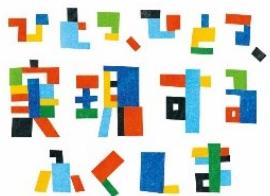


# 環境創造センター調査研究成果報告書

平成 27 年度 (2015) ~令和 6 年度 (2024)

令和 7 年 10 月  
環境創造センター





## 目次

|  |    |
|--|----|
| はじめに .....   | 6  |
| 環境創造センター調査研究事業 10 年間のあゆみ .....                         | 7  |
| 本成果報告書における用語について .....                                 | 8  |
| 要旨の見方 .....  | 9  |
| 成果要旨 .....   | 10 |
| 【放射線計測部門】 .....  | 10 |
| <b>動態解明等のための放射性物質の分析法の高度化</b>                          |    |
| 歩行サーベイを用いたモニタリングポスト周辺の空間線量率測定 .....                    | 11 |
| 歩行サーベイを用いた空間線量率分布の詳細調査 .....                           | 12 |
| トリチウム迅速分析法の検討 .....                                    | 13 |
| 電解濃縮装置を用いた海水の極低濃度トリチウム分析 .....                         | 14 |
| 有機結合型トリチウムの分析 .....                                    | 15 |
| 災害廃棄物仮置場における空間線量率のシミュレーション計算 .....                     | 16 |
| <b>モニタリング等に活用するための放射性物質の分析・測定法の研究</b>                  |    |
| 歩行サーベイを用いた簡易的な手法によるバックグラウンド空間線量率の評価 .....              | 17 |
| <b>放射性核種の簡易・迅速な分析法の開発</b>                              |    |
| ベータ線簡易測定装置の製作 .....                                    | 18 |
| <b>放射性物質分析技術の高度化</b>                                   |    |
| 環境試料中の長半減期核種検出に向けた ICP-MS 法の高度化 .....                  | 19 |
| 燃焼セルを用いた OBT 快速分析法の開発 .....                            | 20 |
| <b>空間線量及び放射性物質の測定技術に関する研究</b>                          |    |
| 大気中クリプトン 85 濃度の測定 .....                                | 21 |
| <b>避難指示区域解除に向けた放射線計測技術開発と原子力防災への適用</b>                 |    |
| 避難指示区域解除に向けた外部被ばく線量評価手法の開発と社会への活用 .....                | 22 |
| <b>無人ヘリによる放射能・線量測定技術の高度化</b>                           |    |
| 無人機による上空からの放射線計測技術の高度化 .....                           | 23 |
| <b>水中放射線拳動監視・測定技術の開発</b>                               |    |
| 水中での放射線測定技術の開発 (ROV、PSF) .....                         | 24 |
| <b>原子力発電所事故の影響を踏まえたモニタリングデータの解析・評価に関する研究</b>           |    |
| 福島県内のモニタリングポスト測定値と土壤水分の関係 .....                        | 25 |
| 発電所周辺モニタリングにおける空間線量率の変動に関する統計的評価 .....                 | 26 |
| 発電所周辺モニタリングにおける大気中セシウム 137 濃度評価手法の検討 .....             | 27 |
| 環境創造センター福島支所において実施した福島県内全域の土壤中ストロンチウム 90・プルトニウム濃度調査 .. | 28 |
| <b>モニタリング結果の評価・活用に関する研究</b>                            |    |
| 福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析 .....                              | 29 |
| <b>放射線物質の環境動態を考慮した被ばく解析評価ツールの開発・整備</b>                 |    |
| 森林内におけるセシウム循環と林産物等に与える影響に関する解析的検討 .....                | 30 |
| 環境動態知見を取り込んだ 3 次元空間線量率分布解析システムの開発 .....                | 31 |

|  |    |
|--|----|
| <b>地衣類、コケ等の特性を活かした放射性物質の沈着・飛散挙動評価</b>      |    |
| 地衣類、コケを用いた放射性セシウム挙動研究への活用.....             | 32 |
| <b>生活圈における放射性物質のばく露評価</b>                  |    |
| 大気中の放射性セシウム調査 .....                        | 33 |
| <b>【除染・廃棄物部門】 .....</b>                    | 34 |
| <b>放射性物質対策の効果持続性の把握</b>                    |    |
| 河川敷等における除染効果持続性の検証 .....                   | 35 |
| 除染が完了した施設における除染効果持続性の検証 .....              | 36 |
| 令和元年東日本台風通過後の河川近傍における放射線影響確認.....          | 37 |
| <b>河川・湖沼等の放射性物質の除去技術に関する研究</b>             |    |
| 福島県民の水環境に対する意識とその要因に関する研究.....             | 38 |
| 地域対話が河川流域住民の水環境に対する意識に与える影響.....           | 39 |
| <b>放射性セシウムの移動抑制技術開発 .....</b>              | 40 |
| <b>除去土壤等の分別・減容等処理技術開発</b>                  |    |
| 除去土壤・汚染草木類の処理技術開発 .....                    | 41 |
| <b>環境回復のための除染シミュレーションに基づいた除染支援</b>         |    |
| 除染活動支援システム（RESET）の開発と運用 .....              | 42 |
| <b>除染効果の評価に関する研究</b>                       |    |
| 汚染状況重点調査地域における住宅除染の実施状況や課題の整理.....         | 43 |
| 除染の効果に差異が生じる要因に関する事例的な検討 .....             | 44 |
| <b>除去土壤等の保管等に係る適正管理手法の確立</b>               |    |
| 除去土壤等保管容器の袋体性能試験 .....                     | 45 |
| 除去土壤等保管容器の長期耐久性試験 .....                    | 46 |
| 化学分析による除去土壤等保管容器の劣化状況評価 .....              | 47 |
| 仮置場上部シートの耐久性試験 .....                       | 48 |
| 仮置場原状回復の課題解決に向けた基礎調査 .....                 | 49 |
| 仮置場原状回復の課題解決に向けた現地実証試験 .....               | 50 |
| 仮置場原状回復後の跡地利用における被ばく線量評価 .....             | 51 |
| <b>除去土壤や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究</b>          |    |
| 仮置場における不陸対策実証試験 .....                      | 52 |
| 仮置場跡地における空間線量率測定手法の検討 .....                | 53 |
| <b>仮置場等の安全性評価及び住民合意形成手法に関する研究</b>          |    |
| 仮置場の安全性評価 .....                            | 54 |
| 仮置場等の設置に係る住民合意形成過程 .....                   | 55 |
| <b>廃棄物の処理における放射性物質等の適正管理手法の確立</b>          |    |
| 粘土鉱物を活用した一般廃棄物焼却灰に含まれる放射性セシウムの難溶化.....     | 56 |
| <b>一般廃棄物焼却施設における放射性物質を含む廃棄物の適正処理に関する研究</b> |    |
| 焼却灰への放射性セシウムの移行制御に関する実証試験.....             | 57 |
| <b>最終処分に向けた除去土壤等の減容化・処分技術システムの開発</b>       |    |
| 県外最終処分に向けたシナリオ評価と技術システムの構築.....            | 58 |

|   |    |
|---|----|
| 中間貯蔵施設内仮設灰処理施設から発生した放射能汚染溶融飛灰のセメント固化とセシウムの溶出挙動  | 59 |
| <b>低汚染廃棄物等の最終処分、及び除去土壤等の中間貯蔵プロセスの適正化と長期管理手法</b> |    |
| 特定一廃・特定産廃最終処分場の浸出水中の放射性 Cs 濃度の将来予測              | 60 |
| <b>放射性物質を含む廃棄物等の減容化技術の開発・高度化</b>                |    |
| 除染廃棄物のシャフト式ガス化溶融処理における放射性セシウムの揮発促進              | 61 |
| 除染廃棄物等焼却施設における放射性 Cs の焼却残渣への移行・溶出挙動             | 62 |
| <b>廃棄物処理施設等における放射線影響についての安全性評価</b>              |    |
| 一般廃棄物最終処分場における放射性セシウムの挙動調査                      | 63 |
| 一般廃棄物最終処分場における放射性セシウム挙動シミュレーション                 | 64 |
| 一般廃棄物焼却施設の燃焼条件の検討に係るシミュレーション                    | 65 |
| 災害廃棄物中のセシウム 137 濃度推計手法の検証                       | 66 |
| <b>放射性物質に汚染された廃棄物の安全な再利用に関する研究</b>              |    |
| 福島県内における原発事故後の産業廃棄物の流れ                          | 67 |
| <b>帰還困難区域等での廃棄物・資源循環フローと事故由来放射能汚染廃棄物対策の検証</b>   |    |
| 福島県で発生した建設系産業廃棄物の移動に伴う放射性セシウムの移動量               | 68 |
| <b>資源循環等の推進に向けたバイオマスの有効利用に関する研究</b>             |    |
| 木質バイオマスの燃焼に伴うセシウム移行状況                           | 69 |
| バイオ炭の自然発火性に関する検討                                | 70 |
| 林業における素材生産者の課題把握に係るアンケート調査                      | 71 |
| 福島県内の森林の林縁部におけるリターの放射性セシウム濃度分布調査                | 72 |
| <b>対策地域内等におけるバイオマス利活用技術及びシステムの開発</b>            |    |
| 草本バイオマスのメタン発酵およびバイオ炭併用処理における放射性セシウムの動態評価        | 73 |
| 木質バイオマスガス化技術の開発（原料種の拡大）                         | 74 |
| 木質バイオマス燃焼発電施設における放射性セシウムの挙動解明                   | 75 |
| <b>【環境動態部門】</b>                                 | 76 |
| <b>放射性核種の環境中における移行挙動の実態把握及び将来予測に関する研究</b>       |    |
| 福島県を流れる河川における放射性セシウムの経時変化                       | 77 |
| 陸域から海へ、河川を介して放射性セシウムの移行量はどのくらい                  | 78 |
| 阿武隈川と福島県浜通り複数河川における河川水質と土地利用の関係                 | 79 |
| 帰還困難区域の河川水の放射性セシウム濃度の経時変化                       | 80 |
| 帰還困難区域の河川水の溶存態セシウム 137 濃度と水質との関係                | 81 |
| 福島県河川におけるセシウム 137 の見かけの $K_d$ とその要因について         | 82 |
| 帰還困難区域の河川の放射性セシウム移行量について                        | 83 |
| セシウム 137 における河川水の懸濁態と溶存態の分画の再検証                 | 84 |
| 帰還困難区域の河川における放射性セシウム量の収支について                    | 85 |
| 福島県広瀬川流域における放射性セシウム濃度の経時変化                      | 86 |
| 広瀬川流域の放射性セシウム濃度に係る動態モデルを用いたシミュレーション             | 87 |
| 阿武隈川中流域における懸濁態放射性セシウム濃度の経時変化                    | 88 |
| <b>森林生態系における放射性物質の環境動態に関する研究</b>                |    |
| 森林における放射性セシウムの移動と分布                             | 89 |

|  |     |     |
|--|-----|-----|
| 菌類への放射性セシウム移行に関する調査研究 .....                            | 90  |     |
| <b>水域における環境動態及び水産物への放射性物質の移行挙動に関する研究</b>               |     |     |
| 河川における放射性セシウムの移行挙動に関する調査研究 .....                       | 91  |     |
| 貯水池における放射性セシウムの移行挙動に関する調査研究 .....                      | 92  |     |
| 河口域における放射性セシウムの移行挙動に関する調査研究 .....                      | 93  |     |
| <b>環境中放射性核種の固液間相互作用機構の解明</b>                           |     |     |
| 福島第一原発周辺における放射性核種の分布について .....                         | 94  |     |
| <b>地衣類の放射性セシウム降下量指標適用性評価</b>                           |     |     |
| 地衣類を放射性セシウム降下量の指標に適用する試み .....                         | 95  |     |
| <b>流域スケールでの生物利用性放射性セシウムの動態解明と発生抑制策の評価</b>              |     |     |
| 河川水・ダム湖水における溶存態放射性セシウム濃度の形成機構 .....                    | 96  |     |
| <b>放射性セシウムの生物移行特性評価と将来予測</b>                           |     |     |
| 福島県における淡水魚の放射性セシウム汚染と汚染経路の解明 .....                     | 97  |     |
| 野生山菜への放射性セシウム移行調査 .....                                | 98  |     |
| <b>陸水域動態モデルの開発</b>                                     |     |     |
| 環境動態研究におけるシミュレーション研究の 10 年 .....                       | 99  |     |
| 河川流域及び沿岸域における放射性物質動態モデリング .....                        | 100 |     |
| <b>原子力発電所事故後初期の環境挙動の実態解明</b>                           |     |     |
| 流域モデルによる陸域での放射性物質の中長期予測 .....                          | 101 |     |
| <b>福島の環境影響評価を総合的に行う包括的評価システムの整備</b> .....              |     | 102 |
| <b>野生动物に対する原子力発電所事故の影響に関する研究</b>                       |     |     |
| ツキノワグマとイノシシの筋肉中放射性セシウム濃度の季節変動 .....                    | 103 |     |
| イノシシの筋肉中放射性セシウム濃度と胃内容物の関係 .....                        | 104 |     |
| ツキノワグマの遺伝的個体群間における放射性セシウム汚染の違い .....                   | 105 |     |
| ツキノワグマの行動と利用場所の線量率の季節変化 .....                          | 106 |     |
| ツキノワグマの行動、食性、および食物中の放射性セシウム濃度 .....                    | 107 |     |
| 鳥類のセシウム 137 濃度のモニタリング .....                            | 108 |     |
| イノシシの筋肉中のセシウム 137 濃度と胃内容物中に含まれるセシウム 137 の存在形態の関係 ..... | 109 |     |
| イノシシ体内に含まれるセシウム 137 含有量推定方法の検討-体組織別調査と焼却残渣調査- .....    | 110 |     |
| メタバーコーディングに基づくイノシシの食性解析（手法検討） .....                    | 111 |     |
| 福島県内に生息するイノシシの個体群構造 .....                              | 112 |     |
| 帰還困難区域周辺におけるイノシシ筋肉中の放射性セシウム濃度のモニタリング .....             | 113 |     |
| 福島県内における野生傷病鳥獣のセシウム 137 のモニタリング .....                  | 114 |     |
| 福島県内におけるキジ( <i>Phasianus colchicus</i> )の行動調査 .....    | 115 |     |
| ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収率 .....                            | 116 |     |
| イノシシの胃内容物組成分析 .....                                    | 117 |     |
| イノシシの消化管内容物の元素分析 .....                                 | 118 |     |
| ゲルマニウム半導体測定装置及び非破壊式簡易測定装置における測定値の比較検証 .....            | 119 |     |
| <b>野生生物における放射性核種の挙動及び行動予測に関する研究</b>                    |     |     |
| イノシシの行動圏調査 .....                                       | 120 |     |

|  |     |
|--|-----|
| <b>原発周辺における指標生物の平時モニタリング</b>                             |     |
| 低線量放射線等による生物影響評価 .....                                   | 121 |
| 生態系の実態把握と回復研究 .....                                      | 122 |
| <b>【環境創造部門】 .....</b>                                    | 123 |
| 地域課題への統合的アプローチによる持続可能な復興ビジョンの構築.....                     | 124 |
| 持続可能な地域拠点の創生プロセスに関する研究.....                              | 125 |
| 適切な森林管理に向けた木質バイオマス利活用による環境創生型地域づくり手法の開発.....             | 126 |
| 脱炭素化に資する地域復興・創生を駆動する資源循環・廃棄物処理システムの研究.....               | 127 |
| <b>広域・巨大災害時に向けた地域の資源循環・廃棄物処理システム強靭化研究</b>                |     |
| 災害廃棄物の統合的マネジメントシステムの構築～災害廃棄物対策マネジメントツールSai-haiの開発と実装～... | 128 |
| 災害廃棄物の統合的マネジメントシステムの構築～住民連携の現状把握と事例集の発行～.....            | 129 |
| <b>緊急時における化学物質のマネジメント戦略</b>                              |     |
| 高分解能質量分析計を用いた化学物質の網羅分析 .....                             | 130 |
| 東北地方太平洋沿岸海域における津波による底質の石油・炭化水素汚染.....                    | 131 |
| 災害事故時の環境リスク管理に向けて：地環研机上演習.....                           | 132 |
| <b>猪苗代湖の水環境に関する研究</b>                                    |     |
| 猪苗代湖における水質汚濁実態の把握及びその要因解析.....                           | 133 |
| ドローンと衛星画像を用いた猪苗代湖北岸部における水生植物の窒素・リン含有量の推定.....            | 134 |
| 猪苗代湖水質予測モデルの構築 .....                                     | 135 |
| 猪苗代湖流域における水質改善策の提案 .....                                 | 136 |
| 環境情報技術を活用した地産地消型エネルギー計画・評価手法の開発.....                     | 137 |
| 環境創生に向けたステークホルダー分析および地域協働のプラットフォーム構築.....                | 138 |
| <b>正確な情報の効果的な発信の在り方に関する研究</b>                            |     |
| 福島県民の意識の把握 .....   | 139 |
| 「正確さとわかりやすさ」の実践と意義 .....                                 | 140 |
| 省エネ行動の促進に向けたモデルの検討 .....                                 | 141 |
| <b>脱炭素社会実現に向けた取組の効果検証</b>                                |     |
| いわき地域における将来の洪水による間接被害の動学推計.....                          | 142 |
| <b>引用・参考文献リスト</b>  | 143 |
| <b>参考資料</b>  | 148 |
| フェーズ1～フェーズ3における調査研究課題の変遷.....                            | 149 |
| 東日本大震災～令和5年度までの主な動き .....                                | 157 |

## はじめに

環境創造センターは、前例のない原子力災害からの環境の回復と創造に向か、「モニタリング」、「調査研究」、「情報収集・発信」及び「教育・研修・交流」を行う総合的な拠点として、平成27年10月に県が本館での業務を開始し、平成28年度にグランドオープンしました。

開所以来、福島県（以下「県」という。）と研究棟に入居する国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「JAEA」という。）及び国立研究開発法人国立環境研究所（以下「NIES」という。）の3者が連携して、「放射線計測」、「除染・廃棄物」、「環境動態」、「環境創造」の4分野で調査研究を推進してきました。

これらの調査研究の成果については、国や県、市町村の行政施策に反映されているほか、研究成果報告会やシンポジウム、研究者との対話イベントを実施するなど、県民の不安解消に資するよう、情報発信に取り組んできたところです。

また、展示や体験研修を通じて放射線や環境問題を学べる交流棟「コミュタン福島」においても、これまで県内の小中学生を中心に70万人を超える来館者をお迎えする中で、成果を分かりやすく発信してきました。

この「環境創造センター調査研究成果報告書」は、こうした環境創造センターにおける県、JAEA及びNIESの平成27年度～令和6年度の10年間の調査研究成果についてとりまとめたものです。

これらの調査研究を進めるにあたり、国や県内市町村、地域住民の方々等に多大なる御理解と御協力をいただきました。また、国際原子力機関（IAEA）や大学等の調査研究機関、ハイテクプラザ等の県試験研究機関からは、連携のもと、多くの御助言や御協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

一方、令和7年度から、環境動態研究の一部が福島国際研究教育機構（以下「F-REI」という。）に統合されることに伴い、県、JAEA、NIES及びF-REI（以下「4者」という。）による連携・協力協定を令和6年7月に締結しました。

これを受け、令和7年3月に新たに策定した「第2期環境創造センター中長期取組方針」では、これまでの成果を踏まえつつ、残された課題に対応していくため、研究部を「放射線計測・廃棄物」、「環境動態・生態系」、「環境創造」の3つの分野に再編したところであり、今後も、4者による新たな連携・協力体制の下、それぞれの強みを生かしつつ、県内外で活動する様々な機関とも連携しながら、「東日本大震災・原子力災害からの環境回復による安全・安心を踏まえた、美しい自然環境に包まれた持続可能な社会の創造」のための調査研究を着実に推進してまいりますので、皆様の御支援、御協力をよろしくお願ひいたします。

福島県環境創造センター所長 郡司 博道

## 環境創造センター調査研究事業 10年間のあゆみ

環境創造センターの調査研究事業では、10年間（2015年度～2024年度）の事業計画である「環境創造センター中長期取組方針」に基づき、「放射性物質に汚染された地域の環境回復・創造」と「県民が将来にわたり安心して暮らせる美しく豊かな環境の創造」に取り組んできました。調査研究の推進にあたり、「放射線計測」、「除染・廃棄物」、「環境動態」及び「環境創造」の4つの部門を設け、それぞれ部門長による運営・調整のもと取り組むとともに、環境創造センターの事業が前例のないものであることや環境の変化を考慮し、10年間をフェーズ1（2015年度～2018年度）、フェーズ2（2019年度～2021年度）、フェーズ3（2022年度～2024年度）の3つのフェーズに分けて、段階的な方針を策定し取り組んできました。

フェーズ1では、除染の推進、除去土壤及び放射性物質に汚染された廃棄物等の適正処理、放射性物質の環境動態解明等、県の環境回復に資する喫緊の課題への対応を優先しつつ、環境の創造に貢献する調査研究にも取り組みました。

フェーズ2では、帰還困難区域を除く地域の避難指示解除や計画に基づく面的除染の終了、第5次環境基本計画（2018年4月閣議決定）において、「地域循環共生圏」の創造を目指すことが打ち出される等の社会情勢の変化を背景に、放射性物質に汚染された環境の回復及び新たな環境の創造をより一層推進するため、環境動態や環境創造の部門に重きを置き調査研究に取り組みました。

フェーズ3では、ALPS処理水への対応、中間貯蔵施設における除去土壤等の管理・再生利用への取組や県外最終処分に向けた取組、「福島の復興に向けた未来志向の環境施策推進に関する連携協力協定」の締結、「福島県2050年カーボンニュートラル宣言」等の社会情勢の変化を背景に、短期的視点からより長期的視点に立って、次世代においても安心して快適に暮らせる環境づくりに向けて、未来志向の環境施策を進め、福島の復興・創生の礎となる研究課題に取り組みました。また、これらの研究を推進するため、調査研究分野の枠組みにとらわれない研究アプローチとして、部門間を横断したテーマも設定し、調査研究に取り組みました。

これらの調査研究を通して、環境放射線の測定及び分析技術の開発、被ばく線量等の評価手法・モデル開発、除染効果把握や効果的な除染手法の確立、廃棄物の安全な管理や減容化を含めた処理技術の開発、廃棄物等の再生利用技術やバイオマス利活用技術の確立、環境中及び野生動物への放射性物質の移行挙動の実態把握、移行モデルの高度化及び生態系への影響評価、環境創生モデルの設計手法開発、地球環境（気候変動等）・地域環境

（大気や水質保全等）・自然災害（震災や水害など）を重視した地方公共団体への情報提供及び地域特性の理解や社会実装を促す仕組みの提案等の成果が得られ、国や地方公共団体の行政施策に反映されたほか、県民の様々な不安解消に役立てられました。

個別の調査研究の概要については、成果要旨をご覧ください。

## 本成果報告書における用語について

本成果報告書では、以下の用語を使用します。また、一部のページにおいてはスペースの関係から短縮して表記します。

| 正式名称                           | 本成果報告書で使用する語（短縮する場合）       |
|--------------------------------|----------------------------|
| 東京電力ホールディングス株式会社<br>福島第一原子力発電所 | 東京電力福島第一原子力発電所<br>(福島第一原発) |
| 東京電力ホールディングス株式会社<br>福島第二原子力発電所 | 東京電力福島第二原子力発電所<br>(福島第二原発) |
| 東京電力福島第一原子力発電所事故               | 東日本大震災における原発事故（原発事故）       |

なお、本成果報告書内において、元素名や核種名、分子名、イオン名、化合物名等は基本的に日本語表記としますが、一部のページにおいてはスペースの関係から、元素記号や化学式を使用して表記します。

| 元素等名称    | 元素記号・化学式          | 元素等名称      | 元素記号・化学式                       |
|----------|-------------------|------------|--------------------------------|
| セシウム     | Cs                | ケイ素        | Si                             |
| セシウム 134 | <sup>134</sup> Cs | ストロンチウム    | Sr                             |
| セシウム 137 | <sup>137</sup> Cs | モリブデン      | Mo                             |
| 放射性セシウム  | RCs・rCs 等         | バリウム       | Ba                             |
| ナトリウム    | Na                | マグネシウムイオン  | Mg <sup>2+</sup>               |
| マグネシウム   | Mg                | アンモニウムイオン  | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   |
| 硫黄       | S                 | フッ化物イオン    | F <sup>-</sup>                 |
| 塩素       | Cl                | 塩化物イオン     | Cl <sup>-</sup>                |
| カリウム     | K                 | 臭化物イオン     | Br <sup>-</sup>                |
| カルシウム    | Ca                | 炭酸水素イオン    | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  |
| スカンジウム   | Sc                | 亜硝酸イオン     | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   |
| バナジウム    | V                 | 硝酸イオン      | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   |
| クロム      | Cr                | 硫酸イオン      | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>  |
| マンガン     | Mn                | リン酸イオン     | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>  |
| 鉄        | Fe                | 二酸化ケイ素     | SiO <sub>2</sub>               |
| コバルト     | Co                | 酸化鉄 (III)  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| ニッケル     | Ni                | 酸化アルミニウム   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 銅        | Cu                | 酸化カリウム     | K <sub>2</sub> O               |
| 亜鉛       | Zn                | 酸化カルシウム    | CaO                            |
| セレン      | Se                | 酸化マグネシウム   | MgO                            |
| ルビジウム    | Rb                | 酸化マンガン     | MnO                            |
| ゲルマニウム   | Ge                | 酸化チタン (IV) | TiO <sub>2</sub>               |

※代表的なもののみ記載しております。

# 要旨の見方



成果要旨

【放射線計測部門】

## 歩行サーベイを用いたモニタリングポスト周辺の空間線量率測定

福島県

## 1 はじめに

福島県では東京電力福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所から概ね 30 km までの範囲内において、モニタリングポストによる空間線量率の連続測定を実施している。測定値が大きく変動した場合は必要に応じて原因調査を実施するが、変動の前後で空間線量率の面的な分布を比較することが原因調査のために有益であると考えられることから、モニタリングポスト周辺の空間線量率分布を把握するため、歩行サーベイを用いて測定を実施した。

## 2 方法

歩行サーベイ機器にはバックパック型 KURAMA (Kyoto University RAdiation MAppling system) - II<sup>[1]</sup>を利用した。検出器には浜松ホトニクス製 C12137-4034 (C12137-01 の高計数率対応型) を用いた。測定時間間隔は 1 秒とした。

歩行範囲はモニタリングポスト周辺の半径 100 m 以内を目安としたが、建築物による遮へいなどにより、地表から放出されるガンマ線がモニタリングポストまで到達しないと考えられる場所は除いた。

測定は 2022 年 12 月 8 日から 12 月 21 日にかけて実施した。

## 3 結果と考察

モニタリングポスト 39 局のうち、EPZ 局（発電所から概ね半径 10 km 以内）の 23 局において測定を計画したが、うち 2 局では周囲の交通状況等を踏まえて測定を実施しなかったため、21 局の空間線量率測定結果を得た。測定結果は空間線量率の値に応じて色分けした後に Google Earth の衛星写真と重ね合わせ、マップ化した。図 1 は 4 局の測定結果を抜粋したものである。

地点によってはモニタリングポストの半径 100 m 以内で空間線量率が不均一に分布しているケースも確認され、発電所監視の視点でも面的な空間線量率分布の把握が有益であると考えられた。

## 引用文献

- [1] Tanigaki M. et al.: Development of KURAMA-II and its operation in Fukushima. Nucl. Instrum. Methods Phys., A 781, 57-64 (2015).

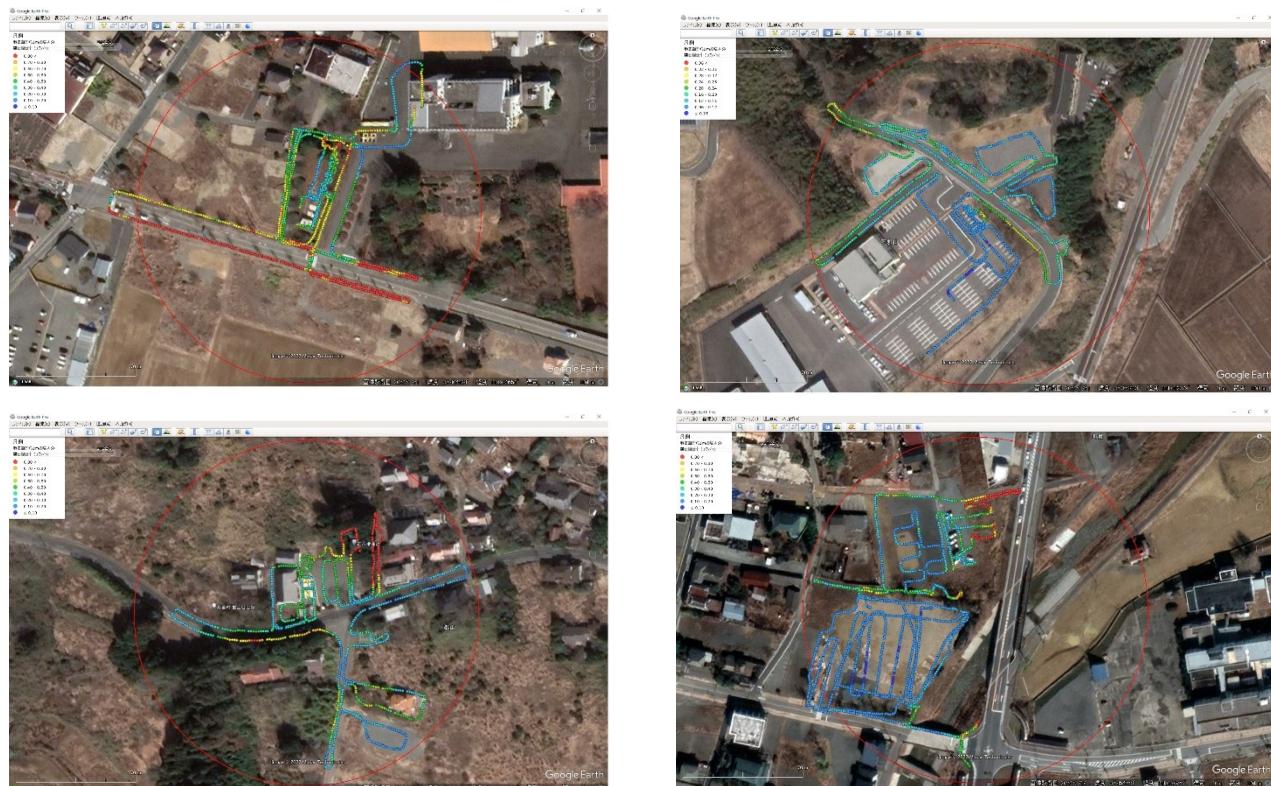


図 1 モニタリングポスト周辺の空間線量率マップの例

## 歩行サーベイを用いた空間線量率分布の詳細調査

福島県

## 1 はじめに

本県では、東日本大震災における原発事故発生後、県内全域の空間線量率の分布を把握するため、県内全域を2 km四方に区画した「福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査」を継続的に実施している。さらに、周辺の調査地点と比較して空間線量率が高い地点や線量の低下が緩やかな地点などが見られていることから、より詳細に状況を把握し、住民の安心・安全の確保につなげることを目的として、該当地点を中心とする1 km四方を更に100 m四方に区画し、区画内の1点をサーベイメータで測定することにより「福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査（詳細調査）」<sup>[1]</sup>（以下「メッシュ詳細調査」という。）を実施している。

メッシュ詳細調査の結果において、1 km四方の中でも空間線量率の範囲が広い（2023年度：0.2～1.1  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）地点が存在していたことから、当該地点における空間線量率を更に詳細に調査することを目的として、空間線量率の経時変化解析及び歩行サーベイによる空間線量率の測定を実施した。

## 2 方法

当該地点における2018～2023年度のメッシュ詳細調査結果を用いて、100 m四方ごとに実効半減期を算出した。バックグラウンド空間線量率を減算し、空間線量率を自然対数に変換した後、x軸を測定日、y軸を空間線量率としたときの回帰直線の傾きから実効半減期を算出した。

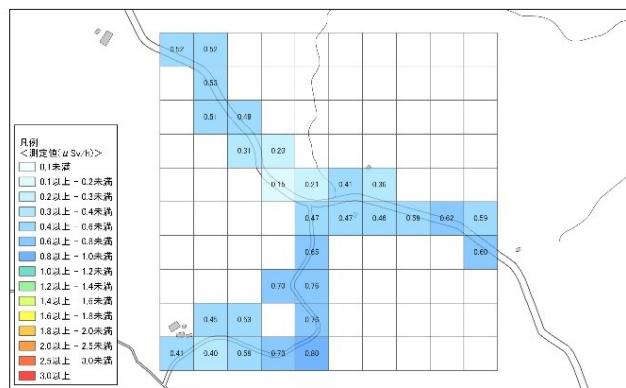


図1 100m四方ごとの空間線量率の平均値

2024年11月22日に、歩行サーベイ機器 KURAMA (Kyoto University RAdiation MAPPING system) - IIを2機用いて当該地点の道路端を往復で歩行し、道路両端の空間線量率を測定した。測定時間間隔は1秒間とした。

測定値はメッシュ詳細調査と同じメッシュ枠内で平均値、最小値及び最大値を算出し、メッシュ詳細調査と同じ配色でマップ化した。さらに、データ数が30以上のメッシュについては変動係数を算出し、マップ化した。

## 3 結果と考察

100m四方ごとの実効半減期は2.5年から25.1年の範囲であった。マップ化した歩行サーベイの結果（図1～2）から、1 km四方における空間線量率の分布状況及び100 m四方の領域内における空間線量率のばらつきの大きさが明らかとなった。メッシュ詳細調査においては、わずかな測定位置のずれによっても調査結果が大きく変動する可能性があると考えられた。

## 引用文献

- [1] ふくしま復興情報ポータルサイト「環境放射線モニタリング・メッシュ調査（詳細調査）結果情報」福島県,  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/p-s-monitoring-mesh-syousai.html>, (参照 2025-9-11).

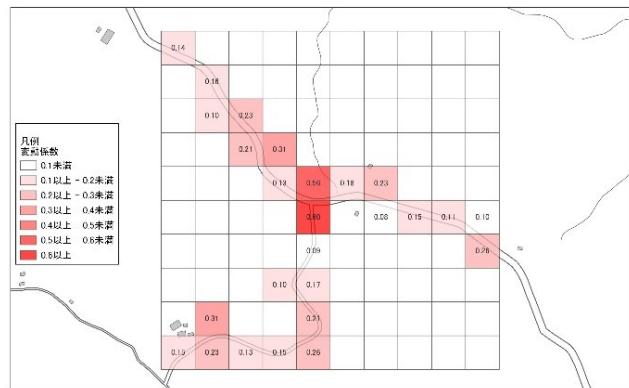


図2 100m四方ごとの空間線量率の変動係数

## トリチウム迅速分析法の検討

福島県

## 1 はじめに

令和3年、政府がALPS処理水の海洋放出の方針を決定し、令和5年8月24日から放出が開始され、県でもモニタリング体制を強化しながら監視を行っている。体制の強化に当たり、海水のトリチウム濃度を速やかに確認・公表することが重要であることから、従来よりも迅速なトリチウム分析法について検討を実施した。

## 2 方法

海水中トリチウムの分析工程は、まず採取した試料を精製等する前処理を行い、処理した試料と液体シンチレータを規定の割合で混合し、一定時間静置、その後、液体シンチレーションカウンタによって規定時間の測定を実施する、という流れである。従来の各条件を表1に示す。

従来法からの迅速化に向けて、分析工程において時間を要する「静置時間」及び「測定時間」の短縮を検討した。なお、本稿では誌面の都合上、「静置時間」の検討結果のみ示す。

また、試料量が減少すれば、前処理時間を短縮できる可能性もあるため、試料：液体シンチレータの混合比について、50 mL : 50 mL と 10 mL : 90 mL の2条件について比較した。

表1 従来のトリチウム分析条件

| 項目              | 条件等                                       |
|-----------------|---|
| 前処理法            | 減圧蒸留                                      |
| 測定容器            | 100 mL テフロンバイアル                           |
| 液体シンチレータ        | Ultima Gold LLT (Revvity)                 |
| 試料：液体シンチレータの混合比 | 50 mL : 50 mL                             |
| 静置時間            | 1週間                                       |
| トリチウム濃度測定方法     | 液体シンチレーションカウンタ (LSC-LB7, ALOKA) によるベータ線測定 |
| 測定時間            | 500分/試料 (50分×17回測定を行い、内10回分を濃度計算に使用)      |
| 検出限界値           | 0.4 Bq/L 程度                               |

## 3 結果と考察

試料と液体シンチレータの混合直後は疑似発光によりカウントが高くなるため、測定前には十分な静置時間が必要とされている。そこで、トリチウムをほとんど含まない水試料（以下「BG水」という）と液体シンチレータを混合し、15分間蛍光灯照射後、10分測定を24時間程度継続して行い、カウントの傾向を確認した。

結果を図1に示す。いずれの混合比においても、混合直後は高いカウントを計測するが、5～6時間程度経過するとカウントが安定することを確認した。これは国による検討結果<sup>[1]</sup>とも一致している。

## 4 成果の活用

得られた知見は、モニタリング事業関係者に情報提供し、ALPS処理水放出後の海域モニタリングに活用されている。

## 引用文献

- [1] ALPS処理水に係る海域モニタリング専門家会議（第6回） 資料3（別紙1）「トリチウム分析法の分析時間と検出下限値について」,  
<https://www.env.go.jp/content/000094125.pdf>,  
 (参照 2025-9-11).

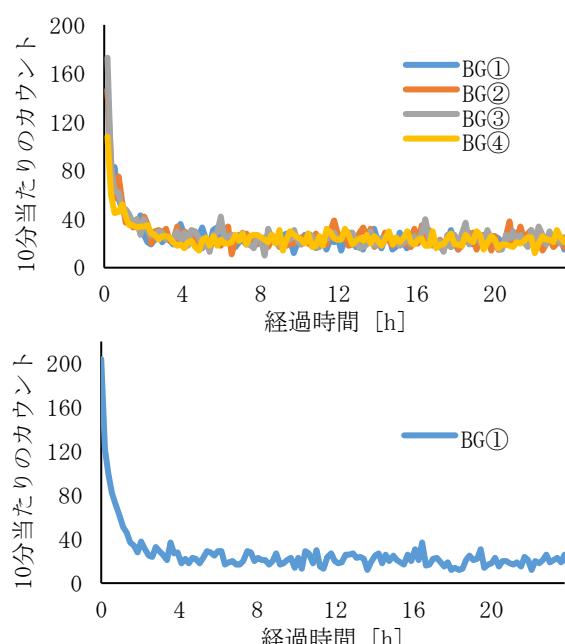


図1 BG水 24時間カウント

上 試料：液体シンチレータ=50 mL : 50 mL  
 下 試料：液体シンチレータ=10 mL : 90 mL

## 電解濃縮装置を用いた海水の極低濃度トリチウム分析

福島県・JAEA

## 1 はじめに

福島県環境創造センター研究部では、電解濃縮装置を使用した低濃度トリチウム分析の検討を実施しており、検出限界値を0.03～0.06 Bq/L程度まで低下させることができた<sup>[1]</sup>が、不検出となる環境試料もある。本研究では、トリチウムの環境動態解明に資するため、極低濃度トリチウムの分析条件の検討を目的とする。

## 2 方法

I 令和4年12月に福島県沿岸域4地点で採取した海水試料について、電解濃縮装置を用いて、供試料量(1,000 mL or 2,000 mL)及び測定時間(500分/試料 or 2,000分/試料)毎に4パターンの条件でトリチウム濃度分析を行うとともに、検出限界値を評価した。

II Iの結果を踏まえ、令和5年12月に同4地点で採取した海水試料の分析を行った。

## 3 結果と考察

Iの結果を表1に示す。過去報告された条件(パターン①)では4試料中2試料で不検出となったが、供試料量増加、測定時間延長及びその両方を行った3パターンの条件では全ての海水試料でトリチウムの検出に成功した。

各パターンにおける作業時間を図1に示す。なお、

表1 各測定条件パターンにおけるトリチウム濃度及び検出限界値(単位:Bq/L)

| 測定条件 | パターン①<br>1,000 mL 500分 |                  | パターン②<br>1,000 mL 2,000分 |    |                  |       |
|------|------------------------|------------------|--------------------------|----|------------------|-------|
|      | 項目                     | <sup>3</sup> H濃度 | 検出限界値                    | 項目 | <sup>3</sup> H濃度 | 検出限界値 |
| 地点A  | 0.063±0.013            | 0.039            | 0.061±0.006              |    | 0.019            |       |
| 地点B  | 0.065±0.013            | 0.040            | 0.060±0.007              |    | 0.020            |       |
| 地点C  | N. D.                  | 0.040            | 0.053±0.007              |    | 0.020            |       |
| 地点D  | N. D.                  | 0.039            | 0.039±0.007              |    | 0.020            |       |
| 測定条件 | パターン③<br>2,000 mL 500分 |                  | パターン④<br>2,000 mL 2,000分 |    |                  |       |
|      | 項目                     | <sup>3</sup> H濃度 | 検出限界値                    | 項目 | <sup>3</sup> H濃度 | 検出限界値 |
| 地点A  | 0.067±0.010            | 0.029            | 0.057±0.005              |    | 0.014            |       |
| 地点B  | 0.050±0.007            | 0.022            | 0.048±0.004              |    | 0.011            |       |
| 地点C  | 0.039±0.011            | 0.034            | 0.038±0.006              |    | 0.017            |       |
| 地点D  | 0.039±0.007            | 0.021            | 0.051±0.004              |    | 0.011            |       |

作業時間の想定に当たり、減圧蒸留はロータリーエバポレータ2台で1回当たり1,000 mL蒸留、測定は11サンプル(BG 1サンプル+試料10サンプル)とした。電解濃縮及び測定に要する時間が、電解濃縮法によるトリチウム分析全体の時間への寄与が大きいことがわかる。

この結果を踏まえ、パターン①及び②の条件でIIを行ったところ、パターン①では4試料中2試料で不検出となったが、パターン②では全ての海水試料で検出に成功した。

電解濃縮法において、供試料量と測定時間はトリチウム分析の検出限界値に影響するパラメータであり、適切に設定することで環境試料中のトリチウムを検出できるようになる。一方で、検出限界値を低く設定するほど分析に要する時間は長くなるため、調査等の目的に応じて、適切な分析条件を選択することが重要である。

## 引用文献

- [1]井上 広海:電解濃縮装置を使用した海水のトリチウム分析. 令和4年度環境創造センター成果報告会 口頭発表 放射線計測部門,  
<https://www.fukushima-kankyoosozu.jp/2022seikahoukoku/>, (参照 2025-9-11).

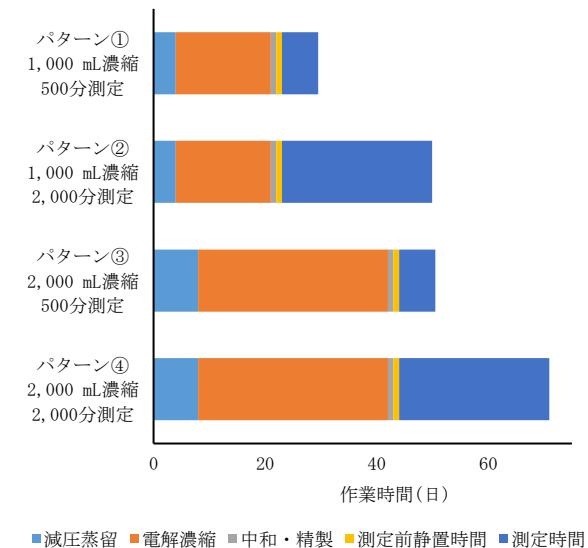


図1 各測定条件パターンと作業時間(日)の関係

## 有機結合型トリチウムの分析

福島県

## 1 はじめに

トリチウムのうち、有機物に取り込まれたものを有機結合型トリチウム (Organically Bound Tritium、以下「OBT」という。) と呼ぶ。OBT は生物の体を構成する有機物に取り込まれていることから、生物への影響を評価する際に重要であると考えられている一方、分析が難しく、手間と時間がかかるため、実施機関は非常に少ない<sup>[1]</sup>。

福島県環境創造センター研究部では、公益財団法人環境科学技術研究所（以下「環境研」という。）から助言を受けながら、OBT 分析について、精度確認を行うと共に環境試料の分析を実施した。

## 2 方法

I 2021年12月に福島県沖で捕獲された魚試料(ヒラメ)を凍結乾燥させ、粉碎処理した。環境研において、粉碎処理した試料にトリチウム水（以下「添加 T 水」という。）によるトリチウム添加処理を実施し、その後再度乾燥させ、添加したトリチウム水を回収した（以下「回収 T 水」という。）。なお、添加 T 水は、Cambridge Isotope Laboratories 社製重水 (Deuterium oxide, D2O; DLM-4) 中のトリチウムを水で希釈後、液体シンチレーションカウンタで定量したものである。当センターにおいて、再乾燥させた試料を燃焼法により処理し、燃焼水を回収した。添加 T 水、燃焼水、回収 T 水を蒸留し、トリチウム濃度を測定した。また、測定結果からそれぞれのトリチウム量を算出した。

II 2024 年 9 月に大熊町及び双葉町で採取した松葉を凍結乾燥・粉碎後、燃焼法により処理し、燃焼水を回収した。凍結乾燥時に回収した組織自由水及び燃焼水のトリチウム濃度を測定した。

## 3 結果と考察

I の結果を表 1 及び表 2 に示す。添加 T 水量と、回収 T 水量、及び燃焼水中トリチウム量の収支を評価すると、一連の操作を通して概ね 84 %～90 %程度のトリチウムを回収した結果となることから、本分析結果が妥当なものであることを確認した。

表 1 各試料のトリチウム濃度(単位 : Bq/L)

|       | 添加 T 水    | 燃焼水      | 回収 T 水   |
|-------|-----------|----------|----------|
| Lot 1 |           | 20.3±2.3 | 86.9±3.9 |
| Lot 2 | 109.1±1.5 | 17.8±3.5 | 85.2±3.4 |
| Lot 3 |           | 16.8±2.7 | 81.4±3.4 |

※数値は、測定値±計数誤差 (1 σ)

表 2 各試料のトリチウム量(単位 : Bq)

|       | 添加 T 水    | 燃焼水       | 回収 T 水    |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| Lot 1 | 0.65±0.01 | 0.07±0.01 | 0.52±0.02 |
| Lot 2 | 0.66±0.01 | 0.06±0.01 | 0.51±0.02 |
| Lot 3 | 0.66±0.01 | 0.07±0.01 | 0.49±0.02 |

※数値は、測定値±計数誤差 (1 σ)

II の結果を表 3 に示す。今回採取した 2 地点の松葉において、組織自由水中トリチウム (Tissue Free Water Tritium、以下「TFWT」という。) と燃焼水中の OBT を検出できた。また、各試料における TFWT と燃焼水中の OBT の濃度に大きな差異は確認されなかった。

なお、2004 年度に実施した環境試料中のトリチウム調査において、県内 8 カ所（大熊町及び双葉町を含むが採取地点は異なる）で採取した松葉の TFWT 濃度は 0.36～1.24 Bq/L<sup>[2]</sup> であり、今回の結果はその範囲内に収まっていた。

表 3 大熊町及び双葉町の松葉中のトリチウム濃度

|     | TFWT<br>[Bq/L] | 燃焼水中 OBT<br>[Bq/L・燃焼水] |
|-----|----------------|------------------------|
| 大熊町 | 1.05±0.14      | 1.03±0.23              |
| 双葉町 | 0.55±0.14      | 0.72±0.14              |

※数値は、測定値±計数誤差 (1 σ)

## 4 まとめ

トリチウムを人為的に添加した魚試料を用いて燃焼法による OBT 分析を実施し、当センターにおける分析結果の妥当性を確認した。これにより、一定の精度が担保されたものと考えられる。

また、福島県内で採取した松葉を対象に同様の分析を実施し、環境試料からも OBT を検出することができた。

## 引用文献

[1] 福島県：放射性核種の簡易・迅速な分析法の検討に関する福島県と IAEA との間の協力プロジェクト 最終報告書 (2016 年 10 月～2021 年 3 月)【福島県提案プロジェクト】，p. 8 (2022) .

[2] 福島県原子力センター：平成 16 年度 環境試料中のトリチウム調査報告書，pp. 20-23 (2005) .

## 災害廃棄物仮置場における空間線量率のシミュレーション計算

福島県・JAEA

## 1 はじめに

令和元年10月6日に発生した台風第19号等により、福島県全体で約35万トンの災害廃棄物が発生した<sup>[1]</sup>。大量の災害廃棄物が発生し、県内の処理施設だけでは目標期間内に処理が完了しない見込みである場合、県は県外の自治体が有する一般廃棄物処理施設等での処理について調整を行う<sup>[2]</sup>。その際、県及び処理を委託する市町村は、仮置場における空間線量率及び搬出する災害廃棄物の放射性物質濃度等の測定を行うこととされている<sup>[2]</sup>が、大量の廃棄物のセシウム137濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定するには多くの時間と手間を要する。そこで、仮置場で測定した空間線量率から廃棄物のセシウム137濃度を推定することが可能か、モンテカルロ放射線輸送コード PHITS<sup>[3]</sup>(Ver. 3.34)を用いて検討した。

## 2 方法

PHITSを用いて廃棄物をモデル化し、廃棄物中のセシウム137濃度と廃棄物由来の空間線量率の関係を調べた。測定位置を図1のように廃棄物の山の外側で高さ1mとした場合と、廃棄物の内部にサーベイメータの検出器を入れて測定する場合を比較した。いずれの計算でも廃棄物のセシウム137濃度は100Bq/kgとした。廃棄物の内部で測定する場合は、厚さ2mm塩化ビニル管で検出器を保護した状態をモデル化し、検出器を取り囲む廃棄物の厚さと廃棄物の密度が空間線量率に及ぼす影響を計算した。



図1 廃棄物外側における測定のイメージ

## 3 結果と考察

PHITSによる計算の結果、廃棄物の外側で測定する場合は、100Bq/kgのセシウム137濃度に対応す

る空間線量率は0.01 $\mu$ Sv/h未満であった(図2)。廃棄物の内部で測定すると、廃棄物表面からの深さに伴い空間線量率は上昇し、密度が0.5g/cm<sup>3</sup>の場合は150cm内側で約0.04 $\mu$ Sv/hになり、それ以上内側に入れても空間線量率はほとんど変化しなかった(図3)。廃棄物のセシウム137濃度が100Bq/kgを超えているかどうかスクリーニングする場合は、廃棄物の外側で測定する手法では判定が非常に困難であるが、廃棄物の内部で測定する手法を用いれば判定できる可能性があることが示唆された。

## 引用文献

- [1] 「令和元年東日本台風等に係る災害廃棄物処理の終了について」福島県一般廃棄物課,  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/494667.pdf>, (参照2025-9-11).
- [2] 福島県:「福島県災害廃棄物処理計画」, (2021).
- [3] T. Sato et al. ; Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System - PHITS version 3.33. J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135 (2024).

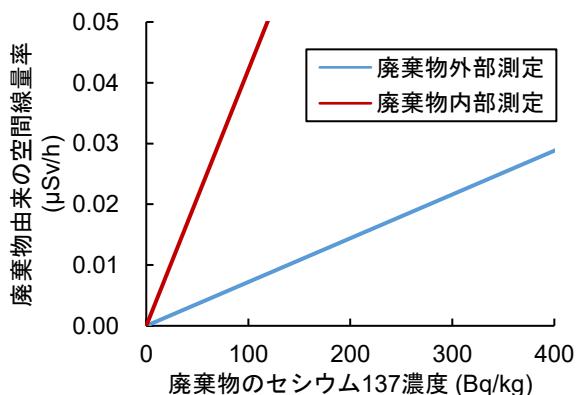


図2 空間線量率のシミュレーション計算結果

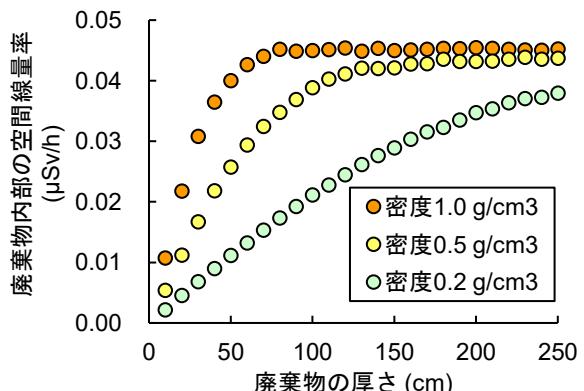


図3 廃棄物内部測定のシミュレーション計算結果

# 歩行サーベイを用いた簡易的な手法による

## バックグラウンド空間線量率の評価

福島県

### 1はじめに

東日本大震災における原発事故後長期間が経過し、福島県内の空間線量率は減少してきている。原発事故による追加被ばく線量評価や空間線量率の将来予測のためには、測定地点ごとに自然放射性核種由来の空間線量率（バックグラウンド空間線量率）と人工放射性核種由来の空間線量率を分けて評価することが重要である。そのため、歩行サーベイ機器を活用して、任意の地点におけるバックグラウンド空間線量率を推定する手法について検討した。

### 2方法

安藤らの報告<sup>[1][2]</sup>を参考にして、歩行サーベイ機器 KURAMA (Kyoto University RADiation MAPPING system)-IIを用いてバックグラウンド評価式を決定した。測定地点は、原発事故由来の放射性セシウムの影響が少ない西日本の10か所を選定した。福島県南部の公園A及び公園Bにおいて決定した評価式を用いてバックグラウンド空間線量率を評価し、それを超えた分を人工放射性核種由来の空間線量率と評価した。

### 3結果と考察

決定したバックグラウンド評価式を図1に示す。ガンマ線エネルギーが1,400~2,000 keVの範囲に

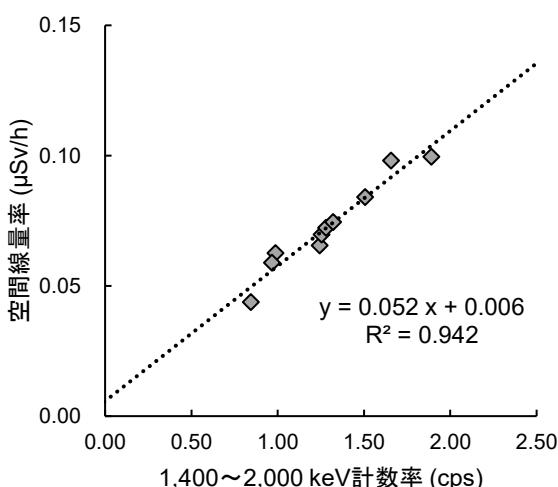


図1 バックグラウンド評価式

おける計数率と空間線量率の関係はよい直線性を示していたことから、評価式を  $y = 0.052 x + 0.006$  と決定した。安藤ら<sup>[1]</sup>が報告している関係式 ( $y = 0.062x$ ) と比較すると、本研究で求めた関係式は係数が小さくなつたが、測定方法の違い（安藤らのデータは自動車走行サーベイによる）等が影響していると考えられた。福島県内のバックグラウンド空間線量率評価結果を図2に示す。バックグラウンド空間線量率は公園Aのほうが高く、人工放射性核種の空間線量率は同程度と評価された。このことから、対象地点間において、空間線量率の差が生じている主な原因は、放射性セシウムなどの人工放射性核種ではなく、地質の違いによる自然放射性核種の濃度差であると考えられた。

### 引用文献

- [1] 安藤真樹, ほか: KURAMA-II を用いた走行サーベイ測定による東日本での天然放射性核種の空間線量率評価. 日本原子力学会和文論文誌, 16, 2, 63-80 (2017).
- [2] 安藤真樹, ほか: C12137-01型 CsI (Tl) 検出器を搭載した KURAMA-II によるバックグラウンド測定のための評価式の決定. 日本原子力学会和文論文誌, 20, 1, 34-39 (2021).

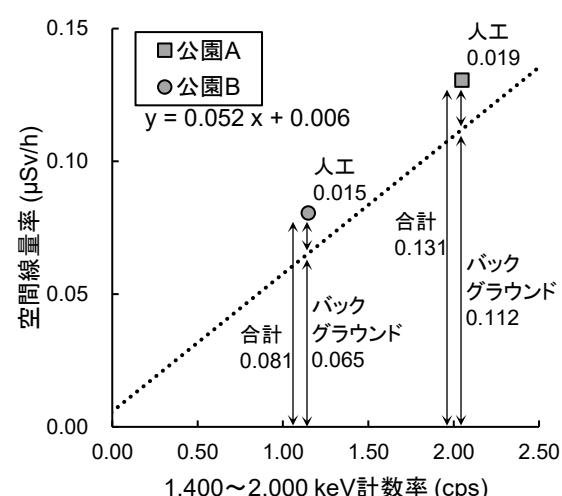


図2 バックグラウンド空間線量率評価結果

## ベータ線簡易測定装置の製作

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により放出された核種のうち、ストロンチウム 90 のような純ベータ核種は、ベータ線しか放出しないために測定が難しい。そこで、ストロンチウム 90 等の純ベータ核種の簡易・迅速な測定を目的とし、比較的安価に製作可能なプラスチックシンチレータを利用した純ベータ線放出核種の簡易測定装置の製作を試みた。

## 2 方法

水試料と顆粒状のプラスチックシンチレータ（ルミネード、東京インキ）<sup>[1]</sup>をガラスセルに詰め、ガラスセルの両側を 2 本の光電子増倍管で挟むことにより、同時計数回路による測定を実施した（図 1）。濃度の異なるストロンチウム 90 溶液及びカリウム 40 溶液を本装置で測定し、溶液の放射能濃度と本装置で得られる計数率を比較した。

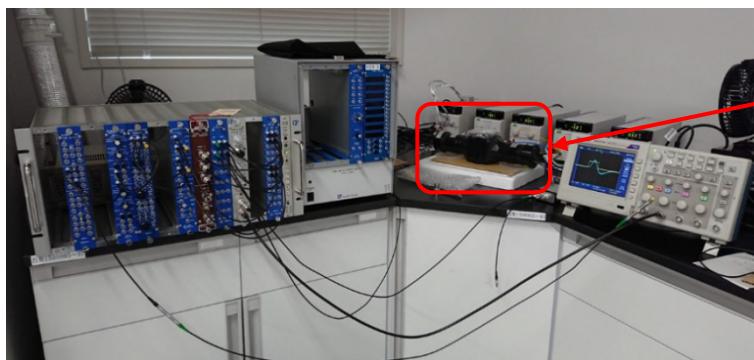


図 1 作成したベータ線簡易測定装置の外観



20 mm 厚の板状のプラスチックシンチレータを光電子増倍管ではさんだもの

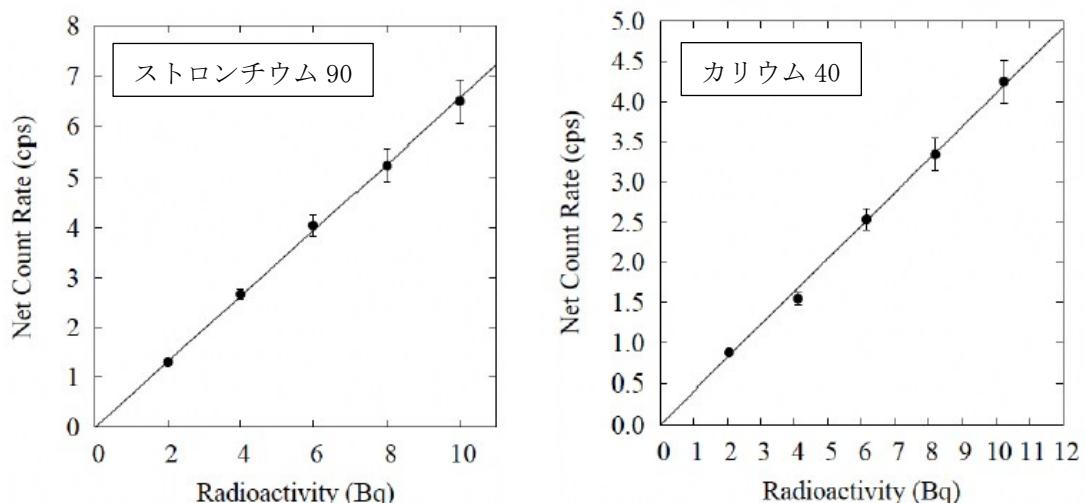


図 2 放射能濃度と計数率の関係

## 3 結果と考察

横軸に実験日における放射能 (Bq)、縦軸に正味計数率 (cps) をプロットした検量線を図 2 に示す。図中のエラーバーはカウント数の統計誤差 ( $1\sigma$ ) である。どちらの核種においても、直線性の良い検量線を作成できることが確認された。実験において検出を確認した最も低いストロンチウム 90 の放射能は 2 Bq であり、このときの測定試料量 9.5 mL から計算すると、ストロンチウム 90 濃度は約 210 Bq/L (2 Bq/0.0095 L) であった。測定時間はバックグラウンド計測を含めて 1 日程度であった。環境試料への適用は難しいが、迅速な測定が必要な場面では本装置を活用できる可能性がある。

## 引用文献

- [1] 古田 悅子:  $\beta$  線測定用蛍光素材の開発, Isotope news 2018 年 2 月号 No. 755, 30-33.

## 環境試料中の長半減期核種検出に向けた ICP-MS 法の高度化

JAEA

## 1 はじめに

$^{129}\text{I}$  (半減期 1570 万年) や  $^{99}\text{Tc}$  (半減期 21 万年) は、環境中での高い移動度や特定の海藻への蓄積などの性質を有し、原子力施設から放出された放射性同位体の移行・分布を把握するためのトレーサー核種として利用されている。長半減期核種は放射線計測よりも質量分析が高感度に計測可能だが、煩雑な前処理や大型装置が必要などの課題を抱え、迅速なデータ提供が困難であった。本研究では、国内外の多くの機関が保有する誘導結合プラズマ質量分析装置（以下「ICP-MS」という。）を用いて  $^{99}\text{Tc}$  及び  $^{129}\text{I}$  の迅速かつ合理的な分析法の開発を行った。

## 2 方法

質量分析では、分析対象と同じ質量数を持つ物質（以下「同重体」という。）が計測を妨害することにより、煩雑な前処理や適用範囲の制限の原因となっていた。ICP-MS は装置内でのコリジョン・リアクションセル（以下「CRC」）による気相反応や前処理装置などの運動などといった高い拡張性を有するため、それらを利用した分析技術を検討した。

$^{129}\text{I}$  分析では、同重体の  $^{129}\text{Xe}^+$  と  $^{127}\text{I}\text{H}_2^+$  の干渉に対し、複数のガス種を CRC に導入して  $^{129}\text{I}$  と干渉物質との分離を試みた。 $^{99}\text{Tc}$  分析では、同重体の  $^{98}\text{MoH}^+$  と  $^{99}\text{Ru}^+$  を分離するため、Tc に選択性を有する樹脂を用いた固相抽出（以下「SPE」という。）と CRC での  $\text{O}_2$  酸化反応による多段分離型の ICP-MS 法を構築した。

## 3 結果と考察

$^{129}\text{I}$  分析では、CRC 内に  $\text{O}_2+\text{CO}_2$  の混合ガスを導入し、 $^{129}\text{Xe}$  を  $\text{O}_2$  の電荷移動反応、 $\text{IH}_2^+$  を  $\text{CO}_2$  コリジョンによって除去する技術を開発した（図 1）<sup>[1]</sup>。本法により、質量数 129 のバックグラウンドを初期値

の  $2.8 \times 10^{-4}$  まで低減した。本法は、従来よりも 1 枠低い  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  比 ( $4.6 \times 10^{-10} \pm 3.3 \times 10^{-10}$ ) を実現し、実際の  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  比を模擬した雨水試料 (10 mBq/L  $^{129}\text{I}$  および 100 mg/L  $^{127}\text{I}$  を添加) を測定したところ、 $9.8 \pm 0.9$  mBq/L の良好な値を得た。本法により、従来分析が困難であった雨水中の  $^{129}\text{I}$  分析へと ICP-MS の適用範囲を拡張した。

$^{99}\text{Tc}$  分析では、環境中における  $^{99}\text{Tc}/\text{Ru}$  および  $^{99}\text{Tc}/\text{Mo}$  の存在比は、最大で  $3.1 \times 10^{-2}$  および  $3.4 \times 10^{-9}$  と干渉物質が過剰に含まれるため、これを満足する分離率が必要であった。SPE (Triskem 社製 TK201 resin) での  $^{99}\text{Tc}/\text{Ru}$  および  $^{99}\text{Tc}/\text{Mo}$  の分離率は、 $2.2 \times 10^{-4}$  および  $2.9 \times 10^{-4}$  であり、 $^{99}\text{Tc}/\text{Mo}$  の分離率が不足していた。そこで、CRC 内での  $\text{O}_2$  リアクションにより、 $\text{Mo}(\text{Mo}^+ \text{ および } \text{MoH}^+)$  を酸化体  $\text{MoO}_2^+$  として質量分離する技術を開発した。最終的に固相抽出操作を自動化して ICP-MS へと連動させた自動分析システムを構築し、IAEA の海水標準に含まれる  $^{99}\text{Tc}$  (報告値: 8.0-12.5 mBq) を測定し、 $10.00 \pm 0.48$  mBq の良好な値を得た (分析時間 24 分)<sup>[2]</sup>。

## 引用文献

- [1] M. Matsueda et al.: Mass - spectrometric determination of iodine - 129 using  $\text{O}_2\text{-CO}_2$  mixed - gas reaction in inductively coupled plasma tandem quadrupole mass spectrometry. ACS Omega, 6, 19281-19290 (2021).
- [2] M. Matsueda et al.: Online Solid-Phase Extraction-Inductively Coupled Plasma-Quadrupole Mass Spectrometry with Oxygen Dynamic Reaction for Quantification of Technetium-99. Anal. Sci., 38, 1371-1376 (2022).

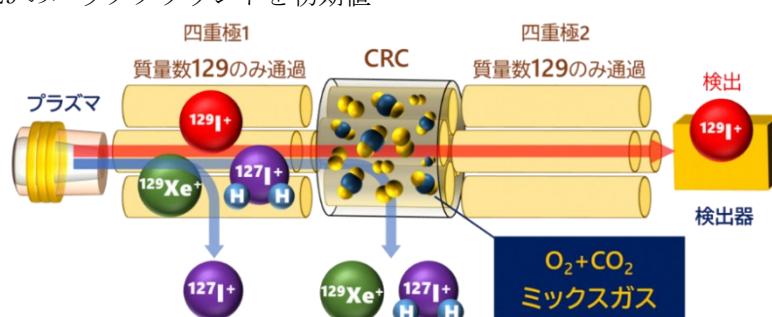


図 1 開発した ICP-MS による  $^{129}\text{I}$  分析法の概念図  
(CRC 内での  $\text{O}_2+\text{CO}_2$  混合ガスによる干渉物質の除去と  $^{129}\text{I}$  の検出)

## 燃焼セルを用いた OBT 迅速分析法の開発

## 1 はじめに

生体組織内に存在するトリチウムは、組織内自由水（以下「TFWT」という。）と有機結合型トリチウム（以下「OBT」という。）の状態で存在する。TFWT と OBT の生物学的半減期はそれぞれ 7～18 日と 40 日～1 年と見積もられており、それぞれの形態の判別と定量が求められている。特に OBT は実効線量係数が TFWT よりも高く測定のニーズが高いが、OBT の定量は凍結乾燥や燃焼を含む多段階での前処理工程が必要である。公定法での OBT 分析の場合<sup>[1]</sup>、前処理に数ヶ月の期間が必要であるため、迅速な分析が困難であった。そこで我々は、凍結乾燥工程の短縮化や燃焼工程に迅速燃焼装置を採用することで、OBT 分析に要する時間の短縮化を検討した。

## 2 方法

OBT の測定対象は、福島県沖で採取したヒラメの筋肉を用いた。試料の凍結乾燥は、EYELA 社製 FDU-2110 を用いた。凍結乾燥時の設定温度は-80°C とした。迅速燃焼装置は、Parr 社製 Model 11121 を使用した。凍結乾燥したヒラメ 10 g を燃焼し、冷却トラップにより燃焼水を回収した。回収水は還流、蒸留後に吸光度測定により、ベータ線測定に影響しない有機物量であることを確認した。蒸留後の水 10 mL と液体シンチレーター（パーキンエルマー社製 ultima Gold  $\mu$  LLT）10 mL を 20 mL 低拡散ポリエチレンバイアルに加え、攪拌、静置したものをベータ線測定に用いた。ベータ線測定は、液体シンチレーションカウンタ（ALOKA 社製 LB-7）により行った。

## 3 結果と考察

## ・凍結乾燥工程の短縮

公定法は、約 3 kg のヒラメ筋肉の凍結乾燥に 2 ヶ月以上必要であるため、この工程の短縮を試みた。まず、迅速燃焼装置を用いることで、ヒラメ筋肉の乾燥前重量は最大 200 g に供試量を絞られ、凍結乾

燥に必要な時間を減らすことができた。また、凍結乾燥工程では試料の重量確認の際の装置の大気開放と再度の真空引きにより作業効率が低かった。そこで、大型の凍結乾燥セルを用い、セル内が真空状態でも電子天秤による秤量が可能な設定とした。試料量の削減と秤量時の作業効率化により、約 2 日間で凍結乾燥を完了することができた。

## ・迅速燃焼装置による燃焼工程の短縮・簡素化

公定法における燃焼管を用いた手法では、燃焼工程は 3 日程度であり、燃焼管の冷却やガスの排出が律速となっている。金属製の迅速燃焼装置はガラス燃焼管よりも速やかに冷却されるため、ガスの排出工程の迅速化が可能であると考えた。これらの技術改良により結果、全工程を数ヶ月から 14 日程度に短縮しながら、公定法と同程度の回収率で燃焼水を回収することに成功した<sup>[2]</sup>。

## ・2023 年採取ヒラメの分析への適用

表 1 に上記のように迅速化した手法<sup>[2]</sup>を、2023 年 12 月に採取したヒラメ筋肉のトリチウム分析に適用した。その結果、TFWT、OBT 共に検出下限値以下で、ALPS 処理水の放出に伴う、ヒラメへのトリチウムの濃度変化は確認されなかった。

## 4 成果の活用

本手法を用いた OBT の測定結果は相双漁協へ報告済みで、風評被害解消へのエビデンスの 1 つとなった。また、IAEA Isotope Hydrology Laboratoryにおいて、本手法の技術を提供した。

## 引用文献

- [1] 原子力規制庁：「放射能測定法シリーズ No. 9 トリチウム分析法（3 訂）」（2023）。
- [2] H. Kuwata et al. : Rapid tritium analysis for marine products in the coastal area of Fukushima. Radiation Environment and Medicine, 9, 28-34 (2020).

