

作業者による放射性核種の 摂取の限度

Part 3

編 日本アイソトープ協会

編 仁科記念財団

作業者による放射性核種の摂取の限度

ICRP Publication 30

Part 3

国際放射線防護委員会専門委員会2の報告書

1978年7月に委員会によって採択されたもの

ICRP Publication 2に置きかわるもの

社団法人 日本アイソトープ協会

財団法人 仁科記念財団

Nishina | Japan
Memorial | Radioisotope
Foundation | Association

Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 30 Part 3

This translation was undertaken by the following colleagues.

Translated by

Jun AKAISHI, Takashi SHIROTANI, Shinichi SUGA,
Kazuo TAKADA, Akira YABE, Minoru FUJITA

Editorial Board

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

.....

Eizo TAJIMA (Chair)	Tatsuji HAMADA (Vice-chair)
Masami IZAWA**	Sukehiko KOGA * Sadayoshi KOBAYASHI
Shinji TAKAHASHI**	Ichiro MIYANAGA

.....

* ICRP member at the time.

** Former ICRP member.

邦訳版への序

本書は ICRP 専門委員会 2 の報告書,

Limits for Intakes of Radionuclides by Workers (ICRP Publication 30) の Part 3 (Annals of the ICRP, Vol. 6, Nos. 2/3 (124頁) として刊行) の全文, および, Part 3 に対する補遺 (Annals of the ICRP, Vol. 7, Nos. 1-3, および, Vol. 8, Nos. 1-3 (合計 948 頁) として刊行) のうちの本文 (4 頁) を, ICRP の了解のもとに翻訳したものである。

Part 3 には, Part 1 と Part 2 で取り上げられなかった 43 種の元素の代謝データ, および, これら元素の 323 核種の年摂取限度 (ALI) と誘導空気中濃度 (DAC) の計算値が含まれており, これで Publication 30 は完結した。補遺は ALI と DAC の算出に用いられた諸データのコンピュータからのプリントアウトがそのまま印刷されているが, 本訳書では, これらのデータ部は省略し, 最初の 4 頁のみを訳出している。なお, Publication 30 全体の索引が Annals of the ICRP, Vol. 8, No. 4 として出されているが, 訳書では, ある元素がどの Past に記載されているかを見出しやすくするために, 原著にない五十音順の元素別データ索引をつけて, 読者の便を図ることとした。

原文では, 1 つの元素のいろいろな核種に関する ALI と DAC とが, 同じ 1 つの表の中に示されているが, 訳書では, 読者の便を考慮して, 他の Part と同じく, ALI と DAC とを別々に表示することとした。

線量算定方法の詳細は Part 1 に記されており, したがって本書は Part 1 と合わせて用いられるべきものである。本書を使用するうえでの注意等は Part 1 の「邦訳版への序」に記してあるので, 参照して頂きたい。

なお, この Part 3 には, Part 1 と Part 2 との記述の訂正が追補されてお

(ii)

り、ここでも訳出した。ただし、多くの事項は訳書では訂正済みである。

翻訳は次の方々によって行われた。

赤石 準, 城谷 孝, 須賀新一, 高田和夫, 矢部 明 (以上 日本原子力研究所)

藤田 稔 (東北大学)

最終的な調整は編者* によって行われたので、訳文についての最終責任は編者にある。

Publication 30 の Part 1 から Part 3 までを、検討を加えつつ翻訳するには多大の労力と時間とを必要とした。この任にあたって下さった日本原子力研究所と東北大学の方々に深く感謝の意を表したい。さらに、編集と校正にあられた事務局の方々の労に対しても、改めて謝意を表したい。

昭和58年5月

*日本アイソトープ協会

ICRP 勧告翻訳検討委員会

委員長 田 島 英 三 (原子力安全委員会)

副委員長 浜 田 達 二 (日本アイソトープ協会)

委 員 伊 沢 正 実 (放射線医学総合研究所)

古 賀 佑 彦 (名古屋保健衛生大学)

小 林 定 喜 (放射線医学総合研究所)

高 橋 信 次 (愛知県がんセンター)

宮 永 一 郎 (日本原子力研究所)

目 次

頁

謝 辞 1

序 3

代謝データ

原子番号 元 素

4	ベリリウム.....	5
6	炭 素.....	10
12	マグネシウム.....	21
13	アルミニウム.....	25
14	ケイ素.....	29
21	スカンジウム.....	34
22	チタン.....	39
23	バナジウム.....	43
28	ニッケル.....	47
31	ガリウム.....	54
32	ゲルマニウム.....	59
33	ヒ 素.....	63
34	セレン.....	70
46	パラジウム.....	76
50	ス ズ.....	80
51	アンチモン.....	86
57	ランタン.....	93

(iv)

59	プラセオジウム	98
60	ネオジウム	102
61	プロメチウム	105
62	サマリウム	110
63	ユウロピウム	115
64	ガドリニウム	121
65	テルビウム	125
66	ジスプロシウム	130
67	ホルミウム	133
68	エルビウム	137
69	ツリウム	140
70	イッテルビウム	145
71	ルテチウム	150
72	ハフニウム	156
73	タンタル	160
74	タングステン	165
78	白金	171
81	タリウム	176
85	アスタチン	180
87	フランシウム	182
89	アクチニウム	185
91	プロトアクチニウム	189
97	パークリウム	194
99	アインスタイニウム	198
100	フェルミウム	202
101	メンデレビウム	205

(v)

ICRP Publication 30, Part 1 と 2 への追補 208

ICRP Publication 30
Part 3 に対する補遺(主文)

付

ICRP Publication 30 Part 1-3 元素別データ索引

謝 辞

この報告書を作成した ICRP 専門委員会 2 の構成員は次の人々であった。

J. Vennart (委員長), W.J. Bair, L.E. Feinendegen, Mary R. Ford, A. Kaul, C.W. Mays, J.C. Nenot, B. Nosslin, P.V. Ramzaev, C.R. Richmond, R.C. Thompson および N. Veall。

専門委員会は、データの収集およびこの報告書の作成にあたって N. Adams と M.C. Thorne が引き受けて下さった多大の労に感謝の意を記し、また、吸入した放射性核種のデータを調査、検討された元専門委員の P.E. Morrow, および秘書として協力され、またデータの管理に非常に貴重な援助をされた Joan Rowley に感謝の意を表したい。

線量計算はオークリッジ国立研究所を中心とした次の課題グループによって行われた。

Mary R. Ford(委員長), S.R. Bernard, L.T. Dillman, K.F. Eckerman および Sarah B. Watson。

専門委員会 2 は、この骨の折れる仕事が遂行できたのは、この課題グループのおかげであることを記しておきたい。

序

この報告書に与えられているデータは、*ICRP Publication 30 Part 1¹⁾* に記述されている本文および線量算定用モデルと一緒に用いられるべきものである。この序で引用している章は Part 1 の章である。

スカンジウムの放射性同位体の年摂取限度 (ALI) の値を誘導するために、次のように仮定した。すなわち、スカンジウムの代謝データでは、通過コンパートメント中のこの元素の割合 0.4 が骨格に移行する。骨格中のスカンジウムは、皮質骨、梁骨および赤色骨髄にそれらの質量に比例して分布すると仮定する。赤色骨髄は第 7 章では線源器官とは考えていない。赤色骨髄中のスカンジウムの放射性同位体の線量算定については、Part 2 のインジウムの放射性同位体についてと同じ次の仮定がなされた。すなわち、赤色骨髄中に発生する光子については、吸収割合を Snyder ら²⁾ の報告の値とする。赤色骨髄中に発生する β 粒子については、赤色骨髄中の吸収割合 $AF (RM \leftarrow RM)$ を 1 と仮定し、骨表面全体の線量当量は赤色骨髄のその半分であるとする。

以下のページには、個々の元素の関連する代謝データと、それに続いて、その元素の放射性同位体で放射性半減期が 10 分より長いものについての ALI と DAC の値の表が示されている。記述されている代謝モデルは、その元素の安定同位体の化合物に関するものである。

文献に示されている残留データは、必要に応じ、問題としている放射性核種の放射性崩壊について補正を行った。胃腸管の吸収は個人個人でかなり変動するので、 f_1 の値すなわち胃腸管に入った後体液に達する安定元素の割合は、有効数字 1 個だけで示す (第 6 章, 6.2 節)。吸入については、ALI と DAC の値はその元素のいろいろな化合物にあてはまるそれぞれ異なる吸入のクラス (D,

W と Y) 別に示す (第 5 章)。

代謝データの中で、時間を記号 t で表してある場合には、特記してある場合を除いてその単位はつねに日である。

ALI (Bq) の値は、経口および吸入の経路で人体に入る場合について与えられている。吸入に関する限度は吸入の場合の ALI であること、そして、週 40 時間の労働についての DAC (Bq/m³) の値は便宜上示してあるにすぎず、つねに注意して使用すべきであることを強調しておく (第 3 章, 3.4 節)。吸入に関する ALI の値および DAC の値は、AMAD が 1 μm の粒子についてのものである。他のサイズの粒子についてこれらの値を補正する方法は、第 5 章, 5.5 節に記され、必要な数値データはこの Part の補遺に与えられている。

ALI の値がある特定の器官または組織の線量当量に対する非確率的限度によって決まる場合には、確率の影響を制限するための委員会の勧告を満足する年摂取量の最大値を、ALI の下に括弧をつけて示す。非確率的限度が適用される器官または組織名を、これらの 2 つの値の下に示す。ALI が確率的な限度によって決定される場合には、その値のみを示す (第 4 章, 4.7 節)。

ここに示される ALI と DAC の値はすべて職業上被曝する成人に関するものであり、ほかの目的には慎重に使用しなければならない (第 9 章)。

文 献

1. ICRP Publication 30, Part 1, *Limits for Intakes of Radionuclides by Workers*. *Annals of the ICRP*, 2(3/4), 1979.
2. Snyder, W.S., Ford, Mary R. and Warner, G.G. Estimates of specific absorbed fractions for photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. MIRD Pamphlet No. 5 Revised, Society of Nuclear Medicine (1978).

ベリリウムの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のベリリウム含有量	36 μg
軟組織のベリリウム含有量	27 μg
飲食物からの1日当たりの摂取量	12 μg

「標準人」の組織のベリリウム含有量および飲食物からのこの元素の1日当たりの摂取量は、ごくわずかのデータを基にしたものであること、および与えられているこれらの値はそれほど信頼性に富むものではないかもしれないことに、注意しなければならない。事実、以下に調査検討した実験データも、ベリリウムよりも重いアルカリ土類に関するデータとともに、骨格が人体のベリリウムの大部分を含有しているようであると示唆している。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

塩化物として投与したベリリウムの4つの異なる哺乳動物種の胃腸管からの吸収割合の平均値は0.006であると推定されている (Furchner, Richmond および London, 1973)。ラットについての実験において、Bugryshevら (1974) は、同じように塩化物として投与したこの元素の胃腸管からの吸収割合が、0.0014と0.0021の間にあると推定した。また同様の値が乳牛についての実験によって示されている (Mullenら, 1972)。硫酸ベリリウムとして投与したベリリウムのラットの胃腸管からの吸収割合の代表値も0.01またはそれより小さい

(Reeves, 1965)。この報告書では、この元素のすべての化合物について、 f_1 を 0.005 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) はベリリウムの酸化物、ハロゲン化合物および硝酸塩を吸入のクラスWに、またふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。しかし、いろいろの実験的研究 (Van Cleave と Kaylor, 1955; Reeves Vorwald, 1967; Suzuki ら, 1972; Sanders, Cannon および Powers, 1978) は酸化ベリリウムを吸入のクラスYに、また硫酸ベリリウムを吸入のクラスWに指定すべきことを示している。Van Cleave と Kaylor (1955) の初期の実験も、クエン酸塩の気管内点滴注入後の肺におけるベリリウムの残留に長期の成分があることを示している。

この報告書では、ベリリウムの酸化物、ハロゲン化合物および硝酸塩を吸入のクラスYに、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	0.005
Y	0.005

(c) 分布と残留

塩化物を静脈内に注射した後の体内のベリリウムの分布と残留はマウス、ラット、サルおよびイヌを用いて研究された (Furchner, Richmond および London, 1973)。これらの動物種の各々において、全身残留は、0.2日と1,800日の間の生物学的半減期をもつ3つの指数関数によってよく記述される。ベリリウムよりも重いアルカリ土類の場合と同様に、ベリリウムは主として骨に沈

着し残留する (Furchner, Richmond および London, 1973)。しかし、硫酸塩 (Van Cleave と Kaylor, 1953) または塩化物 (Mullen ら, 1972) を静脈内に注射した後の最初の数日間は、肝臓および脾臓のような骨以外の器官がこの元素を高濃度で含有する。肝臓および脾臓においてこのように高濃度になるのはおそらく血液タンパクとコロイドを急速に形成するためであろう (Van Cleave と Kaylor, 1953)。肺または胃腸管から全身の循環系に入ったベリリウムについては、肝臓および脾臓は沈着の器官としてたぶん無視してもよいであろう (Van Cleave と Kaylor, 1955; Reeves, 1965; Mullen ら, 1972)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくベリリウムのうち、0.4が無機質骨に移行し、0.2が人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくベリリウムの残りの割合は直接に排泄されると仮定する。骨に移行したベリリウムは、そこに1,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。他の任意の器官または組織に移行したベリリウムのうち、0.8と0.2の割合がそれぞれ15日と1,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するベリリウムの放射性同位体は ${}^7\text{Be}$ と ${}^{10}\text{Be}$ のみである。この両方の同位体は15日より長い放射性半減期をもっている。したがって、他のアルカリ土類との類推によって、ベリリウムのこれらの同位体は無機質骨に沈着した後いつでも無機質骨の体積全体に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bugryshev, P.F., Moskalev, Yu I. and Nozarova, V.A. (1974). Effect of an isotope carrier (^9Be) on the distortion of the ^7Be in the organs and tissues of rats. *Gig. Sanit.*, **6**, 43-47.
- Furchner, J.E., Richmond, C.R. and London, J.E. (1973). Comparative metabolism of radionuclides in mammals. VIII Retention of beryllium in the mouse, rat, monkey and dog. *Health Phys.*, **24**, 293-300.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Mullen, A.L., Stanley, R.E., Lloyd, S.R. and Moghissi, A.A. (1972). Radioberyllium metabolism by the dairy cow. *Health Phys.*, **22**, 17-22.
- Reeves, A.L. (1965). The absorption of beryllium from the gastrointestinal tract. *Arch. Environ. Health*, **11**, 209-214.
- Reeves, A.L., and Vorwald, A.J. (1967). Beryllium carcinogenesis II. Pulmonary deposition and clearance of inhaled beryllium sulfate in the rat. *Cancer Res.*, **27**, 446-451.
- Sanders, C.L., Cannon, W.C. and Powers, G.J. (1978). Lung carcinogenesis induced by inhaled high-fired oxides of beryllium and plutonium. *Health Phys.*, **35**, 193-199.
- Suzuki, M., Watanabe, S., Ohno, S., Hongo, S. and Ohata, T. (1972). Characteristics of body retention and excretion of some radioactive materials following the inhalation of their submicron aerosols, NIRS-Pu-7, pp. 14-24.
- Van Cleave, C.D. and Kaylor, C.T. (1953). Distribution and retention of carrier-free radioberyllium in the rat. *AMA Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.*, **7**, 367-375.
- Van Cleave, C.D. and Kaylor, C.T. (1955). Distribution, retention and elimination of ^7Be in the rat after intratracheal injection. *AMA Arch. Ind. Health*, **11**, 375-392.

ベリリウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経 口 $f_1=5\times 10^{-3}$	吸 入	
		クラスW	クラスY
		$f_1=5\times 10^{-3}$	$f_1=5\times 10^{-3}$
⁷ Be	2×10^9	8×10^8	7×10^8
¹⁰ Be	4×10^7 (4×10^7) 大腸下部壁	6×10^8	5×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=5\times 10^{-3}$	$f_1=5\times 10^{-3}$
⁷ Be	3×10^5	3×10^5
¹⁰ Be	2×10^3	2×10^3

炭素の代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体の炭素含有量	16 kg
脂肪組織の炭素含有量	9.6 kg
骨格筋の炭素含有量	3.0 kg
骨の炭素含有量	0.7 kg
飲食物からの 1 日当たりの摂取量	0.3 kg

黄色骨髄を含む脂肪組織の炭素濃度は全身の平均濃度の約 3 倍である。人体の他の器官または組織は安定炭素を有意な程度に濃縮することはない。

2. 代謝モデル

この報告書では、ALI は、 ^{11}C と ^{14}C で標識した有機化合物および ^{11}C と ^{14}C で標識した一酸化炭素と二酸化炭素のようなガスについてのみ与えられている。これらの ALI は炭素の他の多くの化合物については適切でないこと、またこれらの ALI は慎重に使用すべきであることを強調しておく。この報告書の使用者に対する指針として、炭素の他のいろいろな化合物の代謝についての多少の討論を含めてある。しかし、広範囲に文献を網羅して調査、検討することはしなかった。

(a) 血液への取り込み

食餌中の炭素の吸収割合はふつう 0.9 より大きい。しかし、コレステロー

ル、脂肪に可溶性ビタミン類、セルロースおよび多糖類のような食物中のいくつかの炭素含有化合物は吸収がより少ないかもしれない (Bell, Davidson および Emslie-Smith, 1972; ICRP, 1975, Clark と Harries, 1975; Ho ら, 1979)。食餌としてでなく投与された炭素の吸収割合は非常に変動しやすい。

シアン化カリウムとして (Crawley と Goddard, 1977) またはメタクリル酸メチル (Bratt と Hathway, 1977) として投与された場合は、ほとんど完全に吸収される。これに反して、ポリジエチル・スチルベストロール、オクタン酸、加水分解した、ポリアクリロニトリルでグラフト重合した*セルロースはほとんど吸収されない (ICRP, 1975; Lai ら, 1978)。

この報告書では、炭素の放射性同位体で標識した有機化合物について、 f_1 を 1 とする。

(b) 吸入のクラス

吸入のおそれのある炭素化合物には 3 つの主要な区分がある。すなわち有機化合物、一酸化炭素および二酸化炭素のようなガスおよび炭酸塩や炭化物のような化合物を含む炭素のエアロゾルである。

(i) 有機化合物

たいていの有機化合物はふつうの状況ではそれほど揮発しやすくはない。したがって、蒸気として吸入する確率は小さい。このような物質が吸入される場合には、トリチウムで標識した有機化合物のように、それらがいったん呼吸器系に入ると、化学形を変えることなく瞬間的に完全に全身の循環系に移行すると仮定するのが慎重な態度であろう。

(ii) ガス

一酸化炭素の吸入と体組織中の残留は広く研究されている。個人が一酸化炭

* 訳注 幹となる直鎖状重合体に任意の重合体の枝をつけて高分子化合物を作ること。グラフトはつぎ木する意。

素にさらされると、ガスの少量が組織中にとけ込む。このガスは組織水への溶解度が比較的小さいので、組織に吸収されたガスによる線量は、ヘモグロビンに結合したか、あるいは、それより少ない程度にチトクローム酸化酵素のような他の鉄—ヘムを含む化合物に結合した、一酸化炭素の残留による線量と比べて有意ではない (Göthert と Malorny, 1969; Luomanmäki と Coburn, 1969)。

カルボキシヘモグロビンの形成および解離についての研究 (Peterson と Stewart, 1970) は、血中の一酸化炭素の生物学的半減期が 150 分と 200 分の間にあることを示している。これと対照的に、 ^{14}CO をパルスの吸させた研究 (Weinreich ら, 1975) は、一酸化炭素が血中に残留して生物学的半減期が 210 分から 1,000 分以上にまで変化し、平均 600 分に近いことを示している。さらに、Peterson と Stewart (1970) のデータを、「標準人」(ICRP, 1975) の血中ヘモグロビン含有量と結びつけて用いると、吸入した一酸化炭素の約 0.4 がヘモグロビンと結合することになると推定することができる。この割合は、このガスをパルスの取り込ませた研究 (Menkes ら, 1970) から推定できる割合とよく一致している。

この報告書では、放射性一酸化炭素を吸入した場合、0.4 が瞬間的にヘモグロビンと結合し、0.6 がはき出されると仮定する。ヘモグロビンに結合した一酸化炭素は、人体のすべての器官および組織に均等に分布し、200 分の生物学的半減期で残留すると仮定する。この半減期は Peterson と Stewart (1970) の測定値に基づいて定めた。その理由は、この研究の対象となった人々は軽い運動をしており、これに反し、Weinreich ら (1975) が研究した人々は研究期間中休息をしていたからである。運動の程度が一酸化炭素の血中の残留を大きく左右するかもしれないことが注目される。

二酸化炭素の水における自由拡散係数は酸素のそれよりも少し小さいが、水への溶解度は 24 倍大きい。したがって、二酸化炭素は肺胞膜を酸素よりも約

30倍も速く通過する (Bell, Davidson および Emslie-Smith, 1972)。この点からみて、呼吸器系に入った二酸化炭素はすべて血中に移行すると仮定するのが妥当である。

血中の二酸化炭素はおもに重炭酸塩として存在する。さらに、全陰イオンは血漿中に見出されるナトリウムイオンと結合するには足りないので、結合した CO_2 は重炭酸ナトリウムとして存在するに相違ない (Bell, Davidson および Emslie-Smith, 1972)。したがって、吸入した CO_2 の人体内の残留は、静脈内に注射された重炭酸ナトリウムの残留についての研究から決定できる。

^{14}C で標識した重炭酸ナトリウムを静脈内に注射した13人の正常な被験者の研究 (Winchell ら, 1970) において、注射後の最初の120分間の重炭酸塩の全身残留は、 t を分で表して、

$$R(t) = 0.175e^{-0.693t/5} + 0.825e^{-0.693t/60}$$

でよく記述された。

しかし、動物実験 (Buchanan と Nakao, 1955; Jofte, 1967) は、 CO_2 を呼吸した後、生物学的半減期が10日あるいはそれを超える長期間の炭素の残留成分が組織中に少量あるかもしれないことを示している。このことは、 CO_2 として吸入された炭素のうちの少量の割合が生合成に組み込まれるか、あるいは骨の炭酸塩と交換するであろうから、予想されることである。上に検討した研究 (Winchell, 1970) から、吸入した CO_2 の約0.01より大きい部分が、そのような反応に関与することはないと推定される。

この報告書では、二酸化炭素として吸入された炭素は人体のすべての器官および組織に均等に分布し、その残留は次の残留式によって決定されると仮定する。

$$R(t) = 0.18e^{-0.693t/5} + 0.81e^{-0.693t/60} + 0.01e^{-0.693t/60000}$$

ここで t は分単位であり、60,000分は「標準人」(ICRP, 1975) から推定された食餌中の炭素に対する生物学的半減期である。この60,000分という半減期

は、CO₂ の吸入後組織に取り込まれる炭素のうちのわずかの割合が、食餌中の炭素を経口摂取した後に全身の循環系に入る炭素と同じように行動するであろう、という仮定に基づいている。

一酸化炭素と二酸化炭素以外の炭素を含むガスを吸入した場合の取り込みと残留は、この報告書では考察しない。

(iii) 炭酸塩と炭化物

特定の元素と結びついている炭酸塩または炭化物の形の炭素を含むエアロゾルはこの報告書では考察しない。しかし、肺におけるそれらの残留については、当該の元素に対する代謝データあるいは「肺動態課題グループ」の報告書(1966)からある程度洞察できるかもしれない。

(c) 分布と残留

炭素と 2 つの同位体、¹¹C と ¹⁴C のみをこの報告書で考察する。それらの放射性半減期が非常に異なるので、これらの同位体を別々に考察するほうが便利である。

¹¹C は 20.38 分の放射性半減期をもつ。それゆえ、この同位体は人体からわずかしか排泄されないであろう。このことは、静脈内に注射した ¹¹C で標識した重炭酸ナトリウムの残留の考察から説明される。この場合でさえ、Winchell ら (1970) が与えた残留関数は、¹¹C の 0.35 以上は減衰しないで人体から出ていくことはないことを示している。その短い放射性半減期の結果として、¹¹C は全身の循環系に入った後いつでも人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定することは合理的である。しかし、ある種の ¹¹C 標識物質、たとえばメチオニンや、ある精神活性薬剤に対してはこの仮定は成立しない (Comar ら, 1976; Mestelan, Crouzel および Comar, 1977; Berger ら, 1978) ことに注意しなければならない。

この報告書では、吸入または経口摂取した ¹¹C 標識化合物は、人体のすべて

の器官および組織に瞬間的に均等に分布し、そこに無限に残留すると仮定する。

^{14}C は 5,730 年の放射性半減期をもち、その放射性崩壊はこの報告書では無視できる。

「標準人」(ICRP, 1975) のデータは、食餌中の炭素の人体中における生物学的半減期が約40日であることを示唆している。しかし、いろいろな代謝産物に起源をもつ炭素の人体のいろいろな器官および組織中の残留はかなりの変動を示す。たとえば、フォールアウトに由来する ^{14}C にさらされた人々の死体解剖試料についての研究 (Harkness と Walton, 1972; Stenhouse と Baxter, 1977) は、骨のコラーゲンと骨の無機質中に 5 年を超える生物学的半減期で炭素が残留していることを示している。

6 人の患者にグリシン- $2-^{14}\text{C}$ を静脈内に注射した後 $^{14}\text{CO}_2$ の吐き出しを長期間にわたって調べた研究は、 ^{14}C の残留が 0.1 日, 1 日, 6 日および 70 日の生物学的半減期をもつ 4 つの成分からなることを実証している (Berlin と Tolbert, 1955)。生物学的半減期が 0.1 日, 0.6 日, 2 日および 17 日である残留の 4 つの成分が、いろいろな病気にかかっている患者にグリシンまたは酢酸塩を静脈内に注射した後に見出されている (Hellman ら, 1953)。

最近、DTPA (Crawley と Haines, 1979)、シアン化カリウム (Crawley と Goddard, 1977) およびメタノール (Crawley, 1977) を静脈内に注射した後のラットにおける ^{14}C の残留を長期にわたって調べた研究がある。これらの研究において、 ^{14}C の大部分は体内から非常に急速に喪失することが見出されているが、脂肪と筋肉について 126 日までの生物学的半減期をもつ残留成分が実証された。

この報告書では、吸入または経口摂取した ^{14}C 標識化合物は、人体のすべての器官および組織に瞬間的に均等に分布し、そこに 40 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

この仮定は、 ^{14}C 標識代謝産物については現実的な全身線量を与えるであろうし、また他の大部分の ^{14}C 標識化合物による全身線量については過大に評価するであろうと考えられる。

(d) マイクロドシメトリによる考察

あるトリチウム標識化合物と同じように、分裂中の細胞の DNA に特異的に取り込まれる、 ^{14}C -チミジンのような、 ^{14}C の特別な化合物がある。トリチウム標識化合物の場合は、その化合物にもよるが、該当する ALI の値はトリチウム水の ALI のわずか 0.02 ぐらいにしかならないであろうということが指摘された。しかし、 ^{14}C の崩壊による β 粒子の平均エネルギーは、 ^3H の崩壊による β 粒子の平均エネルギーの約 9 倍である。したがって、組織は、DNA に取り込まれた ^3H によって照射されるよりも、DNA に取り込まれた ^{14}C によっていっそう均等に照射される。 ^{14}C 標識細胞核の吸収線量を考察しても、(c) 節で論じたような、 ^{14}C 標識化合物による身体組織の平均線量を考察して得られた ALI の値よりもさらにきびしい ALI の値にならないことが示されるであろう (Feinendegen, 1979)。しかしながら、 β 線線量が唯一の考慮すべきものではなく、 ^3H -5-デオキシチシンの場合のように、原子の変換の効果がときには重要であるかもしれないということを注意すべきである (Feinendegen と Cronkite, 1977)。このような効果は、原子の変換効果が起こるかもしれない分子の位置に ^{14}C が特異的に入る場合にのみ重要であると考えられている。そのような位置を ^{14}C 標識化合物からの ^{14}C が占める確率は非常に小さい。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

^{14}C も ^{12}C もともに人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、その線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Berger, G., Mazière, M., Marazano, C. and Comar, D. (1978). Carbon 11 labelling of the psychoactive drug O-methyl-bufotenine and its distribution in the animal organism. *Eur. J. Nucl. Med.*, **3**, 101-104.
- Bell, G.H., Davidson, J.N. and Emslie-Smith, D. Textbook of physiology and biochemistry. Eighth Edition, Churchill Livingstone, Edinburgh, 1972.
- Berlin, N.I. and Tolbert, B.M. (1955). Metabolism of glycine- 2-C^{14} in man; V. Further considerations of pulmonary excretions of C^{14}O_2 . *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **88**, 386-389.
- Bratt, H. and Hathway, D.E. (1977). Fate of methyl methacrylate in rats. *Br. J. Cancer*, **36**, 114-119.
- Buchanan, D.L. and Nakao, A. (1955). Effect of growth and body size on fixed carbon turnover. *J. Biol. Chem.*, **200**, 407-416.
- Clark, M.L. and Harries, J.T. Absorption of lipids. In: *Intestinal Absorption in Man*, pp. 187-221 (eds. McColl, I. and Sladen, G.E. G.). Academic Press, London, 1975.
- Comar, D., Cartron, J.-C., Mazière, M. and Marazano, C. (1976). Labelling and metabolism of methionine-methyl- ^{14}C . *Eur. J. Nucl. Med.*, **1**, 11-14.
- Crawley, F.E.H. (1977). The metabolism and dosimetry of carbon-14 labelled compounds. In: *Proc. IVth Int. Cong. IRPA*, **2**, 425-428. Paris, April 1977.
- Crawley, F.E.H. and Goddard, E.A. (1977). Internal dose from carbon-14 labelled compounds. The metabolism of carbon-14 labelled potassium cyanide in the rat. *Health Phys.*, **32**, 135-142.
- Crawley, F.E.H. and Haines, J.W. (1979). The dosimetry of carbon-14 labelled compounds: the metabolism of diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA) in the rat. *Int. J. Nucl. Med. Biol.*, **6**, 9-15.
- Feinendegen, L.E. (1979). Radiation problems in fusion energy production. In: *Radiation Research, Proc. 6th Int. Cong. of Radiation Research*, pp. 32-45 (eds. Okada, S., Imamura, M., Terasima, T. and Yamaguchi, H.). Japanese Assoc. for Rad. Res., Tokyo.
- Feinendegen, L.E. and Cronkite, E.P. (1977). Effect of microdistribution of radio-nuclides on recommended limits in radiation protection, a model. *Curr. Top. Radiat. Res. Q.*, **12**, 83-99.

- Göthert, M. and Malorny, G. (1969). Zur verteilung von Kohlenoxid zwischen Blut und Gewebe. *Arch. Toxikol.*, **24**, 260-270.
- Harkness, D.D. and Walton, A. (1972). Further investigations of the transfer of bomb ^{14}C to man. *Nature*, **240**, 302-303.
- Hellman, L., Peacock, W., Eideinoff, M., Rosenfeld, R., Gallagher, T. and Dobriner, K. The metabolic fate of radioactive carbon labelled glycine and acetate in human. In: *Radioisotope techniques, medical and physiological applications*, **1**, 299-320. HMSO, 1953.
- Ho, C.Y., Miller, K.V., Savaiano, D.A., Crane, R.T., Ericson, K.A. and Clifford, A.J. (1979). Absorption and metabolism of orally administered purines in fed and fasted rats. *J. Nutr.*, **109**, 1377-1382.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Joftes, D.L. (1967). ^{14}C content of tissues of mice after prolonged breathing of $^{14}\text{CO}_2$ -contaminated air. *Radiat. Res.*, **31**, 541-542.
- Lai, C.W., Born, G.S., Kessler, W.V., Christian, J.E. and Adams, J.W. Jr. (1978). Synthesis of ^{14}C -labelled hydrolyzed polyacrylonitrile grafted cellulose and its metabolic fate. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **29**, 593-595.
- Luomanmäki, K. and Coburn, R.F. (1969). Effects of metabolism and distribution of carbon monoxide on blood and body stores. *Am. J. Physiol.*, **217**, 354-363.
- Menkes, H.A., Sera, K., Rogers, R.M., Hyde, R.W., Forster, R.E. II and DuBois, A.B. (1970). Pulsatile uptake of CO in human lung. *J. Clin. Invest.*, **49**, 335-345.
- Mestelan, G., Crouzel, C. and Comar, D. (1977). Synthesis and distribution kinetics in animals of [x - ^{14}C] 3,4-dimethoxyphenethylamine. *Int. J. Nucl. Med. Biol.*, **4**, 185-193.
- Peterson, J. E. and Stewart, R. D. (1970). Absorption and elimination of carbon monoxide by inactive young men. *Arch. Environ. Health*, **21**, 165-171.
- Stenhouse, M.J. and Baxter, M.S. (1977). Bomb ^{14}C as a biological tracer. *Nature* **267**, 828-832.
- Weinreich, R., Ritzl, F., Feinendegen, L.E., Schnippering, H. G. and Stöcklin, G. (1975). Fixation retention and exhalation of carrier-free ^{14}C -labelled carbon monoxide by man. *Rad. Environm. Biophys.*, **12**, 271-280.

Winchell, H.S., Stahelin, H., Kusubov, N., Slanger, B., Fish, M., Pollycove, M. and Lawrence, J.H. (1970). Kinetics of $\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-$ in normal adult males. *J. Nucl. Med.* **11**, 711-715.

炭素の同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度
DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)

標識有機化合物 ALI (Bq)		
放射性核種	経口	吸入
^{11}C	2×10^{10}	2×10^{10}
^{14}C	9×10^7	9×10^7

DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)	
放射性核種	吸入
^{11}C	6×10^6
^{14}C	4×10^4

一酸化炭素 ALI (Bq)	
放射性核種	吸入
^{11}C	4×10^{10}
^{14}C	6×10^{10}

DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)	
放射性核種	吸入
^{11}C	2×10^7
^{14}C	3×10^7

(20)

専門委員会 2 の報告

二酸化炭素
ALI (Bq)

放射性核種	吸 入
^{11}C	2×10^{10}
^{14}C	8×10^9

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入
^{11}C	1×10^7
^{14}C	3×10^6

マグネシウムの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のマグネシウム含有量	19 g
軟組織のマグネシウム含有量	7.8 g
骨格のマグネシウム含有量	11 g
飲食物からの1日当たりの摂取量	0.34 g

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

食餌中に含まれているマグネシウムの胃腸管からの吸収割合の代表値は0.2—0.7である(Wacker と Vallee, 1962; Shils, 1973; Schwartz, Spencer および Wentworth, 1978)。この変動のほとんどすべては、食餌中のマグネシウムのレベルが異なることに起因することが最近の研究によって示された。吸収は、マグネシウムの0.3ミリモルの経口摂取に対する 0.70 ± 0.11 から、41.7ミリモルの経口摂取に対する 0.14 ± 0.04 まで変動した(Roth と Werner, 1979)。この報告書では、マグネシウムのすべての化合物について、 f_1 を0.5とする。

(b) 吸入のクラス

ICRPの「肺動態課題グループ」(1966)は、マグネシウムの酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラスWに、またこの元素

のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。適切な実験データがないので、ここではこの分類を採用する。

吸入のクラス	f_i
D	0.5
W	0.5
Y	—

(c) 分布と残留

安定マグネシウムは無機質骨に濃縮することが知られている (Wacker と Vallee, 1962; ICRP, 1975)。無機質骨は、欠乏時に軟組織の要求に応ずる長期間の貯蔵所の役割を果たすと考えられている (Wacker と Vallee, 1962)。

ヒトについての研究 (Silver ら, 1960; Yun ら, 1966; Roessler, 1972) は、ヒトについて0.25日と35日の間の生物学的半減期をもつマグネシウムの残留成分を示している。しかし、長期の残留はたぶん食餌中の安定マグネシウムのレベルに左右されるであろう (Shils, 1973)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくマグネシウムのうち0.2が直接に排泄され、0.4が無機質骨に、0.4が人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。無機質骨を含めて人体の任意の器官または組織に移行したマグネシウムは、そこに100日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するマグネシウムの同位体はいずれも、1日より長い放射性半減期をもたないので、マグネシウムは無機質骨に沈着した後いつでも無機質骨の表面に均等に分布していると仮定するのが妥当である。

文 献

- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Roessler, G. M. S. (1972). Whole-body retention and excretion of magnesium in humans, Ph. D. Thesis, University of Florida, University Microfilms Order No. 73965.
- Roth, P. and Werner, E. (1979). Intestinal absorption of magnesium in man. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **30**, 523-526.
- Schwartz, R., Spencer, H. and Wentworth, R. A. (1978). Measurement of magnesium absorption in man using stable ^{26}Mg as a tracer. *Clin. Chim. Acta*, **87**, 265-273.
- Shils, M.E. Magnesium. In: *Modern Nutrition in Health and Disease—Dietotherapy, 5th edn, Part B, Chap. 6* (eds. Goodhart, R.S. and Shils, M.E.). Lea and Febiger, Philadelphia, 1973.
- Silver, L., Robertson, J.S., Dahl, L.K., Heine, M. and Tassinari, L. (1960). Magnesium turnover in the human studied with ^{26}Mg . *J. Clin. Invest.*, **39**, 420-425.
- Wacker, W. E. C. and Vallee, B.L. Magnesium. In: *Mineral Metabolism*, Vol. II, Part A, Chap. 22, pp. 483-521 (eds. Comar, C. L. and Bronner, F.). Academic Press, New York and London, 1962.
- Yun, T.K., Lazzara, R., Black, W. C., Walsh, J.J. and Burch, G. E. (1966). The turnover of magnesium in control subjects and in patients with idiopathic cardiomyopathy and congestive heart failure studied with magnesium-28. *J. Nucl. Med.*, **7**, 177-187.

マグネシウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)			
	経 口	吸 入	
		クラスD	クラスW
放射性核種	$f_1=5 \times 10^{-1}$	$f_1=5 \times 10^{-1}$	$f_1=5 \times 10^{-1}$
²⁸ Mg	2×10^7	6×10^7	5×10^7

DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)		
	吸 入	
	クラスD	クラスW
放射性核種	$f_1=5 \times 10^{-1}$	$f_1=5 \times 10^{-1}$
²⁸ Mg	3×10^4	2×10^4

アルミニウムの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のアルミニウム含有量	61 mg
軟組織のアルミニウム含有量	40 mg
骨格のアルミニウム含有量	21 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	45 mg

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

アルミニウムの胃腸管からの吸収割合は、たぶん0.01を超えないであろうという一般的な合意がある(ICRP, 1975, Underwood, 1977; BerlyneとRubin, 1977; Kaehny, Hegg および Alfrey, 1977)。この報告書では、この元素のすべての化合物について、 f_i を0.01とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) はアルミニウムの酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラスWに、ふつうに存在するこの元素のその他すべて化合物を吸入のクラスDに指定した。ラットとハムスターについてのデータ(Klosterkotter, 1960; Christie, MacKay および Fisher, 1963) は、この分類を支持しており、ここではそれを採用する。さらに、金属アルミニウムは吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_i
D	0.01
W	0.01
Y	—

(c) 分布と残留

肺と骨格における安定アルミニウムの濃度は、人体の残りの部分よりも高い (ICRP, 1975)。しかし、肺の高濃度は、自然の塵埃中あるいは産業による降下塵中のアルミニウムの吸入によるのかもしれない (ICRP, 1975, Underwood, 1977)。ラットでは、塩化物として静脈内に注射した ^{28}Al は肝臓に急速に取り込まれた (Kushelevsky ら, 1976)。これはおそらく不溶性コロイドが形成され、それが網内系によって隔離された結果であろう。この理由は、ラットに $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ を 1% 含有する食餌を与えた実験において、この元素が骨格以外のいずれの器官あるいは組織にも選択的に濃縮されなかったことが示されているからである (Berlyne ら, 1972)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくアルミニウムのうち、0.3 が無機質骨に移行し、0.7 が人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官または組織に沈着したアルミニウムは、そこに 100 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。この 100 日という値は、「標準人」(ICRP, 1975) によって与えられたこの元素の 1 日当たりの摂取量と全身含有量に矛盾しない値である。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

骨格中のアルミニウムの分布について入手しうるデータはないようである。ランタニドのように、アルミニウムのおもな原子価状態は 3+ であるので、この元素の同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布してい

ると仮定する。

文 献

- Berlyne, G.M., Ben Ari, J., Knopf, E., Yagil, R., Weinberger, G. and Danovitch, G.M. (1972). Aluminium toxicity in rats. *Lancet*, **ii**, 564-568, 11 March.
- Berlyne, G.M. and Rubin, J.E. (1977). Aluminium ion: metabolism and toxicity. *J. Human Nutr.*, **31**, 439-442.
- Christie, H., MacKay, R.J. and Fisher, A.M. (1963). Pulmonary effects of inhalation of aluminium by rats and hamsters. *Am. Ind. Hyg. J.*, **24**, 47-56.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics, 1966. Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Kaehny, D., Hegg, A.P., Alfrey, A.C. (1977). Gastrointestinal absorption of aluminium from aluminium-containing antacids. *N. Engl. J. Med.*, **296**, 1389-1390.
- Klosterkotter, W. (1960). Effects of ultramicroscopic gamma-aluminium oxide on rats and mice. *AMA Arch. Ind. Health*, **21**, 459.
- Kushelevsky, A., Yagil, R., Alfasi, Z. and Berlyne, G.M. (1976). Uptake of aluminium ion by the liver. *Biomedicine*, **25**, 59-60.
- Underwood, E.J. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, 4th edn. Academic Press, London, 1977.

アルミニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)			
	経 口	吸 入	
		クラスD	クラスW
放射性核種	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
²⁶ Al	1×10^7	2×10^6	3×10^6

DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)		
	吸 入	
	クラスD	クラスW
放射性核種	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
²⁶ Al	1×10^3	1×10^3

ケイ素の代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のケイ素含有量	与えられていない
血液のケイ素含有量	140 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	3.5 mg
空气中に浮遊するケイ素の1日当たりの摂取量	~15 mg

「標準人」における安定ケイ素の分布についてのデータは限られているが、King と Belt (1938) が調査検討したデータは、この元素が肺および気管支周囲のリンパ腺を除くすべての器官および組織に均等に分布していることを示している。肺および胸部リンパ節の高濃度はケイ素を含む塵埃の吸入のために生じたのである。Iyengar, Kollmer および Bowen (1978) のデータは、ケイ素の全身含有量は1 g と 3 g の間にあることを示している。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

食餌中のケイ素は、一ケイ酸、固体ケイ素、およびペクチンとムコ多糖類のような有機物と結合した形で胃腸管に入る (Underwood, 1977)。モルモット、ヒツジおよびウシについてのいろいろの研究 (Sauer, Laughland および Davidson, 1959; Nottle と Armstrong, 1966; Bailey, 1967) は、 SiO_2 あるいは食餌中のケイ素の胃腸管からの吸収割合の代表値が、 3×10^{-3} と 3×10^{-2} の範囲内にあり、大きい方の吸収割合がケイ素の少ない食餌を与えた動物について

の研究で見られたことを示している。

ヒトにおける収支の最近の研究では、ケイ素が繊維の少ない食餌の一部として経口摂取された場合には、食餌中のケイ素の吸収割合が 0.5 にもなりうることが示された (Kelsay, Behall および Prather, 1979)。この報告書では、ケイ素のすべての化合物について、 f_1 を 0.01 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) はケイ素の酸化物、水酸化物、炭化物および硝酸塩を吸入のクラス W に、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。ラットについての実験データ (ICRP, 1966) は、この分類を支持する傾向にあり、ここではこの分類を採用する。

溶融粘土粒子を使ったいろいろの研究 (Bailey, Hostford および Strong, 1977, Bailey ら, 1978) は、アルミノケイ酸ガラスのエロゾルとして吸入したケイ素が吸入のクラス Y に指定されるべきであることを示している。

吸入のクラス	f_1
D	0.01
W	0.01
Y	0.01

(c) 分布と残留

ゲルマニウムのように、ケイ素は全身の循環系に入った後の初期段階では、人体のすべての器官および組織にかなり均等に分布するように思われる。(Mehard と Volcani, 1975)。しかし、マウス (Holt, 1950)、モルモット (Sauer, Laughland および Davidson, 1959) についての実験は、ケイ素がゲルマニウムよりも体内にかなり長く残留することを示している。モルモットについての実験では、それぞれ約 5 日と 100 日の生物学的半減期をもつ 2 つの成分の残留

が見出されている。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくケイ素は人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官または組織に沈着したケイ素のうち、0.4と0.6の割合がそれぞれ5日と100日の生物学的半減期で残留すると仮定する。吸入したケイ素が肺から全身の循環系へ移行することを考慮するならば、この残留関数は Iyengar, Kollmer および Bowen の文献から推定された全身中のケイ素含有量と矛盾しない。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ケイ素は骨の無機質化の過程に関係があることが知られているけれども、特定の成長部位に取り込まれているにすぎないようであって、成熟した燐灰石には何ら大量には存在しない (Underwood, 1977)。したがって、ケイ素は骨の無機質化と軟骨形成には基本的に重要であるが、骨格にはおそらく有意な程度に濃縮されることはないであろう。この報告書では、ケイ素は人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。それゆえ、骨の線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Bailey, C. B. (1967). Silica excretion in cattle fed a ration predisposing to silica urolithiasis; total excretion and diurnal variations. *Am. J. Vet. Res.*, **28**, 1743-1749.
- Bailey, M. R., Hostford, J. E. and Strong, J. C. (1977). Solubility *in vitro* and *in vivo* of fused montmorillonite clay particles. *NRPB Annual Research and Development Report* 1976, pp. 56-58.
- Bailey, M. R., Smith, H., Strong, J. C. and Hostford, J. E. (1978). Inhalation of monodisperse yttrium-88 labelled fused montmorillonite clay particles by rats. *NRPB Annual Research and Development Report* 1977, pp. 84-87.
- Holt, P. F. (1950). The fate of siliceous dusts in the body. I. A comparison of the *in vivo* solubilities of cement, carborundum, quartz, and moulding sand.

- Brit. J. industr. Med.*, **7**, 12-16.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Iyengar, G.V., Kollmer, W.E. and Bowen, H.J.M. *The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids*. Verlag Chemie, Weinheim, 1978.
- Kelsay, J.L., Behall, K.M. and Prather, E.S. (1979). Effect of fibre from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. II. Calcium, magnesium, iron and silicon balances. *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1876-1880.
- King, E. J. and Belt, T. E. (1938). The physiological and pathological aspects of silica. *Physiol. Revs.*, **18**, 329-365.
- Mehard, C. W. and Volcani, B. E. (1975). Similarity in uptake and retention of trace amounts of ³¹silicon and ⁶⁹germanium in rat tissues and cell organelles. *Bioinorg. Chem.*, **5**, 107-124.
- Nottle, M. C. (1966). Silica metabolism of the merino sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, **17**, 175-182.
- Nottle, M.C. and Armstrong, J.M. (1966). Urinary excretion of silica by grazing sheep. *Aust. J. Agric. Res.*, **17**, 165-173.
- Sauer, F., Laughland, D. H. and Davidson, W. M. (1959). The silica content of guinea pig tissues as determined by chemical and isotopic techniques. *Can. J. Biochem. Physiol.*, **37**, 1173-1181.
- Underwood, E. J. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, 4th edn. Academic Press, London, 1977.

ケイ素の同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経 口	吸 入		
		クラスD	クラスW	クラスY
		$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
³¹ Si	3×10^8	9×10^8	1×10^9	1×10^9
³² Si	8×10^7 (1×10^8) 大腸下部壁	9×10^6	4×10^6	2×10^5

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入		
	クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
³¹ Si	4×10^5	5×10^5	4×10^5
³² Si	4×10^3	2×10^3	8×10^1

スカンジウムの代謝データ

1. 代 謝

スカンジウムに関しては「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

スカンジウムの胃腸管からの吸収に関するデータはわずかしかないようである。この元素は、 ^{46}Sc で標識した砂 (Miller, Byrne および Lyke, 1972) として、あるいは塩化スカンジウム (Miller と Byrne, 1970) として投与した場合には、ほとんど吸収されないようである。イットリウムとの類推から、この報告書では、この元素のすべての化合物について f_1 を 10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

イヌについての実験から得られたデータは、 ScCl_3 および $\text{Sc}(\text{OH})_3$ が700日を超える生物学的半減期で肺に残留することを示している (Morrow ら, 1979)。この報告書では、ふつうに存在するスカンジウムのすべての化合物を吸入のクラス Y に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	—
Y	10^{-4}

(c) 分布と残留

静脈内および筋肉内に注射されたスカンジウムは、肝臓、腎臓、脾臓、骨に選択的に沈着し、またある程度は肺に沈着することを、いろいろな研究が示している (Durbin, 1960; Rosoff ら, 1963; Rosoff ら, 1965; Hara と Freed, 1972; Byrd ら, 1975; Lachine ら, 1976)。しかし、分布の詳細はそれぞれの実験によってかなり異なる。注射後のコロイド形成は、この違いを生じさせる原因の1つと思われるが、それで全部を説明できるとは考えられない (Byrd ら 1975)。

ヒトにおけるスカンジウムの全身残留が、 ^{46}Sc のノトリロ三酢酸塩を静脈内に注射した後、584日間にわたって研究された (Rosoff ら, 1965)。注射されたスカンジウムの0.1および0.9の割合が、それぞれ、5日および1,500日の生物学的半減期で体内に残留することが、これらの研究でわかった。さらに、調べた患者のうちの3人の死体解剖データから、スカンジウムはおもに脾臓、肝臓および骨格に残留することが示された。ラットについての実験 (Byrd ら, 1975) により、静脈内に注射されたスカンジウムの大部分は体内に長期間残留することが確認されている。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくスカンジウムのうち、0.4、0.3および0.1の割合が、それぞれ、骨格、肝臓および脾臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントから出ていくスカンジウムの残りの割合は、人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官または組織に沈着したスカンジウムのうち、0.1および0.9の割合が、それぞれ、5日および1,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のスカンジウムはこの報告書では考察しない。これらの代謝は、その他の形のスカンジウムの代謝とかなり異なっている (Lachine, Noujaim,

Ediss および Wiebe, 1976)。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ウサギについて行ったオートラジオグラフィによる研究は、クエン酸塩を静脈内に注射してから18時間後では、骨格中にあるスカンジウムが、無機質骨よりもむしろ骨髄におもに結合していることを示している(Hara と Freed, 1973)。ラットでは、クエン酸塩を静脈内に注射してから11か月後に、骨と骨髄のスカンジウムの濃度が非常に似ている (Byrd, Watson, Cloutier および Hayes, 1975)。放射線防護の目的には、スカンジウムのすべての同位体は、骨格にそれらが沈着した後いつでも骨および骨髄全体に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Byrd, B.L., Watson, E.E., Cloutier, R.J. and Hayes, R.L. (1975). Effect of stable scandium on the long-term whole body retention of intravenously administered ^{46}Sc citrate in the rat. *Health Phys.*, **29**, 375-379.
- Durbin, P.W. (1960). Metabolic characteristics within a chemical family. *Health Phys.*, **2**, 225-238.
- Hara, T. and Freed, B.R. (1973). Preparation of carrier-free ^{47}Sc by chemical separation from ^{47}Ca and its distribution in tumor-bearing mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **24**, 373-376.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Lachine, E.E., Noujaim, A.A., Ediss, C. and Wiebe, L.I. (1976). Toxicity, tissue distribution and excretion of $^{46}\text{ScCl}_3$ and ^{46}Sc -EDTA in mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **27**, 373-377.
- Miller, J.K. and Byrne, W.F. (1970). Comparison of scandium-46 and cerium-144 as nonabsorbed reference materials in studies with cattle. *J. Nutr.*, **100**, 1287-1292.
- Miller, J. K., Byrne, W. F. and Lyke, W.A. (1972). Comparison of faecal excre-

- tions of scandium-46 tagged sand and soluble cerium-144 by calves. *Health Phys.*, **22**, 461-465.
- Morrow, P.E., Gibb, F.R., Beiter, H. and Kilpper, R.W. (1979). Pulmonary retention of neutron activated coal dust. *Arch. Environ. Health*, **34**, 178-183.
- Rosoff, B., Siegel, E., Williams, G. L. and Spencer, H. (1963). Distribution and excretion of radioactive rare-earth compounds in mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **14**, 129-135.
- Rosoff, B., Spencer, H., Cohn, S.H., Gusmano, E.A. (1965). Metabolism of scandium-46 in man. *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **16**, 479-485.

スカンジウム同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経 口	吸 入
		クラス Y
	$f_1=1 \times 10^{-4}$	$f_1=1 \times 10^{-4}$
⁴³ Sc	3×10^8	8×10^8
^{44m} Sc	2×10^7	3×10^7
⁴⁴ Sc	1×10^8	4×10^8
⁴⁶ Sc	3×10^7	9×10^6
⁴⁷ Sc	8×10^7 (1×10^5) 大腸下部壁	1×10^8
⁴⁸ Sc	3×10^7	5×10^7
⁴⁹ Sc	8×10^8	2×10^9

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
		吸 入
		クラス Y
		$f_1=1 \times 10^{-4}$
⁴³ Sc		4×10^5
^{44m} Sc		1×10^4
⁴⁴ Sc		2×10^5
⁴⁶ Sc		4×10^3
⁴⁷ Sc		5×10^4
⁴⁸ Sc		2×10^4
⁴⁹ Sc		8×10^5

チタンの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

軟組織のチタン含有量	9 mg
肺のチタン含有量	2.4 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	0.85 mg

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

チタンのヒトの尿中への1日当たりの排泄量は、 $10 \mu\text{g}$ (Perry と Perry, 1959) および $340 \mu\text{g}$ (Tipton, Stewart および Martin, 1966) というように、種々様々に報告されている。後者の研究では、2名ともチタンの収支が負で、その尿中チタンは、おもに、もともと体内にあったこの元素の貯蔵分に由来しているようである (Underwood, 1977)。もし $10 \mu\text{g}$ という値を代表値とすると、食餌に由来するチタンの吸収割合は、たぶん、約 0.01 になるであろう。0.01 という吸収割合は、ヒツジに塩化チタンを経口摂取させた実験によっても得られた (Miller, Madsen および Hansard, 1976)。この報告書では、チタンのすべての化合物について f_1 を 0.01 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、チタンの酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラス W に、そしてふつうに存在

するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。この分類は、 TiO_2 吸入後のラットにおける残留に関する実験 (Ferin, 1971; Ferin と Leach, 1973; Ferin と Feldstein, 1978) によって裏づけられている。しかし、 $SrTiO_3$ についての実験データは、この化合物が吸入のクラス Y に指定されるべきであることを示唆している (Fish ら, 1964)。この報告書では、 $SrTiO_3$ を吸入のクラス Y に、チタンの酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラス W に、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定する。

吸入のクラス	f_i
D	0.01
W	0.01
Y	0.01

(c) 分布と残留

安定チタンは、肺を除き、人体のすべての器官および組織にかなり均等に分布している (ICRP, 1975)。肺中にしばしば高レベルで見出されるチタンは、おそらく、チタンを含む塵埃の吸入に由来しているであろう (Underwood, 1977)。

静脈内に $TiCl_4$ を注射し、48時間後に殺した子ヒツジでは、チタンのうち約 0.25 が骨格に、0.18 が血液に、0.13 が骨格筋に、そして 0.11 が体内の諸器官に見出された (Miller, Madsen および Hansard, 1976)。チタンを飲料水に加えて慢性的に与えたマウスでは、調査したどの組織も、認められるほどには、この元素を選択的に濃縮することがないようであった (Schroeder, Balassa および Tipton, 1963)。

子ヒツジでは、静脈内注射したチタンのうち、わずかに約 0.04 が注射後の最初の 2 日間に排泄される (Miller, Madsen および Hansard, 1976)。「標準人」

(ICRP, 1975) についてのチタンの人体含有量と1日当たりの摂取量を、0.01 という f_1 の値とともに用いると、チタンの人体における生物学的半減期が約600日であることが示唆される。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくチタンは、人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定し、これらの器官および組織に600日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

チタンは人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Ferin, J. (1971). Papain-induced emphysema and the elimination of TiO_2 particulates from the lungs. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **32**, 157-162.
- Ferin, J. and Feldstein, M. L. (1978). Pulmonary clearance and hilar lymph node content in rats after particle exposure. *Environ. Res.*, **16**, 342-352.
- Ferin, J. and Leach, L. J. (1973). The effect of SO_2 on lung clearance of TiO_2 particles in rats. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **34**, 260-263.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Miller, J.K., Madsen, F.C. and Hansard, S. L. (1976). Absorption, excretion and tissue deposition of titanium in sheep. *J. Dairy Sci.*, **59**, 2008-2010.
- Perry, H.M.Jr. and Perry, E.F. (1959). Normal concentrations of some trace metals in human urine: changes produced by ethylenediaminetetraacetate. *J. Clin. Invest.*, **38**, 1452-1463.
- Schroeder, H.A., Balassa, J.J. and Tipton, I.H. (1963). Abnormal trace metals in man: titanium. *J. Chron. Dis.*, **16**, 55-69.
- Tipton, I.H., Stewart, P.L. and Martin, P.G. (1966). Trace elements in diets and excreta. *Health Phys.*, **12**, 1683-1689.

Underwood, E.J. *Trace elements in human and animal nutrition*, 4th edn. Academic Press, London, 1977.

チタンの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入			
	経 口	クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
⁴⁴ Ti	1×10^7	4×10^5	1×10^6	2×10^5
⁴⁶ Ti	3×10^8	9×10^8	1×10^9	1×10^9

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入		
	クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
⁴⁴ Ti	2×10^2	4×10^2	9×10^1
⁴⁶ Ti	4×10^5	5×10^5	4×10^5

バナジウムの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

脂肪組織のバナジウム含有量	22 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	2 mg

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

「標準人」(ICRP, 1975) のデータは、食餌中のバナジウムの胃腸管からの吸収割合が約0.01であることを示している。さらに、ウサギについての実験 (Curran と Costello, 1956) も $\text{VOSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ として投与されたバナジウムの吸収割合が約0.01であることを示している。しかし、ヒトについての研究 (Curran, Azarnoff および Bolinger, 1959) は、オキシタルトратバナジウム酸二アンモニウムとして投与されたバナジウムの吸収割合が著しく変動し、 7×10^{-6} から 2×10^{-3} までの範囲にあることを示している。

この報告書では、バナジウムのすべての化合物について f_1 を0.01とするが、この元素のいくつかの化合物について、その胃腸管吸収を過大に評価しそうであることは認める。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、バナジウムの酸化物、水酸化物、炭化物およびハロゲン化物を吸入のクラスWに、そしてふつうに存在する

この元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。VOCl₂を気管内に点滴注入した後、ラットの肺からのバナジウムの移行を調べた実験(Pépin, Bouley および Boudene, 1977) は、この分類を裏づけており、ここでは、この分類を採用する。

吸入のクラス	f_1
D	0.01
W	0.01
Y	—

(c) 分布と残留

静脈内に ⁴⁸V₂O₅ を注射したマウスについての実験 (Söremark と Üllberg, 1961) では、バナジウムの全身含有量の約 0.7 が、注射後 1 日から 21 日の間に骨格中に見出された。ウサギでは、メタバナジウム酸ナトリウム一水化物を毎日繰り返し静脈内に注射した後に、バナジウムの全身含有量の約 0.8 が骨格中に見出された (Talvitie と Wagner, 1954)。しかし、ラットに ⁴⁸VO₂ を静脈内注射によって投与した実験 (Hopkins と Tilton, 1966) では、注射してから最初の 96 時間は、バナジウムの腎臓、精巣、肝臓および脾臓中の濃度が、体内のその他の器官および組織中の濃度より高かった。

マウスおよびラットについての実験 (Talvitie と Wagner, 1954; Söremark と Üllberg, 1961; Hopkins と Tilton, 1966; Ordzhonikidze ら, 1977; Pépin, Bouley および Boudene, 1977) は、静脈内あるいは腹腔内に注射したバナジウムの 0.5 ないし 0.8 が注射後最初の 24 時間以内に排泄されるが、残りは非常にゆっくりとしか排泄されないことを示している。「標準人」(ICRP, 1975) のデータは、この長期残留の成分が、たぶん、5,000 日を超える生物学的半減期をもつことを示唆している。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくバナジウムのうち、0.7

が直接に排泄され、0.25が無機質骨に移行し、そして0.05が人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に沈着したバナジウムは、そこに10,000日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

骨格中のバナジウムの分布に関して利用できる適切なデータはないようである。この報告書では、330日の放射性半減期をもつ⁴⁹Vは、無機質骨に沈着した後いつでも無機質骨の体積全体に均等に分布していると仮定する。バナジウムのその他すべてのより短寿命の同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Curran, G. L., Azarnoff, D. L. and Bolinger, R. E. (1959). Effect of cholesterol synthesis inhibition in normocholesteremic young men. *J. Clin. Invest.*, **38**, 1251-1261.
- Curran, G. L. and Costello, R. L. (1956). Reduction of excess cholesterol in the rabbit aorta by inhibition of endogenous cholesterol synthesis. *J. Exp. Med.*, **103**, 49-56.
- Hopkins, L. L. Jr. and Tilton, B.E. (1966). Metabolism of trace amounts of vanadium-48 in rat organs and liver subcellular particles. *Am. J. Physiol.*, **211**, 169-172.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Ordzhonikidze, E.K., Roschin, A.V., Shalganova, I.V., Bogomazov, M. Ya and Kazimov, M.A. (1977). On the distribution and elimination of vanadium from the organism. *Gig. Tr. Prof. Zabol.*, **6**, 29-34.
- Pépin, G., Bouley, G. and Boudene, C. (1977). Etude toxicométrique du vanadium

après administration au rat par les voies intramusculaires et intracheales. C. R. Acad. Sci. Paris, 285, 451-454.

Söremark, R. and Üllberg, S. (1961). Distribution and kinetics of $^{48}\text{V}_2\text{O}_5$ in mice. In: *Proceedings of a symposium on the use of radioisotopes in animal biology and the medical sciences*, pp. 103-114, Mexico City.

Talvitie, N. A. and Wagner, W. D. (1954). Studies in vanadium toxicology, II. Distribution and excretion of vanadium animals. *AMA Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.*, 9, 414-422.

バナジウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度 DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)		
	経 口	吸 入	
		クラス D	クラス W
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
^{47}V	1×10^9 (1×10^9) 胃 壁	3×10^9	4×10^9
^{48}V	2×10^7	4×10^7	2×10^7
^{49}V	3×10^9 (3×10^9) 大腸下部壁	1×10^9 (1×10^9) 骨表面	7×10^8

DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラス D	クラス W
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
^{47}V	1×10^6	2×10^6
^{48}V	2×10^4	9×10^3
^{49}V	5×10^5	3×10^5

ニッケルの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のニッケル含有量	10.0 mg
軟組織のニッケル含有量	5.3 mg
骨格のニッケル含有量	<5.0 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	0.4 mg

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

食餌中のニッケルの胃腸管からの取り込み割合は、Horak と Sunderman のデータ (1973) が f_1 の値を 0.01 と示しているように、小さいと考えられる (ICRP, 1975; Underwood, 1977)。しかし、0.5 にもなる f_1 の値もときには報告されている (ICRP, 1975; Veterans Administration Hospital, 1977)。酸化ニッケルの胃腸管からの吸収割合は、たぶん、0.01 よりも小さいであろう (Wehner と Craig, 1972)。この報告書では、この元素のすべての化合物について f_1 を 0.05 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、ニッケルの酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、炭化物および硝酸塩を吸入のクラスWに、そしてこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。NiO を吸入させたハムスタ

ーについての実験結果 (Wehner と Craig, 1972) は、この分類を裏づけている。しかし、Ziemer と Carvalho による最近のデータ (1980) は、塩化ニッケルを吸入のクラス D に指定し直すべきことを示唆している。この報告書では、ニッケルの酸化物、水酸化物および炭化物を吸入のクラス W に指定し、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	0.05
W	0.05
Y	—

細かく砕いたニッケルあるいはその化合物が一酸化炭素と接触すると、ニッケルカルボニル $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ の蒸気を生成する。吸入後、ニッケルカルボニルは肺からほとんど完全に吸収される (Tedeschi と Sunderman, 1957; Sunderman と Selin, 1968; Committee on medical and biologic effects of environmental pollutants, 1975)。しかし、マウスについてのオートラジオグラフィによる研究は、ニッケルカルボニルとして吸入されたニッケルが、全身の循環系に入る前に、肺実質の表面に少なくともわずかな期間は残留することを示している (Oskarsson と Tjälve, 1977)。ニッケルカルボニルとして全身の循環系に入ったニッケルは、赤血球内およびその他の組織内で Ni^* と CO に分解される。この Ni^* は細胞内で Ni^{2+} に酸化され、血清中に放出される。そして血清中で、静脈内注射されたニッケル化合物と同様な挙動をする (Committee on medical and biologic effects of environmental pollutants, 1975)。この報告書では、ニッケルカルボニルとして呼吸器系内に入ったニッケルは、すべてそこに沈着し、その後、0.1 日の生物学的半減期で通過コンパートメントに移行すると仮定する。通過コンパートメントに入った後は、ニッケルのその他の無

* 訳注 原子価 0 の状態のニッケル。

機化合物についての代謝モデルがあてはまると仮定する。

(c) 分布と残留

マウス、ラットおよびウサギでは、ニッケルは腎臓に選択的に沈着する (Smith と Hackley, 1968; Parker と Sunderman, 1974; Jacobsen, Alfheim および Jonsen, 1978; Olsen と Jonsen, 1979)。しかし、「標準人」(ICRP, 1975) のデータは、安定ニッケルの腎臓中の濃度が、軟組織全体の平均濃度と同程度であることを示している。静脈内あるいは腹腔内の注射後早期のニッケルの高い腎臓中濃度は、この元素の尿中への急速な排泄のためであるとするのは、たぶん、適切なことであろう (Smith と Hackley, 1968; Onkelinx, Becker および Sunderman, 1973; Olsen と Jonsen, 1979)。

ラットでは、塩化物として投与された、ニッケルの1回の静脈内注射量のうち0.5ないし0.8の割合が、注射後最初の12時間に排泄される。この初期の段階の急速な排泄の後残っているニッケルは長期間残留し、注射72時間後に尿および糞便中への総排出量は0.6ないし0.9になる (Smith と Hackley, 1968; Sunderman と Selin, 1968)。

ラットについての Smith と Hackley の実験 (1968) は、約1時間の生物学的半減期をもつ、血液からのニッケルのクリアランスの初期段階に続いて、約6時間の生物学的半減期をもつ、より遅いクリアランスの段階があることを示した。他の研究者 (Onkelinx, Becker および Sunderman, 1973) は、この速い最初のクリアランスの段階を観察しなかったが、より遅い第2の段階は観察している。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくニッケルのうち、0.02の割合が腎臓に移行し、そこに0.2日の生物学的半減期で残留すると仮定する。第2の割合、0.68は、腎臓内で遅れることなく、直接に排泄されると仮定する。通過コンパートメントを出ていくニッケルの残りは、腎臓を含め人体のす

すべての器官および組織に均等に分布し、そこに 1,200 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。この生物学的半減期は、0.05 という f_1 の値ならびに「標準人」に示されているニッケルの 1 日当たりの摂取量および全身含有量と矛盾しない。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ニッケルが無機質化した組織になんらかの親和性を示すことは見出されていない (Jacobsen, Alfheim および Jonsen, 1978)。そして、この報告書では、ニッケルが腎臓以外の人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨線量算定の目的で、この元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

Committee on medical and biologic effects of environmental pollutants, Nickel.

National Academy of Sciences, Washington, 1975.

Horak, E. and Sunderman, F.W.Jr. (1973). Fecal nickel excretion by healthy adults. *Clin. Chem.*, **19**, 429-430.

ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for the internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health, Phys.*, **12**, 173-207.

ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, 1975.

Jacobsen, N., Alfheim, I. and Jonsen, J. (1978). Nickel and strontium distribution in some mouse tissues passage through placenta and mammary glands. *Res. Commun. Chem. Path. Pharmacol.*, **20**, 571-584.

Olsen, I. and Jonsen, J. (1979). Whole-body autoradiography of ^{68}Ni in mice throughout gestation. *Toxicology*, **12**, 165-172.

Onkelinx, C., Becker, J. and Sunderman, F.W.Jr. (1973). Compartmental analysis of the metabolism of $^{68}\text{Ni}(\text{II})$ in rats and rabbits. *Res. Commun. Chem. Path. Pharmacol.*, **6**, 663-675.

- Oskarsson, A. and Tjälve, H. (1977). Autoradiography of nickel chloride and nickel carbonyl in mice. *Acta Pharmacol. et Toxicol.*, **41**, 158-159.
- Parker, K. and Sunderman, F.W.Jr. (1974). Distribution of ^{63}Ni in rabbit tissues following intravenous injection of $^{63}\text{NiCl}_2$. *Res. Commun. Chem. Path. Pharmacol.*, **7**, 755-762.
- Smith, J. C. and Hackley, B. (1968). Distribution and excretion of nickel-63 administered intravenously to rats. *J. Nutr.*, **95**, 541-546.
- Sunderman, F.W.Jr. and Selin, C.E. (1968). The metabolism of nickel-63 carbonyl. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **12**, 207-218.
- Tedeschi, R.E. and Sunderman, F.W. (1957). Nickel poisoning v. the metabolism of nickel under normal conditions and after exposure to nickel carbonyl. *AMA Arch. Ind. Health.*, **16**, 486-488.
- Undewood, E.J. *Trace elements in human and animal nutrition*. 4th edn. Academic Press, London, 1977.
- Veterans Administration Hospital, Hines, Ill. (1975). Metabolism of ^{90}Sr and of other elements in man. 1 July 1974-30 June 1975. COO-1231-104.
- Wehner, A. P. and Craig, D. K. (1972). Toxicology of inhaled NiO and CoO in syrian golden hamsters. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, **33**, 146-155.
- Ziemer, P. L. and Carvalho, S. M. (1980). Distribution and clearance of inhaled $^{63}\text{NiCl}_2$ by rats. In: *Radiation Protection: A Systematic Approach to Safety. Proceedings of the 5th Congress of the International Radiation Protection Society (sic)*. Jerusalem, March 1980, 2: 1075-1079, Pergamon Press, Oxford, 1980.

