

# 頬の分光特性シミュレーションの試み

—男女識別のための基礎検討—

## Trial of Spectrum Characteristic Simulation of Cheek

— Basic Study for Male and Female Recognition —

西野 聡<sup>†</sup> 保田 瞬<sup>†</sup>

小山工業高等専門学校<sup>†</sup>

OYAMA National College of Technology

Satoshi Nishino, Shun Yasuda

### 1. まえがき

第二性徴以降の男女は生体的特徴として女性は男性より高体脂肪率となり女性らしい体となる相違が発現する。この特徴は頬の皮下脂肪厚に反映し、女性は男性の約 3 倍の皮下脂肪厚となる<sup>1)</sup>。文献 2) で、近赤外線分光特性にこの現象が反映することを利用して男女識別が可能であることを示した。

本論文は上述した男女の頬の生体的な相違の原因を検討するための基礎検討として頬の近赤外線分光特性シミュレーションを行う。シミュレーションはクベルカ - ムンク法<sup>3),4)</sup>(以下 KM 法と記す)を基に、主に皮膚組成物の近赤外線分光特性を考慮して行う。

### 2. 基本原理

物質に光を照射した場合、照射光は物質表面での反射光、吸収光の 2 種に分かれる。一般には、この反射光及び吸収光によって物質の分光特性が決まるが、物質内の組成物質によってそれは大きく変化し、実際の分光特性を予想することは困難である。物質の分光特性を求める手法として最も基本的な理論が KM 法である。KM 法は、入射光と反射光を物質が個々に有する散乱特性と吸収特性を用いてそれぞれ下記の式(1)で表現する。

$$\begin{cases} \frac{dI}{dz} = -SI - KI + SJ \\ -\frac{dJ}{dz} = -SJ - KJ + SI \end{cases} \quad (1)$$

$I =$  入射光前方への光強度  
 $J =$  入射光後方への光強度  
 $S =$  散乱係数     $K =$  吸収係数

本研究では KM 法を基に、人物の頬に近赤外線(本論文では波長 1250nm から 1650nm)を照射した場合の分光特性をシミュレーションすることを目的とする。人物の皮膚や皮下脂肪には厚みが存在するが、式(1)は厚みの考慮を行っていない。したがって、本論文では厚みと吸光度の関係を考慮しシミュレーションを行う。また本論文では、頬は図 1 に示すように皮膚と皮下脂肪の 2 重層であるため、頬の反射率  $R_h$  は単層の物質とは異なり式(2)で与える。この式(2)は皮膚と皮下脂肪の 2 重層のみの分光特性に対応する。さらに実際の測定は空気中で行われるため、空気 - 表皮間の分光特性も考慮する必要がある。空気 - 表皮間の分光特性を考慮した式(3)を示す。本論文ではこの式(3)を用いてシミュレーションを行う。ただし、式(3)の  $R_f$  は以下の 3. で決定することとする。

$$R_h = R_f + T_f^2 R_b (1 + R_b R_f + R_b^2 R_f^2 + \dots)$$

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

$$R_a = (1 - R_f) \left( R_f + \frac{T_f^2 R_b}{1 - R_f R_b} \right) - R_i \quad (3)$$

$R_a =$  空気の影響を反映した頬の反射率  
 $R_f =$  皮膚の反射率  
 $T_f =$  皮膚の透過率  
 $R_b =$  皮下脂肪の反射率  
 $R_i =$  空気 - 表皮間の反射率

