ナガセランダウア
NLだより
9
No.537
2022年9月発行

●トップコラム／金沢大学 医薬保健研究域
保健学系 量子医療技術学講座 教授　松原 孝祐
●簡単に分かる内部被ばくモニタリング／
〔第2回〕預託実効線量の評価方法
●お願い／コントロールバッジについて
●ご案内／〈B-Web plus〉サービス

トップコラム 249

松原 孝祐

# 防護量と実用量について感じること

私が2019年度より部会長を務めている日本放射線技術学会放射線防護部会では、2021年度より「放射線影響と防護量の考え方を学ぶWebセミナー」を開催している。このセミナーでは、放射線影響に関する最新の話題を、放射線影響の研究における第一人者の先生方にご講演いただくとともに、2021年に発刊されたICRP Publication 147の内容を紹介しながら、医療被ばくにおける実効線量の正しい使い方について講演を行っている。これまでに合計2回開催しており、のべ140名の方にご参加いただいている。ディスカッションの時間には、参加者の皆様から多くの質問が寄せられていることからも、このテーマに対する皆様の関心の高さをうかがい知ることができる。次回は2022年11月27日(日)に開催を予定しており、2023年度にも2回の開催を予定していることから、このトップコラムをご覧になられている皆様にも是非ご参加いただきたく考えている。

さて、このセミナーで取り上げている「実効線量」は便利な線量であるが、その使い方には注意を要する。たとえば、特定の集団のリスクの詳細な評価には実効線量の使用は適していない。また、診断参考レベルの設定の際の線量指標としても適していない。ICRP 2007年勧告では、防護量は「標準人について定義され、推定されたもの」とされている。つまり、個人の線量という位置づけとはなっていない。一方で現在、各種放射線診断を対象とした被ばく線量計算ソフトウェアが広く普及しているが、これらのソフトウェアではさまざまなタイプのファントムに基づく臓器吸収線量、等価線量、実効線量などの防護量が簡単に計算できるようになっている。中にはファントムが想定している身長や体重を公開しているソフトウェアもあり、計算の際には実際の患者にできるだけ近いファントムを選ぶこともできる。しかし、これらのソフトウェアで算出した臓器吸収線量、等価線量、実効線量は本来の定義からは外れたものとなっている。そもそも、実効線量の本来の目的を超えて医療分野で使用されていることがその背景にあるわけであるが、現在は定義上の防護量と医療現場が求めている防護量との間に乖離が生じている状況であるといえよう。

そしてこれら「防護量」と関わりが深いのが「実用量」である。実用量は、直接測ることのできない防護量の代わりとして、医療現場でも従事者の被ばく線量管理において重要な役割を果たしている。しかしながら、この実用量の概念を理解するのは決して容易ではない。私は診療放射線技師養成施設の教員として、学士課程の2年生や3年生を対象に実用量に関する講義を行っているが、学生さん達はこの実用量の話が始まった途端に、何やら怪訝な顔をし始める(私も学生の頃はそんな感じだったが…)。まず、ICRU球は物理的に再現できず、計算でしか求められない量であるという話をするが、再現できるものをなぜ使わないんだという学生さんの心の声が聞こえてくる。そしてすぐ追い打ちをかけるように拡張場と整列場の話が…。このような感じで実用量に関する講義は、学生さんにとって(教員にとっても？)大変なものとなっているが、実用量の概念や使い方をいかに分かりやすく教えることができるかというのは、教員の腕の見せどころかもしれない。

現在、防護量と実用量の新しい概念が打ち出されており、今後、国内の関係法令に組み込むための議論が進んでいくことが予想される。しかしながら、概念が変わったとしても、サーベイメータや個人線量計によるモニタリングは今後も必要不可欠であろう。日頃から質の高い個人被ばく線量測定サービスをご提供いただいている長瀬ランダウア株式会社の関係各位には、この場を借りて御礼申し上げるとともに、今後も引き続き安定したサービスを提供し続けていただけることを期待している。

