

「ICRP Publication 116 外部被ばくに対する放射線防護量 のための換算係数」： 概要と改訂のポイント

遠藤 章
Endo Akira

1. はじめに

今年の3月に、日本アイソトープ協会から標題の図書が出版された。本書は、国際放射線防護委員会（ICRP）の“Publication 116: Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures”¹⁾（以下、ICRP116）の翻訳書で、ICRP 2007年基本勧告²⁾に基づいて計算された、外部被ばくに対する人体の臓器ごとの吸収線量や実効線量の換算係数を収録したものである。

本稿では、ICRP116の概要と従来のデータ集ICRP74³⁾からの改訂のポイントを、放射線防護の実務との関係に触れながら紹介したい。

2. 外部被ばくに対する線量換算係数の役割

放射線防護を実践するには、被ばくの程度を定量的に表し、どのくらいリスクになるかを知る必要がある。この関連付けをするのが“線量”である。放射線防護に用いる線量には、図1に示すように、人体の被ばくを表し線量限度を定める“防護量”と、防護量を測定により評価するために、放射線モニタリングに使う“実用量”の2種類の線量がある。

ICRP116は“防護量”に関するもので、外部

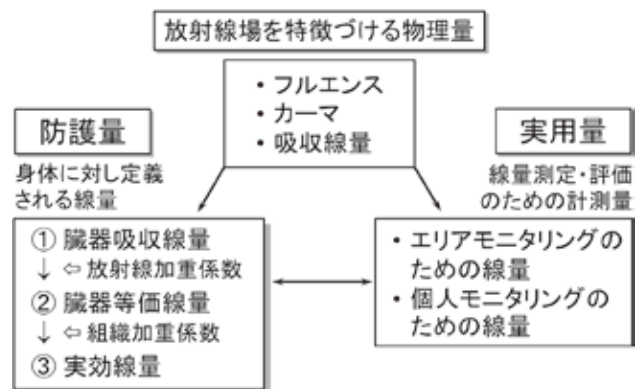


図1 放射線防護の線量体系（外部被ばくに関して記載）

被ばくにおいて、人体に入射する放射線の種類、エネルギー、入射方向ごとに、放射線場を特徴付けるフルエンスや空気カーマから臓器・組織（以下、臓器）の吸収線量、実効線量を評価する換算係数を与えている。

この換算係数は、コンピュータ上で扱う人体モデルを放射線の挙動を解析するシミュレーションプログラムと組み合わせて、図1中の①～③の手順で計算する。すなわち、①放射線の種類、エネルギー、入射方向を決めて人体モデルに放射線を照射し、各臓器の吸収線量を計算する。図2に体内の吸収線量分布の計算例を示す。②臓器の吸収線量に、放射線の種類により異なる生物効果を反映する放射線加重係数を乗