### 3. 皮膚と皮下脂肪の反射率のシミュレーションへの導入

皮膚と皮下脂肪は様々な物質で構成されているため、これらすべてを考慮して分光特性を求めることは困難である。本研究は、

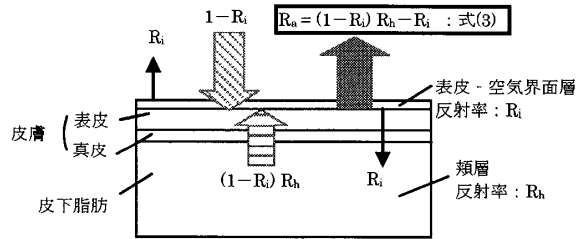


図 1 頬の反射モデル

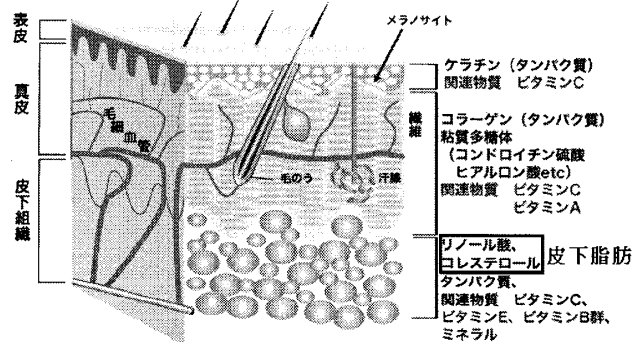


図 2 人間の皮膚の組成物質の一例

表 1 皮膚の構成物

	構成物	主成分
表皮	ケラチン	シスチン
真皮	コラーゲン	グリシン

図 3 シミュレーションモデル

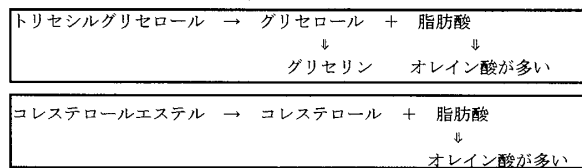


図 4 皮下脂肪の組成物質

皮膚と皮下脂肪それぞれを構成する主な組成物質の分光特性を用いて、皮膚と皮下脂肪の分光特性をシミュレーションに用いる<sup>5)</sup>。図 2 に人物の皮膚の構成を、図 3 に本論文でシミュレーションする人物の頬のシミュレーションモデルを示す。図 2 の皮下組織には脂肪細胞が含まれるため、皮膚の分光特性には含めない。皮膚を構成する表皮と真皮の構成物質の主成分は表 1 のように対応している。したがって、表皮、真皮のそれぞれの構成物の近赤外分光特性を求め、皮膚の反射率  $R_f$  を式(4)で求め、式(3)に代入し図 1 の頬の反射モデルのシミュレーションを行う。

$$R_f = R_L + T_L^2 R_G (1 + R_L R_G + R_L^2 R_G^2 + \dots)$$

$$= R_L + \frac{T_L^2 R_G}{1 - R_L R_G} \quad (4)$$

$R_f =$  皮膚の反射率  
 $R_L =$  表皮(シスチン)の反射率  
 $T_L =$  表皮(シスチン)の透過率  
 $R_G =$  真皮(グリシン)の反射率

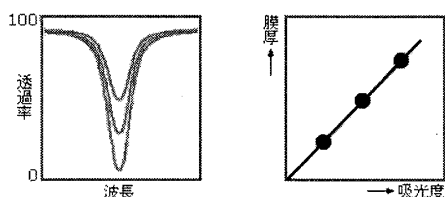


図 5 吸光度と膜厚の関係図

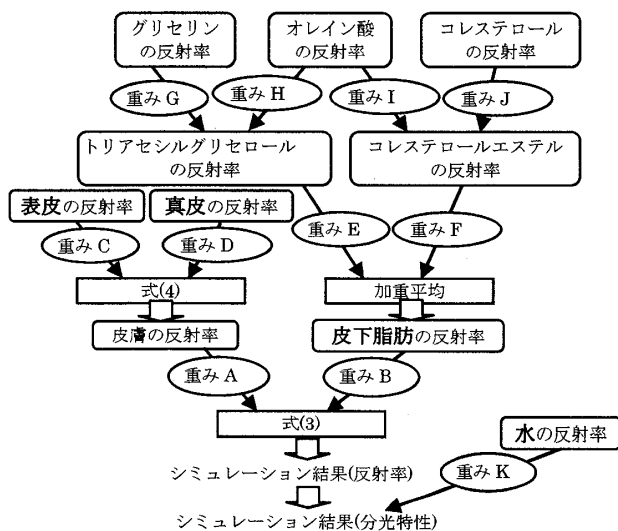


図 6 シミュレーションの考え方

皮下脂肪は図 4 に示すように大きくグリセリン、オレイン酸、コレステロールの 3 種類の物質から成る。この皮下脂肪の組成物質は層状に分布しているわけではないため、皮下脂肪の分光特性は組成物質の平均で求める。グリセリンとオレイン酸からトリセシルグリセロールの分光特性、コレステロールとオレイン酸からコレステロールエステルの分光特性をそれぞれ求める。求めたトリセシルグリセロールとコレステロールエステルの分光特性から、皮下脂肪全体の分光特性を得る。前記 2 種類の物質が含有比 1 : 1 で混合している場合は 2 つの平均値で全体の分光特性として求められるが、含有比が異なる場合は含有率が高い方の組成物質の特性が強くと考えられる。したがって、それぞれの分光特性値に試行錯誤的に重みをかけることで含有率の違いを考慮し、全体の分光特性を求める必要がある。