まつばら こうすけ（金沢大学 医薬保健研究域
保健学系 量子医療技術学講座 教授）

プロフィール●香川県生まれ。金沢大学大学院医学系研究科保健学専攻博士後期課程修了。金沢大学医学部附属病院を経て、2008年より現所属にて診療放射線技師の育成に従事。日本CT技術学会理事、日本診療放射線学教育学会理事、日本放射線技術学会放射線防護部会長、日本医学物理学会放射線防護委員会委員、日本保健物理学会企画委員会委員、ASEAN診断参考レベル策定コンサルタントなど。

# 簡単に分かる内部被ばくモニタリング

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研

前号では体外計測やバイオアッセイ分析による体内に取り込んだ放射性物質の測定について紹介しました。今回はそれら測定値から内部被ばく線量を求める方法について紹介したいと思います。

## 預託実効線量

内部被ばくの線量は預託実効線量として表されます。これが内部被ばくの理解を困難にする要因の一つかもしれません。

預託線量（英語では"committed dose"と表す）とは未来において受けると決まった線量、という意味合いです。つまり、将来の被ばくを含む体内に放射性物質が存在する一定期間の実効線量を預託実効線量と言います。職業被ばくでは50年間、公衆被ばくでは70歳までの被ばく線量となります。内部被ばく線量管理の目的では預託実効線量は年間線量限度等と比較され、被ばく防護に係る規制要件の遵守の確認に用いられます。預託実効線量を単年の被ばくとして扱うことにより、被ばくの評価や管理を継続する必要がなくなり被ばく管理が保守的かつ容易になります。

預託実効線量は、放射性物質の体内摂取量と実効線量係数（1 Bq摂取時の預託実効線量）を乗じて算定されます。実効線量係数は前号で示した通り放射性物質の種類（核種や化学形態など）によって異なり、約2,000種類の放射性物質に対する実効線量係数の一覧が国内法令などに示されています。その一覧から体内摂取した放射性物質の実効線量係数を選択します。これらの実効線量係数は体内での放射性物質や放射線の挙動を、後述する線量評価用モデルによって模擬して計算された代表的な値です。そのため実効線量係数を正しく使用するためには、線量評価用モデルや用いられるパラメータについて理解することが重要です。

## 摂取量の評価

体外計測やバイオアッセイ分析の測定値から摂取量を求めるには体内放射能や排泄物中放射能の時系列関数を用います。例えば全身計測による測定値から摂取量を求める場合は全身残留率、尿のバイオアッセイ分析の場合は尿中排泄率、などと測定方法に合わせた関数が用いられます。これらは摂取した放射能に対する存在割合を示しており、摂取から測定までの経過日数がわかればその割合と測定値から摂取量が計算できます。図1に$^{3}$H及び$^{239}$Puの体内残留率及び排泄率を示します。$^{3}$Hは数十日程度で全身残留率と尿中排泄率が急激に下がっており時間が経つと検出が困難になります。また、摂取のタイミングが不明な場合は摂取量の計算値の不確かさが大きくなってしまいます。そのため、$^{3}$Hの内部被ばくモニタリングは間隔を細かく設定する必要があります。$^{239}$Puは、摂取直後の便中排泄率が高く、その後肺にほとんどが移行し長期間残留することがわかります。そのため$^{239}$Puでは早期の便のバイオアッセイと胸部計測が有効となります。

