

ICRP2007年勧告に準拠した線量評価手法やデータ等 (1990年勧告からの主な変更点) について

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構



高橋 史明

未来へげんき
To the Future / JAEA

令和5年3月20日（月）第158回放射線審議会総会

構成

- 2007年勧告に準拠した線量評価手法やデータ等（1990年勧告からの主な変更点）について
- 2007年勧告以降における国際的な動向（外部被ばくモニタリングや組織反応を防止するための線量限度に用いられる諸量の見直し）
- まとめ

2007年勧告に準拠した線量評価手法やデータ等
(1990年勧告からの主な変更点) について

線量評価の基礎となるICRP刊行物のまとめ (1)

実効線量係数等の導出に関するデータやモデルに係るICRP刊行物 (1990年勧告、2007年勧告準拠)
 ⇒最新の知見を反映して改定され、2007年勧告に準拠したモデルやデータを含む刊行物が順次公開

| Publ. に含まれる線量評価モデルやデータ等 | 1990年勧告に準拠 | 2007年勧告に準拠 | 該当スライド |
|----------------------------------|----------------------------------|---|--------|
| 外部被ばく線量評価・内部被ばく線量評価に関するもの | | | |
| 線量の定義、線量限度 | Publ. 60 | Publ. 103 (Publ. 60から変更なし) | P6 |
| 外部被ばくモニタリングのための実用量 | ICRU Report 57 (Publ. 74) (変更なし) | | P6 |
| 放射線加重係数、組織加重係数等 | Publ. 60 | Publ. 103 | P7 |
| 解剖学的・生理学的 (標準人) データ | Publ. 23 | Publ. 89 | P8 |
| 線量評価用人体モデル | 成人、小児ともにMIRD型ファントム※ | 成人：Publ. 110、小児：Publ. 143 | P9 |
| 内部被ばく線量評価に関するもの | | | |
| 核崩壊データ | Publ. 38 | Publ. 107 | P12 |
| 内部照射エネルギー吸収割合 (SAF) データ | Publ. 30 (電子、 α 粒子) | 成人：Publ. 133、小児 (公衆)：検討中 (光子、電子、 α 粒子、中性子) | P13 |
| ヒト呼吸気道モデル、エアロゾル沈着モデル (吸入摂取時の初期値) | Publ. 66 | Publ. 130 | P14 |
| ヒト消化管モデル | Publ. 30 | Publ. 100 | P15 |
| 全身動態モデルと子孫核種の取扱い | Publ. 30, 56, 67, 69, 71 | 作業員：Publ. 130, 134, 137, 141, 151 年齢依存モデル (公衆)：検討中 | P16 |

※ICRPが標準ファントムとして定めたものはない。実態として、内部被ばくでは、ORNL/TM-8381の年齢別MIRD型ファントムを用いて年齢依存を考慮していた。外部被ばくでは、ORNL/TM-8381の成人MIRD型ファントムとその派生ファントムが用いられた (成人のみ計算)。ただし、2007年勧告以降は、外部被ばくでもPubl. 144で年齢依存を考慮に入れている。

線量評価の基礎となるICRP刊行物のまとめ (2)

実効線量係数に関する事項 (1990年勧告、2007年勧告準拠)

| Publ. に含まれる線量評価用のデータ等 | 1990年勧告に準拠 | 2007年勧告に準拠 | 該当スライド |
|---------------------------|--|--|---------|
| 外部被ばく線量評価用の換算係数データ | Publ. 74 (1996) ⇒ RI数量告示別表第5及び第6で参照 | Publ. 116 (2010) | P17-19 |
| 内部被ばく線量評価用の線量係数データ (作業員) | Publ. 68 (1994) ⇒ RI数量告示別表第2及び第3で参照 | Publ. 134 (2016), Publ. 137 (2017), Publ. 141 (2019), Publ. 151 (2022) | P20, 21 |
| 内部被ばく線量評価用の線量係数データ (公衆) | Publ. 72 (1995) ⇒ RI数量告示別表第2及び第3で参照 | 公衆による放射性核種の摂取に対する線量係数Part 1ドラフト (パブリックコメント用に2023年2月公開) Part 2以降：検討中 | — |
| 作業員に対する内部被ばくモニタリングの解釈用データ | Publ. 78 (1997) | Publ. 134 (2016), Publ. 137 (2017), Publ. 141 (2019), Publ. 151 (2022) | P20 |

2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価に関する刊行物

2023年2月時点でも一部検討中

⇒ 線量評価モデルやデータの大幅な見直し (例、全身体内動態モデルの全面的な見直し) のため

2007年勧告における諸量の定義等

- 防護量 (実効線量等) の定義 (概念) : **1990年勧告から変更なし**

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \quad , \quad E = \sum_T w_T H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

$D_{T,R}$: 放射線のタイプRによる特定の臓器・組織Tの体積中における平均吸収線量 (Gy)、

H_T : 臓器・組織Tの等価線量 (Sv)、 E : 実効線量 (Sv)、 w_R : 放射線加重係数、 w_T : 組織加重係数

- 実効線量限度 : 職業被ばく、公衆被ばくともに**1990年勧告から変更なし**

| 限度のタイプ | 職業被ばく | 公衆被ばく |
|--------|--|------------|
| 実効線量 | 定められた5年間の平均として年間20 mSv (いかなる1年も50 mSvを超えない) | 1年につき1 mSv |

- 外部被ばくモニタリングのための実用量

外部被ばくモニタリングのための種々の実用量の適用 (Publ. 103, 表B.5)

| タスク | 以下の量に対する実用量 | |
|----------------------|--------------------|-------------|
| | エリアモニタリング | 個人モニタリング |
| 実効線量の管理 | $H^*(10)$ | $H_p(10)$ |
| 皮膚、末梢部、眼の水晶体*1の線量の管理 | $H'(0.07, \Omega)$ | $H_p(0.07)$ |

*1ICRU : 目の水晶体の線量に関して $H'(3, \Omega)$ 及び $H_p(3)$ を提案

実用量の定義及び適用 : 1990年勧告から変更なし

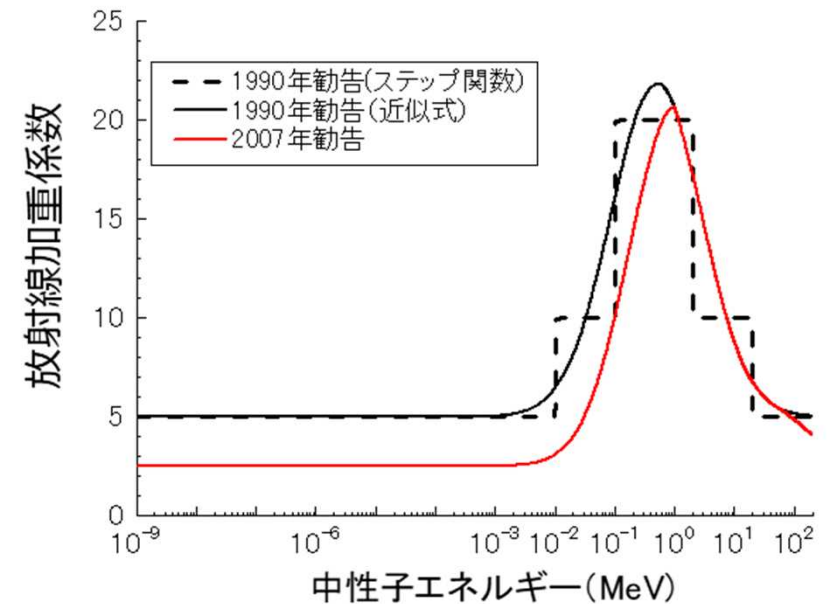
- 内部被ばくモニタリング

体内又は排泄物中の放射能に基づく摂取量の評価により、勧告される線量係数を用いて預託実効線量を決定

放射線加重係数及び組織加重係数の変更

・放射線加重係数 (w_R) の見直し

| 放射線の種類 | 1990年勧告 | 2007年勧告 |
|-----------------------|---------------------|---------|
| 光子、電子、 μ 粒子 | 1 | 1 |
| 陽子 | 5 | 2 |
| 荷電 π 粒子 | - | 2 |
| α 粒子、核分裂片、重原子核 | 20 | 20 |
| 中性子 | 右図 (エネルギーに対する関数で付与) | |



