

放射能測定法シリーズ (No. 29)

AI-Ge-E

緊急時における
ゲルマニウム半導体検出器による
 γ 線スペクトル解析法

平成30年3月改訂

原子力規制庁監視情報課

目 次

第 1 章 序 論	1
第 2 章 用語の解説	2
第 3 章 機器の校正及び調整	4
3.1 機器の校正	4
3.2 機器の調整	9
第 4 章 各種補正	12
4.1 自己吸収補正	13
4.2 サム効果補正	15
4.3 減衰補正	17
4.4 バックグラウンド補正	23
第 5 章 緊急時用核データライブラリ	24
5.1 緊急時用マスター核データライブラリ	24
5.2 解析用核データライブラリ	24
第 6 章 測定とスペクトル解析	27
6.1 試料の測定	27
6.2 スペクトル解析	36
6.3 解析結果の評価	43
6.4 解析結果の報告	44
第 7 章 バックグラウンド測定と測定機器の汚染・除染対策	50
7.1 緊急時におけるバックグラウンド測定の考え方	50
7.2 補正用のバックグラウンド測定	50
7.3 汚染確認用のバックグラウンド測定	51
7.4 測定機器の汚染対策及び除染方法	51

解 説

解説 A	緊急時における自己吸収補正	55
解説 B	^{134}Cs 及び ^{132}I のサムピーク	57
解説 C	過渡平衡核種の減衰補正	64
解説 D	緊急時用核データライブラリ	73
解説 E	高計数率測定における問題点	82
解説 F	市販ソフトウェアを用いた γ 線スペクトル解析	86
解説 G	汚染が確認されたバックグラウンドスペクトル例	102

付 録

付録 1	緊急時用マスター核データライブラリ	109
付録 2	核データ	122
付録 3	参考文献	220

第 1 章 序 論

ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーは、平常時のみならず、原子炉施設、再処理施設等からの放射性物質又は放射線の異常な放出あるいはそのおそれがある緊急時においても、環境試料中の放射性物質の濃度を迅速に把握する上で、非常に有効な測定方法である。

γ 線スペクトロメトリーに関係した放射能測定法シリーズとしては、「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(No.7)、「ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法」(No.13)、「緊急時における放射性ヨウ素測定法」(No.15)、「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」(No.24) 及び「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法」(No.33) が制定されており、本解析法は、緊急時における γ 線スペクトル解析法を記載した放射能測定法シリーズ No.29 として、平成 16 年 2 月に制定された。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故（以下「福島第一原発事故」という。）直後から、ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーは、緊急時の環境放射線モニタリングに広く活用される一方で、複雑となる γ 線スペクトルの解析・評価において、 γ 線ピークの誤認、測定機器の汚染や除染等、緊急時特有の問題点が明らかになった。

本解析法の改訂に当たり、これら緊急時における特有の問題点及びその対処方法について実例等を用いた記載や解説を追加するとともに、福島第一原発事故を経験して得られた知見等を広く共有できるよう配慮した。

ゲルマニウム半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーは、迅速に放射性物質の濃度を把握する有効な手段であるため、福島第一原発事故後には、その利用者の裾野は広がっていることから、測定機器や解析方法に対して十分な理解のもと、誤認等しないようにすることが必要である。また、測定や解析条件の違いで、測定結果が大きく異なる場合があり、どのような目的で測定結果が使用されるのかを併せて理解しておくことが重要である。

なお、測定機器や解析用ソフトウェアについては幾つかのメーカーから提供されているのが現状であることから、本解析法は以下の点に留意して使用する。

機器調整や解析用ソフトウェアに関する具体的な操作は各種機器ごとに異なるため、操作については代表的で基本的な手順を記載した。従って、実際の操作に当たっては、メーカーが供給する取扱説明書等を参照する必要がある。また、機器調整が不十分な場合、核種同定時の誤認、見落とし、そして誤った定量結果の原因となるため、十分に機器の状態を確認する必要がある。

第 2 章 用語の解説

緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器を用いた測定では、検出器へ入射する γ 線の数が増大となり、これに伴い以下の解説に示したような事象が起こり得る。そこで、本章では緊急時の測定において特有な用語についての解説を記載することとし、ゲルマニウム半導体検出器の基本的な用語については、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」（文献 1）を参照することとする。

パルスパイルアップ（文献 2）

γ 線の入射により検出回路内で生成されたパルスが減衰するまでの時間に、次の γ 線が入射し、パルスが生成された場合に、複数のパルスが重なりあう現象のことをいう。結果として、 γ 線ピークの高エネルギー側にテーリング（裾を引く状態、図 E.3 及び図 E.4 参照）、計数減（個々のパルス並びに γ 線ピークの計数が本来の数より少なく数えられる）及びサムピークを生じる。カスケード状に放出される複数の γ 線によるパルスが重なる場合をサム・コインシデンス（サム）効果、異なる核種等からの γ 線によるパルスが重なる場合をランダムサム（偶発加算効果）という。

カスケード（文献 2）

1 つの壊変事象に対して、複数のエネルギー準位間をほぼ同時に γ 線を放出してエネルギー遷移する際に、これらの γ 線はカスケード状に放出されるという。

サム・コインシデンス（サム）効果（文献 1、文献 2）

真の加算同時計数効果（true coincidence summing）と呼ばれ、カスケード状に放出される複数の γ 線がほぼ同時に検出器に入射し、それら γ 線エネルギーの総和に相当する加算信号が出力されて、各々の γ 線ピークの計数減を生じる現象である。

ランダムサム、ランダムサミング（文献 2）

偶発加算効果（random summing）と呼ばれ、異なる核種からの γ 線（例： ^{137}Cs + ^{134}Cs ）や同じ核種の異なる壊変事象に伴い放出された γ 線（例： ^{137}Cs + ^{137}Cs ）がほぼ同時に検出器に入射し、それら γ 線エネルギーの総和に相当する加算信号が出力される現象である。 γ 線の入射が増加するとその発生が顕著となり、各々の γ 線ピークの計数減を生じることとなる。

サムピーク

複数の γ 線が検出器にほぼ同時に入射し、それら γ 線エネルギーの総和に相当する加算信号が出力され、サム・コインシデンス（サム）効果及びランダムサムによるサムピークが出現する現象である。原子炉施設等事故において重要となる ^{134}Cs や ^{132}I などの核種では、サムピークが顕著にみられる。

デッドタイム

不感時間とも呼ばれ、入射した γ 線の信号処理に費やす時間である。その時間内は次の γ 線が入射しても処理することができない（不感である）。

デッドタイム＝リアルタイム（トゥルータイムともいう）－ライブタイムの関係である。

第 3 章 機器の校正及び調整

3.1 機器の校正

ゲルマニウム半導体検出器の機器校正としては、エネルギー校正及びピーク効率校正があり、サム効果補正を行うために、P/T (Peak to Total) 比を γ 線エネルギーの関数として求めておく必要がある。これらの校正等は通常、機器導入時に実施されるが、エネルギー校正及びピーク効率校正は定期的の実施する必要がある*1。校正方法については、平常時、緊急時の区別はないが、特に緊急時においては、 γ 線スペクトル上の γ 線ピークが近接することとなるので、エネルギー校正について、適切になされているものであるか十分に確認を行う必要がある。

3.1.1 エネルギー校正

ゲルマニウム半導体検出器におけるエネルギー校正は、線源を用いて測定機器上で調整するゲイン（増幅率）調整と、マルチチャンネルアナライザー（波高分析器）の横軸であるチャンネル（ch）と γ 線エネルギー（keV）の関数として表現されるエネルギー校正式の作成の 2 つの意味を持つ。前者は、 γ 線のピーク中心をマルチチャンネルアナライザー上の意図するチャンネル（ch）に合わせる調整であり、後者は測定済みの線源スペクトル等を用いて、複数の γ 線エネルギー（keV）とピーク中心チャンネル（ch）の関係を関数として求めておくことである。エネルギー校正式は、ソフトウェア上で簡便に作成することができ、同時に半値幅と γ 線エネルギーの関係式も作成される。この関係式は、ソフトウェア上で γ 線のピーク領域を指定し、ピーク計数率を算出する等に用いられる。

ゲイン調整については「3.2 機器の調整」、エネルギー校正式の作成については以下に記載する。

(1) エネルギー校正式の作成手順

最近のソフトウェアでは、測定済みの多核種標準容積線源等*2 のスペクトルから簡便に作成することができ、以下に示す 1 次式もしくは 2 次式の関数として表現される。

$$E = a + b \cdot P \quad (3.1)$$

$$E = a + b \cdot P + c \cdot P^2 \quad (3.2)$$

E : γ 線エネルギー（keV）、 P : γ 線ピーク中心チャンネル（ch）

a, b, c : 定数

*1 ゲルマニウム結晶の修理など検出器の相対効率が変化した場合には、P/T 比と γ 線エネルギーの関係を関数として再度求めておく必要がある。

*2 多核種を含む標準点線源でもエネルギー校正は可能である。

ゲルマニウム半導体検出器は、エネルギー直線性に非常に優れているため、エネルギー校正式は 1 次式でも十分に良い相関が得られ、2 次式の場合は 2 次の係数 ((3.2) 式の定数 c) が非常に小さい値となる。以下に多核種標準容積線源等を用いた市販ソフトウェアによるエネルギー校正の手順例を示す。

- ① 多核種標準容積線源等に含まれる核種の核データを校正用の核データライブラリに登録する^{*3}。
- ② 多核種標準容積線源等をゲルマニウム半導体検出器で測定する^{*4}。
測定時間は、各 γ 線のピーク面積が 10000 カウント以上となるように設定するのが望ましい。
- ③ 各 γ 線のピーク中心チャネル (ch) を算出する。
- ④ 各 γ 線のエネルギー (keV) とピーク中心チャネル (ch) から、エネルギー校正式^{*5}を作成する。
- ⑤ 作成したエネルギー校正式を保存する。

(2) 緊急時における注意点

市販ソフトウェアを用いた γ 線スペクトロメトリーでは、エネルギー校正式と解析用核データライブラリ（「5.2 解析用核データライブラリ」参照）から、試料に含まれる核種の同定を行う。そのため、適切なエネルギー校正式を与えないと、核種の誤認や、存在している核種を存在しないと判定、逆に存在していない核種を存在していると判定することがある。

誤認等を回避するためには、平常時より頻度を多くして、エネルギー校正式の作成、ゲイン調整を行うことが望ましいが、簡易的には測定スペクトル上の γ 線ピークに着目し、そのピーク中心がずれていないことを確認する方法が有効である^{*6}。なお、ゲルマニウム半導体検出器は、エネルギー直線性が非常に良いため、平常時は γ 線のピーク中心チャネル (ch) の 1 点を確認すれば十分であるが、緊急時には、人工放射性核種に起因する γ 線ピークと誤認する可能性があることから、2 点以上確認することが望ましい。

表 3.1 に γ 線スペクトル上に出現する代表的な自然放射性核種とその γ 線エネルギー及び放出率の例を示す。

^{*3} エネルギー校正式の作成に当たっては、 γ 線エネルギーの情報が必要である。

^{*4} デッドタイムが 5%以下になるように測定する。5%以上の場合は、検出器から線源を遠ざけて測定しても良い。ただし、効率校正時にこの方法は適用できないので注意する。

^{*5} 市販ソフトウェアでは、同時に半値幅 (FWHM) と γ 線エネルギーの関係式も作成される。

^{*6} ^{40}K 及び ^{137}Cs などのピーク中心のずれが $\pm 1\text{keV}$ 以内であること。

表 3.1 γ 線スペクトル上に出現する代表的な自然放射性核種の γ 線エネルギー及び放出率の例

核種	γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)
^{212}Pb	238.6	43.6
^{214}Pb	351.9	35.60
^{208}Tl	583.2	85.0
^{214}Bi	609.3	45.49
^{228}Ac	911.2	25.8
^{40}K	1460.8	10.66

注 1：核データの出典は ENSDF^{*7}（2017 年 10 月時点）である。注 2： γ 線エネルギーは小数点 1 桁、放出率は小数点 2 桁で記載しているが、小数点 2 桁目がない場合は小数点 1 桁で示した。

緊急時の γ 線スペクトロメトリーでは、多数の人工放射性核種に由来する γ 線により、 γ 線スペクトルのベースライン計数の増加が引き起こされるため、表 3.1 に示した自然放射性核種の γ 線ピークを確認することができないことがある。そのため、表 3.2 に示した原子炉施設等事故に伴い放出される人工放射性核種の γ 線ピークを利用することも考慮する必要がある。

表 3.2 原子炉施設等事故に伴い放出される人工放射性核種の

 γ 線エネルギー及び放出率の例

核種	γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)
^{131}I	364.5	81.5
^{134}Cs	604.7	97.62
^{137}Cs	661.7	85.10
^{132}I	667.7	98.70
^{132}I	772.6	75.6
^{134}Cs	795.9	85.46
^{60}Co	1173.2	99.85
^{60}Co	1332.5	99.98

注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

注 2： γ 線エネルギーは小数点 1 桁、放出率は小数点 2 桁で記載しているが、小数点 2 桁目がない場合は小数点 1 桁で示した。

^{*7} ENSDF とは、評価済核構造データファイル（Evaluated Nuclear Structure Data File）のことであり、ブルックヘブン米国立研究所（Brookhaven National Laboratory）にある核データセンター（National Nuclear Data Center）が維持管理している。

3.1.2 効率校正

ゲルマニウム半導体検出器の γ 線ピーク効率は、 γ 線エネルギー及び標準線源の材質や形状に依存して変化する。一般的にこの効率は、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に記載のあるとおり、円柱形の測定容器では高さの異なる多核種標準容積線源等を用いて効率校正式を作成して求める。また、マリネリ容器では、測定試料と同じ形状の多核種標準線源を用いて得た効率校正式から求める。

緊急時では、大気中の ^{131}I 等を測定対象とする活性炭カートリッジを使うことがある。この場合、測定試料と同形状の標準線源^{*8}を用意すれば、自己吸収の補正を必要としない γ 線ピーク効率で定量結果を得ることができる。

(1) 効率校正式の作成手順

平常時に使用している円柱形の測定容器やマリネリ容器に対する効率校正式は、緊急時においてもその効率校正式をそのまま使用することができる。また、通常使用していない容器に対しては、以下に示す手順例によって効率校正式を作成することはできるが、あらかじめ緊急時に使用する測定容器や試料形状（活性炭カートリッジなど）を想定しておき、平常時から効率校正式を作成しておくことが望ましい。

- ① 標準線源に含まれる核種の核データを校正用の核データライブラリに登録する^{*9}。
- ② 標準線源をゲルマニウム半導体検出器で測定する^{*10*11}。
測定時間は、各 γ 線のピーク面積が 10000 カウント～20000 カウント以上となるように設定するのが望ましい。
- ③ 各 γ 線ピークに対して、ピーク計数率 (count/s) を算出し、測定日における標準線源の γ 線強度 (γ/s) で除して、 γ 線ピーク効率 (ϵ_i) を求める。
- ④ 各 γ 線のピーク効率 (ϵ_i) について、実測効率との差が小さくなる関数形^{*12}を選択して、効率校正式を作成する。
- ⑤ 作成した効率校正式を保存する。

^{*8} ^{131}I の模擬標準線源 (Mock Iodine) を用いることができる。 ^{131}I は半減期が 8.03 日と短いため、 ^{131}I の γ 線 (364.5keV) に近いエネルギーで γ 線を放出する ^{133}Ba と、 ^{137}Cs が標準線源に添加されている。

^{*9} 効率校正式の作成では、 γ 線エネルギー以外に、半減期、放出率、標準線源の検定日及び検定強度 (Bq) の情報が必要である。

^{*10} デッドタイムが 5%以下になるように測定する。

^{*11} 治具等を用いて検出器から遠ざけたジオメトリで、事前に効率校正を行うことは、緊急時の測定において有益な場合がある。

^{*12} 多核種混合標準線源の場合は、2つの関数式 ($\text{Ln}(\epsilon) = a + b \times \text{Ln}(E) + c \times \{\text{Ln}(E)\}^2$ ϵ : ガンマ線ピーク効率、E: γ 線エネルギー、a, b, c: 定数、Ln: 自然対数) を用いて作成する。なお、これら 2つの関数式の結合点を境界値という。また、標準線源に含まれる核種の種類・数によっては、1次式を含む n 次関数を関数形として選択する場合もある。

(2) 緊急時における注意点

緊急時では高計数率測定となる環境試料を測定することも多く、この場合、パルスパイルアップやランダムサム等による γ 線ピークの正味計数率の低下により、効率校正時の測定条件とは異なることがある。結果として、過小評価を招くことがあるため注意が必要である。詳細については、「6.1.2 高計数率測定における問題点」を参照すること。

3.1.3 P/T 比と γ 線エネルギーの関数

P/T 比とは、単色の γ 線源^{*13}を測定して得られる γ 線スペクトルのピーク領域の計数と全領域の計数の比である。この P/T 比は、⁶⁰Co や ¹³⁴Cs などのサム効果を起こす核種の γ 線ピーク計数の計数損失を補正するために必要である。詳細については、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」を参照すること。

(1) P/T 比と γ 線エネルギーの関数の作成手順

P/T 比と γ 線エネルギーの関係を表わす関数を作成するためには、全エネルギー領域にわたり、適当なエネルギー間隔で単色の γ 線源を用意する必要があり、複数の単色 γ 線源の測定から作成するのは極めて難しい。一般的には、以下の式に従って、相対効率から近似させる^{*14}。

$$P/T = \beta + \alpha \times \ln(RE) \quad (3.3)$$

$$\ln(\alpha) = -1.11 - 0.30 \times \ln(E) \quad (3.4)$$

$$\ln(\beta) = -7.97 + 3.31 \times \ln(E) - 0.383 \times \{\ln(E)\}^2 \quad (3.5)$$

RE : 相対効率 (%)、 E : γ 線エネルギー (keV)、 $\ln$: 自然対数

相対効率を上式に代入することで、P/T 比を求めることができる。ただし、実際のソフトウェアでは、メーカーごとに操作方法に多少の差異があるため、取扱説明書を参照して、使用しているゲルマニウム半導体検出器の相対効率 (%) を入力する必要がある。

^{*13} ¹⁰⁹Cd や ¹³⁷Cs など、単一エネルギーの γ 線を放出する核種 1 種のみを含む線源のことをいう。

^{*14} P/T 比と近似式について、相対効率が 30% くらいまでの検出器であれば良く近似できるとの報告 (文献 3) がある。相対効率が 30% 以上の検出器については、認証標準物質等を用いて、サム効果を起こす核種の補正が適切に実施されていることを確認しておくことが望ましい。

(2) 緊急時における注意点

P/T 比と γ 線エネルギーとの関係式は、平常時、緊急時の区別なく使用することは可能である。しかし、サム効果の補正には、カスケードファイルを設定する必要があり、原子炉施設等事故において放出される多数のサム効果を起こす核種の解析を行う場合には、カスケードファイルに登録されている核種について把握しておく必要がある。詳細については、「4.2 サム効果補正」を参照すること。

3.2 機器の調整

緊急時の γ 線スペクトルには、人工放射性核種に由来する γ 線ピークが多数検出されることが想定される。核種の同定を正しく行うためには、機器が正しく校正されているのと同様に、正しく調整されている必要がある。使用者が実施可能な調整として、ゲイン調整（ADC（アナログ→デジタル変換器）ゼロ調整を含む）やポールゼロ調整等があり、このうち、核種の同定で重要になるのはゲイン調整である。最近のマルチチャンネルアナライザーやソフトウェアでは、簡易的な操作（例えば、画面にタッチする、マウスをクリックする）により、ゲイン調整やポールゼロ調整を容易に実施することが可能である。

本解析法には、緊急時に重要となるゲイン調整について以下に記載することとし、ポールゼロ調整等の詳細については、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」を参照すること。

3.2.1 ゲイン調整

マルチチャンネルアナライザー上においては、0.5keV/ch となるように、4096ch の全チャンネルを 2048keV のエネルギー範囲に割り当てる調整が一般的に行われている。機種や設定によっては、最大チャンネル数が 8192ch、エネルギー範囲を約 3000keV まで広げてチャンネルを割り当てることもある。

γ 線エネルギー (keV) とチャンネル (ch) の関係は、全エネルギー範囲にわたり、直線関係が良く保たれているので、ゲイン調整は、言い換えると、直線式の傾きを変える調整と言える。また、機種によっては、直線式の y 軸切片を平行移動させる調整が必要なものもあり、これを ADC ゼロ調整という。なお、ADC ゼロ調整の必要ない機種では、強制的にゼロ点を通るように設定されている。

(1) ゲイン調整（ADC ゼロ調整を含む）の手順

ゲイン調整及び ADC ゼロ調整で使用する核種は、それぞれ ^{60}Co (1332.5keV) 及び ^{57}Co (122.1keV) が一般的である。以下に、ゲイン調整 (0.5keV/ch) の手順例を示す。

なお、ゲイン調整を実施した際には、エネルギー校正式を再度作成して、スペクトル解析に使用するのが良い。また、ゲイン調整前後の設定値を記録することは、現在及び過去に遡って機器の状態を把握する上で有効である。

- ① ^{60}Co 及び ^{57}Co を含む線源を測定する。
 - ・ ^{60}Co 、 ^{57}Co の線源が別々の場合は、それぞれの線源を一緒に測定するか、適宜、線源を取り替える。なお、線源の測定では、デッドタイムが 5% 以内になるように線源と検出器の距離を調節する。
- ② ^{60}Co 線源を測定している状態で、1332.5keV の γ 線ピーク中心が 2665 チャネル (ch) となるようにゲインを変化させる。
 - ・ 粗調整 (Coarse Gain) は、最も大きくゲインを変化させ、ピーク中心のチャネル (ch) も大きく変化することになるので、設定を変更しないように注意する。
 - ・ 微調整 (Fine Gain) の設定を変更して、ゲインを変化させる。その際、設定変更前後の設定値を記録する。
- ③ 続いて、 ^{57}Co 線源を測定している状態で、122.1keV の γ 線のピーク中心を 244 チャネル (ch) となるように、ADC のゼロ調整を実施する。
- ④ ③の操作を行うと、 ^{60}Co (1332.5keV) の γ 線ピーク中心がずれるので、②の操作をもう一度行う。
- ⑤ ④の操作を行うと、 ^{57}Co (122.1keV) の γ 線ピーク中心がずれるので、③の操作をもう一度行う。
- ⑥ ^{60}Co (1332.5keV) 及び ^{57}Co (122.1keV) の γ 線ピーク中心が、それぞれ 2665 チャネル (ch) 及び 244 チャネル (ch) となるように②と③の操作を繰り返す。
- ⑦ 調整後、 ^{60}Co 及び ^{57}Co 線源を 10 分程度測定し、スペクトルを保存する。
 - ・ その際に、 ^{60}Co のピーク中心チャネル (ch) とエネルギー分解能 (keV) を記録しておくことは、機器を管理する上で望ましいことである。
- ⑧ 多核種標準容積線源等を測定し、全エネルギー範囲にわたる複数のピークを用いて、エネルギー校正を実施して校正式を保存する。

ただし、ADC ゼロ調整を必要としない機器では、③～⑥の操作を実施する必要はない。

(2) 緊急時における注意点

ゲルマニウム半導体検出器は液体窒素等^{*15}による冷却が必要であり、緊急時には、液体窒素の調達が困難な状況になる場合がある。液体窒素切れ等により検出器の温度が上昇し、ゲルマニウム結晶が常温^{*16}に戻ってしまった場合、測定機器の高電圧を再度印加する前に、十分に冷却^{*17}する必要がある。なお、高電圧を再度印加した際には、ゲインを再調整し、必要に応じてエネルギー校正式を再度作成する。

また、測定室内の空調が適切に管理（室温：23±2℃、湿度：50～60%程度で安定していることが望ましい）され、空調の風や直射日光が当たらない環境であれば、ゲインがずれる可能性は少ない。ゲインがずれてしまうと、 γ 線ピークがドリフトし、核種の誤認等、同定の正確さが失われることがある。

これを回避するためには、測定室内環境の管理を徹底することや、「3.1.1 エネルギー校正」に記載したとおり、定期的なエネルギー校正式の作成、ゲイン調整の実施、もしくは測定スペクトル上の γ 線ピークに着目し、そのピーク中心チャンネル（ch）がずれていないことを確認することが必要である。

^{*15} 液体窒素を使用しない冷却方式として、電気冷却式とハイブリッド式（気化した窒素を電気冷却により、再び液化するタイプ）のものがあり、いずれも電源供給が必要である。

^{*16} 液体窒素が枯渇してから、ゲルマニウム結晶が常温に戻るまで数日（3日程度）かかる場合がある。クライオスタットの状態が目視できるのであれば、水滴が付着していないことが、常温に戻ったと判断する目安となる。

^{*17} ゲルマニウム結晶が常温に戻らない状態で再冷却した際には、検出器内のガスがゲルマニウム結晶に付着し、リーク電流が増加して所定の性能が得られない場合がある。この場合、一度検出器を常温に戻す必要があるため、再冷却する際には注意が必要である。

第 4 章 各種補正

γ 線スペクトロメトリーでは、試料の測定で得られた計数率 (cps) に γ 線ピーク効率を適用して、試料当たりの放射能を求めた後、供試量^{*1} で除すなどして放射能濃度 (例えば「Bq/kg」) を算出することになる。以下に放射能濃度の算出の一般式を示す。

$$A = \frac{n_s - n_b}{(\varepsilon \cdot a) \cdot W} \times f_{SA} \times f_{SUM} \times f_D \quad (4.1)$$

A : 放射能濃度 (Bq/kg など)

n_s : 測定試料の正味計数率 (cps)

n_b : バックグラウンド計数率 (cps)

ε : γ 線ピーク効率

a : γ 線放出比 (= γ 線放出率/100)

W : 供試量 (kg など)

f_{SA} : 自己吸収補正係数

f_{SUM} : サム効果補正係数

f_D : 減衰補正係数

上式に示した放射能濃度算出過程により、自己吸収補正、サム効果補正、減衰補正及びバックグラウンド補正を適用して、目的とする時点における放射能濃度を求めている。各種補正の中には複雑な計算式もあるが、最近のソフトウェアを用いれば、必要な事項を入力・設定することにより、補正係数が求められ、放射能濃度を算出することができる。また、これら補正の実施の有無により放射能濃度は異なることになる。そのため、報告値である放射能濃度とともに、その解析条件 (各種補正の実施の有無など) を記録し、報告することは必要なことである。

各種補正については、平常時や緊急時の区別なく補正係数を求めることになるが、試料測定やスペクトル解析を行う上で、緊急時特有の問題点がいくつかある。このことから、本章では、各種補正に関して、注意を払うべき事項等について記載することとする。なお、各種補正の詳細については、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」を併せて参照のこと。

^{*1} 測定試料重量 (g や kg)、大気吸引量 (m³) や降下物の水盤の受水面積 (cm² や m²) など。

4.1 自己吸収補正

γ 線が測定試料を通過する際に、測定試料自身との相互作用により、吸収や散乱が起こり、測定試料中で γ 線が減少することを自己吸収という。効率校正に用いた標準容積線源と測定試料の密度や材質が全く同じとは限らないので、スペクトル解析時には自己吸収による補正を行う必要がある。

自己吸収補正を行うために、市販のソフトウェアで入力や設定が必要な項目としては、測定試料の材質、密度及び測定試料の高さがあげられる。密度と測定試料の高さの入力はさほど難しくはないが、測定試料の材質を選ぶ際に、判断に迷うことがあると考えられる。緊急時には、短時間で多数の試料を測定する必要があることから、試料に応じた材質を予め決めておくことが望ましい。

緊急時において測定対象となる環境試料として、水試料（飲料水、牛乳、海水など）、葉菜などの生試料、土壌及び海底土等があり、試料の材質を選択するに当たり、試料に含まれる水分で決定するのが簡易的であり、水分 50%を大まかな目安とする。水分が 50%以上の試料については材質として水を選択し、50%未満の試料については、海底土・土壌・灰化物等を選択することが適切である（解説 A 参照）。これを踏まえて、表 4.1 は代表的な環境試料とその材質を示したものであり、試料の材質の選択に当たっては、表 4.1 に従って選択すれば良い^{*2}。

なお、測定試料調製時に沈殿捕集による前処理を行った場合、水や土壌等とは γ 線の減少の程度が異なるため、市販ソフトウェアで用意されている沈殿材質（リンモリブデン酸アンモニウムなど）を選択する必要がある（解説 A 参照）。

^{*2} 表 4.1 に該当しない試料については、日本食品標準成分表（文献 4）に記載されている水分を参考にする。

表 4.1 代表的な環境試料とその材質

環境試料	材質
大気浮遊じん	海底土・土壌・灰化物等
土壌、海底土	海底土・土壌・灰化物等
穀類、粉乳	海底土・土壌・灰化物等
降下物、降水	水
海水	水
飲料水	水
牛乳、原乳	水
葉菜	水
その他（豆類、キノコ類、肉類、卵類、チーズ、バター等固形状乳製品、コンデンスミルク、海藻類、魚類など）	水

注 1：活性炭カートリッジについて、校正用線源と測定試料の形状が同一の場合は、自己吸収による影響は相殺されるので、補正する必要はない。

U-8 容器等に活性炭を充填する場合は、校正用線源と測定試料の形状は同一ではないことから、「海底土・土壌・灰化物等」を材質として選択して自己吸収補正を実施する。

注 2：降下物、降水、飲料水等の水試料は濃縮等の前処理をしていない試料とする。

注 3：生試料は乾燥処理をしていない試料とする。

4.2 サム効果補正

多くの放射性核種は壊変に伴い、複数の γ 線を放出するなどして安定な状態（基底状態）にエネルギー遷移する。その際に、複数のエネルギー準位間で γ 線を放出して、連続的に遷移する場合にサム効果^{*3}が起こる（これらの γ 線をカスケード γ 線という）。この結果、各々の γ 線エネルギーに相当する信号が損失し、加算された信号が出力され、 γ 線スペクトル上にサムピークが出現する。本来の γ 線エネルギー位置に出現する γ 線ピーク計数率の低下が起こり、結果を過小に評価することから、これを補正する必要がある。

サム効果補正を行うために、市販のソフトウェアで入力や設定が必要な項目は、相対効率（もしくは P/T 比ファイル）とカスケードファイルである。カスケードファイルに登録されている放射性核種は、メーカーにより多少の差異があり、登録されていない放射性核種についてはサム効果補正を行わないので、予め確認しておく必要がある。表 4.2 にカスケードファイルに登録されている代表的な放射性核種を示す^{*4}。

表 4.2 カスケードファイルに登録されている代表的な放射性核種

^{22}Na	^{46}Sc	^{58}Co
^{59}Fe	^{60}Co	^{88}Y
^{133}Ba	^{134}Cs	^{152}Eu

緊急時の γ 線スペクトロメトリーでは、サム効果に伴うサムピークがスペクトル解析をより複雑にする。図 4.1 に福島第一原発事故直後の土壌試料の γ 線スペクトルに ^{134}Cs のサムピークが出現している例を示す。

福島第一原発事故時やチェルノブイリ原発事故時のスペクトルには、 ^{134}Cs や ^{132}I 等^{*5}サムピークが多数出現したものがあり、市販ソフトウェアによる解析では通常不明ピーク扱いとなる^{*6}。サムピークを正しく同定するためには、対象核種の γ 線放出に伴うエネルギー遷移を正しく理解する必要がある。解説 B に ^{134}Cs 及び ^{132}I のサムピークに関して検討した結果を示す。

^{*3} 薄窓型検出器を使用している場合は、X線とのサム効果にも注意する。検出器のエンドキャップ上に銅板（エンドキャップと同径で 0.5mm 程度の厚さ）を設置することで、X線とのサムピークを緩和することができる。銅板を設置する場合には、効率校正も同一の条件で実施する必要がある。

^{*4} 表 4.2 以外の放射性核種の例として、ISO 7503-3:2016(en) Annex B に記載がある。

^{*5} 福島第一原発事故においては、この他、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 等のサム効果を起こす核種が検出されている。

^{*6} 解析に用いる核データライブラリにサムピークの情報が登録されていないためである。

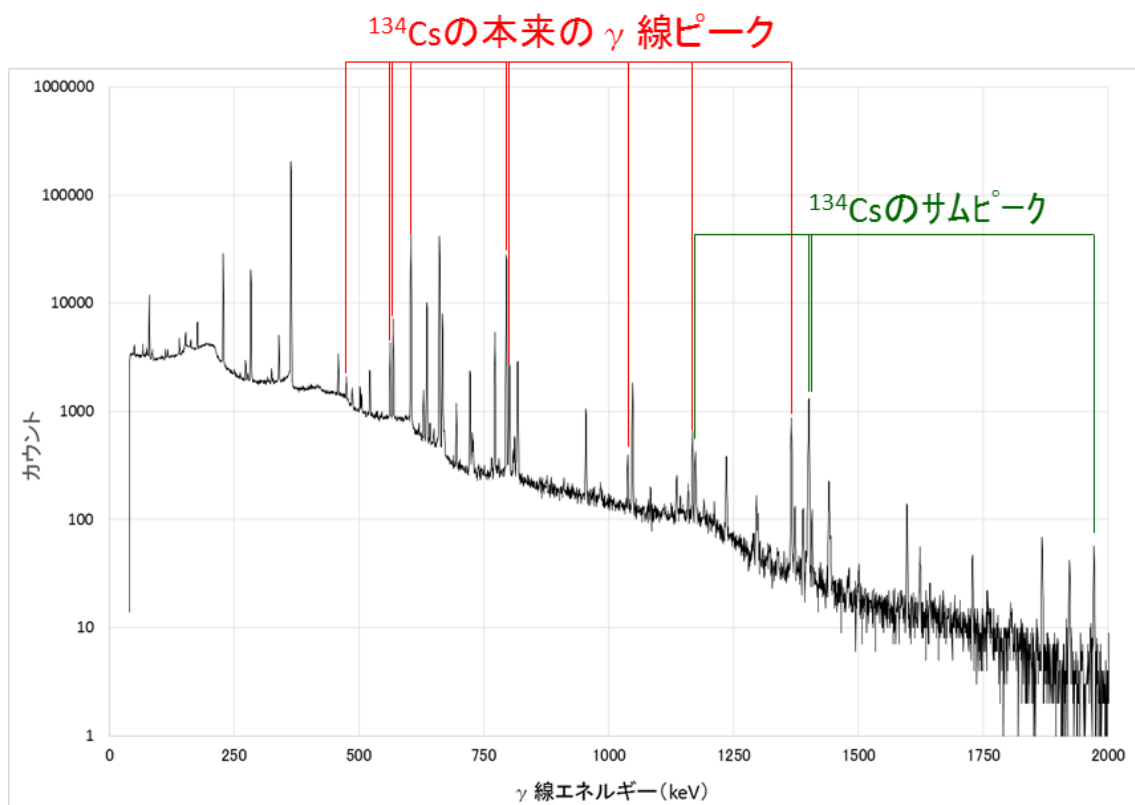


図 4.1 ^{134}Cs のサムピークが出現した γ 線スペクトル
(福島第一原発事故直後に採取した土壌)

4.3 減衰補正

放射性核種の放射能は、その放射性核種の半減期に従い時間とともに減少する。測定で得られる放射能は測定時点でのものであり、目的とする時点における放射能を求めるためには減衰補正を行う必要がある。

4.3.1 減衰補正の基準日

放射能の減衰補正の基準日は、環境試料の採取日や入手日が一般的である。また、大気浮遊じんや降下物等の採取期間がある試料の減衰補正の基準日については、採取期間の中間を基本とする。ただし、過去データの継続性を踏まえて、採取開始時点や採取終了時点への減衰補正を否定するものではない。なお、市販ソフトウェアによる採取期間の減衰補正に関しては、以下の留意事項がある。

- ・採取期間の減衰補正は以下に示した式で減衰補正項が適用されるので、採取期間中にわたり、放射性核種濃度が一定である仮定の下で算出される^{*7*8}。

$$DF_S = \frac{\lambda t_s}{1 - e^{-\lambda t_s}} \quad (4.2)$$

DF_S ：採取期間中の減衰補正項

λ ：壊変定数

t_s ：基準日（採取期間の中間時点など）から採取終了時点までの経過時間

なお、採取終了時点から測定開始までの期間における減衰補正は、「4.3.2 減衰補正の一般式」の式（4.3）中の「 $e^{\lambda t}$ 」が減衰補正項となる。

測定結果がどのような目的^{*9}で使用されるか、その目的に応じて、減衰補正の適用の有無を含めて減衰補正日を設定し、また、第三者がその測定値が持つ意味を把握できるように、どの時点に減衰補正をしたのかということを、結果とともに記録、報告することが重要である。

^{*7} 「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」（原子力安全委員会平成13年3月改訂）参照。捕集期間中の放射能濃度（沈着量）が一定であるとの仮定に基づいている。

^{*8} 放射性物質を含んだブルームの通過や放射性物質の沈着が短時間に1回のみ起こり、捕集期間にわたり放射能濃度が一定であるとの仮定にそぐわない場合に、その通過や沈着の日時が特定もしくは推定できるのであれば、沈着が始まった時点を減衰補正日時とし、捕集期間中の減衰補正項として $e^{\lambda t}$ を用いることが適切な場合がある。この場合、市販ソフトウェア上でその日時を捕集開始日時と捕集終了日時に入力して減衰補正すれば良い。

^{*9} 測定結果がどのような目的で使用されるのかを測定者が理解した上で測定等を行うことが重要であり、必要に応じて測定結果を集約、評価する測定指示者に確認しておく。例えば、内部被ばく線量評価に用いる、食品の摂取制限に係る基準値と比較するなどがある。

4.3.2 減衰補正の一般式

放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に記載のあるとおり、測定時点での放射能が $A \pm \sigma$ であれば、時間 t 前の放射能 $A_0 \pm \sigma_0$ は次式のとおりである。

$$A_0 = A \times e^{\lambda t}, \quad \sigma_0 = \sigma \times e^{\lambda t} \quad (4.3)$$

λ : 壊変定数

半減期 T で書けば次のとおりとなる。

$$A_0 = A \times \left(\frac{1}{2}\right)^{-\left(\frac{t}{T}\right)}, \quad \sigma_0 = \sigma \times \left(\frac{1}{2}\right)^{-\left(\frac{t}{T}\right)} \quad (4.4)$$

測定した時間に比べて長くない半減期の放射性核種の減衰補正では、測定中の減衰補正を考慮する必要があり、式 (4.3) は次のとおりとなる。

$$A_0 = \frac{\lambda t_m}{1 - e^{-\lambda t_m}} \times A \times e^{\lambda t}, \quad \sigma_0 = \frac{\lambda t_m}{1 - e^{-\lambda t_m}} \times \sigma \times e^{\lambda t} \quad (4.5)$$

$A \pm \sigma$: 測定時における放射能

$A_0 \pm \sigma_0$: 時間 t 前における放射能

λ : 壊変定数

t_m : 測定時間 (リアルタイム)

放射性核種の中には、壊変して安定核種に変わらず、再び別種の放射性核種に変わり、逐次的に壊変するものがある。この場合、初めの核種を「親」、新たに作られた核種を「子孫」と呼び、親核種の減衰補正は式 (4.3) もしくは式 (4.5) で表され、子孫核種の減衰補正には親からの流れ込みを考慮する必要が生じる。この場合の子孫核種の減衰補正計算は式 (4.6) 及び式 (4.7) のとおりとなる。

$$A_{d0} = A_d \times e^{\lambda_d t} - A_p \times \frac{\lambda_d}{\lambda_d - \lambda_p} \times \{e^{\lambda_d t} - e^{\lambda_p t}\} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{d0} = \sqrt{\left[\{\sigma_d \times e^{\lambda_d t}\}^2 + \frac{\lambda_d^2}{(\lambda_d - \lambda_p)^2} \times \{e^{\lambda_d t} - e^{\lambda_p t}\}^2 \times \sigma_p^2 \right]} \quad (4.7)$$

$A_p \pm \sigma_p$: 測定時における親核種の放射能

$A_d \pm \sigma_d$: 測定時における子孫核種の放射能

$A_{d0} \pm \sigma_{d0}$: 時間 t 前における子孫核種の放射能

λ_p : 親核種の壊変定数

λ_d : 子孫核種の壊変定数

さらに、式 (4.6) 及び式 (4.7) について、測定中の減衰を考慮すると次のとおりとなる。

$$A_{d0} = \frac{A_p \times \lambda_d \times t_m}{\lambda_d - \lambda_p} \times \left\{ \frac{\lambda_p \times e^{\lambda_p t}}{1 - e^{-\lambda_p t_m}} - \frac{\lambda_d \times e^{\lambda_d t}}{1 - e^{-\lambda_d t_m}} \right\} + \frac{A_d \times \lambda_d \times t_m \times e^{\lambda_d t}}{1 - e^{-\lambda_d t_m}} \quad (4.8)$$

$$\sigma_{d0} = \sqrt{\left[\sigma_p^2 \times \frac{(\lambda_d \times t_m)^2}{(\lambda_d - \lambda_p)^2} \times \left\{ \frac{\lambda_d \times e^{\lambda_d t}}{1 - e^{-\lambda_d t_m}} - \frac{\lambda_p \times e^{\lambda_p t}}{1 - e^{-\lambda_p t_m}} \right\}^2 + \sigma_d^2 \times \left\{ \frac{\lambda_d \times t_m \times e^{\lambda_d t}}{1 - e^{-\lambda_d t_m}} \right\}^2 \right]} \quad (4.9)$$

$A_p \pm \sigma_p$: 測定時における親核種の放射能

$A_d \pm \sigma_d$: 測定時における子孫核種の放射能

$A_{d0} \pm \sigma_{d0}$: 時間 t 前における子孫核種の放射能

λ_p : 親核種の壊変定数

λ_d : 子孫核種の壊変定数

t_m : 測定時間 (リアルタイム)

4.3.3 緊急時における問題点

緊急時においては、逐次的に壊変する放射性核種（特に、過渡平衡を成す子孫核種）に減衰補正を適用することで、その結果に問題が生じることがある（解説 C 参照）。福島第一原発事故時に検出された過渡平衡を成す核種は以下のものがあげられる。

- ^{99}Mo （半減期 65.92 時間）－ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ （半減期 6.01 時間）
- $^{129\text{m}}\text{Te}$ （半減期 33.6 日）－ ^{129}Te （半減期 69.6 分）^{*10}
- ^{132}Te （半減期 3.20 日）－ ^{132}I （半減期 2.30 時間）
- ^{140}Ba （半減期 12.75 日）－ ^{140}La （半減期 1.68 日）

これら子孫核種は、過渡平衡状態に到達すると、一定の放射能比となり、親核種の半減期に従って減衰していく。一方、測定時点の放射能比が過渡平衡状態における放射能比であるとは限らず、かつ、測定値には統計変動が含まれている。そのため、子孫核種について減衰補正を適用すると、過大評価となったり過小評価となったりすることがある。

また、逐次的に壊変する親核種、子孫核種のうち、一方の核種のみが検出されるということも起こり得る（解説 C 参照）。この理由としては、高エネルギー γ 線のコンプトン散乱に伴い、ピーク領域のベースライン計数が増大して、ピークとして認識できなくなることがあげられる^{*11}。また、親核種及び子孫核種の γ 線の放出率の違いによっても、子孫核種のみしか検出されない場合もある（文献 5）。なお、子孫核種のみが検出された場合、市販ソフトウェアでは、子孫核種自身の半減期で減衰補正する。このような場合は誤解等を招かないために、測定値とともにその理由を報告することも必要である。

^{*10} $^{129\text{m}}\text{Te}$ － ^{129}Te は核異性体転移（Isomeric Transition）であり、他の過渡平衡核種と同様、減衰補正を適用することで、その結果に問題が生じることがある。

^{*11} 短半減期核種が減衰した後では、 γ 線スペクトル上のベースライン計数が減少することになり、これにより隠れていた γ 線ピークが確認できる場合がある。

4.3.4 緊急時における減衰補正の適用

「4.3.1 減衰補正の基準日」にも記載したとおり、目的に応じて、減衰補正の適用の有無を決める必要がある*12。また、「4.3.3 緊急時における問題点」に記載したことを勘案して、「逐次的壊変を考慮しなくても良い核種」と「逐次的に壊変する核種」に区別して以下に記載する。いずれにしても、第三者がその測定値の持つ意味を把握できるように、減衰補正適用の有無やどの時点で減衰補正をしたのかということ、結果とともに記録、報告することが必要である。

(1) 逐次的壊変を考慮しなくても良い核種 (^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 等)

^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 等の核種の減衰補正には問題が生じない。目的に応じて、「減衰補正を実施する」/「減衰補正を実施しない」を選択して、得られた測定結果とともに、減衰補正の適用の有無及び減衰補正日（減衰補正適用の場合）を記録、報告する。

(2) 逐次的に壊変する核種*13

(^{99}Mo — $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ — ^{129}Te 、 ^{132}Te — ^{132}I 、 ^{140}Ba — ^{140}La)

逐次的に壊変する過渡平衡核種のうち、親核種については減衰補正に問題が生じないので、(1)に準ずる。子孫核種については、問題が生じることがあることから、目的に応じて、「減衰補正を実施しない」/「減衰補正を実施する」を選択する。減衰補正をする場合には以下に示す 2 通りの方法の何れかで減衰補正する。

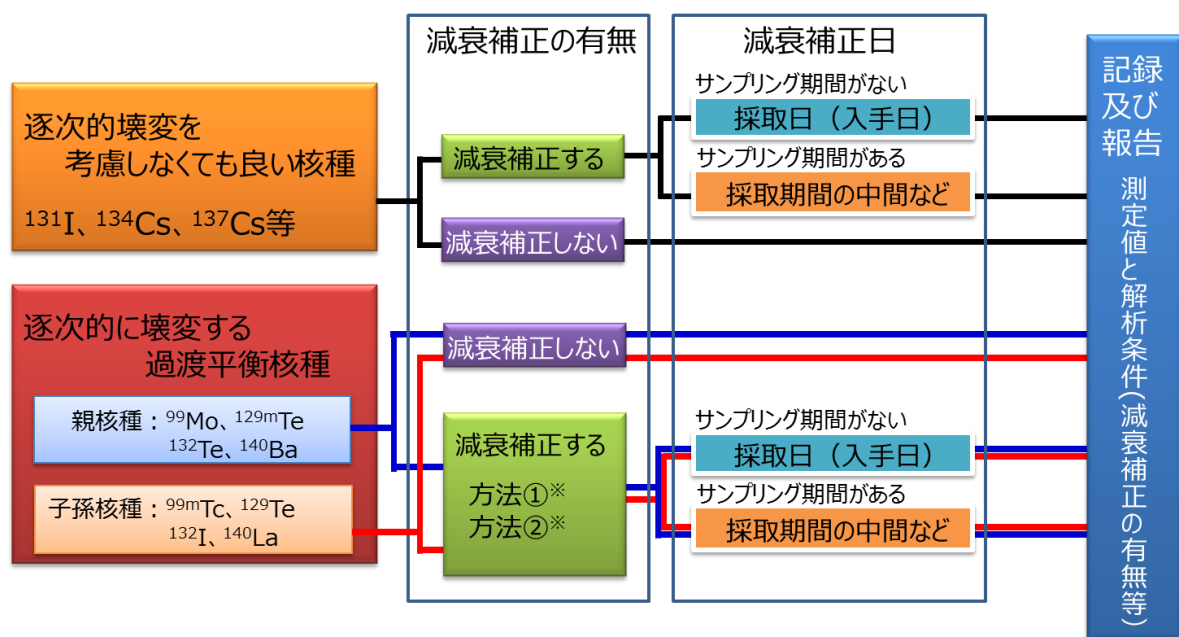
- ・放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に記載のある親核種からの流れ込みを考慮した減衰補正（「4.3.2 減衰補正の一般式」に記載の式 (4.6) から式 (4.9)）
- ・放出時点から過渡平衡状態と仮定し、子孫核種の半減期として、親核種の半減期を用いた減衰補正

(1)と同様、得られた結果とともに、減衰補正の適用の有無、減衰補正日及び減衰補正方法（減衰補正適用の場合）を記録、報告する。

人工放射性核種の減衰補正に関するフロー図を図 4.2 に示す。

*12 測定結果を集約、評価する測定指示者から、減衰補正の基準日を含めて減衰補正の有無等について指定された場合、その指示に基づき解析を行うこととなる。

*13 ^{95}Zr 及び ^{95}Nb も逐次的に壊変する核種であるが、半減期はそれぞれ 64.03 日及び 34.99 日であり、過渡平衡状態に到達するまでかなりの期間を要するため、緊急時に式 (4.6) から式 (4.9) に示した減衰補正を適用しても問題が生じない。



- ※ 方法①：子孫核種の減衰補正は、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメリー」に記載のある親核種からの流れ込みを考慮した減衰補正計算である。
- 方法②：子孫核種の減衰補正は、放出時点から過渡平衡状態と仮定し、親核種の半減期による減衰補正計算である。

図 4.2 人工放射性核種の減衰補正のフロー図

4.4 バックグラウンド補正

試料に起因しない計数を放射能の計算に含めないため、検出器に試料を載せない状態でバックグラウンド測定を行い、その計数を差引く必要がある。バックグラウンド補正では、バックグラウンドスペクトル中のピーク面積が計数誤差^{*14}の2倍(2σ)以上のピークについて、測定試料のスペクトルからその寄与分として差引く。測定試料とバックグラウンドの測定時間は異なることが多いので、1秒間当たりの計数率もしくは1000秒当たりの計数率(cpsもしくはcpks)として差引く必要がある。

通常バックグラウンドスペクトル上に出現する γ 線ピークは、検出器、遮へい体、室内環境等に存在する自然放射性核種に由来するものが主であるが、緊急時においては、測定機器が汚染されて、人工放射性核種による γ 線ピークが出現することがある。そのため、定期的に測定機器が汚染されていないか確認するためのバックグラウンド測定も行う必要がある。

本解析法では、測定試料スペクトルから差引くためのバックグラウンドを「補正用のバックグラウンド」、検出器等が汚染されていないことを確認するためのバックグラウンドを「汚染確認用のバックグラウンド」とし、その取扱いについては第7章「バックグラウンド測定と測定機器の汚染・除染対策」に記載する。

^{*14} 真値がわからない環境試料の測定では「計数誤差」でなく、「計数統計の不確かさ」などと表記することもある。これまで、環境放射能の測定分野では、慣例的に「計数誤差」を使用していること、他の測定法シリーズ等と用語を整合させる必要があることから、「計数誤差」という用語を用いた。

第 5 章 緊急時用核データライブラリ

5.1 緊急時用マスター核データライブラリ

緊急時において環境中へ放出が予測される放射性核種の核データを「緊急時用マスター核データライブラリ」とする。「緊急時用マスター核データライブラリ」には、以下に該当する放射性核種を登録する。

- ① 核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する放射性核種
- ② 中性子等による反応で生成する放射性核種
- ③ ウラン及びトリウムの壊変生成物並びにバックグラウンドとして存在する放射性核種

登録する放射性核種の選定には、「発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」、「六ヶ所村再処理施設周辺の環境放射線モニタリング計画について」及び放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」を参考としている。

「緊急時用マスター核データライブラリ」の核データは、最初に信頼できる核データ集^{*1}を入手し登録する（付録 1 参照）。これから緊急時において解析対象とする放射性核種の核データを抽出し、「解析用核データライブラリ」とする（解説 D 参照）。

5.2 解析用核データライブラリ

本解析法の解析用核データライブラリは、過去に起きた原子炉施設等の事故（チェルノブイリ原発事故（以下「チェルノブイリ事故」という。）、ウラン加工工場臨界事故（以下「JCO 事故」という。）、福島第一原発事故）において検出が報告されている放射性核種を基にした（文献 1 及び文献 6～文献 28）。放出された放射性核種の種類から、福島第一原発事故時とチェルノブイリ事故時に検出された人工放射性核種及び JCO 事故時に検出された人工放射性核種の 2 つの表に分類し（表 5.1 参照）、平常時の汎用核データライブラリ（表 5.1 参照）に追加したライブラリを解析用とする（図 5.1 参照）。なお、解析用核データライブラリを作成するのは煩雑であり、またその余裕もないことが想定されるため、解析用核データライブラリは事前に用意しておくことが必要で、使用するライブラリを数多くするのも好ましくない。

緊急時の解析用核データライブラリとして 2 つのライブラリを使用することになるが、どちらのライブラリを適用すべきか不明な時は、平常時の核データライブラリに福島第一原発事故時とチェルノブイリ事故時に検出された人工放射性核種を追加した

^{*1} ブルックヘブン米国立研究所（Brookhaven National Laboratory）にある核データセンター（National Nuclear Data Center）が維持管理している評価済核構造データファイル（Evaluated Nuclear Structure Data File（ENSDF））とする。

核データライブラリ（図 5.1 中の(A)+(B)）を用いれば良い。このライブラリは原子炉施設等事故全般（再処理施設の事故^{*2}や地下核実験^{*3}）にも適用できる汎用のライブラリと考えて良い。臨界事故の場合は、平常時の核データライブラリに JCO 事故時に検出された人工放射性核種を追加した核データライブラリ（図 5.1 中の(A)+(C)）^{*4}を用いれば良い。

表 5.1 原子炉施設等事故時に検出された人工放射性核種の分類と

平常時汎用核データライブラリ

平常時汎用核データライブラリ(A)			福島第一原発事故、チェルノブイリ事故(B)						
⁷ Be	⁴⁰ K	⁵¹ Cr	⁵⁸ Co	⁵⁹ Fe	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁸⁵ Kr	⁸⁶ Rb	⁹¹ Sr
⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co	⁵⁹ Fe	⁹¹ Y	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	⁹⁹ Mo	^{99m} Tc	¹⁰³ Ru	¹⁰⁶ Ru
⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁹⁵ Zr	^{110m} Ag	¹¹³ Sn	¹²⁵ Sb	¹²⁷ Te	¹²⁹ Te	^{129m} Te	¹³⁰ I
⁹⁵ Nb	¹⁰³ Ru	¹⁰⁶ Ru	^{131m} Te	¹³¹ I	^{131m} Xe	¹³² Te	¹³² I	¹³³ I	¹³³ Xe
¹²⁵ Sb	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	^{133m} Xe	¹³⁴ Cs	¹³⁵ Xe	¹³⁶ Cs	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ Ba	¹⁴⁰ La
¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ Ba	¹⁴⁰ La	¹⁴¹ Ce	¹⁴⁴ Ce	¹⁴⁷ Nd	¹⁵² Eu	²⁰³ Pb	²³⁹ Np	
¹⁴⁴ Ce	²⁰⁸ Tl	²¹⁴ Bi	JCO事故(含中性子線による放射化核種)(C)						
²²⁸ Ac	^{234m} Pa		²⁴ Na	⁴⁶ Sc	⁵¹ Cr	⁵⁴ Mn	⁵⁶ Mn	⁵⁹ Fe	⁶⁰ Co
^{108m} Ag	^{110m} Ag	¹⁴¹ Ce	⁶⁵ Zn	⁸² Br	⁹¹ Sr	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	¹⁰³ Ru	¹²² Sb
¹⁵² Eu	¹⁵⁴ Eu	²¹² Pb	¹²⁴ Sb	¹³¹ I	¹³³ I	¹³⁴ Cs	¹³⁵ I	¹³⁷ Cs	¹³⁸ Cs
²¹² Bi	²¹⁴ Pb	²²⁶ Ra	¹⁴⁰ Ba	¹⁴⁰ La	¹⁵³ Sm	¹⁹⁸ Au			

注 1：灰色セル内の人工放射性核種は平常時汎用核データライブラリ（A）と重複する。

注 2：⁸⁵Kr^{*5}は福島第一原発事故で放出された核種であるが、 γ 線エネルギーが陽電子消滅放射線（511keV）に近いので注意を要する。

注 3：放射性キセノンは可搬型ゲルマニウム半導体検出器（文献 29）やバックグラウンドスペクトル（解説 G 参照）で検出された核種である。

^{*2} 再処理施設の事故に適用する場合は、必要に応じて ¹²⁹I や ²⁴¹Am を追加する。

^{*3} 核実験で放出される人工放射性核種の組成は、原子炉施設事故時の組成と異なるため注意を要する。

^{*4} JCO 事故において検出が報告されている核分裂生成核種を含む解析用核データライブラリである。

^{*5} ⁸⁵Kr の γ 線（514.0keV）の放出率は 0.43%と小さく、 γ 線スペクトロメトリーによる検出は難しいことが予想される。

【福島第一原発事故及びチェルノブイリ事故のような原子炉施設事故の場合】



【JCO 事故のような原子力施設事故の場合】



図 5.1 解析用核データライブラリの分類

なお、本解析法での解析用核データライブラリは、核種を絞ることになるので、核種の誤認のリスクを低減することはできるが、測定スペクトル上の γ 線ピークが不明扱いとなることが想定される。そのため、不明ピークについては、付録 2 に掲載した核データと照合し、必要に応じて解析用核データライブラリに追加する。

第 6 章 測定とスペクトル解析

ゲルマニウム半導体検出器を用いた緊急時における測定や γ 線スペクトル解析では、平常時と異なり、検出器への汚染やデッドタイムの増加など、測定上注意すべき事項、複雑な γ 線スペクトルや核種の誤認など解析上注意すべき事項がある。これらを踏まえた上で、本章では、測定、解析、評価及び報告までの一連の作業について記載する。

なお、測定試料の調製については、放射能測定法シリーズ 24「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法」を参照のこと。

6.1 試料の測定

測定試料を検出器のエンドキャップ上に置くことから始まり、測定終了後に測定試料を取り出すまでの一連の手順を以下に示す。なお、測定試料はポリエチレン袋で二重に袋掛けしておき、測定室に持ち込む前に外側の袋を新しいポリエチレン袋に取替えることで、検出器への汚染のリスクを下げる*1。

6.1.1 試料の測定手順

試料の測定手順を以下に示す。

- ① 測定試料が測定対象であることの識別確認を行う。
 - ・ 測定試料容器の記載（ラベル等の記載事項）と採取記録票や台帳等に記載された試料名、採取場所、採取日時、試料番号等を照合する。
 - ・ 試料の取り違いを防ぐために、照合結果が異なる場合や記載事項が不明な場合は、担当者等に確認する。
- ② 測定試料を検出器のエンドキャップ上に置く*2*3。
 - ・ 測定試料と検出器の位置関係（ジオメトリ*4）は効率校正用の標準線源と同じとなるようにする*5。
 - ・ オートサンプルチェンジャを用いた測定で、外袋を用いない場合は、検出器が汚染しないように注意する。

*1 検出器のエンドキャップについても、ポリエチレン袋で覆うことで、汚染した場合でも、容易に除去できる場合がある。

*2 活性炭カートリッジを測定する場合は、過小評価を避けるために、吸引面を検出器のエンドキャップ側になるように置く。

*3 マリネリ容器の場合、マリネリ容器に被せた袋内の空気が十分に抜け切れていない（袋がマリネリ容器に密着していない）と、校正用線源と同じジオメトリにならない場合がある。液体窒素モニタを付属している場合は、その重量変化（目安として 0.3kg 程度）で確認することができる。

*4 ジオメトリには測定容器及び測定容器内の試料の高さも含まれる。マリネリ容器の場合、校正用線源と同様に標線まで試料を充填する必要があるのに対し、U-8 容器等の場合、異なる高さの複数の校正用線源で効率校正を実施していれば、ピーク効率（もしくはピーク効率の逆数）と高さの関係式から補正することができるので、校正用線源の高さと同一である必要はない。

*5 ジオメトリが再現できる専用の治具を使うのが良い。治具がない場合は、印をつけるなど、ジオメトリを担保できるような工夫をする。

- ③ 前回測定した γ 線スペクトルを消去する。
- ・マルチチャネルアナライザーのメモリに前回測定した γ 線スペクトルが残っている場合は、保存済みであることを確認して消去する。
- ④ 測定時間（プリセットタイム）を設定する。
- ・測定時間は目的により異なるが、10 分～1 時間を目安とする。
- ⑤ 測定を開始する。
- ・測定の開始時刻を記録する。
 - ・マルチチャネルアナライザー（もしくは PC）の測定開始時刻と実際の時刻が一致していることを確認する。
 - ・測定時間（ライブタイム^{*6}）が増えていることを確認する。
 - ・デッドタイムを確認し、10%以上の場合は必要に応じて供試量を減らす等の措置を講じる^{*7}。
 - ・着目ピーク（ ^{40}K 及び ^{137}Cs など）に $\pm 1\text{keV}$ 以上のドリフト（ずれ）がないことを確認する。
 - ・時間間隔を空けて確認^{*8} し、ピークのドリフトがあった場合は、空調設備等の確認を行い、ゲインの再調整等の必要な措置を行う。
 - ・低エネルギー（数十 keV 以下）領域に高計数率の幅広いピークが見られないことを確認する^{*9}。
 - ・短時間のうちに確認可能なピークが形成された場合、可能な限りこのピークについて核種の同定を行う。人工放射性核種であった場合、試料調製時の相互汚染の可能性を周知するために前処理担当者へ連絡する。
- ⑥ 測定情報の記録をする。
- ・測定に関して記録すべき測定情報の例を表 6.1 に示す。このため、測定情報を記録できるノートをあらかじめ準備しておく必要がある。
- ⑦ 測定を終了する。
- ・所定の測定時間に達したら、測定を停止する。
 - ・プリセットタイムを設定した場合は、測定が終了したことを確認する。
 - ・必要に応じて、ライブタイムと測定終了時刻を記録する。
 - ・測定した γ 線スペクトルを PC 等に保存する。保存する際、測定番号の付け間違いに注意する。再度、 γ 線スペクトルを読み込むなどすると、正しく保存されたことが確認できる。

^{*6} デッドタイムが大きい場合は、ライブタイムが増えるのに時間がかかる。

^{*7} 標準線源を検出器から遠ざけたジオメトリで事前に効率校正を行っている場合、そのジオメトリによる測定で、デッドタイムが 10%以下になることもある。

^{*8} プリセットタイムに応じて、10 分～30 分に 1 回程度確認する。

^{*9} 電氣的な雑音（ノイズ）による影響が考えられ、配線の見直しや LLD（Lower Limit Discriminator）の変更により改善する場合もある。改善しない場合は、検出器メーカーに連絡する必要がある。

⑧ 測定試料の取り出し

- ・測定試料について、検出器に設置した測定直前の状態が維持されていることを確認する。
- ・取り出した測定試料を記録と照合し、間違いがないことを確認する。

⑨ 測定試料の保管

- ・測定が終了した測定試料については、冷蔵庫等の測定済み試料の保管場所に速やかに移し、まだ測定していない測定試料と混同しないよう注意する。
- ・可能であれば、放射能濃度の高い測定済み試料は低い測定済み試料とは別々に保管する。
- ・放射能濃度の高い試料を測定した場合、汚染確認用のバックグラウンドを測定し、汚染のチェックをした方が良い。詳細については「7.3 汚染確認用のバックグラウンド測定」を参照のこと。

表 6.1 記録すべき測定情報の例

項目	記録する内容
①測定番号	検出器に依存する番号（連番など）
②測定開始時刻	測定を開始した時刻（日時分までを記録）
③測定終了時刻	測定が終了した時刻（日時分までを記録） プリセットタイムをセットして、測定を自動終了した場合は不要
④測定時間	測定を行った時間 プリセットタイムもしくは測定終了後のライブタイムを記録
⑤測定担当者	測定を行った担当者名
⑥測定試料	測定をした試料名及び試料番号 必要に応じて、測定容器、供試量、試料高さ、密度、材質も記録
⑦備考	測定するに当たって気づいた点を記録

試料の測定手順のフロー図を図 6.1 に、測定時における測定担当者の確認事項の例を表 6.2 に示す。

測 定

- ←①測定試料が測定対象であることの識別確認を行う。
 - ・測定試料容器と採取記録票や台帳等の記載を照合して、間違いないことを確認する。
 - ・試料の取り違いを防ぐために、必要に応じて担当者等を確認する。
- ←②測定試料を検出器のエンドキャップ上に置く。
 - ・効率校正用の標準線源と同一のジオメトリであることを確認する。
 - ・検出器が汚染しないように注意する。
- ←③前回測定した γ 線スペクトルの消去（保存済みであることを確認後に）
- ←④測定時間（プリセットタイム）の設定（10 分～1 時間が目安）
- ←⑤測定開始
 - ・測定開始時刻を記録する。
 - ・マルチチャネルアナライザー（もしくは PC）の測定開始時刻と実際の時刻を確認する。
 - ・測定時間（ライブタイム）が増えていることを確認する。
 - ・デッドタイムを確認する。
 - 10%以上の場合、必要に応じて供試量を減らす等の措置を講じる。
 - ・着目ピークのドリフトが起きていないことを確認する。
 - 時間間隔（10 分～30 分に 1 回程度）を空けて再確認する。
 - ・低エネルギー領域に幅広いピークがないことを確認する。
 - ・短時間のうちに人工放射性核種のピークが確認された場合は、試料調製担当者に相互汚染の警告をする。
- ←⑥測定情報を記録する（表 6.1 参照）。
- ←⑦測定終了
 - ・測定の停止ボタンを押す（プリセットタイムをセットしなかった場合）
 - ・測定終了していることを確認する（プリセットタイムをセットした場合）
 - ・必要に応じて、ライブタイムと測定終了時刻を記録する。
 - ・測定した γ 線スペクトルを保存する。
- ←⑧測定試料の取り出し
 - ・ジオメトリ（測定試料と検出器の位置関係）を確認する。
 - ・取り出した測定試料と記録の照合をする。

※

図 6.1 試料の測定手順フロー図

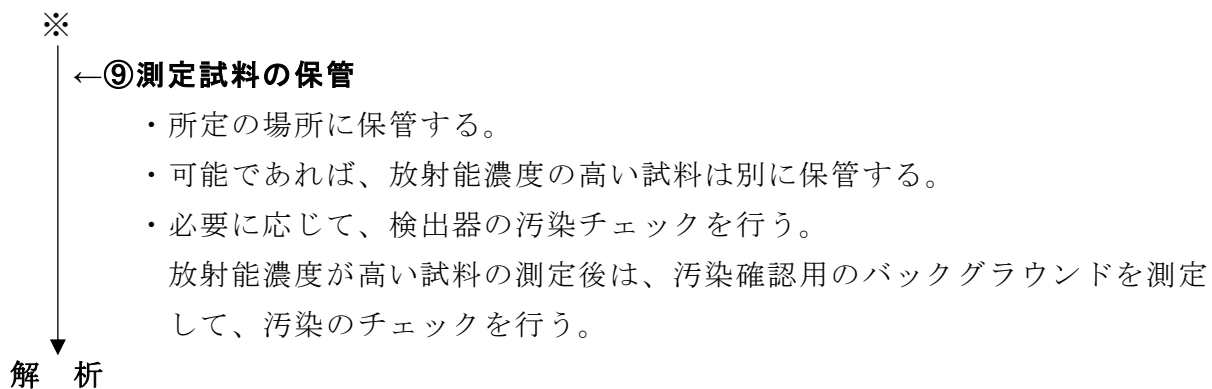


図 6.1 試料の測定手順フロー図（続き）

表 6.2 測定時における測定担当者の確認事項の例

No.	確認事項	チェック欄
①測定試料が測定対象であることの識別確認を行う。		
1	測定試料容器と採取記録票や台帳等の記載を照合して、間違いがないことを確認する。	
2	試料の取り違いを防ぐために、必要に応じて担当者等を確認する。	
②測定試料を検出器のエンドキャップ上に置く。		
3	効率校正用の標準線源と同一のジオメトリである。	
4	検出器が汚染しないように注意する。	
③前回測定したγ線スペクトルの消去		
5	前回測定した γ 線スペクトルを消去する。 (保存済みであることを確認後に)	
④測定時間の設定		
6	測定時間（プリセットタイム）を設定する。 (目安 10 分～1 時間)	
⑤測定開始		
7	測定開始時刻を記録する。	
8	測定時間（ライブタイム）が増えている。	
9	デッドタイムを確認し、10%以上の場合は必要に応じて供試量を減らす等の措置を講じている。	
10	着目ピークのドリフトが起きていない。	
11	低エネルギー領域に幅広いピークがない。	
12	短時間のうちに人工放射性核種のピークが確認されない。 (確認された場合、試料調製時の相互汚染を警告するために前処理担当者へ連絡する。)	
⑥測定情報を記録する。		
13	測定情報（測定番号、測定開始時刻他）を記録する。	
⑦測定終了		
14	測定停止ボタンを押す（プリセットタイム設定しない場合）。	
15	測定時間が終了している（プリセットタイム設定した場合）。	
16	ライブタイムと測定終了時刻を記録する（必要に応じて）。	
17	測定した γ 線スペクトルを保存する。	