表 1 迅速による 2023 年 12 月採取ヒラメ筋肉中のトリチウム濃度

| 採取地点         | TFWT (Bq/kg 生) | OBT (Bq/kg 生) |
|--------------|----------------|---------------|
| A (北北西 5 km) | 下限値未満 (0.24)   | 下限値未満 (0.89)  |
| B (東南東 2 km) | 下限値未満 (0.23)   | 下限値未満 (0.95)  |
| C (南南東 4 km) | 下限値未満 (0.24)   | 下限値未満 (0.85)  |
| D (東南東 2 km) | 下限値未満 (0.24)   | 下限値未満 (0.94)  |

下限値未満の括弧内の数値は、検出下限値の数値を示す。

## 大気中クリプトン 85 濃度の測定

福島県

## 1 はじめに

クリプトン 85 はウランの代表的な核分裂生成物であり、半減期 10.776 年でベータ壊変し、687 keV のベータ線を放出するほか、0.34 % の確率で 514 keV のガンマ線も放出する放射性の気体である。現在大気中に存在するクリプトン 85 はその多くが核燃料の再処理に伴い放出されたものと考えられており、2009 年時点では約 5,500 PBq が地球の大気中に存在すると推定されている<sup>[1]</sup>。

本研究では、福島県におけるクリプトン 85 の連続測定手法について検討し、その適用可能性を評価した。

## 2 方法

クリプトン 85 の測定手法には連続測定と断続測定の 2 種類がある。連続測定の妥当性を検討するため、仮に東京電力福島第一原子力発電所からクリプトン 85 が告示限度濃度で放出された場合に、敷地境界においてどの程度の濃度となるか、「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」に記載されている計算方法で試算を行った。

断続測定により県内のクリプトン 85 濃度レベルを把握するため、福島県環境創造センター（福島県田村郡三春町深作 10 番 2 号）に試料採取装置を設置し、大気中のクリプトン 85 を捕集した。2017 年 3 月から 2019 年 3 月にかけて 39 試料を採取した。ガスクロマトグラフによりクリプトンを分離し、ガ

スフロー式 GM 計数装置によりクリプトン 85 濃度を測定した。

## 3 結果と考察

東京電力福島第一原子力発電所からクリプトン 85 が告示限度濃度で放出された場合の風下 1,000 m でのクリプトン 85 の濃度は 0.18 Bq/m<sup>3</sup> と試算された。比較的安価にクリプトン 85 を連続監視する機材としては青森県が導入している  $\beta$  ガス測定装置が実用化されているが、これは再処理施設を対象としたもので、定量下限値が 2,000 Bq/m<sup>3</sup> となっているため福島県での導入には適さない。よって、福島県においてクリプトン 85 の連続測定手法を適用することは、合理的ではないと考えられた。図 1 に示すとおり、福島県三春町における大気中クリプトン 85 濃度は 1.37～1.60 Bq/m<sup>3</sup> であり、同時期に採取された国内の 3 地点（北海道、秋田県、千葉県）の濃度<sup>[2]</sup>と同程度であった。

## 引用文献

- [1] Ahlsweide J. et al.: Update and improvement of the global krypton-85 emission inventory. J. Environ. Radioact., 115, 34-42 (2013).
- [2] 「環境放射線データベース」原子力規制庁, <https://www.envraddb.go.jp/special/database/>, (参照 2025-9-11).

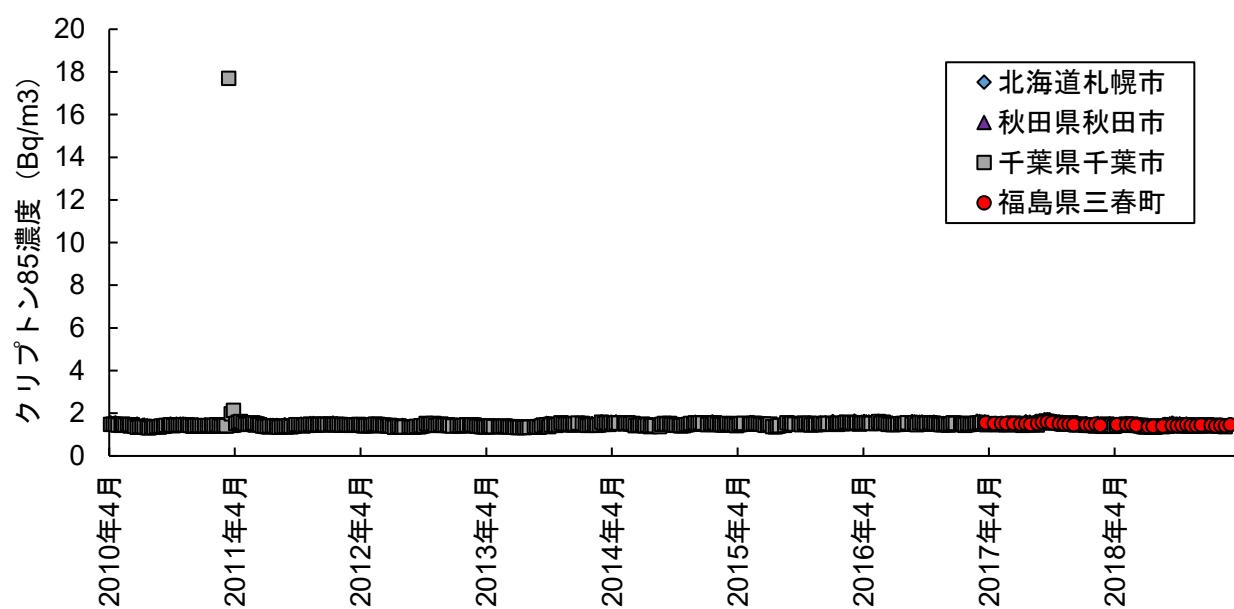


図 1 大気中クリプトン 85 濃度の経時変化

## 避難指示区域解除に向けた外部被ばく線量評価手法の開発と社会への活用

JAEA

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、被ばく線量は個人線量計により測定されるか、簡易なモデルにより大まかにかつ保守的に評価されてきた。一方、特定復興再生拠点区域といった帰還困難区域における避難指示の解除に際しては、国により個々の住民の生活行動を考慮して実際的な被ばく線量を予測し、放射線防護に資する方針が示され、被ばく線量の新たな評価方法が必要となった。そこで本研究では、避難指示解除などの行政判断やリスクコミュニケーションに資するべく、住民の生活行動パターンに基づき精度よく被ばく線量を予測できる新たなモデルを検討した。

## 2 方法

被ばく線量は以下の式（1）より求めた。

$$E = \sum (D_i \times t_i) \times CF \quad (1)$$

ここで  $E$  は被ばく線量 ( $\mu\text{Sv}$ )、 $D_i$  は滞在箇所 (i) の空間線量率 ( $\mu\text{Sv h}^{-1}$ )、 $t_i$  は滞在箇所 (i) での滞在時間 (h)、CF は空間線量率から実効線量への換算係数 (0.6) である。滞在箇所が屋外である場合の空間線量率 ( $D_{\text{out}}$ ) は、原子力規制庁が実施する広域のモニタリングデータ<sup>[1]</sup>を用いた。屋内の空間線量率 ( $D_{\text{in}}$ ) は、屋外の空間線量率より以下の式(2)にて求めた。

$$D_{\text{in}} = (D_{\text{out}} - BG) \times RF + BG \quad (2)$$

ここで BG は自然界に存在する天然の放射線、RF は家屋による空間線量率の低減効果 ( $D_{\text{in}}/D_{\text{out}}$  比)。本研究では 0.4) を示す。式 (2) の妥当性を検証するため、帰還困難区域に位置する 207 件の建築物について屋内外の空間線量率を測定した。

また本研究では、推定した被ばく線量の精度を検証するため、帰還困難区域を含む地域に勤務する労働者について 106 人日分の個人線量と行動記録を収集した。

## 3 結果と考察

屋内の空間線量率は従来、屋外の空間線量率に低減係数を乗じて推定されてきた。一方、本研究では天然の放射線を考慮して屋内の空間線量率を求めている（式 (2)）。屋外の空間線量率に対する、屋内外の空間線量率の比を図 1 に示す。屋内外の空間線量率比は低線量率域で高くなる傾向があり、放射性セシウムの影響が少ない天然の放射線が支配的な環境下ではその比がほぼ 1 になること、また天然の放射

線を考慮することで屋内線量率の推定精度が 32～45%向上することが確認された。

被ばく線量の推定精度を検証するため、実際に測定した個人線量と、行動記録から推定した被ばく線量を比較した結果、それぞれ有意な相関を示した。また本モデルの 95% 予測信頼区間は、避難指示解除の目安となる年間 20  $\text{mSv}$  ほどの環境下 ( $3.8 \mu\text{Sv h}^{-1}$ ) で 13% 程度であった。

以上、本研究ではモデルパラメータの妥当性と精度について実環境中での測定データを基に検証し、被ばく線量予測モデルを確立した<sup>[2]</sup>

## 4 成果の活用

本モデルによる帰還困難区域内の被ばく線量予測結果は、各自治体の除染検証委員会等に提供され、避難指示解除の判断材料に活かされた。また本モデルを一般の方が使いやすいようプログラム化し、リスクコミュニケーションツールの一環として、各自治体のホームページやサイネージにて提供した。

※引用文献については、「引用文献リスト」を参照

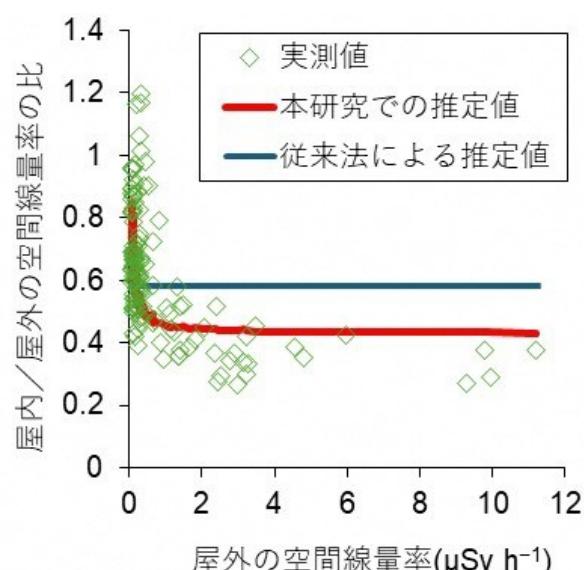


図 1 屋外の空間線量率に対する、屋内外の空間線量率の比の変化

## 無人機による上空からの放射線計測技術の高度化

JAEA

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故以降、様々な環境モニタリングが行われてきた。有人ヘリコプターを用いた航空機モニタリング、車両を用いた走行サーベイ、人が歩いて測定を行う歩行サーベイ等、これらのモニタリングは、事故後10年以上にわたって継続して行われている。その中でJAEAでは、無人航空機を用いた環境中の放射線モニタリング技術の開発を進めてきた。本章では、無人航空機、特に無人ヘリコプターを用いた上空からの放射線計測技術開発の成果について紹介する。

## 2 方法及び成果

上空からの測定は、山林等の人が立ち入りにくい場所でも面的に測定ができる点がメリットである。原発事故当初、無人ヘリコプターによる測定は、航空機が立ち入れない福島第一原発から3km圏内の測定に活用された（図1）。無人ヘリコプターには、原発事故以前から農薬散布用等に用いられていたヤマハ発動機社製のR-MAX G1（現在は後継機のFAZERR G2）を採用し、その機体に放射線検出器を搭載、福島第一原発周辺や原発上空、河川の空間線量率測定等、数多くのモニタリングに活用してきた。現在もなお、福島第一原発周辺の無人ヘリコプターによる測定は継続して行われている。無人ヘリコプターは最大30kgの機材を搭載することが可能であり、また長時間（最大120分）の運用が可能である。上空からの測定は地上との距離があるため、大型の検出器でなければ地面からの放射線計数率が得られない。無人ヘリコプターは他の小型無人機と比較して、

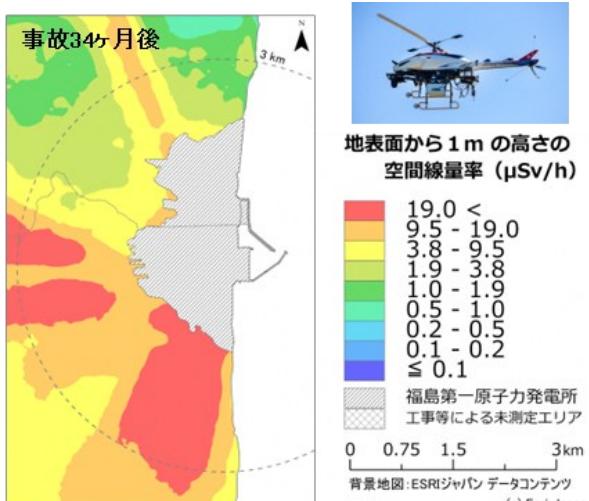


図1 無人ヘリコプターによる空間線量率測定結果

大型の放射線検出器を搭載することが可能であるため、除染後の空間線量率の測定など、低線量エリアでも活用できる点がメリットである。

近年では、上空からの測定で得られた分布を、より詳細なマップへと再現する解析手法の開発が進められている。例えば、地形情報や森林情報等を加味させる逆問題解析技術を利用することで、従来よりも分布精度を向上させることに成功している。また、これまで計測・取得してきたビッグデータを活用し、機械学習を用いた詳細マップの作成にも成功している（図2）<sup>[1]</sup>。

また応用技術開発として、無人航空機による測定技術を緊急時の放射線モニタリング等の防災技術と活用すべく、システム開発が行われている。これまでの取り組みで培われた知見や技術を、国内外に広く還元すべく、原子力防災等のさらなる高度化等、JAEAでは研究開発を進めていく予定である。

## 3 成果の活用

無人ヘリコプターの調査で得られたデータは、国や自治体の避難区域等の設定・解除等の基盤データとして活用されており、復興の計画立案等の基礎情報となっている。

## 引用文献

- [1] M. Sasaki et al.: Improvement of training data for dose rate distribution using an artificial neural network. J. ADV. SIMULAT. SCI. ENG., 9(1), 30-39 (2022).

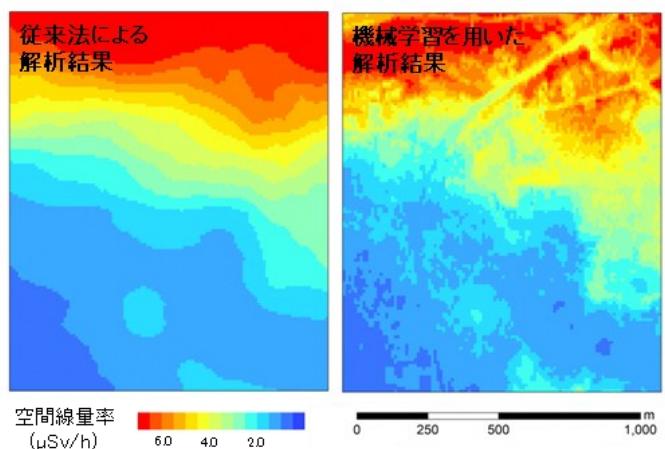


図2 無人ヘリコプター測定データの各種解析結果

## 1 はじめに

ダム湖やため池に蓄積した  $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$  (以下「放射性セシウム」という。) の分布を評価する際には、底質試料の採取が必要だが、試料の前処理や放射能測定に時間がかかり、広域の分布評価が煩雑であった。本研究では、水底における放射性セシウム分布を迅速に評価するための in-situ 測定手法を開発した。

## 2 方法

ダム湖では、無人潜水艦 (ROV) に  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  シンチレーション検出器を搭載することで、広域における放射性セシウムのインベントリー分布を迅速に評価できるか検討した。2017-2018 年の期間に、太田川水系の横川ダムの約 40 地点で、計 5 回調査を行った。各地点の水底に検出器を静置し、ガンマ線スペクトルを測定した。スペクトル上の放射性セシウムの正味計数率と、均一な円柱線源を想定したモンテカルロシミュレーション (EGS5) で得られた換算係数から、放射性セシウムインベントリーを評価した。

ため池では、ダム湖に比べて水底の起伏が大きいことから、形状を任意に変更可能なプラスチックシンチレーションファイバー (以下「PSF」という。) を適用することで、複雑な地形の放射性セシウム濃度分布を迅速に評価できるか検討した (図 1)。2013 年以降、福島県の浜通り及び中通りのため池を中心に調査を行った。PSF で測定を行った地点の一部で、コア状底質試料を深さ 30cm まで採取し、ゲルマニウム半導体検出器により放射能測定を行った。PSF による in-situ 測定で得られた全計数率と底質試料中

放射性セシウム濃度を比較することで、換算係数を評価した<sup>[1][2]</sup>。この換算係数を基に、PSF による各ため池における底質中放射性セシウム濃度分布評価を行った。また、2013-2019 年の期間、PSF で継続的に調査された 5 つのため池で、放射性セシウム濃度の実効的半減期を評価した。

## 3 結果と考察

従来の底質試料の採取と放射能測定では、ダム湖で 30 地点の底質試料中放射性セシウムインベントリーを評価する際に、20 日程度時間がかかっていた。ROV による in-situ 測定では、4 日間で評価を完了したため、広域の放射性セシウムインベントリー分布を迅速に評価することが可能となった。

ため池水底での PSF による in-situ 測定結果の例を図 2 に示す。網羅的にため池全体を迅速に測定することが可能となり、浚渫が必要な放射性セシウム濃度が高い場所を迅速に把握できた。また、放射性セシウムの実効的な半減期が  $3.0 \pm 0.3 \sim 41.6 \pm 55$  年であったことから、放射性セシウムのため池への蓄積が示唆された。PSF による測定で、放射性セシウム濃度分布の把握が迅速化し、その変化傾向を継続的に評価することがより簡便となった。

## 4 成果の活用

本研究成果のうち、PSF による in-situ 測定技術が、ため池における浚渫の計画立案に活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」を参照

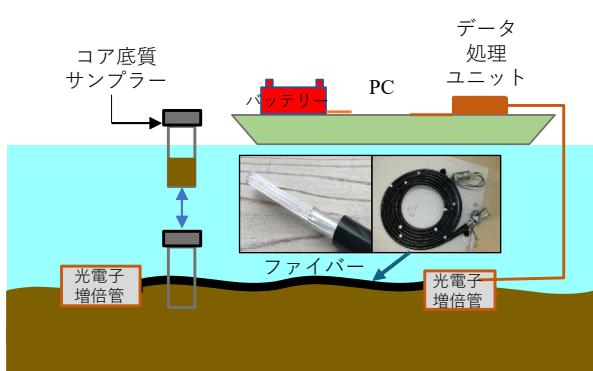


図 1 PSF での測定イメージ

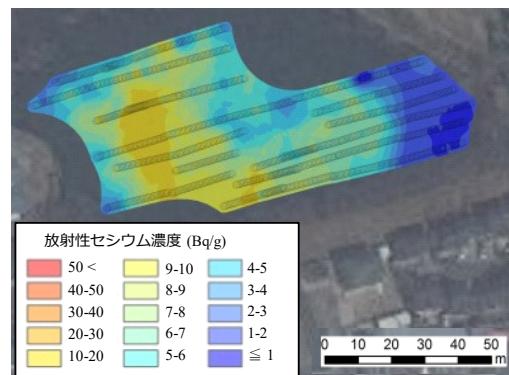


図 2 PSF で得られた濃度分布マップの例

## 福島県内のモニタリングポスト測定値と土壤水分の関係

福島県

## 1 はじめに

福島県では、東京電力福島第一原子力発電所及び福島第二原子力発電所の廃炉作業に伴い、新たな放射性物質の放出が起こっていないかを常時監視している。県民の安全・安心のためには、測定値を示すだけでなく、その変動の原因をわかりやすく説明することが重要である。本研究は、降雨による土壤水分量の変動が空間線量率に与える影響を明らかにすることを目的とした。

## 2 方法

2021年7月から12月にかけて、福島県双葉町のモニタリングポスト（北緯  $37.447859^{\circ}$ 、東経  $141.024434^{\circ}$ ）において、表層土壤に土壤水分センサー（EC-5、METER社）を埋設し、土壤体積含水率を連続測定した。得られた土壤体積含水率を、NaIシンチレーション検出器により従前から連続測定している空間線量率と比較し、両者の関係を調べた。さらに、空間線量率はレスポンスマトリクス法によりウラン系列、トリウム系列、カリウム40及びそれ以外の成分に分解した。モンテカルロ計算コード PHITS<sup>[1]</sup>（Ver. 3.27）を用いて、土壤水分等の条件を変化させて、モニタリングポスト検出器位置における空間線量率のシミュレーション計算を実施した。

## 3 結果と考察

図1に示すとおり、空間線量率は放射性セシウムの物理減衰による長期的な減衰に加え、土壤体積含水率の変動とよく一致する短期的な増減を繰り返していた。すなわち、空間線量率は、降雨時、大気中に含まれる天然放射性核種の影響によって上昇するが、徐々に土壤体積含水率が大きくなることで、遮蔽の効果が大きくなり低下する。降雨後、土壤体積含水率の低下に伴い、遮蔽の効果が小さくなるため空間線量率は上昇する。

このことから、モニタリングポストで測定される空間線量率は、土壤水分による遮蔽の影響を受けて変動していることがわかった。レスポンスマトリクス法及びPHITSを用いた解析により、天然核種よりも土壤の放射性セシウム由来の成分の方が、土壤水分による遮蔽の影響を受けやすいことがわかった。

## 引用文献

- [1] T. Sato et al.: Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System - PHITS version 3.33. J. Nucl. Sci. Technol. 61, 127-135 (2024).

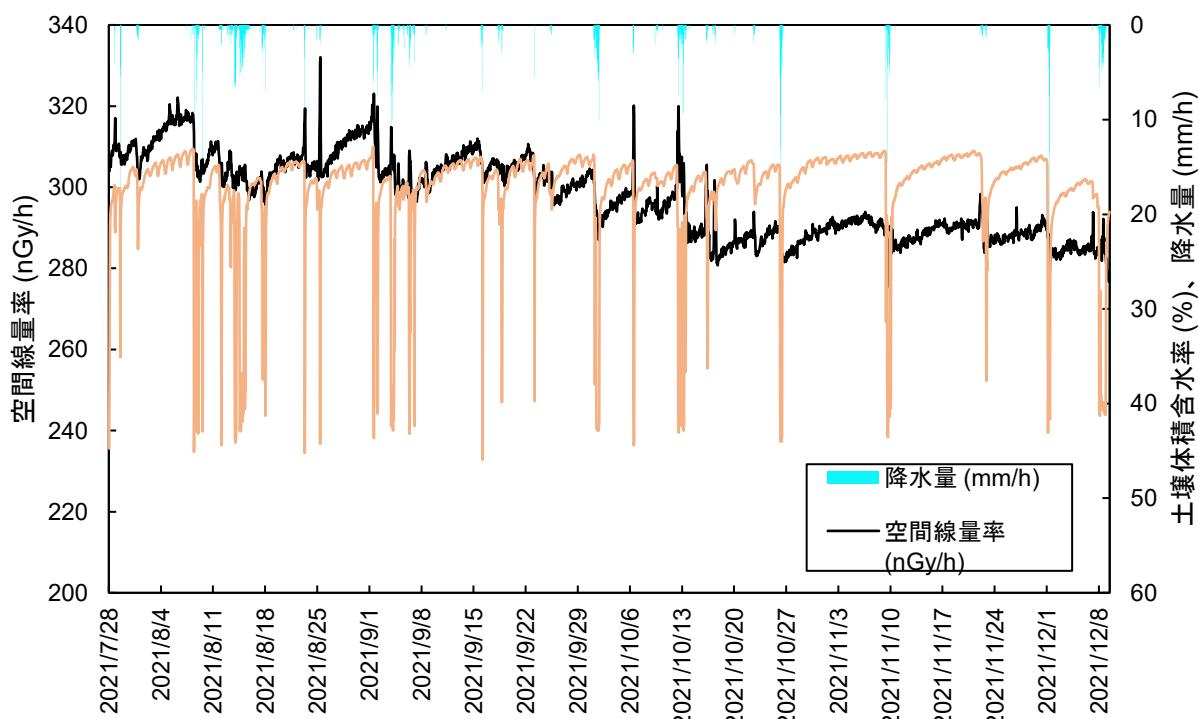


図1 モニタリングポストにおける空間線量率及び土壤体積含水率の経時変化

## 発電所周辺モニタリングにおける空間線量率の変動に関する統計的評価

福島県

## 1 はじめに

福島県内の空間線量率は 2011 年の東日本大震災における原発事故後に大きく増加し、時間の経過とともに減少傾向を示している。しかしながら、主な空間線量率増加の原因である放射性セシウムの存在量が減少していくにつれ、季節的な変動が支配的な地点も出てきている。このような状況においては、空間線量率の統計的評価を実施し、客観的な基準に基づいて変動傾向を判断する手法も取りうる選択肢の一つである。本研究は、発電所周辺モニタリング結果のわかりやすい情報発信に寄与することを目的として、空間線量率の変動傾向を客観的に判断する手法について検討した。

## 2 方法

2021 年度～2023 年度の 3 年間に 39 地点で測定された空間線量率の月間平均値を評価対象とした。モニタリングポストで測定される空間線量率には、セシウム 134、セシウム 137 等の人工核種由来とカリウム 40、ビスマス 214 等の天然核種由来との両方が含まれている。本研究では、人工核種由来の空間線量率は指数関数に従い時間とともに減衰し、天然核種由来の空間線量率は常に一定であると仮定して、以下の手順に従って解析した。

まず、空間線量率の月間平均値から天然核種由来の値を減算した。減算する値は、事故前の測定値がある地点では各地点における 2009 年度の年間平均値、ない地点では一律に県内の平均値とした。次に、減算後の値を自然対数に変換したうえで、縦軸を空間線量率月間平均値、横軸を事故からの経過年数として最小二乗法により直線近似した。これらの数値

処理によって、人工核種由来の空間線量率の時間変動を指数関数近似することができる。最後に得られた指数関数式の指数部分の係数について  $p$  値を算出し、 $p < 0.05$  かつ係数が負の場合「減少傾向」、 $p < 0.05$  かつ係数が正の場合「増加傾向」、いずれもあてはまらない場合を「横ばい」と評価することとした。解析結果の例を図 1 に示す。

## 3 結果と考察

全 39 地点のうち 37 地点が「減少傾向」、2 地点が「横ばい」と評価され、「増加傾向」と評価された地点はなかった。「横ばい」の 2 地点のうち 1 地点は、モニタリングポストの周囲が半分程度水田に囲まれており、水の遮蔽による空間線量率の季節変動が「横ばい」の原因と考えられた。また、1 地点では積雪の遮蔽による空間線量率の季節変動が「横ばい」の原因と考えられ、各年 12 月～3 月のデータを除いて同様の解析を実施したところ、「減少傾向」と評価された。

## 4 成果の活用

県が主催する公開の会議において、本研究成果が報告された<sup>[1]</sup>。

## 引用文献

- [1] 福島県原子力発電所の廃炉に関する安全監視協議会 令和 6 年度第 2 回環境モニタリング評価部会参考資料 3 「空間線量率の変動傾向に関する検討について」福島県放射線監視室,  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/651415.pdf>, (参照 2025-9-11).

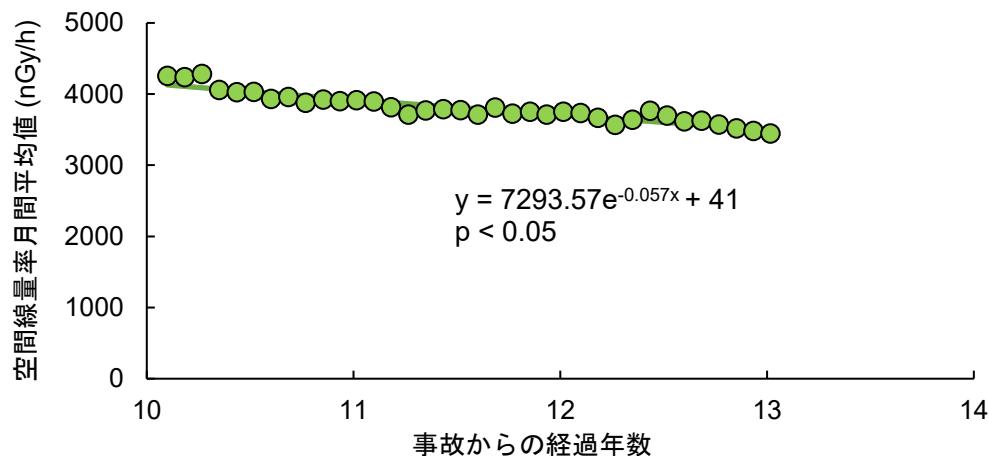


図 1 モニタリングポスト（1 地点）で測定された空間線量率の解析結果（「減少傾向」の例）

## 発電所周辺モニタリングにおける大気中セシウム137濃度評価手法の検討

福島県

## 1 はじめに

環境中の放射性物質のモニタリング結果を評価する際には、過去のモニタリング結果を統計解析して設定される「平常の変動幅」の範囲内かどうかが客観的な評価の指標の一つとなっている<sup>[1]</sup>が、本県では東日本大震災における原発事故の影響により、「平常の変動幅」の設定ができていない。本研究では大気中セシウム137濃度のモニタリングを対象として、事故の影響を考慮した客観的なモニタリング結果の評価手法を検討した。

## 2 方法

本県がモニタリング事業として大気中セシウム137濃度の連続測定を行っている42地点のうち、2018年度から2021年度において不検出の割合が50%未満である23地点のデータを解析した。モニタリング結果を対数変換した後に線形回帰分析を行い、回帰直線の傾きから算出した実効半減期を物理学的半減期と比較するとともに、JAEAが海洋モニタリング結果の評価のために提案している手法<sup>[2]</sup>を参考にして、回帰直線の標準誤差の2倍を「変動ファクター」と定義し、変動ファクターを指標として2022年

度のモニタリング結果を試行的に評価した。

## 3 結果と考察

図1に回帰分析結果の例を示す。実効半減期は19地点で物理学的半減期より短く、4地点では回帰直線の傾きが正の値になった。回帰直線による予測値+変動ファクターを超過したデータ数の割合は9%であった。本研究はあくまで試行的な評価であり、今後モニタリング結果の評価手法を確立するためには、濃度の変動要因等も把握したうえで、適切な評価指標を設定する必要がある。

## 引用文献

- [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），pp. 33-34 (2021).
- [2] 原子力規制庁:令和5年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約）事業成果報告書，pp. 122-123 (2024).

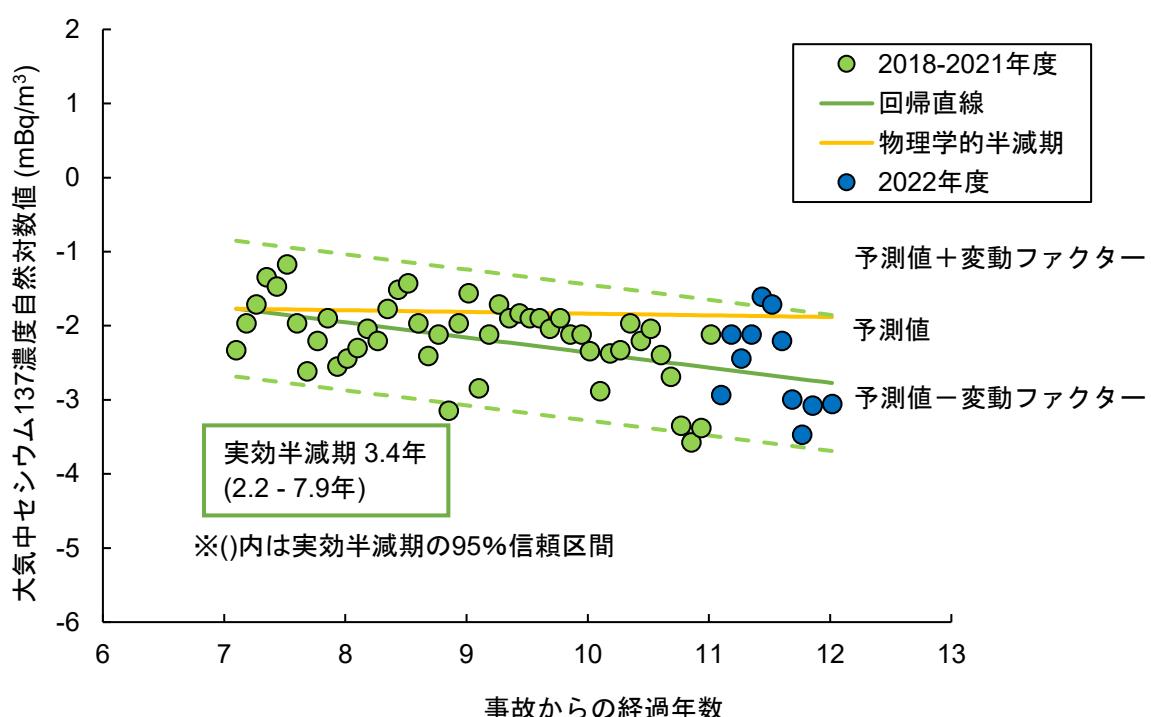


図1 大気中セシウム137濃度解析結果の例

## 環境創造センター福島支所において実施した

## 福島県内全域の土壤中ストロンチウム 90・プルトニウム濃度調査

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故によるストロンチウム 90 及びプルトニウムの飛散状況については、事故直後に国の調査結果が公表されている<sup>[1]</sup>が、どちらの核種も測定のために複雑な化学分離操作を要すること、放射性セシウムと比較して被ばく線量への影響が小さいことなどから、その後県内全域を対象とした継続調査は実施されていない。しかしながらこれらの核種については、今後燃料デブリ取り出しの進展等に伴い、県民の関心が高まることも想定され、さらに、除去土壤の復興再生利用において、安心の観点からこれらの放射線影響の評価が有用であると IAEA から指摘されている<sup>[2]</sup>。

環境創造センター福島支所では、モニタリング事業とは別に調査研究事業の一環として、事故前から県内全域における土壤中ストロンチウム 90 及びプルトニウム濃度を継続的に調査している。今回はこれらの長期的な分布の推移を把握するため、事故からおよそ 10 年間の状況をまとめた。

## 2 方法

県内全域の 39 地点において、表層（0-5 cm）及び深層（5-20 cm）の土壤を採取した。1 地点につき、前期（2017 年度～2019 年度）及び後期（2020 年度～2022 年度）の 2 回採取を実施した。

採取した試料は、乾燥後に 2 mm 目のふるいを通して、放射能測定法シリーズに準拠した方法で、ストロン

チウム 90 及びプルトニウム 238 及びプルトニウム 239+240 濃度を測定した。

## 3 結果と考察

ストロンチウム 90 濃度の最大値は前期が 25 Bq/kg、後期が 19 Bq/kg であった。プルトニウム 238 濃度の最大値は前期が 0.072 Bq/kg（図 1）、後期が 0.076 Bq/kg であった。プルトニウム 239+240 濃度の最大値は前期が 3.2 Bq/kg、後期が 2.8 Bq/kg であった。IAEA-TECDOC-1162 の手法を用いて核種ごとの 50 年間積算被ばく線量の最大値を評価した結果、ストロンチウム 90 が 0.025 mSv、プルトニウム 238 が 0.024 mSv、プルトニウム 239+240 が 1.3 mSv であった。これらはいずれも事故前の 2005 年度の調査結果（図 2）と同程度であったことから、原発事故の影響は確認されなかった。

## 引用文献

- [1] 「プルトニウム、ストロンチウムの核種分析の結果について」原子力規制庁,  
<https://radioactivity.nra.go.jp/ja/docs/reps/rad-dist/pu-sr>, (参照 2025-9-17).
- [2] 「除去土壤の再生利用等に関する IAEA（国際原子力機関）専門家会合について」環境省,  
<https://kankyoaissei.env.go.jp/next/international/index.html>, (参照 2025-9-17).

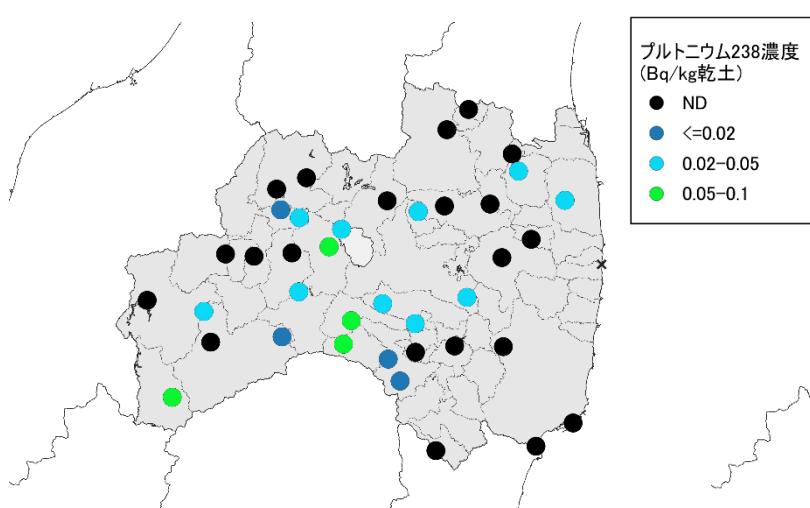


図 1 2017～2019 年度プルトニウム 238 濃度（表層）

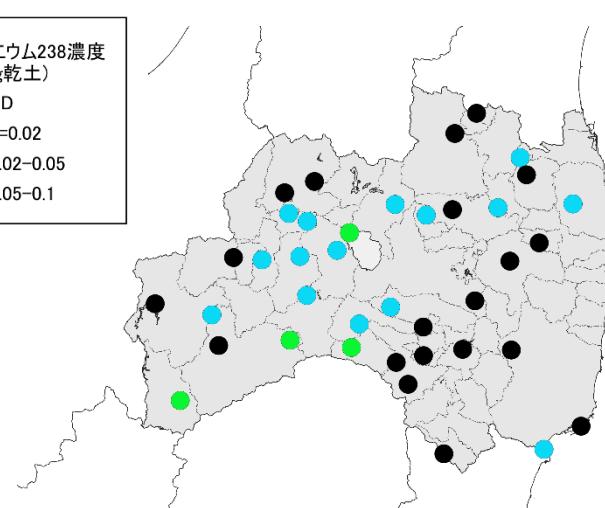


図 2 2005 年度プルトニウム 238 濃度（表層）

## 福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、福島県内では様々な方法で空間線量率のモニタリングが行われており、膨大なモニタリングデータが蓄積されている。しかしながら、各モニタリング事業の目的により、モニタリングに用いる機器、測定点の空間的な密度、モニタリングの時期や回数等が異なっており、各モニタリング結果はそれぞれの方式で公表されているため、それらを一律に把握することは困難となっている。そこで、はじめにこれらの膨大なモニタリングデータを収集・集約し、各モニタリング手法の特性に応じた補正を実施することにより、「統合化マップ」を作成した。さらに、計算機により統計的な経時変化解析を行うことにより、時間的・空間的に稠密な「経時変化マップ」、2051年3月までの「将来予測マップ」を作成した。

これにより、福島県内の空間線量率の経時変化傾向を1か月毎にわかりやすく表示することが可能になり、精度を高めた効果的な情報発信に資することとなる。

## 2 方法

2011年3月から2021年3月末(2020年度末)までに福島県内で実施され、結果が公表されたモニタリングデータについて、Web等により収集、整理した。サーベイメータ、各種モニタリングポストなどの固

定点において測定されたデータを基準として、移動体（航空機、自動車）において測定されたデータを補正した。これらのデータを用いて、1か月ごとに統合化マップを作成した。

空間線量率の2成分モデル<sup>[1]</sup>及びアンサンブルカルマンフィルタと呼ばれる手法を用いることにより、1か月ごとに経時変化マップを作成するとともに、経時変化の様子が直感的にわかるような動画を作成した。さらに、2成分モデルを将来にわたって適用することにより、将来予測マップを作成した。

## 3 結果と考察

作成したマップについて、同時期に実施された別のモニタリングデータセットとの相関分析により妥当性評価を実施したところ、統合化マップ（図1）、経時変化マップ（図2）のいずれも、実測値と精度よく一致していることが示された。作成したマップ、動画及び解析データについては、福島県環境創造センターのホームページで公表した。

## 引用文献

[1] 原子力規制庁:平成27年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約）事業成果報告書, pp. 102-119 (2016).

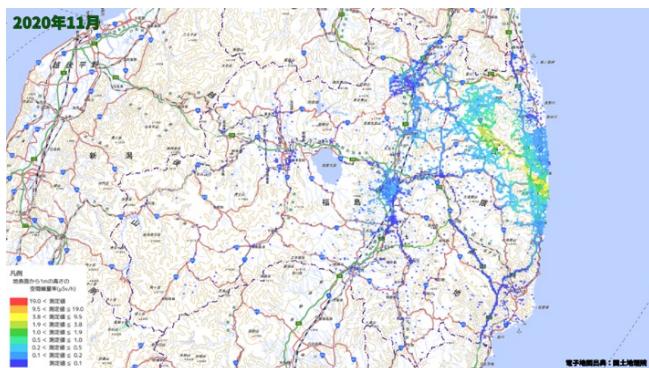


図1 統合化マップの例

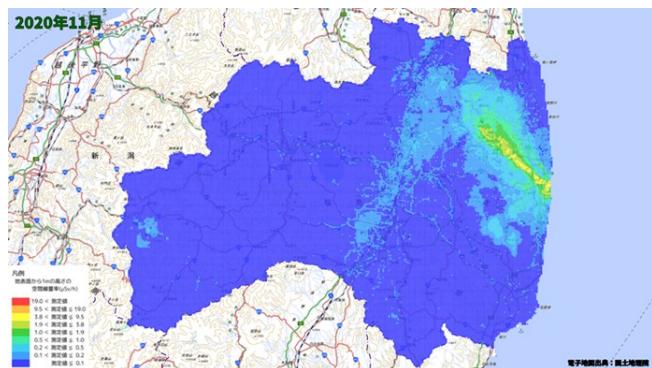


図2 経時変化マップの例

## 森林内におけるセシウム循環と林産物等に与える影響に関する解析的検討

## 1 はじめに

森林は居住地の近傍などを除き除染されず、一部の地域において野生のこ、山菜、野生鳥獣肉、淡水魚などの出荷制限が継続されるなど、原発事故の影響が残されている。本研究では、シミュレーションモデル CMFW を開発・活用し、森林内の放射性セシウム (Cs) の動態とそれが林産物・水産物等に与える影響を評価し、将来予測や対策について検討した。

## 2 方法

森林生態系の Cs の動態を表現するために、流域を 7 つの森林内コンパートメント (以下「CM」という。)

(葉、枝、樹皮、心材、辺材、落葉層、土壤層) や河川水 CM 等に分割し、各 CM 間の移行率を設定する簡易なシミュレーションモデル CMFW を開発した<sup>[1]</sup>。任意の CM と林産物等を対応付けることで林産物等の Cs 濃度の経時変化を算出することが可能である。

## 3 結果と考察

例として、図 1 にモデルで設定した渓流魚への Cs 移行経路の概念図を示す。まず、森林内 CM 間の移行率を林野庁等による実測データを活用しフィッティングにより推定した (図 2)。その上で、ヤマメ等の渓流魚に対する環境省等のモニタリングデータに対して、各 Cs 移行経路の寄与率を推定した (図 3)。その結果、事故後数年は葉や落葉層に含まれる Cs 濃度の急速な低下により、それらからの供給量 (経路 1) が低下し、渓流魚中の Cs 濃度の低下に大きく影響したことが推察された。一方、それ以降は有機土壤層からの寄与 (経路 3) が大きくなると想定された。本研究では、ほかに野生のこへの移行経路について同様に推定し、種による汚染源の違いが Cs 濃度の上昇・低下の傾向に寄与している可能性を示した<sup>[2]</sup>。このような移行経路やその寄与率の理解は、Cs 濃度の将来予測や対策に役立つものである。

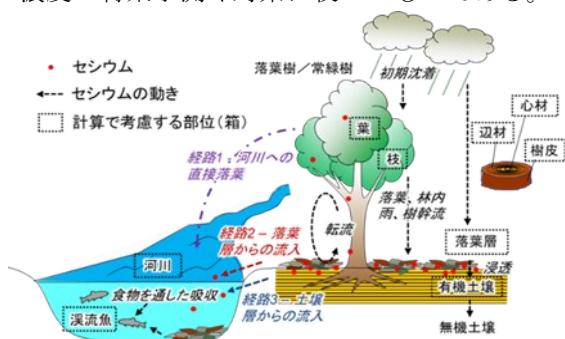


図 1 溪流魚への Cs 移行経路の概念

将来予測の試行として、森林総合研究所等の主催した森林内 Cs 動態の国際モデル間比較に参画し、50 年後までの木材中 Cs 濃度の将来予測を実施した<sup>[3]</sup>。予測された Cs 濃度のモデル間のばらつきは大きく、経根吸収率の違いの影響などが要因と推察された。

対策については、福島国際研究教育機構 (以下「F-REI」という。) の委託研究において、木材中 Cs 濃度の低減対策を検討した<sup>[4]</sup>。皆伐時にカリウム施肥等を実施することが効果的である可能性を示した。

将来予測や対策効果の精度向上のためには、継続した調査による実測値データの補強とモデル検証の繰り返しが必要である。特に近年では経根吸収が木材中 Cs 濃度に大きく影響することが明らかとなりつつある。渓流魚に対しても林床の有機土壤層からの寄与が大きくなっていると想定されている。林床での Cs 動態のさらなる解明が必要である。

F-REI では、本報告の成果等を発展させ、避難解除後の人間活動の影響を考慮した環境動態の理解を踏まえた被ばく線量に係るリスク評価や、移行抑制対策効果の評価をさらに進める計画である。

謝辞 一部は F-REI 委託研究費 (JPFR23-05-01-01) による。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

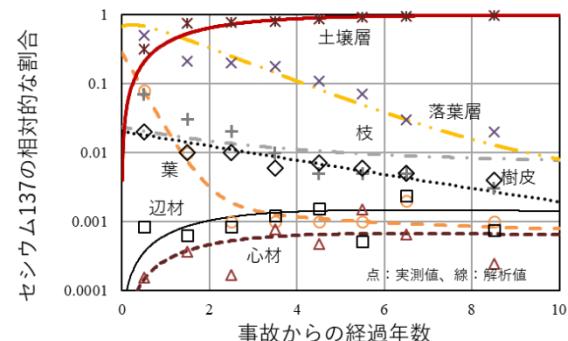


図 2 落葉広葉樹林における各 CM 中 Cs 濃度経時変化の実測値とシミュレーションによる再現

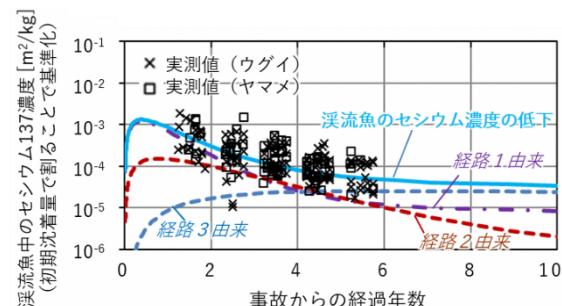


図 3 溪流魚中 Cs 濃度の経時変化と移行経路ごとの寄与割合の推定

## 環境動態知見を取り込んだ3次元空間線量率分布解析システムの開発

JAEA

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性セシウムを始めとする放射性核種が広範囲に環境中へ放出され、住民の生活圏である市街地および樹木が繁茂する森林に降着した。

市街地は複雑な建造物が密集し、森林は複雑な地形構造と斜面、ならびに樹木の繁茂により形成されている。これらの環境条件下では、放射線の散乱や遮蔽が頻繁に生じ、空間線量率は複雑かつ3次元的な分布を示すことが知られている。さらに、放射線源の不均一な分布は空間線量率の非一様性を一層助長している。このような背景から、住民の外部被ばく評価を正確に行うためには環境中に放出された放射性核種による空間線量率分布を高精度に把握することが不可欠である。

## 2 3次元空間線量率分布解析システムの概要

日本原子力研究開発機構・システム計算科学センターは、廃炉環境国際共同研究センターおよび（一財）高度情報科学技術研究機構と連携し、福島県内の市街地や森林といった複雑な環境における地形、樹木、建造物等の3次元の実物モデルを構築した。さらに、不均一に分布する放射性セシウムの線源分布を取り込むことが可能な3次元空間線量率分布解析システム（3D-Air Dose Rate Evaluation System：略称3D-ADRES）を開発した（図1）<sup>[1]</sup>。

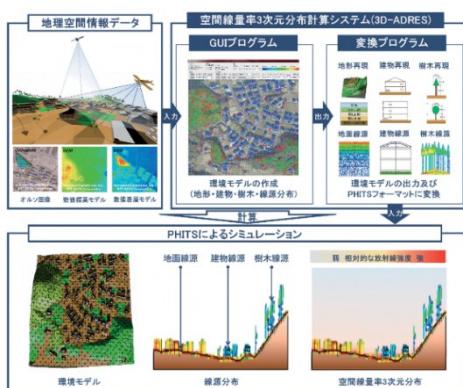


図1 3次元空間線量率分布解析システム（3D-ADRES）の概要および計算手順

3D-ADRESは、任意の森林や市街地に対して、①人工衛星や航空機等のリモートセンシング技術により取得した空間地理情報を基に、地形および存在する建造物・樹木をリアルな環境モデルとして再現し、②環境モデルの各表面に沈着した放射性セシウムの

濃度分布を3次元的に詳細に考慮し、③さらに、放射線源から放出されるガンマ線の輸送をモンテカルロシミュレーションにより解析することで、空間線量率の詳細な3次元分布を取得可能なシステムである。

## 3 実環境への適用性検討

本システムを用いて、環境特性が異なる福島県帰還困難区域の大熊町および富岡町の3箇所において空間線量率を計算した結果、いずれの地点でも実測値と概ね一致し、本計算手法の妥当性が確認された（図2）。

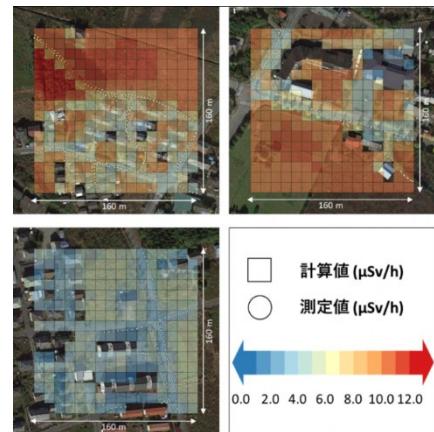


図2 3D-ADRESを用いた空間線量率分布の計算値（メッシュ）と実測値（点）の比較。点の色とメッシュの色が概ね一致していることが確認できる。（Map imagery © Google & Zenrin 2018）

## 4 まとめ

本システムの活用により、①実環境における複雑な3次元モデルを用いて建造物による遮蔽効果および未汚染区域による効果（Un-contaminated効果）の推定、②異なる環境面に沈着した放射性セシウムが空間線量率に及ぼす相対的寄与率の評価、③空間線量率分布の将来予測および各環境面からの寄与率の経時変化の推定が可能となる。

## 引用文献

- [1] M. Kim et al.: Simulation study of the effects of buildings, trees and paved surfaces on ambient dose equivalent rates outdoors at three suburban sites near Fukushima Dai-ichi. J. Environ. Radioact., 210, p. 105803 (2019).

## 地衣類、コケを用いた放射性セシウム挙動研究への活用

## 1 はじめに

地衣類（菌類）やコケ（植物）は、維管束植物のような根を持たず、大気中から水分や無機栄養物を体全体で取り込む。この共通する性質から、両者はダストによる大気汚染評価にも使われてきた。本研究では、地衣類とコケを用いて、東日本大震災における原発事故（以下「事故」という。）に起因する放射性セシウム（Cs:  $^{137}\text{Cs}$ ）の挙動を調べるための手法開発に取り組んだ。(1) 地衣類では、生体組織内に沈着した Cs がどこにどのような形で保持されているかを調べた。(2) コケでは、乾燥試料で「コケバッグ」を作製し、任意の期間・場所で大気中 Cs 濃度を把握する方法を検討した。

## 2 方法

(1) 福島第一原発近傍（大熊町内）で事故から 2 年、6 年経過後に採取したウメノキゴケを試料とした。地衣類中の二次元 Cs 分布は、イメージングプレートを用いたオートラジオグラフィ（AR）で調べた。Cs 分布の特徴の違い（AR 像で示された点状および一様な拡がりを持つ分布）を示す部位をそれぞれカミソリで切り取り、組織固定後、樹脂に包埋した。それをウルトラミクロトームで、5  $\mu\text{m}$  毎に組織表面から底面に向かって水平方向に切り出し、組織切片とした。切片一枚ずつの AR で組織中の Cs 分布位置を調べた。また、電子顕微鏡分析や Ge 半導体検出器を用いた  $\gamma$  線スペクトル測定（ $\gamma$  線測定）、量子化学計算も組み合わせることで、Cs の保持機構を評価した<sup>[1]</sup>。

(2) JAEA 人形峠で採取したオオミズゴケを洗浄後、恒温器で乾燥させた（最大 100°C）。2mm メッシュサイズのナイロン（12 cm 四方）で乾燥コケを包んで、釣糸で縛りコケバッグとした（0.5 g/包 DW）。このコケバッグを 2018～2019 年にかけて大熊町・双葉町・富岡町内の 5 地点で 3, 6, 9 週間のばく露後回収し、 $\gamma$  線測定で Cs 濃度の時間変化を調べた。その後、AR を用いて Cs の分布状態を調べた<sup>[2]</sup>。

## 3 結果と考察

(1) 地衣類組織切片の AR 結果より、事故から 2 年、6 年経過後どちらも共通して、点状の分布は組織上部（藻類を含む上皮層から髓層）に存在していた。また、組織表面の点状の分布は、電子顕微鏡分析と  $\gamma$  線測定結果から、Cs を含む直径約 2  $\mu\text{m}$  の微粒子であった。さらに同程度の粒径の微粒子では表面組

織に埋没しているものもみられた。一方、拡がりを持つ分布は、組織下部（下皮層）に沈着した色素（メラニン様物質）の部分にみられた。量子化学計算から、メラニンの主要構造と Cs<sup>+</sup>イオンが錯体を形成して安定して結合することが示唆された。以上より、地衣類に粒子状・イオン状で沈着した Cs は、生体組織内で埋没する、色素と結合するなどして安定化することで長期間保持されると考えられた（図 1）<sup>[1]</sup>。

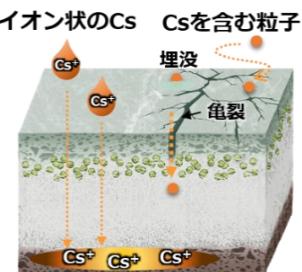


図 1 地衣類の組織断面模式図（イオン上の Cs, Cs を含む粒子が地衣類の組織で長期間保持される仕組みを表した図）

(2) コケバッグ中の Cs 濃度は、地点の違いに関わらず、概ねばく露時間とともに直線的に増加しており、定量的な濃度評価が可能と考えられた（図 2）。AR 像では(1)と同様の点状の分布がみられ、コケバッグ中のコケが大気中から Cs を含む粒子を捕捉していたことが確認できた。このことからコケバッグは、任意の設置場所で、9 週間までの Cs 濃度の変化を把握できると示唆された。今後、ダストサンプラーとの補完性についても検討を行う。以上より、地衣類では事故時からの Cs の、コケバッグでは、ある一定期間中の Cs の挙動を調べるツールとしての有用性が期待できる。

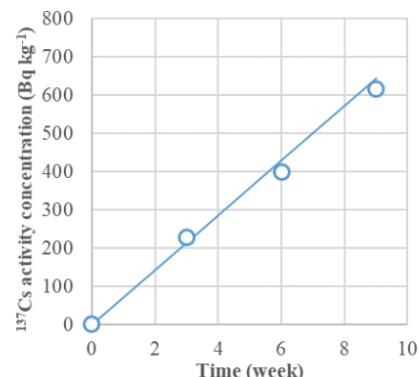


図 2 コケバッグ中の Cs 濃度とばく露期間との関係（大熊町の一例）最小二乗法でフィッティングした結果を示す。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

## 大気中の放射性セシウム調査

国立環境研究所

## 1 はじめに

呼吸を介した放射性セシウムのばく露量の把握は、住民や屋外で除染作業を実施する人にとって重要な情報である。そこで本研究では、福島県内の避難指示解除区域を対象に大気中の放射性セシウムの調査を継続的に行った。

## 2 方法

福島県飯舘村の2か所（役場・佐須地区）において、ハイボリューム・エアサンプラー (HV-700F または HV-1000F、柴田科学) を地上高さ 1.5 m に設置し、毎分 500 L (0.5 m<sup>3</sup>) の流速で、およそ 1 週間から 1 か月ごとに石英フィルタに捕集した。2012 年から 2020 年 3 月まで 2 地点で採取し、1 地点は 2025 年まで継続している。

粉塵を捕集したフィルタは、U8 容器に詰め、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、セシウム 134、セシウム 137 等を測定した。放射性セシウムが比較的高濃度を示した場合、特徴的な変動を示した場合には、その汚染源を解析するため、フィルタの一部分について水抽出を行い、水溶性のイオン成分をイオンクロマトグラフィで測定した。

## 3 結果と考察

図 1 に飯舘村内 2 か所における 2012 年から 2021 年の大気中放射性セシウムの濃度の経時変化を示す。冬場の積雪期に濃度減少する周期的变化を示しつつ、経年的に放射性セシウムの濃度は減少していたが、2019 年ごろから減少率は鈍化している。調査期間内

に、局地的な数回の放射性セシウム濃度増加が見られた（図 1 中①～⑤）。①は気象条件から発達した低気圧による強風による巻き上げの可能性、②は Ca イオンが多く検出されたことから、周辺舗装の除染作業による飛散の可能性、④⑤はサンプラー設置場所周辺の面的除染活動による巻き上げの可能性、が考えられた。2017 年の大規模な山火事⑥や、地域内で試験的に行われた未除染地の野焼き⑦の影響は認められなかった。③は 2 か所両方で僅かな上昇があり、その他地域でも同時期に上昇がみられた<sup>[1]</sup>こと、水溶性の放射性セシウム画分が多かったこと、当時の気象条件、原子力発電所建屋（3 号機）での状況から、建屋がれき等の障害物撤去に由来した可能性が考えられた<sup>[2]</sup>。

呼吸を介した放射性セシウムのばく露量は、2019 年の最大濃度を吸い続けたと仮定しても、1 年間で 1.4 Bq 程度であり、内部被ばく線量は 0.007 μSv 程度と推定された（呼吸率 22 m<sup>3</sup> / 日、ICRP の吸引の預託実効線量係数<sup>[3]</sup>を用いて算出）。これは、日本における自然放射性物質（主にラドン）を吸引することで受ける内部被ばく線量の 0.48 mSv<sup>[4]</sup>より大幅に小さかった。

本研究は、認定 NPO ふくしま再生の会と協働で実施した。サンプラー設置にご協力いただいた村役場に感謝申し上げます。

※引用文献については、「引用文献リスト」を参照

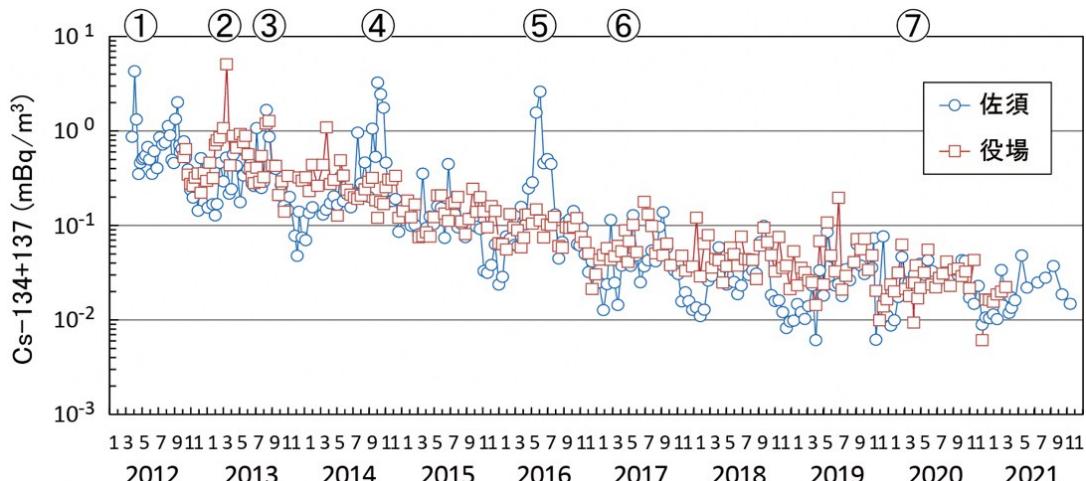


図 1 飯舘村内 2 か所における大気中放射性セシウム濃度の経時変化

## 【除染・廃棄物部門】

## 河川敷等における除染効果持続性の検証

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。

事故によって環境中に沈着した放射性セシウムが河川を介して輸送されることにより、河川敷に放射性セシウムを含む土砂が集積している可能性が考えられた。

本研究では、河川敷等における放射性セシウムの集積傾向を踏まえた除染試験を行い、その効果の持続性を検証した。

なお、本報は、Nishikiori and Suzuki (2017)<sup>[1]</sup>とYamasaki et al. (2020, 2023)<sup>[2][3]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

福島県中通りに位置する上小国川を対象として、2014年に除染試験を行った。まず河川敷堆積物の放射性セシウムの深度分布を調査し、次に放射性セシウムの大部分が分布する深度まで削り取りを行った。除染前から2020年にかけて継続的に空間線量率を測定した。

福島県浜通りの新田川沿いに位置する河川公園を対象として、2015年から2021年にかけて継続的に空間線量率を測定し、除染（2016年）・大規模洪水（2015・2019年）・堤防修復（2017年）を通じた変化を追った。

## 3 結果と考察

上小国川試験地では深さ35cmまで高濃度の放射性セシウムを含む土砂が堆積している箇所があり、

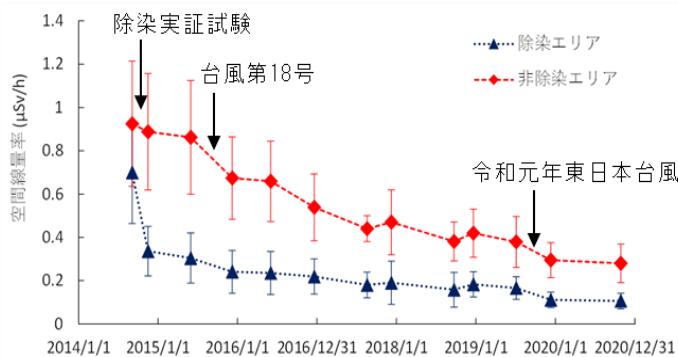


図1 上小国川調査地の空間線量率の変化

堆積状況に合わせて15-35cmまで削り取りを行った。その結果、空間線量率は半減した（図1）。河川敷の放射性物質の分布は不均一であり、除染する場合には事前の調査を行うことが効果的であると考えられた。試験後、除染エリアも非除染エリアも継続的に空間線量率が低下し、再汚染はみられなかった。

浜通りの河川公園は、調査開始時の2015年8月は河川沿いが高線量となっていたが、除染や大規模洪水による表土の削剥・低汚染土砂の堆積、堤防修復時の堆砂除去などのイベントを通じて空間線量率は低下した（図2）。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部を河川管理者へ提供し、河川敷の効果的な除染に寄与した。

## 引用文献

- [1] T. Nishikiori, S. Suzuki: Radio cesium decontamination of a riverside in Fukushima, Japan. *J. Environ. Radioact.*, 177, 58-64 (2017).
- [2] T. Yamasaki et al.: Control of radio cesium recontamination by plant removal along a decontaminated riverside in Fukushima, Japan. *J. Environ. Manage.* 270, 110856 (2020).
- [3] T. Yamasaki et al.: Impact evaluation of typhoons and remediation works on spatiotemporal evolution of air dose rate in two riverside parks in Fukushima, Japan after the Dai-ichi nuclear power plant accident. *J. Environ. Manage.* 332, 117311 (2023).

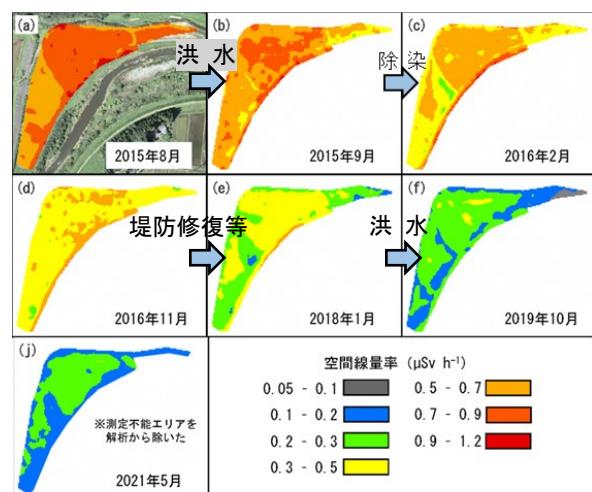


図2 浜通りの河川公園における空間線量率の空間分布変化

## 除染が完了した施設における除染効果持続性の検証

福島県・JAEA

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染や放射性物質の物理減衰等により、福島県内の空間線量率は低減しているものの、福島県が実施するアンケート調査により、生活圏における放射線被ばくに不安を持つ県民が一定数存在することがわかっている（2021年時点）。

本研究では、県民の不安解消に資するため、公共施設の除染効果の持続性の検証と既存のモデルによる空間線量率の予測を行うとともに、モデルの精度を確認した。

なお、本報は、日下部ら（2023）<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

福島県中通りに位置する自治体の公共施設から、山間部や市街地といった周辺環境が異なる公共施設5か所（学校、公園、公民館等）を選定し、除染後の空間線量率を2017年から2021年にかけて継続的に測定した。除染直後の空間線量率は、自治体または環境省から提供を受けた。

また、2成分モデル<sup>[2]</sup>によって空間線量率の経時変化を予測し、実測値と比較した。

## 3 結果と考察

調査を開始した2017年から2021年にかけて、各

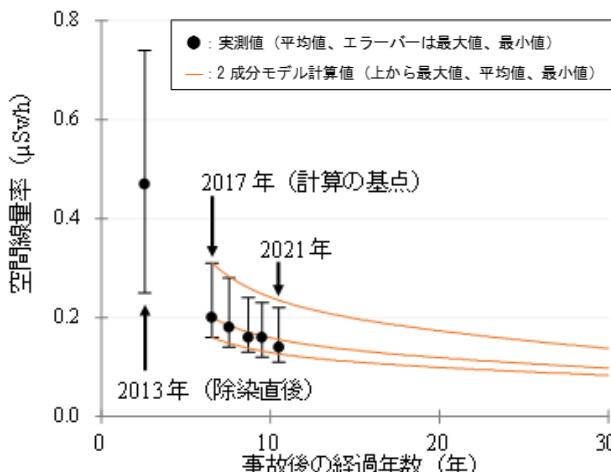


図1 山間部の公園の空間線量率変化

施設の空間線量率は9～30%低下した。

2019年には、令和元年東日本台風が福島県を通過し、記録的な大雨となった。調査対象の一つである山間部の公園においては、大雨により敷地内的一部で法面の崩壊や沢の氾濫が生じたが、台風の前後（2018～2019年の間）で空間線量率の低下傾向に顕著な影響はなかった（図1）。

これらのことから、学校や公園等の公共施設において、一般的に除染の効果は持続しており、明らかな再汚染は発生していないことがわかった。

また、2成分モデルによる予測値と実測値は整合しており、除染後の空間線量率の推移を精度よく予測できることを確認した（図1）。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部が自治体の広報紙に掲載され、住民に全戸配布された（図2）。

## 引用文献

- [1] 日下部一晃, ほか: 公共施設における除染効果の持続性の確認及び将来の空間線量率の予測, 環境放射能除染学会誌, 11 (1), pp. 15-23, (2023).
- [2] 原子力規制庁: 平成26年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約及び移行モデルの開発）事業 成果報告書, pp. 217-238 (2015).

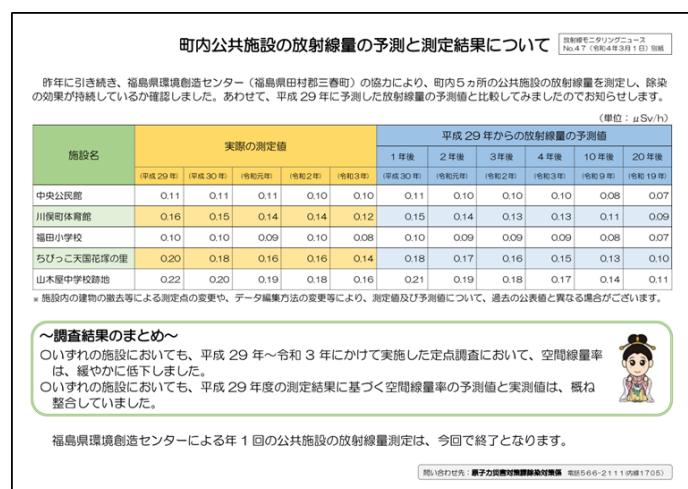


図2 研究成果が掲載された自治体の広報紙の例

## 令和元年東日本台風通過後の河川近傍における放射線影響確認

福島県

## 1 はじめに

2019年10月に発生した令和元年東日本台風（以下「台風」という。）により、県内の多数の河川が氾濫し、河川敷や周辺環境に多量の土砂が流出した。浜通りを流れる河川は上流部に未除染の森林を抱えているところが多く、上流部から流れてきた土砂には放射性セシウムが含まれている場合があるため、堆積した土砂による再汚染が懸念された。そこで、従前より継続的な空間線量率の測定等を行っていた河川敷や公共施設を対象として、台風通過後の被害状況や空間線量率の変化を調査した。

## 2 方法

台風以前から継続的な測定を実施していた河川敷（伊達市上小国川、南相馬市新田川、水無川）及び川俣町の森林内にある公園を対象とした。各調査地点において河川敷等における土砂の侵食・堆積状況や、堤防の破損等を確認した。歩行サーバイ機器を用いて河川敷、公園内の空間線量率を網羅的に測定し、台風通過前と比較して線量率の変化を面的に求めた。加えて、堆積した土砂を採取して放射性セシウム濃度を測定した。

## 3 結果と考察

新田川の河川公園は河川近傍において多量の礫の堆積があり、公園先端部は大きく破損していた。一方で、護岸上に堆積していた土砂は侵食されて失われていた。空間線量率は公園全体で低下し、特に河川近傍で大きく低下していた（図1）。以前の測定で護岸上に堆積していた土砂に放射性セシウムが多く含まれていたことが分かっており、それらが侵食されることで放射線源が減少し、線量率が低下したと考えられる。また、新たに堆積した土砂中の放射性セシウム濃度は低かった。上小国川、水無川の河川敷においても空間線量率は低下していた。

森林内の公園森林内の公園においては沢の氾濫や法面崩壊が確認されたが、空間線量率は変化しなかった。総じて、台風による再汚染は生じておらずむしろ自然減衰の作用により線量率が低下したと考えられる。

## 4 成果の活用

本調査結果の一部が、被災した自治体の会議（公開）にて紹介された。

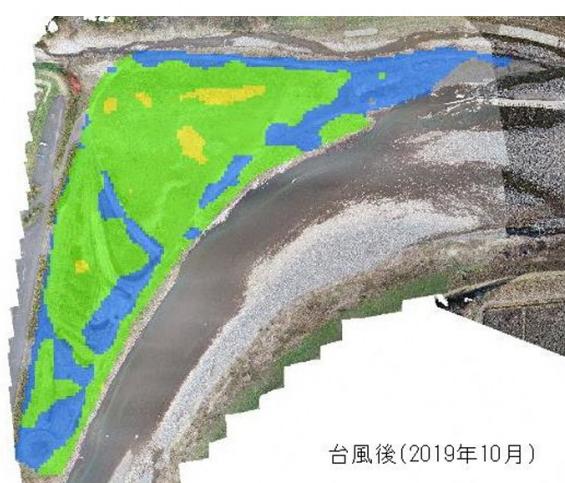
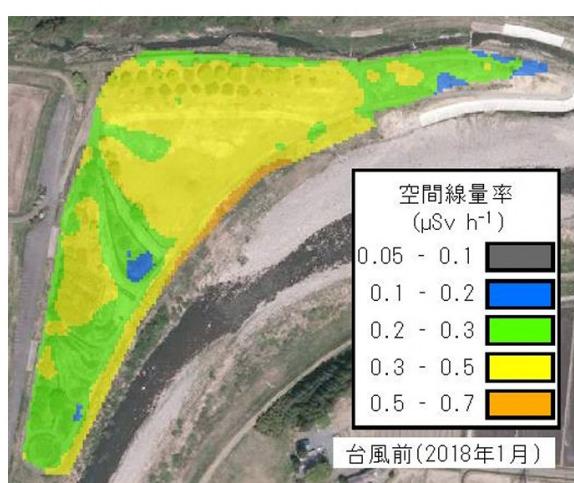


図1 河川公園における東日本台風通過前後の空間線量率分布

## 1 はじめに

福島県内では東日本大震災における原発事故以降、水の安全性に対する不安が帰還の妨げになる一因となるなど、県民の水環境に対する安全観が低下している。

こうした課題に対する効果的な対策の検討の一助とするため、県が実施している県政世論調査を用いて、県民の水環境への安全観の経年変化やその要因について把握した。

なお、本報は、Suzuki ら (2018) <sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

県政世論調査 (2010 年～2015 年) は、福島県県民広聴室が毎年度実施している調査で、今回は、住民の水や大気環境への安全観に関する質問項目を対象とした。

なお、2010 年～2015 年の県政世論調査の概要は次のとおり。調査地域：福島県内の 28 市町村、調査対象：満 15 歳以上の 1,300 人、調査方法：層化二段無作為抽出法、有効回答数：713～824 人。

水や大気環境への安全観の経年変化や、安全観に影響を及ぼす要因を明らかにするために、クロス集計と二項ロジスティック回帰の統計解析手法を用いて、放射線リスクへの不安感、年齢、性別、地域等との関連性を評価した。

## 3 結果と考察

クロス集計の結果、水や大気環境への安全観は、

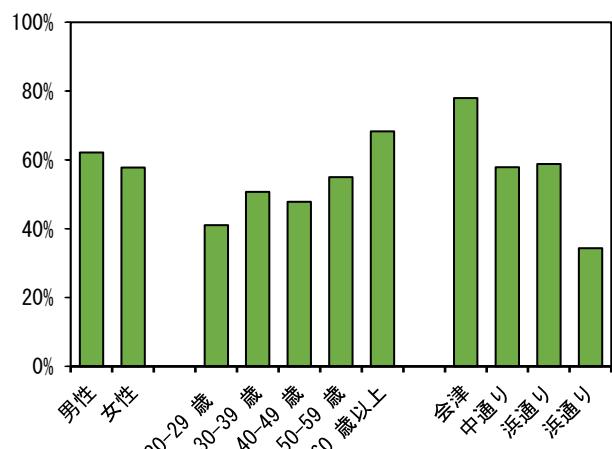


図 1 水や大気環境の安全観が高い人の割合の属性別傾向  
【2015 年県政世論調査】

居住地域や年齢で有意に差が見られ、居住地域では会津で特に高く、避難地域を含む浜通りで低い傾向にあり、若年齢層より高年齢層で高い傾向にあることがわかった。

また、安全観は事故後 5 年間で回復傾向にあるが、避難地域を含む浜通りでは事故前の水準までは回復していないこともわかった。

二項ロジスティック回帰により、水や大気環境への高い安全観は、放射線リスクに対する不安感と強く関連していることが明らかになった。

その他、原発事故による避難指示が放射線リスクへの不安感に影響を与え、その後の水や大気環境への安全観にも強い影響を及ぼした可能性があることも示唆された。

## 4 成果の活用

本報の結果について、県民の水環境への不安解消に関する施策の検討に資するため、福島県の関係各課に情報提供した。

## 引用文献

[1] S. Suzuki et al.: Annual changes in the Fukushima residents' views on the safety of water and air environments and their associations with the perception of radiation risks. J. Radiat. Res., Supplement - Highlight Articles of the First International Symposium, 59(S2), pp. ii31-ii39 (2018).