・組織加重係数 (w_T) の見直し

| 臓器・組織 | 1990年勧告 | 2007年勧告 |
|--------------|--------------------|--------------------|
| 赤色骨髄、結腸、肺、胃 | 0.12 | 0.12 |
| 乳房 | 0.05 | 0.12 |
| 生殖腺 | 0.20 | 0.08 |
| 膀胱、食道、肝臓、甲状腺 | 0.05 | 0.04 |
| 骨表面、皮膚 | 0.01 | 0.01 |
| 脳、唾液腺 | — | 0.01 |
| 残りの組織 | 0.05 ^{*1} | 0.12 ^{*2} |

*1 下記の臓器・組織 (総数10)

副腎、脳、胸郭外領域、小腸、腎臓、
筋肉、膵臓、脾臓、胸腺、子宮

*2 下記の臓器・組織 (各性の総数13)

副腎、胸郭外領域、胆嚢、心臓、
腎臓、リンパ節、筋肉、口腔粘膜、
膵臓、小腸、脾臓、胸腺、
前立腺 (男性のみ)、子宮頸部 (女性のみ)

2つの加重係数 (w_R, w_T) の数値 : (1990年勧告) Publ. 60 \Rightarrow (2007年勧告) **Publ. 103**

解剖学的・生理学的データ（標準人データ）の更新

Publication 23 (Report of the Task Group on Reference Man*) *Reference Man (標準人)

- 放射線量(被ばく線量)の評価に用いる解剖学的数値データ・生理学的数値データ



Publication 89 (A report of age- and gender-related differences in the anatomical and physiological characteristics of reference individuals)

- Publication 23の公開以降に利用可能となった新しい情報を統合
- 年齢、性別、人種、他の要因に起因する個人差に関する情報を提供
- 新生児、1歳、5歳、10歳、15歳及び成人の6年齢群の標準男性と標準女性に対する基準値
(従来の“Reference Man”からの移行)
- 基準値は、西欧人及び北米人に関するデータを適用し、必要に応じてアジア人の集団からのデータとの間で比較

Publ. 89に掲載されている各年齢(性別)の体格及び日呼吸量のデータ

| | | | | |
|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 年齢 | 新生児(男女共通) | 1歳(男女共通) | 5歳(男女共通) | 10歳(男女共通) |
| 身長-体重 | 51 cm-3.5 kg | 76 cm-10 kg | 109 cm-19 kg | 138 cm-32 kg |
| 日呼吸量 | 2.8 m ³ | 5.1 m ³ | 8.8 m ³ | 15.2 m ³ |
| 年齢 | 15歳(男性) | 15歳(女性) | 成人(男性) | 成人(女性) |
| 身長-体重 | 167 cm-56 kg | 161 cm-53 kg | 176 cm-73 kg | 163 cm-60 kg |
| 日呼吸量 | 20.1 m ³ | 15.8 m ³ | 22.2 m ³ | 18.2 m ³ |

標準ファントムの定義

実効線量の基礎となる臓器・組織の平均吸収線量については、人体形状を模擬したモデル（ファントム）を用いた計算シミュレーションにより算出

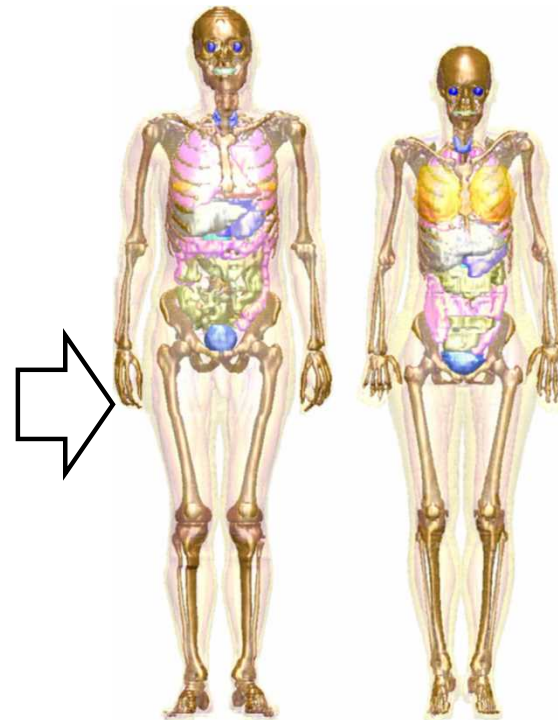
⇒ 2007年勧告において、**Publ. 89のデータを参照した標準ファントムを新たに定義**



MIRD型ファントム (ORNL/TM-8381/V1等)

- 数式を用いて、人体の形状や臓器・組織の区分を表現
- Publ. 23の標準人データを参照し、体格や臓器・組織の質量を定義
- 両性具有、男女別等の異なるファントムの利用例が確認

(国際標準モデルなし)



ボクセルファントム※ (成人：Publ. 110、 小児：Publ. 143)

- 医用断層画像に基づき、解剖学的な側面から人体をより精緻に表現
- Publ. 89の標準男性、標準女性のデータを参照し、体格、臓器・組織の質量を定義

• **実効線量の導出に用いる国際標準モデル**

(詳細、次ページ参照)

