

ICRP 新勧告による内部被ばく線量評価 名古屋大学医学部保健学科 石樽信人

1. はじめに

新勧告では、防護で使われる線量計測量の基本的な枠組みは踏襲されるものの、組織荷重係数の変更が行われることになった。ICRP が提示する線量係数の「線量」とは預託実効線量なので、組織荷重係数が変更されれば線量係数も必然的に変わらざるを得ない。同様の事態は 90 年勧告 (ICRP 60) の際にも発生した。その折には、ICRP 30 シリーズの線量係数をベースに組織荷重係数のみを 90 年勧告の値に置き換えて再計算された。そして 90 年勧告が刊行されるやいなやその結果が ICRP 61 として刊行された。しかし、当時、第 2 専門委員会では呼吸気道モデルや体内動態モデルの見直し作業が併行して進められていた。そしてこれら新しいモデルに基づく線量係数が、ICRP 61 の刊行から間もない 1994 年に ICRP 68 として刊行されたのである。これにより ICRP 61 の線量係数の寿命はわずか 3 年とはいえ、そればかりか放射線管理の現場に余計な混乱まで持ち込まれることともなった。現在、第 2 専門委員会において体内動態モデル等内部被ばく線量評価モデルの改訂作業が進められている。しかし今回は、第 2 専門委員会からは、組織荷重係数のみを新勧告の値に合わせたような中途半端な線量係数を提示することはせずに、モデルの包括的な改訂作業の終了を待って線量係数を新たに計算し、その後に刊行物として提示することとしている。

2. 線量係数およびバイオアッセイデータの改訂

〔ロードマップ〕

ICRP 68 の線量係数に準拠した現行の内部被ばく管理に放射線防護上特段の不都合があるとは思われないが、第 2 専門委員会では、今の学術水準に相応しい、またよりよい放射線防護を提供するために、線量評価モデルやパラメータ値の見直しを行っている。最終目標は、内部被ばくの線量係数に関する ICRP 68 に加え個人モニタリングに関する ICRP 78 の全面的な改訂であり、従来別々の刊行物であったものを今回は線量係数とバイオアッセイデータを 1 冊にまとめた刊行物として作ることになっている。この刊行物は「作業者の放射性核種の摂取 Part 1」と呼ばれている。また、その文書が誤解無く使用されるよう、実例を含んだガイダンスドキュメント「バイオアッセイデータの解釈」も作成中である。これらの作業は第 2 専門委員会のタスクグループ INDOS (Internal Dosimetry) と DOCAL (Dose Callulation)、およびバイオアッセイデータの解釈に関するワーキングパーティが進めている。ちなみに INDOS およびワーキングパーティには筆者が、DOCAL には原子力研究開発機構の遠藤章氏が参加している。