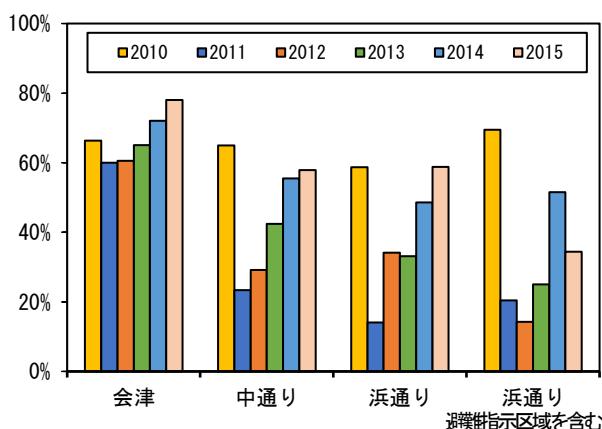


図 2 水や大気環境の安全観が高い人の割合の経年変化  
【2010 年～2015 年県政世論調査】

## 地域対話が河川流域住民の水環境に対する意識に与える影響

福島県

### 1 はじめに

東日本大震災における原発事故以降、福島県内では、水環境保全活動の参加者数の減少など、水環境への関心の低下が懸念された。

そのため、水を介した地域交流が水環境に対する意識変化にもたらす影響やその結果を踏まえた行政の支援のあり方を検討するため、今回、県内の2つの河川流域をモデルとして、各河川流域の住民等を対象者とした水環境に関するワークショップを実施し、その前後に対象者に対してアンケート調査を行うことにより、地域対話が河川流域住民の意識に与える影響を検証した。

### 2 方法

2017年9月に福島県いわき市内を流れる新川、好間川の2つの河川流域をモデルとして、各河川流域の住民等を対象者とした水環境に関するワークショップを実施した。ワークショップは、「河川の魅力と課題」や「地域で水環境に対する関心を高めるための取組み」をテーマとし、4~5名ずつ3~4グループで議論した。

また、その前後に对象者に対してアンケート調査を行うことにより、地域対話が河川流域住民の意識

に与える影響を調査した。

### 3 結果と考察

ワークショップを通して、参加者の河川に対する意識に良好な変化がもたらされた（図1）。これは、ワークショップ等により「身近な川を再認識したこと」や「様々な参加者の考えを共有したこと」による効果と考えられる。

また、今回の参加者が「地域を担う各団体の代表者等であること」、「日常的な川との関わりの有無の違い」や「上下流域、行政区画をまたいだ広域的な参加」によるものと考えられる。

地域の水環境への意識を高めていくためには、様々な利害関係者による地域対話を進めることが有効であると考えられる。

### 4 成果の活用

ワークショップで挙げられた意見を踏まえて、河川流域の歴史や文化、環境を知るためのバーチャルツアーを開催した。また、河川の流域魅力を感じるマップ（図2）を作成し、ワークショップの参加者や地域住民、小学生等への配布を通じて、河川の魅力を伝える活動に貢献した。

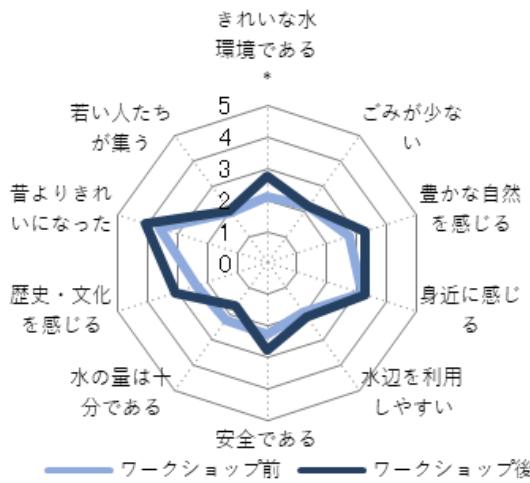


図1 ワークショップ前後の河川に対するイメージの変化  
(新川流域の住民)



図2 魅力を感じるマップ（新川の例）

## 放射性セシウムの移動抑制技術開発

## 1 はじめに

山地森林などの未除染地域に残存する放射性セシウムは、河川水系を水流により土壤粒子とともに移動し、農地や市街地などに流入する可能性がある。そのため、河川水系への放射性セシウムの流入を低減させることができれば、農作物への放射性セシウムの移行や市街地の空間線量率の上昇などの懸念を払拭への寄与が期待される。

土壤粒子の発生源に近く、水系の規模が小さい段階であれば、比較的小規模な対策により土壤粒子の移動を効果的に抑制することができる。このような、比較的小規模な対策、あるいはダムなど既存の構造物の利用により、効果的に土壤粒子の移動を抑制する技術を提案することが、移動抑制技術開発の目的である。

移動抑制の基本的な方法は、土壤粒子の①固定化（動き出さないようにする）、②捕捉（移動経路上で捕らえる）、③集積（集まりやすいところに集め、堆積させる）の3つが考えられる。ここでは、①固定化のための技術について、検討を行った。

なお、本報は、長尾ら（2019）<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

表土固定化については、土木工事などの一環として多種多様の方法が存在する。一般的な土木工事において法面などの表土固定化の方法の選定に当たっては、裸地か整地した跡地か、植生を残したままの対策か、急勾配かどうか、切土か盛土か、森林内の斜面で樹木が生えているかどうか、現地材だけを用いるのか、搬入材の利活用があるか、環境への配慮をどの程度とするか、経済性をどこまで求めるかといった観点が評価のポイントとなる。本技術開発では、既存技術の中から、評価が可能な6種類の方法

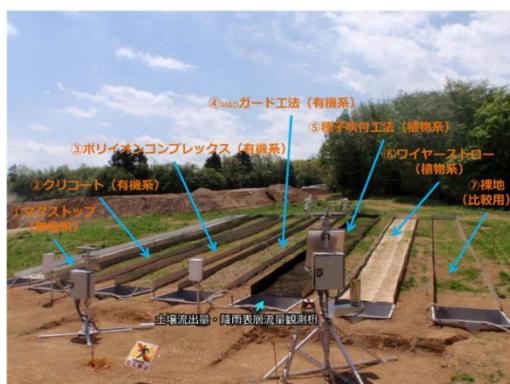


図1 固定化試験場

について、固定化力を比較検討することとした。

試験場は、6種類の固定化方法を同時並行に比較するために、斜面方向（斜度8~10度）に長さ約20mの試験枠を設置し、各試験枠はステンレス鋼製板材で区画した（図1）。これらに加え、裸地のまま固定化方法を施さない参照枠を加えた合計7本の試験枠を設置した。各試験枠の最下流側には、表層流水量および流出土壤量を測定するための観測枠を設置し、試験期間中の流出土壤量により、固定化力を評価した。

## 3 結果と考察

試験では2014年5月16日から2015年6月25日までの405日間（第1期）の流出量と、2015年6月26日から2017年4月26日までの670日間（第2期）の流出量を計測した。各固定化方法の2期間の流出土壤量を図2に示す。第1期はいずれの方法も裸地の流出量の4分の1以下で、特にM&Dガードと種子吹付の効果が高かった。第2期は、裸地の流出量が大きく減少する一方、M&Dガードと種子吹付は固定化の効果が低減し、裸地との差が小さくなかった。この結果から、長期的にはマグストップ、クリコートおよびポリイオンの効果が高い一方で、M&Dガードと種子吹付は効果が低減することがわかった。森林斜面からの放射性セシウム流出率は1年間に沈着量の0.2%未満と極めて低く、裸地であっても植生の回復とともに流出量は大きく減少した。そのため、長期的な移動抑制のニーズはないと考えられるため、本技術開発は終了することとした。

## 引用文献

[1]長尾郁弥, ほか: 福島における放射性セシウムの環境動態研究の現状. JAEA-Research 2019-002, (2019).

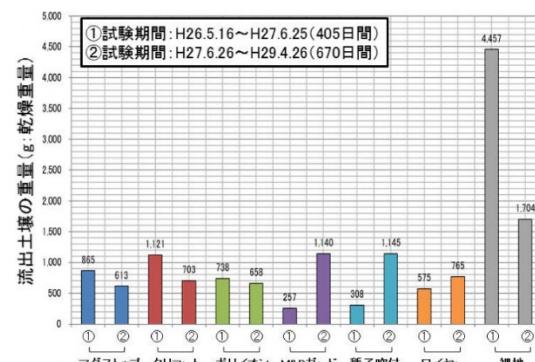


図2 固定化方法ごとの土砂流出量の比較

## 除去土壤・汚染草木類の処理技術開発

## 1 はじめに

除染活動から発生する除去物のうち、主たるもののは除去土壤である。除去土壤の減容方法については、様々な方法が検討されている。その原理は、放射性セシウムを吸着している粘土鉱物を分離し、それらのみを処分するという方法である。

除去物の中で、処理が不可欠なものは、樹木、植物などの草木類である。草木類を含む腐敗性廃棄物の場合、そのまま処分すると、微生物等による分解が起り、処分施設の変形や、発熱による火災などの恐れがある。そのため、微生物の活動の源となる有機物を分解し、安定な形にしてから処分する必要がある。

有機物を分解し、減容する処理方法としては、焼却処理が主流である。しかし、放射性セシウムを含む廃棄物の焼却に関しては、焼却施設からの放射性セシウムの揮発・拡散を心配する声も多く、容易に焼却施設を設置できる社会的な状況にあるとはいいがたい。そこで、放射性セシウムの揮発・拡散を抑えつつ有機物を分解処理する方法の一つとして、比較的緩和な反応条件で処理ができる酸触媒存在下のグリセリンによる加溶媒分解処理法を検討した。

## 2 方法

分解法の概略を図1に示す。分解対象物は牧草とした。グリセリンとポリエチレングリコールの50/50混合物に、所定濃度となるよう硫酸を添加した。グリセリンとしては、精製グリセリンのほか、粗グリセリン（バイオグリセリン）を用いた。溶媒に牧草を混合し、150°Cのオイルバスで2時間加熱し

たのち、ろ過により残渣を除去し、秤量した。放射性セシウムを含む牧草を用いた試験では、残渣および分解液中の放射性セシウム濃度を測定した。

## 3 結果と考察

牧草に対する溶媒量が3倍の場合、10倍の場合に比べて残渣量が多くなった。また、いずれの場合も、硫酸添加濃度が増加すると残渣量が減少し、分解が促進された。牧草に対する溶媒量が10倍、硫酸濃度6%のケースでは、残渣率1%を達成した（図1）。粗グリセリンを用いた試験では、精製グリセリンよりも残渣率が高くなかった。

放射性セシウムを含む牧草を用いた試験では、試験後の残渣中の放射性セシウム濃度は検出下限値未満であり、放射性セシウムは分解液に移行すると考えられた。

本技術の特徴の一つは、処理で発生した分解液を燃料として活用できることである。そのため、分解液中の放射性セシウムを除去したのち、分解液を燃料として活用することが望ましい。非放射性セシウムを添加した試験では、グラフト重合不織布により分解液からセシウムを除去できることを確認できた。本技術を実用化していくためには、極低濃度の放射性セシウムを除去できることを確認していく必要がある。

腐敗性廃棄物の分解・減容としては焼却の方が技術的に有利であり、選択肢の一つとして本法の効果の確認と実用化に向けた課題抽出を達成できたことから、本技術開発を終了することとした。



図1 酸触媒存在下のグリセリン加溶媒分解法による牧草の分解試験と残渣率に及ぼす硫酸濃度の影響

## 除染活動支援システム (RESET) の開発と運用

## 1 はじめに

JAEA は国や自治体が進める除染活動を技術面で支援するために、除染の効果を予測するシミュレーションソフト「除染活動支援システム RESET」を開発し、平成 25 年より運用を開始した。また、放出された放射性セシウムに起因した空間線量率の長期的な変化傾向を予測することを目的に、放射性セシウムの物理減衰に加え、土地利用形態の違いや避難指示区域の違いによる減衰効果への影響を考慮した「空間線量率減衰の 2 成分モデル」を開発した。JAEA は、フェーズ 2 期間の令和 3 年度まで、これらのツールを用いて除染シミュレーションと将来の空間線量率の予測解析を行い、復興を目指す国や自治体への情報提供を行ってきた<sup>[1]</sup>。

ここでは、RESET を用いた取り組みの概要を記す。

## 2 方法

RESET は、除染後の空間線量率を予測することにより、効果的な除染の実施や除染計画の作成・立案を支援するために開発したシステムである（図 1）。事前に放射線輸送モンテカルロコード MCNP を利用しデータベース化した応答行列を利用し、除染前の空間線量率分布から表面汚染密度を計算する。除染効果を表す除染係数を仮定することで、除染後の表面汚染密度から除染後の空間線量率を推定することができる。また、除染後の空間線量率減衰の 2 成分モデルとして、図 2 に示す式を RESET に導入した。

## 3 結果と考察

まず、環境省が実施した「帰還困難区域における除染モデル実証事業」の結果等を用いて、除染シミュレーションおよび 2 成分モデルの検証を実施した。そのうえで、帰還困難区域全域のシミュレーションを実施した。その後、特定復興再生拠点区域の指定

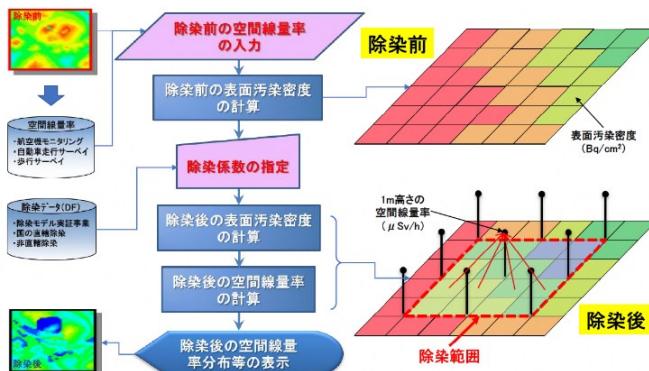


図 1 除染効果の予測シミュレーション (RESET)

に従い、当該区域に対するシミュレーションを実施した。図 3 は帰還困難区域の除染シミュレーション結果である。これらの結果から、特定復興再生拠点区域の除染により 60%程度の線量率の低減が期待できること、除染によって除染しない場合に比較して線量率の低減が 20~30 年早くなること、除染の実施により 2022~2023 年頃には除染対象区域の 90%以上が  $1.0 \mu\text{Sv/h}$  未満になることなどが予測された。

## 4 成果の活用

RESET を活用したシミュレーション結果については、適宜、帰還困難区域を有する 6 町村、福島県、復興庁、内閣府等に対し情報提供を行った。

特定復興再生拠点の除染が進み、除染後の線量率の低減傾向も収束してきたことを確認し、RESET はシステムとして役目を終えた。将来の事故に備えるべく、解析手法および適用例について技術報告書として公開した。

## 引用文献

[1] 山下卓哉, 沢田憲良: 福島県の帰還困難区域の除染シミュレーションと将来予測. JAEA-Research 2019-010, (2020).

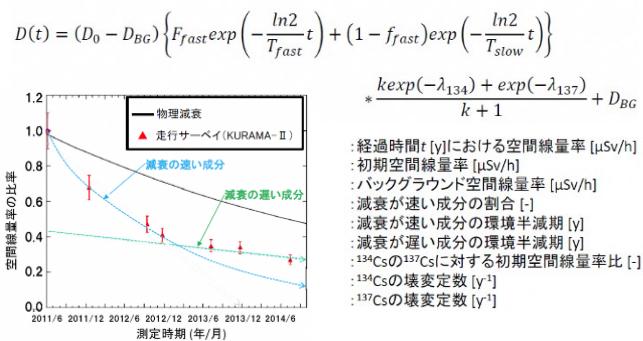


図 2 再現空間線量率減衰予測モデル（2 成分モデル）による将来予測例

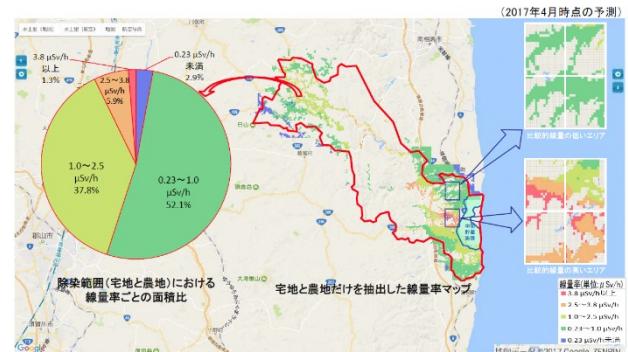


図 3 RESET によるシミュレーションの例 - 帰還困難区域の除染後の宅地と農地における線量率ごとの面積比 -

## 汚染状況重点調査地域における住宅除染の実施状況や課題の整理

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われ、平成30年3月末までに帰還困難区域を除く面的な除染が終了した。

このような広範囲に渡る除染の取組は世界的にも事例が少なく、将来的な災害対応等の参考となる事例が含まれている可能性がある。

本報では、市町村による住宅除染への対応やその中で生じた課題等に関する知見を整理することを目的に、アンケート及びヒアリングを行った。

なお、本報の詳細は福島県の報告書<sup>[1]</sup>に掲載されている。

## 2 方法

福島県内の汚染状況重点調査地域（国ではなく市町村が除染を行った地域）のうち、除染実施計画を策定した36市町村を対象とし、住宅除染の実施状況・実施体制・課題等に関するアンケートを行った。

また、アンケート調査に回答のあった市町村のうち、10市町村を対象にヒアリングを行った。

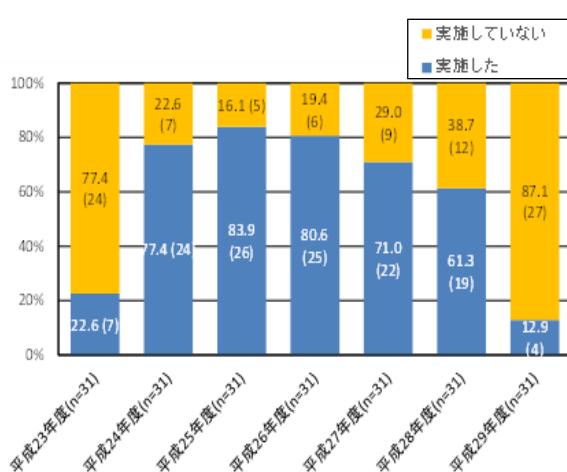


図1 住宅除染の実施時期（括弧内は市町村数）

## 3 結果と考察

アンケート調査の結果、住宅除染を実施していたのは、平成23年度には7市町村であったが、平成24年度以降住宅除染を実施する市町村が増え、平成25年度に26市町村とピークとなった。

また、住宅除染を実施したと回答のあった市町村のうち、最も強く不足感を感じたこととして「絶対的な人数の不足」が多く挙げられた。

このほか、不足感があったこととして、7割以上の市町村で「環境中の放射性物質や放射線の測定に関する知識の不足」「放射線の健康影響に関する知識の不足」「積算など、除染業務の仕様作成や発注に関するノウハウの不足」「除染技術に関する知識の不足」が挙げられた。

ヒアリング調査の結果から、これらの課題に対し、適切な役割分担や外部からの支援、様々な媒体を通じた知識の習得が有用であったことがわかった。

## 4 成果の活用

本報の結果について、将来の災害対応の参考とするため市町村へ情報共有した。

## 参考文献

[1] 福島県：環境創造センターにおいて福島県が取り組む除染に関する調査研究成果報告書 フェーズ1（平成27年度～平成30年度），（2020）。

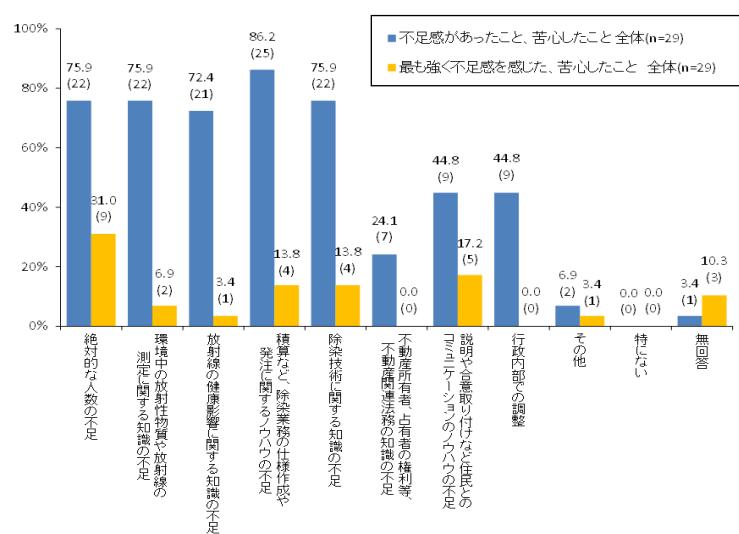


図2 住宅除染において不足感のあったこと、苦心したこと（括弧内は市町村数、複数選択可）

## 除染の効果に差異が生じる要因に関する事例的な検討

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって空間線量率は低減するが、その低減率にはばらつきがあり、除染効果の評価や解釈が難しい側面がある。

本報では、除染の効果に差異が生じる要因に関する知見を得ることを目的に、除染を行った市町村から除染の手法とその効果等に関する情報を収集し、その関係性を事例的に検討した。

なお、本報の詳細は福島県の報告書<sup>[1]</sup>に掲載されている。

## 2 方法

福島県の汚染状況重点調査地域（国ではなく市町村が除染を行った地域）の市町村のうち、2地域を対象とし、ヒアリング等により住宅除染の手法・除染前後の空間線量率等に関する情報を収集・整理した。

除染の効果に差異が生じる要因として、バックグラウンド（周囲の空間線量率）、除染対象の材質、除染の手法等について検討した。検討した項目毎に除染前後の表面線量率の低減率を比較した。

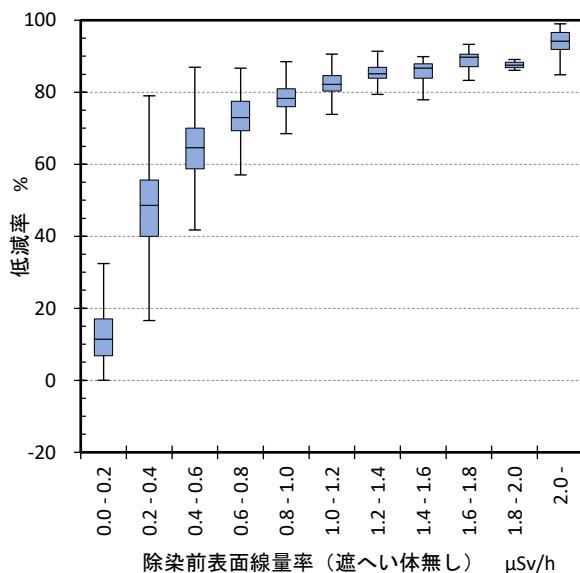


図1 除染前表面線量率と表面線量率の低減率との関係

## 3 結果と考察

いずれの地域においても、除染前の表面線量率が低い程、除染による表面線量率の低減率が低くなつておらず、バックグラウンドの影響を受けていたと考えられる（図1、2）。

土等の非舗装面の方が、コンクリート等の舗装面よりも低減率が高い傾向にあった。非舗装面を対象とした除染は、放射性物質を含む表土を除去する手法であることが理由の一つと考えられる。

調査対象地域における一部の地点では、除染の手法として「表土の剥ぎ取り」を実施した地点のほかに、住民の意向等により「除草のみ」等の異なる手法とした地点が混在していた。それらの地点は、除染前の表面線量率は同程度であったが、除草のみの場合、表土の剥ぎ取りに比べて表面線量率の低減率が低くなっていた。

## 4 成果の活用

本報の結果について、原子力災害対応の参考とするため市町村へ情報共有した。

## 参考文献

- [1] 福島県：環境創造センターにおいて福島県が取り組む除染に関する調査研究成果報告書 フェーズ1（平成27年度～平成30年度），（2020）。

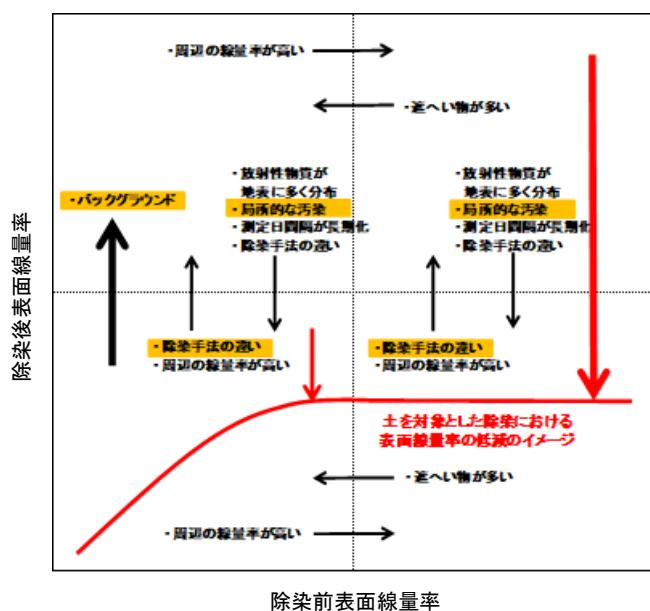


図2 除染前後の表面線量率と除染効果に差異が生じる要因との関係図

## 除去土壤等保管容器の袋体性能試験

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって発生した除去土壤等は、中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等に保管された。

仮置場での除去土壤等の保管は当初3年程度とされていたが、中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかつたことから、仮置場での保管が長期化した。そのため、除去土壤等が封入された保管容器をはじめとする仮置場資材の耐久性が懸念された。

本研究では、実際の仮置場で使用された保管容器の耐久性を袋体性能試験により評価した。

なお、本報は、高橋ら (2018) <sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

県内2か所の仮置場を選定し、実際に使用された保管容器(除去土壤等保管容器及び遮へい用土のう)の袋体を回収し、「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル(財団法人土木研究センター、2012)に規定される袋体性能項目の内の2つ、吊上げ・吊下ろし試験と落下衝撃試験を実施した(図1)。



図1 袋体性能試験の様子

(左：吊上げ・吊下ろし試験、右：落下衝撃試験)

## 3 結果と考察

約2～6年間遮光保管された保管容器について袋体性能試験を行った結果、耐久性が経年変化によって徐々に低下する傾向が見られるものの、多くの容器が土のうマニュアルに規定された性能(新品の基準)を満たしており、基準を下回った保管容器についても実用に支障ない水準で強度が保たれていることを確認した(図2)。

一方で、一部の日光曝露された保管容器(遮へい用土のう)については耐久性低下が早く、取扱に注意が必要であることが確認された。

保管容器の堆積位置(1～3段目)や保管容器の種類(耐候性大型土のう、フレキシブルコンテナJ形1種・2種)による明確な性能差は見受けられなかった。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部が、福島県仮置場等技術指針に掲載された。

## 引用文献

[1] 高橋勇介: 福島県内の除去土壤等仮置場における保管容器の長期耐久性の調査. ジオシンセティクス技術情報, 34 (2) (2018).

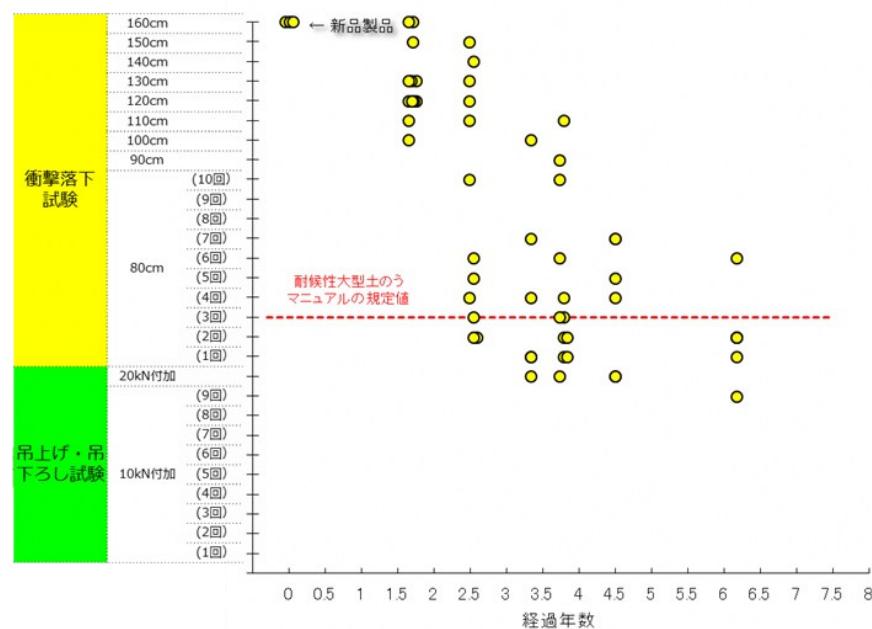


図2 袋体性能試験結果(耐候性大型土のう、遮光保管)

## 除去土壤等保管容器の長期耐久性試験

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって発生した除去土壤等は、中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等に保管された。

仮置場での除去土壤等の保管は当初3年程度とされていたが、中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかつたことから、仮置場での保管が長期化した。そのため、除去土壤等が封入された保管容器をはじめとする仮置場資材の耐久性が懸念された。

本研究では、実際の仮置場で使用された保管容器の長期耐久性を引張試験等により評価した。

なお、本報は、高橋ら (2019)<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

県内2か所の仮置場を選定し、実際に使用された保管容器(除去土壤等保管容器及び遮へい用土のう)を短冊状に切り出し、JIS L 1908またはJIS Z 1651に準じて引張試験を実施した(図1)。また、未使用品を用いた紫外線促進曝露による耐候性試験をJIS Z 1651耐候性試験B法に準拠して実施した。



図1 引張強度試験の様子

## 3 結果と考察

耐候性試験によって人工的に屋外使用10年相当の紫外線を保管容器へ照射したフレキシブルコンテナは、種類によっては「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル(財団法人土木研究センター、2012)における新品の基準強度(240 N/cm)を下回ることがわかった(図2下)。

一方、遮光保管された除去土壤等保管容器(フレキシブルコンテナ及び耐候性大型土のう)の強度低下は小さく、基準強度を十分満足しており、低下の傾向から遮光保管することで10年程度の長期耐久性が期待できる(図2上)。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部が、福島県仮置場等技術指針に掲載された。

## 引用文献

[1] Y. Takahashi et al.: Study on Long-term Durability of the Polymeric Materials Used at Temporary Storage Site in Fukushima Prefecture. Geo-Environmental Engineering 2019, 82, (2019).

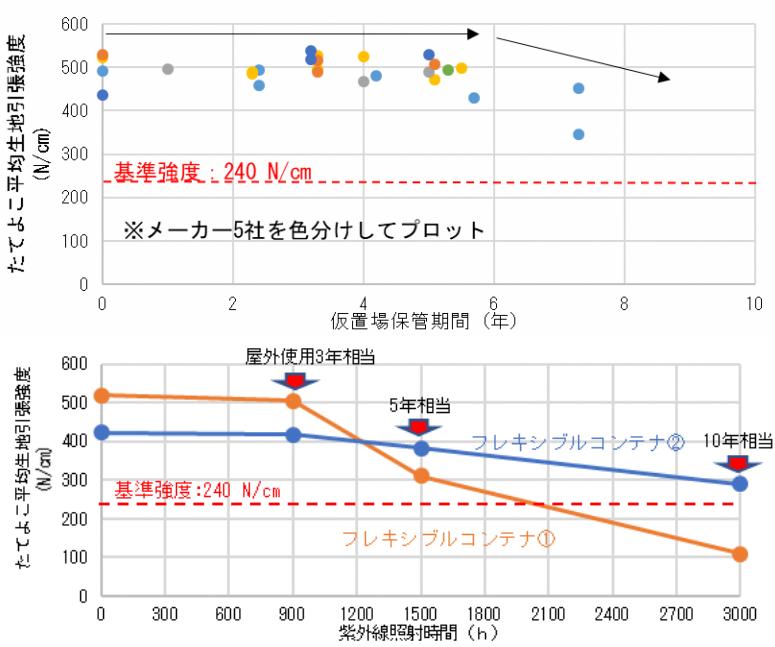


図2 フレキシブルコンテナの引張強度試験  
(上: 遮光保管された現地使用品、下: 紫外線促進曝露試料)

## 化学分析による除去土壤等保管容器の劣化状況評価

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって発生した除去土壤等は、中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等に保管された。

仮置場での除去土壤等の保管は当初3年程度とされていたが、中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかつたことから、仮置場での保管が長期化した。そのため、除去土壤等が封入された保管容器をはじめとする仮置場資材の耐久性が懸念された。

本研究では、保管容器の劣化状況とその要因を把握するため、化学分析による評価手法を検討した。

## 2 方法

県内の仮置場にて実際に使用された保管容器（フレキシブルコンテナ及び耐候性大型土のう）から試料を採取した。

また、日光（紫外線）が保管容器の劣化の要因となることが考えられるため、未使用品を用いた紫外線促進曝露による耐候性試験をJIS Z 1651 耐候性試験B法に準拠して実施した。

上記の試料に対し、ゲル透過クロマトグラフィーによる分子量分布の分析と赤外分光光度計を用いた化学構造の分析を行った。

## 3 結果と考察

ゲル透過クロマトグラフィーによる耐候性大型土のうの分析の結果、未使用品、促進曝露試料（人工的に紫外線を照射した試料）、日光曝露した試料で分子量分布の変化は小さかった（図1）。また、重量平均分子量と引張強度に相関性はみられなかった。

劣化反応には分子切断だけでなく架橋も含まれており、分子量の僅かな低下から強度低下を予測することは困難であると考えられた。

赤外分光光度計によるフレキシブルコンテナの分析の結果、促進曝露試料において曝露時間とともにカルボニル基由来のピークが成長する様子が観察された（図2上）。仮置場で遮光保管された容器については、保管期間6年までは僅かな変化であるが7.3年保管されたものの一つは明瞭なピークを示した（図2下）。

のことから、保管容器の劣化の主要因が紫外線であることが支持され、赤外分光光度計による分析は表面劣化の評価指標になり得るものと考えられた。

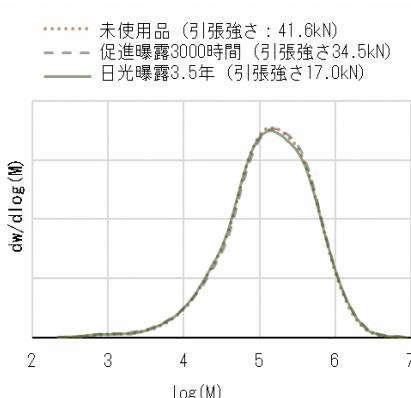


図1 ゲル透過クロマトグラフィーによる分子量分布曲線（耐候性大型土のうのベルト）

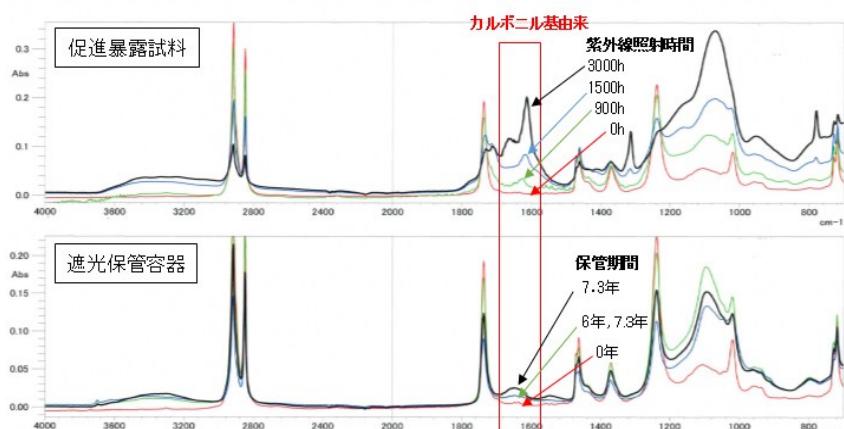


図2 フレキシブルコンテナ生地表面の赤外分光分析結果  
(上：人工的に紫外線を照射した試料、下：実際に仮置場で使用された試料)

## 仮置場上部シートの耐久性試験

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって発生した除去土壤等は、中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等に保管された。

仮置場での除去土壤等の保管は当初3年程度とされていたが、中間貯蔵施設の用地取得が思うように進まなかつたことから、仮置場での保管が長期化した。そのため、仮置場で使用される各種資材の耐久性が懸念された。

本研究では、仮置場で除去土壤等の保管のために使用された上部シート等の耐久性を引張試験等により評価した。

なお、本報は、Takahashi and Koiso (2020)<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

県内2か所の仮置場にて実際に使用された遮水シート及び通気性防水シート（最大5年程度使用）から試料を採取し、JIS K 6251またはJIS L 1908に準じて引張試験を実施した。

また、JIS L 1092に規定するB法（高水圧法）に準じて耐水度試験を実施した。

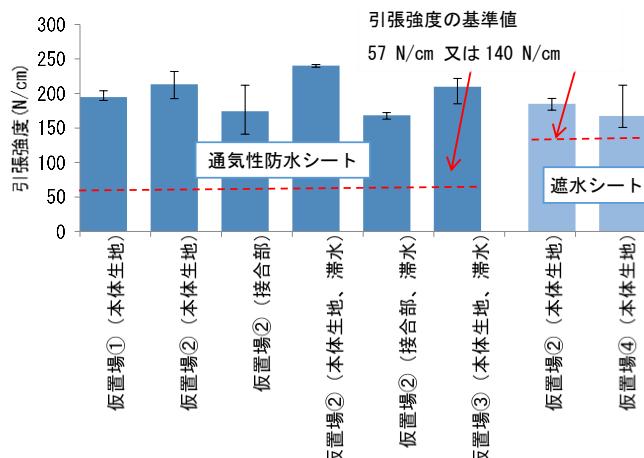


図1 遮水シート等の引張試験結果

## 3 結果と考察

遮水シート、通気性防水シートとともに本体、接合部とともに引張強度の基準値を十分上回っており、現時点では耐久性に問題はないと考えられる（図1）。なお、滯水（水たまり）部分は水の重さにより負荷がかかるため、劣化が進むと思われたが違いはみられなかった。

一方、遮水シートの耐水度に問題はないが、通気性防水シートの耐水度は極めて低くなっていた（図2）。このことから日光曝露された通気性防水シートは短期間で耐水性が大幅に低下し仮置場で漏水する可能性があるため、シート下の保管容器の防水性に十分注意する必要がある。なお、通気性防水シートの滯水部分で基準を上回る場合が見られたが、これは水で日光が遮られ劣化が軽減されたためと考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部が、福島県仮置場等技術指針に掲載された。

## 引用文献

- [1] Y. Takahashi, M. Koiso: A Study on the Durability of Covering Sheets Used at Temporary Storage Sites in Fukushima Prefecture, Global Environ. Res. 24(2), pp. 181-190 (2020).

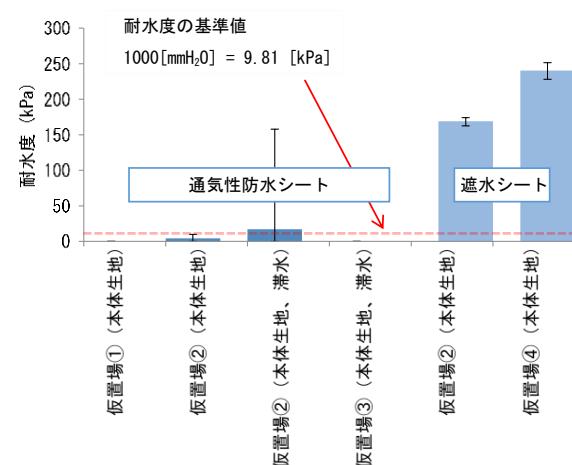


図2 遮水シート等の耐水度試験結果

## 仮置場原状回復の課題解決に向けた基礎調査

福島県

## 1 はじめに

除去土壤の搬出が完了した仮置場は従前の土地利用を基本とした原状回復が行われる。仮置場は長期間の土壤保管や輸送に係る重機の移動に伴って荷重が加えられて土壤圧縮が生じ土壤硬度が変化していることがある。別の問題として、原状回復における客土には遮へい土として利用された山砂が使われることがあり、土壤の化学性が劣化することがある。そこで、原状回復作業時の技術的課題に関する基礎調査として、仮置場跡地の土壤硬度調査や、遮へい土を用いた栽培試験を行った。

## 2 方法

仮置場跡地の土壤の締め固まりの程度を調査するため、除去土壤の搬出が完了した複数の仮置場を対象に土壤硬度測定を行った。地表面からコーン貫入計を挿入して深度ごとの土壤硬度を測定する方法と、土壤断面を作成し側面より山中式土壤硬度計で測定する方法を用いた。

栽培試験には遮へい土として利用された山砂を用いた。土壤改良資材として堆肥及びゼオライトを土壤に混合してポットに充填し、コマツナの栽培を行

った。土壤改良資材の有無が生育に与える影響、及び栄養分の流出に与える影響を評価した。

## 3 結果と考察

土壤硬度調査の結果、除去土壤の保管の有無による差ははっきりとしなかった。一方で、重機が走行した区画において顕著に土壤が締め固まっていることが明らかとなった（図1）。更に、深さ40cm程度まで土壤硬度が高くなっている。これは一般的な耕起深度よりも大きかった。また、表土として山砂を客土して整地をした仮置場跡地では、コーン貫入計が入らないほど表面が締め固まることも確認された。

栽培試験では山砂のみであっても施肥することで作物は生育したが、堆肥とゼオライトを両方施用した場合に最も生育が向上した（図2）。ポット内の窒素分は堆肥区画で大きくなっている。ゼオライトを入れると土壤の保持量が増加した。堆肥は植物への窒素栄養分を補給し、ゼオライトによって一部が保持されることで生育を改善したと考えられる。ゼオライトを混合するとカリウム濃度も高くなっている。これも生育向上に寄与したと考えられる。

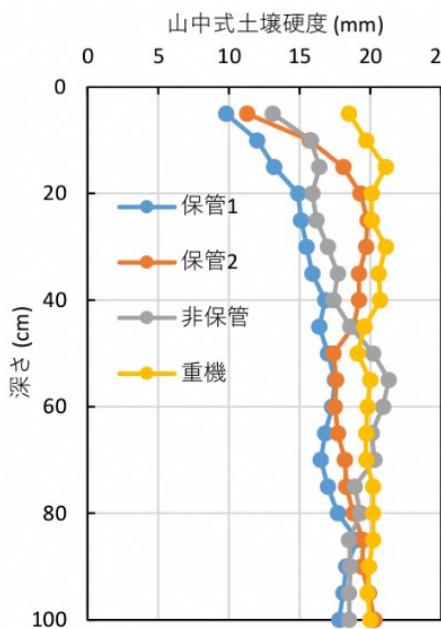


図1 土壤硬度調査結果

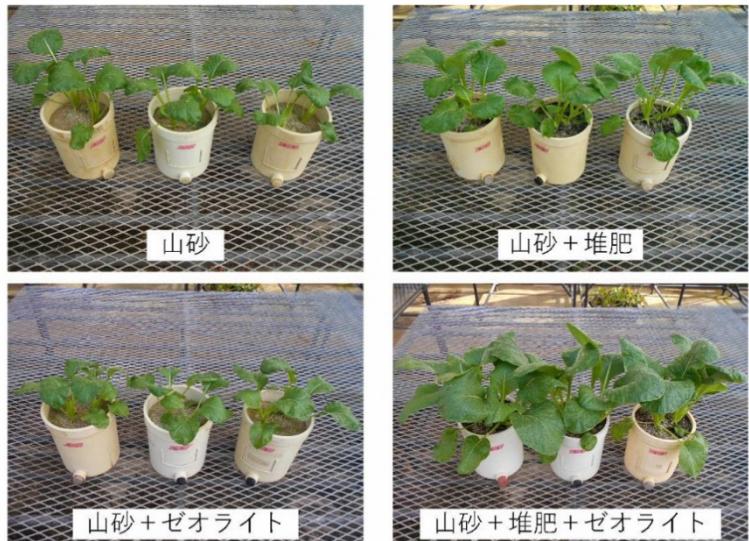


図2 ポット栽培実験の生育状況

## 仮置場原状回復の課題解決に向けた現地実証試験

福島県

## 1 はじめに

除去土壤の仮置場は従前の土地利用を基本として原状回復される。仮置場跡地の基礎調査を通して仮置場の利用に伴って土壤が締め固まること、また客土として山砂を利用すると化学性が低く改良資材が有効であることが明らかとなった。本実証試験においては基礎調査の知見に基づき仮置場を畑地に原状回復する際の課題と対応策を明らかにするため、実際に仮置場を復旧したうえで営農試験を行った。

## 2 方法

環境省のガイドラインを基本とし、仮置場を畑地に原状回復した。このとき、一部区画においては土壤の締め固まり対策として深耕（60 cm深）を行った。続いて土壤の理化学性分析結果に基づいて遮へい土を客土として投入しひゼオライトを全区画に、一部区画に堆肥を施用した。その後、地表面を裸地、緑肥、営農区に分割し、営農試験を実施した。

試験実施中は土壤水分量等をモニタリングした。営農区や緑肥区では栽培状況や生育量を確認すると共に、土壤侵食量や空間線量率を定期的に測定した。



図1 作物の栽培状況（上：営農区、下：緑肥区）

## 3 結果と考察

養分が少ない山砂を客土したが、土壤改良資材や十分量の施肥を行うことで栽培自体は可能であり、かつ作物中の放射性セシウム濃度は十分に低いことが確認された（図1）。土壤侵食量は深耕、緑肥栽培の両方が抑制に効果があった（図2）。深耕は復旧直後において土壤侵食量を減少させたが、これは土壤の浸透能を高め表面流出量を減少させたためと考えられる。緑肥は被覆率が高まった夏以降で侵食を抑制し、これは深耕の有無によらず効果があった。これは被覆による雨滴の衝撃緩和や根による土壤の保持と考えられる。両者の組み合わせが復旧直後から長期的にわたり侵食抑制に有効であることを示した。また、試験期間中に空間線量率の変化はなく、安全に利用できることを確認した。

## 4 成果の活用

本試験による原状回復工事が、仮置場の原状回復に関する事例集に掲載され、市町村に展開された。

また、試験結果については、原状回復の際の参考資料として、関係課を通じて市町村に展開された。

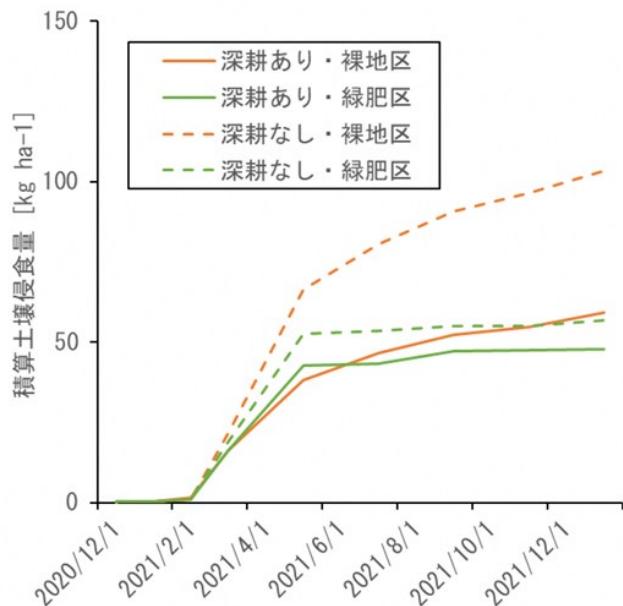


図2 積算の土壤侵食量変化

## 仮置場原状回復後の跡地利用における被ばく線量評価

福島県

## 1 はじめに

福島県内の除染活動に伴い生じた除去土壤等は、仮置場等で一時保管された後、順次中間貯蔵施設への輸送が行われた。輸送が完了した仮置場は、従前の土地利用を基本として原状回復される。

原状回復後の仮置場を地権者へ返地する際、仮置場跡地の被ばく線量評価の結果を地権者に提示することで、安全性を効果的に伝えられると考えられる。

そのため、本研究では、汚染状況重点調査地域の仮置場跡地の利用者の将来的な追加被ばく線量を評価した。

## 2 方法

農地、住宅、公園等様々な土地利用や被ばく経路（図1）を対象とした。土地利用毎の活動時間等を考慮して年齢別にパラメータを検討した。計算モデルは、既往の文献<sup>[1][2]</sup>を参考に検討した。

仮置場の表土の汚染状況に応じて追加被ばく線量を求めるため、放射性セシウム単位濃度（1 Bq/kg）あたりの追加被ばく線量を求めた。また、事例評価として、実際の仮置場跡地の表土中の放射性セシウム濃度（3か所）や空間線量率（571か所）を放射性セシウム濃度に変換した値を、上記の計算結果に乗じることで追加被ばく線量を求めた。

## 3 結果と考察

いずれの年齢区分においても住宅シナリオの追加

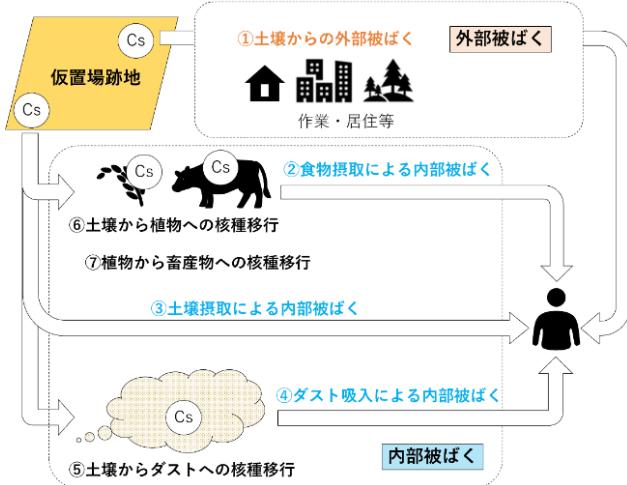


図1 検討した被ばく経路のイメージ

被ばく線量が最大であり、1-6歳の住宅シナリオが0.00041 (mSv/年)/(Bq/kg) で全ての年齢区分のシナリオにおいて最大であった。住宅シナリオは、仮置場跡地での滞在時間（在宅時間）が長いため、外部被ばく線量が他のシナリオより大きくなり、追加被ばく線量の合計値が最大となった。

実際の仮置場で測定した放射性セシウム濃度や空間線量率を用いて事例評価を行った結果、住宅シナリオにおける大人と1-6歳の追加被ばく線量はそれぞれ0.094 mSv/年、0.59 mSv/年であった。また、パラメータのばらつきを考慮して保守的な値を用いて評価した結果、1-6歳の住宅シナリオの追加被ばく線量が、0.71 mSv/年で最大となった。一例として、大人の追加被ばく線量の計算結果を図2に示す。以上の結果から、全ての事例評価において、追加被ばく線量は1 mSv/年を下回った。

## 4 成果の活用

本研究成果を取りまとめた報告書が、仮置場跡地の地権者に安全性を示す際の参考資料として、県内の自治体で活用された。

## 引用文献

- [1] (一社) 日本原子力学会: 日本原子力学会標準 浅地中処分の安全評価手法: 2016, (2017).  
 [2] IAEA: Safety Reports Series No. 44, (2005).

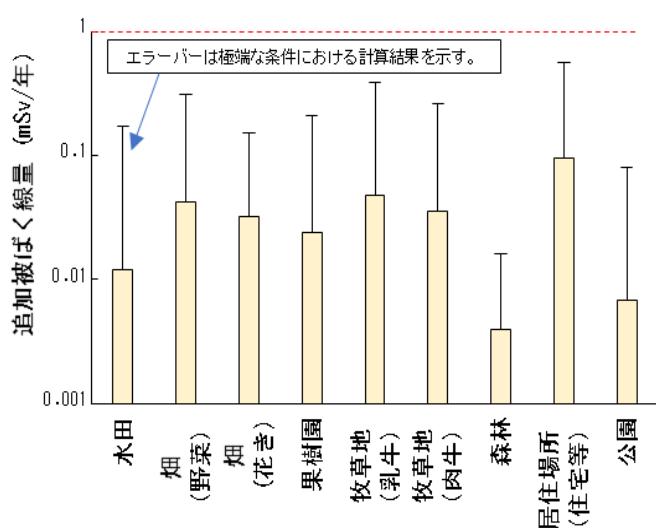


図2 被ばく線量評価結果（大人の場合）

## 仮置場における不陸対策実証試験

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって発生した除去土壌等は、中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等に保管された。

仮置場の維持管理上の課題の一つとして、仮置場上部のシートにおける不陸の発生がある（図1）。不陸箇所に滯水が発生すると水による応力がかかり、その結果シートの破れにつながる可能性がある。

本報では、ジオグリッド（一般的に軟弱地盤上の盛土補強材等に使用される。）による不陸対策実証試験を行うとともに、試験後、経過を観察した。

なお、本報の詳細は福島県の報告書<sup>[1]</sup>に掲載されている。

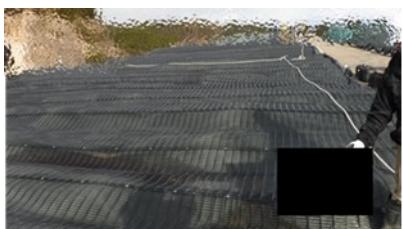
## 2 方法

福島県内の仮置場を対象として、上部のシート上にジオグリッドを敷設し、敷設したジオグリッドの延伸方向に吊り下げ荷重を下げた後、その上に通気性防水シートを敷設した（図2）。

施工後、2017年1月～2018年12月に、滯水した不陸の状況確認及び最深地点における深さ、短辺方向の長さ及び長辺方向の長さの測定を行った。



図1 不陸発生の様子

図2 ジオグリッド敷設後の様子  
(撮影後、上に通気性防水シートを敷設)

## 3 結果と考察

ジオグリッド敷設後の不陸の発生数は、最大でも施工前と同程度であり、小さな不陸は乾燥等による消失が確認された。

不陸の深さは、経過観察を行った時期により変動があるものの、施工前と比較して減少しているのが確認できた。

各不陸について、本実証試験で使用したジオグリッドの品質管理上、許容できる沈下深さ（許容沈下深さ）を求め、実測した不陸の深さを比較した結果、横・縦方向いずれにおいても、ほぼ全ての不陸において、許容沈下深さ未満であることが確認できた（図3）。

以上のことから、実施した経過観察の範囲では、ジオグリッドの敷設に上部シートの損傷を防止する効果があることを確認した。

## 4 成果の活用

本報の結果について、市町村へ情報共有し、仮置場の維持管理の参考とされた。

## 参考文献

- [1] 福島県：環境創造センターにおいて福島県が取り組む除染に関する調査研究成果報告書 フェーズ1（平成27年度～平成30年度），（2020）。

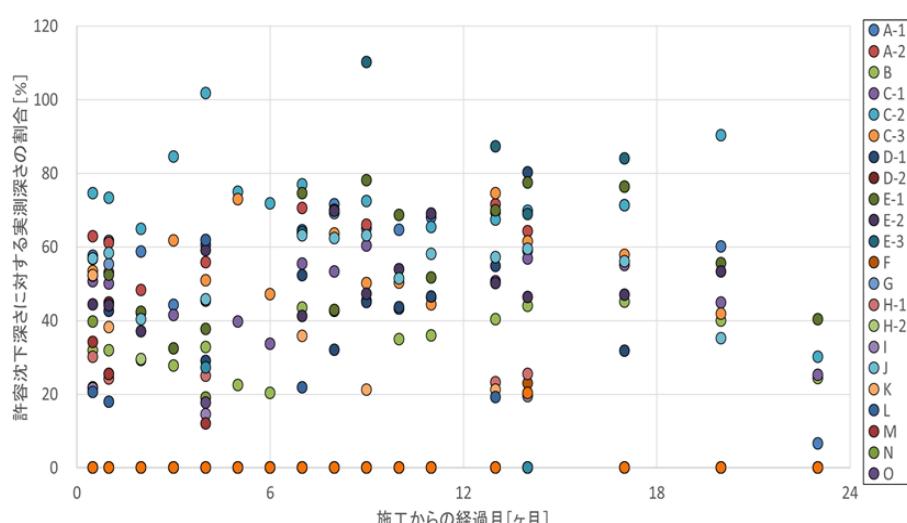


図3 許容沈下深さに対する実測深さの割合

## 仮置場跡地における空間線量率測定手法の検討

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって発生した除去土壤等は、中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等に保管された。輸送が終了した仮置場は、除去土壤等を保管していた場所の跡地（以下「保管場所跡地」という。）において空間線量率の測定や土壤中の放射性セシウム濃度等の測定を行い、跡地の汚染が無いことを確認したうえで、従前の土地利用を基本として原状回復が行われる。

本報では、跡地の土壤汚染が無いことを確認するための空間線量率等測定について、より効果的な手法を検討するため、実際の仮置場跡地において複数の方法で空間線量率を測定した。

なお、本報は、小磯ら（2021）<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

福島県内の仮置場（A～C）を対象として、2017～2018年に、除染関係ガイドラインに準拠して実施する方法（定点調査）と、面的な放射線量の把握が可能である歩行サーベイ機器（図1）を利用して2つの方法で空間線量率を測定した。

また、実施した結果から汚染有無を確認した。



図1 歩行サーベイ機器の一例  
(写真はKURAMA-II)

## 3 結果と考察

定点調査の結果、次のとおり、いずれの仮置場跡地においても、空間線量率は、除去土壤等保管開始前の値を下回っていることを確認した。仮置場A：0.12  $\mu\text{Sv}/\text{h} \rightarrow 0.05 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 、仮置場B：0.33  $\mu\text{Sv}/\text{h} \rightarrow 0.13 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 、仮置場C：0.09  $\mu\text{Sv}/\text{h} \rightarrow 0.07 \mu\text{Sv}/\text{h}$ （矢印の左が保管前、右が撤去後）。

歩行サーベイの結果、いずれの仮置場跡地においても、保管開始前の値と同程度、又は下回っていることが確認できた。また、線量測定を行うのに要した時間は、サーベイメータ等を使用して線量測定を行うに比べて、歩行サーベイ機器を利用して線量測定を行う方がいずれの仮置場跡地でも短かった。

以上のことから、歩行サーベイは、短時間で対象全体の測定が可能であること、線量分布図（図2）のように可視化した結果を示すことができることから、効果的な測定方法であると考えられた。

## 4 成果の活用

本報の結果を踏まえ、歩行サーベイ機器の活用について、福島県仮置場等技術指針に記載された。

## 引用文献

[1] 小磯将広, ほか: 除去土壤等の保管が終了した仮置場の保管場所跡地における効率的な空間線量率の測定. 環境放射能除染学会誌, 9 (3), pp. 145-151 (2021).



図2 仮置場Aにおける線量分布図

## 仮置場の安全性評価

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。これら環境汚染からの環境回復のため、福島県内では放射性物質汚染対処特措法に基づき、生活圏を中心とした除染が行われた。

除染によって生じた除去土壤等は、国が設置した中間貯蔵施設へ搬入されるまでの間、仮置場等にて保管される。仮置場等は公衆の生活圏に存在することから、仮置場等での除去土壤等の管理による人の健康や生活環境への影響が懸念される。

そのため、本研究では、除去土壤等の管理に起因する公衆の被ばくについての重要なシナリオを特定することを目的とし、事故時を含めた公衆の被ばく経路を整理し評価した。

## 2 方法

モデル仮置場(除去土壤等の体積が800m<sup>3</sup>、密度が1,600 kg/m<sup>3</sup>、セシウム134の濃度が2,500 Bq/kg、セシウム137は8,500 Bq/kg)を設定し、想定されるシナリオを平常時及び事故時について作成した(表1)。

各シナリオの評価には既存の確立された被ばく線

量評価モデルを用いた。

## 3 結果と考察

平常時の被ばく線量評価として、仮置場での外部被ばく線量を評価した結果、除染関係ガイドライン(環境省)に沿った仮置場の設計を行うことで、追加被ばく線量が0.06 mSv/yとなり、当該ガイドラインに示される基準値1 mSv/yを下回った。

事故時の評価において、最も影響が大きいと想定されたのは、火災事象の発生時における汚染された農産物の経口被ばく経路であった(図2)。したがって、生活圏に存在する仮置場において大規模な火災事故が発生した場合においては、本経路について特に注意を払う必要がある。ただし、農産物の摂取制限により経口被ばくを抑制することで、追加被ばく線量は、火災1回あたり0.4 mSvまで低減できることが示唆された。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部が、福島県仮置場等技術指針に掲載された。

表1 検討したシナリオの一覧

| 検討したシナリオ |   |
|----------|---|
| 平常時      | <ul style="list-style-type: none"> <li>近隣での居住</li> <li>定期モニタリング</li> </ul>  |
| 事故時      | <ul style="list-style-type: none"> <li>火災による除去土壤等の放出及び遮へい機能の喪失</li> <li>大雨による除去土壤等の流出</li> <li>施設外への漏えい防止機能の喪失</li> <li>河川の氾濫による除去土壤等の流出</li> </ul> |

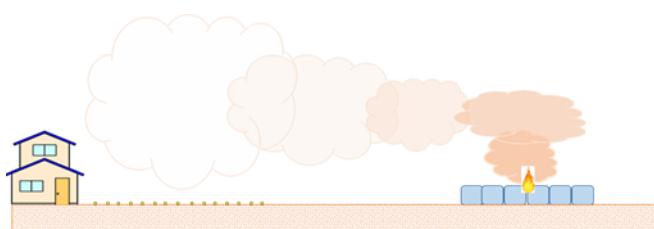


図1 火災発生時のイメージ

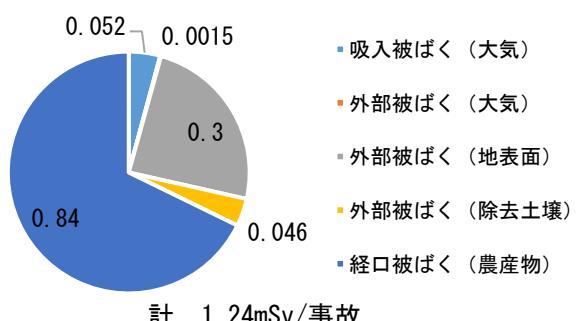


図2 火災時に想定された経路ごとの被ばく線量

## 仮置場等の設置に係る住民合意形成過程

福島県

## 1 はじめに

除染により生じた放射性物質を含む土壤等の一時的な保管場である仮置場の設置に係る知見、とりわけ住民合意形成に関する知見は、単に原発事故に伴う対応の範囲にとどまらず、例えば廃棄物処理施設の立地選定といった、様々な施設の立地に係る住民合意形成において参考になるものと考えられる。

そこで、除染実施計画を作成した自治体等を対象とし、仮置場設置方針の策定や候補地選定、候補地の決定といった仮置場設置に向けたプロセスにおいて、行政や住民が果たした役割に関して調査を行い、仮置場等の設置に係る住民合意形成に関する知見をとりまとめた。

## 2 方法

仮置場等の設置方針や具体的な立地選定過程における行政および住民が果たした役割に関する情報を収集するため、仮置場の設置に携わった自治体担当者を対象としたヒアリングを行った。

調査対象は、福島県を中心として宮城県及び栃木県内の自治体を含む計38自治体を対象とした。

また、ヒアリング項目は、仮置場の設置方針の決定や候補地の選定における行政及び住民の役割や具体的に生じた課題と課題への対応方法等とした。

## 3 結果と考察

仮置場の設置の過程における行政及び住民の役割を仮置場の設置単位別に分類して静置した結果を表1及び2に示す。ここで、表1は大規模集約型、表2は小規模分散型の自治体の結果である。候補地の提案について、大規模集約型は、分散型と比較して、行政が主体となる割合が高い結果であった。ま

表1 仮置場設置プロセスと実施主体(大規模集約型)

| 対象自治体 | 設置単位           | ①候補地の提案 | ②地権者や周辺住民との交渉 |          | ③仮置場設置の実施決定 |         |
|-------|----------------|---------|---------------|----------|-------------|---------|
|       |                |         | 地権者との交渉       | 周辺住民との交渉 | 決定に開いた幅     | 具体的な組織  |
| 自治体1  | 市町村内一箇所        | 行政      | 無し            | 行政       | 行政          |         |
| 自治体2  | 市町村内一箇所        | 住民      | 行政            | 無し       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体3  | 市町村内一箇所        | 行政      | 無し            | 行政       | 行政及び住民      | 住民説明会   |
| 自治体4  | 市町村内一箇所        | 行政      | 行政            | 無し       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体5  | 市町村内一箇所        | 住民      | 行政            | 行政       | 住民          | 協議会     |
| 自治体6  | 市町村内一箇所        | 行政      | 行政            | 住民       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体7  | 市町村内一箇所        | 行政      | 無し            | 無し       | 行政          |         |
| 自治体8  | 市町村内一箇所        | 住民      | 行政            | 無し       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体9  | 市町村内一箇所        | 行政      | 行政            | 行政       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体10 | 市町村内一箇所        | 行政      | 行政            | 行政       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体11 | 市町村内一箇所        | 行政      | 無し            | 無し       | 行政          |         |
| 自治体12 | 市町村内広域の範囲で複数箇所 | 行政      | 行政            | 行政       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体13 | 市町村内広域の範囲で複数箇所 | 行政      | 無し            | 無し       | 行政          |         |
| 自治体14 | 市町村全体の一箇所及び行政区 | 行政及び住民  | 行政            | 行政       | 行政及び住民      | 住民説明会   |

た、住民が主体となる場合、大規模集約型では個人であるケースが多い一方で、分散型では、何らかの住民組織であるケースが多かった。次に、地権者や周辺住民との交渉について、大規模集約型では行政が主体となる割合が高く、分散型では住民の割合が高い結果となった。仮置場等設置の意思決定について、大規模集約型と比較して分散型の方が、住民組織による意思決定がなされた割合が高い結果となった。

大規模集約型の仮置場を設置する例のほとんどが行政主体ですべてのプロセスを進めたのは、候補地の要件が厳しく結果的に公用地を転用するケースが多かったことが要因と考えられる。一方で小規模分散型の仮置場設置においては、それとは異なり住民が主体となって候補地選定や意思決定の役割を担うケースが多くを占めた。除染や廃棄物管理は原発事故の結果生じた問題であるものの、他の地域課題と同様に行政区や町内会といった既存の住民組織が関わることが重要であったことが明らかとなった。

次に、仮置場の設置時の課題の一つとして、住民の不安があり、「放射線量の上昇」、「周辺の環境変化

(水質等)」及び「仮置場の管理」に大別された。これに対して、模型などを利用したわかりやすい説明、住民が希望するデータの提示や、住民らにも管理業務に協力してもらうといった不安軽減対策が取られていた。多くの場合、行政が取得したデータとともに安全性を説明するが、住民自身が線量に関するデータをとることは住民らのリスクに対する自己制御性を高めることにつながる。また自ら取得した結果と行政の示した結果が一致することは、行政への信頼を向上させ、結果的に施設の受容性を高めることにつながると考えられる。

表2 仮置場設置プロセスと実施主体(分散型)

| 対象自治体 | 設置単位 | ①候補地の提案 | ②地権者や周辺住民との交渉 |          | ③仮置場設置の実施決定 |         |
|-------|------|---------|---------------|----------|-------------|---------|
|       |      |         | 地権者との交渉       | 周辺住民との交渉 | 決定に開いた幅     | 具体的な組織  |
| 自治体22 | 行政區等 | 住民      | 住民            | 行政       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体23 | 行政区  | 住民      | 住民            | 住民       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体24 | 行政区  | 行政及び住民  | 行政            | 行政       | 行政及び住民      | 住民説明会   |
| 自治体25 | 行政区  | 住民      | 住民            | 住民       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体26 | 行政区  | 住民      | 行政            | 行政       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体27 | 行政区  | 住民      | 住民            | 住民       | 行政          |         |
| 自治体28 | 行政区  | 住民      | 住民            | 住民       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体29 | 行政区  | 住民      | 住民            | 住民       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体30 | 行政区  | 住民      | 行政及び住民        | 行政       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体31 | 行政区  | 住民      | 行政            | 行政       | 行政          |         |
| 自治体32 | 行政区  | 行政      | 行政            | 行政       | 行政          | 住民説明会   |
| 自治体33 | 行政区  | 住民      | 行政            | 行政       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体34 | 大字等  | 住民      | 行政及び住民        | 行政       | 住民          | 行政区・町内会 |
| 自治体35 | 大字   | 住民      | 行政            | 行政       | 行政          |         |
| 自治体36 | 大字   | 行政及び住民  | 行政及び住民        | 行政及び住民   | 行政及び住民      | 住民説明会   |

## 粘土鉱物を活用した一般廃棄物焼却灰に含まれる放射性セシウムの難溶化

福島県

## 1 はじめに

福島県内より生じる一般廃棄物焼却灰には放射性セシウム（以下「Cs」という。）を含むものがあり、適性処分を進めていくためには、その基礎的な物性や放射性Cs溶出性の把握、溶出抑制方法の検討が必要である。そのため、県内にある一般廃棄物焼却施設より、夏季と冬季にそれぞれ試料採取を行い、それらに関する試験を実施した。

なお、本報は、村沢ら（2019）<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

本研究では、本研究では5カ所の一般廃棄物焼却施設から、夏季と冬季に採取した一般廃棄物焼却灰を対象として、①一般廃棄物焼却灰の放射性Cs濃度・溶出率を明らかとするため、ゲルマニウム半導体検出器による測定や溶出試験を行った。②放射性Cs溶出に影響を及ぼす元素組成を検討するためXRF-EDSによる測定を行った。③放射性Csの溶出を抑制する方法を検討するため、キレート処理後の飛灰に対して、ゼオライト、酸性白土、バーミキュライトを重量比5%から20%の割合で混練し溶出抑制効果の確認を行った。

## 3 結果と考察

主灰、飛灰、キレート処理後飛灰それぞれの放射性Cs濃度結果について、夏季と冬季のものを比較すると、年間を通して一定の値ではなく季節変動による影響が存在する結果となった。

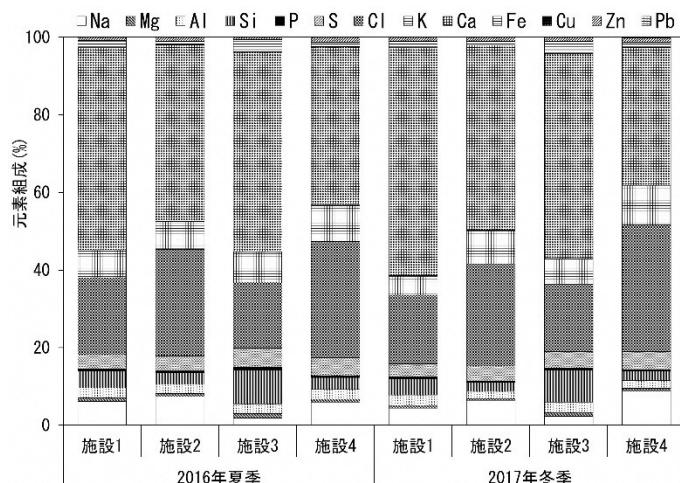


図1 キレート処理後飛灰の元素組成

また、夏季と冬季のどちらの場合も主灰より飛灰やキレート処理後飛灰の方が放射性Cs濃度は高く、溶出率も高くなつた。この結果から、主灰と比較して飛灰やキレート処理後飛灰からの放射性Cs溶出抑制対策が重要になると考えられる。

なお、主灰、飛灰及びキレート処理後飛灰それぞれの元素組成結果について、夏季と冬季のものを比較すると、同一施設から採取したものでは、夏季と冬季の違いによる大きな組成変化はみられなかつた（図1）。一方、主灰より、飛灰とキレート処理後飛灰の方がCl値が高く塩化物の存在量が多いという傾向がみられた。

さらに、放射性Csを含むキレート処理後の飛灰に対して粘土鉱物を混練することにより、放射性Csの溶出を抑制することができるという結果が得られた

（図2）。そのため、保管時や埋立後に、雨水等と接触した際のキレート処理後飛灰からの放射性Cs溶出抑制対策の1つとして、粘土鉱物の混練は有効であると考えられる。

## 4 成果の活用

福島県内的一般廃棄物焼却施設の安全性の向上に寄与した。

## 引用文献

- [1] 村沢直治, ほか: 一般廃棄物焼却灰からの放射性Cs溶出性と粘土鉱物による抑制, 環境技術学会環境技術 48(3), pp. 44-49 (2019).

