

口紅の光学特性を考慮した塗布色推定手法

Color Estimation of Rouge Applied Lip based on Optical Properties

大槻 理恵 Rie Ohtsuki (株)カネボウ化粧品
 土居 元紀 Motonori Doi 大阪電気通信大学
 丹野 修 Osamu Tanno (株)カネボウ化粧品

Kanebo COSMETICS INC.
 Osaka Electro-Communication University
 Kanebo COSMETICS INC.

キーワード: 口紅, 色推定, Kubelka-Munk 理論
 Keyword: Rouge, Color Estimation, Kubelka-Munk Theory

1.はじめに

我々は以前、皮膚の色や質感を整えるファンデーション(以下“FD”)に着目し、FDを皮膚に塗布した色(以下“FD 塗布色”)の推定手法を提案した[1]。推定した塗布色をディスプレイ等に表示することで、化粧のアドバイスや商品開発に役立つ。しかしながら、顔全体の化粧には、FD だけでなく、“ポイントメイク”と呼ばれる唇や目周囲を彩る化粧品も使用される。その中でポイントメイク化粧品の1つである口紅は色の種類も多く、油剤と顔料の配合比率によって発色作用が異なり、塗布色に唇色が影響するため、口紅そのものの色と実際に口紅を唇に塗った時の色(以下“口紅塗布色”)は異なる。その為、FD と同様に口紅塗布色の推定は重要である。しかし、FD 塗布色推定式をそのまま口紅塗布色に適用すると、誤差が大きかった。

そこで、本稿では口紅の光学特性を考慮した口紅塗布色の推定手法を提案する。新たに口紅塗布唇の光学モデルを定義し、推定式の導出と、検証実験を行った。

2.ファンデーションの光学特性

我々が提案した FD 塗布色推定手法は Kubelka-Munk 理論[2-3]に基づいており、式(1)によって推定する。

$$R_w = (1 - R_b(\lambda)) \left(R_f(\lambda) + \frac{T_f(\lambda)^2 R_b(\lambda)}{1 - R_f(\lambda) R_b(\lambda)} \right) + R_b(\lambda) \quad (1)$$

$$R_f(\lambda) = \frac{1}{a_f(\lambda) + b_f(\lambda) \coth D_f b_f(\lambda) S_f(\lambda)}$$

$$T_f(\lambda) = \frac{b_m(\lambda)}{a_f(\lambda) \sinh D_f b_f(\lambda) S_f(\lambda) + b_f(\lambda) \cosh D_f b_f(\lambda) S_f(\lambda)}$$

$$R_b(\lambda) = ((n_b - 1)/(n_b + 1))^2$$

ここで、 $S_f(\lambda)$ と $K_f(\lambda)$ はFDの散乱係数、吸収係数である。 $R_b(\lambda)$ は素肌の分光反射率である。散乱係数と吸収係数は式(2,3)で表わされる。

$$S(\lambda) = \frac{1}{bX} \left(\coth^{-1} \frac{a - R_{min}(\lambda)}{b} - \coth^{-1} \frac{a - R_g(\lambda)}{b} \right) \quad (2)$$

$$K(\lambda) = S(\lambda)(a - 1) \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{thick}(\lambda)} + R_{thick}(\lambda) \right), \quad b = \sqrt{a^2 - 1}$$

ここで、 $R_{thick}(\lambda)$ はこれ以上厚みを増しても反射率が変化しない塗膜層の分光反射率であり、 $R_{thin}(\lambda)$ は十分薄いとときの塗膜層の分光反射率、 X は薄い塗膜層の厚み(10 μ m)、 $R_g(\lambda)$ は黒下地の分光反射率である。

3.口紅の光学特性

口紅塗布色推定手法では、前述した散乱係数と吸収係数だけでなく、複素屈折率から計算した境界面反射率と内部反射率を考慮する。なぜなら、口紅はFDより着色力を高める有機顔料の含有率が高く、口紅塗膜層中で分散している有機顔料と油剤が相互に影響すると、口紅の光学特性はFDの光学特性とは異なるからである。

