

委託業務成果報告書

「平成 25 年度原子力利用安全対策等業務委託費
（ I C R P （国際放射線防護委員会）技術的
基準等の整備）事業」

平成 26 年 3 月 31 日

独立行政法人

日本原子力研究開発機構

本報告書は、原子力規制庁の原子力利用安全対策等委託事業による委託業務として、独立行政法人日本原子力研究開発機構が実施した「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」の成果を取りまとめたものです。

目次

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 内部被ばく線量評価モデル等の変更点の調査 | 3 |
| 2.1 概要..... | 3 |
| 2.2 調査対象とする刊行物等..... | 3 |
| 2.3 内部被ばく線量評価モデルの変更点..... | 5 |
| 2.3.1 実効線量の計算方法..... | 5 |
| 2.3.2 組織加重係数..... | 6 |
| 2.3.3 放射線加重係数..... | 7 |
| 2.3.4 等価線量の計算方法..... | 8 |
| 2.3.5 放射性核種データ | 10 |
| 2.3.6 呼吸気道領域の沈着割合 | 11 |
| 2.3.7 体内動態モデル..... | 13 |
| 2.3.8 壊変系列核種の取扱い..... | 22 |
| 2.3.9 モニタリングに基づく線量評価に用いるデータ | 23 |
| 2.4 まとめ..... | 23 |
| 3. 線量計算コード修正に係る調査及び検討 | 24 |
| 3.1 概要..... | 24 |
| 3.2 現状の線量計算コード..... | 24 |
| 3.3 線量評価モデルの変更に伴うコード修正の要否 | 29 |
| 3.3.1 実効線量の計算方法..... | 29 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 3.3.2 | 組織加重係数..... | 29 |
| 3.3.3 | 放射線加重係数..... | 29 |
| 3.3.4 | 等価線量の計算方法..... | 29 |
| 3.3.5 | 放射性核種データ..... | 30 |
| 3.3.6 | 呼吸気道領域の沈着割合..... | 30 |
| 3.3.7 | 体内動態モデル..... | 30 |
| 3.3.8 | 壊変系列核種の取扱い..... | 41 |
| 3.3.9 | モニタリングに基づく線量評価に用いるデータ..... | 41 |
| 3.4 | まとめ..... | 42 |
| 4. | あとがき..... | 43 |
| | 参考文献..... | 44 |
| | 用語解説..... | 46 |
| | 付録 国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会議事録 | |

1. はじめに

我が国では、これまで、国際放射線防護委員会（ICRP: International Commission on Radiological Protection）の放射線防護に係る勧告を踏まえて、放射性同位元素等の取扱いにおける線量限度等の放射線障害の防止に関する技術的基準を整備している。ICRP は、平成 19 年に、現在の技術的基準の基本としている 1990 年勧告[1]（ICRP Publication 60。以下、「ICRP60」とする。他の ICRP 刊行物も同様。）に替わる 2007 年勧告[2]（ICRP103）を公表した。

これを受けて文部科学省では、2007 年勧告を国内制度に今後取入れるために、放射線を放出する同位元素の数量等を定める件[3]、試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規程に基づき、線量限度等を定める告示[4]、その他関係法令の基準値等の整備に用いる計算コードの開発を目的とした業務「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）」を、委託業務として平成 21 年度から開始した。また、本事業は、放射線防護の基準を担当する放射線審議会の運営に関係している。平成 24 年 9 月に発足した原子力規制委員会の設置法第 13 条に基づき、放射線審議会は文部科学省から原子力規制委員会の下に置かれることになった。そのため、平成 24 年度より本事業の委託元は、原子力規制委員会の事務局機能を持つ原子力規制庁となった。

平成 25 年度は、平成 21 年度から 24 年度までの業務の成果[5-8]を踏まえ、以下の事業項目を実施することとした。

- ・ 内部被ばく線量評価モデル[†]に関する調査

ICRP が示す 1990 年勧告及び 2007 年勧告に従う内部被ばく線量評価に用いるモデルやデータ等について、公開済みの刊行物、ICRP がウェブサイトで公開している報告書「職業人の放射性核種の摂取（Occupational Intakes of Radionuclides、OIR） part 1」のドラフト文書[9]（以下、「OIR part 1」とする。）等の記載内容を調査し、2007 年勧告を踏まえた ICRP の内部被ばく線量評価モデルの変更点を整理する。

続いて、平成 24 年度までに開発した線量計算プログラムの内容を確認し、上記の調査で整理した変更点を照合し、線量計算データ[†]の与え方等により現行のままでも対応可能か、又はプログラムの修正が必要であるかを検討する。その結果、修正が必要と確認された場合、その箇所を抽出し、その修正方法についても併せて検討する。

上記の事業を実施するにあたっては、表 1-1 に示す国内の専門家からなる「国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会」を設置し、業務を円滑に進めるための基本方針等について審議を行い、意見を反映した。

本報告書は、上記事業の成果をとりまとめたもので、以下の構成になっている。第 2 章では、ICRP の刊行物や OIR part 1 等の調査結果に基づき、2007 年勧告を踏まえた線量評価モデル等の変更点を整理した結果について記述する。第 3 章では、これまでに開発した計算コードについて、線量評価モデルの変更への対応状況を調査し、修正が必要と確認された箇所の

[†] 用語解説参照

抽出及び修正方法の検討結果を述べる。第4章は、本年度事業の成果をまとめるとともに、今後の事業の進め方を提言する。

表 1-1 国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会委員

(平成 26 年 3 月 11 日現在)

| | 氏 名 | 所 属 / 役 職 |
|-----------|--------|--|
| 委員長 | 下 道國 | 藤田保健衛生大学大学院／ 客員教授 |
| 委 員 | 石樽 信人 | 国立大学法人名古屋大学大学院医学系研究科医療技術学専攻／ 教授 |
| 〃 | 遠藤 章 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門／ 環境・放射線科学ユニット長 |
| 〃 | 甲斐 倫明 | 公立大学法人大分県立看護科学大学／ 理事、看護学部人間科学講座環境保健学研究室 教授 |
| 〃 | 角田 昌彦 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 線量管理課／課長 |
| 〃 | 仲野 高志 | 独立行政法人放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 被ばく線量評価研究プログラム被ばく評価研究チーム／主任研究員 |
| 〃 | 仁井田 浩二 | 一般財団法人高度情報科学技術研究機構 コード開発部／嘱託 |
| 〃 | 松本 雅紀 | 独立行政法人放射線医学総合研究所 緊急被ばく医療研究センター 被ばく線量評価研究プログラム／主任研究員 |
| 〃 | 百瀬 琢磨 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部／次長 |
| 委員・ 幹事 | 高橋 史明 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 ／研究主幹 |
| 幹 事 | 草野 功次 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 研究推進室 |
| 事務局 | 真辺 健太郎 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 環境・放射線工学ユニット 放射線防護研究グループ 研究員 |
| 〃 | 黒澤 志保 | 独立行政法人日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 環境・放射線工学ユニット 放射線防護研究グループ |

2. 内部被ばく線量評価モデル等の変更点の調査

2.1 概要

昨年度までの本委託事業により、放射性核種の摂取に対する体内放射能及び比実効エネルギー[†](SEE: Specific Effective Energy)の計算に基づき、臓器線量を導出するプログラム(臓器線量計算プログラム)の開発、内部被ばく線量計算に用いるデータ(線量計算データ)の格納方式[†]の設計やこれに基づく整備等を行ってきた[5-8]。今後、ICRPが提示する2007年勧告に従うモデルやデータ等を用いて臓器線量等を計算できるコードの開発を進めるにあたり、臓器線量計算プログラムや線量計算データ格納方式を必要に応じて、改良又は整備していくことが重要となる。

本章では、ICRPがこれまでに公開してきた刊行物の他、広く意見募集をする目的でICRPがウェブサイトで公開したOIR part 1[9]等を調査し、2007年勧告を踏まえた内部被ばく線量評価に用いるモデルやデータ等の変更点を抽出して、整理した結果について述べる。

2.2 調査対象とする刊行物等

ICRPの1990年勧告及び2007年勧告に従う内部被ばく線量評価モデルに関する刊行物等の一覧を、表2-1に取りまとめた。今年度は、以下の方針により、これらの刊行物等の記載内容を調査し、2007年勧告に従う内部被ばく線量評価モデルやデータの従来からの変更点を整理した。

- ・ 2007年勧告に従うモデルやデータのうち、既に刊行物として公開されているものに加え、OIR part 1の中で記載されている関連情報も含めて調査する。
- ・ モデルやデータの変更点の抽出において、体内動態モデルについては、ヒト呼吸気道モデル[†](HRTM: Human Respiratory Tract Model)やヒト消化管モデル[†](HATM: Human Alimentary Tract Model)等の、元素の種類に依存しないモデルを調査対象とする。ただし、HRTM及びHATMに関係する変更点については、必要に応じて元素固有の組織系動態モデル[†]を与えるOIR part 2及びpart 3のドラフト文書も調査する。
- ・ 特にHRTMについては、OIR part 1に記載された改訂モデルについて詳細な調査を実施する。
- ・ モニタリングデータ[†]の解釈についても、OIR part 1の記載内容を調査対象とする。
- ・ 比吸収割合[†](SAF: Specific Absorbed Fraction)については、未公表の情報が多いため、調査対象としない。

[†] 用語解説参照

表 2-1 内部被ばく線量評価モデルに関する刊行物等一覧

| データ、係数、モデル | 刊行物等 | |
|---------------------------|--|--|
| | 2007 年勧告対応 | 1990 年勧告対応 |
| 実効線量の計算方法 | ICRP103[2] | ICRP60[1] |
| 組織加重係数 w_T | ICRP103 | ICRP60 |
| 放射線加重係数 w_R | ICRP103 | ICRP60 |
| 等価線量の計算方法 | | |
| 肺及び胸郭外領域 | OIR part 1 (改訂 HRTM) [9] | ICRP66 (HRTM) [11] |
| 結腸 | ICRP100 (HATM) [10] | ICRP67[12] |
| 残りの組織 | ICRP103 | ICRP68[13] |
| 放射性核種データ [†] | ICRP107[14] | ICRP38[15] |
| 呼吸気道領域の沈着割合 | OIR part 1 (改訂 HRTM) | ICRP66 (HRTM) |
| 体内動態モデル | | |
| 呼吸気道領域における移行 | OIR part 1 (改訂 HRTM) | ICRP66 (HRTM) |
| 消化管における移行 | ICRP100 (HATM) | ICRP30 part 1[19] |
| 膀胱内容物から尿への移行 | ICRP67 | ICRP67 |
| 組織系動態モデル | OIR part 2-5 (成人) ^{*2} [16, 17] | ICRP30 part 1-4[20-22], ICRP56[23], 67, 69[24], 71[25] |
| 創傷汚染モデル | NCRP Report 156[18] | - |
| 壊変系列核種の取扱い | OIR part 1 | ICRP68, 71 |
| 比吸収割合データ | ICRP125 (仮) ^{*1} (成人) | ORNL/TM-12351[26], ICRP30 part 1, ICRP66 |
| モニタリングに基づく線量評価 に用いるデータ | OIR part 1-5 | ICRP78 [27] |

*1: ICRP 刊行物番号は、OIR part 1 (235)における「 α 粒子、電子、光子及び中性子に対する SAF データは ICRP125 から得る」との記述に基づく。

*2: OIR part 2 及び part 3 まで、ドラフト文書がウェブサイト上に公開されている。

[†] 用語解説参照

2.3 内部被ばく線量評価モデルの変更点

2.3.1 実効線量の計算方法

1990年勧告において導入された実効線量 E の定義については、2007年勧告においても変更はなかった。ただし、2007年勧告に対応した E の計算方法については、男女の標準ファントムを用いて評価された男女別の等価線量 H_T を算術平均し、これに組織加重係数 w_T を乗じて総和したものとすることが明記された[2]。2007年勧告及び1990年勧告で示された E の計算方法の比較を、表 2-2 に示す。

表 2-2 実効線量 E の計算式

| 2007年勧告 (ICRP103 より) | 1990年勧告 (ICRP60 より) |
|---|---|
| $E = \sum_T w_T \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right]$ <p>w_T: 組織加重係数 H_T^M: 男性に対する等価線量 H_T^F: 女性に対する等価線量</p> | $E = \sum_T w_T H_T$ <p>w_T: 組織加重係数 H_T: 等価線量</p> |

2.3.2 組織加重係数

2007年勧告では、 w_T を適用する組織・臓器の追加・変更があり、一部の組織・臓器については適用される w_T の値が変更された[2]。2007年勧告及び1990年勧告で示された w_T の比較を、表 2-3 に示す。ただし、1990年勧告の列に示した残りの組織に含まれる組織・臓器は、ICRP67において示された結腸の領域の見直し[12]、及びICRP68において示された胸郭外領域の追加[13]を反映したものである。

表 2-3 組織加重係数 w_T

| 組織・臓器 | 2007年勧告 (ICRP103より) | 1990年勧告 (ICRP68より) |
|-------|------------------------|-----------------------|
| 赤色骨髄 | 0.12 | 0.12 |
| 結腸 | 0.12 | 0.12 |
| 肺 | 0.12 | 0.12 |
| 胃 | 0.12 | 0.12 |
| 乳房 | 0.12 | 0.05 |
| 生殖腺 | 0.08 | 0.20 |
| 膀胱 | 0.04 | 0.05 |
| 食道 | 0.04 | 0.05 |
| 肝臓 | 0.04 | 0.05 |
| 甲状腺 | 0.04 | 0.05 |
| 骨表面 | 0.01 | 0.01 |
| 脳 | 0.01 | — |
| 唾液腺 | 0.01 | — |
| 皮膚 | 0.01 | 0.01 |
| 残りの組織 | 0.12 | 0.05 |
| 副腎 | ○ | ○ |
| 脳 | — | ○ |
| 胸郭外領域 | ○ | ○ |
| 胆嚢 | ○ | — |
| 心臓 | ○ | — |
| 腎臓 | ○ | ○ |
| リンパ節 | ○ | — |
| 筋肉 | ○ | ○ |
| 口腔粘膜 | ○ | — |
| 膵臓 | ○ | ○ |
| 前立腺 | ○ (男性のみ) | — |
| 小腸 | ○ | ○ |
| 脾臓 | ○ | ○ |
| 胸腺 | ○ | ○ |
| 子宮 | ○ (頸部、女性のみ) | ○ |

2.3.3 放射線加重係数

2007年勧告において、放射線加重係数 w_R は、表 2-4 に示すように、陽子及び中性子の数値が見直され、 π 中間子に対し 2 という数値が新たに与えられた[2]。なお、放射性核種の摂取による被ばく線量評価において考慮する必要のある放射線の種類は、光子、電子、 α 粒子、 α 壊変反跳核（重イオン）、核分裂片及び中性子である[14]。

表 2-4 放射線加重係数 w_R

| 放射線の種類 | 2007年勧告 (ICRP103 より) | 1990年勧告 (ICRP60 より) |
|--|---|--|
| 光子 | 1 | 1 |
| 電子、 μ 粒子 | 1 | 1 |
| 陽子、荷電 π 中間子 | 2 | 5 ^{*1} |
| α 粒子、核分裂片、 重イオン | 20 | 20 |
| 中性子 E_n : 中性子エネルギー(MeV) 図 2-1 参照 | $\begin{cases} 2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}, E_n < 1 \text{ MeV} \\ 5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}, 1 \text{ MeV} \leq E_n \leq 50 \text{ MeV} \\ 2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}, E_n > 50 \text{ MeV} \end{cases}$ | $\begin{cases} E_n < 10 \text{ keV} : 5 \\ 10 \text{ keV} \leq E_n \leq 100 \text{ keV} : 10 \\ 100 \text{ keV} < E_n \leq 2 \text{ MeV} : 20 \\ 2 \text{ MeV} < E_n \leq 20 \text{ MeV} : 10 \\ E_n > 20 \text{ MeV} : 5 \end{cases}$ <p>計算上の便宜のための 近似曲線の式： $5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$</p> |