表 6.2 測定時における測定担当者の確認事項の例（続き）

No.	確認事項	チェック欄
⑧測定試料の取り出し		
18	測定開始時のジオメトリ（測定試料と検出器の位置関係）と同一である。	
19	取り出した試料と記録を照合し、一致している。	
⑨測定試料の保管		
20	所定の場所に保管する。	
21	可能であれば、放射能濃度が高い試料は別に保管する。	
22	必要に応じて、検出器の汚染チェックを行う。	

6.1.2 高計数率測定等の測定上の問題点

緊急時においては、高い放射エネルギーを有する試料を測定することがあり、高計数率測定となることが想定される。この場合、検出器へ入射する γ 線の数が増大となり、電子機器の信号処理は過負荷状態となる。

高計数率測定では、以下に示す問題点がある。

- ・デッドタイムの増加
- ・パルスパイルアップ
- ・ランダムサム

パルスパイルアップやランダムサムは、 γ 線ピークの正味計数率の低下を招き、結果として過小評価を引き起こすことがある。デッドタイムの増加に伴って、測定に時間を要することを含めて、これら測定上の問題点の詳細を解説 E に示す。

試料の測定を開始して、測定のデッドタイムが大きい場合（目安として 10% 程度）は、供試量を減らす等の措置を講じて、測定試料から放出される γ 線の数減らす必要がある^{*10}。供試量を減らす際には、汚染しないように注意すること以外に以下のことに留意する。

- ・ 2L マリネリ容器内の供試量を減らす場合は、より容量の少ないマリネリ容器（例えば 1L マリネリ容器など）に試料を移し替えるか、U-8 容器等の小型円柱形容器に移し替える^{*11}。
- ・ U-8 容器等の小型円柱形容器については、測定容器内の供試量を減らす^{*12}。
- ・ 移し替える測定容器は同一容器の標準線源で効率校正を実施しておく必要がある。

^{*10} 測定試料を検出器から遠ざけることにより、検出器へ入射する γ 線の数減らすこともできるが、事前にそのジオメトリで効率校正を実施しておく必要がある。

^{*11} マリネリ容器の場合、標準線源と測定試料は同一形状である。マリネリ容器内の供試量を減らすと、効率校正時のジオメトリとは異なるため、定量することができない。

^{*12} U-8 容器等の小型円柱形容器の場合、高さの異なる 5 個程度の標準線源で効率校正を実施していれば、ピーク効率（もしくはピーク効率の逆数）と高さの関数式から供試量を減らしたジオメトリにおける効率を算出することができる。

また、 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ や $^{106}\text{Ru}-^{106}\text{Rh}$ などの高エネルギー β 線を放出する核種が多量に含まれている試料を測定する場合、 β 線が金属製のエンドキャップ等に照射されると制動 X 線を発生することがある。この場合、 γ 線スペクトルの低エネルギー領域の計数が全体的に上昇し、 γ 線ピークが埋もれて検出できなくなることがある。エンドキャップに数 mm 厚の亚克力製の筒を装着することにより、 β 線が吸収され計数上昇を抑えることができる。この亚克力製の筒は検出器の汚染防止にもなる。ただし、亚克力製の筒をエンドキャップに装着した状態で、事前に効率校正をする必要がある。

6.1.3 測定機器等の健全性確認及び測定におけるその他の注意事項

測定機器等の健全性を維持する上で有効な日常点検及びその他の注意事項を以下に示す。また、定期的に線源を用いて、効率校正式が適正であることを確認しておくことが望ましい^{*13}。

(1) 日常点検

- ・使用しているエネルギー校正式が妥当であるか確認する。
着目ピークのピーク中心のドリフトがないことを確認する^{*14}。
エネルギー校正式が妥当でない場合は、ゲインの再調整及びエネルギー校正式を再度作成して使用する（「3.1.1 エネルギー校正」参照）。
- ・測定機器が汚染されていないことを確認する。
- ・測定機器が汚染されている場合は、適切な頻度で補正用のバックグラウンドの測定を実施する（「7.2.1 補正用のバックグラウンド」参照）。
- ・適切な空調管理（室温： $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度：50～60%で安定しているのが望ましい）がされていることを確認する。
- ・エンドキャップ等に水滴を生じていないことを確認する^{*15}。
- ・液体窒素が入手可能であることを確認する（液体窒素を使用しない電気冷却式のための使用の場合は除く）。

^{*13} 効率校正用の多核種標準容積線源やチェック線源等を用いて、 γ 線ピーク効率（ピーク計数率でも可）に変化がないこと（時間の経過に伴う放射能の減衰を考慮）を確認する。また、定期的にエネルギー分解能や相対効率を確認し、機器の性能を把握しておくことも重要である。

^{*14} ^{40}K 及び ^{137}Cs などのピーク中心のドリフトが $\pm 1\text{keV}$ 以内であることを確認する。

^{*15} エンドキャップ等に水滴を生じるようであれば、検出器の真空劣化が考えられるため、使用を中止し、メーカー等による真空引きをした方がよい。

(2) 測定におけるその他の注意事項

- ・測定済み試料と同様、未測定の試料についても置き場所を明確にして保管する。
- ・測定室内専用の着衣（白衣など）、靴を着用し、測定室内に汚染を持ち込まないようにする。
- ・測定機器毎に測定可能な測定容器が限定されている場合、測定可能な測定容器を明確にしておく^{*16}。

^{*16} 検出器の大きさや遮へい体の構造により、2Lマリネリ容器が測定できない場合など。

6.2 スペクトル解析

最近の市販ソフトウェアを用いたスペクトル解析では、使用者が簡易的な操作を実行することにより、測定した γ 線スペクトルに対して、ピークサーチ、核種の同定、定量、解析帳票の出力などができる（解説 F 参照）。

市販ソフトウェアは平常時、緊急時の区別なく使用することができるが、緊急時の γ 線スペクトルでは、多数の人工放射性核種由来の γ 線ピークが観測される。使用する解析用核データライブラリと照合できなければ不明ピーク扱いとなり、正しく照合できなければ核種の誤認が起こり得る。また、放出率の小さい γ 線ピークも観測されることが考えられ、定量用の放出率の大きい γ 線ピークだけではなく、放出率の小さい γ 線ピークも確認しておくと同定の精度を高めることができる。さらに、ベースラインの統計変動に起因して、解析上検出と判定されることがある。

総じて、市販ソフトウェアで自動解析された出力帳票をそのまま報告するのではなく、 γ 線スペクトルを目視で確認することが緊急時の γ 線スペクトル解析では重要となる。

6.2.1 スペクトル解析の手順

スペクトル解析の手順を以下に示す。

① 測定試料の情報を登録する^{*17}。

- ・ 試料名、試料の種類、採取場所、試料採取開始・終了時刻、測定容器、供試量（測定試料重量や吸引量など（単位含む））、試料高さ、密度、測定試料材質、測定担当者名など。

② 各種校正ファイルを登録する。

- ・ エネルギー校正（半値幅と γ 線エネルギーの関係式含む）ファイル、相対効率もしくは P/T 比ファイル^{*18}、カスケードファイル及び効率校正ファイル

③ 解析条件を設定する。

- ・ 解析用核データライブラリを選択する。
- ・ ピークサーチ感度を選択する（通常は 3）
- ・ 減衰補正の条件を選択する。

採取開始もしくは終了日時、採取期間の中間^{*19}、減衰補正しない、などからいずれかを選択する。

- ・ ピーク領域の計算方法（コベル法もしくは関数適合）を選択する。
- ・ バックグラウンド補正ファイルを登録する。

補正用のバックグラウンドスペクトルを選択する。

④ 解析の実行

^{*17} 一般的なソフトウェアでは測定中にも登録することができる。

^{*18} 使用する市販ソフトウェアにより異なるので、ソフトウェアの取扱説明書を参照のこと。

^{*19} 採取期間の中間を選べない場合は、中間となる日時を別途求めておき、採取開始日時にその日時を登録して、採取開始日時までの減衰補正を選ぶ。

⑤ 解析結果の帳票出力

- ・ピークサーチ結果、ピーク定量結果、 γ 線スペクトル図などを出力する。

⑥ 解析結果の確認

- ・解析結果の帳票に記載されている測定試料情報、各種校正ファイル及び解析条件に間違いがないことを確認する。
- ・ γ 線スペクトル上の着目ピーク（ ^{40}K 及び ^{137}Cs など）について、 $\pm 1\text{keV}$ 以上のドリフトの有無を確認する。
- ・検出された人工放射性核種を確認する。
 - γ 線スペクトルを拡大して γ 線ピークの形状を確認する。
 - （ピーク領域のベースライン計数の統計変動により検出と判定していないかを確認）
- ・放出率の小さい γ 線ピークについても確認を行い、同定の精度を高める。
- ・逐次的に壊変する核種の場合は、親核種もしくは子孫核種の γ 線ピークも確認する。
- ・他の放射性同位体による γ 線ピーク（例：放射性ヨウ素の同位体）を確認する^{*20}。
- ・不明ピークについては、エネルギー順の核データ（付録 2）を参照して、同定を行う。必要に応じて、同定した核種の核データを解析用核データライブラリに登録して、再解析を行う。

測定した γ 線スペクトルの解析手順のフロー図を図 6.2 に、解析時における測定担当者の確認事項の例を表 6.3 に示す。

^{*20} 福島第一原発事故において、放射性ヨウ素として ^{130}I 、 ^{131}I 、 ^{132}I 及び ^{133}I が検出されており、放射性セシウムとして ^{134}Cs 、 ^{136}Cs 及び ^{137}Cs が検出されている。例えば、 ^{131}I が検出されたのであれば、他の放射性同位体の γ 線も確認しておく。原子炉施設等事故の種類によって、放出される放射性同位体は異なるので、第 5 章に記載した解析用核データライブラリの登録核種を参考にする。

γ線スペクトル

←①測定試料情報の登録

- ・試料名、試料の種類、採取場所、試料採取開始・終了日時、測定容器、供試量（単位含む）、試料高さ、密度、測定試料材質、測定担当者名などを登録する。

←②各種校正ファイルの登録

- ・エネルギー校正（半値幅とγ線エネルギーの関係式含む）ファイルを登録する。
- ・相対効率もしくは P/T 比ファイルとカスケードファイルを登録する。
- ・効率校正ファイルを登録する。

←③解析条件の設定

- ・解析用核データライブラリを選択する。
- ・ピークサーチ感度（通常は 3）を選択する。
- ・減衰補正の条件を選択する。
採取開始もしくは終了日時、採取期間の中間、減衰補正しない、などからいずれかを選択する。
- ・ピーク領域の計算方法を選択する。
コベル法もしくは関数適合から選択する。
- ・バックグラウンド補正ファイルを登録する。
補正用のバックグラウンドスペクトルを選択する。

←④解析の実行

←⑤解析結果の帳票出力

- ・ピークサーチ結果、ピーク定量結果、γ線スペクトル図などを出力する。

←⑥解析結果の確認

- ・解析結果の帳票の記載事項を確認する。
- ・γ線スペクトル上の着目ピーク（ ^{40}K や ^{137}Cs など）のドリフトがないことを確認する。
- ・検出された人工放射性核種を確認する。
γ線スペクトルを拡大してγ線ピークの形状を確認する。
（ベースライン計数の統計変動により検出と判定していないかを確認）
- ・放出率の小さいγ線ピークについても確認を行い、同定の精度を高める。
- ・逐次的に壊変する核種の場合は、親核種もしくは子孫核種のγ線ピークも確認する。
- ・他の放射性同位体によるγ線ピーク（例：放射性ヨウ素）を確認する。
- ・不明ピークについては、エネルギー順の核データを参照して、同定を行う。
必要に応じて、同定した核種の核データを解析用核データライブラリに登録して、再解析を行う。

↓
評価

図 6.2 測定したγ線スペクトルの解析手順フロー図

表 6.3 解析時における測定担当者の確認事項の例

No.	確認事項	チェック欄
①測定試料情報の登録		
1	試料名、試料の種類、採取場所、試料採取開始・終了日時、測定容器、供試量（単位含む）、試料高さ、密度、測定試料材質、測定担当者名などを正しく登録している。	
②各種校正ファイルの登録		
2	エネルギー校正（半値幅と γ 線エネルギーの関係式含む）ファイルを正しく登録している。	
3	相対効率もしくは P/T 比ファイルとカスケードファイルを正しく登録している。	
4	効率校正ファイルを正しく登録している。	
③解析条件の設定		
5	解析用核データライブラリを正しく選択している。	
6	ピークサーチ感度を正しく選択している。	
7	適切な減衰補正条件を選択している。	
8	適切なピーク領域の計算方法を選択している。	
9	バックグラウンド補正ファイルを正しく登録している。	
④解析の実行		
⑤解析結果の帳票出力		
10	ピークサーチ、ピーク定量結果、 γ 線スペクトル図を出力している。	
⑥解析結果の確認		
11	解析結果帳票の記載事項に間違いがない（2人で読み合わせなど）。	
12	γ 線スペクトル上の着目ピーク（ ^{40}K や ^{137}Cs など）のドリフトがない。	

表 6.3 解析時における測定担当者の確認事項の例（続き）

No.	確認事項	チェック欄
13	<u>検出された人工放射性核種のγ線ピークについて</u> ・γ線スペクトルを拡大して、ベースライン計数の統計変動に伴う検出か確認している。 ・シングルエスケープ、ダブルエスケープ、サムピーク、ランダムサムピークの可能性を検討している。 ・複数のγ線を放出する人工放射性核種の場合は、放出率の小さいγ線ピークも確認している。 ・逐次的に壊変する核種の親核種、子孫核種のγ線ピークを確認している。 ・他の放射性同位体によるγ線ピーク（例：放射性ヨウ素）を確認している。	
14	<u>不明のγ線ピークについて</u> ・γ線スペクトルを拡大して、ベースライン計数の統計変動に伴う検出か確認している。 ・シングルエスケープ、ダブルエスケープ、サムピーク、ランダムサムピークの可能性を検討している。 ・エネルギー順の核データを参照して、不明ピークを同定している。 ・不明ピークを同定した場合、必要に応じて、同定した核種の核データを解析用核データライブラリに登録して、再解析を実施している。	

6.2.2 不明ピークの取扱い

γ 線スペクトル上で検出されたピークは、解析用核データライブラリと照合を行い、同定幅の範囲で一致する γ 線エネルギーがない場合は、不明ピーク扱いとなる。不明ピークの照合は多大な作業量となることが考えられるが、エネルギー順に記載のある核データ（付録 2 参照）を用いて、同定作業を行うことができる^{*21}。

同定作業を進める前に、以下に示す可能性を検討する必要がある。

- ・ベースラインの統計変動に伴い、解析上検出されたピーク
- ・シングルエスケープ、ダブルエスケープ、サムピーク、ランダムサムピーク

ランダムサムピークは、複数の γ 線（カスケード γ 線は除く）がほぼ同時に入射した際に、加算信号が出力される事象であり、核データに記載されてはいない。

^{*21} 同定結果の妥当性を評価するために再測定をする場合、再測定結果が同定核種の半減期に従って減少しているか確認することは有効である。また、可能であれば、再測定は異なる検出器で行うことが望ましい。測定機器の不具合、汚染、バックグラウンドの変動や校正等の影響の有無を確認することができる。なお、複数の検出器を有していない場合には、再測定前に補正用のバックグラウンド測定（汚染の確認に用いることもできる）の実施や測定機器を点検するとともに、測定時間を増やして再測定をすることが望ましい。

そのため、ランダムサムピークを同定するためには、 γ 線スペクトル上の大きなピークから候補を選定し、組合せをする必要がある。

6.2.3 放射性核種の誤認について

放射性核種の誤認は、同定されるべき核種の核データが核データライブラリに登録されておらず、登録されている他の核種の γ 線エネルギーが同定幅の範囲で一致することにより起こる。また、核データライブラリに登録されていないシングルエスケープ、ダブルエスケープ、サムピークについても同様に誤認される可能性がある。代表的な例としては、 ^{134}Cs のサムピーク（ $569.3\text{keV} + 604.7\text{keV}$ ）を ^{60}Co （ 1173.2keV ）と同定するものがあげられる。この場合、高エネルギー側に位置する ^{60}Co （ 1332.5keV ）の γ 線ピークがないことを確認することにより誤認を回避することができる。また、核データライブラリに ^{132}I の核データが登録されておらず、 ^{58}Co や ^{59}Fe が登録されていると、 809.5keV 及び 1290.8keV の ^{132}I からの γ 線をそれぞれ ^{58}Co （ 810.8keV ）及び ^{59}Fe （ 1291.6keV ）と誤認することがある。

また、緊急時の測定試料は水分を多く含んだ試料であることが想定される。宇宙線により二次的に生成する中性子が水により減速されて、検出器を構成する材料と相互作用し易くなる。例えば、ゲルマニウム半導体検出器の検出器部分に用いられるゲルマニウムの原子核と中性子との相互作用により生成する $^{75\text{m}}\text{Ge}$ から放出される γ 線（ 139.7keV ）を $^{99\text{m}}\text{Tc}$ からの γ 線（ 140.5keV ）と誤認することが起こり得るので注意が必要である（文献 30）。

6.2.4 同一核種の複数ピークの取扱い

放射性核種の中には複数の γ 線を放出する核種があり、同定の精度を高める上で、複数の γ 線の検出を確認することは有効であるが、放射能の定量や結果を報告するために用いる γ 線ピークの取扱いについてはあらかじめ決めておく必要がある。

一般的には、主ピーク（放出率の最も大きい第 1 ピーク）に着目する方法と複数ピークから得られる結果の加重平均を用いる方法がある。それぞれの方法に対する注意事項を以下に記載するが、本解析法では、主ピークに着目する方法を基本とする。

(1) 主ピークに着目する方法

放出率の最も大きい第 1 ピークに着目する方法である。

定量結果の妥当性を確認する上で、他のエネルギーの γ 線ピークによる定量結果を無視するのではなく、参考とする必要はある。定量結果が大きく異なる場合、妨害ピークの寄与を考慮する必要がある（ $^{110\text{m}}\text{Ag}$ （ 657.8keV ）に対する ^{137}Cs （ 661.7keV ）など）。妨害ピークの寄与が認められる場合は、次に放出率が大きい γ 線ピークを定量結果として採用する判断が必要である。なお、第 1 ピークに対し、他の核種の γ 線ピークによる妨害が予想される場合には、あらかじめ解析用核データ

ライブラリ上で第 2 ピークを定量ピークとする設定をした方が良い。

(2) 加重平均を用いる方法

複数の γ 線ピークの定量結果については、相対的に計数誤差が小さい定量結果に重みをつけて、加重平均を算出する（解説 F 参照）。緊急時においては、放出率の小さい、相対的に計数誤差が大きな定量結果が得られることが想定され、加重平均の計算に使用してもあまり意味がない。そのため、あらかじめ放出率やピーク効率を考慮して、加重平均に使用する γ 線エネルギーを決めておいた方が良い。また、加重平均に使用する γ 線ピークの定量結果それぞれについて、妨害ピークの寄与により、大きく異なっていないことを確認する。

なお、加重平均を行うと必ずその計数誤差は小さくなり、各々の γ 線ピークが不検出であっても、加重平均の結果は 3σ (σ : 計数誤差) 以上になる場合がある。

6.3 解析結果の評価

解析結果を評価する際には、測定及び解析が正しく行われていることが前提となる。校正用線源と異なるジオメトリでの測定や解析における各種補正（自己吸収補正、サム効果補正、減衰補正）等の設定が不適切^{*22*23}など、解析結果は大きく変わることがあるので、十分に確認された解析結果を取扱う必要がある。

測定及び解析が正しく行われたことが担保された解析結果であっても、得られた人工放射性核種の結果のみでデータが妥当であるか判断するのは難しいといえる。原子炉施設等事故の種類、放出源からの距離、気象条件、経過時間、半減期、物理的・化学的挙動（揮発性、不揮発性など；解説 D 参照）などを考慮して、検出が妥当であるか評価する必要がある^{*24*25}。

福島第一原発事故に限らず、原子炉施設等事故後に公表された論文等（文献 31～文献 50）では、人工放射性核種間の放射能比^{*26*27}を評価することは一般的であり、データの妥当性を判断する材料となり得る。ただし、原子炉施設等事故直後では人工放射性核種の放出量の情報を把握することは難しいことが想定され、データの蓄積を待つ必要がある。

また、同一もしくは同様な試料の測定結果のデータベースを利用して評価することもある。この場合、人工放射性核種ではなく、自然放射性核種の放射能濃度に着目することとなる。同一もしくは同様な試料中の自然放射性核種濃度はほぼ同程度であることが期待できる。それぞれの結果を比較して、著しく差がないことを確認することにより、データの妥当性を判断することが可能な場合もある。

^{*22} 自己吸収補正では、材質、試料の高さ及び密度の設定、サム効果補正では補正の有無などがある。減衰補正については、特に過渡平衡を成す子孫核種の減衰補正結果に問題が起きていないことを確認する必要がある（第 4 章参照）。

^{*23} γ 線ピークの解析領域の設定にも注意を払う。例えば、 ^{134}Cs (604.7keV) の γ 線ピークが、近接する ^{214}Bi (609.3keV) の γ 線ピークと弁別できず、合算された結果となる場合がある。他の放出率の大きい γ 線ピークの定量結果の確認（例えば ^{134}Cs では 795.9keV）や、ピーク解析領域の目視確認などを行う必要がある。

^{*24} 検出された人工放射性核種については、その他の放出源（例えば、過去の大気圏内核爆発実験や医療用放射性物質など）の可能性についても考慮する必要がある。

^{*25} 短半減期核種が減衰した後では、 γ 線スペクトル上のベースライン計数が減少することになり、これにより隠れていた他の人工放射性核種による γ 線ピークが確認できる場合がある。

^{*26} 測定データが蓄積された場合には、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比から、サム効果補正の有無を確認することができる場合もある。

^{*27} $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比を評価する際には、①過去の大気圏内核爆発実験や福島第一原発事故等により ^{137}Cs が蓄積されていること、② ^{134}Cs 及び ^{137}Cs の放射能濃度レベルが低下することに伴い、測定値の相対誤差が大きくなり、結果として放射能比がばらつくことがあり、これらの影響を考慮すべき場合がある。

6.4 解析結果の報告

妥当性を確認した解析結果は、所定の報告様式を用いて報告することが望ましい。報告様式の例を表 6.4 及び表 6.5 に示す。報告様式には、検出された放射性核種の放射能濃度だけではなく、試料情報、測定情報、解析条件などを記載する。なお、記載事項を転記する場合には、読合せなどを行って間違いがないことを確認する。

第三者が測定結果を評価する際に、報告値だけでは判断できないことことも十分に考えられるので、必要に応じて、出力された解析帳票や γ 線スペクトル図も併せて報告する。

γ 線スペクトル上の検出ピークに対して、6.2.1 項⑥の解析結果の確認から 6.4 項の解析結果の報告までのフローチャート例を図 6.3 に示す。

表 6.4 報告様式の例 1

ゲルマニウム半導体検出器による核種測定結果

1. 実施機関	
分析機関	
主任担当者	
測定担当者	

2. 測定試料	
試料名	
採取場所	
採取年月日	/ / : ~ / / :
測定容器	供試量 ^{※1}
試料の高さ	密度

※1: 単位 (g-FW(生重量), g-DW(乾燥重量), kg-FW, kg-DW, mL, m², m³など)を併記する。

3. 測定器	
検出器型式	
通へい体厚	
相対効率	
分解能(1.33MeV)	

4. 測定及び解析	
①測定	
測定番号	測定開始日時 / / :
測定時間	
②解析	
自己吸収補正	あり, なし
減衰補正日	/ / :
減衰補正	逐次の減衰を考慮しなくても良い核種の減衰補正 ^{※2} あり, なし
サム効果補正	逐次のに基きする子孫核種の減衰補正 ^{※2} なし, 流れ込み考慮, 親核種の半減期あり, なし
サム効果補正	あり, なしサム効果補正核種

※2: 逐次的に修正する子孫核種の減衰補正方法を記す (なし...減衰補正なし, 流れ込み考慮...親核種からの流れ込みを考慮した減衰補正, 親核種の半減期...放出時点から過渡平衡状態と仮定して, 子孫核種の半減期を用いた減衰補正)。

5. 測定結果			
核種	放射能濃度() ^{※3}	核種	放射能濃度() ^{※3}
	±		±
	±		±
	±		±
	±		±
	±		±
※3: 放射能濃度の単位も併せて記載する。			
(備考)			

表 6.5 報告様式の例 2

ゲルマニウム半導体検出器による核種測定結果

1. 実施機関

分析機関	
主任担当者	
測定担当者	

2. 測定試料

試料名	
試料の種類	
採取場所	
採取年月日	/ / : ~ / / :
測定容器	U-8 容器 , マリネリ容器(2L、1L、0.7L) , その他
供試量 ^{※1}	(g-FW , g-DW , kg-FW , kg-DW , mL , L , m ² , m ³)
試料の高さ	(mm , cm)
密度	(g/cm ³)
(備考)	

※1 : FW (生重量)、DW (乾燥重量) の区別をする。

3. 測定及び解析

①測定			
測定番号		測定時間	(秒)
測定開始日時	/ / :		
②解析			
自己吸収補正	あり , なし		
減衰補正	減衰補正日	/ / :	
	逐次的壊変を考慮しなくても良い核種の減衰補正	あり , なし	
	逐次的に壊変する子孫核種の減衰補正 ^{※2}	なし , 流れ込み考慮 , 親核種の半減期	
サム効果補正	あり , なし		
サム効果補正核種			
(備考)			

※2 : 逐次的に壊変する子孫核種の減衰補正方法を記録する (なし…減衰補正なし、流れ込み考慮…親核種からの流れ込みを考慮した減衰補正、親核種の半減期…放出時点から過渡平衡状態と仮定して、子孫核種の半減期として、親核種の半減期を用いた減衰補正)。

表 6.5 報告様式の例 2（続き）

4. 測定器情報

検出器型式	
遮へい体厚	(mm)
相対効率	(%)
分解能(1.33MeV)	(keV)
(備考)	

5. 測定結果

核種	放射能濃度 () ※3	備考
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	

※3：放射能濃度の単位も併せて記載する。

6. 備考

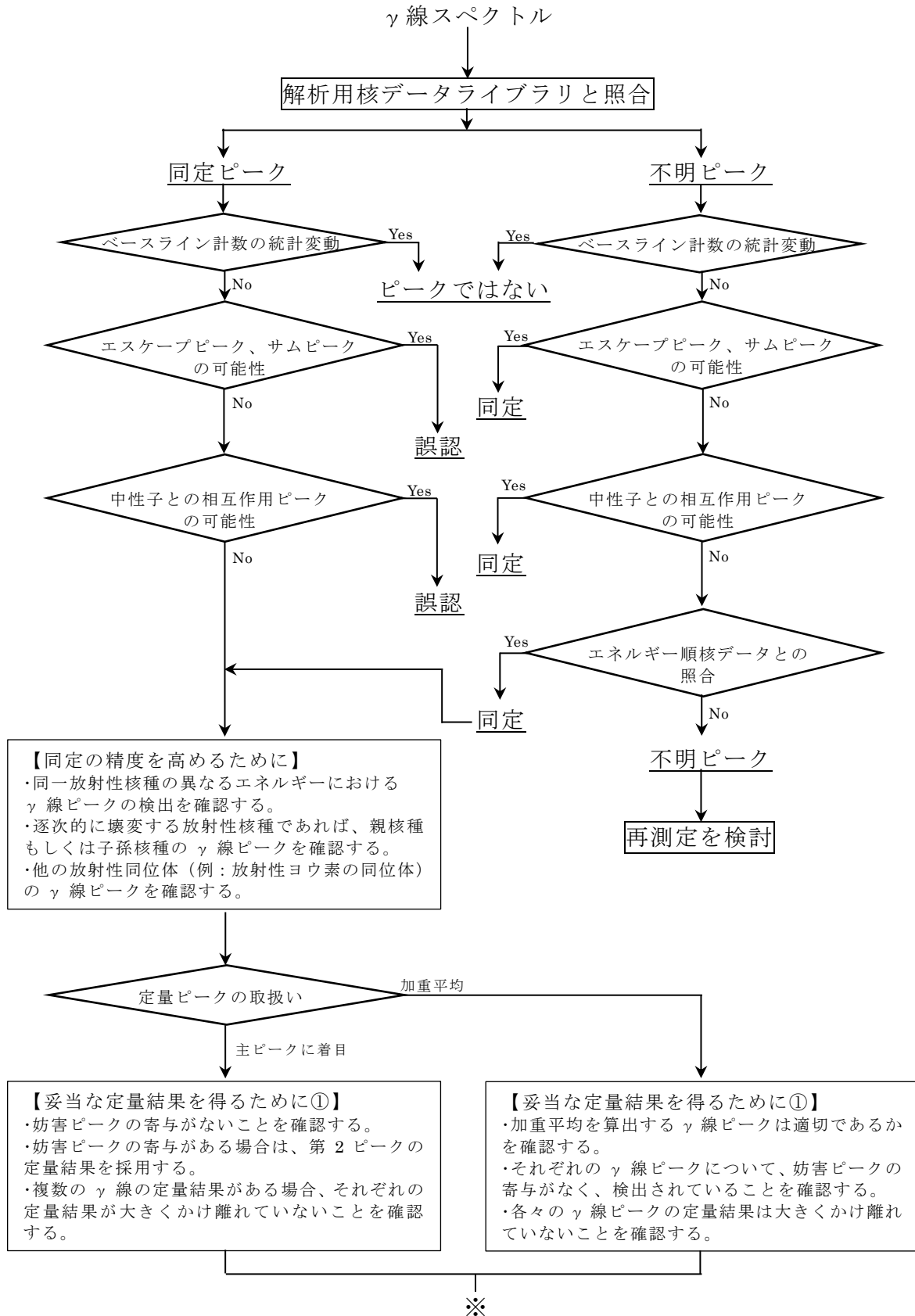


図 6.3 解析結果の報告までのフローチャート例

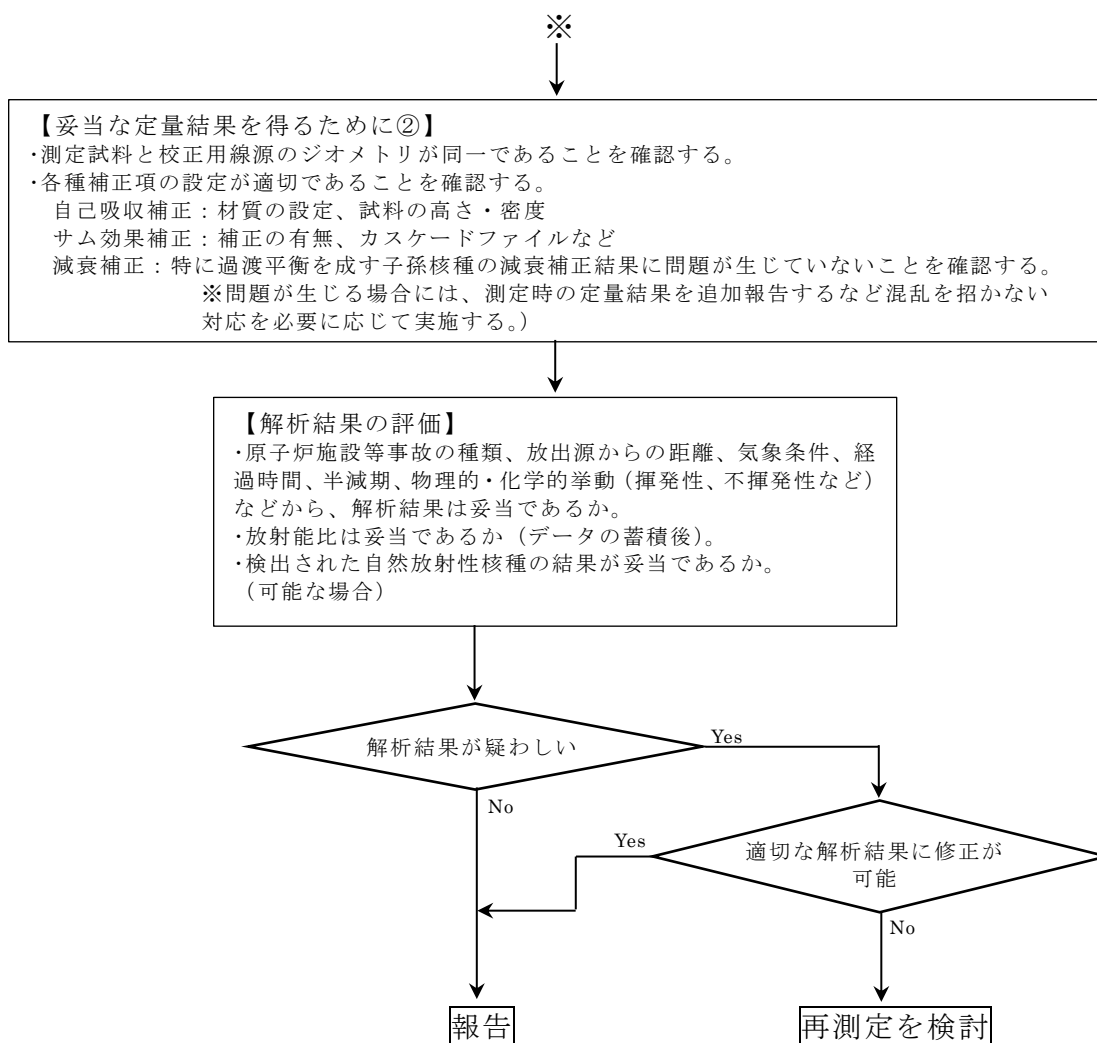


図 6.3 解析結果の報告までのフローチャート例（続き）

第 7 章 バックグラウンド測定と測定機器の汚染・除染対策

緊急時においては、原子炉施設等の事故に伴い放出された人工放射性核種が測定室内に意図せず持ち込まれ、測定機器が汚染される可能性が増すことになる(解説 G 参照)。室外環境や測定試料から測定機器が汚染されないように配慮し、かつ、定期的に汚染されていないことを確認する必要がある。また、測定機器が汚染されることを想定して、その除染方法を予め定めておくことが望ましい。なお、測定機器が汚染され、汚染による測定結果への寄与が無視できない場合には、他の測定機器を用いた再測定もしくは適切なバックグラウンド補正による再解析の措置を講じる。

7.1 緊急時におけるバックグラウンド測定の考え方

測定機器が汚染されていないことを確認する唯一の方法は、検出器に試料を載せず測定して得られるバックグラウンドスペクトルや計数値等の経時変化を確認することである。バックグラウンドスペクトル上に人工放射性核種による γ 線ピークや計数値等の経時変化^{*1}がないことで、測定機器が汚染されていないことを確認することができる^{*2}。このため、緊急時における測定では、バックグラウンドスペクトルに存在する γ 線ピーク寄与分を差引くための補正用のバックグラウンドと測定機器が汚染されていないことを確認するための汚染確認用のバックグラウンドを使い分けることとなる。また、緊急時では測定すべき試料数が膨大となることが想定されるため、これらバックグラウンド測定の頻度やその測定時間について考慮する必要がある。

7.2 補正用のバックグラウンド測定

バックグラウンドスペクトル上に存在する 2σ 以上の γ 線ピークを寄与分として、測定試料の γ 線スペクトルから補正するのに必要となるバックグラウンド測定である。

7.2.1 補正用のバックグラウンド

補正用のバックグラウンドの測定時間は、測定試料の 2 倍以上の時間で実施し、寄与分を可能な限り精度よく補正するのが望ましい。特に、測定機器が汚染された場合に、バックグラウンド測定の統計変動に伴う検出を避ける上でも望ましいことである。

測定の頻度としては、測定機器が汚染されていないのであれば、1 か月に 1 回程度で十分であるが、短半減期核種(例えば ^{131}I)の汚染や測定室内への侵入の可能性がある場合には、日々その影響が変化することから、少なくとも 1 日 1 回は、補正用のバックグラウンドを測定する必要がある。 ^{134}Cs の汚染が確認された場合、1 週

^{*1} 測定機器等の健全性を確認するために、バックグラウンドスペクトル上で検出された自然放射性核種の γ 線ピークについても確認することは有効である。

^{*2} 福島第一原発事故後に出荷された検出器等には、その材料中に事故由来の ^{137}Cs を含むものもあるので注意する。

間程度の間隔で補正用のバックグラウンド測定を実施すれば、物理減衰による影響は1%未満に抑えることができる。より半減期の長い ^{137}Cs のみの汚染という場合は、1か月程度の間隔でも減衰による影響は0.2%未満であり、ほとんど無視できる。

7.2.2 ブランク試料*3を用いた補正用のバックグラウンド

福島第一原発事故後に出荷された捕集用機材（例えば、大気浮遊じん用のろ紙や活性炭カートリッジ）には、製造過程で ^{134}Cs や ^{137}Cs が混入したものが含まれていた。これらのろ紙や活性炭カートリッジを用いて大気の捕集及び測定を行い、前項に示した補正用のバックグラウンドを用いて得られる結果は、過大に評価されている可能性がある。

そのため、未使用の同じロットのろ紙や活性炭カートリッジを検出器に載せて測定し、得られる結果を補正用のバックグラウンドとして、解析に用いる方が適切な結果を得ることができる。なお、測定時間や測定の頻度については、前項に準ずれば良い。

7.3 汚染確認用のバックグラウンド測定

測定機器が汚染されていないことを確認するバックグラウンド測定である。

汚染確認用のバックグラウンド測定は、測定試料と同程度の測定時間で、適当な頻度で実施するものである。緊急時では、環境試料を途切れなく測定することが予想されるため、測定機器が汚染された時期を特定するのが困難な場合がある。汚染確認用のバックグラウンド測定の頻度が少ないと、汚染が発生したと疑われる対象期間が長くなり、再測定すべき試料数も増加してしまう。頻度が短いと、再測定すべき試料数は減少するものの、環境試料を測定すべきマシンタイムが減ってしまう。その時々状況に応じて、測定の頻度を勘案する必要がある。平常時の環境放射能レベルと同程度の測定試料が混在しているのであれば、放射能濃度が高い試料を測定した直後に、汚染確認用のバックグラウンド測定を実施した方が良い。なお、補正用のバックグラウンド測定の間隔が短い場合（1～2日に1回程度）、この補正用のバックグラウンド測定を汚染確認用のバックグラウンドとして取扱っても良い。

7.4 測定機器の汚染対策及び除染方法

汚染対策としては、まず、測定室内に汚染を持ち込まない対応が必要である。第6章に記載した以外の対応としては、作業動線の各所の床に粘着シートの設置や、定期的な清掃の実施が汚染対策として有効である（文献51）。また、室外環境などからの汚染の侵入を抑制するための施設対策としては、陽圧化、クリーンブースの使用、HEPAフィルターを通した外気の導入などを行うことが望ましい。また、窓ガラスの目張りや空調及び換気の停止などの対策を講じることも有効である。

*3 ブランク試料とは未使用の大気浮遊じん用のろ紙や活性炭カートリッジのことを指す。

測定機器自体の汚染対策としては、ポリエチレン袋による検出器の養生や遮へい体の内側にアクリル等の内貼りを設けることなどがあげられる。汚染された場合でも、ポリエチレン袋やアクリル板を外すことにより、容易に汚染が除去できる場合がある。

測定機器が汚染された場合、容易に交換できるものについては、新しいものに交換（更新）することが望ましい。容易に交換できないものについては、乾拭きや水、アルコールで湿らせた布等による表面の拭き取り^{*4}や分解洗浄を行うことがあげられる。ただし、精密機器の分解洗浄は機器の故障を招くことがあるので、取扱説明書やメーカーに確認して、作業の安全面を含めて十分配慮して行う必要がある。遮へい体が汚染した場合にも、内貼りを取り外して、プラスチックや鉛等の分解清掃が有効な場合もある。なお、遮へい体として鉛ブロックを使用している場合は、汚染した部分を検出器から遠ざけることにより、汚染の影響を低減化できることもある。

これらの汚染は必ずしも除染できるとは限らず、汚染された状態での使用（測定）をせざるを得なくなることは十分に考えられる。この場合には、汚染確認用のバックグラウンド測定を行い、汚染状況を管理し、適切な補正用のバックグラウンドで測定結果への寄与分を補正する必要がある。

^{*4} アクリル板を表面拭き取りする場合は軽く拭く程度にする。アルコールによるアクリル板の拭き取りをし過ぎると、アクリル板が膨潤して亀裂が入りもろくなってしまう。

解 説

解説 A 緊急時における自己吸収補正

放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に記載のあるとおり、自己吸収の補正に用いる線減弱（衰）係数は、 γ 線のエネルギー及び試料の材質によって異なり、試料の材質を構成する元素の原子番号がカルシウム（ $Z=20$ ）以下であれば一つの式で表現でき、見かけの密度と γ 線エネルギーがわかれば計算することができる。また、海底土、土壌、灰化物等の質量減弱（衰）係数と γ 線エネルギーの関係は次式で示される。

$$\mu_m(\mu/\rho) = e^{\{-2.361 - 0.3949 \times \ln(En/400) - 0.06914 \times (\ln(En/400))^2\}} \quad (\text{A.1})$$

$\mu_m(\mu/\rho)$ ：海底土、土壌、灰化物等の質量減弱（衰）係数（ $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ）

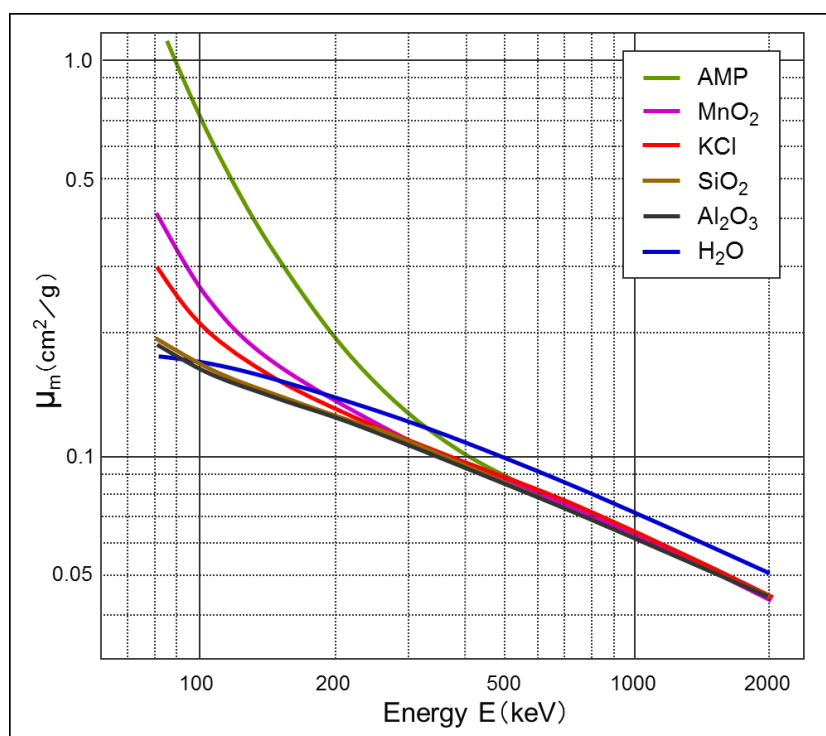
μ ：海底土、土壌、灰化物等の線減弱（衰）係数（ cm^{-1} ）

ρ ：海底土、土壌、灰化物等の密度（ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）

En ： γ 線エネルギー（ keV ）

線減弱（衰）係数（ cm^{-1} ）を物質の密度で除したものを質量減弱（衰）係数（ $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ）といい、図 A.1 に代表的な材質とその質量減弱（衰）係数のグラフを示した。

環境試料の元素組成は様々であり、土壌などの元素組成は一般的に不明であるが、環境試料の質量減弱（衰）係数はその物質の種類にあまり依存しない。ただし、低エネルギー領域では、材質の違いにより大きく異なるので、適切な材質を選択することが重要である。



図A.1 代表的な材質と質量減弱（衰）係数

緊急時には、多数の環境試料を測定する必要に迫られることとなる。そのため、測定試料材質の判断に迷うことを避けるために、あらかじめ測定対象となる環境試料の材質を決めておくことが望ましい。緊急時において測定される環境試料としては、水試料（飲料水、牛乳、海水など）、葉菜などの生試料もしくは土壌、海底土、汚泥等があげられる。図 A.1 に示した質量減弱（衰）係数を見ると、土壌や海底土、汚泥等の主成分と考えられる SiO_2 （二酸化ケイ素）や Al_2O_3 （酸化アルミニウム）、生試料に多く含まれていると考えられる水及び放射性核種の沈殿捕集に用いられる AMP（リンモリブデン酸アンモニウム）や MnO_2 （二酸化マンガン）の 3 つに分けて良いといえる。緊急時に測定される試料は化学的な前処理を行わない場合が多いことから、AMP や MnO_2 を除外すると、測定試料の材質として、水もしくは海底土、土壌、灰化物等の 2 つに絞って良いと考えられる。なお、第 4 章に記載したとおり、測定試料調製時に AMP や MnO_2 を用いた場合は、市販ソフトウェアで用意されている材質を選択する必要がある。

材質を水もしくは海底土、土壌、灰化物等のどちらかを選択するに当たり、試料に含まれる水分で決定するのが簡易的であり、水分 50% を大まかな目安として材質を選択することとする。水分が 50% 以上の試料については、材質として水を選択することが適切であると考えられ、50% 未満の試料については、土壌・海底土・灰化物を選択することが適切と考えられる。

この考えに基づき、代表的な環境試料について、選択すべき材質を示した表が第 4 章に示した表 4.1 である。なお、表 4.1 に該当しない試料については、日本食品成分表（文献 3）に記載されている水分を参照すれば良い。

解説 B ^{134}Cs 及び ^{132}I のサムピーク

解説 B.1 ^{134}Cs

半減期 2.07 年の ^{134}Cs は β^- 壊変に伴い、過剰なエネルギーを γ 線として放出して、より低エネルギーの準位に遷移する。 ^{134}Cs の壊変に伴う主な γ 線を表 B.1 に示した。表中の【】内の数字は、エネルギー順に付与した番号である。

表 B.1 ^{134}Cs の壊変に伴う主な γ 線

γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)
475.4 【①】	1.48
563.2 【②】	8.34
569.3 【③】	15.37
604.7 【④】	97.62
795.9 【⑤】	85.46
802.0 【⑥】	8.69
1038.6 【⑦】	0.99
1168.0 【⑧】	1.79
1365.2 【⑨】	3.02

注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

注 2：放出率 0.5%以上の γ 線をエネルギー順に①～⑨の番号を付与した。

注 3： γ 線エネルギーは小数点以下 1 桁、放出率は小数点以下 2 桁で示した。

サムピークは、カスケード状に放出される複数の γ 線が検出器にほぼ同時に入射し、各々の全エネルギー付与信号が和信号としてスペクトル上に出力されることであることから、図 B.1 に示した ^{134}Cs の壊変図とともに理解する必要があり、カスケード状に放出される γ 線のエネルギー遷移のパターンを考慮する必要がある。

表 B.1 に示した γ 線について、エネルギーの低い順に付与した①から⑨の番号の組み合わせにより、 γ 線スペクトル上にサムピークとして出現する可能性について判定した結果を表 B.2 に示した。

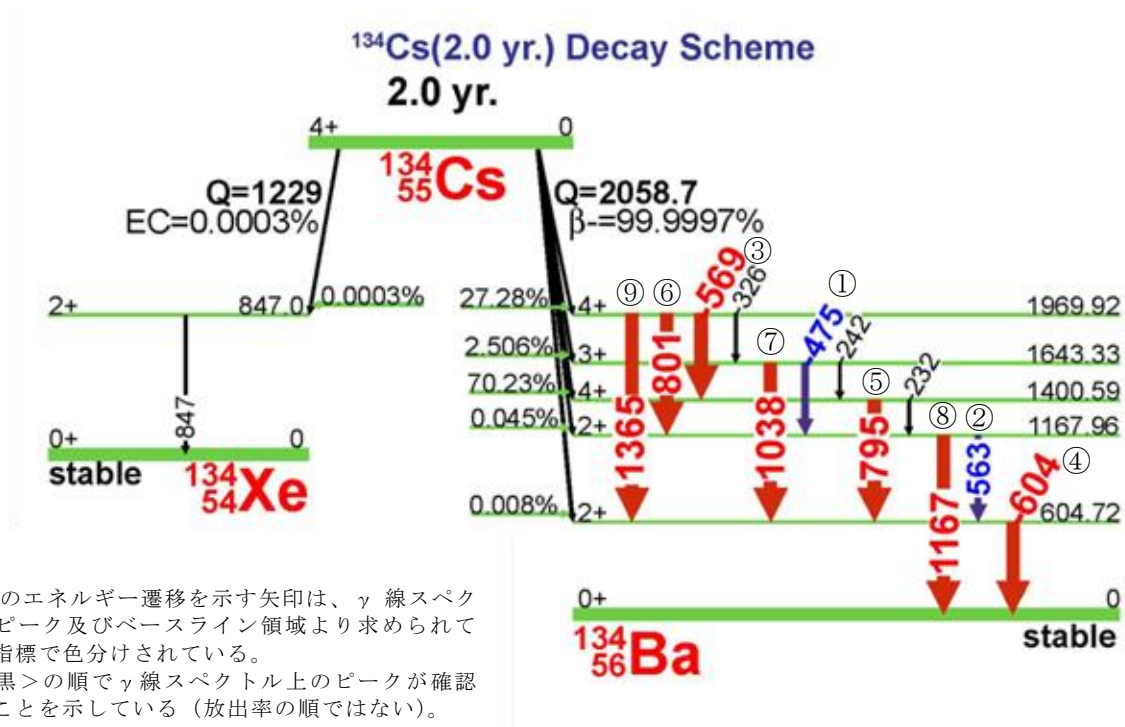


図 B.1 ^{134}Cs の壊変図

出典：Online Spectrum Catalogs for Ge and Si(Li), Idaho National Laboratory
(URL： http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ge/catalog_ge.shtml)

表 B.2 ^{134}Cs の壊変に伴う γ 線のサムピーク出現判定表

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
①		※1		※4				※4	
②			※4	※2		※3			
③				○	※3			※4	
④					○	○	※4		○
⑤									
⑥								○	
⑦									
⑧									
⑨									

※1：⑦の γ 線と同等のエネルギー遷移

※2：⑧の γ 線と同等のエネルギー遷移

※3：⑨の γ 線と同等のエネルギー遷移

※4：放出率の小さい γ 線によるエネルギー遷移を経由する等のためサムピークの出現は低い。

表 B.2 より、 γ 線スペクトル上に出現するサムピークのエネルギーとしては次のとおりとなる。

- ・ 1174.0keV (③+④)
- ・ 1400.6keV (④+⑤)
- ・ 1406.7keV (④+⑥)
- ・ 1969.9 (1970.0) keV (④+⑨、⑥+⑧)

上記に示したサムピークが出現した γ 線スペクトルを図 B.2 (図 4.1 と同じ図) に示した。

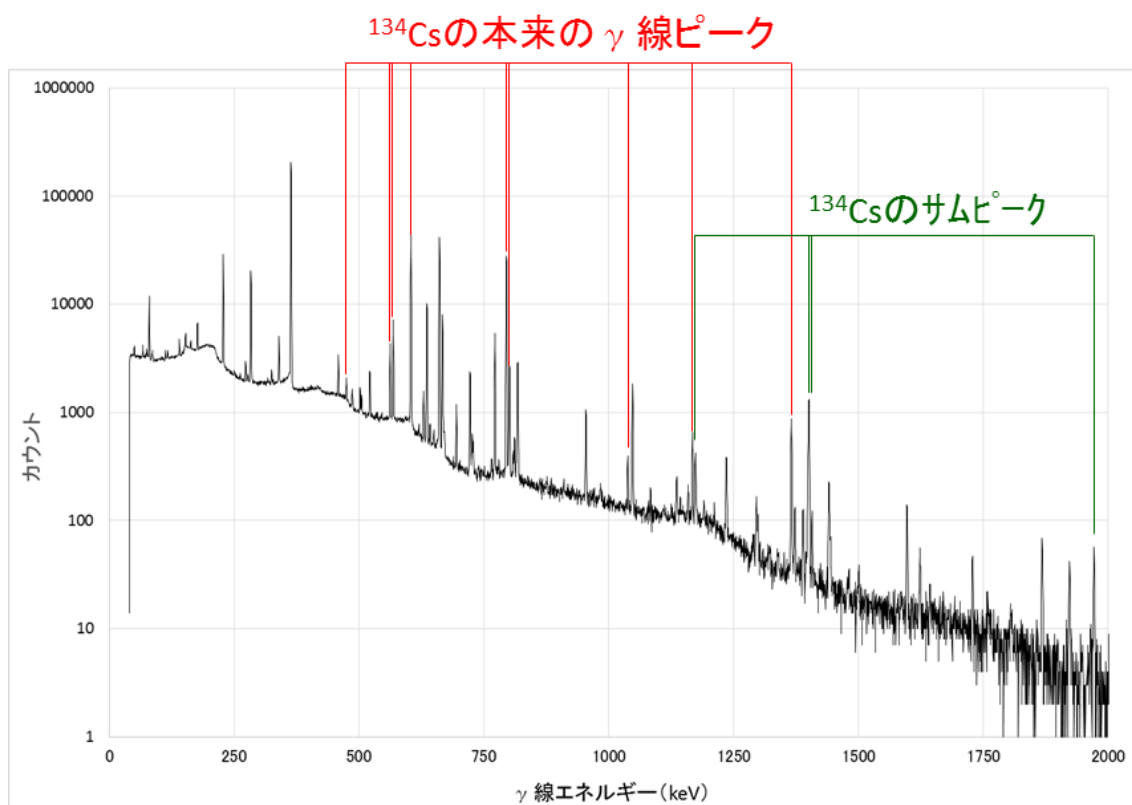


図 B.2 ^{134}Cs のサムピークが出現した γ 線スペクトル
(福島第一原発事故時に採取した土壌)

解説 B.2 ^{132}I

半減期 2.30 時間の ^{132}I も ^{134}Cs と同様複数の γ 線を放出し、サムピークが検出される代表的な人工放射性核種である。 ^{132}I の壊変に伴う主な γ 線を表 B.3 に示した。表中の【】内の数字は、放出率が 3%以上の γ 線について、エネルギー順に付与した番号である。

表 B.3 ^{132}I の壊変に伴う主な γ 線

γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)
262.9	1.28	780.0	1.18
505.8 【①】	4.94	809.5	2.6
522.7 【②】	16.0	812.0 【⑨】	5.5
547.2	1.14	876.6	1.04
621.2	1.58	954.6 【⑩】	17.6
630.2 【③】	13.3	1136.0 【⑪】	3.01
650.5	2.57	1143.3	1.35
667.7 【④】	98.70	1172.9	1.09
669.8 【⑤】	4.6	1290.8	1.13
671.4 【⑥】	3.5	1295.1	1.88
727.0	2.2	1372.1	2.47
727.2 【⑦】	3.2	1398.6 【⑫】	7.01
728.4	1.6	1442.6	1.40
772.6 【⑧】	75.6	1921.1	1.23

注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

注 2：放出率 1%以上で 2000keV 以下の γ 線を掲載した。

注 3：放出率が 3%以上の γ 線をエネルギー順に①～⑫の番号を付与した。

注 4： γ 線エネルギーは小数点以下 1 桁、放出率は小数点以下 2 桁で示した。

なお、 γ 線のエネルギーによって、放出率の小数点以下 2 桁目がない場合は、小数点以下 1 桁で示した。

^{132}I の壊変図を図 B.3 に示したが、 ^{132}I は多数の γ 線を放出することから、カスケード状に放出される γ 線のエネルギー遷移のパターンが複雑となる。放出率が小さい γ 線はサム効果を起こす確率が低くなることから、簡略化するために、表 B.3 に示した放出率が 3%以上の γ 線である①から⑫の γ 線について考慮することとする。エネルギーの低い順に付与した①から⑫の番号の組み合わせにより、 γ 線スペクトル上にサムピークとして出現する可能性について判定した結果を表 B.4 に示した。

2.2 hr.

 $^{132}_{53}\text{I}$

Q=3577

 ^{132}I (2.2 hr.) Decay Scheme

gamma-rays emitted from high energy levels

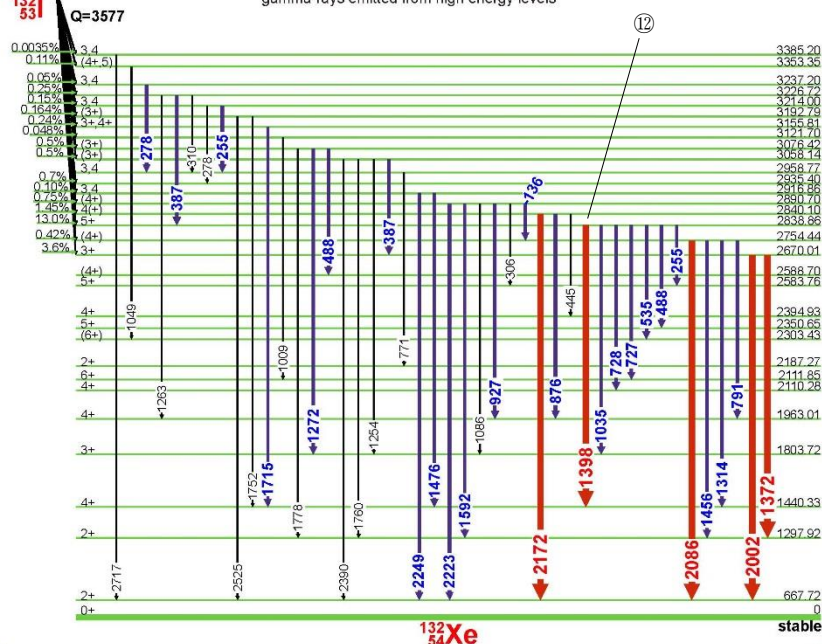


Table of Contents

2.2 hr.

 $^{132}_{53}\text{I}$

Q=3577

 ^{132}I (2.2 hr.) Decay Scheme

gamma-rays emitted from low energy levels

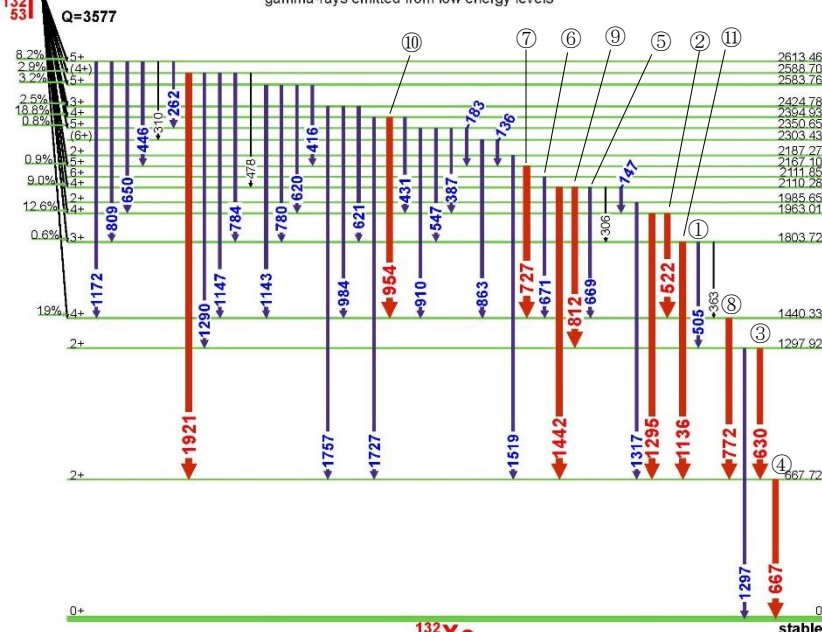


Table of Contents

注： γ 線のエネルギー遷移を示す矢印は、 γ 線スペクトル上のピーク及びベースライン領域より求められている感度指標で色分けされている。

赤>青>黒>の順で γ 線スペクトル上のピークが確認しやすいことを示している（放出率の順ではない）。

図 B.3 ^{132}I の壊変図

出典：Online Spectrum Catalogs for Ge and Si(Li), Idaho National Laboratory
(URL : http://www4vip.inl.gov/gammaray/catalogs/ge/catalog_ge.shtml)

表 B.4 ^{132}I の壊変に伴う γ 線のサムピーク出現判定表

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
①			※1	※4								
②				○				※2				
③				※2					※2			
④					○	○	○	○	○	○	○	※3
⑤								※2				
⑥								※4				
⑦								○				
⑧										※4		※3
⑨												
⑩												
⑪												
⑫												

※1：⑪の γ 線と同等のエネルギー遷移

※2：他の γ 線と同等のエネルギー遷移

※3：2000keV 以上

※4：他の γ 線によるエネルギー遷移と区別が難しい。

表 B.4 より、 γ 線スペクトル上に出現するサムピークのエネルギーとしては次のとおりとなる。なお、 ^{132}I は 1727.2keV の γ 線を放出し、サムピーク（⑧+⑩）と区別するのは難しいが、 γ 線の放出率が 0.067%であることから、サムピークとして以下に記載している。

- ・ 1190.4keV（②+④）
- ・ 1337.5keV（④+⑤）
- ・ 1339.1keV（④+⑥）
- ・ 1394.9keV（④+⑦）
- ・ 1440.3keV（④+⑧）
- ・ 1479.7keV（④+⑨）
- ・ 1499.8keV（⑦+⑧）
- ・ 1622.3keV（④+⑩）
- ・ 1727.2keV（⑧+⑩）
- ・ 1803.7keV（④+⑪）

上記に示したサムピークが一部出現した γ 線スペクトルを図 B.4 に示す。

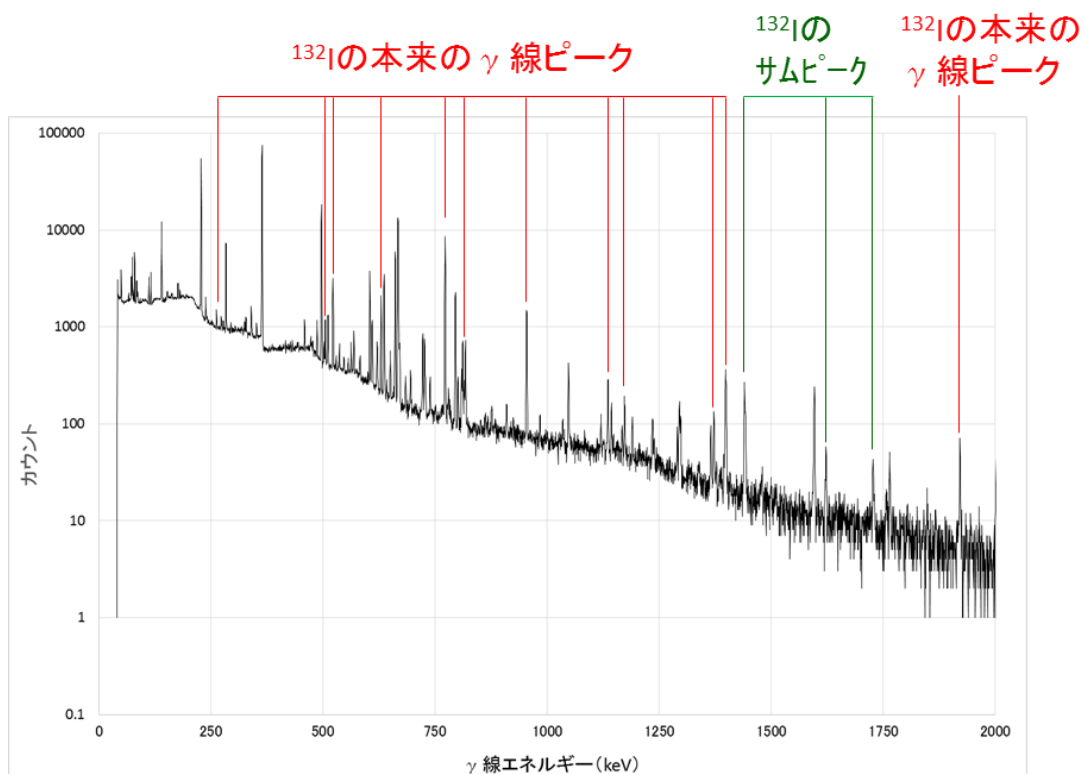


図 B.4 ^{132}I のサムピークが出現した γ 線スペクトル
(チェルノブイリ事故時に採取した大気浮遊じん)

図 B.3 に示した ^{132}I の β^- 壊変後のエネルギー遷移は、ほぼ全て 667.7keV（放出率 98.70%）のエネルギー遷移を経由する。このため、上記以外にもサムピークが出現することが考えられるので、667.7keV の γ 線と放出率が 3%以下の γ 線との組み合わせによるサムピークを考慮すべき場合もある。

解説 C 過渡平衡核種の減衰補正

過渡平衡を成す核種のうち、子孫核種に減衰補正を適用すると、過大評価や過小評価などの問題が生じることがあり、混乱を招くことがある。場合によっては、減衰補正を適用しない測定時における放射能濃度の再計算を余儀なくされることもある^{*1}。

ここでは、減衰補正適用に伴って問題となる事例を紹介する。また、過渡平衡を成す核種のうち、子孫核種のみが検出された事例も併せて紹介する。

解説 C.1 仮定に基づく机上の計算例

C.1.1 放出源情報の不足

原子炉施設等事故時において、放出源情報が必ずしも入手できるとは限らず、また、その放出も 1 回のみとは限らない。ここでは、その状況を仮定して、減衰補正を適用することにより、問題となる事例を紹介する。

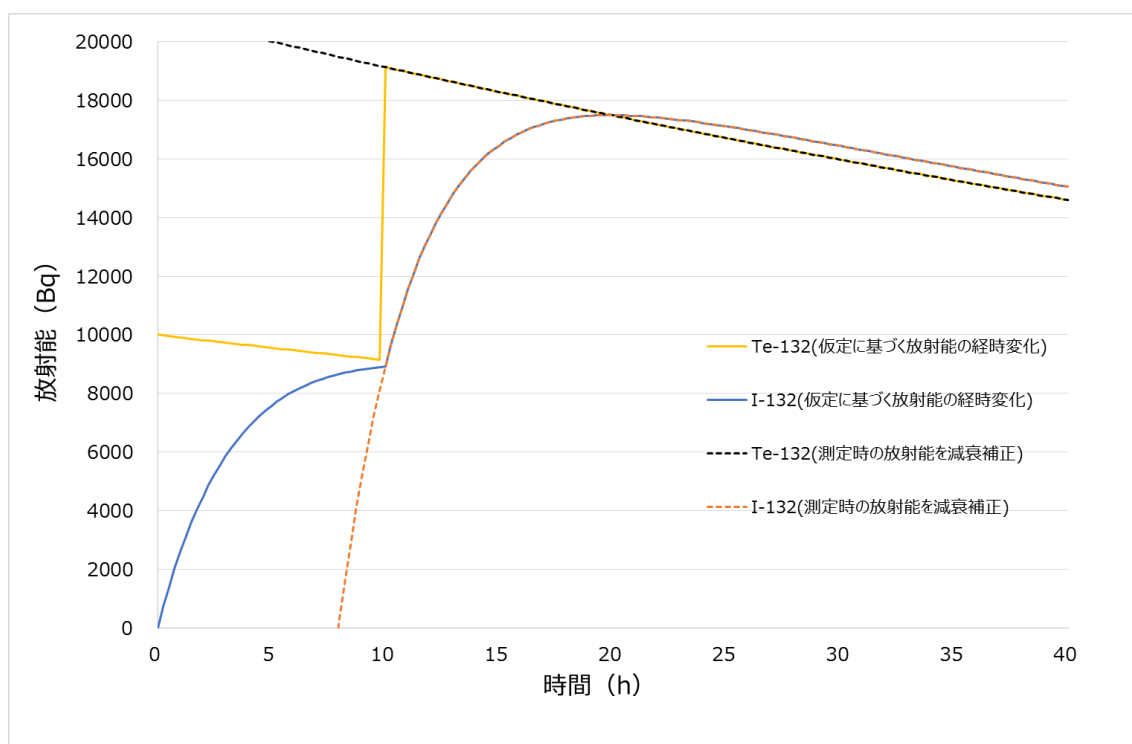
【仮定】 1 回目の放出後の 10 時間後に同量の放出があった場合

^{132}Te （半減期 3.20 日）が 10000Bq 放出（ $t=0$ 時間及び $t=10$ 時間）され、子孫核種の ^{132}I （半減期 2.30 時間）の放射能は放出時点でゼロとする。 ^{132}Te 及び ^{132}I の経時変化は、黄色と青色の実線で図 C.1 に示した。

