

# [B22] 層構造生体組織における 光伝播・光学特性の解析

知能機械工学科 山田研究室  
9914018 岡田賢二

## 1. 緒言

現在、生体に対し比較的高い透過性を持ち、生体に害を与えないとされる近赤外光を用いた無侵襲的な測定システムの開発が行われている。しかしながら、生体は近赤外光を強く散乱し弱く吸収する媒体であり、その中の光伝播の様子や光の挙動を知ることは容易ではない。

散乱・吸収体中の光の伝播を厳密に記述する光の輸送方程式は、偏微分・積分方程式となっていて直接解くことが困難である。この式を解くための一つの方法として Monte Carlo 法などの乱数を利用した統計的な手法があるが、このような理論解析において生体組織での光の挙動を決定する光学的な特性値が必要となるにもかかわらず、そのようなデータは非常に少ない。

そこで本研究においては、生体組織を構成している蛋白質、糖、脂質などが組織の光学特性値に与える影響を実験的、理論的に調べるために必要不可欠なそれらの光学特性値である等価散乱係数  $\mu_s'$  と吸収係数  $\mu_a$  を可視領域に近い近赤外域 (800 ~ 1200[nm]) で求めることを目的とする。

## 2. 光学特性値推定法

Monte Carlo 法は光学特性値から透過率  $T$ ・拡散反射率  $R$  を求めるが、逆に測定した  $T$  と  $R$  から Monte Carlo 法を用いて間接的に光学特性値を求める手法を逆 Monte Carlo 法という。このアルゴリズムは  $\mu_s'$  と  $\mu_a$  に対する  $T$  と  $R$  のテーブルから Newton-Raphson 法を用いて計算する方法である。

## 3. 推定法の基礎実験

本実験では光学特性値が既知であるラテックス浮遊液に対して光学特性値推定法を適用し、得られた値の比較、推定法の検証を行った。

ラテックス粒子は IMMUTEX G03100 J2808H(日本合成ゴム(株))を使用した。このラテックス粒子は白色であり光の吸収は純水の吸収に比べて極めて小さいので無視できるとした。ラテックス粒子と純水とを混合し浮遊液を作成し、ラテックス粒子の濃度は体積分率で  $f_v = 3.07 \times 10^{-3}$  に設定した。この粒子は直径が一樣な球状粒

子であるため、Mie 散乱理論により散乱係数  $\mu_s$ 、等価散乱係数  $\mu_s'$  を計算によって求めることができる。

ラテックス粒子の直径は 0.30[ $\mu\text{m}$ ]、粒子の比重は 1.05、波長は = 800、850、900、950、1000、1100、1200[nm] とし、各波長における光学特性値の理論値と推定結果との比較のグラフを図 1 に示した。

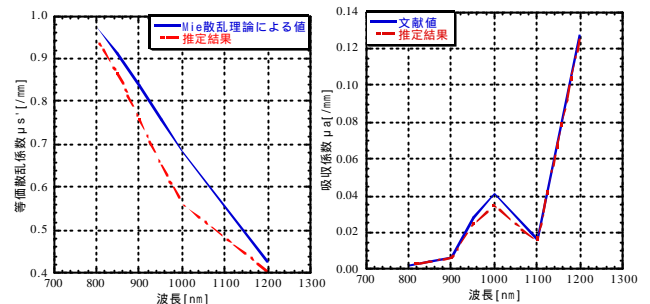


図 1 理論値と推定法による値の比較

等価散乱係数の誤差の平均は 12.3% であり、波長 1100[nm] のとき最大 32% であった。吸収係数の誤差の平均は 13.5% であり、波長 950[nm] のとき最大 36.7% であった。全波長にわたり等価散乱係数に誤差が生じた原因として、計算に用いたラテックス粒子の屈折率が実際の値とわずかに異なっていたためにずれが生じたと考えられる。950 ~ 1100[nm] で等価散乱係数の誤差が大きいのは、この付近で水の吸収のピークが存在するために測定の精度に影響が現れたと考えられる。吸収係数の誤差については、文献値は純水の温度が 25[ ] のときに測定されたものであるが、今回実験を行った際の純水の温度は室温と同じ 20[ ] 前後であり、純水の吸収係数は温度に依存するために誤差が生じたものと思われる。測定に用いたガラスセルの表面について目に見えない微細なキズや汚れなども結果に影響を及ぼしたと考えられる。

この光学特性値推定法の測定誤差の許容範囲は、通常  $\pm 10\%$  前後であるため本手法により良い精度で等価散乱係数及び吸収係数を測定できることがわかった。

## 4. 試料の光学特性値の推定結果と考察

本実験は基礎実験で示した推定法を光学特性値が未知であるイントラリピッド溶液(Fresenius Kabi AB)

とグルコース粉末（和光純薬工業（株））に適用し光学特性値を推定した。図2にイントラリピッドの光学特性値の推定結果、図3にグルコース粉末の光学特性値の推定結果を示す。