*1: 反跳陽子以外の陽子、エネルギーが 2 MeV を越えるもの。

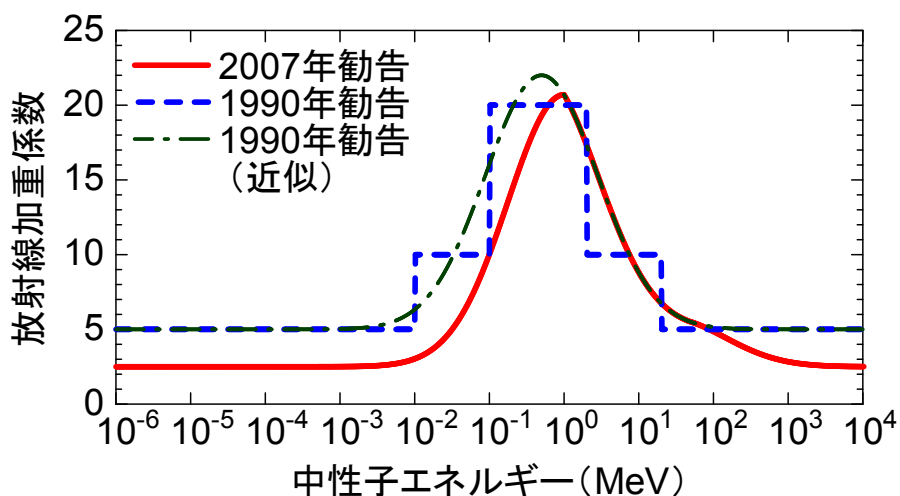


図 2-1 中性子に対する放射線加重係数

2.3.4 等価線量の計算方法

①肺及び胸郭外領域

ICRP66 の HRTM（以下、OIR part 1 の表記を参考にして、「オリジナル HRTM」とする。）において、肺（胸郭内領域）(Th: Thoracic region) 及び胸郭外領域 (ET: Extra Thoracic region) の等価線量（それぞれ H_{Th} 及び H_{ET} ）は、肺及び胸郭外領域を構成する各領域 i の等価線量 H_i に、 i に対する放射線損害の分配係数 A_i を乗じて総和したものとされた[11]。ここで、肺を構成する領域は BB（気管支）、bb（細気管支）、AI（肺胞・間質）及び LN-Th（胸郭内リンパ節）であり、胸郭外領域を構成する領域は ET1（前鼻道）、ET2（後鼻道、喉頭、咽頭及び口腔）及び LN-ET（胸郭外リンパ節）である。

OIR part 1 で一部改訂された HRTM（以下、OIR part 1 の表記を参考にして、「改訂 HRTM」とする。）においても、 H_{Th} 及び H_{ET} を算出するにあたり、肺及び胸郭外領域を構成する各領域の等価線量に分配係数を乗じて総和する方法に変更はなかった。ただし、2007 年勧告に対応した線量評価では、リンパ節が残りの組織に含まれた（表 2-3 参照）。したがって、改訂 HRTM では、 H_{Th} 及び H_{ET} を算出する際に、LN-Th 及び LN-ET の等価線量（それぞれ H_{LN-Th} 及び H_{LN-ET} ）を含めないよう変更された。また、口腔粘膜も残りの組織に含まれた（表 2-3 参照）ため、ET2 に口腔を含めないよう変更された。これに伴い、オリジナル HRTM における ET2 と区別するため、改訂 HRTM では ET2' と表記することとなった[9]。

2007 年勧告及び 1990 年勧告に対応した H_{Th} 及び H_{ET} の計算方法の比較を、表 2-5 に示す。表 2-6 には、肺及び胸郭外領域を構成する領域とその標的、及び適用する A_i を示す。

表 2-5 肺及び胸郭外領域の等価線量 (H_{Th} 及び H_{ET}) の計算方法

| 組織・臓器 | 2007 年勧告対応 (OIR part 1 より) | 1990 年勧告対応 (ICRP66 より) |
|------------------|--|--|
| 肺 (胸郭内 領域) | $H_{Th} = H_{BB} A_{BB} + H_{bb} A_{bb} + H_{AI} A_{AI} \text{ *1}$ <p>H_i: 領域 i に対する等価線量 A_i: 領域 i に対する分配係数</p> | $H_{Th} = H_{BB} A_{BB} + H_{bb} A_{bb} + H_{AI} A_{AI} + H_{LN-Th} A_{LN-Th} \text{ *1}$ <p>H_i: 領域 i に対する等価線量 A_i: 領域 i に対する分配係数</p> |
| 胸郭外 領域 | $H_{ET} = H_{ET1} A_{ET1} + H_{ET2'} A_{ET2'} \text{ *1}$ | $H_{ET} = H_{ET1} A_{ET1} + H_{ET2} A_{ET2} + H_{LN-ET} A_{LN-ET} \text{ *1}$ |

*1: BB: 気管支、bb: 細気管支、AI: 肺胞・間質、LN-Th: 胸郭内リンパ節、ET1: 前鼻道、ET2': 後鼻道、喉頭及び咽頭 (ET2 の場合は口腔も含む。)、LN-ET: 胸郭外リンパ節。

表 2-6 領域 i に対する分配係数 A_i

| 組織・臓器 | 領域*1 | 標的*2 | 分配係数 記号* | 2007 年勧告対応 (OIR part 1 より) | 1990 年勧告対応 (ICRP66, 71 より) |
|------------------|---------------|--|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 肺 (胸郭 内領域) | BB | BB _{sec} | A_{BB} | 1/3*3 | 0.333*3 |
| | | BB _{bas} | | | |
| | bb | bb _{sec} | A_{bb} | 1/3 | 0.333 |
| | AI | AI | A_{AI} | 1/3 | 0.333 |
| | LN-Th | LN-Th | A_{LN-Th} | — | 0.001 |
| 胸郭外 領域 | ET1 | ET1 _{bas} | A_{ET1} | 0.001 | 0.001 |
| | ET2' (ET2) | ET2' _{bas} (ET2 _{bas}) | $A_{ET2'}$ (A_{ET2}) | 0.999 | 0.998 |
| | LN-ET | LN-ET | A_{LN-ET} | — | 0.001 |

*1: BB: 気管支、bb: 細気管支、AI: 肺胞・間質、LN-Th: 胸郭内リンパ節、ET1: 前鼻道、ET2': 後鼻道、喉頭及び咽頭 (ET2 の場合は口腔も含む。)、LN-ET: 胸郭外リンパ節。

*2: sec: 分泌細胞、bas: 基底細胞。

*3: A_{BB} は、 H_{BBsec} と H_{BBbas} の算術平均値である H_{BB} に乗じる。

②結腸

1990 年勧告に対応した線量評価において、結腸の等価線量 H_{Colon} は、ICRP30 part 1 の胃腸管モデル[19]における大腸上部 (ULI: Upper Large Intestine) 及び大腸下部 (LLI: Lower Large Intestine) の各等価線量 (それぞれ H_{ULI} 及び H_{LLI}) に、それぞれの質量比である 0.57 及び 0.43 を乗じて足し合わせた質量加重平均値としていた[12]。

これに対し、2007 年勧告対応の HATM (ICRP100) [10]における結腸の区分は、右結腸 (RC: Right Colon)、左結腸 (LC: Left Colon) 及び直腸・S 状結腸 (RSig: Recto-Sigmoid colon) の 3 つに変更され、 H_{Colon} は各部位の等価線量の質量加重平均とされた。2007 年勧告及び 1990 年勧告に対応した H_{Colon} の計算方法の比較を、表 2-7 に示す。

表 2-7 結腸の等価線量 H_{Colon} の計算方法

| 2007 年勧告対応 (ICRP100 より) | 1990 年勧告対応 (ICRP67 より) |
|--|--|
| $H_{Colon} = \frac{m_{RC}H_{RC} + m_{LC}H_{LC} + m_{RSig}H_{RSig}}{m_{RC} + m_{LC} + m_{RSig}} \quad *1$ | $H_{Colon} = 0.57H_{ULI} + 0.43H_{LLI} \quad *2$ |

*1: RC: 右結腸、LC: 左結腸、RSig: 直腸・S 状結腸、 m_i : i の質量。

*2: ULI: 大腸上部、LLI: 大腸下部。

③残りの組織

1990年勧告に対応した残りの組織の等価線量 H_{rmd} は、残りの組織に含まれる10個の組織・臓器の等価線量の質量加重平均とされた[13]。ただし、残りの組織の中で等価線量が最大となる組織・臓器 T' の等価線量 $H_{T'}$ 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_{max} よりも大きい場合は、 T' を除く9個の残りの組織の等価線量の質量加重平均値と $H_{T'}$ を足して0.5を乗じたものを H_{rmd} とする「分割ルール」が採用されていた[13]。

2007年勧告では、分割ルールは破棄され、 H_{rmd} は、残りの組織に含まれる組織・臓器（各性で13）の各等価線量の算術平均値とされた[2]。表2-8に、2007年勧告及び1990年勧告に対応した H_{rmd} の計算方法の比較を示す。

表2-8 残りの組織の等価線量 H_{rmd} の計算方法

| 2007年勧告対応 (ICRP103より) | 1990年勧告対応 (ICRP68より) |
|---|---|
| $H_{\text{rmd}} = \frac{1}{13} \sum_{T=1}^{13} H_T$ <p>H_T: 残りの組織に含まれる組織・臓器 T の等価線量</p> | $H_{\text{rmd}} = \begin{cases} \frac{\sum_{T=1}^{10} m_T H_T}{\sum_{T=1}^{10} m_T}, & \text{if } H_{T'} \leq H_{\text{max}} \\ 0.5 \left[\frac{\sum_{T=1(T \neq T')}^{10} m_T H_T}{\sum_{T=1(T \neq T')}^{10} m_T} + H_{T'} \right], & \text{if } H_{T'} > H_{\text{max}} \end{cases}$ <p>m_T: 残りの組織に含まれる組織・臓器 T の質量 H_T: T の等価線量 $H_{T'}$: H_T ののうち最大のもの H_{max}: 個別の w_T が適用される組織・臓器の等価線量のうち最大のもの</p> |

2.3.5 放射性核種データ

1990年勧告に対応した線量評価においては、ICRP38[15]に収録された放射性核種データを使用した[13]。一方、2007年勧告に対応した線量評価では、ICRP38に置き換わるICRP107の放射性核種データを用いることとなった[14]。

2.3.6 呼吸気道領域の沈着割合

吸入摂取された放射性粒子の呼吸気道領域への沈着割合の評価方法は、改訂 HRTM においても、従来の方法から変更はなかった。ただし、ET 領域については、従来の方法で評価された ET1 及び ET2 の沈着割合の合計を $ET1:ET2' = 65:35$ に再分配し、ET2' の詳細領域（放射性核種の体内分布を評価するためのコンパートメント[†]単位）への分配割合を $ET2':ET_{seq} = 998:2$ とする Smith らの改訂 ET モデル[28]が採用された。さらに、表 2-9 に示すように、BB、bb、AI の各領域についても、得られた沈着割合を詳細領域に分配する割合が変更された[9]。

ガス・蒸気状物質の吸入摂取については、オリジナル HRTM における SR-0, SR-1, SR-2 の分類が廃止された。また、元素・化学形に固有の沈着割合が与えられない場合に対し、 ET_2' : 0.2、BB: 0.1、bb: 0.2、AI: 0.5 という沈着割合の規定値が新たに設定された[9]。

沈着割合を評価するための種々の条件（放射性粒子の空気力学的放射能中央径、呼吸率等）について、職業被ばくに対する規定値は変更されなかった[9, 11]。すなわち、空気力学的放射能中央径（AMAD: Activity Median Aerodynamic Diameter）: $5 \mu\text{m}$ 、密度: 3.00 g cm^{-3} 、粒子の形状係数: 1.5、鼻呼吸割合: 1、着席時間: 2.5 h、着席時の呼吸率: $0.54 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 、軽作業時間: 5.5 h、軽作業時の呼吸率: $1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ であった。また、職業被ばくでは、男性の沈着割合を女性にも適用するとされた[9]。表 2-10 に、作業者に対する沈着割合の規定値を示す。ここで、2007 年勧告対応の沈着割合のうち、ET1 と ET2' の比 47.94:25.82 は、およそ 0.65:0.35 となる。

[†] 用語解説参照

表 2-9 沈着割合の分配割合

| 領域 | 詳細領域 | 2007 年勧告対応 (OIR part 1 より) | 1990 年勧告対応 (ICRP66 より) |
|---------------|-------------------|--|------------------------------|
| ET1 | ET1 | 領域 ET1 と ET2' の合計の 0.65 | 領域 ET1 の 1 |
| ET2' (ET2) | ET2' | 領域 ET1 と ET2' の合計の $0.35 \times 0.998 = 0.3493$ | 領域 ET2 の 0.9995 |
| | ET _{seq} | 領域 ET1 と ET2' の合計の $0.35 \times 0.002 = 0.0007$ | 領域 ET2 の 0.0005 |
| BB | BB | 領域 BB の 0.998 | — |
| | BB1 | — | 領域 BB の $(0.993 - f_s^{*1})$ |
| | BB2 | — | 領域 BB の f_s^{*1} |
| | BB _{seq} | 領域 BB の 0.002 | 領域 BB の 0.007 |
| bb | bb | 領域 bb の 0.998 | — |
| | bb1 | — | 領域 bb の $(0.993 - f_s^{*1})$ |
| | bb2 | — | 領域 bb の f_s^{*1} |
| | bb _{seq} | 領域 bb の 0.002 | 領域 bb の 0.007 |
| AI | ALV | 領域 AI の 1 | — |
| | INT | 0 | — |
| | AI1 | — | 領域 AI の 0.3 |
| | AI2 | — | 領域 AI の 0.6 |
| | AI3 | — | 領域 AI の 0.1 |

$$*1: f_s = \begin{cases} 0.5 & \text{for } d_{ac} \leq 2.5\sqrt{\rho/x} \mu\text{m}, \\ 0.5e^{-0.63(d_{ac}\sqrt{x/\rho}-2.5)} & \text{for } d_{ac} > 2.5\sqrt{\rho/x} \mu\text{m}. \end{cases}$$

ここで、

- d_{ac} : 空気力学的放射能径、
- ρ : 粒子の密度、
- x : 粒子の形状係数。

表 2-10 作業者に対する沈着割合の規定値*1

| 領域 | 2007 年勧告対応 (OIR part 1 より) | 1990 年勧告対応 (ICRP68 より) |
|------------|-------------------------------|---------------------------|
| ET1 | 47.94 | 33.85 |
| ET2' (ET2) | 25.82 | 39.91 |
| BB | 1.78 | 1.78 |
| bb | 1.10 | 1.10 |
| AI | 5.32 | 5.32 |
| Total | 81.96 | 81.96 |

*1: AMAD: $5 \mu\text{m}$ ($\sigma_g = 2.5$)、密度: 3.00 g cm^{-3} 、粒子の形状係数: 1.5、
鼻呼吸割合: 1、着席 2.5 h の呼吸率: $0.54 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 、軽作業 5.5 h の呼吸率:
 $1.5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ 。

2.3.7 体内動態モデル

摂取された放射性核種の体内動態を表すモデルには、そのコンパートメントモデルの構造がすべての元素について共通のものと、元素の種類に固有のものがある。2.2 節で述べたように、本年度の事業としては、元素の種類に依存しない HRTM 及び HATM で表現される呼吸気道及び消化管における移行、膀胱モデル、並びに創傷汚染モデルについて調査した。

①呼吸気道領域における移行

改訂 HRTM では、呼吸気道領域に沈着した粒子の粘膜輸送によるクリアランスに係るモデルのコンパートメント区分及び移行係数[†]が見直された。また、呼吸気道領域から血液への吸収によるクリアランスについても、推奨するコンパートメントモデルとパラメータが変更された[9]。

図 2-2 及び図 2-3 に、改訂 HRTM とオリジナル HRTM における粒子輸送による呼吸気道領域からのクリアランスモデルをそれぞれ示す。改訂 HRTM では、Smith らの改訂 ET モデルに基づき、ET1 から ET2' への移行経路が追加された[28]。また、BB、bb 及び AI の各領域におけるコンパートメント区分が統廃合され、移行係数も見直された。さらに、粘膜輸送により口腔まで運ばれた後に消化管へ移行する経路については、HATM との整合性をとるため、ET2' からの移行先が胃内容物から食道（遅い成分）に変更された。

オリジナル HRTM において、血液への吸収によるクリアランスに係るモデルは、血液への速い吸収と遅い吸収を完全に分離した単純なモデルと、初期状態 (Initial state) から血液への吸収と変換された状態 (Transformed state) への移行とが競合し、変換された状態から血液へ異なる移行係数で吸収される複雑なモデルの 2 種類が示された[11]。それぞれのコンパートメントモデルを、図 2-4 の(a)及び(b)に示す。(b)のモデルでは、 $s_t > s_p$ とすることにより、時間の経過に伴って血液への吸収速度が速くなる様子を表現できるが、(a)のモデルではこの様子を表現することは不可能である。なお、血液への吸収によるクリアランスの様子が(a)に基づくパラメータにより与えられる場合は、次式により(b)に基づくパラメータに変換することが可能である。

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

OIR part 1 では、(b)のモデルが必要になる場合がほとんどないことを理由に、よりシンプルな(a)を使用することとされた[9]。しかし、ウランアルミニウム化物のように、時間経過とともに吸収速度が速くなる核種・化合物については、(b)に基づいて移行パラメータが与えられる見込みである[17]。

