

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
業務報告書

平成 30 年 3 月

公益財団法人 日本分析センター

本報告書は、原子力規制委員会 原子力規制庁の平成 29 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業における委託業務として、公益財団法人日本分析センターが実施した成果を取りまとめたものです。

目 次

1. 業務目的	1
2. 実施期間	1
3. 業務内容	1
3.1 概要	1
3.2 委員会開催	3
3.2.1 委員構成	3
3.2.2 委員会開催日と議題	4
4. 放射能測定法シリーズ改訂に係る検討事項及び結果	6
4.1 緊急時における γ 線スペクトル解析法の改訂案の作成	6
4.1.1 減衰補正の考え方について	6
4.1.2 減衰補正日について	11
4.1.3 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等の指摘に対する対応	11
4.2 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の改訂案の検討	12
4.2.1 現状調査	12
4.2.2 各種マニュアルにおける前処理方法の比較	51
4.2.3 汚染防止策等の対策	66
4.2.4 スクリーニングの紹介	70
4.2.5 試料の保管・廃棄方法	74
4.2.6 調査対象試料候補の選定	80
4.2.7 定量可能レベルの計算	91
4.2.8 マニュアル改訂の方向性	98
4.3 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見について	101
5. まとめ	102

参考資料 1 平成 29 年度 放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

参考資料 2 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見

別冊 1 「緊急時における γ 線スペクトル解析法」

付録 1 緊急時用マスター核データライブラリ

付録 2 核データ

付録 3 参考文献

1. 業務目的

原子力規制委員会では、環境放射能の水準を把握するための調査や、陸域、海域及び空域の各種放射線モニタリングを実施している。また、地方公共団体、原子力事業者、研究機関等の様々な主体が放射線モニタリングを実施している。これらの様々な主体が適切に各種放射線モニタリングを実施するためには、標準的な分析・測定法に関するマニュアルを整備しておく必要がある。

環境放射能分野における標準的な分析・測定法マニュアルとしては、「放射能測定法シリーズ」（以下「測定法」という。）が34種作成されているが、中には刊行から40年程度経過しているものも存在しており、技術的な進展の反映や東京電力福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえ、その内容を精査し、改訂を行う必要がある。

以上より、本業務においては、最新の知見を踏まえ、測定法の改訂案の作成や必要な検討を行うことを目的とする。

2. 実施期間

平成 29 年 9 月 25 日～平成 30 年 3 月 30 日

3. 業務内容

3.1 概要

本業務の内容は(1)～(4)のとおりとする。業務の実施にあたっては、技術的妥当性に留意するとともに、適宜、原子力規制庁担当官と調整を行った。

また、(1)～(3)に共通し、以下の項目に留意した。

- ・平成26年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業報告書及び平成28年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業報告書を参照すること。
- ・改訂の前後において、過去の測定結果との連続性を満たすこと。
- ・単位系等が現在国際的に使用されているものであること。
- ・記載された方法を実施するにあたり、現時点において機器の校正等に必要な線源や物品等が入手できること。
- ・測定法の記述が曖昧で測定者の裁量に委ねられている手法がないこと。
- ・技術の進展が適切に反映されていること。
- ・新たに実験・検証が必要な項目がある場合、その事項を一覧にするとともに、原則として実験・検証を実施すること。
- ・必要に応じて、関連する測定法との統合について検討を行うこと。
- ・必要に応じて、環境放射線モニタリング技術検討チームにおける検討を踏まえること。

(1) 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法（No.29）の改訂案の作成

平成28年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業において検討を行った緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法（No.29）に係る検討結果を反映して、緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法（No.29）の改訂案を作成した。また、平成28年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業における検討に不足がある場合は、追加的に検討を行い、改訂案に反映させた。

(2) 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）の改訂案の検討

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（以下「No.24マニュアル」という。）の改訂案を作成するために必要な検討を行った。検討に当たっては、以下の点に留意した。

- ① 対象とする環境試料については、原子力災害対策指針及び緊急時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）に記載のある試料を含めた。
- ② 東京電力福島第一原子力発電所事故で得られた前処理法、汚染防止策等に関する知見を反映した。

(3) 専門的知見を持つ有識者からの意見の聴取

外部専門家や地方公共団体のモニタリング関係者等の専門的知見を持つ有識者で構成される改訂検討委員会を設置し、測定法の改訂内容の検討等を行うこととした。具体的に、本改訂検討委員会については、(1)及び(2)の業務内容について十分に検討がなされるよう、(1)及び(2)の業務内容のいずれかに関する知見を有する者で構成することとし、委託業務実施期間中に3回程度開催することとした。

なお、本改訂検討委員会の委員、資料等については、原子力規制庁と調整の上決定することとした。

(4) 事業報告書の作成

(1)から(3)までの業務の実施結果を取りまとめ、事業報告書を作成した。なお、事業報告書の作成に当たり、引用等を行っている場合は、その出典を明らかにした。

3.2 委員会開催

放射能測定法シリーズ改訂検討委員会を3回開催し、実施計画、内容及び改訂案等について審議を行った。

委員及び委員会の開催状況を、3.2.1及び3.2.2に示す。

3.2.1 委員構成

放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

(五十音順、敬称略、平成30年3月現在)

氏名	所属	役職名
(委員長) 中村尚司	東北大学	名誉教授
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 放射能測定チーム	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	囑託
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	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 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

3.2.2 委員会開催日と議題

第1回、第2回及び第3回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会の日時、場所、出席者及び議題を以下に示す。また、それぞれの委員会要旨については、参考資料1に示す。

第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

日時 平成29年11月8日(水)13時25分～16時05分

場所 航空会館 B101 会議室

出席者 中村委員長、阿部委員、紺野委員、斎藤委員、玉柿委員、細見委員

- 議題
- (1) 平成29年度放射能測定法シリーズ改訂事業について
 - (2) 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等からのご指摘と対応方針(案)について
 - (3) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について
 - (4) 減衰補正の考え方について
 - (5) 緊急時マニュアル類や検査・分析機関への訪問による情報収集状況について
 - (6) その他

第2回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

日時 平成29年12月11日(月)13時25分～16時40分

場所 航空会館 B101 会議室

出席者 中村委員長、阿部委員、木村委員、紺野委員、斎藤委員、玉柿委員、長尾委員、細見委員、柚木委員

- 議題
- (1) 第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
 - (2) 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からのご意見について
 - (3) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について
 - (4) 「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」改訂案の検討状況について
 - (5) その他

第3回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会

日時 平成30年2月15日(木)13時30分～16時30分

場所 航空会館 B101 会議室

出席者 中村委員長、木村委員、紺野委員、斎藤委員、玉柿委員、長尾委員、柚木委員

- 議題
- (1) 第2回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
 - (2) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29)改訂案について

- (3) 「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) 改訂のための方向性について
- (4) その他

4. 放射能測定法シリーズ改訂に係る検討事項及び結果

4.1 緊急時における γ 線スペクトル解析法の改訂案の作成

4.1.1 減衰補正の考え方について

(1) 目的

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により、その結果に問題を生じることがある。平成 28 年度においては、机上の計算例を用いて、減衰補正を適用することにより、問題が生じる事例を検討した。平成 29 年度については、実際の測定例を用いた検証を行い、本解析法の改訂案に記載する減衰補正の考え方やその方法を検討した。なお、本検討事項の結果については、本解析法の改訂案である別冊 1「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」に収録した。

(2) 方法

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。）直後に測定した、土壌試料及び大気浮遊じん試料の測定結果を用いて、減衰補正を適用することにより生じる問題点を抽出した。問題点に関しての検証を行い、放射能測定法シリーズ改訂検討委員会において、減衰補正の考え方やその方法に対する記載案を検討した。

(3) 結果

実際の測定例を用いた検証結果を以下に示した。

① 土壌

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 の放射能濃度が負に発散する事例を検証した。土壌試料の測定に関する情報を表 4.1.1 に、 γ 線スペクトルを図 4.1.1 に、検出された人工放射性核種を表 4.1.2 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 4.1.3 に示す。

表 4.1.1 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）

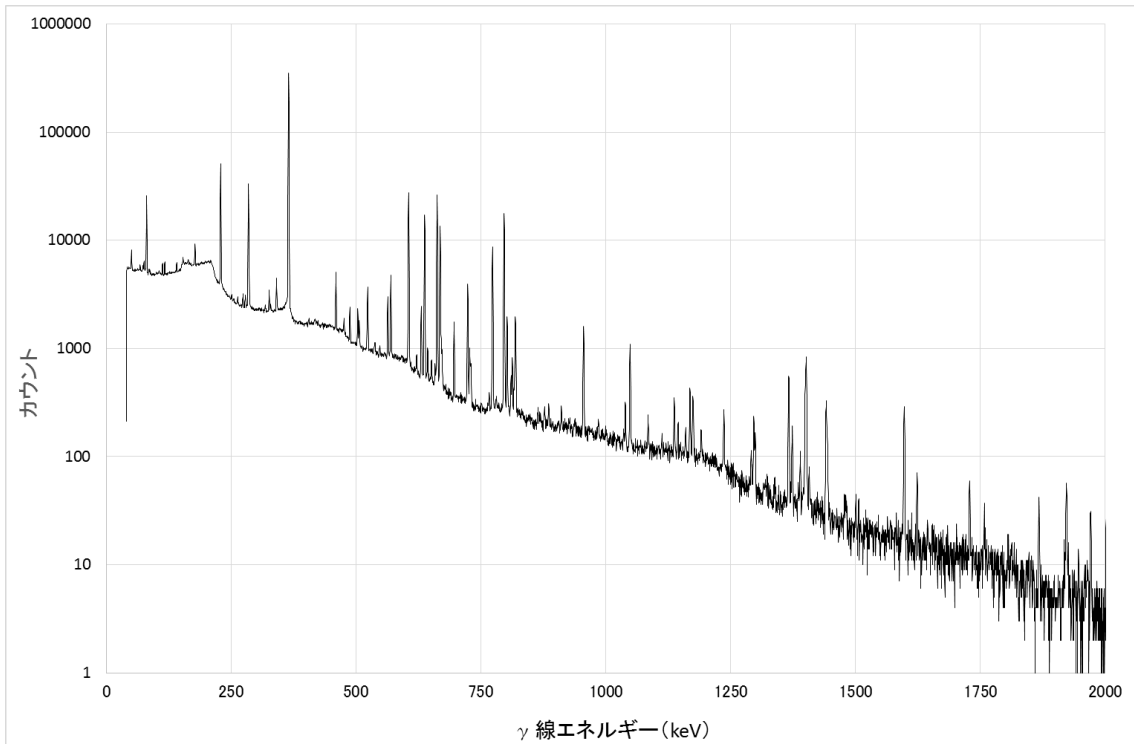


図 4.1.1 土壌試料のγ線スペクトル例

表 4.1.2 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 4.1.3 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	$(2.0 \pm 0.58) \times 10^3$	$(2.0 \pm 0.60) \times 10^3$	
^{99m} Tc	6.01 時間	$(3.9 \pm 0.40) \times 10^3$	$(1.3 \pm 0.13) \times 10^6$	過渡平衡(子孫)
^{110m} Ag	249.83 日	$(3.4 \pm 0.57) \times 10^3$	$(3.4 \pm 0.57) \times 10^3$	
^{129m} Te	33.6 日	$(8.5 \pm 0.20) \times 10^5$	$(8.8 \pm 0.21) \times 10^5$	過渡平衡(親)
¹³¹ I	8.03 日	$(3.8 \pm 0.004) \times 10^6$	$(4.5 \pm 0.005) \times 10^6$	
¹³² Te	3.20 日	$(3.0 \pm 0.01) \times 10^5$	$(4.6 \pm 0.02) \times 10^5$	過渡平衡(親)
¹³² I	2.30 時間	$(2.3 \pm 0.01) \times 10^5$	$(-3.0 \pm 0.06) \times 10^{11}$	過渡平衡(子孫)
¹³⁴ Cs	2.07 年	$(5.3 \pm 0.02) \times 10^5$	$(5.3 \pm 0.02) \times 10^5$	
¹³⁶ Cs	13.16 日	$(3.7 \pm 0.08) \times 10^4$	$(4.1 \pm 0.09) \times 10^4$	
¹³⁷ Cs	30.08 年	$(5.1 \pm 0.02) \times 10^5$	$(5.1 \pm 0.02) \times 10^5$	
¹⁴⁰ Ba	12.75 日	$(1.8 \pm 0.24) \times 10^4$	$(2.0 \pm 0.27) \times 10^4$	過渡平衡(親)
¹⁴⁰ La	1.68 日	$(1.4 \pm 0.05) \times 10^4$	$(7.5 \pm 3.7) \times 10^3$	過渡平衡(子孫)

注：例えば、「 $(3.9 \pm 0.40) \times 10^3$ 」は、「 3900 ± 400 」であることを示す。

測定日に検出されていた ¹³²I (230000 ± 1000 Bq/kg) は、採取日に減衰補正を行うと不検出となり、過小評価となる。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 ^{99m}Tc）が検出、親核種（本事例では ⁹⁹Mo）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 ¹⁴⁰La 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。

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 4.1.4 に、 γ 線スペクトルを図 4.1.2 に、検出された人工放射性核種を表 4.1.5 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 4.1.6 に示す。

表 4.1.4 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)

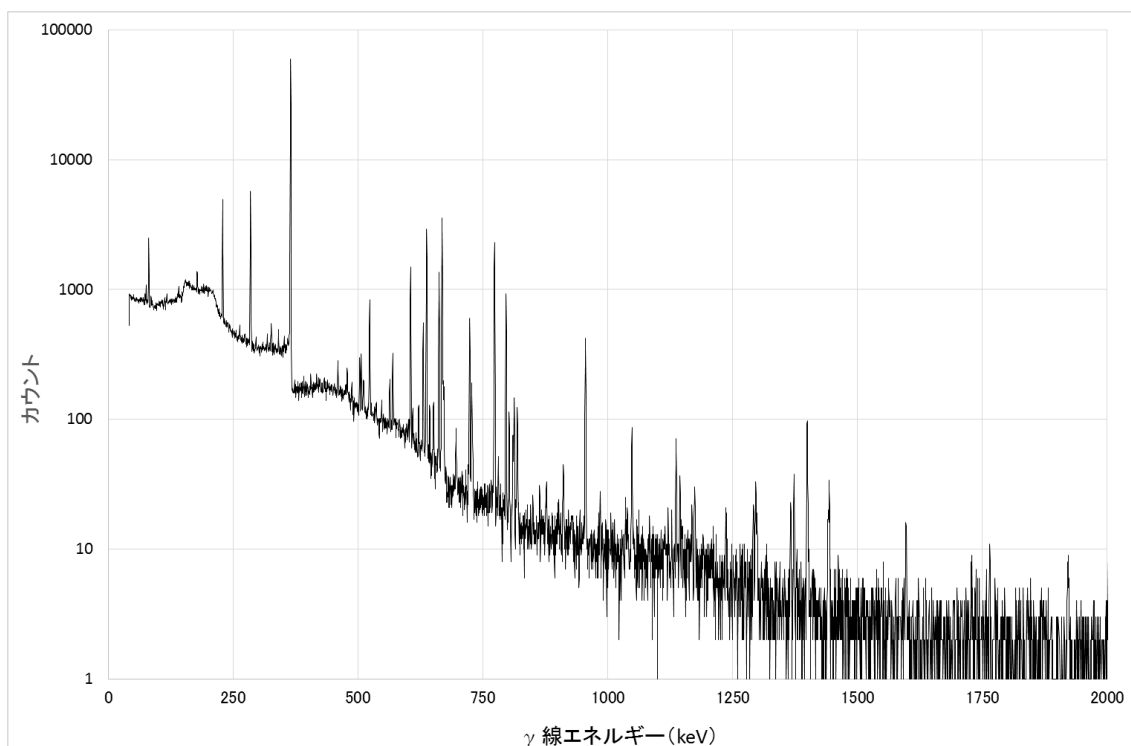


図 4.1.2 大気浮遊じん試料の γ 線スペクトル例

表 4.1.5 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 4.1.6 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、子孫核種の ¹³²I 放射能濃度は過大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。

(4) 改訂案への記載

(3)の検討結果を踏まえて、減衰補正の考え方としては、「逐次的に壊変しなくても良い核種」と「逐次的に壊変する核種」に区別することとした。減衰補正の方法については、目的に応じて、減衰補正の適用の有無を決める必要があり、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を、結果とともに記録、報告することが必要である旨を本解析法の改訂案に記載した(別冊1「4.3.3 緊急時における問題点」、「4.3.4 緊急時における減衰補正の適用」及び解説Cを参照)。

4.1.2 減衰補正日について

(1) 目的

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。

特に、降下物や大気浮遊じんなどのサンプリング期間を伴う試料について、減衰補正をサンプリング期間のどの時点にするかを予め決めておくことは、緊急時における対応を円滑に進める上で有効である。そのため、緊急時における減衰補正日の設定について検討を行い、本解析法の改訂案に記載することを目的とした。なお、本検討事項の結果については、本解析法の改訂案である別冊1「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」に収録した。

(2) 方法

減衰補正日に関する記載内容案を放射能測定法シリーズ改訂検討委員会で審議し、その結果を本解析法の改訂案に記載した。

(3) 結果

第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会において、減衰補正日に関して記載する項目について審議を行った。

審議結果を踏まえて、第2回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会において、本解析法内の記載について審議を行った。減衰補正の有無に関する記載について、測定者ができるだけ判断をしなくてもよい旨の記載に修正する必要があると意見があった。

第3回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会において、減衰補正の有無に関する記載について審議を行い、審議の結果、減衰補正日を含めた減衰補正に関する記載が承認された。

(4) 改訂案への記載

放射能測定法シリーズ改訂検討委員会の審議を踏まえて、本解析法の改訂案に記載した（別冊1「4.3.1 減衰補正の基準日」及び「4.3.4 緊急時における減衰補正の適用」を参照）。

4.1.3 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等の指摘に対する対応

環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等から、本解析法の改訂の方向性及び改訂案に対する指摘を受け、その対応方針案を第1回及び第3回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会にて、それぞれ審議を行った。審議の結果を踏まえて、この対応方針案を改訂案に反映させた。

4.2 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の改訂案の検討

4.2.1 現状調査

1) 他の緊急時マニュアル等に関する情報収集

(1) はじめに

福島第一原発事故後に厚生労働省、農林水産省等から、放射能測定マニュアルや検査法、スクリーニング法と称して公表されている情報を収集した。その記述内容を対象試料、対象核種、前処理法の概要、測定法、参考とした文献及びマニュアル、スクリーニングに関する記述、汚染防止策などを整理した。

(2) 整理結果

国内 26 点、国外 6 点の計 32 点の情報を収集した。結果を整理番号を付して表 4.2.1-1 に示す。整理番号 1、2 の「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」（厚生労働省、平成 14 年 3 月）はチェルノブイリ原子力発電所事故の経験に基づいて作成されたマニュアルである。対象とした核種には ^{131}I や ^{137}Cs の他にウラン、プルトニウム、ストロンチウムも含まれている。その他国内のマニュアル等は福島第一原発事故の経験に基づいており、整理番号 23、24、26 以外は事故直後から 1 年程度で制定され、公表されている。記述内容はマニュアルによって異なり、試料採取から測定方法、測定器の取扱まで詳細に記述されたものもある。さらに、可食部の区分、洗浄方法などについても記述されていることがわかった。対象とする核種は放射性セシウムとしたものや具体的に ^{134}Cs 、 ^{137}Cs のように核種名を記述したものもある。使用する測定器はゲルマニウム半導体検出器をはじめ、ヨウ化ナトリウム検出器、ヨウ化ナトリウムのサーベイメータを使用したものもある。参考としたマニュアルには、放射能測定法シリーズ^{*1}の No.6、7、24 や、整理番号 1、2 の「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」を挙げているものが多かった。

スクリーニングに関する記述もあり、福島第一原発事故後に制定された基準 100Bq/kg（厚生労働省、平成 24 年 4 月）以下であることを判定するために、まずは測定し、100Bq/kg を十分に下回れば、それ以上の測定を実施しなくても良いとしているマニュアルもある。一方、この基準付近の場合には、ゲルマニウム半導体検出器を用いて詳細に測定する必要があると記述している。

作業員への配慮に関する記述は少ないが、汚染防止策に関する記述は多くみられた。使い捨て手袋の利用や作業区管理、検出器をポリエチレン袋で覆うといった例が挙げられている。

*1：表 4.2.1-1 別紙参照

試料の保管・廃棄に関する記述は、測定済み試料に関する記述はあるが、前処理済み試料や詰め残し試料についての廃棄に関する記述はほとんどなく、残試料の詳細な区別もなかった。

これらマニュアル以外には、福島第一原発事故後に行われた研究があり、整理番号 25、26 は海水または陸水中の放射性セシウムを選択的に吸着させる素材を用いて、前処理の迅速性を強調した報告である。他にも牛肉の細切りサイズによる測定値の変動を評価する研究や、お茶とその抽出液の ^{137}Cs 濃度に関する研究報告があった。(整理番号 21、22)

一方、国外の情報として HASL-300(整理番号 27)、IAEA(整理番号 28)、米国 DOE(整理番号 29)のマニュアルの中には、緊急時に特化したものではないが、緊急時に関する記述も含まれている。その他の文献・図書では、環境放射能調査の総説(整理番号 30)や福島第一原発事故の影響を国外において調査した結果を報告(整理番号 31、32)している。

これらマニュアル等でどのような試料を対象としているかについて、一覧表に整理した。結果を表 4.2.1-2 に示す。マニュアルによって対象試料は異なり、野菜、肉、魚などの一般食品をはじめ、大気、降下物、土壌等の環境試料や、廃棄物、飼料、堆肥等を対象としたものもある。

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
1	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる放射性ヨウ素の測定法	厚生労働省	2002年3月	牛乳、野菜類(葉菜等)	I-131	(牛乳)特別な記述なし (野菜類【葉菜等】) キャベツ、白菜は外側変質葉及びびしんを除去 ごぼう及びサルシフィーは、葉部を除去し、泥を水で軽く洗い落す はさみ、カッター、包丁等で細切りし、測定容器に入れる	NaI(Tl)サーベイメータ	No.15 No.24 食品衛生法における「食品、添加物等の規格基準」	有	無	有	無	U, Pu, Srについても記述有
2	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメリーによる核種分析法	厚生労働省	2002年3月	牛乳、野菜(葉菜)、海藻、魚、穀類、肉類、卵	I-131 Cs-137	(牛乳)特別な記述なし (野菜類【葉菜等】) キャベツ、白菜は外側変質葉及びびしんを除去 ごぼう及びサルシフィーは、葉部を除去し、泥を水で軽く洗い落す はさみ、カッター、包丁等で細切りし、測定容器に入れる	Ge	No.24 食品衛生法における「食品、添加物等の規格基準」	無	無	無	無	
3	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」に基づく検査における留意事項について	厚生労働省	2011年4月20日	野菜		食品の放射性物質に関する検査における試料洗浄(土壌除去)標準作業書 各種食品について、洗浄対象部位と洗浄方法を示した				有	有		
4	放射能汚染された食品の取り扱いについて	厚生労働省	2011年3月17日		放射性ヨウ素 放射性セシウム	飲食物摂取制限に関する指標値を暫定規制値とすることを連絡		緊急時における食品の放射能測定マニュアル					U, Puについても記述有
5	牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	2011年7月29日	牛の筋肉	放射性セシウム	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」に準じる	NaI(Tl)、NaI(Tl)サーベイメータ	No.6 緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について	有	無	有	無	
6	食品中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	2011年11月10日	飲料水、乳及び乳製品を除く食品全般	放射性セシウム	放射性セシウム濃度が暫定基準値よりも確実に低い検体を判別するためのスクリーニング法を策定 測定容器に詰めるときには、空隙ができないように留意する	Ge、NaI(Tl)、NaI(Tl)サーベイメータ	No.6 緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について	有	無	有	無	
7	食品中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	2012年3月1日	一般食品	放射性セシウム	一般食品の基準値である100Bq/kgに適応できるようにスクリーニング法を見直した	NaI(Tl)	No.6 緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について	有	無	無	無	

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧（つづき）

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
8	食品中の放射性物質の試験法の取扱い	厚生労働省	2012年3月15日	乾燥きのこ類等		乾燥きのこ類等の水戻しによる水分含量データ(重量変化率)を示した		調理のためのベシックデータ第4版 "Effects of soaking conditions on the texture of dried sea cucumber"					
9	食品中の放射性物質の試験法	厚生労働省	2012年3月15日	食品(可食部)	放射性セシウム	食品の可食部の扱いを引用して説明 洗浄方法についても、引用して説明 液体試料はそのまま 固体試料ははさみ、カッター、包丁等で細切りした後、全体を均一に混和し、測定容器に充填 お茶は浸出液を測定対象とする 乾物(きのこ、海藻、魚介類)の測定は水分含有量の公表値を用いて、水を加えるか、乾物の測定結果を換算する	Ge	No.7 No.24 「食品、添加物の規格基準」 「食品の放射性物質に関する検査における試料洗浄(土壌除去)作業書」	無	無	有	無	
10	水道水等の放射能測定マニュアル	厚生労働省	2011年10月12日	水道水、水道原水	I-131 Cs-134 Cs-137	濁質があってもろはしない 溶存態の放射能を測定する場合には、孔径1μmのメンブランフィルターでろ過する	Ge、NaI(Tl)、 NaI(Tl)サーベータ	厚生労働省「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」 厚生労働省「牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法」 日本水道協会「上水試験方法」 No.6 No.7 No.16	有	無	有	有	測定に関しては詳細に記述されている
11	粗飼料(牧草)、土壌の放射能測定マニュアル	農林水産省	2011年8月3日 2011年9月7日一部改正	粗飼料(牧草等) 土壌	放射性セシウム	(粗飼料) 1~2cm程度に細断 試料収納容器内で振り混ぜ、混合 マリネリ容器または小型容器に空隙を作らないように入れる (土壌) 草木、根、石礫等を取り除き、葉さじ等で土塊を砕く 試料収納容器内で振り混ぜ、よく混合する マリネリ容器または小型容器に空隙を作らないように入れる	Ge、NaI(Tl)	No.6 No.7 No.13 No.24 No.29 (独)農林水産消費安全技術センターの測定例	無	無	無	無	
12	濃厚飼料(配合飼料、混合飼料、単体飼料等)の放射能測定マニュアル	農林水産省	2011年8月3日 2011年9月7日一部改正	濃厚飼料(配合飼料、混合飼料、単体飼料等)	放射性セシウム	採取試料から均一に採る ペレット状など粒径が大きく、マリネリ容器に充填した時に、空隙を生じる場合は、粉碎する 圧縮して充填する	Ge、NaI(Tl)	No.6 No.7 No.13 No.24 No.29 (独)農林水産消費安全技術センターの測定例	無	無	無	無	

表 4. 2. 1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧（つづき）

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
13	飼料作物の放射能測定マニュアル	農林水産省	2011年8月3日 2011年9月7日一部改正	飼料作物	放射性セシウム	採取試料から均一に採り、必要に応じて細断する マリネリ容器に空隙を作らないよう圧縮し、充填する	Ge, NaI(Tl)	No.6 No.7 No.13 No.24 No.29 (独)農林水産消費安全技術センターの測定例	無	無	無	無	
14	肥料中の放射性セシウム測定のための検査計画及び検査方法	農林水産省	2011年8月5日	牛ふん堆肥、雑草堆肥等、稲わら堆肥等、バーク堆肥	Cs-137 Cs-134	小石等がある場合は取り除き、2cm以上の塊等がある場合は、はさみ、カッター等で細切りする 肥料包装容器を振り混ぜ及び容器の上から揉む等してよく混合する 測定用容器に空隙を作らないように均等に詰める	Ge, NaI(Tl)	No.6 No.7 No.13 No.24 No.29	無	無	有	有	
15	きのご原木及び菌床用培地中の放射性セシウム測定のための検査方法	農林水産省、 林野庁	2011年10月31日 2012年3月30日一部改正	きのご原木、ほだ木、菌床用培地、菌床	Cs-137 Cs-134	2cm以上の塊ははさみ、カッターで細切りする 試料包装容器を振り混ぜ及び容器の上から揉む等してよく混合する 測定容器に空隙を作らないように均等に詰める	Ge, NaI(Tl)	No.6 No.7 No.29	無	無	有	有	乾燥させたものを検査・分析機関に送付
16	第五部 放射能濃度等測定方法ガイドライン	環境省	2011年12月 第1版	空間線量率、排ガス、粉じん、排水及び公共の水域の水、周縁地下水、燃え殻、ばいじん、排水汚泥、溶融スラグ、溶融飛灰	Cs-134 Cs-137	空間線量率 測定高さは地上1mとする 排ガス 円筒ろ紙 プランクろ紙も切断し、採取ろ紙と混合して容器に入れる 円形ろ紙 複数枚ある場合はろ紙を重ねる ドレン部 2Lに足りない場合は、純水を用いて2Lとする 粉じん 円筒ろ紙 プランクろ紙も切断し、採取ろ紙と混合して容器に入れる 円形ろ紙 複数枚ある場合はろ紙を重ねる ドレン部 2Lに足りない場合は、純水を用いて2Lとする 排水及び公共の水域の水 特別な記述なし 周縁地下水 特別な記述なし 燃え殻、ばいじん、排水汚泥、溶融スラグ、溶融飛灰 試料を容器に入れ、よく混合する	Ge, NaI(Tl)サーベーター	原子力安全委員会「緊急時環境放射線モニタリング指針」 廃棄物等の放射能調査・測定法研究会「廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル」 消安第1939号「放射性セシウムを含む汚泥のサンプリング等に係る技術的事項について」 環境省「一般廃棄物処理施設における放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の処理について」 No.7 No.20	無	無	無	無	

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧（つづき）

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
17	生薬等の放射性物質測定ガイドライン	日本製薬団体連合会	2011年12月12日	生薬、生薬を原料とした漢方生薬製剤	I-131 Cs-134 Cs-137	試料採取後は洗浄はしてはならない 生薬には植物、鉱物、動物があり、大きさ、形状、固さが様々であるため、その特性に応じた切裁や破砕する	Ge、NaI(Tl)、 NaI(Tl)サーベ メータ	水道水等の放射能測定マニュアル	有	無	有	有	
18	廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル	廃棄物等の放射能調査・測定法研究会	2011年11月11日	排ガス、灰、汚泥、廃水、浸出水、受け入れ廃棄物、土壌	I-131 Cs-134 Cs-137	排ガス 円筒ろ紙 はさみ等で5mm角程度に切断 円形ろ紙 そのまま測定 洗浄水 測定容器に入れる 灰、汚泥 十分に混合後、測定容器に入れる 形状の大きいものは適宜粉砕する 廃水、浸出水 試料を十分に混ぜて浮遊物質を十分に均一化して、測定容器に入れる 浮遊物質を除いて測定する場合には1μ mもしくは0.45μ m孔径相当のメンブランフィルターでろ過し、ろ液を測定する 受け入れ廃棄物 粉砕機やはさみ等で細かく粉砕・截断し、2～10mm程度にする 土壌 乾燥はしない(粉じんの飛散防止) 石礫、異物を取り除き混合し、測定容器に空隙が無いように詰める	Ge	厚生労働省「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」 No.24 No.7 No.13	有	有	有	有	
19	廃棄物等の放射能調査・測定マニュアル(第2版)	(一社)廃棄物資源循環学会	2011年11月11日(第1版)	空間線量率、排ガス、粉じん(粉砕施設)、排水、公共用水域の水、周縁地下水、廃棄物(灰、汚泥、廃糞等)	Cs-134 Cs-137	空間線量率 地面から1mの空間線量率を測定する場合には地表面と水平にし、表面線量率(1cm)を測定する場合には垂直にする 排ガス 円筒ろ紙 はさみ等で5mm角程度に切断 円形ろ紙 ビニール袋に入れ、そのまま測定 洗浄水 測定容器に入れる 粉じん(破砕施設) 円形ろ紙 ビニール袋に入れ、そのまま測定 円筒ろ紙 はさみ等で5mm角程度に切断 洗浄水 測定容器に入れる 排水、公共用水域の水 試料を十分に混ぜて浮遊物を充分均一化する 周縁地下水 試料を十分に混ぜて浮遊物を充分均一化する 廃棄物(灰、汚泥、廃糞等) 試料を適宜粉砕・截断処理を行い、十分に混ぜて均一化する	Ge、NaI(Tl)、 LaBr ₃ (Ce)、 NaI(Tl)サーベ メータ	厚生労働省「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」 「放射性セシウムを含む汚泥のサンプリング等に係る技術的事項について」 厚生労働省「水道水の放射能測定マニュアル」 環境省「廃棄物ガイドライン」 (公財)日本適合性協会「放射能測定を行う試験場についての認定指針」 No.6 No.7 No.24	無	有	有	有	

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧（つづき）

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
20	農産物の生産者・流通事業者等が放射性セシウムの自主検査により品質保証体制を構築する場合には求められる要件及び実施ガイドライン(案)(略称:品質保証のための放射性セシウム自主検査ガイドライン)	株式会社ぐるなび、日本GAP協会協力	2011年3月21日	農産物	Cs-134 Cs-137	食品衛生法で定められる各種食品(農産物)について、検体を示した	Ge、NaI(Tl)	厚生労働省「食品中の放射性セシウム検査法」 厚生労働省「食品中の放射性セシウムスクリーニング法」	有	無	有	無	非破壊検査に関して詳細に記述されている
21	ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメリーによる牛肉中の放射性セシウム分析	岐阜県保健環境研究所	2012年8月1日	牛肉	Cs-134 Cs-137	(サイズによるばらつきを評価する実験) ブロック肉から脂肪層をできる限り除去したうえで、2cm角、1cm角、0.5cm角、ミンチ状の4段階のサイズにして、U-8容器にできるだけ空隙が生じないように試料を充填する(その他の実験) 試料を1cm角よりも小さいサイズにして、容器に空隙が生じないように充填する	Ge	放射能測定法シリーズ記載の試料調製や測定 No.24	無	無	無	無	
22	神奈川県産の一番茶荒茶とその抽出液及び二番茶荒茶における放射性セシウム濃度の相互関係	神奈川県農業技術センター	2013年2月1日	お茶	Cs-134 Cs-137	試料重量の30倍量となる90℃のイオン交換水を加え、直ちに5回攪拌し1分間静置した後、40メッシュの金属製のふるいを用いてろ過し、ろ液を抽出液として測定に用いた	Ge	厚生労働省「食品中の放射性セシウム検査法」	無	無	無	無	
23	千葉県におけるゲルマニウム半導体検出器を用いた農林産物中の放射性物質検査法	千葉県農林総合研究センター	2015年 千葉県農林総合研究センター 第7号	原乳、茶、野菜類、果樹類、玄米を含む穀物類、牧草等の飼料用作物、シイタケやタケノコの林産物等、葉、枝、根の樹体、シイタケほだ木及びその原木ならびに土壌等	Cs-134 Cs-137	(原乳及び玄米等) そのまま測定容器に充填する (飲用に供する茶) 試料を30倍量の重量の熱水(90℃)に入れ、5回攪拌した 60秒間抽出を行い、40メッシュの篩でろ過し、室温に戻した抽出液を容器に充填した (その他の試料) 10~20mm角の大きさに細切にして容器内に均一に充填した 試料によっては乾燥後、粉砕物として充填した	Ge	厚生労働省「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」 厚生労働省「食品中の放射性セシウム検査法」 No.24	無	無	無	無	
24	NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによる飼料中の放射性セシウムのスクリーニング法例—2012年3月の暫定許容値見直しを受けた再検証—	(独)農林水産消費安全技術センター(FAMIC)	2014年	飼料	Cs-137 Cs-134	飼料中の放射性セシウムの検査方法に準拠	NaI(Tl)	食品中の放射性セシウムスクリーニング法 飼料中の放射性セシウムの検査方法について No.6	有	無	有	無	

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧 (つづき)

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
25	ブルシアンブルー不織布カートリッジを用いる水中の溶存態放射性セシウムの迅速モニタリング技術の開発	保高徹生, 辻英樹, 今藤好彦, 鈴木安和	BUNSEKI KAGAKU (Vol. 62, No. 6, pp. 499-506, 2013)	淡水	Cs-137 Cs-134	ブルシアンブルー (PB) を染み込ませた不織布カートリッジに通水し、淡水中のセシウムを吸着して回収する このカートリッジと、1μ m径のPBを染み込ませていない不織布カートリッジの2種類を直列につなぐことで、懸濁体と溶存体の両方を回収できる 前処理にかかる時間は供試料20Lで約10分(カートリッジを細断して測定する場合、細断時間が別にかかる) セシウム以外の核種 (Srなど) は回収できない	Ge	No.13	無	無	無	有(シアン化合物の回収について)	低濃度試料を前提としている 通水開始から500mLまでの廃液にシアン化合物が含まれる
26	Development of a copper-substituted, Prussian blue-impregnated, nonwoven cartridge filter to rapidly measure radiocesium concentration in seawater	Tetsuo Yasutaka, Susumu Miyazu, Yoshihiko Kondo, Hideki Tsuji, Koichi Arita, Seiji Hayashi, Akira Takahashi, Tohru Kawamoto & Michio Aoyama	Journal of Nuclear Science and Technology pp.1243-1250, Published online: 28 Jan 2016	海水	Cs-137 (Cs-134)	亜鉛置換ブルシアンブルー内の亜鉛を銅に置換することで海水に適用できるようにした基本的な部分は上記論文と同じ 前処理にかかる時間は供試料20Lで約40分(カートリッジを細断して測定する場合、細断時間が別にかかる) セシウム回収率は93~95%程度である (塩濃度が高い場合、回収率を確認した方がよい) セシウム以外の核種 (Srなど) は回収できない	Ge	No.13	無	無	無	無	低濃度試料を前提としている 上記と異なり、廃液にシアン化合物は含まれない
27	HASL-300 (EML Procedures Manual)	米国 DOE (Department of Energy)	28th Edition, 1997	大気(フィルター)、降下物、土壌、堆積物、水試料、食品(牛乳、野菜(生鮮物、缶詰、根菜類、じゃがいも、乾燥豆)、果物(生鮮物、缶詰、ジュース)、穀物製品(パン、小麦粉、全粒粉、マカロニ、米)、肉類、卵類、魚類、甲殻類、貝類)	γ線放出核種全般	大気 記載なし 降下物 採取時にイオン交換樹脂に通す方法について記載あり 土壌 異物除去、乾燥(乾燥機または自然乾燥)、粉碎、ふるい分け、均一化 土壌(緊急時γ線測定のための迅速法) 湿土でふるい分け(植物片は細かく切って通す)、数分間手で均質化、100g分取 堆積物 記載なし 水試料 濃縮なし、1L以上を測定に供する(採取時にイオン交換樹脂に通す方法について記載あり)	NaI, Ge	ASTM 規格*	無	無	無	無	

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧 (つづき)

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
28	Measurement of Radionuclides in Food and the Environment : A Guidebook	IAEA	IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No.295 1989年	大気(フィルター)、牧草、土壌、牛乳、食品(卵類、肉類、魚類、果物(生鮮物、缶詰)、フルーツ、ジュース、牛乳、野菜(生鮮物、缶詰)、根菜類、小麦粉、乾燥豆類、穀物、マカロニ類、パン)、水試料(水道水、降水、陸水)	大気: I-131, Cs-134, Cs-137 水試料: H-3, Sr-89, Sr-90, I-131, Cs-134, Cs-137 肉類: Cs-134, Cs-137 その他食品: Sr-89, Sr-90, Cs-134, Cs-137 草木: Sr-89, Sr-90, Zr-95, Nb-95, Ru-103, Ru-106, I-131, Cs-134, Cs-137, Ce-144 土壌: Sr-89, Sr-90, Cs-134, Cs-137, Pu-238, 239+240Pu-239+240, Am-241, Cm-242	試料一般 固体[乾燥、(灰化)、粉碎、均一化]、液体[赤外線ランプ又はロータリーエバポレーターで蒸発濃縮] 牧草 そのまま(放射性ヨウ素が対象でない場合は、乾燥、粉碎、ふるい分け(2mm)を行っても良い) 土壌 バット又はシートに広げ、室温で数日乾燥又は50℃で乾燥、粉碎、ふるい分け(2mm) 牛乳 記載なし 食品 生1kgを直接測定又は可食部のみ乾燥、灰化、均一化 水試料 記載なし	NaI, Ge	Report on Chernobyl Nuclear Power Plant Accident, UNSCEAR, HASL-300	有	無	有	無	
29	MARLAP(Multi-Agency Radiological Laboratory Analytical Protocols) Manual	米国 DOD(Department of Defence) DOE(Department of Energy) EPA(Environmental Protection Agency) FDA(Food and Drug Administration) USGS(U.S. Geological Survey) NIST(National Institute of Standards and Technology) NRC(Nuclear Regulatory Commission) 各連邦機関からなるワーキンググループが作成	Volume II: Chapters 10-17 and Appendix F July 2004	固体試料(土壌、堆積物、生物相、金属、コンクリート、アスファルト、プラスチック、石炭、固体廃棄物、食品(卵類、肉類、魚類、果物(生鮮物、缶詰)、牛乳(生乳、粉乳)、バター、野菜(生鮮物、缶詰)、根菜類、小麦粉、乾燥豆類、フルーツ、ジュース、穀物、マカロニ類、パン)、牧草、草木、骨・組織、フィルター類、拭取り試料、液体試料(水性液体試料(表面水、地下水飲料水、降水、貯水槽、潟湖、流出水)、非水性液体(油、有機溶媒))、ガス状試料、バイオアッセイ試料	α 線放出核種(Pu-239, Am-241, Po-210, Th-228, Th-230, Ra-226, U-233, U-235, Np-237) β 線放出核種(H-3, C-14, Ni-63, Sr-89, Sr-90 (Y-90), Tc-99, I-129, I-131, Ra-228 (Ac-228), Pu-241, Cs-137) γ 線放出核種全般	省庁間放射能実験室分析用プロトコル(MARLAP)マニュアル サイトの特性把握、サイトの浄化とその実証、核施設の解体、汚染修復や除去活動、流出物のモニタリング、サイトの環境モニタリング、バックグラウンド調査と廃棄物管理活動等に伴う分析が対象 第2部ではラボの分析担当者向けの内容であり、ラボにおける様々な活動(試料前処理、試料の溶解、化学分離、機器分析、データの換算等)について記載 固体試料全般 乾燥、灰化、粉碎、均一化 土壌・堆積物 異物除去、乾燥、粉碎、ふるい 食品全般 乾燥、灰化 骨・組織 乾燥、灰化 拭取り試料 前処理なし 水性液体試料 酸の添加 バイオアッセイ試料 尿(湿式灰化)、便(灰化または凍結乾燥)	NaI, Ge	HASL-300、ASTM規格* IAEA. 1989. Measurement of Radionuclides in Food and the Environment 他 Technical Reports Series No. 295. IAEA	有(11章)	有(10章、1)	有(12章)	無	