※ボクセル (volume pixel) と呼ばれる微小な直方体を積み重ねて構築された人体モデル

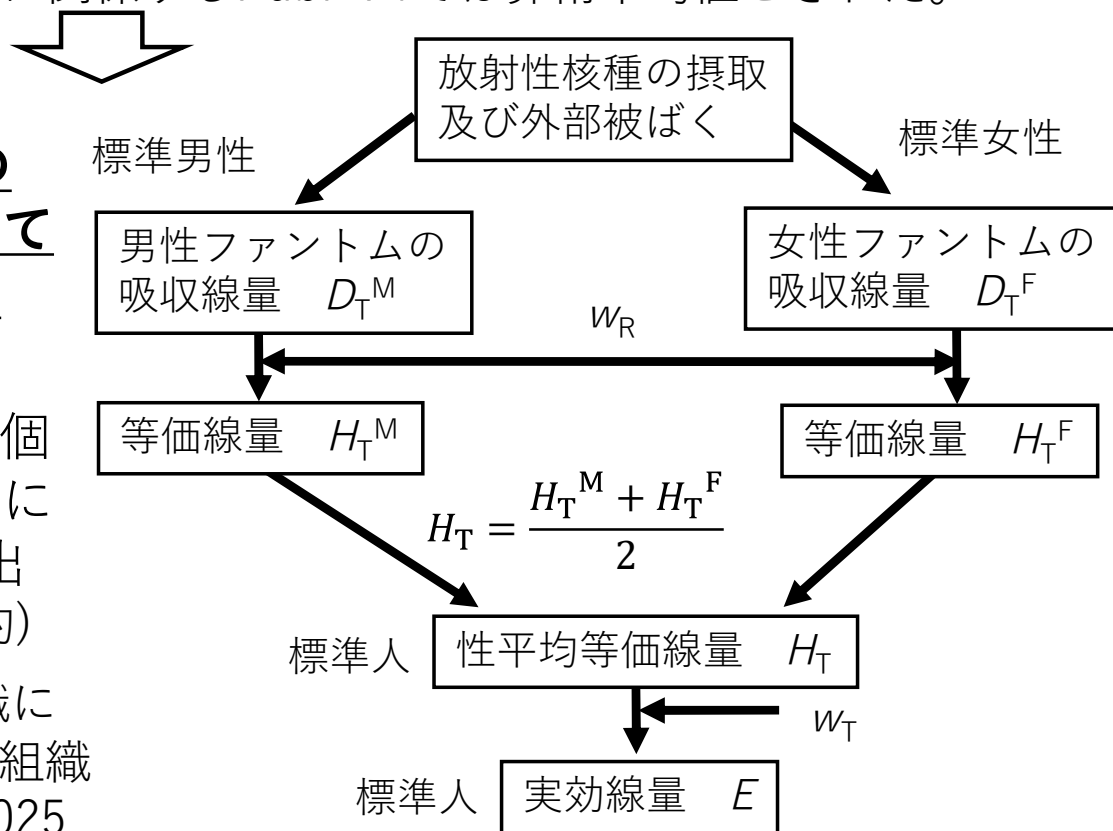
実効線量の導出方法の明確化

1990年勧告 (Publ. 60) では、臓器・組織の平均吸収線量から実効線量の具体的な導出方法について詳細な解説がなかったため、異なるプロセスの適用が確認されていた。

- Publ. 74の第65段落：「**実効線量の値を計算するやり方には、公表された科学文献の中でかなりの違いがみられる。**」(⇒ 背景として、男女別、両性具有のファントムの適用等)
- 残りの組織の等価線量について、内部被ばく線量評価に関するPubl. 68及びPubl. 72では質量加重平均した一方で、外部被ばく線量評価に関するPubl. 74では算術平均値とされた。

- **2007年勧告 (Publ. 103) では、両性の標準人に基づく標準ファントムを用いて実効線量を導出するというプロセスや方法を明確化 (右図)**

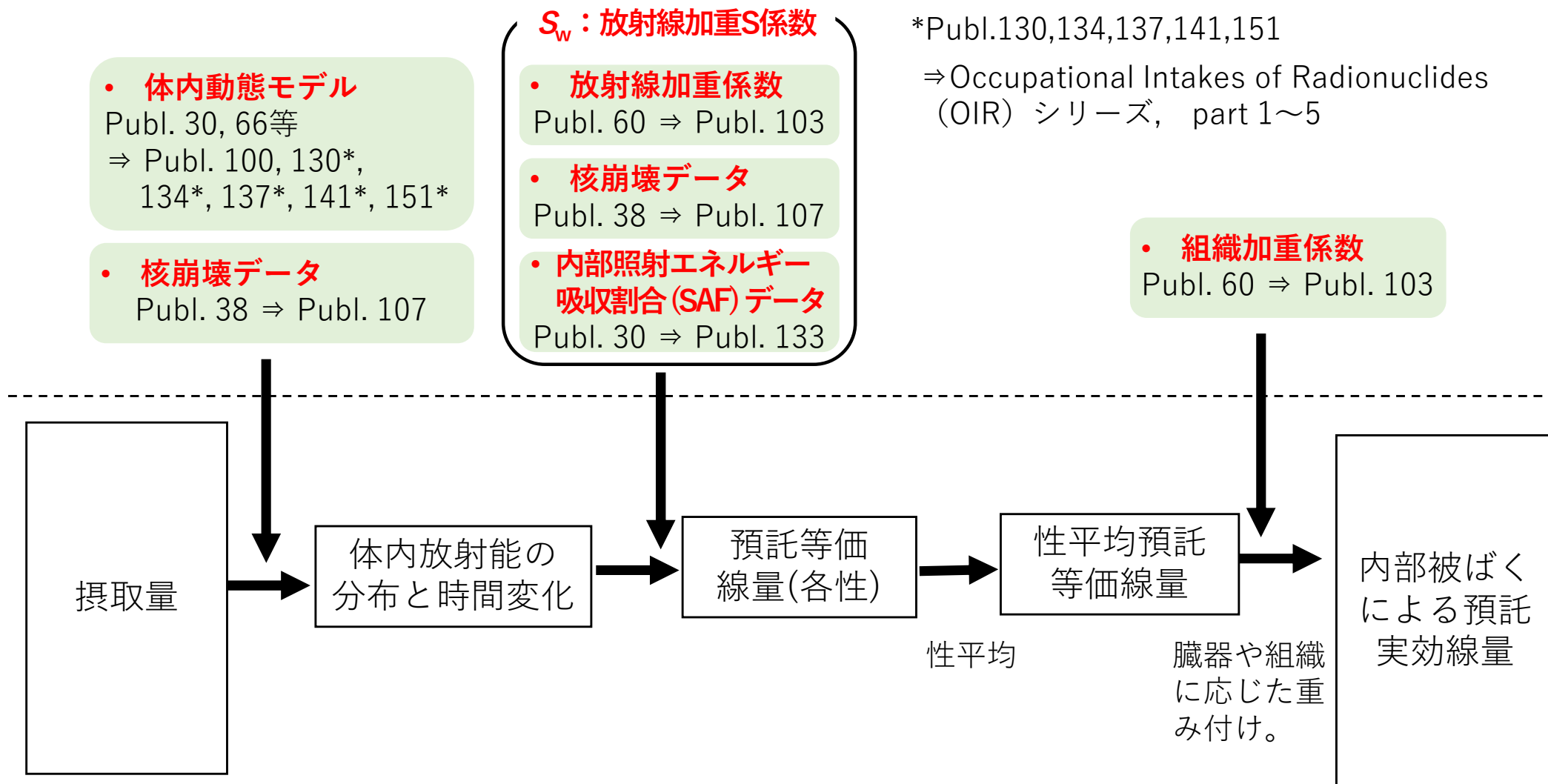
- “残りの組織”の等価線量は、各性で13個の臓器・組織の等価線量の算術平均値に組織加重係数 (w_T) の0.12を乗じて導出 (質量加重平均の場合、筋肉の線量が支配的)
- 1990年勧告の“分割ルール” (残りの組織に含まれる臓器・組織の線量が他の全臓器・組織よりも大きい場合、組織加重係数として0.025 (0.05の半分) を付与) を廃止



Publ. 103, 図2を一部改変 (内部被ばくによる預託実効線量については、実際にはP17に示すステップで導出)

