

メイクアップ化粧品の光学特性を考慮した化粧肌の分光反射率推定手法

大槻理恵*, **

Spectral Estimation Methods of the Makeup Products Applied to the Human Skin Based on the Optical Property

Rie OHTSUKI*, **

This report describes new methods for estimating the surface-spectral reflectance of makeup products (cosmetics foundation and lipstick) applied to the human skin. The color of makeup products applied to the human skin depends on three factors: (1) the optical property of makeup products, (2) the color of the human skin, and (3) the thickness of makeup products layer applied to the human skin. To estimate the surface-spectral reflectance, we define the spectral estimation equation based on the Kubelka-Munk theory. The optical properties which are scattering and absorption can be considering using the Kubelka-Munk theory.

Key words: skin, makeup products, spectral reflectance, optical property, Kubelka-Munk theory

化粧品（ファンデーション、口紅）を素肌に塗布した肌（以下“塗布肌”）の色を扱うためには、塗布肌に影響する要因（(1)化粧品の光学特性、(2)素肌の色、(3)素肌に塗布される化粧品の厚み）を無視できない。著者らはこれまでに、ファンデーション（以下“FD”）と口紅を対象とした塗布肌の分光反射率推定手法^{1,2)}を提案した。本手法は、塗布肌への要因を考慮して分光反射率を推定するために Kubelka-Munk 理論^{3,4)}（以下“K-M 理論”）に基づいている。K-M 理論は、着色層がある厚さ方向の一次元的なモデルとして仮定し、着色層に含まれる顔料固有の光学特性（散乱係数、吸収係数）を用いて、ある厚さの着色層の分光反射率と分光透過率を推定する式（以下“K-M 関数”）が定義している。

本稿では、FD と口紅の光学特性の違いと、各化粧品に対する塗布肌の分光反射率推定手法^{1,2)}について口紅塗布唇の分光反射率推定手法を中心に述べる。なお、化粧品にはパール顔料が配合されている製品もあるが、ここではパール顔料が配合されていない化粧品に限定した推定法を紹介する。

1. 分光反射率

本研究で扱う分光反射率は、JIS Z 8722 条件 c に基づく分光測色計（コニカミノルタ社製 CM2600-d）を用いて、可視光領域 400~700 nm の範囲を 10 nm おきに計測した。測定径 / 照明径は、唇および口紅は $\phi 3$ mm / $\phi 6$ mm, 頬および FD は $\phi 8$ mm / $\phi 11$ mm とした。

2. 化粧品の散乱係数と吸収係数

K-M 理論³⁾に基づき、化粧品の光学特性を示す散乱係数 $S(\lambda)$ と吸収係数 $K(\lambda)$ は、式 (1) (2) で計算できる。散乱係数 $S(\lambda)$ と吸収係数 $K(\lambda)$ は、拡散入射する放射エネルギーが対象物の薄膜層の厚みとともに変化する分光反射率および分光透過率が増減する割合である。

$$S(\lambda) = \frac{1}{bX_{\text{thin}}} \left(\coth^{-1} \frac{a - R_{\text{thin}}(\lambda)}{b} - \coth^{-1} \frac{a - R_g(\lambda)}{b} \right) \quad (1)$$

$$K(\lambda) = S(\lambda)(\alpha - 1)$$

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{\text{thick}}(\lambda)} + R_{\text{thick}}(\lambda) \right) \quad (2)$$

