〈特集:ICRPの新しい内部被ばく・外部被ばく線量係数
—その放射線管理への適用を考える〉

ICRP Publication 74 の概要と新しい 外部被ばく線量換算係数

山 口 恭 弘^{*1}

Outlines of ICRP Publication 74 and New Dose Conversion Coefficients for External Radiation

Yasuhiro YAMAGUCHI^{*1}

1. はじめに

外部放射線の防護を目的とした種々の線量換算係数を収録した ICRP Publication 74¹⁾(以下 Publ. 74 のように記す)が刊行された。この Publ. 74 は、ICRP 1990 年基本勧告 (Publ. 60²⁾) で提案された被ばく線量評価のための種々の係数や最新の物理データに基づいて計算された線量換算係数を提供している。Publ. 60 では、線量評価上大きな影響を及ぼす可能性がある幾つかの変更が提案された。そこで、特に外部被ばく線量評価に関する影響を検討するために、R.H. THOMAS (主査) の他に 6 名の主メンバーと 5 名の協力メンバーからなる ICRP と ICRU の合同タスクグループが 1991 年末に設置された。このグループは、新しい線量換算係数に関する膨大なデータを収集し評価するとともに、従来との比較等の解析を行った。Publ. 74 は、5 年間にわたるこれらの検討結果をまとめたものである。

2. ICRP Publication 74 までの経緯

放射線防護における外部被ばく線量評価では、第 1 図に示すように、次の 2 種類の線量に変遷を経ながら用いられてきた。一方は、人体の被ばくの程度を表すための「防護量 (protection quantity)」と呼ばれるもので、

ICRP 基本勧告等で線量限度を規定する時に用いられる。他方は、放射線場や個人線量の測定のために、ICRU によって定義され推奨されている「実用量 (operational quantity)」である。測定や計算によってこれらの線量を評価したり互いに比較するには、放射線場を表す基本的な量 (例えばフルエンス) からの換算関係を求めておく都合が好い。

Publ. 21³⁾ や Publ. 51⁴⁾ は、このような線量換算係数を収録したものであり、特に後者は ICRP 1977 年基本勧告 (Publ. 26⁵⁾) が反映されている。しかし、ICRP 1990 年基本勧告では、線量そのものの定義や荷重係数などが変更されたことで、線量換算係数を見直す必要が生じた。そこで、これらの変更を取り込んで計算された線量換算係数をまとめたものが Publ. 74 である。

3. 現在勧告されている諸線量

Publ. 74 では、Publ. 60 で導入されたものを含め現在勧告されている次の 3 種類の防護量を扱っている。

- ① 臓器・組織の平均吸収線量: $D_{T,R}$
- ② 臓器・組織の等価線量: $H_T = w_R D_{T,R}$
- ③ 実効線量: $E = \sum_T w_T H_T$

また、実用量に関しては、最新の定義⁶⁾に基づき次の 3 種類の量を扱っている。

- ① 周辺線量当量: $H^*(d)$
- ② 方向性線量当量: $H'(d, \alpha)$
- ③ 個人線量当量: $H_p(d)$

^{*1} 日本原子力研究所保健物理部; 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4 (〒319-1195)

Department of Health Physics, Japan Atomic Energy Research Institute; 2-4, Shirakata-shirane, Tokaimura, Naka, Ibaraki 319-1195, Japan.

第1図 外部被ばく線量評価に用いられる量とICRP及びICRUの刊行物の変遷

4. 線量評価に影響する主な変更等

ICRP 1990 年基本勧告の中で、防護量や実用量に関する線量換算係数、及び両者の関係に影響を及ぼす可能性がある変更は以下の3つである。

- ① 放射線荷重係数 w_R の導入：防護量（組織等価線量）の算定には、従来の線質係数 Q に替えて w_R を用いるようになった。この変更は、光子及び電子に関しては数値的な変更を与えないが、中性子や重荷電粒子では影響が大きい。
- ② 組織荷重係数 w_T の変更：実効線量（従来は実効線量当量）の算定に用いる w_T の値が変更されるとともに、これを割り当てる臓器・組織がかなり詳細になった。この変更により、実効線量と実効線量当量の間に数値の差が生じる。
- ③ Q - L 関係式の変更：実用量の算定には、従来と同様に線質係数 Q が用いられるが、この Q の数値を与える Q - L 関係式（ L ：線エネルギー付与）が変更された。この変更は、中性子や重荷電粒子に対して影響を及ぼす。

これ以外に、計算技術や物理学的な知見の進展によるものがある。

- ④ 物理データ等の改善：相互作用断面積、阻止能、カーマ係数等の物理データ、及びモンテカルロ法を用いた放射線輸送計算プログラムが改善され、計算結果に少なからず影響を及ぼす。