この刊行物の作成に関連する作業のロードマップを図 1 に示す。以下では

INDOS の活動を中心に内部被ばく線量評価に関連する作業の概略を紹介する。

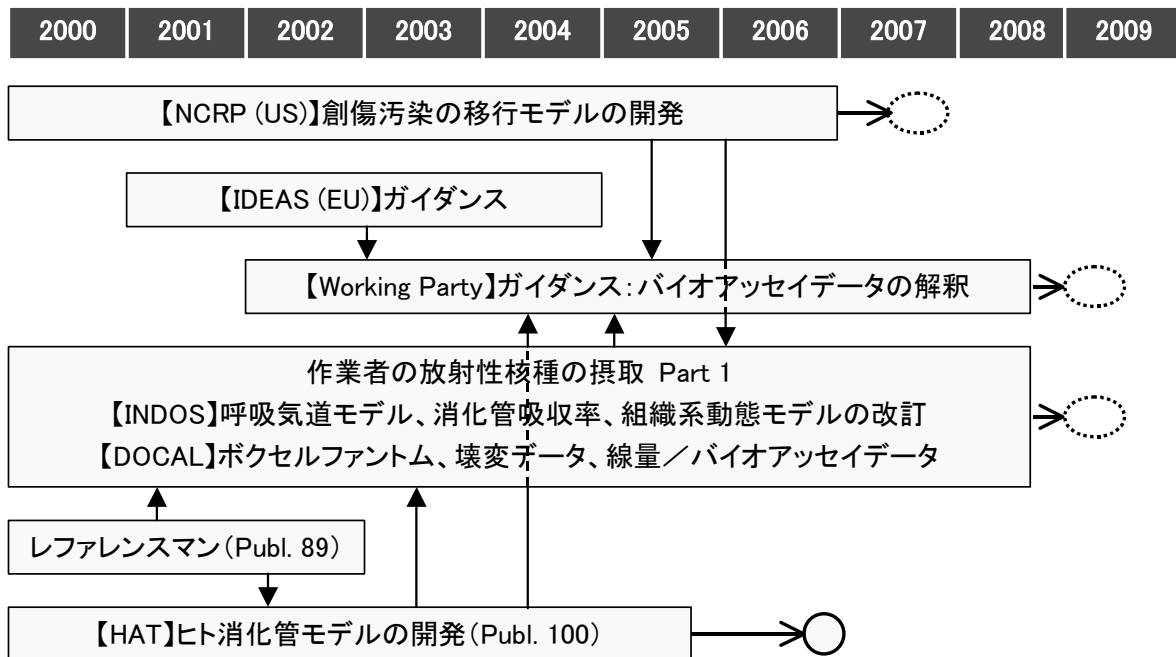


図 1 内部被ばく線量評価に関連する作業のロードマップ

【レファレンスマン】

線量係数の計算に用いられる新しいモデルやパラメータのうち、他のモデルの基盤となるレファレンスマンに関しては、ICRP 23 の改訂版として 2002 年に ICRP 89 が刊行された。

【ヒト消化管モデル】

ヒト消化管モデルに関して、ICRP は、1996 年にタスクグループ HAT を設け、ICRP 30 の胃腸管モデルに取って代わる新しいヒト消化管モデルの開発に着手した。10 年間に亘る検討を経て、昨年の暮れにその結果がようやく ICRP 100 として刊行された。10 年以上前に開発された呼吸気道モデルと比べ ICRP 30 の胃腸管モデルはあまりにも単純化され過ぎていたが、今回の新モデル開発により呼吸気道モデル同様、上皮組織における感受性幹細胞の位置が定められ、その細胞が分布する層の線量が計算されるようになったし、また作業者のみならず種々年齢の人々により構成される公衆にも適用できるようになった。日本保健物理学会では今年度より「ICRP 新消化管モデル専門研究会」を立ち上げ、新モデルが線量評価や放射線管理に与えるインパクトについて研究を進めている。

【呼吸気道モデル】

呼吸気道モデルの見直しはタスクグループが設けられておらず、イギリスの HPA/RPD (旧 NRPB) の研究者が中心となって進めている。見直しの内容はパラメータ値の変更が主でモデルの構造はマイナーチェンジである。粒子径の

デフォルト値も多くの調査は作業環境における放射性エアロゾルの AMAD が 4 から 7 μm の範囲であることを示しており、従来のデフォルト値 AMAD 5 μm を変更する必要は無いとしている。改訂が予定されている主な点を列記する。

- ◆ ガス・蒸気：SR-0/1/2 といったクラス分類をやめ、個々のガス・蒸気ごとに領域沈着率と血中吸収割合を与えることが提案されている。
- ◆ ET₁ 領域：鼻を拭ったりすることで除去される部分と、数時間の半減期で胃腸管に飲み込まれる部分の、2つのコンパートメントに分けることが提案されている。
- ◆ BB、bb 領域：遅い移行成分 (BB₂、bb₂) の割合が粒子の幾何学的なサイズに依存しないことを示す最近のデータがある。この領域における粒子輸送の扱いを変更するかどうか検討中である。
- ◆ AI 領域：現行モデルよりも遅いクリアランスが観察されていることを受け、AI₂、AI₃ の移行定数を変更するか、AI₁、AI₂、AI₃ の割合を変更するか、どちらかの方法により変更することが検討されている。
- ◆ 血中吸収：ウラニウム、トリウム、プルトニウム、アメリシウムの化合物について、化合物に特異的なパラメータを与えることが提案されている。

