

指標線量率の温度依存性の解消に向けた検討

木村幸由*1、武藤儀一*2、高群富貴、新井康史、杉山照徳*3、長谷部洋*4

宮城県では、女川原子力発電所からの予期せぬ放射性物質の放出の有無を監視するため、NaI(Tl)シンチレーション式検出器により測定された空間ガンマ線スペクトル（以下「スペクトル」という。）を解析することにより指標線量率を算出しているが、近年は夏期の高温環境下で指標線量率が変動する事象が発生していた。一般に、NaI(Tl)シンチレーション式検出器の検出部（以下「検出部」という。）には温度依存性があり、温度が変動するとゲイン（増幅度）が変動し、スペクトルがドリフトすることが知られている。そこで、本県では恒温制御装置により、年間を通して検出部の温度を28℃に保つ設定としている。しかし、高温環境下で指標線量率が変動する要因を調査したところ、指標線量率が変動している時には検出部の温度が上昇し、それに伴いスペクトルがドリフトしていることが判明した。そこで、10分毎にスペクトルのエネルギー校正を行う方法で指標線量率を算出したところ、検出部温度に依存した指標線量率の変動を解消することができた。

1 はじめに

宮城県では、女川原子力発電所からの予期せぬ放射性物質の放出の有無を監視するため、NaI(Tl)シンチレーション式検出器により測定されたスペクトルを解析することにより指標線量率を算出している。指標線量率とは、スペクトルを湊らが開発したレスポンスマトリクス（応答行列：以下「RM」という。）法¹⁾で処理して得られる全線量率から天然放射性核種寄与分の線量率を差し引いて得られる値で、人工放射性核種寄与分のガンマ線の影響を示す指標である²⁾³⁾。しかし、近年は夏期の高温環境下で指標線量率が変動する事象が発生していた。

一般的にNaI(Tl)シンチレーション式検出器の構成部品である光電子増倍管等の電子回路部品には温度依存性があることが知られており⁴⁾、放射能測定法シリーズ No. 20「空間γ線スペクトル測定法」においても検出部の温度上昇の防止と保温対策の重要性が説明されている⁵⁾。そこで、本県では図1のようにモニタリングステーションのNaI(Tl)シンチレーション式検出器のカバーを二重構造とするとともに恒温制御装置により、年間を通して検出部の温度を28℃に保つ設定としている。具体的な制御方法は、検出部が高温となる場合には、エアコンにより冷却されたモニタリングステーション内の空気をNaI(Tl)シンチレーション式検出器のカバー内側へ送風することで検出部を冷却し、逆に検出部が低温となる場合には、検出部の根元を囲うように取り付けられているヒーターにより検出部を加温するというものである。仮に、NaI(Tl)シンチレーション式検出器に恒温制御装置がない場合は、ゲインが変動しスペクトルがドリフトすることになる。実際、過去に本県でNaI(Tl)シンチレーション式検出器が内蔵された可搬型モニタリングポストによって空間ガンマ線量率を測定していた際は、検出部温度が一定ではなかったために、スペクトルからG(E)関数法により得られる空間ガンマ線量率が検出部温度とともに変動していた⁶⁾⁷⁾。

*1 現 宮城県保健環境センター *2 ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社

*3 現 宮城県環境生活部廃棄物対策課 *4 現 宮城県復興・危機管理部原子力安全対策課

このことから、高温環境下では検出部温度が変動することで指標線量率が影響を受けている可能性が考えられた。しかし、これまでに検出器更新や校正等のタイミングでスペクトルがドリフトした場合は指標線量率に影響が生じるという知見³⁾はあるものの、検出部温度と指標線量率の関係について調査された例はない。そこで、今回高温環境下で指標線量率が変動する原因について調査を行うとともに、検出部温度に依存した指標線量率の変動を解消する方法を検討した。

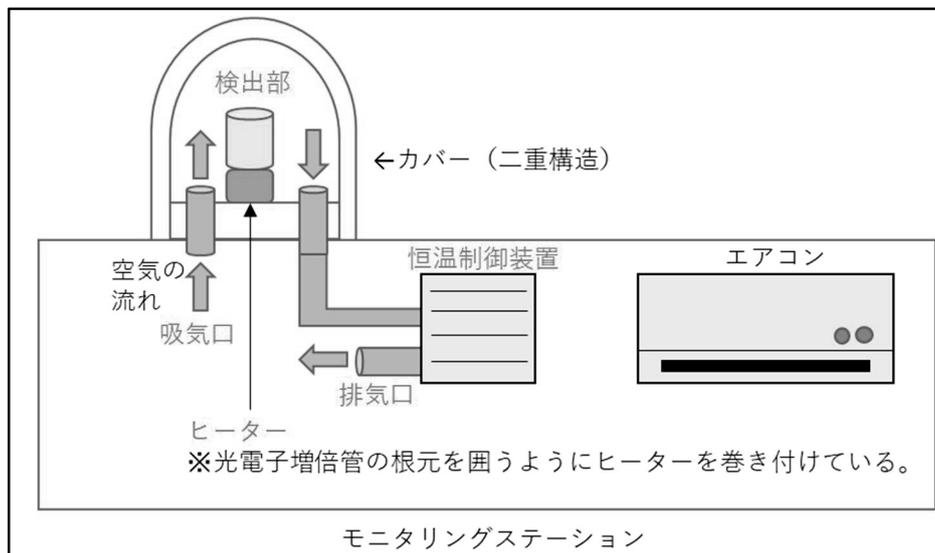


図1 検出部温度の制御に関する装置の概要図

2 方法

2.1 検出部温度と指標線量率の関係

2023年7月25日0時0分から8月10日0時0分までの検出部温度と本県が主に監視に用いている22行×22列のRM法¹⁾により算出した指標線量率の時系列図と相関図を作成し、両者の関係を調べた。

なお、調査には本県のモニタリングステーション7局のうち、見かけ上で最も指標線量率の変動が大きかった鮫浦局のデータを用いた。

2.2 検出部温度の変動とスペクトルのドリフトの関係

2023年7月25日0時0分から8月10日0時0分までの鮫浦局のスペクトル（144個/日、合計2,305個）について、K-40の光電ピーク（1,461 keV）を含む可能性がある113 chから119 chまでのうち最も計数が大きかったチャンネルを求め、検出部温度との時系列図と相関図を作成した。ただし、1 chのエネルギー幅は12.5 keVであり、連続する2つ以上のチャンネルで同じ計数である場合は、チャンネルの平均値を求めた。また、参考として当該期間中に検出部温度が最大となった日時とその日の早朝で検出部温度が最低となった時刻のスペクトルを比較した。

2.3 スペクトルのドリフトが指標線量率に与える影響

スペクトルがドリフトした場合に、RM法で得られる全線量率と天然放射性核種寄与分の線量率に与える影響を調査するため、模擬スペクトルを用いてシミュレーションを行った。まず、スペクトルのエネルギー校正の一次係数を変えて疑似的にピークドリフトを起こした。その後、ピークがBINからずれた状態でRM法により解析し、ピークドリフトが全線量率と天然放射性核種寄与分の線量率に与える影響を確認した。

なお、本解析結果はミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社から本県に提供されたものである。

2.4 検出部温度とエネルギー校正を行ったスペクトルから算出される指標線量率

本県では、2020年度に放射性セシウムの寄与分の線量率を求める目的で、女川原子力発電所周辺環境放射線監視システムに放射線地学研究所の湊が開発した49行×49列のRM法⁸⁾によって指標線量率を算出するプログラムを導入した。49行×49列のRM法は、22行×22列のRM法に比べてエネルギーの幅(BIN)が狭く、スペクトルがドリフトした場合の影響が大きいため、当該プログラムはこれまで22行×22列のRM法のために用いてきたプログラムとは異なり、10分毎に得られるスペクトルについて都度K-40のピークサーチを行い、エネルギー校正を行った後に指標線量率を算出するプログラムとなっている⁹⁾。そこで、2023年7月25日0時0分から8月10日0時0分までの検出部温度と49行×49列のRM法により算出した指標線量率の相関図を作成し、両者の関係を調べた。

2.5 検出部温度の上昇防止対策

NaI(Tl)シンチレーション式検出器に恒温制御装置が併設されているにも関わらず、検出部の温度が上昇する原因を調査するために、2023年9月1日に鮫浦局屋上の温度を非接触型温度計(株式会社ICST製 DT-103)により測定した。

3 結果

3.1 検出部温度と指標線量率の関係

2023年7月25日0時0分から8月10日0時0分までの鮫浦局における検出部温度と22行×22列のRM法により算出した指標線量率の時系列図を作成したところ、当該期間中は日中に検出部温度が上昇していた(図2)。3か月毎にNaI(Tl)シンチレーション式検出器を含む放射線測定装置の製造業者による定期点検を受けているが、当該期間の前後に製造業者が行った定期点検ではNaI(Tl)シンチレーション式検出器や恒温制御装置に異常はなかったことから、夏期の高湿環境下では恒温制御装置によって検出部の温度上昇を防止できなかったものと推定された。

また、日中に検出部温度が上昇している時には、指標線量率が低下しているように見受けられたことから、検出部温度と22行×22列のRM法により算出した指標線量率の相関図を作成したところ、両者は負の相関にあることが判明した(図3)。

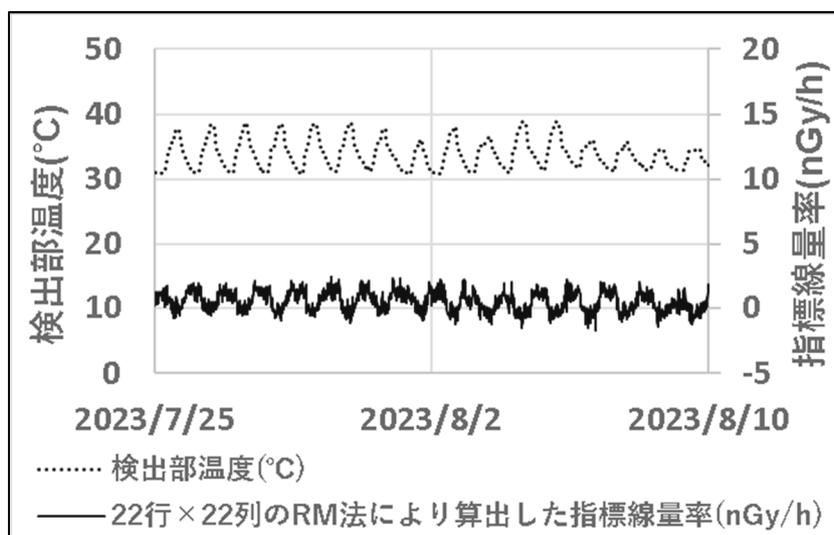


図2 鮫浦局における検出部温度と22行×22列のRM法により算出した指標線量率の時系列図

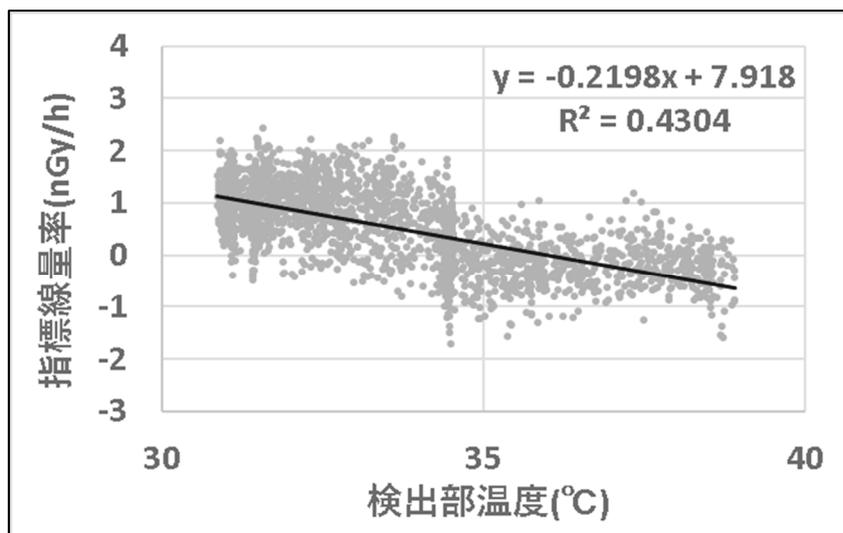


図3 鮫浦局における検出部温度と 22 行×22 列の RM 法により算出した指標線量率の相関図

3.2 検出部温度の変動とスペクトルのドリフトの関係

2023年7月25日0時0分から8月10日0時0分までの鮫浦局のスペクトル(144個/日、合計2,305個)について、K-40の光電ピーク(1,461 keV)を含む可能性がある113 chから119 chまでのうち最も計数が大きかったチャンネルを求め、検出部温度との時系列図(図4)と相関図(図5)を作成した。

なお、本県で用いているNaI(Tl)シンチレーション式検出器で測定されるスペクトルは1 chが5 keVに相当するが、図4及び図5においてはデータ処理の都合から1 chあたり12.5 keVに圧縮したデータを用いた。

その結果、図5のとおり検出部温度とK-40の光電ピークチャンネルの間には負の相関が認められ、検出部温度が上昇していたときには、スペクトルが低エネルギー側にドリフトしていたことが判明した。参考として記載するが、当該期間中で鮫浦局における検出部温度が最も高くなった日時は2023年8月4日15時30分の38.9°Cであり、2023年8月4日の早朝で最も検出部温度が低かった時刻は4時50分の31.1°Cであった。そして、両時刻におけるスペクトルを比較したところ、K-40の光電ピークチャンネルが、4時50分では115 chであるが、15時30分では113 chにドリフトしていた(図6)。

なお、図6においては1 chあたり12.5 keVに圧縮したデータを用いた。

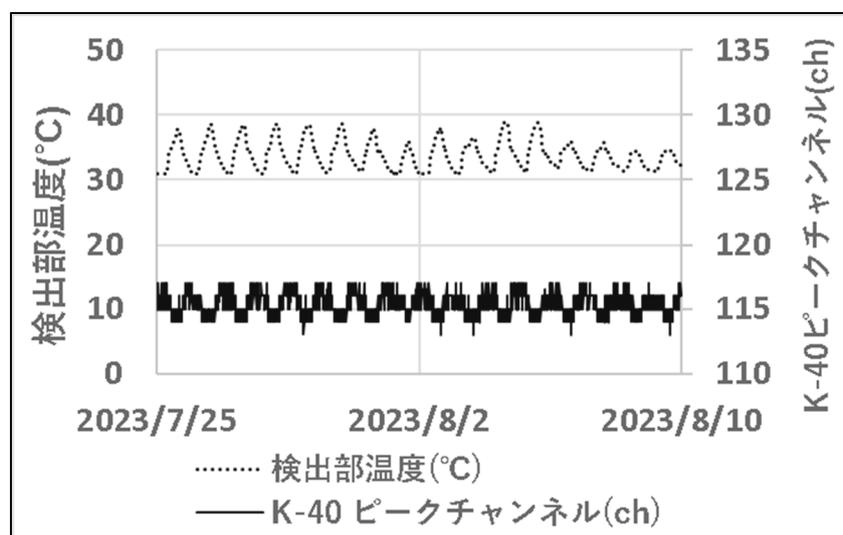


図4 鮫浦局における検出部温度とK-40ピークチャンネルの時系列図

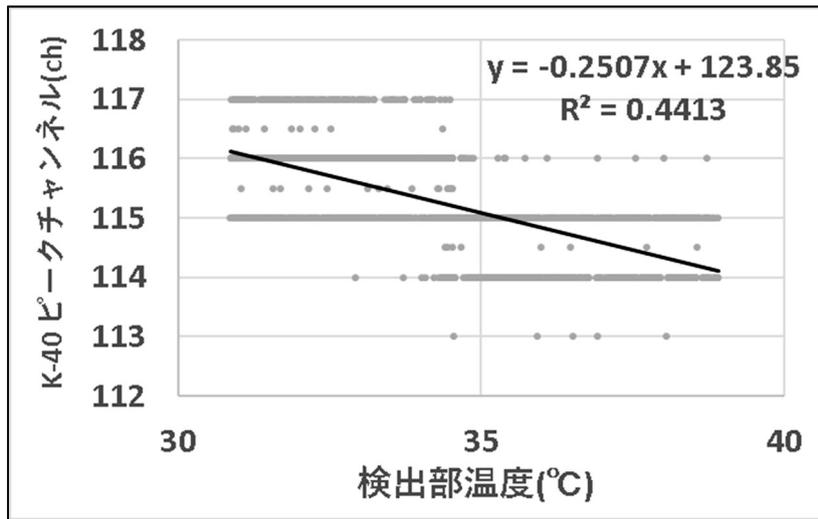
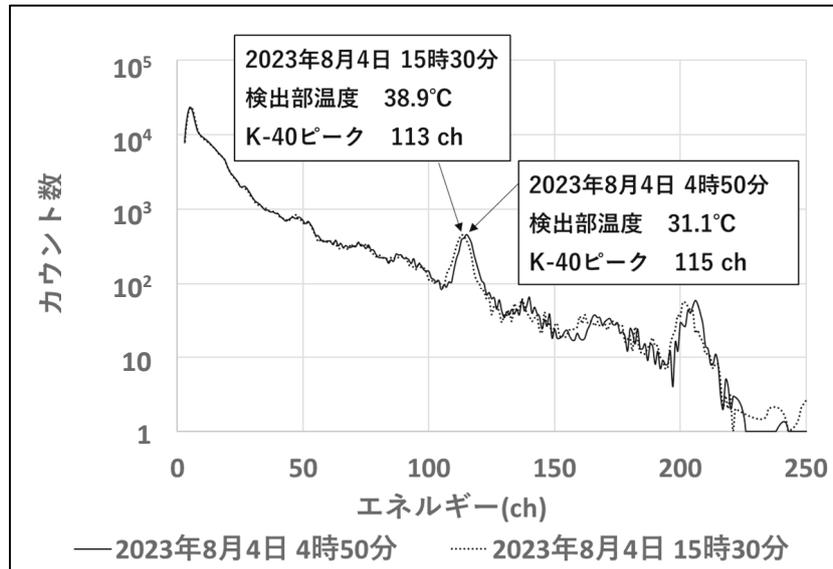
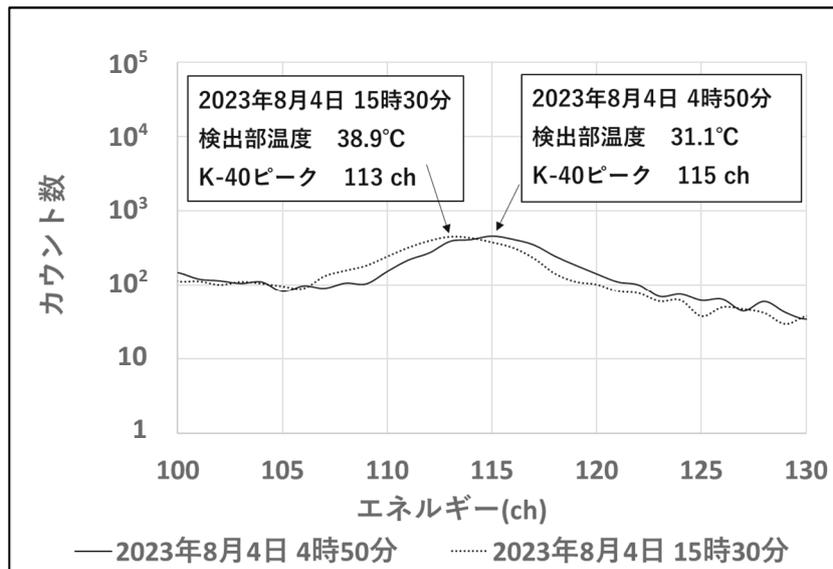


図5 鮫浦局における検出部温度とK-40 ピークチャンネルの相関図



0 ch から 250 ch まで



100 ch から 130 ch までの拡大図

図6 鮫浦局における2023年8月4日4時50分と15時30分のスペクトルの比較

3.3 スペクトルのドリフトが指標線量率に与える影響

スペクトルのドリフトが、指標線量率にどのような影響を与えるかを調査するため、まず、図7のようなスペクトルに対し、エネルギー校正式(1)の一次係数を変えて疑似的にドリフトを起こした。なお、この調査では1 chが5 keVに相当するスペクトルを用いた。

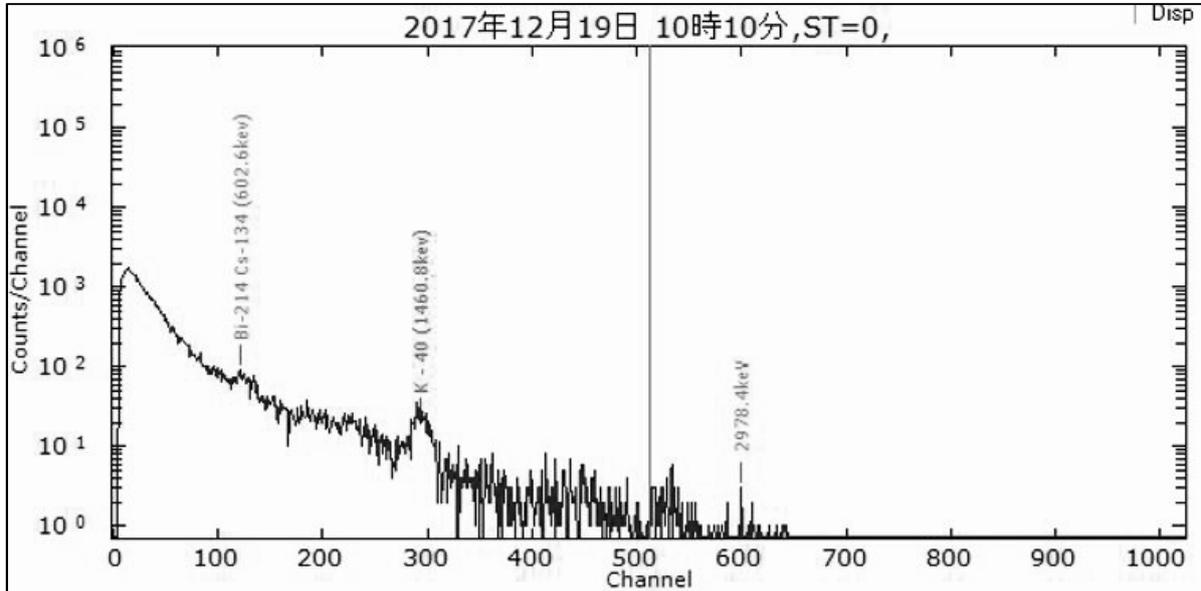


図7 調査に用いたスペクトル

エネルギー校正式 (1)

$$y = A + Bx$$

ここで、

y : エネルギー (keV)

x : チャンネル (ch)

A : 定数 (元の値 : 2.3036)

B : 一次係数 (元の値 : 4.9605)

エネルギー校正式(1)の一次係数Bを0.1間隔で増減させ、5.1605、5.0605、4.9605(元の値)、4.8605、4.7605と変化させた。疑似的にドリフトを起こした結果をK-40のピークを例に図8に示す。そして、疑似的にドリフトを起こしたスペクトルに対して、22行×22列のRM法により解析を行い、全線量率、K-40の直接線の線量率、ウラン系列の直接線の線量率、トリウム系列の直接線の線量率及び天然核種の直接線の線量率合計を求めた(表1)。表1を見ると、スペクトルのドリフトにより、全線量率と天然放射性核種寄与分の直接線の線量率が影響を受けていることが分かる。天然放射性核種寄与分の直接線の線量率から散乱線を含む天然放射性核種寄与分の線量率を算出するための偏回帰係数は日ごとに一定の値であるため、天然放射性核種寄与分の直接線の線量率が影響を受けると、天然放射性核種寄与分の線量率が影響を受けることになる。このように、スペクトルがドリフトすると、指標線量率の算出過程において、全線量率と天然放射性核種寄与分の線量率に影響が生じるため、スペクトルのドリフトを防ぐか、ドリフトが生じた場合はその都度エネルギー校正することが重要であると言える。