表 4.2.1-1 収集した緊急時マニュアル及び文献一覧 (つづき)

整理番号	タイトル	著者名	出典(号、年)	対象試料	対象核種	内容(概略)	ガンマ測定法	参考・引用したマニュアル※	スクリーニングに関する記述	作業者への配慮に関する記述	汚染防止策に関する記述	試料の保管・廃棄に関する記述	その他
30	ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY AND EMERGENCY PREPAREDNESS	Mats Isaksson, Christopher L. Raaf	2017年1月1日	大気(フィルター)、降水・水試料、土壌、牧草、食品(ライ麦、大麦、小麦、オートムギ、肉、牛乳、牛肉、豚肉、羊肉、貝類、淡水魚、海洋魚、野菜、果物、加工食品(牛乳、チーズ、缶詰、乾物、冷凍物)、バイオアッセイ試料(尿、便、毛髪、歯、骨、爪)、指標生物(海藻、軟体類、ムール貝)、下水・汚泥、堆積物	I-131、I-132 Cs-137 Cs-134 Mn-54 Co-58 Co-60 Ag-110m	放射放射性物質の使用に伴う様々なリスクへの対処方法について包括的に解説したものの放射能分析に関しては、 α 線・ β 線・ γ 線の分析法全般についての概略が記載 大気、降水・水試料、下水・汚泥、堆積物 前処理について詳細な記載なし 土壌 乾燥、均一化 牧草 異物除去、乾燥 食品 (可食部のみ)乾燥、均一化、牛乳はそのまま灰化したものを試料詰め バイオアッセイ試料 尿は塩酸を添加、便は純水で適宜希釈 試料全般 ハロゲン元素が対象の場合60~70℃で乾燥、それ以外は110~140℃で乾燥、試料全体が測定容器に入らない場合は粉砕して均一化した後試料詰め	NaI、Ge(測定は「 γ 線スペクトロメトリ」とだけ記載)測定容器:1000~2000mL容器(尿・便、水試料、牧草)、100~1000mL容器(土壌、尿)、10~100mL容器(乾燥した野菜、乾土、乾燥した堆積物)	不明	無	無	無	無	
31	Evidence of the radioactive fallout in the center of Asia (Russia) following the Fukushima Nuclear Accident	A. Bolsunovsky, D. Dementyev	Journal of Environmental Radioactivity Volume 102, Issue 11, November 2011, Pages 1062-1064	降水 雪を融解した水 松葉 大気浮遊じん	I-131 Cs-137 Cs-134	福島第一原発事故後、ロシアで測定された各種試料の放射能濃度 前処理方法 水試料 フィルターでろ過→1Lマリネリ容器→測定(測定後、ヨウ素揮散防止用の試薬を添加して濃縮→再測定) 松葉 1Lマリネリ容器→測定(測定後、ヨウ素揮散防止用の試薬を加えて450℃で灰化→測定) 大気浮遊じん オープンで乾燥(温度不明)→測定	Ge	無	無	無	無	無	
32	An overview of Fukushima radionuclides measured in the northern hemisphere	P. Thakur, S. Ballard, R. Nelson	Science of The Total Environment Volumes 458-460, 1 August 2013, Pages 577-613	大気浮遊じん 降水 牛乳 牧草 野菜(ほうれん草、レタス、葉タマネギ、フダンソウ) きのこ(マッシュルーム) 羊肉・甲状腺 チーズ ハーブ	I-131 Cs-137 Cs-134	福島第一原発事故後、北半球で測定された各種試料の放射能濃度を集計し、拡散状況について考察 (対象国:カナダ、アメリカ、アイスランド、ノルウェー、スウェーデン、ベルギー、ベラルーシ、フィンランド、ドイツ、ポーランド、イタリア、スイス、ルーマニア、セルビア、ブルガリア、ルクセンブルク、オランダ、デンマーク、イギリス、アイルランド、スロバキア、チェコ、ハンガリー、ラトビア、リトアニア、ポルトガル、ギリシャ、モンテネグロ、フランス、スペイン、モナコ、オーストリア、ウクライナ、ロシア、韓国、フィリピン、台湾、ベトナム、中国、日本)	Ge	無	無	無	無	無	

※: No. ○と記したものは放射能測定法シリーズ(別紙参照)の番号を示す。

*: 世界最大規模の標準化団体である米国試験材料協会(ASTM International(旧称 American Society for Testing and Materials: ASTM))

が策定する規格。ASTMは世界最大級の民間規格制定機関(非営利団体)で約130分野(プラスチック、金属、塗料、繊維、石油、建設、エネルギー、環境、消費財、医療サービス・機器、コンピュータシステム、電子など)の標準試験法等を作成・出版している。

放射能測定法シリーズ 一覧

- 1 全ベータ放射能測定法
- 2 放射性ストロンチウム分析法
- 3 放射性セシウム分析法
- 4 放射性ヨウ素分析法
- 5 放射性コバルト分析法
- 6 NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法
- 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
- 8 放射性ジルコニウム分析法
- 9 トリチウム分析法
- 10 放射性ルテニウム分析法
- 11 放射性セリウム分析法
- 12 プルトニウム分析法
- 13 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
- 14 ウラン分析法
- 15 緊急時における放射性ヨウ素測定法
- 16 環境試料採取法
- 17 連続モニタによる環境 γ 線測定法
- 18 熱ルミネセンス線量計を用いた環境 γ 線量測定法
- 19 ラジウム分析法
- 20 空間 γ 線スペクトル測定法
- 21 アメリシウム分析法
- 22 プルトニウム・アメリシウム逐次分析法
- 23 液体シンチレーションカウンタによる放射性核種分析法
- 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
- 25 放射性炭素分析法
- 26 ヨウ素-129 分析法
- 27 蛍光ガラス線量計を用いた環境 γ 線量測定法
- 28 環境試料中プルトニウム迅速分析法
- 29 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法
- 30 環境試料中アメリシウム 241、キュリウム迅速分析法
- 31 環境試料中全アルファ放射能迅速分析法
- 32 環境試料中ヨウ素 129 迅速分析法
- 33 ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法
- 34 環境試料中ネプツニウム 237 迅速分析

2) 検査・分析機関への訪問

(1) はじめに

No.24 マニュアルの改訂の参考とするために、福島第一原発事故後に試料前処理を実際に行った経験や対応等について、種々の検査・分析機関を訪問し、聞き取り調査をした。さらに、No.24 マニュアルを改訂するにあたり、検討すべき事項などについても調査した。

(2) 聞き取り調査項目

- ① 試料の受入れについて
- ② 前処理方法について
- ③ 測定容器への充填について

(3) 訪問機関

- ① 福島県農業総合センター
調査日：平成 29 年 10 月 26 日（木）
- ② 千葉県環境研究センター
調査日：平成 29 年 10 月 30 日（月）
- ③ 茨城県環境放射線監視センター
調査日：平成 29 年 12 月 21 日（木）

(4) 訪問結果

- ① 福島県農業総合センター
調査日時：平成 29 年 10 月 26 日（木）13 時 30 分から 15 時 30 分
訪問場所：福島県農業総合センター
福島県郡山市日和田町高倉字下中道 116 番地
対応者：福島県農業総合センター 安全農業推進部 手代木部長
安全農業推進部 分析課 氏家課長
安全農業推進部 分析課 宮本主査
訪問者：（公財）日本分析センター
分析関連事業部 北村調査役
放射能分析事業部 試料採取・調製グループ 今野技術員

i) 施設概要

福島県農業総合センターは、農業関係の試験研究機関を再編統合した技術開発機能を核に、安全・安心な農業を推進する機能、農業教育機能を兼ね備えた本県農業振興の新たな拠点です。

試験研究体制を強化し、農業者に対する技術支援を行うほか、開放施設（交流棟、展示農園等）を活用して消費者や子ども達へ農業の魅力や重要性を伝えていきます。（ホームページより引用）

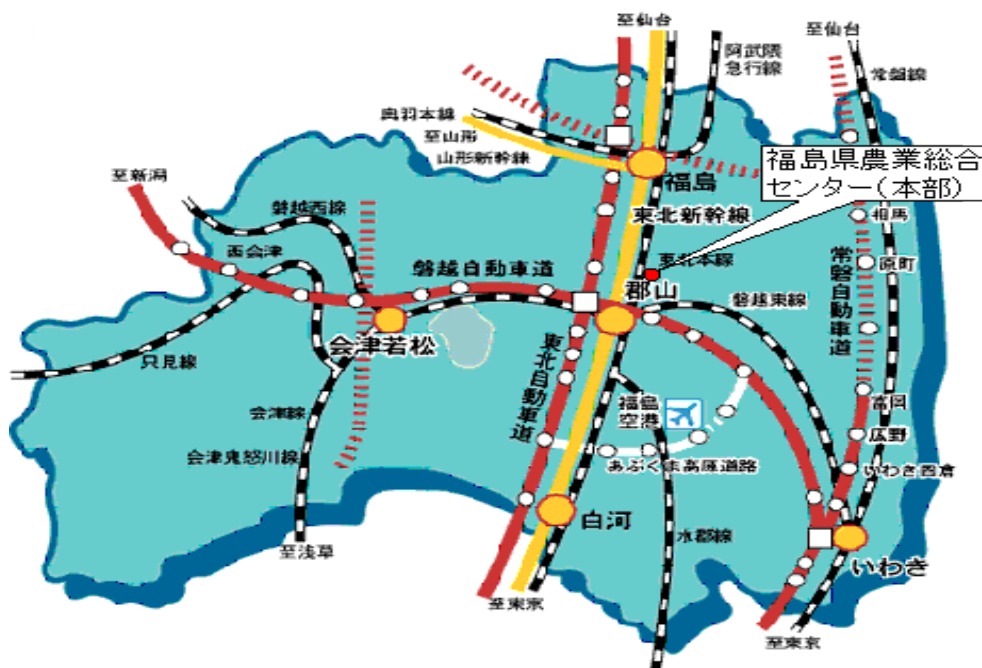
放射能測定を行う目的

- ・ 生産された農林水産物の安全性の確認
- ・ 出荷・生産制限された農林水産物の安全性を調査し、安全性の確認できた品目の制限の解除
- ・ 放射性物質の農林水産物への影響を把握



○販売に供される農林水産物を対象とした放射線量調査の実施

○野菜・果実、魚介類、山菜・きのこ、はちみつ、穀類、原乳、肉類、鶏卵、飼料作物などの放射線量のモニタリング調査を実施



福島県農業総合センター地図

ii) 聞き取り調査の内容

(i) 試料の受け入れについて

- ・対象試料は食品のみ。(ただし、飼料作物等、農畜産業に関係するものを含む。)
- ・個人からの依頼は受け付けていない。
- ・受け入れ試料数量は1日当たり200個程度とし、受け入れ能力を超えないように調整していた。(なお、受け入れ試料数量が超えた場合、冷蔵庫等で保管可能なものは受け取り、前処理等を翌日以降に回していた。)
- ・調査開始当初はゲルマニウム半導体検出器4台で測定を行っていた。その後、10台に増台。さらに平成29年3月に1台を追加した。
- ・作業室内に持ち込む前に、入口でGM式サーベイメータによるスクリーニングを行う。
- ・500cpmを基準とし、超えたものは別に管理する。基準を500cpmとした理由は、表面汚染の放射線管理区域からの持ち出し基準が1000cpmに相当し、その半分を基準としたためである。

(ii) 前処理方法について

- ・原則として、洗浄・皮や根等の除去・2~4つに分けるといった下処理が既に行われた試料が搬入された。下処理が不十分(土や泥の付着、皮が除去されていない等)と判断した場合、前処理前に上記同様の下処理を行う場合もあった。(洗浄及び可食部の判断は下処理時に行っていた。)
- ・前処理として、試料の細断および測定容器への充填を行った。
- ・野菜類の細断にはステンレス製包丁を使用し、肉類・魚介類の細断にはカッターナイフの刃を使用した。栗や柿などはハンマーを使って粉砕することもある。包丁とカッターナイフの使い分けの理由について、野菜類は0.7Lマリネリ容器で測定(詳細は後述)するため、作業効率を考え、包丁を使用した。
- ・使用後の包丁は超音波洗浄を行い、バックグラウンドレベルを担保するか、洗剤と流水で洗浄後、拭き取り紙により汚染チェックを行った後に使いまわしている。なお、カッターナイフの刃は使い捨てである。
- ・作業員の放射線防護については、対象試料が食品のみであるため、ゴム手袋、ビニールエプロン等の使用以外に特段の処置を行っていない。(スクリーニングで500cpmを超えた試料は正規職員が処理することにしてはいたが、500cpmを超えた試料はなかった。)
- ・室内の汚染対策として作業室内の養生、コールド、ホットのゾーン管理を行った。試料調製を行う場合、作業台には未配達新聞(封を切っていないため外からの汚染の可能性が極めて低い。GM式サーベイメータで汚染がないことを確認してから使用。)または、白いざら紙を敷くことで、汚染の検出を容易にしつつ、経費も抑え

ていた。

- ・相互汚染防止として、原則1試料を1名が担当して前処理を行っていた。
- ・乾燥・灰化等は実施していない。

(iii) 測定容器への充填について

- ・農産物・生乳等は0.7Lマリネリ容器、肉類・魚介類等はプラスチック製小型容器(U8容器)を使用。
- ・放射能濃度によって試料量や測定容器を変えることはしない。
- ・均質化のために、試料を細断後、ビニール袋に入れてよく振り混ぜてから容器に充填した。
- ・マリネリ容器の内袋は、あらかじめ下部のくぼみに合わせて成型されているため、容器の底に合わせて装填するだけで空隙をなくすことができ、作業者による充填の個人差を最小限に抑えることができた。
- ・充填後すぐに測定を行った。
- ・測定結果の報告後、試料は通常のごみと同様に廃棄した。線量の高い試料については冷蔵または冷凍、常温の場合には密封性の高いポリバック等により一時保管している。
- ・線量の高い試料の処分方法については、県庁に今後の対応を依頼中である。

(iv) その他

- ・使用マニュアルは厚生労働省のもの。(一部独自マニュアル。)
- ・初めは正規職員2名と臨時職員4名で実施していた。その後、繁忙期には正規職員16名と臨時職員8名に加え、他の事務所からの応援や派遣もあったが、現在は正規職員11名と臨時職員6名で実施している。繁忙期には、事務職員等通常分析を行っていない人も多数参加していた。
- ・繁忙期には8:00~21:00(3交代制)で行っていたが、8:30~18:45(2交代制)を経て、現在は通常通りとなっている。
- ・作業従事者は臨時職員や応援や派遣がどうしても多くなるため、事故から時間が経った今、技術を継承していくことが重要な課題となっている。そのため、作業マニュアルに前処理作業中に失敗したことを盛り込んだり、写真を多く入れたりしている。例として、試料調製方法(U8容器)を表4.2.1-4に示す。今後は写真だけでなく、動画でも情報を残していくことを検討中である。

iii) 施設見学概況 (写真)



施設外観



入口



搬入された試料 (ニラ)



試料置き場

緊急時		緊急時モニタリング試料リスト(試料調査・分析用)				合計7点
試料調査員	No.	試料番号	産地	試料名	試料採取日	備考
61P01-1	29	V01-1	伊豆村	ブロッコリー	H28.10.23	
61P01-2	30	V01-2	伊豆村	ブロッコリー	H28.10.23	
61P02-1	31	V02-1	先鋒町	ブロッコリー	H28.10.23	
61P02-2	32	V02-2	先鋒町	ブロッコリー	H28.10.23	
61P42	33	V33	龍泉寺	ゴボウ	H28.10.23	
61P05-1	34	V42-1	龍川村	ダイコン	H28.10.23	
61P05-2	35	V42-2	龍川村	ハクサイ	H28.10.23	
61P53	36	V43	龍川村	ホウレンソウ	H28.10.23	
61P56	37	V45-1	早田村	サツマイモ	H28.10.23	
61P58-1	38	V45-2	早田村	サトイモ	H28.10.23	
61P58-2	39	V45-3	早田村	ハクサイ	H28.10.23	
61P59-1	40	V46-1	流石町	コマツナ	H28.10.23	
61P59-2	41	V46-2	流石町	レンコン	H28.10.23	
	42	V46-3	流石町	ホウレンソウ	H28.10.23	
	43	V52-1	龍泉寺	ハクサイ(龍泉)	H28.10.23	
	44	V52-2	龍泉寺	ハクサイ(龍泉)	H28.10.23	
	45	V52-3	龍泉寺	サトイモ(龍泉)	H28.10.23	
	46	V52-4	龍泉寺	ダイコン(龍泉)	H28.10.23	
	47	V55	龍泉寺	ニラ(龍泉)	H28.10.23	
	48	V55-1	龍泉寺	ホウレンソウ	H28.10.23	
	49	V55-2	龍泉寺	ハクサイ	H28.10.23	

試料管理簿



農産物の前処理例 (里芋)



畜産物の前処理例（鶏肉）



測定終了後廃棄待ち試料



高線量試料の保管例

② 千葉県環境研究センター

調査日時：平成 29 年 10 月 30 日（月）14 時から 15 時 40 分

訪問場所：千葉県環境研究センター（市原地区）

千葉県市原市岩崎西 1-8-8

対応者：千葉県環境研究センター大気騒音振動研究室 井上室長

訪問者：（公財）日本分析センター

分析関連事業部 北村調査役

放射能分析事業部 試料採取・調製グループ

篠原グループサブリーダー

放射能分析事業部 γ 線解析グループ

川村上級技術員

i) 施設概要

総務課、企画情報室、大気騒音振動研究室、廃棄物・化学物質研究室、環境学習施設（水質環境研究室および地質環境研究室は稲毛地区）

【大気騒音振動研究室の業務】

環境大気、工場排ガス、自動車排ガス、環境放射能、騒音、振動、低周波音、悪臭に関する調査研究

【廃棄物・化学物質研究室の業務】

廃棄物の減量化・再資源化に関する調査研究、廃棄物の適正処理技術に関する調査研究、ダイオキシン類を中心とした化学物質に関する調査研究及び環境汚染及び発生源の実態・汚染機構・分析法の改善及び開発等についての調査研究



千葉県環境研究センター地図

ii) 聞き取り調査の内容

(i) 試料の受入れについて

- ・福島第一原発事故後、当初は独自採取の蛇口水と降下物のみ測定していたが、平成 23 年の終わり頃から県の他部署や関係機関からの持込みの試料も測定するようになった。
- ・福島第一原発事故当時、ゲルマニウム半導体検出器が 1 台しかなく、測定できる試料数は限られるので、持ち込み試料の受入れの可否については県対策本部や県本庁に判断してもらっていた。(平成 24 年よりゲルマニウム半導体検出器が 3 台体制となった。)
- ・試料の種類としては、蛇口水、降下物の他、海水(夏季、海水浴シーズン前)、地下水(廃棄物埋立地)、焼却灰などがあつた。
- ・また、手賀沼などにおける独自調査では、湖沼水、堆積物、周辺土壌、沼に流れ込む河川の水、河底土、河川の源水(調整池)などを試料とした。
- ・大気浮遊じんについては、分析しなかつた。
- ・食品の測定は衛研や農業系の研究所で行っていた。
- ・土壌試料については、濃度が高いことが予想されたので、サーベイメータを用いてスクリーニングを行ったが、特に高い試料はなかつた。

(ii) 前処理方法について

- ・一日に処理した試料数は、当初は 2 試料であつたが、最大で 30 試料であつた。(年間 800 試料を 1 台のゲルマニウム半導体検出器で測定した。)
- ・土壌試料については前処理専用のスペースがなかつたので、汚染対策として渡り廊下など室外の場所で取扱をした。(後日、土壌専用のドラフトを設置した。)
- ・汚染対策として、室内の清掃を念入りに行った。
- ・室内で濃度の高い試料を取扱う際には、実験台などの養生を行った。
- ・作業後、スミア試験は行わなかつたが、サーベイメータで作業場所の汚染チェックを行った。
- ・作業者の被ばく防止のため、マスクを着用した。
- ・相互汚染対策としては、試料数が多くなかつたので、特別なことは行わず、1 試料ずつ前処理を行うようにした。
- ・乾燥、灰化、沈殿分離等の前処理は行わなかつた。
- ・食品を取扱わなかつたため、洗浄の有無についての判断が必要な試料の前処理は実施しなかつた。(可食部の区分についても同様)

(iii) 測定容器への充填について

- ・測定容器には、2L マリネリ容器および U8 容器を用いた。
- ・試料の分取にあたり、均質化のための対策は特にとらなかった。
- ・土壌試料など、供試量が決まっていない試料は、とりあえず U8 容器に詰められるだけ詰めて、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。濃度が高すぎる場合は量を減らして対応することを考えたが、デットタイムが高く測定できない試料はなかった。
- ・土壌試料および水試料の残試料は、採取した場所に戻した。U8 容器につめたものはそのまま箱に入れて保管している。また、持ち込みの試料は返却した。
- ・腐敗するものはなかったため、試料は常温で保管していた。
- ・マリネリ容器で測定した蛇口水が、内袋に入れた状態で保管されたままとなっていた。
- ・試料の廃棄について一定の決まり事があると非常に助かる。

(iv) その他

- ・福島第一原発事故時に環境放射線モニタリングの前処理作業に従事した人数は 2～3 人である。担当者以外の協力もあったが、全員が公益財団法人日本分析センターの研修にも参加したことのある経験者であった。
- ・全員が経験者であったため、マニュアルをあまり見なくても対応できた。
- ・平常時に取扱っていない食品等の試料を取扱わなかったので、平常時と同じ作業を相互汚染にだけは十分注意して行うような状況であった。
- ・マニュアル類よりも同研修時にもらった資料が参考になった。

iii) 施設見学概況（写真）



環境放射能測定棟（外観）



前処理室入口（粘着マット設置）



土壌前処理専用ドラフト



乾燥機



電気炉



水試料濃縮用ガスコンロ



測定室入口（粘着マット設置）



ゲルマニウム半導体検出器

③ 茨城県環境放射線監視センター

調査日時：平成 29 年 12 月 21 日(木) 13 時 30 分から 15 時 30 分

訪問場所：茨城県環境放射線センター

茨城県ひたちなか市西十三奉行 11518-4

対応者：茨城県環境放射線監視センター 放射能部 豊岡放射能部長
放射能部 深谷技師

訪問者：(公財)日本分析センター

分析関連事業部 北村調査役

放射能分析事業部 試料採取・調製グループ

篠原グループサブリーダー

放射能分析事業部 γ 線解析グループ

杉山技術員

i) 施設概要

<企画情報部>

- ・環境放射線の常時監視（空間線量率・風向風速等（県測定局及び事業所測定局）、原子力施設排水中の放射能、原子力施設排気筒の放射線、高所気象）
- ・環境放射線の測定（可搬型モニタリングポストによる測定）
- ・庶務（庶務、経理、公有財産等の管理）

<放射能部>

- ・環境放射線の測定（モニタリングカーによる測定、積算線量計による測定）
- ・環境放射能の測定（環境物質中の放射能濃度の分析測定、環境における放射性核種の挙動に関する研究）
- ・原子力施設排水の測定



茨城県環境放射線監視センター地図

ii) 聞き取り調査の内容

(i) 試料の受入れについて

- ・環境放射線モニタリングとして実施していたのは大気浮遊じん、大気中ヨウ素、土壌のみであったが、茨城県の他部署が担当していた食品や水道水等の測定も行っていった。
- ・北茨城で定期的に土壌と可搬型集じん機による大気浮遊じんの採取を行っていた。それ以外の地点についてはモニタリングポスト内にダスト及びヨウ素サンプラーが設置されているため、ポストを回って試料を回収していた。
- ・浮遊じんは調査開始当初は1時間ごとに採取しており、濃度の減少と共に8時間、12時間、24時間ごとの採取に変更した。
- ・1日に処理した試料数は最大87試料（大気浮遊じん74、ヨウ素11、土壌2）であった。
- ・土壌試料も含めサーベイメータを用いたスクリーニング等は特に行わなかった。
- ・事故当時ゲルマニウム半導体検出器は4台設置されていた。

(ii) 前処理方法について

- ・前処理を行っていたのは大気浮遊じんだけであり、土壌については採取場所で試料詰めまで行っていた。
- ・大気浮遊じんの前処理としては、集じん部分を打ち抜く作業を行っていた。
- ・他部署が実施する食品等の前処理のために、作業場所を提供し、それぞれの担当者が実施していた。作業の際は試料種ごとに作業機を分け、新聞紙等で養生を行い試料の都度交換をしていた。野菜等の洗浄は行っていなかった。

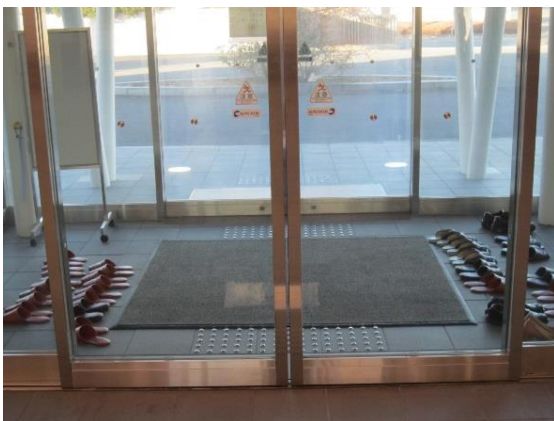
(iii) 測定容器への充填について

- ・土壌はU8容器及びV5容器、大気浮遊じんはチャック付ビニール袋、ヨウ素カートリッジはチャック付ビニール袋に入れて測定を行っていた。
- ・大気浮遊じんは、集じん部分を打ち抜いたものをチャック付ビニール袋に詰めていた。
- ・土壌は可搬ポスト付近で採取を行っており、蓋を外したU8容器を地面に差し込むようにして充填していた。同じ地点で採取を繰り返すことで表面の土壌が採取できなくなったため、近くのグラウンドの土壌に変更した。この地点では、土壌の表面をスコップで採取していた。
- ・他部署からの試料で下水の汚泥等、濃度が高いと思われる試料はガレージで試料詰めを行った。（汚泥に関しては匂いの問題もあった）

(iv) その他

- ・前処理については応援要員（3名）が対応し、測定については監視センターの職員が行った。応援要員は他所属の化学職職員または関係課の職員（事務職含）がシフト表に基づき派遣された。前処理3名のうち、1人が土壌採取に向かい、残り2人でモニタリング局舎を回っていた。北茨城など線量が高い地域へ試料採取に行く際は必ずポケット線量計を持っていった。
- ・試料は原則保管を行っている。浮遊じんについてはストロンチウム分析に用いたため残っていないが、土壌については全て残っている。
- ・福島第一原発事故時は「緊急時環境放射線モニタリングマニュアル（茨城県）」を使用したというよりも、そのマニュアルを熟知した人の指示に従う形だった。
- ・福島第一原発事故後、外からの汚染を防ぐために、監視センター入口で外履きから内履きに履き替えるようになった。数か月前までは粘着マットも設置されており、現在でもゲルマニウム半導体の測定室入口の前には設置されている。

iii) 施設見学概況（写真）



入口玄関（靴→スリッパに履き替え）



試料前処理室



ガレージから除染室への通用口



試料灰化室



放射能測定室（ゲルマニウム半導体検出器の周囲をクリーンブースで囲っている）



ゲルマニウム半導体検出器



大気浮遊じんの測定試料

(5) まとめ

訪問した各機関において、質問した事項とその回答を表 4.2.1-3 に示す。

緊急時においては、環境放射線モニタリングの担当者以外の方が協力していた実態がわかった。このことから、改訂マニュアルにおいてはその利用者を考慮し、手順等の記述にはわかりやすさが必要である。

調査対象試料については、訪問した機関がその県のすべての調査を行っていなかったが、種々の環境試料が対象とされていたことから、改訂マニュアルにおいては、これを考慮した具体的な分類を行い、選定する必要がある。前処理における水洗いの有無や可食部の区分については、機関毎に異なっていた。参考としたマニュアル(厚生労働省発行や放射能測定法シリーズなど)との差もあったと考えられるが、福島第一原発事故後の経験も踏まえ、可食部の扱いや野菜類の水洗いについては考え方を整理する必要がある。

汚染防止策については、前処理作業前の事前サーベイについては、扱った試料の違いもあり、これら 3 機関ではそれぞれ異なる対応を実施していたが、前処理作業室を特定したり、測定器や使用機器への汚染防止策を実施されていたりしていたことから、改訂マニュアルにおいてもその記述内容には配慮が必要である。

表 4.2.1-3 検査・分析機関への訪問結果

	質問	回答	福島県農業総合センター	千葉県環境研究センター	茨城県環境放射線監視センター
問1	事故時に環境放射線等モニタリングの前処理作業に従事した人数を記入してください。		センターの整備に伴い、変動	3人程度	3人
問2	問1について、従事した人は環境放射線モニタリングの担当者だけですか。担当でない方の協力はありましたか。協力があつた場合、人数を記入してください。		担当でない方の協力有、事務系の方も実施人数については変動	担当でない方の協力有、ただし、経験者のみ	前処理については応援要員が対応
問3	分析・測定用試料の入手方法は何か(独自採取、依頼、持ち込み、その他)。		すべて持ち込み 県庁の指示による	降下物、水道水 独自採取 その他(水道水など) 持ち込み 県庁の指示による	独自採取
問4	試料は何ですか(陸水、土壌、海水、河底土、海底土、飲料水、食品など)。		食品など	降下物、水道水、湖沼水、湖沼の堆積物など	大気浮遊塵、土壌
問5	1日に処理した試料数は凡そいくつですか。		200	2(最大30)	最大87(大気浮遊塵74、ヨウ素11、土壌2)
問6	試料の受入れに際し、汚染防止等のためスクリーニング等は実施しましたか。どのような方法で実施しましたか(測定機器など)。		表面汚染検査用サーベイメーター500cpmを目安(管理区域からの持ち出し基準の半分)	特に実施していない 土壌試料は濃度が高いことが予想されるので、サーベイメーターでスクリーニングを行った	特に実施せず
問7	前処理室やスクリーニングのための測定機器の汚染対策は実施しましたか。どのような方法で実施しましたか。		コールド、ホットのゾーン管理など	土壌など建屋外で処理	実験台は新聞紙等で覆い、試料の都度交換を実施
問8	前処理作業者の被ばく防止等のために配慮したことはありますか。		線量の高い試料は職員が実施 試料が食品のため、被ばくを気にする試料はない	特に配慮はなかった(マスクの着用程度)	特になし(前処理に当たっては試料ごとに手袋を使用)
問9	分析・測定試料の保管方法はどのような方法で実施しましたか。		原則 前処理済試料は当日に測定	腐敗するものはなかったため、常温で保管	不明(特別な方法はとっていないと思われる)
問10	試料の前処理について、基準としたマニュアルは何ですか。		食品中の放射性物質の試験法について	あまり、気にしていなかった。 「緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリのための試料前処理法」	不明(茨城県緊急時モニタリングマニュアルがベースと思われる)

表 4.2.1-3 検査・分析機関への訪問結果（つづき）

	質問	回答	福島県農業総合センター	千葉県環境研究センター	茨城県環境放射線監視センター
問11	試料は洗浄等を実施しましたか。		上記マニュアルに準じて実施。詳細は県庁を通し、厚生労働省に確認	洗浄が必要な試料の実施はなかった。食品等の測定はない	実施せず
問12	分析・測定試料相互の汚染防止の対策はどのように実施しましたか。		試料の前処理から試料詰めまで担当者一人で実施	土壌試料の前処理は個別に実施。	特になし
問13	可食部の区分をどうしましたか。		上記マニュアルに準じて実施。詳細は県庁を通し、厚生労働省に確認	食品などの試料の実施はなかったため、実施せず。	農産物や海産物は測定対象外
問14	残試料の取扱いはどうしましたか。		原則 報告後廃棄。	原則 廃棄。	原則保管
問15	乾燥、灰化、沈殿分離などの処理は実施しましたか。		実施せず	実施せず	実施せず
問16	測定容器は何ですか(マリネリ容器、小型容器(U8)等)。		マリネリ容器(0.7L、2L) 小型容器(U8)	マリネリ容器(2L) 小型容器(U8)	土壌はV5,その他(ろ紙)は打ち抜いてポリ袋に入れて測定 効率化はU8を使用
問17	前処理済み試料の分取方法は、均質化のための対策等実施しましたか。		細分化のみ実施	特に実施せず	特に実施せず
問18	測定試料の供試量はどのような方法で決めましたか。		水産物、肉類などU8 その他はマリネリ容器	水道水 マリネリ容器、その他(降下物、土壌)小型容器	浮遊塵については当初より1時間ごとのサンプリングを実施し測定。濃度の減少とともに測定試料としては8時間、12時間、24時間と変更。(サンプリングについてはしばらく1時間ごとに採取していた)
問19	測定済み試料の保管、廃棄方法はどのように実施しましたか。		原則 報告後廃棄	廃棄(土壌など、採取地点で廃棄) 水は廃棄。土壌はU8容器ごと保管	試料ごと、採取日ごとに保管
問20	その他、困ったこと、マニュアルの改訂について要望等ございましたら記入してください。		特になし 迅速性が重要	特になし 従事者がすべて、環境放射能分析研修の経験者だったため、マニュアルなしでも対応できた	特になし

表 4.2.1-4 試料調製方法 (U-8 編)

準備					
					
<p>作業台には、あらかじめ新聞紙1枚を敷いておき、品目ごとに交換する。 また、カッター刃捨て用容器を準備する。 ⇒手をきれいに洗い、作業開始。 ※エプロン着用。</p>	<p>自分が作業する作業台に、新聞紙1枚・U-8容器・紙皿2枚(サンプル受取り用と調製用)・手袋およびカッター刃を用意する。 カッター刃の油をぬぐう。 ※U-8容器は、直接触れないようキムワイブごしに掴む。 ※卵など液体状のサンプルの場合は、漏れ防止加工した専用のU-8容器を用意する。</p>	<p>リストから自分の処理するサンプルを確認し、リスト左端の試料調製者名欄、ラベルの本体・半券にサインする(計3か所)。 また、②で用意したU-8容器重をラベルの該当欄に記載する。 ※ラベルの取り間違えなどが無いように必ず、コード番号を確認すること。</p>	<p>サイン例 ※半券は、サンプル外袋に貼付するため、はがして手の甲などに仮付けしておく。</p>	<p>ラベル本体を、U-8容器用筒(黄色い紙の筒：あらかじめU-8試料用内袋をセットしている。)の下に挟み込む。</p>	<p>試料台から、担当するサンプルを確認し、ラベル半券をサンプル袋の外側に貼る。 ※このときも、サンプル袋に記載されているコード番号と半券のコード番号が同じであることを確認する。 ※指が外袋に触れないようにする。</p>
サンプルの前処理～U8容器への充填					
					
<p>サンプルを取り出しやすいように、内袋を開ける。 ※ラベルや半券が見えなくならないよう注意。 ⇒ここまで終わったら、手をきれいに洗ってペーパータオルで拭く。</p>	<p>手袋を付け、紙皿にサンプルを取り、作業台に運ぶ。 ※外袋に触れないこと。 ※取り皿を試料台に置かないこと。 ※手袋を付けた手で、自分の体や椅子などに触れないこと。</p>	<p>カッター刃を使って細かく(1～3ミリ程度まで)切り刻む。 ※牛肉の場合は、脂肪を取り除き、赤身の部分を試料とする。</p>	<p>よく混ぜ合わせ、均一にする。 サンプル量が十分に多い場合は、必要量を各肉片等からほぼ均等に切り取って調整することにより。</p>	<p>U-8容器の蓋をはずし、試料を充填する。 試料は少量づつ容器に入れ、指先で押しつけ空隙が出ないように(特に底部)に作業する。 ※U-8容器はキムワイブごしに持ち、手袋をした手で直接触れないようにすること。 ※試料高さは、U-8容器蓋下部の溝まで(高さ5.0cm目安)とする。</p>	<p>蓋をして、キムワイブで外側に付いたサンプル片などを拭き、⑤のU-8容器用筒に運ぶ。 ※手袋に付いた汚れはある程度落としておくこと。</p>

表 4.2.1-4 試料調製方法 (U-8 編) (つづき)

残ったサンプルの戻し・片付け					
<p>試料を、U-8容器用筒に投入する。 ※筒にサンプル片などが混入しないよう注意する。</p>	<p>使用済カッター刃は、汚れを拭いて、テーブル中央の指定容器に捨てる。</p>	<p>残ったサンプルを、試料台の元の袋に戻す。</p>	<p>手袋をはずす。 ※手袋と運搬に使った紙皿は、試料台の下に用意したごみ袋に直接捨てることできる。</p>	<p>残ったサンプルを戻した袋をしばらく、「残ったサンプル入れ箱(袋)」に入れる。 ※残ったサンプルはまとめて冷凍保存し、分析・報告が終わったら処分する。</p>	<p>作業台に残っている使用済みの紙皿・新聞紙等をゴミ箱に捨てる。 ⇒手をきれいに洗い、ペーパータオルで拭く。 ※これ以降の作業は素手で行うが、作業着や作業台、椅子などに触れないように注意する。</p>
試料の袋かけ・秤量・測定					
<p>U-8容器用筒から調製した試料を取り出し、袋をしぼる。 ※試料の入っているU-8容器には、直接触れない。</p>	<p>※袋のしぼり方は、U-8容器の底部が平らになるよう、ポリ袋のつなぎ目が底に当たらないように注意し、袋の結びが、U-8容器蓋の容器重量をマジックで書いた箇所を隠さないよう、蓋の角の所で結ぶ。</p>	<p>秤量する。 電子天秤の横のプリンタを操作して、重量(全重(g))を印字する。 印字したら、その脇のプリンタ用紙スペースに試料No.・試料名を転記する。</p>	<p>ラベルに、全重(印字したものと同一数字)を記入する。 さらに、試料重=全重-容器重-袋重量(3.25g)を電卓で計算し、欄に記入する。 ※検算すること。</p>	<p>試料高を、定規で計測し、ラベルに記入する。</p>	<p>ラベルを、U-8容器に内袋の上から貼り、用意されているU-8容器用外袋に投入する。 ※容器重記載箇所と試料高さが確認できなくなならないよう、ラベルの貼付位置に注意する。 ※外袋には触らないこと。</p>

3) 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの情報提供

原子力施設等放射能調査機関連絡協議会様（以下「放調協」という。）が、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について、関係調査機関に対してアンケートを実施し、その結果等をご提供いただいた。

(1) アンケートとその結果

アンケートは 22 項目について実施し、15 機関から回答が得られた。その内容を表 4.2.1-5 に整理した。

緊急時に前処理作業に従事する人数は、想定で最大 11 名、福島第一原発事故時の実績で、最大 6 名とのことで、環境放射線モニタリングセンターの職員以外の方の協力もありうるとのことである。

緊急時に測定対象とする試料について、調査した結果を表 4.2.1-6 に示す。大気、降下物、飲料水、農作物、畜産物、食品、生物質等を対象とするとのことである。

汚染防止対策に関する事項は問 8, 9, 10, 14 において調査され、ほとんどの機関において、次のことを実施することとしている。

- ・ 試料受入れ時には汚染状況を調べるために、サーベイメータを使用してチェックする。
- ・ 前処理作業室や使用する機器類への汚染防止策がなされている。
- ・ 分析・測定試料の相互汚染防止策がなされている。
- ・ 作業員への被ばく防止等の対策がなされている。

前処理作業として、食物関係の試料で、可食部の区分については実施する機関と、実施の有無について検討中の機関に分かれている。また、野菜の洗浄については No.24 マニュアルを参照しているため、ほとんどの機関は実施しない。

分析・測定試料の保管はほとんどの機関が実施している。一方、残試料の取り扱いについては、保管することとしている機関が半数程度である。

以上のことから、マニュアルの改訂においては以下のことを考慮する必要があることがわかった、

- ・ 対象試料については、種々の環境試料が対象となっているため、これを考慮した具体的な分類を行い、選定する必要がある。
- ・ 前処理法においては、No.24 マニュアルを利用する実態はわかったが、福島第一原発事故後の経験も踏まえ、可食部の扱いや野菜類の水洗いについては考え方を整理する必要がある。
- ・ 汚染防止策については、かなり慎重な対策が実施または計画されていることから、改訂マニュアルにおいてもその記述内容には配慮が必要である。

