

ICRP

Publication 78

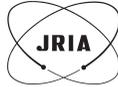
作業者の内部被ばくの 個人モニタリング

ICRP Publication 54に
置き換わるもの

作業者の内部被ばくの 個人モニタリング

ICRP Publication 54 に
置き換わるもの

1997年5月に主委員会によって採択されたもの



Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 78

This translation was undertaken by the following colleagues.

Translated by

Radiation Protection Specialists from
Department of Health Physics, Tokai Research Establishment,
Japan Atomic Energy Research Institute

Supervised by

The Committee for Japanese Translation of ICRP Publications,
Japan Radioisotope Association

Hikomichi MATSUDAIRA* (Chair)	Tatsuji HAMADA (Vice-chair)	
Masami IZAWA**	Hideharu ISHIGURO	Jiro INABA*
Tomoko KUSAMA	Sukehiko KOGA**	Toshisou KOSAKO*
Yasuhito SASAKI*	Kazuyoshi BINGO	Katsumune YAMAMOTO

* ICRP member at the time.

** Former ICRP member.

邦訳版への序

本書は、ICRPの主委員会によって1997年に採択され、Publication 78として刊行された、以前のPublication 54に代わる作業者の内部被ばくモニタリングに関するガイダンス

Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers

(Annals of the ICRP, Vol. 27, No.3/4 (1997))

を、ICRPの了解のもとに翻訳したものである。

翻訳ならびに校正は、日本原子力研究所保健物理部に所属する専門家のグループにより行われた。

この訳稿をもとに、ICRP 勧告翻訳検討委員会において、従来の訳書との整合性等につき調整を行った。なお、原文の誤りは断りなく修正してある。

平成13年3月13日

ICRP 勧告翻訳検討委員会

(ii)

(社) 日本アイソトープ協会

ICRP 勧告翻訳検討委員会

委員長	松平 寛通	((財) 放射線影響協会)
副委員長	浜田 達二	((財) 原子力安全研究協会)
委員	伊沢 正實	(元 放射線医学総合研究所)
	石黒 秀治	(核燃料サイクル開発機構)
	稲葉 次郎	((財) 環境科学技術研究所)
	草間 朋子	(大分県立看護科学大学)
	古賀 佑彦	(藤田保健衛生大学)
	小佐古敏荘	(東京大学原子力研究総合センター)
	佐々木康人	(放射線医学総合研究所)
	備後 一義	((財) 放射線計測協会)
	山本 克宗	(日本原子力研究所)

目 次

	頁	(項)
序.....	(v)	
用語解説.....	(vii)	
1. 緒言.....	1	(1)
1.1. 目的および範囲.....	1	(3)
1.2. 報告書の構成.....	2	(5)
2. 関連する委員会勧告.....	3	(6)
2.1. 限度, 拘束値および調査レベル.....	3	(6)
2.2. モニタリングの目標.....	3	(9)
2.3. 個人モニタリングプログラムの種類.....	4	(11)
2.4. 個人線量算定の必要性.....	4	(14)
3. 物質の摂取, 移行および排泄を表現するモデル.....	6	(17)
3.1. 呼吸気道モデル.....	8	(23)
3.1.1. 沈着.....	9	(24)
3.1.2. クリアランス.....	10	(26)
3.1.3. ガスおよび蒸気.....	13	(34)
3.2. 胃腸管モデル.....	14	(37)
3.3. 全身性放射能に対する体内動態モデル.....	15	(39)
3.3.1. ストロンチウム, ラジウムおよびウランに対するモデル.....	16	(42)
3.3.2. トリウム, ネプツニウム, プルトニウム, アメリシウムおよび キュリウムに対するモデル.....	18	(49)
3.4. 排泄経路.....	19	(55)
4. 個人モニタリングの方法.....	21	(58)
4.1. <i>In vivo</i> 測定.....	22	(61)
4.2. 排泄物およびその他の生物試料の分析.....	23	(68)
4.3. 空気サンプリング.....	24	(73)
4.4. 測定値に関する品質保証.....	26	(77)

(iv)

5. モニタリングプログラム	28	(81)
5.1. モニタリングプログラムの必要性.....	28	(81)
5.2. 日常モニタリング	28	(84)
5.3. 特殊モニタリングまたは作業関連モニタリング	29	(85)
5.4. 確認モニタリング	29	(86)
5.5. 傷口モニタリング	29	(87)
5.6. 医療上の介入措置後のモニタリング	30	(88)
6. 摂取量および線量の推定値における不確かさ	31	(89)
7. 付属書に与えられているデータ	33	(94)
7.1. 放射性核種に関するモニタリングデータ	33	(94)
7.2. 計算の品質保証	35	(102)
8. データの適用	36	(103)
8.1. 摂取量および線量の算定	36	(103)
8.2. 内部被ばくと外部被ばくの合算	37	(110)
8.3. 補助限度	38	(111)
8.4. 調査レベルの使用	38	(112)
8.5. 放射性核種の混合物	39	(115)
引用文献	40	
付属書：個々の核種のモニタリング用データ	41	

序

1994年、国際放射線防護委員会 (ICRP) は、作業者による放射性核種の摂取についての線量係数を刊行した (*Publication 68*)。この報告書は ICRP の最新の勧告 (*Publication 60*) を考慮に入れ、また最近改訂された呼吸気道モデル (*Publication 66*) およびいくつかの元素についての体内動態モデルの改訂版 (*Publication 56, 67 および 69*) を用いていた。その後さらに、ICRP は作業者の放射線防護に対する新たな一般原則 (*Publication 75*) を刊行している。これらの進展に照らして、作業者による放射性核種の摂取に関する個人モニタリングの新たな指針を提供することが必要であると考えられた。そこで、専門委員会 2 の作業班 (専門委員会 4 の代表を含む) が、*Publication 54* を改訂するために設置された。

本報告書は *Publication 54* に代わるものである。これは、職業被ばくにおいて重要となる選ばれた放射性核種に関するモニタリングプログラムやモニタリング結果の解釈を行う際の指針を与えるため、改訂されたモデルと新しい線量係数を使用している。

作業班の委員構成は次のとおりであった：

F. A. Fry (議長)

D. NoBke

J. Piechowski

A.W. Phipps

J. -C. Nenot (専門委員会 4 の代表)

この報告書の作成期間中の専門委員会 2 の委員構成は次のとおりであった：

A. Kaul (議長)

F. A. Fry

A. R. Reddy

A. Bouville

J. Inaba

M. Roy

X. Chen

I. A. Likhtarev

J. W. Stather

F. T. Cross

H. Métivier

D. M. Taylor

G. Dietze

H. G. Paretzke

R. H. Thomas

K. F. Eckerman

用語解説

この用語解説は3部構成となっている。第1部は放射線防護および放射性核種による線量算定において使われる用語に関連し、第2部は生理学的過程を記述するために使われる用語に関連し、第3部は操業に係る用語に関連している。

線量算定

吸収線量

次の式によって与えられる物理的線量。

$$D = \frac{d\bar{e}}{dm}$$

ここで、 $d\bar{e}$ は物質のある体積要素に電離放射線によって付与された平均のエネルギー、また dm はこの体積要素中の物質の質量である。吸収線量の SI 単位はキログラム当たりのジュール (J kg^{-1}) で、その名称はグレイ (Gy) である。

預託実効線量 ($E(\tau)$)

臓器または組織の預託等価線量と該当する臓器または組織の荷重係数 (w_T) との積の合計。

ここで、 τ は摂取後の年で表した積分時間である。積分時間は、成人について 50 年である。

預託等価線量 ($H_T(\tau)$)

放射性物質の体内摂取後に個人が受ける、個々の組織または臓器の等価線量率の時間積分。

τ は摂取後の年で表した積分時間である。積分時間は、成人について 50 年である。

線量係数

臓器または組織 T における単位摂取当たりの預託等価線量 $h_T(\tau)$ 、または単位摂取当たりの預託実効線量 $e(\tau)$ 。積分時間は、成人について 50 年である。

実効線量 (E)

次の式によって与えられる、身体のすべての組織および臓器中の荷重された等価線量の合計：

$$E = \sum_T w_T H_T$$

ここで、 H_T は組織または臓器 T の等価線量、また w_T は組織 T についての荷重係数である。

等価線量 (H_T)

(viii)

放射線 R による組織または臓器 T の等価線量 $H_{T,R}$ は、次式で与えられる：

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R}$$

ここで、 $D_{T,R}$ は放射線 R からの組織 T の平均吸収線量、また w_R は放射線荷重係数である。 w_R は無次元なので、その単位は吸収線量と同じ $J kg^{-1}$ であり、その名称はシーベルト (Sv) である。全等価線量 (H_T) は、すべての種類の放射線についての $H_{T,R}$ の合計である。

$$H_T = \sum_R H_{T,R}$$

組織荷重係数 (w_T)

身体の均等照射から生じる全損害に対するある組織または臓器の相対的寄与を表すために、その組織または臓器の等価線量を荷重する係数。

生理学

吸収

機構にかかわらない血液への物質の移動。呼吸気道においては、一般的に、粒子の解離および、可溶性物質と粒子から解離した物質の血液への取込みに適用される。

空気力学的直径 (d_{ae})

着目する粒子と同じ空気中終末沈降速度を有する単位密度 ($1g cm^{-3}$) の球の直径 (μm)。

肺胞-間質領域 (AI)

呼吸細気管支、肺胞を含む肺胞管および肺胞嚢、および間質結合組織から成る；気道分岐は 16 以上である。

空気力学的放射能中央径 (AMAD)

エアロゾル中の放射能の 50% は、AMAD より大きい空気力学的直径 (d_{ae}) の粒子に関連する。沈着が慣性衝突および沈降に依存するとき、通例 $AMAD > 0.5 \mu m$ のときに用いられる。

気管支領域 (BB)

気管 (分岐 0) および気管支 (分岐 1 ~ 8) から成る。

細気管支領域 (bb)

細気管支および端末細気管支から成る；気道分岐は 9 ~ 15 である。

骨表面近傍の細胞

骨内膜表面および上皮で被われた骨表面から $10 \mu m$ の範囲内にある軟組織。

呼吸気道モデル中のコンパートメント：

LN _{ET}	胸郭外領域から排液するリンパ管およびリンパ節。
LN _{TH}	胸郭内領域から排液するリンパ管およびリンパ節。
ET _{seq}	鼻道中に沈着した粒子のうちのわずかな部分が、気道組織中で長期に残留することを表すコンパートメント。
BB _{seq}	気管支領域に沈着した粒子のうちのわずかな部分が、気道壁中で長期に残留することを表すコンパートメント。
bb _{seq}	細気管支領域に沈着した粒子のうちのわずかな部分が、気道壁中で長期に残留することを表すコンパートメント。

内容量

特定の臓器，組織，または身体内の放射性物質の放射能量

皮質骨

ICRP *Publication 20* (ICRP, 1973) および *Publication 70* (ICRP, 1995b) の「緻密骨」と同じ，すなわち単位体積当たりの表面積が $60\text{cm}^2\text{ cm}^{-3}$ 未満のすべての骨；標準人におけるその質量は 4000g である。

胸郭外 (ET) 気道

前鼻道 (ET₁) と，後鼻道，喉頭，咽頭および口 (ET₂) から成る。

胃腸管における吸収割合 (f_1)

f_1 値は経口摂取された元素が体液に直接吸収される割合である。

摂取量

身体内に入る放射性物質の放射能量。その主要な経路は吸入，経口摂取，もしくは健全なまたは傷ついた皮膚を通じてのものである。

粒子輸送

物質を呼吸気道から胃腸管およびリンパ節へ取り除く過程，また物質を呼吸気道のある部位から他の部位へ移動させる過程。

赤色骨髄 (活性)

大部分の造血幹細胞を含む骨髄の成分。

標準人

Publication 23 (ICRP, 1975) で定義され，*Publication 66* (ICRP, 1994a) および *Publication 70* (ICRP, 1995b) で更新された，解剖学および生理学的特性をもつ成人。

呼吸気道クリアランス

粒子輸送および血液への吸収による呼吸気道からの物質の除去。

呼吸気道沈着

吸い込まれた空気物質のうち呼息の後どのくらい残留するかを決定する初期過程をいう。

(x)

物質の沈着は、吸息および呼息の両方の間に起こりうる。

全身性放射能

呼吸気道または胃腸管からの吸収、もしくは傷口からの直接吸収によって体液に入った放射能。

胸郭内 (TH) 気道

気管支、細気管支および肺胞-間質領域を合わせていう。

梁骨

ICRP *Publication 20* (ICRP, 1973) および *Publication 70* (ICRP, 1995b) の「海綿骨」に同じ、すなわち単位体積当たりの表面積が $60\text{cm}^2\text{ cm}^{-3}$ より大きいすべての骨；標準人における質量は 1000g である。

通過コンパートメント

組織中の沈着部位または排泄先の部位からの放射性物質の体液を通じた移動を説明するために、この報告書で用いられる大部分の体内動態モデルに（数学的便宜のために）導入されているコンパートメント。

タイプF物質

呼吸気道から体液に容易に吸収される沈着物質。（速い吸収速度。）

タイプM物質

呼吸気道から体液へ中位の速度で吸収される沈着物質。（中位の吸収速度。）

タイプS物質

呼吸気道中で比較的不溶性の沈着物質。（遅い吸収速度。）

取込み量

呼吸気道または胃腸管から、もしくは皮膚を通じて体液に入る物質の量。

操業に係る用語

管理区域

軽微な事故が発生する可能性を含む通常の作業条件の区域であって、被ばく管理を特定の目的とする十分に確立された手順と慣行に従うことが作業者に要求される区域。

線量拘束値

最適化の過程に本来含まれる経済的および社会的判断の結果生じそうな不公平を制限するために、防護の最適化において使われるある定められた線源からの個人線量の値。

職業被ばく

操業管理者の責任であると合理的に見なすことのできる状況の結果として、作業時に受ける

放射線被ばく

参考レベル

それを超えるとある決められた対策または意思決定が行われるような測定される量の値。これらには次のようなものがある：

記録レベル これを超えたら、その結果が記録されるべきであり、これより低い値は無視される。

調査レベル これを超えたら、その結果の原因または意味合いが調査されるべきである。

対策レベル これを超えたら、ある救済措置が考慮されるべきである。

監視区域

その作業条件が監視のもとにあるが、通常は特別な手順を必要としない区域。

1. 緒言

(1) 1988年に国際放射線防護委員会(ICRP)は、*Publication 54*:「作業者による放射性核種の摂取に関する個人モニタリング:立案と解釈」(ICRP, 1988b)を刊行した。この文書は、作業者による放射性核種の摂取の測定結果の解釈を含む、個人モニタリングプログラムの立案に関する指針を与えている。これは、当時の呼吸気道モデル、胃腸管モデルおよび体内動態モデルに基づく放射性核種の年摂取限度の値を与えている *Publication 30* (ICRP, 1979a, b, 1980, 1981a, b, 1982a, b, 1988a)の姉妹書であった。

(2) その後、放射線防護に関して大きな進展があった。新しく定められた一連の被ばく状況に関する首尾一貫した放射線防護体系とともに、新しい防護量が導入された(ICRP, 1991)。さらに委員会は、これらの一般的勧告に基づき、作業者の放射線防護に関する一般原則の新しい助言を出版した(ICRP, 1997)。これとは別の、しかし並行した進展として、呼吸気道モデル(ICRP, 1994 a)と骨格に関する解剖学的及び生理学的基礎データ(ICRP, 1995b)の全面的改訂および選ばれた核種に関する体内動態モデルの改訂(ICRP, 1989, 1993, 1995 a, c)が行われてきた。*Publication 68* (ICRP, 1994b)で与えられている、作業者による放射性核種の摂取に関する線量係数の計算は、これらの新しいモデルを使用している。したがって、*Publication 54* (ICRP, 1988b)を、最も新しい放射線防護勧告に合致させ、現在の体内動態モデルを使用した新しい文書に置き換えることが必要になった。

1.1. 目的および範囲

(3) この文書は、作業者による放射性核種の摂取に関する個人モニタリングプログラムの立案および評価結果の解釈について一般的な指針を与える。これは、委員会の、作業者の放射線防護に関するモニタリングの一般原則(ICRP, 1997)に続くものであり、その原則と関連づけて使用されるべきである。

(4) この一般指針は、職業被ばくにおける潜在的な重要性から選択されたいくつかの放射性核種に関するモニタリングプログラムの立案および測定結果の解釈の際に使用できる詳細な数値情報を与えるために使用される。1回摂取後の様々な時間における、あるいは、日常モニタリングにおける測定量の予測値(全身内容量、臓器内容量、1日当たりの尿中排泄量、1日当たりの糞中排泄量)が、付属書に与えられている。予測値は、標準作業者、デフォルト体内動態モデルおよびパラメータのデフォルト値に関して計算されている。放射性核種の摂取による重大な被ばくの可能性がある団体においては、それらに固有の作業条件、取り扱う放射性

核種の物理的・化学的性質を綿密に検討し、特定の要求を満たすモニタリングプログラムを立案する必要がある。すべての実際の状況に対する詳細な指針を与えることは、この報告書の範囲外である。

1.2. 報告書の構成

(5) この報告書の第2章では、関連する委員会勧告を説明する。第3章では、モデルに関する事項のうち、体内において放射性物質がどのような挙動をするかの理解に関連する部分の概要を示す。さらに詳細な情報および線量算定に関連する部分については、読者は、関連する勧告（ICRP, 1989, 1993, 1994 a, 1995 a, c）を参照されたい。個人モニタリングの方法の記述を第4章に、モニタリングプログラムの種類の記述を第5章に示す。第6章では不確かさについて論じており、第7章および第8章では、付属書に与えられているデータの計算のためにどのようにモデルが使用されているか、また、モニタリングプログラムの立案や測定結果の解釈のためにこれらのデータをどのように使用できるかについて記述する。

2. 関連する委員会勧告

2.1. 限度，拘束値および調査レベル

(6) 委員会は職業被ばくに関して、いかなる1年間にも実効線量は50mSvを超えるべきでないという付加条件つきで、5年間において100mSv（平均値が1年当たり20mSv）という実効線量限度を勧告している（ICRP, 1991）。これに加えて、眼の水晶体、皮膚および手足についての等価線量の年限度も示されているが、これらが放射性核種の摂取に関連したものとなることはなさそうである。作業者が外部放射線および放射性核種の摂取の両方から被ばくする場合には、外部放射線とその年における摂取による預託実効線量を合計した実効線量が年限度に適用される。内部被ばくについては、委員会は、1年当たり20mSvという預託実効線量の最大値に基づき、放射性核種の摂取を管理すべきであると勧告している。

(7) ある特定された線源からの個人線量の値としての線量拘束値は、拘束値を超える個人線量の原因となる防護の選択肢を除外するために、防護の最適化において使用すべきである。線量拘束値は、防護の最適化の不可欠な要素であり、したがって前向きに使用される。これらは、過去にさかのぼって適用される限度ではない。

(8) 調査レベルは、そのレベルを超える結果になった場合、その原因あるいはそれが包含する意味合いを調査すべきレベルとして定義される。したがって、過去にさかのぼって使用される。調査レベルは、個人あるいは作業環境に関連する作業上のどんなパラメータに関しても設定できる。放射性核種の摂取による個人被ばくのモニタリングにおいては、調査レベルは身体内容量、排泄物中の放射能量、あるいは個人用空気サンプラにより測定した空气中放射能濃度と関係づけることが最もありそうである。数種類の放射性核種の摂取の場合には、1年間の全摂取による預託実効線量は20mSvを超えるべきでない。個々の放射性核種の調査レベルの設定に当たっては、他の放射性核種の存在および外部放射線からの線量の寄与を考慮に入れるべきである。放射性核種の混合物のモニタリングに関するさらに詳しい指針が、第8章に与えられている。

2.2. モニタリングの目標

(9) モニタリングという用語は、測定と測定結果の解釈の両方を意味するものとする。放射性物質の摂取量推定のために行われる個人モニタリングには、全身または身体部位の放射性核種の直接測定、排泄物中の放射性核種の測定、個人が携帯する空気サンプラを用いての空

気中放射能濃度の測定といった手法が、ひとつまたはそれ以上含まれるであろう。どの測定も、各々の放射性核種を特定してその放射能量を定量し、その測定結果を摂取量あるいは預託実効線量に換算して解釈できるべきである。上に述べた個人モニタリングの手法が十分な感度を持っていないような状況があることがあり、このような事態においては、作業場所のモニタリング手法に頼る必要があるかもしれない。

(10) 放射性核種の摂取に関する個人モニタリングの主要な目標を以下に示す：

- (i) 管理上および規制上の要件に従っていることを証明するため、預託実効線量および、適切な場合には、著しく被ばくした組織の預託等価線量の算定値を得ること、
- (ii) 操業管理や施設設計に寄与すること、および、
- (iii) 事故被ばくの場合、適切な健康監視および治療の開始と支援のための有効な情報を提供すること。

2.3. 個人モニタリングプログラムの種類

(11) 放射性物質の摂取に関する個人モニタリングは、汚染管理に特に関連した管理区域として指定され、かつ、かなりの摂取が予想される理由のある区域で働く作業員に対してのみ日常的に行われるべきであると、委員会は述べている (ICRP, 1991)。通常の作業の結果、作業場所が実質的に絶えず汚染するリスクがある状況のときにだけ、日常モニタリングが必要である。日常モニタリングプログラムにおける測定は、認知された摂取とは無関係のあらかじめ決められた期日に行われ、このため、摂取のパターンについてある程度の仮定が必要である。

(12) これとは別のモニタリングプログラムが、ある特定の作業に関連して、あるいは、現実の異常状況または異常が疑われる状況における摂取量の決定のため行われることがある。これらの状況においては、摂取の時期あるいは摂取があったかもしれない時期がわかっており、また作業場所のモニタリングプログラムが、汚染物の物理的および化学的性質について、いくらかの情報を提供するかもしれない。

(13) 作業状況が満足すべきものであることを確認するために、臨時の測定が実施されることがある。

2.4. 個人線量算定の必要性

(14) 個人モニタリングが必要とされる作業員のグループを特定することが必要であると委員会は述べている (ICRP, 1991)。個人モニタリング実施の決定は多くの因子に依存する。放射性物質の摂取に関する個人モニタリングは、汚染管理に特に関連した管理区域として指定

され、かつ、かなりの摂取が予想される理由のある区域で働く作業者に対してのみ日常的に行われるべきである。この助言による決定は、判断に基づくべきものであると委員会は勧告する。

(15) より低いレベルの個人線量の算定に論拠を与えるような別の、たとえば技術上または管理上の要因がいくつかある。しかしながら、線量算定における相対的な不確かさは、線量レベルが低いと増加するので、線量が1年間で1 mSvより低い場合、線量を公式に算定することは一般的に不適當である。

(16) 経験によれば、以下の操業に関わる作業者については内部被ばくに関する日常個人モニタリングを考慮する必要がある：

- (i) 大量の気体状または揮発性物質の取扱い、たとえば、大規模な生産工程、重水炉および発光体製造におけるトリチウムとその化合物の取扱い、
- (ii) プルトニウムおよびその他の超ウラン元素の加工、
- (iii) トリウム鉱石の加工および、トリウムとその化合物の使用（これらの活動は、放射性粉じん、トロン（ラドン-220）とその娘核種の両方による内部被ばくをもたらしうる。）、
- (iv) 高品質のウラン鉱石の選鉱と精錬、
- (v) 天然ウランと低濃縮ウランの加工と原子炉燃料の製造、
- (vi) 大量の放射性核種の製造、および、
- (vii) たとえば治療のための、大量のヨウ素-131の取扱い。

作業場所のモニタリングの結果もまた、作業場所の日常モニタリングプログラムの必要性を確認することを目的とした特殊個人モニタリングの臨時のプログラム（5.3節参照）の必要性を示すことがある。

3. 物質の摂取，移行および排泄を表現するモデル

(17) 体内あるいは排泄物中の放射能の測定値を，摂取量あるいは預託実効線量に換算して解釈するためには，放射性物質の人体における挙動についての知識が欠かせない。本章の目的は，放射性核種の体内への摂取経路，それに続く体内における移行，および本報告書で用いられているそれらのモデルを一般的な言い方で述べることである。本報告書では，それらのモデルの概要のみを記述する。詳細については，読者はもとの報告書(ICRP, 1989, 1993, 1994a, 1995a, c)を参照されたい。

(18) 本章で記述されたモデルは，摂取後のある特定の時期における体内あるいは臓器内の内容量と日尿中排泄量あるいは日糞中排泄量を計算するために用いられる。これらのデータは，選択された核種に関して，デフォルトの肺吸収タイプと f_1 値ごとに付属書に与えられている。ある放射性核種について，作業環境において存在しそうな物理的および化学的形態の知見があるならば，適切な吸収タイプと f_1 値が選択されるべきである。ここで選択された放射性核種は，原子力産業および原子力以外の産業での職業被ばくにおいて重要であると考えられるものである。本報告書におけるいくつかの放射性核種に関しては，全身性放射能についての簡易な体内動態モデルが用いられる(3.3節参照)。このタイプのモデルは，預託線量を支配するコンパートメントにおける長期残留の予測に重点を置いて開発された。このため，特に摂取後の初期段階において，信頼性のあるバイオアッセイ量の推定値をもたらさないかもしれない。体重，年齢，その他の因子の違いによって，結果に個人変動の余地があることにも注意すべきである。

(19) 場合によっては，たとえば，粒径分布または呼吸器系の吸収特性のような追加情報を最初に決定することによって，もっと正確な算定を実行することが重要である。呼吸気道モデルは，吸入された放射性核種について，物質固有のパラメータ値を容易に適用できるように設計されている。ある特定の物質の挙動が，本報告書で採用したデフォルトの体内動態モデルの挙動と著しく異なることが予想されるならば，そのデータを考慮するためにモデルのパラメータを修正すべきである。

(20) 図1に摂取経路，体内移行および排泄経路を示す。呼吸気道，胃腸管，無傷の皮膚と傷口は，体内に入る主要な経路である。放射能の一部は血液に吸収される。この経路で体液(通過コンパートメント)に到達した放射能は，全身性物質として知られている。ついで放射能は，変化に富みときには複雑な移行をし，それが体内分布および排出の経路と速度を決定する。全身性放射能の体内分布は，トリチウム水の場合には広がりがあり，比較的均等である。また，たとえば，ヨウ素(甲状腺)，アルカリ土類金属(骨)，プルトニウム(骨と肝臓)の場

合には、ある臓器や組織中に局所化している。

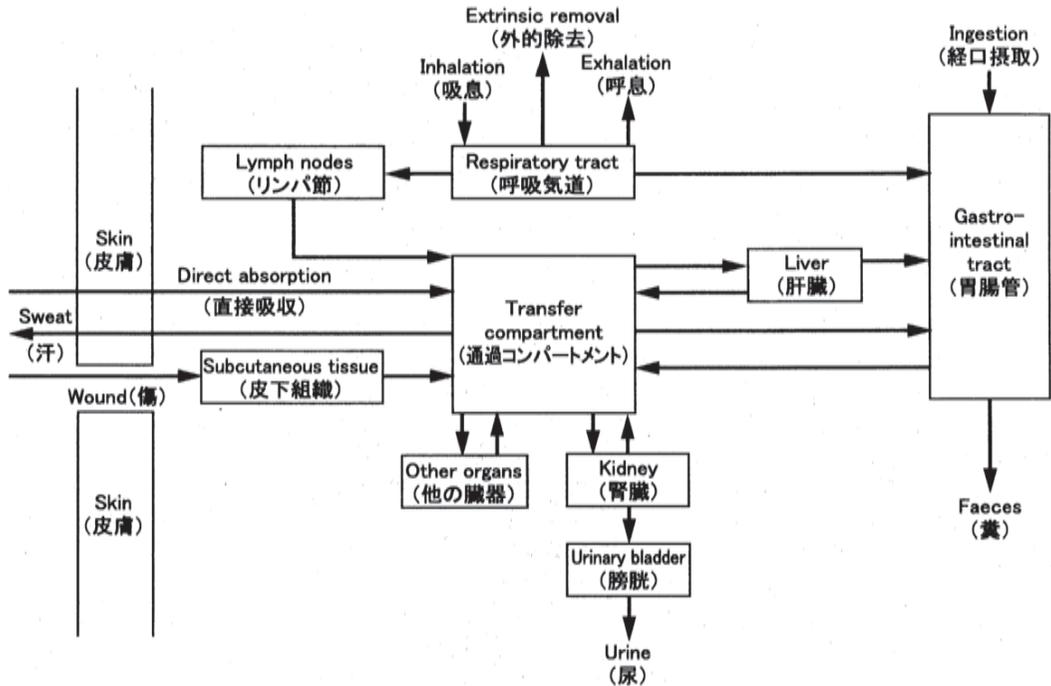


図 1. 摂取、移行および排泄の経路

(21) 沈着した物質の体内からの除去は、主に尿中排泄と糞中排泄によって起こる。尿中排泄とは、血漿と細胞外液からの尿中への除去である。糞中排泄は2つの成分を持つ。すなわち、胃腸管を通しての全身性物質の除去である全身性糞中排泄、および、胃腸管で吸収されずに通過した物質の直接糞中排泄である。

(22) 主要な摂取経路（吸入と経口摂取）のモデルについては、後の節に記述する。いくつかの核種に対しては、皮膚汚染からの直接の取込みを考慮する必要がある。放射性核種で汚染されたエアロゾル、液体または表面との接触によって、皮膚は汚染される。衣類は、皮膚汚染の重要な汚染源となることがある。さらに、濡れた衣類は汚染源物質を皮膚に密着させることがあり、それによって皮膚透過の可能性が増大する。

皮膚からの放射性物質の取込みは、起こり得る状況が大きく変わりやすいので、一般的なモデルはない。モデルは、多くの因子：化合物の化学形、汚染部位とその面積、皮膚の生理的な状態などを考慮に入れなければならない。無傷の皮膚は、体内への物質の取込みを阻止する良いバリアである。一般的に、放射性核種は、無傷の皮膚をかなりの程度で通り抜けることはない。しかし、2、3の元素は、急速に移行することがある。その最も重要なものはトリチウム水であり、本報告書の中で考慮された唯一のケースである。また、ヨウ素も皮膚を通して取り込まれることがあるが、規模はもっと小さいであろう。

3.1. 呼吸気道モデル

(23) *Publication 66* (ICRP, 1994a) の中で記述されたモデルにおいて、呼吸気道は、5つの領域によって表される(図2)。胸郭外(ET)の気道は、前鼻道ET₁と、後鼻道、口腔、咽頭および喉頭から成るET₂とに分割されている。胸郭内の領域は、気管支領域(BB: 気管と気管支)、細気管支領域(bb)、そして、肺胞-間質領域(AI: ガス交換領域)である。胸郭外および胸郭内気道はリンパ組織(それぞれLN_{ET}とLN_{TH})をともなう。

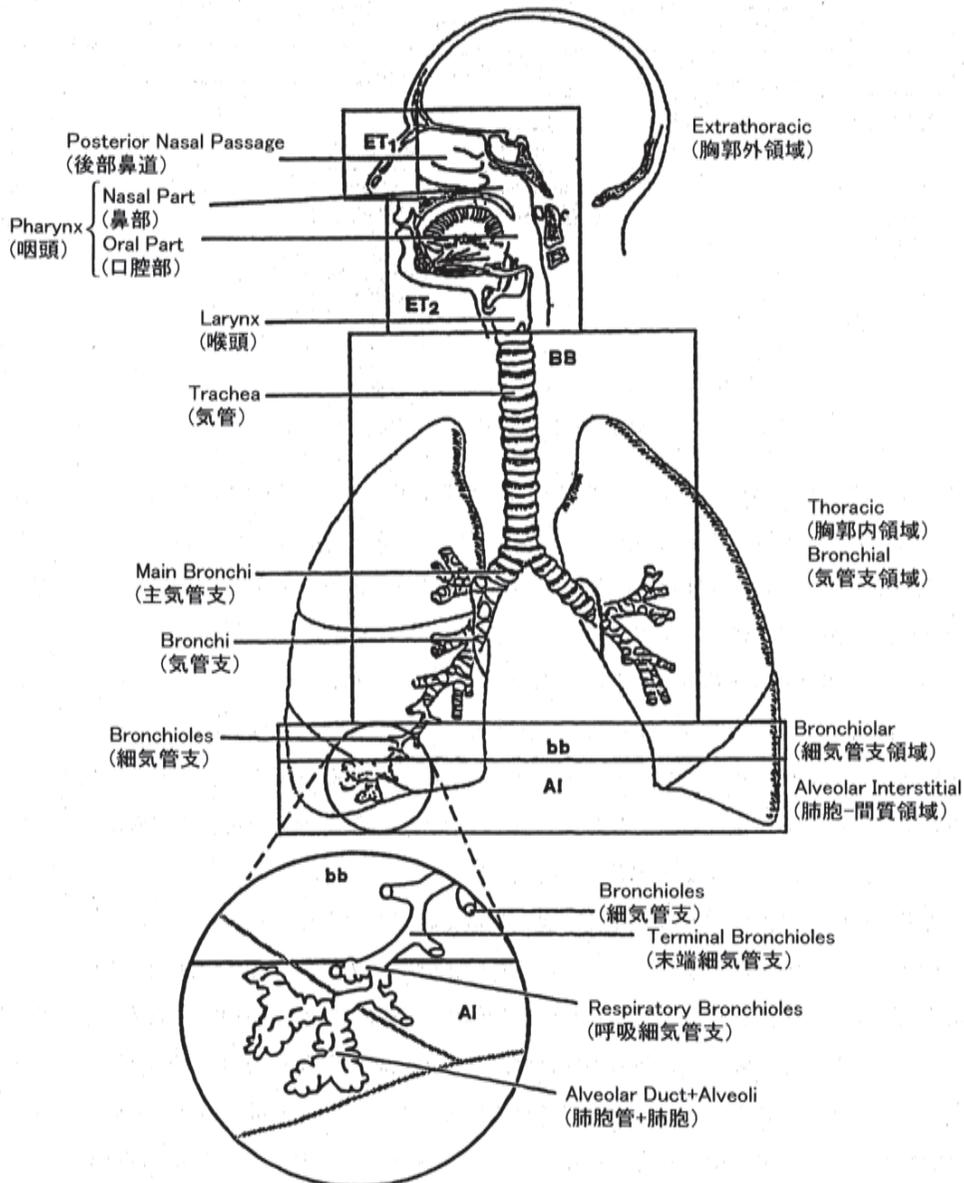


図 2. 呼吸気道

3.1.1. 沈着

(24) この沈着モデルは、実用上重要なすべてのエアロゾルサイズ (0.6nm–100 μ m) について、各領域におけるエアロゾルの沈着割合を評価する。ET 領域については、測定された沈着効率は、粒径と気流の特性パラメータと関連づけられ、解剖学的寸法によるスケーリングによって他の条件下 (たとえば、性別や人種) における沈着を予測する。

胸郭内気道については、BB, bb および AI 領域の粒子沈着を各々計算し、また対象者の肺の大きさと呼吸率の影響を数量化するために、ガス輸送と粒子沈着の理論的モデルが用いられる。粒子沈着をモデル化するためには、吸息と呼息の両期間を通じて、これらの領域を一連のフィルタとして扱う。各々の効率は、競合的に作用する空気力学的過程 (重力沈降, 慣性衝突) と熱力学的過程 (拡散) を考察することによって評価する。各領域の沈着割合は、中央径 0.6nm における 1.0 から、約 1 μ m 以上における 2.5 へと増加する粒子中央径の関数とした幾何学的標準偏差 (σ_g) をもつ、対数正規粒子径分布のエアロゾルに対して計算されている (Publication 66, 170 項)。沈着パラメータは、作業者の 3 つの基準活動レベル (着席, 軽い運動および激しい運動) について与えられている。

(25) 作業者の放射性核種の吸入摂取に関しては、標準的な対象者は、軽作業中で鼻呼吸をしている通常の成人男性とする。職業被ばくについて今回勧告した空気力学的放射能中央径 (AMAD) のデフォルト値は 5 μ m (Publication 68) であり、これは、Publication 30 で採択されたデフォルト値である 1 μ m よりも作業場所のエアロゾルをより適切に代表する値と考えられる。表 1 に、AMAD が 5 μ m であるエアロゾルに対する、標準的作業者の呼吸気道の各領域における沈着割合が与えられている。

表 1. 標準作業者における吸入エアロゾルの領域ごとの沈着 (吸入放射能の%)
(値は丸めてある。)

領域	AMAD 5 μ m の沈着 (%)
ET ₁	34
ET ₂	40
BB	1.8
bb	1.1
AI	5.3
合計	82

3.1.2. クリアランス

(26) このモデルは、呼吸気道からのクリアランスのいくつかの経路を記述する(図3)。ET₁に沈着した物質は、鼻をかむなどの外的手段によって除去される。この他の領域では、クリアランスは、胃腸管(GI)およびリンパ節への粒子の移動(粒子輸送)と、呼吸気道中の粒子から血液への物質の吸収との間で競合的に起こる。粒子輸送による除去速度と血液への吸収による除去速度は独立しているとする。

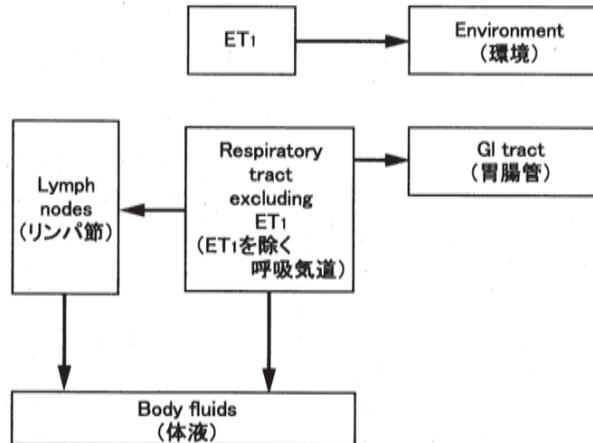


図3. 呼吸気道からのクリアランスの経路

(27) 粒子輸送速度は、すべての物質に対して同一であると仮定する。したがって、すべての物質の粒子輸送を記述するために単一のコンパートメントモデルが用意される(図4)。粒子輸送速度は、哺乳類では種によって大きく変化することが知られているので、速度定数の標準値は、可能な限り人についての研究から導出された。図4はそのまま、完全に不溶性の物質の残留とクリアランスとを記述するであろう。しかし、上で指摘したように、一般的には同時に血液への吸収が存在する。

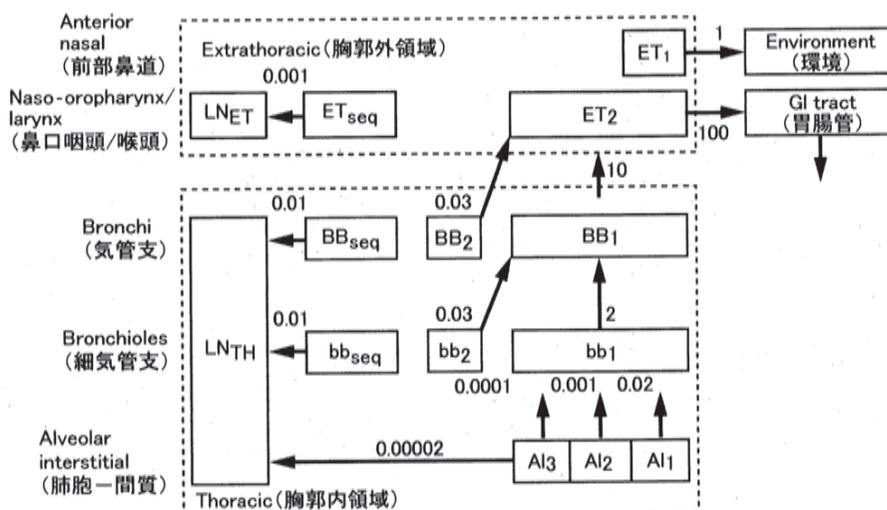


図 4. 各呼吸気道領域からの時間に依存する粒子輸送を表すコンパートメントモデル。
速度は矢印の横に d^{-1} の単位で示されている。(ICRP, 1994 a)

(28) 吸収は、沈着した物質の物理的形態と化学的形態とに依存する。吸収が起こらない ET_1 を除いて、すべての領域（リンパ節を含む）で吸収は同じ速度で起こると仮定する。吸収は、2段階の過程、すなわち、血液に吸収される物質への粒子の解離（溶解）と、可溶性物質および粒子から解離した物質の血液への吸収（取込み）である。

(29) 時間に依存する溶解を説明するために、沈着した物質の一部は比較的速く溶解し、残りはゆっくり溶解すると仮定する。*Publication 66* では、これを表すために図 5 に示したモデルを用いる。このモデルでは、呼吸気道に沈着した物質は、「初期状態にある粒子」と名付けられたコンパートメントに割り当てられ、このコンパートメント内で物質は速度 s_p で溶解する。物質は、同時に、「変換された状態にある粒子」と名付けられたコンパートメントへ（速度: s_{pt} で）移行する。このコンパートメント内では、物質は異なる溶解速度 (s_i) を持つ (s_{pt} に対する s_p の比は、速く溶解するものの割合とほぼ同じになる。)。いろいろな状況において、「変換された状態にある粒子」は、表面層上の比較的溶けやすい成分の溶解後の残留物質、あるいはマクロファージによって取り込まれた物質を代表するかもしれない。

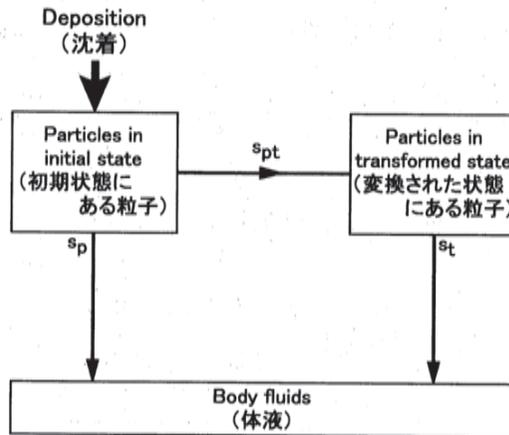


図5. 血液への瞬間的取込みが引き続いて起こる，呼吸気道中での時間に依存する溶解を表すコンパートメントモデル (ICRP, 1994a)

(30) 図5に示した系は，図4に示した粒子輸送コンパートメントモデルの各々のコンパートメント (ET_1 を除く) にあてはまる。このように，物質は，「初期状態にある粒子」を含んだ13のコンパートメントの各々から，「変換された状態Tにある粒子」を含んだコンパートメント k_T へ速度 s_{pt} で移動する。「変換された状態にある粒子」は，粒子輸送によって「初期状態にある粒子」と同じ速度で除去される。

(31) 人または動物の信頼できる実験データが存在する化合物については，呼吸気道モデルにおいて，物質固有の吸収速度が用いられるべきであることを勧告する。これ以外の化合物については，吸収が速い (タイプF)，中位である (タイプM)，あるいは遅い (タイプS) (広義には，*Publication 30*における吸入のクラスD，WおよびYに対応する) のいずれと考えられるかに応じて，デフォルトパラメータを勧告する。それぞれに対する勧告値は，パラメータ s_p ， s_{pt} および s_t によって規定され，表2に与えられている。「結合した」状態はデフォルトパラメータとしては用いられず，3タイプのすべてについて $f_b=0$ である。

表2. タイプF, MおよびSの物質のデフォルトの吸入速度

タイプ	F (速い)	M (中位)	S (遅い)
モデルパラメータ(d^{-1}):			
s_p	100	10	0.1
s_{pt}	0	90	100
s_t	-	0.005	0.0001

(32) おおよその半減期で表現される吸収速度、およびそのそれぞれの速度に対応して、体液に到達する各領域に沈着した物質の量は、以下のように要約できる：

タイプF： 10分の半減期で100%が吸収される。BB, bb および AI に沈着したほとんどすべての物質に迅速な吸収が起こり、ET₂に沈着した物質の50%が粒子輸送により胃腸管へ取り除かれる。

タイプM： 10分の半減期で10%が、140日の半減期で90%が吸収される。BB および bb における沈着物の約10%に迅速な吸収が起こる。そして、ET₂に沈着した5%の物質に迅速な吸収が起こる。AI への沈着物の約70%が最終的に体液に到達する。

タイプS： 10分の半減期で0.1%が、7000日の半減期で99.9%が吸収される。ET, BB あるいは bb からの吸収はほとんどなく、AI における沈着物の約10%が最終的に体液に到達する。

3つの吸収のタイプすべてについて、ET₁に沈着したすべての物質は、外的手段によって除去される。吸収されない沈着物質の大部分は、粒子輸送により胃腸管へ取り除かれる。リンパ節へ輸送された少量が、呼吸気道におけるのと同様の割合で体液へ吸収され続ける。

(33) この報告書の目的のためには、*Publication 30* の体系においてクリアランスがクラスD, WまたはYとして与えられた化合物には、それぞれ、吸収のタイプF, MまたはSを割り当てる。これは、*Publication 68* (ICRP, 1994b) において採用されたアプローチと整合する。

3.1.3. ガスおよび蒸気

(34) 粒子の形で吸入された放射性核種については、呼吸気道への侵入と沈着はエアロゾル粒子の粒径分布に支配されると仮定する。ガスおよび蒸気に対しては状況が異なり、放射性核種は、呼吸気道への侵入の部位において、その化合物の化学的性質に依存した特定の挙動を示す。

(35) この報告書の目的のためには、*Publication 30* で仮定されたガスおよび蒸気の挙動がそのまま用いられているが、*Publication 66* の形式を用いて表現されている。新しいモデルでは、ガスと蒸気に対して3つのクラスを割り当てている (*Publication 66*, 210 項)：

- ・クラスSR-1 (可溶性または反応性)。呼吸気道組織での残留と、吸入放射能の100%よりは少ないと思われる全身性循環への取込みが考慮される。
- ・クラスSR-2 (非常に可溶性または反応性)。ここで考察される例としては、吸入放射能の完全かつ即時の全身性取込みがある。

・クラス SR-0 (不溶性かつ非反応性)。ガス雲中でのサブマージョンによる外部照射と呼吸気道中のガスによる内部照射が考慮される。

(36) この報告書で考慮された放射性核種のうち、2つだけがガス状で現われそうである。トリチウム水蒸気の形のトリチウムは、血液中への即時の取込みによりクラス SR-2 として取り扱われる。化学形を変化させることなく体液中に完全にかつ即時に移行する物質は、現在、タイプ V に指定されている (ICRP, 1995b)。吸入されたトリチウムガスのごく一部 (0.01%) が身体に吸収され、トリチウム水に変換される (ICRP, 1994a)。ヨウ素蒸気の形のヨウ素はクラス SR-1 に割り当てられ、その沈着は 10% が ET_1 、40% が ET_2 および 50% が BB で起こり、引き続き挙動はタイプ F として取り扱われると仮定されている。経皮吸収についても考慮する必要があり、トリチウム水蒸気の場合には、このことが吸入による預託実効線量への付加分 50% の説明となるであろう (ICRP, 1979)。

3.2. 胃腸管モデル

(37) 物質は、経口摂取により直接的に、上述した呼吸気道からの移行により間接的に、また、他の身体臓器からの移行により胃腸管に到達するであろう。この報告書では、*Publication 30* (ICRP, 1979a) に記述された胃腸管のコンパートメントモデルを使用している。

(38) 胃腸管は 4 つの部分により代表されている (図 6)。それぞれの部分は単一のコンパートメントとして考慮され、あるコンパートメントから次のコンパートメントへの移行は一次微分方程式で表される動態により支配されていると仮定されている。コンパートメント間の移行に対する速度定数 λ は、表 3 に与えられている。このモデルでは、小腸 (SI) は胃腸管から体液への吸収が起こる唯一の場所であると仮定されている。全身性体液への放射能の移行に対する速度定数 λ_B は、安定元素が経口摂取により体液に到達する割合である f_1 から概算することができる。

$$\lambda_B = \frac{f_1 \lambda_{SI}}{1 - f_1}$$

元素ごとにいくつかの化合物に対する f_1 の値が付属書に与えられている。

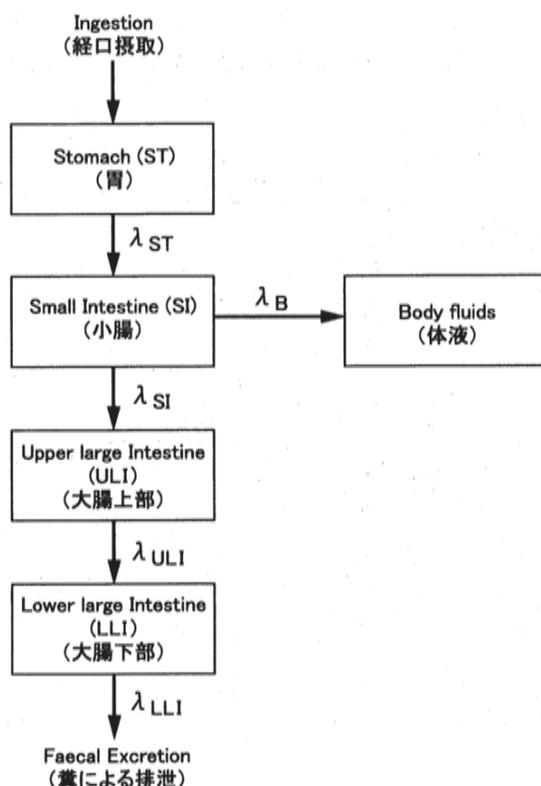


図 6. 胃腸管の中の放射性核種の動態を記述するために使用する数字的モデル (ICRP, 1979a)

表 3 胃腸管中の放射性核種の動態を記述するために使用するモデルのおもなパラメータの値

胃腸管の区分	平均滞留時間 (h)	λ (d^{-1})
胃 (ST)	1	24
小腸 (SI)	4	6
大腸上部 (ULI)	13	1.8
大腸下部 (LLI)	24	1

3.3. 全身性放射能に対する体内動態モデル

(39) 委員会は、*Publication 30* (ICRP, 1981a) の刊行以後に開発された、選ばれた放射性核種についての新しい体内動態モデル (ICRP, 1989, 1993, 1995a, c) を発表した。これらのモデルは *Publication 68* (ICRP, 1994) および本報告書に用いられた。この報告書において考察されたそれぞれの元素に対するモデルは、付属書に簡潔に要約されている。

(40) 水素、コバルト、ルテニウム、セシウムおよびカリホルニウムについては、組織系のモデルは、ICRP *Publication 30* に与えられたモデルと同様に、コンパートメントの単純な

線形連鎖として取り扱われている。排泄過程のモデル化は3.4節に記述されている。吸入摂取、経口摂取および全身性体液への移行による摂取に着目した、これらの元素に対して一般化されたモデルが図7に示されている。

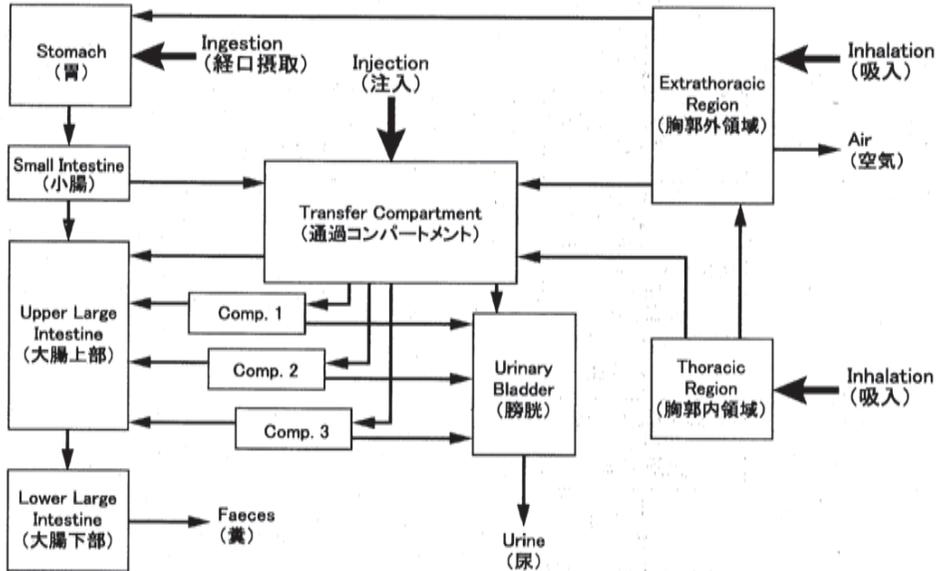


図7. 水素、コバルト、ルテニウム、セシウムおよびカリホルニウムに対して本報告書で用いた一般化されたコンパートメントモデル

(41) 生理学に基づく2つの汎用モデルが開発された。ひとつはストロンチウム、ラジウムおよびウランに適用されており、もうひとつはトリウム、ネプツニウム、プルトニウム、アメリカシウムおよびキュリウムに適用されている。これらについては以下に簡潔に記述されている。特別なモデルも鉄 (ICRP, 1995a) およびヨウ素 (ICRP, 1989) に対して開発され、これらについては付属書に記述されている。

3.3.1. ストロンチウム、ラジウムおよびウランに対するモデル

(42) アルカリ土類元素であるストロンチウムとラジウムは、体内のカルシウムの挙動に従うが、生体膜と骨の無機質による弁別によって、カルシウムと異なる移行速度を示す。両元素は、注入後の早い時期には、骨への取込みおよび骨における分布に類似性を有し、また、2、3ヶ月以内で、全身の放射能のほとんどすべてが骨の無機質に入る。同じような挙動をすることから、適切に修正された上で、同様な汎用モデルがウランに対しても用いられる。

(43) 呼吸気道または胃腸管から血液(血漿)に入ってくる放射能は、骨と軟組織によって保持されるか、尿中および糞中に排泄される(図8)(ICRP, 1993, 1995a)。軟組織コンパートメントから放出されるすべての放射能は血漿に戻されると仮定する。血漿に返された放射能は、血漿に最初に入ってきたときと同じパラメータ値に応じて、各組織と排泄物との間で再配分されると仮定する。

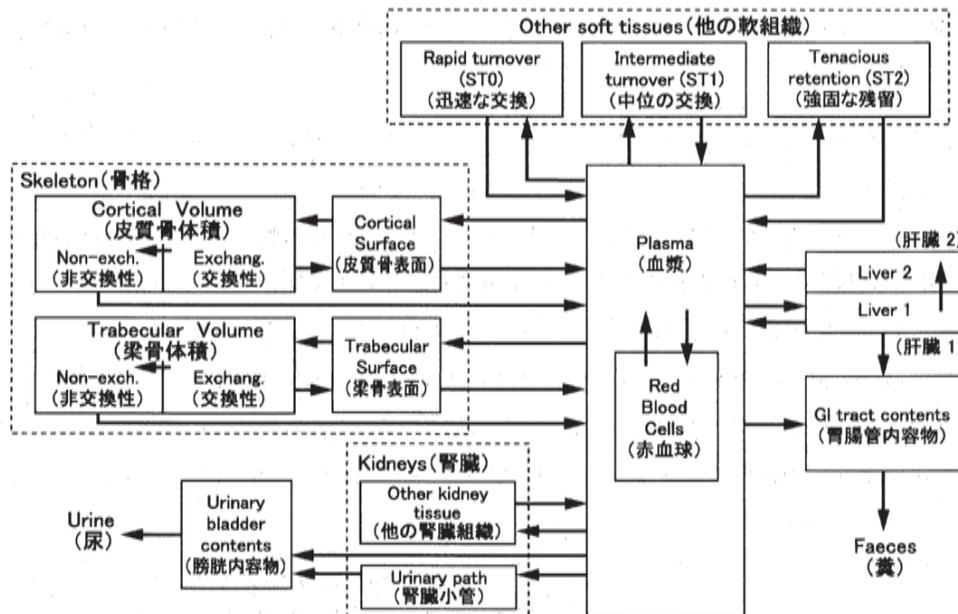


図8. ストロンチウム,ラジウムおよびウランに対する体内動態モデル

(44) 骨は皮質骨と梁骨に分けられ、その各々はさらに、骨表面と骨の体積全体に分けられる。骨中の急速な交換性をもった放射能は、骨表面に存在すると仮定され、血漿と放射能を交換する均一に混合したコンパートメントとして取り扱われる。骨の体積は、比較的交換性の放射能と比較的非交換性の放射能を表わす2つのサブコンパートメントから成ると仮定する。これらのコンパートメントは、図8にそれぞれ Exchang.と Non-exch.で示されている。

(45) 骨に入る放射能は初めに骨表面上に沈着すると仮定する。しかし、数日以内に血漿に戻るか、交換性の骨の体積に移行すると仮定する。交換性の骨の体積を出る放射能の一部は骨表面に戻ると仮定し、残りは非交換性の骨の体積に移動し、骨の再吸収により、血漿中に徐々に取り除かれると仮定する。

(46) 3つの元素すべてに対して、軟組織はST0, ST1 およびST2の3つのコンパートメントによって表される。ラジウムおよびウランの場合、肝臓は、動的に他の軟組織とは別

であるとする。ウランに対しては、腎臓を通しての排泄および血漿と腎臓組織との間の放射能の交換も考慮される。

(47) このモデルは、最小の数のコンパートメントと一次微分方程式とでコンパートメント間の移行を表現することによって、ストロンチウム同位体の全身性体液への移行後、あるいはラジウムおよびウランの血漿への移行後の、骨表面と骨の体積の放射能の時間変化および排泄率を適切な精度で予測できるようにすることを意図している。

(48) ストロンチウム、ラジウムおよびウランの体内動態パラメータの値は、付属書に与えられている。

3.3.2. トリウム、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウムおよびキュリウムに対するモデル

(49) トリウム、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウムおよびキュリウムに適用するためにこの報告書で用いられるモデルは、*Publication 67* (ICRP, 1993) の中で記述されたものと同じものである。ネプツニウム、プルトニウムおよびアメリシウムのパラメータの値は *Publication 67* (ICRP, 1993)、トリウムの値は *Publication 69* (ICRP, 1995a)、キュリウムの値は *Publication 71* (ICRP, 1995c) の中に与えられている。これらのモデルとパラメータの値は、*Publication 68* (ICRP, 1994b) の中で作業者のための線量係数を計算するために用いられた。このモデルを図9に示す。

