

[B23] 爪の光学特性値測定

知能機械工学科 山田研究室
0014087 間下友加里

1. 緒言

生体は近赤外光を強く散乱し弱く吸収するので、その中の光伝播を知ることは容易ではない。人体の様々な部位に対して近赤外光を用いた計測をおこなう際には、それぞれの生体組織中での光の挙動を測定するために光学特性値が必要となる。本研究では、人間の生体組織の中で比較的入手しやすい爪に着目し、波長 800 ~ 1900nm における屈折率 n 、吸収係数 μ_a 、等価散乱係数 μ_s' を求めることを目的とした。また、爪の表面は個体差による粗さの違いが大きいため、爪表面の粗さを研磨により変化させ、光学特性値を測定した。次に表面の粗さが同一の爪で、湿度が光学特性値に与える影響も調べた。

2. 光学特性値測定法

吸収係数 μ_a と等価散乱係数 μ_s' は、積分球による測定と逆モンテカルロ法により求めた。逆モンテカルロ法とは、任意の μ_a と μ_s' に対して、モンテカルロシミュレーションにより試料の拡散反射率と透過率を求め、それらを測定値と一致させることにより、実際の μ_a と μ_s' を決定する方法である。拡散反射率・透過率の測定には、分光光度計 UV-3150 及び積分球 ISR-3100 (島津製作所) を用いた。

3. ラテックス浮遊粒液を用いた測定法の実験

一様に同じ粒径であるラテックス粒子の浮遊粒液は、Mie 散乱理論より散乱係数 μ_s 及び、非等方散乱パラメータ g を求めることができる。本実験では Mie 散乱理論より得られた光学特性値と、積分球と逆モンテカルロ法から得られた光学特性値との比較を行い、測定方法の検証を行った。対象とした波長は、800 ~ 1300nm である。ラテックスによる光の吸収は純水の吸収に比べて極めて小さいので、吸収係数の比較には純水の吸収係数の文献値を用いた。

ラテックス浮遊粒液はラテックス粒子と純水とを混合し、作成した。測定に用いたラテックス浮遊粒液の濃度は体積分率で $f_v = 3.07 \times 10^{-3}$ に設定した。ラテックス粒子の直径は $0.30 \mu\text{m}$ 、比重は 1.05、屈折率は式(1)のコーシーの分散式において、係数 $A = 1.5663$, $B = 7.85 \times 10^{-3}$, $C = 3.34 \times 10^{-4}$ としたときの値を用いた。 λ は波長 (単位 μm) を表す。各波長における光学特性値の理論値と測定結果との比較のグラフを図 1 に示す。

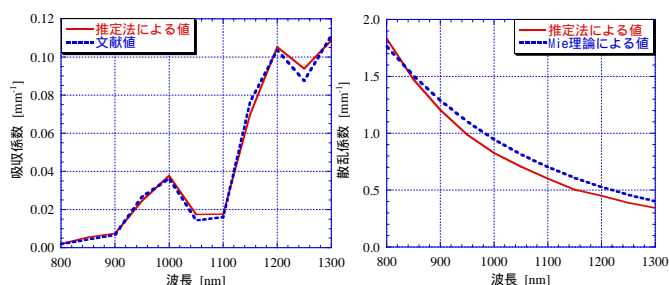


図 1: 理論値と測定法による値の比較

$$n = A + B/\lambda^2 + C/\lambda^4 \quad (1)$$

μ_a の平均誤差は 8%、最大誤差は 1050nm のときで 22%、 μ_s の平均誤差は 11%、最大誤差は 1150nm のときで 17% であった。 μ_a の誤差の原因としては、ラテックス粒子の吸収はほとんどないとして無視したことが考えられる。 μ_s の誤差の原因としては、波長が長くなるにつれ誤差が大きくなっていることから、推定したラテックス粒子の屈折率に誤差が含まれていることが考えられる。すなわち、コーシーの分散式で決定した際の係数の設定の誤差、もしくはコーシーの分散式自体の近似のありかたに問題があると考えられる。また全体を通しての誤差の原因として考えられることは、逆モンテカルロ法の過程での誤差、モンテカルロ法はあくまで統計的な手法であるため、毎回シミュレーション結果が 0.1 ~ 0.5% 程異なることなどがある。

