

光反射モデルに基づいた化粧塗膜の視覚的質感の計測と CG 再現

田中法博 望月宏祐

長野大学企業情報学部

1. はじめに

本研究では化粧品開発などの美容分野を想定し、実際の人の肌や化粧品の視覚的質感を計測データに基づいて3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)再現する手法を提案する. 近年では質感を科学的な視点で解明する研究が盛んになってきている[1]. 人の肌の 3DCG は近年の映画やゲームの分野を中心に高品質なものが開発されていることが知られている.

このとき化粧品開発時には、実際に存在する人物の肌や化粧品の色再現精度が課題となる. 色再現精度の向上は、その労力や計算コストが高くなるが、エンターテインメント分野では、あまり高い色再現精度が求められていないため、色再現よりも CG の主観的な映像の美しさの追及に注力されることが多い. しかしながら、化粧品開発分野においての 3DCG では実在の化粧品や肌を映像として再現しなければならないため、独自の色再現技術が必要となる. 特に視点や照明環境の変化による陰影や光沢などの3次元的条件変化に対応する色再現技術が必要となる.

本研究では、陰影や光沢を含めた色再現を視覚的質感と定義し、この視覚的質感を光反射特性の計測データに基づいて定量表現することを目指す. そして、計測データに基づいて実在の化粧品の 3DCG 再現する. 人の肌の反射特性を光反射モデルと呼ばれる数学モデルで記述し、個々の肌の質感はモデルパラメータで定量化する. 本研究では、独自の肌の光反射計測系を開発し、計測データからはこのモデルパラメータを推定することで肌の視覚的質感を定量的に計測できるようにする.

2. 肌の反射モデル

本研究では、肌の質感を肌表面の反射特性として光反射モデルで記述する[2]. 本稿で構築する光反射モデルは、単に高精度なモデル構築を目指すのではなく計測データを想定して構築する. このため肌の反射特性を定量化するだけで

なく、計測データから容易にモデルパラメータの推定を行えるようにする.

図1は肌表面の光反射の幾何モデルを図示したものである. 光反射は光源、物体、視点の3つの幾何情報と表面材質の特性からモデル化される. まずこのモデルは幾何情報として照明方向ベクトルは $\mathbf{L}$, 視線方向ベクトルは $\mathbf{V}$, 物体法線ベクトルは $\mathbf{N}$ の3つの方向ベクトルにより記述される. そして、肌の材質に応じた反射特性が記述される.

肌からの反射光は本研究では分光情報として扱う. 視覚系に入射する反射光は色信号, つまり視覚系に入射する光の分光分布として記述する. まず素肌の色信号を C_B , 化粧品の色信号を C_C と記述すると肌の反射光の色信号 C は波長 λ と $\mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}$ の関数として次式のように記述する.

$$C(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) = w_B C_B(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) + w_C C_C(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) \quad (1)$$

w_B, w_C はそれぞれの関数の重み係数であり、視覚的には化粧の濃さとなる. 化粧品の重ね塗りなど化粧品が複数ある場合は、それぞれの化粧品の反射モデルを追加する. 本稿では化粧品は1種類とした. 本研究では素肌の色信号 C_B は分光的に構築した肌の光反射モデルを用いている[2].

次に化粧品の色信号 C_C は、化粧品に含まれる個々の材質を示す反射モデル, つまり色信号の関数を合成して記述する. 化粧品の反射モデルは主にベースとなる化粧品の拡散反射成分 C_D , グロスなどの光沢を示す鏡面反射成分 C_G , ラメなどのスパイクな輝きを示す鏡面反射成分 C_L によって(2)式のように記述する. いずれの反射成分も色信号として記述する.

$$C_C(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) = C_D(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) + C_G(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) + C_L(\lambda, \mathbf{N}, \mathbf{V}, \mathbf{L}) \quad (2)$$

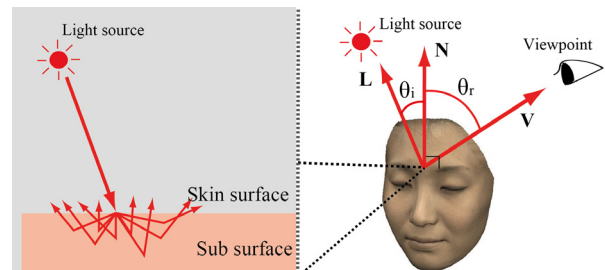


図1. 肌の反射特性の幾何モデル[2]

