

原子灰について

及び 諸 数 値 表

^{239}Pu 及 ^{235}U の fission products 中の
radio isotope の 時間 経過 に 伴 へる
activity を 計算 した

この パンフレット は 解説 ですが

数値表 及び その graph 作 成 あり ます

自然 に の せ じ 下 さい ば 厚 紙

を 送 り 付 け 如 所 で 送 り 下 さい

大阪大学 教授

浅 田 常 三 郎

29-5-29

(1) 原子灰についての解説

29-5-24

この原稿は、大毎の解説として高宮記者に渡しました。その大要は、大毎の6月1日の紙面にのりますが、新聞紙面の都合で省略した点がありますので全文を謄写印刷いたしました。

尚、5月30日の木村研究室の発表に関する補遺及び附表(2)、(3)、(4)、(5)を加えて印刷しました。

原子爆や水爆の爆発に際して出来る放射性物質やRaの如く天然に放射能をもつ物質が人体に及ぼす影響は身体の外から放射線があつた場合と、食物や呼吸によつて放射性物質が体内に入つた場合とでその作用が異なるものである。

§1. 体外からの放射線に対する影響

X線と放射能物質の γ 線とは同じ性質のものであり、診断用のX線は10万eV以下、深部治療用のX線は約30万eVの電圧を用いて線管から得られる。電圧が高くなるに従い透過力の強いX線が得られる。

Ra Cから出る γ 線は120万eVのX線と同じであり、原子灰中に含まれる⁹¹Sn ⁴からは140万eVのX線が放出される。

高圧の高いX線は透過力が強く、例えば10万eVのX線は水の中を15.5cmを通過すると、その強さが10分の1に減少するが、100万eV X線は水の中を36cm通過してその強さが10分の1に減少する。

料である。女子の店員が小さい筆でこの塗料を塗ったが、翌日は筆の先が固くなっているので、歯でかみほくして新しい塗料をつけて仕事をした。この歯でかむ際極めて僅かの塗料が歯につき、消化管を通つて体内に入つた。さて Ra は化学的には Ca と同様の元素であるので、体中に吸収せられた Ra の一部は骨に沉着する事になる。

骨に附着した Ra からの放射能は直接に骨ずいの組織を破壊し白血球が次第に減少していわゆる原子病となり、この仕事に従事した三名の店員が何れも死亡したと云う事故が起つた。

さて骨を作つている成分の Ca 原子は、出来上つた骨の中に永久にあるのではなく、常に古い Ca は次第に溶け去り新しい Ca 原子によつて補充せられてゆき44年の長年月の間に Ca 原子の半分だけが新陳代謝せられる。

この長さを生理的半減期と呼んでいる。 Ra が骨に沉着した場合でも、その沉着量は Ca と同様に44年後に半分だけは体外に排出せられる。一面 Ra 自身は放射線を出しながら他の原子に変化してゆくので、一定量の Ra からの放射能は年月の経過と共に次第に減少してゆく。 Ra の場合はその放射能は1620年で半分になる程度であり、この長さを物理的半減期と呼んでいる。一定の原子数の放射能物質では半減期の短い物質の方が短い時間内に放射能を出して減つてゆく事から放射能の強さが強いものである。

骨に沉着した Ra が年月の経過と共に骨髓に与える放射能の強さは上記の生理的半減期と、物理的半減期で決定される有効半減期によつてきまるものであるが、 Ra の場合は物理半減期が非常に長いのでその有効半減期は生理的半減期と殆んど同様であつて44年である。

(4)

る。

従つて Ra の場合では一度骨に沈着するとその毒性が44年後にやつと半減する程度永続するものであるから、極めて少量でも経続して体内に入ると次第に蓄積せられ、その被害が大きくなりその体内への摂取は極力これを避けなければならぬ。

原子灰の中に含まれる放射能物質の中で $Sr\ 90$ は、その作用が Ra に類似している。

この原子は骨に沈着し β 線を放出し骨髓を破壊し、白血球を減少させ、所謂急性原子症状を起さしむるものである。

この物理的半減期は約20年、生理的半減期は約10年、従つて有効半減期は7.4年である。このように毒性の半分になる期間の長いものは連続して摂取されると、次第に身体中に蓄積せられるからこの蓄積効果を考え、それが体内に入る事を極力避けるべきである。

$U\ 235$ を主成分とした原爆からは $Sr\ 90$ と $Sr\ 89$ とは同じ程度出来る。この二つは化学的には同一の性質であり、且つ同様に β 線を放出し共に骨に沈着するものであるが $Sr\ 89$ は物理的半減期が53日であり、有効半減期は52日であるから、たとえ骨に沈着しても $Sr\ 90$ の如く永い期間害を与えないから危険性は少ない。

放射性物質が体内に入った場合、その元素の種類により特有の組織に沈着する。例えば $C\ 14$ は骨と脂肪 $Sr\ 89$ 、 $Sr\ 90$ 、 $Ba\ 140$ は骨に $I\ 131$ は甲状腺に、 $Tc\ 96$ は腎臓に、 $Co\ 60$ は肝臓や脾臓に沈着してその機能を破壊する。この組織に沈着した放射性物質から出る β 線は、組織中を1mm程度しか通過せずその組織並に極めて近接した部分のみに損傷を与える。医学者の経験からは α 線は β 線の二十倍の被害を与えるから、 α 線を出す物質、

カ一表

元素	放射線エネルギー		沉着する組織	半 衰 期			食物から組織に沈着の割合	呼吸から組織に沈着の割合
	β 線	γ 線		物理的	生理的	有効		
C 14	MeV 0.053	ナシ	脂肪	5100年	35日	35日	0.5	0.36
			骨	5100年	180日	180日	4.8×10^{-2}	3.6×10^{-2}
Co 60	0.31	1.32	肝臓	5.3年	8.4日	8.4日	0.004	0.007
			脾臓	5.3年	9日	9日	4.4×10^{-5}	7.7×10^{-5}
Sr 89	150	ナシ	骨	53日	10.6年	52日	0.25	0.22
Sr 90	0.60	ナシ	骨	20年	10.6年	74年	0.25	0.22
Y 90を含む								
I 131	0.595	0.367	甲状腺	8日	180日	77日	0.2	0.15
Cs 137	0.550	ナシ	筋肉	37年	17日	17日	0.48	0.36
Ra 226 (生成物を含む)	α線を出す		骨	1620年	44年	44年	0.015	0.026
Pu 239	α線をも出す		骨	5万年	120年	120年	0.0001	0.18

註 MeV とは 100 万電子ボルトの事である。

表二

食物から組織に沈着の割合	呼吸から組織に沈着の割合
0.5 4.8×10^{-2}	0.36 3.6×10^{-2}
0.004 4.4×10^{-5}	0.007 7.7×10^{-5}
0.25 0.25	0.22 0.22
0.2	0.15
0.48	0.36
0.015	0.026
0.0001	0.18

元素	沈着組織	全身中における最大許容量 マイクロキュリー	常用の水/立中の最大許容量 マイクロキュリー	空気/立中の最大許容量 マイクロキュリー
C 14	脂肪	250	3	10^{-3}
	骨	1500	4	5×10^{-4}
Co 60	肝臓	3	20	10^{-3}
Sr 89	骨	2	7×10^{-2}	2×10^{-5}
Sr 90 (Y90を含む)	骨	1	8×10^{-4}	2×10^{-7}
I 131	甲状腺	0.3	3×10^{-2}	3×10^{-6}
Cs 137 (Ba 137を含む)	筋肉	90	1.5	2×10^{-4}
Rn 222 (生成物を含む)	全身		2×10^{-3}	
Ra 226 (生成物を含む)	骨	0.1	4×10^{-5}	8×10^{-9}
Pu 239	骨	0.04	1.5×10^{-3}	2×10^{-9}