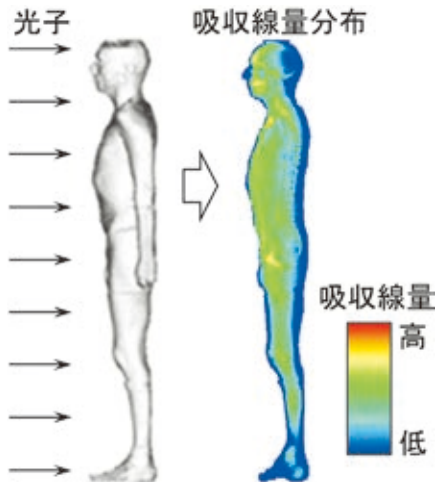


図2 身体前面から光子を照射したシミュレーションにより得られた体内の吸収線量分布

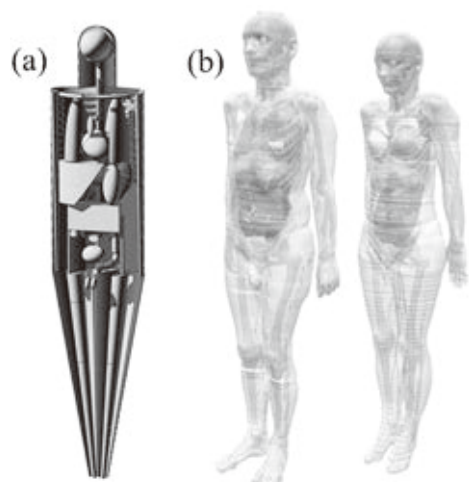


図3 (a) MIRD型ファントム、(b) 標準男性・女性のボクセルファントム

じて等価線量を計算する。③得られた等価線量に、臓器の感受性の違いを考慮する組織加重係数を乗じて、これを全ての臓器について合算し実効線量を算出する。

こうして計算された線量換算係数から、評価する被ばく条件に近い換算係数を選んで使うことで手軽に線量が評価できる。換算係数は、放射線障害防止法の告示別表、線量評価や遮蔽計算マニュアルなどで利用される。放射線防護の現在の法令は、ICRP 1990年基本勧告⁴⁾に基づき、これに対応する外部被ばくの線量換算係数は、ICRP74で提供されたものである。今後、2007年基本勧告が法令に導入された際には、これらの換算係数がICRP116のデータに置き換わるため、主任者の方には必須のものとなる。

3. ICRP116の特徴：新しいファントムの利用と放射線・エネルギー範囲の拡張

ICRP74の刊行(1996年)後、人体のモデリングや計算技術は進化し、より高度なシミュレーションが可能となった。

まず、人体のモデルであるファントムは、ICRP74で用いたMIRD型ファントム(図3(a))に代わり、ICRP 2007年基本勧告で採用

された成人の標準男性と標準女性のICRP/ICRUコンピュータファントム⁵⁾を導入した(図3(b))。数式で人体を表現したMIRD型ファントムに対し、新ファントムは、“ボクセル”という小さな三次元の体積要素で人体の構造を表現している。このファントムを使い臓器の吸収線量を計算する。なお、ボクセルファントムでは適切に模擬できない骨組織、目の水晶体、皮膚に対しては、ほかのモデルも補って検討した。

次に、放射線とエネルギー範囲の拡張である。ICRP74では、光子及び電子は10 MeVまで、中性子は180 MeVまでの換算係数が提供された。しかし、加速器施設の利用や航空機搭乗時の宇宙線被ばくなど、高エネルギー放射線に対する防護には、更に多くの種類の放射線に対し、高いエネルギーまで換算係数が必要とされた。そこでICRP116では、光子、中性子、電子に加えて、陽電子、陽子、ミュー粒子、パイ中間子、ヘリウムイオンを追加し、エネルギー範囲も大幅に引き上げた。例えばパイ中間子では、200 GeVまで換算係数が提供されている。

さらにICRP116では、実効線量換算係数の導出に使われた臓器ごとの吸収線量換算係数、

総数約 11 万点の全てが付属の CD で提供されている。

4. 本書の概要

ICRP116 は 5 章の本文と 10 の付属書で構成されている。第 1 章は本書作成の背景、第 2 章では本書で用いる様々な量の定義と実効線量の評価手順についてまとめている。第 3 章では、既に紹介した標準ファントムと、これを用いて換算係数を計算する手順が示されている。

第 4 章は本書で最も重要な章である。換算係数を提供する放射線ごとに、人体における相互作用の特徴、換算係数の計算条件と計算に用いた放射線輸送計算プ

ログラムの説明に続いて換算係数が示される。例として、図 4 に光子に対する実効線量換算係数を示す。そしてこれらの換算係数が、放射線のエネルギーや人体への入射方向によりどのように変化するか、人体の構造などと関連付けて分析されている。また、この章と続く第 5 章には ICRP74 の換算係数との比較分析があるが、この点は次項で説明したい。

付属書には、骨組織、目の水晶体、皮膚に対する線量評価法、航空機搭乗時の宇宙線被ばくに適用する換算係数などが提示されている。

5. ICRP116 が線量評価に及ぼす影響

ICRP116 の新たな換算係数が実務上どのような影響を及ぼすのか、現在の放射線障害防止法などで使われている ICRP74 の換算係数との比較が、第 4 章及び第 5 章で述べられている。その要点を紹介する。

