

平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費  
(内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) 事業  
成果報告書

平成31年3月29日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

本報告書は、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構が実施した「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	平成30年度の研究計画と目標	2
2.1	全体計画及び平成29年度の進捗	2
2.1.1	全体計画	2
2.1.2	平成29年度の進捗	3
2.2	平成30年度の研究計画	3
2.2.1	線量係数計算機能の開発	3
2.2.2	核種摂取量推定機能の開発	4
第3章	線量係数計算機能の開発	5
3.1	実施計画と目標	5
3.2	OIR part 3 へ対応するための改良	5
3.2.1	刊行物の調査	5
3.2.2	アルゴリズムの改良	6
3.2.3	検証結果	8
3.3	1990年勧告に準拠する線量係数の計算、日本人パラメータの適用	35
3.3.1	1990年勧告に準拠する線量係数の計算	35
3.3.2	日本人パラメータの適用	40
3.4	コードの全体設計	42
3.4.1	線量評価に用いるモデルとデータの記述方式	42
3.4.2	SAFデータの実装に関する検討	43
3.4.3	組織系動態モデルの実装に関する検討	43
3.4.4	データファイルの作成	47
3.4.5	データファイルを格納したディレクトリの配置	47
3.4.6	計算方法の設定に関する検討	52
3.5	機能の開発や運用に関する情報収集及び調査	54
3.5.1	ICRPによるモデルやデータの公開に関する情報収集	54
3.5.2	OIR part 2 及び part 3 で考慮されている各元素の核種や化学形等の調査	55
3.6	線量係数計算機能の開発のまとめ	57

第4章	核種摂取量推定機能の開発	58
4.1	実施計画と目標	58
4.2	研究者からのニーズ調査	58
4.3	基本機能の開発	60
4.3.1	摂取量推定に用いる数値解析法	60
4.3.2	摂取量推定に関するプログラム開発	64
4.4	試計算	66
4.4.1	仮定した摂取パターンに対する試計算	66
4.4.2	体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化	69
4.5	核種摂取量推定機能の開発のまとめ	70
第5章	あとがき	71
	参考文献	73
付録-1	告示別表第2とOIRシリーズで考慮されている放射性同位元素の種類	79
付録-2	プログラムオフィサー会合、専門家との打合せ及び外部発表	95
付録-3	学会発表資料	98

## 第1章 はじめに

原子力規制委員会（以下、「規制委員会」とする。）は、平成 28 年 7 月に原子力規制等を支える強固な技術基盤の構築等を行うための安全研究の基本方針及び実施方針を定めた[1]。その中で、放射線規制・管理の分野における安全研究の推進が示され、平成 29 年度に放射線安全規制研究戦略的推進事業が創設された[2]。同事業では、規制委員会が実施する規制活動のニーズ、国内外の動向、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」[3]（以下、「放射線障害防止法」とする。）の改正、放射線審議会などの動向を踏まえ、年度毎に重点テーマが設定され、これに基づく調査研究が公募されている。

日本国内では、放射線による障害を防止し、公共の安全を確保するため、昭和 32 年 6 月に放射線障害防止法が制定され、放射線障害防止法の下に、政令、規則、告示などが定められている。放射線障害防止法等は、放射線利用の多様化による実態とのずれの是正等を目的として、たびたび改正されてきた[3]。また、これまでの改正では、最新の知見に基づいて見直されてきた国際放射線防護委員会（ICRP）の基本勧告の主旨を取り入れてきた。現在の放射線障害防止法等は、ICRP の 1990 年勧告[4]の主旨を取り入れているが、ICRP はこれに置き換わる 2007 年勧告[5]を公開している。そのため、規制委員会の下に設置された放射線審議会において、2007 年勧告の国内の放射線規制への取入れに関する検討が進められている。

国内の放射線規制の中で、内部被ばくによる放射線障害を防止するため、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」[6]（以下、「告示：RI の数量等を定める件」とする。）の別表第 2 で、放射性同位元素の種類に応じて、空气中濃度限度、排気中又は空気中の濃度限度、排液中又は排水中の濃度限度が示されている。「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 では、上記の基準値の基礎とした実効線量係数（放射性核種の単位摂取量当たりの預託実効線量、単位：mSv/Bq）が併記されている。これらの実効線量係数は、ICRP が定める核種の体内動態を表すモデルや各組織・臓器へのエネルギー付与データ等に基づいて算出される。現在の「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 に示されている実効線量係数は、1990 年勧告[4]に準拠するモデルやデータに基づき導出されたものである。そのため、将来的に国内規制へ 2007 年勧告を取り入れる場合、ICRP が与える新しい実効線量係数が 2007 年勧告に準拠するモデルやデータに従い正確に導出しているか否か、検証することが必須となる。さらに、2007 年勧告を国内の放射線規制へ取り入れた場合、各事業所においては 2007 年勧告に準拠して内部被ばく線量評価を遂行し、作業者の被ばく管理等を行うこととなる。

以上の背景を踏まえて、平成 29 年 4 月に公募のあった放射線安全規制研究戦略的推進事業においては、「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」が重点テーマの一つとして提示された[2]。国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」とする。）は、同テーマに対する研究計画（平成 29 年度から平成 32 年度の 4 か年）を提案し、これが採択された[7]。本報告書は、原子力機構が放射線安全規制研究戦略的推進事業として進めている「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」について、平成 30 年度における事業の成果等を取りまとめたものである。

## 第2章 平成30年度の研究計画と目標

### 2.1 全体計画及び平成29年度の進捗

#### 2.1.1 全体計画

平成29年度に放射線安全規制研究戦略的推進事業費の公募では、「内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究」について、2つの成果活用方針が示された[2]。

- ・ 国内規制への実効線量係数取り入れに活用
- ・ 平常時又は事故時の放射線防護における内部被ばく評価手法として活用

原子力機構では、内部被ばく線量の計算や評価に用いる多くのコードを開発してきた実績がある。その中で、1990年勧告の国内規制への取入れの際、科学技術庁の委託調査により、日本原子力研究所（以下、「原研」とする。現在、日本原子力研究開発機構）はINDES/IDEC（INternal Dose Estimation System/Internal Dose Easy Calculation code）コードを開発した[8]。平成21年度から平成26年度までの原子力規制庁などからの委託事業では、2007年勧告に従うモデル・データに準拠した内部被ばく線量計算コードの開発を進めた[9-14]。他、原子力機構では、確率論的事故影響評価コード（レベル3PRA）への実装を目的とし、内部被ばく線量係数を計算するためのDSYS（Dose SYStem）コード[15]、DSYSを高度化して慢性摂取に対する内部被ばく線量を計算できるDSYS-Chronicを開発した[16]。さらに、事故時における線量評価への適用を目的として、REIDAC（REtrospective Internal Dose Assessment Code）コードを開発した実績もある[17]。そこで、これらの計算コード開発で蓄積してきた知見や技術の活用などにより、以下に示す機能を有する内部被ばく線量評価コードを開発することとした。

- i) 線量係数を計算する機能（以下、「線量係数計算機能」とする。）
  - ・ 順次公開される線量評価モデルやデータを逐次実装することを可能とする設計
  - ・ ICRPが提示する実効線量係数等が2007年勧告に従う線量評価モデルやデータに従い導出されることを検証
- ii) 核種摂取量を推定する機能（以下、「核種摂取量推定機能」とする。）
  - ・ モニタリング結果から、摂取条件や核種、経過時間等を考慮し、核種摂取量を推定、内部被ばく線量を評価
- iii) ユーザーの操作性や利便性を鑑みた機能
  - ・ 線量評価用パラメータや核種の摂取条件、モニタリングの測定値等を入力するグラフィカルユーザーインターフェース（GUI）画面
  - ・ 線量係数の評価値、核種の摂取量等を取りまとめた数表、体内や排泄物中の放射性核種量の時間推移を表すグラフ

具体的な研究の進め方として、図 2-1 のロードマップに示すとおり、線量係数計算機能、核種摂取量を推定する機能、ユーザーの操作性や利便性を鑑みた機能を順次開発し、各機能を統合したコードを完成させる計画とした。

実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
1) 線量係数計算機能の開発	ICRP刊行物の調査	ICRPの線量評価モデルの調査		
	計算機能の開発及び検証(OIR Part 2 掲載核種) 基本機能の完成 ▲	新規データ等の取り込みへ向けた機能設計 機能の完成 ▲		
2) 核種摂取量推定機能の開発	摂取量推定機能に係るニーズ調査 解析法の検討 概念設計	推定機能の開発 基本機能の完成 ▲	推定機能の検証 機能の完成 ▲	
		パラメータ設定法の検討(GUIの基本設計を含む)	GUI及び結果表示機能の開発 β版の完成 ▲	試用による意見収集 改良・マニュアル整備等 コード完成、公開 ▲
3) 利便性や操作性の向上を図る機能の開発、コードの開発				

図 2-1 本研究のロードマップ（平成 29 年度～平成 32 年度、▲：マイルストーン）

### 2.1.2 平成 29 年度の進捗

平成 29 年度[18]は、線量係数計算機能の中で ICRP の線量評価モデルやデータに従い実効線量係数等を正確に導出する基本機能の完成、核種摂取量推定機能の完成形イメージを提示することを目標とした（図 2-1）。

このうち、線量係数計算機能については、ICRP Publ. 133 [19]の比吸収割合（SAF）データ、職業人の放射性核種摂取シリーズ（Occupational Intake of Radionuclide、以下「OIR」とする。）part 2（ICRP Publ. 134 [20]）で示された組織系動態モデル等を実装し、同刊行物が掲載する主要 14 元素の実効線量係数を正確に導出することを検証し、マイルストーンとした基本機能の完成を達成させた。

核種摂取量推定機能の開発においては、既存の類似コードの分析、原子力機構でモニタリングに従事する者との意見交換によるニーズ調査等を進めた。これらの調査結果に基づき、計算フローを決定し、その際に入力項目を設定する GUI 画面のイメージを整理することで、完成形のイメージを提示することができた。一方、複数の研究評価委員より、他の大学や研究機関の研究者や技術者に対し、当該機能のニーズの聴取などを目的とした意見交換を行うことが課題として指摘された。

## 2.2 平成 30 年度の研究計画

図 2-1 に示すロードマップに基づいて、平成 29 年度の研究評価委員会で受けた指摘を反映して、平成 30 年度における線量係数計算機能及び核種摂取量推定機能の開発に関する研究計画を立案した。

### 2.2.1 線量係数計算機能の開発

ICRP による 2007 年勧告に準拠する内部被ばく線量評価に用いるモデルやデータについて、刊行物としての公開状況は表 2-1 に示すとおりである。未公開のデータやモデルとして、成人以外の SAF データ、作業者の主要 28 元素以外の組織系動態モデルがある。そこで、今後も継続される ICRP からのモデルやデータの公開へ対応するため、新規モデルやデータの取

込みによる拡張が可能なコード設計を進めることとした。また、内部被ばく防護の基準値の見直しにおいては、日本人パラメータや1990年勧告に従うパラメータを用いて導出された実効線量係数との比較検証も想定される。そこで、ユーザーによるパラメータ等をGUIにより設定する方法を検討することとした。他、平成30年1月にOIR part 3 (ICRP Publ. 137) [21]が公開されたため、同刊行物が提示したヨウ素、セシウム、ウラン等の組織系動態モデルへ対応させる改良を進め、実効線量係数の正確な導出に係る検討を行うこととした。

表 2-1 ICRP による内部被ばく線量評価モデル・データの公表 (平成30年4月時点)

線量評価モデル、データ	刊行物	公開年
体重データ、組織・重量質量データ	ICRP Publ. 89 [22]	平成14(2002)年
ヒト消化管モデル	ICRP Publ. 100 [23]	平成18(2006)年
放射線加重係数、組織加重係数	ICRP Publ. 103 [5]	平成19(2007)年
放射性核種崩壊データ	ICRP Publ. 107 [24]	平成20(2008)年
ヒト呼吸器モデル、組織系動態モデルの考え方	ICRP Publ. 130 [25]	平成27(2015)年
成人の比吸収割合 (SAF) データ	ICRP Publ. 133 [19]	平成28(2016)年
作業員の組織系動態モデル等 (14 元素)、OIR part 2	ICRP Publ. 134 [20]	平成29(2017)年
作業員の組織系動態モデル等 (14 元素)、OIR part 3	ICRP Publ. 137 [21]	平成30(2018)年

## 2.2.2 核種摂取量推定機能の開発

平成29年度の事業において、原子力機構内の専門家との意見交換により、当該機能のニーズ等を聴取し、開発する核種摂取量推定機能の完成形イメージを提示した。そこで、今年度は、今後の開発へ有益な情報をより広く収集するため、原子力機構外の研究機関や大学で内部被ばくモニタリングや線量評価に係る専門家との意見交換等を進めることとした。また、当該機能の開発においては、モニタリング値に基づく核種摂取量の推定に必要なデータフィッティング法、体内放射能の経時変化の解析法等の開発が重要となる。そこで、単独摂取、慢性摂取及び複数回摂取の各摂取パターン対し、摂取量推定で重要となるモニタリングデータのフィッティング方法を開発することとした。ここでは、平成29年度に実施した概念設計に基づき、最尤推定法 (最尤法) によるデータフィッティングを実施する基本機能の開発を進めるとした。他、体内放射能や排泄物中に含まれる放射能の経時変化を解析する手法を開発することとした。

### 第3章 線量係数計算機能の開発

#### 3.1 実施計画と目標

今年度は、大きく以下に示す2つ研究開発を実施する計画とした。

- ・ ICRP から今後公開されるモデルやデータの継続的な実装、日本人パラメータや1990年勧告に従う線量計算を可能とするために必要な当該機能の設計
- ・ OIR part 3 へ対応するための改良、検証

平成29年度中に線量係数計算機能については、OIR part 2 (ICRP Publ. 134) が与える14元素の実効線量係数を正しく導出することを検証している。当該機能は、体内における放射性核種の移行及び等価線量率の時間変化を表す常微分方程式を解くことにより、体内放射能並びに等価線量及び実効線量を導出するアルゴリズムを含む。また、これらの計算に必要な線量評価データや体内動態を表す数値パラメータ等を実装している。

そこで、今年度は図3-1に示すように、OIR part 3 へ対応するための改良を進めるとともに、ここで得た経験や知見をフィードバックして、当該機能を設計、完成させる。具体的には、OIR part 3 の刊行物を調査し、線量計算アルゴリズムの確認、必要な改良を進めるとともに、今後公開が想定される線量評価データ、モデルを継続的に実装するため、効率的なファイルの記述方法、これらを格納する方法を確立する。また、日本人パラメータや1990年勧告に従う線量計算も可能とするため、各種パラメータを読み込むための検討を進める。上記の研究開発や検討結果に基づいて、当該機能の全体設計を進め、マイルストーンとした機能の完成を達成させる。

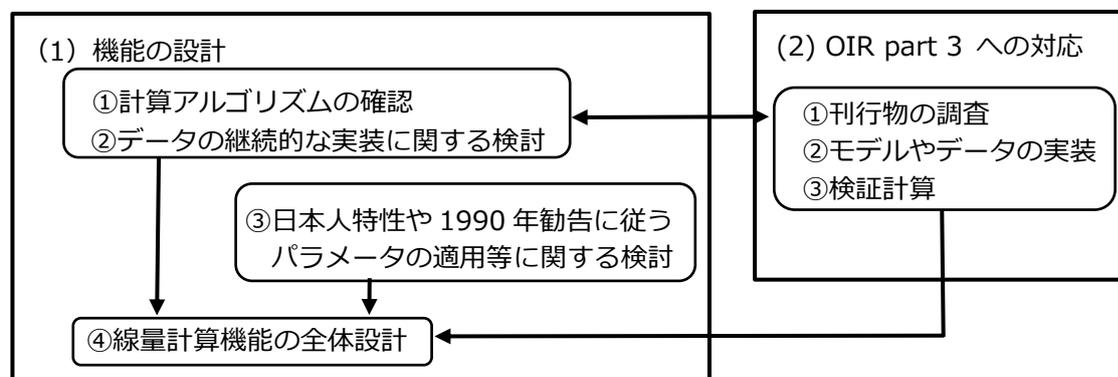


図 3-1 平成30年度における線量係数計算機能の開発フロー

#### 3.2 OIR part 3 へ対応するための改良

##### 3.2.1 刊行物の調査

OIR part 3 [21]は、作業者による主要14元素（ルテニウム、アンチモン、テルル、ヨウ素、セシウム、バリウム、イリジウム、鉛、ビスマス、ポロニウム、ラドン、ラジウム、トリウム及びウラン）の摂取について、見直された血液移行パラメータ及び組織系動態モデル、並びにこれらに基づく実効線量係数を収録している。ラドンについては、ラドン核種を単独で撰

取した場合の線量係数に加え、種々のばく露環境におけるエアロゾルの非付着成分比や子孫核種の平衡係数を考慮した単位ばく露量あたりの実効線量も収録された。また、ラドンの線量係数は、他の元素のように線量評価に基づくアプローチだけでなく、ICRP Publ. 115 [26]にある疫学的アプローチに基づく結果を参照し、数値が決定された。

血液移行パラメータは、吸入摂取については図 3-2 (a)に示す呼吸気道血液移行モデル（以下、「OIR の規定モデル」とする。）に基づく移行係数 ( $d^{-1}$ ) として、経口摂取については消化管から血液への移行割合  $f_A$  値として、化学形の違いを考慮して与えられた。組織系動態モデルは、元素の種類毎にコンパートメントモデルとして構築されており、移行元コンパートメントと移行先コンパートメントの組合せ毎に移行係数 ( $d^{-1}$ ) が与えられた。こうしたデータ構造については、昨年度の事業において調査した OIR part 2 [20]と同様であった。ただし、ウランの一部の化学形については、米国での追跡研究の結果に基づいて、図 3-2 (b)の 1990 年勧告準拠の線量評価において使用されていた血液移行モデル（以下、「従来の規定モデル」とする。）に基づく移行パラメータが与えられた。また、摂取核種の子孫核種にラドンが含まれる場合のラドンの体内動態モデルは、ラドンに用意された組織系動態モデルは適用せずに、他の希ガスと同様の取扱いとすることが明記された。

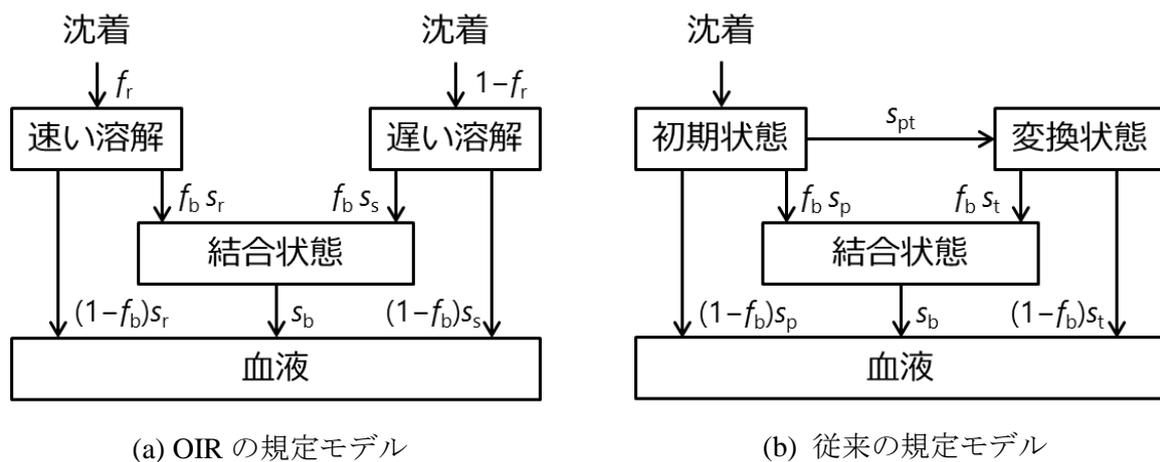


図 3-2 呼吸気道血液移行モデル (OIR part 1, Fig. 3.5 より [25])

$f_r$ : 速い溶解割合、 $f_b$ : 結合状態移行割合、 $s_r(d^{-1})$ : 速い溶解速度係数、 $s_s(d^{-1})$ : 遅い溶解速度係数、 $s_b(d^{-1})$ : 結合状態からの溶解速度係数、 $s_p(d^{-1})$ : 初期溶解速度係数、 $s_{pt}(d^{-1})$ : 変換速度係数、 $s_t(d^{-1})$ : 最終溶解速度係数。

### 3.2.2 アルゴリズムの改良

OIR part 3 に示されたラドンを除く 13 元素に関する新しい血液移行パラメータ及び組織系動態モデルをデータ化し、開発中の線量係数計算機能に実装する際に、線量係数計算機能のアルゴリズムに以下の改良を加えた。

- 従来の呼吸気道血液移行モデルへの対応

OIR part 2 に収録された元素の呼吸気道から血液への移行については、すべての元素に対して OIR の規定モデルが適用されたため、開発中の線量係数計算機能は OIR の規定モデルのみ

に対応していた。しかしながら、OIR part 3 において、ウランの一部の化学形に対して従来の規定モデルに基づく移行パラメータが与えられたため、双方のモデルに対応するためのアルゴリズム改良を行った。

OIR の規定モデルに対応する  $s_r$ 、 $s_s$  及び  $f_r$  のパラメータは、次式により従来の規定モデルに対応する  $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$  に変換することができる[25]。

$$\begin{cases} s_p = s_s + f_r(s_r - s_s) \\ s_{pt} = (1 - f_r)(s_r - s_s) \\ s_t = s_s \end{cases} \quad (3-1)$$

そこで、線量係数計算機能のアルゴリズムを、従来の規定モデルに基づくパラメータ ( $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$ ) を用いて計算するよう改良し、OIR の規定モデルに基づいて血液移行パラメータを与える場合は、式(3-1)により従来の規定モデルに基づく移行パラメータに変換することとした。そして、従来の規定モデルに基づいて移行パラメータを与える場合は、データファイルにおいて、 $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$  に -1 を乗じたものをそれぞれ  $s_r$ 、 $s_s$  及び  $f_r$  として与えることとした。すなわち、プログラムが  $s_r$ 、 $s_s$  及び  $f_r$  のデータを参照した際に、値が正であれば式(3-1)によるパラメータ変換を実施し、値が負であれば各データを正に変換したものを  $s_p$ 、 $s_{pt}$  及び  $s_t$  として取り扱うこととした。この改良により、双方の呼吸気道血液移行モデルを取り扱うことを可能とした。

- 同一元素異動態モデルへの対応

OIR part 1 において、OIR シリーズでは、摂取した核種（親核種）の子孫核種の元素が親核種の元素と異なる場合の子孫核種の体内動態は、子孫核種の元素の特徴を考慮したモデルを適用すること（以下、「個別動態モデル」とする。）が明記された。通常、元素が異なる場合は組織系動態モデルのコンパートメント構造が異なるため、両者を適切に接続できるよう、子孫核種の元素の組織系動態モデルを改造する必要がある。したがって、同じ元素であっても、その放射性核種が摂取した核種（親核種）である場合と子孫核種である場合とで、組織系動態モデルのコンパートメント構造は異なったものとなる。ただし、核異性体が核異性体転移したことにより生成した子孫核種に対しては、直接同じ元素に壊変するため、子孫核種には親核種と同じ組織系動態モデルを適用する。

OIR part 2 に収録された元素・放射性核種には、上記の核異性体転移を除き、子孫核種に親核種と同じ元素が出現するケースはなかった。一方、OIR part 3 では  $\alpha$  壊変核種が新たに収録されたことから、図 3-3 に示すように、摂取した核種が異なる元素の放射性核種を経由した後に、摂取核種と同じ元素の放射性核種となる壊変系列を持つ場合が生じた。この例では、摂取核種である  $^{214}\text{Pb}$  と、その子孫核種である  $^{210}\text{Pb}$  に対し、異なる組織系動態モデルを適用する必要がある。そこで、 $\alpha$  壊変を経て親核種と同じ元素の子孫核種が存在する場合に、異なる組織系動態モデルが適用できるよう、線量係数計算機能のアルゴリズムを改良した。

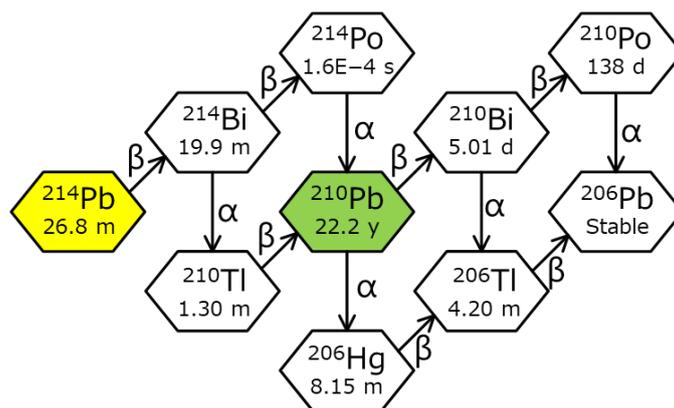


図 3-3  $^{214}\text{Pb}$  を摂取した場合の体内における壊変

### 3.2.3 検証結果

OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 [20]に新たに収録された 13 元素 183 核種、摂取経路や化学系の違いを考慮した 885 種類の摂取条件に対する実効線量係数について、改良したコードによる計算値と OIR Data Viewer の収録値を比較することで、線量係数計算機能のアルゴリズム改良の検証を行った。表 3-1 に示すとおり、改良したアルゴリズムによる計算では数値を概ね再現し、正しく実効線量係数を計算していると判断できる。なお、本事業で開発中の線量係数計算機能の基としたプログラム[18, 27, 28]においても、OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の収録値をほぼ同様に再現したことから、2007 年勧告に従って実効線量係数を導出するためのアルゴリズムの構築やデータ実装は、適切に実施できたと考える。

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (1/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>94</sup> Ru	吸入摂取	四酸化ルテニウム	9.6E-11	9.6E-11
		F	3.7E-11	3.7E-11
		M	4.2E-11	4.2E-11
		S	4.2E-11	4.2E-11
<sup>95</sup> Ru	吸入摂取	全ての化学形	8.7E-11	8.7E-11
		四酸化ルテニウム	5.8E-11	5.8E-11
		F	2.5E-11	2.5E-11
		M	3.0E-11	3.0E-11
<sup>97</sup> Ru	吸入摂取	S	3.1E-11	3.1E-11
		全ての化学形	5.2E-11	5.2E-11
		四酸化ルテニウム	1.2E-10	1.2E-10
		F	8.2E-11	8.2E-11
<sup>103</sup> Ru	吸入摂取	M	7.7E-11	7.7E-11
		S	7.9E-11	7.9E-11
		全ての化学形	9.0E-11	9.0E-11
		四酸化ルテニウム	1.4E-09	1.4E-09
<sup>105</sup> Ru	吸入摂取	F	8.7E-10	8.7E-10
		M	8.0E-10	8.0E-10
		S	1.0E-09	1.0E-09
		全ての化学形	2.6E-10	2.6E-10
<sup>106</sup> Ru	吸入摂取	四酸化ルテニウム	3.7E-10	3.7E-10
		F	9.2E-11	9.2E-11
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	1.3E-10	1.3E-10
<sup>115</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	1.3E-10	1.3E-10
		四酸化ルテニウム	7.0E-09	7.0E-09
		F	7.7E-09	7.7E-09
		M	1.3E-08	1.3E-08
<sup>115</sup> Sb	吸入摂取	S	3.6E-08	3.6E-08
		全ての化学形	2.6E-09	2.6E-09
		F	1.0E-11	1.0E-11
		M	1.3E-11	1.3E-11
<sup>115</sup> Sb	吸入摂取	S	1.3E-11	1.3E-11
		全ての化学形	2.7E-11	2.7E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (2/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>116</sup> Sb	吸入摂取	F	1.2E-11	1.2E-11
		M	1.4E-11	1.4E-11
		S	1.4E-11	1.4E-11
<sup>116m</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	3.6E-11	3.6E-11
		F	2.7E-11	2.7E-11
		M	3.5E-11	3.5E-11
<sup>117</sup> Sb	吸入摂取	S	3.6E-11	3.6E-11
		全ての化学形	6.1E-11	6.1E-11
		F	7.3E-12	7.3E-12
<sup>118m</sup> Sb	吸入摂取	M	1.2E-11	1.2E-11
		S	1.2E-11	1.2E-11
		全ての化学形	1.1E-11	1.1E-11
<sup>119</sup> Sb	吸入摂取	F	7.7E-11	7.7E-11
		M	9.7E-11	9.7E-11
		S	9.8E-11	9.8E-11
<sup>120</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	1.7E-10	1.7E-10
		F	1.6E-11	1.6E-11
		M	1.7E-11	1.7E-11
<sup>120m</sup> Sb	吸入摂取	S	1.8E-11	1.7E-11
		全ての化学形	2.2E-11	2.2E-11
		F	6.2E-12	6.2E-12
<sup>124</sup> Sb	吸入摂取	M	7.5E-12	7.5E-12
		S	7.5E-12	7.5E-12
		全ての化学形	1.7E-11	1.7E-11
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	F	6.5E-10	6.5E-10
		M	8.0E-10	7.9E-10
		S	8.4E-10	8.4E-10
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	8.4E-10	8.4E-10
		F	1.8E-09	1.8E-09
		M	3.0E-09	3.0E-09
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	S	4.3E-09	4.3E-09
		全ての化学形	1.1E-09	1.1E-09
		F	4.2E-12	4.2E-12
<sup>124n</sup> Sb	吸入摂取	M	5.4E-12	5.4E-12
		S	5.6E-12	5.6E-12
		全ての化学形	8.6E-12	8.6E-12