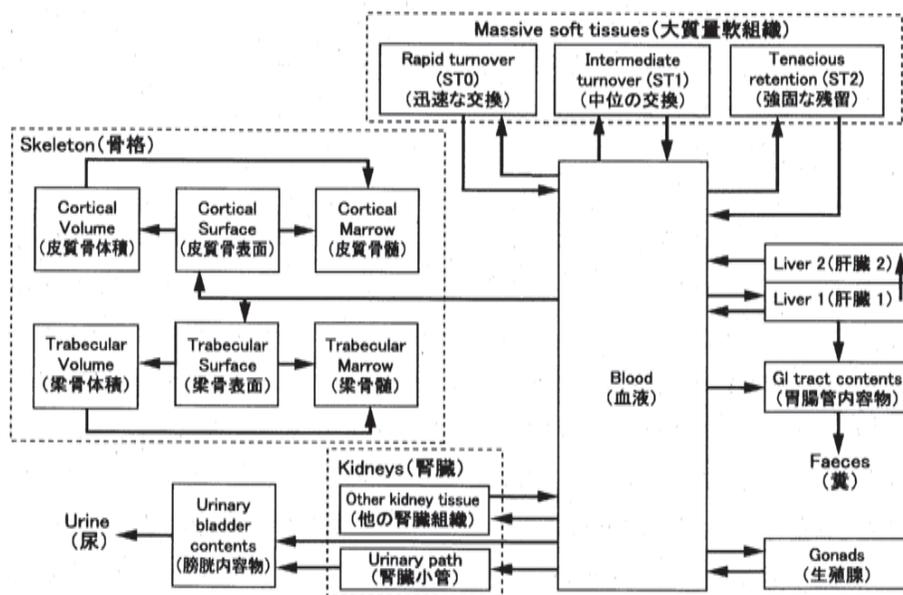


図9. トリチウム、ネプツニウム、プルトニウム、アメリシウムおよびキュリウムに対する体内動態モデル

(50) 骨格は皮質骨と梁骨の領域に分けられ、それらの各々は、骨表面、骨の体積全体および骨髄に細分される。骨格に入る放射能は、初めに骨表面に割り当てられて、引き続き、骨吸収により骨髄に、あるいは、新骨形成によって骨の体積全体へ移動する。骨の体積全体の放射能は骨吸収により骨髄に移動する。放射能は骨髄から数ヶ月の期間で血液中に除去され、血液へ最初に入ってきたときと同じパターンで再配分される。

(51) 血液は、一様に混合されたプールとみなされる。コンパートメント ST0 は細胞外液を含む軟組織プールであって、数時間か数日の期間にわたって、血液との間で物質を交換する。軟組織コンパートメントである ST1 と ST2 は、「大きい軟組織」(筋肉、皮膚、皮下脂肪)およびこのモデルの他のコンパートメントに明示的には組み込まれていない、そのほかのすべての軟組織)における、中位の残留(2年まで)と強固な残留(長年)をそれぞれ表すために用いられている。

(52) 肝臓は、元素に応じて肝臓1と示される単一のコンパートメント、あるいは肝臓2で示される2番目のコンパートメントと合わせた2つのコンパートメントと見なされる。肝臓2は生物学的な根拠よりもむしろ体内動態を根拠に定義される比較的強固な残留($t_{1/2} > 1$ 年)を表す。トリウムとプルトニウムの肝臓残留および糞中排泄のデータは、比較的短期間(1年間)で放射能の一部を胃腸管に逃がすコンパートメントと、プルトニウムのもっと大きな残留(長年)を示すコンパートメントとを持つ、2コンパートメント肝臓モデルを用いることで最も容易に再現される。一方、細網内皮細胞にプルトニウムよりも少なく吸収されあるいは残留するかもしれないアメリカシウムおよびキュリウムのデータは、生物学的半減期1年で血液中および胃腸管に放射能を逃がす一様に混合されたプールとして肝臓が取り扱われるならば、十分よく再現される。肝臓に沈着した物質は肝臓1に入り、その物質の一部は胆汁分泌を經由して胃腸管内容物に移動し、残りは血液(アメリカシウム)あるいは肝臓2(プルトニウム、ネプツニウム)に移動する。肝臓2を去る物質は血液に割り当てられる。

(53) 腎臓は2つのコンパートメントからなると仮定する。ひとつは尿中へ放射能を逃がし、もうひとつは血液中に放射能を戻す。「膀胱内容物」は尿中排泄に向けられるすべての物質を受け取る分離したプールと見なされる。

(54) トリウム、ネプツニウム、プルトニウム、アメリカシウムおよびキュリウムの体内動態パラメータの値は、付属書に与えられている。

3.4. 排泄経路

(55) 本報告書においても、*Publication 67* (ICRP, 1993) および *Publication 68* (ICRP, 1994b) で用いられた膀胱に対する体内動態モデルが使用される。このモデルは線量算定のた

めに開発されたものであるが、ここでは排泄を予測するために適用される点に留意する必要がある。1日の排尿回数は6回と見なされる。膀胱の動態を一次過程で表すために、膀胱からの排除速度は 12 d^{-1} とする。この方法で連続過程によって不連続な事象を表すことにはある程度の近似が含まれている。しかし、これにより導入される不正確さは小さなものであり、1日の測定値を平均すると相殺されてしまうと考えられる。

(56) 大腸の上部と下部に存在する放射能には、大腸上部への全身性循環から胃腸管に入った物質が含まれる。

(57) これらの排泄経路を通じた身体からの全身性放射能の喪失速度は、この報告書で用いられている体内動態モデルのいくつかの中に明示的に与えられている。他のものについては、排泄される全身性放射能を一定の比に従って尿と糞とに配分することが必要である。このような事情で、尿中排泄の糞中排泄に対する比に関する情報が付属書に与えられている。

4. 個人モニタリングの方法

(58) この章の目的は、主要な測定手法とその利点および限界について簡潔に述べることである。ほとんどの場合、放射性核種の摂取に対する個人モニタリングは、身体放射能測定、排泄物モニタリング、個人用空気サンプラによる空気サンプリング、またはこれらの測定手法の組合せにより達成することができる。測定手法の選択はいくつかの要因、すなわち、放射性核種から放出される放射線、汚染物質の体内動態の様相、生物学的クリアランスと放射性崩壊の両者を考慮に入れた身体内の残留状況、測定の必要頻度および適切な測定設備の感度、利用可能性、および利便性によって決定されるであろう。

(59) 日常モニタリングプログラムには、それで適切な感度が得られるのであれば、ふつう、ただ1種類の測定だけが含まれる。いくつかの放射性核種に対しては、たとえば、トリチウムの摂取に対する尿のモニタリングのように、それに適した測定手法はただひとつである。プルトニウムの同位体のように測定と解釈の両方に困難さを有する放射性核種に対しては、測定手法の組合せが不可欠である。適切な感度を有する異なった手法が利用できる場合には、一般的に、解釈の正確さの観点から、身体放射能測定、排泄物分析、個人空気サンプリングの順に選択される。作業環境のモニタリング(区域モニタリング)の結果、例えば、粒子径、化学形と溶解性、摂取時間に関する情報などは、個人モニタリングの結果を解釈する際に有用な情報を与えることがある。空気汚染に関する作業場所のモニタリング結果は個人の摂取量を評価するために使用される場合がある。しかし、空気サンプリングによる測定結果から摂取量に関して解釈を行うのは容易なことではなく、解釈を誤る可能性がある。代表サンプリングの最も一般的な形態は、作業者の呼吸域を合理的に代表させることを意図して選択された多くの位置において、固定式サンプラを用いるものである。このような方法が摂取量の定量的な決定のために日常的に用いられる場合には、多くの場合個人用空気サンプラによる試料を含む特殊モニタリングプログラムを用いて、その結果の代表性が判定されるべきである。

(60) ある特別な作業や事象に関連するモニタリングでは、通常とは異なった状況の最善の評価を行うため、例えば、身体放射能と排泄物の両方の測定、さらに、ある状況下においては個人空気サンプリングのようないくつかの測定手法を組み合わせることが多い。内部被ばくが疑われる事象の場合には、(鼻をかんだ後の鼻汁試料や鼻孔スミヤ試料の測定といった)スクリーニング技法が、事象の程度を予備的に評価するために使われる。これらの場合、表1に与えられている ET_1 に対する領域沈着割合が、摂取が起こったかどうかを確認し、その摂取の適当な推定値を与えるために用いられる。

4.1. *In vivo* 測定

(61) IAEA は放射性核種の身体内容量の直接測定に関する指針を与えている(1996)。身体内容量や臓器内容量を直接測定することにより、身体内の放射能を迅速かつ簡便に推定することができる。これは、体外に到達可能な放射線を放出する放射性核種に対してのみ利用できる。原則としてこの方法は、X線または γ 線を放出する放射性核種、消滅 γ 線の測定によって検出可能な陽電子を放出する放射性核種、制動放射線の測定によって検出可能な高エネルギー β 粒子を放出する放射性核種や特性X線の測定により検出可能な α 放射体に対してのみ使うことができる。軟X線放出のみをとまなう α 放射体の検出に関する問題は付属書中のプルトニウム元素を扱う節で取り上げられている。

(62) 全身または身体の部位の放射性物質を測定するための設備は、十分遮蔽され、低バックグラウンド環境に設置された1個もしくは数個の高効率検出器から構成されるものが多い(IAEA,1996)。検出器の幾何学的配置は、測定の目的、例えば全身の放射エネルギーの決定、胸部や甲状腺など身体の部位における放射エネルギーの決定などに合わせて決められる。頭蓋骨やひざが、骨中の放射性核種を測定するために適した部位として用いられることもある。

(63) 身体放射能を測定する前に表面汚染を除去することに注意を払わなければならない。日常の測定において、放射線防護上の目的には全身内容を決定すれば十分な場合が多い。その際、全身の放射能は、全身性放射能と胃腸管および呼吸気道中の放射能とから構成されるであろう。しかし、特別な調査において、または通常とは異なる測定値の解釈においては、体の形状に沿ってスキャン測定すること、または身体に沿って種々の位置に配置された検出器の相対レスポンスを分析することのいずれかにより身体内の分布を決定するのが有効な場合がある。

(64) 通常接する機会が多い核分裂生成物や放射化生成物、たとえばヨウ素-131、セシウム-137 やコバルト-60 については、比較的簡便な装置によって放射線防護目的に適したレベルの検出を行うことが可能である。このような簡便な装置は、全身または身体の一部を測定対象とした単一の検出器から構成され、また、ヨウ素同位体測定用では、甲状腺に近い位置に置かれた小さな検出器から構成されるであろう。簡便な装置の利点は就労している場所で使用できることであり、このため、離れた場所の全身モニタリング施設を訪れるために時間をかける必要がなくなる。この場合、測定をより頻繁に行うことができるので、異常な多量摂取が発生した直後にそのことを把握できるであろう。

(65) 対照的に、二、三の核種を放射線防護のために要求されるレベルでモニタリングするためには高感度測定手法が必要とされる。例としてはプルトニウム同位体のような α 放射核種が挙げられる。

(66) 最近まで大部分の体内放射能測定施設においては、高感度システムであれ、あるいは

は簡易システムであれ、タリウム活性化ヨウ化ナトリウム検出器が使用されていた。これらは大容積の結晶を製造することが可能であり、 γ 線検出に対して高感度が得られるという利点を持つ。しかしながら、放射性核種の混合物より得られる γ 線エネルギースペクトルの解釈にはいくらかの困難が起こることがある。そのスペクトルの成分は多重線形回帰分析法により解析することが可能であるが、これには、対象となる放射性核種を体内における分布および減弱を模擬するようにマトリックス中に分散させた標準線源を用いて、検出装置を事前に校正することが必要である。高検出効率のゲルマニウム検出器は、ますます手に入りやすくなってきているので、 γ 線放出放射性核種の混合物に作業者がさらされる可能性のある状況で使用されるようになってきている。この検出器のエネルギー分解能は優れているので、放射性核種の複雑な混合物から得られたスペクトルの解釈が簡単になる。

(67) 汚染物が高いエネルギーの γ 線を放射するのであれば、傷口に存在する放射能は一般の β - γ 検出器で容易に検出することができる。 α 線放出放射性核種を含む汚染の場合、 α 崩壊後にともなう低エネルギーX線は組織内において著しく減弱するため、検出はより困難である。この効果は傷が深くなるほどさらに重要になる。放射性物質の存在位置を特定することがしばしば必要になり、これにはよくコリメートされた検出器を必要とする。放射性核種の混合物による汚染を適切に推定しようとするのであれば、傷口モニタはエネルギー弁別能力を有しなければならない。

4.2. 排泄物およびその他の生物試料の分析

(68) 場合によっては、排泄物モニタリングは γ 線を放出しないかあるいは低エネルギー光子のみを放出する放射性核種の唯一の測定技術であろう。ある状況、たとえば元素が糞によって優先的に排泄される場合、あるいはタイプSの物質の呼吸気道からのクリアランスを評価する場合には糞分析が要求されるであろうが、排泄物モニタリングプログラムには、通常、尿分析が組み込まれている。この他の試料が、特定の調査のため分析されることがある。それらの例としては、日常のスクリーニング技術としては鼻をかんだときの鼻汁あるいは鼻スミヤ、高レベル汚染の疑いがある場合には血液がある。

(69) 尿試料の採取には考慮を必要とすることが3つある。第1に、試料の外来汚染を避けるよう配慮しなければならない。第2に、普通は、提供された試料から単位時間当たりに尿中に排泄される全放射エネルギーを算定する必要がある。大部分の日常分析においては24時間採取が望ましいが、これが実行できないのであれば、それより少量の試料は代表性がないかもしれないことを十分認識しなければならない。トリチウムは、ほんの少量の試料を採取し、測定した放射能濃度を体内水分中の濃度に関連付けることが通常行われている特別な事例である。第

3に、分析に必要とされる試料量は分析技術の感度に依存する。いくつかの放射性核種に対しては、数日分の排泄物の分析によってのみ適切な感度を達成することができる。

(70) 日常モニタリングとしての糞試料の分析は、糞中排泄の日変動のため解釈に不確かさが含まれる。したがって理想的には、採取を数日間にわたって実施すべきである。しかしながら、実際問題としてこれを達成することは困難なことがあり、単一の試料に基づく解釈が必要になるかもしれない。糞分析は特に、タイプMあるいはタイプS化合物の吸入による摂取が判明したかまたは疑われた場合に、特別な調査にもっとしばしば用いられる。このような状況においては、毎日の排泄量の測定は、肺からのクリアランスの評価あるいは摂取量推定に有用であろう。初期の結果は被ばくした個人を特定するのに役立つことがある。

(71) γ 線を放出する放射性核種は、シンチレーション検出器あるいは半導体検出器による生物試料の直接測定により定量されるであろう。 α 線および β 線放出放射性核種の分析は、適切な測定技術に先立って化学分離を必要とする。いわゆる全 α あるいは全 β 放射能の測定は簡便なスクリーニング技術として時には有用なことがあるが、試料中の α および β 放射能の全量を精密に定量する方法はない。この技術は、摂取量が年摂取限度に比べ非常に低いと予想されるような場合の日常モニタリングにおいて用いられるであろう。その結果は定量的には解釈されないであろうが、満足できる状態であることを確認するために用いられ、異常な結果が出たら、それは放射化学分析を含む更なる調査が必要なことを示す。全放射能の測定結果は、また、汚染事象が知られた後に、あるい早めの注目に値する試料を特定する際に有用なことがある。全 α あるいは全 β 放射能の測定値は、放射性核種の組成が既知でない限り、摂取量あるいは預託実効線量の定量的評価に用いることはできない。

(72) 呼気中の放射能測定は、いくつかの放射性核種については有益なモニタリング技術である。この報告書において考察された放射性核種のうち、ラジウム-226 およびトリウム-228 に対しては、これら両放射性核種の壊変系列には呼気中に吐き出されるであろうガスが含まれることから、これは有益な技術となり得よう。

4.3. 空気サンプリング

(73) 個人用空気サンプラ (PAS) は、作業者の呼吸域における空気中の時間積分放射能濃度の測定値から作業者個人の摂取量を評価するため、特別に設計された携帯用装置である。フィルタを内蔵したサンプリングヘッドは呼吸域に近接した胴体上部に装着される。作業者により持ち運ばれる校正済の空気ポンプにより空気はフィルタを通過する。理想的には、サンプリング流量は作業者の典型的な呼吸率 ($\sim 1.2\text{m}^3\text{h}^{-1}$) に合わせる。しかしながら、一般に用いられている装置のサンプリング流量はこの値の約 10 分の 1 にすぎない。フィルタ上の放射能

は、異常な高い被ばくの兆候の有無がわかるように、サンプリング期間の終りにおいて測定されることがある。ついで、フィルタは保存され、長期間分をひとまとめにし、放射化学的な分離および高感度の測定技術により放射能の定量ができる。サンプリング期間中における摂取量の推定は、測定された積分空気中放射能濃度に摂取期間中における作業者の呼吸量を乗じることにより行われる。

(74) PAS装置に対しては3つの重要な要件がある。第1に、サンプラは、有意な摂取量に相当する放射エネルギーが合理的な計測時間内において測定可能であるような十分な量の物質を捕集するようなものであるべきである。これは主に、そのPASで検出することが必要な最低限の預託実効線量に依存する。一般に、日常モニタリングプログラムにおいては、この要件は、合計で年線量限度の10分の1を超える預託実効線量を引き起こすような年摂取量を検出することである。第2に、サンプラにより吸引される空気量は、作業者の呼吸域における放射能濃度の統計学的に正確な代表値を与えるのに十分な量であるべきである。PASによるモニタリングはプルトニウムのような放射性核種に対して最も頻繁に用いられる。このような放射性核種は、きわめて少数の粒子が有意な摂取量に相当する放射能を含んでいることがあり得る。したがって、少数事象サンプリングの統計学が、サンプリング精度を決定する際に重要な因子となる。第3に、サンプラの粒子捕集特性が分かっているべきである。これらはサンプリングヘッドの吸引効率およびフィルタの捕集効率に依存する。吸引効率は、周囲の空気中の粒子濃度に対するサンプラに導入される空気中の粒子濃度の比である。これは空気力学的粒子径が約 $1\mu\text{m}$ 以下の場合には通常ほぼ1であるが、大きな粒子では慣性力のため状況によって過小または過大となる傾向がある。これに類似した効果は、鼻あるいは口に入り込む粒子にもあてはまり、*Publication 66*「呼吸気道モデル」(ICRP, 1994a) (呼吸気道における吸引効率は *inhalability* という用語で呼ばれている) において考慮されている。

(75) PASは粒径に関する情報を与えない。しかし、粒径は呼吸気道内の沈着割合に、したがって線量評価に著しい影響を及ぼすので、吸入する物質の粒径分布を決定すること、または粒径分布について現実的な仮定を作ることが重要となる。デフォルト値としてAMAD $5\mu\text{m}$ を勧告したことは、線量評価上安全側よりもむしろ現実的であることを意図しているから、このことは特に重要である(DorrianとBailey, 1995, Ansoborloら, 1997)。すべてのサンプラには多少とも粒径の選択性があり、特定の粒径において捕集が過小になったり過大になったりして、摂取量推定上の誤差のもととなり得る。したがって、補正の必要があるかどうかを示すために、PASの吸引効率を測定すべきである。PASの吸引効率は、ある調査によると、作業場所の条件下において空気力学的直径の値が $30\mu\text{m}$ まではほぼ1であった(Markら, 1986)。サンプラは、全エアロゾルではなく、むしろそのうちで吸入され得る部分を捕集できる設計であるべきであると示唆されたことがある(VincentとArmbruster, 1981)。このよ

うなサンプラの使用は受け入れられるであろうが、*Publication 66* 「呼吸気道モデル」は全エアロゾル濃度が既知であるという暗黙の仮定をしているので、分析手順の修正が必要であろう。

(76) 固定式空気サンプラ (SAS) は、作業場所の条件を監視するためによく使われているが、作業者の呼吸域内の空気中濃度を一般に 10 倍程度まで過小評価する可能性がある (Marshall と Stevens, 1980)。それにもかかわらず、SAS 装置が適切な場所に据え付けられているならば、線量算定の目的で SAS の測定値を解釈する際に用いる PAS 対 SAS の空気中濃度比を決めるため、PAS と SAS の測定値の比較を用いることができる。しかし、SAS の使用は線量を算定するための比較的間接的な方法であることを認識すべきであり、個人線量を推定するためにその結果を使用するには、被ばく状況および作業状況を注意深く評価しておく必要がある。SAS 装置はまた、線量算定で使う可能性があるほかに、放射性核種の組成に関する有用な情報をもたらす、カスケードインパクトのような粒径分析装置と共に用いるならば粒径に関する情報を提供できる。

4.4. 測定値に関する品質保証

(77) この報告書との関連では、品質保証は、測定プログラムの結果に十分な信頼性を与えるために必要な、計画的かつ体系的な行為からなるものと記述できよう。品質保証は品質管理を包含し、品質管理は、用具、装置および手順の適合性を、定められた要件に照らして評価するすべての行為を含んでいる。品質保証の要件は国の法令によって定められていることがある。国際標準化機構 (ISO) は、一般的な品質保証の考察に関する指針を与えている (ISO, 1986)。

(78) 品質管理プログラムでは、以下の事項を保証すべきである：

- ・ 用具と装置が正しく動作すること、
- ・ それらが適切に校正されていること、
- ・ 手順が確立され、履行されていること、
- ・ 分析が正しく実行されていること、
- ・ 記録が維持されていること、および
- ・ 誤りが回避されていること。

(79) 測定プログラムの品質を評価するための独立した方法を確立することが重要である。認証 (accreditation) とは、その組織が特定の活動を実行する能力があるということの公式な認知を意味する。認定プログラムは品質保証の項目全般、つまり手順、記録、訓練、校正、保守、解釈および是正措置などについて言及すべきである。

(80) 相互比較によって、参加者が、明確に定められた条件の下での自分たちの測定結果

や線量算定結果を、基準値や他の研究所の結果と比較することが可能になる。測定値の相互比較には2つの方式があり得よう。放射性核種の既知量を含んでいるファントムまたは試料の測定は、いくぶん人為的な条件下ではあるが、参加者がかれらの手順の正確さを判定するのを可能にする。実際の生物試料または人体に含まれる放射性核種の未知量に関する相互比較では、絶対値としての正確さは確立できないけれども、各々の参加者は自分の結果を他の研究所または他の技術によって得られた結果と比較することが可能である。また、モニタリングの解釈の結果に関する相互比較もいくつかある。このような相互比較は、正確さを改善するのに役立ち、これらは国内的または国際的に方法を調和させる一助となる。

5. モニタリングプログラム

5.1. モニタリングプログラムの必要性

(81) ICRP *Publication 75* (ICRP, 1997) は、いかなる特定のモニタリングプログラムにおいても、関連する線量限度の有意な割合に相当するような大きさの線量を日常的に受けるであろうと考えられる作業員、または事故時には被ばくが有意な大きさになると考えられる区域で働く作業員に関して、公式な線量評価を行うことに重点を置くべきであると勧告している。

(82) 作業場モニタリングの結果は、摂取によって年間 5mSv を超えるような線量の発生可能性について見通しを与えるものでなければならない。これまでの経験から、以下の作業に関連する作業員は個人モニタリングが通常必要であることが示されている：

- (i) 大量の気体状または揮発性の物質、たとえば、大規模な生産工程、重水炉、および発光体製造におけるトリチウムとその化合物の取扱い；
- (ii) ウランの採掘と加工、ウラン燃料および混合酸化物燃料の製造；
- (iii) プルトニウムその他の超ウラン元素の処理；
- (iv) トリウム処理と利用、および、
- (v) 放射性核種や放射性医薬品の大量製造。

モニタリングプログラムの種類の選択は、作業場の汚染頻度に依存する。汚染をともなう事象が非常に稀な場合には、日常の個人モニタリングは必要なさそうである。作業場モニタリングは実施されるべきであり、その結果は特殊な事象と関連した個人モニタリングプログラムの発動に使用されるべきである。しかしながら、前述した工程において、作業場の汚染が頻繁に起こるようであるならば、日常個人モニタリングプログラムが適切となるであろう。

(83) 空気汚染の管理との関連で管理区域に指定された場所で日常的には作業に従事しない作業員や放射性核種の有意な摂取がほとんどないような作業員に対しては、作業場の日常モニタリングは、摂取が適切に管理されているという保証を与えるのに通常は十分役立つであろう。

5.2. 日常モニタリング

(84) 日常モニタリングプログラムにおいて、その測定に求められる頻度は、放射性核種の残留と排泄、利用できる測定方法とその感度、摂取量や実効線量の推定値に容認される不確かさに依存する。不確かさの主因は、摂取時刻が通例は不明であるということであり、これ

との関連で、測定値の不確かさが小さくなるような測定技術が選択されるべきである。日常モニタリングプログラムにおける測定頻度は、摂取時刻が不明であることに起因する不確かさを容認されるレベルまで減少させるように選択されるべきである。(91 項参照)

5.3. 特殊モニタリングまたは作業関連モニタリング

(85) 特殊モニタリングは、現実の異常事態または発生の疑いがある異常事態において実施されるモニタリングをいう。作業関連モニタリングは、特定の操業に関する情報を提供するために行われるモニタリングである。特殊モニタリングと作業関連モニタリングは両方とも、明確に区別できる現実の異常事象または発生の疑いがある異常事象に関連しているため、日常モニタリングの結果の解釈において遭遇する問題のうちのひとつはあてはまらない。すなわち摂取時刻は知られている。さらには、汚染物質の物理的形態と化学的形態に関して、より多くの情報があるかもしれない。

5.4. 確認モニタリング

(86) 作業状況が満足なものであることを確認するひとつの方法は、臨時の個人モニタリングを行うことである。このような測定結果は定性的にのみ解釈することができるが、予想外の発見があれば、さらに深く調査をするための根拠を与えるであろう。このタイプの確認モニタリングは、体内に長期間残留する核種に関して最も有効であり、臨時測定は体内中の放射能のビルドアップに関するチェックになる。

5.5. 傷口モニタリング

(87) 皮膚を切ったり、刺したり、擦りむいた場合、放射性物質が皮下組織に浸透してそこから体液によって吸収され得る。放射性核種や放射エネルギーによっては、医学調査や特殊モニタリングプログラムにとりかかる必要があるかもしれない。このような状況においては、外科的切除の実施に関する決定の一助として、異物中や組織中における放射線の自己減弱を考慮にいれて、傷口における放射性物質の量を測定すべきである。もし傷口から物質を取り除こうとするのであれば、放射能の収支が維持されるように、取り除かれた物質と傷口部位に残った放射能とについて測定を実施すべきである。それに続いて、身体組織への取込み量を決定するための一連の測定が行われるべきである。これらの測定は、それぞれの核種に対して適切になるよ

う、*in vivo* 測定、もしくは尿または糞の排泄物モニタリングから構成されるであろう。もし全身測定がなされるのであれば、傷口部位に残った放射能を遮蔽する必要があるかもしれない。取込み量は付属書に与えられたデータから算定できる。取込み量を評価する際、全身性放射能の除去を高めるためのどのような処置についても、その効果を十分考慮に入れなければならない(5.6 節参照)。

5.6. 医療上の介入措置後のモニタリング

(88) 取込みを防ぐか排泄を高めるような医療上の介入措置が考慮されるときには、どのような処置も第3章に与えられたモデルで表現される体内動態挙動を変化させること、また、処置が施されたときには、付属書のデータは預託実効線量の算定に直接使用できないことに注意すべきである。事故による摂取に続いて治療が行われたときには、特殊モニタリングプログラムがその人における特定の汚染物質の分布と残留を追跡するために実施されるべきであり、これらのデータは、その人に固有の預託実効線量の算定を行うために使用されるべきである。

6. 摂取量および線量の推定値における不確かさ

(89) 放射性核種の摂取による線量の算定は次の3段階に分類される：

- (i) 個人モニタリングにおける測定
- (ii) 測定値からの摂取量の算定、および
- (iii) その摂取量からの線量の算定。

算定された線量の総合的な不確かさはこれらの段階における不確かさの組合せになる。各段階における不確かさとそれを定量化するために求められる労力は、関係する放射性核種、被ばくレベルとその時間的推移に関する情報の範囲、およびサンプリングまたは測定の時期に依存する。

(90) 一般に、測定値の不確かさが最も簡単に推定できる。放射能レベルが低く、検出下限値に近い場合、計数の統計的変動による不確かさが総合的な不確かさを支配することがある。簡単に検出でき十分な量が存在する放射性核種に関しては、計数の統計的変動による不確かさは、不確かさの他の原因に比べて小さいであろう。測定手順のほかの部分、たとえば校正や *in vivo* 測定における身体サイズの補正における系統的な不確かさも考慮しなければならない。試料や人体の表面汚染を避けるような措置がとられるべきである。表面汚染が存在しそれが認識されていないと、誤差の重要な原因を持ち込むことになるかもしれない。以前の摂取の結果として残留している放射能を考慮して現在の測定結果を修正する必要があることがある。

(91) 摂取量算定における不確かさは、摂取時期に無関係なあらかじめ決められた時期に測定が行われる日常モニタリングプログラムの中では定量が困難なことがある。測定結果の解釈の質と、測定頻度に関連する実務上の制限との間には妥協が必要である。被ばく時期がわからないことによって起こりうる摂取量推定値の誤差を制限するための簡単な規則が定められなければならない。この報告書においては、摂取時期がわからないことによって導入される過小評価がファクター3を超えないようにモニタリング間隔が選ばれている。被ばくの本当の時間分布がわからず、したがって、統計学的にはすべての算定に関してその誤差が系統的に同じであるというわけではないので、実際には、この過小評価は最大のものである。被ばくの確率的分布によって、そのような誤差は明らかにファクター3未満になる。摂取の実質的な部分がサンプリングまたは測定の直前に起これば、摂取量はファクター3を超える過大評価になりうるかもしれない。これは特に、排泄物モニタリングの場合に重要となる。なぜならば、日ごとの排泄量は摂取直後の期間では時間とともに急速に変化することがあるからである。日常モニタリングプログラムにおいて、予期せぬ高い結果が見つかった場合は、数日後にサンプリングまたは測定を再度行い、それによって摂取量の推定値を調整するのが適切であろう。その代わりに、そうすることが適切でかつ都合ならば、たとえば週末や休日の後のような被ばくのな

い期間の後で試料を採取し、または測定を行うことができよう。

(92) 考慮すべき最後の因子は、ある与えられた摂取量から線量を算定する際の不確かさである。標準的な体内動態モデルを用いると、解釈に際してある程度の誤差をもたらすかもしれないが、小さな摂取量および線量に対して固有のモデルを用いることは正当化されない。ある個人の体内動態パラメータ値に基づいた個々人に固有な解析は、年線量限度に近い線量を与える摂取量に対しては正当化できる。標準モデルが使用できない状況のひとつは、放射性核種の身体からの排泄を促進させるために治療行為が実施されている場合である。

(93) これらすべての理由のため、摂取量算定における不確かさの良好な推定値を得るのは非常に難しい。したがって、標準的な方法に基づく算定を行うこと、およびその算定値を摂取量の名目値として採用することを勧告する。不確かさは、その後、その被ばくに関連する潜在的な健康影響に応じて、より詳細に考察されることがある。この場合、これまでに記述した様々な種類の不確かさの相対的な寄与が、検討対象としている実際の状況に応じて解析されるであろう。そのような解析は、治療、管理区域からの排除、または作業条件の変更といった決定を適切に行うに当たって、その助けとなるであろう不確かさの現実的な幅を与えるように意図して行われる。

7. 付属書に与えられているデータ

7.1. 放射性核種に関するモニタリングデータ

(94) 付属書には、以下の放射性核種についてのデータが含まれている。

水素	^3H
鉄	^{59}Fe
コバルト	^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co
ストロンチウム	^{85}Sr , ^{89}Sr , ^{90}Sr
ルテニウム	^{106}Ru
ヨウ素	^{125}I , ^{129}I , ^{131}I
セシウム	^{134}Cs , ^{137}Cs
ラジウム	^{226}Ra , ^{228}Ra
トリウム	^{228}Th , ^{232}Th
ウラン	^{234}U , ^{235}U , ^{238}U
ネプツニウム	^{237}Np
プルトニウム	^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$
アメリシウム	^{241}Am
キュリウム	^{242}Cm , ^{244}Cm
カリホルニウム	^{252}Cf

(95) 各元素について、関連する生物学的データが与えられている。これらのデータには、化合物、吸収のタイプ、 f_1 値および排泄経路に関する情報を含めた体内動態モデルの短い要約が含まれる。該当するところには、取込みを低減させたり排泄を促進させたりするための医療措置が予測値に及ぼす影響についての情報も与えられている。

(96) この章の後に、職業被ばくにおいて重要と考えられる元素の放射性核種の各々に関する詳細な情報が続く。各放射性核種について、以下の情報が与えられている：

- (i) 個人モニタリングのために有用な物理的半減期、壊変形式および放出放射線のエネルギーと強度
- (ii) 個人モニタリングの方法と容易に達成可能な検出限界値の典型的な数値。該当するところには、望ましい測定手法とその検出限界値が十分であるかどうかに関する注釈がある。測定および解釈が困難な核種については、モニタリングプログラムに関する情報が、選ばれた文献とともにその後の節に与えられている。

(iii) AMAD が $5\mu\text{m}$ のエアロゾルの吸入に対する実効線量係数 e (50)。データは *Publication 68* (ICRP, 1994b) から採用されており、*Publication 68* にある肺の吸収タイプすべてについてデータが与えられている。

(iv) 経口摂取に対する実効線量係数 e (50)。データは *Publication 68* (ICRP, 1994b) から採用されている。

(97) 吸入、経口、または全身性体液への直接の移行（付属書の表では“注入”と書かれている）による1回の摂取について、測定されるパラメータ（身体内容量、臓器内容量、または1日当たりの排泄量）の予測値、すなわち1Bqの摂取後 t 日において測定される量 $m(t)$ が、摂取後1日から10日まで表の形で示されている。この表において、1日目の身体または臓器の内容量は、1日目の終りにおける内容量を意味する。また、排泄放射能については、1日目の値は、摂取後最初の1日間に排泄される放射能で、1日目の終りに放射性壊変について補正された値を表している。*in vivo* 測定に関しては、以下の定義があてはまる。全身内容量とは、全身性物質（膀胱内のものを含む）と呼吸気道および胃腸管内に残留している物質の合計である。肺の内容量とは、胸郭内リンパ節と気管支、細気管支および肺胞-間質領域の内容量の合計とする。骨格の内容量とは、単純なモデルでは骨コンパートメントの内容量とし、また、鉄、ウラン、アルカリ土類金属、およびアクチニド核種用のもっと複雑なモデルでは、皮質骨および梁骨の両者ならびに骨髄の全コンパートメントの合計とする。

(98) 測定量（身体内容量、臓器内容量、1日当たりの尿中または糞中の排泄量）の予測値のグラフが、吸入、経口、および注入による1回摂取後の時間の関数として与えられている。データは摂取放射能に対する割合、すなわち摂取量 Bq 当たりの残留および1日当たりの排泄の Bq 数で示してある。これのひとつの例外は、トリチウム水の摂取に対するもので、このデータは、線量率に直接関係付けられるという理由から、摂取量 Bq 当たりの Bq l^{-1} で示されている。データは、摂取後 10^4 日まで、または放射能の割合が摂取量の 10^{-8} 未満になるまで示されている。

(99) これらの表およびグラフを作成するために用いられたデータは、各元素に対する体内動態モデルの完全な解から導出されている。付属書の表で示された以外の時間における測定量の予測値が必要とされる場合がある。このため、付属書のデータを作成するために用いられたモデルの解を摂取後の任意の時間において評価することが可能なコンピュータプログラムが作製されている。このプログラムは、対話式の CD ROM として入手可能になるであろう (NoBke, 1997)。完全な解を近似するための単純な指数関数も利用できる (Phipps ら, 1997)。

(100) 日常モニタリングでは、吸入による摂取のみが考慮される。トリチウム水については、皮膚を通じた摂取量を評価するために同じデータを用いることができる。各放射性核種について、91 項の要件を満たすいくつかのモニタリング周期が選ばれている。各モニタリング間

隔 T について、測定量の子測値は、 1 Bq の摂取がモニタリング間隔の中間点で起こると仮定したときのモニタリング間隔の終りにおける予測値、すなわち $m(T/2)$ である。ここで m は測定量の子測値、 T は日で表したモニタリング間隔である。

(101) 最後に、単位摂取量（1日当たり $1/365 \text{ Bq}$ ）で毎日連続した吸入摂取、および年線量限度 20 mSv の預託実効線量となるような摂取という仮想的な場合の、身体中、臓器中、または排泄物中の放射能レベルのビルドアップに関する情報も与えられている。これらのデータは、どんな特定のモニタリング周期についても、摂取量や線量を評価するために直接には使用できない。しかし、次の2つの目的に役立つであろう。1番目は、年線量限度で予測される量に見合った種々のモニタリング手法の感度の評価を得ることができるようにするためである。2番目として、作業者に放射性核種の有意な摂取による被ばくが起りそうもない場合に、臨時のスクリーニング測定結果をこれらのデータと比較することで、摂取が本当に少ないことがあらためて保証されるであろう。

7.2. 計算の品質保証

(102) 委員会は、品質保証の問題を特に重要視している。委員会の線量計算に関する作業グループは、付属書で与えられた数量を異なったコンピュータコードを用いて独立に計算するように手配した。これらの計算結果におけるあらゆる食い違いに対して調査を行い、出版前に解決した。

8. データの適用

8.1. 摂取量および線量の算定

(103) 摂取の時期が分かっている特殊モニタリングあるいは作業関連モニタリングの場合には、摂取量は、付属書にある‘特殊モニタリング’の諸表のデータを用いて測定値から推定することができる。測定が1回だけのときには、摂取量は測定値 M から次式によって決定される：

$$\text{摂取量} = \frac{M}{m(t)}$$

摂取量に線量係数を乗じることにより、預託実効線量が得られる。こうして得られた線量は線量限度または、あらかじめ設定された、線量値で表される調査レベルと比較することができ、摂取量は、年摂取限度 (8.3 節参照) または、あらかじめ設定された、摂取量で表される調査レベル (8.4 節参照) と直接比較することができる。

(104) もし測定によって調査レベルを超えたことが判明した場合には、より詳細な調査が必要となる。調査の種類は、そのときの状況と調査レベルを超える程度に依存する。次のことを考慮すべきである：

- (i) 最初の評価を確認するための、あるいはより詳細にするための繰り返し測定、および
- (ii) 追加のモニタリング技術の利用

(105) もし、一連の測定値が得られるならば、付属書のデータは放射能予測値の (少なくとも 10 日間の) 時間推移を提供する。そこで、この予測値をスケーリングによって測定データの各点に最も良く適合させることができる。通常、最良の適合は、残差の 2 乗の和を最小にするような適合であるとする。ここで、残差は、適合曲線と測定値との差の標準偏差の値と定義される。このようにして、予測値のスケーリングから求められた値を摂取量とする。

(106) 日常モニタリングの場合には、 T 日おきのモニタリング間隔のちょうど中間で摂取が起こったと仮定する。モニタリング間隔の終りで得られた測定値 M に対して、摂取量は

$$\text{摂取量} = \frac{M}{m(T/2)}$$

となり、このモニタリング間隔における摂取に基づく線量は、摂取量に線量係数を乗じることにより得られる。線量または摂取量は、線量限度の、あるいはその限度に対応した摂取量の、比例配分値と比較することができる。あるいは、線量または摂取量は、あらかじめ設定された調査レベルと比較することができる。

(107) 以前のモニタリング間隔における摂取量が、実測の結果に影響することがある。もし、実測量の約10%以上が、摂取量と線量がすでに評価されたそれ以前の期間における摂取によるものならば、補正が必要となる。日常モニタリングプログラムにおける連続した測定値に対しては、次の手順をとってもよい：

- (i) 最初のモニタリング間隔における摂取量の大きさを決定する；
- (ii) (付属書のグラフ、あるいは Phipps ら、1997、のグラフから) あとの測定値に対応するこの摂取量の寄与分を予測する；
- (iii) この寄与分をあとのすべてのデータから差し引く、そして
- (iv) 次のモニタリング間隔に対して (i) から (iii) を繰り返す。

連続した測定値の解釈に日常的に直面している研究施設では、測定データに適合させるために、付属書のグラフに与えられているデータを記述する (Phipps ら、1997、が与えているような) 関数を用いるのが便利かもしれない。

(108) 連続した測定値から預託実効線量を評価するための、代わりの手法が文献に記述されている (例えば Piechowski と Menoux, 1996)。

(109) もし、日常モニタリングプログラムで得られた測定値が、あらかじめ設定された調査レベルを超えた場合は、より詳細な調査が必要となる。調査の種類は、そのときの状況と調査レベルを超える程度に依存する。次のことを考慮すべきである：

- (i) 最初の推定値を確認するための、あるいはより詳細にするための繰り返し測定；
- (ii) 追加のモニタリング技術の利用；
- (iii) 作業条件と被ばく状況の吟味；
- (iv) もし、最初の算定でデフォルトのパラメータ値が用いられていた場合には、必要に応じて、実際の汚染物質の粒径と化学形の調査およびもっと適切な数値の選択、そして
- (v) かなりの摂取量の場合は、汚染した人の放射性物質を用いる作業からの配置換え、および線量算定の精度を上げるための実際の残留特性および排泄特性の調査。

8.2. 内部被ばくと外部被ばくの合算

(110) 特定された期間における成人作業者の実効線量限度は、適切な期間における外部被ばくに関連する線量と、その期間における放射性核種の摂取に関連する預託実効線量の合計に対して適用する。

8.3. 補助限度

(111) 職業被ばくについて、委員会は、いかなる1年間についても50mSvという限度つきで、年平均値20mSvを与える5年間100mSvの実効線量限度を勧告している(ICRP, 1991)。ある場合には、実用量の利用が役に立つ。内部被ばくの場合、年摂取限度(ALI)は20mSvの実効線量に基づくべきであることをこの勧告は示している。したがって、任意の放射性核種に対して、年平均実効線量限度[0.02 Sv]を線量係数 $e(50)$ [Sv Bq⁻¹]で割ることにより、ALI[Bq]を求めることができる。

$$ALI = \frac{0.02}{e(50)}$$

8.4. 調査レベルの使用

(112) 放射性核種に潜在的に被ばくするような多くの状況においては、モニタリングプログラムにおいて測定される量、すなわち、全身内容量、臓器内容量、毎日の尿中または糞中の排泄量、空气中放射能濃度に対して調査レベルを設定すると便利である。調査レベルとして選択された値は、線量あるいは摂取量と直接関連づけられることがあり、また付属書に与えられたデータは、適切なモニタリングプログラムのために選択された摂取量または線量のレベルに相当する測定量の値の算出に使用できる。たとえば、0.1ALIという参照値を調査実施の基準とすることができよう。たとえば日常モニタリングプログラムにおいて、調査レベルを0.1ALI、期間をT日とし、単一の放射性核種に対して全身内容量で表した調査レベルは

$$IL(\text{whole body}) = 0.1 \text{ ALI} \times \frac{T}{365} \times m(T/2)$$

となる。ここで、 $m(T/2)$ は付属書中の適切な表から選択する。このような調査レベルの設定においては、他の被ばく源すなわち他の放射性核種や外部照射に注意を払わなければならない。

(113) 摂取量と線量が低いことがわかっており、実施されている手順に十分な経験がある状況では、測定量に対して、調査レベルを経験に基づいて単純に設定することが可能であるかもしれない。調査レベルを超える測定結果は平常時からの逸脱を示し、さらに詳しい調査の必要性を示すであろう。

(114) 調査レベルが非常に低い線量及び摂取量に相当するレベルに設定されているならば、調査レベルよりも低い測定結果については、測定がなされ、結果が調査レベルよりも低かったという事実を記録すること以外は何もする必要がないかもしれない。しかし、調査レベルが年線量限度のかなりの割合に相当する場合は、測定値を摂取量または線量に換算して解釈すべきである。

8.5. 放射性核種の混合物

(115) 作業者は放射性核種の混合物に曝されることがあり、このことは事前に決定される誘導調査レベルの計算において考慮されなければならない。実効線量に有意に寄与する放射性核種は、混合物中のほんの数核種である場合がよくある。原則として、放射線影響上重要な放射性核種は特定されるべきであり、モニタリングプログラムはそれらの核種の摂取量や実効線量を算定するために立案されるべきである。しかし、放射線影響上重要性が低い放射性核種のうちの核種を測定して、これをこの混合物に対するトレーサーとして使用する方が容易な状況がある。これは、混合物の構成がよく知られており、一定である場合に可能である。よく知られている例としては、プルトニウム同位体に対するトレーサーとしてのアメリカシウム-241の使用がある。

引用文献

- Ansoborlo, E., Boulard, D. and Leguen, B. (1997). Particle size distribution of uranium aerosols measured in the French nuclear fuel cycle. *Radioprotection* **32**, 319–330.
- Dorrian, M. D. and Bailey, M. R. (1995). Particle size distribution of radioactive aerosols measured in the workplace. *Radiat. Prot. Dosim.* **60**, 119–133.
- IAEA (1996). Direct methods for measuring radionuclides in man. Safety Series 114. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- ICRP (1973). Alkaline Earth Metabolism in Adult Man. ICRP Publication 20. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1975). Report of the Task Group on Reference Man. ICRP Publication 23. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1979a). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Part 1. *Annals of the ICRP.* **2**(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1979b). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Supplement to Part 1. *Annals of the ICRP.* **3**(1-4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1980). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Part 2. *Annals of the ICRP.* **4**(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1981a). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Supplement to Part 2. *Annals of the ICRP.* **5**(1-6), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1981b). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Part 3 (including addendum to Parts 1 and 2). *Annals of the ICRP.* **6**(2/3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1982a). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Supplement A to Part 3. *Annals of the ICRP.* **7**(1-3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1982b). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers. ICRP Publication 30. Supplement B to Part 3 (including addendum to the Supplements of Parts 1 and 2). *Annals of the ICRP.* **8**(1-3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1988a). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: an Addendum. ICRP Publication 30. Part 4. *Annals of the ICRP.* **19**(4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1988b). Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Design and Interpretation. ICRP Publication 54. *Annals of the ICRP.* **19**(1-3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1989). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 56. *Annals of the ICRP.* **20**(2), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP.* **21**(1-3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1993). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 2: Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. *Annals of the ICRP.* **23**(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1994a). Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. *Annals of the ICRP.* **24**(1-4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1994b). Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers. Replacement of ICRP Publication 61. ICRP Publication 68. *Annals of the ICRP.* **24**(4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1995a). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3. Ingestion dose coefficients. ICRP Publication 69. *Annals of the ICRP.* **25**(1), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1995b). Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: The Skeleton. ICRP Publication 70. *Annals of the ICRP.* **25**(2), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1995c). Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4. Inhalation dose coefficients. ICRP Publication 71. *Annals of the ICRP.* **25**(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1997). General Principles for the Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 75. *Annals of the ICRP.* **27**(1), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ISO (1986). *Guide 55: Testing Laboratory Accreditation Systems—General Recommendations for Operation.* International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Mark, D., Vincent, J. H., Stevens, D. C. and Marshall, M. (1986). Investigation of the entry characteristics of dust samplers of a type used in the British nuclear industry. *Atmospheric Environment* **20**, 2389–2396.
- Marshall, M. and Stevens, D. C. (1980). The purposes, methods and accuracy of sampling for airborne particulate radioactive materials. *Health Phys.* **39**, 409–423.
- Noßke, D. (1997). Personal communication.
- Piechowski, J. and Menoux, B. (1996). Assessment of radioactive systemic uptakes by deconvolution of individual monitoring results. *Health Phys.* **70**, 537–545.
- Phipps, A. W., Jarvis, N. S., Silk, T. J. and Birchall, A. (1997). Time dependent functions to represent the bioassay quantities given in ICRP Publication 78. National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon, UK. Report No. NRPB-M824.
- Vincent, J. H. and Armbruster, I. (1981). On the quantitative definition of the inhalability of airborne dust. *Occup. Hygiene* **24**, 245–248.

付属書：個々の核種のモニタリング用データ

この付属書は、以下の放射性核種のデータを提供する。

水素	^3H
鉄	^{59}Fe
コバルト	^{57}Co , ^{58}Co , ^{60}Co
ストロンチウム	^{85}Sr , ^{89}Sr , ^{90}Sr
ルテニウム	^{106}Ru
ヨウ素	^{125}I , ^{129}I , ^{131}I
セシウム	^{134}Cs , ^{137}Cs
ラジウム	^{226}Ra , ^{228}Ra
トリウム	^{228}Th , ^{232}Th
ウラン	234 , 235 , ^{238}U
ネプツニウム	^{237}Np
プルトニウム	^{238}Pu , 239 , ^{240}Pu
アメリシウム	^{241}Am
キュリウム	^{242}Cm , ^{244}Cm
カリホルニウム	^{252}Cf

データは、以下の順序で示されている：

各元素について

1. 体内動態モデルの説明。
2. 医療上の介入措置による影響（該当するとき）。
3. 化合物、吸収のタイプおよび f_1 値。
4. 考察された各放射性同位体についての線量係数。

各放射性同位体について

1. 壊変生成物からのものを含む（該当するとき）放出放射線の表。
2. 測定方法とその代表的な検出限界値ならびにそれらの有用性に関する注釈。
3. 吸入、経口摂取および注入による 1 回摂取後に測定されるパラメータの予測値の表。
4. 日常モニタリングの間隔および吸入摂取に対する測定量の予測値の表。かつこの値は第 6 章に規定された要件を満足しない。これらは、摂取時期がモニタリング間隔の初期でないこ

とが知られているときにだけ使われるべきである。これらは、本文 106 項に与えられた式を適用したとき、摂取量をファクター 3 以上過小評価することになりうる。

5. 連続摂取に関する次の 2 つの状況に対する測定量の平衡値の表：1 年当たり 1Bq すなわち 1 日当たり 1/365Bq；1 年当たり 20mSv の預託実効線量を与える 365 日間にわたる 1 日当たりの摂取量。平衡値に達する時間も与えられている。平衡値が得られない放射性核種については、表は与えられていないが、時間によるビルドアップを示すグラフが提供されている。
6. 吸入（吸収の各タイプに対してそれぞれひとつのグラフ）、経口摂取および注入による 1 回摂取後の時間の関数として測定量予測値を示すグラフ。

参 考 文 献

以下の標準的な文献は付属書で用いられている。

- ICRP (1975) *Report of the Task Group on Reference Man*. ICRP Publication 23, Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1979a) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Part 1. *Annals of the ICRP* 2(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1979b) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Supplement to Part 1. *Annals of the ICRP* 3(1-4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1980) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Part 2. *Annals of the ICRP* 4(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1981a) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Supplement to Part 2. *Annals of the ICRP* 5(1-6), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1981b) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Part 3 (including addendum to Parts 1 and 2). *Annals of the ICRP* 6(2/3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1982a) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Supplement A to Part 3. *Annals of the ICRP* 7(1-3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1982b) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. ICRP Publication 30, Supplement B to Part 3 (including addendum to the Supplements of Parts 1 and 2). *Annals of the ICRP* 8(1-3), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1983) *Radionuclide Transformations*. ICRP Publication 38. *Annals of the ICRP* 11-13. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1988) *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers: An Addendum*. ICRP Publication 30, Part 4. *Annals of the ICRP* 19(4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1989) *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 1*. ICRP Publication 56. *Annals of the ICRP* 20(2), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1993) *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 2: Ingestion Dose Coefficients*. ICRP Publication 67. *Annals of the ICRP* 23(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1994) *Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers*. Replacement of ICRP Publication 61. ICRP Publication 68. *Annals of the ICRP* 24(4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1995a) *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 3: Ingestion Dose Coefficients*. ICRP Publication 69. *Annals of the ICRP* 25(1), Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP (1995b) *Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides, Part 4: Inhalation Dose Coefficients*. ICRP Publication 71. *Annals of the ICRP* 25(3/4), Pergamon Press, Oxford, UK.
- Additional references are given with the data for each element, where appropriate.