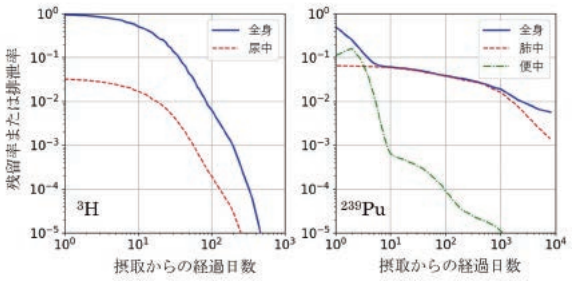



図1 $^{3}$Hと$^{239}$Puの残留率または排泄率（吸入摂取放射能に対する割合）

## 2つの線量評価用モデル

実効線量係数や体内残留率などは体内動態モデルと標準人モデルと呼ばれる2つの内部被ばく線量評価用モデルにより数値計算によって得られます。

### ●体内動態モデル

体内動態モデルは、放射性物質の摂取、移行、排泄等の体内挙動を表現するものでコンパートメントモデルとも呼ばれます（図2）。これは、体の各臓器・組織（リンパ液や血液を含む）をコンパートメント（放射性物質の入れ物）として扱い、コンパートメント間の放射性物質の移行速度を設定することにより、各コンパートメントの放射性物質の時間変化を数式化するものです。この移行速度は放射性物質の元素、化学的性質に依存しさまざまな実験データ等から標準的な数値が与えられています。このモデルを計算することによってコンパートメントして表された臓器・組織中の預託期間における核変換数や残留率・排泄率の時系列が得られます。体内動態モデルは、呼吸気道モデル、消化管モデル、全身体内動態モデルで構成され、呼吸気道と消化管モデルは全ての元素で共通、全身体内動態モデルは元素ごとに構築されています。

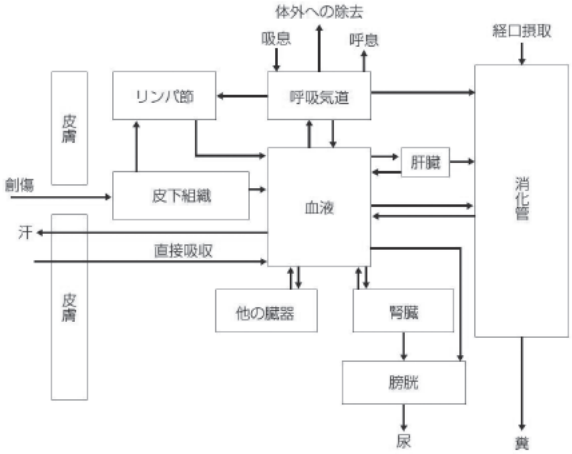



図2 体内動態モデル概要（ICRP Publ. 130邦訳版*1 図3.1から引用）

### ●標準人モデル

預託実効線量を求めるには体内動態モデルに加え、放射線と人体の相互作用の取扱いが必要となります。この目的のために標準人モデルが用いられます（図3）。標準人モデルは臓器

ブ 第2回

# 預託実効線量の評価方法

研究所 放射線管理部 線量管理課・技術副主幹 高橋 聖

を含めた人体の形状や材質を数値的に表したもので、標準ファントムと呼ばれ、コンピュータ上で放射線による被ばくを模擬することができます。この標準人モデルを使用し放射性物質を含む臓器（線源臓器）から放射線のターゲットとなる臓器（標的臓器）への放射線エネルギー付与割合が計算されます。図4に例として肝臓中の放射性物質から放出された放射線によって胃または肝臓自身がうける線量の値を示します。このようなデータが臓器の組み合わせや性別、放射線の種類ごとに計算されています。