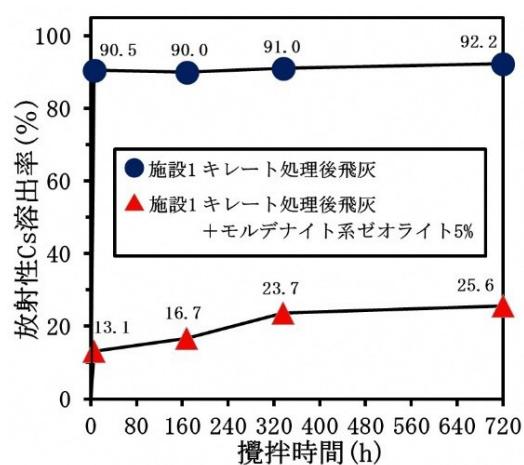


図2 粘土鉱物による放射性Cs溶出抑制効果

## 焼却灰への放射性セシウムの移行制御に関する実証試験

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性セシウム等の放射性物質が環境中に放出され福島県をはじめとした地域が広く汚染された。放射性セシウムを含む一般廃棄物を焼却処理すると放射性セシウムは焼却灰に移行し、重量あたりの濃度は上昇する。

本研究では、放射性セシウムを含む一般廃棄物の安全かつ適正な処理を図るために、焼却灰への放射性セシウムの移行を制御する技術を稼働中の焼却施設における実証試験により確認した。

なお、本報の詳細は福島県の報告書<sup>[1]</sup>に掲載されている。

## 2 方法

一般廃棄物を焼却する際の燃焼温度及び焼却の際の薬剤添加が放射性セシウム移行挙動に与える影響について、実証試験により検討した。

燃焼温度に関する試験は、県内の一般廃棄物焼却施設 A～D の4施設（いずれもストーカー炉）の協力を得て実施した。燃焼室出口温度条件を通常よりも 50°C 程度上下させたときの主灰/飛灰への放射性セシウムの分配率を通常運転時と比較した。

薬剤添加に関する試験については、施設 A・D の2施設の協力を得て実施した。施設 A には、放射性セシウムの揮発を促進することが期待される消石灰 ( $\text{Ca(OH)}_2$ )、または放射性セシウムの揮発を抑制することが期待されるベントナイト（粘土）を添加した。施設 D には消石灰の添加のみ行った。

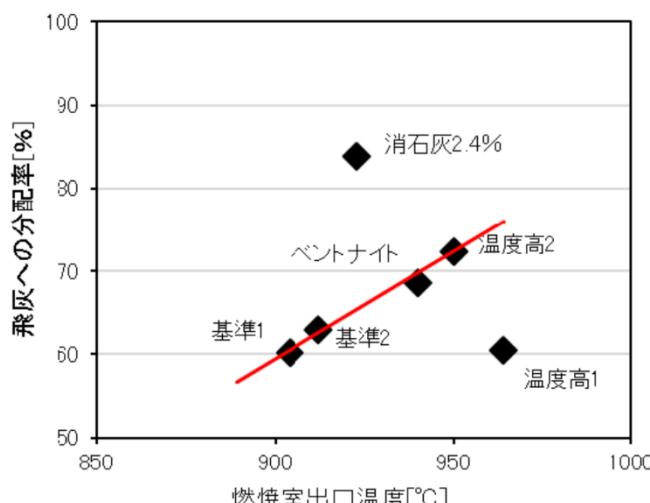


図 1 放射性セシウムの飛灰への分配率に対する燃焼温度の影響（施設 A）

## 3 結果

実証試験の結果、高い燃焼温度を得られた施設 A、B では、高温での運転 2 日目に飛灰への分配率が増加していた。1 日目のデータを除いて直線近似すると、焼却温度 10°C 上昇あたり、分配率 2.6 % (施設 A)、0.8 % (施設 B) の上昇が得られた（図 1）。

施設 A での 1 回目の消石灰  $\text{Ca(OH)}_2$  添加試験で顕著な飛灰への放射性セシウム分配率の上昇（添加率 1%当たり分配率 9.3 %の上昇）を確認したが、ベントナイトによる抑制効果は確認できなかった（図 2）。

消石灰の添加の効果の再現性の確認のために追試験を実施した。施設 A での追試験では一定の効果を確認したが、1 回目ほど顕著なものではなく、また、施設 D での試験では効果が確認されなかった。

原発事故直後は、放射性セシウム濃度の高い焼却灰が発生していたが、その後、物理減衰等によって濃度が低減し、本技術へのニーズが低下したことから研究を終了した。

## 参考文献

[1] 福島県、東京電力（株）福島第一原子力発電所原発事故後の放射線モニタリングと除染の分野における福島県と IAEA との間の協力プロジェクト最終報告書（2013 年～2022 年）【福島県提案プロジェクト】，(2023).

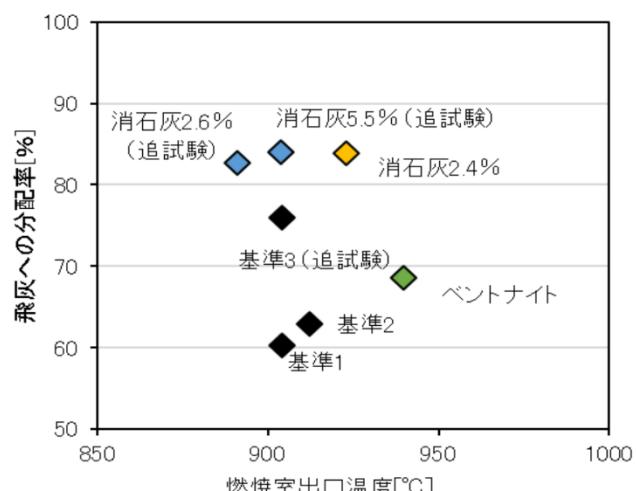


図 2 放射性セシウムの飛灰への分配率に対する薬剤添加の影響（施設 A）

## 県外最終処分に向けたシナリオ評価と技術システムの構築

国立環境研究所

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後の環境再生事業により発生した放射性物質に汚染された除去土壌や廃棄物等については、県外最終処分の実現に向けて、現在も減容化・再生利用等に関する多様な処理技術の研究開発が進められている。これまで仮設灰処理施設から発生する熱処理飛灰を対象とした複数のシナリオが設定され、それぞれのシナリオの下で異なる技術システムが検討されてきた。技術システムによっては、発生する一次・二次廃棄物の量や処理コストが変化するだけでなく、埋設施設の構造や安定化体の性質といった処分パラメータも異なる。そのため、いずれのシナリオにおいても、処分施設下部層(評価点)における浸出水・漏洩水濃度を評価し、環境安全性を示すことが、県外最終処分の実現に向けて重要である。そこで本研究では、複数のシナリオに基づく技術システムを対象に、発生物量およびコストの評価を行うとともに、それぞれの処分システムの健全性について比較検討を実施した。

なお、本報は、三成ら(2024)<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方 法

三つの減容化技術シナリオを構築し、発生する廃棄物および二次廃棄物の量を算出した。経済性評価では、処理・処分および県外輸送に伴うコストを評価した。処分システムおよびパラメータはシナリオ毎に設定し(図1)、システム-1を管理型処分場相当(浸出水あり)、システム-2および-3を遮断型相当(浸出水なし)と想定した。本検討では、システム-1は維持管理基準下を、システム-2および-3は遮水工破損による事故時を仮定し、Comsol Multiphysics® v. 6.1を用いて評価点における浸出水濃度の経時変化を計算した。その結果、いずれのケースにおいても、放流水基準における<sup>137</sup>Csの濃度限度(90 Bq/L)を満足しており、安全・安心なシステム構築の目安となることを確認した。



図1 三つの処分システム(案)およびパラメータ

当(浸出水なし)と想定した。本検討では、システム-1は維持管理基準下を、システム-2および-3は遮水工破損による事故時を仮定し、Comsol Multiphysics® v. 6.1を用いて評価点における浸出水濃度の経時変化を計算した。その結果、いずれのケースにおいても、放流水基準における<sup>137</sup>Csの濃度限度(90 Bq/L)を満足しており、安全・安心なシステム構築の目安となることを確認した。

## 3 結果と考察

各シナリオにおける物質量およびコストの推計結果から、高度減容化技術の適用による廃棄物量の減少が顕著に確認された。また、各処分システムにおける評価結果は、浸出水または漏洩水の濃度はいずれも制限濃度90 Bq/Lを下回る結果となった(図2)。本検討は、県外最終処分に向けて具体的な処分システムを設定した場合の安全性評価手法を示したものである。処分システムの安全性は、少なくとも処分場内で濃度限度を満足することに加え、安定化体からの溶出特性や、間詰材・鉄筋コンクリートといった構造体のCs収着性も考慮して、柔軟かつ合理的に確保することが重要である。そのような処分システムを提案するために、本研究で示した浸出水濃度に基づく評価手法は有効であることが示唆された。

## 引用文献

[1] 三成映理子, ほか: 複数の減容技術シナリオにおける処分システムの安全性の検討, 第13回環境放射能除染研究発表会 要旨集, p. 56 (2024).

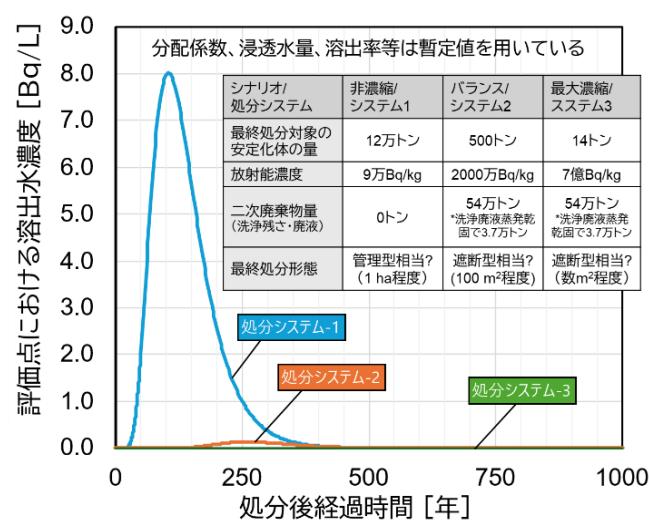


図2 評価点における浸出水の経時変化(計算例)

(国立環境研究所 三成映理子)

# 中間貯蔵施設内仮設灰処理施設から発生した放射能汚染溶融飛灰のセメント固型化とセシウムの溶出挙動

国立環境研究所

## 1 はじめに

放射能除染のための除去土壤から分離された草木類など可燃物と放射能汚染した可燃性廃棄物は、焼却減容化され、焼却残渣は、中間貯蔵施設内の仮設灰処理施設でさらに溶融減容化されている。放射性セシウムが濃縮した溶融飛灰は灰洗浄・吸着濃縮の実証事業も行われているが、直接セメント固型化し、管理型処分場に最終処分する案もある<sup>[1]</sup>。

このセメント固型化は仮想的方法としての提案であった。環境研究総合推進費によるSII-9サブテーマ1-2の検討から、溶融飛灰は高温で熱処理されるため、セメントの水和を阻害する亜鉛や鉛などの重金属が揮発濃縮し、セメント固型化しにくいことが、判明した。そこで、アルミニ酸系急結材を活用し実用的な時間で強度発現できる方法を開発し<sup>[2]</sup>、その作用機構の推定も行った<sup>[3]</sup>。

この技術を実験室スケールではあるが、2024年度の国立環境研究所と中間貯蔵・環境安全事業(株)

(JESCO)の共同研究において、北海道大学の支援も得ながら、実際の汚染溶融飛灰を用いてセメント固型化を実施し、セシウムの溶出挙動を評価した。

## 2 方法

実験は、双葉町内のJESCO実証フィールド内に仮設の放射線管理区域を設置し、実汚染溶融飛灰のセメント固型化作業を実施した。

セメント固型化には、高炉セメントB種、アルミニナセメント、二水石膏を用いた。

実験では、水セメント比(W/C)を小さくすることで強度を高め、固型化体をち密にし、セシウムの溶出速度を小さくすることを試みた。配合設計はあらかじめ模擬飛灰を用い、固型化に及ぼす添加成分の影響を理解の上で行った<sup>[4]</sup>。強度発現を優先したため、固型化体の体積は元の溶融飛灰よりも大きくなつた。

流動性は振動成形ができる範囲で調整し、直径2cm高さ4cmの円柱モールドに充填し、13~25°Cの環境で封緘養生した。

評価は、一軸圧縮強度と溶出試験を行った。溶出試験では、円柱上面以外をエポキシ樹脂で被覆し1次元溶出挙動を評価した。放射性セシウム溶脱は東京パワーテクノロジー(株)によりCsIシンチレータを用いて測定した。

## 3 結果と考察

作業の時間的制約から検討範囲は限定的だが、配合を調整することで、W/Cを41~65%に変え、溶融飛灰セメント固型化体の圧縮強度は35日材齢で21~58 MPaとなつた<sup>[5]</sup>。

浸漬試験開始時の圧縮強度と浸漬7日でのセシウム溶出率の関係を図1<sup>[6]</sup>に示す。強度を高めることで、セシウム溶出を遅延できることが分かった。

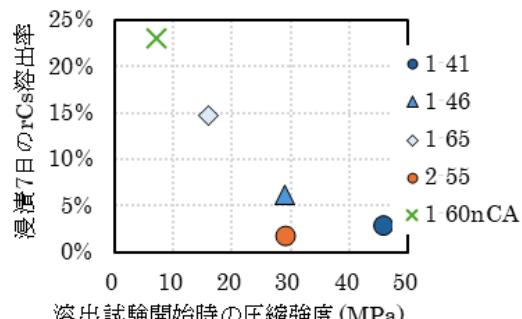


図1 圧縮強度と材齢7日での溶出率の関係

凡例：飛灰種類-水セメント比<sup>[6]</sup>

## 引用文献

- [1] 環境放射能除染学会：県外最終処分に向けた技術開発戦略の在り方に関する研究会活動報告書 Ver. 2, (2021).
- [2] 山田一夫, ほか: 硬化阻害成分であるZnを含有した溶融飛灰のセメント固型化方法の開発. 環境放射能除染学会誌, 12, 71-78 (2024).
- [3] K. Yamada, et al.: Study on the mechanisms of retardation of cement hydration by zinc and acceleration of hardening by sodium aluminate from crystallographic phase analysis. J. Mat. Cycl. Waste Manag., 26, 3596-3608, (2024).
- [4] 安河内隆仁, ほか: セメント硬化阻害成分を含む飛灰のアルミニナセメントを用いたセメント固型化手法. 第36回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp. 529-530 (2025).
- [5] 安河内隆仁, ほか: アルミニナセメントを用いた汚染溶融飛灰セメント固型化体の強度発現. 第14回環境放射能除染学会研究発表会 要旨集, p. 28 (2025).
- [6] 安河内隆仁ほか、アルミニナセメントを用いた汚染溶融飛灰セメント固型化体からのセシウム溶出特性. 第14回環境放射能除染学会研究発表会 要旨集, p. 27 (2025).

## 特定一廃・特定産廃最終処分場の浸出水中の放射性 Cs 濃度の将来予測

国立環境研究所

## 1 はじめに

特定一般廃棄物や特定産業廃棄物は、特措法 16 条 \*調査対象範囲の都道府県において 8000 Bq/kg 以下 ( $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$  の合計値) の廃棄物を指し、それらは既存の最終処分場に埋立処分される。放射性 Cs の埋立処分の基本的概念は、水は通すが放射性 Cs は埋立地内に留め（吸着させ）、半減期による濃度の減少を待つ、ということである。通常の廃棄物の埋立処分の維持管理とは異なる事や、放射線へのモニタリングが付加されるため、入念的措置として、法 23 条の処理基準と法 24 条の維持管理基準が適用されている。特定一廃、特定産廃の埋立処分において最も注意が必要なことは、放射性 Cs が易溶解性の煤じんの埋立処分である。そこで、特定一廃、特定産廃の煤じん埋立をした場合の、処分場浸出水に及ぼす影響について検討した。

## 2 将来予測に向けた解析方法

数値解析によって放射性 Cs の将来予測を実施する場合、一次元解析よりも二次元、三次元解析では側方への拡がりがあるため、濃度としては希釈される。そのため、一次元解析によって安全側で評価することが妥当と考え、図 1 に示す断面図によって評価した。計算には COMSOL ver. 6.1 を用いた。

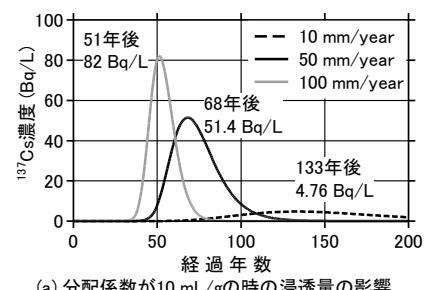
## 3 結果と考察

水処理施設へと入ってくる浸出水濃度（測点:P3）における計算結果を図 2 に示す。

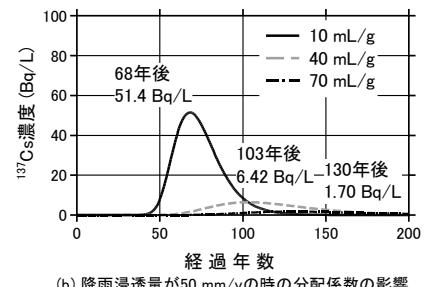
## 4 まとめ

特定一廃、特定産廃の煤じんの埋立処分では、以下の八箇条を守ることが重要である。

- 一、煤じんを水と接触させない。
- 二、煤じんの下を絶対に遮水しない。
- 三、煤じんの下には土壤系吸着層を敷設する。
- 四、煤じんをガス抜き管の近くに埋めない。
- 五、煤じんを法面集排水管の近くに埋めない。
- 六、煤じんを下流側や下の方に埋めない。
- 七、煤じんの上に有機性廃棄物を埋めない。
- 八、煤じんの埋立が終わったら上部のみを遮水する。遮水が必要なのは上部のみ。



(a) 分配係数が10 mL/gの時の浸透量の影響



(b) 降雨浸透量が50 mm/yの時の分配係数の影響

図 2 数値計算による予測結果（測定 P3）

※ P3の濃度は、特定一廃埋立領域（面積A1）の下部に流れてくる濃度P2に対して、非汚染領域（面積A2）からのお浸透水で希釈されるので、 $P3 = P2 \times (A1 \div (A1 + A2))$  によって求められる。

※ 上部隔離層からの浸入水量は、25年後から劣化して、50年後には浸入水量が初期の5倍になることを仮定した（保守的設定）。

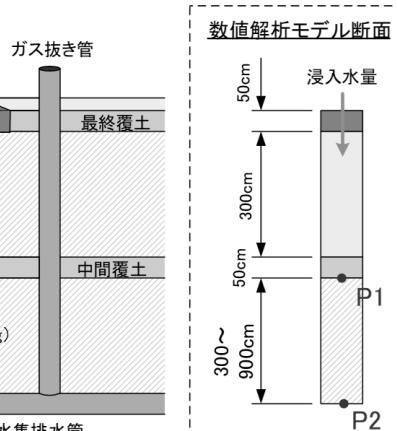
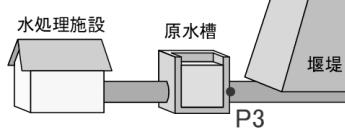


図 1 解析モデルの概念図と断面図、ならびに濃度評価点（P1～P3）の説明

## 除染廃棄物のシャフト式ガス化溶融処理における放射性セシウムの揮発促進

国立環境研究所

## 1 はじめに

除染廃棄物をシャフト式ガス化溶融処理すると、溶融炉の炉底からスラグ（土木資材として利用可）が、排ガスから飛灰（ばいじん）が排出される。本処理は、高温により放射性セシウム（以下「Cs」という。）は揮発され、飛灰に高濃縮させることができる。この分離能を高度化するために、溶融処理プロセスに塩素（以下「Cl」という。）分を加えて、放射性CsをCsClガスとして積極的に揮発させる方法を考えた。そこで、本研究では揮発促進剤として、塩化カルシウム（以下「CaCl<sub>2</sub>」という。）もしくはポリ塩化ビニル（以下「PVC」）を用いて、揮発促進剤が放射性Csの揮発挙動等へ与える影響を明らかにする。なお、本報はNodaらの論文<sup>[1]</sup>の一部を引用している。

## 2 方法

80t/日規模のシャフト式ガス化溶融施設において、CaCl<sub>2</sub>もしくはPVC管を含む廃プラスチックを除染廃棄物に対してCl濃度が0.64%~4.6%程度になるように添加して溶融処理し、スラグ及び飛灰を採取した。なお、各条件において複数回の試料採取を実施し、コンポジット試料（代表試料）を調製した。各条件のコンポジット試料中の放射性Cs濃度をゲルマニウム半導体検出器にて測定し、施設の運転データを用いて放射性Csのスラグ及び飛灰への分配率を計算した。また、各試料に対して蛍光X線分析装置にて元素分析を行い、溶融の重要な因子であるCl濃度及び塩基度（CaO/SiO<sub>2</sub>）を算出した。さらに、各試料に対して溶出試験（JIS K 0058-1 準拠）を行い、

放射性Cs溶出率を求め、揮発促進剤による溶出率への影響を調べた。

## 3 結果と考察

飛灰への放射性Cs分配率を図1に示す。揮発促進剤を添加しない通常運転（分配率：98.4%）と比較すると、促進剤としてPVC管よりもCaCl<sub>2</sub>の方が優れていた。またスラグ中の放射性Cs濃度に違いが生じ、CaCl<sub>2</sub>を添加した方が、濃度が大きく低下し、100 Bq/kg以下のクリアランスレベルに達していた。促進剤中のClの存在形態の違いにより揮発促進効果が大きく異なることが示唆された。PVCの熱重量分析等の結果により、PVCのCl分は溶融温度に達する前の比較的低温時（250~400°C）に揮発することが知られており<sup>[2]</sup>、PVC管が促進剤として劣っていた理由は、Cl分の溶融相への供給が不十分であったためと推察される。

スラグからの放射性Csの溶出については、溶出液中の放射性Cs濃度が極めて低いことがわかった。一方、飛灰からの溶出率を図2に示す。飛灰中のCl濃度の増加に伴い、溶出率が増加する傾向にあった。これは飛灰における溶出形態は水への溶解度が高いCsClと想定すると、より多くのCl分が必要であるためである。

## 4 成果の活用

本研究成果は、中間貯蔵施設における減容化施設として社会実装された。

※引用文献については、「引用文献リスト」を参照

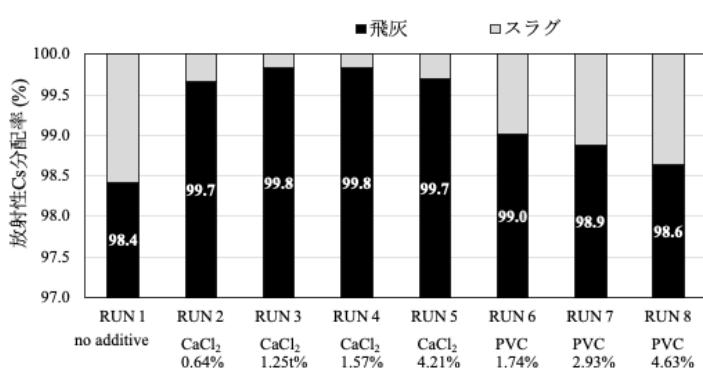


図1 放射性セシウム（Cs）の飛灰とスラグへの分配率  
(横軸は揮発促進剤の種類と投入物中の塩素（Cl）濃度)

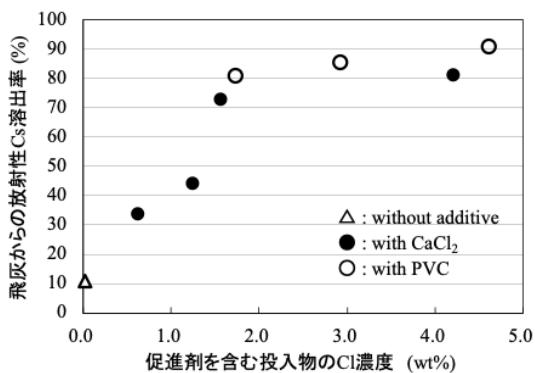


図2 飛灰からの放射性セシウム（Cs）溶出率と投入物中の塩素（Cl）濃度

## 除染廃棄物等焼却施設における放射性 Cs の焼却残渣への移行・溶出挙動

国立環境研究所

## 1 はじめに

原発事故由来放射性物質に汚染された都市ごみや下水汚泥の焼却における放射性セシウム(Cs)の挙動に関する知見はあるものの、除染廃棄物やそれと災害廃棄物の混合物を焼却に対する挙動の知見は十分ではない。そこで、それらの焼却施設である仮設焼却施設において、安全は焼却処理や焼却残渣の適正な処分に資するため、仮設焼却施設の調査を行い、放射性 Cs の焼却残渣への移行及び焼却残渣からの放射性 Cs の溶出挙動を明らかにすることを目的とする。なお、本報は我々の研究グループの研究成果<sup>[1][2]</sup>の一部を引用している。

## 2 方法

ストーク式の仮設焼却施設を対象とし、2施設で合計 10Run (10 日間)の調査を行った。焼却残渣はキレート処理や加湿処理等がなされる前のものを対象として 1 日に複数回採取し、等量を十分に混合して代表試料を調製して以下の分析に供した。放射性 Cs 濃度はゲルマニウム半導体検出器により、元素組成は波長分散型蛍光 X 線により測定した。投入ごみは均一な試料採取が困難なため、主灰及び飛灰の発生量及びそれらの放射性 Cs 濃度を基に、主灰及び飛灰への放射性 Cs 分配率を算出した。また、JIS K 0058-1に基づき試料を溶出試験に供し、試料からの放射性 Cs 溶出率を算出した。

## 3 結果と考察

主灰と飛灰の放射性 Cs 濃度の関係を図 1 に示

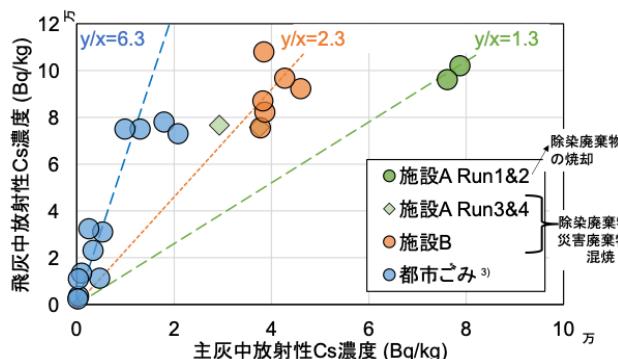


図 1 主灰中の放射性セシウム(Cs)濃度と飛灰中の放射性 Cs 濃度の関係及び被焼却物の種類が及ぼす影響

す。除染廃棄物のみを焼却した場合では、主灰に対する飛灰の放射性 Cs 濃度比が約 1.3 倍となり、都市ごみ焼却の濃度比（約 6.3 倍）とは大きく傾向が異なった。除染廃棄物と可燃物を含む災害廃棄物との混焼における濃度比は約 2.3 倍となり、ごみ中の除染廃棄物の混合割合をコントロールすることで飛灰と主灰の濃度を調整できる可能性が示唆された。また、除染廃棄物等の焼却における、主灰と飛灰への放射性 Cs の分配率を求めた結果、放射性 Cs の約 6 割から 8 割が主灰へ分配された。逆に都市ごみの焼却では、飛灰中の放射性 Cs 濃度がかなり高いことから<sup>[3]</sup>、放射性 Cs は飛灰へ多く分配される。

残渣からの放射性 Cs 溶出率については、いずれの場合にも主灰からの溶出率は非常に低かった。一方、飛灰については、被焼却物の組成の影響を受け、例えば、塩素濃度が低い除染廃棄物のみの焼却ではかなり低い溶出率を示した。災害廃棄物と混焼すると溶出率は増加し、条件によっては都市ごみ焼却由来飛灰の溶出率 (64~97%<sup>[3]</sup>) とほぼ同程度になるケースもあった。

## 4 成果の活用

本研究成果は、調査施設及び環境省へ提供され、安定かつ安全な施設運営に利用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」を参照

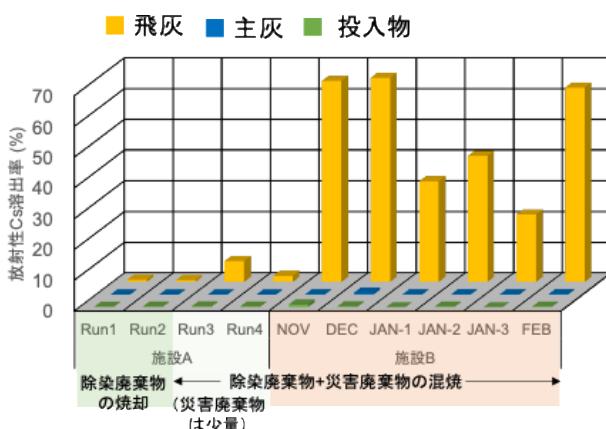


図 2 投入物、主灰、飛灰からの放射性セシウム(Cs)の溶出率

## 一般廃棄物最終処分場における放射性セシウムの挙動調査

福島県

## 1 はじめに

一般廃棄物最終処分場（以下「処分場」という。）の環境安全性に関する調査研究の一環として、複数の処分場を対象に浸出水や放流水などに含まれる放射性セシウムや各種元素の現状を定量的に調べた。また、各処分場の結果を比較し、処分場毎の特性について検討した。

## 2 方法

福島県内の任意の5か所の処分場（A、B、C、D及びE）に対して、浸出水、放流水及び処分場周辺地域の地下水をそれぞれ一定量採取し、ゲルマニウム半導体検出器（SEIKO EG&G 製 GEM40P4-76）、イオンクロマトグラフシステム（Thermo Fisher Scientific 製 ICS-1600）、紫外可視分光光度計（Shimadzu 製 UV-1700）、ICP 発光分光分析装置（日立ハイテクサイエンス製 SPECTROBLUE-EOP）、ICP 質量分析装置（島津製作所製 ICPMS-2030）、多項目水質計（TOA DKK 製 WQC-24）等を用いて分析を行った。主な分析項目は、

- 放射性セシウム濃度： $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$
- イオン濃度： $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$
- 元素濃度：Ba, Ca, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Rb, S, Sr
- 水質：水温, pH, ORP, 電気伝導度, 溶存酸素

## 3 結果と考察

浸出水を対象に各種分析結果の例を示す。図1は $^{137}\text{Cs}$ 濃度の経時変化であり、●はA処分場、●はB処分場、●はC処分場、●はD処分場及び●はE処分場を示す。

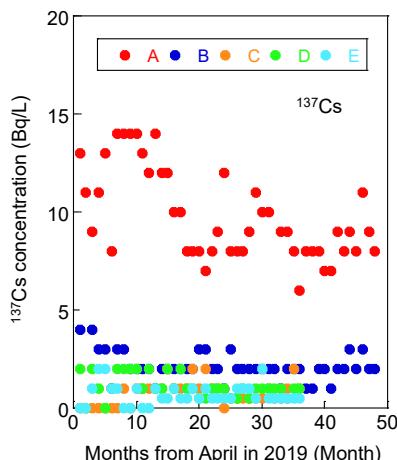
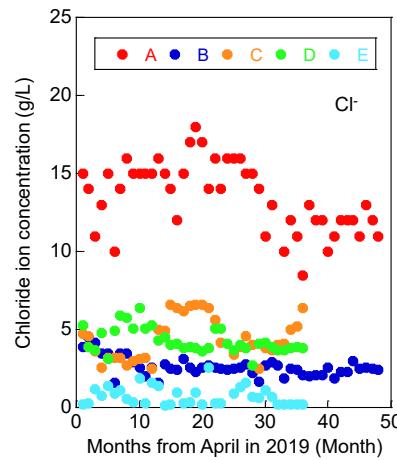
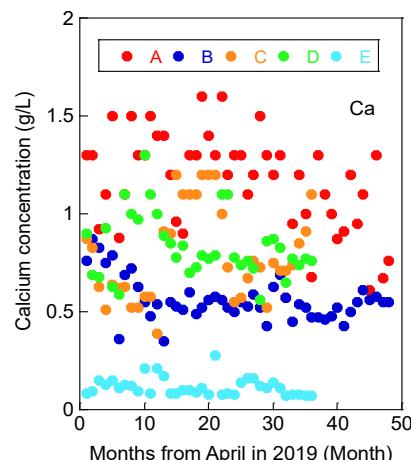
図1  $^{137}\text{Cs}$  濃度の経時変化図2  $\text{Cl}^-$  濃度の経時変化

図3 Ca 濃度の経時変化

処分場、●はC処分場、●はD処分場及び●はE処分場を示す。横軸は2019年4月からの月数を表し、A及びB処分場は2019年4月からの4年間、C、D及びE処分場は3年間の結果である。B～E処分場の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は5 Bq/L未満であり、時間的な変化はほとんど見られなかった。一方、A処分場の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は他の処分場よりも高い値を示したが、減少傾向にあり、現状は10 Bq/L前後であった。

図2に $\text{Cl}^-$ 濃度の経時変化を示す。各処分場の $\text{Cl}^-$ 濃度の変化は図1に示す結果に良く似た傾向が見られた。これに関して $^{137}\text{Cs}$ が廃棄物中の塩化物と結合して $\text{CsCl}$ を生成するなど、両者が高い関係性を持つことが報告<sup>[1]</sup>されている。

図3にCa濃度の経時変化を示す。A処分場が最も高く、E処分場が最も低い値であった。A処分場では浸出水処理施設において配管等へのCaスケール付着が問題視されており、A処分場のCa濃度の傾向はこれを裏付ける結果であった。

## 4 成果の活用

処分場の維持管理に役立てるため、研究成果を市町村や一部事務組合に提供した。

## 引用文献

- [1] (独) 国立環境研究所：「放射性物質の挙動からみた適正な廃棄物処理処分（技術資料第二版）」，(2012).

## 一般廃棄物最終処分場における放射性セシウム挙動シミュレーション

福島県

## 1 はじめに

一般廃棄物最終処分場（以下「処分場」という。）内の放射性物質挙動に関する検討の一環として、複数の処分場の浸出水中のセシウム 137 濃度を分析した結果、ほとんどの処分場で 3 Bq/L よりも低い値であったが、1か所だけは 10 Bq/L 前後の値を示した<sup>[1]</sup>。セシウム 137 濃度が処分場間で異なる理由は立地場所や廃棄物の違いなどが考えられるが、そのほかに処分場内を浸透する雨水等の影響が考えられた。そこで、処分場内の溶存態及び懸濁態放射性セシウムが浸透流の影響を受けて移動する挙動や浸出水集排水管を通って処分場外に流出する挙動を検討するために、処分場の一部を簡略モデル化した体系で2次元及び3次元シミュレーションを行った。これまでにシミュレーションの対象とした条件は次のとおりである。

- 廃棄物層にガス抜き管がある場合とない場合
- 廃棄物層が鉛直方向に深い場合と横に広い場合
- 廃棄物層内を水が流れ易い場合と流れ難い場合
- 降雨量が多い場合と少ない場合
- 最終覆土をしている場合としてない場合

## 2 方法

処分場内を浸透する水の流れは気液二相流方程式を使って求めた。また、溶存態放射性セシウムの挙動は濃度拡散方程式から、懸濁態のそれは微小粒子に対する運動方程式を解いて求めた。図1に処分場の一部を縮小簡略モデル化した2次元解析体系を示す。

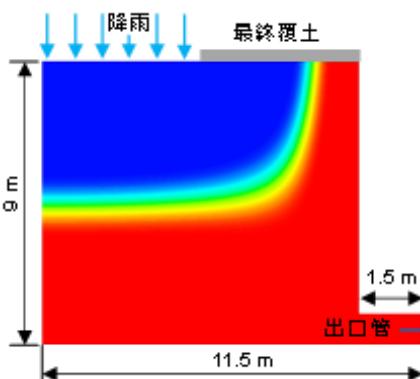


図1 処分場内の水の分布の  
予測結果例  
(青は 100% の水、赤は廃棄  
物層内の空気を表す。)

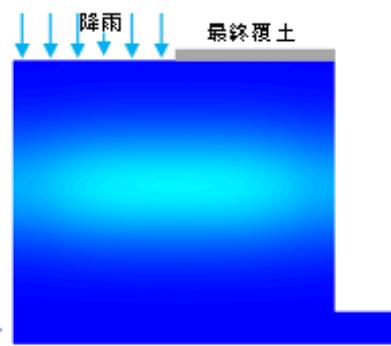


図2 溶存態放射性セシウム  
挙動の予測結果例  
(白い部分が溶存態放射性  
セシウムの拡散を表す。)

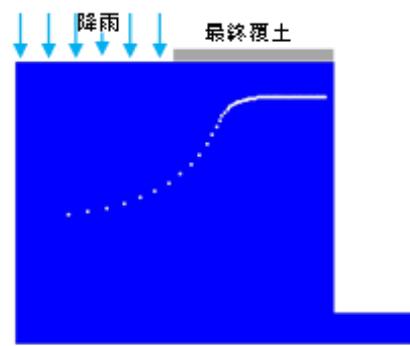


図3 懸濁態放射性セシウム  
挙動の予測結果例  
(白い点が懸濁した放射性  
セシウムを表す。)

## 3 結果と考察

シミュレーションの例として、処分場内の水と溶存態及び懸濁態放射性セシウムの挙動を予測した結果を図1～3に示す。処分場の表面から流入した雨水は廃棄物層を浸透した後、処分場最下部に設置した出口管から浸出水として外部に流出する。処分場表面の右サイドは最終覆土の条件を模擬しており、ここからの雨水の侵入はない。解析では、処分場内の任意の位置に一定濃度の溶存態放射性セシウムを配置し、水の流れとともに廃棄物層内を拡散移動する挙動を飽和水条件下で予測した。同様に、任意の位置に懸濁態放射性セシウムを模擬した微小粒子を設置した。また、焼却灰と不燃物から成る廃棄物層を多孔質体と仮定し、多孔質体内の空間割合を表す値として 0～1 の範囲で空隙率を設定した。空隙率が小さいほど水は流れ難くなる。

処分場表面からの雨水浸透速度  $10^{-5}$  m/s の条件で解析した任意時刻における処分場内の水の分布を図1に示す。同様に、溶存態放射性セシウムの濃度分布及び懸濁態放射性セシウムの移行挙動を図2と図3に示す。一連の結果から、処分場を流れる雨水の影響を受けて拡散移動する放射性セシウムの挙動を定性的に明らかにできた。

## 引用文献

- [1] Takase, K., et al. : Mechanical Engineering Journal, Vol. 11, No. 2, e 23-00417 (2024).

## 一般廃棄物焼却施設の燃焼条件の検討に係るシミュレーション

福島県

## 1 はじめに

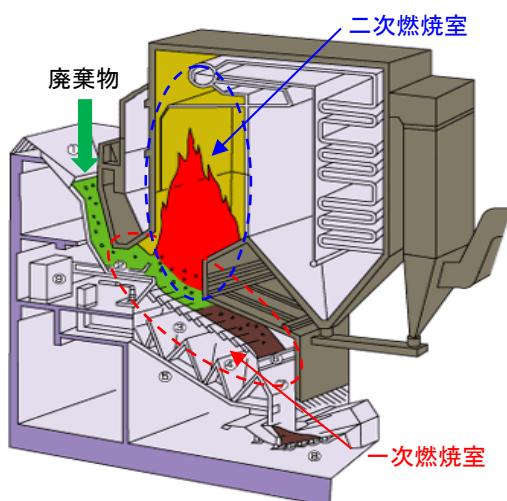
福島県内的一部の一般廃棄物焼却炉（以下「焼却炉」という。）は運転が手動操作であるため、廃棄物の燃焼が運転員の操作テクニックの影響を受ける場合がある。また、自動操作であってもプラスチックなどは高カロリーで燃えるため、燃焼による急激な温度上昇を短時間で抑制するために手動操作に切り替えて運転する場合もある。そこで、焼却炉の運転に及ぼす操作技術の影響を極力低減することを目指して、過渡的な燃焼に対しても安定した運転操作が期待できる燃焼条件を数値シミュレーションによって検討した。

## 2 方法

福島県内で稼働している焼却炉はすべてストーカ炉と呼ばれる形式である。図1に示すように廃棄物を火格子（ストーカ）上で乾燥・加熱し、攪拌・移動させながら燃焼させる一方、燃焼促進のために空気がストーカ底部から焼却炉内に注入される。焼却炉は、廃棄物を燃やす一次燃焼室とその後方に位置して未燃ガスを燃やす二次燃焼室から成る。焼却炉の運転は、二次燃焼室出口ガス温度が1000°Cを超えないように、廃棄物の量やストーカ上の送り速度、注入空気量などが制御される。

物の質量、運動量、エネルギー及び燃焼反応による化学種の各方程式を解いた。

焼却炉では様々な廃棄物が燃やされるが、廃棄物を特定化した方が解析上容易になることから、木材

図1 ストーカ式焼却炉の概略<sup>[1]</sup>

をベースとする廃棄物を想定してセルロース（ $C_6H_{10}O_5$ ）の組成を使って燃焼反応を求めた。燃焼反応計算に必要な速度反応定数はArrhenius式<sup>[2]</sup>を使用した。

解析は、一次燃焼室と二次燃焼室の構造を簡略モデル化した体系で、廃棄物燃焼量と一次燃焼室への注入空気量をパラメータとして行った。実機の運転条件を基に、廃棄物燃焼量は5～9 MJ/kg、注入空気量は1000～5000 m<sup>3</sup>/hの範囲を設定した。

## 3 結果と考察

一連の解析を行って求めた廃棄物燃焼量、注入空気量及び二次燃焼室出口ガス温度の関係を図2に示す。図中の赤い実線から、出口ガス温度950°Cを達成する燃焼条件は、廃棄物燃焼量が6.3～9 MJ/kg、注入空気量が3500～5000 m<sup>3</sup>/hの範囲であることがわかる。このような結果をマップ化または定式化することで運転員の理解が容易になり、突発的な燃焼下でも運転員によらず均一な運転操作が期待できると考える。

## 引用文献

- [1] 「ストーカ炉の構造」，  
<https://blog.goo.ne.jp/c1runnertakecy/e/cba02195e17a2938ef5c2d8a30302411>，  
 (参照 2025-10-1).
- [2] 加茂直樹、平田博文：化学と教育，Vol. 44, No. 2, (1996) pp. 114-115.

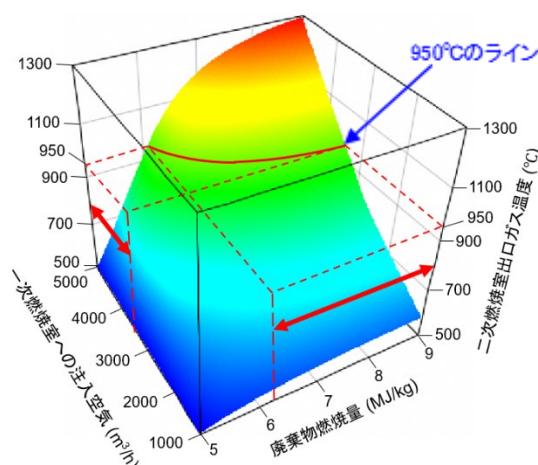


図2 二次燃焼室出口ガス温度950°Cの達成条件

## 災害廃棄物中のセシウム 137 濃度推計手法の検証

福島県

## 1 はじめに

豪雨災害等に伴って発生する災害廃棄物の処理は、それが発生した市町村や一部事務組合が行うことになるが、県内の施設だけでは処理が困難な場合、県が県外の自治体での処理を行うよう調整する。

福島県においては、東日本大震災における原発事故由来の放射性セシウム等が災害廃棄物に含まれる可能性があることから、県外の自治体で処理する場合、災害廃棄物の放射性セシウム濃度等を測定することとしている。

しかしながら、放射性セシウムの濃度を測定する際、一般的にゲルマニウム半導体検出器が用いられるが、前処理と測定に多くの時間と手間を要する。

前川ら (2023)<sup>[1]</sup> は上記の課題解決に資するため、積み上げられた災害廃棄物内部の空間線量率からセシウム 137 濃度を推計する手法を検討している。

本研究では、実際の災害廃棄物仮置場の空間線量率と災害廃棄物のセシウム 137 濃度を測定し、前川ら (2023)<sup>[1]</sup> の手法を検証した。

## 2 方法

令和 5 年 9 月の台風第 13 号に伴う豪雨により福島県いわき市で発生した災害廃棄物を一時保管していた仮置場のうち 1 か所を調査対象とした。

山積みされた可燃ごみ及び生木に、塩化ビニル製の管で被覆した NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータを差し込み (可燃ごみ 5 か所、生木 4 か所)、災害廃棄物内部の空間線量率を測定した (図 1)。

ここで得られた空間線量率と、前川ら (2023)<sup>[1]</sup>

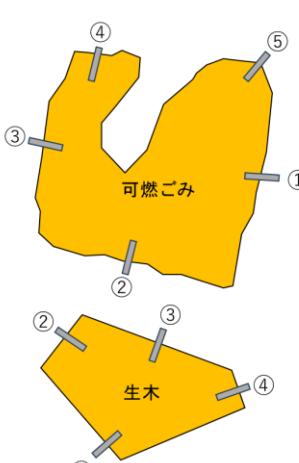


図 1 測定位置のイメージ

表 1 空間線量率の測定結果

|      | 空間線量率<br>[ $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ] | 測定位置 [cm]      |                |
|------|--------------------------------------|----------------|----------------|
|      |                                      | 地上高さ<br>(鉛直方向) | 表面深さ<br>(水平方向) |
| 可燃ごみ | ① 0.04                               | 90             | 160            |
|      | ② 0.03                               | 85             | 130            |
|      | ③ 0.03                               | 75             | 150            |
|      | ④ 0.03                               | 105            | 160            |
|      | ⑤ 0.04                               | 50             | 180            |
| 生木   | ① 0.06                               | 90             | 180            |
|      | ② 0.07                               | 55             | 120            |
|      | ③ 0.07                               | 125            | 100            |
|      | ④ 0.07                               | 125            | 110            |

が報告する換算係数 0.0004 [( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ) / (Bq/kg)] を用いて放射性セシウム濃度を推計した。

前述の災害廃棄物内部の空間線量率を測定した地点で災害廃棄物を採取し、ゲルマニウム半導体検出器でセシウム 137 濃度を測定した。

## 3 結果と考察

災害廃棄物内部の空間線量率を測定した結果を表 1 に、前述の換算係数を用いて推計したセシウム 137 濃度を縦軸、ゲルマニウム半導体検出器による実測値を横軸に置いた散布図を図 2 に示す。

可燃ごみ、生木のいずれも明確な相関はみられず、今回の方法では災害廃棄物内部の空間線量率からセシウム 137 濃度を推計できなかった。この要因として、災害廃棄物の密度にばらつきがあること、前述の換算係数は、全方位 150 cm 厚さの災害廃棄物に囲まれた位置でのセシウム 137 由来の空間線量率を仮定した値であり、図 1 のとおり今回の調査では条件を満たしていなかったことが考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果を報告書にとりまとめ、災害廃棄物対応の参考資料として関係課と市町村に展開した。

## 引用文献

- [1] 前川暁洋, ほか: モンテカルロ放射線輸送コード PHITS を用いた迅速な災害廃棄物中セシウム 137 濃度推定手法の検討, 第 12 回環境放射能除染研究発表会要旨, (2023).

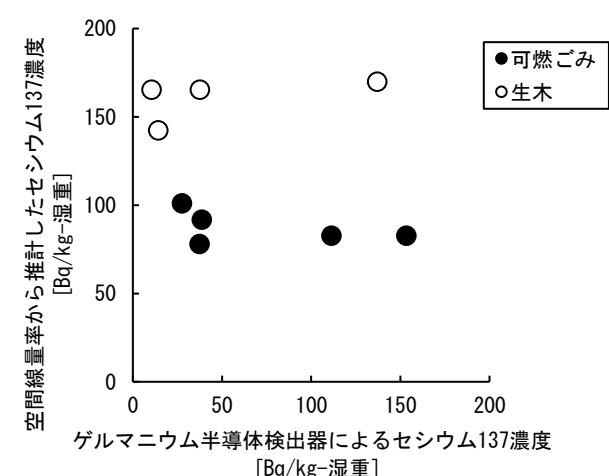


図 2 セシウム 137 濃度の測定値と推計値の比較

## 福島県内における原発事故後の産業廃棄物の流れ

福島県

## 1はじめに

廃棄物処理において、再生利用は重要な手法の一つである。東日本大震災における原発事故以降の福島県内において、無用な風評被害を避け、適正な再生利用を促すためには、産業廃棄物の放射性物質汚染の有無、又はその程度に応じた再生利用の方法並びに用途を示し、そこへ向かう物流を制御することが重要である。

そのため、本研究では、原発事故以降に福島県内で発生した産業廃棄物等について、発生地別・種類別に整理し、再生利用の実態やそのフローについて調査し整理した。

## 2方法

今回は、建設工事から発生する産業廃棄物（コンクリート及び木くず）の処理状況を山田ら<sup>[1]</sup>と同様の方法を用いて整理した。

産業廃棄物の排出量及び排出事業者が自ら実施した中間処理による減量及び最終処分（再生利用を含む。）の状況は、多量排出事業者実施状況報告書を用いた。排出事業者が委託処理した状況及び委託業者における処理、処分状況は、福島県産業廃棄物排出処理状況確認調査のデータのうち、産業廃棄物管理票交付状況報告書及び電子マニフェスト登録等状況報告書、産業廃棄物（収集運搬業者、処分業者）の処分実績報告書を用いた。

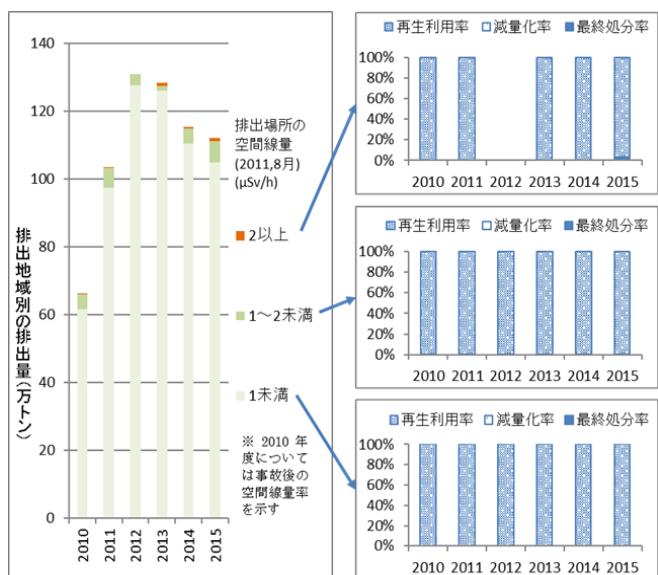


図1 建設業から発生するコンクリートの処理状況

また、航空機モニタリングの空間線量率の測定結果(H23.8.28換算)を用いて、産業廃棄物の排出場所の空間線量率を推計した。

## 3結果と考察

コンクリートの排出量は、解体工事、復旧工事等の影響で、原発事故以降の2011年度から大きく増加していた(図1)。発生場所の空間線量率にかかわらず、再生利用率が高く、大きな変化は見られなかった。

木くずの排出量は、2011年度に若干減少したが、その後は増加していた(図2)。空間線量率が $2\mu\text{Sv}/\text{h}$ 以上の地域から排出されたものについては、2011年度から2013年度にかけて最終処分率が上昇していた。空間線量率が $1\sim2\mu\text{Sv}/\text{h}$ 未満の地域では、2011年に若干の減量化率の上昇が見られ、2013年度には最終処分率が上昇していた。空間線量率が $1\mu\text{Sv}/\text{h}$ 未満の地域では、2014年度の減量化率に若干の上昇が見られた。最終処分率に大きな変化は見られなかった。

## 参考文献

[1] 山田正人,ほか:福島県内における原発事故後の産業廃棄物の流れ. 第6回環境放射能除染学会予稿集, 69 (2017) .

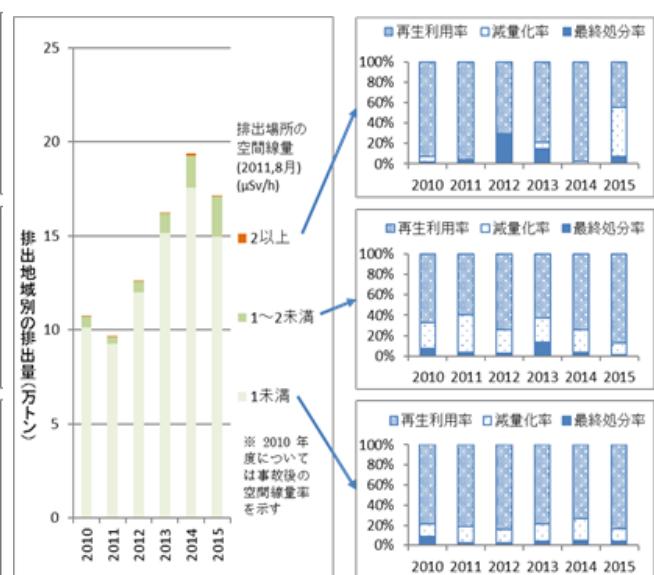


図2 建設業から発生する木くずの処理状況

## 福島県で発生した建設系産業廃棄物の移動に伴う放射性セシウムの移動量

国立環境研究所・福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故由来の放射性物質の非制御な拡散とそれに伴う健康リスクを低減し、無用な風評被害を防止するために、建造物に由来する建設系産業廃棄物が、中間処理、最終処分および再生利用される過程で共に移動した放射性セシウム量の推計を試みた<sup>[1]</sup>。

## 2 方法

建設系産業廃棄物の品目のうち、コンクリートがら、アスファルトコンクリートがら、木くず、廃プラスチックを対象とした。廃棄物移動量の推計には2011年度から2015年度までの福島県におけるマニフェストに登載されている情報を用いた。「事業所の名称」の分析、排出される木くずの割合ならびに代表的な建築構造物設計図の分析により、建設系廃棄物の種類毎に屋外および建屋外部部材の廃棄後の移動量を推計した。廃棄物の中間処理後の減量率、用途別再生利用と最終処分への移動割合については、廃棄物を受け入れた中間処理業者ごとに処分実績のデータを整理して求めた。廃棄物に伴う放射性セシウム量は発生地の空間線量率より推定した。仮置場廃棄物と福島県内の家屋等建造物や道路等構造物の表面汚染密度を測定する調査を行い、部材の種類と水平・垂直の設置方向毎に空間線量率との関係を求めた。帰還困難区域内において未除染の建造物外面の表面汚染密度を2年3ヶ月間測定し、降水による洗い流し等による表面汚染密度の時間経過による低下すなわち環境減衰を現地で測定した降水量との関係として求めた。この環境減衰と物理減衰により測定時の表面汚染密度を、廃棄物が発生した各年の年度末時点の値に補正した。空間線量が汚染重点調査地域の指定基準0.23 $\mu$ Sv/h以上の地域から発生し

た廃棄物については、各年度の除染による空間線量率の低減に従って表面汚染密度が低減していたものとした。建造物については、部材の種類すなわち廃棄物の種類毎に、屋外および建屋外部部材について設置方向と外部へ露出する表面積の重量比を求め、発生地の空間線量率で推定される設置方向別の表面汚染密度を乗じ、放射性セシウム濃度を求めた。構造物については設置方向は考えずに、廃棄物の種類ごとに露出表面積の重量比を求め、発生地の空間線量率で推定される表面汚染密度を乗じて放射性セシウム濃度を求めた。以上で求められた発生地別かつ廃棄物種類別の放射性セシウム濃度に廃棄物の移動量を乗じて放射性セシウムの移動量を求めた。

## 3 結果と考察

図1に2011年から2015年度までの5年間の4種類の建設系廃棄物の移動にともなう放射性セシウムの移動量と処理処分再生利用へ向かった割合を示した。福島県外への廃棄物にともなう放射性セシウムの移動は、コンクリートがらとアスファルトコンクリートがらでは1%、廃プラスチックと木くずでは6%に満たなかった。コンクリートがらとアスファルトコンクリートがらでは99%以上、廃プラスチックと木くずでは75%程度が再生利用に向かい、主な用途はコンクリートがらとアスファルトコンクリートがらでは建設資材、廃プラスチックでは燃料と再生資材、木くずでは燃料とチップ材であった。

## 引用文献

- [1] 山田正人, ほか: 福島県で発生した建設系廃棄物の処理処分に伴う放射性セシウムの移動量の推計（その4）. 第13回環境放射能除染研究発表会 要旨集, p. 57 (2024).

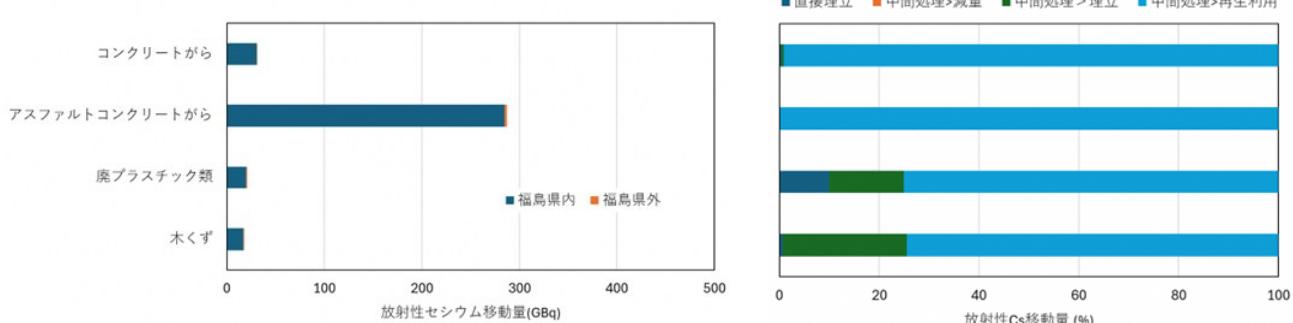


図1 建設系産業廃棄物の移動に伴う放射性セシウムの福島県内・県外移動量の推計値（左）と埋立処分再生利用へ向かった割合（右）（2011年度から2015年度の合計値）

## 木質バイオマスの燃焼に伴うセシウム移行状況

福島県

## 1 はじめに

放射性セシウム（以下「Cs」という。）濃度が100Bq/kg 以下の木質バイオマスを燃焼利用している施設にて、木質バイオマス（図1）からその燃焼時に排出される飛灰や排ガスへの放射性 Cs 移行状況を調べるための調査を行った。

なお、本報は、村沢ら（2023）<sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

本研究では、①木質バイオマスや飛灰の放射性 Cs 濃度・溶出率を明らかとするためゲルマニウム半導体検出器による測定や溶出試験、②飛灰の元素組成を明らかとし埋立処分や将来的な利活用先を検討していくためXRF-EDSによる測定、③バグフィルタによりどの程度排ガス中の放射性 Cs が除去できているかを明らかとしバグフィルタ入口部と出口部両方での排ガス中の放射性 Cs 濃度を測定した。

## 3 結果と考察

表1に示す程度の放射性 Cs 濃度の木質バイオマスを燃焼炉内へ投入し燃焼させている限りは、指定廃棄物の基準となる8,000Bq/kgを超過する飛灰が生じる可能性は限りなく低い。

また、一般廃棄物焼却飛灰からの放射性 Cs 溶出率は、80%を超過することが示唆されているが、木質バイオマス燃焼飛灰の溶出率の値は、付着土壤の多い廃棄物等を燃焼させた際に生じる飛灰の値に近い傾

向となった。

また、元素組成分析結果から、主要元素は、Ca、Si、K であり重金属等の値は検出される濃度レベルではなかった。

そのため、現状では放射性 Cs 濃度の問題があり難しいが、将来的には重金属等の溶出量の事前確認を行った上で、土壤改良材や融雪資材等としての利活用を想定していくことも可能である。

さらに、バグフィルタ入口と出口での排ガス中の放射性 Cs の測定結果から、排ガスがバグフィルタを通過することによって、排ガス中の放射性 Cs はばいじんとともに高度に除去され、バグフィルタは放射性 Cs とばいじんに対して高い除去効果を有していることが示された。

また、除去率の算出結果から、木質バイオマスを燃焼利用している発電施設においてもバグフィルタによって排ガス中の放射性 Cs とばいじんの99.9%以上は除去が可能である。

## 4 成果の活用

福島県内で木質バイオマス発電所の導入拡大を進めていく上での安全性の向上に寄与した。

## 引用文献

[1] 村沢直治, ほか: 木質バイオマス燃焼施設での放射性 Cs 挑動調査, 環境放射能除染学会, Journal of the Society for Remediation of Radioactive Contamination in the Environment, 11 (2), pp. 47-59 (2023) .

表1 木質バイオマスとその飛灰の放射性 Cs 濃度



図1 木質バイオマス例(木質チップ)

| 採取日 | 木質バイオマス<br>(Bq/kg-wet) |                   |      | 木質バイオマス飛灰<br>(Bq/kg-wet) |                   |       |
|-----|------------------------|-------------------|------|--------------------------|-------------------|-------|
|     | <sup>134</sup> Cs      | <sup>137</sup> Cs | 合計   | <sup>134</sup> Cs        | <sup>137</sup> Cs | 合計    |
| 1日目 | < 4                    | 23                | < 27 | 86                       | 1,800             | 1,886 |
| 2日目 | < 4                    | 13                | < 17 | 98                       | 2,100             | 2,198 |
| 3日目 | < 3                    | 13                | < 16 | 110                      | 2,600             | 2,710 |
| 4日目 | < 4                    | 20                | < 24 | 88                       | 2,000             | 2,088 |
| 5日目 | < 4                    | 21                | < 25 | 140                      | 3,200             | 3,340 |
| 6日目 | < 3                    | 11                | < 14 | 94                       | 2,100             | 2,194 |
| 7日目 | < 4                    | 33                | < 37 | 110                      | 2,600             | 2,710 |
| 8日目 | < 4                    | 13                | < 17 | 160                      | 3,700             | 3,860 |
| 9日目 | < 4                    | 32                | < 36 | 150                      | 3,500             | 3,650 |

## バイオ炭の自然発火性に関する検討

福島県

## 1 はじめに

木質バイオマスをガス化利用する発電施設の導入拡大を安全に進めていく上では、残渣として排出されるバイオ炭の貯蔵時における、自然発火危険性を把握しておく必要がある。

そこで、福島県内に立地するガス化発電施設とラボレベルの熱分解炉の試験により得られたバイオ炭5種類を用いて、貯蔵場所における自然発火危険性を明らかにするための試験を行った。

なお、本報は、村沢ら (2024)<sup>[1]</sup>において口頭発表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

本研究では、①含有水分量と発火温度と全体的な熱挙動を評価するため熱重量・示差熱分析装置を用いた。②室温環境何°Cの貯蔵状態で空気との酸化等による微小な発熱を開始するのかを評価するため双子型高感度熱量計を用いた。③火災を発生させた際の燃焼の程度を把握するためボンベ型熱量計を用いた。④火炎により比較的容易に着火し延焼拡大しやすい性質を有するのかを評価するため消防法に記される小ガス炎着火試験を用いた。

## 3 結果と考察

熱重量・示差熱分析装置により、昇温速度2K/minとしAir雰囲気中での測定と解析をした結果(図1)、含有水分量は4.4~10.2%であり、何れのバイオ炭も

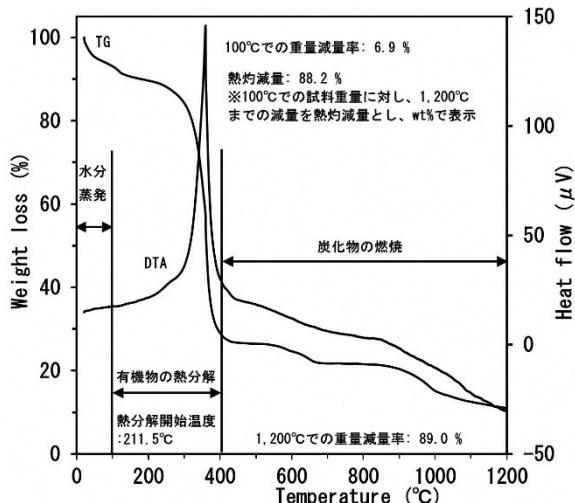


図1 バイオ炭の発火温度と全体的な熱挙動

200°C前後に達すると有炎燃焼を開始し、火災に至る。

双子型高感度熱量計によりバイオ炭の室温付近(25°C)~300°Cまでの温度領域における熱挙動の測定と解析をした結果(図2)、40°C前後から空気との酸化によるものと推定される微小な発熱を開始する。

また、バイオ炭の燃焼熱量は22,000~26,000kJ/kgとなり、既存のバイオマス燃料の燃焼熱量と比較すると、木質ペレットが17,650~19,700kJ/kg、RDFが16,800~21,800kJ/kg、下水汚泥燃料が14,880~23,400kJ/kgであるため、バイオ炭の燃焼熱量は既存のバイオマス燃料と同等の値となった。

さらに、バイオ炭は外部からの火炎によって比較的容易に着火する可能性があり、火災が発生した場合延焼拡大していくことが想定できる。

これらの結果から、貯蔵場所でのバイオ炭の火災を防止し、バイオ炭を製品として有効活用していくためには、堆積高さや貯蔵量の制限、内部温度のモニタリング等の事前対策が必要となる。

## 4 成果の活用

福島県内でバイオ炭の活用を進めていく上での安全性の向上に寄与した。

## 引用文献

- [1] 村沢直治, ほか: バイオ炭の熱危険性評価、第13回環境放射能除染研究発表会、(2024) .

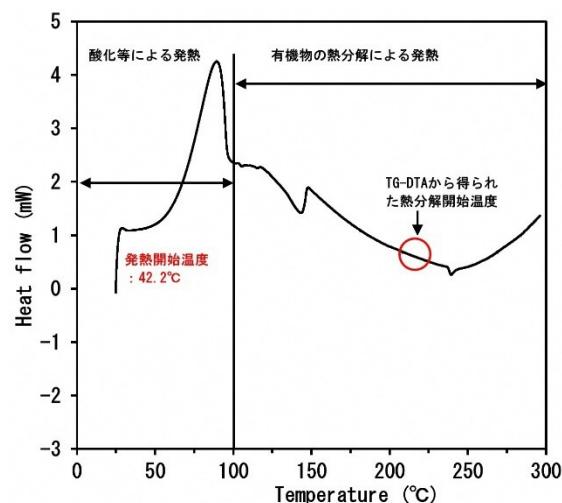


図2 バイオ炭の微小発熱開始温度

## 林業における素材生産者の課題把握に係るアンケート調査

福島県・NIES

## 1 はじめに

福島県では東日本大震災における原発事故由來の放射性物質で森林を含めた陸域が広く汚染され、地域によっては森林における素材生産が制限されている。福島県やその周辺自治体でバイオマス発電所が建設され木質燃料の需要が高まる中、需要に応じた素材生産が持続できるか懸念される。

本研究では、適切な素材生産に向けた対策の検討に資するため、福島県内の素材生産事業者が抱える課題を明らかにすることを目的としてアンケート調査を行った。

なお、本報は、日下部ら（2024）<sup>[1]</sup>において学会発表されているものを引用している。

## 2 方法

素材生産において事業者が抱える課題について、県内の素材生産者（157社）を対象として2023年にアンケート調査を行った。

調査票で提示した課題は次のとおり。①人員不足、②既設道路からの距離、③急斜面、④放射性物質、⑤林業機械の不足、⑥需要に対する素材生産量の不足。各課題に当てはまる場合は1、当てはまらない場合は0とし2値化した。地域との関連を解析するためクロス集計しカイ二乗検定を行った。

## 3 結果と考察

各課題について地域別（浜通り・会津・中通り）に集計した結果を図1に示す。人員不足、既設道路か

らの距離、急斜面を課題とする事業者が各地域で70～80%程度と比較的高い値を示した。

放射性物質を課題とする事業者が浜通りで有意に多いことがわかった。これは、放射性物質の沈着量が多い地域が浜通りに含まれるためであると考えられる。また、放射性物質に関する課題は今回提示した6つの課題の中で該当する事業者が最も少なかった。

林業機械の不足に関する課題は、統計的に有意ではないものの該当する事業者が浜通りで多かった。需要に対する素材生産量の不足に関する課題も、統計的に有意ではないものの該当する事業者が浜通りで多かった。これは、放射性物質や林業機械の不足といった課題や、浜通りに位置するいわき地方で原発事故後に木材需要量が増加した<sup>[2]</sup>ことが要因として考えられる。

## 4 成果の活用

成果の一部をバイオマス発電利用者に向けた研究事例集に掲載し、市町村や事業者等に展開した。

## 引用文献

- [1] 日下部一晃, ほか: 福島県の林業における素材生産の課題, 環境情報科学 53-1 第20回環境情報科学ポスターセッション発表要旨集, p. 161 (2024).  
 [2] 木村憲一郎: 原発事故が福島県の木材需給に与えた影響と林業・木材産業の現状, 日本森林学会誌 101巻1号, pp. 7-13 (2019).

