲や，視力矯正器具の着用による色信号の推定精度への影響について検証を行った．眼球の幾何モデルを構築し，本手法による取得範囲の理論値を求めた結果，ほぼ魚眼レンズと同等の画角を有することが明らかになった．また自然環境下にて，コンタクトレンズを装着した被験者を撮影することで，分光反射率の推定精度への影響を検証した．装着の有無による影響よりは寧ろ装着時の表面状態に依存する可能性が高いことが確認できた．

参考文献

1) S. Tominaga and T. Fukuda “Omnidirectional Scene Illuminant Estimation Using a Multispectral Imaging System,” *In Color Imaging XII*: *Processing, Hardcopy, and Applications*, pp.649313-1-649313-8, 2007.

2) S. Tominaga, et al.: “A High-resolution Imaging System for Omnidirectional Illuminant Estimation”, *Journal of Imaging Science and Technology* 52(4), pp.040907-1- 040907- 9, 2008.

3) R. Ohtera, et al.: “Wide Area Color Signal Estimation from Reflected Image on Cornea Surface”, *Proc. Interim Meeting of the International Colour Association* (*AIC* 2012), pp.60-63, 2012.

NII-Electronic Library Service