40 時間後の放射能を基に過渡平衡核種の減衰補正を適用すると、事象と異なる結果となり得る。 ^{132}Te 及び ^{132}I の減衰補正結果は、黒と橙色の点線で図 C.1 に示した。

図 C.1 より、2 回の放出が起きた仮定に対して、測定時における放射能で減衰補正を適用すると時間 $t=0$ における初期状態に戻らないこととなる。

^{*1} 福島第一原発事故直後では、半減期が非常に短い人工放射性核種に減衰補正を適用した結果、膨大な数値となり、減衰補正を適用しない測定結果を再計算した事例があった。



注 1：測定中の減衰補正を考慮していない。

注 2：縦軸は線形（リニア）である。

注 3：横軸の時間（h）は放出からの経過時間を示す。

図 C.1 ^{132}Te と ^{132}I の放射能の経時変化と減衰補正の適用結果

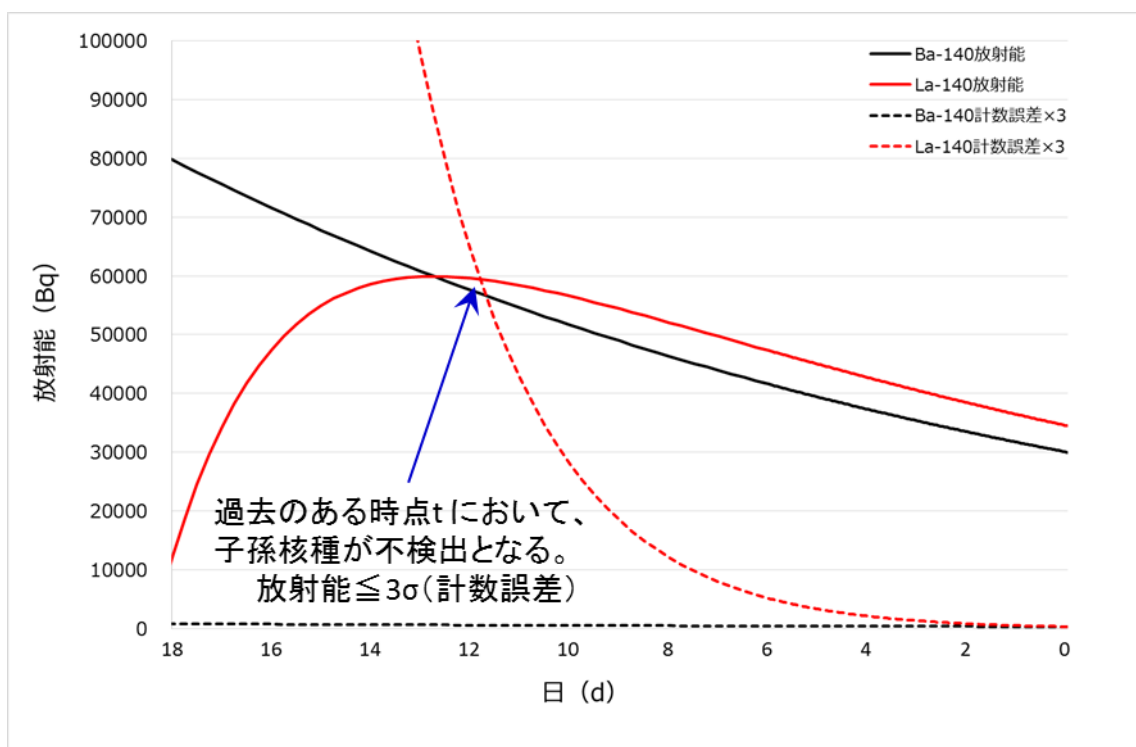
C.1.2 減衰補正適用による検出判定に係る問題

測定時において計数誤差の 3 倍以上の放射能である放射性核種が減衰補正を適用することにより、ある時点において計数誤差の 3 倍以下の放射能となることが起こり得る。

【仮定】

測定時に親核種である ^{140}Ba （半減期 12.75 日）の放射能が $30000 \pm 100\text{Bq}$ 、子孫核種である ^{140}La （半減期 1.68 日）の放射能が $34500 \pm 100\text{Bq}$ 、簡易的に計数誤差の 3 倍を超えると検出判定とする。図 C.2 に、測定時における ^{140}Ba 及び ^{140}La の放射能を基に減衰補正を適用した結果をそれぞれ黒色と赤色の実線で示し、 ^{140}Ba 及び ^{140}La の計数誤差の 3 倍値に減衰補正を適用した結果をそれぞれ黒色と赤色の点線で示した。

図 C.2 より、過去のある時点 t において、子孫核種の ^{140}La の放射能は計数誤差の 3 倍以下となり、不検出となることが起こり得る。



注 1：測定中の減衰補正を考慮していない。

注 2：縦軸は線形（リニア）である。

注 3：横軸の日（d）は測定時点から遡った日数を示す。

図 C.2 ^{140}Ba と ^{140}La の放射能の減衰補正の適用結果

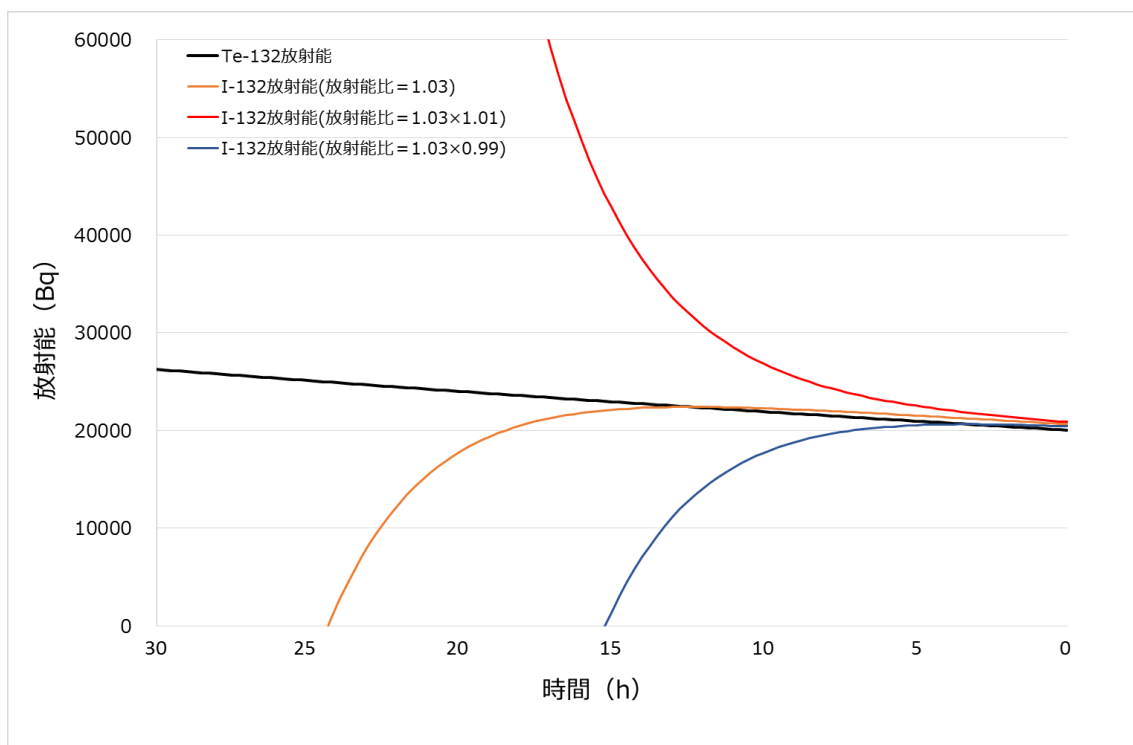
C.1.3 測定値のばらつきに伴う問題

過渡平衡状態に達した親核種と子孫核種の放射能比は一定となる。一方で、測定値は統計的な変動を含むものであり、必ずしも測定結果が適切な放射能比となるとは限らない。放射能比が適切な比からずれていると全く異なる結果を招くことがある。

【仮定】

^{132}Te と ^{132}I は過渡平衡状態に達するとその放射能比は約 1.03 となる。得られた測定結果がその比から $\pm 1\%$ ずれた状況を仮定し、減衰補正を適用した結果を図 C.3 に示した。適正な放射能比における ^{132}Te と ^{132}I の減衰補正適用結果をそれぞれ黒色と橙色で示し、放射能比が $+1\%$ ずれた減衰補正結果を赤色、放射能比が -1% ずれた減衰補正結果を青色で示した。なお、測定時間は 1800 秒とし、測定中の減衰補正を考慮した。

図 C.3 より、適切な放射能比から $+1\%$ ずれると減衰補正結果は過大評価となり、適切な放射能比から -1% ずれると放射能がゼロとなる時間が異なり、過小評価となる。



注 1：測定中の減衰補正を考慮している。

注 2：縦軸は線形（リニア）である。

注 3：横軸の時間（h）は測定時点から遡った時間を示す。

図 C.3 放射能比が異なる場合の ^{132}Te と ^{132}I の減衰補正適用結果

解説 C.2 実測データに基づく問題例

C.2.1 土壌試料

実際に測定した土壌試料について、採取日に減衰補正をすると、 ^{132}I の放射能濃度が過小評価となる事例を紹介する。

土壌試料の測定に関する情報を表 C.1 に、 γ 線スペクトルを図 C.4 に、検出された人工放射性核種を表 C.2 に、測定日と減衰補正を行った採取日における放射能濃度を表 C.3 に示す。

表 C.1 土壌試料の測定情報

試料採取日	2011 年 3 月 28 日
試料測定日	2011 年 3 月 30 日
測定時間	1800 秒
試料保管期間	180257 秒（約 50 時間）

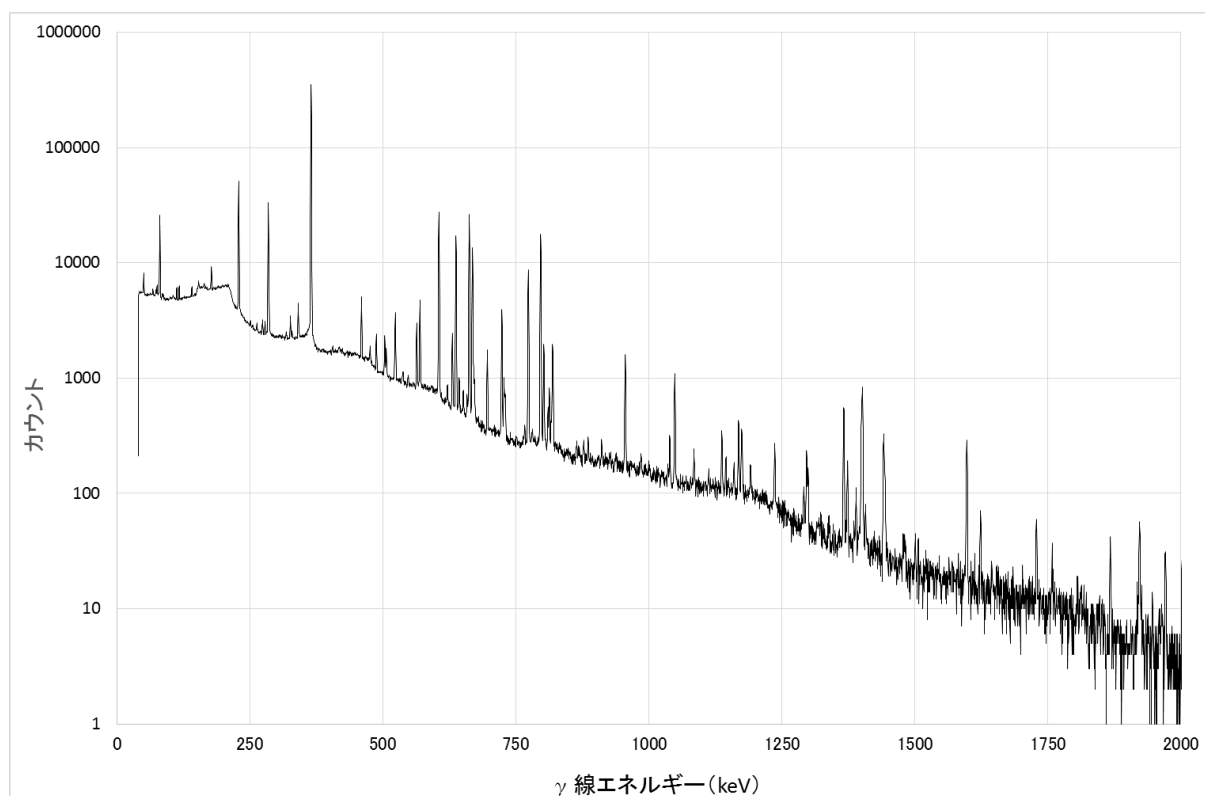


図 C.4 実際に測定した土壌試料の γ 線スペクトル

表 C.2 土壌試料から検出された人工放射性核種

^{95}Nb	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{129\text{m}}\text{Te}$	^{131}I
^{132}Te	^{132}I	^{134}Cs	^{136}Cs	^{137}Cs
^{140}Ba	^{140}La			

表 C.3 土壌試料の測定日と減衰補正を行った採取日における放射能濃度

核種	半減期	測定日の放射能濃度(Bq/kg)	採取日の放射能濃度(Bq/kg)	備考
^{95}Nb	34.99 日	$(2.0\pm0.58)\times10^3$	$(2.0\pm0.60)\times10^3$	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.01 時間	$(3.9\pm0.40)\times10^3$	$(1.3\pm0.13)\times10^6$	過渡平衡(子孫)
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.83 日	$(3.4\pm0.57)\times10^3$	$(3.4\pm0.57)\times10^3$	
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33.6 日	$(8.5\pm0.20)\times10^5$	$(8.8\pm0.21)\times10^5$	過渡平衡(親)
^{131}I	8.03 日	$(3.8\pm0.004)\times10^6$	$(4.5\pm0.005)\times10^6$	
^{132}Te	3.20 日	$(3.0\pm0.01)\times10^5$	$(4.6\pm0.02)\times10^5$	過渡平衡(親)
^{132}I	2.30 時間	$(2.3\pm0.01)\times10^5$	$(-3.0\pm0.06)\times10^{11}$	過渡平衡(子孫)
^{134}Cs	2.07 年	$(5.3\pm0.02)\times10^5$	$(5.3\pm0.02)\times10^5$	
^{136}Cs	13.16 日	$(3.7\pm0.08)\times10^4$	$(4.1\pm0.09)\times10^4$	
^{137}Cs	30.08 年	$(5.1\pm0.02)\times10^5$	$(5.1\pm0.02)\times10^5$	
^{140}Ba	12.75 日	$(1.8\pm0.24)\times10^4$	$(2.0\pm0.27)\times10^4$	過渡平衡(親)
^{140}La	1.68 日	$(1.4\pm0.05)\times10^4$	$(7.5\pm3.7)\times10^3$	過渡平衡(子孫)

注：例えば、「 $(3.9\pm0.40)\times10^3$ 」は、「 3900 ± 400 」であることを示す。

測定日に検出されていた ^{132}I (230000 ± 1000 Bq/kg) は、採取日に減衰補正を行うと不検出となり、過小に評価することとなる。また、市販ソフトウェアの解析では、過渡平衡を成す子孫核種（本事例では $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ）が検出、親核種（本事例では ^{99}Mo ）が不検出の場合、子孫核種自身の半減期で減衰補正するので注意する必要がある。さらに、本事例における ^{140}La は採取日においても検出されているが、放射能濃度が 3σ （計数誤差の 3 倍）以上になるとは限らないことにも注意しておく必要がある。

C.2.2 大気浮遊じん

実際に測定した大気浮遊じん試料について、採取日に減衰補正をすると、 ^{132}I の放射能濃度が過大評価となる事例を紹介する。

大気浮遊じん試料の測定に関する情報を表 C.4 に、 γ 線スペクトルを図 C.5 に、検出された人工放射性核種を表 C.5 に、測定日と減衰補正を行った採取日における放射能濃度を表 C.6 に示す。

表 C.4 大気浮遊じん試料の測定情報

試料採取日	2011 年 3 月 24 日
試料測定日	2011 年 3 月 24 日
測定時間	28800 秒
試料保管期間	35824 秒（約 10 時間）

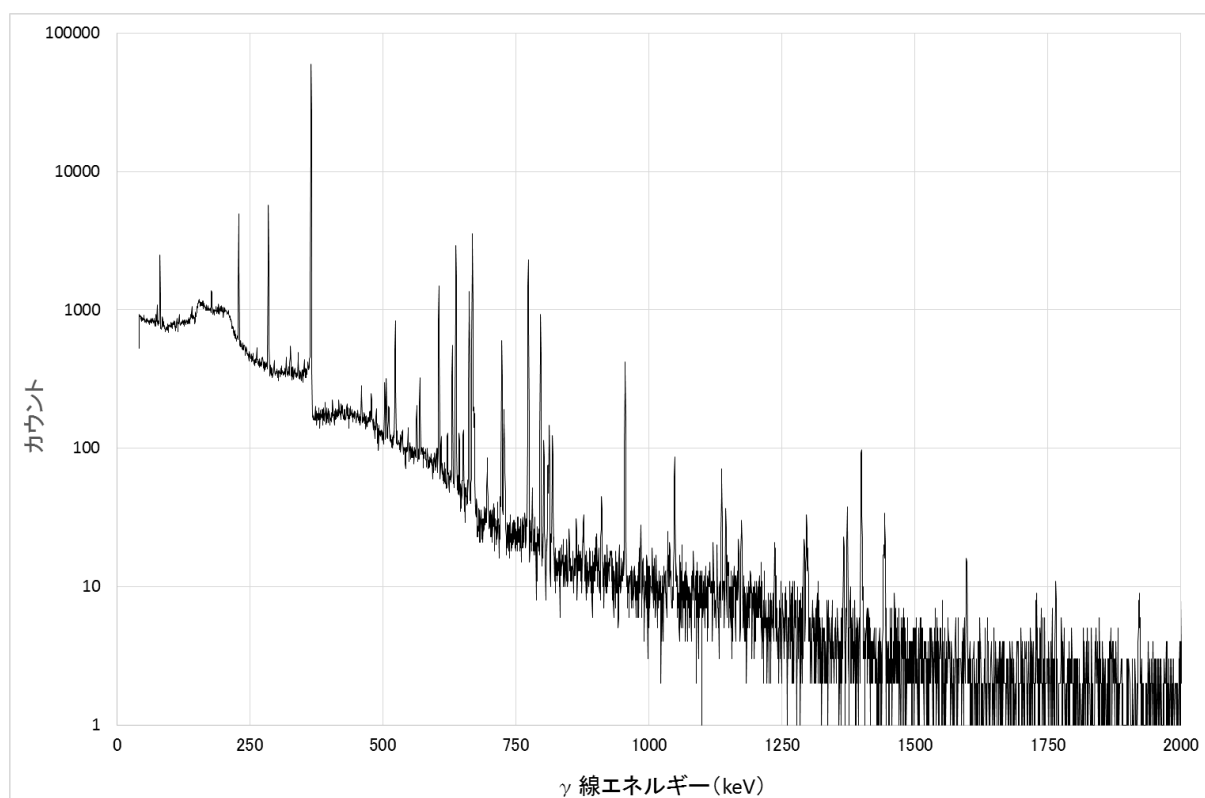


図 C.5 実際に測定した大気浮遊じん試料の γ 線スペクトル

表 C.5 大気浮遊じん試料から検出された人工放射性核種

$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{129\text{m}}\text{Te}$	^{131}I	^{132}Te	^{132}I
^{134}Cs	^{136}Cs	^{137}Cs	^{140}La	

表 C.6 大気浮遊じん試料の測定日と減衰補正を行った採取日における放射能濃度

核種	半減期	測定日の放射能濃度(mBq/m ³)	採取日の放射能濃度(mBq/m ³)	備考
^{99m} Tc	6.01 時間	0.64±0.19	3.1±0.91	過渡平衡(子孫)
^{129m} Te	33.6 日	25±4.0	26±4.0	過渡平衡(親)
¹³¹ I	8.03 日	460±1	490±1	
¹³² Te	3.20 日	21±0.3	24±0.3	過渡平衡(親)
¹³² I	2.30 時間	40±0.4	950±25	過渡平衡(子孫)
¹³⁴ Cs	2.07 年	16±0.3	16±0.3	
¹³⁶ Cs	13.16 日	1.6±0.16	1.7±0.16	
¹³⁷ Cs	30.08 年	17±0.3	17±0.3	
¹⁴⁰ La	1.68 日	0.43±0.11	0.55±0.14	過渡平衡(子孫)

過渡平衡を成す ¹³²Te 及び ¹³²I について、測定日における放射能比 (¹³²I/¹³²Te) は 1.9 程度であったが、採取日における放射能比は 39.6 程度とその比は大きくなる。仮に、さらに過去に遡って減衰補正を行うと、放射能比はさらに大きくなり、子孫核種の ¹³²I 放射能濃度は過大に評価されることになる。また、本事例においても、^{99m}Tc 及び ¹⁴⁰La は親核種の ⁹⁹Mo 及び ¹⁴⁰Ba が不検出であったため、子孫核種自身の半減期で減衰補正を行っている。

解説 C.3 過渡平衡核種の一部が検出される事例

放射エネルギーが大きい試料は、高エネルギー γ 線のコンプトン散乱により、ベースライン計数の増大を引き起こすことになる。そのため、低エネルギー側の γ 線ピークは検出されにくくなり、過渡平衡核種の一部が検出されることが起こり得る^{*2*3}。

実例として、過渡平衡を成す親核種の ^{140}Ba は不検出、子孫核種の ^{140}La が検出された事例を図 C.6 に示す。

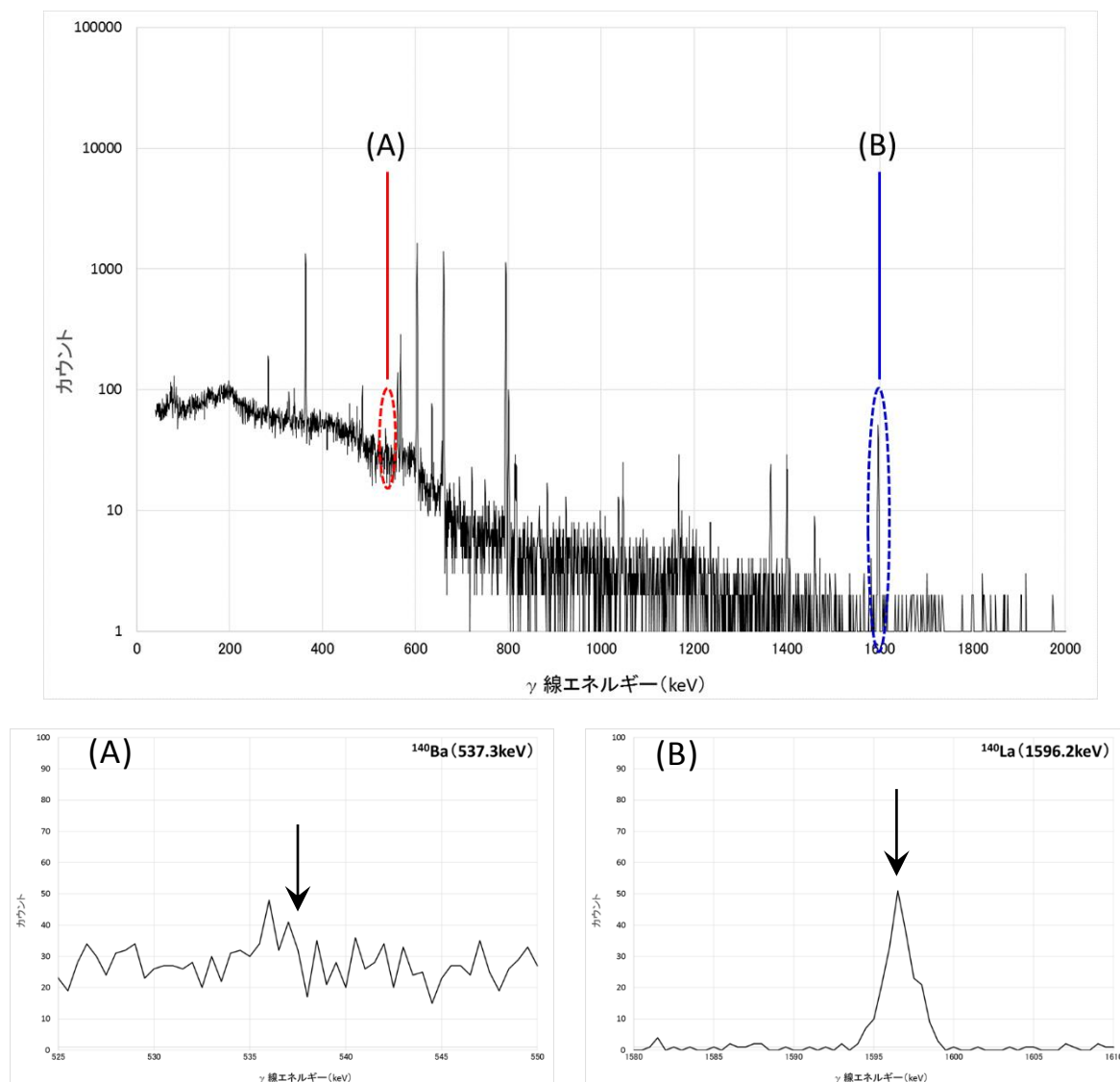


図 C.6 過渡平衡核種の一部が検出された事例
(福島第一原発事故時に採取した海産生物)

誤解を招かないためにも、過渡平衡を成す核種の一部が検出された場合には、報告値とともにその理由を明記しておくことが望ましい。

^{*2} 短半減期核種が減衰した後では、 γ 線スペクトル上のベースライン計数が減少することになり、これにより隠れていた γ 線ピークが確認できる場合がある。

^{*3} γ 線の放出率の違いによる理由も考えられる。

解説 D 緊急時用核データライブラリ

解説 D.1 緊急時用マスター核データライブラリ

緊急時用マスター核データライブラリに登録する放射性核種は、本解析法の初版（平成 16 年 2 月）に選定した核種を踏襲^{*1}して、以下に該当する放射性核種とする。

- ① 核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する核種
- ② 中性子等による反応で生成する核種
- ③ ウラン及びトリウムの壊変生成物並びにバックグラウンドとして存在する核種

上記①～③について、該当する放射性核種の一覧を表 D.1～D.3 に示した。

表 D.1 核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する核種

⁷⁷ Ge	⁷⁸ As	⁸⁴ Br	^{85m} Kr	⁸⁷ Kr
⁸⁸ Kr	⁸⁸ Rb	^{90m} Y	⁹¹ Sr	⁹¹ Y
^{91m} Y	⁹² Sr	⁹² Y	⁹³ Y	⁹⁵ Zr
⁹⁵ Nb	⁹⁷ Zr	⁹⁷ Nb	^{97m} Nb	⁹⁹ Mo
^{99m} Tc	¹⁰³ Ru	¹⁰⁵ Ru	¹⁰⁵ Rh	^{105m} Rh
¹⁰⁶ Rh	¹¹³ Ag	^{115m} In	¹¹⁷ Cd	^{117m} Cd
¹²⁵ Sn	¹²⁷ Sb	¹²⁸ Sb	¹²⁹ Sb	¹²⁹ Te
¹³⁰ Sb	¹³¹ Sb	^{131m} Te	¹³¹ I	¹³² Te
¹³² I	^{133m} Te	¹³³ I	^{133m} Xe	¹³⁴ Te
¹³⁴ I	¹³⁵ I	¹³⁵ Xe	^{135m} Xe	¹³⁷ Cs
¹³⁸ Cs	¹³⁹ Ba	¹⁴⁰ Ba	¹⁴⁰ La	¹⁴¹ La
¹⁴¹ Ce	¹⁴² La	¹⁴³ Ce	¹⁴⁴ Ce	¹⁴⁴ Pr
¹⁴⁵ Pr	¹⁴⁷ Nd	¹⁴⁹ Nd	¹⁴⁹ Pm	¹⁵¹ Pm
¹⁵³ Sm	¹⁵⁶ Eu	¹⁵⁷ Eu		

^{*1} 発電用軽水型原子炉施設における放出放射性物質の測定に関する指針」（原子力安全委員会 平成 13 年 3 月改訂）、「六ヶ所村再処理施設周辺の環境放射線モニタリング計画について」（原子力安全委員会 平成 15 年）及び放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」等を参考にして選定した。

表 D.2 中性子等による反応で生成する核種

^{22}Na	^{24}Na	^{41}Ar	^{46}Sc	^{51}Cr
^{54}Mn	^{56}Mn	^{56}Co	^{57}Co	^{58}Co
^{59}Fe	^{60}Co	^{63}Zn	^{65}Ni	^{65}Zn
^{75}Se	^{76}As	^{82}Br	^{88}Y	$^{108\text{m}}\text{Ag}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{113}Sn	$^{114\text{m}}\text{In}$	^{115}Cd	^{124}Sb
^{125}Sb	^{133}Ba	^{134}Cs	^{136}Cs	^{139}Ce
^{152}Eu	^{154}Eu	^{181}Hf	^{182}Ta	^{187}W
^{192}Ir	^{198}Au	^{203}Hg	^{237}U	^{239}Np
^{241}Am				

表 D.3 ウラン及びトリウムの壊変生成物並びに
バックグラウンドとして存在する核種

^7Be	^{40}K	^{74}Ga	^{74}As	^{75}Ge
$^{75\text{m}}\text{Ge}$	^{206}Tl	^{207}Bi	^{208}Tl	^{210}Pb
^{210}Po	^{211}Pb	^{211}Bi	^{212}Pb	^{212}Bi
^{214}Pb	^{214}Bi	^{219}Rn	^{223}Ra	^{224}Ra
^{226}Ra	^{227}Th	^{228}Ac	^{228}Th	^{231}Th
^{231}Pa	^{234}Th	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	^{235}U	

福島第一原発事故では、表 D.1～表 D.3 に記載のある放射性核種以外の人工放射性核種として、 ^{86}Rb 、 ^{122}Sb 、 ^{127}Te 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ 、 ^{130}I 、 $^{131\text{m}}\text{Xe}$ 、 ^{133}Xe 及び ^{203}Pb の検出が報告されている。また、 ^{85}Kr は放出率が 0.43% と小さく、 γ 線スペクトロメトリーでは検出が難しいと想定されるが、福島第一原発事故時に環境中に放出されている。また、再処理施設の事故の場合には、 ^{129}I のインベントリが大きく重要な核種となる。このため、上記 10 核種についても緊急時用マスター核データライブラリに登録する。

解説 D.2 解析用核データライブラリ

緊急時用マスター核データライブラリに登録されている全ての放射性核種が原子炉施設等の事故時に環境中に放出され、環境試料の γ 線スペクトル上で検出される訳ではない。原子炉施設等の事故の種類や、気象条件、距離、放出された放射性核種の特性（希ガス、揮発性、不揮発性）などを考慮する必要がある。放出された放射性核種が揮発性であるもしくは不揮発性であることを把握する上で参考となる一覧（文献 52）を表 D.4 に示す。なお、表 D.4 中の ^{89}Sr 、 ^{90}Sr 、Pu 同位体及び ^{242}Cm については、通常、 γ 線スペクトロメトリーによる定量は行わない。

表 D.4 チェルノブイリ事故を通して放出された主要放射性核種の
放射能の最新推定値^a

	半減期	放出された放射能 (PBq=10 ¹⁵ Bq)
希ガス		
⁸⁵ Kr	10.72 年	33
¹³³ Xe	5.25 日	6500
揮発性元素		
^{129m} Te	33.6 日	240
¹³² Te	3.26 日	～1150
¹³¹ I	8.04 日	～1760
¹³³ I	20.8 時間	910
¹³⁴ Cs	2.06 年	～47 ^b
¹³⁶ Cs	13.1 日	36
¹³⁷ Cs	30.0 年	～85
中間的揮発性を持つ元素		
⁸⁹ Sr	50.5 日	～115
⁹⁰ Sr	29.12 年	～10
¹⁰³ Ru	39.3 日	168 以上
¹⁰⁶ Ru	368 日	73 以上
¹⁴⁰ Ba	12.7 日	240
不揮発性元素（燃料粒子を含む） ^c		
⁹⁵ Zr	64.0 日	84
⁹⁹ Mo	2.75 日	72 以上
¹⁴¹ Ce	32.5 日	84
¹⁴⁴ Ce	284 日	～50
²³⁹ Np	2.35 日	400
²³⁸ Pu	87.74 年	0.015
²³⁹ Pu	24065 年	0.013
²⁴⁰ Pu	6537 年	0.018
²⁴¹ Pu	14.4 年	～2.6
²⁴² Pu	376000 年	0.00004
²⁴² Cm	18.1 年	～0.4

a 大部分のデータは参考文献[UNSCEAR(2000), Dreicer et al.(1996)]による

b 1986 年 4 月 26 日時点のセシウム 134/セシウム 137 比の値 0.55 に基づく
[MÜCK et al. (2002)]

c 燃料粒子の放出比率 1.5%に基づく [Kashparov et al. (2003)]

本解析法で使用する解析用核データライブラリは、国内外で発生した原子炉施設等事故（チェルノブイリ事故、JCO 事故、福島第一原発事故）において、論文等で検出、報告されている核種を整理した核データライブラリとする。

福島第一原発事故時及びチェルノブイリ事故時に検出された核種は、核分裂生成核種及び原子炉材の中性子放射化による二次生成核種であり、JCO 事故時では核分裂生成核種と環境中に中性子線が放出されたことから、環境試料と中性子線による二次生成核種が多く検出された。一方で、緊急時における γ 線スペクトル上には、自然放射性核種による γ 線ピークも観測されることも考慮する必要がある。このことから、解析用核データライブラリには、原子炉施設等事故時に検出された人工放射性核種の核データライブラリに、平常時で使用している核データライブラリを追加する。

平常時の汎用核データライブラリの例を表 D.5 に示す。原子炉施設等事故時に検出された人工放射性核種としては、福島第一原発事故時とチェルノブイリ事故時に検出された人工放射性核種及び JCO 事故時に検出された人工放射性核種の 2 つの表に分類した（第 5 章 表 5.1 参照）。これらを組み合わせて解析用核データライブラリとする（第 5 章 図 5.1 参照）。

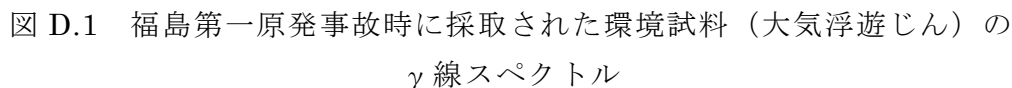
表 D.5 平常時の汎用核データライブラリの例

^7Be	^{40}K	^{51}Cr	^{54}Mn	^{58}Co	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn
^{95}Zr	^{95}Nb	^{103}Ru	^{106}Ru	^{125}Sb	^{131}I	^{134}Cs	^{137}Cs
^{140}Ba	^{140}La	^{144}Ce	^{208}Tl	^{214}Bi	^{228}Ac	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	

※その他の登録核種として、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{141}Ce , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{212}Pb , ^{212}Bi , ^{214}Pb , (^{226}Ra)などがあげられる。なお、 ^{226}Ra の γ 線（186.2keV）は ^{235}U の γ 線（185.7keV）と重なるので参考とする。

福島第一原発事故において、検出が報告されている人工放射性核種を表 D.6 に示した。また、環境試料（大気浮遊じん及び土壌）の γ 線スペクトルを図 D.1 及び図 D.2 に示した。

^{58}Co	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn	^{85}Kr	^{86}Rb	^{91}Sr	^{91}Y
^{95}Zr	^{95}Nb	^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{103}Ru	^{106}Ru	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{113}Sn
^{125}Sb	^{127}Te	^{129}Te	$^{129\text{m}}\text{Te}$	^{130}I	$^{131\text{m}}\text{Te}$	^{131}I	$^{131\text{m}}\text{Xe}$
^{132}Te	^{132}I	^{133}I	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	^{133}Xe	^{134}Cs	^{135}Xe	^{136}Cs
^{137}Cs	^{140}Ba	^{140}La	^{203}Pb	^{239}Np			



D.2.2 JCO 事故

JCO 事故において、検出が報告されている人工放射性核種を表 D.7 に示した。また、JCO 事故時に採取された環境試料（野菜類）の γ 線スペクトルの例を図 D.3 に示した。

表 D.7 JCO 事故において検出が報告されている人工放射性核種

^{24}Na	^{46}Sc	^{51}Cr	^{54}Mn	^{56}Mn	^{59}Fe	^{60}Co	^{65}Zn
^{82}Br	^{91}Sr	^{95}Zr	^{95}Nb	^{103}Ru	^{122}Sb	^{124}Sb	^{131}I
^{133}I	^{134}Cs	^{135}I	^{137}Cs	^{138}Cs	^{140}Ba	^{140}La	^{153}Sm
^{198}Au							

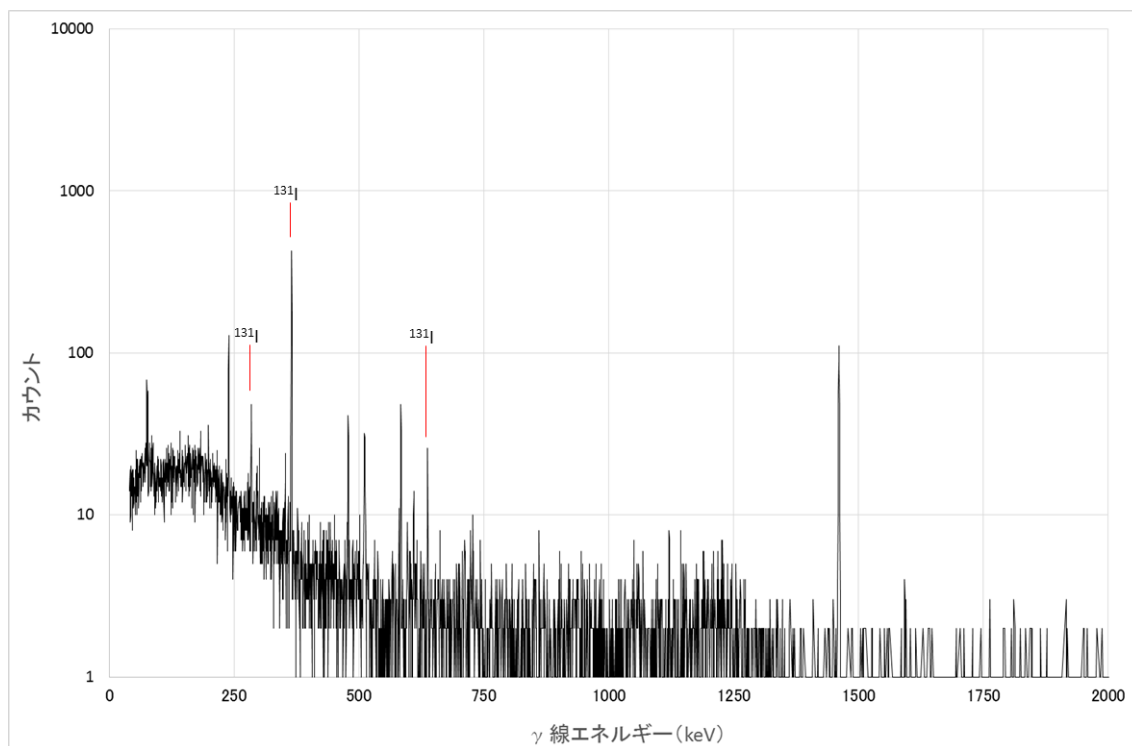
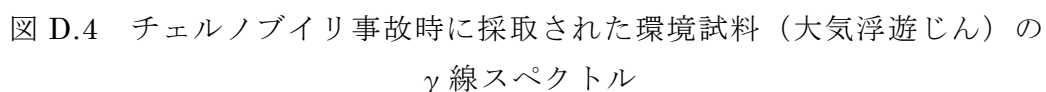


図 D.3 JCO 事故時に採取された環境試料（野菜類）の γ 線スペクトル

チェルノブイリ事故において、検出された人工放射性核種を表 D.8 に示した。また、チェルノブイリ事故時に採取された環境試料（大気浮遊じん）の γ 線スペクトルの例を図 D.4 に示した。

^{60}Co	^{95}Zr	^{95}Nb	^{99}Mo	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{103}Ru	^{106}Ru	$^{110\text{m}}\text{Ag}$
^{125}Sb	$^{129\text{m}}\text{Te}$	^{131}I	^{132}Te	^{134}Cs	^{136}Cs	^{137}Cs	^{140}Ba
^{140}La	^{141}Ce	^{144}Ce	^{147}Nd	^{152}Eu			



解説 E 高計数率測定における問題点

緊急時における高い放射エネルギーの試料の高計数率測定では、検出器へ入射する γ 線の数が増大となり、電子機器の信号処理は過負荷状態となる。結果として、デッドタイムの増加など、いくつかの問題が起こり得る。

高計数率測定における問題点として、以下に示す事象が起こり得る。

- ・デッドタイムの増加

結果として測定に時間を要する（ライブタイムが進まない）

- ・パルスパイルアップ

結果としてピーク分解能が悪くなる（高エネルギー側にテーリングする）

結果としてピーク計数率の低下を招く（過小評価となる）

- ・ランダムサム

結果としてピーク計数率の低下を招く（過小評価となる）

解説 E.1 デッドタイムの増加

デッドタイムが大きい測定では、信号処理が増大となり、測定終了までに時間を要することとなる。実際の測定例として、福島第一原発事故直後に採取した葉菜の γ 線スペクトルを図 E.1 に示す。また、比較のため、供試量を減らしてデッドタイムを減少させた同一試料の γ 線スペクトルも図 E.1 に併せて示す。

デッドタイムが大きい試料は、測定に要する時間が目的とする測定時間の数十倍から数百倍になることがある。

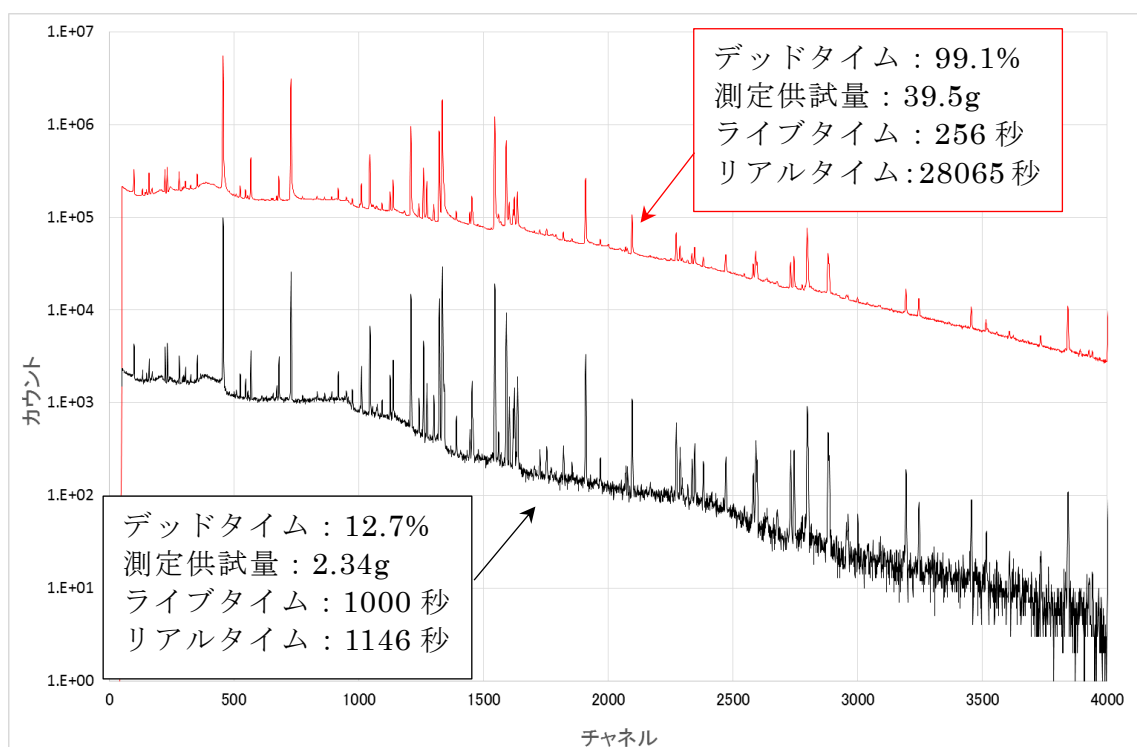


図 E.1 同一試料のデッドタイムが大きい γ 線スペクトル（赤）と供試量を減らしてデッドタイムを小さくした γ 線スペクトル（黒）の比較図
（データ提供：福島県環境創造センター 環境放射線センター）

解説 E.2 パルスパイルアップ

パルスパイルアップとは、ほぼ同時に入射した複数の γ 線が、加算された信号として出力されることをいう。パルスパイルアップにより、 γ 線の全エネルギー付与信号に他の信号が加算されることがあるため、 γ 線ピークの高エネルギー側にテーリングを生じ分解能が劣化したり、さらに高エネルギー側に計数を生じたりする。本来、 γ 線ピーク位置に出力されるべき信号が、より高エネルギー側に出力されることから、正味計数率の低下を生じ、結果として放射能濃度の過小評価を招くこととなる。なお、サムピークは、カスケード状に放出される γ 線のエネルギーに相当するパルスが加算された場合（サム・コインシデンス（サム）効果）や、異なる壊変事象に伴う γ 線のエネルギーに相当するパルスが加算された場合（ランダムサム）に γ 線スペクトル上に現れる。

参考として、デッドタイムが 5%以下と 10%以上におけるオシロスコープの波形観察画面を図 E.2 に、それぞれのデッドタイムにおける γ 線スペクトルを図 E.3 に示した。また、デッドタイムが大きい環境試料の測定時におけるテーリングした ^{134}Cs (604.7keV) の γ 線ピークを図 E.4 に示した。



図 E.2 オシロスコープによる波形観察画面
(左図：デッドタイム 5%以下、右図：デッドタイム 10%以上)

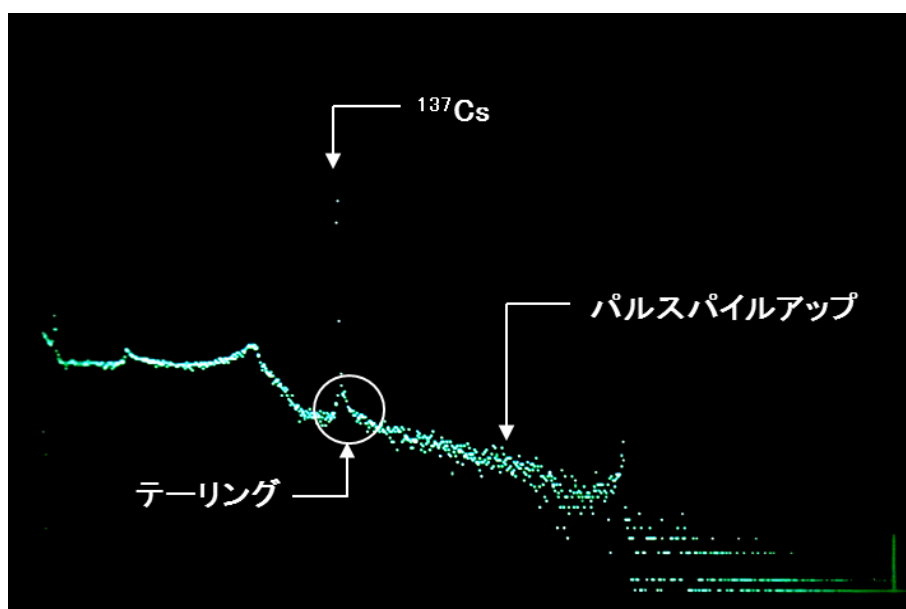
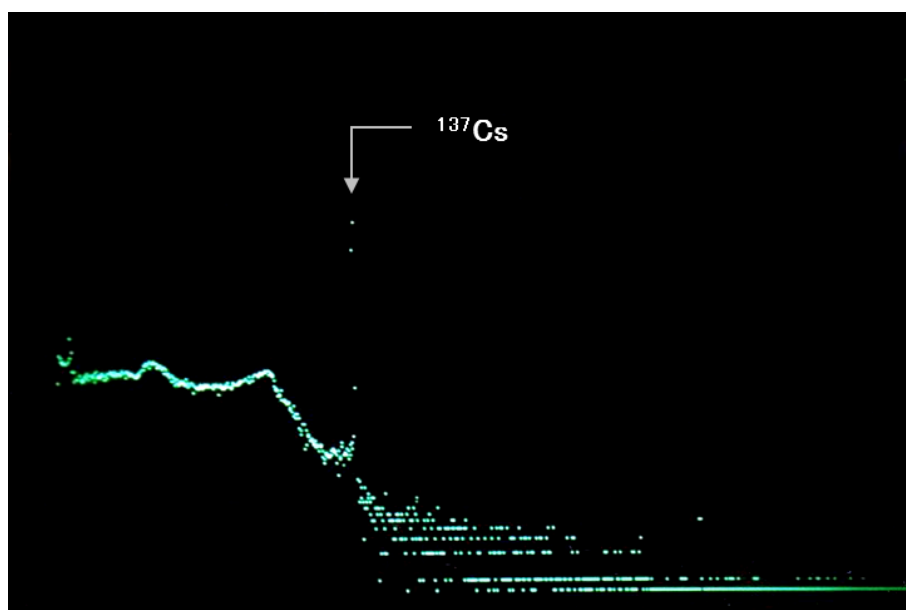


図 E.3 デッドタイムの異なる γ 線スペクトル
(上図：デッドタイム 5%以下、下図：デッドタイム 10%以上)

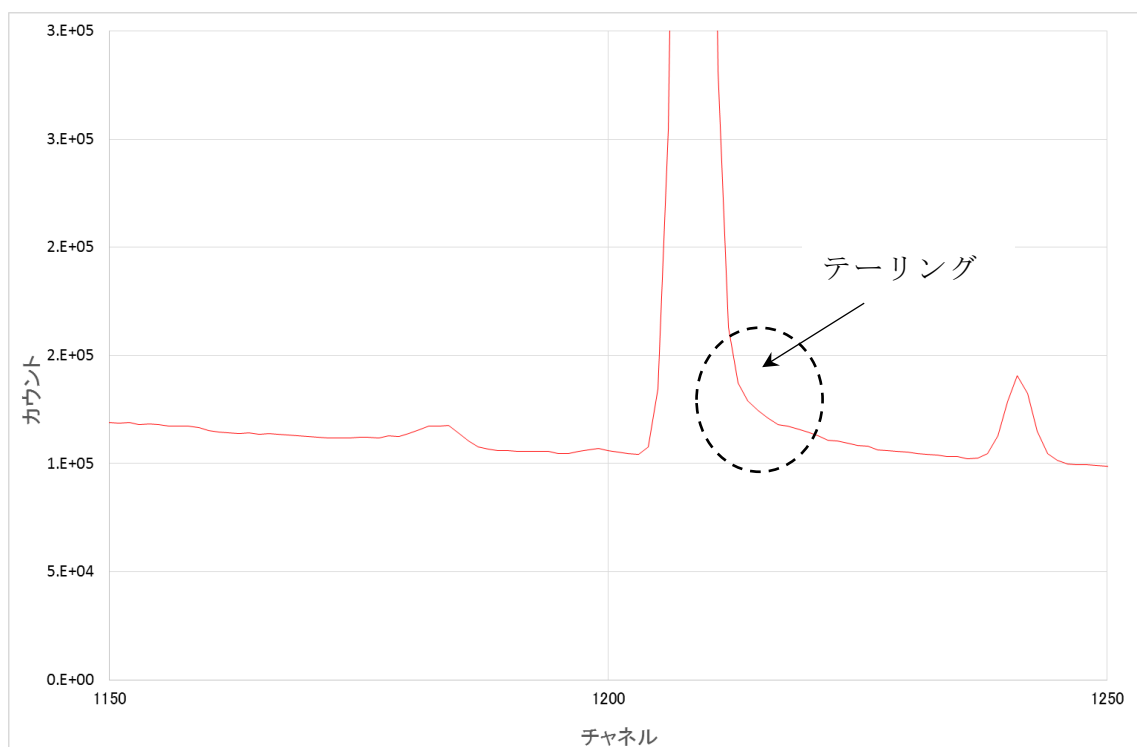


図 E.4 デッドタイムが大きい環境試料の ^{134}Cs γ 線ピーク (604.7keV)
(データ提供：福島県環境創造センター 環境放射線センター)

解説 E.3 ランダムサム

緊急時の γ 線スペクトルでは、カスケード γ 線によるサムピークだけでなく、異なる核種からの γ 線によるランダムサム (例: $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$) にも注意を払う必要がある。さらに、同じ核種の異なる壊変事象に伴うサムピーク (例: $^{137}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) もランダムサムとしてスペクトル上に出現することが考えられる。ランダムサムピークは、解析時に不明ピーク扱いとなるので、スペクトル上の大きなピークから核種を選定、組合せることにより同定をする必要がある。前述のパルスパイルアップと同様、本来、ピークの位置に出力されるべき信号が、他の γ 線による信号と加算されるので、ピーク計数率の減少を引き起こし、放射能濃度の過小評価となることがあることに注意が必要である。

解説 E.4 高計数率測定における対応

緊急時における環境試料の測定では、高計数率測定となることが想定され、解説 E.1～E.3 に示した問題が起こり得る。この解決策としては、供試量を減らすことにより、測定試料の放射エネルギーを減らすこと、もしくは測定試料を検出器から離れたジオメトリで測定することがあげられる。なお、後者の方法で対応する場合はそのジオメトリでピーク効率校正を事前に実施しておくことが必要となる。

解説 F 市販ソフトウェアを用いた γ 線スペクトル解析

解説 F.1 緊急時に扱う核データ数

緊急時用マスター核データライブラリに登録してある核種数及びピーク数は、平常時に使用する汎用核データライブラリに比べて数倍に増えている。そのため、 γ 線スペクトル解析ソフトウェアは緊急時用マスター核データライブラリにある全ての核種及び全ての γ 線ピークが登録されていること、及び解析用核データライブラリにある核種や γ 線ピークに対応している必要がある。

解説 F.2 スペクトル解析

スペクトル解析では、測定して得られた γ 線スペクトルについてピークサーチ、核種の同定及び放射能濃度の定量を行うが、緊急時には、解析対象核種についてその全主要ピークを対象に検出する機能の他に、第 1 ピークのみの検出も行える機能を有することが必要である。ここでは、放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に基づき、緊急時における γ 線スペクトル解析手法に必要な機能について概要を述べる。詳しくは、同マニュアルを参照のこと。

F.2.1 ピークサーチ

ピーク領域の設定等のため、0～4000 チャネルまでの γ 線スペクトル中のピークをピークサーチし、FWHM (Full Width at Half Maximum : ピークの半分の高さにおける幅) と、チャネルとエネルギーの関係式 (エネルギー校正式) を作成する機能が必要である。以下にその計算処理手順の概要を示すとともに、各計算処理の内容を示す。

(1) 計算処理手順の一例

- ① 過去の測定データ等から仮の FWHM を得て、ガウス型平滑化二次微分フィルタを作る (可能であればピークの FWHM、計数值、近接ピーク等に応じてフィルタの幅等を変化させる。低エネルギー及び高エネルギーのピーク、複合ピークに対応できるピークサーチが可能となる。)
- ② スペクトルデータに対して平滑化二次微分を実施し、その計数誤差と比較して、ピークの検出・不検出を判断しながらピークサーチする。
検出されたピークの中心チャネルを、平滑化二次微分されたスペクトルについて三点計数值法又は一次微係数ゼロクロス法で計算し、④の操作のためにピーク中心の初期値を得る。
- ③ 検出されたピークの中から、その近傍(FWHM の 3 倍以内)に他のピークがないピークを、FWHM 及びチャネルとエネルギーの関係式を作成するためにピックアップする。

バックグラウンド等、人工放射性核種で有意なピークが認められない場合は、

Pb-KαX 線(すぐ隣に別の X 線ピークはあるが利用できる)、²¹⁴Pb、²⁰⁸Tl、²¹⁴Bi、⁴⁰K 等の γ 線ピークが考えられる。

- ④ ピックアップされたピークを「1 次式+ガウス関数」で関数適合する。得られたピーク中心とピークの幅及び(面積とそれらの)誤差*1をリストアップする。

- ⑤ FWHM を

$$a + b \times \sqrt{\text{チャンネル}}$$

に関数適合させ、 χ^2 検定する。

ここで、

- a) 陽電子消滅放射線(511.0keV)及びシングルスケーブピークは上式に従わないのでチャンネル-エネルギーの関係式の作成にのみ使用する。
b) χ^2 を調べ、設定した信頼区間内に入っていなかったなら、下式の値が大きい順に、ピークを一つずつ除外して関数適合と χ^2 検定をやり直す。

$$\frac{|FWHM_i - FWHM(E_i)|}{\sqrt{\Delta_i^2 + \Delta(E_i)^2}}$$

FWHM_i : 各ピークの半値幅

FWHM(E_i) : 半値幅-エネルギーの関係式から求めた半値幅

Δ_i : 各ピークの半値幅の誤差

Δ(E_i) : 半値幅-エネルギー式の誤差

- ⑥ 丁寧に計算しようとするならば、⑤の結果が①で使用した FWHM と統計変動以上の違いがあった時は修正し、①へ戻り、フィルタの作成からやり直す。

(2) ピークサーチ用のガウス型平滑化二次微分フィルタの作成

- ① スペクトルの FWHM の 1~2 倍の幅“W”を持つガウス関数を、2 回微分し、数値フィルタを作る。

$$F(X) = \exp\left\{-\frac{2.773}{W^2}(X-P)^2\right\}$$

P : ピーク中心

X-P=j と置き換えた後、j について 2 回微分すると、求める数値フィルタは、以下のとおりとなる。

$$F''(j) = \left\{ \frac{5.546}{W^2} \left[1 - \frac{5.546j^2}{W^2} \right] \exp\left[-\frac{5.546j^2}{2 \cdot W^2}\right] \right\}$$

*1 真値がわからない環境試料の測定では「誤差」ではなく、「ばらつき」などと表記することもある。これまで、環境放射能の測定分野では、慣例的に「誤差」を使用していること、他の測定法シリーズ等と用語を整合させる必要があることから、「誤差」という用語を用いた。

- ② j を $-3 \times W$ から $3 \times W$ まで 1 ずつ変えながら、 $F''(j)$ を求め、ガウス型平滑化二次微分フィルタとする。 j の範囲はこの程度で十分であり、これ以上は、 $F''(j)$ が小さくなるので不要である。

(3) 平滑化二次微分とその計数誤差の計算

F.2.1(2)で求めたガウス型平滑化二次微分フィルタを用い、平滑化二次微分値とその計数誤差を求める。

平滑化二次微分値は次式で求まる。

$$N''(i) = \sum_{j=-k}^k F''(j) \cdot N(i+j)$$

$N(i+j)$: $(i+j)$ チャンネルの計数値

$F''(j)$: ガウス型平滑化二次微分フィルタ

k : $3 \times W$

また、 $N''(i)$ の計数誤差は次式で求まる。

$$\sigma''(i) = \sqrt{\sum_{j=-k}^k F''(j)^2 \cdot N(i+j)}$$

(4) ピークの判定

0~4000 チャンネルまでの全てのチャンネルの計数値について、平滑化二次微分とその誤差を計算し、一組にしてチャンネル順に並べる。同じチャンネルの平滑化二次微分とその誤差を比較し、二次微分値 $\times(-1)$ がその誤差の 2~3 倍より大きい所を探し、ピークとする。

- ① ピークであるとの判定基準については、あまり敏感過ぎるとピークでないものを拾うので、平滑化二次微分が変動係数の 2~3 倍以上となった部分をピークの候補とするのが妥当である。

$$N''(i) \leq -2.5 \times \sigma''(i)$$

- ② 小さなピークも出来るだけ見落とさないようピークサーチするためには、上式の「-2.5」を正にならない範囲で大きくすれば良いが、放射能によるものではなくて単に計数値の統計変動に起因するピークの数が増えて来る。ピークサーチされたピークが放射能の存在を表しているか否かは、そのピークの面積計算、核種同定を行って判断する。

(5) ピーク中心チャネルの計算

ピークサーチで検出されたピークの中心チャネルを求める。以下の 2 つの計算法は関数適合の初期値を求める際に用いる。

① 三点計数値法でピーク中心チャネルを求める。

ピークのうち、もっとも計数値の高いチャネルを h 、その計数を N_h 、 $h-1$ チャネル及び $h+1$ チャネルの計数値をそれぞれ N_{h-1} 、 N_{h+1} とする。

ピーク中心付近を放物線で近似すると、ピーク中心チャネル P とその誤差は以下のとおりである。

$$P = h + \frac{1}{2} \left(\frac{N_{h+1} - N_{h-1}}{2N_h - N_{h-1} - N_{h+1}} \right)$$

② 一次微係数ゼロクロス法でピーク中心チャネルを求める。

a) ピークのうち、最も計数値の高いチャネルと二番目のチャネルの間にピーク中心があるとする。

b) ピークをはさんで隣合うチャネルを m 、 $m+1$ とし、その計数値に対する一次微係数をそれぞれ ΔN_m 、 ΔN_{m+1} とする。

c) ΔN_m 、 ΔN_{m+1} は次式の i を m 、 $m+1$ とおいて求める。

$$\Delta N_i = \sum_{-k}^k k \cdot N_{i+k} \quad N_i : i \text{ チャネルのカウント数}$$

k はピークの広がりや対称性に応じて決め、1～1.5keV 相当で十分である。

$$k=2 : \Delta N_i = 2(N_{i+2} - N_{i-2}) + N_{i+1} - N_{i-1}$$

$$k=3 : \Delta N_i = 3(N_{i+3} - N_{i-3}) + 2(N_{i+2} - N_{i-2}) + N_{i+1} - N_{i-1}$$

となる。

d) ピーク中心チャネルは

$$P = m + \frac{\Delta N_m}{(\Delta N_m - \Delta N_{m+1})}$$

で求められる。

ただし、 $\Delta N_m > 0$ 、 $\Delta N_{m+1} \leq 0$ の条件が満たされない場合は、前、後に 1 チャネルずらして同じ計算を行う。

(6) ピークの FWHM 計算

ここでは、ピークサーチ、ピーク領域の決定などに使用するための FWHM を求める。

a) ピークを「ガウス関数＋一次式」で関数適合する。

「ガウス関数＋一次式」を次に示す。

$$F(i, C_k) = C_1 + C_2(i - P) + C_3 \cdot \exp\{C_4(1 - P)^2\}$$

C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 : 定数

P : ピーク中心チャネル

- b) ガウス関数へ疑似的に適合する（誤差は計算できない）。
- c) 計数値を比例配分して求める（ピーク中心は②で得た値を用いる）。

(7) フィルタ幅を変えてピークサーチする手法

前述のピークサーチ手法は一般的であるが、さらにフィルタ幅を変えてピークサーチする手法は、大きなピークの裾の小さなピークや、高エネルギー側の半値幅の広い

ピークを見落とすことなく探査できる。手法の一例を以下に示す。

- ① 適当な幅のフィルタを設定する。半値幅が 1.9～2.0keV(1332.5keV)の検出器であれば、W は 1～6 程度で良い。
- ② 最も大きいフィルタ幅で全チャネルを探査する。
- ③ 2 番目に大きいフィルタ幅で全チャネルを探査する。
- ④ 最も小さいフィルタ幅まで設定した数のフィルタで全チャネルを探査する。
- ⑤ 先の探査結果と比較してピーク中心の誤差の範囲で同じピークがあるか、新しいピークがあるか否かを判断してピークサーチ結果とする。実際には、異なるフィルタ幅で連続して 3 本以上のピークが見つかった場合にピークがあると判断すると良い。

F.2.2 チャンネルとエネルギーの関係式の作成

チャンネルとエネルギーの関係式は、試料やバックグラウンド等、解析の対象となるスペクトル自身のピークを用いて作成^{*2}することも可能である^{*3}。以下に計算手順の概要を示す。

- ① ピークサーチの結果（F.2.1（1）③）から、チャンネルとエネルギーの関係式を計算するためのピークを決める。
 - a) 前回の計算結果、核データ表等を参照し、ピックアップされたピークの核種を同定し、そのエネルギーを調べる。
 - b) 最小二乗法でチャンネルとエネルギーの関係式を求める。
 - c) χ^2 を調べ、設定した信頼区間内に入っていない場合、下式の値が大きい順にピークを一つずつ除外して関数適合と χ^2 検定をやり直す。

$$\frac{|P_i - P(E_i)|}{\sqrt{\Delta_i^2 + \Delta(E_i)^2}}$$

P_i : 各ピークのピーク中心

$P(E_i)$: チャンネルーエネルギーの関係式から求めたピーク中心

Δ_i : 各ピークのピーク中心の誤差

$\Delta(E_i)$: チャンネルーエネルギーの関係式の誤差

- ② チャンネルーエネルギーの関係式とその誤差を計算する。
 - a) 適度な間隔で、はっきりしたピークを 3 本以上決める。
 - b) 使用するピークが 3 本なら 2 次式を使う。
 - c) ピークの数が多くても 4 次以上の式を用いない。
 - d) 2 つの放物線を頂点で接続して用いても良い。

F.2.3 ピーク解析

ピークに対して関数適合を用いて計算するので、誤差を正しく取り扱わなければならない。FWHM の計算の時と異なり、面積計算のための関数適合を行う場合は正確を期するため、適合関数は単純なガウス関数と一次式の組合せでない方が望ましい。

(1) 関数適合法

適合領域はピーク中心の左右に各々 FWHM の 8 倍程度とする。ピークの形は検出器によって微妙に異なるので、ピーク関数を一つに決めることは困難であり、各々の検出器に合わせてピーク関数を作る事が望ましい。以下に計数誤差の小さいスペクトルに適用できる関数の一例を掲載する。

^{*2} 多核種標準容積線源等を用いた作成方法については、第 3 章を参照のこと。

^{*3} 測定したスペクトル自身で再校正をすることはできるが、室内環境の変化による測定機器への影響（ゲインの変化）がないようにする。緊急時における測定では、誤認等が起きないように、チャンネルとエネルギーの関係式が適切であることを確認する。

左右で FWHM (W_l , W_r) の異なる正規分布曲線を頂点で接続する。

X_0 をピーク中心と置き、低エネルギー側の階段状の形 A を

$$\frac{a}{1 + e^{\{(x-x_0)/(1.5 \cdot W_l)\}}}$$

で表現する。

また、低エネルギー側の裾を引いた形 B を

$$\frac{b}{1 + c(x - x_0)^2} \times \frac{1}{1 + e^{\{(x-x_0)/(1.5 \cdot W_l)\}}}$$

で表わす。

以上を合わせると以下の式になる。

$$P(x) = h \times e^{\{-2.7726 \cdot (x-x_0)^2 / (W_l \text{ or } W_r)^2\}} + \frac{1}{1 + e^{\{(x-x_0)/(1.5 \cdot W_l)\}}} \times \left\{ a + \frac{b}{1 + c(x - x_0)^2} \right\} + g$$

h : ピークの高さ

a : 段差の高さ

W_l : ピークの左側に適用する幅

b : テーリングの高さ

W_r : ピークの右側に適用する幅

c : テーリングの広がり

g : ベースラインの高さ

適合パラメータは、 h 、 a 、 b 、 c 、 W_l 、 W_r 、 g 及びピーク中心 x_0 である。

1) 適合パラメータの設定

- 核種を想定しない場合、ピーク中心は平滑化二次微分されたスペクトルに三点計数値法又は一次微係数ゼロクロス法等を適用して計算する。
- 核種を想定する場合、ピーク中心はチャネルーエネルギーの関係式に当てはめて計算し、計数が高いとき以外は適合パラメータにしない。
- ピークの高さとベースラインのみを適合パラメータとし、関数適合によって求める。関数適合の際は、段差や非対称、テーリング、FWHM 等のパラメータはエネルギー依存性を測定してあらかじめ関数化しておき、固定パラメータとする方が良い。
- 適合計算の後、適合パラメータなどの誤差を計算する。
- 適合度をチェックするため、 χ^2 を計算すると良い。