〔消化管吸収率〕

作業環境において経口摂取する可能性のある放射性物質の化学形の調査と現行の消化管吸収率の妥当性が検討されており、幾つかの元素で消化管吸収率 f_A を次のように変更することが提案されている。S (0.8 → 1.0、0.1(元素状))、Ca (0.3 → 0.4)、Sr (0.3 → 0.25)、Zr (1×10^{-2} → 3×10^{-3})、Tc (0.5 → 0.8)、Sb (0.1 → 0.05)、Po (0.5 → 0.2)。

〔組織系(体内)動態モデル〕

血液に吸収された放射性核種が組織に移行し排泄される過程を記述したモデルは従来 biokinetic model と呼ばれており、この和訳として体内動態モデルという用語が定着している。しかし最近の ICRP での検討では、このようなモデルは systemic model と呼ばれることが多く、biokinetic model は呼吸気道や消化管を含むもっと広い意味で使われる場合が多い。本稿では systemic model を仮に組織系動態モデルと訳し、以降この用語を用いることとする。現在職業被ばくの観点から潜在的に重要と思われる 30 元素 (娘核種としての Y と Bi を含めて 32 元素) についてモデルの見直し、改訂作業が進められている。9分通り完成しているとの印象をもっているが、詳細に見てみるとまだ問題が残っており、完成にはもう少し時間がかかりそうである。現行モデルでは古典的なコンパートメントモデルで記述されている H, C, S, Co, Cs について、組織系動態の変動に関わる生理学的要因を考慮した複雑な生理学的物質動態モデル、いわゆるリサイクルモデルに改訂されることが決まった。また、Ag についても生理学的物質動態モデルの導入が検討されている。30 元素とは次のものである。H、C、S、Ca、Fe、Co、Ni、Zn、Se、Sr、(Y)、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Ag、Sb、Te、I、Cs、Ba、(Bi)、Pb、Po、Ra、Th、U、Np、Pu、Am、Cm。なお、こ

れら以外の重要な核種については Part 2 以降で提示される予定である。

【原子核の壊変データ】

原子核の壊変データは、体内臓器に沈着した放射性核種の比実効エネルギー（SEE）を計算する上で基盤となる必須のデータである。原子力研究開発機構およびオークリッジ国立研究所によって、最新の核構造データ等を用い、ICRP 38 のデータが更新され、データベースが整備された。

【ボクセルファントム】

線量換算係数を求めるためには、外部線源、内部線源を問わず放射線が体内でどのような相互作用を引き起こすのかを計算により追跡する必要がある。この目的に使われる数学ファントムについて、これまで基本勧告では触れられることがなかったが今回基本勧告の改訂にあたり、数学ファントムが定義されることとなった。

ICRP により長年使用されてきたのはいわゆる MIRD ファントムを基本とする数式ファントムである。このファントムが作られた 1970 年前後のコンピュータの性能では、実際の人体のリアルな表現には制約があった。現在では、各辺がミリメートルオーダーのボクセルと呼ばれる直方体の集合として人体を表現したいいわゆるボクセルファントムが CT データ等を元に数多く作られている。ICRP においても、こうした新たに確立された技術に対応すべく、体内および体外線源に対する線量換算係数の計算にボクセルファントムを利用することを決め、その整備を行った。具体的な作業は、ドイツの放射線環境研究所に依頼された。当研究所は、ボクセルファントム開発のパイオニアであるとともに、標準人に比較的近い成人男性用、女性用ファントムを開発していた。種々修正の結果、身長、体重および臓器の質量が標準人と一致した男性用、女性用のボクセルファントムが作られた。現在複数の機関においてこれらのファントムを用いて計算が進められている。

【線量／バイオアッセイデータ】

今のところ線量の評価は、まず個人モニタリングによるバイオアッセイデータの測定値をモデル予測値で割って摂取量(Bq)を評価し、次いでこの摂取量に実効線量係数(mSv/Bq)を乗ずるという 2 段階の手順を踏み行われている。このため ICRP 刊行物の値の誤用によるエラーがしばしば発生している。これを改善するため、現在準備している「作業者の放射性核種の摂取 Part 1」では、バイオアッセイ測定値当たりの実効線量の値も併せて掲載される予定である。この値にモニタリング測定値を乗ずるという 1 回の計算で線量を評価でき、信頼性の飛躍的な向上が期待できる。なお、現行モデルによるこのような値は、2002 年春より放射線医学総合研究所のホームページに公開されている。