表 2-11 に、改訂 HRTM における、(a)に基づくパラメータの規定値を示す。表 2-12 には、オリジナル HRTM における、(a)及び(b)に基づくパラメータを示す。血液への吸収に係るパラメータは、1990 年勧告対応の線量評価においては 3 種類の血液への吸収タイプのみ依存していた[11]が、2007 年勧告に対応した線量評価においては多くの元素・化学形に対して固有の値が与えられる見込みである[16, 17]。

[†] 用語解説参照

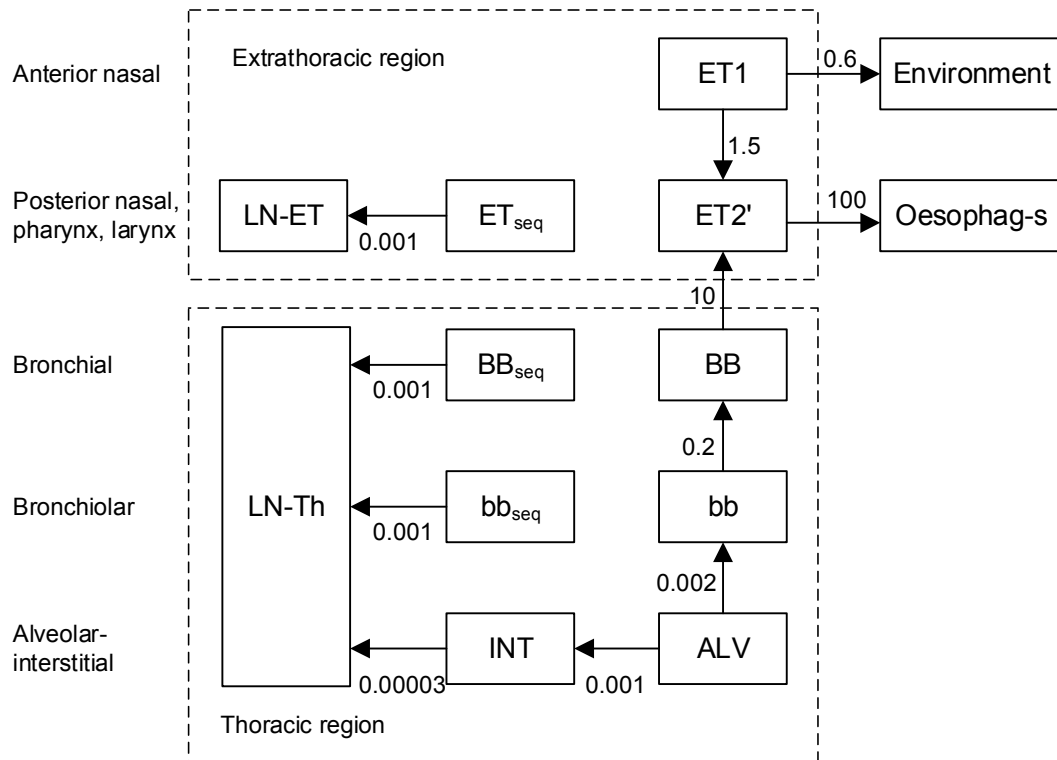


図 2-2 改訂 HRTM における粒子輸送による呼吸気道領域からのクリアランスモデル (OIR part 1 より)

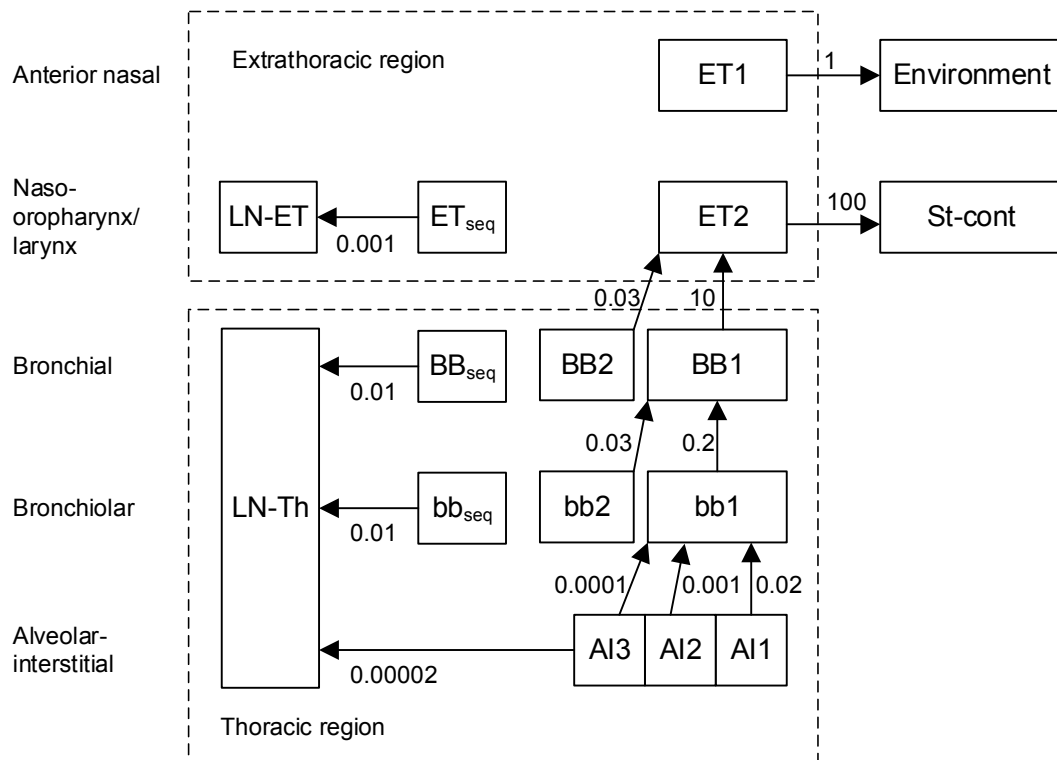


図 2-3 オリジナル HRTM における粒子輸送による呼吸気道領域からのクリアランスモデル (ICRP66 より)

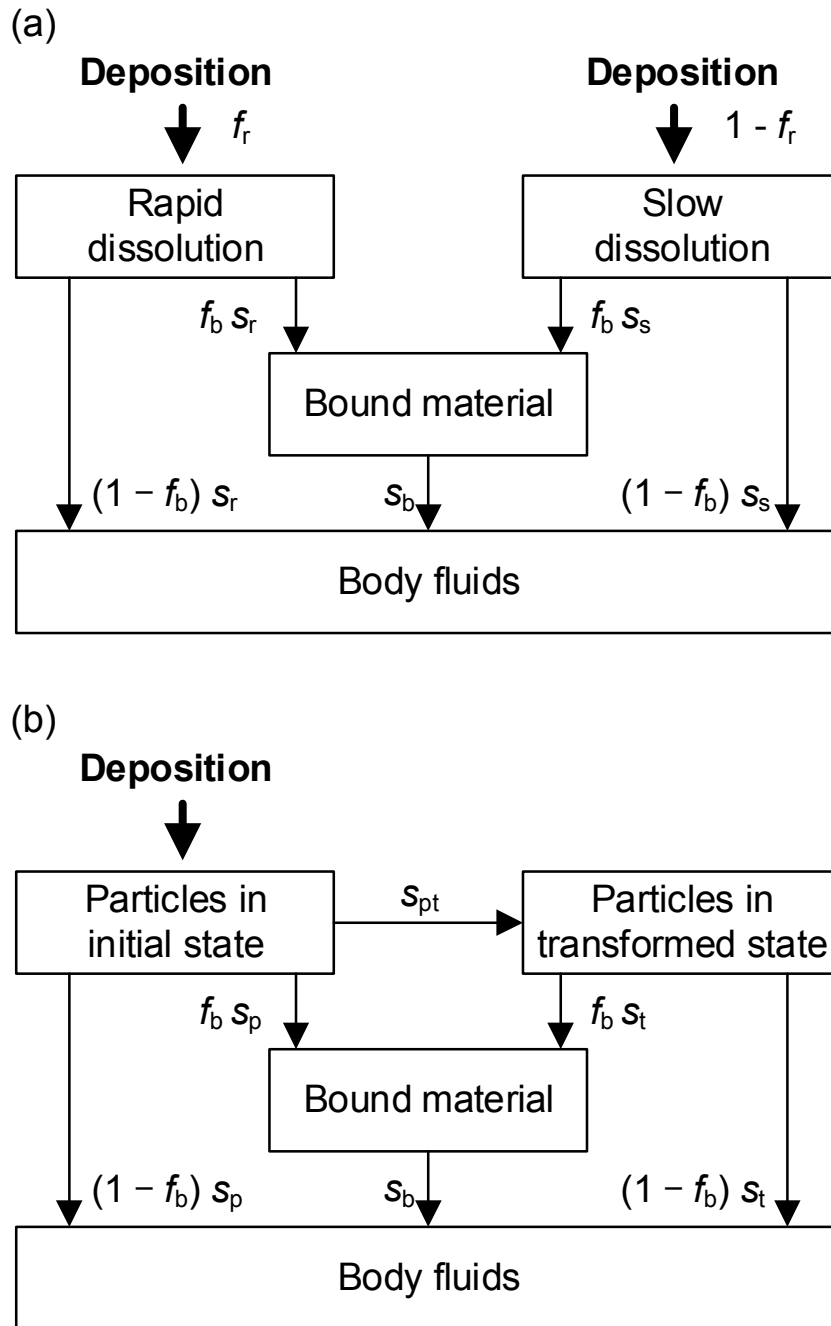


図 2-4 血液への吸収による呼吸気道領域からのクリアランスモデル (OIR part 1 より)

(a)は、速い吸収と遅い吸収を完全に分離させた単純なモデル。

(b)は、時間経過とともに吸収速度が増加する現象も再現可能な複雑なモデル。

表 2-11 改訂 HRTM における血液への吸収に関するパラメータの規定値 (OIR part 1 より)

| タイプ | | F (fast) | M (moderate) | S (slow) |
|--------------------|-------|-----------|--------------|----------|
| 速い溶解割合 | f_r | 1 | 0.2 | 0.01 |
| 速い溶解速度(d^{-1}) | s_r | 30^{*1} | 3^{*2} | 3^{*2} |
| 遅い溶解速度(d^{-1}) | s_s | — | 0.005 | 0.0001 |

*1: 多くの元素について、固有の数値が与えられている。例えば、OIR part 2 及び part 3 のドラフト文書に掲載されている元素について、Type F の s_r は下記のとおりとなっている。

100: H, C, Fe, Tc, I, Cs, Pb

70: Ca

50: Te, Th

30: S, Zn, Sr, Zr, Nb, Mo, Ru, Sb, Ir

20: Ba

10: Ra, U

3: Po

1: P, Co, Y, Bi

*2: Type F の s_r が 3 未満の場合は、その値が与えられる (上記の P, Co, Y, Bi が該当する)。

表 2-12 オリジナル HRTM における血液への吸収に関するパラメータ (ICRP66 より)

| タイプ | | F (fast) | M (moderate) | S (slow) |
|--------------------|----------|----------|--------------|----------|
| 初期溶解速度(d^{-1}) | s_p | 100 | 10 | 0.1 |
| 移行速度(d^{-1}) | s_{pt} | 0 | 90 | 100 |
| 最終溶解速度(d^{-1}) | s_t | — | 0.005 | 0.0001 |
| 速い溶解割合 | f_r | 1 | 0.1 | 0.001 |
| 速い溶解速度(d^{-1}) | s_r | 100 | 100 | 100 |
| 遅い溶解速度(d^{-1}) | s_s | — | 0.005 | 0.0001 |

②消化管における移行

消化管内における放射性核種の移行は、ICRP30 part 1 の胃腸管モデルに代わり、ICRP100 の HATM によるコンパートメントモデルを用いて評価するよう変更された[10]。なお、OIR part 1 において、職業被ばくに対する線量評価では、男女ともに、成人男性の全食事(“Total diet”)に対する移行係数データを使用することとされた[9]。図 2-5 及び図 2-6 に、HATM と胃腸管モデルのコンパートメントモデルをそれぞれ示す。また、HATM 及び胃腸管モデルにおけるコンパートメント間の移行係数データを、表 2-13 及び表 2-14 にそれぞれ示す。

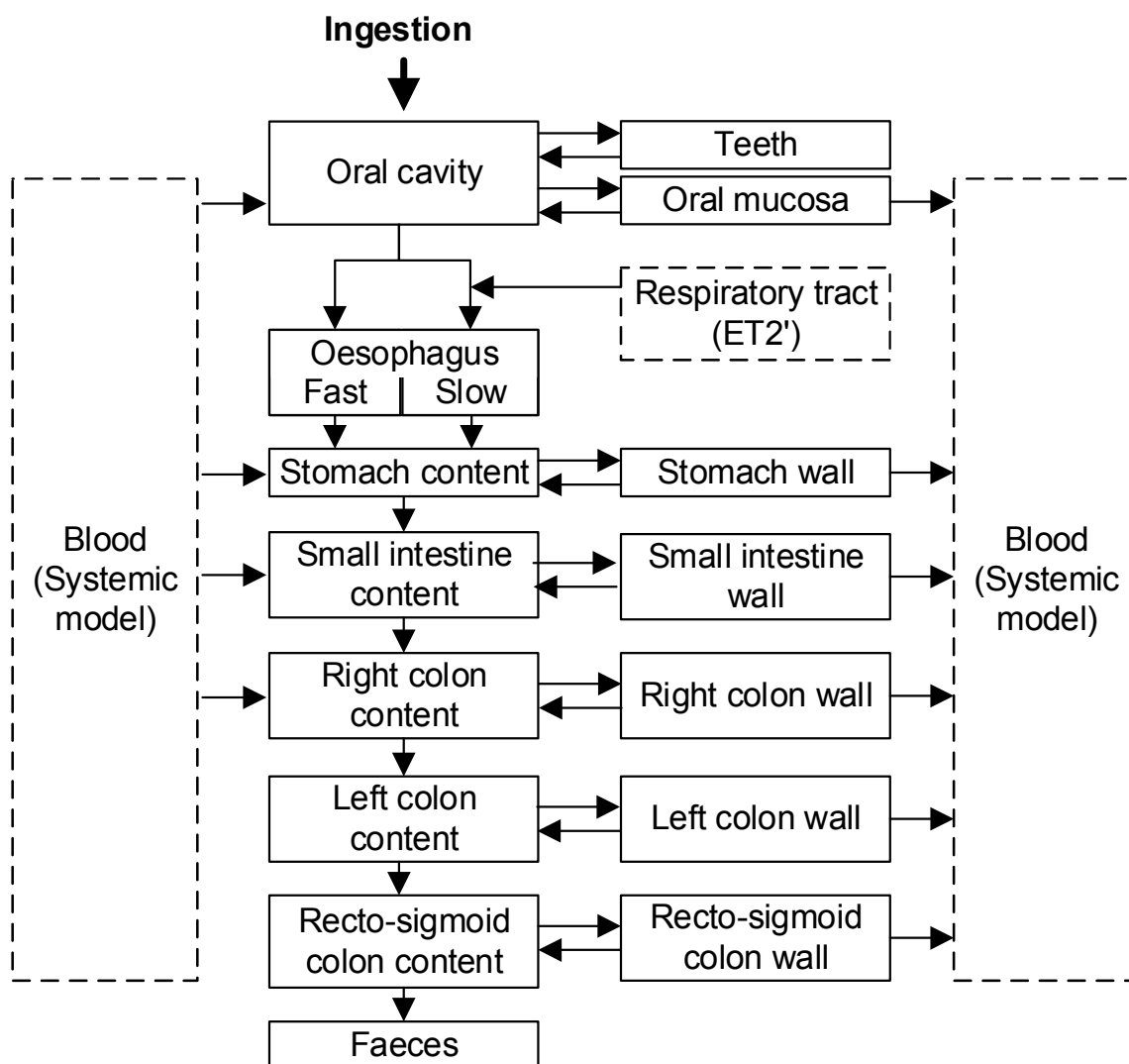


図 2-5 HATM のコンパートメントモデル (ICRP100 より)