2) 複合したピークについて

- 重なっていても、ピークとピークの間に凹みがあれば適合計算できる。
- 凹みが見えない程重なっている場合でも、ズレが見えるようであれば、少なくともピーク中心の距離を固定して置けば（核種を仮定することになる）計算できる。できれば核種の同定の結果を用いて再計算する。
- 事実上全く重なっている場合、同じ核種の別ピークのデータを利用して計算する。寄与係数法もその一つである。

適合関数 Y はチャネル番号を X と置くと

$$Y = C_1 + C_2 X + C_3 \exp\{C_4(X - C_5)^2\} + C_6 \exp\{C_7(X - C_8)^2\}$$

である。

- $C_1 + C_2 X$ はベースラインの一次式である。
 - $C_3 \exp\{C_4(X - C_5)^2\}$ は高さ C_3 、中心 C_5 、半値幅が $(4\ln 2/C_4)$ のピーク関数（ガウス関数）である。
 - $C_6 \exp\{C_7(X - C_8)^2\}$ は高さ C_6 、中心 C_8 、半値幅が $(4\ln 2/C_7)$ のピーク関数（ガウス関数）である。
- ln は自然対数

(2) 関数適合結果を用いた FWHM 等の計算

FWHM を求めるためには、ピーク関数の値がピーク値の半分になるチャネルを計算する。すなわち、関数値が与えられた時、それを実現する変数を求める「逆関数プログラム」が必要になる。

ピーク関数を $Y = P(X)$ とおくとその逆関数は $X = P^{-1}(Y)$ であり、Y がピークの高さの 1/2 になるピークの両側 2 つの X の値 $P_H^{-1}(Y_{1/2})$ 、 $P_L^{-1}(Y_{1/2})$ を X_l 、 X_r とすれば

$$FWHM = X_r - X_l$$

である。

また、最小二乗法を用いて X_r 、 X_l 各々の誤差を計算する。

$$\sigma_x^2 = \sum_{i,j} \frac{\delta P^{-1}}{\delta C_i} \cdot \sigma(C_i, C_j) \cdot \frac{\delta P^{-1}}{\delta C_j}$$

$C_{i,j}$: ピーク関数の適合パラメータ

$\sigma(C_i, C_j)$: 最小二乗法で得られた $C_{i,j}$ の計算結果の標準偏差

$$\frac{\delta P^{-1}}{\delta C_i} = \frac{1}{\delta P(X_{l,r}) / \delta C_i}$$

を代入して計算する。

FWHM はピーク関数の逆関数で表現されるため、誤差を計算する際に「逆関数の偏微分」が必要になる。これは「逆関数の偏微分は偏微分の逆数に等しい。」ことを用いて計算する。

$$\begin{aligned} \frac{\delta P^{-1}}{\delta C_i} &= \left. \frac{\delta P^{-1}(X)}{\delta W_{l,r}} \right|_{X=X_{l,r}} = \frac{1}{\left. \frac{\delta P(X)}{\delta W_{l,r}} \right|_{X=X_{l,r}}} \\ &= 0.5 \times \frac{P(W_{l,r} + \delta, X_{l,r}) - P(W_{l,r} - \delta, X_{l,r})}{\delta^*} \end{aligned}$$

*0.1 チャネル程度を代入して計算する。

X_l 、 X_r 各々の誤差の二乗和の平方根を計算して FWHM の誤差とする。

(3) ピークの非対称

一般的にピークは中心の左右で幅が異なり、最大カウント数の 10 分の 1 の高さにおける $1/10$ 幅(FWTM: Full Width at Tenth Maximum)の値で表現される。

$$\text{ピークの非対象} = \{\text{FWTM (左)} - \text{FWTM (右)}\} / \text{FWTM (右)}$$

F.2.4 ピーク面積の計算

試料を測定して得られたスペクトルのピークサーチ後、核種を同定し、ピークの面積から放射能を計算する。緊急時のスペクトルでは、デッドタイムが 5% 以下で測定している場合にはピーク形状への影響はないが、それ以上での測定においては、ピークシフト、テーリング等によりピーク形状等が悪化するとともに、妨害ピークの影響もあり、その解析は容易ではない場合が多い。

ピーク解析を実行する際には次の 2 つの方法がある。

- (1) ピークサーチの結果検出されたピークについて同定し、ピーク面積を計算し、放射能を定量する。
- (2) ピークが検出されたか否かに係わらず、着目する核種のピーク位置において面積を計算し、放射能を定量する。

前者の方法では関心のある核種について、データが得られないことがあり、後者では予想外の核種について対応できない。放射性ヨウ素及び放射性セシウムを含む任意の重要核種及びピークが 1 本あるいは、2 本目以降のピークが極端に小さい核種について、後者で対応できるようにし、その他の核種については、前者で対応することとなる。

解析には電子計算機を使用するが、関数式、使用するパラメータ、ピーク領域、核データ等が妥当であるか否か、解析過程のグラフや表を出力して確認できるようにプログラムするのが良い。

ピーク面積はコベル法及び関数適合によって計算できる機能を有する必要がある、関数適合ではガウス関数で表現されている部分をピーク面積とする。テーリングの部分と段差はピーク面積に含めない。コベル法と、関数適合で多少差が生じることがあるが、実用上差し支えはない。

ピークの非対称、テーリング、段差等がエネルギーによってどう変わるかあらかじめ調べておき、それらをピーク関数に反映させて用いると良い。

テーリングに乗った小さなピークや複合ピークなど条件が悪い場合を除き、単純なピークに限れば、面積計算に 1 次式 + 単純ガウス関数を使用できる。

F.2.5 バックグラウンドの補正

試料に起因しない計数を放射能の計算に含めないため、バックグラウンドすなわち試料のない状態での測定を行い、その計数を差し引く。バックグラウンドの測定時間は、試料の同程度から 2 倍程度を目安とし、特に、放射能濃度の高い試料を測った後は、短時間でも良いので、バックグラウンドの測定を行い、汚染のチェックをした方が良い。

検出器あるいは、遮へい体内部が汚染し、除染しきれない場合は、バックグラウンドを測定し、常に補正を行う必要がある。バックグラウンドを補正する場合の計算方法を次に示す。

$$N \pm \sigma_N = \left(\frac{S}{T_S} - \frac{B}{T_B} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_S}{T_S} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{T_B} \right)^2}$$

N：正味ピーク計数率

σ_N ：正味ピーク計数率の計数誤差

S：試料ピーク面積

σ_S ：試料ピーク面積の計数誤差

B：バックグラウンドピーク面積

σ_B ：バックグラウンドピーク面積の計数誤差

T_S ：試料測定時間

T_B ：バックグラウンド測定時間

補正に使用するバックグラウンドは、試料に先立った測定、試料の後の測定、何回かの測定の平均等が考えられる。

F.2.6 放射能濃度の計算

(1) 減衰補正法

放射性核種の放射能は時間とともに減衰する。測定して得られるデータは測定時の放射能であり、知りたい時点での値は計算によって求める必要がある。

放射能の時間当りの減少 $-dN/dt$ と壊変定数 λ 及びその時点での原子数 N との関係は、 $-dN/dt = \lambda N$ である。この式を積分することにより減衰補正の一般式を得ることができる。放射性核種の中には、壊変しても安定元素に変わらず再び壊変することがあり、逐次壊変核種と呼ばれる。この場合、子孫核種の減衰補正の一般式は親核種からの流れ込みを考慮する必要があり、測定中の減衰補正も含めて考慮すると、非常に複雑なものとなる。

逐次壊変核種を含めた減衰補正については、本解析法の第 4 章に記載しているので、そちらを参照のこと。

(2) 放射能濃度の計算

放射能濃度は次の式にしたがって計算する。

$$A = \frac{n_s - n_b}{(\varepsilon \cdot a) \cdot W} \times f_{SA} \times f_{SUM} \times f_D$$

A : 放射能濃度 (Bq/kg など)

n_s : 測定試料の正味計数率 (cps)

n_b : バックグラウンド計数率 (cps)

ε : γ 線ピーク効率

a : γ 線放出比 (= γ 線放出率/100)

W : 供試量 (kg など)

f_{SA} : 自己吸収補正係数

f_{SUM} : サム効果補正係数

f_D : 減衰補正係数

バックグラウンドスペクトル中のピーク面積が 2σ 以下であれば、差引きを行わなくて良い。

(3) 同一核種の複数ピークの取扱い

複数の γ 線を放出する核種では、それぞれの γ 線ピークに着目することにより、核種の同定がより正確になる。

緊急時には、 ^{134}Cs や ^{132}I など多数のピークを生ずる核種が幾つか検出される。

(4) 取扱い手順

何らかのピークが検出された時、可能であるならば以下のように処理するのが望ましい。

- ① そのピークに対し、候補となる核種を拾い出す。
- ② 候補となった核種の「主要」なピークを核データ表で調べ、妨害ピークが検出されている等で信頼できない領域と、サムピーク、エスケープピークのデータを除外する (同定には利用する)。
- ③ 除外されなかった全てのピーク領域について放射能を計算する。あまり多数のピークのデータを使っても効果がないと思われるならば次のようにする。全てのピーク毎に放射能を計算し、計数誤差の小さい順に並べ、大きな差があるところを選んで足切りを行い、選別する。
- ④ それらの値が計数誤差の範囲で一致しているかどうか調べ、想定した核種が妥当であるか否か調べる。想定した核種が間違っていたら別の核種を想定して②へ戻る。

⑤ 計数誤差の重みをつけた加重平均をする。

加重平均の計算について

- a. 異なった測定機器（互いにバイアスがあるかも知れない）を用いた。
- b. 分割した試料である。
- c. ピークのエネルギーがかけ離れており、効率曲線に問題が考えられる。
等、互いに異なった要因が重なっているデータであるのに、計数誤差だけ表示してある場合、加重平均の計算は適用できない。同ースペクトル中の同一核種のピークであれば、計数誤差のみと考えても妥当と考えられる。

加重平均すれば必ず計数誤差は小さくなり、例えば 3σ (σ : 計数誤差) 以下のピークを複数用いて計算すると 3σ 以上になることもある。

(5) 加重平均の計算

複数の放射能値 $A_i \pm \sigma_i$ が得られた時は下の式を用いて加重平均 ($A_t \pm \sigma_t$) を求める。

$$A_t = \frac{\sum_i \frac{A_i}{\sigma_i^2}}{\sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}}, \quad \frac{1}{\sigma_t^2} = \sum_i \frac{1}{\sigma_i^2}$$

F.2.7 単一エネルギーの γ 線のみ放出する核種及び

主ピークと副ピークで放出率に大きな差がある核種について

緊急時においては、スペクトル上に多くの γ 線ピークが認められることが予想され、単一エネルギーの γ 線のみ放出する核種及び主ピークと副ピークで放出率に大きな差がある核種で主ピークしか認められない場合については、ピーク情報が少なくなり、核種の同定ができなくなる場合が考えられる。そこで、解析ソフトウェアには、解析時に次の手順が選択できるようにする。

- (1) 表 F.1 及び表 F.2 に示した核種について、解析結果の該当するエネルギー領域ピークが認められた場合には、そのピークに注意を喚起する指標（目印等）を付けられるようにする。
- (2) スペクトルデータを解析する際、解析用核データライブラリには僅かな放出率であってもデータに登録して解析が行えるようにしておき、表 F.1 及び表 F.2 を参考に、ピーク検出の設定について、全主要ピークを対象に検出するとともに、第 1 ピークのみの検出を行い、その両方で解析を行い、結果の検討ができるようにしておく。

表 F.1 単一エネルギーの γ 線のみ放出する核種

核種名	半減期	半減期単位	エネルギー (keV)	放出率 (%)
^7Be	53.22	日	477.6	10.44
^{22}Na	2.60	年	1274.5	99.94
^{24}Na	15.00	時間	1368.6	99.99
^{40}K	1.25E+09	年	1460.8	10.66
^{51}Cr	27.70	日	320.1	9.91
^{54}Mn	312.20	日	834.8	99.98
^{65}Zn	243.93	日	1115.5	50.04
^{91}Y	58.51	日	1204.8	0.26
$^{91\text{m}}\text{Y}$	49.71	分	555.6	95.0
$^{97\text{m}}\text{Nb}$	58.7	秒	743.4	97.90
$^{105\text{m}}\text{Rh}$	40	秒	129.6	20.00
$^{133\text{m}}\text{Xe}$	2.20	日	233.2	10.12
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	15.29	分	526.6	80.6
^{137}Cs	30.08	年	661.7	85.10
^{139}Ce	137.64	日	165.9	79.90
^{141}Ce	32.51	日	145.4	48.4
^{203}Hg	46.59	日	279.2	81.56
^{206}Tl	4.20	分	803.1	0.0050
^{210}Pb	22.20	年	46.5	4.25
^{210}Po	138.38	日	803.1	0.0010
^{211}Bi	2.14	分	351.1	13.02
^{224}Ra	3.66	日	241.0	4.10
^{226}Ra	1600	年	186.2	3.64

注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

注 2：半減期は小数点以下 2 桁、 γ 線エネルギーは小数点以下 1 桁、放出率は小数点以下 2 桁で示した。なお、小数点以下 2 桁目もしくは 1 桁目がない場合は、それぞれ小数点以下 1 桁もしくは整数で示した (^{206}Tl 及び ^{210}Po の放出率を除く)。

注 3： ^{206}Tl 及び ^{210}Po の放出率は非常に小さく、小数点以下 4 桁で示した。

表F.2 主ピークと副ピークで放出率に差がある核種

核種名	半減期	半減期単位	エネルギー (keV)	放出率(%)
^{41}Ar	109.61	分	1293.6	99.16
			1677.0	0.05
^{58}Co	70.86	日	810.8	99.45
			864.0	0.69
^{75}Ge	82.78	分	264.6	11.4
			198.6	1.19
$^{75\text{m}}\text{Ge}$	47.7	秒	139.7	39.5
			136.0	0.02
^{92}Sr	2.61	時間	1383.9	90
			953.3	3.52
^{95}Nb	34.99	日	765.8	99.81
			204.1	0.03
^{97}Zr	16.75	時間	743.4	93.09
			507.6	5.03
^{97}Nb	72.1	分	657.9	98.23
			1024.4	1.09
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.01	時間	140.5	89
			142.6	0.02
^{103}Ru	39.25	日	497.1	91.0
			610.3	5.76
$^{115\text{m}}\text{In}$	4.49	時間	336.2	45.8
			497.4	0.05
^{131}I	8.03	日	364.5	81.5
			637.0	7.16
^{133}I	20.83	時間	529.9	87.0
			875.3	4.51
^{135}Xe	9.14	時間	249.8	90
			608.2	2.90
^{141}La	3.92	時間	1354.5	1.64
			1693.3	0.07
^{144}Ce	284.91	日	133.5	11.09
			80.1	1.36
^{149}Pm	53.08	時間	286.0	3.10
			859.5	0.11

表F.2 主ピークと副ピークで放出率に差がある核種（続き）

核種名	半減期	半減期単位	エネルギー(keV)	放出率(%)
^{198}Au	2.69	日	411.8	95.62
			675.9	0.81
^{212}Pb	10.64	時間	238.6	43.6
			300.1	3.30
^{241}Am	432.6	年	59.5	35.9
			26.3	2.27

注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

注 2：半減期は小数点以下 2 桁、 γ 線エネルギーは小数点以下 1 桁、放出率は小数点以下 2 桁で示した。なお、小数点以下 2 桁目がない場合は、小数点以下 1 桁で示した。

解説F.3 測定データの解析操作

- (1) 計算機に保存したスペクトルデータをγ線スペクトル解析ソフトウェアで解析する。
 - ① 測定条件の入力
試料名、試料高さ、供試量、測定容器の種類、使用する効率、エネルギー校正式等の測定条件を入力し、計算を開始する。
 - ② スペクトル解析
使用している解析ソフトウェアの解析手順に従い、スペクトル解析を行う。解析後、ピークサーチ結果、ピーク定量結果、スペクトルグラフを出力する。
- (2) 出力された解析結果について、測定番号、試料名、供試量及び試料容器等の入力事項が正しく入力されていることを確認する。
- (3) 出力されたピークサーチ結果についてスペクトルグラフのピークと照合する。
ここで、スペクトル上ではピークが認められないにもかかわらず、統計的変動でピーク検出と判断された例を除き、正しく解析が行われていることを確認する。同定された核種については誤同定されていないか、不明ピークについてはサムピーク、エスケープピーク等の可能性を検討する（第6章参照）。
- (4) 計数誤差の3倍を超えて検出された核種について、出力結果を基にピークとそのチャンネルを確認し、誤同定されていないことを確認する。
- (5) 出力されたスペクトルについて、ピークが検出されているにもかかわらず核種が同定されてないピークがある場合、核データ集を用いてピークを同定する。

解説 G 汚染が確認されたバックグラウンドスペクトル例

福島第一原発事故後に汚染が確認されたバックグラウンドとして、室外外気の侵入が原因と考えられる事例及び人や測定試料の移動に伴い検出器が汚染した事例を以下に紹介する。原子炉施設等事故の経過時間により、汚染の経路や検出される人工放射性核種が異なることが考えられる。

解説 G.1 福島第一原発事故直後

福島第一原発事故直後の平成 23 年 3 月 15 日及び 3 月 16 日に測定した同一検出器のバックグラウンドスペクトルを図 G.1 及び図 G.2 に示す。バックグラウンドを測定したゲルマニウム半導体検出器は千葉市に設置されたものである。千葉市においては、福島第一原発事故の影響を受けて、平成 23 年 3 月 15 日に最も高い空間放射線量率を観測し、人工放射性核種の ^{133}Xe が空間放射線量率に最も寄与した核種であることが報告（文献 53）されている。

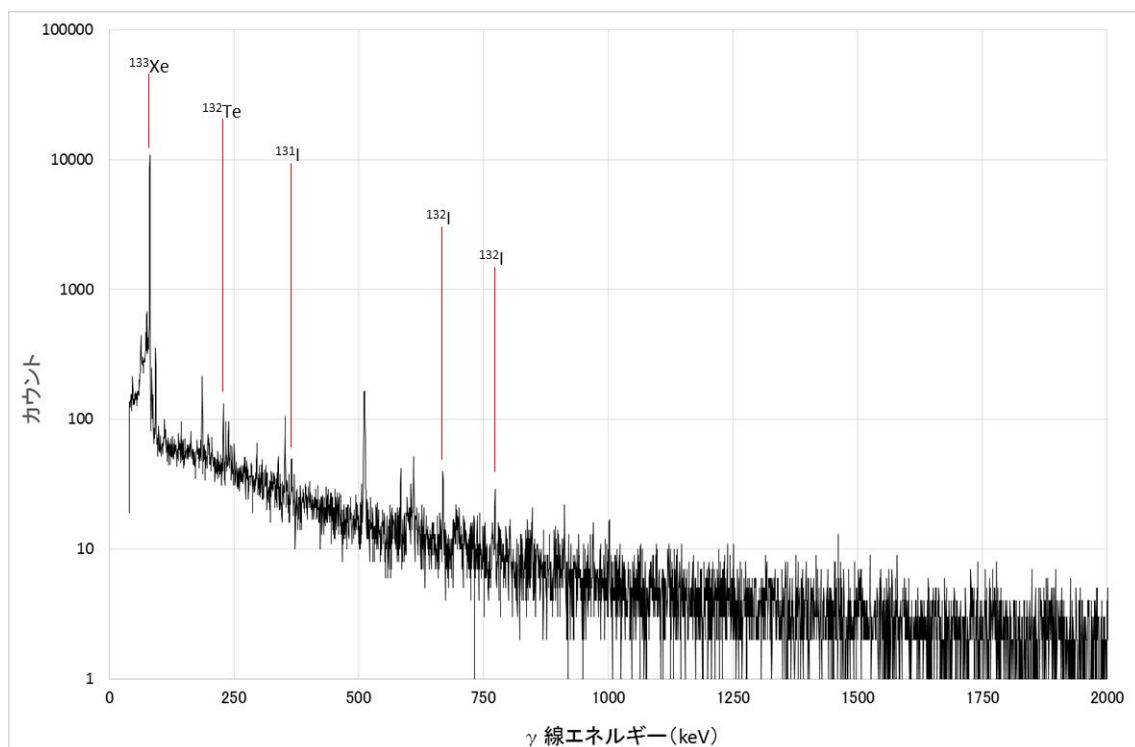


図 G.1 平成 23 年 3 月 15 日のバックグラウンドスペクトル（千葉市）

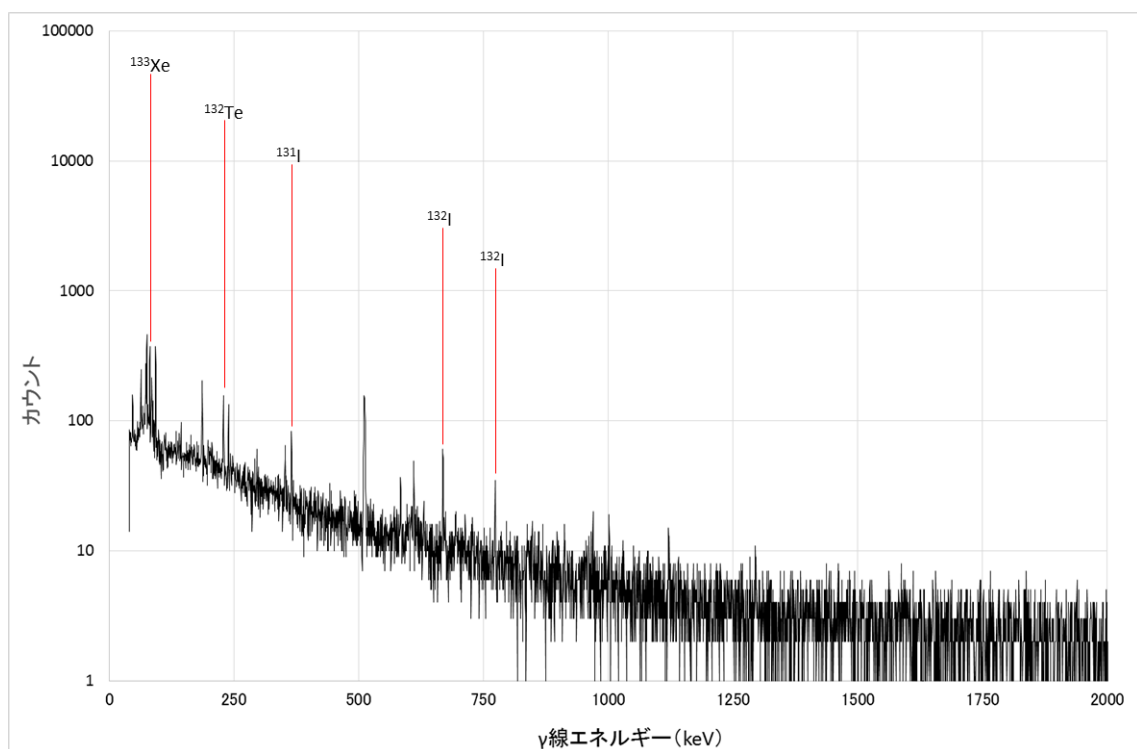


図 G.2 平成 23 年 3 月 16 日のバックグラウンドスペクトル（千葉市）

バックグラウンドスペクトル上で検出された人工放射性核種は、希ガスである ^{133}Xe 、揮発性元素（解説 D 表 D.4 参照）である ^{131}I 、 ^{132}Te 、 ^{132}I であった。図 G.1 及び図 G.2 のバックグラウンドを測定した時点では、放射能濃度の高い試料の測定を開始していなかったため、測定試料からの相互汚染は考えにくい。検出された人工放射性核種は全て容易にガスとして拡散しやすい核種であることから、これらガス状の人工放射性核種を含んだ外気が測定室内や遮へい体内部に侵入し、その結果、バックグラウンドスペクトル上で検出されたことが考えられる。

また、両バックグラウンドスペクトルは約 50000 秒測定したものであるが、 ^{133}Xe の計数が 3 月 15 日と 3 月 16 日では 2 桁以上異なることがわかる。汚染の経路として、外気の侵入によるものとする、物理的半減期及び外気中の人工放射性核種の濃度に依存して、バックグラウンド上での寄与は刻一刻と変化することが想定される。短半減期核種による汚染が確認された場合にも同様だが、刻一刻と変化する汚染の状況を把握して、適切なバックグラウンド補正を行う必要があり、緊急時直後の汚染状況に応じて、補正用のバックグラウンド測定の頻度を上げておいた方がよい場合がある（最低でも 1 日 1 回）。

解説 G.2 福島第一原発事故から数か月後

時間の経過とともに短半減期核種は減衰し、バックグラウンドスペクトル上で汚染が確認される人工放射性核種は ^{134}Cs と ^{137}Cs が主となった。周辺環境には沈着した人工放射性核種が存在しており、汚染対策を十分に行っていても、汚染する危険性をなくすことは難しいといえる。平成 23 年 9 月（事故後約半年経過）に測定し、 ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出されたバックグラウンドスペクトルを図 G.3 に示す。なお、図 G.3 中には、 ^{137}Cs (661.7keV) 付近の拡大図も併せて示している。

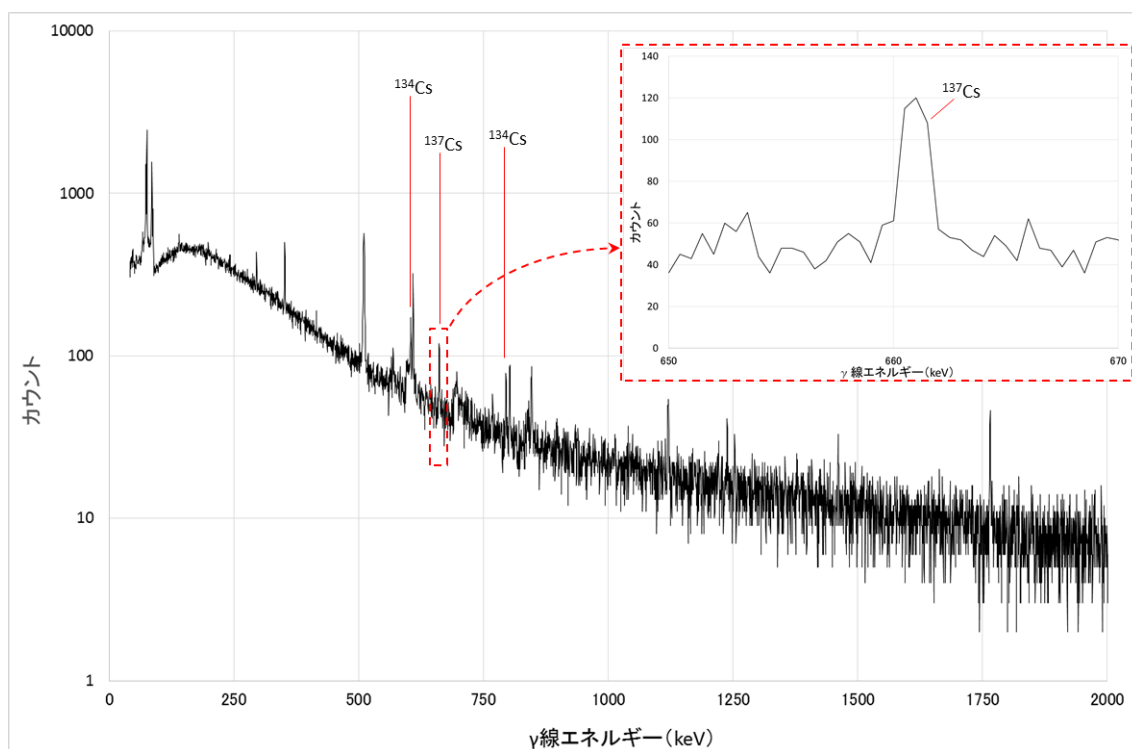


図 G.3 ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出されたバックグラウンドスペクトル

汚染が確認された測定機器は、除染が確認されるまで使用中止の措置を取り、乾拭きによる除染作業を行った。なお、測定機器がいつ汚染したか特定することが困難であり、汚染による寄与が無視できない測定試料は、他の検出器で再測定の措置を講じる必要がある。除染作業終了後のバックグラウンドスペクトルを図 G.4 に示す。

本事例では、幸運にも乾拭きによる除染作業のみで汚染を除去することができたが、除染できない場合は、分解清掃などさらなる除染作業が必要となる。さらに、汚染が除去できない場合は、汚染状況を把握して、適切な補正用のバックグラウンドスペクトルで差引く必要がある。

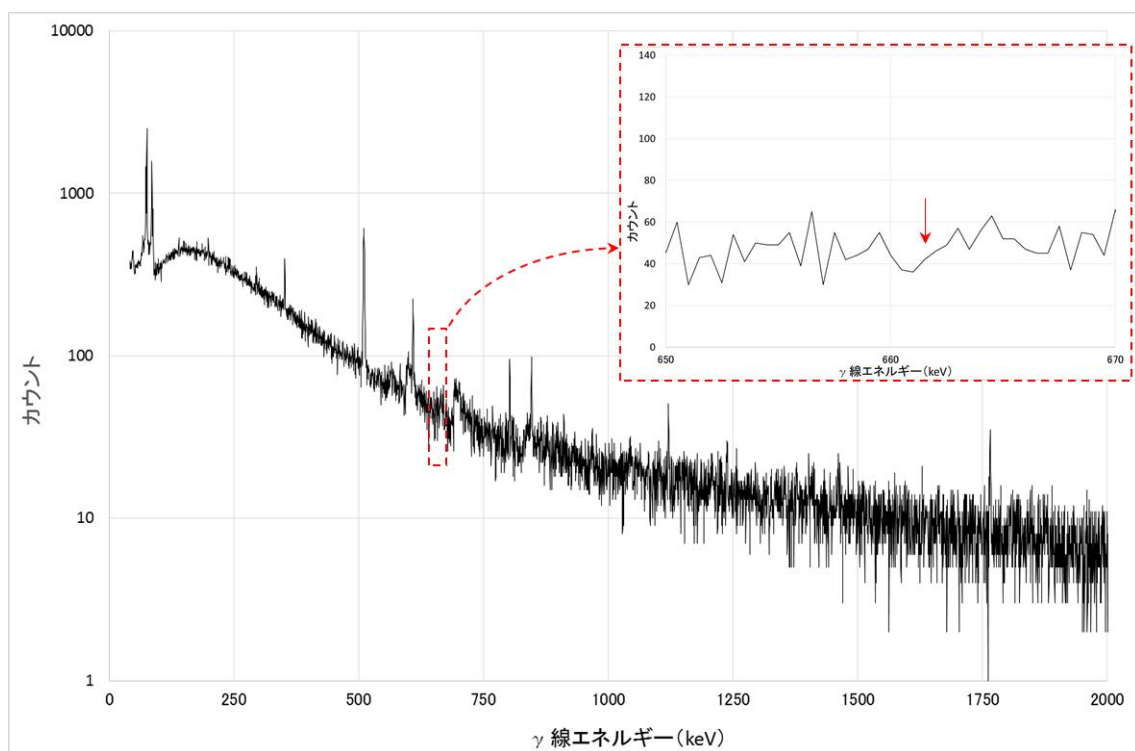


図 G.4 除染後のバックグラウンドスペクトル

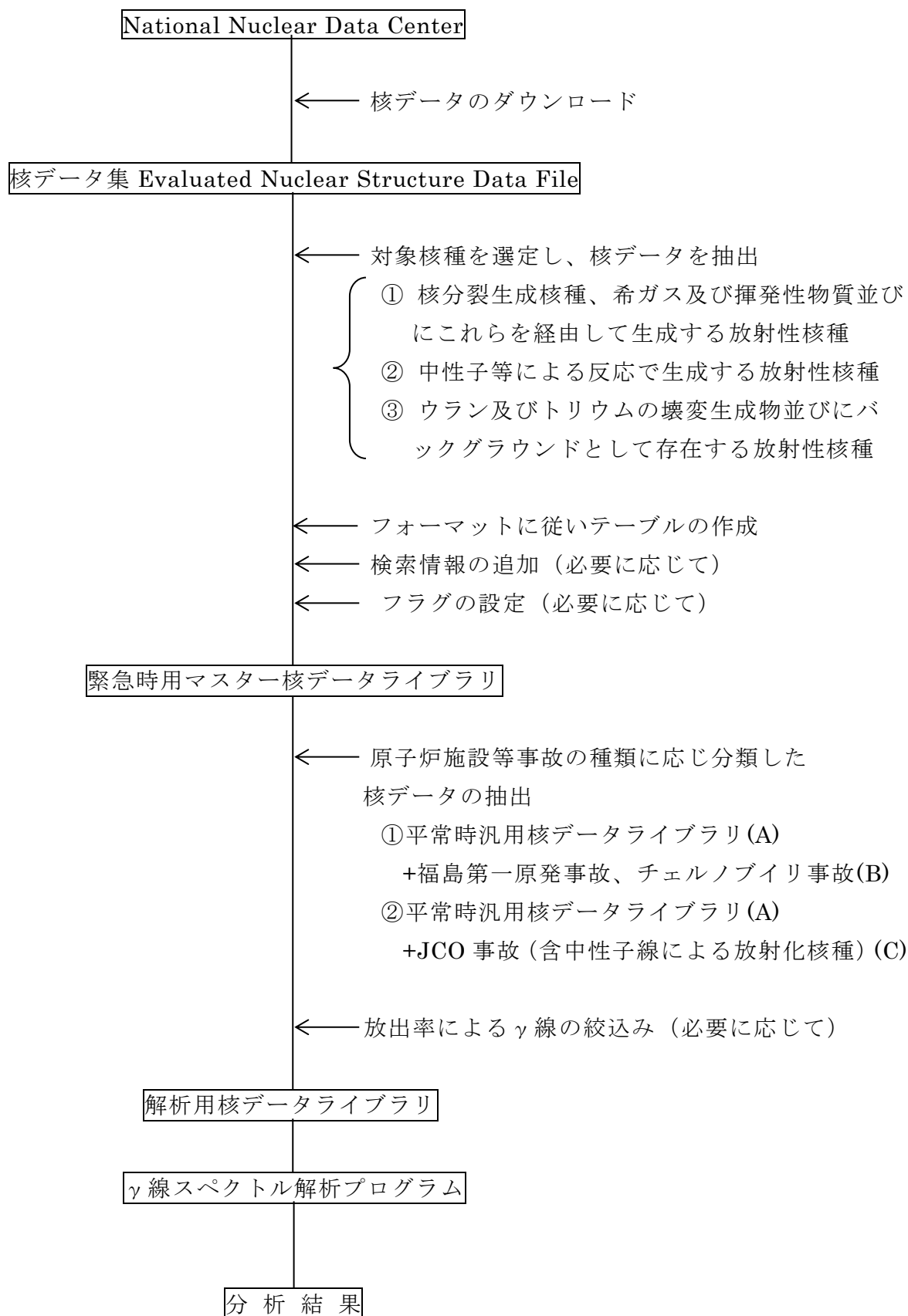
付 録

付録 1 緊急時用マスター核データライブラリ

本解析法の主な使用者は、市販ソフトウェアを用いてスペクトル解析を行うことを想定しているが、この解析に当たっては、メーカーが用意したマスター核データライブラリや解析用核データライブラリを使用することが一般的と考えられる。そのため、本解析法の初版にあるマスター核データライブラリの作成等の記載については本付録として掲載する。

付録 1.1 核データライブラリ

緊急時に必要となる解析対象核種を登録した「緊急時用マスター核データライブラリ」を作成する。「緊急時用マスター核データライブラリ」を作成するためには、最初に、信頼できる核データ集を入手し、これから緊急時を対象とした核種について核データを抽出し、「解析用核データライブラリ」とする。実試料の解析には、この「解析用核データライブラリ」を用いて解析を行うことになる。付図 1.1 に、本解析法における「解析用核データライブラリ」作成までの作業と、作成した「解析用核データライブラリ」を用いた γ 線スペクトル解析までの一連の流れを示した。



付図 1.1 核データのダウンロードから γ 線スペクトル解析までの流れ

付録 1.2 緊急時用マスター核データライブラリ

核データ集を信頼できる 1 つに特定し、その核データ集から選定したすべての核種のデータを抽出し、緊急時用マスター核データライブラリを作成する。

最近では、核データ集が電子ファイルとして作成されるようになってきた。このような核データ集を選定した場合には、データの抽出・再構成が容易なので、少ない労力で核データライブラリを作成することが可能である。

(1) 緊急時用マスター核データライブラリの作成

ここでは、基本となる核データ集を ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) とし、核種のデータを取得し、核データライブラリを作成する方法を示す。

1) 基本とする核データ集の取得

ENSDF は、電子ファイルとして作成された核データ集で、この ENSDF を管理している NNDC (National Nuclear Data Center) から著作権なしでその使用についての自由を認められている。ENSDF の電子ファイルは NNDC からインターネット経由で取得することができる (<http://www.nndc.bnl.gov>)。

ファイルは質量数ごとに複数のファイルにまとめられている。

ENSDF_171001_099.ZIP(質量数 99 までの核データが納められている)

ENSDF_171001_199.ZIP(質量数 101~199 までの核データが納められている)

ENSDF_171001_299.ZIP(質量数 200~299 までの核データが納められている)

※平成 29 年 (2017 年) 10 月時点である。

上記ファイルは、複数の質量数ごとのファイルを ZIP というファイル圧縮形式で 1 つのファイルとしてまとめたものである。この ZIP 形式に対応した展開 (解凍) プログラムを用いることにより圧縮を解いて使用することができる。例えば、ENSDF_171001_199.ZIP を展開 (解凍) すると `ensdf.181`, `ensdf.182`・・・というファイルができるので、質量数 181 の核種については `ensdf.181` のファイルを参照することになる。なお、ここで言う質量数とは、目的とする放射性核種が壊変した後の子孫核種の質量数となるので注意する。

2) 登録核種の選定

緊急時用マスター核データライブラリに登録する核種として、「核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する放射性核種」(付表 1.1 参照)、「中性子等による反応で生成する放射性核種」(付表 1.2 参照) 及び「ウラン及びトリウムの壊変生成物並びにバックグラウンドとして存在する放射性核種」(付表 1.3 参照) を選定する。付表 1.1~付表 1.3 に記載のある放射性核種以外にマスター核データに登録する放射性核種としては、 ^{86}Rb 、 ^{85}Kr 、 ^{122}Sb 、 ^{127}Te 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ 、 ^{129}I 、 ^{130}I 、 $^{131\text{m}}\text{Xe}$ 、 ^{133}Xe 及び ^{203}Pb がある (解説 D.1 参

照)。

なお、本解析法の初版（平成 16 年 2 月）では、「核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する核種」のうち、周辺環境に異常に放出され、広域に影響を与える可能性の高い放射性物質である「希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する核種」（付表 1.4 参照）を別に分類している。

付表 1.1 核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びに
これらを経由して生成する放射性核種

^{77}Ge	^{78}As	^{84}Br	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	^{87}Kr
^{88}Kr	^{88}Rb	$^{90\text{m}}\text{Y}$	^{91}Sr	^{91}Y
$^{91\text{m}}\text{Y}$	^{92}Sr	^{92}Y	^{93}Y	^{95}Zr
^{95}Nb	^{97}Zr	^{97}Nb	$^{97\text{m}}\text{Nb}$	^{99}Mo
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	^{103}Ru	^{105}Ru	^{105}Rh	$^{105\text{m}}\text{Rh}$
^{106}Rh	^{113}Ag	$^{115\text{m}}\text{In}$	^{117}Cd	$^{117\text{m}}\text{Cd}$
^{125}Sn	^{127}Sb	^{128}Sb	^{129}Sb	^{129}Te
^{130}Sb	^{131}Sb	$^{131\text{m}}\text{Te}$	^{131}I	^{132}Te
^{132}I	$^{133\text{m}}\text{Te}$	^{133}I	$^{133\text{m}}\text{Xe}$	^{134}Te
^{134}I	^{135}I	^{135}Xe	$^{135\text{m}}\text{Xe}$	^{137}Cs
^{138}Cs	^{139}Ba	^{140}Ba	^{140}La	^{141}La
^{141}Ce	^{142}La	^{143}Ce	^{144}Ce	^{144}Pr
^{145}Pr	^{147}Nd	^{149}Nd	^{149}Pm	^{151}Pm
^{153}Sm	^{156}Eu	^{157}Eu		

付表 1.2 中性子等による反応で生成する放射性核種

^{22}Na	^{24}Na	^{41}Ar	^{46}Sc	^{51}Cr
^{54}Mn	^{56}Mn	^{56}Co	^{57}Co	^{58}Co
^{59}Fe	^{60}Co	^{63}Zn	^{65}Ni	^{65}Zn
^{75}Se	^{76}As	^{82}Br	^{88}Y	$^{108\text{m}}\text{Ag}$
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	^{113}Sn	$^{114\text{m}}\text{In}$	^{115}Cd	^{124}Sb
^{125}Sb	^{133}Ba	^{134}Cs	^{136}Cs	^{139}Ce
^{152}Eu	^{154}Eu	^{181}Hf	^{182}Ta	^{187}W
^{192}Ir	^{198}Au	^{203}Hg	^{237}U	^{239}Np
^{241}Am				

付表 1.3 ウラン及びトリウムの壊変生成物並びに
バックグラウンドとして存在する放射性核種

${}^7\text{Be}$	${}^{40}\text{K}$	${}^{74}\text{Ga}$	${}^{74}\text{As}$	${}^{75}\text{Ge}$
${}^{75\text{m}}\text{Ge}$	${}^{206}\text{Tl}$	${}^{207}\text{Bi}$	${}^{208}\text{Tl}$	${}^{210}\text{Pb}$
${}^{210}\text{Po}$	${}^{211}\text{Pb}$	${}^{211}\text{Bi}$	${}^{212}\text{Pb}$	${}^{212}\text{Bi}$
${}^{214}\text{Pb}$	${}^{214}\text{Bi}$	${}^{219}\text{Rn}$	${}^{223}\text{Ra}$	${}^{224}\text{Ra}$
${}^{226}\text{Ra}$	${}^{227}\text{Th}$	${}^{228}\text{Ac}$	${}^{228}\text{Th}$	${}^{231}\text{Th}$
${}^{231}\text{Pa}$	${}^{234}\text{Th}$	${}^{234\text{m}}\text{Pa}$	${}^{235}\text{U}$	

付表 1.4 希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する放射性核種

${}^{84}\text{Br}$	${}^{85\text{m}}\text{Kr}$	${}^{87}\text{Kr}$	${}^{88}\text{Kr}$	${}^{88}\text{Rb}$
${}^{91}\text{Sr}$	${}^{91}\text{Y}$	${}^{91\text{m}}\text{Y}$	${}^{92}\text{Sr}$	${}^{92}\text{Y}$
${}^{93}\text{Y}$	${}^{95}\text{Zr}$	${}^{95}\text{Nb}$	${}^{131}\text{I}$	${}^{132}\text{I}$
${}^{133}\text{I}$	${}^{134}\text{I}$	${}^{135}\text{I}$	${}^{135\text{m}}\text{Xe}$	${}^{137}\text{Cs}$
${}^{138}\text{Cs}$	${}^{139}\text{Ba}$	${}^{140}\text{Ba}$	${}^{140}\text{La}$	${}^{141}\text{La}$
${}^{141}\text{Ce}$	${}^{142}\text{La}$	${}^{144}\text{Ce}$	${}^{144}\text{Pr}$	${}^{145}\text{Pr}$

3) 核データ集からの核種ごとの核データの抽出

ENSDF から個々の核種のデータを抽出するには、NNDC のホームページで配布されている、ENSDF のためのプログラムである RADLST を用いるのが簡便である。RADLST は、目的核種の核データを別のテキストファイルとして抽出する。ここでは、RADLST を用いて、展開（解凍）した質量数ごとの ENSDF から、付表 1.1～付表 1.3 に示す核種について一つ一つ RADLST で処理を行う。得られた核種ごとのファイルから、テキストエディタやワードプロセッサ等のテキストファイルを扱えるプログラムを用いて必要なデータ(半減期、放出率、エネルギー等)を抽出し、付表 1.5 に示す基本フォーマットに従いテーブルを作成する。作成した核種ごとのテーブルを一つのファイルにまとめ、核データライブラリとする。

付表 1.5 核データライブラリの基本フォーマット

項目名	データ型	備考
質量数	整数	質量数の値
元素記号	文字列	元素記号
核種名	文字列	核種名
半減期	実数	半減期の値
半減期不確かさ	実数	半減期不確かさの値
半減期（単位）	文字列	半減期の単位（Y:年，D:日，H:時間，M:分，S:秒）
エネルギー	実数	γ 線エネルギーの値（単位は keV）
エネルギー不確かさ	実数	γ 線エネルギーの不確かさの値（単位は keV）
放出率	実数	放出率の値（単位は%）
放出率不確かさ	実数	放出率の不確かさの値（単位は%）

表中の「データ型」は、各項目の情報が文字あるいは数字であることを意味する。

付録 1.3 核分裂後の経過時間による存在度^{*1}

核分裂生成核種、希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する放射性核種は、それぞれの半減期が異なることから、核分裂後の経過時間により核種の存在度が変わる。核分裂後の経過時間に応じた核分裂生成核種の存在の有無をそれぞれ「○」及び「×」として、核種ごとの経過時間による存在度を付表 1.6 に示す。

付録 1.3.1 存在度の算出方法

²³⁵U の核分裂で生成する核種について、核分裂収率、 γ 線放出率、半減期及びゲルマニウム半導体検出器の計数効率を用い、経過時間ごとに各核種からの γ 線計数率を算出した。計算例を以下に示す。

²³⁵U の核分裂により生成する各核種の単位核分裂当たりの放射能 A_0 は、それぞれ以下のように求めることができる。

$$A_0 = \lambda N_F$$

λ : 各核種の壊変定数、 N_F : 核分裂収率

この核種から放出される γ 線の計数率 C_0 は、以下の式を用いて求めることができる。

$$C_0 = A_0 \cdot B \cdot E$$

$$B : \gamma \text{ 線放出比 } \left(= \frac{\gamma \text{ 線放出率}}{100} \right)$$

E : ゲルマニウム半導体検出器の計数効率

核分裂から、各経過時間における上記核種から放出される γ 線の計数率 C は、以下の式を用いて求めることができる。

$$C = C_0 e^{-\lambda t}$$

λ : 各核種の壊変定数、 t : 経過時間

経過時間ごとの、最大の γ 線の計数率 (¹³³I、¹⁴⁰La 等からの γ 線) を算出し、その計数率の 1 万分の 1 以下の計数率の γ 線は測定不可能と考え、存在度を「×」とした。

^{*1} 核分裂後の経過時間による存在度については、本解析法の初版（平成 16 年 2 月）における解析用核データライブラリの作成に必要な情報として記載されたものであるが、緊急時用マスター核データライブラリにも関連する内容であること、スペクトル解析や解析用核データライブラリに核種を追加等する際の参考となることから記載を残すこととした。

1 万分の 1 より大きい計数率の γ 線については測定可能と考え、存在度を「○」とした。

なお、測定する γ 線ピークの半値幅の 2 倍のエネルギー範囲内に、そのピークより計数率が大きい妨害ピークがある場合も存在度を「×」とした。

付録 1.3.2 経過時間

核分裂後の経過時間については、試料採取後、分析所で測定開始するまでの測定試料の調製時間等を考慮し、5 時間からとした。

また、経過時間によって核種の存在度が変わるため、核分裂からの経過時間の区分を 5 時間，10 時間，1 日，3 日，5 日，10 日，30 日とした。

付表 1.6 核分裂生成核種（核分裂後 5 時間～30 日）

存在度：ピークが存在する場合を○で、ピークが存在しない場合を×で示す

定量核種	※	半減期	γ 線 (keV)	核分裂後の経過時間（存在度）						
				5時間	10時間	1日	3日	5日	10日	30日
^{77}Ge		11.21 時間	215.5	×	○	○	×	×	×	×
^{78}As		90.7 分	613.8	○	○	×	×	×	×	×
			694.9	○	×	×	×	×	×	×
			1308.7	○	×	×	×	×	×	×
^{84}Br	○	31.76 分	881.6	○	×	×	×	×	×	×
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	○	4.48 時間	151.2	○	○	○	×	×	×	×
			304.9	○	○	○	×	×	×	×
^{87}Kr	○	76.3 分	402.6	○	○	×	×	×	×	×
^{88}Kr	○	2.83 時間	196.3	○	○	○	×	×	×	×
			834.8	○	○	○	×	×	×	×
			1529.8	○	○	○	×	×	×	×
$^{88}\text{Rb}(^{88}\text{Kr})$	○	17.77 分	1836.0	○	○	○	×	×	×	×
			898.0	○	○	○	×	×	×	×
$^{90\text{m}}\text{Y}$		3.19 時間	202.5	○	○	○	×	×	×	×
			479.5	○	○	○	×	×	×	×
^{91}Sr	○	9.65 時間	1024.3	○	○	○	○	○	×	×
			749.8	○	○	○	○	○	×	×
			652.9	○	○	○	○	○	×	×
^{91}Y	○	58.51 日	1204.8	×	×	○	○	○	○	○
$^{91\text{m}}\text{Y}(^{91}\text{Sr})$	○	49.71 分	555.6	○	○	○	○	○	×	×
^{92}Sr	○	2.61 時間	1383.9	○	○	○	×	×	×	×
			430.5	○	○	×	×	×	×	×
			1142.4	○	○	×	×	×	×	×
^{92}Y	○	3.54 時間	934.5	○	○	○	×	×	×	×
			1405.4	○	○	○	×	×	×	×
			561.1	○	○	○	×	×	×	×
^{93}Y	○	10.18 時間	266.9	○	○	○	○	×	×	×
			947.1	○	○	○	○	×	×	×
			1917.8	○	○	○	○	×	×	×
^{95}Zr	○	64.03 日	756.7	○	○	○	○	○	○	○
			724.2	×	×	×	○	○	○	○
^{95}Nb	○	34.99 日	765.8	×	○	○	○	○	○	○

※ 希ガス及び揮発性物質並びにこれらを経由して生成する放射性核種を「○」で示す。

注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

注 2：半減期は小数点以下 2 桁、 γ 線エネルギーは小数点以下 1 桁で示した。なお、小数点以下 2 桁目もしくは 1 桁目がない場合は、それぞれ小数点以下 1 桁もしくは整数で示した。

付表 1.6 核分裂生成核種（核分裂後 5 時間～30 時間）（続き）

定量核種	※	半減期	γ 線 (keV)	核分裂後の経過時間（存在度）						
				5 時間	10 時間	1 日	3 日	5 日	10 日	30 日
^{97}Zr		16.75 時間	1148.0	○	○	○	○	○	×	×
			1750.2	○	○	○	○	○	×	×
^{97}Nb		72.1 分	657.9	○	○	○	○	○	×	×
$^{97\text{m}}\text{Nb}(^{97}\text{Zr})$		58.7 秒	743.4	○	○	○	○	○	○	×
^{99}Mo		65.92 時間	739.5	○	○	○	○	○	○	○
			777.9	○	○	○	○	○	○	○
$^{99\text{m}}\text{Tc}(^{99}\text{Mo})$		6.01 時間	140.5	○	○	○	○	○	○	○
^{103}Ru		39.25 日	497.1	○	○	○	○	○	○	○
			610.3	×	×	×	○	○	○	○
^{105}Ru		4.44 時間	724.3	○	○	○	×	×	×	×
			469.4	○	○	○	×	×	×	×
			316.4	○	○	○	×	×	×	×
^{105}Rh		35.36 時間	318.9	○	○	○	○	○	×	×
$^{105\text{m}}\text{Rh}(^{105}\text{Ru})$		40 秒	129.6	○	○	○	×	×	×	×
$^{106}\text{Rh}(^{106}\text{Ru})$		30.07 秒	621.9	×	×	×	×	×	×	○
^{113}Ag		5.37 時間	298.6	○	○	×	×	×	×	×
$^{115\text{m}}\text{In}(^{115}\text{Cd})$		4.49 時間	336.2	×	×	×	○	×	×	×
^{117}Cd		2.49 時間	1303.3	○	○	×	×	×	×	×
$^{117\text{m}}\text{Cd}$		3.36 時間	1066.0	○	○	×	×	×	×	×
^{125}Sn		9.64 日	1067.1	×	×	×	○	○	○	×
^{127}Sb		3.85 日	685.7	○	○	○	○	○	○	○
			473.0	×	○	○	○	○	○	○
^{128}Sb		9.05 時間	754.0	○	○	○	×	×	×	×
^{129}Sb		4.37 時間	813.0	○	○	×	×	×	×	×
			1030.7	○	○	○	×	×	×	×
$^{129}\text{Te}(^{129}\text{Sb})$		69.6 分	459.6	○	○	○	×	×	×	×
^{130}Sb		39.5 分	793.4	○	×	×	×	×	×	×
^{131}Sb		23.03 分	943.4	○	×	×	×	×	×	×
$^{131\text{m}}\text{Te}$		33.25 時間	852.2	○	○	○	○	○	○	×
			1206.6	○	○	○	○	○	○	×
^{131}I	○	8.03 日	364.5	○	○	○	○	○	○	○
			637.0	○	○	○	○	○	○	○
			284.3	×	○	○	○	○	○	○
^{132}Te		3.20 日	228.2	○	○	○	○	○	○	×
			116.3	×	○	○	○	○	○	×
^{132}I	○	2.30 時間	667.7	○	○	○	○	○	○	○
			772.6	○	○	○	○	○	○	○
			954.6	×	○	○	○	○	○	○
			522.7	○	○	○	○	○	○	○
$^{133\text{m}}\text{Te}$		55.4 分	912.7	○	×	×	×	×	×	×
			647.5	○	×	×	×	×	×	×

付表 1.6 核分裂生成核種（核分裂後 5 時間～30 日）（続き）

定量核種	※	半減期	γ 線 (keV)	核分裂後の経過時間（存在度）						
				5 時間	10 時間	1 日	3 日	5 日	10 日	30 日
^{133}I	○	20.83 時間	529.9	○	○	○	○	○	×	×
			875.3	○	○	○	○	○	×	×
			1298.2	×	×	○	○	×	×	×
			1236.4	○	○	○	○	○	×	×
$^{133\text{m}}\text{Xe}$		2.20 日	233.2	×	×	○	×	×	×	×
^{134}Te		41.8 分	767.2	○	×	×	×	×	×	×
			210.5	○	×	×	×	×	×	×
			278.0	○	×	×	×	×	×	×
^{134}I	○	52.5 分	847.0	○	○	×	×	×	×	×
			1072.6	○	○	×	×	×	×	×
			595.4	○	○	×	×	×	×	×
^{135}I	○	6.58 時間	1260.4	○	○	○	○	×	×	×
			1131.5	○	○	○	○	×	×	×
			1678.0	○	○	○	○	×	×	×
^{135}Xe		9.14 時間	249.8	○	○	○	○	○	×	×
			608.2	○	○	○	○	×	×	×
			408.0	×	×	○	×	×	×	×
$^{135\text{m}}\text{Xe}$ (^{135}I)	○	15.29 分	526.6	○	○	○	○	×	×	×
^{137}Cs	○	30.08 年	661.7	×	×	×	○	○	○	○
^{138}Cs	○	33.41 分	1435.9	○	×	×	×	×	×	×
			462.8	○	×	×	×	×	×	×
			1009.8	○	×	×	×	×	×	×
^{139}Ba	○	82.93 分	165.9	○	○	×	×	×	×	×
			1254.6	○	×	×	×	×	×	×
			1420.5	○	×	×	×	×	×	×
^{140}Ba	○	12.75 日	537.3	○	○	○	○	○	○	○
			162.7	○	○	○	○	○	○	○
			437.6	○	○	○	○	○	○	○
^{140}La (^{140}Ba)	○	1.68 日	1596.2	○	○	○	○	○	○	○
			487.0	○	○	○	○	○	○	○
			815.8	×	○	○	○	○	○	○
			328.8	○	○	○	○	○	○	○
^{141}La	○	3.92 時間	1354.5	○	○	○	×	×	×	×
			1693.3	○	○	×	×	×	×	×
^{141}Ce	○	32.51 日	145.4	○	○	○	○	○	○	○
^{142}La	○	91.1 分	641.3	○	○	○	×	×	×	×
			894.9	○	○	×	×	×	×	×
			1901.3	○	○	×	×	×	×	×
^{143}Ce		33.04 時間	293.3	○	○	○	○	○	○	×
			664.6	○	○	○	○	○	○	×
^{144}Ce	○	284.91 日	133.5	×	○	○	○	○	○	○
^{144}Pr (^{144}Ce)	○	17.28 分	696.5	×	×	×	○	○	○	○

付表 1.6 核分裂生成核種（核分裂後 5 時間～30 日）（続き）

定量核種	※	半減期	γ 線 (keV)	核分裂後の経過時間（存在度）						
				5時間	10時間	1日	3日	5日	10日	30日
^{145}Pr	○	5.98 時間	979.0	×	○	○	×	×	×	×
^{147}Nd		10.98 日	439.9	×	×	×	○	○	○	○
			398.2	×	×	×	×	×	○	○
^{149}Nd		1.73 時間	211.3	○	○	×	×	×	×	×
			423.6	○	○	×	×	×	×	×
^{149}Pm		53.08 時間	286.0	×	×	×	○	×	×	×
^{151}Pm		28.40 時間	340.1	○	○	○	○	○	○	×
			717.7	×	○	○	○	○	×	×
^{153}Sm		46.50 時間	103.2	○	○	○	○	○	○	×
^{156}Eu		15.19 日	1230.7	×	×	×	×	×	○	○
			1242.4	×	×	×	×	×	○	○
			646.3	×	×	×	×	×	○	○
^{157}Eu		15.18 時間	370.5	×	○	○	×	×	×	×

付録 2 核データ

緊急時用マスター核データライブラリに登録する核種^{*1}の核データを付表 2.1 及び付表 2.2 に示す^{*2*3}。付表 2.1 は放出率 0.01%以上の核種別の核データ（²⁰⁶Tl 及び ²¹⁰Po を除く）を掲載し、付表 2.2 は放出率 0.1%以上の γ 線について、 γ 線エネルギー順に掲載している。なお、付表 2.1 及び付表 2.2 の核データは、以下に従って掲載している。

- ① 核データの出典は 2017 年 10 月時点での ENSDF である。
- ② 半減期単位として、Y は年、D は日、H は時間、M は分、S は秒を示す。
- ③ 十の累乗について、例えば「1.248E+9」は「 1.248×10^9 」を示す。
- ④ 表中の不確かさの表記については、以下のとおりである。

γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)
37.2	22

γ 線のエネルギーが、「 37.2 ± 2.2 (keV)」であることを示す。

γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)
701.7	3

γ 線のエネルギーが、「 701.7 ± 0.3 (keV)」であることを示す。

半減期	半減期不確かさ	半減期単位
1.248E+9	3	Y

半減期が、「 $(1.248 \pm 0.003) \times 10^9$ 年」であることを示す。

- ⑤ 付表 2.1 及び付表 2.2 に掲載している各核データの桁数は、ENSDF から RADLST（付録 1 参照）によって抽出された桁数としている。ただし、付表 2.2 の γ 線エネルギーは小数点以下 1 桁としている。
- ⑥ 付表 2.2 において、核種の右に「s」の表記がある場合は、サムピークであることを示し、 γ 線エネルギー（対象となる γ 線のエネルギーの和）のみ掲載している。例えば、「¹³²I s」は ¹³²I のサムピークであることを示す。

^{*1} γ 線エネルギーが 2000keV 以下の核種を対象とする。

^{*2} ¹⁰⁶Ru（半減期 371.8 日）は、 γ 線を放出しない β^- 壊変核種であるため、付表 2.1 にその核データは掲載されていない。緊急時用マスター核データライブラリ及び解析用核データライブラリへの登録に当たっては、子孫核種の ¹⁰⁶Rh（半減期 30.07 秒）と放射平衡が成立しているとみなして、 γ 線エネルギーや放出率は ¹⁰⁶Rh の核データを、半減期は ¹⁰⁶Ru の核データを登録する。

^{*3} 異なるエネルギー準位からのエネルギー遷移であっても、それらの γ 線エネルギーが同じ値となる場合がある（例：⁷⁴Ga の 1134.5keV）。

付表 2.1 核種別の核データ

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
⁷ Be	53.22	6	D	477.6035	20	10.44	4
²² Na	2.6018	22	Y	1274.537	7	99.940	14
²⁴ Na	14.997	12	H	1368.626	5	99.9936	15
⁴⁰ K	1.248E+9	3	Y	1460.820	5	10.66	17
⁴¹ Ar	109.61	4	M	1293.64	4	99.160	20
				1677.0	3	0.052	5
⁴⁶ Sc	83.79	4	D	889.277	3	99.9840	10
				1120.545	4	99.9870	10
⁵¹ Cr	27.704	3	D	320.0824	4	9.910	10
⁵⁴ Mn	312.20	20	D	834.848	3	99.9760	10
⁵⁶ Mn	2.5789	1	H	846.7639	19	98.85	3
				1037.8334	24	0.040	5
				1238.2738	22	0.040	4
				1810.726	4	26.9	4
⁵⁶ Co	77.236	26	D	263.434	5	0.0220	3
				411.145	4	0.024	3
				486.55	11	0.0540	20
				655.003	5	0.043	4
				674.570	5	0.024	3
				733.514	4	0.191	3
				787.743	5	0.311	3
				846.7700	20	99.9399	23
				852.732	4	0.049	3
				896.510	6	0.073	3
				977.372	5	1.421	6
				996.948	5	0.111	4
				1037.843	4	14.05	4
				1088.894	9	0.055	4
				1140.368	6	0.132	3
				1159.944	6	0.094	6
				1175.101	4	2.252	6
				1198.888	5	0.049	5
				1238.288	3	66.46	12
				1271.92	6	0.0200	7
				1335.40	3	0.1224	12
				1360.212	4	4.283	12
				1442.746	6	0.180	4
				1462.322	6	0.074	4
				1640.475	5	0.0616	19
				1771.357	4	15.41	6
				1810.757	4	0.640	3
				1963.741	8	0.707	4
⁵⁷ Co	271.74	6	D	14.4129	6	9.16	15
				122.06067	12	85.60	17
				136.4736	3	10.68	8
				570.09	20	0.0158	10
				692.41	7	0.149	10
⁵⁸ Co	70.86	6	D	810.7594	20	99.450	10
				863.951	6	0.686	10
				1674.725	7	0.517	10
⁵⁹ Fe	44.495	9	D	142.6510	20	1.02	5
				192.343	5	3.08	12
				334.80	20	0.270	12
				382.0	4	0.018	3
				1099.245	3	56.5	19
				1291.590	6	43.2	14
⁶⁰ Co	1925.28	14	D	1481.70	20	0.059	7
				1173.228	3	99.85	3
⁶³ Zn	38.47	5	M	1332.492	4	99.9826	6
				365.2	4	0.0115	25

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{63}Zn	38.47	5	M	443.13	20	0.016	5
				449.93	5	0.236	19
				515.0	10	0.021	9
				584.82	15	0.033	5
				624.3	3	0.014	4
				669.62	5	8.2	3
				675.0	6	0.015	4
				742.25	10	0.067	9
				899.0	4	0.012	3
				962.06	4	6.5	4
				1123.72	7	0.111	13
				1130.7	3	0.013	3
				1149.50	16	0.019	3
				1208.8	3	0.012	3
				1327.03	8	0.069	5
				1374.47	13	0.034	3
				1389.66	8	0.043	6
				1392.55	8	0.097	16
				1412.08	5	0.75	5
				1547.04	6	0.122	7
^{65}Ni	2.51719	26	H	366.27	3	4.81	6
				507.90	10	0.293	5
				609.50	10	0.155	5
				770.60	20	0.104	8
				852.70	20	0.097	12
				1115.53	4	15.43	14
				1481.84	5	23.59	14
				1623.42	6	0.498	15
^{65}Zn	243.93	9	D	1115.5391	20	50.04	10
^{74}Ga	8.12	12	M	233.2	5	0.16	3
				258.8	5	0.11	3
				302.0	7	0.11	4
				365.0	7	0.09	3
				444.2	5	0.06	3
				471.1	5	0.39	5
				484.9	3	1.06	6
				492.99	6	5.0	3
				497.56	15	0.96	10
				504.7	5	0.10	3
				521.0	5	0.12	3
				540.9	5	0.16	3
				545.5	5	0.064	19
				551.8	5	0.11	3
				595.87	4	91.80	20
				604.21	10	2.85	19
				608.40	5	14.4	8
				639.00	10	0.83	5
				652.5	5	0.06	3
				701.52	10	0.77	11
				715.0	3	0.22	4
				733.9	4	0.110	19
				784.30	20	0.67	7
				809.3	3	0.29	7
				867.83	6	8.7	6
				886.71	15	0.34	8
				942.47	7	1.27	6

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{74}Ga	8.12	12	M	960.99	7	1.62	7
				975.1	3	0.27	3
				993.55	10	0.64	4
				999.90	20	0.13	13
				999.90	20	0.13	13
				1024.3	5	0.14	3
				1024.3	5	0.07	7
				1101.32	6	5.42	19
				1131.52	14	0.87	6
				1134.5	3	0.19	20
				1134.5	3	0.19	20
				1160.33	10	0.63	5
				1177.42	18	0.24	3
				1184.40	20	0.28	3
				1204.22	4	7.62	19
				1293.9	5	0.25	4
				1312.84	11	0.62	9
				1332.1	3	1.74	10
				1337.18	10	0.8	8
				1337.18	10	0.8	8
				1357.90	20	0.16	16
				1417.6	7	0.110	10
				1443.38	7	1.8	19
				1443.38	7	1.8	19
				1471.70	20	0.193	19
				1478.2	3	0.30	3
				1489.37	7	2.88	6
				1510.2	3	0.23	3
				1570.34	10	0.97	4
				1601.97	20	0.29	3
				1617.2	3	0.129	19
				1630.7	10	0.09	8
				1676.77	14	0.73	4
				1744.90	20	4.82	10
				1806.5	3	0.28	5
				1829.75	16	1.90	5
				1940.63	7	5.4	3
				1971.0	4	0.20	5
				1999.30	20	0.40	4
^{74}As	17.77	2	D	595.83	8	59	4
				608.43	8	0.552	21
				634.78	8	15.4	11
				635.0	20	0.0357	21
				887.00	10	0.0255	15
				993.46	8	0.0184	19
				1204.35	8	0.285	20
^{75}Ge	82.78	4	M	66.00	20	0.114	13
				198.60	10	1.19	12
				264.60	10	11.4	11
				353.0	5	0.021	3
				419.10	20	0.185	19
				468.80	20	0.223	24
				617.70	20	0.114	13
$^{75\text{m}}\text{Ge}$	47.7	5	S	61.92	10	0.0119	24
				136.01	8	0.020	6
				139.68	3	39.5	4
^{75}Se	119.78	5	D	24.38		0.0253	12
				66.0518	8	1.111	9
				96.7340	9	3.449	25
				121.1155	11	17.20	13

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{75}Se	119.78	5	D	136.0001	6	58.5	5
				198.6060	12	1.496	11
				264.6576	9	58.9	5
				279.5422	10	25.02	19
				303.9236	10	1.315	10
				400.6573	8	11.41	9
				419.08	4	0.01237	
^{76}As	26.24	9	H	572.40	3	0.0362	4
				358.4	7	0.0135	6
				403.20	20	0.0234	17
				456.90	10	0.036	3
				472.80	10	0.050	5
				559.10	5	45.0	20
				563.23	5	1.20	9
				571.50	10	0.140	11
				575.30	5	0.068	6
				657.05	5	6.2	5
				665.0	10	0.04	4
				665.34	5	0.36	4
				727.00	7	0.0185	16
				740.10	5	0.117	11
				771.74	5	0.122	11
				809.80	10	0.0171	12
				863.8	4	0.0113	11
				867.64	8	0.131	11
				882.13	5	0.059	6
				980.90	10	0.041	3
				1129.87	5	0.126	15
				1130.0	10	0.018	14
				1212.92	5	1.44	11
				1216.08	5	3.42	24
				1228.52	5	1.22	11
				1439.10	5	0.279	19
				1453.62	5	0.108	11
				1532.80	20	0.0243	18
				1787.66	8	0.293	23
				1870.00	5	0.054	6
^{77}Ge	11.211	3	H	150.46	15	0.042	9
				156.35	11	0.69	11
				159.3	3	0.043	16
				177.28	13	0.13	5
				194.74	10	1.67	9
				208.83	15	1.12	16
				211.03	4	30.0	8
				215.51	4	27.9	8
				219.1	4	0.14	15
				254.66	11	0.197	9
				264.45	3	53.3	5
				268.10	22	0.3	3
				313.4	10	0.021	6
				325.5	10	0.023	6
				337.53	15	0.21	3
				338.60	12	0.72	7
				339.6	4	0.07	6
				350.10	15	0.0165	6
				367.49	4	14.5	7
				398.97	11	0.105	11
				416.35	4	22.7	11
				419.73	11	1.22	5
				430.60	21	0.0101	6