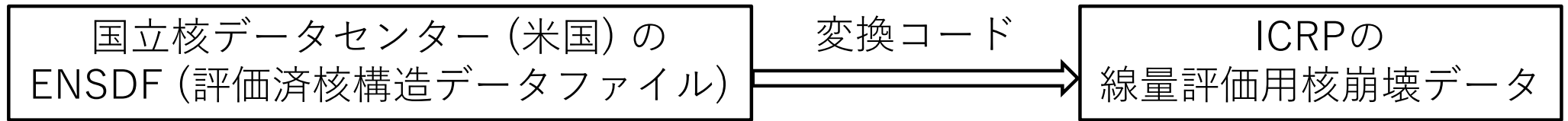
➤ 各核種の摂取量から、預託等価線量及び預託実効線量を導出する。

計算にあたって関連するモデルやデータ、係数等



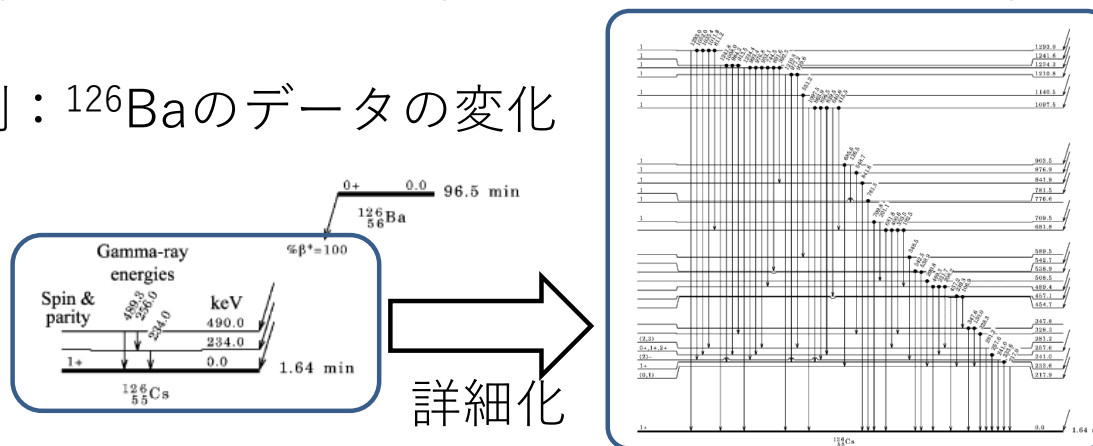
核崩壊データ*に関する変更点

*放射性核種の壊変様式、半減期、並びに放出放射線の種類、エネルギー及び放出率に関するデータ



| 項目 | Publ. 38 | Publ. 107 |
|------------|--|--|
| ENDSFバージョン | 1978年版 | 2003年版 |
| 変換コード | EDISTR | EDISTR04 |
| 収録データ | <ul style="list-style-type: none"> ・インデックスファイル ・放射線データ ・β線スペクトルデータ | <ul style="list-style-type: none"> ・インデックスファイル ・放射線データ ・β線スペクトルデータ ・中性子スペクトルデータ ・オージェ-CK電子スペクトルデータ |
| 収録核種数 | 98元素838核種 | 97元素*1252核種 |

例： ^{126}Ba のデータの変化



・収録データの詳細化

・収録核種数の増加

* Z=100までの元素のデータが収録(Publ.38に含まれ、Z=101のMdの同位元素は不収録)

内部照射エネルギー吸収割合 (SAF) データに関する変更点

SAF: Specific Absorbed Fraction, 比吸収割合 (単位: kg^{-1})

| | 1990年勧告に準拠 | 2007年勧告に準拠 |
|----------------|---|--|
| 光子 | MIRD型ファントムを用いて 0.01~5 MeVについて計算 | 標準ファントム (ボクセルファントム) を用いて0~10 MeVについて計算 |
| 電子 全身 | 発生場所に全エネルギーが沈着すると仮定、 エネルギー依存性なし | 標準ファントム (ボクセルファントム) を用いて0~10 MeVについて計算 |
| 骨領域 | 一定の割合でエネルギー吸収が起こると 仮定 ^{*1} 、エネルギー依存性なし | 微細構造を考慮したモデル ^{*2} で 0~10 MeVについて計算 |
| 消化管領域 | 一定の割合でエネルギー吸収が起こると 仮定 ^{*1} 、エネルギー依存性なし | 微細構造を考慮したモデル ^{*3} で 0~10 MeVについて計算 |
| 呼吸気道領域 | 微細構造を考慮したモデル ^{*4} で 0~9 MeVについて計算 | 微細構造を考慮したモデル ^{*4,5} で 0~10 MeVについて計算 |
| α 粒子 全身 | 発生場所に全エネルギーが沈着すると仮定、 エネルギー依存性なし | 発生場所に全エネルギーが沈着すると仮定、 エネルギー依存性なし |
| 骨領域 | 一定の割合でエネルギー吸収が起こると 仮定 ^{*1} 、エネルギー依存性なし | 微細構造を考慮したモデル ^{*6} で 0~12 MeVについて計算 |
| 呼吸気道領域 | 微細構造を考慮したモデル ^{*4} で 0~11 MeVについて計算 | 微細構造を考慮したモデル ^{*4,5} で 0~12 MeVについて計算 |
| 中性子 | MIRD型ファントムで ²⁵² Cfについて計算 ^{*7} 、 他の核種にも準用 | 標準ファントム (ボクセルファントム)を 用いて核種毎に計算 |

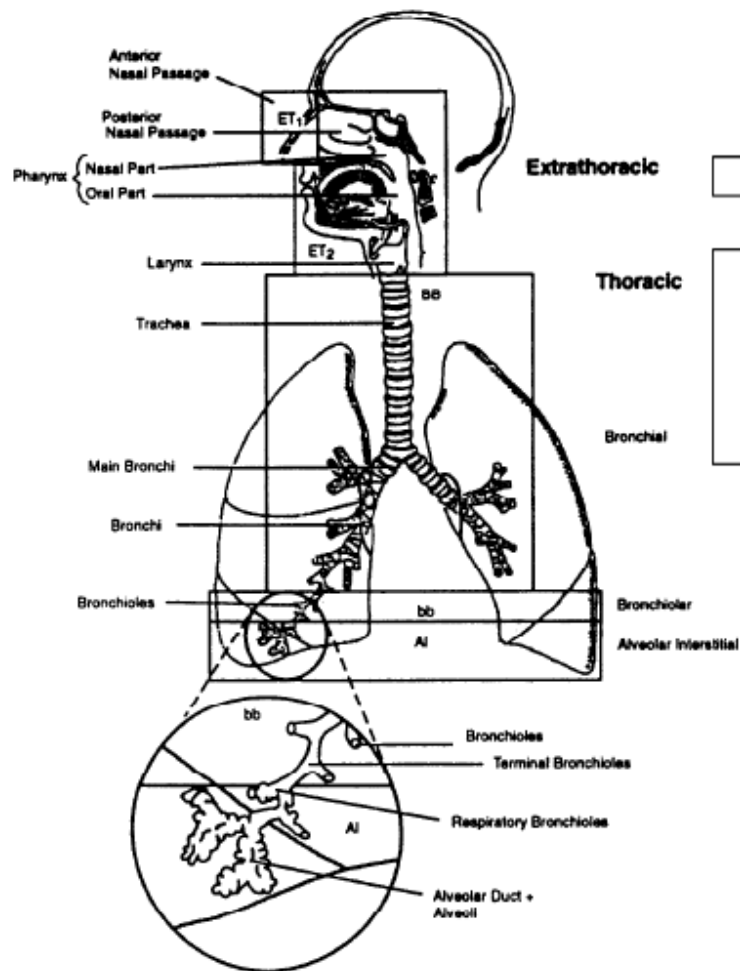
^{*1}ICRP Publ. 30. ^{*2}M. Hough et al., Phys. Med. Biol. 56, 2309–2346 (2011). ^{*3}ICRP Publ. 133.

^{*4}ICRP Publ. 66. ^{*5}ICRP Publ. 130. ^{*6}D.W. Jokisch et al., 56, 2699–2713 (2011).

^{*7}L. Thomas et al., Health Phys. 29, 111–123 (1975).

