

“今こそ復習！” 主任者の基礎知識 —「もっと基礎を，ここが肝」編—

第8回 内部被ばくの評価法

木名瀬 栄

1. はじめに

福島第一原子力発電所事故により環境に放射性セシウムが放出された。これまでの文部科学省や原子力規制庁による放射性セシウムの分布状況等に関する調査¹⁾によると，復興により生活の基盤が整ってきている地域においても，一般公衆の実効線量限度に比べ，内部被ばくによる預託実効線量は極めて小さいと判断できる状況となっている。しかし，住民の安心の確保のためには，全身カウンタなどを用いた内部被ばくモニタリングの実施が引き続き求められている。本稿では，放射線取扱主任者の復習のきっかけになるよう，これまで一般的に実施してきた内部被ばくの評価法について概要を述べるとともに，福島第一原子力発電所事故後対峙しなければならない内部被ばくの評価法に関する課題について私見を紹介する。

2. 内部被ばくモニタリング

放射線業務従事者等を対象にした放射線障害防止法では，放射性同位元素を摂取するおそれのある場所に立ち入る場合や誤って摂取した場合，内部被ばくによる線量の評価をすべからず実施することになっている。内部被ばくによる線量は，直接測定評価することができないため，内部被ばくモニタリングにより測定時点における体内負荷量（体内の放射性物質の存在量）等を評価した後，その値を基に算定した摂

取時の放射エネルギーに実効線量係数を乗じることによって得ている。したがって，内部被ばくによる線量を適切に評価するためには，内部被ばくモニタリングによる体内負荷量等の信頼性の高い放射能測定評価法と摂取量算定法の工夫が必要不可欠となる。

福島第一原子力発電所事故後，内部被ばくモニタリング対象となったのは，活動環境が管理されていない，様々な年齢群の一般公衆である。放射性セシウムの摂取時期や摂取形態が不明である場合が多いことや個人差があること（多様な体格，代謝を有していること）など，従前からの内部被ばくモニタリング研究開発課題そのものに直面しているといえよう。

2.1 直接法と間接法

内部被ばくモニタリングは，図1に示すように，直接法と間接法の2つに大別できる²⁾。全身カウンタに代表される体外計測法のような直

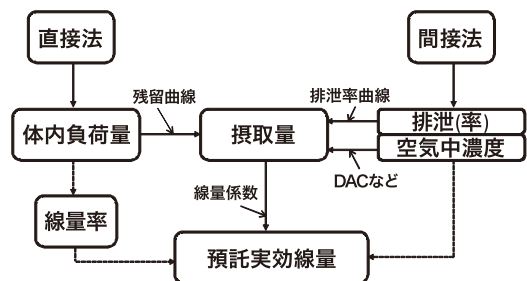


図1 内部被ばくモニタリングの一般的なスキーム

接法は、体外に位置する放射線検出器により、体内負荷量を直接的に評価する方法であり、バイオアッセイ法や空气中放射性物質濃度計算法のような間接法は、被検者からの尿、糞、血液などの生体試料や大気塵捕集ろ紙などの放射能評価により、体内負荷量を間接的に推定する方法である。もちろん、個人モニタリングの観点では、体外計測法とバイオアッセイ法を同じカテゴリにすることも³⁾ある。

直接法、間接法ともに、体内負荷量、排泄(率)、空气中濃度で表現される放射能について、信頼性高く測定評価することが日常的な課題になる。特に、直接法には被検者の測定条件と同一条件となる人体形状ファントムを用いた校正法が、間接法には十分な量の試料採取と迅速かつ高感度な組成分析法が極めて重要になる。

評価対象核種によっては、直接法、間接法ともに、長所と短所があり、いずれがよいかを選択することは困難になるが、最終的には測定結果の不確かさを考慮して、預託実効線量を評価しなければならない。