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (3/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>125</sup> Sb	吸入摂取	F	9.8E-10	9.7E-10
		M	2.0E-09	1.9E-09
		S	8.4E-09	8.4E-09
<sup>126</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	3.7E-10	3.7E-10
		F	1.3E-09	1.3E-09
		M	1.7E-09	1.7E-09
<sup>126m</sup> Sb	吸入摂取	S	2.0E-09	2.0E-09
		全ての化学形	1.3E-09	1.3E-09
		F	1.6E-11	1.6E-11
<sup>127</sup> Sb	吸入摂取	M	2.0E-11	2.0E-11
		S	2.0E-11	2.0E-11
		全ての化学形	4.5E-11	4.5E-11
<sup>128</sup> Sb	吸入摂取	F	4.5E-10	4.5E-10
		M	6.4E-10	6.3E-10
		S	7.0E-10	7.0E-10
<sup>128m</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	4.2E-10	4.2E-10
		F	2.4E-10	2.4E-10
		M	3.3E-10	3.3E-10
<sup>129</sup> Sb	吸入摂取	S	3.4E-10	3.4E-10
		全ての化学形	4.7E-10	4.7E-10
		F	1.3E-11	1.3E-11
<sup>130</sup> Sb	吸入摂取	M	1.5E-11	1.5E-11
		S	1.5E-11	1.5E-11
		全ての化学形	4.1E-11	4.1E-11
<sup>131</sup> Sb	吸入摂取	F	1.1E-10	1.1E-10
		M	1.7E-10	1.7E-10
		S	1.8E-10	1.8E-10
<sup>130</sup> Sb	吸入摂取	全ての化学形	2.0E-10	2.0E-10
		F	4.0E-11	4.0E-11
		M	5.1E-11	5.1E-11
<sup>131</sup> Sb	吸入摂取	S	5.2E-11	5.2E-11
		全ての化学形	1.0E-10	1.0E-10
		F	5.3E-11	5.3E-11
<sup>131</sup> Sb	吸入摂取	M	4.8E-11	4.8E-11
		S	4.4E-11	4.4E-11
		全ての化学形	1.1E-10	1.1E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (4/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>114</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	4.9E-11	4.9E-11
		F	2.2E-11	2.2E-11
		M	2.9E-11	2.9E-11
		S	2.9E-11	2.9E-11
<sup>116</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	7.9E-11	7.8E-11
		全ての特定されていないガス・蒸気	1.1E-10	1.1E-10
		F	6.5E-11	6.4E-11
		M	1.0E-10	1.0E-10
<sup>117</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	1.5E-10	1.5E-10
		全ての特定されていないガス・蒸気	3.7E-11	3.7E-11
		F	2.0E-11	2.0E-11
		M	2.7E-11	2.7E-11
<sup>118</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	5.3E-11	5.3E-11
		全ての特定されていないガス・蒸気	1.5E-09	1.5E-09
		F	9.2E-10	9.2E-10
		M	1.3E-09	1.3E-09
<sup>119</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	1.2E-09	1.2E-09
		全ての特定されていないガス・蒸気	9.9E-11	9.9E-11
		F	7.3E-11	7.3E-11
		M	9.2E-11	9.2E-11
<sup>119m</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	9.5E-11	9.5E-11
		全ての特定されていないガス・蒸気	1.3E-10	1.3E-10
		F	5.8E-10	5.8E-10
		M	3.8E-10	3.8E-10
<sup>121</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	4.5E-10	4.5E-10
		全ての特定されていないガス・蒸気	5.3E-10	5.3E-10
		F	4.9E-10	4.9E-10
		M	2.8E-10	2.8E-10
<sup>121</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	3.3E-10	3.3E-10
		全ての特定されていないガス・蒸気	3.7E-10	3.7E-10
		F	3.3E-10	3.3E-10
		M	3.7E-10	3.7E-10
<sup>121</sup> Te	吸入摂取	全ての化学形	3.7E-10	3.7E-10
		全ての特定されていないガス・蒸気	3.3E-10	3.2E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (5/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>121m</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.1E-09	1.1E-09
		F	5.1E-10	5.1E-10
		M	1.4E-09	1.4E-09
		S	2.8E-09	2.8E-09
<sup>123</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.3E-10	4.3E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.6E-11	1.6E-11
		F	7.0E-12	7.0E-12
		M	1.3E-11	1.3E-11
<sup>123m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	5.3E-12	5.3E-12
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	6.7E-10	6.7E-10
		F	3.2E-10	3.1E-10
		M	9.7E-10	9.6E-10
<sup>125m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	2.6E-10	2.6E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	5.2E-10	5.2E-10
		F	2.4E-10	2.4E-10
		M	6.7E-10	6.7E-10
<sup>127</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	1.9E-10	1.9E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	8.5E-11	8.5E-11
		F	4.2E-11	4.2E-11
		M	7.8E-11	7.8E-11
<sup>127m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.6E-11	4.6E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.3E-09	1.3E-09
		F	5.9E-10	5.9E-10
		M	1.8E-09	1.8E-09
<sup>129</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.5E-10	4.5E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	5.8E-11	5.8E-11
		F	2.5E-11	2.5E-11
		M	4.1E-11	4.1E-11
<sup>129m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	4.1E-11	4.1E-11
	吸入摂取	全ての化学形	6.1E-11	6.1E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (6/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>129m</sup> Te	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	2.0E-09	2.0E-09
		F	9.9E-10	9.9E-10
		M	2.0E-09	2.0E-09
		S	2.6E-09	2.6E-09
<sup>131</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	8.9E-10	8.9E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	8.1E-11	8.1E-11
		F	4.2E-11	4.2E-11
		M	3.1E-11	3.1E-11
<sup>131m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	8.3E-11	8.3E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.8E-09	1.8E-09
		F	1.1E-09	1.1E-09
		M	6.3E-10	6.3E-10
<sup>132</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	1.1E-09	1.1E-09
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	3.4E-09	3.4E-09
		F	1.8E-09	1.8E-09
		M	1.2E-09	1.2E-09
<sup>133</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	1.9E-09	1.9E-09
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	6.0E-11	6.0E-11
		F	3.0E-11	3.0E-11
		M	2.0E-11	1.9E-11
<sup>133m</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	6.3E-11	6.3E-11
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	2.1E-10	2.1E-10
		F	1.1E-10	1.1E-10
		M	7.3E-11	7.3E-11
<sup>134</sup> Te	経口摂取	全ての化学形	2.0E-10	2.0E-10
	吸入摂取	全ての特定されていないガス・蒸気	1.1E-10	1.1E-10
		F	4.7E-11	4.7E-11
		M	5.9E-11	5.9E-11
	経口摂取	S	5.9E-11	5.9E-11
		全ての化学形	9.7E-11	9.7E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (7/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>119</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.1E-11	1.1E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	5.0E-11	5.0E-11
		F	1.2E-11	1.2E-11
		M	1.6E-11	1.6E-11
		S	1.6E-11	1.6E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	3.9E-11	3.9E-11
<sup>120</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.5E-10	1.5E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.7E-10	2.7E-10
		F	1.0E-10	1.0E-10
		M	9.7E-11	9.6E-11
		S	9.5E-11	9.5E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	3.0E-10	3.0E-10
<sup>120m</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	7.6E-11	7.6E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.7E-10	1.7E-10
		F	5.8E-11	5.8E-11
		M	6.5E-11	6.5E-11
		S	6.5E-11	6.5E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.8E-10	1.8E-10
<sup>121</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	3.0E-11	3.0E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	5.8E-11	5.8E-11
		F	2.1E-11	2.1E-11
		M	1.8E-11	1.8E-11
		S	1.8E-11	1.8E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	4.4E-11	4.4E-11
<sup>123</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.3E-10	1.3E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.0E-10	2.0E-10
		F	1.1E-10	1.1E-10
		M	4.9E-11	4.9E-11
		S	3.7E-11	3.7E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.8E-10	1.8E-10
<sup>124</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	6.1E-09	6.1E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	8.7E-09	8.6E-09
		F	5.7E-09	5.7E-09
		M	1.6E-09	1.6E-09
		S	5.5E-10	5.5E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	8.6E-09	8.6E-09

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (8/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>125</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	8.9E-09	8.9E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.3E-08	1.3E-08
		F	8.6E-09	8.6E-09
		M	2.1E-09	2.1E-09
		S	3.0E-10	3.0E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.3E-08	1.3E-08
<sup>126</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.5E-08	1.5E-08
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.1E-08	2.1E-08
		F	1.4E-08	1.4E-08
		M	3.5E-09	3.5E-09
		S	6.9E-10	6.9E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	2.1E-08	2.1E-08
<sup>128</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.6E-11	1.6E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	8.0E-11	7.9E-11
		F	1.6E-11	1.6E-11
		M	2.3E-11	2.3E-11
		S	2.3E-11	2.3E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	5.7E-11	5.7E-11
<sup>129</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	6.6E-08	6.6E-08
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	9.5E-08	9.4E-08
		F	6.4E-08	6.4E-08
		M	1.7E-08	1.7E-08
		S	1.4E-08	1.4E-08
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	9.4E-08	9.4E-08
<sup>130</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.1E-09	1.1E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.6E-09	1.6E-09
		F	8.6E-10	8.5E-10
		M	3.9E-10	3.9E-10
		S	3.0E-10	3.0E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.5E-09	1.5E-09
<sup>131</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.2E-08	1.2E-08
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.7E-08	1.7E-08
		F	1.1E-08	1.1E-08
		M	2.7E-09	2.7E-09
		S	6.0E-10	6.0E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.6E-08	1.6E-08

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (9/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>132</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.8E-10	1.8E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	3.3E-10	3.3E-10
		F	1.2E-10	1.2E-10
		M	1.0E-10	1.0E-10
		S	9.7E-11	9.7E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	2.8E-10	2.8E-10
<sup>132m</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	1.4E-10	1.4E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	2.6E-10	2.6E-10
		F	9.6E-11	9.6E-11
		M	7.0E-11	7.0E-11
		S	6.6E-11	6.6E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.9E-10	1.9E-10
<sup>133</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	2.3E-09	2.3E-09
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	3.3E-09	3.3E-09
		F	1.9E-09	1.9E-09
		M	5.7E-10	5.7E-10
		S	2.8E-10	2.8E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	3.1E-09	3.1E-09
<sup>134</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	5.4E-11	5.3E-11
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	1.5E-10	1.5E-10
		F	4.3E-11	4.3E-11
		M	5.2E-11	5.2E-11
		S	5.2E-11	5.2E-11
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	1.2E-10	1.2E-10
<sup>135</sup> I	吸入摂取	元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形	5.4E-10	5.4E-10
		ヨウ素化メチル及びヨウ素化エチル	8.4E-10	8.3E-10
		F	4.0E-10	4.0E-10
		M	2.0E-10	2.0E-10
		S	1.6E-10	1.6E-10
	経口摂取	全ての特定されていない化学系	7.6E-10	7.6E-10
<sup>125</sup> Cs	吸入摂取	F	1.3E-11	1.3E-11
		M	2.1E-11	2.1E-11
		S	2.1E-11	2.1E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての特定されていない化合物	4.6E-11	4.6E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	4.4E-11	4.4E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (10/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>127</sup> Cs	吸入摂取	F	1.9E-11	1.9E-11
		M	2.9E-11	2.8E-11
		S	2.9E-11	2.9E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	3.6E-11	3.6E-11
<sup>129</sup> Cs	吸入摂取	F	4.7E-11	4.7E-11
		M	6.2E-11	6.2E-11
		S	6.5E-11	6.5E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	7.6E-11	7.6E-11
<sup>130</sup> Cs	吸入摂取	F	9.3E-12	9.3E-12
		M	1.5E-11	1.5E-11
		S	1.5E-11	1.5E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	3.5E-11	3.5E-11
<sup>131</sup> Cs	吸入摂取	F	3.5E-11	3.5E-11
		M	3.1E-11	3.1E-11
		S	3.1E-11	3.1E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	5.2E-11	5.2E-11
<sup>132</sup> Cs	吸入摂取	F	3.4E-10	3.4E-10
		M	2.9E-10	2.8E-10
		S	2.7E-10	2.7E-10
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	5.1E-10	5.1E-10
<sup>134</sup> Cs	吸入摂取	F	9.5E-09	9.5E-09
		M	6.0E-09	6.0E-09
		S	1.5E-08	1.5E-08
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物 難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.4E-08	1.4E-08

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (11/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>135</sup> Cs	吸入摂取	F	8.8E-10	8.8E-10
		M	1.2E-09	1.2E-09
		S	1.4E-08	1.4E-08
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.3E-09	1.3E-09
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.3E-10	1.3E-10
<sup>135m</sup> Cs	吸入摂取	F	9.2E-12	9.1E-12
		M	1.2E-11	1.2E-11
		S	1.2E-11	1.2E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	2.7E-11	2.7E-11
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	2.8E-11	2.8E-11
<sup>136</sup> Cs	吸入摂取	F	1.9E-09	1.9E-09
		M	1.4E-09	1.4E-09
		S	1.3E-09	1.3E-09
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	2.7E-09	2.7E-09
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	9.7E-10	9.7E-10
<sup>137</sup> Cs	吸入摂取	F	9.3E-09	9.3E-09
		M	5.6E-09	5.6E-09
		S	5.1E-08	5.1E-08
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.4E-08	1.4E-08
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.6E-09	1.6E-09
<sup>138</sup> Cs	吸入摂取	F	3.2E-11	3.2E-11
		M	5.0E-11	5.0E-11
		S	5.0E-11	5.0E-11
	経口摂取	塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての 特定されていない化合物	1.3E-10	1.3E-10
		難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	1.2E-10	1.2E-10
<sup>124</sup> Ba	吸入摂取	F	2.3E-11	2.3E-11
		M	2.5E-11	2.5E-11
		S	2.6E-11	2.6E-11
	経口摂取	水溶性	8.5E-11	8.5E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	8.5E-11	8.5E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (12/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>126</sup> Ba	吸入摂取	F	9.5E-11	9.4E-11
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	1.2E-10	1.2E-10
	経口摂取	水溶性	2.4E-10	2.4E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.4E-10	2.4E-10
	<sup>127</sup> Ba	吸入摂取	F	9.9E-12
M			1.1E-11	1.1E-11
S			1.1E-11	1.1E-11
経口摂取		水溶性	2.8E-11	2.8E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.8E-11	2.8E-11
<sup>128</sup> Ba		吸入摂取	F	6.0E-10
	M		8.3E-10	8.3E-10
	S		8.8E-10	8.8E-10
	経口摂取	水溶性	8.9E-10	8.8E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	8.7E-10	8.7E-10
	<sup>129</sup> Ba	吸入摂取	F	1.9E-11
M			2.4E-11	2.4E-11
S			2.5E-11	2.5E-11
経口摂取		水溶性	3.5E-11	3.5E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	3.5E-11	3.5E-11
<sup>129m</sup> Ba		吸入摂取	F	2.9E-11
	M		3.5E-11	3.5E-11
	S		3.5E-11	3.5E-11
	経口摂取	水溶性	5.8E-11	5.8E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	5.9E-11	5.9E-11
	<sup>131</sup> Ba	吸入摂取	F	1.7E-10
M			3.3E-10	3.3E-10
S			3.7E-10	3.7E-10
経口摂取		水溶性	2.2E-10	2.2E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.1E-10	2.1E-10
<sup>131m</sup> Ba		吸入摂取	F	4.1E-12
	M		5.1E-12	5.1E-12
	S		5.1E-12	5.1E-12
	経口摂取	水溶性	8.3E-13	8.3E-13
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	8.2E-13	8.2E-13

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (13/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>133</sup> Ba	吸入摂取	F	1.3E-09	1.3E-09
		M	1.7E-09	1.6E-09
		S	1.3E-08	1.3E-08
	経口摂取	水溶性	1.0E-09	1.0E-09
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	2.0E-10	2.0E-10
<sup>133m</sup> Ba	吸入摂取	F	7.7E-11	7.7E-11
		M	1.5E-10	1.5E-10
		S	1.7E-10	1.7E-10
	経口摂取	水溶性	6.9E-11	6.9E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	6.4E-11	6.4E-11
<sup>135m</sup> Ba	吸入摂取	F	6.7E-11	6.7E-11
		M	1.3E-10	1.3E-10
		S	1.4E-10	1.4E-10
	経口摂取	水溶性	5.9E-11	5.9E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	5.5E-11	5.5E-11
<sup>139</sup> Ba	吸入摂取	F	5.0E-11	5.0E-11
		M	6.5E-11	6.5E-11
		S	6.6E-11	6.6E-11
	経口摂取	水溶性	1.2E-10	1.2E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	1.2E-10	1.2E-10
<sup>140</sup> Ba	吸入摂取	F	7.0E-10	6.9E-10
		M	1.8E-09	1.8E-09
		S	2.2E-09	2.2E-09
	経口摂取	水溶性	7.1E-10	7.1E-10
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	5.3E-10	5.3E-10
<sup>141</sup> Ba	吸入摂取	F	2.7E-11	2.7E-11
		M	3.3E-11	3.3E-11
		S	3.4E-11	3.4E-11
	経口摂取	水溶性	6.9E-11	6.9E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	6.9E-11	6.9E-11
<sup>142</sup> Ba	吸入摂取	F	1.7E-11	1.7E-11
		M	2.0E-11	2.0E-11
		S	2.0E-11	2.0E-11
	経口摂取	水溶性	3.3E-11	3.3E-11
		不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	3.3E-11	3.3E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (14/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>182</sup> Ir	吸入摂取	F	2.0E-11	2.0E-11
		M	2.4E-11	2.4E-11
		S	2.4E-11	2.4E-11
<sup>183</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.7E-11	5.6E-11
	吸入摂取	F	2.1E-11	2.1E-11
		M	2.9E-11	2.9E-11
<sup>184</sup> Ir	吸入摂取	S	2.9E-11	2.9E-11
		経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.9E-11
	吸入摂取	F	6.6E-11	6.6E-11
M		9.4E-11	9.4E-11	
S		9.6E-11	9.6E-11	
<sup>185</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	1.3E-10	1.3E-10
	吸入摂取	F	8.8E-11	8.8E-11
		M	1.3E-10	1.3E-10
<sup>186</sup> Ir	吸入摂取	S	1.4E-10	1.4E-10
		経口摂取	全ての特定されていない化学形	1.4E-10
	吸入摂取	F	1.8E-10	1.8E-10
M		2.4E-10	2.4E-10	
S		2.5E-10	2.5E-10	
<sup>186m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.0E-10	3.0E-10
	吸入摂取	F	2.7E-11	2.7E-11
		M	3.7E-11	3.7E-11
<sup>187</sup> Ir	吸入摂取	S	3.8E-11	3.8E-11
		経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.4E-11
	吸入摂取	F	2.8E-11	2.8E-11
M		4.5E-11	4.5E-11	
S		4.7E-11	4.7E-11	
<sup>188</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.7E-11	4.7E-11
	吸入摂取	F	3.3E-10	3.3E-10
		M	3.8E-10	3.8E-10
<sup>189</sup> Ir	吸入摂取	S	4.0E-10	4.0E-10
		経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.9E-10
	吸入摂取	F	8.3E-11	8.3E-11
M		1.6E-10	1.6E-10	
S		1.9E-10	1.9E-10	
	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.2E-11	4.2E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (15/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>190</sup> Ir	吸入摂取	F	7.4E-10	7.3E-10
		M	7.6E-10	7.6E-10
		S	8.3E-10	8.3E-10
<sup>190m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.9E-10	5.9E-10
	吸入摂取	F	3.0E-12	3.0E-12
		M	3.1E-12	3.1E-12
S		3.4E-12	3.4E-12	
<sup>190n</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	2.3E-12	2.3E-12
	吸入摂取	F	4.1E-11	4.1E-11
		M	5.8E-11	5.8E-11
S		6.0E-11	6.0E-11	
<sup>192</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	7.5E-11	7.5E-11
	吸入摂取	F	1.7E-09	1.7E-09
		M	1.9E-09	1.9E-09
S		2.7E-09	2.7E-09	
<sup>192n</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.5E-10	4.5E-10
	吸入摂取	F	1.2E-08	1.2E-08
		M	6.2E-09	6.2E-09
S		9.3E-08	9.3E-08	
<sup>193m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.4E-10	5.4E-10
	吸入摂取	F	5.3E-11	5.3E-11
		M	2.3E-10	2.3E-10
S		2.8E-10	2.8E-10	
<sup>194</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.5E-12	3.5E-12
	吸入摂取	F	2.1E-10	2.1E-10
		M	3.2E-10	3.2E-10
S		3.3E-10	3.3E-10	
<sup>194m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	3.4E-10	3.4E-10
	吸入摂取	F	5.8E-09	5.8E-09
		M	4.6E-09	4.6E-09
S		7.5E-09	7.4E-09	
<sup>195</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	1.2E-09	1.2E-09
	吸入摂取	F	3.3E-11	3.3E-11
		M	5.6E-11	5.6E-11
S		5.7E-11	5.7E-11	
	経口摂取	全ての特定されていない化学形	4.8E-11	4.8E-11

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (16/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>195m</sup> Ir	吸入摂取	F	4.1E-11	4.1E-11
		M	7.4E-11	7.4E-11
		S	7.6E-11	7.6E-11
<sup>196m</sup> Ir	経口摂取	全ての特定されていない化学形	5.1E-11	5.1E-11
	吸入摂取	F	5.1E-11	5.1E-11
		M	7.4E-11	7.4E-11
S		7.5E-11	7.5E-11	
<sup>194</sup> Pb	経口摂取	全ての特定されていない化学形	9.1E-11	9.1E-11
	吸入摂取	F	1.1E-11	1.1E-11
		M	1.3E-11	1.3E-11
S		1.3E-11	1.3E-11	
<sup>195m</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	2.3E-11	2.3E-11
	吸入摂取	F	2.5E-11	2.5E-11
		M	1.8E-11	1.8E-11
S		1.8E-11	1.8E-11	
<sup>196</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	2.3E-11	2.3E-11
	吸入摂取	F	2.5E-11	2.5E-11
		M	2.2E-11	2.2E-11
S		2.3E-11	2.2E-11	
<sup>197m</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	2.6E-11	2.6E-11
	吸入摂取	F	5.0E-11	5.0E-11
		M	3.8E-11	3.8E-11
S		3.8E-11	3.8E-11	
<sup>198</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	3.9E-11	3.9E-11
	吸入摂取	F	7.4E-11	7.4E-11
		M	5.6E-11	5.6E-11
S		5.7E-11	5.7E-11	
<sup>199</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	6.1E-11	6.1E-11
	吸入摂取	F	3.7E-11	3.7E-11
		M	2.2E-11	2.2E-11
S		2.2E-11	2.2E-11	
<sup>200</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	3.4E-11	3.4E-11
	吸入摂取	F	4.0E-10	4.0E-10
		M	2.1E-10	2.1E-10
S		2.2E-10	2.2E-10	
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-10	1.8E-10



表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (18/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>212</sup> Pb	吸入摂取	F	3.0E-07	3.0E-07
		M	9.4E-08	9.4E-08
		S	9.4E-08	9.4E-08
<sup>214</sup> Pb	経口摂取	全ての化学形	5.6E-09	5.6E-09
	吸入摂取	F	2.0E-08	2.0E-08
		M	1.4E-08	1.4E-08
S		1.4E-08	1.4E-08	
<sup>200</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	7.7E-11	7.7E-11
	吸入摂取	F	2.7E-11	2.7E-11
		M	2.8E-11	2.8E-11
S		2.8E-11	2.8E-11	
<sup>201</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	5.0E-11	5.0E-11
	吸入摂取	F	5.4E-11	5.4E-11
		M	5.6E-11	5.6E-11
S		5.6E-11	5.6E-11	
<sup>202</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	8.8E-11	8.8E-11
	吸入摂取	F	4.8E-11	4.8E-11
		M	4.9E-11	4.9E-11
S		4.9E-11	4.9E-11	
<sup>203</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	9.0E-11	8.9E-11
	吸入摂取	F	2.1E-10	2.1E-10
		M	2.2E-10	2.2E-10
S		2.3E-10	2.3E-10	
<sup>204</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	3.3E-10	3.3E-10
	吸入摂取	F	2.6E-10	2.6E-10
		M	2.7E-10	2.7E-10
S		2.7E-10	2.7E-10	
<sup>205</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	4.0E-10	4.0E-10
	吸入摂取	F	5.0E-10	5.0E-10
		M	7.3E-10	7.3E-10
S		8.2E-10	8.2E-10	
<sup>206</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	6.1E-10	6.1E-10
	吸入摂取	F	9.3E-10	9.2E-10
		M	1.2E-09	1.2E-09
S		1.3E-09	1.2E-09	
	経口摂取	全ての化学形	1.2E-09	1.2E-09

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (19/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)		
			コード	Data Viewer	
<sup>207</sup> Bi	吸入摂取	F	8.5E-10	8.5E-10	
		M	3.8E-09	3.8E-09	
		S	6.5E-08	6.5E-08	
<sup>208</sup> Bi	経口摂取	全ての化学形	8.3E-10	8.3E-10	
	吸入摂取	F	1.0E-09	1.0E-09	
		M	3.6E-09	3.5E-09	
<sup>210</sup> Bi	吸入摂取	S	8.0E-08	8.0E-08	
		経口摂取	全ての化学形	9.8E-10	9.8E-10
	<sup>210m</sup> Bi	吸入摂取	F	2.5E-09	2.5E-09
M			2.9E-08	2.9E-08	
S			5.7E-08	5.7E-08	
<sup>212</sup> Bi	吸入摂取	経口摂取	全ての化学形	1.1E-09	1.1E-09
		F	1.3E-07	1.3E-07	
		M	1.4E-06	1.4E-06	
<sup>213</sup> Bi	吸入摂取	S	1.4E-05	1.4E-05	
		経口摂取	全ての化学形	2.6E-08	2.5E-08
		F	2.8E-08	2.8E-08	
<sup>214</sup> Bi	吸入摂取	M	2.9E-08	2.9E-08	
		S	2.9E-08	2.9E-08	
		経口摂取	全ての化学形	1.1E-10	1.1E-10
<sup>203</sup> Po	吸入摂取	F	2.8E-08	2.8E-08	
		M	2.9E-08	2.9E-08	
		S	2.9E-08	2.9E-08	
<sup>204</sup> Po	吸入摂取	経口摂取	全ての化学形	5.5E-11	5.5E-11
		F	1.4E-08	1.4E-08	
		M	1.4E-08	1.4E-08	
<sup>203</sup> Po	吸入摂取	S	1.4E-08	1.4E-08	
		経口摂取	全ての化学形	4.8E-11	4.7E-11
		F	3.5E-11	3.5E-11	
<sup>204</sup> Po	吸入摂取	M	3.7E-11	3.7E-11	
		S	3.7E-11	3.7E-11	
		経口摂取	全ての化学形	4.4E-11	4.4E-11
<sup>204</sup> Po	吸入摂取	F	2.5E-10	2.5E-10	
		M	3.1E-10	3.1E-10	
		S	3.2E-10	3.2E-10	
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-10	1.8E-10	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (20/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>205</sup> Po	吸入摂取	F	3.1E-11	3.1E-11
		M	3.3E-11	3.3E-11
		S	3.4E-11	3.4E-11
<sup>206</sup> Po	経口摂取	全ての化学形	4.8E-11	4.8E-11
	吸入摂取	F	5.4E-09	5.4E-09
		M	1.9E-08	1.9E-08
<sup>207</sup> Po	吸入摂取	S	2.3E-08	2.3E-08
		経口摂取	全ての化学形	2.9E-09
	<sup>208</sup> Po	吸入摂取	F	6.3E-11
M			6.9E-11	6.9E-11
経口摂取		全ての化学形	7.2E-11	7.2E-11
<sup>209</sup> Po	吸入摂取	S	1.0E-10	1.0E-10
		F	3.4E-07	3.4E-07
	経口摂取	全ての化学形	1.5E-06	1.5E-06
<sup>210</sup> Po	吸入摂取	M	5.0E-06	5.0E-06
		S	2.4E-07	2.4E-07
	経口摂取	全ての化学形	3.4E-07	3.4E-07
<sup>210</sup> Po	吸入摂取	F	1.5E-06	1.5E-06
		M	1.2E-05	1.2E-05
	経口摂取	全ての化学形	2.4E-07	2.4E-07
<sup>223</sup> Ra	吸入摂取	F	2.8E-07	2.8E-07
		M	1.1E-06	1.1E-06
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-06	1.8E-06
<sup>224</sup> Ra	吸入摂取	S	1.8E-07	1.8E-07
		F	1.9E-07	1.9E-07
	経口摂取	全ての化学形	1.8E-06	1.8E-06
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	M	2.2E-06	2.2E-06
		S	4.1E-08	4.1E-08
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-07	1.2E-07
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	F	9.1E-07	9.1E-07
		M	1.1E-06	1.1E-06
	経口摂取	全ての化学形	2.9E-08	2.9E-08
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	F	5.9E-08	5.9E-08
		M	9.6E-07	9.6E-07
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-06	1.3E-06
<sup>225</sup> Ra	吸入摂取	S	4.5E-08	4.5E-08
		経口摂取	全ての化学形	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (21/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>226</sup> Ra	吸入摂取	F	1.6E-07	1.6E-07
		M	1.4E-06	1.4E-06
		S	1.3E-05	1.3E-05
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-07	1.3E-07
<sup>227</sup> Ra	吸入摂取	F	2.0E-10	1.9E-10
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	2.7E-10	2.7E-10
	経口摂取	全ての化学形	5.9E-11	5.8E-11
<sup>228</sup> Ra	吸入摂取	F	4.1E-07	4.1E-07
		M	1.2E-06	1.2E-06
		S	2.2E-05	2.2E-05
	経口摂取	全ての化学形	3.4E-07	3.4E-07
<sup>230</sup> Ra	吸入摂取	F	8.9E-11	8.9E-11
		M	1.1E-10	1.1E-10
		S	1.1E-10	1.1E-10
	経口摂取	全ての化学形	1.5E-10	1.5E-10
<sup>226</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を 含む水溶性化合物、フッ化物	5.3E-08	5.3E-08
		F	2.9E-08	2.9E-08
		M	5.5E-08	5.5E-08
	経口摂取	全ての化学形	3.6E-12	3.6E-12
<sup>227</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を 含む水溶性化合物、フッ化物	1.7E-06	1.7E-06
		F	3.7E-07	3.7E-07
		M	1.6E-06	1.5E-06
	経口摂取	全ての化学形	1.3E-09	1.3E-09
<sup>228</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を 含む水溶性化合物、フッ化物	1.1E-05	1.1E-05
		F	1.7E-05	1.7E-05
		M	9.1E-06	9.0E-06
	経口摂取	全ての化学形	2.3E-05	2.3E-05
	経口摂取	全ての化学形	3.1E-08	3.1E-08