註. Sr 90 はβ線を出してY90になり、これもβ線を出すので両者を加えて考えている。

このくわしい表は〔3〕にある。

§5. カウント、キュリー(C)、レントゲン(R) 等の単位の換算

最近の新聞に於る降雨中の放射線の強さを示す単位としてカウントと云ふ量がある。

雨水の場合は雨水一立をフラスコ中で減圧の下で蒸発させ、残った^{ガス}渣を一点に集め、その上約2cmの所にガイガー^{カウンター}計数管を置いて測定する。ガイガー計数管はガラス管の前に極めて薄い雲母の窓をつけ、その内部に直径2cm位の筒型の電極を置きその中心軸に又細い針金の電極をつけ、両電極の間に約1000ボルトの電圧をかけておく。管内には一定の圧力のガスが入つてゐる。放射線がこの電極の間に入ると、ガスが電離せられ、瞬時的に電流が流れるのでこれを真空管で増幅して拡声器で聞くと、放射線が1つ計数管に入る毎にコンと音がする。この一分間の音の数が毎分のカウント数になる。α線も一種の粒子と考えられ、β線の電子の場合と同様に放射線1つがカウント1つに相当する。放射能物質から出る放射能は四方八方へ一様に出るから、上記の状態で測定すると出た放射線の約1/2分の一が計数管に入るから、毎分1カウントは放射線が毎分1/2出る事を示す。計数管を放射能物質から遠ざけるに従つて窓から計数管に入る放射線の数が距離の二乗に反比例して減少する上に放射線が途中の空気にも吸収されるから、測定の際にはこの距離を一定にせねばならない。西脇助教授の所の測定ではカウント1つが放射線16に対応する由である。

さて1キュリーとは毎秒 3.7×10^{10} 個の放射能を出す事になる。1MICは毎秒 3.7×10^4 の放射線を出す放射能物質の量である。これを16倍に1つカウントするやうな位置で測定すると毎秒

はプルトニウム239が分裂する時に出来る重要な元素とその生成の割合は第四表の通りである。

第 四 表

元素と質量数	半 減 期	U235よりの場合 %	Pu239よりの場合 %
Br 83	2.4時	0.3	0.086
Sr 89	55日	4.6	1.7
Sr 91	10時	5.0	2.3
Y 91	61日	5.9	3.4
Zr 95	65日	6.0	4.9
Zr 97	17時	>4.5	6.2
Mo 99	67時	6.8	7.9
Ru 103	40日	3.0	8.8
Ru 106	330日	0.5	5.8
Ag 111	7.5日	0.006	0.13
Cd 115	43日	0.0009	<0.004
I 131	8日	1.7	1.5
I 133	22時	3.8	6.1
I 134	54分	5.7	3.6
I 135	6.6時	4.3	1.3
I 137	22.9秒	4.3	9.8
Ba 139	82分	6.3	6.1
Ce 141	28日	5.0	5.2
Ce 143	33時	5.4	5.4
Pr 143	13.5日		4.9
Ce 144	340日	5.5	4.6
Eu 156	15.4日	0.019	0.14

尚、第四表を図示すると第一図になる。

の生成

場合

86

81

80

79

78

77

76

75

74

73

72

71

70

69

68

67

66

65

64

63

62

61

60

59

58

57

56

55

54

53

52

51

50

49

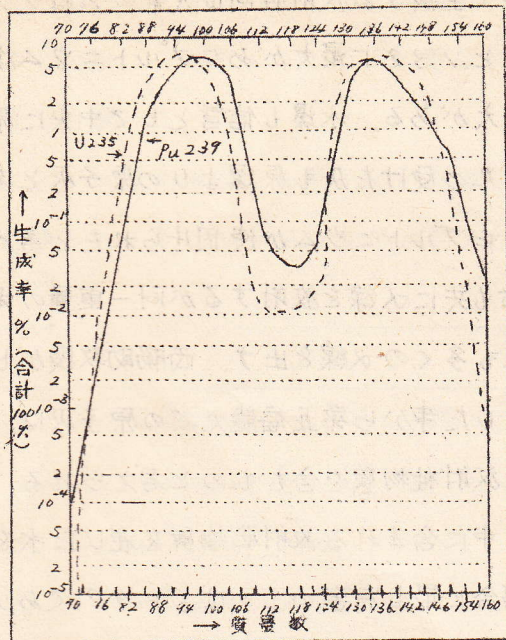
48

47

46

45

44



第1図 ウラニウム235とプルトニウム239との核分裂による
分裂破片 (fission fragment) の分布 (2分裂だから合計200
%)。極大の頭が質量数で4つずれている。(Radiochemical
Studies 1951, The Fission Product: Book 3, 1386P) ウ
ラニウム235は熱中性子による核分裂、プルトニウムについ
ては高速中性子による核分裂の場合である。

線放射中の割合を時間の経過と共に変化する有様は第六表になる。

第 六 表

経 過 時 日	1時間	1日	10日	1月	2月	6月	1年
Str90とY90のβ線が 全体のβ線への割合	1×10^{-5}	1×10^{-4}	1.5×10^{-3}	5.1×10^{-3}	8.2×10^{-3}	2.8×10^{-2}	7.2×10^{-2}

原子灰が水爆爆発後成層圏まで吹きあげられ、西から東へ吹く成層圏の風に送られて、米国、欧州と地球を一周して来て日本に降ったと仮定すると、約10日後に日本の上空に達する。それが瞬に混じて降ったとしたら、全β放射能の0.15%が危険なStr90に基くものであり、雨の放射能を測定した全カウント数の0.15%がStr90である。従って5月15日の雨の平均が1立につき毎分2127カウントなれば、Str90によるものは3カウントに過ぎない。尚、カウンターがγ線にも感ずるものであるので、Str90によるものはこれの約半分になる。

前に述べたやうにStr90は13.8カウントまでは連日永久的に飲用（一日四立）しても何等差支ないのであるから、5月15日の程度の雨ならば腹一杯飲んでも差支ない事になり、まして野菜についた僅かの量は問題でないと思はれる。

然し乍ら原爆爆発後1年経過した後の雨水中にそのカウント放射能が認められるならば、第六表に示すやうに7.2%がStr90に基因するから、1年後の雨にもしも約200カウントあれば、それはStr90に対し連続飲用の無害の最大限度である。

表六になる。

6月	1年
2.8×10^{-2}	7.2×10^{-2}

から東へ吹く成
果て日本に降つ
。それが雨に混
なスト90に基
の0.15%が
1立につき毎分
カウントに過ぎな
。スト90に
。5月15日の
まして野菜につ
そのカウント放射
%がスト90に基
トあれば、それは

経過年数の不明の原子灰を含む水の注意は必要であり、安全の爲
を考えると飲用に供しないのが常識であるが、現在の状態では無用
の恐怖心を持つ事は全然必要がない。

§7. 放射能の雨の測定について

放射能を含む原子灰は非常に微細な粒子となって飛散し、成層圏
から降つて来て大気中に充滿する。降雨の際は最初に降る雨の中に
この灰の大部分が洗ひ落されるから、5月15日の場合では西脇井
教授の測定では、最初の0.1mmの降雨量中には、1立当り毎分8
万カウントあつた。西脇助教授の測定では、その日の雨量7.4mm
全体を平均して、1立当り2127カウントであつた。何れもビニ
ール布で雨をうけたものである。この小生の研究室で真鍮の雨量計
にたまつた当日の雨を測定したものでは、約60カウントしか無か
つた。