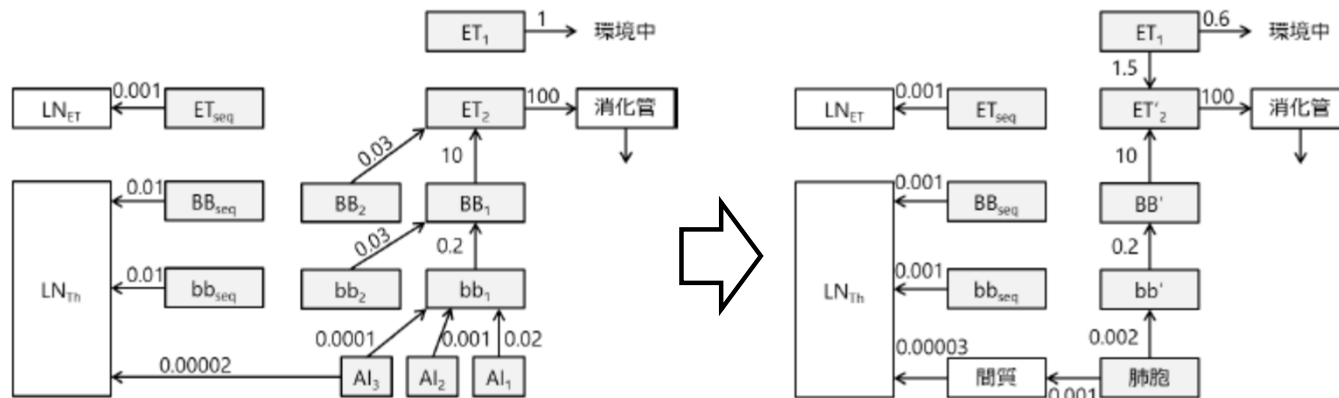
元素共通の体内動態モデルに関する変更点：呼吸気道モデル

粒子輸送クリアランス (Publ. 66 ⇒ Publ. 130)



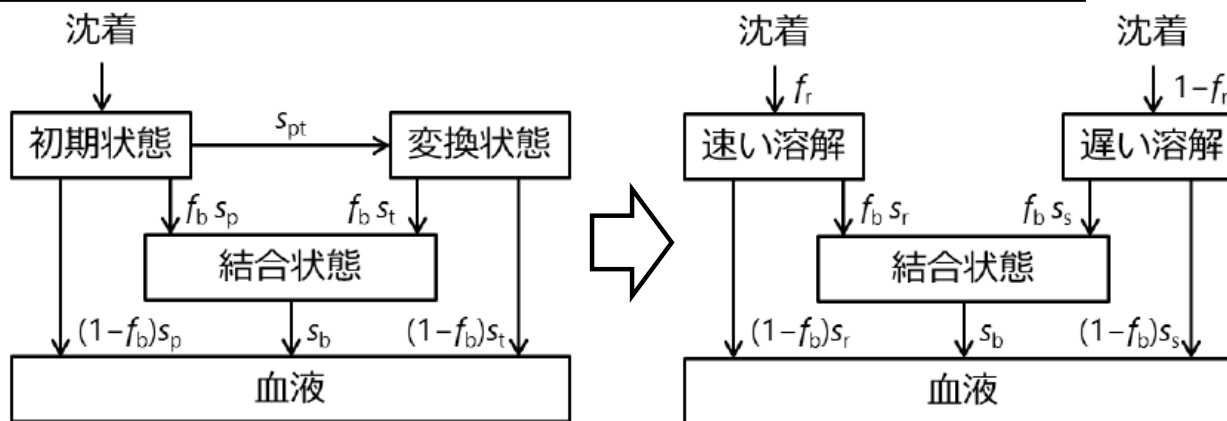
ICRP Publ. 66より

ET領域：胸郭外領域、ET1：前鼻道、
ET2：後鼻道・咽頭・喉頭、BB：気管支
bb：細気管支、LN：リンパ節、
AI：肺胞・間質



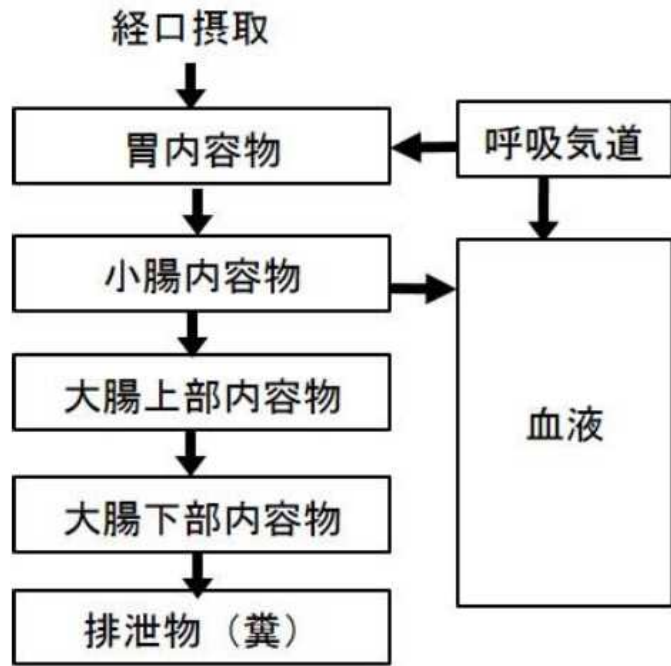
- ・コンパートメント区分、経路、移行係数の見直し
⇒ 長期保持成分の増加 (肺胞沈着成分の1/10 ⇒ 1/3)
- ・ET領域初期沈着割合の見直し
⇒ $ET_1 : ET_2 = 50 : 50 \Rightarrow 65 : 35$

血液吸収クリアランス (Publ. 66 ⇒ Publ. 130)

