《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 68 と Publication 72 の紹介

稲 葉 次 郎^{*1}

ICRP Publication 68 and 72 : An Introduction

Jiro INABA^{*1}

I ICRP Publication 68 作業による放射性核種の摂取についての線量係数—ICRP Publication 61 に置き換わるもの—

内部被ばくに関し、ICRP では Publication 30 (1979 年ほか) において、線量算定の一連のシステムを展開した上で、Publication 26 (1977 年) に表した基本的な線量限度に対応するところの補助限度である年摂取限度 (ALI) を勧告した。線量算定の一連のシステムの展開とは線量算定のための線量計算モデルを構築し、人体ファントムを確定し、放射性核種の体内動態モデルとパラメータを定めたことである。ただし、表題で作業者によるとあるように、職業被ばくを念頭に置いていることが特徴である。そこに表された ALI の値は基本限度と共に現行のわが国の法令に取り入れられているものである。

1990 年に新しい勧告が Publication 60 として刊行され、そこでは用語の改訂と放射線防護に関する考え方の若干の修正が行われ、と同時に基本的な線量限度の改訂ならびに内部被ばく線量算定にも用いる組織荷重係数の改訂も行われた。当然のことであるが、従来の Publication 30 の ALI の値は改訂を迫られ、Publication 61 (1991 年) において Publication 60 に採用された線量限度と組織荷重係数を用いた ALI の値の計算のし直しが

行われた。

Publication 61 刊行以降 ICRP は呼吸気道モデルの改訂を行い Publication 66 として刊行した。また、公衆のための内部被ばく線量計算が行われ、Publication 56, 67, 69 および 71 として刊行された。そこでは 31 元素に限ってではあるが、体内動態のモデルとパラメータについて見直しが行われている。本報告書 Publication 68 はこれらの最新の情報に基づいての Publication 61 の改訂版に相当する。31 元素を除く元素に関しては原則的に Publication 30 で用いた体内動態モデルとパラメータを用いて線量計算を行っているが、それらに関しては次回の改訂の際に見直しが行われることになっている。なお、Publication 61 が「年摂取限度」を表示しているのに対し Publication 68 では「線量係数」を表示していることも特徴の一つである。多様な場面への適用を考えてのことである。線量係数は実効線量のみを扱っており、等価線量は扱っていない。

Publication 30 と比較しての Publication 68 の特徴は下記である。

1. 呼吸気道モデル

Publication 66 に記載のモデルを用い、職業被ばくであることから標準として、軽作業を行う成人男子が鼻呼吸により AMAD $5\mu\text{m}$ の放射性粒子を吸入した時の線量係数を表示している。従来の数値との比較ができるように AMAD $1\mu\text{m}$ の値も表に入れてあるが、特定作業環境での粒径が特定できない場合には AMAD $5\mu\text{m}$ の使用を推奨している。呼吸気道の領域の分類を含め Publication 66 のモデルは Publication 30 とは大きく異なる。

^{*1} 放射線医学総合研究所科学研究所官：千葉市稲毛区穴川 4-9-1 (〒263-8555)

Deputy Director General, National Institute of Radiological Sciences: 4-9-1, Anagawa, Inage-ku, Chiba 263-8555, Japan.

沈着したものの呼吸気道からのクリアランスに関して Publication 30 ではクラス D, W, Y と分けていたが、新しい呼吸気道モデルでは呼吸気道からの血流中への吸収速度に着目して粒子を 3 種のタイプ F, M, S に分類している。個々の化合物ごとにタイプの検討を行っているが、多くの場合クラス D, W, Y はそれぞれタイプ F, M, S に対応すると考えている。ガスと蒸気については可溶性と反応性からクラス SR-1, SR-2, SR-0 の 3 種に分けて考えている。

2. 胃腸管モデル

基本的には Publication 30 のモデルであり、変更はない。ただし、Publication 60 では結腸に組織荷重係数を与えたことからその線量は大腸上部と下部の線量の質量加重平均線量として計算し、食道に組織荷重線量を与えたことに関しては胸腺の比吸収割合を適用している。胃腸管からの吸収 f_1 について Publication 56, 67, 69 に記載されている元素に関してはそこで用いた数値を採用しているが、その他は Publication 30 の数値を使用している。

3. 体内動態モデル

Publication 56, 67, 69 に記載されている元素に関してはそこでのモデルを用い、その他は Publication 30 のモデルを用いた。Publication 56, 67, 69 で採用されたモデルのうちアルカリ土類及びアクチノイド元素に関するものは生理学に基づくモデルになっていることが特徴的である。