A.1. 水素

体内動態モデル

トリチウム水 (HTO) および有機結合型トリチウム (OBT) のモデルはどちらも ICRP *Publication 56* (ICRP, 1989) から採用されている。HTO の 97% は体内水と平衡に達しており、半減期は 10 日であると仮定されている (コンパートメント全身 A)。残りの 3% は有機分子に組み込まれており、半減期は 40 日と仮定されている (コンパートメント全身 B)。OBT に対しては、50% が水と同じく 10 日の半減期を持ち、50% は有機炭素の半減期である 40 日とされている (表 A.1.1. および表 A.1.2.)。

トリチウムに対するほとんどのモニタリングプログラムでは、尿試料は、他の放射性核種の場合と違って、1 日分を集めたものにはなっていない。その代わりに、尿中のトリチウム水の放射能濃度は、体内水の HTO 濃度に等しいと仮定される。それゆえ、試料採取時の体内水中の濃度を与えるために単一の尿試料中のトリチウム水の分析が用いられる。この理由で、トリチウム水についての結果は、1 日当たりの尿中排泄量ではなく、尿中の濃度 (Bq l^{-1}) で与えられる。

尿中のトリチウム水と体内水のトリチウム水との平衡の仮定は、上述した体内動態モデルおよび *Publication 23* (ICRP, 1975) で勧告されている標準人の体内水の総体積 42 リットルと矛盾しない。上述のモデルを用いると、任意の日における全身の体内水中平均濃度が計算できる。またこのモデルは、尿中排泄量を計算するために用いることもでき、この排泄量を標準人が 1 日に排泄する尿の体積 1.4 リットルで割ることによって尿中濃度に換算することができる。尿を通じて排泄される水の量は、1 日に排泄される総水量のおよそ半分しかないという事実を考慮すると (残りは呼気、発汗および糞によって失われる)、これらの 2 つの濃度はほぼ等しい。

有機結合型トリチウムに対しては、状況はいくらか異なる。この場合、放射能のかなりの割合 (デフォルトモデルでは 50%) が有機分子に結合している。尿と全身体内水との間に放射能の平衡を仮定することは OBT に対しては適切でないであろう。それゆえ、OBT についての結果は、1 日当たりの尿中排泄量で与えられる。体内水と平衡になっている OBT の 50% のうち、だいたい半分は標準人のデータに従って尿中に排泄されるものとする。排泄経路に関して、このモデルは、*Publication 67* (ICRP, 1993) および *68* (ICRP, 1994) で与えられている線量計算に用いられるモデルとわずかに異なることを注意すべきである。OBT に対して、50% が有機分子に結合しているというデフォルトの仮定は、必ずしもすべての標識化合物の代表的な値ではない。デフォルトと大幅に異なる場合には、特別な考慮が要求されるかもしれない。

表 A.1.1. トリチウム水の体内動態データ

コンパートメント	取込み割合 (%)	生物学的半減期 (日)
全身A	97	10
全身B	3	40

表 A.1.2. 有機結合型トリチウムの体内動態データ

コンパートメント	取込み割合 (%)	生物学的半減期 (日)
全身A	50	10
全身B	50	40
通過コンパートメント	—	0.25

線量算定用データ

表 A.1.3. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

	f_1 値	摂取
経口摂取	1.0	トリチウム水または有機結合型トリチウムの経口摂取
蒸気	^a	トリチウム水蒸気の吸入摂取
ガス	^a	トリチウムガスの吸入摂取

^a呼吸気道に沈着した放射能の全量は直ちに吸収されるので、適用されない。

表 A.1.4. 線量係数

化学形	$t_{1/2}$	クラス	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹	f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹
トリチウム水	12.3 y	SR-2	^a	1.8E-11	1.0	1.8E-11
トリチウムガス	12.3 y	SR-2	^a	1.8E-14	—	—
OBT ^b	12.3 y	SR-2	^a	4.1E-11	1.0	4.2E-11

^a呼吸気道に沈着した放射能の全量は直ちに吸収されるので、適用されない。

^b OBT—有機結合型トリチウム

水素-3 (半減期=12.3年)

表 A.1.5. 放出放射線

放射線	平均エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
β	0.0057	100

表 A.1.6. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値
液体シンチレーション計数	尿 100 Bq l ⁻¹

トリチウムには、検出上の問題はない。

表 A.1.7. 特殊モニタリング：トリチウム水の経口摂取，注入および吸入摂取における
予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq l⁻¹）

摂取後の時間（日）	全摂取経路
	尿中の放射能濃度
1	2.3E-02
2	2.1E-02
3	2.0E-02
4	1.9E-02
5	1.7E-02
6	1.6E-02
7	1.5E-02
8	1.4E-02
9	1.3E-02
10	1.2E-02

表 A.1.8. 特殊モニタリング：有機結合型トリチウムの経口摂取における予測値
（摂取量 Bq 当たりの Bq l⁻¹）

摂取後の時間（日）	1日当たりの尿中排泄量
1	1.3E-02
2	2.3E-02
3	2.2E-02
4	2.1E-02
5	2.0E-02
6	1.9E-02
7	1.8E-02
8	1.7E-02
9	1.7E-02
10	1.6E-02

これらの結果は吸入にも用いることができる。

表 A.1.9. 日常モニタリング：トリチウム水の経口摂取，注入および吸入摂取における予測値
（摂取量 Bq 当たりの Bq l⁻¹）

モニタリング間隔（日）	全摂取経路
	尿中の放射能濃度
30	8.9E-03
14	1.5E-02
7	1.9E-02

慢性摂取

表 A.1.10. は、1 Bq y⁻¹ (1/365 Bq d⁻¹) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表A.1.10. 連続慢性摂取における平衡値 ($Bq\ l^{-1}$)

測定量	HTO 水蒸気		時間
	1年当たりの吸入摂取	年限度相当	
尿中放射能濃度	1.0E-03	1.2E+06	2ヶ月

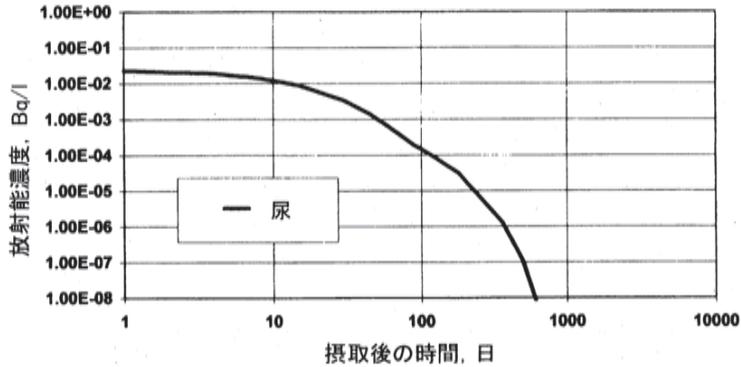


図 A.1.1. 3H (トリチウム水) 吸入摂取, 経口摂取および注入: 急性摂取後の予測値
(摂取量 Bq 当たりの $Bq\ l^{-1}$)

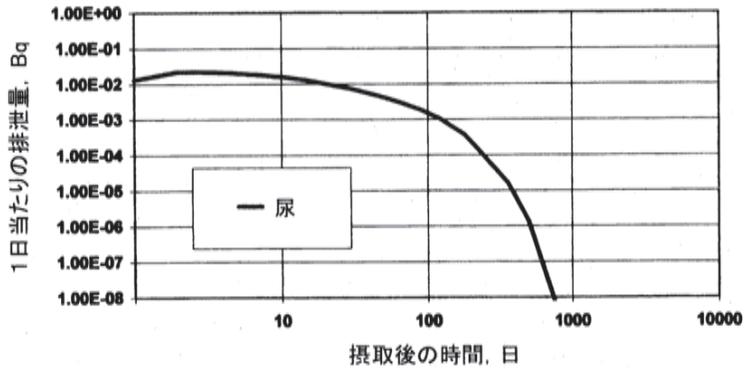


図 A.1.2. 3H (有機結合型トリチウム) 経口摂取: 急性摂取後の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

A.2. 鉄

体内動態モデル

体内における全身性の鉄に関する体内動態モデルは *Publication 69* (ICRP, 1995) から採用されている。循環系に入った後は、ほとんどの鉄は、新しく形成された赤血球の中のヘモグロビンと結合して赤色骨髄に運ばれ、循環系へ再放出される。これよりも少量の鉄が、他の組織、主として肝臓に貯蔵される。これらの過程は、排泄の経路と同様に、図 A.2.1. に示す詳細な再循環モデルを用いて表され、体内動態パラメータは表 A.2.1 に与えられている。

表 A.2.1. 鉄の体内動態モデルのためのパラメータ値 (d^{-1})

経路	移行速度
血漿→RBM ^a 合成	6.00E+00
血漿→RBM 通過	2.00E+00
血漿→肝臓通過	1.50E+00
血漿→軟組織迅速交換	1.40E+00
血漿→膀胱	2.00E-02
RBC ^b →RBM 通過	8.33E-03
RBC→大腸上部	1.30E-04
RBM 合成→RBC ^b	7.00E-01
RBM 通過→血漿	3.30E-01
RBM 通過→RBM 貯蔵	2.47E-02
RBM 通過→肝臓貯蔵	4.95E-03
RBM 通過→脾臓	7.91E-03
RBM 通過→軟組織貯蔵	3.16E-02
肝臓通過→血漿	1.00E-02
肝臓通過→小腸	4.50E-04
軟組織迅速交換→血漿	9.10E-01
RBM 貯蔵→RBM 通過	1.80E-03
肝臓貯蔵→RBM 通過	1.80E-03
脾臓→RBM 通過	1.80E-03
軟組織貯蔵→RBM 通過	1.80E-03
軟組織貯蔵→排泄物	5.63E-04

^a RBM—赤色骨髄

^b RBC—赤血球

線量算定用データ

表 A.2.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	0.1	すべての化合物
吸入, タイプ F	0.1	不特定の化合物
吸入, タイプ M	0.1	酸化物, 水酸化物およびハロゲン化物

表 A.2.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Fe-59	44.5d	F	0.1	3.0E-09	0.1	1.8E-09
		M	0.1	3.2E-09		

鉄-59 (半減期=44.5 日)

表 A.2.4. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
γ	1.10	56
γ	1.29	44

表 A.2.5. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	50 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	1 Bq l ⁻¹

鉄-59には、検出上の問題はない。

表 A.2.6. 特殊モニタリング：⁵⁹Feの吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ F		タイプ M	
	全身	1日当たりの 尿中排泄量	全身	1日当たりの 尿中排泄量
1	5.4E-01	6.0E-04	5.0E-01	1.3E-04
2	3.9E-01	5.2E-05	2.8E-01	1.4E-05
3	3.3E-01	3.3E-05	1.8E-01	8.6E-06
4	3.0E-01	2.3E-05	1.4E-01	6.1E-06
5	2.8E-01	1.7E-05	1.2E-01	4.6E-06
6	2.8E-01	1.3E-05	1.2E-01	3.6E-06
7	2.7E-01	1.0E-05	1.1E-01	3.0E-06
8	2.7E-01	8.3E-06	1.1E-01	2.6E-06
9	2.6E-01	7.2E-06	1.1E-01	2.3E-06
10	2.6E-01	6.3E-06	1.0E-01	2.1E-06

表 A.2.7. 特殊モニタリング： ^{59}Fe の経口摂取および注入における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取		注入	
	全身	1日当たりの尿中排泄量	全身	1日当たりの尿中排泄量
1	7.3E-01	1.9E-04	9.8E-01	2.0E-03
2	3.8E-01	2.0E-05	9.7E-01	1.7E-04
3	2.1E-01	1.2E-05	9.5E-01	1.1E-04
4	1.4E-01	8.0E-06	9.4E-01	7.5E-05
5	1.1E-01	5.8E-06	9.2E-01	5.4E-05
6	9.6E-02	4.4E-06	9.1E-01	4.2E-05
7	9.1E-02	3.5E-06	8.9E-01	3.3E-05
8	8.9E-02	2.8E-06	8.8E-01	2.8E-05
9	8.7E-02	2.4E-06	8.7E-01	2.4E-05
10	8.5E-02	2.1E-06	8.5E-01	2.1E-05

表 A.2.8. 日常モニタリング： ^{59}Fe の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	タイプ F		タイプ M	
	全身	1日当たりの尿中排泄量	全身	1日当たりの尿中排泄量
120	1.2E-01	2.0E-06	4.3E-02	6.8E-07
90	1.5E-01	2.5E-06	5.5E-02	8.9E-07
60	1.9E-01	3.3E-06	7.2E-02	1.2E-06
30	2.4E-01	4.5E-06	9.4E-02	1.6E-06
14	2.7E-01	1.0E-05	1.1E-01	3.0E-06
7	3.0E-01	2.3E-05	1.4E-01	6.1E-06

慢性摂取

表 A.2.9. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.2.9. ^{59}Fe の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			タイプ M		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
全身	5.4E-02	3.6E+05	1年	2.2E-02	1.4E+05	1年
1日当たりの尿中排泄量	2.9E-06	1.9E+01	1年	7.6E-07	4.7	1年

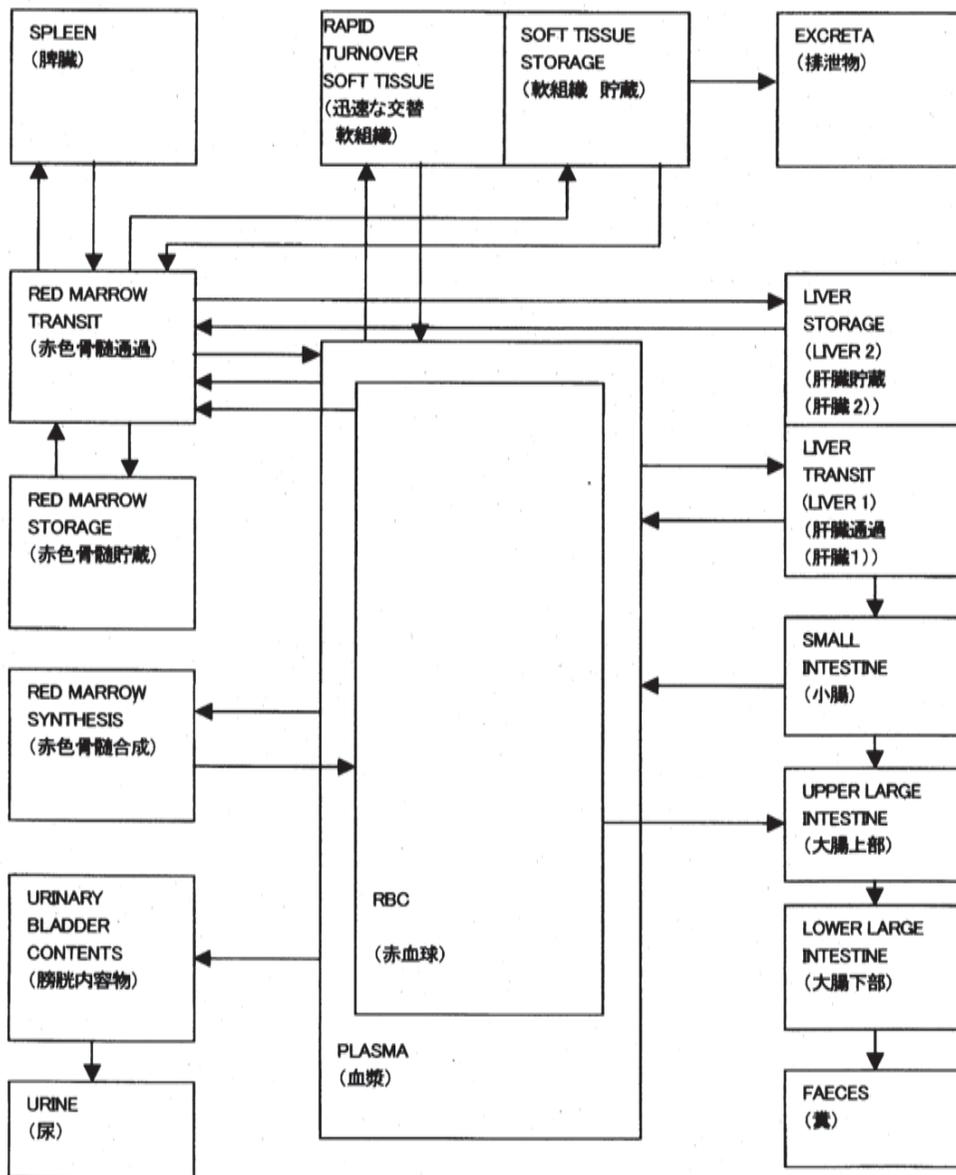


図 A.2.1. 鉄に対する体内動態モデルの図

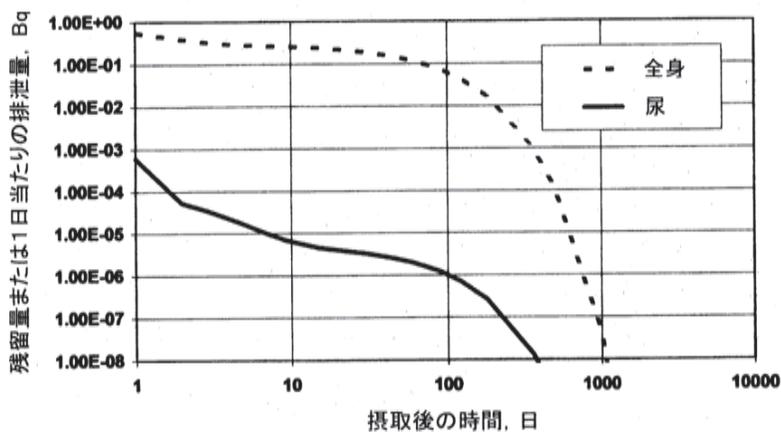


図 A.2.2. ^{59}Fe 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

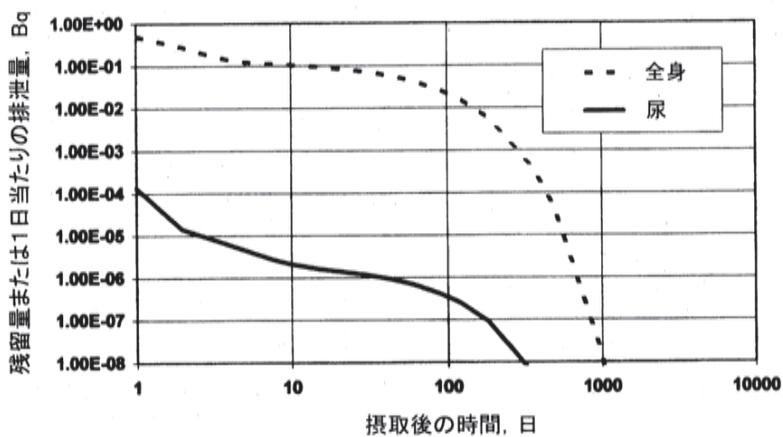


図 A.2.3. ^{59}Fe 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

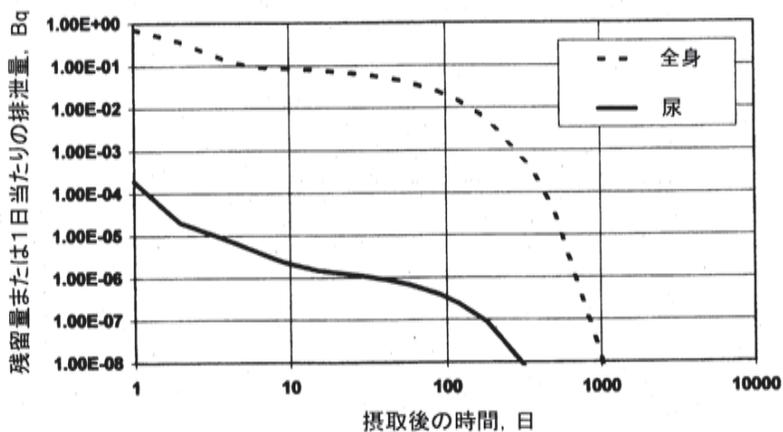


図 A.2.4. ^{59}Fe 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

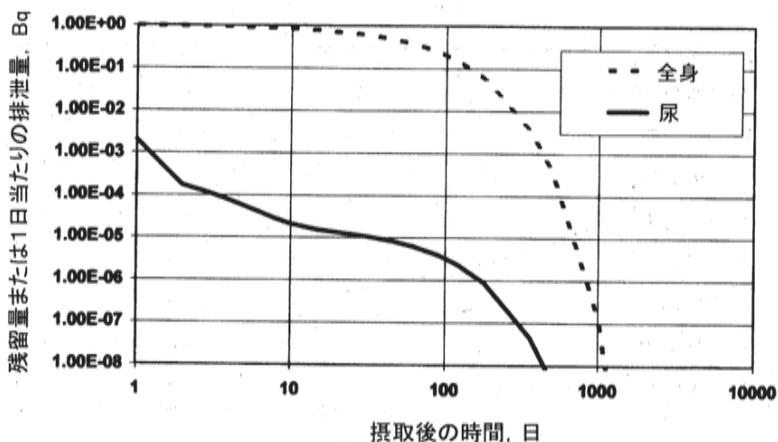


図 A.2.5. ^{69}Fe 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

A.3. コバルト

体内動態モデル

コバルトは血液に入った後、大部分がすみやかに排泄される。*Publication 30* (ICRP, 1979) は、循環系に到達したコバルトの 50% が 0.5 日の半減期ですみやかに排泄され、5% が肝臓に吸収され、45% が他の全ての組織に一様に分布するというモデルを勧告した。0.6, 0.2 および 0.2 という割合が、それぞれ、6 日(A), 60 日(B) および 800 日(C) の生物学的半減期で肝臓および他の組織から失われると仮定されている。ついでこのモデル (表 A. 3.1.) は *Publication 67* (ICRP, 1993) の中で支持され、そこではまた尿中排泄と糞中排泄の比として 6:1 という値が勧告されている。

表 A.3.1. コバルトの体内動態データ

コンパートメント	取込み割合 (%)	生物学的半減期 (日)
肝臓 A	3	6
肝臓 B	1	60
肝臓 C	1	800
その他の組織 A	27	6
その他の組織 B	9	60
その他の組織 C	9	800
即時排泄	50	—
通過コンパートメント	—	0.5

線量算定用データ

表 A.3.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	0.1	不特定の化合物
経口摂取	0.05	酸化物, 水酸化物および無機化合物
吸入, タイプ M	0.1	不特定の化合物
吸入, タイプ S	0.05	酸化物, 水酸化物, ハロゲン化物および硝酸塩

表 A.3.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹	f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹
Co-57	271 d	M	0.1	3.9E-10	0.1	2.1E-10
		S	0.05	6.0E-10	0.05	1.9E-10
Co-58	70.8 d	M	0.1	1.4E-09	0.1	7.4E-10
		S	0.05	1.7E-09	0.05	7.0E-10
Co-60	5.27 y	M	0.1	7.1E-09	0.1	3.4E-09
		S	0.05	1.7E-08	0.05	2.5E-09

コバルト-57 (半減期=271 日)

表 A.3.4. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
γ	0.122	85.6
γ	0.137	10.6

表 A.3.5. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	100 Bq
	肺	200 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	1 Bq l ⁻¹
	糞	1 試料当たり 1 Bq

コバルト-57 には, 検出上の問題はない。

表 A.3.6. 特殊モニタリング： ^{57}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ M			
	全身	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	4.8E-01	5.7E-02	2.0E-02	1.0E-01
2	2.6E-01	5.6E-02	9.1E-03	1.4E-01
3	1.5E-01	5.5E-02	3.7E-03	7.2E-02
4	1.1E-01	5.4E-02	2.2E-03	3.0E-02
5	9.0E-02	5.3E-02	1.7E-03	1.2E-02
6	8.2E-02	5.2E-02	1.4E-03	5.0E-03
7	7.7E-02	5.1E-02	1.3E-03	2.3E-03
8	7.4E-02	5.0E-02	1.2E-03	1.3E-03
9	7.2E-02	4.9E-02	1.1E-03	8.6E-04
10	7.0E-02	4.8E-02	9.7E-04	6.9E-04

表 A.3.7. 特殊モニタリング： ^{57}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ S			
	全身	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	4.9E-01	6.4E-02	5.7E-03	1.1E-01
2	2.5E-01	6.2E-02	3.1E-03	1.5E-01
3	1.4E-01	6.1E-02	1.2E-03	7.9E-02
4	9.7E-02	6.1E-02	6.7E-04	3.3E-02
5	7.9E-02	6.0E-02	5.0E-04	1.3E-02
6	7.2E-02	5.9E-02	4.2E-04	5.4E-03
7	6.8E-02	5.8E-02	3.7E-04	2.4E-03
8	6.6E-02	5.8E-02	3.3E-04	1.3E-03
9	6.5E-02	5.7E-02	3.0E-04	8.2E-04
10	6.4E-02	5.6E-02	2.7E-04	6.5E-04

表 A.3.8. 特殊モニタリング： ^{57}Co の経口摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の 時間（日）	$f_1 = 0.1$			$f_1 = 0.05$		
	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	7.1E-01	2.8E-02	2.6E-01	7.1E-01	1.4E-02	2.7E-01
2	3.4E-01	1.4E-02	3.5E-01	3.4E-01	7.2E-03	3.7E-01
3	1.6E-01	5.5E-03	1.8E-01	1.5E-01	2.7E-03	1.9E-01
4	8.6E-02	3.0E-03	7.3E-02	6.8E-02	1.5E-03	7.7E-02
5	5.5E-02	2.2E-03	2.8E-02	3.7E-02	1.1E-03	3.0E-02
6	4.2E-02	1.9E-03	1.1E-02	2.5E-02	9.5E-04	1.1E-02
7	3.6E-02	1.7E-03	4.2E-03	1.9E-02	8.3E-04	4.3E-03
8	3.3E-02	1.5E-03	1.7E-03	1.7E-02	7.4E-04	1.7E-03
9	3.1E-02	1.3E-03	7.9E-04	1.6E-02	6.6E-04	6.8E-04
10	2.9E-02	1.2E-03	4.3E-04	1.5E-02	5.9E-04	3.2E-04

表 A.3.9. 特殊モニタリング： ^{57}Co の注入における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	6.7E-01	3.2E-01	1.1E-02
2	5.3E-01	1.1E-01	2.5E-02
3	4.6E-01	4.7E-02	2.1E-02
4	4.1E-01	2.8E-02	1.3E-02
5	3.8E-01	2.2E-02	8.0E-03
6	3.6E-01	1.8E-02	5.2E-03
7	3.4E-01	1.6E-02	3.9E-03
8	3.2E-01	1.4E-02	3.1E-03
9	3.0E-01	1.3E-02	2.7E-03
10	2.9E-01	1.2E-02	2.3E-03

表 A.3.10. 日常モニタリング： ^{57}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔(日)	タイプ M			
	肺	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
180	1.7E-02	2.7E-02	9.8E-05	(6.1E-05) ^a
120	2.4E-02	3.5E-02	1.4E-04	(1.2E-04)
90	2.9E-02	4.1E-02	1.8E-04	1.8E-04
60	3.6E-02	5.0E-02	2.7E-04	2.8E-04
30	4.5E-02	6.3E-02	6.4E-04	4.8E-04
14	5.1E-02	7.7E-02	1.3E-03	(2.3E-03)
7	5.4E-02	1.1E-01	2.2E-03	(3.0E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

表 A.3.11. 日常モニタリング： ^{57}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔(日)	タイプ S			
	肺	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	2.0E-02	2.2E-02	5.3E-06	2.3E-05
180	3.0E-02	3.3E-02	1.3E-05	(8.3E-05) ^a
120	3.6E-02	3.9E-02	2.0E-05	1.6E-04
90	4.0E-02	4.4E-02	2.8E-05	2.2E-04
60	4.6E-02	5.0E-02	5.3E-05	3.2E-04
30	5.3E-02	5.9E-02	1.7E-04	4.8E-04
14	5.8E-02	6.8E-02	3.7E-04	(2.4E-03)
7	6.1E-02	9.7E-02	6.7E-04	(3.3E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.3.12. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.3.12. ^{57}Co の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ M			タイプ S		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
肺	1.3E-02	6.7E+05	1年	3.2E-02	1.1E+06	5年
全身	2.6E-02	1.3E+06	3年	3.8E-02	1.3E+06	5年
1日当たりの尿中排泄量	2.0E-04	1.0E+04	2年	5.1E-05	1.7E+03	5年
1日当たりの糞中排泄量	1.1E-03	5.4E+04	1年	1.2E-03	3.9E+04	4月

コバルト-58 (半減期=70.8日)

表 A.3.13. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
γ	0.511	30
γ	0.811	99

表 A.3.14. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	50 Bq
	肺	100 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	1 Bq l ⁻¹
	糞	1 試料当たり 1 Bq

コバルト-58 には、検出上の問題はない

表 A.3.15. 特殊モニタリング： ^{58}Co の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ M			
	全身	肺	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	4.8E-01	5.7E-02	2.0E-02	1.0E-01
2	2.5E-01	5.5E-02	9.0E-03	1.4E-01
3	1.5E-01	5.3E-02	3.6E-03	7.0E-02
4	1.0E-01	5.2E-02	2.1E-03	2.9E-02
5	8.7E-02	5.1E-02	1.6E-03	1.2E-02
6	7.8E-02	5.0E-02	1.4E-03	4.8E-03
7	7.3E-02	4.8E-02	1.2E-03	2.2E-03
8	7.0E-02	4.7E-02	1.1E-03	1.2E-03
9	6.8E-02	4.6E-02	1.0E-03	8.0E-04
10	6.5E-02	4.5E-02	9.1E-04	6.4E-04

表 A.3.16. 特殊モニタリング： ^{58}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ S			
	全身	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	4.9E-01	6.4E-02	5.6E-03	1.1E-01
2	2.5E-01	6.1E-02	3.1E-03	1.5E-01
3	1.4E-01	6.0E-02	1.2E-03	7.7E-02
4	9.4E-02	5.9E-02	6.5E-04	3.2E-02
5	7.6E-02	5.8E-02	4.8E-04	1.3E-02
6	6.9E-02	5.7E-02	4.0E-04	5.2E-03
7	6.5E-02	5.6E-02	3.5E-04	2.3E-03
8	6.3E-02	5.5E-02	3.1E-04	1.2E-03
9	6.1E-02	5.4E-02	2.8E-04	7.7E-04
10	5.9E-02	5.2E-02	2.5E-04	6.1E-04

表 A.3.17. 特殊モニタリング： ^{58}Co の経口摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の 時間（日）	$f_1 = 0.1$			$f_1 = 0.05$		
	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	7.0E-01	2.7E-02	2.6E-01	7.1E-01	1.4E-02	2.7E-01
2	3.4E-01	1.4E-02	3.4E-01	3.3E-01	7.1E-03	3.6E-01
3	1.6E-01	5.3E-03	1.7E-01	1.4E-01	2.7E-03	1.8E-01
4	8.4E-02	2.9E-03	7.1E-02	6.6E-02	1.5E-03	7.4E-02
5	5.3E-02	2.2E-03	2.7E-02	3.6E-02	1.1E-03	2.9E-02
6	4.1E-02	1.8E-03	1.0E-02	2.4E-02	9.1E-04	1.1E-02
7	3.5E-02	1.6E-03	4.0E-03	1.9E-02	7.9E-04	4.0E-03
8	3.1E-02	1.4E-03	1.6E-03	1.6E-02	7.0E-04	1.6E-03
9	2.9E-02	1.2E-03	7.4E-04	1.5E-02	6.2E-04	6.4E-04
10	2.7E-02	1.1E-03	4.0E-04	1.4E-02	5.5E-04	3.0E-04

表 A.3.18. 特殊モニタリング： ^{58}Co の注入における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	6.6E-01	3.2E-01	1.1E-02
2	5.2E-01	1.1E-01	2.5E-02
3	4.5E-01	4.6E-02	2.0E-02
4	4.0E-01	2.7E-02	1.3E-02
5	3.7E-01	2.1E-02	7.7E-03
6	3.4E-01	1.8E-02	5.0E-03
7	3.2E-01	1.5E-02	3.7E-03
8	3.0E-01	1.4E-02	2.9E-03
9	2.8E-01	1.2E-02	2.5E-03
10	2.7E-01	1.1E-02	2.2E-03

表 A.3.19. 日常モニタリング：⁵⁸Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ M			
	肺	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
120	1.6E-02	2.3E-02	9.0E-05	(7.8E-05) ^a
90	2.1E-02	3.0E-02	1.3E-04	(1.3E-04)
60	2.9E-02	4.0E-02	2.2E-04	2.2E-04
30	4.0E-02	5.7E-02	5.8E-04	4.3E-04
14	4.8E-02	7.3E-02	1.2E-03	(2.2E-03)
7	5.2E-02	1.0E-01	2.1E-03	(2.9E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

表 A.3.20. 日常モニタリング：⁵⁸Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ S			
	肺	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
180	1.6E-02	1.7E-02	(6.9E-06) ^a	(4.3E-05)
120	2.3E-02	2.5E-02	(1.3E-05)	(1.0E-04)
90	2.9E-02	3.2E-02	2.0E-05	(1.6E-04)
60	3.7E-02	4.0E-02	(4.2E-05)	2.6E-04
30	4.8E-02	5.3E-02	(1.5E-04)	4.3E-04
14	5.6E-02	6.5E-02	3.5E-04	(2.3E-03)
7	5.9E-02	9.4E-02	6.5E-04	(3.2E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.3.21. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.3.21. ⁵⁸Co の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ M			タイプ S		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
肺	7.6E-03	1.1E+05	1年	1.2E-02	1.4E+05	1年
全身	1.4E-02	2.0E+05	1年	1.6E-02	1.9E+05	1年
1日当たりの尿中排泄量	1.6E-04	2.3E+03	4月	4.4E-05	5.2E+02	6月
1日当たりの糞中排泄量	1.0E-03	1.5E+04	1月	1.1E-03	1.3E+04	1週

コバルト-60 (半減期=5.27年)

表 A.3.22. 放出放射線

放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
γ	1.17	100
γ	1.33	100

表 A.3.23. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	50Bq
	肺	100Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	1Bq l ⁻¹
	糞	1 試料当たり 1Bq

コバルト-60 には、検出上の問題はない。

表 A.3.24. 特殊モニタリング：⁶⁰Co の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ M			
	全身	肺	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量
1	4.9E-01	5.8E-02	2.0E-02	1.0E-01
2	2.6E-01	5.6E-02	9.2E-03	1.4E-01
3	1.5E-01	5.5E-02	3.7E-03	7.2E-02
4	1.1E-01	5.4E-02	2.2E-03	3.1E-02
5	9.1E-02	5.3E-02	1.7E-03	1.2E-02
6	8.3E-02	5.2E-02	1.5E-03	5.1E-03
7	7.8E-02	5.2E-02	1.3E-03	2.3E-03
8	7.6E-02	5.1E-02	1.2E-03	1.3E-03
9	7.4E-02	5.0E-02	1.1E-03	8.7E-04
10	7.2E-02	4.9E-02	1.0E-03	7.0E-04

表 A.3.25. 特殊モニタリング：⁶⁰Co の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ S			
	全身	肺	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量
1	4.9E-01	6.4E-02	5.7E-03	1.1E-01
2	2.5E-01	6.3E-02	3.1E-03	1.6E-01
3	1.4E-01	6.2E-02	1.2E-03	8.0E-02
4	9.8E-02	6.1E-02	6.7E-04	3.4E-02
5	8.0E-02	6.1E-02	5.0E-04	1.3E-02
6	7.3E-02	6.0E-02	4.3E-04	5.5E-03
7	6.9E-02	5.9E-02	3.8E-04	2.4E-03
8	6.8E-02	5.9E-02	3.4E-04	1.3E-03
9	6.6E-02	5.8E-02	3.1E-04	8.4E-04
10	6.5E-02	5.8E-02	2.8E-04	6.7E-04

表 A.3.26. 特殊モニタリング： ^{60}Co の経口摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の 時間（日）	$f_1 = 0.1$			$f_1 = 0.05$		
	全身	1日当たりの	1日当たりの	全身	1日当たりの	1日当たりの
		尿中排泄量	糞中排泄量		尿中排泄量	糞中排泄量
1	7.1E-01	2.8E-02	2.6E-01	7.1E-01	1.4E-02	2.7E-01
2	3.5E-01	1.4E-02	3.5E-01	3.4E-01	7.3E-03	3.7E-01
3	1.6E-01	5.5E-03	1.8E-01	1.5E-01	2.8E-03	1.9E-01
4	8.7E-02	3.1E-03	7.3E-02	6.8E-02	1.5E-03	7.7E-02
5	5.6E-02	2.3E-03	2.9E-02	3.7E-02	1.1E-03	3.0E-02
6	4.3E-02	1.9E-03	1.1E-02	2.5E-02	9.6E-04	1.1E-02
7	3.7E-02	1.7E-03	4.3E-03	2.0E-02	8.4E-04	4.3E-03
8	3.4E-02	1.5E-03	1.8E-03	1.7E-02	7.5E-04	1.7E-03
9	3.2E-02	1.3E-03	8.0E-04	1.6E-02	6.7E-04	7.0E-04
10	3.0E-02	1.2E-03	4.4E-04	1.5E-02	6.1E-04	3.3E-04

表 A.3.27. 特殊モニタリング： ^{60}Co の注入における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	6.7E-01	3.2E-01	1.1E-02
2	5.3E-01	1.1E-01	2.6E-02
3	4.6E-01	4.7E-02	2.1E-02
4	4.2E-01	2.8E-02	1.3E-02
5	3.9E-01	2.2E-02	8.0E-03
6	3.6E-01	1.9E-02	5.3E-03
7	3.4E-01	1.6E-02	3.9E-03
8	3.3E-01	1.5E-02	3.2E-03
9	3.1E-01	1.3E-02	2.7E-03
10	3.0E-01	1.2E-02	2.4E-03

表 A.3.28. 日常モニタリング： ^{60}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ M			
	肺	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	1.1E-02	2.1E-02	6.2E-05	(2.2E-05) ^a
180	2.1E-02	3.3E-02	1.2E-04	(7.4E-05)
120	2.7E-02	4.0E-02	1.6E-04	1.4E-04
90	3.2E-02	4.6E-02	2.0E-04	2.0E-04
60	3.8E-02	5.3E-02	2.9E-04	3.0E-04
30	4.6E-02	6.5E-02	6.6E-04	5.0E-04
14	5.2E-02	7.8E-02	1.3E-03	(2.3E-03)
7	5.4E-02	1.1E-01	2.2E-03	(3.1E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

表 A.3.29. 日常モニタリング： ^{60}Co の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ S			
	肺	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	3.0E-02	3.2E-02	7.8E-06	3.5E-05
180	3.6E-02	4.0E-02	1.6E-05	1.0E-04
120	4.1E-02	4.5E-02	2.3E-05	1.8E-04
90	4.4E-02	4.8E-02	3.1E-05	2.4E-04
60	4.9E-02	5.4E-02	5.6E-05	3.4E-04
30	5.5E-02	6.1E-02	1.7E-04	5.0E-04
14	5.9E-02	6.9E-02	3.8E-04	(2.4E-03) ^a
7	6.1E-02	9.8E-02	6.7E-04	(3.4E-02)

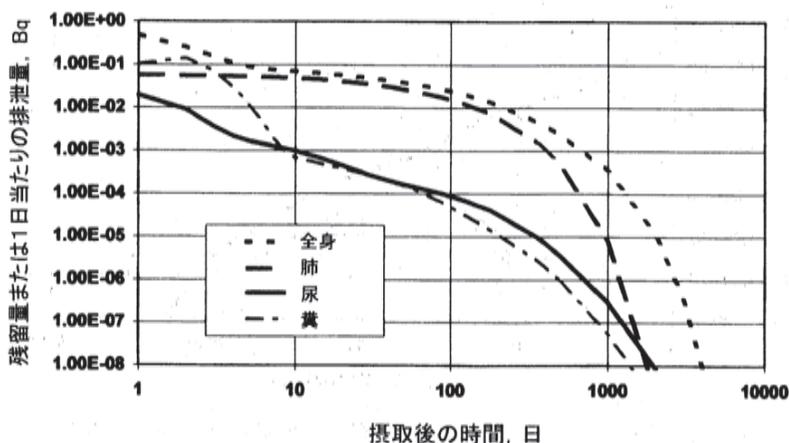
^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.3.30. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.3.30. ^{60}Co の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ M			タイプ S		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	時間	年限度相当	時間
肺	1.7E-02	4.8E+04	2年	9.0E-02	1.1E+05	30年
全身	4.6E-02	1.3E+05	15年	1.0E-01	1.2E+05	30年
1日当たりの尿中排泄量	2.3E-04	6.5E+02	3年	6.1E-05	7.2E+01	15年
1日当たりの糞中排泄量	1.1E-03	3.0E+03	6月	1.2E-03	1.4E+03	3月

図 A.3.1. ^{57}Co 吸入摂取タイプ M：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

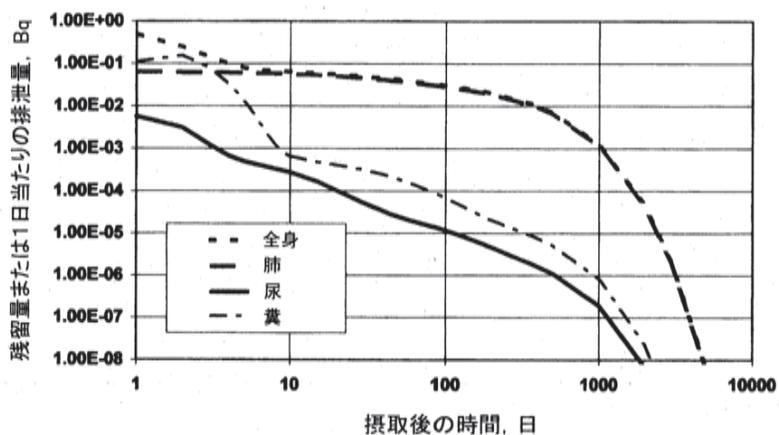


図 A.3.2. ^{57}Co 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

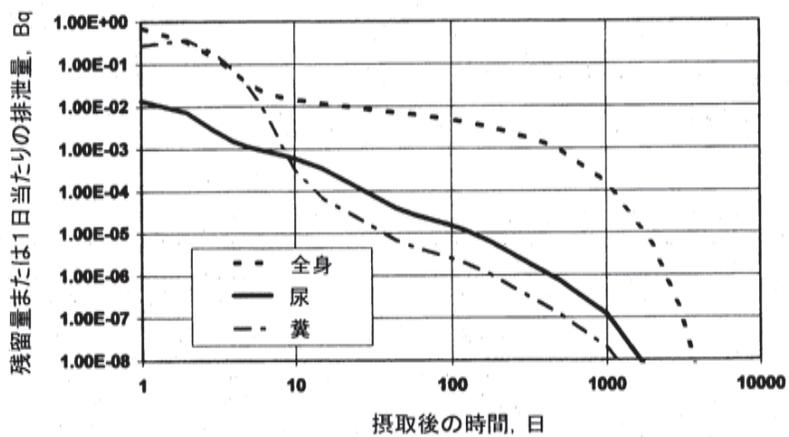


図 A.3.3. ^{57}Co 経口摂取 ($f_1 = 0.05$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

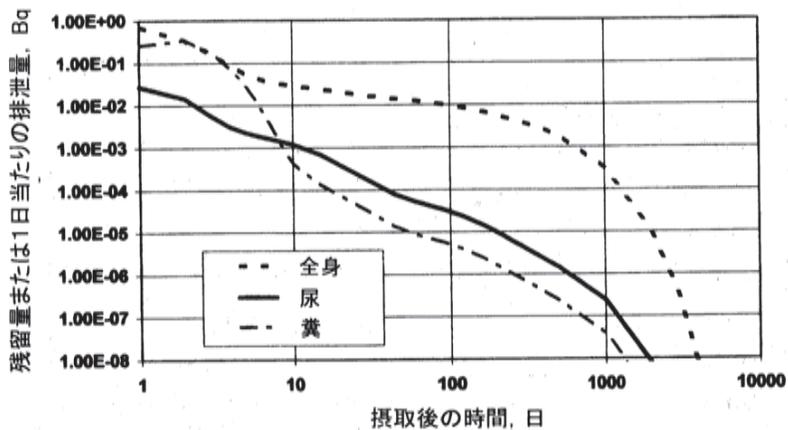


図 A.3.4. ^{57}Co 経口摂取 ($f_1 = 0.1$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

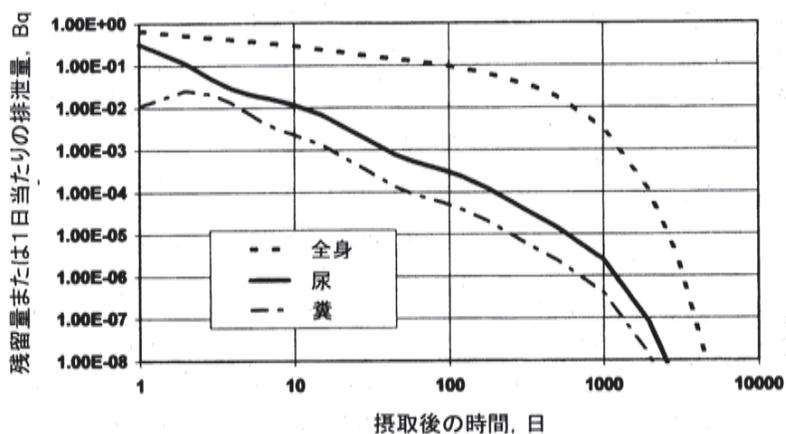


図 A.3.5. ^{57}Co 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

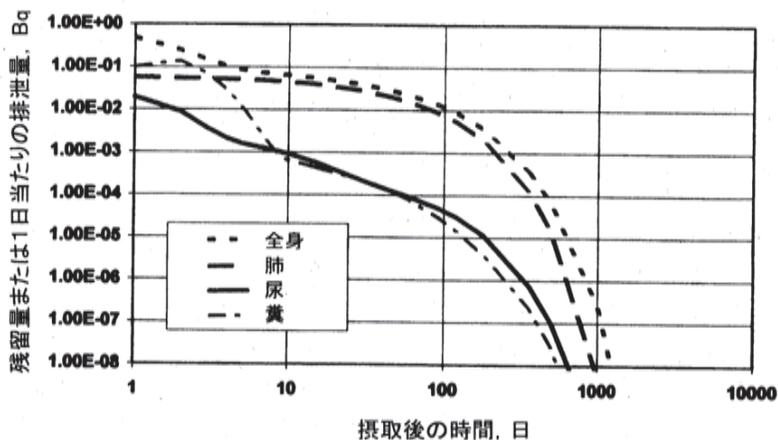


図 A.3.6. ^{58}Co 吸入摂取 タイプ M：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

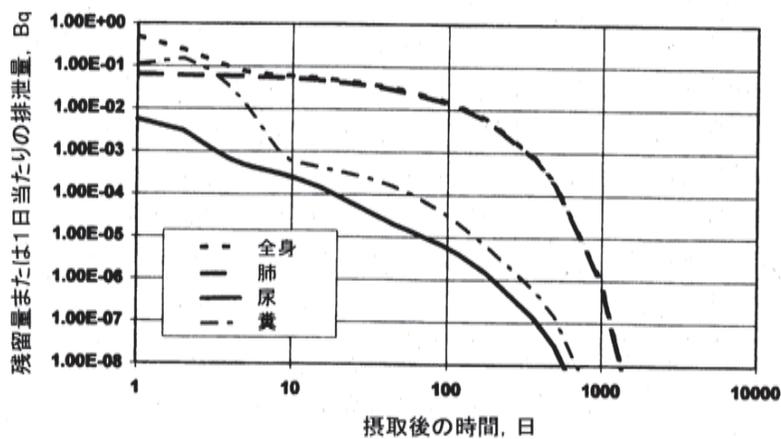


図 A.3.7. ^{58}Co 吸入摂取 タイプ S：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

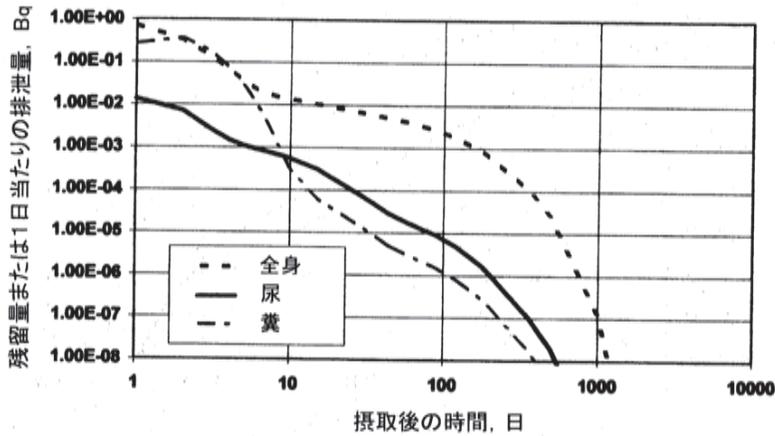


図 A.3.8. ^{58}Co 経口摂取 ($f_1 = 0.05$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

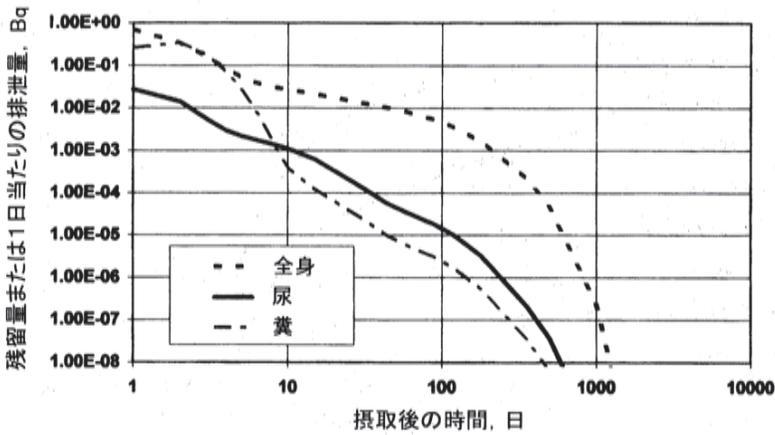


図 A.3.9. ^{58}Co 経口摂取 ($f_1 = 0.1$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

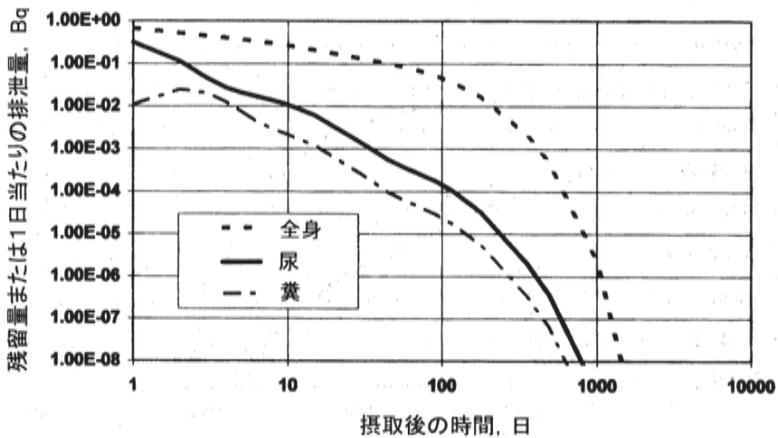


図 A.3.10. ^{58}Co 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

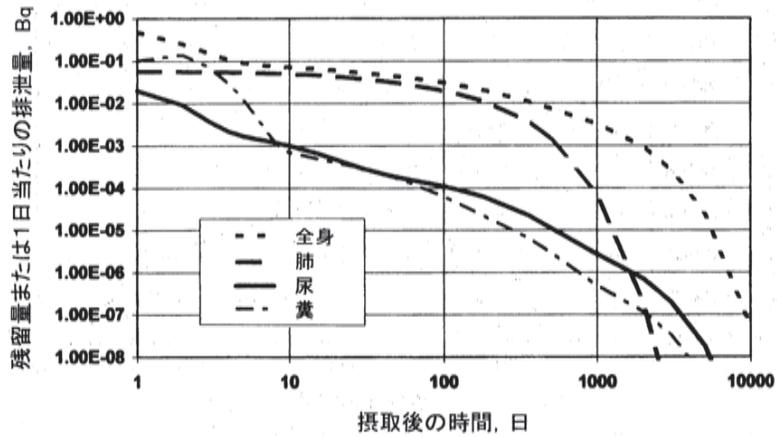


図 A.3.11. ^{60}Co 吸入摂取 タイプ M：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

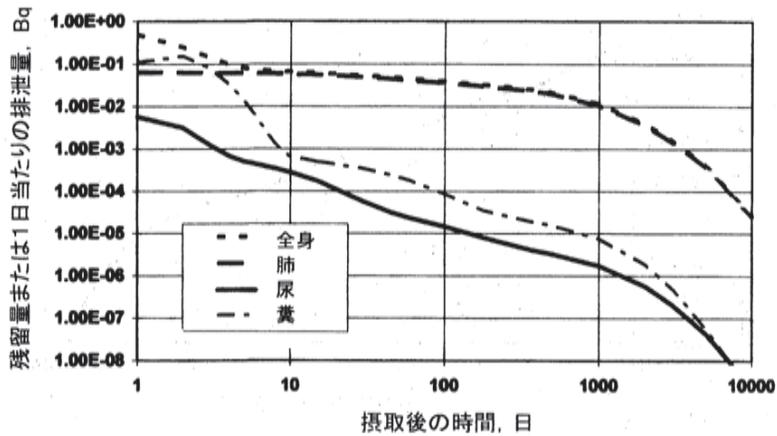


図 A.3.12. ^{60}Co 吸入摂取 タイプ S：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

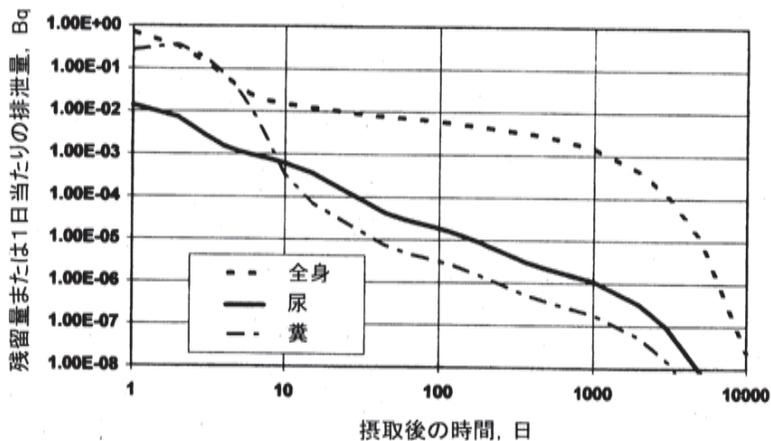


図 A.3.13. ^{60}Co 経口摂取 ($f_1 = 0.05$)：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

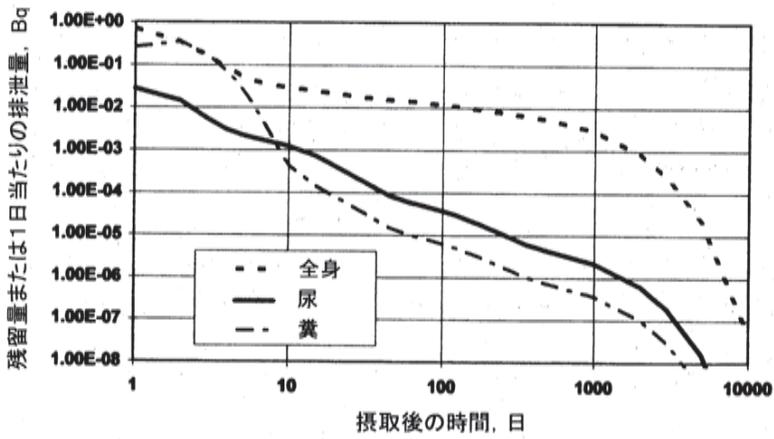


図 A.3.14. ^{60}Co 経口摂取 ($f_1 = 0.1$) : 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

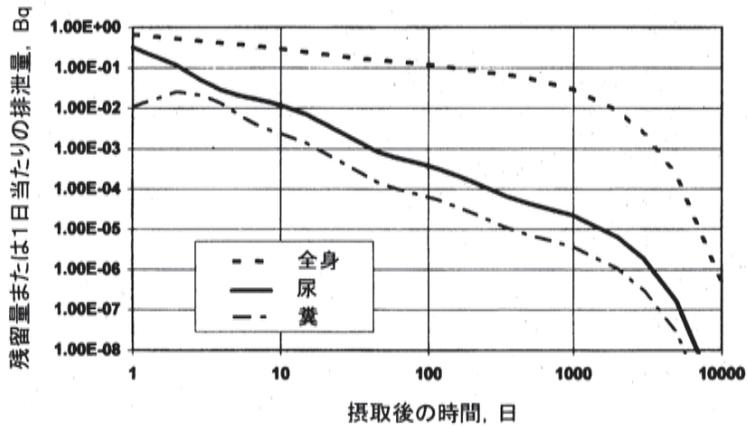


図 A.3.15. ^{60}Co 注入 : 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

A.4. ストロンチウム

体内動態モデル

生理学に基づくストロンチウムの再循環モデルは *Publication 67* (ICRP, 1993) から採用されており、本文の 3.3 節に詳細に記述されている。パラメータ値は表 A.4.1 に与えられている。これは、*Publication 56* (ICRP, 1989) に与えられた以前のストロンチウムのモデルに置き換わるものである。このモデルは、沈着および残留の主な部位である骨（梁骨および皮質骨）におけるストロンチウムの動態を記述しており、また、排泄経路のほかに、肝臓やその他の軟組織での残留も考慮している。骨表面への初期の取込み、骨表面から骨の体積全体への移行、および骨および他の組織からの血漿中への再循環も考慮されている。

表 A.4.1. ストロンチウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d^{-1})

経路	移行速度
ST 0 ^a →血漿	2.50E+00
ST 1 ^a →血漿	1.16E-01
ST 2 ^a →血漿	3.80E-04
皮質骨表面→血漿	5.78E-01
非交換性皮質骨体積→血漿	8.21E-05
梁骨表面→血漿	5.78E-01
非交換性梁骨体積→血漿	4.93E-04
血漿→軟組織 0	7.50E+00
血漿→軟組織 1	1.50E+00
血漿→軟組織 2	3.00E-03
血漿→皮質骨表面	1.67E+00
皮質骨体積→皮質骨表面	4.30E-03
皮質骨表面→交換性皮質骨体積	1.16E-01
交換性皮質骨体積→非交換性皮質骨体積	4.30E-03
血漿→梁骨表面	2.08E+00
交換性梁骨体積→梁骨表面	4.30E-03
梁骨表面→交換性梁骨体積	1.16E-01
交換性梁骨体積→非交換性梁骨体積	4.30E-03
血漿→膀胱	1.73E+00
血漿→U.L.I. ^b	5.25E-01

^aST-軟組織

^bU.L.I.-大腸上部

数値は計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

線量算定用データ

表 A.4.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	0.3	不特定の化合物
経口摂取	0.01	チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)
吸入, タイプ F	0.3	不特定の化合物
吸入, タイプ S	0.01	チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)

表 A.4.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Sr-85	64.8 d	F	0.3	5.6E-10	0.3	5.6E-10
		S	0.01	6.4E-10	0.01	3.3E-10
Sr-89	50.5 d	F	0.3	1.4E-09	0.3	2.6E-09
		S	0.01	5.6E-09	0.01	2.3E-09
Sr-90	29.1 y	F	0.3	3.0E-08	0.3	2.8E-08
		S	0.01	7.7E-08	0.01	2.7E-09

ストロンチウム-85 (半減期=64.8 日)

表 A.4.4. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
γ	0.51	98

表 A.4.5. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身 100 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿 1 Bq l ⁻¹

ストロンチウム-85 には検出上の問題はない。

表 A.4.6. 特殊モニタリング： ^{85}Sr の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ F		タイプ S	
	全身	1 日当たりの 尿中排泄量	全身	1 日当たりの 尿中排泄量
1	4.8E-01	6.8E-02	4.9E-01	8.0E-04
2	3.2E-01	2.3E-02	2.5E-01	3.4E-04
3	2.4E-01	1.5E-02	1.3E-01	2.1E-04
4	2.0E-01	1.1E-02	8.9E-02	1.6E-04
5	1.7E-01	8.7E-03	7.1E-02	1.2E-04
6	1.6E-01	7.1E-03	6.3E-02	1.0E-04
7	1.5E-01	5.9E-03	6.0E-02	8.3E-05
8	1.4E-01	5.0E-03	5.8E-02	7.1E-05
9	1.3E-01	4.3E-03	5.6E-02	6.2E-05
10	1.3E-01	3.7E-03	5.5E-02	5.4E-05

表 A.4.7. 特殊モニタリング： ^{85}Sr の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間（日）	経口摂取 $f_1=0.3$		経口摂取 $f_1=0.01$		注入	
	全身	1 日当たりの 尿中排泄量	全身	1 日当たりの 尿中排泄量	全身	1 日当たりの 尿中排泄量
1	7.2E-01	5.6E-02	7.1E-01	1.8E-03	7.7E-01	2.0E-01
2	4.2E-01	2.2E-02	3.2E-01	7.4E-04	6.7E-01	6.6E-02
3	2.7E-01	1.4E-02	1.3E-01	4.7E-04	6.0E-01	4.4E-02
4	2.0E-01	1.0E-02	5.3E-02	3.4E-04	5.4E-01	3.2E-02
5	1.6E-01	7.9E-03	2.3E-02	2.7E-04	5.0E-01	2.5E-02
6	1.4E-01	6.4E-03	1.1E-02	2.1E-04	4.6E-01	2.1E-02
7	1.3E-01	5.3E-03	6.7E-03	1.8E-04	4.3E-01	1.7E-02
8	1.2E-01	4.4E-03	5.0E-03	1.5E-04	4.1E-01	1.4E-02
9	1.2E-01	3.8E-03	4.2E-03	1.3E-04	3.9E-01	1.2E-02
10	1.1E-01	3.3E-03	3.8E-03	1.1E-04	3.7E-01	1.1E-02

表 A.4.8. 日常モニタリング： ^{85}Sr の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ F		タイプ S	
	全身	1 日当たりの 尿中排泄量	全身	1 日当たりの 尿中排泄量
180	2.4E-02	(4.3E-05) ^a	1.5E-02	(1.8E-06)
120	3.6E-02	(1.2E-04)	2.3E-02	(3.6E-06)
90	4.6E-02	(2.6E-04)	2.9E-02	(6.2E-06)
60	6.3E-02	(6.9E-04)	3.7E-02	(1.3E-05)
30	1.0E-01	(2.2E-03)	4.9E-02	3.4E-05
14	1.5E-01	5.9E-03	6.0E-02	8.3E-05
7	2.0E-01	1.1E-02	8.9E-02	1.6E-04

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.4.9. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.4.9. ^{86}Sr の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			タイプ S		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
全身	2.3E-02	8.3E+05	1年	1.4E-02	4.5E+05	1年
1日当たりの尿中排泄量	5.4E-04	1.9E+04	4月	8.0E-06	2.5E+02	1年

ストロンチウム-89 (半減期=50.5 日)

表 A.4.10. 放出放射線

放射線	平均エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
β^-	0.58	100

表 A.4.11. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値
化学分離後に β^- 計数	尿 1 Bq l^{-1}

ストロンチウム-89 には、検出上の問題はない。

表 A.4.12. 特殊モニタリング： ^{89}Sr の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ F		タイプ S	
	1日当たりの尿中排泄量		1日当たりの尿中排泄量	
1	6.7E-02		8.0E-04	
2	2.3E-02		3.3E-04	
3	1.5E-02		2.1E-04	
4	1.1E-02		1.6E-04	
5	8.6E-03		1.2E-04	
6	6.9E-03		9.8E-05	
7	5.7E-03		8.2E-05	
8	4.8E-03		6.9E-05	
9	4.2E-03		6.0E-05	
10	3.6E-03		5.3E-05	

表 A.4.13. 特殊モニタリング： ^{89}Sr の経口摂取および注入における予測値

摂取後の時間 (日)	(摂取量 Bq 当たりの Bq)		
	経口摂取 $f_1=0.3$		注入
	1 日当たりの尿中排泄量	1 日当たりの尿中排泄量	1 日当たりの尿中排泄量
1	5.6E-02	1.8E-03	2.0E-01
2	2.1E-02	7.4E-04	6.5E-02
3	1.4E-02	4.7E-04	4.3E-02
4	1.0E-02	3.4E-04	3.2E-02
5	7.8E-03	2.6E-04	2.5E-02
6	6.3E-03	2.1E-04	2.0E-02
7	5.1E-03	1.7E-04	1.7E-02
8	4.3E-03	1.5E-04	1.4E-02
9	3.7E-03	1.2E-04	1.2E-02
10	3.2E-03	1.1E-04	1.1E-02