緊急時にマニュアルを利用する人は、必ずしも普段から環境放射線モニタリングを担当する方とは限らないことから、手順等の記述にはわかりやすさが必要である。

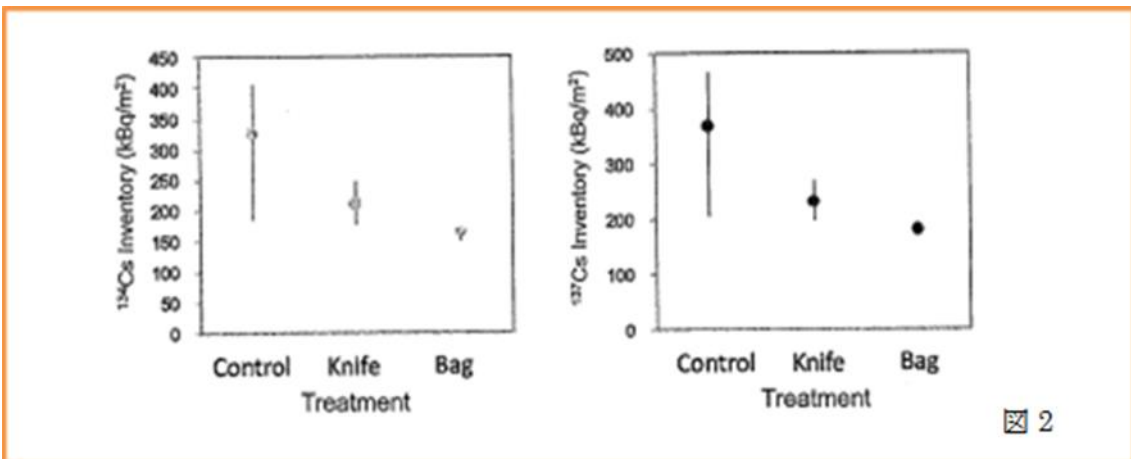
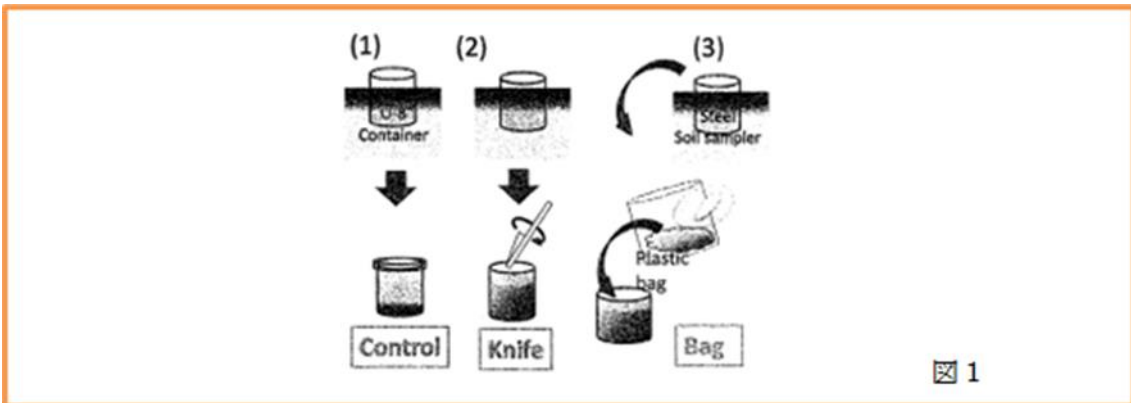
(2) その他の参考意見

① 土壌の表面からの直接採取と前処理法

U8 容器または治具で、土壌表面から直接採取する方法を福島第一原発事故後、実施していた。

この手法は、福島第一原発事故後に、恩田ら^{*1}によって用いられていた。この報告によると、採取後の土壌試料の処理についても検討がなされている。それは、以下に示すように、(1)そのまま、測定した場合、(2)容器内の土壌を使い捨てナイフで混合した場合、(3)採取した土壌をビニール袋に移し、よく混合した後、同容器に戻した場合の3つ処理方法を行い、これらを測定した。その結果は以下に示すように、(3)の結果のバラツキが少ないことがわかったと報告し、土壌の採取・前処理はこの方法を用いたとしている。

以上のことから、U8 容器等の小型容器で土壌を直接採取した場合においても、混合することが望ましいと考える。



*1:Y.Onda et al. Journal of Environmental Radioactivity 139(2015)300-307

Soil sampling and analytical strategies for mapping fallout in nuclear emergencies based on the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident

② 雪を対象試料とする件

放射能測定法シリーズにおいては、雪の採取に関する事項は、No.16「環境試料採取法」の中の降下物、同 降水（定時降水）の中に述べられている。その内容は、冬期に採取した降水の凍結を防ぐためや、降雪を融解するためにヒーターを採取器に装備することを推奨している。また、ヒーターを装備しない定時降水の採取器で雪を採取した場合には、採取器ごとを暖かな室内に持ち込み自然に溶かすようにと述べられている。

一方、国外の文献等において、A. Bolsunovsky ら^{*2}が、新雪を 2 から 9 m³を採取し、室温で溶かすとの報告がある。HASL-300^{*3}においては、上記した放射能測定法シリーズ同様、何らかのヒーターで溶かすことが述べられている。さらに、IAEA^{*4}の報告によると、緊急時において放射性物質の沈着期間に降雪があった場合に、雪を採取することがあると述べ、新雪を含む深さまでの雪を一定の面積で採取すると述べられている。

以上のことから、雪の前処理については放射能測定法シリーズに準じ、自然融解とすることが望ましいと考える。

③ マリネリ容器の中袋の代替品としてポリ袋の使用

ガンマ線測定のために、効率をとる際に使用した形状を逸脱するような中袋の使用は好ましくないことは当然である。したがって、専用袋の仕様が望ましいが、その使用が困難な場合に代替のポリ袋を使用することはやむを得ない。しかし、専用袋の使用と変わらないように、十分に注意して取り扱うように留意することを記述する。

④ ヨウ素捕集用活性炭カートリッジの測定方法

現在のマニュアルでは、活性炭カートリッジから捕集材を取り出し、測定容器に詰めるとなっている。しかし、現在では、同形状の効率線源も市販されており（次頁参照）、また、改訂中の No. 29 マニュアルにおいても、この効率線源との比較測定で定量可能としている。したがって、マニュアルの改訂においては活性炭カートリッジをそのまま測定する手法を推奨する。

*2; A. Bolsunovsky et al, Journal of Environmental Radioactivity 102 (2011) 1062-1064 Evidence of the radioactive fallout in the center of Asia (Russia) following the Fukushima Nuclear Accident

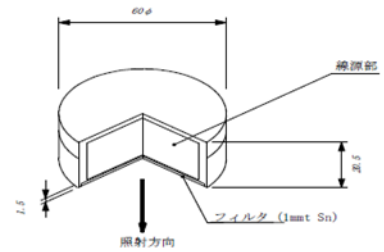
*3; HASL-300, DOE, 1997 (表 4.2.1-1 整理番号 27)

*4; IAEA, Measurement of Radionuclides in Food and the Environment : A Guidebook 1989 (表 4.2.1-1 整理番号 28)

「RI 協会カタログ」より

◇ 4 7 2 タイプ(活性炭カートリッジ(CHC-50)型)

イオン交換樹脂にアイソトープが吸着固定され、ジュラルミン製カプセルに収納されています。底面には Sn フィルタ(厚さ 1mm)が挿入されています。ろ過捕集法(エア・サンプラーによる空気吸引)による空气中 I-131 濃度測定(作業環境測定等)に使用できます。



混合核種 (2核種)	公称放射能 (I-131 等量)		コード番号	納期	価格 (税抜 円)
Mock iodine	2kBq	4kBq	MI472	5 週間	134,000

表 4.2.1-5 緊急時における試料前処理に関するアンケートとその結果（放調協実施）

[回答：15 機関]

問	質問	回答の概要
1	緊急時に環境放射線等モニタリングの前処理作業に従事する人数	(想定)2~11名 (実績)3~6名
2	問1の想定について、従事する人は環境放射線モニタリングセンターの職員だけか。職員以外の協力の有無および協力者の人数	1~15名
3	想定している分析・測定用試料の入手方法(独自採取、依頼、持ち込み、その他)	独自採取:12機関 依頼:4機関 持込:3機関 EMCの計画・指示:2機関
4	想定している測定対象試料(陸水、土壌、海水、河底土、海底土、飲料水、食品など)	表4.2.1-6参照
5	検出下限の設定値	検討中、規定なし、未検討、設定なし:9機関 その他:1~2Bq/kg、2Bq/L、10Bq/L、5Bq/kg、OIL6の1/10
6	1日で処理できる試料数、分析条件	約10~252試料/日 検討中等:4機関
7	試料の取り違いに対する対策	バーコード等による管理:4機関 容器や袋に記入:9機関
8	試料の受入れに際し、汚染防止等のためのスクリーニング等の実施の有無、その方法(測定機器など)	有:14機関 NaI,GMサーベイを使用
9	前処理室やスクリーニングのための測定機器の汚染対策実施の有無	有:14機関 前処理の専用室を設ける:2機関 測定器、作業場所をビニール等で養生
10	前処理作業者の被ばく防止等の配慮	対策の実施:13機関 個人線量計の所持:3機関 防護服等の着用:9機関
11	分析・測定試料の保管方法	試料保管室等に保管:9機関

表 4.2.1-5 緊急時における試料前処理に関するアンケートとその結果（放調協実施）

[回答：15 機関]（つづき）

問	質問	回答の概要
12	試料の前処理について、基準としているマニュアル	No.24:6機関 No.15他:4機関 独自:4機関
13	試料(農水産物)の洗浄の有無	有:1機関 無:13機関
14	分析・測定試料相互の汚染防止対策の有無	対策の実施:13機関 ビニール袋に入れる、袋を二重にする、器具の使い回しを避ける
15	可食部の区別の実施の有無	有:5機関 無、検討中:9機関
16	残試料の取扱い方法	未定等:6機関 保管:6機関
17	乾燥、灰化、沈殿分離などの処理の有無	有:1機関 無:14機関
18	使用する測定容器の種類(マリネリ容器、小型容器(U8)等)	U8:12機関 マリネリ:12機関 その他:6機関
19	前処理済み試料の分取の有無および均質化のための対策等の有無	前処理済み試料の分取 有:4機関 均質化対策実施:4機関
20	測定試料の供試量(試料ごと)と決め方	決めている:9機関(容器に応じて設定)
21	測定済み試料の保管、廃棄方法	保管:9機関
22	その他、困ったこと、マニュアルの改訂についてへの要望	本文3)(2)参照

表 4.2.1-6 県別対象試料一覧表

	北海道	青森県	宮城県	福島県	茨城県	新潟県	石川県	福井県	静岡県	京都府	岡山県	鳥取県	島根県	愛媛県	佐賀県	長崎県	鹿児島県	
大気	○(ヨウ素)		○	○	○	○		○			○	○(ヨウ素)	○	○				○(ヨウ素)
降下物				○				○										
飲料水、上水道、簡易水道	○(浄水場の 上水)		○		○	○(蛇口水、 浄水場)	○	○	○		○		○(水道原 水)	○	○			
陸水	○	○		○			○				○	○						○
海水				○														
牛乳					○(原乳)			○										
葉菜類		○				○		○					○	○				
淡水産生物、 海産生物					○(魚介類)													
土壌	○	○	○	○		○	○	○	○		○	○	○	○	○			○
河底土				○														
海底土				○														
指標生物								○										
農作物					○							○						
畜産物					○													
食品							○											
生物質											○							

4.2.2 各種マニュアルにおける前処理方法の比較

公表されたマニュアルの収集や検査・分析機関への訪問や、放調協からの情報提供の現状調査で得た情報から、対象試料及び前処理方法について整理した。試料の洗浄の有無や食品については可食部の区分についても整理した。これらの結果を放射能測定法シリーズ 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（以下「No.24 マニュアル」という。）と比較した。

1) 整理結果

(1) 現状調査で得た情報

前処理方法に関する主な情報は以下の通りであった。

- ・ 大気浮遊じんの前処理方法は、排ガス等に関してのマニュアルに記述があり、ろ紙の形状により細断またはそのままとしている。（表 4.2.1-1、整理番号 16、18、19 以後、同様に記す。）
- ・ 降下物や降水に関して記述したマニュアルは現時点ではなかった。
- ・ 飲料水・源水については、「水道水等の放射能測定マニュアル」（厚生労働省）では、濁質があってもろ過はしないでそのままとしている。しかし、溶存部を対象とする場合には孔径 1 μ m のフィルターでろ過し、そのろ液を対象とすると記述している。（表 4.2.1-1、整理番号 10）
- ・ 牛乳については、特別な記述はないが液体試料であるのでそのままとしている。（表 4.2.1-1、整理番号 1、2、9、23）
- ・ 飲食物については、固形のもののはさみやカッター等で細かくして、測定試料容器に詰めることを記述しているものが多い。（表 4.2.1-1、整理番号 1、2、9、15、23）
- ・ 野菜などについては、泥の水洗いや可食部の区分を記述しているものもある。（表 4.2.1-1、整理番号 9、23）
- ・ 土壌については、草木、根、石礫等を取り除き、乾燥せずに十分に混合して、測定容器に詰めることを記述している。（表 4.2.1-1、整理番号 11、18）
- ・ 海水については、取り扱っているマニュアルは無かった。

(2) 現行の放射能測定法シリーズの前処理方法との比較

No.24 マニュアルに記述されている試料毎の概要と前処理方法を表 4.2.2-1 に示す。また、緊急時に取り扱った試料を保管し、再度測定するか、または放射化学分析を実施することも考慮すると、平常時の前処理方法とも関連するため、放射能測定法シリーズの「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」（以下「No.13 マニュアル」という。）及び「環境試料採取法」（以下「No.16 マニュアル」という。）における前処理に関する記述も併せて整理し、表 4.2.2-2 に示す。また、No.13

マニュアル及びNo.16 マニュアルは、平常時に使用されるマニュアルであるため、No.24 マニュアルと大きく異なるのは、水試料であれば濃縮や沈殿分離、飲食物試料であれば乾燥・灰化、土壌試料であれば乾燥を行っている点などである。さらに、No.24、No.13 及びNo.16 マニュアルが対象としている試料を整理し、表 4.2.2-3 に示す。

No.24 マニュアルを詳細に見ると、大気浮遊じんについて、放射性ヨウ素の化学形を考慮してローボリウム・エアサンプラーを用いた採取では、ガラス繊維ろ紙と活性炭カートリッジを組み合わせて使用することを推奨している。また、測定試料としては、ガラス繊維ろ紙は浮遊じんが付いている面を測定容器の底に向けることや、活性炭カートリッジについては捕集材を取り出すようにと記述している。さらに、ハイボリウム・エアサンプラーを用いた場合には、ろ紙をそのまま容器に詰めて測定試料とするように記述されている。

降下物、降水、飲料水や源水について、放射性核種の測定容器への吸着を避けるために、塩化ナトリウムの添加をするように記述されている。

乳製品、葉菜類、海藻類、魚類、穀類、豆類、肉類、卵のような食物試料は可食部を対象試料とする前処理が記述されている。ただし、葉菜類については水洗いをせず、食用としない部分は除くとしている。また、指標生物についても葉菜類に準じた前処理を推奨している。

(3) 洗浄および可食部区分について

前処理の前段階に相当する試料の洗浄については、No.24 マニュアルでは葉菜については洗浄は不要としているが、No.13 マニュアル及びNo.16 マニュアルには、野菜、果実、イモ類、魚類については洗浄を実施するように記述されている。可食部の区分については、No.24 マニュアルでは小型魚類は全体を可食部としているが、その他の食物となる試料では食用としない部分は除くとなっており、No.13 マニュアル及びNo.16 マニュアルでも可食部の区分（野菜、果実、イモ類、魚類、貝類）を実施するように記述されている。なお、指標生物については、いずれのマニュアルでも洗浄を行わないことを推奨している。

茶については、収集したマニュアルでは飲料とする前処理が記述されているものもあるが、放射能測定法シリーズでは、いずれのマニュアルでも茶葉を対象としている。

飲食物に相当する試料は摂取することを考慮して、試料の洗浄や可食部を区分することを採用しているマニュアルがあることがわかった。「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」に基づく検査における留意事項について（厚生労働省）（表 4.2.1-1、整理番号 3）において、この洗浄、特に土壌の除去方法に関して特別に記述したものもあり（参考 A）、試料に付着した土壌を流水または水をしみこませたペーパータオルで取り除くことが記述されている。

可食部の区分については、個々のマニュアルに記述もあるが、食品衛生法における「食

品、添加物等の規格基準」(厚生労働省)を引用し、これを参照するように記述しているものもある。(表 4.2.1-1、整理番号 1、2、9)この中で可食部とする際の処理方法や洗浄方法を記述した部分を抜粋して表 4.2.2-4 に示す。また、試料の洗浄に関しては、土壌中から採取する根菜類などについて、「泥を水で軽く洗い落としたもの」を検体とすることが記述されている。

さらに、日本食品標準成分表(文部科学省)の中に、成分を調べるために食品を検体とするが、その際に、検体としない「廃棄部位」を説明している。その抜粋を表 4.2.2-5 に示す。また、日本食品標準成分表分析マニュアル(五訂)のなかに、各食品別の試料前処理方法についての記述があり、試料の洗浄および可食部の採取についての記述をまとめたものを表 4.2.2-6 に示す。日本食品標準成分表の基準では、試料の洗浄に関して、魚介類、野菜類(かぼちゃ、きゅうり等)、根菜類および果実類(生果)について、水洗いすることが記述されている。

2) 課題とその対応

現状調査で得た情報に基づき、No.24 マニュアルの前処理法の改訂の検討した結果、概ねこれを踏襲できると考える。一方、飲食を前提とした原子力災害対策指針及び緊急時モニタリングについて(原子力災害対策指針補足参考資料)(以下「原災指針」という。)OIL6 が基準値として制定されたり、ガンマ線スペクトロメトリーのための新たな校正線源が利用可能となったり、前処理操作の見直しなどが必要なことがわかった。以下に課題とその対応を示す。

大気試料については、活性炭カートリッジから捕集材を取り出すとなっているが、これを分解する手間や取り出す操作により、放射性ヨウ素を吸着している可能性のある捕集材による汚染を招くおそれがある。一方、4.2.1 3) (2)でも述べたように活性炭カートリッジ型の校正線源が市販されていることから、これを用いることによって¹³¹Iを定量することは可能である。また、測定試料の調製において、捕集に用いたガラス繊維ろ紙等を測定容器に全量、または容器がいっぱいになるまで詰めるとしているが、採取状況によっては使用するろ紙が1枚であることもありうるので、これを配慮する必要がある。さらに、試料採取に使用するろ紙や活性炭カートリッジについて、放射性物質を含有していないかの確認は使用前には実施しておく必要がある。また、使用する際にも汚染防止に留意する必要がある。

降下物、降水、飲料水や源水については、放射性核種の測定容器への吸着を避けるために、塩化ナトリウムを添加するように記述されている。しかし、測定試料を調製後、ガンマ線計測を終えるまでには数時間程度で終了することから、そのような短時間で吸着が生じるとは考えにくい。また、塩化ナトリウムを加え、これを溶解する操作に時間を要することは緊急時の前処理としてあまり好ましくない。そもそも、緊急時の前処理は、乾固や化学処理は行わないのが適切であることから、この添加は不要と考える。

なお、降水には雪が含まれることがあるため、この取り扱いについては記述することとする。

乳製品、葉菜類、海藻類、魚類、穀類、豆類、肉類、卵のような食物試料は可食部を対象試料とすることは適切である。それは原災指針 0IL6 の基準値は、飲食を前提とした摂取制限値であることから、測定結果をこの基準値と比較することを目的として調査するため、食物については摂取することを考慮した前処理が必要であると考え。したがって、特に葉菜類では付着した土や泥などを取り除く操作や、食に供しない部分を除去する操作を明確に記述する必要がある。なお、この時、洗浄に使用する水や養生に使用する使い捨てシート等への放射能汚染の有無を、事前に確認することを記述する必要がある。

土壌や海底土等については、異物を取り除き、湿土のまま混合するという前処理を踏襲できる。

指標生物については、No.13 マニュアル、No.16 マニュアルに記述されているように、水洗いや可食部の区分は行わないことから、緊急時においてもこれを踏襲し、細断後、混合する処理を行うのが適切と考える。

表 4. 2. 2-1 No.24 マニュアル前処理方法

マニュアル名	対象試料	洗浄の実施	可食部判断	前処理方法
No.24マニュアル	大気浮遊じん	-	-	そのまま容器に詰める。
	降下物・降水	-	-	液体のまま容器に詰める。
	飲料水・源水	-	-	液体のまま容器に詰める。
	牛乳	-	全量	液体のまま容器に詰める。
	乳製品(粉乳・チーズ・コンデンスミルク等)	-	全量	そのまま、または、細断して容器に詰める。
	葉菜類(タバコ・茶・陸上指標生物も同様)	×	根など食用にしない部分を除く	そのまま、または、細断して容器に詰める。
	海藻(海洋指標生物も同様)	×	食用にしない部分を除く	そのまま、または、細断して容器に詰める。
	小型魚類(全体を可食部とするもの)	-	全量	そのまま、または、細断して容器に詰める。
	中・大型魚類(全体を可食部としないもの)	-	筋肉部のみ	細断して容器に詰める。
	海水	-	-	液体のまま容器に詰める。
	土壌	-	-	湿土のまま容器に詰める。
	穀類	-	記載なし	そのまま容器に詰める。
	豆類(きのこ類も同様)	-	鞘を除く	そのまま容器に詰める。
	肉類	-	原則全量	そのまま、または、細断して容器に詰める。
卵類	-	殻を除く	溶きほぐしたものを容器に詰める。	

表 4. 2. 2-2 No.13. 16 マニュアル前処理方法

マニュアル名	対象試料	洗浄の実施	可食部判断	前処理方法	詳細
No.13マニュアル	ろ紙(浮遊じん)	x	-	そのまま容器に詰めるまたは折りたたむまたは打ち抜く	折りたたむ場合、浮遊じんの付いた側を内側にする。
	降下物	-	-	蒸発乾固	
	淡水	-	-	蒸発乾固	
	海水	x	-	AMP-MnO2法	沈殿は混合せず、重ねる
	海底土・土壌	x	-	乾燥粉碎(2ミリ)	2ミリふるいでよいが、測定値がばらついた場合はトップグラインダー等により微粉碎を行う。
	葉菜、根菜、果実	○	食用に供する部分	ジュースにするまたは乾燥粉碎または灰化	生重量を測定後、土砂を取り除く程度の水洗をすとなっている。
	穀物、指標植物、牧草	x	記載なし	ジュースにするまたは乾燥粉碎または灰化	植物試料の一例としてほうれん草、大根、玄米、精米、松葉、ヨモギの灰分率が示されている
	牛乳	-	全量	そのまま容器に詰めるまたは灰化	
	海藻類	○(指標生物はx)	記載なし	乾燥粉碎または灰化	食用の場合淡水で洗浄する。指標生物は目的に応じて洗浄を判断する。
	魚類	○	通常食用に供する部分	灰化	水洗について具体的な記述はなく、項目名として水洗と示されている。可食部の判断基準についても具体的な判断基準はない。
	貝類	○	むき身	灰化	必要に応じて砂抜きを行う。むき身にした後は洗わない。
	甲殻類	○	むき身	灰化	むき身にした後は洗わない。殻ごと食用とする小エビ等は水洗後、水を切りそのまま供試する。
ナマコ	○(砂抜き)	記載なし	灰化	海水中で泥を吐かせた後、供試する。水洗について具体的な記述はない。	

表 4.2.2-2 No.13.16 マニュアル前処理方法（つづき）

マニュアル名	対象試料	洗浄の実施	可食部判断	前処理方法	詳細
No.16マニュアル	ろ紙(浮遊じん)	×	-	そのまま容器に詰めるまたは折りたたむまたは打ち抜く	折りたたむ場合、浮遊じんの付いた側を内側にする
	降下物	-	-	蒸発乾固	放射化学分析用としてイオン交換法が示されている。対象核種は90Sr及び137Cs
	定時降水	-	-	蒸発乾固	全β用
	陸水	-	-	蒸発乾固	陸水には河川水・湖沼水・井戸水が含まれる。原則として採取時に塩酸または硝酸を添加するが、ヨウ素またはトリチウムを対象とする場合は添加しない
	土壌	×	-	乾燥微粉砕(250μm)	2ミリふるい後、インクリメント法や二分器で縮分する。その後、トップグラインダー等で250μm以下まで微粉砕を行う。
	海底土	-	-	乾燥微粉砕(250μm)	はじめに濾過を行う。その後の方法は土壌に準じる。
	排水	-	-	(前処理法についての記載はない)	原則として採取時に塩酸または硝酸を添加するが、ヨウ素またはトリチウムを対象とする場合は添加しない
	穀類	×	子実	灰化	稲を対象とする場合、もみすり器で精玄米または精白米にして供試する。
	葉菜類	○	根や外側の葉、芯などを除く	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	土を取り除き水洗する。脱水にはザルや洗濯機の脱水機能などを使う。
	果実類	○	食用にしない部分を全て除く	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	枝豆、空豆等は鞘から出す。南瓜等は種と芯を除く。
	根菜類	○	(皮、)ひげ根を除く根	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	土を取り除き、根部と茎葉部に分ける。根部を水洗後拭き取り、ひげ根を(皮を食用としない場合は皮も)除く。茎葉部に関しては記載なし。
	芋類	○	必要に応じて皮を除く	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	土を取り除き水洗する。水分を拭き取り、皮を食用としない場合剥く。
	茶	記載なし	記載なし	乾燥粉砕または灰化	水洗や可食部等について具体的な記載なし。なお、採取する場合、先端から葉3枚の部分まで採取との記載あり。
	牛乳	-	全量	そのまま容器に詰めるまたは灰化	生乳・粉乳が対象
	牧草	記載なし	-	乾燥粉砕または灰化	
	淡水魚類	○	通常食用に供する部分	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	油を多く含むものや内臓は乾燥粉砕法には向かない。
	貝類	※	むき身	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	真水で一昼夜砂抜きを行い、貝剥き用ナイフ等で中身を取り出す。むき身の洗浄についての記載はない。油を多く含むものは乾燥粉砕法には向かない。
	日常食	×	通常食用に供する部分	灰化	魚の骨や豆の殻等、通常食べない部分を除く
	陸上指標植物	×	-	灰化	葉のみにして供試する。(枝、枯葉、茎などは除く) 水洗は原則としてしない。
	海洋指標植物	×	-	乾燥または灰化	原則として水洗しない。処理方法は海産生物に準じる。
	海水	-	-	(前処理法についての記載はない)	原則として採取時に塩酸または硝酸を添加するが、ヨウ素またはトリチウムを対象とする場合は添加しない
	海産遊泳生物(魚類・イカ等)	○	記載なし	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	真水で洗浄する。
	底生・付着生物(貝類・ナマコ等)	※	記載なし	ジュースにするまたは乾燥粉砕または灰化	採取現場付近で採取した海水で砂抜きを行い、貝剥き用ナイフ等で中身を取り出す。むき身を洗浄するかどうか記載はない。
海藻類	※	記載なし	乾燥粉砕または灰化	食品は水道水で水洗する。生物学的調査の場合採取現場付近で採取した海水で水洗する。指標生物は水洗しない。	
トリチウム対象試料	-	-	-	β線対象のため割愛	
ヨウ素分析対象試料	-	-	-	大気採取の場合、活性炭カートリッジが必要。また、酸は加えず、基本的に生試料のまま測定する。加熱する場合～70℃までとする。	

表 4.2.2-3 放射能測定法シリーズで対象としている試料

	No.24マニュアル(緊急時前処理)	No.13マニュアル (Ge前処理)	No.16マニュアル(試料採取)
大気浮遊じん	○(ろ紙・活性炭カートリッジ)	○(ろ紙)	○(ろ紙)
降下物・降水	○	○(降下物)	○(降下物)
土壌	○(河底土、湖底土、海底土)	○	○
排水	×	×	○
飲料水・源水・陸水	○(飲料水・源水)	○(淡水)	○(陸水)
海水	○	○	○
海底土	×	○	○
葉菜類	○(タバコ・茶・陸上指標植物)	○	○
果実類	×	○	○(豆類)
根菜類	×	○	○
芋類	×	×	○
茶	×	×	○
牧草	×	○(指標植物)	○
牛乳	○	○	○
乳製品	○(粉乳・チーズ・コンデンスミルク)	×	×
穀類	○	○	○
豆類	○(きのこ類)	×	○
肉類	○	×	×
卵類	○	×	×
海藻	○(海洋指標植物)	○	○(海洋指標生物)
魚類	○(小型・大型魚類)	○(魚類・甲殻類・ナマコ)	○(魚類・イカ・ナマコ)
貝類	×	○	○
日常食	×	×	○

「食品中の放射性物質の試験法」より抜粋

表 4.2.2-4 食品、添加物等の規格基準で扱う可食部

食品	検体
大麦及びそば	脱穀した種子
小麦及びライ麦	玄麦
米	玄米
とうもろこし	外皮、ひげ及びしんを除いた種子
その他の穀類	脱穀した種子
えんどう、小豆類、そら豆及び大豆	豆
らっかせい	殻を除去したもの
その他の豆類	豆
あんず、うめ、おうとう、すもも及びネクタリン	果梗及び種子を除去したもの
もも	果皮及び種子を除去したもの
オレンジ、グレープフルーツ、なつみかんの果実全体、ライム及びレモン	果実全体
なつみかん及びみかん	外果皮を除去したもの
なつみかんの外果皮	へたを除去したもの
その他のかんきつ類果実	果実全体
西洋なし、日本なし、マルメロ及びりんご	花おち、しん及び果梗の基部を除去したもの
びわ	果梗、果皮及び種子を除去したもの
アボカド及びマンゴー	種子を除去したもの
キウイ	果皮を除去したもの
グアバ	へたを除去したもの
なつめやし	へた及び種子を除去したもの
パイナップル	冠芽を除去したもの
パッションフルーツ及びパパイヤ	果実全体
バナナ	果柄部を除去したもの
いちご、クランベリー、ハuckleベリー、ブラックベリー及びブルーベリー	へたを除去したもの
ラズベリー	果実全体
その他のベリー類果実	へたを除去したもの
かき	へた及び種子を除去したもの
すいか、まくわうり及びメロン類果実	果皮を除去したもの
ぶどう	果梗を除去したもの
その他の果実	可食部
かぶ類の根及びだいこん類の根	泥を水で軽く洗い落とししたもの
かぶ類の葉、クレソン、ケール、びだいこん類の葉及び芽キャベツ	変質葉を除去したもの
カリフラワー及びブロッコリー	葉を除去したもの
キャベツ及び白菜	外側変質葉及びしんを除去したもの4個をそれぞれ4等分し、各々から1等分をあつめたもの
きょうな及びこまつな	根及び変質葉除去したもの
西洋わさび	泥を水で軽く洗い落とししたもの
チンゲンサイ及びその他のあぶらな科野菜	可食部
かんしょ、こんにやくいも、さといも、さといも類、ばれいしょ、やまいも及びその他のいも類	泥を水で軽く洗い落とししたもの

表 4.2.2-4 食品、添加物等の規格基準で扱う可食部（つづき）

食品	検体
カボチャ、きゅうり及びびしろうり	つるを除去したもの
その他のうり科野菜	可食部
アーティチョーク、エンダイブ及びチコリ	変質葉を除去したもの
ごぼう及びサルシフィー	葉部を除去し、泥を水で軽く洗い落とし、細切した後、肉挽き器を用いて擦り砕いたもの
しゅんぎく	根及び変質葉を除去したもの
レタス	外側変質葉及びしんを除去したもの
その他のきく科野菜	可食部
しいたけ、マッシュルーム及びその他のきのこ類	可食部
セロリ、パセリ及びみつば	根及び変質葉を除去したもの
にんじん及びパースニップ	泥を水で軽く洗い落とししたもの
その他のせり科野菜	可食部
トマト、なす及びピーマン	へたを除去したもの
その他のなす科野菜	可食部
アスパラガス	茎
たまねぎ、にんにく、ねぎ及びわけぎ	外皮及びひげ根を除去したもの
にら及びその他のゆり科野菜	可食部
えだまめ、未成熟いんげん及び未成熟えんどう	花梗を除去したもの
オクラ	へたを除去したもの
さとうきび	皮を除去したもの
しょうが	葉を除去し、泥を水で軽く洗い落とししたもの
てんさい	泥を水で軽く洗い落とししたもの
ほうれんそう	赤色根部を含み、ひげ根及び変質葉を除去したもの
たけのこ及びその他の野菜	可食部
ごまの種子、なたね、ひまわりの種子、べにばなの種子、綿実及びその他のオイルシード	種子
アーモンド、ぎんなん、くり、くるみ、ペカン及びその他のナッツ類	外果皮を除去したもの
カカオ豆及びコーヒー豆	豆
茶	茶
ホップ	乾花
その他のスパイス及びその他のハーブ	可食部

表 4.2.2-5 日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）＋追補 2016 年版より抜粋

食品群	食品名	廃棄部位
いも及びでん粉類	きくいも	表層
いも及びでん粉類	さつまいも	表層及び両端
いも及びでん粉類	さといも	表層
いも及びでん粉類	じゃがいも	表層
いも及びでん粉類	ヤーコン	表層及び両端
種実類	かぼちゃ	種皮
種実類	ぎんなん	薄皮
種実類	ぐり	渋皮
種実類	くるみ	殻
種実類	しい	渋皮
種実類	すいか	種皮
種実類	はす	薄皮
種実類	ひし	果皮
種実類	ヘーゼルナッツ	薄皮
種実類	らっかせい	種皮
野菜類	しょうが(ひねしょうが)	皮
野菜類	しろうり	わた及び両端
野菜類	ずいき	株元及び表皮
野菜類	すぐきな	葉柄基部
野菜類	ズッキーニ	両端
野菜類	せり	根及び株元
野菜類	セロリ	株元、葉身及び表皮
野菜類	ぜんまい	株元及び裸葉
野菜類	そらまめ	種皮
野菜類	タアサイ	株元
野菜類	かいわれだいこん	莖基部約1 cm
野菜類	だいこん	葉柄基部
果実類	アセロラ	果柄及び種子
果実類	アテモヤ	果皮及び種子
果実類	アボカド	果皮及び種子
果実類	あんず	核及び果柄
果実類	いちご	へた及び果梗
果実類	いちじく	果皮及び果柄
果実類	うめ	核
果実類	オリーブ	種子
果実類	かき	果皮、種子及びへた
果実類	かりん	果皮及び果しん部
果実類	いよかん	果皮、じょうのう膜及び種子
果実類	うんしゅうみかん	果皮
果実類	ネーブル	果皮、じょうのう膜及び種子
果実類	バレンシアオレンジ	果皮、じょうのう膜及び種子
果実類	福原オレンジ	果皮、じょうのう膜及び種子
果実類	オロブランコ(スウィーティー)	果皮、じょうのう膜及び種子

表 4. 2. 2-5 日本食品標準成分表 2015 年版（七訂）＋追補 2016 年版より抜粋（つづき）

食品群	食品名	廃棄部位
きのこ類	ひらたけ	柄の基部(いしづき)
きのこ類	まいたけ	柄の基部(いしづき)
きのこ類	マッシュルーム	柄の基部(いしづき)
きのこ類	まつたけ	柄の基部(いしづき)
きのこ類	やなぎまつたけ	柄の基部(いしづき)
藻類	わかめ	基部、茎、中肋及びめかぶ
魚介類	あいなめ	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	あこうだい	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	まあじ(あじ)	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	まるあじ	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	にしまあじ	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	むろあじ	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	うぐい	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	うなぎ	頭部、内臓、骨、ひれ等
魚介類	うまづらはぎ	頭部、内臓、骨、皮、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	えい(かすべ)	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	えそ(わにえぞ)	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	おいかわ(はや)	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
魚介類	きびなご	頭部、内臓、骨、ひれ等(三枚下ろし)
肉類	すっぽん	甲殻、頭部、脚、内臓、皮等
卵類	あひる卵 [ピータン]	泥状物及び卵殻
卵類	うこっけい卵	付着卵白を含む卵殻
卵類	うずら卵	付着卵白を含む卵殻
卵類	鶏卵	付着卵白を含む卵殻

表 4.2.2-6 日本食品標準成分表分析マニュアル（五訂）より抜粋

食品群	洗浄、可食部の採取
穀類	記載なし
いも類	記載なし
種実類	記載なし
豆類	記載なし
魚類	表面を軽く水洗いした後、ペーパータオルなどで付着水を拭取る。3枚おろしにしたものを可食部とする。
貝類	表面を軽く水洗いした後、ペーパータオルなどで付着水を拭取る。むき身（必要に応じて内臓を除去）を目の細かい金網（約2mm）などにのせ、約2分間水切りを行う。
軟体動物類（いか、たこ等）	表面を軽く水洗いした後、ペーパータオルなどで付着水を拭取る。内臓などを除く。
甲殻類（あみ、えび、かに、しゃこ等）	表面を軽く水洗いした後、ペーパータオルなどで付着水を拭取る。大型のものは頭部、殻および尾部などを除く。
きょく皮動物（うに、なまこ等）	表面を軽く水洗いした後、ペーパータオルなどで付着水を拭取る。可食部を採取。
肉類	骨を完全に除去
野菜類（かぼちゃ、きゅうり等）	水洗い後、水を拭取り、廃棄部位を除去。
根菜類（かぶ、しょうが、だいこん、たまねぎ、にんじん、れんこん等）	水洗い後、水を拭取り、廃棄部位を除去。
葉菜類（キャベツ、はくさい、のざわな、たかな等）	廃棄部位を除去。
果菜類、さや豆類（オクラ、ししとうがらし、ピーマン、さやえんどう、さやいんげん等）	廃棄部位を除去。
未熟豆類（そらまめ、えだまめ、グリーンピース、とうもろこし）	廃棄部位を除去。
果実類	水洗い、水拭き後、廃棄部位を除去。
きのこ類	廃棄部位を除去。
生藻類	塩蔵品は、飽和食塩水に浸して、付着している食塩を洗い落とし、水拭きする。
乾燥藻類	廃棄部位を除去。

食品の放射性物質に関する検査における試料洗浄（土壌除去）標準作業書

1. 対象試料：

野菜：非結球性葉菜類、結球性葉菜類、アブラナ科花蕾類、根菜類等

注：各分類の個別品目については、次表の表中「品目」を参照。

2. 使用する器具等：

ディスポーサブル手袋、包丁、はさみ、ボウル又はバット、ざる、ペーパータオル

注：ディスポーサブル手袋、ペーパータオルは1試料毎に廃棄・交換する。

3. 洗浄方法：

洗浄に供する部位は、次表の表中「洗浄対象部位」とする。また、洗浄方法は、次表の表中「洗浄方法」の手順とし手順内容は以下のとおりとする。

洗浄により、土壌を取り除き、目視により食用若しくは調理に供する程度まで洗浄が十分に行われていることを確認する。洗浄後は、手順2の場合を除き、付着する水をペーパータオルにより軽く拭き取り、その後、次表表中において特段の注記がある場合は同記述に従った後に、対象試料を試験に供する。

注：土壌の付着が多い場合、予め土壌を落とした後に試験室に搬入し、洗浄を実施する。

〈次表の洗浄方法の各手順内容〉

手順1：水道水の流水下で、20秒程度洗浄する。

手順2：水道水を染み込ませたペーパータオルで表面を軽く拭き取る。

4. 留意点：

試料の取り扱いについては、相互汚染が発生しないよう適切に区分管理を行うこと。また、使用する器具については、1試料毎に洗浄を行い相互汚染の発生を防止すること。

1.分類	2.品目	3.洗浄対象部位	4.洗浄方法
非結球性葉菜類	こまつな	根及び変質菜を除去したもの	手順1
	しゅんぎく		
	チンゲンサイ		
	水菜		
	サニーレタス		
	その他非結球性葉菜類*		
	ほうれんそう	ひげ根及び変質菜を除去したもの	
結球性葉菜類	キャベツ	外側変質菜及びしんを除去したもの	手順1
	白菜		
	レタス		
根菜類	かぶの根	ひげ根を除去したもの	手順1
	だいこんの根		
	れんこん		
あぶらな科花蕾類	ブロッコリー	葉を除去したもの	手順1
	カリフラワー		
せり科野菜	みつば	根及び変質菜を除去したもの	手順1
	セロリ		
	パセリ		
なす科野菜	ピーマン	全体(注:洗浄操作後、へたを除去した上で試験に供する)	手順1
	トマト		
	ミニトマト	へたを除去したもの	
	なす		
ゆり科野菜	ねぎ	不可食外皮及びひげ根を除去したもの	手順1
	ワケギ		
	エシャロット	外皮及びひげ根を除去したもの	
	ニラ	根を除去したもの	
	アスパラガス	茎	
うり科野菜	キュウリ	へたを除去したもの	手順1
	ズッキーニ		
	小玉スイカ		
しそ科野菜	大葉	全体	手順1
きのこ類	しいたけ	石突を除去したもの	手順2

*その他の非結球性葉菜類：アブラナ、チヂレナ、コウサイタイ、クキタチナ、カブレナ、信夫冬菜、サントウナ、ペカナ、非結球ハクサイ、バクチョイ、タアサイ、タカナ、カツオナ、カラシナ、タイサイ、サラダナ、非結球レタス（ロメインレタス等）、フダンソウ、ナバナ（カキナ）、サイシン、オータムポエム、カイラン、ツボミナ、ミズカケナ、ケール、シロナ、仙台雪菜、千宝菜、ノザワナ、ベンリナ、山形ミドリナ、ワサビナ、サンチュ、プチベール、ウルイ、畑ワサビ、花ワサビ、クレソン、ルッコラ、ナズナ、アイスプラント、葉ダイコン、フキノトウ等

4.2.3 汚染防止策等の対策

現状調査で得た情報から、汚染防止策、作業者への配慮について、試料の受入れ時、前処理時や、測定容器への充填時における実施策や留意点を整理した。また、検出器への配慮の記述もあった場合にはそれも併せて整理した。

1) 整理結果

結果を表 4.2.3-1 に示す。使い捨ての用具を用いることを述べたり、作業場を区分することを述べたりしている。測定容器への配慮では、汚染の付着を考慮してふき取りや洗浄することを述べているものがある。さらに、検出器への汚染を防止するための留意点や、ビニールで覆うことを述べているものもある。

なお、No.24 マニュアルには、これらの事項は次のように記述されている。

「第1章 序論」より

1.3 試料からの汚染防止について

緊急時においては、平常時には存在しないか、または存在しても極めて放射能レベルの低い放射性核種が、数多く高濃度で検出されることが予想される。このため、他の試料や測定容器、実験機器への汚染が生じる可能性があるので、実験室内での試料の扱い方には注意を要する。特に、緊急時に高濃度で検出が予想される放射性ヨウ素は揮散性が大きく、その化学的挙動も複雑である。それ故に前処理等を行う際には、以下の点について留意し、試料相互間の汚染を防止することが必要である。

- ① 測定容器（マリネリ容器）に試料を詰めるときは、使い捨ての内袋に封入し、測定容器壁への汚染を極力避ける。
- ② 測定容器をポリエチレン袋等に封入し、測定器への汚染を防止する。