ニッケルの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

無機物
ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラス D	クラス W
	$f_1=5\times 10^{-2}$	$f_1=5\times 10^{-2}$	$f_1=5\times 10^{-2}$
⁵⁶ Ni	5×10^7	7×10^7	5×10^7
⁵⁷ Ni	6×10^7	2×10^8	1×10^8
⁵⁹ Ni	9×10^8	1×10^8	3×10^8
⁶³ Ni	3×10^8	6×10^7	1×10^8
⁶⁵ Ni	3×10^8	9×10^8	1×10^9
⁶⁶ Ni	1×10^7 (2×10^7) 大腸下部壁	6×10^7	2×10^7

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラス D	クラス W
	$f_1=5\times 10^{-2}$	$f_1=5\times 10^{-2}$
⁵⁶ Ni	3×10^4	2×10^4
⁵⁷ Ni	7×10^4	5×10^4
⁵⁹ Ni	6×10^4	1×10^5
⁶³ Ni	2×10^4	4×10^4
⁶⁵ Ni	4×10^5	5×10^5
⁶⁶ Ni	2×10^4	1×10^4

蒸 気
ALI (Bq)

放射性核種	吸 入
^{56}Ni	4×10^7
^{57}Ni	2×10^8
^{59}Ni	7×10^7
^{63}Ni	3×10^7
^{65}Ni	6×10^8
^{66}Ni	1×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入
^{56}Ni	2×10^4
^{57}Ni	1×10^5
^{59}Ni	3×10^4
^{63}Ni	1×10^4
^{65}Ni	3×10^5
^{66}Ni	5×10^4

A	吸入の質量
10^{-7}	D
10^{-8}	W
—	Y

ガリウムの代謝データ

1. 代 謝

ガリウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

Dudley と Levine の研究 (1949) は、塩化物として投与したガリウムがラットの胃腸管からはほとんど、あるいは、まったく吸収されないことを示した。この報告書では、この元素のすべての化合物について f_1 を 10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、ガリウムの酸化物、水酸化物、炭化物、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラス W に、そしてこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。適切な実験データが何もないので、ここでもこの分類を採用する。

吸入のクラス	f_1
D	10^{-3}
W	10^{-3}
Y	—

(c) 分布と残留

静脈内, 筋肉内および皮下の各注射後のいろいろな動物種における残留と分布に関しては, 非常に多くの文献がある。ラットについての実験は, 放射性ガリウムの体内における分布と残留が, 担体として投与した安定ガリウムの総量に著しく影響されることを示した (Bruner, Hayes および Perkinson, 1953; Hayes, Carlton および Byrd, 1965; Hayes, 1966)。安定担体が存在する場合は, 放射性ガリウムは骨中に高濃度に濃縮するが, 一方, 無担体で放射性ガリウムをクエン酸塩として静脈内に注射した場合は, この放射性核種はいっそう広範囲に分布する (Hayes, Carlton および Byrd, 1965)。この報告書では, 無担体のガリウムに適切な代謝モデルを使用する。

無担体の放射性ガリウムをクエン酸塩としてラットに静脈内注射してから1ないし2時間後には, ガリウムは, 骨格にいくぶん過剰に存在するが, 人体のすべての器官および組織にかなり均等に分布する (Hayes, Carlton および Byrd 1965; Hayes, 1966)。注射24時間後までに, ガリウムは肝臓, 腎臓, 脾臓および骨格におもに見出される (Bruner, Hayes および Perkinson, 1953)。

ヒトでは, 死体解剖のデータ (Brucer ら, 1953; Nelson ら, 1972; Simpkins, Fink および Prasad, 1977) およびガンマスキャニング (Larson, Milder および Johnston, 1973; Newman ら, 1978) により, 副腎および, 妊娠女性における, 胎盤とともに, ラットと同じ器官がガリウム沈着の主要な部位であることが確認されている。また, 胃腸管の壁にガリウムが濃縮するという証拠もいくらかある (Newstead ら, 1977)。しかし, これらのデータは, 胃腸の腫瘍に近接した場所の正常組織から採取した試料によって得られている。

ラット, ウサギ, イヌおよびヒトにおける研究 (Munn, Walters および Dudley, 1951; Bruner, Hayes および Perkinson, 1953; Langhammer ら, 1972, Nelson ら, 1972) は, ガリウムの体内残留が, それぞれ, 約1日および約50日の生物学的半減期をもつ2つの指数項によって適切に記述されること

を示している。しかし、ラットでは、器官が異なると、生物学的半減期がかなり変動することを指摘しておく。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくガリウムのうち、0.3、0.09および0.01の割合が、それぞれ、無機質骨、肝臓および脾臓に沈着すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくガリウムの残りの割合は、人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に沈着したガリウムのうち、0.3および0.7の割合は、それぞれ、1日および50日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のガリウムはこの報告書では考察しない。それらの代謝は、この元素のその他の化合物の代謝とかなり異なる (Konikowski, Glenn および Haynie, 1973)。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するガリウムの同位体で、4日より長い放射性半減期をもつものは1つもない。この理由によって、ここで考察するガリウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bruce, M., Andrews, G.A., Rehbock, D.J., Root, S.W. and Gray, J. (1953). Studies of gallium-72. VIII. Autopsy studies of distribution of gallium. *Radiology*, **61**, 590-595.
- Bruner, H.D., Hayes, R.L. and Perkinson, J.D.Jr. (1953). A study of gallium-72 x preliminary data on gallium-67. *Radiology*, **61**, 602-611.
- Dudley, H. C. and Levine, M. D. (1949). Studies of the toxic action of gallium.

- J. Pharmacol. Exper. Therap.*, **95**, 487-493.
- Hayes, R.L., Carlton, J.E. and Byrd, B.L. (1965). Bone scanning with gallium-68: A carrier effect. *J. Nucl. Med.*, **6**, 605-610.
- Hayes, R.L. (1966). Radioisotopes of gallium. In: *Radioactive Pharmaceuticals*, pp. 603-618 (eds. Andrews, C. A., Kniseley, R. M. and Wagner, H.N.). CONF-651111.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Konikowski, T., Glenn, H.J. and Haynie, T.P. (1973). Kinetics of ^{67}Ga compounds in brain, sarcomas and kidneys of mice. *J. Nucl. Med.*, **14**, 164-171.
- Langhammer, H., Glaubitt, G., Grebe, S. F., Hampe, J. F., Haubold, U., Hör, G., Kaul, A., Koeppe, P., Kopenhagen, J., Roedler, H.D. and van der Schoot, J.B. (1972). ^{67}Ga for tumour scanning. *J. Nucl. Med.*, **13**, 25-30.
- Larson, S.M., Milder, M.S. and Johnston, G.S. (1973). Interpretation of the ^{67}Ga photoscan. *J. Nucl. Med.*, **14**, 208-214.
- Munn, J.I., Walters, N.H. and Dudley, H.C. (1951). Urinary excretion of gallium by man and animals. *J. Lab. Clin. Med.*, **37**, 676-682.
- Nelson, B., Hayes, R.L., Edwards, C.L., Kniseley, R.M. and Andrews, G.A. (1972). Distribution of gallium in human tissues after intravenous administration. *J. Nucl. Med.*, **13**, 92-100.
- Newman, R.A., Gallagher, J.G., Clements, J.P. and Krakoff, I.H. (1978). Demonstration of ^{67}Ga localisation in human placenta. *J. Nucl. Med.*, **19**, 504-506.
- Newstead, G., Taylor, D.M., McCreedy, V.R. and Bettelheim, R. (1977). Gallium-67 deposition in the human gastrointestinal tract. *Int. J. Nucl. Med., Biol.* **4**, 109-112.
- Simpkins, H., Fink, L.M. and Prasad, K. (1977). Radioisotopes in tissues of patients studied at autopsy. *New Eng. J. Med.*, **296**, 456.

ガリウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	ALI (Bq)		
	経 口	吸 入	
		クラスD	クラスW
$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$	
⁶⁵ Ga	2×10 ⁹ (2×10 ⁹) 胃壁	6×10 ⁹	7×10 ⁹
⁶⁶ Ga	4×10 ⁷	1×10 ⁸	1×10 ⁸
⁶⁷ Ga	3×10 ⁸	5×10 ⁸	4×10 ⁸
⁶⁸ Ga	6×10 ⁸	2×10 ⁹	2×10 ⁹
⁷⁰ Ga	2×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	6×10 ⁹	7×10 ⁹
⁷² Ga	4×10 ⁷	1×10 ⁸	1×10 ⁸
⁷⁸ Ga	2×10 ⁸	6×10 ⁸	6×10 ⁸

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸 入	
	クラスD	クラスW
$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$	
⁶⁵ Ga	3×10 ⁵	3×10 ⁶
⁶⁶ Ga	5×10 ⁴	4×10 ⁴
⁶⁷ Ga	2×10 ⁵	2×10 ⁵
⁶⁸ Ga	6×10 ⁵	8×10 ⁵
⁷⁰ Ga	3×10 ⁶	3×10 ⁶
⁷² Ga	5×10 ⁴	5×10 ⁴
⁷⁸ Ga	2×10 ⁵	2×10 ⁵

ゲルマニウムの代謝データ

1. 代 謝

ゲルマニウムの人体含有量は「標準人」には与えられていないが、この元素の飲食物からの1日当たりの摂取量は1.5 mgであると推定されている(ICRP, 1975)。Iyengar, Kollmer および Bowen (1978) によるデータは、ゲルマニウムの人体含有量が約2 mgであることを示している。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

尿のゲルマニウム含有量についてのデータは、食餌中に含まれている形のこの元素がヒトの胃腸管からよく吸収されることを示唆している (Schroeder と Balassa, 1967)。ラットについての実験では、 GeO_2 の形で経口投与したゲルマニウムが、ほとんど完全に胃腸管から吸収された (Rosenfeld, 1954)。この報告書では、ゲルマニウムのすべての化合物について f_1 を1とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、ゲルマニウムの酸化物、硫化物およびハロゲン化物を吸入のクラスWに、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。適切な実験データが何もないので、ここでは、この分類を採用する。

吸入のクラス	f_1
D	1
W	1
Y	—

(c) 分布と残留

ゲルマニウム酸ナトリウムをラットの腹腔内に注射 (Rosenfeld, 1954) しても、同じ化合物を飲料水に加えて離乳から死に至るまで慢性的に与え (Schoeder ら, 1968) ても、投与して12時間ないし3日後には、ゲルマニウムはラットのすべての器官および組織に、広範囲に、かつ、かなり均等に分布する。しかし、腹腔内に注射した後の最初の6時間では、腎臓の濃度がその他の組織の濃度よりも約5倍高い (Rosenfeld, 1954)。ラットにおけるゲルマニウムの腎臓中の高い濃度は、また、 $\text{Ge}(\text{OH})_4$ の静脈内注射の後 (Mehard と Volcani, 1975) でも、ゲルマニウム酸ナトリウムの筋肉内注射の後 (Durbin, 1960) でも、報告されている。注射後早期の腎臓におけるこのゲルマニウムの高い濃度は、たぶん、この元素の急速な尿中排泄に起因しているであろう (Rosenfeld, 1954, Durbin, 1960)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくゲルマニウムのうち、0.5が直接、腎臓にいき、そして尿中に排泄されるまで、腎臓中に0.02日の生物学的半減期で留まると仮定する。通過コンパートメントを出ていくゲルマニウムの残りの割合は、人体のすべての器官および組織に均等に分布し、そこに1日の生物学的半減期で残留すると仮定する (Rosenfeld, 1954)。この半減期を用い、通過コンパートメントにおける0.25日の半減期と、1という f_1 の値および「標準人」に与えられたゲルマニウムの1日当たりの摂取量とあわせると、全身含有量が1.6 mg という結果になり、Iyengar, Kollmer および Bowen (1978) が与えた2 mgと同じような値になる。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ゲルマニウムは腎臓以外の人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨線量算定の目的で、この元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Durbin, P.W. (1960). Metabolic characteristics within a chemical family. *Health Phys.*, **2**, 225-238.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press. Oxford, 1975.
- Iyengar, G.V., Kollmer, W.E. and Bowen, H.J.M. *The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids*. Verlag Chemie, Weinheim, 1978.
- Mehard, C. W. and Volcani, B. E. (1975). Similarity in uptake and retention of trace amounts of ^{31}Si and ^{68}Ge in rat tissues and cell organelles. *Bioinorg. Chem.*, **5**, 107-124.
- Rosenfeld, G. (1954). Studies on the metabolism of germanium. *Arch. Biochem. Biophys.*, **48**, 84-89.
- Schroeder, H.A. and Balassa, J.J. (1967). Abnormal trace metals in man: germanium. *J. Chron. Dis.*, **20**, 211-224.
- Schroeder, H.A., Kanisawa, M., Frost, D.V. and Mitchener, M. (1968). Germanium, tin and arsenic in rats: effects on growth, survival, pathological lesions and life span. *J. Nutr.*, **96**, 37-45.

ゲルマニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラスD	クラスW
	$f_1=1$	$f_1=1$	$f_1=1$
⁶⁶ Ge	9×10^8	1×10^9	7×10^8
⁶⁷ Ge	1×10^9 (2×10^9) 胃壁	3×10^9	4×10^9
⁶⁸ Ge	2×10^8	1×10^8	4×10^6
⁶⁹ Ge	5×10^8	6×10^8	3×10^8
⁷¹ Ge	2×10^{10}	2×10^{10}	2×10^9
⁷⁵ Ge	2×10^9 (3×10^9) 胃壁	3×10^9	3×10^9
⁷⁷ Ge	3×10^8	4×10^8	2×10^8
⁷⁸ Ge	8×10^8 (9×10^8) 胃壁	8×10^8	8×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=1$	$f_1=1$
⁶⁶ Ge	4×10^5	3×10^5
⁶⁷ Ge	1×10^6	2×10^6
⁶⁸ Ge	6×10^4	2×10^3
⁶⁹ Ge	2×10^5	1×10^5
⁷¹ Ge	7×10^6	7×10^5
⁷⁵ Ge	1×10^6	1×10^6
⁷⁷ Ge	2×10^5	9×10^4
⁷⁸ Ge	3×10^5	3×10^5

ヒ素の代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

軟組織のヒ素含有量	~18 mg
骨格のヒ素含有量	0.1 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	1.0 mg

Iyengar, Kollmer および Bowen のデータ (1978) は、ヒ素の全身含有量がたぶん、10 mg を超えず、0.2 mg 程度になりそうであることを示している。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ヒ素の胃腸管からの吸収割合は非常に変動しやすい。アルサニル酸を飼料にまぜて与えたブタについての実験データは、この化合物の胃腸管からの吸収割合が0.15と0.46の間にあることを示した。ヒ酸ナトリウムあるいはヒ酸カリウムを飼料にまぜて与えた乳牛およびイヌにおける実験結果によっても、同じ程度の胃腸管からの吸収が示されている (Lasko と Peoples, 1975)。

ラットでは、ヒ酸ナトリウム、三酸化ヒ素、あるいは小エビ中に天然に存在するヒ素が胃腸管からほとんど完全に吸収されるようである (Coulson, Remington および Lynch, 1935; Dutkiewicz, 1977)。三酸化ヒ素の吸収の定量的な関係が、ウサギの腸における、結さつした回盲部の屈曲部分についての実験からも示されている (Tsutsumi, Nozaki および Maehashi, 1975)。

ヒトでは、三塩化ヒ素として投与したヒ素は、魚に取り込まれている食餌中

のヒ素と同じように (Freeman ら, 1979), 胃腸管からほとんど完全に吸収される (Bettley と O'Shea, 1975)。

この報告書では, ヒ素のすべての化合物について f_1 を 0.5 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は, ふつうに存在するヒ素のすべての化合物を吸入のクラス W に指定した。三酸化ヒ素のヒトによる吸入の経験 (Holland, McCall および Lanz, 1959) は, この分類をある程度裏付けており, ここでは, これを採用する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	0.5
Y	—

(c) 分布と残留

ヒトでは, 安定ヒ素が身体の器官および組織全体にかなり均等に分布するが, 爪と毛髪だけは, この元素の濃度が全身の平均値よりもかなり高い (Smith, 1967)。

ヒ素の放射性同位体を用いた研究は, この元素の代謝が, 投与した化学形と用いる動物種とによって大きく左右されることを示している。ラットに, 亜ヒ酸カリウムを皮下注射した研究 (Hunter, Kips および Irvine, 1942), ヒ酸ナトリウムを筋肉内注射した研究 (Lanz, Wallace および Hamilton, 1950), あるいは三塩化ヒ素を静脈内注射した研究 (Klassen, 1974) は, ヒ素がラットの赤血球に対し強い親和性をもつことを確定的に示している。しかし, この赤血球に対する強い親和性は, 他の動物種については見出されていない (Hunter, Kips および Irvine, 1942; Klassen, 1974)。飼料に As_2O_3 をまぜて与えたラッ

トでは、ヒ素が肝臓、脾臓および腎臓に濃縮することが見出された (Coulson, Remington および Lynch, 1935; Tanaka, 1976)。ヒ酸ナトリウムをいろいろな経路でラットに投与した実験によってもまた、肝臓と腎臓が重要な沈着器官であることが確認された (Dutkiewicz, 1977)。

放射性的アルサニル酸を静脈内に注射したマウスでは、ヒ素が骨、腎皮質、肝臓および腸粘膜に濃縮することを、オートラジオグラフィによる研究が示唆している (Deak, Csaky および Waddell, 1976)。ブタでも、アルサニル酸を飼料にまぜて与えた後に、肝臓と腎臓がヒ素の沈着する重要な器官であることが確認されている (Hanson ら, 1955; Gitter と Lewis, 1969)。

モルモットおよびウサギについての実験は、リンパ芽球性白血病の1人の患者から得られた死体解剖のデータとともに、亜ヒ酸カリウムに由来するヒ素が、体内のすべての器官および組織にかなり均等に分布することを示している (Hunter, Kip および Irvine, 1942)。しかし、いろいろな頭蓋内新生物をもつ複数の患者についての死体解剖の研究は、3価の状態では静脈内に注射されたヒ素が肝臓と腎臓に選択的に沈着することを示している (Mealey, Brownell および Sweet, 1959)。

小エビあるいは魚中のヒ素、紙巻きタバコの煙で吸入したヒ素、あるいはアルサニル酸、ヒ酸ナトリウムおよびヒ酸カリウムとして投与したヒ素は、急速に体内から失われる (Coulson, Remington および Lynch, 1935; Overby と Frost, 1960; Gitter と Lewis, 1969; Arnold, Kohlhaas および Neiwerth, 1970; Lasko と Peoples, 1975; Freeman ら, 1979)。これと対照的なのは、この元素の3価の化合物であり、ずっと長く残留する (Coulson, Remington および Lynch, 1935; Mealey, Brownell および Sweet, 1959; Klassen, 1974)。

ヒトにおけるヒ素の代謝を最も広範囲に調べた研究 (Mealey, Brownell および Sweet, 1959) は、3価の亜ヒ酸塩として静脈内に注射されたヒ素の全身残留が、次式によってよく表わされることを示している。

$$R(t) = 0.35 e^{-0.693t/0.02} + 0.28 e^{-0.693t/1.1} + 0.37 e^{-0.693t/9.6}$$

この残留関数は「標準人」(ICRP, 1975) に与えられた安定ヒ素の 1 日当たりの摂取量および全身含有量と両立しない。しかし「標準人」に与えられた安定ヒ素の含有量は、非常に数少ないヒトのデータに基づいたもので、他の研究 (Iyengar, Kollmer および Bowen, 1978) は、それよりもかなり小さいこの元素の人体含有量を示している。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくヒ素のうち、0.35 は直接に排泄され、0.07 は肝臓に移行し、0.015 は腎臓に移行し、0.005 は脾臓に移行し、そして、0.56 は人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に移行したヒ素のうち、0.4 および 0.6 の割合が、それぞれ、1 日および 10 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ヒ素は、肝臓、腎臓および脾臓以外は、人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨線量算定の目的には、この元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Arnold, Von W., Kohlhaas, H.H. and Neiwirth, E. (1970). Untersuchungen zum Arsen-stoffwechsel mit ^{74}As . *Beitr. Bericht. Med.*, **27**, 339-351.
- Bettley, F.R. and O'Shea, J.A. (1975). The absorption of arsenic and its relation to carcinoma. *Br. J. Dermatol.*, **92**, 563-568.
- Coulson, E.J., Remington, R.E. and Lynch, K. M. (1935). Metabolism in the rat of the naturally occurring arsenic of shrimp as compared with arsenic trioxide. *J. Nutr.*, **10**, 255-270.
- Deak, S.T., Csaky, K.G. and Waddell, W.J. (1976). Localisation and histochemical correlation of ^{78}As by whole-body autoradiography in mice. *J. Toxicol. Environ.*

- Health*, **1**, 981-984.
- Dutkiewicz, T. (1977). Experimental studies on arsenic absorption routes in rats. *Environ. Health Perspectives*, **19**, 173-177.
- Freeman, H.C., Uthe, J.F., Fleming, R.B., Odense, P.H., Ackman, R.G., Landry, G. and Musial, C. (1979). Clearance of arsenic ingested by man from arsenic contaminated fish. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **22**, 224-229.
- Gitter, M. and Lewis, G. (1969). Elimination of arsenic from pig tissues following arsanilic acid treatment. *The Veterinary Record*, p. 389, 4 October.
- Hanson, L.E., Carpenter, L.E., Aunan, W.J. and Ferrin, E.F. (1955). The use of arsanilic acid in the production of market pigs. *J. Anim. Sci.*, **14**, 513-524.
- Holland, R.H., McCall, M.S. and Lanz, H.C. (1959). A study of inhaled arsenic-74 in man. *Cancer Res.*, **19**, 1154.
- Hunter, F.T., Kips, A.F. and Irvine, J.W.Jr. (1942). Radioactive tracer studies on arsenic injected as potassium arsenite. I. Excretion and localisation in tissues. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, **76**, 207-220.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Iyengar, G.B., Kollmer, W.E. and Bowen, H.J.M. *The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids*. Verlag Chemie, Weinheim, 1978.
- Klassen, C. D. (1974). Biliary excretion of arsenic in rats, rabbits and dogs. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **29**, 447-457.
- Lanz, H.Jr., Wallace, P.C. and Hamilton, J.G. (1950). The metabolism of arsenic in laboratory animals using ⁷⁴As as a tracer. *Univ. Calif. Pub. Pharmacol.*, **2**, 263-282.
- Lasko, J.U. and Peoples, S.A. (1975). Methylation of inorganic arsenic by mammals. *J. Agric. Food Chem.*, **23**, 674-676.
- Mealey, J. Jr., Brownell, G. L. and Sweet, W. H. (1959). Radioarsenic in plasma, urine, normal tissues and intracranial neoplasms. Distribution and turnover after intravenous injection in man. *Arch. Neurol. Psychiat.*, **81**, 310-320.
- Overby, L.R. and Frost, D.V. (1960). Excretion studies in swine fed arsanilic acid. *J. Anim. Sci.*, **19**, 140-144.
- Smith, H. (1967). The distribution of antimony, arsenic, copper and zinc in human tissue. *Forensic Sci. Soc. J.*, **7**, 97-102.

- Tanaka, I. (1976). Studies on arsenic metabolism (XVII). Studies of placental transfer and antidotes and diets on placental transfer. *Folia pharmacol. Japan.*, **72**, 673-687.
- Tsutsumi, S., Nozaki, S. and Maehashi, H. (1975). Studies on arsenic metabolism. Report 15. Influence of arsenic antidotes on enteral absorption of arsenic trioxide (As_2O_3) in rabbits. *Folia pharmacol. Japan.*, **71**, 545-551.

ヒ素の同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	吸入	
	経口 $f_1=5\times 10^{-1}$	クラスW $f_1=5\times 10^{-1}$
⁶⁹ As	1×10 ⁹ (2×10 ⁹) 胃壁	4×10 ⁹
⁷⁰ As	5×10 ⁸	2×10 ⁹
⁷¹ As	1×10 ⁸	2×10 ⁸
⁷² As	3×10 ⁷	5×10 ⁷
⁷³ As	3×10 ⁸	6×10 ⁷
⁷⁴ As	6×10 ⁷	3×10 ⁷
⁷⁶ As	4×10 ⁷	5×10 ⁷
⁷⁷ As	2×10 ⁸ (2×10 ⁸) 大腸下部壁	2×10 ⁸
⁷⁸ As	3×10 ⁸	8×10 ⁸

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	
	クラスW $f_1=5\times 10^{-1}$	
⁶⁹ As	2×10 ⁶	
⁷⁰ As	8×10 ⁵	
⁷¹ As	7×10 ⁴	
⁷² As	2×10 ⁴	
⁷³ As	3×10 ⁴	
⁷⁴ As	1×10 ⁴	
⁷⁶ As	2×10 ⁴	
⁷⁷ As	8×10 ⁴	
⁷⁸ As	3×10 ⁵	

セレンの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

軟組織のセレン含有量	13 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	0.15 mg

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

食物に含まれているセレンは、ほとんど完全に胃腸管から吸収される(ICRP, 1975; Underwood, 1977)。この元素の可溶性無機化合物もまた、胃腸管からの吸収割合が大きい(Smith, Westfall および Stohlman, 1973; Graham, Veatch および Kaplan, 1971; Thomson と Stewart, 1973; Furchner, London および Wilson, 1975; Underwood, 1977, Pope ら, 1979)。しかし、元素状セレンおよびセレン化物は生物学的に比較的不活性のようであり、これらの化学形のセレンは胃腸管を通過する間にわずかな割合でしか吸収されない(Cerwenka と Cooper, 1961; Underwood, 1977)。この報告書では f_1 を元素状セレンとセレン化物について0.05、この元素のその他のすべての化合物について0.8とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966)は、セレンの酸化物、水酸化物および炭化物を吸入のクラスWに、ふつうに存在するこの元素のその他すべての

無機化合物を吸入のクラスDに指定した。実験からの適切な情報が何もないので、セレンの無機化合物についてこの分類を採用する。元素状セレンを吸入のクラスWに指定する。

セレンおよびセレン化合物は、肺に沈着した後、同じ化学形で無期限に留ることとはありそうにもないので、この元素のいずれの化合物についても肺に沈着した後胃腸管に入るセレンについて f_1 を 0.8 とすることが適切である。

吸入のクラス	f_1
D	0.8
W	0.8
Y	—

(c) 分布と残留

セレンのいろいろな化合物の体内における分布と残留は、ヒトを含め数種の哺乳動物について研究されている (Lathrop, Harper および Malkinson, 1968; Lopez, Preston および Pfander, 1969; Graham, Veatch および Kaplan, 1971; Lathrop ら, 1972; Thomson と Stewart, 1973; Falk と Lindhé, 1974; Evans, 1975; Furchner, London および Wilson, 1975; Johnson, 1977; Kuikka と Nordman, 1978)。最も広く研究された化合物は、亜セレン酸、セレンメチオニンおよび亜セレン酸ナトリウムである。セレンメチオニンは亜セレン酸ナトリウムよりも長期間体内に残留するといわれている (Cerwenka と Cooper, 1961) が、静脈内注射から1週間以内にこの2つの化合物のセレンが同じ代謝プールに取り込まれることを示唆する証拠がある (Thomson と Stewart, 1973)。注射されたセレンの化学形は、体内における残留に顕著に影響しないが、安定セレンの食餌中のレベルは残留に影響する (Lopez, Preston および Pfander, 1969)。

ヒトにおいては、静脈内注射された放射性セレンは、肝臓、腎臓、脾臓およ

び脾臓に濃縮される (Lathrop ら, 1972; Kuikka と Nordman, 1978)。このことはまた、他の動物種においても同じであると考えられる (Lopez, Preston および Pfander, 1969; Graham, Veatch および Kaplan, 1971, Thomson と Stewart, 1973; Furchner, London および Wilson, 1975)。ラットについての研究では (Thomson と Stewart, 1973; Furchner, London および Wilson, 1975)、残留の生物学的半減期は、身体のすべての器官および組織について非常に似ていることが見出された。これと対照的に、ヒトについてのデータ (Lathrop ら, 1972) は、脾臓に沈着したセレンの大部分が約 1 日の生物学的半減期でその組織から失われることを示している。

ヒトにおけるセレンの全身残留は、それぞれ 0.5~7 日, 20~70 日および 120~330 日の生物学的半減期をもつ 3 つの指数項でうまく表すことができる (Lathrop, Harper および Malkinson, 1968; Lathrop, Johnston, Blau および Rothschild, 1972; Falk と Lindhé, 1974; Johnson, 1977; Toohey, Essling および Huff, 1979)。しかし、動物実験により、セレンの体内残留は、摂取のレベルと摂取のしかたに、また、食餌のそのほかの性質に大きく依存することが示されていることに注意すべきである (Underwood, 1977)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくセレンのうち、0.15, 0.05, 0.01 および 0.005 の割合がそれぞれ肝臓、腎臓、脾臓および膵臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくセレンの残りの割合は、人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に沈着したセレンのうち、0.1, 0.4 および 0.5 の割合がそれぞれ 3 日, 30 日および 150 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

この残留関数は、「標準人」(ICRP, 1975) について与えられたセレンの 1 日当たりの摂取量および全軟組織の含有量と、またヒトについてのこの元素の代謝についてのデータと矛盾しない。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

セレンは、肝臓、腎臓、脾臓および膵臓以外のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Carwenka, E.A.Jr. and Cooper, W.C. (1961). Toxicology of selenium and tellurium and their compounds. *Arch. Environ. Health*, **3**, 189-200.
- Evans, D. W. S. (1975). Internal radioactive contamination in selected groups of CRNL employees, AECL-5255.
- Falk, R. and Lindhé, J.C. (1974). Radiation dose received by humans from intravenously administered sodium selenite marked with selenium-75, SSI-1974-011, also LA-tr-75-6.
- Furchner, J.E., London, J.E. and Wilson, J.S. (1975). Comparative metabolism of radionuclides in mammals—IX. Retention of ^{75}Se in the mouse, rat, monkey and dog. *Health Phys.*, **29**, 641-648.
- Graham, L. A., Veatch, R. L. and Kaplan, E. (1971). Distribution of ^{75}Se -selenomethionine as influenced by route of administration. *J. Nucl. Med.*, **12**, 566-569.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Johnson, J.R. (1977). Whole body retention following an intravenous injection of ^{75}Se as selenomethionine. *Health Phys.*, **33**, 250-251.
- Kuikka, J. and Nordman, E. (1978). Measurement of ^{75}Se -sodium selenite in the human body. *Int. J. Nucl. Med. Biol.*, **5**, 30-34.
- Lathrop, K., Harper, P.V. and Malkinson, F.D. (1968). Human total-body retention and excretory routes of ^{75}Se from selenomethionine. *Strahlentherapie*, **67**, 436-443.
- Lathrop, K.A., Johnston, R.E., Blau, M. and Rothschild, E.O. (1972). Radiation dose to humans from ^{75}Se -L-selenomethionine. *J. Nucl. Med.*, **13**, Suppl. 6.

- Lopez, P.L., Preston, R.L. and Pfander, W.H. (1969). Whole-body retention, tissue distribution and excretion of selenium-75 after oral and intravenous administration in lambs fed varying selenium intakes. *J. Nutr.*, **97**, 123-132.
- Pope, A.L., Moir, R. J., Somers, M., Underwood, E. J. and White, C. L. (1979). The effect of sulphur on ^{75}Se absorption and retention in sheep., *J. Nutr.*, **109**, 1448-1455.
- Smith, M.I., Westfall, B.B. and Stohman, E.F. (1937). The elimination of selenium and its distribution in the tissues. Public Health Reports (Washington), **52**, 1171-1177.
- Thomson, C.D. and Stewart, R.D.H. (1973). Metabolic studies of [^{75}Se] selenomethionine and [^{75}Se] selenite in the rat. *J. Nutr.*, **30**, 139-147.
- Toohey, R.E., Essling, M.A. and Huff, D.R. (1979). Retention and gross distribution of ^{75}Se following intravenous injection of ^{75}Se -selenomethionine. *Health Phys.*, **37**, 395-397.
- Underwood, E.J. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. 4th edn. Academic Press, London, 1977.

セレンの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口		吸入	
			クラスD	クラスW
	$f_1=8 \times 10^{-1}$	$f_1=5 \times 10^{-2}$	$f_1=8 \times 10^{-1}$	$f_1=8 \times 10^{-1}$
⁷⁰ Se	6×10^8	4×10^8	1×10^9	2×10^9
^{73m} Se	2×10^9	1×10^9	6×10^9	5×10^9
⁷⁸ Se	3×10^8	1×10^8	5×10^8	6×10^8
⁷⁵ Se	2×10^7	1×10^8	3×10^7	2×10^7
⁷⁹ Se	2×10^7	2×10^8	3×10^7	2×10^7
^{81m} Se	1×10^9	9×10^8	3×10^9	3×10^9
⁸¹ Se	2×10^9 (3×10^9) 胃壁	2×10^9 (3×10^9) 胃壁	8×10^9	9×10^9
⁸³ Se	2×10^9 (2×10^9) 胃壁	1×10^9	4×10^9	5×10^9

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=8 \times 10^{-1}$	$f_1=8 \times 10^{-1}$
⁷⁰ Se	6×10^5	7×10^5
^{73m} Se	2×10^6	2×10^6
⁷⁸ Se	2×10^5	2×10^5
⁷⁵ Se	1×10^4	9×10^3
⁷⁹ Se	1×10^4	9×10^3
^{81m} Se	1×10^6	1×10^6
⁸¹ Se	3×10^6	4×10^6
⁸³ Se	2×10^6	2×10^6

パラジウムの代謝データ

1. 代 謝

パラジウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

塩化物として投与したパラジウムのラットの胃腸管からの吸収割合は、 5×10^{-3} より小さい (Moore ら, 1974)。ラットについての実験から得られた急性毒性のデータは、PdO あるいは PdSO₄ として投与したパラジウムの吸収割合が、さらに小さいことを示している (Holbrook ら, 1975)。この報告書では、パラジウムのすべての化合物について f_1 を 5×10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、パラジウムの酸化物および水酸化物を吸入のクラス Y に、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラス W に、ふつう存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。しかし、ラットについての実験 (Moore ら, 1975) は、PdCl₂ を吸入のクラス D に指定すべきであることを示している。この報告書では、パラジウムの酸化物および水酸化物を吸入のクラス Y に、硝酸塩を吸入のクラス W に、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	5×10^{-3}
W	5×10^{-3}
Y	5×10^{-3}

(c) 分布と残留

ラットに PdCl_2 を静脈内注射した実験では、腎臓、肝臓、脾臓、肺および骨でパラジウムの濃度が最大であった (Moore ら, 1974; Ando, Hisada と Ando, 1975)。上の実験において、初期の急速な排泄の後のパラジウムの体内残留は、15日の生物学的半減期をもつ単一の指数項でよく近似できることが見出された。

上で検討したデータに基づき、ここでは通過コンパートメントを出ていくパラジウムのうち、0.3は直接に排泄され、0.45は肝臓に、0.15は腎臓に0.07は無機質骨に移行し、また0.03は人体のその他のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に移行したパラジウムは、そこに15日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

骨格中のパラジウムの分布については適切なデータがないようである。 ^{103}Pd および ^{107}Pd のみが15日より長い放射性半減期をもつ。この報告書では、これら2つのパラジウム同位体は無機質骨の体積全体に均等に分布すると仮定し、そして、その他すべての、それより短寿命のパラジウムの同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Ando, A., Hisada, K. and Ando, I. (1975). Affinity for a malignant tumor and organs at the elements in group VIII of the periodic table. *Radioisotopes (Tokyo)*, **24**, 878-884.
- Holbrook, D.J.Jr., Washington, M. E., Leake, H. B. and Brubaker, P. E. (1975). Studies on the evaluation of the toxicity of various salts of lead, manganese, platinum and palladium. *Environ. Health Perspectives*, **10**, 95-101.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Moore, W. Jr., Hysell, D., Crocker, W. and Stara, J. (1974). Biological fate of ^{103}Pd in rats following different routes of exposure. *Environ. Res.*, **8**, 234-240.
- Moore, W., Hysell, D., Hall, L., Campbell, K. and Stara, J. (1975). Preliminary studies on the toxicity and metabolism of palladium and platinum. *Environ. Health Perspectives*, **10**, 63-71.

パラジウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口 $f_1=5 \times 10^{-3}$	吸 入		
		クラスD	クラスW	クラスY
		$f_1=5 \times 10^{-3}$	$f_1=5 \times 10^{-3}$	$f_1=5 \times 10^{-3}$
¹⁰⁰ Pd	5×10^7	5×10^7	5×10^7	5×10^7
¹⁰¹ Pd	5×10^8	1×10^9	1×10^9	1×10^9
¹⁰³ Pd	2×10^8 (3×10^8) 大腸下部壁	2×10^8	2×10^8	1×10^8
¹⁰⁷ Pd	1×10^9 (1×10^9) 大腸下部壁	8×10^8 (8×10^8) 腎臓	3×10^8	1×10^7
¹⁰⁹ Pd	9×10^7	2×10^8	2×10^8	2×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入		
	クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=5 \times 10^{-3}$	$f_1=5 \times 10^{-3}$	$f_1=5 \times 10^{-3}$
¹⁰⁰ Pd	2×10^4	2×10^4	2×10^4
¹⁰¹ Pd	5×10^5	5×10^5	5×10^5
¹⁰³ Pd	1×10^5	7×10^4	5×10^4
¹⁰⁷ Pd	3×10^5	1×10^5	6×10^3
¹⁰⁹ Pd	1×10^5	9×10^4	7×10^4

スズの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のスズ含有量	<17 mg
軟組織のスズ含有量	5.8 mg
骨格のスズ含有量	<12 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	4 mg

Iyengar, Kollmer および Bowen (1978) のデータは、骨格のスズ含有量が 4 mg から 15 mg の間にあることを示している。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

食餌中のスズあるいは無機のスズの胃腸管からの吸収割合は一般に小さい (Barnes と Stoner, 1959; ICRP, 1975; Furchner と Drake, 1976; Underwood, 1977)。塩化第一スズの場合は、マウス、ラット、サルおよびイヌについては、胃腸管からの吸収割合はつねに0.05より小さく、代表的な値は約0.02である (Furchner と Drake, 1976)。尿中および糞便中への排出と比較した全身残留の実験データ (Furchner と Drake, 1976) の他に、食餌中のスズのデータ (ICRP, 1975) もまた、胃腸管からの吸収割合がほぼこの程度であることを示唆している。塩化第一スズの胃腸管からの吸収割合を0.16—0.2と推定した報告は、この物質をpH0の溶液で投与しているとみられるため、たぶん無視すべきであろう (Moskalev, 1974)。この報告書では、スズのすべての化合

物について f_1 を0.02とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、スズの硫化物、酸化物、水酸化物、ハロゲン化物および硝酸塩を、リン酸第二スズとともに吸入のクラスWに、この元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。リン酸第二スズの吸入のクラスWへの指定は、イヌについての入手可能なデータ(Morrowら, 1968)と一致する。したがって、ここではこの課題グループの勧告を採用する。

吸入のクラス	f_1
D	0.02
W	0.02
Y	—

(c) 分布と残留

二塩化物として、胃内、腹腔内および静脈内投与した後のスズの分布と残留は、マウス、ラット、サルおよびイヌについて研究されている(BarnesとStoner, 1959; ICRP, 1975; FurchnerとDrake, 1976; Underwood, 1977)。これらの動物種のそれぞれにおける全身残留は、0.2—800日の範囲内にある生物学的半減期をもつ4つの指数項によって適切に記述される。ラットについては、研究したすべての器官および組織について、個々の器官および組織の残留が全身残留と同様であった。

ラットにおいては、二塩化物として腹腔内に注射したスズは主として骨に濃縮される。しかしまた、注射後の最初の80日間は、肝臓、腎臓および脾臓もまた全身の平均よりいくぶん高い濃度を示した(FurchnerとDrake, 1976)。スズのクエン酸塩、リン酸塩、ピロリン酸塩および酒石酸塩もまた、ラットおよ

びイヌの骨格中に濃縮される (Yano, Chu および Anger, 1973; Ando ら, 1973; Grimm ら, 1975)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくスズのうち、0.5は直接に排泄され、0.35は無機質骨に移行し、0.15は人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に移行したスズのうち、0.2、0.2および0.6の割合が、それぞれ4日、25日および400日の生物学的半減期で残留すると仮定する。この残留関数は、ラットについての研究 (Furchner と Drake, 1976) および「標準人」(ICRP, 1975) の器官および組織中の安定スズの濃度とよく一致している。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するスズの同位体のうち、15日を超える放射性半減期をもつものは ^{113}Sn , $^{119\text{m}}\text{Sn}$, $^{121\text{m}}\text{Sn}$, ^{123}Sn および ^{126}Sn のみである。これらの同位体は、無機質骨に沈着した後、いつでも無機質骨の体積全体に均等に分布すると仮定する。スズのその他すべての放射性同位体は無機質骨に沈着した後、いつでも骨表面に均等に分布していると仮定をする。

文 献

- Ando, A., Hisada, K., Matsudaira, M. and Ando, I. (1973). Radioactive tin compound as a new bone scanning agent. *Radioisotopes (Tokyo)*, **22**, 297-302.
- Barnes, J.M. and Stoner, H.B. (1959). The toxicology of tin compounds. *Pharm. Revs.*, **11**, 211-231.
- Furchner, J.E. and Drake, G.A. (1976). Comparative metabolism of radionuclides in mammals—XI. Retention of ^{113}Sn in the mouse, rat, monkey and dog. *Health Phys.*, **31**, 219-224.
- Grimm, Von W., Kutzner, J., Kaufman, A. and Stelzer, U. (1975). Das Verhalten von Sn^{2+} nach seiner Applikation als Komplexsalz. *Forsch. Röntgenstr.*, **123**, 318-320.

- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Iyengar, G.V., Kollmer, W.E. and Bowen, H.J.M. *The elemental composition of human tissues and body fluids*. Verlag Chemie, Weinheim, 1978.
- Morrow, P. E., Gibb, F. R., Davies, H. and Fisher, M. (1968). Dust removal from the lung parenchyma: an investigation of clearance simulants. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **12**, 372-396.
- Moskalev, Yu. I. (1974). Experiments dealing with the distribution of tin 113, AEC-tr-7590, pp. 81-86. Translated from Raspredelenie, Biologicheskoe Deistvie, Uskorenie Vyvedenia Radioaktivnykh Isotopov, Moscow, 1964, pp. 78-82.
- Underwood, E. J. *Trace elements in human and animal nutrition*, 4th edn. Academic Press, London, 1977.
- Yano, Y., Chu, P. and Anger, H.O. (1973). Tin-117m: production, chemistry and evaluation as a bone-scanning agent. *Int. J. Appl. Radiat. Iso.*, **24**, 319-325.

スズの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラスD	クラスW
	$f_1=2\times 10^{-2}$	$f_1=2\times 10^{-2}$	$f_1=2\times 10^{-2}$
¹¹⁰ Sn	1×10 ⁸	4×10 ⁸	4×10 ⁸
¹¹¹ Sn	3×10 ⁹	8×10 ⁹	1×10 ¹⁰
¹¹³ Sn	6×10 ⁷ (7×10 ⁷) 大腸下部壁	5×10 ⁷	2×10 ⁷
^{117m} Sn	6×10 ⁷ (7×10 ⁷) 大腸下部壁	5×10 ⁷ (8×10 ⁷) 骨表面	5×10 ⁷
^{119m} Sn	1×10 ⁸ (2×10 ⁸) 大腸下部壁	9×10 ⁷	4×10 ⁷
^{121m} Sn	1×10 ⁸ (1×10 ⁸) 大腸下部壁	3×10 ⁷	2×10 ⁷
¹²¹ Sn	2×10 ⁸ (2×10 ⁸) 大腸下部壁	6×10 ⁸	4×10 ⁸
^{123m} Sn	2×10 ⁹	4×10 ⁹	5×10 ⁹
¹²³ Sn	2×10 ⁷ (2×10 ⁷) 大腸下部壁	2×10 ⁷	6×10 ⁶
¹²⁵ Sn	1×10 ⁷ (2×10 ⁷) 大腸下部壁	3×10 ⁷	1×10 ⁷
¹²⁶ Sn	1×10 ⁷	2×10 ⁶	2×10 ⁶
¹²⁷ Sn	3×10 ⁸	7×10 ⁸	7×10 ⁸
¹²⁸ Sn	4×10 ⁸	1×10 ⁹	1×10 ⁹

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=2\times 10^{-2}$	$f_1=2\times 10^{-2}$
¹¹⁰ Sn	2×10^5	2×10^5
¹¹¹ Sn	3×10^5	4×10^5
¹¹³ Sn	2×10^4	9×10^3
^{117m} Sn	2×10^4	2×10^4
^{119m} Sn	4×10^4	2×10^4
^{121m} Sn	1×10^4	8×10^3
¹²¹ Sn	2×10^5	2×10^5
^{123m} Sn	2×10^5	2×10^5
¹²³ Sn	1×10^4	3×10^3
¹²⁵ Sn	1×10^4	5×10^3
¹²⁶ Sn	9×10^2	1×10^3
¹²⁷ Sn	3×10^5	3×10^5
¹²⁸ Sn	4×10^5	6×10^5

アンチモンの代謝データ

1. 代 謝

「標準人」(ICRP, 1975) のデータ

人体のアンチモン含有量	~7.9 mg
軟組織のアンチモン含有量	~5.9 mg
骨格のアンチモン含有量	2.0 mg
飲食物からの1日当たりの摂取量	0.05 mg

「標準人」の組織のアンチモン含有量は、1個人についての中性子放射化研究に基づいているため、注意して用いるべきである。

最近、Underwood (1977) は、アンチモンの人体の含有量および1日当たりの摂取量についてのデータを調査検討した。これらのデータは、アンチモンの全身含有量の代表値がおおよそ10 mgであることを示しているが、食餌からの1日当たりのこの元素の摂取量は、34 μg という小さい量も、また1,275 μg という大きな量も、ありうることを示している。Iyengar, Kollmer および Bowen (1978) のデータは、アンチモンの全身含有量が代表的には0.5—3.5 mg の範囲にあることを示している。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

「標準人」(ICRP, 1975) に示されているデータは、食餌中のアンチモンの胃腸管からの吸収割合がおおよそ0.8であることを示唆している。しかし、この推定値は、アンチモンの飲食物からの1日当たりの摂取量についてはやや小さ

めの値、そして尿中排泄についてはやや大きめの推定値 (ICRP, 1975; Underwood, 1977) に基づいており、食餌中のアンチモンの吸収割合についてはこれよりもかなり小さい値が、入手できるデータに、よりよく一致するであろう。

マウスについての実験結果 (Waitz ら, 1965) は、吐酒石として投与したアンチモンの胃腸管からの吸収割合がおよそ 0.2 であることを示唆している。しかし、ラットについての研究 (Moskalev, 1964) は、この化合物に対して吸収割合がおよそ 0.05 であることを示している。アンチモンの 3 価あるいは 5 価のいろいろな化合物についての研究は、これらの化学形で投与したアンチモンの吸収割合が通常 0.1 よりも大きくないことを示唆している (Rose と Jacobs, 1969; Thomas ら, 1973; Felicetti, Thomas および McClellan, 1974 a)。この報告書では、吐酒石として経口摂取したアンチモンについては f_1 を 0.1 とし、この元素のその他すべての化合物として経口摂取したアンチモンについては 0.01 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、アンチモンの酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、硫化物、硫酸塩および硝酸塩を吸入のクラス W に、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。ラットにおける三塩化物 (Djurić, Thomas および Lie, 1962)、マウス、ハムスターおよびイヌにおける酒石酸塩 (Thomas ら, 1973; Felicetti, Thomas および McClellan, 1974 a, 1974 b) およびマウス、イヌおよびヒトにおける酸化物 (Rose と Jacobs, 1969; Thomas ら, 1973; Felicetti, Thomas および McClellan, 1974 b) の挙動の実験は、この分類を裏づけており、ここではこれを採用する。

吸入のクラス	f_1
D	0.1
W	0.01
Y	—

(c) 分布と残留

安定アンチモンの分布に関するデータ (Smith, 1967; ICRP, 1975) は、この元素が肝臓、腎臓および骨格中にたとえ濃縮したとしてもわずかにしか濃縮しないことを示唆している。ジメルカプトコハク酸ナトリウムアンチモン塩を静脈内あるいは筋肉内のいずれかに注射したヒトについての研究 (Abdallah と Saif, 1962) は、肝臓がアンチモンをある程度濃縮することを示した。

マウスについての実験 (Waitz ら, 1965; Molokhia と Smith, 1969; Thomas ら, 1973) は、全身の循環系に入ったアンチモンの半分までが肝臓に沈着することを示している。しかし、ラット、ハムスターおよびイヌ (Durbin, 1960; Djurić, Thomas および Lie, 1962; Moskalev, 1964; Waitz ら, 1965; Felicetti, Thomas および McClellan, 1974 b) では、肝臓にいくアンチモンの割合はかなり小さい。また、イヌでは吸入の後に甲状腺にアンチモンが蓄積することが見出されている (Felicetti, Thomas および McClellan, 1974 b) が、ヒトでは、この組織に過剰の安定アンチモンは見出されていない (Smith, 1967)。

ヒトにおいては、静脈内に注射したアンチモンの注射後の最初の24時間の排泄割合はおよそ0.2である (Abdallah と Saif, 1962)。残りのアンチモンの大部分は、5日の生物学的半減期で残留するが、わずかの長期残留成分も示されている。マウス、ハムスターおよびイヌによるアンチモンの吸入実験 (Thomas ら, 1973; Felicetti, Thomas および McClellan, 1974 a, 1974 b) は、全身の循環系に入ったアンチモンのおよそ0.05が、16日から100日の間にある生物学的半減期で体内に残留することを示している。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくアンチモンのうち0.2は直接に排泄され、0.2は無機質骨に移行し、0.1は肝臓に移行し、そして残りの割合は人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に移行したアンチモンのうち、0.95および0.05の割合が、それぞれ5日および100日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

骨中のアンチモンの分布に関して適切なデータはないようである。この報告書では、この元素の同位体は無機質骨に沈着した後、いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Abdallah, A. and Saif, M. (1962). Tracer studies with antimony-124 in man. In: *Bilharziasis*, pp. 287-309 (eds. Wolstenholme, G. E. W. and O'Connor, M.). Churchill, London.
- Djurić, D., Thomas, R. G. and Lie, R. (1962). The distribution and excretion of trivalent antimony in the rat following inhalation. *Int. Archiv. Gewerbepathol. Gewerbehyg.*, **19**, 529-545.
- Durbin, P.W. (1960). Metabolic characteristics within a chemical family. *Health Phys.*, **2**, 225-238.
- Felicetti, S. A., Thomas, R. G. and McClellan, R.O. (1974 a). Metabolism of two valence states of inhaled antimony in hamsters. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.* **35**, 292-300.
- Felicetti, S.W., Thomas, R.G. and McClellan, R.O. (1974 b). Retention of inhaled antimony-124 in the beagle dog as a function of temperature of aerosol formation. *Health Phys.*, **26**, 525-531.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

- Iyengar, G.V., Kollmer, W.E. and Bowen, H.J.M. *The Elemental Composition of Human Tissues and Body Fluids*. Verlag Chemie, Weinheim, 1978.
- Molokhia, N.M. and Smith, H. (1969). Tissue distribution of trivalent antimony in mice infected with schistosoma mansoni. *Bull. W.H.O.*, **40**, 123-128.
- Moskalev, Yu. I. (1964). Experiments dealing with distribution of antimony-124 and tellurium-127. In: *Raspredelemie, biologischeskoe deistvie, uskorenie vyvedeniya radioaktivnykh izotopov*, pp. 62-70, Meditsina, Moscow. Translated in *Distribution, biological effects and accelerated excretion of radioactive isotopes*, AEC-tr-7590, pp. 63-72, 1974.
- Rose, E. and Jacobs, H. (1969). Whole-body counter and bioassay results after an acute antimony-124 exposure. IAEA-SM-119/30, pp. 269-280.
- Smith, H. (1967). The distribution of antimony, arsenic, copper and zinc in human tissue. *Forensic Sci. Soc. J.*, **7**, 97-102.
- Thomas, R.G., Felicetti, S.W., Lucchino, R.V. and McClellan, R.O. (1973). Retention patterns of antimony in mice following inhalation of particles formed at different temperatures. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **144**, 544-550.
- Underwood, E. J. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, 4th edn. Academic Press, London, 1977.
- Waitz, J.A., Ober, R.E., Meisenhelder, J.E. and Thompson, P.E. (1965). Physiological disposition of antimony after administration of ^{124}Sb -labelled tartar emetic to rats, mice and monkeys, and the effects of tris (*p*-aminophenyl) carbonium pamoate on this distribution. *Bull. W.H.O.*, **33**, 537-546.

アンチモンの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中
濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)			
	経 口		吸	入
	$f_1=1 \times 10^{-1}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	クラスD $f_1=1 \times 10^{-1}$	クラスW $f_1=1 \times 10^{-2}$
¹¹⁵ Sb	3×10 ⁹	3×10 ⁹	9×10 ⁹	1×10 ¹⁰
^{116m} Sb	8×10 ⁸	8×10 ⁸	3×10 ⁹	5×10 ⁹
¹¹⁶ Sb	3×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	3×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	1×10 ¹⁰	1×10 ¹⁰
¹¹⁷ Sb	3×10 ⁹	3×10 ⁹	8×10 ⁹	1×10 ¹⁰
^{118m} Sb	2×10 ⁸	2×10 ⁸	7×10 ⁸	8×10 ⁸
¹¹⁸ Sb	6×10 ⁸	5×10 ⁸	2×10 ⁹	1×10 ⁹
¹²⁰ Sb (15.89 m)	4×10 ⁹ (6×10 ⁹) 胃壁	4×10 ⁹ (6×10 ⁹) 胃壁	2×10 ¹⁰	2×10 ¹⁰
¹²⁰ Sb (5.76 d)	4×10 ⁷	3×10 ⁷	8×10 ⁷	5×10 ⁷
¹²² Sb	3×10 ⁷ (3×10 ⁷) 大腸下部壁	3×10 ⁷ (3×10 ⁷) 大腸下部壁	9×10 ⁷	4×10 ⁷
^{124m} Sb	9×10 ⁹ (1×10 ¹⁰) 胃壁	9×10 ⁹	3×10 ¹⁰	2×10 ¹⁰
¹²⁴ Sb	2×10 ⁷	2×10 ⁷	3×10 ⁷	9×10 ⁶
¹²⁵ Sb	8×10 ⁷	7×10 ⁷	9×10 ⁷	2×10 ⁷
^{126m} Sb	2×10 ⁹ (2×10 ⁹) 胃壁	2×10 ⁹ (2×10 ⁹) 胃壁	7×10 ⁹	7×10 ⁹
¹²⁶ Sb	2×10 ⁷	2×10 ⁷	4×10 ⁷	2×10 ⁷
¹²⁷ Sb	3×10 ⁷ (3×10 ⁷) 大腸下部壁	3×10 ⁷ (3×10 ⁷) 大腸下部壁	8×10 ⁷	3×10 ⁷
¹²⁸ Sb (9.01 h)	5×10 ⁷	4×10 ⁷	2×10 ⁸	1×10 ⁸
¹²⁸ Sb (10.4 m)	3×10 ⁹ (4×10 ⁹) 胃壁	3×10 ⁹ (4×10 ⁹) 胃壁	1×10 ¹⁰	2×10 ¹⁰
¹²⁹ Sb	1×10 ⁸	1×10 ⁸	3×10 ⁸	3×10 ⁸
¹³⁰ Sb	7×10 ⁸	7×10 ⁸	2×10 ⁹	3×10 ⁹
¹³¹ Sb	6×10 ⁸ (6×10 ⁸) 甲状腺	6×10 ⁸ (6×10 ⁸) 甲状腺	9×10 ⁸ (1×10 ⁹) 甲状腺	9×10 ⁸ (2×10 ⁹) 甲状腺

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラス D	クラス W
	$f_1=1 \times 10^{-1}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$
¹¹⁵ Sb	4×10^6	5×10^6
^{116m} Sb	1×10^6	2×10^6
¹¹⁶ Sb	4×10^6	5×10^6
¹¹⁷ Sb	3×10^6	4×10^6
^{118m} Sb	3×10^5	3×10^5
¹¹⁹ Sb	7×10^5	4×10^5
¹²⁰ Sb (15.89 m)	7×10^6	8×10^6
¹²⁰ Sb (5.76 d)	3×10^4	2×10^4
¹²² Sb	4×10^4	2×10^4
^{124m} Sb	1×10^7	9×10^6
¹²⁴ Sb	1×10^4	4×10^3
¹²⁵ Sb	4×10^4	8×10^3
^{126m} Sb	3×10^6	3×10^6
¹²⁶ Sb	2×10^4	8×10^3
¹²⁷ Sb	3×10^4	1×10^4
¹²⁸ Sb (9.01 h)	7×10^4	5×10^4
¹²⁸ Sb (10.4 m)	6×10^6	7×10^6
¹²⁹ Sb	1×10^5	1×10^5
¹³⁰ Sb	1×10^6	1×10^6
¹³¹ Sb	4×10^5	4×10^5

ランタンの代謝データ

1. 代 謝

ランタンに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットの胃腸管からのランタンの吸収割合は 5×10^{-4} より小さいと推定されている (Hamilton, 1948; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972)。塩化物を経口摂取させたラットについての実験では、この元素の胃腸管からの吸収割合は 5×10^{-4} より小さかった (Moskalev, 1961)。しかし、イヌについての実験では、塩化物として経口摂取させたランタンの胃腸管からの吸入割合が、およそ 2×10^{-3} であることが見出された。(Cuddihy と Boecker, 1970)。この報告書では、ランタンのすべての化合物について f_1 を 10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

イヌ (Cuddihy と Boecker, 1972) およびサル (Ducouso と Pasquier, 1974) についての実験は、塩化物として吸入されたランタンを肺から全身の循環系へ急速に取り込む段階があることを示している。この急速な取り込みの初期の段階に引き続いてイヌの肺に残留したランタンはおよそ7日の生物学的半減期で、全身の循環系およびリンパ節に移行した。

この報告書では、ランタンの酸化物および水酸化物を吸入のクラスWに、ふ

つうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	10^{-3}
W	10^{-3}
Y	—

(c) 分布と残留

マウスについての研究 (Spode と Geniske, 1958; Rosoff ら, 1963; Higasi ら, 1973; Sullivan ら, 1975), ラットについての研究 (Durbin ら, 1956; Slouka と Králové, 1969; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) およびイヌについての研究 (Cuddihy と Boecker, 1970) は, 肝臓がランタンのおもな沈着器官であるという点で一般的に一致している。その他の重要な沈着器官としては骨格があり, またそれほどではないが腎臓および脾臓もある。

ヒトでは, 塩化物を静脈内に注射した後の最初の 4 日間におけるランタンの排泄はほとんどなく (Rosoff ら, 1961), このことは静脈内に注射した後 8 日間調べたイヌについてもいえる (Cuddihy と Boecker, 1970)。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムおよびプロメチウムの場合と同様に, 人体内のランタンの生物学的半減期は 1,000 日を超えるようである。

上で検討したデータに基づき, ここでは通過コンパートメントを出ていくランタンのうち, 0.6 および 0.2 の割合がそれぞれ肝臓と無機質骨に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくランタンの残りの割合は, 人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から, 任意の器官あるいは組織に沈着したランタンは, そこに 3,500 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のランタンはこの報告書では考察しない。それらの代謝は、ランタンのその他の化合物の代謝とかなり異なる。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

無機質骨中のランタンの分布に関して適切なデータはないようである。セリウム、プロメチウムおよびアクチニドとの類推から、この元素のすべての同位体は無機質骨に沈着した後、いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Cuddihy, R. G. and Boecker, B. B. (1970). Kinetics of lanthanum retention and tissue distribution in the beagle dog following administration of $^{140}\text{LaCl}_3$ by inhalation, gavage and injection. *Health Phys.*, **19**, 419-426.
- Ducouso, R. and Pasquier, C. (1974). Lung contamination by Ce and La evolution of the early spontaneous absorption as a function of the initial lung burden. *Health Phys.*, **26**, 519-524.
- Durbin, P. W., Williams, M. H., Gee, M., Newman, R. H. and Hamilton, J. G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Hamilton, J. G. (1948). The metabolism of the fission products and the heaviest elements. *Revs. Mod. Phys.*, **20**, 718-728.
- Higasi, T., Ito, K., Tobari, H. and Tomura, K. (1973). On the accumulation of rare earth elements in animal tumor. *Int. J. Nucl. Med. Biol.*, **1**, 98-101.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford. 1975.
- Moskalev, Yu. I. (1961). Distribution of lanthanum-140 in the animal organism. In: *Raspredelenie, biologicheskoe deistvie i migratsiya radioaktivnykh izotopov*, pp. 40-53 (eds. Lebedinskii, A. V. and Moskalev, Yu. I.). Moscow. Translated in *Distribution, biological effects and migration of radioactive isotopes, AEC-tr-7512*, pp. 45-59.

- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1972). Distinction of distribution in the organism of radioactive isotopes of lanthanide elements. In: *Biologicheskoye deystviye vneshnikh i vnutrennikh istochnikov radiatsii*, pp. 183-190 (ed. Moskalev, Yu.I.). Moscow. Translated in Biological effects of radiation from external and internal sources, AEC-tr-7457, pp. 278-287.
- Rosoff, B., Ritter, S., Sullivan, K., Hart, H., Spencer-Laszlo, H. (1961). Effect of chelating agents on the removal of yttrium and lanthanum from man. *Health Phys.*, **6**, 177-182.
- Rosoff, B., Siegel, E., Williams, G. L. and Spencer, H. (1963). Distribution and excretion of radioactive rare-earth compounds in mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **14**, 129-135.
- Slouka, V. and Králové, H. (1969). Uptake of polymerizable radioelements in liver as a function of their physicochemical state. *Atomkernenergie*, **14**, 245-248.
- Spode, E. and Geniske, F. (1958). Zur Frage der Verteilung von trägerfreiem Radiolanthan (^{140}La) in Mäuseorganismus. *Naturwissenschaften*, **45**, 135-136. Translated as LF-tr-83.
- Sullivan, J.C., Friedman, A.M., Rayudu, G.V.S., Fordham, E.W. and Ramachandran, P.C. (1975). Tumor localisation studies with radioactive lanthanide and actinide complexes. *Int. J. Nucl. Med. Biol.*, **2**, 44-45.

ランタンの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	ALI (Bq)		
	経口 $f_1=1\times 10^{-3}$	吸入	
		クラスD $f_1=1\times 10^{-3}$	クラスW $f_1=1\times 10^{-3}$
¹³¹ La	2×10^9	4×10^9	6×10^9
¹³² La	1×10^8	4×10^8	4×10^8
¹³⁵ La	1×10^9	4×10^9	4×10^9
¹³⁷ La	4×10^8	2×10^8 (3×10^6) 肝臓	1×10^7 (1×10^7) 肝臓
¹³⁸ La	3×10^7	1×10^8	5×10^8
¹⁴⁰ La	2×10^7	5×10^7	4×10^7
¹⁴¹ La	1×10^8	3×10^8	4×10^8
¹⁴² La	3×10^8	8×10^8	1×10^9
¹⁴³ La	1×10^9 (1×10^9) 胃壁	4×10^9	3×10^9

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	
	クラスD $f_1=1\times 10^{-3}$	クラスW $f_1=1\times 10^{-3}$
¹³¹ La	2×10^5	3×10^6
¹³² La	2×10^5	2×10^5
¹³⁵ La	2×10^6	1×10^6
¹³⁷ La	1×10^3	4×10^3
¹³⁸ La	5×10^1	2×10^2
¹⁴⁰ La	2×10^4	2×10^4
¹⁴¹ La	1×10^5	2×10^5
¹⁴² La	3×10^5	5×10^5
¹⁴³ La	2×10^6	1×10^6

プラセオジムの代謝データ

1. 代 謝

プラセオジムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

プラセオジム化合物のラットの胃腸管からの吸収割合は、 5×10^{-8} より小さい (Hamilton, 1948) とか、 5×10^{-4} より小さい (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) とか、いろいろに報告されている。ラットにおける金属およびその硝酸塩の急性毒性についての実験 (Bruce, Hietbrink and DuBois, 1963) もまた胃腸管からの吸収割合が小さいことを示している。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、プラセオジムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

ラットについての実験から得られた利用できる数少ないデータ (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) は、プラセオジムが、ガドリニウム、イッテルビウム、ユーロピウムおよびテルビウムより長く肺に残留することを示唆している。これらの結果を考えて、またいっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムおよびプロメチウムとの類推から、プラセオジムの酸化物、水酸化物、炭化物およびフッ化物を吸入のクラス Y に、そしてふつうに存在する

この元素のその他すべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	3×10^{-4}

(c) 分布と残留

マウス (Gensicke と Henneberger, 1964) およびラット (Durbinら, 1956; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) についての研究は、静脈内、腹腔内あるいは筋肉内に注射したプラセオジムがおもに肝臓、骨格および腎臓に沈着することを示している。

ラットの骨格に沈着したプラセオジムは、そこに長期間残留する (Hamilton, 1948; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) が、マウスおよびラットの肝臓あるいは腎臓に沈着したプラセオジムのこれらの組織中での生物学的半減期はおよそ5日—10日である (Hamilton, 1948; Gensicke と Henneberger, 1964; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972)。しかし、実験は、セリウムがラットの肝臓から急速に失われるが、ネコおよびイヌの肝臓には長期間残留することを示している (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1970)。セリウムとプラセオジムの化学的類似性から、この結果はプラセオジムにも起こるものと思われる。

上で調査検討したデータに基づき、ここでは通過コンパートメントを出ていくプラセオジムのうち、0.6, 0.25および0.05の割合はそれぞれ肝臓、無機質骨および腎臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていく残りの割合は直接に排泄されると仮定する。セリウムとの類推から、肝臓あるいは無機質骨に移行したプラセオジムはそこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。腎臓に移行したプラセオジムは、そこに10日の生物学的半減期で

残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から、またこの報告書が考察するプラセオジムの同位体はいずれも15日より長い放射性半減期をもたないので、プラセオジムのすべての同位体は無機質骨に沈着した後、いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **5**, 750-759.

Durbin, P. W., Williams, M. H., Gee, M., Newman, R. H. and Hamilton, J. G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.

Gensicke, Von F. and Henneberger, G. (1964). Über die Verteilung von Radio-yttrium und radioaktiven seltenen Erden im Säugerorganismus IV Stoffwechselluntersuchungen mit Radiopräseodym (^{143}Pr) an Mäusen. *Z. Naturforsch.*, **19 B**, 893-899.

Hamilton, J. G. (1948). The metabolic properties of the fission products and actinide elements. *Rev. Mod. Phys.*, **20**, 718-728.

ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

Moskalev, Yu. I., Zalikin, G. A. and Stepanov, V. S. (1970). Distribution patterns for radioactive rare-earth elements, ANL-Trans-832.

Moskalev, Yu. I., Zalikin, G. A. and Stepanov, V. S. (1972). Distinctions of distribution in the organism of radioactive isotopes of lanthanide elements. In: *Biologicheskoye deystviye vneshnikh i vnutrennikh istochnikov radiatsii*, pp. 183-190 (eds. Moskalev, Yu. I. and Kalistratova, V. S.). Moscow. Translated in *Biological effects of radiation from external and internal sources*, AEC-tr-7457, pp. 278-287.

プラセオジムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラスW	クラスY
	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹³⁶ Pr	2×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	9×10 ⁹	8×10 ⁹
¹³⁷ Pr	1×10 ⁹	6×10 ⁹	5×10 ⁹
^{138m} Pr	4×10 ⁸	2×10 ⁹	2×10 ⁹
¹³⁸ Pr	1×10 ⁹	4×10 ⁹	4×10 ⁹
^{142m} Pr	3×10 ⁹	6×10 ⁹	5×10 ⁹
¹⁴² Pr	4×10 ⁷	8×10 ⁷	7×10 ⁷
¹⁴³ Pr	3×10 ⁷ (4×10 ⁷) 大腸下部壁	3×10 ⁷	2×10 ⁷
¹⁴⁴ Pr	1×10 ⁹ (2×10 ⁹) 胃壁	5×10 ⁹	4×10 ⁹
¹⁴⁵ Pr	1×10 ⁸	3×10 ⁸	3×10 ⁸
¹⁴⁷ Pr	2×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	7×10 ⁹	7×10 ⁹

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹³⁶ Pr	4×10 ⁶	3×10 ⁶
¹³⁷ Pr	2×10 ⁶	2×10 ⁶
^{138m} Pr	8×10 ⁵	7×10 ⁵
¹³⁸ Pr	2×10 ⁶	2×10 ⁶
^{142m} Pr	3×10 ⁶	2×10 ⁶
¹⁴² Pr	3×10 ⁴	3×10 ⁴
¹⁴³ Pr	1×10 ⁴	1×10 ⁴
¹⁴⁴ Pr	2×10 ⁶	2×10 ⁶
¹⁴⁵ Pr	1×10 ⁵	1×10 ⁵
¹⁴⁷ Pr	3×10 ⁶	3×10 ⁶

ネオジムの代謝データ

1. 代謝

ネオジムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ネオジムのラットに対する急性毒性についての実験 (Bruce, Hietbrink および DuBois, 1963) は、この元素の硝酸塩あるいは酸化物の胃腸管からの吸収割合が小さいことを示している。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、ネオジムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

吸入したネオジム化合物の分布と残留に関しては、利用しうる適切なデータはないようである。ランタニド系列中においてネオジムのすぐとなりにあるプロメチウムとの類推から、ネオジムの酸化物、水酸化物、炭化物およびフッ化物を吸入のクラス Y に指定し、またふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス W に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	3×10^{-4}

(c) 分布と残留

ネオジムをラットの静脈内あるいは筋肉内に注射した後の分布について利用できる数少ないデータ (Durbin ら, 1956; Hisada, Ando および Suzuki, 1976) は, この元素の体内における分布と残留がプロメチウムの分布と残留に類似していることを示唆している。この報告書では, プロメチウムについて用いる代謝モデルをネオジムについても用いる。

通過コンパートメントを出ていくネオジムのうち, 同じ0.45の割合は肝臓および無機質骨に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていく残りの割合は直接に排泄されると仮定する。肝臓あるいは無機質骨に移行したネオジムは, それらの組織に3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から, ネオジムのすべての同位体は無機質骨に沈着した後, いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **5**, 750-759.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Hisada, K., Ando, A. and Suzuki, Y. (1976). Radiolanthanides as tumour-localising agents. In: *Tumour Localisation with Radioactive Agents*, pp. 113-123. IAEA-MG-50/4, Vienna.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

ネオジムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	ALI (Bq)		
	経口 $f_1=3\times 10^{-4}$	吸入	
		クラスW $f_1=3\times 10^{-4}$	クラスY $f_1=3\times 10^{-4}$
¹³⁶ Nd	6×10 ⁸	2×10 ⁹	2×10 ⁹
¹³⁸ Nd	7×10 ⁷	2×10 ⁸	2×10 ⁸
^{139m} Nd	2×10 ⁸	6×10 ⁸	5×10 ⁸
¹³⁹ Nd	3×10 ⁹	1×10 ¹⁰	1×10 ¹⁰
¹⁴¹ Nd	6×10 ⁹	3×10 ¹⁰	2×10 ¹⁰
¹⁴⁷ Nd	4×10 ⁷ (5×10 ⁷) 大腸下部壁	3×10 ⁷	3×10 ⁷
¹⁴⁹ Nd	4×10 ⁸	1×10 ⁹	9×10 ⁸
¹⁵¹ Nd	3×10 ⁹	7×10 ⁹	7×10 ⁹

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	
	クラスW $f_1=3\times 10^{-4}$	クラスY $f_1=3\times 10^{-4}$
¹³⁶ Nd	9×10 ⁵	8×10 ⁵
¹³⁸ Nd	1×10 ⁵	8×10 ⁴
^{139m} Nd	3×10 ⁵	2×10 ⁵
¹³⁹ Nd	5×10 ⁶	5×10 ⁶
¹⁴¹ Nd	1×10 ⁷	9×10 ⁶
¹⁴⁷ Nd	1×10 ⁴	1×10 ⁴
¹⁴⁹ Nd	4×10 ⁵	4×10 ⁵
¹⁵¹ Nd	3×10 ⁶	3×10 ⁶

プロメチウムの代謝データ

1. 代謝

プロメチウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

プロメチウムの胃腸管からの吸収はわずかである。ミニブタにおいては、過塩素酸塩として投与したプロメチウムの f_1 は約 10^{-5} である (McClellan, Bustad および Keough, 1965)。乳を分泌しているヤギにおいては、塩化物として投与したプロメチウムの f_1 はおよそ 10^{-3} である (Ekman と Åberg, 1961)。ヒトにおいては、塩化物として投与したプロメチウムの f_1 は 10^{-5} と推定されている (Palmer, Nelson および Crook, 1970)。セリウムについての値に合わせて、この報告書においてはプロメチウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966)は、プロメチウムの酸化物、水酸化物、炭化物およびフッ化物を吸入のクラス Y に、そしてこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス W に指定した。ラットおよびイヌに Pm_2O_3 を吸入させた実験 (Shipler ら, 1976) は、この形で吸入されたプロメチウムが、クラス Y 化合物として期待されるよりもいくぶん容易に肺から移行するかもし

れないことを示している。イヌに ^{147}Pm の過塩素酸塩を吸入させた実験(Stuart, 1964)は、この化合物がマウス(GensickeとNitschke, 1965)における PmCl_3 と同じように、容易に肺から移行することを示している。

この報告書では、プロメチウムの酸化物、水酸化物、炭化物およびフッ化物を吸入のクラスYに、そしてこの元素のその他のすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_i
D	—
W	3×10^{-4}
Y	3×10^{-4}

(c) 分布と残留

プロメチウムは他のランタニドと同様に主として肝臓と骨に濃縮する(Stuart, 1964; GensickeとNitschke, 1965; GrigorescuとWeber, 1969; Smith, 1972; Gensicke, 1966)。ヒトにおいては1,000日よりも長い生物学的半減期で体内に残留する(Palmer, Nelson および Crook, 1970)。これは、ビーグル犬におけるセリウムの全身残留についての3,500日という生物学的半減期(RichmondとLondon, 1966)に比べられるであろう。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくプロメチウムのうち、0.1が直接に排泄され、また0.45および0.45の割合はそれぞれ肝臓と骨格に移行すると仮定する。肝臓あるいは骨格に移行したプロメチウムは、3,500日の生物学的半減期でそれらの組織に残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

オートラジオグラフィによる研究(Hamilton, 1948; Kawin, 1958; HölzerとGensicke, 1965; Aslingら, 1952)は、プロメチウムが主として骨の骨内

膜と骨膜の表面に沈着し、また緻密骨中の小血管の近くにも沈着することを示している。アクチニド元素との類推から、プロメチウムの同位体は骨格に沈着した後、いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Asling, C. W., Hamilton, J. G., Axelrod-Heller, D. and Louie, B. J. (1952). The Localisation of Certain Alkaline and Rare Earth Elements in the Costochondral Junction of the Rat. *Anat. Rec.*, **113**, 285-300.
- Ekman, L. and Åberg, B. (1961). Excretion of Niobium-95, Yttrium-91 Cerium-144 and Promethium-147, in Goats. *Res. Vet. Sci.*, **2**, 100-105.
- Gensicke, F. (1966). Über die Verteilung von radioyttrium and Radioaktiven Seltenen Erden in Säugerorganismus V. Stoffwechseluntersuchungen mit Radiopromethium (^{147}Pm) an Mäusen, *Z. Naturforsch.*, **21 B**, 567-573.
- Gensicke, F. and Nitschke, H. (1965). Der Stoffwechsel von Radiopromethium (^{147}Pm) nach Inhalation von Flüssigkeitsaerosolen bei Mäusen. *Strahlentherapie*, **128**, 288-295.
- Grigorescu, St. and Weber, K.M. (1969). The effect of carrier and DTPA on the distribution of ^{147}Pm in the rat. *Atomkernenergie*, **14**, 147-148.
- Hamilton, J.G. (1948). The Metabolic Properties of the Fission Products and Actinide Elements. *Rev. Mod. Phys.*, **20**, 718-728.
- Hölzer, F. and Gensicke, F. (1965). Untersuchungen über die Mikroverteilung von inhaliertem Radiopromethium (^{147}Pm). *Strahlentherapie*, **128**, 396-405.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the ICRP Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Kawin, B. (1958). The Effects of Cortisone and Ethylenediamine—Tetraacetic Acid on Deposition of Promethium (Pm^{147}). *Experientia*, **14**, 373-375.
- McClellan, R. O., Bustad, L. K. and Keough, R. F. (1965). Metabolism of Some SNAP Radionuclides in Miniature Swine. *Aerospace Med.*, **36**, 16-20.
- Palmer, H.E., Nelson, I.C. and Crook, G.H. (1970). The Uptake, Distribution and Excretion of Promethium in Humans and the Effect of DTPA on these Parameters. *Health Phys.*, **18**, 53-61.