表 A.4.14. 日常モニタリング： ^{89}Sr の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	タイプ F	タイプ S
	1 日当たりの尿中排泄量	1 日当たりの尿中排泄量
30	(2.1E-03) ^a	3.2E-05
14	5.7E-03	8.2E-05
7	1.1E-02	1.6E-04

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.4.15. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値とそれらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.4.15. ^{89}Sr の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			タイプ S		
	1 年当たりの吸入摂取量			1 年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
1 日当たりの尿中排泄量	5.2E-04	7.5E+03	3 月	7.6E-06	2.7E+01	6 月

ストロンチウム-90 (半減期=29.1 年) イットリウム-90 (半減期=64 時間)

表 A.4.16. 放出放射線

放射性核種	放射線	平均エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
Sr-90	β^-	0.20	100
Y-90	β^-	0.99	100

表 A.4.17. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
化学分離後に β^- 計数	尿	1 Bq l ⁻¹

特殊モニタリングに対しては適切であるけれども、タイプSのストロンチウム-90の日常モニタリングには、上記に示されたよりも低い検出限界値が要求される。

表 A.4.18. 特殊モニタリング：⁹⁰Srの吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプF	タイプS
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの尿中排泄量
1	6.8E-02	8.1E-04
2	2.3E-02	3.4E-04
3	1.6E-02	2.2E-04
4	1.2E-02	1.6E-04
5	9.2E-03	1.3E-04
6	7.5E-03	1.1E-04
7	6.3E-03	9.0E-05
8	5.4E-03	7.7E-05
9	4.7E-03	6.8E-05
10	4.1E-03	6.1E-05

表 A.4.19. 特殊モニタリング：⁹⁰Srの経口摂取および注入における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	経口摂取 $f_1=0.3$	経口摂取 $f_1=0.01$	注入
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの尿中排泄量
1	5.6E-02	1.8E-03	2.0E-01
2	2.2E-02	7.6E-04	6.7E-02
3	1.4E-02	4.9E-04	4.5E-02
4	1.1E-02	3.6E-04	3.4E-02
5	8.3E-03	2.8E-04	2.7E-02
6	6.8E-03	2.3E-04	2.2E-02
7	5.7E-03	1.9E-04	1.8E-02
8	4.8E-03	1.6E-04	1.6E-02
9	4.2E-03	1.4E-04	1.4E-02
10	3.7E-03	1.2E-04	1.2E-02

表 A.4.20. 日常モニタリング：⁹⁰Srの吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング間隔(日)	タイプF	タイプS
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの尿中排泄量
360	5.6E-05	3.1E-06
180	1.1E-04	4.7E-06
120	2.2E-04	6.9E-06
90	(4.1E-04) ^a	1.0E-05
60	(9.6E-04)	1.8E-05
30	2.6E-03	4.0E-05
14	6.3E-03	9.0E-05
7	1.2E-02	1.6E-04

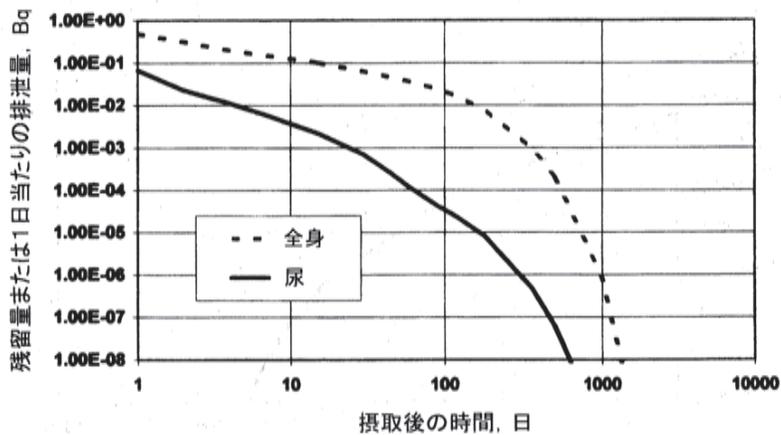
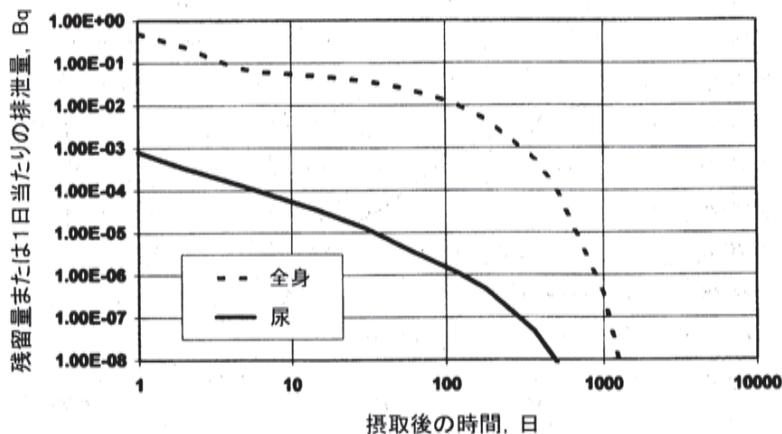
^a 括弧内の値は第6章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.4.21.は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値とそれらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.4.21. ^{90}Sr の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			タイプ S		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
1日当たりの尿中排泄量	$6.9\text{E}-04$	$4.6\text{E}+02$	30年	$2.1\text{E}-05$	$5.3\text{E}+00$	30年

図 A.4.1. ^{85}Sr 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)図 A.4.2. ^{85}Sr 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

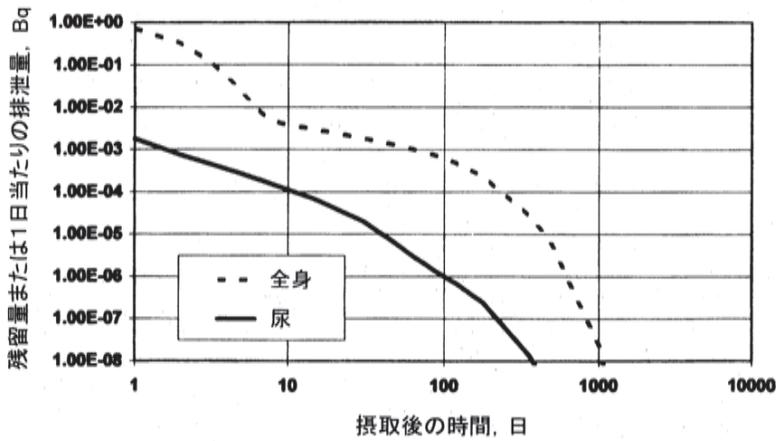


図 A.4.3. ^{85}Sr 経口摂取 ($f_1 = 0.01$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

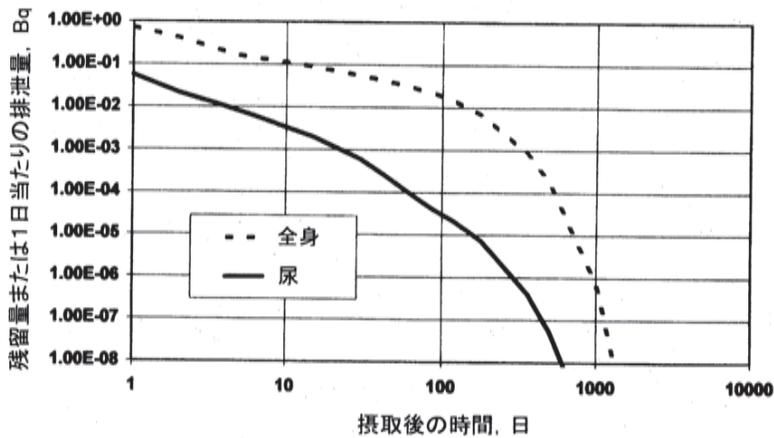


図 A.4.4. ^{85}Sr 経口摂取 ($f_1 = 0.3$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

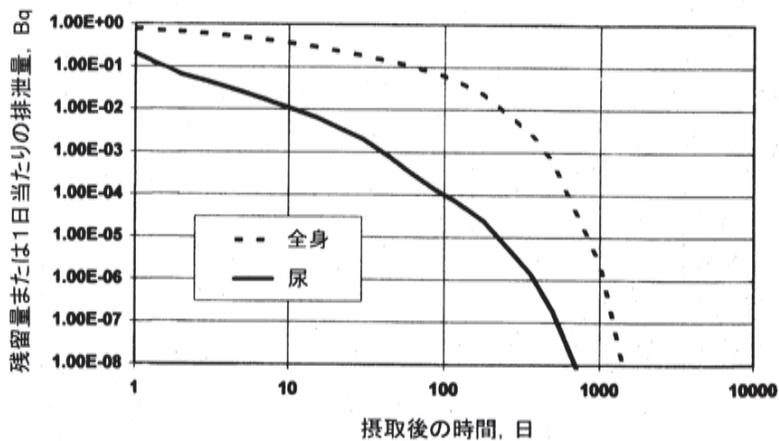


図 A.4.5. ^{85}Sr 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

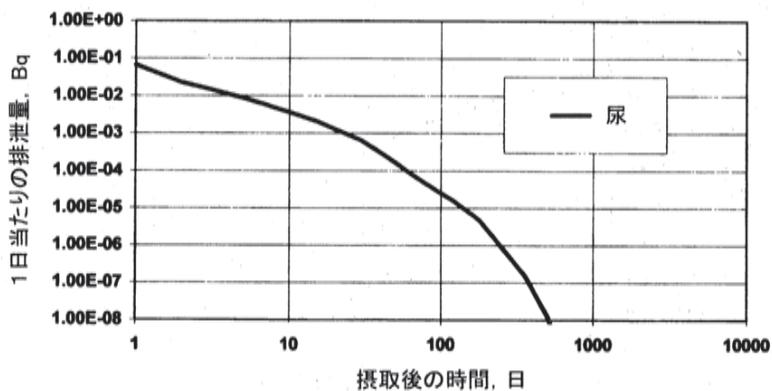


図 A.4.6. ^{89}Sr 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

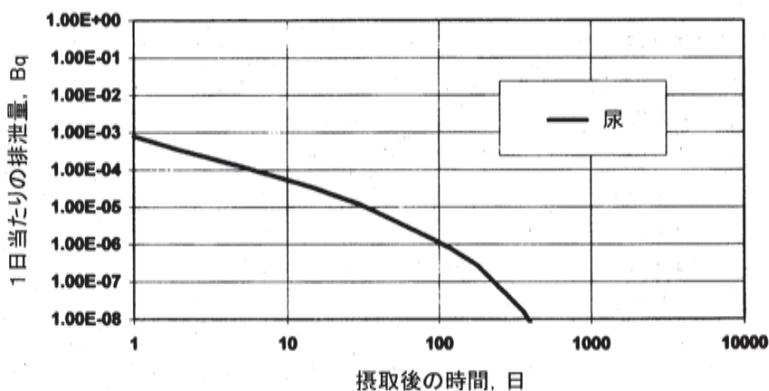


図 A.4.7. ^{89}Sr 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

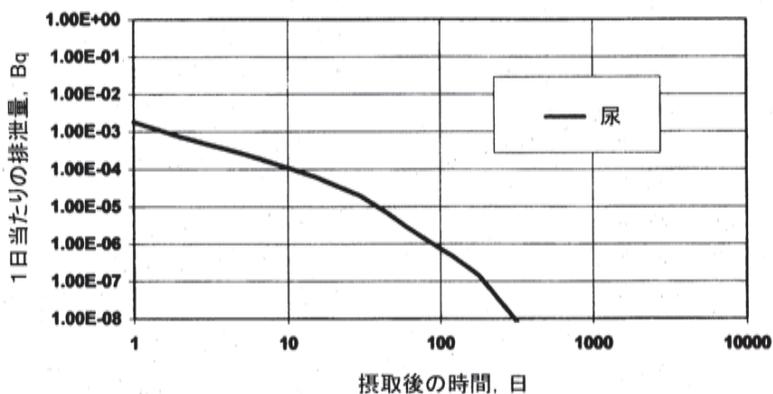


図 A.4.8. ^{89}Sr 経口摂取 ($f_1 = 0.01$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

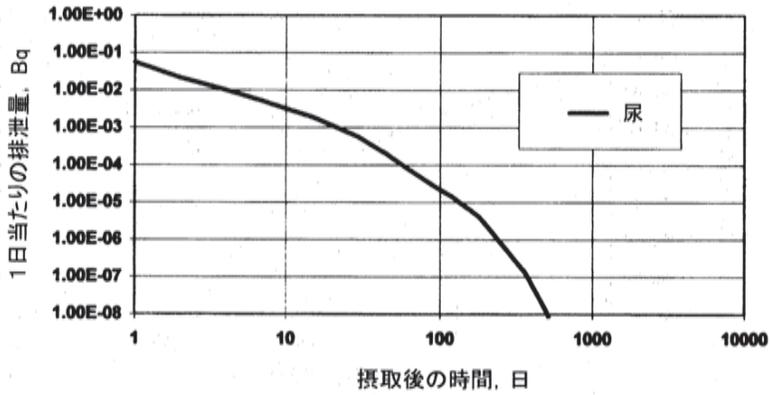


図 A.4.9. ^{89}Sr 経口摂取 ($f_i = 0.3$) : 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

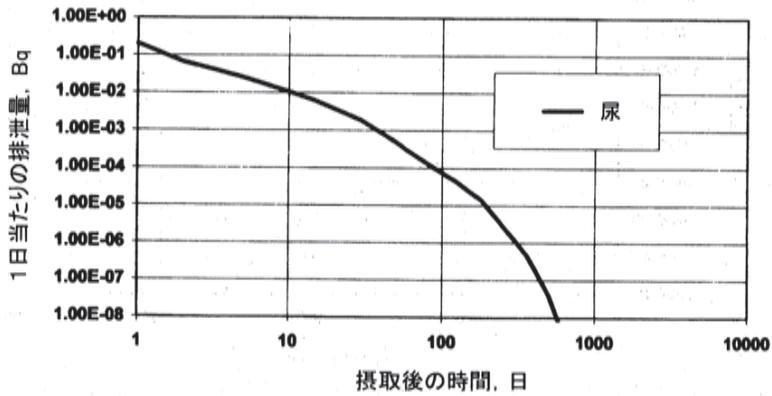


図 A.4.10. ^{89}Sr 注入 : 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

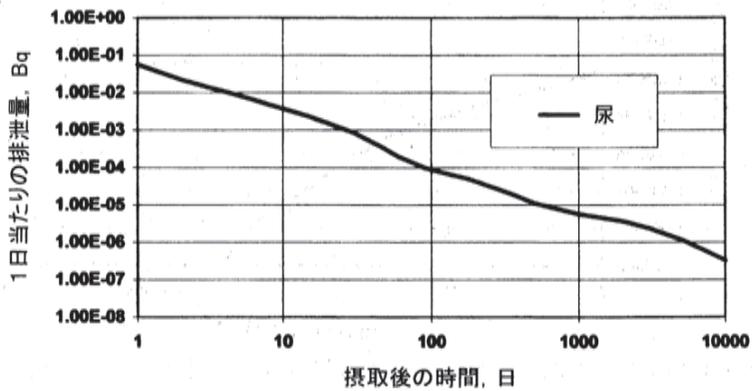


図 A.4.11. ^{90}Sr 吸入摂取 タイプ F : 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

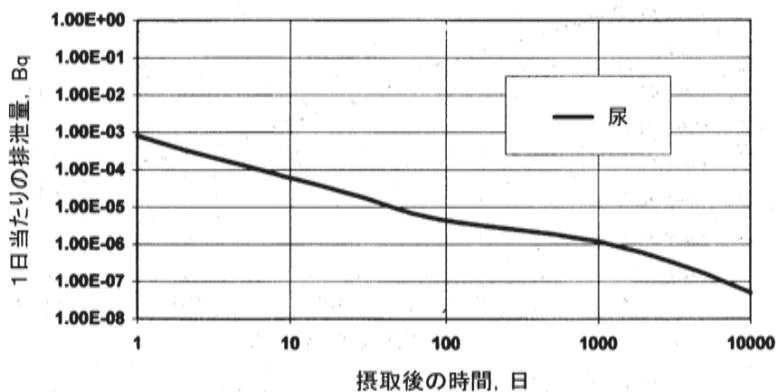


図 A.4.12. ^{90}Sr 吸入摂取 タイプ S：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

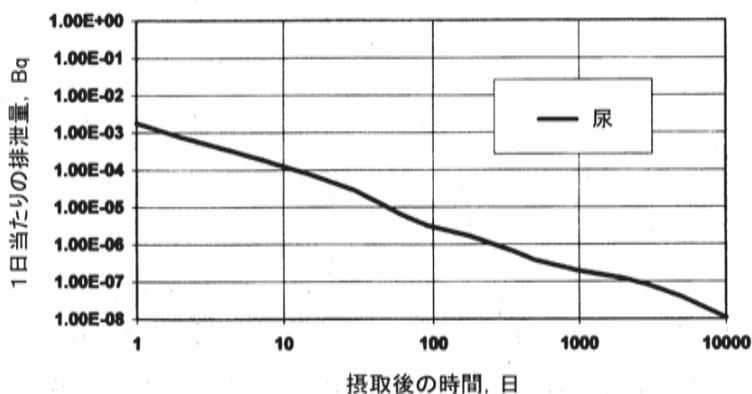


図 A.4.13. ^{90}Sr 経口摂取 ($f_1 = 0.01$)：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

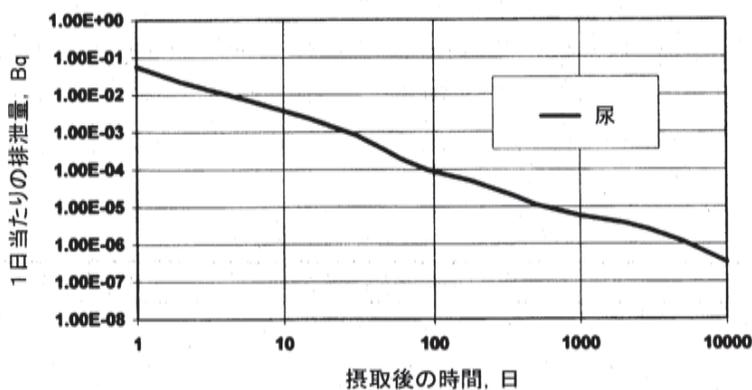


図 A.4.14. ^{90}Sr 経口摂取 ($f_1 = 0.3$)：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

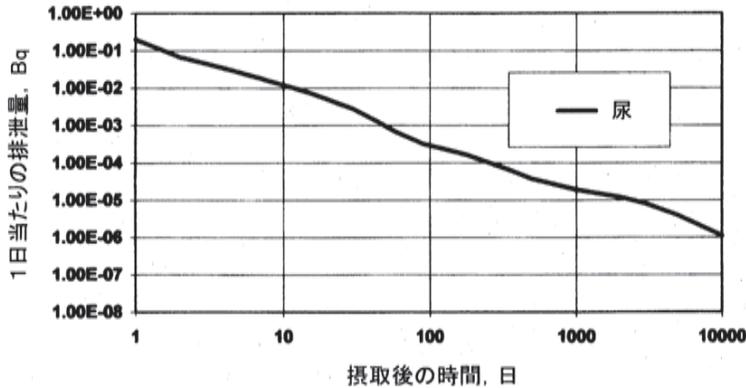


図 A.4.15. ^{90}Sr 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

A.5. ルテニウム

体内動態モデル

体液に吸収されたルテニウムについてのデータは、それにつづく組織内の分布がかなり均一であることを示している。*Publication 30* (ICRP, 1979) は3つの項を持つ残留式を用いたモデルを勧告した。すなわち、放射能の35%が生物学的半減期8日(A)、30%が35日(B)、20%が1000日(C)で残留する。体液における生物学的半減期は0.3日で、全身性放射能の15%は直接排泄されると仮定する(表 A.5.1)。このモデルは後に *Publication 56* (ICRP, 1989) において支持された。*Publication 67* (ICRP, 1993) は、ルテニウムに対して尿中排泄と糞中排泄の比が4:1と仮定されると勧告した。

表 A.5.1. ルテニウムの体内動態データ

コンパートメント	取込み割合 (%)	生物学的半減期 (日)
全身 A	35	8
全身 B	30	35
全身 C	20	1000
即時排泄	15	—
通過コンパートメント	—	0.3

線量算定用データ

表 A.5.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	0.05	すべての化合物
吸入, タイプ F	0.05	不特定の化合物
吸入, タイプ M	0.05	ハロゲン化物
吸入, タイプ S	0.05	酸化物および水酸化物

表 A.5.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹	f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹
Ru-106	1.01 y	F	0.05	9.8E-09	0.05	7.0E-09
		M	0.05	1.7E-08		
		S	0.05	3.5E-08		

ルテニウム-106 (半減期=1.01 年) ロジウム-106 (半減期=30 秒)

表 A.5.4. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
Ru-106	β^-		
Rh-106	γ	0.51	21
Rh-106	γ	0.62	10
Rh-106	γ	1.1	1

実用上の目的には, ^{106}Ru の測定はその壊変生成物 ^{106}Rh からのガンマ線測定によってなされる。

表 A.5.5 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	200 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	5 Bq l ⁻¹

In vivo 測定には検出上の問題はなく, 優先されるべきである。タイプ S の日常モニタリングには, 上で示したよりも低い検出限界値が要求される。

表 A.5.6. 特殊モニタリング： ^{106}Ru の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の 時間（日）	タイプ F		タイプ M		タイプ S	
	全身	1日当たりの	全身	1日当たりの	全身	1日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量		尿中排泄量
1	5.1E-01	3.5E-02	4.9E-01	5.4E-03	4.9E-01	2.2E-03
2	3.5E-01	1.1E-02	2.7E-01	2.1E-03	2.6E-01	1.0E-03
3	2.7E-01	7.6E-03	1.6E-01	1.3E-03	1.5E-01	5.9E-04
4	2.3E-01	6.8E-03	1.2E-01	1.2E-03	1.0E-01	5.1E-04
5	2.1E-01	6.3E-03	9.9E-02	1.1E-03	8.6E-02	4.7E-04
6	2.0E-01	5.8E-03	9.1E-02	1.0E-03	7.9E-02	4.4E-04
7	1.9E-01	5.4E-03	8.7E-02	9.7E-04	7.6E-02	4.1E-04
8	1.9E-01	5.0E-03	8.4E-02	9.1E-04	7.4E-02	3.8E-04
9	1.8E-01	4.7E-03	8.2E-02	8.6E-04	7.2E-02	3.5E-04
10	1.7E-01	4.4E-03	8.0E-02	8.1E-04	7.1E-02	3.3E-04

表 A.5.7. 特殊モニタリング： ^{106}Ru の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間（日）	経口摂取		注入	
	全身	1日当たりの	全身	1日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
1	7.2E-01	5.3E-03	8.7E-01	1.2E-01
2	3.5E-01	2.4E-03	8.2E-01	3.9E-02
3	1.6E-01	1.4E-03	7.8E-01	2.6E-02
4	8.4E-02	1.2E-03	7.4E-01	2.3E-02
5	5.3E-02	1.1E-03	7.1E-01	2.2E-02
6	4.1E-02	1.0E-03	6.9E-01	2.0E-02
7	3.6E-02	9.4E-04	6.6E-01	1.9E-02
8	3.3E-02	8.7E-04	6.4E-01	1.7E-02
9	3.1E-02	8.1E-04	6.2E-01	1.6E-02
10	3.0E-02	7.6E-04	6.0E-01	1.5E-02

表 A.5.8. 日常モニタリング： ^{106}Ru の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ F		タイプ M		タイプ S	
	全身	1日当たりの	全身	1日当たりの	全身	1日当たりの尿
		尿中排泄量		尿中排泄量		中排泄量
360	3.8E-02	(4.9E-05) ^a	1.9E-02	(4.3E-05) ^a	2.6E-02	6.4E-06
180	5.9E-02	(2.3E-04)	3.3E-02	1.1E-04	3.7E-02	(2.3E-05) ^a
120	7.5E-02	(4.5E-04)	4.2E-02	1.6E-04	4.4E-02	4.2E-05
90	8.7E-02	7.1E-04	4.9E-02	2.2E-04	4.9E-02	6.2E-05
60	1.1E-01	1.3E-03	5.9E-02	3.2E-04	5.6E-02	1.1E-04
30	1.5E-01	3.1E-03	7.3E-02	6.1E-04	6.6E-02	2.4E-04
14	1.9E-01	5.4E-03	8.7E-02	9.7E-04	7.6E-02	4.1E-04
7	2.3E-01	6.8E-03	1.2E-01	1.2E-03	1.0E-01	5.1E-04

^a 括弧内の値は第 6 章に示された要件を満たさない。

慢性摂取

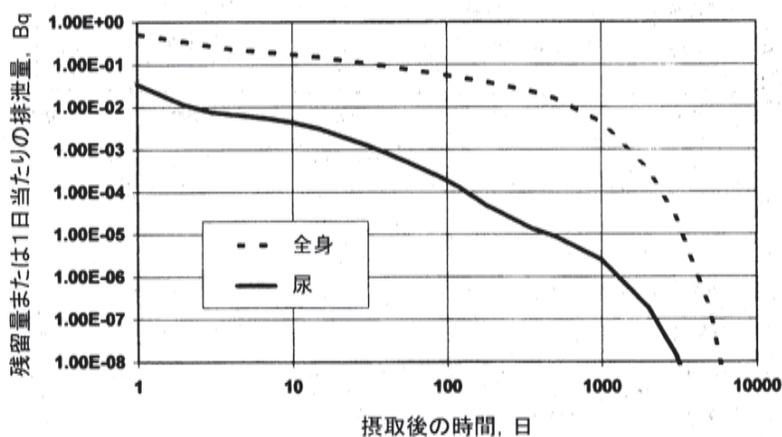
表 A.5.9.および表 A.5.10.は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値とそれらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.5.9. ^{106}Ru の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			タイプ M		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
全身	$7.8\text{E}-02$	$1.6\text{E}+05$	5年	$3.7\text{E}-02$	$4.3\text{E}+04$	5年
1日当たりの尿中排泄量	$5.2\text{E}-04$	$1.1\text{E}+03$	3年	$1.3\text{E}-04$	$1.6\text{E}+02$	1年

表 A.5.10. ^{106}Ru の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ S		
	1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間
全身	$4.9\text{E}-02$	$2.8\text{E}+04$	5年
1日当たりの尿中排泄量	$4.4\text{E}-05$	$2.5\text{E}+01$	5年

図 A.5.1. ^{106}Ru 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

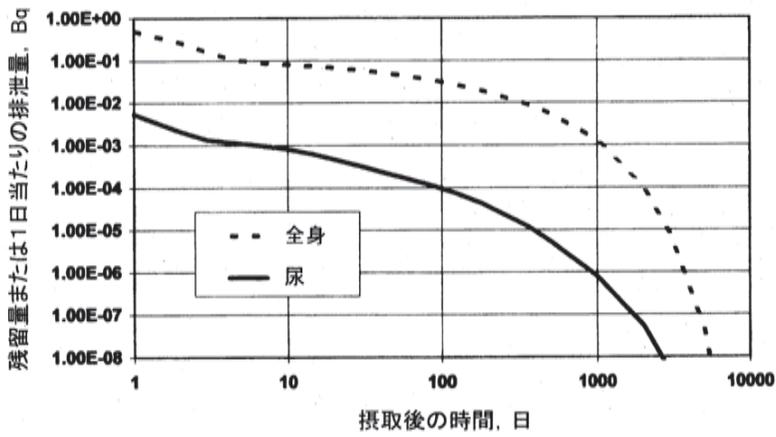


図 A.5.2. ^{106}Ru 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

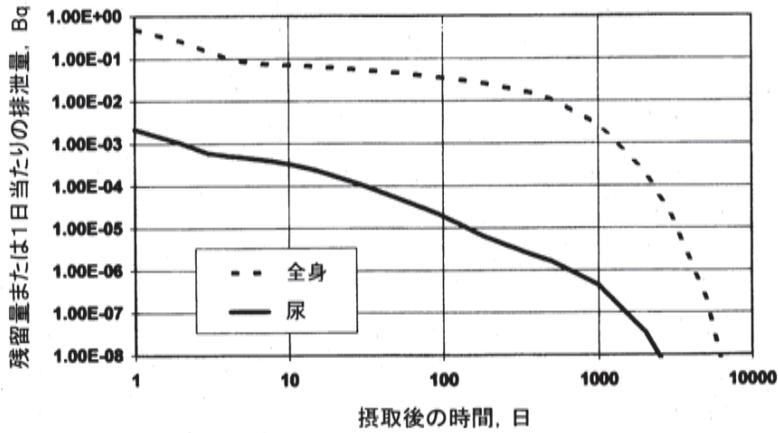


図 A.5.3. ^{106}Ru 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

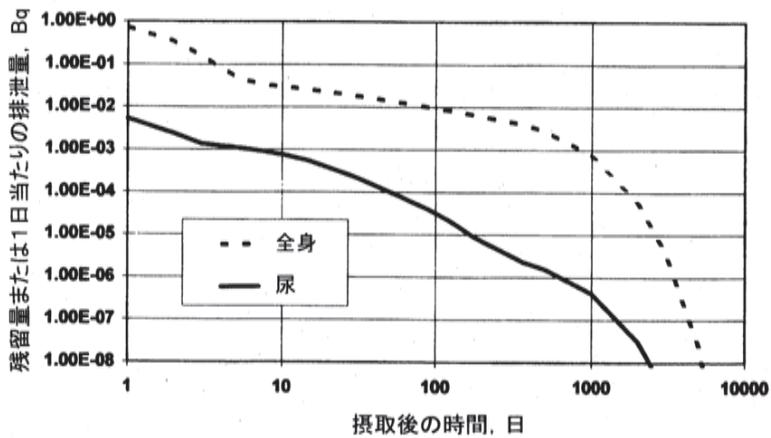


図 A.5.4. ^{106}Ru 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

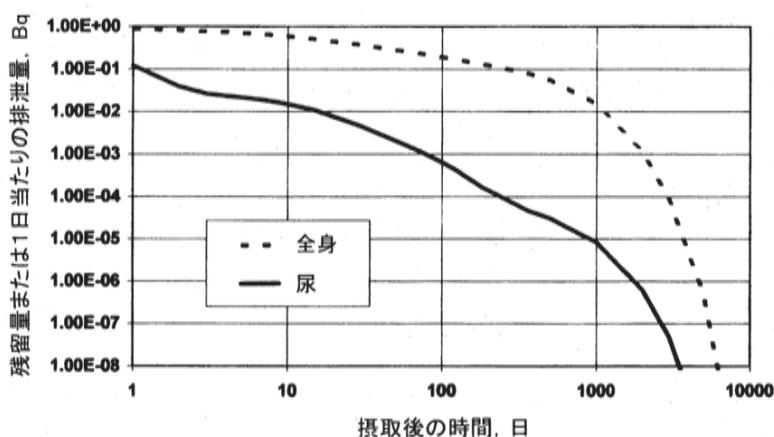


図 A.5.5. ^{106}Ru 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

A.6. ヨウ素

体内動態モデル

ヨウ素の体内動態モデル(図 A.6.1.)は、*Publication 67* (ICRP, 1993) から採用されており、そのモデルは、*Publication 30* (ICRP, 1979) に与えられた以前のモデルから発展したものである。血液に到達したヨウ素のうち、0.3 の割合が甲状腺に蓄積され、0.7 の割合が直接尿中に排泄されると仮定する。血液中での生物学的半減期は 0.25 日とする。甲状腺ホルモンと結合したヨウ素は、約 80 日の半減期で甲状腺から出て他の組織に入り、そこでは 12 日の半減期で残留する。その後、ほとんどのヨウ素 (80%) は放出され、循環系において甲状腺による取込みと尿中排泄に使われる。残り (20%) は有機形で糞中に排泄される。

ヨウ素の体内動態モデルは、0.3 の割合が甲状腺に取り込まれ、残りは尿中に排泄されると仮定する。実際には、多くのパラメータに依存して、比較的大きな変動があり、その変動は甲状腺機能障害の場合に特に重要である。たとえば、甲状腺機能が正常な成人の欧米人については現在知られている取込み割合は、0.20~0.25 の範囲内である。甲状腺の病理学的状態によっては、0~0.05 (ブロックされた甲状腺) から 0.5 以上までの取込み割合となるかもしれない。甲状腺機能低下症の成人は、甲状腺の取込み量は少ないが、排泄が長期間にわたる結果、甲状腺線量は正常人より少し大きくなる。これに反して、甲状腺機能亢進症の成人は、甲状腺でのヨウ素の半減期が短く、そのため甲状腺線量は正常人より小さい。このような場合に相当しているという疑いがあるとき、特に、正確な算定が必要とされる事故被ばくの場合には、個人に固有の値をその線量計算に導入すべきである。

医療上の介入措置の影響

体内へ入る経路がどのようなものであっても、医療処置は安定ヨウ素をブロック剤として使用し、甲状腺における代謝過程を飽和することである。もし、投与が放射性ヨウ素の摂取前かあるいは摂取時に行われれば、90%から100%の間の効果が達成できる。もし、これが実行できない場合には、安定ヨウ素を、摂取後できるだけ速やかに投与しなければならない。数時間後では、その効果は10%未満に減少する。現在勧告されている投与量は、安定ヨウ素100mg（ヨウ化カリウムで130mgに相当）から300mg（ヨウ化カリウムで390mgに相当）の範囲内である。

線量算定用データ

表 A.6.1 および表 A.6.2 に与えられた、化学形、吸収タイプ、 f_1 値および線量係数に関する情報は、ICRP *Publication 68* から採用されている。

表 A.6.1. 化合物、吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	1.0	すべての化合物
吸入, クラス SR-1	1.0	ヨウ素蒸気
吸入, タイプ F	1.0	そのほかのすべての化合物

表 A.6.2. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	クラス	吸入摂取		経口摂取	
				f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
I-125	60.1 d	F	—	1.0	7.3E-09	1.0	1.5E-08
		F	SR-1 ^a	1.0	1.4E-08		
I-129	1.57E+07y	F	—	1.0	5.1E-08	1.0	1.1E-07
		F	SR-1	1.0	9.6E-08		
I-131	8.04 d	F	—	1.0	1.1E-08	1.0	2.2E-08
		F	SR-1	1.0	2.0E-08		

^a ヨウ素蒸気のためのモデルは *Publication 68* (ICRP, 1994) に記述されている。

ヨウ素-125 (半減期=60.1 日)

表 A.6.3. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
X	0.027-0.032	140
γ	0.035	6.7

表 A.6.4. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> 光子スペクトロメトリー	甲状腺	100 Bq
液体シンチレーション計数	尿	1 Bq l ⁻¹

ヨウ素-125 には検出上の問題はない。尿中排泄速度は、摂取後の時間経過とともに急速に減少するため、実際の摂取時刻がわからないならば、甲状腺モニタリングが選ばれるべきである。もし甲状腺への取込みが阻止されていたならば、尿中排泄によるモニタリングが必要であろう。

表 A.6.5. 特殊モニタリング：¹²⁵I の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ F		蒸気	
	甲状腺	1 日当たりの尿中排泄量	甲状腺	1 日当たりの尿中排泄量
1	1.3E-01	3.0E-01	2.5E-01	5.7E-01
2	1.4E-01	2.7E-02	2.6E-01	4.9E-02
3	1.4E-01	1.7E-03	2.5E-01	3.2E-03
4	1.3E-01	2.0E-04	2.5E-01	3.6E-04
5	1.3E-01	1.3E-04	2.4E-01	2.4E-04
6	1.3E-01	1.5E-04	2.4E-01	2.8E-04
7	1.3E-01	1.7E-04	2.4E-01	3.3E-04
8	1.2E-01	2.0E-04	2.3E-01	3.7E-04
9	1.2E-01	2.2E-04	2.3E-01	4.1E-04
10	1.2E-01	2.4E-04	2.2E-01	4.4E-04

表 A.6.6. 特殊モニタリング：¹²⁵I の経口摂取および注入における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	吸入摂取		注入	
	甲状腺	1 日当たりの尿中排泄量	甲状腺	1 日当たりの尿中排泄量
1	2.7E-01	6.2E-01	2.8E-01	6.4E-01
2	2.8E-01	5.9E-02	2.9E-01	5.2E-02
3	2.8E-01	3.7E-03	2.8E-01	3.3E-03
4	2.8E-01	4.2E-04	2.8E-01	4.0E-04
5	2.7E-01	2.7E-04	2.7E-01	2.7E-04
6	2.6E-01	3.1E-04	2.7E-01	3.2E-04
7	2.6E-01	3.6E-04	2.6E-01	3.7E-04
8	2.5E-01	4.1E-04	2.6E-01	4.1E-04
9	2.5E-01	4.5E-04	2.5E-01	4.5E-04
10	2.4E-01	4.9E-04	2.5E-01	4.9E-04

表 A.6.7. 日常モニタリング：¹²⁵I の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ F		蒸気	
	甲状腺	1日当たりの 尿中排泄量	甲状腺	1日当たりの 尿中排泄量
120	4.7E-02	2.5E-04	8.9E-02	4.6E-04
90	6.2E-02	3.1E-04	1.2E-01	5.7E-04
60	8.1E-02	3.5E-04	1.5E-01	6.5E-04
30	1.1E-01	3.0E-04	2.0E-01	5.6E-04
14	1.3E-01	1.7E-04	2.4E-01	3.3E-04
7	1.3E-01	2.0E-04	2.5E-01	3.6E-04

慢性摂取

表 A.6.8. は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値とそれらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.6.8. ¹²⁵I の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			蒸気		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
甲状腺	2.1E-02	5.8E+04	1年	4.0E-02	5.7E+04	1年
1日当たりの尿中排泄量	9.9E-04	2.7E+03	6月	1.9E-03	2.7E+03	6月

ヨウ素-129 (半減期 = $1.57\text{E}+07$ 年)

表 A.6.9. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
β^-	0.049 ^a	100
X	0.030-0.034	70
γ	0.040	7.5

^a 平均エネルギー

表 A.6.10. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> 光子スペクトロメトリー	甲状腺 100 Bq
放射化学的分離および β^- 計数	尿 1Bq l ⁻¹

ヨウ素-129 には検出上の問題はない。尿中排泄速度は、摂取後の時間経過とともに急速に減少するため、実際の摂取時刻がわからないならば、甲状腺モニタリングが選ばれるべきである。もし甲状腺への取込みが阻止されていたならば、尿中排泄によるモニタリングが必要であろう。

表 A.6.11. 特殊モニタリング： ^{129}I の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ F		蒸気	
	甲状腺	1日当たりの	甲状腺	1日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
1	1.3E-01	3.1E-01	2.5E-01	5.7E-01
2	1.4E-01	2.7E-02	2.6E-01	5.1E-02
3	1.4E-01	1.8E-03	2.6E-01	3.3E-03
4	1.4E-01	2.1E-04	2.6E-01	3.8E-04
5	1.4E-01	1.4E-04	2.6E-01	2.6E-04
6	1.4E-01	1.6E-04	2.6E-01	3.0E-04
7	1.4E-01	1.9E-04	2.5E-01	3.6E-04
8	1.3E-01	2.2E-04	2.5E-01	4.1E-04
9	1.3E-01	2.4E-04	2.5E-01	4.5E-04
10	1.3E-01	2.6E-04	2.5E-01	4.9E-04

表 A.6.12. 特殊モニタリング： ^{129}I の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間（日）	経口摂取		注入	
	甲状腺	1日当たりの	甲状腺	1日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
1	2.7E-01	6.3E-01	2.8E-01	6.4E-01
2	2.9E-01	6.0E-02	2.9E-01	5.3E-02
3	2.9E-01	3.9E-03	2.9E-01	3.5E-03
4	2.9E-01	4.4E-04	2.9E-01	4.1E-04
5	2.9E-01	2.8E-04	2.9E-01	2.9E-04
6	2.8E-01	3.3E-04	2.9E-01	3.4E-04
7	2.8E-01	3.9E-04	2.8E-01	4.0E-04
8	2.8E-01	4.5E-04	2.8E-01	4.5E-04
9	2.8E-01	5.0E-04	2.8E-01	5.0E-04
10	2.7E-01	5.4E-04	2.8E-01	5.5E-04

表 A.6.13. 日常モニタリング： ^{129}I の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ F		蒸気	
	甲状腺	1日当たりの	甲状腺	1日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
360	4.4E-02	2.4E-04	8.3E-02	4.5E-04
180	7.8E-02	4.2E-04	1.5E-01	7.9E-04
120	9.4E-02	4.9E-04	1.8E-01	9.3E-04
90	1.0E-01	5.1E-04	1.9E-01	9.6E-04
60	1.1E-01	4.9E-04	2.2E-01	9.2E-04
30	1.3E-01	3.6E-04	2.4E-01	6.7E-04
14	1.4E-01	1.9E-04	2.5E-01	3.6E-04
7	1.4E-01	2.1E-04	2.6E-01	3.8E-04

慢性摂取

表 A.6.14.は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値とそれらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.6.14. ^{129}I の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			蒸気		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
甲状腺	6.0E-02	2.3E+04	3年	1.1E-01	2.3E+04	3年
1日当たりの尿中排泄量	1.2E-03	4.7E+02	1年	2.3E-03	4.7E+02	1年

ヨウ素-131 (半減期=8.0日)

表 A.6.15. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
β^-	0.19 ^a	89
γ	0.36	81

^a 平均エネルギー

表 A.6.16. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	甲状腺 100 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿 1 Bq l ⁻¹

ヨウ素-131 には検出上の問題はない。尿中排泄速度は、摂取後の時間経過とともに急速に減少するため、実際の摂取時刻がわからないならば、甲状腺モニタリングが選ばれるべきである。もし甲状腺への取込みが阻止されていたならば、尿中排泄によるモニタリングが必要であろう。

表 A.6.17. 特殊モニタリング： ^{131}I の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ F		蒸気	
	甲状腺	1 日当たりの	甲状腺	1 日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
1	1.2E-01	2.8E-01	2.3E-01	5.3E-01
2	1.2E-01	2.3E-02	2.2E-01	4.3E-02
3	1.1E-01	1.4E-03	2.0E-01	2.5E-03
4	9.9E-02	1.5E-04	1.9E-01	2.7E-04
5	9.0E-02	8.9E-05	1.7E-01	1.7E-04
6	8.2E-02	9.6E-05	1.5E-01	1.8E-04
7	7.4E-02	1.0E-04	1.4E-01	1.9E-04
8	6.8E-02	1.1E-04	1.3E-01	2.0E-04
9	6.2E-02	1.1E-04	1.2E-01	2.1E-04
10	5.6E-02	1.1E-04	1.1E-01	2.1E-04

表 A.6.18. 特殊モニタリング： ^{131}I の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間（日）	経口摂取		注入	
	甲状腺	1 日当たりの	甲状腺	1 日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
1	2.5E-01	5.8E-01	2.6E-01	5.9E-01
2	2.5E-01	5.1E-02	2.5E-01	4.5E-02
3	2.2E-01	3.0E-03	2.3E-01	2.7E-03
4	2.0E-01	3.1E-04	2.1E-01	2.9E-04
5	1.9E-01	1.8E-04	1.9E-01	1.9E-04
6	1.7E-01	2.0E-04	1.7E-01	2.0E-04
7	1.5E-01	2.1E-04	1.6E-01	2.2E-04
8	1.4E-01	2.2E-04	1.4E-01	2.3E-04
9	1.3E-01	2.3E-04	1.3E-01	2.3E-04
10	1.2E-01	2.3E-04	1.2E-01	2.3E-04

表 A.6.19. 日常モニタリング： ^{131}I の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ F		蒸気	
	甲状腺	1 日当たりの	甲状腺	1 日当たりの
		尿中排泄量		尿中排泄量
30	(3.5E-02) ^a	9.8E-05	(6.6E-02)	1.8E-04
14	7.4E-02	1.0E-04	1.4E-01	1.9E-04
7	9.9E-02	1.5E-04	1.9E-01	2.7E-04

^a 括弧内の値は第 6 章に記述された要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.6.20. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値とそれらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.6.20. ^{131}I の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			蒸気		
	1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
甲状腺	4.1E-03	7.4E+03	2月	7.6E-03	7.6E+03	2月
1日当たりの尿中排泄量	8.5E-04	1.6E+03	4日	1.6E-03	1.6E+03	4日

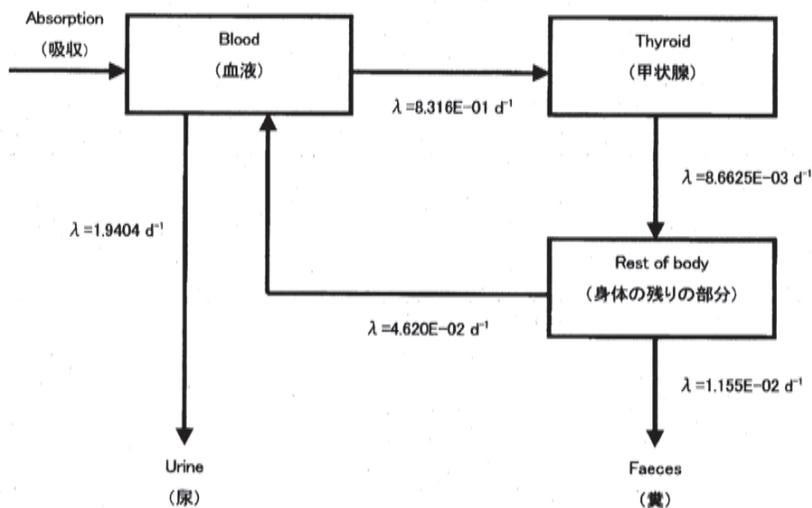
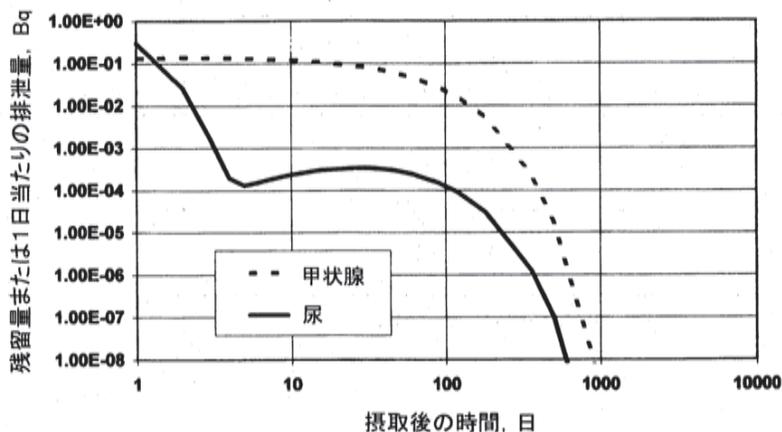


図 A.6.1. ヨウ素の代謝に対する体内動態モデル

図 A.6.2. ^{125}I 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

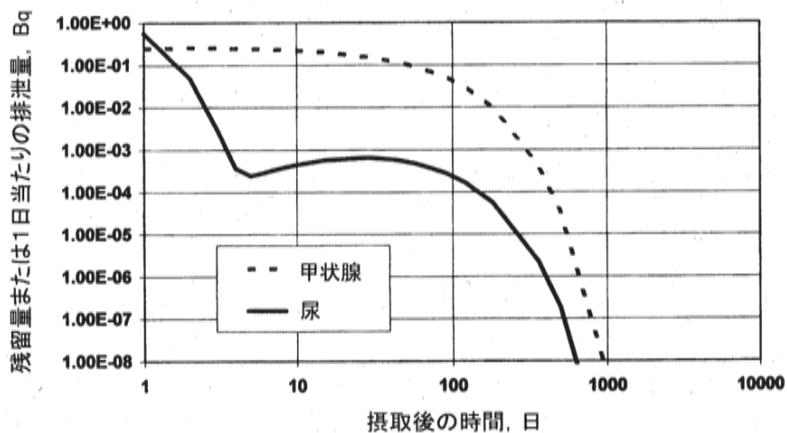


図 A.6.3. ^{125}I 吸入摂取 蒸気：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

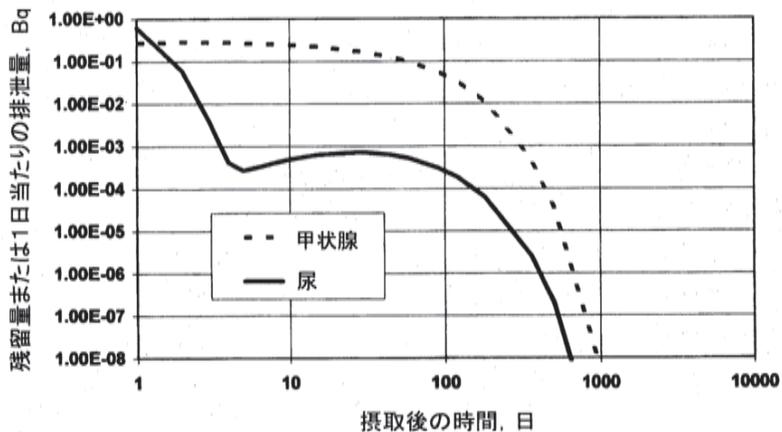


図 A.6.4. ^{125}I 経口摂取：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

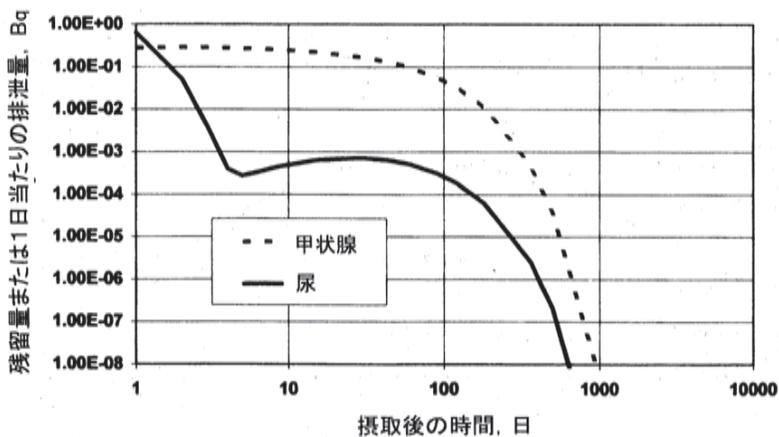


図 A.6.5. ^{125}I 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

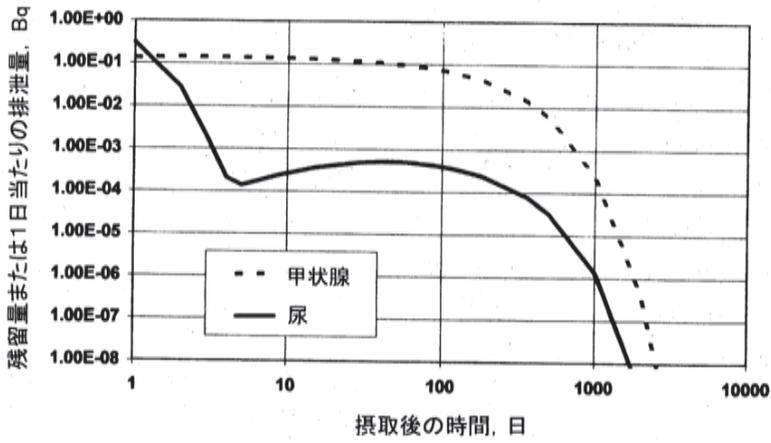


図 A.6.6. ^{129}I 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

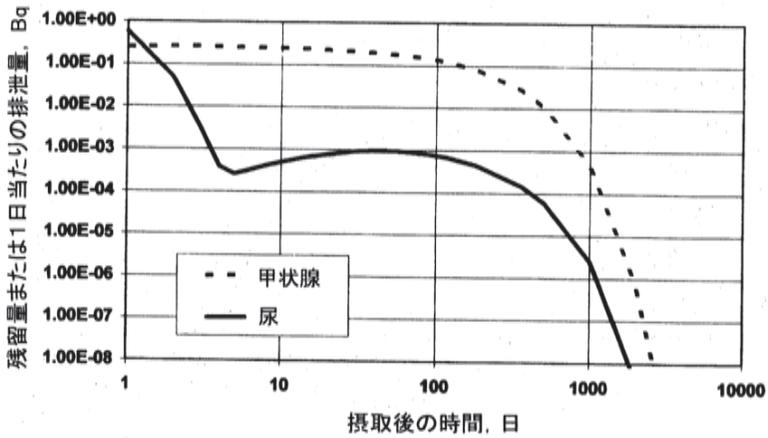


図 A.6.7. ^{129}I 吸入摂取 蒸気: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

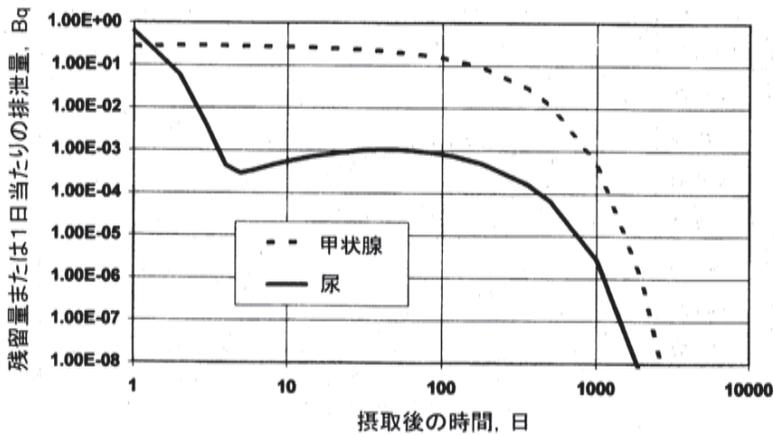


図 A.6.8. ^{129}I 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

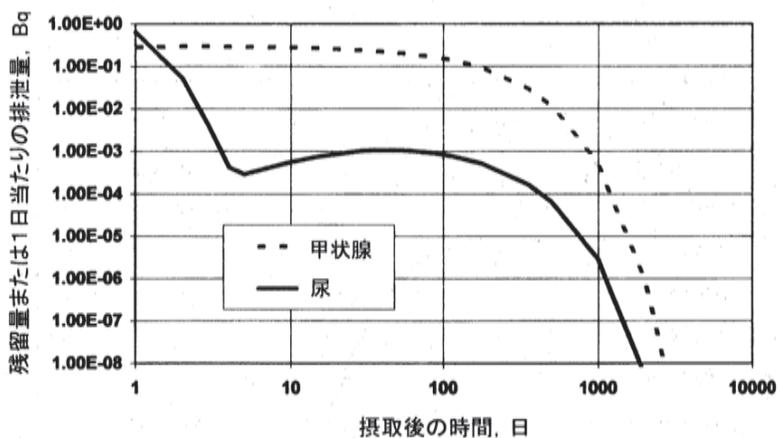


図 A.6.9. ^{129}I 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

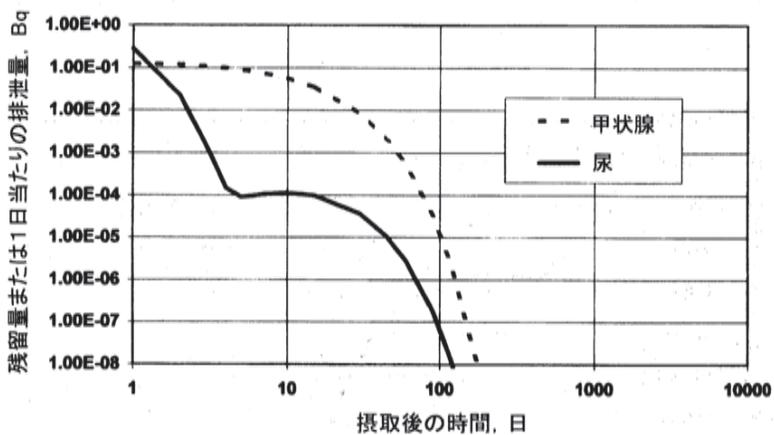


図 A.6.10. ^{131}I 吸入摂取 タイプ F：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

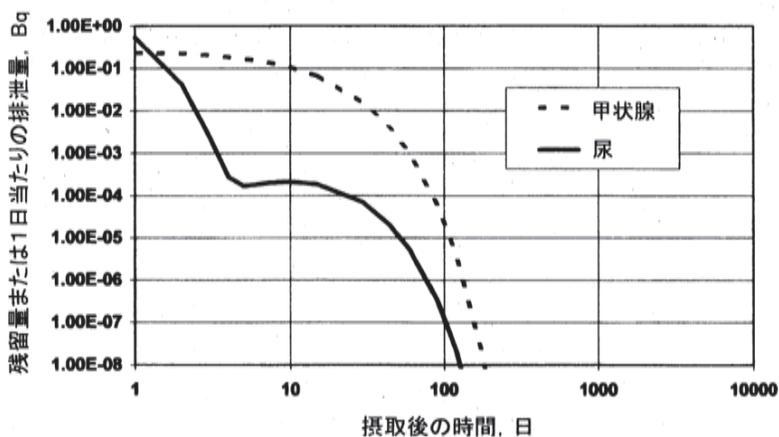


図 A.6.11. ^{131}I 吸入摂取 蒸気：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

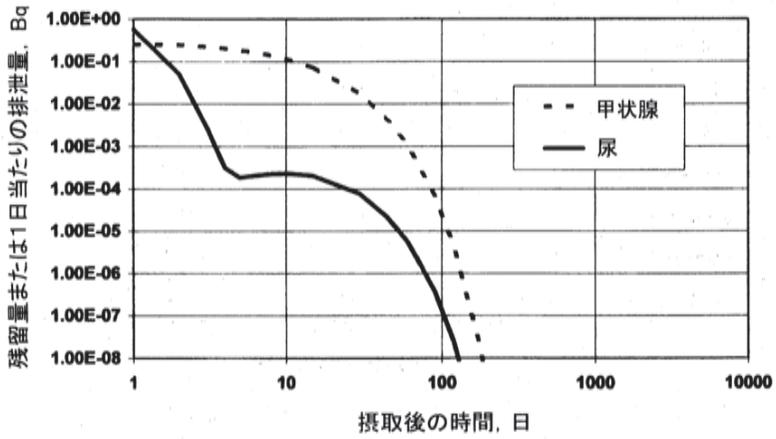


図 A.6.12. ^{131}I 経口摂取：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

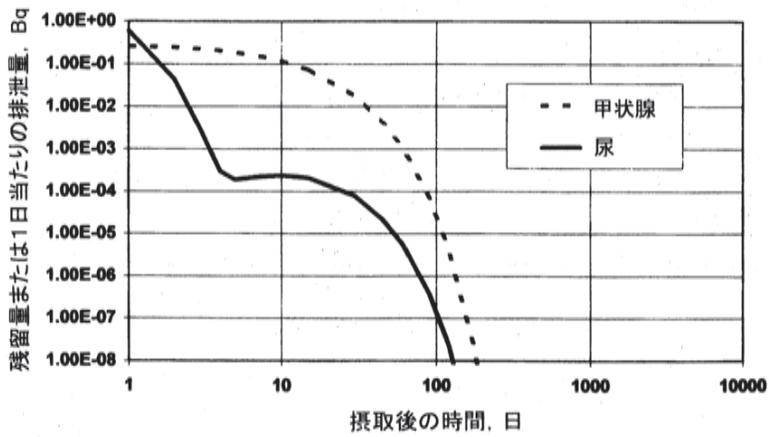


図 A.6.13. ^{131}I 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

A.7. セシウム

体内動態モデル

Publication 30 (1979)で与えられたセシウムに関するモデルが Publication 56 (1989)においても勧告され、Publication 68 (ICRP, 1994) で使用された。全身性のセシウムは体組織全体に均一に分布すると見なされるが、全放射能の 10%が生物学的半減期 2 日で残留し (A)、90%が 110 日で残留する (B) (表 A.7.1.)。しかし、女性の場合にはコンパートメント B に対する半減期は男性の場合と比べて有意に短い (Publication 56, ICRP, 1989)。いくつかの国においては、成人男性におけるセシウムの平均生物学的半減期が 110 日より短いことを示す証拠もある (Suomela, 1971; Hasanen と Rahola, 1971)。尿中排泄と糞中排泄の比として 4 : 1 が Publication 67 (ICRP, 1993) で勧告されており、Publication 68 (ICRP, 1994) で使用されている。

表 A.7.1. セシウムの体内動態データ

コンパートメント	取込み割合 (%)	生物学的半減期 (日)
全身 A	10	2
全身 B	90	110
通過コンパートメント	—	0.25

線量算定用データ

表 A.7.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	1.0	すべての化合物
吸入, タイプ F	1.0	すべての化合物

表 A.7.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Cs-134	2.06 y	F	1.0	9.6E-09	1.0	1.9E-08
Cs-137	30.0 y	F	1.0	6.7E-09	1.0	1.3E-08

医療上の介入措置の効果

セシウムの糞中排泄を高めることは、プルシアンブルー (フェロシアン化第 2 鉄) の経口投与によって達成することができる (IAEA, 1988)。この場合、ここで与えられた予測値は注意して用いられるべきである。

引用文献

Hasanan, E. and Rahola, T. (1971) The biological half-life of ^{137}Cs and ^{24}Na in man. *Ann. Clin. Res.* 3, 236-240.