「第7章 葉菜類」より

試料相互の汚染を防止するため、水洗いは行わず、土を取り除く程度の処理とする。

「第9章 魚類」より

解体時における血液と体液等の損失および他の試料への汚染に注意が必要である。

「第11章 土壌」より

- ・室内の汚染を防止するため、乾燥処理は行わず、湿土のまま測定試料とする。

2) 課題とその対応

汚染防止策等は、現状調査の結果からも事故後には非常に重要であったことから、No. 24 マニュアルの改訂時には、試料の受付時のサーベイの実施、前処理室の養生などの作業場の配慮、前処理時の作業員の服装など、作業者への配慮、前処理で使用する器具、測定容器への充填、測定試料の引渡し等の試料相互汚染防止策や測定室への汚染防止策、さらに測定室への配慮などの留意点を序論に記述することが望ましい。

表 4.2.3-1 他の緊急時マニュアルの汚染防止策に関する整理結果

整理番号	タイトル	著者名	対象試料	受け入れ時		前処理時			測定容器への充填		その他
				汚染防止対策	作業者への配慮	汚染防止対策	試料相互汚染防止対策	作業者への配慮	容器への配慮	汚染防止策	
1	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる放射性ヨウ素の測定法	厚生労働省	牛乳、野菜類(葉菜等)	サーベイメータの汚染や試料相互間の汚染を避けることに十分留意する。			サーベイメータの汚染や試料相互間の汚染を避けることに十分留意する。			サーベイメータの汚染や試料相互間の汚染を避けることに十分留意する。	
3	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」に基づく検査における留意事項について	厚生労働省	野菜			デスポーザブル手袋、ペーパータオルは1試料毎に廃棄、交換する。	区分管理を行うこと。器具は1試料毎に洗浄すること。		デスポーザブル手袋を着用。		
5	牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	牛の筋肉				試料間の汚染が起こらないように留意する。			外側に試料を付着させない。	分析系の汚染防止について、検出器をポリエチレン袋で覆う。
6	食品中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	飲料水、乳及び乳製品を除く食品全般				試料間の汚染が起こらないように留意する。			外側に試料を付着させない。	分析系の汚染防止について、検出器をポリエチレン袋で覆う。
9	食品中の放射性物質の試験法	厚生労働省	食品(可食部)			デスポーザブル手袋、ペーパータオルは1試料毎に廃棄・交換する。	適切に区分管理を行う。器具は1試料毎に洗浄を行う。試料間の汚染が起こらないように留意する。			容器の外側に試料を付着させない。容器の内側にポリ袋を入れて試料を充填する等、測定容器の汚染を防ぐ措置を講じる。	測定日にプランク測定し、分析系に汚染がないことを確認する。検出器をポリ袋で覆う。
10	水道水等の放射能測定マニュアル	厚生労働省	水道水、水道原水	使い捨てのプラスチック手袋やゴム手袋を使用する。機材の汚染の有無を確認し、汚染されたものは取り替える。			試料などはポリエチレン手袋等をして扱う。			測定容器の周りに汚染が付着しないようにする。容器の外側の汚れなどをペーパータオルで拭き取る。	検出器はポリエチレン袋などで覆い、汚染を防ぐようにする。バックグラウンドを測定の前後に実施するのが望ましい。
14	肥料中の放射性セシウム測定のための検査計画及び検査方法	農林水産省	牛ふん堆肥、糞草堆肥等、稲わら堆肥等、パーク堆肥				肥料をポリ袋等に詰めてから測定容器に入れる。使用した器具は1試料毎によく洗浄する。				検出器をポリエチレン袋等で包む。測定器の汚染防止に手袋をする。
15	きのこ原木及び菌床用培地中の放射性セシウム測定のための検査方法	農林水産省、林野庁	きのこ原木、ほた木、菌床用培地、菌床				肥料をポリ袋等に詰めてから測定容器に入れる。使用した器具は1試料毎によく洗浄する。				検出器をポリエチレン袋等で包む。測定器の汚染防止に手袋をする。
17	生薬等の放射性物質測定ガイドライン	日本製薬団体連合会	生薬、生薬を原料とした漢方生薬製剤	機材の汚染の有無を確認し、汚染されたものは取り替える。			試料はポリエチレン手袋等をして取り扱う。			簡単な洗浄を行って使用する。容器周りに試料が付着しないようにする。容器の外側の汚れをペーパータオルでふき取る。高濃度の試料や除染が困難な場合は、使い捨て容器を使用する。	測定機器周りを清掃する。汚染した場合、除染に努めること。検出器はポリ袋などで覆う。

*表 4.2.1-1 より

表 4. 2. 3-1 他の緊急時マニュアルの汚染防止策に関する整理結果（つづき）

整理番号	タイトル	著者名	対象試料	受け入れ時		前処理時		測定容器への充填		その他	
				汚染防止対策	作業者への配慮	汚染防止対策	試料相互汚染防止対策	作業者への配慮	容器への配慮		汚染防止策
18	廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル	廃棄物等の放射能調査・測定法研究会	排ガス、灰、汚泥、廃水、浸出水、受け入れ廃棄物、土壌		(採取から分析までの作業全般で) 保護具(皮膚を露出しない服及び履物、ゴム手袋、防護マスク等)を着用する。 電離放射線障害防止規則に従い、定期健康診断を受ける。 立入者を管理し、不要な被ばくを避ける。 退出の際は体表面汚染検査をする。	試料の室内への飛散を防ぐため、ドラフト内で実施する。 土壌試料は風乾、ふいかけで汚染を引き起こす可能性があるためそのまま測定する。	ゴム手袋は試料毎に交換する。 高温度試料と低温度試料を扱うエリアは可能な限り分ける。	土壌試料は風乾、ふいかけで内部被ばくを引き起こす可能性があるためそのまま測定する。	容器外面に試料が付着しないよう十分ふき取りを行う。	検出器の汚染防止のため、測定試料の入った容器はビニール袋等で梱包する。	
19	廃棄物等の放射能調査・測定マニュアル(第2版)	(一)社廃棄物資源循環学会	空間線量率、排ガス、粉じん(粉砕施設)、排水、公共用水域の水、周縁地下水、廃棄物(灰、汚泥、廃糧わら、廃堆肥等)		(採取から分析までの作業全般で) 保護具(皮膚を露出しない服、ゴム手袋、保護マスク、保護メガネ等)を着用する。 除染電離または電離則に従う。		高温度試料と低温度試料を扱うエリアは分ける。	立入者を管理し、不要な被ばくを避ける。	容器外面に試料の付着がないよう十分拭き取りを行い、清浄なチャック付ビニール袋等に封入する。	使いまわす器具はポリエチレンシートなどで保護し、試料毎に交換する。	測定室は極力清浄な状態を保つようにする。 検出器の汚染防止のためポリエチレン製のカバー等で保護する。
20	農産物の生産者・流通事業者等が放射性セシウムの自主検査により品質保証体制を構築する場合に求められる要件及び実施ガイドライン(案)(略称:品質保証のための放射性セシウム自主検査ガイドライン)	株式会社ぐるなび、日本GAP協会協力(案)(略称:品質保証のための放射性セシウム自主検査ガイドライン)	農産物				例として、前処理準備エリア(土壌用)、前処理準備エリア(食品用)、充填エリア、計測エリアに分ける。				
24	NaI(Tl)シンチレーションスペクトロメータによる飼料中の放射性セシウムのスクリーニング法例—2012年3月の暫定許容値見直しを受けた再検証—	(独)農林水産消費安全技術センター(FAMIC)	飼料				前処理と測定の部屋は別にした方がよい。作業着も部屋毎に着替えることが望ましい。		測定容器をラップで覆うか、ポリ袋に封入する。		

*表 4. 2. 1-1 より

4.2.4 スクリーニングの紹介

現状調査で得た情報から、スクリーニングについて整理した。

1) 整理結果

結果を表 4.2.4-1 に示す。また、放射能測定法シリーズでの扱いについても併せて示した。マニュアルによって記述の詳細さが異なり、放射能レベルを推定するためにヨウ化ナトリウムシンチレーション検出器などの簡易測定を行ったり、飲食物摂取制限の基準値の 50% の値を目安に簡易的に測定し、簡易測定の結果、50% の値を超えたものについて、ゲルマニウム半導体検出器による詳細測定が必要かどうかの判断のために測定する。

なお、No.24 マニュアルには、これらの事項は以下のように記述されている。

「第 1 章 序論」より

高濃度に汚染された試料を取り扱うことが予想されるので、試料相互間の汚染を避けることを考慮した。その一つとして、前処理操作を行うにあたり、あらかじめサーベイメータを用いて試料の放射能レベルを確認することを原則とした。

「第 2 章 大気」より

前処理を行う前に、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および測定条件の決定等について適切な措置をする。

「第 3 章 降下物および降水」より

水盤または雨水採取器内の試料について、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 4 章 飲料水および源水」より

採水した試料水について、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 5 章 牛乳」より

採取した試料については、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 6 章 乳製品」より

採取した試料について、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 7 章 葉菜類」より

採取した試料について、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 8 章 海藻類」より

前処理操作を行う前に、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 9 章 魚類」より

採取した試料について、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 10 章 海水」より

採取した試料については、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 11 章 土壌」より

採取した試料については、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 12 章 穀類」より

採取した試料については、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 13 章 豆類」より

採取した試料については、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 14 章 肉類」より

試料については、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

「第 15 章 卵」より

前処理操作を行う前に、サーベイメータで放射能レベルを確認し、その結果を基に、分析者の被ばく防止、前処理を行う際の汚染防止および供試量の決定等について適切な措置をする。

2) 課題とその対応

スクリーニングと称すると何らかの基準と比べ、その後の処置を決定するために試料を振り分ける意味や、ヨウ化ナトリウムシンチレーション検出器で測定を行い、ゲルマニウム半導体検出器による詳細測定の必要の有無を判断する目的の場合に実施する行為である。

一方、4.2.3にも記述したように汚染防止の観点から、試料の放射能レベルを把握する必要がある。

したがって、No.24 マニュアルは緊急時における前処理法を記述するものであるため、何らかの基準と比較するための測定は必要ない。しかし、汚染防止等の一環としてサーベイメータでの測定を実施することは望ましい。

表 4. 2. 4-1 他の緊急時マニュアルのスクリーニングに関する整理結果

整理番号*	タイトル	著者名	対象試料	スクリーニングレベル
1	「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」NaI (TI)シンチレーションサーベイメータによる放射性ヨウ素の測定法	厚生労働省	牛乳、野菜類(葉菜等)	H14.3での摂取制限(I-131) 牛乳:300Bq/L 葉菜等:2000Bq/kgに対し、 牛乳:100Bq/L 葉菜等:1000Bq/kg
5	牛肉中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	牛の筋肉	H23.7での摂取制限(放射性セシウム) 牛肉:500Bq/kgに対し、250Bq/kg
6	食品中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	飲料水、乳及び乳製品を除く食品全般	H23.11での摂取制限(放射性セシウム) 食品:500Bq/kgに対し、250Bq/kg
7	食品中の放射性セシウムスクリーニング法	厚生労働省	一般食品	H24.4.1から摂取制限(放射性セシウム) 食品:100Bq/kgに対し、50Bq/kg
10	水道水等の放射能測定マニュアル	厚生労働省	水道水、水道原水	H23.3での摂取制限 放射性ヨウ素:300(乳児100)Bq/kg 放射性セシウム:200Bq/kg に対し、 放射性ヨウ素:150(乳児50)Bq/kg 放射性セシウム:100Bq/kg
17	生薬等の放射性物質測定ガイドライン	日本製薬団体連合会	生薬、生薬を原料とした漢方生薬製剤	放射性ヨウ素及び放射性セシウム濃度が極めて高い対象原料生薬のふるい分けをする目的で記載されている。スクリーニングレベルの記載はなし。
18	廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル	廃棄物等の放射能調査・測定法研究会	排ガス、灰、汚泥、廃水、浸出水、受け入れ廃棄物、土壌	ゲルマニウム半導体検出器によるγ線測定ではデッドタイムを5~10%以下になるよう試料量を調整しなければならない。このため、1センチメートル線量当量の測定可能なサーベイメータがあれば、試料に出来るだけ近づけて測定し、レベルを記録する。目安値は0.1μ Sv/h以下。
20	農産物の生産者・流通事業者等が放射性セシウムの自主検査により品質保証体制を構築する場合に求められる要件及び実施ガイドライン(案)(略称:品質保証のための放射性セシウム自主検査ガイドライン)	株式会社ぐるなび、日本GAP協会協力	農産物	摂取制限(放射性セシウム) 食品:100Bq/kgに対し、50Bq/kg
24	NaI(TI)シンチレーションスペクトロメータによる飼料中の放射性セシウムのスクリーニング法例—2012年3月の暫定許容値見直しを受けた再検証—	(独)農林水産消費安全技術センター(FAMIC)	飼料	2012.3の試料中の暫定許容値(放射性セシウム) 牛及び馬用飼料:100Bq/kg 豚用飼料:80Bq/kg 家きん用飼料:160Bq/kg 養殖魚用飼料:40Bq/kg に対し。
	No.15 緊急時における放射性ヨウ素測定法	放射能測定法シリーズ	大気、飲料水、牛乳、野菜(第5章より抜粋)	NaIシンチレーションサーベイメータを用いて、採取した試料中のヨウ素-131濃度が飲食物接種制限に関する指標等の濃度レベルを超えているかどうかを試料採取現場で推定し、多数の試料の中から比較的放射能濃度の高い試料を選択する、いわゆるスクリーニングのために適用する。
	No.29 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法	放射能測定法シリーズ	土壌、降下物、降水、飲料水、牛乳、原乳、葉菜、海藻類、魚類、海水、穀類、肉類、卵類(第2章2-1-3(2)作業前のチェックより抜粋)	サーベイメータを試料にできるだけ近づけて測定し、放射能レベルを記録する。試料の供試量と放射能レベルにより、ゲルマニウム半導体検出器で測定した場合のDeadTimeを予想し、できるだけ5~10%程度以下になるよう試料量を調節する。相対効率35%程度のゲルマニウム半導体検出器を用いた場合、1μ Gy/hr(1μ Sv/hr)のときDeadTimeが10%程度である。

*表 4. 2. 1-1 より

4.2.5 試料の保管・廃棄方法

現状調査で得た情報から、試料の保管・廃棄方法について、試料の受け入れ時、一時保管する場合、前処理後の試料の扱い、測定容器詰め直しの扱い、測定済み試料の扱いについて整理した。これらの結果をNo.24 マニュアルと比較した。

1) 整理結果

収集したマニュアルによる整理結果を表 4.2.5-1 に示す。試料の保管・廃棄方法に関する内容は、一般食品を対象としたマニュアルにはあまり記述されていなかった。ただ、記述されている場合には詳細なものが多い。例えば試料を一時保管する際は、冷蔵もしくは冷暗所に保存することが推奨されており、適宜遮蔽、隔離等の措置を必要としている。測定済み試料に関して、採取した場所に返送するか分析機関において処分している。なお、No.24 マニュアルには、これらの事項は以下のように記載されている。

「第1章 序論」より

1.3 試料からの汚染防止について

緊急時においては、平常時には存在しないか、または存在しても極めて放射能レベルの低い放射性核種が、数多く高濃度で検出されることが予想される。このため、他の試料や測定容器、実験機器への汚染が生じる可能性があるため、実験室内での試料の扱い方には注意を要する。特に、緊急時に高濃度で検出が予想される放射性ヨウ素は揮散性が大きく、その化学挙動も複雑である。それ故に前処理等を行う際には、以下の点について留意し、試料相互間の汚染を防止することが必要である。

- ③ 後日、再測定や放射化学分析を行うために試料を保存する際は、試料間および実験室内の相互汚染を防止するため、測定終了後においても、原則として、加熱及び濃縮等の操作は行わずに、冷蔵または冷凍保存することが望ましい。

「第2章 大気」より

2.4 試料の保存方法

小型容器に入れた測定試料は、そのまま他の容器に入れ、なるべく冷暗所で保存する。

「第3章 降下物および陸水」より

3.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入

れて保存する。

「第4章 飲料水および源水」より

4.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。

「第5章 牛乳」より

5.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、40ml のホルマリンを加え、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、2ml のホルマリンを加え、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、低温のところで保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫がよい。

「第6章 乳製品」より

6.4 試料の保存方法

- ① 粉末状、固形状製品のマリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 粉末状、固形状製品の小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ 液体状製品の測定試料は、40ml のホルマリンを加えて、マリネリ容器の測定試料は内袋のまま、小型容器の測定試料は測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ④ いずれの測定試料でも、低温のところで保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫がよい。

「第7章 葉菜類」より

7.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。

- ③ いずれの測定試料でも、低温のところで保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫がよい。

「第 8 章 海藻類」より

8.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、凍結して保存するのが望ましいので、保存する場所は冷凍庫がよい。

「第 9 章 魚類」より

9.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、凍結して保存するのが望ましいので、保存する場所は冷凍庫がよい。

「第 10 章 海水」より

10.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、保存する場所は冷暗所がよい。

「第 11 章 土壌」より

11.4 試料の保存方法

小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。

「第 12 章 穀類」より

12.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、低温のところで保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫がよい。

「第 13 章 豆類」より

13.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、低温のところで保存するのが望ましいので、保存する場所は冷蔵庫がよい。

「第 14 章 肉類」より

14.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、凍結することが望ましいため、保存する場所は冷凍庫がよい。

「第 15 章 卵」より

15.4 試料の保存方法

- ① マリネリ容器の測定試料は、40ml のホルマリンを加え、内袋のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ② 小型容器の測定試料は、2ml のホルマリンを加え、測定容器のまま他のポリエチレン袋あるいは容器に入れて保存する。
- ③ いずれの測定試料でも、低温のところで保存することが望ましいため、保存する場所は冷蔵庫がよい。

2) 課題とその対応

試料の保管法は、再測定や放射化学分析を考慮する場合に重要であるため、No.24 マニュアルを踏襲することとする。一部の試料には防腐剤の添加を記しているものもあるが、その他の試料についての記述内容は適正である。一方、廃棄方法については、現マニュアルは保管までを範疇としており、廃棄に関して何らかの基準が制定された場合には、それに従うことが必要である。No.24 マニュアルの改訂時には、これら情報を参考に記述することが望ましいと考える。

表 4.2.5-1 試料の保管・廃棄方法

整理番号*	タイトル	著者名	受け入れ時の保管方法	一時保管する場合	前処理後の試料の扱い	測定容器詰め残しの扱い	測定済み試料の扱い	その他
10	水道水等の放射能測定マニュアル	厚生労働省	採取瓶にラベルを貼り試料番号、採取地点、採取年月日、対象核種、採取者などを記入する	冷暗所に保存する			試料採取から試験までの保存期間の目安は5日以内	参考として保存剤について記載されている
14	肥料中の放射性セシウム測定のための検査計画及び検査方法	農林水産省	収納容器のサンプル番号及び破損等の有無を確認し、記録する	5°C程度で冷蔵する(適宜遮蔽、隔離等の措置を講ずる)			採取した場所に返送するか又は分析機関において処分する 放射性セシウム測定値が400Bq/kgを超えるような場合には、「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」に従って適切に廃棄または保管する	
15	きのこ原木及び菌床用培地中の放射性セシウム測定のための検査方法	農林水産省、林野庁	収納容器の試料番号及び破損等の有無を確認し、記録する	5°C程度で冷蔵する(適宜遮蔽、隔離等の措置を講ずる)			採取した場所に返送するか又は分析機関において処分する 放射性セシウム測定値に応じて、関係法令に従って適切に廃棄または保管する	
17	生薬等の放射性物質測定ガイドライン	日本製薬団体連合会		速やかに試験できない場合は、湿気及び虫害などを避けて保存する				
18	廃棄物等の放射能調査・測定法暫定マニュアル	廃棄物等の放射能調査・測定法研究会	予備測定の値を参考にして所定の集荷場に荷受けする 必要に応じ、試料の採取地、採取日時、採取条件等はあらかじめ記録しておく		密封容器は放射能測定まで試料保管棚(保管室)で管理する	試料を取り出した残材は元の容器に戻し、漏えい等に注意し残材保管棚(保管室)で保管する	残材と共に一時保管管理し、速やかに依頼元へ返却する 依頼元への試料等を返送する場合は梱包箱に破損、試料等に漏えい等が無いように梱包し返送する	
19	廃棄物等の放射能調査・測定マニュアル(第2版)	(一財)廃棄物資源循環学会	試料を受け入れる前に、荷受場所、試料保管場所、測定済み試料および残材保管場所等試料を区別して保管できる場所を確保する 汚泥試料は原則として密封し、冷蔵保存する その他の試料についても、温度、直射日光、水分等の影響のないように保管する	高濃度試料の場合は測定室や測定室近傍(階下および階上を含む)に置かない			測定が終了した試料は、残材と共に一時保管し、その後適正な管理への移行を図る 依頼元へ試料等を返送する場合は、試料等の漏えい等が無いように梱包する	

*表 4.2.1-1 より

4.2.6 調査対象試料候補の選定

1) はじめに

No.24 マニュアルの改訂において、調査対象とする環境試料の候補を選定するにあたり、原子力災害対策指針及び緊急時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）（以下「原災指針」という。）に記載のある試料を含めるとともに福島第一原発事故時の経験を反映させるために、4.2.1で示した現状調査の結果も参考とした。

また、緊急時の調査体制から平常時の調査体制に移行する際、調査対象試料の継続性の観点から、平常時にはどのような試料が対象とされているかも調べた。これらの結果に基づき、改訂するNo.24 マニュアルで扱うことが望ましいと考える調査対象試料候補の選定の基本的な考え方を作成し、対象試料を選定した。

2) 緊急時に対象とした試料

原災指針及び現状調査で収集した、事故後に制定されたマニュアル等で取扱っている試料を整理した。結果を表4.2.6-1に示す。また、No.24 マニュアルで取扱っている試料も併せて示した。

No.24 マニュアルでは、大気、降下物・降水、飲料水・源水（河川水、湖水を含む）、牛乳、乳製品、葉菜類（タバコ、茶、牧草、陸上の指標植物も含む）、海藻類（海洋の指標植物で非食用海藻も含む）、魚類、海水、土壌（河底土、湖底土、海底土を含む）、穀類、豆類（キノコ類を含む）、肉類、卵となっている。

原災指針の中で「緊急時モニタリングについて」では、環境試料を大気、降水、土壌等及び飲食物に分類し、土壌等は、土壌のほか、陸水、海水、河底土、湖底土、海底土、指標生物等を含むとしている。さらに、地域の食文化等を考慮し、主に飲食に供されるものや葉菜の代用とされるものは飲食物に分類するとしている。また、飲料水には、上水道・簡易水道も含まれるとなっている。一方、OIL6においては、飲食物が具体的に示され、飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他が挙げられている。

現状調査で収集したマニュアルで取り扱った試料とこれらと比較すると、扱った試料はこれらの中にほぼ含まれる。含まれていない試料は、根菜類、きのこ類の原木、肥料関係や排ガス、排水などの廃棄物処理施設から発生するものである。しかし、肥料や廃棄物処理施設から発生するものは、環境試料ではないため、環境放射能の分析・測定としてマニュアルに取り上げるのは不適と考える。

現状調査で実施した検査・分析機関の訪問で得た情報では、飲食物については多種類にわたり実施しているが、ほぼ、No.24 マニュアルで対象としている試料の範囲であった。

放調協からの情報提供によると、ほとんどの道府県では、大気、飲料水等、陸水、

土壌については、緊急時には調査対象となるとしている。農作物、畜産物、食品、生物質を調査対象とするという自治体もあるが、その試料の具体的な種類については、詳細には不明であった。

3) 平常時に対象とした試料

飲食物については原災指針では、「地域の食文化等を考慮し、主に飲食に供されるものや葉菜の代用とされるものを含む」と注記していることから、地域の食文化等の考慮は、通常環境放射線モニタリングにおいても実施されていると考える。また、緊急時の調査体制から平常時の調査体制に移行した場合、調査対象試料の継続性を配慮する必要もある。このため、原子力施設周辺環境放射線モニタリングを実施している都道府県が調査対象としている試料全般を環境放射線データベースから平成27年度に実施していた試料を検索した^{*1}。その結果を表4.2.6-2に示す。平常時に対象とした試料は多岐にわたり、緊急時よりその種類が多い。

4) 調査対象試料候補選定の基本的な考え方

図4.2.6に示すような考えに基づき、以下の手順で選定を行うこととした。

①原災指針またはNo.24 マニュアルで扱う試料について

原災指針の中で「緊急時モニタリングについて」では、環境試料を大気、降水、土壌等及び飲食物に分類し、土壌等は、土壌のほか、陸水、海水、河底土、湖底土、海底土、指標生物等を含むとしている。飲料水には、上水道・簡易水道も含まれるとなっている。飲食物については、OIL6の中で飲料水、牛乳・乳製品、野菜類、穀類、肉、卵、魚、その他が挙げられている。

No.24 マニュアルでは、大気、降水・降雪、飲料水・源水（河川水、湖水を含む）、牛乳、乳製品、葉菜類（タバコ、茶、牧草、陸上の指標植物も含む）、海藻類（海洋の指標植物で非食用海藻も含む）、魚類、海水、土壌（河底土、湖底土、海底土を含む）、穀類、豆類（キノコ類を含む）、肉類、卵となっている。

②原災指針及びNo.24 マニュアルに記載されている試料のうち、いずれかに含まれる試料を対象試料の基本とする。

大気、降水、降雪、飲料水（上水道、簡易水道、源水）、陸水（河川水、湖沼水、井戸水）、海水、牛乳、乳製品（粉乳、チーズ、バター、コンデンスミルク等）、野菜類（非結球性葉菜類、結球性葉菜類、花菜類（あぶらな科、花蕾類）、果菜類、茎菜類、ネギ属野菜類、未成熟豆類、根菜類、いも類、豆類、きのこ類、果実類、穀類、茶、海藻、魚類、肉類、卵、土壌、河底土、湖底土、海底土、牧草、指標生物（松葉、杉葉、ヨモギ、ムラサキイガイ、ホンダワラ、クマイザサ、キョウチクトウ）

ただし、タバコについては、環境放射線モニタリングでは扱うことが少ないこ

とから、対象候補から除外した。また、福島第一原発事故の経験等を踏まえ、果実類を追加した。

③野菜類、葉菜類の試料分類を明確にする。

野菜類の分類にはいくつかの方法があるが、②に示した野菜類、葉菜類の試料の分類については、消費者庁の情報^{*2}を参考とし、非結球性葉菜類、結球性葉菜類、花菜類、果菜類、茎菜類、ネギ属野菜類、未成熟豆類、根菜類、そしてNo.16マニュアルにある野菜類の分類で、これら以外のいも類を加えることとする。なお、野菜類については、上記の分類を踏まえ前処理法等を検討したうえ、具体的な対象試料を絞り込む必要がある。

結果を表 4.2.6-3 に示す。候補として選定した試料は、放調協の提供情報や検査、分析機関の訪問情報とほぼ一致していることを確認できたことから候補の選定の検証もできたと考える。

*1 原子力規制庁. “環境放射線データベース”.
<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>,
(参照 2017-11-10)

*2 食品と放射能 Q&A (消費者庁 2011 年 7 月 1 日版)

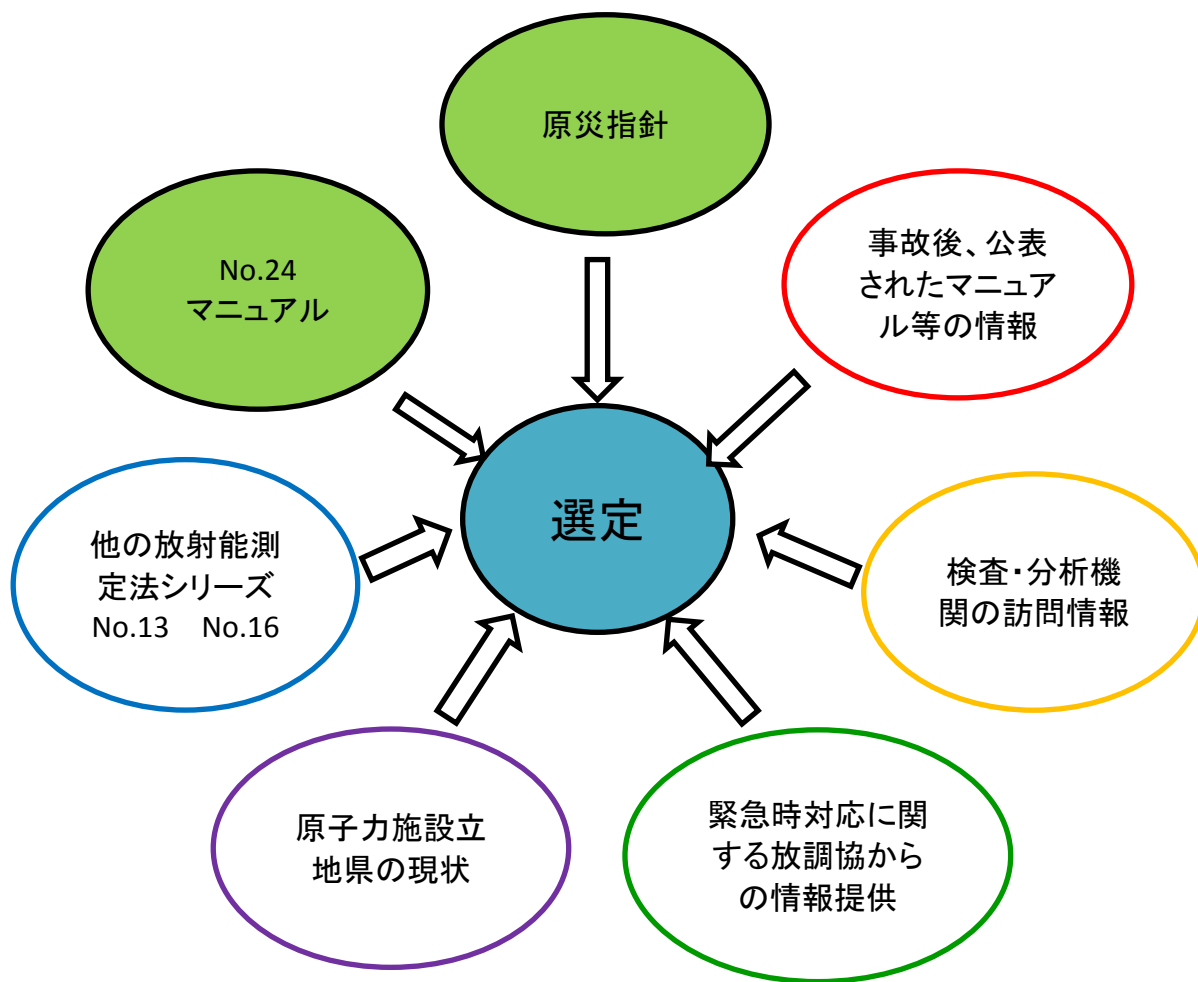


図 4. 2. 6 調査対象試料候補の選定—基本的な考え方—

表 4.2.6-2 原子力施設立地県等で対象としている試料

	北海道	青森県	宮城県	福島県	茨城県	新潟県	石川県	福井県	静岡県	京都府	大阪府	鳥取県	島根県	岡山県	山口県	愛媛県	福岡県	佐賀県	長崎県	鹿児島県
大気浮遊じん	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大気中水分		○		○		○		○		○				○						
ガス状ヨウ素										○										
月間降水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○					○	○		○
年間降水		○						○												
四半期降水			○																	
降水		○						○								○				
源水			○							○		○	○						○	○
河川水	○	○			○	○	○	○	○	○		○		○		○	○	○		○
井戸水	○	○			○	○			○									○		○
放流水														○						
構内沢水														○						
坑内水														○						
湖沼水(ダム水含む)		○			○					○	○	○						○		○
陸水																○				
水道水	○	○		○	○	○	○				○	○		○	○		○	○	○	
生活用水														○						
土壌(未耕土・畑土含む)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
水田土												○		○						
土床								○												
山土								○												
海水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○
海底土	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	○	○	○
海岸砂					○				○											
河底土		○			○						○	○		○						
湖底土		○																○		○
牛乳	○	○			○	○	○	○	○	○		○	○			○	○	○		○
牛肉		○																		
ジャガイモ	○	○								○		○						○		○
サツマイモ									○									○		○
ヤマノイモ(長芋)		○																		
玄米	○									○								○		○
精米		○	○		○	○	○				○	○	○	○		○	○	○	○	
小麦	○																			
麦									○											
茶									○				○			○				○
キャベツ	○	○			○	○	○		○		○		○					○		
レタス									○											
ハクサイ		○			○		○		○					○						○
ホウレンソウ					○					○			○	○		○	○	○		○
高菜										○						○				
アブラナ		○																		
白ネギ												○								
大根	○	○	○			○	○		○	○		○	○				○			○
大根の葉	○		○			○		○	○	○		○				○				
玉ねぎ									○				○					○		
ラッキョウ									○											○
大豆									○											
小豆	○									○										

表 4.2.6-2 原子力施設立地県等で対象としている試料（つづき）

	北海道	青森県	宮城県	福島県	茨城県	新潟県	石川県	福井県	静岡県	京都府	大阪府	鳥取県	島根県	岡山県	山口県	愛媛県	福岡県	佐賀県	長崎県	鹿児島県	
そら豆																					○
トウモロコシ	○								○												
カボチャ	○																		○		
メロン	○																				
スイカ	○						○		○												
キュウリ										○											
シイタケ										○						○					
ブロッコリー	○																				
アスパラガス	○						○														
ミカン									○							○		○			○
ミカンの皮																○					
ボンカン																					○
梨									○												
柿									○												
干し柿							○														
梅										○											
イチゴ	○																				
アイゴ(バリ)																		○			
アイナメ	○	○	○																		
アカエイ								○													
アジ							○	○	○	○											
イカナゴ(コウナゴ)		○																			
ウズメバル		○																			
ウマズラハギ										○											
エソ								○											○		○
カサゴ													○			○					
シラス(カタクチイワシ)					○				○	○											○
カナガシラ(ホウボウ)								○													
カマス								○													
カレイ	○	○						○								○					
カワハギ								○								○		○			○
ソイ	○																				
キビナゴ	○																				○
フグ								○													
コノシロ								○													
サケ	○																				
サワラ								○													
キス							○														
スケトウダラ	○																				
スズキ(セイゴ)								○				○									
タイ						○	○												○		○
トビウオ								○													
ヒラメ	○	○			○	○	○														○
ブリ								○													
ハマチ								○													
ペラ																○					
ホッケ	○																				
マガレイ						○	○														
マコガレイ							○														
メジナ								○													
メバル							○	○		○											
ホシザメ																○					

表 4.2.6-2 原子力施設立地県等で対象としている試料（つづき）

	北海道	青森県	宮城県	福島県	茨城県	新潟県	石川県	福井県	静岡県	京都府	大阪府	鳥取県	島根県	岡山県	山口県	愛媛県	福岡県	佐賀県	長崎県	鹿児島県	
ワカサギ		○																			
アユ																○					
ナマス															○						
エビ	○																				
サクラエビ									○												
イセエビ									○												
ヒラツメガニ		○																			
イカ	○	○								○									○		○
タコ	○	○							○							○					○
イガイ	○																				
ウバガイ					○																
サザエ						○	○	○	○	○			○			○		○			
ハマグリ					○				○												
ホタテ	○	○																			
牡蠣			○						○			○									
アワビ	○	○	○		○			○								○					
ムラサキイガイ		○	○													○	○				
ムラサキインコガイ		○																○			○
シジミ		○																			
イワノリ							○						○								
アラメ			○		○								○								
カジメ																				○	
クロメ																○					
コンブ	○	○																			
スジアオリ																					○
チガイノ		○																			
ヒジキ					○											○					
ホンダワラ	○					○	○	○		○			○			○	○	○			
テングサ																○					
マフノリ																					○
モズク						○		○													
ワカメ	○		○		○	○	○	○	○	○		○	○					○			○
ウニ	○	○	○													○					
ナマコ	○								○	○		○	○			○		○			○
ホヤ			○																		
キョウチクトウ											○										
クマイザサ	○																				
スギ葉												○		○		○					
松葉		○	○	○		○	○	○	○	○		○	○	○			○	○			○
ヨモギ			○					○		○											
デントコーン		○																			
イタリアンライグラス(ネズミムギ)																			○		
牧草	○	○												○							○

表 4.2.6-3 調査対象試料候補

試料名	対象試料候補	原災指針	No.24マニュアル	公表マニュアル等	訪問	No.13, No.16	立地道府県の現状	放調協アンケート結果より	コメント
大気	○	○	○		○	○	○	○	
降下物、降水	○	○	○		○	○	○	○	
飲料水（上水道、簡易水道、源水含む）	○	○	○	○	○	○	○	○	
陸水（河川水、湖沼水、井戸水）	○	○	○	○	○	○	○	○	
海水	○	○	○		○	○	○	○	
牛乳	○	○	○	○	○	○	○	○	
乳製品（粉乳、チーズ、バター、コンデンスミルク等）	○	○	○	○	○			◎	
野菜類 □	非結球性葉菜類	○	○*	○**	○	○	○	○	◎
	結球性葉菜類	○	○*	○**	○	○	○	○	◎
	花菜類（あぶらな科、花蕾類を含む）	○	○*		○	○	○	○	◎
	果菜類	○	○*	○**	○	○	○	○	◎
	茎菜類	○	○*	○**	○	○			◎
	ネギ属野菜類	○	○*		○	○	○	○	◎
	未成熟豆類	○	○*		○	○	○	○	◎
	根菜類	○	○*		○	○	○	○	◎
	いも類	○	○*		○	○	○	○	◎
	豆類	○		○	○	○	○	○	◎
きのこ類	○		○	○	○	○	○	◎	
果実類	○			○	○	○	○	◎	
穀類	○	○	○	○	○	○	○	◎	
茶	○		○	△	○	○	○	◎	
海藻	○		○	○	○	○	○	◎	
魚類	○	○	○	○	○	○	○	◎	
肉類	○	○	○	○	○		○	◎	
卵	○	○	○	○	○			◎	
土壌	○	○	○	○	○	○	○	○	
河底土	○	○	○		○	○	○	○	
湖底土	○	○	○		○	○	○	○	
海底土	○	○	○			○	○	○	
牧草	○		○	○	○	○	○	◎	
指標生物（松葉、杉葉、ヨモギ、ムラサキガイ、ホンダワラ、クマイザサ、キョウチクトウ）※	○	○	○			○	○	○	

※：No.16マニュアル「環境試料採取法」及び立地道府県の現状を参考に選定

□：野菜類については、食品と放射能Q&A（消費者庁2011年7月1日版）を参考に分類したほか、放射能測定法シリーズ16「環境試料採取法」で野菜類に分類されている「いも類」を加えた

*：OIL6で「野菜類」を細分化

**：「葉菜」の細分化

△：飲料とするお茶（液体状態）を対象

◎：放調協アンケート結果で「農作物」「畜産物」を細分化

4.2.7 定量可能レベルの計算

1) はじめに

No.24 マニュアルの第1章 序論に、本法により得られる¹³¹Iと¹³⁷Csの定量可能レベルとして、多くの核種が混在する緊急時及び平常時に、相対効率15%のゲルマニウム半導体検出器を使用して測定した場合の値を示し、「原子力発電所等周辺の防災対策について」(昭和55年制定、平成元年3月一部改訂、平成4年度6月一部改訂)に示されている「飲食物摂取制限に関する指標値」と比較している。しかし、近年では一般的に使用されているゲルマニウム半導体検出器の相対効率が30%程度であることや「原子力災害対策指針」の01L6に示されている飲食物摂取制限に関する基準値とも比較しておく必要があることや、さらに、No.24 マニュアルの序論では、この定量可能レベルは、緊急時の汚染状況等により変動するとも述べている。これらのことから、福島第一原発事故後に環境試料をU8容器(100ml:50mmφ×50mm)またはマリネリ容器(2L)に詰め、実測したスペクトルを利用して改めて計算し、測定供試量と測定時間の関係を確認することとした。なお、定量下限値は、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」に述べられている検出下限値の計算方法に従った。

2) 計算方法

相対効率30%程度のゲルマニウム半導体検出器で測定し、デッドタイムができるだけ高いスペクトルを基準とし、種々の測定時間及び各試料群について計算して求めた検出下限値(¹³¹I、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs)を定量可能レベルとした。

(1) 緊急時においてU8容器を用いた場合

- ① 基準スペクトルとして、(公財)日本分析センターにおいて、土壌試料を測定したデータを基準スペクトルとした。この時に使用した測定器の相対効率は31%、デッドタイムは10%であった。この測定諸条件を以下に示す。

測定試料重量(w_1)、密度(ρ)、ピーク効率(ε_1)、測定時間(t_1)、検出下限値(DL_1)

- ② U8容器に5cmの高さまで試料を充填した際の測定試料重量(w_2)を密度から算出した。
- ③ 5cmの高さまで充填した際のピーク効率(ε_2)をパラメータである充填高及び測定試料重量(w_2)を変更してソフトウェアから算出した。この測定諸条件は以下のようになる。

測定試料重量(w_2)、密度(ρ)、ピーク効率(ε_2)

- ④ 定量可能レベルは次のように計算した。

$$DL_2 = DL_1 / \{ (w_2/w_1) \times (\varepsilon_2/\varepsilon_1) \}$$

- ⑤ 種々の測定時間における定量可能レベルを計算した。

$$DL_i = DL_2 / \sqrt{t_i/t_1}$$

測定時間(t_i)：ここでは、10分、30分、1時間及び10時間とした。

- ⑥ 任意の試料群について、U8容器に5cm充填した際の測定試料重量(w_j)を密度(ρ_j)から計算し、さらに、ピーク効率(ε_j)をソフトウェアから計算し、パラメータである材質及び密度(測定試料重量含む)を変更した。この時の諸条件を以下に示す。

測定試料重量(w_j)、密度(ρ_j)、ピーク効率(ε_j)、測定時間(t_i)、検出下限値(DL_j)
なお、任意の試料群は、No. 24 マニュアル、原災指針のOIL6などを参考に、降下物、降水・飲料水・牛乳、葉菜、淡水産生物・肉類・卵類、土壌、河底土・湖底土・海底土の6群に分けた。