5. 収録されている新しい線量換算係数

Publ. 74 には、単色（単一エネルギー）の光子、中性子及び電子に対する線量換算係数が収録されている。こ

れらのデータは、モンテカルロ法等を用いて全て計算されたものである。線量換算係数の推奨値を決定するために、異なるグループによる膨大な数のデータが収集・比較・検討された。例えば、中性子の実効線量に関しては、7つのグループの計算結果を用いて、熱エネルギー～180 MeV の中性子が5種類の照射ジオメトリーで入射する場合の線量換算係数が決定された。Publ. 74 に収録されている主な線量換算係数を第1表に示す。実用量に関しては、強透過性放射線に対してICRU球（軟組織等価直径30 cmの球）等の深さ10 mmの、また弱透過性放射線に対して深さ0.07 mm（皮膚）及び3 mm（水晶体）の線量当量がICRUによって推奨されている。しかし、これら全ての深さに対する線量換算係数が与えられている訳ではない。例えば、中性子に対しては10 mmの深さの線量当量のみが与えられている。これは、中性子はエネルギーが低くても人体を透過し易く、10 mmの深さの線量当量に基づいて評価された実効線量を制限しておけば、皮膚や水晶体は自ずから防護されるためである。電子に対しては、臓器・組織の吸収線量の計算結果が乏しいため、防護量に関する線量換算係数も十分ではない。また、放射線管理で直接必要となる β 線放出核種別の線量換算係数は、むしろICRU Report 56⁷⁾を参照すべきである。

6. 線量換算係数の新旧比較

光子及び電子に対しては、従来と同様に線質係数 $Q = 1$ と扱われ、また放射線荷重係数 $w_R = 1$ であるため、実効線量を除けば線量換算係数に大きな違いは現れない。生殖腺及び乳房の組織荷重係数 w_T が下げられたことや、

第1表 ICRP Publication 74 に収録されている線量換算係数

線 種	分 類	線量換算係数	エネルギー範囲	備 考
光 子	防護量	各組織に対する H_T/K_a 及び E/K_a	0.01~10 MeV	5種類のジオメトリー
	実用量	$H^*(10)/K_a$, $H^*(10)/\Phi$	0.01~10 MeV	
		$H'(10, \alpha)/K_a$, $H'(0.07, \alpha)/K_a$	~10 MeV	$\alpha=0^\circ\sim 180^\circ$
		$H_{p,slab}(10, \alpha)/K_a$	~10 MeV	$\alpha=0^\circ\sim 75^\circ$
		$H_{p,slab}(0.07, \alpha)/K_a$	~1 MeV	$\alpha=0^\circ\sim 75^\circ$
中性子	防護量	各組織に対する D_T/Φ 及び E/Φ	$10^{-9}\sim 180$ MeV	5種類の照射ジオメトリー
	実用量	$H^*(10)/\Phi$	$10^{-9}\sim 201$ MeV	
		$H_{p,slab}(10, \alpha)/\Phi$	$10^{-9}\sim 20$ MeV	$\alpha=0^\circ\sim 75^\circ$
電 子	防護量	7組織に対する D_T/Φ 及び E/Φ	0.1 ~10 MeV	前方入射のみ
	実用量	$H'(0.07, \alpha)/\Phi$	0.07~10 MeV	$\alpha=0^\circ\sim 89^\circ$
		$H'(3, \alpha)/\Phi$	0.7 ~10 MeV	$\alpha=0^\circ\sim 89^\circ$
		$H'(10, \alpha)/\Phi$	2 ~10 MeV	$\alpha=0^\circ\sim 89^\circ$

H_T : 組織等価線量, E : 実効線量, $H^*(d)$: 周辺線量当量, $H'(d, \alpha)$: 方向性線量当量, $H_{p,slab}(d, \alpha)$: 個人線量当量(ICRU スラブで計算), D_T : 組織吸収線量, K_a : 空気カーマ, Φ : フルエンス, d : 深さ(mm), α : 入射角度(度)

残りの組織への w_T の割り当て方が変更されたことにより, 光子に対する実効線量は従来の実効線量当量より小さくなった。しかし, 実効線量には新たに皮膚への係数が与えられたために, 弱透過性の電子 (1 MeV 以下) や光子 (十数 keV 以下) に対して, 実効線量は実効線量当量よりかなり大きくなる。

中性子に対しては, w_R の導入及び Q - L 関係式の変更が大きな影響を与えた。新旧比較の概要は, 以下のとおりである。実効線量は, 実効線量当量より平均 2~4 倍 (後方入射に対しては最大 7.5 倍) 大きい。また, 実用量に対しても, 例えば周辺線量当量は従来の Q - L 関係式を用いて計算したものより最大 1.5 倍程度大きい。