バケツ等の金属容器で雨を受けると、放射性物質は放射線のため
帯電し容器の金属に附着するため、雨水中の放射能は無くなつて了
ふ。又西脇助教授の測定では雨水を濾紙で濾過するのみで、その放
射能の大部分は雨水の中から除去され、砂等で濾過すると水中に殆ん
ど放射能は無くなつて了う。従つて、厚い土層を濾過した井戸水や
水道の水には心配は全然無い。

又、0.1mmの降水量の雨を1立集めるには10平方メートルの面積を
要する。人間が雨の中に立つておても一人の受ける面積はこの30
分の一に過ぎない、従つてその最初の強い雨だけが身体についても
全放射能は8万カウントの30分の一、即ち最高3000カウント

に過ぎない。この雨の濃い部分のみを浴びたまま拭はずに居ても、外部から受ける放射線量は毎分200マイクロレントゲンとなり、一時間で12ミリレントゲンとなる。一週間の許容量300ミリレントゲンから比較して、一週間中に25時間以上も永い間この雨の浸み込んだ着物を着ていても大丈夫である。

原子灰を含んだ水を常時飲用する場合にSr90のみについても論じたが、他の元素についてはSr90に比し 第二表に示すやうに100倍以上濃度が高くても大丈夫のため、他の元素混在に対する加重蓄積効果の事を考へ、更にお線の影響を考へても、現在の程度では心配の必要はない。

§8 第五福龍丸の場合

第五福龍丸は水爆爆発約1時間後に原子灰を受け、半月後に焼津に帰着した場合にその甲板上に毎分数万カウントに達する放射能が検出されている。

全元素合計の β 線の時間の経過と共に減少してゆく割合は、オ五表に示したが、1ヶ月後の量に比べて

1時間後の量は 535倍

1日後は 49倍

10日後では 3.4倍 に達している。

従って爆発1時間後に浴びた灰には数十万カウントの放射能があったものと考えられる。

更に上記の諸計算は、体中に入った場合を考へて β 線についてのみ計算したが、 γ 線に対しても同様の事が計算され体外からの放射にはそれが重なるため人体の受ける被害は莫大であり、乗組員が火傷を受けたり急性原子症状を呈するのは当然である。

従って簡単に福龍丸の帰着の場合、数万カウントあり今回の雨に8万カウントあるから同様に又はそれ以上危険であるとの素人考へで間違も甚だしいものである。

§9 ラジウム温泉について

ラジウム温泉では Ra が崩壊して出来る放射性物質の Rn を含んでいる。ラドンはラジウム エマネーションとも呼ばれ、この温泉を飲用すると体中で、アルファ (α)、ビータ (β)、ガンマ (γ) の総ての放射能を放出する。原爆関係では放射線は危険でありとし

ラジウム温泉ではこれを浴びたり飲用すると新陳代謝を助け健康に
有益であるとし、多数の人がこの温泉場に保養又は療養に出掛ける。
ラジウム温泉の場合でもその放射能で細胞は若干破壊せられ、それ
から生じた蛋白質の分解物が僅かゝら毒作用を有し、他の細胞を刺
激し新陳代謝を助け、健康を増進するのである。丁度大きい火傷^{ヤケド}は
命にかゝるが、小さい火傷であるお灸は健康に良いと考えられる
のと同様である。

ラドン(Rn)を含む鉱泉を常時使用する場合の有毒にならぬ最大許
容量はオ=表に示すやうに、1立当り 2×10^{-3} マイクロキューリ
ーである。本邦に於けるラドン含有量の最も多い温泉とその含有量
は鳥取県の三朝の142マツヘ及び山梨県の増富の828マツヘであ
る。1マツヘとは1立中に 3.64×10^{-4} マイクロキューリーのラ
ドンを含む単位である。三朝の場合では1立当り 5.1×10^{-2} マイ
クロキューリーを含む事になる。毎日数十c.c.を一生涯服用しても
害が無く、逆に新陳代謝が盛んになって健康が増進する事は古来の経
験から分っている所である。湯治に行った人が数日連続して温泉の湯を
大量をのんでも別に原子症状にもならないし、ラジウム温泉に住む
人達が不妊症になるとの例は小生寡聞で知らない。

ビキニの雨を進んで飲む必要はあるまいが、恐怖する理由は見当ら
ない。新聞紙の報道する所では5月18日鹿児島に帰港した水産練
習船香川丸はガイガー計数管の測定から放射能の多い海を航海して
いる事がわかり27名の全乗組員が、不眠、食欲不振、頭痛を訴え
全員青い顔で入港したが検査の結果計数管の誤りであった事が判明
全員急に元氣になり翌日又横濱に出港している。気持だけで病気

になるものであるから、現在程度の放射能の雨は全然心配いらない事を
を全国民にはっきり知らせる必要がある。又ガイガー計数管の測定で
はナチュラルと称し、何等放射能物質を置かなくても毎分28位の
カウントが存在する。これは宇宙線や空気中に極めて微量に混在す
るラドンや炭素14等によるカウントであり、その中に生活する人
間は、その放射能を常時身に浴びて健康に役立っている様子である。
5月14日頃は屋外ではこのナチュラルの数が100カウント、即
ち約4倍増加した事を西脇助教授が報告している。5月17日の新
聞には米国に於てはこのナチュラルの数が35倍に達したが、米国
原子力委員会が慎重に検討した結果、この放射能は何ら危険が無い
と報じている。

§10 広島の場合

広島の場合では地上に原子灰を降らせぬ様に特に550米上空で
原爆を爆発させたので放射能を含む物質は松茸型、雲と共に成層圏
まで上昇した。8月9日小生が現在市大助教授の尾崎誠之助氏達とガイ
ガー計数管を用いて爆心地附近の大地を放射能を測定したが、何れ
の所も原子爆弾災害調査報告集オノ分冊4頁に記載せるごとく200
カウント以下でナチュラルの数値に過ぎなかった。広島での原爆爆
発に際し、 1.5×10^{24} に達する中性子が発生し、光の速度に近い高
速で地上に到達し、その直下では1平方哩につき 10^{14} ヶの中性子
に衝突せられた。

この莫大な量の中性子は身体の各細胞に数千個が命中した事にな
り、骨ではそれを形成する元素の磷やカルシウムが中性子の衝突によ

放射能を有する元素に、その為に原子症状を呈したのである。原子灰による被害でなく、中性子による結果である事を特筆し、広島に於ける多数の原子病患者から今回の原子灰にも原子症状を心配する必要の全然無意味な事を附記したい。

§1.1 結 論

今回の日本に降った原子灰は全然危険のないものである。然し、之を連続繰返して多数回実験せられたら災害を生ずるから水爆実験は中止して頂きたい。

然し、今回の日本に降った原子灰や雨は全然心配はないから無用の恐怖心は持たない事を希望する。

補

§1 この場

新聞紙上

下記のと

① 核分

② 希

③ 退

〔1〕6

が、本

①の核

Ca 45

反応で

20Ca

が

§2. 定量分

元素

Sn 89

Sn 90

Y 90

Y 91

Zr 95

Cb 95

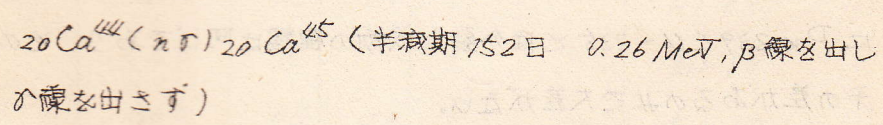
補遺

§1 この原稿は5月23日に作成したものであるがその後5月29日附新聞紙上で東大木村研究室にてオ五福竜丸の原子灰についての分析結果下記の26種の放射能元素が発見せられた。