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{77}Ge	11.211	3	H	439.46	11	0.207	9
				444.59	18	0.020	5
				461.37	10	1.33	8
				470.5	10	0.015	8
				475.46	10	1.07	10
				504.02	12	0.067	5
				520.6	10	0.28	14
				531.26	14	0.043	6
				534.99	15	0.037	6
				557.0	10	0.0426	4
				557.92	8	16.8	10
				569.39	16	0.15	7
				582.56	10	0.80	4
				610.88	14	0.068	8
				614.36	10	0.093	14
				614.36	10	0.53	8
				624.75	11	0.190	8
				631.85	10	7.4	5
				634.40	10	2.14	9
				639.12	15	0.034	6
				655.20	22	0.014	5
				659.99	15	0.031	5
				673.12	10	0.132	14
				673.12	10	0.53	6
				680.40	14	0.040	5
				685.31	11	0.066	7
				685.31	11	0.025	3
				698.57	11	0.231	10
				705.25	11	0.108	6
				712.34	11	0.86	5
				714.37	10	7.5	5
				730.53	18	0.021	4
				743.63	11	0.190	15
				745.77	10	1.03	7
				749.89	10	0.93	6
				766.75	10	0.83	5
				775.84	19	0.017	4
				781.29	10	1.07	7
				784.80	10	1.38	8
				788.96	11	0.101	6
				794.37	11	0.30	3
				798.82	12	0.053	6
				802.92	13	0.035	7
				810.38	10	2.38	14
				813.40	11	0.139	6
				823.25	12	0.63	4
				825.80	12	0.064	5
				843.22	11	0.216	11
				857.62	9	0.030	3
				875.23	10	0.82	5
				884.12	23	0.016	4
				889.3	6	0.010	4
				896.54	11	0.126	6
				900.74	13	0.107	13
				907.01	10	1.00	6
				913.85	11	0.39	3
				921.01	13	0.079	8
				923.14	11	0.74	6
				925.48	11	0.71	7
				925.48	11	0.063	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{77}Ge	11.211	3	H	928.89	10	1.09	6
				939.39	11	0.304	22
				945.65	18	0.022	23
				945.65	18	0.022	23
				959.26	11	0.078	9
				966.74	22	0.033	7
				970.34	19	0.026	5
				985.76	11	0.112	15
				996.56	11	0.109	6
				1007.5	3	0.014	4
				1021.9	3	0.010	4
				1052.56	13	0.038	7
				1061.77	12	0.161	13
				1080.84	11	0.27	3
				1085.23	10	6.4	4
				1104.26	13	0.038	5
				1114.85	11	0.111	9
				1125.02	11	0.126	11
				1134.76	14	0.033	5
				1151.90	11	0.201	9
				1155.5	3	0.017	4
				1164.72	15	0.039	10
				1186.52	13	0.043	6
				1193.30	10	2.68	15
				1201.43	14	0.076	7
				1215.43	11	0.134	9
				1234.60	15	0.028	4
				1242.23	11	0.42	3
				1263.91	10	0.90	6
				1279.99	11	0.183	12
				1295.61	11	0.059	6
				1295.61	11	0.088	9
				1309.32	11	0.51	4
				1312.84	11	0.373	17
				1319.71	11	0.295	10
				1323.25	23	0.017	3
				1326.07	13	0.043	5
				1339.28	11	0.075	7
				1354.29	17	0.019	5
				1358.4	3	0.023	6
				1368.45	10	3.19	11
				1452.67	11	0.127	7
				1454.93	20	0.036	4
				1465.4	3	0.059	6
				1465.4	3	0.059	6
				1476.56	11	0.253	14
				1479.03	11	0.084	9
				1479.03	11	0.126	14
				1495.64	11	0.53	4
				1528.33	13	0.050	4
				1538.83	11	0.150	10
				1557.03	22	0.0128	22
				1569.37	12	0.056	4
				1573.74	11	0.70	5
				1624.4	3	0.011	6
				1643.1	4	0.015	6
				1709.86	11	0.325	22
				1719.72	11	0.410	17
				1722.28	14	0.059	8
				1727.24	11	0.152	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{77}Ge	11.211	3	H	1735.80	14	0.034	4
				1759.7	4	0.011	8
				1792.48	24	0.032	16
				1810.29	14	0.038	3
				1831.5	3	0.019	9
				1846.50	11	0.177	9
				1878.76	18	0.040	4
				1881.57	24	0.016	4
				1911.93	14	0.026	3
^{78}As	90.7	2	M	1929.43	14	0.027	3
				156.6	3	0.092	24
				174.2	3	0.18	5
				351.10	20	0.162	25
				354.30	20	1.9	3
				391.0	3	0.124	22
				449.8	4	0.08	3
				462.20	20	0.59	9
				468.8	3	0.097	20
				497.0	3	0.18	3
				503.70	20	0.42	6
				545.30	10	3.0	4
				551.8	3	0.17	4
				613.80	10	54	6
				637.10	20	0.21	4
				657.90	20	0.27	4
				686.30	20	0.92	15
				687.5	4	0.65	13
				694.90	10	16.7	22
				722.40	20	0.146	23
				756.9	3	0.086	24
				828.10	10	8.1	11
				841.5	10	0.16	11
				842.60	10	1.08	17
				882.00	20	0.19	4
				884.90	20	0.46	7
				888.70	10	2.1	3
				903.6	4	0.08	3
				959.00	20	0.46	7
				968.2	4	0.16	6
				988.2	4	0.092	24
				1005.10	20	0.32	6
				1018.7	3	0.14	3
				1079.80	20	1.62	21
				1145.10	10	1.67	22
				1169.5	4	0.12	4
				1199.10	10	0.70	10
				1228.1	4	0.11	6
				1240.30	10	5.9	9
				1290.6	6	0.10	4
				1308.70	10	13.0	18
				1339.00	20	0.39	7
				1373.50	10	4.8	7
				1381.20	20	0.76	10
				1440.90	20	0.32	12
				1530.00	10	2.5	4
				1642.0	4	0.16	5
				1713.40	20	1.78	23
				1721.0	3	0.32	6
				1737.2	4	0.11	3
				1791.90	20	0.97	16

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
⁷⁸ As	90.7	2	M	1835.70	20	1.46	20
				1894.00	20	0.29	5
				1921.00	20	0.81	14
				1923.50	20	0.76	14
				1995.60	20	1.35	19
⁸² Br	35.282	7	H	92.190	16	0.726	11
				100.89	8	0.068	5
				129.29	3	0.014	3
				137.40	5	0.090	3
				179.80	20	0.017	3
				214.80	10	0.011	5
				221.4800	20	2.26	4
				273.480	8	0.801	12
				280.30	10	0.024	7
				332.90	3	0.015	5
				401.16	6	0.089	5
				470.30	10	0.039	7
				554.3480	20	71.1	9
				599.5	3	0.017	5
				606.30	10	1.226	21
				619.106	4	43.5	6
				698.374	5	28.3	5
				735.64	7	0.068	7
				776.517	3	83.4	12
				827.828	6	24.0	4
				932.10	20	0.012	5
				952.02	3	0.367	9
				1007.59	3	1.276	21
				1044.002	5	28.3	5
				1072.90	10	0.075	9
				1081.29	5	0.66	6
				1174.0	4	0.068	5
				1180.10	20	0.108	5
				1317.473	10	26.8	5
				1395.10	10	0.0117	17
				1474.880	10	16.60	23
				1650.37	4	0.751	11
				1779.66	3	0.112	3
				1871.60	20	0.0492	18
				1956.80	10	0.0375	17
⁸⁴ Br	31.76	8	M	230.20	20	0.30	5
				339.8	4	0.071	18
				354.70	20	0.30	5
				382.00	20	0.56	10
				447.7	8	0.042	13
				561.4	5	0.083	22
				604.8	3	1.7	3
				688.7	7	0.09	3
				736.5	3	1.29	23
				802.20	20	6.0	8
				881.60	10	42	4
				947.5	7	0.35	9
				955.7	20	0.06	3
				987.3	4	0.79	14
				1005.7	7	0.46	13
				1015.9	3	6.2	8
				1082.6	4	0.14	3
				1119.1	4	0.14	3
				1142.7	10	0.033	13
				1185.0	7	0.108	23

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{84}Br	31.76	8	M	1213.30	20	2.6	4
				1255.5	6	0.046	9
				1438.0	7	0.062	18
				1463.8	7	2.0	4
				1534.7	6	0.100	22
				1578.1	4	0.67	14
				1607.6	4	0.40	7
				1741.2	4	1.6	3
				1779.6	7	0.062	18
				1807.8	8	0.042	13
				1818.7	4	0.24	5
				1877.5	4	1.12	19
^{85}Kr	10.739	14	Y	1897.60	20	14.6	20
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4.480	8	H	513.997	5	0.434	10
				129.810	20	0.301	8
				151.195	6	75.2	10
				304.870	20	14.0	4
^{86}Rb	18.642	18	D	451.00	10	0.011	4
^{87}Kr	76.3	5	M	1077.0	4	8.64	4
				129.4	3	0.045	11
				402.588	12	50	4
				510.78	14	0.079	21
				582.32	21	0.035	10
				673.83	8	1.89	11
				814.25	6	0.164	13
				836.38	5	0.77	5
				845.44	4	7.3	4
				894.02	13	0.046	5
				901.5	3	0.026	5
				946.69	13	0.129	8
				976.14	12	0.056	5
				1063.2	4	0.027	6
				1175.41	7	1.11	7
				1338.00	7	0.63	5
				1382.55	7	0.288	17
				1389.87	12	0.119	8
				1461.3	7	0.050	6
				1531.2	4	0.36	6
^{88}Kr	2.825	19	H	1578.03	14	0.129	12
				1611.18	14	0.114	16
				1740.51	7	2.04	11
				1842.61	23	0.139	12
				27.513	14	1.94	17
				28.26	11	0.028	11
				122.27	6	0.197	12
				165.98	4	3.10	20
				176.71	17	0.024	7
				196.301	10	26.0	13
				240.71	4	0.253	14
				268.2		0.030	14
				311.69	3	0.107	9
				334.71	3	0.145	10
				350.04	19	0.017	7
				362.226	13	2.25	12
				363.5	5	0.05	4
				390.543	11	0.64	6
^{89}Kr				391.20	10	0.08	5
				421.70	18	0.010	4
				471.80	3	0.73	4
				500.02	6	0.097	9

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{88}Kr	2. 825	19	H	517. 00	8	0. 035	11
				570. 57	7	0. 062	8
				573. 27	6	0. 073	8
				579. 04	14	0. 024	11
				603. 21	13	0. 042	11
				665. 94	6	0. 087	15
				677. 34	5	0. 235	18
				731. 01	9	0. 035	11
				741. 34	18	0. 035	11
				774. 14	6	0. 097	15
				779. 12	8	0. 097	22
				788. 28	4	0. 53	3
				790. 32	7	0. 125	12
				798. 65	21	0. 028	11
				822. 01	12	0. 090	12
				834. 830	10	13. 0	7
				850. 34	5	0. 173	14
				862. 327	19	0. 67	4
				879. 51	19	0. 024	7
				883. 06	14	0. 042	8
				944. 92	4	0. 294	20
				950. 49	12	0. 038	11
				961. 83	6	0. 083	11
				985. 780	16	1. 31	7
				990. 09	9	0. 142	19
				1039. 59	3	0. 48	3
				1049. 48	12	0. 142	13
				1054. 54	20	0. 031	11
				1090. 53	12	0. 062	15
				1141. 33	6	1. 28	7
				1179. 51	3	1. 00	5
				1184. 95	4	0. 69	5
				1209. 84	8	0. 14	3
				1212. 73	17	0. 14	5
				1245. 22	4	0. 363	25
				1250. 67	4	1. 12	6
				1298. 78	15	0. 093	22
				1303. 09	24	0. 066	25
				1324. 98	4	0. 16	4
				1335. 81	14	0. 066	11
				1352. 32	11	0. 159	22
				1369. 50	20	1. 48	9
				1406. 94	10	0. 218	20
				1464. 84	9	0. 114	15
				1518. 39	3	2. 15	12
				1529. 77	3	10. 9	6
				1603. 79	5	0. 46	4
				1608. 01	20	0. 069	18
				1661. 3	3	0. 090	22
				1685. 6	4	0. 66	8
				1789. 14	22	0. 045	18
				1793. 3	3	0. 035	14
				1801. 3	3	0. 038	14
				1892. 76	13	0. 14	3
				1908. 7	4	0. 100	15
^{88}Rb	17. 773	11	M	338. 95	7	0. 060	3
				439. 2	3	0. 015	4
				484. 53	16	0. 030	7
				891. 3		0. 022	4
				898. 03	4	14. 40	24

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
⁸⁸ Rb	17. 773	11	M	1027. 3	3	0. 011	5
				1217. 97	18	0. 052	4
				1366. 26	12	0. 113	9
				1382. 45	5	0. 784	9
				1679. 6	3	0. 050	6
				1687.		0. 011	7
				1779. 870	21	0. 238	5
				1798. 35	19	0. 053	4
				1836. 00	5	22. 81	11
⁸⁸ Y	106. 627	21	D	850. 6	8	0. 065	13
				898. 042	3	93. 7	3
				1382. 2	10	0. 021	6
				1836. 063	12	99. 2	3
^{90m} Y	3. 19	6	H	202. 53	3	97. 3	4
				479. 51	5	90. 74	5
				681. 8	6	0. 32	3
⁹¹ Sr	9. 65	6	H	118. 50	20	0. 074	5
				261. 20	20	0. 449	17
				272. 6	6	0. 26	4
				274. 70	20	1. 04	5
				359. 10	10	0. 050	4
				379. 90	10	0. 147	6
				393. 00	10	0. 050	4
				486. 50	20	0. 080	5
				506. 70	10	0. 044	4
				520. 8	3	0. 034	4
				533. 90	10	0. 077	5
				593. 10	10	0. 094	5
				620. 10	10	1. 78	7
				626. 80	10	0. 044	4
				631. 30	10	0. 556	21
				652. 3	3	2. 98	20
				652. 90	20	8. 0	5
				653. 0	20	0. 37	14
				660. 90	10	0. 101	5
				749. 80	10	23. 7	8
				761. 40	10	0. 576	22
				793. 60	10	0. 064	4
				820. 80	20	0. 161	7
				823. 70	10	0. 067	4
				879. 70	10	0. 188	7
				892. 90	10	0. 070	4
				901. 30	20	0. 094	5
				925. 80	20	3. 85	13
				973. 90	10	0. 040	4
				992. 20	10	0. 044	4
				1024. 30	10	33. 5	11
				1054. 60	10	0. 224	8
				1140. 80	10	0. 127	6
				1280. 9	5	0. 93	4
				1305. 30	10	0. 017	4
				1327. 40	10	0. 040	4
				1353. 50	20	0. 023	4
				1413. 40	10	0. 98	4
				1473. 80	10	0. 168	7
				1486. 40	10	0. 013	4
				1545. 90	10	0. 067	4
				1553. 6	3	0. 017	4
				1626. 8	3	0. 013	4
				1651. 4	5	0. 291	11

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
⁹¹ Sr	9.65	6	H	1724.0	5	0.161	7
⁹¹ Y	58.51	6	D	1204.80	13	0.26	4
^{91m} Y	49.71	4	M	555.57	5	95.0	3
⁹² Sr	2.611	17	H	241.56	5	2.93	20
				352.50	20	0.054	10
				430.49	3	3.28	24
				491.27	17	0.27	3
				650.80	20	0.37	4
				892.68	24	0.080	16
				953.31	7	3.52	25
				1142.35	7	2.79	21
⁹² Y	3.54	1	H	1383.93	5	90	6
				448.50	10	2.3	3
				492.60	10	0.49	6
				561.10	10	2.4	3
				844.30	10	1.25	15
				912.8	3	0.63	8
				934.47	7	13.9	16
				972.30	20	0.068	10
				1132.40	10	0.24	3
				1405.40	10	4.8	6
				1847.30	10	0.36	4
⁹³ Y	10.18	8	H	1885.1	3	0.028	5
				266.90	10	7.4	12
				273.0	10	0.072	19
				287.0	10	0.076	16
				341.5	5	0.045	7
				680.20	10	0.67	10
				714.40	20	0.017	4
				947.10	10	2.1	4
				962.30	20	0.0122	24
				987.7	3	0.011	3
				1158.50	20	0.030	6
				1168.61	20	0.011	5
				1183.50	10	0.049	9
				1184.7	6	0.020	5
				1203.30	10	0.109	17
				1237.40	10	0.030	8
				1425.40	10	0.25	4
				1450.50	10	0.33	5
				1470.10	10	0.066	16
				1642.70	10	0.052	9
⁹⁵ Zr	64.032	6	D	1651.70	20	0.024	5
				1827.80	20	0.024	5
				1917.80	10	1.57	23
⁹⁵ Nb	34.991	6	D	235.690	20	0.270	20
				724.192	4	44.27	22
				756.725	12	54.38	22
⁹⁷ Zr	16.749	8	H	204.1161	17	0.028	9
				561.9		0.015	3
				765.803	6	99.808	7
				111.6	3	0.065	10
				182.9	5	0.032	7
				202.5	6	0.029	9
				218.90	20	0.168	19
				254.17	14	1.15	8
				272.40	16	0.23	3
				294.8	4	0.08	3
				297.2	3	0.066	12
				305.1	9	0.028	19

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{97}Zr	16.749	8	H	330.43	19	0.143	15
				355.40	9	2.09	10
				400.42	16	0.245	16
				410.0	10	0.07	5
				473.5	6	0.07	4
				507.64	8	5.03	19
				513.41	18	0.55	5
				558.0	10	0.028	19
				600.6	6	0.09	10
				602.37	14	1.38	8
				690.52	16	0.183	18
				699.2	3	0.101	20
				703.76	5	1.01	5
				707.4	6	0.032	17
				743.36	3	93.09	16
				772	3	0.24	13
				775.0	8	0.1862	4
				804.52	9	0.61	8
				805.6	8	0.2793	5
				829.79	9	0.239	18
				854.89	8	0.357	23
				971.34	15	0.278	17
				1018.1	8	0.3724	7
				1021.2	3	1.01	17
				1026.7	8	0.2793	5
				1110.44	19	0.093	19
				1147.97	8	2.62	11
				1276.07	9	0.94	6
				1361.0	8	0.6516	12
				1362.68	9	1.02	11
				1750.24	22	1.09	11
				1851.61	9	0.31	3
^{97}Nb	72.1	7	M	178.0	3	0.049	10
				238.4	3	0.049	10
				549.25	20	0.049	10
				657.94	9	98.23	8
				719.53	19	0.090	9
				857.46	21	0.045	7
				909.55	14	0.040	7
				1024.4	3	1.09	7
				1117.02	18	0.085	8
				1148.6	3	0.049	10
				1268.62	10	0.147	20
				1515.66	19	0.122	13
$^{97\text{m}}\text{Nb}$	58.7	18	S	743.36	3	97.90	6
^{99}Mo	65.924	6	H	40.58324	17	1.04	4
				158.782	15	0.0176	8
				162.370	15	0.0120	7
				181.068	8	6.05	12
				366.421	15	1.200	25
				380.13	8	0.0105	9
				411.491	15	0.0150	8
				528.788	15	0.0532	20
				620.03	4	0.0279	14
				621.771	24	0.018	4
				739.500	17	12.20	16
				777.921	20	4.31	9
				822.972	15	0.134	3
				960.754	20	0.095	3

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{99m} Tc	6. 0072	9	H	140. 5110	10	89	4
				142. 63	3	0. 0222	20
¹⁰³ Ru	39. 247	3	D	39. 760	10	0. 0692	12
				53. 286	10	0. 443	11
				241. 875	10	0. 0143	3
				294. 964	10	0. 288	4
				443. 810	10	0. 339	5
				497. 085	10	91. 0	13
				557. 057	10	0. 841	11
				610. 333	10	5. 76	7
				612. 09	6	0. 105	6
¹⁰⁵ Ru	4. 44	2	H	62. 39	10	0. 066	10
				81. 20	10	0. 052	10
				129. 782	4	5. 68	16
				139. 33	10	0. 047	10
				149. 10	7	1. 75	19
				163. 46	10	0. 156	19
				183. 60	12	0. 099	10
				225. 08	12	0. 123	10
				245. 21	15	0. 025	5
				254. 88	12	0. 066	10
				262. 83	10	6. 57	16
				286. 30	20	0. 028	5
				306. 66	12	0. 080	10
				316. 44	15	11. 1	4
				326. 14	10	1. 06	12
				330. 85	10	0. 67	8
				339. 40	20	0. 014	5
				343. 30	20	0. 028	5
				349. 96	10	0. 289	15
				350. 18	10	1. 02	12
				369. 45	12	0. 047	10
				393. 36	10	3. 77	7
				407. 60	15	0. 090	10
				413. 53	10	2. 27	24
				469. 37	10	17. 5	6
				470. 1	4	0. 184	24
				479. 60	20	0. 0279	10
				489. 48	10	0. 55	7
				499. 3	4	2. 0	3
				500. 10	20	0. 55	8
				513. 73	10	0. 20	5
				539. 29	10	0. 114	10
				559. 24	10	0. 109	10
				575. 07	12	0. 85	10
				577. 0	4	0. 019	5
				591. 20	15	0. 080	10
				597. 10	15	0. 030	8
				621. 04	10	0. 071	10
				632. 34	10	0. 151	15
				635. 50	20	0. 014	5
				638. 66	10	0. 222	24
				652. 70	10	0. 31	4
				656. 21	10	2. 1	3
				676. 36	8	15. 7	5
				701. 00	20	0. 019	5
				724. 30	3	47. 3	5
				738. 27	10	0. 076	10
				805. 84	15	0. 045	10
				820. 00	20	0. 014	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹⁰⁵ Ru	4. 44	2	H	821. 98	12	0. 21	5
				845. 91	12	0. 63	7
				846. 90	20	0. 028	5
				851. 98	10	0. 156	19
				875. 85	15	2. 50	10
				878. 20	20	0. 47	5
				907. 64	10	0. 53	6
				952. 78	10	0. 0151	15
				969. 44	10	2. 10	8
				984. 60	20	0. 0104	19
				1017. 47	10	0. 32	4
				1059. 60	20	0. 027	8
				1215. 38	10	0. 071	10
				1222. 00	20	0. 0184	24
				1251. 89	15	0. 0194	24
				1321. 26	10	0. 203	24
				1377. 06	11	0. 057	10
				1698. 10	20	0. 076	15
				1721. 36	15	0. 033	10
¹⁰⁵ Rh	35. 36	6	H	38. 72	3	0. 025	4
				280. 10	20	0. 166	15
				306. 10	20	5. 1	4
				318. 90	10	19. 1	6
				442. 8	7	0. 042	6
^{105m} Rh	40		S	129. 57	8	20. 00	
¹⁰⁶ Rh	30. 07	35	S	428. 40	20	0. 071	3
				434. 25	21	0. 0202	21
				439. 2	3	0. 0126	21
				511. 861	4	20. 4	4
				616. 22	9	0. 75	9
				621. 93	6	9. 93	23
				680. 25	14	0. 0110	7
				715. 90	20	0. 0100	5
				873. 49	5	0. 439	11
				1045. 6	6	0. 0133	17
				1050. 41	6	1. 56	5
				1062. 14	5	0. 0320	8
				1114. 48	5	0. 0118	19
				1128. 07	5	0. 404	10
				1180. 73	8	0. 0145	4
				1194. 54	5	0. 0573	12
				1496. 33	13	0. 0222	8
				1562. 25	6	0. 163	4
				1766. 25	5	0. 0343	9
				1796. 94	9	0. 0277	7
				1927. 22	9	0. 0153	5
				1988. 44	8	0. 0261	7
^{108m} Ag	438	9	Y	79. 131	3	6. 6	5
				433. 937	4	90. 5	6
				614. 276	4	89. 8	19
				722. 907	10	90. 8	19
^{110m} Ag	249. 83	4	D	120. 23	3	0. 0171	9
				133. 333	7	0. 0746	16
				219. 348	8	0. 073	5
				221. 078	10	0. 0685	10
				229. 420	22	0. 0120	14
				266. 914	12	0. 041	4
				365. 448	11	0. 094	5
				387. 075	9	0. 0525	9
				396. 894	22	0. 037	4

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{110m}Ag	249. 83	4	D	446. 812	3	3. 70	5
				467. 01	4	0. 0252	19
				544. 56	4	0. 018	3
				572. 70	10	0. 0175	13
				573. 0	4	0. 0172	10
				603. 08	20	0. 011	8
				620. 3553	17	2. 73	8
				626. 256	10	0. 217	17
				630. 62	5	0. 033	5
				647. 9	4	0. 0177	5
				657. 7601	11	95. 61	10
				666. 90	9	0. 029	14
				676. 59	7	0. 143	10
				677. 6218	12	10. 70	5
				687. 0092	18	6. 53	3
				706. 6761	15	16. 69	7
				708. 133	20	0. 23	5
				744. 2756	18	4. 77	3
				763. 9425	17	22. 60	7
				818. 0245	18	7. 43	4
				884. 6782	13	75. 0	12
				937. 485	3	35. 0	3
				997. 246	14	0. 130	4
				1018. 94	4	0. 0142	7
				1085. 447	14	0. 073	4
				1117. 48	3	0. 0494	9
				1125. 709	20	0. 0308	14
				1163. 19	5	0. 075	23
				1164. 98	7	0. 044	3
				1251. 06	4	0. 027	3
				1300. 07	7	0. 0191	7
				1334. 348	16	0. 143	5
				1384. 2932	20	25. 1	5
				1420. 29	10	0. 027	4
				1475. 7794	23	4. 08	5
				1505. 0282	20	13. 33	16
				1562. 2942	18	1. 22	3
				1592. 77	6	0. 0209	8
				1783. 49	3	0. 0102	5
				1903. 53	3	0. 0162	7
^{113}Ag	5. 37	5	H	17. 70	20	0. 042	5
				96. 20	20	0. 0370	20
				133. 50	20	0. 0660	20
				206. 40	20	0. 0200	20
				217. 20	10	0. 0280	20
				258. 80	10	1. 64	3
				298. 60	10	10. 00	
				316. 30	10	1. 343	20
				333. 10	10	0. 598	9
				339. 40	10	0. 638	10
				364. 40	10	0. 140	3
				369. 0	10	0. 010	5
				374. 30	20	0. 0250	20
				382. 10	10	0. 145	3
				392. 40	10	0. 0200	20
				410. 80	10	0. 0120	20
				584. 00	10	0. 21	3
				585. 0	10	0. 010	5
				611. 0	5	0. 045	10
				624. 00	10	0. 0190	10

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{113}Ag	5.37	5	H	672.30	10	0.87	3
				672.30	10	0.030	10
				680.60	10	0.695	16
				734.0	10	0.010	5
				809.90	10	0.0150	20
				816.10	10	0.0110	20
				827.0	10	0.010	5
				878.50	10	0.0520	20
				883.60	10	0.282	7
				896.10	10	0.058	10
				988.40	10	0.423	9
				1049.90	10	0.045	3
				1084.50	10	0.016	3
				1126.10	10	0.061	3
				1180.80	10	0.037	3
				1194.60	10	0.378	10
				1479.20	10	0.068	4
^{113}Sn	115.09	3	D	255.134	10	2.11	8
				391.698	3	64.97	17
$^{114\text{m}}\text{In}$	49.51	1	D	190.27	3	15.56	16
				558.43	3	4.4	7
				725.24	3	4.4	7
^{115}Cd	53.46	5	H	35.57	6	0.0153	4
				231.443	3	0.740	18
				260.896	3	1.94	4
				266.985	10	0.092	4
				336.24	3	1.000	20
				492.351	4	8.03	19
$^{115\text{m}}\text{In}$	4.486	4	H	527.901	7	27.5	6
				336.24	3	45.8	4
^{117}Cd	2.49	4	H	497.37	3	0.047	7
				71.120	20	0.39	6
				89.730	10	3.26	22
				105.40	15	0.022	12
				131.40	20	0.011	6
				132.70	10	0.022	12
				160.8	3	0.25	12
				171.05	7	0.025	12
				179.35	8	0.10	3
				220.92	3	1.17	9
				221.0	4	0.06	6
				273.349	18	27.9	7
				279.80	10	0.11	6
				284.79	7	0.084	23
				292.05	3	0.64	9
				310.0	5	0.0698	18
				314.4	4	0.08	6
				344.459	10	17.9	6
				385.5	4	0.0363	10
				387.96	4	0.31	6
				397.20	10	0.20	6
				416.90	20	0.017	17
				419.79	4	0.18	4
				434.190	17	9.8	5
				439.39	7	0.11	6
				453.8	3	0.036	20
				463.04	3	0.75	6
				497.77	10	0.11	6
				500.60	20	0.014	14
				526.6	5	0.03	3

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{117}Cd	2.49	4	H	527.0	5	0.14	6
				597.6	3	0.014	14
				627.01	11	0.11	3
				644.50	20	0.017	17
				660.83	8	0.11	3
				688.0	3	0.011	12
				699.58	8	0.24	4
				712.71	5	0.56	17
				716.43	7	0.20	4
				728.64	7	0.24	4
				736.14	8	0.06	4
				748.05	4	0.56	20
				757.60	20	0.028	20
				787.4	5	0.0558	14
				831.80	3	2.26	11
				840.21	4	0.81	6
				850.72	8	0.12	4
				861.3	4	0.28	20
				862.60	5	0.61	6
				880.710	17	3.96	22
				945.67	3	1.53	10
				949.63	8	0.22	4
				952.33	8	0.14	4
				963.11	6	0.61	6
				965.80	20	0.08	6
				969.30	5	0.45	6
				970.4	3	0.06	6
				975.5	5	0.0725	19
				994.3	4	0.017	17
				1012.3	3	0.08	6
				1035.61	7	0.24	4
				1036.0	4	0.017	17
				1051.70	10	3.79	22
				1052.70	10	0.73	17
				1061.10	20	0.06	6
				1116.60	5	1.03	7
				1120.05	7	0.24	4
				1125.10	6	0.45	6
				1142.43	3	1.67	12
				1143.5	3	0.14	6
				1183.40	10	0.13	4
				1229.11	7	0.61	6
				1232.30	20	0.28	6
				1247.89	4	1.20	7
				1249.3	4	0.03	3
				1260.00	3	1.14	7
				1272.73	3	0.73	6
				1276.00	10	0.025	12
				1291.00	4	0.67	6
				1303.27	3	18.4	6
				1314.71	6	0.59	6
				1316.0	4	0.03	3
				1317.5	4	0.017	17
				1337.57	7	1.62	12
				1362.40	8	0.24	4
				1404.40	10	0.12	3
				1408.72	3	1.28	7
				1422.27	6	0.33	6
				1430.97	5	0.558	14
				1433.50	20	0.11	9

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{117}Cd	2. 49	4	H	1450. 15	7	0. 61	6
				1468. 90	20	0. 039	12
				1475. 46	7	0. 42	6
				1511. 90	20	0. 07	4
				1521. 00	12	0. 09	3
				1562. 24	4	1. 42	7
				1563. 6	4	0. 08	6
				1576. 62	3	11. 2	4
				1578. 4	3	0. 14	6
				1583. 10	10	0. 05	3
				1596. 0	4	0. 03	3
				1597. 3	4	0. 06	6
				1652. 10	20	0. 28	12
				1682. 07	5	0. 70	6
				1685. 8	3	0. 039	17
				1706. 93	4	1. 00	7
				1723. 06	3	2. 01	10
				1739. 13	9	0. 13	4
				1748. 70	20	0. 08	4
				1756. 80	20	0. 045	23
$^{117\text{m}}\text{Cd}$	3. 36	5	H	1856. 40	10	0. 25	6
				1867. 30	10	0. 11	3
				97. 70	4	1. 05	14
				99. 40	10	0. 10	6
				101. 00	20	0. 08	6
				168. 63	5	0. 29	6
				220. 92	3	0. 24	16
				292. 05	3	0. 10	11
				299. 45	10	0. 45	8
				310. 26	15	0. 50	11
				313. 8	4	0. 024	24
				325. 30	20	0. 13	6
				366. 91	3	3. 33	25
				381. 2	4	0. 024	24
				408. 00	20	0. 09	5
				439. 39	7	0. 18	8
				442. 9	3	0. 0262	5
				460. 94	4	1. 62	14
				484. 79	3	1. 02	14
				518. 8	3	0. 06	3
				545. 0	4	0. 16	8
				564. 397	16	14. 7	9
				597. 34	20	0. 131	3
				617. 50	7	0. 34	8
				627. 26	15	0. 236	5
				631. 80	4	2. 80	20
				663. 50	6	0. 68	8
				684. 6	4	0. 07	4
				712. 71	5	1. 00	14
				730. 8	4	0. 1048	20
				743. 9	10	0. 013	14
				748. 06	3	4. 5	11
				762. 72	4	1. 73	14
				788. 16	13	0. 50	11
				827. 60	10	0. 26	8
				860. 41	4	7. 9	4
				880. 710	17	0. 7	3
				886. 00	10	0. 39	8
				929. 30	10	0. 79	14
				931. 37	4	3. 64	25

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{117m}Cd	3. 36	5	H	957. 20	10	0. 39	11
				995. 0	5	0. 0524	10
				1029. 06	3	11. 7	5
				1065. 98	3	23. 1	7
				1120. 0	3	0. 13	14
				1170. 71	10	0. 66	14
				1196. 20	10	0. 39	11
				1205. 5	3	0. 13	4
				1208. 3	4	0. 05	6
				1209. 0	4	0. 18	8
				1209. 0	4	0. 13	8
				1234. 59	3	11. 0	4
				1256. 90	20	0. 18	8
				1339. 3	5	2. 07	24
				1365. 54	5	1. 65	11
				1371. 2	5	0. 0314	6
				1432. 91	3	13. 4	4
				1442. 1	3	0. 0183	4
				1652. 24	11	0. 47	11
				1669. 5	3	0. 63	8
				1957. 50	20	0. 16	4
				1997. 33	3	26. 2	5
^{122}Sb	2. 7238	2	D	564. 24	4	70. 67	18
				615. 0	4	0. 011	5
				692. 65	4	3. 85	13
				793. 3	4	0. 016	5
				1140. 67	4	0. 76	6
				1256. 93	4	0. 81	5
^{124}Sb	60. 20	3	D	254. 49	4	0. 0161	10
				336. 21	4	0. 074	3
				371. 00	11	0. 038	5
				400. 30	6	0. 139	7
				444. 09	3	0. 1889	20
				469. 06	7	0. 050	3
				481. 42	4	0. 0237	19
				525. 50	21	0. 138	4
				530. 45	3	0. 0421	20
				572. 06	6	0. 0190	13
				602. 7261	23	97. 8	4
				632. 489	19	0. 1046	10
				645. 8521	19	7. 42	3
				662. 42	3	0. 029	4
				709. 34	5	1. 353	13
				713. 776	4	2. 276	18
				722. 782	3	10. 76	5
				735. 7	7	0. 056	6
				735. 9	7	0. 071	7
				766. 32	4	0. 01213	20
				790. 706	7	0. 739	6
				816. 8	3	0. 0729	18
				856. 68	4	0. 0238	10
				899. 23	3	0. 0172	14
				968. 195	4	1. 882	10
				976. 62	5	0. 0832	16
				1045. 125	4	1. 833	12
				1086. 70	8	0. 0378	18
				1263. 45	7	0. 0413	18
				1301. 14	9	0. 0343	10
				1325. 504	4	1. 580	15
				1355. 20	5	1. 038	13

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{124}Sb	60.20	3	D	1368.157	5	2.624	14
				1376.090	9	0.483	5
				1385.33	4	0.063	3
				1436.554	7	1.217	9
				1445.11	4	0.330	4
				1488.887	24	0.672	6
				1526.317	24	0.409	5
				1565.7	5	0.014	3
				1579.82	5	0.38	5
				1622.4	4	0.0409	10
				1690.971	4	47.57	19
				1720.72	3	0.0951	17
^{125}Sn	9.64	3	D	1918.74	6	0.0545	16
				234.70	10	0.035	10
				258.25	10	0.010	11
				258.25	10	0.010	11
				270.60	5	0.11	3
				282.45	5	0.018	6
				332.10	5	1.4	4
				350.95	5	0.26	7
				434.13	10	0.024	7
				469.85	5	1.5	4
				487.20	20	0.013	4
				524.30	5	0.010	3
				563.00	20	0.016	5
				652.60	10	0.041	11
				684.00	20	0.011	4
				800.28	5	1.1	3
				822.48	5	4.3	12
				893.40	5	0.29	8
				903.5	5	0.013	5
				915.55	5	4.1	12
				921.43	5	0.082	23
				934.63	5	0.21	6
				1017.40	5	0.32	9
				1067.10	5	10	3
				1087.70	10	1.2	4
				1089.15	10	4.6	13
				1111.40	10	0.014	5
				1151.23	5	0.11	3
				1163.84	5	0.031	9
				1173.30	5	0.18	5
				1198.70	15	0.016	5
				1220.88	10	0.27	8
				1259.35	10	0.031	9
				1349.42	10	0.059	16
				1419.70	5	0.49	13
				1591.40	20	0.025	7
				1806.690	16	0.15	4
				1889.884	16	0.074	21
^{125}Sb	2.75856	25	Y	19.80	6	0.0204	10
				35.489	5	4.37	5
				58.43	5	0.012	6
				116.955	11	0.263	4
				172.719	8	0.191	8
				176.3140	20	6.84	7
				178.842	5	0.0337	24
				198.654	11	0.0128	6
				204.138	10	0.317	7
				208.077	5	0.248	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{125}Sb	2. 75856	25	Y	209. 32	9	0. 045	3
				227. 891	10	0. 1311	23
				321. 04	4	0. 416	5
				380. 452	8	1. 517	17
				408. 065	10	0. 184	3
				427. 874	4	29. 6	3
				443. 555	9	0. 306	4
				463. 365	4	10. 49	11
				600. 5970	20	17. 65	19
				606. 713	3	4. 98	6
				635. 950	3	11. 22	15
^{127}Sb	3. 85	5	D	671. 441	6	1. 791	19
				61. 10	10	1. 44	14
				154. 3	5	0. 15	8
				252. 4	3	8. 5	6
				280. 4	5	0. 66	16
				290. 8	5	2. 02	16
				293. 3	9	0. 29	15
				310. 0	7	0. 26	12
				391. 8	5	0. 96	9
				412. 1	5	3. 8	5
				441. 0	9	0. 7	4
				445. 1	5	4. 3	3
				451. 0	7	0. 18	8
				456. 0	10	0. 11	8
				473. 0	4	25. 8	16
				502. 8	6	0. 8	3
				543. 3	5	2. 9	5
				584. 2	11	0. 33	19
				603. 5	5	4. 5	3
				624. 0	10	0. 066	23
				637. 8	5	0. 44	15
				652. 3	9	0. 37	8
				667. 5	9	0. 74	9
				682. 3	10	0. 6	3
				685. 7	5	36. 8	20
				698. 5	5	3. 64	22
				722. 2	5	1. 88	15
				745. 9	5	0. 15	8
				763. 7	8	0. 07	4
				783. 7	5	15. 1	9
				817. 0	6	0. 40	19
				820. 6	6	0. 22	12
				924. 4	9	0. 52	8
				1141. 6	8	0. 37	8
				1155. 2	10	0. 040	23
				1290. 3	8	0. 37	12
				1377. 9	9	0. 07	4
^{127}Te	9. 35	7	H	57. 63	8	0. 030	5
				202. 90	10	0. 058	7
				215. 10	10	0. 039	5
				360. 30	10	0. 135	14
				417. 90	10	0. 99	14
^{128}Sb	9. 05	4	H	102. 8	3	0. 40	11
				118. 4	3	0. 60	11
				152. 6	3	0. 50	11
				204. 4	10	1. 00	21
				214. 80	20	1. 00	21
				227. 30	20	1. 5	3
				235. 00	10	0. 30	11

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹²⁸ Sb	9.05	4	H	249.70	20	0.60	11
				278.3	3	0.60	11
				314.10	10	61	5
				317.70	20	3.0	11
				322.30	20	3.0	11
				357.0	3	1.5	3
				366.1	3	1.5	3
				404.3	3	1.00	21
				445.7	3	1.5	3
				454.5	3	1.5	3
				459.5	3	1.5	3
				526.50	10	45	3
				582.9	3	1.00	21
				594.3	3	1.00	21
				603.0	3	1.7	4
				628.70	10	31	3
				636.20	10	36	3
				654.20	20	17.0	14
				667.1	3	2.5	4
				683.9	3	3.0	11
				692.9	3	2.0	10
				727.6	3	4.0	11
				743.30	10	100	7
				754.00	10	100	7
				773.7	3	1.5	3
				802.7	3	1.20	21
				813.60	20	13.0	21
				835.8	4	1.0	10
				845.8	4	2.5	4
				860.8	4	0.40	11
				878.0	4	3.5	5
				908.8	4	1.0	10
				972.3	4	1.0	10
				1047.5	4	3.5	5
				1078.6	4	2.0	10
				1112.7	4	2.0	10
				1129.6	4	0.80	21
				1158.2	4	1.5	3
				1181.6	4	4.5	6
				1250.5	4	1.0	10
				1259.5	4	1.0	10
				1339.8	4	1.0	10
				1378.0	4	1.8	5
				1593.2	5	0.50	11
				1685.7	5	0.50	11
				1707.9	5	0.30	11
				1785.5	5	0.40	11
¹²⁹ Sb	4.366	26	H	95.42	3	0.0448	16
				115.84	4	0.087	3
				146.110	10	0.0906	19
				180.420	10	2.84	15
				244.530	10	0.403	7
				268.480	20	0.214	5
				290.48	4	0.060	3
				295.260	10	0.828	14
				314.400	20	0.123	3
				318.360	10	0.227	4
				330.33	4	0.073	4
				333.210	20	0.171	5
				351.46	11	0.075	9

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹²⁹ Sb	4.366	26	H	354.13	8	0.097	10
				359.200	10	2.39	4
				364.21	3	0.305	9
				398.97	5	0.069	3
				404.640	10	1.172	19
				409.710	20	0.231	6
				415.17	4	0.096	4
				421.72	10	0.050	4
				434.7		0.1113	14
				435.04	9	0.212	15
				453.440	10	0.538	10
				471.54	9	0.045	4
				499.990	10	0.430	7
				505.330	10	0.518	9
				514.43	8	0.147	13
				523.13	12	1.55	4
				525.2		0.1644	21
				539.52	6	0.077	6
				544.560	10	15.42	24
				566.960	20	0.136	3
				590.0	3	0.022	7
				592.77	6	0.041	3
				606.22	4	0.146	5
				633.740	10	2.53	4
				647.940	20	0.124	4
				654.280	10	2.97	5
				670.31	4	0.96	4
				682.770	10	5.76	10
				684.180	10	0.622	10
				688.59	8	0.164	15
				694.77	3	0.403	11
				697.8		0.254	4
				703.36	5	0.095	4
				707.08	3	0.138	5
				715.49	14	0.051	9
				737.070	10	0.444	7
				761.120	10	4.32	7
				768.980	20	0.321	7
				773.370	10	2.82	5
				786.360	10	1.071	17
				787.160	10	1.74	3
				796.21	6	0.040	3
				812.970	10	48.2	8
				819.510	20	1.39	4
				826.75	16	0.067	20
				832.99	16	0.063	15
				840.17	22	0.027	10
				849.57	5	0.076	3
				861.00	3	0.0680	17
				874.89	3	0.534	9
				876.65	3	2.75	8
				903.19	8	0.140	8
				914.960	10	23.3	4
				939.5		0.1918	24
				940.51	12	0.77	4
				966.780	10	8.96	15
				992.70	4	0.105	4
				996.54	3	0.176	5
				1000.50	8	0.050	4
				1022.12	7	0.029	3

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{129}Sb	4.366	26	H	1030.650	10	15.13	24
				1037.29	4	0.307	11
				1042.30	6	0.042	3
				1053.02	5	0.053	3
				1087.98	3	0.411	10
				1104.520	10	0.341	6
				1122.48	3	0.092	4
				1126.57	3	0.120	4
				1147.59	3	0.089	3
				1167.950	20	0.253	5
				1179.63	4	0.0540	21
				1196.420	20	0.0853	18
				1209.03	3	0.940	19
				1211.89	17	0.38	7
				1233.2	6	0.053	25
				1237.81	12	0.241	6
				1258.440	10	0.402	7
				1263.300	10	0.910	15
				1273.100	20	0.164	4
				1276.13	7	0.103	10
				1281.720	10	0.559	9
				1287.45	3	0.100	3
				1298.7	4	0.12	4
				1301.45	5	0.202	9
				1318.300	10	0.462	8
				1326.980	10	0.695	11
				1384.98	3	0.100	3
				1419.40	12	0.394	7
				1421		0.0376	5
				1437.520	20	0.316	7
				1475.91	3	0.0699	17
				1480.94	12	0.373	7
				1483		0.0410	5
				1501.04	4	0.0598	21
				1526.840	10	0.548	9
				1541.47	3	0.0670	21
				1570.090	10	0.872	14
				1582.11	5	0.0337	15
				1600.130	10	0.579	10
				1606.720	10	0.0198	20
				1622.460	10	0.208	4
				1646.79	5	0.0270	11
				1656.100	10	1.311	22
				1669.16	7	0.0217	15
				1691.24	4	0.0424	16
				1724.310	20	0.133	3
				1727.770	20	0.029	7
				1738.160	10	7.45	12
				1762.42	5	0.0318	11
				1779.78	4	0.0781	22
				1843.490	10	0.021	6
				1871.580	10	0.356	6
				1891.10	7	0.0159	10
				1917.36	3	0.0540	16
				1934.24	3	0.0540	16
^{129}Te	69.6	3	M	27.81	5	16.3	20
				208.96	5	0.180	13
				250.62	5	0.38	3
				278.43	5	0.57	4
				281.26	5	0.165	12

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{129}Te	69.6	3	M	342.88	5	0.049	4
				459.60	5	7.7	6
				487.39	5	1.42	11
				531.83	5	0.088	7
				624.34	5	0.097	7
				740.96	5	0.037	3
				802.10	5	0.192	14
				804.60	13	0.022	3
				833.28	5	0.045	4
				982.27	5	0.0160	12
				1083.85	5	0.49	4
				1111.64	5	0.191	15
$^{129\text{m}}\text{Te}$	33.6	1	D	1260.63	5	0.0112	9
				27.81	5	0.027	6
				105.50	5	0.14	4
				556.65	5	0.118	24
				671.84	5	0.025	5
				695.88	6	3.0	6
				701.7	3	0.025	5
				729.57	5	0.70	14
				740.96	5	0.027	6
				817.04	5	0.091	18
				844.81	5	0.034	7
				1022.43	5	0.017	4
^{129}I	1.57E+7	4	Y	1050.21	5	0.018	4
^{130}Sb	39.5	8	M	39.578	4	7.51	23
				182.330	9	65	4
				258.00	20	3.9	4
				285.48	7	3.5	4
				303.30	20	5.8	6
				330.914	9	78	4
				455.40	20	4.8	5
				462.5	4	0.80	20
				468.00	10	18.0	10
				483.6	3	2.2	3
				506.7	3	2.0	4
				595.5	3	1.00	20
				626.7	3	2.8	3
				635.7	3	1.6	3
				654.7	3	2.00	20
				658.2	3	1.7	4
				669.2	3	1.10	20
				680.9	3	6.5	7
				686.6	3	3.2	4
				732.00	10	22.0	10
				793.40	10	100	5
				829.8	3	1.8	4
				839.52	6	100	5
				855.7	4	1.6	3
				883.3	4	1.2	3
				914.9	4	1.8	4
				926.0	5	0.40	20
				934.90	20	19.0	10
				992.1	4	1.9	4
				1000.2	4	2.3	5
				1030.7	4	1.5	3
				1075.5	5	0.40	20
				1089.5	4	3.7	4
				1096.5	5	0.80	20
				1134.2	5	0.40	20

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹³⁰ Sb	39. 5	8	M	1137. 6	5	0. 30	20
				1141. 4	4	2. 0	4
				1146. 2	5	0. 60	20
				1239. 0	5	1. 8	3
				1258. 5	5	1. 00	20
				1292. 3	4	3. 7	4
				1368. 7	5	1. 10	20
				1419. 3	5	1. 20	20
				1443. 7	5	2. 5	3
				1473. 1	8	0. 60	20
				1488. 4	8	0. 60	20
				1499. 6	8	0. 40	20
				1521. 1	8	0. 80	20
				1533. 7	8	0. 90	20
				1561. 6	8	0. 60	20
				1581. 9	8	1. 9	4
				1617. 0	8	0. 90	20
				1626. 6	8	0. 60	20
				1655. 6	8	0. 80	20
				1749. 8	8	0. 30	20
				1762. 6	5	2. 5	3
				1884. 4	8	0. 70	20
				1948. 0	8	1. 20	20
				1997. 4	5	2. 10	20
¹³⁰ I	12. 36	1	H	158. 80	18	0. 020	7
				227. 55	16	0. 012	5
				246. 306	22	0. 047	5
				280. 09	11	0. 024	7
				302. 49	6	0. 013	5
				363. 467	15	0. 089	20
				417. 932	4	34. 2	10
				427. 94	4	0. 083	11
				429. 1		0. 034	11
				457. 758	21	0. 237	15
				510. 472	9	0. 85	3
				536. 066	6	99. 00	
				539. 053	8	1. 40	4
				553. 916	10	0. 66	3
				586. 049	8	1. 69	6
				603. 548	14	0. 61	3
				623. 0	3	0. 017	11
				668. 536	9	96	3
				686. 060	14	1. 07	4
				729. 54	22	0. 011	8
				739. 512	10	82	3
				749. 02	14	0. 012	5
				800. 23	4	0. 101	5
				808. 29	3	0. 236	10
				814. 15	11	0. 025	5
				821. 15	8	0. 043	5
				854. 99	10	0. 035	5
				867. 75	22	0. 043	6
				877. 35	4	0. 191	10
				897. 04	16	0. 021	5
				944. 21	8	0. 062	14
				967. 02	3	0. 88	3
				996. 80	16	0. 028	5
				1060. 07	17	0. 017	5
				1094. 29	20	0. 028	8
				1096. 48	4	0. 552	20

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{130}I	12.36	1	H	1122.15	4	0.253	11
				1157.43	3	11.3	4
				1222.56	3	0.179	8
				1272.12	3	0.748	25
				1403.90	3	0.345	16
				1417.69	13	0.0119	20
				1424.73	15	0.0208	20
				1487.85	15	0.0119	20
				1500.20	9	0.0396	20
				1545.78	23	0.023	4
				1547.75	23	0.018	4
				1607.29	12	0.045	3
^{131}Sb	23.03	4	M	134.60	10	2.5	10
				159.9	5	0.47	15
				182.250	20	0.065	4
				274.3	3	1.2	13
				295.70	10	1.6	17
				301.3	3	2.4	5
				323.8	4	1.2	4
				326.2	4	1.2	7
				433.81	19	2.0	20
				456.7	5	0.7	7
				619.8	3	1.6	3
				625.7	3	2.4	5
				642.30	10	24	5
				657.9	3	4	4
				669.00	19	1.9	4
				726.30	10	4.1	5
				824.91	19	2.6	4
				854.60	20	3.3	5
				866.0	10	0.47	10
				911.0	4	0.71	4
				933.09	10	26.4	20
				943.41	10	47.1	24
				958.59	10	0.61	19
				991.5	5	1.4	5
				1050.4	4	0.7	4
				1123.63	19	8.9	9
				1191.9	6	0.6	6
				1191.9	6	0.6	6
				1207.40	10	4.1	4
				1233.76	19	2.3	5
				1249.10	20	0.52	24
				1267.57	19	3.0	3
				1284.7	5	0.3	3
				1284.7	8	0.3	3
				1331.8	3	0.85	11
				1360.3	3	0.9	5
				1392.0	4	0.8	3
				1398.90	20	1.37	16
				1455.10	10	0.47	24
				1470.30	20	1.55	17
				1517.2	3	1.22	16
				1538.0	4	0.5	3
				1544.2	3	0.9	4
				1553.5	4	0.6	3
				1559.0	4	0.42	19
				1573.50	20	1.04	25
				1608.80	20	1.4	3
				1721.8	5	2.45	19

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{131}Sb	23. 03	4	M	1756. 10	20	1. 13	16
				1821. 2	5	1. 22	25
				1854. 3	3	4. 2	6
				1854. 4	3	4. 2	4
				1915. 7	6	1. 0	5
				1956. 4	5	0. 8	4
				1965. 8	4	1. 3	7
				1984. 6	7	0. 42	19
$^{131\text{m}}\text{Te}$	33. 25	25	H	36. 83	3	0. 0116	15
				62. 380	20	0. 0351	24
				66. 95	5	0. 022	4
				73. 32	5	0. 026	3
				78. 57	8	0. 015	3
				79. 19	3	0. 123	5
				81. 140	20	3. 92	10
				86. 430	20	0. 142	5
				98. 30	10	0. 013	3
				100. 00	10	0. 071	4
				101. 6	3	0. 164	16
				102. 060	10	7. 66	20
				103. 3	3	0. 045	8
				105. 00	20	0. 026	4
				109. 40	20	0. 034	8
				111. 90	20	0. 030	8
				113. 50	10	0. 011	4
				127. 4	4	0. 022	8
				130. 50	10	0. 067	8
				134. 860	20	0. 68	3
				137. 60	20	0. 07	4
				149. 3	3	0. 075	19
				149. 710	10	4. 9	7
				151. 20	20	0. 07	3
				155. 90	20	0. 037	23
				159. 66	4	0. 123	15
				169. 70	20	0. 030	8
				172. 00	20	0. 011	4
				177. 20	20	0. 063	12
				182. 250	20	0. 992	20
				182. 250	20	0. 71	19
				183. 11	8	0. 149	19
				188. 13	5	0. 205	12
				189. 76	4	0. 49	4
				190. 52	6	0. 112	15
				200. 630	20	7. 28	17
				203. 4	4	0. 019	8
				207. 50	10	0. 037	12
				210. 3	3	0. 015	4
				211. 9	4	0. 011	4
				213. 98	3	0. 411	20
				227. 7	4	0. 015	12
				230. 65	5	0. 187	12
				232. 30	10	0. 090	12
				235. 00	20	0. 015	12
				240. 930	10	7. 32	15
				253. 170	20	0. 627	16
				255. 44	7	0. 299	13
				261. 40	20	0. 015	4
				267. 2	3	0. 015	12
				269. 2	3	0. 05	6
				269. 2	3	0. 05	6

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{131m} Te	33.25	25	H	278.560	20	1.72	5
				281.4	3	0.034	19
				283.20	20	0.37	4
				290.30	20	0.075	12
				296.8	3	0.049	8
				302.70	20	0.037	12
				303.90	20	0.037	8
				309.47	6	0.36	4
				323.7	4	0.015	8
				331.2	6	0.030	12
				334.270	10	9.22	20
				335.44	7	0.131	23
				342.92	5	0.37	12
				342.92	5	0.04	4
				345.9	3	0.09	3
				351.30	10	0.202	19
				353.5	3	0.07	4
				354.70	10	0.220	12
				357.4	3	0.019	8
				362.3	4	0.07	4
				364.98	10	1.16	15
				375.8	3	0.011	4
				377.8	3	0.019	19
				377.8	3	0.019	19
				379.3	3	0.019	8
				383.90	7	0.19	3
				403.3	4	0.030	12
				408.2	3	0.06	3
				417.40	20	0.269	20
				432.40	7	0.64	3
				452.30	4	1.5	4
				462.92	5	1.76	5
				468.16	9	0.30	3
				492.65	5	0.07	15
				506.80	20	0.086	15
				524.80	10	0.131	16
				530.70	10	0.101	19
				541.40	10	0.108	23
				546.70	20	0.037	8
				558.10	20	0.022	8
				572.70	20	0.041	23
				579.8	3	0.075	23
				586.30	3	1.90	9
				597.00	20	0.049	19
				602.09	4	0.30	12
				609.40	10	0.134	16
				637.3		0.015	15
				657.20	20	0.030	15
				665.05	3	4.18	11
				681.9	3	0.030	8
				685.90	10	0.149	12
				695.62	8	0.38	3
				702.50	7	0.377	20
				713.10	4	1.38	16
				738.80	20	0.063	12
				744.20	4	1.53	5
				749.0	8	0.015	8
				773.67	3	36.8	8
				774.10	10	0.52	8
				782.49	4	7.51	18

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{131m}Te	33.25	25	H	793.75	3	13.4	3
				801.60	20	0.019	8
				822.78	4	5.90	13
				844.90	20	0.15	4
				848.90	20	0.037	12
				852.21	3	0.37	19
				852.21	3	19.9	6
				856.05	6	0.60	4
				865.10	20	0.19	4
				872.3	3	0.097	12
				881.6	3	0.034	12
				910.00	3	3.17	10
				920.62	5	1.16	8
				923.40	20	0.112	23
				930.0	4	0.019	12
				941.27	5	0.75	3
				987.80	10	0.149	12
				995.1	3	0.086	15
				999.20	10	0.164	19
				1003.60	20	0.026	15
				1005.70	20	0.071	15
				1023.60	20	0.060	8
				1035.40	20	0.101	8
				1059.69	4	1.49	5
				1072.30	20	0.022	4
				1108.3	3	0.022	8
				1114.1	3	0.011	4
				1125.46	4	11.0	3
				1127.96	6	0.93	8
				1148.89	7	1.5	3
				1148.89	7	0.24	25
				1150.90	9	0.63	8
				1162.70	20	0.026	8
				1165.50	10	0.134	12
				1181.4	4	0.011	8
				1206.60	4	9.41	22
				1211.00	20	0.060	12
				1237.32	5	0.63	4
				1254.2	4	0.026	4
				1315.16	8	0.67	8
				1316.20	20	0.09	4
				1318.30	20	0.037	8
				1333.8	3	0.052	8
				1340.60	10	0.097	12
				1376.8	4	0.041	8
				1389.6	3	0.015	4
				1394.83	9	0.105	8
				1403.6	6	0.011	8
				1496.5	4	0.056	8
				1547.75	9	0.067	8
				1646.01	5	1.20	5
				1696.8	5	0.015	4
				1880.1	3	0.060	8
				1887.70	7	1.31	5
				1936.15	9	0.071	8
				1980.3	3	0.030	8
^{131}I	8.0252	6	D	80.1850	20	2.62	4
				163.930	8	0.0211	5
				177.2140	20	0.269	4
				272.498	17	0.0576	12

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{131}I	8.0252	6	D	284.305	5	6.12	7
				318.088	16	0.0774	17
				324.65	3	0.0212	25
				325.789	4	0.273	22
				358.40	20	0.016	6
				364.489	5	81.5	8
				404.814	4	0.0546	17
				503.004	4	0.359	4
				636.989	4	7.16	10
				642.719	5	0.217	5
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	11.84	4	D	722.911	5	1.77	3
^{132}Te	3.204	13	D	163.930	8	1.95	6
				49.720	10	15.0	6
				111.76	8	1.74	8
				116.30	8	1.96	9
^{132}I	2.295	13	H	228.16	6	88	4
				136.7	4	0.04	5
				136.7	4	0.04	5
				147.40	10	0.237	20
				183.6	3	0.138	20
				194.3	5	0.089	
				234.3	6	0.030	10
				241.2	5	0.049	
				250.8	6	0.011	12
				250.8	6	0.011	12
				255.1	3	0.010	10
				255.10	20	0.237	20
				262.90	10	1.28	10
				278.4	4	0.025	25
				278.4	4	0.025	25
				284.90	10	0.71	7
				296.5	6	0.016	
				306.7	4	0.06	6
				306.7	4	0.06	6
				310.1	4	0.05	6
				310.1	4	0.05	6
				316.7	4	0.128	20
				343.7	4	0.089	20
				355.2	4	0.03	4
				355.2	4	0.03	4
				363.34	5	0.49	10
				376.6	4	0.010	5
				387.9	3	0.17	18
				387.9	3	0.17	18
				387.9	3	0.17	18
				402.6	6	0.023	
				416.8	3	0.47	5
				431.8	3	0.47	5
				445.0	6	0.099	
				446.2	3	0.60	5
				473.6	4	0.17	4
				478.2	4	0.17	4
				488.0	4	0.23	24
				488.0	4	0.23	24
				505.79	3	4.94	20
				522.65	9	16.0	5
				535.4	3	0.51	5
				539.7	4	0.06	7
				539.7	4	0.06	7
				547.20	20	1.14	8

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{132}I	2.295	13	H	559.7	4	0.089	20
				572.5	4	0.04	4
				572.5	4	0.04	4
				591.1	6	0.05	5
				591.1	6	0.05	5
				600.0	6	0.08	8
				600.0	6	0.08	8
				609.8	5	0.039	10
				620.90	20	0.39	20
				621.2	3	1.58	20
				630.190	20	13.3	4
				642.4	5	0.035	
				650.50	20	2.57	20
				659.0	7	0.10	10
				667.7141	20	98.70	
				669.80	20	4.6	6
				671.40	20	3.5	10
				684.40	20	0.039	10
				687.8	5	0.039	20
				706.4	7	0.020	
				727.0	3	2.2	6
				727.2	3	3.2	6
				728.40	20	1.6	4
				771.7		0.020	20
				772.600	10	75.6	13
				780.00	20	1.18	4
				784.4	4	0.38	4
				791.2	4	0.099	20
				809.50	20	2.6	3
				812.00	20	5.5	4
				831.3	5	0.025	10
				847.9	5	0.017	5
				863.00	20	0.56	5
				866.0	6	0.025	25
				866.0	6	0.025	25
				876.60	20	1.04	4
				886.1	5	0.025	8
				888.7	5	0.021	22
				888.7	5	0.021	22
				904.4	5	0.013	4
				910.10	20	0.93	3
				927.4	3	0.41	4
				947.2	6	0.044	14
				954.55	9	17.6	5
				965.8	5	0.035	8
				984.20	20	0.59	4
				995.8	5	0.030	10
				1002.5	6	0.016	17
				1002.5	6	0.016	17
				1005.4	6	0.016	5
				1009.0	4	0.046	7
				1035.00	20	0.51	5
				1049.6	4	0.046	12
				1081.8	4	0.021	22
				1081.8	4	0.021	22
				1086.2	4	0.079	20
				1096.9	4	0.044	8
				1112.4	4	0.065	15
				1126.5	4	0.03	4
				1126.5	4	0.03	4

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{132}I	2. 295	13	H	1136. 000	20	3. 01	14
				1143. 30	20	1. 35	6
				1147. 8	5	0. 27	5
				1172. 90	20	1. 09	7
				1206. 7	6	0. 017	
				1212. 3	4	0. 012	3
				1242. 6	7	0. 012	
				1254. 1	4	0. 059	7
				1263. 6	5	0. 027	6
				1272. 8	4	0. 168	20
				1290. 80	20	1. 13	5
				1295. 10	20	1. 88	7
				1297. 910	20	0. 89	7
				1314. 0	5	0. 059	9
				1317. 918	6	0. 118	15
				1372. 07	13	2. 47	10
				1390. 7	7	0. 015	10
				1398. 57	10	7. 01	20
				1410. 6	3	0. 043	7
				1442. 56	10	1. 40	5
				1456. 50	20	0. 049	7
				1476. 70	20	0. 130	9
				1519. 60	20	0. 079	5
				1542. 3	6	0. 0158	20
				1592. 9	3	0. 047	4
				1617. 90	20	0. 010	5
				1644. 0	6	0. 013	4
				1661. 4	5	0. 016	3
				1671. 3	4	0. 022	4
				1715. 4	4	0. 055	4
				1720. 6	5	0. 054	4
				1727. 2	4	0. 067	6
				1752. 3	7	0. 025	8
				1757. 40	20	0. 30	3
				1760. 4	6	0. 059	20
				1768. 5	8	0. 025	8
				1778. 5	4	0. 079	8
				1814. 0	5	0. 016	4
				1830. 1	5	0. 028	5
				1879. 2	5	0. 014	3
				1913. 7	5	0. 030	10
				1921. 08	12	1. 23	6
				1985. 625	6	0. 0118	20
$^{133\text{m}}\text{Te}$	55. 4	4	M	18. 08		0. 019	4
				20. 860	10	0. 32	4
				39. 90	10	0. 146	23
				39. 90	10	0. 089	24
				47. 470	10	0. 177	22
				50. 00	20	0. 07	5
				52. 5	3	0. 013	9
				74. 050	10	0. 30	4
				81. 610	10	0. 26	3
				86. 9	5	0. 035	6
				88. 064	3	1. 06	12
				92. 33	3	0. 16	4
				94. 9890	20	2. 30	23
				97. 80	10	0. 106	21
				110. 2	5	0. 066	19
				112. 26	15	0. 08	4
				116. 44	9	0. 22	10

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{133m}Te	55.4	4	M	119.58	15	0.09	5
				136.64	5	0.12	4
				150.800	20	0.27	10
				150.800	20	0.53	7
				157.60	10	0.089	24
				164.400	10	0.77	9
				169.025	6	4.2	5
				176.9	5	0.18	9
				177.19	14	0.18	5
				178.10	14	0.27	10
				184.61	16	0.13	5
				193.394	24	0.47	6
				198.18	7	0.13	9
				200.65	8	0.35	10
				201.00	10	0.13	5
				213.478	11	1.73	18
				214.00	10	0.18	5
				221.10	10	0.19	5
				224.17	7	0.13	5
				230.10	20	0.22	10
				235.00	10	0.13	5
				240.90	20	0.27	10
				244.38	5	0.27	6
				248.9	5	0.027	10
				251.51	7	0.22	5
				257.79	7	0.35	6
				261.626	7	6.3	7
				278.00	11	0.44	10
				281.2	5	0.09	5
				284.8	5	0.18	9
				294.82	13	0.18	5
				307.90	10	0.22	5
				312.072	3	1.77	22
				314.24	16	0.31	6
				318.8	5	0.18	9
				322.40	20	0.09	5
				326.0	4	0.22	10
				334.245	5	2.7	3
				334.26	4	6.8	9
				342.8	3	0.40	6
				344.40	5	0.58	11
				345.6	4	0.18	14
				347.30	4	0.53	7
				355.42	13	0.52	6
				360.8	6	0.04	3
				363.06	7	0.40	6
				367.90	20	0.18	5
				368.50	20	0.09	5
				369.30	20	0.09	5
				376.80	10	0.18	5
				384.0	7	0.13	9
				392.44	3	0.142	23
				396.97	4	0.58	8
				406.00	10	0.31	6
				413.20	20	0.53	7
				415.0		0.09	5
				429.03	5	1.77	20
				435.28	5	0.97	17
				444.940	20	1.64	19
				458.0	7	0.09	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{133m}Te	55.4	4	M	462.23	3	1.24	22
				464.0	5	0.22	14
				471.87	4	0.66	11
				474.7	4	0.09	5
				478.62	6	0.75	16
				487.40	6	0.44	10
				492.96	15	0.62	11
				495.00	10	0.155	24
				507.2	3	0.35	10
				519.70	10	0.22	10
				525.63	14	0.22	10
				532.40	5	0.71	9
				534.88	4	0.84	12
				540.30	20	0.22	10
				555.00	20	0.09	5
				565.3	5	0.053	23
				574.1	5	0.58	11
				574.11	3	0.97	11
				581.38	15	0.40	10
				586.4	3	0.22	10
				601.5	5	0.102	17
				602.10	20	0.013	5
				605.11	4	1.02	11
				607.3	8	0.13	9
				621.3	5	0.40	19
				623.30	20	0.22	10
				629.0	5	0.27	10
				632.0	4	0.22	10
				636.5	4	0.18	9
				642.33	9	0.71	12
				647.510	20	15.5	16
				653.3	6	0.49	19
				663.20	20	0.09	4
				681.00	10	0.09	5
				698.10	10	0.75	16
				702.91	4	1.95	24
				710.40	10	0.58	15
				718.90	20	0.66	19
				723.50	20	0.22	10
				724.0	10	0.09	5
				731.880	10	0.49	10
				734.00	4	1.42	17
				734.10	10	0.06	4
				739.79	15	0.49	14
				742.9	5	0.31	10
				753.30	20	0.27	10
				756.8	4	0.27	10
				779.67	4	1.42	20
				782.11	13	0.27	6
				789.7	3	0.35	10
				791.7	9	0.09	9
				792.6	9	0.09	9
				792.9	9	0.09	9
				794.7	9	0.84	24
				795.9	9	0.09	9
				800.54	5	0.89	24
				805.1	3	0.13	5
				816.34	8	0.62	8
				819.3	3	0.13	9
				827.05	9	0.44	10

