

# [E13] 爪の光学特性値に関する研究

知能機械工学科 山田研究室  
0314028 岡本光平

## 1. 緒言

近年、生体に対して高い透過性を持つ近赤外光を用いた無侵襲診断技術の研究が行われている。この手法は生理情報を安全・安価に得られるものとして期待されている。

現在実用化されているパルスオキシメータは指先に装着したデバイスで血中酸素飽和度を測定するようになっている。しかし、光による計測における爪の影響は未知数である。一方、爪にデバイスを貼り付けられれば血管を圧迫せずに測定できるというメリットもある。そこで本研究では爪の光学特性値を測定する。爪そのものと水の光学特性値の違いから、水分量によって爪全体の光学特性値が変化すると予想される。爪の水分量には湿度依存性があることがわかっているので、本研究では爪の光学特性値、特に吸収係数と換算散乱係数の湿度依存性について調査する。

## 2. 原理

### 2.1 光学特性値

生体組織中の光の挙動を理解するためには、光学特性値として吸収係数、散乱係数、散乱位相関数が必要である。また、散乱位相関数をより特徴づける光学特性値として異方散乱パラメータがある。

### 2.2 逆モンテカルロ法

光伝播の様子を表す光輸送方程式は微積分方程式であり、解析的に解くことが非常に困難である。そのため、本研究では統計論的な手法である逆モンテカルロ法によって光学特性値を求める。

モンテカルロシミュレーションでは、各光子が散乱・吸収を起こすまでに進む距離、散乱された角度である天頂角、方位角をそれぞれ乱数を用いて表すことにより、光子の軌跡をたどることが可能である。光学特性値が一様で、形状の決まった試料に対してシミュレーションを行い、吸収係数・散乱係数及び異方散乱パラメータに対する透過率及び反射率のテーブルを作成する。それを吸収係数と散乱係数の関数に近似して測定値と比較することで両係数を求める。これが逆モンテカルロ法である。

透過率および拡散反射率の測定には分光光度計と積分球を組合わせたものを用いた。散乱位相関数の測定にはゴニオフォトメータを用いた。

## 3. ラテックス浮遊液の光学特性値測定

爪の光学特性値測定に先駆けて、光学特性値が既知であるラテックス浮遊液の光学特性値測定し、測定法の検証を行った。一様に同じ粒径を持つ粒子を均一に分散したラテックス浮遊液はミー理論より散乱係数および異方散乱パラメータを求めることが出来る。本実験ではミー理論より得られた光学特性値と逆モンテカルロ法で得られた光学特性値の比較を行い、誤差の程度を検討する。ラテックス浮遊液の吸収係数は水の吸収係数に等しいとした。

ラテックス粒子とトライトン 1 % 溶液 (分散液) を混合し、ラテックス浮遊液を作成した。このラテックス浮遊液についてミー理論から散乱係数と異方散乱パラメータを求め、換算散乱係数を求めた。

### 3.1 逆モンテカルロ法による計算

ラテックス浮遊液とそれを入れるセルガラスからなる多層モデルを設定し、モデル中の光の伝播についてモンテカルロシミュレーションを行い、逆モンテカルロ法で吸収係数と換算散乱係数を求めた。

### 3.2 考察

吸収係数、換算散乱係数ともに理論値より 2~4 割程度低い値となった。これはラテックス浮遊液がうまく分散しなかったためであると考え、逆モンテカルロ法は良い精度で吸収係数、換算散乱係数を測定できると判断した。

## 4. 爪の光学特性値測定

手の爪を 2、3 ヶ月伸ばして 6 mm 程度になった遊離縁を切り取って試料として用いた。また、分光光度計内の空気に影響を与えずに試料周囲の空気の湿度が一定の状態に測定できるよう、恒湿箱を作製した。さらに恒湿箱内の湿度を測定するために、温湿度センサを内部に取り付けた。恒湿箱内の湿度は飽和塩法により調節した。飽和塩法は密閉空間内に飽和塩を置くことで湿度を一定にする方法である。また、飽和塩によって対応する湿度が異なる。

### 4.1 異方散乱パラメータの決定

ゴニオフォトメータを用いて散乱位相関数を測定した。 $g$  は測定した散乱位相関数を Henyey-Greenstein 関数に最小二乗法を用いてフィッティングすることで求めた。測定できなかった波長については補正によって求めた。