- ① 核分裂生成放射能元素 24種
- ② 誘導放射能元素一種 Ca^{45}
- ③ 爆弾起爆素 一種 Pu^{239}

〔1〕6節の中に述べたように爆弾材料が $Pu-239$ と想像していたが、木村研究室の分析の結果それが確められた。

①の核分裂生成物種24種は何れも〔2〕表中に示されている。②の Ca^{45} は、水爆からの中性子が珊瑚礁の $CaCO_3$ に作用して下記の反応で出来たものと思われる。



§2. 定量分析による放射能元素の割合は木村研究室の発表によれば

元素	放射能%	元素	放射能%	元素	放射能%	元素	放射能%
Sr 89	1	Ru 103, 106	10	Ce 144	6	Pu 239	4×10^{-4}
Sr 90	0.02	Rh 106		Pz 144			
Y 90	0.02	Te 129m, 129, 132		Pz 143	30		
Y 91	6	I 131, 132		Nd 147	9		
Zr 95	4	Ba 140	5	Pm 147			
Cb 95m, 95	2	La 140	5	Ca 45	0.2		
		Ce 141	3	U 237	10		

元 素	半 衰 期	ベータ線の エネルギー MeV		ガンマ線の エネルギー ギ-MeV		発 生 関 係	
						親	娘
36Kr 88	2.7時	0.5	0.02	f		Br 88	Rb 88
36Kr 89	3.1分	4.0		f		Br 89	Rb 89
36Kr 90	33秒	3.2		f			Rb 90
36Kr 91	9秒	3.6		f			Rb 91m Rb 91
36Kr 95	短	有		f			Rb 95
37Rb 85m	10 ⁻⁶ 秒		0.5	Kr 85			Rb 85
37Rb 86	20日	1.8	1.0	f			Sr 86
37Rb 87	10 ¹⁰ 年	0.2		f		Kr 87	Sr 87
37Rb 88	18分	5.3	2.8	f		Kr 88	Sr 88
37Rb 89	15分	4.5	有	f		Kr 89	Sr 89
37Rb 90	2.7分	5.7	有	f		Kr 90	Sr 90
37Rb 91	1.6分	4.6	有	f		Kr 91	Sr 91
37Rb 91	1.4分	3.0	有	"		"	"
37Rb 95	短	有		f		Kr 95	Sr 95
37Rb 97	"	"		f		Kr 97	Sr 97
⁰ 38Sr 89	53日	1.4		f		Rb 89	Y 89
⁰ 38Sr 90	20年	0.6		f		Rb 90	Y 90
38Sr 91	9.7時	1.1	1.4	f		Rb 91	Y 91m Y 91
38Sr 95	短	有		f		Rb 95	Y 95
38Sr 97	"	"		f		Rb 96	Y 97
⁰ 39Y 90	61時	2.1		f		Sr 90	Zr 90
39Y 91m	51分		0.5	f		Sr 90	Zr 91
⁰ 39Y 91	61日	1.5	1.2	f		Y 91m Sr 91	Zr 91

(29)

元
39Y 97
40Zr 95
40Zr 97
⁰ 41Nb 95m
⁰ 41Nb 95
41Nb 96
41Nb 97m
41Nb 97
42Mo 99
42Mo 101
43Tc 99m
43Tc 99
43Tc 101
⁰ 44Ru 103
44Ru 105
⁰ 44Ru 106
45Rh 103m
45Rh 105m
45Rh 105
⁰ 45Rh 106
45Rh 109
46Pd 109
46Pd 111

元 素	半 衰 期	ベータ線 のエネルギー	ガンマ線 のエネルギー	発 生 関 係	
				親	娘
39Y97	短	有		{ f Sr97	Zr97
40Zr95	65日	0.3	0.7	{ f Y95	Nb95
40Zr97	17時	1.9		{ f Y97	Nb97m
°41Nb95m	90時		0.2	{ f Zr95	Nb95
°41Nb95	35日	0.1	0.7	{ f Zr95 Nb95m	Mo95
41Nb96	23時	0.7	1.0	f	Mo96
41Nb97m	60秒		0.7	Zr97	Nb97
41Nb97	72分	1.2	0.7	{ f Nb97m	Mo97
42Mo99	67時	1.2	0.7	f	Tc99
42Mo101	15分	2.1	0.9	f	Tc101
43Tc99m	6時		0.1	{ f Mo99	Tc99
43Tc99	10 ⁵ 年	1.2		{ f Tc99m	Ru99
43Tc101	14分	0.2	0.3	{ f Mo101	Ru101
°44Ru103	40日	0.2	0.5	f	Rh103m
44Ru105	4.5時	1.1	0.7	{ f Tc105	Rh105m
°44Ru106	1年	0.03		f	Rh106
45Rh103m	57分		0.04	f Ru103	Rh103
45Rh105m	45分		0.1	Ru105	Rh105
45Rh105	36時	0.5	0.3	{ f Re105m	Pd105
°45Rh106	30分	3.5	2.4	{ f Ru106	Pd106
45Rh109	<1時	有		f	Pd109
46Pd109	13時	0.9		{ f Rh109	Ag109m
46Pd111	22分	2.1	0.7	f	Ag111

元 素	半 減 期	ベータ線の エネルギー ギー	ガンマ線の エネルギー ギー	発 生 関 係	
				親	娘
46Pd112	21時	0.2		f	Ag112
47Ag109m	40秒		0.08	Pd109	Ag109
47Ag111	7.6日	1.0	0.3	{ f Pd111	Cd111m, Cd112
47Ag112	3.2時	4.2	1.4	{ f Pd112	Cd112
47Ag113	5.3時	2.0		f	Cd113
47Ag115	20分	3		f	{ Cd115 Cd115m
48Cd111m2	49分		0.1	f	Cd111m1
48Cd111m1	10 ⁻² 秒		0.25	{ Ag111 Cd111m2	Cd111
48Cd113m	57年	0.5		f	In113
48Cd115m	43日	1.6		{ f Ag115	In115
48Cd115	53時	1.7	0.5	{ f Ag115	{ In115m In115
48Cd117m	3時		1.2	f	Cd117
48Cd117	50分	3.0		Cd117m	{ In117m In117
49In115m	4.5時	0.8	0.3	{ f Cd115	{ In115 Sn115
49In115	10 ¹⁴ 年	0.6		{ In115m Cd115m Cd115	Sn117
49In117m	70分	1.7	0.5	Cd117	Sn117
49In117	2.5時	0.7		Cd117	Sn117
50Sn123	136日	1.4		f	Sb123
50Sn125	9.4分	2.3	1.9	f	Sb125
50Sn127	1.5時	有		f	Sb127
51Sb125	27年	0.3	0.6	f	{ Te125m Te125
⁰ 51Sb127	93時	1.2	0.7	{ f Sn127	{ Te127m Te127
51Sb129	42時	有		f	Te129

(31)

元 素	半 減 期
51Sb131	23
52Te125m	
52Te127m	17
52Te127	93
⁺ 52Te129m	33
⁺ 52Te129	72
52Te131m	31
⁰ 52Te132	77
52Te131	23
52Te133m	63
52Te133	2
52Te135	< 2
53I129	10 ¹⁰
⁰ 53I131	8
⁰ 53I132	22
53I133	2
53I135	67
53I137	22
53I138	6
53I139	27
54Xe131m2	12
54Xe131m1	10 ¹¹
54Xe133m	23