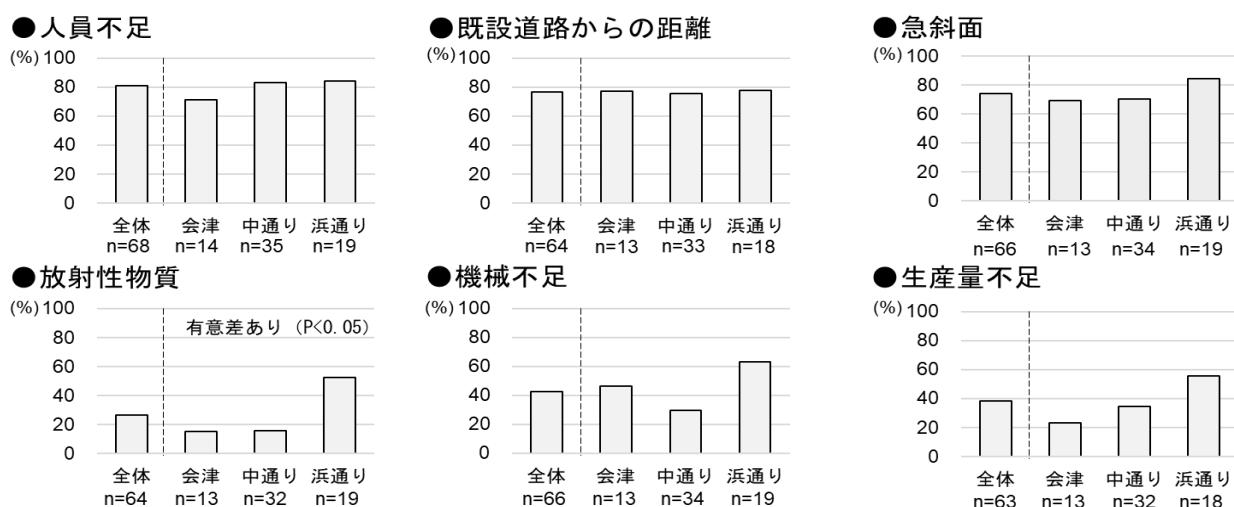


図1 地域別の素材生産における課題

## 福島県内の森林の林縁部におけるリターの放射性セシウム濃度分布調査

福島県・JAEA

## 1 はじめに

福島県では原発事故由来の放射性物質が落ち葉に含まれている場合があり、国により肥料・土壤改良資材・培土の暫定許容値 (400 Bq/kg) が定められている。落ち葉を堆肥等に利用する場合、一般的に生活圏近傍の林縁部で採取されることが想定されるが、Imamura et al. (2018) による福島県内の森林を対象とした調査<sup>[1]</sup>では、森林の内側より林縁部の空間線量率が高い地域があったこと（林縁効果）が報告されている。

本調査は、放射性物質を含む落ち葉の適正な有効利用に資するため、森林の林縁部における落ち葉の放射性セシウム濃度分布を明らかにすることを目的として実施した。

## 2 方法

調査地は、広葉樹が優占する中通りの森林4か所（調査地A、B、C、D）と浜通りの森林1か所（調査地E）とし、令和5年12月～令和6年1月に各調査地で1回ずつ試料を採取した。

試料採取にあたり、調査対象地の林縁 30m × 林内 50m を 10 m × 10 m メッシュで 15 等分し、各メッシュの中心からリター（本調査では腐食が進んでいない広葉樹の落ち葉のみをリターとした。）及び土壤（5cm 深さ）を採取した。

採取したリター及び土壤の放射性セシウム濃度を

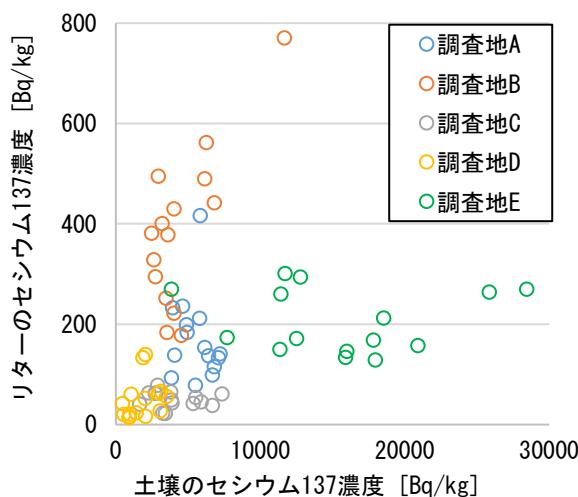


図1 各調査地のリターと土壤のセシウム 137 濃度

ゲルマニウム半導体検出器で測定し、相対誤差は 5% 程度であった。

## 3 結果と考察

リターと土壤のセシウム 137 濃度の測定結果を図1に示す。各調査地のリターの平均濃度は、50～387 Bq/kg-乾重、土壤の平均濃度は、1,803～15,523 Bq/kg-乾重の範囲であった。全ての調査地でリターと土壤のセシウム 137 濃度に明確な正の相関はみられなかった。

また、全ての調査地で林縁から森林内部への明確な濃度勾配はみられなかった。一例として調査地Cの濃度分布を図2に示す。林縁効果を報告する既往の調査<sup>[1]</sup>では針葉樹林を対象としており、今回の調査地のように広葉樹が優占する場合は、明らかな林縁効果がみられない可能性が示唆された。

## 4 成果の活用

本調査結果について、落葉を適正利用する際の参考資料として関係課や市町村等へ情報提供した。

## 引用文献

- [1] N. Imamura, et al.: Forest edge effect in a radioactivity contaminated forest in Fukushima, Journal of Forest Research, Volume 23, pp. 15–20, (2018).

図2 調査地Cのリター（左）と土壤（右）のセシウム 137 濃度の分布 [Bq/kg-乾重]  
(上部が林縁、下方が森林内部)

# 草本バイオマスのメタン発酵およびバイオ炭併用処理における放射性セシウムの動態評価

国立環境研究所

## 1 はじめに

メタン発酵では、バイオマスを微生物により分解することで減量化を図るとともに、メタンを主成分とするバイオガスを回収・利用できる。一方で、発酵残渣には固形分と水分が含まれており、適切な処理や農地還元などによる有効利用が求められる。資源循環の推進や維持管理費用の削減の観点からも、残渣の再利用は重要である。

しかし、放射性セシウム（以下「rCs」という。）を含む草本系バイオマスや、それらを熱処理して得られる木質系バイオ炭をメタン発酵に投入した場合、有機物の分解に伴ってrCsが水相に溶出する可能性や、逆に固形分へ吸着する可能性が考えられる。そのため、このようなrCs含有物を投入したメタン発酵プロセスから排出される残渣が、再利用可能な水準に達するかどうかは、事業性を左右する重要な課題となる。本稿では、草本バイオマスのメタン発酵およびバイオ炭併用処理におけるrCsの動態に関する実験的検討をまとめた。

## 2 方法

草本バイオマスとして、rCsを含有するソルガムおよびジャイアントミスカンサスを用い、それぞれを投入原料として中温条件下での連続メタン発酵実験を行った。また、バイオ炭に関する実験では、福島県内の発電施設から採取したバイオ炭を用い、rCsを含まない牧草スラリーに対して99:1の比率で混合し、同様に中温メタン発酵実験を実施した。

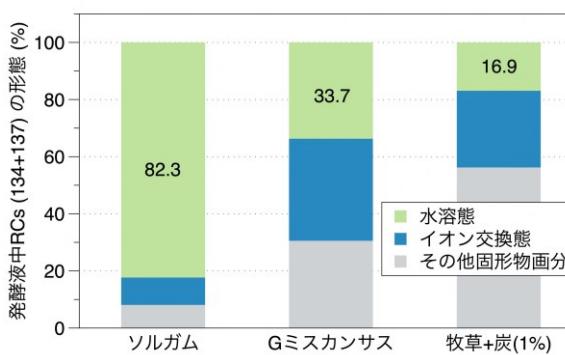


図1 安定状態時の発酵液中rCsの分布

## 3 結果と考察

rCsを含む草本系バイオマスのメタン発酵では、ソルガムおよびジャイアントミスカンサスの有機物分解率はそれぞれ平均約60%、45%となり、ソルガムの方が高い分解性を示した。炭添加系における牧草スラリーの分解率は平均約60%であった。

90日以上の連続実験を行い、安定化した発酵液を3つの画分に分けて<sup>134</sup>Csおよび<sup>137</sup>Cs濃度を測定した。その結果、図1に示すように、分解率の高いソルガムの系では水溶態rCsの比率がジャイアントミスカンサスより高く、最大で82%に達した。このことから、有機物の分解進行に伴い、rCsの水相への溶出が増加することが示唆された。一方、炭添加系では、添加したバイオ炭が分解しないため、水溶態rCsの比率は3系列の中で最も低く、約17%にとどまった。

これらの結果を踏まえ、処理後の固液分離操作を考慮して残渣中のrCs濃度を推計した（図2）。ここでは、rCsを300Bq/kg含む草本処理系と、rCsを400Bq/kg含むバイオ炭を添加した処理系について計算を行った。発酵液中の固形分は脱水・乾燥により濃縮されるため、rCs濃度も上昇する。本計算の結果、rCsを含む草本処理系においてはリスクが高く、乾燥汚泥中のrCs濃度は約500Bq/kgに達し、肥料中の暫定許容値を超過することが明らかとなった。このことから、当該処理残渣を肥料として利用することは困難であると考えられた。

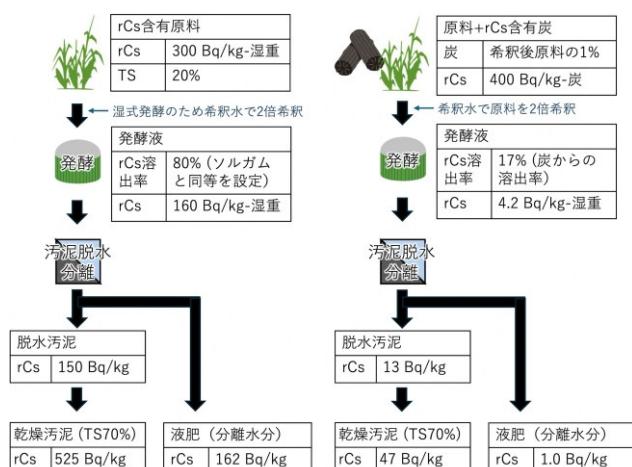


図2 各条件での発酵プロセス中のrCs挙動予想

## 木質バイオマスガス化技術の開発 (原料種の拡大)

国立環境研究所

## 1 はじめに

運転・管理の容易さから、100kW 以下の小型木質バイオマスガス化発電装置の導入が注目されている。今後の課題として低コスト化が考えられ、木質ペレット工場で産業廃棄物として処理・処分されている樹皮（以下「パーク」という。）の利用がその解決策ともなりえる。しかしながら、杉等のパークを原料とした場合のガス化特性に加えて、放射性セシウム（以下「r-Cs」という。）の挙動に関する知見はほとんどない。そこで、本研究では、パークのガス化実験を行い、r-Cs の挙動を含めたガス化特性を明らかにすることを目的とする。なお、本報は倉持らの学会発表<sup>[1]</sup>の成果を引用している。

## 2 方法

既報<sup>[2]</sup>の実験装置を参考に、ダウンドラフト型ガス化装置を試作し、以下の実験を行った。ガス化原料は、杉及び松のパークと杉の木質チップとした。それらを粉碎し、篩を用いて 2.0~2.8mm の大きさに調製したものを実験試料とした。各種原料を約 0.36 g/min の速度で、ガス化炉へ供給し、水蒸気共存下（Steam/Carbon=1[モル比]）で 800、900、1000°C の温度条件でガス化させた。1 時間後、回収した発生ガス（ガス化ガス）や固体残渣（バイオ炭）の性状を評価し、炭素収支からガスやバイオ炭等への変換率を算出した。原料及びバイオ炭中の r-Cs 濃度をゲルマニウム半導体検出器にて測定し、ガス化における、ガス化ガス-バイオ炭間の r-Cs の分配率を解析した。

## 3 結果と考察

ガス変換率等の結果の一例を図 1 に示す。いずれ

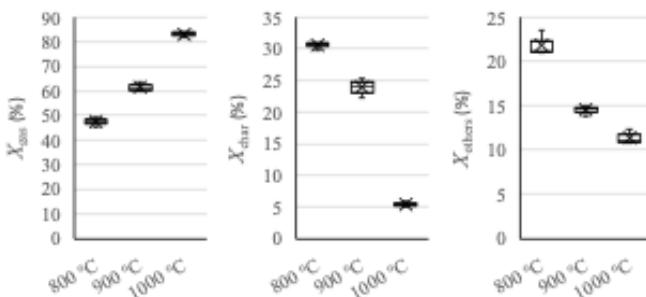


図 1 松パークのガス化温度とガス変換率( $X_{\text{gas}}$ )、バイオ炭変換率( $X_{\text{char}}$ )、タール等変換率( $X_{\text{others}}$ )

の原料でも、ガス化温度の上昇に伴い、ガス変換率とバイオ炭の比表面積が増加した。水素等の可燃性ガスの回収及びバイオ炭の高機能化を目的とするガスの発生量が多く、バイオ炭の比表面積が高い 1000 °C がガス化温度として望ましいと考えられる。また、杉及び松パークのガス化特性（ガス変換率や可燃性ガス組成）は、杉の木質チップのそれと比べて同等以上であり、パークを原料として利用できることが示唆された。特に、運転阻害のタールの発生率が少ないとすることは、安定運転において優れた点である。

各種原料のガス化における r-Cs の挙動を図 2 に示す。温度上昇に伴い、r-Cs のガス化ガスへの分配率が増加し、特に 900°C と 1000°C を境に急激に増加した。これは、温度上昇に伴う r-Cs 化合物の揮発性の向上や、ガス変換率の急激な増加がその要因と考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部は、福島県内の木質ガス化熱電併給施設に提供された。

## 引用文献

- [1] 倉持秀敏, ほか: 木質バイオマスのガス化特性に対する原料種の影響. 第 13 回環境放射能除染研究発表会 要旨集, p. 34 (2024).  
 [2] Kido et al.: Spent mushroom substrate performance for pyrolysis, steam co-gasification, and ash melting. Biomass and Bioenergy, 14, 105954 (2021).

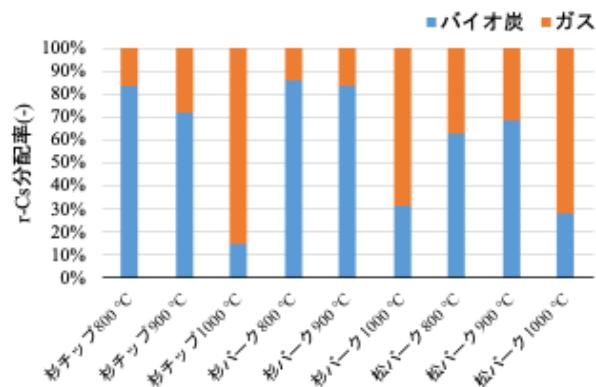


図 2 木質バイオマスガス化におけるガス化ガス-バイオ炭間の r-Cs 分配率

## 木質バイオマス燃焼発電施設における放射性セシウムの挙動解明

国立環境研究所

## 1 はじめに

近年、福島県内において木質バイオマス燃焼発電施設が稼働し始めており、また新たに発電施設の建設も進んでいる。発電施設では、東日本大震災における原発事故由来の放射性物質を含む木質チップが原料として燃焼されている。しかしながら、燃焼における放射性セシウム（以下「r-Cs」という。）の挙動に関する知見は少なく、火格子式燃焼炉における挙動の報告例はない。そこで、火格子式燃焼炉を有する木質バイオマス発電施設を調査し、r-Cs の挙動を明らかにすることを目的とする。なお、本報は倉持らの学会発表<sup>[1]</sup>の成果を引用している。

## 2 方法

発電施設には2機の燃焼炉があり、2機分の調査を行った。月に1日、燃焼残渣（飛灰及び主灰）を1時間ごとに計5時間採取した。採取試料中のr-Cs濃度の測定に加えて、5試料を当量混合した1日を代表する試料についてr-Cs濃度を測定した。また、測定値（代表値）と現地で測定された木質燃料のr-Cs濃度から、各種灰へのr-Cs濃縮率（=各残渣のr-Cs濃度/木質燃料のr-Cs濃度）を算出するとともに、処理量を用いてr-Csの各種灰への分配率を算出した。さらに、各種灰に対して溶出試験（JIS K0058-1に準拠）を行いr-Cs溶出率を求めた。これらの結果を考察するために原料の灰分や各種灰の元素含有量も分析した。

## 3 結果と考察

木質燃料のr-Cs濃度、飛灰及び主灰に対する

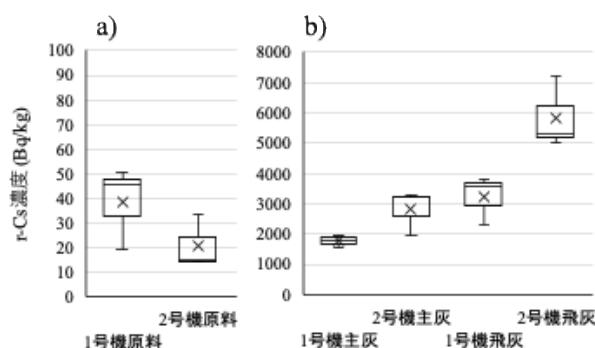


図1 木質燃料中の放射性セシウム（r-Cs）濃度(a) 及び残渣中のr-Cs濃度(b)

r-Cs濃度を図1に示す。1号機の原料中のr-Cs濃度が高いにもかかわらず、1号機の主灰及び飛灰のr-Cs濃度は2号機のそれらよりも低くなった。つまり、残渣へのr-Cs濃縮率については、1号機の方が低いことがわかった。2号機の原料は灰分率が低い切削チップ（灰分率=0.22%）のみであるが、1号機の原料は切削チップと灰分率の高いピンチップ（灰分率=1.8%）を3:1で混合したものであり、灰分の希釈効果により、1号機における両灰中のr-Cs濃縮率が低下したと考えられる。

飛灰へのr-Cs分配率は、図2のように、原料によらず主灰に比べて高くなつたが、2号機の方がより高い傾向にあった。飛灰へのr-Csの分配は、主に揮発したr-Cs化合物が排ガス冷却過程において飛灰表面に凝結すると考えられ、1号機では、ピンチップの添加によりシリカ（SiO<sub>2</sub>）分が多いと予想され、シリカ分によりr-Cs化合物の揮発が抑制されたと推察される。また、灰からのr-Cs溶出率も、1号機の方が低い結果となった。灰中の塩基度（CaO/SiO<sub>2</sub>）が高いほど、溶出率は高くなる傾向であった。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部は、調査施設に提供され、安定かつ安全な施設運営に利用されている。

## 引用文献

- [1] 倉持秀敏, ほか: 木質バイオマス燃焼発電施設における放射性セシウムの挙動. 第13回環境放射能除染研究発表会 要旨集, p. 47 (2024).

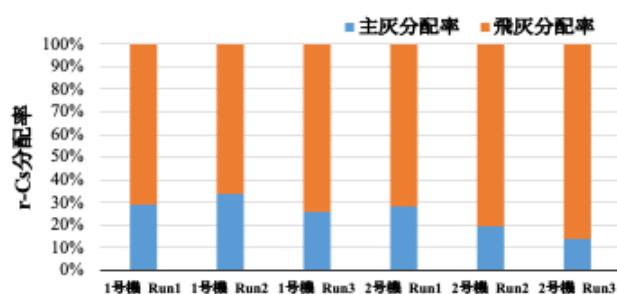


図2 放射性セシウム（r-Cs）の主灰及び飛灰への分配率

## 【環境動態部門】

## 福島県を流れる河川における放射性セシウムの経時変化

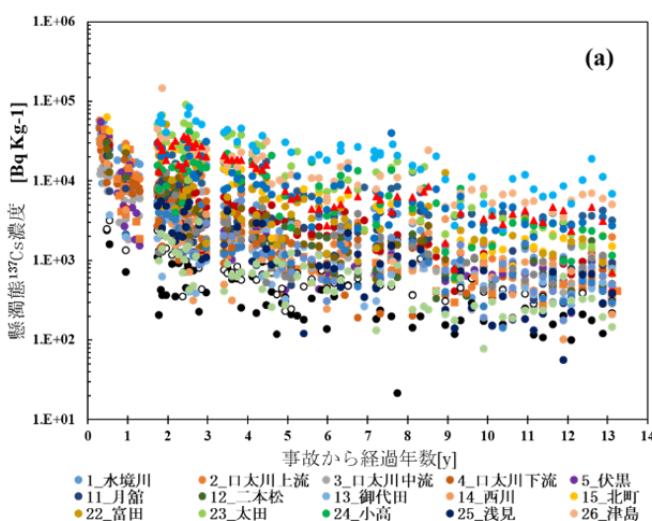
福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故によって放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )をはじめとする放射性物質が環境中へと放出された。セシウム137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。)の物理学的半減期は、約30年と比較的長いため、時間経過に伴う環境動態を把握することは、生物に対する長期的な被ばく線量を評価する上でも重要である。河川水の放射性セシウム(以下「Cs」という。)は、主に懸濁態( $\geq 0.45\text{ }\mu\text{m}$ )と溶存態(粒径 $<0.45\text{ }\mu\text{m}$ )として存在する。懸濁態Csは土壤粒子や粘土鉱物などに吸着する一方で、溶存態Csは主にイオンとして存在し、生物へと取り込まれやすい。本研究では河川水の懸濁態および溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の経時変化とその要因について明らかにすることを目的とした。

## 2 方法

阿武隈川水系と浜通りの二級河川(29地点)にて2種類の方法で試料を採取した。懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ の分析用試料は、河川水中に常時設置している浮遊砂サンプラーを用いて、約3ヶ月ごとに試料を回収した。29地点のうち、15地点(阿武隈川下流域や口太川流域など)は2011年6-8月に、その他の地点は2012年にサンプラーを設置している。採取した試料は、乾燥(110°Cで24時間、2017年10月以前に採取)または、凍結乾燥(24-48時間、2017年11月以降に採取)を行ったのちに、ゲルマニウム半導体検出器を用いて懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の測定を行った。ここで得られた濃度は、各試料期間の代表値を示す。溶存態 $^{137}\text{Cs}$ の分析試料は、河川水40-100Lを年2回採取した。



採取した試料を孔径 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ メンブレンフィルターでろ過し、ろ液をリンモリブデン酸アンモニウム共沈法<sup>[1]</sup> (2014年8月以前に採取) または、陽イオン交換樹脂吸着法<sup>[2]</sup> (2017年2月以降に採取) を用いて測定用試料を作製した。溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の測定は、ゲルマニウム半導体検出器を用いて行った。

## 3 結果と考察

河川水の懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は、事故直後は高濃度(32,000~58,000 Bq/kg-dry)であったが、2023年10月までに1~2桁減少していた(阿武隈川水系: 330~7,000 Bq/kg-dry、浜通り河川: 180~19,000 Bq/kg-dry)。2023年7月時点の溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は、阿武隈川水系で0.00056~0.011 Bq/L、浜通り河川で0.0021~0.058 Bq/Lであり、日本の飲用水基準(10 Bq/L)より2~4桁低かった。

懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は、2012年3月までに急激に減少(第1成分)し、2012年4月以降は、比較的緩やかに減少(第2成分)しており、すなわち2段階の減少傾向を示していた。第1成分での実効半減期は0.12年~0.86年であった。第2成分について、事故からの経過年数( $t$ )に対する各河川の懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度( $C_{ss}$ )の近似式は $C_{ss}=A e^{-\lambda_2 t}+B e^{-\lambda_3 t}$ であった。ここで、減少率 $\lambda$ は土地利用と関連があり、比較的速い成分である $\lambda_2$ は草地・裸地の割合が低い流域、遅い成分である $\lambda_3$ は、畑地・水田の割合が高い流域で比較的大きい傾向にあった。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

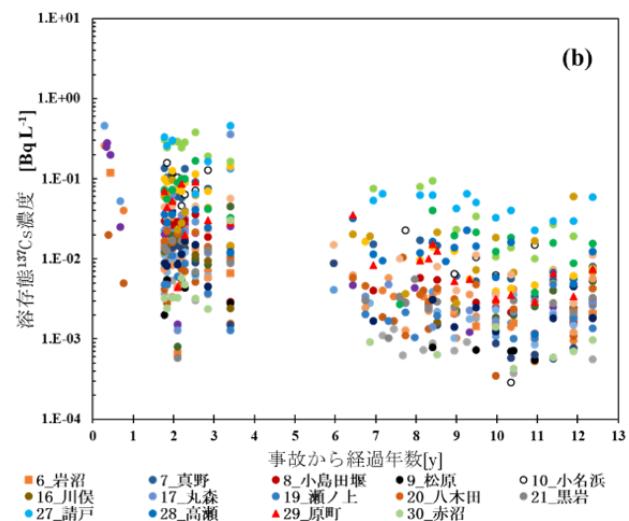


図1 各観測地点における懸濁態(a)と溶存態(b)  $^{137}\text{Cs}$ 濃度の経時変化

## 陸域から海へ、河川を介して放射性セシウムの移行量はどのくらい

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故によって放出されたセシウム 137 (以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) について、福島県の土地利用ごとの  $^{137}\text{Cs}$  の初期蓄積量は、森林で約 67%、水田・畑・都市(PFU)で 22.4% であった<sup>[1]</sup>。PFU 地域の除染は、2018 年までに概ね完了しているが、未除染である森林域に初期沈着量の約 9 割の  $^{137}\text{Cs}$  が残っていると推測されている<sup>[2]</sup>。河川水の  $^{137}\text{Cs}$  は、9 割以上が土壤粒子や粘土鉱物などに付着した懸濁態(粒径  $\geq 0.45 \mu\text{m}$ )として存在している<sup>[3]</sup>。本研究は懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  に着目し、これまで得られた懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度や水位、濁度データを用いることで、約 10 年間の陸域から海への懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  移行量の変化と要因について明らかにすることを目的とした。

## 2 方法

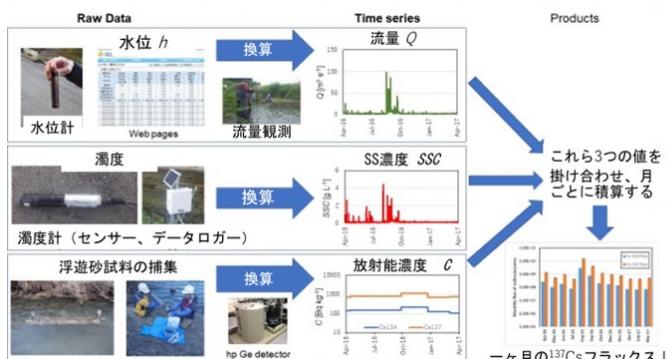
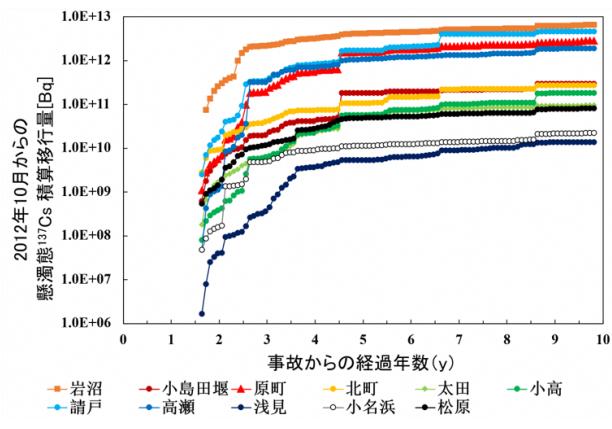
阿武隈川水系および浜通りの二級河川(真野川、新田川、太田川、小高川、浅見川、藤原川、鮫川、請戸川)の下流域の 11 地点に浮遊砂サンプラーを設置し、約 3 ヶ月ごとに試料を回収した。採取した試料は、乾燥したのちに、ゲルマニウム半導体検出器を用いて  $^{137}\text{Cs}$  濃度の測定を行った。ここで得られた  $^{137}\text{Cs}$  濃度を、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度とした。さらに、水位と濁度の連続観測データを用いて、懸濁物質濃度と河川流量を算出し、「懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  移行量」 = 「懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度」  $\times$  「懸濁物質濃度」  $\times$  「河川流量」の式を用いて(図 1)懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  移行量を算出した。

## 3 結果と考察

2012 年 10 月から 2020 年 12 月における、全ての河川の懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  移行量は、 $1.7 \times 10^{13} \text{ Bq}$  であり(図 2)、陸域における  $^{137}\text{Cs}$  沈着量( $2.7 \times 10^{15} \text{ Bq}$ 、[1])に対する流出率は 0.6% であった。河川ごとの懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  流出率は、各流域での初期沈着量の 0.1–1.7% で、流域面積当たりの河川流量や、ダム集水面積の割合<sup>[4]</sup>に応じて異なっていた。また、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  移行量は、2015 年 9 月の台風 18 号、2017 年 10 月の台風 21 号、2019 年 10 月の台風 19 号(令和元年東日本台風)による大規模な出水が生じた際に、一時的に増加していた。

## 引用文献

- [1] H. Kato et al. : Reconstruction of a Fukushima accident-derived radio cesium fallout map for environmental transfer studies. *J Environ Radioact.*, 210, e105996 (2019).
- [2] Y. Onda et al. : Radionuclides from the Fukushima Daiichi nuclear power plant in terrestrial systems. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(12), 644–660 (2020).
- [3] K. Taniguchi et al. : Dataset on the 6-year radio cesium transport in rivers near Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Scientific data*, 7(1), e433 (2020) .
- [4] S. Fan et al. : Transport of radioactive materials from terrestrial to marine environments in Fukushima over the past decade. *Pure and Applied chemistry*, 96(7) (2024).

図 1 1 ヶ月あたりの懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  移行量の算出方法図 2 各河川における 2012 年 10 月から海への懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  量の積算

## 阿武隈川と福島県浜通り複数河川における河川水質と土地利用の関係

福島県

## 1 はじめに

河川水の水質は、流域の土地利用や人間活動などに影響を受けて形成される。水質の流域特性を明らかにするために、阿武隈川本流・支流と福島県浜通りの二級河川に位置する 25 地点の水質データと土地利用との関係を明らかにし、水質の形成要因を検討した。

## 2 方法

河川水は、阿武隈川水系の河川の 15 地点(本流 6 地点、口太川 4 地点、その他の支流 5 地点)と、浜通りの二級河川(浜通りの河川)の 10 地点にて、2022 年から 2024 年の春(4-5 月)、夏(7-8 月)、秋(10-11 月)、冬(1-2 月)に計 8 回採取した。採水は概ね平水時に行った。pH、電気電動度(EC)、アルカリ度は、ろ過で測定を行った。さらに、試料の一部は GF/F(孔径 0.7 μm)でろ過したのちに、溶存有機炭素は全有機炭素(TOC)アナライザーを用いて測定を行った。主要陽及び陰イオンは GF/F でろ過したのちに、さらに孔径 0.2 μm のフィルターでろ過し、ろ液をイオンクロマトグラフィーを用いて測定を行った。

なお、各地点の土地利用データは環境省自然環境局の植生データを元に GIS で計算した値<sup>[1]</sup>を用いた。

## 3 結果と考察

河川水の pH は、阿武隈川水系の地点で 7.48-8.08、浜通りの河川で 7.23-7.74 であった。EC は、阿武隈川の支流で幅広い値を示しており (88.8-312.3

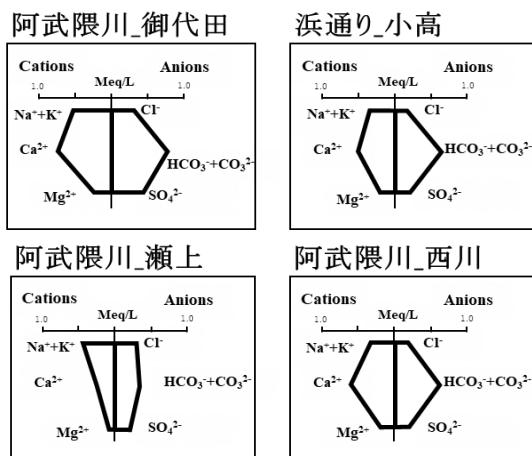


図 1 水質シュティフダイアグラム (阿武隈川本流  
御代田、支流西川と瀬上、浜通り小高)

μS/cm)、阿武隈川本流は比較的値の範囲が狭かった (177.1-218.1 μS/cm)。浜通りの河川では阿武隈川水系と比較して低い傾向にあった (67.8-157.5 μS/cm)。

得られた主要陽および陰イオン ( $\text{Na}^+$ - $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ - $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ ) 濃度をもとに水質シュティフダイアグラムを作成した結果、阿武隈川本流は  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  型、西側の支流は  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  型・ $\text{Ca}-\text{Cl}$  型・ $\text{Na}-\text{HCO}_3$  型、東側の支流は  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  型、浜通り河川は全て  $\text{Ca}-\text{HCO}_3$  型であった (図 1)。人間活動に影響を受ける EC、 $\text{K}^+$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  濃度は、いずれも人口密度が低い、浜通りの河川と口太川流域の地点で低く、人口密度が高い阿武隈川水系 (口太川を除く) で高かった。さらに、浜通りの河川では  $\text{NO}_2^-$  濃度、 $\text{NO}_3^-$  濃度、 $\text{NH}_4^+$  濃度、 $\text{Cl}^-$  濃度が比較的低く、阿武隈川水系では比較的高い値であった。また、 $\text{NO}_3^-$  濃度は阿武隈川の上流から下流へ向かって増加傾向を示し、支流からの栄養塩の流入に関連していると考えられる。 $\text{Cl}^-$  濃度は大気沈着量と関係があり、その濃度は「浜通り河川」<「口太川」<「阿武隈川のその他支流」<「阿武隈川本流」の順に高くなっていた。このことから浜通りにおいて  $\text{NO}_2^-$  濃度、 $\text{NO}_3^-$  濃度、 $\text{NH}_4^+$  濃度が低い要因の 1 つとして、大気由来の窒素が少ないことが挙げられる。特に阿武隈川水系の人口密度の高さや、口太川流域で農地が広く分布していることが高い窒素濃度に関係していると考えられる。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

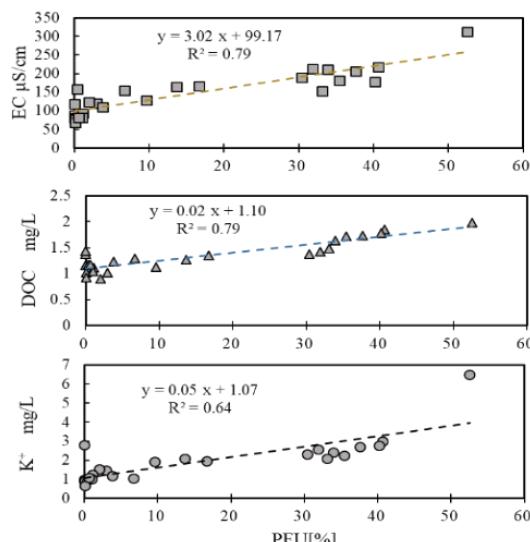


図 2 EC、DOC、 $\text{K}^+$ 濃度と土地利用 PFU の関係

## 帰還困難区域の河川水の放射性セシウム濃度の経時変化

福島県・JAEA・国立環境研究所

## 1 はじめに

2025年2月現在、帰還困難区域<sup>[1]</sup>に位置する、福島県双葉町の前田川（源流域、上流域、中流域）および双葉町、浪江町の猿田川における河川水の溶存態および懸濁態の放射性セシウム（<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs）濃度変化について明らかにした。前田川の源流域は十万山の麓に位置し、十万山では2017年4-5月に国有林の林野火災が起こっている<sup>[2]</sup>。

## 2 方法

沢水および河川水は、2017年から、前田川の計8地点、猿田川の計7地点で10-80L採水した。持ち帰った沢水および河川水をSS態セシウムモニタリング用カートリッジフィルター（孔径1μm）に通水したのちに、メンブレンフィルター（孔径0.45μm）に通した。フィルターを通りぬけたろ液をラドディスクに吸着、もしくはリンモリブデン酸アンモニウム吸着法<sup>[3]</sup>、陽イオン交換樹脂吸着法<sup>[4]</sup>などを用いて、溶存態セシウム測定用の試料を作製した。それぞれの存在形態の試料について乾燥したのちにゲルマニウム半導体検出器を用いて<sup>134</sup>Csや<sup>137</sup>Csなどの測定を行った。得られた放射性核種の濃度は試料採取日に壊変補正を行った。

## 3 結果と考察

分析した沢水および河川水について、概ね<sup>134</sup>Csは検出されなかった。前田川と猿田川共に、溶存態の<sup>137</sup>Cs濃度は、時間が経過すると共に概ね減少傾向にあり、2024年1月現在、東日本大震災における原発事故前の福島県の河川水の<sup>137</sup>Cs濃度（0.22-1.85mBq/L）<sup>[5]</sup>と比較して、1桁高い濃度まで減少していた。しかし、懸濁態<sup>137</sup>Cs濃度は、平水時には溶存態よりも低いが、雨が降った後に一時的に上昇する傾向が見られていた。溶存態<sup>137</sup>Cs濃度が指数関数的に減少すると仮定したときの実効半減期は、前田川で2.3-5.8年、猿田川で2.4-3.5年であった。これらの値は、県内の他の河川やため池の値<sup>[6][7]</sup>とほぼ同じくらいの数値であった。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部は浪江町林野火災における環境への影響の調査結果について（中間報告）に用いられた。

## 引用文献

- [1] 「福島県復興情報ポータルサイト」福島県, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/porta1/cat01-more.html> (参照 2025-9-26) .
- [2] 浪江町. <https://www.town.namie.fukushima.jp/uploaded/attachment/7292.pdf> (参照 2025-9-26) .
- [3] M. Aoyama K, Hirose: Radiometric determination of anthropogenic radionuclide in seawater, “Radioactivity in the environment”, Ed. by P. P. Povinec, Elsevier, pp. 137-162 (2008).
- [4] 森田裕子ほか: 陽イオン交換樹脂を用いる放射性セシウムの除去, 分析化学, 62(6), 541-545 (2013).
- [5] 「環境放射線データベース」, <https://www.kan-kyohoshano.go.jp/data/database/> (参照 2025-9-26) .
- [6] 日本原子力研究開発機構: 「福島における放射性セシウムの環境動態研究の現状(平成30年度版)」, (2019), 235p.
- [7] K. Sakuma et al.: Leaching characteristics of <sup>137</sup>Cs for forest floor affected by the Fukushima nuclear accident: A litterbag experiment. Chemosphere 264(1), e128480 (2021).

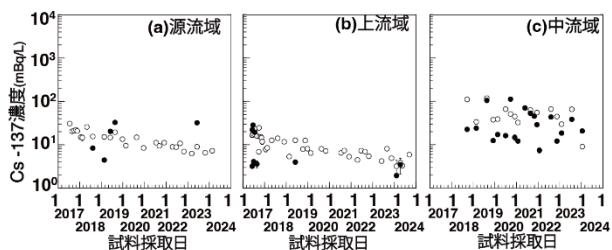


図1 前田川(a)源流域、(b)上流域、(c)中流域における懸濁態(●)および溶存態(○)の<sup>137</sup>Cs濃度の経時変化

## 帰還困難区域の河川水の溶存態セシウム 137 濃度と水質との関係

福島県・JAEA・国立環境研究所

## 1 はじめに

2017 年以降に福島県双葉町の前田川および双葉町および浪江町の猿田川にて採取した河川水の溶存態のセシウム 137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) 濃度は、夏に比較的高く、冬に低いことが明らかになってきた。そこで、溶存態の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と水質との関係から、季節変化の要因を探った。

## 2 方法

採水した沢水および河川水を SS 態セシウムモニタリング用カートリッジフィルター(孔径 1  $\mu\text{m}$ )に通水したのちに、メンブレンフィルター(孔径 0.45  $\mu\text{m}$ )を通りぬけたろ液をラドディスクに吸着、もしくはリンモリブデン酸アンモニウム吸着法<sup>[1]</sup>、陽イオン交換樹脂吸着法<sup>[2]</sup>などを用いて、溶存態 Cs 測定用の試料を作製した。試料を乾燥したのちにゲルマニウム半導体検出器を用いて放射性核種の測定を行った。得られた放射性核種の濃度は試料採取日に壊変補正を行った。さらに、各地点で同時に採水した沢水および河川水について水質(水温、pH、EC、主要陽および陰イオン濃度、溶存有機炭素(DOC)濃度、アルカリ度)の測定を行った。

## 3 結果と考察

初期沈着量の違い<sup>[3]</sup>を考慮した溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度(:規格化した溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度)と水質との関係について、前田川と猿田川共に、水温との間で有意な正の相関が認められていた。さらに、規格化した溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度と DOC 濃度(前田川本流、相関係数  $R=0.62$ 、 $p<0.05$ )、カリウムイオン( $\text{K}^+$ )、ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )濃度(猿田川、 $R=0.57\text{--}0.85$ 、 $p<0.05$ )との間で、それぞれ有意な正の相関が認められた(図 1)。このことは、溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の季節変化の要因として、前田川本流では”有機物に吸着した懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  が分解したことで溶存態  $^{137}\text{Cs}$  が生成された<sup>[4][5]</sup>”、猿田川では”無機物に吸着した懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  が同族のイオン( $\text{K}^+$ や  $\text{Na}^+$ )とイオン交換が行われたことで、溶存態  $^{137}\text{Cs}$  が生成された<sup>[4][6]</sup>”ことを示唆する。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部は浪江町林野火災における環境への影響の調査結果について(中間報告)に用いられた。

## 引用文献

- [1] M. Aoyama K, Hirose: Radiometric determination of anthropogenic radionuclide in seawater, “Radioactivity in the environment”, Ed. by P.P. Povinec, Elsevier, pp. 137–162 (2008).
- [2] 森田裕子ほか: 陽イオン交換樹脂を用いる放射性セシウムの除去, 分析化学, 62(6), 541–545 (2013).
- [3] H. Kato et al.: Reconstruction of a Fukushima accident-derived radio cesium fallout map for environmental transfer studies. J Environ Radioact., 210, e105996 (2019).
- [4] H. Tsuji et al.: Factors controlling dissolved  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in east Japanese Rivers. Sci Total Environ., 697, e134093 (2019).
- [5] Y. Igarashi et al.: Factors controlling the dissolved  $^{137}\text{Cs}$  seasonal fluctuations in the Abukuma river under the influence of the Fukushima nuclear power plant accident. JGR Biogeoscience 127(1), e006591 (2022).
- [6] K. Sakuma et al.: Leaching characteristics of  $^{137}\text{Cs}$  for forest floor affected by the Fukushima nuclear accident: A litterbag experiment. Chemosphere 264(1), e128480 (2021).

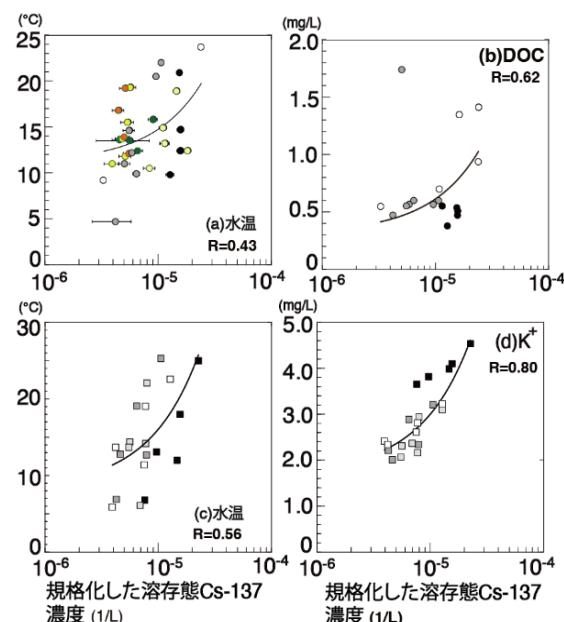


図 1 規格化した溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度と (a) 水温、(b) DOC、(c) 水温、(d)  $\text{K}^+$ 濃度との関係。(a) と (b) は前田川、(c) と (d) は猿田川の結果を示す。

福島県河川におけるセシウム 137 の見かけの  $K_d$  とその要因について

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後の福島県内の河川における、水と河床土間のセシウム 137 (以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) の見かけの分配係数 ( $K_d$ ) 値は、チョルノービリ事故のエリアよりも 1-2 衡高かったと報告されている<sup>[1]</sup>。 $K_d$  値は、放射性廃棄物の安全評価に用いられる、環境移行パラメータの 1 つであり、 $K_d$  値の分布や変動要因を明らかにすることは、中長期的な放射性核種の被ばく線量評価にもつながる。そこで、本研究では、福島県双葉町および浪江町の前田川 (源流域、上流域、中流域)、猿田川 (上流～下流域) を対象とし、河川水と河床土間の見かけの  $K_d$  の分布と水質との関係から要因を明らかにすることを目的とした。

## 2 方法

採取した沢水および河川水を SS 態セシウムモニタリング用カートリッジフィルター (孔径 1  $\mu\text{m}$ ) およびメンブレンフィルター (孔径 0.45  $\mu\text{m}$ ) に通した。フィルターを通りぬけたろ液をラドディスクに吸着、もしくはリンモリブデン酸アンモニウム吸着法<sup>[2]</sup>、陽イオン交換樹脂吸着法<sup>[3]</sup>などを用いて、溶存態 Cs 測定用の試料を作製した。河床土は水試料とほぼ同地点で採取したのち、乾燥し、2 mm の篩に通して、通り抜けた粒子を測定用試料とした。それぞれの試料について、ゲルマニウム半導体検出器を用いて放射性核種の測定を行った。得られた放射性核種の濃度は試料採取日に壊変補正を行った。

さらに各地点で同時に採水した沢水および河川水について水質 (水温、pH、EC、主要陽および陰イオン濃度、溶存有機炭素 (DOC) 濃度、アルカリ度) の測定を行った。

見かけの  $K_d$  値は、河床土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を河川水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度で割ることで算出した。対象河川の河川水は主に溶存態 (粒径 0.45  $\mu\text{m}$  以下) として存在するため、溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の値を  $K_d$  の算出に用いた。

## 3 結果と考察

福島県双葉町の前田川中流における 2019 年から 2023 年における、 $^{137}\text{Cs}$  の見かけの  $K_d$  値は  $(1.74 \pm 0.3) \times 10^4 \text{ L/kg}$  から  $(8.66 \pm 0.2) \times 10^4 \text{ L/kg}$  であり、それらの値は IAEA TRS472<sup>[4]</sup> の幾何平均値  $(2.9 \times 10^4 \text{ L/kg})$  と同レベルの値であった。さらに、 $^{137}\text{Cs}$  の見かけの  $K_d$  は前田川において、DOC 濃度との

間で有意な負の相関 (相関係数  $R=-0.70$ ,  $p<0.02$ )、硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) 濃度との間で正の相関 ( $R=0.57$ ,  $p<0.02$ ) が認められた。猿田川では水温やカリウムイオン ( $\text{K}^+$ ) やナトリウムイオン ( $\text{Na}^+$ ) 濃度との間に負の相関 ( $R=-0.56$ – $-0.60$ ,  $p<0.02$ )、マグネシウム ( $\text{Mg}^{2+}$ ) や塩素イオン ( $\text{Cl}^-$ ) 濃度との間で正の相関 ( $R=0.49$ – $0.56$ ,  $p<0.05$ ) が認められていた。ここで負の相関に着目すると、前田川では DOC、猿田川では水温や  $\text{K}^+$  や  $\text{Na}^+$  が河川水から河床土への  $^{137}\text{Cs}$  の移行を制限する要因になっていたと推測される。

## 引用文献

- [1] A. V. Konoplev et al.: Radio cesium in Ponds in the Near zone of Fukushima Dai-ichi NPP, Water resources, 45(4), 589–597 (2018).
- [2] M. Aoyama K, Hirose: Radiometric determination of anthropogenic radionuclide in seawater, “Radioactivity in the environment”, Ed. by P. P. Povinec, Elsevier, pp. 137–162 (2008).
- [3] 森田裕子ほか: 陽イオン交換樹脂を用いる放射性セシウムの除去, 分析化学, 62(6), 541–545 (2013).
- [4] IAEA Technical Reports Scientific No. 472 “Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in transfer in terrestrial and freshwater environments”, (2010). 194 p.

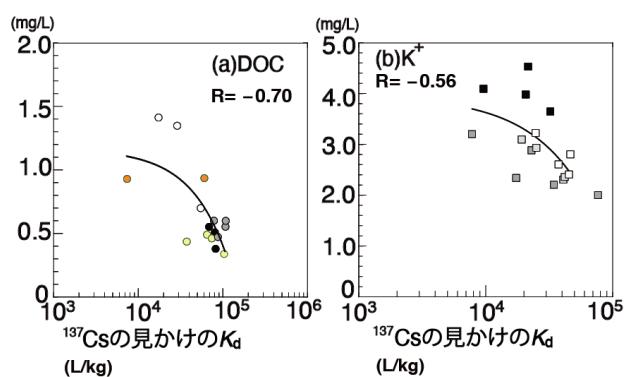


図 1  $^{137}\text{Cs}$  の見かけの  $K_d$  と (a) DOC 濃度 (前田川)、(b)  $\text{K}^+$  濃度 (猿田川) との関係

## 帰還困難区域の河川の放射性セシウム移行量について

福島県

## 1 はじめに

2024年12月現在、帰還困難区域<sup>[1]</sup>に位置する、福島県双葉町および浪江町の猿田川、双葉町の前田川における浮遊砂のセシウム137(以下「<sup>137</sup>Cs」という。)移行量を算出し、要因を明らかにすることを目的とした。

## 2 方法

2019年から現在まで、猿田川および前田川流域のそれぞれ1地点に浮遊砂サンプラー<sup>[2]</sup>を設置し、約2-3ヶ月ごとに試料(浮遊砂+河川水、約10L)を回収した。採取した試料は1週間静置や凍結乾燥を行ったのちに、<sup>137</sup>Cs濃度の測定と粒度分析を行った。得られた放射性核種の濃度は試料採取日に壊変補正を行った。さらに2023年から流量観測(河川断面積や流速などを計測)および水位や濁度の連続計測を行った。得られた流量と濁度(懸濁物質濃度に変換)、浮遊砂の<sup>137</sup>Cs濃度を踏まえて、1か月の<sup>137</sup>Cs移行量を求めた。

## 3 結果と考察

一部の浮遊砂試料で、セシウム134(以下「<sup>134</sup>Cs」という。)濃度を検出しており、事故によって放出された放射性Csが検出されていた。東日本大震災における原発事故時に壊変補正した、<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs濃度比は、0.79-1.2であり、概ねモデルシミュレーションによる事故当時の原子炉の値(0.8-1.2)<sup>[3]</sup>の範囲内にあった。

2023年6月から2024年8月の猿田川における、浮遊砂の<sup>137</sup>Cs移行量は $4.30 \times 10^4$ - $3.76 \times 10^6$  Bq/month、前田川(2024年3月から8月)では $3.57 \times 10^3$ - $2.49 \times 10^5$  Bq/monthであった(図1)。猿田川の浮遊砂の<sup>137</sup>Cs移行量は、前田川と比較して最大で1桁高かった。Kato et al. (2019)<sup>[4]</sup>によると、猿田川と前田川採取地点よりも上流域における平均<sup>137</sup>Cs初期沈着量は、それぞれ $6.11 \times 10^7$  Bq、 $7.61 \times 10^5$  Bqであり、初期沈着量が比較的高い河川で浮遊砂の<sup>137</sup>Cs移行量が高い傾向にあった。

猿田川における2023年9月に<sup>137</sup>Cs移行量が最も高かった時期は、線状降水帯の通過に伴い、1ヶ月の合計降水量が416mmであった<sup>[5]</sup>。猿田川の浮遊砂の<sup>137</sup>Cs移行量と懸濁物質濃度との間に有意な正の相関が(相関係数0.94、 $p < 0.05$ )認められた。一方で

流量との間には相関が認められなかった。この傾向は前田川でも同様の傾向が見られていた。このことから、猿田川や前田川における<sup>137</sup>Cs移行量は懸濁物質の濃度に影響を受けていることが示唆された。

## 引用文献

- [1] 「福島県復興情報ポータルサイト」福島県、<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/cat01-more.html> (参照2025-9-26) .
- [2] J. M. Phillips et al.: Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydro processes*, 14, 2589-2602 (2000).
- [3] K. Nishihara et al (2012) Estimation of fuel compositions in Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant. *JAEA-Data Code:2012-2018*, (2012). 190 p.
- [4] H. Kato et al.: Reconstruction of a Fukushima accident-derived radio cesium fallout map for environmental transfer studies. *J Environ Radioact.*, 210, e105996 (2019).
- [5] 「浪江(福島県)2023年(月ごとの値)」気象庁、[https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly\\_a1.php?prec\\_no=36&block\\_no=0295&year=2023&month=9&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/monthly_a1.php?prec_no=36&block_no=0295&year=2023&month=9&day=&view=) (参照2025-9-26) .

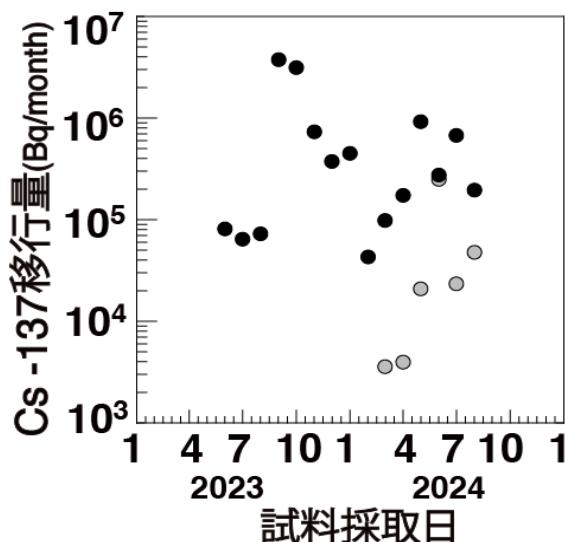


図1 前田川(○)および猿田川(●)の<sup>137</sup>Cs移行量の経時変化

## セシウム 137 における河川水の懸濁態と溶存態の分画の再検証

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故に伴い、約  $10 \times 10^{15}$  Bq のセシウム-137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」といふ。)が環境中へと放出された<sup>[1]</sup>。河川や海洋、湖沼など、様々な水について、懸濁態(粒径 0.45  $\mu\text{m}$  以上)と溶存態(粒径 0.45  $\mu\text{m}$  未満)に分画して放射性セシウム濃度を測定する方法には様々な手法が挙げられるが、河川やため池などで多く用いられているのは、国立研究開発法人産業技術総合研究所の保高徹雄博士らが開発し、日本バイリーン株式会社が製品販売している、SS 態セシウムモニタリング用カートリッジフィルター(製品名: RP13-011)、溶存態セシウムモニタリング用カートリッジフィルター(製品名: CS-13ZN)である<sup>[2][3]</sup>。RP13-011 フィルターは、粒径 1  $\mu\text{m}$  以上の懸濁物質の回収率が、約 95% 以上であるが、ろ液を CS-13ZN フィルターに吸着した際に、粒径 0.45  $\mu\text{m}$ –1  $\mu\text{m}$  の粒子を捕集してしまっている可能性がある。そこで、本研究では粒径 0.45  $\mu\text{m}$ –1  $\mu\text{m}$  の放射性 Cs 濃度の寄与がどの程度あるのか、評価を行った。

## 2 方法

試料は、2018 年以降に福島県内の阿武隈川や広瀬川、浜通りの二級河川など約 30 河川で 10–80 L 採水した。持ち帰った沢水や河川水を RP13-011 フィルターに通水したのちに、孔径 0.45  $\mu\text{m}$  のメンブレンフィルター(Omnipore Membrane Filter(Hydrophilic PTFE membrane))に捕集した。さらに、ろ液を CS-13ZN フィルターに通した。ここで、通水した、RP13-011 および CS-13ZN フィルターを、それぞれ懸濁態、溶存態 Cs 濃度を測定用試料とした。メンブレンフィルター試料は、乾燥したのちに、U8 容器に入れて測定用試料を作製した。それぞれの試料について、ゲルマニウム半導体検出器を用いて放射性核種の測定を行った。得られた放射性核種の濃度は試料採取日に壊変補正を行った。測定時間は最大で 30 万秒とした。

## 3 結果と考察

2019 年 2 月から 12 月における、前田川(双葉町)や熊川(大熊町)、富岡川(富岡町)、小出谷川(浪江町)において SS 態セシウムモニタリング用カートリッジフィルターによる懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $(4.59 \pm 0.4)$  mBq/L– $(121 \pm 4)$  mBq/L、陽イオン交換

樹脂による溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、 $(5.96 \pm 0.6)$  mBq/L– $(119 \pm 2)$  mBq/L であった。メンブレンフィルターのろ紙は全ての試料(n=12)で検出下限値以下であった(図 1)。このことは、粒径 0.45  $\mu\text{m}$ –1  $\mu\text{m}$  の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が非常に低いことを示しており、SS 態セシウムモニタリング用カートリッジフィルターで懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  を概ね正確に計測できていることを示唆する。

## 引用文献

- [1] H. Terada et al.: Refinement of source term and atmospheric dispersion simulations of radionuclides during the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *J Environ Radioact.*, 213, e106104 (2020).
- [2] 保高 徹生ほか: プ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, *分析化学*, 62, 6, 499–506 (2013).
- [3] T. Yasutaka et al.: Rapid quantification of radio cesium dissolved in water by using nonwoven fabric cartridge filters impregnated with potassium zinc ferrocyanide. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 52(6), 792–800 (2015).

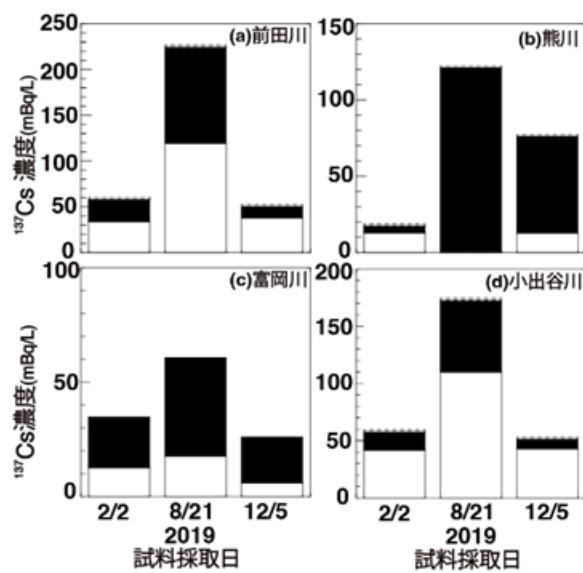


図 1 (a) 前田川、(b) 熊川、(c) 富岡川、(d) 小出谷川における SS カートリッジ(黒)、メンブレンフィルター(グレー)、溶存態(白)の  $^{137}\text{Cs}$  濃度。点線で囲まれた棒グラフは検出下限値以下であることを示す。

## 帰還困難区域の河川における放射性セシウム量の収支について

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故に伴い、約  $10 \times 10^{15}$  Bq のセシウム 137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」)という。)が環境中へと放出され、そのうちの約 3 割が陸域へと沈着した。2025 年 2 月現在、帰還困難区域に位置する、猿田川(流域面積 2.29 km<sup>2</sup>)における河川水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、2025 年 2 月現在、原発事故前と比較して 1 桁高い濃度まで減少していた(参考「帰還困難区域の河川水の放射性セシウム濃度の経時変化」)。一方で、河床土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、原発事故前と比較して 1-2 桁高い傾向にあった。本研究では、2023-2024 年を対象に、猿田川流域にてこれまで得られた、河川水や浮遊砂、河床土などの  $^{137}\text{Cs}$  濃度を元に、放射性 Cs 量とマスバランスについて考察を行った。

## 2 方法

試料採取地点は、上流から SR1-SR6 とし、SR1 および SR4-SR6 は本流、SR2 および SR3 は支流、SR5 は砂防ダムの出口に位置する(図 1)。河川水は、全 6 地点にて 10-20 L 採水した。採水した河川水は、SS 態セシウムモニタリング用カートリッジフィルター(製品名: RP13-011、孔径 1 μm)およびメンブレンフィルター(孔径 0.45 μm)に通した。フィルターを通りぬけたろ液をラドディスクに吸着、もしくはリンモリブデン酸アンモニウム吸着法、陽イオン交換樹脂吸着法などを用いて、溶存態 Cs 測定用の試料を作製した。尚、RP13-011 フィルターを懸濁態 Cs 測定用の試料とした。さらに、SR4 に設置した浮遊砂サンプラー用いて、浮遊砂試料を回収した。河床土は、水試料とほぼ同地点で、同時期に採取したのち、乾燥し、2 mm の篩に通して、通り抜けた粒子を測定用試料とした。それぞれの試料について、ゲルマニウム半導体検出器を用いて放射性核種の測定を行い、試料採取日に壊変補正を行った。

試料採取と同時に、流量観測(河川断面積や流速などを計測)および水位や濁度の連続計測を行い、濁度は変換式を用いて懸濁物質濃度を算出した。

## 3 結果と考察

河川水の懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 5.06-582 mBq/L、溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 18.8-189 mBq/L であった。河床土の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、15.5-4274 Bq/kg-dry であった。

対象期間における、河川水の  $^{137}\text{Cs}$  量は、溶存態で

$2.25 \times 10^4$ - $4.03 \times 10^6$  Bq、懸濁態で  $8.50 \times 10^3$ - $6.53 \times 10^5$  Bq であり、いずれも下流側の支流の SR3 で最も低く、次いで下流に位置する SR6 であった。尚、全ての地点で溶存態の  $^{137}\text{Cs}$  量の方が懸濁態よりも多い傾向にあり、猿田川の河川水の  $^{137}\text{Cs}$  は主に溶存態として存在していることが分かった。さらに、SR4 における、浮遊砂の  $^{137}\text{Cs}$  輸送量は、 $4.30 \times 10^4$ - $3.76 \times 10^6$  Bq/month であり、大雨が降った月で、その他の月よりも 1-2 桁高い値を示していた。河床土の  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量は、 $2.56 \times 10^6$ - $1.77 \times 10^8$  Bq であり、これらの値は福島第一原発事故によって陸域に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  量の 1 %以下であった。河床土の  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量について、SR3 で最も低かった点は、河川水の傾向と類似していたが、SR6 で最も高かった点は河川水の傾向と異なっていた。SR6 で河床土の  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量が比較的多かった理由は、より粒径の小さい粒子で構成されていたためであると考えられる。平水時に着目すると、SR4 における、河川水の浮遊砂の 1 ヶ月あたりの  $^{137}\text{Cs}$  輸送量( $4.30 \times 10^4$ - $9.22 \times 10^5$  Bq/month)は、懸濁態の  $^{137}\text{Cs}$  量とほぼ同程度であること、河床土の  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量の 1 %以下であることから、多くの懸濁態の  $^{137}\text{Cs}$  が下流へと輸送されていると考えられる。ただし、SR4 から下流側である、SR5 や SR6 では、本流の中でも懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  量が比較的低い傾向にあり、砂防ダムで  $^{137}\text{Cs}$  がより蓄積していた可能性がある。 $^{137}\text{Cs}$  輸送量における砂防ダムの影響について今後考察する必要がある。

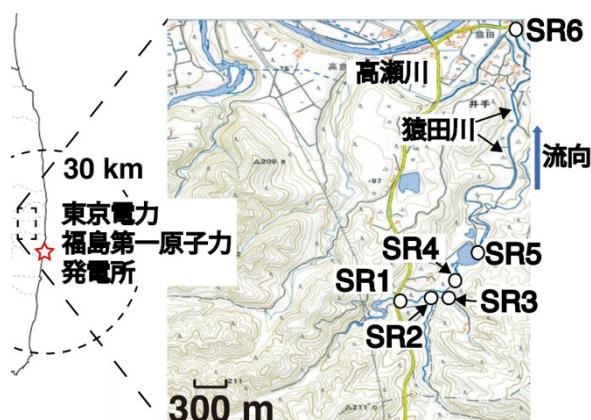


図 1 猿田川における試料採取地点

## 福島県広瀬川流域における放射性セシウム濃度の経時変化

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故によってセシウム137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。)をはじめとする放射性物質が福島県内に沈着した。沈着した放射性物質は河川を介して上流から下流へと移行していく。

河川水は飲用水や農工業用水の水源として活用されることから、住民の安心材料の一つとして河川水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を継続的に観測するとともに、観測データを基に将来の河川水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を予測することが求められる。

河川による $^{137}\text{Cs}$ の移行形態は、懸濁物質に吸着した状態の懸濁態と、河川水に溶解した溶存態の2つの形態に分けられる。将来予測の精緻化のためには、 $^{137}\text{Cs}$ が河川を移行する2つの形態それぞれについて移行挙動を把握する必要がある。

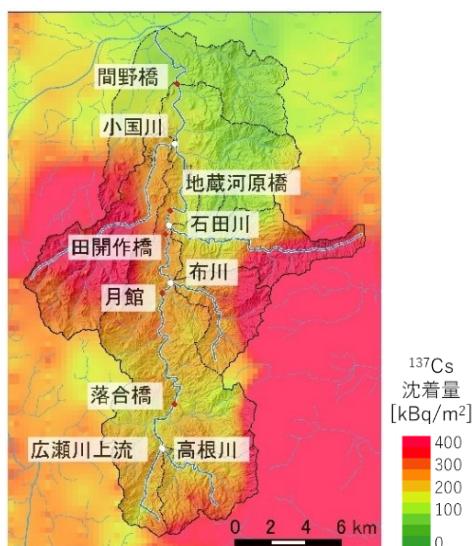
本研究では、福島県内を流れる河川の一つに焦点をあて、形態ごとの $^{137}\text{Cs}$ 濃度に関する長期観測を実施した。

## 2 方法

阿武隈川の一次支流であり、福島県中通り北部の川俣町及び伊達市を流れる広瀬川を対象とし、流域内の10地点に観測地点を設けた(図1)。

各地点に流下する浮遊砂を捕集するサンプラーを設置し、2016年から概ね3か月ごとにサンプラーから浮遊砂を回収した。回収した浮遊砂を凍結乾燥し、懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度を測定した。

これに加え、2018年から年2回程度、平水時に河

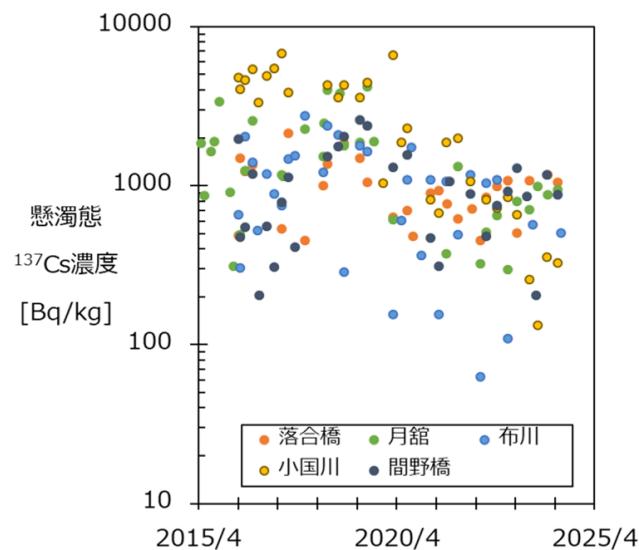
図1 広瀬川流域の $^{137}\text{Cs}$ 沈着量

川水を採水した。メンブレンろ紙(孔径0.45 μm)でろ過したのち、ろ液を陽イオン交換樹脂に通水して溶存態 $^{137}\text{Cs}$ を吸着させ、溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度を測定した。

## 3 結果と考察

広瀬川流域の懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は63~6799 Bq/kgの範囲であった(図2)。観測地点によって濃度は異なるが、概ね低下傾向を示した。2019年度以前は主に広瀬川支流の小国川地点で懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高い傾向だった。2020年度以降は濃度が低下し、最大でも2305 Bq/kgであった。広瀬川流域は2019年東日本台風による出水被害を受けている。この被害によって比較的 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の低い土砂が河川に流入し河床を覆ったことが、懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度が低下した理由の一つとして考えられる。

広瀬川流域の溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度は0.0003~0.0050 Bq/Lの範囲であった。これは世界保健機関(WHO)が提示する指標値(10 Bq/L)と比較して2000~30000分の1と、きわめて低い濃度であった。2020年度以降では、他の観測地点と比較して、小国川地点で比較的濃度が高い傾向がみられた。2023~24年度の採水時に電気伝導度を測定したところ、小国川地点(14.6~30.6 mS/m)では流域内の他の3地点(9.7~24.0 mS/m)よりも電気伝導度が高かった。このため、観測地点ごとの電気伝導度の違いが溶存態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度に影響を与えることが考えられる。

図2 広瀬川流域における懸濁態 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の変化

# 広瀬川流域の放射性セシウム濃度に係る動態モデルを用いた シミュレーション

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故に伴い放出された放射性核種は、福島県内の土壤に沈着し、その後河川などを通して輸送される。

沈着した放射性核種のうちセシウム 137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。)は長期にわたってガンマ線を放出し続ける。このため  $^{137}\text{Cs}$  の河川による移行状況を予測することで、河川周辺に居住し河川を活用する住民に向けた安心材料の一つとなることが期待される。

本研究では、福島県中通りを流れる阿武隈川支流の広瀬川を対象に、放射性セシウムの移行に関するモデルを適用し濃度変化を再現した。

## 2 方法

阿武隈川の一次支流であり、福島県中通り北部の川俣町及び伊達市を流れる広瀬川を対象とし、流域内の 10 地点に観測地点を設けた。

2015 年 12 月から、平水時及び高水時に採水した河川水試料から懸濁態・溶存態ごとの  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定するとともに、設置した観測機器によって水位・濁度などを連続測定した。

適用するモデルは TODAM<sup>[1]</sup>とした。本モデルは河川の流れ方向に計算を行う 1 次元モデルである。これまで世界各団地の様々な規模の河川に適用され、放射性核種の移行に関する評価・分析に貢献している。

広瀬川流域において、2016 年 7 月までの測定結果をもとに河川流量や懸濁物質濃度などを TODAM で再

現し、平水時の懸濁態・溶存態ごとの  $^{137}\text{Cs}$  濃度を計算した。併せて、2016 年 8 月 16~20 日に発生した出水について、懸濁態・溶存態ごとの  $^{137}\text{Cs}$  濃度を計算した。

## 3 結果と考察

TODAM による計算の結果、平水時及び出水時における広瀬川流域の懸濁態及び溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の濃度変化を概ね再現することができた(図 1)。なお、出水時においては、河川側方からの  $^{137}\text{Cs}$  の流入を追加することで、降雨開始直後の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の上昇を再現することができた。

## 4 成果の活用

本研究の成果は河川へのモデル適用の実例として、IAEA との協力プロジェクトの報告書<sup>[1]</sup>に掲載された。

## 引用文献

- [1] International Atomic Energy Agency: 3.4. Modelling the Concentration of Dissolved and Particulate Caesium-137 in River Water. In “Data on Freshwater Systems and Off-site Decontamination and Remediation Following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and Comparison with Global Experience”, pp. 21-22 (2025)

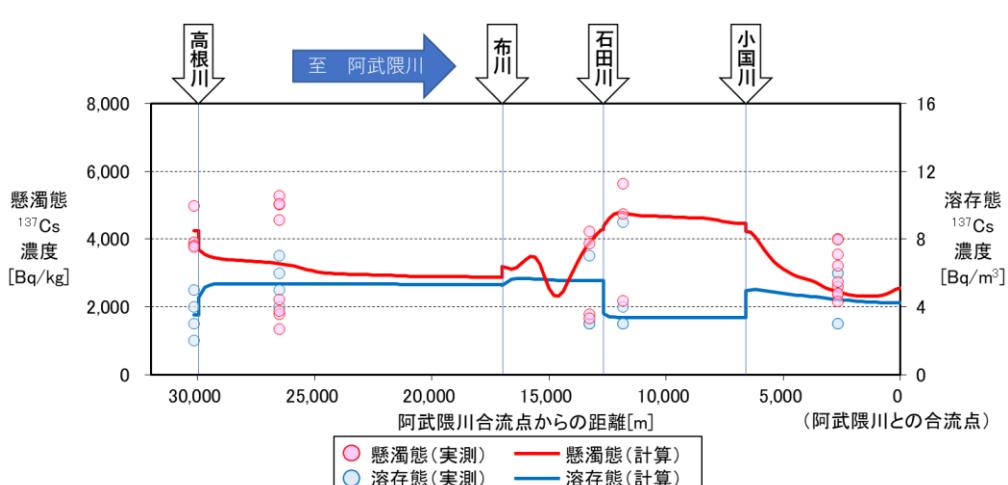


図 1 広瀬川本流の各観測地点における平水時の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の実測結果(点)と計算結果(線)

## 阿武隈川中流域における懸濁態放射性セシウム濃度の経時変化

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故によりセシウム137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。)をはじめとする放射性核種が放出され、福島県内にも沈着した。これらの放射性核種は河川を介して陸域を移動し、海へと流下していく。

河川による  $^{137}\text{Cs}$  の移行形態は、懸濁物質(SS)に吸着した状態の懸濁態と、河川水に溶解した溶存態の2つの形態に分けられる。当センターはこれまでに、阿武隈川での全  $^{137}\text{Cs}$  移行量への寄与率は、溶存態よりも懸濁態のほうがはるかに大きいことを明らかにした<sup>[1]</sup>。一方、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の出水期間の時系列変化に関する報告は溪流域のものが多く、一級河川の中流・下流域について調査したものは少ない。

本研究では、福島県を流れる一級河川である阿武隈川で懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度を観測し、その季節変動や出水期間の時系列変化を明らかにした。

## 2 方法

観測は阿武隈川中流の二本松市内の水位観測所付近で実施した(図1)。2022年8月から2024年12月にかけて、1か月に1~2回程度河川水を採取した。また、2023年11月7~8日に発生した出水について、降水直前から26時間にわたり、2時間ごとに河川水を採取した。採取した河川水からカートリ

ッジフィルター(孔径1μm)を用いて懸濁物質を捕集し、SS濃度と懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。

## 3 結果と考察

二本松アメダス観測所での11月7~8日の総降水量は33.0 mmで、このうち11月7日5~10時の期間に31.5 mmの降水がみられた。二本松水位観測所の河川水位は、11月7日6時の2.65 mから急速に上昇し、11月7日13時に4.37 mを観測した後、緩やかに低下した。河川水位の上昇とともにSS濃度(17~388 mg/L)が上昇した。これは平水期間の範囲(それぞれ4~28 mg/L)と比較して1桁以上高かった。降雨による流入土砂量の増加と、水位上昇による河床からの巻き上げや河岸の側刻などにより、懸濁物質が増加したものと考えられる。一方、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は810~2580 Bq/kgの範囲であり、平水期間の範囲内(460~3520 Bq/kg)にあった。この出水においては、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度に変化がなかったとわかった(図2)。

## 引用文献

- [1] K. Taniguchi et al.: Transport and Redistribution of Radio cesium in Fukushima Fallout through Rivers. Environ. Sci. Technol., 53, 12339–12347 (2019).