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (22/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>229</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	3.4E-05	3.4E-05
		F	1.2E-04	1.2E-04
		M	2.7E-05	2.7E-05
		S	9.5E-05	9.4E-05
	経口摂取	全ての化学形	2.1E-07	2.1E-07
<sup>230</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	9.2E-06	9.2E-06
		F	3.4E-05	3.4E-05
		M	7.3E-06	7.3E-06
		S	1.5E-05	1.5E-05
	経口摂取	全ての化学形	6.0E-08	6.0E-08
<sup>231</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	1.2E-10	1.2E-10
		F	4.6E-11	4.6E-11
		M	1.2E-10	1.2E-10
		S	1.3E-10	1.3E-10
	経口摂取	全ての化学形	1.7E-11	1.7E-11
<sup>232</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	1.0E-05	1.0E-05
		F	4.0E-05	4.0E-05
		M	8.2E-06	8.2E-06
		S	5.4E-05	5.4E-05
	経口摂取	全ての化学形	7.1E-08	7.0E-08
<sup>233</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	1.6E-11	1.6E-11
		F	1.1E-11	1.1E-11
		M	1.7E-11	1.7E-11
		S	1.7E-11	1.7E-11
	経口摂取	全ての化学形	2.2E-11	2.2E-11
<sup>234</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	2.6E-09	2.6E-09
		F	1.9E-09	1.9E-09
		M	2.3E-09	2.3E-09
		S	2.9E-09	2.9E-09
	経口摂取	全ての化学形	5.9E-10	5.9E-10

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (23/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>236</sup> Th	吸入摂取	塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	5.8E-11	5.8E-11
		F	3.8E-11	3.7E-11
		M	6.0E-11	6.0E-11
		S	6.0E-11	6.0E-11
	経口摂取	全ての化学形	9.1E-11	9.1E-11
<sup>230</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	1.1E-06	1.1E-06
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	3.6E-06	3.6E-06
		ウランアルミナイド	3.7E-06	3.7E-06
		F	2.5E-07	2.5E-07
		M	2.8E-06	2.8E-06
		S	3.7E-06	3.7E-06
		経口摂取	水溶性の物質	1.3E-08
	難溶性の物質	1.4E-09	1.4E-09	
<sup>231</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	9.6E-11	9.6E-11
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	1.9E-10	1.9E-10
		ウランアルミナイド	1.9E-10	1.9E-10
		F	4.7E-11	4.7E-11
		M	1.6E-10	1.6E-10
		S	2.0E-10	2.0E-10
		経口摂取	水溶性の物質	4.9E-11
	難溶性の物質	4.9E-11	4.9E-11	
<sup>232</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	1.1E-06	1.1E-06
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	2.1E-05	2.1E-05
		ウランアルミナイド	7.4E-06	7.4E-06
		F	1.3E-06	1.3E-06
		M	3.0E-06	3.0E-06
		S	6.8E-05	6.8E-05
		経口摂取	水溶性の物質	1.8E-07
	難溶性の物質	1.8E-08	1.8E-08	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (24/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)		
			コード	Data Viewer	
<sup>233</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	4.2E-07	4.2E-07	
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.6E-06	5.6E-06	
		ウランアルミナイド	3.1E-06	3.1E-06	
		F	2.6E-07	2.6E-07	
		M	1.5E-06	1.5E-06	
		S	1.4E-05	1.3E-05	
	経口摂取	水溶性の物質	3.6E-08	3.5E-08	
		難溶性の物質	3.6E-09	3.5E-09	
	<sup>234</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	4.1E-07	4.1E-07
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.6E-06	5.5E-06
ウランアルミナイド			3.0E-06	3.0E-06	
F			2.5E-07	2.5E-07	
M			1.4E-06	1.4E-06	
S			1.3E-05	1.3E-05	
経口摂取		水溶性の物質	3.5E-08	3.5E-08	
		難溶性の物質	3.5E-09	3.5E-09	
<sup>235</sup> U		吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.8E-07	3.8E-07
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.1E-06	5.1E-06
	ウランアルミナイド		2.8E-06	2.8E-06	
	F		2.3E-07	2.3E-07	
	M		1.3E-06	1.3E-06	
	S		1.2E-05	1.2E-05	
	経口摂取	水溶性の物質	3.2E-08	3.2E-08	
		難溶性の物質	3.3E-09	3.3E-09	
	<sup>235m</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	6.0E-17	6.0E-17
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	6.0E-17	6.0E-17
ウランアルミナイド			5.9E-17	5.9E-17	
F			6.9E-17	6.9E-17	
M			6.0E-17	6.0E-17	
S			6.0E-17	6.0E-17	
経口摂取		水溶性の物質	5.8E-19	5.8E-19	
		難溶性の物質	5.9E-20	5.9E-20	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (25/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)		
			コード	Data Viewer	
<sup>236</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.9E-07	3.8E-07	
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	5.2E-06	5.2E-06	
		ウランアルミナイド	2.8E-06	2.8E-06	
		F	2.4E-07	2.4E-07	
		M	1.3E-06	1.3E-06	
		S	1.2E-05	1.2E-05	
	経口摂取	水溶性の物質	3.2E-08	3.2E-08	
		難溶性の物質	3.2E-09	3.2E-09	
	<sup>237</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	2.4E-10	2.4E-10
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	4.8E-10	4.8E-10
ウランアルミナイド			4.9E-10	4.9E-10	
F			1.1E-10	1.1E-10	
M			4.1E-10	4.1E-10	
S			4.8E-10	4.8E-10	
経口摂取		水溶性の物質	7.6E-11	7.6E-11	
		難溶性の物質	7.4E-11	7.4E-11	
<sup>238</sup> U		吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.6E-07	3.6E-07
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	4.8E-06	4.8E-06
	ウランアルミナイド		2.6E-06	2.6E-06	
	F		2.2E-07	2.2E-07	
	M		1.2E-06	1.2E-06	
	S		1.2E-05	1.2E-05	
	経口摂取	水溶性の物質	3.1E-08	3.1E-08	
		難溶性の物質	3.1E-09	3.1E-09	
	<sup>239</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	1.8E-11	1.8E-11
			八酸化三ウラン、二酸化ウラン	1.9E-11	1.9E-11
ウランアルミナイド			1.9E-11	1.9E-11	
F			1.6E-11	1.6E-11	
M			1.9E-11	1.9E-11	
S			1.9E-11	1.9E-11	
経口摂取		水溶性の物質	2.4E-11	2.4E-11	
		難溶性の物質	2.4E-11	2.4E-11	

表 3-1 改良コードと OIR Data Viewer ver. 3.01.05.18 の実効線量係数の比較 (26/26)

核種	摂取経路	化学形又は 血液への吸収タイプ	実効線量係数 (Sv/Bq)	
			コード	Data Viewer
<sup>240</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	2.8E-10	2.8E-10
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	3.2E-10	3.2E-10
		ウランアルミナイド	3.2E-10	3.2E-10
		F	2.0E-10	2.0E-10
		M	3.0E-10	3.0E-10
		S	3.2E-10	3.2E-10
		経口摂取	水溶性の物質	2.6E-10
	難溶性の物質	2.6E-10	2.6E-10	
<sup>242</sup> U	吸入摂取	硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物、重 ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン	3.1E-11	3.1E-11
		八酸化三ウラン、二酸化ウラン	3.1E-11	3.1E-11
		ウランアルミナイド	3.1E-11	3.1E-11
		F	2.9E-11	2.9E-11
		M	3.1E-11	3.1E-11
		S	3.1E-11	3.1E-11
		経口摂取	水溶性の物質	6.2E-11
	難溶性の物質	6.2E-11	6.2E-11	

### 3.3 1990年勧告に準拠する線量係数の計算、日本人パラメータの適用

国内の放射線規制への2007年勧告の取入れに係る検討においては、新旧の実効線量係数の差異やその影響因子に関する知見が重要となる。また、日本人の特性が実効線量係数に及ぼす影響についても、国際データを国内の規制に採用する際の重要な参考データとなる。そこで、本事業では、こうした検討に資するため、1990年勧告に従うモデルやデータ、日本人パラメータを用いた線量係数計算が可能な内部被ばく線量評価コードを開発する計画である。本節では、それぞれの計算を実施するための検討結果及び対応方法を記す。

#### 3.3.1 1990年勧告に準拠する線量係数の計算

放射線加重係数  $w_R$ 、組織加重係数  $w_T$ 、放射性核種崩壊データ、体内動態モデル及びSAFデータを基に等価線量及び実効線量を算出する流れについては、1990年勧告と2007年勧告でほぼ同様である[4, 5]。しかしながら、2007年勧告に準拠した線量評価では、使用する線量評価モデルやデータは全て改訂された。また、実効線量の算出におけるいくつかのルールについても見直しがあった。

コードの維持管理を考慮すると、1990年勧告に準拠する線量係数の計算を実行可能とするにあたって、内部被ばく線量評価コードの構造、アルゴリズム等に変更を加えることは、可能な限り最小限にすることが望ましい。本項では、1990年勧告と2007年勧告について、線量評価モデル・データや実効線量算出手順の差異をまとめるとともに、データの与え方に関する検討結果を記す。

##### (1) 線量評価モデル・データ

表 3-2 に、各基本勧告において参照する線量評価モデル・データの比較を示す。各データ・モデルについて、実効線量を算出するにあたって考慮すべき差異を以下に記す。

表 3-2 線量評価モデル・データの比較

データ・モデル	1990年勧告	2007年勧告
体重、組織・臓器質量	ICRP Publ. 23 [29], ORNL/TM-8381/V1 [30]	ICRP Publ. 89 [22]
放射線加重係数 $w_R$ 、 組織加重係数 $w_T$	ICRP Publ. 60 [4]	ICRP Publ. 103 [5]
放射性核種崩壊データ	ICRP Publ. 38 [31]	ICRP Publ. 107 [24]
体内動態モデル 呼吸気道モデル 消化管モデル 組織系動態モデル	ICRP Publ. 66 [32] ICRP Publ. 30 part 1 [33] ICRP Publ. 30 parts 1-4, 56, 67, 69, 71 [33-40]	ICRP Publ. 130 [25] ICRP Publ. 100 [23] ICRP Publ. 134, 137 [20, 21]
SAF データ	光子：ORNL/TM-12351 [41] 電子、 $\alpha$ 粒子等：ICRP Publ. 30 part 1, 66 [32, 33]	ICRP Publ. 133 [19]

- ・体重、組織・臓器質量

2007年勧告において $w_T$ が適用される組織・臓器が追加されたため、データ数とその数値に差異がある。

- ・放射線加重係数、 $w_R$

内部被ばくで重要となる光子、電子、 $\alpha$ 粒子（ $\alpha$ 壊変反跳核、自発核分裂片を含む）に対する値は変更がなかったものの、中性子に対してはエネルギー関数の見直しがあった。2007年勧告に準拠した線量係数評価においては、中性子を放出する核種に対して、核種が放出する中性子スペクトルを考慮した平均 $w_R$ がデータ化されており[19]、これを使用することとなる。

- ・組織加重係数、 $w_T$

2007年勧告において $w_T$ が適用される組織・臓器が追加されるとともに、適用する数値の見直しが行われた。

- ・放射性核種崩壊データ

使用するデータファイル（RADファイル：放出放射線の種類、エネルギー、放出率、BETファイル： $\beta$ 線スペクトルデータ、NDXファイル：壊変系列、RAD及びBETファイルの収録位置等のインデックスファイル）のデータ収録様式が変更された[24, 31]。

- ・体内動態モデル

呼吸気道モデルについては、粒子輸送クリアランスに関するコンパートメントモデルの見直しと、標準で使用する血液吸収クリアランスに関するモデルの変更があった[25]。ただし、血液吸収クリアランスについては、2007年勧告に準拠する計算においても、従来の規定モデルを適用するケースも一部存在する[21]。消化管モデルについては、コンパートメントモデルにおけるコンパートメントが追加されるとともに、小腸内容物以外のコンパートメントからの血液移行も考慮できる構造となった[23]。ただし、今のところ、小腸内容物以外から血液に移行する移行パラメータは提示されていない[20, 21]。組織系動態モデルについては、体内動態に関する最新のレビューを反映して見直されたものが順次公開されている[20, 21]。このように、モデルの見直しは進められたが、データの与え方に関する変更はない。

- ・SAF データ

2007年勧告に準拠した線量評価におけるSAFデータは、男女別に全放射線についてエネルギーの関数として与えられている[19]。一方、1990年勧告に準拠した線量評価では、男女の区別はなく、エネルギーの関数としてSAFが与えられたのは光子並びに呼吸気道領域における電子及び $\alpha$ 粒子のみであった。呼吸気道領域を除く電子及び $\alpha$ 粒子に対するSAFはエネルギーによらない一定値として与えられ、骨領域における電子SAFについては0.2 MeVを境に2つの値が設定されていた[32, 33, 41]。また、中性子に関するSAFデータはなく、Dillmanら[42]による $^{252}\text{Cf}$ の中性子に対する組織と臓器の組合せ毎に評価された吸収線量データを使用して線量を導出していた。その他、従来データには、エネルギーが0に限りなく近づいたときのSAFの極限值という概念はなく、10 keV未満のデータはなかった。さらに、10 keV未満の光子については電子のSAFを適用するというルールがあった[41]。

## (2) 実効線量算出手順

線量評価モデル・データから実効線量を算出するまでの手順のうち、1990年勧告と2007年勧告とで異なるものについて、その内容を記す。

### ・線源領域が Other の SAF の計算

2007年勧告における線源領域が Other の SAF、 $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は、式(3-2)に示すとおり、Other に含まれる線源領域 S から各標的臓器 T への SAF、 $\Phi(T \leftarrow S)$  ( $\text{kg}^{-1}$ )の質量加重平均することによって計算する[19]。

$$\Phi(T \leftarrow \text{Other}) = \frac{1}{M_{\text{Other}}} \sum_S M_S \Phi(T \leftarrow S) \quad (3-2)$$

ここで、 $M_{\text{Other}}$  ( $\text{kg}$ )は Other の質量、 $M_S$  ( $\text{kg}$ )は線源領域 S の質量である。一方、1990年勧告における  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  は、式(3-3)に示すとおり、全身線源の SAF、 $\Phi(T \leftarrow \text{WB})$  ( $\text{kg}^{-1}$ )から、Other に含まれない線源領域 S' から各標的臓器 T への SAF、 $\Phi(T \leftarrow S')$  ( $\text{kg}^{-1}$ )及び心臓内容物 HtC から各標的臓器 T への SAF、 $\Phi(T \leftarrow \text{HtC})$  ( $\text{kg}^{-1}$ )を線源領域の質量で加重し差し引くことにより計算する[41]。

$$\Phi(T \leftarrow \text{Other}) = \frac{M_{\text{WB}} \Phi(T \leftarrow \text{WB}) - \sum_{S'} M_{S'} \Phi(T \leftarrow S') - M_{\text{HtC}} \Phi(T \leftarrow \text{HtC})}{M_{\text{WB}} - \sum_{S'} M_{S'} - M_{\text{HtC}}} \quad (3-3)$$

ここで、 $M_{\text{WB}}$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は全身組織質量、 $M_{S'}$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は線源領域 S' の質量、 $M_{\text{HtC}}$  ( $\text{kg}^{-1}$ )は HtC の質量である。

### ・放射線加重 S 係数の計算

2007年勧告における  $\beta$  線に対する放射線加重 S 係数  $S_w$  ( $\text{Sv}/(\text{Bq s})$ )の計算においては、すべての線源領域-標的臓器の組合せについてスペクトルデータを参照して行うこととなっている[19]。一方、1990年勧告では、SAF がエネルギー関数で与えられた呼吸気道領域内の線源領域-標的臓器の組合せについてはスペクトルデータを参照し、それ以外の領域については  $\beta$  線の平均エネルギーを用いて  $S_w$  の計算を行っていた[43]。

### ・生殖腺の等価線量の計算

2007年勧告における生殖腺の等価線量は、男性人体モデルに基づく精巣に対する等価線量と、女性人体モデルに基づく卵巣に対する等価線量の算術平均値である[5]。一方、1990年勧告においては、精巣と卵巣をともに有する男女の区別のない人体モデルに基づく精巣及び卵巣に対する等価線量の大きい方が生殖腺の等価線量である[38]。

### ・残りの組織の等価線量の計算

2007年勧告における残りの組織の等価線量  $H_{\text{rem}}$  は、残りの組織に含まれる 13 種類の組織・臓器に対する等価線量の算術平均値である[5]。一方、1990年勧告における  $H_{\text{rem}}$  は、残りの組織に含まれる 10 種類の組織・臓器に対する等価線量の質量加重平均とされていた。また、残りの組織に含まれる組織・臓器の等価線量の最大値  $H_{\text{max}}$  が、個別の  $w_T$  が適用される組織・臓器の等価線量の最大値  $H_T$  より大きい場合、 $H_{\text{max}}$  を与える組織・臓器  $T_{\text{max}}$  に対して残りの組織に対する  $w_T$  の半分が適用され、 $w_T$  の残り半分は  $T_{\text{max}}$  を除く 9 種類の組織・臓器に対する等

価線量の質量加重平均値に適用される、いわゆる分割ルールが採用されていた。式で表すと式(3-4)のとおりである[38]。

$$\begin{cases} H_{\text{rem}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} m_i H_i}{\sum_{i=1}^{10} m_i}, & \text{if } H_{\text{max}} \leq H_{T'} \\ H_{\text{rem}} = 0.5 \frac{\sum_{i=1(i \neq T')}^{10} m_i H_i}{\sum_{i=1(i \neq T')}^{10} m_i} + 0.5 H_{\text{max}}, & \text{if } H_{\text{max}} > H_{T'} \end{cases} \quad (3-4)$$

- ・実効線量の計算

2007年勧告における実効線量は、男女別の人体モデル[44]に基づく男女別の等価線量の平均値に対して  $w_T$  を乗じ、総和するという手順で算出する[5]。一方、1990年勧告における実効線量は、男女の区別のない人体モデル[30]に基づく等価線量に対して  $w_T$  を乗じ、総和することで算出する[4]。

### (3) データの与え方に関する検討

開発中の線量係数計算機能に対してアルゴリズムの追加や変更を実施することなく 1990年勧告に準拠した計算を実行するために、線量評価モデル・データや実効線量算出手順の違いをデータの与え方で対応する方法について検討した。

- ・体重、組織・臓器質量

データ数と各数値の変更のみであり、従来のデータを開発コードのデータ様式で格納することで対応可能である。

- ・放射線加重係数、 $w_R$

内部被ばくによる実効線量の算出において考慮する必要のある放射線の種類は、光子、電子、 $\alpha$ 粒子、 $\alpha$ 壊変反跳核、自発核分裂片、及び中性子である。このうち、中性子以外については、 $w_R$ の数値に変更はない。中性子に対する  $w_R$  は、いずれの勧告においてもエネルギーの関数で与えられるが、2007年勧告に準拠した線量評価では、中性子スペクトルを考慮した  $w_R$  が核種毎にデータ化されており、SAFデータとともに収録されている。そこで、1990年勧告に準拠した線量評価を実行するためには、Dillmanら[42]の $^{252}\text{Cf}$ の中性子に対する線源領域-標的臓器組合せ毎に評価された吸収線量データを基に SAF を導出するとともに、中性子  $w_R$  のエネルギー関数と核崩壊データを基にスペクトルデータで加重平均した  $w_R$  を算出し、ICRP Publ. 133 の中性子 SAF データと同じ様式のデータファイルを作成すれば良い。ここで、SAF は、Dillmanらの吸収線量を $^{252}\text{Cf}$ の平均中性子エネルギーで除することで得られる。

- ・組織加重係数、 $w_T$

データ数と各数値の変更のみであり、従来のデータを開発コードのデータ様式で格納することで対応可能である。

- ・放射性核種崩壊データ

ICRP Publ. 38 のデータを ICRP Publ. 107 の様式に修正した事例[45]があり、対応可能である。

- ・体内動態モデル

呼吸気道の粒子輸送クリアランスモデル、消化管モデル、組織系動態モデルは、従来モデルにおいても移行元と移行先コンパートメントの組合せ毎に移行係数を与えるデータが整備されており、開発コードのデータ様式で記入することにより対応可能である。また、呼吸気道の血液移行モデルについても、3.2.2 項で記したように、開発コードは 1990 年勧告に準拠した線量評価における規定モデルにも対応可能となったため、従来データを開発コードのデータ様式で格納することにより対応可能である。

- ・SAF データ

エネルギーに関係なく一定の値とする SAF については、エネルギー関数で表現することで対応可能である。SAF の極限值という概念については、光子以外の SAF はエネルギーによらず一定値であること、10 keV 未満の光子は電子の SAF を適用することから、データの整備が可能である。また、骨領域における電子 SAF が、0.2 MeV を境に 2 つの値が設定されている点については、RAD ファイルにおけるエネルギーデータの有効数字が 6 桁であることから、0.199999 MeV のエネルギー点データを追加することで対応可能である。以上のことから、従来データを開発コードのデータ様式で格納することにより対応可能である。

- ・線源領域が Other の SAF の計算

2007 年勧告に準拠した線量評価において用いられる SAF データは体全体が何らかの線源領域に区分されているため、式(3-2)によって  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  を計算することが可能である。一方、従来の SAF データは、全身組織を除く線源領域をすべて足し合わせても全身をカバーできないため、式(3-2)で  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  を計算することはできない。そこで、従来の組織系動態モデルを参照し、Other に含まれ得るすべての線源領域を全身組織から取り除いた領域を線源とする SAF を式(3-3)によりあらかじめ計算しておくことで、従来の SAF データに基づく  $\Phi(T \leftarrow \text{Other})$  を式(3-2)で計算可能とする方法を考案した。

- ・放射線加重 S 係数の計算

$\beta$  線を除く放射線に対する  $S_w$  の計算は、放射性核種崩壊データ及び SAF データを用意することで 1990 年勧告に準拠した計算方法を実行可能である。しかしながら、 $\beta$  線については、呼吸気道領域においてはスペクトルデータを考慮して、呼吸気道以外の領域においては平均エネルギーで  $S_w$  を計算しなければならない。また、骨領域の電子 SAF は 0.2 MeV を境に 2 つの値を取る[33]ため、スペクトルデータを考慮した計算では 1990 年勧告に準拠した計算手順に基づく  $S_w$  を再現できない。

- ・生殖腺の等価線量の計算

開発中のコードにおける等価線量は、男女で同じ ID が付された組織・臓器の等価線量を算術平均して計算するようハードコーディングされている。開発中のコードによる 2007 年勧告に準拠した生殖腺の等価線量計算では、 $w_T$  を適用する組織を構成する組織・臓器を記述するデータファイルにおいて、男性は精巣を、女性は卵巣を生殖腺の構成組織・臓器として指定している。そのため、生殖腺の等価線量の計算結果は、男性の精巣の等価線量と女性の卵巣

の等価線量の平均値となる。1990年勧告に準拠した生殖腺の等価線量を出力するためには、男性の精巣の等価線量と女性の卵巣の等価線量の大きい方を生殖腺の等価線量とする処理の追加が必要となる。ただし、 $w_T$ を適用する組織のデータファイルにおいて、生殖腺ではなく精巣と卵巣を組織としてデータ化することで、精巣と卵巣の等価線量をそのまま出力することは可能である。

- ・ 残りの組織の等価線量の計算

開発中のコードにおける残りの組織の等価線量  $H_{rem}$  の計算は、残りの組織に含まれる組織・臓器の等価線量を算術平均するようハードコーディングされている。一方、2007年勧告に準拠する線量計算に用いるアルゴリズムにおいて、分割ルールの適用は想定していない。

- ・ 実効線量の計算

1990年勧告に準拠したモデル・データに基づく実効線量の算出手順は、男女別に SAF データファイルを用意し、これに男女共通のデータを格納させることで対応は可能である。しかしながら、上記のように、1990年勧告に準拠した生殖腺及び残りの組織の等価線量を出力するためには、アルゴリズムの検証が必須となる。

#### (4) 検討結果と今後の課題

線量評価モデル・データの更新や実効線量算出手順の変更が実効線量係数に及ぼす影響を把握するためには、1990年勧告及び2007年勧告に従うモデルやデータを個別に設定可能であることが望ましい。この場合、体内動態モデルにおけるコンパートメントと SAF データの線源領域の紐付け、 $w_T$ を適用する組織・臓器と SAF データの標的臓器の関係等、整合性が取れない状況となる。そのため、モデルやデータを個別に選択し、組み合わせる実効線量係数評価を実行するため、今後、アルゴリズムの検討、必要に応じてコードの改良が必要となる。

#### 3.3.2 日本人パラメータの適用

表 2-1 の線量評価モデルやデータは、ICRP が国際的な研究で得た成果や知見を反映して定めたものである。そのため、実効線量係数を「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 にある基準値の改定に適用する場合、日本人に適したパラメータを設定した計算により、その合理性を確認することも想定される。平成 7 年度から平成 11 年度まで、原研（現、原子力機構）では、科学技術庁からの委託事業「原子力発電施設等内部被ばく評価技術調査」により、当時検討されていた 1990 年勧告の国内法令への取入れに対する有効な技術として、内部被ばく線量評価に用いる INDES/IDEC を開発した[8]。この調査においては、日本人の代謝データ等の調査、整備を行い、その結果を反映した線量評価法の検討も進められた。そこで、今年度の事業では、日本人の体格特性や代謝特性（動態や排出）を考慮したデータやパラメータを調査し、当該機能における適用方法を検討した。

- ・ 体格特性

ICRP が Publ. 133 で公開した SAF データについては、Publ. 110 [44]で定めた標準人モデルを採用している。標準人体モデル（RCP-AF:女性、RCP-AM：男性）は Publ. 89 [22]の体重データ、組織・重量質量データに従って構築しており、その数値はコーカソイドの標準値とな

っている。成人日本人は、コーカソイドの成人よりも体格（身長、体重）は小さいことが知られている。そこで、原子力機構では、成人日本人の身体的特性を考慮した線量評価を可能とするため、平均的成人日本人人体モデル（JF-103：女性、JM-103：男性）を開発した[46]。表 3-3 に示すとおり、各ファントムは標準人体モデルよりも小さく、成人日本人の平均的な体格を持たせている。また、Publ. 103 で組織加重係数を割り当てられた全ての臓器・組織を含んでおり、その質量は日本人の平均値と±10%以内で一致している[46]。

表 3-3 成人日本人人体モデル[46]及び ICRP 標準人体モデル[44]の体格

	JF-103	JM-103	RCP-AF	RCP-AM
身長 (cm)	155	171	163	176
体重 (kg)	52	65	60	73

原子力機構では、JF-103 及び JM-103 を用いて、10 keV から 10 MeV の光子及び電子に対する SAF データを計算により解析し、公開した[47, 48]。ICRP の標準人体モデルによる SAF データ (Publ. 133) と成人日本人人体モデルによる計算結果の比較検証により、二種類の各性の人体モデルの差異が SAF データに与えた影響が確認されている[47-49]。また、男性モデル同士、すなわち JM-103 と RCP-AM については、体格の差異が実効線量に及ぼす影響についても確認されている[27]。そのため、成人日本人人体モデルによる SAF データを適用することで、平均的な日本人の体格特性を考慮した内部被ばく線量評価を行うことが期待できる。

#### ・代謝特性

日本人の代謝特性に関する研究の多くは、排泄量、生物学的半減期等、体内における存在量の評価に関係する量を対象としていた。このうち、生物学的半減期として、水素[50]、鉄[51]、ヨウ素[52]、セシウム[53]等の元素に対するデータが報告されている。上記の「原子力発電施設等内部被ばく評価技術調査」においては、ヨウ素及びセシウムの代謝データが特徴的とされ、線量係数が試算された[54]。この試算において、ヨウ素の甲状腺への移行率及び生物学的半減期[52]並びにセシウムの生物学的半減期[53]が適用された。

一方、国内の原子力施設、放射線施設やその周辺における内部被ばく線量評価では、基本的にはICRPによる国際的な標準データを適用してきた。ただし、「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針（線量評価指針）」[55]では、原子炉施設の基本設計段階における平常運転時の施設周辺の線量評価に用いるパラメータとして、ヨウ素の甲状腺への移行率をICRPがPubl. 30で与えた0.3 [33]ではなく、日本人特性を考慮した0.2を与えている。ここで与えられている0.2という数値については、1960年代を中心に報告された成果に基づき、出生後の数日間を除いて年齢に拠らず一定という知見[56]に基づいて定められた[55]。その後、1970年代から1980年代にかけても、日本人のヨウ素の甲状腺への移行率を0.2することを裏付ける成果が報告されている[52, 57, 58]。また、線量評価指針で対象としている<sup>131</sup>I及び<sup>132</sup>I以外の同位元素について、上記のパラメータを適用してヨウ素の内部被ばくによる線量係数を試算した研究報告もある[59]。

以上を鑑みて、開発する機能を活用した線量評価では、日本人パラメータについては任意

に指定することが適切と判断される。その中で、ヨウ素の甲状腺への移行率については、日本人特性を考慮したパラメータを予め用意することが適当である。ただし、図 3-4 に示すとおり、OIR part 3 では甲状腺への取込みや排出について、新たに有機ヨウ素とそれ以外のヨウ素を個別に考慮したヨウ素の組織系動態モデルが与えられた[21]。そこで、新旧モデルの差異を分析し、適切なパラメータを準備することが課題となる。

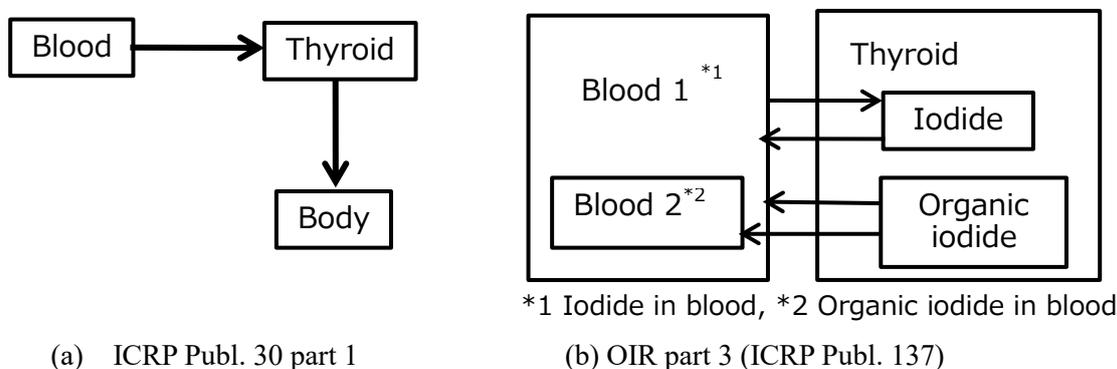


図 3-4 甲状腺におけるヨウ素の代謝（取込み、排出）を表すモデル

### 3.4 コードの全体設計

#### 3.4.1 線量評価に用いるモデルとデータの記述方式

今年度、線量係数計算機能の設計を進めるにあたり、以下の 2 点を考慮してコードの全体設計を行った。

- ・ ICRP が今後公開すると想定される線量評価データ、モデルの継続的な取り込み
- ・ 日本人パラメータや 1990 年勧告に従う線量計算

上記の要件を満たすため、データの追記が可能であり、容易に編集可能となる効率的なファイル記述方法である必要がある。また、パラメータが異なる複数のファイルを切り替えて計算するため、効率的なファイルの格納方法であることが要求される。