元 素	半 衰 期	ベータ線 のエネルギー ギー	ガンマ線 のエネルギー ギー	発 生 関 係	
				親	娘
$^{51}\text{Sb}/131$	23分	有		f	$\begin{cases} \text{Te } 131 \\ \text{Te } 131m \end{cases}$
$^{52}\text{Te}/125m$	58日		0.1	$\text{Sb } 125$	$\text{Te } 125$
$^{52}\text{Te}/127m$	115日		0.08	$\begin{cases} f \\ \text{Sb } 127 \end{cases}$	$\text{Te } 127$
$^{52}\text{Te } 127$	93時	0.7		$\begin{cases} f \\ \text{Te } 127m \\ \text{Sb } 127 \end{cases}$	$\text{I } 127$
$^{+52}\text{Te}/129m$	33日		0.1	f	$\text{Te } 129$
$^{+52}\text{Te}/129$	72分	1.8	0.8	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 129m \\ \text{Sb } 129 \end{cases}$	$\text{I } 129$
$^{52}\text{Te}/131m$	30時		0.2	$\begin{cases} f \\ \text{Sb } 131 \end{cases}$	$\text{Te } 131$
$^{52}\text{Te}/132$	77時	0.2	0.2	$\begin{cases} f \\ \text{Sb } 132 \end{cases}$	$\text{I } 132$
$^{52}\text{Te}/131$	25分	2	0.7	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 131m \\ \text{Sb } 131 \end{cases}$	$\text{I } 131$
$^{52}\text{Te}/133m$	63分	有	0.4	$\begin{cases} f \\ \text{Sb } 133 \end{cases}$	$\text{Te } 133$
$^{52}\text{Te } 133$	2分	1.3	1.0	$\text{Te } 133m$	$\text{I } 133$
$^{52}\text{Te } 135$	< 2分	有		f	$\text{I } 135$
$^{53}\text{I } 129$	107年	0.1	0.03	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 129 \end{cases}$	$\text{Xe } 129$
$^{53}\text{I } 131$	8日	0.6	0.7	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 131 \end{cases}$	$\begin{cases} \text{Xe } 131m2 \\ \text{Xe } 131m1 \\ \text{Xe } 131 \end{cases}$
$^{53}\text{I } 132$	2.4時	2.2	2.0	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 132 \end{cases}$	$\text{Xe } 132$
$^{53}\text{I } 133$	20時	1.3	1.4	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 133 \end{cases}$	$\begin{cases} \text{Xe } 133 \\ \text{Xe } 133m \end{cases}$
$^{53}\text{I } 135$	6.7時	1.0	1.8	$\begin{cases} f \\ \text{Te } 135 \end{cases}$	$\begin{cases} \text{Xe } 135m \\ \text{Xe } 135 \end{cases}$
$^{53}\text{I } 137$	22秒	有		f	$\begin{cases} \text{Xe } 137 \\ \text{Xe } 136 \end{cases}$
$^{53}\text{I } 138$	6秒	有		f	$\text{Xe } 138$
$^{53}\text{I } 139$	2.7秒	有		f	$\text{Xe } 139$
$^{54}\text{Xe}/131m2$	12日		0.1	$\text{I } 131$	$\text{Xe } 131$
$^{54}\text{Xe}/131m1$	10^{-10} 秒		0.08	$\text{I } 131$	$\text{Xe } 131$
$^{54}\text{Xe}/133m$	2.3日		0.2	$\begin{cases} f \\ \text{I } 131 \end{cases}$	$\text{Xe } 133$

元 素	半 衰 期	ベータ線の エネルギー ギー		ガンマ線の エネルギー ギー		発 生 関 係		元 素
						親	娘	
54Xe/33	52日	03				{ ^f Xe/33m I/33	{Cs/33m Cs/33	° 56Ba/40
54Xe/35m	16分		05			{ ^f I/35	Xe/35	56Ba/41
54Xe/35	9時	09	02			{ ^f I/35 Xe/35m	{Cs/35m Cs/35	56Ba/44
54Xe/37	3.9分	4				{ ^f I/37	Cs/37	° 57La/40
54Xe/38	17分	有				{ ^f I/38	Cs/38	57La/41
54Xe/39	41分	有				{ ^f I/39	Cs/39	57La/43
54Xe/40	16秒	有				f	Cs/40	55La/44
54Xe/41	1.7秒	有				f	Cs/41	° 58Ce/41
54Xe/43	10秒	有				f	Cs/43	58Ce/43
54Xe/44	1秒	有				f	Cs/44	+ 58Ce/44
55Cs/33m	10-9秒		008			Xe/33	Cs/33	+ 59Pr/43
55Cs/35m	10-10秒		025			Xe/35	Cs/35	+ 59Pr/44
55Cs/35	10 ⁶ 年	02				{Xe/35 Cs/35m f	Ba/35	+ 60Nd/47
55Cs/36	14日	03	09			f	Ba/36	+ 61Pm/47
55Cs/37	33年	05				{ ^f Xe/37	{Ba/37m Ba/37	61Pm/49
55Cs/38	32分	34	14			{ ^f Xe/38	Ba/38	62Sm/47
55Cs/39	95分	有				{ ^f Xe/39	Ba/39	62Sm/51
55Cs/40	66秒	有				{ ^f Xe/40	Ba/40	62Sm/53
55Cs/41	短	有				Xe/41	Ba/41	62Sm/56
55Cs/43	短	有				Xe/43	Ba/43	63Eu/53m
55Cs/44	短	有				Xe/44	Ba/44	63Eu/54
56Ba/37m	2.6分		06			Cs/37	Ba/37	63Eu/55
56Ba/39	85分	22	10			{ ^f Cs/39	La/39	63Eu/56

元 素	半減期	α線 のエネルギー	γ線 のエネルギー	発 生 関 係	
				親	娘
⁰ 56Ba140	12.8日	1.0	0.5	{ [†] Cs140	La140
56Ba141	18分	2.8	有	{ [†] Cs141	La141
56Ba144	短	有		{ [†] Cs144	La144
⁰ 57La140	40時	1.4	1.4	{ [†] Ba140	Ce140
57La141	3.7時	2.5	1.6	{ [†] Ba141	Ce141
57La143	19分	有		[†]	Ce143
57La144	短	有		Ba144	Ce144
⁰ 58Ce141	33日	0.4	0.1	{ [†] La141	Pr141
58Ce143	33時	1.4	0.6	{ [†] La143	Pr143
+58Ce144	282日	0.3	0.1	{ [†] La144	Pr144
+59Pr143	14日	0.9		{ [†] Ce143	Nd143
+59Pr144	18分	2.9	2.1	Ce144	Nd144
+60Nd147	11日	0.8	0.5	[†]	Pm147
+61Pm147	2.6年	0.2		{ [†] Nd147	Sm147
61Pm149	54年	1.0	1.3	{ [†] Nd149	Sm149
62Sm147	10 ¹¹ 年	2.1		{ [†] Pm147	
62Sm151	73年	0.07	0.02	[†]	Eu151
62Sm153	47時	0.6	0.6	[†]	Eu153m
62Sm156	10時	0.9		[†]	Eu156
63Eu153m	10 ⁻⁹ 年		0.1	Sm153	Eu153
63Eu154	16年	0.3	1.1	[†]	Gd154
63Eu155	1.7年	0.24	0.1	{ [†] Sm155	Gd155
63Eu156	15日	0.5	2.0	{ [†] Sm156	Gd156

