

ICRP 新勧告による外部被ばく線量評価

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所放射線管理部
吉澤 道夫

1. はじめに

国際放射線防護委員会 (ICRP) は、本年 3 月に新しい勧告を採択した。今回、ICRP は、その変更案を公開し、広く意見を求めつつ勧告を策定した。その過程では、線量測定・評価に関しても、線量の名称など種々の変更案が示された。しかし、最終的に ICRP は、ICRP 1990 年勧告が多くの国ですでに法令等に取り入れられていることから、現行の体系を大きく変更することを避け、以前から指摘されていた問題点の解決と新しい科学的知見に基づく変更にとどめた感がある。本報告では、外部被ばく線量測定・評価について、ICRP 新勧告による変更点をまとめ、現時点で考えられる変更の影響について紹介する。なお、本報告は、現時点で入手可能なドラフトに基づいているため、変更があり得ることに注意されたい。

2. ICRP 新勧告における (外部被ばく) 線量とその変更点

2.1 新勧告の変更の特徴

ICRP は、1990 年勧告で、放射線影響を考える基本量を臓器・組織の平均吸収線量とし、放射線防護のための量として、これに放射線荷重係数を乗じた「等価線量」と、等価線量に組織荷重係数を乗じた「実効線量」を導入した。これらは、まとめて防護量と呼ばれている。これらの防護量は、直接測定できない量であるため、実用量 (場のモニタリングのための「周辺線量当量」及び「方向性線量当量」、個人モニタリングのための「個人線量当量」) が、国際放射線単位測定委員会 (ICRU) により導入されている。実用量は、線量当量に基づいており、線種に関する荷重として、線質係数 ($Q(L)$ 関係) が使われている。これらの体系は、国際的に広く受け入れられている。しかし、中性子に対する放射線荷重係数をはじめ、種々の疑問や問題も指摘されていた。

今回の ICRP 新勧告は、上記の状況を踏まえて策定されている。その特徴は、以下の点にまとめられる。

- 1) 現行の線量の定義、名称及び単位は変更しない。
 - 現状の外部被ばく線量体系に不必要な混乱をもたらさないため。
- 2) 放射線荷重係数を一部変更する。(中性子の変更、荷電 π 粒子の追加)
 - 線量評価上の矛盾の解消を目的とした変更であり、生物学的知見の

- 変更によるものではない。
- 3) 組織荷重係数を変更する。(数値の変更と組織・臓器に追加)
 - 最新の科学的知見の反映。
 - 4) 実効線量の意味を明確にするとともに計算方法を標準化。(Reference Person の線量と位置付け、男女の平均化方法を定め、新しい男女別標準(ボクセル)ファントムを導入)。
 - 5) 実用量を整理。(実際に使用する量を明確化)
 - 実用量の適用経験を反映。