4. 全身性放射能の排泄経路

Publication 60 で膀胱と結腸に組織荷重係数を与えたことから尿排泄と糞排泄での両臓器への等価線量を計算した。このため、元素別に尿と糞での排泄割合を明らかにした。

5. 線量計算

組織荷重係数が与えられている臓器と残りの臓器に分けて考える。胸郭外気道 ET 領域は残りの臓器にはいる。残りの臓器の組織荷重係数 0.05 はその中で最大の線量となる臓器に 0.025 を、その他の残りの臓器に 0.025 を割り当て、後者については質量荷重等価線量を計算する。1 Bq 摂取後の預託実効線量を線量係数 $e(50)$ と呼び、その単位は Sv Bq^{-1} である。

6. 補助限度

年摂取限度 ALI は 5 年間の平均年線量限度である 0.02 Sv を $e(50)$ で除した値である。

7. 線量係数の表

経口摂取及び粒子の吸入摂取に係わる実効線量係数、可溶性あるいは反応性ガスに係わる実効線量係数、不活

性ガスに係わる実効線量率が表示されており、さらに経口摂取に関連して化合物別の f_1 値、ならびに吸入摂取に関連して化合物別の肺クリアランスタイプと f_1 値も表示してある。

II ICRP Publication 72 放射性核種の摂取による 公衆の構成員の年齢依存線量：第 5 部 経口摂取 線量係数と吸入摂取線量係数のとりまとめ

Publication 68 が作業者という職業被ばくを対象にしていたのに対し、こちらは公衆被ばくを対象にして内部被ばく線量係数を取りまとめたものである。

種々の年齢の構成員よりなる公衆の年摂取限度あるいは線量係数については Publication 30 の刊行以来求められ続け、チェルノブイリ事故も契機になって国際的に受け入れられる公衆用線量係数の必要性がいよいよ高まったことから、ICRP では Publication 56, 67, 68 を刊行して経口摂取時の年齢別内部被ばく線量係数を表し、Publication 71 において吸入摂取時の年齢別内部被ばく線量係数を表した。それぞれは、放射線防護上重要な核種を含む 31 元素に関し、体内動態について Publication 30 のモデルの見直しを行ってそれらを記述し、3 カ月、1 歳、5 歳、10 歳、15 歳および成人の年齢別体内動態パラメータを設定し、それぞれの年齢のファントムによる比実効エネルギーを用いて主要臓器の等価線量と実効線量の計算を行ったものである。

年齢別とは年齢により 6 種に分けているということであるが、それぞれは下記の年齢群を代表するものとして考えられている。

3 カ月：誕生から 1 歳未満（乳児）

1 歳：1 歳以上 3 歳未満

5 歳：3 歳以上 8 歳未満

10 歳：8 歳以上 13 歳未満

15 歳：13 歳以上 18 歳未満

成人：18 歳以上

本報告書は上記 4 報告書の中の実効線量の表のみを取りまとめてあるが、そのみならず上記 4 報告書で取り扱われなかった 60 元素についても実効線量を計算し、表に入れてある。これらの元素の核種の体内動態は Publication 30 に記載してあるものを用いたが、 f_1 値は 3 カ月齢の場合には高い値を用いるなどの考慮は行っている。これらも表に含めたのは、放射線防護の実務に当てるために Publication 68 で扱った全ての核種について線量係数がある方が便利であるとの考えに基づくものである。60 元素については、体内動態についての見直しが行われていないため、31 元素に比べれば線量係数の精度

は低い可能性がある。

Publication 30 と比較しての Publication 72 の特徴は下記である。

1. 食物摂取の考慮

公衆による摂取の場合経口摂取経路が重要であるが、その際食品中に取り込まれている核種は無機形のそれより消化管での吸収率が高いことが考えられ、Publication 56, 67, 69, 71 で扱った元素では f1 値の決定に当たりその点に考慮を払った。その他の元素では下記の 3 カ月で代表される乳児の場合を除いて Publication 30 および 68 と同じ数値を用いている。

2. 年齢依存

前述のように Publication 56, 67, 69, 71 で扱った元素に関して年齢群別に体内動態モデルとパラメータの見直しを行ったが、その他の元素では Publication 30 と同じ数値を用いた。乳児の f1 は OECD/NEA の専門家グループが作った原則、すなわち成人で f1 が 0.5 より大きいものでは乳児の f1 は 1.0、成人で 0.5 から 0.01 の間の f1 では乳児のそれは成人の 2 倍、成人で 0.001 以下では乳児で成人の 10 倍、を当てはめている。