- ⑦ 任意の試料群についての定量可能レベルを計算した。

$$DL_j = DL_i / \{ (w_j/w_2) \times (\varepsilon_j/\varepsilon_2) \}$$

また、大気試料については、相対効率27%のゲルマニウム半導体検出器で測定したデッドタイム3.3%の活性炭カートリッジ(供試量:140.044m³)のスペクトルを基準とし、U8容器に充填したろ紙(供試量:1m³)としてソフトウェアで解析し、検出下限値を以下の式で計算した。

$$\text{ろ紙 } DL = \text{活性炭 } DL / \{ (1/140.044) \times (\text{ろ紙のピーク効率}/\text{活性炭のピーク効率}) \}$$

この式より、上記、任意の供試量(1m³、10m³及び1000m³)並びに測定時間(10分、30分、1時間及び10時間)の場合について計算した。

- (2) 緊急時において2Lマリネリ容器を用いる場合

相対効率30%程度のゲルマニウム半導体検出器で測定し、デッドタイムができるだけ高いスペクトルを基準とし、種々の測定時間及び各試料群について計算して求めた検出下限値(¹³¹I、¹³⁷Cs、¹³⁴Cs)を定量可能レベルとした。

- ① 基準スペクトルとして、福島県環境創造センターにおいて、降下物試料を測定したデータを基準スペクトルとした。この時に使用した測定器の相対効率は38%、デッドタイムは54%であった。この測定諸条件を以下に示す。

測定試料重量(w_i)、密度(ρ)、ピーク効率(ε_1)、測定時間(t_i)、検出下限値(DL_i)

- ② 種々の測定時間における定量可能レベルを計算した。

$$DL_i = DL_1 / \sqrt{t_i/t_1}$$

測定時間(t_i)：ここでは、10分、30分、1時間及び10時間とした。

- ③ 任意の試料群について、2Lマリネリ容器に充填した際の測定試料重量(w_j)を密度(ρ_j)から計算した。
- ④ 任意の試料群について、2Lマリネリ容器に充填した際のピーク効率(ε_j)をパラメータである密度(ρ_j)、測定試料重量(w_j)を変更して、ソフトウェアから計算した。この測定諸条件を以下に示す。

測定試料重量 (w_j)、密度 (ρ_j)、ピーク効率 (ε_j)、測定時間 (t_i)、検出下限値 (DL_j)

- ⑤ 任意の試料群についての定量可能レベルを計算した。

$$DL_j = DL_i / \{ (w_j/w_i) \times (\varepsilon_j/\varepsilon_i) \}$$

なお、任意の試料群は、No.24 マニュアル、原災指針の 01L6などを参考に、降水物、降水・飲料水・牛乳、葉菜、淡水産生物・肉類・卵類、土壌、河底土・湖底土・海底土の 6 群に分けた。

3) 計算結果

U8 容器を使用した場合とマリネリ容器 (2L) を使用した場合の定量可能レベルの計算結果を表 4.2.7-1 及び表 4.2.7-2 に示す。また、No.24 マニュアルに記載されている定量可能レベルも併せて示した。なお、今回計算した結果は、No.24 マニュアルと比較するため有効数値 2 桁とし、3 桁目を切り上げた。また、 ^{134}Cs については 605keV と 796keV での計算を行っているが、表に示した値は両ピークの内、高い計算結果を採用した。

U8 容器を使用した場合の定量可能レベルは、大気試料については、 ^{131}I 及び ^{137}Cs の両核種とも、10 分から 10 時間のいずれの測定時間においても、今回計算した値の方が No.24 マニュアルの値より小さくなっている。これは、ゲルマニウム半導体検出器の相対効率の違いによるもので、No.24 マニュアルでは 15%、今回の計算では 27% であるため、後者の方が定量可能レベルは低くなった。大気以外の試料については先とは異なり、今回の計算結果はいずれの試料、測定時間においても、No.24 マニュアルの値と比べて、同等か大きくなっている。これは、計算に用いた基準スペクトルの違いによるものと考えられる。今回の計算には、土壌試料の測定スペクトルを基準とした。この時のデッドタイムが 10% であることから、試料中には多くの核種が存在していたものと推定される。一方、No.24 マニュアルに示された値を計算するために使用されたスペクトルの状況については、特に記述されていないため、確定的な結論は不明である。今回計算に使用した基準スペクトルは、コンプトン散乱などの影響を受けているため、計算対象核種のスペクトルのバックグラウンドが上昇したことに起因し、定量可能レベルが高い値となった。

飲食物試料の計算と表 4.2.7-3 に示す原災指針 01L6 の飲食物摂取制限に関する基準値と比較した。その結果、降水・飲料水・牛乳試料では 10 分間の測定では ^{131}I 、 ^{137}Cs 及び ^{134}Cs とも基準値を超えたことがわかった。また、葉菜試料では 10 分間の測定では、 ^{137}Cs と ^{134}Cs は基準値を超えたことがわかった。それ以外の試料や 10 分から 10 時間の測定時間においては、基準値を下回ったことがわかった。

マリネリ容器 (2L) を使用した場合の定量可能レベルについては、U8 容器を使用した場合の値と比較すると、いずれもマリネリ容器 (2L) を使用した場合の計算結果の方が小さくなっている。これは、測定供試量の差によるものである。また、今回の計算結果はいずれの試料、測定時間においても、No.24 マニュアルの値より大きくなっている。

これは、今回の計算には降下物試料の測定スペクトルを基準とし、この時のデッドタイムが 58%であることから、試料中には多くの核種が存在していたものと推定される。このため、U8 容器を使用した際の計算と同様、コンプトン散乱などの影響を受けたため、計算対象核種のスペクトルのバックグラウンドが上昇したので高い値となった。

また、原災指針 0IL6 の飲食物摂取制限に関する基準値と比較した結果、いずれの試料も 10 分から 10 時間の測定時間においても基準値を下回ったことを確認できた。

4) まとめ

福島第一原発事故後に土壌試料を U8 容器（100ml:50mmφ×50mm）に詰めて測定した実測スペクトル及び、降下物試料をマリネリ容器（2L）に詰めて測定した実測スペクトルを利用して定量可能レベルを計算し、測定供試量と測定時間の関係を確認した。その結果、一部の試料で、測定時間によっては原災指針 0IL6 の飲食物摂取制限に関する基準値を上回ることがあることがわかった。ただし、この計算結果は、上記したスペクトルを基準にして求めたものであり、No.24 マニュアルの序論にも述べられているように、この定量可能レベルは緊急時の汚染状況等により変動するため、ここに示した結果は一つの目安とするのが適切であると考ええる。さらに、実際の測定には計数誤差を伴うことから、基準値との単純な比較はできない。これらのことから、緊急時における調査目的に応じた下限値が設定された場合には、各試料の測定毎にその値を確認することが望ましいと考える。

表 4. 2. 7-1 U8 容器を用いたときの測定時間と定量可能レベルの関係（赤文字は現行マニュアルの値）

試料名	平均密度 (g/cm ³)	供試量(g)	¹³¹ I 定量可能レベル				¹³⁷ Cs 定量可能レベル				¹³⁴ Cs 定量可能レベル				単位
			10分間	30分間	1時間	10時間	10分間	30分間	1時間	10時間	10分間	30分間	1時間	10時間	
大気	0.25	1m ³	6	4	3	0.8	6	3	2	0.7	8	5	3	1.0	Bq/m ³
			10	6	4	2	18	10	8	4					
		10m ³	0.6	0.4	0.3	0.08	0.6	0.3	0.2	0.07	0.8	0.5	0.3	0.10	
			1.0	0.6	0.4	0.2	1.8	1.0	0.8	0.4					
		1000m ³	0.006	0.004	0.003	0.0008	0.006	0.003	0.002	0.0007	0.008	0.005	0.003	0.0001	
			0.010	0.006	0.004	0.002	0.018	0.010	0.008	0.004					
降下物	0.98	88.69g	350	200	150	50	280	170	120	40	310	180	130	40	Bq/L
			220	140	100	40	500	300	200	80					
降水	0.98	88.69g	350	200	150	50	280	170	120	40	310	180	130	40	Bq/L
飲料水			220	140	100	40	500	300	200	80					
牛乳			220	140	100	40	500	300	200	80					
葉菜	0.52	47.06g	610	350	250	80	500	290	210	70	550	320	230	70	Bq/kg
			440	280	200	80	1000	600	400	160					
淡水産生物	0.95	85.975g	360	210	150	50	290	170	120	40	320	180	130	40	Bq/kg
肉類			220	140	100	40	500	300	200	80					
卵類			220	140	100	40	500	300	200	80					
土壌	1.566	141.723g	240	140	100	30	190	110	80	30	200	120	90	30	Bq/kg
			220	140	100	40	500	300	200	80					
河底土	1.566	141.723g	240	140	100	30	190	110	80	30	200	120	90	30	Bq/kg
湖底土			220	140	100	40	500	300	200	80					
海底土			220	140	100	40	500	300	200	80					

ゲルマニウム半導体検出器の相対効率：31%

ただし、大気試料：27%

ゲルマニウム半導体検出器の相対効率：15%

表 4.2.7-2 マリネリ容器（2L）を用いたときの測定時間と定量可能レベルの関係（赤文字は現行マニュアルの値）

試料名	平均密度 (g/cm ³)	供試量(g)	¹³¹ I定量可能レベル				¹³⁷ Cs定量可能レベル				¹³⁴ Cs定量可能レベル				単位
			10分間	30分間	1時間	10時間	10分間	30分間	1時間	10時間	10分間	30分間	1時間	10時間	
降下物	1.00	2000g	110 18	70 10	50 8	20 4	90 40	60 24	40 16	20 6	100	60	50	20	Bq/L
降水 飲料水 牛乳	1.00	2000g	110 18	70 10	50 8	20 4	90 40	60 24	40 16	20 6	100	60	50	20	Bq/L
葉菜	0.52	1040g	200 36	120 20	80 16	30 8	170 80	100 48	70 32	30 12	180	110	80	30	Bq/kg
淡水産生物 肉類 卵類	0.95	1900g	120 18	70 10	50 8	20 4	100 40	60 24	40 16	20 6	110	60	50	20	Bq/kg
土壌	1.566	3132g	80 18	50 10	30 8	10 4	70 40	40 24	30 16	8 6	70	40	30	9	Bq/kg
河底土 湖底土 海底土	1.566	3132g	80 18	50 10	30 8	10 4	70 40	40 24	30 16	8 6	70	40	30	9	Bq/kg

ゲルマニウム半導体検出器の相対効率:38%

ゲルマニウム半導体検出器の相対効率:15%

表 4. 2. 7-3 飲食物摂取制限に関する基準値（「原子力災害対策指針」01L6）

核種	飲料水 牛乳・乳製品	野菜類、穀類、肉、卵、 魚、その他
放射性ヨウ素	300Bq/kg	2,000Bq/kg [※]
放射性セシウム	200Bq/kg	500Bq/kg
プルトニウム及び超ウラ ン元素のアルファ核種	1Bq/kg	10Bq/kg
ウラン	20Bq/kg	100Bq/kg

※ 根菜、芋類を除く野菜類が対象。

4.2.8 マニュアル改訂の方向性

1) はじめに

No.24 マニュアルの改訂にあたっては、以下の2点に留意し、検討を行った。

- ①対象とする環境試料については、原災指針に記載のある試料を含めること。
- ②福島第一原発事故で得られた前処理法、汚染防止策等に関する知見を反映すること。

検討方法としては、現状調査を行い、その結果得られた情報を整理した。その内容は4.2.1から4.2.7で既に詳細に述べた。ここではこれら内容を踏まえ、マニュアル改訂の方向性を取りまとめた。

2) 調査対象試料候補の選定について

対象とする調査試料候補については、4.2.6でも述べたように、原災指針に記載のある試料やNo.24 マニュアルで扱っている試料を基本とした。その結果、32種類の試料を選定した。ただし、野菜類については、その形状等からやや細かく区分した。今後、改訂マニュアルの操作手順を定める際には、類似の前処理（洗浄、可食部の区分、細断等）を考慮して、適宜グループ化し、マニュアルの章立てを行うことが望ましいと考える。特に、野菜類については種類によって（結球性、非結球性等）前処理方法が異なる可能性があるため、具体的な対象試料については、更なる精査が必要である。また、野菜類以外の試料は、改訂マニュアルの対象試料とするのが適当と考える。

3) 総論的内容の扱い

試料の種類に依存しない前処理操作全般に係る汚染防止策と試料の保管については「序論」に記述することが望ましいと考える。

汚染防止策等の対策については4.2.3で述べたように、福島第一原発事故で得られた経験の中で、重要な事項の一つである。そのため、4.2.1の現状調査の中で、2) 検査・分析機関への訪問で得た情報の中になんか細かな対策を取られていたことがわかった。また、3) 放調協からの情報提供においても、汚染防止対策を実施または配慮していることがわかった。このことから、サーベイの実施、作業員への配慮、作業場の配慮、試料相互汚染防止策、測定容器への汚染防止策、測定器への配慮などの留意点を記載することが望ましいと考える。

4) 前処理方法について

現状調査で得た情報に基づき改訂の検討を行ったが、概ねNo.24 マニュアルの前処理方法を踏襲できると考える。ただ、一部追加や変更等が必要な部分もあるため、4.2.2 3) 課題とその対応に述べた。その概略は次のようになる。

大気試料

No.24 マニュアルでは活性炭カートリッジは捕集材を取り出すとなっているが、現在では、市販の比較校正線源が入手できることから、改訂マニュアルではそのままでも測定可能であることを記述する。また、測定に供するろ紙の量について、ろ紙1枚でも測定可能であることを記述する。

降下物・降水・飲料水・源水試料

No.24 マニュアルでは、放射性核種の測定容器への吸着を避けるために、塩化ナトリウムを添加するとなっているが、吸着がそれほどの短時間には進まないことと、塩化ナトリウムの添加とその溶解に時間を費やすことは緊急時には好ましくないことからこれを削除する。なお、降下物や降水には雪が含まれることも考えられるため、その場合には自然融解させることの説明を加える。

食物、特に葉菜類

No.24 マニュアルでは、相互汚染防止のため水洗いを実施しないとなっているが、後述するように食物は摂取することが前提であることから、改訂マニュアルでは水洗いを実施するように記述する。

土壌・海底土等

改訂マニュアルにおいてはNo.24 マニュアルを踏襲し、異物を取り除き湿土のまま混合し、測定試料とすることを記述する。

指標生物

動物、植物の指標生物については、改訂マニュアルにおいてはNo.24 マニュアルを踏襲し、水洗いを行わず細断後混合し、測定試料とすることを記述する。

5) 食物試料の洗浄について

4.2.1 現状調査でも述べたように、福島第一原発事故後には、多くの種類の食物が調査されていたし、緊急時の場合には、多くの種類の食物を調査することが準備されている。一方、原災指針のOIL6の基準値は、飲食を前提とした摂取制限値である。

したがって、摂取制限としての基準値と比較することを目的として環境放射能調査を実施する場合には、食物の前処理としては、飲食を前提としているため、土や泥などの汚染を取り除くために水で軽く洗い落とす洗浄操作を改訂マニュアルに取り入れる。また、可食部の区分も必須でありNo.24 マニュアルを踏襲する。ただし、No.24 マニュアルに選定されていない試料については、厚生労働省のマニュアル「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」を参考とする。

6) マニュアルの構成

以上のことから、改訂マニュアルの構成は以下のとおりとする。

第1章 序論

- ①汚染防止策
- ②保管に関する事項
- ③食物試料の注意点

第2章 用語の解説

第3章以降 試料毎の各論を記す

なお、緊急時には、普段環境放射能調査に従事されていない方も担当することが考えられるため、記載内容はわかりやすく、かつ、作業内容がわかる写真、図、絵等を多用する。

解説 定量可能レベル

付録 常備しておく機器（用具）の一覧

なお、これら機器等が緊急時に汚染しないような保管方法や新たに準備した機器（用具）が、汚染していないかを確認する必要があることを追記する。

4.3 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見について

本事業を実施するに当たって、マニュアル案等の主なユーザーとなる地方公共団体の分析機関に対して、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会を通じて、意見聴取した。詳細については参考資料 2 に示す。

5. まとめ

原子力規制委員会では、環境放射能の水準を把握するための調査や、陸域、海域及び空域の各種放射線モニタリングを実施している。また、地方公共団体、原子力事業者及び研究機関等、様々な主体が放射線モニタリングを実施している。これらの様々な主体が適切に各種放射線モニタリングを実施するためには、標準的な分析・測定法に関するマニュアルを整備しておく必要がある。

本年度については、以下の項目について、業務を実施した。業務に当たっては、専門的知見を持つ者から意見を聴取する等、技術的妥当性に留意するとともに、適宜、原子力規制庁担当官と調整を行った。

- ・ 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法 (No.29) の改訂案の作成
- ・ 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) の改訂案の検討
- ・ 専門的知見を持つ有識者からの意見の聴取
- ・ 事業報告書の作成

(1) 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法 (No.29) の改訂案の作成

現行の測定法 No. 29「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」に、福島第一原発事故の教訓を取り込み、更なる実効性の向上を図るために、減衰補正の考え方、減衰補正日検討し、緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法 (No.29) の改訂案を作成した。その際に、原子力規制委員会に設置された環境放射線モニタリング技術検討チームの委員等の指摘への対応を実施した。

(2) 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) の改訂案の検討

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) の改訂案を作成するために必要な検討を行った。

現状調査として、緊急時マニュアルに関する情報収集、検査・分析機関への訪問による情報収集を行った。また、調査対象試料候補の選定を行うとともに、定量可能レベルの計算を実施した。

(3) 専門的知見を持つ有識者からの意見の聴取

本業務を実施するに当たっては、学識経験者等からなる委員会「放射能測定法シリーズ改訂検討委員会」を設置し、検討内容及び検討結果、マニュアル改訂案等について、総合的な評価・検討を行った。

(4) 事業報告書の作成

(1) 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法(No.29)の改訂案の作成については、検討結果を取りまとめるとともに、改訂案を作成した。また、(2) 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)の改訂案の検討については、改訂案を作成するための必要な検討を行い、取りまとめた。本事業を実施するに当たって、改訂案の主なユーザーとなる地方公共団体の分析機関に対して、原子力施設等放射能調査機関連絡協議会を通じて、意見聴取した。その他に、改訂案及び検討に必要な事項を調査するために、国内の検査・分析機関を訪問するとともに、文献を入手して調査を実施した。

参考資料 1 平成 29 年度 放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

平成 29 年度 第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

1. 日時 平成 29 年 11 月 8 日(水) 13 時 25 分～16 時 05 分
2. 場所 航空会館 B101 会議室
3. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	東北大学
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
	紺野慎行	福島県環境創造センター
	斎藤公明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター
	細見健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	(木村芳伸	青森県原子力センター 欠席)
	(長尾誠也	金沢大学 欠席)
	(柚木彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所 欠席)
原子力規制庁	久野聡企画官、及川真司環境放射能対策官、山田純也課長補佐、 松田解析評価専門官	
オブザーバー	セイコー・イージーアンドジー(株)(板津英輔、阿部敬朗)、 ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ(株)(村松勇、酒井国博)	
事務局	公益財団法人 日本分析センター 森本、磯貝、北村、岸本、新田、前山、篠原、杉山	
4. 議題
 - (1) 平成 29 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について
 - (2) 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等からのご指摘と対応方針(案)について
 - (3) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について
 - (4) 減衰補正の考え方について
 - (5) 緊急時マニュアル類や検査・分析機関への訪問による情報収集状況について
 - (6) その他
5. 配付資料

資料 1-1	平成 29 年度放射能測定法シリーズ改訂検討委員会 委員名簿
資料 1-2	平成 29 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について
資料 1-3-1	「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29)の改訂の方向性に

対する環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等からのご指摘と対応方針(案)について

資料 1-3-2-1 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29)改訂案の作成について

資料 1-3-2-2 「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」(案)

資料 1-3-3 減衰補正の考え方について(案)

資料 1-4-1 「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)改訂のための検討実施計画(案)

資料 1-4-2 「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)の概要について

資料 1-4-3-1 現状調査 - 緊急時マニュアルに関する情報収集-

資料 1-4-3-2 現状調査 - 検査・分析機関への訪問による情報収集-

資料 1-4-4 収集した情報の整理方法(案)

6. 議事概要

議事に先立ち、原子力規制庁久野企画官から挨拶があった。また、日本分析センター磯貝理事より、委員の紹介の後、本委員会の委員長を中村委員に依頼した。

(1) 平成 29 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について

事務局から資料 1-2 に基づき、平成 29 年度放射能測定法シリーズ改訂事業について説明があった。

- ① 昨年度改訂した測定法シリーズNo.17 は、平成 29 年 12 月に環境放射線モニタリング技術検討チームで議論される予定であると原子力規制庁よりコメントがあった。

(2) 環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等からのご指摘と対応方針(案)について

原子力規制庁山田課長補佐から本委員会と環境放射線モニタリング技術検討チームに関して、概要説明があった。その後、事務局から資料 1-3-1 に基づき、環境放射線モニタリング技術検討チーム委員等からのご指摘と対応方針について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 今回の改訂案のタイトルは「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」であり、既に制定されているNo.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」となっている。「スペクトル解析法」と「スペクトロメトリー」で文言が異なるが、どのように整合性をとるのかと委員より意見があった。文言の使用方法については、原子力規制庁と相談したいと事務局より回答があった。(指摘No.5)

- ② 核実験と原子力関連事故では、放出される核種の組成が異なるため、データライブラリーを作成する際に注意が必要であると委員より意見があった。どのようにするか文案を作成して、ご指摘いただきたいと事務局より回答があった。また、放出される核種については変わらないため、解説などに記載を追加したほうがよいと委員より意見があった。(指摘No.9)
- ③ 採取期間のある減衰補正日については、「中間日」を標準とするのではなく「最終日」のほうがよいのではないかと委員より意見があった。中間日では必ずしも核種の蓄積が始まっているとは限らないが、最終日であれば核種が蓄積しているのが確実であると委員より意見があった。(指摘No.11)
- ④ ^{85}Kr についてデータライブラリーに入れても問題がないようならば含めたほうがよいのではと委員より意見があった。 ^{85}Kr (514 keV) については、陽電子消滅放射線 (511 keV) と近接しているため、再度検討したいと事務局より回答があった。また、 ^{85}Kr を追加する場合には、解説などを追加したほうがよいと委員より意見があった。(指摘No.19)
- ⑤ 医療用ヨウ素 131 が汚泥などから検出されることについてユーザーから問い合わせがあるため対応してほしいとオブザーバーより意見があった。
- ⑥ 東京電力福島第一原子力発電所事故の際に、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比を見ることで、サム効果補正の有無を確認できることをどのように改訂案に記載するのか、分量が多い場合は、解説を新たに立てる必要があるのではないかと委員より意見があった。現在のところ、本文に数行を記載することを検討していると事務局より回答があった。(指摘No.27, 28)
- ⑦ スペクトル解析を行う際に、サムピーク、シングルエスケープ、ダブルエスケープなどのピークに関する記載が必要ではないかと委員より意見があった。サムピークについては改訂案に記載していると事務局より回答があった。また、表面汚染関連の ISO マニュアルに、サムピークについて掲載されているので、参考にするとよいと委員より意見があった。(指摘No.20)
- ⑧ 報告様式が改訂案にあると分かりやすいので追加したほうがよいのではないかと委員より意見があった。報告様式の例を追加したいと事務局より回答があった。(指摘No.11, 29)
- ⑨ 東京電力福島第一原子力発電所事故の際に、データの質の保証について大変苦労して、日本分析センターの値が標準となって相互比較分析を実施して大変役立ったため、改訂案に記載してほしいと委員より意見があった。また、1 採取地点あたり、5 箇所まで土壌を採取して、平均値をどのように取り扱うか議論をして、 ^{131}I の場合、検出されていないデータについては、検出下限値を用いて集計を行うと過大評価になることも分かった。このようなことを、改訂案に記載すべきか分からないが、情報を継承してほしいと委員より意見があった。現在、環境放射線モニタリング技

術検討チームで、品質保証を推進する枠組みを構築することを議論していると原子力規制庁より説明があった。

- ⑩ 資料 1-3-1 の委員会での意見について、どのようにまとめるのかと委員より質問があった。要旨に取りまとめることとしたいと事務局より回答があった。

(3) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について

事務局から資料 1-3-2-1 及び 1-3-2-2 に基づき、「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について説明があった。改訂案について、何かコメントがあれば、事務局に連絡していただくこととなった。

(4) 減衰補正の考え方について

事務局から資料 1-3-3 に基づき、減衰補正の考え方について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 減衰補正に関するケーススタディについては、改訂案に記載してほしいと委員より意見があった。解説などに掲載したいと事務局より回答があった。
- ② 資料 1-3-3 にある逐次壊変する過渡平衡核種の“等”は何を示すのかと委員より意見があった。現在想定している核種については、すべて改訂案に記載すると事務局より回答があった。
- ③ 資料 1-3-3 にある減衰補正に関する記載イメージ図は改訂案に掲載するのかと委員より意見があった。改訂案に掲載すると事務局より回答があった。

(5) 緊急時マニュアル類や検査・分析機関への訪問による情報収集状況について

事務局から資料 1-4-1、1-4-2、1-4-3-1、1-4-3-2 及び 1-4-4 に基づき、緊急時マニュアル類や検査・分析機関への訪問による情報収集状況について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 今回検討した試料について、必要がないものがあつた場合には外すこともあるのかと委員より意見があつた。必要がないものがあつた場合には外すと事務局より回答があつた。
- ② 厚生労働省、農林水産省のマニュアルの目的は明確だが、今回検討する測定法シリーズNo.24 の目的、立ち位置はどのように考えているのかと委員より意見があつた。もう少し情報を収集してから、全体像を考えたいと事務局より回答があつた。
- ③ 今回の緊急時マニュアルに関する情報収集では、海外のものも対象となっているのかと委員より意見があつた。海外の情報も現在調査していると事務局より回答があつた。
- ④ 原子力規制庁として、対象試料はどのように考えているのかと委員より意見があつた。原子力災害対策指針及び緊急時モニタリングについて（原子力災害対策指針

補足参考資料)に記載があるものは、最小要件 (minimum requirement) と考えていると原子力規制庁より回答があった。

- ⑤ 対象試料を既に決めているのかと委員より意見があった。現状調査として、放調協等のお話も伺い、整理した結果を次回委員会には紹介したいと事務局より回答があった。
- ⑥ 検出器によって、前処理方法が変わると思うがどのように考えているのかと委員より意見があった。サーベイメータを用いる場合については少し方法が異なると思うが、NaI 検出器と Ge 検出器の場合はほぼ同じになると考えている。結果的に、Ge 検出器を用いる方法が中心となるのではないかと事務局より回答があった。
- ⑦ 東京電力福島第一原子力発電所事故の際に、試料の保管方法、保存方法についても議論した経験があり、これらについても検討するのかと委員より意見があった。試料を廃棄する基準に関しての記載を検討したいと事務局より回答があった。
- ⑧ 緊急時といっても、事故時、放射性物質の放出時、沈着時など様々であるがどのあたりを想定しているのかと委員より意見があった。現状調査において、どのような想定で緊急時の対応を行ったかを調査すると事務局より回答があった。
- ⑨ ¹³¹I などの分析目標値や検出下限値によっては、分析供試量や前処理方法が変わると思うが今後検討する予定はあるのかと委員より意見があった。分析目標値や検出下限値と前処理方法との関連について、今年度は検討を実施しないと事務局より回答があった。
- ⑩ 緊急時モニタリングの際には、限られた時間に多種類の環境試料が分析機関に一気に搬入されるが、試料の取り違い防止策についても記載を検討してほしいと原子力規制庁より意見があった。

(6) その他

事務局より、第 2 回委員会は 12 月 11 日午後を開催し、詳細については後日連絡すると報告があった。

以上

平成 29 年度 第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

1. 日時 平成 29 年 12 月 11 日(月) 13 時 25 分～16 時 40 分
2. 場所 航空会館 B101 会議室
3. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	東北大学
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
	木村芳伸	青森県原子力センター
	紺野慎行	福島県環境創造センター
	斎藤公明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター
	長尾誠也	金沢大学
	細見健二	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	柚木彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所
原子力規制庁	久野聡企画官、及川真司環境放射能対策官、山田純也課長補佐、松田解析評価専門官	
オブザーバー	セイコー・イージーアンドジー(株)(田村敦也、阿部敬朗)、ミリオントテクノロジーズ・キャンベラ(株)(村松勇)	
事務局	公益財団法人 日本分析センター 森本、磯貝、北村、新田、前山、川村、島村、今野	
4. 議題
 - (1) 第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
 - (2) 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からのご意見について
 - (3) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について
 - (4) 「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」改訂案の検討状況について
 - (5) その他
5. 配付資料

資料 2-1	平成 29 年度放射能測定法シリーズ改訂検討委員会 委員名簿
資料 2-2	平成 29 年度第 1 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨 (案)
資料 2-3	測定法シリーズの改訂案作成に関する放調協の意見
資料 2-4	「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」(案)

資料 2-5-1 「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」
改訂案の検討のための現状調査

資料 2-5-2 現状調査で収集した情報の整理

資料 2-5-3 情報の整理結果に基づく調査対象試料候補の選定

6. 議事概要

日本分析センター磯貝理事より、前回会合に欠席された委員の紹介があった。

(1) 第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について

事務局から資料 2-2 に基づき、第1回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について説明があり、以下の意見等があった。一部語句を修正することとなり、了承された。

- ① 委員より、6. (2) ⑨について、「日本分析センターが中心となって」を「日本分析センターの値が標準となって」に修正したほうがよいと意見があった。

(2) 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からのご意見について

玉柿委員から資料 2-3 に基づき、測定法シリーズの改訂案作成に関する放調協の意見について説明があった。意見の回答については、議題 (3) 及び (4) で説明することとなった。

(3) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について

事務局から資料 2-4 に基づき、「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」改訂案について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 減衰補正の適用の有無を決定することについて、現在の改訂案では測定者が判断を行うような記載となっており、緊急時には、測定者ができるだけ判断をしなくてもよいと考えられるため、修正する必要があると委員より意見があった。減衰補正の適用の有無の記載方法については、原子力規制庁と相談したいと事務局より回答があった。(p. 19 4.3.4)
- ② 用語の解説について、想定される緊急時の状況と関連するような説明にしたほうがよいと委員より意見があった。(p. 2 第2章)
- ③ デットタイム増加に伴う対応について、U8 容器等の場合、試料量を減らす方法だけでなく、検出器からの距離を離れた測定方法も適用できると委員より意見があった。(p. 30 6.1.2)
- ④ N型のGe検出器の場合、遮へい体の内側に銅の内張りをしていないとX線の影響があるので記載を追加したほうがよいと委員より意見があった。注釈などで対応したいと事務局より回答があった。

- ⑤ Ge 検出器の解析ソフトを測定者が検証することについて、改訂案の対象範囲なのかと委員より意見があった。改訂案の対象範囲外と考えていると事務局より回答があった。
 - ⑥ ピークのドリフトについて、測定ごとに実施するものでなく、日常点検として実施するものであるため、日常点検の項目を改訂案に追加したほうがよいと委員より意見があった。項目を追加するか検討したいと事務局より回答があった。(p. 26 6.1.1)
 - ⑦ 不明ピークの確認方法について、複数回の測定を行い、半減期から推定する方法もあると委員より意見があった。(p. 35 6.2.2)
 - ⑧ 検出器の除染方法について、アクリル板をアルコールで拭きすぎるとひびが発生する事例が委員より紹介があった。(p. 45 7.4)
 - ⑨ 液体窒素の補給方法について、Ge 検出器を常温でない状態から液体窒素を補給すると、性能が劣化する事例が委員より紹介があった。
 - ⑩ ブランク試料の測定について、長尺ろ紙等に放射性セシウムが混入していた事例もあるため、ブランク試料の測定を記載したほうがよいと委員より意見があった。ブランク試料の測定を追加するか検討したいと事務局より回答があった。(p. 447.2)
 - ⑪ ピークのドリフトについては、どの程度移動したらドリフトになるかある程度示していたほうがよいと委員より意見があった。ドリフトの目安を記載したいと事務局より回答があった。(p. 32 6.2.1)
 - ⑫ 試料の測定手順において、ジオメトリには試料量（充填高）も含まれることも記載したほうがよいと委員より意見があった。(p. 25 6.1.1)
 - ⑬ マリネリ容器の重量変化の記載について、誤解を生じるため、記載を修正したほうがよいと委員より意見があった。記載内容について検討したいと事務局より回答があった。(p. 25 6.1.1)
 - ⑭ バックグラウンド測定における汚染状況について、減衰の影響の度合いに関して、記載を修正したほうがよいと委員より意見があった。記載を修正したいと事務局より回答があった。(p. 44 7.2)
 - ⑮ 大気浮遊じん等の採取期間がある試料の減衰補正を採取期間の中間を基本とすることについて、平常時の運用方法と異なるため、煩雑になると委員より意見があった。また、採取期間の中間を基本とするのは、緊急時のみであるため、あまり問題は生じないのではないかと原子力規制庁より意見があった。さらに、解析ソフトに採取期間の中間を取り入れることとなると、操作上選択肢が増えるため、考慮する必要があるとオブザーバーより意見があった。(p. 16 4.3.1)
- (4) 「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」改訂案の検討状況について

事務局から資料 2-5-1、2-5-2、2-5-3 に基づき、「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」改訂案の検討状況について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 第 1 回委員会の要旨に、「分析目標値や検出下限値と前処理方法との関連について、今年度は検討を実施しない」とあるが、供試量などを決めないと今年度必要な検討ができないのではないかと原子力規制庁より意見があった。現行の放射能測定法シリーズNo.24 内にある測定時間と定量可能レベル、飲食物摂取制限に関する指標値、OIL6 値を参考に検討する予定であると事務局より回答があった。また、具体的な対象試料の選定に関する議論については、第 3 回委員会で行いたいと事務局より説明があった。

(5) その他

原子力規制庁山田課長補佐から、環境放射線モニタリング技術検討チームにおけるマニュアル原案の審議予定と測定法シリーズへの記載（作成経過等）に関して、概要説明があった。

事務局より、第 3 回委員会の日程調整を早急に開始すると連絡があった。

以上

平成 29 年度 第 3 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨

1. 日時 平成 30 年 2 月 15 日(木) 13 時 30 分～16 時 30 分
2. 場所 航空会館 B101 会議室
3. 出席者(敬称略)

委員長	中村尚司	東北大学
委員	木村芳伸	青森県原子力センター
	紺野慎行	福島県環境創造センター
	斎藤公明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
	玉柿励治	福井県原子力環境監視センター
	長尾誠也	金沢大学
	柚木彰	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	(細見健二)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 欠席
	(阿部琢也)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 欠席
原子力規制庁	久野聡企画官、及川真司環境放射能対策官、山田純也課長補佐	
オブザーバー	セイコー・イージーアンドジー(株)(板津英輔、阿部敬朗)、 ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ(株)(鈴木敦雄)	
事務局	公益財団法人 日本分析センター 森本、磯貝、北村、新田、前山、川村、島村	
4. 議題
 - (1) 第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について
 - (2) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29) 改訂案について
 - (3) 「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) 改訂のための方向性について
 - (4) その他
5. 配付資料
 - 資料 3-1 平成 29 年度第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨(案)
 - 資料 3-2-1 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29) の改訂案作成における実施結果
 - 資料 3-2-2 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(案)
 - 資料 3-2-3 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29) 改訂案に対する環

境放射線モニタリング技術検討チーム委員等からのご指摘と対応(案)について

資料 3-3 「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) 改訂の方向性

資料 3-4 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) 事業報告書について

6. 議事概要

(1) 第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について

事務局から資料 3-1 に基づき、第 2 回放射能測定法シリーズ改訂検討委員会要旨について説明があり、了承された。

(2) 「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29) 改訂案について

事務局から資料 3-2-1、資料 3-2-2 及び 3-2-3 に基づき、「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29) 改訂案について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 改訂案で使用されている計数誤差という文言について、真の値が分からないという考え方では使用できないため、修正する必要があると委員より意見があった。現在の ISO マニュアルなどでは、計数統計の不確かさという文言を使用していることから、注釈を入れて対応することとなった。(p. 23 他)
- ② 文献 1 について、参照元がどこになるか委員より質問があった。付録 3 に参考文献が記載されると事務局より回答があった。(p. 2 第 2 章)
- ③ 近似式で求められる P/T 比の記載内容について、近似できない理由などの補足説明が必要と委員より意見があった。P/T 比の近似方法について、オブザーバーに情報提供できないかと確認したところ、所有しているデータ数が少ないため、提供できないとオブザーバーより回答があった。当該記載内容については、環境放射線モニタリング技術検討チーム委員からの指摘であることから、委員に確認することとなった。(p. 8 注釈 13)
- ④ 測定結果の使用目的を示した注釈内容については、緊急時の測定方法の全般に関わることから、他の箇所にも記載したほうがよいと委員より意見があった。議論の結果、序論にも記載を追加することとなった。(p. 17 注釈 9)
- ⑤ 逐次的に壊変する核種の ^{95}Zr - ^{95}Nb に関する注釈内容について、補足的な説明が必要と委員より意見があった。注釈を修正すると事務局より回答があった。(p. 21 注釈 13)
- ⑥ 6.1.3 (1) 日常点検について、いつ行われることを想定しているのか、効率校正などは含まれないのかと委員より質問があった。6.1.3 のタイトルに測定機器等の

健全性確認という文言を追加したらよいのではと委員より意見があり、チェック線源を用いて効率校正が適正であるかということも含め、記載内容を修正することとなった。(p. 34 6.1.3)

- ⑦ ピーク中心のドリフトの記載方法について、エネルギーによって許容できる範囲が異なるとオブザーバーより意見があった。注釈等を修正すると事務局より回答があった。(p. 34 6.1.3)

(3) 「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) 改訂のための方向性について

事務局から資料 3-3 に基づき、「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」改訂案の検討状況について説明があった。意見は以下のとおり。

- ① 調査対象試料候補の選定方法について、基本的な考え方はどのようなものかと委員より質問があった。今回は、広く調査して試料候補を収集し、今後どのようにするかは次の場で議論したいと事務局より回答があった。
- ② 定量可能レベルの考え方について、検出下限値を定量可能レベルと同等として取り扱っているため、それで OIL6 の基準値を満足するというのは判断が不十分ではないかと委員より意見があった。今回は、U8 容器、マリネリ容器の 2 種類に関して、定量可能レベルの計算結果を示し、OIL6 と比較した。これらをもとに、測定時間等を調整することで対応したいと事務局より回答があった。
- ③ 放射性ヨウ素に関しては OIL だけでなく、他の基準があり、測定時間だけでは解決しないのではないかと委員より意見があった。第 2 回委員会の要旨にもあるが、供試量と定量可能レベルとの関係を調査して、その結果が目安となって、供試量や試料採取量を議論することとなると原子力規制庁より意見があった。
- ④ 緊急時モニタリングの試料数について、国から県に問合せがあり、定量可能レベルと測定時間から算定する必要があると委員より意見があった。今回の定量可能レベルの計算結果を参考にしてもらい、また指摘などがあれば伺いたいと原子力規制庁より意見があった。
- ⑤ 定量可能レベルの計算条件について、記載を変更して条件をより明確にする必要があると委員より意見があった。最終報告書の段階では修正すると事務局より回答があった。
- ⑥ 降下物の試料の保管について、塩酸などの酸の添加は必要ではないかと委員より意見があった。採取時に酸を添加するケースも想定されるため考慮する必要がある。また、食物の保管する際にも、冷蔵、冷凍など保管する条件を検討する必要があると事務局より回答があった。
- ⑦ 事故時の食物の水洗いについて、モニタリングの部局では水洗いを実施せず、また食品の部局では水洗いを実施して、部局によって 2 通りあったと委員から紹介が

あった。また、水洗いに使用する水から放射性ヨウ素やセシウムが検出されたことから注意が必要と委員から意見があった。使用する水については、事前に調べることが前提であり、また水洗いしたことによって、測定結果に影響を及ぼすという方法にならないようにしたいと事務局より回答があった。

- ⑧ 水だけではなく、ろ紙等も汚染した事例があると委員から紹介があった。養生シートを含めて検討したいと事務局より回答があった。

(4) その他

事務局より、第3回委員会の要旨及び「緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法」(No.29)改訂案について、近日中に委員に送付して、内容確認を依頼すると連絡があった。

以上

参考資料 2 原子力施設等放射能調査機関連絡協議会からの意見

1 緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法改訂案の作成について

1	<p>緊急時における注意点として、以下を追加すべきである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・緊急時には液体窒素の入手が困難となり得ること。 ・その対策として液体窒素蒸発防止装置付きの装置を導入する方法があること。 ・UPS 及び非常用自家発電機から電源を備えること。 ・耐震性を考慮すること。
2	<p>平常時からの注意点（緊急時に備えた運用方法）として、測定法シリーズ No. 7 と同様、ピーク中心チャンネルや半値幅を日常的に確認、管理することを記載すべきである。</p>
3	<p>測定時間設定の目安となることから、現行測定法の表 1.1「測定時間と定量可能レベル」を、福島第 1 原発事故の事例（ベースライン計数が増大している状況など）を踏まえた上で、この表を修正するなどして多核種検出時の定量下限に係る資料を掲載してはどうか。</p>
4	<p>測定時の注意点として、活性炭カートリッジ測定の際には、カートリッジに対する大気吸引方向と検出器に置く面について留意する旨の記載が必要である。</p>
5	<p>ピーク解析方法についての記載を追加し、技術検討チームの意見 1 にもあるとおり、「定量にはどのピークを用いて、どのように濃度を算出する」という基本的な考えを示すべきである。また、市販のソフトウェアでは同定条件（親娘両核種での検出判定機能など）を設定できるものもあり、どのような基準で同定するのか解析に必要な留意点を示しておくべきである。</p>
6	<p>緊急時にピークが多く出現したγ線スペクトルにおいて、分析結果票上の誤同定が多くなったときに棄却するために参考とできるような、誤同定しやすい核種のリストを掲載してはどうか。</p> <p>【別添資料参照】</p>
7	<p>壊変図や web 上での核種の調査方法、Table of Isotopes 等の本を利用した調査方法を記載してはどうか。これらは解析に迷った際に参考になる。</p> <p>事例：本来なら娘核種から調べないといけないところ、親核種から調べてしまい対象となる核種が見つからなかった。</p>
8	<p>事故発生から十分な時間が経過した後（放出源情報が確定しており、短半減期核種が消滅した後）での核種分析における留意点、事例などを集約・掲載してはどうか。</p> <p>事例：Cs-134 が検出下限値付近で検出された時に、134/137 比が理論値に比べて過大な値となる事例が散見された。これは、統計的なばらつきの結果、高めとなった値のみが検出下限値を超えたためであると考えられた。</p>