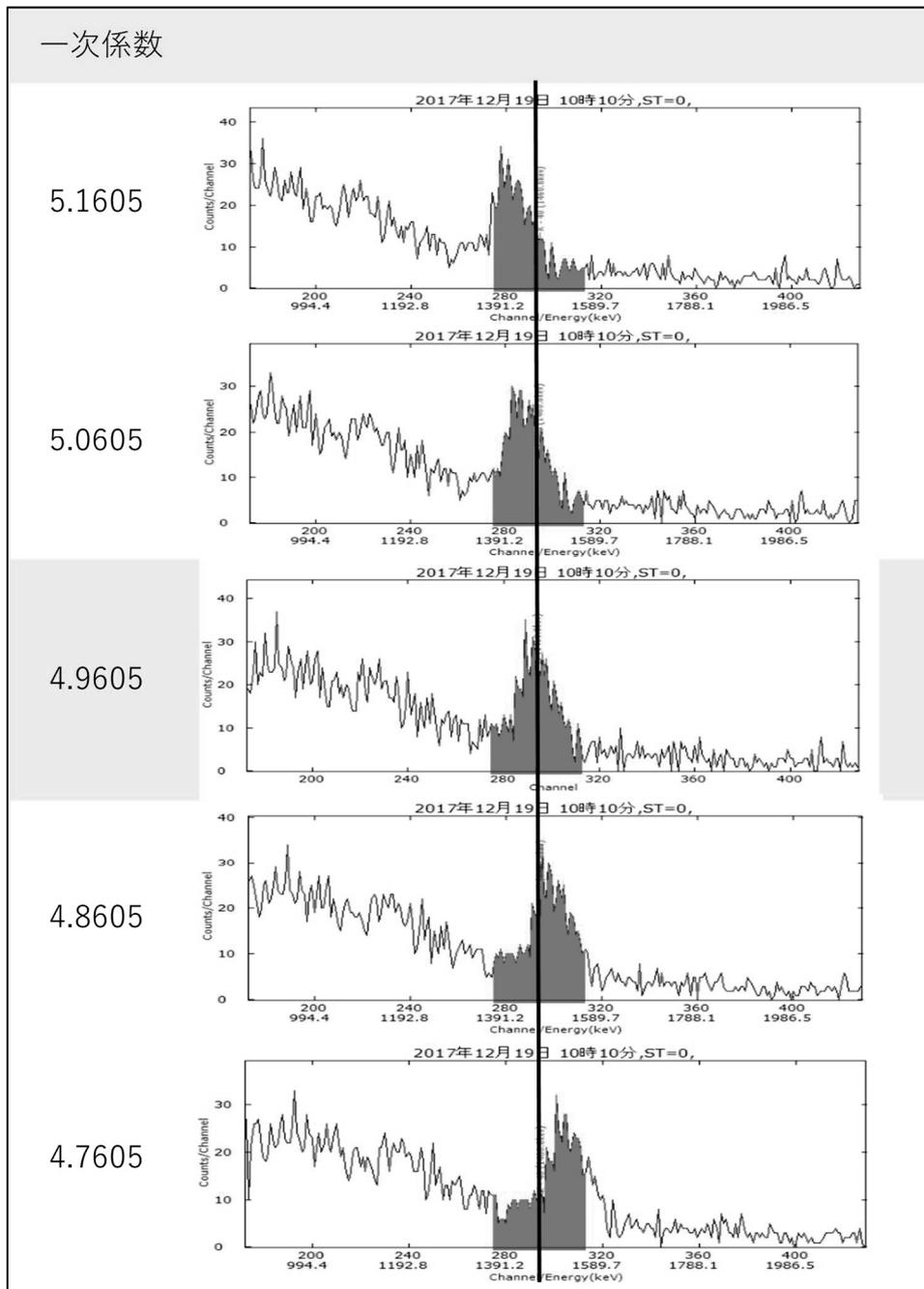


図8 疑似的にドリフトを起こした結果

表1 疑似的にドリフトを起こしたスペクトルに対しての22行×22列のRM法による解析結果

一次係数	K40ピーク 中心(CH)	RM合計 線量率	K40線量率	U系列線量率	Th系列 線量率	天然成分の合 計系列線量率
5.1605	281	29.92	4.35	7.93	4.83	17.1
5.0605	287	30.66	7.03	9.27	6.95	23.26
4.9605	294	31.44	8.36	9.92	7.66	25.94
4.8605	300	32.26	8.52	10.38	7.13	26.03
4.7605	306	33.18	7.32	9.38	3.39	20.1

線量率の単位：nGy/h

3.4 検出部温度とエネルギー校正を行ったスペクトルから算出される指標線量率

本県が試験的に導入している 49 行×49 列の RM 法による解析プログラムでは、10 分毎に得られるスペクトルについて都度 K-40 のピークサーチを行い、エネルギー校正を行った後に指標線量率を算出している⁹⁾。そこで、2.1 と同様に 2023 年 7 月 25 日 0 時から 8 月 10 日 0 時 0 分までの鮫浦局における検出部温度と 49 行×49 列の RM 法により算出した指標線量率の時系列図（図 9）と相関図（図 10）を作成したところ、図 10 のとおり検出部温度に依存した指標線量率の変動を解消することができた。このことから、スペクトルのドリフトに起因する指標線量率の変動に対しては、都度エネルギー校正を行うことが有効であるということが示された。

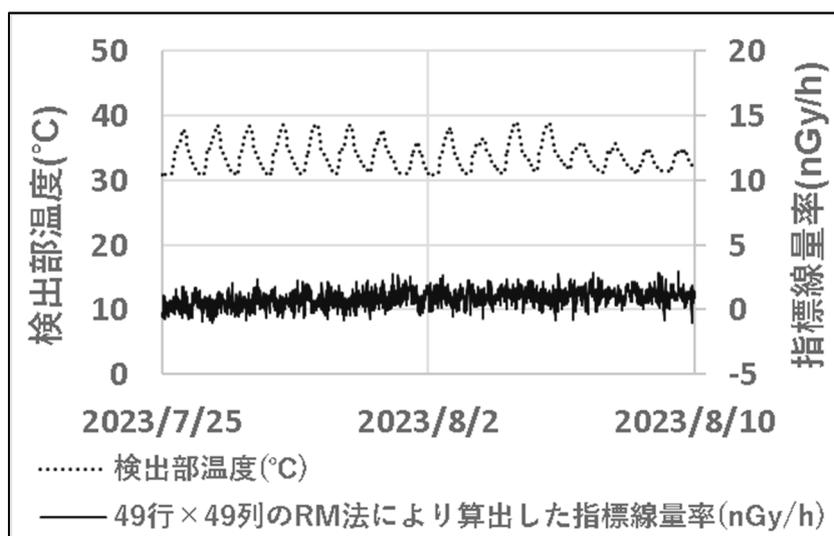


図 9 鮫浦局における検出部温度と 49 行×49 列の RM 法により算出した指標線量率の時系列図

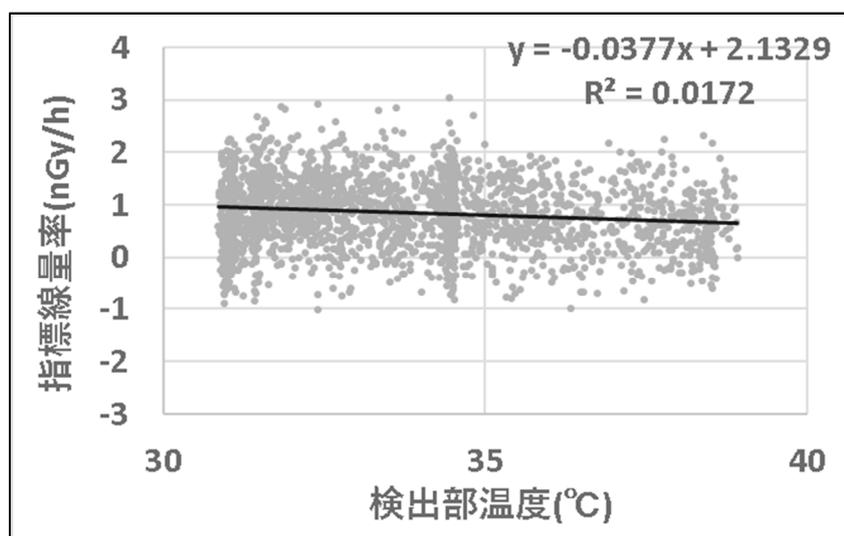


図 10 鮫浦局における検出部温度と 49 行×49 列の RM 法により算出した指標線量率の相関図

3.5 検出部温度の上昇防止対策

NaI(Tl)シンチレーション式検出器に恒温制御装置が併設されているにも関わらず検出部の温度が上昇する原因を調査するために、2023 年 9 月 1 日 13 時 35 分から 13 時 40 分までの間に、鮫浦局の屋根の温度を非接触型温度計（株式会社 ICST 製 DT-103）により測定した。

なお、この日の天候は晴天で、鮫浦局では気温を測定していないものの、女川局で測定している気温は13時40分の時点で29.3℃であった。

屋根の温度を測定した際の写真を図11に示すが、鮫浦局の屋根のうち直射日光が当たっている場所の表面温度は55℃前後の高温であった。写真右側は、NaI(Tl)シンチレーション式検出器に近い位置で測定したものであるが、13時38分に測定したときの表面温度は55.6℃であった。



図11 鮫浦局屋上の様子

このことから、高温となった屋根から検出部へ熱伝導することが、検出部の温度上昇に寄与している可能性が考えられる。そこで、屋根から検出部への熱伝導を防ぐ目的で、検出器の架台と局舎の屋根との間に断熱材を挟むことを検討した。しかし、NaI(Tl)シンチレーション式検出器を含むモニタリングに係る各種設備機器については、2016年7月に原子力規制庁が制定したモニタリングに係る設備機器の耐震安全性に関するガイドライン¹⁰⁾に基づき耐震Sクラスに適合するように設計及び施工しなければならない。検出器の架台と局舎の屋根との間に断熱材を挟むことで耐震Sクラス不適合となることから、検出器の架台と局舎の屋根との間に断熱材を挟むことを断念した。この他に屋根の温度上昇を抑制する方法として屋根全体に遮熱塗料を塗布するといった方法も考えられるため、塗料の耐久性や費用対効果を含めて、今後の検討課題とする。

4 考察

今回の調査により、スペクトルのドリフトに起因する指標線量率の変動に対しては、都度エネルギー校正を行うことが有効であるということが示された。現在、主に監視に用いている22行×22列のRM法により指標線量率を算出するプログラムにも、都度エネルギー校正を行うプログラムを加えるこ

とで、検出部温度の変動に依存した指標線量率の変動を防止することができ、監視能力の向上につながる期待される。また、指標線量率の算出過程における全線量率や天然放射性核種寄与分の線量率に対しても、検出部温度の変動に依存した変動を防止することができることは、環境放射線・放射能をモニタリングする上で大きな意義があり、例えば以下に挙げる事項の調査に応用できる。

① 空間ガンマ線量率の周期的な変動の要因

空間ガンマ線量率が周期的に変動する要因は、以下のようなものがある。

- ・大気中のラドン子孫核種の濃度の変動

変動の周期：日単位

- ・モニタリングステーション周辺への駐車が増減

変動の周期：日単位、週単位

1つ目の大気中のラドン子孫核種の濃度の変動については、大気が安定する夜間から朝方にかけて空間ガンマ線量率が上昇するため¹¹⁾、検出部の温度変動による空間ガンマ線量率の変動⁴⁾と上下が一致する。しかし、検出部温度の変動による影響を解消することができれば、大気中のラドン子孫核種の濃度の変動による影響を精度よく評価できるようになると思われる。

2つ目のモニタリングステーション周辺への駐車が増減については、日中に駐車台数が増えることが多いため、土壤に含まれる天然放射性核種からの放射線が車体によって遮へいされる影響で、日中は線量率が低下することになるが、検出部温度の変動による影響を解消した後のK-40の線量率の変動を見ることで駐車による影響を評価できるようになると思われる。

② ウラン系列の直接線の線量率とダストモニタで測定される放射能濃度又は計数率との関係

過去に報告されているとおり、放射能濃度の測定値には主に大気中のラドン及びその子孫核種の濃度が寄与していると推定されている¹²⁾。そこで、検出部温度の変動による影響を解消した後のウラン系列の直接線の線量率とダストモニタによって測定される放射能濃度又は計数率との関連を調べることで両者の関係を詳細に解析でき、本県のダストモニタで測定される放射能濃度及び計数率の傾向を把握することに役立つものと思われる。

5 まとめ

夏期の高温環境下で指標線量率の変動する事象が発生していたが、今回の調査により、検出部の温度が上昇することに伴い、スペクトルがドリフトしていることが原因であると判明した。そこで、10分毎にスペクトルのエネルギー校正を行う方法で指標線量率を算出したところ、検出部温度に依存した指標線量率の変動を解消することができた。今後、主に監視に用いている22行×22列のRM法により指標線量率を算出するプログラムにも都度エネルギー校正を行う機能を加えることで、環境放射線・放射能の変動の要因をより詳細に解析し、監視能力の向上につながることを期待される。

謝辞

指標線量率に精通し丁寧なご指導とご助言を賜りました元当センター職員（元宮城県原子力センター所長）の石川陽一先生に深く感謝の意を表します。

6 参考文献

- 1) 湊進、環境 γ 線解析用 3" \times 3" NaI(Tl) シンチレータのレスポンス行列、名古屋工業技術試験所報告、27、p. 384-397、1978
- 2) 今野達矢、木立博、石川陽一、加賀谷秀樹、レスポンスマトリクス法を活用した人工放射線寄与線量率の測定に関する検討、宮城県原子力センター年報、第 19 巻、p. 46-52、2001、
URL: <https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kankyoho/intro.html>
- 3) 木立博、今野達矢、石川陽一、佐々木俊行、レスポンスマトリクス法を活用した人工放射線寄与線量率の測定に関する検討 (2)、宮城県原子力センター年報、第 20 巻、p. 18-32、2002、URL: 2) に同じ
- 4) 湊進、SCS-0065、NaI(Tl) 検出器の温度特性 (備忘録)、2010、放射線地学研究所 (放地研) ホームページ、放地研特別寄稿シリーズ、
URL: <http://www1.s3.starcat.ne.jp/reslnote/>
- 5) 文部科学省、放射能測定法シリーズ No. 20 空間 γ 線スペクトル測定法、1990 年 2 月制定、
URL: <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/library/series/>
- 6) 新井康史、安藤孝志、石川陽一、可搬型モニタリングポストによる空間ガンマ線線量率の測定について、宮城県原子力センター年報、第 29 巻、p. 30-32、2011、URL: 2) に同じ
- 7) 木村幸由、吉田直人、木村昭裕、佐藤健一、藤原秀一、可搬型モニタリングポストによる空間ガンマ線線量率測定値の温度依存性、宮城県原子力センター年報、第 31 巻、p. 11-18、2013、URL: 2) に同じ
- 8) 湊進、SCS-0108、環境ガンマ線解析用 49 \times 49 応答行列の紹介、2015、放射線地学研究所 (放地研) ホームページ、放地研基本文献、応答行列 (49 \times 49)、URL: 4) に同じ
- 9) ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ株式会社、空間線量管理センタープログラム 49 \times 49 応答関数への対応と有効性の評価、2022
- 10) 原子力規制庁、モニタリングに係る設備機器の耐震安全性に関するガイドライン、2016 年 7 月策定
- 11) 木立博、今野達矢、石川陽一、加賀谷秀樹、牡鹿半島における空間ガンマ線線量率とラドン濃度の関係について、宮城県原子力センター年報、第 19 巻、p. 5-9、2001、URL: 2) に同じ
- 12) 石川陽一、木村幸由、連続式全アルファ・全ベータ線ダストモニタで観測される計数率変動と主な寄与放射性核種、宮城県環境放射線監視センター年報、第 7 巻、p. 19-30、2021、URL: 2) に同じ

空間放射線量率の調査レベルの設定について

新井康史¹、木村幸由¹、高群富貴、杉山照徳²、長谷部洋³

当センターでは、東京電力(株)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。）の影響により空間放射線量率のバックグラウンドレベルが上昇したことを受け、調査レベルの設定方法を暫定的に変更し、女川原子力発電所からの予期せぬ放射性物質の放出の有無を監視してきたところである。近年では、空間放射線量率の推移が横ばいになっていることから、福島第一原発事故前と同様に、過去2年度の平均値及び標準偏差を適用することが適切であるとの結果が得られた。

I はじめに

平常時モニタリングにおいて、モニタリングポスト等から経時的に得られる測定値のように、適切に管理された測定条件の下で有意な測定値が多数得られた場合には、この測定値を統計処理し、過去数年間の測定値の平均値±(3×標準偏差)を平常の変動幅として設定することとされている¹⁾。本県では福島第一原発事故前まで、「前2年度の測定値の平均値+前2年度の標準偏差の3倍」を調査レベルとして設定し、超過した場合には、より詳細な確認を行うこととしてきた。

しかし、福島第一原発事故で放出された放射性セシウムの影響により空間放射線量率のバックグラウンドレベルが上昇し、その後、物理的半減期やウェザリングによって減衰したため、従来の調査レベル設定方法では、適切な監視ができない状況となった。そのため、表1のように調査レベルの設定方法を適宜見直し、2016年度以降は、「前年度の平均値+前年度の標準偏差の3倍」を調査レベルとして設定している²⁾。近年では、図1に示すように空間放射線量率の減衰の程度が緩やかになってきたことから、福島第一原発事故前と同様の設定方法とできるか検討した。

表1 調査レベルの設定方法の推移

年度	設定頻度	設定方法
2010年度以前	年度毎	前2年度平均値+前2年度標準偏差の3倍
2011、2012年度	月毎	前月平均値+2008、2009年度標準偏差の2倍
2013、2014年度	四半期毎	前四半期平均値+前四半期標準偏差の2倍
2015年度	四半期毎	前2四半期平均値+前2四半期標準偏差の3倍
2016年度以降	年度毎	前年度平均値+前年度標準偏差の3倍

1 現 宮城県保健環境センター

2 現 宮城県環境生活部廃棄物対策課

3 現 宮城県復興・危機管理部原子力安全対策課

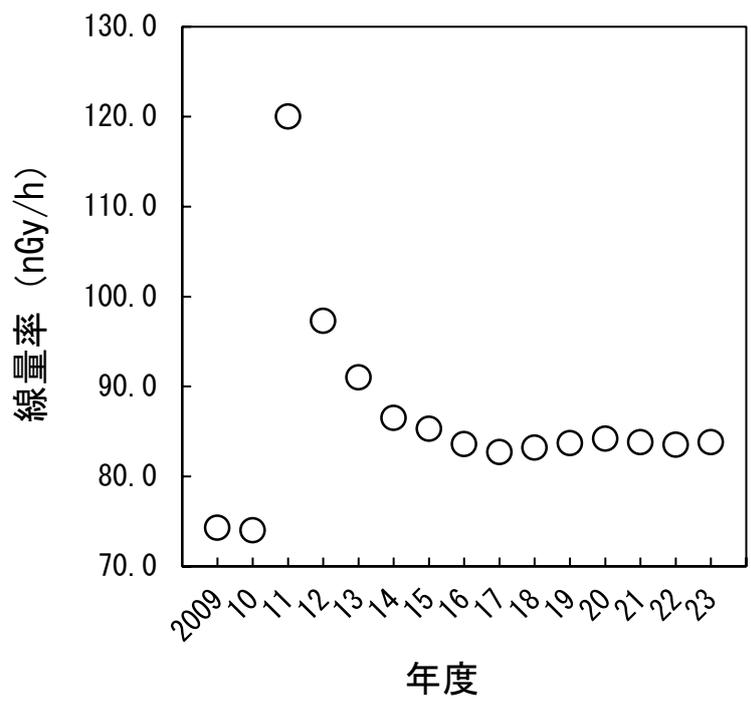


図1 電離箱検出器による空間放射線量率（小屋取局、年度最頻値）の推移
 （2023年度分は4月から12月までの測定値を使用）

II 調査レベルの設定方法の検討について

調査レベル設定値の傾向を確認するため、福島第一原発事故前の算出方式である「前2年度の測定値の平均値+前2年度の標準偏差の3倍」による値を県で設置したモニタリングステーション7局で試算し、現在の算出方式である「前年度の平均値+前年度の標準偏差の3倍」による値と比較した。試算にあたっては、モニタリングステーション7局のうち4局を再建した2019年度の測定値から用いることとし、2023年度の測定値は2023年12月までの測定値を用いた。

まず、「前年度の平均値+前年度の標準偏差の3倍」で算出した7局の平均値を表2に示す。2022年度適用分までは減少傾向が見られたが、2023年度及び2024年度適用分は横ばい傾向が見られた。また、2022年度と2023年度のように平均値は同じであっても標準偏差の差により調査レベルが上昇することも確認できた。

次に、「前2年度の測定値の平均値+前2年度の標準偏差の3倍」で算出した7局の平均値を表3に示す。カッコ内の数字は、現在の方式で算出した値との差分を示しており、2023年度及び2024年度適用分については、現在の算出方式よりも調査レベルが低下することが確認できた。

表2 前年度平均値及び前年度標準偏差を用いた調査レベルの推移（県7局の平均値）

適用年度	2020	2021	2022	2023	2024
前年度平均値	45.0	45.0	44.6	44.6	44.9
標準偏差×3	7.1	6.7	6.4	6.8	7.2
調査レベル	52.1	51.7	51.0	51.4	52.1

表3 過去2年度平均値及び過去2年度標準偏差を用いた調査レベルの推移（県7局の平均値）

適用年度	2021	2022	2023	2024
過去2年度平均値	45.0(±0)	44.8(+0.2)	44.6(±0)	44.7(-0.2)
標準偏差×3	6.8(+0.1)	6.5(+0.1)	6.6(-0.2)	7.0(-0.2)
調査レベル	51.8(+0.1)	51.3(+0.3)	51.2(-0.2)	51.7(-0.4)

※カッコ内の数字は、現在の方式で算出した値との差分

さらに、2023年4月から12月までの測定値（10分値）に対して、現在の調査レベルと福島第一原発事故前の方式で算出した調査レベルをそれぞれ適用し、超過数及び超過割合を比較した。超過割合は、試算期間中の測定値数に対する調査レベルの超過数の割合である。

調査レベル設定値、超過数及び超過割合の試算結果を表4に示す。カッコ内の数字は、現在の方式で算出した値との差分を示しており、寄磯局を除く6局では調査レベルが低下し、超過数が増加することが確認できた。

調査レベルを超過した場合にはより詳細な調査を行うことから、福島第一原発事故前の算出方式である「前2年度の測定値の平均値+前2年度の標準偏差の3倍」による調査レベルの設定に戻すことにより、より厳しい監視体制となることが確認できた。

表4 過去2年度平均値及び過去2年度標準偏差を用いた調査レベルの試算結果

測定局	調査レベル(nGy/h)	超過数(個)	超過割合(%)
女川	36.4(- 0.3)	1056(+ 70)	2.67(+ 0.18)
飯子浜	49.2(- 0.1)	1111(+ 29)	2.81(+ 0.08)
小屋取	55.7(- 0.1)	911(+ 27)	2.30(+ 0.07)
寄磯	42.7(±0)	888(± 0)	2.24(±0)
鮫浦	57.7(- 0.1)	1058(+ 27)	2.67(+ 0.07)
谷川	55.7(- 0.2)	1027(+ 40)	2.59(+ 0.10)
萩浜	61.4(- 0.4)	1238(+ 116)	3.13(+ 0.30)

※カッコ内の数字は、現在の方式で算出した値との差分

III まとめ

近年では空間放射線量率の減衰の程度が緩やかになってきており、福島第一原発事故前の方式で調査レベルを算出したほうがより適切な監視体制となることが判明したため、令和6年度からは、過去2年度平均値及び過去2年度標準偏差を用いた調査レベルを適用することとした。

IV 参考文献

- 1) 原子力規制庁、「平常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）」、平成30年4月4日制定(令和3年12月21日改訂)
- 2) 石幡茜ほか、宮城県環境放射線監視センター年報、第1巻、p.33-37(2015)

指標海産物の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度と $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比について安達里美、有田富和、杉山照徳¹、長谷部洋²

宮城県で継続的に分析している指標海産物（アラメとエゾノネジモク）の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度を取りまとめ、3 か所の採取地点による違いやアラメとエゾノネジモクの違いを比較した。いずれの指標海産物も女川原子力発電所放水口付近の海底土と比較すると2桁程度低い濃度であり、採取地点による大きな差は見られなかった。アラメとエゾノネジモクで $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度を比較すると、エゾノネジモクのほうが若干高い傾向が見られた。さらに、 ^{239}Pu と ^{240}Pu の各放射能濃度の値を用いて $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比を算出したところ、いずれの指標海産物も 0.21~0.27 の間に納まっており、宮城県の海底土と同様、グローバルフォールアウト由来の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比である 0.18 より高い値を示し、太平洋で行われたビキニ核実験由来と考えられる影響が一部認められた。