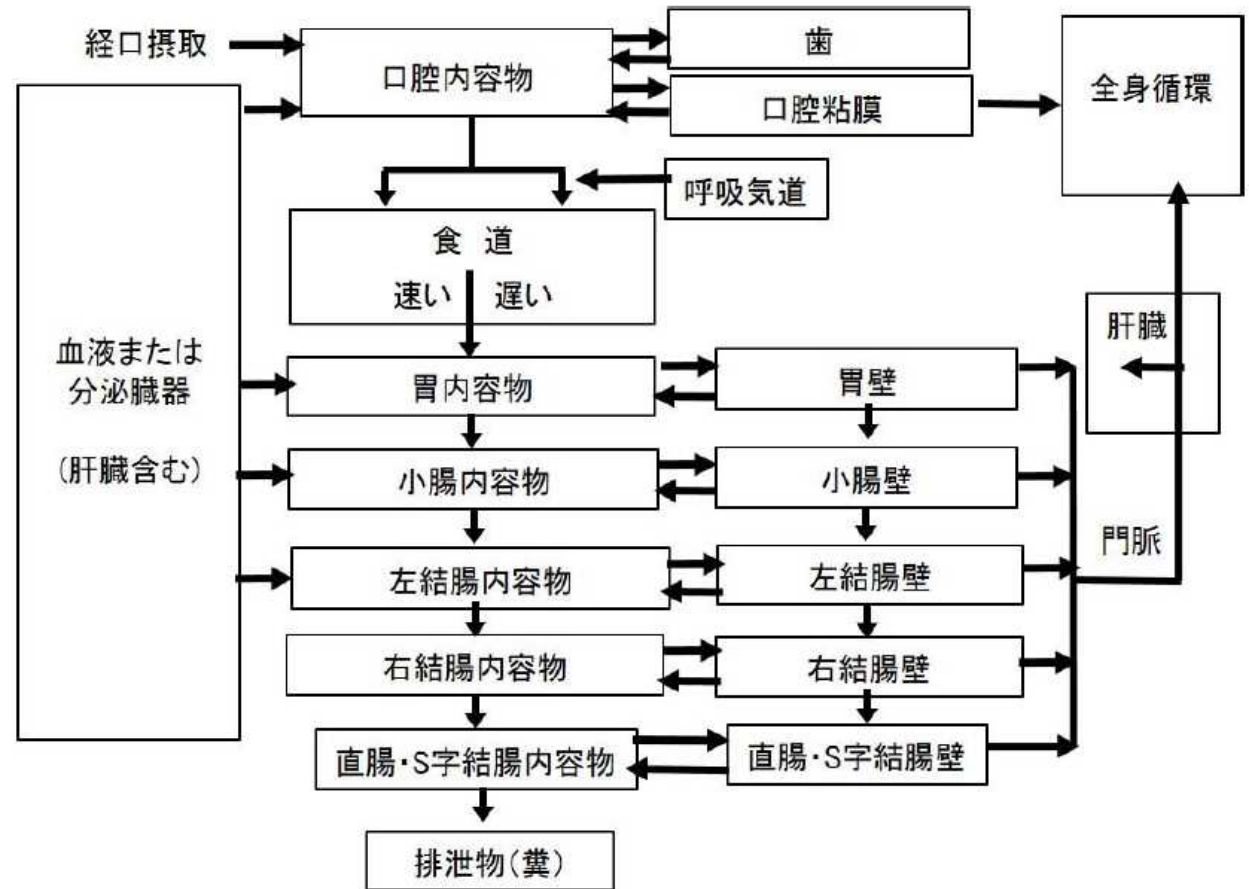


- ・直観的で分かりやすい方のモデルを利用
- ・従来モデルの方が柔軟性は高い ⇒ 必要に応じて利用

元素共通の体内動態モデルに関する変更点：消化管モデル



Publ. 30



Publ. 100

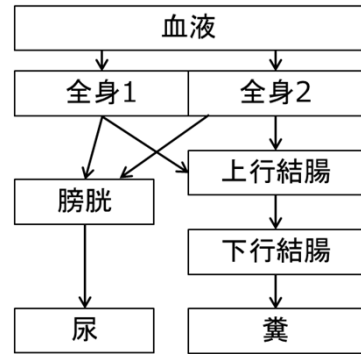
- 口腔、食道コンパートメントの追加
- 結腸 (大腸) の区分の変更
- 菌、口腔粘膜、壁での保持を考慮可能
- 胃～結腸まですべての部位からの血液への移行を考慮可能 (ただし、OIRシリーズでは小腸からの移行のみ)

元素固有の全身動態モデルと子孫核種の取扱いに関する変更点

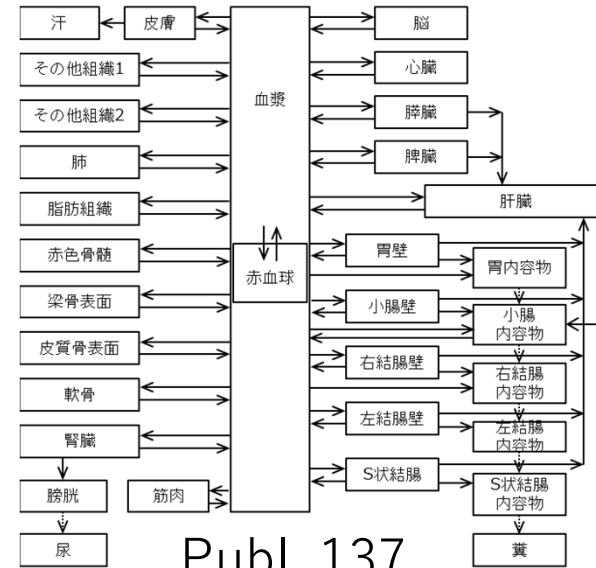
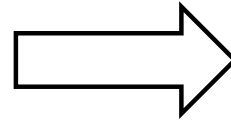
元素固有の全身動態モデル (Publ. 30, 56, 67, 71 ⇒ Publ. 134, 137, 141, 151)

・モデルの詳細化

例：セシウム



Publ. 30

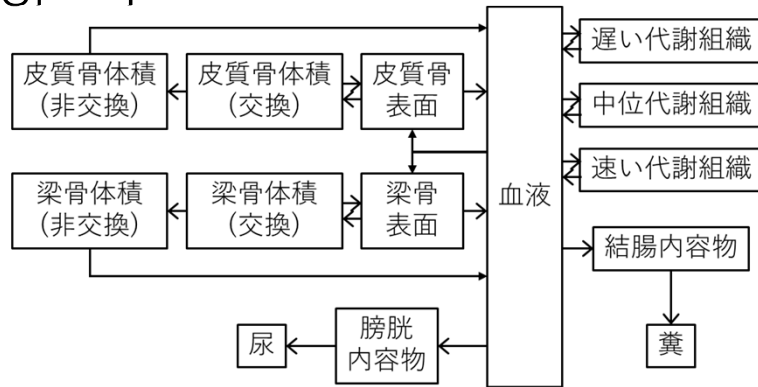


Publ. 137

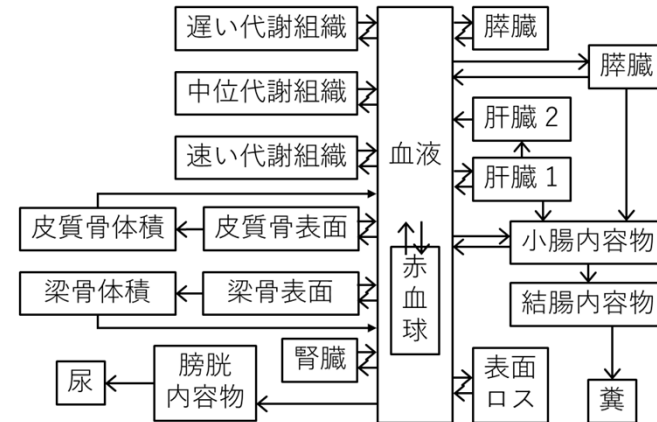
子孫核種の取扱い (Publ. 30 ⇒ Publ. 130)

・子孫核種毎に元素の特性を反映した動態モデルを適用 (個別動態モデル)