9	緊急時の減衰補正の適用の判断について原則的な考えを明確に記載すべきである。 (減衰補正の基準日は原則的な考えが明確にされているのに対し、補正の適用については、原案の文面からは補正することが原則であるかのように読めるが、明確でない。本来、補正の実施は測定指示者側(結果の評価者)が指定するべきであると考え。測定者が判断しなければならないような記述は適当でないと考えられる。原則的な対応をした上で、分析した結果の妥当性を確認し、異常な値に対処するために必要となる知見が解説されているようなマニュアルとしていただきたい。)
10	減衰補正について、緊急時に対応を迷うことがないように記載とすべきである。 例)・「目的に応じて減衰補正の適用を含めて減衰補正日を設定 (p15)」とあるが、どういった目的の場合に補正をすべき、又はすべきでないのかこの部分だけではわからない。 ・「市販ソフトウェアでは…注意する (p17)」とあるが、その場合に対処は具体的にどうすべきか。 ・「後者のための測定であれば…しなくても大きな問題とはならない (p18)」とあるが、減衰補正はしなくてよいのか、することが原則なのか。
11	減衰補正について、目的と減衰補正の関係を、フロー図等(資料 1-3-3 の参考のようなイメージ)で分かりやすく記載してはどうか。
12	核データライブラリに登録するデータとして、僅かな放出率のデータをどの水準まで登録しておくべきかも課題であり、注意事項として記載してはどうか。

資料 1-3-2-2 原案の記載内容について

頁	意見
10	ゲイン調整の手順について、適切な管理下ではずれの可能性が小さいことから、調整前後のゲインの設定値を記録しておくことを記載してはどうか。
12	表 4.1.1 で「活性炭」が注釈に記載されているが、緊急時には主要な試料となるので表中に記載した方が良い。補正の必要がないことは原案のとおり注釈に残してはどうか。
14 他	グラフ(例:解析法 P14、図 4.2.1)の横軸はチャンネルで表示されているが、チャンネルよりエネルギー表示のほうがわかりやすい。
21	平常時の汎用核データライブラリの例に Xe-133 の追加を検討してはどうか。
42	【別添資料参照】
31 他	壊変図の矢印の種類について注釈に記載してはどうか。
42	核データライブラリを事前に用意しておくこと等を記載した最初の 4 行は本文に記載してはどうか。

44 他	<p>解説 D. 2. 1 のスペクトル (図 D. 2. 2~2. 5) について、より詳細な情報が分かるように、横軸を複数枚に分け、リニアスケールで記載してはどうか。</p> <p>【別添参照 出典：大野，他 新潟県放射線監視センター年報，9，19-29，(2011)】</p>
---------	---

■ 改訂案の文面、記載ミス等(ドラフト版に対しての意見であるため参考情報として提供)

- ・ 全般的に「緊急時に」との表現が頻発しており、文書として重複を整理するなど読みやすくした方が良い。
- ・ p9 本文 2 行目 構成→校正。
- ・ p1 序論の最終行 十分に確認する必要がある→十分に機器の状態を確認する必要がある(目的語がなく不明確なため)。
- ・ p2 用言の解説 P/T 比・・・する性質→・・・する性質に基づく〇〇と〇〇の比(説明として不十分なため)。
- ・ p3 ゲイン調整・・・に出現するための調整→・・・に出現させるための調整(文章の表現が適当でないため)。
- ・ p21 図の注釈 in-situ Ge と「Ge」が唐突に略記されており略記しない方が良い。

2 緊急時におけるガンマ線スペクトロメリーのための試料前処理法について

1	<p>今後、放射化学分析のための試料前処理法を策定するのでなければ、今回、OIL6 に記載されたすべての核種の分析を念頭に置いて改訂するのが良い。</p>
2	<p>図や写真を積極的に掲載して頂きたい。</p> <p>【改訂案作成時】</p>
3	<p>現在付録として記載されている常備しておく機器(用具)・試薬の一覧表を更新し充実させてほしい。</p> <p>【改訂案作成時】</p>
4	<p>福島県農業総合センターの緊急時環境放射線モニタリングの分析手順のような写真またはイラスト付きの資料は大変参考となるので具体的な手順を参考資料として追加することを検討してほしい。ただし、福島県の参考資料では試料が途中で変わっている(7, 8)ので、最初から最後まで同一試料であることが望ましい。</p>

3 その他

1	<p>今後の和暦が見直されることを踏まえて、和暦表示の西暦表示への見直し(西暦表示へ統一または西暦表示の後に括弧書きで和暦も併記)を検討してはどうか。</p>
---	---

誤同定等参考リスト(例)

	寿命	放出ガンマ線(主要)	その他ピーク	生成プロセス(重大事故等による放出が想定される場合)	他の可能性
(核種)	△年	●●keV(○○%)	511keV消滅ガンマ線	燃料再臨界 (同時に△△も放出される可能性が高い)	△△(●●keV,○%)と△△(●●keV,○%) のランダムサム
(核種)	△時間	●●keV(○○%)	●●keV(○○%)	照射施設による放射化生成物 (ターゲットが○○である場合に多く生成、 同時に△△も生成される可能性が高い)	△△のエスケープ(●●keV)
(核種)	△時間	●●keV(○○%)	●●keV(○○%)	低収率核分裂生成物 (核実験による放出の場合、同時に△△や□□が多く検 出される可能性が高い)	(宇宙線由来の中性子吸収による放射化)
(核種)	△分	●●keV(○○%)	なし	原子炉壁材の放射化 (▲▲まで壊れた場合に放出される可能性あり)	ノイズ、天然核種△△の●●keVのピーク が●keV程度動いた場合
(核種)	△日	●●keV(○○%)	なし	原子炉以外による人工放射性核種	□□の特性X線

別添資料

○意見

(42 頁) 平常時の汎用核データライブラリの例に Xe-133 の追加

○根拠

以下 (1) ~ (3)

(1) 「発電用軽水型原子炉施設周辺の線量目標値に対する評価指針」(平成 13 年 3 月原子力安全委員会)

事故トラブルや定期検査時などの予期しない放射性物質としては、Xe-133 (T_{1/2}=5.2d)、Xe-135 (T_{1/2}=9.1h)、Xe-135m (T_{1/2}=15m) のほかに I-131 (T_{1/2}=8.0d) がある。

(2) 原子力発電所から放出された放射性物質の量

IAEA-TECDOC-1638 (2010) によれば、1990~1994 までの平均値で、原子力発電所から放出された気体のガス状/粒子状の比は、PWR：約 3 × 10⁵ BWR：約 2 × 10³ で、ガス状の占める割合が高く、特に放射性希ガスの放出量が最も多い。

表 原子力発電所GWあたりの放射性物質放出量(1990-1994の平均)

	GWあたりの放射性物質の量(Bq/GW)						
	気体					液体	
	H-3	C-14	希ガス	I-131	微粒子	H-3	その他
PWR	2.3 × 10 ¹²	2.2 × 10 ¹¹	2.7 × 10 ¹³	3.0 × 10 ⁸	2.0 × 10 ⁸	2.2 × 10 ¹³	1.9 × 10 ¹⁰
BWR	9.4 × 10 ¹¹	5.1 × 10 ¹¹	3.5 × 10 ¹⁴	8.0 × 10 ⁸	1.8 × 10 ¹¹	9.4 × 10 ¹¹	4.3 × 10 ¹⁰

出典: IAEA-TECDOC-1638

「Setting Authorized Limits for Radioactive Discharges : Practical Issues to Consider」(2010)

(3) 欧州域内の原子力施設における大気放出量実績

European Commission 「Radioactive effluents from nuclear power stations and nuclear fuel reprocessing sites in the European Union, 2004-08」(2010)」の 62 頁~80 頁に、大気放出した希ガス放出量実績が報告されており、Ar-41 及び Xe-133 が占める割合が高い状況である。

Ar-41 : T_{1/2} = 109.61m Er= 1.294MeV(100%)

→Ge 測定可能だが採取困難

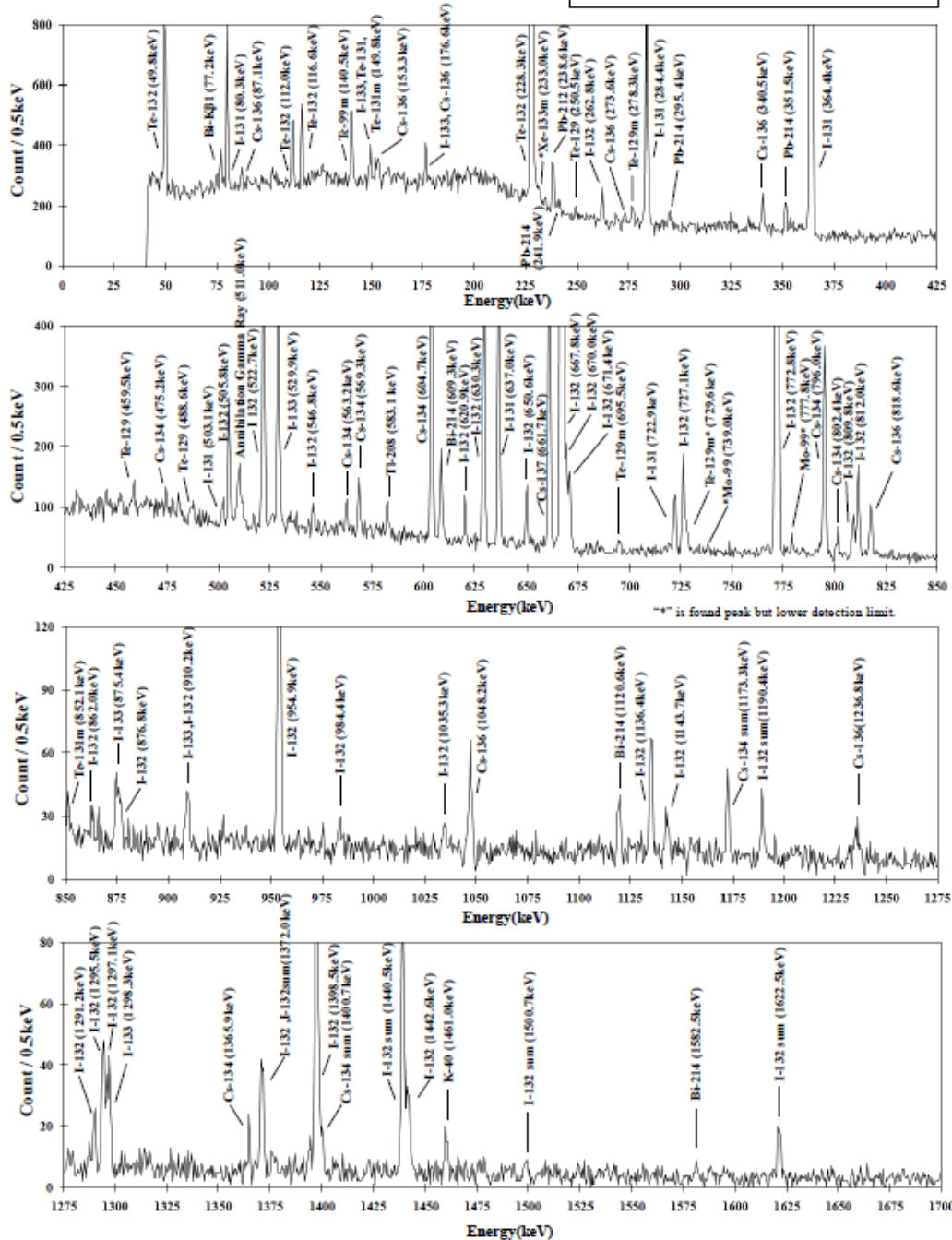
Xe-133 : T_{1/2} = 5.2475 d Er= 0.0309MeV(41.0%), 0.0810MeV(38.0%)

→ベリリウム又はカーボン窓の Ge であれば測定可能

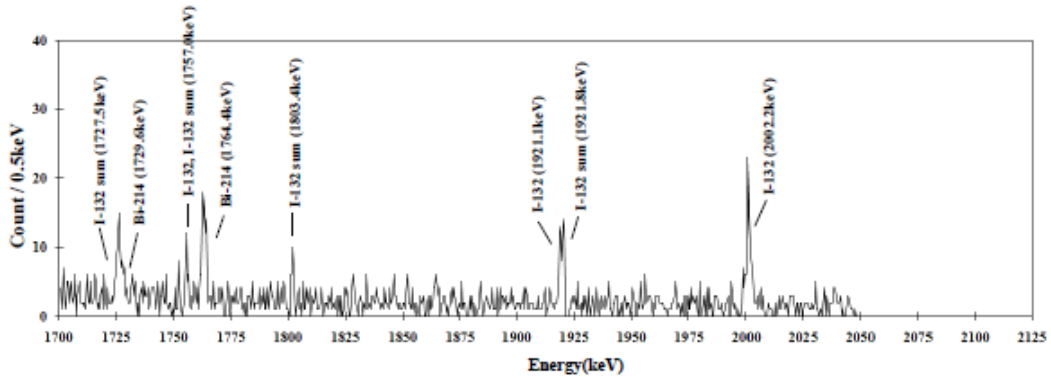
Appendix 1

Air Borne Dust extracted in Minamiuonuma City
(Sampling period : Mar. 15, 2011 16:43~18:43)

Measurement Time 20,000sec(Live Time)
Dead Time 0.17%, Supply Shiliang 80.56m³



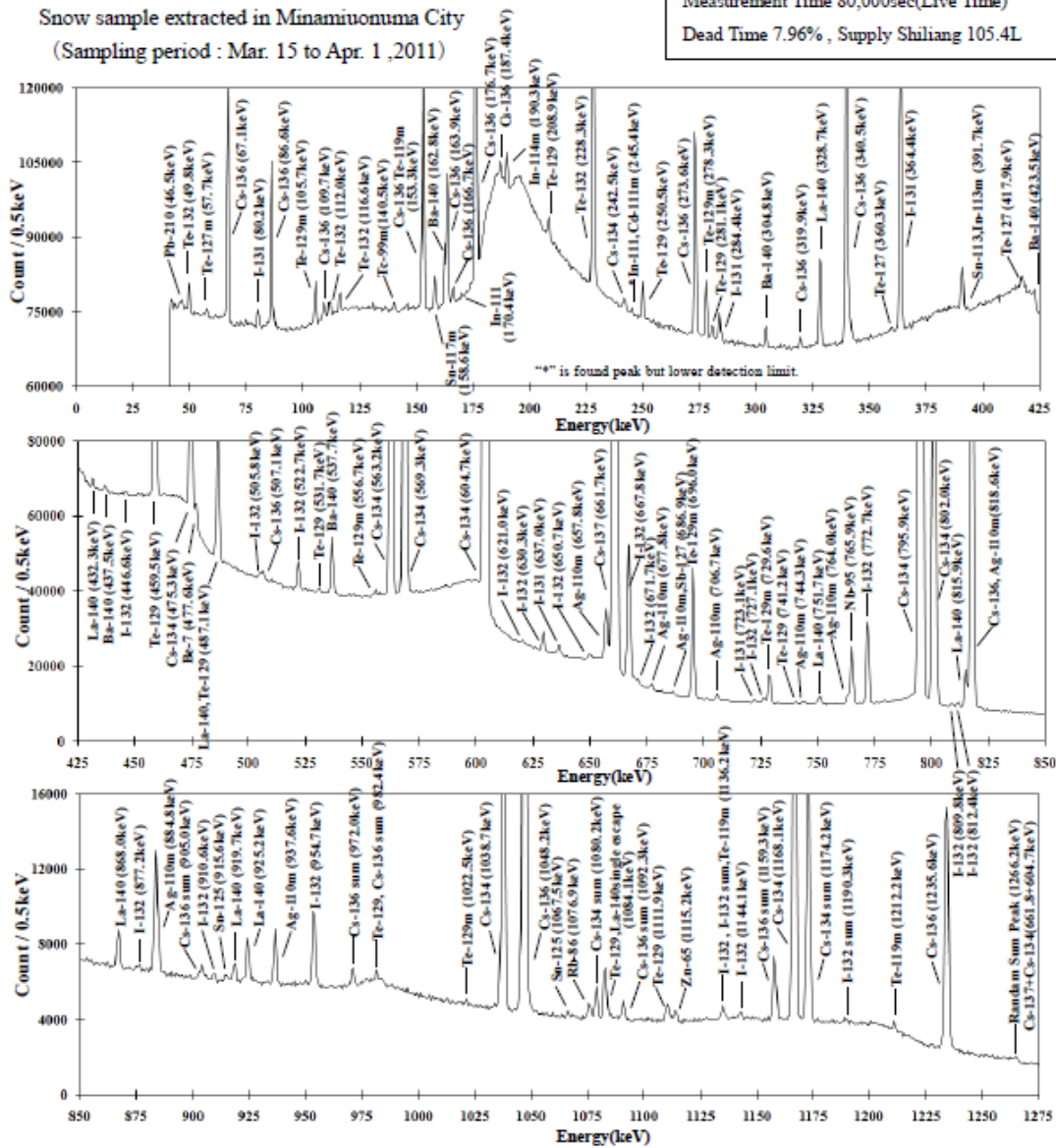
※The energy in the figure indicated the energy obtained by the peak search.

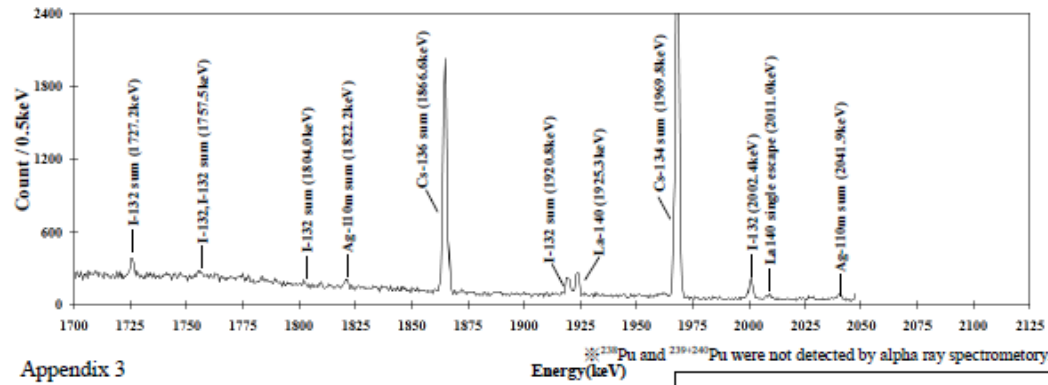
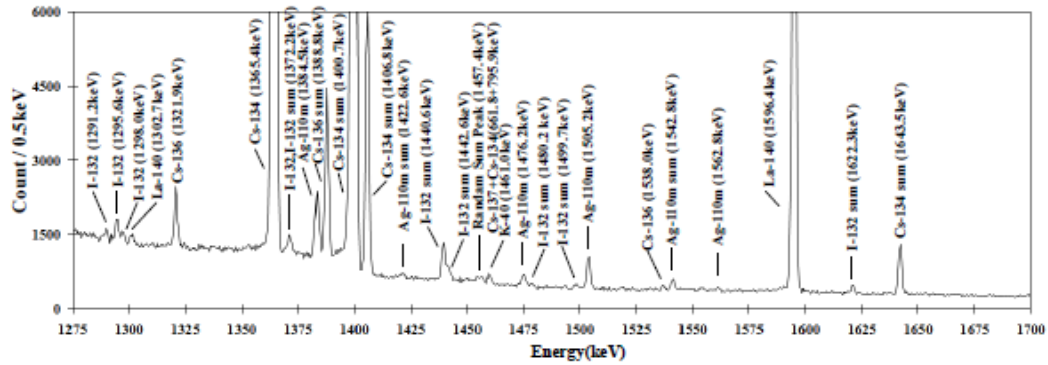


Appendix 2

Snow sample extracted in Minamiuonuma City
(Sampling period : Mar. 15 to Apr. 1, 2011)

Measurement Time 80,000sec(Live Time)
Dead Time 7.96%, Supply Shiliang 105.4L



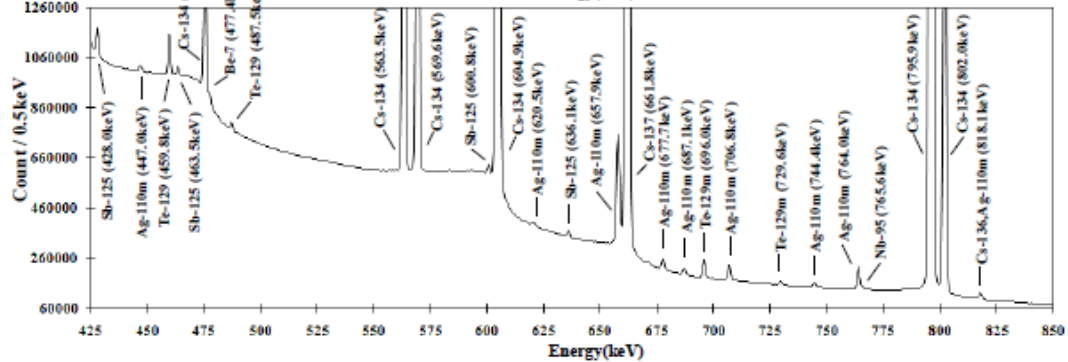
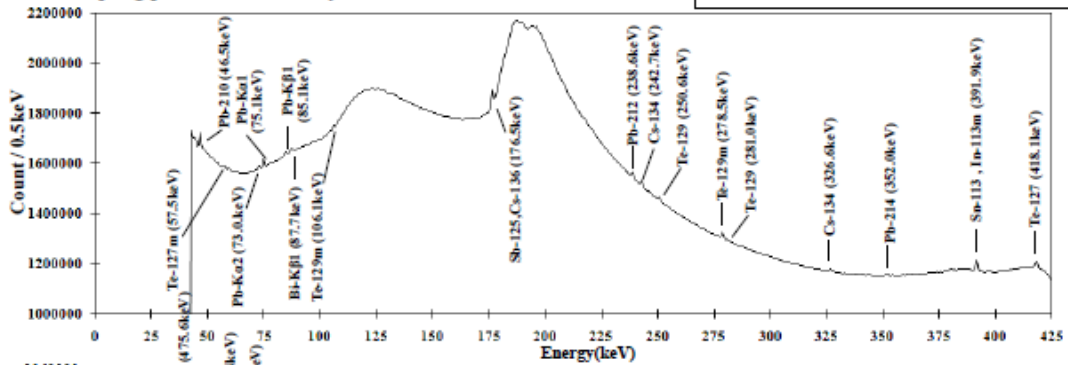


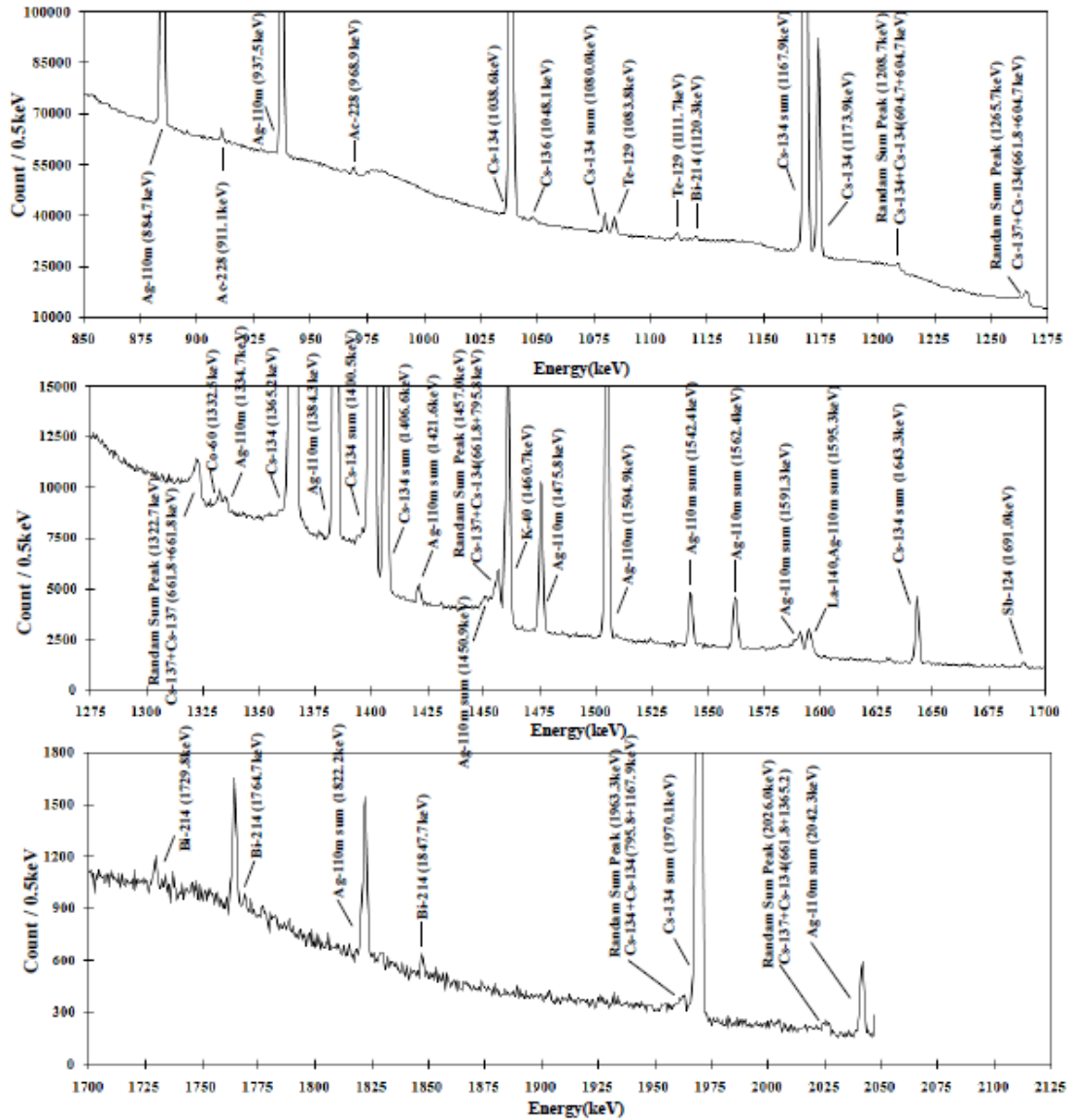
Appendix 3

Sludge sample extracted in Kashiwazaki-Kariwa area.
(sampling period : Mar. to May ,2011)

²³⁸Pu and ^{239/240}Pu were not detected by alpha ray spectrometry.

Measurement Time 531,200sec (Live Time)
Dead Time 16.7% , Supply Shiliang 0.61kg wet





測定法シリーズの改訂案作成に関する放調協の意見 平成30年1月25日受領

○緊急時におけるガンマ線スペクトル解析法改訂案関係

p2	<p>パイルアップとサムピーク、ランダムサムの解説の違いがわかりにくいいため以下のように修正すべき。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・パイルアップの項に、結果として全吸収ピークの計数減、サム（カスケード）、ランダムサム等の現象が起こる旨を記載する。 ・パルスパイルアップについても解説する。 ・サムピークの解説はランダムサムの前とする。 ・ランダムサムとサムピークの書きぶりを統一する。 「それらの全エネルギー吸収に伴う信号が加算」 → 「それらγ線エネルギーの総和に相当する加算信号 ・「カスケードにある」と略さず、「カスケード状に放出される」または「カスケードの関係にある」と記載する。
P3	<p>(1)の文中に「多核種標準容積線源等」とあり、また脚注に「多核種を含む標準点線源」とあるが、いくつの核種が含まれ、どの程度のエネルギー範囲を含むような線源を使用するのか標準的な例を記載できないか。</p>
P10	<p>「(2) 緊急時における注意点」2行目 「使用者は、常温に戻った～」の文で、前後の文章が続かない。この文の前に「液体窒素切れ等により検出器の温度が上昇したときは」を追記してはどうか。</p>
P15	<p>図 4.1 において、ピーク上に「^{134}Cs」および「サムピーク」と記載されているが、サムピークも^{134}Cs由来のピークであるため、「^{134}Cs」の表記を「^{134}Csの本来のγ線ピーク」として記載してはどうか。</p>
P34	<p>図 6.2.1 ⑥解析結果の確認の No. 12 に、「γ線スペクトル上の着目ピークにドリフトがない」を追加してはどうか。(p33に記載されているが図中にはないため)</p>
P44	<p>「7.1 緊急時におけるバックグラウンド測定の考え方」について、機器や測定環境の健全性を確認するために、天然核種も含めてバックグラウンド測定で検出された核種を前回測定時と比較し変化がないことも確認することとしてはどうか。</p>
p50	<p>「水（油）分率」…油脂分について具体例を挙げて言及する必要がある。</p>
p58	<p>「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。」この一文が意図するところがわかりにくいいため修正すべき。</p>
p77	<p>この解説のタイトルは、「デッドタイム増加による弊害」というよりは、「高計数率試料の測定により発生する問題」とすべき。 (原因) 高計数率 → (結果) デッドタイム増、パイルアップの発生 なのではないか。</p>
P96	<p>15行目「①主ピークのみ核種及び主ピークと副ピークで放出率に差がある核種について」記載が不明瞭で、主ピークと副ピークで放出率に差がある核種に限定した記載とも読みとれる。より明瞭な記載としてほしい。なお、それぞれ分けて記載するのも1つの方法として考えられる。</p>

P97	スペクトル図はできるだけ明瞭な表示をしていただきたい。
-	前回意見「解説 D. 2. 1 のスペクトルを複数枚に分けてほしい」に対して、「今後のスケジュールを考慮すると対応難しいため現行のままとしたい」としたことについて、現行のスペクトルは視認性に乏しく、この図からほとんど情報が読み取れないため、主な領域だけでよいので、分割した見やすいスペクトルとしていただきたい。

【軽微な表現の修正】

P18	式(4.8), (4.9)で「 <i>exp</i> 」と「 <i>e</i> 」が混在しているため「 <i>e</i> 」に統一する
P25 P45	P25_10 行目の「ポリエチレン袋」と、P45_18 行目の「ポリ袋」を統一する。
P63	表 C. 3 および表 C. 6
P65	項目欄中の文字で、太字と細字が混在（「濃度」のみ細字）を修正する。

【誤植】

P21	13 行目「バックグラント」→「バックグラウンド」
P26	12 行目「汚染をの可能性を」→「汚染の可能性を」
p44	12 行目「汚染されたいないこと」→「汚染されていないこと」
P82 ほか	<p>p.82 の式は以下の誤植ではないか。←</p> $\frac{ FWHM_i - HWHM(E_i) }{\sqrt{\Delta_i^2 - \Delta(E_i)^2}} \Rightarrow \frac{ FWHM_i - FWHM(E_i) }{\sqrt{\Delta_i^2 - \Delta(E_i)^2}}$ <p>p. 90 の式は以下の誤植では。←</p> $\frac{S}{I_S} - \frac{B}{I_B} \sqrt{\left(\frac{\sigma_S}{I_S}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_B}{I_B}\right)^2} \Rightarrow \left(\frac{S}{I_S} - \frac{B}{I_B}\right) \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_S}{I_S}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_B}{I_B}\right)^2}$ <p>p. 92 の 8 行目の式は以下の誤植では。 $A_t + \sigma_t \Rightarrow A_t \pm \sigma_t$ ←</p>
P96	12 行目「照合る」→「照合する」

○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改訂内容検討関係

現時点で意見なし。

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

本報告書は、原子力規制委員会 原子力規制庁の平成 29 年度放射線対策委託費（放射能測定法シリーズ改訂）事業における委託業務として、公益財団法人日本分析センターが実施した成果を取りまとめたものです。

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ンネル (ch) を算出する。
- ④ 各 γ 線のエネルギー (keV) とピーク中心チャンネル (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ンネル (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}。

$$P/T = \beta + \alpha \times \text{Ln}(RE) \quad (3.3)$$

$$\text{Ln}(\alpha) = -1.11 - 0.30 \times \text{Ln}(E) \quad (3.4)$$

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

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る。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方が良い。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 チャンネル (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、ピーク中心のチャンネル (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 チャンネル (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 チャンネル (ch) 及び 244 チャンネル (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 のピーク中心チャンネル (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、緊急時においては、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 (m^3) や降下物の水盤の受水面積 (cm^2 や m^2) 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、吸収や散乱が起これ、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。

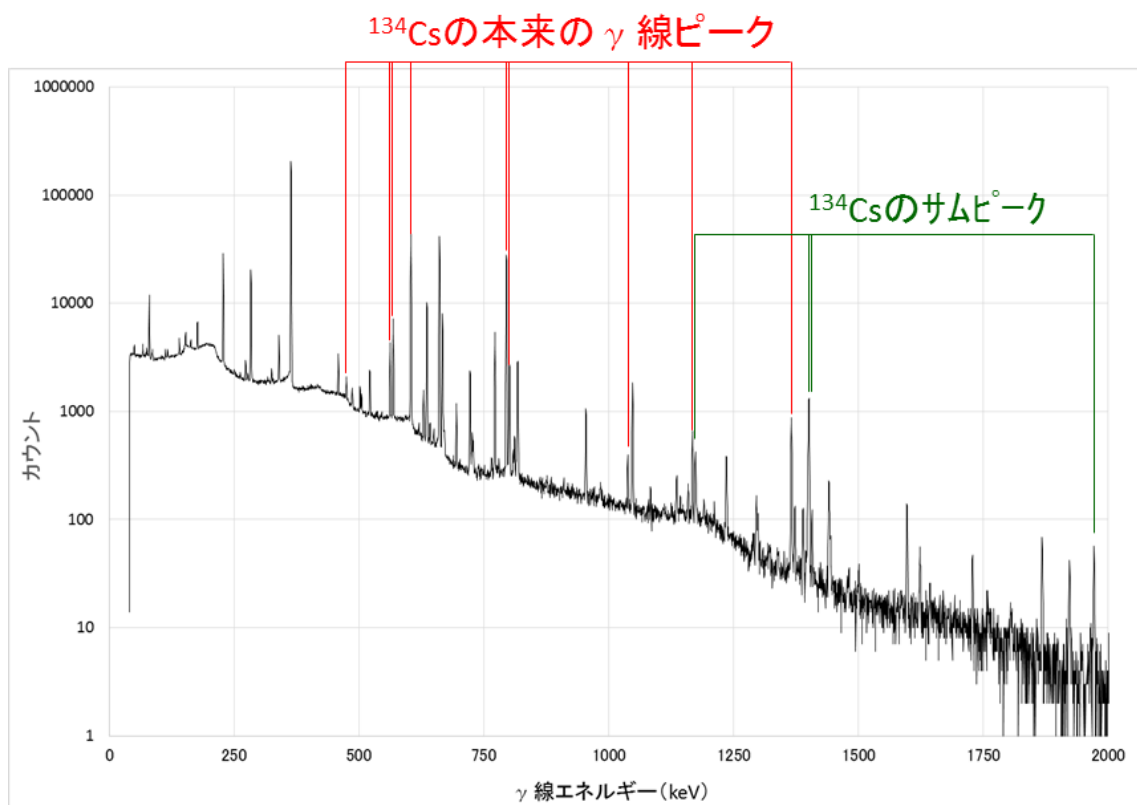


図 4.1 ^{134}Cs のサムピークが出現した γ 線スペクトル
(福島第一原発事故直後に採取した土壌)

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プ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。

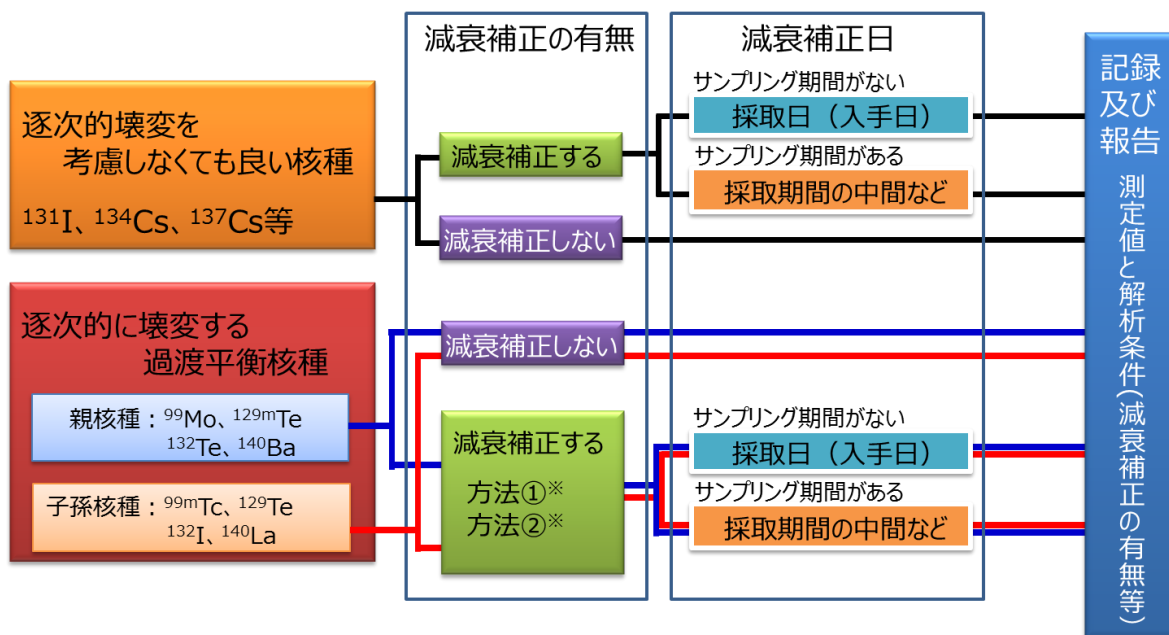
- ・放射能測定法シリーズ 7「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」に記載のある親核種からの流れ込みを考慮した減衰補正（「4.3.2 減衰補正の一般式」に記載の式 (4.6) から式 (4.9)）
- ・放出時点から過渡平衡状態と仮定し、子孫核種の半減期として、親核種の半減期を用いた減衰補正

(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(2 σ)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。

通常の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)						
7Be	40K	51Cr	⁵⁸ Co	⁵⁹ Fe	⁶⁰ Co	⁶⁵ Zn	⁸⁵ Kr	⁸⁶ Rb	⁹¹ Sr
54Mn	58Co	59Fe	91γ	95Zr	95Nb	99Mo	99mTc	103Ru	106Ru
60Co	65Zn	95Zr	110mAg	113Sn	125Sb	127Te	129Te	129mTe	130I
95Nb	103Ru	106Ru	131mTe	131I	131mXe	132Te	132I	133I	133Xe
125Sb	131I	134Cs	133mXe	134Cs	135Xe	136Cs	137Cs	140Ba	140La
137Cs	140Ba	140La	141Ce	144Ce	147Nd	152Eu	203Pb	239Np	
144Ce	208Tl	214Bi	JCO事故(含中性子線による放射化核種)(C)						
228Ac	234mPa		²⁴ Na	⁴⁶ Sc	⁵¹ Cr	⁵⁴ Mn	⁵⁶ Mn	⁵⁹ Fe	⁶⁰ Co
108mAg	110mAg	141Ce	⁶⁵ Zn	⁸² Br	⁹¹ Sr	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	¹⁰³ Ru	¹²² Sb
152Eu	154Eu	212Pb	¹²⁴ Sb	131I	133I	134Cs	135I	137Cs	138Cs
212Bi	214Pb	226Ra	140Ba	140La	153Sm	198Au			

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。
- ・マルチチャン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。
 - ・マルチチャンネルアナライザー（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（⁴⁰K 及び ¹³⁷Cs 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。
 - ・マルチチャンネルアナライザー（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

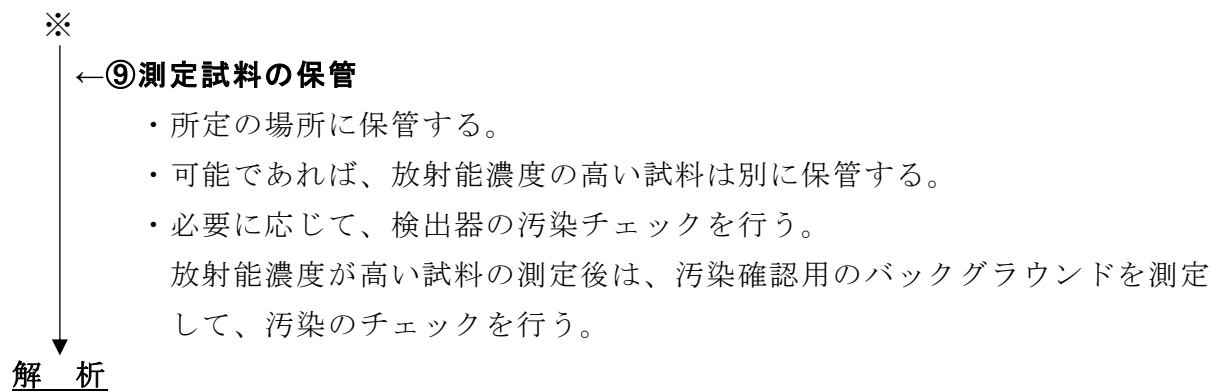


図 6.1 試料の測定手順フロー図（続き）

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。		
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 線の数が膨大となり、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 線の数を減らす必要がある^{*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 線の数を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み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良い。

(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	<p><u>検出された人工放射性核種のγ線ピークについて</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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	<p><u>不明のγ線ピークについて</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・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(569.3keV+604.7keV)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有効である。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。他の放出率が大きい 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, L, m², m³など)を併記する。