1 はじめに

宮城県では女川原子力発電所環境放射能及び温排水測定基本計画に基づき 1981 年から女川原子力発電所周辺で環境放射能モニタリングを行っている。その中で、放射性物質の生体濃縮の速度や度合いが大きいことにより、その地域の放射性物質の濃度の変動を把握するために有効な指標海産物の一つとして、海藻のアラメ (*Eisenia bicyclis*) を用いている。アラメは褐藻類に属するコンブ目コンブ科の一種¹⁾で、寿命が約 4~6 年程度の多年生であり、潮間帯から水深数 m の岩上に生育する²⁾。ワカメ等と比べると茎と葉が丈夫で海上が悪天候の際にも流失しにくく、海藻の中では広域で四季を通じて比較的採取しやすく、夏に葉重量は最大となる。しかし、近年、海藻の減少が宮城県沖においても進行し、いずれアラメの採取が困難になることが懸念されたため、代替試料として 2019 年度から褐藻類に属するヒバマタ目ホンダワラ科の一種であるエゾノネジモク (*Sargassum yezoense*) を指標海産物に位置付けた³⁾。エゾノネジモクは太平洋沿岸では北海道函館から宮城県牡鹿半島、日本海沿岸では北海道留萌から長崎県五島に分布している²⁾。生育場所については、波当たりの強い暗礁の、水深が浅い硬い岩の上に生育するという特徴がある。また、冬に生長し、夏に主枝が脱落する。2019 年度からはそれぞれの生態を考慮し、第 2 四半期 (8 月) と第 3 四半期 (11 月) にアラメを、第 1 四半期 (5 月) と第 4 四半期 (2 月) にエゾノネジモクを採取している。エゾノネジモクを指標海産物に位置付けてから 5 年目となり、知見も蓄積してきたところであるが、2023 年度の第 3 四半期に海水の高水温の影響によって牡鹿半島西側においてアラメの群落が消滅する状況に陥った。その原因は、黒潮系の暖水の波及や東日本の夏期の平均気温が気象庁の統計開始以降最高となったことなどの影響によるものと考えられているが、アラメ群落の回復まで数年かかる見込みであり、今後、ますますエゾノネジモクの指標海産物として測定は重要なものとなる。

1 現 宮城県環境生活部廃棄物対策課

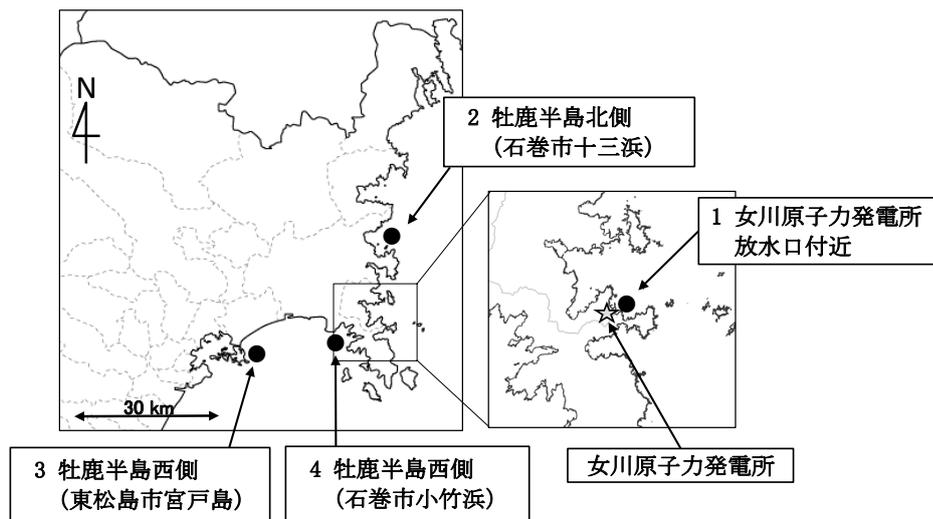
2 現 宮城県復興・危機管理部原子力安全対策課

前報では、宮城県で採取した陸土及び海底土のプルトニウム分析結果より、 $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ 放射能比や $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比を調べることによって、大崎市岩出山の土壌は大気圏内核実験（グローバルフォールアウト）の影響が、女川原子力発電所放水口付近（以下「放水口付近」という。）及び気仙沼湾の海底土は太平洋で行われたビキニ核実験由来と考えられる影響が一部認められたと報告した⁴⁾。今回、継続的に分析している指標海産物の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度をとりまとめ、採取地点間やアラメとエゾノネジモク間の濃度を比較した。さらに、 ^{239}Pu と ^{240}Pu の各放射能濃度の値を用いて $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比を算出し、その起源について推定したので報告する。

2 方法

2.1 試料採取地点

指標海産物の採取地点を図1に示す。宮城県内においてアラメとエゾノネジモクをそれぞれ3地点（放水口付近、牡鹿半島北側及び牡鹿半島西側）で採取した。また、海底土は放水口付近で採取した試料の結果を用いた。



2.2 採取方法・前処理・測定方法

試料採取は放射能測定法シリーズ No.16 環境試料採取法（文部科学省）に従い実施した。アラメは葉部を、エゾノネジモクは付着器を除いた全体を測定試料とした。

図1 試料採取地点

アラメ：地点1、2、3

エゾノネジモク：地点1、2、4

海底土：地点1

^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu の各放射能濃度について、前処理及び測定は放射能測定法シリーズ No.12 プルトニウム分析法及び No.28 環境試料中プルトニウム迅速分析法（文部科学省）に従う方法にて公益財団法人日本分析センターへ分析を委託し、 α 線スペクトロメトリー（ORTEC社製 BU-020-450-AS等）及び高分解能型誘導結合プラズマ質量分析法（以下「ICP-MS法」という。サーモフィッシャーサイエントیفிக்க社製二重収束型高分解能 ICP-MS ELEMENT-2）にて測定を行った。

データについてアラメは2009年度から2022年度まで、エゾノネジモクは2017年度から2023年度まで、海底土は2009年度から2023年度までの測定結果を用いた。

3 結果と考察

3.1 $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度

2009年度から2013年度に採取したアラメについては、 α 線スペクトロメトリーで測定を行った。 $^{239+240}\text{Pu}$ は、放水口付近、牡鹿半島北側及び牡鹿半島西側の各採取地点で継続的に検出されているが、

^{238}Pu はいずれの地点においてもすべて不検出 (ND) であった (個々の測定値は本年報資料 2 に掲載)。2014 年度以降に採取したアラメと、2017 年度から試料採取を開始したエゾノネジモクについては、ICP-MS 法で測定を行っている。アラメは 2009 年度から 2022 年度まで、エゾノネジモクは 2017 年度から 2023 年度まで、海底土は 2009 年度から 2023 年度までの $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度については表 1 及び図 2～3 のとおり。なお、放射能濃度の推移を比較するために ICP-MS 法で測定した ^{239}Pu と ^{240}Pu の放射能濃度を合算し $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度としている。

アラメとエゾノネジモクの放射能濃度の範囲はそれぞれ ND～9.7 mBq/kg 生、3.0～11.5 mBq/kg 生であり、放水口付近の海底土と比較すると、2桁程度低い濃度であった。それぞれ3か所の採取地点間で $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度を比較したところ、いずれの指標海産物も牡鹿半島西側において若干値が低めではあるものの、地点による大きな差は見られなかった。アラメとエゾノネジモクで比較すると、アラメの $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度算術平均値は 2.7 mBq/kg 生、エゾノネジモクが 5.6 mBq/kg 生であり、エゾノネジモクのほうが若干 (3 mBq/kg 生程度) 高い傾向が見られた。エゾノネジモクは付着器を除いた全体を測定試料としているが、アラメは葉部のみを測定試料としている。石川らはアラメにおいて葉部と茎で ^{137}Cs の放射能濃度に差があり、茎よりも葉部のほうが低い傾向であることを報告している⁵⁾が、 $^{239+240}\text{Pu}$ も同様に部位による濃度差がある可能性があるため、今後、検証が必要である。

海水中の $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能濃度として、宮城県沖のデータがなかったため公益財団法人海洋生物環境研究所による岩手県沖表層海水中の濃度 0.0032 mBq/L (2022 年測定値) を採用し⁶⁾、濃縮係数を試算した (表 1)。アラメが 334～3,031 L/kg (算術平均値 791 L/kg)、エゾノネジモクが 938～3,594 L/kg (算術平均値 1734 L/kg) であった。これは、以前石川らが報告した値よりもやや低めの値であった⁷⁾。

表 1 指標海産物及び海底土の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度と濃縮係数

試料名 (採取期間)	試料採取場所	検体数	$^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度 (mBq/kg生)		濃縮係数 (L/kg生)	
			算術平均値	標準偏差	算術平均値	標準偏差
アラメ (2009-2022)	放水口付近	13	3.5	2.1	1079	672
	牡鹿半島北	13	2.2	0.57	692	163
	牡鹿半島西	13	1.9	0.70	586	218
	全地点	39	2.7	1.7	791	464
エゾノネジモク (2017-2023)	放水口付近	7	4.1	1.0	2138	692
	牡鹿半島北	5	5.5	1.6	1706	492
	牡鹿半島西	6	4.1	1.0	1286	321
	全地点	18	5.6	2.0	1734	628
海底土 (2009-2023)	放水口付近	15	212	110	—	—

採取頻度は全試料 1 回/年。

採取期間中、アラメは 2011 年度分が全地点で欠測、エゾノネジモクは牡鹿半島北で 2018、2019 年度分、牡鹿半島西で 2019 年度分が欠測。海底土は期間中において欠測はなかった。

濃縮係数は指標海産物中の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度 (mBq/kg 生) を海水中の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度 (0.0032 mBq/L) で除して算出した。

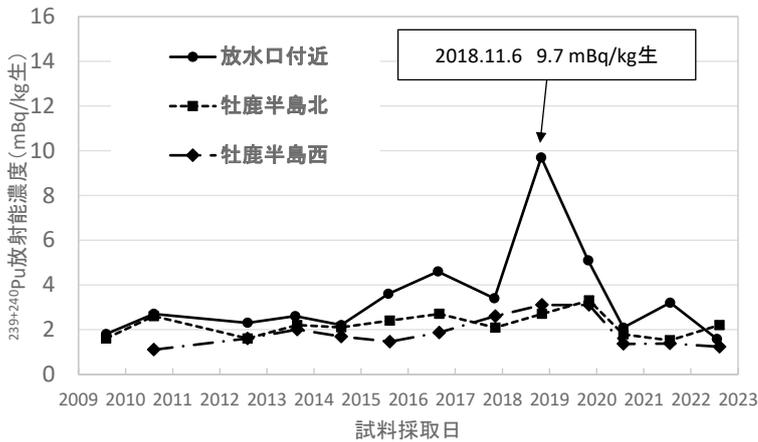


図2 アラメの²³⁹⁺²⁴⁰Pu放射能濃度推移

計数誤差 (σ) は測定値に比べ極めて小さい。
 2011年度分が全地点で欠測となった。
 2009年度における牡鹿半島北がNDであったが、
 その他の測定試料はすべて検出されている。

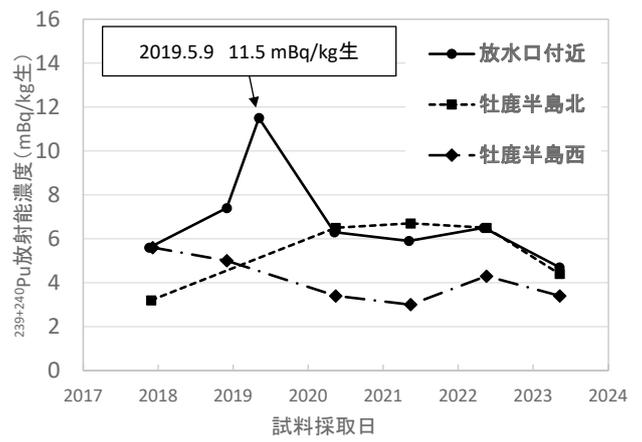


図3 エゾノネジモクの²³⁹⁺²⁴⁰Pu放射能濃度推移

計数誤差 (σ) は測定値に比べ極めて小さい。
 牡鹿半島北が2018、2019年度分、牡鹿半島西が
 2019年度分欠測となった。
 測定試料はすべて検出されている。

3. 2 ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu 同位体比

2014年度からは²³⁸Puの影響がほぼ認められない状況を鑑み⁸⁾ ²³⁸Puを測定対象外とし、代わりにICP-MS法を用いて²³⁹Puと²⁴⁰Puを弁別して測定している。²⁴⁰Pu/²³⁹Pu同位体比の値は原子炉や核兵器の種類、核燃料の種類や燃焼時間などによって大きく異なることが知られており⁸⁾、環境中でのプルトニウムの動態解明において、その起源が核実験等による核兵器由来であるか、原子力発電所由来であるかを判断する上での1つの指標となる。アラメとエゾノネジモクにおける採取地点ごとの²³⁹Pu及び²⁴⁰Puの各放射能濃度並びに²⁴⁰Pu/²³⁹Pu同位体比は表2のとおり。²⁴⁰Pu/²³⁹Pu同位体比は、アラメ、エゾノネジモクいずれの試料も0.21~0.27の間に納まっており、その平均値は0.23もしくは0.24と海底土の平均値0.24とほぼ同じであった。²⁴⁰Pu/²³⁹Pu同位体比は発生起源ごとに固有の値があり、グローバルフォールアウトが0.18⁸⁾、ビキニ核実験が0.33~0.36⁸⁾、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。)が0.30~0.33⁹⁾、チヨルノーベリ事故が0.41¹⁰⁾とされている。アラメとエゾノネジモクの²⁴⁰Pu/²³⁹Pu同位体比はグローバルフォールアウト値である0.18より高めの値を示した。前報では宮城県沖の海底土の結果から、県沿岸部においてグローバルフォールアウトに加え、太平洋で行われたビキニ核実験起源のプルトニウムが北赤道海流を経て、黒潮又は対馬海流から津軽海峡を回り込んで流れ込む津軽暖流の影響を受け堆積しているものと推定した⁴⁾。今回の結果から、指標海産物のプルトニウムも海底土と同様に、グローバルフォールアウトに加えてビキニ核実験由来と考えられる影響を受けているものと推測された。

福島第一原発事故の影響に関して2011年6月及び2012年1月に行われた国の土壌調査において、福島第一原子力発電所のごく近い地点では、事故前の調査結果の範囲から外れる高い値が検出されており、事故の影響があったものと考えられているが、その他の地点は全て事故発生前の調査結果の範囲だった¹²⁾。このことから、福島第一原発事故によるプルトニウムの飛散は非常に狭い範囲にとどまっていると

考えられている。福島第一原発事故前から測定を開始している宮城県のアラメや海底土について、事故後も $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度や $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比に大きな変動はなく、これらのプルトニウム分析においては事故による影響はなかったものと考えられる。

なお、放水口付近で 2018 年 11 月に採取したアラメ（図 2）と同地点で 2019 年 5 月に採取したエゾノネジモク（図 3）で高めの $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度が確認されている（それぞれ 9.7 mBq/kg 生と 11.5 mBq/kg 生）。 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比はそれぞれ 0.24 と 0.22 と他年度試料の同位体比と同等であることから、別要因の流入等によるものではないと考えられる。 ^{137}Cs 放射能濃度に特に異常はないことから、原因の特定は困難であるものの、Pu 含量が多い水塊や堆積物の影響を受けた等、何らかの環境要因に伴う変動によるものであると推察している。

表 2 指標海産物と海底土の ^{239}Pu と ^{240}Pu の放射能濃度及び $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比

試料名 (採取期間)	試料採取場所	検体数	^{239}Pu 測定値 (mBq/kg生)		^{240}Pu 測定値 (mBq/kg生)		$^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比	
			算術平均値	標準偏差	算術平均値	標準偏差	算術平均値	標準偏差
アラメ (2013又は2014-2022)	放水口付近	10	2.0	1.3	1.7	1.1	0.23	0.013
	牡鹿半島北	9	1.3	0.3	1.2	0.2	0.24	0.014
	牡鹿半島西	9	1.1	0.4	0.9	0.4	0.24	0.018
エゾノネジモク (2017-2023)	放水口付近	7	3.7	1.4	3.1	1.0	0.23	0.013
	牡鹿半島北	5	3.0	0.9	2.5	0.7	0.23	0.017
	牡鹿半島西	6	2.2	0.6	1.9	0.5	0.23	0.012
海底土 (2011-2023)	放水口付近	13	107	62	96	55	0.24	0.0036

採取頻度は全試料 1 回/年。

アラメは放水口付近のみ 2013 年度から、その他の地点は 2014 年度から 2022 年度までの測定結果。採取期間中、エゾノネジモクが牡鹿半島北で 2018、2019 年度分、牡鹿半島西で 2019 年度分が欠測。アラメ及び海底土は期間中において欠測はなかった。

4 まとめ

宮城県で採取した指標海産物であるアラメとエゾノネジモクと海底土のプルトニウム分析結果より $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度の推移や $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比を調べることによって、下記の結果が得られた。

- (1) $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度は、いずれの指標海産物も放水口付近の海底土と比較すると 2 桁程度低い濃度であった。また、牡鹿半島西側において若干値が低めではあるものの、採取地点間の大きな差は見られなかった。
- (2) アラメとエゾノネジモク間の $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度を比較すると、エゾノネジモクのほうが若干（3 mBq/kg 生程度）高い傾向が見られた。
- (3) $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比は、いずれの指標海産物においても 0.21～0.27 の間に納まっており、海底土と同様、グローバルフォールアウト値である 0.18 より高めの値を示し、太平洋で行われたビキニ核実験由来と考えられる影響が一部認められた。

謝辞

放射能分析・データ解析に関して多くの助言を頂いた元宮城県原子力センター所長の石川陽一氏に感謝します。

参考文献

- 1) 瀬川宗吉 「原色日本海藻図鑑」、保育社、39-44 (1981)
- 2) 熊登谷正浩編著 「藻場の海藻と造成技術」、成山堂、75-83、100-105 (2003)
- 3) 小笠原一考ほか 「環境放射能調査における新たな指標海産物の検討」、宮城県環境放射線監視センター年報、第 4 巻、15-20 (2018)
- 4) 高橋稜ほか 「宮城県の土壌及び海底土におけるプルトニウム起源の推定」、宮城県環境放射線監視センター年報、第 8 巻、7-12 (2022)
- 5) 石川陽一ほか 「褐藻類アラメにおける ^{137}Cs と ^{40}K の濃度の藻体内分布と経時変動及び濃縮係数」、宮城県環境放射線監視センター年報、第 3 巻、7-14 (2017)
- 6) 公益財団法人海洋生物環境研究所 「令和 4 年度原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業調査報告書」、267 (2023)
- 7) 石川陽一ほか 「海洋放射能汚染指標海産生物としてのアラメその他の褐藻の特性」、宮城県環境放射線監視センター年報、第 5 巻、7-16 (2019)
- 8) 山田正俊 「海洋におけるプルトニウム同位体の挙動について」、温泉科学 (J. Hot Spring Sci.)、70、208-220 (2021)
- 9) Jian Zheng ほか Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident. Scientific Reports 2, 304 ; DOI:10.1038/srep00304 (2012)
- 10) Y. Muramatsu ほか Concentrations of ^{239}Pu and ^{240}Pu and their isotopic ratios determined by ICP-MS in soils collected from the Chernobyl 30-km zone, Environ. Sci. Technol, 34, pp. 2913-2917. (2000)
- 11) 環境省 「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（令和 4 年度版）」第 7 章 環境モニタリング、48 (2023)

Ⅲ 学会発表

Ⅲ 学会発表等の要旨

(1) 第25回「環境放射能」研究会、つくば市、2024年3月11日-13日

題目：海産物の放射能測定における消化管内容物の影響

発表者：有田富和、安達里美、伊藤節男、杉山照徳、長谷部洋

2020年4月に採取したマボヤから例年に比べ高い濃度の ^{137}Cs が検出された。処理途中の灰化試料には消化管内容物と思われる赤色の固形物が多数認められ、比較的高い濃度の ^7Be も検出された。さらに、ICP発光分析では高濃度の鉄も検出された。この原因として、採取直前の海況は風雨が強く荒れていたこともあり、消化管内への土壌の残留を疑い、再度同じ海域からマボヤを採取し、消化管内容物を徹底的に除去して測定を行った。その結果、可食部から ^{137}Cs は検出されず、逆に消化管内容物のみを集めた試料からは高い ^{137}Cs 濃度が認められた。これらのことから、今回の ^{137}Cs 濃度の上昇は、荒天により ^{137}Cs を含む表土が海域に一過性かつ多量に流入し、これをマボヤが大量に取り込み、通常の前処理過程で除去しきれず灰試料に混入したことによるものと推定した。さらに、県原子力センターによる過去の調査ではマボヤが ^7Be を濃縮すること示しているが、今回の研究で ^{137}Cs の可食部への移行はほぼ無いことも明らかとなった。

(2) 第39回「宮城県保健環境センター研究発表会、仙台市、2024年3月1日

題目：近年の牡鹿半島沿岸における褐藻類からの ^{131}I 検出状況

発表者：有田富和、安達里美、杉山照徳、長谷部洋

2006年以降、牡鹿半島沿岸海域で採取した海藻類からは、散発的に ^{131}I が検出され続けている。2010年度までの検出状況については県原子力センター年報で既報であるが、今回、2011年の東京電力(株)福島第一原子力発電所事故から2022年度までの迅速法による ^{131}I の検出状況を取りまとめた。期間中、アラメ196件中24件、エゾノネジモク38件中3件から ^{131}I が検出されており、その濃度はアラメ2件で 1Bq/kg (生重量)をわずかに超過した以外は、それぞれ $0.093\sim 0.41\text{ Bq/kg}$ (生)及び $0.13\sim 0.23\text{ Bq/kg}$ (生)の範囲であった。当該期間中、東北電力(株)女川原子力発電所は1~3号機の全機が稼働を停止していること、発電所に最も近い採取地点である放水口付近で採取した試料からは ^{131}I は一度も検出されていないこと、最も頻繁に検出されている海域には都市部を流域とする大河川が流入していること、 ^{131}I は甲状腺がんの治療などに比較的多量に使用されていることなどから、これらアラメやエゾノネジモクから検出された ^{131}I については、核医学に由来する可能性が高いものと考えられた。

題目：宮城県の土壌及び海底土におけるプルトニウム起源の推定

発表者：安達里美、高橋稜、有田富和、杉山照徳、長谷部洋

宮城県は2003年度から、平常時におけるバックグラウンドの把握や環境中における人工放射性核種の挙動解析等を目的として、種々の環境試料についてプルトニウムを継続的に測定してきた。データが蓄積できた試料のうち土壌1地点と海底土2地点の測定結果に着目し、 α 線スペクトロメトリー法による ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ の測定値から $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ 放射能比を、ICP-MS法による ^{239}Pu 及び ^{240}Pu の測定値から $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比を算出し、プルトニウムの起源を推定した。大崎市岩出山の土壌は、グローバルフォールアウトの影響が、放水口付近及び気仙沼湾の海底土は、太平洋で行われたビキニ核実験由来と考えられる影響が一部認められた。

IV 資料

資料1 宮城県における環境放射能核種分析結果

以下に、2023年（令和5年）4月から2024年（令和6年）3月までに採取した試料の核種分析結果を示す。

[図表一覧]

図-1：Ge半導体検出器用測定試料形状と容器

表-1：Ge半導体検出器の主な性能

Ge半導体検出器による分析結果：表-2～表-26、参考1、参考2

放射能測定法シリーズNo.7（2020年改訂 原子力規制委員会）、「ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー」に基づく分析結果を示す（測定器については表-1のとおり）。これらのデータは、主に「令和5年度 女川原子力発電所 環境放射能調査結果（令和6年10月 宮城県）」において公表した核種（ ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^{40}\text{K}$ 、 ${}^{134}\text{Cs}$ 、 ${}^{137}\text{Cs}$ 、 ${}^{131}\text{I}$ ）の分析値である。ほかに、試料によっては ${}^{210}\text{Pb}$ 、 ${}^{212}\text{Pb}$ または ${}^{214}\text{Pb}$ の値も記載している。表-2～表-26、参考1及び参考2において核種名の表記は、例えば ${}^7\text{Be}$ についてはBe-7とした（以下、同様）。なお、放射能の値は試料採取日における値である（以下、同様）。

Sr-90分析結果：表-27

放射能測定法シリーズNo.2（2003年改訂 文部科学省）、「放射性ストロンチウム分析法」に基づく分析結果を示す（測定器：日立アロカメディカル製LBC-4202B）。