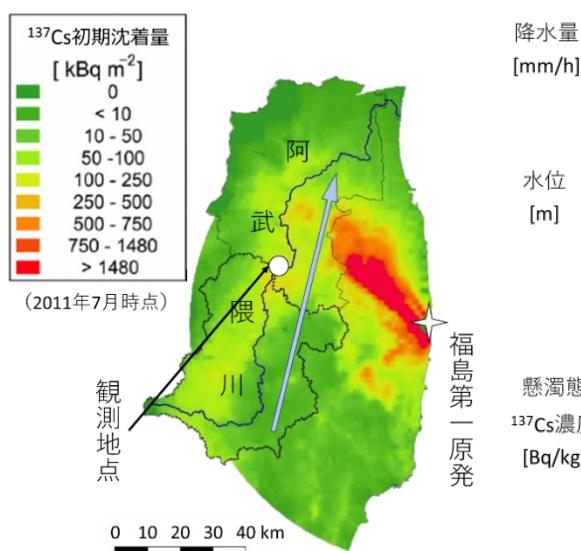
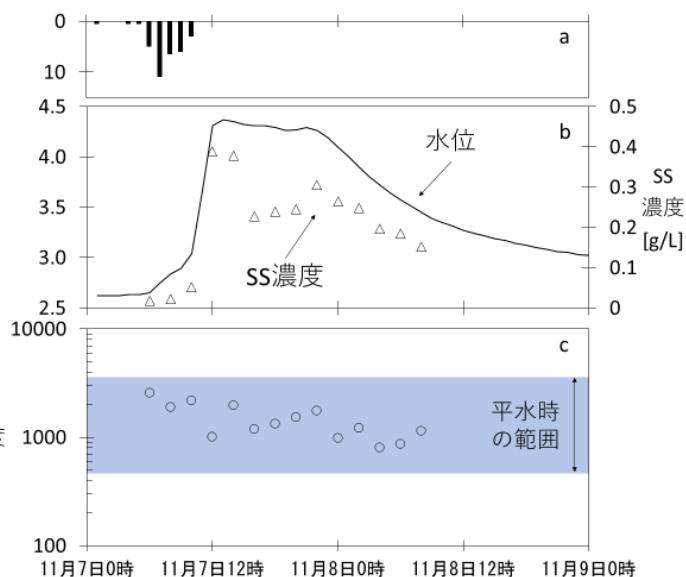


図1 観測地点の位置

図2 出水時の降水量・水位変動と懸濁物質濃度・ $^{137}\text{Cs}$  濃度との関係

## 森林における放射性セシウムの移動と分布

## 1 はじめに

福島県内の放射能汚染を被った森林の利用再開においては、半減期が約30年と長いセシウム137（以下「<sup>137</sup>Cs」という。）の森林内における移動と分布状況の経年的な変化を把握し、林産物の濃度予測を進めることが重要となる。本研究では、森林内における<sup>137</sup>Csの移動状況と分布状況に関する長期観測とともに、樹木の<sup>137</sup>Cs吸収量の解析を実施した。

## 2 方法

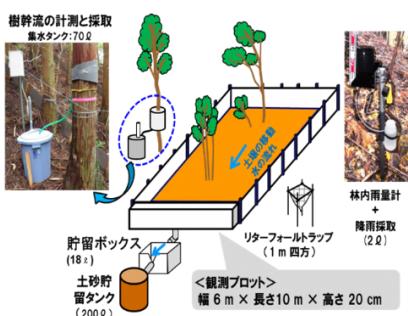
森林における<sup>137</sup>Cs移動量については、2013年から2019年にかけて福島県中通りのスギ林とコナラ林に観測プロットを設置し、長期観測を実施した。また、人間活動による影響を評価するため、2016～2018年に除染地および2017～2019年に林野火災跡地に観測プロットを設置して観測を実施した。

森林内の<sup>137</sup>Cs分布は、福島県中通りのスギ林とコナラ林を対象に、2015～2017年にスギ林、2018～2020年にコナラ林にて伐木により樹木試料を採取し、スクレーパープレートにて土壤試料を採取した。

また、森林内における<sup>137</sup>Cs移動量の長期観測データおよび土壤および樹木<sup>137</sup>Cs濃度の経年変化データに基づき、スギとコナラの<sup>137</sup>Cs吸収量を解析した。

## 3 結果と考察

森林の<sup>137</sup>Cs流出量は、人間活動のない森林で0.01～0.1%台<sup>[1]</sup>、除染地や林野火災の跡地で一時的に2%台に上昇するが、落葉期にリター層の保護機能が回復し0.1%台へと低下した<sup>[2]</sup>（図1）。また、森林内の<sup>137</sup>Csは、スギ林とコナラ林とともに、95%以上が森林の林床（リター層および土壤層）に分布し、樹木中の<sup>137</sup>Cs量は5%未満であった。

図1 様々な観測地における<sup>137</sup>Cs流出量

以上に基づきスギ林とコナラ林における<sup>137</sup>Cs吸収量を算出した結果、コナラ林では調査地の総<sup>137</sup>Csインベントリーのうち0.65%がコナラ立木に吸収され、そのうち、0.53%がリターフォールや樹幹流および林内雨として林床に還元される一方、0.12%がコナラ立木に残存する結果となった（図2）。スギ林も同様に解析した結果、0.76%がスギ立木に吸収、0.67%が林床に還元され、残り0.09%がスギ立木に残存する結果となった。

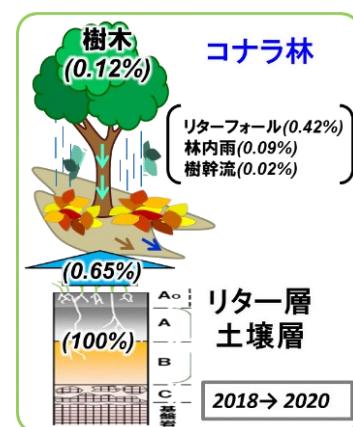
これらの解析結果から、<sup>137</sup>Csは森林からの流出率が低く長期的に森林にとどまる傾向にあるものの、今後、スギとコナラ立木の<sup>137</sup>Cs濃度が大幅に増加する可能性は低いと考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果を取りまとめた資料を自治体に提供し、森林の放射性セシウム濃度や利用再開に関する不安払しょくに貢献した。

## 引用文献

- [1] T. Niizato et al.: Input and output budgets of radio cesium concerning the forest floor in the mountain forest of Fukushima released from the TEPCO's Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J. Environ. Radioact.*, 161, 11-21 (2016).
- [2] T. Niizato and T. Watanabe: <sup>137</sup>Cs outflow from forest floor adjacent to a residential area: comparison of decontaminated and non-decontaminated forest floor. *Global Environmental Research*, 24/2020, 129-136 (2020).

図2 コナラ林における<sup>137</sup>Cs吸収量

## 菌類への放射性セシウム移行に関する調査研究

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性物質が放出された。放出された放射性物質のうち半減期が長いセシウム 137 (以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) が環境中に残存している。福島県の約 70% は森林であり、そのほとんどが除染される計画がない。原発事故以前にきのこ栽培に利用されていた福島県産の木材は、現在きのこ栽培における利用が制限されている。利用再開に向けて、子実体への放射性セシウムの移行機構の解明が望まれる。

本件では、森林内における菌根性および腐生性キノコへの放射性セシウム移行について調査した結果を報告するとともに、子実体への放射性セシウムの移行機構の解明のために、きのこ培養試験を行い、放射性セシウム濃度が異なる培地を利用して腐生性の担子菌 (ヒラタケ) の栽培にて、子実体発生における、 $^{137}\text{Cs}$  移行について調査した結果について報告する。

## 2 方法

2020 年の秋に川俣町山木屋地区のコナラ林で樹木およびきのこの子実体を採取し、森林内における菌根性および腐生性きのこへの放射性セシウム移行について調査した。子実体への放射性セシウムの移行機構の解明のための培養は、ヒラタケを用い、未汚染のコナラおが粉および 2019 年に放射性セシウムの汚染地域で伐採したコナラ材を使用したおが粉を使用した。培地には、おが粉に培地総重量の 20% となるように栄養源を添加した。含水率は、58% とした。放射性セシウムによる汚染度合い (放射性セシウム濃度) が異なる培地を培養瓶の上下にわけて充填し、培養を行い、発生前における培地内の  $^{137}\text{Cs}$  の分布、発生した子実体への放射性セシウム移行を調査した (図 1)。

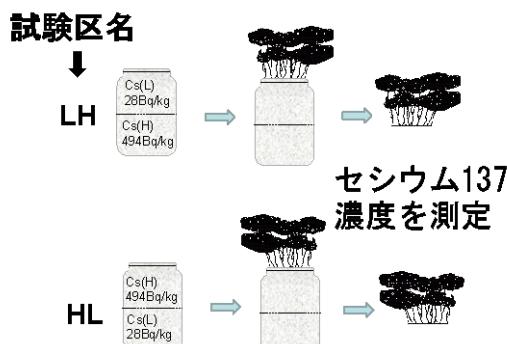


図 1 きのこ培養試験方法

## 3 結果と考察

コナラの樹木全体において葉、外樹皮の放射性セシウム濃度が高かった。樹幹部においては、外樹皮、内樹皮、辺材、心材の順で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低下する傾向があった。林床においては、土壤表面深さ 5cm までに放射性セシウムの 9 割程度が留まっていた。一方、地下部の深度 1m の根においても、地上部の樹幹部の内樹皮および辺材と同程度の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が検出され、樹木全体に  $^{137}\text{Cs}$  が移動し分布していることが示された。きのこの  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、菌根性きのこで約 1-1000 (kBq/kg-乾燥)、腐生性きのこで約 1-50 (kBq/kg-乾燥) の範囲であり、菌根性きのこは  $^{137}\text{Cs}$  濃度の幅が広く、 $^{137}\text{Cs}$  濃度が高いものも存在することがわかった。

培養試験の結果、培地から子実体へ約 13% の  $^{137}\text{Cs}$  が移行していた。放射性セシウムによる汚染度合いが異なる培地を培養瓶の上下に分け充填し、培養を行った結果、充填パターンを反転させた条件においても、発生した子実体の  $^{137}\text{Cs}$  濃度はほぼ同じであったことから (図 2)、子実体の  $^{137}\text{Cs}$  の濃度は、培地の局所的な  $^{137}\text{Cs}$  の濃度の違いに依存せず、培地の全体の  $^{137}\text{Cs}$  濃度により決定することが示され、子実体が培地全体から放射性セシウムを吸収していることが明らかになった<sup>[1]</sup>。

## 4 成果の活用

本成果は、学会等で報告され、広く公開されている。また、自治体などにも報告されている。

## 引用文献

- [1] Y. Sasaki et al.: Transfer of radioactive cesium and potassium, and water into the fruiting bodies of oyster mushrooms. Chemosphere, 379, e144431 (2025).

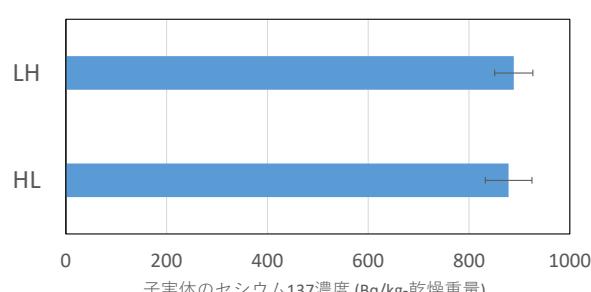


図 2 子実体のセシウム 137 濃度

## 河川における放射性セシウムの移行挙動に関する調査研究

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故によって山地森林に沈着した放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) の一部は、現在も環境中を少しづつ移動している。なかでも、河川を経由した  $^{137}\text{Cs}$  流出は生活圏や沿岸海洋への再移動となるため、定量的な評価結果を提供することが被ばく線量の将来予測等、住民の安全・安心につながる。そのため、JAEA では福島第一原発近傍の複数河川において流域から河川を経由した  $^{137}\text{Cs}$  の流出・堆積挙動について総括的な調査・評価を実施してきた。本稿では、請戸川・高瀬川流域における調査結果を報告する。

## 2 方法

2013 年秋より、請戸川と支流・高瀬川の下流部において、河川水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度（懸濁態  $^{137}\text{Cs}$ ・溶存態  $^{137}\text{Cs}$ ）を毎月定期的に、また出水時に観測してきた。水位・濁度連続観測装置を設置し、流量調査により作成した水位・流量曲線を用いて、河川流量と土砂流出量を求めた。また、河川敷における空間線量率と堆積物の  $^{137}\text{Cs}$  濃度鉛直分布を定期的に測定した。

## 3 結果と考察

2013 年～2020 年の間、請戸川と高瀬川の懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は 2.2 年と 3.9 年の半減期で低下した。溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は夏季に高く冬季に低い季節的な変動を示しつつ半減期 4.8 年、6.5 年で低下した。懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度と溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の半減期の違いは、各態の  $^{137}\text{Cs}$  流出機序が異なることを示す。

請戸川・高瀬川流域からの年間  $^{137}\text{Cs}$  流出率は

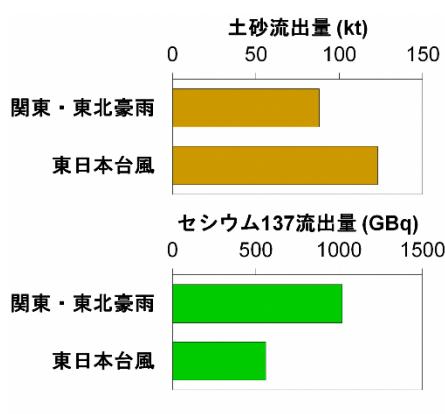


図 1 出水時の流出量の比較

0.01～0.1%、0.02～0.5%で、76%以上が懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  として流出した。懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  流出量の 80%以上は出水時により、記録的豪雨だった「平成 27 年 9 月関東・東北豪雨」（以下「関東・東北豪雨」という。）と「令和元年東日本台風」（以下「東日本台風」という。）で期間内全  $^{137}\text{Cs}$  流出量の 60%を占めた。東日本台風時の土砂流出量は関東・東北豪雨の 1.4 倍だったが、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の低下により  $^{137}\text{Cs}$  流出量は 55%だった（図 1）。

中流部と下流部に設置した連続観測装置の  $^{137}\text{Cs}$  流出量比較から、関東・東北豪雨では流出  $^{137}\text{Cs}$  の 10～20%が土砂とともに河川敷に堆積したと推定された。河川敷に堆積した土砂の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は以前に堆積した土砂よりも低いため、出水により河川敷の空間線量率は低下した（図 2）。ダムのない高瀬川は土砂堆積量が多く、出水後に空間線量率は最大で 85%低下した。

今後発生が見込まれる数年～数十年に一度の大規模出水においても、河川水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の低下速度を考慮すると、 $^{137}\text{Cs}$  流出量は関東・東北豪雨や東日本台風に比べて少なくなると考えられる。また、河川敷の空間線量率は出水によらず、今後も時間とともに低下していくと考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果の一部は NHK ニュースや読売新聞全国版等 9 誌に報道され、国民に広く周知された。また、熊川流域で実施した調査の一部は大熊町の広報誌に掲載され、住民に配布された。

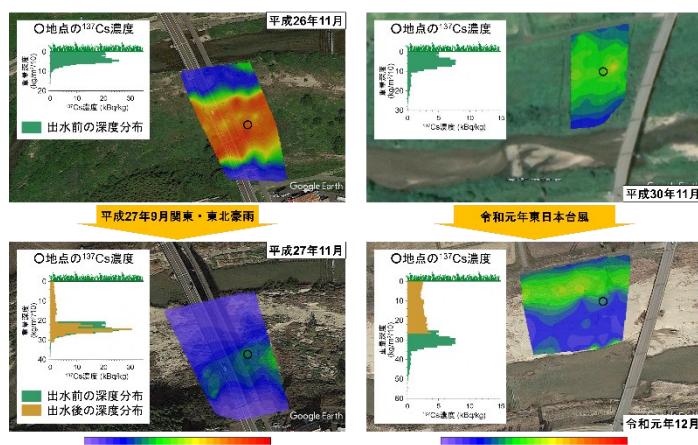


図 2 出水前後の高瀬川河川敷の空間線量率と  $^{137}\text{Cs}$  濃度鉛直分布

## 貯水池における放射性セシウムの移行挙動に関する調査研究

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故から 10 年以上が経過し、水圏生態系の放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) 濃度は全体的に大きく低下しているが、福島県内的一部の河川・湖沼では、現在も淡水魚の出荷制限措置が継続している。特に上流域に除染されていない山地森林をもつ貯水池では、 $^{137}\text{Cs}$  の貯水池底質への蓄積、底質から湖水への  $^{137}\text{Cs}$  の再溶出、溶出した  $^{137}\text{Cs}$  の農作物への移行や食物連鎖を介した淡水魚への濃縮の長期化が懸念されている。そのため、JAEA では貯水池における水中の  $^{137}\text{Cs}$  の長期的な変動傾向及び底質から湖水への  $^{137}\text{Cs}$  の再溶出のメカニズムについて研究を実施した。

## 2 方法

2014 年から請戸川水系の大柿ダムにおいて、毎月定期的に流入水と放流水を採取し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度及び水質の観測を行った。また、2019 年 7 月には、ダム湖内において深度方向の湖水試料と底質試料を採取・分析して、底質から湖水への  $^{137}\text{Cs}$  の再溶出について評価した。

## 3 結果と考察

2014 年～2023 年の間、大柿ダムの流入水と放流水の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、いずれも時間とともに低下した(図 1)。その環境半減期は流入水で約 3.2 年、放流水で約 3.7 年と推定され、放流水のほうが流入水よりも  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少速度が遅い傾向を示す。2023

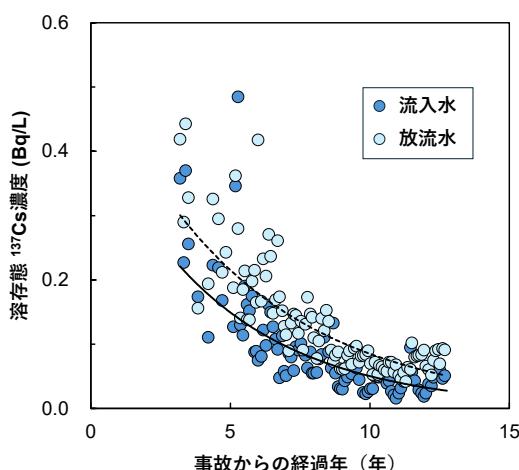


図 1 大柿ダム流入水と放流水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度

年 1 年間の平均  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、流入水で 0.04 Bq/L、放流水で 0.08 Bq/L であり、流入水よりも放流水の濃度が有意に高く、溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度が貯水池の内部負荷(底質から湖水への溶出)によって高められていることが示唆された。

2019 年 7 月の調査結果から、底質間隙水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度(4.6–65.8 Bq/L)は湖水の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度(0.07–0.83 Bq/L)よりも有意に高く、深度が深くなるにつれて濃度が上昇した(図 2)。一方、底質の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $5.2 \times 10^4$ – $2.0 \times 10^5$  Bq/kg であった。また、水質分析の結果、セシウムイオンと同じ 1 倍の陽イオンであるカリウムイオンは 0.04–0.11 mmol/L であるのに対し、アンモニウムイオンは 0.24–1.22 mmol/L と深度が深くなるにつれて濃度が上昇した。湖底付近では、溶存酸素濃度が低下し、還元的な環境が形成され、有機物の微生物分解によりアンモニウムイオンが生成する。底質からの  $^{137}\text{Cs}$  の再溶出は、このアンモニウムイオンと底質中のセシウムイオンとのイオン交換が要因と考えられる。

放流水の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、上記のような底質から再溶出した  $^{137}\text{Cs}$  の影響を考慮しても、図 1 に示す通りここ数年は 1 年を通じて低い濃度で推移しており、今後もこの傾向が継続するものと考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果は、関係省庁や自治体と共有され、灌漑用水利用の安全性や営農再開に向けた水稲の作付制限の解除の検討に用いられた。

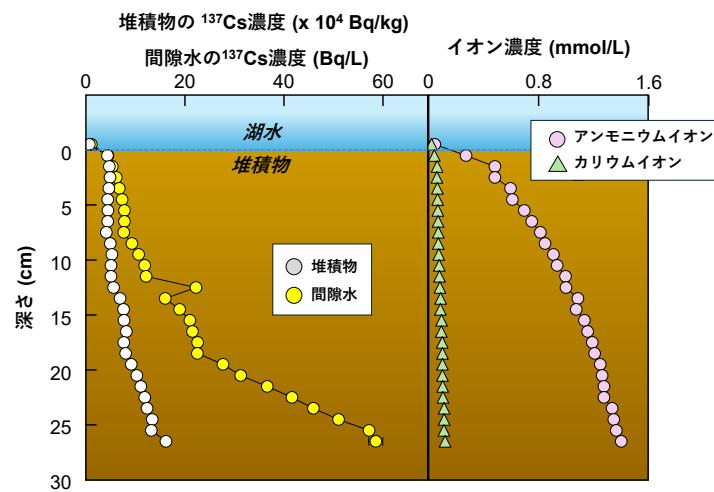


図 2 堆積物-間隙水の  $^{137}\text{Cs}$  濃度とイオン濃度

## 河口域における放射性セシウムの移行挙動に関する調査研究

JAEA

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、海水や海底土中に放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) が沈着した。事故から10年以上が経過する現在、 $^{137}\text{Cs}$  濃度に関して、海水・海底土とともに事故時より低下する傾向を示している<sup>[1]</sup>。しかしながら、山地森林に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  の一部は、現在も河川を経由し、沿岸海洋へ再移動している。特に沿岸部では、海底土や河川から流入する土砂等で形成される高濁度層が海底付近に存在している。このような高濁度層中に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  は底生生物に影響を与える可能性があり、その供給メカニズムを把握することで、より詳細な  $^{137}\text{Cs}$  の将来予測等が可能となり、安心・安全に繋がると考えられる。JAEA では、請戸川河口において、供給起源を把握する調査研究を実施した。

## 2 方法

2017年から2018年にかけて、図1に示す請戸川河口域で観測を実施した。2地点の高濁度層（海底面から1m程度の高さ）に流速・濁度を測定する機器を設置し、約1年間の連続観測を実施した。また、セジメントトラップを設置し、高濁度層中の沈降粒子を計55日間捕集した。得られた流速と波浪データ<sup>[2]</sup>から、せん断力をそれぞれ計算した。沿岸における濁度（沈降粒子量）の変動は、「流速」と「波浪」のせん断力、「河川流入」による濁度変動の3要因で説明できると考え、濁度に対する3要因の割合を重回帰分析を用いて計算した。

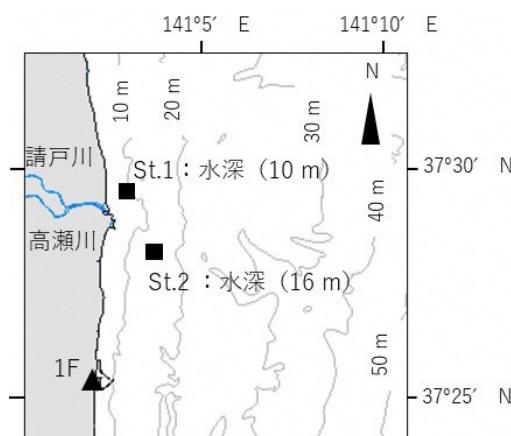


図1 対象地域

## 3 結果と考察

採取した沈降粒子量（マスフラックス）と沈降粒子の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を掛け合わせた  $^{137}\text{Cs}$  フラックス（ $^{137}\text{Cs}$  の移動指標）は St. 1、St. 2 それぞれで、1.7–890 Bq/m<sup>2</sup>/day、0.47–140 Bq/m<sup>2</sup>/day であった。 $^{137}\text{Cs}$  の移動は、日々の状況により、量比が異なるため、長期間の測定が重要であることが示唆された。図2には、重回帰分析を基に各要因の割合を用いて沈降粒子の供給起源を計算した結果を示す。St. 1 では、流速、波浪、河川流入がそれぞれ、61%、18%、21%となった。St. 2 も同様に計算すると、81%、2%、17%となった。流速と波浪を合計した海底土の再懸濁の割合は、St. 1、St. 2 で、それぞれ 79%、83% と計算できた。そのため、この地域では、河川流入よりも海底土の再懸濁による  $^{137}\text{Cs}$  の二次移動が支配的であることが示唆された。

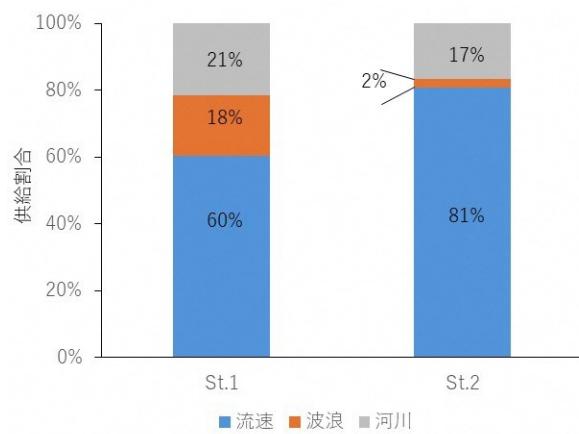
このような結果より、河川からの  $^{137}\text{Cs}$  の流入が高濁度層中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の大きな増加に繋がる可能性は低く、底生生物への影響も小さいと考えられる。

## 4 成果の活用

本成果は、国際誌に掲載されており、広く公開されている。また、漁協や自治体などにも報告されている。

## 引用文献

- [1] IAEA : IAEA-TECDOC-1927 (2020).  
 [2] 「ナウファス福島沖データ」国土交通省, [https://nowphas.mlit.go.jp/pastdata\\_select/](https://nowphas.mlit.go.jp/pastdata_select/) (参照 2025-09-04) .

図2  $^{137}\text{Cs}$  の供給割合

## 福島第一原発周辺における放射性核種の分布について

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、土壤や樹木に放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) が主に沈着した。一方、事故によって拡散された Cs 以外の核種濃度については、特定原子力施設外の環境中においては非常に薄く、Pu などの濃度は過去の核実験によるフォールアウト程度であることが確認されている。一方、土壤中の放射性核種の分布状況から事故由来の核種が評価できることが明らかになっている。このことから、土壤中の Pu などの超ウラン元素や Sr, Cs などの核分裂生成物濃度を測定し福島第一原発由来の核種濃度を把握することにより、土壤中のインベントリ評価が期待できる。JAEA では、福島第一原発南側に位置する特定原子力施設外における土壤を採取し、得られた核種の濃度分布を求め、移行挙動を評価した。

## 2 方法

福島第一原発南側に位置する特定原子力施設外における土壤をスクレーパープレートにより 1cm 毎に 15cm 程度の深さまで採取しガンマ線測定により  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$ 、ベータ線測定により  $^{90}\text{Sr}$ 、アルファ線測定により  $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{244}\text{Cm}$  の濃度を求めた。得られた核種のプロファイルから事故当時に表面に沈着した核種濃度に換算し、沈着した面積当たりの放射能量の評価を行った。

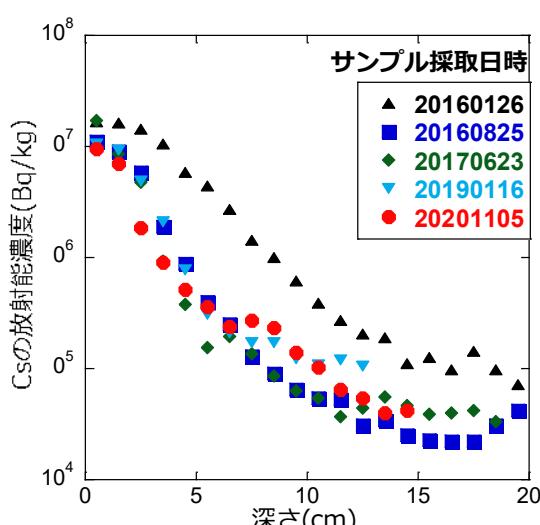


図 1 福島第一原発近傍南側森林域における Cs の濃度プロファイル

## 3 結果と考察

これまでに採取した土壤の結果について、図 1 に Cs の濃度分布を、図 2 に  $^{238}\text{Pu}$  と  $^{239+240}\text{Pu}$  の濃度分布を示す。Cs については、10 cm ほど濃度の低下がみられ、その後一定になっていることが確認された。 $^{238}\text{Pu}$  については、濃度 4 cm 程度まで急激に濃度が下がり、5 cm からは検出下限値であることが確認された。 $^{239+240}\text{Pu}$  の濃度については表層付近から 15 cm 程度まで 1 Bq/kg 程度であることが確認された。 $^{239+240}\text{Pu}$  は  $^{238}\text{Pu}$  に比べ深い土壤中にも存在しているため過去に沈着し拡散していると考えられるためグローバルフォールアウトと考えられる。フォールアウトでは検出されない  $^{238}\text{Pu}$  については有意に検出された 4 cm までのデータを積算することにより土壤の沈着量を試算した ( $13.6 \text{ Bq/m}^2$ )。

これらの結果から福島第一原発由来の放射性核種について、同定することは可能であり、その移行挙動の評価や沈着量の総量を評価することは可能となった。一方、福島第一原発由来の Pu の濃度は福島第一原発近傍の沈着量が多い場所においてもグローバルフォールアウト程度であることが明らかとなった。

## 4 成果の活用

本成果は、学会等で報告され、広く公開されている。また、自治体や大学などにも報告されている。

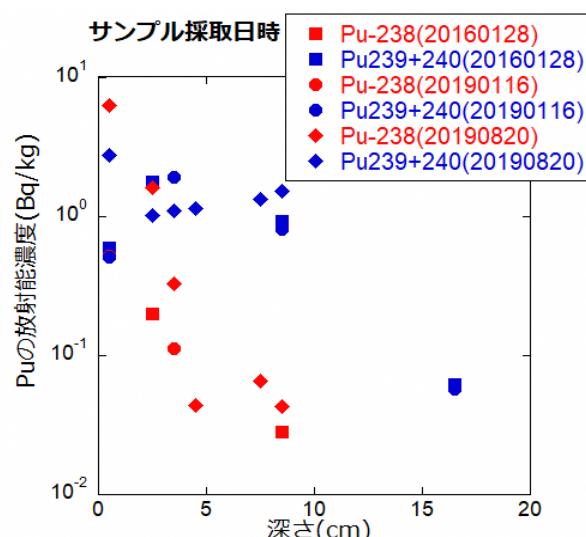


図 2 福島第一原発近傍南側森林域における Pu の濃度プロファイル

## 地衣類を放射性セシウム降下量の指標に適用する試み

## 1 はじめに

地衣類（図1）は藻類と共生する菌類で、陸上生態系に広く分布する。植物のような根が無く、大気中から水分や無機栄養物を直接取り込む。1950年代後半より、大気圏核実験やチョルノービリ事故等を通じて、キノコと同様、放射性セシウム（主に<sup>137</sup>Cs: Cs）濃度の高さが注目されてきた<sup>[1]</sup>。また、年間を通して成長し、寿命も数十年と長いことから、Csの汚染状況把握や長期モニタリングにも活用されてきた。しかし、わが国では地衣類の認知度は極めて低く、地衣類のモニタリングに関する知見も少ない。本研究では、福島県内に自生する地衣類中のCs濃度を指標として、東日本大震災における原発事故（以下「原発事故」という。）により降下したCs量を推定する手法開発に取り組んだ。

## 2 方法

地衣類を「指標」とするには、福島県内・国内広範囲に生育する種を選ぶ必要がある。「Cs濃度指標」の観点では、地衣類中のCs濃度が生育地のCs降下量を反映することが求められる。「Csの動態を知る」には、長期間に亘る地衣類中のCs濃度の変化を調べられること、が条件になる。調査は、2012年12月より福島第一原発から半径60km圏内の16地点で行った。将来的な国内全域での調査を見据え、公共用地に多いサクラに着生する地衣類・ウメノキゴケ類を調査対象とし、9種を選定した。地衣類中のCs濃度は、CsIシンチレーション検出器を用いたガンマ線測定により決定した。原発事故初期（約3か月後）の土壤中Cs沈着量データから調査地点の土壤中Cs沈着量を推定し、地衣類中のCs濃度（44個体）との関係を調べた。いずれも地衣類の最終採取日（2012年2月5日）に合わせて物理減衰補正を行った。

## 3 結果と考察

9種のウメノキゴケ類のCs濃度（7.6-1740 kBq kg<sup>-1</sup>）と、土壤中Cs沈着量（45.8-2920 kBq m<sup>-2</sup>）との間に、良好な正の相関関係[スピアマン順位相関係数,  $r = 0.90$  ( $P < 0.01$ )]が示された（図2）。これは、原発事故初期に降下したCs量（土壤沈着量）に対して、その大小関係を地衣類が2年維持していたと言える。また、調査地点ごとに「土壤Cs沈着量に対する

地衣類中Cs濃度」（ $T_{ag}$ : 0.12-0.99 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>）を求め比較したところ、これら9種間で有意差はなかった。なお、調査地点ではキウメノキゴケ（12地点）とマツゲゴケ（11地点）の2種が優占的であった。以上のことから、9種のCs濃度は原発事故のCs降下状況を反映するもので、うち優占2種はCs濃度指標としての活用が期待される<sup>[2]</sup>。

## 4 成果の活用

本研究成果は、長年謎とされてきた、地衣類（菌類）中に長期間Csが留まる仕組みを調べる研究（放射線計測部門参照）に引き継がれ、要因解明の一助となった。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照



図1 サクラに着生する地衣類<sup>[3]</sup>

ウメノキゴケ類は国内多くの場所で目にする。

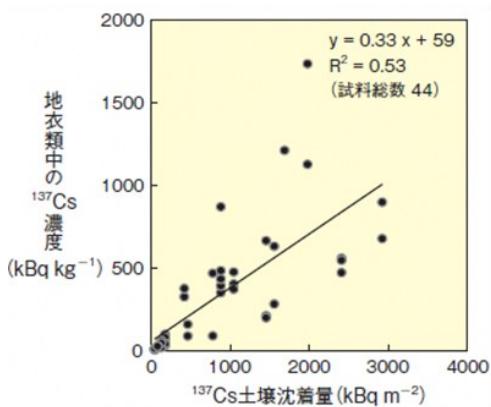


図2 地衣類中Cs濃度と土壤中Cs沈着量との関係<sup>[3]</sup>

ウメノキゴケ類9種中の<sup>137</sup>Cs濃度と調査地点の土壤中<sup>137</sup>Cs沈着量との関係を示した図。土壤中<sup>137</sup>Cs沈着量は、事故から約3か月後に採取された土壤中<sup>137</sup>Cs沈着量データから推定された値を用いた。<sup>137</sup>Cs濃度、<sup>137</sup>Cs沈着量は最終調査日（2012年2月）に物理減衰補正を行った値である。

## 河川水・ダム湖水における溶存態放射性セシウム濃度の形成機構

国立環境研究所

## 1 はじめに

福島第一原発近傍地域では、一部淡水魚のセシウム 137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。)濃度が出荷基準値(100 Bq/kg)を超える状況が続いている。本研究では、その主要因と見られる水中の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の濃度が河川・ダム湖においてどのようなメカニズムに基づき形成されるかを解明した。

## 2 方法

福島県相双地域の5つの河川観測地点・2つのダム放流地点(図1)において2014年6月より毎月平水時に採水を行い、溶存態・懸濁態の  $^{137}\text{Cs}$  濃度および水温と主要イオン・溶存有機炭素濃度を観測した。太田川では出水時にも河川本流および谷頭部からの復帰流の採水・成分分析を行った。横川ダムでは流入・放流水量を用いて溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の収支を評価するとともに、不搅乱の底質を円柱カラムに採取し、湖底の温度・酸素環境(20°C/嫌気、10°C/嫌気、10°C/好気)を再現した恒温槽内で静置培養し、環境条件と底質から湖水への  $^{137}\text{Cs}$  溶出速度の関係を評価した。

## 3 結果と考察

河川水中の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、いずれも夏に上昇し冬に低下する季節変動を示しながら実効半減期2.7~6.9年で減衰した。平水時における  $^{137}\text{Cs}$  の分配係数(溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度と懸濁物質中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の比)と水温の関係は、集水域の10%以上に農地が分布する河川(宇多川・真野川)では固相-液相間の  $^{137}\text{Cs}$  吸着・脱離の平衡状態を仮定した等温吸着式(Van't Hoff式)により良好に回帰できたのに対し、集水域の99%を森林が被覆する河川(太田川・小高川)およ

びダム放流水では再現性が乏しかった。このことから、農地河川の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は水と鉱物粒子との間のイオン交換により形成されるが、森林河川・ダム湖水では別の機構が寄与していることが示唆された。

次に、森林河川での溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度はリターから溶脱する代表成分である  $\text{K}^+$ 濃度、 $\text{NO}_3^-$ 濃度および溶存有機炭素濃度と強く連動し、特に出水時においてはいずれの濃度も20%程度の上昇が見られた。出水時の復帰流に含まれる溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は河川本流に比べて高かった。したがって森林河川の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度は主にリターからの溶脱により形成され、出水時には谷部に堆積したリターからの溶脱により溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度が上昇することが示唆された。

横川ダムにおける毎年の  $^{137}\text{Cs}$  収支を評価した結果、2014-2018年の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の放流量は流入量の1.0-1.6倍であった。またダム湖底質の培養試験では温度上昇・酸素濃度低下による  $^{137}\text{Cs}$  溶出の促進が見られた。このことから、湖底の嫌気化・温度上昇が生じる夏季を中心に、底質からの脱離により湖水の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度が上昇することが示唆された。

横川ダムでは、令和元年東日本台風(2019)の後、流入水・放流水とともに溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の急激な低下が観測され(図2)、2019-2021年における溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の放流量は流入量に対し0.8-0.9倍に低下した。2020年における湖内調査の結果、台風後にダム湖流入部を中心に堆積した  $^{137}\text{Cs}$  低濃度の土砂が流入水中の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度を吸着したことが明らかになった。したがって、ダム湖が溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の発生源・吸収源どちらとして振る舞うかは底質と湖水の間の  $^{137}\text{Cs}$  濃度のバランスに依存することが示唆された。

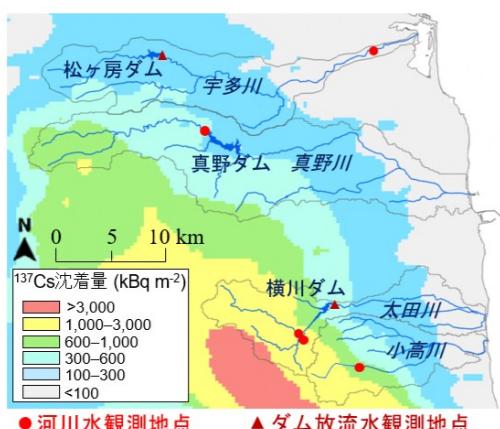
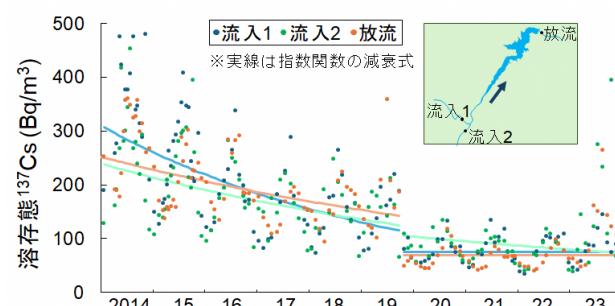


図1 定期観測を行った河川・ダム湖

図2 横川ダム流入・放流水中の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度

## 福島県における淡水魚の放射性セシウム汚染と汚染経路の解明

国立環境研究所

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故以降、淡水魚の放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) は海水魚と比較して濃度が高く、2025年現在でも、原発周辺では淡水魚の濃度が食品基準値である  $100 \text{ Bq/kg}$  を大きく超える地域が残されている。国立環境研究所では、2014年より河川および湖沼における淡水魚とその餌を含めた放射性セシウム汚染状況の調査を継続して行い、淡水魚個体ごとの濃度のばらつきが大きいこと、移行係数の解析により魚種や魚のサイズ、食性、生息環境が濃度に影響すること<sup>[1]</sup>、季節による濃度の違い<sup>[2]</sup>などを明らかにしてきた。本研究では、放射性セシウムが食物網を通じて環境から魚へ移行する主要な移行経路を明らかにすることを目的とした。

## 2 方法

炭素窒素安定同位体比分析を用いて、異なる食物連鎖構造を持つ河川および湖沼の生態系における放射性セシウムの動態を調査した。分析には、福島県内の河川（真野川・太田川）と湖沼（はやま湖・猪苗代湖）において2015年に採取された魚類、付着藻類、落ち葉、プランクトン、底生動物などを含む試料を用いた。放射性セシウム濃度の測定に加え、炭素 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) および窒素 ( $\delta^{15}\text{N}$ ) の安定同位体比を測定し、魚の汚染がどの食物源からの放射性セシウムの取り込みに依存しているのか、また栄養段階と放射性セシウム濃度との関係を解析した。

## 3 結果と考察

窒素安定同位体比の分析結果から、河川生態系においては、放射性セシウム濃度は食物連鎖の基底に位置する付着藻類やリターで高く、栄養段階が上昇するにつれて低下する傾向が見られた。一方、湖沼では、魚の栄養段階が高くなるにつれて放射性セシウム濃度が増加する傾向が確認され、湖沼の淡水魚食物における生物濃縮の影響が示唆された（図1）。

また、炭素安定同位体比の分析から、河川では落ち葉に比べ付着藻類を主な炭素源とする魚種において放射性セシウム濃度が高いことが確認された。湖沼では、放射性セシウムの供給源として、動物プランクトンを基盤とする食物網の寄与が大きく、特に小魚を餌とする魚食性の強いイワナやコクチバスなどの魚種において高い放射性セシウム濃度が観察された（図1）。これらの結果は、食物網の基底における放射性セシウムの移行経路の違いが、魚類の汚染状況に影響を与えることを示している。

本研究により、各生態系によって放射性セシウムが環境から食物網を通じて魚に移行する主要な経路が異なることを明らかにした。この知見は、水域における放射性セシウム動態のメカニズムの理解を深め、放射性セシウムの将来予測と汚染管理に貢献する基盤となる<sup>[3]</sup>。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

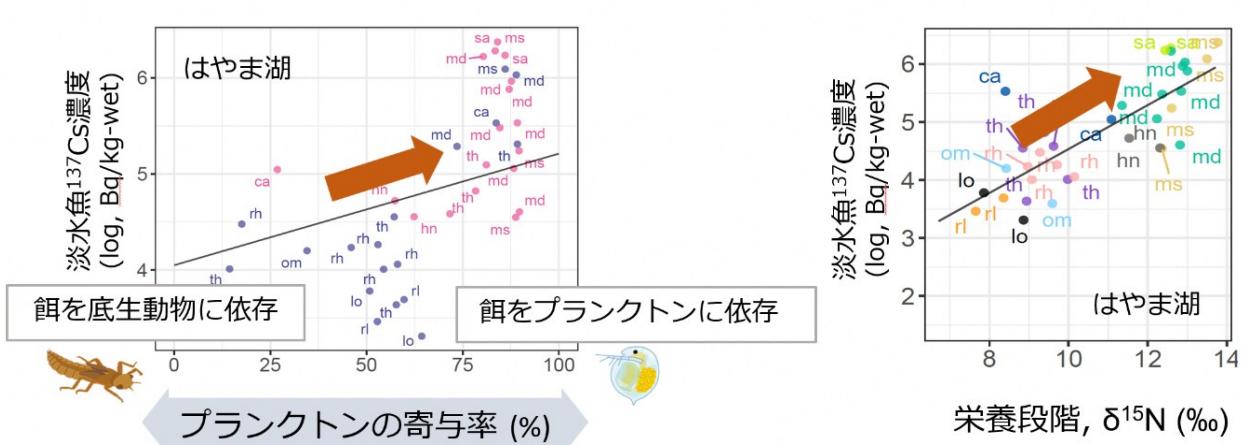


図1 魚の餌資源・栄養段階と放射性セシウムの関係

## 野生山菜への放射性セシウム移行調査

国立環境研究所

## 1 はじめに

野生山菜の利用は、日本の食文化のひとつである。しかし、一般食品の基準値である 100 Bq/kg を超える放射性セシウム(<sup>137</sup>Cs)が検出されたことが理由で、福島県を中心に野生山菜の利用は制限されている。これは山林の大部分が除染されていないことに加え、コシアブラやタラノメなど特定の山菜が放射性セシウムを高濃度に蓄積することにも起因する<sup>[1][2]</sup>。

野生山菜が放射性セシウムを蓄積するメカニズムが分かれば、その低減対策に役立つと期待される。そこで本研究では、放射性セシウム濃度が高いコシアブラに注目し、この樹木性山菜が土壤のどの深さから放射性セシウムを吸収するかを、ストロンチウム同位体比(<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比)、根の環境 DNA 解析、セシウム同位体比(<sup>137</sup>Cs/<sup>133</sup>Cs 比)を利用して調査した。

## 2 方法

福島県飯館村において、コシアブラの葉、およびその株元の腐植層と鉱質土層の 50 cm までを深さ別に採取した。葉は水洗い後、乾燥・粉碎し、硝酸で分解した。土壤は 2 mm 篩を通過させながら、側根と細根を目視で取り分けた。篩を通過した土壤は風乾後、1M 酢酸アンモニウムで抽出した。

葉の分解液と土壤抽出液は、カチオン交換樹脂を用いてストロンチウムを分離したのち、表面電離型質量分析計 (Triton、総合地球環境学研究所) で<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比を測定した。

植物根は、水洗い後、すりつぶして DNA を抽出し、植物種を識別するマーカー遺伝子として *matK* 遺伝子領域を PCR で增幅し、ハイスクープットシーケンサーで解析した。全リード数に対するコシアブラの割合を求め、これに根の重量を乗じてコシアブラ根

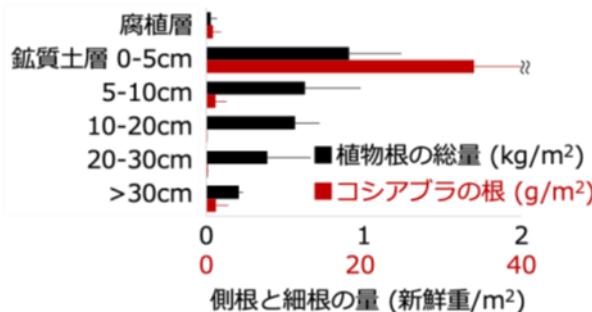


図 1 植物根とコシアブラ根の土壤中鉛直分布

量の深さ分布を推定した。

さらに、福島県内 4 地点において、コシアブラの葉、およびその株元の有機物層と鉱質土層の 0-5 cm、5-10 cm を採取した。葉および土壤抽出液は、上記と同様に前処理したのち、ゲルマニウム半導体検出器で <sup>137</sup>Cs 濃度を、ICP 質量分析計で <sup>133</sup>Cs 濃度を測定し、それぞれの <sup>137</sup>Cs/<sup>133</sup>Cs 比を求めた。

## 3 結果と考察

植物根の総量は 5 cm より深い層にも多く分布していたが、コシアブラ根は鉱質土層 0-5 cm に大部分が存在した(図 1)。また、コシアブラ葉の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 比は鉱質土層の 0-5 cm に近い値を示したことから(図 2)、コシアブラは浅い土壤層から養分を吸収していることが示唆された。

一方、コシアブラ葉の <sup>137</sup>Cs/<sup>133</sup>Cs 比は有機物層と最も近い値を示した。葉の <sup>137</sup>Cs 濃度と土壤の <sup>137</sup>Cs インベントリと比較した結果でも、鉱質土層 0-5 cm との相関は弱く、有機物層と強い相関を示した<sup>[1]</sup>。

以上を総合すると、コシアブラの根は鉱質土層 0-5 cm に多く分布し、そこから養分を吸収しているが、原発事故由来の放射性セシウムは有機物層からの溶出が多く、それをコシアブラが根から吸収している、という結論が得られた。

## 4 成果の活用

成果は環境省の年次報告会で報告するとともに、新聞報道を通じた市民への情報発信を行うことで、野生山菜利用情報として活用されている。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

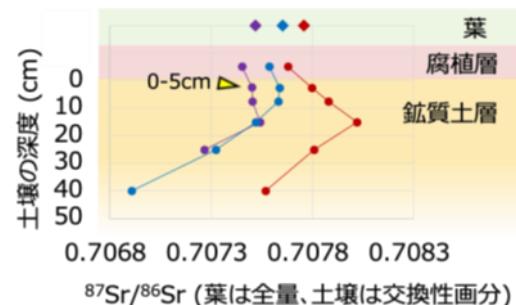


図 2 葉と土壤のストロンチウム同位体比

## 環境動態研究におけるシミュレーション研究の10年

JAEA

## 1 はじめに

JAEA は、平成 24 年度の環境動態研究の開始とともに調査研究と並行し、シミュレーション・モデルを利用した解析的研究を開始した。平成 27 年度からは環境創造センターの一員としてその活動を実施してきた。

JAEA の解析的研究の目的は、調査から推定された現象を演繹的に確認するとともに、将来の環境中の放射性セシウムや線量率の分布を予測し、必要な対策を検討することとした。統計的アプローチではそれらに対応することは困難であるため、本研究では、重要な物理・化学的現象を個々にモデル化する現象論的なモデリングアプローチを主としてきた<sup>[1]</sup>。

解析的研究では、環境動態研究開始から 12 年、環境創造センター計画の下で 10 年の間に、様々な環境動態に係る課題に取り組んできた。ここでは、解析的研究を振り返るとともに、近年の開発状況を記す。

## 2 プロジェクトの初期

事故以降、環境回復に係る様々な課題に対応するため、様々なモデルを開発あるいは整備してきた。プロジェクト初期には、大局的なセシウム動態の評価や、除染による放射線低減効果の検証が重要であった。前者に対しては、TODAM、FLESCOT、iRIC/Nays2D、ROMS など既存モデルや簡易的な USLE 式をベースとして開発した SACT を活用し、流域規模のセシウムの長期的な動態・セシウム再分布（図 1）や、海洋への流出量の予測、ダム湖による移行抑制効果、河川敷への堆積現象を評価した。後者に対しては、mDSF モデルを用いた土壌深度方向へのセシウムの移動メカニズムの解明や、ADRET や PHITS、RESET を用いた放射線評価や面的除染効果の解明に取り組んだ<sup>[1]</sup>。

## 3 モデル高度化

課題の詳細化に対応するためのモデル高度化を見据え、既存モデルを用いた検討と並行して JAEA 独自のモデルの開発を進めてきた。GETFLOWS は商用モデルであるが、開発者と JAEA が連携し森林内での樹木部、落葉層などのコンパートメントを加え高度化している<sup>[2]</sup>。3D-Sea-SPEC は、米国 PNNL の開発した TODAM や FLESCOT から学び開発を進め、入れ子構造や水位変化に対応した二重  $\sigma$  座標、データ同化機能などを加え、並列化による高速処理が行えるまでに発展させてきた。近年では、3D-Sea-SPEC と河川流

出量を予測するタンクモデル MERCURY を組み合わせることで、河川から流出するバックグラウンド・レベルのトリチウムの海洋での動きのシミュレーションなどを実施してきた<sup>[3]</sup>。現在、国立環境研究所と協力し、ダム湖底質からの溶出モジュールの組込みに取り組んでいる。

## 4 被ばく評価に向けたアプローチ

放射性セシウムによる環境汚染の影響や対策は、想定される追加被ばく線量が基準となっている。とはいえ、本プロジェクトでは被ばく評価そのものではなく、外部被ばくに関連する線量率、および内部被ばくに関連する農林水産物中セシウム濃度への環境動態の影響を評価してきた。

線量率評価については、放射線輸送モンテカルロコード PHITS を最大限に活用すべく、そのプリ・ポストプロセッサとして 3D-ADRES を開発し、森林内のセシウム分布変化との関係の評価や詳細な除染効果等の検証を行ってきた<sup>[4][5]</sup>。近年は AI 技術を取り入れ廃炉研究への展開を志向している。農林水産物への影響評価については、簡便なコンパートメントモデル CMFW を開発し適用範囲を広げている<sup>[6]</sup>。

## 5 成果の活用

本成果は、学会誌等で報告され（プレス・リリースを含む）、広く公開されている。また、自治体などに報告されている。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

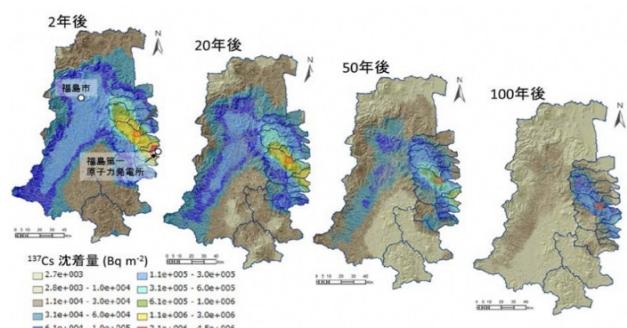


図 1 SACT によるセシウム分布の将来予測

## 河川流域及び沿岸域における放射性物質動態モーデリング

## 1 はじめに

水循環及び沿岸域における水流動に基づく放射性物質動態モーデリングを目指し、JAEA では種々の環境モーデリングを実施してきた。その中でも、森林河川流域における溶存態放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )動態解析及び福島沿岸域におけるトリチウム動態解析結果について報告する。

## 2 方法

溶存態セシウム動態解析には商用コードである GETFLOWS に開発者と JAEA が連携し森林内の樹木部、落葉層などのコンパートメントを加え高度化した(図 1)。解析対象流域は福島県太田川上流とし、標高、土地利用、表層土壌、地質等データに基づき 3 次元構造モデルを作成した(図 1)。2014 年～2015 年を対象に実降雨条件下での地表水・地下水、土砂、懸濁態・溶存態セシウム動態解析を実施した<sup>[1]</sup>。

トリチウム動態解析には JAEA 独自モデルの 3D-Sea-SPEC を使用した。海底地形や気象データ、河川流量や河川からのトリチウム流出量(JAEA で開発したモデル MERCURY を使用し算出)、福島第一原発港湾からの流出量を入力条件として令和元年東日本台風を対象に解析を行った<sup>[2]</sup>。



図 1 対象領域の三次元構造モデルと森林内移行

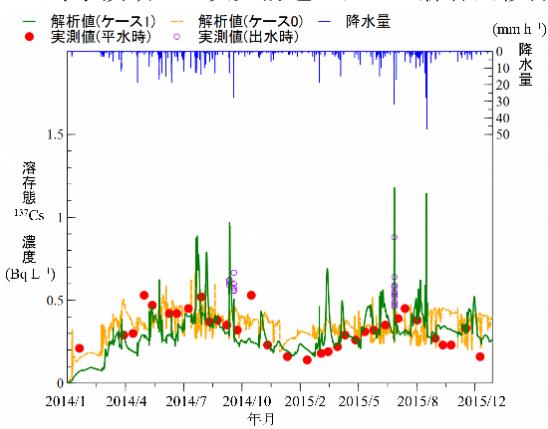


図 2 河川水中の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  解析結果

## 3 結果と考察

まず図 1 の流出点において、流量及び土砂流出量、懸濁態  $^{137}\text{Cs}$  に関するモデルの再現性を確認した。河川水中の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  の濃度の計算結果を図 2 に示す。ケース 0 はモデル高度化前の研究結果、ケース 1 は森林内移行と有機物からの溶脱現象を考慮した結果である。吸着分配平衡を仮定したケース 0 の結果は、平水時の溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の実測値(平均: 0.32 Bq/L)に対して、整合的な結果(平均: 0.36 Bq/L)であったが、実測値で認められた溶存態  $^{137}\text{Cs}$  濃度の出水時の上昇、そして夏季に高く冬季に低いといった季節変動を十分再現できていなかった。一方、森林内セシウム移行及び有機物からの溶脱現象をモデルに組み込んで解析した結果、この 2 つの変化傾向を再現した(ケース 0 及び 1 の実測値との相関係数: -0.33, 0.62)。既往の河川の調査結果で推測されていた、森林に存在する落葉落枝の層から溶存態  $^{137}\text{Cs}$  が溶出し、渓流・河川へ流出してきているとモデルを通じて明らかにした<sup>[1]</sup>。

ALPS 处理水の海洋放出に先立ち、沿岸域のバックグラウンドが約 0.12 Bq/L に対し、福島沖のバックグラウンドは約 0.07 Bq/L といった観測結果が得られているが、図 3 より台風前の平水時においても河川及び福島第一原発港湾からの影響が沿岸域において見られ、出水時においては河川からのトリチウム流出量が増大し、沿岸域において 0.12 Bq/L 程度のトリチウム濃度を形成することが本研究の成果で明らかになり、福島沿岸域のトリチウム濃度のバックグラウンド形成要因を把握した<sup>[2]</sup>。

ALPS 处理水の海洋放出に先立ち、沿岸域のバックグラウンドが約 0.12 Bq/L に対し、福島沖のバックグラウンドは約 0.07 Bq/L といった観測結果が得られているが、図 3 より台風前の平水時においても河川及び福島第一原発港湾からの影響が沿岸域において見られ、出水時においては河川からのトリチウム流出量が増大し、沿岸域において 0.12 Bq/L 程度のトリチウム濃度を形成することが本研究の成果で明らかになり、福島沿岸域のトリチウム濃度のバックグラウンド形成要因を把握した<sup>[2]</sup>。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

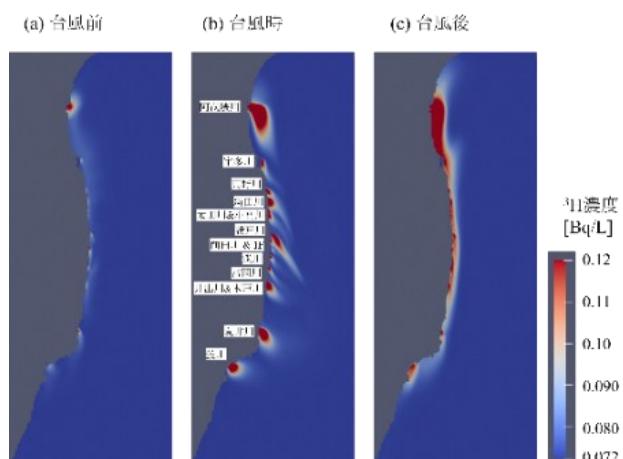


図 3 福島沿岸域における  $^{3}\text{H}$  濃度分布

## 流域モデルによる陸域での放射性物質の中長期予測

国立環境研究所

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により陸域に沈着したセシウム 137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」といふ。)の多くが森林域に留まっていることから、その関心は河川・湖沼を経由した流出挙動などに移っている。その中で、土壤浸透過程における  $^{137}\text{Cs}$  の存在形態の影響や<sup>[1]</sup>、水域における溶存態濃度への森林リターからの溶脱やダム湖底質からの溶出の寄与等、挙動や形態変化の複雑なプロセスが指摘されている。また、上流部に位置するダム湖の  $^{137}\text{Cs}$  貯留作用も注目されている。そこで、本研究では、松ヶ房ダムを有する宇多川流域を対象に、多媒体環境動態モデル G-CIEMS を利用して新たなプロセスを考慮した  $^{137}\text{Cs}$  中長期挙動予測を実施した。

## 2 方法

G-CIEMS で新たなプロセス等を考慮するために、①数値地図（国土基本情報）などを参考に松ヶ房ダムを含む宇多川および松川浦周辺流域（図 1）の GIS データ（307 箇所の流域ポリゴン・河道ポリゴン等）、②国土数値情報（土地利用情報と植生図）から各流域の主要な土地被覆区分ごとの面積、③第 4 次航空機モニタリング結果から各流域や水域への初期沈着量、④初期沈着時の針葉樹樹冠部の  $^{137}\text{Cs}$  捕捉率、⑤ $^{137}\text{Cs}$  の 3 形態（溶存態、可逆的吸着態、不可逆的吸着態）間の吸脱着速度・初期存在比、⑥可逆的吸着態の脱着速度の温度依存性、などのデータ構築・条件設定を実施した。また、土壤流出に係る月別の環境条件として、建物用地は下水汚泥中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の時系列解析結果から、森林域は USLE 式の係数 R および宇多川上流での流出調査結果から、水田は代播き時の流出を考慮し、パラメータを設定した。なお、係数 R については 2011 年 3 月～2013 年 12 月までのアメダス再解析メッシュデータから算出し、2012 年と 2013 年の条件を繰り返すことで中長期の条件を設定した。

## 3 結果と考察

初期沈着量から各媒体の初期濃度を算出し、2011 年 3 月 12 日から 2021 年 12 月 31 日まで  $^{137}\text{Cs}$  の挙動を計算した。環境条件を月別に設定したため、結果の解析も月別のフラックス ( $^{137}\text{Cs}$  移動量) を基準とした。松ヶ房ダムの流入フラックスは初期沈着が大きかった。また、ダムへの流入フラックスに対して湖面への直接沈着分の流出フラックスへの寄与

は 1% 程度以下であり、多くが底質に移行したと予測された（図 2）。河川を流下するフラックスの経年変化や溶存態・吸着態の寄与割合は土地利用区分の違いなどを反映する結果となった。図 1 で示した A、B、C 地点の河道から流下した  $^{137}\text{Cs}$  の平均年間流出率（各集水域への初期沈着量に対する年間流出量の割合）はそれぞれ 0.034%、0.77%、0.49% であった。3 つの化学形態と吸脱着速度の季節変動（温度依存性）を考慮することで、溶存態と吸着態の挙動を独立に計算することが可能になり、今後、パラメータ設定条件をより精査することで、より実態を反映した予測が可能になると見込まれる。

## 4 成果の活用

本計算結果は、国立環境研究所と電力中央研究所等の共同研究において、松川浦の汚染実態の解明ならびに水産資源利用の安全評価に活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

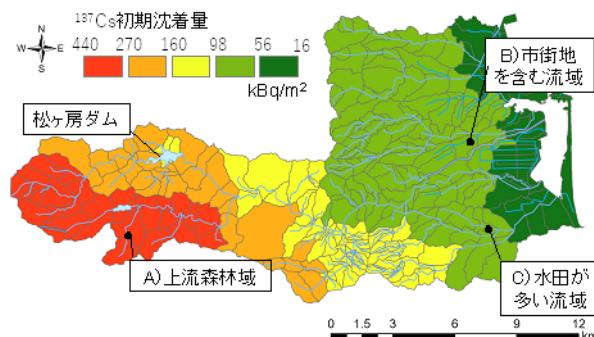


図 1 対象地域（宇多川および周辺部）の計算対象流域と河道・湖沼、各流域への  $^{137}\text{Cs}$  初期沈着量

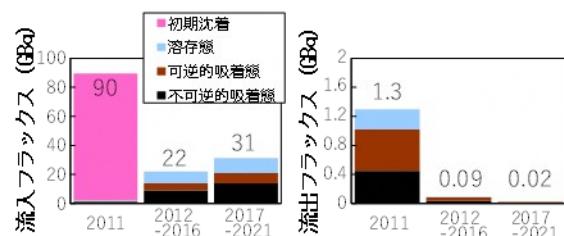


図 2 期間別の松ヶ房ダムの  $^{137}\text{Cs}$  の流入（左）と流出（右）フラックス（数値は総量）

## 福島の環境影響評価を総合的に行う包括的評価システムの整備

JAEA

### 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により放出された放射性物質の動態や生活環境への影響が懸念される中、調査研究により得られた知見を住民に適時適切に、かつ分かりやすい形で提示することが求められた。そのため、包括的評価システムと題し、調査結果やそれによって得られた知見を取りまとめた情報サイトの整備を行った。

### 2 福島総合環境情報サイト FaCE!S

福島における放射性物質の影響を適切に判断するためには、データや調査研究に基づき得られた知見と、環境中の放射性物質や空間線量率のモニタリングデータの双方が必要と考えられた。そのため、ポータルサイトとして福島総合環境情報サイト FaCE!S（フェイシス）<sup>[1]</sup>を整備し、そのコンテンツとして根拠情報 Q&A サイト<sup>[2]</sup>と放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト(EMDB)<sup>[3]</sup>の2つのウェブサイトを整備した。

### 3 根拠情報 Q&A サイト

根拠情報 Q&A サイトは、主に放射性物質の環境動態に係る知見を整理・提供している（図1）。本ウェブサイトは、一般向けに分かりやすく説明した第1層、さらに詳細な情報を示す第2層、および専門家向けに第3層として、論文・報告書・ウェブサイト等の根拠情報を整理したものである（図1）。

JAEA の成果のみならず、環境創造センターで協同する福島県や国立環境研究所が得た知見も含め、住民の疑問に答えるように知見を整理した。令和6年

10月時点で 170 記事を公開した。

### 4 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト(EMDB)

EMDB は、原子力規制庁や東京電力ホールディングスをはじめとする様々な機関が取得・公開しているモニタリングデータを収集・整備して公開しているウェブサイトである（図2）。EMDB では、利用者自らが求めるデータを検索し、地図上で表示し、時系列グラフを表示し、またはデータをダウンロードして用いることができる。令和6年10月時点で、約6,800万件のデータを登録した。

### 5 成果の活用

FaCE!S はウェブ上で一般公開しており、多くの利用を得た。根拠情報 Q&A サイトは令和7年度以降 F-REI へ移管し、JAEA のウェブサイトではアーカイブを公開する。また、EMDB は原子力規制庁の受託事業として運営を継続している。

### 引用文献

[1] 「福島総合環境情報サイト FaCE!S」 JAEA, <https://fukushima.jaea.go.jp/ceis/> (参照 2025-3-31) .

[2] 「根拠情報 Q&A サイト」 JAEA, <https://fukushima.jaea.go.jp/QA/> (参照 2025-3-31) .

[3] 「放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト」 JAEA, <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/> (参照 2025-3-31) .