IAEA (1988) *The Radiological Accident in Gioáa*. International Atomic Energy Agency, Vienna.

Suomela, M. (1971) Elimination rate of ^{137}Cs in individuals and the control group. Presented in the 3rd Ordinary Meeting of the Nordic Society for Radiation Protection, Copenhagen, 18-20 August 1971 (Swedish).

セシウム-134 (半減期=2.06年)

表 A.7.4. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
γ	0.60	98
γ	0.80	85

表 A.7.5 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	50 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	1 Bq l ⁻¹

セシウム-134には、検出上の問題はない。

表 A.7.6. 特殊モニタリング： ^{134}Cs の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ F	
	全身	1日当たりの尿中排泄量
1	6.0E-01	7.9E-03
2	5.0E-01	1.1E-02
3	4.6E-01	8.8E-03
4	4.4E-01	6.8E-03
5	4.3E-01	5.4E-03
6	4.2E-01	4.4E-03
7	4.2E-01	3.7E-03
8	4.1E-01	3.2E-03
9	4.1E-01	2.9E-03
10	4.1E-01	2.6E-03

表 A.7.7. 特殊モニタリング： ^{134}Cs の経口摂取および注入における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取		注入	
	全身	1日当たりの尿中排泄量	全身	1日当たりの尿中排泄量
1	9.8E-01	1.6E-02	9.8E-01	1.7E-02
2	9.5E-01	2.3E-02	9.5E-01	2.3E-02
3	9.2E-01	1.8E-02	9.3E-01	1.8E-02
4	9.0E-01	1.4E-02	9.1E-01	1.4E-02
5	8.9E-01	1.1E-02	9.0E-01	1.1E-02
6	8.7E-01	9.2E-03	8.8E-01	9.2E-03
7	8.6E-01	7.7E-03	8.7E-01	7.8E-03
8	8.5E-01	6.7E-03	8.6E-01	6.7E-03
9	8.5E-01	6.0E-03	8.5E-01	6.0E-03
10	8.4E-01	5.4E-03	8.5E-01	5.5E-03

表 A.7.8. 日常モニタリング：¹³⁴Cs の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング間隔（日）	タイプ F	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
180	2.3E-01	1.1E-03
120	2.8E-01	1.4E-03
90	3.1E-01	1.6E-03
60	3.5E-01	1.8E-03
30	3.9E-01	2.1E-03
14	4.2E-01	3.7E-03
7	4.4E-01	6.8E-03

慢性摂取

表 A.7.9. は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度（20 mSv）の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.7.9. ¹³⁴Cs の連続慢性摂取における平衡値（Bq）

測定量	タイプ F		
	1 年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間
全身	1.7E-01	3.5E+05	3 年
1 日当たりの尿中排泄量	9.3E-04	1.9E+03	3 年

セシウム-137（半減期=30.0 年）バリウム-137m（半減期=2.5 分）

表 A.7.10. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー（MeV）	放出割合（%）
Cs-137	β^-		
Ba-137m	γ	0.661	85.1 ^a

^a 親核種 ¹³⁷Cs の % で表した。実用上、¹³⁷Cs の計測は、その壊変生成物 ^{137m}Ba からの放出ガンマ線を計測することによって達成される。

表 A.7.11. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	50 Bq
生物試料の γ 線スペクトロメトリー	尿	1 Bq l ⁻¹

セシウム-137 には、検出上の問題はない。

表 A.7.12. 特殊モニタリング： ^{137}Cs の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ F	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
1	6.0E-01	7.9E-03
2	5.0E-01	1.1E-02
3	4.6E-01	8.8E-03
4	4.4E-01	6.8E-03
5	4.3E-01	5.4E-03
6	4.3E-01	4.5E-03
7	4.2E-01	3.8E-03
8	4.2E-01	3.3E-03
9	4.1E-01	2.9E-03
10	4.1E-01	2.6E-03

表 A.7.13. 特殊モニタリング： ^{137}Cs の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取		注入	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量	全身	1 日当たりの尿中排泄量
1	9.8E-01	1.6E-02	9.8E-01	1.7E-02
2	9.5E-01	2.3E-02	9.6E-01	2.3E-02
3	9.3E-01	1.8E-02	9.3E-01	1.8E-02
4	9.1E-01	1.4E-02	9.2E-01	1.4E-02
5	8.9E-01	1.1E-02	9.0E-01	1.1E-02
6	8.8E-01	9.2E-03	8.9E-01	9.3E-03
7	8.7E-01	7.8E-03	8.8E-01	7.8E-03
8	8.6E-01	6.7E-03	8.7E-01	6.8E-03
9	8.5E-01	6.0E-03	8.6E-01	6.0E-03
10	8.4E-01	5.5E-03	8.5E-01	5.5E-03

表 A.7.14. 日常モニタリング： ^{137}Cs の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

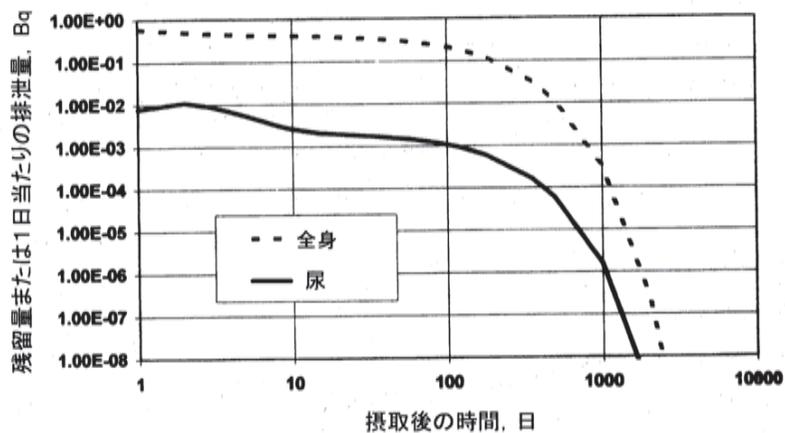
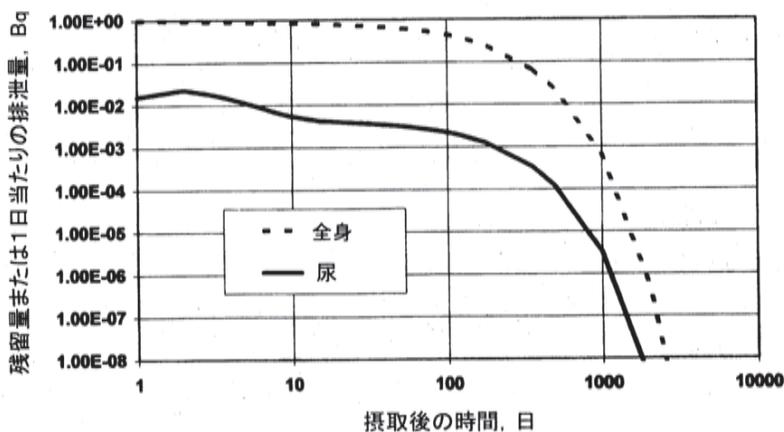
モニタリング間隔 (日)	タイプ F	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
360	1.4E-01	7.0E-04
180	2.4E-01	1.2E-03
120	3.0E-01	1.5E-03
90	3.3E-01	1.6E-03
60	3.6E-01	1.8E-03
30	3.9E-01	2.1E-03
14	4.2E-01	3.8E-03
7	4.4E-01	6.8E-03

慢性摂取

表 A.7.15. は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.7.15. ^{137}Cs の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F		時間
	1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	
全身	1.9E-01	5.6E+05	3年
1日当たりの尿中排泄量	1.0E-03	3.1E+03	3年

図 A.7.1. ^{134}Cs 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)図 A.7.2. ^{134}Cs 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

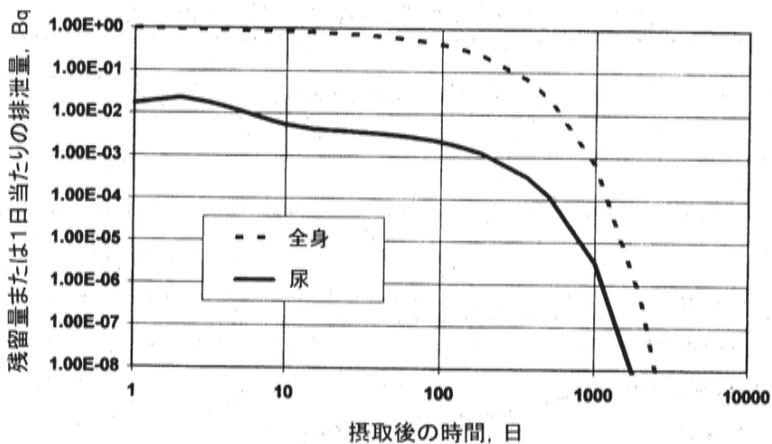


図 A.7.3. ¹³⁴Cs 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

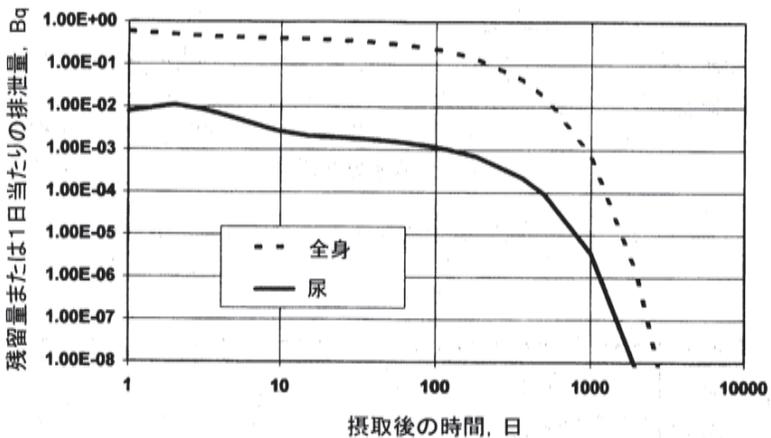


図 A.7.4. ¹³⁷Cs 吸入摂取 タイプ F：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

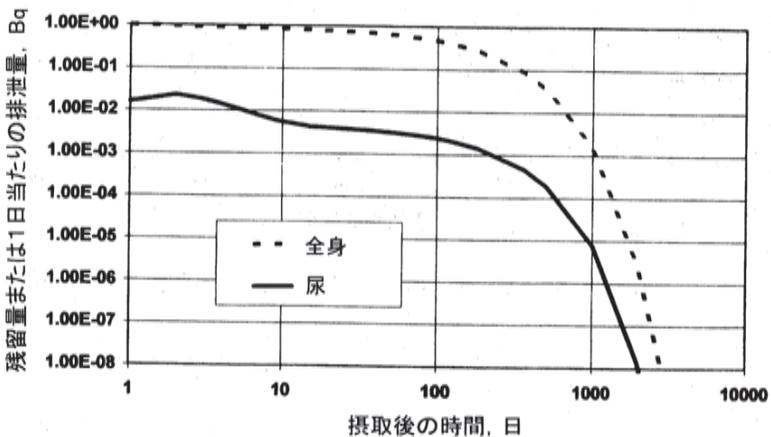


図 A.7.5. ¹³⁷Cs 経口摂取：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

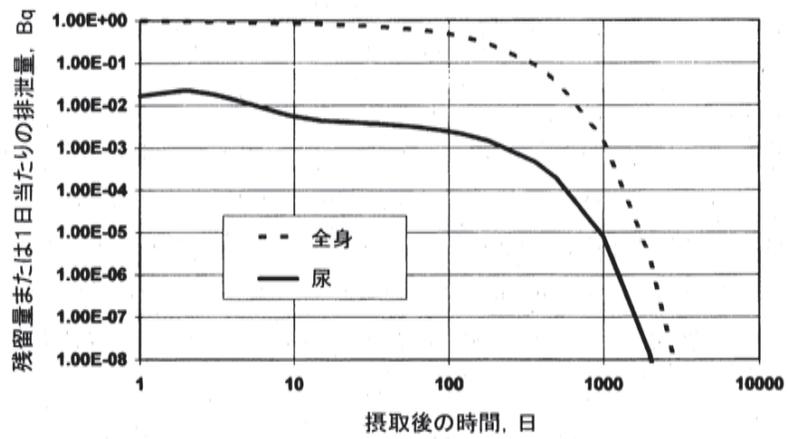


図 A.7.6. ^{137}Cs 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

A.8. ラジウム

体内動態モデル

生理学に基づくラジウムの再循環モデルは *Publication 67* (ICRP, 1993) から採用されており、本文の 3.3 節に記述されている。パラメータ値は表 A.8.1 に与えられている。このモデルは、沈着および残留の主要部位である骨におけるラジウムの動態を記述しており、排泄経路ばかりでなく、肝臓やその他の軟組織での残留も考慮している。それは、骨表面への初期の取込み、表面から骨の体積全体への移行、骨および他の組織から血漿中への再循環を考慮している。

表 A.8.1. ラジウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d⁻¹)

経路	移行速度
ST 0 ^a →血漿	7.56E+00
ST 1 ^a →血漿	6.93E-01
ST 2 ^a →血漿	3.80E-04
皮質骨表面→血漿	5.78E-01
非交換性皮質骨体積部→血漿	8.21E-05
梁骨表面→血漿	5.78E-01
非交換性梁骨体積部→血漿	4.93E-04
肝臓→血漿	1.39E-02
血漿→ST 0	2.268E+01
血漿→ST 1	7.00E+00
血漿→ST 2	7.00E-02
血漿→皮質骨表面	7.78E+00
皮質骨体積部→皮質骨表面	1.85E-02
皮質骨表面→交換性皮質骨体積部	1.16E-01
交換性皮質骨体積部→非交換性皮質骨体積部	4.60E-03
血漿→梁骨表面	9.72E+00
交換性梁骨体積部→梁骨表面	1.85E-02
梁骨表面→交換性梁骨体積部	1.16E-01
交換性梁骨体積部→非交換性梁骨体積部	4.60E-03
血漿→肝臓	3.50E-01
血漿→膀胱	6.06E-01
血漿→U.L.I. ^b	2.179E+01

^a ST—軟組織

^b U.L.I.—大腸上部

各数値は計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

ラジウム同位体の放射性壊変生成物に対する特別な体内動態モデルも使用されている。特に、全身性組織および呼吸気道からのラドンの損失が考慮されている。詳細な全容は *Publication 71* (ICRP, 1995b) に与えられている。

線量算定用データ

表A.8.2 化合物，吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	0.2	すべての化合物
吸入，タイプ M	0.2	すべての化合物

表A.8.3 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Ra-226	1.60E+03 y	M	0.2	2.2E-06 ^a	0.2	2.8E-07
Ra-228	5.75 y	M	0.2	1.7E-06	0.2	6.7E-07

^a ここに示した吸入の線量係数は，*Publication 71* (ICRP, 1995 b) の 75 項に記した方法に従って，²²⁶Ra の娘核種 ²²²Rn の肺からの除去を考慮して計算されている。

放射性壊変生成物

ラジウム-226 およびラジウム-228 の *in vivo* 計測は，これらの核種の主たる放射線が非透過性のため，重大な実用上の問題を引き起こす。しかしながら，これら同位体の放射性壊変生成物のいくつかは，全身計測に十分なエネルギーと放出割合の光子を放出する。したがって，ラジウム-226 のための鉛-214 およびビスマス-214 の全身内容量予測値，ラジウム-228 のためのアクチニウム-228 の全身内容量予測値について，以下の節で述べる。これらは，ラジウム-226 あるいはラジウム-228 の摂取につづく壊変生成物の体内における生成に起因するもの予測値である。それらは最初の摂取時における壊変生成物の放射能を考慮に入れていない。実際の状況，たとえば鉱石の処理においては，壊変生成物の摂取も生ずると仮定する必要がある。このような場合は，ここに与えられた結果は注意して用いられるべきである。

標準的な計算方法に合わせ，表 A.8.3. に与えられた線量係数は，摂取後体内において形成されるすべての壊変生成物の寄与を含むことに注意すべきである。

ラジウム-226 (半減期=1.60E+03 年)

^{226}Ra の壊変系列を図 A.8.1.に示す。

表 A.8.4. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
Ra-226	α	4.6	6
		4.8	94
Pb-214	γ	0.19	3
		0.30	19
Bi-214	γ	0.35	37
		0.61	46
		1.12	15
		1.76	16

表 A.8.5. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	1000 Bq
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	10 mBq l ⁻¹

尿分析に係る表 A.8.5.に引用した検出限界値は、特殊モニタリングに十分な値である。日常モニタリングに関しては、これは年線量限度の約半分に相当する摂取量の検出を可能にするであろう。モニタリングプログラムが年線量限度のわずかな割合に相当するような摂取量を検出するために計画されているのであれば、より低い検出限界値が要求されるであろう。

全身計測に係る上に引用した検出限界値は、ラジウム-226 より放射される 186 keV の γ 線の計測に係る。これは特殊モニタリング、日常モニタリングのどちらのプログラムに対しても十分でない。約 200 Bq というもっと低い検出限界値は、壊変生成物である鉛-214 およびビスマス-214 を、高効率で十分な遮へいを施した全身カウンタで測定することにより達成可能である。これらの核種は物理学的半減期が短いため、全身におけるそれらの放射能はラドンのそれとほぼ等しい。

表 A.8.6. 特殊モニタリング： ^{226}Ra の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ M	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
1	5.0E-01	1.6E-03
2	2.7E-01	3.1E-04
3	1.6E-01	2.1E-04
4	1.1E-01	1.5E-04
5	9.3E-02	1.1E-04
6	8.2E-02	7.7E-05
7	7.6E-02	5.7E-05
8	7.2E-02	4.3E-05
9	7.0E-02	3.4E-05
10	6.8E-02	2.7E-05

表 A.8.7. 特殊モニタリング： ^{226}Ra の経口摂取および注入における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取		注入	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量	全身	1 日当たりの尿中排泄量
1	7.3E-01	2.9E-03	8.1E-01	1.5E-02
2	3.8E-01	5.7E-04	5.9E-01	2.6E-03
3	1.9E-01	3.7E-04	4.3E-01	1.8E-03
4	1.1E-01	2.6E-04	3.3E-01	1.2E-03
5	6.9E-02	1.8E-04	2.6E-01	8.6E-04
6	5.1E-02	1.3E-04	2.2E-01	6.0E-04
7	4.1E-02	9.1E-05	1.9E-01	4.3E-04
8	3.5E-02	6.6E-05	1.7E-01	3.1E-04
9	3.2E-02	4.8E-05	1.6E-01	2.3E-04
10	2.9E-02	3.6E-05	1.5E-01	1.7E-04

表 A.8.8. 日常モニタリング： ^{226}Ra の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	タイプ M	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
360	1.8E-02	2.0E-06
180	3.0E-02	4.2E-06
120	3.8E-02	6.3E-06
90	4.4E-02	7.7E-06
60	5.1E-02	9.5E-06
30	6.2E-02	1.4E-05
14	7.6E-02	(5.7E-05) ^a
7	1.1E-01	(1.5E-04)

^a 括弧内の値は第 6 章に記述された要件を満たさない。

ラジウム-226 壊変生成物

表 A.8.9. 特殊モニタリング： ^{226}Ra の吸入摂取後の壊変生成物についての全身内容量の
予測値(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ M	
	^{214}Pb	^{214}Bi
1	3.4E-02	3.4E-02
2	3.5E-02	3.4E-02
3	2.2E-02	2.2E-02
4	1.2E-02	1.2E-02
5	6.8E-03	6.7E-03
6	4.2E-03	4.2E-03
7	3.0E-03	3.0E-03
8	2.4E-03	2.4E-03
9	2.1E-03	2.1E-03
10	1.9E-03	1.9E-03

表 A.8.10. 特殊モニタリング： ^{226}Ra の経口摂取後および注入後の壊変生成物についての全身
内容量の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取		注入	
	^{214}Pb	^{214}Bi	^{214}Pb	^{214}Bi
1	8.4E-02	8.2E-02	5.3E-02	5.2E-02
2	8.2E-02	8.1E-02	5.9E-02	5.8E-02
3	5.0E-02	5.0E-02	4.8E-02	4.7E-02
4	2.7E-02	2.7E-02	3.6E-02	3.6E-02
5	1.4E-02	1.4E-02	2.8E-02	2.8E-02
6	8.1E-03	8.1E-03	2.3E-02	2.2E-02
7	5.3E-03	5.3E-03	1.9E-02	1.9E-02
8	4.0E-03	4.0E-03	1.7E-02	1.7E-02
9	3.3E-03	3.3E-03	1.5E-02	1.5E-02
10	3.0E-03	3.0E-03	1.4E-02	1.4E-02

表 A.8.11. 日常モニタリング： ^{226}Ra の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての全身内容量
の予測値(摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	タイプ M	
	^{214}Pb	^{214}Bi
360	1.3E-03	1.3E-03
180	1.4E-03	1.4E-03
120	1.4E-03	1.4E-03
90	1.5E-03	1.5E-03
60	1.5E-03	1.5E-03
30	1.6E-03	1.6E-03
14	3.0E-03	3.0E-03
7	1.2E-02	1.2E-02

慢性摂取

図 A.8.11.から図 A.8.13.までは、平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{226}Ra については、問題になる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

ラジウム-228 (半減期=5.75 年)

^{228}Ra の壊変系列を図 A.8.14 に示す。

表 A.8.12. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
Ra-228	β^-	0.01 ^a	100
Ac-228	γ	0.34	16
	γ	0.91	29
	γ	0.96	23
Pb-212	γ	0.24	45
Tl-208	γ	0.51	22 ^b
	γ	0.58	86 ^b
	γ	0.86	12 ^b
	γ	2.61	100 ^b

^a 平均エネルギー

^b これらの放出割合は ^{208}Tl の 1 崩壊に関する。 ^{228}Ra の ^{208}Tl への壊変には分岐比 0.36 が含まれる。これらの放出割合を ^{228}Ra の 1 崩壊に関係づける際には、このことを考慮すべきである。

表 A.8.13. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
壊変生成物の測定による <i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	全身	200 Bq
放射化学分離および β 計数	尿	1 Bq l ⁻¹

尿分析に係る上に引用した検出限界値は、特殊モニタリングに対して、摂取後の最初の数日間のみ十分である。この値は、年線量限度に相当する摂取量を摂取後 5 日以上過ぎて検出するためには十分でなく、また、日常モニタリングに対しても十分ではない。

ラジウム-228 を *in vivo* 計測によって直接検出することはできない。ラジウム-228 の身体内容量は、その直接の壊変生成物であるアクチニウム-228 の測定から推定することができる。約 200Bq という検出限界値は、高効率で十分な遮蔽を施した全身カウンタによって達成可能である。この値は特殊モニタリングに十分であり、また日常モニタリングプログラムにおいて、ほぼ年線量限度に近い摂取量の検出を可能とするであろう。

表 A.8.14. 特殊モニタリング： ^{228}Ra の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	タイプ M	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
1	5.0E-01	1.6E-03
2	2.7E-01	3.1E-04
3	1.6E-01	2.1E-04
4	1.1E-01	1.5E-04
5	9.3E-02	1.0E-04
6	8.2E-02	7.6E-05
7	7.6E-02	5.7E-05
8	7.2E-02	4.3E-05
9	6.9E-02	3.4E-05
10	6.7E-02	2.7E-05

表 A.8.15. 特殊モニタリング： ^{228}Ra の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取		注入	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量	全身	1 日当たりの尿中排泄量
1	7.3E-01	2.9E-03	8.1E-01	1.5E-02
2	3.8E-01	5.7E-04	5.8E-01	2.6E-03
3	1.9E-01	3.7E-04	4.3E-01	1.7E-03
4	1.1E-01	2.6E-04	3.3E-01	1.2E-03
5	6.9E-02	1.8E-04	2.6E-01	8.6E-04
6	5.1E-02	1.3E-04	2.2E-01	6.0E-04
7	4.1E-02	9.1E-05	1.9E-01	4.3E-04
8	3.5E-02	6.6E-05	1.7E-01	3.1E-04
9	3.2E-02	4.8E-05	1.6E-01	2.3E-04
10	2.9E-02	3.5E-05	1.4E-01	1.7E-04

表 A.8.16. 日常モニタリング： ^{228}Ra の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	タイプ M	
	全身	1 日当たりの尿中排泄量
360	1.7E-02	(1.9 E-06) ^a
180	2.9E-02	4.4E-06
120	3.7E-02	6.2E-06
90	4.3E-02	7.5E-06
60	5.1E-02	9.4E-06
30	6.1E-02	1.4E-05
14	7.6E-02	(5.7E-05)
7	1.1E-01	(1.5E-04)

^a 括弧内の値は第 6 章に記述された要件を満たさない。

ラジウム-228 壊変生成物

表 A.8.17. 特殊モニタリング： ^{228}Ra の吸入摂取後，経口摂取後および注入後の ^{228}Ac 壊変生成物についての全身内容量の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ M	経口摂取	注入
1	4.7E-01	6.9E-01	7.6E-01
2	2.7E-01	3.8E-01	5.9E-01
3	1.6E-01	1.9E-01	4.3E-01
4	1.1E-01	1.1E-01	3.3E-01
5	9.3E-02	7.0E-02	2.7E-01
6	8.2E-02	5.1E-02	2.2E-01
7	7.6E-02	4.1E-02	1.9E-01
8	7.2E-02	3.5E-02	1.7E-01
9	6.9E-02	3.2E-02	1.6E-01
10	6.7E-02	2.9E-02	1.4E-01

表 A.8.18. 日常モニタリング： ^{228}Ra の吸入摂取後の ^{228}Ac 壊変生成物についての全身内容量の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング間隔（日）	タイプ M
360	1.7E-02
180	2.9E-02
120	3.7E-02
90	4.3E-02
60	5.1E-02
30	6.1E-02
14	7.6E-02
7	1.1E-01

慢性摂取

表 A.8.19. は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度（20 mSv）の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.8.19. ^{228}Ra の慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ M			
	1年当たりの吸入摂取量			
		1Bq	年限度相当	時間
全身	^{228}Ra	4.6E-02	5.4E+02	30年
	^{228}Ac	4.3E-02	5.1E+02	30年
1日当たりの尿中排泄量	^{228}Ra	1.0E-05	1.2E-01	1年

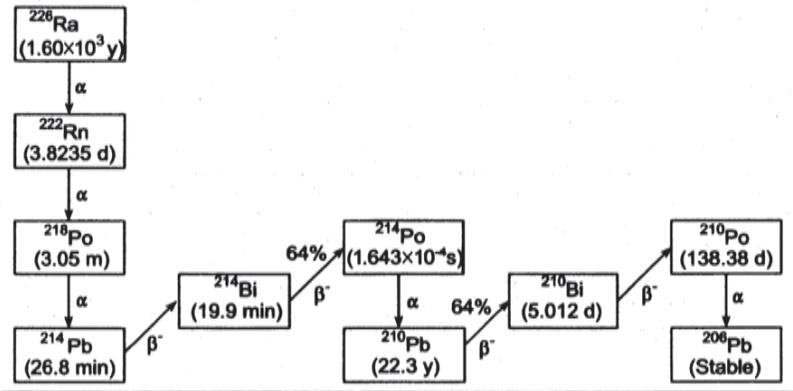


図 A.8.1. ^{226}Ra の壊変系列

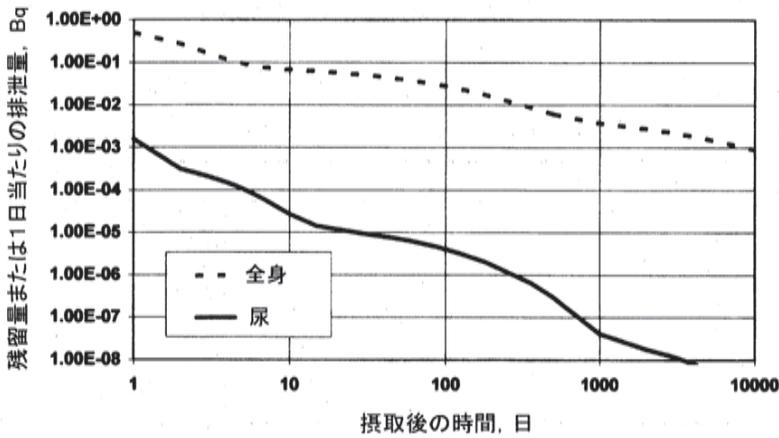


図 A.8.2. ^{226}Ra 吸入摂取 タイプ M：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

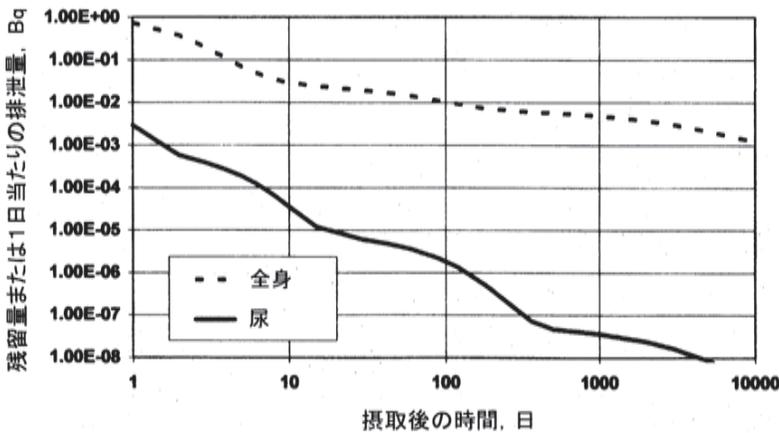


図 A.8.3. ^{226}Ra 経口摂取：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

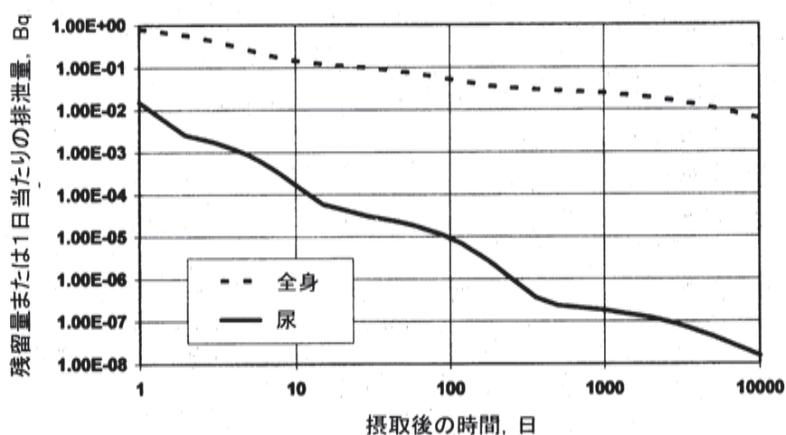


図 A.8.4. ^{226}Ra 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

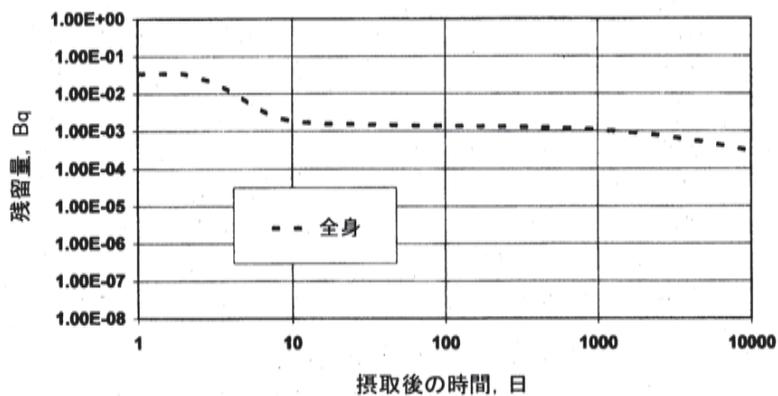


図 A.8.5. ^{226}Ra 吸入摂取 タイプ M： ^{226}Ra の急性摂取後の ^{214}Pb の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

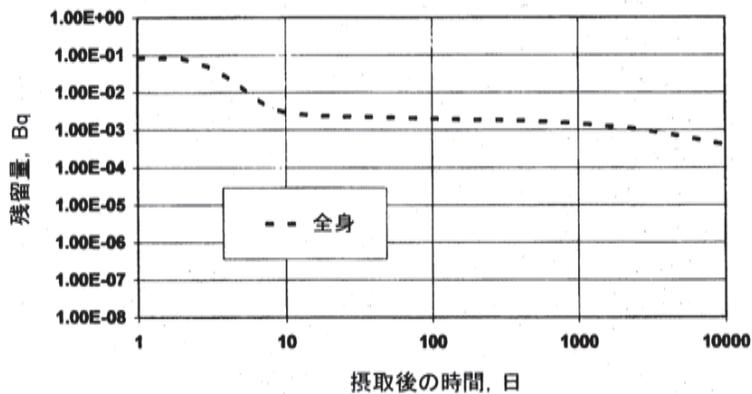


図 A.8.6. ^{226}Ra 経口摂取： ^{226}Ra の急性摂取後の ^{214}Pb の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

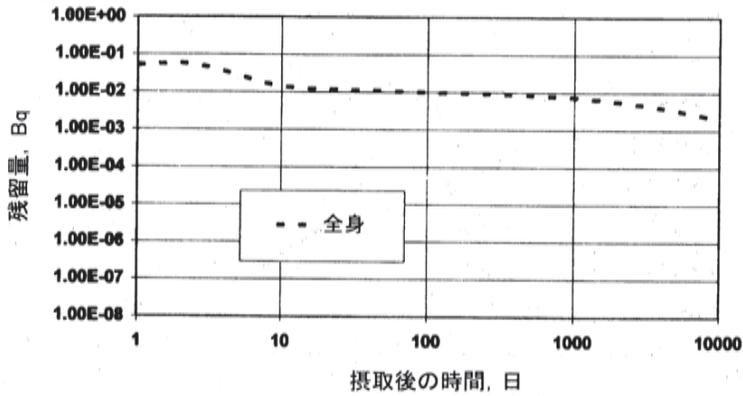


図 A.8.7. ^{226}Ra 注入: ^{226}Ra の急性摂取後の ^{214}Pb の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

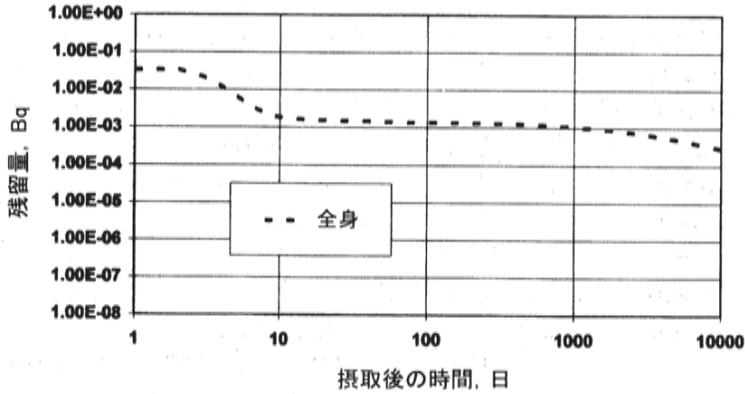


図 A.8.8. ^{226}Ra 吸入摂取 タイプ M: ^{226}Ra の急性摂取後の ^{214}Bi の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

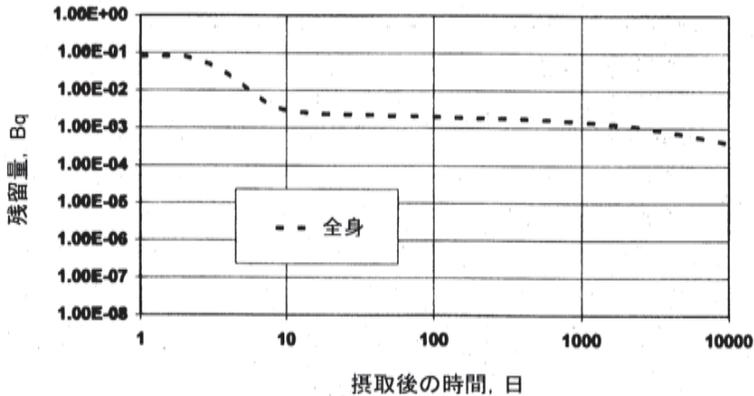


図 A.8.9. ^{226}Ra 経口摂取: ^{226}Ra の急性摂取後の ^{214}Bi の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

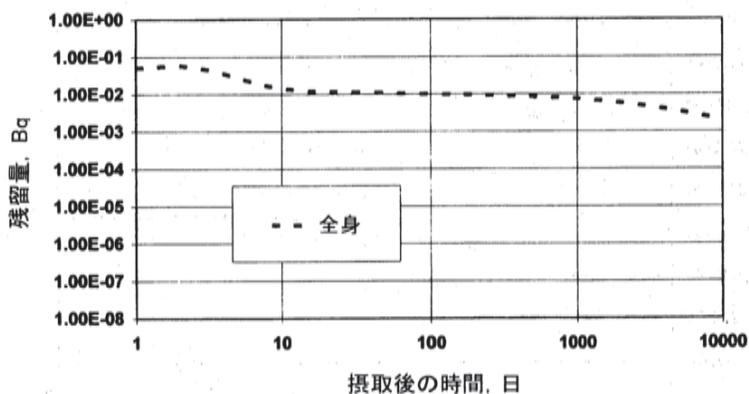


図 A.8.10. ^{226}Ra 注入： ^{226}Ra の急性摂取後の ^{214}Bi の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

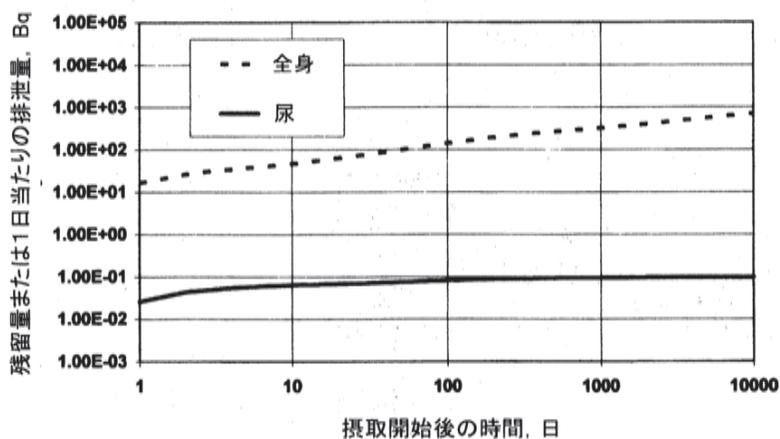


図 A.8.11. ^{226}Ra 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度（20mSv）の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値（Bq）

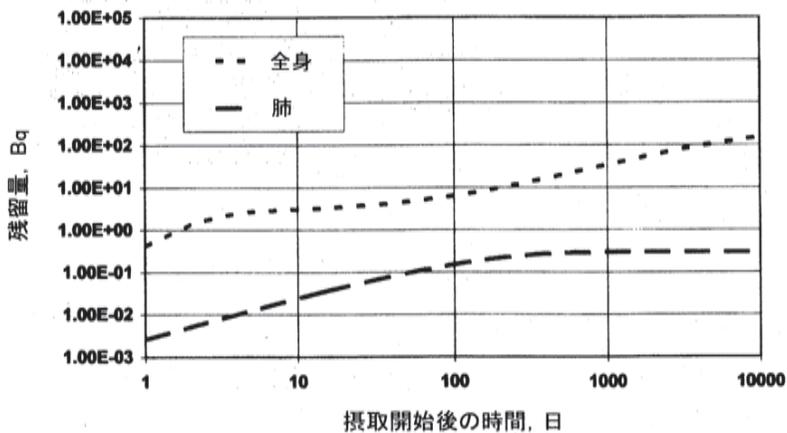


図 A.8.12. ^{226}Ra 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度（20mSv）の被ばくになるような率の ^{226}Ra の連続慢性摂取にともなう ^{214}Pb の予測値（Bq）

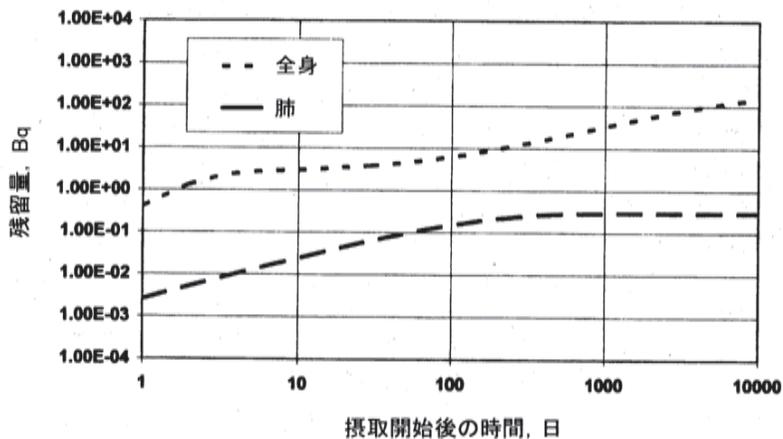


図 A.8.13. ^{226}Ra 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の ^{226}Ra の連続慢性摂取にともなう ^{214}Bi の予測値 (Bq)

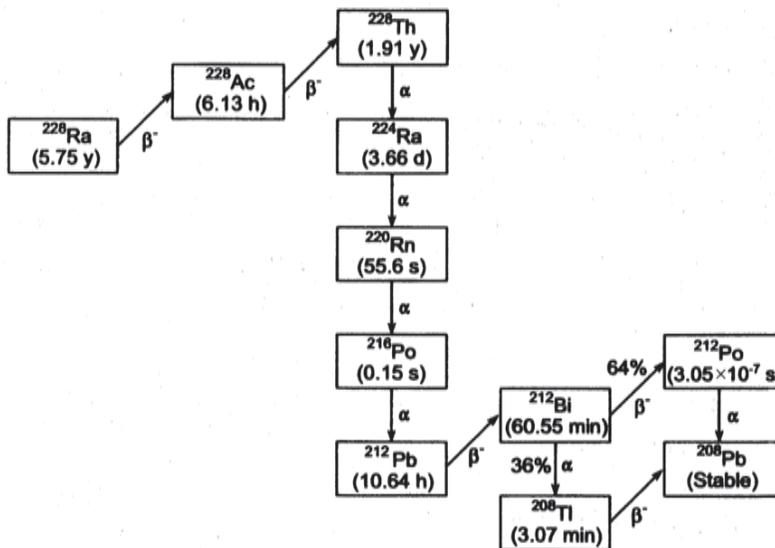


図 A.8.14. ^{228}Ra の壊変系列

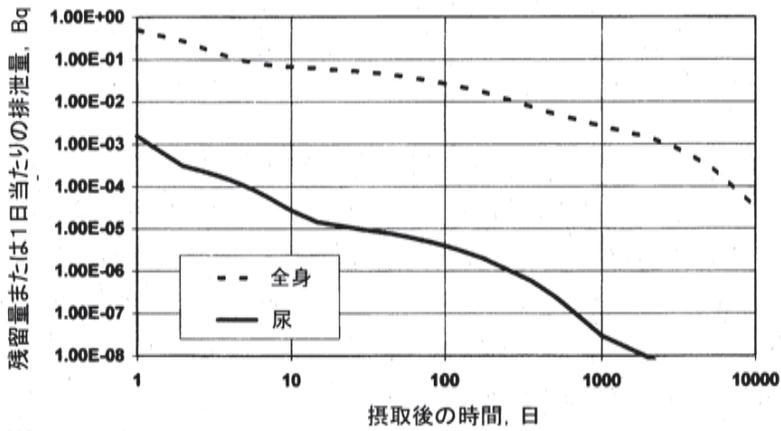


図 A.8.15. ^{228}Ra 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

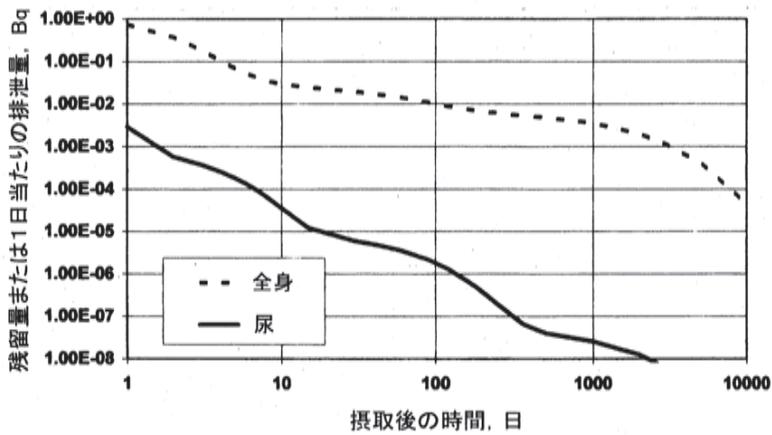


図 A.8.16. ^{228}Ra 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

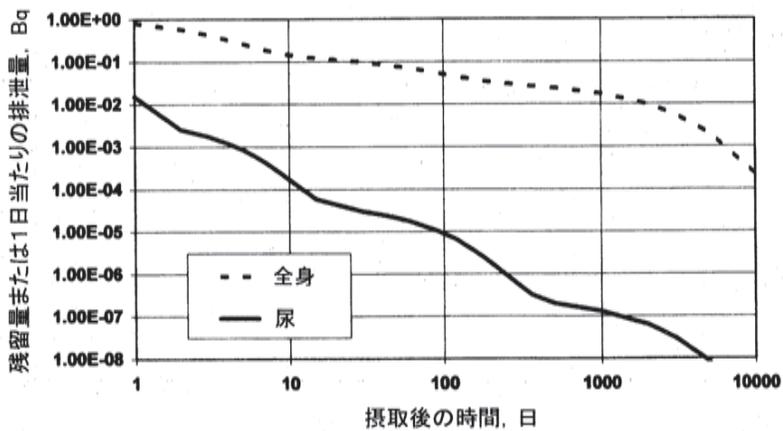


図 A.8.17. ^{228}Ra 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

A.9. トリウム

体内動態モデル

血液に吸収されたトリウムの主要な沈着部位は肝臓と骨格である。アクチニドの一般的なモデルは *Publication 67* (ICRP, 1993) で勧告されており、これは本文の 3.3 節に記述されている。トリウムに固有の移行速度は、その後、*Publication 69* (ICRP, 1995) で与えられた。これらの値を表 A.9.1 に示す。このモデルは、骨、肝臓、生殖腺、およびその他の組織中の初期沈着を考慮しており、排泄による損失ばかりでなく、骨表面から骨の体積および骨髓への放射能の移行、組織間の放射能の再循環を考慮している。

表 A.9.1. トリウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d^{-1})

経路	移行速度
ST 0 ^a →血液	4.62E-01
ST 1 ^a →血液	9.50E-04
ST 2 ^a →血液	1.90E-05
梁骨骨髓→血液	7.60E-03
皮質骨骨髓→血液	7.60E-03
腎臓 (その他の組織) →血液	3.80E-04
肝臓 2→血液	2.11E-04
睾丸→血液	1.90E-04
卵巣→血液	1.90E-04
血液→ST 0	8.32E-01
血液→ST 1	2.43E-01
血液→ST 2	3.88E-02
血液→梁骨表面	6.793E-01
血液→皮質骨表面	6.793E-01
梁骨表面→梁骨体積部	2.47E-04
皮質骨表面→皮質骨体積部	4.11E-05
梁骨表面→梁骨骨髓	4.93E-04
梁骨体積部→梁骨骨髓	4.93E-04
皮質骨表面→皮質骨骨髓	8.21E-05
皮質骨体積部→皮質骨骨髓	8.21E-05
血液→腎臓 (その他の組織)	1.94E-02
血液→肝臓 1	9.70E-02
肝臓 1→肝臓 2	9.50E-04
血液→睾丸	6.80E-04
血液→卵巣	2.10E-04
肝臓 1→S.I. ^b	4.75E-04
血液→U.L.I. ^c	9.70E-03
血液→腎臓 (尿細管)	6.79E-02
血液→膀胱	1.067E-01
腎臓 (尿細管) →膀胱	4.62E-02
肝臓 1→血液	4.75E-04

^a ST - 軟組織

^b S.I. - 小腸

^c U.L.I. - 大腸上部

数値は計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

トリウム同位体の放射性壊変生成物に対する特別な体内動態モデルも使用されている。特に、全身性組織および呼吸気道からのラドンの損失が考慮されている。詳細な全容は *Publication 71* に与えられている。

線量算定用データ

表 A.9.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	5.0E-04	不特定の化合物
経口摂取	2.0E-04	酸化物および水酸化物
吸入, タイプ M	5.0E-04	不特定の化合物
吸入, タイプ S	2.0E-04	酸化物および水酸化物

表 A.9.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Th-228	1.91 y	M	5.0E-04	2.3E-05	5.0E-04	7.0E-08
		S	2.0E-04	3.2E-05	2.0E-04	3.5E-08
Th-232	1.40E+10 y	M	5.0E-04	2.9E-05	5.0E-04	2.2E-07
		S	2.0E-04	1.2E-05	2.0E-04	9.2E-08

放射性壊変生成物

トリウム-228 およびトリウム-232 の *in vivo* 計測は、これらの核種の主たる放射線が非透過性のため、重大な実用上の問題を引き起こす。しかしながら、これら同位体の放射性壊変生成物のいくつかは、全身計測に十分なエネルギーと放出割合の光子を放出する。したがって、トリウム-228 のための鉛-212 およびタリウム-208 の全身内容量予測値、トリウム-232 のためのアクチニウム-228 の全身内容量予測値について、以下の節で述べる。これらは、トリウム-228 あるいはトリウム-232 の摂取につづく壊変生成物の体内における生成に起因するもの予測値である。それらは最初の摂取時における壊変生成物の放射能を考慮に入れていない。実際の状況、たとえば鉱石の処理においては、壊変生成物の摂取も生ずると仮定する必要がある。このような場合は、ここに与えられた結果は注意して用いられるべきである。

標準的な計算方法に合わせ、表 A.9.3. に与えられた線量係数は、摂取後体内において形成されるすべての壊変生成物の寄与を含むことに注意すべきである。

トリウム-228 (半減期 1.91 年)

図 A.9.1.に ^{228}Th の壊変系列を示す。

表 A.9.4. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
Th-228	α	5.3	27
	α	5.4	73
Pb-212	γ	0.24	45
Bi-212	γ	0.73	12
Tl-208	γ	0.51	22 ^a
	γ	0.58	86 ^a
	γ	0.86	12 ^a
	γ	2.6	100 ^a

^a これらの放出割合は ^{208}Tl の 1 崩壊に関係する。 ^{228}Th の ^{208}Tl への壊変には分岐比 0.36 が含まれる。これらの放出割合を ^{228}Th の 1 崩壊に関係づける際には、このことを考慮すべきである。

表 A.9.5. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	10 mBq l ⁻¹
	糞	10 mBq

尿分析によるモニタリングに係る上に与えた検出限界値は、トリウム-228 タイプ M の吸入による摂取を、年線量限度に相当するレベルで検出するための特殊モニタリングに十分な値である。これは、タイプ S に対する特殊モニタリングにも、タイプ M やタイプ S の日常モニタリングにも十分な感度ではない。

糞分析によるモニタリングに係る上に与えた検出限界値は、トリウム-228 の吸入による摂取に対する特殊モニタリングに十分な値である。日常モニタリングに関しては、これは年線量限度に相当するレベルで摂取量の検出を可能にするであろう。年線量限度の数分の 1 に相当する摂取量を検出できるようにするためには、もっと低い検出限界値が要求されるであろう。

トリウム-228 自体はガンマ線強度がごく低いために、*in vivo* 計測によって検出することはできない。体内のトリウム-228 の量は、壊変生成物である鉛-212 やタリウム-208 のガンマ線放出の測定から推定できる。

呼気のトロン (ラドン-220) の測定は、有効なモニタリング技術である可能性がある (Youngman ら, 1994; Terry, 1995)。別の方法として、トリウムの摂取は個人用空気サンプルを用いて評価できるかもしれない。

引用文献

Terry, K. W. and Hewson, G. S. (1995) Thorium lung burdens of mineral sands workers. *Health Phys.* 69(2), 233-242.

Youngman, M. J., Smith, J. R. H. and Kovari, M. (1994) The determination of thorium lung content by measurement of thoron in exhaled air. *Rad. Prot. Dosim.* 53(1-4), 99.