線量係数の計算などで必要なモデルやデータの記述方式については、本事業の先行事業（平成 21 年度から平成 23 年度までは文部科学省、平成 24 年度から平成 26 年度までは原子力規制庁からの受託事業）で検討を進めた[9-14]。平成 23 年度の事業において、一定の書式に従うプレーンテキスト方式、タグによりデータの構造や属性を自由に記述できる XML（Extensible Markup Language）を採用することとした。また、各データやモデルの特徴に鑑み、当時は刊行物として未公開のものを含めて、以下の方式で記述することとした[11]。

- ・ プレーンテキスト方式

体重データ、組織・臓器質量データ、放射線加重係数  $w_R$ 、放射性核種崩壊データ、SAF データ

- ・ XML 形式

組織加重係数  $w_T$ 、ヒト呼吸気道モデル、ヒト消化管モデル、組織系動態モデル

先行事業の行われていた平成 26 年度末時点において未公開であったデータのうち、ヒト呼吸気道モデル、成人の SAF データ及び作業者の主要 28 元素に対する組織系動態モデルにつ

いては、それぞれ Publ. 130、Publ. 133、Publ. 134 及び Publ. 137 で公開された。また、ICRP より今後公開が想定されるモデルやデータとしては、成人以外の SAF データ、作業者に対する主要 28 元素以外の組織系動態モデルがある。

#### 3.4.2 SAF データの実装に関する検討

SAF データについては、年齢別の男女のモデルによりエネルギーの関数で整備することが想定され、大幅なデータ量の増加が見込まれていた。そのため、プレーンテキスト形式を採用することを決定した。その中で、全身の組織とそれ以外に分類し、カットオフエネルギーをフラグで表現し整備するとした。しかし、Publ. 133 の付属データとして整備された SAF データは、Pub. 107 で公開された放射性核種データと同様、改変をしないことが利用の許諾条件とされた。そこで、Publ. 133 を改変することなく、プレーンテキスト形式でデータを整備する。なお、中性子放出核種の中性子に対する  $w_R$  について、先行事業ではエネルギーに対する関数で導出される加重係数より計算する設計としたが、上述のように各核種に固有の 1 つの値が与えられている。

今後の公開が想定される成人以外の年齢群の SAF データに関して、導出に必要な人体モデル（ファントム）が本年 8 月に公表された ICRP TG96 によるドラフト文書で記載された[60]。ここでは、新生児、1 歳児、5 歳児、10 歳児及び 15 歳児の年齢群について男女のファントムが示されており、SAF データも上記の 5 つの年齢群に対する整備が想定される。これらのデータについても、成人のデータと同様に改変しないことが、利用の許諾条件とされる可能性が高い。

#### 3.4.3 組織系動態モデルの実装に関する検討

3.4.1 項のモデルやデータの記述方式の検討において、体内での核種動態を示すヒト呼吸気道モデル及び組織系動態モデルは 1990 年勧告に従うモデルを参照した。一方、OIR part 2 及び part 3 のドラフト文書が公開された際、組織系動態モデルは従来のもものと比較して、複雑化することが推測されていた[12]。これらのモデルについては、正式に公開された Publ. 134 及び Publ. 137 で複雑化している一方、移行元と移行先を表すコンパートメント名（臓器や組織名）及び移行係数で公開されることが確認された。

より具体的に組織系動態モデルは、下記のように大きく 2 つに分類されるモデルの前提条件及び数値パラメータにより表現される。

- ・ 元素や物質名、年齢、コンパートメント名（移行元、移行先）等の前提条件
- ・ 移行係数、吸収割合等の数値パラメータ

このうち、数値パラメータは刊行物のデータを与えることになる。年齢については、3.4.2 項で述べたとおり、成人とそれ以外の 5 年齢群となることが推測される。一方、組織系動態モデルに含まれる物質名及びコンパートメントについては、各元素間で数等も異なり、多岐にわたるので、刊行物を調査してデータ実装における留意点を抽出した。

- ・ 物質の種類（化学形等）

OIR part 2 に掲載されている元素のうち、水素及びニオブで明示されている物質の種類（化

学形)、線量係数等を表 3-4 及び表 3-5 にまとめた。これら 2 つの表より、考慮されている物質の種類や線量係数の数については、関連する研究の実施例に応じて、元素間で大きく異なっていると推測される。また、ニオブの粒子の吸入 (Type F) のように、線量係数のみが与えられているケースもある。

表 3-4 水素の線量係数一覧

物質の種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路	線量係数 (mSv/Bq)
トリチウム水 (蒸気)	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入	2.0E-08
トリチウムガス	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入	2.0E-12
トリチウムメタン	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入	5.9E-11
特定されないガスまたは蒸気	ガスまたは蒸気 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入	2.0E-08
有機結合トリチウム (OBT)	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入	3.5E-08
トリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入	1.3E-08
ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されていない化合物	粒子 (Type M), $f_A = 0.2$	吸入	2.4E-08
トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム	粒子 (Type S), $f_A = 0.01$	吸入	2.6E-07
可溶性物質 (有機結合トリチウム及びトリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$ )	$f_A = 0.99$	経口	1.9E-08
生体物質	$f_A = 0.99$	経口	5.1E-08
難溶性物質 (ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されない化合物、トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム)	$f_A = 0.1$	経口	2.0E-09

表 3-5 ニオブの線量係数一覧

物質の種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路	線量係数 (mSv/Bq)
数値のみ (化学形等なし)	粒子 (Type F), $f_A = 0.01$	吸入	5.6E-07
シュウ酸塩、全ての特定されない化学形	粒子 (Type M), $f_A = 0.002$	吸入	6.9E-07
炭酸塩、酸化物	粒子 (Type S), $f_A = 0.0001$	吸入	8.5E-07
全ての化学形	$f_A = 0.01$	経口	3.0E-07

線量係数の導出においては、化学形等の物質の種類を指定する必要がある。ただし、物質の種類 (化学形) を個別に XML 形式でタグ付けして、組織系動態モデルを表現する場合、水素では、20 を超えるデータセットを整備することになる。一方で、水素では線量係数が 11 個与えられており、計算条件の倍となるデータを用意することになる。そこで、吸収タイプや  $f_A$  値の情報を基本として、線量係数を与えているケース毎に分類して組織系動態モデルに係るデータを整理し、物質の種類 (化学形) を実装することが適切と考える。一方、水素の粒子 (Type F) の吸入摂取、 $f_A$  値が 0.99 の核種の経口摂取のように、複数の種類 (化学形) が存在する場合、両者を区別してデータを読み込む必要がある。

表 3-6 に OIR part 2 及び part 3 に収録された元素について、線量係数が与えられているケースの数をまとめた (ただし、ラドンについては、子孫核種による単位被ばく当たりの線量

が与えられているために含めていない)。ニオブの粒子 (Type F) の吸入のように、線量係数のみが与えられているケースは、カッコ書きで記した。吸入摂取については、表 3-1 に記したとおり、全ての元素で粒子吸入の Types F、M 及び S の 3 つのケースの線量係数を与えている。ただし、カッコ書きのケースを含む 21 の元素については、ICRP が各元素で一部の吸収タイプを与える物質の種類 (化学形) があることを把握していない。開発する機能では、全ての条件で計算させる一方、表 3-6 でカッコ書きとされた条件では、化学形等については明記せず、吸収タイプで種類を認識することにする。

一方、吸入摂取で線量係数が 4 つ以上与えられている元素のうち、トリウム及びウランについては、通常の吸入タイプとは異なる条件を持つ物質の種類 (化学形) も分類されており、固有の線量係数が与えられている。また、水素、硫黄、ルテニウム、テルル及びヨウ素については、蒸気やガスの摂取条件に応じた線量係数がある。今後組織系動態モデル等が公表される予定の元素では、1990 年勧告に準拠する Publ. 68 の調査より、ニッケル、水銀等でガスや蒸気状の摂取条件に対応した線量係数が与えられる可能性がある。

表 3-6 各元素が与える線量係数の数

元素	線量係数の数*		元素	線量係数の数*		元素	線量係数の数*	
	吸入	経口		吸入	経口		吸入	経口
H	8	3	Y	3	1	Cs	2(1)	2
C	7(1)	1	Zr	2(1)	1	Ba	2(1)	2
P	2(1)	1	Nb	2(1)	1	Ir	3	1
S	4(1)	2	Mo	2(1)	2	Pb	2(1)	2
Ca	2(1)	1	Tc	2(1)	1	Bi	1(2)	1
Fe	2(1)	1	Ru	4	1	Po	1(2)	1
Co	3	2	Sb	2(1)	1	Ra	2(1)	1
Zn	3	1	Te	3(1)	1	Th	3(1)	1
Sr	3	2	I	3(2)	1	U	5(1)	2

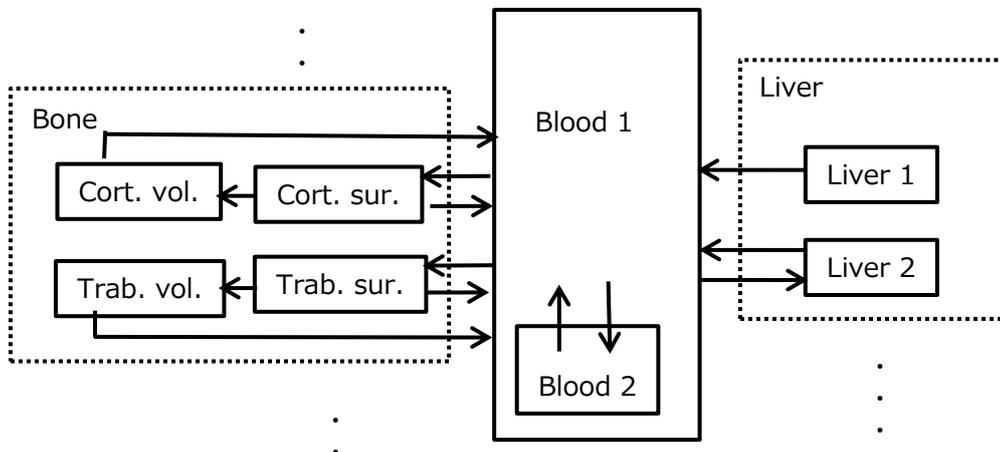
\*物質の種類 (化学形) が明示されている場合の個数 (“特定されていない化学形”等を含む) であり、線量係数のみが与えられているケースはカッコ書きで個数を示している。

・コンパートメント名

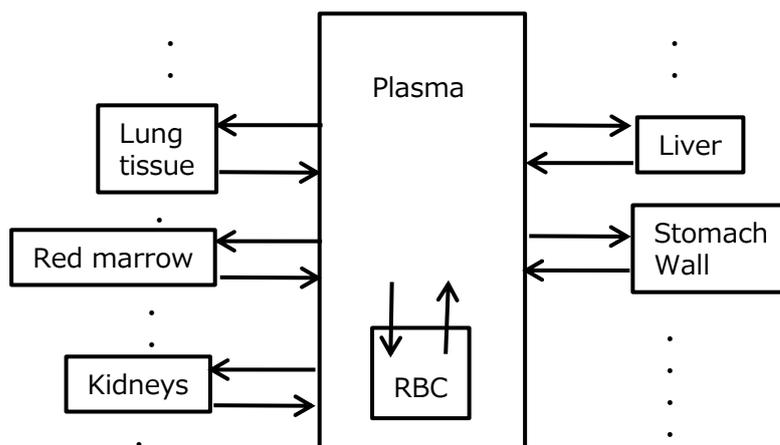
放射性核種の体内動態の移行を示すコンパートメントは、臓器や組織等の名前を含んで与えられる。全身を循環する血液、全身に含まれる骨領域及び排泄物 (膀胱及び結腸内容物) というコンパートメントについては、OIR part 2 及び part 3 に含まれる主要 28 元素の全ての組織系動態モデルで与えられている。他、多くの元素では全身軟組織を表すコンパートメント並びに骨領域の骨皮質及び梁骨の 2 つが含まれている。個別の臓器の中では腎臓及び肝臓を示すコンパートメントが比較的多くの元素に含まれている。このうち、骨領域については、さらに表面と領域 (ボリューム) に分割されており、いくつかの元素では、領域 (ボリューム) での交換 (Exchangeable) の可否も考慮し、コンパートメントが分割されている。腎臓や肝臓についても、領域を細分化、あるいは移行速度の違いを考慮して、複数の腎臓及び肝臓を表すコンパートメントが同様に含まれている。

一方、OIR part 2 と part 3 の調査より、同じような図で表現されているが、異なるコンパー

トメント名で与えられているケースが確認される。その代表的な例として、図 3-5 にイットリウム及びセシウム の血液における移行を示す。図 3-5 (a)のように、OIR part 2 では、ほぼ全ての元素で Blood というコンパートメントがあり、多くの元素で Blood 内に Blood2 というコンパートメントが与えられている。一方、OIR part 3 の多くの元素で、Plasma (血漿) と RBC (赤血球) として、OIR part 2 の Blood と Blood2 とほぼ同じ関係が与えられている。



(a) Y の組織系動態モデル略図[20]



(b) Cs の組織系動態モデル略図[21]

図 3-5 OIR part 2 と part 3 における血液の移行に関するコンパートメント名の例

また、ごく一部の元素の組織系動態モデルでのみ考慮されている臓器や組織もあり、特に生殖腺、皮膚、心臓、乳房、脂肪等の移行を示すコンパートメントは OIR part 2 では与えられていなく、OIR part 3 の組織系動態モデルで新たに含まれた。そのため、今後公開される組織系動態モデルでは、新たに臓器や組織が追加される可能性もある。

以上を総合的に鑑みて、開発する機能においては、データを正確に転載するため、刊行物で示されたコンパートメント名で体内移行を示すことが適当であると考える。

### 3.4.4 データファイルの作成

開発を進めているコードで使用する入力データファイルの一覧を表 3-7 に示す。先行事業では、核データやモデルの特徴を鑑みて、テキストプレーン方式、または XML 方式でデータを記述することを検討した[11]。本事業においては、今後のデータの拡張を鑑みて、ICRP がテキストデータとして公開し、改変が許可されていぬ放射性核種データ (No. 1-3) 及び SAF データ (No. 4-13) のみ、プレーンテキストでデータを実装することとした。他、評価対象者の年齢や体重、臓器質量のデータ、体内動態を表すモデルやデータ、実効線量の導出に用いる 2 つの加重係数、呼吸気道沈着割合データ等については、XML 形式 (No. 14-32) で実装する。また、計算で用いる時間データ (No. 33) 及び評価核種データ (No. 34) は CSV 形式のデータで与えらる。今後、例えば、ICRP が今後新たな組織系動態モデルを公開した場合には、Systemic biokinetic model の移行係数データ (No. 30) に元素毎の動態モデルのデータを追加することで、対応が可能となる。

図 3-6 に XML 形式での記述方法の一例を示す。XML ではタグを用いることにより、データに構造や属性を付加することができる。そのため、データの内容を読み解くことが容易であり、自由度が高い。ここで、コンパートメント名、物質名等を正しく認識するため、各モデルやデータの内容 (名称) については、ID 番号で付与することでファイルを準備する。なお、Microsoft Excel<sup>®</sup>等のソフトウェアを用いることで効率的な編集及びデータの追加が可能という特徴を有する。

### 3.4.5 データファイルを格納したディレクトリの配置

新旧勧告での係数の差に対する決定因子や日本人特性を調査するため、1990 年勧告に準拠するモデルやデータ、日本人パラメータを使用することが想定される。そのため、同じ開発コードで計算が可能となるように、2007 年勧告に準拠するモデルやデータと同じ取り扱いにすることとした。ここで、3.3.2 項で述べた成人日本人モデルにより解析、整備した SAF データを実装する場合、ICRP と同じ形式でデータファイルを整備する点等を留意する必要がある。また、移行係数パラメータ等のデータを同一のファイルに収録することは、2007 年勧告に従ったデータのアップデートが今後も行われることから、日本人パラメータや 1990 年勧告に従うデータは、別のファイルとして保存することとした。図 3-7 に開発コードのディレクトリ構造を、表 3-8 に各ディレクトリの格納内容を示す。ここで、/dat/bio/ディレクトリ及び /dat/bio90/ディレクトリには、表 3-7 の XML ファイルを配置した。

使用するデータファイルの切り替えは、表 3-9 に示す計算パラメータファイルで指定する。計算パラメータファイルには核種や摂取条件のほか、計算に使用するデータファイルを指定することにより、新旧勧告及び日本人パラメータでの計算を行うことが可能である。なお、計算パラメータファイルにはモニタリングデータも記述することができるため、摂取量推定時にも使用することができる。

表 3-7 開発コードの入力データファイル一覧

No.	データファイル	形式	概要
1	ICRP-07.NDX	プレーン テキスト	放射性核種崩壊データ (半減期、分岐比等)
2	ICRP-07.RAD	プレーン テキスト	放射性核種崩壊データ (放出率、エネルギー)
3	ICRP-07.BET	プレーン テキスト	放射性核種崩壊データ ( $\beta$ 線スペクトルデータ)
4	sregions_2017-03-07.NDX	プレーン テキスト	SAF の線源領域データ
5	torgans_2017-03-07.NDX	プレーン テキスト	SAF の標的領域データ
6	rcp-am_photon_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の光子 SAF データ
7	rcp-am_electron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の電子 SAF データ
8	rcp-am_alpha_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の $\alpha$ 粒子 SAF データ
9	rcp-am_neutron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人男性の中性子 SAF データ
10	rcp-af_photon_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の光子 SAF データ
11	rcp-af_electron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の電子 SAF データ
12	rcp-af_alpha_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の $\alpha$ 粒子 SAF データ
13	rcp-af_neutron_2017-03-07.SAF	プレーン テキスト	成人女性の中性子 SAF データ
14	1-age.xml	XML	年齢データ
15	1-equivalent-dose.xml	XML	等価線量データ
16	1-material.xml	XML	物質データ
17	1-organ.xml	XML	臓器データ
18	1-radiation-factor.xml	XML	放射線加重係数データ
19	2-body.xml	XML	体重データ
20	2-compartment.xml	XML	コンパートメントデータ
21	2-equivalent-tissue.xml	XML	等価線量を構成する標的組織・臓器データ
22	2-hrtm-absorption.xml	XML	呼吸気道の血液吸収データ
23	3-bladder-transfer.xml	XML	膀胱の移行係数データ
24	3-hatm-absorption.xml	XML	消化管の血液吸収データ
25	3-hatm-transfer.xml	XML	消化管の移行係数データ
26	3-hrtm-deposition-aerosol.xml	XML	呼吸気道のエアロゾル沈着割合データ
27	3-hrtm-deposition-gas.xml	XML	呼吸気道のガス・蒸気状沈着割合データ
28	3-hrtm-transfer.xml	XML	呼吸気道の移行係数データ
29	3-noble.xml	XML	呼吸気道と消化管の希ガス移行係数データ
30	3-systemic-transfer.xml	XML	組織系動態モデルの移行係数データ
31	3-wound-deposition.xml	XML	創傷の沈着コンパートメントデータ
32	3-wound-transfer.xml	XML	創傷の移行係数データ
33	time.dat	CSV	経時変化計算の時間データ
34	nuclide-list.dat	CSV	GUI による評価核種データ