図1 根拠情報 Q&A サイト（トップページ）

図2 EMDB（トップページ）

## ツキノワグマとイノシシの筋肉中放射性セシウム濃度の季節変動

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により放射性物質が大規模に放出された。これにより、福島県内の野生動物に放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) が蓄積し、その影響が懸念された。本研究は、福島県内に生息するツキノワグマとイノシシの筋肉中における  $^{137}\text{Cs}$  濃度の季節変動と長期的推移を調査し、野生動物における放射性物質の分布や変動のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

なお、本報は、Nemoto et al (2018) <sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

2011年5月から2016年3月にかけ、福島県内で捕獲されたツキノワグマ279頭とイノシシ1,033頭の大腿部から筋肉を採取し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。捕獲地点の土壤  $^{137}\text{Cs}$  濃度推定値と筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度との関係、および季節ごとの濃度変動について、統計モデルを用いて解析した。

## 3 結果と考察

筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、捕獲地点の土壤  $^{137}\text{Cs}$  濃度と正の相関を示した。しかし、その関係性は種によって異なり、同じ土壤汚染レベルの場所で比較した場合、イノシシの筋肉中濃度の方がツキノワグマよりも高かった。この差は、イノシシが土中の根や球根を頻繁に採食する一方、ツキノワグマはそうした

地下性の食物をほとんど食べないという食性の違いを反映していると考えられる。

筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度には明確な季節変動が見られ、そのパターンも種間で異なっていた。ツキノワグマの濃度は春から初秋にかけて減少し、冬に向けて増加した。一方、イノシシの濃度は春と夏に低く、秋から初春にかけて高い傾向を示した(図1)。

これらの季節変動の違いは、各種の生態に起因すると考えられる。イノシシは冬季に土中の根などを採食するため濃度が上昇すると推測される。ツキノワグマでは、冬眠前の大量採食や冬眠中の排泄抑制、堅果採食時の土壤混入といった要因が濃度上昇に寄与している可能性がある。特に、秋に食べる堅果類は一般に  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低いとされており、食餌の汚染度以外の要因が関与していることが示唆された。両種ともに冬季に濃度が最大化する傾向があるため、狩猟肉の安全性を管理する上では、冬季のモニタリングが特に重要である。これは、安全基準値を超えるリスクが最も高まる時期のデータを的確に捉え、過小評価を避けるために不可欠である。

## 4 成果の活用

得られた成果は県自然保護課へ共有され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

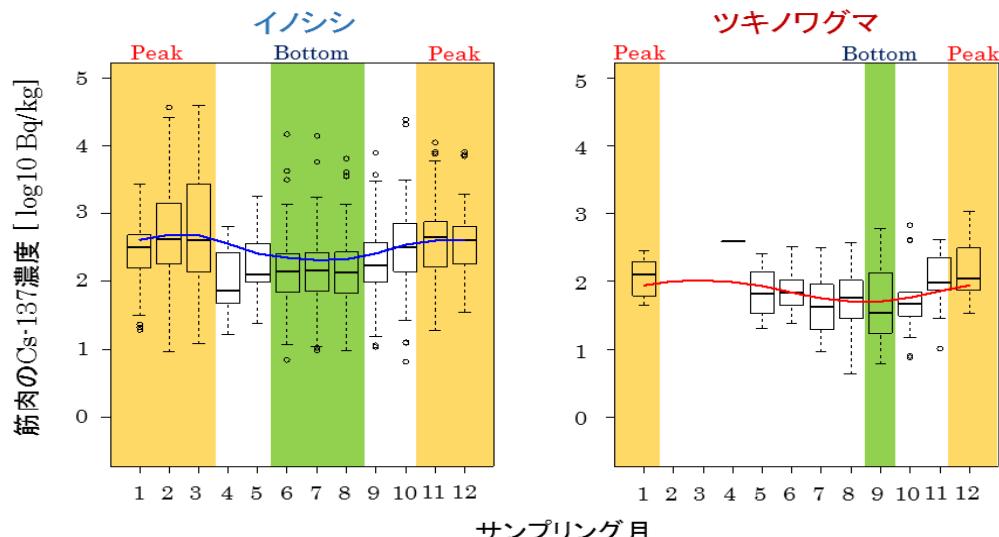


図1 イノシシ及びツキノワグマの筋肉に含まれるセシウム  $^{137}$  濃度の季節変動

## イノシシの筋肉中放射性セシウム濃度と胃内容物の関係

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) を含む大量の放射性物質が環境中に放出された。特にイノシシは、他の野生動物に比べて  $^{137}\text{Cs}$  濃度が著しく高いことが確認されているが、その理由は依然として不明な点が多い。イノシシは、生息環境中の  $^{137}\text{Cs}$  を食物経由で摂取し、筋肉に蓄積しやすいと考えられるため、環境からの  $^{137}\text{Cs}$  移行メカニズムを明らかにすることが必要である。本研究では、イノシシの筋肉および胃内容物中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定し、それらと捕獲地点の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量、食性との関係を調査した。

なお、本報は、Nemoto et al (2020) <sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

2013 年から 2015 年までの間に、福島県の二本松市、田村市、南相馬市、川俣町、富岡町、飯舘村で捕獲した 172 頭のイノシシの胃内容物と大腿筋を採取し、ゲルマニウム半導体検出器で  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。並行して胃内容物の食性分析を行い、どんぐり、動物性物質、作物、果実、葉、茎、地下茎、その他に分類し、それぞれの占有率を算出した。統計解析には、線形混合モデルを使用し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度と捕獲地点の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量、胃内容物の  $^{137}\text{Cs}$  濃度、食性との関係を解析した。季節をランダム効果、性別を説明変数とし、赤池情報量規準に基づいてモデルを選択した。胃内容物の食物カテゴリーと  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係は Spearman の相關テストを用いて解析し、食物カテゴリーの占有率は季節ごとに比較された。また、捕獲地点の  $^{137}\text{Cs}$  沈着密度は、JAEA の第 5 回航空機モニタリング調査を基に算出した。

## 3 結果と考察

本研究における  $^{137}\text{Cs}$  の平均濃度は、筋肉で 893 Bq/kg、胃内容物で 378 Bq/kg であった。筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と捕獲地点の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量には、有意な正の相関が見られた ( $p < 0.01$ ) (図 1)。同様に、胃内容物中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と捕獲地点の沈着量、および筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と胃内容物中の濃度との間にも有意な正の相関が確認された ( $p < 0.01$ )。これにより、 $^{137}\text{Cs}$  は捕獲地点の環境中から食物を介して体内に移行し、筋肉に蓄積されることが示唆された。

食性分析の結果、果実が最も主要な食物であり、次いで葉や茎であった。しかし、胃内容物中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と、地下茎を含むいずれの食物カテゴリーの占有率との間にも有意な相関は見られず、特定の食物が  $^{137}\text{Cs}$  の蓄積に直接影響するという証拠は得られなかった。この点は、欧州での研究とは異なり、日本におけるイノシシの食性では、地下茎やきのこが主要な  $^{137}\text{Cs}$  供給源となっているとはいえないことを示すものである。事実、本調査の 172 頭の胃内容物からきのこ類は検出されなかった。

特定の食物と  $^{137}\text{Cs}$  蓄積の間に有意な相関が認められなかったことから、筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の個体差は、食物の違いよりも生息環境の汚染度に依存していることが示唆された。これは、放射性物質の沈着に見られる空間的な異質性が、食物の種類による差よりも、個体への影響に大きく寄与している可能性を示唆するものである。

## 4 成果の活用

得られた成果は県自然保護課へ共有され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

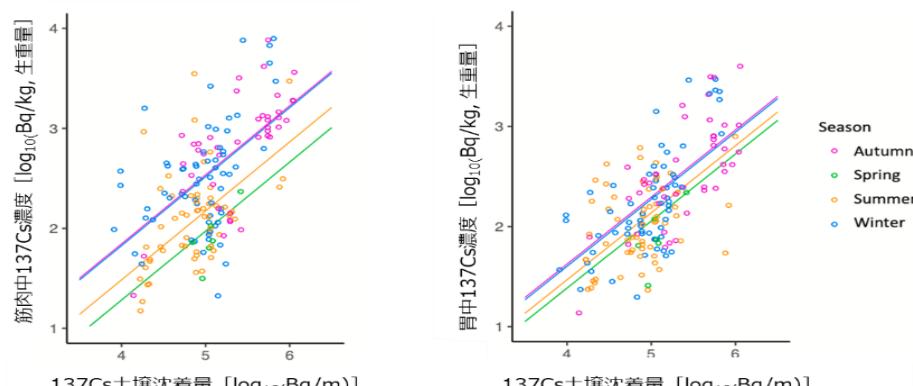


図 1 イノシシの筋肉および胃内容物と土壤の放射性セシウムの関係

## ツキノワグマの遺伝的個体群間における放射性セシウム汚染の違い

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故以降、放射性核種が福島県内の野生動物の体内から検出されている。特にセシウム 137(以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。)は長い物理的半減期を持ち、環境および生物への影響が懸念されている。これまでの研究で、ツキノワグマの筋肉中の放射性セシウム濃度が地域の土壤のセシウム沈着量と正の相関を示すことが確認されているが、個体間の濃度にはばらつきが存在している。本研究では、福島県内のツキノワグマの遺伝集団構造を解明し、集団間の移動と放射性セシウム濃度の変動について検討した。

なお、本報は、Nemoto et al (2025) <sup>[1]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

2015 年から 2018 年に福島県内で捕獲された 74 個体のツキノワグマの筋肉組織を用い、DNA 解析および  $^{137}\text{Cs}$  濃度の測定を実施した。筋肉から DNA 抽出後、MiG-seq 法で SNP 解析を行った。集団構造は Geneland を用いて推定し、地理的位置情報を考慮して  $K=1$  から 10 の範囲でシミュレーションを実施した。集団間の遺伝的分化を FST 値で評価し、近交係数 (F) や有効個体数 (Ne) も推定した。筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の比較には SEMM を用い、サンプリング年をランダム効果とし、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度、 $^{137}\text{Cs}$  土壤沈着量、および遺伝集団の関係性を解析した。

## 3 結果と考察

SNP 解析の結果、 $K=2$  の遺伝集団構造が最も適していると判断された。集団 1 は福島県西部および北部に、集団 2 は猪苗代湖周辺に分布し、両集団は高速道路や鉄道、都市部によって隔てられていた(図 1)。

SNP 解析から移出入個体と判別された個体を除いた場合、集団 1 から集団 2 への移動率は 30.4%、集団 2 から集団 1 への移動率は 31.9% であった。同様の条件で推定した集団 1 の近交係数は 0.09、集団 2 は 0.13 であり、有効個体数は集団 1 が集団 2 の約 19 倍であった。筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は土壤  $^{137}\text{Cs}$  沈着量と正の相関を示し、また、土壤  $^{137}\text{Cs}$  沈着量は集団 2 の生息域の方が集団 1 の生息域よりも高かった。このことは、集団間における土壤  $^{137}\text{Cs}$  沈着量の違いを通して、筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度に違いをもたらすことを示している。

本研究により、福島県内のツキノワグマが 2 つの遺伝集団に分かれていることが示された。高速道路や鉄道、都市部が地理的障壁として機能し、集団間の移動を制限している可能性が考えられる。また、集団間の移動率は両集団とも 30% 程度であり、両集団間で弱い交流があることが示唆された。一方で、集団 2 は、有効個体数が少ないとさらなる個体群のモニタリングが必要だろう。また、集団 2 の筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が集団 1 より高い傾向があり、放射性セシウム沈着量の地域差が濃度に影響していると考えられる。本研究の結果は、ツキノワグマの保全管理や放射能汚染の影響評価に重要な示唆を提供する。特に、集団 2 については少ない有効個体数の原因や県外の個体群との関連性等のさらなる解明が必要と考える。また、遺伝的に異なる集団が、それぞれ放射性セシウム沈着量の異なる地域に分布していることから、放射能汚染のモニタリングにおいても集団構造のような遺伝的背景を考慮する必要があると考えられる。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

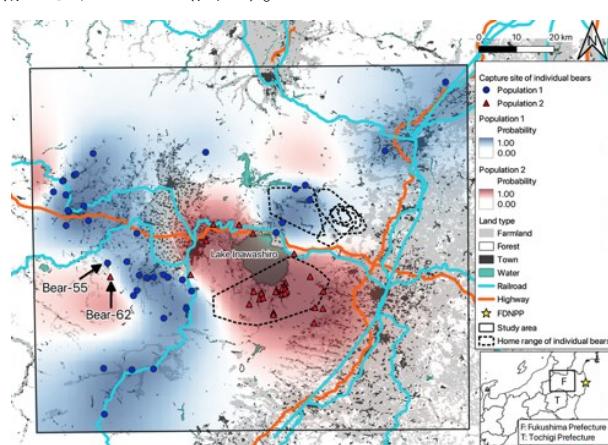


図 1 SNP を用いて推定した福島県におけるツキノワグマの遺伝的集団

## ツキノワグマの行動と利用場所の線量率の季節変化

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、多量の放射性核種が周辺地域に放出され、福島県内の野生動物の体内に蓄積されている。特に、狩猟対象となるツキノワグマにおいては、筋肉中の放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )濃度が季節的に変動することが知られているが、その原因は未解明である。筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は捕獲場所の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量および胃内容物中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と正の関係があり、行動圏内の放射能汚染程度が影響している可能性がある。本研究では、福島県におけるツキノワグマを対象に、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変動要因の一つとして考えられる行動を調査した。

なお、本報は、Nemoto et al (2018)<sup>[1]</sup> 及び Nemoto et al (2020)<sup>[2]</sup>において論文公表されているものの一部を引用している。

## 2 方法

調査は福島県中通り地方で行い、ツキノワグマは同地方内の大玉村で捕獲した。ツキノワグマはバレルトラップを用いて捕獲し、GPS 首輪を装着した。行動データは1時間毎に取得し、最外殻法(100%MCP)を用いて行動圏を推定した。また、各個体が利用する範囲の放射能汚染程度を明らかにするため、JAEA の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量マップを用いて沈着量を算出し、GPS 首輪に装備された線量計で外部被ばく線量率を計測した。統計解析には、一般化加法混合モデルを用い、1時間毎の線量率の季節変動を分析した。

## 3 結果と考察

2019年から2020年にかけてツキノワグマ3個体

表1 行動データを取得したツキノワグマの行動圏

| 個体ID | データ期間               | 100%MCPによる行動圏面積( $\text{km}^2$ ) |
|------|---------------------|----------------------------------|
| AM04 | 2019/8/4～2020/4/11  | 15.9                             |
| AM04 | 2020/7/21～11/5      | 13.5                             |
| AF05 | 2019/9/22～2020/7/31 | 19.5                             |
| AM06 | 2020/10/11～11/12    | 47.1                             |
|      |                     | 平均 $24 \pm 15.6$                 |

の行動データを取得した。個体番号 AM04 は、個体番号 AF05 とともに和尚山南部斜面を行動圏としたが、個体番号 AM06 は広い範囲を利用し、郡山市まで行動圏を広げた。行動圏面積の平均は  $24.0 \text{ km}^2$  であり、特に AM06 は他個体の2倍以上の行動圏面積を示した(表1)。行動圏内の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量は  $3.6 \times 10^4 - 8.7 \times 10^4 \text{ Bq/m}^2$  の範囲であり、季節ごとの線量率は夏期に低く、秋期から春期にかけて高くなる傾向を示した(図1)。

行動圏面積の分析から、福島県におけるツキノワグマの行動圏は他地域に比べて小さい可能性が示唆された。また、行動圏内の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量の違いが、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変動に影響を与えていることが示唆された。季節ごとの線量率の変動パターンは、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の季節変動と一致しており、放射能汚染程度の変動が筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度に影響を与えていると考えられる。しかし、本研究での解析に用いた個体数がまだ少ないため、今後はより多くの個体からデータを収集し、結果の信頼性を高める必要がある。こうして詳細な行動解析を行うことで、放射性核種の蓄積メカニズムの理解が進むことが期待される。

## 4 成果の活用

得られた成果は県自然保護課へ共有され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

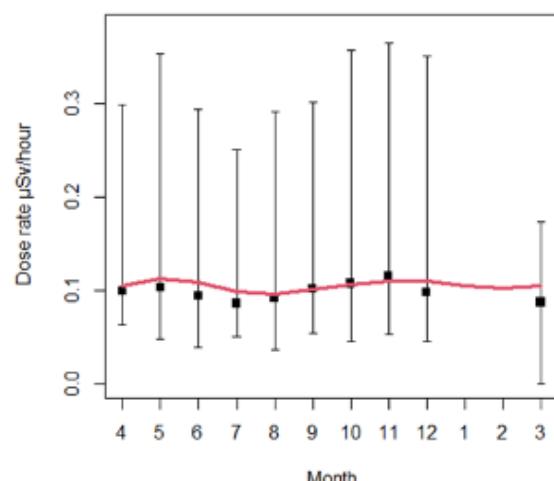


図1 ツキノワグマの利用場所における線量率( $\mu \text{Sv}/\text{h}$ )の季節変動

## ツキノワグマの行動、食性、および食物中の放射性セシウム濃度

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により、福島県内の広範囲に放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) が拡散し、野生動物に蓄積される問題が生じている。ツキノワグマ (*Ursus thibetanus*) は広い行動圏を持ち、季節ごとに食性が変化することから、 $^{137}\text{Cs}$  の体内蓄積に大きな影響を受ける可能性がある。しかし、筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変動やその原因は未解明である。本研究は、ツキノワグマの行動と  $^{137}\text{Cs}$  汚染の関連性を明らかにするため、捕獲および GPS データを用いた行動圏の解析と、首輪装着カメラによる採食行動の記録を行った。

なお、本報は、Nemoto et al (2018)<sup>[1]</sup> 及び Nemoto et al (2020)<sup>[2]</sup>において論文公表されているもの一部を引用している。

## 2 方法

2022 年度および 2023 年度に福島県の中通り、会津の 2 地域でツキノワグマの捕獲調査を実施した。バレルトラップを用いて捕獲した後、麻酔で不動化し、GPS 首輪を装着した。首輪は 15 分毎に位置情報を取得し、得られたデータから行動圏を 95% 最外殻法および 95% k-LoCoH 法で推定した。行動圏内の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量は JAEA 提供の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量マップを基に算出し、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度を推定した。また、首輪に装着したカメラは各日の 15 分ごとに 15 秒間の動画を撮影し、採食行動を解析した。採食行動率は全動画に占める採食行動が確認された動画数の割合として計算し、採食物の割合を月ごとに分析した。

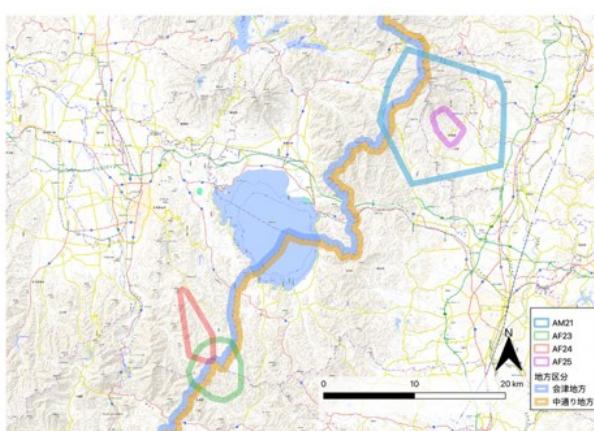


図 1 ツキノワグマの行動圏 (95% MCP)

## 3 結果と考察

2022 年度から 2023 年度の調査で、計 10 頭のツキノワグマから GPS 首輪による行動データを取得した。行動圏の推定では、オスはメスに比べて 3 ~ 32 倍広い行動圏を持ち、特にオス個体は低標高域から高標高域まで広く行動していた (図 1)。行動圏が位置する地域の  $^{137}\text{Cs}$  沈着量は、中通り地方が会津地方よりも高かった。この環境差を反映し、推定された筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は中通り地方の個体で高く、最大で 192 Bq/kg に達したほか、個体 AF25 では平均値でも基準値 (100 Bq/kg) を超えた。一方、会津地方の個体では基準値を超えることはなかった。

首輪搭載カメラによる食性調査では、7 ~ 8 月には動物質や多様な植物を採食し、9 月以降はクリなどのブナ科堅果の摂取割合が増加する季節変化が確認された (図 2)。

本調査により、ツキノワグマの筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、行動圏の広さや配置、食性の季節変化に強く依存することが示された。オスは広範な行動圏を持つため、様々な汚染レベルの地域に曝される機会が多く、結果として筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変動幅が大きくなる傾向があった。また、筋肉中濃度が上昇する秋季に堅果類の採食が増えることから、この食性の変化が  $^{137}\text{Cs}$  の蓄積を増加させる一因である可能性が示唆された。さらに、同じ地域で捕獲された個体間でも、行動圏のわずかな配置の違いによって、行動圏内の平均  $^{137}\text{Cs}$  沈着量が 2 倍ほど異なる事例も確認された。このことは、個体ごとの行動パターンの違いが  $^{137}\text{Cs}$  濃度に与える影響の複雑さを示唆しており、さらなる追跡と解析が必要である。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

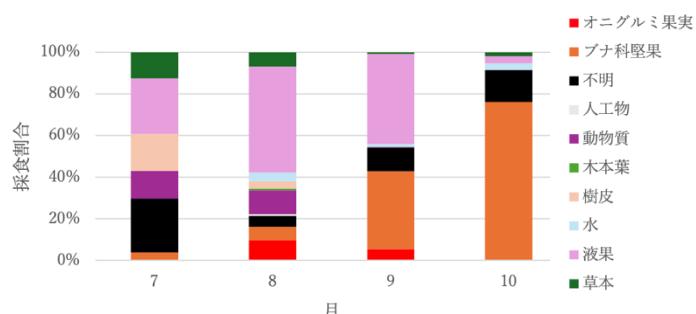


図 2 ツキノワグマの各月の採食物割合

## 鳥類のセシウム 137 濃度のモニタリング

福島県

## 1 はじめに

鳥類は、食物網内において比較的高次消費者に位置づけられ、種多様性が高く、幅広い環境へ適応分布している。これらの理由から、東日本大震災における原発事故時に鳥類へ移行した放射性セシウム（以下「放射性 Cs」という。）の現状を把握することは、生態系内における放射性 Cs の動態を評価する上でも重要となる。しかしながら、野生鳥類体内への放射性 Cs 濃度に関するモニタリング結果や移行に関する報告はわずかであった。そこで本研究では、鳥類における放射性 Cs（とりわけ、半減期が約 30 年と長い  $^{137}\text{Cs}$ ）の移行に着目し、陸域および水域生態系に生息する狩猟対象鳥類 5 種及び猛禽類 4 種を対象に、その状況について調査した。

## 2 方法

2011 から 2017 年に捕獲されたキジ類 2 種（ヤマドリ *Syrmaticus soemmerringii* とキジ *Phasianus versicolor*）及びカモ類 2 種（カルガモ *Anas zonorhyncha* とマガモ *Anas platyrhynchos*）の 4 種について、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を種間で比較した。またサンプル数が多かったキジ類 2 種について、その経時的な変化を確認した。これら 4 種については、福島県で実施している野生鳥獣の放射線モニタリング調査の結果<sup>[1]</sup>を利用し、検出限界値未満であった個体の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を 4 Bq/kg（生重量）として集計した。また、同じく狩猟対象鳥類であるカワウについては、2017 年から 2019 年にかけて福島県内で捕獲された個体から、筋肉と胃内容物を採取し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。カワウの捕獲された地域（会津、中通り、浜通り）間で筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の違いを評価し、加えて、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度と胃内容物中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係について評価した。

猛禽類は、2011 から 2017 年の期間に、野生生物共生センターへ搬入された救護個体のうち、傷病の程度が著しく、搬送後 5 日以内に死亡した個体を解析対象とした。死亡した猛禽類 4 種（トビ *Milvus migrans*, オオタカ *Accipiter gentilis*, ハヤブサ *Falco peregrinus*, フクロウ *Strix uralensis*）について筋肉部位を採取し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。 $^{137}\text{Cs}$  の測定には、ゲルマニウム半導体検出器を用いた。

## 3 結果と考察

狩猟鳥類 4 種の筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を比較した結果

果、森林に生息するヤマドリが、他の 3 種に比べ高かった（図 1）<sup>[2]</sup>。また、ヤマドリとキジについて、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の時系列変化を比較した結果では、キジについては減少傾向が見られた一方で、ヤマドリについては個体によるばらつきが大きく、明瞭な傾向は認められなかった<sup>[2]</sup>。キジが生息する里地里山のような人の生活圏では除染活動が積極的に進められた一方で、ヤマドリが生息する山域における除染は限定的である。2 種間の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の移行状況の違いは、このような生息環境中における  $^{137}\text{Cs}$  汚染状況の違いが一因であると考えられた<sup>[2]</sup>。

カワウの筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、3 地域間で差がなかった<sup>[3]</sup>。カワウの筋肉中及び胃内容物中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、有意ではないものの正の関係にあった<sup>[3]</sup>。また、カワウの胃内容物からは複数種の魚種が確認された。本調査でカワウの筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度に地域間で差が認められなかった要因として、カワウが多様な魚類を食べており、加えてそれら魚種に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  濃度に、違いがあることが考えられた<sup>[3]</sup>。

猛禽類においては、筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度が他の鳥類と同等かそれ以下であったことから、食物連鎖の最高次捕食者における顕著な  $^{137}\text{Cs}$  の移行はないことが示唆された<sup>[2]</sup>。

## 4 成果の活用

本成果は、Saito et al. (2019)<sup>[2]</sup> 及び斎藤ら (2022)<sup>[3]</sup> の論文として公表され、県内に生息する鳥類の放射性 Cs 濃度の基礎データとして県自然保護課へ共有された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

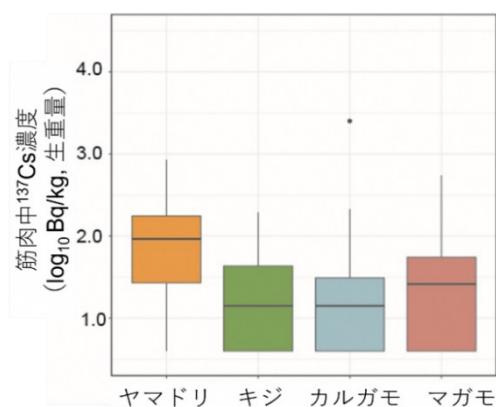


図 1 狩猟鳥 4 種における筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の比較  
(Saito et al., 2019<sup>[2]</sup>, 一部改変)

# イノシシの筋肉中のセシウム 137 濃度と胃内容物中に含まれるセシウム 137 の存在形態の関係

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故により放出されたセシウム 137（以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。）は、環境中に異なる物理化学形態で存在する（i.e., 存在形態）。環境中から野生動物へ  $^{137}\text{Cs}$  が移行する過程においては、摂食物から取り込まれる  $^{137}\text{Cs}$  の存在形態が影響すると考えられる。従って、動物の摂食物中の  $^{137}\text{Cs}$  の存在形態の特性を把握することは、野生動物における体内の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の変動要因や環境中の  $^{137}\text{Cs}$  の動態を評価する上で重要となる。そこで本研究では、イノシシ (*Sus scrofa*) を対象とし、胃内容物（i.e., 摂食物）に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  の各存在形態を解析し、各存在形態画分の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係、およびその季節変動について調査した。

## 2 方法

2015 年 7 月から 10 月に福島県二本松市で捕獲したイノシシ 40 個体について、筋肉および胃内容物を採取した。胃内容物サンプルは凍結乾燥させた後、各存在形態画分の抽出（交換態画分、有機物結合態画分、強固結合態画分）を行った。なお、各存在形態の抽出手法については、検討実験により最適な手法を決定した<sup>[1]</sup>。検討実験の結果を基に、 $^{137}\text{Cs}$  の有機物結合態画分においては、逐次抽出ではなく、胃内容物の交換態及び有機物結合態画分を抽出した後、交換態画分の割合を差し引く方法（単独抽出法）を使用した<sup>[1]</sup>。強固結合態画分は、乾燥した胃内容物試料中  $^{137}\text{Cs}$  濃度から、交換態及び有機物結合態画分中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を差し引き、算出した。筋肉、胃内容物、および胃内容物から抽出された各画分（交換態画分および有機物結合態画分）については、ゲルマニウム半導体検出器により、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。

## 3 結果と考察

筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、胃内容物中の交換態画分  $^{137}\text{Cs}$  濃度、及び交換態画分と有機物結合態画分を合算した  $^{137}\text{Cs}$  濃度との間で、有意な正の関係が確認された（図 1）<sup>[2]</sup>。なかでも、交換態画分  $^{137}\text{Cs}$  濃度と最も相関係数が高かった（図 1）。また、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度と同様の季節変動が、交換態画分  $^{137}\text{Cs}$  濃度、及び交換態画分と有機物結合態画分を合算した  $^{137}\text{Cs}$  濃度について認められた<sup>[2]</sup>。胃内容物中に存在する  $^{137}\text{Cs}$

の存在形態画分の季節的変動は、イノシシの食性の季節変化と選好性に関係があると考えられる。

以上のことから、胃内容物中の存在形態画分のうち、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の上昇や季節的な変動には、交換態画分  $^{137}\text{Cs}$  濃度及び将来的に一部もしくはその全てが溶出することが想定される有機物結合態画分  $^{137}\text{Cs}$  濃度が重要となることが示唆された。

## 4 成果の活用

本成果は、Saito et al. (2020)<sup>[2]</sup> 及び Saito and Tsukada (2022)<sup>[1]</sup> として公表され、野生動物における放射性物質動態の基礎情報として県自然保護課へ共有された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

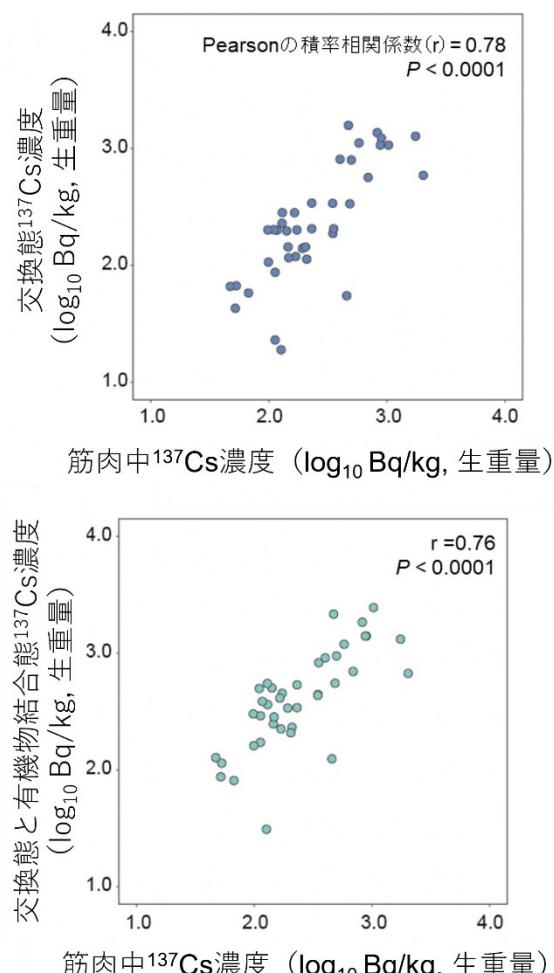


図 1 胃内容物中の各存在形態画分  $^{137}\text{Cs}$  濃度と筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の比較 (Saito et al., 2020<sup>[2]</sup>, 一部改変)

# イノシシ体内に含まれるセシウム 137 含有量推定方法の検討

## -体組織別調査と焼却残渣調査-

福島県

### 1 はじめに

近年、イノシシ (*Sus scrofa*) による農作物被害が深刻化しており、被害軽減のための捕獲が強化されている。また東日本大震災における原発事故後、イノシシにおいて、高い放射性セシウム濃度を有する個体が検出されている。このことから、捕獲駆除されたイノシシにおいて、その処理方法と処理後物の適切な管理が喫緊の課題となっている。このような処理方法の検討と処理後物の適切な管理において、イノシシ 1 頭に含まれるセシウム 137 (以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) の含有量を把握することが重要となる。そこで本研究では、体組織別調査と焼却残渣調査の 2 つの調査手法を用いてイノシシ 1 頭に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  量の推定手法を検討した。

### 2 方法

体組織別調査では、2015 年から 2016 年に二本松市で捕獲されたイノシシ 15 頭を対象に、筋肉及び各体組織（心臓、肺、肝臓、腎臓、皮膚・体毛、肋骨）と胃内容物を採取し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。各個体の体組織及び胃内容物試料については、その  $^{137}\text{Cs}$  濃度を筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度で除し、 $^{137}\text{Cs}$  濃度比を算出した。

焼却残渣調査では、2017 年に相馬市及び新地町で捕獲されたイノシシ 12 頭を対象に、有害鳥獣専用の焼却炉を用いた焼却実験を実施した。焼却前にイノシシの個体重量を測定し、その後、筋肉の一部を採取した。またイノシシ焼却後には、発生した主灰と飛灰を回収し、回収量を計測した。筋肉試料、主灰及び飛灰について、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。単回帰分析を用いて筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度と灰中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の関係性、及び個体重量と灰回収量の関係性を評価した。

いずれの調査においても、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の測定には、ゲルマニウム半導体検出器を使用した。また、これらの調査結果をもとに、イノシシ 1 頭当たりに含まれる  $^{137}\text{Cs}$  量の算定法を検討した。

### 3 結果と考察

体組織別調査の結果では、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度が最も高い傾向にあり、次いで腎臓、心臓でも高い傾向に

あつた（図 1）<sup>[1]</sup>。

焼却残渣調査の結果からは、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度と主灰及び飛灰の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の間に正の関係が認められた。また、個体重量と主灰回収量の間にも正の関係が認められたが、個体重量と飛灰回収量の間には有意な関係は認められなかった<sup>[1]</sup>。個体重量と飛灰回収量との間で正の関係がみられなかった要因として、バグフィルターに付着した飛灰のすべてが飛灰集塵機に払い落とされなかった等の理由が考えられる。焼却前のイノシシの個体重量と飛灰回収量の間に関係性は認められなかったことから、焼却残渣調査においては、イノシシ 1 頭当たりの  $^{137}\text{Cs}$  含有量を厳密に算出することが困難であった。

以上より、イノシシ 1 頭あたりの  $^{137}\text{Cs}$  含量を算定する方法として、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度に体重を乗ずる方法（方法①）とイノシシ体内における筋肉及び各体組織等の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を体内に占める各組織の割合で乗じてその総和を算出する方法（方法②）を試みた。その結果、①の方法による算定値は、②の方法による算定値の平均 1.57 倍であった<sup>[1]</sup>。方法①は簡易に推定できる手法であるが、方法②はより真値に近いと考えられる。これらの手法を比較することで、方法①を使用した場合、どの程度真値より大きい数値が算出されるのか、その目安を示すことができた。

### 4 成果の活用

本成果を、斎藤ら（2018）<sup>[1]</sup>として公表した。また、「福島県における放射性セシウムを含む捕獲イノシシの適正処理に関する技術資料」として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

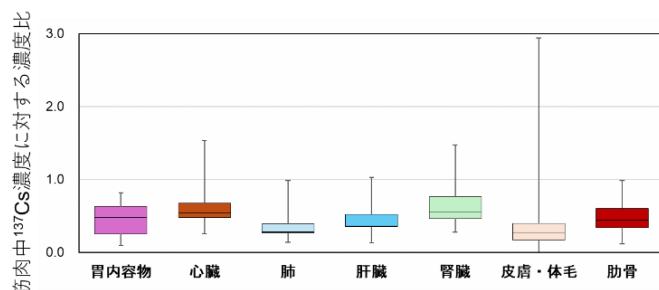


図 1 胃内容物及び各体組織における  $^{137}\text{Cs}$  濃度比  
(斎藤ほか, 2019<sup>[1]</sup>, 一部改変)

## メタバーコーディングに基づくイノシシの食性解析（手法検討）

福島県

## 1 はじめに

先行研究から、イノシシ (*Sus scrofa*) 体内へのセシウム 137 (以下「<sup>137</sup>Cs」という。) 移行には、イノシシの食性が強く関連していると考えられた。従来、食性解析手法としては目視観察や安定同位体分析による手法が用いられてきた。しかし、これらの手法では、詳細な種同定に基づく解析をすることが困難な場合があった。そこで、第 2 世代シークエンサーを用いたメタバーコーディング法によってイノシシの食性を評価する手法の開発を試みた。本研究では、(1) 植物性食物の解析において、対象とする遺伝子領域間で食性解析の結果に差異があるかを評価するとともに、(2) 再現性の検証、および(3) 動物性食物の解析において、ホスト種であるイノシシの DNA 増幅を効果的に抑制する手法の検討を行った。

## 2 方法

福島県で捕獲されたイノシシの胃内容物を用いて、解析を行った。胃内容物は凍結乾燥後、十分に攪拌し、DNA を抽出した。植物性食物の解析では、ITS-2、*rbcL*、P6 loop の 3 つの遺伝子領域を、動物性食物では COI 領域を対象とし、メタバーコーディング解析を行った。植物性食物の再現性を評価するために、同一個体から独立に抽出した DNA を用いてメタバーコーディング解析を行い、検出される属構成を比較した。動物性食物については、イノシシの DNA 増幅の抑制効果を、Dual Priming Oligonucleotide 法 (以下「DPO 法」という。) と Peptide Nucleic Acid 法 (以下「PNA 法」という。) により検証した<sup>[1]</sup>。

## 3 結果と考察

植物性食物の解析では、遺伝子領域ごとに検出される植物の属構成に違いが認められた<sup>[1]</sup>。これは、レファレンスとして登録されている DNA の情報量が、遺伝子領域 (i. e., ITS-2, *rbcL*, P6 loop) により異なることが要因であると考えられる。これについては、今後、対象とする遺伝子領域を決定し、調査地域において、イノシシが食していると考える植物種の DNA 情報を蓄積 (レファレンスを作成) し、利用することで、より精度の高い種同定が行えることが期待できる。

また、同一個体を独立に DNA 抽出したサンプルを使い、再現性を評価した結果、属レベルの構成に有意差は認められなかった<sup>[1]</sup>。従って、胃内容物試料を十分に攪拌することで、再現性の高い結果を得られるといえる。動物性食物の解析におけるイノシシの検出平均リード比はそれぞれ、無処理で 60.2%, DPO 法で 24.7%、PNA 法で 4.7% であった<sup>[1]</sup>。無処理の場合と比較して、DPO 法および PNA 法を行った場合に、イノシシ DNA の増幅が有意に抑制された。動物性食物について、イノシシ以外の検出科数を比較した結果では、PNA 法においては、無処理及び DPO 法に比べ、より多くの科が検出される傾向にあった (図 1)<sup>[1]</sup>。以上より、動物性食物の解析では、PNA 法がイノシシ DNA の増幅抑制により効果的であり、かつイノシシが食性としている他の動物種の検出に影響を与えないと考えられた。

## 4 成果の活用

本成果は、斎藤 ほか (2020)<sup>[1]</sup> として公表され、イノシシの摂食物と筋肉中の放射性セシウム濃度の関係を解明するための研究へ活用されている。

## 引用文献

[1] 斎藤梨絵, ほか: メタバーコーディングに基づくイノシシの食性解析: 植物性食物の推定における再現性と動物性食物の推定における効果的な解析対象種 DNA の抑制方法の検討. 日本生態学会誌, 70(3), 163-176 (2020).

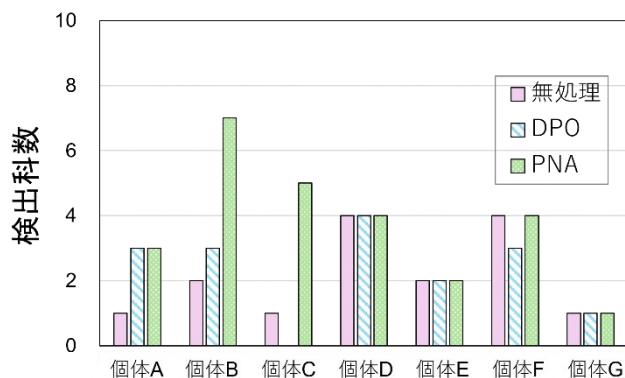


図 1 各手法のイノシシ以外の検出科数の比較  
(斎藤 ほか, 2020<sup>[1]</sup>, 一部改変)

## 福島県内に生息するイノシシの個体群構造

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、野生動物の移動・分散スケールを把握することが、環境中のセシウム 137（以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。）動態および狩猟鳥獣の出荷制限解除において重要である。加えて、住民の避難により人の活動が低下した地域が存在する福島県において、農作物被害をもたらすような人の軋轢が高い種の管理を考える上でも、動物種の移動分散スケールを反映した集団遺伝構造（i. e., 個体群構造）の把握が有用である。本研究では、高い $^{137}\text{Cs}$ 濃度を有する傾向にあり、かつ個体数の増加と農作物被害の拡大をもたらすことが懸念される福島県内のイノシシ（*Sus scrofa*）を対象に、個体群構造の推定を行った。

## 2 方法

2013 年から 2018 年にかけて福島県内で捕獲されたイノシシ 179 個体の筋肉試料から DNA を抽出した。また、比較対象の個体群として熊本県で捕獲された 9 個体も解析に含めた。DNA 解析には Multiplexed Inter-Simple Sequence Repeat Genotyping by Sequencing（以下「MIG-seq 法」という。）を用いた。得られた遺伝情報に基づく個体群構造の推定するため、STRUCTURE 及び Structure Harvester にて解析した。さらに、阿武隈川を境として東部で捕獲された集団（以下「東部集団」という。）、と西部で捕獲された集団（以下「西部集団」という。）について、BayesAss を使用して、東部集団と西部集団における遺伝子の交流を推定した。

## 3 結果と考察

福島県および熊本県のイノシシから合計 688 一塩基多型（以下「SNPs」という。）が検出された。また、福島県のイノシシのみ解析した結果では、328 SNPs が検出された<sup>[1]</sup>。STRUCTURE 解析の結果をもとに對数尤度の変化率（ $\Delta K$ ）を算出したところ、イノシシは大きく 2 つの遺伝子系統に分かれることが示唆された。また、イノシシの捕獲地点情報もあわせて解析した結果、福島県内のイノシシは、県の中央部を流れる阿武隈川周辺域を境に、遺伝子系統が異なる傾向にあった（図 1）<sup>[1]</sup>。

BayesAss 解析では、イノシシの東部集団から西部集団への遺伝子の流れが 0.103 であり、西部集団から東部集団への遺伝子の流れ 0.033 を上回っていた。また、東西の集団同士の遺伝子の交流よりも、東西それぞれの集団の中での遺伝子の交流の方が大きいことが示された<sup>[1][2]</sup>。福島県の東部・西部のイノシシ集団は、阿武隈川と市街地を挟んでそれぞれ別の集団として維持されており、互いの集団間での行き来が少ないことが予想された<sup>[1][2]</sup>。

## 4 成果の活用

本成果は、Saito et al. (2022)<sup>[1]</sup>として公表され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として、県自然保護課へ共有された。

## 引用文献

- [1] R. Saito, et al.: Genetic population structure of wild boars (*Sus scrofa*) in Fukushima prefecture. *Animals*, 12(4), e491 (2022).
- [2] 「福島県の野生イノシシの個体群遺伝構造」国立環境研究所,  
<https://www.nies.go.jp/biology/research/publications/202203.html>, (参照 2025-09-08).

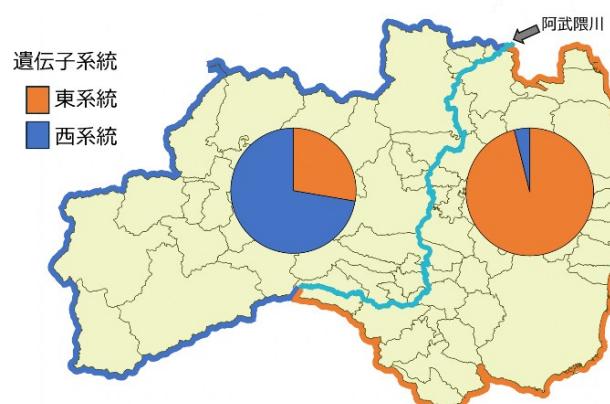


図 1 福島県内のイノシシの個体群構造  
阿武隈川をはさんだ東側と西側のイノシシ集団における 2 遺伝子系統の割合を示している。  
(Saito et al. (2022)<sup>[1]</sup>, 一部改変)

# 帰還困難区域周辺におけるイノシシ筋肉中の放射性セシウム濃度のモニタリング

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、野生鳥獣の肉に含まれる放射性セシウムのモニタリング調査が継続的に行われている。その結果から、他の野生動物種に比べイノシシ (*Sus scrofa*) の筋肉中のセシウム 137 (以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) 濃度が高いこと、また同じ地域で捕獲されたイノシシであっても、個体間で非常にばらつきが大きいことがわかった。さらに事故初期の  $^{137}\text{Cs}$  土壌沈着量が高い帰還困難区域内では、イノシシが他の地域に比べより高い  $^{137}\text{Cs}$  濃度を含有する可能性があるが、これについては十分な情報が得られていない。そこで本研究では、環境省の協力のもと、帰還困難区域内およびその周辺域において、緊急捕獲対策事業によって捕獲されたイノシシの筋肉試料を利用し、約 5 年間にわたる長期的な  $^{137}\text{Cs}$  濃度のモニタリング調査を実施し、その傾向について解析した<sup>[1]</sup>。

## 2 方法

2016 年から 2020 年にかけて、福島県の帰還困難区域および周辺地域で捕獲されたイノシシ 221 頭の筋肉サンプルを、環境省の協力のもと入手した。サンプルは凍結乾燥後、粉碎し、ゲルマニウム半導体検出器で  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。データは新鮮重量に換算して評価した。また、捕獲地点の土壤  $^{137}\text{Cs}$  沈着量を、JAEA の航空機モニタリングデータを基に推定した。その際、 $^{137}\text{Cs}$  の物理的半減期を考慮して減衰補正した。統計解析では、回帰分析および混合線形モデルを用いて、筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度と  $^{137}\text{Cs}$  土壌沈着量、

体重、体長の関係性を評価した。また、季節ごとの  $^{137}\text{Cs}$  濃度の違いを多重比較検定により評価した。

## 3 結果と考察

帰還困難区域内とその周辺域で捕獲されたイノシシの筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、区域外よりも高い傾向を示した（図 1）<sup>[1]</sup>。2016 年には 100,000Bq/kg を超える個体も存在した。イノシシの筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度には個体間で大きなばらつきが見られ、季節（捕獲月）による違いも確認された<sup>[1]</sup>。冬季（特に 2 月）に濃度が最も高く、夏季（8 月、9 月）に低かった。これは、帰還困難区域外のイノシシの  $^{137}\text{Cs}$  濃度の季節変動と同様の傾向であった。また、本研究の結果、イノシシの  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い時期（7、8、9 月）には、イノシシの筋肉中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と体長および体重との間に正の関係性が認められた。低濃度期にのみ、このような体長や体重に比例した  $^{137}\text{Cs}$  濃度の増加が認められた要因として、 $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い時期には代謝の増加や成長に伴う食性の変化などの影響が強く表れた可能性等が考えられた。

## 4 成果の活用

本成果は、Saito et al. (2022)<sup>[1]</sup>として公表された。また、環境省の年次報告会にて報告され、帰還困難区域周辺において捕獲されたイノシシの適正処理のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

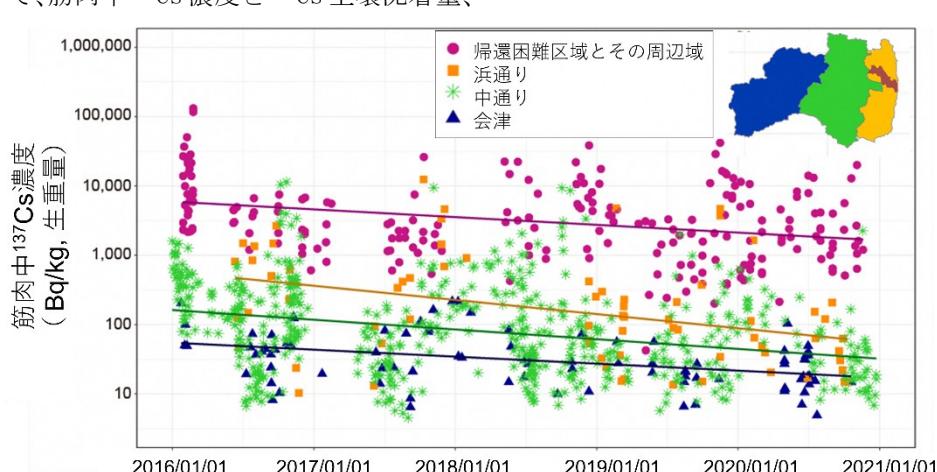


図 1 イノシシの捕獲地域別の筋肉中  $^{137}\text{Cs}$  濃度の時間変化  
色の違いは捕獲地域の違い。（Saito et al., (2022)<sup>[1]</sup>, 一部改変）

## 福島県内における野生傷病鳥獣のセシウム137のモニタリング

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故に起因し、狩猟対象鳥獣における放射性セシウム( $^{137}\text{Cs}$ )の検出が継続している。福島県は、有害鳥獣捕獲、個体数調整、狩猟における安全確保に必要な情報を県民へ発信するため、イノシシやツキノワグマ等の野生鳥獣を対象とした放射線モニタリング調査を実施している。これまでの調査から、生物種間で体内の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が異なり、特にイノシシにおいて筋肉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高い傾向が認められている。また、イノシシの筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度と捕獲場所の土壤沈着量に正の相関が認められる一方、同一汚染レベル地域で捕獲された個体間でも測定値にばらつきが大きいことが示されている。しかしながら、主な狩猟対象種以外の野生鳥獣における筋肉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度に関する知見は限られており、汚染状況は依然として不明な点が多い。そこで本研究は、福島県に生息する多様な野生鳥獣の筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度に関する知見を得ることを目的とする。

なお、本報は、村上ら（2024）<sup>[1]</sup>により学会発表された内容の一部を引用している。

## 2 方法

2013年から2022年の期間に福島県内で保護され、野生生物共生センターに搬入後死亡した鳥獣の筋肉を採取し（鳥類：N=143、哺乳類：N=76）、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定した。得られたデータを用いて、生息地域の $^{137}\text{Cs}$ 土壤沈着量と筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の相関、生息地域間における筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の比較、哺乳類と鳥類間における筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の比較、食性による $^{137}\text{Cs}$ 濃度の比較を行った。

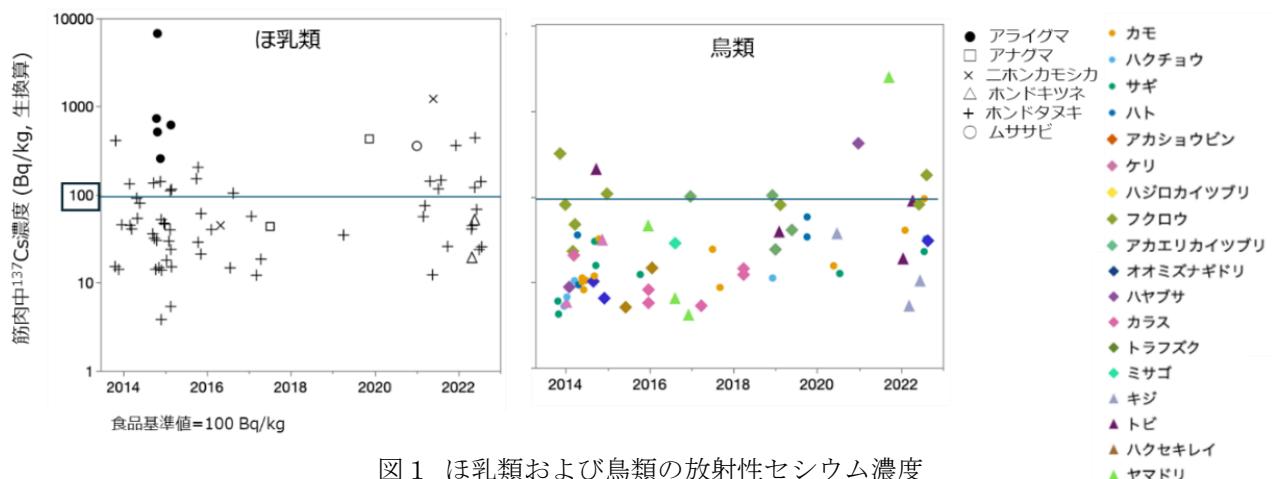


図1 ほ乳類および鳥類の放射性セシウム濃度

## 3 結果と考察

生息地域の $^{137}\text{Cs}$ 土壤沈着量と筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の相関について、会津地域と中通り地域では弱い正の相関、浜通り地域では強い正の相関が認められた。生息地域間における筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度を比較した結果、会津地域は浜通り地域、中通り地域に比べ有意に低かった。哺乳類と鳥類の筋肉中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度を比較した結果、哺乳類は鳥類に比べ有意に高かった（図1）。食性による $^{137}\text{Cs}$ 濃度を比較した結果、会津地域の鳥類では雑食性よりも動物食性、中通り地域の哺乳類では雑食性よりも植物食性の方が有意に高かった。

本研究により、近年においても食品基準値（100 Bq/kg）を超過する $^{137}\text{Cs}$ 濃度を有する個体が鳥類と哺乳類の両方で存在することが明らかになった。しかし、イノシシのように食品基準値の100倍を超えるような極端な高濃度を示す個体は確認されなかつた。また、哺乳類の方が鳥類よりも $^{137}\text{Cs}$ を体内に蓄積しやすい可能性が示唆された。さらに、鳥類、哺乳類とともに、生息環境中の $^{137}\text{Cs}$ 汚染レベルが筋肉中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度に影響を与えることが示唆された。食性による濃度差が見られたことは、食物連鎖を通じた $^{137}\text{Cs}$ の動態を反映していると言える。今回の結果は、福島県における野生鳥獣の $^{137}\text{Cs}$ 汚染の実態を把握する上で重要である。今後は、より詳細な食性分析や生理学的要因を考慮することで、野生動物における $^{137}\text{Cs}$ 蓄積機構の解明に繋がることが期待される。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

福島県内におけるキジ(*Phasianus colchicus*)の行動調査

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故に起因し、福島県内ではイノシシ等の狩猟対象鳥獣における放射性セシウムの検出が継続し、出荷制限が課されている。近年、キジの放射性セシウム濃度は食品基準値 (100 Bq/kg) を大幅に下回る水準まで減衰しているものの、依然として出荷制限は継続されている。国が出荷制限解除の条件として動物の移動性を考慮する方針を示しているため、キジの出荷制限解除を検討する上で、その移動範囲を把握する必要がある。そこで本研究は、キジの行動圏を明らかにすることで、出荷制限解除の検討に資する知見を得ることを目的とした。

なお、本報は、神田ら (2024)<sup>[1]</sup>により学会発表された内容の一部を引用している。

## 2 方法

キジの捕獲数とモニタリングデータが豊富な福島県二本松市において、令和3年及び4年の11月にカモ網等を用いてメスキジ2羽を捕獲した。捕獲個体に対しGPS発信器を装着し、放鳥した。データ収集期間は狩猟期間である11月から2月までの4ヶ月間とした。行動圏サイズの算出には、最外郭法及び固定カーネル法を用いた。最外郭法は行動圏の最大範囲を、固定カーネル法は行動の中心となる利用頻度の高い範囲と、より広範囲の利用状況を把握するために用いた。

## 3 結果と考察

最外郭法により推定した行動圏サイズは、0.06 km<sup>2</sup>から0.31 km<sup>2</sup>であった(表1、図1)。キジは阿武隈川河川敷にモザイク状に分布する高茎草地や竹林、堤内地における畑地と隣接する低木が疎らに生育する高茎草地を含む地域を利用していた。固定カ

表1 キジの個体情報と行動圏サイズ

| 項目                                 | 捕獲個体①<br>(ID:45165) | 捕獲個体②<br>(ID:56469) |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 性別                                 | メス                  | メス                  |
| 成・幼の別                              | 成鳥                  | 成鳥                  |
| 体重[g]                              | 810                 | 820                 |
| 翼長[mm]                             | 211                 | 203                 |
| 尾長[mm]                             | 236                 | 238                 |
| 跗蹠長[mm]                            | 62                  | 61                  |
| 最外郭法による<br>推定行動圏[km <sup>2</sup> ] | 0.06                | 0.31                |

ーネル法による行動圏サイズは、50%行動圏で0.006 km<sup>2</sup>から0.009 km<sup>2</sup>、95%行動圏で0.03 km<sup>2</sup>から0.04 km<sup>2</sup>であった。利用頻度の高い地域は、高茎草地、竹林等がモザイク状に分布する阿武隈川堤内地であった。

本研究で調査したメスキジ2羽の行動圏サイズは、最大でも0.3 km<sup>2</sup>程度であり、調査期間である11月から2月の4ヶ月間において、捕獲場所周辺に限定された範囲で行動していたことが示唆された。この結果は、キジが広範囲に移動する可能性は低いことを示唆し、放射性核種により高濃度に汚染された原発周辺地域から、比較的汚染の少ない会津地方等への個体移入の可能性も低いと考えられる。二本松市におけるキジのモニタリング調査では、食品基準値を超える放射性セシウム濃度を示す個体は確認されておらず、本研究の結果と併せて考えると、二本松市においてはキジの出荷制限解除の条件を満たす可能性が示唆される。ただし、モニタリングデータの採取地域が二本松市東部に偏っている現状を踏まえ、今後は二本松市中部・西部におけるデータ収集が必要である。また、今後は調査個体数を増やすとともに、性差に着目した調査を実施する必要がある。さらに繁殖期における行動圏の変化を把握することも、今後の課題として挙げられる。本研究の成果は、キジの行動圏が狭い範囲に限定されることを定量的に示し、出荷制限解除に向けた科学的根拠となりうる重要な知見である。

## 4 成果の活用

得られた成果は県自然保護課へ共有され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

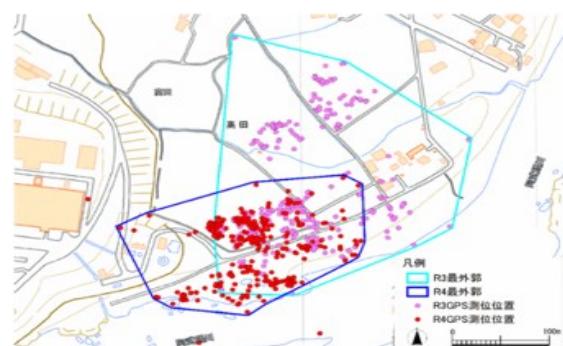


図1 二本松市のキジの行動圏結果

## ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収率

福島県

## 1 はじめに

福島県内で捕獲される野生イノシシにおいて、筋肉中の放射性セシウム（以下「RCs」という。）濃度は同一地域内でも個体差が極めて大きく、場合によっては濃度の桁が異なることが報告されている。こうしたばらつきの一因として、摂取する採食物中のRCs濃度や、消化管におけるRCsの吸収率、さらには体内での各排泄経路（糞・尿など）におけるRCsの排出量の個体差が影響していると考えられる。しかしながら、採食物からのRCs吸収率については未だ不明な点が多い。本研究では、放射性物質を直接用いることが施設管理上、また倫理上困難なため、イノシシの同種であるブタをモデル動物とし、安定セシウムを用いて消化管でのCs吸収率および体内移行動態を実験的に明らかにすることを目的とした。

なお、本報は、小松ら（2024）<sup>[1]</sup>により学会発表された内容の一部を引用している。

## 2 方法

体重約30kgのブタを対象に、実験群として、湿重量あたり100ppmのCsClを添加した試験飼料を、対照群としてCsClを含まない飼料を、それぞれ5日間連続で給与した。飼料の水分含有量から算出される乾物割合を用いて、湿重量あたりのCs濃度を乾物ベースに換算した。各個体の日々の飼料給与量を乾物重量に換算し、乾物中のCs濃度を乗じて、各個体の1日あたりのCs摂取量を算出した。さらに、各日ごとに全糞および全尿を採取し、採取した糞尿中のCs濃度を測定し、それぞれの総排出重量を乗じて糞および尿からのCs排出量（mg/日）を算出した。吸

収率は、（飼料からのCs摂取量－排泄量）÷飼料摂取量×100として求め、排泄量は糞のみで算出する場合と、糞と尿両方で算出する場合の2通りで評価した。

## 3 結果と考察

糞のみで算出した場合、各個体とも概ね97%前後の高いCs吸収率が得られた。一方、糞と尿両方で算出した場合、個体AおよびBでは84%前後と比較的高い吸収率となったが、個体CおよびDでは特定日の尿中Cs排泄が著しく、3日間の総収支では吸収率がほぼゼロまたは極めて低い値（0.44%および2.4%）となった（図1）。これらの数値は、個体間でCs吸収率に大きな差異が存在することを示唆している。特に、尿排泄量の個体差がCsの体内移行に大きな影響を与える可能性を示唆する結果となった。

本研究の結果、ブタにおけるCs吸収率は、糞のみで評価した場合ほぼ100%近い高い値を示すものの、尿排泄を考慮すると、個体によっては吸収率が著しく低下することが明らかになった。このことは、採食物中の放射性セシウムが体内に蓄積される過程において、単に摂取量だけではなく、尿排泄の個体差がCsの体内移行に大きく影響する可能性を示唆する。特に、イノシシにおける筋肉中の放射性セシウム濃度の個体差は、採食物中の放射性セシウム濃度だけでなく、個体ごとの代謝や排泄機構の差異も大きく影響している可能性が考えられる。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

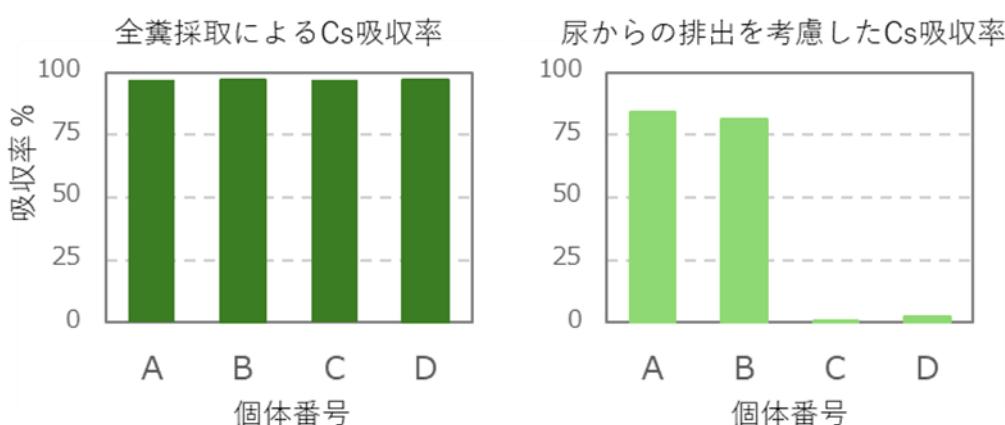


図1 ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収

## イノシシの胃内容物組成分析

福島県

## 1 はじめに

福島県内に生息するイノシシ (*Sus scrofa*) の食性と体内に蓄積される放射性セシウム濃度には関連があることが指摘されている。特に、セシウム 137 (以下「 $^{137}\text{Cs}$ 」という。) 濃度が秋から冬にかけて上昇することが観察されているが、その具体的な原因は明確ではない。イノシシは季節によって食物の種類を変えることが知られており、秋から冬には堅果類や地下部の植物、昆虫を多く摂取する。このような食性変化が放射性セシウムの体内蓄積に影響を与える可能性がある。本研究では、イノシシの胃内容物を分析し、食性の季節変動と  $^{137}\text{Cs}$  の体内蓄積との関連を明らかにすることを目的とした。

なお、本報は、菅原ら (2023)<sup>[1]</sup> により学会発表された内容の一部を引用している。

## 2 方法

福島県内で有害駆除されたイノシシの胃内容物を分析した。分析対象には、2021 年 7 月から 2022 年 11 月に収集した 67 個体のサンプルに加え、年次比較のために過去の調査で得られたデータ (2013 年、2014 年等) も統合して使用した。サンプルは 70% エタノールで保存し、分析にはポイント法を用いた。内容物は 9 つの食物カテゴリ (葉、作物、液果類、堅果類、地下部、動物類など) に分類し、構成割合を算出した。統計解析には一般化線形モデルを用い、年や季節が食性に与える影響を評価した。

## 3 結果と考察

胃内容物の主な構成要素は支持組織 (26.1%)、葉

(24%)、液果類 (23%) であり、作物 (8.6%)、堅果類 (8.3%)、地下部 (8.2%)、動物類 (1.2%) がこれに続いた (図 1)。年次変化では、葉の割合が 2021 年に高く、堅果類は 2014 年と 2021 年に多く見られた ( $p < 0.05$ )。地下部は 2021 年に顕著に増加し、液果類は 2013 年と 2014 年に多く見られた ( $p < 0.05$ )。季節間の変動では、秋から冬にかけて液果類や堅果類の割合が減少し、地下部や支持組織が増加する傾向が見られた。特に堅果類は秋に高い割合を示し、冬には減少するパターンが観察された。

本研究の結果、イノシシの食性は季節ごとに大きく変化することが示された。秋には堅果類や液果類が多く摂取される一方で、冬季にはそれらが減少し、地下部や支持組織が代わりに増加する。このような食性変化は、イノシシが放射性セシウムを体内に取り込む際の経路に影響を与える可能性がある。特に 2021 年は堅果類が凶作であったことから、地下部への依存が高まり、その結果として放射性セシウムの摂取量が増加した可能性がある。過去の研究においても、土壤に含まれる放射性セシウムがイノシシの体内に取り込まれることが示唆されており、植物の地下部やそれに付着する土壤がセシウム摂取の一因であると考えられる。地域ごとの植生や環境条件が食性に及ぼす影響も無視できないため、今後は長期的かつ地域ごとの調査を継続し、食性と放射性セシウム蓄積との関連をさらに深く検討する必要がある。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

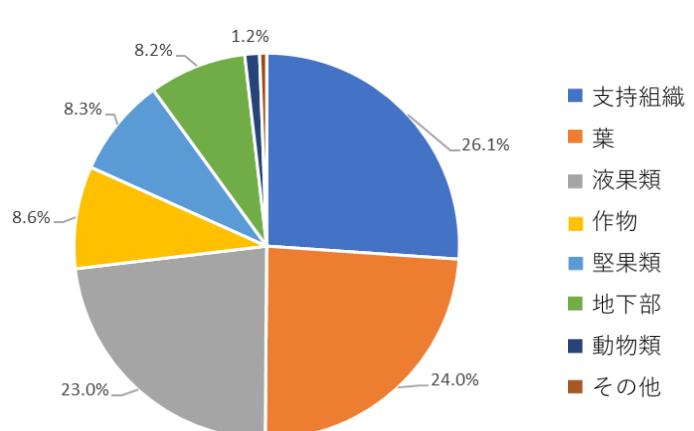


図 1 福島県で 2013 年、2014 年 (Nemoto *et al.* 2020 より抽出)、2021 年、2022 年に有害駆除されたイノシシの胃内容物に含まれる食物の割合 (N=239)。

## イノシシの消化管内容物の元素分析

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、福島県内の野生動物、特にイノシシ(*Sus scrofa*)の筋肉中に高濃度の放射性セシウム(<sup>137</sup>Cs)が検出されている。放射性セシウムの体内動態を解明するには、消化管内での吸収率を正確に評価することが重要である。野生動物の吸収率推定には、酸不溶性灰分(以下「AIA」という。)を非吸収性標識として用いることが多いが、AIA自体に放射性セシウムが含まれる可能性があり、循環論法の矛盾が生じる恐れがある。また、AIAの元素組成に関する研究も少なく、その妥当性を検証する必要がある。本研究では、AIAの元素組成を明らかにし、その妥当性を評価することを目的とした。放射化分析(以下「NAA」という。)と蛍光X線分析(以下「XRF」という。)を用いて、元素組成を定量した。

なお、本報は、小松ら(2023)<sup>[1]</sup>により学会発表された内容の一部を引用している。

## 2 方法

2021年12月から2022年12月までに福島県二本松市内で捕獲されたイノシシについて、大腿四頭筋、胃内容物、結腸内容物を採取した。試料は攪拌後に凍結乾燥し、乾物含量、灰分、AIAを測定した。NAA法ではSe, Cr, Cs, Sc, Rb, Fe, Zn, Coなどの元素を定量し、XRF法では灰化試料を用いてFe, Zn, Rb, Cr, Cu, Mg, V, K, Cl, Mn, Caなどの金属元素およびSiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO, MnO, TiO<sub>2</sub>などの酸化物を定量した。得られたデータを基に、

ガンマ分布とlogリンク関数を用いた一般化線形モデルを構築し、測定手法間および消化管部位や処理方法の影響を解析した。

## 3 結果と考察

分析手法を比較した結果、Fe, Zn, Cu, Caの濃度はNAA法とXRF法で差がなく、XRF法がこれらの元素に対して高い精度を持つことが示唆された。一方で、Rb, Mgなど一部の元素ではXRF法が有意に高い値を示し、測定法による差も見られた。

本研究の最も重要な発見は、AIAの主成分が、酸に溶けにくいSiO<sub>2</sub>とAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であると明らかになったことである。灰分からAIAを調製する過程で、他の多くの元素(酸化物)は酸によって洗い流されていた(表1)。このことから、従来用いられてきたAIAは、実質的に土壤由来のSiO<sub>2</sub>を測定している可能性が高いと結論付けられる。この発見は、今後の調査法に二つの大きな可能性を示す。第一に、AIAの代わりに、より測定が容易な灰分中のSiO<sub>2</sub>を非吸収性指標として利用できる可能性がある。第二に、このSiO<sub>2</sub>を指標とすることで、これまで循環論法の矛盾から評価が難しかった消化管内容物中の<sup>137</sup>Csの吸収・排出動態を、より正確に追跡できる道が開ける。本研究は、野生動物の栄養吸収率や放射能動態研究における、基礎的かつ重要な方法論的知見を提供するものである。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

表1 胃および結腸内容物の灰分およびAIA中の酸化物濃度の比較

| 酸化物                            | 灰分中 対 AIA中  | 胃内容物 対 結腸内容物 |
|--------------------------------|-------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 灰分 < AIA ** | n.s.         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | n.s.        | 胃 > 結腸*      |
| K <sub>2</sub> O               | 灰分 > AIA**  | n.s.         |
| CaO                            | 灰分 > AIA**  | n.s.         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 灰分 > AIA ** | n.s.         |
| MgO                            | 灰分 > AIA**  | n.s.         |
| Na <sub>2</sub> O              | 灰分 > AIA ** | n.s.         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 灰分 > AIA**  | 胃 > 結腸*      |
| MnO                            | 灰分 > AIA**  | n.s.         |
| TiO <sub>2</sub>               | n.s.        | n.s.         |

\*p<0.05, \*\*p < 0.001

# ゲルマニウム半導体測定装置及び非破壊式簡易測定装置における測定値の比較検証

福島県

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故後、福島県では食品の放射能検査体制が整備された。平成27年以降、試料の均一化や成型を要しない非破壊式放射能測定装置が自家消費用食品のスクリーニング検査に活用されているが、出荷制限解除のための検査では、野生キノコ等の一部の品目にしか活用が認められていない。一方、近年、県内において野生鳥獣肉の利用の要望が増加している。

そこで、本研究では、県内にある代表的な非破壊式測定装置2機種(AFT-NDA2及びFD-08Cs1000)を対象に、ゲルマニウム半導体検出器(以下「Ge半導体検出器」という。)の測定値との比較を行い、野生鳥獣肉の出荷制限解除に向けたスクリーニング検査への適用性について、検討、評価することを目的とした。

## 2 方法

福島県内で捕獲されたクマ、イノシシ、シカの冷凍肉を対象に放射性セシウム濃度を非破壊式簡易測定装置で測定後、同一試料をGe半導体検出器にて測定した。非破壊式簡易測定装置による測定では、脂肪除去や成型を最小限に抑え、そのままの形状でチャック付きポリ袋に入れ密封し各非破壊式装置で測定を実施した(図1)。試料中の放射能不均一分布の測定への影響を考慮し、表裏を反転させた2回測定とした。測定時間は、計20分を目安として設定した。その後、測定に供した試料と同一試料を細切・混合等の処理により均質化し、容器に充填した上で、Ge半導体検出器による測定を実施した。非破壊式簡易測定装置の測定値(y)とGe半導体検出器の測定値



図1 試料形状

(x)の関係を回帰分析により求め、回帰直線の99%予測区間を用いてスクリーニングレベルを算出した<sup>[1]</sup>。なお、野生鳥獣肉の種類ごとの測定結果のバラつきを考慮し、獣種別に解析を行った。

## 3 結果と考察

獣種別のスクリーニングレベルは、FD-08Cs1000とAFT-NDA2でそれぞれ、クマで62 Bq/kg(N=22)と59 Bq/kg(N=20)、イノシシで51 Bq/kg(N=50)と44 Bq/kg(N=48) (図2)、シカで59 Bq/kg(N=19)と53 Bq/kg(N=19)であり、いずれも出荷制限解除の検査に必要なスクリーニングレベルの性能要件(25 Bq/kg以上)<sup>[1]</sup>を満たし、すでに非破壊式検査が適用されている野生キノコ等の他品目と同等の性能での検査が可能であることが示唆された。

今後の課題として、測定対象獣種の拡大と測定条件の最適化が挙げられる。これらの課題に取り組むことで、非破壊式簡易測定装置による野生鳥獣肉の放射能スクリーニング検査の信頼性を向上させ、福島県における野生鳥獣肉の利活用を促進し、県民の食の安全・安心に貢献できると考える。

## 4 成果の活用

得られた成果は厚生労働省の報告書<sup>[2]</sup>へ掲載されるとともに、県自然保護課へ共有され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

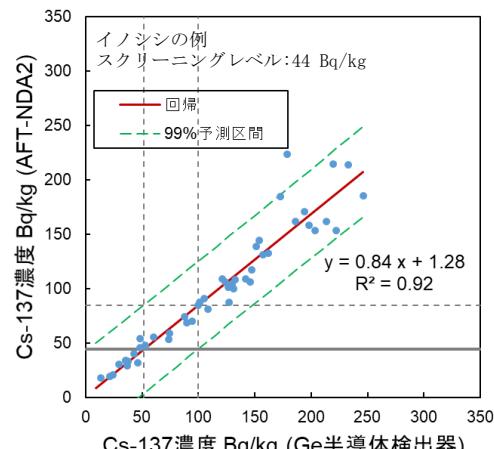


図2 Ge半導体検出器と非破壊式放射能測定装置による野生鳥獣肉<sup>137</sup>Cs濃度測定値(例)

(福島県 小松仁)

## イノシシの行動圏調査

福島県

## 1 はじめに

福島県におけるイノシシの行動圏把握は、汚染リスク評価、出荷制限解除、管理戦略策定に不可欠である。しかし、個体の行動圏が汚染状況の異なる地域をどの程度跨いでいるかなど、行動と汚染の関係性を直接評価した研究は不足している。本研究は、福島県におけるイノシシの行動圏を調査し、その特性を明らかにすることで、汚染分散リスクを評価することを目的とする。