○参考文献

1. Hallander, Perlman, Seaborg; *Tables of Isotopes*, *Rev. of Mod. Phys.* Vol. 25, No. P469 (1953)
2. Plutonium project; *Nuclei Formed in Fission*, *Rev. of Mod. Phys.* Vol. 18, P513 (1946)

○核分裂で直接出来る *fission fragment* ("発生の親" の欄では f と略記した。及び誕生する元素のうち、存在が確認されているものだけあげた。

○ベータ線のエネルギーは最も確率の大きいもの、ガンマ線のエネルギーは最大のものをあげた。

○印を附したものはビキニの灰から東大木村研究室で3月21日までに検出されているもの、 $Ra\ 106$ はその親の $Ru\ 106$ の寿命が長いので検出できた。

十印をつけたものは、5月29日までに木村研究室で検出できた。

(3) 米

常

健

元

$Rn^{222} + dr$

$Ra^{226} + \frac{1}{2} dr$

U (天然) 著

U (天然) 不著

Pu^{239} 著

Pu^{239} (不著)

H^3 10%

C^{14} (CO_2) 10%

Ca^{45} 15%

I^{131} $4 \times 10^{-5}\%$

(3) 米国原子力委員会に於て決定せる人体内及び
常時飲用に供する水及び空気中に存在するも
健康に差支なき放射能物質の量大許容量

maximum Permissible amounts of
radioisotopes in the Human body and
maximum permissible concentration
in air and water

march 20, 1953

Handbook 52 による

元 素	沈着組織とその重量 (g)	全身での最大許容量 μC	常時使用の水 / 水中の最大許容量 μC	空気 / 1 立中の最大許容量 μC
$\text{Rn}^{222} + \text{dr}$	(全身 7×10^4 肺 10^3)	—	2×10^{-3}	—
$\text{Ra}^{226} + \frac{1}{2} \text{dr}$	骨 7×10^3	0.1	4×10^{-5}	8×10^{-9}
U (天然) 溶解	腎 300	0.2	7×10^{-2}	1.7×10^{-8}
U (天然) 不溶	肺 10^3	0.009	—	1.7×10^{-8}
Pu^{239} 溶	骨 7×10^3	0.04	15×10^{-3}	2×10^{-9}
Pu^{239} (不溶)	肺 10^3	0.008	—	2×10^{-12}
H^3 10%	全身 7×10^4	10^4	0.2×10^3	2×10^{-2}
$\text{C}^{14} (\text{CO}_2)$ 18%	脂肪 10^4 骨 7×10^3	250 1500	3 4	10^{-3} 5×10^{-4}
Ca^{45} 1.5%	骨 7×10^3	65	5×10^{-1}	3×10^{-5}
I^{131} $4 \times 10^{-5}\%$	甲状腺 20	0.3	3×10^{-2}	3×10^{-6}

元 素	沈着組織とその重量 (g)	全身での最大許容量 μC	常時使用の水/立中の最大許容量 μC	空気/立中の最大許容量 μC
Co^{60}	肝 1.7×10^3	3	20	10^{-3}
Sr^{89}	骨 7×10^3	2	7×10^{-2}	2×10^{-5}
$\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$	骨 7×10^3	1	8×10^{-4}	2×10^{-7}
Y^{91}	骨 7×10^3	15	0.2×10^3	4×10^{-5}
Nb^{95}	骨 7×10^3	90	4	4×10^{-4}
$\text{Ru}^{106} + \text{Rh}^{106}$	腎 300	4	100	3×10^{-5}
Te^{129}	腎 300	1.3	10	4×10^{-5}
$\text{Ba}^{140} + \text{La}^{140}$	骨 7×10^3	5	2	6×10^{-5}
La^{140}	骨 7×10^3	24	1×10^3	10^{-3}
$\text{Ce}^{144} + \text{Pr}^{144}$	骨 7×10^3	5	40	7×10^{-6}
Pr^{143}	骨 7×10^3	29	0.4×10^3	7.5×10^{-4}
Pm^{147}	骨 7×10^3	120	10^3	2×10^{-4}

以上は Handbook 52 より 木村教授の確認した元素につき表示した。

[4]