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="true"?>
- <data-compartment>
  - <compartment id="100">
    <organ-id>2600</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ET1</value>
  </compartment>
  - <compartment id="200">
    <organ-id>2700</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ET'2</value>
  </compartment>
  - <compartment id="300">
    <organ-id>2900</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ETseq</value>
  </compartment>
  - <compartment id="400">
    <organ-id>3000</organ-id>
    <flag-inout>0</flag-inout>
    <value>LNET</value>
  </compartment>
  - <compartment id="500">
    <organ-id>3100</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>BB'</value>
  </compartment>
  - <compartment id="600">
    <organ-id>3300</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>BBseq</value>
  </compartment>
  - <compartment id="700">
    <organ-id>3400</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>bb'</value>
  </compartment>
  - <compartment id="800">
    <organ-id>3600</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>bbseq</value>
  </compartment>
  - <compartment id="900">
    <organ-id>3700</organ-id>
    <flag-inout>1</flag-inout>
    <value>ALV</value>
  </compartment>
  - <compartment id="1000">
    <organ-id>3700</organ-id>
    <flag-inout>0</flag-inout>
    <value>INT</value>
  </compartment>

```

図 3-6 XML 形式データの記述例

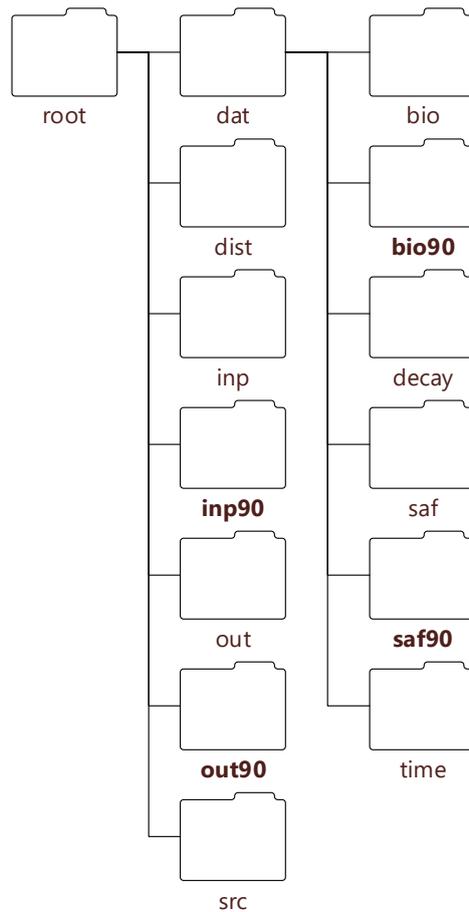


図 3-7 開発コードのディレクトリ構造  
太字は 1990 年勧告準拠のデータを格納するディレクトリを表す。

表 3-8 ディレクトリの格納内容

ディレクトリ	格納内容
/dat/bio/	2007 年勧告の XML データ
/dat/bio90/	1990 年勧告の XML データ
/dat/decay/	放射性核種崩壊データ (Publ. 107)
/dat/saf/	2007 年勧告の SAF データ
/dat/saf90/	1990 年勧告の SAF データ
/dat/time/	経時変化計算の時間データ
/dist/	実行ファイル
/inp/	2007 年勧告の計算パラメータファイル
/inp90/	1990 年勧告の計算パラメータファイル
/out/	2007 年勧告の計算結果の出力ファイル
/out90/	1990 年勧告の計算結果の出力ファイル
/src/	ソースコード

表 3-9 計算パラメータファイルの内容

入力要素		内容				
Input	Data	DecayNdx				放射性核種インデックスデータ
		DecayRad				放出放射線データ
		DecayBet				β線スペクトルデータ
		Age				年齢データ
		Material				物質名データ
		Compartemnt				コンパートメント名データ
		Organ				組織・臓器名データ
		EvaluationTime				計算結果出力時間データ
		AerosolDeposition				呼吸気道沈着割合データ
		GasDeposition				呼吸気道ガス沈着割合データ
		HrtmTransfer				呼吸気道クリアランスデータ
		HrtmAbsorption				呼吸気道血液吸収データ
		HatmTransfer				消化管クリアランスデータ
		HatmAbsorption				消化管血液吸収データ
		WoundDeposition				創傷沈着データ
		WoundTransfer				創傷移行データ
		SystemicTransfer				組織系動態移行データ
		BladderTransfer				膀胱移行データ
		Noble				希ガス移行データ
	RadiationFactor				放射線加重係数データ	
EquivalentDose				等価線量データ		
EquivalentTissue				等価線量組織データ		
BodyMass				体重データ		
SafMass	Source				線源領域データ	
	Target				標的領域データ	
SafList	SystemicSource				全新線源データ	
	Saf					
SafList	DayOld				SAF データの日齢(d)	
	PhotonMale				男性光子 SAF データ	
	ElectronMale				男性電子 SAF データ	
	AlphaMale				男性α粒子 SAF データ	
	NeutronMale				男性中性子 SAF データ	
	PhotonFemale				女性光子 SAF データ	
	ElectronFemale				女性電子 SAF データ	
AlphaFemale				女性α粒子 SAF データ		
NeutronFemale				女性中性子 SAF データ		
Repository	Folder				保存フォルダ	
Evaluation	Flag				評価選択フラグ	
Exposure	Gender				性別	
	Subject				対象者 (作業員、公衆)	
	DayOld				日齢(d)	
	Period				期間(d)	
Aerosol	Amad				空気力学的中央径(μm)	
Intake	Nuclide				摂取核種	
	Route				摂取経路	
	ChemicalForm				化学形	
AlimentaryMaterial					消化管モデルの物質名	
	SystemicMaterial				組織系動態モデルの物質名	
Quantities	Quantity					
	Date				摂取日付(yyyy/mm/dd)	
Value					摂取量(Bq)	
Measurement	DeviationType				偏差タイプ	
	Radiations	Radiation				
		Nuclide				測定核種
		Source				測定線源
Limit				検出下限値(Bq)		
ErrorType				測定誤差タイプ		
Activities	Date				測定日付(yyy/mm/dd)	
	Value				測定値(Bq)	
Error					測定誤差	

### 3.4.6 計算方法の設定（GUIによるデータファイルの読み込み）に関する検討

開発したコードの操作性を考慮し、ユーザーによる条件設定に用いる GUI、結果を効果的に表示する機能として、線量係数を取りまとめた数表、体内放射能の経時変化を示すグラフ等の検討を行った。

線量係数計算における GUI のイメージを図 3-8 に、GUI の処理フローを図 3-9 に示す。始めに画面に表示するためのパラメータファイル（表 3-9）を読み込む。パラメータが適切に設定されていない場合は、GUI 上で適宜設定する。

線量係数計算においては、急性摂取及び慢性摂取の計算が可能である。急性摂取は男性及び女性の両方の計算を行うのに対し、慢性摂取の場合は男性又は女性のどちらかを選択し計算を行う。また、慢性摂取のときは、摂取日と摂取量を別画面で入力する。計算条件の設定ができたならば、計算を実行する。計算終了後、急性摂取では単位摂取の体内放射能と線量の経時変化を表と図で確認でき、慢性摂取では総摂取量の体内放射能と線量の経時変化を表と図で確認できる。

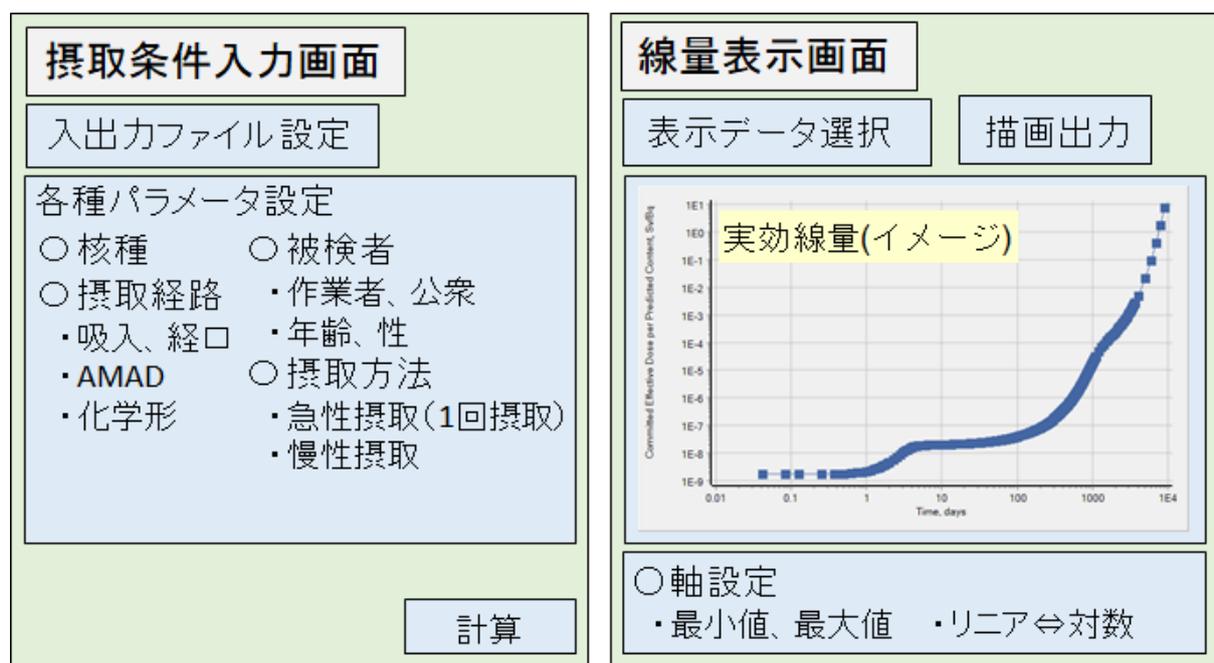


図 3-8 GUI のイメージ

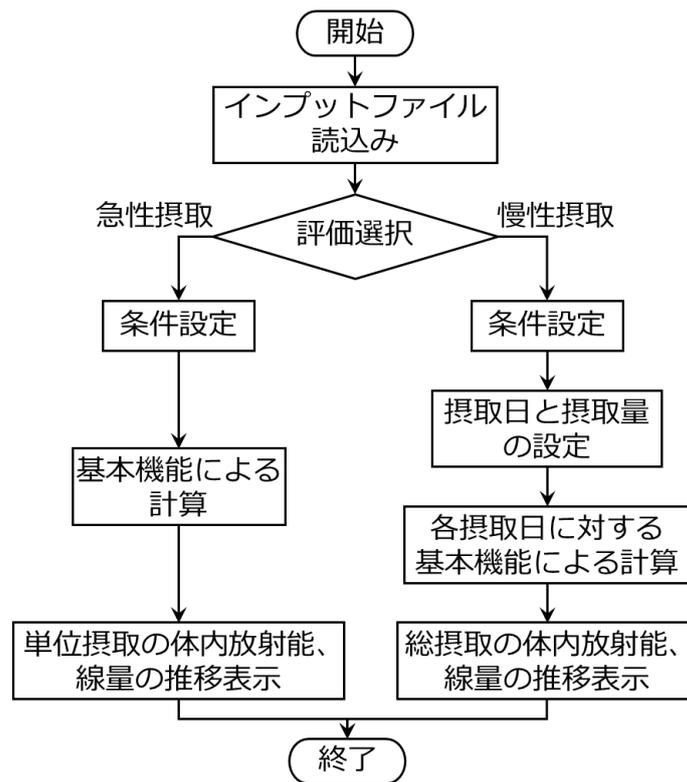


図 3-9 線量係数計算における GUI の処理フロー

### 3.5 機能の開発や運用に関する情報収集及び調査

今年度に設計した機能を活用し、ICRP が今後公開する線量評価モデルやデータを実装した場合、「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 にある基準値の改正に必要なコードを整備していくことが想定される。そこで、ICRP によるモデルやデータの公開状況に関する情報収集を進めるとともに、OIR Data Viewer [20] で線量係数が公開されている主要 27 元素（ラドンを除く）で考慮されている同位元素の種類（化学形等）の調査を行った。

#### 3.5.1 ICRP によるモデルやデータの公開に関する情報収集

表 2-1 より、作業員（主要 28 元素以外）及び公衆の組織系動態モデル及び成人以外の SAF データが今後公開されることが推測される。ICRP では、作業員及び公衆の内部被ばくに対する線量係数の公開や検討状況に関する情報について、HP で平成 30（2018）年 7 月にリリースした[61]。

ランタノイド及びアクチノイドに対する組織系動態モデルについては、線量係数等とともに OIR part 4 として公開される見込みである。既に OIR part 4 については、平成 28（2016）年 9 月に刊行物のドラフト文書が公開され、コメント募集が行われている。その後、OIR part 2 及び part 3 に含まれる主要 28 元素、ランタノイド及びアクチノイドに対する公衆の組織系動態モデルが 1 つの刊行物（EIR part 1）で公開される予定である。公衆の組織系動態モデルを含む刊行物では、線量係数も公表される予定である。その導出に必要な成人以外の SAF データについては、計算に用いた人体モデルとともに公開される予定である。また、ICRP は成人以外の人体モデルを取りまとめた刊行物のドラフト文書を平成 30（2018）年 11 月に HP で公開し、コメント募集を行った。OIR part 2 から part 4 までに含まれる 53 元素以外の作業員及び公衆の組織系動態モデルについては、その後 OIR part 5 及び EIR part 2 として公開される計画となっている。表 3-10 に組織系動態モデルの公開状況、今後の予定等を取りまとめた。

表 3-10 各元素に対する組織系動態モデルの公開状況と今後の予定[61]

元素名	作業員	公衆
H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc (14 元素)	OIR part 2 (Publ. 134) で公開	<ul style="list-style-type: none"> <li>成人以外の SAF データ（刊行物ドラフト文書は、平成 31 年 3 月現在で未公開）の後、EIR part 1 として公開予定</li> <li>SAF データ導出に用いる人体モデルの刊行物ドラフト文書は平成 30 年 11 月公開</li> </ul>
Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th, U (14 元素)	OIR part 3 (Publ. 137) で公開	
La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Pa, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm (25 元素)	OIR part 4 として公開予定（コメント募集終了）	
その他の元素 (45 元素) *	EIR part 1 に続いて、OIR part 5 として公開予定	OIR part 5 に続き、EIR part 2 として公開予定
<p>*備考：現在の別表第 2 で考慮されているが OIR parts 2-4 に含まれない元素            Be, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, Cl, Ar, K, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Xe, Hf, Ta, W, Re, Os, Pt, Au, Hg, Tl, At, Fr, Md の 45 元素            別表第 2 でサブバージョンのみ考慮されている元素（N, O, Ar, Kr, Xe）は、ICRP が 1990 年勧告に準拠する線量係数を提示していない。</p>		

平成 30 (2018) 年 10 月にフランスで開催された 12th International Conference of the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR2018) へ参加し、ICRP で線量係数の検討に携わる研究者と意見交換した際、上記の計画で刊行物が順次公開される予定であることを確認できた。特に、OIR part 2 から part 4 に含まれる 53 元素に対しては、公衆のモデルやデータに関する検討も進捗中であるという情報も得た。ただし、表 3-10 でその他の元素とした 45 元素（「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 で、サブマージョンのみ考慮している元素を除いた場合は 40 元素）については、組織系動態モデルや線量係数の公開見通しは不透明な状況にある。

### 3.5.2 OIR part 2 及び part 3 で考慮されている各元素の核種や化学形等の調査

現在の「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 においては、核種と化学形等の組み合わせで特定される「放射性同位元素の種類」に応じて、内部被ばく防護のための基準値が定められている。ここで、放射性同位元素の種類は第 1 欄に明示され、第 2 欄及び第 3 欄に吸入摂取及び経口摂取をした場合の実効線量係数が放射性同位元素の種類毎に示されている。ここで、第 2 欄及び第 3 欄にある実効線量係数のほとんどは、ICRP Publ. 68 で示された作業者に対する実効線量係数の数値と一致している[62]。そのため、OIR part 2 及び part 3 で掲載された 27 元素（ラドンは除く）について、「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 にある防護のための基準値の改正で考慮される放射性同位元素の種類について調査を進めた。

OIR part 2 及び part 3 に含まれる元素の実効線量係数データを確認できる Data Viewer において、下記の核種が「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 に含まれていないことを確認した。新たに追加を検討すべき核種については、何れも半減期が 20 分未満である。

- Te :  $^{114}\text{Te}$  (半減期 : 15.2 分) が新たに追加
- Pb :  $^{194}\text{Pb}$  (半減期 : 12 分) が新たに追加
- U :  $^{242}\text{U}$  (半減期 : 16.8 分) が新たに追加

Data Viewer では、粒子吸入に対する吸収タイプの Type F、Type M、Type S 等を考慮して、実効線量係数等が与えられている。ただし、多くの元素において、物質名が存在しない吸収タイプが存在する (Data Viewer の Material 欄で、吸収タイプ及び  $f_A$  値のみが明示され、化学形の情報が含まれていない)。このような元素では、他の吸収タイプで“全ての特定されない形 (all unspecified form)” のような表示があるため、ICRP も吸収タイプに該当する化学形を確認できていないと推測する。また、Data Viewer の Material 欄と「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 の第 1 欄と照合した結果、特定されている化学形等の加除も確認される。この中で、留意すべき点として、OIR シリーズでは、表 3-11 に示すとおり、“特定されない化学形の粒子等”の線量係数については、多くの元素で吸収タイプを Type M として導出している (Type M をデフォルトとして位置づけている)。一方、現行の「告示：RI の数量等を定める件」の別表第 2 でいくつかの元素については、“〇〇以外の化合物”のように特定されない化学形等の実効線量係数 (第 2 欄) は、ICRP Publ. 68 の中で吸収タイプとして Type F や Type S として導出されるものが多くある (表 3-11)。

炭素は気体 (ガス) に加えて、Data Viewer では粒子吸入も新たに考慮されている。他、蒸気やガスの吸入摂取についても、考慮されている物質に変更が確認されており、経口摂取も

吸収割合（ $f_A$  値）の見直し等により、告示別表第2の第3欄で1つの数値しか与えられなかった元素について、複数の線量係数が与えられているものもある。

以上のように、例えば、「告示：RIの数量等を定める件」の別表第2の改正において、開発した機能により、新旧勧告の実効線量係数の影響因子を調査する場合、化学形等を正確に照合し、さらに考慮している吸収タイプ等を正確に認識することが要求される。付録-1に「放射性同位元素の種類(化学形等)について、告示：RIの数量等を定める件」の別表第2、OIR part 2及び part 3で掲載された27元素（ラドンは除く）で考慮されているものを一覧としてまとめた。

表 3-11 ラドンを除く OIR part 2 及び part 3 の掲載元素で、特定されない物質や化学形を含む粒子の吸入摂取で考慮している吸収タイプ

元素	ICRP Publ. 68*	OIR part 2	元素	ICRP Publ. 68*	OIR part 3
H	Type M	Type M	Ru	Type F	Type M
C		Type M	Sb	Type F	Type M
P	Type F	Type M	Te	Type F	Type M
S		Type M	I	Type F	Type F
Ca	Type M	Type M	Cs	Type F	Type M
Fe	Type F	Type M	Ba	Type F	Type M
Co	Type M	Type M	Ir	Type M	Type M
Zn	Type S	Type M	Pb	Type F	Type F
Sr	Type F	Type M	Bi	Type M	Type M
Y	Type M	Type M	Po	Type M	Type M
Zr	Type S	Type M	Ra	Type M	Type M
Nb	Type M	Type M	Th	Type M	Type S
Mo	Type F	Type M	U		Type M
Tc	Type F	Type M			

\* 「告示：RIの数量等を定める件」の別表第2中の第1欄及び第2欄を照合（斜線のある元素は、“〇〇以外の化合物など“のような化学形が存在しない。）

### 3.6 線量係数計算機能の開発のまとめ

今年度、線量係数計算機能の開発として、ICRPにより今後公開されるモデルやデータへの対応を鑑みた機能の設計及び平成30年1月に公開されたOIR part 3への対応するための改良を進めた。平成29年度までに、OIR part 2が与えた作業者による主要14元素の摂取に対する実効線量係数について、正確に導出することを検証し、基本機能を完成させていた。そこで、OIR part 3への対応に係る改良を進めることで、今後のデータ拡張やアルゴリズム改良を検討することとした。また、1990年勧告に準拠する線量評価及び日本人パラメータの適用について、並行して検討を進めた。

OIR part 3では、ウランやラジウムなどの $\alpha$ 壊変核種が含まれた。この中で、ウラン系列、トリウム系列等に含まれる元素については、摂取核種が体内で崩壊して、同一元素となる複数の子孫核種を生成する条件があった。体内中における動態は、本質的には元素の核種で差異はない。ただし、内部被ばく線量評価においては、子孫核種は取りまとめて取り扱うため、摂取核種と子孫核種を区別するようにアルゴリズムを改良した。例えば、OIR part 4に含まれるアクチノイド元素では、同様の条件が含まれることが想定されるが、本年度に改良したアルゴリズムを採用することで対応できると考える。また、ウランの一部の化学形では、追跡調査に基づいて、従来の呼吸気道血液移行モデルを採用したため、関連するアルゴリズムを改良した。新しく公開される刊行物の中で、基本とするモデル以外のデータを採用した場合に対し、今年度の経験や知見を反映できると考える。また、今後のデータ拡張を鑑みた場合、組織系動態モデルを正確に実装することが重要となることが確認されたので、モデルの内容を正確に記述するファイルの作成法を確立した。

現在の放射性規制で基本とする1990年勧告に準拠する線量評価においては、使用するモデルやデータの種類や構造は2007年勧告に従うものと同等である。一方、線量計算については、一部変更しているため、その対応方法も整理した。日本人パラメータについては、過去の研究の調査結果に基づいて、当該機能で効果的に適用する方法を検討し、GUIによるデータの読み込み方法を確立した。

最終的には、上記の検討や調査に基づいて、ファイルのディレクトリ配置を決定し、今後のデータ拡張等も可能とする当該期機能を完成させた。

## 第4章 核種摂取量推定機能の開発

### 4.1 実施計画と目標

今年度は、大きく以下に示す2つの項目を実施する計画とした。

- ・ 原子力機構外の専門家との意見交換による、当該機能のニーズ等の聴取
- ・ データフィッティング法、体内放射能の経時変化の解析法等(基本機能)の開発

平成29年度は、当該機能に係る調査として、既存の類似コード IDEC [8]、MONDAL (MONitoring to Dose cALculation) [63]及び IMBA (Integated Modules for Bioassay Analysis) [64]の分析、原子力機構でモニタリングに従事する者との意見交換等を進めた。その結果、対象とする摂取条件については、1回の急性摂取の他、複数回摂取あるいは慢性摂取も考慮する必要があることを確認した。また、モニタリングデータのフィッティング方法についても、検討すべき数値解析法として、最小二乗法及び最尤推定法を抽出した。

そこで、今年度は今後の開発へ有益な情報をより広く収集し、開発方針の妥当性を確認するため、原子力機構外の研究機関や大学で内部被ばくモニタリングや線量評価に係る専門家との意見交換等を進めることとした。また、昨年度に抽出したフィッティング手法については、表4-1に示す特徴を有することを確認した。そこで、各手法の特徴を鑑みて、摂取条件に応じて、モニタリング値の不確かさや検出下限値以下の取り扱いを検討したうえで、体内放射能や排泄物中に含まれる放射能の経時変化を効率的に解析する手法を開発する。この研究開発により、マイルストーンとした基本機能の完成を達成させる。

表 4-1 最小二乗法及び最尤推定法の特徴

	最小二乗法	最尤推定法
摂取形態	単一摂取のみ	単一、複数回摂取
モニタリング値の不確かさ	考慮不可	考慮可能
検出下限値以下の結果	考慮不可	考慮可能

### 4.2 研究者からのニーズ調査

平成29年度の事業においては、原子力機構のモニタリング従事者と当該機能に関する意見並びに要望を聴取し、MONDAL 開発者である石樽信人氏と意見交換を行った。これらの意見交換により、考慮する摂取シナリオ、モニタリング値の取扱い等の機能に関するものの他、入力条件の設定や結果の確認等の操作性の観点から、有益な要望や意見を聴取することができた。一方、研究評価委員会より、多様な観点から意見を聴取する必要性が指摘された。

上記の進捗及び指摘を踏まえて、高度被ばく医療や原子力災害医療に係る機関や大学等で、当該機能に関する意見交換を行った。聴取した意見は、機能面と実際の利用状況に関するものに大別できた。

## 1) 機能面に関するニーズ

### ① 摂取シナリオの設定

- ・ 創傷汚染モデルは取り扱える方がよい。原子力災害医療訓練では、必ず創傷部汚染を伴ったシナリオとなっている。
- ・ 複数の摂取経路、異なる化学形を同時に考慮できるとよい。(例、吸入摂取+創傷部取込み、吸入摂取のタイプ F+タイプ S)

### ② モニタリング値の不確かさ

- ・ 測定値(モニタリング値)は必ず誤差、不確かさを伴うので、これらを考慮することができるような入力インターフェースとする必要がある。
- ・ 事故対応等、公衆に対するモニタリングは、1回しか測定できないことが多く、摂取時期の不確かさ(摂取の可能性のある期間の幅)が大きいという特徴がある。

### ③ 体内放射能・排泄率推移の計算条件の設定

- ・ エアロゾルの粒径分布は環境によって多様であり、ICRPの既定値とは大きく異なる場合があるため、任意の粒径分布に対応することが望ましい。
- ・ 粒径分布以外にも、エアロゾルの沈着割合に影響を及ぼすパラメータ(評価対象者の体格、運動状態等)も考慮できるとよい。
- ・ 呼吸気道クリアランスに対する補正項目では、評価対象者が簡単に答えられる項目(喘息、喫煙等)は反映できるとよいのではないか。
- ・ 様々なパラメータの感度解析が重要となる。影響が大きいパラメータは可能な限り考慮することを推奨でき、影響が小さい場合は安心して既定値が使用できる。

### ④ 結果の出力

- ・ リスク評価の観点から、吸収線量(Gy)での出力も必要である。
- ・ 時間経過と累積被ばく線量の関係を示す図は、一般の人々への説明において重要なデータとなる。
- ・ 最初の1年間など、任意の期間での被ばく線量を出力できるとよい。
- ・ 子孫核種の放射能推移評価結果も出力できるとよい。(例、 $^{132}\text{Te}$  摂取時の  $^{132}\text{I}$ )

## 2) 機能の利用に関する意見

- ・ 全国に全身カウンタが普及し、体内放射能測定は簡易に行える一方、初期の現場では線量評価の専門知識を持たない人(放射線技師等)が担当となる場合が多くある。このような場合、測定結果(Bq)を線量(Gy、Sv)に変換することに困難を伴う。
- ・ 摂取からの経過日数、測定された放射能を入力するだけで、デフォルトパラメータによる摂取量推定を行い、線量評価結果を出力するような、非常にシンプルなエディションが必要である。(原子力災害拠点病院、協力機関等での利用が想定)

昨年度と同様、複数の摂取に対する対応に係る意見や要望があった。創傷汚染については、昨年度の意見交換では、注入摂取と仮定して評価する方法を採用することが指摘されていたので、傷部位の放射能測定等が適切に実施可能かを鑑みたくうえで、対応を検討する必要がある。また、原子力機構のモニタリング従事者は、主に作業者に対する内部被ばく線量評価を

対象としている一方、今回意見を聴取した大学や研究機関では、公衆の線量評価に関する実績が多くあった。特に、事故対応等の緊急時においては、モニタリングの回数が制限されるため、その結果の不確かさの取扱いに関するコメントが多くあった。また、公衆への説明や初期の対応を行う者を想定した条件設定や結果出力に関する意見もあった。このうち、利用者を想定したエディションの分類については、昨年度も同様の意見があった。今年度に聴取できた要望や意見は、今後の当該機能の運用を鑑みた開発に反映させていく予定である。

#### 4.3 基本機能の開発

内部被ばく線量は、摂取量 (Bq) と線量係数 (Sv/Bq) の積によって評価する。したがって、線量を算出するには、放射性核種の摂取量が必要となる。吸入摂取する空气中濃度 (Bq/m<sup>3</sup>) 又は経口摂取する食物中濃度 (Bq/kg) が既知の場合には、摂取量はこれら濃度と摂取した体積又は重量から定量化することができる。しかし、空气中濃度または食物中濃度が未知の場合には、体内放射能の測定から摂取量を推定する。体内放射能の測定には、体外計測法 (全身、肺、甲状腺の計測) またはバイオアッセイ法 (尿、糞の計測) の2つの方法がある。これらの測定値と体内動態モデルから評価された単位摂取量当たりの体内放射能予測値から統計的手法またはフィッティングによって摂取量が推定できる。本作業では、摂取量を推定する方法として最尤推定法を導入し、最尤推定法に基づいた摂取量推定のコードを開発した。

##### 4.3.1 摂取量推定に用いる数値解析法

###### 1) 最尤推定法

核種の摂取率及び単位摂取の体内放射能予測値が与えられたとき、摂取された核種に対する体内放射能予測値を表すと、

$$Q = qI \quad (4-1)$$

となる。ここで、

$Q$  : 体内放射能予測ベクトル

$$Q = \begin{bmatrix} Q(T_1) \\ \vdots \\ Q(T_m) \end{bmatrix}$$

$I$  : 摂取量ベクトル

$$I = \begin{bmatrix} I(t_1) \\ \vdots \\ I(t_n) \end{bmatrix}$$

$q$  : 単位摂取の体内放射能予測行列

$$q = \begin{bmatrix} q(T_1 - t_1) & \cdots & q(T_1 - t_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q(T_m - t_1) & \cdots & q(T_m - t_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{1,1} & \cdots & q_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ q_{m,1} & \cdots & q_{m,n} \end{bmatrix}$$

$Q(T_i)$  : 日齢  $T_i$  (d) の体内放射能予測値 (Bq)

$I(t)$  : 日齢  $t$  (d) の核種摂取率 (Bq/d)

$q(T_i - t_j)$  : 核種を摂取した日齢  $t_j$  (d) 以後の日齢  $T_i$  (d) における単位摂取

の体内放射能予測値(Bq/Bq) ( $T_i < t$ のとき  $q = 0$ )

$t_1$  : 最初に核種を摂取した日齢(d)

$t_n$  : 最後に核種を摂取した日齢(d)

となる。核種の体内動態を1日単位で評価すると、 $T_i$ と $t_j$ は1日単位で評価することとなり、平均摂取量 $I$ は1日で区分した量として与えることとなる。

体内放射能の測定値 $a_i$ が正規分布(式(4-2))または対数正規分布(式(4-3))に従うとして、複数の測定値が互いに独立であるとするならば、全ての体内放射能測定値に関する確率密度関数は関数の積となる。これらの確率密度関数は、未知な摂取量を与えることによって測定値の分布が定まることから、条件付確率密度関数 $p(\mathbf{a}|\mathbf{I})$ となる。よって、摂取量に関する尤度 $L(\mathbf{I}|\mathbf{a})$ は式(4-4)となる。

$$p(a_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{a_i - (qI)_i}{\sigma_i}\right)^2\right] \quad (4-2)$$

$$p(\log(a_i)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\log(\sigma_{gi})} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{gi})}\right)^2\right] \quad (4-3)$$

$$L(\mathbf{I}|\mathbf{a}) = p(\mathbf{a}|\mathbf{I}) = \begin{cases} \prod_j p(a_j) \delta a & \text{for normal} \\ \prod_j (\log(a_j)) \frac{\delta a}{a_j} & \text{for log normal} \end{cases} \quad (4-4)$$

ここで、

$a_i$  : 日齢 $T_i$  (d)の体内放射能測定値 $a_i$  (または $a(T_i)$ ) (Bq)

$\mathbf{a}$  : 測定値ベクトル

$$\mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix}$$

$p(a_i)$  : 測定値 $a_i$ に関する確率密度関数

$\sigma_i$  : 測定値 $a_i$ に関する標準偏差値(Bq)

$\sigma_{gi}$  : 測定値 $a_i$ に関する幾何標準偏差値(Bq) (または $\sigma_{gi}$ を scattering factor (SF<sub>*i*</sub>)で表す)

となる。

与えられた測定値に対してパラメータの摂取量を様々に変えて尤度を評価したとき、最大尤度になった摂取量が与えられた測定値に最も相応しいとする方法が最尤推定法である。式(4-4)の尤度が最大となるのは、

$$\begin{aligned} \min_I \sum_i \left[ \frac{a_i - (qI)_i}{\sigma_i} \right]^2 & \quad \text{for normal} \\ \min_I \sum_i \left[ \frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{gi})} \right]^2 & \quad \text{for log normal} \end{aligned} \quad (4-5)$$

となる。ここで式(4-5)を満たす摂取量 $\mathbf{I}$ を反復法により解く。試行解を $\mathbf{I}^k$  ( $k = 0, 1, \dots$ )とおくと、 $\mathbf{I}^{k+1} = \mathbf{I}^k + \delta\mathbf{I}$ となり、式(4-5)は式(4-6)に変形できる。

$$\min_I \|\hat{\mathbf{a}}_w - \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}\|^2 \quad (4-6)$$

$$\hat{\mathbf{a}}_w = \mathbf{a}_w - \mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k) + \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^k$$

ここで、

$$\mathbf{a}_w : \text{ベクトル } \mathbf{a}_w = \begin{cases} \begin{bmatrix} \frac{a_1}{\sigma_1} \\ \vdots \\ \frac{a_M}{\sigma_M} \end{bmatrix} & \text{for normal} \\ \begin{bmatrix} \frac{\log(a_1)}{\log(\sigma_{g1})} \\ \vdots \\ \frac{\log(a_M)}{\log(\sigma_{gM})} \end{bmatrix} & \text{for log normal} \end{cases}$$

$$\mathbf{G}_w(\mathbf{I}) : \text{ベクトル } \mathbf{G}_w(\mathbf{I}) = \begin{cases} \begin{bmatrix} \frac{(qI)_1}{\sigma_1} \\ \vdots \\ \frac{(qI)_M}{\sigma_M} \end{bmatrix} & \text{for normal} \\ \begin{bmatrix} \frac{\log\{(qI)_1\}}{\log(\sigma_{g1})} \\ \vdots \\ \frac{\log\{(qI)_M\}}{\log(\sigma_{gM})} \end{bmatrix} & \text{for log normal} \end{cases}$$

$$\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) : M \times n \text{ のヤコビ行列 } \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) = \frac{\partial \mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k)}{\partial \mathbf{I}^k} = \begin{bmatrix} \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_1}{\partial (\mathbf{I}^k)_1} & \dots & \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_1}{\partial (\mathbf{I}^k)_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_M}{\partial (\mathbf{I}^k)_1} & \dots & \frac{\partial (\mathbf{G}_w(\mathbf{I}^k))_M}{\partial (\mathbf{I}^k)_n} \end{bmatrix}$$

となる。式(4-6)は、ベクトル $\hat{\mathbf{a}}_w$ とベクトル $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ の間の距離を最小にするベクトル $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ を見つけることに等しい。そのベクトルは、ベクトル $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ を構成している空間上にベクトル $\hat{\mathbf{a}}_w$ を射影したベクトルに対応する。このとき、行列 $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k)$ の列ベクトルとベクトル $\hat{\mathbf{a}}_w - \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}$ との内積がゼロとなり、式(4-7)を満たす。

$$(\mathbf{J}(\mathbf{I}^k))^T (\hat{\mathbf{a}}_w - \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1}) = \mathbf{0} \quad (4-7)$$

$$(\mathbf{J}(\mathbf{I}^k))^T \mathbf{J}(\mathbf{I}^k) \mathbf{I}^{k+1} = (\mathbf{J}(\mathbf{I}^k))^T \hat{\mathbf{a}}_w$$

式(4-7)の $m \times n$ のヤコビ行列 $\mathbf{J}$ は、 $m \geq n$  (測定数 $\geq$ 撮取数) のとき $m \times m$ の行列 $\mathbf{J}^T \mathbf{J}$ は逆行列を持ち、 $\mathbf{I}^{k+1}$ に関して解くことができる。しかし、 $m < n$  (測定数 $<$ 撮取数) のとき $\mathbf{J}^T \mathbf{J}$ は逆行列を持たず逆行列によって解くことができない。そこで、上記の条件に関係なく解くことが可能となる特異値分解を用いた方法[65]を適用した。

式(4-7)のヤコビ行列 $\mathbf{J}$ を特異値分解 ( $\mathbf{J} = \mathbf{U} \mathbf{S} \mathbf{V}^T$ 、 $\mathbf{J}(\mathbf{I}^k)$ を単に $\mathbf{J}$ とする) し、 $\mathbf{I}^{k+1}$ に関して次のように解くことができる。

$$\begin{aligned}
(USV^T)^T(USV^T)I^{k+1} &= (USV^T)^T\hat{\mathbf{a}}_w \\
I^{k+1} &= VS^{-1}U^T\hat{\mathbf{a}}_w \\
I^{k+1} &= \begin{cases} V[S_p^{-1} & \mathbf{0}]U^T\hat{\mathbf{a}}_w & (m > n) \\ V\begin{bmatrix} S_p^{-1} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}U^T\hat{\mathbf{a}}_w & (m < n) \\ V_p S_p^{-1} U_p^T \hat{\mathbf{a}}_w & (m = n) \end{cases} \quad (4-8)
\end{aligned}$$

ここで、

$\mathbf{S}$  :  $m \times n$  の行列

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_p \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} (m > n, p = n), \quad [\mathbf{S}_p \quad \mathbf{0}] (m < n, p = m) \text{ or } [\mathbf{S}_p] (m = n = p)$$

$$\text{対角行列 } \mathbf{S}_p = \begin{bmatrix} s_1 & & \\ & \ddots & \\ & & s_p \end{bmatrix}, \quad s_1 \geq s_2 \geq \dots \geq s_p > 0$$

$\mathbf{U}$  :  $m$  次元空間の正規直交基底の列ベクトルで構成された  $m \times m$  の行列

$\mathbf{V}$  :  $n$  次元空間の正規直交基底の列ベクトルで構成された  $n \times n$  の行列

となる。式(4-8)は、測定回数  $m$  と摂取回数  $n$  の大小関係によって場合分けされ、 $m > n$  (測定数 > 摂取数) の場合は、最小 2 乗法による解に対応する。一方、 $m < n$  (測定数 < 摂取数) の場合は、複数の解が存在し、その中から大きさが最小となる解を採用する。よって、 $m < n$  の場合の解には偏りがあり、摂取量が過小評価される可能性があることに注意しなければならない。

## 2) 測定下限値を考慮した摂取量推定

放射能測定では検出下限値 (Limit of detection : LOD) が存在し、測定された放射能が検出下限値未満のときは明確な測定値がわからない。この不明な検出下限値未満の測定値を  $a_{<LOD}$  とする。検出下限値があった場合 ( $a_j = a_{<LOD}$ ) には式(4-4)の尤度を定めることができない。そこで EPA のレポート[66]を基に、検出下限値未満であった測定結果の数が全測定数の 15% 未満である場合は、検出下限値以下の測定値を (検出下限値 ÷ 2) と仮定できるとした。ただし、ある程度の測定データ数がない場合、検出下限値未満のデータを取り扱うことはできない点に留意する必要がある。

## 3) 摂取量の信頼区間

式(4-8)により求められた摂取量  $\mathbf{I}$  の不確かさは、共分散行列  $\text{Cov}(\mathbf{I})$  より求めることができる。ここで  $\hat{\mathbf{a}}_w$  は、式(4-6)の第 2 項と第 3 項について、収束後は定数と見なせるため、 $\text{Cov}(\hat{\mathbf{a}}_w) = \text{Cov}(\mathbf{a}_w)$  となる。今、ベクトル  $\mathbf{a}_w$  の各成分 (測定値) は統計的に独立である仮定していることから、 $\text{Cov}(\mathbf{a}_w)$  は分散を対角成分とする対角行列となり、 $\mathbf{a}_w$  の定義を考慮すれば単位行列となる。したがって  $\text{Cov}(\mathbf{I})$  は、

$$\begin{aligned}
\text{Cov}(\mathbf{I}) &= \text{Cov}(VS^{-1}U^T\hat{\mathbf{a}}_w) \\
&= (VS^{-1}U^T)\text{Cov}(\hat{\mathbf{a}}_w)(VS^{-1}U^T)^T \\
&= (VS^{-1}U^T)(VS^{-1}U^T)^T
\end{aligned} \quad (4-9)$$

となり、摂取量の推定値の 95% 信頼区間は、

$$\begin{aligned}
 & I_i \pm 1.96 \times \sqrt{(\text{Cov}(\mathbf{I}))_{ii}} && \text{for normal} \\
 & \exp \left[ \log I_i \pm 1.96 \times \sqrt{\log(\text{Cov}(\mathbf{I}))_{ii}} \right] && \text{for log normal}
 \end{aligned}
 \tag{4-10}$$

となる。

#### 4.3.2 摂取量推定に関するプログラム開発

4.3.1 項で示した最尤法による摂取量推定法に基づいた計算コードを Java 言語で開発した。図 4-1 に開発コードの処理フローを示す。処理を開始する前に、摂取量推定を行うのに必要な計算条件として、体内放射能測定値、その測定値の偏差値タイプ（なし、正規分布、対数正規分布）と偏差値、検出下限値及び単位摂取の体内放射能予測値を入力する。始めに、検出下限値以下の測定値があった場合は、体内放射能測定値を検出下限値の半分に置換する。次に、処理した体内放射能測定値ベクトル、偏差値ベクトル及び単位摂取の体内放射能予測値行列を用いて摂取量を推定する。摂取量は初期値を 0.01 として、ヤコビ行列の特異値分解、摂取量及び分散を反復計算する。収束判定は、絶対残差のノルムが  $10^{-5}$  以下に設定した。最後に収束した摂取量と分散から摂取量の 95%信頼区間を算出する。特異値分解の計算には、Java 言語で開発された la4j ver. 0.6.0 [67]を利用した。

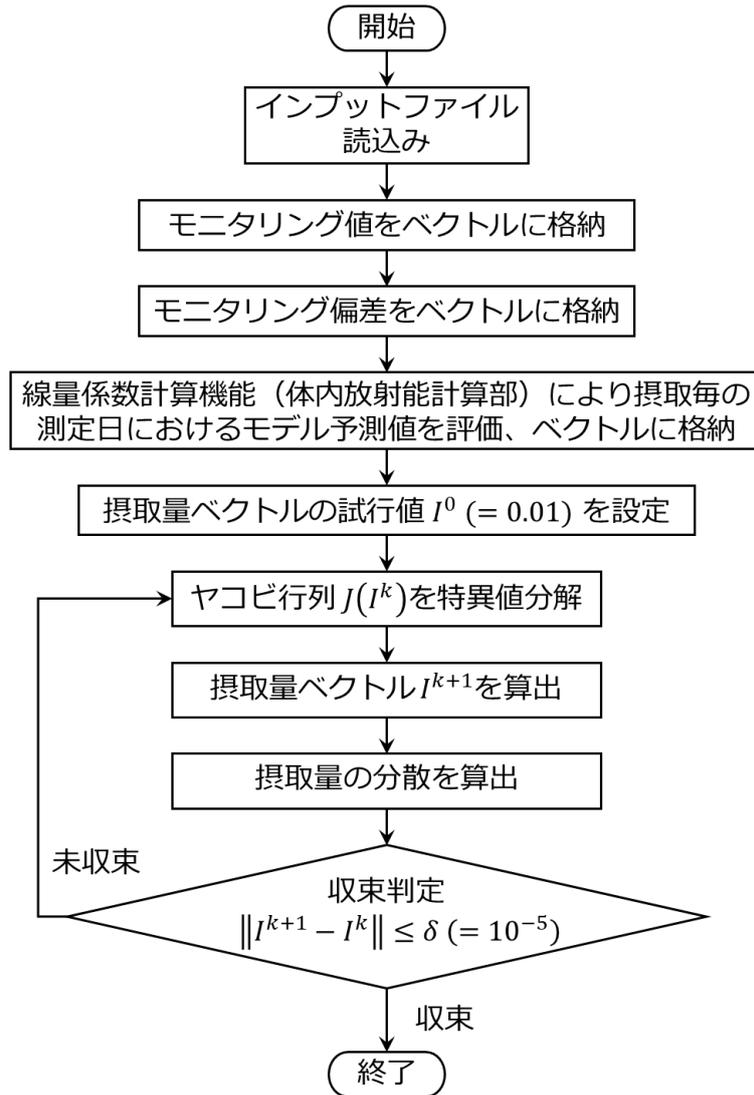


図 4-1 摂取量推定コードの処理フロー

## 4.4 試計算

### 4.4.1 仮定した摂取パターンに対する試計算

開発した基本機能プログラムの動作確認のため、欧州線量評価委員会（EURADOS）が行った摂取量推定事例[68]及びIMBAの例題[64]を題材に、試計算を行った。試計算では、モニタリング値と、単位放射能摂取を仮定したときのモニタリング実施日におけるモデル予測値を入力値とした。IMBA ver. 5.0.0による評価も併せて実行し、開発プログラムとIMBAによる評価結果を相互比較した。なお、IMBAと開発コードでは体内放射能計算手法が異なるため、モデル予測値はIMBAによる評価値を入力値とした。

#### 1) 複数回の急性摂取事例

複数回の急性摂取の事例として、作業による $^{137}\text{Cs}$ の2回の経口摂取に対するモニタリングを試計算対象とした。本事例の摂取量推定条件、モニタリング値及びモデル予測値を、それぞれ表4-2及び表4-3に示す。このケースは測定数が摂取回数より多いため、摂取量推定で測定値にフィッティングした1つの推定結果が得られる。測定値の不確かさは対数正規分布で与えられているため、反復して摂取量を算出することとなる。

本事例について、開発プログラムとIMBAを用いて摂取量推定した結果、及びEURADOSによる評価値を表4-4に示す。開発プログラムの計算結果は、IMBAによる推定結果及びEURADOSの評価値と良く一致した。

表 4-2  $^{137}\text{Cs}$  摂取事例の摂取量推定条件

項目	条件
評価対象者	作業員（35歳男性）
核種	$^{137}\text{Cs}$
摂取経路	経口摂取
摂取日	1回目：0日、2回目：38日
モニタリング対象	全身放射能

表 4-3  $^{137}\text{Cs}$  全身放射能のモニタリング値とモデル予測値

測定日 (d)	モニタリング		1 Bq 摂取時のモデル予測値 (Bq)	
	測定値 (Bq)	幾何偏差	1回目	2回目
1	8.8E+04	1.2	9.8754E-01	—
8	6.0E+04	1.2	8.6968E-01	—
17	9.3E+04	1.2	8.1296E-01	—
30	8.3E+04	1.2	7.4803E-01	—
46	4.8E+05	1.2	6.7560E-01	8.6968E-01
50	4.6E+05	1.2	6.5862E-01	8.4113E-01
60	4.4E+05	1.2	6.1801E-01	7.8717E-01

表 4-4  $^{137}\text{Cs}$  摂取事例に対する摂取量推定結果

摂取日 (d)	開発プログラム (Bq)	IMBA (Bq)	EURADOS (Bq)
0	9.3988E+04	9.399E+04	9.3988E+04
38	4.7910E+05	4.791E+05	4.7911E+05

2) 検出下限値以下というモニタリング値を含む事例

モニタリングの結果検出下限値であったことを考慮する事例として、作業員による  $^{238}\text{Pu}$  の吸入摂取に対する尿排泄率測定[64]を試計算対象とした。本事例の摂取量推定条件、モニタリング値及びモデル予測値を、それぞれ表 4-5 及び表 4-6 に示す。本事例は、モニタリング期間が約 6300 日と長く、48 個のモニタリング値のうち最初の 4 回は検出下限値以下である。

開発プログラムと IMBA を用いて摂取量推定した結果を表 4-7 に示す。開発プログラムの計算結果は、IMBA による推定結果と良く一致した。

表 4-5  $^{238}\text{Pu}$  摂取事例の摂取量推定条件

項目	条件
評価対象者	作業員
核種	$^{238}\text{Pu}$
摂取経路	吸入摂取 (AMAD = 5 $\mu\text{m}$ )
摂取日	0 日
モニタリング対象	尿中排泄率

表 4-6  $^{238}\text{Pu}$  尿中排泄率のモニタリング値とモデル予測値

測定日 (d)	モニタリング		モデル予測値 (Bq)
	測定値 (Bq)	幾何偏差	
2	ND	1.8	1.2948E-09
3	ND	1.8	1.8116E-09
4	ND	1.8	2.3745E-09
76	ND	1.8	3.7766E-08
123	0.160	1.8	5.7706E-08
150	0.070	1.8	6.8911E-08
186	0.070	1.8	8.3486E-08
209	0.100	1.8	9.2515E-08
264	0.160	1.8	1.1301E-07
283	0.180	1.8	1.1970E-07
293	0.200	1.8	1.2314E-07
328	0.310	1.8	1.3469E-07
359	0.230	1.8	1.4433E-07
387	0.260	1.8	1.5255E-07
415	0.200	1.8	1.6033E-07
506	0.370	1.8	1.8272E-07
593	0.230	1.8	2.0038E-07
685	0.240	1.8	2.1561E-07
776	0.240	1.8	2.2767E-07
870	0.330	1.8	2.3744E-07
964	0.310	1.8	2.4490E-07
1048	0.350	1.8	2.4988E-07
1143	0.370	1.8	2.5390E-07
1231	0.580	1.8	2.5632E-07
1293	0.210	1.8	2.5736E-07
1481	0.430	1.8	2.5787E-07
1668	0.410	1.8	2.5536E-07
1847	0.440	1.8	2.5102E-07
2027	0.350	1.8	2.4541E-07
2123	0.160	1.8	2.4208E-07
2212	0.210	1.8	2.3883E-07
2212	0.160	1.8	2.3883E-07