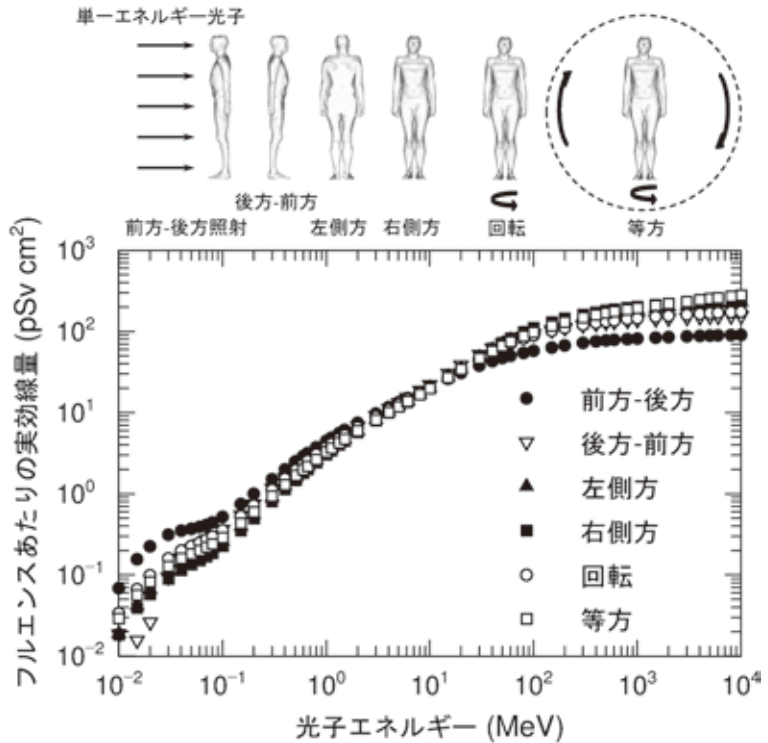


図 4 光子に対する実効線量換算係数

第 4 章では、実効線量換算係数の比較が行われている。光子については、2007 年勧告で、実効線量の算出に用いる放射線加重係数が変更されていないため、ICRP116 と ICRP74 の換算係数の違いは、組織加重係数の見直し、標準ファントムの導入に起因するものである。それらを反映して、換算係数の違いは人体に入射する光子のエネルギーや入射方向に依存して変化する。特に 0.1 MeV 以下の光子は平均自由行程が短くなるため、人体内部の臓器位置の違いを反映し、ICRP116 と ICRP74 の換算係数に顕著な差が現れる場合がある。しかし、全体で見えた場合、今回の改訂による換算係数の違いはそれほどない。

中性子については、2007 年勧告で中性子エネルギーに対する放射線加重係数の関係が見直されたため、それに応じて 400 keV 以下と 50 MeV 以上で、ICRP116 の実効線量換算係数の

値はICRP74に比べて小さくなった。一方、400 keV から 50 MeV までは、ほとんど違いがない。

第5章では、ICRP116の防護量と放射線モニタリングに使われる実用量の換算係数の関係が分析されている。その結論のポイントは、光子、中性子及び電子に対して、ICRP74で検討したエネルギー領域において、実用量は防護量の良い近似を与え、ほとんどの放射線防護の実務に引き続き適用できる。しかし、ICRP116で換算係数が新たに加わった高エネルギー領域では、実用量は防護量を過小評価する問題があ

る。すなわち、モニタリングの測定値だけでは防護上充分でない。この問題については、現在、国際放射線単位・測定委員会(ICRU)が検討を進めていることに言及している。

参考文献

- 1) ICRP Publication 116, *Ann. ICRP*, **40**(2-5) (2010)
- 2) ICRP Publication 103, *Ann. ICRP*, **37**(2-4) (2007)
- 3) ICRP Publication 74, *Ann. ICRP*, **26**(3-4) (1996)
- 4) ICRP Publication 60, *Ann. ICRP*, **21**(1-3) (1991)
- 5) ICRP Publication 110, *Ann. ICRP*, **39**(2) (2009)

(日本原子力研究開発機構)