表A.9.6. 特殊モニタリング： ^{228}Th の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	タイプM			タイプS		
	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	5.0E-01	1.1E-03	1.1E-01	4.9E-01	1.3E-05	1.1E-01
2	2.6E-01	2.3E-04	1.5E-01	2.5E-01	3.3E-06	1.6E-01
3	1.5E-01	1.4E-04	7.9E-02	1.4E-01	1.9E-06	8.4E-02
4	1.1E-01	1.1E-04	3.3E-02	9.0E-02	1.6E-06	3.5E-02
5	9.2E-02	9.6E-05	1.3E-02	7.2E-02	1.4E-06	1.4E-02
6	8.5E-02	8.4E-05	5.3E-03	6.5E-02	1.2E-06	5.6E-03
7	8.2E-02	7.5E-05	2.3E-03	6.2E-02	1.1E-06	2.5E-03
8	8.0E-02	6.7E-05	1.2E-03	6.1E-02	1.0E-06	1.3E-03
9	8.0E-02	6.2E-05	7.3E-04	6.0E-02	9.7E-07	8.2E-04
10	7.9E-02	5.7E-05	5.7E-04	5.9E-02	9.1E-07	6.4E-04

表A.9.7. 特殊モニタリング： ^{228}Th の経口摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	$f_1 = 5.0E-04$			$f_1 = 2.0E-04$		
	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	7.2E-01	1.7E-05	2.8E-01	7.2E-01	6.7E-06	2.8E-01
2	3.3E-01	5.2E-06	3.9E-01	3.3E-01	2.1E-06	3.9E-01
3	1.3E-01	2.4E-06	2.0E-01	1.3E-01	9.4E-07	2.0E-01
4	5.0E-02	1.8E-06	8.1E-02	5.0E-02	7.2E-07	8.1E-02
5	1.9E-02	1.5E-06	3.1E-02	1.9E-02	6.0E-07	3.1E-02
6	7.4E-03	1.3E-06	1.2E-02	7.1E-03	5.0E-07	1.2E-02
7	3.0E-03	1.1E-06	4.3E-03	2.7E-03	4.3E-07	4.4E-03
8	1.4E-03	9.3E-07	1.6E-03	1.1E-03	3.7E-07	1.6E-03
9	8.1E-04	8.2E-07	5.9E-04	5.3E-04	3.3E-07	5.9E-04
10	5.9E-04	7.3E-07	2.2E-04	3.1E-04	2.9E-07	2.2E-04

表A.9.8. 特殊モニタリング： ^{228}Th の注入における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	$f_1 = 5.0E-04$		
	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	9.6E-01	3.8E-02	8.2E-04
2	9.5E-01	7.5E-03	1.5E-03
3	9.4E-01	4.4E-03	1.0E-03
4	9.4E-01	3.5E-03	6.0E-04
5	9.4E-01	2.9E-03	3.7E-04
6	9.3E-01	2.4E-03	2.4E-04
7	9.3E-01	2.1E-03	1.7E-04
8	9.3E-01	1.8E-03	1.3E-04
9	9.2E-01	1.6E-03	9.8E-05
10	9.2E-01	1.4E-03	7.8E-05

表A.9.9. 日常モニタリング： ^{228}Th の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

モニタリング 間隔（日）	タイプM			タイプS		
	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	4.9E-02	5.8E-06	(1.3E-05) ^a	2.8E-02	2.7E-07	3.1E-05
180	5.7E-02	1.1E-05	(5.9E-05)	3.5E-02	3.5E-07	9.8E-05
120	6.1E-02	1.6E-05	(1.2E-04)	4.0E-02	4.2E-07	1.8E-04
90	6.5E-02	2.1E-05	1.8E-04	4.4E-02	4.8E-07	2.4E-04
60	6.9E-02	2.9E-05	2.7E-04	4.9E-02	5.7E-07	3.4E-04
30	7.6E-02	4.4E-05	4.1E-04	5.6E-02	7.6E-07	4.9E-04
14	8.2E-02	7.5E-05	(2.3E-03)	6.2E-02	1.1E-06	(2.5E-03)
7	1.1E-01	1.1E-04	(3.3E-02)	9.0E-02	1.6E-06	(3.5E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

トリウム-228 放射性壊変生成物

表A.9.10. 特殊モニタリング：タイプM ^{228}Th の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての
予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	^{212}Pb		^{208}Tl	
	全身	肺	全身	肺
1	4.2E-02	4.6E-03	1.3E-02	1.5E-03
2	5.7E-02	1.2E-02	2.0E-02	4.0E-03
3	5.1E-02	1.8E-02	1.8E-02	6.3E-03
4	4.6E-02	2.3E-02	1.6E-02	8.2E-03
5	4.5E-02	2.7E-02	1.6E-02	9.7E-03
6	4.6E-02	3.0E-02	1.6E-02	1.1E-02
7	4.8E-02	3.3E-02	1.7E-02	1.2E-02
8	5.0E-02	3.5E-02	1.8E-02	1.2E-02
9	5.2E-02	3.6E-02	1.9E-02	1.3E-02
10	5.3E-02	3.7E-02	1.9E-02	1.3E-02

表A.9.11. 特殊モニタリング：タイプS ^{228}Th の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての
予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	^{212}Pb		^{208}Tl	
	全身	肺	全身	肺
1	4.1E-02	5.1E-03	1.3E-02	1.7E-03
2	5.5E-02	1.3E-02	1.9E-02	4.5E-03
3	4.7E-02	2.0E-02	1.7E-02	7.1E-03
4	4.0E-02	2.6E-02	1.4E-02	9.3E-03
5	3.8E-02	3.1E-02	1.3E-02	1.1E-02
6	3.8E-02	3.5E-02	1.4E-02	1.2E-02
7	4.0E-02	3.8E-02	1.4E-02	1.4E-02
8	4.2E-02	4.0E-02	1.5E-02	1.4E-02
9	4.4E-02	4.2E-02	1.6E-02	1.5E-02
10	4.5E-02	4.4E-02	1.6E-02	1.6E-02

表 A.9.12. 特殊モニタリング： ^{228}Th の経口摂取 ($f_1 = 5.0\text{E-}04$) 後の放射性壊変生成物についての全身内容量の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	^{212}Pb	^{208}Tl
1	6.2E-02	2.0E-02
2	7.6E-02	2.6E-02
3	4.8E-02	1.7E-02
4	2.5E-02	8.8E-03
5	1.2E-02	4.1E-03
6	5.3E-03	1.9E-03
7	2.5E-03	8.9E-04
8	1.3E-03	4.6E-04
9	7.7E-04	2.8E-04
10	5.5E-04	2.0E-04

表 A.9.13. 特殊モニタリング： ^{228}Th の経口摂取 ($f_1 = 2.0\text{E-}04$) 後の放射性壊変生成物についての全身内容量の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	^{212}Pb	^{208}Tl
1	6.2E-02	2.0E-02
2	7.6E-02	2.6E-02
3	4.8E-02	1.7E-02
4	2.5E-02	8.8E-03
5	1.1E-02	4.1E-03
6	5.1E-03	1.8E-03
7	2.3E-03	8.4E-04
8	1.1E-03	4.1E-04
9	6.3E-04	2.3E-04
10	4.1E-04	1.5E-04

表 A.9.14. 特殊モニタリング： ^{228}Th の注入 ($f_1 = 5.0\text{E-}04$) 後の放射性壊変生成物についての全身内容量の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	^{212}Pb	^{208}Tl
1	7.5E-02	2.4E-02
2	1.8E-01	6.2E-02
3	2.6E-01	9.2E-02
4	3.3E-01	1.1E-01
5	3.7E-01	1.3E-01
6	4.0E-01	1.4E-01
7	4.3E-01	1.5E-01
8	4.5E-01	1.6E-01
9	4.7E-01	1.7E-01
10	4.8E-01	1.7E-01

表A.9.15. 日常モニタリング：タイプM ^{228}Th の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての
予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	^{212}Pb		^{208}Tl	
	肺	全身	肺	全身
360	(9.2E-03) ^a	3.2E-02	(3.3E-03) ^a	1.2E-02
180	1.8E-02	4.0E-02	6.6E-03	1.4E-02
120	2.4E-02	4.5E-02	8.8E-03	1.6E-02
90	2.9E-02	4.9E-02	1.0E-02	1.7E-02
60	3.4E-02	5.3E-02	1.2E-02	1.9E-02
30	3.9E-02	5.7E-02	1.4E-02	2.0E-02
14	3.3E-02	4.8E-02	1.2E-02	1.7E-02
7	2.3E-02	4.6E-02	8.2E-03	1.6E-02

^a括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

表A.9.16. 日常モニタリング：タイプS ^{228}Th の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての
予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング間隔 (日)	^{212}Pb		^{208}Tl	
	肺	全身	肺	全身
360	2.5E-02	2.5E-02	8.8E-03	9.1E-03
180	3.2E-02	3.2E-02	1.1E-02	1.2E-02
120	3.6E-02	3.7E-02	1.3E-02	1.3E-02
90	4.0E-02	4.1E-02	1.4E-02	1.5E-02
60	4.4E-02	4.5E-02	1.6E-02	1.6E-02
30	4.7E-02	4.8E-02	1.7E-02	1.7E-02
14	3.8E-02	4.0E-02	1.4E-02	1.4E-02
7	2.6E-02	4.0E-02	9.3E-03	1.4E-02

慢性摂取

表A.9.17.は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表A.9.17. ^{228}Th の連続慢性摂取における平衡値(Bq)

測定量		タイプM			タイプS		
		1年当たりの吸入摂取量			1年当たりの吸入摂取量		
		1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
全身	^{228}Th	1.6E-01	1.4E+02	15年	6.7E-02	4.2E+01	15年
	^{212}Pb	9.8E-02	6.8E+00	15年	5.7E-02	9.5E+01	15年
	^{208}Tl	3.3E-02	2.3E+01	15年	2.0E-02	3.3E+01	15年
肺	^{228}Th	1.6E-02	1.4E+01	3年	5.8E-02	3.6E+01	15年
	^{212}Pb	1.4E-02	9.7E+00	3年	5.2E-02	8.7E+01	15年
	^{208}Tl	4.7E-03	3.2E+00	3年	1.9E-02	3.2E+01	15年
1日当たりの尿中排泄量	^{228}Th	1.7E-05	1.5E-02	5年	7.6E-07	4.8E-04	15年
1日当たりの糞中排泄量	^{228}Th	1.1E-03	1.0E+00	2月	1.3E-03	7.8E-01	5年

トリウム-232 (半減期=1.40E+10年)

^{232}Th の壊変系列を図 A.9.17 に示す。

表 A.9.18. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
Th-232	α	3.95	23
	α	4.01	77
Ac-228	β^-	0.39 ^a	40
	β^-	0.61 ^a	11
	β^-	0.75 ^a	8
	γ	0.34	16
	γ	0.91	29
	γ	0.96	23
Th-228	α	5.3	27
	α	5.4	73
Pb-212	γ	0.24	45
Bi-212	γ	0.73	12
Tl-208	γ	0.51	22 ^b
	γ	0.58	86 ^b
	γ	0.86	12 ^b
	γ	2.6	100 ^b

^a 平均エネルギー

^b これらの放出割合は ^{208}Tl の 1 崩壊に関する。 ^{232}Th の ^{208}Tl への壊変には分岐比 0.36 が含まれる。これらの放出割合を ^{232}Th の 1 崩壊に関係づける際には、このことを考慮すべきである。

A.9.19. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	10 mBq l ⁻¹
	糞	10 mBq

尿分析によるモニタリングに係る上に与えた検出限界値は、トリウム-232 タイプ M の吸入による摂取を、年線量限度に相当するレベルで検出するための特殊モニタリングに十分な値である。これは、タイプ S トリウム-232 の吸入に対する特殊モニタリングには十分でない。またこの手法は日常モニタリングに対しても十分な感度をもっていない。

糞分析によるモニタリングに係る上に与えた検出限界値は、タイプ M およびタイプ S の両方のトリウム-232 に対する特殊、日常両モニタリングに十分な値である。

トリウム-232 自体は、*in vivo* 計測技術によって検出することはできない。アクチニウム-228 の γ 線の測定によってトリウム-232 の身体内容量を評価することは困難である。これは、中間の壊変生成物であるラジウム-228 が長半減期核種であることと、壊変生成物であるラジウム-228 およびアクチニウム-228 の体内挙動が親核種と同一でないかもしれないからである。トリウム-228 は、前節に記述されているように評価することができる。

トリウム化合物の摂取に関するモニタリングプログラムは、引用文献に記述されている。

引用文献

Dalheimer, A. and Henrichs, K. (1994) Monitoring of workers occupationally exposed to thorium in Germany. *Radiat. Prot. Dosim.* 53(1-4), 207.

Juligo, L. Q. C., Lipsztein, J. L., Azeredo, A. M. G. F., Dantas, B. M. and Dias da Cunha, K. M. A. (1994) Thorium workers bioassay data. *Radiat. Prot. Dosim.* 53(1-4), 285.

表A.9.20. 特殊モニタリング： ^{232}Th の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の 時間（日）	タイプM			タイプS		
	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	5.0E-01	1.1E-03	1.1E-01	4.9E-01	1.3E-05	1.1E-01
2	2.6E-01	2.3E-04	1.5E-01	2.5E-01	3.3E-06	1.6E-01
3	1.5E-01	1.4E-04	8.0E-02	1.4E-01	1.9E-06	8.4E-02
4	1.1E-01	1.1E-04	3.3E-02	9.1E-02	1.6E-06	3.5E-02
5	9.2E-02	9.7E-05	1.3E-02	7.3E-02	1.4E-06	1.4E-02
6	8.5E-02	8.5E-05	5.3E-03	6.6E-02	1.3E-06	5.7E-03
7	8.3E-02	7.5E-05	2.3E-03	6.3E-02	1.1E-06	2.5E-03
8	8.1E-02	6.8E-05	1.2E-03	6.1E-02	1.0E-06	1.3E-03
9	8.0E-02	6.2E-05	7.4E-04	6.0E-02	9.8E-07	8.2E-04
10	8.0E-02	5.8E-05	5.7E-04	6.0E-02	9.2E-07	6.5E-04

表A.9.21. 特殊モニタリング： ^{232}Th の経口摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の 時間（日）	$f_1 = 5.0E-04$			$f_1 = 2.0E-04$		
	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	全身	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	7.2E-01	1.7E-05	2.8E-01	7.2E-01	6.7E-06	2.8E-01
2	3.3E-01	5.2E-06	3.9E-01	3.3E-01	2.1E-06	3.9E-01
3	1.3E-01	2.4E-06	2.0E-01	1.3E-01	9.4E-07	2.0E-01
4	5.1E-02	1.8E-06	8.1E-02	5.0E-02	7.3E-07	8.1E-02
5	1.9E-02	1.5E-06	3.1E-02	1.9E-02	6.0E-07	3.1E-02
6	7.4E-03	1.3E-06	1.2E-02	7.1E-03	5.0E-07	1.2E-02
7	3.0E-03	1.1E-06	4.4E-03	2.7E-03	4.3E-07	4.4E-03
8	1.4E-03	9.4E-07	1.6E-03	1.1E-03	3.8E-07	1.6E-03
9	8.1E-04	8.3E-07	6.0E-04	5.3E-04	3.3E-07	6.0E-04
10	5.9E-04	7.4E-07	2.2E-04	3.1E-04	3.0E-07	2.2E-04

表A.9.22. 特殊モニタリング： ^{232}Th の注入における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	$f_1 = 5.0E-04$		
	全身	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	9.6E-01	3.8E-02	8.2E-04
2	9.5E-01	7.6E-03	1.5E-03
3	9.5E-01	4.4E-03	1.0E-03
4	9.4E-01	3.5E-03	6.0E-04
5	9.4E-01	2.9E-03	3.7E-04
6	9.4E-01	2.4E-03	2.4E-04
7	9.3E-01	2.1E-03	1.7E-04
8	9.3E-01	1.8E-03	1.3E-04
9	9.3E-01	1.6E-03	9.9E-05
10	9.3E-01	1.5E-03	7.9E-05

表A.9.23. 日常モニタリング： ^{232}Th の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

モニタリング 間隔（日）	タイプM			タイプS		
	全身	1日当たりの		全身	1日当たりの	
		尿中排泄量	糞中排泄量		尿中排泄量	糞中排泄量
360	5.8E-02	7.0E-06	(1.5E-05) ^a	3.3E-02	3.2E-07	3.7E-05
180	6.2E-02	1.2E-05	(6.4E-05)	3.9E-02	3.8E-07	1.1E-04
120	6.5E-02	1.7E-05	(1.3E-04)	4.3E-02	4.4E-07	1.9E-04
90	6.8E-02	2.2E-05	1.9E-04	4.6E-02	5.0E-07	2.5E-04
60	7.1E-02	3.0E-05	2.8E-04	5.1E-02	5.9E-07	3.5E-04
30	7.7E-02	4.5E-05	4.2E-04	5.7E-02	7.7E-07	4.9E-04
14	8.3E-02	7.5E-05	(2.3E-03)	6.3E-02	1.1E-06	(2.5E-03)
7	1.1E-01	1.1E-04	(3.3E-02)	9.1E-02	1.6E-06	(3.5E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

トリウム-232の放射性壊変生成物

表A.9.24. 特殊モニタリング： ^{232}Th の吸入摂取後の ^{228}Ac 放射性壊変生成物についての予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	タイプM		タイプS	
	肺	全身	肺	全身
1	1.2E-05	1.1E-04	1.4E-05	1.1E-04
2	3.0E-05	1.4E-04	3.4E-05	1.4E-04
3	4.8E-05	1.3E-04	5.4E-05	1.2E-04
4	6.5E-05	1.3E-04	7.4E-05	1.1E-04
5	8.2E-05	1.3E-04	9.3E-05	1.1E-04
6	9.8E-05	1.4E-04	1.1E-04	1.2E-04
7	1.1E-04	1.6E-04	1.3E-04	1.4E-04
8	1.3E-04	1.8E-04	1.5E-04	1.5E-04
9	1.4E-04	1.9E-04	1.7E-04	1.7E-04
10	1.6E-04	2.1E-04	1.8E-04	1.9E-04

表A.9.25. 特殊モニタリング： ^{232}Th の経口摂取後および注入後の ^{228}Ac 放射性壊変生成物についての全身内容量の予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	経口摂取 ($f_1 = 2.0E-04$)	経口摂取 ($f_1 = 5.0E-04$)	注入 ($f_1 = 5.0E-04$)
1	1.6E-04	1.6E-04	2.0E-04
2	1.8E-04	1.8E-04	4.5E-04
3	1.2E-04	1.2E-04	6.7E-04
4	6.4E-05	6.5E-05	8.5E-04
5	3.2E-05	3.3E-05	1.0E-03
6	1.6E-05	1.7E-05	1.2E-03
7	8.6E-06	8.9E-06	1.3E-03
8	5.1E-06	5.5E-06	1.4E-03
9	3.5E-06	3.9E-06	1.5E-03
10	2.8E-06	3.2E-06	1.6E-03

表A.9.26. 日常モニタリング： ^{232}Th の吸入摂取後の ^{228}Ac 放射性壊変生成物についての
予測値（摂取量Bq当たりのBq）

モニタリング間隔(日)	タイプM		タイプS	
	肺	全身	肺	全身
360	6.9E-04	1.2E-03	1.8E-03	1.9E-03
180	6.4E-04	9.3E-04	1.1E-03	1.1E-03
120	5.5E-04	7.6E-04	8.2E-04	8.3E-04
90	4.8E-04	6.4E-04	6.6E-04	6.7E-04
60	3.7E-04	5.0E-04	4.8E-04	4.9E-04
30	2.2E-04	3.0E-04	2.7E-04	2.7E-04
14	1.1E-04	1.6E-04	1.3E-04	1.4E-04
7	6.5E-05	1.3E-04	7.4E-05	1.1E-04

慢性摂取

図A.9.28.から図A.9.31.までは、平均年線量限度（20 mSv）の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{232}Th については、問題となる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

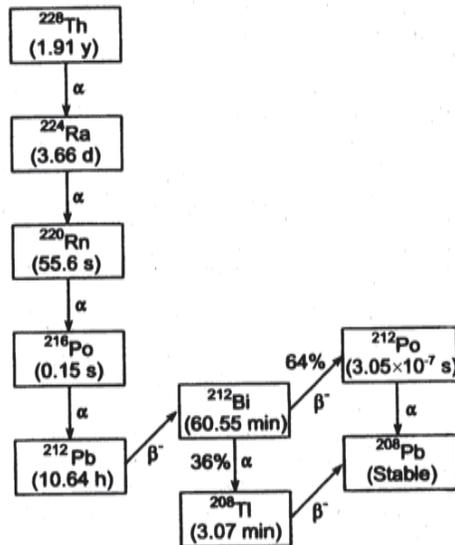


図 A.9.1. ^{228}Th の壊変系列

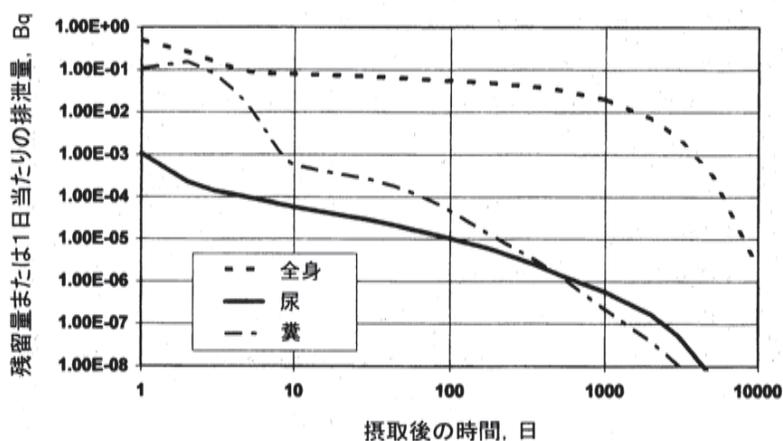


図 A.9.2. ^{228}Th 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

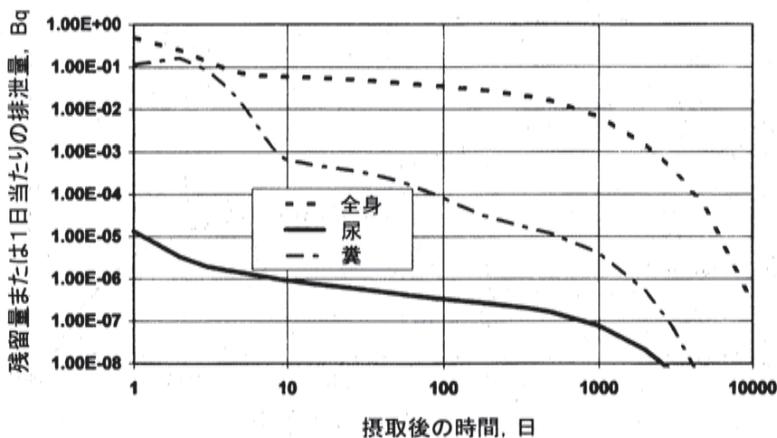


図 A.9.3. ^{228}Th 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

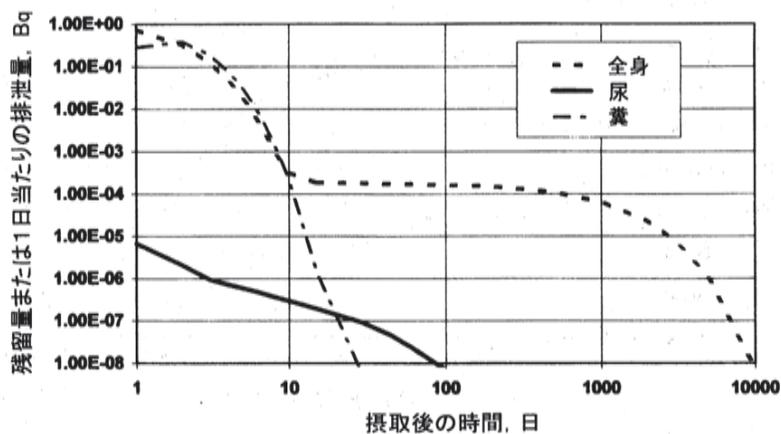


図 A.9.4. ^{228}Th 経口摂取 ($f_1=2.0\text{E}-04$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

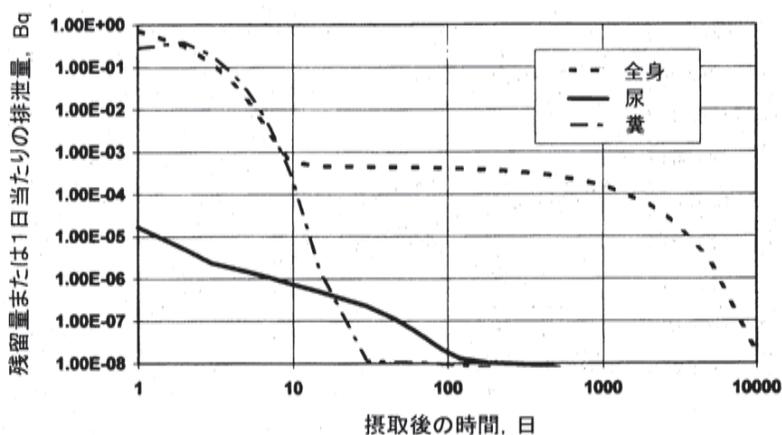


図 A.9.5. ^{228}Th 経口摂取 ($f_1=5.0\text{E}-04$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

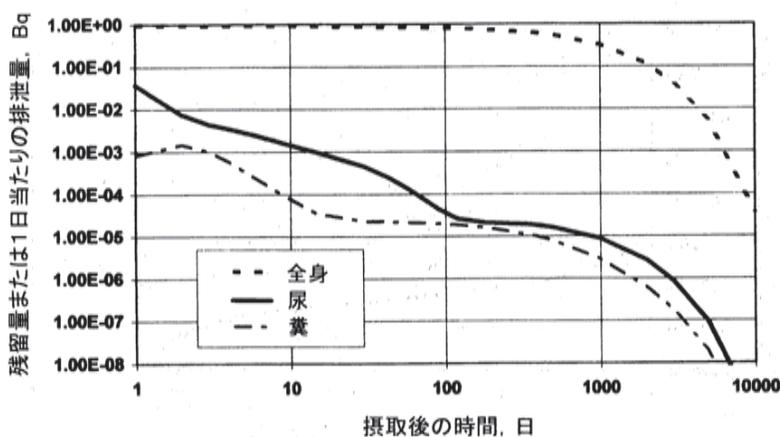


図 A.9.6. ^{228}Th 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

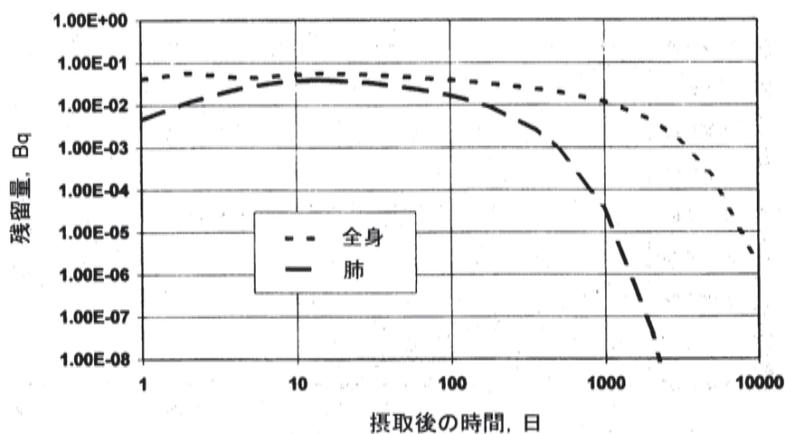


図 A.9.7. ^{228}Th 吸入摂取 タイプ M: ^{228}Th の急性摂取後の ^{212}Pb の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

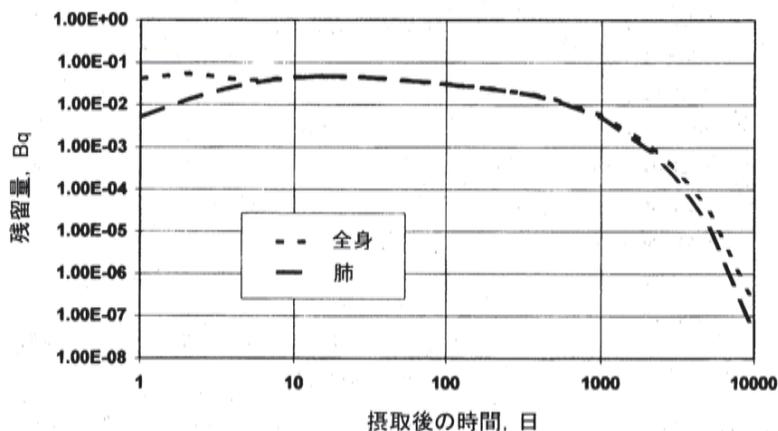


図 A.9.8. ^{228}Th 吸入摂取 タイプ S: ^{228}Th の急性摂取後の ^{212}Pb の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

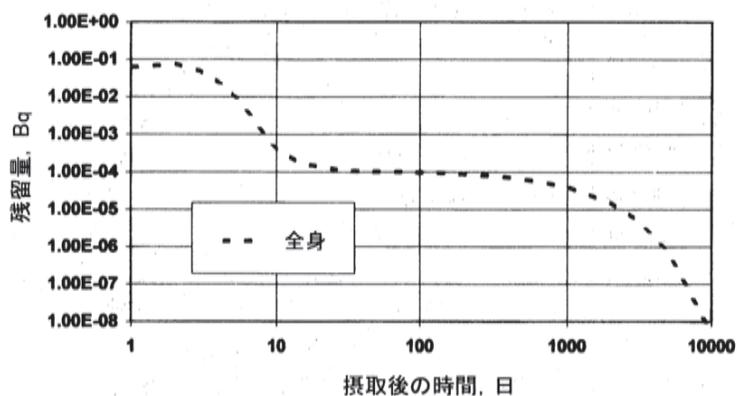


図 A.9.9. ^{228}Th 経口摂取 ($f_1=2.0\text{E}-04$): ^{228}Th の急性摂取後の ^{212}Pb の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

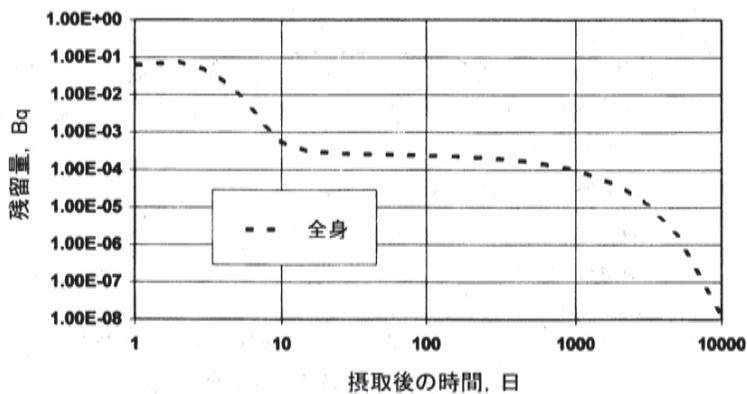


図 A.9.10. ^{228}Th 経口摂取 ($f_1=5.0\text{E}-04$): ^{228}Th の急性摂取後の ^{212}Pb の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

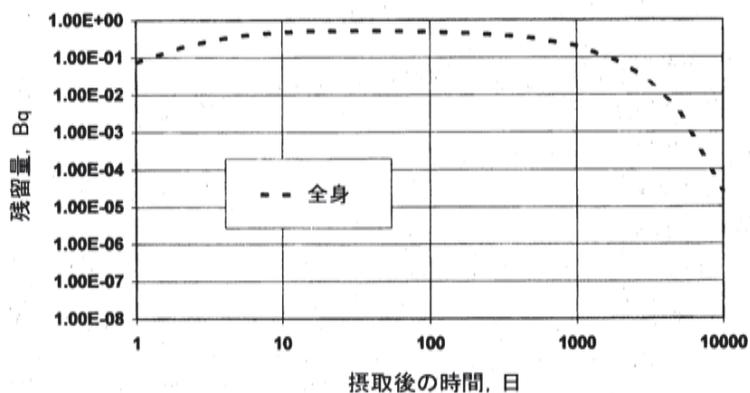


図 A.9.11. ^{228}Th 注入： ^{228}Th の急性摂取後の ^{212}Pb の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

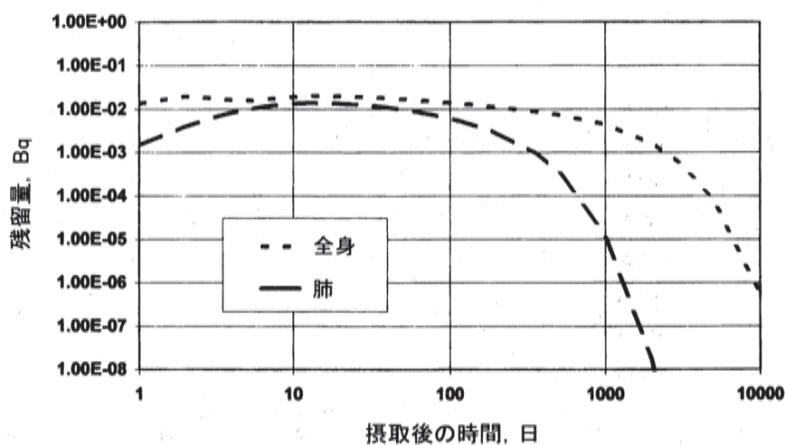


図 A.9.12. ^{228}Th 吸入摂取 タイプ M： ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値
（摂取量 Bq 当たりの Bq）

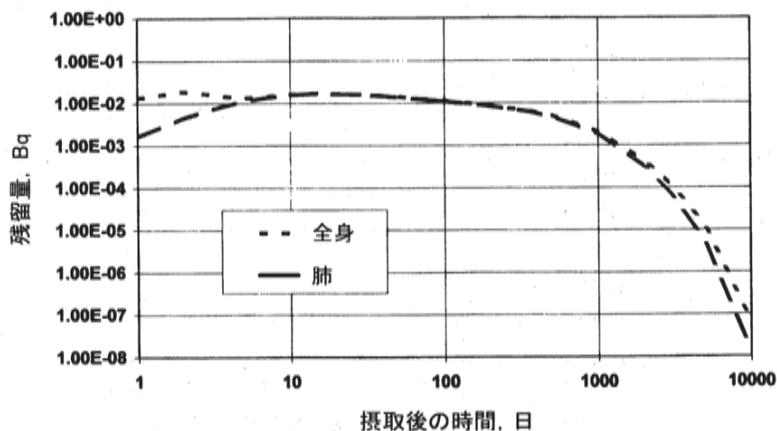


図 A.9.13. ^{228}Th 吸入摂取 タイプ S： ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値
（摂取量 Bq 当たりの Bq）

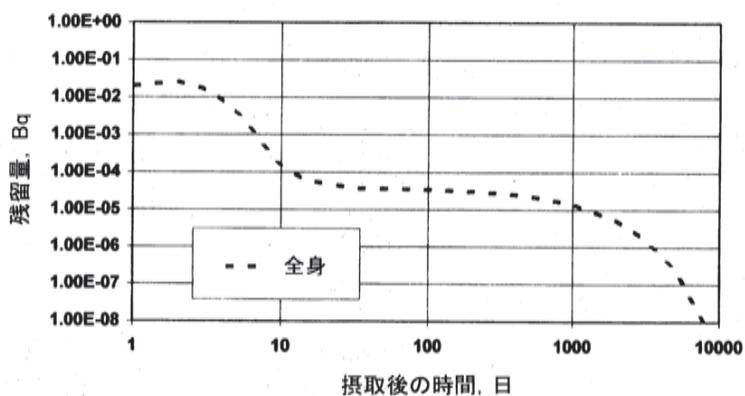


図 A.9.14. ^{228}Th 経口摂取 ($f_1=2.0\text{E}-04$): ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

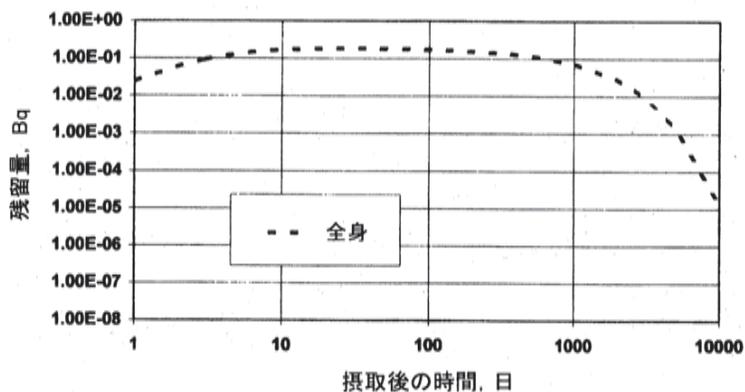


図 A.9.15. ^{228}Th 経口摂取 ($f_1=5.0\text{E}-04$): ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

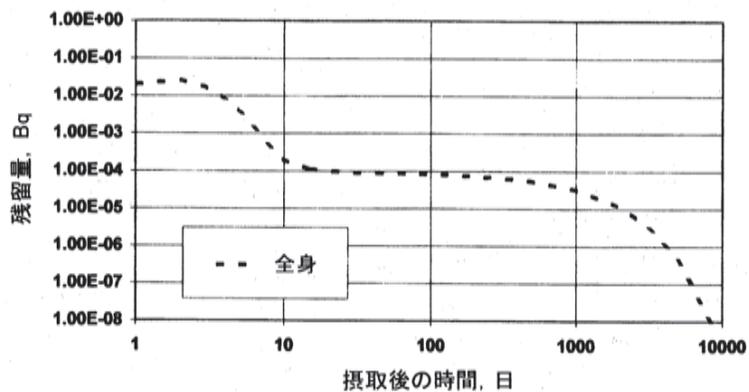


図 A.9.16. ^{228}Th 注入: ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

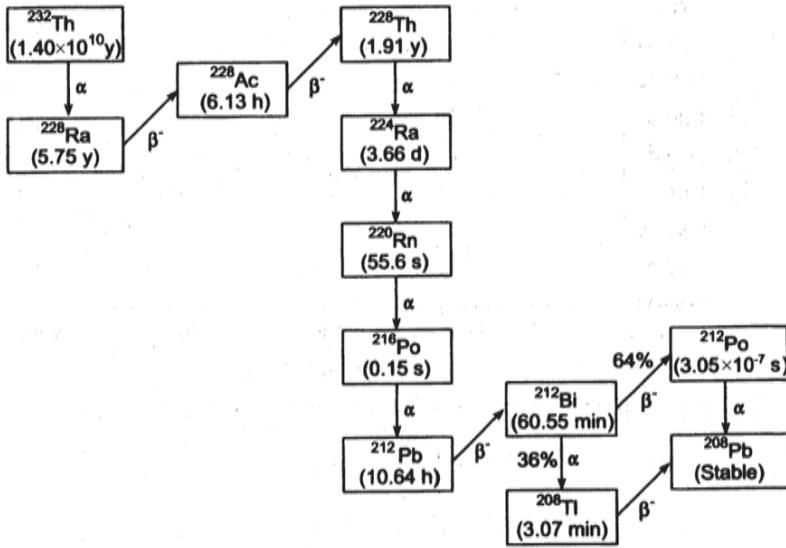


図 A.9.17. ^{232}Th の壊変系列

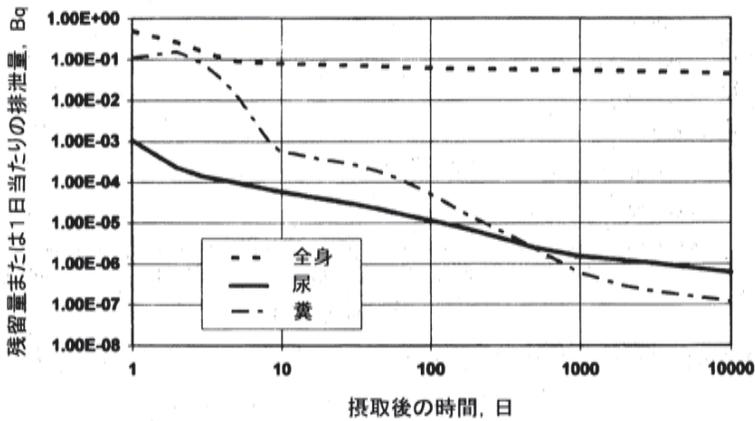


図 A.9.18. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

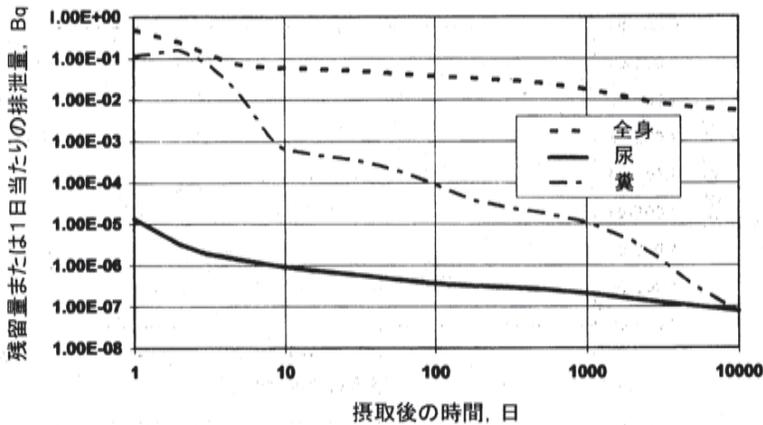


図 A.9.19. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

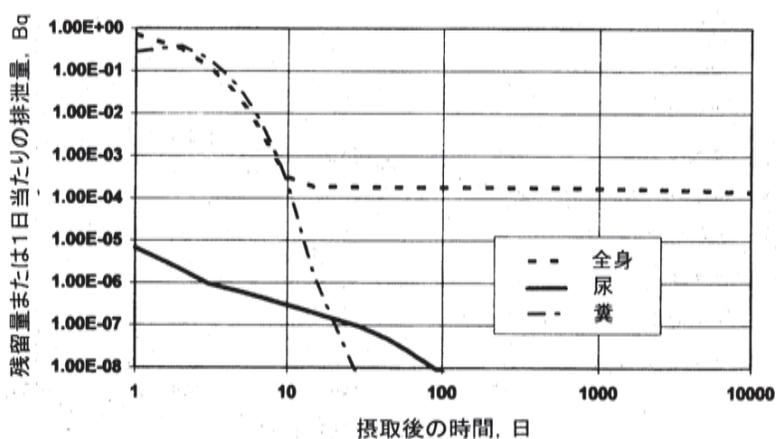


図 A.9.20. ^{232}Th 経口摂取 ($f_1=2.0\text{E}-04$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

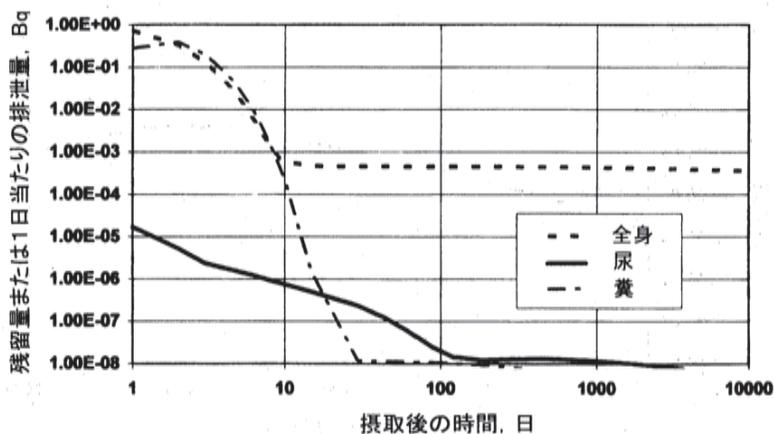


図 A.9.21. ^{232}Th 経口摂取 ($f_1=5.0\text{E}-04$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

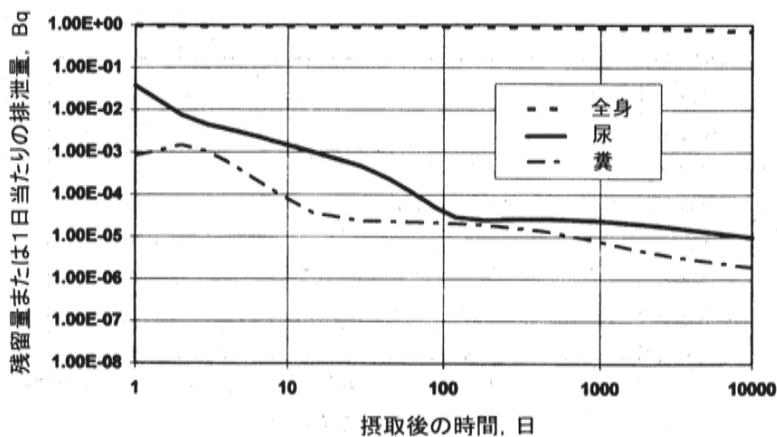


図 A.9.22. ^{232}Th 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

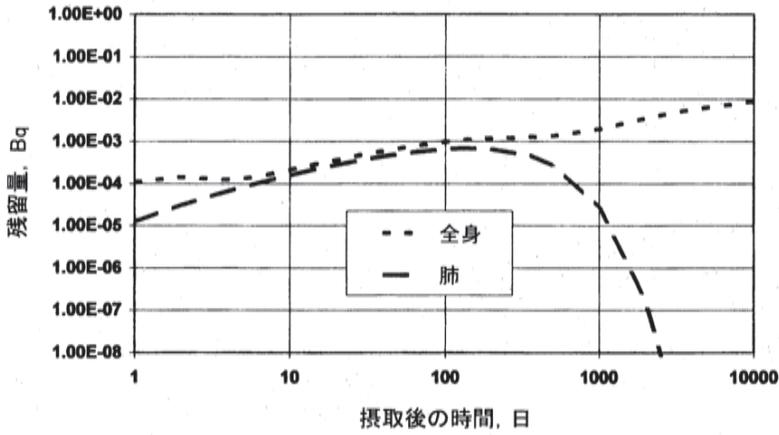


図 A.9.23. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ M : ^{232}Th の急性摂取後の ^{228}Ac の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

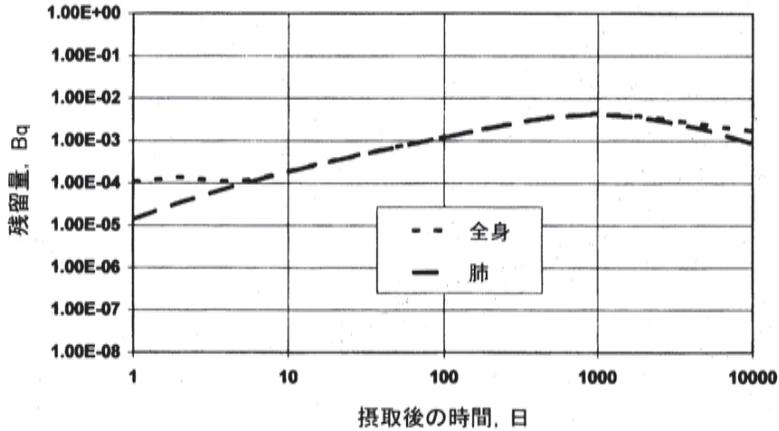


図 A.9.24. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ S : ^{232}Th の急性摂取後の ^{228}Ac の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

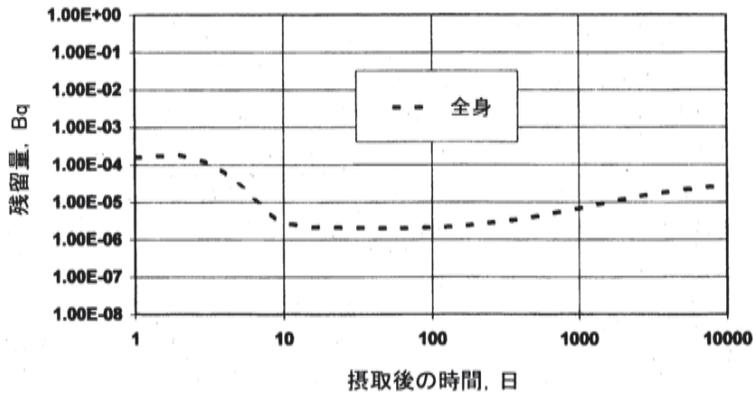


図 A.9.25. ^{232}Th 経口摂取 ($f_1=2.0\text{E}-04$) : ^{232}Th の急性摂取後の ^{228}Ac の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

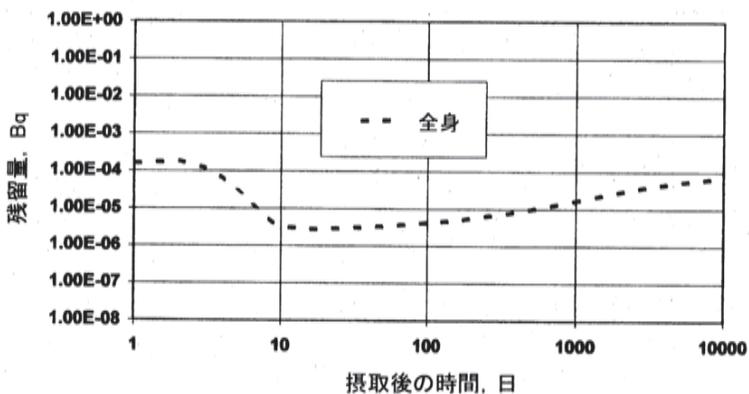


図 A.9.26. ^{232}Th 経口摂取 ($f_1=5.0\text{E}-04$): ^{232}Th の急性摂取後の ^{228}Ac の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

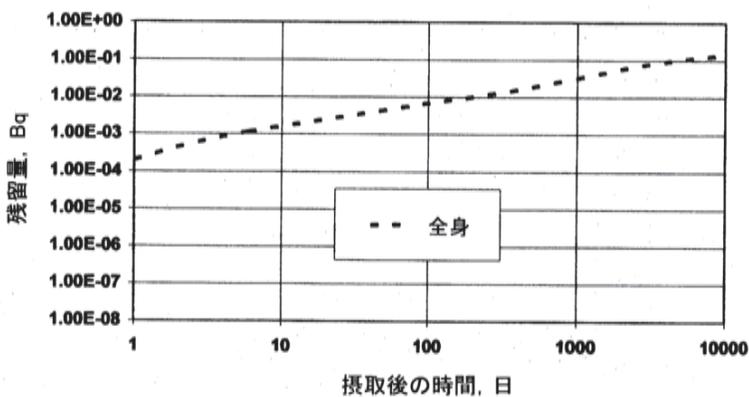


図 A.9.27. ^{232}Th 注入: ^{232}Th の急性摂取後の ^{228}Ac の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

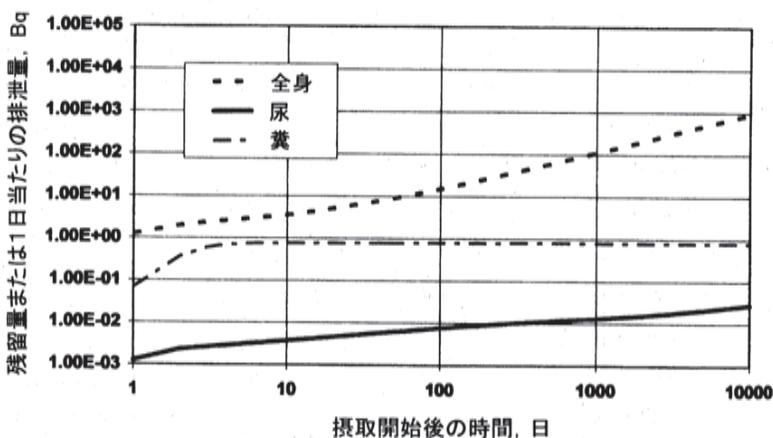


図 A.9.28. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ M: 平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

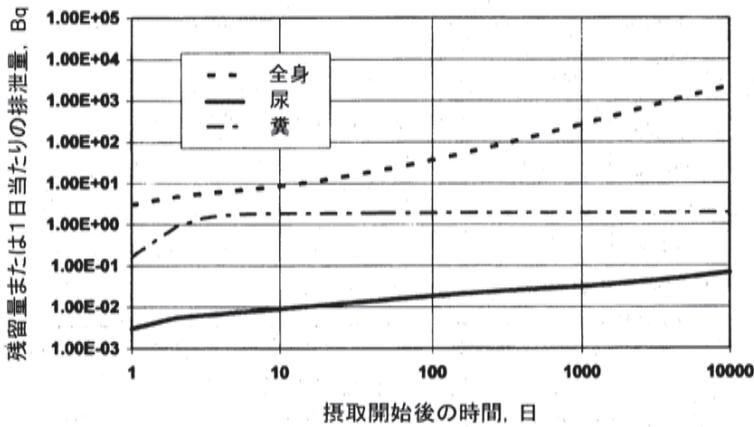


図 A.9.29. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ S：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

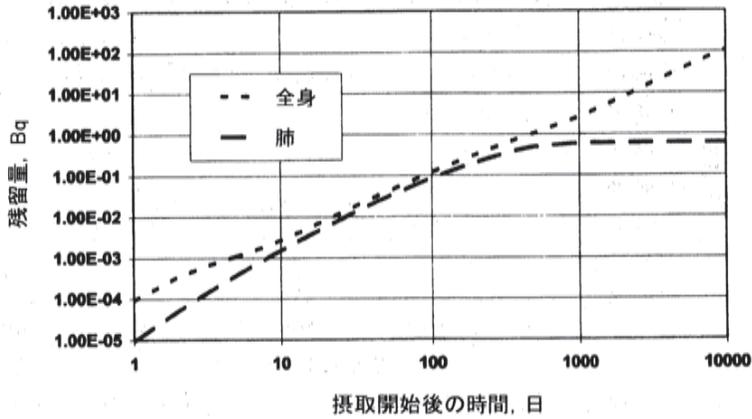


図 A.9.30. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の ^{232}Th の連続慢性摂取にともなう ^{228}Ac の予測値 (Bq)

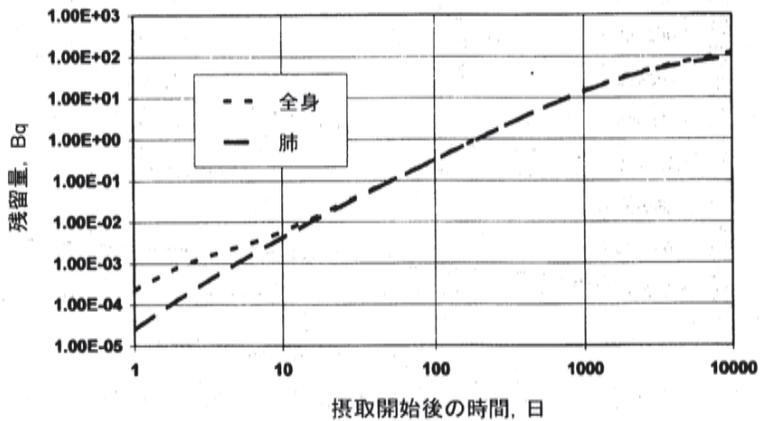


図 A.9.31. ^{232}Th 吸入摂取 タイプ S：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の ^{232}Th の連続慢性摂取にともなう ^{228}Ac の予測値 (Bq)

A.10. ウラン

体内動態モデル

Publication 69 (ICRP, 1995a) で報告されたウランの生理学に基づく再循環モデルは、本文の 3.3 節に記述されている。パラメータ値は表 A.10.1. に与えられている。このモデルは、*Publication 67* (ICRP, 1993) で与えられたアルカリ土類の一般的モデルに基づいている。このモデルは、沈着および残留の主要部位である骨におけるウランの動態を詳細に記述しており、排泄経路ばかりでなく、肝臓、腎臓、およびその他の軟組織での残留を考察している。それは、骨表面への初期の取込み、表面から骨の体積全体への移行、骨および他の組織から血漿中への再循環を考慮している。

表 A.10.1. ウランの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d^{-1})

経路	移行速度
ST 0 ^a →血漿	8.32E+00
ST 1 ^a →血漿	3.47E-02
ST 2 ^a →血漿	1.90E-05
皮質骨表面→血漿	6.93E-02
非交換性皮質骨体積部→血漿	8.21E-05
梁骨表面→血漿	6.93E-02
非交換性梁骨体積部→血漿	4.93E-04
肝臓 1→血漿	9.20E-02
血漿→ST 0	1.05E+01
血漿→ST 1	1.63E+00
血漿→ST 2	7.35E-02
血漿→皮質骨表面	1.63E+00
皮質骨体積部→皮質骨表面	1.73E-02
皮質骨表面→交換性皮質骨体積部	6.93E-02
交換性皮質骨体積部→非交換性皮質骨体積部	5.78E-03
血漿→梁骨表面	2.04E+00
交換性梁骨体積部→梁骨表面	1.73E-02
梁骨表面→交換性梁骨体積部	6.93E-02
交換性梁骨体積部→非交換性梁骨体積部	5.78E-03
血漿→肝臓 1	3.67E-01
血漿→膀胱	1.543E+01
血漿→U.L.I. ^b	1.22E-01
腎臓 (その他の組織) →血漿	3.80E-04
肝臓 2→血漿	1.90E-04
血漿→腎臓 (その他の組織)	1.22E-02
肝臓 1→肝臓 2	6.93E-03
腎臓 (尿細管) →膀胱	9.90E-02
血漿→RBC ^c	2.45E-01
血漿→腎臓 (尿細管)	2.94E+00
RBC→血漿	3.47E-01

^a ST-軟組織

^b U.L.I.-大腸上部

^c RBC-赤血球

数値は計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

医療上の介入措置の効果

ウランの尿中排泄を高めることは、炭酸水素ナトリウムの投与によって達成できる。この場合、ここで与えられた予測値は注意して用いられるべきである。

化学毒性

ウラン化合物の摂取は、放射線の線量よりもむしろ化学毒性を考察することによって制限されるかもしれない。

ICRP(1964)は、任意の同位体組成の可溶性ウランの吸入が、いかなる1日においても2.5mgを上回るべきではないことを勧告した。この値は、ヨーロッパの法令の中で1980年に採用された(OJEC, 1980)。化学毒性は、最新の欧州原子力共同体指令書(OJEC, 1996)の中でも、また、電離放射線に対する国際基本安全基準(IAEA, 1996)の中でも考慮されなかった。米国政府関係産業衛生学者会議(ACGIH, 1968, 1983)は、空気中濃度 0.2mg m^{-3} をしきい限度値として勧告した。これは、英国で採用され、効力を有している(HSE, 1980)。1989年に米国労働安全衛生局(OSHA, 1989)は、可溶性化合物に対して 0.5mg の日摂取と等価である 0.05mg m^{-3} の許容暴露限度を勧告した。

Stradling ら(1997)は、呼吸気道の新しいモデルと、ウランの挙動の体内動態モデル化における最近の進展に照らして、これらの基準を再検討した。彼らは、1日の限度 2mg (0.2mg m^{-3} における $1.2\text{m}^3\text{h}^{-1}$ の呼吸率で1日8時間の作業)に基づいて以下の結論を下した：

- ・任意の同位体組成のタイプFとタイプMの化合物の日摂取量は、化学毒性によって制限されよう；
- ・天然ウランおよび低濃縮ウランのタイプF化合物の年摂取量は、化学毒性によって制限されよう；
- ・高濃縮ウランのタイプF化合物および任意の同位体組成のタイプM化合物の年摂取量は、放射線量を考慮することにより制限されよう。
 0.05mg m^{-3} とする OSHA 勧告に基づいて：
- ・天然および低濃縮のタイプM化合物の年摂取量もまた、化学毒性によって制約されるであろう。

線量算定用データ

表A.10.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	0.02	不特定の化合物
経口摂取	0.002	大部分の4価の化合物, たとえば UO_2 , U_3O_8 , UF_4
吸入, タイプ F	0.02	6 価の化合物, たとえば UF_6 , UO_2F_2 および $UO_2(NO_3)_2$, を含む可溶性の化合物
吸入, タイプ M	0.02	難溶性の化合物, たとえば UO_3 , UF_4 , UCl_4 , およびその他の大部分の6 価の化合物
吸入, タイプ S	0.002	非常に不溶性の化合物, たとえば UO_2 および U_3O_8

表A.10.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹	f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹
U-234	2.44E+05y	F	0.02	6.4E-07	0.02	4.9E-08
		M	0.02	2.1E-06	0.002	8.3E-09
		S	0.002	6.8E-06		
U-235	7.04E+08y	F	0.02	6.0E-07	0.02	4.6E-08
		M	0.02	1.8E-06	0.002	8.3E-09
		S	0.002	6.1E-06		
U-238	4.47E+09y	F	0.02	5.8E-07	0.02	4.4E-08
		M	0.02	1.6E-06	0.002	7.6E-09
		S	0.002	5.7E-06		

注意 タイプ F および M のウラン化合物については, 摂取量は化学毒性を考慮することによって制限されるかもしれない。

引用文献

- ACGIM (1968) Threshold Limit Values in airborne contaminants for 1968, recommended and intended values. American Conference on Government Industrial Hygienists. St. Louis, Missouri.
- ACGIM (1983) Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents in the work environment with intended changes for 1983-84. American Conference of Government Industrial Hygienists. Cincinnati, Ohio.
- HSE (1980) Threshold Limit Values 1980. Health and Safety Executive. Guidance Note 15/80. HMSO, London.
- IAEA (1996) *International Basic Safety Standards Against Ionising Radiation and for the Safety of Radioactive Sources*. International Atomic Energy Agency. Safety Series 115, Vienna.
- ICRP (1964) Recommendations of the *International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 6, Pergamon Press, Oxford.
- OJEC (1980) *Official Journal of the European Communities L246 23*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- OJEC (1996) *Official Journal of the European Communities L.159 39*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Stradling, G. N., Hodgson, A., Moody, J. C., Fell, T. P. and Rance, E. (1997) *Exposure Limits and Assessment of Intake from Inhaled Soluble Uranium Compounds*. NRPB-M801. NRPB, Chilton, Oxon.