この光学特性値測定法の誤差の許容範囲は、通常 10% 前後であるため、本測定法は良い精度で吸収係数、及び散乱係数を測定できることがわかった。

4. 試料として用いた爪

本研究では測定試料として、爪のフリーエッジ(爪先)を用いた。爪は多層構造体であるが、均一な媒体と仮定した。爪は 2 ~ 3 ヶ月ほど伸ばして 6mm 程度あるものを切り離し、爪が十分に乾燥した状態で実験を行った。爪の拡散反射率と透過率を測定するにあたり、

1. 何も手を加えないで測定した爪
2. 表面を研磨して粗さを調節した爪
3. 測定時の湿度を変えて測定した爪

の 3 種類の実験をおこなった。実験 1 及び 2 では被験者 A, B 2 人の、実験 3 では被験者 A, B, C, D 4 人の爪を用いた。各爪の被験者の年齢、性別、爪を摂取した指、及び厚さを表 1 に示す。

表 1: 測定に用いた爪のデータ

被験者	年齢	性別	指	厚さ(研磨前)	厚さ(研磨後)
A	55	M	左手小指	0.45mm	0.31mm
B	23	M	左手親指	0.55mm	0.50mm
C	22	M	左手親指	0.42mm	0.38mm
D	22	F	左手中指	0.40mm	0.36mm

5. 爪の光学特性値測定の結果と考察

屈折率計を用いて、波長 589[nm]における爪の屈折率を測定したところ、概ね 1.500 であった。屈折率は波長依存性があるため、水の屈折率を参考に、式(1)において、 $A = 1.5663$, $B = 7.85 \times 10^{-3}$, $C = 3.34 \times 10^{-4}$ として波長 589[nm]以外の波長における屈折率を求めた。拡散反射率・透過率の測定においては、積分球の開口部寸法に対して測定試料の寸法が小さいので、5mm×5mm のマスクを設置し、開口部を爪より小さくした。表 2 は各実験の測定条件である。モンテカルロシミュレーションにおいては、非等方散乱パラメータ $g=0.9$ で一定とした。図 2~7 に求めた測定結果を示す。

表 2: 爪の表面粗さ、室内の湿度

実験	各被験者の表面粗さ Ra (単位: μm)				絶対湿度
	A	B	C	D	
1	0.14 ~ 0.48	0.15 ~ 0.38	-	-	13.2g/m ³
2	0.046	0.042	-	-	11.8g/m ³
3	0.046	0.042	0.031	0.023	4.41g/m ³