$$b = \sqrt{a^2 - 1}$$

* (株)カネボウ化粧品 (〒250-0002 小田原市寿町 5-3-28) E-mail: ootsuki.rie@kanebocos.co.jp

** 千葉大学大学院 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

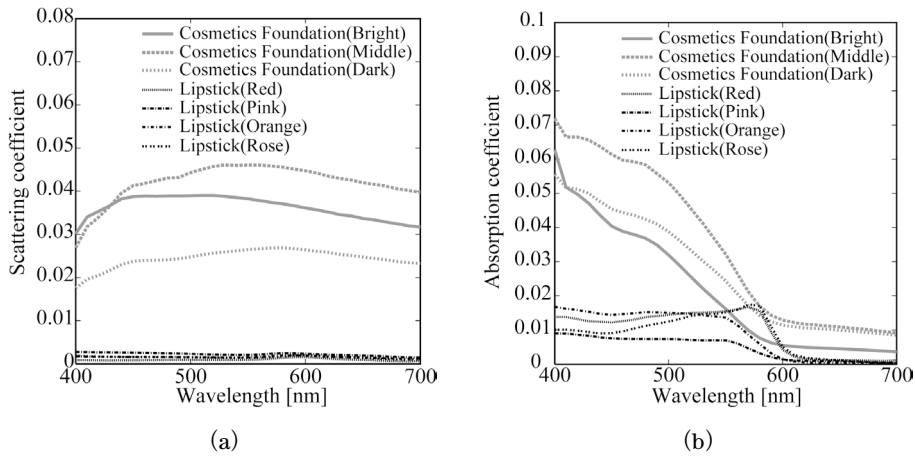


図1 化粧品の散乱係数と吸収係数. (a) 散乱係数. (b) 吸収係数.

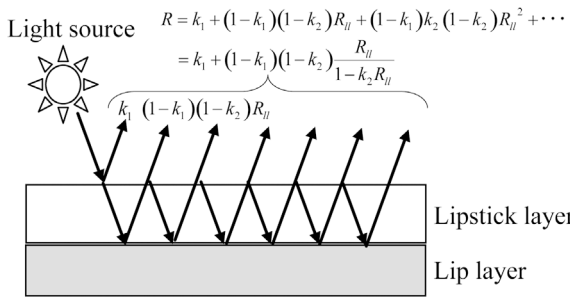


図2 口紅塗布唇の光学モデル.

ここで、 $R_{\text{thick}}(\lambda)$ と $R_{\text{thin}}(\lambda)$ は、黒い下地 (分光反射率 $R_g(\lambda)$) の上に厚み X_{thick} , X_{thin} で作製した化粧品塗膜の分光反射率である。 X_{thick} は、これ以上厚みを増しても分光反射率が変化しない厚さである。 X_{thin} は下地の色が透けて見えるような十分薄い厚さである。 X_{thick} および X_{thin} は、数種類の厚みで作製した化粧品塗膜の分光反射率を比較して決定した。

FD と口紅は顔料や油剤 (バインダー) の配合構成が異なるため、光学特性が異なると予想される。 FD と口紅の散乱係数と吸収係数を図 1 (a) (b) に示す。 FD は明度の異なる 3 色を用い、口紅は色みの異なる 4 色 (レッド、ピンク、オレンジ、ローズ) を用いた。 光学特性を比較すると、FD の散乱係数に比べて口紅の散乱係数は低いという光学特性の違いがわかり、光学特性は顔料や油剤の配合構成によって異なることが確認できる。

3. 口紅塗布唇の分光反射率推定手法

3.1 口紅塗布唇の分光反射率推定式

塗布肌の分光反射率推定式は、それぞれ散乱係数と吸収係数の違いを反映させて定義する必要がある。 図 2 は、本研究で仮定した口紅と唇の 2 層からなる口紅塗布唇の光学モデルである²⁾。 口紅塗布唇の分光反射率推定式は、この光学モデルに K-M 理論^{3,4)} を適用して導出した。 はじめ