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{133m}Te	55.4	4	M	851.7	5	0.09	5
				859.0	10	0.09	5
				863.955	9	12.5	13
				882.70	5	1.77	22
				884.80	6	0.80	16
				884.80	6	0.80	16
				888.53	15	0.66	15
				889.9	3	0.22	5
				891.40	10	0.84	16
				912.671	4	44	5
				914.774	12	8.8	9
				945.2	5	0.49	10
				949.2	3	0.53	15
				970.50	20	0.27	14
				972.64	11	0.44	14
				978.30	4	3.9	4
				980.26	5	1.19	18
				995.090	20	0.40	14
				996.1	3	0.31	23
				1007.5	5	0.53	15
				1015.1	3	0.09	5
				1029.88	6	0.97	17
				1035.50	10	0.09	5
				1053.7	3	0.13	5
				1059.8	5	0.04	5
				1061.89	6	1.33	19
				1078.13	15	0.13	9
				1079.63	14	0.44	10
				1090.50	20	0.09	5
				1098.4	5	0.71	19
				1103.9	3	0.09	5
				1134.88	15	0.27	10
				1137.3	5	0.22	14
				1142.74	9	1.06	21
				1174.0	5	0.31	10
				1198.0	10	0.18	9
				1204.20	20	0.18	5
				1227.5	8	0.13	9
				1229.6	3	0.18	9
				1252.00	20	0.27	10
				1299.20	20	0.13	9
				1307.20	20	0.31	6
				1334.0	10	0.22	18
				1348.87	5	1.19	13
				1372.3	5	0.22	10
				1392.3	5	0.09	5
				1405.0	9	0.09	5
				1455.00	10	0.58	15
				1456		0.09	9
				1458.90	20	0.13	5
				1506.2	8	0.22	10
				1516.26	8	1.02	17
				1537.0	8	0.071	24
				1552.0	10	0.13	9
				1570.0	3	0.09	5
				1573.50	20	0.22	10
				1581.0	8	0.13	9
				1587.66	6	1.15	18
				1643.6	5	0.27	10
				1646.2	3	0.22	10

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{133m}Te	55.4	4	M	1683.230	20	3.3	4
				1704.40	10	0.58	8
				1773.20	10	0.53	7
				1797.50	20	0.14	4
				1870.80	10	0.44	10
				1881.20	20	0.18	5
				1885.62	7	0.80	12
				1892.98	8	0.12	4
				1914.0	10	0.04	4
				1967.80	20	0.13	5
				1974.60	20	0.031	10
^{133}I	20.83	8	H	150.4		0.030	7
				176.97	7	0.078	18
				233.221	15	0.294	9
				245.95	8	0.035	9
				262.702	6	0.359	12
				267.173	19	0.117	7
				345.43	5	0.104	18
				361.09	5	0.11	4
				372.05	15	0.010	6
				381.59	7	0.045	5
				386.85	5	0.059	5
				417.6		0.154	11
				422.910	12	0.311	11
				438.87	8	0.040	5
				510.530	4	1.83	6
				522.4		0.04	5
				529.872	3	87.0	23
				537.73	10	0.036	7
				556.17	8	0.020	3
				617.974	14	0.544	16
				648.76	6	0.057	13
				670.10	8	0.043	6
				678.7	3	0.022	7
				680.247	11	0.650	20
				706.578	8	1.51	5
				768.382	15	0.460	15
				789.59	6	0.050	4
				820.506	22	0.155	6
				856.278	7	1.24	4
				875.329	5	4.51	13
				909.67	3	0.214	9
				911.49	5	0.046	7
				1052.296	18	0.556	17
				1060.07	6	0.138	7
				1087.71	10	0.0122	18
				1236.441	6	1.51	5
				1298.223	5	2.35	7
				1350.38	3	0.150	5
^{133}Xe	5.2475	5	D	79.6142	12	0.44	19
				80.9979	11	36.9	3
				160.6120	16	0.1066	13
^{133m}Xe	2.198	13	D	233.221	15	10.12	15
^{133}Ba	10.551	11	Y	53.1622	6	2.14	4
				79.6142	12	2.65	5
				80.9979	11	32.9	4
				160.6120	16	0.638	6
				223.2368	13	0.453	4
				276.3989	12	7.16	5
				302.8508	5	18.34	13

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹³³ Ba	10. 551	11	Y	356. 0129	7	62. 05	19
				383. 8485	12	8. 94	7
¹³⁴ Te	41. 8	8	M	29. 60		0. 015	15
				76. 83	6	0. 274	25
				79. 445	12	20. 9	9
				101. 42	3	0. 38	9
				131. 05	20	0. 18	6
				137. 0	4	0. 09	6
				180. 891	15	18. 3	8
				183. 05	12	0. 6	3
				201. 235	15	8. 9	4
				210. 465	16	22. 7	14
				259. 8	3	0. 44	9
				277. 951	8	21. 2	11
				435. 06	4	18. 9	11
				460. 997	22	9. 7	7
				464. 64	5	4. 7	4
				565. 992	13	18. 6	11
				636. 26	10	1. 68	22
				645. 40	10	0. 89	10
				665. 85	10	1. 18	18
				712. 97	5	4. 7	6
				742. 586	18	15. 3	8
				767. 200	20	29. 5	15
				844. 06	5	1. 2	3
				896. 02	10	0. 44	12
				925. 55	7	1. 48	16
				1027. 00	10	0. 44	12
¹³⁴ I	52. 5	2	M	135. 399	22	4. 3	3
				139. 03	3	0. 76	4
				151. 98	15	0. 106	12
				162. 48	7	0. 29	3
				188. 47	4	0. 77	6
				217. 00	20	0. 23	3
				235. 47	3	2. 13	16
				278. 80	15	0. 144	20
				319. 81	6	0. 46	3
				351. 08	10	0. 42	7
				405. 451	20	7. 37	24
				411. 00	8	0. 57	4
				433. 35	3	4. 15	17
				458. 92	6	1. 31	7
				465. 50	10	0. 36	4
				488. 88	4	1. 45	7
				514. 40	3	2. 24	10
				540. 83	3	7. 66	24
				565. 52	4	0. 95	7
				570. 75	15	0. 31	8
				595. 362	20	11. 1	5
				621. 79	3	10. 6	5
				627. 96	3	2. 22	14
				677. 34	3	7. 9	4
				706. 65	10	0. 83	6
				730. 74	4	1. 83	9
				739. 18	8	0. 69	5
				766. 68	4	4. 15	15
				816. 38	7	0. 62	7
				847. 03	3	96	3
				857. 29	3	6. 70	23
				864. 0	3	0. 19	3

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{134}I	52.5	2	M	884.09	3	65.1	23
				922.6	3	0.14	3
				947.86	4	4.01	15
				966.90	5	0.39	4
				974.67	4	4.78	22
				1040.25	10	2.03	15
				1052.2	3	0.067	20
				1058.8	3	0.10	3
				1072.55	3	14.9	6
				1087.00	20	0.086	20
				1100.07	12	0.69	6
				1103.18	12	0.80	6
				1136.16	4	9.1	6
				1159.10	8	0.34	3
				1164.0	3	0.13	3
				1183.2	5	0.06	7
				1190.03	8	0.35	3
				1225.5	3	0.067	20
				1239.0	3	0.21	6
				1243.8	3	0.077	20
				1269.49	5	0.56	4
				1322.4	3	0.11	4
				1336.00	20	0.14	3
				1352.62	8	0.41	3
				1395.0	10	0.077	20
				1407.40	20	0.096	20
				1414.3	5	0.22	6
				1428.2	3	0.17	4
				1431.4	3	0.17	4
				1455.24	5	2.30	20
				1470.00	7	0.76	4
				1505.5	4	0.11	4
				1541.51	7	0.51	4
				1613.80	4	4.31	21
				1629.24	8	0.19	4
				1644.25	7	0.39	4
				1655.19	10	0.23	3
				1741.49	5	2.56	16
				1806.84	4	5.55	22
				1868.50	20	0.067	20
				1893.2	3	0.057	10
				1925.88	10	0.18	3
				1947.3	3	0.096	20
^{134}Cs	2.0652	4	Y	242.738	8	0.027	3
				326.589	13	0.0162	10
				475.3650	20	1.477	7
				563.246	5	8.338	14
				569.331	3	15.373	17
				604.7210	20	97.62	11
				795.864	4	85.46	6
				801.953	4	8.688	16
				1038.610	7	0.990	3
				1167.968	5	1.790	5
^{135}I	6.58	3	H	1365.185	7	3.017	8
				112.8		0.0126	4
				162.65	11	0.010	3
				165.74	6	0.031	3
				184.49	8	0.0235	25
				197.19	7	0.033	3
				220.502	15	1.75	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{135}I	6.58	3	H	229.72	3	0.241	8
				247.5	3	0.029	9
				254.74	13	0.023	9
				264.26	9	0.184	7
				288.451	16	3.10	12
				290.27	4	0.304	20
				304.91	13	0.032	3
				305.83	9	0.095	4
				333.60	20	0.037	3
				361.85	13	0.187	24
				403.03	4	0.232	8
				414.83	3	0.301	18
				417.633	22	3.53	12
				429.93	3	0.304	23
				433.741	19	0.554	23
				451.63	3	0.316	18
				530.8	4	0.032	15
				546.557	16	7.15	24
				575.97	8	0.129	24
				588.28	6	0.052	15
				616.90	20	0.037	18
				649.85	4	0.46	3
				656.09	10	0.075	15
				679.22	15	0.055	15
				684.60	20	0.023	9
				690.13	5	0.129	15
				707.92	4	0.66	4
				785.48	5	0.152	18
				795.5	4	0.023	23
				797.71	8	0.17	3
				807.2	3	0.046	18
				836.804	16	6.69	23
				960.3		0.03	3
				961.4		0.15	3
				972.0		0.89	4
				972.6		1.21	5
				995.09	10	0.15	3
				1038.760	21	7.9	3
				1096.86	10	0.089	15
				1101.58	3	1.61	6
				1124.00	3	3.62	12
				1131.511	18	22.6	8
				1159.90	20	0.103	24
				1169.04	4	0.88	4
				1180.46	9	0.063	9
				1225.6	3	0.043	18
				1240.47	3	0.90	4
				1260.409	17	28.7	10
				1277.83	12	0.057	4
				1308.70	15	0.034	9
				1315.77	11	0.066	18
				1334.80	20	0.032	9
				1343.66	9	0.077	12
				1367.89	4	0.61	3
				1416.3	4	0.032	9
				1441.8	5	0.017	12
				1448.35	10	0.32	3
				1457.56	3	8.7	3
				1502.79	4	1.08	5
				1521.99	13	0.037	18

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{135}I	6.58	3	H	1543.70	20	0.026	9
				1566.41	3	1.29	5
				1613.75	14	0.026	6
				1678.027	21	9.6	4
				1706.459	21	4.10	18
				1742.0	4	0.017	6
				1791.196	21	7.72	25
				1830.69	4	0.58	3
				1927.30	3	0.296	15
^{135}Xe	9.14	2	H	1948.49	5	0.063	6
				158.197	18	0.289	14
				200.19	10	0.012	5
				249.794	15	90	3
				358.39	3	0.221	11
				373.13	10	0.015	3
				407.990	20	0.358	17
				608.185	15	2.90	14
				654.432	16	0.0450	24
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	15.29	5	M	731.520	20	0.055	4
				812.63	3	0.070	3
^{136}Cs	13.16	3	D	526.561	17	80.6	6
				66.881	17	4.79	20
				86.36	3	5.18	20
				109.681	7	0.21	3
				153.246	4	5.75	18
				163.9200	20	3.39	12
				166.576	6	0.37	4
				176.602	4	10.0	4
				187.285	6	0.36	4
				233.5	4	0.080	10
				273.646	8	11.1	4
				302.4	4	0.030	10
				315.5	5	0.020	18
				319.911	8	0.50	5
				340.547	8	42.2	13
				490.00	20	0.080	20
				507.188	10	0.97	3
				733.0	5	0.020	
				818.514	12	99.70	
				1048.073	20	80	3
^{137}Cs	30.08	9	Y	1235.362	23	20.0	7
				1321.6	4	0.050	20
^{138}Cs	33.41	18	M	1538.09	20	0.100	20
				1551.30	20	0.015	5
				661.657	3	85.10	20
				112.60	13	0.130	23
				138.10	6	1.49	9
				191.96	6	0.50	4
				193.89	8	0.328	23
				212.32	8	0.175	14
				227.76	6	1.51	4
				324.90	8	0.290	19
				333.86	16	0.089	16
				363.93	8	0.244	23
				365.29	13	0.191	23
				368.7	4	0.022	9
				408.98	6	4.66	10
$^{138\text{m}}\text{Cs}$				421.59	7	0.427	23
				462.796	5	30.7	7
				516.74	12	0.43	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹³⁸ Cs	33. 41	18	M	547. 001	5	10. 76	24
				575. 7	4	0. 021	9
				596. 2	4	0. 026	10
				683. 59	15	0. 108	14
				702. 92	17	0. 084	13
				717. 7	3	0. 040	13
				754. 5	4	0. 034	13
				766. 10	12	0. 146	15
				773. 31	10	0. 233	19
				782. 08	9	0. 33	3
				797. 7	5	0. 053	23
				802. 6	3	0. 038	23
				813. 0	3	0. 060	18
				842. 21	16	0. 082	12
				855. 6	5	0. 023	10
				871. 80	8	5. 11	14
				880. 8	3	0. 11	3
				935. 03	12	0. 181	16
				946. 0	5	0. 031	13
				953. 0	3	0. 053	15
				1009. 78	8	29. 8	7
				1041. 4	3	0. 063	17
				1054. 32	15	0. 159	19
				1147. 22	9	1. 24	7
				1199. 15	24	0. 17	3
				1203. 69	13	0. 40	4
				1264. 94	16	0. 137	17
				1343. 59	9	1. 14	6
				1359. 1	5	0. 048	19
				1386. 39	21	0. 076	12
				1415. 68	13	0. 37	3
				1435. 86	9	76. 3	16
				1445. 0	3	0. 97	19
				1495. 63	23	0. 18	4
				1555. 31	10	0. 366	23
				1614. 09	20	0. 137	23
				1717. 1	3	0. 107	23
				1727. 68	18	0. 111	13
				1748. 7	5	0. 07	3
				1778. 25	23	0. 137	23
				1806. 65	18	0. 092	11
				1821. 7	3	0. 045	10
				1903. 2	4	0. 046	14
				1941. 0	3	0. 079	16
¹³⁹ Ba	82. 93	9	M	165. 8575	11	23. 7	4
				1254. 631	10	0. 0300	5
				1310. 617	10	0. 0149	5
				1420. 478	10	0. 261	3
¹³⁹ Ce	137. 641	20	D	165. 8575	11	79. 90	
¹⁴⁰ Ba	12. 7527	23	D	13. 846	15	1. 22	18
				29. 9660	10	14. 1	5
				113. 51	3	0. 0161	13
				118. 837	3	0. 061	8
				132. 6870	10	0. 202	6
				162. 6600	10	6. 22	10
				304. 849	3	4. 29	7
				423. 7220	10	3. 15	5
				437. 5750	20	1. 929	20
				537. 261	9	24. 39	24
¹⁴⁰ La	1. 67855	12	D	64. 135	10	0. 0143	19

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹⁴⁰ La	1. 67855	12	D	68. 916	6	0. 0754	19
				109. 422	11	0. 219	4
				131. 117	8	0. 467	10
				173. 543	9	0. 127	4
				241. 93	3	0. 414	8
				266. 543	12	0. 466	8
				306. 90	20	0. 025	7
				328. 762	8	20. 3	3
				397. 52	5	0. 073	5
				432. 493	12	2. 90	3
				438. 5	5	0. 039	10
				487. 021	12	45. 5	6
				618. 12	5	0. 037	4
				751. 637	18	4. 33	4
				815. 772	19	23. 28	20
				867. 846	20	5. 50	7
				919. 550	23	2. 66	3
				925. 189	21	6. 90	7
				950. 99	3	0. 519	7
				992. 9	5	0. 013	5
				1045. 05	24	0. 025	15
				1097. 20	23	0. 023	5
				1303. 5	4	0. 042	7
				1405. 20	17	0. 059	7
				1596. 21	4	95. 4	15
¹⁴¹ La	3. 92	3	H	662. 06	6	0. 0259	23
				1354. 52	9	1. 64	15
				1497. 00	10	0. 0182	17
				1693. 30	10	0. 074	7
				1739. 00	10	0. 0156	15
¹⁴¹ Ce	32. 511	13	D	145. 4433	14	48. 4	3
¹⁴² La	91. 1	5	M	105. 9	3	0. 1422	15
				173. 5	3	0. 09	5
				178. 3	3	0. 19	5
				297. 9	3	0. 05	5
				318. 0	3	0. 05	5
				332. 1	4	0. 05	5
				339. 5	4	0. 09	5
				341. 7	4	0. 05	5
				350. 3	3	0. 024	24
				355. 3	3	0. 024	24
				361. 1	3	0. 0948	10
				367. 30	20	0. 1422	15
				393. 60	20	0. 1896	20
				420. 20	20	0. 237	3
				433. 30	20	0. 379	4
				439. 0	5	0. 05	5
				453. 7	5	0. 0948	10
				514. 7	4	0. 14	5
				529. 4	6	0. 05	5
				531. 60	20	0. 1422	15
				538. 3	5	0. 0474	5
				546. 00	20	0. 024	24
				570. 6	5	0. 05	5
				578. 09	4	1. 33	5
				639. 5	4	0. 09	5
				641. 285	9	47. 4	5
				646. 2	7	0. 14	10

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{142}La	91.1	5	M	677.0	6	0.05	5
				681.2	6	0.05	5
				692.4	6	0.0948	10
				793.1	4	0.05	5
				861.6	7	1.66	5
				878.2	4	0.1896	20
				894.9	4	8.34	17
				915.6	5	0.05	5
				946.9	4	0.0948	10
				962.2	4	0.38	5
				989.8	5	0.0948	10
				1006.70	20	0.237	3
				1011.4	3	3.93	11
				1020.8	4	0.024	24
				1039.4	3	0.0948	10
				1043.7	5	2.70	6
				1058.4	4	0.0948	10
				1069.4	5	0.09	5
				1072.2	8	0.09	5
				1089.9	7	0.1422	15
				1091.2	8	0.0948	10
				1104.8	8	0.0474	5
				1112.9	5	0.05	5
				1117.7	5	0.024	24
				1121.2	6	0.0474	5
				1130.6	5	0.47	5
				1144.2	4	0.024	24
				1160.2	5	1.71	5
				1176.4	4	0.1422	15
				1191.1	4	0.379	4
				1205.7	5	0.0474	5
				1214.0	5	0.05	5
				1231.3	5	0.05	5
				1233.1	6	1.90	6
				1242.0	4	0.237	3
				1264.7	4	0.0948	10
				1280.1	4	0.024	24
				1283.2	5	0.024	24
				1288.5	4	0.024	24
				1323.2	5	0.33	5
				1348.7	5	0.024	24
				1352.6	5	0.0948	10
				1363.0	5	2.13	6
				1372.9	7	0.05	5
				1389.3	8	0.43	5
				1393.0	8	0.1422	15
				1402.2	5	0.1422	15
				1445.5	5	0.1422	15
				1455.1	5	0.0948	10
				1461.2	5	0.95	5
				1494.1	7	0.1422	15
				1500.3	6	0.0948	10
				1516.3	6	0.43	5
				1524.6	7	0.47	5
				1540.2	7	0.47	10
				1545.8	5	2.99	15
				1618.2	7	0.284	3
				1628.5	7	0.024	24
				1644.3	7	0.237	3
				1688.6	8	0.237	3

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{142}La	91.1	5	M	1722.7	8	1.52	5
				1756.4	8	2.70	6
				1768.2	7	0.24	5
				1770.8	7	0.19	5
				1793.8	7	0.024	24
				1846.2	8	0.05	5
				1887.3	8	0.14	10
				1901.3	7	7.16	17
				1923.3	7	0.19	5
				1933.6	7	0.1422	15
				1949.4	9	0.38	5
				1961.5	9	0.1422	15
^{143}Ce	33.039	6	H	57.356	7	11.7	4
				139.742	17	0.077	5
				231.5500	20	2.05	5
				293.2660	20	42.8	5
				350.619	3	3.23	4
				371.29	3	0.025	3
				389.640	20	0.0364	18
				432.999	6	0.159	4
				446.02	9	0.015	3
				447.450	20	0.060	3
				490.368	5	2.16	3
				497.810	20	0.045	3
				556.870	10	0.0317	18
				587.200	20	0.267	4
				614.22	3	0.0120	13
				664.571	15	5.69	7
				721.929	13	5.39	7
				791.070	20	0.0133	5
				806.340	20	0.0287	9
				809.980	20	0.0312	9
				880.460	10	1.031	13
				937.820	10	0.0261	13
				1002.850	10	0.0753	19
				1031.22	3	0.0201	9
				1046.78	4	0.0120	9
				1060.220	20	0.0364	14
				1103.250	20	0.415	6
^{144}Ce	284.91	5	D	33.568	10	0.200	23
				40.98	10	0.257	16
				53.395	5	0.100	8
				80.120	5	1.36	6
				99.961	15	0.040	5
				133.5150	20	11.09	20
^{144}Pr	17.28	5	M	696.510	3	1.342	14
				1489.160	5	0.278	5
^{145}Pr	5.984	10	H	72.500	4	0.261	15
				318.666	6	0.0138	4
				352.481	5	0.0368	9
				492.624	5	0.0252	8
				623.502	6	0.0238	8
				657.668	5	0.0641	16
				675.795	5	0.514	12
				707.949	12	0.0100	5
				748.278	5	0.525	10
				848.237	17	0.0725	20
				920.710	5	0.146	4
				978.969	15	0.256	7
				1051.412	5	0.175	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹⁴⁵ Pr	5.984	10	H	1150.258	3	0.194	6
				1161.04	4	0.0150	6
¹⁴⁷ Nd	10.98	1	D	91.1050	20	28.1	8
				117.98	5	0.0160	14
				120.48	5	0.376	9
				196.64	4	0.190	4
				240.50	20	0.043	3
				271.87	6	0.0132	10
				275.374	15	0.910	19
				319.411	18	2.13	5
				398.155	20	0.912	19
				408.52	6	0.0187	14
				410.48	3	0.150	4
				439.895	22	1.28	3
				489.24	3	0.155	4
				531.016	22	13.4	3
				541.83	7	0.019	3
				589.35	4	0.039	3
				594.80	3	0.283	6
				680.52	15	0.0294	15
				685.90	4	0.886	18
¹⁴⁹ Nd	1.728	1	H	30.00	3	0.017	5
				36.70		0.018	8
				58.526	11	1.42	6
				58.883	20	1.30	22
				65.23		0.016	6
				65.42		0.031	11
				67.20	19	0.044	11
				69.510	21	0.065	9
				72.753	12	0.60	3
				74.32	3	1.11	24
				74.66	10	0.98	16
				75.69	6	0.228	23
				77.097	10	0.61	3
				80.305	10	0.451	19
				90.12	5	0.052	4
				92.89	3	0.056	4
				94.88	10	0.041	13
				96.90		0.034	13
				97.001	12	1.45	12
				107.79	3	0.085	16
				112.52	4	0.119	17
				114.314	11	19.2	15
				116.930	24	0.11	4
				122.415	13	0.256	19
				126.630	18	0.111	9
				137.05	3	0.062	6
				139.210	12	0.51	3
				141.06	7	0.039	3
				155.1		0.034	16
				155.873	9	5.9	3
				171.17	10	0.032	6
				176.3		0.049	11
				177.818	18	0.155	17
				185.49	3	0.104	7
				188.640	8	1.79	11
				188.8		0.0104	4
				192.026	9	0.57	3
				197.4		0.0130	5
				198.0		0.049	6

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{149}Nd	1.728	1	H	198.928	8	1.39	7
				208.147	9	2.55	10
				211.309	7	25.9	15
				213.947	16	0.40	3
				224.49	6	0.024	3
				226.847	19	0.163	9
				229.566	9	0.482	23
				238.611	3	0.89	4
				239.6		0.0130	5
				240.220	7	3.94	22
				245.5		0.21	11
				245.72	5	0.80	21
				250.83	4	0.034	3
				254.228	22	0.085	5
				258.067	13	0.376	18
				263.4		0.0233	9
				267.693	8	6.0	3
				270.166	7	10.7	5
				273.24	4	0.18	8
				273.5		0.08	4
				275.437	11	0.65	3
				276.960	17	0.342	17
				282.4		0.017	7
				282.456	10	0.62	3
				287.7		0.013	6
				288.194	10	0.69	4
				290.374	20	0.063	3
				294.802	10	0.57	3
				301.128	14	0.376	18
				310.979	13	0.510	24
				326.554	10	4.56	21
				329.2		0.021	11
				332.167	18	0.0176	13
				342.81	10	0.083	19
				347.843	18	0.161	8
				349.231	9	1.38	7
				351.632	3	1.17	5
				352.78	3	0.054	4
				357.03	4	0.047	4
				358.49	10	0.010	6
				360.052	18	0.153	8
				366.634	14	0.54	3
				371.92	6	0.022	3
				380.8		0.052	4
				384.687	16	0.267	13
				396.76	4	0.073	4
				399.1		0.015	6
				413.69	3	0.0174	15
				423.553	10	7.4	5
				425.22	3	0.272	15
				432.7		0.013	6
				439.6		0.036	16
				441.47	13	0.032	3
				443.551	11	1.15	7
				443.7		0.0104	4
				462.34	10	0.041	21
				470.5		0.010	6
				480.32	5	0.041	3
				483.59	5	0.067	4
				493.85	5	0.060	6

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹⁴⁹ Nd	1.728	1	H	498.1		0.010	3
				498.6		0.036	3
				510.30	5	0.062	16
				515.75	9	0.036	6
				527.6		0.012	4
				533.20	4	0.091	7
				536.6		0.047	21
				540.509	10	6.6	4
				547.1		0.016	8
				547.4		0.010	6
				555.88	9	0.59	4
				556.83	9	0.44	6
				558.0		0.0104	4
				567.6		0.017	4
				579.28	3	0.075	6
				582.9		0.018	8
				583.03	3	0.049	13
				594.40	5	0.028	3
				598.06	5	0.028	3
				606.67	16	0.010	6
				630.237	19	0.189	8
				635.7		0.067	14
				636.2		0.052	11
				651.0		0.06	3
				653.9		0.0181	7
				654.831	13	8.0	5
				657.2		0.018	8
				665.22	7	0.0153	12
				671.56	10	0.010	4
				673.58	7	0.011	3
				675.79	4	0.0254	21
				686.943	21	0.088	7
				696.264	21	0.171	13
				712.59	3	0.070	6
				718.43	4	0.049	6
				726.822	12	0.040	3
				727.88	5	0.0163	20
				736.18	11	0.018	5
				740.57	3	0.0142	6
				749.63	5	0.0135	17
				754.291	21	0.039	3
				761.46	5	0.028	3
				768.172	21	0.060	6
				786.73	4	0.0101	14
				793.43	3	0.0225	21
				806.10	8	0.025	3
				808.843	20	0.189	15
				809.6		0.0155	6
				813.19	8	0.0114	19
				832.09	5	0.023	3
				837.40	3	0.031	3
				839.24	5	0.0275	24
				842.847	23	0.052	6
				849.93	3	0.0218	20
				859.42	5	0.0197	20
				861.54	3	0.0176	20
				865.00	5	0.013	7
				871.375	23	0.034	3
				911.3		0.0155	6
				923.874	23	0.101	9

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{149}Nd	1. 728	1	H	929. 8	3	0. 0109	14
				933. 24	4	0. 058	6
				945. 80	3	0. 0215	20
				963. 95	3	0. 025	3
				978. 8		0. 016	6
				979. 013	23	0. 078	11
				992. 83	6	0. 0148	17
				1022. 78	3	0. 104	9
				1041. 95	3	0. 028	3
				1075. 95	4	0. 021	3
				1078. 76	3	0. 063	8
				1100. 77	3	0. 049	6
				1123. 47	8	0. 0150	24
				1125. 32	5	0. 030	4
				1150. 08	8	0. 0231	25
				1172. 76	19	0. 037	5
				1180. 5	3	0. 040	4
				1234. 12	4	0. 026	4
				1293. 4	4	0. 018	8
				1367. 96	13	0. 016	13
				1407. 26	6	0. 0150	15
^{149}Pm	53. 08	5	H	22. 520	10	0. 025	25
				277. 090	20	0. 0288	23
				285. 950	10	3. 10	20
				535. 90	5	0. 0115	10
				558. 37	4	0. 0152	14
				568. 36	7	0. 0186	18
				590. 880	10	0. 069	6
				613. 92	6	0. 0149	14
				808. 11	5	0. 0164	17
				830. 53	7	0. 033	4
				833. 40	7	0. 033	4
				859. 46	6	0. 109	8
				881. 98	5	0. 0239	18
^{151}Pm	28. 40	4	H	4. 821	3	0. 061	16
				25. 690	20	0. 97	8
				35. 2	3	0. 034	25
				59. 93	4	0. 0248	25
				62. 910	20	0. 207	18
				64. 880	10	1. 89	18
				65. 830	10	1. 15	11
				69. 700	20	0. 47	5
				76. 220	20	0. 203	18
				88. 80	9	0. 0124	17
				92. 97	4	0. 034	3
				98. 050	20	0. 36	4
				98. 74	8	0. 059	10
				100. 020	10	2. 54	19
				100. 6	3	0. 012	4
				101. 930	10	1. 28	11
				102. 7	5	0. 032	16
				104. 840	10	3. 5	3
				109. 560	20	0. 086	8
				121. 77	4	0. 090	10
				125. 2	3	0. 0122	19
				130. 430	20	0. 068	6
				134. 22	20	0. 0203	22
				138. 38	12	0. 041	5
				138. 9	3	0. 027	7
				139. 280	20	0. 50	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{151}Pm	28.40	4	H	141.7	5	0.010	4
				143.17	3	0.214	16
				143.2	3	0.010	4
				146.2	4	0.017	3
				147.53	3	0.153	11
				148.50	12	0.054	5
				155.50	20	0.025	5
				156.18	5	0.149	15
				162.940	20	0.88	8
				163.580	20	1.55	13
				167.750	20	8.3	6
				168.39	5	0.92	10
				176.52	3	0.86	8
				177.160	10	3.8	3
				186.590	20	0.180	24
				195.50	20	0.027	7
				201.960	20	0.88	6
				204.17	3	0.131	13
				206.70	20	0.036	7
				209.000	10	1.73	14
				227.180	20	0.34	3
				227.81	15	0.050	16
				229.01	15	0.023	5
				232.430	20	1.03	10
				232.7	3	0.088	21
				236.20	20	0.095	17
				236.60	10	0.160	20
				236.70	20	0.19	5
				237.10	20	0.52	10
				240.090	10	3.8	3
				247.10	20	0.018	5
				247.80	20	0.029	5
				254.28	3	0.169	18
				258.110	20	0.56	5
				261.4	3	0.011	4
				270.72	3	0.068	8
				275.210	20	6.8	6
				277.62	10	0.061	14
				280.09	3	0.232	21
				290.750	10	0.83	8
				292.4	3	0.011	7
				294.8	3	0.014	5
				295.2	3	0.016	5
				297.80	5	0.038	5
				301.80	20	0.014	5
				302.5	3	0.027	7
				302.8	3	0.025	5
				306.74	6	0.239	17
				308.97	8	0.081	10
				310.80	20	0.017	5
				310.80	20	0.036	7
				314.92	10	0.063	8
				321.87	10	0.097	12
				323.940	10	1.22	11
				325.2	3	0.015	4
				325.80	10	0.106	15
				329.0	8	0.014	7
				329.750	20	0.221	17
				340.080	10	22.5	9
				341.0	3	0.074	19

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{151}Pm	28.40	4	H	344.900	10	2.12	14
				346.10	20	0.038	10
				349.81	3	0.142	15
				352.3	3	0.016	5
				353.32	10	0.106	12
				358.40	20	0.015	3
				360.9	3	0.011	3
				369.00	20	0.016	3
				374.20	20	0.022	5
				376.9	3	0.016	5
				378.5	3	0.010	5
				379.86	3	0.95	8
				381.2	3	0.020	7
				390.67	6	0.054	5
				395.63	10	0.043	5
				398.90	20	0.032	5
				404.74	6	0.065	8
				407.03	3	0.187	16
				410.75	7	0.063	8
				415.7	3	0.022	5
				416.8	4	0.016	5
				420.65	6	0.056	8
				424.55	6	0.050	7
				425.6	4	0.010	3
				427.25	4	0.063	8
				429.1	3	0.016	7
				440.850	20	1.51	11
				443.8	3	0.023	9
				445.680	20	4.0	3
				448.7	3	0.020	9
				451.400	20	0.29	3
				452.2	5	0.014	5
				454.4	4	0.014	5
				456.05	13	0.038	7
				462.24	13	0.036	5
				467.2	6	0.011	5
				470.5	3	0.018	7
				471.30	20	0.018	7
				471.4	5	0.014	5
				477.75	4	0.095	10
				487.10	20	0.017	5
				490.26	5	0.126	11
				494.9	4	0.011	5
				495.5	4	0.014	5
				507.27	14	0.047	7
				516.25	6	0.194	16
				521.10	20	0.032	5
				532.50	20	0.034	5
				537.65	11	0.045	7
				550.7	3	0.016	3
				554.2	3	0.016	3
				562.1	3	0.019	4
				565.00	4	0.353	25
				572.50	20	0.052	12
				573.20	20	0.029	7
				574.97	7	0.117	11
				583.10	20	0.026	4
				593.6	4	0.0101	21
				597.70	10	0.079	10
				603.0	6	0.011	4

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{151}Pm	28.40	4	H	605.9	5	0.010	3
				609.25	10	0.047	5
				620.60	20	0.072	8
				636.20	3	1.42	11
				654.25	6	0.241	19
				655.6	5	0.011	5
				661.55	15	0.023	9
				663.50	10	0.095	10
				668.70	20	0.36	5
				669.20	20	0.29	5
				671.28	3	0.90	8
				678.30	15	0.045	5
				699.0	8	0.019	6
				704.24	8	0.34	3
				709.25	6	0.137	13
				712.00	10	0.095	10
				717.72	8	4.1	3
				719.0	5	0.011	4
				736.12	10	0.47	5
				740.80	20	0.023	5
				752.82	8	1.28	11
				769.10	8	0.106	10
				772.76	8	0.90	8
				785.10	7	0.221	18
				795.74	9	0.059	5
				807.90	6	0.56	5
				811.80	10	0.068	8
				817.70	20	0.17	4
				817.70	20	0.09	4
				822.45	11	0.034	10
				848.65	7	0.281	24
				877.70	10	0.101	10
				883.68	13	0.045	5
				898.58	12	0.0248	25
				911.25	15	0.026	3
				948.72	7	0.35	3
				953.41	11	0.097	10
				959.7	3	0.063	8
				968.90	20	0.0146	17
^{152}Eu	13.517	14	Y	121.7817	3	28.53	16
				148.00	5	0.0205	11
				212.43	11	0.0207	6
				244.6974	8	7.55	5
				251.633	9	0.0670	19
				271.08	4	0.0715	19
				275.42	4	0.0346	9
				295.9387	17	0.440	5
				315.10	3	0.0399	11
				316.13	13	0.0101	5
				324.83	3	0.0681	19
				329.41	5	0.1213	25
				340.46	10	0.0266	8
				344.2785	12	26.59	21
				351.66	5	0.0106	8
				367.7892	20	0.859	6
				411.1165	12	2.237	13
				416.02	3	0.1088	20
				443.9607	16	2.827	15
				444.01	17	0.298	11
				482.33	5	0.0247	8

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{152}Eu	13. 517	14	Y	488. 6793	20	0. 414	4
				493. 54	4	0. 0303	14
				503. 467	9	0. 1524	20
				520. 24	4	0. 0534	17
				523. 13	5	0. 0153	7
				526. 88	5	0. 0120	8
				534. 25	5	0. 0410	11
				556. 48	10	0. 0177	7
				562. 98	14	0. 0202	19
				563. 986	5	0. 494	5
				566. 438	6	0. 131	4
				586. 265	3	0. 455	4
				595. 61	12	0. 032	11
				656. 489	5	0. 1441	23
				671. 155	14	0. 024	5
				674. 64	14	0. 169	4
				675. 0		0. 0213	8
				678. 623	5	0. 473	4
				686. 60	5	0. 0203	7
				688. 670	5	0. 856	7
				696. 87	19	0. 016	8
				712. 83	5	0. 0955	25
				719. 346	7	0. 250	8
				719. 36	14	0. 095	4
				728. 04	4	0. 0111	4
				764. 88	4	0. 189	5
				768. 96	4	0. 082	5
				778. 9046	24	12. 93	9
				794. 78	5	0. 0263	16
				805. 71	9	0. 0152	6
				810. 451	5	0. 317	3
				839. 36	4	0. 0177	6
				841. 574	5	0. 168	3
				867. 380	3	4. 23	3
				896. 59	9	0. 0670	22
				901. 19	5	0. 0854	25
				919. 337	4	0. 419	5
				926. 31	5	0. 272	4
				930. 59	5	0. 0729	19
				958. 63	5	0. 0197	11
				963. 367	7	0. 140	7
				964. 057	5	14. 51	7
				974. 09	5	0. 0136	8
				990. 18	5	0. 0314	14
				1005. 27	5	0. 659	11
				1084. 0	10	0. 245	8
				1084. 38	11	0. 0106	8
				1085. 837	10	10. 11	5
				1089. 737	5	1. 734	12
				1109. 18	5	0. 189	7
				1112. 076	3	13. 67	9
				1170. 97	9	0. 0372	16
				1206. 09	16	0. 0130	14
				1212. 948	11	1. 415	9
				1249. 94	5	0. 187	3
				1261. 35	5	0. 0335	14
				1292. 78	5	0. 101	3
				1299. 142	8	1. 633	11
				1348. 10	7	0. 0173	8
				1363. 78	5	0. 0258	6

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{152}Eu	13. 517	14	Y	1408. 013	3	20. 87	10
				1457. 643	11	0. 497	5
				1528. 10	4	0. 279	4
^{153}Sm	46. 50	21	H	69. 67301	13	4. 73	5
				75. 42214	23	0. 19	3
				83. 36718	21	0. 192	8
				89. 48596	22	0. 158	15
				97. 43102	21	0. 772	19
				103. 18014	17	29. 25	22
				151. 6245	12	0. 0106	5
				172. 85310	21	0. 0737	22
				463. 60	20	0. 0136	6
				531. 40	15	0. 0547	10
				533. 20	20	0. 0299	7
				539. 10	20	0. 0211	6
^{154}Eu	8. 601	10	Y	596. 70	20	0. 0109	4
				123. 0706	9	40. 4	5
				131. 56	7	0. 0131	5
				188. 22	7	0. 2400	24
				232. 12	7	0. 0218	5
				247. 9290	7	6. 89	7
				269. 65	8	0. 0115	6
				301. 38	7	0. 0124	4
				305. 2		0. 0205	4
				312. 32	7	0. 0182	4
				322. 07	7	0. 0619	8
				346. 70	7	0. 0260	5
				397. 07	7	0. 0276	7
				401. 26	7	0. 188	3
				403. 49	7	0. 0223	18
				444. 4925	19	0. 547	6
				467. 92	7	0. 0626	9
				478. 24	7	0. 2250	23
				517. 98	7	0. 0498	15
				533. 03	8	0. 0185	11
				534. 86	7	0. 017	7
				557. 53	7	0. 269	3
				569. 50	7	0. 0139	21
				581. 97	7	0. 893	9
				591. 755	3	4. 95	5
				598. 30	7	0. 0105	14
				602. 68	7	0. 0293	11
				613. 24	7	0. 0931	12
				625. 2557	24	0. 316	4
				649. 52	7	0. 0874	19
				664. 74	8	0. 0261	11
				669. 14	8	0. 0160	8
				676. 60	7	0. 1672	18
				692. 4206	18	1. 777	19
				715. 76	7	0. 187	6
				723. 3015	22	20. 06	20
				756. 8021	23	4. 52	5
				800. 61	8	0. 0212	11
				815. 51	7	0. 511	6
				845. 416	7	0. 568	12
				850. 67	7	0. 243	3
				873. 1835	23	12. 08	12
				880. 65	7	0. 084	6
				892. 775	6	0. 521	6
				904. 064	3	0. 889	10

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{154}Eu	8.601	10	Y	924.57	7	0.0649	10
				996.29	7	10.48	10
				1004.76	7	18.01	19
				1047.18	18	0.0613	15
				1118.27	7	0.113	4
				1128.552	7	0.300	4
				1140.702	6	0.237	4
				1160.31	7	0.0462	6
				1188.14	7	0.0876	9
				1241.34	7	0.1226	17
				1246.121	4	0.856	11
				1274.429	4	34.8	4
				1289.88	11	0.0210	8
				1291.36	8	0.022	8
				1294.99	8	0.0116	6
				1408.28	7	0.0247	11
				1494.048	4	0.698	8
				1537.81	7	0.0575	12
				1596.481	3	1.797	24
^{156}Eu	15.19	8	D	88.970	10	8.4	12
				160.20	20	0.0103	14
				190.16	8	0.0165	21
				199.214	12	0.74	8
				215.70	20	0.013	3
				317.30	9	0.060	8
				335.69	11	0.0102	16
				348.27	9	0.0136	23
				354.20	9	0.0146	23
				434.40	9	0.209	18
				472.70	6	0.145	13
				490.34	6	0.160	14
				494.90	15	0.015	4
				498.88	6	0.066	7
				554.66	6	0.017	5
				585.90	6	0.052	13
				599.47	5	2.08	18
				626.0		0.022	5
				632.79	8	0.039	6
				646.29	5	6.3	6
				660.0		0.014	4
				707.10	20	0.065	8
				709.86	5	0.88	8
				723.47	5	5.4	5
				768.56	7	0.087	9
				778.0		0.026	5
				784.14	10	0.049	6
				797.73	6	0.109	11
				811.77	5	9.7	8
				820.36	7	0.169	15
				836.52	7	0.081	9
				839.00	20	0.030	6
				841.16	10	0.208	18
				858.36	12	0.205	18
				865.8	3	0.188	19
				867.01	8	1.33	11
				872.39	9	0.040	6
				903.62	10	0.040	6
				916.4	4	0.032	7
				928.8	4	0.028	6
				944.35	7	1.33	11

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{156}Eu	15.19	8	D	947.46	15	0.292	25
				960.50	8	1.45	13
				961.0	6	0.15	4
				963.0		0.034	6
				969.83	6	0.37	4
				1011.87	5	0.31	3
				1018.50	10	0.084	9
				1027.39	8	0.128	12
				1037		0.053	7
				1040.44	7	0.50	5
				1065.14	5	4.9	4
				1076		0.34	3
				1079.16	5	4.6	4
				1101.80	11	0.042	7
				1115.78	7	0.050	7
				1129.47	7	0.135	13
				1140.51	5	0.283	24
				1153.67	10	6.8	6
				1154.08	10	4.7	4
				1156		0.131	23
				1164.2	3	0.065	8
				1169.12	5	0.266	23
				1187.3	5	0.015	7
				1220.50	11	0.019	6
				1230.71	6	8.0	7
				1242.42	5	6.6	6
				1258.03	7	0.095	9
				1277.43	5	2.89	24
				1366.41	5	1.57	13
				1626.29	14	0.046	7
				1682.10	12	0.272	24
				1857.42	11	0.240	21
				1873		0.059	13
				1877.03	15	1.51	13
				1937.71	11	1.94	16
				1946.34	13	0.165	16
				1965.95	12	3.9	4
^{157}Eu	15.18	3	H	9.365	12	1.7	3
				51.834	14	0.76	10
				54.548	8	3.8	5
				63.929	8	23	3
				64.40	20	0.13	7
				76.925	14	0.20	4
				95.60	20	0.011	6
				116.31	3	0.040	11
				129.50	20	0.012	7
				131.438	16	0.057	16
				158.41	3	0.025	7
				161.820	13	0.086	18
				208.621	11	0.150	18
				209.00	20	0.017	9
				212.05	3	0.062	10
				226.63	3	0.038	9
				237.90	20	0.016	8
				252.30	20	0.045	23
				276.86	5	0.041	9
				288.023	19	0.097	17
				291.69	7	0.022	6
				302.99	3	0.068	12
				318.710	8	2.9	3

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹⁵⁷ Eu	15. 18	3	H	328. 30	20	0. 022	12
				334. 441	10	0. 84	9
				339. 30	20	0. 017	9
				344. 61	6	0. 036	8
				358. 931	10	0. 31	4
				370. 509	8	11. 2	10
				379. 905	9	0. 27	4
				383. 17	3	0. 072	13
				393. 408	20	0. 124	16
				398. 953	9	1. 34	12
				409. 135	10	2. 72	24
				410. 723	9	17. 8	16
				420. 090	9	0. 94	10
				427. 355	15	0. 162	20
				434. 388	13	0. 36	5
				450. 761	10	1. 24	13
				460. 923	9	0. 99	10
				470. 39	3	0. 202	25
				474. 625	11	2. 56	22
				491. 89	3	0. 092	15
				506. 43	3	0. 083	14
				524. 835	18	0. 31	4
				543. 93	6	0. 020	21
				543. 93	6	0. 020	21
				553. 02	7	0. 036	8
				555. 23	12	0. 035	8
				567. 58	4	0. 148	18
				570. 937	13	1. 59	14
				585. 46	20	0. 018	6
				591. 097	19	0. 160	20
				607. 10	20	0. 047	24
				613. 73	14	0. 017	6
				619. 303	12	3. 6	4
				622. 751	13	0. 99	10
				625. 60	20	0. 015	5
				628. 70	3	0. 101	18
				632. 23	5	0. 047	10
				635. 75	9	0. 047	10
				655. 59	3	0. 188	24
				668. 50	20	0. 012	4
				674. 59	18	0. 017	6
				682. 60	6	0. 078	23
				683. 16	3	0. 24	5
				685. 20	20	0. 048	25
				687. 502	13	1. 20	15
				696. 94	4	0. 073	10
				698. 62	5	0. 064	9
				700. 856	19	0. 30	4
				707. 46	9	0. 047	8
				716. 92	10	0. 028	7
				728. 5	4	0. 022	6
				739. 34	12	0. 018	6
				750. 8	6	0. 07	8
				750. 8	6	0. 07	8
				752. 61	4	0. 26	4
				754. 8	3	0. 025	8
				762. 69	3	0. 37	7
				762. 69	3	0. 0336	24
				803. 65	20	0. 018	6
				814. 17	12	0. 022	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{157}Eu	15. 18	3	H	816. 64	4	0. 072	13
				836. 23	14	0. 013	5
				846. 78	15	0. 034	12
				865. 05	20	0. 020	6
				932. 6	4	0. 020	6
				934. 24	8	0. 039	11
				944. 21	10	0. 032	11
				969. 19	9	0. 011	5
				985. 69	4	0. 146	18
				996. 38	12	0. 030	10
				1051. 57	15	0. 026	8
				1060. 06	10	0. 028	10
				1115. 53	15	0. 019	6
^{181}Hf	42. 39	6	D	1167. 38	12	0. 047	12
				6. 3	3	0. 0115	4
				133. 021	19	43. 3	6
				136. 260	18	5. 85	19
				136. 86	4	0. 86	19
				345. 93	6	15. 12	13
				475. 99	9	0. 703	7
				482. 18	9	80. 5	5
				615. 17	11	0. 233	18
^{182}Ta	114. 74	12	D	618. 66	8	0. 0250	13
				31. 7377	5	0. 874	22
				42. 7148	4	0. 268	6
				44. 66	11	0. 030	6
				65. 72216	15	3. 01	4
				67. 74971	10	42. 9	4
				84. 6803	3	2. 654	19
				100. 10596	7	14. 20	11
				110. 393	12	0. 107	4
				113. 67171	22	1. 871	10
				116. 4179	6	0. 444	4
				152. 4299	3	7. 02	4
				156. 3864	3	2. 671	13
				179. 3938	3	3. 119	16
				198. 3519	3	1. 465	7
				222. 1085	3	7. 57	3
				229. 3207	6	3. 644	17
				264. 0740	3	3. 612	17
				351. 02	6	0. 0113	9
				829. 9	4	0. 014	3
				891. 70	10	0. 0574	25
				928. 00	4	0. 614	6
				959. 73	3	0. 350	4
				1001. 700	18	2. 086	12
				1044. 42	5	0. 239	5
				1113. 410	18	0. 445	6
				1121. 290	3	35. 24	8
				1157		0. 73	4
				1158. 10	20	0. 29	4
				1180. 85	14	0. 087	3
				1189. 040	3	16. 49	6
				1221. 395	3	27. 23	10
				1223. 60	9	0. 24	3
				1231. 004	3	11. 62	4
				1257. 407	3	1. 509	6
				1273. 719	3	0. 660	4
				1289. 145	3	1. 372	8
				1342. 730	15	0. 2565	16

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{182}Ta	114.74	12	D	1373.824	3	0.2224	22
				1387.390	3	0.0729	11
				1410.13	8	0.0396	8
				1453.120	6	0.0307	11
^{187}W	24.000	4	H	72.002	4	13.55	21
				100.38	24	0.0106	10
				103.8		0.0106	4
				106.596	13	0.0309	9
				106.596	13	0.016	16
				113.746	8	0.0920	20
				134.247	7	10.36	21
				154.4		0.0166	7
				178.8		0.013	7
				206.247	19	0.153	17
				239.13	8	0.100	4
				246.20	4	0.136	11
				261.0		0.013	4
				262.7		0.013	4
				454.920	20	0.0362	18
				479.530	10	26.6	5
				484.15	3	0.0209	11
				491.2		0.030	10
				511.760	10	0.807	18
				551.550	10	6.14	10
				564.62	19	0.015	6
				582.0		0.1308	20
				589.06	5	0.150	3
				618.370	10	7.57	12
				625.520	10	1.314	21
				641.1		0.037	14
				685.810	10	33.2	5
				727.2		0.0432	7
				730.3		0.010	10
				745.210	20	0.368	7
				772.870	20	5.02	8
				794.8		0.0266	4
				816.560	20	0.015	3
				864.550	10	0.409	7
				879.44	5	0.171	3
				933.8		0.01332	
				968.8		0.0465	7
^{192}Ir	73.829	11	D	110.33	17	0.0127	8
				136.39	3	0.199	25
				201.3112	7	0.471	7
				205.79433	9	3.31	3
				283.2668	8	0.266	4
				295.95654	15	28.71	7
				308.45514	17	29.70	7
				316.50623	17	82.86	4
				329.09	15	0.0173	6
				374.4853	8	0.727	8
				416.4688	7	0.670	21
				420.51	6	0.069	8
				468.0689	3	47.84	3
				484.5752	4	3.19	3
				489.06	3	0.438	16
				588.5811	7	4.522	11
				593.63	19	0.0420	10
				604.4111	3	8.216	20
				612.4623	3	5.34	8

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
¹⁹² Ir	73. 829	11	D	884. 5366	7	0. 292	7
				1061. 49	4	0. 0531	6
¹⁹⁸ Au	2. 6941	2	D	411. 80209	17	95. 62	6
				675. 8837	7	0. 805	5
				1087. 6843	7	0. 1589	19
²⁰³ Hg	46. 594	12	D	279. 1952	10	81. 56	5
²⁰³ Pb	51. 92	3	H	279. 1952	10	80. 9	19
				401. 320	3	3. 35	11
				680. 515	3	0. 75	3
²⁰⁶ Tl	4. 202	11	M	803. 06	3	0. 0050	5
²⁰⁷ Bi	31. 55	4	Y	569. 6980	20	97. 75	3
				897. 77	12	0. 128	5
				1063. 656	3	74. 5	3
				1442. 20	20	0. 1310	20
				1460. 0	15	1. 61	6
				1770. 228	9	6. 87	3
²⁰⁸ Tl	3. 053	4	M	211. 40	15	0. 180	10
				233. 36	15	0. 310	10
				252. 61	10	0. 780	20
				277. 371	5	6. 6	3
				485. 95	15	0. 049	4
				510. 77	10	22. 60	20
				583. 1870	20	85. 0	3
				587. 7		0. 060	20
				650. 1	3	0. 050	20
				705. 2	3	0. 022	4
				722. 04	12	0. 24	4
				748. 70	20	0. 046	3
				763. 13	8	1. 79	3
				808. 30	20	0. 030	7
				821. 20	20	0. 041	4
				835. 90	20	0. 076	11
				860. 557	4	12. 50	10
				883. 30	20	0. 031	3
				927. 60	20	0. 125	11
				982. 70	20	0. 205	8
				1093. 90	20	0. 430	20
				1160. 8	3	0. 011	3
				1185. 2	3	0. 017	5
				1282. 8	3	0. 052	5
²¹⁰ Pb	22. 20	22	Y	46. 5390	10	4. 25	4
²¹⁰ Po	138. 376	2	D	803. 06	3	0. 00103	
²¹¹ Pb	36. 1	2	M	65. 420	14	0. 077	6
				81. 00	20	0. 045	12
				83. 80	10	0. 058	9
				88. 20	20	0. 017	4
				94. 3	3	0. 012	3
				95. 00	20	0. 018	3
				97. 30	20	0. 0116	13
				244. 0		0. 039	13
				313. 59	9	0. 031	4
				342. 91	4	0. 035	6
				362. 072	17	0. 043	3
				404. 853	10	3. 78	6
				427. 088	10	1. 76	5
				478. 0	4	0. 013	3
				481. 1	4	0. 026	6
				481. 92	12	0. 0103	13
				500. 4	5	0. 012	3
				609. 38	4	0. 043	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
²¹¹ Pb	36.1	2	M	676.69	7	0.013	4
				704.64	3	0.462	11
				766.51	3	0.617	17
				832.01	3	3.52	6
				951.0		0.022	13
				1014.64	5	0.0173	6
				1080.16	6	0.0123	7
				1109.48	5	0.115	4
²¹¹ Bi	2.14	2	M	1196.33	5	0.0102	4
				351.07	5	13.02	12
²¹² Pb	10.64	1	H	115.183	5	0.596	10
				176.68	5	0.052	7
				238.6320	20	43.6	6
				300.087	10	3.30	5
				415.2		0.0131	22
²¹² Bi	60.55	6	M	39.857	4	1.06	9
				288.20	4	0.337	3
				328.03	4	0.125	7
				433.7	5	0.017	4
				452.98	5	0.363	4
				473.0	7	0.050	4
				727.330	9	6.67	9
				785.37	8	1.102	13
				893.408	5	0.378	20
				952.120	11	0.17	4
				1073.60	20	0.0160	20
				1078.62	10	0.564	20
				1512.7	3	0.29	4
				1620.50	10	1.47	4
				1679.7	5	0.058	13
²¹⁴ Pb	26.8	9	M	1806.0	5	0.090	20
				53.2284	18	1.075	7
				118.2		0.094	21
				137.5	3	0.053	14
				141.3	6	0.058	18
				170.07	6	0.015	3
				196.19	5	0.067	8
				205.68	9	0.0114	13
				216.47	7	0.0100	23
				241.9950	23	7.251	16
				258.86	3	0.531	4
				274.80	4	0.355	10
				295.2228	18	18.42	4
				298.8		0.026	5
				305.26	3	0.0312	21
				314.33	7	0.078	6
				323.84	4	0.029	3
				351.9321	18	35.60	7
				462.02	6	0.212	5
				470.6	8	0.011	3
				480.432	20	0.337	4
				487.14	6	0.432	5
				511.00	9	0.033	9
				533.660	20	0.181	6
				538.42	8	0.020	3
				543.83	7	0.044	4
				580.14	3	0.370	4
				765.97	19	0.053	4
				785.96	8	1.06	3
				839.07	8	0.583	8

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{214}Bi	19.9	4	M	268.80	20	0.0170	20
				273.80	5	0.128	7
				280.97	4	0.067	7
				304.20	20	0.019	19
				304.20	20	0.019	19
				333.37	5	0.065	4
				334.78	8	0.019	19
				334.78	8	0.019	19
				338.5	6	0.11	4
				348.92	6	0.104	12
				351.9	5	0.070	10
				386.78	5	0.295	5
				388.89	5	0.402	10
				394.05	8	0.0126	9
				396.02	6	0.026	4
				405.720	20	0.169	6
				426.5	5	0.012	4
				452.92	10	0.030	4
				454.790	20	0.292	4
				461.08	11	0.051	6
				469.77	4	0.132	5
				474.44	4	0.099	6
				485.92	11	0.022	4
				487.95	13	0.028	9
				494.20	9	0.0104	10
				501.99	14	0.0180	20
				519.90	5	0.0165	17
				524.60	8	0.0168	17
				536.78	4	0.065	6
				542.83	7	0.077	6
				572.78	6	0.078	5
				595.24	7	0.0170	20
				609.320	5	45.49	16
				615.77	5	0.054	7
				617.10	20	0.034	4
				633.10	4	0.056	3
				639.62	8	0.033	3
				649.22	5	0.057	5
				658.70	20	0.0140	20
				660.94	13	0.053	4
				665.447	9	1.531	6
				683.23	5	0.082	5
				697.93	8	0.067	4
				699.82	13	0.016	5
				703.11	4	0.472	9
				704.96	22	0.047	7
				708.87	21	0.0121	12
				710.71	8	0.0740	20
				719.87	3	0.392	8
				723.08	10	0.037	3
				727.0	10	0.036	14
				733.81	7	0.041	3
				740.76	13	0.0430	20
				752.85	3	0.128	7
				768.360	5	4.894	11
				769.7	5	0.030	10
				786.35	14	0.32	4
				788.6	4	0.0130	20
				799.3	3	0.036	7
				806.180	9	1.264	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
²¹⁴ Bi	19.9	4	M	814.96	9	0.039	3
				821.18	3	0.161	8
				826.45	10	0.117	13
				832.36	9	0.0280	20
				840.4	5	0.0100	20
				847.16	11	0.024	3
				873.06	18	0.018	3
				878.03	12	0.012	3
				904.31	8	0.076	7
				915.75	13	0.0230	20
				930.20	20	0.026	4
				934.056	6	3.107	10
				934.10	20	0.050	10
				934.5	5	0.010	3
				938.65	16	0.013	4
				939.6	5	0.017	6
				943.33	11	0.0170	20
				961.62	17	0.0101	13
				964.08	3	0.365	10
				965.00	10	0.011	3
				976.18	12	0.0154	21
				989.34	17	0.010	3
				991.49	19	0.0110	20
				1013.4	7	0.013	4
				1021.36	17	0.0150	23
				1032.38	7	0.063	4
				1033.30	20	0.020	3
				1045.70	20	0.0230	20
				1051.96	3	0.313	7
				1062		0.013	8
				1067.39	24	0.025	6
				1069.96	7	0.272	9
				1087		0.015	7
				1103.70	13	0.098	12
				1104.71	13	0.078	4
				1109		0.015	5
				1118.9	5	0.040	10
				1120.294	6	14.92	3
				1130.45	16	0.036	3
				1133.66	3	0.2512	10
				1155.210	8	1.633	6
				1155.6	5	0.016	4
				1167.30	20	0.0120	20
				1173.00	8	0.055	3
				1207.68	3	0.451	10
				1238.122	7	5.834	15
				1279.0	7	0.0130	20
				1280.976	10	1.434	6
				1284.0	10	0.0110	10
				1285.1	5	0.016	3
				1303.75	7	0.107	5
				1316.99	9	0.081	6
				1329.94	16	0.081	6
				1341.49	13	0.021	3
				1371		0.0100	20
				1377.669	8	3.988	11
				1385.310	13	0.793	5
				1401.515	12	1.330	5
				1407.988	11	2.394	7
				1449		0.018	9

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{214}Bi	19.9	4	M	1479.17	9	0.055	4
				1484		0.013	5
				1509.210	10	2.130	10
				1538.53	5	0.398	11
				1543.34	5	0.303	10
				1583.204	15	0.705	5
				1594.75	7	0.267	12
				1599.37	5	0.324	12
				1636.36	16	0.0115	13
				1657.07	17	0.048	4
				1661.274	16	1.047	6
				1684.012	20	0.214	5
				1729.595	11	2.878	8
				1764.491	10	15.30	3
				1813.72	13	0.0110	10
				1838.36	4	0.350	10
				1847.429	13	2.025	9
				1873.16	5	0.214	8
				1890.32	9	0.084	8
				1896.05	12	0.149	8
				1898.68	14	0.050	7
				1935.62	16	0.032	3
^{219}Rn	3.96	1	S	130.60	3	0.13	9
				221.5	3	0.030	5
				271.230	10	10.8	7
				293.56	4	0.073	6
				401.810	10	6.6	5
				438.2	6	0.015	16
				517.60	6	0.044	4
				676.66	7	0.0173	24
^{223}Ra	11.43	5	D	10.0	10	0.0139	14
				14.40	10	0.0167	15
				33.6	5	0.10	4
				63.2	5	0.056	16
				104.23	8	0.019	3
				106.78	3	0.0236	15
				110.856	10	0.058	5
				114.70	20	0.010	5
				122.319	10	1.209	23
				136.10	20	0.028	3
				144.235	10	3.27	9
				154.208	10	5.70	17
				158.635	10	0.695	18
				175.65	15	0.019	5
				177.30	10	0.047	5
				179.54	6	0.153	14
				219.0	8	0.014	6
				221.32	24	0.036	6
				247.2	5	0.010	3
				249.30	10	0.039	10
				251.6	3	0.042	14
				255.20	20	0.053	7
				269.463	10	13.9	4
				288.18	3	0.160	5
				293.80	20	0.0667	10
				323.871	10	3.99	9
				328.38	3	0.209	8
				334.01	6	0.101	6
				338.282	10	2.84	7
				342.87	4	0.222	15

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{223}Ra	11.43	5	D	346.8	3	0.181	3
				362.052	17	0.046	3
				362.90	20	0.015	7
				369.5		0.0209	3
				371.676	15	0.487	16
				372.90	10	0.0500	8
				373.3		0.0500	8
				376.0	3	0.012	4
				376.10	20	0.013	5
				382.8	3	0.014	5
				387.70	20	0.015	6
				393.5	5	0.011	4
				430.6	3	0.019	6
				432.12	10	0.035	3
				439.3		0.082	14
				445.033	12	1.29	5
				481.6	5	0.021	6
				487.50	20	0.0111	14
				527.611	13	0.071	5
				598.721	24	0.095	5
^{224}Ra	3.66	4	D	609.31	4	0.057	3
				632.0	10	0.031	10
^{226}Ra	1600	7	Y	240.986	6	4.10	5
^{227}Th	18.68	9	D	186.211	13	3.64	4
				6.5	3	0.09	3
				20.25	5	0.24	4
				24.13	5	0.088	10
				27.41	9	0.030	6
				29.860	10	0.076	13
				31.580	10	0.068	12
				40.20	3	0.015	4
				41.93	5	0.028	14
				43.77	5	0.213	23
				43.8	5	0.055	23
				44.22	12	0.053	14
				44.40	5	0.013	9
				48.30	3	0.014	6
				49.82	5	0.43	10
				50.130	10	8.4	9
				50.85	5	0.015	7
				59.6	5	0.010	4
				61.441	20	0.090	13
				62.45	5	0.11	12
				62.45	5	0.11	12
				64.35	10	0.026	5
				68.74	3	0.03	4
				68.74	3	0.03	4
				69.8	3	0.010	4
				72.85	5	0.025	20
				73.63	5	0.014	6
				75.01	5	0.027	11
				77.4	4	0.0103	9
				79.690	20	1.95	18
				93.88	5	1.51	14
				94.97	5	0.019	20
				94.97	5	0.019	20
				96.03	5	0.070	15
				99.58	10	0.026	7
				99.60	20	0.0129	11
				100.27	3	0.084	17

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{227}Th	18.68	9	D	113.11	5	0.54	5
				113.11	5	0.155	14
				117.20	5	0.199	22
				117.5	5	0.013	4
				123.58	10	0.014	6
				134.60	10	0.034	7
				138.40	10	0.014	3
				140.6	3	0.022	16
				141.42	5	0.07	8
				141.42	5	0.07	8
				150.14	20	0.011	4
				164.52	10	0.015	3
				168.36	10	0.015	3
				173.45	3	0.017	3
				175.8	3	0.021	6
				184.65	5	0.036	5
				197.56	10	0.013	4
				200.50	10	0.013	9
				201.64	10	0.024	4
				204.14	10	0.23	4
				204.98	10	0.16	3
				206.08	5	0.25	4
				210.62	5	1.25	14
				212.7	3	0.019	6
				212.70	4	0.079	12
				218.90	5	0.06	6
				218.90	5	0.06	6
				219.0	3	0.050	13
				234.76	10	0.45	7
				235.960	20	12.9	12
				246.12	10	0.0123	14
				248.10	10	0.025	6
				250.27	8	0.45	6
				252.50	5	0.111	19
				254.63	3	0.71	15
				256.230	20	7.0	7
				262.87	5	0.107	12
				267.05	20	0.010	3
				270.56	20	0.028	10
				272.91	5	0.51	5
				279.80	5	0.054	14
				281.42	5	0.09	10
				281.42	5	0.09	10
				284.24	10	0.040	14
				285.52	10	0.044	13
				286.09	20	1.74	22
				289.59	10	1.9	5
				289.77	10	0.019	5
				292.41	5	0.066	10
				296.50	5	0.44	6
				299.98	3	2.21	20
				300.50	16	0.014	3
				304.500	20	1.15	17
				306.1	3	0.010	4
				308.40	3	0.017	3
				312.69	3	0.52	6
				314.75	10	0.035	3
				314.85	4	0.3	3
				314.85	4	0.3	3
				319.24	5	0.032	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{227}Th	18.68	9	D	324.88	20	0.010	3
				329.850	20	2.9	3
				334.370	20	1.14	13
				342.55	4	0.35	10
				346.450	10	0.0120	17
				350.54	7	0.110	21
				352.61	10	0.0101	24
				362.63	10	0.051	5
				379.40	10	0.010	3
				383.51	4	0.025	24
^{228}Ac	6.15	2	H	392.4	5	0.010	3
				18.40		0.014	4
				56.96	5	0.019	4
				57.766	5	0.47	3
				77.34	3	0.026	5
				99.509	6	1.26	7
				100.41	3	0.093	13
				129.0650	10	2.42	9
				135.54	5	0.018	4
				137.91	5	0.024	5
				141.02	3	0.050	8
				145.849	10	0.158	8
				153.977	10	0.722	21
				168.65	10	0.010	3
				173.964	13	0.035	5
				184.540	20	0.070	8
				191.353	10	0.123	8
				199.407	10	0.315	5
				204.026	10	0.112	15
				209.253	6	3.89	7
				214.85	5	0.76	11
				214.85	10	0.029	4
				223.85	10	0.054	5
				231.42	10	0.025	4
				257.52	10	0.030	3
				263.58	10	0.040	4
				270.2450	20	3.46	6
				278.95	5	0.160	21
				278.95	5	0.031	5
				282.00	3	0.072	19
				321.646	8	0.226	11
				326.04	20	0.033	5
				327.4		0.12	4
				328.000	6	2.95	12
				332.370	4	0.40	4
				338.320	3	11.27	19
				340.96	5	0.369	21
				356.94	10	0.0170	18
				377.99	10	0.025	3
				389.12	15	0.0103	15
				397.94	10	0.027	3
				399.62	10	0.029	3
				409.462	6	1.92	4
				416.30	20	0.0132	21
				419.42	10	0.021	3
				440.44	5	0.121	8
				449.15	5	0.048	5
				452.47	10	0.015	5
				457.17	15	0.0150	23
				463.004	6	4.40	7