2.2 線量体系

ICRP 新勧告での放射線防護のための線量体系を図 1 に示す。基本的な変更はない。なお、実用量の整理については後述する。

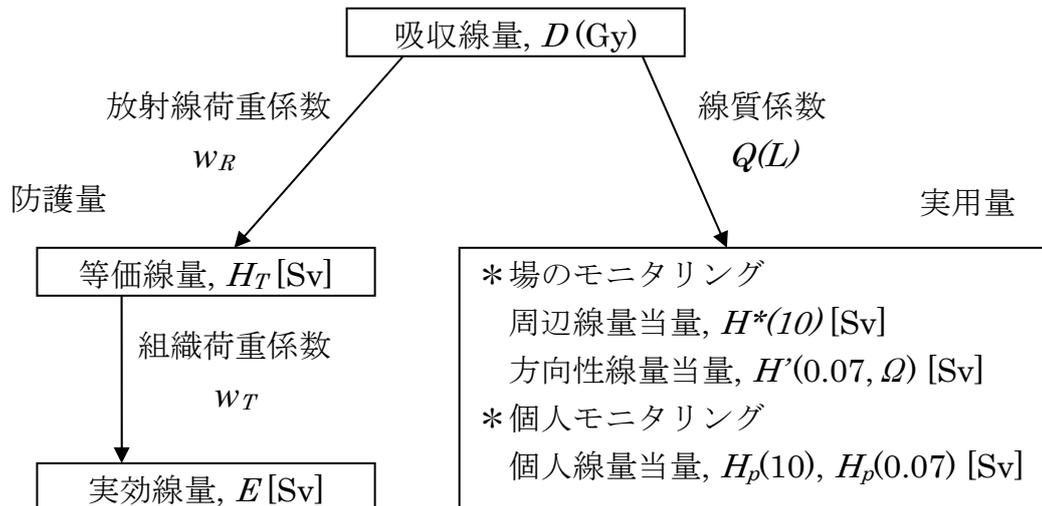


図 1 放射線防護に用いる線量

2.3 放射線荷重係数の変更

ICRP 新勧告の放射線荷重係数を 1990 年勧告(Publ.60)と比較して表 1 に示す。今回の新勧告では、中性子及び陽子の放射線荷重係数が変更され、荷電 π 粒子が追加された。

(1) 中性子

中性子の放射線荷重係数は、従来ステップ関数で定義され、連続関数が近似として与えられていた。これが、新勧告では連続関数で定義された。図 2 に新しい中性子の放射線荷重係数を従来のもものと比較して示す。連続関数となったのは、線量計算の実用的観点からの変更であり、精密さが増したわけではない。

新しく定義された関数では、1MeV以下、特に低エネルギー領域の値が小さくなった。この変更の主たる理由は、中性子線量評価上の問題点の解消である。すなわち、中性子の場合、人体内部で線量を与えるのは主に二次 γ 線 ($w_R=1$) であるにもかかわらず、従来の低エネルギー中性子の $w_R=5$ は、この寄与に比べて高すぎるものが指摘されていた。(従来の中性子の放射線荷重係数は、人体中ではなく、ICRU球中の深さ1cmの平均線質係数と関係づけられていたためである。) 今回、二次 γ 線の寄与に関する考察と、 $Q(L)$ から求めた人体中 (ICRU球ではない) の平均線質係数との関係から、低エネルギー中性子の放射線荷重係数が見直された。

さらに、宇宙線や大型加速器施設に存在する高エネルギー中性子による平均線質係数の計算結果を考慮して、50MeV以上の高エネルギー中性子の値が小さくなった。

このように、中性子の放射線荷重係数の変更は、いずれも線量評価の観点から行われたものであり、生物影響データの見直しによるものではないことに

注意する必要がある。したがって、線質係数 ($Q(L)$ 関係) の変更はない。

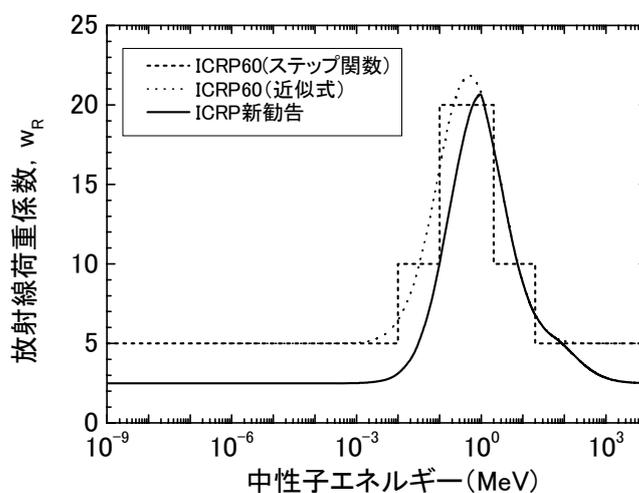


図2 中性子の放射線荷重係数

表1 放射線荷重係数 w_R

| 放射線の種類 | 1990年勧告 | 新勧告 | |
|-------------------------|---------------|-----|----------------|
| 光子 | 1 | 1 | |
| 電子及び μ 粒子 | 1 | 1 | |
| 中性子 | <10 keV 未満 | 5 | |
| | 10keV~100keV | 10 | |
| | 100keV~2MeV | 20 | 連続関数 (図2参照) |
| | 2MeV~20MeV | 10 | |
| | >20MeV | 5 | |
| | *近似として連続関数 | | |
| 陽子 | >2MeV(反跳陽子以外) | 5 | 2 |
| 荷電 π 粒子 | — | — | 2 |
| α 粒子, 核分裂片, 重原子核 | 20 | — | 20 |