【NCRP の創傷汚染モデル】

放射性核種の体内摂取の経路としては、吸入、経口、経皮および創傷侵入が

考えられる。ICRP はこれまで創傷侵入を扱ってこなかったが、このたび米国放射線防護測定審議会 NCRP が創傷汚染の動態モデルを開発したことを受け、ICRP もこのモデルを導入することとした。すなわち、このモデルと ICRP の組織系動態モデルとを各々の血液コンパートメントの部分で結合し、放射性核種の体内組織における残留、排泄率、および線量を計算するわけである。但し、これらは数学的な操作として可能であるということであって、計算結果をどのように使うことが適切かについては今後十分な検討が必要である。創傷汚染モデルの適用についてはガイダンスドキュメント「バイオアッセイデータの解釈」の付属書で述べられることになっている。

3. 実効線量の適用範囲

新勧告が出された理由の一つは、実効線量等線量計測量が誤解無く使われるようにその適用範囲をよりはっきりと説明するためである。

新勧告において実効線量の使用目的は次のように明確に述べられている。

- 計画段階および防護の最適化のための事前の線量評価
- 線量限度との整合性の証明、あるいは線量拘束値や種々参照レベルとの比較のための事後の線量評価

ICRP の線量計測量の枠組みは、放射線防護を実践するためのものである。この目的のため、割り切りはつきものである。例えば、人間の体格や臓器の質量、また放射性物質の体内動態などは本来一人一人で異なっているが、これらのパラメータに標準的な値を設定しない限り防護の実践はおぼつかない。さらに、場合の数が無限にある被ばくの状況や摂取される放射性物質の性状も、当然のことながら有限個のカテゴリーに分類する必要がある。ICRP が使用するこれらのパラメータなどには、レファレンスという修飾語がつけられている。実効線量とは第一義的に、つまり注釈なしに実効線量と言った場合、それは、これら「レファレンス」に基づき計算される量である。つまり、特定個々人の線量ではなく、あくまでも「レファレンス」の個人に対する値であり、特定個人が被るかも知れない損害に対し最初に立てられる一次的な目安に過ぎないことを忘れてはならない。

実際の被ばくでは ICRP の「レファレンス」とは異なる粒子径の放射性エアロゾルを摂取する場合もあるかもしれない。こうした「レファレンス」とは異なる条件で線量を評価することももちろん可能であり、その値も実効線量と呼ぶことはできる。しかし、実効線量と呼ぶ場合には、「レファレンス」と何がどのように異なるかを特定し明示する必要がある。

ICRP の使用する「レファレンス」の数学ファントムと異なるもの、例えば、個人ではなく平均的日本人を意図して作られたファントムを使用して計算された値はどうであろうか。筆者はこの値も実効線量と呼ばざるを得ないと考えている。この場合ももちろん「レファレンス」との相違を明示すべきである。

4. まとめ

線量換算係数を求めるために、放射性物質の組織系動態や解剖学的特性などをモデル化する必要がある。これらモデルの構造やパラメータ値の「レファレンス」は、実験研究あるいは人体データから、専門家としての判断を交え最良推定値あるいは中央推定値として導出されたものである。それらには当然不確かさが伴う。ICRP は、可能な限り不確かさを小さくするとともに不確かさを評価する努力を払っている。しかし線量評価に使われるパラメータは多岐に亘りその数も非常に多い。その上ごく少数の大きくばらついた実験値から決めざるを得ない推定値もあり、不確かさの程度もまちまちである。例えば、消化管吸収率 1 つをとっても、不確かさの程度は元素により、また化合物により異なっているであろう。こうした事情があるので、ICRP は線量評価モデルの全範囲に亘って不確かさの数値を与えることはできないとしている。

また、安全規制の立場からは、これらモデルやパラメータ値、またそれらに基づいて求められた線量換算係数などは、言わば「引き合い」に出すことを「申し合わせ」たものなので、そこには不確かさの概念は元々入っていない。

これらのモデル等は、今後も ICRP により定期的に見直され、科学的な新しいデータや情報が取り入れられてより適切なものに修正されてゆくべきものである。