ウラン-234 (半減期=2.44E+05年)

ウラン-235 (半減期=7.04E+08年)

ウラン-238 (半減期=4.47E+09年)

表 A.10.4. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
²³⁴ U	α	4.72	27
	α	4.77	72
²³⁵ U	α	4.22	6
	α	4.33	5
	α	4.37	18
	α	4.40	56
	α	4.56	4
	α	4.60	5
	γ	0.14	11
	γ	0.19	54
	γ	0.21	5
²³⁸ U	α	4.15	23
	α	4.20	77

表 A.10.5. ²³⁴U, ²³⁵U および ²³⁸U の測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ線スペクトロメトリー 生物試料の放射化学分離および α線スペクトロメトリー	肺 ^a	200 Bq
	尿	10 mBq l ⁻¹
	糞	10 mBq

^a ²³⁵Uに限る。

上に与えられた検出限界値は特殊モニタリングに十分である。日常モニタリングについては、バイオアッセイの検出限界値は十分であるが、肺計数の検出限界値は、年限度に相当するレベルの摂取量を検出できないであろう。

表 A.10.6. 特殊モニタリング：²³⁴U, ²³⁵U または ²³⁸U の吸入摂取における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間 (日)	タイプ F	タイプ M		タイプ S		
	1日当たりの 尿中排泄量	肺 ^a	1日当たりの 尿中排泄量	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	1.8E-01	5.8E-02	2.3E-02	6.4E-02	7.0E-04	1.1E-01
2	6.4E-03	5.6E-02	1.1E-03	6.3E-02	4.4E-05	1.6E-01
3	5.1E-03	5.5E-02	8.5E-04	6.2E-02	2.6E-05	8.4E-02
4	4.6E-03	5.4E-02	7.9E-04	6.1E-02	2.4E-05	3.5E-02
5	4.2E-03	5.3E-02	7.3E-04	6.1E-02	2.2E-05	1.4E-02
6	3.8E-03	5.3E-02	6.9E-04	6.0E-02	2.0E-05	5.7E-03
7	3.5E-03	5.2E-02	6.5E-04	6.0E-02	1.9E-05	2.5E-03
8	3.2E-03	5.1E-02	6.1E-04	5.9E-02	1.8E-05	1.3E-03
9	2.9E-03	5.0E-02	5.7E-04	5.8E-02	1.7E-05	8.2E-04
10	2.7E-03	5.0E-02	5.4E-04	5.8E-02	1.6E-05	6.5E-04

^a 肺モニタリングは ²³⁵U だけに利用できる。

表 A.10.7. 特殊モニタリング： ^{234}U 、 ^{235}U または ^{238}U の経口摂取および注入における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	経口摂取, $f_1 = 0.02$	経口摂取, $f_1 = 0.002$	注入
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの尿中排泄量
1	1.3E-02	1.3E-03	6.5E-01
2	6.9E-04	7.0E-05	2.2E-02
3	3.7E-04	3.7E-05	1.8E-02
4	3.3E-04	3.3E-05	1.6E-02
5	3.0E-04	3.0E-05	1.5E-02
6	2.7E-04	2.7E-05	1.3E-02
7	2.5E-04	2.5E-05	1.2E-02
8	2.3E-04	2.3E-05	1.1E-02
9	2.1E-04	2.1E-05	1.0E-02
10	1.9E-04	1.9E-05	9.4E-03

表 A.10.8. 日常モニタリング： ^{234}U 、 ^{235}U または ^{238}U の吸入摂取における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング 間隔 (日)	タイプ F	タイプ M		タイプ S		
	1日当たりの 尿中排泄量	肺 ^b	1日当たりの 尿中排泄量	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	(3.1E-05) ^a	1.2E-02	6.5E-05	3.2E-02	3.3E-06	3.7E-05
180	(1.2E-04)	2.2E-02	1.2E-04	3.8E-02	4.3E-06	1.1E-04
120	2.3E-04	2.8E-02	1.7E-04	4.2E-02	5.2E-06	1.9E-04
90	3.5E-04	3.3E-02	2.0E-04	4.5E-02	6.0E-06	2.5E-04
60	6.8E-04	3.8E-02	2.7E-04	4.9E-02	7.7E-06	3.5E-04
30	1.8E-03	4.6E-02	4.3E-04	5.5E-02	1.2E-05	4.9E-04
14	3.5E-03	5.2E-02	6.5E-04	6.0E-02	1.9E-05	(2.5E-03)
7	4.6E-03	5.4E-02	7.9E-04	6.1E-02	2.4E-05	(3.5E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。^b 肺モニタリングは ^{235}U だけに利用できる。

慢性摂取

表 A.10.9.は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で ^{234}U を吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.10.9. ^{234}U 、 ^{235}U または ^{238}U の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ F			タイプ M		
	1年当たりの吸入摂取量	1年当たりの吸入摂取量	1年当たりの吸入摂取量	1年当たりの吸入摂取量	1年当たりの吸入摂取量	1年当たりの吸入摂取量
	1Bq	年限度相当	時間	1Bq	年限度相当	時間
肺 ^a	—	—	—	1.8E-02	2.0E+02	3年
1日当たりの尿中排泄量	7.8E-04	24/26/27 ^b	15年	1.9E-04	1.8/2.1/2.4 ^b	15年

^a 肺モニタリングはタイプ M ^{235}U だけに利用できる^b それぞれ ^{234}U / ^{235}U / ^{238}U についての値。

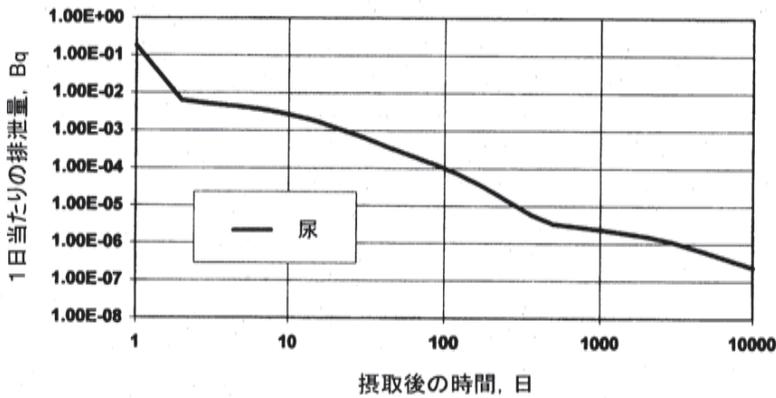


図 A.10.1. ^{234}U 吸入摂取 タイプ F: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

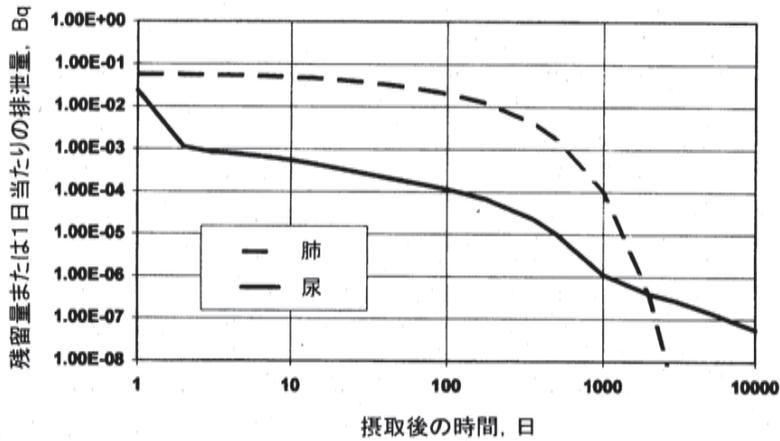


図 A.10.2. ^{234}U 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

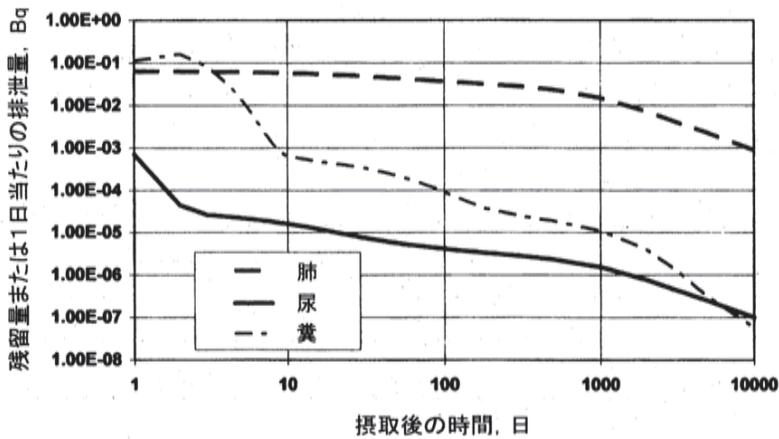


図 A.10.3. ^{234}U 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

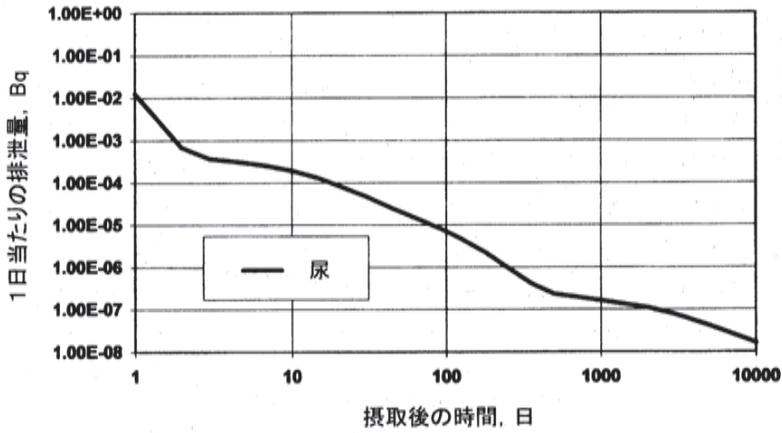


図 A.10.4. ^{234}U 経口摂取 ($f_1=0.02$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

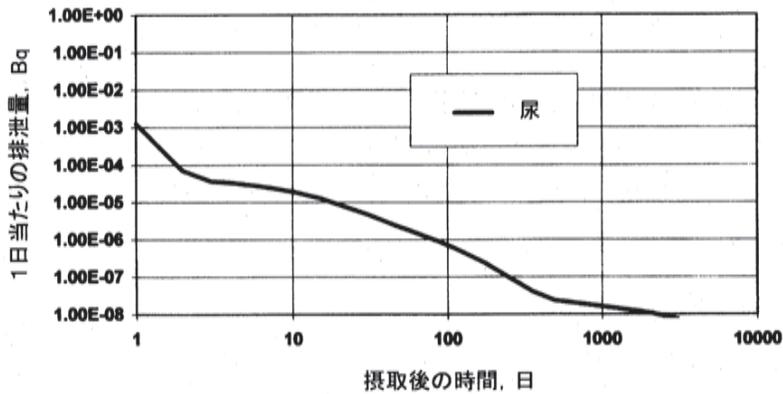


図 A.10.5. ^{234}U 経口摂取 ($f_1=0.002$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

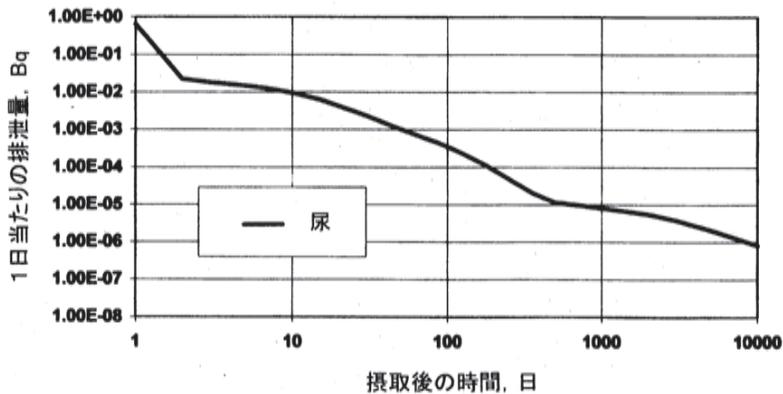


図 A.10.6. ^{234}U 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

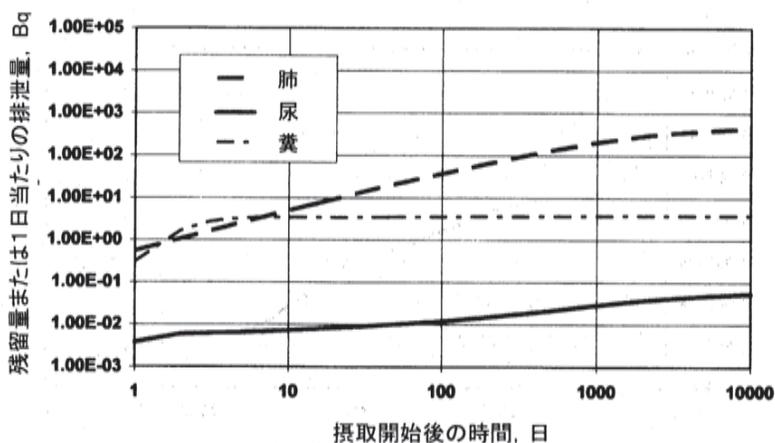


図 A.10.7. ^{234}U 吸入摂取 タイプ S：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率での連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

図 A.10.7.は、被ばくが平均年線量限度 (20 mSv) になるような率でタイプ S の ^{234}U を連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。タイプ S の ^{235}U および ^{238}U の摂取についての値は最大約 20% 高い。タイプ S の物質については問題となる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

A.11. ネプツニウム

体内動態モデル

血液に吸収されたネプツニウムの主要な沈着部位は、肝臓と骨格である。本文の 3.3 節に記述されているネプツニウムのモデルは、*Publication 67* (ICRP, 1993) に与えられている。パラメータ値は表 A.11.1. に与えられている。このモデルは、骨、肝臓、生殖腺およびその他の組織への初期の沈着を考慮しており、また、排泄による損失だけでなく、骨表面から骨の体積および骨髓への放射能の移行、組織間の放射能の再循環を考慮している。

表A.11.1. ネプツニウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d^{-1})

経路	移行速度
ST 0 ^a →血液	6.931E-01
ST 1 ^a →血液	6.93E-03
ST 2 ^a →血液	1.90E-05
梁骨骨髓→血液	7.60E-03
皮質骨骨髓→血液	7.60E-03
腎臓 (その他の組織) →血液	1.39E-03
肝臓 2→血液	1.90E-03
睾丸→血液	1.90E-04
卵巣→血液	1.90E-04
血液→ST 0	8.32E-01
血液→ST 1	1.611E-01
血液→ST 2	3.88E-02
血液→梁骨表面	4.804E-01
血液→皮質骨表面	3.93E-01
梁骨表面→梁骨体積部	2.47E-04
皮質骨表面→皮質骨体積部	4.11E-05
梁骨表面→梁骨骨髓	4.93E-04
梁骨体積部→梁骨骨髓	4.93E-04
皮質骨表面→皮質骨骨髓	8.21E-05
皮質骨体積部→皮質骨骨髓	8.21E-05
血液→腎臓 (その他の組織)	9.70E-03
血液→肝臓 1	1.941E-01
肝臓 1→肝臓 2	1.77E-03
血液→睾丸	6.80E-04
血液→卵巣	2.10E-04
肝臓 1→S.I. ^b	1.33E-04
血液→U.L.I. ^c	1.359E-02
血液→腎臓 (尿細管)	2.91E-02
血液→膀胱	6.211E-01
腎臓 (尿細管) →膀胱	4.95E-02

^a ST—軟組織

^b S.I.—小腸

^c U.L.I.—大腸上部

各数値は、計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

線量算定用データ

表 A.11.2. 化合物、吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	5.0E-04	すべての化合物
吸入, タイプ M	5.0E-04	すべての化合物

表 A.11.3 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹	f_1	e (50), Sv Bq ⁻¹
Np-237	2.14+06y	M	5.0E-04	1.5E-05	5.0E-04	1.1E-07

ネプツニウム-237 (半減期=2.14E+06 年)

プロトアクチニウム-233 (半減期 27.0 日)

表 A.11.4. 放出放射線

核種	放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
Np-237	α	4.79	80
	x	0.013-0.017	50
	γ	0.086	12.6
Pa-233	γ	0.300	6.2
	γ	0.312	36.0
	γ	0.341	4.2

壊変生成物 ²³³Pa は数十日以内に ²³⁷Np と平衡状態に達し、²³³U に核変換して長半減期のアルファ放射体となる。²³³Pa は ²³⁷Np よりも簡単に測定することができ、²³⁷Np による汚染の目印の役目を果たすことができる。

表 A.11.5. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> X 線スペクトロメトリー ^a	500 Bq
生物試料の α 線スペクトロメトリー	尿 糞 10 ⁻³ Bq l ⁻¹ 4×10 ⁻³ Bq/試料

^a ²³³Pa からの放出放射線の測定による。年限度以下の摂取について、*in vivo* モニタリングは日常モニタリングおよび特殊モニタリングのために十分な感度を持たない。

表 A.11.6. 特殊モニタリング： ^{237}Np の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ M			
	肺	骨	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量
1	5.8E-02	9.0E-03	6.2E-03	1.1E-01
2	5.6E-02	1.1E-02	1.3E-03	1.5E-01
3	5.5E-02	1.2E-02	7.0E-04	8.0E-02
4	5.4E-02	1.2E-02	4.8E-04	3.3E-02
5	5.3E-02	1.3E-02	3.4E-04	1.3E-02
6	5.3E-02	1.3E-02	2.6E-04	5.3E-03
7	5.2E-02	1.3E-02	2.0E-04	2.3E-03
8	5.1E-02	1.3E-02	1.7E-04	1.2E-03
9	5.0E-02	1.4E-02	1.4E-04	7.4E-04
10	5.0E-02	1.4E-02	1.3E-04	5.7E-04

表 A.11.7. 特殊モニタリング： ^{237}Np の経口摂取および注入における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間（日）	経口摂取			注入		
	骨格	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量	骨格	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量
1	1.4E-04	9.8E-05	2.8E-01	3.2E-01	2.2E-01	1.2E-03
2	1.8E-04	3.1E-05	3.9E-01	3.7E-01	4.4E-02	2.1E-03
3	2.0E-04	1.2E-05	2.0E-01	4.0E-01	2.2E-02	1.5E-03
4	2.1E-04	7.6E-06	8.1E-02	4.2E-01	1.4E-02	9.0E-04
5	2.1E-04	5.0E-06	3.1E-02	4.3E-01	9.2E-03	5.3E-04
6	2.2E-04	3.3E-06	1.2E-02	4.4E-01	6.1E-03	3.2E-04
7	2.2E-04	2.3E-06	4.4E-03	4.4E-01	4.2E-03	2.0E-04
8	2.2E-04	1.6E-06	1.6E-03	4.5E-01	2.9E-03	1.3E-04
9	2.2E-04	1.1E-06	6.0E-04	4.5E-01	2.1E-03	9.0E-05
10	2.2E-04	8.4E-07	2.2E-04	4.5E-01	1.6E-03	6.3E-05

表 A.11.8. 日常モニタリング： ^{237}Np の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ M			
	肺	骨格	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量
360	1.2E-02	2.4E-02	2.7E-05	(1.5E-05) ^a
180	2.2E-02	2.0E-02	4.4E-05	(6.4E-05)
120	2.8E-02	1.8E-02	5.6E-05	(1.3E-04)
90	3.3E-02	1.7E-02	6.5E-05	1.9E-04
60	3.8E-02	1.6E-02	7.7E-05	2.8E-04
30	4.6E-02	1.4E-02	9.8E-05	4.2E-04
14	5.2E-02	1.3E-02	2.0E-04	(2.3E-03)
7	5.4E-02	1.2E-02	4.8E-04	(3.3E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に記述した要件を満たさない

慢性摂取

図 A.11.4は、平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{237}Np については、問題となる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

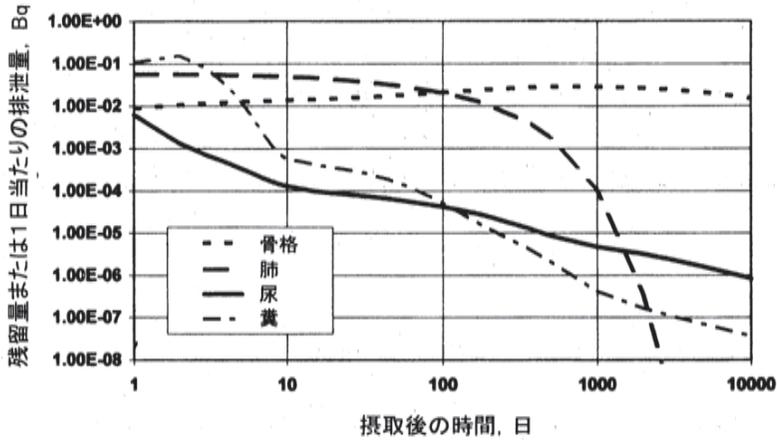


図 A.11.1. ^{237}Np 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

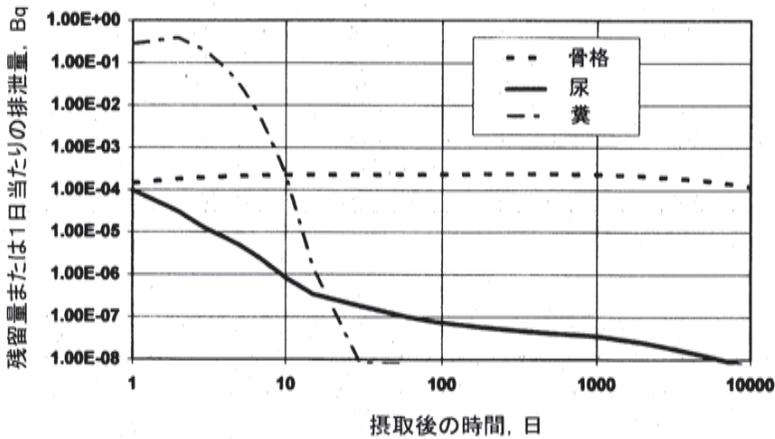


図 A.11.2. ^{237}Np 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

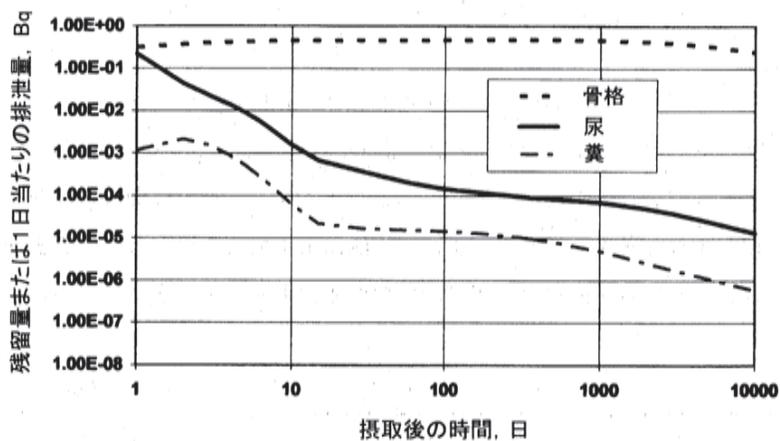


図 A.11.3. ^{237}Np 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

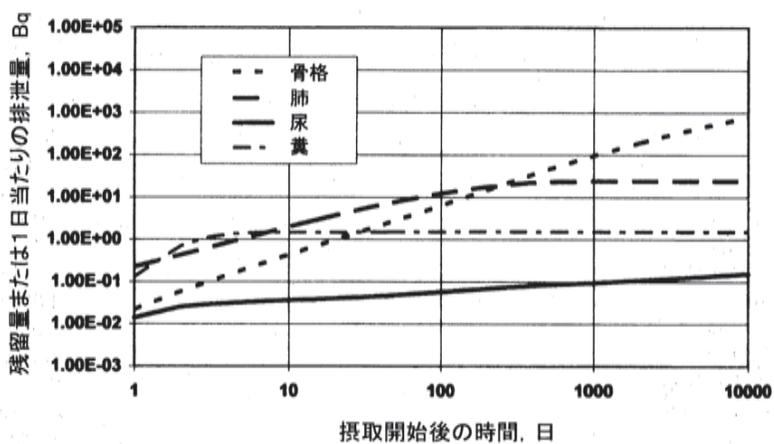


図 A.11.4. ^{237}Np 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度(20mSv)の被ばくになるような率での連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

A.12. プルトニウム

体内動態モデル

血液に吸収されたプルトニウムの主要な沈着部位は、肝臓と骨格である。本文の 3.3 節に記述されているプルトニウムのモデルは、*Publication 67* (ICRP, 1993) に与えられている。パラメータ値は表 A.12.1. に与えられている。このモデルは、骨、肝臓、生殖腺およびその他の組織への初期の沈着を考慮しており、また、排泄による損失だけでなく、骨表面から骨の体積全体および骨髄への放射能の移行、組織間の放射能の再循環を考慮している。

表A.12.1. プルトニウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d⁻¹)

経路	移行速度
ST 0 ^a →血液	6.93E-01
ST 1 ^a →血液	4.75E-04
ST 2 ^a →血液	1.90E-05
梁骨骨髄→血液	7.60E-03
皮質骨骨髄→血液	7.60E-03
腎臓 (その他の組織) →血液	1.39E-03
肝臓 2→血液	2.11E-04
睾丸→血液	1.90E-04
卵巣→血液	1.90E-04
血液→ST 0	2.773E-01
血液→ST 1	8.06E-02
血液→ST 2	1.29E-02
血液→梁骨表面	1.941E-01
血液→皮質骨表面	1.294E-01
梁骨表面→梁骨体積部	2.47E-04
皮質骨表面→皮質骨体積部	4.11E-05
梁骨表面→梁骨骨髄	4.93E-04
梁骨体積部→梁骨骨髄	4.93E-04
皮質骨表面→皮質骨骨髄	8.21E-05
皮質骨体積部→皮質骨骨髄	8.21E-05
血液→腎臓 (その他の組織)	3.23E-03
血液→肝臓 1	1.941E-01
肝臓 1→肝臓 2	1.77E-03
血液→睾丸	2.30E-04
血液→卵巣	7.10E-05
肝臓 1→S.I. ^b	1.33E-04
血液→U.L.I. ^c	1.29E-02
血液→腎臓 (尿細管)	6.47E-03
血液→膀胱	1.29E-02
ST 1→膀胱	4.75E-04
腎臓 (尿細管) →膀胱	1.386E-02

^a ST-軟組織

^b S.I.-小腸

^c U.L.I.-大腸上部

各数値は、計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

医療上の介入措置による影響

プルトニウムの尿中排泄を高めることは、DTPA の投与によって達成できる。摂取後すぐに投与が開始できれば、効果は著しくなる。タイプ M の化合物の場合、排泄速度をファクター 50 も増加させることができる。したがって、ここで与えられた予測値は DTPA を投与した際には注意して用いられるべきである。

線量算定用データ

表 A.12.2. 化合物、吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	5.0E-04	不特定の化合物
経口摂取	1.0E-04	硝酸塩
経口摂取	1.0E-05	不溶性酸化物
吸入, タイプ M	5.0E-04	不特定の化合物
吸入, タイプ S	1.0E-05	不溶性酸化物

表 A.12.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Pu-238	87.7 y	M	5.0E-04	3.0E-05	5.0E-04	2.3E-07
		S	1.0E-05	1.1E-05	1.0E-05	8.8E-09
Pu-239	2.41E+04 y	M	5.0E-04	3.2E-05	1.0E-04	4.9E-08
					5.0E-04	2.5E-07
		S	1.0E-05	8.3E-06	1.0E-05	9.0E-09
Pu-240	6.54E+03 y	M	5.0E-04	3.2E-05	1.0E-04	5.3E-08
					5.0E-04	2.5E-07
		S	1.0E-05	8.3E-06	1.0E-05	9.0E-09
					1.0E-06	5.3E-08

プルトニウムおよびもっと高い原子番号のアクチニド元素に対するモニタリングプログラム

プルトニウムおよびもっと高い原子番号のアクチニド元素の放射性同位体は、測定およびその解釈に特別な困難をもたらす。一般にこれらは、放出比が少なく、低いエネルギーの光子しか放出しない α 放射体である。したがって、*in vivo* 測定は日常モニタリングに用いるには十分な精度をもたないが、特別な調査には役に立つかもしれない。日常モニタリングにおいても、十分低いレベルで排泄物中の放射性核種を決定できる測定技術がある。しかしながら、特に作業者に潜在被ばくの長い経歴がある場合には、結果の解釈は複雑となることがある。これは、ひとつのモニタリング間隔で得られた結果が、以前に起こった摂取による影響を受けているかもしれないからである。空気サンプリングプログラムは、作業者集団の平均的な被ばく量の決定や状況が異常であることを早めに検知するのに役立つ。しかし、個人の線量を評価するために空気サンブラの結果を使うことには困難がともなう。したがって、日常モニタリングプログ

ラムでは一般に、特別な調査で使われる *in vivo* 測定と共に空気サンプリングおよび排泄物測定を組み合わせる用いる。

尿モニタリング

年限度に相当する摂取では、タイプ M のプルトニウム同位体の吸入は1日当たり数 mBq 程度の日尿中排泄量をもたらす。タイプ S の化合物の場合では、尿排泄量は1日当たり 1 mBq の何分の1かである。放射化学的な分離およびアルファ線スペクトロメトリーでは、1 mBq l⁻¹ 程度の検出限界値が得られる (Boecker ら, 1991)。さらに低い検出限界値は、核分裂片飛跡分析法 (Moorthy ら, 1988; Wrenn ら, 1994) または質量分析法 (Boecker ら, 1991) によって達成される。このように、プルトニウム摂取の尿分析による日常モニタリングを実施するための技術は利用可能である。

しかしながら、その結果の解釈は難しいかもしれない。なぜなら、日常モニタリングにおいて必要とされることは、そのモニタリング間隔における摂取量とその摂取量による預託実効線量を算定することにあるからである。現実に測定される値は、それ以前のモニタリング期間における摂取量によって影響を受けていることがある。したがって、測定データに最も良くあてはまるような摂取量を決定するために、一連の測定結果を解析するコンピュータ・プログラムを用いるのがふつうである (たとえば, Ridell と Britcher, 1994; Taylor, 1985)。

糞モニタリング

糞モニタリングに対しては、尿モニタリングと同様な測定感度を得られる。しかしながら、日常モニタリングプログラムでは、糞モニタリングはまれにしか実施されない。その主な用途は、摂取がわかっているかまたはその疑いがあるときの摂取量の調査である。

空気サンプリング

空気サンプリングには、作業区域および特別な場所で働く作業者の呼吸域における固定位置サンプリング、または、作業者が携帯し、呼吸域の空気を収集するために装着された可搬型個人空気サンプラ(PSA)が含まれよう。作業場におけるモニタリングおよび空气中放射性核種のサンプリングのための計画立案では、空气中放射性核種の時間分布および空間分布を考慮する必要がある (Boecker ら, 1994)。原則として、作業者の呼吸域に位置するサンプラだけが、個人モニタリング用の器具と考えられる。しかしながら、固定式サンプラで採取した放射能と個人サンプラで採取した放射能との間の関係を確定するために、モニタリングキャンペーンが実施されることがある。

個人用空気サンプラの使用については本文で述べてあるので、ここでは繰り返さない。いくつかの使用経験が報告されている（たとえば、Britcher と Strong, 1994）。

空気サンプリングのさらなる利点は、粒子径および化学組成を決定するために、採取試料を分析することが可能かもしれないことである。この情報はバイオアッセイの測定値を解釈する上で助けとなり、またデフォルト値の使用ではなく実際の物質に固有な線量係数の採用を可能にする。

In vivo 測定

In vivo 測定は検出感度が劣るために、日常モニタリングプログラムにおいて役に立つことはありそうもないが、摂取がわかっているかまたはその疑いがあるときに摂取を調査する場合には利点があるかもしれない。

肺中のプルトニウムに対して達成可能な検出限界値は、そのプルトニウムの同位体組成、肺内部での粒子の分布、肺を覆っている組織の性質および厚さ、身体内部に存在するその他の放射性核種などの多くの要因に依存する。測定対象となる放射性核種の大部分は、低エネルギーの光子を低い放出割合で放出するだけである。これらの低エネルギー光子は体内ではかなり減弱してしまうために、検出効率および校正に問題が生じる。特別に設計された検出器がこれらに適用できるように開発されてきている。高エネルギー γ 線からの散乱光子が存在する中でも、低エネルギーの光子を測定できるように、二重蛍光体検出器が特別に開発された（Laurer と Eisenbud, 1968）。しかしながら、低エネルギーでのエネルギー分解能が悪く、特に、他の光子放出放射性核種が混在するかもしれないような測定環境においてはスペクトル解析に問題が生じる。これらの検出器は現在、低エネルギーにおいても高い効率となるように設計された高エネルギー分解能ゲルマニウム検出器に取って代われようとしている（例えば、Palmer と Rieksts, 1984）。

胸部表面のごく近くに設置された複数の検出器の配列は、肺中のプルトニウムの検出に対して最大の感度を与える。人体組織の減弱特性を正確に代表したファントム中に配置した既知放射エネルギーのプルトニウムを使用する注意深い校正が必要となる（たとえば、Griffith ら, 1979）。ファントム内部の放射能の分布は、対象者体内の放射能分布を理想的に模擬すべきではあるが、これはめったに知ることができないので、肺ファントム内部の放射能分布は一樣とするのがふつうである。肺の上にある組織中での光子の減弱を考慮に入れることが重要である。したがって、対象者の胸郭壁厚さを測定または推定し、さらに、異なった大きさのファントムを測定して、適切な校正定数を選ぶ必要があるかもしれない。対象者の組織の厚さの推定値は、一般的には体重と身長のに基づいている。もっと正確な推定値は、超音波による測定や磁気共鳴イメージングによる測定に基づくことができる。

プルトニウムの産業用線源は、プルトニウムの同位体混合物とプルトニウム-241 から生成するアメリシウム-241 から成る。アメリシウム-241 は 46% の放出割合で 59.6 keV の γ 線を放出する。それゆえ、プルトニウム同位体それ自身よりも容易に検出でき、ある状況では、プルトニウムに対する目印として使える。したがって、プルトニウムとアメリシウムの混合物を吸入した直後では、肺中のアメリシウム-241 量の測定により、その混合物の摂取量評価が可能ながある。定量的な解釈のためには、吸入した物質中の放射性核種間の比を、作業環境で採取された物質の分析または排泄された便の分析によって決定すべきである。アメリシウム-241 とプルトニウムが同じ体内動態挙動を示すということが証明されない限りは、摂取後長い時間がたった場合にプルトニウム同位体に対するトレーサーとしてアメリシウム-241 を用いることには注意を払わなければならない。

肝臓および骨格中のアメリシウム-241 の測定は、著しい摂取が起きた場合に実行でき、全身性の取込み量を決定するために使われることがある。

その他の考慮

産業分野では、さまざまな異なった種類のプルトニウム化合物に遭遇することがある。ある与えられた物質の吸入摂取後の現実の挙動は、エアロゾルの粒径分布および化学形などの要因に依存する。故に、本書に与えられたデフォルト値はすべての状況に適切なものではないかもしれない。摂取量および線量がかなり大きい場合には、入手できるならば固有の情報を用いるのが適切であろう。ひとつの手がかりは、実験動物の体内動態挙動を調べることであろう。そうすれば、肺から血液への吸収速度の情報を、デフォルト値を選ぶ根拠として、またはモデルに組み込める物質固有の値を提供するために、使うことができる (Moody ら, 1994; Stradling と Moody, 1995)。

プルトニウム-238 が含まれる場合には、プルトニウム-239 と 240 に比べてプルトニウム-238 の挙動がかなり異なるかもしれないということを認識しておく必要がある (Guilmette ら, 1994)。

引用文献

- Boecker, B. (chairman), Hall, R., Inn, K., Lawrence, J., Ziemer, P., Eisele, G., Wachholz, B. and Burr, W. (1991) Current status of bioassay procedures to detect and quantify previous exposures to radioactive material. *Health Physics*, **60**, Suppl 1, 45-100.
- Boecker, B. B., Hoover, M. D., Newton, G. J., Guilmette, R. A. and Scott, B. R. (1994) Evaluation of strategies for monitoring and sampling airborne radionuclides in the workplace. *Rad. Prot. Dosim.* **53**(1-4), 69-71.
- Britcher, A. R. and Strong R. (1994) Personal air sampling—a technique for the assessment of chronic low level exposure? *Rad. Prot. Dosim.* **53**(1-4), 59-62.
- Griffith, R. B., Dean, P. N., Anderson, A. C. and Fisher, J. C. (1979) A tissue equivalent torso phantom. *Advances in Radiation Protection Monitoring* (Proc. Symp. Stockholm). IAEA Vienna 493-504.
- Guilmette, R. A., Griffith, W. C. and Hickman, A. W. (1994) Intake assessment for workers who have inhaled ^{238}Pu aerosols. *Rad. Prot. Dosim.* **53**(1-4), 127-131.
- Laurer, G. R. and Eisenbud, M. (1988) *In Vivo* measurements of nuclide emitting soft penetrating radiation. In: *Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides*, Excerpta Medica Foundation, Amsterdam pp. 189-207.
- Moody, J. C., Stradling, G. N. and Britcher, A. R. (1994) Biokinetics of three industrial plutonium nitrate materials: implications for human exposure. *Rad. Prot. Dosim.* **53**(1-4), 169-172.
- Moorthy, A. R., Schopfer, C. J. and Bannerjec, S. (1988) Plutonium from atmospheric weapons testing: fission track analysis of urine samples. *Anal. Chem.* **60**, 857-860.
- Palmer, H. E. and Rieksts, G. A. (1984) The use of high purity germanium detectors for *in vivo* measurement of low energy photon emitters. *Health Physics* **47**, 569-578.
- Ridell, A. E. and Britcher, A. R. (1994) Pluto—a software package using the maximum likelihood method to fit plutonium in urine data to an excretion function. *Rad. Prot. Dosim.* **53**(1-4), 199-201.
- Stradling, G. N. and Moody, J. C. (1995) Use of animal studies for assessing intakes of inhaled actinide-bearing dusts. *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. Articles 197, **2**, 309-329.
- Taylor, N. A. (1985) Computer methods for assessment of uptake from prolonged occupational exposure. In: *Assessment of Radioactive Contamination in Man* 445-458, IAEA, Vienna.
- Wrenn, M. E., Singh, N. P. and Xue, Y. H. (1994) Urinary excretion of ^{239}Pu by the general population: measurement techniques and results. *Rad. Prot. Dosim.* **53**(1-4), 81-84.

プルトニウム-238 (半減期=87.7年)

表A.12.4. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
α	5.46	28
α	5.50	72
X線	0.014-0.020	11

表A.12.5. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> X線スペクトロメトリー	肺	10^3 Bq^a
生物試料の放射化学分離および	尿	$10^{-3} \text{ Bq l}^{-1}$
α 線スペクトロメトリー	糞	10^{-3} Bq

^a 胸郭壁の厚さに依存する。

プルトニウム-238 の *in vivo* 測定は年線量限度に相当する摂取量を検出するのに十分な感度をもたない。

尿または糞試料の放射化学分析および α 線スペクトロメトリーは、タイプMのプルトニウム-238 の特殊モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分な感度をもっている。糞モニタリングはタイプSのプルトニウム-238 の特殊モニタリングおよび日常モニタリング

の両方に対して十分な感度をもっている。しかしながら、尿モニタリングに係る上に与えられた検出限界値は、摂取後数日間に限って、年限度での1回摂取を検出するのに十分である。さらに低い検出限界値は、核分裂片飛跡分析法や質量分析法のような他の技術によって達成されるかもしれない。

表A.12.6. 特殊モニタリング： ^{238}Pu の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	タイプM			タイプS		
	肺	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量	肺	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	5.8E-02	2.3E-04	1.1E-01	6.4E-02	2.3E-06	1.1E-01
2	5.6E-02	1.3E-04	1.5E-01	6.3E-02	1.4E-06	1.6E-01
3	5.5E-02	7.8E-05	8.0E-02	6.2E-02	8.3E-07	8.4E-02
4	5.4E-02	5.3E-05	3.4E-02	6.1E-02	5.9E-07	3.5E-02
5	5.3E-02	3.9E-05	1.3E-02	6.1E-02	4.5E-07	1.4E-02
6	5.3E-02	3.0E-05	5.4E-03	6.0E-02	3.7E-07	5.7E-03
7	5.2E-02	2.4E-05	2.3E-03	6.0E-02	3.1E-07	2.5E-03
8	5.1E-02	2.0E-05	1.2E-03	5.9E-02	2.7E-07	1.3E-03
9	5.0E-02	1.7E-05	7.6E-04	5.8E-02	2.4E-07	8.2E-04
10	5.0E-02	1.5E-05	5.8E-04	5.8E-02	2.2E-07	6.5E-04

表A.12.7. 特殊モニタリング： ^{238}Pu の経口摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	$f_1=5.0E-04$		$f_1=1.0E-04$		$f_1=1.0E-05$	
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	3.4E-06	2.8E-01	6.7E-07	2.8E-01	6.7E-08	2.8E-01
2	2.6E-06	3.9E-01	5.2E-07	3.9E-01	5.2E-08	3.9E-01
3	1.4E-06	2.0E-01	2.9E-07	2.0E-01	2.9E-08	2.0E-01
4	9.3E-07	8.1E-02	1.9E-07	8.1E-02	1.9E-08	8.1E-02
5	6.5E-07	3.1E-02	1.3E-07	3.1E-02	1.3E-08	3.1E-02
6	4.7E-07	1.2E-02	9.4E-08	1.2E-02	9.4E-09	1.2E-02
7	3.6E-07	4.4E-03	7.1E-08	4.4E-03	7.1E-09	4.4E-03
8	2.8E-07	1.6E-03	5.5E-08	1.6E-03	5.5E-09	1.6E-03
9	2.2E-07	6.0E-04	4.4E-08	6.0E-04	4.4E-09	6.0E-04
10	1.8E-07	2.2E-04	3.6E-08	2.2E-04	3.6E-09	2.2E-04

表A.12.8. 特殊モニタリング： ^{238}Pu の注入における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	$f_1 = 5.0E-04$	
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	8.2E-03	1.6E-03
2	4.5E-03	4.3E-03
3	2.6E-03	4.2E-03
4	1.7E-03	3.1E-03
5	1.2E-03	2.2E-03
6	8.9E-04	1.5E-03
7	6.7E-04	1.0E-03
8	5.3E-04	7.1E-04
9	4.2E-04	5.0E-04
10	3.5E-04	3.6E-04

表A.12.9. 日常モニタリング： ^{238}Pu の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

モニタリング 間隔（日）	タイプM			タイプS		
	肺	1日当たりの	1日当たりの	肺	1日当たりの	1日当たりの
		尿中排泄量	糞中排泄量		尿中排泄量	糞中排泄量
360	1.2E-02	5.4E-06	1.7E-05	3.2E-02	1.6E-07	3.7E-05
180	2.2E-02	7.1E-06	(6.6E-05) ^a	3.8E-02	1.6E-07	1.1E-04
120	2.8E-02	8.1E-06	(1.3E-04)	4.2E-02	1.6E-07	1.9E-04
90	3.3E-02	8.7E-06	1.9E-04	4.5E-02	1.7E-07	2.5E-04
60	3.8E-02	9.5E-06	2.8E-04	4.9E-02	1.7E-07	3.5E-04
30	4.6E-02	1.1E-05	4.3E-04	5.5E-02	1.9E-07	4.9E-04
14	5.2E-02	2.4E-05	(2.3E-03)	6.0E-02	3.1E-07	(2.5E-03) ^a
7	5.4E-02	5.3E-05	(3.4E-02)	6.1E-02	5.9E-07	(3.5E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

慢性摂取

図A.12.5.および図A.12.6.は、平均年線量限度（20 mSv）の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{238}Pu については、問題となる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

プルトニウム-239（半減期=2.41E+04年） プルトニウム-240（半減期=6.54E+03年）

表A.12.10. ^{239}Pu の放出放射線

放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
α	5.11	11
α	5.14	15
α	5.16	74
X線	0.014-0.022	4.6

表A.12.11. ^{240}Pu の放出放射線

放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
α	5.12	27
α	5.17	73
X線	0.014-0.020	10

表A.12.12. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> X線スペクトロメトリー	肺	2.0E-03 Bq ^a
生物試料の放射化学分離および	尿	10 ⁻³ Bq l ⁻¹
α 線スペクトロメトリー	糞	10 ⁻³ Bq

^a 胸郭壁の厚さに依存する。

尿または糞試料の放射化学分析および α 線スペクトロメトリーは、タイプMのプルトニウムの特種モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分な感度を提供する。糞モニタリングはタイプSのプルトニウムの特種モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分な感度を提供する。しかしながら、上に与えられた検出限界値は、摂取後数日間に限って、年限度に相当するレベルでのプルトニウムの1回摂取の検出を可能にする。もし、尿モニタリングが選択されたモニタリング法である場合には、核分裂片飛跡分析法や質量分析法のような、さらに高感度の技術が要求される。

表 A.12.13. 特種モニタリング： ^{239}Pu または ^{240}Pu の吸入摂取における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間 (日)	タイプ M			タイプ S		
	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	5.8E-02	2.3E-04	1.1E-01	6.4E-02	2.3E-06	1.1E-01
2	5.6E-02	1.3E-04	1.5E-01	6.3E-02	1.4E-06	1.6E-01
3	5.5E-02	7.8E-05	8.0E-02	6.2E-02	8.3E-07	8.4E-02
4	5.4E-02	5.3E-05	3.4E-02	6.1E-02	5.9E-07	3.5E-02
5	5.3E-02	3.9E-05	1.3E-02	6.1E-02	4.5E-07	1.4E-02
6	5.3E-02	3.0E-05	5.4E-03	6.0E-02	3.7E-07	5.7E-03
7	5.2E-02	2.4E-05	2.3E-03	6.0E-02	3.1E-07	2.5E-03
8	5.1E-02	2.0E-05	1.2E-03	5.9E-02	2.7E-07	1.3E-03
9	5.0E-02	1.7E-05	7.6E-04	5.8E-02	2.4E-07	8.2E-04
10	5.0E-02	1.5E-05	5.8E-04	5.8E-02	2.3E-07	6.5E-04

表 A.12.14. 特種モニタリング： ^{239}Pu または ^{240}Pu の経口摂取における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間 (日)	経口摂取 $f_1=5\text{E-}04$		経口摂取 $f_1=1\text{E-}04$		経口摂取 $f_1=1\text{E-}05$	
	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	3.4E-06	2.8E-01	6.7E-07	2.8E-01	6.7E-08	2.8E-01
2	2.6E-06	3.9E-01	5.2E-07	3.9E-01	5.2E-08	3.9E-01
3	1.4E-06	2.0E-01	2.9E-07	2.0E-01	2.9E-08	2.0E-01
4	9.3E-07	8.1E-02	1.9E-07	8.1E-02	1.9E-08	8.1E-02
5	6.5E-07	3.1E-02	1.3E-07	3.1E-02	1.3E-08	3.1E-02
6	4.7E-07	1.2E-02	9.4E-08	1.2E-02	9.4E-09	1.2E-02
7	3.6E-07	4.4E-03	7.1E-08	4.4E-03	7.1E-09	4.4E-03
8	2.8E-07	1.6E-03	5.5E-08	1.6E-03	5.5E-09	1.6E-03
9	2.2E-07	6.0E-04	4.4E-08	6.0E-04	4.4E-09	6.0E-04
10	1.8E-07	2.2E-04	3.6E-08	2.2E-04	3.6E-09	2.2E-04

表A.12.15. 特殊モニタリング： ^{239}Pu または ^{240}Pu の注入における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の時間 (日)	$f_1 = 5\text{E-}04$	
	1 日当たりの尿中排泄量	1 日当たりの糞中排泄量
1	8.2E-03	1.6E-03
2	4.5E-03	4.3E-03
3	2.6E-03	4.2E-03
4	1.7E-03	3.1E-03
5	1.2E-03	2.2E-03
6	8.9E-04	1.5E-03
7	6.7E-04	1.0E-03
8	5.3E-04	7.1E-04
9	4.2E-04	5.0E-04
10	3.5E-04	3.6E-04

表A.12.16. 日常モニタリング： ^{239}Pu または ^{240}Pu の吸入摂取における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

モニタリング 間隔 (日)	タイプ M			タイプ S		
	肺	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量	肺	1 日当たりの 尿中排泄量	1 日当たりの 糞中排泄量
360	1.2E-02	5.4E-06	1.7E-05	3.2E-02	1.6E-07	3.7E-05
180	2.2E-02	7.1E-06	(6.7E-05) ^a	3.8E-02	1.6E-07	1.1E-04
120	2.8E-02	8.1E-06	(1.3E-04)	4.2E-02	1.6E-07	1.9E-04
90	3.3E-02	8.7E-06	1.9E-04	4.5E-02	1.7E-07	2.5E-04
60	3.8E-02	9.5E-06	2.8E-04	4.9E-02	1.7E-07	3.5E-04
30	4.6E-02	1.1E-05	4.3E-04	5.5E-02	1.9E-07	4.9E-04
14	5.2E-02	2.4E-05	(2.3E-03)	6.0E-02	3.1E-07	(2.5E-03)
7	5.4E-02	5.3E-05	(3.4E-02)	6.1E-02	5.9E-07	(3.5E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に記述した要件を満たさない。

慢性摂取

図 A.12.11.および図 A.12.12.は、平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{239}Pu および ^{240}Pu については、問題となる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

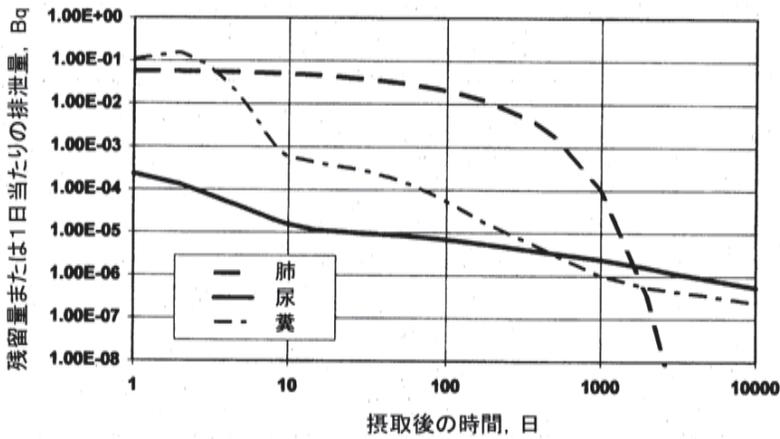


図 A.12.1. ^{238}Pu 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

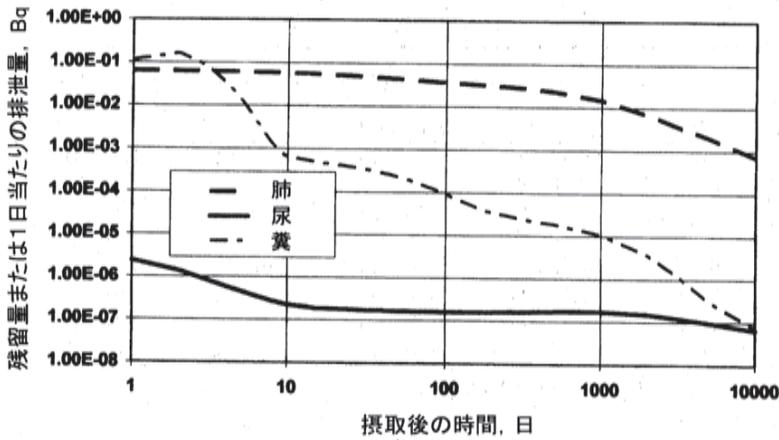


図 A.12.2. ^{238}Pu 吸入摂取 タイプ S: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

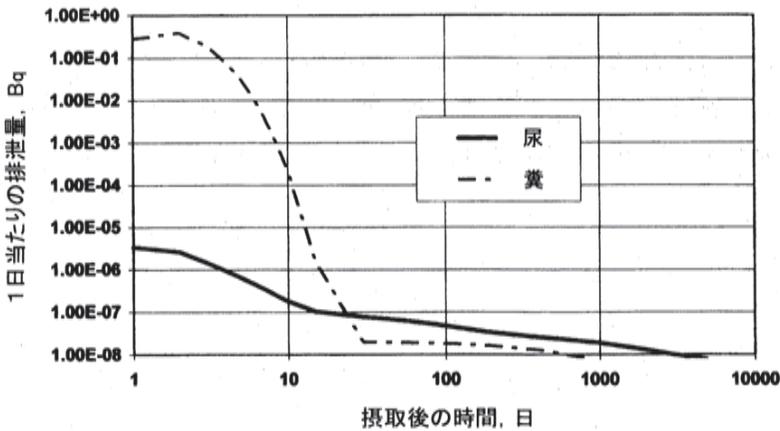


図 A.12.3. ^{238}Pu 経口摂取 ($f_1=5.0 \times 10^{-4}$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

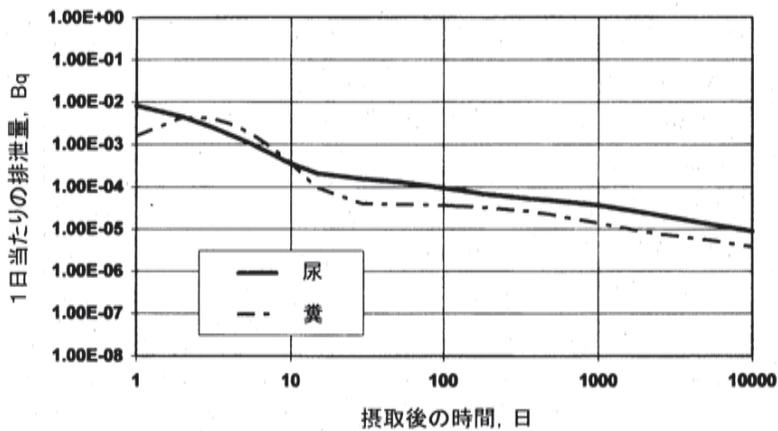


図 A.12.4. ^{238}Pu 注入 ($f_1=5.0\text{E}-04$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

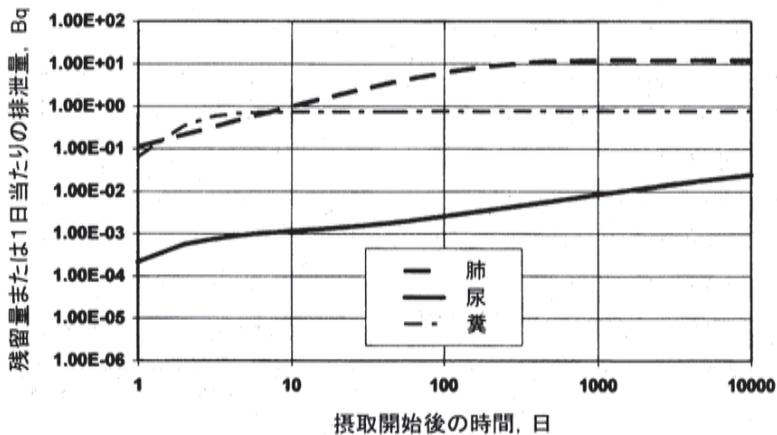


図 A.12.5. ^{238}Pu 吸入摂取 タイプ M: 平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率での連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

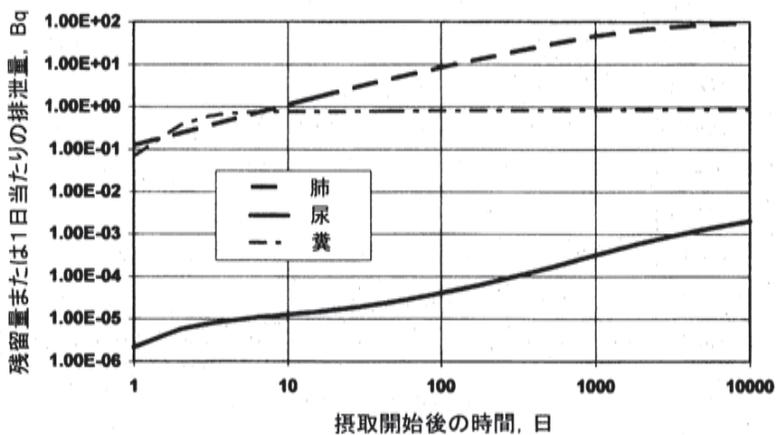


図 A.12.6. ^{238}Pu 吸入摂取 タイプ S: 平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率での連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

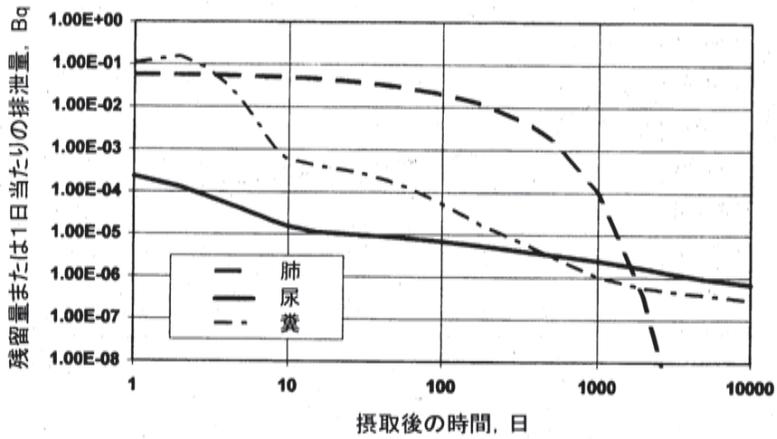


図 A.12.7. ^{239}Pu または ^{240}Pu 吸入摂取 タイプM：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