(2) 陽子

陽子による被ばくは、實際上、宇宙線や高エネルギー加速器施設における高エネルギー陽子による被ばくしか考えられない。これを考慮して約 10MeV 近辺のデータを基に、エネルギーによらず 2 となっている。

(3) 荷電 π 粒子

高々度飛行時の宇宙線中や高エネルギー加速器施設では、 π 粒子による被ばくがあり得る。実際の場合における π 粒子のエネルギーはかなり広いため、荷電 π 粒子に対してエネルギーによらず 2 という荷重係数が割り当てられた。

2.4 組織荷重係数の変更

ICRP 新勧告の組織荷重係数を 1990 年勧告と比較して表 2 に示す。特徴的なのは、生殖腺の値が半分以下となり、乳房の値が大きくなったことである。また、脳と唾液腺が追加され、残りの臓器・組織の数も増えた。

表 2 組織荷重係数 w_T

| 組織・臓器 | 1990 年勧告 | 新勧告 |
|----------|--------------------|---------------------------|
| 生殖腺 | 0.20 | <u>0.08</u> |
| 骨髄 (赤色) | 0.12 | 0.12 |
| 結腸 | 0.12 | 0.12 |
| 肺 | 0.12 | 0.12 |
| 胃 | 0.12 | 0.12 |
| 乳房 | 0.05 | <u>0.12</u> |
| 膀胱 | 0.05 | 0.04 |
| 肝臓 | 0.05 | 0.04 |
| 食道 | 0.05 | 0.04 |
| 甲状腺 | 0.05 | 0.04 |
| 皮膚 | 0.01 | 0.01 |
| 骨表面 | 0.01 | 0.01 |
| 脳 | — | 0.01 |
| 唾液腺 | — | 0.01 |
| 残りの組織・臓器 | 0.05 ¹⁾ | <u>0.12</u> ²⁾ |
| 合計 | 1.00 | 1.00 |

1) 副腎、脳、小腸、腎臓、筋肉、脾臓、胸腺及び子宮

2) 副腎、胸郭外気道、胆嚢、心臓、腎臓、リンパ節、筋肉、口腔粘膜、脾臓、前立腺(♂)、小腸、脾臓、胸腺及び子宮/子宮頸(♀)

新勧告では、残りの臓器・組織の線量計算方法も変更された。1990年勧告では、残りの臓器・組織の一つが荷重係数が定められた臓器よりも高い線量を受けるときには、その臓器に 0.025 を割り当てるというルール（通称スプリッティングルール）があったが、今回はこれを止め、残りの臓器・組織の等価線量の単純平均に 0.12 を乗ずることになった。

2.5 実効線量の明確化と算出方法の標準化

実効線量は、個々人に依存する量のようにも解釈できる。一方、実際の評価では、標準人の体格に合わせた数学ファントムを用いて得られた線量換算係数が使われている。また、これらの線量換算係数は、多くの研究者によって計算されたが、男女の平均の取り方などが異なっていた。このため、ICRP は、新勧告で、実効線量の対象を明確にするとともに、算出方法の標準化を図った。

まず、ICRP は、実効線量は、個々人の線量ではなく、（線量評価モデル等を含めた）Reference Person のものであることを明確にした。そして、実効線量を用いる主な目的は、

- ・防護計画策定及び最適化のための事前の線量評価
 - ・線量限度、線量拘束値等を満足していることを示すための事後評価
- であるとし、疫学調査や個々人のリスク評価に用いるべきではないとした。