例： ^{90}Sr - ^{90}Y



^{90}Sr ：ストロンチウムのモデル



^{90}Y ：イットリウムのモデル

より精緻に、より実態に合わせた動態計算

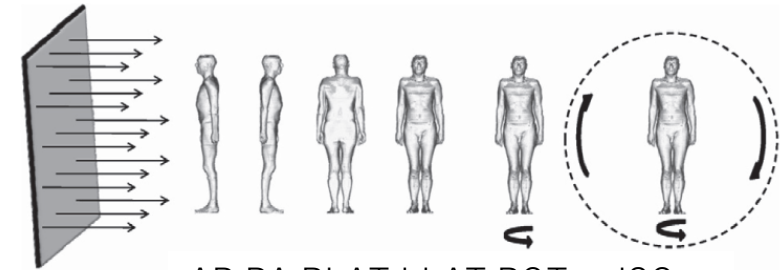
ICRPの提示する被ばく線量評価方法

外部被ばく線量評価

外部被ばくの(理想的な)照射体系を仮定し、標準人を模擬するモデル(P9のファントム)により臓器・組織の受ける吸収線量を計算し、等価線量及び実効線量を導出

外部被ばく線量評価に用いる換算係数データ

(1990年勧告) Publ. 74 ⇒ (2007年勧告) **Publ. 116**

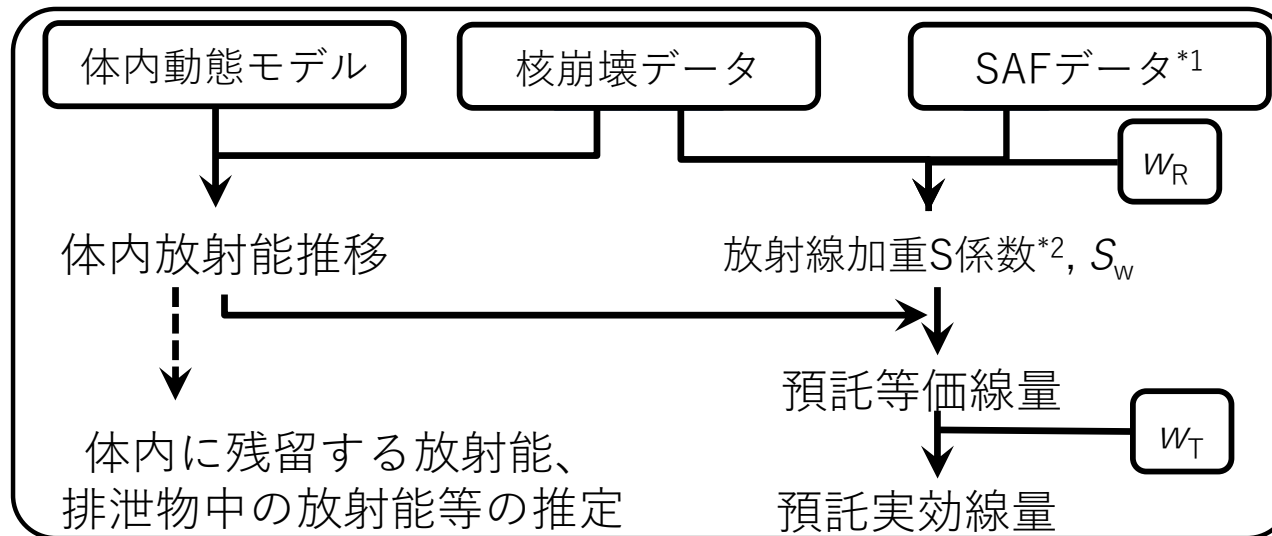
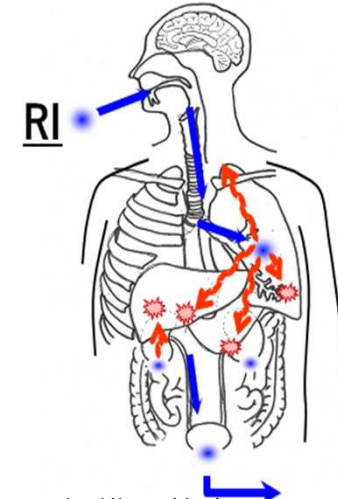


AP PA RLAT LLAT ROT ISO

AP: 前方-後方、PA: 後方-前方、RLAT: 右側方、LLAT: 左側方、ROT: 回転、ISO: 等方

内部被ばく線量評価

摂取した核種の体内における動態や半減期に基づいて“体内放射能推移”を計算し、体内に分布した核種の放出放射線により“各臓器・組織が吸収したエネルギー”を計算し、これらに基づいて、(預託)等価線量及び(預託)実効線量を導出(下記のステップ、P.11)



*1 体内の各臓器・組織で放出された放射線のエネルギーのうち、線量評価対象の臓器・組織に吸収される割合(SAF)を表すデータ(標準人を模擬するモデル(ファントム)を用いた計算により導出)

SAFは **S**pecific **A**bsorbed **F**ractionの略

*2 体内のある臓器・組織で核種が1回壊変した時に各臓器・組織に与える等価線量

作業者の内部被ばく線量評価に用いる線量係数データ、モニタリングの解釈用データ

(1990年勧告) Publ. 68, 78 ⇒ (2007年勧告) **Publ. 134, 137, 141, 151**

外部被ばく評価に用いる実効線量への換算係数 -Publ. 116- (1)

Publ. 116：2007年勧告に準拠する実効線量換算係数を提示 (1990年勧告に準拠するPubl. 74に置き換わるもの)

| | Publ. 74 (1990年勧告準拠) | Publ. 116 (2007年勧告準拠) |
|------------------------|--|---|
| 実効線量への換算係数(基準値)の整備プロセス | <p>(複数の論文で)公表されていた文献値※を使用して、基準値を確立</p> <p>※異なるファントムや計算コードが利用されていた</p> | <ul style="list-style-type: none"> 課題グループメンバーが、同じ標準人(成人)ファントム(Publ. 110)を用いて臓器・組織の平均吸収線量を計算し、この値から新しい放射線加重係数、組織加重係数の適用して基準値を確立 特定の放射線と照射ジオメトリのデータセットについて、複数のグループが同じ標準人ファントムで異なる計算コードを用いて作成 <p>Publ. 74と比較して、データに統一性があり、品質保証プロセスが向上</p> |
| 換算係数の単位 | <ul style="list-style-type: none"> 単位フルエンスあたり (Sv cm²) で提供 光子は単位空気カーマあたり (Sv/Gy) でも提供 | <ul style="list-style-type: none"> 単位フルエンスあたり (Sv cm²) で提供 20MeVまでの光子は単位空気カーマあたり (Sv/Gy) でも提供 <p>Publ. 74と同じ単位で提供</p> |
| 放射線種、エネルギー | <p>光子 (10keV ~ 10 MeV) 中性子 (0.001eV ~ 180 MeV) 電子 (50keV ~ 10 GeV)</p> | <p>次頁のとおり</p> <p>Publ. 74と比較して、<u>放射線種やエネルギー範囲を拡張</u></p> |

外部被ばく評価に用いる実効線量への換算係数 -Publ. 116- (2)

Publ. 116：宇宙利用や高エネルギー加速器における外部被ばく防護での対象となる放射線への対応のため、放射線種やエネルギー範囲を拡張

ICRP Publ. 74による (1990年勧告に準拠する) 実効線量換算係数

| 粒子種 | エネルギー | 照射条件* |
|-----|--------------------|------------------------------|
| 光子 | 10 keV ~ 10 MeV | AP, PA, RLAT, LLAT, ROT, ISO |
| 中性子 | 0.001 eV ~ 180 MeV | AP, PA, RLAT, LLAT, ROT, ISO |
| 電子 | 50 keV ~ 10 GeV | AP, PA, ISO |



ICRP Publ. 116による (2007年勧告に準拠する) 実効線量換算係数

| 粒子種 | エネルギー | 照射条件* |
|-----------------|---------------------|------------------------------|
| 光子 | 10 keV ~ 10 GeV | AP, PA, RLAT, LLAT, ROT, ISO |
| 中性子 | 0.001 eV ~ 10 GeV | AP, PA, RLAT, LLAT, ROT, ISO |
| 電子, 陽電子 | 50 keV ~ 10 GeV | AP, PA, ISO |
| 陽子 | 1 MeV ~ 10 GeV | AP, PA, RLAT, LLAT, ROT, ISO |
| π 中間子(-, +) | 1 MeV ~ 200 GeV | AP, PA, ISO |
| μ 粒子(-, +) | 1 MeV ~ 10 GeV | AP, PA, ISO |
| Heイオン | 1 MeV/u ~ 100 GeV/u | AP, PA, ISO |

*AP：前方 - 後方、PA：後方-前方、RLAT：右側方、LLAT：左側方、ROT：回転、ISO：等方

Publ. 68・78とOIRシリーズの比較照合(1)

- 収録データの違い -

線量係数

| | Publ. 68 | OIRシリーズ |
|------------------------|-----------|-------------|
| 核種数 | 91元素737核種 | 90元素*1887核種 |
| 放射性同位元素の種類 (核種と化学形) | 2,241 | 4,336*2 |

*1Md不収載(P.12)

*2吸入摂取ではすべての核種について血液への吸収タイプF・M・Sのすべての数値を収録

血液への吸収タイプ：呼吸気道に沈着した放射性エアロゾルの血液への移行速度の分類

F: Fast, M: Moderate, S: Slow

サブマージョン核種(線量率係数)

| | Publ. 68 | OIRシリーズ |
|----------|------------|------------|
| 核種数 | 3元素*3 26核種 | 4元素*4 36核種 |
| ばく露条件の種類 | 1 | 4*5 |

*3Ar, Kr, Xe

*4Ne, Ar, Kr, Xe

*5半無限空間(Publ. 68と共通),
事務所, 実験室, 倉庫

モニタリングデータ

| | Publ. 78 | OIRシリーズ |
|------------|------------|-----------|
| 核種数 | 15元素29核種*6 | 90元素887核種 |
| 放射性同位元素の種類 | 99 | 4,336 |

*6 ^3H , ^{59}Fe , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{85}Sr , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{125}I , ^{129}I , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{228}Th , ^{232}Th , ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{244}Cm , ^{252}Cf