表 2-13 HATM における移行係数データ (ICRP100 より)

| コンパートメント | 物質 | 移行係数 (d^{-1}) | | | | |
|-----------------------------|----------|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | 3ヶ月 | 1歳 | 5-15歳 | 成人男性 | 成人女性 |
| Oral cavity | 固形物 | — | 5760 | 5760 | 5760 | 5760 |
| | 液体 | 43200 | 43200 | 43200 | 43200 | 43200 |
| | 全食事 | 43200 | 7200 | 7200 | 7200 | 7200 |
| Oesophagus, fast | 固形物 | — | 10800 | 10800 | 10800 | 10800 |
| | 液体 | 21600 | 17280 | 17280 | 17280 | 17280 |
| | 全食事 | 21600 | 12343 | 12343 | 12343 | 12343 |
| Oesophagus, slow | 固形物 | — | 1920 | 1920 | 1920 | 1920 |
| | 液体 | 2880 | 2880 | 2880 | 2880 | 2880 |
| | 全食事 | 2880 | 2160 | 2160 | 2160 | 2160 |
| Stomach content | 固形物 | — | 19.2 | 19.2 | 19.2 | 19.2 |
| | カロリー液体 | 19.2 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| | ノンカロリー液体 | 144 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| | 全食事 | 19.2 | 20.57 | 20.57 | 20.57 | 20.57 |
| Small intestine content | 全ての種類 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Right colon content | 全ての種類 | 3 | 2.4 | 2.182 | 2 | 1.5 |
| Left colon content | 全ての種類 | 3 | 2.4 | 2.182 | 2 | 1.5 |
| Recto-sigmoid colon content | 全ての種類 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.5 |

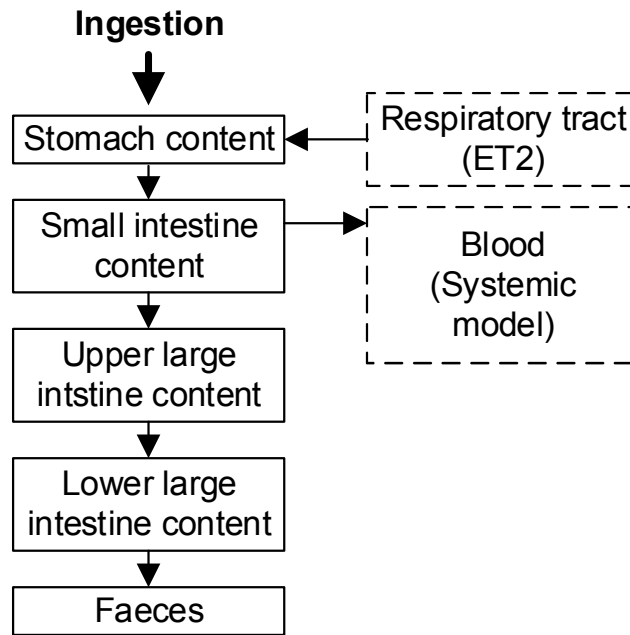


図 2-6 胃腸管モデルのコンパートメントモデル (ICRP30 part 1 より)

表 2-14 胃腸管モデルにおける移行係数データ (ICRP30 part 1 より)

| コンパートメント | 移行係数 (d^{-1}) |
|-------------------------------|-------------------|
| Stomach content | 24 |
| Small intestine content | 6 |
| Upper large intestine content | 1.8 |
| Lower large intestine content | 1 |

③膀胱内容物から尿への移行

作業者については、ICRP67で提示された膀胱モデル[12]が引続き採用された[9]。膀胱モデルにより与えられた移行係数データを、表 2-15 に示す。

表 2-15 膀胱モデルによる移行係数データ (ICRP67 より)

| 年齢 | 膀胱内容物から尿への移行係数(d^{-1}) |
|------|----------------------------|
| 3 ヶ月 | 40 |
| 1 歳 | 32 |
| 5 歳 | 12 |
| 10 歳 | 12 |
| 15 歳 | 12 |
| 成人 | 12 |

④創傷汚染モデル

創傷汚染による放射性核種の体内への取込みにおける体内放射能評価については、米国放射線防護・測定審議会 (NCRP: National Council of Radiation Protection and measurements) のレポート 156 の創傷汚染モデル[18]が採用された[9]。図 2-7 に創傷汚染モデルのコンパートメント構造を、表 2-16 に移行係数データをそれぞれ示す。

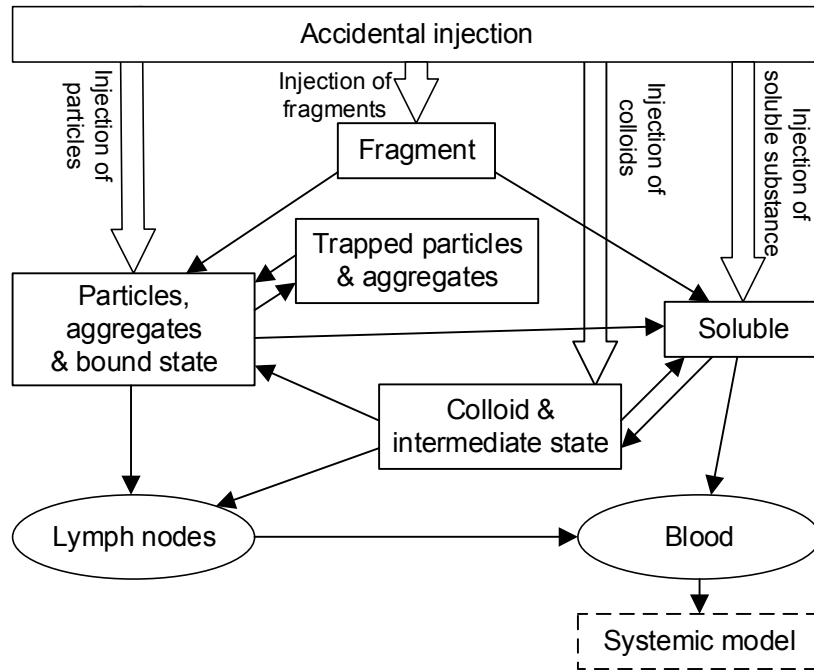


図 2-7 創傷汚染モデルのコンパートメント構造 (NCRP report 156 より)

表 2-16 創傷汚染モデルの移行係数データ (NCRP report 156 より)

| 移行元* ¹ | 移行先* ¹ | 移行係数 (d ⁻¹) | | | | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------------|----------|---------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 溶液状 (soluble substance) | | | | コロイド状 (collids) | 粒子状 (particles) | 破片状 (fragments) |
| | | Weak | Moderate | Strong | Avid | | | |
| Soluble | Blood | 45 | 45 | 0.67 | 7 | 0.5 | 100 | — |
| Soluble | CIS | 20 | 30 | 0.6 | 30 | 2.5 | — | — |
| CIS | Soluble | 2.8 | 0.4 | 0.024 | 0.03 | 0.025 | — | — |
| CIS | PABS | 0.25 | 0.065 | 0.01 | 10 | 0.05 | — | — |
| CIS | Lymph | 0.00002 | 0.00002 | 0.00002 | 0.00002 | 0.002 | — | — |
| PABS | Soluble | 0.08 | 0.02 | 0.0012 | 0.005 | 0.0015 | 0.0002 | 0 |
| PABS | Lymph | 0.00002 | 0.00002 | 0.00002 | 0.00002 | 0.0004 | 0.0036 | 0.004 |
| PABS | TPA | — | — | — | — | — | 0.04 | 0.7 |
| TPA | PABS | — | — | — | — | — | 0.0036 | 0.0005 |
| Lymph | Blood | — | — | — | — | 0.03 | 0.0006 | 0.03 |
| Fragment | Soluble | — | — | — | — | — | — | 0 |
| Fragment | PABS | — | — | — | — | — | — | 0.008 |

*1: CIS: Colloid and Intermediate State. PABS: Particles, Aggregates and Bound State. Lymph: Lymph nodes, TPA: Trapped Particles and Aggregates.

2.3.8 壊変系列核種の取扱い

1990年勧告に対応した線量評価では、摂取した核種（以下、「親核種」とする。）が体内で壊変することにより生成した壊変系列核種の動態については、親核種と同じであると仮定して体内放射能を評価した[13]。このように、壊変系列核種に対して親核種と同じ動態モデルを適用することを、“Shared kinetics”とする。ただし、親核種がPb、Ra、Th及びUの場合の壊変系列核種、Iの系列核種であるTe、及び壊変により生成した希ガスについては、壊変系列核種の元素の種類に応じた個別の組織系動態モデルを適用した[12, 24, 25]。このように、壊変系列核種に対して当該核種の元素の種類に応じた動態モデルを適用することを、“Independent kinetics”とする。

OIR part 1では、Shared kineticsとIndependent kineticsの適用基準が変更された[9]。体内に取り込まれた親核種の壊変系列核種は、血液に吸収されるまではShared kineticsを適用し、血液へ吸収された後についてはIndependent kineticsを適用するとされた。ただし、希ガスについては、血液に吸収される前であっても、Independent kineticsが適用される。また、トリウムの一部の化合物の壊変系列核種については、呼吸気道領域から血液への吸収に対し、Shared kineticsでもIndependent kineticsでもない、特殊な動態を適用する旨の記載がOIR part 3ドラフトにある。トリウムフッ化物は、血液への吸収タイプがF、M、Sのいずれでもない、個別の吸収パラメータが与えられているが、その壊変系列核種についてはトリウムのタイプFのパラメータを適用することとなっている。また、タイプSとされるトリウム酸化物及び不特定の化合物の壊変系列核種については、タイプMのパラメータを適用することとなっている[17]。このように、元素・化学形によっては、特殊な壊変系列核種の取扱いを必要とする場合があると見込まれる。

2.3.9 モニタリングに基づく線量評価に用いるデータ

OIR 刊行物シリーズでは、ICRP78 に置き換わるモニタリングに基づく線量評価に用いるデータが提供される予定である[9]。

まず、ICRP78 と同様に、全身や胸部の残留放射能、尿及び糞の排泄率といったモニタリングデータ $m(t)$ が提示される。OIR part 1 によると、 $m(t)$ は、摂取後 10^4 日経過まで、又は $m(t)$ が 10^{-10} に減衰するまで評価されたものが収録される[9]。

モニタリング結果からの線量評価は、従来は以下の 2 段階の手順で行っていた。

- ・ モニタリング値 M を摂取からの時間 t の関数である $m(t)$ で除することで、摂取量 I を評価する。
- ・ I に、1 Bq 摂取当たりの預託実効線量（線量係数、Dose coefficient, DPUI: Dose Per Unit Intake) e を乗じることで、預託実効線量 E を評価する。

OIR 刊行物シリーズでは、従来の $m(t)$ に加え、新たにモニタリング量あたりの線量 (DPUC: Dose Per Unit Content) というデータが収録予定である[9]。DPUC は、 e を $m(t)$ で除することにより得られる t の関数である。 M に DPUC を乗じることで、直接 E を評価することが可能となる。

慢性摂取については、従来と同様に、平衡状態における残留放射能、排泄率を収録する。

2.4 まとめ

ICRP が示す 1990 年勧告及び 2007 年勧告に従う内部被ばく線量評価に用いるモデルやデータ等について、これまでに公開されている ICRP 刊行物、OIR part 1 等を調査し、2007 年勧告を踏まえた ICRP の内部被ばく線量評価モデルの変更点を整理した。特に、今後の内部被ばく線量計算コードの改良で重要と思われる HRTM の改訂や壊変系列核種の取扱いの変更については、詳細に調査した。また、新たに導入されるモニタリングデータや要求される計算精度等、線量計算やコードの利用に影響を与える項目について整理した。

3. 線量計算コード修正に係る調査及び検討

3.1 概要

第2章では、ICRP 2007年勧告を踏まえた内部被ばく線量評価モデル等の変更点を調査し、整理した結果を報告した。そこで、調査した線量評価モデルの変更点について、昨年度までに開発した臓器線量計算プログラムや、設計したデータ格納方式に基づき整備した線量計算データ等の該当箇所を照合し、修正が必要な箇所を抽出した。特に、修正が必要とした箇所については、今後の内部被ばく線量計算コードの速やか、かつ効率的な整備を可能とするため、その修正方針も検討した。

3.2 現状の線量計算コード

内部被ばく線量計算コードの核となる臓器線量計算プログラムは、平成23年度の本事業（当時、文部科学省委託事業）において開発されたものである[7]。Java言語により記述された臓器線量計算プログラムのパッケージと、これに含まれるクラス及びインタフェース（以下、クラスとインタフェースをまとめて「クラス」とする。）の名称及び機能の概要を、表3-1に示す。クラスに含まれるメソッド及びコンストラクタ（以下、メソッドとコンストラクタをまとめて「メソッド」とする。）の詳細は、平成23年度委託業務成果報告書の付録Aに記載されている[7]。

表 3-1 臓器線量計算プログラムのパッケージ、クラスとその機能の概要（その 1）

| パッケージ | クラス | 機能の概要 |
|---------------------|-------------------|---|
| biokinetics | BioHalfLife | 読み込んだ生物学的半減期による移行データを格納する。 |
| | Biokinetics | 読み込んだ組織系動態モデルの移行係数データを格納する。 |
| | BiokineticsReader | 組織系動態モデルに関する移行データファイルを開き、SAX [†] で読み込む準備をする。 |
| | BiokineticsSax | 組織系動態モデルに関する移行データファイルの XML [†] データを SAX で読み込む。 |
| | BioTransfer | 個々の移行係数データをまとめて格納する。 |
| | BioUptake | 読み込んだ取込みによる移行データを格納する。 |
| biokinetics.bladder | Bladder | 読み込んだ膀胱モデルの移行係数データを格納する。 |
| | BladderReader | 膀胱モデルに関する移行係数データファイルを開き、SAX で読み込む準備をする。 |
| | BladderSax | 膀胱モデルに関する移行係数データファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| biokinetics.hatm | HatmTran | 読み込んだ HATM の移行係数データを格納する。 |
| | HatmTranReader | HATM に関する移行係数データファイルを開き、SAX で読み込む準備をする。 |
| | HatmTranSax | HATM に関する移行係数データファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| biokinetics.hrtm | HrtmAbso | 読み込んだ HRTM の血液吸収に関するデータを格納する。 |
| | HrtmData | HRTM に関する個々のデータをまとめて格納する。 |
| | HrtmDepo | HRTM の沈着割合に関するデータを設定し、格納する。 |
| | HrtmReader | HRTM に関するデータファイルを開き、SAX で読み込む準備をする。 |
| | HrtmSax | HRTM に関するデータファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| | HrtmTran | 読み込んだ HRTM に関する移行係数データを格納する。 |

[†] 用語解説参照

表 3-1 臓器線量計算プログラムのパッケージ、クラスとその機能の概要 (その 2)

| パッケージ | クラス | 機能の概要 |
|-------------------|-------------------|---|
| biokinetics.wound | Wound | 読み込んだ創傷汚染モデルの移行係数データを格納する。 |
| | WoundReader | 創傷汚染モデルに関する移行データファイルを開き、SAX で読み込む準備をする。 |
| | WoundSax | 創傷汚染モデルに関する移行データファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| chronic | FeedingTerm | 常微分方程式において、慢性摂取の供給項を用意する。 |
| | LinearFeeding | 慢性摂取の供給項を一次式で設定する。 |
| compartment | ActiveCompartment | 評価に使用するコンパートメントを設定する。 |
| | Compartment | コンパートメントデータを格納する。 |
| | CompartmentReader | コンパートメントデータファイルを開き、SAX で読み込む準備をする。 |
| | CompartmentSax | コンパートメントデータファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| decay | Decay | 親核種が形成する壊変系列を求める。 |
| | DecayUtil | 半減期データの単位を揃える。 |
| decay.bet | Beta | BET データ (β線スペクトルデータ) を格納する。 |
| | NucBeta | BET データを核種ごとに格納する。 |
| | NucReaderBet | 核種を指定して BET データファイルを読み込む。 |
| | ReaderBet | BET データファイルの読み込みインタフェース。 |
| | RowReaderBet | 行を指定して BET データファイルを読み込む。 |
| decay.ndx | NucNdx | NDX データ (核種インデックスデータ) を格納する。 |
| | NucReaderNdx | 核種を指定して NDX データファイルを読み込む。 |
| | Progeny | 壊変系列核種に関するデータを格納する。 |
| | ReaderNdx | NDX データファイルの読み込みインタフェース。 |
| | RowReaderNdx | 行を指定して NDX データファイルを読み込む。 |
| decay.nsf | Neutron | NSF データ (中性子スペクトルデータ) を格納する。 |
| | NucNsf | NSF データを核種ごとに格納する。 |
| | NucReaderNsf | 核種を指定して NSF データファイルを読み込む。 |
| | ReaderNsf | NSF データファイルの読み込みインタフェース。 |
| | RowReaderNsf | 行を指定して NSF データファイルを読み込む。 |