2575	0.220	1.8	2.2484E-07
2689	0.280	1.8	2.2038E-07
2881	0.120	1.8	2.1296E-07
3100	0.280	1.8	2.0474E-07
3244	0.290	1.8	1.9954E-07
3446	0.270	1.8	1.9254E-07
3612	0.270	1.8	1.8707E-07
3805	0.270	1.8	1.8103E-07
3988	0.200	1.8	1.7563E-07
4329	0.180	1.8	1.6635E-07
4701	0.450	1.8	1.5731E-07
4831	0.210	1.8	1.5439E-07
5192	0.360	1.8	1.4687E-07
5560	0.270	1.8	1.3999E-07
5924	0.330	1.8	1.3384E-07
6294	0.230	1.8	1.2817E-07

表 4-7  $^{238}\text{Pu}$  摂取事例に対する摂取量推定結果

摂取日 (d)	開発プログラム (Bq)	IMBA (Bq)
0	1.272E+06	1.282E+06

#### 4.4.2 体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化

平成 29 年度事業において、単位放射能の 1 回の急性摂取に対する体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化出力機能について検証した[18]。一方、核種摂取量推定機能では、複数回の急性摂取及び慢性摂取についても放射能の経時変化が評価できる必要がある。なお、慢性摂取は日単位の摂取量を該当日の開始時に摂取したと近似するため、複数回の急性摂取と取扱いは同じである。そこで、複数の急性摂取に対しても、体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化を出力する機能を開発した。

複数回の急性摂取に対する体内放射能及び排泄物中放射能の経時変化は、まず単位放射能摂取時の経時変化を評価し、これに摂取した時期毎の摂取量を乗じて摂取時期の間隔だけシフトさせた各経時変化を足し合わせることで得ることとした。

表 4-4 に示す  $^{137}\text{Cs}$  摂取条件に対する全身放射能 (Bq) 及び尿中排泄率 (Bq/d) の経時変化の評価結果を、図 4-2 に示す。図に示すように、本機能は 2 回の急性摂取に対する放射能の経時変化を評価できた。

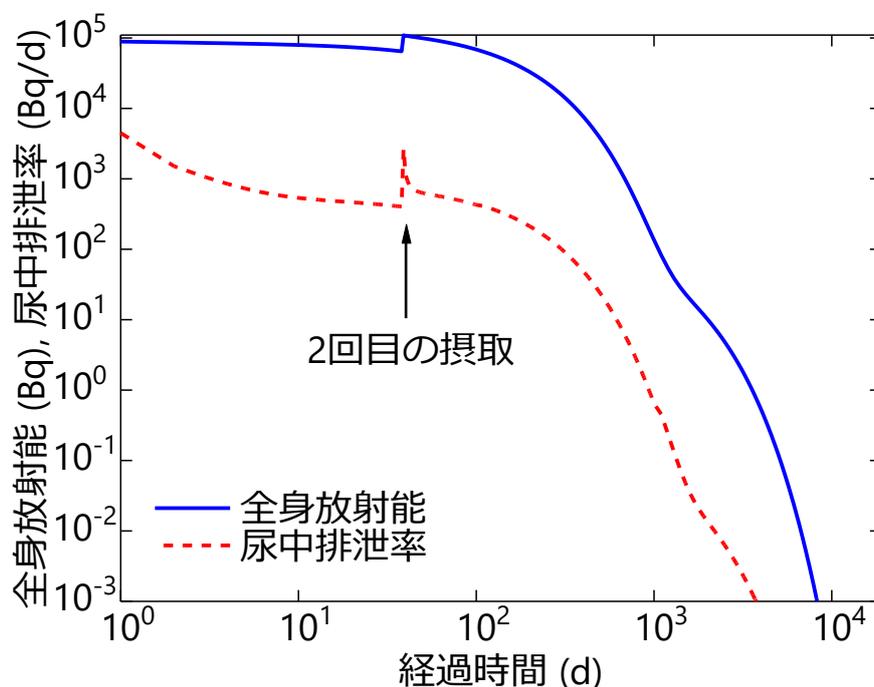


図 4-2  $^{137}\text{Cs}$  複数回摂取時の全身放射能及び尿中排泄率

#### 4.5 核種摂取量推定機能の開発のまとめ

全身カウンタやバイオアッセイ法により得た体内の放射性核種残留量（放射能）に基づく線量評価において、摂取した放射性核種の量（放射能）を推定することが最も重要となる。今年度は、この摂取した放射性核種の量を推定するための計算手法を開発し、そのプログラムを実装することを最大の目標とした。

この計算手法の開発においては、昨年度の既存コードの調査結果に基づいて抽出した数値解析法の中から、最尤推定法の活用を検討した。この推定法では、測定値に対してパラメータとなる摂取量を変化させた際の尤度を評価し、これが最大となった摂取量が与えられる測定値を最適と判断して摂取量を推定する。この手法を採用するにあたっては、実際の適用における課題を抽出し、検出下限値のデータを参照する手法なども検討した。最終的には、開発コードのメイン言語で、これら进行处理できるプログラムを開発した。また、限定的であるが、いくつかの例題により、開発したプログラムの検証を目的とした試計算を行い、その信頼性を確認した。

他、平成 29 年度の事業の研究評価において、広い多角的な観点から当該機能に関するニーズを聴取することが指摘された。そこで、緊急被ばく医療に関係する大学や研究機関において、当該機能に関する意見交換を行った。聴取した意見の中には、昨年度に原子力機構内での意見交換で得たものと同様なものが多くある一方、特に緊急時における評価に必要な条件設定などの情報が含まれていた。これらの意見は、基本機能の開発方針、解析手法の選択に影響はない一方、次年度の実施予定の GUI 開発等で有益となるものであり、今後のコード完成へ向けた研究開発へ反映させる予定である。

## 第5章 あとがき

平成 29 年度からの 4 か年計画で、ICRP の 2007 年勧告に従う新しい線量評価モデルやデータに基づき、内部被ばく線量を導出できるコードの開発に関する研究に取り組んでいる。開発するコードは、国内の放射線規制への 2007 年勧告の取入れにおける実効線量係数の検証、緊急時や平常時のモニタリングに基づく被ばく線量評価での活用を目的としている。平成 30 年度は、コードの基本機能となる線量係数計算機能及び核種摂取量推定機能の開発を進め、線量係数計算機能の設計を完了し、モニタリングデータに基づいて核種の摂取量を推定する基本機能の完成を目標とした。

線量係数計算機能については、平成 29 年度の事業で OIR part 2 (ICRP Publ. 134) で示された実効線量係数を正確に導出することを確認し、基本となる基本機能の妥当性を検証した。今年度は、平成 30 年 1 月に公開された OIR part 3 (ICRP Publ. 137) へ対応するための改良を行い、今後公開されるデータの実装を効率的に遂行するための機能の設計を行った。ここで、新規データの取込みに関する検討において、OIR part 3 への対応で得た知見や経験を反映した。今後公開されるデータの中では、全身における核種の動態を表す組織系動態モデルの実装が大きな課題となる。今年度の事業において、核種の移行を表現するコンパートメント（臓器や組織）名を ID 番号で認識し、先行事業で選定した XML 形式によりモデルの内容を含むファイルを作成することを決定した。さらに、日本人パラメータの読み込み方法を決定し、1990 年勧告に準拠するモデルやデータの実装を含め、データファイルを配置する設計を完了した。また、OIR part 3 では、ウラン系列やトリウム系列に含まれる元素の組織系動態モデル等も公開された。これらの元素に含まれる核種を摂取した場合、体内での壊変により同じ元素の核種が生成し、摂取核種と子孫核種を区別する必要性などの課題を確認した。これら課題を解決するため、線量計算機能のアルゴリズム改良を行い、OIR part 3 で公開された実効線量係数を正確に導出することを検証した。今後、組織系動態モデルが公開された場合、アルゴリズム改良が必要となる可能性もあるが、これまでに構築した機能に基づいて、今年度の経験を活用することで、線量係数計算機能を継続的にアップデートすることに大きな問題は生じないと考える。

核種摂取量推定機能については、昨年度の調査結果に基づいてモニタリングデータより、最尤推定法を用いて、摂取量を推定するという基本機能を開発した。これにより、体外計測法（全身、肺、甲状腺の計測）やバイオアッセイ法（尿、糞の計測）で得たモニタリング結果より、最適な摂取量を推定可能となった。また、種々の摂取パターン、検出下限値が一部含まれる条件への対応も可能とし、実際のニーズに合致する基本機能が完成したと考える。今年度は、いくつかの例題に対する試算を進めたが、次年度の前半において、更なる検証を進める予定である。また、昨年度の研究評価委員会での指摘を受けて、原子力機構以外の大学や研究機関で緊急被ばく医療に携わる専門家との意見交換により、当該機能のニーズ等を聴取することができた。昨年度に原子力機構内の専門家から聴取したものとほぼ同じ内容の意見も多くあった一方、緊急時対応や公衆への説明等の観点からも有益な意見を聴取することができた。来年度、これらの意見を反映してユーザーが計算条件を GUI で設定する方法を

決定する。

平成 31 年度は、核種摂取量推定機能の信頼性を確証したうえで、コードの操作性や利便性の向上を図るため、計算条件を設定する GUI や結果を効果的に表示する機能等を開発する。その後、全機能を統合してコードβ版を開発し、その完成をマイルストーン（目標）として設定する。ここで、β版の開発においては、1990 年勧告及び 2007 年勧告に準拠する実効線量係数の差異の要因分析における線量係数計算機能の活用等の検証も進めていく予定である。他、今後のコード開発、今後の放射線規制の見直しに関する進捗にも影響を与える ICRP の動向については、引き続き調査し、その結果は進捗状況と同様に PO 会合などで報告する。さらに、将来的なコードの普及を鑑みて、学会発表などで内部被ばくに携わる専門家に成果を周知するとともに、開発後の普及対策（講習会開催）の戦略も検討する予定である。

## 参考文献

- [1] 原子力規制委員会, 原子力規制委員会における安全研究の基本方針,  
<https://www.nsr.go.jp/data/000158682.pdf> (最終アクセス日:平成 31 年 3 月 15 日) .
- [2] 原子力規制庁, 「平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費」の実施について,  
<http://www.nsr.go.jp/data/000185157.pdf> (最終アクセス日:平成 31 年 3 月 15 日) .
- [3] 放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(昭和三十二年法律第百六十七号) .
- [4] ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, Ann. ICRP **21** (1–3) (1991).
- [5] ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, Ann. ICRP **37** (2–4) (2007).
- [6] 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成十年科学技術庁告示第五号) .
- [7] 原子力規制庁, 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費の採択結果について,  
<http://www.nsr.go.jp/data/000196751.pdf> (最終アクセス日:平成 31 年 3 月 15 日) .
- [8] 日本原子力研究所, 原子力発電施設等内部被ばく評価技術報告書, 2000 年 3 月 (2000).
- [9] 日本原子力研究開発機構, ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの開発), 平成 21 年度原子力利用安全対策等 委託業務成果報告書, 平成 22 年 3 月 (2010).
- [10] 日本原子力研究開発機構, ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの開発), 平成 22 年度原子力利用安全対策等 委託業務成果報告書, 平成 23 年 3 月 (2011).
- [11] 日本原子力研究開発機構, ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの整備), 平成 23 年度原子力利用安全対策等 委託業務成果報告書, 平成 24 年 3 月 (2012).
- [12] 日本原子力研究開発機構, 平成 24 年度原子力利用安全対策等委託事業 平成 24 年度 ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備(計算コードの整備) 委託業務成果報告書, 平成 25 年 3 月 (2013).
- [13] 日本原子力研究開発機構, 平成 25 年度原子力利用安全対策等業務委託費(ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備) 事業 委託業務成果報告書, 平成 26 年 3 月 (2014).
- [14] 日本原子力研究開発機構, 平成 26 年度放射線対策委託費(国際放射線防護委員会(ICRP) 勧告を踏まえた放射線障害防止に関する技術的基準等の整備) 事業 委託業務成果報告書, 平成 27 年 3 月 (2015).
- [15] 波戸 真治, 本間 俊充, 原子炉事故時放射線影響解析で用いるための内部被曝線量係数,

- 日本原子力研究所, JAERI-Data/Code 2005-006 (2005).
- [16] 木村 仁宣, 木名瀬 栄, 波戸 真治, 慢性摂取による内部被ばく線量評価コードの開発, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2012-027 (2012).
- [17] O. Kurihara, S. Hato, K. Kanai, C. Takada, K. Takasaki, K. Ito, H. Ikeda, M. Oeda, N. Kurosawa, K. Fukutsu, Y. Yamada, M. Akashi and T. Momose, REIDAC—A Software Package for Retrospective Dose Assessment in Internal Contamination with Radionuclides, *J. Nucl. Sci. Technol.* **44** (10) 1337–1346 (2007).
- [18] 日本原子力研究開発機構, 平成 29 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) 事業成果報告書, 平成 30 年 3 月 30 日 (2018).
- [19] W.E. Bolch, D. Jokisch, M. Zankl, K.F. Eckerman, T. Fell, R. Manger, A. Endo, J. Hunt, K.P. Kim and N. Petoussi-Henss, The ICRP Computational Framework for Internal Dose Assessment for Reference Adults: Specific Absorbed Fractions. ICRP Publication 133, *Ann. ICRP* **45** (2) (2016).
- [20] F. Paquet, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, T.P. Fell, T. Smith, D. Nosske, K.F. Eckerman, V. Berkovski, E. Ansoborlo, A. Giussani, W.E. Bolch and J.D. Harrison, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134, *Ann. ICRP* **45** (3/4) (2016).
- [21] F. Paquet, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, J. Marsh, T.P. Fell, T. Smith, D. Nosske, K.F. Eckerman, V. Berkovski, E. Blanchardon, D. Gregoratto and J.D. Harrison, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137, *Ann. ICRP* **46** (3/4) (2017).
- [22] ICRP, Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values. ICRP Publication 89, *Ann. ICRP* **32** (3–4) (2002).
- [23] ICRP, Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 100, *Ann. ICRP* **36** (1–2) (2006).
- [24] ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107, *Ann. ICRP* **38** (3) (2008).
- [25] F. Paquet, G. Etherington, M.R. Bailey, R.W. Leggett, J. Lipsztein, W. Bolch, K.F. Eckerman and J.D. Harrison, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130, *Ann. ICRP* **44** (2) (2015).
- [26] M. Tirmarche, J.D. Harrison, D. Laurier, F. Paquet, E. Blanchardon and J.W. Marsh, Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, *Ann. ICRP* **40** (1) (2010).
- [27] K. Manabe, K. Sato and A. Endo, Comparison of Internal Doses Calculated Using the Specific Absorbed Fractions of the Average Adult Japanese Male Phantom with Those of the Reference Computational Phantom-adult Male of ICRP Publication 110, *Phys. Med. Biol.* **59** 1255–1270 (2014).
- [28] K. Manabe, K. Sato and F. Takahashi, Estimating Internal Dose Coefficients of Short-lived Radionuclides in Accordance with ICRP 2007 Recommendations, *J. Nucl. Sci. Technol.* doi:

10.1080/00223131.2019.1585988 (2019).

- [29] ICRP, Report of the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford (1975).
- [30] M. Cristy and K.F. Eckerman, Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources. I. Methods, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-8381/V1 (1987).
- [31] ICRP, Radionuclide Transformations - Energy and Intensity of Emissions. ICRP Publication 38, Ann. ICRP **11–13** (1983).
- [32] ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP **24** (1–3) (1994).
- [33] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 1), Ann. ICRP **2** (3–4) (1979).
- [34] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 2), Ann. ICRP **4** (3–4) (1980).
- [35] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30 (Part 3), Ann. ICRP **6** (2–3) (1981).
- [36] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: An Addendum. ICRP Publication 30 (Part 4), Ann. ICRP **19** (4) (1988).
- [37] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP Publication 56, Ann. ICRP **20** (2) (1990).
- [38] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67, Ann. ICRP **23** (3–4) (1993).
- [39] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69, Ann. ICRP **25** (1) (1995).
- [40] ICRP, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4 Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71, Ann. ICRP **25** (3–4) (1995).
- [41] M. Cristy and K.F. Eckerman, SEECAL: Program to Calculate Age-dependent Specific Effective Energies, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-12351 (1993).
- [42] L.T. Dillman and T.D. Jones, Internal Dosimetry of Spontaneously Fissioning Nuclides, Health Phys. **29**, 111–123 (1975).
- [43] K.F. Eckerman, R.W. Leggett, M. Cristy, C.B. Nelson, J.C. Ryman, A.L. Sjoreen and R.C. Ward, User's Guide to the DCAL System, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-2001/190 (2006).
- [44] ICRP, Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110, Ann. ICRP **39** (2) (2009).
- [45] K. Manabe, A. Endo and K.F. Eckerman, Impact of the New Nuclear Decay Data of ICRP Publication 107 on Inhalation Dose Coefficients for Workers, Radiat. Prot. Dosim. **138** (3) 245–

250 (2010).

- [46] K. Sato, F. Takahashi, D. Satoh and A. Endo, Construction of Average Adult Japanese Voxel Phantoms for Dose Assessment, Japan Atomic Energy Agency, JAEA-Data/Code 2011-013 (2011).
- [47] 真辺 健太郎, 佐藤 薫, 高橋 史明, 平均的成人日本人男性ファントムを用いた光子及び電子比吸収割合の評価, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2014-017 (2014).
- [48] 真辺 健太郎, 佐藤 薫, 高橋 史明, 平均的成人日本人女性ファントムを用いた光子及び電子比吸収割合の評価, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2016-013 (2016).
- [49] 佐藤 薫, 真辺 健太郎, 遠藤 章, 平均的成人日本人ボクセルファントムの光子比吸収割合への適用, *RADIOISOTOPES* **61** 315–320 (2012).
- [50] 瀧上 誠, 糠沢 敦, トリチウム取扱作業に伴う空気中および作業者の尿中トリチウム濃度, *保健物理* **8** 221–227 (1973).
- [51] 斎藤 宏, 全身測定法による鉄の吸収と排出, *核医学* **2** (3–4) 136–138 (1965).
- [52] M. Uchiyama, G. Tanaka and S. Akiba, Radioiodine Retention by 2 Japanese Male Adults After A Single Oral Dose, *J. Radiat. Res.* **23** 358–370 (1982).
- [53] M. Uchiyama, Estimation of <sup>137</sup>Cs Body Burden in Japanese II. The Biological Half-life, *J. Radiat. Res.* **19** 246–261 (1978).
- [54] 日本原子力研究所, 原子力発電施設等内部被ばく評価技術報告書, 1999年3月 (1999).
- [55] 原子力委員会, 発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針について, [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/nc/t19760928001/t19760928001.html](http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19760928001/t19760928001.html) (最終アクセス日:平成31年3月15日) .
- [56] ICRP, Report of Committee IV on Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues From Internal Contamination due to Occupational Exposure. ICRP Publication 10, Pergamon Press, Oxford (1968).
- [57] 吉沢 康雄, 草間 朋子, 日本人の甲状腺に関する正常値について, *保健物理* **11** 123–128 (1976).
- [58] G. Tanaka, H. Kawamura and Y. Nakahara, Reference Japanese Man-I. Mass of Organs and Other Characteristics of Normal Japanese, *Health Phys.* **36** 333–346 (1979).
- [59] 外川 織彦, 放射性ヨウ素の摂取に関する日本人の内部被ばく線量換算係数の試算, *保健物理* **27** 27–32 (1992).
- [60] ICRP, Paediatric Reference Computational Phantoms (Draft, 6 August, 2018), <http://www.icrp.org/docs/TG96%20Draft%20Report%20for%20Public%20consultation%202018-08-06.pdf> (最終アクセス日:平成31年3月15日) .
- [61] ICRP, Update on Dose Coefficients for Internal Exposures to Workers and the Public, <http://www.icrp.org/page.asp?id=390> (最終アクセス日:平成31年3月15日) .

- [62] ICRP, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 68, Ann. ICRP **24** (4) (1994).
- [63] N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano and H. Enomoto, Development of Software for Internal Dose Calculation from Bioassay Measurements, Radiat. Prot. Dosim. **109** (3) 235–242 (2004).
- [64] A.C. James, A. Birchall, J.W. Marsh and M. Puncher. User Manual for IMBA Professional Plus (Version 4.0), ACJ & Associates, Inc., Radiation Protection Division Health Protection Agency (2005).
- [65] 波戸 真治, 木名瀬 栄, 特異値分解を用いた放射性核種の摂取量推定, 日本原子力学会和文論文誌 **15** (3) 146–150 (2016).
- [66] EPA, Guidance for Data Quality Assessment, Environmental Protection Agency, EPA QA/G-9 QA00 Update (2000).
- [67] V. Kostikov, Linear Algebra for Java: la4j, <http://la4j.org/> (最終アクセス日 : 平成 31 年 3 月 15 日) .
- [68] C.M. Castellani, J.W. Marsh, C. Hurtgen, E. Blanchardon, P. Berard, A. Giussani and M.A. Lopez, IDEAS Guidelines (Version 2) for the Estimation of Committed Doses from Incorporation Monitoring Data, European Radiation Dosimetry Group e. V., EURADOS Report 2013-01 (2013).



付録-1 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) と OIR シリーズで考慮されている放射性同位元素の種類 (化学形等)

1) 水素

付表 1-1 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -H-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
元素状水素	可溶性または反応性ガス	吸入
メタン	ガスまたは蒸気	吸入
水	可溶性または反応性ガス	吸入
有機物 (メタンを除く)	可溶性または反応性ガス	吸入
上記を除く化合物	粒子 (Type M)	吸入
水	$f_1 = 1.0^*$	経口
有機物 (メタンを除く)	$f_1 = 1.0$	経口
上記を除く化合物	$f_1 = 1.0^*$	経口

\*水の経口摂取は、すぐに体全体に行き渡るという仮定に基づいており、ICRP Publ. 68 では  $f_1 = 1.0$  と記載されているが、実際には小腸内容物→血液という経路は考慮されていない。これを除く経口摂取は、消化管を通じて  $f_1 = 1$  (i.e. 0.99) で血液に吸収されるという計算である。

付表 1-2 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -H-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
トリチウム水 (蒸気)	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入
トリチウムガス	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入
トリチウムメタン	ガスまたは蒸気 (Type V)	吸入
特定されないガスまたは蒸気 (特定されない有機化合物蒸気を含む)	ガスまたは蒸気 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入
有機結合トリチウム (OBT)	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入
トリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$	粒子 (Type F), $f_A = 0.99$	吸入
ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されていない化合物	粒子 (Type M), $f_A = 0.2$	吸入
トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム	粒子 (Type S), $f_A = 0.01$	吸入
可溶性物質 (有機結合トリチウム及びトリチウム吸蔵 $\text{LaNi}_{4.25}\text{Al}_{0.75}$ )	$f_A = 0.99$	経口
生体物質	$f_A = 0.99$	経口
難溶性物質 (ガラス破片、発光塗料、トリチウム化チタン、トリチウム化ジルコニウム、全ての特定されない化合物、トリチウム化炭素、トリチウム化ハフニウム)	$f_A = 0.1$	経口

2) 炭素

付表 1-3 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -C-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
蒸気	可溶性または反応性ガス	吸入
一酸化物	可溶性または反応性ガス	吸入
二酸化物	可溶性または反応性ガス	吸入
メタン	ガスまたは蒸気	吸入
有機物 (経口)	$f_i = 1.0$	経口

付表 1-4 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -C-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
一酸化物	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
二酸化物	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
メタン	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
特定されないガスまたは蒸気	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
炭酸バリウム	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
全ての特定されない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
元素状炭素、トリチウム化炭素	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.99$	経口

3) リン

付表 1-5 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -P-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
Sn のリン酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
Sn のリン酸塩	粒子(Type M)	吸入
Sn のリン酸塩以外の化合物	$f_i = 0.8$	経口
Sn のリン酸塩	$f_i = 0.8$	経口

付表 1-6 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -P-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
リン酸ナトリウム (リン酸ソーダ)	粒子(Type F), $f_A = 0.8$	吸入
リン酸イットリウム、リン酸スズ、リン酸亜鉛、 全ての特定されない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.16$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.008$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.8$	経口

4) 硫黄

付表 1-7 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -S-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
蒸気 (二酸化硫黄を含む)	可溶性または反応性ガス	吸入
二硫化炭素	ガスまたは蒸気	吸入
H、Li、Na、Mg、Al、Si、P、K、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Ni、Ga、Rb、Sr、Zr、Tc、Ru、Rh、Pd、In、Te、I、Cs、Ba、La、Gd、Hf、W、Re、Os、Ir、Pt、Au、Tl、Pb、Po、Fr、Ac の硫化物と硫酸塩、Cu の無機化合物の硫酸塩、Ge、Mo、Ag、Cd、Sn の硫酸塩、Se の無機化合物の硫化物と硫酸塩、Hg の無機化合物の硫酸塩、Hg の有機化合物の硫化物と硫酸塩及び大部分の六価のウラン化合物の硫化物と硫酸塩	粒子(Type F)	吸入
元素状硫黄 [吸入摂取]、Be、Ca、Sc、Co、Zn、As、Y、Nb、Sb、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Ta、Bi、Ra、Th、Pa、Np、Pu、Am、Cm、Bk、Cf、Es、Fm、Md の硫化物と硫酸塩、Cu の無機化合物の硫化物、Ge、Mo、Ag、Cd、Sn の硫化物、Hg の無機化合物の硫化物及び難溶性、不溶性のウラン化合物の硫化物と硫酸塩	粒子(Type M)	吸入
元素状硫黄	$f_1 = 0.100$	経口
元素状以外の無機化合物	$f_1 = 0.800$	経口
食品中の硫黄	$f_1 = 1.000$	経口
上記を除く化合物		経口

付表 1-8 OIR シリーズの放射性同位元素の種類（化学形） -S-

種類（化学形）	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
二酸化硫黄、二硫化炭素、硫化水素、硫化カルボニル、他の特定されない無機ガス、蒸気	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
他の有機ガス	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
硫酸セシウム、硫酸ニッケル、硫酸ストロンチウム及び硫酸トリウム	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
硫酸バリウム、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ（化学形等なし）	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
特定されていない無機、有機化合物	$f_A = 0.99$	経口
元素状硫黄及びチオ硫酸塩	$f_A = 0.1$	経口

## 5) カルシウム

付表 1-9 告示別表第 2（ICRP Publ. 68）の放射性同位元素の種類（化学形） -Ca-

種類（化学形）	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type M)	吸入
全ての化合物	$f_1 = 0.3$	経口

付表 1-10 OIR シリーズの放射性同位元素の種類（化学形） -Ca-

種類（化学形）	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化カルシウム	粒子(Type F), $f_A = 0.4$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.08$	吸入
数値のみ（化学形等なし）	粒子(Type S), $f_A = 0.004$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.4$	経口

## 6) 鉄

付表 1-11 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Fe-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物及びハロゲン化物	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-12 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Fe-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.1$	吸入
過塩化鉄、酸化鉄、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.02$	吸入
腐食生成物	粒子(Type S), $f_A = 0.001$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.1$	経口

## 7) コバルト

付表 1-13 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Co-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	粒子(Type S)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-14 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Co-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
硝酸コバルト、塩化コバルト	粒子(Type F), $f_A = 0.1$	吸入
全ての特定されていない化合物	粒子(Type M), $f_A = 0.02$	吸入
結合アルミノケイ酸塩 (FAP)、ポリスチレン (PSL)、酸化物	粒子(Type S), $f_A = 0.004$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.1$	経口
不溶性酸化物	$f_A = 0.05$	経口

8) 亜鉛

付表 1-15 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Zn-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type S)	吸入
全ての化合物	$f_i = 0.500$	経口

付表 1-16 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Zn-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
酸化物、クロム酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.5$	吸入
硝酸塩、リン酸塩亜鉛、全ての特定されない化合物	粒子(Type M), $f_A = 0.1$	吸入
腐食生成物	粒子(Type S), $f_A = 0.005$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.5$	経口

9) ストロンチウム

付表 1-17 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Sr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
チタン酸ストロンチウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
チタン酸ストロンチウム	粒子(Type S)	吸入
チタン酸ストロンチウム以外の化合物	$f_i = 0.3$	経口
チタン酸ストロンチウム	$f_i = 0.010$	経口

付表 1-18 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Sr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化ストロンチウム、硫酸ストロンチウム、炭酸ストロンチウム	粒子(Type F), $f_A = 0.25$	吸入
全ての特定されていない化学形、燃料破片	粒子(Type M), $f_A = 0.05$	吸入
結合アルミノケイ酸塩 (FAP)、ポリスチレン (PSL)、チタン酸ストロンチウム	粒子(Type S), $f_A = 0.0025$	吸入
チタン酸ストロンチウム	$f_A = 0.01$	経口
他の全ての化学形	$f_A = 0.25$	経口

10) イットリウム

付表 1-19 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Y-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
酸化物及び水酸化物以外の化合物	$f_i = 1.0E-4$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 1.0E-4$	経口

付表 1-20 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Y-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化物を含む水溶性化合物	粒子(Type F), $f_A = 1.0E-4$	吸入
酸化物、リン酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 2.0E-5$	吸入
結合アルミノケイ酸塩 (FAP)	粒子(Type S), $f_A = 1.0E-6$	吸入
全ての化学形	$f_A = 1.0E-4$	経口

11) ジルコニウム

付表 1-21 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Zr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び炭化ジルコニウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
炭化ジルコニウム	粒子(Type S)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩及び炭化ジルコニウム以外の化合物	$f_i = 0.002$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、及び硝酸塩	$f_i = 0.002$	経口
炭化ジルコニウム	$f_i = 0.002$	経口

付表 1-22 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Zr-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.002$	吸入
シュウ酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 4.0E-4$	吸入
炭酸塩、酸化物、トリチウム化物	粒子(Type S), $f_A = 2.0E-5$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.002$	経口

12) ニオブ

付表 1-23 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Nb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
酸化物及び水酸化物以外の化合物	$f_i = 0.010$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 0.010$	経口

付表 1-24 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Nb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.01$	吸入
シュウ酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.002$	吸入
炭酸塩、酸化物	粒子(Type S), $f_A = 1.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.01$	経口

13) モリブデン

付表 1-25 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Mo-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
二硫化モリブデン、酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
二硫化モリブデン、酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
二硫化モリブデン以外の化合物	$f_i = 0.800$	経口
二硫化モリブデン	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-26 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Mo-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化モリブデン及びモリブデン酸アンモニウム	粒子(Type F), $f_A = 0.9$	吸入
酸化物及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.18$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.009$	吸入
硫化物	$f_A = 0.05$	経口
他の全ての化学形	$f_A = 0.9$	経口

14) テクネチウム

付表 1-27 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Tc-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.800$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物及び硝酸塩	$f_i = 0.800$	経口

付表 1-28 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Tc-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
過テクネチウム酸塩、Tc-DTPA	粒子(Type F), $f_A = 0.9$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.18$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.009$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.9$	経口

15) ルテニウム

付表 1-29 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ru-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
四酸化ルテニウム	四酸化ルテニウム蒸気	吸入
ハロゲン化物、酸化物、水酸化物及び四酸化ルテニウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
ハロゲン化物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
ハロゲン化物、酸化物、水酸化物及び四酸化ルテニウム以外の化合物	$f_i = 0.050$	経口
ハロゲン化物	$f_i = 0.050$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-30 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ru-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
四酸化ルテニウム	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.01$	吸入
塩化物、シュウ酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.05$	吸入
