

X線診断領域における線量評価のための モンテカルロシミュレーション

金沢大学医学部保健学科 越田 吉郎

医療現場での被曝において、医療スタッフあるいは患者への評価は重要であり、放射線管理のためにも、またその対策のためにも不可欠である。さらに新技術における手技と被曝評価は技術開発における両輪として念頭に置かれることが望ましく、放射線技術開発のコンセンサスを得られることの一般論として定着化されることが期待される。それらを目指して放射線計測の技術開発が近年進展している。放射線計測技術は、放射線物理学、放射線計測学、そして計測器の開発がいままで根幹をなしていた。これらに加えて近年、シミュレーション技術が発展している。シミュレーション技術は、計測器での測定がしにくい状況や種々のエネルギーが混在し特定が困難な場合、さらに微小領域での放射線の挙動を推定するのに非常に有効である。

シミュレーションには、ほとんどがコンピュータの利用となっている。高級言語を駆使し研究者が独自のプログラム作成する場合や、一般論的に開発されたプログラムを利用する場合がある。利用する者にとって、数値やパラメータを入力するだけで最終結果が出せるソフトが便利である。ImpactCT, NDD法などはその典型であり、利用者も多くいるであろう。IVRではケアグラフなどは利用価値が高いと考えられる。しかし、個々の放射線機器装置でのケースにおいて、使用者の検査手技や医師あるいはスタッフの特殊性により、施設ごとの検査手技が異なることが多いので、一般性を求めた簡易ソフト

による結果が必ずしも有効とは言えないことがある。また、現時点における手技を改良するための問題点の解析に乏しくなることがある。やはり、個々の検査で求めたいことは、個々の事例で解析できることが望まれる。それには、個々の事例における装置配置を含めたパラメータを尊重できるシミュレーションが必要になってくる。そこで、KEKで中心的に用いられているEGS(Electron Gamma Shower)について紹介し、診断領域における線量評価としてのシミュレーションで、どこまで踏み込めるかを報告する。

外部被曝線量評価コードは原子力施設の遮へい計算や放射線被ばく時の人体内線量分布評価などに用いられていて100種類ほどあるが、簡易計算コードと詳細計算コードに大別できる。詳細計算コードはさらにディスクリット・オーディネートコードとモンテカルロコードに分類することができる。EGSはこのモンテカルロコードを利用したもので、汎用の電磁カスケードモンテカルロコードである。その利点は、対象とした照射を受ける遮へい体・人体・検出器などの幾何学的条件と、物質との相互作用する放射線の挙動の追跡を独立的に扱えることにある。このため三次元的な広がりをもつ人体組織をも扱えることになる。

モンテカルロコードは、放射線が物質中において相互作用を起こしながら移動する様子を追跡するために、微分断面積の個々のデータに基づいた確率分布を乱数の発生から模擬的に行な

う手法である。その放射線の挙動やその放射線によって生じる粒子の移動を追跡するとき、初期のエネルギーが有用なエネルギー以下になったらその追跡を終了させるが、その過程で得た放射線の挙動をヒストリーという。対象とする放射線は光子、電子、陽電子である。物質との相互作用において光子は光電効果、レイリー散乱、コンプトン散乱(ドップラー広がりも含む)、電子対生成(トリプレットも含む)、直線偏光光子散乱、特性 X 線発生(オージェ電子発生も含む)、電子・用電子では電子制動放射、陽電子制動放射、陽電子消滅(消滅ガンマ線発生を含む)、メラー散乱(電子-電子散乱)、バーバー散乱(陽電子-電子散乱)、弾性散乱(モリエール多重散乱モデル)、電離損失、電子衝突電離である。EGS で扱えるエネルギー領域は、光子では約 1keV 以上、電子では約 10keV 以上であり、上限は数千 GeV とされているので、通常の診断領域や放射線治療領域では十分扱える。ただ、近年重荷電粒子線治療が注目されているので、陽子線や炭素線が検討できれば有用であると思われるが、まだそこまで検討されていない。モンテカルロコードによる計算では、ランダムな乱数を利用するので、乱数の繰り返しが頻繁に起こるものは利用価値が低く、また、乱数を用いるための統計誤差を小さくするために入射粒子の個数も多くしなければならない。通常のパソコンには乱数発生の機能はあるが、統計学上の有用性を求める場合、不十分である。

毎年、夏に開催されている EGS 研究会(つくば市 KEK)での発表内容をみると、原子力関連の解析や遮へい計算での発表が中心であったが、近年は高エネルギー機器装置からの放射線による線量評価および解析、小線源による放射線治療線量分布、電離箱の放射線のエネルギー特性、さらに診断領域における線量評価や散乱線評価などが目立って多くなってきている。昨年の EGS の国際大会では X 線の発生にまでシミュレーション研究が及んでいる。

すべての事例を紹介できないが、放射線遮へいにおける教育プログラム、体内線量分布計算コード、検出器のエネルギー特性、散乱線解析などについて検討した中から供覧したい。また、KEK が開発した低エネルギー領域対象のコードを有効に利用するために、X 線のスペクトルの組み込みも検討した。EGS によるシミュレーションで、RI の放射能が既知であればかなり線量評価に誤差は少なくなるが、X 線管球からの出力は実測による検証がまだ不可欠である。しかし、ヒストリー解析の一部である二次電子あるいは散乱線の解析は非常に有効と考える。

シミュレーションはそれ自体単独で、線量評価への有意性をまだ実証できない分野であり、実測という検討がなされて初めて有意性が論議できる。しかし、retrospective あるいは prospective なものを追求するのに有用性があると考えられるので、シミュレーション技術の本領発揮といえる。また、新技術開発において、空間的にも経費的にもムダを最小限に抑えることができる。現在、UNIX 系の利用者が増えていることを考慮し、C 言語を前提とした EGS5 へのグレードアップが進んでおり、2004 年の EGS 研究会で初公開された。今後、この領域に携わる研究者が増加し、様々なアイデアを提案する者と有用なプログラム開発者が輩出することを願う。