

光線追跡計算を用いたヒト皮膚における光伝搬シミュレーション

Simulation of light propagation in a human skin using ray tracing

室工大院, °佐々木 祥子, 松本 旬, 船水 英希, 相津 佳永

Muroran Inst. Tech., °Shoko Sasaki, Jun Matsumoto, Hideki Funamizu, Yoshihisa Aizu

E-mail: s2022037@mmm.muroran-it.ac.jp

1. はじめに

ヒト皮膚に対する光計測は生体に対して安全という特徴から皮膚科学や化粧品分野において幅広く応用されている. 我々は分光反射率による皮膚内部情報の推定法として光伝搬モンテカルロシミュレーション(MCS)を研究してきたが, 検出光学系の設定や皮膚モデルの形状作成についての困難さが課題となっていた. そこで本研究ではこれらを容易に行うため, 光学設計で汎用的に用いられる光線追跡計算を用いた光伝搬シミュレーションを試みたので報告する.

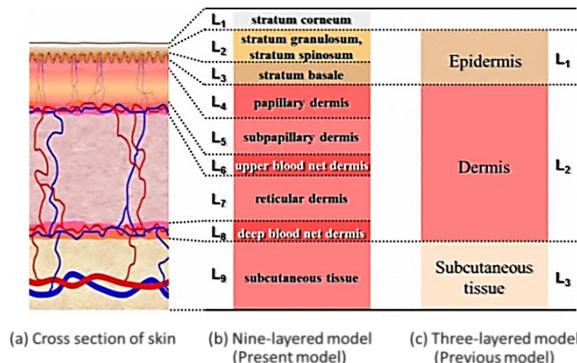


Fig.1 Nine-layered skin tissue model.

2. ヒト皮膚モデルの設計と計算原理

本研究で行う光線追跡計算には, 照明設計解析ソフトウェア LightTools を用いる. 光線追跡計算の対象となる 3 層および 9 層構造皮膚モデルを Fig.1 に示す. 各層の境界面ではフレネル反射を計算し, 層内部では体積散乱と吸収に関する計算をする. これらの強度確率分布には本研究室で進めている生体組織における光伝搬モンテカルロシミュレーションの原理を応用する. 各層には厚さの他に光学パラメータとして散乱係数 μ_s , 吸収係数 μ_a , 非等方性パラメータ g , 屈折率 n が与えられ, 体積散乱において光子が進む方向 θ [(1)式], その際に光子が 1 ステップで進む距離 L [(2)式], 層境界面における鏡面反射率 R_{sp} [(3)式]に乱数を用いることにより光子挙動を統計的に計算する. 入射角を α_i , 屈折角を α_t , 乱数を $rand(0 < rand < 1)$ とし, LightTools への入力パラメータを計算し, 光線追跡計算を行う. 光源の波長が 400 および 700nm における光子 100 個の光線追跡の例を Fig.2 に示す.

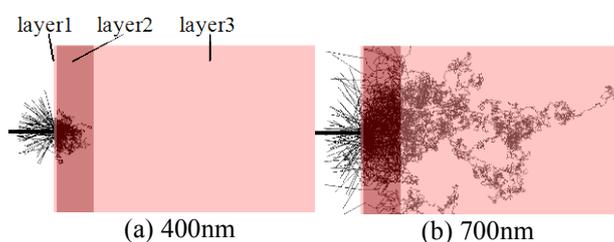


Fig.2 Examples of photon behavior at wavelength.

$$\cos \theta = \frac{1+g^2 - \left(\frac{1+g^2}{1-g+2 \times g \times rand} \right)^2}{2g} \quad (1) \quad L = \frac{1}{\mu_s + \mu_a} \quad (2) \quad R_{sp} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\alpha_i - \alpha_t)}{\sin^2(\alpha_i + \alpha_t)} + \frac{\tan^2(\alpha_i - \alpha_t)}{\tan^2(\alpha_i + \alpha_t)} \right] \quad (3)$$

3. 考察

前節で設計したヒト皮膚モデルに対し, LightTools による分光反射率の計算を行った. 3 層構造モデルによる分光反射率を Fig.3(a)に, 9 層構造モデルによる分光反射率を Fig.3(b)に示す. 3 層モデルにおいては MCS と LightTools で分光反射率が近い値となり良好な結果が得られたことから LightTools を用いたシミュレーション展開に期待が出来る. 一方, 9 層モデルは MCS と比較し, 全波長域において LightTools での反射率が上昇しているのが分かる. これは層が増加したことにより, 光線追跡と MCS の計算手法による相違点が強く反映されたためと考えられる. また, シミュレーションに掛かる計算時間を短縮するため, 今後は光線追跡計算と MCS の各長所を生かした併用化を試みる. これにより, 今まで困難だった画像化や光学系を含むシミュレーションが期待できる.

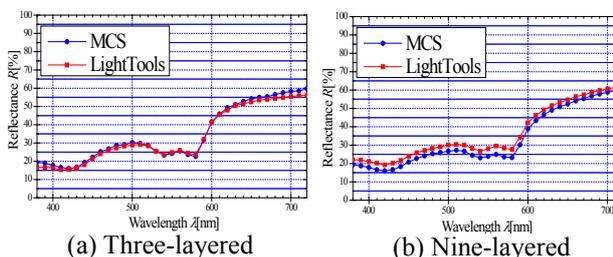


Fig.3 Spectral reflectance using ray tracing.

参考文献

1) T.MAEDA, N.ARAKAWA, M.TAKAHASHI and Y.AIZU, "Monte Carlo simulation of spectral reflectance using a multilayered skin tissue model", Optical Review, vol.17, No.3 (2010) pp.223—229.