境界面反射率は、有機顔料が含有することで吸収性が強い波長帯が強く反射し、可視光領域で不定になる。この事は、屈折率 n を複素屈折率 $n' = n + jK(\lambda)$ に置き換えることによって説明できる。虚部である減衰係数を吸収係数とする。Fresnelの反射に相当する垂直入射光に対する境界面反射率 $k_f(\lambda)$ は、式(4)で表される。

$$k_f(\lambda) = \left(\frac{(n' - 1) + K(\lambda)}{(n' + 1) + K(\lambda)} \right)^2 \quad (4)$$

更に、有機顔料の含有率によって、吸収係数が著しく高い波長帯と低い波長帯があるため、式(5)で補正させる。

$$k_f(\lambda) = \frac{S(\lambda) \left(\frac{(n' - 1) + K(\lambda)}{(n' + 1) + K(\lambda)} \right)^2}{K(\lambda) \left(\frac{(n' - 1) + K(\lambda)}{(n' + 1) + K(\lambda)} \right)} \quad (5)$$

また、有機顔料のように高い屈折率比を有する場合、内部反射率が増す傾向がある。内部反射率 k_2 は可視光領域において一定とする。

4.口紅塗布唇の光学モデルと塗布色推定

口紅の光学特性を考慮させた口紅塗布唇の光学モデルを図1のように定義する。光学モデルは、口紅と唇の2層で構成される。入射光の一部が空気層と口紅塗膜層表面の境界面で反射し、口紅塗膜層内部に侵入した光は、塗膜内の色素と散乱、吸収を起し表面方向に向かうが、一部は塗膜表面での内部反射を受け再び塗膜内に戻り、この繰り返しが起こる。

光学モデルに Kubelka-Munk 理論を適用させて、推定式(6)を導出する。

$$R(\lambda) = k_1(\lambda) + (1 - k_1(\lambda))(1 - k_2) \frac{R'(\lambda)}{1 - k_2 R'(\lambda)} \quad (6)$$

$$R'(\lambda) = R_r(\lambda) + \frac{T_r(\lambda)^2 R_{ip}(\lambda)}{1 - R_r(\lambda) R_{ip}(\lambda)}$$

$$R_r(\lambda) = \frac{S(\lambda) D_r}{a_r(\lambda) S(\lambda) D_r + 1}, \quad T_r(\lambda) = \frac{1}{1 + a_r(\lambda) S(\lambda) D_r + 1/2 b_r(\lambda)^2 S(\lambda)^2 D_r^2}$$

$$a_r(\lambda) = \frac{S(\lambda) + K(\lambda)}{S(\lambda)}, \quad b_r(\lambda) = \sqrt{a_r(\lambda)^2 - 1}, \quad k_1(\lambda) = \frac{S(\lambda) \left(\frac{(n'-1) + K(\lambda)}{(n'+1) + K(\lambda)} \right)^2}{K(\lambda)}$$

ここで、 $R_r(\lambda)$ は口紅塗膜層の分光反射率、 $T_r(\lambda)$ は分光透過率である。 $R_{ip}(\lambda)$ は唇の分光反射率であり、実測値を用いる。塗布した口紅塗膜層の厚さ D_r と、屈折率 n' 及び、内部反射率 k_2 は計測不可能である為、実際の推定ではこれらを変数とし、実測値との誤差が最も小さい分光反射率を採用する。

5 実験

唇の分光反射率から12色の口紅塗布唇の分光反射率を推定した。12色は一般製品から油剤と顔料の配合比率が異なる3種類のサンプルからそれぞれ4色を選定した。表1に12色の口紅色を Lab 値で示す。唇色及び口紅塗布色の分光反射率は、各色女性4名の下口唇中央部を対象に、コニカミノルタ社製分光測色計 CM-2600d を用いて3mm径の領域について、可視光領域400~700nmを10nmおきに計測した。口紅は被験者が各自塗布した。