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{228}Ac	6.15	2	H	466.40	10	0.029	3
				470.25	20	0.013	3
				471.76	15	0.033	3
				474.75	10	0.022	3
				478.33	5	0.209	15
				480.94	20	0.023	5
				490.33	15	0.0111	23
				492.37	10	0.0235	23
				503.823	13	0.182	12
				508.959	17	0.45	5
				515.06	10	0.049	5
				520.151	16	0.067	5
				523.131	16	0.103	8
				540.76	10	0.026	3
				546.47	5	0.201	13
				548.73	15	0.023	3
				555.12	10	0.046	5
				562.500	4	0.87	3
				570.91	10	0.182	24
				572.14	8	0.150	16
				583.41	5	0.111	10
				590.4		0.017	3
				610.64	10	0.023	5
				616.22	3	0.080	5
				620.38	5	0.080	5
				623.27	20	0.011	3
				627.23	20	0.014	3
				629.40	5	0.045	5
				634.18	10	0.0106	21
				640.34	3	0.054	5
				648.84	10	0.022	22
				648.84	10	0.022	22
				651.51	3	0.090	8
				663.82	10	0.028	6
				666.45	10	0.057	6
				672.00	15	0.026	8
				674.2		0.05	6
				674.8		2.1	7
				677.11	10	0.062	5
				684.0		0.019	5
				688.10	5	0.067	5
				688.10	5	0.067	5
				699.08	15	0.037	5
				701.747	14	0.173	10
				707.41	5	0.155	15
				718.48	15	0.019	4
				726.863	15	0.62	8
				737.72	5	0.037	4
				755.315	4	1.00	3
				772.291	5	1.49	3
				774.10	20	0.06000	
				776.56	10	0.019	6
				778.2		0.022	6
				782.142	5	0.485	19
				791.5	3	0.013	3
				791.5	3	0.010	3
				792.8		0.08000	
				794.947	5	4.25	7
				816.71	10	0.030	3
				824.934	23	0.050	5

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{228}Ac	6.15	2	H	830.486	8	0.540	21
				835.710	6	1.61	6
				840.377	7	0.91	4
				870.46	4	0.044	4
				873.17	15	0.031	6
				874.44	7	0.047	10
				877.46	10	0.014	3
				887.33	10	0.027	3
				901.23	15	0.016	3
				904.20	4	0.77	3
				911.204	4	25.8	4
				918.97	10	0.027	3
				944.196	14	0.095	8
				947.982	11	0.106	8
				958.61	4	0.28	4
				964.766	10	4.99	9
				968.971	17	15.8	3
				975.96	5	0.050	5
				979.48	10	0.026	3
				987.71	20	0.077	13
				988.63	20	0.077	13
				1016.44	15	0.011	11
				1016.44	15	0.011	11
				1019.86	10	0.021	4
				1033.248	9	0.201	13
				1039.65	15	0.044	9
				1040.92	15	0.044	9
				1053.09	20	0.013	4
				1054.11	20	0.018	5
				1062.55	15	0.010	3
				1065.18	4	0.132	10
				1074.71	15	0.010	3
				1095.679	20	0.129	10
				1103.41	10	0.0150	23
				1110.610	10	0.285	23
				1110.610	10	0.019	10
				1117.63	10	0.054	8
				1142.85	15	0.0103	21
				1153.52	4	0.139	10
				1164.50	8	0.065	5
				1175.31	10	0.024	3
				1217.03	10	0.021	3
				1245.05	20	0.095	18
				1247.08	4	0.50	3
				1250.04	10	0.062	5
				1276.69	10	0.014	3
				1286.27	20	0.050	10
				1287.68	20	0.080	15
				1309.71	20	0.019	6
				1315.34	10	0.015	3
				1347.50	15	0.015	3
				1357.78	15	0.020	4
				1365.70	15	0.014	3
				1374.19	10	0.014	4
				1385.39	10	0.0106	21
				1401.49	10	0.012	3
				1415.66	10	0.021	4
				1430.95	10	0.035	7
				1451.40	15	0.0106	21
				1459.138	15	0.83	8

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{228}Ac	6.15	2	H	1469.71	15	0.020	4
				1480.37	15	0.016	3
				1495.910	20	0.86	4
				1501.57	5	0.46	3
				1529.05	10	0.057	6
				1537.89	10	0.047	5
				1548.65	4	0.038	4
				1557.11	4	0.178	13
				1559.85	20	0.020	4
				1573.26	5	0.033	3
				1580.53	3	0.60	4
				1588.20	3	3.22	8
				1625.06	5	0.255	18
				1630.627	10	1.51	4
				1638.281	10	0.47	3
				1666.523	13	0.178	13
				1677.67	3	0.054	5
				1684.01	20	0.015	5
				1686.09	7	0.095	8
				1700.59	20	0.0101	23
				1702.43	5	0.048	5
				1724.21	4	0.029	3
				1738.2	3	0.018	4
				1740.4	3	0.011	3
				1758.11	10	0.035	4
				1823.22	10	0.044	4
				1835.43	10	0.038	4
				1842.13	10	0.042	4
				1870.83	10	0.0243	23
				1887.10	5	0.090	8
				1907.18	20	0.0119	10
				1929.78	20	0.0199	21
				1952.33	15	0.059	5
				1965.24	20	0.0204	18
^{228}Th	1.9125	9	Y	84.373	3	1.19	4
				131.613	4	0.127	4
				166.410	4	0.101	4
				205.93	5	0.0191	8
				215.983	5	0.247	8
^{231}Th	25.52	1	H	9.200		0.0330	15
				10.25		0.0502	23
				17.20		0.23	8
				18.07		0.011	11
				19.10		0.244	12
				25.640	20	14.1	10
				42.86	7	0.059	3
				58.5700	24	0.462	25
				63.86	3	0.023	4
				72.751	3	0.252	14
				81.2280	14	0.90	6
				82.0870	14	0.42	3
				84.2140	13	6.6	4
				89.950	20	1.00	6
				93.02	4	0.047	6
				99.278	3	0.131	9
				102.2700	13	0.436	24
				106.61	3	0.0176	11
				116.820	20	0.0222	17
				124.914	17	0.058	3
				134.030	20	0.0250	14

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
²³¹ Th	25.52	1	H	135.664	11	0.079	5
				145.940	20	0.0317	20
				163.101	5	0.154	9
				174.150	20	0.0178	11
				183.500	20	0.0330	20
				217.94	3	0.0396	20
²³¹ Pa	3.276E+4	11	Y	16.50	10	0.221	9
				19.60		0.35	10
				25.48	6	0.119	14
				27.360	20	10.5	5
				29.970	20	0.097	6
				35.83	3	0.0162	11
				38.200	20	0.145	6
				39.980	20	0.016	4
				44.140	20	0.055	5
				46.340	20	0.186	11
				52.71	3	0.077	5
				54.600	20	0.070	5
				57.19	3	0.0328	23
				63.64	3	0.0445	17
				74.15	4	0.0223	9
				77.34	3	0.0572	19
				96.84	3	0.084	3
				100.85	6	0.0228	9
				144.40	8	0.0115	10
				243.08	9	0.0336	24
				246.04	9	0.012	4
				255.78	7	0.1059	20
				260.19	8	0.182	4
				273.15	6	0.0577	13
				277.22	7	0.0679	15
				283.682	16	1.65	3
				286.58	10	0.0104	6
				300.066	10	2.41	5
				302.667	9	2.3	4
				302.667	9	0.17	5
				312.92	5	0.0986	20
				327.14	7	0.0359	9
				330.055	15	1.36	3
				340.71	6	0.177	4
				354.48	5	0.0961	21
				357.11	8	0.168	4
				379.35	7	0.0496	12
				407.81	3	0.0355	8
²³⁴ Th	24.10	3	D	62.860	20	0.016	3
				63.290	20	3.7	4
				73.920	20	0.0130	15
				83.30	5	0.060	6
				87.02	6	0.015	3
				92.380	10	2.13	21
				92.800	20	2.10	20
				112.81	5	0.210	23
^{234m} Pa	1.159	16	M	184.8		0.010	5
		11		73.920	20	0.013	4
				258.227	3	0.0764	22
				740.10	8	0.0109	17
				742.813	5	0.1066	23
				766.42	10	0.317	5
				786.28	10	0.0544	9
				921.72	10	0.01278	16

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ線エネルギー (keV)	γ線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{234m}Pa	1. 159	11	M	945. 940	20	0. 0101	9
				1001. 03	10	0. 842	9
				1193. 73	12	0. 01358	17
				1510. 21	10	0. 01305	21
				1737. 75	10	0. 0213	3
				1831. 36	10	0. 01742	24
^{235}U	703. 8E+6	5	Y	19. 55	5	63	3
				31. 60	5	0. 017	6
				34. 70	10	0. 0370	4
				41. 4	3	0. 030	10
				41. 96	15	0. 060	10
				51. 21	5	0. 034	7
				54. 25	5	0. 015	15
				64. 45	5	0. 013	12
				72. 70	20	0. 1200	12
				73. 72	5	0. 01000	10
				74. 94	3	0. 051	6
				96. 090	20	0. 091	12
				109. 19	7	1. 66	14
				115. 45	5	0. 030	10
				120. 35	5	0. 0260	3
				136. 55	5	0. 01200	12
				140. 760	20	0. 200	20
				143. 760	20	10. 96	14
				150. 930	20	0. 090	10
				163. 356	3	5. 08	7
				182. 62	5	0. 39	5
				185. 715	5	57. 0	7
				194. 940	10	0. 630	12
				198. 900	20	0. 036	6
				202. 120	10	1. 080	23
				205. 316	10	5. 02	6
				215. 28	4	0. 029	3
				221. 386	14	0. 118	7
				233. 50	3	0. 038	4
				240. 88	4	0. 074	6
				246. 830	20	0. 055	3
				251. 50	10	0. 020	20
				275. 35	15	0. 051	6
				275. 49	6	0. 0320	4
				279. 50	5	0. 270	3
				291. 65	3	0. 040	6
				345. 92	3	0. 040	6
				387. 84	3	0. 040	6
^{237}U	6. 75	1	D	13. 810	20	0. 099	4
				26. 34460	20	2. 43	6
				33. 1960	10	0. 130	5
				38. 54	3	0. 011	11
				43. 420	3	0. 0240	20
				51. 01	3	0. 340	10
				59. 54091	10	34. 5	8
				64. 830	20	1. 282	17
				164. 610	20	1. 86	3
				208. 005	23	21. 2	3
				221. 80	4	0. 0212	7
				234. 40	4	0. 0205	7
				267. 54	4	0. 712	10
				332. 35	3	1. 200	16
				335. 37	3	0. 0951	22
				368. 62	3	0. 0392	17

核種名	半減期	半減期不確かさ	半減期単位	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー 不確かさ (keV)	放出率 (%)	放出率不確かさ (%)
^{237}U	6.75	1	D	370.94	3	0.1073	17
^{239}Np	2.356	3	D	4.200		2.600	
				44.660	20	0.130	10
				49.410	20	0.120	20
				57.28		0.036	
				57.30		0.090	
				61.4600	20	1.300	20
				67.860	20	0.10	3
				106.1230	20	25.34	17
				106.47	4	0.049	8
				124.4		0.010	
				166.39	6	0.016	7
				181.70	3	0.082	3
				209.7530	20	3.363	20
				226.380	20	0.259	16
				227.8		0.5100	
				228.1830	10	10.73	9
				254.40	3	0.1092	22
				272.84	3	0.0766	19
				277.5990	10	14.51	8
				285.4600	20	0.794	7
^{241}Am	432.6	6	Y	315.880	3	1.600	12
				334.3100	20	2.056	13
				434.7	5	0.013	
				26.34460	20	2.27	13
				32.18		0.0174	5
				33.1960	10	0.126	4
				43.420	3	0.073	8
				55.560	20	0.0181	18
				59.54091	10	35.9	4
				98.970	20	0.0203	5
				102.980	20	0.0195	5

付表 2.2 エネルギー順の核データ

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
4. 2	²³⁹ Np	2. 356	D	2. 600	62. 9	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 207
9. 4	¹⁵⁷ Eu	15. 18	H	1. 7	63. 3	²³⁴ Th	24. 10	D	3. 7
13. 8	¹⁴⁰ Ba	12. 7527	D	1. 22	63. 9	¹⁵⁷ Eu	15. 18	H	23
14. 4	⁵⁷ Co	271. 74	D	9. 16	64. 4	¹⁵⁷ Eu	15. 18	H	0. 13
16. 5	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 221	64. 8	²³⁷ U	6. 75	D	1. 282
17. 2	²³¹ Th	25. 52	H	0. 23	64. 9	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	1. 89
19. 1	²³¹ Th	25. 52	H	0. 244	65. 7	¹⁸² Ta	114. 74	D	3. 01
19. 6	²³⁵ U	703. 8E+6	Y	63	65. 8	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	1. 15
19. 6	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 35	66. 0	⁷⁵ Ge	82. 78	M	0. 114
20. 3	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 24	66. 1	⁷⁵ Se	119. 78	D	1. 111
20. 9	^{133m} Te	55. 4	M	0. 32	66. 9	¹³⁶ Cs	13. 16	D	4. 79
25. 5	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 119	67. 7	¹⁸² Ta	114. 74	D	42. 9
25. 6	²³¹ Th	25. 52	H	14. 1	67. 9	²³⁹ Np	2. 356	D	0. 10
25. 7	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 97	69. 7	¹⁵³ Sm	46. 50	H	4. 73
26. 3	²³⁷ U	6. 75	D	2. 43	69. 7	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 47
26. 3	²⁴¹ Am	432. 6	Y	2. 27	71. 1	¹¹⁷ Cd	2. 49	H	0. 39
27. 4	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	10. 5	72. 0	¹⁸⁷ W	24. 000	H	13. 55
27. 5	⁸⁸ Kr	2. 825	H	1. 94	72. 5	¹⁴⁵ Pr	5. 984	H	0. 261
27. 8	¹²⁹ Te	69. 6	M	16. 3	72. 7	²³⁵ U	703. 8E+6	Y	0. 1200
30. 0	¹⁴⁰ Ba	12. 7527	D	14. 1	72. 8	²³¹ Th	25. 52	H	0. 252
31. 7	¹⁸² Ta	114. 74	D	0. 874	72. 8	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 60
33. 2	²³⁷ U	6. 75	D	0. 130	74. 1	^{133m} Te	55. 4	M	0. 30
33. 2	²⁴¹ Am	432. 6	Y	0. 126	74. 3	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	1. 11
33. 6	¹⁴⁴ Ce	284. 91	D	0. 200	74. 7	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 98
33. 6	²²³ Ra	11. 43	D	0. 10	75. 4	¹⁵³ Sm	46. 50	H	0. 19
35. 5	¹²⁵ Sb	2. 75856	Y	4. 37	75. 7	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 228
38. 2	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 145	76. 2	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 203
39. 6	¹²⁹ I	1. 57E+7	Y	7. 51	76. 8	¹³⁴ Te	41. 8	M	0. 274
39. 9	²¹² Bi	60. 55	M	1. 06	76. 9	¹⁵⁷ Eu	15. 18	H	0. 20
39. 9	^{133m} Te	55. 4	M	0. 146	77. 1	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 61
40. 6	⁹⁹ Mo	65. 924	H	1. 04	79. 1	^{108m} Ag	438	Y	6. 6
41. 0	¹⁴⁴ Ce	284. 91	D	0. 257	79. 2	^{131m} Te	33. 25	H	0. 123
42. 7	¹⁸² Ta	114. 74	D	0. 268	79. 4	¹³⁴ Te	41. 8	M	20. 9
43. 8	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 213	79. 6	¹³³ Xe	5. 2475	D	0. 44
44. 7	²³⁹ Np	2. 356	D	0. 130	79. 6	¹³³ Ba	10. 551	Y	2. 65
46. 3	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 186	79. 7	²²⁷ Th	18. 68	D	1. 95
46. 5	²¹⁰ Pb	22. 20	Y	4. 25	80. 1	¹⁴⁴ Ce	284. 91	D	1. 36
47. 5	^{133m} Te	55. 4	M	0. 177	80. 2	¹³¹ I	8. 0252	D	2. 62
49. 4	²³⁹ Np	2. 356	D	0. 120	80. 3	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 451
49. 7	¹³² Te	3. 204	D	15. 0	81. 0	¹³³ Xe	5. 2475	D	36. 9
49. 8	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 43	81. 0	¹³³ Ba	10. 551	Y	32. 9
50. 1	²²⁷ Th	18. 68	D	8. 4	81. 1	^{131m} Te	33. 25	H	3. 92
51. 0	²³⁷ U	6. 75	D	0. 340	81. 2	²³¹ Th	25. 52	H	0. 90
51. 8	¹⁵⁷ Eu	15. 18	H	0. 76	81. 6	^{133m} Te	55. 4	M	0. 26
53. 2	¹³³ Ba	10. 551	Y	2. 14	82. 1	²³¹ Th	25. 52	H	0. 42
53. 2	²¹⁴ Pb	26. 8	M	1. 075	83. 4	¹⁵³ Sm	46. 50	H	0. 192
53. 3	¹⁰³ Ru	39. 247	D	0. 443	84. 2	²³¹ Th	25. 52	H	6. 6
53. 4	¹⁴⁴ Ce	284. 91	D	0. 100	84. 4	²²⁸ Th	1. 9125	Y	1. 19
54. 5	¹⁵⁷ Eu	15. 18	H	3. 8	84. 7	¹⁸² Ta	114. 74	D	2. 654
57. 4	¹⁴³ Ce	33. 039	H	11. 7	86. 4	¹³⁶ Cs	13. 16	D	5. 18
57. 8	²²⁸ Ac	6. 15	H	0. 47	86. 4	^{131m} Te	33. 25	H	0. 142
58. 5	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	1. 42	88. 1	^{133m} Te	55. 4	M	1. 06
58. 6	²³¹ Th	25. 52	H	0. 462	89. 0	¹⁵⁶ Eu	15. 19	D	8. 4
58. 9	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	1. 30	89. 5	¹⁵³ Sm	46. 50	H	0. 158
59. 5	²³⁷ U	6. 75	D	34. 5	89. 7	¹¹⁷ Cd	2. 49	H	3. 26
59. 5	²⁴¹ Am	432. 6	Y	35. 9	90. 0	²³¹ Th	25. 52	H	1. 00
61. 1	¹²⁷ Sb	3. 85	D	1. 44	91. 1	¹⁴⁷ Nd	10. 98	D	28. 1
61. 5	²³⁹ Np	2. 356	D	1. 300	92. 2	⁸² Br	35. 282	H	0. 726
62. 5	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 11	92. 3	^{133m} Te	55. 4	M	0. 16
62. 5	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 11	92. 4	²³⁴ Th	24. 10	D	2. 13

γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
92.8	²³⁴ Th	24.10	D	2.10	131.1	¹⁴⁰ La	1.67855	D	0.467
93.9	²²⁷ Th	18.68	D	1.51	131.6	²²⁸ Th	1.9125	Y	0.127
95.0	^{133m} Te	55.4	M	2.30	132.7	¹⁴⁰ Ba	12.7527	D	0.202
96.7	⁷⁵ Se	119.78	D	3.449	133.0	¹⁸¹ Hf	42.39	D	43.3
97.0	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	1.45	133.5	¹⁴⁴ Ce	284.91	D	11.09
97.4	¹⁵³ Sm	46.50	H	0.772	134.2	¹⁸⁷ W	24.000	H	10.36
97.7	^{117m} Cd	3.36	H	1.05	134.6	¹³¹ Sb	23.03	M	2.5
97.8	^{133m} Te	55.4	M	0.106	134.9	^{131m} Te	33.25	H	0.68
98.1	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.36	135.4	¹³⁴ I	52.5	M	4.3
99.3	²³¹ Th	25.52	H	0.131	136.0	⁷⁵ Se	119.78	D	58.5
99.4	^{117m} Cd	3.36	H	0.10	136.3	¹⁸¹ Hf	42.39	D	5.85
99.5	²²⁸ Ac	6.15	H	1.26	136.4	¹⁹² Ir	73.829	D	0.199
100.0	¹⁵¹ Pm	28.40	H	2.54	136.5	⁵⁷ Co	271.74	D	10.68
100.1	¹⁸² Ta	114.74	D	14.20	136.6	^{133m} Te	55.4	M	0.12
101.4	¹³⁴ Te	41.8	M	0.38	136.9	¹⁸¹ Hf	42.39	D	0.86
101.6	^{131m} Te	33.25	H	0.164	138.1	¹³⁸ Cs	33.41	M	1.49
101.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.28	139.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.76
102.1	^{131m} Te	33.25	H	7.66	139.2	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.51
102.3	²³¹ Th	25.52	H	0.436	139.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.50
102.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.40	139.7	^{75m} Ge	47.7	S	39.5
103.2	¹⁵³ Sm	46.50	H	29.25	140.5	^{99m} Tc	6.0072	H	89
104.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	3.5	140.8	²³⁵ U	703.8E+6	Y	0.200
105.5	^{129m} Te	33.6	D	0.14	142.7	⁵⁹ Fe	44.495	D	1.02
105.9	¹⁴² La	91.1	M	0.1422	143.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.214
106.1	²³⁹ Np	2.356	D	25.34	143.8	²³⁵ U	703.8E+6	Y	10.96
109.2	²³⁵ U	703.8E+6	Y	1.66	144.2	²²³ Ra	11.43	D	3.27
109.4	¹⁴⁰ La	1.67855	D	0.219	145.4	¹⁴¹ Ce	32.511	D	48.4
109.7	¹³⁶ Cs	13.16	D	0.21	145.8	²²⁸ Ac	6.15	H	0.158
110.4	¹⁸² Ta	114.74	D	0.107	147.4	¹³² I	2.295	H	0.237
111.8	¹³² Te	3.204	D	1.74	147.5	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.153
112.5	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.119	149.1	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	1.75
112.6	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.130	149.7	^{131m} Te	33.25	H	4.9
112.8	²³⁴ Th	24.10	D	0.210	150.8	^{133m} Te	55.4	M	0.27
113.1	²²⁷ Th	18.68	D	0.54	150.8	^{133m} Te	55.4	M	0.53
113.1	²²⁷ Th	18.68	D	0.155	151.2	^{85m} Kr	4.480	H	75.2
113.7	¹⁸² Ta	114.74	D	1.871	152.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.106
114.3	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	19.2	152.4	¹⁸² Ta	114.74	D	7.02
115.2	²¹² Pb	10.64	H	0.596	152.6	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.50
116.3	¹³² Te	3.204	D	1.96	153.2	¹³⁶ Cs	13.16	D	5.75
116.4	¹⁸² Ta	114.74	D	0.444	154.0	²²⁸ Ac	6.15	H	0.722
116.4	^{133m} Te	55.4	M	0.22	154.2	²²³ Ra	11.43	D	5.70
116.9	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.11	154.3	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.15
117.0	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.263	155.9	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	5.9
117.2	²²⁷ Th	18.68	D	0.199	156.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.149
118.4	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.60	156.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.69
120.5	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.376	156.4	¹⁸² Ta	114.74	D	2.671
121.1	⁷⁵ Se	119.78	D	17.20	158.2	¹³⁵ Xe	9.14	H	0.289
121.8	¹⁵² Eu	13.517	Y	28.53	158.6	²²³ Ra	11.43	D	0.695
122.1	⁵⁷ Co	271.74	D	85.60	159.7	^{131m} Te	33.25	H	0.123
122.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.197	159.9	¹³¹ Sb	23.03	M	0.47
122.3	²²³ Ra	11.43	D	1.209	160.6	¹³³ Xe	5.2475	D	0.1066
122.4	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.256	160.6	¹³³ Ba	10.551	Y	0.638
123.1	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	40.4	160.8	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.25
126.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.111	162.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.29
129.1	²²⁸ Ac	6.15	H	2.42	162.7	¹⁴⁰ Ba	12.7527	D	6.22
129.6	^{105m} Rh	40	S	20.00	162.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.88
129.8	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	5.68	163.1	²³¹ Th	25.52	H	0.154
129.8	^{85m} Kr	4.480	H	0.301	163.4	²³⁵ U	703.8E+6	Y	5.08
130.6	²¹⁹ Rn	3.96	S	0.13	163.5	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.156
131.1	¹³⁴ Te	41.8	M	0.18	163.6	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.55

γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
163.9	¹³⁶ Cs	13.16	D	3.39	194.9	²³⁵ U	703.8E+6	Y	0.630
163.9	^{131m} Xe	11.84	D	1.95	196.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	26.0
164.4	^{133m} Te	55.4	M	0.77	196.6	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.190
164.6	²³⁷ U	6.75	D	1.86	198.2	^{133m} Te	55.4	M	0.13
165.9	¹³⁹ Ba	82.93	M	23.7	198.4	¹⁸² Ta	114.74	D	1.465
165.9	¹³⁹ Ce	137.641	D	79.90	198.6	⁷⁵ Ge	82.78	M	1.19
166.0	⁸⁸ Kr	2.825	H	3.10	198.6	⁷⁵ Se	119.78	D	1.496
166.4	²²⁸ Th	1.9125	Y	0.101	198.9	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	1.39
166.6	¹³⁶ Cs	13.16	D	0.37	199.2	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.74
167.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	8.3	199.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.315
168.4	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.92	200.6	^{131m} Te	33.25	H	7.28
168.6	^{117m} Cd	3.36	H	0.29	200.7	^{133m} Te	55.4	M	0.35
169.0	^{133m} Te	55.4	M	4.2	201.0	^{133m} Te	55.4	M	0.13
172.7	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.191	201.2	¹³⁴ Te	41.8	M	8.9
173.5	¹⁴⁰ La	1.67855	D	0.127	201.3	¹⁹² Ir	73.829	D	0.471
174.2	⁷⁸ As	90.7	M	0.18	202.0	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.88
176.3	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	6.84	202.1	²³⁵ U	703.8E+6	Y	1.080
176.5	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.86	202.5	^{90m} Y	3.19	H	97.3
176.6	¹³⁶ Cs	13.16	D	10.0	204.0	²²⁸ Ac	6.15	H	0.112
176.9	^{133m} Te	55.4	M	0.18	204.1	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.317
177.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	3.8	204.1	²²⁷ Th	18.68	D	0.23
177.2	^{133m} Te	55.4	M	0.18	204.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.131
177.2	¹³¹ I	8.0252	D	0.269	204.4	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.00
177.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.13	205.0	²²⁷ Th	18.68	D	0.16
177.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.155	205.3	²³⁵ U	703.8E+6	Y	5.02
178.1	^{133m} Te	55.4	M	0.27	205.8	¹⁹² Ir	73.829	D	3.31
178.3	¹⁴² La	91.1	M	0.19	206.1	²²⁷ Th	18.68	D	0.25
179.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.10	206.2	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.153
179.4	¹⁸² Ta	114.74	D	3.119	208.0	²³⁷ U	6.75	D	21.2
179.5	²²³ Ra	11.43	D	0.153	208.1	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.248
180.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	2.84	208.1	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	2.55
180.9	¹³⁴ Te	41.8	M	18.3	208.6	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.150
181.1	⁹⁹ Mo	65.924	H	6.05	208.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.12
182.3	^{131m} Te	33.25	H	0.992	209.0	¹²⁹ Te	69.6	M	0.180
182.3	^{131m} Te	33.25	H	0.71	209.0	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.73
182.3	¹³⁰ Sb	39.5	M	65	209.3	²²⁸ Ac	6.15	H	3.89
182.6	²³⁵ U	703.8E+6	Y	0.39	209.8	²³⁹ Np	2.356	D	3.363
183.1	¹³⁴ Te	41.8	M	0.6	210.5	¹³⁴ Te	41.8	M	22.7
183.1	^{131m} Te	33.25	H	0.149	210.6	²²⁷ Th	18.68	D	1.25
183.6	¹³² I	2.295	H	0.138	211.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	30.0
184.6	^{133m} Te	55.4	M	0.13	211.3	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	25.9
185.5	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.104	211.4	²⁰⁸ Tl	3.053	M	0.180
185.7	²³⁵ U	703.8E+6	Y	57.0	212.3	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.175
186.2	²²⁶ Ra	1600	Y	3.64	213.5	^{133m} Te	55.4	M	1.73
186.6	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.180	213.9	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.40
187.3	¹³⁶ Cs	13.16	D	0.36	214.0	^{131m} Te	33.25	H	0.411
188.1	^{131m} Te	33.25	H	0.205	214.0	^{133m} Te	55.4	M	0.18
188.2	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.2400	214.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.00
188.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.77	214.9	²²⁸ Ac	6.15	H	0.76
188.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	1.79	215.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	27.9
189.8	^{131m} Te	33.25	H	0.49	216.0	²²⁸ Th	1.9125	Y	0.247
190.3	^{114m} In	49.51	D	15.56	217.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.23
190.5	^{131m} Te	33.25	H	0.112	218.9	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.168
191.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.123	219.1	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.14
192.0	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.50	220.5	¹³⁵ I	6.58	H	1.75
192.0	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.57	220.9	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.17
192.3	⁵⁹ Fe	44.495	D	3.08	220.9	^{117m} Cd	3.36	H	0.24
193.4	^{133m} Te	55.4	M	0.47	221.1	^{133m} Te	55.4	M	0.19
193.9	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.328	221.4	²³⁵ U	703.8E+6	Y	0.118
194.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.67	221.5	⁸² Br	35.282	H	2.26

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
222. 1	¹⁸² Ta	114. 74	D	7. 57	252. 5	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 111
223. 2	¹³³ Ba	10. 551	Y	0. 453	252. 6	²⁰⁸ Tl	3. 053	M	0. 780
224. 2	^{133m} Te	55. 4	M	0. 13	253. 2	^{131m} Te	33. 25	H	0. 627
225. 1	¹⁰⁵ Ru	4. 44	H	0. 123	254. 2	⁹⁷ Zr	16. 749	H	1. 15
226. 4	²³⁹ Np	2. 356	D	0. 259	254. 3	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 169
226. 8	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 163	254. 4	²³⁹ Np	2. 356	D	0. 1092
227. 2	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 34	254. 6	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 71
227. 3	¹²⁸ Sb	9. 05	H	1. 5	254. 7	⁷⁷ Ge	11. 211	H	0. 197
227. 8	¹³⁸ Cs	33. 41	M	1. 51	255. 1	¹³² I	2. 295	H	0. 237
227. 8	²³⁹ Np	2. 356	D	0. 5100	255. 1	¹¹³ Sn	115. 09	D	2. 11
227. 9	¹²⁵ Sb	2. 75856	Y	0. 1311	255. 4	^{131m} Te	33. 25	H	0. 299
228. 2	¹³² Te	3. 204	D	88	255. 8	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 1059
228. 2	²³⁹ Np	2. 356	D	10. 73	256. 2	²²⁷ Th	18. 68	D	7. 0
229. 3	¹⁸² Ta	114. 74	D	3. 644	257. 8	^{133m} Te	55. 4	M	0. 35
229. 6	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 482	258. 0	¹³⁰ Sb	39. 5	M	3. 9
229. 7	¹³⁵ I	6. 58	H	0. 241	258. 1	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 376
230. 1	^{133m} Te	55. 4	M	0. 22	258. 1	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 56
230. 2	⁸⁴ Br	31. 76	M	0. 30	258. 8	⁷⁴ Ga	8. 12	M	0. 11
230. 7	^{131m} Te	33. 25	H	0. 187	258. 8	¹¹³ Ag	5. 37	H	1. 64
231. 4	¹¹⁵ Cd	53. 46	H	0. 740	258. 9	²¹⁴ Pb	26. 8	M	0. 531
231. 6	¹⁴³ Ce	33. 039	H	2. 05	259. 8	¹³⁴ Te	41. 8	M	0. 44
232. 4	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	1. 03	260. 2	²³¹ Pa	3. 276E+4	Y	0. 182
233. 2	⁷⁴ Ga	8. 12	M	0. 16	260. 9	¹¹⁵ Cd	53. 46	H	1. 94
233. 2	¹³³ I	20. 83	H	0. 294	261. 2	⁹¹ Sr	9. 65	H	0. 449
233. 2	^{133m} Xe	2. 198	D	10. 12	261. 6	^{133m} Te	55. 4	M	6. 3
233. 4	²⁰⁸ Tl	3. 053	M	0. 310	262. 7	¹³³ I	20. 83	H	0. 359
234. 8	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 45	262. 8	¹⁰⁵ Ru	4. 44	H	6. 57
235. 0	¹²⁸ Sb	9. 05	H	0. 30	262. 9	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 107
235. 0	^{133m} Te	55. 4	M	0. 13	262. 9	¹³² I	2. 295	H	1. 28
235. 5	¹³⁴ I	52. 5	M	2. 13	264. 1	¹⁸² Ta	114. 74	D	3. 612
235. 7	⁹⁵ Zr	64. 032	D	0. 270	264. 3	¹³⁵ I	6. 58	H	0. 184
236. 0	²²⁷ Th	18. 68	D	12. 9	264. 5	⁷⁷ Ge	11. 211	H	53. 3
236. 6	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 160	264. 6	⁷⁵ Ge	82. 78	M	11. 4
236. 7	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 19	264. 7	⁷⁵ Se	119. 78	D	58. 9
237. 1	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	0. 52	266. 5	¹⁴⁰ La	1. 67855	D	0. 466
238. 6	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 89	266. 9	⁹³ Y	10. 18	H	7. 4
238. 6	²¹² Pb	10. 64	H	43. 6	267. 2	¹³³ I	20. 83	H	0. 117
239. 1	¹⁸⁷ W	24. 000	H	0. 100	267. 5	²³⁷ U	6. 75	D	0. 712
240. 1	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	3. 8	267. 7	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	6. 0
240. 2	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	3. 94	268. 1	⁷⁷ Ge	11. 211	H	0. 3
240. 7	⁸⁸ Kr	2. 825	H	0. 253	268. 5	¹²⁹ Sb	4. 366	H	0. 214
240. 9	^{133m} Te	55. 4	M	0. 27	269. 5	²²³ Ra	11. 43	D	13. 9
240. 9	^{131m} Te	33. 25	H	7. 32	270. 2	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	10. 7
241. 0	²²⁴ Ra	3. 66	D	4. 10	270. 2	²²⁸ Ac	6. 15	H	3. 46
241. 6	⁹² Sr	2. 611	H	2. 93	270. 6	¹²⁵ Sn	9. 64	D	0. 11
241. 9	¹⁴⁰ La	1. 67855	D	0. 414	271. 2	²¹⁹ Rn	3. 96	S	10. 8
242. 0	²¹⁴ Pb	26. 8	M	7. 251	272. 4	⁹⁷ Zr	16. 749	H	0. 23
244. 4	^{133m} Te	55. 4	M	0. 27	272. 6	⁹¹ Sr	9. 65	H	0. 26
244. 5	¹²⁹ Sb	4. 366	H	0. 403	272. 9	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 51
244. 7	¹⁵² Eu	13. 517	Y	7. 55	273. 2	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 18
245. 5	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 21	273. 3	¹¹⁷ Cd	2. 49	H	27. 9
245. 7	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 80	273. 5	⁸² Br	35. 282	H	0. 801
246. 2	¹⁸⁷ W	24. 000	H	0. 136	273. 6	¹³⁶ Cs	13. 16	D	11. 1
247. 9	¹⁵⁴ Eu	8. 601	Y	6. 89	273. 8	²¹⁴ Bi	19. 9	M	0. 128
249. 7	¹²⁸ Sb	9. 05	H	0. 60	274. 3	¹³¹ Sb	23. 03	M	1. 2
249. 8	¹³⁵ Xe	9. 14	H	90	274. 7	⁹¹ Sr	9. 65	H	1. 04
250. 3	²²⁷ Th	18. 68	D	0. 45	274. 8	²¹⁴ Pb	26. 8	M	0. 355
250. 6	¹²⁹ Te	69. 6	M	0. 38	275. 2	¹⁵¹ Pm	28. 40	H	6. 8
251. 5	^{133m} Te	55. 4	M	0. 22	275. 4	¹⁴⁷ Nd	10. 98	D	0. 910
252. 4	¹²⁷ Sb	3. 85	D	8. 5	275. 4	¹⁴⁹ Nd	1. 728	H	0. 65

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
276.4	¹³³ Ba	10.551	Y	7.16	302.7	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	2.3
277.0	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.342	302.7	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	0.17
277.4	²⁰⁸ Tl	3.053	M	6.6	302.9	¹³³ Ba	10.551	Y	18.34
277.6	²³⁹ Np	2.356	D	14.51	303.3	¹³⁰ Sb	39.5	M	5.8
278.0	¹³⁴ Te	41.8	M	21.2	303.9	⁷⁵ Se	119.78	D	1.315
278.0	^{133m} Te	55.4	M	0.44	304.5	²²⁷ Th	18.68	D	1.15
278.3	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.60	304.8	¹⁴⁰ Ba	12.7527	D	4.29
278.4	¹²⁹ Te	69.6	M	0.57	304.9	^{85m} Kr	4.480	H	14.0
278.6	^{131m} Te	33.25	H	1.72	306.1	¹⁰⁵ Rh	35.36	H	5.1
278.8	¹³⁴ I	52.5	M	0.144	306.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.239
279.0	²²⁸ Ac	6.15	H	0.160	307.9	^{133m} Te	55.4	M	0.22
279.2	²⁰³ Hg	46.594	D	81.56	308.5	¹⁹² Ir	73.829	D	29.70
279.2	²⁰³ Pb	51.92	H	80.9	309.5	^{131m} Te	33.25	H	0.36
279.5	²³⁵ U	703.8E+6	Y	0.270	310.0	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.26
279.5	⁷⁵ Se	119.78	D	25.02	310.3	^{117m} Cd	3.36	H	0.50
279.8	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11	311.0	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.510
280.1	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.232	311.7	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.107
280.1	¹⁰⁵ Rh	35.36	H	0.166	312.1	^{133m} Te	55.4	M	1.77
280.4	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.66	312.7	²²⁷ Th	18.68	D	0.52
281.3	¹²⁹ Te	69.6	M	0.165	314.1	¹²⁸ Sb	9.05	H	61
282.5	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.62	314.2	^{133m} Te	55.4	M	0.31
283.2	^{131m} Te	33.25	H	0.37	314.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.123
283.3	¹⁹² Ir	73.829	D	0.266	314.9	²²⁷ Th	18.68	D	0.3
283.7	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	1.65	314.9	²²⁷ Th	18.68	D	0.3
284.3	¹³¹ I	8.0252	D	6.12	315.9	²³⁹ Np	2.356	D	1.600
284.8	^{133m} Te	55.4	M	0.18	316.3	¹¹³ Ag	5.37	H	1.343
284.9	¹³² I	2.295	H	0.71	316.4	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	11.1
285.5	²³⁹ Np	2.356	D	0.794	316.5	¹⁹² Ir	73.829	D	82.86
285.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	3.5	316.7	¹³² I	2.295	H	0.128
286.0	¹⁴⁹ Pm	53.08	H	3.10	317.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	3.0
286.1	²²⁷ Th	18.68	D	1.74	318.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.227
288.2	²²³ Ra	11.43	D	0.160	318.7	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	2.9
288.2	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.69	318.8	^{133m} Te	55.4	M	0.18
288.2	²¹² Bi	60.55	M	0.337	318.9	¹⁰⁵ Rh	35.36	H	19.1
288.5	¹³⁵ I	6.58	H	3.10	319.4	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	2.13
289.6	²²⁷ Th	18.68	D	1.9	319.8	¹³⁴ I	52.5	M	0.46
290.3	¹³⁵ I	6.58	H	0.304	319.9	¹³⁶ Cs	13.16	D	0.50
290.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.83	320.1	⁵¹ Cr	27.704	D	9.910
290.8	¹²⁷ Sb	3.85	D	2.02	321.0	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.416
292.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.64	321.6	²²⁸ Ac	6.15	H	0.226
292.1	^{117m} Cd	3.36	H	0.10	322.3	¹²⁸ Sb	9.05	H	3.0
293.3	¹⁴³ Ce	33.039	H	42.8	323.8	¹³¹ Sb	23.03	M	1.2
293.3	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.29	323.9	²²³ Ra	11.43	D	3.99
294.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.57	323.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.22
294.8	^{133m} Te	55.4	M	0.18	324.9	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.290
295.0	¹⁰³ Ru	39.247	D	0.288	325.3	^{117m} Cd	3.36	H	0.13
295.2	²¹⁴ Pb	26.8	M	18.42	325.8	¹³¹ I	8.0252	D	0.273
295.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.828	325.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.106
295.7	¹³¹ Sb	23.03	M	1.6	326.0	^{133m} Te	55.4	M	0.22
295.9	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.440	326.1	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	1.06
296.0	¹⁹² Ir	73.829	D	28.71	326.2	¹³¹ Sb	23.03	M	1.2
296.5	²²⁷ Th	18.68	D	0.44	326.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	4.56
298.6	¹¹³ Ag	5.37	H	10.00	327.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.12
299.5	^{117m} Cd	3.36	H	0.45	328.0	²²⁸ Ac	6.15	H	2.95
300.0	²²⁷ Th	18.68	D	2.21	328.0	²¹² Bi	60.55	M	0.125
300.1	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	2.41	328.4	²²³ Ra	11.43	D	0.209
300.1	²¹² Pb	10.64	H	3.30	328.8	¹⁴⁰ La	1.67855	D	20.3
301.1	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.376	329.4	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.1213
301.3	¹³¹ Sb	23.03	M	2.4	329.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.221
302.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.11	329.9	²²⁷ Th	18.68	D	2.9

γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
330.1	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	1.36	354.3	⁷⁸ As	90.7	M	1.9
330.4	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.143	354.7	⁸⁴ Br	31.76	M	0.30
330.9	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.67	354.7	^{131m} Te	33.25	H	0.220
330.9	¹³⁰ Sb	39.5	M	78	355.4	⁹⁷ Zr	16.749	H	2.09
332.1	¹²⁵ Sn	9.64	D	1.4	355.4	^{133m} Te	55.4	M	0.52
332.4	²³⁷ U	6.75	D	1.200	356.0	¹³³ Ba	10.551	Y	62.05
332.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.40	357.0	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5
333.1	¹¹³ Ag	5.37	H	0.598	357.1	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	0.168
333.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.171	358.4	¹³⁵ Xe	9.14	H	0.221
334.0	²²³ Ra	11.43	D	0.101	358.9	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.31
334.2	^{133m} Te	55.4	M	2.7	359.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	2.39
334.3	^{133m} Te	55.4	M	6.8	360.1	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.153
334.3	^{131m} Te	33.25	H	9.22	360.3	¹²⁷ Te	9.35	H	0.135
334.3	²³⁹ Np	2.356	D	2.056	361.1	¹³³ I	20.83	H	0.11
334.4	²²⁷ Th	18.68	D	1.14	361.9	¹³⁵ I	6.58	H	0.187
334.4	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.84	362.2	⁸⁸ Kr	2.825	H	2.25
334.7	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.145	363.1	^{133m} Te	55.4	M	0.40
334.8	⁵⁹ Fe	44.495	D	0.270	363.3	¹³² I	2.295	H	0.49
335.4	^{131m} Te	33.25	H	0.131	363.9	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.244
336.2	¹¹⁵ Cd	53.46	H	1.000	364.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.305
336.2	^{115m} In	4.486	H	45.8	364.4	¹¹³ Ag	5.37	H	0.140
337.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.21	364.5	¹³¹ I	8.0252	D	81.5
338.3	²²³ Ra	11.43	D	2.84	365.0	^{131m} Te	33.25	H	1.16
338.3	²²⁸ Ac	6.15	H	11.27	365.3	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.191
338.5	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.11	366.1	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5
338.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.72	366.3	⁶⁵ Ni	2.51719	H	4.81
339.4	¹¹³ Ag	5.37	H	0.638	366.4	⁹⁹ Mo	65.924	H	1.200
340.1	¹⁵¹ Pm	28.40	H	22.5	366.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.54
340.5	¹³⁶ Cs	13.16	D	42.2	366.9	^{117m} Cd	3.36	H	3.33
340.7	²³¹ Pa	3.276E+4	Y	0.177	367.3	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
341.0	²²⁸ Ac	6.15	H	0.369	367.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	14.5
342.6	²²⁷ Th	18.68	D	0.35	367.8	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.859
342.8	^{133m} Te	55.4	M	0.40	367.9	^{133m} Te	55.4	M	0.18
342.9	²²³ Ra	11.43	D	0.222	370.5	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	11.2
342.9	^{131m} Te	33.25	H	0.37	370.9	²³⁷ U	6.75	D	0.1073
344.3	¹⁵² Eu	13.517	Y	26.59	371.7	²²³ Ra	11.43	D	0.487
344.4	^{133m} Te	55.4	M	0.58	374.5	¹⁹² Ir	73.829	D	0.727
344.5	¹¹⁷ Cd	2.49	H	17.9	376.8	^{133m} Te	55.4	M	0.18
344.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	2.12	379.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.95
345.4	¹³³ I	20.83	H	0.104	379.9	⁹¹ Sr	9.65	H	0.147
345.6	^{133m} Te	55.4	M	0.18	379.9	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.27
345.9	¹⁸¹ Hf	42.39	D	15.12	380.5	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	1.517
346.8	²²³ Ra	11.43	D	0.181	382.0	⁸⁴ Br	31.76	M	0.56
347.3	^{133m} Te	55.4	M	0.53	382.1	¹¹³ Ag	5.37	H	0.145
347.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.161	383.8	¹³³ Ba	10.551	Y	8.94
348.9	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.104	383.9	^{131m} Te	33.25	H	0.19
349.2	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	1.38	384.0	^{133m} Te	55.4	M	0.13
349.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.142	384.7	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.267
350.0	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.289	386.8	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.295
350.2	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	1.02	387.9	¹³² I	2.295	H	0.17
350.5	²²⁷ Th	18.68	D	0.110	387.9	¹³² I	2.295	H	0.17
350.6	¹⁴³ Ce	33.039	H	3.23	387.9	¹³² I	2.295	H	0.17
351.0	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.26	388.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.31
351.1	²¹¹ Bi	2.14	M	13.02	388.9	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.402
351.1	¹³⁴ I	52.5	M	0.42	390.5	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.64
351.1	⁷⁸ As	90.7	M	0.162	391.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.124
351.3	^{131m} Te	33.25	H	0.202	391.7	¹¹³ Sn	115.09	D	64.97
351.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	1.17	391.8	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.96
351.9	²¹⁴ Pb	26.8	M	35.60	392.4	^{133m} Te	55.4	M	0.142
353.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.106	393.4	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	3.77

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
393.4	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.124	429.9	¹³⁵ I	6.58	H	0.304
393.6	¹⁴² La	91.1	M	0.1896	430.5	⁹² Sr	2.611	H	3.28
397.0	^{133m} Te	55.4	M	0.58	431.8	¹³² I	2.295	H	0.47
397.2	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.20	432.4	^{131m} Te	33.25	H	0.64
398.2	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.912	432.5	¹⁴⁰ La	1.67855	D	2.90
399.0	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	1.34	433.0	¹⁴³ Ce	33.039	H	0.159
399.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.105	433.3	¹⁴² La	91.1	M	0.379
400.3	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.139	433.4	¹³⁴ I	52.5	M	4.15
400.4	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.245	433.7	¹³⁵ I	6.58	H	0.554
400.7	⁷⁵ Se	119.78	D	11.41	433.8	¹³¹ Sb	23.03	M	2.0
401.3	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.188	433.9	^{108m} Ag	438	Y	90.5
401.3	²⁰³ Pb	51.92	H	3.35	434.2	¹¹⁷ Cd	2.49	H	9.8
401.8	²¹⁹ Rn	3.96	S	6.6	434.4	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.36
402.6	⁸⁷ Kr	76.3	M	50	434.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.209
403.0	¹³⁵ I	6.58	H	0.232	434.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.1113
404.3	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.00	435.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.212
404.6	¹²⁹ Sb	4.366	H	1.172	435.1	¹³⁴ Te	41.8	M	18.9
404.9	²¹¹ Pb	36.1	M	3.78	435.3	^{133m} Te	55.4	M	0.97
405.5	¹³⁴ I	52.5	M	7.37	437.6	¹⁴⁰ Ba	12.7527	D	1.929
405.7	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.169	439.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11
406.0	^{133m} Te	55.4	M	0.31	439.4	^{117m} Cd	3.36	H	0.18
407.0	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.187	439.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.207
408.0	¹³⁵ Xe	9.14	H	0.358	439.9	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	1.28
408.1	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.184	440.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.121
409.0	¹³⁸ Cs	33.41	M	4.66	440.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.51
409.1	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	2.72	441.0	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.7
409.5	²²⁸ Ac	6.15	H	1.92	443.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	1.15
409.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.231	443.6	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	0.306
410.5	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.150	443.8	¹⁰³ Ru	39.247	D	0.339
410.7	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	17.8	444.0	¹⁵² Eu	13.517	Y	2.827
411.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.57	444.0	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.298
411.1	¹⁵² Eu	13.517	Y	2.237	444.1	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.1889
411.8	¹⁹⁸ Au	2.6941	D	95.62	444.5	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.547
412.1	¹²⁷ Sb	3.85	D	3.8	444.9	^{133m} Te	55.4	M	1.64
413.2	^{133m} Te	55.4	M	0.53	445.0	²²³ Ra	11.43	D	1.29
413.5	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	2.27	445.1	¹²⁷ Sb	3.85	D	4.3
414.8	¹³⁵ I	6.58	H	0.301	445.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	4.0
416.0	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.1088	445.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5
416.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	22.7	446.2	¹³² I	2.295	H	0.60
416.5	¹⁹² Ir	73.829	D	0.670	446.8	^{110m} Ag	249.83	D	3.70
416.8	¹³² I	2.295	H	0.47	448.5	⁹² Y	3.54	H	2.3
417.4	^{131m} Te	33.25	H	0.269	449.9	⁶³ Zn	38.47	M	0.236
417.6	¹³³ I	20.83	H	0.154	450.8	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	1.24
417.6	¹³⁵ I	6.58	H	3.53	451.0	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.18
417.9	¹²⁷ Te	9.35	H	0.99	451.4	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.29
417.9	¹³⁰ I	12.36	H	34.2	451.6	¹³⁵ I	6.58	H	0.316
419.1	⁷⁵ Ge	82.78	M	0.185	452.3	^{131m} Te	33.25	H	1.5
419.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.22	453.0	²¹² Bi	60.55	M	0.363
419.8	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.18	453.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.538
420.1	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.94	454.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5
420.2	¹⁴² La	91.1	M	0.237	454.8	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.292
421.6	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.427	455.4	¹³⁰ Sb	39.5	M	4.8
422.9	¹³³ I	20.83	H	0.311	456.0	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.11
423.6	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	7.4	456.7	¹³¹ Sb	23.03	M	0.7
423.7	¹⁴⁰ Ba	12.7527	D	3.15	457.8	¹³⁰ I	12.36	H	0.237
425.2	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.272	458.9	¹³⁴ I	52.5	M	1.31
427.1	²¹¹ Pb	36.1	M	1.76	459.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5
427.4	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.162	459.6	¹²⁹ Te	69.6	M	7.7
427.9	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	29.6	460.9	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.99
429.0	^{133m} Te	55.4	M	1.77	460.9	^{117m} Cd	3.36	H	1.62

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
461.0	¹³⁴ Te	41.8	M	9.7	491.3	⁹² Sr	2.611	H	0.27
461.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.33	492.4	¹¹⁵ Cd	53.46	H	8.03
462.0	²¹⁴ Pb	26.8	M	0.212	492.6	⁹² Y	3.54	H	0.49
462.2	⁷⁸ As	90.7	M	0.59	493.0	^{133m} Te	55.4	M	0.62
462.2	^{133m} Te	55.4	M	1.24	493.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	5.0
462.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.80	495.0	^{133m} Te	55.4	M	0.155
462.8	¹³⁸ Cs	33.41	M	30.7	497.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.18
462.9	^{131m} Te	33.25	H	1.76	497.1	¹⁰³ Ru	39.247	D	91.0
463.0	²²⁸ Ac	6.15	H	4.40	497.6	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.96
463.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.75	497.8	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11
463.4	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	10.49	499.3	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	2.0
464.0	^{133m} Te	55.4	M	0.22	500.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.430
464.6	¹³⁴ Te	41.8	M	4.7	500.1	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.55
465.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.36	502.8	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.8
468.0	¹³⁰ Sb	39.5	M	18.0	503.0	¹³¹ I	8.0252	D	0.359
468.1	¹⁹² Ir	73.829	D	47.84	503.5	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.1524
468.2	^{131m} Te	33.25	H	0.30	503.7	⁷⁸ As	90.7	M	0.42
468.8	⁷⁵ Ge	82.78	M	0.223	503.8	²²⁸ Ac	6.15	H	0.182
469.4	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	17.5	504.7	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.10
469.8	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.132	505.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.518
469.9	¹²⁵ Sn	9.64	D	1.5	505.8	¹³² I	2.295	H	4.94
470.1	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.184	506.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.0
470.4	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.202	507.2	¹³⁶ Cs	13.16	D	0.97
471.1	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.39	507.2	^{133m} Te	55.4	M	0.35
471.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.73	507.6	⁹⁷ Zr	16.749	H	5.03
471.9	^{133m} Te	55.4	M	0.66	507.9	⁶⁵ Ni	2.51719	H	0.293
472.7	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.145	509.0	²²⁸ Ac	6.15	H	0.45
473.0	¹²⁷ Sb	3.85	D	25.8	510.5	¹³⁰ I	12.36	H	0.85
473.6	¹³² I	2.295	H	0.17	510.5	¹³³ I	20.83	H	1.83
474.6	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	2.56	510.8	²⁰⁸ Tl	3.053	M	22.60
475.4	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	1.477	511.8	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.807
475.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.07	511.9	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	20.4
476.0	¹⁸¹ Hf	42.39	D	0.703	513.4	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.55
477.6	⁷ Be	53.22	D	10.44	513.7	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.20
478.2	¹³² I	2.295	H	0.17	514.0	⁸⁵ Kr	10.739	Y	0.434
478.2	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.2250	514.4	¹³⁴ I	52.5	M	2.24
478.3	²²⁸ Ac	6.15	H	0.209	514.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.147
478.6	^{133m} Te	55.4	M	0.75	514.7	¹⁴² La	91.1	M	0.14
479.5	^{90m} Y	3.19	H	90.74	516.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.194
479.5	¹⁸⁷ W	24.000	H	26.6	516.7	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.43
480.4	²¹⁴ Pb	26.8	M	0.337	519.7	^{133m} Te	55.4	M	0.22
482.2	¹⁸¹ Hf	42.39	D	80.5	520.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.28
483.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.2	521.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.12
484.6	¹⁹² Ir	73.829	D	3.19	522.7	¹³² I	2.295	H	16.0
484.8	^{117m} Cd	3.36	H	1.02	523.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	1.55
484.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.06	523.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.103
487.0	¹⁴⁰ La	1.67855	D	45.5	524.8	^{131m} Te	33.25	H	0.131
487.1	²¹⁴ Pb	26.8	M	0.432	524.8	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.31
487.4	¹²⁹ Te	69.6	M	1.42	525.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.1644
487.4	^{133m} Te	55.4	M	0.44	525.5	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.138
488.0	¹³² I	2.295	H	0.23	525.6	^{133m} Te	55.4	M	0.22
488.0	¹³² I	2.295	H	0.23	526.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	45
488.7	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.414	526.6	^{135m} Xe	15.29	M	80.6
488.9	¹³⁴ I	52.5	M	1.45	527.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.14
489.1	¹⁹² Ir	73.829	D	0.438	527.9	¹¹⁵ Cd	53.46	H	27.5
489.2	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.155	529.9	¹³³ I	20.83	H	87.0
489.5	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.55	530.7	^{131m} Te	33.25	H	0.101
490.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.126	531.0	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	13.4
490.3	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.160	531.6	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
490.4	¹⁴³ Ce	33.039	H	2.16	532.4	^{133m} Te	55.4	M	0.71

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
533.7	²¹⁴ Pb	26.8	M	0.181	576.0	¹³⁵ I	6.58	H	0.129
534.9	^{133m} Te	55.4	M	0.84	578.1	¹⁴² La	91.1	M	1.33
535.4	¹³² I	2.295	H	0.51	580.1	²¹⁴ Pb	26.8	M	0.370
536.1	¹³⁰ I	12.36	H	99.00	581.4	^{133m} Te	55.4	M	0.40
537.3	¹⁴⁰ Ba	12.7527	D	24.39	582.0	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.893
539.1	¹³⁰ I	12.36	H	1.40	582.0	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.1308
539.3	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.114	582.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.80
540.3	^{133m} Te	55.4	M	0.22	582.9	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.00
540.5	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	6.6	583.2	²⁰⁸ Tl	3.053	M	85.0
540.8	¹³⁴ I	52.5	M	7.66	583.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.111
540.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.16	584.0	¹¹³ Ag	5.37	H	0.21
541.4	^{131m} Te	33.25	H	0.108	584.2	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.33
543.3	¹²⁷ Sb	3.85	D	2.9	586.0	¹³⁰ I	12.36	H	1.69
544.6	¹²⁹ Sb	4.366	H	15.42	586.3	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.455
545.0	^{117m} Cd	3.36	H	0.16	586.3	^{131m} Te	33.25	H	1.90
545.3	⁷⁸ As	90.7	M	3.0	586.4	^{133m} Te	55.4	M	0.22
546.5	²²⁸ Ac	6.15	H	0.201	587.2	¹⁴³ Ce	33.039	H	0.267
546.6	¹³⁵ I	6.58	H	7.15	588.6	¹⁹² Ir	73.829	D	4.522
547.0	¹³⁸ Cs	33.41	M	10.76	589.1	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.150
547.2	¹³² I	2.295	H	1.14	591.1	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.160
551.6	¹⁸⁷ W	24.000	H	6.14	591.8	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	4.95
551.8	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.11	594.3	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.00
551.8	⁷⁸ As	90.7	M	0.17	594.8	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.283
553.9	¹³⁰ I	12.36	H	0.66	595.4	¹³⁴ I	52.5	M	11.1
554.3	⁸² Br	35.282	H	71.1	595.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.00
555.6	^{91m} Y	49.71	M	95.0	595.8	⁷⁴ As	17.77	D	59
555.9	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.59	595.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	91.80
556.7	^{129m} Te	33.6	D	0.118	597.3	^{117m} Cd	3.36	H	0.131
556.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.44	599.5	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	2.08
557.1	¹⁰³ Ru	39.247	D	0.841	600.6	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	17.65
557.5	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.269	601.5	^{133m} Te	55.4	M	0.102
557.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	16.8	602.1	^{131m} Te	33.25	H	0.30
558.4	^{114m} In	49.51	D	4.4	602.4	⁹⁷ Zr	16.749	H	1.38
559.1	⁷⁶ As	26.24	H	45.0	602.7	¹²⁴ Sb	60.20	D	97.8
559.2	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.109	603.0	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.7
561.1	⁹² Y	3.54	H	2.4	603.5	¹²⁷ Sb	3.85	D	4.5
562.5	²²⁸ Ac	6.15	H	0.87	603.5	¹³⁰ I	12.36	H	0.61
563.2	⁷⁶ As	26.24	H	1.20	604.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	2.85
563.2	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	8.338	604.4	¹⁹² Ir	73.829	D	8.216
564.0	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.494	604.7	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	97.62
564.2	¹²² Sb	2.7238	D	70.67	604.8	⁸⁴ Br	31.76	M	1.7
564.4	^{117m} Cd	3.36	H	14.7	605.1	^{133m} Te	55.4	M	1.02
565.0	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.353	606.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.146
565.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.95	606.3	⁸² Br	35.282	H	1.226
566.0	¹³⁴ Te	41.8	M	18.6	606.7	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	4.98
566.4	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.131	607.3	^{133m} Te	55.4	M	0.13
567.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.136	608.2	¹³⁵ Xe	9.14	H	2.90
567.6	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.148	608.4	⁷⁴ Ga	8.12	M	14.4
569.3	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	15.373	608.4	⁷⁴ As	17.77	D	0.552
569.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.15	609.3	²¹⁴ Bi	19.9	M	45.49
569.7	²⁰⁷ Bi	31.55	Y	97.75	609.4	^{131m} Te	33.25	H	0.134
570.8	¹³⁴ I	52.5	M	0.31	609.5	⁶⁵ Ni	2.51719	H	0.155
570.9	²²⁸ Ac	6.15	H	0.182	610.3	¹⁰³ Ru	39.247	D	5.76
570.9	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	1.59	612.1	¹⁰³ Ru	39.247	D	0.105
571.5	⁷⁶ As	26.24	H	0.140	612.5	¹⁹² Ir	73.829	D	5.34
572.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.150	613.8	⁷⁸ As	90.7	M	54
574.1	^{133m} Te	55.4	M	0.58	614.3	^{108m} Ag	438	Y	89.8
574.1	^{133m} Te	55.4	M	0.97	614.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.53
575.0	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.117	615.2	¹⁸¹ Hf	42.39	D	0.233
575.1	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.85	616.2	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	0.75

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
617.5	^{117m} Cd	3.36	H	0.34	649.9	¹³⁵ I	6.58	H	0.46
617.7	⁷⁵ Ge	82.78	M	0.114	650.5	¹³² I	2.295	H	2.57
618.0	¹³³ I	20.83	H	0.544	650.8	⁹² Sr	2.611	H	0.37
618.4	¹⁸⁷ W	24.000	H	7.57	652.3	⁹¹ Sr	9.65	H	2.98
619.1	⁸² Br	35.282	H	43.5	652.3	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.37
619.3	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	3.6	652.7	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.31
619.8	¹³¹ Sb	23.03	M	1.6	652.9	⁹¹ Sr	9.65	H	8.0
620.1	⁹¹ Sr	9.65	H	1.78	653.0	⁹¹ Sr	9.65	H	0.37
620.4	^{110m} Ag	249.83	D	2.73	653.3	^{133m} Te	55.4	M	0.49
620.9	¹³² I	2.295	H	0.39	654.2	¹²⁸ Sb	9.05	H	17.0
621.2	¹³² I	2.295	H	1.58	654.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.241
621.3	^{133m} Te	55.4	M	0.40	654.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	2.97
621.8	¹³⁴ I	52.5	M	10.6	654.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.00
621.9	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	9.93	654.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	8.0
622.8	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.99	655.6	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.188
623.3	^{133m} Te	55.4	M	0.22	656.2	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	2.1
624.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.190	656.5	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.1441
625.3	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.316	657.1	⁷⁶ As	26.24	H	6.2
625.5	¹⁸⁷ W	24.000	H	1.314	657.8	^{110m} Ag	249.83	D	95.61
625.7	¹³¹ Sb	23.03	M	2.4	657.9	⁷⁸ As	90.7	M	0.27
626.3	^{110m} Ag	249.83	D	0.217	657.9	¹³¹ Sb	23.03	M	4
626.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.8	657.9	⁹⁷ Nb	72.1	M	98.23
627.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11	658.2	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.7
627.3	^{117m} Cd	3.36	H	0.236	659.0	¹³² I	2.295	H	0.10
628.0	¹³⁴ I	52.5	M	2.22	660.8	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11
628.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	31	660.9	⁹¹ Sr	9.65	H	0.101
628.7	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.101	661.7	¹³⁷ Cs	30.08	Y	85.10
629.0	^{133m} Te	55.4	M	0.27	663.5	^{117m} Cd	3.36	H	0.68
630.2	¹³² I	2.295	H	13.3	664.6	¹⁴³ Ce	33.039	H	5.69
630.2	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.189	665.1	^{131m} Te	33.25	H	4.18
631.3	⁹¹ Sr	9.65	H	0.556	665.3	⁷⁶ As	26.24	H	0.36
631.8	^{117m} Cd	3.36	H	2.80	665.4	²¹⁴ Bi	19.9	M	1.531
631.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	7.4	665.9	¹³⁴ Te	41.8	M	1.18
632.0	^{133m} Te	55.4	M	0.22	667.1	¹²⁸ Sb	9.05	H	2.5
632.3	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.151	667.5	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.74
632.5	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.1046	667.7	¹³² I	2.295	H	98.70
633.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	2.53	668.5	¹³⁰ I	12.36	H	96
634.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	2.14	668.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.36
634.8	⁷⁴ As	17.77	D	15.4	669.0	¹³¹ Sb	23.03	M	1.9
635.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.6	669.2	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.10
636.0	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	11.22	669.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.29
636.2	¹²⁸ Sb	9.05	H	36	669.6	⁶³ Zn	38.47	M	8.2
636.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.42	669.8	¹³² I	2.295	H	4.6
636.3	¹³⁴ Te	41.8	M	1.68	670.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.96
636.5	^{133m} Te	55.4	M	0.18	671.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.90
637.0	¹³¹ I	8.0252	D	7.16	671.4	¹³² I	2.295	H	3.5
637.1	⁷⁸ As	90.7	M	0.21	671.4	¹²⁵ Sb	2.75856	Y	1.791
637.8	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.44	672.3	¹¹³ Ag	5.37	H	0.87
638.7	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.222	673.1	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.132
639.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.83	673.1	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.53
641.3	¹⁴² La	91.1	M	47.4	673.8	⁸⁷ Kr	76.3	M	1.89
642.3	¹³¹ Sb	23.03	M	24	674.6	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.169
642.3	^{133m} Te	55.4	M	0.71	674.8	²²⁸ Ac	6.15	H	2.1
642.7	¹³¹ I	8.0252	D	0.217	675.8	¹⁴⁵ Pr	5.984	H	0.514
645.4	¹³⁴ Te	41.8	M	0.89	675.9	¹⁹⁸ Au	2.6941	D	0.805
645.9	¹²⁴ Sb	60.20	D	7.42	676.4	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	15.7
646.2	¹⁴² La	91.1	M	0.14	676.6	^{110m} Ag	249.83	D	0.143
646.3	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	6.3	676.6	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.1672
647.5	^{133m} Te	55.4	M	15.5	677.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.235
647.9	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.124	677.3	¹³⁴ I	52.5	M	7.9

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
677.6	^{110m} Ag	249.83	D	10.70	707.9	¹³⁵ I	6.58	H	0.66
678.6	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.473	708.1	^{110m} Ag	249.83	D	0.23
680.2	⁹³ Y	10.18	H	0.67	709.3	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.137
680.2	¹³³ I	20.83	H	0.650	709.3	¹²⁴ Sb	60.20	D	1.353
680.5	²⁰³ Pb	51.92	H	0.75	709.9	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.88
680.6	¹¹³ Ag	5.37	H	0.695	710.4	^{133m} Te	55.4	M	0.58
680.9	¹³⁰ Sb	39.5	M	6.5	712.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.86
681.8	^{90m} Y	3.19	H	0.32	712.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.56
682.3	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.6	712.7	^{117m} Cd	3.36	H	1.00
682.8	¹²⁹ Sb	4.366	H	5.76	713.0	¹³⁴ Te	41.8	M	4.7
683.2	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.24	713.1	^{131m} Te	33.25	H	1.38
683.6	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.108	713.8	¹²⁴ Sb	60.20	D	2.276
683.9	¹²⁸ Sb	9.05	H	3.0	714.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	7.5
684.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.622	715.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.22
685.7	¹²⁷ Sb	3.85	D	36.8	715.8	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.187
685.8	¹⁸⁷ W	24.000	H	33.2	716.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.20
685.9	^{131m} Te	33.25	H	0.149	717.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	4.1
685.9	¹⁴⁷ Nd	10.98	D	0.886	718.9	^{133m} Te	55.4	M	0.66
686.1	¹³⁰ I	12.36	H	1.07	719.3	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.250
686.3	⁷⁸ As	90.7	M	0.92	719.9	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.392
686.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	3.2	721.9	¹⁴³ Ce	33.039	H	5.39
687.0	^{110m} Ag	249.83	D	6.53	722.0	²⁰⁸ Tl	3.053	M	0.24
687.5	⁷⁸ As	90.7	M	0.65	722.2	¹²⁷ Sb	3.85	D	1.88
687.5	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	1.20	722.4	⁷⁸ As	90.7	M	0.146
688.6	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.164	722.8	¹²⁴ Sb	60.20	D	10.76
688.7	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.856	722.9	^{108m} Ag	438	Y	90.8
690.1	¹³⁵ I	6.58	H	0.129	722.9	¹³¹ I	8.0252	D	1.77
690.5	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.183	723.3	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	20.06
692.4	⁵⁷ Co	271.74	D	0.149	723.5	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	5.4
692.4	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	1.777	723.5	^{133m} Te	55.4	M	0.22
692.7	¹²² Sb	2.7238	D	3.85	724.2	⁹⁵ Zr	64.032	D	44.27
692.9	¹²⁸ Sb	9.05	H	2.0	724.3	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	47.3
694.8	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.403	725.2	^{114m} In	49.51	D	4.4
694.9	⁷⁸ As	90.7	M	16.7	726.3	¹³¹ Sb	23.03	M	4.1
695.6	^{131m} Te	33.25	H	0.38	726.9	²²⁸ Ac	6.15	H	0.62
695.9	^{129m} Te	33.6	D	3.0	727.0	¹³² I	2.295	H	2.2
696.3	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.171	727.2	¹³² I	2.295	H	3.2
696.5	¹⁴⁴ Pr	17.28	M	1.342	727.3	²¹² Bi	60.55	M	6.67
697.8	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.254	727.6	¹²⁸ Sb	9.05	H	4.0
698.1	^{133m} Te	55.4	M	0.75	728.4	¹³² I	2.295	H	1.6
698.4	⁸² Br	35.282	H	28.3	728.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.24
698.5	¹²⁷ Sb	3.85	D	3.64	729.6	^{129m} Te	33.6	D	0.70
698.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.231	730.7	¹³⁴ I	52.5	M	1.83
699.2	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.101	730.8	^{117m} Cd	3.36	H	0.1048
699.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.24	731.9	^{133m} Te	55.4	M	0.49
700.9	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.30	732.0	¹³⁰ Sb	39.5	M	22.0
701.5	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.77	733.5	⁵⁶ Co	77.236	D	0.191
701.7	²²⁸ Ac	6.15	H	0.173	733.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.110
702.5	^{131m} Te	33.25	H	0.377	734.0	^{133m} Te	55.4	M	1.42
702.9	^{133m} Te	55.4	M	1.95	736.1	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.47
703.1	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.472	736.5	⁸⁴ Br	31.76	M	1.29
703.8	⁹⁷ Zr	16.749	H	1.01	737.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.444
704.2	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.34	739.2	¹³⁴ I	52.5	M	0.69
704.6	²¹¹ Pb	36.1	M	0.462	739.5	⁹⁹ Mo	65.924	H	12.20
705.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.108	739.5	¹³⁰ I	12.36	H	82
706.6	¹³³ I	20.83	H	1.51	739.8	^{133m} Te	55.4	M	0.49
706.7	¹³⁴ I	52.5	M	0.83	740.1	⁷⁶ As	26.24	H	0.117
706.7	^{110m} Ag	249.83	D	16.69	742.6	¹³⁴ Te	41.8	M	15.3
707.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.138	742.8	^{234m} Pa	1.159	M	0.1066
707.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.155	742.9	^{133m} Te	55.4	M	0.31