Publ. 68・78とOIRシリーズの比較照合 (2)

- 化学形等の見直し -

Publ. 68 (RI数量告示が参照) におけるCs-137の実効線量係数 (AMAD* = 5 μ m)

*空気力学的放射能中央径

| 摂取 | 物質名 | 血液への吸収タイプまたは f_1 値 | 実効線量係数 (mSv/Bq) |
|----|---------|----------------------|----------------------|
| 吸入 | すべての化合物 | 粒子 (Type F) | 6.7×10^{-6} |
| 経口 | すべての化合物 | $f_1 = 0.99$ | 1.4×10^{-5} |



OIRシリーズにおけるCs-137の実効線量係数 (AMAD = 5 μ m)

| 摂取 | 物質名 | 血液への吸収タイプまたは f_A 値 | 実効線量係数 (mSv/Bq) |
|----|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| 吸入 | 塩化物、硝酸塩及び硫酸塩 | 粒子 (Type F) | 9.3×10^{-6} |
| | 照射された燃料の破片; 全ての特定されない化学形等 | 粒子 (Type M) | 5.6×10^{-6} |
| | 数値のみ (化学形等の記載なし) | 粒子 (Type S) | 5.1×10^{-5} |
| 経口 | 塩化物、硝酸塩及び硫酸塩; 全ての特定されない化学形等 | $f_A = 0.99$ | 1.4×10^{-5} |
| | 比較的非溶解性 (難溶性) の化学形、 照射された燃料の破片 | $f_A = 0.1$ | 1.6×10^{-6} |

OIRシリーズにおけるエアロゾル粒子吸入に対する血液への吸収タイプ:

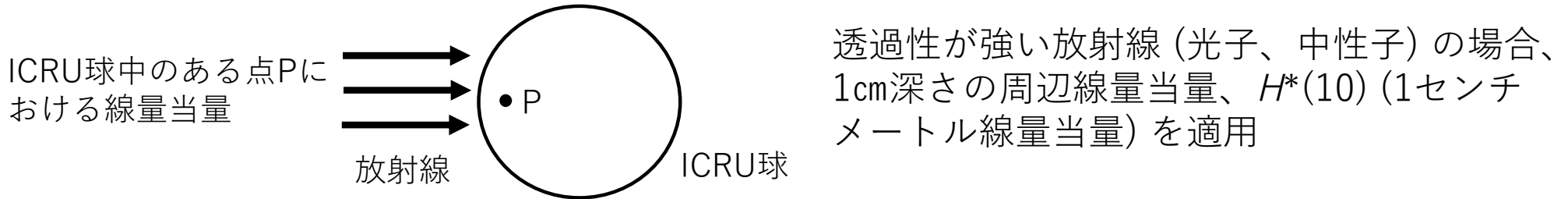
ICRPサポートガイダンス (Ann. ICRP 32 (1/2), 2002) で示された**吸収の速度**を参照して分類

⇒ **物質名 (化学形等) が空欄の摂取条件に対しても、実効線量係数を付与**

2007年勧告以降における国際的な動向
(外部被ばくモニタリングや組織反応を防止するための
線量限度に用いられる諸量の見直し)

新しい外部被ばくモニタリングのための量 (ICRU Report 95)

エリアモニタリングに用いる現在の実用量 (ICRU Report 57)



| 放射線種 | ICRP Publ. 116で指摘された新しい換算係数に基づく実効線量 E と周辺線量当量 $H^*(10)$ の関係における不具合 |
|------|--|
| 光子 | 二次電子を追跡した計算による $H^*(10)$ は、約3 MeVより上のエネルギーで E を過小評価するようになる。10 MeVより高いエネルギーでは、過小評価の程度はより大きくなる。 |
| 中性子 | 3 MeVから12 MeVでは、AP照射の実効線量 E を $H^*(10)$ はわずかに過小評価する。 $H^*(10)$ は、50 MeVにおいてAP照射とPA照射の E を過小評価し、75 MeVにおいて全てのジオメトリにおける E を過小評価する。75 MeVから200 MeVのエネルギー範囲で、過小評価($E/H^*(10)$)は最大で1.5~1.8倍に及び、200 MeVを超えるとこれらの比は減少する。 1 GeVを上回ると過小評価の程度は増加し続け、10 GeVにおける実用量に対する防護量(実効線量)の比は、ISO照射及びAP照射でそれぞれ2.5倍及び1.8倍になる。 |



ICRU Report 95 (2020)

- 実効線量を推定するための測定量は、**簡易形状のファントム中の1点における線量**から、**標準ファントム (Publ. 110) に基づく実効線量と直接関連づけるように変更**
- 眼の水晶体や皮膚の線量を測定するために用いられる量は、**線量当量 (シーベルト、Sv) から吸収線量 (グレイ、Gy) へ変更** (関連する動向：左記の変更に伴い、**組織反応を防止するための線量限度に用いられる量の見直し**)

ICRP Publ. 147 (2021)

- 吸収線量が組織反応を防止するための制限に使用する最適な線量であるとされた。
- 一方で、等価線量は組織反応を防止するために使用する線量とすべきではないが、次期主勧告までは使用することは可能とされた。
- 組織反応に対する**放射線の重み付け**については、**更なる検討が必要**ともされている。(ICRP TG118で、これに関係する課題等を検討中)
- シーベルト (Sv) に関しては、**実効線量の単位と位置づけられ** (実効線量に対応した実用量も同様)、同じ単位を持つ**等価線量は実効線量の計算過程の中間的な量とみなす**とされた。

外部被ばくモニタリングに用いる量と防護量の関連付け

外部被ばくモニタリングに用いる量と防護量の関係

| | 実効線量と関係づけられる測定量の定義 | (組織反応の防止を目的とする) 線量を測定するために用いられる量 |
|-----------------------------------|---|---|
| ICRU Report 57 (ICRP Publ. 74) | 簡易形状のファントム中の1点 (1 cm深さ) における線量当量 ⇒ 高エネルギー領域で、Publ. 116に 基づく実効線量を過小評価 | 線量当量 (シーベルト、Sv) ⇒ 2007年勧告に準拠する組織反応を防止する ための等価線量と関係づけ (P23) |
| ICRU Report 95 | 標準ファントム (Publ. 110) に基づく 実効線量と直接関連 ⇒ Publ. 116に基づく実効線量と ほぼ同じ値 | 吸収線量 (グレイ、Gy) ⇒ 組織反応を防止するための線量限度に用いられる 量を吸収線量に変更するための検討が進捗 (=当面の間は、等価線量を適用) (P24) |



“Keeping the ICRP recommendations fit for purpose (※)”

by C. Clement et al, J. Radiol. Prot., 41, 1390–1409 (2021)

**次期主勧告が公開後に、組織反応を防止するための防護量と外部被ばく
モニタリングに用いる量を同じタイムスケールで導入する方針**

(※) 放射線防護に関する最新の動向や科学的知見を踏まえて、次期主勧告の策定へ向けた今後の議論を促すこと、強力なエフォートを開始するために公表された論文

まとめ

まとめ

- 2007年勧告で示された**線量（防護量、実用量）の概念や定義については、1990年勧告から大きな変更はない。**
- 一方で、2007年勧告で示された概念や定義、諸量について、ICRPでもフォローアップや検討が進められている。
被ばく線量評価に用いる外部被ばく防護のための実効線量換算係数や内部被ばく防護のための実効線量係数については、**数値の他にも適用される放射線の線質、対象とする放射性同位元素の種類等も見直された。**
- また、2007年勧告以降の大きな動向として、外部被ばくモニタリングや組織反応を防止するための線量限度に用いられる量の見直しに関するICRU報告書、ICRP刊行物が公開された。