実験では、FD 塗布色推定式(1)と推定式(6)との推定誤差を比較して評価する。

6.結果

12色の口紅塗布色の分光反射率推定誤差は、FD 塗布色推定式(1)の場合、平均0.77%だった。提案する推定式(6)を用いた場合、0.53%となり、0.24%の改善が確認できた。図2に12色中、特に改善された SampleNo.3 の RD の推定結果を示す。推定式(1)を用いた場合は長波長領域の推定精度が悪く、推定誤差は1.49%だったが、推定式(6)では、長波長領域の推定精度が向上し、誤差が0.76%となった。本実験結果より、提案した推定式(6)の有効性が確認できた。

7.まとめ

実際に口紅を塗布することなく、口紅塗布色を推定するため、口紅塗布唇の分光反射率推定手法を提案した。提案手法では、新たに複素屈折率から計算した境界面反射と内部反射を考慮して、口紅塗布唇の光学モデルと口紅塗布唇の分光反射率推定式を導出した。

12色の口紅に対する口紅塗布唇の分光反射率推定実験を行い、提案する推定式による推定結果が

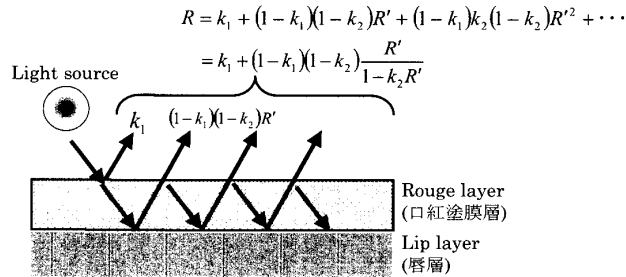


図1 口紅塗布唇の光学モデル

表1 実験で用いた口紅色

Sample No.	顔料の量	色	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
1	少ない	RD	38.07	39.63	9.93
		PK	47.36	23.16	9.60
		OR	43.04	34.94	18.20
		RS	39.64	28.41	6.96
2		PK1	55.59	55.76	9.27
		PK2	60.65	40.65	20.87
		OR	46.41	33.99	22.27
		RS	43.78	26.15	5.35
3	多い	RD	35.08	49.42	29.62
		PK	44.74	30.96	15.22
		OR	52.50	31.02	36.60
		BE	48.13	21.21	24.75

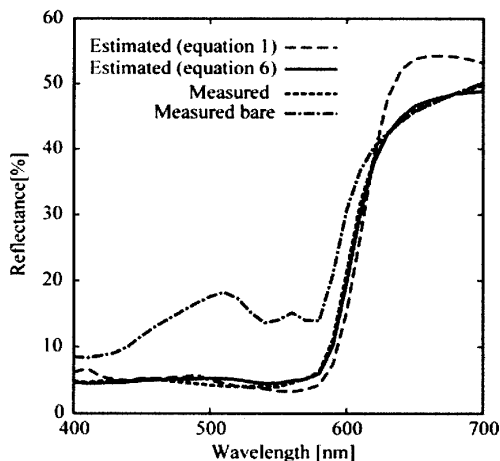


図2 推定式(1)及び(6)による推定値の比較

FD 塗布唇の分光反射率推定式を用いた場合より、推定精度が高く、本手法の有効性が確認できた。

参考文献

[1] 大概,土居,“化粧をした肌の色の推定と提示”,カラーフォーラム JAPAN2005
 [2] P.Kubelka: “New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials, Part1”, Journal of the Optical Society of America, Volume.38, Number.05 pp448-457, 1948
 [3] P.Kubelka: “New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials, Part2:Non-homogeneous Layers”, Journal of the Optical Society of America, Volume.44, Number.04 pp330-335, 1954