

近赤外領域におけるヒト皮膚の反射吸光度シミュレーション

Numerical simulation of reflection absorbance spectra from human skin in a near-infrared range

室工大院¹, 株式会社 東海理化², 電気通信大学³

岡田和朗¹, 小堀優太¹, 桑原照¹, 湯浅友典¹, 大谷和也², 岩下明暁², 山田幸生³, 相津佳永¹

Muroran Inst. Tech.¹, TOKAI RIKO CO.,LTD.², The University of Electro-Communications³

°Kazuaki Okada¹, Yuta Kobori¹, Teru Kuwahara¹, Tomonori Yuasa¹,
Kazuya Ohtani², Hiroaki Iwashita², Yukio Yamada³, and Yoshihisa Aizu¹

1. はじめに

近赤外光を用いた血糖値測定やアルコール検知等の技術開発においては、実測した吸光度から目的とする成分の濃度推定を行う手法を確立するため、皮膚組織内部での光伝搬メカニズムを理解することが重要である。可視光域では平行層状皮膚モデルに対して光伝搬モンテカルロシミュレーション(MCS)¹⁾を実施することで、実測に近い分光反射率を生成することが可能になっている²⁾。本研究ではこの枠組みを応用し、新たに近赤外領域におけるヒト皮膚の反射吸光度をモンテカルロ法で数値シミュレーションする計算環境の構築を目指している³⁾。今回は、FT-IR 型分光光度計によってヒト指から得られる実測の反射吸光度スペクトルに対して、3 層皮膚モデルで得られるシミュレーションスペクトルの形状を考察し、計算パラメータの中で吸光度へ明確に影響を及ぼしている主要因を見出すことができたので報告する。

2. 原理

Fig.1 に光伝搬 MCS²⁾の概念図を示す。光を光子束と考え、重み 1 の光子が一回の散乱毎に進む距離 L 、ならびに進行方向を表す θ と ψ に乱数を用いることにより光子挙動を計算する。光子は伝搬する過程で吸収を考慮することにより重みが減少する。多数の入力光子数に対する検出点での重みの積算値から統計的に反射率や透過率を計算する¹⁾。今回は 1550-1850 nm の範囲を 2 nm または 10 nm 間隔で、各波長毎に 10^{17} 個の光子数で反射率 $R(\lambda)$ を計算し、 $Abs(\lambda) = -\log R(\lambda)$ より吸光度スペクトルを求めた。計算に必要な表皮、真皮、皮下組織の 3 層各層の吸収係数、散乱係数、非等方性散乱パラメータ、屈折率、層の厚みについては、入手できたヒト腕のパラメータ値²⁾を用いた。近赤外領域の吸収成分として、今回は水、コラーゲン、アルブミン、尿素、クレアチニン、塩化ナトリウム、中性脂肪を考慮し、実測した吸収スペクトルを用いて $Abs(\lambda)$ を計算した。

3. 結果

Fig.2 の(a)は被験指を安定させる型と固定治具を用いてヒト指を 3 回測定した例であり、(b) はシミュレーション結果である。(b)の吸光度レベルは約 0.7~0.9 にあるが、計算に用いる散乱係数 μ_s および非等方性散乱パラメータ g を変更すると吸光度レベルが 0.9~1.8 程度の範囲で大きく変化することが新たに分かった。今後、 μ_s および g の値を文献調査と実験により最適化することで、実測値に近い吸光度レベルのシミュレーション結果が得られる可能性が見いだせた。また、並行して体内吸収成分個々の体積分率ならびにスペクトル特性データをさらに詳細に調べることで、ほぼ実測値に近い吸光度スペクトル形状についても、その実現を目指す予定である。

参考文献

- 1) L. Wang, S.L. Jacques, and L.Q. Zheng, Comput. Methods Programs Biomed. Vol.47 (1995) pp.131-146.
- 2) T. Maeda et al., Opt. Rev. Vol.17 (2010) pp.223-229.
- 3) 小堀優太, 他, 第 34 回近赤外フォーラム (2018.11) P-05.

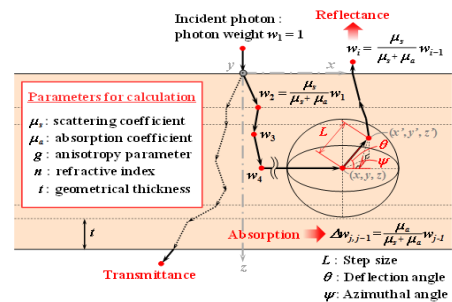
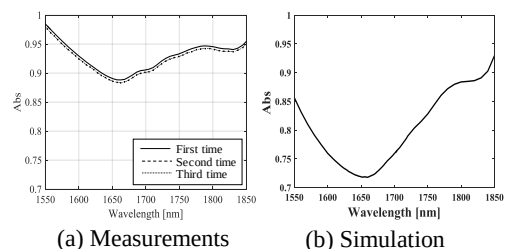


Fig.1 Monte Carlo simulation of light propagation in a multi-layered skin model.



(a) Measurements (b) Simulation
Fig.2 Measured and simulated absorbance spectra.