Fission product	Half life	Energy (MeV)	Yield %	Decay const λ	I_0	$I_0 \alpha$	1 時間			1 日			10 日			1 月			
		β	γ				at	e^{-at}	$I_0 e^{-at}$	at	e^{-at}	$I_0 e^{-at}$	at	e^{-at}	$I_0 e^{-at}$	at	e^{-at}	$I_0 e^{-at}$	
^{115}Cd	43 d	1.6	none	0.0009	1.9×10^{-7}	4.7×10^{19}	3.9×10^{12}	6.8×10^{-4}	1.0	8.9×10^{12}	1.6×10^{-2}	0.984	8.8×10^{12}	1.6×10^{-1}	0.852	7.6×10^{12}	4.9×10^{-1}	0.613	5.5×10^{12}
^{137}Cs $\downarrow$	33 y	0.5	none	6.2	6.7×10^{-10}	2.7×10^{23}	1.8×10^{12}	2.4×10^{-6}	1.0	1.8×10^{12}	5.8×10^{-5}	1.0	1.8×10^{12}	5.8×10^{-4}	1.0	1.8×10^{12}	1.7×10^{-3}	0.998	1.8×10^{12}
^{137}Ba	26 m	none	0.6																
^{111}Ag	76 d	1.0	0.3	0.006	1.1×10^{-6}	3.2×10^{20}	3.5×10^{14}	4.0×10^{-3}	0.996	3.5×10^{14}	9.5×10^{-2}	0.909	3.2×10^{14}	9.5×10^{-1}	0.387	1.4×10^{14}	2.9×10^0	0.055	1.9×10^{14}
^{90}Sr $\downarrow$	20 y	0.6	none	5.0	1.1×10^{-9}	3.3×10^{23}	3.6×10^{14}	4.0×10^{-6}	1.0	3.6×10^{14}	9.5×10^{-5}	1.0	3.6×10^{14}	9.5×10^{-4}	0.999	3.6×10^{14}	2.9×10^{-3}	0.997	3.6×10^{14}
^{90}Y	61 h	2.1	none																
^{156}Eu	15 d	0.5	2.0	0.019	5.3×10^{-7}	7.7×10^{20}	4.1×10^{14}	1.9×10^{-3}	0.998	4.1×10^{14}	4.6×10^{-2}	0.955	3.9×10^{14}	4.6×10^{-1}	0.631	2.6×10^{14}	1.4×10^0	0.247	1.0×10^{14}
^{106}Ru $\downarrow$	1 y	0.03	none	0.5	2.4×10^{-8}	2.8×10^{23}	6.7×10^{14}	8.6×10^{-5}	0.999	6.7×10^{14}	2.1×10^{-3}	0.998	6.7×10^{14}	2.1×10^{-2}	0.979	6.6×10^{14}	6.2×10^{-2}	0.940	6.3×10^{14}
^{106}Rh	30 s	3.5	2.4																
^{147}Pm	26 y	0.2	none	2.6	8.3×10^{-9}	1.1×10^{23}	8.8×10^{14}	3.0×10^{-6}	1.0	8.8×10^{14}	7.2×10^{-4}	0.999	8.8×10^{14}	7.2×10^{-3}	0.993	8.8×10^{14}	2.2×10^{-2}	0.978	8.6×10^{14}
^{144}Ce $\downarrow$	282 d	0.3	0.1	5.5	2.4×10^{-8}	2.3×10^{23}	5.5×10^{15}	8.6×10^{-5}	1.0	5.5×10^{15}	2.1×10^{-3}	0.998	5.5×10^{15}	2.1×10^{-2}	0.979	5.4×10^{15}	6.2×10^{-2}	0.940	5.2×10^{15}
^{144}Pr	18 m	2.9	2.1																
^{103}Ru	40 d	0.2	0.5	3.0	2.0×10^{-7}	1.8×10^{23}	3.6×10^{16}	7.2×10^{-4}	0.999	3.6×10^{16}	1.7×10^{-2}	0.983	3.5×10^{16}	1.7×10^{-1}	0.844	3.0×10^{16}	5.2×10^{-1}	0.595	2.1×10^{16}
^{91}Y	61 d	1.5	1.2	5.9	1.3×10^{-7}	3.9×10^{23}	5.1×10^{16}	4.7×10^{-4}	0.9995	5.1×10^{16}	1.1×10^{-2}	0.989	5.0×10^{16}	1.1×10^{-1}	0.896	4.6×10^{16}	3.4×10^{-1}	0.770	3.6×10^{16}
^{95}Zr $\downarrow$	65 d	0.3	0.7	6.0	1.2×10^{-7}	3.8×10^{23}	4.6×10^{16}	4.3×10^{-4}	0.9995	4.6×10^{16}	1.0×10^{-2}	0.990	4.6×10^{16}	1.0×10^{-1}	0.905	4.2×10^{16}	3.1×10^{-1}	0.733	3.4×10^{16}
^{95}Nb	35 d	0.1	0.7		2.3×10^{-7}					(3.9×10^{13})			(9.4×10^{14})			(8.3×10^{15})			(1.8×10^{16})
^{141}Ce	33 d	0.4	0.1	5.0	2.9×10^{-7}	2.1×10^{23}	6.1×10^{16}	1.0×10^{-3}	0.999	6.1×10^{16}	2.5×10^{-2}	0.975	5.9×10^{16}	2.8×10^{-1}	0.779	4.8×10^{16}	7.5×10^{-1}	0.472	2.9×10^{16}
^{131}I	8 d	0.6	0.7	1.7	1.0×10^{-6}	7.8×10^{22}	7.8×10^{16}	3.6×10^{-3}	0.997	7.8×10^{16}	8.6×10^{-2}	0.918	7.2×10^{16}	8.6×10^{-1}	0.423	3.3×10^{16}	2.6×10^{-1}	0.074	5.8×10^{15}
^{89}Sr	53 d	1.4	none	4.6	1.5×10^{-6}	3.1×10^{23}	4.7×10^{17}	4.6×10^{-3}	0.995	4.7×10^{17}	1.3×10^{-1}	0.878	4.1×10^{17}	1.3×10^0	0.273	1.3×10^{17}	3.9×10^0	0.0202	9.5×10^{16}
^{99}Mo	67 h	1.2	0.7	6.8	2.9×10^{-6}	4.1×10^{23}	1.2×10^{18}	1.0×10^{-2}	0.990	1.2×10^{18}	2.5×10^{-1}	0.779	9.4×10^{17}	2.5×10^0	0.082	9.8×10^{16}	7.5×10^0	0.0355	6.6×10^{16}
^{143}Ce	33 h	1.4	0.6	5.4	5.8×10^{-6}	2.3×10^{23}	1.3×10^{18}	2.1×10^{-2}	0.979	1.3×10^{18}	5.0×10^{-1}	0.607	7.9×10^{17}	5.0×10^0	0.067	8.7×10^{15}	1.5×10^1	0.031	3.9×10^{15}
^{133}I	20 h	1.3	1.4	3.8	8.8×10^{-6}	1.7×10^{23}	1.5×10^{18}	3.2×10^{-2}	0.969	1.5×10^{18}	7.6×10^{-1}	0.468	7.0×10^{17}	7.6×10^0	0.030	7.5×10^{14}	2.3×10^1	0.010	1.5×10^{15}
^{97}Zr	17 h	1.9	none	>4.5	1.1×10^{-5}	2.8×10^{23}	3.1×10^{18}	4.0×10^{-2}	0.961	3.0×10^{18}	9.5×10^{-1}	0.387	1.2×10^{18}	9.5×10^0	0.075	2.3×10^{14}			
^{91}Sr	97 h	1.1	1.4	5.0	1.9×10^{-5}	3.3×10^{23}	6.3×10^{18}	6.8×10^{-2}	0.507	3.2×10^{18}	1.6×10^0	0.202	1.3×10^{18}	1.6×10^1	0.041	6.9×10^{14}			
^{135}I	6.7 h	1.0	1.8	4.3	2.9×10^{-5}	1.9×10^{23}	5.5×10^{18}	1.0×10^{-1}	0.905	5.0×10^{18}	2.5×10^0	0.082	4.5×10^{17}						
^{83}Br	2.3 h	0.9	none	0.8	8.1×10^{-5}	2.2×10^{23}	1.8×10^{19}	2.9×10^{-1}	0.748	1.4×10^{19}	7.0×10^0	0.039	1.6×10^{16}						
^{139}Ba	85 m	2.2	1.0	6.3	1.4×10^{-4}	2.7×10^{23}	3.8×10^{19}	5.0×10^{-1}	0.607	2.3×10^{19}	1.2×10^1	0.061	2.3×10^{14}						
^{134}I	54 m	?	>1	5.7	2.2×10^{-4}	2.6×10^{23}	5.7×10^{19}	7.9×10^{-1}	0.454	2.6×10^{19}	1.9×10^1	0.036	3.2×10^{14}						