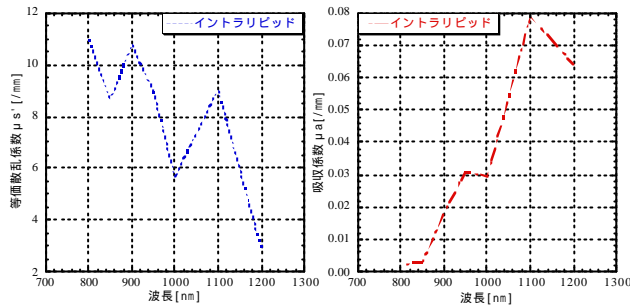


図2 イントラリピッドの光学特性値

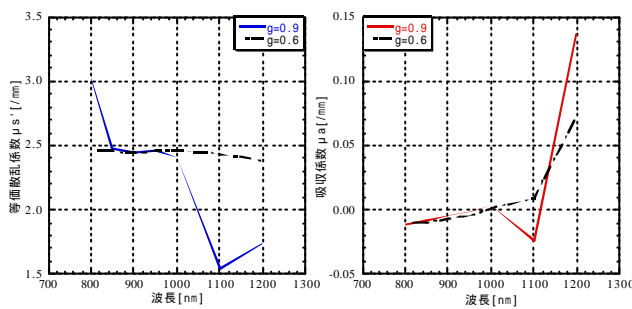


図3 グルコース粉末の光学特性値

イントラリピッドの等価散乱係数は波長が長くなるにつれて減少している。しかし、波長900、1100[nm]ではその前後の波長よりも係数が大きくなっている。等価散乱係数は波長が長くなると単調に減少するのが一般的であるが、推定結果ではイントラリピッドの等価散乱係数が波長によって増加している所もある。これは Monte Carlo 法シミュレーションの計算により示した値のテーブルを重回帰分析で近似した時に、吸収係数の値の影響が等価散乱係数に現れたためであると考えられる。実際に等価散乱係数と吸収係数のグラフにおいて変化の挙動が一致していることが示されている。この影響を無くす方法として、重回帰分析で近似するよりも等価散乱係数と吸収係数の変数同士の影響が無相関とできる主成分回帰分析を用いる方法が考えられる。

一方、吸収係数では基本的には波長が長くなるにつれて係数が大きくなっている。イントラリピッドは散乱体である大豆油も光を吸収する。図1と図2の吸収係数のグラフを比べると、水の吸収の影響が少ない波長1100[nm]においてイントラリピッドの吸収係数が大きくなっている。これはイントラリピッドの吸収の影響が1100[nm]にあると推定できる。また、吸収は1000[nm]以下の波長域では非常に小さいことが確認できた。

グルコース粉末は Monte Carlo 法シミュレーションに必要な非等方散乱パラメータ  $g$  も未知であったため、この値を  $g = 0.9$ 、 $0.6$  と仮定して推定法を行った。散乱係数を等方散乱に近似することによって得られる等価散

乱係数は散乱係数と非等方散乱パラメータから計算される値で、本実験の予想では常に同じ値をとると思われた。しかし、図3の結果では、波長850~1000[nm]では等価散乱係数は  $g$  の仮定値にかかわらず、概ね同じ値であるが、波長800[nm]と1000[nm]以降では異なる値となっている。一方、吸収係数では非等方散乱パラメータの値が違ってもかかわらず同じような値を取っているため、非等方散乱パラメータは吸収係数に対して影響を及ぼしていないと考えられる。

吸収係数の推定結果では値が負になっているものもある。これは Monte Carlo 法シミュレーションの結果を多項式近似した際に、多項式の解が負になってしまうような近似結果になったためと思われる。ただ、グルコースは波長1000[nm]付近までは光の吸収がほとんど無いと考えられているため、今回推定された負の値は測定誤差の範囲内でゼロであると考えられる。

## 5. 結言

光学特性値が既知である試料に対して本推定法を行った結果、理論による値と推定法による値はほぼ一致しているため本推定法を用いて光学特性値を推定及び決定することは妥当であると思われる。しかし推定値の精度向上のためには推定法に用いるパラメータの正確な値が必要である。未知試料に対しては、吸収と散乱がそれぞれ互いに干渉して、推定した値の誤差が大きくなる可能性があることがわかった。Monte Carlo 法シミュレーションで作成したテーブルを近似する際に別の多変量解析法を試みると干渉の影響が無くなる可能性があると考えられる。本推定法の適用には正確な非等方散乱パラメータの値を用いることが重要であることがわかったが、このパラメータの文献値の数が少ないのが現状である。今後は非等方散乱パラメータの測定も必要である。

## 参考文献

- 1) George M.Hale and Marvin R.Querry, "Optical Constants of Water in the 200-nm to 200- $\mu$ m Wavelength Region", Applied Optics12(3), pp.555-563, 1973
- 2) Hugo J.van Staveren, *et al*, "Light scattering in intralipid-10% in the wavelength range of 400-1100 nm", Applied Optics30(31), pp.4507-4514, 1991
- 3) Tamara L.Troy, *et al*, "Optical properties of human skin in the near infrared wavelength range of 1000 to 2200 nm", Journal of Biomedical Optics6(2), pp.167-176,2001
- 4) 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」：機械技術研究所所内報 49,1-31 (1995)
- 5) 島田美帆：「光散乱モデルを用いた皮膚と刺青の色評価に関する研究」：筑波大学 工学研究科 平成13年度博士論文