また、ICRP 新勧告では、実効線量の計算方法について、男女平均化のやり方を次図のように決めた。

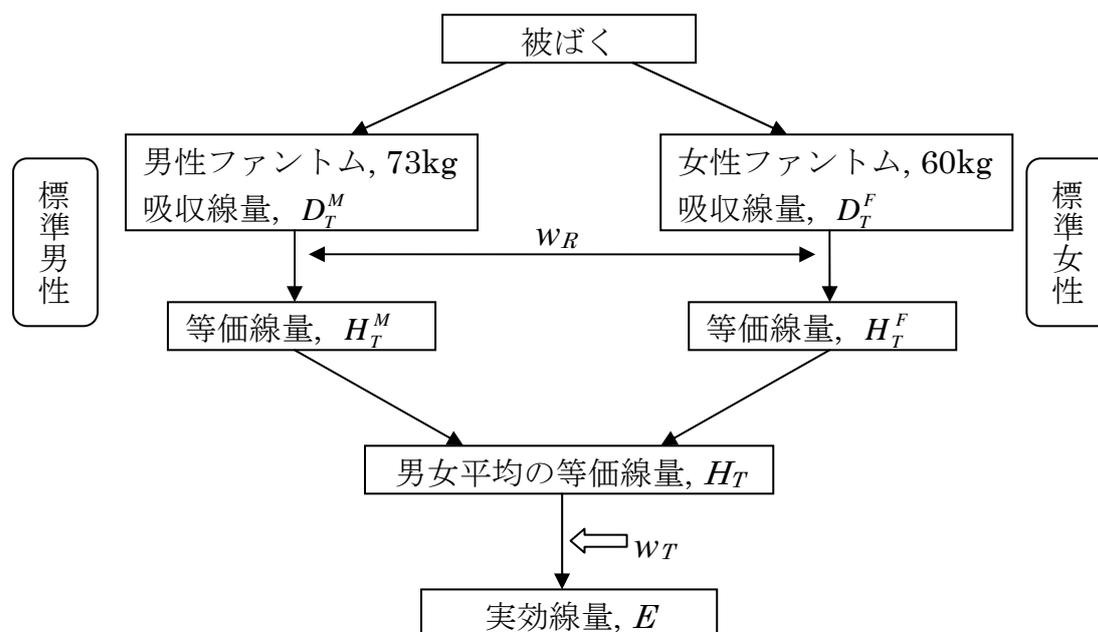


図2 実効線量の計算方法（男女の平均化）

さらに、ICRP は、線量計算用の男女別の標準数学ファントム（ボクセルファントム）を定め、線量計算はこれらを用いて行うこととなった。

2.6 実用量の整理

等価線量及び実効線量は、直接測定できない量であるため、外部被ばくモニタリングのために実用量が導入されている。実用量は、場のモニタリングのための周辺線量当量 $H^*(d)$ と方向性線量当量 $H'(d, \Omega)$ 、個人モニタリングのための個人線量当量 $H_p(d)$ である。 d の値として、10mm、3mm及び 0.07mmが示されており、それぞれ実効線量、眼の水晶体の等価線量及び皮膚の等価線量の評価に用いることになっている。

ICRPは、これまで主報告で実用量を用いた外部被ばく線量測定評価の実際について詳細を述べてこなかった。今回の報告では、例えば、職業被ばくにおいては、実効線量はほとんどの場合、 $H_p(10)$ としてよいことが本文で式の形で明示されているなど、かなり実務的な内容に踏み込んだ記述がされるようである。その中で、これまでの実用量を適用してきた経験を踏まえ、実際に用いる実用量が次の表のように整理されている。

表 3 外部被ばく線量測定に用いる実用量

| 対 象 | 実用量 | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | 場のモニタリング | 個人モニタリング |
| 実効線量の管理 | 周辺線量当量 $H^*(10)$ | 個人線量当量 $H_p(10)$ |
| 皮膚、末端部及び眼 の水晶体の管理 | 方向性線量当量 $H'(0.07, \Omega)$ | 個人線量当量 $H_p(0.07)$ |

$H'(3, \Omega)$ 及び $H_p(3)$ が含まれていないのは、実務では用いられておらず、ほとんどの場合 $H_p(0.07)$ から評価できるためである。

さらに、これまでは強透過性放射線に対して方向に依存しない周辺線量当量 $H^*(d)$ を、弱透過性放射線に対して方向に依存する方向性線量当量 $H'(d, \Omega)$ を用いるという考え方があったが、上記の表のように整理することで、もはや強透過性／弱透過性放射線という用語は必要ないことが述べられている。

3. 新報告による外部被ばく線量測定・評価への影響

ICRP 新報告はまだ出版されておらず、また、新しい荷重係数に基づく線量換算係数が示されるのもこれからである。このため、外部被ばく線量測定・評価に与える具体的な影響について詳細な考察はできないが、考えられる事項を紹