ration 数と経過時日

昭和29年5月23日

大阪大学理学部

浅田研究室にて計算

1月			2月			6月			1年			5年			10年			100年		
I_{0e}^{at}	at	e^{-at}	I_{0e}^{at}	at	e^{-at}	I_{0e}^{at}	at	e^{-at}	I_{0e}^{at}	at	e^{-at}	I_{0e}^{at}	at	e^{-at}	I_{0e}^{at}	at	e^{-at}	I_{0e}^{at}	at	e^{-at}
7.6×10^{12}	4.9×10^{-1}	0.613	5.5×10^{12}	9.9×10^{-1}	0.372	3.3×10^{12}	3.0×10^0	0.050	4.5×10^{11}	6.1×10^0	0.0022	2.0×10^{10}								
1.8×10^{14}	1.7×10^{-3}	0.998	1.8×10^{14}	3.5×10^{-3}	0.997	1.8×10^{14}	1.1×10^{-2}	0.990	1.8×10^{14}	2.1×10^{-2}	0.979	1.8×10^{14}	1.1×10^{-1}	0.899	1.6×10^{14}	2.1×10^{-1}	0.81	1.5×10^{14}	2.1×10^0	0.122
1.4×10^{14}	2.9×10^0	0.055	1.9×10^{13}	5.7×10^0	0.033	1.2×10^{12}	1.8×10^1	0.015	5.2×10^6											
1.6×10^{14}	2.9×10^{-3}	0.997	3.6×10^{14}	5.7×10^{-3}	0.994	3.6×10^{14}	1.7×10^{-2}	0.980	3.5×10^{14}	3.5×10^{-2}	0.966	3.5×10^{14}	1.7×10^{-1}	0.844	3.0×10^{14}	3.5×10^{-1}	0.705	2.5×10^{14}	3.5×10^0	0.030
2.6×10^{14}	1.4×10^0	0.247	1.0×10^{14}	2.8×10^0	0.061	2.5×10^{13}	8.5×10^0	0.020	8.2×10^{10}	1.7×10^1	0.041	1.7×10^7								
6.6×10^{14}	6.2×10^{-2}	0.940	6.3×10^{14}	1.2×10^{-1}	0.887	5.9×10^{14}	3.8×10^{-1}	0.680	4.6×10^{14}	7.7×10^{-1}	0.463	3.1×10^{14}	3.8×10^0	0.022	1.5×10^{13}	7.7×10^0	0.045	3.0×10^{11}		
8.8×10^{14}	2.2×10^{-2}	0.978	8.6×10^{14}	4.3×10^{-2}	0.958	8.5×10^{14}	1.3×10^{-1}	0.878	7.8×10^{14}	2.7×10^{-1}	0.763	6.7×10^{14}	1.3×10^0	0.272	2.4×10^{14}					
5.4×10^{15}	6.2×10^{-2}	0.940	5.2×10^{15}	1.2×10^{-1}	0.887	4.9×10^{15}	3.8×10^{-1}	0.680	3.7×10^{15}	7.7×10^{-1}	0.463	2.5×10^{15}	3.8×10^0	0.022	1.2×10^{14}	7.7×10^0	0.045	2.5×10^{12}		
1.0×10^{16}	3.2×10^{-1}	0.595	2.1×10^{16}	1.0×10^0	0.368	1.3×10^{16}	3.2×10^0	0.041	1.4×10^{15}	6.4×10^0	0.0017	6.1×10^{13}								
4.6×10^{16}	3.4×10^{-1}	0.712	3.6×10^{16}	6.8×10^{-1}	0.507	2.6×10^{16}	2.1×10^0	0.120	6.1×10^{15}	4.2×10^0	0.015	7.6×10^{14}	2.1×10^1	0.076	5.0×10^7					
1.2×10^{16}	3.1×10^{-1}	0.733	3.4×10^{16}	6.2×10^{-1}	0.538	2.5×10^{16}	1.9×10^0	0.150	6.9×10^{15}	3.8×10^0	0.022	1.0×10^{15}	1.9×10^1	0.056	2.6×10^8					
3×10^{15}			(1.8×10^{16})			(2.3×10^{16})			(1.2×10^{16})			(2.1×10^{15})			(5.4×10^8)					
8×10^{16}	7.5×10^{-1}	0.472	2.9×10^{16}	1.5×10^0	0.223	1.4×10^{16}	4.6×10^0	0.010	6.1×10^{14}	9.3×10^0	0.049	5.6×10^{12}								
3×10^{16}	2.6×10^0	0.074	5.8×10^{15}	5.2×10^0	0.055	4.3×10^{14}	1.6×10^1	0.041	8.6×10^9											
3×10^{17}	3.9×10^0	0.0202	9.5×10^{15}	7.8×10^0	0.041	1.9×10^{14}	2.4×10^1	0.037	1.7×10^7											
8×10^{16}	7.5×10^0	0.055	6.6×10^{14}	1.5×10^1	0.031	3.7×10^{11}														
7×10^{15}	1.5×10^1	0.031	3.9×10^{11}																	
1.5×10^{14}	2.3×10^1	0.010	1.5×10^8																	
3×10^{14}																				
9×10^{11}																				

3. 表中↓印は daughter product を示す。

4. daughter product のうちその half life が ration 数 は親の値を採用した。

$$\begin{pmatrix} Ru^{106} = \\ Ce^{144} = \\ Sr^{90} = \end{pmatrix}$$

5. $Zr^{95} \Rightarrow Cb^{95}$ に関しては、その half life が

の如くして求めた。

今 $A: Zr^{95}$ の atom 数

$B: Cb^{95}$ "

$$\text{とする} \quad \frac{dB}{dt} = \alpha_A A - \alpha_B B \quad \therefore \frac{dB}{dt} = \alpha_A A - \alpha_B B$$

$$\text{但し } B_0 = 0 \quad \therefore \alpha_B B = \frac{\alpha_A \alpha_B}{\alpha_B - \alpha_A} A_0$$

昭和29年5月23日
大阪大学 理学部
浅田研究室にて計算

1年 $e^{-\lambda t}$	$I_0 \times e^{-\lambda t}$	λt	5年 $e^{-\lambda t}$	$I_0 \times e^{-\lambda t}$	λt	10年 $e^{-\lambda t}$	$I_0 \times e^{-\lambda t}$	λt	100年 $e^{-\lambda t}$	$I_0 \times e^{-\lambda t}$	λt
0.0022	2.0×10^{10}										
0.979	1.8×10^{14}		1.1×10^{-1}	$0.899 \times 1.6 \times 10^{14}$		2.1×10^{-1}	$0.81 \times 1.5 \times 10^{14}$		2.1×10^{-9}	$0.122 \times 2.2 \times 10^{13}$	
0.966	3.5×10^{14}		1.7×10^{-1}	$0.844 \times 3.0 \times 10^{14}$		3.5×10^{-1}	$0.705 \times 2.5 \times 10^{14}$		3.5×10^{-9}	$0.030 \times 1.1 \times 10^{13}$	
0.0741	1.7×10^7										
0.463	3.1×10^{14}		3.8×10^{-9}	$0.022 \times 1.5 \times 10^{13}$		7.7×10^{-9}	$0.045 \times 3.0 \times 10^{11}$				
0.763	6.7×10^{14}		1.3×10^{-9}	$0.272 \times 2.4 \times 10^{14}$							
0.463	2.5×10^{15}		3.8×10^{-9}	$0.022 \times 1.2 \times 10^{14}$		7.7×10^{-9}	$0.045 \times 2.5 \times 10^{12}$				
0.0017	6.1×10^{13}										
0.015	7.6×10^{14}		2.1×10^{-1}	$0.076 \times 5.0 \times 10^7$							
0.022	1.0×10^{15}		1.9×10^{-9}	$0.056 \times 2.6 \times 10^8$							
	(2.1×10^{15})			(5.4×10^8)							
0.091	5.6×10^{12}										

表中の yield, half life 及び放射線 energy は下記の文献より引用

1. Hollander, Perlman, Seaborg;
Tables of Isotopes, Rev. of Mod. Phys. Vol. 25, No. P469 (1953).
2. Plutonium Project; Nuclei Formed in Fission, Rev. of Mod. Phys. Vol. 18, P. 513 (1946)
3. John R. Bradford;
Radisotopes in Industry P. 259 (1953)

以上

註1. I_0 は最初の atom 数で
$$\frac{1000 \times \text{yield}}{\text{mass number}} \times 6.02 \times 10^{23}$$

を示す

2. $I_0 \times e^{-\lambda t}$ は U^{235} 1kg が爆発して
から秒後の disintegration 数/秒
を示す

3. 表中 ↓印は daughter product を示す。

4. daughter product のうちその half life が親に比し非常に短いものの disintegration 数は親の値を採用した。

$$\begin{pmatrix} Ru^{106} \Rightarrow Rh^{106} \\ Ce^{144} \Rightarrow Pr^{144} \\ Sr^{90} \Rightarrow Y^{90} \end{pmatrix}$$

5. $Sr^{95} \Rightarrow Cb^{95}$ に関しては、その half life が近い為 Cb^{95} の disintegration 数/秒は次の如く求めた。

今 $A: Sr^{95}$ の atom 数

$B: Cb^{95}$ "

とすると $\frac{dB}{dt} = \lambda_A A - \lambda_B B \quad \therefore \frac{dB}{dt} = \frac{\lambda_A A_0}{\lambda_B - \lambda_A} (\lambda_B e^{-\lambda_B t} - \lambda_A e^{-\lambda_A t})$

但し $B_0 = 0 \quad \therefore \lambda_B B = \frac{\lambda_A \lambda_B}{\lambda_B - \lambda_A} A_0 (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t})$ の式より計算した。

以上