4. シミュレーションの考え方と結果

$$A = 0.434\alpha L = -\log_{10} T \tag{5}$$

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$\alpha$  = 吸光係数  
 $L$  = 物質の厚さ  
 $A$  = 吸光度  
 $T$  = 反射率  
 $I$  = 反射(透過)光強度  
 $I_0$  = 入射光強度

物質の吸光度は式(5)で表わされる。吸光度と膜厚は図 5 に示すように比例関係にあると考えられる<sup>6)</sup>。したがって膜厚が大きくなると反射率は小さくとなると予想される。本研究のシミュレーションの考え方を図 6 に示す。皮膚の構成物であるシスチンとグリシン、皮下脂肪の組成物であるグリセリン、オレイン酸、コレステロールを用いて作成したトリセシルグリセロール、コレステロールエステルを式(3)に代入する際に重みづけをしてシミュレーション結果を求めた。図 6 に示す重みは含有率と膜厚によって変化する。この含有率については、組成物質に対しての含有量が 1 : 1 ではないと仮定し、含有率が多ければ重みを大きく、少なければ重みを小さくする。厚みによる重みに関しては、厚いほど重みを大きくしている。

表 2 それぞれの重み付けの値

主要成分	重み	構成物	重み
グリセリン	6.0	トリアセシルグリセロール	0.83
オレイン酸	0.1		
コレステロール	1.4	コレステロールエステル	0.52
オレイン酸	1.0		
主要成分なし		シスチン	0.2
		グリシン	0.2

表皮	皮膚全体(表皮+真皮)	皮下脂肪
0.6	1.0	2.8

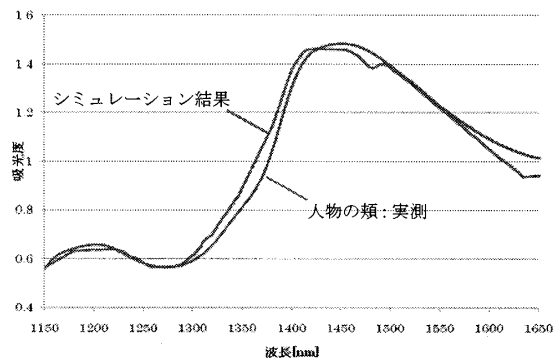


図 7 水の特性を加えたシミュレーション結果

表皮、皮膚、皮下脂肪も厚みがあるために、式(3)に代入する際重みをかける必要がある。皮膚を 1 として皮下脂肪と表皮の分光特性値に重みをかけ、厚みの影響をシミュレーションして確認した。表 2 の値は人物の分光特性に近似させるために試行錯誤的に設定し求めた重みである。

人体は約 60%が水分であるが、この値には骨の水分含有率も含まれているため、皮膚についてはさらに水分含有率が高いと考えられる。しかし、KM 法で用いる皮膚と皮下脂肪の分光特性値には水分の影響を加えていない。水は可視光を透過させるが、ある波長の近赤外線吸収する働きを持つ<sup>7)</sup>。したがって、人物の近赤外線分光特性に近づけるには KM 法による結果に水の分光特性を加える必要があると考えられる。図 7 の分光特性が前述の図 6 によるシミュレーションに水の分光特性の影響を反映させた結果である。このシミュレーション結果と実測特性とが大きく近づいていることが確認できる。

6. むすび

本論文で人物の肌の近赤外線分光特性をシミュレーションすることができた。しかし実際の近赤外線分光特性とシミュレーション結果の一部が合致しない部分もあるので、この部分に対する検討が必要である。

今後はこの検討結果を基にシミュレーション精度を高め、女性の肌の皮下脂肪厚が大きいこと、女性ホルモンのエストロゲンの影響などを考慮し、近赤外線分光特性の男女の相違の原因を検討する予定である。

参考文献

- 窪田 金次郎, G.H.シューマッハー “図説体表解剖学,” 朝倉書店, p56, (1992)
- 西野 聰, 大嶋 健次, “近赤外分光器による男女識別の可能性の検討,” 電学論 C, 128, pp.1204-1211, 7 2008
- Kubelka, P., Munk, F, “Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche,” How light scatters in layers of a solid. pp. 593. (1931).
- 土居 元紀, 大槻 理恵, 富永 昌治, 池田 直子, 引間 理恵, 丹野 修, “ケベルカ-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, J92-D(9), pp. 1602-1612 (20090901)
- 独立行政法人 産業技術総合研究所 有機化合物のスペクトルデータベース SDBS, [http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/cre\\_index.cgi](http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/cre_index.cgi)
- KURABO Electronics Division 赤外線の話, <http://www.kurabo.co.jp/el/room/index.html>
- 岩元 睦夫, 河野 澄夫, 魚住 純, “近赤外分光法入門,” 幸書房, (1994-9)