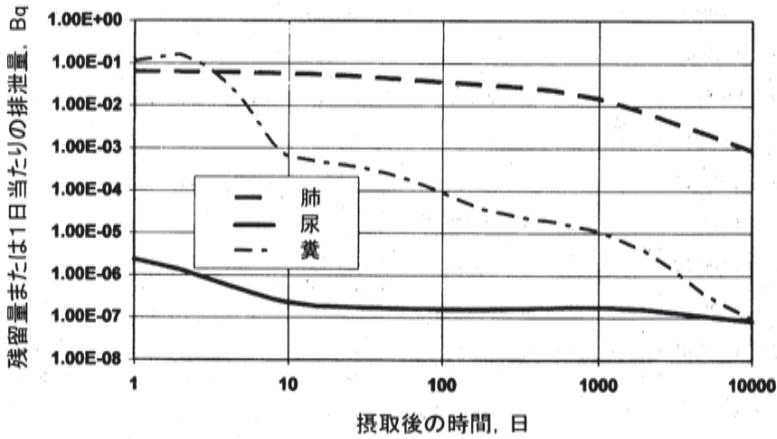


図 A.12.8. ^{239}Pu または ^{240}Pu 吸入摂取 タイプS：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

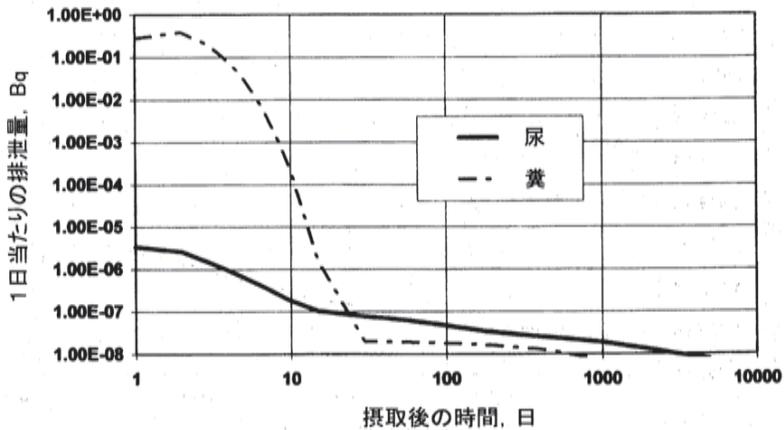


図 A.12.9. ^{239}Pu または ^{240}Pu 経口摂取 ($f_i=5.0\text{E}-04$): 急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

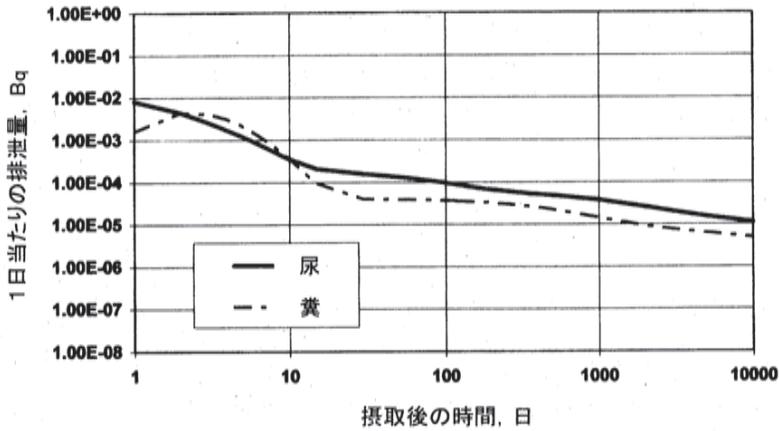


図 A.12.10. ^{239}Pu または ^{240}Pu 注入 ($f_1=5.0\text{E-}04$): 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

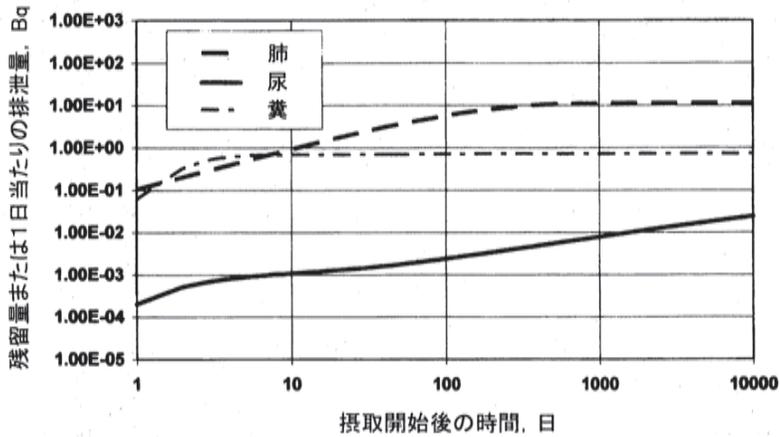


図 A.12.11. ^{239}Pu または ^{240}Pu 吸入摂取 タイプ M: 平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

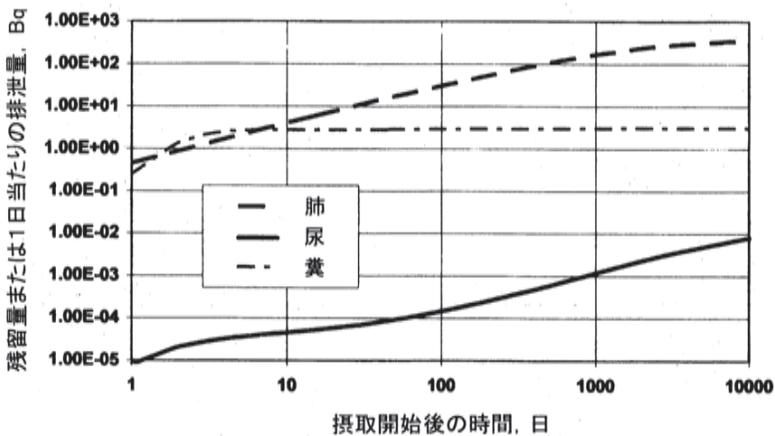


図 A.12.12. ^{239}Pu または ^{240}Pu 吸入摂取 タイプ S: 平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

A.13. アメリシウム

体内動態モデル

血液に吸収されたアメリシウムの主要な沈着部位は、肝臓と骨格である。本文の 3.3 節に記述されているアメリシウムのモデルは、Publication 67 (ICRP, 1993) に与えられている。パラメータ値は表 A.13.1. に与えられている。このモデルは、骨、肝臓、生殖腺およびその他の組織への初期の沈着を考慮しており、また、排泄による損失だけでなく、骨表面から骨の体積全体および骨髓への放射能の移行、組織間の放射能の再循環を考慮している。

表A.13.1. アメリシウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d⁻¹)

経路	移行速度
ST 0 ^a →血液	1.386E+00
ST 1 ^a →血液	1.39E-02
ST 2 ^a →血液	1.90E-05
梁骨骨髓→血液	7.60E-03
皮質骨骨髓→血液	7.60E-03
腎臓(その他の組織)→血液	1.39E-03
睾丸→血液	1.90E-04
卵巣→血液	1.90E-04
血液→ST 0	1.00E+01
血液→ST 1	1.67E+00
血液→ST 2	4.66E-01
血液→梁骨表面	3.49E+00
血液→皮質骨表面	3.49E+00
梁骨表面→梁骨体積部	2.47E-04
皮質骨表面→皮質骨体積部	4.11E-05
梁骨表面→梁骨骨髓	4.93E-04
梁骨体積部→梁骨骨髓	4.93E-04
皮質骨表面→皮質骨骨髓	8.21E-05
皮質骨体積部→皮質骨骨髓	8.21E-05
血液→腎臓(その他の組織)	1.16E-01
血液→肝臓	1.16E+01
血液→睾丸	8.20E-03
血液→卵巣	2.60E-03
肝臓→S.I. ^b	4.90E-05
血液→U.L.I. ^c	3.03E-01
血液→腎臓(尿細管)	4.66E-01
血液→膀胱	1.63E+00
腎臓(尿細管)→膀胱	9.90E-02
肝臓→血液	1.85E-03

^a ST-軟組織

^b S.I.-小腸

^c U.L.I.-大腸上部

各数値は計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

医療上の介入措置による影響

アメリカシウムの尿中排泄を高めることは、DTPA の投与によって達成できる。排泄速度をファクター50 も増加させることができる。したがって、ここで与えられた予測値は、DTPA を投与した際には注意して用いられるべきである。

線量算定用データ

表 A.13.2. 化合物, 吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	5.0E-04	すべての化合物
吸入摂取, タイプ M	5.0E-04	すべての化合物

表 A.13.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Am-241	4.32E+02 y	M	5.0E-04	2.7E-05	5.0E-04	2.0E-07

アメリカシウム-241 (半減期=4.32E+02 年)

表 A.13.4. 放出放射線

放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
α	5.39	1.4
α	5.44	13
α	5.49	85
α	5.51	0.2
α	5.54	0.3
γ	0.06	36

表 A.13.5. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> γ 線スペクトロメトリー	肺	20 Bq
	骨格	20 Bq
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	$10^{-3} \text{ Bq l}^{-1}$
	糞	10^{-3} Bq

尿または糞試料の放射化学分析および α 線スペクトロメトリーは、特殊モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分な感度を持っている。肺中のアメリカシウム-241の *in vivo* 測定は年程度に相当するレベルでの1回摂取を検出するのに十分な感度を持っている。

肺または骨の *in vivo* 測定はどちらも日常モニタリングに対して十分な感度を持っていない。

表A.13.6. 特殊モニタリング： ^{241}Am の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間（日）	タイプ M			
	肺	骨格	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	5.8E-02	7.5E-03	1.8E-03	1.1E-01
2	5.6E-02	8.3E-03	2.3E-04	1.5E-01
3	5.5E-02	8.6E-03	1.3E-04	8.0E-02
4	5.4E-02	8.8E-03	9.0E-05	3.3E-02
5	5.3E-02	8.9E-03	7.2E-05	1.3E-02
6	5.3E-02	9.1E-03	6.3E-05	5.3E-03
7	5.2E-02	9.2E-03	5.8E-05	2.3E-03
8	5.1E-02	9.3E-03	5.4E-05	1.2E-03
9	5.0E-02	9.4E-03	5.1E-05	7.4E-04
10	5.0E-02	9.4E-03	4.9E-05	5.7E-04

表A.13.7. 特殊モニタリング： ^{241}Am の経口摂取および注入における予測値

（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の時間 （日）	経口摂取			注入		
	骨格	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	骨格	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	1.3E-04	3.0E-05	2.8E-01	2.6E-01	6.2E-02	3.7E-03
2	1.4E-04	4.6E-06	3.9E-01	2.9E-01	7.5E-03	4.4E-03
3	1.5E-04	2.2E-06	2.0E-01	3.0E-01	3.9E-03	2.6E-03
4	1.5E-04	1.3E-06	8.1E-02	3.0E-01	2.4E-03	1.3E-03
5	1.5E-04	9.5E-07	3.1E-02	3.0E-01	1.8E-03	6.4E-04
6	1.5E-04	7.6E-07	1.2E-02	3.0E-01	1.5E-03	3.1E-04
7	1.5E-04	6.6E-07	4.4E-03	3.0E-01	1.3E-03	1.6E-04
8	1.5E-04	5.9E-07	1.6E-03	3.0E-01	1.2E-03	9.7E-05
9	1.5E-04	5.4E-07	6.0E-04	3.0E-01	1.1E-03	6.9E-05
10	1.5E-04	4.9E-07	2.2E-04	3.1E-01	9.6E-04	5.7E-05

表 A.13.8. 日常モニタリング： ^{241}Am の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプ M			
	肺	骨格	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	1.2E-02	1.8E-02	1.1E-05	1.7E-05
180	2.2E-02	1.5E-02	1.6E-05	(6.6E-05) ^a
120	2.8E-02	1.3E-02	1.9E-05	(1.3E-04)
90	3.3E-02	1.2E-02	2.1E-05	1.9E-04
60	3.8E-02	1.1E-02	2.6E-05	2.8E-04
30	4.6E-02	9.9E-03	3.9E-05	4.2E-04
14	5.2E-02	9.2E-03	5.8E-05	(2.3E-03)
7	5.4E-02	8.8E-03	9.0E-05	(3.3E-02)

^a 括弧内の値は第 6 章に記述した要件を満たさない。

慢性摂取

図 A.13.4.は、平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{241}Am については、問題となる期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

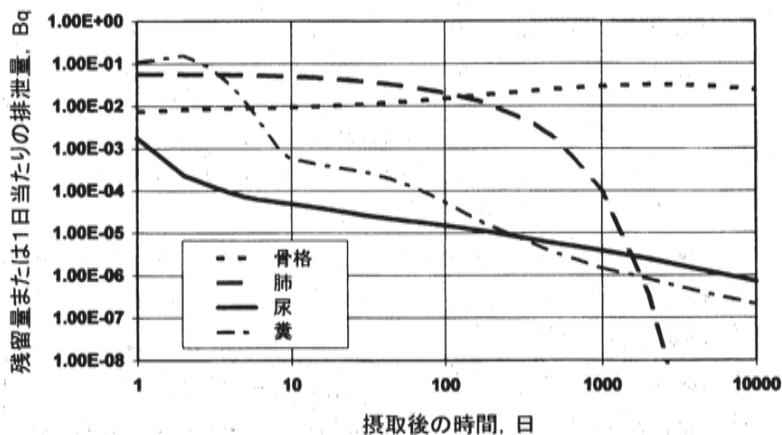


図 A.13.1. ^{241}Am 吸入摂取 タイプ M：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

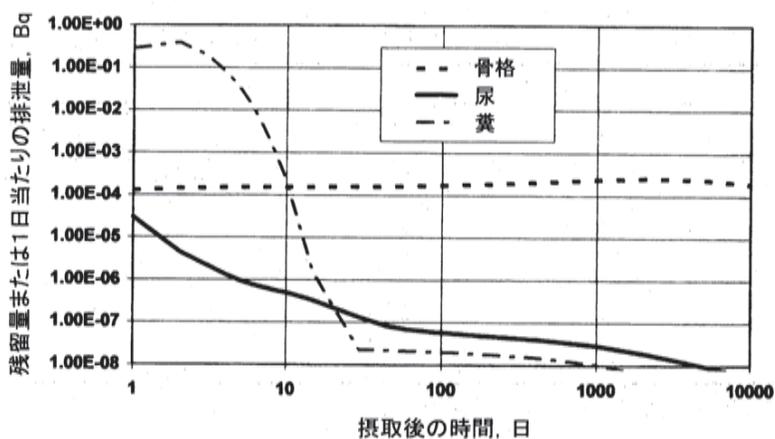


図 A.13.2. ^{241}Am 経口摂取：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

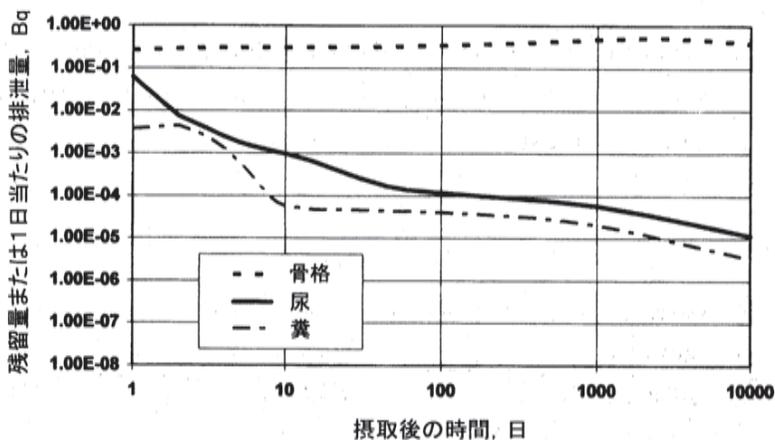


図 A.13.3. ^{241}Am 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

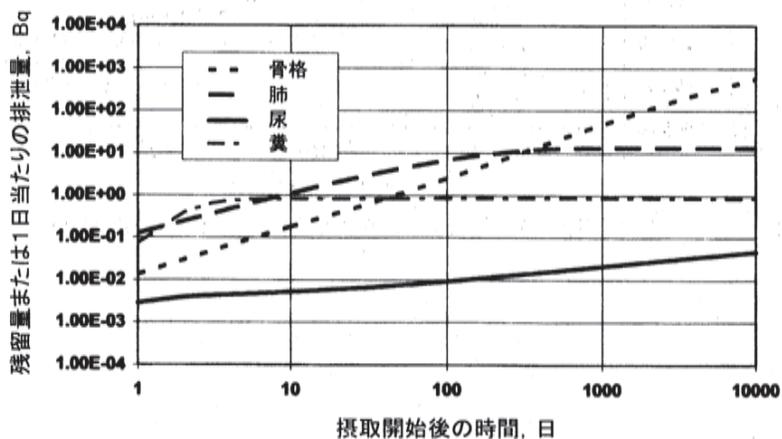


図 A.13.4. ^{241}Am 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

A.14. キュリウム

体内動態モデル

血液に吸収されたキュリウムの主要な沈着部位は、肝臓と骨格である。本文の 3.3 節に記述されているキュリウムのモデルは、*Publication 71* (ICRP, 1995a) に与えられており、アメリカシウムに使われたものと同一である。パラメータ値は表 A.14.1. に与えられている。このモデルは、骨、肝臓、生殖腺およびその他の組織への初期の沈着を考慮しており、また、排泄による損失だけでなく、骨表面から骨の体積全体および骨髄への放射能の移行、組織間の放射能の再循環を考慮している。

このモデルは、*Publication 68* (ICRP, 1994) に与えられ、以下に表で示した線量係数の計算に使われたものであることに注意されたい。このことは *Publication 68* (ICRP, 1994) の表 5 に述べられておらず、そのため *Publication 30* (ICRP, 1979) のモデルが用いられたような印象を与えた。

表 A.14.1. キュリウムの体内動態モデルのためのパラメータ値 (d^{-1})

経路	移行速度
ST 0 ^a →血液	1.386E+00
ST 1 ^a →血液	1.39E-02
ST 2 ^a →血液	1.90E-05
梁骨骨髄→血液	7.60E-03
皮質骨骨髄→血液	7.60E-03
腎臓 (その他の組織) →血液	1.39E-03
睾丸→血液	1.90E-04
卵巣→血液	1.90E-04
血液→ST 0	1.00E+01
血液→ST 1	1.67E+00
血液→ST 2	4.66E-01
血液→梁骨表面	3.49E+00
血液→皮質骨表面	3.49E+00
梁骨表面→梁骨体積部	2.47E-04
皮質骨表面→皮質骨体積部	4.11E-05
梁骨表面→梁骨骨髄	4.93E-04
梁骨体積部→梁骨骨髄	4.93E-04
皮質骨表面→皮質骨骨髄	8.21E-05
皮質骨体積部→皮質骨骨髄	8.21E-05
血液→腎臓 (その他の組織)	1.16E-01
血液→肝臓	1.16E+01
血液→睾丸	8.20E-03
血液→卵巣	2.60E-03
肝臓→S.I. ^b	4.90E-05
血液→U.L.I. ^c	3.03E-01
血液→腎臓 (尿細管)	4.66E-01
血液→膀胱	1.63E+00
腎臓 (尿細管) →膀胱	9.90E-02
肝臓→血液	1.85E-03

^a ST—軟組織

^b S.I.—小腸

^c U.L.I.—大腸上部

各数値は、計算目的に十分な精度で与えられており、生物学的データが裏付けるであろう精度を超えているかもしれない。

医療上の介入措置による影響

キュリウムの尿中排泄を高めることは、DTPA の投与によって達成できる。排泄速度をファクター50 も増加させることができる。したがって、ここで与えられた予測値はDTPA を投与した際には注意して用いられるべきである。

線量算定用データ

表 A.14.2. 化合物、吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	5.0E-04	すべての化合物
吸入, タイプ M	5.0E-04	すべての化合物

表 A.14.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Cm-242	163 d	M	5.0E-04	3.7E-06	5.0E-04	1.2E-08
Cm-244	18.1 y	M	5.0E-04	1.7E-05	5.0E-04	1.2E-07

キュリウム-242 (半減期=163 日)

表 A.14.4. 放出放射線

放射線	エネルギー(MeV)	放出割合 (%)
α	6.07	26
α	6.11	74
X線	0.014-0.022	10

表 A.14.5. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> X線スペクトロメトリー	肺	$2 \times 10^3 \text{ Bq}$
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	$10^{-3} \text{ Bq l}^{-1}$
	糞	10^{-3} Bq

In vivo 測定はモニタリングに十分な感度を持っていない。尿および糞モニタリングについて上と与えられた検出限界値は、特殊モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分な感度をもっている。

表A.14.6. 特殊モニタリング： ^{242}Cm の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	タイプM		
	肺	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	5.7E-02	1.8E-03	1.1E-01
2	5.5E-02	2.3E-04	1.5E-01
3	5.4E-02	1.3E-04	7.9E-02
4	5.3E-02	8.8E-05	3.3E-02
5	5.2E-02	7.0E-05	1.3E-02
6	5.1E-02	6.1E-05	5.2E-03
7	5.0E-02	5.6E-05	2.2E-03
8	4.9E-02	5.2E-05	1.1E-03
9	4.8E-02	4.9E-05	7.1E-04
10	4.8E-02	4.7E-05	5.5E-04

表A.14.7. 特殊モニタリング： ^{242}Cm の経口摂取および注入における予測値
（摂取量Bq当たりのBq）

摂取後の時間（日）	経口摂取		注入	
	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
1	3.0E-05	2.8E-01	6.2E-02	3.7E-03
2	4.5E-06	3.9E-01	7.4E-03	4.4E-03
3	2.2E-06	1.9E-01	3.8E-03	2.6E-03
4	1.3E-06	8.0E-02	2.4E-03	1.3E-03
5	9.3E-07	3.1E-02	1.8E-03	6.2E-04
6	7.4E-07	1.1E-02	1.4E-03	3.0E-04
7	6.4E-07	4.3E-03	1.2E-03	1.6E-04
8	5.7E-07	1.6E-03	1.1E-03	9.4E-05
9	5.2E-07	5.7E-04	1.0E-03	6.6E-05
10	4.7E-07	2.1E-04	9.2E-04	5.5E-05

表A.14.8. 日常モニタリング： ^{242}Cm の吸入摂取における予測値（摂取量Bq当たりのBq）

モニタリング間隔（日）	タイプM		
	肺	1日当たりの尿中排泄量	1日当たりの糞中排泄量
180	1.5E-02	1.1E-05	(4.5E-05) ^a
120	2.2E-02	1.5E-05	(1.0E-04)
90	2.7E-02	1.8E-05	(1.6E-04)
60	3.4E-02	2.3E-05	2.5E-04
30	4.3E-02	3.7E-05	4.0E-04
14	5.0E-02	5.6E-05	(2.2E-03)
7	5.3E-02	8.8E-05	(3.3E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

慢性摂取

表 A.14.9. は、 1 Bq y^{-1} ($1/365 \text{ Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表 A.14.9. ^{242}Cm の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ M		
	1 年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間
肺	1.1E-02	6.0E+01	1 年
1 日当たりの尿中排泄量	1.5E-05	8.2E-02	2 年
1 日当たりの糞中排泄量	1.1E-03	6.1E+00	2 月

キュリウム-244 (半減期=18.1 年)

表 A.14.10. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
α	5.76	24
α	5.81	76
X線	0.012-0.022	10

表 A.14.11. 測定技術

測定方法	典型的な検出限界値	
<i>in vivo</i> X線スペクトロメトリー	肺	$2 \times 10^3 \text{ Bq}$
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	$10^{-3} \text{ Bq l}^{-1}$
	糞	10^{-3} Bq

In vivo 測定はモニタリングに十分な感度を持っていない。尿および糞モニタリングについて上に与えられた検出限界値は、特殊モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分な感度を持っている。

表A.14.12. 特殊モニタリング： ^{244}Cm の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の 時間（日）	タイプM		
	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	5.8E-02	1.8E-03	1.1E-01
2	5.6E-02	2.3E-04	1.5E-01
3	5.5E-02	1.3E-04	8.0E-02
4	5.4E-02	9.0E-05	3.3E-02
5	5.3E-02	7.2E-05	1.3E-02
6	5.3E-02	6.3E-05	5.3E-03
7	5.2E-02	5.8E-05	2.3E-03
8	5.1E-02	5.4E-05	1.2E-03
9	5.0E-02	5.1E-05	7.4E-04
10	5.0E-02	4.9E-05	5.7E-04

表A.14.13. 特殊モニタリング： ^{244}Cm の経口摂取および注入における予測値
(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間（日）	経口摂取		注入	
	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	3.0E-05	2.8E-01	6.2E-02	3.7E-03
2	4.6E-06	3.9E-01	7.5E-03	4.4E-03
3	2.2E-06	2.0E-01	3.9E-03	2.6E-03
4	1.3E-06	8.1E-02	2.4E-03	1.3E-03
5	9.5E-07	3.1E-02	1.8E-03	6.4E-04
6	7.6E-07	1.2E-02	1.5E-03	3.1E-04
7	6.6E-07	4.4E-03	1.3E-03	1.6E-04
8	5.9E-07	1.6E-03	1.2E-03	9.7E-05
9	5.4E-07	6.0E-04	1.1E-03	6.9E-05
10	4.9E-07	2.2E-04	9.6E-04	5.7E-05

表A.14.14. 日常モニタリング： ^{244}Cm の吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

モニタリング 間隔（日）	タイプM		
	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	1.2E-02	1.1E-05	1.6E-05
180	2.2E-02	1.6E-05	(6.5E-05) ^a
120	2.8E-02	1.9E-05	(1.3E-04)
90	3.2E-02	2.1E-05	1.9E-04
60	3.8E-02	2.6E-05	2.8E-04
30	4.6E-02	3.9E-05	4.2E-04
14	5.2E-02	5.8E-05	(2.3E-03)
7	5.4E-02	9.0E-05	(3.3E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

慢性摂取

図 A.14.7.は、平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の予測値を時間の関数として示している。 ^{244}Cm に対しては、問題とする期間中に平衡状態に達しないので、平衡値の表は与えられていない。

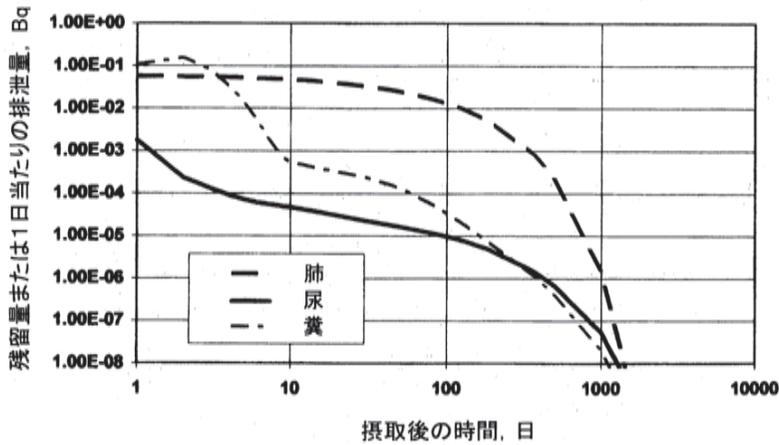


図 A.14.1. ^{244}Cm 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

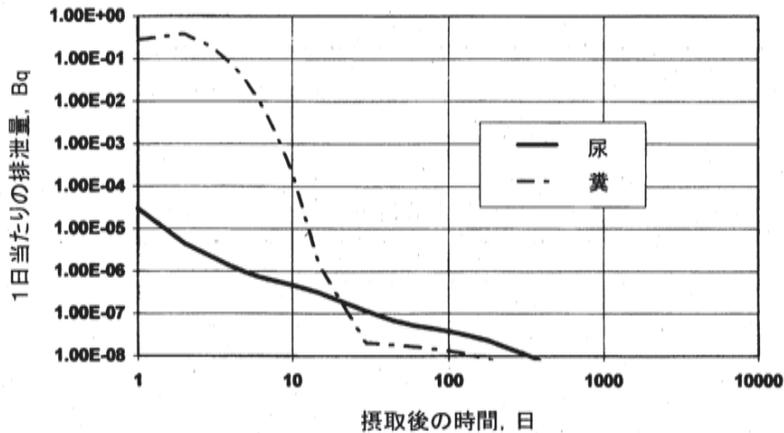


図 A.14.2. ^{242}Cm 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

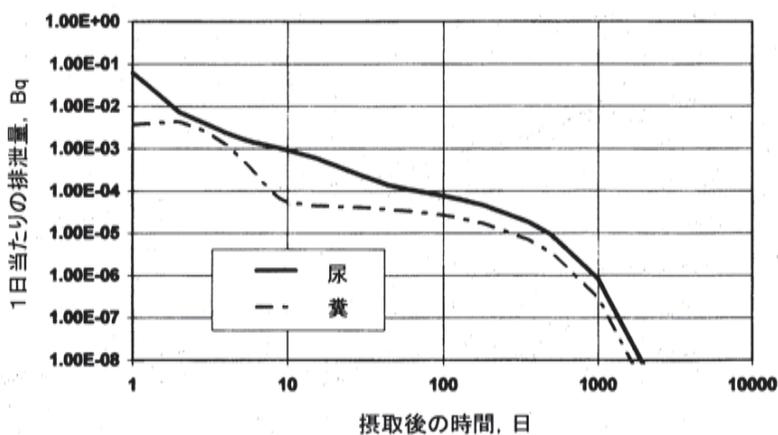


図 A.14.3. ^{242}Cm 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

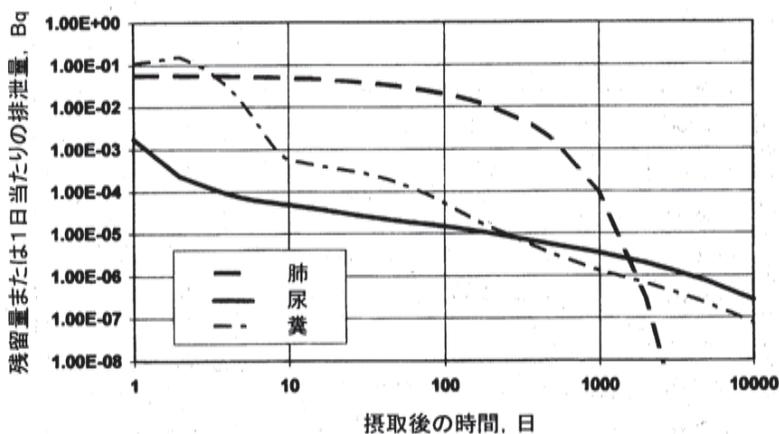


図 A.14.4. ^{244}Cm 吸入摂取 タイプ M：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

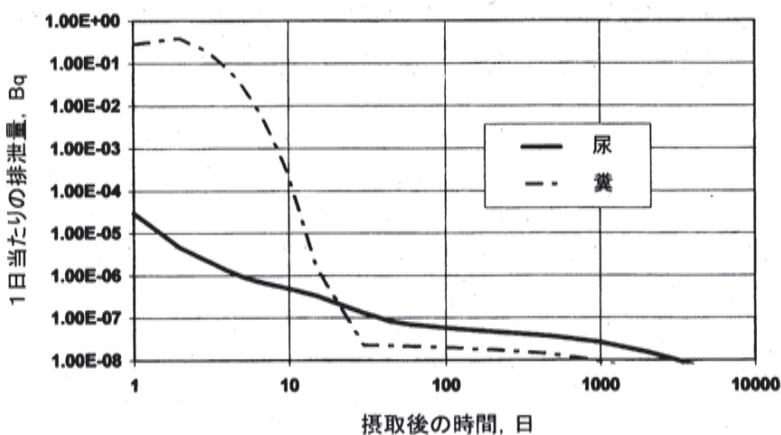


図 A.14.5. ^{244}Cm 経口摂取：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

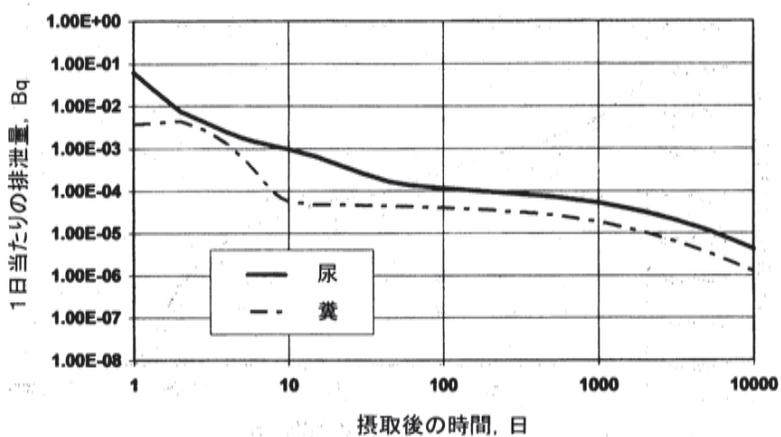


図 A.14.6. ^{244}Cm 注入：急性摂取後の予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

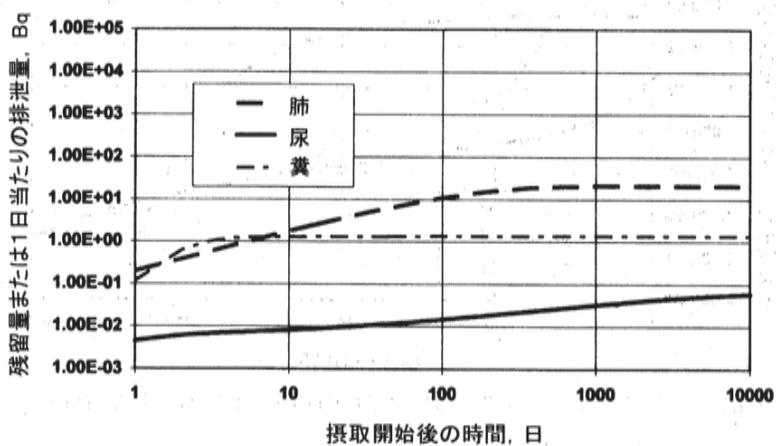


図 A.14.7. ^{244}Cm 吸入摂取 タイプ M：平均年線量限度 (20mSv) の被ばくになるような率の連続慢性摂取にともなう予測値 (Bq)

A.15. カリホルニウム

体内動態モデル

体液に吸収されたカリホルニウムの主要な沈着部位は、肝臓と骨格である。カリホルニウムのモデルは、*Publication 30 (Part 4)* (ICRP, 1988) から採用された非再循環モデルである。放射能の65%が骨表面に、25%が肝臓に、0.035%が睾丸に、そして0.011%が卵巣に沈着するとされている。骨および肝臓における残留の半減期は、それぞれ、50年および20年とされている。睾丸における残留は永久と見なされている。尿中排泄の糞中排泄に対する比のデフォルト値は、1:1と仮定されている。

表A.15.1. カリホルニウムの体内動態データ

コンパートメント	取込み量割合 (%)	生物学的半減期 (日)
骨	65	18,250
肝臓	25	7300
睾丸	0.035	永久
卵巣	0.011	永久
通過コンパートメント		0.25

医療上の介入措置による影響

カリホルニウムの尿中排泄を高めることは、DTPAの投与によって達成できる。排泄速度をファクター50も増加させることができる。したがって、ここで与えられた予測値はDTPAを投与した際には注意して用いられるべきである。

線量算定用データ

表A.15.2. 化合物、吸収タイプおよび f_1 値

摂取	f_1 値	化合物
経口摂取	5.0E-04	すべての化合物
吸入, タイプ M	5.0E-04	すべての化合物

表A.15.3. 線量係数

核種	$t_{1/2}$	タイプ	吸入摂取		経口摂取	
			f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$	f_1	$e(50), \text{Sv Bq}^{-1}$
Cf-252	2.64 y	M	5.0E-04	1.3E-05	5.0E-04	9.0E-08

カリホルニウム-252 (半減期=2.64年)

表A.15.4. 放出放射線

放射線	エネルギー (MeV)	放出割合 (%)
α	6.00	0.2
α	6.08	15
α	6.12	82
X線	0.013-0.023	6.6
核分裂 γ	0-9	70

表A.15.5. 測定技術

測定方法		典型的な検出限界値
<i>in vivo</i> X線スペクトロメトリー	肺	2×10^3 Bq
生物試料の放射化学分離および α 線スペクトロメトリー	尿	10^{-3} Bq l ⁻¹
	糞	10^{-3} Bq

In vivo 測定は、モニタリングに対して十分な感度をもっていない。尿および糞モニタリングについて上に与えられた検出限界値は、特殊モニタリングおよび日常モニタリングの両方に対して十分である。

表A.15.6. 特殊モニタリング：²⁵²Cfの吸入摂取における予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

摂取後の 時間 (日)	タイプ M		
	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	5.8E-02	1.3E-03	1.1E-01
2	5.6E-02	1.2E-04	1.5E-01
3	5.5E-02	2.2E-05	8.0E-02
4	5.4E-02	1.5E-05	3.3E-02
5	5.3E-02	1.4E-05	1.3E-02
6	5.2E-02	1.4E-05	5.3E-03
7	5.2E-02	1.4E-05	2.3E-03
8	5.1E-02	1.4E-05	1.2E-03
9	5.0E-02	1.3E-05	7.5E-04
10	4.9E-02	1.3E-05	5.8E-04

表A.15.7. 特殊モニタリング： ^{252}Cf の経口摂取および注入における予測値

(摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間 (日)	経口摂取		注入	
	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
1	2.1E-05	2.8E-01	4.6E-02	1.1E-02
2	3.8E-06	3.9E-01	3.8E-03	1.9E-02
3	2.6E-07	2.0E-01	2.6E-04	1.1E-02
4	2.8E-08	8.1E-02	3.9E-05	4.9E-03
5	1.3E-08	3.1E-02	2.5E-05	1.9E-03
6	1.2E-08	1.2E-02	2.4E-05	7.5E-04
7	1.2E-08	4.4E-03	2.4E-05	2.9E-04
8	1.2E-08	1.6E-03	2.4E-05	1.2E-04
9	1.2E-08	5.9E-04	2.4E-05	6.1E-05
10	1.2E-08	2.2E-04	2.4E-05	3.8E-05

表A.15.8. 日常モニタリング： ^{252}Cf の吸入摂取における予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

摂取後の 時間 (日)	タイプ M		
	肺	1日当たりの 尿中排泄量	1日当たりの 糞中排泄量
360	(1.0E-02) ^a	3.7E-06	(1.6E-05)
180	2.0E-02	6.1E-06	(6.5E-05)
120	2.7E-02	7.7E-06	(1.3E-04)
90	3.2E-02	8.8E-06	1.9E-04
60	3.8E-02	1.0E-05	2.8E-04
30	4.6E-02	1.2E-05	4.3E-04
14	5.2E-02	1.4E-05	(2.3E-03)
7	5.4E-02	1.5E-05	(3.3E-02)

^a 括弧内の値は第6章に記述した要件を満たさない。

慢性摂取

表A.15.9.は、 1Bq y^{-1} ($1/365\text{Bq d}^{-1}$) の率で連続して慢性的に吸入摂取した場合の平衡値と、それらに到達するまでの摂取開始後のおよその時間を示す。平均年線量限度 (20 mSv) の被ばくになるような率で吸入摂取した場合の値も与えられている。

表A.15.9. ^{252}Cf の連続慢性摂取における平衡値 (Bq)

測定量	タイプ M		
	1年当たりの吸入摂取量		
	1Bq	年限度相当	時間
肺	1.6E-02	2.5E+01	2年
1日当たりの尿中排泄量	1.3E-05	2.0E-02	15年
1日当たりの糞中排泄量	1.2E-03	1.8E+00	1年

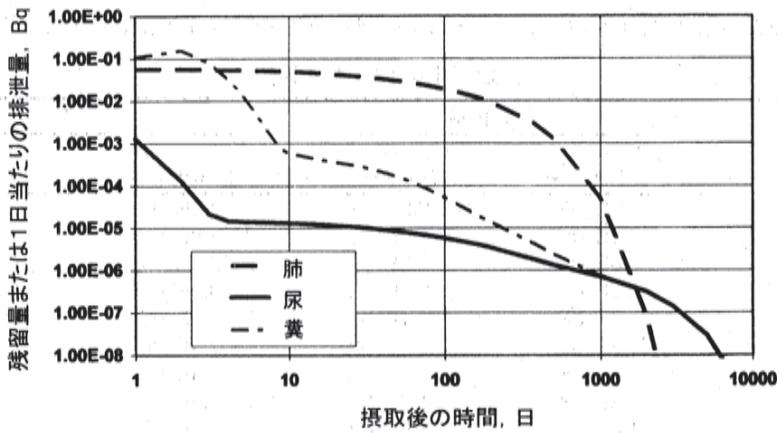


図 A.15.1. ^{252}Cf 吸入摂取 タイプ M: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

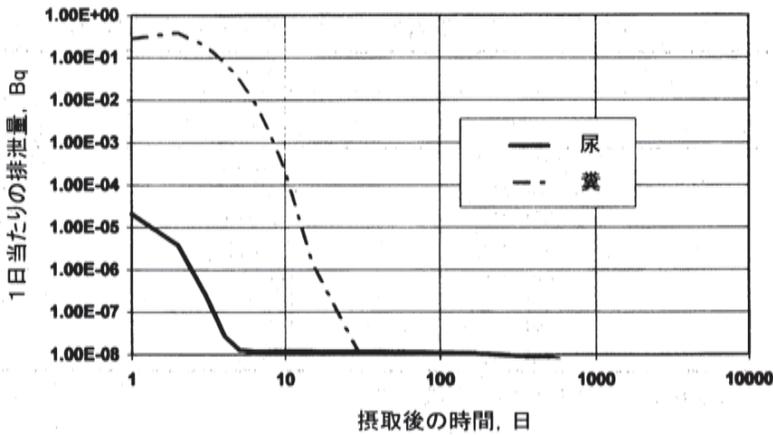


図 A.15.2. ^{252}Cf 経口摂取: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

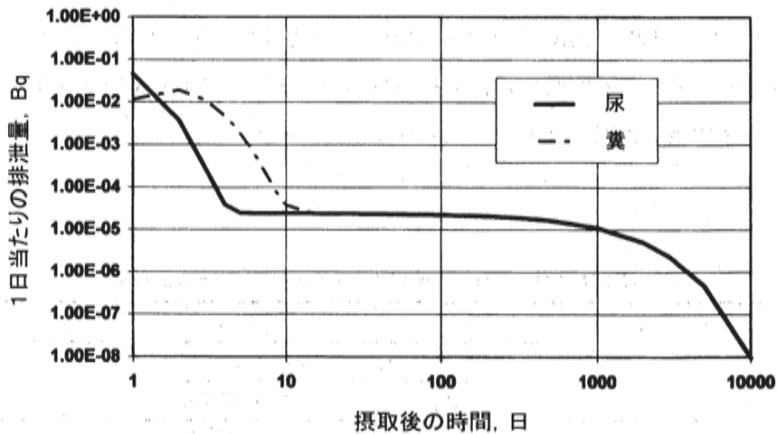


図 A.15.3. ^{252}Cf 注入: 急性摂取後の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

作業者の内部被ばくの個人モニタリング

定価 (本体 2,700 円 + 税)

平成 13 年 5 月 14 日 初版第 1 刷発行

翻 訳 社 団 日 本 ア イ ソ ト ー プ 協 会
お よ び 発 行 法 人

〒 113-8941 東京都文京区本駒込二丁目 28 番 45 号
電 話 (03) 5395-8082
振 替 東京 00180-4-614865

発売所 丸 善 株 式 会 社

印刷・製本 アイワ印刷株式会社

ISBN4-89073-126-1 C3340

ICRP Publication 78 作業者の内部被ばくの個人モニタリング
修正表

(初版第1刷 平成13年5月発行)

P.44

表 A.1.4. 線量係数

【誤】

化学形	t _{1/2}	クラス	吸入摂取		経口摂取	
			f ₁	e (50), Sv Bq ⁻¹	f ₁	e (50), Sv Bq ⁻¹
トリチウム水	12.3y	SR - 2	a	1.8E - 11	1.0	1.8E - 11
トリチウムガス	12.3y	SR - 2	a	1.8E - 14		
OBT ^b	12.3y	SR - 2	a	4.1E - 11	1.0	4.2E - 11

a 呼吸気道に沈着した放射能の全量は直ちに吸収されるので、適用されない。

b OBT - 有機結合型トリチウム

【正】

化学形	t _{1/2}	クラス	吸入摂取		経口摂取	
			f ₁	e (50), Sv Bq ⁻¹	f ₁	e (50), Sv Bq ⁻¹
トリチウム水	12.3y	SR - 2	a	1.8E - 11	1.0	1.8E - 11
トリチウムガス	12.3y	SR - 2	a	1.8E - 15		
OBT ^b	12.3y	SR - 2	a	4.1E - 11	1.0	4.2E - 11

a 呼吸気道に沈着した放射能の全量は直ちに吸収されるので、適用されない。

b OBT - 有機結合型トリチウム

P.122

表 A.9.15. 日常モニタリング：タイプ M ^{228}Th の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての
予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

【誤】

モニタリング間隔（日）	^{212}Pb		^{208}Tl	
	肺	全身	肺	全身
360	(9.2E - 03) ^a	3.2E - 02	(3.3E - 03) ^a	1.2E - 02
180	1.8E - 02	4.0E - 02	6.6E - 03	1.4E - 02
120	2.4E - 02	4.5E - 02	8.8E - 03	1.6E - 02
90	2.9E - 02	4.9E - 02	1.0E - 02	1.7E - 02
60	3.4E - 02	5.3E - 02	1.2E - 02	1.9E - 02
30	3.9E - 02	5.7E - 02	1.4E - 02	2.0E - 02
14	3.3E - 02	4.8E - 02	1.2E - 02	1.7E - 02
7	2.3E - 02	4.6E - 02	8.2E - 03	1.6E - 02

^a 括弧内の値は第 6 章に記述した要件を満たさない。

【正】

モニタリング間隔（日）	^{212}Pb		^{208}Tl	
	肺	全身	肺	全身
360	9.2E - 03	3.2E - 02	3.3E - 03	1.2E - 02
180	(1.8E - 02) ^a	4.0E - 02	(6.6E - 03) ^a	1.4E - 02
120	(2.4E - 02) ^a	4.5E - 02	(8.8E - 03) ^a	1.6E - 02
90	(2.9E - 02) ^a	4.9E - 02	(1.0E - 02) ^a	1.7E - 02
60	(3.4E - 02) ^a	5.3E - 02	(1.2E - 02) ^a	1.9E - 02
30	(3.9E - 02) ^a	5.7E - 02	(1.4E - 02) ^a	2.0E - 02
14	(3.3E - 02) ^a	4.8E - 02	(1.2E - 02) ^a	1.7E - 02
7	(2.3E - 02) ^a	4.6E - 02	(8.2E - 03) ^a	1.6E - 02

^a 括弧内の値は第 6 章に記述した要件を満たさない。

表 A.9.16. 日常モニタリング：タイプ S ^{228}Th の吸入摂取後の放射性壊変生成物についての予測値(摂取量 Bq 当たりの Bq)

【誤】

モニタリング間隔(日)	^{212}Pb		^{208}Tl	
	肺	全身	肺	全身
360	2.5E - 02	2.5E - 02	8.8E - 03	9.1E - 03
180	3.2E - 02	3.2E - 02	1.1E - 02	1.2E - 02
120	3.6E - 02	3.7E - 02	1.3E - 02	1.3E - 02
90	4.0E - 02	4.1E - 02	1.4E - 02	1.5E - 02
60	4.4E - 02	4.5E - 02	1.6E - 02	1.6E - 02
30	4.7E - 02	4.8E - 02	1.7E - 02	1.7E - 02
14	3.8E - 02	4.0E - 02	1.4E - 02	1.4E - 02
7	2.6E - 02	4.0E - 02	9.3E - 03	1.4E - 02

【正】

モニタリング間隔(日)	^{212}Pb		^{208}Tl	
	肺	全身	肺	全身
360	(2.5E - 02) ^a	2.5E - 02	(8.8E - 03) ^a	9.1E - 03
180	(3.2E - 02) ^a	3.2E - 02	(1.1E - 02) ^a	1.2E - 02
120	(3.6E - 02) ^a	3.7E - 02	(1.3E - 02) ^a	1.3E - 02
90	(4.0E - 02) ^a	4.1E - 02	(1.4E - 02) ^a	1.5E - 02
60	(4.4E - 02) ^a	4.5E - 02	(1.6E - 02) ^a	1.6E - 02
30	(4.7E - 02) ^a	4.8E - 02	(1.7E - 02) ^a	1.7E - 02
14	(3.8E - 02) ^a	4.0E - 02	(1.4E - 02) ^a	1.4E - 02
7	(2.6E - 02) ^a	4.0E - 02	(9.3E - 03) ^a	1.4E - 02

P.126

表 A.9.26. 日常モニタリング： ^{232}Th の吸入摂取後の ^{228}Ac 放射性壊変生成物についての
予測値（摂取量 Bq 当たりの Bq）

【誤】

モニタリング間隔（日）	タイプ M		タイプ S	
	肺	全身	肺	全身
360	6.9E - 04	1.2E - 03	1.8E - 03	1.9E - 03
180	6.4E - 04	9.3E - 04	1.1E - 03	1.1E - 03
120	5.5E - 04	7.6E - 04	8.2E - 04	8.3E - 04
90	4.8E - 04	6.4E - 04	6.6E - 04	6.7E - 04
60	3.7E - 04	5.0E - 04	4.8E - 04	4.9E - 04
30	2.2E - 04	3.0E - 04	2.7E - 04	2.7E - 04
14	1.1E - 04	1.6E - 04	1.3E - 04	1.4E - 04
7	6.5E - 05	1.3E - 04	7.4E - 05	1.1E - 04

【正】

モニタリング間隔（日）	タイプ M		タイプ S	
	肺	全身	肺	全身
360	(6.9E - 04) ^a	(1.2E - 03) ^a	(1.8E - 03) ^a	(1.9E - 03) ^a
180	(6.4E - 04) ^a	(9.3E - 04) ^a	(1.1E - 03) ^a	(1.1E - 03) ^a
120	(5.5E - 04) ^a	(7.6E - 04) ^a	(8.2E - 04) ^a	(8.3E - 04) ^a
90	(4.8E - 04) ^a	(6.4E - 04) ^a	(6.6E - 04) ^a	(6.7E - 04) ^a
60	(3.7E - 04) ^a	(5.0E - 04) ^a	(4.8E - 04) ^a	(4.9E - 04) ^a
30	(2.2E - 04) ^a	3.0E - 04	(2.7E - 04) ^a	2.7E - 04
14	(1.1E - 04) ^a	1.6E - 04	(1.3E - 04) ^a	1.4E - 04
7	(6.5E - 05) ^a	1.3E - 04	(7.4E - 05) ^a	1.1E - 04

表 A.9.16., 表 A.9.26.

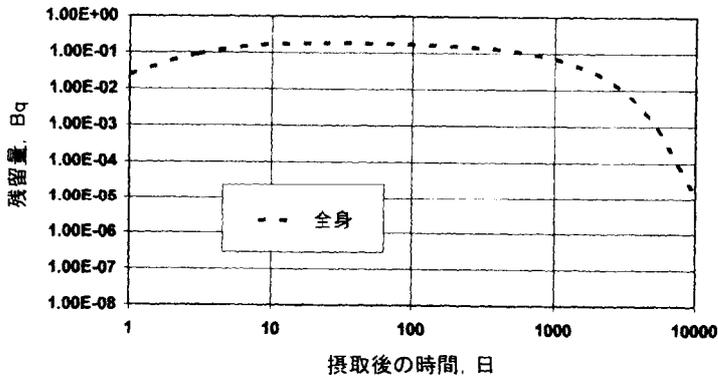
^a Publication 78 の 91 項は、ある特定のモニタリング間隔が適当であるかどうかを決めるために用いる基準を概説している。簡単に言うと、間隔の任意の日に起こる摂取が、間隔の midpoint で起こる摂取と比べて線量算定で 3 倍以上の過小評価をもたらさなければ、期間は受け入れ可能である、とした。しかし、非常に多くのケースで、間隔の前半すなわち midpoint より前に起こる摂取からは、過小評価が起こる。それで、Publication 78 では、適切な期間の選択でこの期間の前半に注意を集中した。間隔のあとのほうで起こる摂取は一般に線量算定において過大評価をもたらすと考えられ、91 項ではこれを指摘してある。

しかし、崩壊生成物に基づいて行うモニタリングのやり方では、モニタリング間隔のあとのほうで摂取が起こる場合、測定時には崩壊生成物がまだあまり成長していないことがあり、そのため過小評価が起こりうる。モニタリングが崩壊生成物の測定に基づくケースにおける適切な期間の選択で、このことが正しく考慮されていなかった。上記の正誤表ではこの見逃しを修正してある。

P.131 図 A.9.15. と 図 A.9.16. を入れ替える

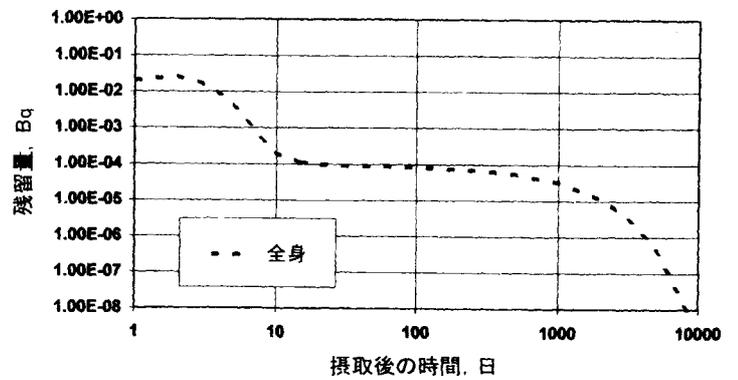
図 A.9.15.

【誤】



^{228}Th 経口摂取 ($f_1 = 5.0\text{E} - 04$): ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

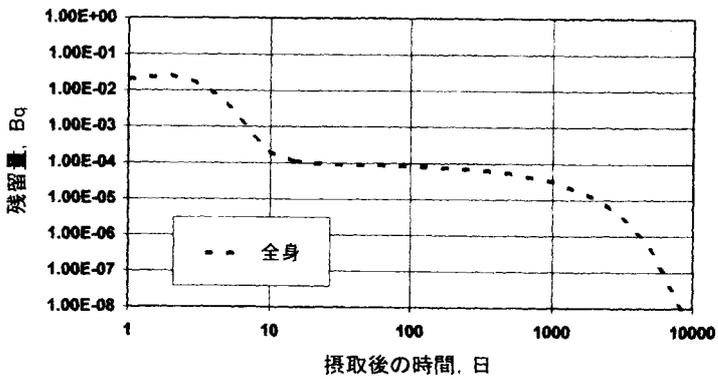
【正】



^{228}Th 経口摂取 ($f_1 = 5.0\text{E} - 04$): ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

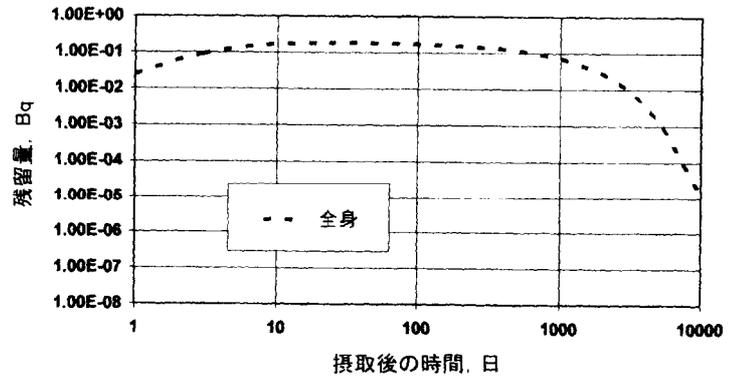
図 A.9.16.

【誤】



^{228}Th 注入: ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

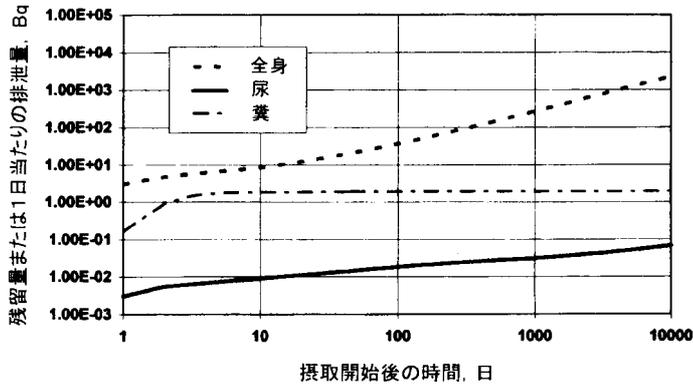
【正】



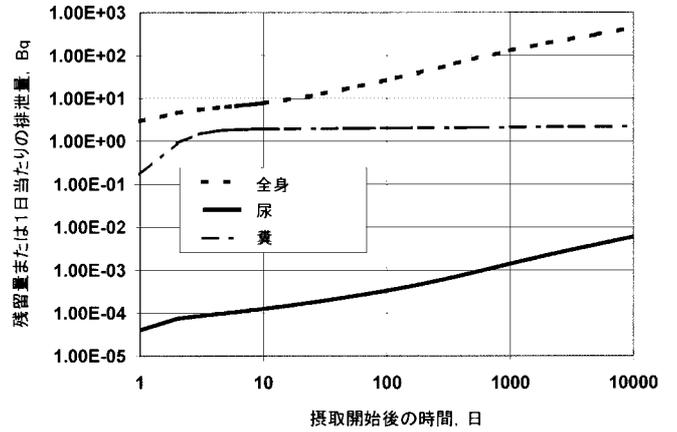
^{228}Th 注入: ^{228}Th の急性摂取後の ^{208}Tl の予測値 (摂取量 Bq 当たりの Bq)

P.136 図 A.9.29.

【誤】

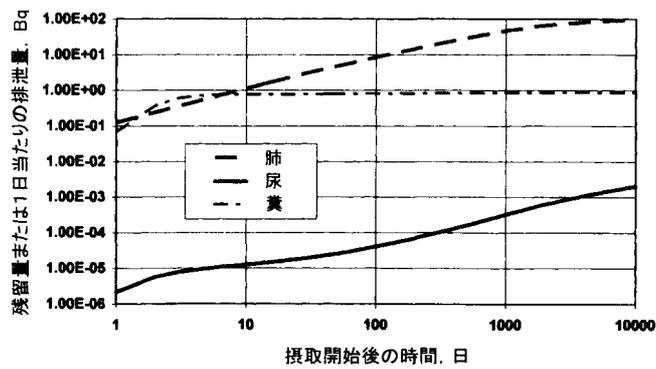


【正】



P.136 図 A.12.6.

【誤】



【正】