3. 測定器	
検出器型式	
進入体厚	
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	逐次の減衰を考慮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

--

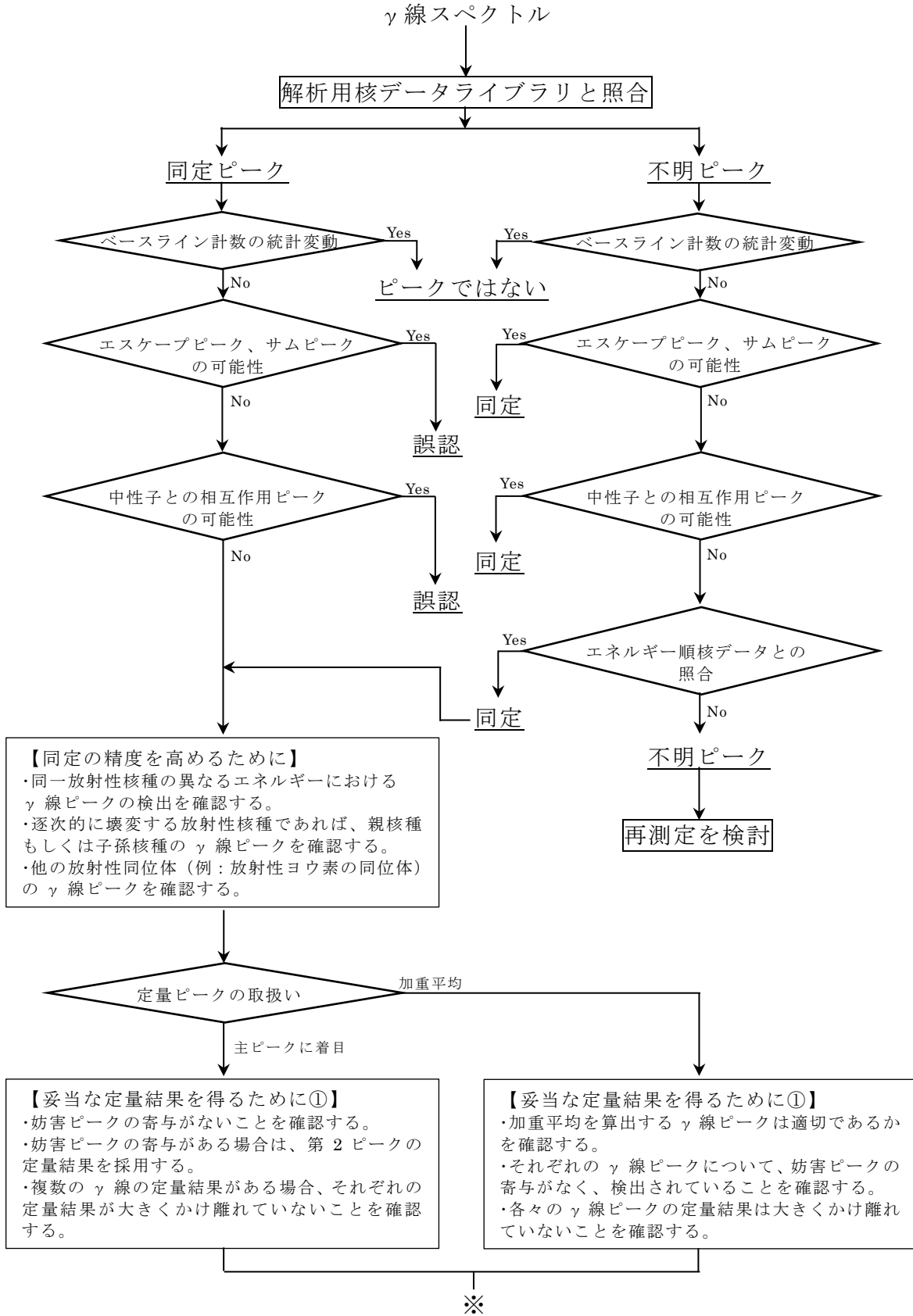


図 6.3 解析結果の報告までのフローチャート例

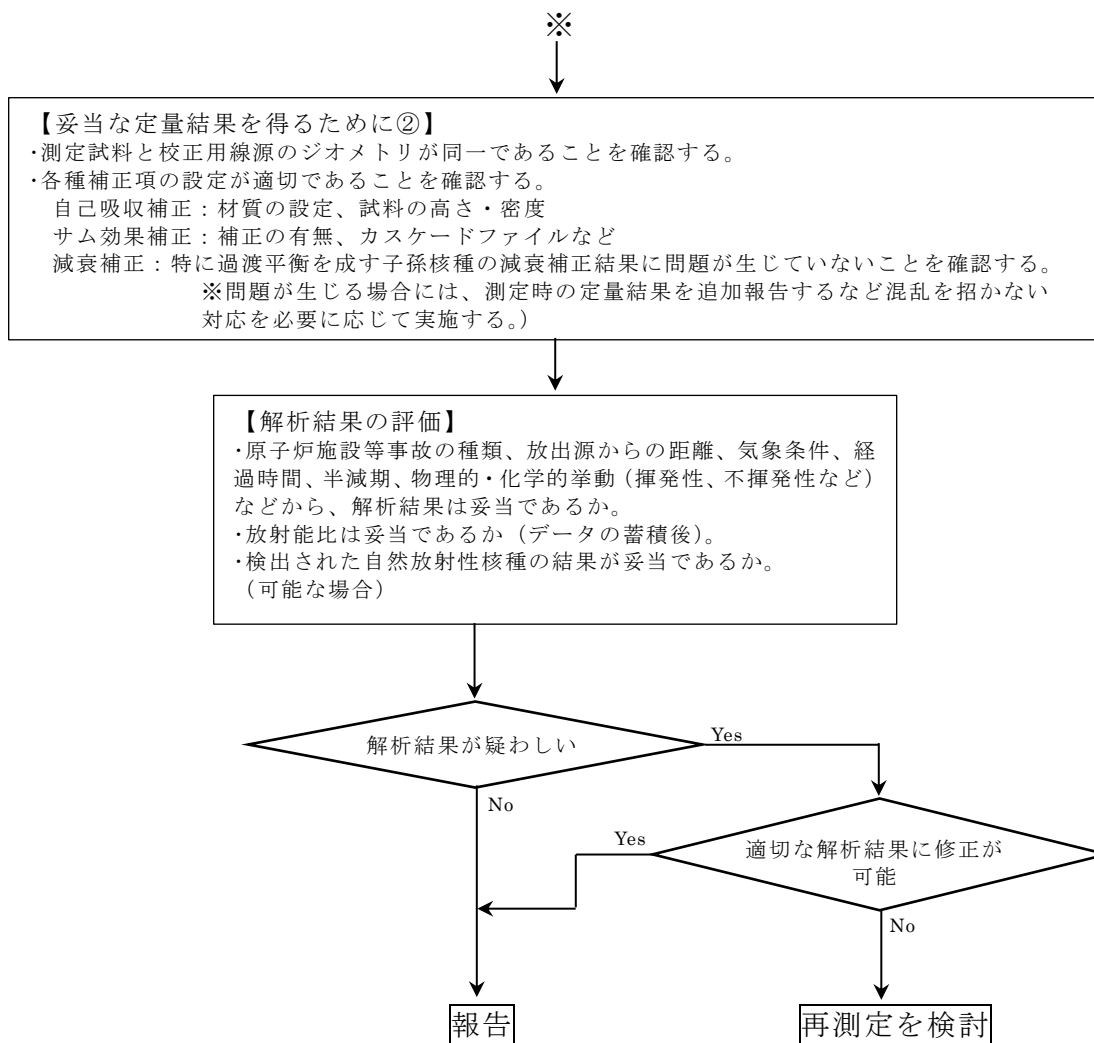


図 6.3 解析結果の報告までのフローチャート例（続き）

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¹³⁷Cs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¹³⁴Csや¹³⁷Cs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すぎると、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 ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)

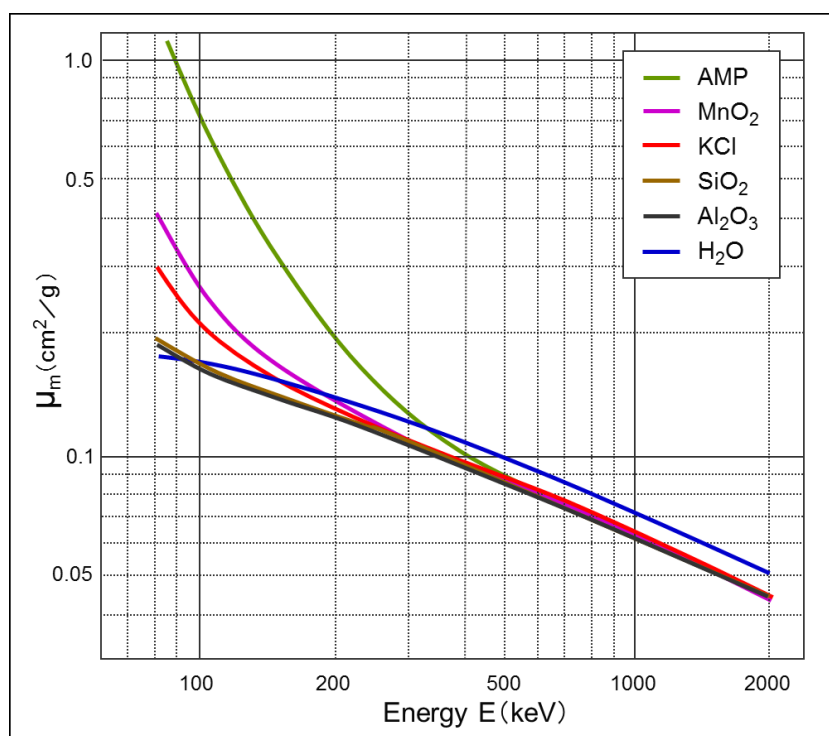
μ : 海底土、土壌、灰化物等の線減弱（衰）係数 (cm^{-1})

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ことが多いことから、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

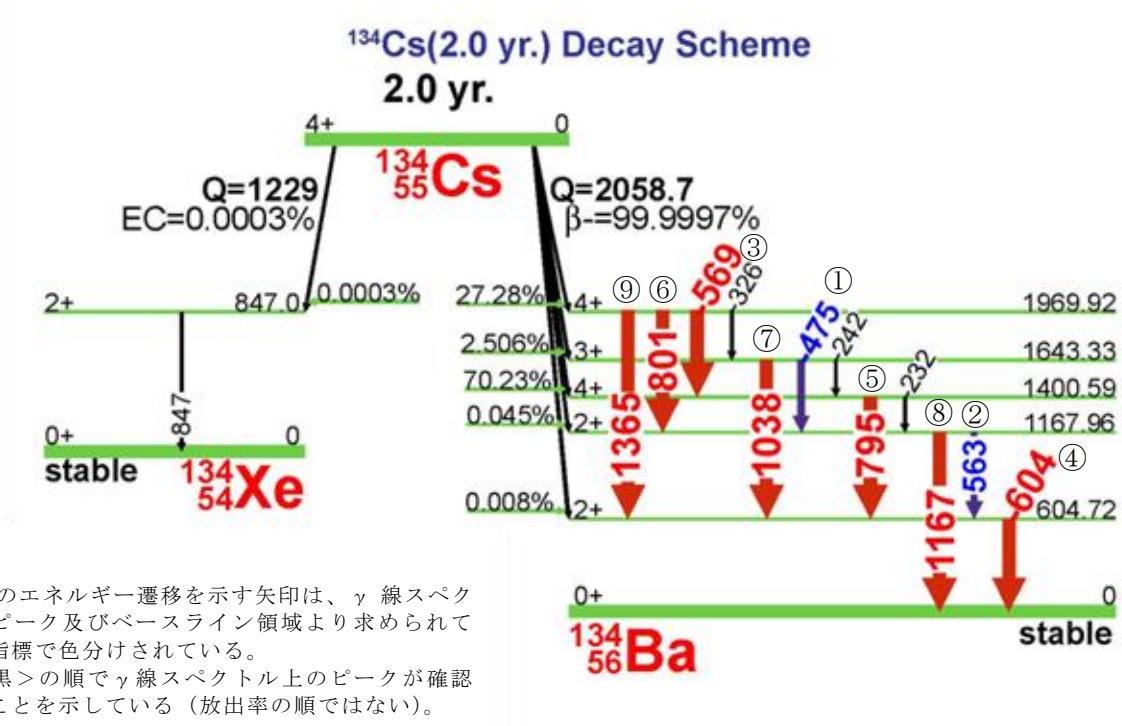
注 1：核データの出典は ENSDF（2017 年 10 月時点）である。

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。



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.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。

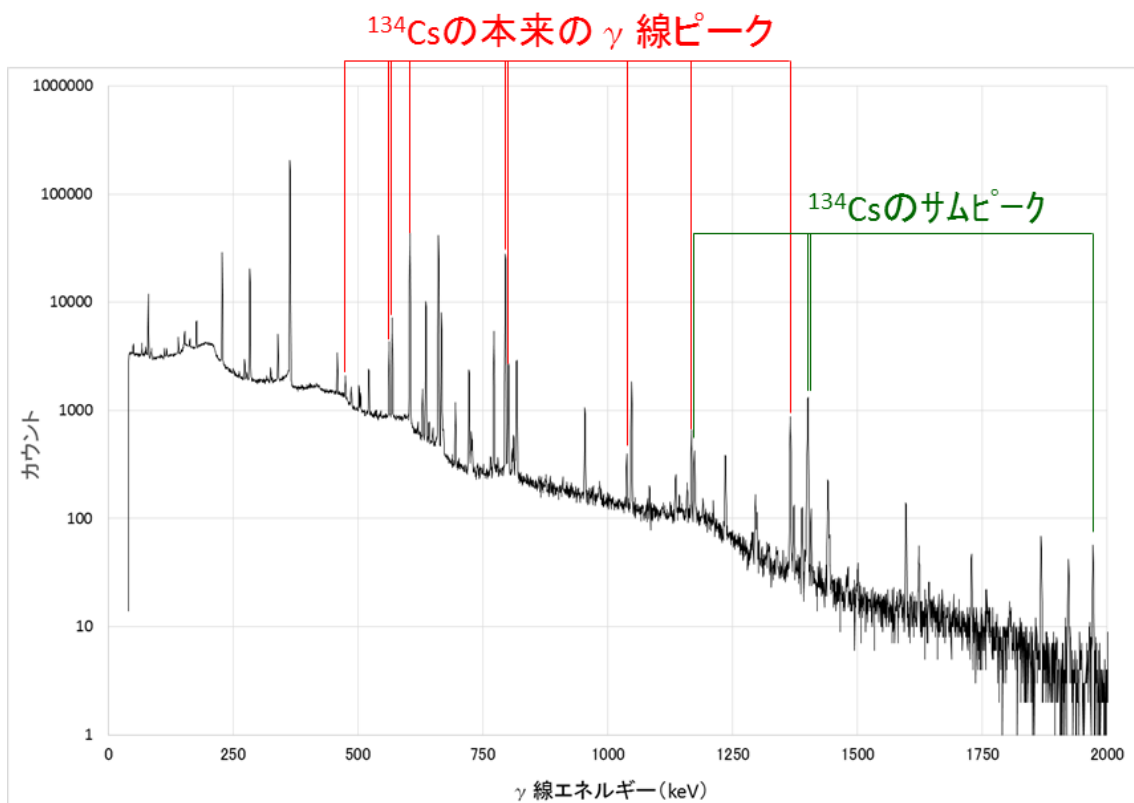


図 B.2 ^{134}Cs のサムピークが出現した γ 線スペクトル
(福島第一原発事故時に採取した土壌)

解説 B.2 ¹³²I

半減期 2.30 時間の ¹³²I も ¹³⁴Cs 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。¹³²I 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 ¹³²I 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。

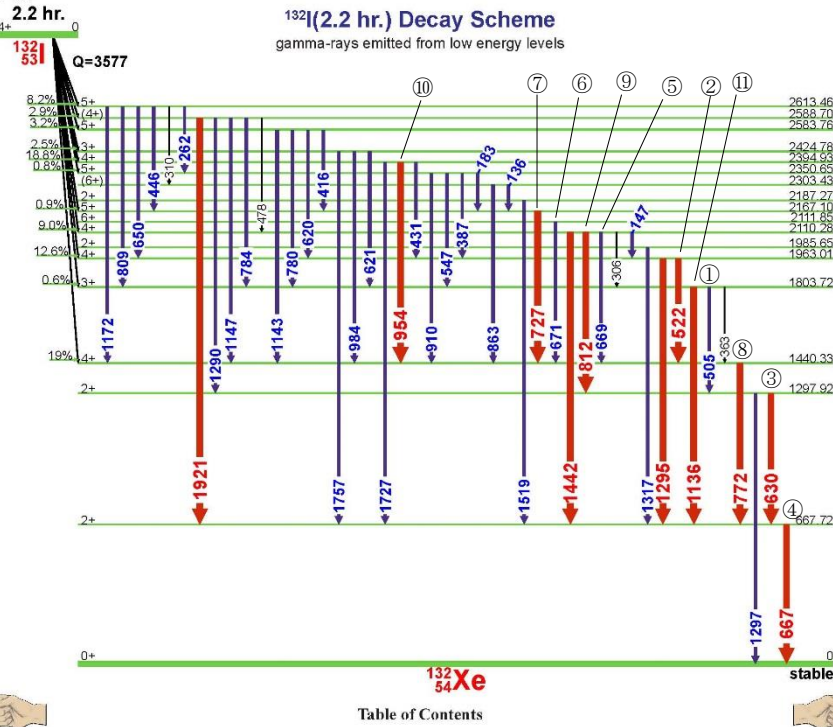
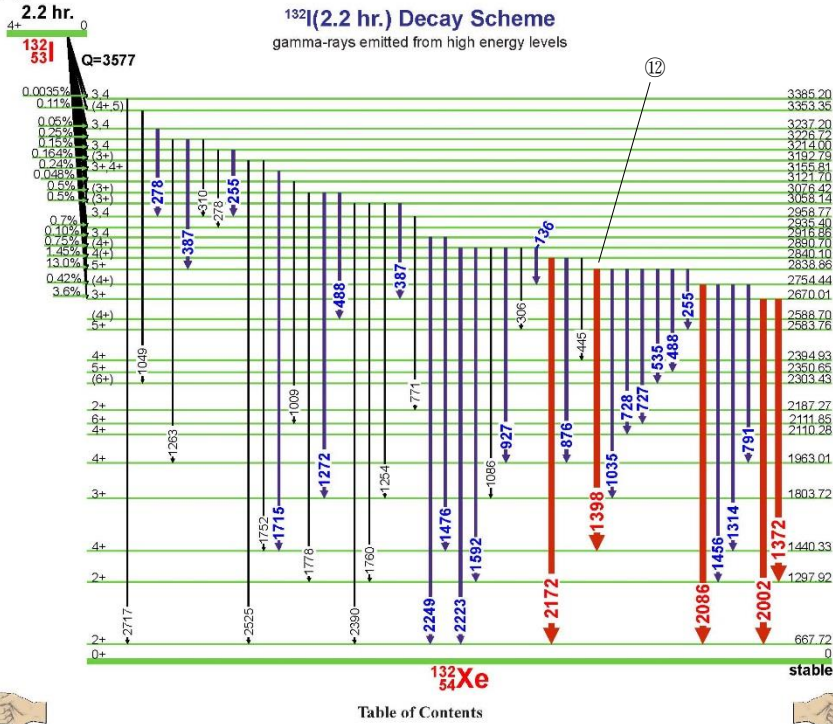
注 2：放出率 1%以上で 2000keV 以下の γ 線を掲載した。

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。

¹³²I の壊変図を図 B.3 に示したが、¹³²I 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。



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 132I 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。

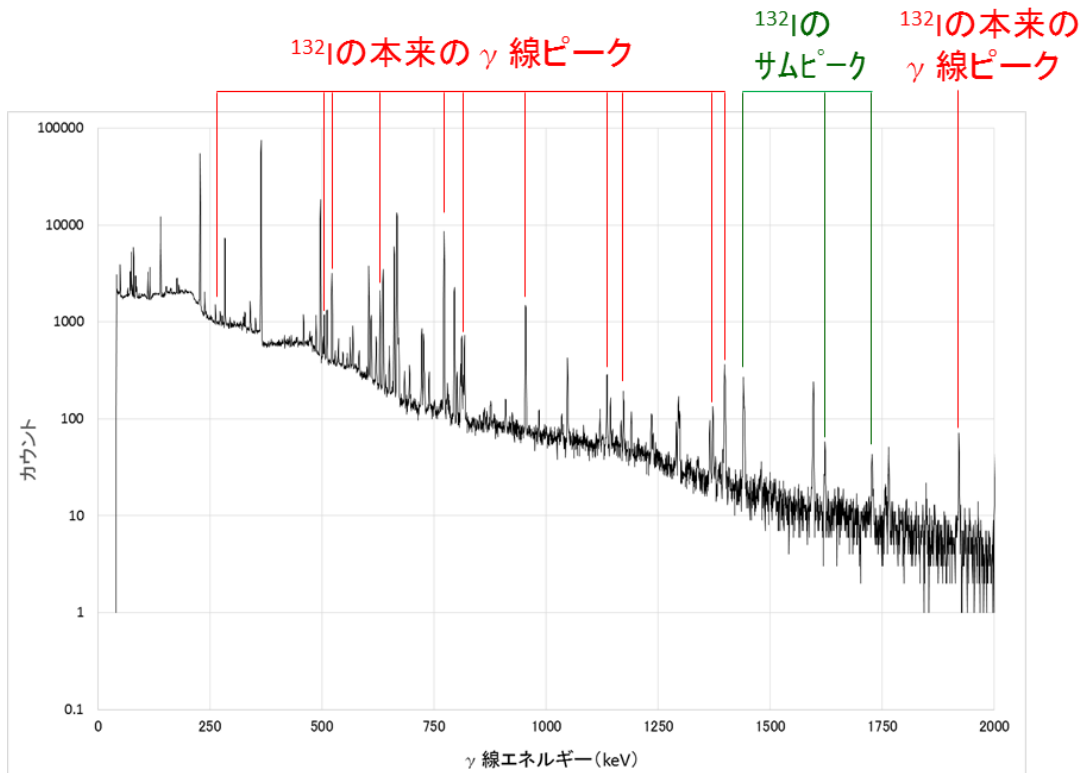


図 B.4 ^{132}I のサンプイクが出現した γ 線スペクトル
(チェルノブイリ事故時に採取した大気浮遊じん)

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、上記以外にもサンプイ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ンプイ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。

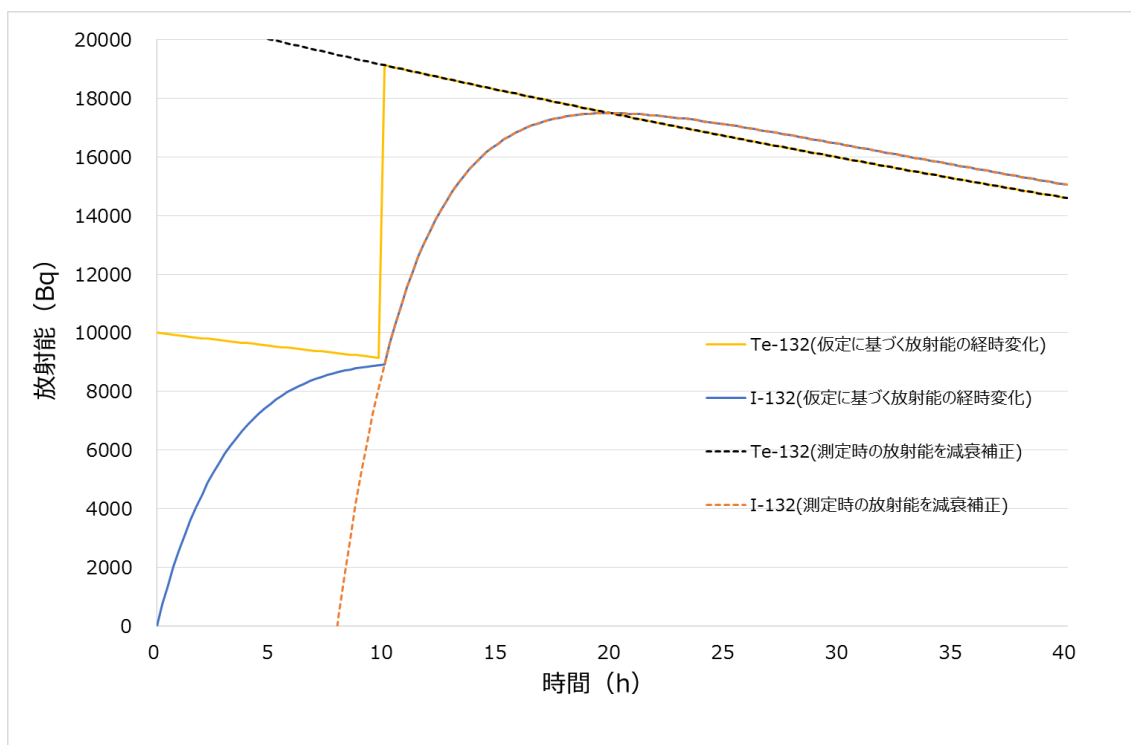
【仮定】 1回目の放出後の10時間後に同量の放出があった場合

^{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

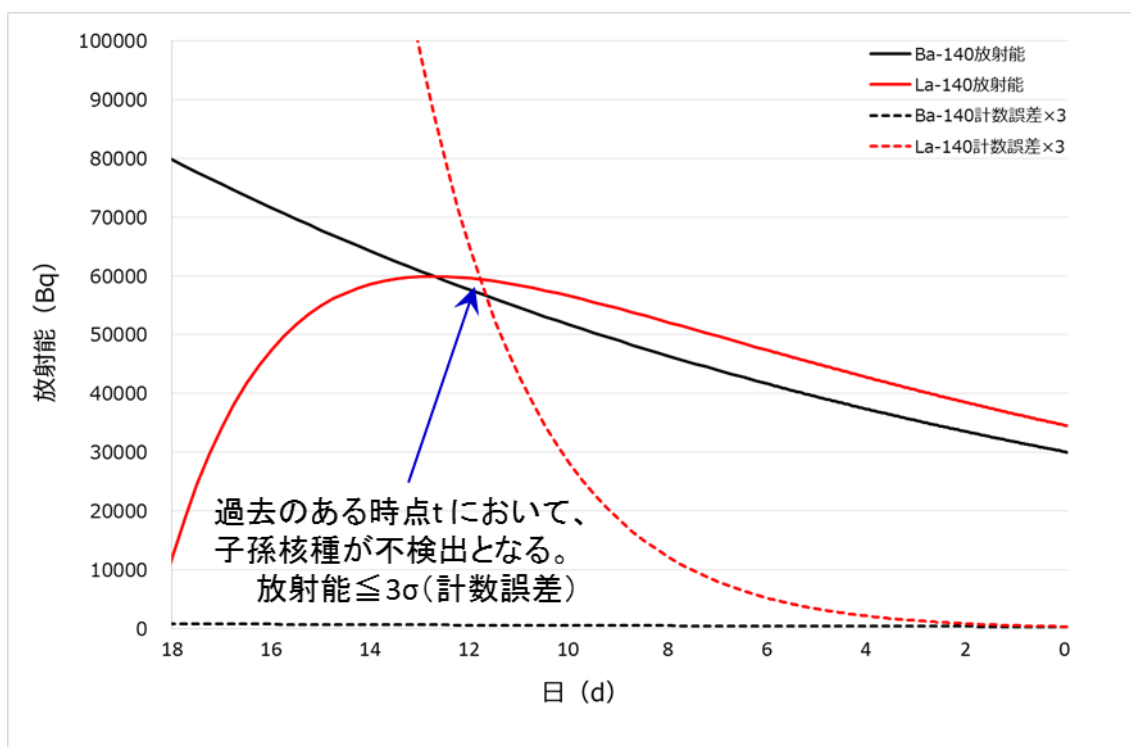
C.1.2 減衰補正適用による検出判定に係る問題

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

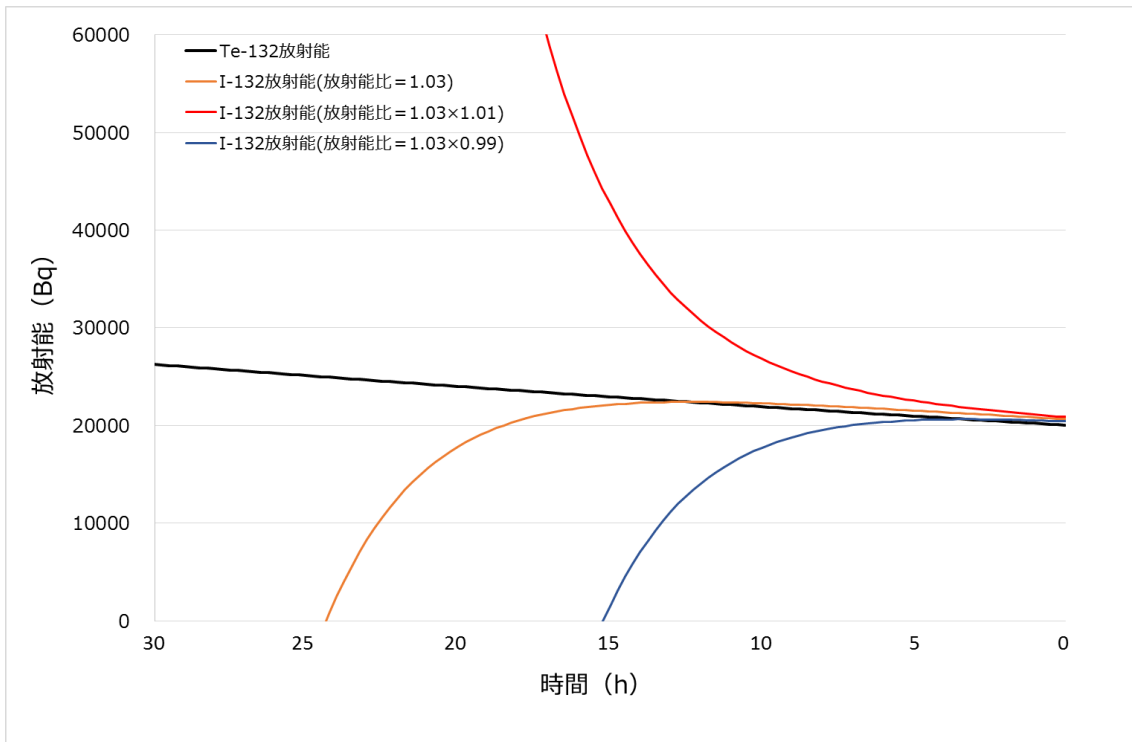
C.1.3 測定値のばらつきに伴う問題

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)

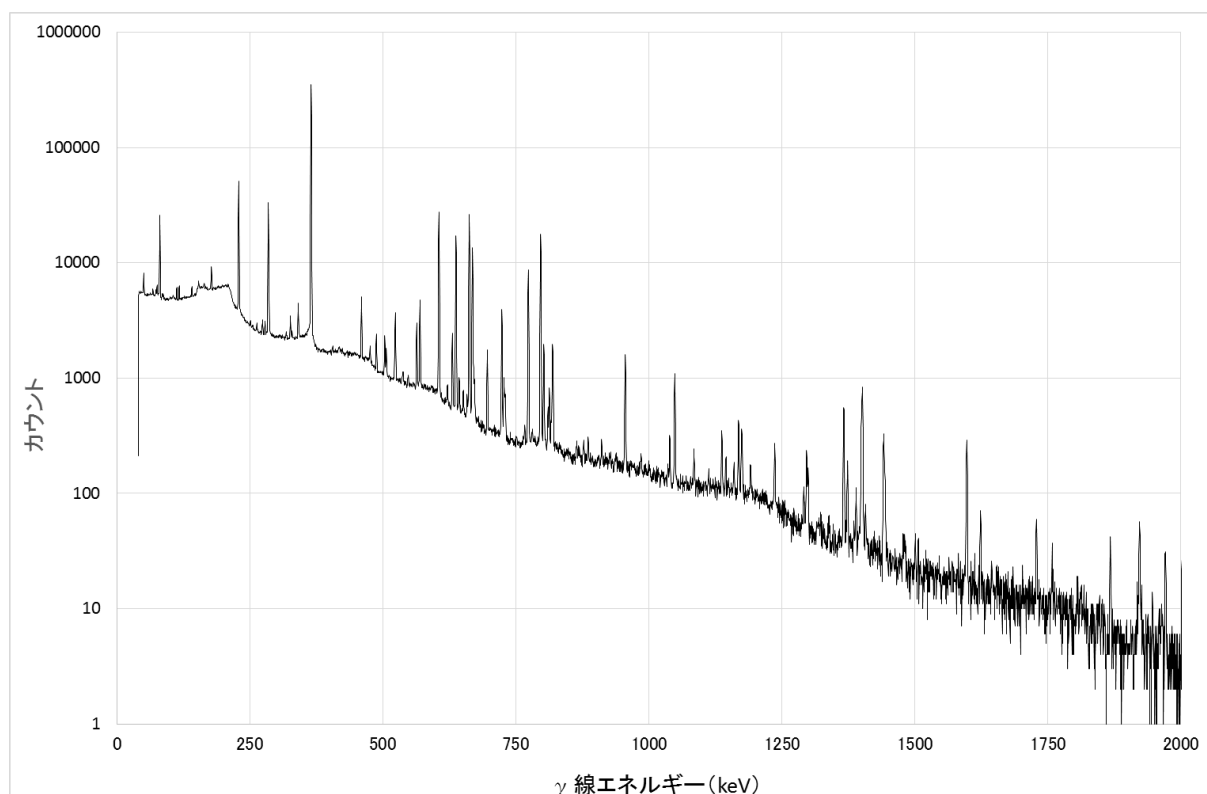


図 C.4 実際に測定した土壌試料の γ 線スペクトル

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±0.58)×10 ³	(2.0±0.60)×10 ³	
^{99m} Tc	6.01 時間	(3.9±0.40)×10 ³	(1.3±0.13)×10 ⁶	過渡平衡(子孫)
^{110m} Ag	249.83 日	(3.4±0.57)×10 ³	(3.4±0.57)×10 ³	
^{129m} Te	33.6 日	(8.5±0.20)×10 ⁵	(8.8±0.21)×10 ⁵	過渡平衡(親)
¹³¹ I	8.03 日	(3.8±0.004)×10 ⁶	(4.5±0.005)×10 ⁶	
¹³² Te	3.20 日	(3.0±0.01)×10 ⁵	(4.6±0.02)×10 ⁵	過渡平衡(親)
¹³² I	2.30 時間	(2.3±0.01)×10 ⁵	(-3.0±0.06)×10 ¹¹	過渡平衡(子孫)
¹³⁴ Cs	2.07 年	(5.3±0.02)×10 ⁵	(5.3±0.02)×10 ⁵	
¹³⁶ Cs	13.16 日	(3.7±0.08)×10 ⁴	(4.1±0.09)×10 ⁴	
¹³⁷ Cs	30.08 年	(5.1±0.02)×10 ⁵	(5.1±0.02)×10 ⁵	
¹⁴⁰ Ba	12.75 日	(1.8±0.24)×10 ⁴	(2.0±0.27)×10 ⁴	過渡平衡(親)
¹⁴⁰ La	1.68 日	(1.4±0.05)×10 ⁴	(7.5±3.7)×10 ³	過渡平衡(子孫)

注：例えば、「(3.9±0.40)×10³」は、「3900±400」であることを示す。

測定日に検出されていた ¹³²I (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 ^{99m}Tc）が検出、親核種（本事例では ⁹⁹Mo）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 ¹⁴⁰La 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）

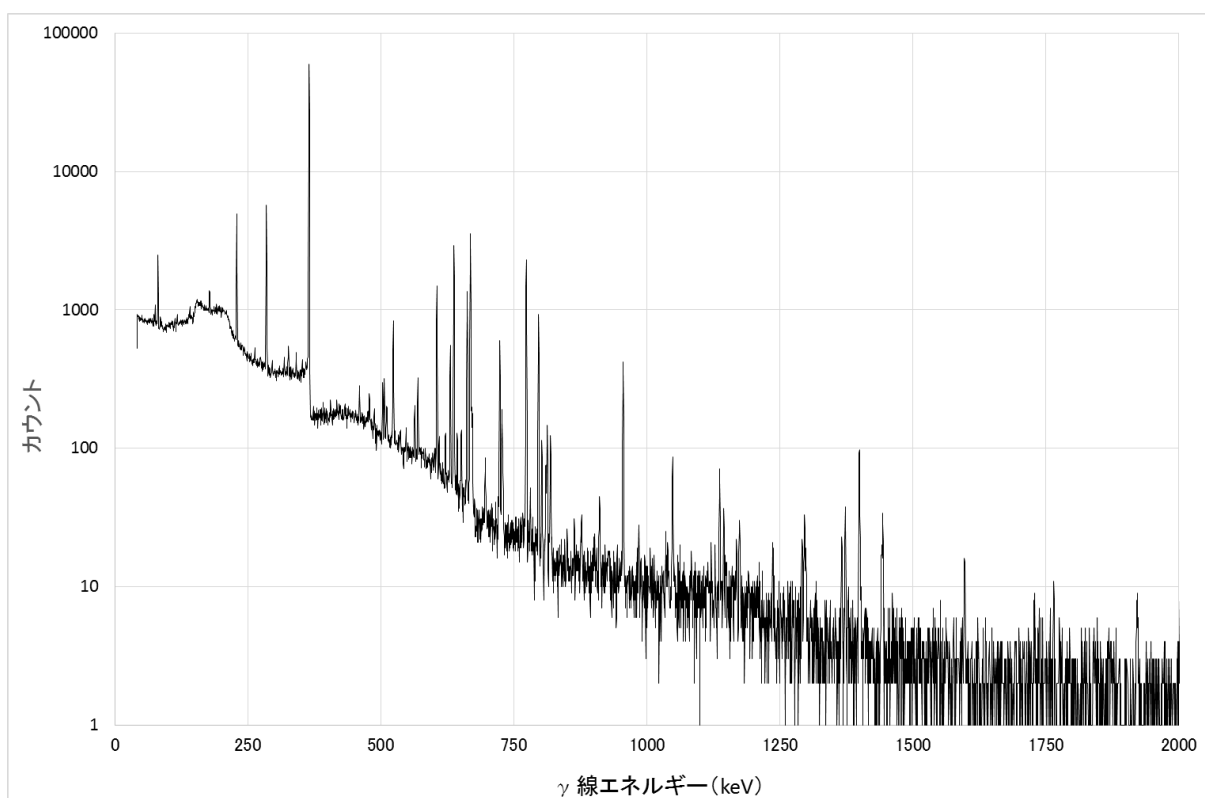


図 C.5 実際に測定した大気浮遊じん試料の γ 線スペクトル

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。

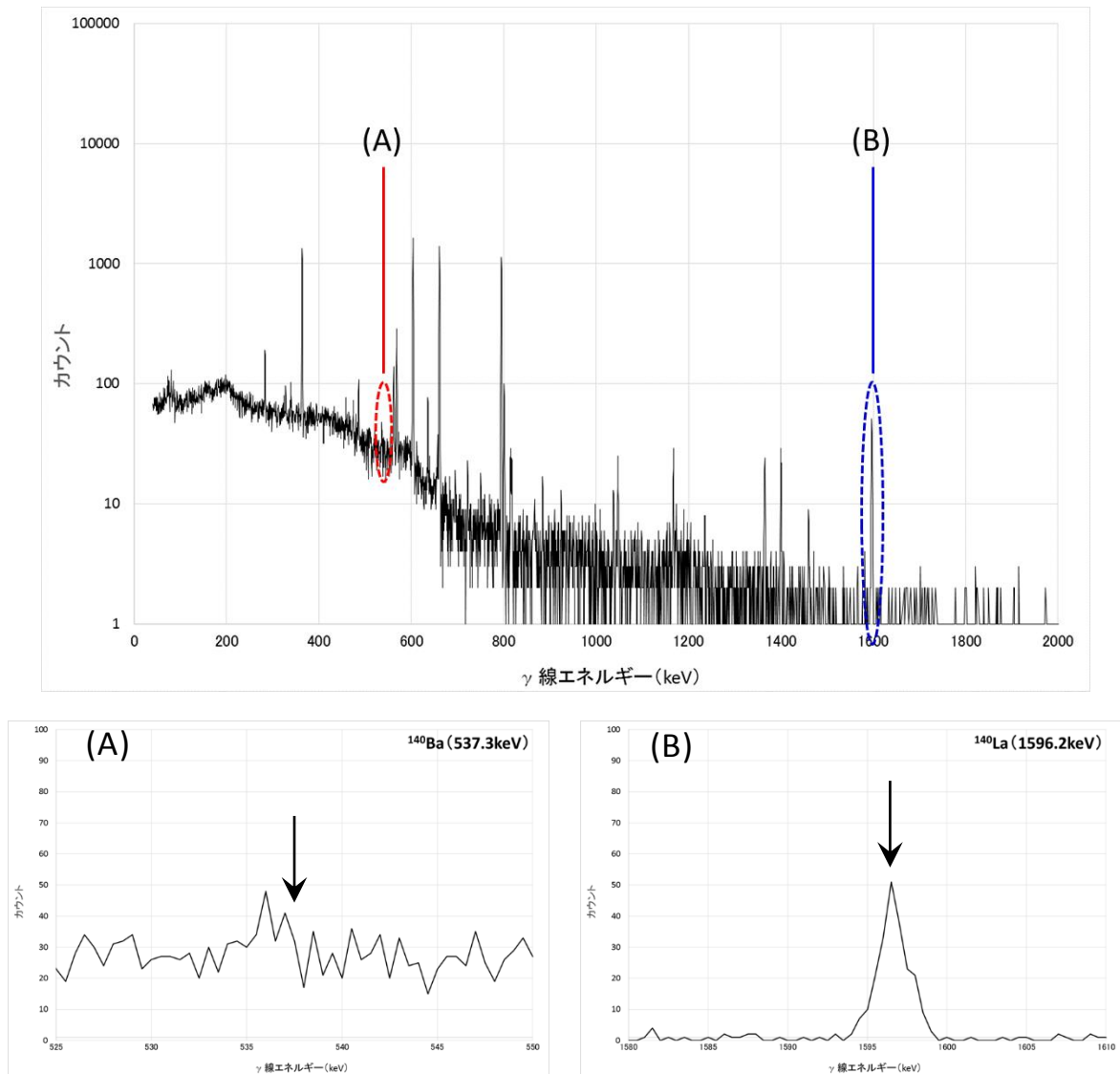


図 C.6 過渡平衡核種の一部が検出された事例
(福島第一原発事故時に採取した海産生物)