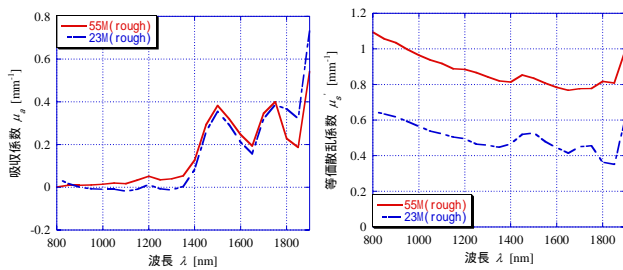


図 2: 実験 1 吸収係数 図 3: 実験 1 等価散乱係数

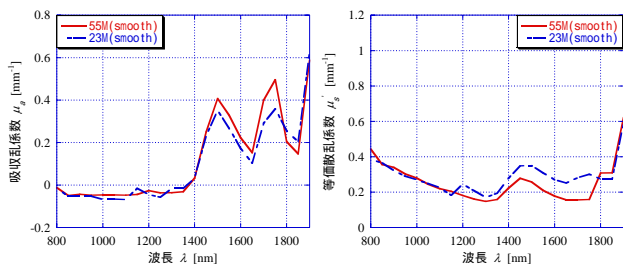


図 4: 実験 2 吸収係数 図 5: 実験 2 等価散乱係数

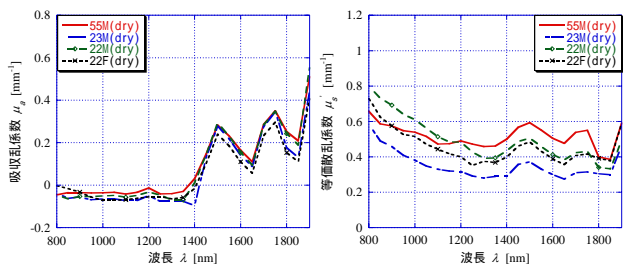


図 6: 実験 3 吸収係数 図 7: 実験 3 等価散乱係数

まず μ_a に関する図 2, 4, 6 に共通して 1500nm, 1750nm, 1900nm 付近にピークがみられる。これは爪の構成物質の 1 つである水の吸収が 1450nm, 1950nm 付近に、蛋白質の吸収が 1500nm, 1750nm 付近にピークをもつためである。また波長 800 ~ 1300nm 付近で μ_a が負となっているが、負になることはありえないので、測定誤差もしくは逆モンテカルロ法における誤差などの問題が考えられる。この 3 つのグラフを比べると、研磨や湿度による μ_a の違いはあまりないと思われるが、図 6 が他の 2 つに比べ、ピークが小さめである。よって、湿度が低いと水分が減少して、 μ_a がやや小さくなっていると考えられる。また、吸収のピーク値が被験者によって違うのは、生活状況や年齢、性別などの違いから、水分量や蛋白質が異なった結果として表れているものと考えられる。

次に μ_s の結果を示す図 3, 5, 7 を見ると、 μ_s は爪の表面の粗さ、湿度、個人差による違いがかなりあることがわかる。図 3 は μ_s の個人差が大きいことを示している。これは爪の表面の粗さが整えられていないために、被験者によってまったく違っていることによるものと考えられる。また、図 3 の μ_s は図 5 の μ_s よりもかなり大きい。これはモンテカルロシミュレーションにおいて、表面粗さを考慮していないため、表面粗さによる光の減衰を μ_s の増加としてとらえたためと考えられる。また、湿度が低い状態と高い状態では、低い状態のほうが μ_s が増加している。これは湿度が低い状態では、高い状態に比べ、蛋白質粒子のまわりの水分子が少ないため、屈折率の比が大きくなり、結果として μ_s が大きくなったと考えられる。よって、同じ粗さであるにもかかわらず、 μ_s が異なる結果になったと思われる。図 7 では、被験者によって μ_s の違いがあるが、これは爪の表面粗さを研磨した際に、4 人の爪すべてを同じ粗さに整えることは、手で研磨するため不可能であり、そのことがまず被験者による違いを生じさせている原因の 1 つであると思われる。それ以外では、やはり年齢などといった個人差や、測定の際の誤差などが考えられる。また本来、 μ_s は波長に対して単調に減少すると考えられるが、吸収係数のピーク付近で少し増加している。これは逆モンテカルロ法においてしばしばみられる傾向であり、波長依存性のある非等方散乱パラメータを一定としていくこと、ラテックス浮遊粒子の光学特性値を測定したときのように、屈折率の決定時に含まれる誤差が原因と予想される。

6. 参考文献

- George M.Hale and Marvin R.Querry, "Optical Constants of Water in the 200-nm to 200- μm Wavelength Region", Applied Optics 12(3), pp.555-563, 1973
- 山田幸生、高橋ゆかり:「医学・生物学における光と生体組織の相互作用および光によるイメージング」: 機械技術研究所内報 49, 1-31 (1995)
- 水野 祥ら:「光学的ファントムの作製と積分球による光学特性測定」: 機論, 63-607, C(1997), 255-260