表 3-1 臓器線量計算プログラムのパッケージ、クラスとその機能の概要 (その 3)

| パッケージ | クラス | 機能の概要 |
|------------------|-------------------------|--|
| decay.rad | NucRad | RAD データ (全放出放射線スペクトルデータ) を核種ごとに格納する。 |
| | NucReaderRad | 核種を指定して RAD データファイルを読み込む。 |
| | Radiation | RAD データを格納する。 |
| | ReaderRad | RAD データファイルの読み込みインタフェース。 |
| | RowReaderRad | 行を指定して RAD データファイルを読み込む。 |
| decay.radiation | RadEnergy | 放射線エネルギーデータを格納する。 |
| | RadiationSee | 比実効エネルギー (SEE) 計算用放射線エネルギーデータを格納する。 |
| dose | CommittedDose | 計算した線量を格納する。 |
| | DoseReader | 線量評価データファイルを開き、XML データを読み込む準備をする。 |
| | DoseSax | 線量評価データファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| | EquivalentDose | 等価線量の算出に必要なデータを格納する。 |
| | InternalDose | 等価線量を算出するための常微分方程式を解くクラスに引き渡すデータを用意する。 |
| | RemainderDose | 残りの組織の等価線量の算出に係るデータを格納する。 |
| initial | InitialValue | 放射能初期値データを格納する。 |
| | InitialValueReader | 放射能初期値データファイルを開き、XML データを読み込む準備をする。 |
| | InitialValueSax | 放射能初期値データファイルの XML データを SAX で読み込む。 |
| math.interpolate | Interpolate | 補間値を求めるインタフェース。 |
| | Jpchip | 区分的 3 次エルミート内挿法により補間値を求める。 |
| | LinearInterpolation | 線形補間で補間値を求める。 |
| math.ode.jlsode | Func | 常微分方程式の右辺とヤコビ行列を設定する。 |
| | JLsode | 常微分方程式を解く。 |
| noble | NobleGas | 希ガスの移行係数データを格納する。 |
| | NobleGasReader | 希ガスの移行係数データを読み込む。 |
| see | BodyMass | 体重データを読み込み、格納する。 |
| | SpecificEffectiveEnergy | SEE を計算する。 |
| | TotalSee | すべての放射線を考慮した SEE を計算する。 |

表 3-1 臓器線量計算プログラムのパッケージ、クラスとその機能の概要 (その 4)

| パッケージ | クラス | 機能の概要 |
|------------|--------------------------|--|
| see.data | NuclideSafSee | 核種の SEE を格納する。(ただし、中性子について、比吸収割合 (SAF) がエネルギーごとでなく核種ごとに提供される場合は、一時的に核種の中性子 SAF を格納する。) |
| | OtherRegion | 線源領域が Other の SEE の計算に必要なデータを格納する。 |
| | RegionMass | 領域の質量データを格納する。 |
| | SeeData | SEE の計算に必要なデータ (放射線加重係数 w_R 、SAF データ、領域名等) を読み込む。 |
| | SpecificAbsorbedFraction | SAF データを格納する。 |
| | SystemicSource | 組織系動態モデルの線源領域データを格納する。 |
| see.factor | AlphaWeightingFactor | α 粒子、核分裂片、重原子核に対する w_R を取得する。 |
| | ElectronWeightingFactor | 電子に対する w_R を取得する。 |
| | NeutronWeightingFactor | 中性子に対する w_R を取得する。 |
| | PhotonWeightingFactor | 光子に対する w_R を取得する。 |
| | RadiationWeightingFactor | w_R を取得するインタフェース。 |
| solution | Solution | 常微分方程式を解くための抽象クラス。 |
| | SolutionByLsode | JLsode を用いて等価線量を算出する。 |
| | SolutionWriter | 計算結果をファイルに出力する。 |
| transfer | MatrixCrs | 移行係数データ行列を圧縮行格納方式で格納する。 |
| | Transfer | 非年齢依存移行係数データを格納する。 |
| | TransferAge | 年齢依存移行係数データを格納する。 |
| | TransferBiokineticsSet | 体内動態移行係数データを設定する。 |
| | TransferHrtmSet | HRTM 移行係数データを設定する。 |
| | TransferMatrix | 移行係数データ行列を設定する。 |
| | TransferWoundSet | 創傷汚染モデル移行係数データを設定する。 |
| worker | Absorption | 消化管における血液吸収割合データを格納する。 |
| | Compounds | 化合物ごとの血液吸収データを格納する。 |
| | WorkerAbsorption | 作業者の血液吸収割合データを格納する。 |
| | WorkerAbsorptionReader | 作業者の血液吸収割合データファイルを開き、SAX で読み込む準備をする。 |
| | WorkerAbsorptionSax | 作業者の血液吸収割合データファイルを SAX で読み込む。 |

3.3 線量評価モデルの変更に伴うコード修正の要否

本節では、第2章で述べた線量評価モデルの変更内容と、対応する臓器線量計算プログラムのクラス及びメソッドの処理内容を照合し、コードの修正の要否について検討した。また、コードの修正が必要と考えられる箇所については、その修正方法について検討した結果についても併せて述べる。

3.3.1 実効線量の計算方法

2.3.1項で述べた実効線量の計算方法に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成23年度時点で既に公開されていた内容であり、OIR part 1においてもさらなる変更は示されなかった。実効線量の計算方法の変更に係る `dose` パッケージの `InternalDose` クラスを照合し、プログラム修正は不要であることを確認した。

3.3.2 組織加重係数

2.3.2項で述べた組織加重係数に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成23年度時点で既に公開されていた内容であり、OIR part 1においてもさらなる変更は示されなかった。組織加重係数の変更に係る `dose` パッケージの `DoseReader` クラス、`DoseSax` クラス及び `EquivalentDose` クラスを照合し、プログラム修正は不要であることを確認した。

3.3.3 放射線加重係数

2.3.3項で述べた放射線加重係数に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成23年度時点で既に公開されていた内容であり、OIR part 1においてもさらなる変更は示されなかった。放射線加重係数の変更に係る `see.factor` パッケージの `NeutronWeightingFactor` クラス及び `RadiationWeightingFactor` クラスを照合し、プログラム修正は不要であることを確認した。

3.3.4 等価線量の計算方法

①肺及び胸郭外領域

2.3.4項①で述べた肺及び胸郭外領域の等価線量 (H_{Tb} 及び H_{ET}) の計算方法に係る変更は、臓器線量計算プログラムを開発した平成23年度時点では未公開の情報であった。そこで、現状のプログラムの計算フローと変更内容を照合し、修正の要否について検討した。

現状のプログラムにおいて、分配係数を用いて等価線量を算出する場合は、`dose` パッケージの `DoseReader` クラス及び `DoseSax` クラスにより分配係数に関するデータファイルを参照し、データを取り込むこととなっている。なお、このデータファイルは、分配係数を適用する細分化された組織・領域と適用する分配係数を任意に設定できるよう設計されている。当該クラスを照合したところ、臓器線量計算プログラムは、 H_{Tb} 及び H_{ET} の計算方法に係る変更に対し、変更内容を反映したデータファイルを用意することで対応可能であることを確認した。

②結腸及び残りの組織

2.3.4 項②及び③で述べた結腸及び残りの組織の等価線量の計算方法に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点で既に公開されていた内容であり、OIR part 1 においてもさらなる変更は示されなかった。等価線量の計算方法の変更に関する dose パッケージの EquivalentDose クラスを照合し、プログラム修正は不要であることを確認した。

3.3.5 放射性核種データ

2.3.5 項で述べた放射性核種データに係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点で既に公開されていた内容であり、OIR part 1 においてもさらなる変更は示されなかった。放射性核種データの変更に関する decay パッケージの decay クラス、decay.beta パッケージ NucReaderBeta クラス、ReaderBeta クラス及び RowReaderBeta クラス、decay.ndx パッケージの NucReaderNdx クラス、ReaderNdx クラス及び RowReaderNdx クラス、decay.nsf パッケージの NucReaderNsf クラス、ReaderNsf クラス及び RowReaderNsf クラス、並びに decay.rad パッケージの NucReaderRad クラス、ReaderRad クラス及び RowReaderRad クラスを照合し、プログラム修正は不要であることを確認した。

3.3.6 呼吸気道領域の沈着割合

2.3.6 項で述べた呼吸気道領域の沈着割合に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点では未公開の情報であった。そこで、現状のプログラムの計算フローと変更内容を照合し、修正の要否について検討した。

現状のプログラムにおいて、呼吸気道領域の沈着割合については、放射能初期値を与える initial パッケージの InitialValueReader クラス及び InitialValueSax クラスにより領域ごとの沈着割合データファイルを参照し、データを取り込むこととなっている。当該クラスを照合した結果、変更内容を反映した沈着割合データファイルを用意し、これを読み込むことにより、線量評価モデルの変更に対応可能であることを確認した。したがって、当該内容に係るプログラムの修正は不要である。また、参照する沈着割合データファイルにおけるデータ格納方式についても、データの形式に変更がないため、修正は不要であることを確認した。

3.3.7 体内動態モデル

①呼吸気道領域における移行

2.3.7 項①で述べた呼吸気道領域における移行に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点では未公開の情報であった。そこで、現状のプログラムの計算フローと変更内容を照合し、修正の要否について検討した。

1) 粒子輸送に係る変更

現状の臓器線量計算プログラムにおいて、粒子輸送のコンパートメントモデルについては、biokinetics.hrtnm パッケージの HrtnmReader クラス及び HrtnmSax クラスにより、移行元及び移行

先のコンパートメント名がタグ付けされた移行係数データをファイルから読み込むことにより構築している。なお、データファイルに格納する移行係数データの数については、制限がない。そこで、当該クラスを照合した結果、コンパートメントモデルの構造の変更については、収録するデータの変更により対応できることを確認した。したがって、粒子輸送に係る変更に対し、プログラム及びデータ格納方式の修正は不要である。

2) 血液への吸収に係る変更

呼吸気道領域から血液への吸収について、現状の臓器線量計算プログラムは、図 2-4 の(b)に示すコンパートメントモデルの構造に対応している。2007 年勧告に対応した線量評価モデルにおいて通常適用される図 2-4 の(a)のモデルに対応するためには、初期値を持つコンパートメント(1990 年勧告対応: 初期状態のみ、2007 年勧告対応: 速い吸収及び遅い吸収の2つ。)の増加、及び血液への吸収に係るパラメータの種類(1990 年勧告対応: s_p 、 s_{pt} 、 s_t 、 f_b 及び s_b 、2007 年勧告対応: f_r 、 s_r 、 s_s 、 f_b 及び s_b)の変更に対し、プログラム及びデータ格納方式を対応させる必要がある。ただし、2.3.7 項で述べたように、元素・化学形の種類によっては図 2-4 の(b)のモデルに基づきデータが提供されるため、両方のモデルに対応する必要がある。

また、1990 年勧告対応の線量評価モデルでは、血液への吸収に係るパラメータは元素・化学形に依存しない 3 種類のみであったため、臓器線量計算プログラムにおいて当該パラメータを元素・化学形に依らないデータとして扱っていた。しかし、2007 年勧告に対応した線量評価モデルでは、元素・化学形により、壊変系列核種の取扱いも含めて多様なデータが提供されるため、当該パラメータを元素・化学形固有のデータと見なし、組織系動態モデルの一部としてデータに収録することとした。

以上の検討より、現状の臓器線量計算プログラムに対し、以下のことが明らかになった。

- i. 図 2-4 の(a)に基づく計算へ対応するために、新しいパラメータの読み込み及び変数格納に関するメソッドを修正及び新規追加する必要がある。
- ii. 血液への吸収に係るパラメータが元素・化学形に依存するケースに対応するため、当該パラメータの格納先を HRTM 関連データファイルから組織系動態モデル関連データファイルに変更する。これに伴い、データの読み込み及び変数格納に関するメソッド、並びにデータ格納方式を修正する必要がある。
- iii. 図 2-4 の(a)に基づき計算する場合は、領域ごとの放射能初期値を f_r 値にしたがって速い吸収及び遅い吸収コンパートメントに割り振る必要がある。これに対応するため、メソッドを新規追加する必要がある。
- iv. 図 2-4 の(a)又は(b)のいずれに基づくデータが収録されているかを示すデータ又はタグを、元素・化学形に依らずに参照する HRTM 関連のデータファイルに追加する必要がある。

修正又は新規追加が必要なメソッド及び当該メソッドの実施内容について、これを含むパッケージ名及びクラス名、並びに修正方針とともに表 3-2 に示す。また、血液への吸収について、新しいパラメータが導入されること、及び当該パラメータを組織系動態モデルの一部

としてデータ格納ファイルを変更するため、HRTMに係る移行係数データ及び組織系動態モデルに係る移行係数データの格納方式を修正する必要がある。HRTMに関する移行係数データの現状の階層構造及び修正案を、図 3-1 の(a)及び(b)にそれぞれ示す。組織系動態モデルに係る移行係数データについては、現状の階層構造及び修正案を、図 3-2 の(a)及び(b)にそれぞれ示す。なお、臓器線量計算プログラムにおいて、血液への吸収に関するパラメータは、作業者と公衆の成人で異なる場合があることを想定して作業者用のデータファイルを別途用意している。当該データファイルについて、現状の階層構造及び修正案を、図 3-3 の(a)及び(b)にそれぞれ示す。

表 3-2 呼吸気道領域から血液への吸収に係るモデル変更に関連するメソッドと修正方針（その 1）

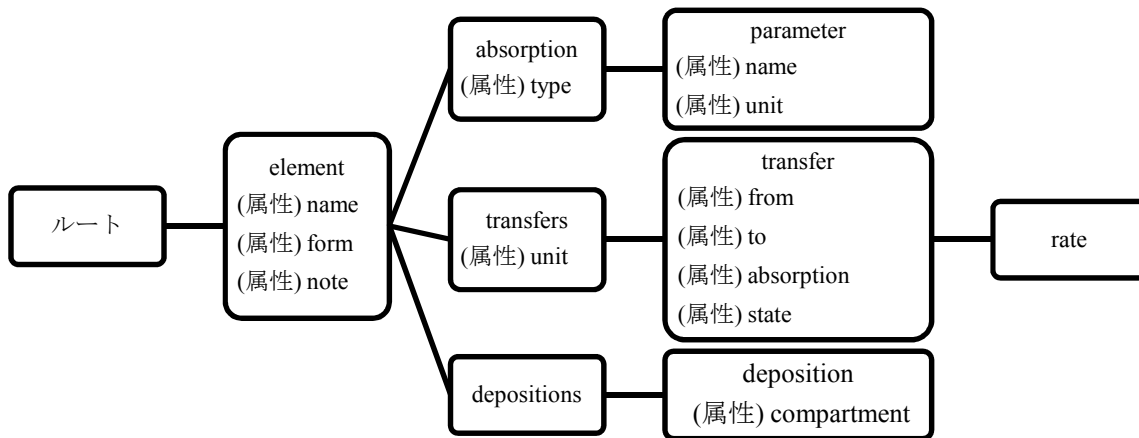
| パッケージ | クラス | クラスの機能 | 要修正又は新規追加メソッド | メソッド実施内容 | メソッド修正方針 | |
|------------------|------------|--------------------------------|-----------------|---|--|---|
| biokinetics.hrtm | HrtmAbso | 読み込んだ HRTM の血液吸収に係るパラメータを格納する。 | getType | 血液への吸収タイプを取得する。 | 当該データは組織系動態モデルに移動するとともに、タイプ F、M、S に該当しない化学形固有のデータにも対応できるように修正する。 | |
| | | | getFr (仮・新規) | 速い吸収と遅い吸収の分配割合 f_r を取得する。 | | 速い吸収と遅い吸収を分離したモデルを適用する際に、当該データを取得するメソッドを新規追加する。 |
| | | | getSr (仮・新規) | 血液への速い吸収の移行係数 s_r を取得する。 | | |
| | | | gets (仮・新規) | 血液への遅い吸収の移行係数 s_s を取得する。 | | |
| | HrtmReader | HRTM に関するデータファイルを開き、読み込む準備をする。 | readHrtm | HRTM に係るデータが格納された XML ファイルを開き、データを読み込む際に利用するタグデータを準備する。 | 速い吸収と遅い吸収を分離したモデルに対応できるように修正する。 | |
| | HrtmSax | HRTM に関する XML データを SAX で読み込む。 | HrtmSax | データを読み込む。 | | |