介したい。

現時点で、ICRP 新勧告の外部被ばく線量測定・評価への影響として、以下のことが言える。

- サーベイメータや個人線量計による線量「測定」実務への影響はない。
- 中性子に関し、実用量が実効線量を過小評価するエネルギー領域が狭まった。
- 遮へい計算等の実効線量の「計算評価」は、荷重係数変更の影響を受ける。
- 航空機乗務員や宇宙飛行士等の線量評価が合理的な方向へ進む。

3.1 外部被ばく線量「測定」実務への影響

外部被ばく線量測定は、実用量を用いて行われる。今回の新勧告で、測定に用いる実用量の定義に変更はない。また、中性子の放射線荷重係数は変更されたが、これは生物学的知見によるものではないため、線質係数 $Q(L)$ 関係は変更されない。したがって、実用量の線量換算係数に変更はなく、したがって、サーベイメータや個人線量計による測定への影響はない、と言える。

3.2 実用量からの防護量の評価（算定）への影響

実用量と防護量の対応関係が整理された。しかし、これらの関係は、ICRP Publ.74 のものとはほぼ同じであることから、すでに我が国では導入済みである。唯一の違いは、眼の水晶体の等価線量の評価について、現行法令等では「 $H_p(10)$ 又は $H_p(0.07)$ のどちらか適切な方」となっているが、新勧告では $H_p(0.07)$ を主としている点である。しかし、新勧告では $H_p(0.07)$ でなければならないとは記述していないこと、実際上 $H_p(0.07) > H_p(10)$ であれば、 $H_p(0.07)$ を採用していること、そうでなければほぼ $H_p(0.07) \doteq H_p(10)$ であることから、実際への影響は少ないと考えられる。

3.3 中性子の実用量と実効線量との関係

ICRP 1990 年勧告では、中性子について放射線荷重係数と $Q(L)$ 関係の両方が変更され、その結果、実用量 ($H^*(10)$ 及び $H_p(10)$) が実効線量を安全側に評価しないエネルギー領域が広い範囲 (約 1eV から 40keV、約 3MeV から 13MeV 及び約 40MeV 以上) にわたって存在している。今回の放射線荷重係数の変更により、約 1eV から 40keV については安全側評価となった。このため、実用量の保守性に関する懸念は、高エネルギー中性子を除き、ほぼ解消されると言える。

3.4 実効線量の計算評価への影響

原子力・放射線施設の遮へい計算においては、実効線量への換算係数が用いられている。今回の勧告で、中性子の放射線荷重係数が変更された。また、組

織荷重係数が変更された。さらに、数学ファントムも新しくなるため、これによる変化もある。したがって、線量換算係数が変更されることになり、結果として遮へい計算は影響を受けることになる。

どの程度の影響を受けるかについては、上記の複数の要因が関係するため、現時点では明確ではない。しかし、光子については、影響は大きくはなさそうである¹⁾。一方、中性子については、放射線荷重係数が大きく変更されているため、影響を受けることになろうが、すべて実効線量が小さくなる方向である。

また、宇宙線等の高エネルギー中性子・陽子による被ばく線量評価について、ICRP は、今回の勧告で、これまでの計算シミュレーションによる研究成果を基に合理的な荷重係数等を提供したと言えそうである。したがって、航空機乗務員の被ばくや大型加速器施設において、合理的な線量評価が可能になることが期待される。

4. おわりに

ICRP 新勧告による外部被ばく線量評価関連の変更点をまとめ、現時点で考えられる変更が及ぼす影響について簡単に紹介した。外部被ばく線量測定・評価の観点では、今回の新勧告は、現状の測定・評価体系をかなり意識して、その影響を最小限に抑えつつ、以前からの問題点を解消させる内容となっており、大いに評価できる内容となっている。特に、実用量を中心とした外部被ばく線量測定について、基本勧告でここまで詳細に記述されたのは初めてであろう。これについても評価はできるが、一方で ICRU との関係が懸念されるところである。

参考文献

- 1) 高橋史明：日本保健物理学会第 41 回研究発表会、放射線防護における線量評価：基調講演「放射線防護における線量評価」(2007)