これらの線量評価用モデルにより以下の手順により預託実効線量が導出されます。

❶体内動態モデルにより得られる各臓器の放射性物質の時間変化を積分することにより預託期間の核変換数を求める。

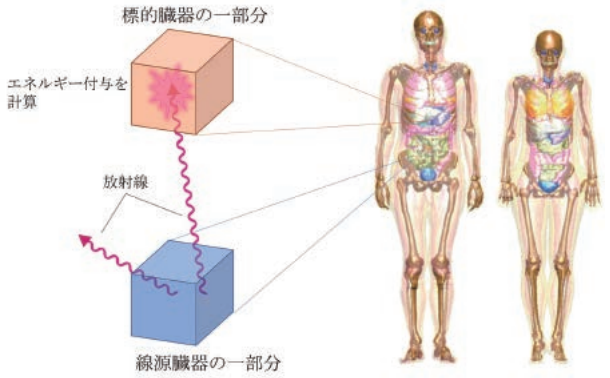



図3 標準人モデル（男女）を用いた放射線被ばくの計算イメージ（ICRP Publ. 133*3 Fig.3.1 を変更して使用）

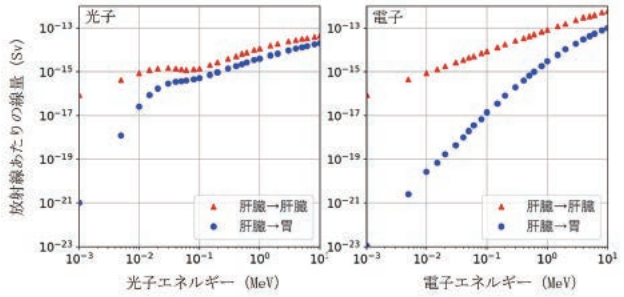



図4 線源臓器（肝臓）から放出される放射線あたりの標的臓器（胃または肝臓）の線量

❷標準人モデル及びモンテカルロ放射線輸送計算を使用し線源臓器から標的臓器への放射線エネルギー付与割合を求める。

❸❶及び❷の結果に核壊変データ及び放射線加重係数を組み合わせ標的臓器の預託等価線量を求める。

❹❸の預託等価線量を男女別に求め、その平均値に組織加重係数を乗じた総計が預託実効線量となる。

この計算を摂取量1 Bqとして実施したものが実効線量係数となります。これらの計算は複雑かつ膨大であるため専用の計算コードが用いられます。

## 線量評価用モデルの改定

ここまで説明した線量評価用モデルや実効線量係数は国際放射線防護委員会（ICRP）により開発、計算され公開されています。これらのモデルは近年見直しが行われ、"Occupational Intakes of Radionuclides（OIR）"（放射性核種の職業上の摂取）と呼ばれる一連の刊行物*2として公開されました。表1にOIRシリーズの主な変更点を示します。体内動態モデルについては新たな実験データ等の反映のため、モデルの再構築、パラメータ変更などが行われ、標準人モデルはICRP標準ファントムとしてCT等のコンピュータ断層撮影画像を元に作成され、従前の人体モデルより解剖学的精度が向上しています。これらの見直しにより実効線量係数の値も変更されています。ほとんどの放射性物質では実効線量係数が下方に変更されますが一部は上方への変更となります。従来より実効線量係数が大きくなる放射性物質については、より慎重な内部被ばくの管理が必要となります。今後、この新しい実効線量係数が国内法令に取り入れられると予想されます。このため内部被ばくのおそれのある放射性物質を取り扱う事業者等にとっては、線量評価用モデルの改定による実効線量係数への影響やその国内法令取り入れについて注視することが重要です。

前号の内部被ばくの測定方法に引き続き、今月号では預託実効線量の評価方法について紹介しました。内部被ばくモニタリングについて知っていただく機会になれば幸いです。

*1 原子力規制委員会，（2021）ICRP Publication 130，"放射性核種の職業上の摂取—第1部—" https://www.nsr.go.jp/activity/kokusai/honyaku_04.html
*2 ICRP，"Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1, 2, 3, 4, 5." ICRP Publ. 130（2015），134（2016），137（2017），141（2019），151（2022）.
*3 ICRP，"The ICRP computational framework for internal dose assessment for reference adults: specificabsorbed fractions." ICRP Publ. 133（2016）

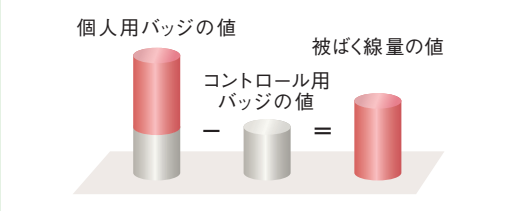
表1 内部被ばく線量評価モデルの主な変更点

| 線量評価用モデル及びデータ | | 従前モデル | 新しいモデル |
|---|---|---|---|
| 体内動態モデル | 呼吸気道モデル | 呼吸気道モデル (ICRP 66) | 改定呼吸気道モデル (ICRP 130) |
| | 消化管モデル | 胃腸管モデル (ICRP 30) | 消化管モデル (ICRP 100) |
| | 全身体内動態モデル | 全身体内動態モデル (ICRP 56、67、69、71) | 全身体内動態モデル (ICRP 134、137、141) |
| 人体数値ファントム | | MIRDファントムなど | ICRP標準ファントム (ICRP 110) |
| 核壊変データ | | 放射性核変換 -エネルギーと放出率- (ICRP 38) | 線量評価用核壊変データ (ICRP 107) |
| 放射線加重係数、組織加重係数 | | ICRP1990年勧告 (ICRP 60) | ICRP2007年勧告 (ICRP 103) |