7. 防護量と実用量との新しい関係

実用量を用いた線量モニタリングを正当化するためには, 通常遭遇する被ばく条件下において実用量>防護量となる必要がある。両者の新しい関係は, 以下のとおりである。

① 場所のモニタリングに関して:

光子及び中性子に対しては周辺線量当量 $H^*(10)$ と実効線量の比較が, また, 電子 (β 線) 及び低エネルギー光子に対しては方向性線量当量 $H'(0.07, \alpha)$ と皮膚等価線量 H_{skin} の比較が実質的には問題となる。電子及び光子では, 対象としているエネルギー範囲で実用量>防護量であることが確認された。しかし, 中性子に関しては,

第2図 中性子に対する実効線量/新周辺線量当量と実効線量当量/旧周辺線量当量の比較 (AP: 前方入射, PA: 後方入射)

第2図に示すように, 幾つかのエネルギー範囲 (約 1 eV ~40 keV, 3~13 MeV, 40 MeV 以上) で実用量<防護量となり, 安全側の評価とならない。しかし, 単色の中性子に被ばくすることは希であり, 通常は線源及び施設固有のスペクトル構造を持っている。このスペクトルを考慮すると殆どの施設で実用量>防護量となっている。

② 個人モニタリングに関して:

光子及び中性子に対しては個人線量当量 $H_p(10)$ と実効線量の比較が, また, 電子 (β 線) 及び低エネルギー光

子に対しては $H_p(0.07)$ と皮膚等価線量 H_{skin} の比較が問題となる。しかし、 $H_p(10)$ や $H_p(0.07)$ は評価する位置や人体に左右される量であり、ある選ばれた人体モデルに対してさえデータが示されていない。そこで、人体表層部に位置する臓器の線量当量または ICRU スラブを代用して計算された $H_{p,organ}$ や $H_{p,slab}(10)$ との比較がなされた。光子に関しては、背面入射を除けば、概ね実用量>防護量となる。中性子に関しては、上と同様な問題がある。

8. ICRP Publication 74 の一般的な結論

実用量は、Publ. 26 で定義された実効線量当量等を測定によって安全側に評価する目的で導入された。ICRU Report 43⁹⁾ や Publ. 51 に示されるように、実用量は要求される性能を有していた。ICRP と ICRU の合同タスクグループは、上で述べたように多くのデータを解析した結果、ICRP 1990 年基本勧告による変更後も、実用量は防護量の合理的な評価を提供するので、引き続き使用可能であるとの結論を下した。しかし、高々度飛行や高エネルギー加速器施設で問題になる高エネルギー放射線に対する線量評価法に関する研究の必要性等の今後の課題をも指摘している。

9. おわりに

ICRP 1990 年基本勧告を機に生じた外部被ばく線量評価上の問題は、国際的な場⁹⁾ や国内¹⁰⁾ でも議論されてきたが、Publ. 74 によってある程度の方向が示された。しかし、未だ解決すべき多くの課題が残されていること

に変わりはない。特に、放射線荷重係数や $Q-L$ 関係式の妥当性に関しては未だに多くの疑問が残されている。吸収線量をどんなに精密に測定したり計算しても、それに掛ける放射線荷重係数や線質係数に大きな不確定さがあれば、評価される等価線量や線量当量の信頼度は低くなる。防護を目的とした係数だからといって、そうそう寛大に受け入れていられるものでもなからう。より合理的な線量評価法の確立のためには、更なる研究が求められる。

参 考 文 献

- 1) ICRP ; ICRP Publication 74 (1996).
- 2) ICRP ; ICRP Publication 60 (1991).
- 3) ICRP ; ICRP Publication 21 (1973).
- 4) ICRP ; ICRP Publication 51 (1987).
- 5) ICRP ; ICRP Publication 26 (1977).
- 6) ICRU ; ICRU Report 51 (1993).
- 7) ICRU ; ICRU Report 56 (1997).
- 8) ICRU ; ICRU Report 43 (1988).
- 9) H.G. MENZEL, T.O. MARSHALL, C. WERNLI and M. VARMA (Eds.) ; Individual Monitoring of Ionising Radiation-The Impact of Recent ICRP and ICRU Publications, *Radiat. Prot. Dosim.*, **54**(3/4) (1994).
- 10) 山口恭弘, 吉澤道夫 (編著) ; 「最近の外部被ばく線量評価法に関するワークショップ」 報文集, JAERI-Conf 95-007 (1995).