2.2 急性摂取と慢性摂取

摂取量の算定には、内部被ばくモニタリングによる測定時点における体内負荷量（全身や臓器の残留量、排泄量）、摂取時期や摂取形態、体内残留曲線、排泄率曲線などの情報が必要になる。体外計測法やバイオアッセイ法により測定評価した結果を正しく預託実効線量に反映させるには、摂取形態に対応する体内残留曲線や排泄率曲線などを用いた摂取量算定法が肝になるといっても過言ではない。

福島第一原子力発電所事故後、被災地では放射性セシウムの摂取時期や摂取形態が多様になり、慢性摂取のおそれがある状況下になった。春先のスギ花粉に沈着した放射性セシウムの吸入も慢性摂取の1つになった⁴⁾。これまでの内

部被ばく防護分野で一般的に利用されてきた、急性摂取に関する体内残留曲線や排泄率曲線の適用が十分でない場合が増えたと考えられる。慢性摂取に関する体内残留曲線や排泄率曲線は、その摂取時期や摂取形態に大きく左右されるため、あらかじめ評価しておくことは困難であるが、これまでの内部被ばく防護に関する研究開発の成果⁵⁻⁷⁾が適用できるであろう。被災住民の方々に対して、全身カウンタなどを用いた内部被ばくモニタリングの測定結果から預託実効線量を評価する場合には、急性摂取なのか慢性摂取なのかといった、放射性セシウムの摂取時期や摂取形態などに関する摂取量の算定条件を再確認することが必要であろう。

3. 不確かさ評価

近年、欧州などでは、内部被ばく評価の不確かさ解析、体外計測法、バイオアッセイ法による同一ファントム/試料計測、体外計測に関するモンテカルロモデリングなど、様々な国際相互比較研究を実施し、GUM（計測における不確かさの表現のガイド）に基づく不確かさ評価などを展開して、調和のとれた内部被ばく評価方法の確立と進展を図っている。

2013年の欧州線量評価委員会（EURADOS）のIDEASガイドライン⁸⁾では、体外計測法やバイオアッセイ法による測定結果に対して、統計的方法によって見積もる不確かさの成分（タイプA）と統計的方法以外の方法によって見積もる不確かさ成分（タイプB）に分類し、それぞれの不確かさ成分に対するSF値（対数正規分布を仮定した測定結果に対する幾何標準偏差 Scattering Factors。中央値に対して（1/SF）倍からSF倍した範囲内に68%の測定結果が存在する）を評価した。対数正規分布を仮定した体外計測法による測定結果の不確かさ成分ごとのSF値を表1に、タイプA、Bそれぞれの不確

表 1 対数正規分布を仮定した体外計測法による測定結果の不確かさ

不確かさ成分 (タイプ)	Scattering factor SF		
	光子 低エネルギー E < 20 keV	光子 中エネルギー 20 keV < E < 100 keV	光子 高エネルギー E > 100 keV
統計誤差 (A)	1.5	1.3	1.07
検出器配置の相違 (B)	1.2	1.05	< 1.05
バックグラウンド値の相違 (B)	1.5	1.1	< 1.05
被検者体格の相違 (B)	1.5	1.12	1.07
体表面構造の相違 (B)	1.3	1.15	1.12
放射能分布の相違 (B)	1.3	1.05	< 1.05
校正 (B)	1.05	1.05	1.05
スペクトル評価 ^(a) (B)	1.15	1.05	1.03

(a) ゲルマニウム半導体検出器によるスペクトル

表 2 対数正規分布を仮定した体外計測法による測定結果の不確かさ
(全タイプ A, B)

不確かさ成分	Scattering factor SF		
	光子 低エネルギー E < 20 keV	光子 中エネルギー 20 keV < E < 100 keV	光子 高エネルギー E > 100 keV
全タイプ A	1.5	1.3	1.07
全タイプ B	2.06	1.25	1.15
合計	2.3	1.4	1.2

かさ成分ごとの SF 値を表 2 に示す。表の値は、典型例であり、評価結果が検出限界値に近くなればなるほど大きくなること⁹⁾に留意が必要であるが、全身カウンタなどの体外計測法による測定結果の不確かさが概ね理解できよう。内部被ばくの評価対象核種が放射性セシウムのような場合、労力や費用の観点以外に、体外計測法、バイオアッセイ法による測定結果の不確かさを考慮して、内部被ばくモニタリングの選択をすることも必要であろう。

