

# X線光子のモンテカルロシミュレーションソフトの開発

石巻市立病院 放射線室 ○佐々木 喬 (Sasaki Takashi)

## 【はじめに】

モンテカルロ法とは確率事象を乱数を用いてコンピュータ上でシミュレーションする方法である。X線光子や電子のふるまいは量子力学的であり、モンテカルロ法のよい適応である。有名なソースコードも公開されており、医学においてもよく利用されている。今回モンテカルロ法によるシミュレーションのソフトの開発を行い、診断X線領域における散乱線の解析を行った。

## 【方法】

開発はノートPCを使用し、開発言語はVisual Basic 2010 Express版を使用した。疑似乱数はメルセンヌ ツイスタ<sup>1)</sup>を使用し、X線スペクトルのデータはTucker<sup>2)</sup>の実験式を使用した。光子と物質との相互作用断面積データはHubbell等<sup>3)</sup>のデータを使用し、原子形状因子および非干渉性散乱関数のデータ<sup>4)</sup>も使用した。今回は、数百キロボルト以下の診断X線領域を対象としているため、X線光子との相互作用の種類は、光電効果、干渉性散乱および非干渉性散乱である。なお散乱体は、水ファントムとした。シミュレーションは、焦点・ファントム間距離は100cm、水ファントムのサイズは30cm×30cmである。

一個のX線光子の追跡は、最初に管電圧のサンプリングを行い、ファントムの入射位置のサンプリングを行った。次に自由行程長のサンプリングを行い相互作用の反応点を決定し、そして相互作用の種類をサンプリングした。ここで相互作用の反応点が水ファントム外であれば光子の追跡は終了とした。次に決定した相互作用の種類に応じた処理を行った。光電効果であれば、すべて吸収されるものとして取扱い、追跡は終了とした。干渉性散乱は光子エネルギーの変化はなく、散乱角のみサンプリングした。非干渉性散乱は、散乱角および光子エネルギーのサンプリングを行った。そして次の自由行程長サンプリング処理に戻り、追跡を繰り返した。なお光子エネルギーは8keV以下になったら吸収されるものとし、光子の追跡は終了とした。

水ファントムにおける散乱線の取扱いは、一度も反応せず通り抜けるものを直接線、一度でも反応し射出面から飛び出すものを前方散乱線、入射面から飛び出すものを後方散乱線、それ以外を側方散乱線とした。

## 【結果】

小懸<sup>5)</sup>らの直接線含有率の測定値と比較検討した (Fig.1)。小懸らの測定値とほぼ一致し、開発したソフトの妥当性を確認した。水ファントムの厚みを変えて散乱線の割合を求めた (Fig.2)。X線管電圧は100keV、X線光子数は一千万個である。光電効果による吸収の割合が非常に多く、約70%であった。散乱線では、後方散乱の割合が多く、約20%であった。直接線と前方散乱線は、水ファントムが厚くなると割合が減少し、それに伴い側方散乱線の割合は増加した。前方散乱線の割合は直接線より多いが、水ファントム厚が5cmでは直接線が多くなった。なお水ファントム厚20cmにおける直接線の割合は1%であった。次に直接線と前方散乱線のスペクトルを検討した。直接線のスペクトルは水ファントムが厚くなると線質が硬くなったが、前方散乱線のスペクトルは変化しなかった。前方散乱線の角度分布は、水ファントムが厚くなるとわずかに低角度側に移動した。

## 【まとめ】

光子数一千万個の解析時間は、約2分30秒であった。追跡の表示に時間がかかるため、最初の一千個の光子のみ追跡の表示を行った。しかしながら、ノートPCを使用しVisual Basicの使用環境においても十分実用的であった。直接線および散乱線のシミュレーションを行ったが、水ファントム射出面から飛び出すすべての直接線および前方散乱線のデータであり、実際に測定は出来ないものである。さらに後方散乱線や側方散乱線の測定も実測は不可能であり、モンテカルロ法によるシミュレーションは有用であった。

## 【参考文献】

- 1) <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/m-mat/MT/mt.html>
- 2) Tucker, Barnes : Semiempirical model for generation tungsten target X-ray spectra Med. Phys. 18 (2) 1991
- 3) Berger, Hubbell : XCOM ; Photon Cross Section Database
- 4) Hubbell : Atomic Form Factor, Incoherent scattering function and Photon Scattering Cross Sections J Phys Chem RefData 1975
- 5) 小懸 祐二:モンテカルロ法による散乱X線の解析 医用画像情報学会誌 1995 12(1)

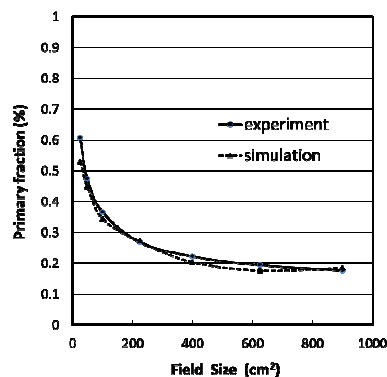


Fig.1 直接線含有率

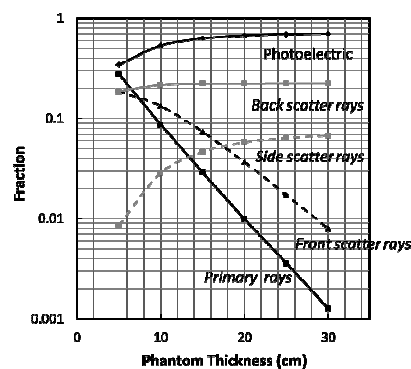


Fig. 2 散乱線の割合