表 3-2 呼吸気道領域から血液への吸収に係るモデル変更に関連するメソッドと修正方針（その2）

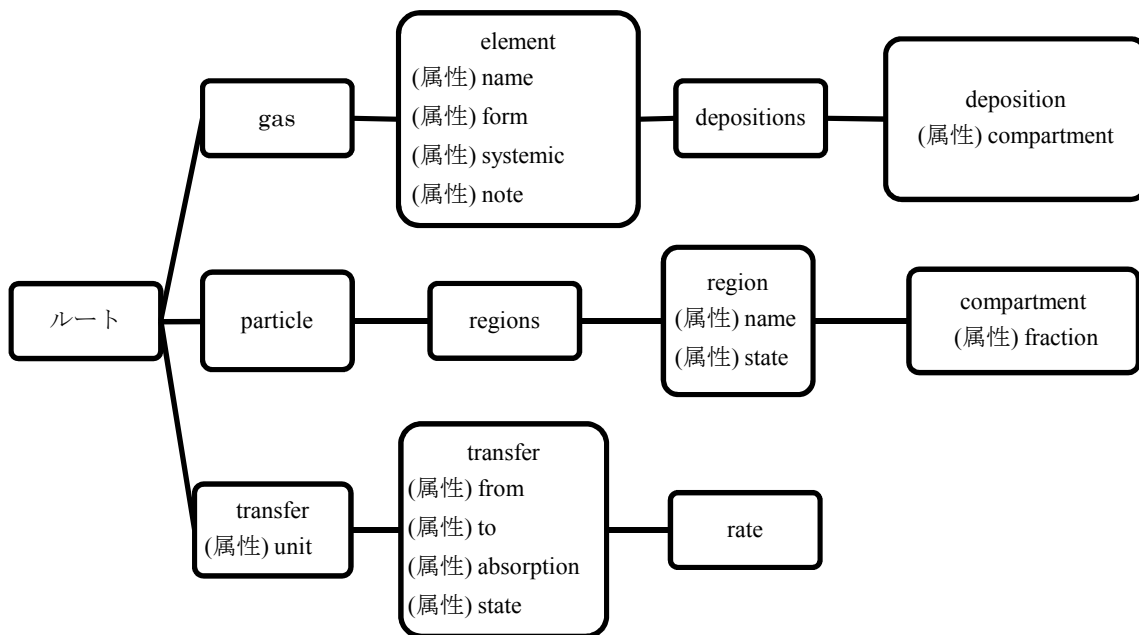
| パッケージ | クラス | クラスの内容 | 要修正又は新規追加メソッド | メソッド実施内容 | メソッド修正方針 |
|-------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------|--|
| biokinetics | Biokinetics | 組織系動態モデルに係る移行係数データを格納する。 | getAbsorption | 血液への吸収割合データを取得する。 | 吸入摂取の場合に、HRTM に基づく血液への吸収データを読み込むよう修正する。 |
| | BiokineticsSax | 組織系動態モデルに関するデータファイルを開き、読み込む準備をする。 | BiokineticsSax | データを読み込む。 | HRTM に基づく血液への吸収データに対応できるように修正する。 |
| worker | Absorption | 消化管における血液への吸収割合データを格納する。 | Absorption (仮・新規) | 血液への吸収割合データを格納する。 | 吸入摂取の場合に、HRTM のデータを参照する必要があるため、HRTM データを取り扱う同様のクラスを新規追加する。 |
| | | | getComfrom (仮・新規) | 移行元コンパートメント名を取得する。 | |
| | | | getComTo (仮・新規) | 移行先コンパートメント名を取得する。 | |
| | | | getFraction (仮・新規) | 吸収割合データを取得する。 | |

表 3-2 呼吸気道領域から血液への吸収に係るモデル変更に関連するメソッドと修正方針（その3）

| パッケージ | クラス | クラスの内容 | 要修正又は新規追加メソッド | メソッド実施内容 | メソッド修正方針 |
|-----------|-----------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------------|---|
| trasnsfer | TransferHrtmSet | HRTMに係る移行係数データを設定する。 | getTransferHrtm | HRTMに係る移行係数データを取得する。 | 血液への移行に係るデータは組織系動態モデルに移動するため、読み込み処理を変更する。 |
| | | | setTransfer | HRTMに係る移行係数データを設定する。 | 血液への移行に係るデータは組織系動態モデルに移動するため、設定処理を変更する。 |
| initial | InitialValue | 放射能初期値データを格納する。 | calcInitaialValue (仮・新規) | 呼吸気道領域の沈着割合データと f_r 値から初期値を計算する。 | 速い吸収と遅い吸収を分離したモデルの適用に対応するため、新規追加する。 |

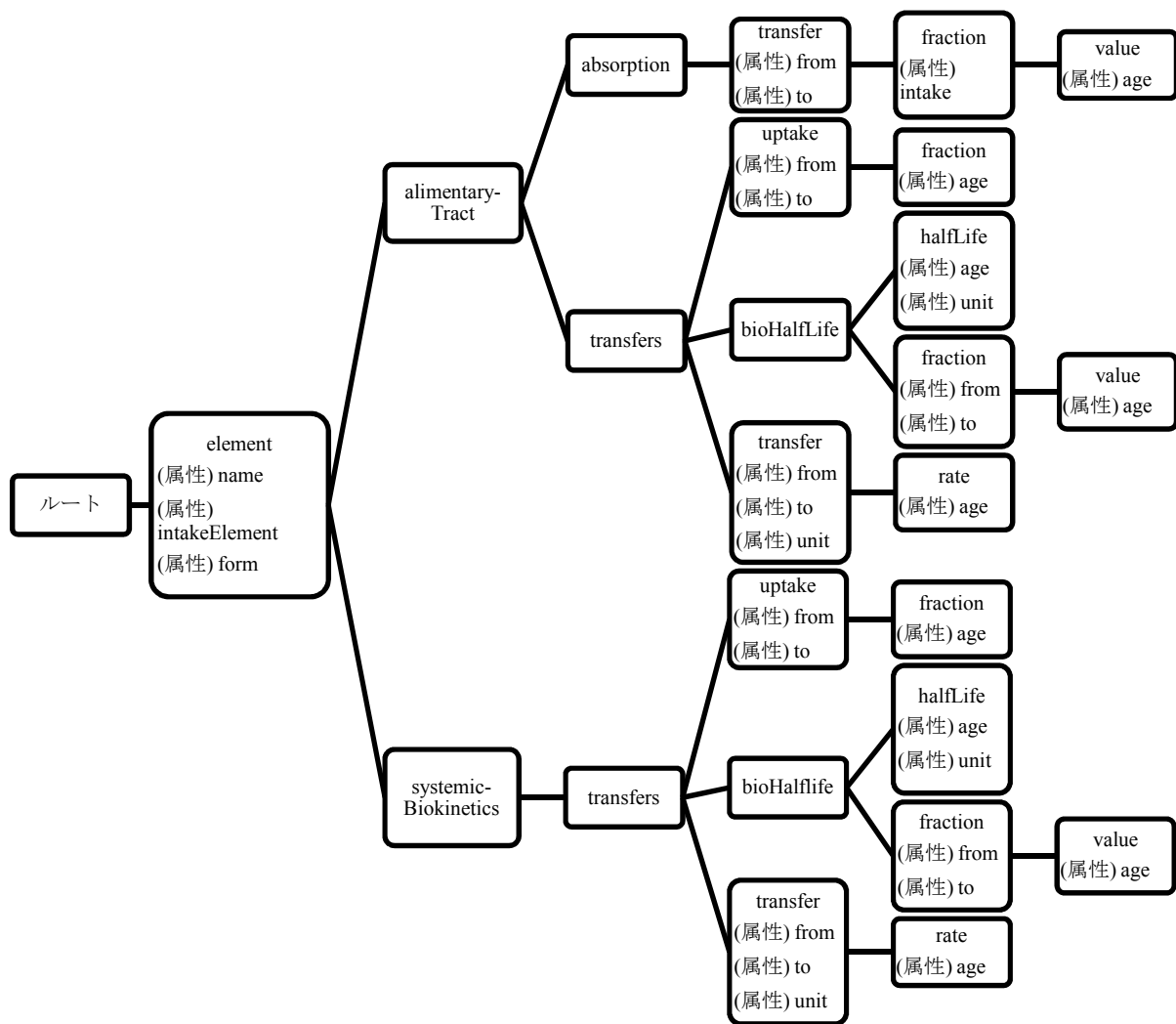


(a) 現状[7]



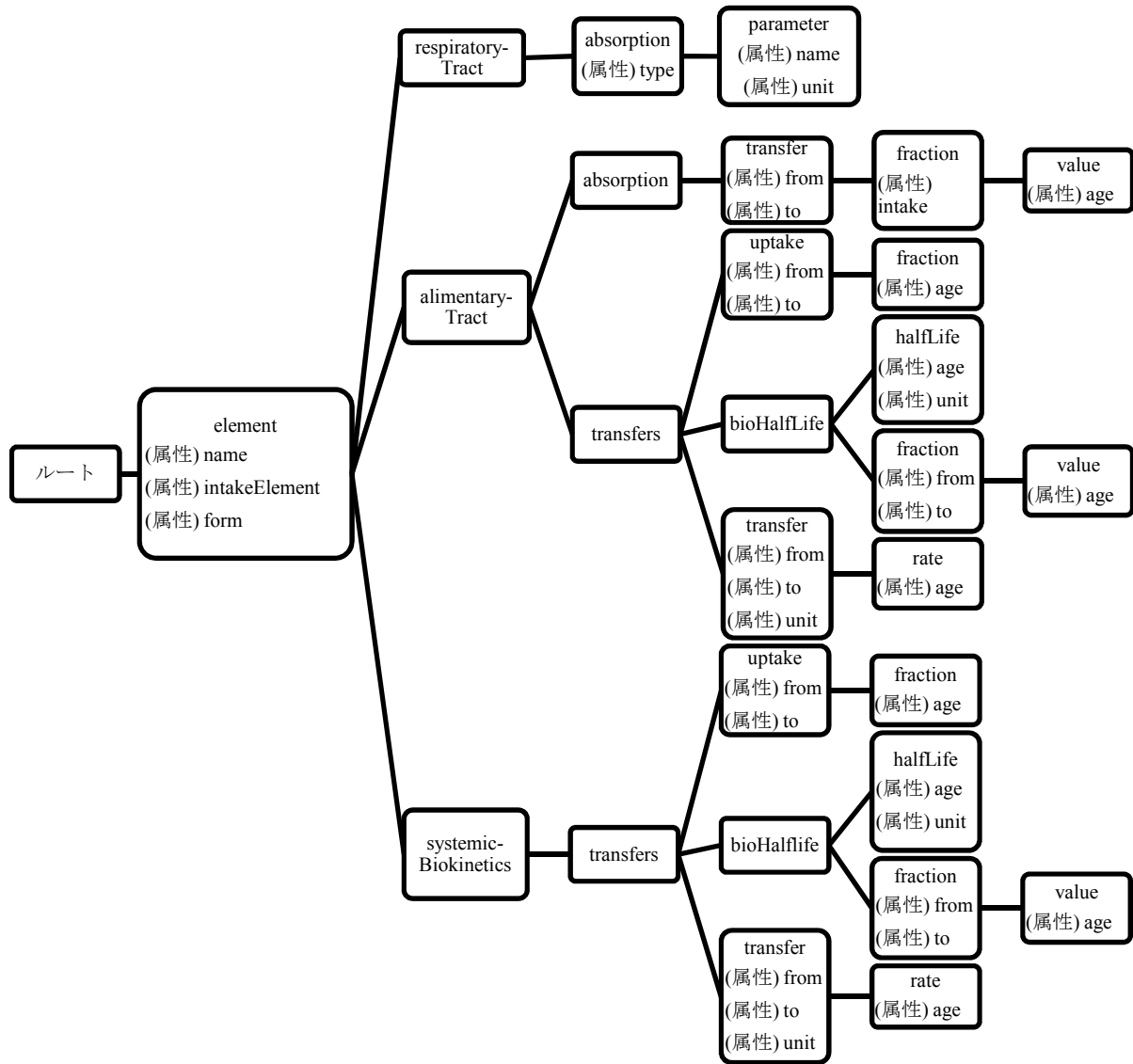
(b) 修正案

図 3-1 HRTM 移行係数データの階層構造の現状と修正案



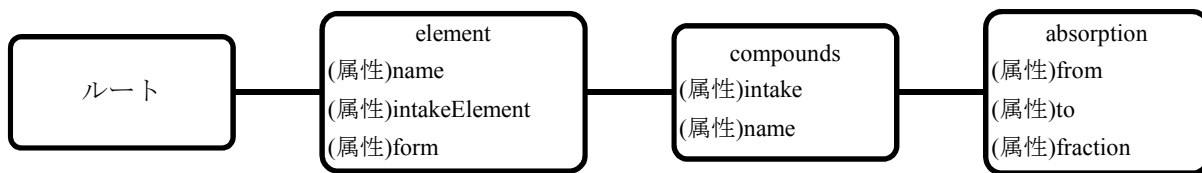
(a) 現状[7]

図 3-2 組織系動態モデル移行係数データの階層構造の現状と修正案

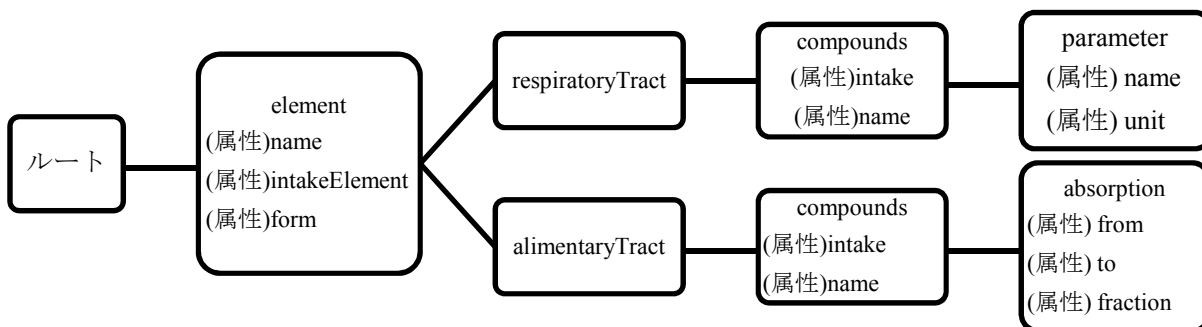


(b) 修正案

図 3-2 組織系動態モデル移行係数データの階層構造の現状と修正案



(a) 現状[7]



(b) 修正案

図 3-3 作業者に対する血液への吸収割合データの階層構造の現状と修正案

②消化管における移行

2.3.7 項②で述べた消化管における移行に係る変更内容は、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点で既に公開されていた。しかし、2.3.8 項で述べた壊変系列核種の取扱いに関する変更内容は未公開の情報であった。2007 年勧告対応の線量評価モデルでは、最初に血液に吸収されるまでは **Shared kinetics** を、血液に吸収された後は **Independent kinetics** をそれぞれ適用することとなった。すなわち、壊変系列核種が最初に血液に吸収される時と、血液に吸収されてから消化管内容物に再循環し、再度血液に吸収される時では、適用される吸収割合が異なる値となる。現状のプログラムでは、**Independent kinetics** を適用する場合は、血液に最初に吸収されるより以前から、常に **Independent kinetics** を適用することとなるため、新しい壊変系列核種の取扱いには対応していない。

この問題に対しては、図 3-4 に示すように、**HATM** のコンパートメントモデルを血液に吸収される前の核種が含まれるコンパートメントと、一度血液に吸収された履歴を持つ核種が含まれるコンパートメントを区別して二重化することで対応できる。現状の臓器線量計算プログラムにおいて、**HATM** に係る移行係数データを与えるデータファイルの格納方式は、コンパートメントモデルの二重化に対応している。また、データの読み込みや処理に関する `biokinetics.hatm` パッケージに含まれる各クラスも照合し、修正は不要であることを確認した。