H-3分析結果：表-28

放射能測定法シリーズNo.9（2002年改訂 文部科学省、2023年改訂 原子力規制委員会）、「トリチウム分析法」に基づく分析結果を示す（測定器：日立アロカメディカル製LSC-LB7）。

原子力規制庁委託調査結果（令和5年度）：表-29～表-33

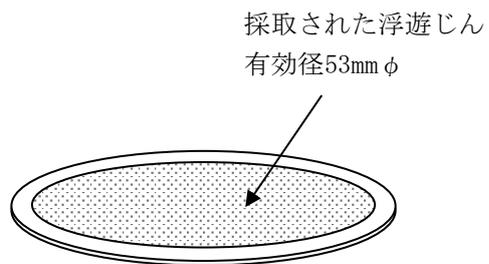
これらのデータは、原子力規制庁からの環境放射能水準調査の委託により得られた成果の一部である。

検出下限値及び数値の表し方

- 検出下限値は、試料の測定値（正味計数）の統計誤差（計数誤差）の3倍とする。
- 測定結果が検出下限値以上の場合、統計誤差を併記し、検出下限値よりも小さい場合は「N D」（Not Detected）とする。
- 測定値の表示桁数は2桁とし、統計誤差は測定値の最下位桁まで表示する（例1、2）。
（例1） $69.07 \pm 14.32 \rightarrow 69 \pm 14$
（例2） $69.07 \pm 1.432 \rightarrow 69 \pm 1$
- 測定値の最上位桁に比べて統計誤差の最上位桁が3桁目以下の場合、測定値は統計誤差の最上位桁と同じ位まで表示し、統計誤差は、最上位桁のみを表示する（例3、4）。ただし、統計誤差を丸めた結果、位が上がり桁数が増えた場合は、統計誤差を2桁表示する（例5）。
（例3） $69.07 \pm 0.1432 \rightarrow 69.1 \pm 0.1$
（例4） $69.07 \pm 0.01432 \rightarrow 69.07 \pm 0.01$
（例5） $69.07 \pm 0.964 \rightarrow 69.1 \pm 1.0$
- 数値の丸め方は、表示桁数を（n）桁とする場合、（n+1）桁まで計算し（n+1）桁を四捨五入する。

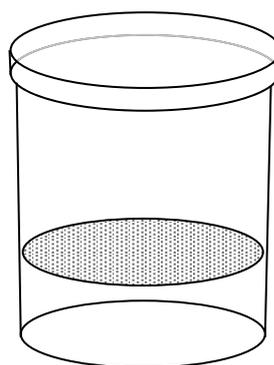
(a) 大気浮遊じん用ろ紙

上：セルロース・
ガラス繊維ろ紙 (Toyo、 HE-40T)
下：活性炭ろ紙 (Toyo、 CP-20)



(b) U 8 型容器

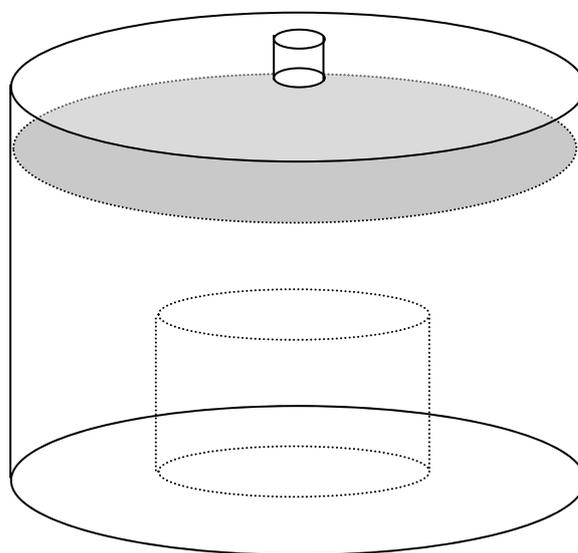
材質：ポリプロピレン樹脂
用途：降下物、土壌、その他の試料用



容器：直径47mm φ
×50mm高
試料厚：0~50mmの
範囲で任意

(c) マリネリ容器

(迅速法、
その他の試料用)



容積：2 $\frac{リットル}{}$

図-1 Ge半導体検出器用
測定試料形状と容器

表-1 Ge半導体検出器の主な性能

検出器番号		監視用Ge 1	監視用Ge 2	水準用Ge
検出器型名		ORTEC GMX25P4-70-RB-B	ORTEC GEM25-70	ORTEC GEM25P4-70
検出器サイズ (mm)		52.4 φ × 63.2	59.0 φ × 49.3	59.0 φ × 47.1
検出器エンドキャップ		1.7 mm、Cu	1.0 mm、Al	1.0 mm、Al
検出器窓		0.5 mm Be	—	—
印加電圧		-3100 V	+3000 V	+1500 V
MCA (ADC、Lin. AMP、 高圧電源含む)		SEIKO EG&G MCA-7a型 M7-010	SEIKO EG&G MCA-7a型 M7-010	SEIKO EG&G MCA-7a型 M7-010
検出器 性能	FWHM at 1.33 MeV	1.81 keV	1.74 keV	1.77 keV
	P/C比	57.14	59.34	58.23
	相対効率 *	27.76 %	30.47 %	27.63 %
遮へい体厚さ (mm) (内側より)				
アクリル樹脂		2	2	—
無酸素銅		3	3	—
鉄		—	—	158
鉛		120	120	—
鋼鉄		10	10	—
データ解析装置		FUJITSU ESPRIMO D7010/F		FUJITSU ESPRIMO D7011/H

* 相対効率は、線源-検出器間距離25 cmのときの、⁶⁰Coの1.33 MeV-γ線エネルギーにおける3" φ × 3" NaI(Tl)検出器に対する相対値。

(1) Ge 半導体検出器による分析結果

表-2 月間降下物の核種分析結果 (1)

試料名		降下物					
		雨水・ちり					
採取地点		女川町浦宿浜(女川オフサイトセンター)*					
採取期間		2023. 4. 4 ～ 2023. 5. 1	2023. 5. 1 ～ 2023. 6. 1	2023. 6. 1 ～ 2023. 7. 3	2023. 7. 3 ～ 2023. 8. 1	2023. 8. 1 ～ 2023.9.1	2023. 9. 1 ～ 2023.10.2
採取月		4月分	5月分	6月分	7月分	8月分	9月分
試料番号		23F00014	23F00034	23F00047	23F00061	23F00078	23F00089
放射能	Be- 7	106.0±1.0	95.4±0.9	177±1	78.8±0.7	16.6±0.4	109.9±0.8
	K - 40	(1.1)	1.2±0.4	(0.74)	N D	N D	N D
	Pb-210	17.5±0.4	17.8±0.4	-	-	-	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.26±0.03	0.14±0.02	0.060±0.018	0.078±0.017	N D	0.064±0.018
	単位	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²
試料採取面積 (m ²)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
蒸発残渣量(g/m ²)		3.1	3.1	1.3	1.1	0.9	1.4
Ge検出器番号		1	1	2	2	2	2
測定時間 (ライブタイム;秒)		80000	80000	80000	80000	80000	80000
備考							

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

* 令和3年4月1日以降、採取場所を女川町浦宿浜地内の女川宿舎から女川オフサイトセンターに変更している。

表-3 月間降下物の核種分析結果 (2)

試料名		降下物					
		雨水・ちり					
採取地点		女川町浦宿浜(女川オフサイトセンター)*					
採取期間		2023. 10. 2 ～ 2023.11.1	2023. 11. 1 ～ 2023.12.1	2023. 12. 1 ～ 2024. 1. 5	2024. 1. 5 ～ 2024.2.1	2024. 2. 1 ～ 2024. 3. 1	2024. 3. 1 ～ 2024. 4. 2
採取月		10月分	11月分	12月分	1月分	2月分	3月分
試料番号		23F00101	23F00126	23F00139	23F00144	23F00157	23F00165
放射能	Be- 7	79.4±0.7	39.5±0.6	22.1±0.5	29.0±0.5	53.3±0.7	208±1
	K - 40	N D	N D	N D	1.6±0.4	N D	2.2±0.4
	Pb-210	-	7.9±0.3	6.1±0.3	6.7±0.3	11.2±0.3	28.4±0.5
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	0.066±0.021	N D	0.068±0.022	0.16±0.03	0.19±0.03
	単位	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²
試料採取面積 (m ²)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
蒸発残渣量(g/m ²)		1.5	1.6	1.3	4.2	2.8	8.5
Ge検出器番号		2	1	1	1	1	1
測定時間 (ライブタイム;秒)		80000	80000	80000	80000	80000	80000
備考							

* 令和3年4月1日以降、採取場所を女川町浦宿浜地内の女川宿舎から女川オフサイトセンターに変更している。

表-4 月間降下物の核種分析結果 (3)

試料名	降下物						
	雨水・ちり						
採取地点	仙台市宮城野区(環境放射線監視センター)						
採取期間	2023.4.4 ～2023.5.1	2023.5.1 ～2023.6.1	2023.6.1 ～2023.7.3	2023.7.3 ～2023.8.1	2023.8.1 ～2023.9.1	2023.9.1 ～2023.10.2	
採取月	4月分	5月分	6月分	7月分	8月分	9月分	
試料番号	23F00013	23F00033	23F00046	23F00060	23F00077	23F00085	
放射能	Be-7	74.7±0.8	115.1±1.0	159±1	139.4±1.0	11.9±0.3	112.0±1.0
	K-40	1.6±0.4	1.4±0.4	N D	N D	(0.75)	2.0±0.4
	Pb-210	12.4±0.3	22.6±0.4	17.1±0.4	-	-	14.1±0.3
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.68±0.04	0.54±0.03	0.14±0.02	0.091±0.019	0.14±0.02	0.12±0.02
単位	Bq/m ²						
試料採取面積 (m ²)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
蒸発残渣量(g/m ²)	4.1	3.3	1.6	1.3	1.6	2.5	
Ge検出器番号	1	1	1	2	2	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考	対照地点*						

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

* 女川原子力発電所から約10km以遠の地点(海域)を対照地点(対照海域)と記載した。以下、他の降下物、陸土、指標植物、魚介類、海水、海底土及び指標海産物についても同様である。

表-5 月間降下物の核種分析結果 (4)

試料名	降下物						
	雨水・ちり						
採取地点	仙台市宮城野区(環境放射線監視センター)						
採取期間	2023.10.2 ～2023.11.1	2023.11.1 ～2023.12.1	2023.12.1 ～2024.1.5	2024.1.5 ～2024.2.1	2024.2.1 ～2024.3.1	2024.3.1 ～2024.4.2	
採取月	10月分	11月分	12月分	1月分	2月分	3月分	
試料番号	23F00097	23F00125	23F00135	23F00143	23F00156	23F00164	
放射能	Be-7	34.5±0.5	40.7±0.6	35.2±0.5	29.9±0.5	45.7±0.6	87.8±0.7
	K-40	(0.75)	1.3±0.4	N D	1.1±0.2	1.4±0.4	1.3±0.3
	Pb-210	-	8.4±0.3	6.2±0.3	-	11.4±0.3	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.31±0.02	0.28±0.03	0.14±0.02	0.31±0.02	0.75±0.04	0.46±0.03
単位	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	
試料採取面積 (m ²)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
蒸発残渣量(g/m ²)	1.9	2.1	1.6	3.1	4.9	5.0	
Ge検出器番号	2	1	1	2	1	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考	対照地点						

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

表－6 四半期間降下物の核種分析結果（1）

試料名	降下物				
	雨水・ちり				
採取地点	女川町飯子浜（飯子浜MS）				
採取期間	2023. 4. 4 ～ 2023. 7. 3	2023. 7. 3 ～ 2023. 10. 2	2023. 10. 2 ～ 2024. 1. 5	2024. 1. 5 ～ 2024. 4. 2	
採取月	4～6月分	7～9月分	10～12月分	1～3月分	
試料番号	23F00048	23F00090	23F00136	23F00166	
放射能	Be- 7	191±2	148±2	83±1	150±2
	K - 40	3.9±0.7	N D	5.1±1.0	4.1±0.7
	Pb-210	-	-	26.7±0.8	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.34±0.06	N D	0.32±0.06	0.42±0.06
	単位	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²
試料採取面積 (m ²)	0.1886	0.1886	0.1886	0.1886	
蒸発残渣量(g/m ²)	8.3	2.4	4.9	12.2	
Ge検出器番号	2	2	1	2	
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	80000	80000	
備考					

表－7 四半期間降下物の核種分析結果（2）

試料名	降下物				
	雨水・ちり				
採取地点	石巻市鮫浦（鮫浦MS）				
採取期間	2023. 4. 4 ～ 2023. 7. 3	2023. 7. 3 ～ 2023. 10. 2	2023. 10. 2 ～ 2024. 1. 5	2024. 1. 5 ～ 2024. 4. 2	
採取月	4～6月分	7～9月分	10～12月分	1～3月分	
試料番号	23F00049	23F00091	23F00137	23F00167	
放射能	Be- 7	237±2	189±2	80±1	173±2
	K - 40	(3.0)	N D	(2.9)	3.3±0.7
	Pb-210	62±1	33.2±0.8	22.5±0.7	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.51±0.07	0.20±0.05	(0.17)	0.25±0.05
	単位	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²
試料採取面積 (m ²)	0.1886	0.1886	0.1886	0.1886	
蒸発残渣量(g/m ²)	7.3	3.0	3.2	10.7	
Ge検出器番号	1	1	1	2	
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	80000	80000	
備考					

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ（ ）書きで示す。

表－8 四半期間降下物の核種分析結果（3）

試料名	降下物				
	雨水・ちり				
採取地点	石巻市谷川浜（谷川MS）				
採取期間	2023. 4. 4 ～ 2023. 7. 3	2023. 7. 3 ～ 2023. 10. 2	2023. 10. 2 ～ 2024. 1. 5	2024. 1. 5 ～ 2024. 4. 2	
採取月	4～6月分	7～9月分	10～12月分	1～3月分	
試料番号	23F00050	23F00092	23F00138	23F00168	
放射能	Be- 7	336±3	191±2	69±1	198±2
	K - 40	2.2±0.7	N D	2.0±0.6	4.4±0.7
	Pb-210	-	-	-	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.51±0.06	0.25±0.05	0.21±0.05	0.59±0.06
	単位	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²
試料採取面積 (m ²)	0.1886	0.1886	0.1886	0.1886	
蒸発残渣量(g/m ²)	9.3	3.4	3.6	13.9	
Ge検出器番号	2	2	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	
備考					

表－9 農産物の核種分析結果

試料名	精米	大根				
		根	葉	根	葉	
採取地点	石巻市谷川浜	女川町女川浜		石巻市小湊浜		
採取月日	2023. 11. 1	2023. 11. 21		2023. 11. 17		
試料番号	23VG0102	23VG0116	23VG0117	23VG0112	23VG0113	
放射能	Be- 7	(0.19)	N D	7.0±0.2	N D	4.9±0.2
	K - 40	26.9±0.3	54.2±0.4	62.3±0.6	76.8±0.5	72.0±0.6
	Pb-210	N D	N D	1.0±0.1	N D	1.1±0.1
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	N D	N D	N D	0.046±0.010
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)*	4.98	5.00	2.00	5.00	2.00	
灰分(%)	0.74	0.69	1.16	0.93	1.01	
Ge検出器番号	1	1	1	1	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	
備考						

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

* 測定には灰化した試料を用いており、試料量は生重量に換算した値を示す。以下、他の農産物、指標植物、魚介類及び指標海産物についても同様である。

表－10 陸水の核種分析結果

試料名	陸水				
	水道原水				
採取地点	女川町女川浜		石巻市泊浜*		
採取月日	2023. 7. 4	2024. 1. 11	2023. 7. 4	2024. 1. 11	
試料番号	23LW0053	23LW0140	23LW0054	23LW0141	
放射能	Be- 7	N D	N D	N D	(18)
	K - 40	N D	N D	N D	27±6
	Pb-210	N D	-	N D	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	N D	N D	N D
	単位	mBq/L	mBq/L	mBq/L	mBq/L
試料量(L)	20.0	20.0	20.0	20.0	
Ge検出器番号	1	2	1	2	
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	80000	80000	
備考					

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。
* 令和5年6月1日以降、採取地点を前網から泊浜に変更している。

表－11 陸土の核種分析結果

試料名	陸土		
	未耕地		
採取地点	石巻市谷川浜	大崎市岩出山 (城山公園)	
採取月日	2023. 6. 13	2023. 6. 14	
試料番号	23LS0040	23LS0041	
放射能*1	Be- 7	N D	N D
	K - 40	710±10	229±9
	Pb-212	50.8±1.0	21±1
	Pb-214	24±1	9.2±1.4
	Cs-134	N D	9.4±0.5
	Cs-137	27.2±0.7	458±3
	単位	Bq/kg乾土	Bq/kg乾土
換算係数*2	47.5	34.0	
試料量(g乾土)	110	88	
Ge検出器番号	1	1	
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	
備考		対照地点	

*1 低エネルギーγ線放出核種であるPb-210については試料が厚くかつ密度が高いために自己吸収補正が困難であるので、掲載しなかった。一方でTh系列とU系列の代表的なγ線放出核種であるPb-212とPb-214については概ねTh-232及びU-238と放射平衡と見なせるため、参考のため掲載した。

*2 換算係数とは、Bq/kg乾土からBq/m²への換算乗数を表す。

表-12 浮遊じんの核種分析結果(1)

試料名	浮遊じん						
	—						
採取地点	女川町女川浜(女川MS)						
採取期間	2023.3.30 ～2023.4.28	2023.4.28 ～2023.5.31	2023.5.31 ～2023.6.30	2023.6.30 ～2023.7.31	2023.7.31 ～2023.8.30	2023.8.30 ～2023.9.29	
採取月	4月分	5月分	6月分	7月分	8月分	9月分	
試料番号	23AE0015	23AE0035	23AE0055	23AE0063	23AE0079	23AE0086	
放射能	Be-7	6.8±0.2	4.9±0.1	2.2±0.1	2.3±0.1	1.7±0.1	3.6±0.1
	K-40	ND	ND	ND	(0.40)	ND	ND
	Pb-210	-	-	0.44±0.07	0.50±0.07	-	-
	Cs-134	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cs-137	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	単位	mBq/m ³	mBq/m ³				
試料量(m ³)	1208	1386	1255	1317	1228	1269	
Ge検出器番号	2	2	1	1	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考							

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

表-13 浮遊じんの核種分析結果(2)

試料名	浮遊じん						
	—						
採取地点	女川町女川浜(女川MS)						
採取期間	2023.9.29 ～2023.10.31	2023.10.31 ～2023.11.30	2023.11.30 ～2023.12.27	2023.12.27 ～2024.1.31	2024.1.31 ～2024.2.29	2024.2.29 ～2024.3.28	
採取月	10月分	11月分	12月分	1月分	2月分	3月分	
試料番号	23AE0098	23AE0121	23AE0131	23AE0145	23AE0158	23AE0169	
放射能	Be-7	3.9±0.1	3.5±0.1	2.5±0.1	2.8±0.1	4.7±0.1	4.1±0.1
	K-40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Pb-210	-	0.75±0.08	0.57±0.08	0.64±0.06	-	-
	Cs-134	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cs-137	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	単位	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³
試料量(m ³)	1346	1203	1024	1394	1161	1052	
Ge検出器番号	2	1	1	1	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考							

表-14 浮遊じんの核種分析結果(3)

試料名		浮遊じん					
		—					
採取地点		石巻市寄磯浜(寄磯MS)					
採取期間	2023.3.31 ~ 2023.4.28	2023.4.28 ~ 2023.5.31	2023.5.31 ~ 2023.6.30	2023.6.30 ~ 2023.7.31	2023.7.31 ~ 2023.8.30	2023.8.30 ~ 2023.9.29	
採取月	4月分	5月分	6月分	7月分	8月分	9月分	
試料番号	23AE0017	23AE0037	23AE0057	23AE0065	23AE0081	23AE0088	
放射能	Be-7	6.5±0.2	4.9±0.1	2.7±0.1	2.6±0.1	1.69±0.09	4.0±0.1
	K-40	N D	N D	(0.33)	0.67±0.14	(0.31)	N D
	Pb-210	-	-	-	0.52±0.07	-	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	単位	mBq/m ³	mBq/m ³				
試料量(m ³)	1178	1500	1402	1281	1417	1334	
Ge検出器番号	2	2	2	1	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考							

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

表-15 浮遊じんの核種分析結果(4)

試料名		浮遊じん					
		—					
採取地点		石巻市寄磯浜(寄磯MS)					
採取期間	2023.9.29 ~ 2023.10.31	2023.10.31 ~ 2023.11.30	2023.11.30 ~ 2023.12.27	2023.12.27 ~ 2024.1.31	2024.1.31 ~ 2024.2.29	2024.2.29 ~ 2024.3.28	
採取月	10月分	11月分	12月分	1月分	2月分	3月分	
試料番号	23AE0100	23AE0123	23AE0133	23AE0147	23AE0160	23AE0171	
放射能	Be-7	4.3±0.1	3.8±0.1	2.7±0.1	3.6±0.1	4.7±0.1	4.1±0.1
	K-40	N D	N D	(0.47)	N D	N D	(0.38)
	Pb-210	-	0.94±0.08	0.64±0.08	-	-	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	単位	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³
試料量(m ³)	1412	1242	1163	1501	1308	1198	
Ge検出器番号	2	1	1	2	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考							

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

表-16 浮遊じんの核種分析結果(5)

試料名		浮遊じん					
		—					
採取地点		女川町塚浜小屋取(小屋取MS)*					
採取期間		2023.3.30 ～2023.4.28	2023.4.28 ～2023.5.31	2023.5.31 ～2023.6.30	2023.6.30 ～2023.7.31	2023.7.31 ～2023.8.30	2023.8.30 ～2023.9.29
採取月		4月分	5月分	6月分	7月分	8月分	9月分
試料番号		23AE0016	23AE0036	23AE0056	23AE0064	23AE0080	23AE0087
放射能	Be-7	5.8±0.2	4.4±0.1	2.2±0.1	2.7±0.1	1.74±0.09	3.5±0.1
	K-40	ND	ND	(0.35)	0.37±0.11	ND	ND
	Pb-210	-	-	-	-	-	-
	Cs-134	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cs-137	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	単位	mBq/m ³					
試料量(m ³)		1240	1475	1337	1359	1383	1340
Ge検出器番号		2	2	2	2	2	2
測定時間 (ライブタイム;秒)		80000	80000	80000	80000	80000	80000
備考							

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

* 参考として記載した。

表-17 浮遊じんの核種分析結果(6)

試料名		浮遊じん					
		—					
採取地点		女川町塚浜小屋取(小屋取MS)*					
採取期間		2023.9.29 ～2023.10.31	2023.10.31 ～2023.11.30	2023.11.30 ～2023.12.27	2023.12.27 ～2024.1.31	2024.1.31 ～2024.2.29	2024.2.29 ～2024.3.28
採取月		10月分	11月分	12月分	1月分	2月分	3月分
試料番号		23AE0099	23AE0122	23AE0132	23AE0146	23AE0159	23AE0170
放射能	Be-7	3.8±0.1	3.2±0.1	2.3±0.1	2.46±0.09	4.2±0.1	3.5±0.1
	K-40	ND	ND	(0.47)	ND	ND	ND
	Pb-210	-	0.71±0.07	0.58±0.08	0.52±0.06	-	-
	Cs-134	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	Cs-137	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	単位	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³	mBq/m ³
試料量(m ³)		1434	1252	1145	1570	1283	1204
Ge検出器番号		2	1	1	1	2	2
測定時間 (ライブタイム;秒)		80000	80000	80000	80000	80000	80000
備考							

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

* 参考として記載した。

表-18 指標植物の核種分析結果

試料名	ヨモギ		
	葉		
採取地点	石巻市谷川浜	大崎市岩出山	
採取月日	2023. 7. 4	2023. 7. 5	
試料番号	23IL0051	23IL0052	
放射能	Be- 7	142±1	77.2±0.7
	K - 40	336±2	306±2
	Pb-210	-	-
	Cs-134	N D	N D
	Cs-137	0.34±0.03	3.05±0.05
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	1.63	1.87	
灰分(%)	3.75	3.19	
Ge検出器番号	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	
備考		対照地点	

表-19 魚介類の核種分析結果(1)