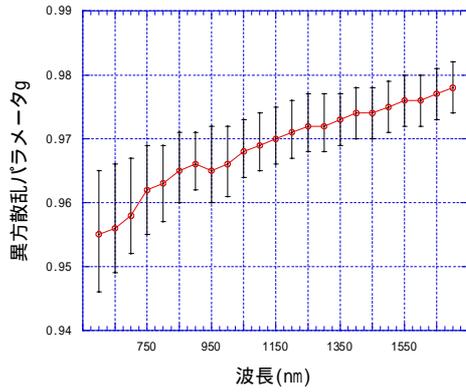


図1 爪の異方散乱パラメータ  $g$

#### 4.2 逆モンテカルロ法による計算の結果と考察

ラテックス浮遊液と同様に多層モデルを設定し、モンテカルロシミュレーションを行い、逆モンテカルロ法によって吸収係数と換算散乱係数を求めた。その結果を図2~9に示す。なお、透過率  $T$  および拡散反射率  $R$  測定時の湿度を表1に示した。

表1 T および R 測定時の湿度

爪組	T 測定時湿度(%)	R 測定時湿度(%)	
A	A30	27.5	32
	A40	39.5	40.5
	A55	58	52
B	B40	36.5	44
	B50	50	49
C	C27	31	23.5
	C41	43.5	37.5
D	D37	38.5	34.5
	D51	47	55.5

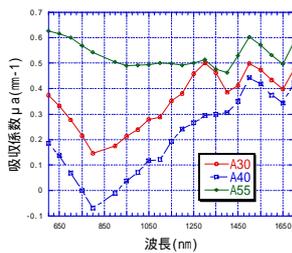


図2 爪Aの吸収係数

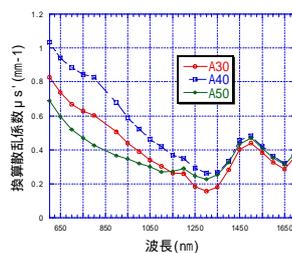


図3 爪Aの換算散乱係数

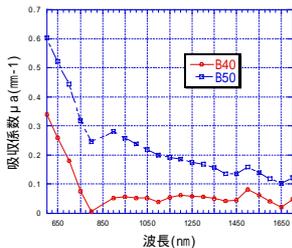


図4 爪Bの吸収係数

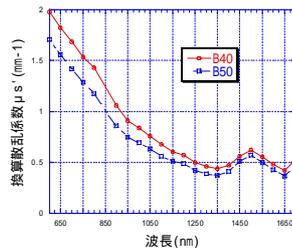


図5 爪Bの換算散乱係数

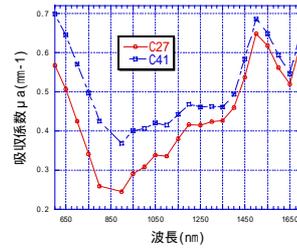


図6 爪Cの吸収係数

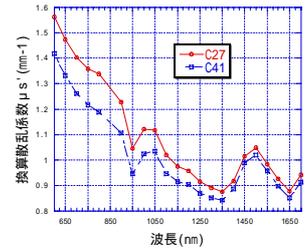


図7 爪Cの換算散乱係数

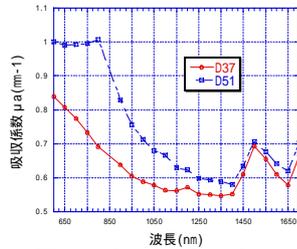


図8 爪Dの吸収係数

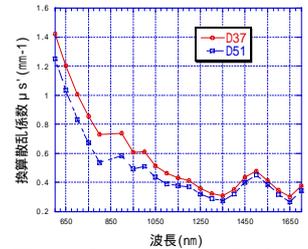


図9 爪Dの換算散乱係数

吸収係数はいずれも1500 nm にピークが存在する。これは水の吸収のピークが1450 nm 付近にあることや蛋白質のピークが1500 nm 付近にあることが理由と考えられる。

また、爪Aを除けば湿度が増加すると吸収係数の増加が見られる。これは水の増加によるものとも考えられるが、先に述べた強弱のピークに限らず全波長域に渡って増加しているため、換算散乱係数との相互干渉の影響の方が強い可能性がある。換算散乱係数は爪Aを除けば湿度が増加すると減少する傾向が見られる。これは爪の周囲の水分が増加すると相対屈折率が小さくなる部分が増え、全体として散乱が小さくなったためと考えられる。

爪Aに関しては吸収係数、換算散乱係数ともに湿度に対して単調な変化をしていない。原因は不明であるが、より高湿度、低湿度についても測定することで湿度変化に伴う光学特性値の変化の傾向を知ることができる。今回、湿度が飽和塩法通りに変化しなかったのは、恒湿箱からの空気の漏れが最も強い原因と考えられる。より精密な恒湿箱を作成する必要がある。

#### 参考文献

- [1] 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」(機械技術研究所所報 Vol.49(1995),No.1)
- [2] 間下友加里：「爪の光学特性値測定」(電気通信大学電気通信学部知能機械工学科 平成15年度卒業論文)
- [3] 上野雅範：「生体組織の光学特性値測定に関する研究」(電気通信大学電気通信学部知能機械工学科 平成16年度卒業論文)