クエン酸塩、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.01$	吸入
二酸化物	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.05$	経口

## 16) アンチモン

付表 1-31 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Sb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩及び硝酸塩	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-32 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Sb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化物、酒石酸	粒子(Type F), $f_A = 0.05$	吸入
三酸化物、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.01$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.05$	経口

## 17) テルル

付表 1-33 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Te-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
蒸気	ガスまたは蒸気	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_i = 0.300$	経口
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	$f_i = 0.300$	経口

付表 1-34 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Te-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
全ての特定されていない化合物 (ガス、蒸気)	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.3$	吸入
塩化テルル及び二酸化テルル	粒子(Type F), $f_A = 0.3$	吸入
元素状テルル、テルル化カドミウム及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.06$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.003$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.3$	経口

## 18) ヨウ素

付表 1-35 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -I-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
蒸気	可溶性または反応性ガス	吸入
ヨウ化メチル	ガスまたは蒸気	吸入
ヨウ化メチル以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
ヨウ化メチル以外の化合物	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-36 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -I-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
元素状ヨウ素、全ての特定されていない化学形 (ガス、蒸気)	ガスまたは蒸気(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
ヨウ化メチル及びヨウ化エチル	ガスまたは蒸気(Type V)	吸入
ヨウ化ナトリウム、塩化セシウムベクター、ヨウ化銀及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.99$	経口

## 19) セシウム

付表 1-37 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Cs-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type F)	吸入
全ての化合物	$f_i = 1.000$	経口

付表 1-38 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Cs-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化セシウム、硝酸塩及び硫酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.99$	吸入
照射された燃料の破片、全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.01$	吸入
塩化セシウム、硝酸塩、硫酸塩; 全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.99$	経口
難溶性の物質 (照射された燃料の破片)	$f_A = 0.1$	経口

20) バリウム

付表 1-39 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ba-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type F)	吸入
全ての化合物	$f_i = 0.100$	経口

付表 1-40 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ba-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化バリウム及び炭酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	吸入
硫酸バリウム及び全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.04$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.002$	吸入
水溶性	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	経口
不溶性 (硫酸塩及びチタン酸塩)	粒子(Type M), $f_A = 1.0E-4$	経口

21) イリジウム

付表 1-41 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ir-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
ハロゲン化物、硝酸塩、酸化物、水酸化物及び金属イリジウム以外の化合物	粒子(Type F)	吸入
ハロゲン化物、硝酸塩及び金属イリジウム	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
ハロゲン化物、硝酸塩、酸化物、水酸化物及び金属イリジウム以外の化合物	$f_i = 0.010$	経口
ハロゲン化物、硝酸塩及び金属イリジウム	$f_i = 0.010$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 0.010$	経口

付表 1-42 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ir-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
塩化イリジウム	粒子(Type F), $f_A = 0.01$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.002$	吸入
元素状イリジウム	粒子(Type S), $f_A = 1.0E-4$	吸入
全ての特定されていない化学形	$f_A = 0.01$	経口

## 22) 鉛

付表 1-43 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Pb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type F)	吸入
全ての化合物	$f_i = 0.200$	経口

付表 1-44 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Pb-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
二塩化物、二臭化物、二フッ化物、水酸化物、硝酸塩、酸化物、全ての特定されていない化学形	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type M), $f_A = 0.04$	吸入
鉍物ダスト	粒子(Type S), $f_A = 0.002$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.2$	経口

## 23) ビスマス

付表 1-45 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Bi-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
硝酸ビスマス	粒子(Type F)	吸入
硝酸ビスマス以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
硝酸ビスマス	$f_i = 0.050$	経口
硝酸ビスマス以外の化合物	$f_i = 0.050$	経口

付表 1-46 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Bi-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.05$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.01$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-4$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.05$	経口

24) ポロニウム

付表 1-47 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Po-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	粒子(Type F)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物、水酸化物及び硝酸塩	$f_1 = 0.100$	経口
酸化物、水酸化物及び硝酸塩以外の化合物	$f_1 = 0.100$	経口

付表 1-48 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Po-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 0.1$	吸入
塩化物、水酸化物、ガス化されたポロニウム、 全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.02$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.001$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.1$	経口

25) ラジウム

付表 1-49 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Ra-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_1$ 値等	摂取経路
全ての化合物	粒子(Type M)	吸入
全ての化合物	$f_1 = 0.200$	吸入

付表 1-50 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Ra-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
硝酸塩	粒子(Type F), $f_A = 0.2$	吸入
全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.04$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 0.002$	吸入
全ての化学形	$f_A = 0.2$	経口

26) トリウム

付表 1-51 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -Th-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
酸化物及び水酸化物以外の化合物	粒子(Type M)	吸入
酸化物及び水酸化物	粒子(Type S)	吸入
酸化物及び水酸化物以外の化合物	$f_i = 5.0E-4$	経口
酸化物及び水酸化物	$f_i = 2.0E-4$	経口

付表 1-52 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -Th-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type F), $f_A = 5.0E-4$	吸入
水酸化物	粒子(Type M), $f_A = 1.0E-4$	吸入
酸化物、全ての特定されていない化学形	粒子(Type S), $f_A = 5.0E-6$	吸入
塩化物、クエン酸塩、硝酸塩及び硫酸塩を含む水溶性化合物、フッ化物	粒子(Specific Type), $f_A = 5.0E-5$	吸入
全ての化学形	$f_A = 5.0E-4$	経口

## 27) ウラン

付表 1-53 告示別表第 2 (ICRP Publ. 68) の放射性同位元素の種類 (化学形) -U-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_i$ 値等	摂取経路
六フッ化ウラン、フッ化ウラニル、硝酸ウラニル等の六価の化合物	粒子(Type F)	吸入
三酸化ウラン、四フッ化ウラン、四塩化ウラン等の難溶性の化合物	粒子(Type M)	吸入
二酸化ウラン、八酸化三ウラン等の不溶性の化合物	粒子(Type S)	経口
四価のウラン化合物以外の化合物	$f_i = 0.200$	経口
二酸化ウラン、八酸化三ウラン、四フッ化ウラン等の不溶性の化合物	$f_i = 0.020$	経口

付表 1-54 OIR シリーズの放射性同位元素の種類 (化学形) -U-

種類 (化学形)	吸収タイプ、 $f_A$ 値等	摂取経路
硝酸ウラニル、過酸化ウラン水和物 ( $UO_4$ )、重ウラン酸アンモニウム、三酸化ウラン ( $UO_3$ )	粒子(Type F/M の間), $f_A = 0.016$	吸入
八酸化三ウラン ( $U_3O_8$ )、二酸化ウラン	粒子(Type M/S の間), $f_A = 6.0E-4$	吸入
ウランアルミナイド (UAIX)	粒子(Type M/S の間), $f_A = 0.002$	吸入
六フッ化ウラン、リン酸トリブチルウラニル	粒子(Type F), $f_A = 0.02$	吸入
アセチルアセトナートウラニル、運動エネルギー弾の使用による劣化ウランのエアロゾル、蒸発した金属ウラン；全ての特定されていない化学形	粒子(Type M), $f_A = 0.004$	吸入
数値のみ (化学形等なし)	粒子(Type S), $f_A = 2.0E-4$	吸入
水溶性の物質	$f_A = 0.02$	経口
難溶性の物質	$f_A = 0.002$	経口

## 付録-2 プログラムオフィサー（PO）会合、専門家との打合せ及び外部発表

### 1. プログラムオフィサー（PO）との会合

#### ・第1回 PO 会合

日付：平成30年7月4日

場所：日本原子力研究開発機構東京事務所（東京都千代田区）

出席者：

（研究推進委員会）古田定昭 PO、大町康 PO 補佐

（主任研究員）高橋史明

（研究参加者）真辺健太郎

議題：

- 1) 平成29年度の実施報告
- 2) 平成30年度の実施計画
- 3) 今後のスケジュール

#### ・第2回 PO 会合

日付：平成30年9月13日

場所：日本原子力研究開発機構東京事務所（東京都千代田区）

出席者：

（研究推進委員会）古田定昭 PO、大町康 PO 補佐

（主任研究員）高橋史明

（研究参加者）真辺健太郎

議題：

- 1) 線量係数計算機能の開発の進捗状況
- 2) 核種摂取量推定機能の開発の進捗状況
- 3) その他（今後の予定等）

#### ・第3回 PO 会合

日付：平成30年11月22日

場所：日本原子力研究開発機構東京事務所（東京都千代田区）

出席者：

（研究推進委員会）古田定昭 PO、大町康 PO 補佐

（主任研究員）高橋史明

（研究参加者）真辺健太郎

（派遣労働者）嶋洋佑

議題：

- 1) 核種摂取量推定機能の開発の進捗状況
- 2) 線量係数計算機能の開発の進捗状況
- 3) その他（今後の予定等）

## 2. 専門家との打合せ

- ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その1

日付：平成30年7月19日

場所：長崎大学坂本キャンパス①（長崎県長崎市）

出席者：

（長崎大学）松田尚樹、福田直子

（原子力機構）真辺健太郎

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換
- 3) ホールボディカウンタ見学

- ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その2

日付：平成30年7月23日

場所：福島県立医科大学（福島県福島市）

出席者：

（福島医大）石川徹夫

（原子力機構）真辺健太郎

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換
- 3) ラドンの線量評価

- ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その3

日付：平成30年7月24日

場所：弘前大学本町地区（青森県弘前市）

出席者：

（弘前大）床次眞司、細田正洋

（原子力機構）佐藤薫、真辺健太郎

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換
- 3) ラドンの線量評価

- ・内部被ばくモニタリングの専門家との意見交換 その4

日付：平成30年10月31日

場所：量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（千葉県千葉市）

出席者：

（放医研）栗原治、谷幸太郎

（原子力機構）真辺健太郎、嶋洋佑

議題：

- 1) 内部被ばく線量評価コード開発の概要説明
- 2) 核種摂取量推定機能について説明と意見交換

### 3. 外部発表

- ・第6回日本放射線事故・災害医学会

日付：平成30年9月22日

場所：東海村産業・情報プラザ（茨城県那珂郡東海村）

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：ICRP 2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

- ・12th International Conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR2018)

日付：平成30年10月14日

場所：仏国放射線防護原子力安全研究所（IRSN）（仏国フオントネー＝オー＝ローズ）

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：Development of a function calculating internal dose coefficients based on ICRP 2007 Recommendations

- ・平成30年度研究成果報告会

日付：平成31年2月15日

場所：原子力規制委員会（東京都港区）

発表者：（主任研究者）高橋史明

タイトル：内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究

- ・日本原子力学会 2019年春の年会 2件

日付：平成31年3月21日

場所：茨城大学水戸キャンパス（茨城県水戸市）

1件目

発表者：（主任研究者）高橋史明

タイトル：ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

(1) 線量計算機能の開発 -平成30年度の進捗状況-

2件目

発表者：（研究参加者）真辺健太郎

タイトル：ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発

(2) 核種摂取量機能の開発 -平成30年度の進捗状況-

1. 第6回日本放射線事故・災害医学会 発表ポスター

# ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発



○真辺健太郎、佐藤薫、高橋史明

日本原子力研究開発機構 安全研究センター リスク評価研究ディビジョン 放射線安全・防災研究グループ

## 背景

国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告の国内法令への取入れ

- 内部被ばくによる放射線障害の発生を防止するための基準値
  - ✓ 空气中濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>)
  - ✓ 排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>)
  - ✓ 排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm<sup>3</sup>)
- 事業所における内部被ばく管理、災害発生時の線量評価
  - ✓ ホールボディカウンタ、バイオアッセイ等による摂取量評価
  - ✓ 摂取量評価結果に基づく被ばく線量評価

技術的基盤となる内部被ばく線量評価コードの開発

## コードの基本機能

- ICRP2007年勧告に従う線量係数 (Sv/Bq) 計算機能
  - ✓ 基礎的なモデル・データ (体内動態モデル、核崩壊データ、比吸収割合 (SAF) データ) からの線量係数評価
  - ✓ コード完成後に公開・更新されるモデル・データへの対応、1990年勧告対応データ・日本人データ等の個別データを考慮した線量係数評価のためのモデル・データ編集
- モニタリング結果に基づく核種摂取量 (Bq) 推定機能
  - ✓ 残留放射能・排泄率の時間推移の計算
  - ✓ 統計的手法によるモニタリング結果のフィッティング
  - ✓ 摂取量評価値と線量係数を用いた被ばく線量 (Sv) 算出

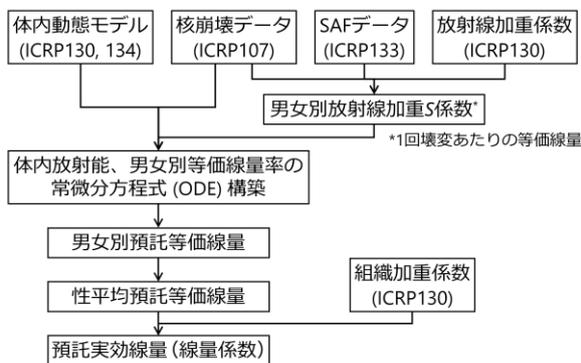
## 開発スケジュール

実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
線量係数計算機能	基本機能の開発、検証	モデル・データ編集機能の設計、開発		
摂取量推定機能	ニーズ調査、概念設計	基本機能の開発	機能の検証	
GUI整備、β版作成、マニュアル整備			入力設定、結果表示機能 (GUI) の開発	β版意見聴取とコードの改良 マニュアル整備

コードの完成・公開

## 線量係数計算機能の開発

### 線量係数計算フロー



- ✓ ICRP2007年勧告の線量評価手順 (ICRP130) に準拠
- ✓ ICRPタスクグループメンバーと情報交換  
⇒ SAF内挿法、体内動態モデルの取扱い等を確認
- ✓ 年齢別の体内動態パラメータにも対応した計算フローを採用

### 機能の検証

- ICRPの線量係数データベース：OIR Data Viewer ver. 2.17との照合
- ✓ 主要14元素 (H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc)、101核種、454種類の摂取条件について、有効数字2桁で収録
  - ✓ 426種類で一致、28種類で2桁目が+1の差

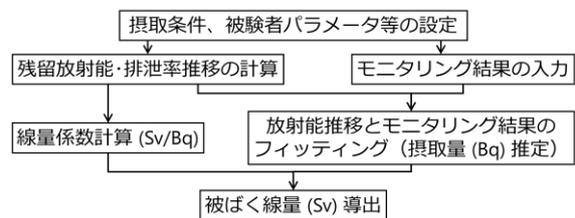
ICRPの線量係数を精度よく再現

## 謝辞

本研究は、原子力規制委員会 放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究) 事業によるものです。

## 摂取量推定機能の開発

### 摂取量推定・被ばく線量評価フロー



- ✓ 既存類似コード：IDEC (旧原研)、MONDAL (放医研)、IMBA (英国PHE) を調査し、フローを構築
- ✓ 作業員・公衆、吸入摂取・経口摂取・注入摂取、単一摂取・複数回摂取・慢性摂取を選択可能
- ✓ 残留放射能・排泄率推移計算：線量係数計算機能を利用
- ✓ フィッティング：特異値分解による最尤推定法を採用予定

### ニーズ調査

- JAEAモニタリング従事者、国内外の専門家から意見募集
- 機能面への意見 (例)
    - ✓ 多様な摂取経路、摂取条件 (複数回摂取、慢性摂取) への対応
    - ✓ 複数のモニタリング結果、複数の手法によるデータを用いた評価
    - ✓ 創傷部汚染を摂取経路として含めるか否か
      - ・ 実測困難なため創傷汚染モデルの実装は不要 (注入摂取と仮定)
      - ・ 災害時は創傷汚染が想定されるため、使えるならば使いたい
    - ✓ モニタリング結果の不確かさを考慮したい
    - ✓ 任意の粒径分布、呼吸条件への対応
    - ✓ 安定ヨウ素剤、キレート剤の効果を検討した評価 (注：手法が確立されていないため、本事業での実装は計画外)
  - 操作・利用面での意見 (例)
    - ✓ 入手しやすいこと、様々な計算機環境で動作すること
    - ✓ 一般市民への説明にそのまま利用できるような分かりやすい出力
    - ✓ 専門的な知識を持たない現場対応者が利用できるエディション

2. 12th International Conference on the Health Effects of Incorporated Radionuclides (HEIR2018)  
発表スライド

## Development of a function calculating internal dose coefficients based on ICRP 2007 Recommendations

---

K. Manabe, K. Sato and F. Takahashi

 Japan Atomic Energy Agency

Health Effects of Incorporated Radionuclides 2018 @ Fontenay aux roses, 10th Oct. 2018.

1

## Contents

---

- Introduction
- Development of Internal Dosimetry Code
- Function to Calculate Dose Coefficients
- Summary



2

## Introduction

### Japanese regulatory standards against internal exposures

- Three kinds of concentration limits (Bq/m<sup>3</sup>) for:
  - ✓ Ambient air in facilities
  - ✓ Exhaust from facilities
  - ✓ Drainage from facilities
- Current standards are determined by using committed effective dose per unit intake,  $e(\tau)$  (Sv/Bq), based upon ICRP 1990 Recommendations.

ICRP started to release new  $e(\tau)$  based upon  
2007 Recommendations



- The Nuclear Regulation Authority of Japan (NRA) considers to introduce ICRP 2007 Recommendations into the regulatory system.



3

## Revision of the Japanese Regulatory Standards

### Problems

- It is not clear if **all necessary  $e(\tau)$  are provided by ICRP or not.**
  - ✓ Some short-lived ( $T_{1/2} < 10$  min) nuclides\* are additionally included in the current Japanese standards, comparing to ICRP Publ. 134 (OIR part 2).  
(\* <sup>30</sup>P, <sup>37</sup>S, <sup>49</sup>Ca, <sup>53</sup>Fe, <sup>62</sup>Co, <sup>85</sup>Zr, <sup>94m</sup>Nb, <sup>102</sup>Tc)
- It is important to recognize **what makes the standards change.**
  - ✓ Change in Tissue weighting factors ( $w_T$ )? Biokinetic models?  
Human models? Specific absorbed fractions (SAFs)?
- It is necessary to comprehend the influence of **Japanese specific conditions or parameters** on doses.
  - ✓ Japanese specific biokinetics (e.g. uptake ratio of iodine to the thyroid).
  - ✓ Difference in physique between Japanese and Caucasian (i.e. SAFs).

It is important to establish a technical basis for internal dose estimation.

JAEA proposed a project to develop an internal dosimetry code to NRA,  
and the 4-year project (2017-2020 FY) is ongoing.



4

## Development of Internal Dosimetry Code

### Purposes of the code

- (a) Confirmation of new  $e(\tau)$  for revision of the existing regulatory standards
- (b) Estimation of internal doses considering various conditions for managing internal doses of workers, for evaluating retrospective doses in case of an accident  
based upon ICRP 2007 Recommendations.

### Functions of the code

- (1) To calculate  $e(\tau)$  using basic dosimetric models/data
  - Main function of this code for the purpose (a). Already been constructed
- (2) To estimate intakes of radionuclides and resulted doses from monitoring data
  - Application of the function (1) for the purpose (b).
- (3) To edit dosimetric models/data by using Graphical User Interface (GUI)
  - Ease to consider various conditions for the purpose (b).
  - For calculation by using models/data in accordance with 1990 Recommendations, or Japanese specific data.



5

## Development of Internal Dosimetry Code

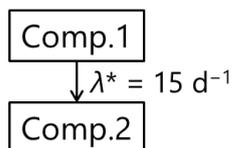
### Language of the code

NRA considers to [distribute the code for free in Japan](#).  
→ Ease of use is also important.

- [Java](#) for making source code
    - ✓ Java application runs on multi-platforms: Windows, macOS, Linux.
  - [XML](#) (eXtensible Markup Language) for some data files
    - ✓ Easy to edit data and understand the meanings
- [New  \$e\(\tau\)\$  including biokinetic models are being discussed in ICRP now.](#)

#### Example

Biokinetic model



\*transfer coefficient

	XML	Plain text
	<pre>&lt;transfer&gt;   &lt;from-comp&gt;comp1&lt;/from-comp&gt;   &lt;to-comp&gt;comp2&lt;/to-comp&gt;   &lt;value&gt;     &lt;rate&gt;15&lt;/rate&gt;     &lt;unit&gt;perd&lt;/unit&gt;   &lt;/value&gt; &lt;/transfer&gt;</pre>	Comp1 Comp2 1.50E+01
	<p>Tags and tree structure give meanings to the values. → Meaning is explicit. → Easy to search &amp; edit values.</p>	<p>Places or order of values give meanings to the values. → Meaning is implicit. → Less flexibility for editing.</p>



6

## Methodology for $e(\tau)$ Calculation (ICRP Publ. 130)

### Effective dose coefficients, $e(\tau)$ (Sv/Bq):

$$e(\tau) = \sum_T w_T \left[ \frac{h_T^M(\tau) + h_T^F(\tau)}{2} \right] \left[ \begin{array}{l} w_T: \text{Tissue weighting factor.} \\ h_T^{\text{MorF}}(\tau) \text{ (Sv/Bq): Committed equivalent dose per} \\ \text{unit intake of tissue T for male or female.} \end{array} \right]$$

### Equivalent dose coefficient, $h_T(\tau)$ (Sv/Bq):

$$h_T(\tau) = \sum_i \sum_{r_s} \tilde{a}_i(r_s, \tau) S_w(T \leftarrow r_s)_i$$

$$\left[ \begin{array}{l} \tilde{a}_i(r_s, \tau): \text{Number of disintegrations of chain member } i \text{ in source region } (r_s) \text{ during } \tau, \\ \text{Evaluated by integrating simultaneous ordinary differential equations (ODEs)} \\ \text{describing time dependent activities based on biokinetic models.} \\ S_w(T \leftarrow r_s)_i \text{ (Sv): Radiation weighted } S \text{ value of chain member } i \\ \text{from source region } r_s \text{ to } T. \end{array} \right]$$

### Radiation weighted $S$ value, $S_w(r_T \leftarrow r_S)$ :

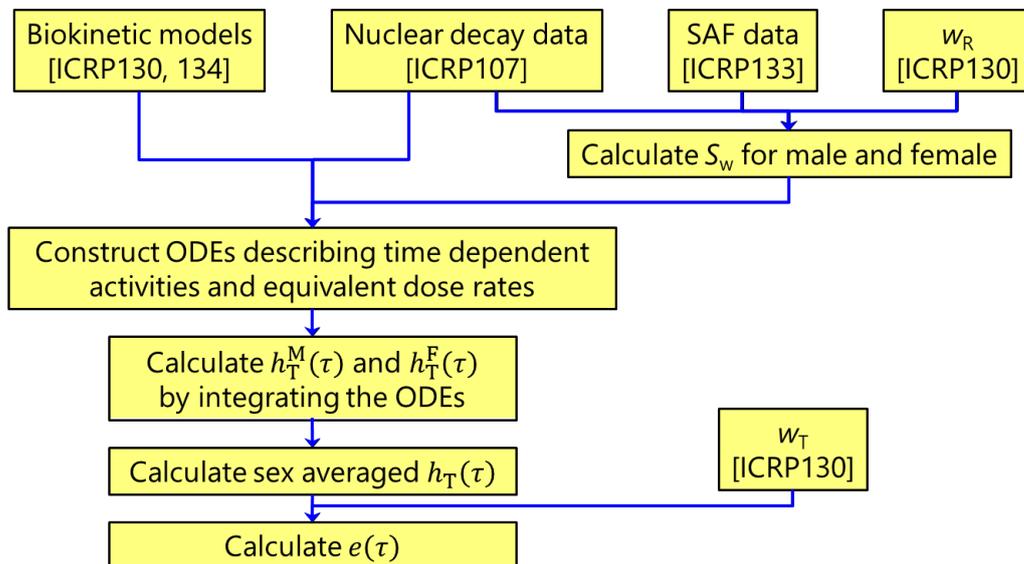
$$S_w(T \leftarrow r_s) = \sum_R w_R \sum_j E_{R,j} Y_{R,j} \phi(T \leftarrow r_s, E_{R,j}) \quad \phi \text{ for specific energy is obtained by interpolating discrete SAF data.}$$

$$\left[ \begin{array}{l} w_R: \text{Radiation weighting factor.} \\ E_{R,j} \text{ (MeV), } Y_{R,j}: \text{Energy and yield of } j\text{-th radiation of type } R \text{ radiation.} \\ \phi(T \leftarrow r_s, E_{R,j}) \text{ (kg}^{-1}\text{): SAF from } r_s \text{ to } T \text{ at energy } E_{R,j}. \end{array} \right]$$



7

## Flowchart of the Function to Calculate Dose Coefficients



Fully in accordance with the dosimetric methodology described in ICRP Publ. 130.



8

## Used Calculation Techniques

### Integration of ODEs

J-LSODE: Package of ODE solver written in Java

- ✓ Based on LSODE (Livermore Solver for Ordinary Differential Equations) written in FORTRAN77.
- ✓ Made from scratch to harmonize the language of the solver with that of the main code.

### Interpolation of SAF data

J-PCHIP: Piecewise Cubic Hermite Interpolation Package written in Java

- ✓ ICRP does not designate an interpolation method in Publications.
  - We confirmed that PCHIP is used in ICRP task group by inquiring of members of the task group.
- ✓ Based on SLATEC\*/PCHIP written in FORTRAN77.
- ✓ Made from scratch to harmonize the language of the package with that of the main code.

\*SLATEC: Sandia, Los Alamos, Air Force Weapons Laboratory Technical Exchange Committee

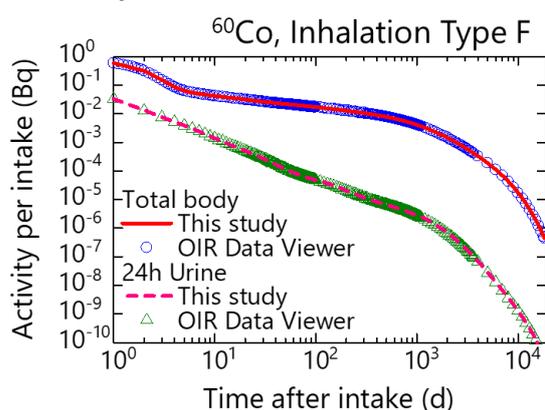


9

## Various Output of Calculation Results

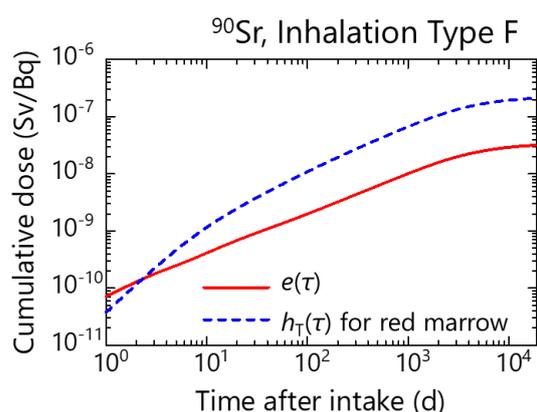
### In addition to $e(\tau)$ and $h_T(\tau)$

- Changes over time in activity and excretion rate



- ✓ Necessary for estimation of intakes
- ✓ Good reproduction of OIR Data Viewer

- Cumulative doses



- ✓ Useful for detail analysis, public understanding,...



10

## Quality Assurance of the Function to Calculate $e(\tau)$

### Reference data

OIR Data Viewer ver. 2.17.10.17

- ✓ for 454 cases of [101 radionuclides](#) of 14 elements  
↑ Photon and/or electron emitters
- ✓ with 2 digits of significant figures

### Comparison of $e(\tau)$ between the function and OIR Data Viewer

- ✓ The values of  $e(\tau)$  [agreed with 2 digits for 426 cases.](#)
- ✓ For 28 cases, the differences were small: [only  \$\pm 1\$  in the 2nd digit.](#)

Quality of the function has been assured for  
photon and/or electron emitters



11

## Summary

- In Japan, a project to develop an internal dosimetry code in accordance with ICRP 2007 Recommendations is ongoing.
- The function to calculate  $e(\tau)$  has been constructed.
- Quality of the function to calculate  $e(\tau)$  has been assured for photon and/or electron emitters.

## Future Tasks

- Implementation of biokinetic models for the next 14 elements described in ICRP Publ. 137 (OIR part 3).
- Development of the function to estimate intakes and GUI for editing data.

This study is funded by the Nuclear Regulation Authority of Japan.



12

3. 日本原子力学会 2019 年春の年会 発表スライド

①

## 2H15

**ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発**  
**(1) 線量計算機能の開発 -平成30年度の進捗状況-**

原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業」で得た成果の一部  
 ⇒ 内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究を平成29年度から32年度の予定で実施  
 本日、(1) 線量計算機能の開発、(2) 核種摂取量推定機能の開発を報告

高橋 史明<sup>1</sup>, 佐藤 薫<sup>1</sup>, 嶋 洋佑<sup>2</sup>, 真辺 健太郎<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>原子力機構, <sup>2</sup>V.I.C.

日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

②

## 全体背景

- 国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告の国内の放射線規制を取入れた場合、同勧告に準拠する新しい実効線量係数に基づき、内部被ばく防護の基準値が改正
- 改正後は、各事業所等でも2007年勧告に従い内部被ばく線量評価を遂行、管理

放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等  
 (告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」別表第2)

第1欄		第2欄	第3欄	第4欄	第5欄	第6欄
放射性同位元素の種類		吸入摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	経口摂取した場合の実効線量係数(mSv/Bq)	空气中濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )	排気中又は空气中の濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )	排液中又は排水中の濃度限度 (Bq/cm <sup>3</sup> )
核種	化学形等					
<sup>3</sup> H	元素状水素	$1.8 \times 10^{-12}$		$1 \times 10^4$	$7 \times 10^1$	
<sup>3</sup> H	メタン	$1.8 \times 10^{-10}$		$1 \times 10^2$	$7 \times 10^{-1}$	
<sup>3</sup> H	水	$1.8 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-8}$	$8 \times 10^{-1}$	$5 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^1$
...	...	...	...	...	...	...

1990年勧告に従う数値

内部被ばく防護の基準値

①放射線規制への見直しにおける新しい実効線量係数の検証、  
 ②事業所等での内部被ばく線量管理で、有益な線量評価コードの開発(平成29～32年度)

日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

## 平成29年度の進捗、ICRPによるモデルやデータの公開状況

### 【平成29年度の進捗】

OIR\* part 2の掲載元素について、実効線量係数の正確な導出を検証(基本機能の完成)

\*Occupational Intakes of Radionuclides (職業人の放射性核種摂取)

### 【ICRPによる線量評価モデルやデータの公開状況】

- 平成30年1月にOIR\* part 3 (ICRP Publ.137)として、作業者が主要14元素(下表)を摂取した場合の組織系動態モデル等が公開
- 一方、OIR parts 2及び3(作業者、28元素)以外の動態モデル、成人以外の比吸収割合(SAF)データ等は未公開

#### OIR Part 2 及びPart 3に掲載されている元素

OIRシリーズ(刊行物)	掲載されている元素
OIR part 2 (ICRP Publ.134)	H, C, P, S, Ca, Fe, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc
OIR part 3 (ICRP Publ.137)	Ru, Sb, Te, I, Cs, Ba, Ir, Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th, U



日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

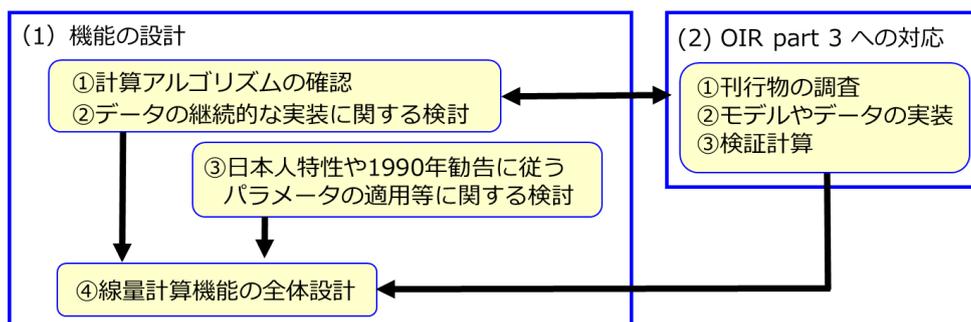
## 平成30年度の線量係数計算機能の開発項目

### 【平成30年度の開発項目】

#### (1) 新規データ等の取込みへ向けた機能の設計

- ICRPから今後公開される新規データの継続的な取り込み等への対応
- 1990年勧告に準拠するモデルやデータ(新旧係数の差異への影響因子の調査)、日本人パラメータ等の計算条件を設定する方法の検討

#### (2) OIR part 3 で与えられたモデルへ対応するための改良



#### 平成30年度の線量係数計算機能の開発に関する実施フロー



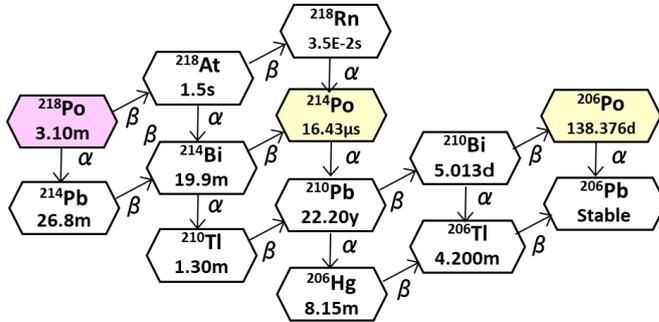
日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

## OIR part 3へ対応するための機能の改良

⑤

### Pb, Bi, Po, Rn, Ra, Th及びUの摂取

体内での崩壊過程で摂取核種と同じ元素が生成するケースが存在 (例、ウラン系列に含まれる核種)



218Po(RaA)摂取時の体内における核種の崩壊

### 機能での体内動態の取り扱い

崩壊過程で生じた子孫核種は、全体をまとめた取り扱い (摂取核種とは異なる)



組織系動態モデルを設定するデータファイルにタグを追加し、その切り替えにより、摂取核種 (親核種) と子孫核種を判別

flag-kinetic=0(親核種)  
 ⇒ 左図で<sup>218</sup>Po  
 flag-kinetic=1(子孫核種)  
 ⇒ 左図で<sup>214</sup>Po

アルゴリズムの見直し、データ等の実装により、ラドンを除く13元素の183核種について、摂取経路や化学形が異なる885ケースの摂取条件に対する実効線量係数を再現

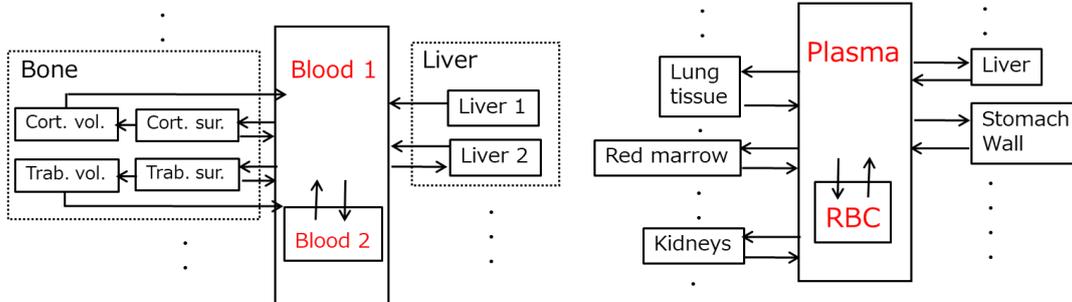
(JAEA) 日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

## 新規公開データの対応に関する検討

⑥

SAFデータ(成人以外) : Publ.133と同様、改変しない条件での利用許諾が想定

組織系動態モデル : **コンパートメント (臓器や組織) 間の移行係数データ**、**同位元素の種類 (化学形、物質名) 等を正確に実装**



(a) Yのモデル略図 (OIR part 2)

(b) Csのモデル略図 (OIR part 3)

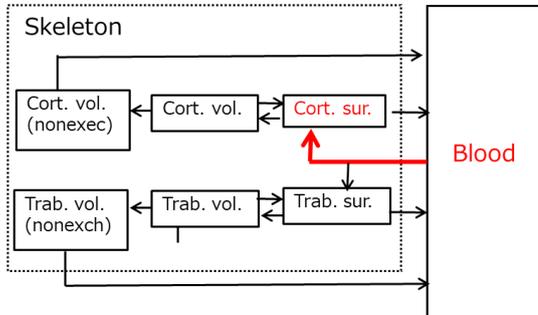
### OIR part 2とpart3における血液の移行に関するコンパートメント名

コードにおけるデータの実装においては、修正の可能性を鑑みて、刊行物の記載を基本とすることが適当

(JAEA) 日本原子力学会2019年春の年会 (平成31年3月20日-3月22日、茨城大学)

# 線量係数計算機能の設計 -2007年勧告に準拠するデータ等の継続的な実装-

コンパートメント(組織等)名等をID番号を用いて認識し、汎用的なソフトウェア(MS-Excel®)によるデータ (XML形式)の拡張



血液から梁骨表面への移行  
(移行係数：2.08 d<sup>-1</sup>)