4. おわりに

内部被ばくの評価法の概要と課題について述べた。福島第一原子力発電所事故後の喫緊の課

題として、一般公衆に対する内部被ばくの評価法を信頼性高くするために、これまで研究開発の段階から抜けきれなかった内部被ばくモニタリング手法の運用などがある。直接法には被検者を正確に表現するボクセルファントムとモンテカルロシミュレーションを用いた体外計測装置の校正法を、間接法には ICP（誘導結合プラズマ）質量分析法や半導体検出器による核種ごとの測定法を広く利用できるようなインフラ整備も必要であろう。これらの知見や技術の応用により、内部被ばくモニタリングの測定結果の不確かさは改善されることになろう。

我が国の内部被ばくモニタリング研究開発は、IAEA（国際原子力機関）標準アジア人ト

ルソファントム (JAERI ファントム)¹⁰⁾ や MONDAL (内部被ばく線量支援計算コード)⁵⁾ の開発のように、たゆみない進展がなされてきた。これまでに蓄積した知見と技術を福島第一原子力発電所事故後の復興支援に役立てることが、放射線を専門にしてきた放射線取扱主任者である我々の責務であろう。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構, “平成 24 年度放射能測定調査委託事業「福島第一原子力発電所に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成果報告書”, 日本原子力研究開発機構ホームページ, <http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/entry05.html>
- 2) Griffith, R.V., *Radiat. Prot. Dosim.*, **89**, 163–172 (2000)
- 3) 原子力安全技術センター, “被ばく線量の測

定・評価マニュアル” (2000)

- 4) Kinase, S., Kimura, M., and Hato, S., Proceedings of the International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO’s Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, Kyoto, Japan, December 14 (2012)
- 5) Ishigure, N., Matsumoto, M., Nakano, T., *et al.*, *Radiat. Prot. Dosim.*, **109**, 235–242 (2004)
- 6) Birchall, A., Puncher, M., Marsh, J.W., *et al.*, *Radiat. Prot. Dosim.*, **125**, 194–197 (2007)
- 7) Kimura, M., Kinase, S., and Hato, S., *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, **4**, 60–63 (2014)
- 8) Castellani, C.M., Marsh, J.W., Hurtgen, C., *et al.*, EURADOS Report 2013–01 (2013)
- 9) 木名瀬栄, JAERI-Research 2003–011 (2003)
- 10) Shirovani, T., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **25**, 875–883 (1988)

((独)日本原子力研究開発機構/茨城大学大学院)

2014 年版 アイソトープ法令集 (I) —放射線障害防止法関係法令—

編集・発行 公益社団法人日本アイソトープ協会

【2014 年 3 月発行】

B5 判・537 頁+CD-ROM 版 定価 3,400 円+税 会員割引価格 3,000 円+税

「原子力規制委員会設置法」の施行に伴い、放射線障害防止法が改正され、申請、届出、報告等の書類の提出先が「文部科学大臣」から「原子力規制委員会」に変更されました。本書ではこれらの新法令及び法令改正を受けて、新たに「原子力規制委員会設置法」「原子力規制庁組織規則」等の法令も収載し、かつ 2014 年 1 月 1 日現在までの法令改正及び関連の通知・事務連絡等に準拠。

CD-ROM では、省庁ホームページ等で公開されている障害防止法関係法令等も含め 1 枚にまとめています。リンク機能も付加されていますので検索機能と合わせてご利用ください。

公益社団法人
 **日本アイソトープ協会**
 Japan Radioisotope Association
 〒113-8941 東京都文京区本駒込 2-28-45
 TEL (03) 5395-8082 FAX (03) 5395-8053

- ◆ご注文はインターネットまたは FAX にてお願いいたします。
 JRIA BOOK SHOP : <http://www.bookpark.ne.jp/jria>
 BookPark サービス : FAX (03) 6674-2252
- ◆書店でご注文の際は「発売所 丸善出版」とお申し付け下さい。