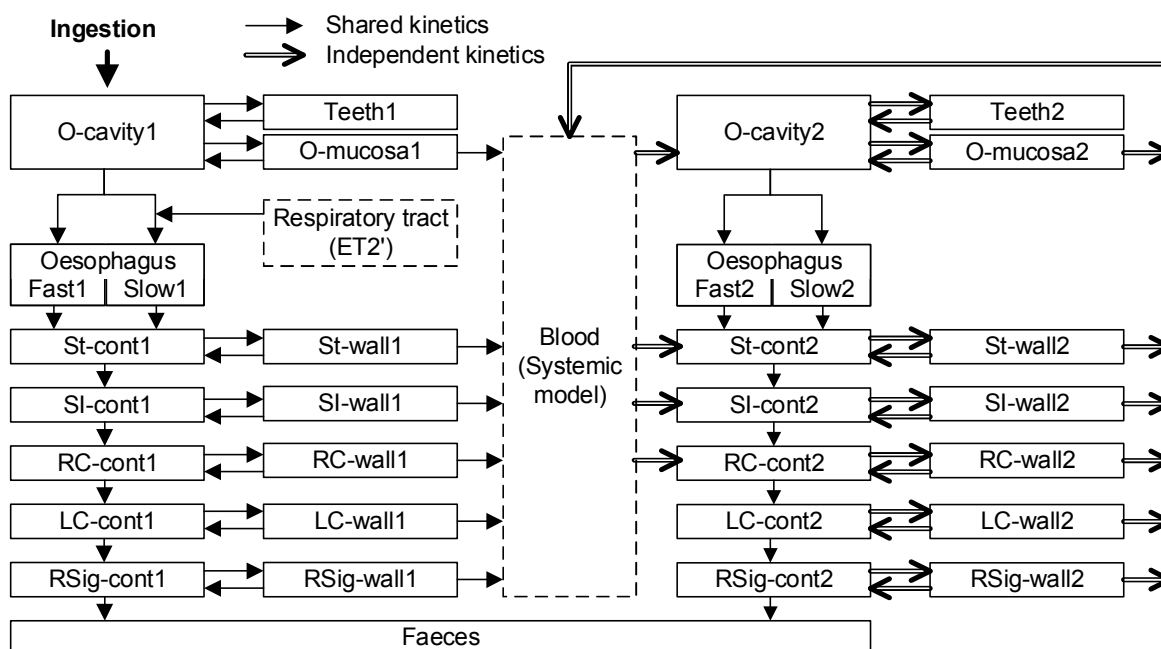


図 3-4 二重化した HATM のコンパートメントモデル

③膀胱内容物から尿への移行

2.3.7 項③で述べたように、成人に対しては使用する膀胱モデルに変更はない。膀胱モデルに係るデータの読み込みや処理に関する `biokinetics.bladder` パッケージ中の各クラスを照合し、修正は不要であることを確認した。

④創傷汚染モデル

2.3.7 項④で述べた創傷汚染モデルの使用については、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点で既に公開されていた内容であり、対応済みである。また、OIR part 1 においても変更は示されていない。創傷汚染モデルに係るデータの読み込みや処理に関する `biokinetics.wound` パッケージ中の各クラスを照合し、修正は不要であることを確認した。

3.3.8 壊変系列核種の取扱い

2.3.8 項で述べた壊変系列核種の取扱いに関する変更内容については、臓器線量計算プログラムを開発した平成 23 年度時点では未公開の情報であった。この変更については、3.3.7 項①で述べた呼吸気道領域における移行に関するプログラム及びデータ格納方式の修正、並びに 3.3.7 項②で述べた HATM コンパートメントモデルの二重化によって対応することが可能である。

3.3.9 モニタリングに基づく線量評価に用いるデータ

平成 23 年度の委託事業において、臓器線量計算プログラムの開発と同時に、残留放射能や排泄率といったモニタリングデータ $m(t)$ 出力機能のプログラムへの付加について検討を行い、出力可能であることを確認した。2.3.9 項で述べたように、2007 年勧告対応の線量評価モデルにおいて新たに導入されたモニタリング量あたりの線量 DPUC は、線量係数 e を $m(t)$ で除したものであるため、DPUC の出力に必要な計算結果は、現状の臓器線量計算プログラムで得ることが可能である。ただし、DPUC を出力するためには、一度 e 及び $m(t)$ を評価した後に、 e を $m(t)$ で除することにより DPUC を算出する手順と、出力条件等を設定する GUI (Graphical User Interface) を追加する必要がある。

また、2.3.9 項で述べたように、 $m(t)$ は、摂取後 10^4 日経過まで、又は値が 10^{-10} に減衰するまで出力する必要がある。 $m(t)$ は常微分方程式を解くことにより得られるため、その計算精度は設定する絶対許容度及び相対許容度に依存する。これらの許容度を小さくすることで計算精度は向上するが、計算時間が増大する。そこで、 10^{-10} まで精度よく計算し、かつ実用上現実的な計算時間となるように、`math.ode.jlsode` パッケージの `JLsode` クラスに含まれる `lsode` メソッドにおいて設定している許容度を最適化する必要がある。

3.4 まとめ

第2章で整理した2007年勧告に従う内部被ばく線量評価モデルの変更点について、現状の臓器線量計算プログラムの該当箇所を照会した。臓器線量計算プログラムを設計・開発した平成23年度現在において、既に刊行物等で公開され、明らかになっていた変更点については、OIR part 1でも更なる変更は示されておらず、プログラムは既に対応していることを確認した。

臓器線量計算プログラムの開発以降に明らかになった、改訂HRTMにおける呼吸気道への沈着割合の計算方法、粒子輸送による移行及び血液への吸収モデルの変更、壊変系列核種の取扱い方法の変更、並びに新しいモニタリングデータの導入については、プログラムのメソッド単位で対応状況を確認し、修正が必要となるメソッドやデータ格納方式を抽出した。

現状の臓器線量計算プログラムでは、呼吸気道の各領域への沈着割合は、データファイルを参照してデータを取得している。したがって、データを変更することにより対応できることを確認した。また、改訂HRTMにおける粒子輸送に係るコンパートメントモデルについても、現状のデータ格納方式に従い、変更後のデータを用意することで対応できることを確認した。

これに対し、呼吸気道の各領域から血液への吸収については、現状のプログラム及びデータ格納方式では対応できないことが明らかになった。そこで、壊変系列核種の取扱い方法の変更への対応と併せて、修正が必要なメソッド及びデータファイルを抽出して、修正方法を検討した。なお、壊変系列核種の取扱い方法の変更に対し、呼吸気道領域における移行以外については、現状のプログラム及びデータ格納方式で対応できることを確認した。

新たに導入されるモニタリング量あたりの線量DPUCの導入については、当該データの算出に必要となるモニタリングデータを現状のプログラムで評価できることを、平成23年度の事業において既に確認している。そのため、現状の臓器線量計算プログラムが出力する計算結果を用いてDPUCを計算する手順を追加することにより対応できる。

4. あとがき

本報告書は、平成 25 年度原子力規制庁原子力利用安全対策等委託業務「平成 25 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）」の事業成果を取りまとめた。平成 21 年度から 24 年度までの事業成果に基づき、平成 25 年度は、内部被ばく線量評価モデルに関する調査を行い、以下の成果を得た。

最初に、本委託業務では ICRP の 2007 年勧告を国内制度に取り入れるために必要な技術的基準等の整備（計算コードの整備）を進めることから、公開されている刊行物や OIR part 1 等を調査し、2007 年勧告に従う内部被ばく線量評価に用いるモデルやデータ等について、従来からの変更点を抽出した。このうち、既に公開されている刊行物の中で示されているモデルやデータ等について、OIR part 1 で新たな変更点は確認されなかった。OIR part 1 で提示された改訂 HRTM については、呼吸気道への沈着割合、粒子輸送のクリアランスモデル、血液への吸収によるクリアランスモデル等について、ICRP66 のオリジナル HRTM からの変更点について整理した。この他、体内での移行における壊変系列核種の取り扱い、新たにモニタリング量あたりの線量のデータである DPUC の収録が示唆されていること等を確認できた。

続いて、これまでに開発してきた臓器線量計算プログラムやデータ格納方式について、上記の調査で整理したモデルやデータ等の変更による修正の要否及び修正方法を検討した。その結果、プログラムの修正を要するのは、元素・化学形により、壊変系列核種の取扱いも含めて多様なデータが提供される血液への吸収によるクリアランスモデルの変更に伴うものであることを確認し、臓器線量計算プログラムの関連メソッドの修正方法を検討した。この他、HRTM 及び HATM における壊変系列の取り扱いの変更に対応するため、それぞれ臓器線量計算プログラムとデータ格納方式の変更及びコンパートメントの二重化という修正方法を検討した。一方、今回調査した線量評価モデルやデータの変更の多くに対しては、これまでの事業でデータの改訂や拡張を考慮して設計した線量計算データ格納方式に従い、データを整備することで対応可能であることを確認した。

以上のように、今年度の事業により、内部被ばく線量計算コードの主要な部分となる臓器線量計算プログラムについて、ICRP から今後公開される改訂 HRTM 等に対応するために必要な修正の基本的な方針を定めることができた。例えば、今回提示した壊変系列の取り扱いの見直しに対応するための臓器線量計算プログラムの修正方法については、元素固有の組織系動態モデルへ対応する線量計算を行うメソッドの改良にも有益なものになるであろう。また、今後、様々な年齢群からなる公衆被ばくの線量評価モデルについて線量計算データを整備する場合、データ量は増加するが、今回の事業で検討した結果から、これまでに設計したデータ格納方式に基づき改良作業を進めることができると考える。一方、SAF データ等の線量計算データが、放射性核種データのように ICRP の刊行物の付属品で与えられるような場合、その許諾条件に応じて、臓器線量計算プログラムで利用する方法等の検討が必要になる可能性がある。

参考文献

- [1] International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann. ICRP **21** (1-3) (1991).
- [2] International Commission on Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP **37** (2-4) (2007).
- [3] 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件, 平成十二年科学技術庁告示第五号, 平成 12 年 10 月 23 日, 最終改訂 平成 24 年 3 月 28 日 文部科学省告示第五十九号.
- [4] 試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則等の規定に基づき、線量限度等を定める告示, 昭和 63 年科学技術庁告示第二十号, 昭和 63 年 7 月 26 日, 最終改訂 平成 17 年 11 月 30 日文部科学省告示第一六三号.
- [5] 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事業委託業務成果報告書 (2010).
- [6] 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事業委託業務成果報告書 (2011).
- [7] 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事業委託業務成果報告書 (2012).
- [8] 日本原子力研究開発機構, 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), 平成 24 年度原子力利用安全対策等委託事業委託業務成果報告書 (2013).
- [9] International Commission on Radiological Protection, Occupational Intakes of Radionuclides Part 1, Draft Report for Consultation (2012), available from: http://www.icrp.org/docs/Occupational_Intakes_P1_for_consultation.pdf (最終アクセス日: 2014 年 2 月 19 日).
- [10] International Commission on Radiological Protection, Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 100, Ann. ICRP **36** (1-2) (2006).
- [11] International Commission on Radiological Protection, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, Ann. ICRP **24** (1-3) (1994).
- [12] International Commission on Radiological Protection, 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).
- [13] International Commission on Radiological Protection, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 68, Ann. ICRP **24** (4) (1994).
- [14] International Commission on Radiological Protection, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, ICRP Publication 107, Ann. ICRP **38** (3) (2008).
- [15] International Commission on Radiological Protection, Radionuclide Transformations - Energy and Intensity of Emissions, ICRP Publication 38, Ann. ICRP **11-13** (1983).

- [16] International Commission on Radiological Protection, Occupational Intakes of Radionuclides Part 2, Draft Report for Consultation (2012), available from: http://www.icrp.org/docs/Occupational_Intakes_P2_for_consultation.pdf (最終アクセス日: 2014年2月19日).
- [17] International Commission on Radiological Protection, Occupational Intakes of Radionuclides Part 3, Draft Report for Consultation (2012), available from: http://www.icrp.org/docs/Occupational_Intakes_P3_for_consultation.pdf (最終アクセス日: 2014年2月19日).
- [18] National Council on Radiation Protection and Measurements, Development of a Biokinetic Model for Radionuclide-Contaminated Wounds and Procedures for Their Assessment, Dosimetry and Treatment, NCRP Report No. 156 (2006).
- [19] International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30 part 1, Ann. ICRP **2** (3-4) (1979).
- [20] International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30 part 2, Ann. ICRP **4** (3-4) (1980).
- [21] International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30 part 3, Ann. ICRP **6** (2-3) (1981).
- [22] International Commission on Radiological Protection, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: An Addendum, ICRP Publication 30 part 4, Ann. ICRP **19** (4) (1988).
- [23] International Commission on Radiological Protection, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1, ICRP Publication 56, Ann. ICRP **20** (2) (1990).
- [24] International Commission on Radiological Protection, 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).
- [25] International Commission on Radiological Protection, 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).
- [26] M. Cristy and K.F. Eckerman, SEECAL: Program to Calculate Age-Dependent Specific Effective Energies, ORNL/TM-12351, Oak Ridge National Laboratory (1993).
- [27] International Commission on Radiological Protection, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, ICRP Publication 78, Ann. ICRP **27** (3-4) (1997).
- [28] J.R.H. Smith, A. Birchall, G. Etherington, N. Ishigure and M.R. Bailey, A Revised Model for the Deposition and Clearance of Inhaled Particles in Human Extra-thoracic Airways, Radiat. Prot. Dosim. **158**, 135-147 (2014).

用語解説

SAX (Simple API for XML)

プログラムが XML で記述されたデータを参照する際に使用する API (Application Programming Interface) のひとつ。API とは、OS やプログラミング言語に備えられた、汎用的な機能を利用するためのインタフェースのこと。

XML (Extensible Markup Language)

データを記述する際にタグを用いることにより、データ自体に構造や属性を付加することができる記述方式。

移行係数データ

体内に取り込まれた放射性核種の組織・臓器間の移行速度を表すデータ。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、膀胱モデル、創傷汚染モデルによってデータが整備されている。

コンパートメントモデル

体内に取り込まれた放射性核種が分布する個々の組織・臓器をひとつの箱 (コンパートメント) と見なし、箱と箱との間、すなわち臓器間の放射性核種の移行を移行速度、箱の中、すなわち臓器中における放射性核種の減衰を半減期等で表すことにより、放射性核種の人体内での分布、減衰、排泄等を表すモデル。

線量計算データ

内部被ばく線量評価モデルに基づくデータや係数等をまとめて指す時の本事業における呼称。

組織系動態モデル

呼吸気道、消化管及び膀胱を除いた全身の放射性核種の動態を記述するものである。元素によって分布する臓器が異なるため、モデルは元素ごとに作られている。臓器間の元素の移行は、移行係数、移行割合、生物学的半減期によって表され、それらは年齢に依存する。現在のモデルは、ICRP30, 56, 67, 69 及び 71 で定義されたモデルが使われているが、ICRP は 2007 年勧告に基づく内部被ばく線量係数を計算するにあたり、組織系動態モデルの見直しを進めている。

データ格納方式

平成 23 年度文部科学省委託事業「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)」において整備された、線量計算データを格納し、内部被ばく線量計算プログラムで効率的に利用し、データの追加、変更等に対する拡張性も考慮したデータ

ベースの構造のこと。

内部被ばく線量評価モデル

体内に取り込まれた放射性核種が、排泄されるまでの過程で体内の各組織・臓器に分布する挙動、また、体内に分布した放射線核種により、各組織・臓器に付与されるエネルギー、さらにこれを基に臓器線量、実効線量を計算する一連のモデルを統合したもの。放射性核種の体内への取り込みを表すモデルには、吸入摂取に対する呼吸気道モデル、経口摂取に対するヒト消化管モデル、創傷部の汚染による創傷汚染モデルがある。体内に取り込まれた核種が、更に血液等を介して体内の種々の組織・臓器に分布する挙動を表すモデルとして組織系動態モデルがあり、元素ごとに動物実験データ等に基づいて構築されている。さらに、線量計算モデルでは、吸収割合、放射性核種データを用いて、各臓器に付与されるエネルギー、放射線加重係数、組織加重係数を用いて、臓器線量、実効線量を計算する。

比吸収割合 (SAF: Specific Absorbed Fraction)

人体内のある組織・臓器から放出された放射線のエネルギーのうち、標的臓器に吸収される割合を標的臓器の質量で除したもの。内部被ばく線量評価における基礎データのひとつ。

比実効エネルギー (SEE: Specific Effective Energy)

線源となる組織・臓器に存在する放射性核種 1 壊変につき、標的となる組織・臓器の単位質量当たり吸収される、放射線加重係数 w_R により加重されたエネルギー。放射性核種データと、比吸収割合データを用いて計算する。

ヒト呼吸気道モデル (HRTM: Human Respiratory Tract Model)

放射性核種を吸入摂取した際の、核種の呼吸気道への沈着と呼吸気道からのクリアランスを表すとともに、呼吸気道領域における線量評価を行うためのモデル。現在、内部被ばく線量計算に利用されているモデルは、ICRP66 で公表されたものであるが、ICRP は 2007 年勧告に基づく内部被ばく線量係数を計算するにあたり、HRTM を一部改訂する予定である。

ヒト消化管モデル (HATM: Human Alimentary Tract Model)

経口摂取、又は吸入摂取した核種がクリアランスにより消化管に輸送された際の、消化管の内容物から壁を介して血中に移行する挙動を表すとともに、消化管壁に対する線量評価を行うためのモデル。

放射性核種データ

放射性核種が壊変する過程で放出される放射線のエネルギー、放出率、半減期等に関するデータ。ICRP は 2007 年勧告に基づく内部被ばく線量係数を計算するにあたり、従来利用されてきた ICRP38 の放射性核種データを全面的に見直し、ICRP107 として公表した。