試料名	アイナメ	マボヤ				
	皮・筋肉	筋肉層	肝部*	筋肉層	肝部*	
採取地点	女川原子力発電所 前面海域	女川町小屋取		女川町塚浜		
採取月日	2023. 7. 12	2023. 4. 18		2023. 4. 17		
試料番号	23MP0058	23MP0009	23MP0010	23MP0006	23MP0007	
放射能	Be- 7	N D	6.9±0.2	427±2	374±2	
	K - 40	128.4±0.8	90.8±0.8	74.5±1.0	81±1	
	Pb-210	-	-	8.0±0.3	-	7.7±0.3
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	0.16±0.01	N D	N D	N D	N D
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	3.00	2.00	0.95	2.00	0.79	
灰分(%)	1.83	2.39	2.64	2.40	2.62	
Ge検出器番号	2	2	1	2	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	
備考						

* 参考として記載した。

表-20 魚介類の核種分析結果(2)

試料名	エゾアワビ		マガキ				
	軟体部(除内臓)	内臓部*	軟体部				
採取地点	女川原子力発電所放水口付近		女川町野々浜	女川町尾浦	石巻市分浜	気仙沼湾(気仙沼市)	
採取月日	2023.11.27		2023.11.16	2023.11.16	2023.11.20	2023.11.24	
試料番号	23MP0119	23MP0120	23MP0111	23MP0110	23MP0114	23MP0118	
放射能	Be-7	0.47±0.12	2.4±0.2	0.91±0.13	1.9±0.1	1.4±0.1	0.78±0.13
	K-40	69.2±0.7	55.4±0.9	71.0±0.7	68.3±0.6	71.6±0.7	82.3±0.8
	Pb-210	-	5.4±0.2	1.2±0.1	-	-	2.3±0.2
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	(0.036)	N D	(0.040)	0.034±0.011	N D	N D
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	2.00	0.94	2.00	2.00	2.00	2.00	
灰分(%)	2.56	3.24	2.51	2.21	2.49	2.63	
Ge検出器番号	2	1	1	2	2	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000	
備考						対照地点	

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

* 参考として記載した。

表-21 海藻の核種分析結果

試料名	ワカメ		
	葉部		
採取地点	女川原子力発電所 放水口付近	女川原子力発電所 前面海域	
採取月日	2023.4.19	2023.4.4	
試料番号	23MP0011	23MP0002	
放射能	Be-7	1.2±0.2	N D
	K-40	183±1	197±1
	Pb-210	-	-
	Cs-134	N D	N D
	Cs-137	N D	N D
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	1.50	1.50	
灰分(%)	3.89	3.82	
Ge検出器番号	2	2	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	
備考			

表-22 海水の核種分析結果

試料名	海水				
	表層水				
採取地点	女川原子力発電所 放水口付近		鮫浦湾 (石巻市)		気仙沼湾 (気仙沼市)
採取月日	2023. 5. 9	2023. 11. 8	2023. 5. 24	2023. 11. 15	2023. 10. 17
試料番号	23SW0026	23SW0127	23SW0029	23SW0130	23SW0095
放射能	Cs-134	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	(2. 2)	(2. 0)	N D
	単位	mBq/L	mBq/L	mBq/L	mBq/L
試料量(L)	20. 0	20. 0	20. 0	20. 0	20. 0
Ge検出器番号	2	1	2	2	1
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	80000	80000	80000
備考					対照地点

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

表-23 海底土の核種分析結果

試料名	海底土				
	表層土				
採取地点	女川原子力発電所 放水口付近		鮫浦湾 (石巻市)		気仙沼湾 (気仙沼市)
採取月日	2023. 5. 9	2023. 11. 8	2023. 5. 24	2023. 11. 15	2023. 10. 17
試料番号	23SS0019	23SS0109	23SS0028	23SS0128	23SS0094
放射能*	Be- 7	N D	N D	N D	N D
	K - 40	506±9	520±9	463±9	480±10
	Pb-212	16. 1±0. 6	14. 9±0. 6	20. 1±0. 7	20. 1±0. 8
	Pb-214	12. 4±0. 7	11. 2±0. 7	11. 9±0. 9	13±1
	Cs-134	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	(0. 68)	0. 77±0. 22	4. 6±0. 4	6. 9±0. 4
	単位	Bq/kg乾土	Bq/kg乾土	Bq/kg乾土	Bq/kg乾土
試料量(g乾土)	134	129	112	107	131
Ge検出器番号	2	2	2	1	1
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	80000	80000	80000
備考					対照地点

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

* Th系列とU系列の代表的なγ線放出核種であるPb-212とPb-214については概ねTh-232及びU-238と放射平衡と見なせるため、参考のため掲載した。

表-24 指標海産物の核種分析結果(1)

試料名	アラメ					
	葉部					
採取地点	女川原子力発電所放水口付近		牡鹿半島北側(石巻市十三浜)		牡鹿半島西側(東松島市宮戸)	
採取月日	2023.8.7	2023.11.9	2023.8.21	2023.11.13	2023.8.21	
試料番号	23IS0067	23IS0105	23IS0074	23IS0107	23IS0071	
放射能	Be-7	1.6±0.3	1.2±0.3	N D	1.0±0.3	N D
	K-40	278±2	365±2	250±2	350±2	227±2
	Pb-210	N D	(1.0)	N D	N D	N D
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	(0.089)	(0.096)	0.081±0.027	(0.092)	0.13±0.03
	I-131 ^{*1}	N D	N D	N D	N D	0.34±0.04
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生
灰化法試料量(kg生)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	
迅速法試料量(kg生)	2.10	2.03	1.99	1.96	1.90	
灰分(%)	5.10	4.99	4.24	4.93	3.77	
Ge検出器番号	1	1	1	1	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	
備考	迅速法における その他検出核種 Cs-137:(0.098)	迅速法における その他検出核種 Cs-137:(0.11)	対照海域	対照海域	対照海域 迅速法における その他検出核種 Cs-137: 0.18±0.03	対照海域 *2

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

*1 I-131は生試料を粉碎後、マリネリ容器にて測定する迅速法による結果である。

*2 生育が確認できず採取できなかったため欠測となった。

表-25 指標海産物の核種分析結果(2)

試料名	エゾノネジモク					
	除付着器					
採取地点	女川原子力発電所放水口付近		牡鹿半島北側(石巻市十三浜)		牡鹿半島西側(石巻市小竹浜)	
採取月日	2023.5.15	2024.2.15	2023.5.16	2024.2.7	2023.5.16	2024.2.7
試料番号	23IS0021	23IS0153	23IS0025	23IS0151	23IS0023	23IS0149
放射能	Be-7	N D	1.8±0.3	1.4±0.2	N D	N D
	K-40	296±2	250±2	360±2	344±2	318±2
	Pb-210	-	2.0±0.3	-	N D	-
	Cs-134	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs-137	N D	N D	0.18±0.03	N D	0.11±0.03
	I-131 [*]	N D	N D	N D	N D	N D
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生
灰化法試料量(kg生)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
迅速法試料量(kg生)	1.50	1.44	1.63	1.54	1.46	1.47
灰分(%)	4.85	5.30	4.92	4.86	4.70	4.73
Ge検出器番号	2	1	2	1	2	1
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	80000	80000	80000
備考			対照海域 迅速法における その他検出核種 Cs-137: 0.40±0.04	対照海域	対照海域	対照海域

* I-131は生試料を粉碎後、マリネリ容器にて測る迅速法による結果である。

表－２６ 指標海産物の核種分析結果（３）

試料名	ムラサキイガイ		
	軟体部		
採取地点	女川原子力発電所前面海域		
採取月日	2023. 4. 4	2023. 10. 16	
試料番号	23IS0001	23IS0093	
放射能	Be- 7	3. 1±0. 2	1. 6±0. 1
	K - 40	80. 9±0. 7	67. 4±0. 7
	Pb-210	-	2. 3±0. 2
	Cs-134	N D	N D
	Cs-137	(0. 034)	N D
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	2. 00	2. 00	
灰分(%)	2. 37	2. 38	
Ge検出器番号	2	1	
測定時間 (ライブタイム; 秒)	80000	80000	
備考			

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ（ ）書きで示す。

参考1 指標植物の核種分析結果

試料名	ヨモギ		
	茎		
採取地点	石巻市谷川浜	大崎市岩出山	
採取月日	2023. 7. 4	2023. 7. 5	
試料番号	23IL0068	23IL0069	
放射能	Be- 7	43.8±0.9	15.6±0.6
	K - 40	214±1	207±1
	Pb-210	4.2±0.2	1.2±0.2
	Cs-134	N D	N D
	Cs-137	0.21±0.02	1.40±0.03
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	2.25	2.69	
灰分(%)	2.09	1.88	
Ge検出器番号	1	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	
備考			

参考2 指標海産物の核種分析結果

試料名	アラメ			
	茎			
採取地点	牡鹿半島北側 (石巻市十三浜)		牡鹿半島西側 (東松島市宮戸)	
採取月日	2023. 8. 21	2023. 11. 13	2023. 8. 21	
試料番号	23IS0075	23IS0108	23IS0072	
放射能	Be- 7	N D	N D	N D
	K - 40	341±2	383±2	359±2
	Pb-210	N D	N D	N D
	Cs-134	N D	N D	N D
	Cs-137	0.12±0.04	N D	0.16±0.03
	単位	Bq/kg生	Bq/kg生	Bq/kg生
試料量(kg生)	0.92	1.20	1.20	
灰分(%)	5.78	5.64	5.19	
Ge検出器番号	1	1	1	
測定時間 (ライブタイム;秒)	80000	80000	80000	
備考				*

* 生育が確認できず採取できなかったため欠測となった。

(2) Sr-90分析結果

表-27 Sr-90の分析結果

試料名	部位	採取地点	採取年月日	Sr-90 濃度		Ca濃度 (g/kg生)	Sr単位 (Bq/g・Ca)
				測定値	単 位		
精米	—	石巻市谷川浜	2023. 11. 1	N D	Bq/kg生	0.05	N D
ヨモギ	葉	石巻市谷川浜	2023. 7. 4	0.36±0.03		2.56	0.14±0.01
		大崎市岩出山 (対照地点)	2023. 7. 5	0.71±0.04		2.56	0.28±0.02
アイナメ	皮・筋肉	女川原子力発電所 前面海域	2023. 7. 12	N D		1.72	N D
マボヤ	筋肉層	女川町小屋取	2023. 4. 18	N D		0.22	N D
マガキ	軟体部	女川町野々浜	2023. 11. 16	N D		0.40	N D
		気仙沼湾 (対照地点)	2023. 11. 24	N D		0.31	N D
ワカメ	葉部	女川原子力発電所 放水口付近	2023. 4. 19	N D		0.87	N D
アラメ	葉部		2023. 8. 7	N D		4.85	N D
エゾノ ネジモク	除付着器		2024. 2. 15	N D		2.88	N D

(3) H-3分析結果

表-28 H-3の分析結果

試料名		採取地点	採取年月日	H-3 濃度	
				測定値	単 位
陸 水	水道原水	女川町女川浜	2023. 7. 4	N D	mBq/L
			2024. 1. 11	N D	
		石巻市泊浜*	2023. 7. 4	N D	
			2024. 1. 11	N D	
海 水	表層水	女川原子力発電所 放水口付近	2023. 5. 9	N D	
			2023. 11. 8	N D	
		気仙沼湾 (対照地点)	2023. 10. 17	N D	

* 令和5年6月1日以降、採取地点を前網から泊浜に変更している。

(4) 原子力規制庁委託調査結果

表-29 大気浮遊じんのゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析調査結果報告

ゲルマニウム半導体検出器型式	ORTEC社製 GEM型
遮蔽体の厚み (mm)	鉄158mm
分解能	FWHM=1.87keV (Co-60, 1332keV)
相対効率 (%)	26.98%
測定容器の名称と型式	U8

集じん器名	HV-1000R
集じん流速 (m ³ /時)	60
集じんろ紙の種類	ガラス繊維ろ紙GB-100R
サイズ (mm)	203 × 254
試料処理法	打ち抜き

試料番号	採取期間 年月日～年月日	試料採取場所		経度 (度分秒)	吸引量 (m ³)	供試量 (m ³)	備考
		住所	緯度 (度分秒)				
23AE0044	2023.4.5	2023.6.16	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	33614	17479	
23AE0082	2023.7.3	2023.9.15	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	30626	15925	
23AE0129	2023.10.4	2023.12.8	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	30273	15742	
23AE0161	2024.1.26	2024.3.14	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	30305	15759	

試料番号	測定年月日	測定時間 (ライブタイム, 秒)	核種別放射能濃度		
			I-131 (mBq/m ³)	Cs-134 (mBq/m ³)	Cs-137 (mBq/m ³)
23AE0044	2023.6.16	80000	N D	N D	0.0034 ± 0.00074
23AE0082	2023.9.15	80000	N D	N D	0.0057 ± 0.0010
23AE0129	2023.12.8	80000	N D	N D	N D
23AE0161	2024.3.14	80000	N D	N D	N D

このデータは、原子力規制庁の原子力施設等防災対策等委託費「環境放射能水準調査」事業として、宮城県が実施した令和4年度「環境放射能水準調査」の成果です。

表-30 降下物のゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析調査結果報告

ゲルマニウム半導体検出器型式		ORTEC社製 GEM型	
遮蔽体の厚み (mm)		鉄168mm	
分解能		FWHM=1.87keV (Co-60, 1332keV)	
相対効率 (%)		26.98%	
測定容器の名称と型式		UB	

大型水盤型式		設置型	
材質		ステンレス	
厚み (mm)		3	
受水面積 (cm ²)		5000.0	

試料番号	採取期間 年月日～年月日	採取日数	試料採取場所			降水量 (mm)	採取量 (L)	供試量 (L)	備考
			住所	緯度 (度分秒)	経度 (度分秒)				
23FO0012	2023.4.4	28	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	47.5	32.60	32.60	降水量は気象庁発表の値(仙台)を記載
23FO0032	2023.5.1	32	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	124.5	52.45	52.45	
23FO0045	2023.6.1	33	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	174.5	72.30	72.30	
23FO0059	2023.7.3	30	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	154.0	83.95	83.95	
23FO0076	2023.8.1	32	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	30.0	17.85	17.85	
23FO0084	2023.9.1	32	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	274.0	113.40	113.40	
23FO0096	2023.10.2	31	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	44.5	25.00	25.00	
23FO0124	2023.11.1	31	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	45.0	31.85	31.85	
23FO0134	2023.12.1	36	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	53.5	24.40	24.40	
23FO0142	2024.1.5	28	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	79.0	54.30	54.30	
23FO0155	2024.2.1	30	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	60.5	45.05	45.05	
23FO0163	2024.3.1	33	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号	38度16分39.000秒	140度54分20.999秒	104.5	39.30	39.30	

試料番号	測定年月日	測定時間 (ライブタイム;秒)	核種別放射能濃度			
			I-131 (Bq/m ²)	Cs-134 (Bq/m ²)	Cs-137 (Bq/m ²)	
23FO0012	2023.5.12	80000	N D	N D	1.1 ± 0.033	
23FO0032	2023.6.12	80000	N D	N D	0.38 ± 0.022	
23FO0045	2023.7.18	80000	N D	N D	0.17 ± 0.017	
23FO0059	2023.8.14	80000	N D	N D	0.081 ± 0.016	
23FO0076	2023.9.11	80000	N D	N D	0.17 ± 0.017	
23FO0084	2023.10.17	80000	N D	N D	0.13 ± 0.016	
23FO0096	2023.11.10	80000	N D	N D	2.5 ± 0.046	
23FO0124	2023.12.11	80000	N D	N D	0.29 ± 0.021	
23FO0134	2024.1.15	80000	N D	N D	0.14 ± 0.017	
23FO0142	2024.2.9	80000	N D	N D	0.29 ± 0.021	
23FO0155	2024.3.8	80000	N D	N D	0.58 ± 0.025	
23FO0163	2024.4.10	80000	N D	N D	0.38 ± 0.022	

表-31 陸水(上水、淡水)のゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析調査結果報告

ゲルマニウム半導体検出器型式	ORTEC社製 GEM型
遮蔽体の厚み (mm)	鉄158mm
分解能	FWHM=1.87keV (Co-60, 1332keV)
相対効率 (%)	26.98%
測定容器の名称と型式	U8

試料番号	試料名	採取年月日	試料採取場所		pH	水温 (°C)	蒸発残留物 (mg/L)	供試量 (L)	備考
			住所	経度 (度分秒)					
23LW0039	上水	2023.6.9	宮城県仙台市宮城野区幸町4丁目7番1-2号		7.43	21.5	64.7	100	

試料番号	測定年月日	測定時間 (ライブタイム;秒)	核種別放射能濃度	
			1-131 (mBq/L)	Cs-134 (mBq/L)
23LW0039	2023.6.21	80000	N D	N D

表-32 土壌のゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析調査結果報告

ゲルマニウム半導体検出器型式	ORTEC社製 GEM型
遮蔽体の厚み (mm)	鉄158mm
分解能	FWHM=1.78keV (Co-60, 1332keV)
相対効率 (%)	27.38%
測定容器の名称と型式	U8

試料番号	種類	採取年月日	試料採取場所		採取層(cm)	採取面積 (cm ²)	採取全量 (g)	乾燥細土* (g乾土)	供試量 (g乾土)	備考
			住所	経度 (度分秒)						
23LS0042	土壌	2023.6.14	宮城県大崎市岩出山	38度39分24.115秒	0 ~ 5	157	939.2	536.4	91.84	
23LS0043	土壌	2023.6.14	宮城県大崎市岩出山	38度39分24.115秒	5 ~ 20	157	3801.9	2712.2	108.56	

試料番号	測定年月日	測定時間 (ライブタイム;秒)	核種別放射能濃度	
			Cs-134 (Bq/kg乾土)	Cs-137 (MBq/km ²)
23LS0042	2023.6.22	80000	9.2 ± 0.45	13318
23LS0043	2023.6.23	80000	1.0 ± 0.24	7770

*2mmふるい通過後の全量

表-33 精米のゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析調査結果報告

ゲルマニウム半導体検出器型式	ORTEC社製 GEM型
遮蔽体の厚み (mm)	鉄158mm
分解能	FWHM=1.87keV (Co-60, 1332keV)
相対効率 (%)	26.98%
測定容器の名称と型式	2Lマリネリ

試料番号	試料名	種類	採取年月日	試料採取場所			供試量 (kg生)	備考
				住所	緯度 (度分秒)	経度 (度分秒)		
23VG0115	穀類	精米	2023.11.21	宮城県石巻市南境	38度26分45秒	141度17分48秒	1.899	

試料番号	測定年月日	測定時間 (ライブタイム; 秒)	核種別放射能濃度		
			I-131 (Bq/kg生)	Cs-134 (Bq/kg生)	Cs-137 (Bq/kg生)
23VG0115	2023.11.21	80000	N D	N D	N D

資料2 環境試料の放射化学分析結果

(高度調査解析委託業務)

1 まえがき

高度調査解析委託業務として、(公財)日本分析センターに委託して環境試料中のプルトニウム(^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu)及び放射性ストロンチウム(^{90}Sr)の放射化学分析を実施した。

2 分析方法

(1) 試料と分析項目

表1に分析試料と分析項目の一覧を示す。試料は全て宮城県内で採取したものである。

(2) プルトニウム(^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$)の分析

文部科学省放射能測定法シリーズ12「プルトニウム分析法」(平成2年改訂)に準じた。

化学分離については、陸土は試料を 500°C で加熱後、 ^{242}Pu 回収率補正用トレーサーを添加し、硝酸を加えて加熱抽出した。陰イオン交換樹脂カラム法で分離・精製したプルトニウムをステンレス鋼板上に電着し、測定試料とした。

測定については、シリコン半導体検出器(ORTEC社製 BU-020-450-AS)を用いて、測定試料を80000秒以上測定し、 ^{238}Pu 及び $^{239+240}\text{Pu}$ 放射能濃度を算出した。

(3) プルトニウム(^{239}Pu 、 ^{240}Pu)の分析

文部科学省放射能測定法シリーズ28「環境試料中プルトニウム迅速分析法」(平成14年)に準じた。

化学分離については、陸土及び海底土は試料を 500°C で加熱後、 ^{242}Pu 回収率補正用トレーサーを添加し、硝酸を加えて加熱抽出した。アラメ及びエゾノネジモクは試料に ^{242}Pu 回収率補正用トレーサーを添加し、硝酸を加えて加熱分解して抽出した。陰イオン交換樹脂カラム法で分離・精製したプルトニウムを硝酸に溶解し、測定試料とした。

測定については、ICP質量分析装置(サーモフィッシャーサイエンティフィック社製 ELEMENT 2)を用いて、測定試料をプラズマ中に噴霧し、 ^{242}Pu に対する ^{239}Pu 及び ^{240}Pu のイオン強度から、それぞれの放射能濃度を算出した。

(4) 放射性ストロンチウム(^{90}Sr)の分析

文部科学省放射能測定法シリーズ2「放射性ストロンチウム分析法」(平成15年改訂)に準じた。

化学分離については、陸土及び海底土は試料を 500°C で加熱後、ストロンチウム担体を添加し、塩酸を加えて加熱抽出した。陸水は試料にストロンチウム担体を添加し、加熱濃縮した。イオン交換法によりストロンチウムを分離・精製後、2週間放置して試料中のストロンチウム90(^{90}Sr)から新たに生成したイットリウム90(^{90}Y)を水酸化鉄(III)沈殿に共沈させ、測定試料とした。

測定については、低バックグラウンド β 線測定装置(アロカ社製 LBC-471Q、LBC-4201)を用いて、測定試料を原則として3600秒間測定し、 ^{90}Y の放射能から ^{90}Sr の放射能濃度を算出した。

表1 分析試料及び分析項目一覧（令和5年度）

試料名	採取場所	性状	採取年月日	分析項目（対象に○印）		
				Pu(α)	Pu(ICP)	⁹⁰ Sr
陸土	石巻市新栄 (石巻稲井局近傍)	*2	2023. 10. 4	○	/	○
	石巻市桃浦 (石巻桃浦局)	*2	2023. 9. 29	○	/	○
	石巻市荻浜 (荻浜MS *1)	*2	2023. 9. 29	○	/	○
	石巻市田代浜 (田代島局)	*2	2023. 10. 3	○	/	○
	石巻市相野谷 (河北局近傍)	*2	2023. 10. 4	○	/	○
	石巻市雄勝町大須 (雄勝局近傍)	*2	2023. 10. 4	○	/	○
	石巻市須江 (河南局)	*2	2023. 10. 4	○	/	○
	石巻市北上町 十三浜(北上局)	*2	2023. 10. 4	○	/	○
	石巻市長渡浜杉 (網地島局)	*2	2023. 10. 3	○	/	○
	石巻市鮎川浜 (牡鹿清崎局)	*2	2023. 9. 27	○	/	○
	大崎市岩出山	*2	2023. 6. 14	/	○	○
海底土	女川原子力発電所 放水口付近	*2	2023. 5. 9	/	○	○
	鮫浦湾 (石巻市)	*2	2022. 11. 14	/	○	○
	気仙沼湾 (気仙沼市)	*2	2022. 10. 17	/	○	○
陸水	女川町 (女川浄水場)	*3	2023. 10. 31	/	/	○
	石巻市 (須江山浄水場)	*3	2023. 11. 1	/	/	○
	石巻市 (六本木浄水場)	*3	2023. 11. 1	/	/	○
	登米市 (大萱沢浄水場)	*3	2023. 10. 30	/	/	○
	南三陸町 (新戸倉浄水場)	*3	2023. 10. 30	/	/	○
アラメ	女川原子力発電所 放水口付近	*4	2022. 8. 3	/	○	/
	石巻市十三浜	*4	2022. 8. 22	/	○	/
	東松島市宮戸	*4	2022. 8. 22	/	○	/
エゾノ ネジモク	女川原子力発電所 放水口付近	*4	2023. 5. 15	/	○	/
	石巻市十三浜	*4	2023. 5. 16	/	○	/
	石巻市小竹浜	*4	2023. 5. 16	/	○	/

Pu(α) : α線スペクトロメトリーによる ²³⁸Pu 及び ²³⁹⁺²⁴⁰Pu の定量

Pu(ICP) : ICP質量分析装置 (ICP-MS) による ²³⁹Pu 及び ²⁴⁰Pu の定量

*1 MS : モニタリングステーション

*2 性状 : 乾燥土壌 (粒径 < 2 mm)

*3 性状 : 水道原水

*4 性状 : 灰 (粒径 < 0.59mm)