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
743.3	¹²⁸ Sb	9.05	H	100	781.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.07
743.4	⁹⁷ Zr	16.749	H	93.09	782.1	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.33
743.4	^{97m} Nb	58.7	S	97.90	782.1	^{133m} Te	55.4	M	0.27
743.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.190	782.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.485
744.2	^{131m} Te	33.25	H	1.53	782.5	^{131m} Te	33.25	H	7.51
744.3	^{110m} Ag	249.83	D	4.77	783.7	¹²⁷ Sb	3.85	D	15.1
745.2	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.368	784.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.67
745.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.03	784.4	¹³² I	2.295	H	0.38
745.9	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.15	784.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.38
748.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.56	785.1	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.221
748.1	^{117m} Cd	3.36	H	4.5	785.4	²¹² Bi	60.55	M	1.102
748.3	¹⁴⁵ Pr	5.984	H	0.525	785.5	¹³⁵ I	6.58	H	0.152
749.8	⁹¹ Sr	9.65	H	23.7	786.0	²¹⁴ Pb	26.8	M	1.06
749.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.93	786.4	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.32
751.6	¹⁴⁰ La	1.67855	D	4.33	786.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	1.071
752.6	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.26	787.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	1.74
752.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	1.28	787.7	⁵⁶ Co	77.236	D	0.311
752.9	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.128	788.2	^{117m} Cd	3.36	H	0.50
753.3	^{133m} Te	55.4	M	0.27	788.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.53
754.0	¹²⁸ Sb	9.05	H	100	789.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.101
755.3	²²⁸ Ac	6.15	H	1.00	789.7	^{133m} Te	55.4	M	0.35
756.7	⁹⁵ Zr	64.032	D	54.38	790.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.125
756.8	^{133m} Te	55.4	M	0.27	790.7	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.739
756.8	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	4.52	793.4	¹³⁰ Sb	39.5	M	100
761.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	4.32	793.8	^{131m} Te	33.25	H	13.4
761.4	⁹¹ Sr	9.65	H	0.576	794.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.30
762.7	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.37	794.7	^{133m} Te	55.4	M	0.84
762.7	^{117m} Cd	3.36	H	1.73	794.9	²²⁸ Ac	6.15	H	4.25
763.1	²⁰⁸ Tl	3.053	M	1.79	795.9	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	85.46
763.9	^{110m} Ag	249.83	D	22.60	797.7	¹³⁵ I	6.58	H	0.17
764.9	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.189	797.7	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.109
765.8	⁹⁵ Nb	34.991	D	99.808	800.2	¹³⁰ I	12.36	H	0.101
766.1	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.146	800.3	¹²⁵ Sn	9.64	D	1.1
766.4	^{234m} Pa	1.159	M	0.317	800.5	^{133m} Te	55.4	M	0.89
766.5	²¹¹ Pb	36.1	M	0.617	802.0	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	8.688
766.7	¹³⁴ I	52.5	M	4.15	802.1	¹²⁹ Te	69.6	M	0.192
766.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.83	802.2	⁸⁴ Br	31.76	M	6.0
767.2	¹³⁴ Te	41.8	M	29.5	802.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.20
768.4	²¹⁴ Bi	19.9	M	4.894	804.5	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.61
768.4	¹³³ I	20.83	H	0.460	805.1	^{133m} Te	55.4	M	0.13
769.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.321	805.6	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.2793
769.1	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.106	806.2	²¹⁴ Bi	19.9	M	1.264
770.6	⁶⁵ Ni	2.51719	H	0.104	807.9	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.56
771.7	⁷⁶ As	26.24	H	0.122	808.3	¹³⁰ I	12.36	H	0.236
772.0	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.24	808.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.189
772.3	²²⁸ Ac	6.15	H	1.49	809.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.29
772.6	¹³² I	2.295	H	75.6	809.5	¹³² I	2.295	H	2.6
772.8	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.90	810.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	2.38
772.9	¹⁸⁷ W	24.000	H	5.02	810.5	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.317
773.3	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.233	810.8	⁵⁸ Co	70.86	D	99.450
773.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	2.82	811.8	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	9.7
773.7	^{131m} Te	33.25	H	36.8	812.0	¹³² I	2.295	H	5.5
773.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5	813.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	48.2
774.1	^{131m} Te	33.25	H	0.52	813.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.139
775.0	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.1862	813.6	¹²⁸ Sb	9.05	H	13.0
776.5	⁸² Br	35.282	H	83.4	814.3	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.164
777.9	⁹⁹ Mo	65.924	H	4.31	815.5	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.511
778.9	¹⁵² Eu	13.517	Y	12.93	815.8	¹⁴⁰ La	1.67855	D	23.28
779.7	^{133m} Te	55.4	M	1.42	816.3	^{133m} Te	55.4	M	0.62
780.0	¹³² I	2.295	H	1.18	816.4	¹³⁴ I	52.5	M	0.62

γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
817.0	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.40	854.9	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.357
817.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.17	855.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.6
818.0	^{110m} Ag	249.83	D	7.43	856.1	^{131m} Te	33.25	H	0.60
818.5	¹³⁶ Cs	13.16	D	99.70	856.3	¹³³ I	20.83	H	1.24
819.3	^{133m} Te	55.4	M	0.13	857.3	¹³⁴ I	52.5	M	6.70
819.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	1.39	858.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.205
820.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.169	859.5	¹⁴⁹ Pm	53.08	H	0.109
820.5	¹³³ I	20.83	H	0.155	860.4	^{117m} Cd	3.36	H	7.9
820.6	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.22	860.6	²⁰⁸ Tl	3.053	M	12.50
820.8	⁹¹ Sr	9.65	H	0.161	860.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.40
821.2	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.161	861.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.28
822.0	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.21	861.6	¹⁴² La	91.1	M	1.66
822.5	¹²⁵ Sn	9.64	D	4.3	862.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.67
822.8	^{131m} Te	33.25	H	5.90	862.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.61
823.0	⁹⁹ Mo	65.924	H	0.134	863.0	¹³² I	2.295	H	0.56
823.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.63	864.0	⁵⁸ Co	70.86	D	0.686
824.9	¹³¹ Sb	23.03	M	2.6	864.0	^{133m} Te	55.4	M	12.5
826.5	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.117	864.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.19
827.1	^{133m} Te	55.4	M	0.44	864.6	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.409
827.6	^{117m} Cd	3.36	H	0.26	865.1	^{131m} Te	33.25	H	0.19
827.8	⁸² Br	35.282	H	24.0	865.8	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.188
828.1	⁷⁸ As	90.7	M	8.1	866.0	¹³¹ Sb	23.03	M	0.47
829.8	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.239	867.0	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1.33
829.8	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.8	867.4	¹⁵² Eu	13.517	Y	4.23
830.5	²²⁸ Ac	6.15	H	0.540	867.6	⁷⁶ As	26.24	H	0.131
831.8	¹¹⁷ Cd	2.49	H	2.26	867.8	⁷⁴ Ga	8.12	M	8.7
832.0	²¹¹ Pb	36.1	M	3.52	867.8	¹⁴⁰ La	1.67855	D	5.50
834.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	13.0	871.8	¹³⁸ Cs	33.41	M	5.11
834.8	⁵⁴ Mn	312.20	D	99.9760	873.2	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	12.08
835.7	²²⁸ Ac	6.15	H	1.61	873.5	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	0.439
835.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.0	874.9	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.534
836.4	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.77	875.2	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.82
836.8	¹³⁵ I	6.58	H	6.69	875.3	¹³³ I	20.83	H	4.51
839.1	²¹⁴ Pb	26.8	M	0.583	875.9	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	2.50
839.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	100	876.6	¹³² I	2.295	H	1.04
840.2	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.81	876.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	2.75
840.4	²²⁸ Ac	6.15	H	0.91	877.4	¹³⁰ I	12.36	H	0.191
841.2	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.208	877.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.101
841.5	⁷⁸ As	90.7	M	0.16	878.0	¹²⁸ Sb	9.05	H	3.5
841.6	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.168	878.2	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.47
842.6	⁷⁸ As	90.7	M	1.08	878.2	¹⁴² La	91.1	M	0.1896
843.2	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.216	879.4	¹⁸⁷ W	24.000	H	0.171
844.1	¹³⁴ Te	41.8	M	1.2	879.7	⁹¹ Sr	9.65	H	0.188
844.3	⁹² Y	3.54	H	1.25	880.5	¹⁴³ Ce	33.039	H	1.031
844.9	^{131m} Te	33.25	H	0.15	880.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	3.96
845.4	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.568	880.7	^{117m} Cd	3.36	H	0.7
845.4	⁸⁷ Kr	76.3	M	7.3	880.8	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.11
845.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	2.5	881.6	⁸⁴ Br	31.76	M	42
845.9	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.63	882.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.19
846.8	⁵⁶ Mn	2.5789	H	98.85	882.7	^{133m} Te	55.4	M	1.77
846.8	⁵⁶ Co	77.236	D	99.9399	883.3	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.2
847.0	¹³⁴ I	52.5	M	96	883.6	¹¹³ Ag	5.37	H	0.282
848.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.281	884.1	¹³⁴ I	52.5	M	65.1
850.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.173	884.5	¹⁹² Ir	73.829	D	0.292
850.7	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.243	884.7	^{110m} Ag	249.83	D	75.0
850.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.12	884.8	^{133m} Te	55.4	M	0.80
852.0	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.156	884.8	^{133m} Te	55.4	M	0.80
852.2	^{131m} Te	33.25	H	0.37	884.9	⁷⁸ As	90.7	M	0.46
852.2	^{131m} Te	33.25	H	19.9	886.0	^{117m} Cd	3.36	H	0.39
854.6	¹³¹ Sb	23.03	M	3.3	886.7	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.34

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
888.5	^{133m} Te	55.4	M	0.66	937.5	^{110m} Ag	249.83	D	35.0
888.7	⁷⁸ As	90.7	M	2.1	939.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.304
889.3	⁴⁶ Sc	83.79	D	99.9840	939.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.1918
889.9	^{133m} Te	55.4	M	0.22	940.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.77
891.4	^{133m} Te	55.4	M	0.84	941.3	^{131m} Te	33.25	H	0.75
892.8	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.521	942.5	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.27
893.4	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.29	943.4	¹³¹ Sb	23.03	M	47.1
893.4	²¹² Bi	60.55	M	0.378	944.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1.33
894.9	¹⁴² La	91.1	M	8.34	944.9	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.294
896.0	¹³⁴ Te	41.8	M	0.44	945.2	^{133m} Te	55.4	M	0.49
896.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.126	945.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.53
897.8	²⁰⁷ Bi	31.55	Y	0.128	946.7	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.129
898.0	⁸⁸ Rb	17.773	M	14.40	947.1	⁹³ Y	10.18	H	2.1
898.0	⁸⁸ Y	106.627	D	93.7	947.5	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.292
900.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.107	947.5	⁸⁴ Br	31.76	M	0.35
903.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.140	947.9	¹³⁴ I	52.5	M	4.01
904.1	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.889	948.0	²²⁸ Ac	6.15	H	0.106
904.2	²²⁸ Ac	6.15	H	0.77	948.7	¹⁵¹ Pm	28.40	H	0.35
907.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.00	949.2	^{133m} Te	55.4	M	0.53
907.6	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.53	949.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.22
908.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.0	951.0	¹⁴⁰ La	1.67855	D	0.519
909.7	¹³³ I	20.83	H	0.214	952.0	⁸² Br	35.282	H	0.367
910.0	^{131m} Te	33.25	H	3.17	952.1	²¹² Bi	60.55	M	0.17
910.1	¹³² I	2.295	H	0.93	952.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.14
911.0	¹³¹ Sb	23.03	M	0.71	953.3	⁹² Sr	2.611	H	3.52
911.2	²²⁸ Ac	6.15	H	25.8	954.6	¹³² I	2.295	H	17.6
912.7	^{133m} Te	55.4	M	44	957.2	^{117m} Cd	3.36	H	0.39
912.8	⁹² Y	3.54	H	0.63	958.6	¹³¹ Sb	23.03	M	0.61
913.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.39	958.6	²²⁸ Ac	6.15	H	0.28
914.8	^{133m} Te	55.4	M	8.8	959.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.46
914.9	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.8	959.7	¹⁸² Ta	114.74	D	0.350
915.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	23.3	960.5	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1.45
915.6	¹²⁵ Sn	9.64	D	4.1	961.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.62
919.3	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.419	961.0	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.15
919.6	¹⁴⁰ La	1.67855	D	2.66	961.4	¹³⁵ I	6.58	H	0.15
920.6	^{131m} Te	33.25	H	1.16	962.1	⁶³ Zn	38.47	M	6.5
920.7	¹⁴⁵ Pr	5.984	H	0.146	962.2	¹⁴² La	91.1	M	0.38
922.6	¹³⁴ I	52.5	M	0.14	963.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.61
923.1	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.74	963.4	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.140
923.4	^{131m} Te	33.25	H	0.112	964.1	¹⁵² Eu	13.517	Y	14.51
923.9	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.101	964.1	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.365
924.4	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.52	964.8	²²⁸ Ac	6.15	H	4.99
925.2	¹⁴⁰ La	1.67855	D	6.90	966.8	¹²⁹ Sb	4.366	H	8.96
925.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.71	966.9	¹³⁴ I	52.5	M	0.39
925.6	¹³⁴ Te	41.8	M	1.48	967.0	¹³⁰ I	12.36	H	0.88
925.8	⁹¹ Sr	9.65	H	3.85	968.2	¹²⁴ Sb	60.20	D	1.882
926.0	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.40	968.2	⁷⁸ As	90.7	M	0.16
926.3	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.272	969.0	²²⁸ Ac	6.15	H	15.8
927.4	¹³² I	2.295	H	0.41	969.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.45
927.6	²⁰⁸ Tl	3.053	M	0.125	969.4	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	2.10
928.0	¹⁸² Ta	114.74	D	0.614	969.8	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.37
928.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	1.09	970.5	^{133m} Te	55.4	M	0.27
929.3	^{117m} Cd	3.36	H	0.79	971.3	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.278
931.4	^{117m} Cd	3.36	H	3.64	972.0	¹³⁵ I	6.58	H	0.89
933.1	¹³¹ Sb	23.03	M	26.4	972.3	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.0
934.1	²¹⁴ Bi	19.9	M	3.107	972.6	¹³⁵ I	6.58	H	1.21
934.5	⁹² Y	3.54	H	13.9	972.6	^{133m} Te	55.4	M	0.44
934.6	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.21	974.7	¹³⁴ I	52.5	M	4.78
934.9	¹³⁰ Sb	39.5	M	19.0	975.1	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.27
935.0	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.181	977.4	⁵⁶ Co	77.236	D	1.421

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
978.3	^{133m} Te	55.4	M	3.9	1035.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.24
979.0	¹⁴⁵ Pr	5.984	H	0.256	1037.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.307
980.3	^{133m} Te	55.4	M	1.19	1037.8	⁵⁶ Co	77.236	D	14.05
982.7	²⁰⁸ Tl	3.053	M	0.205	1038.6	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	0.990
984.2	¹³² I	2.295	H	0.59	1038.8	¹³⁵ I	6.58	H	7.9
985.7	¹⁵⁷ Eu	15.18	H	0.146	1039.6	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.48
985.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.112	1040.3	¹³⁴ I	52.5	M	2.03
985.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	1.31	1040.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.50
987.3	⁸⁴ Br	31.76	M	0.79	1043.7	¹⁴² La	91.1	M	2.70
987.8	^{131m} Te	33.25	H	0.149	1044.0	⁸² Br	35.282	H	28.3
988.4	¹¹³ Ag	5.37	H	0.423	1044.4	¹⁸² Ta	114.74	D	0.239
990.1	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.142	1045.1	¹²⁴ Sb	60.20	D	1.833
991.5	¹³¹ Sb	23.03	M	1.4	1047.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	3.5
992.1	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.9	1048.1	¹³⁶ Cs	13.16	D	80
992.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.105	1049.5	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.142
993.6	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.64	1050.4	¹³¹ Sb	23.03	M	0.7
995.1	^{133m} Te	55.4	M	0.40	1050.4	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	1.56
995.1	¹³⁵ I	6.58	H	0.15	1051.4	¹⁴⁵ Pr	5.984	H	0.175
996.1	^{133m} Te	55.4	M	0.31	1051.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	3.79
996.3	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	10.48	1052.0	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.313
996.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.176	1052.3	¹³³ I	20.83	H	0.556
996.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.109	1052.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.73
996.9	⁵⁶ Co	77.236	D	0.111	1053.7	^{133m} Te	55.4	M	0.13
997.2	^{110m} Ag	249.83	D	0.130	1054.3	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.159
999.2	^{131m} Te	33.25	H	0.164	1054.6	⁹¹ Sr	9.65	H	0.224
999.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.13	1058.8	¹³⁴ I	52.5	M	0.10
999.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.13	1059.7	^{131m} Te	33.25	H	1.49
1000.2	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.3	1060.1	¹³³ I	20.83	H	0.138
1001.0	^{234m} Pa	1.159	M	0.842	1061.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.161
1001.7	¹⁸² Ta	114.74	D	2.086	1061.9	^{133m} Te	55.4	M	1.33
1004.8	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	18.01	1063.7	²⁰⁷ Bi	31.55	Y	74.5
1005.1	⁷⁸ As	90.7	M	0.32	1065.1	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	4.9
1005.3	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.659	1065.2	²²⁸ Ac	6.15	H	0.132
1005.7	⁸⁴ Br	31.76	M	0.46	1066.0	^{117m} Cd	3.36	H	23.1
1006.7	¹⁴² La	91.1	M	0.237	1067.1	¹²⁵ Sn	9.64	D	10
1007.5	^{133m} Te	55.4	M	0.53	1070.0	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.272
1007.6	⁸² Br	35.282	H	1.276	1072.6	¹³⁴ I	52.5	M	14.9
1009.8	¹³⁸ Cs	33.41	M	29.8	1075.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.40
1011.4	¹⁴² La	91.1	M	3.93	1076.0	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.34
1011.9	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.31	1077.0	⁸⁶ Rb	18.642	D	8.64
1015.9	⁸⁴ Br	31.76	M	6.2	1078.1	^{133m} Te	55.4	M	0.13
1017.4	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.32	1078.6	¹²⁸ Sb	9.05	H	2.0
1017.5	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.32	1078.6	²¹² Bi	60.55	M	0.564
1018.1	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.3724	1079.2	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	4.6
1018.7	⁷⁸ As	90.7	M	0.14	1079.6	^{133m} Te	55.4	M	0.44
1021.2	⁹⁷ Zr	16.749	H	1.01	1079.8	⁷⁸ As	90.7	M	1.62
1022.8	¹⁴⁹ Nd	1.728	H	0.104	1080.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.27
1024.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.14	1081.3	⁸² Br	35.282	H	0.66
1024.3	⁹¹ Sr	9.65	H	33.5	1082.6	⁸⁴ Br	31.76	M	0.14
1024.4	⁹⁷ Nb	72.1	M	1.09	1083.9	¹²⁹ Te	69.6	M	0.49
1026.7	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.2793	1084.0	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.245
1027.0	¹³⁴ Te	41.8	M	0.44	1085.2	⁷⁷ Ge	11.211	H	6.4
1027.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.128	1085.8	¹⁵² Eu	13.517	Y	10.11
1029.1	^{117m} Cd	3.36	H	11.7	1087.7	¹⁹⁸ Au	2.6941	D	0.1589
1029.9	^{133m} Te	55.4	M	0.97	1087.7	¹²⁵ Sn	9.64	D	1.2
1030.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	15.13	1088.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.411
1030.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.5	1089.2	¹²⁵ Sn	9.64	D	4.6
1033.2	²²⁸ Ac	6.15	H	0.201	1089.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	3.7
1035.0	¹³² I	2.295	H	0.51	1089.7	¹⁵² Eu	13.517	Y	1.734
1035.4	^{131m} Te	33.25	H	0.101	1089.9	¹⁴² La	91.1	M	0.1422

γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
1093.9	²⁰⁸ Tl	3.053	M	0.430	1140.7	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.237
1095.7	²²⁸ Ac	6.15	H	0.129	1140.8	⁹¹ Sr	9.65	H	0.127
1096.5	¹³⁰ I	12.36	H	0.552	1141.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	1.28
1096.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.80	1141.4	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.0
1098.4	^{133m} Te	55.4	M	0.71	1141.6	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.37
1099.2	⁵⁹ Fe	44.495	D	56.5	1142.4	⁹² Sr	2.611	H	2.79
1100.1	¹³⁴ I	52.5	M	0.69	1142.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.67
1101.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	5.42	1142.7	^{133m} Te	55.4	M	1.06
1101.6	¹³⁵ I	6.58	H	1.61	1143.3	¹³² I	2.295	H	1.35
1103.2	¹³⁴ I	52.5	M	0.80	1143.5	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.14
1103.3	¹⁴³ Ce	33.039	H	0.415	1145.1	⁷⁸ As	90.7	M	1.67
1104.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.341	1146.2	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.60
1109.2	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.189	1147.2	¹³⁸ Cs	33.41	M	1.24
1109.5	²¹¹ Pb	36.1	M	0.115	1147.8	¹³² I	2.295	H	0.27
1110.6	²²⁸ Ac	6.15	H	0.285	1148.0	⁹⁷ Zr	16.749	H	2.62
1111.6	¹²⁹ Te	69.6	M	0.191	1148.9	^{131m} Te	33.25	H	1.5
1112.1	¹⁵² Eu	13.517	Y	13.67	1148.9	^{131m} Te	33.25	H	0.24
1112.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	2.0	1150.3	¹⁴⁵ Pr	5.984	H	0.194
1113.4	¹⁸² Ta	114.74	D	0.445	1150.9	^{131m} Te	33.25	H	0.63
1114.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.111	1151.2	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.11
1115.5	⁶⁵ Ni	2.51719	H	15.43	1151.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.201
1115.5	⁶⁵ Zn	243.93	D	50.04	1153.5	²²⁸ Ac	6.15	H	0.139
1116.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.03	1153.7	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	6.8
1118.3	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.113	1154.1	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	4.7
1119.1	⁸⁴ Br	31.76	M	0.14	1155.2	²¹⁴ Bi	19.9	M	1.633
1120.0	^{117m} Cd	3.36	H	0.13	1156.0	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.131
1120.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.24	1157.0	¹⁸² Ta	114.74	D	0.73
1120.3	²¹⁴ Bi	19.9	M	14.92	1157.4	¹³⁰ I	12.36	H	11.3
1120.5	⁴⁶ Sc	83.79	D	99.9870	1158.1	¹⁸² Ta	114.74	D	0.29
1121.3	¹⁸² Ta	114.74	D	35.24	1158.2	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.5
1122.2	¹³⁰ I	12.36	H	0.253	1159.1	¹³⁶ Cs s			
1123.6	¹³¹ Sb	23.03	M	8.9	1159.1	¹³⁴ I	52.5	M	0.34
1123.7	⁶³ Zn	38.47	M	0.111	1159.9	¹³⁵ I	6.58	H	0.103
1124.0	¹³⁵ I	6.58	H	3.62	1160.2	¹⁴² La	91.1	M	1.71
1125.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.126	1160.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.63
1125.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.45	1164.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.13
1125.5	^{131m} Te	33.25	H	11.0	1165.5	^{131m} Te	33.25	H	0.134
1126.6	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.120	1168.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.253
1128.0	^{131m} Te	33.25	H	0.93	1168.0	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	1.790
1128.1	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	0.404	1169.0	¹³⁵ I	6.58	H	0.88
1128.6	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.300	1169.1	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.266
1129.5	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.135	1169.5	⁷⁸ As	90.7	M	0.12
1129.6	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.80	1170.7	^{117m} Cd	3.36	H	0.66
1129.9	⁷⁶ As	26.24	H	0.126	1172.9	¹³² I	2.295	H	1.09
1130.6	¹⁴² La	91.1	M	0.47	1173.2	⁶⁰ Co	1925.28	D	99.85
1131.5	¹³⁵ I	6.58	H	22.6	1173.3	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.18
1131.5	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.87	1174.0	^{133m} Te	55.4	M	0.31
1132.4	⁹² Y	3.54	H	0.24	1174.1	¹³⁴ Cs s			
1133.7	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.2512	1175.1	⁵⁶ Co	77.236	D	2.252
1134.2	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.40	1175.4	⁸⁷ Kr	76.3	M	1.11
1134.5	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.19	1176.4	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
1134.5	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.19	1177.4	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.24
1134.9	^{133m} Te	55.4	M	0.27	1179.5	⁸⁸ Kr	2.825	H	1.00
1136.0	¹³² I	2.295	H	3.01	1180.1	⁸² Br	35.282	H	0.108
1136.2	¹³⁴ I	52.5	M	9.1	1181.6	¹²⁸ Sb	9.05	H	4.5
1137.3	^{133m} Te	55.4	M	0.22	1183.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.13
1137.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.30	1184.4	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.28
1140.4	⁵⁶ Co	77.236	D	0.132	1185.0	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.69
1140.5	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.283	1185.0	⁸⁴ Br	31.76	M	0.108
1140.7	¹²² Sb	2.7238	D	0.76	1189.0	¹⁸² Ta	114.74	D	16.49

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
1190.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.35	1242.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	6.6
1190.4	¹³² I _s				1245.2	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.363
1191.1	¹⁴² La	91.1	M	0.379	1246.1	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.856
1191.9	¹³¹ Sb	23.03	M	0.6	1247.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.50
1191.9	¹³¹ Sb	23.03	M	0.6	1247.9	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.20
1193.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	2.68	1249.1	¹³¹ Sb	23.03	M	0.52
1194.6	¹¹³ Ag	5.37	H	0.378	1249.9	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.187
1196.2	^{117m} Cd	3.36	H	0.39	1250.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.0
1198.0	^{133m} Te	55.4	M	0.18	1250.7	⁸⁸ Kr	2.825	H	1.12
1199.1	⁷⁸ As	90.7	M	0.70	1252.0	^{133m} Te	55.4	M	0.27
1199.2	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.17	1256.9	^{117m} Cd	3.36	H	0.18
1203.3	⁹³ Y	10.18	H	0.109	1256.9	¹²² Sb	2.7238	D	0.81
1203.7	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.40	1257.4	¹⁸² Ta	114.74	D	1.509
1204.2	^{133m} Te	55.4	M	0.18	1258.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.402
1204.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	7.62	1258.5	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.00
1204.4	⁷⁴ As	17.77	D	0.285	1259.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.0
1204.8	⁹¹ Y	58.51	D	0.26	1260.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.14
1205.5	^{117m} Cd	3.36	H	0.13	1260.4	¹³⁵ I	6.58	H	28.7
1206.6	^{131m} Te	33.25	H	9.41	1263.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.910
1207.4	¹³¹ Sb	23.03	M	4.1	1263.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.90
1207.7	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.451	1264.9	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.137
1209.0	^{117m} Cd	3.36	H	0.18	1267.6	¹³¹ Sb	23.03	M	3.0
1209.0	^{117m} Cd	3.36	H	0.13	1268.6	⁹⁷ Nb	72.1	M	0.147
1209.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.940	1269.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.56
1209.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.14	1272.1	¹³⁰ I	12.36	H	0.748
1211.9	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.38	1272.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.73
1212.7	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.14	1272.8	¹³² I	2.295	H	0.168
1212.9	⁷⁶ As	26.24	H	1.44	1273.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.164
1212.9	¹⁵² Eu	13.517	Y	1.415	1273.7	¹⁸² Ta	114.74	D	0.660
1213.3	⁸⁴ Br	31.76	M	2.6	1274.4	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	34.8
1215.4	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.134	1274.5	²² Na	2.6018	Y	99.940
1216.1	⁷⁶ As	26.24	H	3.42	1276.1	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.94
1220.9	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.27	1276.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.103
1221.4	¹⁸² Ta	114.74	D	27.23	1277.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	2.89
1222.6	¹³⁰ I	12.36	H	0.179	1280.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.183
1223.6	¹⁸² Ta	114.74	D	0.24	1280.9	⁹¹ Sr	9.65	H	0.93
1227.5	^{133m} Te	55.4	M	0.13	1281.0	²¹⁴ Bi	19.9	M	1.434
1228.1	⁷⁸ As	90.7	M	0.11	1281.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.559
1228.5	⁷⁶ As	26.24	H	1.22	1284.7	¹³¹ Sb	23.03	M	0.3
1229.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.61	1284.7	¹³¹ Sb	23.03	M	0.3
1229.6	^{133m} Te	55.4	M	0.18	1287.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.100
1230.7	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	8.0	1289.1	¹⁸² Ta	114.74	D	1.372
1231.0	¹⁸² Ta	114.74	D	11.62	1290.3	¹²⁷ Sb	3.85	D	0.37
1232.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.28	1290.6	⁷⁸ As	90.7	M	0.10
1233.1	¹⁴² La	91.1	M	1.90	1290.8	¹³² I	2.295	H	1.13
1233.8	¹³¹ Sb	23.03	M	2.3	1291.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.67
1234.6	^{117m} Cd	3.36	H	11.0	1291.6	⁵⁹ Fe	44.495	D	43.2
1235.4	¹³⁶ Cs	13.16	D	20.0	1292.3	¹³⁰ Sb	39.5	M	3.7
1236.4	¹³³ I	20.83	H	1.51	1292.8	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.101
1237.3	^{131m} Te	33.25	H	0.63	1293.6	⁴¹ Ar	109.61	M	99.160
1237.8	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.241	1293.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.25
1238.1	²¹⁴ Bi	19.9	M	5.834	1295.1	¹³² I	2.295	H	1.88
1238.3	⁵⁶ Co	77.236	D	66.46	1297.9	¹³² I	2.295	H	0.89
1239.0	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.8	1298.2	¹³³ I	20.83	H	2.35
1239.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.21	1298.7	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.12
1240.3	⁷⁸ As	90.7	M	5.9	1299.1	¹⁵² Eu	13.517	Y	1.633
1240.5	¹³⁵ I	6.58	H	0.90	1299.2	^{133m} Te	55.4	M	0.13
1241.3	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.1226	1301.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.202
1242.0	¹⁴² La	91.1	M	0.237	1303.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	18.4
1242.2	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.42	1303.8	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.107

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
1307.2	^{133m} Te	55.4	M	0.31	1372.3	^{133m} Te	55.4	M	0.22
1308.7	⁷⁸ As	90.7	M	13.0	1373.5	⁷⁸ As	90.7	M	4.8
1309.3	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.51	1373.8	¹⁸² Ta	114.74	D	0.2224
1312.8	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.62	1376.1	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.483
1312.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.373	1377.7	²¹⁴ Bi	19.9	M	3.988
1314.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.59	1378.0	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.8
1315.2	^{131m} Te	33.25	H	0.67	1381.2	⁷⁸ As	90.7	M	0.76
1317.5	⁸² Br	35.282	H	26.8	1382.5	⁸⁸ Rb	17.773	M	0.784
1317.9	¹³² I	2.295	H	0.118	1382.6	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.288
1318.2	¹³² I s				1383.9	⁹² Sr	2.611	H	90
1318.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.462	1384.3	^{110m} Ag	249.83	D	25.1
1319.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.295	1385.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.100
1321.3	¹⁰⁵ Ru	4.44	H	0.203	1385.3	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.793
1322.4	¹³⁴ I	52.5	M	0.11	1388.6	¹³⁶ Cs s			
1323.2	¹⁴² La	91.1	M	0.33	1389.3	¹⁴² La	91.1	M	0.43
1325.0	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.16	1389.9	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.119
1325.5	¹²⁴ Sb	60.20	D	1.580	1392.0	¹³¹ Sb	23.03	M	0.8
1327.0	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.695	1393.0	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
1331.8	¹³¹ Sb	23.03	M	0.85	1394.8	^{131m} Te	33.25	H	0.105
1332.1	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.74	1394.9	¹³² I s			
1332.5	⁶⁰ Co	1925.28	D	99.9826	1398.6	¹³² I	2.295	H	7.01
1334.0	^{133m} Te	55.4	M	0.22	1398.9	¹³¹ Sb	23.03	M	1.37
1334.3	^{110m} Ag	249.83	D	0.143	1400.6	¹³⁴ Cs s			
1335.4	⁵⁶ Co	77.236	D	0.1224	1401.5	²¹⁴ Bi	19.9	M	1.330
1336.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.14	1402.2	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
1337.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.8	1403.9	¹³⁰ I	12.36	H	0.345
1337.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.8	1404.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.12
1337.5	¹³² I s				1405.4	⁹² Y	3.54	H	4.8
1337.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.62	1406.7	¹³⁴ Cs s			
1338.0	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.63	1406.9	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.218
1339.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.39	1408.0	²¹⁴ Bi	19.9	M	2.394
1339.1	¹³² I s				1408.0	¹⁵² Eu	13.517	Y	20.87
1339.3	^{117m} Cd	3.36	H	2.07	1408.7	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.28
1339.8	¹²⁸ Sb	9.05	H	1.0	1412.1	⁶³ Zn	38.47	M	0.75
1342.7	¹⁸² Ta	114.74	D	0.2565	1413.4	⁹¹ Sr	9.65	H	0.98
1343.6	¹³⁸ Cs	33.41	M	1.14	1414.3	¹³⁴ I	52.5	M	0.22
1348.9	^{133m} Te	55.4	M	1.19	1415.7	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.37
1350.4	¹³³ I	20.83	H	0.150	1417.6	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.110
1352.3	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.159	1419.3	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.20
1352.6	¹³⁴ I	52.5	M	0.41	1419.4	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.394
1354.5	¹⁴¹ La	3.92	H	1.64	1419.7	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.49
1355.2	¹²⁴ Sb	60.20	D	1.038	1420.5	¹³⁹ Ba	82.93	M	0.261
1357.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.16	1421.7	^{110m} Ag s			
1360.2	⁵⁶ Co	77.236	D	4.283	1422.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.33
1360.3	¹³¹ Sb	23.03	M	0.9	1425.4	⁹³ Y	10.18	H	0.25
1361.0	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.6516	1428.2	¹³⁴ I	52.5	M	0.17
1362.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.24	1431.0	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.558
1362.7	⁹⁷ Zr	16.749	H	1.02	1431.4	¹³⁴ I	52.5	M	0.17
1363.0	¹⁴² La	91.1	M	2.13	1432.9	^{117m} Cd	3.36	H	13.4
1365.2	¹³⁴ Cs	2.0652	Y	3.017	1433.5	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11
1365.5	^{117m} Cd	3.36	H	1.65	1435.9	¹³⁸ Cs	33.41	M	76.3
1366.3	⁸⁸ Rb	17.773	M	0.113	1436.6	¹²⁴ Sb	60.20	D	1.217
1366.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1.57	1437.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.316
1367.9	¹³⁵ I	6.58	H	0.61	1439.1	⁷⁶ As	26.24	H	0.279
1368.2	¹²⁴ Sb	60.20	D	2.624	1440.3	¹³² I s			
1368.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	3.19	1440.9	⁷⁸ As	90.7	M	0.32
1368.6	²⁴ Na	14.997	H	99.9936	1442.2	²⁰⁷ Bi	31.55	Y	0.1310
1368.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.10	1442.6	¹³² I	2.295	H	1.40
1369.5	⁸⁸ Kr	2.825	H	1.48	1442.7	⁵⁶ Co	77.236	D	0.180
1372.1	¹³² I	2.295	H	2.47	1443.4	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.8

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
1443.4	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.8	1518.4	⁸⁸ Kr	2.825	H	2.15
1443.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.5	1521.1	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.80
1445.0	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.97	1524.6	¹⁴² La	91.1	M	0.47
1445.1	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.330	1526.3	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.409
1445.5	¹⁴² La	91.1	M	0.1422	1526.8	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.548
1448.4	¹³⁵ I	6.58	H	0.32	1528.1	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.279
1450.2	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.61	1529.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	10.9
1450.5	⁹³ Y	10.18	H	0.33	1530.0	⁷⁸ As	90.7	M	2.5
1452.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.127	1531.2	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.36
1453.6	⁷⁶ As	26.24	H	0.108	1533.7	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.90
1455.0	^{133m} Te	55.4	M	0.58	1534.7	⁸⁴ Br	31.76	M	0.100
1455.1	¹³¹ Sb	23.03	M	0.47	1538.0	¹³¹ Sb	23.03	M	0.5
1455.2	¹³⁴ I	52.5	M	2.30	1538.1	¹³⁶ Cs	13.16	D	0.100
1457.6	¹³⁵ I	6.58	H	8.7	1538.5	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.398
1457.6	¹⁵² Eu	13.517	Y	0.497	1538.8	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.150
1458.9	^{133m} Te	55.4	M	0.13	1540.2	¹⁴² La	91.1	M	0.47
1459.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.83	1541.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.51
1460.0	²⁰⁷ Bi	31.55	Y	1.61	1542.4	^{110m} Ag s			
1460.8	⁴⁰ K	1.248E+9	Y	10.66	1543.3	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.303
1461.2	¹⁴² La	91.1	M	0.95	1544.2	¹³¹ Sb	23.03	M	0.9
1463.8	⁸⁴ Br	31.76	M	2.0	1545.8	¹⁴² La	91.1	M	2.99
1464.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.114	1547.0	⁶³ Zn	38.47	M	0.122
1470.0	¹³⁴ I	52.5	M	0.76	1552.0	^{133m} Te	55.4	M	0.13
1470.3	¹³¹ Sb	23.03	M	1.55	1553.5	¹³¹ Sb	23.03	M	0.6
1471.7	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.193	1555.3	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.366
1473.1	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.60	1557.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.178
1473.8	⁹¹ Sr	9.65	H	0.168	1559.0	¹³¹ Sb	23.03	M	0.42
1474.9	⁸² Br	35.282	H	16.60	1561.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.60
1475.5	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.42	1562.2	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.42
1475.8	^{110m} Ag	249.83	D	4.08	1562.3	¹⁰⁶ Rh	30.07	S	0.163
1476.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.253	1562.3	^{110m} Ag	249.83	D	1.22
1476.7	¹³² I	2.295	H	0.130	1566.4	¹³⁵ I	6.58	H	1.29
1478.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.30	1570.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.872
1479.0	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.126	1570.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.97
1479.7	¹³² I s				1573.5	¹³¹ Sb	23.03	M	1.04
1480.9	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.373	1573.5	^{133m} Te	55.4	M	0.22
1481.8	⁶⁵ Ni	2.51719	H	23.59	1573.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.70
1488.4	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.60	1576.6	¹¹⁷ Cd	2.49	H	11.2
1488.9	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.672	1578.0	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.129
1489.2	¹⁴⁴ Pr	17.28	M	0.278	1578.1	⁸⁴ Br	31.76	M	0.67
1489.4	⁷⁴ Ga	8.12	M	2.88	1578.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.14
1494.0	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	0.698	1579.8	¹²⁴ Sb	60.20	D	0.38
1494.1	¹⁴² La	91.1	M	0.1422	1580.5	²²⁸ Ac	6.15	H	0.60
1495.6	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.18	1581.0	^{133m} Te	55.4	M	0.13
1495.6	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.53	1581.9	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.9
1495.9	²²⁸ Ac	6.15	H	0.86	1583.2	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.705
1499.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.40	1587.7	^{133m} Te	55.4	M	1.15
1499.8	¹³² I s				1588.2	²²⁸ Ac	6.15	H	3.22
1501.6	²²⁸ Ac	6.15	H	0.46	1591.4	^{110m} Ag s			
1502.8	¹³⁵ I	6.58	H	1.08	1593.2	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.50
1505.0	^{110m} Ag	249.83	D	13.33	1594.8	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.267
1505.5	¹³⁴ I	52.5	M	0.11	1595.2	^{110m} Ag s			
1506.2	^{133m} Te	55.4	M	0.22	1596.2	¹⁴⁰ La	1.67855	D	95.4
1509.2	²¹⁴ Bi	19.9	M	2.130	1596.5	¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	1.797
1510.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.23	1599.4	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.324
1512.7	²¹² Bi	60.55	M	0.29	1600.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.579
1515.7	⁹⁷ Nb	72.1	M	0.122	1602.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.29
1516.3	^{133m} Te	55.4	M	1.02	1603.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.46
1516.3	¹⁴² La	91.1	M	0.43	1607.6	⁸⁴ Br	31.76	M	0.40
1517.2	¹³¹ Sb	23.03	M	1.22	1608.8	¹³¹ Sb	23.03	M	1.4

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
1611.2	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.114	1727.7	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.111
1613.8	¹³⁴ I	52.5	M	4.31	1729.6	²¹⁴ Bi	19.9	M	2.878
1614.1	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.137	1737.2	⁷⁸ As	90.7	M	0.11
1617.0	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.90	1738.2	¹²⁹ Sb	4.366	H	7.45
1617.2	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.129	1739.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.13
1618.2	¹⁴² La	91.1	M	0.284	1740.5	⁸⁷ Kr	76.3	M	2.04
1620.5	²¹² Bi	60.55	M	1.47	1741.2	⁸⁴ Br	31.76	M	1.6
1622.3	¹³² I s				1741.5	¹³⁴ I	52.5	M	2.56
1622.5	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.208	1744.9	⁷⁴ Ga	8.12	M	4.82
1623.4	⁶⁵ Ni	2.51719	H	0.498	1749.8	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.30
1625.1	²²⁸ Ac	6.15	H	0.255	1750.2	⁹⁷ Zr	16.749	H	1.09
1626.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.60	1756.1	¹³¹ Sb	23.03	M	1.13
1629.2	¹³⁴ I	52.5	M	0.19	1756.4	¹⁴² La	91.1	M	2.70
1630.6	²²⁸ Ac	6.15	H	1.51	1757.4	¹³² I	2.295	H	0.30
1638.3	²²⁸ Ac	6.15	H	0.47	1762.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.5
1642.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.16	1764.5	²¹⁴ Bi	19.9	M	15.30
1643.3	¹³⁴ Cs s				1768.2	¹⁴² La	91.1	M	0.24
1643.6	^{133m} Te	55.4	M	0.27	1770.2	²⁰⁷ Bi	31.55	Y	6.87
1644.3	¹³⁴ I	52.5	M	0.39	1770.8	¹⁴² La	91.1	M	0.19
1644.3	¹⁴² La	91.1	M	0.237	1771.4	⁵⁶ Co	77.236	D	15.41
1646.0	^{131m} Te	33.25	H	1.20	1773.2	^{133m} Te	55.4	M	0.53
1646.2	^{133m} Te	55.4	M	0.22	1778.3	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.137
1650.4	⁸² Br	35.282	H	0.751	1779.7	⁸² Br	35.282	H	0.112
1651.4	⁹¹ Sr	9.65	H	0.291	1779.9	⁸⁸ Rb	17.773	M	0.238
1652.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.28	1785.5	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.40
1652.2	^{117m} Cd	3.36	H	0.47	1787.7	⁷⁶ As	26.24	H	0.293
1655.2	¹³⁴ I	52.5	M	0.23	1791.2	¹³⁵ I	6.58	H	7.72
1655.6	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.80	1791.9	⁷⁸ As	90.7	M	0.97
1656.1	¹²⁹ Sb	4.366	H	1.311	1797.5	^{133m} Te	55.4	M	0.14
1661.3	²¹⁴ Bi	19.9	M	1.047	1803.7	¹³² I s			
1666.5	²²⁸ Ac	6.15	H	0.178	1806.5	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.28
1669.5	^{117m} Cd	3.36	H	0.63	1806.7	¹²⁵ Sn	9.64	D	0.15
1674.7	⁵⁸ Co	70.86	D	0.517	1806.8	¹³⁴ I	52.5	M	5.55
1676.8	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.73	1810.7	⁵⁶ Mn	2.5789	H	26.9
1678.0	¹³⁵ I	6.58	H	9.6	1810.8	⁵⁶ Co	77.236	D	0.640
1682.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.70	1811.0	¹³² I s			
1682.1	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.272	1818.7	⁸⁴ Br	31.76	M	0.24
1683.2	^{133m} Te	55.4	M	3.3	1821.2	¹³¹ Sb	23.03	M	1.22
1684.0	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.214	1822.2	^{110m} Ag s			
1685.6	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.66	1829.8	⁷⁴ Ga	8.12	M	1.90
1685.7	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.50	1830.7	¹³⁵ I	6.58	H	0.58
1688.6	¹⁴² La	91.1	M	0.237	1835.7	⁷⁸ As	90.7	M	1.46
1691.0	¹²⁴ Sb	60.20	D	47.57	1836.0	⁸⁸ Rb	17.773	M	22.81
1704.4	^{133m} Te	55.4	M	0.58	1836.1	⁸⁸ Y	106.627	D	99.2
1706.5	¹³⁵ I	6.58	H	4.10	1838.4	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.350
1706.9	¹¹⁷ Cd	2.49	H	1.00	1840.6	¹³² I s			
1707.9	¹²⁸ Sb	9.05	H	0.30	1842.6	⁸⁷ Kr	76.3	M	0.139
1709.9	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.325	1846.5	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.177
1713.4	⁷⁸ As	90.7	M	1.78	1847.3	⁹² Y	3.54	H	0.36
1717.1	¹³⁸ Cs	33.41	M	0.107	1847.4	²¹⁴ Bi	19.9	M	2.025
1719.7	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.410	1851.6	⁹⁷ Zr	16.749	H	0.31
1721.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.32	1854.3	¹³¹ Sb	23.03	M	4.2
1721.8	¹³¹ Sb	23.03	M	2.45	1854.4	¹³¹ Sb	23.03	M	4.2
1722.7	¹⁴² La	91.1	M	1.52	1856.4	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.25
1723.1	¹¹⁷ Cd	2.49	H	2.01	1857.4	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.240
1724.0	⁹¹ Sr	9.65	H	0.161	1866.6	¹³⁶ Cs s			
1724.3	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.133	1867.3	¹¹⁷ Cd	2.49	H	0.11
1724.9	⁶⁵ Ni	2.51719	H	0.399	1870.8	^{133m} Te	55.4	M	0.44
1727.2	¹³² I s				1871.6	¹²⁹ Sb	4.366	H	0.356
1727.2	⁷⁷ Ge	11.211	H	0.152	1873.2	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.214

γ線エネルギー (keV)	核種名	半減期	半減期単位	放出率 (%)
1877.0	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1.51
1877.5	⁸⁴ Br	31.76	M	1.12
1881.2	^{133m} Te	55.4	M	0.18
1884.4	¹³⁰ Sb	39.5	M	0.70
1885.6	^{133m} Te	55.4	M	0.80
1887.3	¹⁴² La	91.1	M	0.14
1887.7	^{131m} Te	33.25	H	1.31
1892.8	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.14
1893.0	^{133m} Te	55.4	M	0.12
1894.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.29
1896.1	²¹⁴ Bi	19.9	M	0.149
1897.6	⁸⁴ Br	31.76	M	14.6
1901.3	¹⁴² La	91.1	M	7.16
1908.7	⁸⁸ Kr	2.825	H	0.100
1915.7	¹³¹ Sb	23.03	M	1.0
1917.8	⁹³ Y	10.18	H	1.57
1921.0	⁷⁸ As	90.7	M	0.81
1921.1	¹³² I	2.295	H	1.23
1923.3	¹⁴² La	91.1	M	0.19
1923.5	⁷⁸ As	90.7	M	0.76
1925.9	¹³⁴ I	52.5	M	0.18
1927.3	¹³⁵ I	6.58	H	0.296
1933.6	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
1937.7	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1.94
1940.6	⁷⁴ Ga	8.12	M	5.4
1945.5	¹³² I s			
1946.3	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	0.165
1948.0	¹³⁰ Sb	39.5	M	1.20
1949.4	¹⁴² La	91.1	M	0.38
1956.4	¹³¹ Sb	23.03	M	0.8
1957.5	^{117m} Cd	3.36	H	0.16
1961.5	¹⁴² La	91.1	M	0.1422
1962.8	¹³² I s			
1963.7	⁵⁶ Co	77.236	D	0.707
1965.8	¹³¹ Sb	23.03	M	1.3
1966.0	¹⁵⁶ Eu	15.19	D	3.9
1967.8	^{133m} Te	55.4	M	0.13
1969.9	¹³⁴ Cs s			
1971.0	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.20
1984.6	¹³¹ Sb	23.03	M	0.42
1995.6	⁷⁸ As	90.7	M	1.35
1997.3	^{117m} Cd	3.36	H	26.2
1997.4	¹³⁰ Sb	39.5	M	2.10
1999.3	⁷⁴ Ga	8.12	M	0.40

付録3 参考文献

- 1) 放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー（平成4年改訂）」，文部科学省
- 2) Gordon Gilmore, John D. Hemingway（米沢仲四朗，松江秀明，宮本ユタカ，鈴木大輔，安田健一郎，伊奈川潤，齋藤陽子 共訳），実用ガンマ線測定ハンドブック，日刊工業新聞社（2002）
- 3) 水本良彦，日下部俊男，岩田志郎，ゲルマニウム検出器のピーク対トータル効率比，RADIOISOTOPES, 36, 20-23（1987）
- 4) 日本食品標準成分表 2015 年版（七訂），文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会 報告：http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365295.htm
- 5) 大野峻史，鈴木直樹，土田智宏，春日俊信，黒崎裕人，霜鳥達雄，丸田文之，山崎興樹，福島第一原子力発電所事故の影響により新潟県において検出された人工放射性核種について，新潟県放射線監視センター年報，9（2011）
- 6) 古田定昭，住谷秀一，渡辺均，中野政尚，今泉謙二，竹安正則，中田陽，藤田博喜，水谷朋子，森澤正人，國分祐司，河野恭彦，永岡美佳，横山裕也，外間智規，磯崎徳重，根本正史，檜山佳典，小沼利光，加藤千明，倉知保，福島第一原子力発電所事故に係る特別環境放射線モニタリング結果－中間報告（空間線量率、空气中放射性物質濃度、降下じん中放射性物質濃度）－，JAEA-Review 2011-035（2011）
- 7) 原子力規制委員会 web ページ，放射線モニタリング情報 モニタリング結果，<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/512/list-1.html>
- 8) Hikaru Amano, Masakazu Akiyama, Bi Chunlei, Takao Kawamura, Takeshi Kishimoto, Tomotaka Kuroda, Takahiko Muroi, Tomoaki Odaira, Yuji Ohta, Kenji Takeda, Yushu Watanabe, Takao Morimoto, Radiation measurements in the Chiba Metropolitan Area and Radiological aspects of fallout from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants accident, Journal of Environmental Radioactivity, 111, 42-52（2012）
- 9) Katsumi Shozugawa, Norio Nogawa, Motoyuki Matsuo, Deposition of fission and activation products after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, Environmental Pollution, 163, 243-247（2012）
- 10) P. Thakur, S. Ballard, R. Nelson, An overview of Fukushima radionuclides measured in the northern hemisphere, Science of the Total Environment, 458-460, 577-613（2013）

- 11) S. Endo, S. Kimura, T. Takatsuji, K. Nanasawa, T. Imanaka, K. Shizuma,
Measurement of soil contamination by radionuclides due to the Fukushima Dai-
ichi Nuclear Power Plant accident and associated estimated cumulative
external dose estimation, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 18-27
(2012)
- 12) Takehisa OHKURA, Tetsuya OISHI, Mitsumasa TAKI, Yukio SHIBANUMA,
Masamitsu KIKUCHI, Hitoshi AKINO, Yasuaki KIKUTA,
Masatsugu KAWASAKI, Jun SAEGUSA, Masahiro TSUTSUMI, Hitoshi OGOSE,
Shunsuke TAMURA and Tadahiro SAWAHATA, Emergency Monitoring of
Environmental Radiation and Atmospheric Radionuclides at Nuclear Science
Research Institute, JAEA Following the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear
Power Plant, JAEA-Data/Code 2012-010 (2012)
- 13) 米沢伸四郎, 山本洋一, 核実験監視用放射性核種観測網による大気中の人工放射
性核種の測定, *ぶんせき*, 8, 451-458 (2011)
- 14) H. Koide, T. Imanaka, K. Kobayashi, K. Ogino, Radioactive contamination
from the JCO criticality accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 50,
123-130 (2000)
- 15) IAEA, Report on the preliminary fact finding mission following the accident at
the nuclear fuel processing facility in Tokaimura, Japan, IAEA-TOAC,
International Atomic Energy Agency, Vienna (1999)
- 16) JCO 臨界事故調査支援原研タスクグループ, JCO 臨界事故における原研の活動,
JAERI-Tech 2000-074 (2000)
- 17) J. Gasparro, M. Hult, K. Komura, D. Arnold, L. Holmes, P.N. Johnston,
M. Laubenstein, S. Neumaier, J.-L. Reyss, P. Schillebeeckx, H. Tagziria,
G. Van Britsom, R. Vasselli, Measurements of ^{60}Co in spoons activated by
neutrons during the JCO criticality accident at Tokai-mura in 1999, *Journal of
Environmental Radioactivity*, 73, 307-321 (2004)
- 18) 核燃料サイクル開発機構 東海事業所, JCO 臨界事故に係る環境モニタリング結
果 (1999 年 9 月 30 日～11 月 2 日) (業務報告), JNC TN8440 2001-004 (2001)
- 19) Kazuhisa Komura, Ahmed M Yousef, Yoshimasa Murata, Toshiaki
Mitsugashira, Riki Seki, Tetsuji Imanaka, Activation of gold by the neutrons
from the JCO accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 50, 77-82
(2000)
- 20) Mikael Hult, María José Martínez Canet, Peter N. Johnston,
Kazuhisa Komura, Thermal neutron fluence from ultra low-level γ -ray
spectrometry of spoons activated during the JCO criticality accident at Tokai-
mura in 1999, *Journal of Environmental Radioactivity*, 60, 307-318 (2002)

- 21) S. Endo, N. Tosaki, K. Shizuma, M. Ishikawa, J. Takada, S. Suga,
K. Kitagawa, M. Hoshi, Radioactivity of ^{51}Cr in stainless steel collected from
residences in the JCO neighborhood, Journal of Environmental Radioactivity,
50, 83-88 (2000)
- 22) Takashi Nakanishi, Risa Hosotani, Kazuhisa Komura, Toshiharu Muroyama,
Hisaki Kofuji, Yoshimasa Murata, Shinzo Kimura, Sarata Kumar Sahoo,
Hidenori Yonehara, Yoshito Watanabe, Tada-aki Ban-nai, Residual neutron-
induced radionuclides in a soil sample collected in the vicinity of the criticality
accident site in Tokai-mura, Japan: A Progress Report, Journal of
Environmental Radioactivity, 50, 61-68 (2000)
- 23) Toshiaki Mitsugashira, Mitsuo Hara, Takashi Nakanishi, Tsutomu Sekine,
Riki Seki, Sadao Kojima, Passive gamma-ray spectrometry for the
determination of total fission events in the JCO criticality accident '99 in Tokai,
Journal of Environmental Radioactivity, 50, 21-26 (2000)
- 24) Y. Murata, T. Muroyama, H. Kofuji, M. Yamamoto, K. Komura, Neutron-
induced radionuclides in soil from the JCO campus by non-destructive γ -ray
spectrometry, Journal of Environmental Radioactivity, 50, 69-76 (2000)
- 25) 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所, 再処理施設周辺環境放射線監視年報
1986 年 (1 月～12 月), PNC SN8440 87-08 (1987)
- 26) 動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所, ソ連チェルノブイル原子力発電所事故
に伴う特別環境放射能調査, PNCT N8420 86-10 (1986)
- 27) Hikaru AMANO and Kimiaki SAITO, PROCEEDING OF THE WORKSHOP
ON THE RESULTS OF THE COOPERATIVE RESEARCH BETWEEN JAERI
AND CHESCIR CONCERNING THE STUDY ON ASSESSMENT AND
ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL RADIOLOGICAL CONSEQUENCES AND
VERIFICATION OF AN ASSESSMENT SYSTEM NOVEMBER 16-17, 1999,
TOKYO, JAERI-Conf 2000-016 (2001)
- 28) Toshi NAGAOKA, Orihiko TOGAWA, Shigeru MORIUCHI, S.I. RYBALKO,
A.K. SUKHORUCHKIN and S.V. KAZAKOV, PROCEEDING OF THE SECOND
STEERING CONFERENCE RELATING TO THE "AGREEMENT ON THE
IMPLEMENTATION OF RESEARCH AT THE CHERNOBYL CENTER FOR
INTERNATIONAL RESEARCH" BETWEEN CHECIR AND JAERI, JAERI-Conf
94-005 (1994)
- 29) 放射能測定法シリーズ No.33 「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定
法 (平成 29 年 3 月改訂)」, 原子力規制庁監視情報課
- 30) G. Heusser, Cosmic ray-induced background in Ge-spectrometry, Nuclear
Instruments and Methods in Physics Research B, 83, 223-228 (1993)

- 31) Ari-Pekka Leppänen, Aleksi Mattila, Markku Kettunen, Riitta Kontro, Artificial radionuclides in surface air in Finland following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 126, 273-283 (2013)
- 32) A. Bolsunovsky, D. Dementyev, Evidence of the radioactive fallout in the center of Asia(Russia) following the Fukushima Nuclear Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 1062-1064 (2011)
- 33) A. Ioannidou, E. Giannakaki, M. Manolopoulou, S. Stoulos, E. Vagenas, C. Papastefanou, L. Gini, S. Manenti, F. Groppi, An air-mass trajectory study of the transport of radioactivity from Fukushima to Thessaloniki, Greece and Milan, Italy, *Atmospheric Environment*, 75, 163-170 (2013)
- 34) Daisuke Tsumune, Takaki Tsubono, Michio Aoyama, Katsumi Hirose, Distribution of oceanic ^{137}Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 100-108 (2012)
- 35) 遠藤暁, 今中哲二, 林剛平, 菅井益郎, 小澤祥司, 梶本剛, 福島原発事故に伴う飯館村の放射能汚染調査, *放射化学*, 29, 15-25 (2014)
- 36) Georg Steinhauser, Alexander Brandl, Thomas E. Johnson, Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts, *Science of the Total Environment*, 470-471, 800-817 (2014)
- 37) Hugo Lepage, Olivier Evrard, Yuichi Onda, Jeremy Patin, Caroline Chartin, Irène Lefèvre, Philippe Bonté, Sophie Ayrault, Environmental mobility of $^{110\text{m}}\text{Ag}$: lessons learnt from Fukushima accident(Japan) and potential use for tracking the dispersion of contamination within coastal catchments, *Journal of Environmental Radioactivity*, 130, 44-55 (2014)
- 38) Hyoe Takata, Kazuyuki Hasegawa, Shinji Oikawa, Natsumi Kudo, Takahito Ikenoue, Ryosuke S. Isono, Masashi Kusakabe, Remobilization of radiocesium on riverine particles in seawater: The contribution of desorption to the export flux to the marine environment, *Marine Chemistry*, 176, 51-63 (2015)
- 39) J. Diaz Leon, D.A. Jaffe, J. Kaspar, A. Knecht, M.L. Miller, R.G.H. Robertson, A.G. Schubert, Arrival time and magnitude of airborne fission products from the Fukushima, Japan, reactor incident as measured in Seattle, WA, USA, *Journal of Environmental Radioactivity*, 102, 1032-1038 (2011)
- 40) Katsumi Hirose, 2011 Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: summary of regional radioactive deposition monitoring results, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 13-17 (2012)

- 41) Keiko Tagami, Shigeo Uchida, Yukio Uchihori, Nobuyoshi Ishii, Hisashi Kitamura, Yoshiyuki Shirakawa, Specific activity and activity ratios of radionuclides in soil collected about 20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Radionuclide release to the south and southwest, *Science of the Total Environment*, 409, 4885-4888 (2011)
- 42) Kimiaki Saito, Isao Tanihata, Mamoru Fujiwara, Takashi Saito, Susumu Shimoura, Takaharu Otsuka, Yuichi Onda, Masaharu Hoshi, Yoshihiro Ikeuchi, Fumiaki Takahashi, Nobuyuki Kinouchi, Jun Saegusa, Akiyuki Seki, Hiroshi Takemiya, Tokushi Shibata, Detailed deposition density maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 308-319 (2015)
- 43) Kimiaki Saito, Yuichi Onda, Outline of the national mapping projects implemented after the Fukushima accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 240-249 (2015)
- 44) Laura Tositti, Erika Brattich, Giorgia Cinelli, Alberto Previti, Domiziano Mostacci, Comparison of radioactivity data measured in PM₁₀ aerosol samples at two elevated stations in northern Italy during the Fukushima event, *Journal of Environmental Radioactivity*, 114, 105-112 (2012)
- 45) Nobuyuki Hamada, Haruyuki Ogino, Food safety regulations: what we learned from the Fukushima nuclear accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 83-99 (2012)
- 46) N. Momoshima, S. Sugihara, R. Ichikawa, H. Yokoyama, Atmospheric radionuclides transported to Fukuoka, Japan remote from the Fukushima Dai-ichi nuclear power complex following the nuclear accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 28-32 (2012)
- 47) P. Bailly du Bois, P. Laguionie, D. Boust, I. Korsakissok, D. Didier, B. Fiévet, Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 114, 2-9 (2012)
- 48) Taeko Doi, Kazuyoshi Masumoto, Akihiro Toyoda, Atsushi Tanaka, Yasuyuki Shibata, Katsumi Hirose, Anthropogenic radionuclides in the atmosphere observed at Tsukuba: characteristics of the radionuclides derived from Fukushima, *Journal of Environmental Radioactivity*, 122, 55-62 (2013)
- 49) Yutaka Kanai, Monitoring of aerosols in Tsukuba after Fukushima Nuclear Power Plant incident in 2011, *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 33-37 (2012)

- 50) Tadaaki Ban-nai, Yasuyuki Muramatsu, Keiko Tagami, Shigeo Uchida, Satoshi Yoshida, Shinzo Kimura, Yoshito Watanabe, Levels of radionuclides in plant samples collected around the uranium conversion facility following the criticality accident in Tokai-mura, Journal of Environmental Radioactivity, 50, 131-143 (2000)
- 51) 栗田義幸, 三枝純, 前田智史, 放射能分析建屋内への放射性セシウムの混入状況及び混入低減策, 日本放射線安全管理学会誌, 15(2), 180-185 (2016)
- 52) IAEA, Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience (チェルノブイリ原発事故による環境への影響とその修復: 20年の経験 (日本学術会議訳)), International Atomic Energy Agency, Vienna (2006)
- 53) Kazunori Nagaoka, Shoji Sato, Shigeru Araki, Yuji Ohta, Yoshihiro Ikeuchi, CHANGES OF RADIONUCLIDES IN THE ENVIRONMENT IN CHIBA, JAPAN, AFTER THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER PLANT ACCIDENT, Health Physics, 102(4), 437-442 (2012)

本書の作成経過、委員会名簿及び会議開催経過

1. 本書の作成経過

本書は平成28年度及び平成29年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業で、公益財団法人日本分析センターに委託した成果を、原子力規制委員会が設置した環境放射線モニタリング技術検討チームにおける議論を経て作成したものである。

2. 平成28年度及び平成29年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業内に設置した「放射能測定法シリーズ改訂検討委員会」の委員名簿と委員会開催日

平成28年度

委員長	中村尚司	東北大学名誉教授
委員	阿部琢也	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 チームリーダー
	阿部幸雄	福島県環境創造センター 環境放射線センター 主幹兼次長兼分析・監視課長
	大野 剛	学習院大学 理学部化学科 准教授
	木村芳伸	青森県原子力センター 分析課 研究管理員
	黒澤忠弘	国立研究開発法人産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 放射線標準研究グループ 上席主任研究員
	斎藤公明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門福島環境安全センター 東京事務所 上席嘱託
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター 福井分析管理室 主任研究員
	津田修一	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力基礎工学研究センター 環境・放射線科学デビジョン放射線挙動解析研究グループ 研究副主幹
	長岡 鋭	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究嘱託
	藤田博喜	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課 課長代理
	事務局	公益財団法人日本分析センター

第一回 平成28年12月5日

第二回 平成29年1月20日

第三回 平成29年3月2日

平成29年度

委員長	中村尚司	東北大学名誉教授
-----	------	----------

委員	阿部琢也	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部 放射線計測技術課 チームリーダー
	木村芳伸	青森県原子力センター 分析課 分析課長
	紺野慎行	福島県環境創造センター 環境放射線センター 主査
	斎藤公明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門福島 環境安全センター 東京事務所 嘱託
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター 福井分析管理室 主任研究員
	長尾誠也	金沢大学 環日本海域環境研究センター 低レベル放射能実験施設 施設長・センター長・教授
	細見健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開 発部門核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課 技術 員
	柚木 彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 放 射能中性子標準研究グループ 研究グループ長
	事務局	公益財団法人日本分析センター

第一回 平成29年11月8日

第二回 平成29年12月11日

第三回 平成30年2月15日

3. 原子力規制委員会 環境放射線モニタリング技術検討チーム構成メンバーと会合開催日

原子力規制委員会

伴 信彦 委員

外部専門家

青野辰雄	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研 究所福島再生支援本部環境動態研究チーム チームリーダー
飯本武志	東京大学 教授
高橋知之	京都大学原子炉実験所 准教授
田上恵子	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研 究所福島再生支援本部環境移行パラメータ研究チーム チームリ ーダー
武石 稔	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門福島 環境安全センター 分析技術開発アドバイザー
百瀬琢磨	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学 研究所 副所長
山澤弘実	名古屋大学 教授

吉田政敏 佐賀県環境センター 所長

(敬称略・五十音順)

原子力規制庁

片山 啓 核物質・放射線総括審議官

監視情報課

武山松次 課長

久野 聡 企画官

佐々木潤 地方調整専門官

相原佑康 課長補佐

木村仁美 課長補佐

左海功三 解析評価専門官

廣上清一 モニタリング企画専門官

松田秀夫 解析評価専門官

山田純也 課長補佐

上杉正樹 技術参与

監視情報課放射線環境対策室

根木桂三 室長

及川真司 環境放射能対策官

放射線防護企画課

佐藤 暁 課長

藤元憲三 技術参与

放射線規制部門

中村尚司 技術参与

環境放射線モニタリング技術検討チーム第5回会合 平成29年10月6日開催

第7回会合 平成30年3月16日開催

4. 本書を作成するに当っては、下記の方々に協力を得た。

秋山正和 公益財団法人日本分析センター 放射能分析事業部 γ 線解析グループ サブリーダー

鈴木勝行 公益財団法人日本分析センター 放射能分析事業部 γ 線解析グループ

豊岡健司 茨城県環境放射線監視センター 放射能部長

新田 済 公益財団法人日本分析センター 放射能分析事業部 γ 線解析グループ リーダー

(敬称略・五十音順)

改訂履歴

平成 16 年 2 月 制定

平成 30 年 3 月 改訂