3. 吸入摂取

原則的に Publication 71 で Publication 66 「人呼吸気道モデル」に基づき元素と化学形別に実態的なパラメータを定めて検討された数値を用いた。その他の元素では Publication 30 でクラス D, W, Y と定めていたものをそのままタイプ F, M, S と読み替えている。公衆との観点ですべての元素で吸入エアロゾルの粒径は AMAD $1\mu\text{m}$ を仮定し、呼吸生理は 1 日 24 時間の平均値を用いている。従って、同じ成人であっても線量係数は AMAD $5\mu\text{m}$ のエアロゾルを軽作業中に吸入することを仮定している職業人のものとは異なることが多い。

4. ガスと蒸気

放射性のガスと蒸気は下記の 3 種のクラスに分けて考

える。

クラス SR-0：不溶性あるいは非反応性（気道内沈

着は無視できる）

クラス SR-1：可溶性あるいは反応性（気道内全体に沈着）

クラス SR-2：高可溶性あるいは反応性（実質的にすべてが ET2 に沈着）

クラス SR-1 と SR-2 については年齢依存で単位吸入量あたりの実効線量が線量係数として表示してあるが、クラス SR-0 についてはアルゴン、クリプトン、キセノンという不活性ガスについてのみ、また成人についてのみ単位空気中濃度あたりの実効線量率の形で表示している。

5. 体内動態モデル

Publication 56, 67, 69 において従来の Publication 30 でのモデルに比し線量計算に意味があり、生理学的に合理的なモデルとすることに考慮が払われた。特に、アルカリ土類元素およびアクチニド元素ではそれぞれ統一的なモデルを開発したが、それらは血液を中心に循環のあるモデルで、20 を越えるコンパートメントと 30 を越える速度定数からなり、従来のものに比し相当複雑であるといえる。

6. 作業員の Ra-226 吸入線量係数

作業員が Ra-226 を吸入したときの線量係数につき Publication 68 で採用していた値とは異なる値を新しく採用することとした。すなわち、Ra-226 を吸入した場合崩壊生成物である Rn-222 のかなりの割合が肺から逃げるであろうことを考慮して線量計算をし直した値が付録 B に記載されている。

なお、Publication 72 の線量係数は前述の Publication 68 のそれと同様に IAEA を初めとする種々の国際機関が放射線安全を考えるときの基礎とする International Basic Safety Standards に採用されており、またヨーロッパ連合の放射線安全に関わる Euratom Directive でも用いられており、今後相当期間国際的に使用されることになる。

トリチウム，セシウム，プルトニウムに関する公衆の構成員および作業者の線量係数

トリチウム（水）の線量係数 (SvBq^{-1})

	f1	経口摂取	吸入摂取
3 カ月	1.00	6.4 E-11	2.6 E-11
1 歳	1.00	4.8 E-11	2.0 E-11
5 歳	1.00	3.1 E-11	1.1 E-11
10 歳	1.00	2.3 E-11	8.2 E-12
15 歳	1.00	1.8 E-11	5.9 E-12
成人（公衆）	1.00	1.8 E-11	6.3 E-12
成人（作業者）	1.00	1.8 E-11	1.8 E-11

Cs-137 の線量係数 (SvBq^{-1})

	f1	経口摂取	吸入摂取
3 カ月	1.00	2.1 E-08	8.8 E-09
1 歳	1.00	1.2 E-08	5.4 E-09
5 歳	1.00	9.6 E-09	3.6 E-09
10 歳	1.00	1.0 E-08	3.7 E-09
15 歳	1.00	1.3 E-08	4.4 E-09
成人（公衆）	1.00	1.3 E-08	4.6 E-09 (1 μm)
成人（作業者）	1.00	1.3 E-08	6.7 E-09 (5 μm)
成人（作業者）	1.00	1.3 E-08	4.8 E-09 (1 μm)

Pu-239 の線量係数 (SvBq^{-1})

	f1	経口摂取	吸入摂取 (Type M)
3 カ月	0.005	4.2 E-06	8.0 E-05
1 歳	0.0005	4.2 E-07	7.7 E-05
5 歳	0.0005	3.3 E-07	6.0 E-05
10 歳	0.0005	2.7 E-07	4.8 E-05
15 歳	0.0005	2.4 E-07	4.7 E-05
成人（公衆）	0.0005	2.5 E-07	5.0 E-05 (1 μm)
成人（作業者）	0.0005	2.5 E-07	3.2 E-05 (5 μm)
成人（作業者）	0.0005	2.5 E-07	4.7 E-05 (1 μm)