3 分析結果

表2にα線スペクトロメトリーによるプルトニウム分析の結果を、表3にICP質量分析装置によるプルトニウム分析の結果を、表4にストロンチウムの分析結果を示す。α線スペクトロメトリーにおいては、陸土6試料から²³⁹⁺²⁴⁰Puが検出され、ICP質量分析においては、全ての試料から²³⁹Pu及び²⁴⁰Puが検出されたが、その値は、過去の測定値と同程度であった。⁹⁰Srについては、陸土5試料及び陸水5試料から検出されたが、その値は、陸土では過去の測定値と同程度、陸水では1 mBq/L以下であった。

表2 α線スペクトロメトリーによるプルトニウム同位体分析結果（令和5年度）

試料名	採取場所	採取年月日	測定日	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	単位
陸土	石巻市新栄 (石巻稲井局近傍)	2023. 10. 4	2024. 2. 1	N D	N D	Bq/kg 乾土
	石巻市桃浦 (石巻桃浦局)	2023. 9. 29		N D	0.021±0.0050	
	石巻市荻浜 (荻浜MS)			N D	0.025±0.0053	
	石巻市田代浜 (田代島局)	2023. 10. 3		N D	0.042±0.0069	
	石巻市相野谷 (河北局近傍)	2023. 10. 4		N D	0.017±0.0040	
	石巻市雄勝町大須 (雄勝局近傍)			N D	N D	
	石巻市須江 (河南局)			N D	N D	
	石巻市北上町 十三浜(北上局)	2023. 10. 3		N D	0.010±0.0032	
	石巻市長渡浜杉 (網地島局)			N D	0.043±0.0065	
	石巻市鮎川浜 (牡鹿清崎局)	2023. 9. 27		N D	N D	

表3 ICP-MS法によるプルトニウム同位体分析結果（令和5年度）

試料名	採取場所	採取年月日	測定日	²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu	単位
陸土	大崎市岩出山	2023. 6. 14	2024. 1. 29	0.042±0.0009	0.026±0.0004	Bq/kg 乾土
海底土	女川原子力発電所 放水口付近	2023. 5. 9		0.069±0.0007	0.062±0.0006	
	鮫浦湾(石巻市)	2022. 11. 14		0.12±0.0009	0.11±0.002	
	気仙沼湾 (気仙沼市)	2022. 10. 17		0.34±0.002	0.29±0.001	
アラメ	女川原子力発電所 放水口付近	2022. 8. 3	2024. 2. 9	0.00085±0.000026	0.00073±0.000026	Bq/kg 生
	石巻市十三浜	2022. 8. 22		0.0012±0.00003	0.0010±0.00004	
	東松島市宮戸			0.00065±0.000005	0.00058±0.000008	
エゾノ ネジモク	女川原子力発電所 放水口付近	2023. 5. 15	0.0025±0.00005	0.0022±0.00004		
	石巻市十三浜	2023. 5. 16	0.0023±0.00002	0.0021±0.00004		
	石巻市小竹浜		0.0018±0.00005	0.0016±0.00002		

表4 ^{90}Sr の分析結果 (令和5年度)

試料名	採取場所	採取年月日	測定日	^{90}Sr	単位
陸土	石巻市新栄 (石巻稲井局近傍)	2023. 10. 4	2024. 1. 30	0.24 ± 0.074	Bq/kg 乾土
	石巻市桃浦 (石巻桃浦局)	2023. 9. 29		N D	
	石巻市萩浜 (萩浜MS)			0.31 ± 0.082	
	石巻市田代浜 (田代島局)	2023. 10. 3		N D	
	石巻市相野谷 (河北局近傍)	2023. 10. 4		N D	
	石巻市雄勝町大須 (雄勝局近傍)		2024. 1. 31	N D	
	石巻市須江 (河南局)		N D		
	石巻市北上町 十三浜(北上局)		2024. 2. 22	0.33 ± 0.075	
	石巻市長渡浜杉 (網地島局)	2023. 10. 3	2024. 1. 31	N D	
	石巻市鮎川浜 (牡鹿清崎局)	2023. 9. 27		0.34 ± 0.090	
	大崎市岩出山	2023. 6. 14	2024. 2. 1	1.1 ± 0.13	
海底土	女川原子力発電所 放水口付近	2023. 5. 9	2024. 2. 1	N D	
	鮫浦湾 (石巻市)	2022. 11. 14	2024. 2. 2	N D	
	気仙沼湾 (気仙沼市)	2022. 10. 17	2024. 2. 1	N D	
陸水	女川町 (女川浄水場)	2023. 10. 31	2024. 1. 22	0.64 ± 0.13	mBq/L
	石巻市 (須江山浄水場)	2023. 11. 1		1.0 ± 0.15	
	石巻市 (六本木浄水場)			0.89 ± 0.15	
	登米市 (大萱沢浄水場)	2023. 10. 30	2024. 1. 23	0.51 ± 0.13	
	南三陸町 (新戸倉浄水場)		2024. 1. 22	0.89 ± 0.15	

(参考) 平成15年度*から令和5年度までの高度調査解析業務の試料及び分析結果一覧

試料名 (採取地点)	試料番号	試料採取日 又は採取期間	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		⁹⁰ Sr	単位
				²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu		
降下物 (仙台市)	02F00008	2001.12.3~ 2002.7.1	N D	2.2±0.4		42±10	mBq/m ²
降下物 (仙台市)	02F00102	2002.7.1~ 2002.12.27	N D	N D		N D	
降下物 (山形市)	02F00104	2002.7.9~ 2003.1.9	N D	N D		N D	
降下物 (酒田市)	02F00103	2002.7.8~ 2003.1.8	N D	2.5±0.8		N D	
降下物 (女川町)	02F00007	2001.12.3~ 2002.7.5	N D	5.6±0.9		116±19	
降下物 (女川町)	02F00101	2002.7.5~ 2002.12.27	N D	N D		N D	
浮遊じん (女川町)	86AE0057	1986.5.7~ 1986.5.8	N D	N D		N D	μ Bq/m ³
浮遊じん (女川町)	02AE0003	2002.4.4 15:01 ~ 2002.4.8 15:30	N D	N D		N D	
浮遊じん (女川町)	02AE0004	2002.4.8 15:37 ~ 2002.4.11 9:01	N D	N D		N D	
浮遊じん (女川町)	02AE0010	2002.4.11 9:00 ~ 2002.4.15 11:37	N D	N D		N D	
屋上土壌 (女川町)	93IL0133	1993.11.18	N D	0.080±0.022		N D	Bq/kg乾土
屋上土壌 (女川町)	93IL0134	1993.11.18	N D	N D		N D	
屋上土壌 (女川町)	02IL0005	2002.4.11	N D	0.36±0.04		N D	
屋上土壌 (仙台市)	93IL0096	1993.9.24	N D	0.24±0.05		N D	
屋上土壌 (仙台市)	93IL0127	1993.11.1	N D	0.093±0.025		N D	
山林土壌 (女川町)	90IL0213	1990.11.30	0.85±0.02	2.6±0.1		6.0±1.1	
山林土壌 (仙台市)	91IL0235	1992.3.2	N D	N D		N D	
陸土 (石巻市寄磯)	85LS0063	1985.6.10	N D	0.28±0.022		4.6±0.48	
陸土 (石巻市寄磯)	90LS0064	1990.6.11	0.014±0.004	0.32±0.02		6.4±0.5	
陸土 (石巻市寄磯)	95LS0054	1995.6.21	0.0176±0.0048	0.32±0.024		4.1±0.40	
陸土 (石巻市寄磯)	00LS0058	2000.6.21	N D	0.22±0.018		1.9±0.27	
陸土 (石巻市寄磯)	05LS0035	2005.6.7	N D	0.20±0.02		1.6±0.2	
陸土 (石巻市谷川浜)	10LS0036	2010.6.10	N D	0.028±0.0054		—	
陸土 (石巻市谷川浜)	15LS0029	2015.6.1	—	0.039	0.030	N D	
陸土 (石巻市谷川浜)	20LS0031	2020.6.1	—	0.021	0.014	0.28±0.090	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	85LS0069	1985.6.17	N D	0.11±0.013		4.2±0.48	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	90LS0066	1990.6.13	N D	0.082±0.011		3.7±0.42	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	95LS0053	1995.6.14	N D	0.126±0.013		3.0±0.35	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	00LS0057	2000.6.20	N D	0.11±0.013		2.4±0.30	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	05LS0036	2005.6.20	N D	0.12±0.01		2.2±0.3	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	10LS0046	2010.6.21	N D	0.089±0.011		—	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	11LS0026	2011.11.24	—	0.060	0.037	1.9±0.16	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	12LS0036	2012.6.13	N D	0.029±0.0051		N D	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	13LS0033	2013.6.11	N D	0.026	0.013	—	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	13LS0033	2013.6.11	N D	0.052	0.032	1.1±0.14	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	14LS0041	2014.6.17	—	0.055	0.034	1.6±0.16	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	15LS0039	2015.6.11	—	0.057	0.035	1.3±0.14	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	16LS0039	2016.6.7	—	0.044	0.027	2.0±0.18	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	17LS0038	2017.6.19	—	0.064	0.041	2.0±0.16	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	18LS0039	2018.6.13	—	0.060	0.039	2.4±0.19	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	19LS0036	2019.6.13	—	0.067	0.041	1.5±0.14	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	20LS0037	2020.6.12	—	0.039	0.023	1.6±0.16	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	21LS0032	2021.6.9	—	0.055	0.034	1.5±0.15	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	22LS0038	2022.6.22	—	0.048	0.030	1.2±0.14	
陸土 (大崎市岩出山 城山公園)	23LS0041	2023.6.14	—	0.042	0.026	1.1±0.13	
陸土 (大崎市岩出山 八幡神社)	90LS0220	1990.12.4	0.038±0.007	1.11±0.06		9.7±0.6	

試料名 (採取地点)	試料番号	試料採取日 又は採取期間	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		⁹⁰ Sr	単位
				²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu		
陸土 (女川町女川浜)	22LSBG001	2022. 12. 21	N D	N D	N D	0.26±0.077	Bq/kg乾土
陸土 (女川町浦宿浜)	22LSBG002	2022. 12. 20	N D	N D	N D	N D	
陸土 (女川町尾浦)	22LSBG003	2022. 12. 21	N D	N D	N D	N D	
陸土 (女川町指ヶ浜)	22LSBG004	2022. 12. 20	N D	0.012±0.0033	N D	N D	
陸土 (石巻市渡波)	22LSBG005	2022. 12. 20	N D	0.011±0.0035	N D	N D	
陸土 (東松島市小野)	22LSBG006	2022. 12. 14	N D	N D	N D	N D	
陸土 (美里町二郷)	22LSBG007	2022. 12. 15	N D	N D	N D	N D	
陸土 (涌谷町猪岡短台)	22LSBG008	2022. 12. 20	N D	N D	N D	N D	
陸土 (登米市津山町柳津)	22LSBG009	2022. 12. 15	N D	N D	N D	N D	
陸土 (南三陸町戸倉)	22LSBG010	2022. 12. 15	N D	N D	N D	N D	
陸土 (石巻市新栄)	23LSBG001	2023. 10. 4	N D	N D	N D	0.24±0.074	
陸土 (石巻市桃浦)	23LSBG002	2023. 9. 29	N D	0.021±0.0050	N D	N D	
陸土 (石巻市荻浜)	23LSBG003	2023. 9. 29	N D	0.025±0.0053	0.31±0.082	N D	
陸土 (石巻市田代浜)	23LSBG004	2023. 10. 3	N D	0.042±0.0069	N D	N D	
陸土 (石巻市相野谷)	23LSBG005	2023. 10. 4	N D	0.017±0.0040	N D	N D	
陸土 (石巻市雄勝町大須)	23LSBG006	2023. 10. 4	N D	N D	N D	N D	
陸土 (石巻市須江)	23LSBG007	2023. 10. 4	N D	N D	N D	N D	
陸土 (石巻市北上町十三浜)	23LSBG008	2023. 10. 4	N D	0.010±0.0032	0.33±0.075	N D	
陸土 (石巻市長渡浜杉)	23LSBG009	2023. 10. 3	N D	0.043±0.0065	N D	N D	
陸土 (石巻市鮎川浜)	23LSBG010	2023. 9. 27	N D	N D	0.34±0.090	N D	
ヨモギ (谷川浜)	09IL0091	2009. 7. 15	N D	N D	—	—	
ヨモギ (谷川浜)	10IL0055	2010. 7. 5	N D	N D	—	—	
ヨモギ (谷川浜)	15IL0048	2015. 7. 7	—	0.00013	N D	—	
ヨモギ (大崎市岩出山)	09IL0092	2009. 7. 22	N D	N D	—	—	
ヨモギ (大崎市岩出山)	10IL0058	2010. 7. 12	N D	N D	—	—	
ヨモギ (大崎市岩出山)	15IL0049	2015. 7. 10	—	0.0033	0.0028	—	
海底土 (放水口付近)	09SS0142	2009. 11. 9	N D	0.29±0.020	—	—	
海底土 (放水口付近)	10SS0133	2010. 11. 11	N D	0.26±0.019	—	—	
海底土 (放水口付近)	11SS0012	2011. 11. 15	N D	0.28±0.018	N D	N D	
海底土 (放水口付近)	12SS0116	2012. 11. 9	N D	0.15	0.14	N D	
海底土 (放水口付近)	12SS0116	2012. 11. 9	N D	0.33±0.021	N D	N D	
海底土 (放水口付近)	12SS0116	2012. 11. 9	N D	0.18	0.16	N D	
海底土 (放水口付近)	13SS0119	2013. 11. 13	—	0.27	0.24	N D	
海底土 (放水口付近)	14SS0029	2014. 5. 19	—	0.084	0.075	N D	
海底土 (放水口付近)	15SS0023	2015. 5. 20	—	0.088	0.078	N D	
海底土 (放水口付近)	16SS0025	2016. 5. 24	—	0.053	0.048	N D	
海底土 (放水口付近)	17SS0022	2017. 5. 9	—	0.11	0.097	N D	
海底土 (放水口付近)	18SS0015	2018. 5. 16	—	0.047	0.042	N D	
海底土 (放水口付近)	19SS0019	2019. 5. 14	—	0.087	0.078	N D	
海底土 (放水口付近)	20SS0017	2020. 5. 12	—	0.052	0.046	N D	
海底土 (放水口付近)	21SS0014	2021. 5. 11	—	0.11	0.099	N D	
海底土 (放水口付近)	22SS0015	2022. 5. 9	—	0.097	0.086	N D	
海底土 (放水口付近)	23SS0019	2023. 5. 9	—	0.069	0.062	N D	
海底土 (鮫浦湾)	11SS0018	2011. 11. 15	—	0.13	0.11	N D	
海底土 (鮫浦湾)	15SS0020	2015. 5. 12	—	0.11	0.091	N D	
海底土 (鮫浦湾)	16SS0022	2016. 5. 23	—	0.12	0.11	N D	
海底土 (鮫浦湾)	20SS0147	2020. 11. 10	—	0.12	0.10	N D	
海底土 (鮫浦湾)	21SS0138	2021. 11. 25	—	0.12	0.098	N D	
海底土 (鮫浦湾)	22SS0114	2022. 11. 14	—	0.12	0.11	N D	
海底土 (気仙沼湾)	09SS0137	2009. 10. 30	0.020±0.0044	1.6±0.070	—	—	
海底土 (気仙沼湾)	10SS0119	2010. 10. 12	0.014±0.0037	1.5±0.07	—	—	
海底土 (気仙沼湾)	11SS0025	2011. 11. 21	0.017±0.0040	1.2±0.06	N D	N D	
海底土 (気仙沼湾)	11SS0025	2011. 11. 21	0.017±0.0040	0.67	0.57	N D	
海底土 (気仙沼湾)	12SS0098	2012. 10. 26	0.011±0.0033	0.79±0.041	N D	N D	
海底土 (気仙沼湾)	12SS0098	2012. 10. 26	0.011±0.0033	0.42	0.36	N D	
海底土 (気仙沼湾)	13SS0103	2013. 10. 15	—	0.30	0.26	N D	
海底土 (気仙沼湾)	14SS0100	2014. 10. 9	—	0.34	0.30	N D	
海底土 (気仙沼湾)	15SS0104	2015. 10. 19	—	0.33	0.29	N D	
海底土 (気仙沼湾)	16SS0125	2016. 10. 18	—	0.33	0.30	N D	
海底土 (気仙沼湾)	17SS0132	2017. 10. 12	—	0.25	0.23	N D	
海底土 (気仙沼湾)	18SS0104	2018. 10. 16	—	0.29	0.25	N D	
海底土 (気仙沼湾)	19SS0108	2019. 10. 28	—	0.27	0.24	N D	
海底土 (気仙沼湾)	20SS0123	2020. 10. 9	—	0.28	0.25	N D	
海底土 (気仙沼湾)	21SS0100	2021. 10. 7	—	0.29	0.25	N D	
海底土 (気仙沼湾)	22SS0089	2022. 10. 17	—	0.34	0.29	N D	
陸水 (女川浄水場)	23LWBG001	2023. 10. 31	—	—	—	0.64±0.13	mBq/L
陸水 (須江山浄水場)	23LWBG002	2023. 11. 1	—	—	—	1.0±0.15	
陸水 (六本木浄水場)	23LWBG003	2023. 11. 1	—	—	—	0.89±0.15	
陸水 (大萱沢浄水場)	23LWBG004	2023. 10. 30	—	—	—	0.51±0.13	
陸水 (新戸倉浄水場)	23LWBG005	2023. 10. 30	—	—	—	0.89±0.15	

試料名 (採取地点)	試料番号	試料採取日 又は採取期間	²³⁸ Pu	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu		⁹⁰ Sr	単位
				²³⁹ Pu	²⁴⁰ Pu		
カキ (周辺海域)	09MP0130	2009. 10. 20	N D	0. 0024±0. 00041		—	Bq/kg生
カキ (飯子浜)	10MP0122	2010. 10. 25	N D	0. 0020±0. 00039		—	
カキ (気仙沼)	10MP0145	2010. 11. 22	N D	0. 0020±0. 00039		—	
カキ (尾浦)	12MP0123	2012. 11. 30	N D	0. 0037±0. 00046		—	
カキ (野々浜)	14MP0102	2014. 10. 15	—	0. 00098	0. 00081	—	
ワカメ (放水口付近)	11MP0038	2012. 2. 6	N D	0. 0010±0. 00031		—	
ホヤ (塚浜)	15MP0001	2015. 4. 16	—	0. 0013	0. 0010	—	
ホヤ (小屋取)	15MP0015	2015. 4. 27	—	0. 00052	0. 00038	—	
アラメ (放水口付近)	09IS0100	2009. 8. 4	N D	0. 0018±0. 00049		—	
アラメ (放水口付近)	10IS0080	2010. 8. 9	N D	0. 0027±0. 00059		—	
アラメ (放水口付近)	12IS0066	2012. 8. 7	N D	0. 0023±0. 00048		—	
アラメ (放水口付近)	13IS0078	2013. 8. 12	N D	0. 0026±0. 00054		—	
				0. 0013	0. 00099	—	
アラメ (放水口付近)	14IS0079	2014. 8. 5	—	0. 0012	0. 0010	—	
アラメ (放水口付近)	15IS0070	2015. 8. 5	—	0. 0019	0. 0017	—	
アラメ (放水口付近)	16IS0086	2016. 8. 25	—	0. 0025	0. 0021	—	
アラメ (放水口付近)	17IS0150	2017. 11. 7	—	0. 0019	0. 0015	—	
アラメ (放水口付近)	18IS0121	2018. 11. 6	—	0. 0052	0. 0045	—	
アラメ (放水口付近)	19IS0118	2019. 11. 6	—	0. 0027	0. 0024	—	
アラメ (放水口付近)	20IS0080	2020. 8. 5	—	0. 0011	0. 00099	—	
アラメ (放水口付近)	21IS0066	2021. 8. 4	—	0. 0017	0. 0015	—	
アラメ (放水口付近)	22IS0064	2022. 8. 3	—	0. 00085	0. 00073	—	
アラメ (十三浜)	09IS0097	2009. 8. 3	N D	0. 0016±0. 00043		—	
アラメ (十三浜)	10IS0081	2010. 8. 9	N D	0. 0026±0. 00056		—	
アラメ (十三浜)	12IS0062	2012. 8. 6	N D	0. 0016±0. 00040		—	
アラメ (十三浜)	13IS0083	2013. 8. 28	N D	0. 0022±0. 00049		—	
アラメ (十三浜)	14IS0080	2014. 8. 5	—	0. 0011	0. 0010	—	
アラメ (十三浜)	15IS0073	2015. 8. 18	—	0. 0013	0. 0011	—	
アラメ (十三浜)	16IS0094	2016. 9. 5	—	0. 0015	0. 0012	—	
アラメ (十三浜)	17IS0159	2017. 11. 14	—	0. 0011	0. 00099	—	
アラメ (十三浜)	18IS0123	2018. 11. 12	—	0. 0014	0. 0013	—	
アラメ (十三浜)	19IS0121	2019. 11. 13	—	0. 0017	0. 0016	—	
アラメ (十三浜)	20IS0086	2020. 8. 6	—	0. 00092	0. 00087	—	
アラメ (十三浜)	21IS0062	2021. 8. 2	—	0. 00082	0. 00070	—	
アラメ (十三浜)	22IS0069	2022. 8. 22	—	0. 0012	0. 0010	—	
アラメ (宮戸)	09IS0098	2009. 8. 3	N D	N D		—	
アラメ (宮戸)	10IS0082	2010. 8. 9	N D	0. 0011±0. 00036		—	
アラメ (宮戸)	12IS0064	2012. 8. 6	N D	0. 0016±0. 00039		—	
アラメ (宮戸)	13IS0081	2013. 8. 28	N D	0. 0020±0. 00044		—	
アラメ (宮戸)	14IS0081	2014. 8. 5	—	0. 00093	0. 00076	—	
アラメ (宮戸)	15IS0074	2015. 8. 18	—	0. 00082	0. 00064	—	
アラメ (宮戸)	16IS0095	2016. 9. 5	—	0. 0010	0. 00087	—	
アラメ (宮戸)	17IS0161	2017. 11. 14	—	0. 0013	0. 0013	—	
アラメ (宮戸)	18IS0125	2018. 11. 12	—	0. 0017	0. 0014	—	
アラメ (宮戸)	19IS0123	2019. 11. 13	—	0. 0016	0. 0015	—	
アラメ (宮戸)	20IS0089	2020. 8. 6	—	0. 00073	0. 00063	—	
アラメ (宮戸)	21IS0064	2021. 8. 2	—	0. 00073	0. 00065	—	
アラメ (宮戸)	22IS0066	2022. 8. 22	—	0. 00065	0. 00058	—	
エゾノネジメ (放水口付近)	17IS0163	2017. 11. 20	—	0. 0030	0. 0026	0. 056±0. 013	
エゾノネジメ (放水口付近)	18IS0140	2018. 12. 3	—	0. 0042	0. 0032	N D	
エゾノネジメ (放水口付近)	19IS0017	2019. 5. 9	—	0. 0063	0. 0052	—	
エゾノネジメ (放水口付近)	20IS0014	2020. 5. 11	—	0. 0033	0. 0030	—	
エゾノネジメ (放水口付近)	21IS0012	2021. 5. 10	—	0. 0032	0. 0027	—	
エゾノネジメ (放水口付近)	22IS0018	2022. 5. 10	—	0. 0035	0. 0030	—	
エゾノネジメ (放水口付近)	23IS0021	2023. 5. 15	—	0. 0025	0. 0022	—	
エゾノネジメ (十三浜)	17IS0170	2017. 11. 29	—	0. 0018	0. 0014	—	
エゾノネジメ (十三浜)	20IS0023	2020. 5. 18	—	0. 0035	0. 0030	—	
エゾノネジメ (十三浜)	21IS0018	2021. 5. 18	—	0. 0038	0. 0029	—	
エゾノネジメ (十三浜)	22IS0021	2022. 5. 23	—	0. 0035	0. 0030	—	
エゾノネジメ (十三浜)	23IS0025	2023. 5. 16	—	0. 0023	0. 0021	—	
エゾノネジメ (小竹浜)	17IS0178	2017. 12. 7	—	0. 0030	0. 0026	—	
エゾノネジメ (小竹浜)	18IS0144	2018. 12. 3	—	0. 0028	0. 0022	—	
エゾノネジメ (小竹浜)	20IS0021	2020. 5. 18	—	0. 0019	0. 0015	—	
エゾノネジメ (小竹浜)	21IS0016	2021. 5. 18	—	0. 0016	0. 0014	—	
エゾノネジメ (小竹浜)	22IS0023	2022. 5. 23	—	0. 0023	0. 0020	—	
エゾノネジメ (小竹浜)	23IS0023	2023. 5. 16	—	0. 0018	0. 0016	—	
ヨレモク (小竹浜)	19IS0027	2019. 5. 30	—	0. 0029	0. 0024	—	
ムラサキガイ (前面海域)	10IS0121	2010. 10. 19	N D	0. 00099±0. 00023		—	
ムラサキガイ (前面海域)	11IS0030	2011. 12. 2	N D	N D		N D	
ムラサキガイ (前面海域)	12IS0010	2012. 5. 14	N D	0. 00097±0. 00022		—	