3. 光反射の計測とモデルパラメータの推定

化粧を塗布した肌表面の反射特性を調べる．本研究では幾何条件変化に対応する分光反射率を調べるために照明方向などを変化させて顔表面の分光反射率を画像計測できるシステムを試作した[2]．図2はこのシステムの概略図と実際の計測装置である．この計測システムでは被験者はシートに座り頭部を固定して計測する．照明光の向きは，被験者の頭部横に設置された鏡面球によりキャリブレーションする．顔正面にはデジタルカメラ(Nikon D800E)を設置して計測する．この装置では，被験者の位置を中心に光源が回転できるように回転アームが設置されており，回転アームを回転させることで正面のカメラで照明方向を変化させながら被験者を計測する．照明光源には 300W の光束を絞った白熱電球を使用した．この計測系で連続的に照明方向を変化させ光強度を計測し， L , V , N の3者の幾何条件と反射光強度の関係を調べる．本システムを用いて入射角度を変化させながら化粧を塗布した顔表面の RGB 画像を計測し，分光放射輝度を推定する．この分光放射輝度に(1)式をフィッティングしてモデルパラメータを推定する．

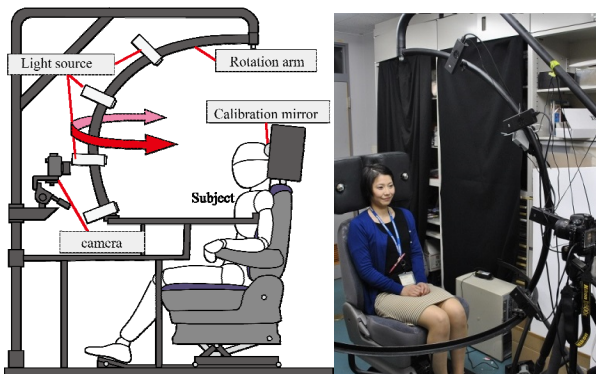


図2. 本研究で試作した計測系

4. 実験結果

本稿ではラメ有とラメ無のアイカラーについて計測を行い 3DCG で再現を行った．図3は実際に計測した人の肌の計測画像である．向かって左側の目はラメ有のアイカラーを塗布し，右側はラメ無のアイカラーとなる．図4は計測範囲にラメが確認されたときの反射光強度で入射角度が 29.12 度である．図5はラメがないアイカラーの反射光強度である．図6は計測した化粧塗膜を 3DCG で再現した結果である．

5. まとめ

本研究では，陰影や光沢を含めた色再現を視覚的質感と定義し，この視覚的質感を光反射特

性の計測データに基づいて定量表現する試みを行った．この結果，計測データから化粧塗膜の反射特性を 3DCG で再現することができた．

参考文献

- [1] 本吉 勇，質感のメカニズム「特集（色と質感）」，日本色彩学会誌 31(3),197-200, 2007.
- [2] N. Tanaka: Multi-spectral Imaging Method for 3D Computer Graphics Reproduction of Human Skin, Design Research, 80, 18-24, 2020.

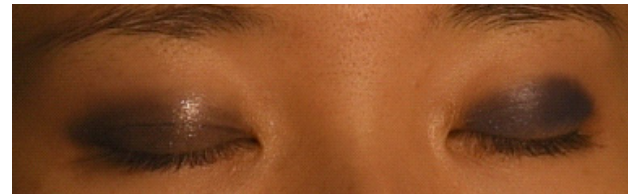


図3. 肌の計測データ

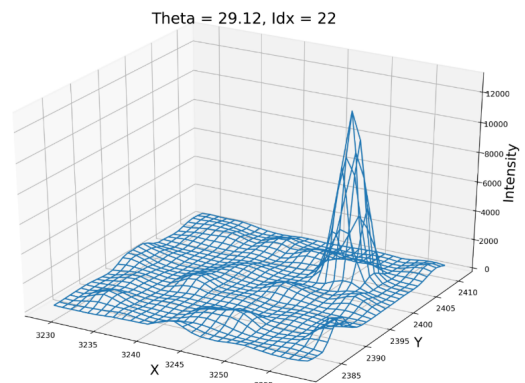


図4. ラメ有の反射光強度

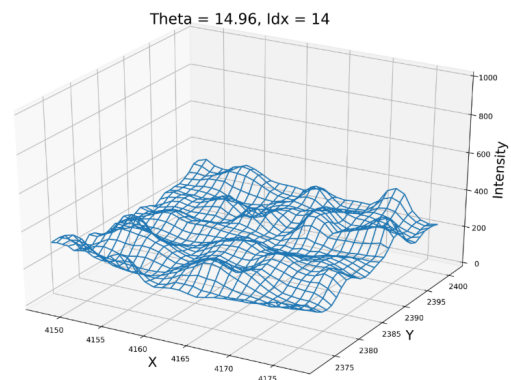
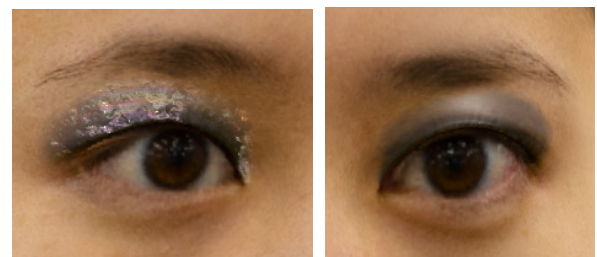


図5. ラメ無の反射光強度



(a) ラメ有

(a) ラメ無

図6. 計測した化粧塗膜の CG 再現結果