```

<transfer>
<intake-element>Sr</intake-element>
<material-id>0</material-id>
<kinetic-element>Sr</kinetic-element>
<gender>male</gender>
<from-compartment-id>5800</from-compartment-id>
<to-compartment-id>6800</to-compartment-id>
<age-id>1000</age-id>
<value>
<rate>2.08</rate>

```

コンパートメント名をID番号で指定  
移行係数データ 血液：5800、梁骨表面：6800

組織系動態モデルのXMLデータ化 (例、Srの血液 - 骨領域の移行)

- コンパートメントの他、物質の種類等も正確に認識し、編集性に配慮したファイル方式
- 新規モデルやデータを効率的に追加するためのディレクトリ配置

# 1990年勧告に準拠した線量評価

## モデルやデータ

1990年勧告及び2007年勧告に準拠する内部被ばく線量評価において、使用するモデルやデータの種類に変更なし

## 線量計算

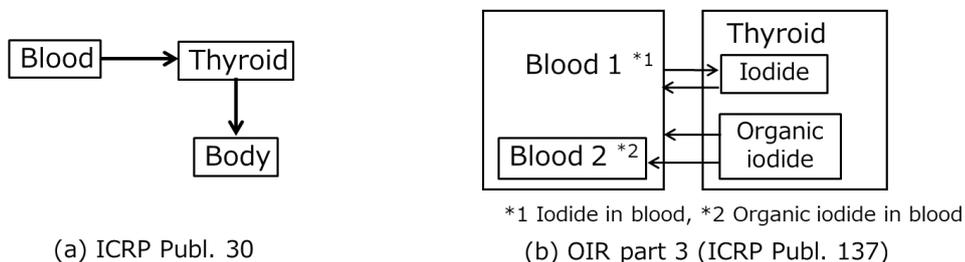
- 自発核分裂核種(中性子放出)の放射線加重係数の割り当て  
1990年勧告) エネルギースペクトルに放射線加重係数(ステップ状)を割り当てて計算  
⇒ 2007年勧告) 予め自発核分裂核種に応じて固有の値を用意
- 残りの組織への組織加重係数の割り当て  
1990年勧告) 各臓器・組織の線量を質量加重平均して加重、Splitting rule\*も適用  
⇒ 2007年勧告) 各臓器・組織の線量を算術平均して加重、Splitting ruleを廃止

\*残りの組織に含まれる臓器、組織の等価線量が個別の加重係数を割り当てられている臓器や組織の線量よりも高い場合は、0.025(0.05の半分)を割り当て

データの実装：2007年勧告に準拠した線量評価用データ等と同様の手法を適用  
線量計算：1つのパッケージで、新旧の勧告に準拠した方法を選択可能  
(来年度に予定しているβ版の開発で検証)

## 日本人パラメータを考慮した線量評価

原子炉施設の設計段階における平常運転時のヨウ素による内部被ばく線量評価  
 ⇒甲状腺に達する割合：ICRP(Publ.30)の0.3でなく、日本人の特性を考慮した0.2を適用



甲状腺におけるヨウ素の代謝(摂入、排出)を表すモデル

### 代謝・動態特性

- ヨウ素の甲状腺への達成割合は、新旧モデルの違いを考慮して予め数値を用意し、ユーザーが選択可能とする設計（次年度のβ版の開発で最適な数値を検証）
- 他元素のデータ(移行係数等)については、任意の数値を入力可能とする設計

### 物理特性(体格)

- 成人日本人モデル (JAEA : JM-103、JF-103)で整備したSAFデータの適用

## まとめ

### 今年度の成果

- 国際放射線防護委員会(ICRP)による今後のモデル公開へ対応するため、モデルやデータを合理的に記述するファイルの作成法、ディレクトリの適切な配置、効率的に読み込む手順等、コード設計を完了
- ICRP Publ.137として刊行されたOIR part 3の掲載元素について、実効線量係数を正しく導出するための改良を進め、妥当性を検証

### 次年度の予定

- 核種摂取量推定機能(次の発表)、ユーザーの操作性や利便性を向上させる機能と統合して、コードβ版を開発する予定(線量係数計算機能の更なる適用検証)

### 謝辞

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」により得られた成果の一部である。

2H16

# ICRP2007年勧告に基づく 内部被ばく線量評価コードの開発

## (2) 核種摂取量推定機能の開発

– 平成30年度の進捗状況 –

<sup>1</sup>原子力機構、<sup>2</sup>VIC

○真辺 健太郎<sup>1</sup>、嶋洋佑<sup>2</sup>、佐藤 薫<sup>1</sup>、高橋 史明<sup>1</sup>

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」により得られた成果の一部である。

平成31年3月21日（木）



日本原子力学会2019年春の年会（於：茨城大学水戸キャンパス）

1

## 背景・目的

- 放射性核種の体内への取込みに対する内部被ばく評価では、
  - 空气中放射能濃度等の作業環境モニタリング
  - 体外計測やバイオアッセイ等による体内放射能モニタリングに基づき、放射性核種の摂取量を推定する。
- 国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告の国内法令への取入れ  
⇒ 2007年勧告に対応した線量評価モデル・データに基づいた  
摂取量・被ばく線量評価が必要となる。



開発中の線量係数計算機能を活用して、2007年勧告に基づき、  
“モニタリング結果から摂取量を推定する機能”を開発する



2

# 開発ロードマップと平成29年度実施状況

平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
①摂取量推定機能に係る類似コード・ニーズ調査	他機関へのニーズ調査		
②解析法の検討	推定機能の開発	推定機能の検証	
③概念設計	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲	
		線量係数計算機能と統合、GUIの開発	試用による意見収集
		コードβ版の完成 ▲	改良・マニュアル整備等
			コード完成、公開 ▲

## 【平成29年度の実施状況】

▲マイルストーン

### ① 類似コード・ニーズ調査

- 調査したコード：INDES/IDEC (JAERI), MONDAL (NIRS), IMBA (英国PHE)
- 聞き取り調査対象：原子力機構のモニタリング従事者

### ② 解析法の検討

- モニタリング値の不確かさを考慮可能な最尤推定法を採用

### ③ 概念設計

- 解析対象シナリオ：摂取時期が既知の1回又は複数回の急性摂取、慢性摂取
- 条件入力、結果出力のグラフィカルユーザインタフェース(GUI)イメージを提示

規制庁評価委員会コメント：他機関の研究者との意見交換が望ましい



3

## 平成30年度 実施内容と目標

### (1) 追加ニーズ調査

内部被ばくモニタリングに関する専門家と面会して意見交換・情報収集

調査対象機関：

高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターから4機関

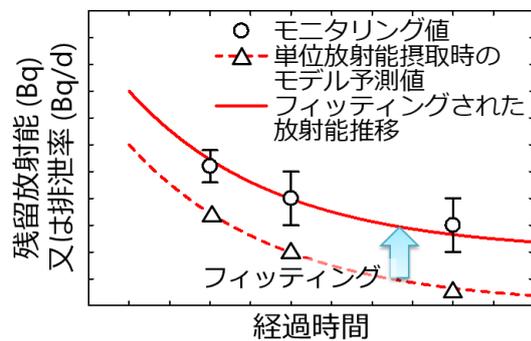
### (2) 基本機能の開発

入力データ：

- ・モニタリング値（測定日、放射能）
- ・摂取条件（核種、摂取経路、摂取日）

出力データ：

- ・摂取日毎の摂取量



今年度の目標：核種摂取量推定機能の基本機能の開発



4

## 追加ニーズ調査 主なコメント

- 摂取シナリオについて
  - 創傷汚染シナリオに対応してほしい。←注入摂取と仮定して評価(昨年度コメント)
  - 複数の摂取経路、異なる化学形(血液吸収特性)を同時に考慮したい。
- モニタリングの不確かさ
  - 測定値の不確かさを考慮したい。
  - 事故時の公衆モニタリングでは、摂取時期の不確かさを考慮したい。
- モデル予測値(計算条件)の設定
  - 粒径分布、運動状態等、呼吸気道沈着割合に影響を及ぼす因子を考慮したい。
  - 様々な因子が考慮できるとよいが、それぞれの感度解析の結果・知見が重要。影響が大きい因子は個々の状況を考慮することを推奨できるし、影響が小さい因子は安心して既定値が使用できる。
- 結果の出力
  - リスク評価の観点から吸収線量(Gy)の出力も必要。
  - 時間経過と累積被ばく線量の関係、任意の期間における被ばく線量等は、一般の人々への説明で重要なデータとなるだろう。
- その他
  - 全身カウンタが普及し、体内放射能測定は簡易に行える一方、測定結果(Bq)を線量(Gy, Sv)に変換することに困難を伴うことが多い。摂取からの経過日数、測定結果のみを入力するだけで評価結果を出力するシンプルなエディションも必要。



5

## 追加ニーズ調査 まとめ

- コメントの概要
  - 平成29年度調査では、作業者に対する評価を想定したコメントが多かった。追加調査により、事故時対応、公衆に対する線量評価を想定したコメントが得られた。
  - 不確かさの取扱いや幅広いユーザー層を想定したエディションの分類等、昨年度と同様のコメントも得られた。
- 事業への反映
  - 得られた意見の大半は、基本機能の使用法に関するもの。
  - 昨年度検討した解析手法(最尤法)は、不確かさの取扱いも可能。



- 基本機能の開発方針、解析手法の選択の妥当性を確認
- 得られた意見はGUI開発(次年度実施)等で事業に反映



6

## 核種摂取量推定機能 基本機能開発

### (1) 計算条件

摂取時期が既知の1回または複数回の急性摂取、慢性摂取  
 (慢性摂取：1日当たりの摂取量の繰返し摂取として取り扱う)

### (2) フィッティングフロー

#### ① 体内放射能予測式 $Q = qI$ を導出

$q$ : 単位放射能摂取時の放射能予測行列  
 $I$ : 各回の摂取量ベクトル

線量係数計算機能の一部を活用

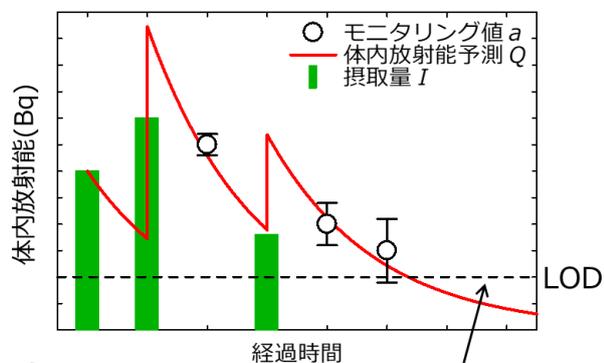
#### ② 最尤法に基づく式から $I$ を決定

$$\min_I \sum_i \left[ \frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{g,i})} \right]^2$$

$a_i$ :  $i$ 番目のモニタリング値  
 $\sigma_{g,i}$ :  $i$ 番目のモニタリング値の幾何標準偏差

特異値分解により  $\Sigma$  を最小にする  $I$  を決定

Java言語ライブラリ la4j (ver.0.6.0) を使用、コード開発言語をJavaで統一



フィッティングのイメージ



7

## 基本機能 試計算結果

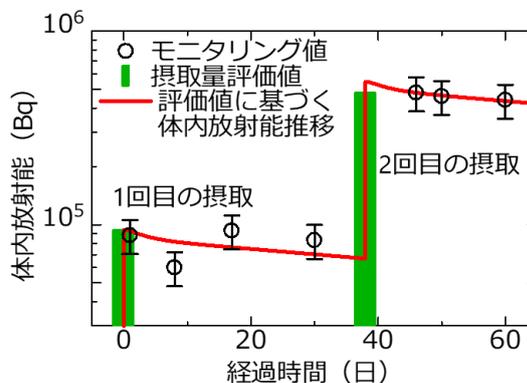
### 例題：

欧州線量評価委員会(EURADOS)の  
 IDEASガイドラインver. 2より

### 摂取条件

- $^{137}\text{Cs}$ の経口摂取
- 摂取回数：2回 (0日、38日)
- モニタリング値の数：7個  
 (全身カウンタ)

→ 各回の摂取量(Bq)を開発機能により評価



例題の評価結果

摂取日 (d)	本研究	IMBA*	EURADOS
0	9.3988E+04	9.399E+04	9.3988E+04
38	4.7910E+05	4.791E+05	4.7911E+05

\*Integrated Modules for Bioassay Assessment

開発した基本機能は、IDEASガイドライン、  
 IMBAコードの評価値をよく一致



8

## まとめ

- 今年度の成果
  - 核種摂取量推定機能に関する追加のニーズ調査を実施  
前年度策定の開発方針、解析手法等の妥当性を確認した。  
GUI開発に有益なコメントを取得した。
  - 核種摂取量推定機能の基本機能を開発  
ICRP 2007年勧告に対応した線量評価モデル・データに基づく  
摂取量推定を実行可能とした。  
試算を実施し、類似コードの評価値、文献値を再現した。
- 次年度の予定
  - 開発した機能の詳細な検証  
より多くのシナリオに対する検証計算を実施する。
  - 内部被ばく線量評価コードβ版の完成  
線量係数計算機能と統合し、コード全体のGUIの開発を行う。

本件は、原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究）事業」により得られた成果の一部である。