- Richmond, C.R. and London, J.E. (1966). Long-term in vivo Retention of Cerium-144 by Beagles. *Nature*, **211**, p. 1179.
- Shipler, D.B., Ballou, J.E., Griffin, B.I. and Nelson, I.C. Development of a Diagnostic Model for Inhaled Promethium-147 Oxide. In: *Diagnosis and Treatment of Incorporated Radionuclides*. IAEA, Vienna, 1976, IAEA-SR-6/28, pp. 209-221.
- Smith, V.H. (1972). The Effect of Mass on Promethium Retention and Removal from the Rat. *Health Phys.*, **23**, 31-39.
- Stuart, B.O. (1964). Preliminary Studies of Inhaled Pm¹⁴⁷ Perchlorate. In: *US-AEC Report HW-80500*, pp. 59-63.

プロメチウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラスW	クラスY
	$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$
¹⁴¹ Pm	2×10 ⁹ (2×10 ⁹) 胃壁	7×10 ⁹	6×10 ⁹
¹⁴³ Pm	2×10 ⁸	2×10 ⁷	3×10 ⁷
¹⁴⁴ Pm	5×10 ⁷	4×10 ⁶	4×10 ⁶
¹⁴⁵ Pm	4×10 ⁸	7×10 ⁶ (8×10 ⁶) 骨表面	7×10 ⁶
¹⁴⁶ Pm	6×10 ⁷	2×10 ⁶	2×10 ⁶
¹⁴⁷ Pm	2×10 ⁸ (2×10 ⁸) 大腸下部壁	5×10 ⁶ (7×10 ⁶) 骨表面	5×10 ⁶
^{148m} Pm	3×10 ⁷	1×10 ⁷	1×10 ⁷
¹⁴⁸ Pm	2×10 ⁷ (2×10 ⁷) 大腸下部壁	2×10 ⁷	2×10 ⁷
¹⁴⁹ Pm	4×10 ⁷ (5×10 ⁷) 大腸下部壁	7×10 ⁷	7×10 ⁷
¹⁵⁰ Pm	2×10 ⁸	7×10 ⁸	6×10 ⁸
¹⁵¹ Pm	7×10 ⁷	1×10 ⁸	1×10 ⁸

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁴¹ Pm	3×10^6	3×10^6
¹⁴³ Pm	9×10^3	1×10^4
¹⁴⁴ Pm	2×10^3	2×10^3
¹⁴⁵ Pm	3×10^3	3×10^3
¹⁴⁶ Pm	8×10^2	7×10^2
¹⁴⁷ Pm	2×10^3	2×10^3
^{148m} Pm	4×10^3	5×10^3
¹⁴⁸ Pm	8×10^3	8×10^3
¹⁴⁹ Pm	3×10^4	3×10^4
¹⁵⁰ Pm	3×10^5	3×10^5
¹⁵¹ Pm	6×10^4	5×10^4

サマリウムの代謝データ

1. 代 謝

サマリウムに関しては「標準人」(ICRP, 1974)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットに対するサマリウムの急性毒性についての実験 (Bruce, Hietbrink および DuBois, 1963) は、胃腸管からのこの元素の硝酸塩および酸化物の吸収割合が小さいことを示している。広範囲にわたって研究されているランタニドのセリウムとの類推から、サマリウムのすべての化合物について、 f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

三酸化サマリウムのエアロゾルを吸入したラットおよびイヌについての実験 (Shiplier ら, 1976) は、この化合物を吸入のクラスWに指定すべきであることを示している。マウスの実験 (Gensicke と Nitschke, 1970) では、 SmCl_3 もまた吸入のクラスWに指定すべきであることを示している。この報告書では、サマリウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

マウス、ラットおよびイヌについての実験 (Durbin ら, 1956; Spode と Gensicke, 1960; Rosoff ら, 1963; Gensicke と Nitschke, 1970; Hisada と Ando, 1973; Shipler ら, 1976) は, 全身の循環系に入ったサマリウムがおもに肝臓および骨格に移行し, 少量が腎臓, 脾臓および膵臓へいくことを示している。さらに, ラットおよびイヌについてのデータ (Shipler ら, 1976) は, サマリウムの体内における分布と残留が, プロメチウムの分布と残留に非常によく似ていることを示している。したがって, この報告書では, プロメチウムについて用いた代謝モデルをサマリウムについても用いる。

通過コンパートメントを出ていくサマリウムのうち, 同じ0.45の割合が肝臓および無機質骨へ移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくサマリウムの残りの割合は, 直接に排泄されるものと仮定する。肝臓あるいは無機質骨へ移行したサマリウムは, それらの組織に3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のサマリウムは, この報告書では考察しない。それらの代謝は, この元素の他の化合物の代謝とかなり異なる (Rosoff, Siegel, Williams および Spencer, 1963)。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から、サマリウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **5**, 750-759.
- Durbin, P. W., Williams, M. H., Gee, M., Newman, R. H. and Hamilton, J. G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Gensicke, F. and Nitschke, H. W. (1970). Der Stoffwechsel von inhaliertem Radiosamarium bei Mäusen. *Radiobiol. Radiother.*, **11**, 57-61.
- Hisada, K. and Ando, A. (1973). Radiolanthanides as promising tumor scanning agents. *J. Nucl. Med.*, **14**, 615-617.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Rosoff, B., Siegel, E., Williams, G. L. and Spencer, H. (1963). Distribution and excretion of radioactive rare-earth compounds in mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **14**, 129-135.
- Shipler, D. B., Ballou, J. E., Griffin, B. I. and Nelson, I. C. (1976). Development of a diagnostic model for inhaled promethium-147 oxide. In: *IAEA International Seminar on Diagnosis and Treatment of Incorporated Radionuclides*. Vienna, IAEA-SR-6/28.
- Spode, E. and Gensicke, F. (1960). Concerning the metabolism of radiosamarium (^{153}Sm) in the white mouse, Lovelace Foundation, LF-tr-87, translated from: *Naturwissenschaften*, **47**, 542.

サマリウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口	吸入
		クラスW
	$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$
^{141m} Sm	1 × 10 ⁹	4 × 10 ⁹
¹⁴¹ Sm	2 × 10 ⁹ (2 × 10 ⁹) 胃壁	7 × 10 ⁹
¹⁴² Sm	3 × 10 ⁸	1 × 10 ⁹
¹⁴⁵ Sm	2 × 10 ⁸	2 × 10 ⁷
¹⁴⁶ Sm	5 × 10 ⁵ (9 × 10 ⁵) 骨表面	1 × 10 ³ (2 × 10 ³) 骨表面
¹⁴⁷ Sm	6 × 10 ⁵ (1 × 10 ⁶) 骨表面	1 × 10 ³ (3 × 10 ³) 骨表面
¹⁵¹ Sm	5 × 10 ⁸ (5 × 10 ⁸) 大腸下部壁	4 × 10 ⁸ (7 × 10 ⁸) 骨表面
¹⁵³ Sm	6 × 10 ⁷ (7 × 10 ⁷) 大腸下部壁	1 × 10 ⁸
¹⁵⁵ Sm	2 × 10 ⁹ (3 × 10 ⁹) 胃壁	8 × 10 ⁹
¹⁵⁶ Sm	2 × 10 ⁸	3 × 10 ⁸

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入
	クラスW
	$f_1=3\times 10^{-4}$
^{141m} Sm	2×10^6
¹⁴¹ Sm	3×10^6
¹⁴² Sm	4×10^3
¹⁴⁵ Sm	8×10^3
¹⁴⁶ Sm	6×10^{-1}
¹⁴⁷ Sm	6×10^{-1}
¹⁵¹ Sm	2×10^3
¹⁵³ Sm	4×10^4
¹⁵⁵ Sm	3×10^6
¹⁵⁶ Sm	1×10^5

ユウロピウムの代謝データ

1. 代 謝

ユウロピウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットにユウロピウムを塩化物として投与したときの胃腸管からの吸収割合の代表的な値は、 2×10^{-4} から 3×10^{-3} の範囲にある (Berke, 1970)。ラットについての別の実験 (Durbin ら, 1956; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) もまたこの元素の種々の化合物の胃腸管からの吸収が、この程度の大きさかあるいはそれ以下が代表値であることを示している。この報告書では、ユウロピウムのすべての化合物について、 f_1 を 10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

ユウロピウムの硝酸塩、塩化物および酸化物を吸入したラットとマウスについての実験 (Berke, 1964; Berke, Wilson と Berke, 1968; Johnson と Ziemer, 1971) は、これらすべての化合物を吸入のクラスWに指定すべきであることを示唆している。しかし、ラットについての別の実験 (Suzuki ら, 1969) は、硝酸ユウロピウムを吸入のクラスYに指定すべきであることを示している。

酸化ユウロピウムを事故により吸入した2人の健康な成人男子についての研究で得られたデータ (Ziemer, George および Kessler, 1968) は、この化合物

を吸入のクラスWに指定すべきであることを示している。

この報告書では、ふつうに存在するユウロピウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	10^{-3}
Y	—

(c) 分布と残留

ユウロピウムの塩化物を静脈内に注射したラットについて、Berke (1968) はユウロピウムの分布と残留を広範囲に研究した。他の研究(Durbin ら, 1956 a; Durbin ら, 1956 b; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) と同様に、彼はユウロピウムが同じような割合で骨格と肝臓に沈着することを見出した。また、静脈内に注射したユウロピウムの約0.06が腎臓に沈着することを見出した。

ラットの骨格に沈着したユウロピウムは非常に長期にわたって残留するが、一方肝臓および腎臓に沈着したユウロピウムは、約10日の生物学的半減期で体内から喪失する (Berke, 1968; Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972)。しかし、セリウムを用いた研究は、この元素がラットの肝臓から急速に失われるが、ネコおよびイヌの肝臓では長期にわたり残留することを示した (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1970)。セリウムとユウロピウムの化学的類似性から、ユウロピウムについても同じ結果が生ずるであろうと思われる。

上に述べたデータに基づいて、ここでは、通過コンパートメントを出ていくユウロピウムのうち、0.4、0.4および0.06の割合が、それぞれ肝臓、無機質骨および腎臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくユウロピウムの残りの割合は、直接に排泄されるものと仮定する。セリウムとの類推

から、肝臓あるいは無機質骨に沈着したユウロピウムは、そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。腎臓に沈着したユウロピウムは、そこに10日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ラットの骨格の種々の骨におけるユウロピウムの分布についてのデータ (Berke, 1968) は、この元素が骨の体積全体よりはむしろおもに骨表面に結合していることを示している。この報告書では、ユウロピウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Berke, H. L. (1964). The response of the respiratory tract and lung to inhaled stable and radioactive isotopes of certain elements. Annual technical report COO-1181-1.
- Berke, H.L. (1968). The metabolism of rare earths. 1. The distribution and excretion of intravenous ¹⁵²⁻¹⁵⁴europium in the rat. *Health Phys.*, **15**, 301-312.
- Berke, H.L. (1970). The metabolism of rare earths following inhalation: pathologic and biochemical response in the lung and other organs, Technical Progress Report, Wayne State Univ., Detroit, Michigan. USA. COO-1630-22.
- Berke, H. L., Wilson, G.H. and Berke, E. S. (1968). Changes in size distribution of blood lymphocytes following inhalation of radio-europium. *Int. J. Radiat. Biol.*, **14**, 561-565.
- Durbin, P.W., Asling, C.W., Johnston, M.E., Hamilton, J.G. and Williams, M.H. (1956 a). The metabolism of the lanthanons in the rat. II. Time studies of the tissue deposition of intravenously administered radioisotopes. In: *Rare Earths in Biochemical and Medical Research*, pp. 171-192 (eds. Kyker, G.C. and Anderson, E.B.). ORINS-12.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956 b). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon

- Press, Oxford, 1975.
- Johnson, R.F.Jr. and Ziemer, P.L. (1971). The deposition and retention of inhaled ¹⁵²⁻¹⁵⁴europium oxide in the rat. *Health Phys.*, **20**, 187-193.
- Moskalev, Yu. I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1970). Distribution patterns for radioactive rare earth elements, ANL-Trans-832.
- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1972). Distinctions of distribution in the organism of radioactive isotopes of lanthanide elements. In: *Biologicheskoye deystviye vneshnikh i vnutrennikh istochnikov radiatsii*. pp. 183-190 (eds. Moskalev, Yu.I. and Kalistratova, V.S.). Moscow. Translated in Biological effects of radiation from external and internal sources. AEC-tr-7457, pp. 278-287.
- Suzuki, M., Ohno, S., Okabayashi, H., Hongo, S. and Oohata, Y. (1969). Distribution and excretion of inhaled Eu by rats as applied for and activable tracer. *Proc. 9th Japanese Conference on Radioisotopes, Tokyo*, pp. 442-444.
- Ziemer, P.L., George, R.E. and Kessler, W.V. (1968). The uptake, retention, and excretion of inhaled europium oxide in two healthy adult males. In: *Proc. 1st International Congress of the International Radiation Protection Assn., Rome*, CONF-660920, **2**, 1199-1203.

ユウロピウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口	吸入
		クラスW
	$f_1=1 \times 10^{-8}$	$f_1=1 \times 10^{-8}$
¹⁴⁵ Eu	6×10^7	7×10^7
¹⁴⁶ Eu	4×10^7	5×10^7
¹⁴⁷ Eu	1×10^8	6×10^7
¹⁴⁸ Eu	4×10^7	1×10^7
¹⁴⁹ Eu	4×10^8	1×10^8
¹⁵⁰ Eu (12.62 h)	1×10^8	3×10^8
¹⁵⁰ Eu (34.2 y)	3×10^7	7×10^5
^{152m} Eu	1×10^8	2×10^8
¹⁵² Eu	3×10^7	9×10^5
¹⁵⁴ Eu	2×10^7	7×10^5
¹⁵⁵ Eu	1×10^8	3×10^6 (5×10^6) 骨表面
¹⁵⁶ Eu	2×10^7	2×10^7
¹⁵⁷ Eu	8×10^7	2×10^8
¹⁵⁸ Eu	7×10^8	2×10^9

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入
	クラスW
	$f_i=1\times 10^{-3}$
¹⁴⁵ Eu	3×10^4
¹⁴⁶ Eu	2×10^4
¹⁴⁷ Eu	3×10^4
¹⁴⁸ Eu	5×10^3
¹⁴⁹ Eu	5×10^4
¹⁵⁰ Eu (12.62 h)	1×10^5
¹⁵⁰ Eu (34.2 y)	3×10^2
^{152m} Eu	1×10^5
¹⁵² Eu	4×10^2
¹⁵⁴ Eu	3×10^2
¹⁵⁵ Eu	1×10^3
¹⁵⁶ Eu	7×10^3
¹⁵⁷ Eu	8×10^4
¹⁵⁸ Eu	9×10^5

ガドリニウムの代謝データ

1. 代 謝

ガドリニウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ガドリニウムの硝酸塩および酸化物のラットに対する急性毒性についての実験データ (Bruce, Hietbrink および DuBois, 1963) は、ガドリニウム化合物の胃腸管からの吸収割合が小さいことを示している。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、ガドリニウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

塩化ガドリニウムをラットの気管内に点滴注入した実験 (Zalikin, 1972) は、この化学形で投与したガドリニウムが、肺から全身の循環系に急速にかつほぼ完全に移行することを示している。

この報告書では、ガドリニウムのこれよりも不溶性の化合物である酸化物、水酸化物およびフッ化物を、吸入のクラスWに指定し、ふつうに存在するこの元素のその他のすべての化合物を吸入のクラスDに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	3×10^{-4}
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

塩化物として静脈内に注射したラットにおけるガドリニウムの分布と残留は、Zalikin (1972) によって研究された。この元素は、血液から急速に除去され、肝臓、骨格および腎臓に沈着する。これらの3つの組織は、また吉田肉腫をもつラットについての研究においても重要な沈着部位であると確認されている (Hisada と Ando, 1973)。また、肝臓および骨格は、 ^{159}Gd を筋肉内に注射したラットにおいてもおもな沈着部位であることが確認されている (Durbin ら, 1956)。

ガドリニウムは、ラットの肝臓および腎臓からきわめて急速に喪失するが、骨格においては長期にわたる残留がみられる (Zalikin, 1972)。しかし、セリウムを用いた研究は、セリウムがラットの肝臓から急速に喪失するが、ネコおよびイヌの肝臓では長期間残留することを示している (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1970)。セリウムとガドリニウムが化学的に類似することから、同じ結果がガドリニウムについても起こるであろうと思われる。

上で検討したデータに基づいて、ここでは、通過コンパートメントを出ていくガドリニウムのうち、0.45、0.3 および 0.03 の割合が、それぞれ無機質骨、肝臓および腎臓へ移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくガドリニウムの残りの割合は、直接に排泄されると仮定する。腎臓へ移行したガドリニウムは、そこに、10日の生物学的半減期で残留すると仮定する。セリウムとの類推から、肝臓あるいは無機質骨に沈着したガドリニウムの生物学的半減期は 3,500 日であると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から、ガドリニウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol Appl. Pharmacol.* **5**, 750-759.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Hisada, K. and Ando, A. (1973). Radiolanthanides as promising tumor scanning agents. *J. Nucl. Med.*, **14**, 615-617.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1970). Distribution patterns for radioactive rare earth elements, ANL-Trans-832.
- Zalikin, G.A. (1972). Distribution of gadolinium 153 in the rat organism. In: *Biologicheskoye deystviye vneshnikh i vnutrennikh istochnikov radiatsii*, pp. 190-197 (eds. Moskalev, Yu.I. and Kalistratova, V.S.). Moscow. Translated in *Biological effects of radiation from external and internal sources*, AEC-tr-7457, pp. 288-296.

ガドリニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口 $f_1=3\times 10^{-4}$	吸入	
		クラスD	クラスW
		$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁴⁵ Gd	2×10^9 (2×10^9) 胃壁	6×10^9	6×10^9
¹⁴⁶ Gd	5×10^7	5×10^6	1×10^7
¹⁴⁷ Gd	7×10^7	2×10^8	1×10^8
¹⁴⁸ Gd	4×10^5 (9×10^5) 骨表面	3×10^5 (6×10^2) 骨表面	1×10^5 (2×10^3) 骨表面
¹⁴⁹ Gd	1×10^8	8×10^7	9×10^7
¹⁵¹ Gd	2×10^8	1×10^7 (2×10^7) 骨表面	4×10^7
¹⁵² Gd	6×10^5 (1×10^6) 骨表面	4×10^2 (8×10^2) 骨表面	2×10^3 (3×10^3) 骨表面
¹⁵³ Gd	2×10^8	5×10^8 (9×10^8) 骨表面	2×10^7
¹⁵⁹ Gd	1×10^8	3×10^8	2×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁴⁵ Gd	2×10^6	3×10^6
¹⁴⁶ Gd	2×10^3	4×10^3
¹⁴⁷ Gd	6×10^4	5×10^4
¹⁴⁸ Gd	1×10^{-1}	5×10^{-1}
¹⁴⁹ Gd	3×10^4	4×10^4
¹⁵¹ Gd	6×10^3	2×10^4
¹⁵² Gd	2×10^{-1}	6×10^{-1}
¹⁵³ Gd	2×10^3	9×10^3
¹⁵⁹ Gd	1×10^5	9×10^4

テルビウムの代謝データ

1. 代 謝

テルビウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットの胃腸管からのテルビウムの吸収割合は、 10^{-3} (Durbin ら, 1956) より小さいとか、 5×10^{-4} (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) より小さいとか種々報告されている。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、テルビウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

ラットについての実験 (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972) から得られた利用できるわずかなデータは、テルビウム化合物の肺における残留が、いっそう広範囲に研究されているランタニドのユウロピウム化合物の残留に類似していることを示している。この理由により、ふつうに存在するテルビウムのすべての化合物を、吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

ラットについての実験では、筋肉内にあるいは静脈内に注射されたテルビウムは、おもに骨格、肝臓および腎臓に沈着する (Durbin ら, 1956 a; Durbin ら, 1956 b, Magnusson, 1963; Zalikin と Tronova, 1969; Beyer ら, 1978)。テルビウムは通常肝臓より骨格にいくぶん多く沈着する。しかし、つねにそうであるとはかぎらない (Magnusson, 1963)。

骨格に沈着したテルビウムは長期間残留する (Durbin ら, 1956 b; Zalikin と Tronova, 1969) が、一方、ラットの肝臓または腎臓に沈着したテルビウムの大部分は、これらの組織から、数日の生物学的半減期で失われる (Durbin ら, 1956 b; Zalikin と Tronova, 1969; Beyer ら, 1978)。しかし、セリウムを用いた研究は、セリウムがラットの肝臓からは急速に喪失するが、ネコおよびイヌの肝臓では長期間残留することを示している (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1970)。セリウムとテルビウムの化学的類似性から、テルビウムについてもまた同じ結果が起こるであろうと思われる。

上で検討したデータに基づいて、ここでは通過コンパートメントを出ていくテルビウムのうち、0.5, 0.25 および 0.05 の割合が、それぞれ無機質骨、肝臓および腎臓へ移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくテルビウムの残りの割合は、直接に排泄されると仮定する。セリウムとの類推から、無機質骨あるいは肝臓に沈着したテルビウムは、そこに 3,500 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。腎臓に沈着したテルビウムは、そこに 10 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から、テルビウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Beyer, G.J., Franke, W.G., Hennig, K., Johannsen, B. A., Khalkin, V. A., Kretschmar, M., Lebedev, N.A., Münze, R., Novgorodov, A.F. and Thieme, K. (1978). Comparative kinetic studies of simultaneously injected ^{167}Tm - and ^{67}Ga -citrate in normal and tumour bearing mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **29**, 673-681.
- Durbin, P.W., Asling, C.W., Johnston, M.E., Hamilton, J.G. and Williams, M.H. (1956a). The metabolism of the lanthanons in the rat. II. Time studies of the tissue deposition of intravenously administered radioisotopes. In: *Rare Earths in Biochemical and Medical Research*, pp. 171-192 (eds. Kyker, G.C. and Anderson, E.B.), ORINS-12.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956 b). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Magnusson, G. (1963). The behaviour of certain lanthanons in rats. *Acta pharmacol. et toxicol.*, **20**, Suppl. 3.
- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1970). Distribution patterns for radioactive rare earth elements, ANL-Trans-832.
- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1972). Distinctions of distribution in the organism of radioactive isotopes of lanthanide elements. In: *Biologicheskoye deystviye vneshnikh i vnutrennikh istochnikov radiatsii*, pp. 183-190 (eds. Moskalev, Yu.I. and Kalistratova, V.S.). Moscow. Translated in Biological effects of radiation from external and internal sources, AEC-tr-7457, pp. 278-288.
- Zalikin, G.A. and Tronova, I.N. (1969). Distribution of ^{160}Tb and ^{161}Tb in the body of rats. In: *Radioaktivnye izotopy i organizm, izdatel'stvo, Meditsina*, pp. 123-127 (ed. Moskalev, Yu.I.). Moscow. Translated in Radioactive isotopes and the body, AEC-tr-7195.

テルビウム同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口	吸入
		$f_1=3 \times 10^{-4}$
¹⁴⁷ Tb	3×10^8	1×10^9
¹⁴⁸ Tb	2×10^8	3×10^7
¹⁵⁰ Tb	2×10^8	8×10^8
¹⁵¹ Tb	1×10^8	3×10^8
¹⁵³ Tb	2×10^8	3×10^8
¹⁵⁴ Tb	6×10^7	2×10^8
¹⁵⁵ Tb	2×10^8	3×10^8
^{156m} Tb (24.4 h)	3×10^8	3×10^8
^{156m} Tb (5.0 h)	6×10^8	1×10^9
¹⁵⁶ Tb	4×10^7	5×10^7
¹⁵⁷ Tb	2×10^9 (2×10^9) 大腸下部壁	1×10^7 (2×10^7) 骨表面
¹⁵⁸ Tb	5×10^7	7×10^8
¹⁶⁰ Tb	3×10^7	8×10^8
¹⁶¹ Tb	6×10^7 (7×10^7) 大腸下部壁	6×10^7

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入
	クラスW
	$f_1=3 \times 10^{-4}$
¹⁴⁷ Tb	5×10^5
¹⁴⁹ Tb	1×10^4
¹⁵⁰ Tb	3×10^5
¹⁵¹ Tb	1×10^5
¹⁵³ Tb	1×10^5
¹⁵⁴ Tb	7×10^4
¹⁵⁵ Tb	1×10^5
^{156m} Tb (24.4 h)	1×10^5
^{156m} Tb (5.0 h)	4×10^5
¹⁵⁶ Tb	2×10^4
¹⁵⁷ Tb	5×10^3
¹⁵⁸ Tb	3×10^2
¹⁶⁰ Tb	4×10^3
¹⁶¹ Tb	2×10^4

λ	入射のクラス
—	D
10^{-4}	W
—	Y

ジスプロシウムの代謝データ

1. 代 謝

ジスプロシウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットに対するジスプロシウムの硝酸塩および酸化物の急性毒性についての実験 (Bruce, Hietbrink および DuBois, 1963) は、胃腸管からのこの元素の吸収割合が小さいことを示している。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、ジスプロシウムのすべての化合物について、 f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

ジスプロシウムの化合物の吸入に関して利用できる適切なデータはないようである。いっそう広範囲に研究されているランタニドのサマリウムとユウロビウムとの類推から、ふつうに存在するジスプロシウムのすべての化合物を、吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

マウスとラットについての研究から得られた利用できるわずかのデータ (Durbin ら, 1956; Hayes, Byrd および Carlton, 1968; Hisada, Ando および Suzuki, 1976) は, 全身の循環系に入ったジスプロシウムのうち, 約0.6, 0.1および0.02の割合が, それぞれ骨格, 肝臓および腎臓に沈着することを示している。

この報告書では, 通過コンパートメントを出ていくジスプロシウムのうち, 0.6, 0.1および0.02の割合が, それぞれ無機質骨, 肝臓および腎臓へ移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくジスプロシウムの残りの割合は, 直接に排泄されると仮定する。セリウムとの類推から, 無機質骨あるいは肝臓に沈着したジスプロシウムは, そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。ランタニド系列中で, ジスプロシウムのすぐとりにあるテルビウムとの類推から, 肝臓に移行したジスプロシウムは, そこに10日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のジスプロシウムは, この報告書では考察しない。その代謝は, この元素の他の化合物の代謝とはかなり異なる (Hayes, Byrd および Carlton, 1968)。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から, ジスプロシウムのすべての同位体は, 無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian

- toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **5**, 750-759.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Hayes, R.L., Byrd, B.L. and Carlton, J.E. (1968). Rare earths as possible bone scanning agents, Oak Ridge Research Report, ORAU-107, pp. 133-135.
- Hisada, K., Ando, A. and Suzuki, Y. (1976). Radiolanthanides as tumour-localising agents. In: *Tumor Localisation with Radioactive Agents*, IAEA-MG-50/4, pp. 113-123, Vienna.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

ジスプロシウム同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	吸入	
	経口	クラスW
	$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$
¹⁵⁵ Dy	3×10^8	9×10^8
¹⁵⁷ Dy	7×10^8	2×10^9
¹⁵⁹ Dy	5×10^8	9×10^7
¹⁶⁵ Dy	5×10^8	2×10^9
¹⁶⁶ Dy	2×10^7 (3×10^7) 大腸下部壁	3×10^7

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	
	クラスW	
	$f_1=3 \times 10^{-4}$	
¹⁵⁵ Dy	4×10^5	
¹⁵⁷ Dy	1×10^6	
¹⁵⁹ Dy	4×10^4	
¹⁶⁵ Dy	7×10^5	
¹⁶⁶ Dy	1×10^4	

ホルミウムの代謝データ

1. 代 謝

ホルミウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットに対するホルミウムの急性毒性についての実験(Bruce, Hietbrink および DuBois, 1963)は、この元素の硝酸塩および酸化物の胃腸管からの吸収割合が小さいことを示している。この報告書では、ホルミウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

ホルミウムの吸入に関して利用できる適切なデータは何もないようである。いっそう広範囲に研究されているランタニドのツリウムとの類推から、ホルミウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

肝臓と骨格が、ホルミウムの沈着する2つのおもな組織であるということは一般に認められているが、それらのうちいずれが重要であるかは確定していない。筋肉内注射後のラットについての研究は、全身の循環系に入ったホルミウムのうち骨格および肝臓に沈着する割合が、それぞれ約0.6と0.05であることを示している。しかし、ラットについての他の実験 (Magnusson, 1963) は、静脈内に注射したホルミウムのうち約0.6が肝臓に沈着することを示している。この後者の結果は、腹腔内に注射したホルミウムの0.4が肝臓に見出され、わずかに約0.05が骨格に見出されたマウスについての研究 (Spode, Gensicke および Glaser, 1959) とよく一致している。

マウスについての研究 (Spode, Gensicke および Glaser, 1959) は、また全身の循環系に入ったホルミウムのうち約0.05が脾臓に沈着することも示している。

上で検討したデータに基づき、ここでは通過コンパートメントを出ていくホルミウムのうち、0.4、0.4、および0.05の割合が、それぞれ無機質骨、肝臓および脾臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくホルミウムの残りの割合は、直接に排泄されると仮定する。セリウムとの類推から、任意の器官あるいは組織に移行するホルミウムは、そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から、ホルミウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **5**, 750-759.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Magnusson, G. (1963). The behaviour of certain lanthanons in rats. *Acta Pharmacol. Toxicol.*, **20**, Suppl. 3.
- Spode, E., Gensicke, F. and Glaser, R. (1959). Untersuchungen über das Verhalten von Radioholmium (^{166}Ho) im Organismus der weissen Maus. *Strahlentherapie*, **108**, 97-101.

ホルミウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入	
	経 口	クラスW
	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
^{155}Ho	2×10^9	6×10^9
^{157}Ho	1×10^{10}	5×10^{10}
^{158}Ho	8×10^9	4×10^{10}
^{161}Ho	4×10^9	2×10^{10}
^{162m}Ho	2×10^9	1×10^{10}
^{162}Ho	2×10^{10} (3×10^{10}) 胃壁	9×10^{10}
^{164m}Ho	4×10^9	1×10^{10}
^{164}Ho	7×10^9 (8×10^9) 胃壁	2×10^{10}
^{166m}Ho	2×10^7	3×10^5
^{166}Ho	3×10^7 (3×10^7) 大腸下部壁	7×10^7
^{167}Ho	6×10^8	2×10^9

専門委員会 2 の報告

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入
	クラスW
	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁵⁵ Ho	2×10^6
¹⁵⁷ Ho	2×10^7
¹⁵⁹ Ho	2×10^7
¹⁶¹ Ho	6×10^6
^{162m} Ho	4×10^6
¹⁶² Ho	4×10^7
^{164m} Ho	5×10^6
¹⁶⁴ Ho	1×10^7
^{160m} Ho	1×10^2
¹⁶⁶ Ho	3×10^4
¹⁶⁷ Ho	9×10^5

エルビウムの代謝データ

1. 代 謝

エルビウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

胃腸管からのエルビウムの吸収に関して利用できる適切なデータは何もないようである。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、エルビウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

エルビウム化合物の吸入について利用できる適切なデータは何もないようである。ランタニド系列中ですぐとりにあって、いっそう広範囲に研究されているトリウムとの類推から、エルビウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

マウス, ラットおよびウサギにおける実験データ(Durbin ら, 1956; O'Mara, McAfee および Subramanian, 1969; Rao, Goodwin と Khalil, 1974; Hisada, Ando および Suzuki, 1976) は, エルビウムがおもに骨格に沈着するが, 第2の沈着部位として, 肝臓およびある程度は腎臓にも沈着することを示している。

上で検討したデータに基づいて, ここでは, 通過コンパートメントを出ていくエルビウムのうち, 0.6 および0.05の割合がそれぞれ無機質骨および肝臓に移行すると仮定する。さらに, 割合0.1が肝臓と骨格以外の人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくエルビウムの残りの割合は, 直接に排泄されると仮定する。セリウムとの類推から, 任意の器官および組織に移行したエルビウムは, そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するエルビウムの同位体には, 10日を超える放射性半減期をもつものは1つもないので, プロメチウムとの類推から, エルビウムのすべての同位体は, 無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Hisada, K., Ando, A. and Suzuki, Y. (1976). Radiolanthanides as tumour-localising agents. In: *Tumour Localisation with Radioactive Agents*, IAEA-MG-50/4, pp. 113-123, Vienna.
- O'Mara, R.E., McAfee, J.G. and Subramanian, G. (1969). Rare earth nuclides as potential agents for skeletal imaging. *J. Nucl. Med.*, **10**, 49-51.

Rao, D.V., Goodwin, P.N. and Khalil, F.L. (1974). ¹⁶⁹Er: an 'ideal' radionuclide for imaging with pressurized multiwire proportional gamma cameras. *J. Nucl. Med.*, **15**, 1008-1010.

エルビウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口 $f_1=3\times 10^{-4}$	吸入
		クラスW $f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁶¹ Er	6×10^9	2×10^9
¹⁶⁵ Er	2×10^9	7×10^9
¹⁶⁹ Er	1×10^9 (1×10^9) 大腸下部壁	9×10^7
¹⁷¹ Er	1×10^9	4×10^8
¹⁷² Er	4×10^7 (5×10^7) 大腸下部壁	5×10^7

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
		吸入
		クラスW $f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁶¹ Er	1×10^6	
¹⁶⁵ Er	3×10^6	
¹⁶⁹ Er	4×10^4	
¹⁷¹ Er	2×10^5	
¹⁷² Er	2×10^4	

ツリウムの代謝データ

1. 代 謝

ツリウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ツリウムの胃腸管吸収について利用できる適切なデータはないようである。他のランタニドとの類推から、胃腸管からのこの元素の吸収割合は、非常に小さいと予想される。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、ツリウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

酸化ツリウムのエアロゾルを吸入したイヌの実験から得られたデータ(Thomas と Kingsley, 1970) およびミクロン以下の酸化ツリウムの粒子を事故により吸入したヒトについての研究(Yabe ら, 1974)は、この化合物を吸入のクラスWに指定すべきであることを示している。この報告書では、ふつうに存在するツリウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

マウス (Steinberg ら, 1973, Beyer ら, 1978), ラット (Durbin ら, 1956 a; Durbin ら, 1956 b; Thomas と Kingsley, 1969; Beyer ら, 1978; Hiraki ら, 1978), ウサギ (Chandra ら, 1971, Beyer ら, 1978), イヌ (Thomas と Kingsley, 1970) およびヒト (Steinberg ら, 1973) における実験は, ツリウムがおもに骨格に沈着し, 第2の沈着部位として, 肝臓およびある程度は腎臓にも沈着することを示している。

ラットにおける研究 (Durbin ら, 1956 b; Thomas と Kingsley, 1969) は, 骨格内のツリウムの残留に関して1,000日を超える生物学的半減期を示している。ラットにおける他の実験 (Hiraki ら, 1978) も, また, 骨格内のツリウムの生物学的半減期が非常に長いことを示しており, このことはイヌにツリウムの酸化物を吸入させた後のツリウムの分布を測定 (Thomas と Kingsley, 1970) することによっても確認されている。

ヒトにおいて, ツリウムの全身残留が, 4人の患者にクエン酸塩を静脈内注射した後の15日間にわたって研究された (Steinberg ら, 1973)。注射したツリウムの約0.2が, 注射後最初の3日間に体内から失われた。その後は全身のツリウムの約0.002だけが毎日尿中に排泄された。

上に検討したデータに基づいて, ここでは, 通過コンパートメントを出ていくツリウムのうち, 0.65と0.04の割合がそれぞれ無機質骨と肝臓に移行すると仮定する。さらに, 割合0.1が肝臓と無機質骨以外の全身のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくツリウムの残りの割合は, 直接に排泄されると仮定する。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から, 任意の器官あるいは組織に移行したツリウムは, そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

6か月齢の子イヌについてのオートラジオグラフィによる研究 (Jowsey, Rowland および Marshall, 1958) は ^{91}Y , ^{144}Ce および ^{170}Tm が, 高度に石灰化し成長を停止した骨の表面に沈着することを示している。このことは, 骨におけるツリウムの沈着が, アルカリ土類の分布よりアクチニドの分布によりいっそう類似していることを示している。この理由により, ツリウムのすべての同位体は, 無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Beyer, G.J., Franke, W.G., Hennig, K., Johannsen, B. A., Khalkin, V. A., Kretzschmar, M., Lebedev, N.A., Münze, R., Novgorodov, A.F. and Thieme, K. (1978). Comparative kinetic studies of simultaneously injected ^{167}Tm - and ^{67}Ga -citrate in normal and tumour bearing mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **29**, 673-681.
- Chandra, R., Hernberg, J., Braunstein, P. and Rosenfeld, W. (1971). ^{167}Tm : a new bone scanning agent. *Radiol.*, **100**, 687-689.
- Durbin, P.W., Asling, C.W., Johnston, M.E., Hamilton, J.G. and Williams, M. H. (1956a). The metabolism of the lanthanons in the rat. II. Time studies of the tissue deposition of intravenously administered radioisotopes. In: *Rare Earths in Biochemical and Medical Research* (eds. Kyker, G.C. and Anderson, E.B.), ORINS-12, pp. 171-192.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956 b). Metabolism of lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Hiraki, T., Ando, A., Mori, H., Ando, I., Sakamoto, K., Amano, R., Kojima, K. and Hisada, K. (1978). Whole body retention studies of ^{167}Tm -citrate-estimation of radiation dose to human from ^{167}Tm -citrate. *Radioisotopes (Tokyo)*, **27**, 85-89. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Jowsey, J., Rowland, R.E. and Marshall, J.H. (1958). The deposition of the rare

- earths in bone. *Rad. Res.*, 8, 490-501.
- Steinberg, M., Rasmussen, J. W., Ennow, K., Roy-Poulson, N. O., Voetmann, V., Poulsen, B. and Andersen, M. L. (1973). ^{187}Tm -citrate for bone imaging. In: *Radiopharmaceuticals and Labelled Compounds*. Vol. II, pp. 151-160, IAEA-SM-171.
- Thomas, R.L. and Kingsley, B.L. (1969). Retention and tissue distribution of ^{171}Tm in the rat following intravenous injection of $^{171}\text{TmCl}_3$. In: *Fission Product Inhalation Program Annual Report 1968-1969*, LF-41, pp. 130-135. Lovelace Foundation, Albuquerque, New Mexico.
- Thomas, R.L. and Kingsley, B.L. (1970). Retention of ^{171}Tm following inhalation of oxide by beagle dogs. In: *Fission Product Inhalation Program Annual Report 1969-1970*, LF-43, pp. 71-78. Lovelace Foundation, Albuquerque, New Mexico.
- Yabe, A., Yamagishi, H., Fukuda, H., Takahashi, Y., Mizushita, S. and Hattori, T. (1974). A case study of human contamination due to inhaled thulium-170 oxide. In: *Proc. 111rd Int. Cong. IRPA, Washington, 1973* (ed. Snyder, W.S.), CONF-730907, Part 2, pp. 1390-1395.

ツリウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口 $f_1=3\times 10^{-4}$	吸入
		クラスW $f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁶² Tm	2×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	1×10 ¹⁰
¹⁶⁶ Tm	2×10 ⁸	5×10 ⁸
¹⁶⁷ Tm	8×10 ⁷ (9×10 ⁷) 大腸下部壁	7×10 ⁷
¹⁷⁰ Tm	3×10 ⁷ (4×10 ⁷) 大腸下部壁	8×10 ⁶
¹⁷¹ Tm	4×10 ⁸ (5×10 ⁸) 大腸下部壁	1×10 ⁷ (2×10 ⁷) 骨表面
¹⁷² Tm	3×10 ⁷ (3×10 ⁷) 大腸下部壁	4×10 ⁷
¹⁷³ Tm	2×10 ⁸	4×10 ⁸
¹⁷⁵ Tm	2×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	1×10 ¹⁰

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸入	
	クラスW	
	$f_1=3\times 10^{-4}$	
¹⁶² Tm	4×10 ⁶	
¹⁶⁶ Tm	2×10 ⁵	
¹⁶⁷ Tm	3×10 ⁴	
¹⁷⁰ Tm	3×10 ³	
¹⁷¹ Tm	4×10 ³	
¹⁷² Tm	2×10 ⁴	
¹⁷³ Tm	2×10 ⁵	
¹⁷⁵ Tm	4×10 ⁶	

イッテルビウムの代謝データ

1. 代謝

イッテルビウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットの胃腸管からのイッテルビウムの吸収割合は 5×10^{-4} より小さいと報告されている(Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972)。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、イッテルビウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

イッテルビウムの吸入あるいは気管内投与について入手できるわずかなデータ(Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972)は、この元素が肺からゆるやかにしか除去されないことを示している。したがって、肺におけるイッテルビウムの挙動は、質量がイッテルビウムに近いユロピウムの挙動より、むしろ、これより軽いランタニドのセリウムとプロメチウムの挙動に類似していると思われる。それゆえ、セリウムとの類推から、イッテルビウムの酸化物、水酸化物およびフッ化物を吸入のクラスYに指定し、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	3×10^{-4}

(c) 分布と残留

マウス (Higashi ら, 1973; Francke ら, 1976), ラット (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1972; Hisada と Ando, 1973; Baltrukiewicz, Burakowski および Pogorzelska-Lis, 1975; Beyer ら, 1978) およびヒト (Tatsuno, Bunko および Kato, 1974) に関する研究から得られたデータは, イッテルビウムは, 肝臓, 腎臓, またある程度は, 脾臓にも沈着するが, 骨格がそのおもな沈着器官であることを示している。

マウスでは, クエン酸塩として静脈内注射されたイッテルビウムの全身残留が, 0.3日と800日の半減期をもつ2つの指数項によってよく表されることが見出された (Anzai ら, 1974)。ラットでは, 0.15日, 8日および850日の生物学的半減期をもつ3つの指数項が見出された (Ando ら, 1977)。

マウス (Francke ら, 1976) およびラット (Baltrukiewicz, Burakowski および Pogorzelska-Lis, 1975; Beyer ら, 1978) についての研究から得られたデータは, イッテルビウムが腎臓から, 他の組織からよりも速やかに喪失することを示している。

上で検討したデータに基づいて, ここでは, 通過コンパートメントを出ていくイッテルビウムのうち, 0.5, 0.03, 0.02 および 0.005 の割合が, それぞれ無機質骨, 肝臓, 腎臓および脾臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくイッテルビウムの残りの割合は, 直接に排泄されると仮定する。ユロピウムおよびテルビウムとの類推から, また, 上で検討した実験データにより, 腎臓に移行したイッテルビウムは, そこに10日の生物学的半減期で残留

すると仮定する。人体のその他任意の器官あるいは組織に移行したイッテルビウムは、そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。ゲッ歯類について見出された800日というこれより短い全身の半減期は、ゲッ歯類の骨格のターンオーバーが比較的速やかであることに一部はよっていると考えられるため、セリウムについて使用した生物学的半減期に等しい3,500日という半減期を採用する。

(d) キレート化合物

イッテルビウムのキレート化合物は、この報告書では考察しない。それらの代謝挙動は、この元素の他の化合物の挙動とはかなり異なる (Baltrukiewicz, Burakowski および Pogorzelska-Lis, 1975)。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

プロメチウムとの類推から、またこの報告書で考察するイッテルビウムの同位体には32日より長い放射性半減期をもつものがないので、この元素のすべての同位体は無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Ando, A., Mori, H., Ando, I., Hiraki, T. and Hisada, K. (1977). Whole-body retention studies of ^{169}Yb -citrate-estimation of radiation dose to humans from ^{169}Yb -citrate. *Radioisotopes (Tokyo)*, **26**, 602-605.
- Anzai, I., Kanno, M., Tobar, H. and Higashi, T. (1974). Skeletal dose estimation of the patient administered ytterbium-169 citrate for tumor diagnosis. *Radioisotopes (Tokyo)*, **23**, 59-63.
- Baltrukiewicz, Z., Burakowski, T. and Pogorzelska-Lis, M. (1975). Distribution and retention of $^{169}\text{YbCl}_3$, $^{169}\text{Yb-EDTA}$ and $^{169}\text{Yb-DTPA}$ injected intravenously in the rat. *Acta Physiol. Pol.*, **26**, 205-212.

- Beyer, G.J., Franke, W.G., Henning, K., Johannsen, B.A., Khalkin, V.A., Kretzschmar, M., Lebedev, N.A., Münze, R., Novgorodov, A.F. and Thieme, K. (1978). Comparative kinetic studies of simultaneously injected ^{187}Tm - and ^{67}Ga -citrate in normal and tumour bearing mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **29**, 673-681.
- Franke, Von W.G., Kühne, A., Henke, E. and Johannsen, B.A. (1976). Ergebnisse der Tumorszintigraphie mit ^{169}Yt terbiumzitat, Dt. Gesundh. Wesen, **31**, 2272-2278.
- Hisada, K. and Ando, A. (1973). Radiolanthanides as promising tumor scanning agents. *J. Nucl. Med.*, **14**, 615-617.
- Higasi, T., Fujimura, T., Nakayama, Y., Hisada, T., Tomura, K., Kawai, K. and Nakamura, K. (1973). On the accumulation of ^{169}Yb -citrate in malignant tumor. *Kaku Igaku*, **10**, 27-35.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1972). Distinctions of distribution in the organism of radioactive isotopes of lanthanide elements. In: *Biologicheskoye deystviye vneshnikh i vnutrennikh istochnikov radiatsii*, pp. 183-190 (eds. Moskalev, Yu.I. and Kalistratova, V.S.). Moscow. Translated in Biological effects of radiation from external and internal sources. AEC-tr-7457, pp. 278-287.
- Tatsuno, I., Bunko, H. and Kato, S. (1974). Bone tumor imaging with ^{169}Yb -citrate. *Kaku Igaku*, **11**, 471-478.

イッテルビウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空
 気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	ALI (Bq)		
	経口	吸入	
		クラスW	クラスY
$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$	
¹⁶² Yb	3×10^9	1×10^{10}	1×10^{10}
¹⁶⁶ Yb	5×10^7	7×10^7	7×10^7
¹⁶⁷ Yb	1×10^{10}	3×10^{10}	3×10^{10}
¹⁶⁹ Yb	7×10^7	3×10^7	3×10^7
¹⁷⁵ Yb	1×10^8 (1×10^9) 大腸下部壁	1×10^8	1×10^8
¹⁷⁷ Yb	6×10^8	2×10^9	2×10^9
¹⁷⁸ Yb	5×10^8	1×10^9	1×10^9

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=3 \times 10^{-4}$	$f_1=3 \times 10^{-4}$
¹⁶² Yb	5×10^6	4×10^6
¹⁶⁶ Yb	3×10^4	3×10^4
¹⁶⁷ Yb	1×10^7	1×10^7
¹⁶⁹ Yb	1×10^4	1×10^4
¹⁷⁵ Yb	5×10^4	5×10^4
¹⁷⁷ Yb	8×10^5	7×10^5
¹⁷⁸ Yb	6×10^5	6×10^5

ルテチウムの代謝データ

1. 代 謝

ルテチウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

マウスにおける塩化ルテチウム (Haley ら, 1964) およびラットにおける硝酸塩あるいは酸化物としてのルテチウム (Bruce, Hietbrink および DuBois, 1963) に関する急性毒性についてのデータは、ルテチウムの胃腸管からの吸収割合の代表的な値が 5×10^{-3} より小さいことを示している。いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、ルテチウムのすべての化合物について f_1 を 3×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

吸入後のルテチウムの挙動に関しては、入手できる適切なデータがないようである。イッテルビウムの場合のように、ルテチウムの肺内残留は、おそらく、ユウロピウムよりもセリウムおよびプロメチウムにいっそう類似している。したがって、セリウムとの類推から、ルテチウムの酸化物、水酸化物およびフッ化物を吸入のクラスYに指定し、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	3×10^{-4}
Y	3×10^{-4}

(c) 分布と残留

マウス (Spode, Gensicke および Glaser, 1958; Müller, Linzner および Schäffer, 1978), ラット (Durbin ら, 1956; Marx, 1972; Beyer ら, 1978) およびウサギ (O'Mara, McAfee および Subramanian, 1969) についての実験で得られたデータは、全身の循環系に入ったルテチウムの半分以上が骨格に沈着し、少量のみが肝臓および腎臓に移行することを示している。

マウス (Müller, Linzner および Schäffer, 1978) についての実験では、全身の循環系に入ったルテチウムのおよそ半分が、注射後最初の24時間に排泄された。しかし、ラットについての実験では、最初の24時間に排泄される割合は、0.1と0.2の間にあった (Durbin ら, 1956; Marx, 1972; Beyer ら, 1978)。

いっそう広範囲に研究されている他のランタニドと同じように、ルテチウムはマウスおよびラットの軟組織では10日と40日の間の生物学的半減期を有するが、骨格では非常に長い生物学的半減期を有する (Marx, 1972; Müller, Linzner および Schäffer, 1978)。しかし、セリウムを用いた研究の示すところでは、セリウムはマウスおよびラットの肝臓からは速やかに失われるが、ネコおよびイヌの肝臓には長期間残留する (Moskalev, Zalikin および Stepanov, 1970)。セリウムとルテチウムの化学的類似性から、この結果がルテチウムについても起こるであろうと思われる。

上で検討したデータに基づいて、ここでは、通過コンパートメントを出ていくルテチウムのうち、0.6、0.02 および 0.005 の割合が、それぞれ無機質骨、肝臓および腎臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくルテ

チウムの残りの割合は直接に排泄されると仮定する。

いっそう広範囲に研究されているランタニドのセリウムとの類推から、無機質骨あるいは肝臓に沈着したルテチウムは、そこに3,500日の生物学的半減期で残留すると仮定する。ユウロピウムおよびテルビウムとの類推から、腎臓に沈着したルテチウムは、そこに10日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

無機質骨におけるルテチウムの初期沈着は、プロメチウムの初期沈着に非常に似ている (Müller, Linzner および Schäffer, 1978)。したがって、類推により、この報告書では、ルテチウムのすべての同位体は無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Beyer, G.J., Franke, W.G., Hennig, K., Johannsen, B. A., Khalkin, V. A., Kretschmar, M., Lebedev, N.A., Münze, R., Novgorodov, A.F. and Thieme, K. (1978). Comparative kinetic studies of simultaneously injected ^{167}Tm - and ^{67}Ga -citrate in normal and tumour bearing mice. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, **29**, 673-681.
- Bruce, D. W., Hietbrink, B. E. and DuBois, K. P. (1963). The acute mammalian toxicity of rare earth nitrates and oxides. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, **5**, 750-759.
- Durbin, P.W., Williams, M.H., Gee, M., Newman, R.H. and Hamilton, J.G. (1956). Metabolism of the lanthanons in the rat. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **91**, 78-85.
- Haley, T.J., Komesu, N., Efros, M., Koste, L. and Upham, H.C. (1964). Pharmacology and toxicology of lutetium chloride. *J. Pharm. Sci.*, **53**, 1186-1188.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Marx, R. (1972). Kinetics of whole-body and organ activity following intravenous injection of ^{177}Lu into rats. Diss. (M.D.) available from the library of the Freie University, Berlin.

- Moskalev, Yu.I., Zalikin, G.A. and Stepanov, V.S. (1970). Distribution patterns for radioactive rare-earth elements, ANL-Trans-832.
- Müller, W.A., Linzer, U. and Schäffer, E.H. (1978). Organ distribution studies of lutetium-177 in mouse. *Int. J. Nucl. Med. Biol.*, 5, 29-31.
- O'Mara, R.E., McAfee, J.G. and Subramanian, G. (1969). Rare earth nuclides as potential agents for skeletal imaging. *J. Nucl. Med.*, 10, 49-51.
- Spode, E., Gensicke, F. and Glaser, R. (1958). The problem of the distribution of radiolutetium (^{177}Lu) in the mouse organism with different routes of administration, LF-tr-88. Translated from *Experientia*, 14, 486-487.

ルテチウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中
濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口 $f_1=3\times 10^{-4}$	吸入	
		クラスW $f_1=3\times 10^{-4}$	クラスY $f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁶⁹ Lu	9×10^7	2×10^8	2×10^8
¹⁷⁰ Lu	4×10^7	8×10^7	7×10^7
¹⁷¹ Lu	7×10^7	7×10^7	7×10^7
¹⁷² Lu	4×10^7	4×10^7	4×10^7
¹⁷³ Lu	2×10^8	1×10^7 (2×10^7) 骨表面	1×10^7
^{174m} Lu	8×10^7 (1×10^8) 大腸下部壁	9×10^8 (1×10^7) 骨表面	8×10^8
¹⁷⁴ Lu	2×10^8	4×10^8 (8×10^8) 骨表面	6×10^8
^{176m} Lu	3×10^8	9×10^8	8×10^8
¹⁷⁶ Lu	3×10^7	2×10^8 (4×10^8) 骨表面	3×10^8
^{177m} Lu	3×10^7	4×10^8 (5×10^8) 骨表面	3×10^8
¹⁷⁷ Lu	8×10^7 (9×10^7) 大腸下部壁	8×10^7	8×10^7
^{178m} Lu	2×10^9 (2×10^9) 胃壁	7×10^9	6×10^9
¹⁷⁸ Lu	1×10^9 (2×10^9) 胃壁	5×10^9	4×10^9
¹⁷⁹ Lu	2×10^8	7×10^8	6×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=3\times 10^{-4}$	$f_1=3\times 10^{-4}$
¹⁶⁹ Lu	7×10^4	6×10^4
¹⁷⁰ Lu	3×10^4	3×10^4
¹⁷¹ Lu	3×10^4	3×10^4
¹⁷² Lu	2×10^4	2×10^4
¹⁷³ Lu	4×10^3	4×10^3
^{174m} Lu	4×10^3	3×10^3
¹⁷⁴ Lu	2×10^3	2×10^3
^{176m} Lu	4×10^5	4×10^5
¹⁷⁶ Lu	7×10^1	1×10^2
^{177m} Lu	2×10^3	1×10^3
¹⁷⁷ Lu	3×10^4	3×10^4
^{178m} Lu	3×10^6	3×10^6
¹⁷⁸ Lu	2×10^6	2×10^6
¹⁷⁹ Lu	3×10^5	2×10^5

ハフニウムの代謝データ

1. 代謝

ハフニウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

胃腸管からのハフニウム化合物の吸収に関して入手できる適切なデータは何もないようである。化学的に類似し、また、いっそう広範囲に研究されている元素であるジルコニウムとの類推から、ハフニウムのすべての化合物について f_1 を 0.002 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966)は、ハフニウムの酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、炭化物および硝酸塩を吸入のクラスWに、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。適切な実験データがなにもないので、ここではこの分類を採用する。

吸入のクラス	f_1
D	0.002
W	0.002
Y	—

(c) 分布と残留

ハフニウムの化学的性質は、ジルコニウムの化学的性質に非常に似ている。ハフニウムの代謝についての適切なデータはなにもないので、ジルコニウムの代謝モデルを使用する。

通過コンパートメントを出ていくハフニウムのうち、0.5は無機質骨に移行すると仮定し、また0.5は人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。無機質骨に沈着したハフニウムは、そこに8,000日の生物学的半減期で残留すると仮定するが、他の任意の器官あるいは組織に移行したハフニウムは、そこに7日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ジルコニウムとの類推から、ハフニウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.

ハフニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラスD	
		クラスD	クラスW
	$f_1=2\times 10^{-3}$	$f_1=2\times 10^{-3}$	$f_1=2\times 10^{-3}$
¹⁷⁰ Hf	1×10^8	2×10^8	2×10^8
¹⁷² Hf	5×10^7	3×10^5 (7×10^5) 骨表面	1×10^6 (2×10^6) 骨表面
¹⁷³ Hf	2×10^8	5×10^8	4×10^8
¹⁷⁵ Hf	1×10^8	4×10^7 (4×10^7) 骨表面	4×10^7
^{177m} Hf	7×10^8	2×10^9	3×10^9
^{178m} Hf	9×10^6	5×10^4 (9×10^4) 骨表面	2×10^5 (3×10^5) 骨表面
^{179m} Hf	4×10^7	1×10^7 (2×10^7) 骨表面	2×10^7
^{180m} Hf	3×10^8	8×10^8	9×10^8
¹⁸¹ Hf	4×10^7	6×10^6 (1×10^7) 骨表面	2×10^7
^{182m} Hf	1×10^9	3×10^9	5×10^9
¹⁸² Hf	7×10^6 (1×10^7) 骨表面	3×10^4 (7×10^4) 骨表面	1×10^5 (3×10^5) 骨表面
¹⁸³ Hf	8×10^8	2×10^9	2×10^9
¹⁸⁴ Hf	9×10^7	3×10^8	2×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=2\times 10^{-3}$	$f_1=2\times 10^{-3}$
¹⁷⁰ Hf	9×10^4	7×10^4
¹⁷² Hf	1×10^2	6×10^2
¹⁷³ Hf	2×10^5	2×10^5
¹⁷⁵ Hf	1×10^4	2×10^4
^{177m} Hf	9×10^5	1×10^6
^{178m} Hf	2×10^1	8×10^1
^{179m} Hf	5×10^3	9×10^3
^{180m} Hf	3×10^5	4×10^5
¹⁸¹ Hf	3×10^3	7×10^3
^{182m} Hf	1×10^6	2×10^6
¹⁸² Hf	1×10^1	5×10^1
¹⁸³ Hf	7×10^5	9×10^5
¹⁸⁴ Hf	1×10^5	1×10^6

タンタルの代謝データ

1. 代 謝

タンタルに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットについての実験から得られたデータ (Fleshman, Silva および Shore, 1971) は、タンタル酸カリウムとして投与したタンタルの、ラットの胃腸管からの吸収割合が約 10^{-3} であることを示唆している。ラットについての他の研究 (Doull と DuBois, 1949) は、酸化物として投与したタンタルの吸収割合もまた小さいことを示している。この報告書では、タンタルのすべての化合物について f_1 を 10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966)は、タンタルの酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、炭化物および硝酸塩を吸入のクラスWに、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。しかし、ヒトにおける経験は、酸化タンタルがクラスYの物質として挙動することを示している (Sill ら, 1969; Newton, 1977)。

金属タンタルの粉末の吸入については、かなりの情報があり (Upham ら, 1971; Bianco ら, 1974; Causse, 1975; Morrow ら, 1976), 元素状タンタル

が吸入のクラスYに指定されるべきであることを示唆している。

この報告書では、元素状タンタルを、この元素の酸化物、水酸化物、ハロゲン化物、炭化物、硝酸塩および窒化物とともに吸入のクラスYに指定する。ふつうに存在するタンタルのその他すべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	10^{-3}
Y	10^{-3}

(c) 分布と残留

ラットについての実験 (Fleshman, Silva および Shore, 1971) は、胃腸管から吸収されたタンタルが腎臓および骨格に濃縮すること、また、タンタルが軟組織よりも骨格に長期間残留することを示している。ラットに Ta_2O_5 を筋肉内注射した後のタンタルの分布についての研究は、肝臓、腎臓および骨格がおもな沈着器官であることを示している (Durbin, 1960)。しかし、この後者の研究において沈着部位として肝臓が挙がっているということは、タンタルが生体内でコロイドを形成する傾向があることを反映しているのかもしれない (Durbin, 1960)。

ラットにタンタル酸カリウムを経口摂取させた実験で、それぞれ1.8日—4.7日および62日—119日の生物学的半減期をもつ2つの残留成分が見出された (Fleshman, Silva および Shore, 1971)。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくタンタルのうち、0.06および0.3の割合が、それぞれ腎臓および無機質骨に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていく残りの割合は、人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。無機質骨に沈着したタンタルは、そこに100

日の生物学的半減期で残留すると仮定する。他の任意の器官あるいは組織に沈着したタンタルのうち、0.5という同じ割合が、それぞれ4日および100日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するタンタルの同位体では、 ^{179}Ta 、 ^{180}Ta および ^{182}Ta のみが15日を超える放射性半減期をもつ。これらの同位体は、無機質骨に沈着した後いつでもその組織の体積全体に均等に分布していると仮定する。タンタルのその他すべての放射性同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Bianco, A., Gibb, F. R., Kilpper, R. W., Landman, S. and Morrow, P. E. (1974). Studies of tantalum dust in the lungs. *Radiology*, **112**, 549-556.
- Causse, A. (1975). La bronchographie par insufflation de poussières de tantale, étude expérimentale de l'épuration pulmonaire, retention parenchymateuse de l'opacifiant, Report CEA-R-4680.
- Doull, J. and DuBois, K. (1949). Metabolism and toxicity of radioactive tantalum, Part 2. Univ. Chicago Toxicity Lab., Chicago, Q, Prog. Rep., No. 2, p.12.
- Durbin, P.W. (1960). Metabolic characteristics within a chemical family. *Health Phys.*, **2**, 225-238.
- Fleshman, D.G., Silva, A.J. and Shore, B. (1971). The metabolism of tantalum in the rat. *Health Phys.*, **21**, 385-392.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Morrow, P. E., Kilpper, R. W., Beiter, E. H. and Gibb, F. R. (1976). Pulmonary retention and translocation of insufflated tantalum. *Radiology*, **121**, 415-421.
- Newton, D. (1977). Clearance of radioactive tantalum from the human lung after

accidental inhalation. *Am. J. Roentgenol.*, **129**, 327-328.

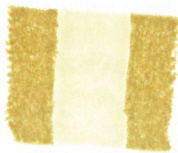
Sill, C.W., Voelz, G.L., Olson, D.G. and Anderson, J. I. (1969). Two studies of acute internal exposure to man involving cerium and tantalum radioisotopes. *Health Phys.*, **16**, 325-332.

Upham, T., Graham, L.S., Steckel, R.J. and Poe, N. (1971). Determination of *in vivo* persistence of tantalum dust following bronchography using reactor-activated tantalum and total body counting. *Am. J. Roentgenol.*, **111**, 690-694.

タンタルの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口		
	吸		入
	クラスW	クラスY	
	$f_1=1 \times 10^{-3}$	$f_1=1 \times 10^{-3}$	$f_1=1 \times 10^{-3}$
¹⁷² Ta	1 × 10 ⁹	5 × 10 ⁹	4 × 10 ⁹
¹⁷³ Ta	2 × 10 ⁸	7 × 10 ⁸	6 × 10 ⁸
¹⁷⁴ Ta	1 × 10 ⁹	4 × 10 ⁹	3 × 10 ⁹
¹⁷⁵ Ta	2 × 10 ⁸	6 × 10 ⁸	5 × 10 ⁸
¹⁷⁶ Ta	1 × 10 ⁸	5 × 10 ⁸	4 × 10 ⁸
¹⁷⁷ Ta	4 × 10 ⁸	7 × 10 ⁸	7 × 10 ⁸
¹⁷⁸ Ta	6 × 10 ⁸	3 × 10 ⁹	3 × 10 ⁹
¹⁷⁹ Ta	8 × 10 ⁸	2 × 10 ⁸	3 × 10 ⁷
^{180m} Ta	9 × 10 ⁸	2 × 10 ⁹	2 × 10 ⁹
¹⁸⁰ Ta	6 × 10 ⁷	2 × 10 ⁷	9 × 10 ⁵
^{182m} Ta	6 × 10 ⁹ (8 × 10 ⁹) 胃壁	2 × 10 ¹⁰	2 × 10 ¹⁰
¹⁸² Ta	3 × 10 ⁷	1 × 10 ⁷	5 × 10 ⁶
¹⁸⁵ Ta	3 × 10 ⁷ (4 × 10 ⁷) 大腸下部壁	4 × 10 ⁷	4 × 10 ⁷
¹⁸⁴ Ta	7 × 10 ⁷	2 × 10 ⁸	2 × 10 ⁸
¹⁸⁵ Ta	1 × 10 ⁹	3 × 10 ⁹	2 × 10 ⁹
¹⁸⁶ Ta	2 × 10 ⁹ (3 × 10 ⁹) 胃壁	9 × 10 ⁹	8 × 10 ⁹



(164)

専門委員会 2 の報告

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=1 \times 10^{-3}$	$f_1=1 \times 10^{-3}$
¹⁷² Ta	2×10^6	2×10^6
¹⁷³ Ta	3×10^5	3×10^5
¹⁷⁴ Ta	2×10^6	1×10^6
¹⁷⁵ Ta	2×10^5	2×10^5
¹⁷⁶ Ta	2×10^5	2×10^5
¹⁷⁷ Ta	3×10^5	3×10^5
¹⁷⁸ Ta	1×10^6	1×10^6
¹⁷⁹ Ta	8×10^4	1×10^4
^{180m} Ta	1×10^6	9×10^5
¹⁸⁰ Ta	7×10^3	4×10^2
^{182m} Ta	8×10^3	6×10^3
¹⁸² Ta	5×10^5	2×10^3
¹⁸³ Ta	2×10^4	2×10^4
¹⁸⁴ Ta	8×10^4	7×10^4
¹⁸⁵ Ta	1×10^6	1×10^6
¹⁸⁶ Ta	4×10^6	3×10^6

10³ ✓

10⁶ ✓

タングステンの代謝データ

1. 代 謝

タングステンに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

^{181}W で標識したタングステン酸塩を乳牛に経口投与した実験では、タングステンの胃腸管吸収割合が0.2であった(Mullen, Bretthauer および Stanley, 1976)。ヒツジおよびブタでは、タングステン酸塩として投与したタングステンの吸収割合の代表的な値は0.4より大きかった。しかし、これらの動物にセルロースを多量に含む食餌を与えておいた場合は、吸収は著しく減少した(BellとSneed, 1970)。これは、タングステンが食物細片、とくにセルロースの多い細片に吸着することによって、その吸収が阻害されるかもしれないことを示唆している。このことは、ヤギについての実験でタングステン酸塩として投与したタングステンの胃腸管吸収割合が約0.05である(Ekman ら, 1977)と報告されている理由を説明するであろう。ラットについての実験では、タングステン酸塩として投与したタングステンの吸収割合は0.4より大きいことが見出されたが(Ballou, 1960; Kaye, 1968)、タングステン酸として投与したタングステンの吸収割合は約0.01であった(Ballou, 1960)。イヌでは、酸化物として投与したタングステンの吸収割合は約0.25である(Aamodt, 1971)。ヘソインシシに核爆発細片を経口摂取させた実験によれば、タングステンの吸収割合は0.1と0.2

との間にあった (Chertok と Lake, 1971 b と 1971 c)。この報告書では、 f_1 を、タングステン酸については0.01, この元素のその他すべての化合物については0.3とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966)は、タングステンの酸化物および水酸化物を吸入のクラス Y に、硫化物およびハロゲン化物を吸入のクラス W に、そして、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。しかし、イヌについての実験(Aamodt, 1975)は、酸化タングステンがクラス D の化合物として挙動することを示唆している。この報告書では、タングステンのすべての化合物を吸入のクラス D に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	0.3
W	—
Y	—

(c) 分布と残留

いろいろな研究は、タングステンを経口摂取, 吸入, 筋肉内注射あるいは静脈内注射すると、高濃度のタングステンが骨格, 脾臓, 腎臓および肝臓中に見出されることを示している (Scott, 1952; Wase, 1956; Ballou, 1960; Durbin, 1960; Fleishman, Krotz および Silva, 1966; Kaye, 1968; Chertok と Lake, 1971 a; Aamodt, 1971; Ekman ら, 1977)。

ゲッ歯類におけるタングステンの分布についての研究結果は非常にまちまちである。たとえば、Wase (1956) と Kaye (1968) は、投与後3日までは骨格中のタングステン濃度が他の任意の器官あるいは組織中の濃度よりもはるかに高いことを見出したが、Ballou (1960) は、タングステン酸ナトリウムの経口

摂取後最初の1か月の間は、脾臓中のタングステン濃度が骨格中のタングステン濃度よりも一桁高いことを見出した。

ヤギについての研究 (Ekman ら, 1977) では、タングステン酸ナトリウムを静脈内注射してから8日後における肝臓、腎臓および骨格中のタングステン濃度がすべて非常に類似しており、脾臓、肺および副腎中のタングステン濃度よりも約3倍高いことを見出された。酸化タングステンを吸入させ、165日後に殺したイヌについての研究 (Aamodt, 1971) では、骨格、肺、腎臓、肝臓および骨格筋におけるタングステンの、殺したときの身体含有量に対する割合は、それぞれ、0.37, 0.31, 0.15, 0.097 および 0.057 であった。

タングステン酸塩をラットに経口摂取させた後最初の100日間におけるタングステンの全身残留 (Ballou, 1960) は1.2日、5日および70日の生物学的半減期をもつ3つの指数項によってよく表されることが見出された。しかし、タングステン酸塩をラットに経口投与した他の実験 (Kaye, 1968) は、投与後最初の254日間の全身残留が、1日、14日および1,000日の生物学的半減期をもつ3つの指数項によってよく表されることを示した。

タングステン酸ナトリウムを静脈内に注射したヤギにおける、注射後最初の8日間のタングステンの全身残留 (Ekman ら, 1977) は、次の形の残留関数でよく記述された。

$$R(t) = 0.6 e^{-0.693t/0.15} + 0.3 e^{-0.693t/0.8} + 0.1 e^{-0.693t/6.4}$$

イヌにタングステン酸ナトリウムを静脈内注射した実験 (Aamodt, 1973) では、注射後最初の131日間の全身残留は、次の形の残留関数でよく記述された。

$$R(t) = 0.815 e^{-0.693t/0.06} + 0.15 e^{-0.693t/0.4} \\ + 0.023 e^{-0.693t/8.6} + 0.011 e^{-0.693t/100}$$

この報告書では、タングステンの全身における分布と残留のモデルは、イヌおよびヤギについての研究から得られたデータにおもに基づいている。しか

し、骨格において非常に長期にわたる残留成分を示す、ラットについての実験から得られたデータが無視できないということを考慮している。したがって、通過コンパートメントを出ていくタングステンのうち、0.95は直接に排泄され、0.025は無機質骨に移行し、0.01は腎臓に移行し、0.01は肝臓に移行し、0.005は脾臓に移行すると仮定する。無機質骨に移行したタングステンのうち、0.2、0.1および0.7の割合が、それぞれ5日、100日および1,000日の生物学的半減期でそこに残留すると仮定する。他の任意の器官あるいは組織に移行したタングステンのうち、0.7および0.3の割合が、それぞれ5日および100日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

この報告書で考察するタングステンの同位体では、 ^{178}W 、 ^{181}W 、 ^{185}W および ^{188}W のみが15日を超える放射性半減期をもつ。これらの同位体は、無機質骨に沈着した後いつでもその体積全体に均等に分布していると仮定する。タングステンのその他すべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Aamodt, R.L. (1971). Mobilisation, retention and excretion of W-181 in the beagle following injection of $\text{Na}_2^{181}\text{WO}_2$ and inhalation of $^{181}\text{WO}_3$. University of Rochester Report UR-49-1496.
- Aamodt, R. L. (1973). Retention and excretion of injected ^{181}W labelled sodium tungstate by beagles. *Health Phys.*, **24**, 519-524.
- Aamodt, R.L. (1975). Inhalation of ^{181}W labelled tungstic oxide by six beagle dogs. *Health Phys.*, **28**, 733-742.
- Ballou, J.E. (1960). Metabolism of ^{185}W in the rat. Hanford Laboratory Report, HW-64112.
- Bell, M.C. and Sneed, N.N. Metabolism of tungsten by sheep and swine. In: *Trace*

- Element Metabolism in Animals*, pp. 70-72 (ed. Mills, C.F), E. and S. Livingstone, Edinburgh, 1970.
- Chertok, R.J. and Lake, S. (1971a). Biological availability of radionuclides produced by the plowshare event schooner—I. Body distribution in domestic pigs exposed in the field. *Health Phys.*, **20**, 317-324.
- Chertok, R.J. and Lake, S. (1971b). Biological availability of radionuclides produced by the plowshare event schooner—II. Retention and excretion rates in peccaries after a single oral dose of debris. *Health Phys.*, **20**, 325-330.
- Chertok, R.J. and Lake, S. (1971c). Biological availability of radionuclides produced by the plowshare event schooner—III. Accumulation, excretion rates and body distribution in peccaries after daily ingestion of debris. *Health Phys.*, **20**, 577-584.
- Durbin, P.W. (1960). Metabolic characteristics within a chemical family. *Health Phys.*, **2**, 225-238.
- Ekman, L., Figueiras, H.D., Jones, B.E. V. and Myamoto, S. (1977). Metabolism of ^{181}W -labelled sodium tungstate in goats. Foersvarets Forskningsanstalt, Sundbyberg, Sweden, FOA-C-40070.
- Fleishman, D., Krotz, S. and Silva, A. (1966). The metabolism of elements of high atomic number, UCRL 14739, p. 69.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Kaye, S.V. (1968). Distribution and retention of orally administered radiotungsten in the rat. *Health Phys.*, **15**, 399-417.
- Mullen, A.L., Bretthauer, E.W. and Stanley, R.E. (1976). Absorption, distribution and milk secretion of radionuclides by the dairy cow-V, radiotungsten. *Health Phys.*, **31**, 417-424.
- Scott, K.G. (1952). Tracer studies—Tungsten-181. In: *The Metabolic Properties of Various Materials*. UCRL-1694, pp. 7-11.
- Wase, A.W. (1956). Absorption and distribution of radio-tungstate in bone and soft tissues. *Archs. Biochem. Biophys.*, **61**, 272-277.