* 委託業務を開始した年度であり、過去の年度に採取された試料を調査している場合がある。

資料3 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した 環境試料中の放射性物質濃度の測定結果

1 まえがき

原子力規制庁が定める「平常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）」において、緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして、PAZ及びUPZ内の計画した地点で、土壌及び陸水を5年程度で調査し（土壌のプルトニウム分析は1回のみ実施）、その後も継続して放射性物質の濃度の水準を把握することとされているため、必要な環境試料の採取及び測定を実施した。

本資料においては、Ge半導体検出器による分析結果及びトリチウム分析結果（検出器の主な性能等は資料1参照）を示す。

なお、プルトニウム分析及び放射性ストロンチウム分析結果の詳細については、資料2に掲載している。

2 分析結果

表1に陸土10検体の生試料の測定結果を、表2に陸土10検体の乾燥試料の測定結果を示す。全ての試料から ^{137}Cs が検出され、一部試料から ^{134}Cs が検出されたが、その値は、女川原子力発電所環境放射能測定計画に基づき採取している試料の測定値と同程度であった。

表3及び表4に陸水4検体の測定結果を示す。一部試料から ^{137}Cs が検出されたが、その値は、女川原子力発電所環境放射能測定計画に基づき採取している試料の測定値と同程度であった。

（参考）測定結果一覧

緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとしてこれまでに測定を実施した陸土及び陸水の測定結果を参考1及び参考2に示す。

なお、陸土採取地点については、女川原子力発電所からの距離や方位のバランスを勘案した25地点とし、陸水採取地点については、UPZ内に水源を持つ浄水場12地点とした。

表1 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した環境試料中の放射性物質濃度の測定結果
(陸土：生試料)

単位：Bq/kg生

試料名		陸 土				
採取地点		石巻市新栄 (石巻稲井局近傍)	石巻市桃浦 (石巻桃浦局)	石巻市荻浜 (荻浜MS ^{*1})	石巻市田代浜 (田代島局)	石巻市相野谷 (河北局近傍)
採取月日		2023. 10. 4	2023. 9. 29	2023. 9. 29	2023. 10. 3	2023. 10. 4
放射能	Mn- 54	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 58	N D	N D	N D	N D	N D
	Fe- 59	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 60	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs- 134	0.62±0.20	(0.65)	N D	N D	1.5±0.3
	Cs- 137	16.5±0.4	24.9±0.5	4.6±0.3	9.7±0.4	70.6±0.8
	Be- 7	10±3	N D	N D	N D	N D
	K- 40	328±6	371±7	576±8	475±9	381±7
換算係数 ^{*2}		75.3	79.2	40.7	52.3	64.3
試料量(g生)		170	165	144	80	149
測定時間(秒)		80000	80000	80000	80000	80000
備考						

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

*1 MSとは、モニタリングステーションを表す。

*2 換算係数とは、Bq/kg生からBq/m²への換算乗数を表す。

単位：Bq/kg生

試料名		陸 土				
採取地点		石巻市雄勝町大須 (雄勝局近傍)	石巻市須江 (河南局)	石巻市北上町 十三浜(北上局)	石巻市長渡浜杉 (網地島局)	石巻市鮎川浜 (牡鹿清崎局)
採取月日		2023. 10. 4	2023. 10. 4	2023. 10. 4	2023. 10. 3	2023. 9. 27
放射能	Mn- 54	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 58	N D	N D	N D	N D	N D
	Fe- 59	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 60	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs- 134	(0.54)	2.5±0.3	1.9±0.3	2.1±0.3	2.2±0.3
	Cs- 137	21.4±0.4	121±1	110±1	130±1	92.4±1.0
	Be- 7	N D	N D	N D	N D	N D
	K- 40	314±6	462±8	388±8	646±10	480±9
換算係数 [*]		88.6	59.4	40.0	56.8	61.2
試料量(g生)		185	149	117	112	84
測定時間(秒)		80000	80000	80000	80000	80000
備考						

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

* 換算係数とは、Bq/kg生からBq/m²への換算乗数を表す。

表2 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した環境試料中の放射性物質濃度の測定結果
(陸土：乾燥試料)

単位：Bq/kg乾土

試料名		陸 土				
採取地点		石巻市新栄 (石巻稲井局近傍)	石巻市桃浦 (石巻桃浦局)	石巻市荻浜 (荻浜MS ^{*1})	石巻市田代浜 (田代島局)	石巻市相野谷 (河北局近傍)
採取月日		2023. 10. 4	2023. 9. 29	2023. 9. 29	2023. 10. 3	2023. 10. 4
放射能	Mn- 54	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 58	N D	N D	N D	N D	N D
	Fe- 59	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 60	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs- 134	1.0±0.3	N D	N D	N D	2.0±0.3
	Cs- 137	30.0±0.7	23.3±0.5	7.3±0.4	11.0±0.4	107±1
	Be- 7	N D	N D	N D	(15)	N D
	K- 40	560±10	400±7	623±10	588±9	487±9
換算係数 ^{*2}		52.9	62.6	23.8	28.4	48.3
試料量(g乾土)		98	147	134	132	116
測定時間(秒)		80000	80000	80000	80000	80000
備考						

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ()書きで示す。

*1 MSとは、モニタリングステーションを表す。

*2 換算係数とは、Bq/kg生からBq/m²への換算乗数を表す。

単位：Bq/kg乾土

試料名		陸 土				
採取地点		石巻市雄勝町大須 (雄勝局近傍)	石巻市須江 (河南局)	石巻市北上町 十三浜(北上局)	石巻市長渡浜杉 (網地島局)	石巻市鮎川浜 (牡鹿清崎局)
採取月日		2023. 10. 4	2023. 10. 4	2023. 10. 4	2023. 10. 3	2023. 9. 27
放射能	Mn- 54	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 58	N D	N D	N D	N D	N D
	Fe- 59	N D	N D	N D	N D	N D
	Co- 60	N D	N D	N D	N D	N D
	Cs- 134	N D	4.1±0.3	3.5±0.3	2.6±0.4	2.5±0.3
	Cs- 137	24.8±0.5	191±1	165±1	166±1	125±1
	Be- 7	N D	N D	N D	N D	N D
	K- 40	361±7	489±9	490±9	810±10	574±9
換算係数 [*]		75.0	40.9	25.4	41.3	46.8
試料量(g乾土)		152	130	112	117	126
測定時間(秒)		80000	80000	80000	80000	80000
備考						

* 換算係数とは、Bq/kg生からBq/m²への換算乗数を表す。

表3 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した
環境試料中の放射性物質濃度の測定結果
(陸水：原水)

単位：mBq/L

試料名		陸 水			
採取地点		石巻市 (六本木浄水場)	石巻市 (須江山浄水場)	登米市 (大萱沢浄水場)	南三陸町 (新戸倉浄水場)
採取月日		2023. 11. 1	2023. 11. 1	2023. 10. 30	2023. 10. 30
放射能	Mn- 54	N D	N D	N D	N D
	Co- 58	N D	N D	N D	N D
	Fe- 59	N D	N D	N D	N D
	Co- 60	N D	N D	N D	N D
	Cs- 134	N D	N D	N D	N D
	Cs- 137	N D	1.3±0.4	N D	N D
	Be- 7	N D	26±5	N D	N D
	K- 40	40±7	46±7	(18)	28±6
試料量(L)		20.0	20.0	20.0	20.0
測定時間(秒)		80000	80000	80000	80000
備考					

(注) NDであって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、検出下限値をカッコ () 書きで示す。

表4 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した環境試料中の放射性物質濃度の測定結果

試料名	採取地点	採取年月日	H-3 濃度	
			測定値	単位
陸水	石巻市 (六本木浄水場)	2023. 11. 1	N D	mBq/L
	石巻市 (須江山浄水場)	2023. 11. 1	N D	
	登米市 (大萱沢浄水場)	2023. 10. 30	N D	
	南三陸町 (新戸倉浄水場)	2023. 10. 30	N D	

(参考1) 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した
陸土中の放射性物質濃度の測定結果一覧

単位：Bq/kg

地点名	採取年月日	第1期(2022~2026)			1回のみ	
		Cs-137(生試料)	Cs-137(乾燥試料)	Sr-90	Pu-238	Pu-239+240
女川町女川浜 (女川MS)	2022.12.21	67.5±0.7	86.5±1.0	0.26±0.077	N D	N D
女川町塚浜*1 (塚浜MS近傍)	2024.2.19	_*2	74.4±0.7	N D	N D	0.012±0.004
女川町尾浦 (女川尾浦局)	2022.12.21	3.3±0.3	6.8±0.4	N D	N D	N D
女川町指ヶ浜 (女川指ヶ浜局)	2022.12.20	2.0±0.3	1.8±0.3	N D	N D	0.012±0.0033
女川町出島 (寺間MS近傍)	2023.12.7	_*2	16.2±0.4	N D	N D	0.018±0.004
女川町江島 (江島MS近傍)	2023.12.7	_*2	72.0±0.7	N D	N D	0.017±0.004
女川町浦宿浜 (女川浦宿浜局)	2022.12.20	5.7±0.3	6.3±0.4	N D	N D	N D
石巻市渡波 (石巻佐須局)	2022.12.20	123±1	154±1	N D	N D	0.011±0.0035
石巻市新栄 (石巻稲井局近傍)	2023.10.4	16.5±0.4	30.0±0.7	0.24±0.074	N D	N D
石巻市桃浦 (石巻桃浦局)	2023.9.29	24.9±0.5	23.3±0.5	N D	N D	0.021±0.0050
石巻市荻浜 (荻浜MS)	2023.9.29	4.6±0.3	7.3±0.4	0.31±0.082	N D	0.025±0.0053
石巻市田代浜 (田代島局)	2023.10.3	9.7±0.4	11.0±0.4	N D	N D	0.042±0.0069
石巻市相野谷 (河北局近傍)	2023.10.4	70.6±0.8	107±1	N D	N D	0.017±0.0040
石巻市雄勝町大須 (雄勝局近傍)	2023.10.4	21.4±0.4	24.8±0.5	N D	N D	N D
石巻市須江 (河南局)	2023.10.4	121±1	191±1	N D	N D	N D
石巻市北上町 十三浜(北上局)	2023.10.4	110±1	165±1	0.33±0.075	N D	0.010±0.0032
石巻市長渡浜杉 (網地島局)	2023.10.3	130±1	166±1	N D	N D	0.043±0.0065
石巻市鮎川浜 (牡鹿清崎局)	2023.9.27	92.4±1.0	125±1	0.34±0.090	N D	N D
石巻市前網浜 (前網MS近傍)	2023.12.8	_*2	191±1	1.2±0.2	N D	0.32±0.03
石巻市谷川浜*3 (谷川MS近傍)					N D	0.028±0.0054
登米市津山町柳津 (津山局近傍)	2022.12.15	68.9±0.8	95±1	N D	N D	N D
東松島市小野 (鳴瀬局)	2022.12.14	48.6±0.7	56.7±0.8	N D	N D	N D
涌谷町猪岡短台 (涌谷局)	2022.12.20	23.2±0.5	28.2±0.6	N D	N D	N D
美里町二郷 (南郷局)	2022.12.15	32.5±0.6	37.0±0.7	N D	N D	N D
南三陸町戸倉 (志津川局)	2022.12.15	5.4±0.3	2.7±0.3	N D	N D	N D

(注) 空欄は、第1期の期間内に実施予定である。

*1 塚浜MS近傍におけるプルトニウム分析は、令和5年12月8日に採取した土壌の測定結果である。

*2 東北電力MS付近の土壌測定については、生試料の測定を実施していない。

*3 谷川MS近傍におけるプルトニウム分析は、平成22年6月10日に採取した土壌の測定結果である。

(参考2) 緊急事態が発生した場合への平常時からの備えとして実施した
陸水中の放射性物質濃度の測定結果一覧

単位：mBq/L

地点名	第1期 (2022～2026)			
	採取年月日	Cs-137	Sr-90	H-3
女川浄水場*	2024. 1. 11	N D	0.64±0.13	N D
鷺神浄水場				
御前浄水場				
針浜浄水場				
大街道浄水場				
六本木浄水場	2023. 11. 1	1.3±0.4	0.89±0.15	N D
原浄水場				
坊ヶ沢浄水場				
須江山浄水場	2023. 11. 1	N D	1.0±0.15	N D
神取山浄水場				
大萱沢浄水場	2023. 10. 30	N D	0.51±0.13	N D
新戸倉浄水場	2023. 10. 30	N D	0.89±0.15	N D

(注) 空欄は、第1期の期間内に実施予定である。

* 女川浄水場におけるSr-90分析は、令和5年10月31日に採取した陸水の測定結果である。

資料4 陸水採取地点の変更に伴う新旧採取地点の測定結果の比較について

有田富和、安達里美、高橋稜*
*元宮城県環境放射線監視センター

I はじめに

宮城県と東北電力(株)では、女川原子力発電所の周辺監視のため、女川原子力発電所環境放射能及び温排水測定基本計画等(以下「計画」という)に基づき、従来から年に8回、水道原水を採取し、その放射能を測定している。県では女川浜地区の女川浄水場と前網地区の寄磯浄水場の水道原水(河川等から取り入れられた浄水処理前の水)をそれぞれ年間2回採取し、セシウム137等の γ 線放出対象核種とトリチウムの測定を実施している。2022年度の試料採取の際に、寄磯浄水場の設置・管理者である石巻地方広域水道企業団から、同浄水場が2023年内にも廃止となる可能性が示されたため、新たな水道原水採取地を選定することが必要となった。

II 方法

1 候補地点の選定

計画により、候補地点は以下の条件を満たす必要があると考えられた。

- ①取水地点が発電所からおよそ10km以内に位置していること。
- ②寄磯浄水場と同様に発電所の南方に位置していること。
- ③寄磯浄水場と同様に表流水を原水としていること。
- ③中長期的かつ継続的に採取が可能であること。

石巻市の上水道を管理する石巻地方広域水道企業団の助言を受けて選定を進めた結果、これらの要件を満たす浄水場は石巻市泊浜の泊浄水場と同市新山浜の新山浄水場の2ヶ所のみであった。両浄水場共に現在の砂ろ過式から膜ろ過式に改修される計画であるが、原水の採取に支障はないとのことであった。2022年度環境放射線監視検討会で学識経験者の助言を受けて検討した結果、より発電所に近い泊浄水場を候補地点として比較調査を進めることとした。

2 放射能の測定比較

女川原子力発電所環境放射能及び温排水測定基本計画等により、採取地点の変更には可能な限り測定比較を行うこととされている。このため、2023年3月16日及び4月12日に寄磯・泊の両浄水場の原水をそれぞれ採取し、ゲルマニウム半導体検出器による監視対象核種の測定及び低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターによるトリチウムの測定を実施した。

III 結果

2023年4月12日に採取した泊浄水場の原水から、微量のセシウム137が検出された(1.9 mBq/L)。この値は2022年7月に寄磯浄水場で採取した原水から検出されたセシウム137の値(2.0 mBq/L)と同程度であり、森林環境中を流れる表流水に含まれる微細な土壌粒子に由来するものと考えられた。なお、トリチウムを含む他の対象核種はいずれの試料からも検出されなかった。以上の結果を踏まえて、第164回女川原子力発電所環境調査測定技術会(2023年5月11日開催)及び第164回女川原子力発電所環境保全監視協議会(2023年5月25日開催)に計画の変更(陸水採取地点の前網から泊浜への変更)を諮り、了承を得た。なお、計画変更後、2023年度中に採取した試料(2023年7月4日及び2024年1月11日採取)からは、トリチウムを含む対象核種はいずれも検出されなかった。

Ⅳ まとめ

県では女川原子力発電所環境放射能及び温排水測定基本計画等に基づき、前網地区（寄磯浄水場）の水道原水の放射能の測定を実施してきた。2022年度に浄水場の管理者より浄水場の統廃合により2023年度中に同浄水場を廃止する方針が示された。このため新たな採取地点の候補として泊浜の泊浄水場を選定した。泊浄水場と寄磯浄水場から試料を試験採取し、放射能を測定して比較を実施し、採取地点として問題がないことが確認できたことから、2023年度採取分から寄磯浄水場に替わって泊浄水場の水道原水を陸水試料に位置づけた。これにより、浄水場統廃合後も水道原水の適切な放射能監視体制の維持が可能となった。

資料5 黄砂飛来時の大気浮遊じんゲルマニウム半導体検出器測定結果

安達里美、有田富和、杉山照徳*1、長谷部洋*2

*1 現 宮城県環境生活部廃棄物対策課

*2 現 宮城県復興・危機管理部原子力安全対策課

I はじめに

2023年4月12日～13日及び5月22日に宮城県仙台市を含む日本の広い範囲で黄砂が観測された。宮城県では2000年以降の春期を中心として、大気浮遊じんに中国大陸からの黄砂由来と推定されるCs-137を確認している^{1)~3)}。また、2011年以降、東京電力福島第一原子力発電所事故の影響により、多くの環境試料でCs-137が検出されていたが、大気浮遊じんの試料では近年、その影響も少なくなってきた。今回、現在の黄砂が環境試料へ与える影響を調査するために、黄砂観測日にサンプリングした大気浮遊じんの測定を行ったので、その結果について述べる。

II 方法

気象庁の黄砂解析予測⁴⁾に基づき、黄砂の到来が予測された日を含む数日間、及び継続する数日間、宮城県環境放射線監視センター（宮城県仙台市宮城野区幸町4-7-1-2）前庭にハイボリュームエアサンプラー（HV-500R）を設置し、ガラス繊維ろ紙（GB-100R 203×254 mm）で毎分1000Lの流量で吸引し、黄砂を含んだ大気浮遊じんを捕集した。

吸引終了後にろ紙を回収して円形に打ち抜き、U8容器に充填してゲルマニウム半導体検出器で240,000秒間の測定を行った。採取中の減衰は考慮していない。なお、バックグラウンド減算も通常の測定と同じく実施した。

III 結果

宮城県に顕著な黄砂が飛来した期間（2023年4月12日、4月13日、5月22日）、を含む4月12日～14日、5月22日～24日及びそれに引き続く期間に吸引した大気浮遊じんの測定結果を表に示す。なお、すべての試料でCs-137は不検出であった。

表 測定結果

採取期間	2023.4.12 ～ 2023.4.14	2023.4.14 ～ 2023.4.17	2023.5.22 ～ 2023.5.24	2023.5.24 ～ 2023.5.26	2023.5.26 ～ 2023.5.29	2023.5.29 ～ 2023.5.31	
黄砂観測日 ⁵⁾	2023.4.12～13		2023.5.22				
放射能	Pb-210	0.58±0.05 (0.13)	0.73±0.03 (0.087)	0.59±0.05 (0.13)	0.48±0.04 (0.13)	0.58±0.03 (0.086)	0.52±0.04 (0.12)
	Be-7	9.1±0.1 (0.20)	6.08±0.09 (0.14)	4.12±0.07 (0.13)	4.04±0.07 (0.12)	5.76±0.06 (0.081)	3.70±0.07 (0.12)
	Cs-134	N D (0.015)	N D (0.010)	N D (0.017)	N D (0.015)	N D (0.013)	N D (0.015)
	Cs-137	N D (0.016)	N D (0.0099)	LTD (0.016)	N D (0.014)	N D (0.0097)	LTD (0.014)
	K-40	0.31±0.10 (0.29)	0.22±0.07 (0.20)	LTD (0.29)	N D (0.28)	0.20±0.06 (0.19)	N D (0.29)
	単位	mBq/m ³	mBq/m ³				
試料量(m ³)	1547	2242	1524	1532	2309	1551	
Ge検出器番号	1	1	1	1	1	1	
備考		参考測定		参考測定	参考測定	参考測定	

(注1) 不検出をNDで示す。

(注2) 不検出(ND)であって、スペクトル上で光電ピークが認められた場合、LTDと示す。

(注3) 検出下限値はカッコ()書きの数値で示す。

IV 考察

2000年代に確認された黄砂に伴うCs-137の起源については、既報³⁾にて、中国大陸において、地表土壌に蓄積していた過去の核実験起因のCs-137が、砂漠化現象等により露出・飛散しやすくなり、砂塵嵐に伴ってエアロゾル化して大気上層へ移行し、黄砂粒子とともに遠方に運ばれるものと推定している。しかし現在では、1980年に中国で行われた最後の大気圏内核実験⁶⁾から40年以上経過しており、過去には微量に検出されていた黄砂由来のCs-137も、減衰によりその影響は少なくなっていると考えられる。

既報^{1)~3)}と測定機器や条件が異なるため、直接的な比較は困難であるが、今回の測定結果では、黄砂観測日にサンプリングした大気浮遊じん中からCs-137は検出されず、黄砂の影響は認められなかった。しかしながら、試料数が少ないことから、今後も継続して黄砂とCs-137の関係について調査を行っていきたい。

V 参考文献

- 1) 宮城県原子力センター年報、第19巻、P10-18(2001)
- 2) 宮城県原子力センター年報、第20巻、P5-9(2002)
- 3) 宮城県原子力センター年報、第21巻、P5-11(2003)
- 4) 気象庁“黄砂情報”気象庁ホームページ
URL: <https://www.data.jma.go.jp/env/kosa/fcst/> (参照 2024.12.17)
- 5) 気象庁“2023年黄砂観測日および観測地点の表”気象庁ホームページ
URL: https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/kosahp/kosa_table_2023.html (参照 2024.12.17)
- 6) 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構(JAEA)“09-01-01-04 核実験”原子力百科事典 ATOMICA (2007.7)
URL: https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-01-01-04.html (参照 2024.12.17)

資料6 宮城県内陸部の落葉中セシウムの測定結果について

有田富和、高橋稜*、小野原清志*

*元宮城県環境放射線監視センター

I はじめに

宮城県では女川原子力発電所環境放射能及び温排水測定基本計画等に基づき、土壌の放射能測定を実施している。発電所周辺地域と比較するための対照地点としている大崎市岩出山（城山公園内）の表層土壌（深度0～5 cm）のセシウム137（ ^{137}Cs ）の濃度は、採取を開始した1983年から東京電力(株)福島第一原子力発電所事故（以下「福島原発事故」という。）前までは3.3～7.6 Bq/kg（乾土）の範囲で推移していたが、同事故後には数百Bq/kg（乾土）まで上昇し、それまで不検出であったセシウム134（ ^{134}Cs ）も検出されるようになった。測定試料の中では比較的高い濃度の ^{137}Cs が検出されており、また、2023年度現在も ^{134}Cs が継続して検出されている試料でもある。

土壌の放射性セシウム濃度は、隣接する森林からの落葉や腐植質中の放射性セシウムの流入などにより、物理的半減期どおりには減衰しない。城山公園の採取地点も森林に隣接していることから、それらの影響を受けている可能性が否定できない。そこで今回、採取が比較的容易な落葉を試料として放射性セシウムの濃度を測定し、同年及び翌年に採取した土壌との比較を試みたので報告する。

II 方法

1 土壌の採取と前処理

土壌は、あらかじめ草を刈り地面を露出させてから、専用の採土器（内径50mm）をハンマーで打ち込み、表層土（0～5cm深さ）を1 m間隔で10ヶ所程度ビニール袋に採取し混合した。ステンレスバットに広げて草の根、枯れ葉、小石などの異物を除去し、105℃で乾燥後、ふるいにかけて小石や砂などの異物を除去し、U8容器に充填して測定試料とした。なお、土壌の採取は例年6月に実施している。

2 落葉の回収と前処理

2020年11月20日に、大崎市の陸土採取地点を中心におよそ50 m²から落葉を回収した。広葉樹の葉と針葉樹（スギ）の枝葉に分けて計量し、105℃で乾燥、450℃で灰化後、ふるいにかけて小石や砂などの異物を除去し、U8容器に充填して測定試料とした。