に、K-M 関数³⁾ を用いて口紅塗膜の分光反射率と分光透過率を計算する。 K-M 関数は 5 つの光学特性に分けて定義されている³⁾。 口紅の場合、光学特性の特徴を考慮して低散乱物質の K-M 関数を採用した。 口紅塗膜の分光反射率 $R_{\text{lipstick}}(\lambda)$ と分光透過率 $T_{\text{lipstick}}(\lambda)$ は、口紅の散乱係数 $S_{\text{lipstick}}(\lambda)$ と吸収係数 $K_{\text{lipstick}}(\lambda)$ を用いて次式で表される。

$$R_{\text{lipstick}}(\lambda) = \frac{S_{\text{lipstick}}(\lambda)D_l}{a_l(\lambda)S_{\text{lipstick}}(\lambda)D_l + 1} \quad (3)$$

$$T_{\text{lipstick}}(\lambda) = \frac{1}{1 + a_l(\lambda)S_{\text{lipstick}}(\lambda)D_l + \frac{1}{2}b_l(\lambda)^2S_{\text{lipstick}}(\lambda)^2D_l^2} \quad (4)$$

$$a_l(\lambda) = \frac{S_{\text{lipstick}}(\lambda) + K_{\text{lipstick}}(\lambda)}{S_{\text{lipstick}}(\lambda)}, \quad b_l(\lambda) = \sqrt{a_l(\lambda)^2 - 1}$$

ここで D_l は口紅塗膜の厚みである。 次に、唇と口紅塗膜の 2 層の分光反射率 $R_l(\lambda)$ は K-M 理論⁴⁾ に基づき式 (5) で表される。

$$R_l(\lambda) = R_{\text{lipstick}}(\lambda) + \frac{T_{\text{lipstick}}(\lambda)^2 R_{\text{lip}}(\lambda)}{1 - R_{\text{lipstick}}(\lambda)R_{\text{lip}}(\lambda)} \quad (5)$$

ここで $R_{\text{lip}}(\lambda)$ は唇の分光反射率であり実測値を用いる。 式 (5) で計算される $R_l(\lambda)$ は空気と口紅塗膜表面との境界面における光の反射や屈折が考慮されていない理想状態の反射率であるため、そのまま用いることはできない。 そこで、光学モデルに基づき $R_l(\lambda)$ を現実的な口紅塗布唇の分光反射率 $R_{\text{est_lipstick}}(\lambda)$ に変換する。 $R_{\text{est_lipstick}}(\lambda)$ は、口紅塗膜と空気との境界面における反射 (境界面反射率 k_1) および内部反射率 k_2 を考慮して、式 (6) で表される。

$$R_{\text{est_lipstick}}(\lambda) = k_1 + (1 - k_1)(1 - k_2) \frac{R_l(\lambda)}{1 - k_2 R_l(\lambda)} \quad (6)$$

以上より、口紅塗布唇の分光反射率 $R_{\text{est_lipstick}}(\lambda)$ の推定

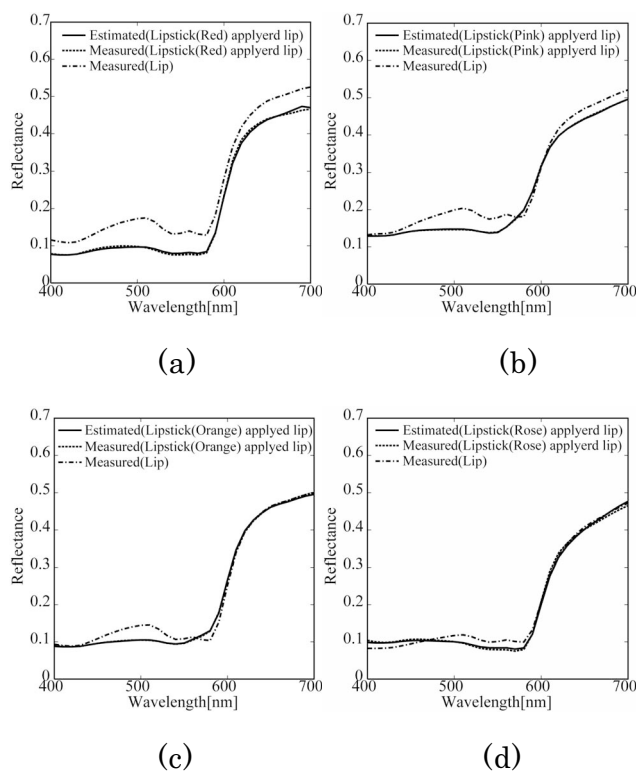


図3 推定した分光反射率と実測値との比較。(a) レッド, (b) ピンク, (c) オレンジ, (d) ローズ.