タングステンの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口		クラスD
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=3 \times 10^{-1}$	$f_1=3 \times 10^{-1}$
¹⁷⁶ W	4×10^8	5×10^8	2×10^9
¹⁷⁷ W	8×10^8	9×10^8	3×10^9
¹⁷⁸ W	2×10^8	3×10^8	7×10^8
¹⁷⁹ W	2×10^{10}	2×10^{10}	6×10^{10}
¹⁸¹ W	6×10^8	7×10^8	1×10^9
¹⁸⁵ W	8×10^7 (1×10^8) 大腸下部壁	1×10^8 (1×10^8) 大腸下部壁	2×10^8
¹⁸⁷ W	7×10^7	1×10^8	3×10^8
¹⁸⁸ W	1×10^7 (2×10^7) 大腸下部壁	2×10^7 (3×10^7) 大腸下部壁	5×10^7

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスD	
	$f_1=3 \times 10^{-1}$	
¹⁷⁶ W	8×10^5	
¹⁷⁷ W	1×10^6	
¹⁷⁸ W	3×10^5	
¹⁷⁹ W	3×10^7	
¹⁸¹ W	5×10^5	
¹⁸⁵ W	1×10^5	
¹⁸⁷ W	1×10^5	
¹⁸⁸ W	2×10^4	

白金の代謝データ

1. 代 謝

白金に関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

塩化物として投与した白金のラットの胃腸管からの吸収割合は約0.01であると測定されている (Moore ら, 1975 a)。この小さな吸収割合は、白金のいろいろな塩のラットに対する急性毒性についての実験 (Holbrook ら, 1975) から得られた結果と一致する。この報告書では、白金のすべての化合物について f_1 を 0.01 とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、白金の酸化物および水酸化物を吸入のクラス Y に、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラス W に、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。しかし、ラットについての実験 (Moore ら, 1975 b) は、金属、酸化物あるいは硝酸塩として吸入した白金はいずれも肺から急速に移行することを示唆している。この報告書では、白金のすべての化合物を吸入のクラス D に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	0.01
W	—
Y	—

(c) 分布と残留

ラットについての実験は、静脈内に注射した後の白金が腎臓に濃縮すること、またある程度は、肝臓、脾臓および副腎にも濃縮することを示している (Moore ら, 1975 a)。白金金属を吸入させた後のラットにおける白金の分布についての研究では、この元素の高い濃度が腎臓中に見出され、またこれよりいくぶん低い濃度が骨中に見出された (Moore ら, 1975 b)。Pt(SO₄)₂·4H₂O を添加した食餌を与えたラットのいろいろな組織における安定白金の濃度を分析することによって、腎臓がかなりの程度まで白金を取り込むことが確かめられている (Yoakum, Stewart および Sterrett, 1975)。

塩化物をラットの静脈内に注射した後の白金の分布と残留についての研究 (Moore ら, 1975 a) は、全身の循環系に入った白金のうち約 0.1 が急速に排泄され、また残りの大部分が 8 日の生物学的半減期で体内に残留することを示している。しかし、これらの実験により、白金の長期残留成分がわずかにあることも示されている。

マウス、ウサギおよびイヌについての研究は、抗新生物性薬剤である cis-ジアンミンジクロロ白金(II)を静脈内に投与した後に見出された分布と非常に似ていることを示している (Lange, Spencer および Harder, 1972; Litterst ら 1976; Schlesinger, Manaka および Wolf, 1977)。ヒトについての研究では、cis-Pt(NH₃)₂Cl₂ として注射した白金のうち約 0.25—0.3 が最初の 24 時間に排泄され、残りの大部分は 8 日—10 日の生物学的半減期で残留した (Smith と Taylor, 1974)。

人体における白金の残留に関する長期成分の生物学的半減期は、化学的に類似した元素であるイリジウムの化合物を、いろいろな動物種に静脈内注射した実験から推定することができる (Furchner, Richmond および Drake, 1971)。これらの実験では、それぞれ 0.3 日、8 日および 200 日の生物学的半減期をもつ、全身残留の 3 つの成分が見出された。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていく白金のうち、0.2 の割合が直接に排泄されると仮定する。さらに、0.1、0.1、0.01 および 0.001 の割合は、それぞれ腎臓、肝臓、脾臓および副腎に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていく白金の残りの割合は、人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に沈着した白金のうち、0.95 および 0.05 の割合が、それぞれ 8 日および 200 日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

白金は、腎臓、肝臓、脾臓および副腎以外の人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨の線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Furchner, J.E., Richmond, C.R. and Drake, G.A. (1971). Comparative metabolism of radionuclides in mammals—V. Retention of ^{192}Ir in the mouse, rat, monkey and dog. *Health Phys.*, **20**, 375-382.
- Holbrook, D. J. Jr., Washington, M. E., Leake, H. B. and Brubaker, P. E. (1975). Studies on the evaluation of the toxicity of various salts of lead, manganese, platinum, and palladium. *Environ. Health Perspectives*, **10**, 95-101.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon

- Press, Oxford, 1975.
- Lange, R.C., Spencer, R. P. and Harder, H. C. (1972). Synthesis and distribution of a radiolabelled antitumor agent: *cis*-diamminedichloroplatinum (II). *J. Nucl. Med.*, **13**, 328-330.
- Litterst, C.L., Gram, T.E., Dedrick, R.L., Leroy, A.F. and Guarino, A.M. (1976). Distribution and disposition of platinum following intravenous administration of *cis*-diamminedichloroplatinum (II) (NSC119875) to dogs. *Cancer Res.*, **36**, 2340-2355.
- Moore, W.Jr., Hysell, D., Crocker, W. and Stara, J. (1975). Biological fate of a single administration of ^{191}Pt in rats following different routes of exposure. *Environ. Res.*, **9**, 152-158.
- Moore, W.Jr., Malanchuk, M., Crocker, W., Hysell, D., Cohen, A. and Stara, J.F. (1975). Whole body retention in rats of different ^{191}Pt compounds following inhalation exposure. *Environ. Health Perspectives*, **12**, 35-39.
- Schlesinger, T., Manaka, C. and Wolf, W. (1977). Dose estimation for radioactive *cis*-dichlorodiammine platinum (195 m) II-a new radiopharmaceutical. In: *Proc. IVth Int. Cong. IRPA, Paris, April 1977*, Vol. 4, pp. 1417-1419.
- Smith, P. H. S. and Taylor, D. M. (1974). Distribution and retention of the anti-tumor agent $^{195\text{m}}\text{Pt}$ -*cis*-dichlorodiammine platinum (II) in man. *J. Nucl. Med.*, **15**, 349-351.
- Yoakum, A.M., Stewart, P.L. and Sterrett, J.E. (1975). Method development and subsequent survey analysis of biological tissues for platinum, lead and manganese content. *Environ. Health Perspectives*, **10**, 85-93.

白金の同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口 $f_1=1\times 10^{-2}$	吸入
		クラスD $f_1=1\times 10^{-3}$
¹⁸⁶ Pt	5×10^8	1×10^9
¹⁸⁸ Pt	6×10^7	6×10^7
¹⁸⁹ Pt	4×10^8	1×10^9
¹⁹¹ Pt	1×10^8	3×10^8
^{193m} Pt	9×10^7 (1×10^8) 大腸下部壁	2×10^8
¹⁹³ Pt	1×10^9 (2×10^9) 大腸下部壁	9×10^8
^{195m} Pt	7×10^7 (8×10^7) 大腸下部壁	2×10^8
^{197m} Pt	6×10^8	2×10^9
¹⁹⁷ Pt	1×10^8	4×10^8
¹⁹⁹ Pt	2×10^9	5×10^9
²⁰⁰ Pt	4×10^7	1×10^8

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	クラスD
¹⁸⁶ Pt	6×10^5	
¹⁸⁸ Pt	3×10^4	
¹⁸⁹ Pt	4×10^5	
¹⁹¹ Pt	1×10^5	
^{193m} Pt	9×10^4	
¹⁹³ Pt	4×10^5	
^{195m} Pt	7×10^4	
^{197m} Pt	7×10^5	
¹⁹⁷ Pt	1×10^5	
¹⁹⁹ Pt	2×10^6	
²⁰⁰ Pt	5×10^4	

タリウムの代謝データ

1. 代謝

タリウムの人体含有量は、「標準人」(ICRP, 1975)に与えられていない。しかし、飲食物からのこの元素の1日当たりの摂取量は $1.5\mu\text{g}$ であると推定されている。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

タリウムは、硫酸塩(Lund, 1956)として投与しても、硝酸塩(Lie, Thomas および Scott, 1960)として投与しても、胃腸管から容易に吸収される。この報告書では、この元素のすべての化合物について f_1 を1とする。

(b) 吸入のクラス

ICRPの「肺動態課題グループ」(1966)は、タリウムの酸化物、水酸化物、ハロゲン化物および硝酸塩を吸入のクラスWに、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスDに指定した。しかし、「課題グループ」が吸入のクラスWに指定した化合物の大部分は、水性媒質中によく溶ける。さらにまた、硝酸タリウムを気管内点滴注入によってラットに投与した実験(Lie, Thomas および Scott, 1960)は、この化合物が吸入のクラスDに指定されるべきであることを示唆している。この報告書では、タリウムのすべての化合物を吸入のクラスDに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	1
W	—
Y	—

(c) 分布と残留

静脈内に注射したタリウムの代謝については、ヒトを含むいろいろな動物種において広範囲に研究されている (Barclay, Peacock および Karnofsky, 1953; Lund, 1956; Lie, Thomas および Scott, 1960; Bradley-Moore ら, 1975; Atkins ら, 1977; Strauss, Harrison および Pitt, 1977; Suzuki ら, 1978)。一般的に一致していることは、この元素が血液から急速に失われること、および、注射した放射能の約0.03を含む腎臓を除いて、この元素が身体内のすべての器官および組織にかなり均等に分布する (Bradley-Moore ら, 1975; Atkins ら, 1977; Strauss, Harrison および Pitt, 1977; Suzuki ら, 1978) ということである。ヤギおよびヒトについての研究は、タリウムが腎臓を含む身体内のすべての器官および組織からおよそ同じ速度で失われることを示している (Bradley-Moore ら, 1975; Atkins ら, 1977)。

正常なヒトでは、タリウムの体内における生物学的半減期は約10日である (Atkins, 1977)。

この報告書では、全身の循環系に入ったタリウムは人体のいろいろな器官および組織に瞬間的に移行すると仮定する。このタリウムのうち、0.03は腎臓に沈着すると仮定し、また、0.97は人体のその他すべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。任意の器官あるいは組織に沈着したタリウムはそこに10日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

タリウムは、腎臓以外の人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。したがって、骨の線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

- Atkins, H.L., Budinger, T.F., Lebowitz, E., Ansari, A.N., Greene, M.W., Fairchild R.G. and Ellis, K. J. (1977). Thallium-201 for medical use. Part 3: Human distribution and physical imaging properties. *J. Nucl. Med.*, **18**, 133-140.
- Barclay, R.K., Peacock, W. C. and Karnofsky, D. A. (1953). Distribution and excretion of radioactive thallium in the chick embryo, rat and man. *J. Pharmacol.*, **107**, 178-187.
- Bradley-Moore, P.R., Lebowitz, E., Greene, M.W., Atkins, H.L. and Ansari, A.N. (1975). Thallium-201 for medical use. II. Biologic behaviour. *J. Nucl. Med.*, **16**, 156-160.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207. *ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Lie, R., Thomas, R.G. and Scott, J.K. (1960). The distribution and excretion of thallium-204 in the rat with suggested MPC's and a bio-assay procedure. *Health Phys.*, **2**, 334-340.
- Lund, A. (1956). Distribution of thallium in the organism and its elimination. *Acta Pharmacol. et Toxicol.*, **12**, 251-259.
- Strauss, H.W., Harrison, K. and Pitt, B. (1977). Thallium-201 non-invasive determination of the regional distribution of cardiac output. *J. Nucl. Med.*, **18**, 1167-1170.
- Suzuki, M., Morikawa, M., Tomita, K., Yoshida, A., Suwo, M., Matsushima, H., Kato, M., Ueda, N., Yamada, H. and Hazue, M. (1978). Thallous-chloride ^{201}Tl -fundamental studies on its biological behaviour and clinical evaluation. *Kaku Igaku*, **15**, 27-40.

タリウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口 $f_1 = 1$	吸入
		クラスD $f_1 = 1$
^{194m} Tl	2×10 ⁹ (3×10 ⁹) 胃壁	6×10 ⁹
¹⁹⁴ Tl	9×10 ⁹ (1×10 ¹⁰) 胃壁	2×10 ¹⁰
¹⁹⁵ Tl	2×10 ⁹	5×10 ⁹
¹⁹⁷ Tl	3×10 ⁹	4×10 ⁹
^{198m} Tl	1×10 ⁹	2×10 ⁹
¹⁹⁸ Tl	7×10 ⁸	1×10 ⁹
¹⁹⁹ Tl	2×10 ⁹	3×10 ⁹
²⁰⁰ Tl	3×10 ⁸	4×10 ⁸
²⁰¹ Tl	6×10 ⁸	8×10 ⁸
²⁰² Tl	1×10 ⁸	2×10 ⁸
²⁰⁴ Tl	6×10 ⁷	8×10 ⁷

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	クラスD
		$f_1 = 1$
^{194m} Tl	2×10 ⁶	
¹⁹⁴ Tl	9×10 ⁶	
¹⁹⁵ Tl	2×10 ⁶	
¹⁹⁷ Tl	2×10 ⁶	
^{198m} Tl	8×10 ⁵	
¹⁹⁸ Tl	5×10 ⁵	
¹⁹⁹ Tl	1×10 ⁶	
²⁰⁰ Tl	2×10 ⁵	
²⁰¹ Tl	3×10 ⁵	
²⁰² Tl	8×10 ⁴	
²⁰⁴ Tl	3×10 ⁴	

アスタチンの代謝データ

1. 代 謝

9時間を超える放射性半減期をもつアスタチンの同位体はなく、これらの同位体は、天然には、アスタチンの親核種であるウランおよびトリウムの同位体との関連でしか存在しない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

より軽いハロゲン化合物、塩素、臭素およびヨウ素との類推から、アスタチンのすべての化合物について f_1 を1とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、すべての元素の重いハロゲン化合物を吸入のクラスDあるいは吸入のクラスWに指定した。ある特定の元素のハロゲン化合物のクラスに関する情報については、その元素の代謝データあるいは「課題グループの報告書」を参照されたい。

吸入のクラス	f_1
D	1
W	1
Y	—

(c) 分布と残留

塩素および臭素との類推から、通過コンパートメントを出ていくアスタチンは人体のすべての器官および組織に均等に分布し、そこに10日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

アスタチンは人体内に均等に分布すると仮定する。したがって、骨の線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.

アスタチンの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入		
	経 口	クラスD	クラスW
	$f_1=1$	$f_1=1$	$f_1=1$
²⁰⁷ At	2×10^8	1×10^8	8×10^7
²¹¹ At	5×10^6	3×10^6	2×10^6

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=1$	$f_1=1$
²⁰⁷ At	4×10^4	3×10^4
²¹¹ At	1×10^3	8×10^2

フランシウムの代謝データ

1. 代謝

22分を超える放射性半減期をもつフランシウムの同位体はなく、また天然に存在するこの元素のただ1つの同位体すなわち ^{223}Fr は、その親核種 ^{227}Ac とともにのみ存在する。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

カリウム、ルビジウムおよびセシウムとの類推から、フランシウムのすべての化合物について f_1 を1とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、フランシウムのすべての化合物を吸入のクラスDに指定した。適切な実験データが何もないので、これよりも広範囲に研究されている元素のセシウムとの類推から、ここではこの分類を採用する。

吸入のクラス	f_i
D	1
W	—
Y	—

(c) 分布と残留

フランシウムとセシウムの化学的な類似を考慮して、通過コンパートメントから出ていくフランシウムは、人体のすべての器官および組織に均等に分布すると仮定する。この報告書で考察しているフランシウムは、どの同位体も22日より長い放射性半減期をもたないので、任意の器官または組織に移行したフランシウムは、そこに無期限に残留すると仮定してよい。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

フランシウムは、人体のすべての器官および組織の全体に均等に分布すると仮定する。したがって、骨線量算定の目的でこの元素の同位体を分類する必要はない。

文 献

ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.

フランシウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	吸 入	
	経 口	クラスD
	$f_1 = 1$	$f_1 = 1$
²²² F _R	8×10^7	2×10^7
²²³ F _R	2×10^7	3×10^7

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスD	
	$f_1 = 1$	
²²² F _R	7×10^3	
²²³ F _R	1×10^4	

アクチニウムの代謝データ

1. 代 謝

アクチニウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

Hamilton による初期の研究 (1948) は、アクチニウムの胃腸管からの吸収割合が0.05より小さいことを示した。その後の研究 (Campbell, Robajdek および Anthony, 1956) は、アクチニウムを塩化物としてラットに投与した場合、この元素の胃腸管からの吸収割合が、0.01よりかなり小さいことを示している。この報告書では、アクチニウムのすべての化合物について f_1 を 10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、アクチニウムの酸化物および水酸化物を吸入のクラス Y に、ハロゲン化物 および硝酸塩を吸入のクラス W に、そしてふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。ヒトの事故による被曝からのデータ (Newton, 1966, 1968) は、アクチニウムの化合物が吸入のクラス Y の物質のようにふるまうことがありうることを示している。これより詳細な実験データがないので、ここでは「肺動態課題グループ」によるアクチニウムの化合物の分類を採用する。

吸入のクラス	f_1
D	10^{-3}
W	10^{-3}
Y	10^{-3}

(c) 分布と残留

他のアクチニドのように、静脈内または筋肉内に注射されたアクチニウムは、肝臓および骨格に濃縮され、またある程度は腎臓に濃縮される (Hamilton, 1948; Campbell, Robajdek および Anthony, 1956; Taylor, 1967; Newton, Rundo および Sandalls, 1968; Taylor, 1970; Newton と Brown, 1974)。これらのデータは、プルトニウムについて用いた代謝モデルを他のアクチニドについても用いるべきであるという ICRP 勧告 (1972) とだいたい一致している。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくアクチニウムのうち、0.45および0.45の割合がそれぞれ無機質骨および肝臓に移行すると仮定する。生殖腺に移行するアクチニウムの割合は、精巣について 3.5×10^{-4} 、卵巣について 1.1×10^{-4} であると仮定する。これらの値は生殖腺組織の1g当たり 10^{-5} の割合で生殖腺に移行することに相当する。通過コンパートメントを出ていくアクチニウムのうち、残りは直接排泄されるものと仮定する。

無機質骨に移行したアクチニウムは、100年の生物学的半減期で残留すると仮定するが、肝臓に移行したアクチニウムは40年の生物学的半減期で残留すると仮定する。生殖腺に移ったアクチニウムはそこに無期限に残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

ラットの骨格中のアクチニウムの分布は、アメリカンウムおよびキュリウムの

分布に類似している (Hamilton, 1948)。これら他のアクチニドとの類推から、この報告書で考察するアクチニウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Campbell, J. E., Robajdek, E. S. and Anthony, D. S. (1956). The metabolism of ^{227}Ac and its daughters ^{227}Th and ^{223}Ra by rats. *Rad. Res.*, **4**, 294-302.
- Hamilton, J.G. (1948). The metabolic properties of the fission products and actinide elements. *Rev. Mod. Phys.*, **20**, 718-728.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 19. *The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides*. Pergamon Press, Oxford, 1972.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Newton, D. (1966). A case of accidental inhalation of actinium-227. *Health Phys.*, **12**, 1129-1138.
- Newton, D. (1968). A case of accidental inhalation of protactinium-231 and actinium-227. *Health Phys.*, **15**, 11-17.
- Newton, D. and Brown, D.A. (1974). The long-term retention of systemic protactinium-231 and actinium-227. *Health Phys.*, **27**, 459-467.
- Newton, D., Rundo, J. and Sandalls, F.J. (1968). A case of internal contamination with ^{231}Pa and ^{227}Ac via a puncture wound. In: *Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides*, pp. 521-533 (eds. Kornberg, H. A. and Norwood, W. D.). Excerpta Medica Foundation, Amsterdam.
- Taylor, D.M. (1967). The effects of desferrioxamine on the retention of actinide elements in the rat. *Health Phys.*, **13**, 135-140.
- Taylor, D.M. (1970). The metabolism of actinium in the rat. *Health Phys.*, **19**, 411-418.

アクチニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口 $f_1=1\times 10^{-3}$	吸 入		
		クラスD	クラスW	クラスY
		$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$
²²⁴ Ac	7×10 ⁷ (7×10 ⁷) 大腸下部壁	1×10 ⁸ (1×10 ⁸) 骨表面	2×10 ⁸	2×10 ⁸
²²⁵ Ac	2×10 ⁶ (2×10 ⁶) 大腸下部壁	1×10 ⁴ (2×10 ⁴) 骨表面	2×10 ⁴	2×10 ⁴
²²⁶ Ac	5×10 ⁶ (5×10 ⁶) 大腸下部壁	1×10 ⁵ (1×10 ⁵) 骨表面	2×10 ⁵	2×10 ⁵
²²⁷ Ac	7×10 ³ (1×10 ⁴) 骨表面	2×10 ¹ (3×10 ¹) 骨表面	6×10 ¹ (1×10 ²) 骨表面	1×10 ²
²²⁸ Ac	9×10 ⁷	4×10 ⁵ (6×10 ⁵) 骨表面	1×10 ⁶ (2×10 ⁶) 骨表面	2×10 ⁶

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入		
	クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$
²²⁴ Ac	4×10 ²	8×10 ²	7×10 ²
²²⁵ Ac	4	1×10 ¹	1×10 ¹
²²⁶ Ac	5×10 ¹	8×10 ¹	7×10 ¹
²²⁷ Ac	6×10 ⁻³	3×10 ⁻²	6×10 ⁻²
²²⁸ Ac	1×10 ²	6×10 ²	7×10 ²

プロトアクチニウムの代謝データ

1. 代謝

プロトアクチニウムに関しては「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

Hamilton の実験 (1948) は、プロトアクチニウムのラットの胃腸管からの吸収割合が 5×10^{-4} より小さいことを示している。近年の実験は、クエン酸塩として投与したプロトアクチニウムのラットの胃腸管からの吸収割合が、0.01—0.02を超えず (Zalikin, 1966 a), 6×10^{-5} 程度に低いであろうということ (Zalikin, 1966 b) を示した。この元素の化学形が確認されていない化合物について Zalikin が行った別の実験 (1969) は、約 10^{-3} という吸収割合を示した。この報告書では、プロトアクチニウムのすべての化合物について、 f_1 を 10^{-3} とする。

(b) 吸入のクラス

ICRP の「肺動態課題グループ」(1966) は、プロトアクチニウムの酸化物および水酸化物を吸入のクラス Y に、ハロゲン化合物および硝酸塩を吸入のクラス W に、また、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラス D に指定した。事故により Pa_2O_5 または KPaO_3 を吸入したヒトについての研究 (Newton, 1968) の結果は、この分類と一致している。しかし、ラッ

トの気管内に投与した ^{233}Pa のクエン酸塩についての研究 (Zalikin, 1966 b) では、プロトアクチニウムが約70日の生物学的半減期で肺に残留することが見出された。

この報告書では、プロトアクチニウムの酸化物および水酸化物を吸入のクラスYに、また、ふつうに存在するこの元素のその他すべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_i
D	—
W	10^{-3}
Y	10^{-3}

(c) 分布と残留

ラットについての研究 (Hamilton, 1948; Zalikin, 1966 a; Zalikin, 1969) は、全身の循環系に入ったプロトアクチニウムはおもに骨格に沈着するが、それに次ぐ沈着部位は肝臓および腎臓であることを示した。骨格に沈着したプロトアクチニウムは、そこに100日を超える生物学的半減期で残留する (Hamilton, 1948; Zalikin, 1969) が、肝臓または腎臓に沈着したプロトアクチニウムは、それぞれ約10日と約60日の生物学的半減期を有する2つの成分からなる残留を示す (Zalikin, 1969)。

事故により手の刺し傷を通して ^{231}Pa に汚染した1人のヒトについての研究から得られたデータ (Newton, Rundo および Sandalls, 1968; Newton と Brown, 1974) は、早期の排泄後に残ったプロトアクチニウムが、体内、たぶん主として骨格中に、ほとんど無期限に残留することを示している。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくプロトアクチニウムの0.4、0.15および0.02の割合が、それぞれ無機質骨、肝臓および腎臓に移行すると仮定する。通過コンパートメントを出ていくプロトアクチニウムのうち残

りの割合は直接に排泄されると仮定する。プルトニウムおよびブルトニウムより重いアクチニドとの類推から、無機質骨に沈着したプロトアクチニウムは、100年の生物学的半減期で残留すると仮定する。肝臓に沈着したプロトアクチニウムのうち、0.7および0.3の割合は、それぞれ10日および60日の生物学的半減期で残留すると仮定する。腎臓に沈着したプロトアクチニウムのうち、0.2および0.8の割合は、それぞれ10日および60日の生物学的半減期で残留すると仮定する。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

骨格中のプロトアクチニウムの分布に関する適切なデータはないようである。その他のアクチニドとの類推から、プロトアクチニウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

- Hamilton, J.G. (1948). The metabolic properties of the fission products and actinide elements. *Rev. Mod. Phys.*, **20**, 718-728.
- ICRP Task Group on Lung Dynamics (1966). Deposition and retention models for internal dosimetry of the human respiratory tract. *Health Phys.*, **12**, 173-207.
- ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.
- Newton, D. (1968). A case of accidental inhalation of protactinium-231 and actinium-227. *Health Phys.*, **15**, 11-17.
- Newton, D. and Brown, D. A. (1974). The long-term retention of systemic protactinium-231 and actinium-227. *Health Phys.*, **27**, 459-467.
- Newton, D., Rundo, J. and Sandalls, F.J. (1968). A case of internal contamination with ^{231}Pa and ^{227}Ac via a puncture wound. In: *Diagnosis and Treatment of deposited Radionuclides*, pp. 521-533 (eds. Kornberg, H. A. and Norwood, W. D.). Excerpta Medica Foundation, Amsterdam.
- Zalikin, G.A. (1966 a). Distribution of ^{233}Pa in the organism of the rat. In: *Raspredelenie i biologicheskoe deistvie radioaktivnykh izotopov*, pp. 30-36 (ed.

- Moskalev, Yu.I.). Moscow. Translated in Distribution and biological effects of radioactive isotopes AEC-tr-6944 (Rev.), pp. 35-43.
- Zalikin, G.A. (1966 b). The distribution of ^{233}Pa in the organism of rats in endotracheal, subcutaneous and peroral introduction. *Med. Radiol.*, **11**, 67-70.
- Zalikin, G.A. (1969). On the distribution of ^{233}Pa in the body of rats. In: *Radioaktivnye izotopy i organizm, izdatel'stvo* (ed. Moskalev, Yu. I.). Moscow. Translated in Radioactive isotopes and the body, AEC-tr--7195, pp. 136-146.

プロトアクチニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度 DAC (Bq/m^3) (40 h/wk)

ALI (Bq)

放射性核種	経口		
	吸		入
	クラスW	クラスY	
	$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-3}$	$f_1=1\times 10^{-8}$
^{227}Pa	1×10^8	4×10^6	4×10^6
^{228}Pa	5×10^7	5×10^5 (8×10^5) 骨表面	4×10^5
^{230}Pa	2×10^7 (3×10^7) 骨表面	2×10^5	1×10^5
^{231}Pa	7×10^3 (2×10^4) 骨表面	6×10^1 (1×10^2) 骨表面	1×10^2 (2×10^2) 骨表面
^{232}Pa	5×10^7	8×10^5 (2×10^6) 骨表面	2×10^6 (3×10^6) 骨表面
^{233}Pa	5×10^7 (6×10^7) 大腸下部壁	3×10^7	2×10^7
^{234}Pa	9×10^7	3×10^8	2×10^8

DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入	
	クラスW	クラスY
	$f_1=1 \times 10^{-3}$	$f_1=1 \times 10^{-3}$
²²⁷ Pa	2×10^3	2×10^3
²²⁸ Pa	2×10^2	2×10^2
²³⁰ Pa	7×10^1	5×10^1
²³¹ Pa	2×10^{-2}	6×10^{-2}
²³² Pa	3×10^2	9×10^2
²³³ Pa	1×10^4	9×10^3
²³⁴ Pa	1×10^5	1×10^5

バークリウムの代謝データ

1. 代謝

バークリウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットの胃内に投与した $^{248}\text{BkCl}_3$ の胃腸管からの吸収割合は、約 10^{-4} と推定することができる (Hungate ら, 1972)。アメリカウムとの類推から、バークリウムのすべての化合物について、 f_1 を 5×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

バークリウムの吸入 (Rundo と Sedlet, 1973) および気管内投与 (Hungate ら, 1972) について入手できるデータの量は限られており、この元素の吸入のクラスを指定するためには不十分である。アメリカウムとの類推からバークリウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	5×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

ラットについての実験から得られたデータ (Hungate ら, 1972) は、全身の循環系に入ったパークリウムのうち、わずかの割合は腎臓および脾臓に移行するようであるが、大部分が肝臓および骨格に移行することを示している。この報告書では、プルトニウムについて用いた代謝モデルをその他のアクチニドについても使用すべきであるという ICRP (1972) の勧告をパークリウムについて採用した。

通過コンパートメントを出ていくパークリウムのうち 0.45 が無機質骨に、0.45 が肝臓に移行すると仮定する。この元素が生殖腺に移行する割合は、精巣について 3.5×10^{-4} 、卵巣について 1.1×10^{-4} であると仮定する。これらの値は生殖腺組織 1 g 当たり 10^{-6} の割合で生殖腺に移行することに相当する。通過コンパートメントを出ていくパークリウムのうち、残りは直接排泄されると仮定する。

無機質骨に沈着したパークリウムは、100 年の生物学的半減期で残留すると仮定するが、肝臓に沈着したパークリウムは、40 年の生物学的半減期で残留すると仮定する。生殖腺組織に沈着したパークリウムはそこに無期限に残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のパークリウムはこの報告書では考察しない。それらは他のパークリウム化合物よりも生物学的に動きやすいようである。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

他のアクチニドとの類推から、この報告書で考察するパークリウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

Hungate, F.P., Ballou, J.E., Mahlum, D.D., Kashima, M., Smith, V.H., Sanders, C.L., Baxter, D.W., Sikov, M.R. and Thompson, R.C. (1972). Preliminary data on ²⁵³Es and ²⁴⁹Bk metabolism in rats. *Health Phys.*, **22**, 653-656.

ICRP Publication 19. *The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides*. Pergamon Press, Oxford, 1972.

ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

Rundo, J. and Sedlet, J. (1973). Retention and elimination of berkelium-249-californium-249 following acute accidental inhalation. In: *Proc. 3rd Int. Cong. Radiat. Prot. Assoc.*, CONF 730901, Vol. 2, pp. 731-735 (ed. Snyder, W.S.)

バークリウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経 口 $f_1=5\times 10^{-4}$	吸 入
		クラスW $f_1=5\times 10^{-4}$
²⁴⁵ Bk	8×10^7	5×10^7
²⁴⁶ Bk	1×10^8	1×10^8
²⁴⁷ Bk	4×10^4 (8×10^4) 骨表面	2×10^2 (3×10^2) 骨表面
²⁴⁹ Bk	2×10^7 (3×10^7) 骨表面	8×10^4 (1×10^5) 骨表面
²⁵⁰ Bk	4×10^8	2×10^7 (3×10^7) 骨表面

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
		吸 入
		クラスW $f_1=5\times 10^{-4}$
²⁴⁵ Bk	2×10^4	
²⁴⁶ Bk	5×10^4	
²⁴⁷ Bk	8×10^{-2}	
²⁴⁹ Bk	3×10^1	
²⁵⁰ Bk	7×10^3	

アインスタイニウムの代謝データ

1. 代 謝

アインスタイニウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

ラットについての実験(Hungateら, 1972)は、アインスタイニウムおよびアメリカシウムが、両者とも同程度に胃腸管から吸収されることを示している。それゆえ、アメリカシウムとの類推から、ここではアインスタイニウムのすべての化合物について、 f_1 を 5×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

ラットについての実験から得られたデータ(Hungateら, 1972; Ballou, DagleおよびMorrow, 1975; Ballouら, 1979)は、アインスタイニウムの塩化物、硝酸塩および水酸化物を、吸入のクラスWに指定すべきであることを示唆している。したがって、これらのデータから、また、いっそう広範囲に研究されているアメリカシウムとの類推から、アインスタイニウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	5×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

全身の循環系に入ったアインスタイニウムは、他のアクチニドと同様に、骨格、肝臓に選択的に沈着し、またある程度腎臓にも沈着する (Hungate ら, 1972; Parker ら, 1972; Ballou, Dagle および Morrow, 1975; Lloyd ら, 1975)。これらのデータは、プルトニウムについて用いた代謝モデルをその他のアクチニドについても用いるべきであるという ICRP (1972) の勧告と一般的には一致する。

この報告書では、通過コンパートメントを出ていくアインスタイニウムのうち、0.45および0.45の割合が、それぞれ無機質骨および肝臓に移行すると仮定する。生殖腺に移行するアインスタイニウムの割合は、精巣について 3.5×10^{-4} 、卵巣について 1.1×10^{-4} であると仮定する。これらの値は、生殖腺組織1g当たり 10^{-5} の割合で生殖腺に移行することに相当する。通過コンパートメントを出ていくアインスタイニウムのうち、残りは直接に排泄されるものと仮定する。

無機質骨に移行したアインスタイニウムは100年の生物学的半減期で残留すると仮定するが、肝臓に移行したアインスタイニウムは40年の生物学的半減期で残留すると仮定する。生殖腺に移行したアインスタイニウムはそこに無期限に残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のアインスタイニウムはこの報告書では考察しない。これらの生

物学的挙動は、この元素の他の化合物のそれとかなり異なっていることが知られている (Hayes ら, 1973)。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

オートラジオグラフィによる研究 (Ballou, Dagle, Gies および Smith, 1979) は、ラットの骨中のアインスタイニウムの分布がプルトニウムの分布に類似していることを示している。したがって、その他のアクチニドとの類推から、この報告書で考察するアインスタイニウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

Ballou, J. E., Dagle, G. E. and Morrow, W. G. (1975). The long-term effects of intratracheally instilled $^{253}\text{EsCl}_3$ in rats. *Health Phys.*, **29**, 267-272.