3 ゲルマニウム半導体検出器による分析

通常の試料分析と同様にゲルマニウム半導体検出器により80,000秒の測定を実施した。放射能濃度は、乾燥土壌と比較するため、乾燥重量あたりに換算して示した。

III 結果

落葉採取当日の採取地点周辺は広範囲に落葉に完全に覆われており、地肌が見えないほどであった。落葉は大半が落葉広葉樹のものであったが、スギなどの針葉樹の枝葉も堆積していた。

表に落葉から検出された ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 及び天然核種であるカリウム40（ ^{40}K ）の測定値を同年と翌年の土壌の値とともに表に示した。 ^{137}Cs を例にとると、広葉樹で土壌の約5%、針葉樹で約2%程度の濃度であった。また、濃度は低いものの、2023年度時点では土壌以外の試料からはあまり検出されなくなった ^{134}Cs が、広葉樹・針葉樹ともに検出された。

表 検出された核種とその濃度（単位：Bq/kg乾燥重量）

核種	広葉樹の落葉	針葉樹の落葉	土壌(2020/6/12)	土壌(2021/6/9)
^{134}Cs	0.9 ± 0.2	0.6 ± 0.1	29.1 ± 0.7	17.6 ± 0.6
^{137}Cs	21.4 ± 0.3	11.0 ± 0.1	543 ± 3	443 ± 3
^{40}K	200 ± 6	55 ± 1	235 ± 8	228 ± 8

IV まとめ

土壌採取地点の落葉から ^{134}Cs と ^{137}Cs がともに検出された。この地点の土壌からは現在も福島原発事故由来の放射性セシウムが検出されており、土壌中の放射性セシウム濃度が高い。採取地点は草の生い茂る平地で、落葉広葉樹を主とする森林に隣接している。土壌採取の際には落葉などの異物は除去しているものの、採取した土壌の表層付近には腐葉土と思われる黒色の層がある。11月に落葉の採取のために訪れた現地は、見渡す限り厚く落葉で覆われていた。開けた土地であるため風も強く、落葉すべてがその場所で腐葉土になるとは考えられないが、この落葉から ^{137}Cs だけでなく ^{134}Cs まで検出されたことから、森林環境中には放射性セシウムが蓄積されており、落葉がそれを隣地の地表に送り届ける経路のひとつとなっていることが示された。今回落葉から検出された放射性セシウムの量では、土壌中セシウム濃度への影響はさほど大きくないが、今後、森林内の腐葉土層に含まれる放射性セシウムについても深度別の採取や放射性セシウムの水への溶出試験などを実施することにより、局所環境内でのセシウム循環についての知見が得られるものと考ええる。

資料7 Sr-90分析における計数値の上昇事象について

安達里美、高群富貴、有田富和、杉山照徳¹、長谷部洋²

1 概要

本県では、「女川原子力発電所放射能及び温排水測定基本計画」及び「環境放射能測定実施計画」に基づき、女川原子力発電所周辺地域の環境放射線・放射能の監視測定を行っており、年間10検体のストロンチウム分析（以下「Sr-90分析」という。）を実施している。

このたび、令和5年度第2四半期に実施したSr-90分析において、過去に例を見ないほどの計数値の上昇事象が発生し、原因が前処理におけるトロンの子孫核種の影響と推測されたことから、原因の究明及び低減対策について検討を行ったので、その概要を報告する。

2 方法

2.1 令和5年度第2四半期Sr-90分析対象試料（採取地点）

- アイナメ（女川原子力発電所前面海域）
- アラメ（女川原子力発電所放水口付近）
- ヨモギ（石巻市谷川浜）
- ヨモギ（大崎市岩出山：対照地点）

2.2 前処理・測定方法

採取した試料は、乾燥と灰化を行い灰試料とした。さらに、抽出処理として、灰化と塩酸(1+3)抽出を繰り返し行った。以降は、放射能測定法シリーズNo.2放射性ストロンチウム分析法（文部科学省）のうち、イオン交換法分析操作に従って実施し、回収率を求めた炭酸ストロンチウムの沈殿から、水酸化鉄(III)共沈法でY-90を分離（ミルクング）し、低バックグラウンドβ線自動測定装置（日立アロカメディカル社製LBC-4202B）にて測定を行い、Y-90計数値からSr-90の放射能濃度を算出した。なお、放射能濃度算出にあたり、静電気による計数値上昇の影響を受けやすい1回目の計数値は棄却し、2回目と3回目の計数値を使用した。ミルクングから測定までの操作方法は以下のとおり。再ミルクングは、操作(6)のミルクング母液を2週間後に40ml程度まで加熱濃縮し、塩化鉄(III)-イットリウム混合担体溶液((1mgFe+10μgY)/ml)1mlを加えたのちに操作(3)からの操作を行った。

- (1) ガラスフィルター上の炭酸ストロンチウムの沈殿を100mlビーカーに塩酸(1+11)40mlで溶解する。
また、バックグラウンド（以下「BG」という。）試料として100mlビーカーに塩酸(1+11)40mlを2つ用意する。
- (2) 試料溶液とBG試料溶液に塩化鉄(III)-イットリウム混合担体溶液((1mgFe+10μgY)/ml)1mlを正確に加え、さらに、飽和塩化アンモニウム溶液を5ml加える。
- (3) 試料溶液をホットスターラーで攪拌しながら加熱して二酸化炭素を追い出し、アンモニア水を少しずつ加え、水酸化鉄(III)を沈殿させる。
- (4) ポリサルフォンホルダーとろ紙(GC-50)を用いて速やかにろ過し(当該日時を「ミルクング日時」とする。)沈殿を温アンモニア水(1+99)で洗浄する。ろ液と洗液はねじ口びんで受け、保存する。

1 現 宮城県環境生活部廃棄物対策課

2 現 宮城県復興・危機管理部原子力安全対策課

- (5) 操作(4)でろ過の終わったビーカーをポリサルフォンホルダーの下におき、沈殿を温塩酸(1+3)で完全に溶解する。ろ紙上に黄色の鉄(III)イオンが認められなくなるまで温塩酸(1+3)で洗浄する。
- (6) 再び操作(3)と(4)を繰り返す。(4)と(6)のろ液と洗液を合わせ塩酸で酸性にして保存する(ミルクング母液)。さらに、操作(5)と操作(3)を行なう。
- (7) ポリサルフォンホルダーとメンブレンろ紙(2 μ m)を用いて沈殿を吸引ろ別する。沈殿はアンモニア水(1+99)で洗浄する。
- (8) ろ紙にメタノールを添加後し、吸引しながらろ紙を乾燥する。乾燥後、台紙とラップでろ紙を封入し、放射能を測定する。

3 測定結果と考察

3.1 初回測定結果

初回に低バックグラウンド β 線自動測定装置で測定した計数値は表1のとおり。例年の各試料の計数値(2~3回目)はおおむね表1の下段に示したとおりであるが、BGの計数値は過去の測定と同程度であったのに対し、アイナメ、アラメ及びヨモギ(岩出山)で高い計数値となった。一方、ヨモギ(谷川浜)は例年と同程度であった。また、これらの放射能濃度(2~3回目の計数値を用いて算出)を表2に示す。ヨモギ(谷川浜)を除き、過去範囲を超過していることが分かる。

表1 初回測定時の低バックグラウンド β 線自動測定装置による計数値(counts/60min)

	BG 1	アイナメ	アラメ	ヨモギ(谷)	ヨモギ(岩)	BG 2
1回目	179	352	140	312	523	52
2回目	69	250	124	276	450	54
3回目	52	179	67	215	422	45
4回目	39	139	87	220	422	39
5回目	49	100	76	191	385	42
例年の計数値 (2~3回目)	40~70	50~85	50~65	125~270	280~350	40~70

表2 初回測定時 Sr-90 放射能濃度

試料名	Sr-90 濃度 (Bq/kg 生)	H23~R4 の測定値範囲 (Bq/kg 生)
アイナメ(前面海域)	0.081 \pm 0.008	ND
アラメ(放水口付近)	0.058 \pm 0.016	ND~0.036
ヨモギ(谷川浜)	0.39 \pm 0.03	0.088~0.54
ヨモギ(岩出山)	0.71 \pm 0.04	0.16~0.54

3.2 再測定結果

計数率の減少状況を確認するために初回測定試料について1週間後に低バックグラウンド β 線自動測定装置で再測定した結果は表3のとおり。3.1の結果とともにミルクングからの経過時間に対する正

味計数率をプロットすると、アイナメ（図1）及びアラメ（図2）は Y-90 減衰理想曲線から大きく下方方向に外れた。一方、ヨモギは谷川浜（図3）、岩出山（図4）ともに理想曲線上にあった。このことからアイナメ及びアラメの計数値上昇は Y-90 ではない β 線放出短半減期核種の影響が示唆された。

表3 初回測定試料をその一週間後に再測定した計数値 (counts/60min)

	BG 1	アイナメ	アラメ	ヨモギ (谷)	ヨモギ (岩)	BG 2
1回目	80	50	59	102	125	51
2回目	39	51	44	70	124	57
3回目	57	51	61	86	112	53

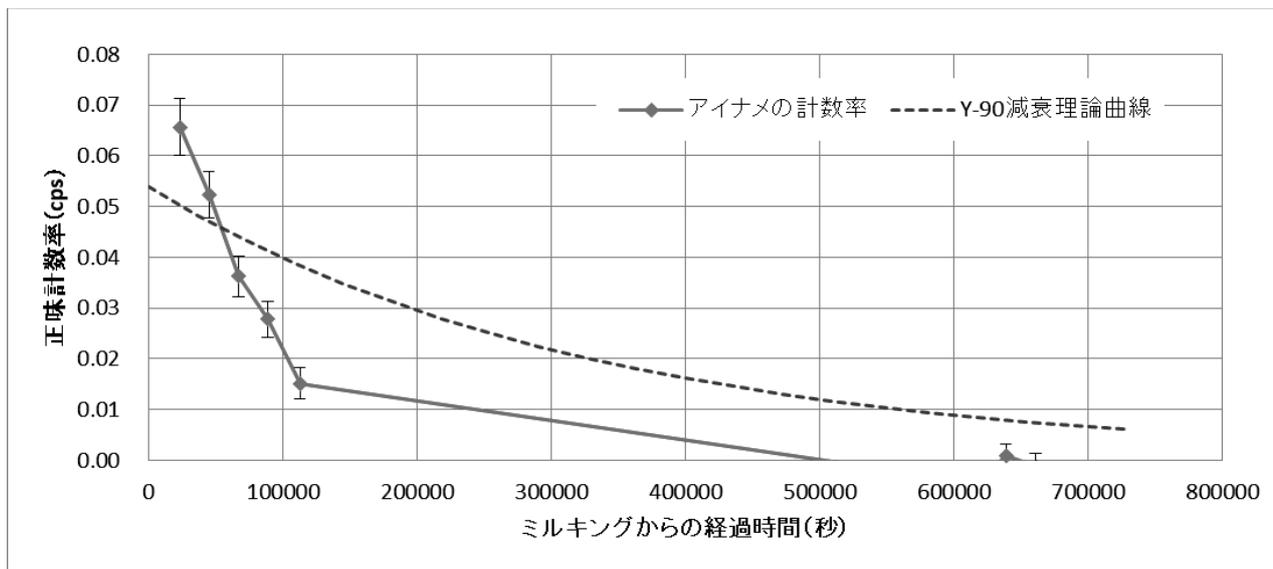


図1 アイナメ初回測定試料の経過時間と正味計数率

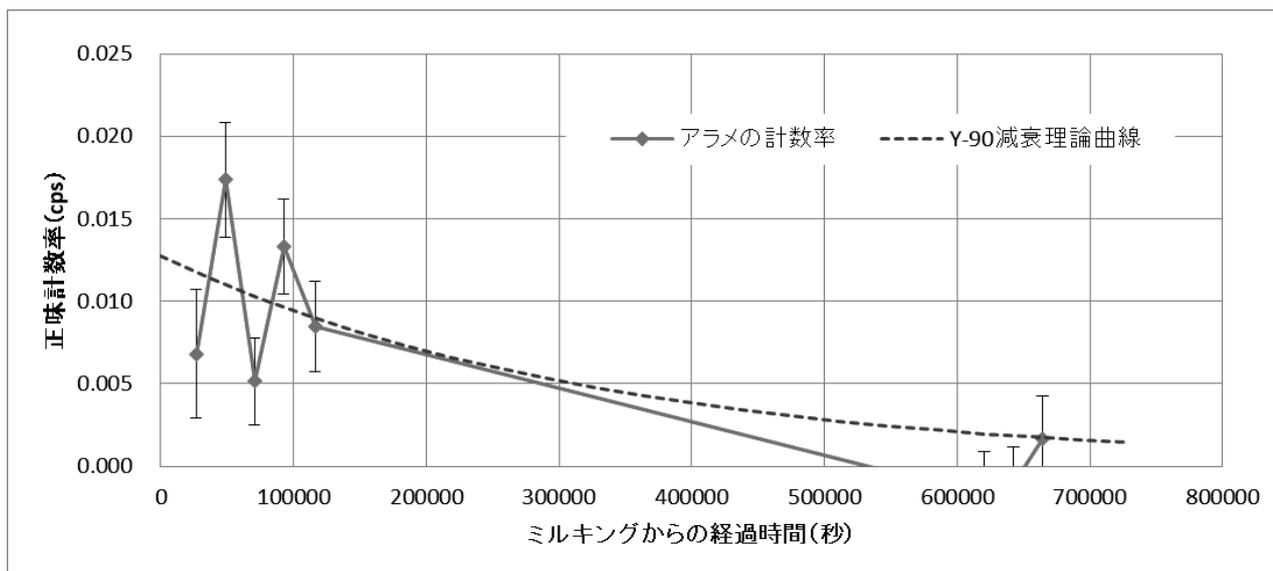


図2 アラメ初回測定試料の経過時間と正味計数率

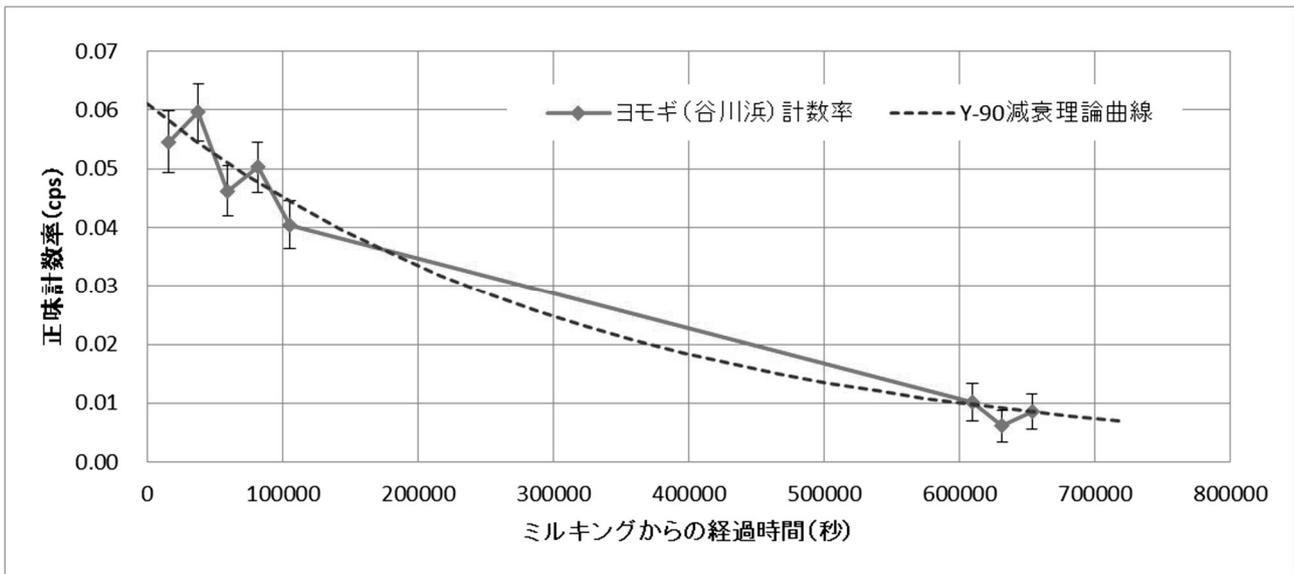


図3 ヨモギ（谷川浜）初回測定試料の経過時間と正味計数率

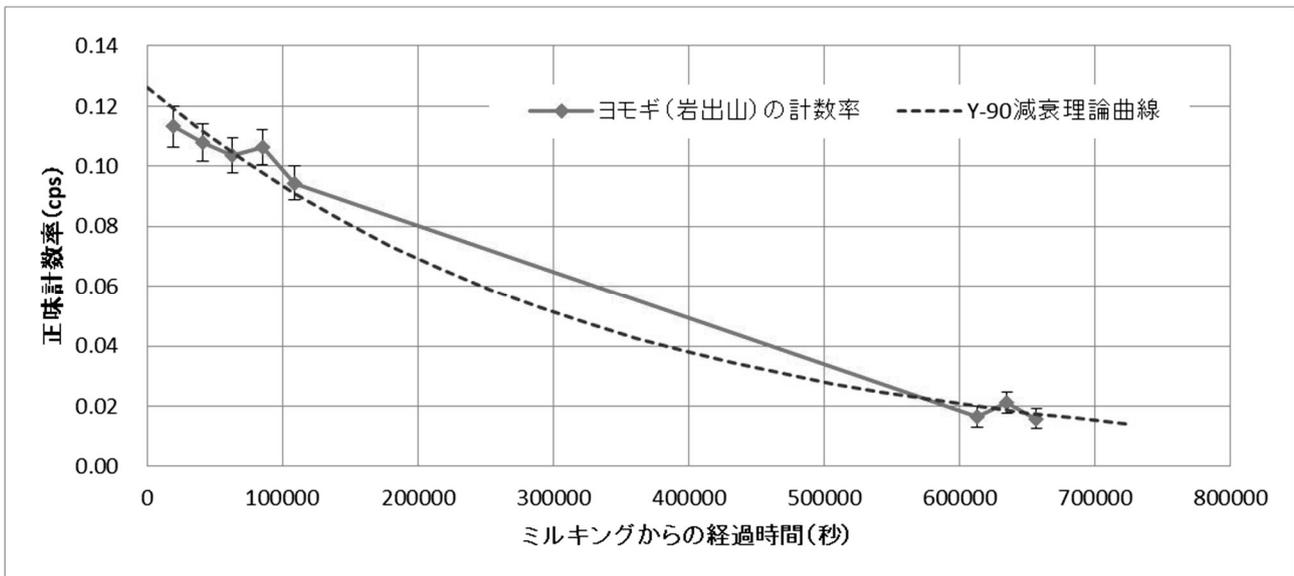


図4 ヨモギ（岩出山）初回測定試料の経過時間と正味計数率

3. 3 再ミルク測定結果

3. 2の結果から初回測定時はアイナメ及びアラメに Y-90 ではないβ線放出短半減期核種の影響が示唆されたことから、前処理操作において空気中のラドン又はトロンの子孫核種が試料と共にマウントされたのではないかと推察した。工程を見直したところ、初回ミルク操作時に空気清浄器等を使用せず、強吸引ポンプを使用して試料のマウント及び乾燥を行っていた（図5、吸引ポンプの仕様は参考として表4に記す）ことから、対策を講じて再ミルクし、測定を行った。

イ 試料マウント時のラドン及びトリロン対策

- 全換気空調及び空気清浄器（3台）を作動させ、空気中のちり等を除去。
- マウント時、強吸引ポンプは使用せず、弱吸引ポンプを使用（図6）。
- ろ紙の乾燥を吸引ポンプによる風乾ではなく、ホットプレートによる加熱乾燥に変更。



図5 強吸引ポンプでのマウント

空気清浄機の使用なし。
ろ紙の乾燥は、メタノールをろ紙上に添加し、吸引を続けて風乾。

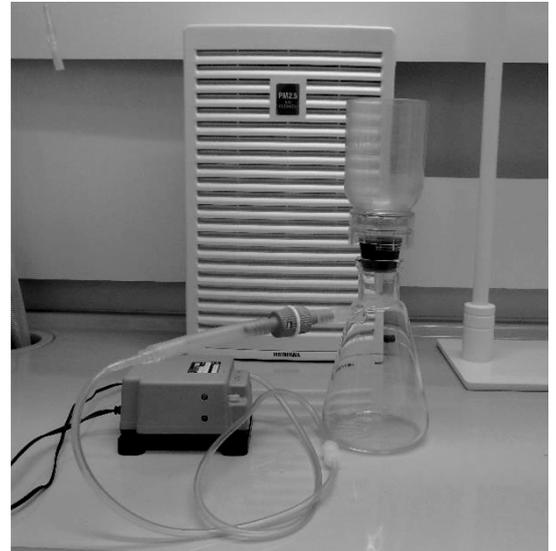


図6 弱吸引ポンプでのマウント

空気清浄機の使用あり。
吸引時間を短縮するため、マウント後はホットプレート上でろ紙を加熱し乾燥。

(参考) 表4 吸引ポンプの仕様

	強吸引ポンプ	弱吸引ポンプ
メーカー	東京理化工機（株）	（株）榎本マイクロポンプ製作所
型式	EVP-1100	MV-6005VP
流量	20L/min	4.0L/min 以上

ロ 結果

アイナメ、アラメは計数値がBGと同程度になり（表5）、放射能濃度は不検出となった（表6）。一方、ヨモギは谷川浜、岩出山ともに、初回測定時と同程度の放射能濃度となった。

表5 再ミルクキングを行った測定試料の計数値 (counts/60min)

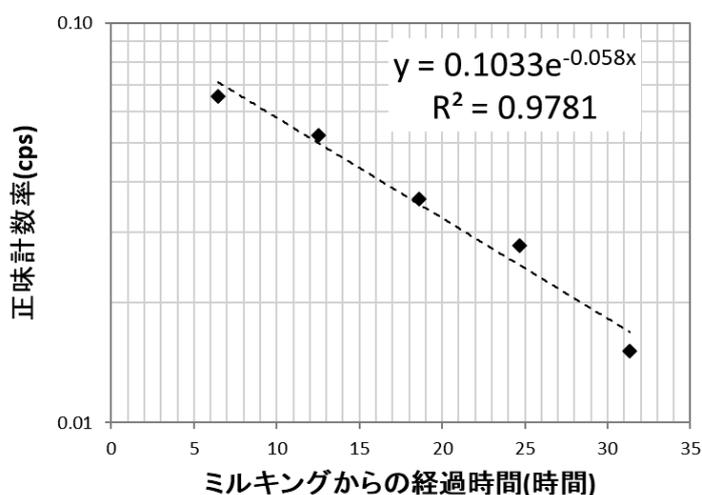
	BG 1	アイナメ	アラメ	ヨモギ (谷)	ヨモギ (岩)	BG 2
1回目	74	67	130	278	478	36
2回目	55	52	83	244	457	61
3回目	63	56	89	229	420	71
4回目	54	56	68	241	417	56

表6 再ミルクキング時 Sr-90 放射能濃度計算結果

試料名	Sr-90 濃度 (Bq/kg 生)
アイナメ (前面海域)	ND
アラメ (放水口付近)	ND
ヨモギ (谷川浜)	0.36±0.03
ヨモギ (岩出山)	0.71±0.04

3. 4 考察

初回測定のアйнаメ試料についてミルクキングからの経過時間に対する正味計数率をプロットしたものに近似式を挿入し、その半減期を試算すると 11.95 時間であった (図7)。Y-90 の半減期である 64.1 時間と比較すると短く、トロンの子孫核種である Pb-212 の半減期 10.6 時間に近いことから、今回の計数値上昇はトロンの子孫核種の影響があったものと推察された。一方、同じタイミングで操作を行った BG やヨモギはそれらの影響が見られなかった。試料毎の強ポンプ稼働時間の違いが影響していると推察されるが、他の要因についても検証の余地がある。今後、試料マウント時のトロン子孫核種対策として、空気清浄器のフィルター交換や清掃を定期的に行い効果的に使用するとともに、吸引ポンプの使用方法及びろ紙の乾燥方法等について改良していきたい。



放射能壊変式

$$Y(x) = Y_0 e^{-\lambda x}$$

$$Y(x) = Y_0 e^{-(0.693/T)x}$$

$$0.058 = 0.693/T$$

$$T = 0.693/0.058 = 11.95 \text{ h}$$

≒ Pb-212 半減期 (10.6h)

図7 アイナメの初回測定時における近似式

宮城県環境放射線監視センター年報 第9巻
(令和5年)

令和7年1月発行

発行者 宮城県仙台市宮城野区幸町四丁目7-1-2
宮城県環境放射線監視センター
TEL. (022)792-6311