式(6)は、光学特性 $S_{lipstick}(\lambda)$, $K_{lipstick}(\lambda)$ および塗布される口紅の厚み D_l , 被験者によって異なる唇の色 $R_{lip}(\lambda)$ が含まれているので、本手法は前述した塗布肌の3つの要因を考慮している。

3.2 検証実験

検証実験では、口紅塗布唇の分光反射率を推定した。実験サンプルは、図1で示した色みの異なる4色の口紅である。推定した口紅塗布唇の分光反射率と実測値を図3(a)~(d)に示す。参考に、塗布前の唇の実測値(分光反射率 $R_{lip}(\lambda)$)も示した。なお、唇の分光反射率に500~600 nmにおいて肌特有の酸化ヘモグロビンに由来する吸収特性(W型の形)が確認できる。推定した口紅塗布唇の分光反射率と実測値はほぼ一致しており、本手法によって精度よく推定できることが示された。

4. ファンデーション塗布肌の分光反射率推定手法

FD塗布肌の分光反射率の推定手法¹⁾は、口紅塗布唇の分光反射率推定法²⁾と異なり、K-M理論の基本関数³⁾を

用いてFD塗膜の分光反射率と分光透過率を算出する。なお、口紅で用いた低散乱物質のK-M関数(式(3), (4))は、低散乱で厚みが薄い特性を考慮して、基本関数で用いられている双曲線関数が省かれている。FDの場合は、口紅に比べて散乱が大きいので、基本関数を用いた。また、FD塗布肌の分光反射率推定式には内部反射率を考慮していない。これは、FDと口紅の光学特性が異なるからである。FDを対象とした実験では、色素沈着や赤みにFDを塗布した場合も精度よく推定できることを確認した¹⁾。

化粧品(塗布肌)の新しい色解析方法として、K-M理論を適用して塗布肌の色の要因を考慮した「化粧肌の分光反射率推定手法」を紹介した。本手法を応用すると、化粧品塗膜の厚みを変えた場合の塗布肌の色を予測することや、理想とする塗布肌の色を実現する化粧品の顔料や油剤の配合率を決定することも可能となる。本稿ではパール顔料が配合された化粧品は含めなかったが、光学特性は配合される顔料や油剤によって大きく異なるので、パール顔料が配合された化粧品の光学特性は今回とは異なる特徴になると予想される。そのため、今後はパール顔料の光学特性を考慮した推定手法の開発が必要である。また、それぞれ複雑な光学特性をもつ化粧品と肌にK-M理論が適用できたことから、K-M理論は他の工業製品にも当てはまると考えられる。さらなるカラーマッチング技術の発展を期待したい。

文 献

- 1) 土居元紀, 大槻理恵, 富永昌治, 池田直子, 引間理恵, 丹野修: “クベルカ-ムンク理論に基づいたファンデーション塗布肌の分光反射率の推定”, 電子情報通信学会論文誌 D, **J92-D** (2009) 1602-1612.
- 2) 大槻理恵, 土居元紀, 丹野 修: “口紅の光学特性を考慮した塗布色推定手法”, 日本色彩学会全国大会 (2009) pp. 52-53.
- 3) P. Kubelka: “New contributions to the optics of intensely light-scattering materials, Part 1,” J. Opt. Soc. Am., **38** (1948) 448-457.
- 4) P. Kubelka: “New contributions to the optics of intensely light-scattering materials, Part 2: Nonhomogeneous layers,” J. Opt. Soc. Am., **44** (1954) 330-335.

(2010年6月9日受理)