今後の ICRP の計算では、この ICRP107 のデータが利用される。

モニタリングデータ

1 Bq の放射性核種を摂取したときの、体全体又は特定臓器における残留放射能、及び尿又は糞への排泄率データ。体外計測データやバイオアッセイデータから摂取量を評価するために利用される。

付録 国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会議事録

平成 25 年 12 月 26 日及び平成 26 年 3 月 11 日に開催した、国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会の議事録を付録として収録した。

平成 26 年 1 月 10 日

国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会
平成 25 年度第 1 回委員会 議事録

日本原子力研究開発機構

1. 日時

平成 25 年 12 月 26 日（木）10 時 00 分～11 時 35 分

2. 場所

東京八重洲ホール 101 会議室（東京都中央区日本橋 3-4-13）

3. 出席者及び欠席者

・出席

（委員）下委員長、石樽委員、遠藤委員、甲斐委員、角田委員、仁井田委員、松本委員、
百瀬委員、高橋委員（兼幹事）

（幹事）草野幹事

（事務局）真辺局員、黒澤局員

・欠席

（委員）仲野委員

4. 議題

- 1) 原子力規制庁委託事業平成 25 年度の計画について
- 2) 内部被ばく線量評価モデルの調査について
- 3) その他

5. 資料

配付資料 25-1-1 平成 25 年度原子力規制庁委託事業「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）」に係る業務の概要

配付資料 25-1-2 内部被ばく線量評価モデルの調査

参考資料 25-1-1 国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会（平成 25 年度）

6. 議事録

6.1 本委託事業の委員会運営について

委員会運営に係る仕様として、規制庁による委員の事前の了承、及び委員の発言をまとめた議事録の提出が必要となったことについて、下委員長及び高橋委員より説明がなされた。

その中で、委員会については、参考資料 25-1-1 の構成にて、規制庁の了承を得ている点、高橋委員より説明があった。また、委員の構成は昨年度とほぼ同じであるが、今年度より仲野委員及び角田委員に新たに協力頂く旨、下委員長より説明された。

6.2 今年度事業の計画について

配布資料 25-1-1 に基づき、今年度の原子力規制庁委託事業では、ICRP2007 年勧告を踏まえた内部被ばく線量評価モデルの変更点を整理し、昨年度までの委託調査で開発した計算コードの線量評価モデルの変更への対応状況を調査する旨、高橋委員より説明があった。

6.3 内部被ばく線量評価モデルの調査について

配布資料 25-1-2 の要点をまとめたスライドにより、内部被ばく線量評価モデルの調査結果について、高橋委員から説明があった。

説明を受けて、各委員より、以下のように、コメント、質問等があった。

- ・ 呼吸気道の沈着割合について、ET1 と ET2 の沈着割合、ET1 から ET2 への移行については、Publ. 66 の時から議論があった。当時は、十分なデータがなかったため、ET1 と ET2 の沈着割合についてはほぼ半分ずつ、ET1 から ET2 への移行はないとした。その後、モデル化するに足る新しいデータがそろったことを受け、沈着割合を ET1:ET2 = 65:35 とし、ET1 から ET2 へ移行することとした。
- ・ OIR Part 1 によると、線量係数が少し大きくなるとあった。
- ・ 胃腸管への移行が増加する。モニタリングデータにも影響が出る。しかし、試算したところ、影響はあまり大きくはない。
- ・ これ以降、データが変更されることはないか。
- ・ より良いモデルを構築できるだけのデータが揃わないと、替える根拠がない。このような実験も今はやられていないのではないか。
- ・ ラドンの評価についても、沈着割合の変更等の影響はあるか。
- ・ 粒子輸送のクリアランスについて、BB や bb のコンパートメントの変更は、線源の分布も変更となる。 α 粒子は飛程が短いため、線源の分布状態の変更は影響が大きい。コンパートメントモデルの変更については、新しいモデルに対応したデータファイルを用意することで対応するとある。モデルの構造が違うが、どのように対応するのか。
- ・ 本プログラムにおけるデータの与え方は、移行元と移行先の組合せに移行係数が付けられている。データの数に制限はなく、構造が違ってても対応できる。
- ・ 血液への吸収については、(OIR Part 1 において採用するとされた)簡略化したモデルでは、時間経過により吸収速度が速くなる様子を表現できない問題がある。これまで用いられてきたモデルの方がユニバーサルであり、簡略化モデルと等価なモデルを作ることのできるため、従来モデルを用いた方が良いのではないか。
- ・ プログラムとしては、現状の従来モデルに対応しているアルゴリズムでは、初期値を与えるところに問題があり、簡略化したモデルには対応できない。OIR Part 1 では簡略化モデルを使用するとあるため、これに対応させるための修正が必要であると考えている。ただし、簡略化モデルに対応したアルゴリズムに修正しても、従来モデルに対応した計算は可能である。
- ・ OIR Part 1 で、2 つのモデルを等価に与えることも可能とあるので、検討する。
- ・ 簡略化モデルでは対応できないケースは、実際にあるのか。

- ・ ウランの何らかの化学形において、そのような動態のものがあった。
- ・ 血液への吸収速度については、(速い溶解速度の Type F で) 30 という規定値が示されているが、核種・化学形毎に違うという認識でよいか。
- ・ そのとおりである。関連する文献として、OIR Part 2-3 を調査したところ、各元素の移行係数について、30 のものが最も多いが、従来の 100 という核種も多くある。
- ・ 壊変系列核種について核種毎に異なる移行を計算するとあるが、技術的にどのように行うのか。
- ・ 常微分方程式を解く際に、核種・コンパートメントについて、時間毎に入ってくるもの、出て行くもの、(ひとつ親の核種の) 壊変により生成するもの、壊変によりなくなるものを考えれば良い。
- ・ 例えば、Cs は速い成分と遅い成分があるが、Cs の親核種があるとして、親核種が Cs になった際に、どう扱うのか。
- ・ 元素毎に、生理学的な挙動を考慮して扱い方を決めている。一律で決められない。
- ・ どういう考え方、前提で計算しているのかは、明確にするべき。
- ・ ICRP は、個別の計算について具体的な記述はせず、一般論しか示さない。完成したプログラムの計算結果と ICRP の数字を比較して、表面上合っているかどうかの判断しかできない。
- ・ 一般論として、血液に吸収されるまでは shared kinetics を用いるとある。呼吸気道については、親核種のマトリクスにあわせて shared kinetics でよいと考えられるが、消化管では瞬間的に uptake されるわけではないため、dissolution と uptake を本来分けて考えるべき。shared kinetics でよいかどうか、ICRP の考え方もまだ曖昧という印象がある。私は、速溶解割合 f_r に核種毎の f_l を乗じた値、つまり independent kinetics を提案している。
- ・ OIR Part 1 を読む限りは、血液までは shared、その後は independent と読める。
- ・ 小腸から血液へ移行後、また小腸へ移ったものは、小腸 1 と小腸 2 と区別して考える必要がある。
- ・ 結果は変わるのか。
- ・ 計算してみたところ、あまり変わらない。考え方の問題である。
- ・ 指摘のあった事項も踏まえたうえで、プログラム修正を検討する。
- ・ モニタリングデータについて 10^{-10} まで精度良く計算するために許容度を適切に設定するとあるが、 10^{-10} まで精度良く計算するよう許容度を設定した場合、現実的な所用時間で計算可能か。
- ・ 可能と考えている。
- ・ 線量係数やモニタリングデータ等の CD-ROM に収録されたデータを利用する場合、許諾条件に応じたプログラムの修正が必要としているが、どのようなデータの利用を想定しているのか。CD-ROM のデータは、開発するプログラムの計算結果の検証のために有用ではあるが、プログラムで読み込み、利用する状況が分からない。
- ・ 指摘内容について、検討する。
- ・ 以前のドラフトでは、SAF の内挿方法は PCHIP を用いると明確に書かれていたと思うが、cubic spline になったのか。

- ・ 現状のドラフトでは、“such as cubic spline”と書かれており、“PCHIP”は書かれていない。ただし、PCHIP は、cubic spline の一種ではある。
- ・ 記載について、外部被ばくの換算係数の内挿と比較すると、個別の手法を強く推奨しているようには読めない。
- ・ 具体的に指定しないのだろう。
- ・ 任意の密度、粒径に対する沈着割合は考慮しないのか。
- ・ 現状では、規定値のみを考えている。
- ・ プログラム開発初期の委員会において、様々な利用状況を想定したプログラム開発を行うよう、委員から意見が出ていた。
- ・ 今回の調査に限らず、継続している事業の委員会の議論も含めて、今後の方針に反映していく。
- ・ DPUC は、線量あたりの内容物量ではなく、内容物量あたりの線量である。内容物量とは、実際にモニタリングされる量のことである。モニタリング量あたりの線量、という訳語が適切ではないか。
- ・ 時間の単位は day でよいか。
- ・ そのとおりである。
- ・ 線量評価において、体重データが必要になる理由は何であるか、確認したい。
- ・ 小児の評価において、時間変化する等価線量率を内挿する際に、従来の方法では体重の逆数を用いる。
- ・ その方法が推奨されているのか。体重の逆数でよいのか。
- ・ 現状、そうなっている。今後どうなるかは、まだ分からない。
- ・ 今後、年齢別の SAF データが公開された際に、具体的な内挿法が提示されると想定される。
- ・ 新しい線量評価モデルに基づいて評価した場合に、線量がどう変わるのか、ということが一番知りたいところである。
- ・ 委員からの意見を踏まえて、今後のプログラム修正の検討等を進めると思うが、委員からの意見集約の期限を示されたい。
- ・ 年明けに、これまでの調査、本日の議論を踏まえて、プログラム修正の検討を開始する。できれば 1/17 まで、または 1/20 にはお願いしたい。
- ・ モデルの変更による線量の変化について、報告書には記載されるのか。
- ・ 本年度の事業内容としては、計算までは実施しない。

6.4 その他

- ・ 次回委員会は、3 月前半に開催予定である。日程調査は、1 月中に実施する。

以上

平成 26 年 3 月 20 日

国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会
平成 25 年度第 2 回委員会 議事録

日本原子力研究開発機構

1. 日時

平成 26 年 3 月 11 日（火）9 時 55 分～11 時 15 分

2. 場所

東京八重洲ホール 101 会議室（東京都中央区日本橋 3-4-13）

3. 出席者及び欠席者

・出席

（委員）下委員長、石樽委員、角田委員、仲野委員、仁井田委員、松本委員、百瀬委員、
高橋委員（兼幹事）

（幹事）草野幹事

（事務局）真辺局員、黒澤局員

・欠席

（委員）遠藤委員、甲斐委員

4. 議題

- 1) 内部被ばく線量評価モデル等の変更点の調査について
- 2) 線量計算コード修正に係る調査及び検討について
- 3) 平成 25 年度業務成果報告書について
- 4) その他

5. 資料

配付資料 25-2-1 国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会
平成 25 年度第 1 回委員会議事録

配付資料 25-2-2 平成 25 年度委託業務成果報告書（案）

参考資料 25-2-1 国際放射線防護委員会技術的基準等の整備運営委員会名簿
（平成 25 年度）

6. 議事録

6.1 第 1 回議事録について

平成 25 年度第 1 回委員会議事録については、配付資料 25-2-1 の内容で平成 26 年 1 月 10 日に規制庁へ提出したことが高橋委員より報告された。

6.2 内部被ばく線量評価モデル等の変更点の調査について

配布資料 25-2-2 の第 2 章までの要点をまとめたスライドを用いて、今年度実施した内部被ばく線量評価モデル等の調査結果について、高橋委員より説明があった。

6.3 線量計算コード修正に係る調査及び検討について

配布資料 25-2-2 の第 3 章以降の要点をまとめたスライドを用いて、今年度実施した線量計算コード修正に係る調査及び検討結果について、高橋委員から説明があった。

説明を受けて、委員より以下のコメント、質問等があった。

- ・（報告書案表 3-2 に関する説明に対し）改訂 HRTM の血液への吸収に係る修正点において、 f_b と s_b の取扱いに関するメソッドが記載されていない。
- ・表には、修正が必要な箇所しか示していない。 f_b と s_b については、従来モデルと変更がなく、修正が不要なため、記載していない。
- ・ウランのアルミニウム化物のように、（報告書案図 2-4 の）(b)のモデルで評価する時は、どのように実行するのか。
- ・読み込んだデータに応じて使用するモデルを判断し、計算を行う。
- ・改訂 HRTM の粒子輸送クリアランスモデルでは、従来 BB1 と BB2、bb1 と bb2 に分けられていたものがそれぞれ BB、bb のひとつになったが、体内放射能に SAF を乗じる際に、SAF データの線源領域の区分に合わせて、BB と bb の放射能を BB1 と BB2、bb1 と bb2 に分配する必要が生じるかもしれない。SAF が BB1 と BB2 の質量加重平均として公開されれば対応は不要と思われるが、今後公開される SAF データの形によっては、対応が必要になる可能性があると考えられる。これについては検討したか。
- ・今後 ICRP から公開される SAF データでは、新しいクリアランスモデルに対応した線源領域となると予想していたことから、放射能の分配については検討していなかった。この点については、BB と bb の放射能を分配する手順を加えるか、分配割合を考慮したモデルを組んで放射能を計算するか、2つの方法が考えられる。後者の場合は、現状のプログラム、データ格納方式で対応できるが、前者の方法では、新たにパッケージを追加する必要がある。
- ・指摘のあった点について、今後 SAF データが公開された際に対応が必要になる可能性があることを議事録に残し、来年度以降の事業実施者に引き継げるようにしておく。
- ・途中でキレート剤が入る等により、移行モデルに変化が生じるような状況に対応しているか。
- ・現状のプログラムは、途中で移行係数に変化する状況には対応していない。このような計算を実行するには、移行係数に変化するタイミングで一度計算を切り、その時点の各コンパートメントの放射能を初期値として新しい移行係数でコンパートメントモデルを組み、計算を再開する必要がある。
- ・作業者については、このような評価が必要になるケースが生じるため、対応していることが望ましい。
- ・事業開始当初から、現場のニーズについてはコメントを受けているので、よく把握し、反映させたい。

6.4 平成 25 年度業務成果報告書について

配付資料 25-2-2 を用いて、委託業務成果報告書の構成、内容等について高橋委員より説明があった。

説明を受け、委員より以下のコメント、質問等があった。

- ・ 表 2-9 の欄外において粒子の形状係数について記載があるが、表 2-10 とこの表に関連した本文には、形状係数について記載がない。追記して整合性をとった方がよいのではないか。
- ・ 指摘のとおりであるため、対応する。
- ・ 表 2-1 において、1990 年勧告に対応した結腸の等価線量の計算方法は ICRP67 によるとされているが、本文 2.3.4 項②の記述及び表 2-7 では ICRP30 part 1 となっている。どちらが正しいのか。
- ・ ICRP60 の組織加重係数は、ICRP67 で残りの組織の一部が見直しになった。これに関連して、結腸の等価線量は、ICRP67 で大腸上部と大腸下部の等価線量の質量加重平均となった。したがって、表 2-1 の記載が正しく、表 2-7 の引用元も ICRP67 にすべきであった。修正する。
- ・ 結腸を大腸上部と大腸下部の 2 つに区分する点については ICRP30 が出典であるため、2.3.4 項②の記述については現状でよいと考える。ただし、等価線量の計算については、ICRP67 で記載されている内容であるので、関係する箇所を修正する。報告書全体を通して、刊行物番号の整合性等、再度確認する。
- ・ 表 2-1 に示されたモデル、データのうち、組織系動態モデルと SAF データについては特に触れられていないのは、なぜか。
- ・ 元素によらないモデル、データが対象であったため、組織系動態モデルについては詳細な調査は行っていない。また SAF データは、未公表な情報が多いため、調査対象としていない。ただし、組織系動態モデルについては、必要な情報については調査した。これらについて、あとがきに追記することで、誤解のないようにしたい。
- ・ J-PARC の RI 放出事故の際に、水銀核種の内部被ばく線量を評価する機会があった。残留放射能はホールボディカウンタを用いて測定した。線量係数は ICRP 刊行物のものを使用し、摂取量の評価については、以前原研で整備した IDEC が使用でき、評価した。このように、事業者が内部被ばく線量を評価できるように、パラメータの設定等がやりやすい形でコードが提供されることを望む。
- ・ ユーザーから常に寄せられる要望として把握しており、ぜひ反映していきたい。

6.5 その他

- ・ 議事録案を速やかに作成し、委員の皆様にお送りする。議事録案に対するコメントは、19 日までにお願いしたい。また、配付資料 25-2-2 の報告書案について更なるコメント等がある場合は、20 日までにお願いしたい。

以 上