



近赤外光をヒトの頭部に照射して脳機能を計測する fNIRS (function near-infrared spectroscopy) の研究がますます盛んになり、脳機能の信号を使ってロボットを動作させるなどの brain-machine interface (BMI) の世界でも利用が図られているようです^{1,2)}。また、分子イメージングとよばれる分野では、遺伝子改変などによってターゲットとする細胞や生体分子を光らせて、マウス体内の癌転移や薬物動態を *in vivo* で観察する手法が用いられています。こうした生体光学分野における研究課題のひとつに生体内の光伝播解析があり、「光は生体内のどこを通過して、どれくらい減衰するのか」「どこまでの深さを観察することができるのか」といった疑問解決には、計算機シミュレーションの技法を使わざるを得ません。ここでは、生体内光伝播シミュレーションを検討するにあたって参考になる Oregon Medical Laser Center (OMLC: Steven Jacques 先生らのグループ) のホームページ³⁾ を紹介したいと思います。

筆者が Jacques 先生にお会いしたのは 1995 年の SPIE のミーティングだったと記憶していますが、大柄な体格と、簡潔で的確の得た話が大変印象的でした。光伝播解析では、散乱係数 μ_s や吸収係数 μ_a 、非等方パラメーター g など光学パラメーターの理解が不可欠ですが、同ホームページの「Education」の Lecture Note には、それらの定義が図とともにわかりやすく説明されています。特に、等価散乱係数 μ_s' と μ_s 、 g との関係に関する図は視覚的にとらえやすく、散乱の指向性近似として用いられる Henyey-Greenstein 位相関数で $g=0.95$ とした場合の前方散乱状態は、最初にイメージしていたものとは随分異なっていました。こうした光学パラメーターに関する説明は、通常の幾何光学の書籍では取り扱われていないと思いますが、ここでは大学の講義で使用された資料を中心に一通り説明されていますので、これから生体光学を勉強されたい方には教科書としてぜひお勧めです。また、生体内光伝播を近似する光拡散理論についても、直感的なイメージでとらえられるように説明されています。

一方、実際のシミュレーションでは生体をもつ光学パラメーターを必要としますが、「Spectra」では生体を構成する脂肪やメラニン・血液 (ヘモグロビン) について、その

$$g = \langle \cos\theta \rangle = 0.90$$

$$\langle \theta \rangle \approx 26^\circ$$

$$\mu_s' = \mu_s(1-g) = 0.10\mu_s$$

$$mfp = 1/\mu_s$$

$$mfp' = 1/\mu_s'$$

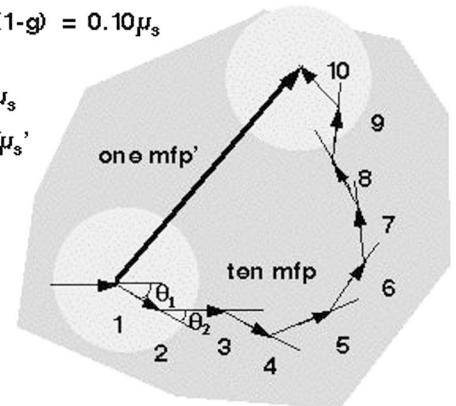


図1 等価散乱係数 μ_s' と散乱係数 μ_s 、非等方パラメーター g との関係。

吸収スペクトルを ASCII データでダウンロードすることができます。加えて、光造影剤としてよく用いられている ICG (indo-cyanine green) や水の吸収スペクトル、ファントム測定で利用されているイントラリピッド (脱脂粉乳) 溶液の μ_s や μ_a 、 g に関する記載があり、シミュレーションの生体モデル構築や検証実験での設定を行う上で重宝することでしょう。生体組織の散乱パラメーターに関する情報については、「Spectra」には動脈細胞などしか掲載されていないために見落としがちですが、他の臓器や小動物に関するデータが「Site Map」→「Publications」の文献内にあり、筆者はよく利用しています。ただ、ここで載せられている数値はかなり古い文献をもとにしていますので、最近取得されたデータについてまとめられた文献などをご存知の方がおられれば、ぜひお教えいただけると幸いです。

特にこのホームページで充実していると感心したのが、モンテカルロシミュレーションに関する内容です。冒頭に紹介した「Education」にはサンプルプログラムとともに技術解説が添えられており、ソースコードに書かれた数式のもととなる数学的背景なども理解できるようになっています。モンテカルロ計算は光子の飛行距離と方向を確率的に決定して追跡していく方法ですが、均一分布の乱数を発生させる関数からガウシアン分布をもつビームを発生させる方法など、モンテカルロ特有のテクニックについても解

説されています。筆者自身は、roulette という手法をこのホームページで知りました（興味のある方はぜひ調べてみてください）。さらに、「Software」には多層構造に対応したバージョンや偏光を考慮したプログラム、GPU (graphics processing unit) を用いたソフトなどもダウンロードすることができます。

今回は、シミュレーションを通じて生体光学を学ぶという観点から、OMLC のホームページを紹介しました。もちろん、ソースコードをダウンロードし、コンパイルして計算させて利用される場合でも、マニュアルがありますので抵抗なく使うことができます。また、他のグループのホームページになりますが、光拡散方程式を使った光トモグラフィーのソフトも提供されているようです⁴⁾。しかし、生体光学に関する文献を見て「難しい式が

多くて理解できないな」と感じておられる方々は、一度彼らのホームページをごらんになってはいかがでしょうか。

（(株) 島津製作所 小田一郎）

URL

- 1) ホンダ：企業ニュース「考えるだけでロボットを制御する BMI 技術」<http://www.honda.co.jp/news/2009/c090331.html>
- 2) 日立製作所：技術紹介「フューチャー 考えるだけで機器を操作する、ブレインマシンインタフェースの実現へ」<http://www.hitachi.co.jp/products/ot/about/future.html>
- 3) Oregon Medical Laser Center (OMLC) のトップページ：<http://omlc.ogi.edu/>
- 4) University College London (UCL), Department of Computer Science and the Centre for Medical Image Computing (CMIC) による TOAST (Image Reconstruction in Optical Tomography) の紹介ページ：<http://web4.cs.ucl.ac.uk/research/vis/toast/index.html>

お詫びと訂正

第 39 巻第 1 号掲載の光学工房「光学分野のお勧め教科書」(pp. 44-45) の文献欄に間違いがありました。お詫びいたしますとともに、下記のように訂正いたします。

- 1) (誤) Hect → (正) Hecht
 - 12) (誤) 黒田和夫 → (正) 黒田和男
 - 13) (誤) 朝倉書店 → (正) 朝倉書店, 初版 1988, 改訂版 2001
-