Ballou, J. E., Dagle, G. E., Gies, R. A. and Smith, L. G. (1979). Late effects of inhaled $^{253}\text{Es}(\text{NO}_3)_3$ in rats. *Health Phys.*, **37**, 301-310.

Hayes, R. L., Rafter, J. J., Washburn, L. C. and Byrd, B. L. (1973). Affinity of $^{253}\text{einsteinium}$ for tumour tissue. *Nature (New Biology)*, **246**, 23-25.

Hungate, F. P., Ballou, J. E., Mahlum, D. D., Kashima, M., Smith, V. H., Sanders, C. L., Baxter, D. W., Sikov, M. R. and Thompson, R. C. (1972). Preliminary data on ^{253}Es and ^{240}Bk metabolism in rats. *Health Phys.*, **22**, 653-656.

ICRP Publication 19. *The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides*. Pergamon Press, Oxford, 1972.

ICRP Publication 23. *Report of the Task Group on Reference Man*. Pergamon Press, Oxford, 1975.

Lloyd, R. D., Dockum, J. G., Atherton, D. R., Mays, C. W. and Williams, J. L. (1975). The early retention, excretion and distribution of injected einsteinium citrate in beagles. *Health Phys.*, **28**, 585-589.

Parker, H. G., Wright, S. R., Low-Beer, A. de G. and Yaeger, D. J. (1972). The metabolism of ^{253}Es in mice. *Health Phys.*, **22**, 647-651.

アインスタイニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口	吸入
		クラスW
	$f_1=5 \times 10^{-4}$	$f_1=5 \times 10^{-4}$
²⁵⁰ Es	2×10^9	2×10^7 (4×10^7) 骨表面
²⁵¹ Es	3×10^8	4×10^7 (4×10^7) 骨表面
²⁵³ Es	8×10^6 (8×10^6) 大腸下部壁	6×10^4
^{254m} Es	1×10^7 (1×10^7) 大腸下部壁	4×10^5
²⁵⁴ Es	8×10^5 (1×10^6) 骨表面	4×10^3 (5×10^3) 骨表面

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	クラスW
		$f_1=5 \times 10^{-4}$
²⁵⁰ Es	1×10^4	
²⁵¹ Es	2×10^4	
²⁵³ Es	2×10^1	
^{254m} Es	2×10^2	
²⁵⁴ Es	2	

フェルミウムの代謝データ

1. 代謝

フェルミウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975)にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

胃腸管からのフェルミウムの取り込みについて入手できるデータはない。アメリカンウムとの類推から、この元素のすべての化合物について f_1 を 5×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

アメリカンウムとキュリウムとの類推から、フェルミウムのすべての化合物を吸入のクラスWに指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	5×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

ICRP (1972) は、プルトニウムに用いた代謝モデルを、その他のアクチノイドにも使用すべきであると勧告した。この勧告は、アメリカンウム、キュリウ

ム、カリホルニウムおよびアインスタイニウムに関する研究結果におおむね一致しており、ここでは、フェルミウムについても、この勧告を採用した。

通過コンパートメントを出ていくフェルミウムのうち0.45は無機質骨に、0.45は肝臓に移行すると仮定する。生殖腺に移行するフェルミウムの割合は、精巣について 3.5×10^{-4} 、卵巣について 1.1×10^{-4} と仮定する。これらの値は、生殖腺組織1g当たり 10^{-6} の割合で生殖腺に移行することに相当する。通過コンパートメントを出ていくフェルミウムのうち、残りは直接に排泄されると仮定する。

無機質骨に沈着したフェルミウムはそこに100年の生物学的半減期で残留すると仮定するが、肝臓に沈着したフェルミウムはそこに40年の生物学的半減期で残留すると仮定する。生殖腺に沈着したフェルミウムは、そこに無期限に残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のフェルミウムはこの報告書では考察しない。これらはこの元素の他の化合物よりも生物学的に動きやすいであろう。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

他のアクチニドとの類推から、またフェルミウムの同位体で100日をはるかに超える放射性半減期のものはないので、この報告書で考察するフェルミウムのすべての同位体は、骨格に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

ICRP Publication 19. *The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides*. Pergamon Press, Oxford, 1972.

ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, 1975.

フェルミウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気
中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)	
	経口	吸入
		クラスW
$f_1=5 \times 10^{-4}$	$f_1=5 \times 10^{-4}$	
²⁵² Fm	2×10^7	5×10^5
²⁵³ Fm	5×10^7 (5×10^7) 大腸下部壁	4×10^5
²⁵⁴ Fm	1×10^8	4×10^6
²⁵⁵ Fm	2×10^7	8×10^5
²⁵⁷ Fm	2×10^6 (3×10^6) 骨表面	9×10^3

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸入	クラスW
		$f_1=5 \times 10^{-4}$
²⁵² Fm	2×10^2	
²⁵³ Fm	2×10^2	
²⁵⁴ Fm	2×10^3	
²⁵⁵ Fm	3×10^2	
²⁵⁷ Fm	4	

メンデレビウムの代謝データ

1. 代 謝

メンデレビウムに関しては、「標準人」(ICRP, 1975) にデータが与えられていない。

2. 代謝モデル

(a) 血液への取り込み

胃腸管からのメンデレビウムの取り込みについて入手できるデータはない。アメリシウムとの類推から、この元素のすべての化合物について f_1 を 5×10^{-4} とする。

(b) 吸入のクラス

アメリシウムとキュリウムとの類推から、メンデレビウムのすべての化合物を吸入のクラス W に指定する。

吸入のクラス	f_1
D	—
W	5×10^{-4}
Y	—

(c) 分布と残留

ICRP (1972) は、プルトニウムに用いた代謝モデルを、その他のアクチノイドにも使用すべきであると勧告した。この勧告は、アメリシウム、キュリウム、

カリホルニウムおよびアインスタイニウムに関する研究結果とおおむね一致しており、ここでもこの勧告を採用した。

通過コンパートメントを出ていくメンデレビウムのうち0.45は無機質骨に、0.45は肝臓に移行すると仮定する。生殖腺に移行するメンデレビウムの割合は、精巣について 3.5×10^{-4} 、卵巣について 1.1×10^{-4} と仮定する。これらの値は生殖腺組織の1g当たり 10^{-5} の割合で生殖腺に移行することに相当する。通過コンパートメントを出ていくメンデレビウムのうち、残りは直接に排泄されるものと仮定する。

無機質骨に沈着したメンデレビウムは100年の生物学的半減期で残留すると仮定するが、肝臓に沈着したメンデレビウムは40年の生物学的半減期で残留すると仮定する。生殖腺に沈着したメンデレビウムは、無期限にそこに残留すると仮定する。

(d) キレート化合物

キレート形のメンデレビウムはこの報告書では考察しない。これらは、この元素の他の化合物よりも生物学的に動きやすいであろう。

3. 骨線量算定のための同位体の分類

他のアクチノイドとの類推から、またメンデレビウムの同位体で55日より長い半減期をもつものはないので、この報告書で考察するメンデレビウムのすべての同位体は、無機質骨に沈着した後いつでも骨表面に均等に分布していると仮定する。

文 献

ICRP Publication 19. *The Metabolism of Compounds of Plutonium and other Actinides*. Pergamon Press. Oxford, 1972.

ICRP Publication 23. Report of the Task Group on Reference Man. Pergamon Press, Oxford, 1975.

マンデレビウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

ALI (Bq)		
放射性核種	吸 入	
	経 口	クラスW
	$f_1=5 \times 10^{-4}$	$f_1=5 \times 10^{-4}$
²⁵⁷ Md	3×10^8	4×10^8
²⁵⁸ Md	3×10^8 (3×10^8) 骨表面	1×10^4 (1×10^4) 骨表面

DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
放射性核種	吸 入
	クラスW
	$f_1=5 \times 10^{-4}$
²⁵⁷ Md	1×10^3
²⁵⁸ Md	5

追 補

ICRP Publication 30, Part 1, 1979

本文の次の行を次に示すように訂正する。

37ページ, 下から5行目(邦訳版70ページ, 4行目): >0.006 (\geq でない)* \checkmark

38ページ, 3行目(邦訳版70ページ, 12行目): $0.006 < AF$ (BS (\leq でない)* \checkmark
い)*

50ページ, 下から11行目および最後の行(邦訳版91ページ, 13行目と92ページ, 4行目): $(Sv\ m^3\ Bq^{-1}\ h^{-1})$ (m^{-3} でない)*

ICRP Publication 30の24と25ページ(邦訳版47ページおよび48ページ)に掲載した図5.1および図5.2を次のように訂正する*。

* 訳注 邦訳版はすでに訂正済である。

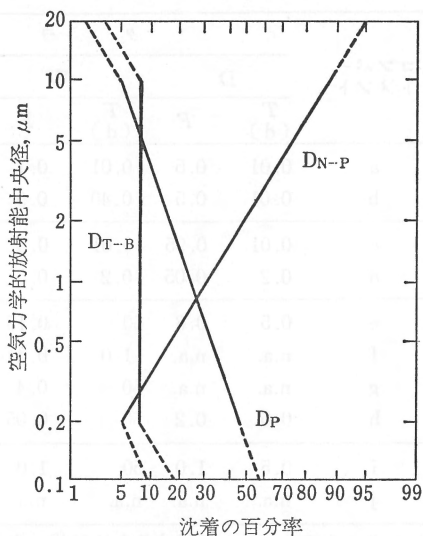
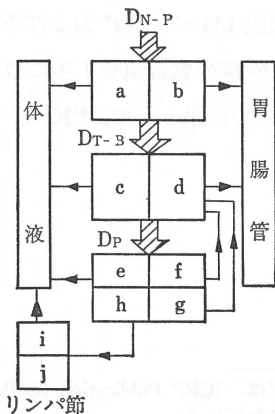


図 5.1 呼吸器系における塵埃の沈着

N-P 領域、T-B 領域およびP 領域に沈着するエアロゾルの放射能百分率または質量百分率を、エアロゾル分布の空気力学的放射能中央径 (AMAD) と関係づけて表している。このモデルは、AMAD が $0.2 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ との間で、幾何学的標準偏差が 4.5 未満のエアロゾル分布について使用することを意図している。この範囲外の粒子に対する沈着の暫定的推定値は破線によって与えられている。AMAD が $20 \mu\text{m}$ を超える一般的なでない分布については、N-P 領域に全量が沈着すると仮定できる。このモデルは AMAD が $0.1 \mu\text{m}$ 未満のエアロゾルには適用されない。



領 域	コンパートメント	ク ラ ス					
		D		W		Y	
		T (d)	F	T (d)	F	T (d)	F
N-P ($D_{N-P}=0.30$)	a	0.01	0.5	0.01	0.1	0.01	0.01
	b	0.01	0.5	0.40	0.9	0.40	0.99
T-B ($D_{T-B}=0.08$)	c	0.01	0.95	0.01	0.5	0.01	0.01
	d	0.2	0.05	0.2	0.5	0.2	0.99
P ($D_P=0.25$)	e	0.5	0.8	50	0.15	500	0.05
	f	n.a.	n.a.	1.0	0.4	1.0	0.4
	g	n.a.	n.a.	50	0.4	500	0.4
	h	0.5	0.2	50	0.05	500	0.15
L	i	0.5	1.0	50	1.0	1000	0.9
	j	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	∞	0.1

図 5.2 呼吸器系からのクリアランスを記述するために用いられる数学的モデル除去の半減期 T_1 から T_2 の値と各領域内のコンパートメント間の割合 F_1 から F_2 の値は、残留している物質の3つのクラス別に、この図の表の部分に与えられている。 D_{N-P} , D_{T-B} および D_P として与えられている値(最左欄)は、ANAD が $1\mu\text{m}$ のエアロゾルの各領域への沈着割合である。上の模式図は、4つの呼吸器領域 N-P, T-B, P および L 中の a から i までのコンパートメントからのいろいろなクリアランス経路を表す。n.a. は適用されないという意味を表す。

Part 1 の76ページ(邦訳版133ページ)* およびその補遺の54および55ページ: 眼の水晶体の線量当量限度の勧告値を1年につき 0.3Sv から 0.15Sv に低減するという委員会の決定の結果として、 ^{81}Kr と $^{88\text{m}}\text{Kr}$ についての DAC の値を次のように修正する。

* 訳注 この訂正記事の邦訳は、ICRP Publication 30 Part 2 の邦訳版の追補127ページにすでに掲載されている。

クリプトンの同位体に関する誘導空气中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	半無限大の雲	1,000m ³ の部屋	500m ³ の部屋	100m ³ の部屋
⁸¹ Kr	2×10 ⁷	1×10 ⁸ (5×10 ⁸) 水晶体	1×10 ⁸ (6×10 ⁸) 水晶体	1×10 ⁸ (9×10 ⁸) 水晶体
^{83m} Kr	4×10 ⁸ (7×10 ⁹) 水晶体	4×10 ⁸ (7×10 ⁹) 水晶体	4×10 ⁸ (7×10 ⁹) 水晶体	4×10 ⁸ (8×10 ⁹) 水晶体

78ページ (邦訳版 137 ページ) : ⁸⁰Sr に関する ALI および DAC の値は、⁸⁰Sr の娘核種である ⁸⁰Rb の預託線量当量への寄与についての配慮がなされていないため正確でない。訂正した線量算定用データを Part 3 に対する補遺 B に示す。

ALI と DAC の正確な値は、次のようである。

ストロンチウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種		経 口		吸	入
		$f_1=3\times 10^{-1}$	$f_1=1\times 10^{-2}$	クラスD	クラスY
⁸⁰ Sr	ALI	2×10 ⁸	2×10 ⁸	4×10 ⁸	5×10 ⁸
	DAC	—	—	2×10 ⁸	2×10 ⁸

82ページ (邦訳版 145 ページ) : ^{93m}Nb に関する ALI と DAC の値は、代謝データで述べたような無機質骨の体積全体への分布でなく、骨表面に均等に分布するであろうという不正確な仮定を用いて計算されていた。ALI および DAC の正しい値を下に示す。訂正した線量算定データの表を、Part 3 に対する補遺 B に示す。

ニオブの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	経口	吸入		
		クラスW	クラスY	
	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	$f_1=1 \times 10^{-2}$	
^{93m} Nb	ALI	3×10^5 (4×10^5) 大腸下部壁	7×10^7	6×10^6
	DAC	—	3×10^4	3×10^3

84ページ (邦訳版 147 ページ): 考察したモリブデンの放射性同位体はいずれも3日より長い放射性半減期をもたないと第3節で述べたことは正しくない。⁹³Mo は 3.5×10^3 年の半減期をもち*1, そして, この核種は骨格に沈着した後には骨格表面よりは, むしろ無機質骨全体に分布すると考えるべきである。このような仮定をしても, 掲載した ALI および DAC の値には, とりあけて記すほどの差異はあらわれないであろう。

86ページ (邦訳版 151 ページ): 考察するテルルの放射性同位体で200日を超える放射性半減期のものはないと第3節で述べたことは正しくない。¹²⁸Te の放射性半減期は 10^{13} 年である*2。そして, この核種は, おそらく無機質骨において表面に集まるのではなくて, 体積全体に集まると考えるべきであろう。このことは, すでに示した ALI の値を大きくする効果をもつであろう。しかし, この ALI に相当する質量が非常に大きいので, いかなる現実の環境においても ¹²⁸Te による放射線障害は起こらないであろう。

87ページ (邦訳版 153—154 ページ*3): テルルの放射性同位体に関して示し

*1 邦訳版 148 ページに脚注あり。

*2 邦訳版 152 ページに脚注あり。

*3 邦訳版はすでに訂正済である。

た ALI および DAC の値のあるものは、転写ミスのため正しくない。正しい値を以下に示す。

テルルの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)		
	経 口	吸 入	
		クラスD	クラスW
	$f_1=2\times 10^{-1}$	$f_1=2\times 10^{-1}$	$f_1=2\times 10^{-1}$
¹³¹ Te	1×10 ⁸ (2×10 ⁸) 甲状腺	2×10 ⁸ (5×10 ⁸) 甲状腺	2×10 ⁸ (4×10 ⁸) 甲状腺
^{131m} Te	1×10 ⁷ (2×10 ⁷) 甲状腺	2×10 ⁷ (5×10 ⁷) 甲状腺	1×10 ⁷ (3×10 ⁷) 甲状腺
¹³² Te	8×10 ⁶ (2×10 ⁷) 甲状腺	9×10 ⁶ (3×10 ⁷) 甲状腺	8×10 ⁶ (2×10 ⁷) 甲状腺
¹³³ Te	5×10 ⁸ (1×10 ⁹) 甲状腺	8×10 ⁸ (2×10 ⁹) 甲状腺	8×10 ⁸ (2×10 ⁹) 甲状腺
^{133m} Te	1×10 ⁸ (2×10 ⁸) 甲状腺	2×10 ⁸ (5×10 ⁸) 甲状腺	2×10 ⁸ (5×10 ⁸) 甲状腺
¹³⁴ Te	6×10 ⁸ (9×10 ⁸) 甲状腺	9×10 ⁸ (2×10 ⁹) 甲状腺	9×10 ⁸ (2×10 ⁹) 甲状腺

放射性核種	DAC (Bq/m ³) (40 h/wk)	
	吸 入	
	クラスD	クラスW
	$f_1=2\times 10^{-1}$	$f_1=2\times 10^{-1}$
¹³¹ Te	8×10 ⁴	8×10 ⁴
^{131m} Te	6×10 ³	6×10 ³
¹³² Te	4×10 ³	3×10 ³
¹³³ Te	4×10 ⁵	4×10 ⁵
^{133m} Te	8×10 ⁴	8×10 ⁴
¹³⁴ Te	4×10 ⁵	4×10 ⁵

88ページ(邦訳版156ページ): (c) 分布と残留の第2段落は次のように読み替えるものとする。

“通過コンパートメントに入ったヨウ素のうち、0.3の割合が甲状腺に移行するものと仮定し、残りは直接に排泄されるものと仮定する。甲状腺中のヨウ素は、80日の生物学的半減期で残留し、有機ヨウ素の形で甲状腺から失われると仮定する。有機ヨウ素は甲状腺以外の人体のすべての器官および組織に均等に分布し、そこに12日の生物学的半減期で残留すると仮定される。この有機ヨウ素の1/10は、直接、糞便中に排泄されると仮定し、残りは無機ヨウ素として通過コンパートメントに戻されると仮定する。その結果、甲状腺中のヨウ素の実効半減期は120日になる。

ヨウ素の放射性同位体についての ALI と DAC の値は変わらない。

ICRP Publication 30, Part 2, 1980

51ページ(邦訳版90-91ページ*): ^{178}Re についての ALI と DAC の値は、 ^{178}Ta (9.31 min) の代わりに ^{178}Ta (2.2 h) が、誤って崩壊系列に含まれていたため正しくない。訂正された崩壊図式および線量算定用データの表を Part 3 に対する補遺 B に示す。ALI と DAC の修正後の値を以下に示す。

レニウムの同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空気中濃度 DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種		経 口	吸 入	
			クラスD	クラスW
		$f_1=8\times 10^{-1}$	$f_1=8\times 10^{-1}$	$f_1=8\times 10^{-1}$
^{178}Re	ALI	3×10^9 (4×10^9) 胃壁	1×10^{10}	1×10^{10}
	DAC	—	4×10^6	5×10^6

* 邦訳版はすでに訂正済である。

57ページ (邦訳版102—103ページ*) : 計算機に代謝データを誤って入力したため、金の同位体の ALI と DAC の値に多少誤差が生じた。正しい線量算定用データを Part 3 に対する補遺Bに、また、以下に ALI と DAC の正しい値を示す。

金の同位体に関する年摂取限度 ALI (Bq) および誘導空气中濃度
DAC (Bq/m³) (40 h/wk)

放射性核種	ALI (Bq)			
	経 口	吸 入		
		クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=1 \times 10^{-1}$	$f_1=1 \times 10^{-1}$	$f_1=1 \times 10^{-1}$	$f_1=1 \times 10^{-1}$
¹⁹⁸ Au	3×10^8	1×10^8	8×10^8	7×10^8
¹⁹⁴ Au	1×10^8	3×10^8	2×10^8	2×10^8
¹⁹⁵ Au	2×10^8	4×10^8	5×10^7	2×10^7
^{198m} Au	4×10^7	1×10^8	4×10^7	4×10^7
¹⁹⁸ Au	5×10^7	1×10^8	7×10^7	6×10^7
¹⁹⁹ Au	1×10^8 (1×10^8) 大腸下部壁	3×10^8	1×10^8	1×10^8
^{200m} Au	4×10^7	1×10^8	1×10^8	9×10^7
²⁰⁰ Au	1×10^8	2×10^8	3×10^8	3×10^8
²⁰¹ Au	3×10^8 (3×10^8) 胃 壁	8×10^8	9×10^8	8×10^8

* 邦訳版はすでに訂正済である。

DAC (Bq/m²) (40 h/wk)

放射性核種	吸 入		
	クラスD	クラスW	クラスY
	$f_1=1\times 10^{-1}$	$f_1=1\times 10^{-1}$	$f_1=1\times 10^{-1}$
¹⁹³ Au	4×10 ⁵	3×10 ⁵	3×10 ⁵
¹⁹⁴ Au	1×10 ⁵	8×10 ⁴	8×10 ⁴
¹⁹⁵ Au	2×10 ⁵	2×10 ⁴	7×10 ³
^{198m} Au	4×10 ⁴	2×10 ⁴	2×10 ⁴
¹⁹⁸ Au	6×10 ⁴	3×10 ⁴	3×10 ⁴
¹⁹⁹ Au	1×10 ⁵	6×10 ⁴	6×10 ⁴
^{200m} Au	5×10 ⁴	4×10 ⁴	4×10 ⁴
²⁰⁰ Au	1×10 ⁶	1×10 ⁶	1×10 ⁶
²⁰¹ Au	3×10 ⁶	4×10 ⁶	3×10 ⁶

ICRP Publication 30
Part 3 に対する補遺(主文)*

* 訳注 この補遺は原文で948頁であるが、ここにはその主文(4頁分)のみを訳出した。

1. 緒 論

この補遺では、ICRP Publication 30, Part 3(以下 Part 3と記す)で考察した放射性核種の線量算定に関連のあるデータが与えられている。これらのデータは、Part 3に与えられている年摂取限度 (ALI) および誘導空气中濃度 (DAC) の値を決定するために用いたコンピュータのプリントアウトを、直接に複写したものである。これらの表の中で使われている特別な約束ごとおよび記号で、Part 1 で用いたもの以外について、以下に簡単に説明する。引用してある章は、Part 1 の章である。

2. 放射性核種の崩壊図式

データをチェックするのに役立つように、簡略化した崩壊図式のみが示されている。計算に用いる詳細な崩壊図式は別に刊行される予定である。

3. データの諸表

3.1 一般的事項

3.1.1 データの諸表はコンピュータのプリントアウトを直接に複写したものである。したがって、すべての値は通常の指数の表し方で与えられている。たとえば、 $3.0E-02$ は 3.0×10^{-2} 、 $7.1E03$ は 7.1×10^3 と読む。そして崩

(2)

壊図式では、これらの値は省略してそれぞれ $3.0E-2$ および $7.1E3$ と記してある。

3.1.2 代謝モデルと崩壊図式データの不確かさを考慮して、ALIとDACの値は1個の有効数字で与えられている。これら ALI の基礎になったデータを使用したいという読者の便宜のため、その他すべての表の中に示す量は、丸めの誤差を減らすため2個の有効数字で与えられている。

3.1.3 表に含まれるべきデータの選択にあたっては、初めに“10%規則”を適用して標的器官を選び、次に“1%規則”を適用して線源器官を選んだ (Part 1, 4.7節)。

3.1.4 娘放射性核種に関するデータは、親放射性核種の体内での変換から生ずる娘核種の諸量に関するものである (Part 1, 4.6.1 項)。娘放射性核種に関するデータは、吸入あるいは経口による親放射性核種の摂取の仕方少なくとも1つについて、その娘核種の寄与が荷重預託線量当量の総和の0.1%以上である場合にのみ表示されている。

3.2 比実効エネルギー

3.2.1 多くの線源器官で生ずる変換に由来する多くの標的器官における比実効エネルギー (SEE) の値が、指定した核種について与えられ、また、この指定した核種の体内での変換から生成する娘放射性核種がある場合には、SEE の値が、それら娘核種のいずれについても与えられている。

3.2.2 変換の数の表では全身 (total body) を線源器官として掲げてはいないが、身体のいろいろな器官および組織の預託線量当量を計算するために用いた方法の関係で、SEEの表ではしばしば全身を線源器官としている。計算の方法は以下の例で説明する (3.3.2項も参照)。

質量 M_i (g) の器官 i における変換の総数を U_i とし、身体の残りの質量 $(70,000 - \sum_i M_i)$ (g) における変換の総数を U_{ROB} とすると、身体内の変換の

分布は次の2つの成分の和としても表すことができる。

(a) 身体のすべての器官および組織全体に均等に分布した変換の数,

$$\frac{U_{\text{ROB}} \times 70,000}{(70,000 - \sum_i M_i)}$$

(b) 各器官 i における変換の数,

$$U_i = \frac{M_i \times U_{\text{ROB}}}{(70,000 - \sum_i M_i)}$$

特定の標的器官および組織の預託線量当量については、これら成分の各々を別々に計算し、次にこれを加算すれば、その標的器官および組織の預託線量当量の総和が得られる。したがって、全身を線源器官とした SEE の値は(a)で与えられる変換の総数と組み合わせてつねに用いられ、特定の線源器官に関する SEE は(b)と関連して用いられる。

3.3 変換の数

3.3.1 指定した放射性核種の単位放射能を経口摂取および吸入した後の50年間に種々の線源器官内で生ずる変換の数 U の値が与えられている。指定した放射性核種の体内での変換によって生成する娘放射性核種のいずれについての U の値も与えられている。経口摂取に関しては、 U の値は、経口摂取された元素の化合物が血液に吸収される割合 f_1 (Part 1, 第6章) のそれぞれの値ごとに示されている。また吸入に関しては、吸入のクラス D, W, および Y (Part 1, 第5章) のそれぞれごとに、 U の値が示されている。異なる化合物についての f_1 の値および D, W, あるいは Y の区分は、Part 3 で論じられた各元素の代謝データ中に与えられている。

3.3.2 考察した線源器官は、体内に入った放射性核種を含む組織をすべて網羅している。“その他の組織”(other tissue)とは、その元素に関する代謝データの2c節中で記されている代謝モデルの中に挙げられていて同時に Part 1

(4)

の表 4.1 にも線源器官として挙げられている器官および組織を、全身から差し引いた身体の残りの部分(rest of the body)(3.2.2項参照)をいう。たとえば、Part 1 に検討した、リンについては、代謝モデルの中に挙げられていて、同時に第 4 章表 4.1 において線源組織として指定されたただ一つの組織は無機質骨である。したがって、リンの同位体に関する“その他の組織”の質量は、全身の質量 (70,000 g) から無機質骨の質量 (5,000 g) を差し引いた、65,000 g である。“その他の組織”を表に示した個所では、その下にその質量 (g) が括弧内に与えられている。

3.3.3 通過コンパートメント (Part 1, 4.6 節および図 4.1) における変換は、身体のすべての器官および組織全体に均等に分布すると仮定する。それゆえ、ある特定の器官または組織についての変換の数は、次の 2 つの成分の和である。

(a) 代謝モデルによって計算したその器官または組織における変換の数,

(b) 通過コンパートメントにおける変換の一部分(U_1)。

U_1 は次式で与えられる。

$$U_1 = \frac{M \times U_{\text{TRANSFER}}}{70,000}$$

ここで,

M : 器官または組織の質量 (g),

U_{TRANSFER} : 通過コンパートメントにおける変換の数,

70,000: 全身の質量 (g),

である。

3.4 預託線量当量および荷重預託線量当量

3.4.1 生殖腺の預託線量当量は、精巣と卵巣の預託線量当量のうち大きい方とする。

3.4.2 乳房には筋肉の預託線量当量を使用する。

3.4.3 ある吸入クラスの下に掲げた各器官または組織の預託線量当量の値は、空気力学的放射能中央径 (AMAD) が $1\mu\text{m}$ のエアロゾルに用いる。肺の N-P 領域, T-B 領域および P 領域のそれぞれに沈着した成分に由来する預託線量当量の百分率は、預託線量当量の値のすぐ下の括弧内に示されている。これらの百分率は、 $1\mu\text{m}$ 以外の AMAD をもつエアロゾルの預託線量当量を計算するために使用することができる (第 5 章, 5.5 節)。

3.4.4 “残りの組織” (Remainder) とは、

(a) 代謝モデル、

(b) 胃腸管モデル (第 6 章), および

(c) 荷重係数の表 (第 2 章, 表 2.1)

に挙げられていない、すべての標的器官および組織をまとめて記述するために与えられた名称である。

“残りの組織”に割り当てた預託線量当量は、第 4 章, 表 4.1 に示されているが上の (a), (b), (c) のいずれにも含まれない任意の標的器官または組織のうちの最大預託線量当量である。預託線量当量の表には、0.06, 0.12, 0.18, 0.24 あるいは 0.30 という荷重係数が、“残りの組織”の預託線量当量の下に示してある。この荷重係数は、“10%規則”によって除外されず、また上の (a), (b), (c) のいずれにも含まれず、さらに 0.06 という荷重係数をあてはめるべき、標的器官および組織の数 (最大 5 つまで) によって決まる (Part 1, 2.2 節および 4.7 節)。このような器官または組織がない場合には、残りの組織について預託線量当量あるいは荷重預託線量当量は与えられていない。

例：その元素の代謝モデルでは、肝臓、腎臓および身体の残りの部分が挙げられているものとする。……………(a)

胃腸管モデルでは、胃、小腸、大腸上部および大腸下部の名が挙げられている。……………(b)

(6)

荷重係数の表では、生殖腺、乳房、肺、赤色骨髄、甲状腺および骨表面の名が挙げられている。……(c) さらに、大腸下部、肝臓、および腎臓も、身体の残りの部分のうち子宮、脾臓および副腎も、“10%規則”によって除外されないものとする。そうすると、“残りの組織”には、子宮、脾臓あるいは副腎についての預託線量当量のうちの最大値に等しい預託線量当量と、その下に示されている0.12という荷重係数が割り当てられることになる。他の3つの器官すなわち大腸下部、肝臓および腎臓の名称は、すでに述べた分類(a),(b),(c)の中に挙げられているので、この0.12という荷重係数は“残りの組織”(第2章、表2.1)として許される最大5つの組織のうちの2つに対応するものである。

3.5 年摂取限度および誘導空气中濃度

3.5.1 ALI が基本となる補助限度であることを強調する。したがって、吸入に関しては、 $C(t)$ (Bq m^{-3}) をある放射性核種のある瞬間の空气中濃度とし、 $B(t)$ を単位時間当たりの m^3 で表したその瞬間の呼吸率とすると、被曝の限度は次式で与えられる。

$$\int C(t)B(t)dt \leq \text{ALI}$$

ここで、この積分は就労している任意の1年間について行う(第3章、3.4節)。便宜のために、DACの値が与えられている。すなわち、

$$\text{DAC} = \text{ALI} / 2.4 \times 10^8 \text{ Bq m}^{-3}$$

このDACの値はつねに注意して使用すべきである。この値は“軽作業”の条件で年間2,000時間(1週40時間で50週)の作業をする標準人についてのみに適用される(第3章、3.4節)。

3.5.2 もしALIがある特定の器官または組織の線量当量の非確率的限度によって決まる場合(Part 1, 4.7節)には、その器官または組織名をALIの

(7)

値の下に示す。また、確率的影響を制限するための委員会の勧告 (Part 1, 4.7節) を満たす年摂取量の最大値 I (Bq) を括弧の中に示す。ALI が確率的限度によって決まる場合には、ALI の値の下に器官名は示さない。

1. 本報の編輯の全責任は編輯部の責任に歸する。又、本報の編輯の
 方針は編輯部の責任に歸する。編輯部の責任は編輯部の責任に歸する。
 2. 本報の編輯の全責任は編輯部の責任に歸する。又、本報の編輯の
 方針は編輯部の責任に歸する。編輯部の責任は編輯部の責任に歸する。

ICRP Publication 30 Part 1-3

元素別データ索引

元素名	巻	頁数
アインスタイニウム	3	(198)
亜鉛	2	(40)
アクチニウム	3	(185)
アスタチン	3	(180)
アメリカシウム	1	(191)
アルゴン	2	(21)
アルミニウム	3	(25)
アンチモン	3	(86)

イ

硫黄	2	(13)
イッテルビウム	3	(145)
イットリウム	2	(53)
イリジウム	2	(95)
インジウム	2	(78)

ウ

ウラン	1	(179)
-----	---	-------

エ

エルビウム	3	(137)
塩素	2	(18)

オ

オスマニウム	2	(92)
--------	---	------

カ

カドミウム	2	(73)
ガドリニウム	3	(121)

カリウム	2	(22)
ガリウム	3	(54)
カリホルニウム	1	(201)
カルシウム	2	(25)

キ

キセノン	2	(82)
キュリウム	1	(196)
金	2	(100)
銀	2	(69)

ク

クリプトン	1	(133)
クロム	2	(28)

ケ

ケイ素	3	(29)
ゲルマニウム	3	(59)

コ

コバルト	1	(128)
------	---	-------

サ

サマリウム	3	(110)
-------	---	-------

シ

ジスプロシウム	3	(130)
臭素	2	(45)
ジルコニウム	1	(138)

ス

水銀	2	(104)
----	---	-------

(ii)

水素..... 1 (113)
スカンジウム..... 3 (34)
スズ..... 3 (80)
ストロンチウム..... 1 (134)

セ

セシウム..... 1 (159)
セリウム..... 1 (163)
セレン..... 3 (70)

タ

タリウム..... 3 (176)
タングステン..... 3 (165)
炭素..... 3 (10)
タンタル..... 3 (160)

チ

チタン..... 3 (39)

ツ

ツリウム..... 3 (140)

テ

テクネチウム..... 2 (57)
鉄..... 2 (32)
テルビウム..... 3 (125)
テルル..... 1 (150)

ト

銅..... 2 (36)
トリウム..... 1 (175)

ナ

ナトリウム..... 2 (10)
鉛..... 2 (113)

ニ

ニオブ..... 1 (142)

ニッケル..... 3 (47)

ネ

ネオジム..... 3 (102)
ネプツニウム..... 2 (122)

ハ

白金..... 3 (171)
バークリウム..... 3 (194)
バナジウム..... 3 (43)
 hafニウム..... 3 (156)
パラジウム..... 3 (76)
バリウム..... 2 (84)

ヒ

ビスマス..... 2 (118)
ヒ素..... 3 (63)

フ

フェルミウム..... 3 (202)
フッ素..... 2 (7)
ブラセオジム..... 3 (98)
フランシウム..... 3 (182)
プルトニウム..... 1 (185)
プロトアクチニウム..... 3 (189)
プロメチウム..... 3 (105)

ヘ

ベリリウム..... 3 (5)

ホ

ホルミウム..... 3 (133)
ポロニウム..... 1 (167)

マ

マグネシウム..... 3 (21)
マンガン..... 1 (124)

メ
メンデレビウム..... 3 (205)

モ
モリブデン..... 1 (146)

ユ
ユウロピウム..... 3 (115)

ヨ
ヨウ素..... 1 (155)

ラ
ラジウム..... 1 (171)
ランタン..... 3 (93)

リ
リン..... 1 (121)

ル
ルテチウム..... 3 (150)
ルテニウム..... 2 (62)
ルビジウム..... 2 (49)

レ
レニウム..... 2 (88)

ロ
ロジウム..... 2 (66)

7102
ランタン

(a)

Q11) 1 2

4

Q12) 2 4

Q13) 2 4

Q14) 2 4

4

Q15) 2 4

4

Q16) 2 4

4

Q17) 2 4

4

Q18) 1 2

4

Q19) 2 4

4

Q20) 1 2

4

Q21) 1 2

Q22) 2 4

216
60

226

216
60
5

231
2

233

作業者による放射性核種の

摂取の限度 Part 3

定価 2,300円

昭和58年5月30日 初版第1刷発行

編集 社団法人 日本アイソトープ協会

および 財団法人 仁科記念財団

発行 財団法人

113 東京都文京区本駒込二丁目28番45号

電話 (03) 946-7111

振替 東京 8-143345

発行所 丸善株式会社

印刷・製本 富士美術印刷KK (803) 1171~9