## お願い　コントロールバッジについて

〔お問い合わせ：お客様サポートセンター〕
Tel.029-839-3322　Fax.029-836-8440

コントロールバッジは、個人用バッジの値から自然放射線等による影響分を差し引き、放射線業務に起因する被ばく線量を正確に算出するために用いるバッジです。




自然放射線は地域や季節などにより変動します。コントロールバッジは、**放射線発生装置やRIからの放射線の影響がない場所に保管**してください。また、着用期間が終了したコントロールバッジは、**同一着用期間の個人用バッジと一緒にご返却**くださいますようお願い申し上げます。

※コントロールバッジが同一着用期間の個人用バッジと共に返却されなかった場合、弊社基準に基づいて個人の被ばく線量を算出いたします。

## ご案内　B-Web plus サービス

**B-Webplusサービスは、バッジの追加・変更等の登録といった従来の機能に加え、電子報告書の作成完了や線量アラート発生の際のメール配信、法定帳票作成支援など新たな機能を搭載し、ますます便利になりました。弊社バッジサービスをご利用のお客様は無料でご使用いただけますので、この機会に是非お申し込みください。**

### 主な機能・サービス

★**登録機能**：着用者情報の管理がより便利に！ 個人ごとの登録変更に加え、複数名の一括登録変更も可能です。

★**帳票関連**：着用者ごとの年度被ばく履歴の集計、印刷が可能。また、外部被ばく線量測定算定報告書のPDF版をいつでもダウンロードできます。（有効期限3か月）

★**法定帳票作成支援**：電離放射線健康診断関連のデータ集計、帳票作成の支援機能も充実。

★**線量アラート通知機能**：線量超過対象者が出た場合、いち早くメールでお知らせ。Web上ですぐ確認できます。

★**教育訓練管理**：講習会情報や受講者の登録管理、受講証明書の発行が簡単にできます。

### セキュリティ

接続時にSSL-VPNを使用し、ネットワークを通る情報を暗号化することで高度なセキュリティを確立。また、お客様が登録された各種個人情報は、暗号化してシステムに保存され、万一外部から不正アクセスされた場合でも、情報を容易に読み取ることができないようになっています。さらに、ファイヤーウォールや認証パスワード等により多重のセキュリティを構築していますので、安心してご利用いただけます。

〔お問い合わせ・営業部〕
Tel.029-839-3322
Fax.029-836-8440

## 編集後記

残暑厳しい9月ですが、読者の皆様はいかがお過ごしでしょうか。私は暑くなると（実際は通年ですが…）、美味しいビールが飲みたくなります。中でもおススメは「クラフトビール」。一時のブーム終焉を乗り越え、独自の味と品質を追い求めたブリュワー達が、日本各地でオリジナルブランドを立ち上げています。クラフトビールの楽しみ方は、五味は勿論ですが、香り、色、泡立ち、ラベルデザインに至るまで、知れば知るほど奥が深い！私のお気に入りは、大量のホップを使い限界まで苦味を凝縮し、一方でフルーツとホップの柔らかな香り漂う「ダブルIPA（インディア・ペールエール）」。これさえあれば、どんなにつらい仕事も乗り切れる（ハズ）！まずは地元のクラフトビールを探してみてください。ビールの魅惑の世界が覗けますよ。　（T.H.）

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール
https://www.nagase-landauer.co.jp
E-mail：mail@nagase-landauer.co.jp

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は
本社 Tel.029-839-3322　Fax.029-836-8440
大阪 Tel.06-6535-2675　Fax.06-6541-0931

NLだより No.537
2022年〈9月号〉
毎月1日発行　発行部数：41,700部
発　行　長瀬ランダウア株式会社
〒300-2686
茨城県つくば市諏訪C22街区1
発行人　浅川 哲也