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	$^{85\text{m}}\text{Kr}$	^{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		

*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種類（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。

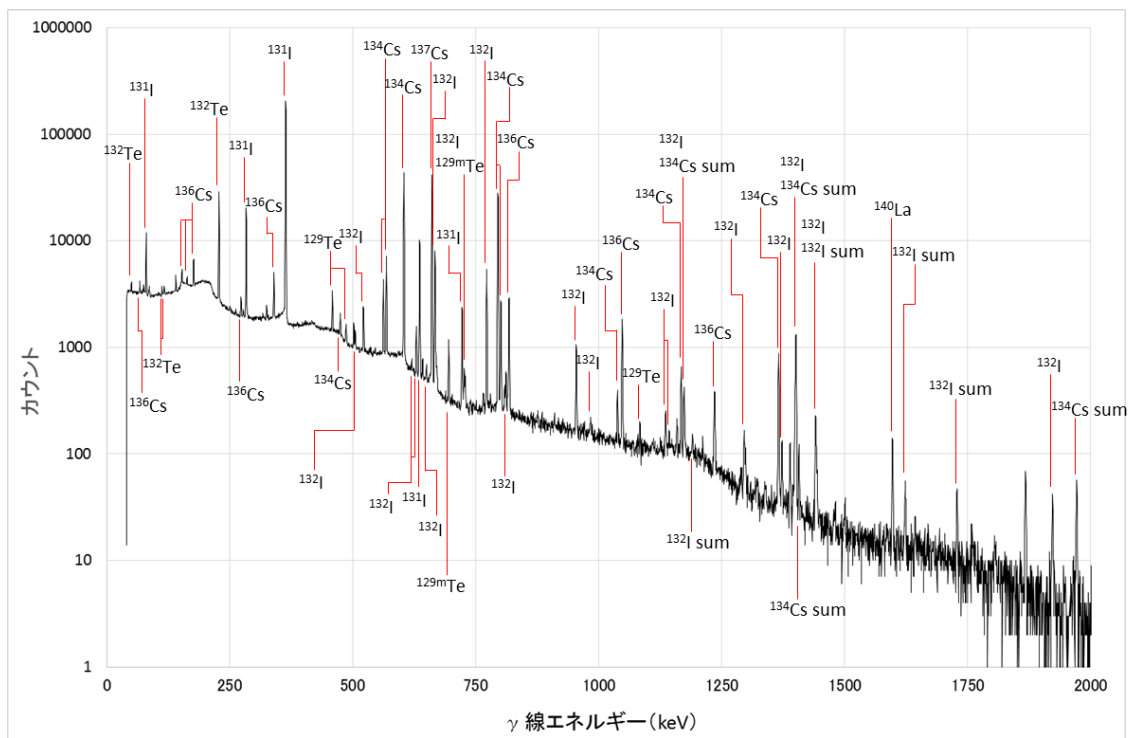


図 D.2 福島第一原発事故時に採取された環境試料（土壌）の γ 線スペクトル

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							

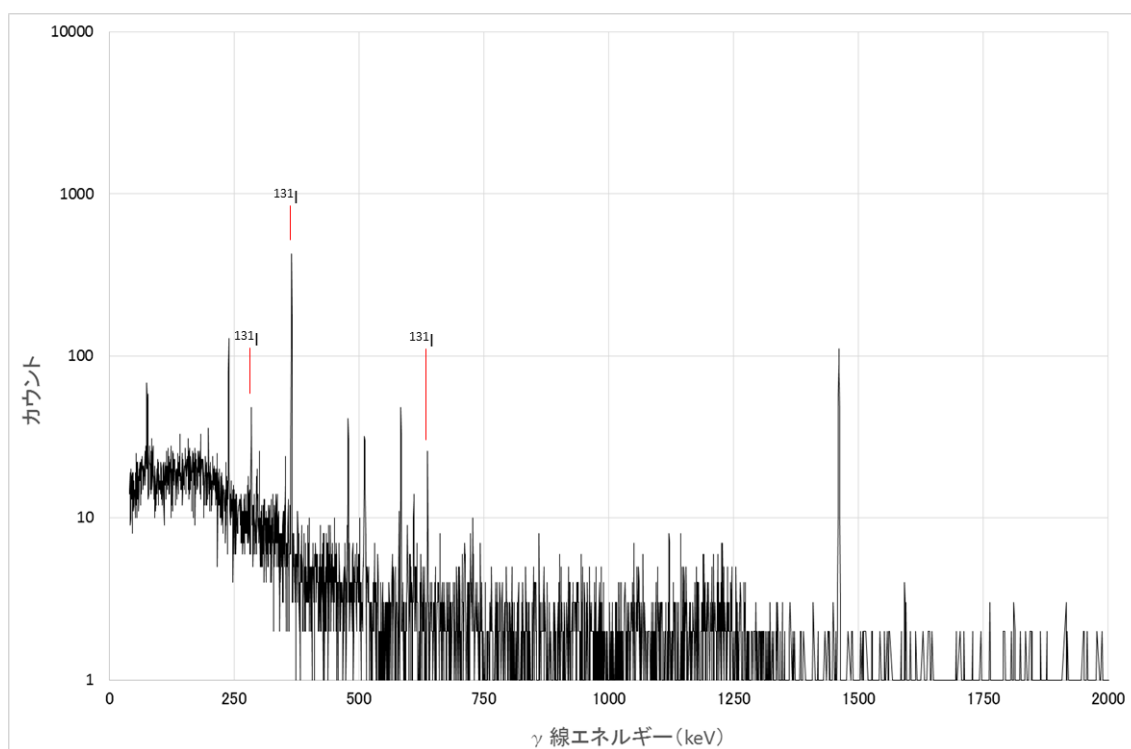


図 D.3 JCO 事故時に採取された環境試料（野菜類）の γ 線スペクトル

D.2.3 チェルノブイリ事故

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。

表 D.8 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

^{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			

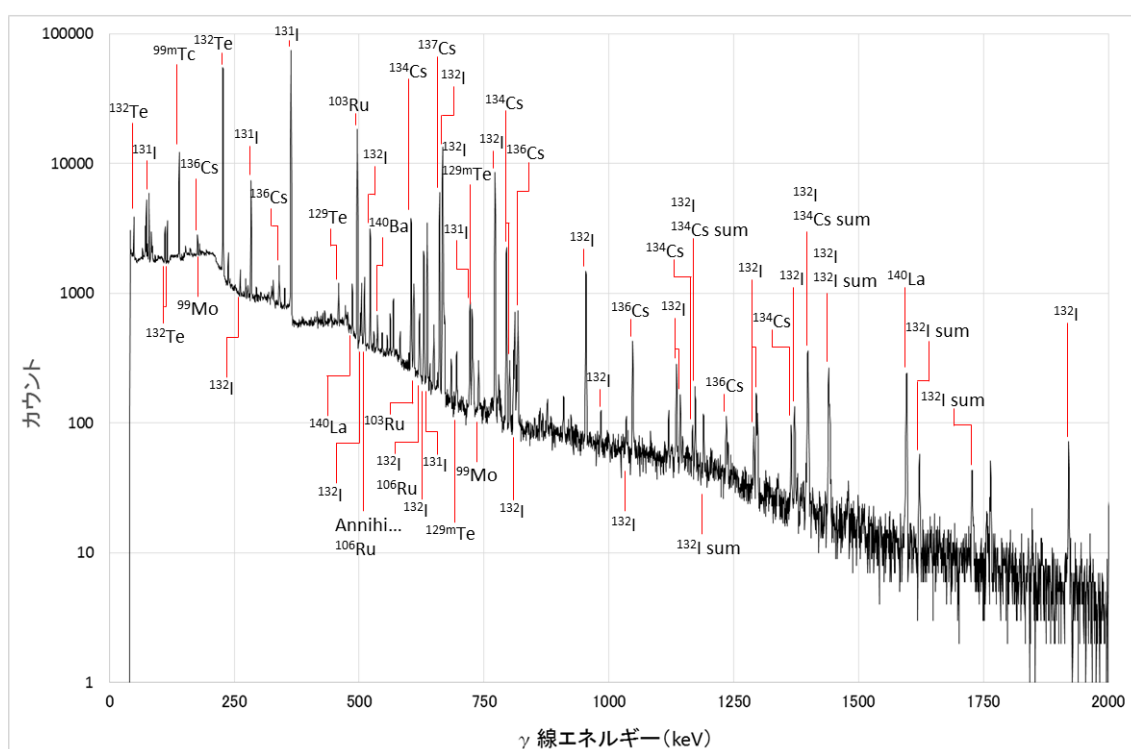


図 D.4 チェルノブイリ事故時に採取された環境試料（大気浮遊じん）の γ 線スペクトル

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 線の数が膨大となり、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、信号処理が膨大となり、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。

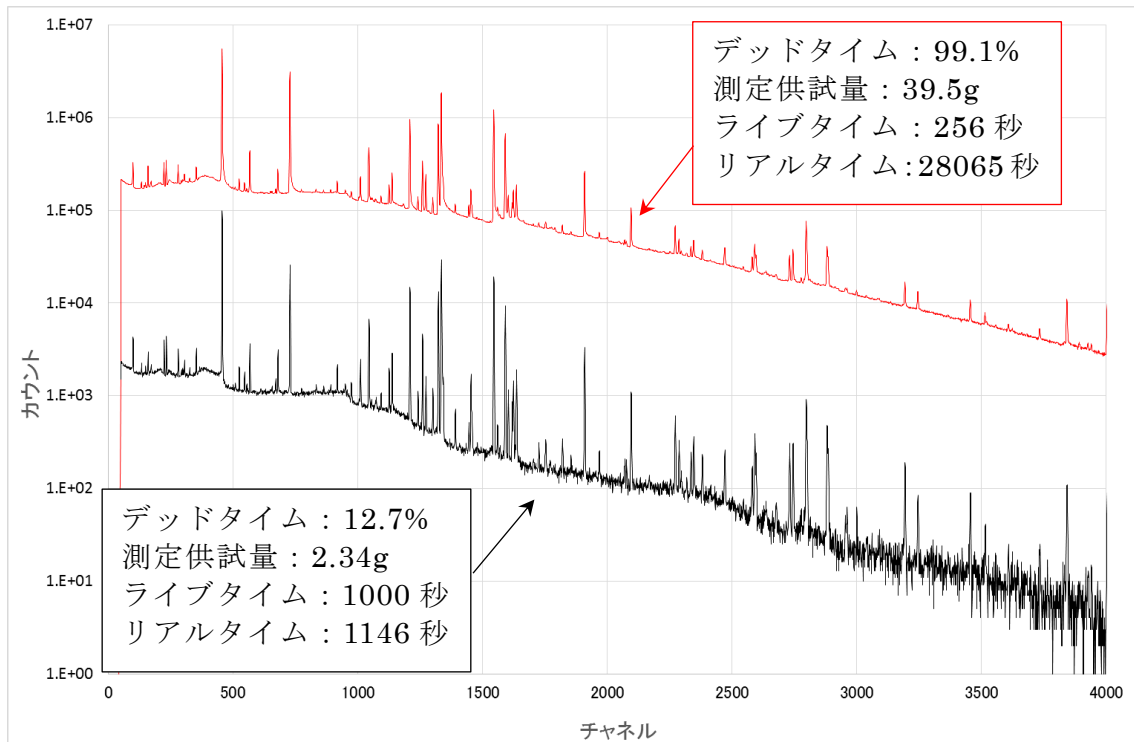


図 E.1 同一試料のデッドタイムが大きい γ 線スペクトル（赤）と供試量を減らしてデッドタイムを小さくした γ 線スペクトル（黒）の比較図
（データ提供：福島県環境創造センター 環境放射線センター）

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。

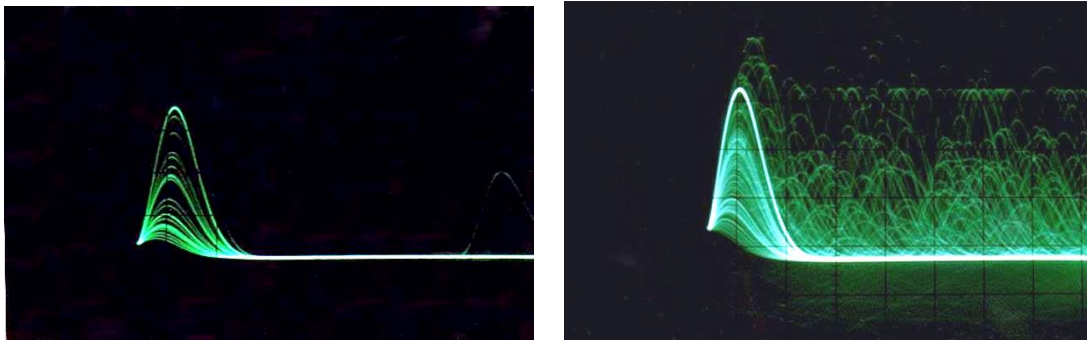


図 E.2 オシロスコープによる波形観察画面
 (左図：デッドタイム 5%以下、右図：デッドタイム 10%以上)

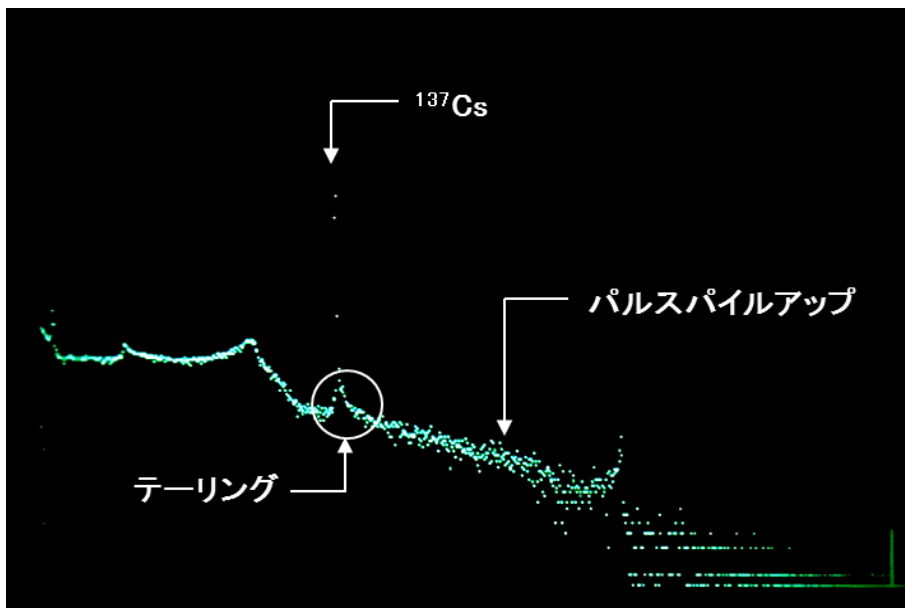
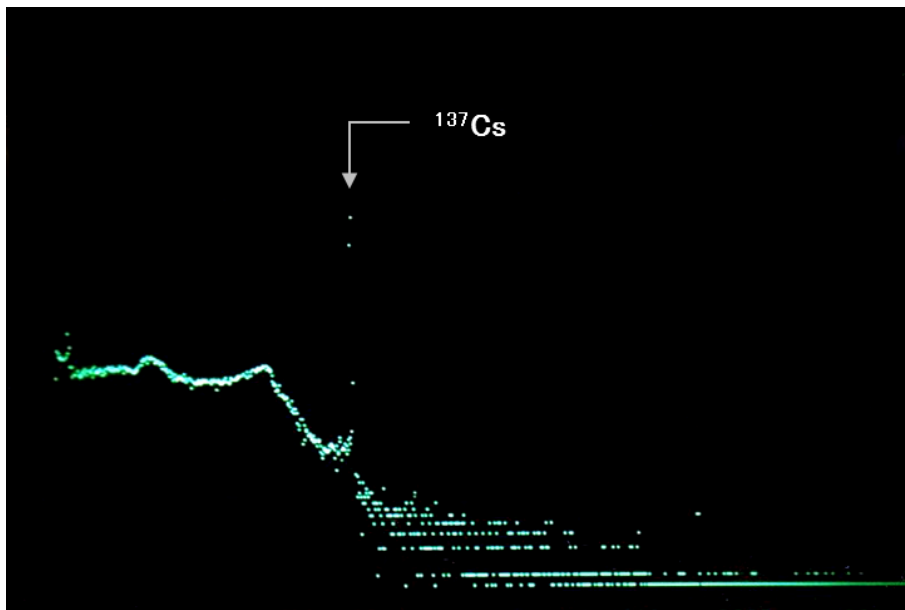


図 E.3 デッドタイムの異なる γ 線スペクトル
 (上図：デッドタイム 5%以下、下図：デッドタイム 10%以上)

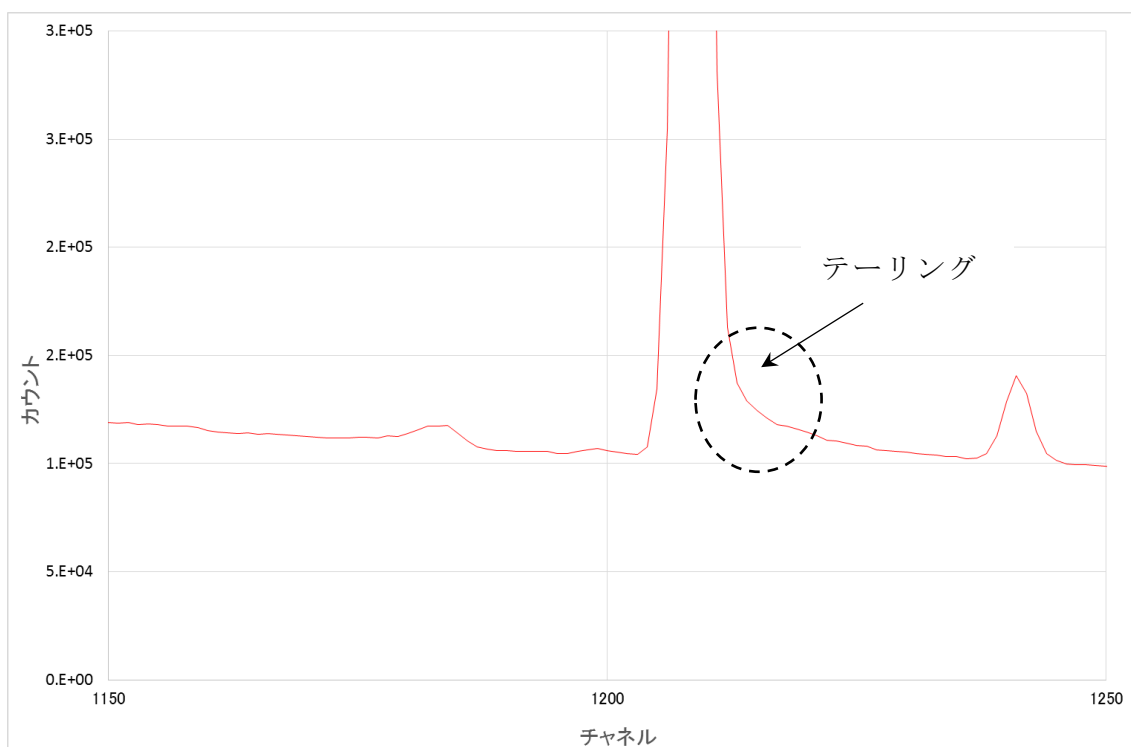


図 E.4 デッドタイムが大きい環境試料の ^{134}Cs γ 線ピーク (604.7keV)
(データ提供：福島県環境創造センター 環境放射線センター)

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、ピーク的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 緊急時に取り扱う核データ数

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 チャンネルまでの 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、チャン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ンネルを、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 及びチャン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)及びシングルエスケープ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 of 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) ピーク中心チャンネルの計算

ピークサーチで検出されたピークの中心チャンネルを求める。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ンネルを求める。

ピークのうち、もっとも計数値の高いチャンネルを h 、その計数を N_h 、 $h-1$ チャンネル及び $h+1$ チャン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、ピーク中心チャンネル 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ンネルを求める。

a) ピークのうち、最も計数値の高いチャンネルと二番目のチャン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ンネルを 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。

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

k はピークの広がりや対称性に応じて決め、 $1 \sim 1.5\text{keV}$ 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) ピーク中心チャンネルは

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

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 チャン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 : ピーク中心チャンネル

- 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 程度が良い。
- ② 最も大きいフィルタ幅で全チャンネルを探査する。
- ③ 2 番目に大きいフィルタ幅で全チャンネルを探査する。
- 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ンネルを探査する。
- 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-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-エネルギーの関係式の誤差

- ② チャンネル-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

- a) 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。
- b) 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。
- c) 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。
- d) 適合計算の後、適合パラメータなどの誤差を計算する。
- e) 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

- a) 重なっていても、ピークとピークの間には凹みがあれば適合計算できる。
- b) 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。
- c) 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 はチャンネル番号を X と置くと

$$Y=C_1+C_2X+C_3\exp\{C_4(X-C_5)^2\}+C_6\exp\{C_7(X-C_8)^2\}$$

である。

- C_1+C_2X 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ンネルを計算する。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。

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

$C_{i,j}$: 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 チャン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、ピーク的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が、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ること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。

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

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い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。

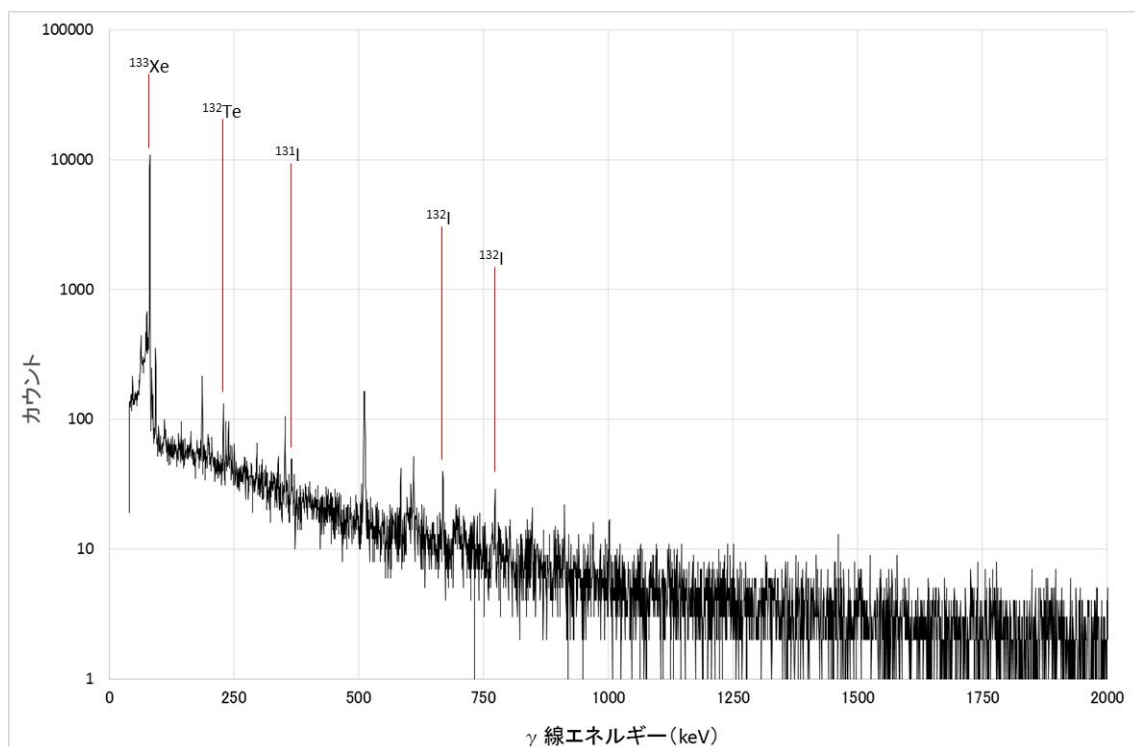


図 G.1 平成 23 年 3 月 15 日のバックグラウンドスペクトル（千葉市）

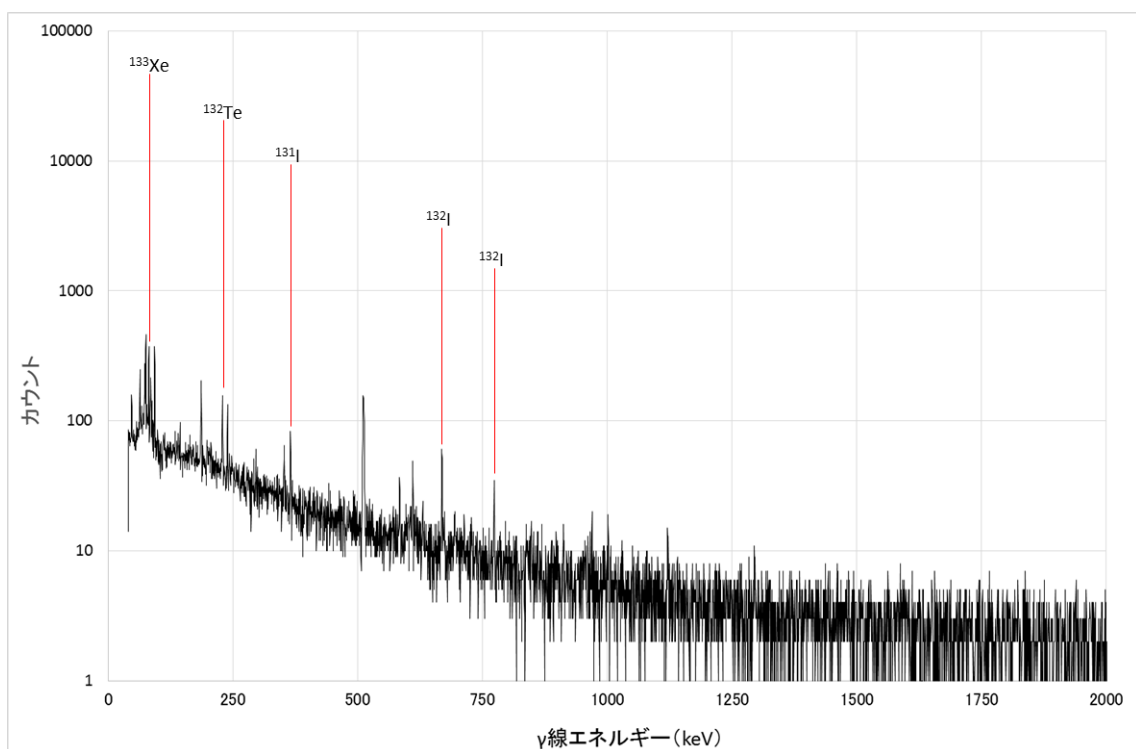


図 G.2 平成 23 年 3 月 16 日のバックグラウンドスペクトル（千葉市）

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良い場合がある（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。

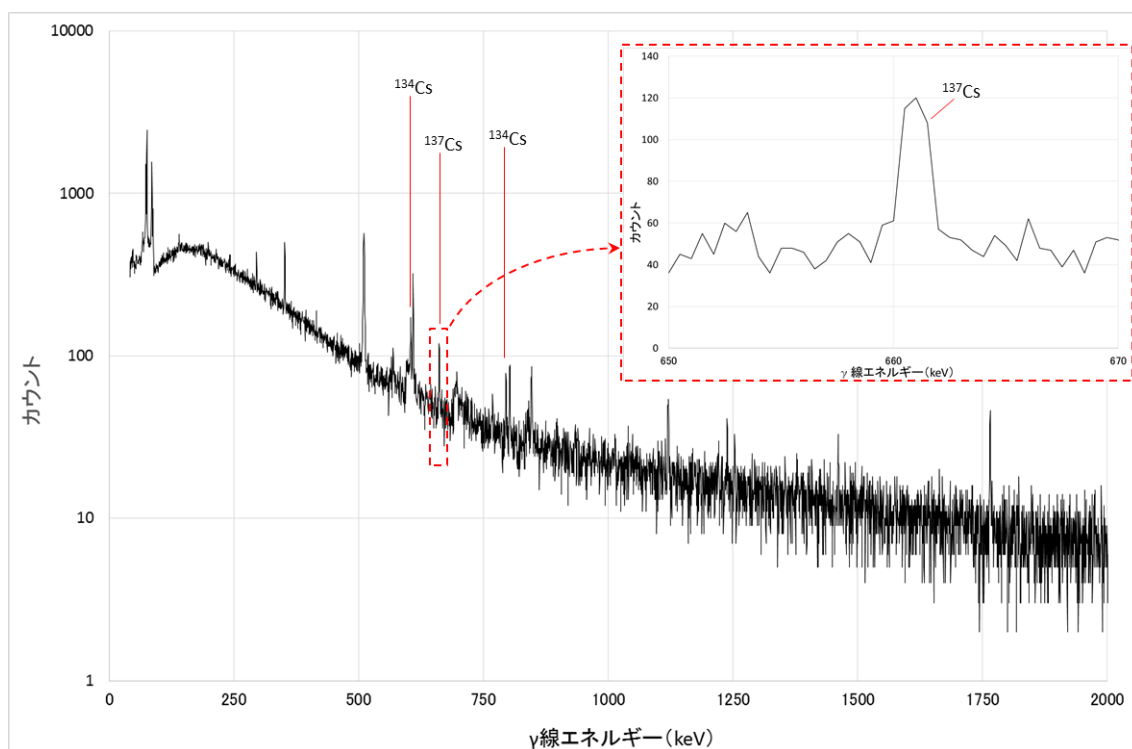


図 G.3 ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出されたバックグラウンドスペクトル

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。

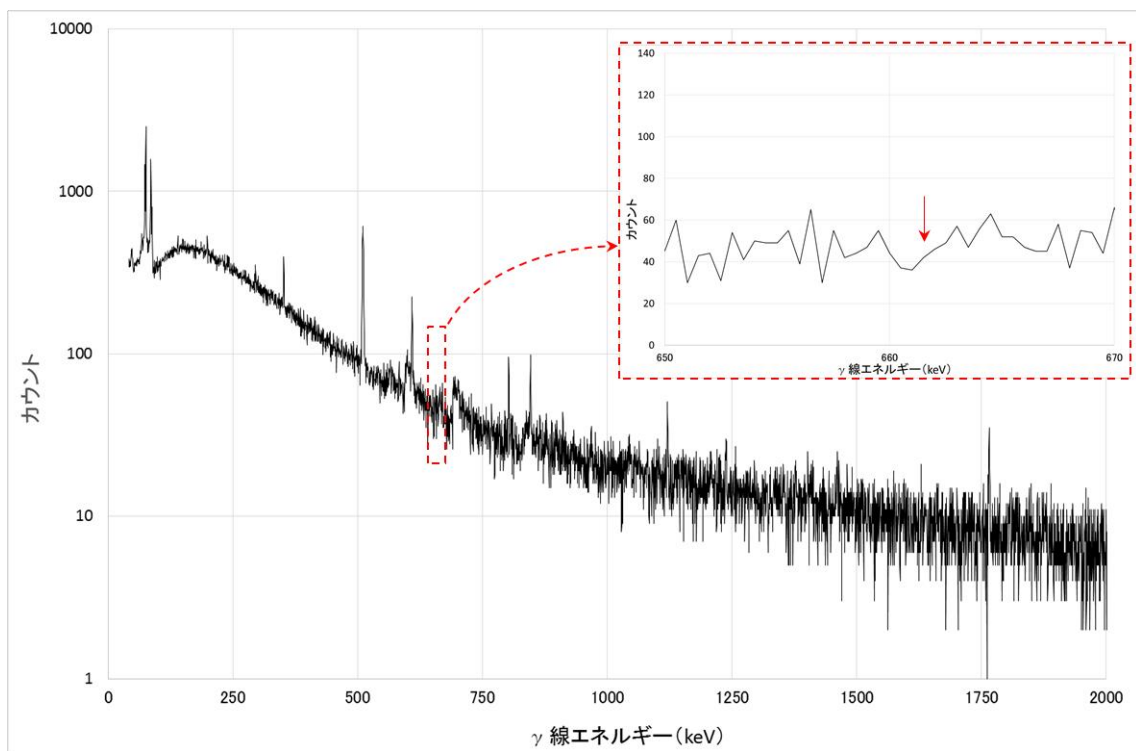


図 G.4 除染後のバックグラウンドスペクトル

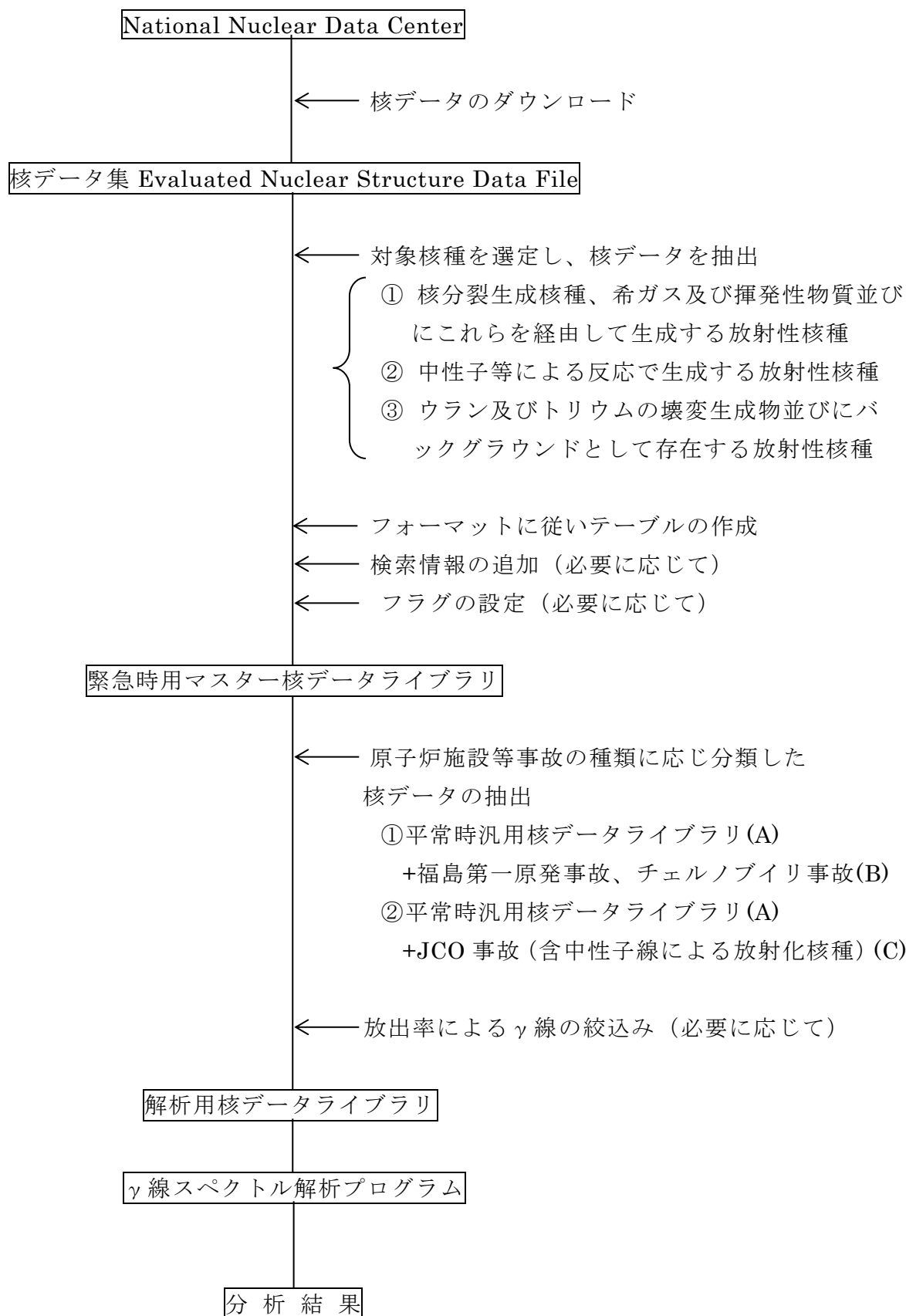
付 録

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

^{235}U 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。

^{235}U 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 (^{133}I 、 ^{140}La 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	○	×	×	×	×	×	×
^{85m} 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 Rb(⁸⁸ Kr)	○	17.77 分	1836.0	○	○	○	×	×	×	×
			898.0	○	○	○	×	×	×	×
^{90m} 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	×	×	○	○	○	○	○
^{91m} Y(⁹¹ 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	○	○	○	○	○	○	○
$^{99\text{m}}\text{Te} (^{99}\text{Mo})$		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	○	○	○	○	○	×	×
^{133m} 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	×	×	○	×	×	×	×
^{135m} 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
⁵⁸ Co	70.86	6	D	692.41	7	0.149	10
				810.7594	20	99.450	10
				863.951	6	0.686	10
⁵⁹ Fe	44.495	9	D	1674.725	7	0.517	10
				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
⁶⁰ Co	1925.28	14	D	1291.590	6	43.2	14
				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				
1573.71	20	0.0164	18				
1861.3	3	0.0139	21				
1866.1	3	0.020	3				
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
1724.92	6	0.399	12				
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
^{75m} 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
				1929.43	14	0.027	3
⁷⁸ As	90.7	2	M	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	513.997	5	0.434	10
^{85m} Kr	4.480	8	H	129.810	20	0.301	8
				151.195	6	75.2	10
				304.870	20	14.0	4
				451.00	10	0.011	4
⁸⁶ Rb	18.642	18	D	1077.0	4	8.64	4
⁸⁷ Kr	76.3	5	M	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
				1578.03	14	0.129	12
1611.18	14	0.114	16				
1740.51	7	2.04	11				
1842.61	23	0.139	12				
⁸⁸ Kr	2.825	19	H	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
				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
⁸⁸ Y	106.627	21	D	1836.00	5	22.81	11
				850.6	8	0.065	13
				898.042	3	93.7	3
				1382.2	10	0.021	6
^{90m} Y	3.19	6	H	1836.063	12	99.2	3
				202.53	3	97.3	4
				479.51	5	90.74	5
⁹¹ Sr	9.65	6	H	681.8	6	0.32	3
				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				
1651.70	20	0.024	5				
1827.80	20	0.024	5				
1917.80	10	1.57	23				
⁹⁵ Zr	64.032	6	D	235.690	20	0.270	20
				724.192	4	44.27	22
				756.725	12	54.38	22
⁹⁵ Nb	34.991	6	D	204.1161	17	0.028	9
				561.9		0.015	3
				765.803	6	99.808	7
⁹⁷ Zr	16.749	8	H	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				
^{97m} 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
1629.09	22	0.025	7				
^{97m} 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
¹⁰⁵ Ru	4.44	2	H	612.09	6	0.105	6
				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
$^{105\text{m}}\text{Rh}$	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				
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	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
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	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
^{114m} 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
527.901	7	27.5	6				
^{115m} In	4.486	4	H	336.24	3	45.8	4
				497.37	3	0.047	7
¹¹⁷ Cd	2.49	4	H	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				
1856.40	10	0.25	6				
1867.30	10	0.11	3				
^{117m} Cd	3.36	5	H	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				
1918.74	6	0.0545	16				
¹²⁵ Sn	9.64	3	D	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
671.441	6	1.791	19				
^{127}Sb	3.85	5	D	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				
1260.63	5	0.0112	9				
^{129m}Te	33.6	1	D	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
1050.21	5	0.018	4				
^{129}I	1.57E+7	4	Y	39.578	4	7.51	23
^{130}Sb	39.5	8	M	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
^{131m} 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
1365.185	7	3.017	8				
^{135}I	6.58	3	H	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
1948.49	5	0.063	6				
^{135}Xe	9.14	2	H	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
				731.520	20	0.055	4
812.63	3	0.070	3				
$^{135\text{m}}\text{Xe}$	15.29	5	M	526.561	17	80.6	6
^{136}Cs	13.16	3	D	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
1235.362	23	20.0	7				
1321.6	4	0.050	20				
1538.09	20	0.100	20				
1551.30	20	0.015	5				
^{137}Cs	30.08	9	Y	661.657	3	85.10	20
^{138}Cs	33.41	18	M	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
				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
¹⁴⁰ La	1.67855	12	D	537.261	9	24.39	24
				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				
1877.29	19	0.041	4				
1924.62	13	0.0134	19				
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
¹⁴⁴ Pr	17.28	5	M	133.5150	20	11.09	20
				696.510	3	1.342	14
¹⁴⁵ Pr	5.984	10	H	1489.160	5	0.278	5
				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				
596. 70	20	0. 0109	4				
¹⁵⁴ Eu	8. 601	10	Y	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				
1167. 38	12	0. 047	12				
¹⁸¹ Hf	42. 39	6	D	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
618. 66	8	0. 0250	13				
¹⁸² Ta	114. 74	12	D	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
²¹² Bi	60.55	6	M	415.2		0.0131	22
				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				
1806.0	5	0.090	20				
²¹⁴ Pb	26.8	9	M	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				
609.31	4	0.057	3				
632.0	10	0.031	10				
²²⁴ Ra	3.66	4	D	240.986	6	4.10	5
²²⁶ Ra	1600	7	Y	186.211	13	3.64	4
²²⁷ Th	18.68	9	D	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
392.4	5	0.010	3				
²²⁸ Ac	6.15	2	H	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
$^{234\text{m}}\text{Pa}$	1.159	16	M	73.920	20	0.013	4
		11		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				
315.880	3	1.600	12				
334.3100	20	2.056	13				
434.7	5	0.013					
²⁴¹ Am	432.6	6	Y	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 Pb	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) 米沢仲四郎, 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. Vagena, 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)