## 2 方法

福島県内の都市周辺部、中山間地域、避難指示区域内において、イノシシにGPS首輪を装着し位置情報を記録した。データ収集期間は、個体ごとに数週間から数ヶ月とした。行動圏解析には最外郭法と固定カーネル法<sup>[1]</sup>を用いた。最外郭法で遊動域を定義し、固定カーネル法で定住域を推定した。定住域は観測点の約95%を含むエリアとした。冬季と繁殖期の行動圏サイズの季節変動も比較した。

## 3 結果と考察

イノシシは明確な定住域と遊動域を持つことが明らかになった。避難指示区域外の福島市および二本松市岩代地区田沢で調査したイノシシは、約20~50haの定住域と約100~250haの行動圏を示した(図1)。これらの地域では、都市周辺部と中山間地域でイノシシの行動圏に大きな違いは見られなかった。一方、避難指示区域内では、個体によって行動圏が大きく異なることが判明した。避難指示区域内の個体は区域外の個体よりも行動圏が広い傾向が見られ、これは無人化した環境がイノシシの行動を変化させた可能性を示唆する。また、行動圏の季節変動を解析した結果、繁殖期には冬季よりも行動圏が拡大す

る傾向が確認された。この傾向は、避難指示区域外の個体で共通して見られた。複数の個体について行動圏を追跡した結果、ある個体では二つの定住域を持つことが確認された。この個体の定住域面積合計は約37ha、行動圏は244haであった。

本研究の結果は、イノシシの行動圏が環境条件や季節によって変動することを示唆しており、放射性物質の汚染分散リスク評価において重要な知見となる。特に、避難指示区域内におけるイノシシの行動圏拡大は、人の活動が制限された結果、イノシシがより広範囲に移動し、汚染地域からの分散リスクを高める可能性がある。このことは、避難指示区域内における汚染物質の拡散防止策の必要性を示唆する。一方、避難指示区域外では、都市周辺部と中山間地域で行動圏に大きな差異は見られず、比較的安定した行動範囲内での生活が示唆される。しかし、これらの地域においても、イノシシが汚染された場所を通過する可能性は否定できず、依然として汚染拡散リスクを内包している。したがって、これらの地域においても、イノシシの行動圏を継続的にモニタリングし、汚染状況との関連性を評価していく必要がある。本研究は、イノシシの行動圏と環境要因の関係性の一端を明らかにしたが、サンプル数が限られているため、今後の研究では、より多くの個体、より長期間の追跡調査が必要である。

## 4 成果の活用

得られた成果は県自然保護課へ共有され、野生鳥獣肉の出荷・摂取に係る検討のための基礎情報として活用された。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

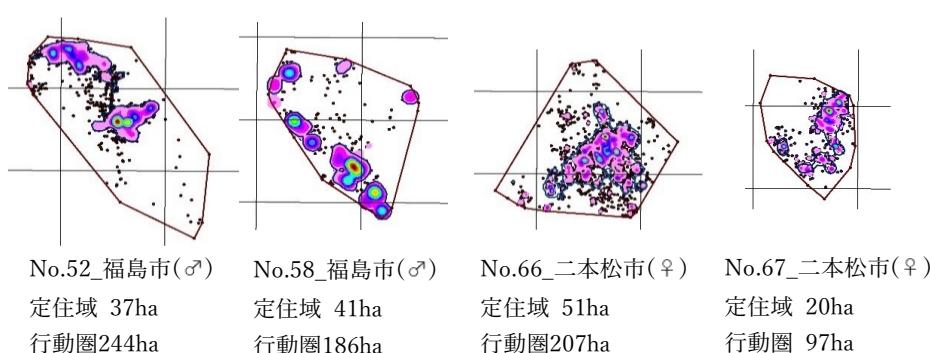


図1 避難指示区域外におけるイノシシの行動圏サイズ

## 低線量放射線等による生物影響評価

国立環境研究所

## 1 はじめに

東日本大震災における原発事故に伴う環境の放射性物質汚染により高線量地域が出現した。野生生物は避難できないことから当初より放射線による影響が懸念された。特に野生のネズミでは事故直後に繁殖影響が懸念される放射線被ばくをしたと推定された<sup>[1]</sup>。

本研究では野生のアカネズミを対象に生殖組織の被ばく線量と繁殖影響を調べるとともに、DNAの突然変異を視覚化可能な植物を開発し、現在の環境中のDNA損傷の蓄積に必要な放射線量率の定量化を行なった。

## 2 方法

福島県浪江町の帰還困難区域にて野生アカネズミの捕獲を行い、青森県及び富山県で捕獲したオスを対照として用いて繁殖への影響を評価するため以下について調査を行なった。調査項目は、(1) 筋肉中の放射性セシウム濃度を用いた精巣の被ばく線量のモデルによる推定、(2) 精子の形態異常の有無、(3) 精子に含まれるDNAの酸化割合の評価、である。

また、放射線により生じる二本鎖切断の修復に関わる相同組み換えを検出することができる植物を開発し、これを培養細胞化した。この培養細胞をさまざまな線量率の場所にて栽培し、総被ばく量と組み換え修復量との相関関係から二本鎖切断に伴う突然変異蓄積の総被ばく量の閾値を算出した。

## 3 結果と考察

モデルによる推定の結果、2012年に捕獲した野生アカネズミの精巣は外部被ばくと内部被ばくの合算で1日あたり0.55 mGyの被ばくをしていた（図1）。これはICRP誘導考慮参考レベルの「低い確率で何らかの影響」が懸念される被ばく量であった。対照区（青森県、富山県）で捕獲されたアカネズミの被ばく線量はこのレベルにはなかった。精子の形態異常率を比較したところ、全ての捕獲地点で20%であり地点間に差は見られなかった<sup>[2]</sup>。また、DNAの損傷を誘導する精子細胞の酸化（8-OHdGの生成）について調べた結果、精巣では福島県で捕獲したアカネズミにおいて精子細胞に含まれる酸化DNAの割合が有意に高かった。一方で、精巣上体に含ま

れる精子細胞では福島県で捕獲したアカネズミの精子細胞において酸化したDNAは検出されなかった。以上の結果、放射線により精巣内の生死細胞の酸化が引き起こされるが、精巣上体に移動する過程で酸化細胞の除去などにより正常な精子細胞のみが受精に使われることが明らかになった。このことは、少なくとも野生アカネズミへのオス側に由来する繁殖影響がないことが明らかになった。

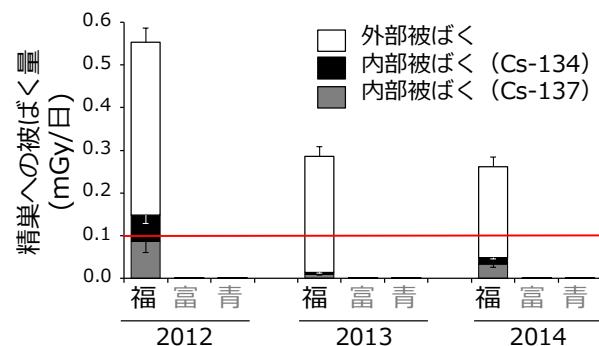


図1 野生アカネズミ精巣への被ばく量

福：福島、富：富山、青：青森

二本鎖切断に伴う相同組み換え修復を検出することができる植物を遺伝子組換え技術により作製し、そこから培養細胞を確立した。この培養細胞を用いて室内実験で放射線量のことなる土壤で栽培したところ、相同組み換え修復は放射線量依存的に増加していくことが明らかになった。したがって、この細胞が二本鎖切断を定量的に評価できることが示された。この培養細胞を1ヶ月間野外において栽培し現場での影響評価を行った。総被ばく線量57-12,840  $\mu$ Gyにて検証を行った結果、これらの線量では相同組み換え修復は高い正の相関を示した。このことは2,840  $\mu$ Gy（線量率16  $\mu$ Gy/h）までは少なくとも放射線による二本鎖損傷は修復されることが示唆された。

## 4 成果の活用

得られた成果は環境省の年次報告会にて報告され、環境省自然環境局が行っている「野生動植物の放射線モニタリング」において利用されている。

※引用文献については、「引用文献リスト」参照

## 生態系の実態把握と回復研究

国立環境研究所

## 1 はじめに

原発事故に伴う避難指示は広域での無居住化を引き起こした。避難指示区域、あるいは、避難指示が解除された地域においても野生生物がどのような状態にあるのかを把握、評価することは県民の安心、安全に関わることであり、地域住民の帰還や復興の意思決定における基礎情報となる。農作物被害や感染症拡大を起こす生物との軋轢の増加や、里地里山の身近な生物の減少は不安材料となるからである。

そのため、本研究では避難指示区域とその周辺で継続的に野生生物のモニタリング調査を行い、データの公開や、避難指示およびその解除による影響の評価、モニタリングを効率的に継続するための手法の開発を実施した。

## 2 方法

2014年より、避難指示区域内外の国有林等約50地点において自動撮影カメラを用いた通年のほ乳類調査を行った。また、約50地点の小学校、集会所等に5月から7月の間録音装置や飛翔性昆虫調査用トラップを設置し、鳥類、カエル類、昆虫類の調査を実施した。

また、主にハチ類等の送粉昆虫を対象に避難指示区域内外及び避難指示が解除された地域における個体数・多様性を比較・評価した。

加えて、イノシシ類等の獣害を及ぼすほ乳類を念頭に個体数をより正確に推定する手法や、営農再開水田における生物調査を効率的に進めるための赤トンボ類（アカネ属）自動撮影装置の開発も行った。また、地域住民に鳥類モニタリングに関心をもつてもらうために、避難指示区域周辺の鳥の鳴き声を学べるオンラインツール「とりトレ」を開発した。

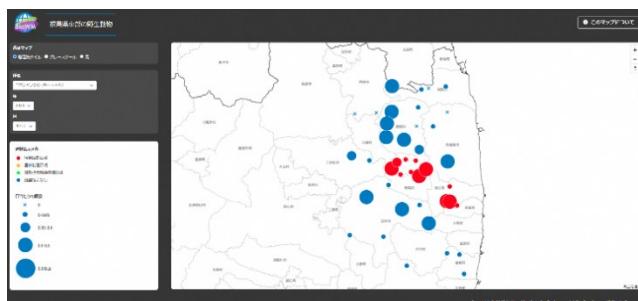


図1 国立環境研究所のWEBページにおいて公開された自動撮影によるイノシシの記録

## 3 結果と考察

得られたほ乳類・鳥類・カエルの記録についてデータペーパーやWEBマップ等の形で公開した（図1）。データは国際的なデータアーカイブプラットフォームであるGBIFにも登録した（2025年1月現在、ほ乳類23,824件、鳥類119,726件、カエル類5221件）。また、昆虫調査結果の概要について、調査地となった小学校等に報告した。モニタリングの透明性を高めるために、鳥類の録音データの一部に関しては、地域の野鳥愛好家と聞きながら出現した種を共有する市民参加型イベント「バードデータチャレンジ」の開催も実施した。

ハチ類等のデータ分析から、モニタリング開始当初の2014年時点では避難指示区域内外で個体数が大きく変わらないことが明らかになった一方で、2015年以降の調査により、避難指示区域や避難指示が解除された地域では避難指示がなかった場合と比べてハナバチ類の多様度指数が比較的高くなる

（指標の種類や分析方法にもよるが約1.15～1.2倍程度）傾向が見られつつある。

また、自動撮影された動画から、撮影頻度と移動速度の情報を組み合わせることでほ乳類の個体数をより正確に推定するREST法の開発に成功した。さらに、赤トンボ類の自動撮影装置を営農再開水田等に設置し、自動撮影データから定量的な調査が可能なことを検証した。加えて、「とりトレ」を開発・公開とともに実験によって実際に鳥類の鳴き声から種を判別する能力向上に効果がある（約3.4倍以上の正解率の上昇が見られる）ことも検証できた。

## 4 成果の活用

昆虫類の評価はUNSCEARの報告書<sup>[1]</sup>にて参照された。また、ほ乳類のより正確な個体数推定手法は県のイノシシ管理計画<sup>[2]</sup>における避難指示区域内のイノシシ個体数の参考値として用いられた。

## 引用文献

- [1] UNSCEAR:「電離放射線の線源、影響及びリスク2021年/2021年報告書第II卷科学的付属書B」, VIII. ヒト以外の生物相の線量と影響の評価. pp. 92-101 (2022).
- [2] 福島県「福島県イノシシ管理計画（第3期）」, 別紙2 モニタリング1: 個体数管理のための試算. pp. 24-26 (2019).

## 【環境創造部門】

## 地域課題への統合的アプローチによる持続可能な復興ビジョンの構築

国立環境研究所

## 1 はじめに

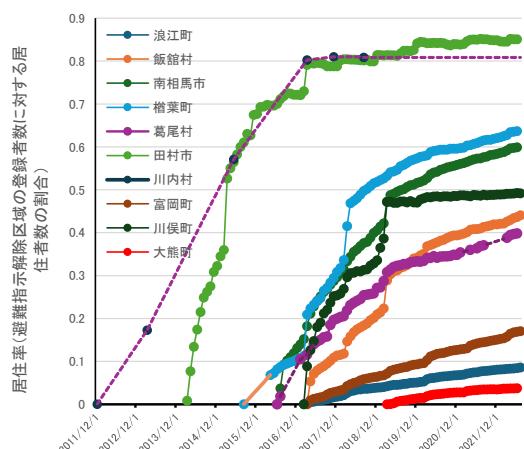
東日本大震災の被災地、特に原子力災害により避難指示の出された地域では社会活動の回復が長期的な課題である。一方、震災以前からの地域課題や気候変動対策など地球規模課題にも対応が必要とされている。これらに効果的に対応するには多数の取組の総合的な効果を考慮する必要がある。

## 2 方 法

本研究課題では定量的なアプローチにより、避難指示解除後の人口回復の把握とその要因分析を行う。また、放射能汚染の影響が少なく比較的早期に復興の進んだ地域を対象として、立案された多分野の取組による複数の指標への将来的な効果を統合評価する手法を開発する。

人口回復の要因分析においては各市町村の避難指示区域を単位とし、各市町村が公表している解除後の居住人口を収集し、登録人口に対する居住人口の割合を居住率として算出した。その推移を確認し、居住率の水準を住民意向調査の情報と比較した。次に月々の居住率の変化を被説明変数とし、これを説明する要因を重回帰モデルで分析、特定した。

統合評価においては市町村単位の人口、産業、雇用、エネルギー等の関係を記述し、各分野での取組による将来指標への単独効果・複合効果を推計する地域統合評価モデルを構築した。福島県新地町を対象として立案・検討されている町の事業を複数の分野にグループ化し、各分野の取組による居住人口、総生産、雇用、CO<sub>2</sub>排出量への2050年時点における効果を推計した。

図1 居住率の推移<sup>[1]</sup>より作成

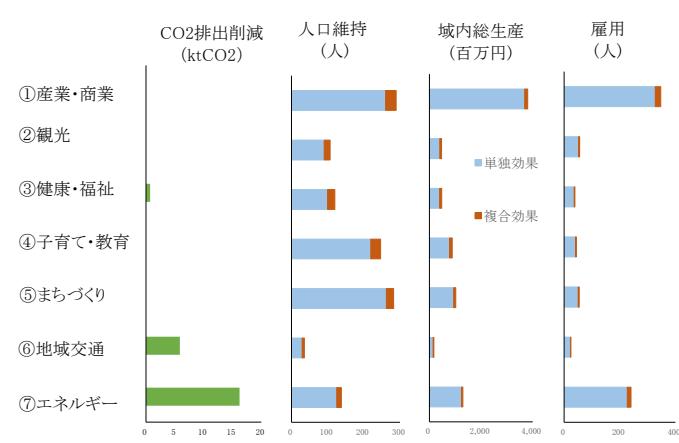
## 3 結果と考察

図1に各地域の居住率の推移を示す。居住率が2年間以上に渡ってほぼ横ばいとなっている地域では、避難指示解除時期に最も近い意向調査で「戻りたい」「まだ判断できない」に相当する選択肢を選んだ割合の合計に近い水準の居住率となっていること、他の居住率の増加が続いている地域においては同様の水準に到達していないことも確認された。重回帰分析の結果、居住率回復に対する統計的に有意な要因として発災から避難指示解除までの期間が長いほど下がる、避難指示解除後に期間が経つほど下がる、原子力発電所からの距離が遠いほど上がるなどが示された。一方で同一市町村内の未解除区域の面積や高齢化率は有意な影響が認められなかった。

図2に対象地域における各分野の取組の4つの指標への効果を示す。CO<sub>2</sub>排出削減効果は「⑦エネルギー」が最も大きいこと、他の3つの指標に対しては「①産業・商業」が最も効果が高いこと、単独効果と複合効果の関係では「④子育て・教育」による人口維持効果が最も複合効果の割合が高いことなどが示された。

## 引用文献

- [1] Gomi K.: Impact of TEPCO Nuclear Accident and Associated Evacuation to the Demography in Fukushima. Global Environmental Research, 24 (2), 217-226 (2021).  
 [2] 五味馨, 藤田壮, 永富聰, 酒井広平: 地域統合評価モデルを活用した循環共生社会の将来シナリオ構築. 地球環境, 27 (1), 41-50 (2022).

図2 各分野の取組による将来指標への効果<sup>[2]</sup>

## 持続可能な地域拠点の創生プロセスに関する研究

国立環境研究

## 1 はじめに

本研究では、環境まちづくり先進事例をパターンランゲージの枠組に基づいて分析・記述するとともに、その知見に基づいて地域づくりを包括的に支援するフレームワークである「共創デザインプラットフォーム」を開発した。このことを通じて、持続可能な地域づくりを実現するための生成的デザインの方法を構成論的アプローチに基づいて検討した。

特に近年における、地域づくりのプロセスは動的で複雑なものとなっており、それぞれの地域固有の文脈に依存している。したがって、グッドプラクティスにおいて上手くいった方法を、オールインワンのパッケージとして他の地域に展開することは不可能である。グッドプラクティスにより得られている良いアイデアを活用するためには、一連のプロセスを構成要素に分解して「パターン」として記述した上で、それぞれの地域の文脈において組み上げていくことが有効であると考えられる。図1にそのフレームワークを示す。

## 2 方法

環境・まちづくり先進都市の生成的プロセスに着目し、それを他地域に展開するためのプラットフォームを下記の3つのステップで構成する（図1）。

## a) 環境・まちづくり先進都市の調査

環境・まちづくり先進都市から、対象プロジェクトを選定する。資料・文献調査により地域づくりに関する経緯とステークホルダーを把握した上で、インタビュー調査を実施し、それをとりまとめた一次資料を作成する。

## b) パターン・ランゲージによるプロセスの記述

上記の調査の結果えられた一次資料を分析することで、自治体を始めとした各ステークホルダーの視点からパターンを記述する。本研究では、空間やインフラ整備に関する知見に加えて、その背景となる政策やコミュニケーションの枠組みなどの知見を含め包括的にパターン記述の対象とする。

## c) 地域展開に向けたデザイン・ワークショップ

記述されたパターンをこれから新たな地域づくりに取り組もうとする地域の特性に応じて組み上げ、持続可能な地域社会への転換プロセスを試行的にデザインするためのワークショッププログラムを開発し実施する。これにより、パターン・ランゲージによるデザイン支援枠組みの有効性と限界を明らかにする。

## 3 結果と考察

5地域（岩手県紫波町、宮城県女川町、宮崎県日南市、岡山県真庭市、福島県飯館村）における先進的事例について、文献調査とヒアリング調査を実施し、それらの取り組みのプロセスを時系列で整理し、それらの情報に基づき地域において新たな価値が創出される生成的なプロセスを包括的に描き出した。

以上の調査結果より40のパターンを抽出した。地域づくりのプロセス全体から多様な視点に基づいたパターンを抽出することができた。先進事例における地域づくりにおいては、それに関わる人々がそれぞれの場面で相互作用しつつ課題解決に取り組むことに価値創出の起源があることが分かった。

抽出されたパターンに基づいて戦略をデザインするためのワークショップを福島県内で実施し、その復興まちづくりに対する有効性を確認した。

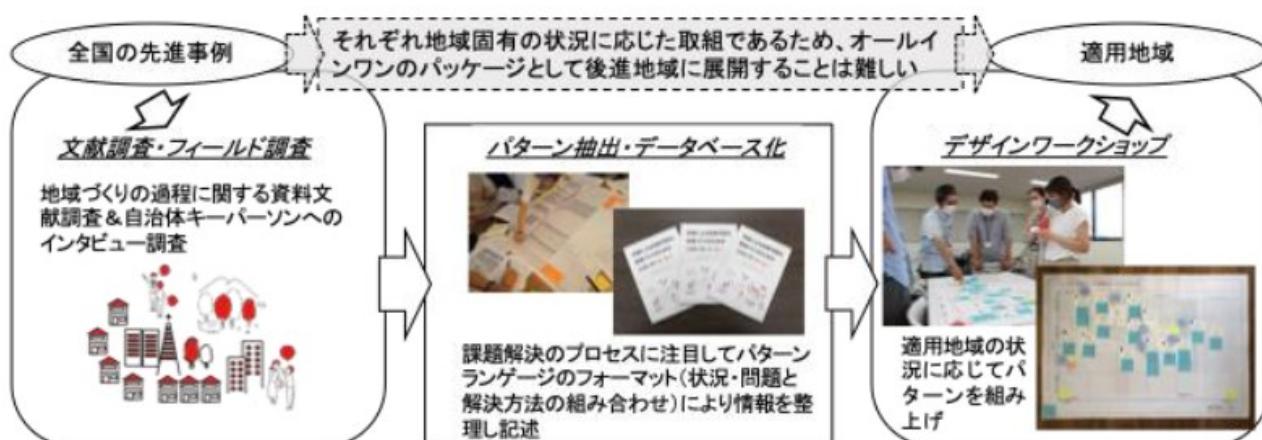


図1 共創デザインプラットフォームの構成図

# 適切な森林管理に向けた木質バイオマス利活用による 環境創生型地域づくり手法の開発

国立環境研究所

## 1 はじめに

福島県では、「再生可能エネルギー推進ビジョン2021」において「2040年度頃を目途に県内エネルギー需要の100%に相当するエネルギーを再生可能エネルギーから生み出す」としており、再エネ導入量の内訳のうちバイオマス（木質以外も含む）の占める割合を2020年度の9.7%から2030年度には13.2%に拡大することを見込んでいる<sup>[1]</sup>。一方、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所事故による放射性物質飛散のため県域の特に東部の森林が汚染され、森林資源の利活用が困難な状況が続いていた。その影響は木質バイオマス利用の観点からも大きく、震災直後から数年間は発電事業計画が地域住民の反対によって頓挫するケースも見られた。その後近年になって地域産間伐材を使用する発電施設が複数稼働を開始し、比較的規模の大きい発電施設の計画分も含めると直近で急速に燃料需要が高まることが予想される。しかし、県内の木質バイオマス燃料の流通量に関する情報は公開されておらず、持続可能性に関する検討も十分でない可能性がある。そこで本研究では、福島県内で輸入燃料を使用しない木質バイオマス発電事業および燃料供給体制の現状および課題について整理することを目的とする。

## 2 方法

2023年1月1日現在で福島県内にて稼働中および計画が公開されている木質バイオマス発電施設（N=18）、木質バイオマス燃料製造施設（N=39）を対象に、2023年6月23日から7月7日にかけて郵送アンケート調査を実施した。回答率は発電が44%（8/18）、燃料製造が49%（19/39）であった。燃料製造側は主要な事業者を概ね網羅できたが、発電側は一部回答が得られなかつたため過小評価の可能性がある。また、ステークホルダー計6者（福島県関連部署、流通団体、発電計画事業者、主な燃料製造事業者）に対してヒアリング調査を並行して実施した。

## 3 結果と考察

発電側の観点から見た場合、稼働中施設の年間燃料使用量の合計は226,761生tで、流通経路では「会津から会津」の50,933生tが最多であった。計画中施設の想定年間使用量は104,000生tで、流通経路では「浜通りから浜通り」の59,000生tが最多であった。両者を踏まえると今後1年間で年間燃料使用量が約1.5倍に増加することが明らかとなった。

燃料供給側の観点から見た場合、稼働中施設の年間燃料生産量の合計は758,204生tで、県内の流通経路では「浜通りから浜通り」の167,560生tが最多であったが、県外も含めると「県外から浜通り」の183,725生tが最多であった（表1）。

これら結果と並行して実施したヒアリング調査から福島県内の木質バイオマス利用について次のような3点の課題が整理された。①県内全域や隣接県で新たなバイオマス需要が増加し、100Bq/kg未満の材は需給ひっ迫する可能性がある、②製材、合板用材の需要低迷とそれに伴う針葉樹の伐採控え、優良材のバイオマス需要への転化が起こっている（本来的には各用途の需要安定が中長期的な素材生産の安定化に貢献）、③急激な需要増対応が想定外の波及効果を生む可能性がある（例えば会津地域内で供給不足となる場合は中通りへと影響）。

表1 燃料製造の観点から見た原料の流通状況

| 全区分（合計） | 木質バイオマス燃料製造施設 |         |         | 丸太m3<br>小計 |
|---------|---------------|---------|---------|------------|
|         | 浜通り           | 中通り     | 会津      |            |
| 入荷地域    | 167,560       | 44,148  | 0       | 211,708    |
|         | 38,255        | 170,710 | 158     | 209,123    |
|         | 22,750        | 4,588   | 111,398 | 138,736    |
|         | 183,725       | 1,296   | 13,616  | 198,637    |
| 小計      | 412,290       | 220,742 | 125,172 | 758,204    |

## 引用文献

- [1] 福島県：福島県再生可能エネルギー推進ビジョン2021～持続可能な社会を目指して～.  
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/11025c/2021vision.html> (参照 2025-9-25)

## 脱炭素化に資する地域復興・創生を駆動する 資源循環・廃棄物処理システムの研究

国立環境研究所

### 1はじめに

東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故からの復興を進める浜通り地域では、持続可能な地域復興・創生と脱炭素化の同時実現が課題である。この地域には、復興のために37の工業団地が造成されつつあり、178事業所が立地あるいは立地予定されて（2024年2月1日時点）おり、製造業の立地も確認できる。一方、産業部門は温室効果ガスの排出量増加にもつながるが、削減が難しい部門であることから対策が必要だが、資源循環・廃棄物システムの導入は一つの候補となる。一方、システムの導入時には、従来の計画論的アプローチは、地域ニーズを加味することが困難である課題がある。これらを統合的に検討し、地域共生を重視した対策が重要になる。そこで、本研究は、持続可能な地域復興・創生と脱炭素化を駆動する資源循環・廃棄物システムを地域共生の視点から達成するための方法論を提示することを目的とする。

### 2方法

本研究では、地域共生を重視した資源循環・廃棄物システムの導入のための具体的なアプローチとして、以下の方法を採用した。

1) 浜通り地域に立地する工業団地の現状について公表値をもとに集計し、各団地の特性や課題を把握する。具体的には、各団地の事業所数、業種、特徴的な事業所、インキュベーション施設へのヒアリングなどの調査を実施した。2) 地元住民、行政、企業などの多様なステークホルダーと協働し、地域のニーズや期待を把握した。特に、地域での共創を促すフレームワークを活用した<sup>[1]</sup>。3) 資源循環・廃棄物システムの導入計画を策定した。木質・廃棄物系バイオマス等の地域資源を推計し、再生可能エネルギー技術など、脱炭素化に向けた技術の導入シナリオを策定した。地域特有の資本・資源や条件を考慮し、適切な技術の組み合わせを提示した。4) これまでのステークホルダーとの協議プロセスを整理し、今後に向けた方針を検討した。

### 3結果と考察

産業団地の立地分析から、トップダウン型の造成、企業誘致とボトムアップ型の支援が両立しつつあることが分かった。一方、温室効果ガスの削減に向けては、中規模の企業立地が主であるため、積極的な取組みが限られることも課題として明らかになった。大企業のサプライチェーンを担う場合を除くと、浜通り全体での削減イニシアティブが必要であることが示された。

地域ニーズに関しては、産業部門に対して雇用と地域経済への好影響という直接的な便益が期待されているが、それらが持続的に成立し、生活域との接続への期待も存在することが分かった。このような状況下で、農林業やまちづくりと製造業が連携する資源循環・廃棄物処理システムの拠点は、復興の象徴としても意義ある取組みになる点を確認した。また、アンケート調査やヒアリング調査を基に実現可能性を明らかにした。

物理的・経済的な状況だけでなく、地域資本の観点からも検証し、適切な技術のあり方を提示し、協議した。その際に、地域とのコミュニケーションのあり方が課題となるが、ワークショップの実施を含めた具体的な取組みが始まっており、それらをより戦略的に実施していく必要がある。まだ途上であるが、いくつかの効果的な取組みを実施できた。

### 4成果の活用

浜通りの自治体との協議を継続的に続け、自治体・事業者との産官学連携の協議体を創設した。また、地域住民との意見交換・ワークショップを通じて、意見収集を行った。

### 引用文献

[1] Ohnishi, S. et al. : "A framework for analyzing co-creation value chain mechanisms in community-based approaches: A literature review." *Sustainability*, 16.7 (2024).

## 災害廃棄物の統合的マネジメントシステムの構築

### ～災害廃棄物対策マネジメントツール Sai-hai の開発と実装～

国立環境研究所

#### 1はじめに

災害廃棄物への備えとして、災害廃棄物処理計画の策定、仮置場の事前選定、関係団体との協定の締結、市民への普及啓発など、多岐にわたる対策を平時から進めることが求められる。こうした対策は、廃棄物処理に係る様々な行政事務を実施しながら、限られた行政資源の中で、進めなければならないという困難を伴う。本研究では、平時から災害廃棄物対策を着実に進め、地域の災害廃棄物対応力を向上させるためのツールを開発するとともに、その効果的な実装方法を明らかにすることを目的とした。開発の方法、結果等の詳細は別稿<sup>[1]</sup>を参照されたい。

#### 2方法

災害廃棄物処理に係るこれまでの知見に基づき、「発災時に初動対応と処理事業のマネジメントができる」とをアウトカム目標としたときに達成すべきアウトプット目標として「1. 廃棄物処理システムへの被害を最小化する」「2. 市民の災害廃棄物対応力を高める」「3. 災害廃棄物処理に必要な資源を確保する」「4. 被災状況に応じて計画的に災害廃棄物に対応できる」「5. 脆弱性を克服できる環境をつくる」の5つを設定し、その達成度を自己評価するための指標体系を設定した。この指標体系に基づいて災害廃棄物対策の進捗を自己評価（評定）できるオンラインツール（通称Sai-ai：図1）を開発し、三重県、兵庫県、宮城県の54市町村において試行いただいた。指標体系の妥当性は、目標から個別指標に至るまでの論理的なつながりを訂正・定量的に示すとともに、3県における利用者のアンケート調査を統計的に解析することで示した。

（2）仮置場候補地リストで各候補地の特徴が整理され、優先順位が判断できるようになっていますか？

各候補地候補地の特徴が体系的に把握されていて、発災後には被災状況を踏まえ迅速に適地を選定できるか、考えてください。また、情報が定期的に更新されているかも重要な観点です。

【評価の視点】

（はい） a) 各候補地の基本情報が整理されている（例：位置、土地管理者、面積、土地形状、接道の有無、地図の状況（舗装済みか否か）、周辺の住家の有無、災害時の用途、使用可能期間の割合）

（いいえ） b) 候補地について現地確認が行われている

（いいえ） c) 各候補地でどのように災害廃棄物を配置するかのレイアウトが検討されている

（はい） d) 仮置場候補地リストが毎年確認・更新されている

【評定の考え方】

・上記（a-d）に自身の状況があつてまるか確認し、その理由を「備註」に書いておきましょう。

【評価の参考指針】

- ・災害廃棄物対策指針（技術資料18-3：仮置場の確保と配置計画にあたっての留意事項）
- ・災害廃棄物処理計画
- ・地域防災計画

図1 Sai-hai における自己評価入力画面の例

そのうえで、Sai-hai の有効利用方法を検討するために愛知県内自治体に試行いただき、その前後に実施したアンケート調査の結果（知識や認識の変化等）から、個人利用と集団利用のどちらでより高い効果を発揮するかを検討した。

#### 3結果と考察

設定した29の個別評価指標について、アウトカム目標と整合した内容となっていることを詳細に記述したところ、いずれについても論理的に整合していることが確認された。また本指標体系を用いた評価結果が、実際の災害廃棄物対応力に係る外的な基準と整合しているかを確認するため、災害廃棄物処理計画を策定済みのグループと未策定のグループでSai-hai の評定値を比較したところ、前者の方が平均評定値が高い（有意水準5%のt検定）ことが確認されたことから、妥当性の高い指標体系を用いた災害廃棄物対策マネジメントツールとなっていることが示唆された。

また、愛知県における試行の結果からは、市町村職員がSai-haiを個人利用して自組織の災害廃棄物対策を自己評価するだけでなく、自己評価結果を複数の自治体で持ち寄り、議論することを通じて、災害廃棄物対策への理解や見通しが大きく向上することが明らかとなった。

#### 4成果の活用

本研究で開発システムは、国立環境研究所で運用する災害廃棄物情報プラットフォーム上で公開されており、自治体において活用いただいている。また、本ツールは、環境省が令和5年4月に発行した「災害廃棄物処理計画策定・点検ガイドライン」において引用された。

#### 引用文献

- [1] 多島良, 森嶋順子：災害廃棄物対策のマネジメントに向けた基礎自治体向け評価ツールの開発。土木学会論文集G（環境） 77, II-207-II-216 (2021) .

## 災害廃棄物の統合的マネジメントシステムの構築

## ～住民連携の現状把握と事例集の発行～

国立環境研究所

## 1はじめに

被災地域の住民や地域の団体は、災害廃棄物の排出主体とみなすことができる。このため、発災後の混乱を軽減するためには、平時から地域関係主体と連携し、情報や認識の共有を図ることが重要となる。

本研究では、特に住民と行政が連携して災害廃棄物処理にあたるために平時から行う対策について、その実態と特徴を明らかにするとともに、実務的に有効活用いただくための事例集を作成することを目的とした。住民連携を明らかにするための方法や結果については、別稿<sup>[1]</sup>に取りまとめている。

## 2方法

全国自治体を対象としたアンケートを2023年5月に実施し、災害廃棄物処理に関する住連携の内容については、各自治体において実際に行われた取組みについて、その手法、効果、実施の前提条件等を複数選択式で尋ねた。回収率は66.1%であり、人口が多い都市からの回収率が高かった。得られた回答のうち、災害廃棄物処理に関する住民連携の内容に関する回答および住民との連携による災害廃棄物処理への準備状況に関する回答について集計し、実施された住民連携事業の種類と、実施にあたって必要であった前提条件の関係を対応分析により分析した。分析には、統計ソフトR(ver.4.3.1)と対応分析のためのFactoMineRパッケージ(ver.2.8)を利用した。

上記調査の結果をふまえ、「地域ごとのルールを決める」「そのルールを知つてもらう」「基本的な理解

を得る」の3種類の取組が必要との枠組みを設定し、これらに関連する住民連携に向けた取組を追加調査し、体系的に紹介する事例集を作成した。

## 3結果と考察

過去5年間に何かしらの住民連携事業を実施したのは20.8%であり、「情報発信」「対面説明」「対面訓練」の3種類あることが分かった。また、図1に示す対応分析の結果、情報発信は予算の確保が、対面訓練は地域リーダーの存在と専門家の支援が、対面説明は住民同士のつながり、住民の危機意識、住民と行政とのつながり、地区集積所の設置方針が決まっていることが重要であると示唆された。

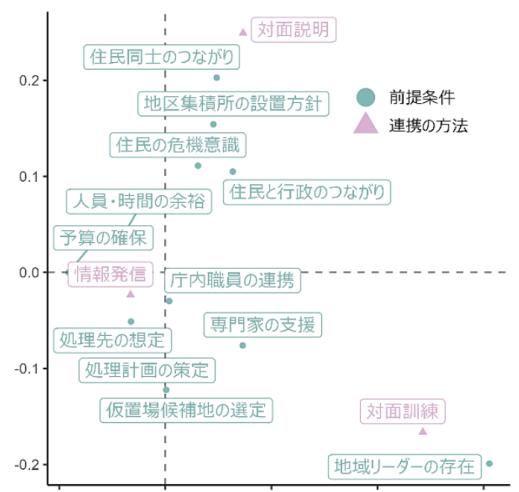
また、事例集については、全国から26件の取組事例を集め、「広く知らせる」「深く知つてもらう」「一緒に考える」の3類型で類型化した事例集（図2）を作成・発行することができた。

## 4成果の活用

本研究で作成した事例集は、国立環境研究所で運用する災害廃棄物情報プラットフォーム上で公開されており、自治体において活用いただいている。

## 引用文献

[1] 多島良, 森嶋順子, 夏目吉行, 飯田勝平: 災害廃棄物処理に関する住民連携の取組み実態に関する研究, 第34回廃棄物資源循環学会研究発表会予稿集, pp. 109-110 (2023).

図1 連携方法とその実施前提条件の対応<sup>[1]</sup>

## ■取組事例のインデックス（自治体コード順）

| 自治体名 | 人口(人)     | 取組                                  | 労力  | 広く知つてもらう | 深く知つてもらう | 一緒に考える | ページ |
|------|-----------|-------------------------------------|-----|----------|----------|--------|-----|
| 東松山市 | 91,262    | 【仮置場訓練】通常の直接搬入を活用した仮置場模擬訓練          | ●●● | ●        |          |        | 12  |
| 国立市  | 76,174    | 【ワークショップ】「災害ごみ」市民ワークショップ開催          | ●●● | ●        |          |        | 13  |
|      |           | 【防災イベント】防災イベント「備えるフェスタ」への出展         | ●●● | ●        |          |        | 15  |
| 川崎市  | 1,552,270 | 【情報発信】ごみ分別アプリによる災害ごみ情報の周知           | ●●● | ●        |          |        | 16  |
|      |           | 【情報発信】廃棄物減量指導員への周知                  | ●●● | ●        |          |        | 17  |
| 豊橋市  | 366,431   | 【防災イベント】防災イベント開催 - 防災危機管理課との連携      | ●●● | ●        |          |        | 18  |
|      |           | 【仮置場訓練】仮置場候補地の上塗                    | ●●● | ●        |          |        | 19  |
|      |           | 【仮置場訓練】【仮置場】市民協働による災害ごみ集積場候補地の選定と公募 | ●●● | ●        | ●        |        | 20  |
| 豊明市  | 67,961    | 【仮置場訓練】業者と市民も巻き込んだ仮置場設置・運営訓練        | ●●● | ●        | ●        |        | 22  |
|      |           | 【情報発信】生活カレンダーへ「災害ごみの出し方」掲載          | ●●● | ●        |          |        | 24  |

図2 事例集のインデックス（抜粋）

## 緊急時における化学物質のマネジメント戦略

## ～高分解能質量分析計を用いた化学物質の網羅分析～

国立環境研究所

## 1はじめに

質量分析において、災害や事故から直接想定される化学物質以外も広く把握するためには、広範囲のマススペクトルを網羅的に取得する手法が有用である。網羅分析において、高分解能質量分析計を用いれば、得られる精密質量情報を未知化合物の同定に役立てることができる。

## 2方法

包括的二次元ガスクロマトグラフ(以下「GC×GC」という。)と高分解能飛行時間型質量分析計(以下「HRTToFMS」という。)を組み合わせたシステムを用いて、災害・事故発生後に環境中に残留する化学物質の継続監視のためのモニタリング手法の開発を行った。GC×GCでは、二次元目の高速GCで得られるピークの幅が非常に狭いため(50~600 ms)、高速取り込みが可能な検出器が必要となる。

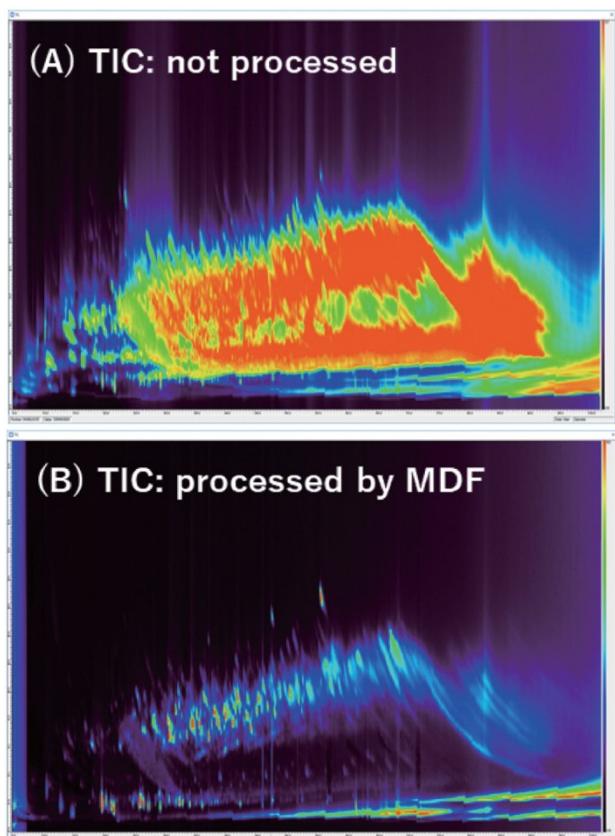


図1 火災時に検出された化学物質の2Dマップ

近年、高速取り込み(50 Hz以上)が可能なHRTToFMSが普及しており、これをGC×GCと組み合わせることにより、高分離・高感度かつ広い質量範囲で精密質量スペクトルの取得が可能な網羅分析が実現する。

## 3結果と考察

開発した方法をリサイクル資源中間集積場の火災発生時に適用した結果を示す。大気はTenax-TA(捕集材)を装着したミニポンプを用いて流速0.4 L/minで1時間(合計24 L)捕集し、捕集後のTenax-TAは、直接、加熱脱着装置に導入して340°Cまで加熱し、揮発した全成分をGC×GC-HRTToFMSにより測定した。測定データのトータルイオンクロマトグラム(以下「TIC」という。)上には、5000以上の成分が検出された。焼失した廃家電には、臭素系難燃剤を含むプラスチックや塩化ビニルなどが使用されており、火災によって大量の臭素・塩素化合物が大気中に放出されたと推測された。しかし、測定データには燃焼で発生した多量の炭化水素類が含まれており、TIC上では正確な物質検索が困難であった。そこで、自作ソフトウェアMDF14(Mass Defect Filter)を用いて、質量欠損を利用したマススペクトル抽出を行った。本ソフトウェアでは塩素や臭素など、炭素(厳密には窒素)以上の原子番号の原子を多く持つ分子の精密質量がノミナル質量よりも小さくなることを利用し、任意の精密質量差(ノミナル質量-精密質量)を持つマススペクトルを測定データから抽出することができる。図1(A)に示したとおり、TIC上には炭化水素由来の団塊(赤い部分)が存在したが、図1(B)ではそれらがなくなり分離した多数のピークが確認できる。

データを解析した結果、386個の有機ハロゲン化合物を検出することができた。このうち主なものは、フェノール類:13%、ベンゼン類:9.6%、ジベンゾ-パラ-ジオキシン類:9.6%、ジベンゾフラン類:8.4%、ビフェニル類7.4%であった。今回の事例では、GC×GC-HRTToFMSを用いた網羅分析により、火災から発生する大量の有機ハロゲン化合物について質的・量的な把握が可能であった。

## 緊急時における化学物質のマネジメント戦略

## ～東北地方太平洋沿岸海域における津波による底質の石油・炭化水素汚染～

国立環境研究所

## 1はじめに

2011年3月の東日本大震災で発生した大津波により東北地方太平洋沿岸部の石油タンクが流失・損壊を受け、大量の油が海域に流出した。その一部が沿岸部の海底に沈降し、今なお残留している。国立環境研究所では被災地自治体や地方環境研究所、東北大学大学院、環境省の協力を得てその汚染実態と炭化水素類の分解・消長について調査をしてきた。ここでは、その研究成果の一部を紹介する。

## 2結果と考察

津波の襲来により大量の船舶燃料用重油が流出した気仙沼湾内には、極めて高濃度の炭化水素が蓄積していた。これは、備蓄タンクから流出した油が津波により巻き上げられた底泥と混合し、沿岸付近の海底に沈降・堆積したと考えられる。また、脂肪族炭化水素（アルカン）は早期に分解されたが、多環芳香族炭化水素（以下「PAH」という。）は長期間高濃度で残留していた。気仙沼湾では大島西側より東側～湾口部の底質中の燃焼由来と思われるPAHの濃度が高かった一方、湾奥部では石油系PAHの濃度が高かった。底質中のPAHの鉛直分布では泥深10cm以上の箇所で最大濃度を示したが、それより深い箇所で高濃度のPAHが検出された。経年的に石油系PAHの方が優先して減少していた。大船渡湾と気仙沼湾では、湾奥部よりも湾口部においてPAH濃度が高い分布が確認された。各湾において震災後PAHの確実な減少が見られた。

ご協力頂きました（一財）山形県理化学分析センター、日本エヌ・ユー・エス（JANUS）（株）、（株）環境総合テクノス、ユーロフィン日本環境（株）の関係者と環境省水・大気環境局水環境課海洋環境室の皆様に感謝します。また東北大学大学院工学研究科土木工学専攻環境生態工学研究室、宮城県保健環境センター、日鉄住金環境（株）、大船渡市生活福祉部市民環境課の皆様に御礼申し上げます。



図1 PAH濃度と組成の時空間分布の変化

## 緊急時における化学物質のマネジメント戦略

### ～災害事故時の環境リスク管理に向けて：地環研机上演習～

国立環境研究所

#### 1はじめに

災害・事故時等に突発的に放出・漏出してしまった化学物質への対応力強化に資するために、災害・事故に伴う化学物質リスクの評価と管理に必要な諸技術と情報を集約する情報基盤 D. Chem-Core (Chemical Risk Assessment and Management Resource Core for Disaster and Emergency)を開発し、公開した。ここでは、D. Chem-Core の実践的改善や現場の対応力向上、適切な演習のデザインの検討などを進める目的として、化学物質の放出・漏出事象が発生した際に現場で対応する可能性のある地方環境研究所（以下「地環研」という。）の方を主な対象者とした地環研机上演習を 2024 年 1 月に国立環境研究所で実施した内容を紹介する。

#### 2 方法

本演習では、参加者に公開中のシステムを自由に使っていただきつつ、演習を進めた。また、本演習は、担当者が参加者に対応方法などを説明するような一方通行の講習などと異なり、実際の現場での状況をより把握している参加者からの意見をシステムや演習のデザインに反映させていくことも目的としているため、現場の人との双方向の課題解決型研究活動、つまりアクションリサーチとして進めることも意識して設計した。また、各自の参加意識も高まるように 5 名程度の班でグループワーク（以下「GW」という。）を進めるようにし、現場の経験を演習に反映させるために演習で想定する事故シナリオは各班で決めるようにした。演習の構成は、1) D. Chem-Core 及び演習の概要説明、2) 事故シナリオ等の設定（GW）、3) 事故対応の検討（GW）、4) 結果の発表および討議とし、1) と 4) は全体で、2) と 3) は各班に分かれてそれぞれ実施した。所要時間はそれぞれ 30 分、30 分、110 分、60 分とした。参加者は 50 名超（内地環研 44 名）で、事前に地環研参加者の地域などを参考に 9 班に分けた。演習の概要説明では、演習の位置づけや意図、全体の流れ、記録の取り方などを説明したものの、GW では事務局から介入・声かけはほぼ行わず各班の主体的な議論に任せた。また、実践を意識して D. Chem-Core 以外のウェブサイトの検索も推奨した。

#### 3 結果と考察

班別 GW では活発な議論や有意義な情報整理が行われた（図 1）。想定事故シナリオを整理すると、事故要因として地震、豪雨、その他の順で多かった。アンケート調査では 38 名（地環研以外 1 名含む）から回答を得た。「演習により心構えが変わった」が 9 割以上、「自身の組織で自主的な演習を実施したい」が約 7 割と、演習の有効性を示唆する結果が得られた。また、演習のマニュアル等は準備していなかったにも関わらず、自主的な演習に積極的になった参加者が多く、本演習自体が現場で実際に対峙する方の対応力向上に資することを示唆する結果になった。また D. Chem-Core についての回答では、「災害・事故対応時に利用したい」が約 9 割、「日常業務で利用したい」が約 6 割あり、システムの主な目的である災害・事故時の活用だけでなく、高い汎用性・利便性を有するシステムである可能性を示す結果が得られた。演習デザインの改善点としては、参加者の経験年数の違いを考慮できていなかったこと、参加者による自主的な事故シナリオの設定によりある程度管理可能な想定内しやすいシナリオになってしまったこと、説明が不十分だと感じた参加者がいたことなどが挙げられた。本演習では、27 都道府県の地方環境研究所 31 機関のほか、環境省、他の研究機関等からもご参加・ご協力いただいた。また、本研究は、環境省・（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF18S11700）（JPMEERF20231M01）からの支援も受けて実施した。

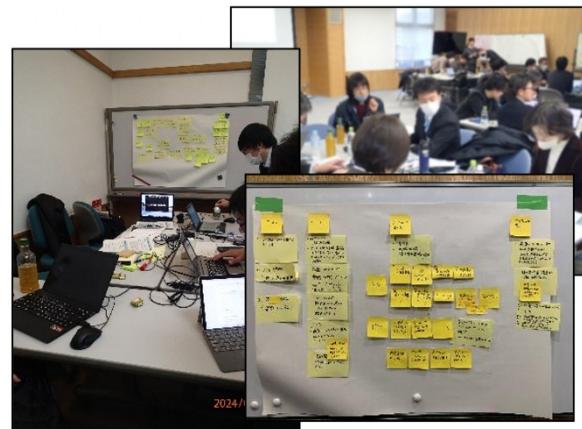


図 1 グループワークの様子

## 猪苗代湖における水質汚濁実態の把握及びその要因解析

福島県

## 1 はじめに

猪苗代湖では湖水 pH の中性化とともに化学的酸素要求量（以下「COD」という。）の上昇も顕著化した。COD の上昇は、湖水中の有機物濃度の上昇を示唆している。水質悪化の未然防止のため、猪苗代湖における水質汚濁実態の把握及びその要因解析が求められている。そこで、対象の湖における水質汚濁実態の把握として、流入負荷と湖内の内部生産について調査した。また、湖水中の有機物濃度の上昇の要因を解析し、そのメカニズムを考察した<sup>[1]</sup>。

## 2 方法

水質汚濁実態の把握として、主要な流入河川（長瀬川、小黒川、高橋川、原川、常夏川、舟津川、菱沼川）を対象とする流量観測や水質調査等から、湖水の COD 上昇の一因として考えられる河川由来の汚濁負荷実態について調べた。また、内部生産の調査のため、猪苗代湖での水質調査、ロガー連続観測等を実施した。さらに、pH 中性化が湖水中の有機物にどのような影響を及ぼしたのか、水質の長期変動の要因を明らかにするため、既存データ<sup>[2][3]</sup>の解析を実施した。

## 3 結果と考察

流入負荷・・・主要な流入河川の調査から、各河川において LQ 式を整備し、年間の汚濁負荷量を算定した。汚濁負荷量が高い長瀬川及び小黒川において、湖水 pH の変化前後での COD 負荷量をマンホイット

ニ一検定により実施したところ、有意差はなかった。

内部生産・・・猪苗代湖での水質調査、ロガー連続観測等を実施し、植物プランクトンによる光合成が有光層で活発に起きていることが分かった。また、公表データ<sup>[2]</sup>から植物プランクトンの細胞数が湖全域で増加していた。そのため、流入河川からの有機物負荷量は過去からほとんど変化していないことが、近年の pH 上昇により、湖内部での生物生産量が増加していることがわかった。

これらのことにより、①、②を考察した（図 1）。①猪苗代湖の pH が酸性だった時には、湖内の生物生産は抑制され、内部生産に由来する有機物が少ない状況であった。②猪苗代湖の pH が中性化した際は、湖内部の生物生産が増加し、内部生産量に由来する有機物量が増加した。

## 4 成果の活用

本研究成果は、福島県が策定する「猪苗代湖及び裏磐梯湖沼水環境保全推進計画」の本文中の参考資料として、活用された。

## 引用文献

- [1] 佐藤貴之：猪苗代湖における pH 中性化後の COD 上昇メカニズムについて、令和元年度成果報告会、(2019).
- [2] 福島県：福島県水質年報. (1974～2017).
- [3] 福島県：福島県環境センタ一年報. (2002～2016).

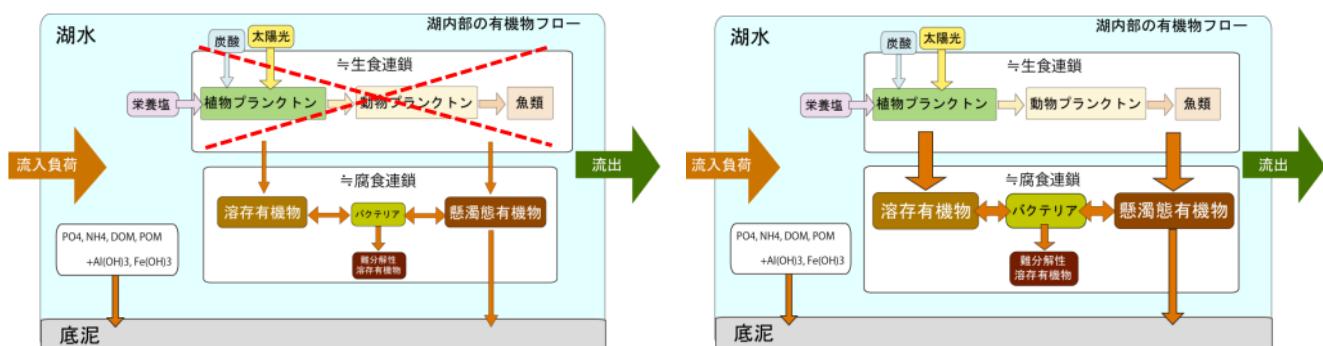


図 1 pH 中性化後の COD 上昇メカニズム考察（左図；湖水酸性時、右図；湖水中性時）<sup>[1]</sup>

# ドローンと衛星画像を用いた猪苗代湖北岸部における 水生植物の窒素・リン含有量の推定

福島県

## 1 はじめに

福島県の猪苗代湖は、湖沼面積日本第4位の酸栄養湖であったが、1996年以降中性化した。猪苗代湖には二面的特徴があり、水深が深く水質が良好な湖心部と、水深が浅く栄養塩類が滞留しやすい北岸部（図1赤枠部、以降「北岸部」という。）に大別される。北岸部では夏から秋にかけて繁茂する浮葉植物や沈水植物などの水生植物が栄養塩類を吸収し、一時的に水質浄化の役割を果たす。そのため、福島県では毎年水生植物の回収事業が行われているが、北岸部における水生植物の面積や栄養塩類の吸収量は未だ不明である。本研究は、北岸部においてドローン写真と衛星画像による判別が可能な浮葉植物の面積と窒素（N）・リン（P）の含有量の推定を行った。

なお、本報告は、茨城大学との共同研究内容を含むものである。

## 2 方法

研究対象地域は猪苗代湖の北岸部水深5m以浅の範囲とした。衛星は無料で利用できる最高地上分解能(10m)及び最短回帰日数(10日)を持つSentinel-2を用い、2016年10月から2024年8月まで(8年間)対象地域付近の衛星データを取得した。また、2022年8月上旬～11月上旬に對象地に繁茂した浮葉植物をドローンで撮影した。以上のデータを地理情報システムArcGIS Proによって解析し、対象地域の正規化植生指標(NDVI)、浮葉植物の面積及び被覆度を算出した。

猪苗代湖の浮葉植物は約9割がヒシであるため、ヒシの被覆度から北岸部の浮葉植物のN・Pの含有量を推定した（式1、2）<sup>[1]</sup>。また、福島県が行ったヒシ回収事業の回収率を評価するため、過去の活動実績を集計し<sup>[2]</sup>、N・Pの回収量を推定した。

$$N\text{含有量}(\text{g}/\text{m}^2) = 0.28 \times \text{水面被覆率}(\%) - 0.35 \quad (1)$$

$$P\text{含有量}(\text{g}/\text{m}^2) = 0.037 \times \text{水面被覆率}(\%) - 0.028 \quad (2)$$

## 3 結果と考察

北岸部の浮葉植物は6月から10月に繁茂し、12月にほぼ消失した。また、植物帶は幅約5.7kmと広範囲に広がっており、衛星写真で確認できる年ごとの最大面積は26.71ha(2019年)～96.42ha(2021年)で9月が最大繁茂期となる傾向であった。年ごとの最大N含有量は5.39t(2019年)～26.89t



図1 猪苗代湖の湖沼図及び北岸部（赤枠）

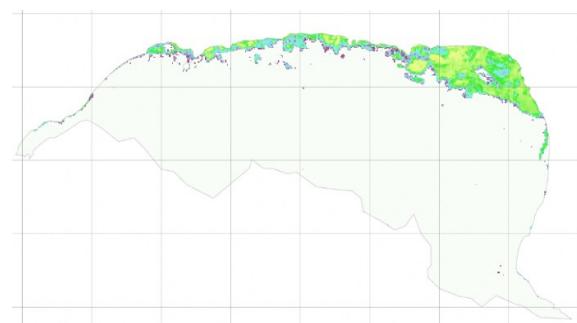


図2 北岸部のNDVIの分布(2021/9/19)

(2021年)、最大P含有量は0.77t(2019年)～3.85t(2021年)であった。回収事業での推定N・P回収量と比較した結果、Nの回収率は1.2%～6.9%、Pの回収率は1.4%～8.2%であった。

## 引用文献

- [1] 牧ら：農業用ため池「前の池」の水質と水生植物の影響、兵庫県農業技術センター研究報告〔農業編〕、43号、pp.31-34（1995）。
- [2] 福島県水・大気環境課：紺碧の猪苗代湖復活プロジェクト会議、2024-7-11、  
[https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16035c/ko\\_npeki-jisseki.html](https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16035c/ko_npeki-jisseki.html)（参照 2024-11-28）

## 猪苗代湖水質予測モデルの構築

福島県

## 1 はじめに

猪苗代湖は日本で4番目の面積を有する大型湖沼であり、福島県内の飲料水、農業用水、観光資源等として利用される重要な水資源である。酸性湖であった猪苗代湖は1990年代以降に中性化が進行し、それに伴って湖中の有機物指標（化学的酸素要求量：COD）の値が上昇し、水質悪化が懸念されている<sup>[1]</sup>。湖は閉鎖性水域であるため、一旦汚濁が進行すると水質を容易に改善することはできず、水質悪化への速やかな対応が求められる。本研究は、猪苗代湖の将来的な水質予測および水質汚濁対策の効果検証を目指し、猪苗代湖水質予測モデル（以下「水質予測モデル」という。）の構築を実施した。

## 2 方法

用いた水質予測モデルは、水の流れを再現する湖水流動モデルにpH・生態系モデルを組み合わせて構築した（図1）。モデルにおける計算格子では、鉛直方向に最大水深で23層、水平方向は、11ボックス（Version①）または45ボックス（Version②）とした。計算期間は、2017年1月1日から2020年9月30日までとした。

## 3 結果と考察

Version①の計算を実施したところ、水質の評価の基準点である湖心の再現性は確保できた（湖心表層COD；R=0.56, RMSE=0.25）。しかしながら、北部浅水

RMSE=0.75–0.81）。この水域は浅くて平坦な地形であり、周囲から流入する栄養塩類が蓄積しやすい<sup>[2]</sup>ため、水生植物が最も繁茂する。繁茂する植物帶は秋期に枯死し、他の水域に比べCODは局所的に高くなっていた。そこで、Version②北部浅水域を再分割した計算を実施した。その結果、北部浅水域では水質項目であるCOD、TN（全窒素）、TP（全リン）、DO（溶存酸素）の再現性が向上した。また、分割後のCODやクロロフィルの計算結果が短時間で変動し、その変動幅も大きくなった。原因として、計算ボックスの細分化により、北部浅水域における降雨流出等の影響やプランクトンの変動に伴う物質循環を再現できたと考えられる。さらに、北岸部浅水域の水質等の調査結果（植生の分布、栄養塩溶出速度等）から、モデルを精緻化し、植生とその回収が水域に与える影響を明らかにした。

## 4 成果の活用

モデル結果や調査結果をとりまとめ、水質浄化対策を実施している行政へフィードバックした。

## 引用文献

- [1] 福島県：「猪苗代湖及び裏磐梯湖沼水環境保全推進計画（令和4年1月）」. (2022).
- [2] 林暁嵐、ほか：猪苗代湖北岸部浅水域の底層水質変動、第57回日本水環境学年会要旨、p.6 (2023).

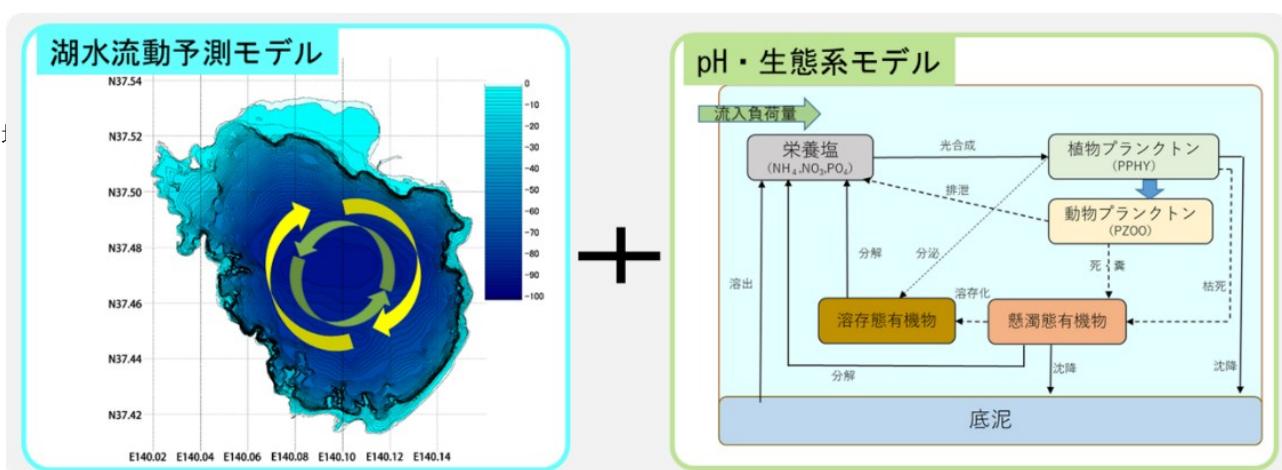


図1 猪苗代湖水質予測モデルの概要

## 猪苗代湖流域における水質改善策の提案

福島県

## 1 はじめに

猪苗代湖の水質は、かつて化学的酸素要求量（以下「COD」という。）0.5mg/L未満など、水質日本一であった<sup>[1]</sup>。しかし平成14年度以降CODが上昇し、県では水質改善を目指し、下水道整備や事業場の排水規制等の点源負荷対策などの施策を講じたが上昇傾向は続いている（令和5年度は1.5mg/L<sup>[2]</sup>）。当センターでは水質改善策の提案に向け、これまで流域で実施されてこなかった対策の中から、植生浄化施設による流入河川の浄化対策を検討することとし、実証試験を行いながら、対策のCOD低減効果の評価と社会実装に向けた課題の抽出を実施することとした。

## 2 方法

文献調査・流入河川の水質調査の結果を踏まえ、湖のCOD上昇の原因となるリンの除去に効果的で、維持管理の容易さも考慮した植生浄化施設の方式を選定した（図1、2）。対象河川は流入河川の一つの赤井川とした。施設は令和4年に設置し、毎月1回の施設入口及び各水槽出口での水質調査と流量・水槽内水位の連続測定を基本とした実証試験等を実施した。

## 3 結果と考察

対象河川の選定に当たり、複数の流入河川の水質調査結果から、流域面積あたりのリン負荷が最も多い河川を候補とした。しかし植生に使用するヨシが水田の雑草となるため地元の理解が得られず、県営公園内を流れる他の河川（赤井川）を対象として施設を設置することになった。水質改善効果を重視し、

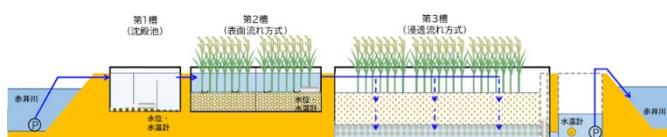


図2 植生浄化施設の状況（令和6年9月）

他の植生の選択肢を準備しなかったことが見直しの原因になったと考えられた。社会実装に当たっては複数の選択肢を提示し、地元の意向を尊重しながら計画作りをすることが重要と考えられた。

施設で河川水を処理した年間を通じた除去率は、浄化対象のリンで5割以上であった（表1）。

県内の高校生、大学生を対象に猪苗代湖の水環境を考えるワークショップを開催し、アンケートを行った結果、半数以上の学生から、本施設を含めた人口湿地による水質浄化については環境負荷やエネルギー消費が少ないなどの好意的な回答が得られた。

別テーマ（猪苗代湖水質予測モデルの構築）の研究により、流域の荒廃農地64haに植生浄化法を社会実装した場合の湖心のCODの低減効果は0.01mg/Lと試算された。この試算結果を受け、他の水質改善策として、近年湖の北岸で繁茂が広がるヒシなどの水草を回収した場合のCOD低減効果等について、試算を行う予定である。

## 引用文献

- [1] 中村玄正, ほか:猪苗代湖の水質変化に及ぼす二面的特性の影響に関する研究, 水利科学, vol. 59 No. 1, pp. 82-99 (2015) .
- [2] 福島県水・大気環境課: 令和5年度猪苗代湖の水質測定結果等, <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/657186.pdf>, (参照 2025-9-25)
- [3] 菅野宏之:猪苗代湖流域におけるヨシ人工湿地を用いた河川の直接浄化に関する研究, 全国環境研究会誌, vol. 49 No. 2, 12-16 (2024) .

表1 植生浄化施設の除去率等

|             | 全リン  |      | SS   |      | COD  |      | 全窒素  |      |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|             | R5   | R6   | R5   | R6   | R5   | R6   | R5   | R6   |
| 入口平均 (mg/L) | 0.23 | 0.23 | 45   | 49   | 10   | 13   | 1.7  | 1.3  |
| 出口平均 (mg/L) | 0.11 | 0.11 | 13   | 16   | 7.2  | 9.2  | 1.0  | 1.0  |
| 除去率 (%)     | 52.2 | 52.2 | 71.1 | 67.3 | 28.0 | 29.2 | 41.2 | 23.1 |

※SS:懸濁物質

## 環境情報技術を活用した地産地消型エネルギー計画・評価手法の開発

国立環境研究所

## 1 はじめに

東日本大震災では国土を覆う広域のエネルギー供給網の脆弱性が示され、非常用電源として地域における分散型エネルギー源の重要性が再認識された。また、原子力発電所事故を経てエネルギー問題や脱原発に関する国民の意識改革が進み、地域の再生可能エネルギー利活用が注目された。こうした中で脱炭素型復興まちづくりの実現に向けて、地方自治体やその他の様々な地域主体による地産地消型エネルギーシステムの導入・普及が注目されている。

## 2 方法

福島県新地町において、環境情報技術の活用による環境配慮型復興まちづくりを進めてきた。その一環として住民向け地域 ICT システム「新地くらしアシストシステム」を開発した（図 1）。また、甚大な津波被害が発生した JR 新地駅周辺の地域において、環境配慮型の地域エネルギー事業が開始された。国立環境研究所はその計画段階において各種の学術的支援を行うとともに、事業開始後はその知見を他地域へ展開するための環境情報技術を開発した。

## 3 結果と考察

新地町内の約 100 世帯の住宅に地域 ICT システムを導入した。このシステムには社会コミュニケーションの円滑化に向けた各種の機能を取り入れたが、とくに住民の省エネルギー行動支援には力を入れており、各住戸の分電盤に取り付けた電力計測器による電力モニタリングと見える化、そのデータを用いた省エネキャンペーン実施、省エネアドバイスレポート発行、省エネ成果報告会などを行った<sup>[1]</sup>。



図 1 地域 ICT システムのエネルギー画面の例

また、JR 新地駅周辺における地域エネルギー事業の計画支援において得られた知見を他地域へ展開するための技術開発として「地域エネルギー計画・評価システム」を構築した（図 2）。この評価システムでは、さまざまな地域において再生可能エネルギーやコーポレート・ソーシャル・レスponsibilityなどを活用した地域エネルギー供給と、その需給バランス最適化のための蓄電池制御や EV 充放電、水素製造、地域における電力余剰吸収によるエネルギー・マネジメント等の効果を算定する<sup>[2]</sup>。そこで、さまざまなシステム構成における計算結果を比較することにより、地域のエネルギー需要や気候条件に応じた最適システムを提案することができる。

## 引用文献

- [1] 平野勇二郎, 牧誠也, 中村省吾, 藤田壯: 福島県新地町における統合的エネルギー・モニタリング解析と電力消費量推定手法の構築. 地球環境, 27 (1), 31-40 (2022).
- [2] Y. Hirano, K. Isozaki, K. Adachi, T. Fijita, K. Gomi, T. Yoshioka, Y. Yoshida: Establishing a local energy planning and evaluation system prototype to support decarbonized community development, Energy and Buildings 332, 115450 (2025).

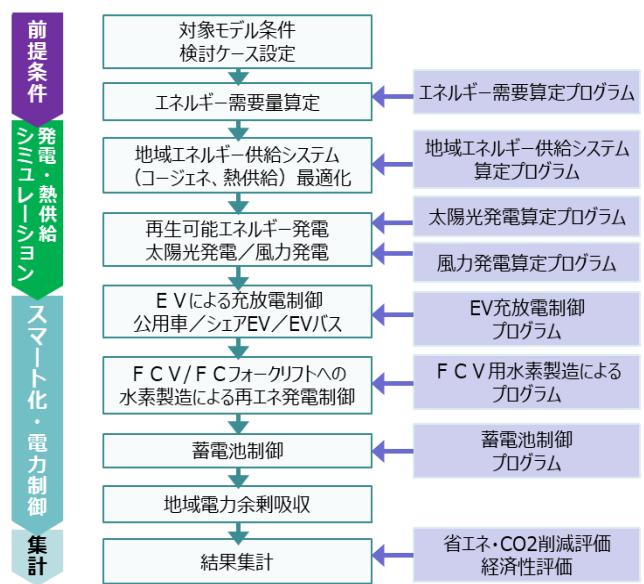


図 2 地域エネルギー計画・評価システムの概要

## 環境創生に向けたステークホルダーアンケート調査

## 地域協働のプラットフォーム構築

国立環境研究所

## 1 はじめに

2017年3月末までに帰還困難区域を除く全ての市町村で面的除染が完了した。また、平成25年4月1日の田村市都路地区を皮切りに、浜通り地域を中心に各市町村で避難指示区域の解除が進んでいる。

本研究では、除染・帰還後の地域コミュニティを対象として、自治体・地域住民組織等のステークホルダーが抱える環境創生に係るニーズの分析、ステークホルダー間の連携の実態分析を進める。加えて、地域コミュニティにおいて環境創生に取り組む多様なステークホルダーが協働するためのプラットフォーム整備の方法論(地域のステークホルダーと連携・協働による協議組織の立ち上げ・運営の方法等)を構築する。

## 2 持続可能な開発目標 (SDGs) の推進にむけた地方自治体職員の取組と認識

持続可能な開発目標 (SDGs) に焦点を当てて2021年1~3月に福島県内市町村の全行政部局(課室)を対象に実施した質問紙調査のデータから、自治体職員のSDGsに対する認識、SDGsに関する取組の実施状況、行政部局の政策実施における地域諸団体との連携の実態、SDGs推進にむけた課題・障壁に対する意識を分析した。

結果、小規模自治体と非環境部局・現業部局でSDGsに関する取組着手が停滞していること、SDGsがガバナンス再構築に及ぼす影響に対する自治体職員の一定の期待があること、自治体におけるSDGs推進の障壁としてのマンパワー不足への認識があることが明らかになった(図1)。

表1 大熊町と双葉町の第二次復興計画における計画策定組織の構成と住民参加手法

| 大熊町第二次復興計画(2015年3月策定) |  | 大熊町第二次復興計画改訂版(2019年3月改訂)   |  | 双葉町復興まちづくり計画(第二次)(2016年12月策定)   |  |
|-----------------------|--|--|--|---|--|
| 主な策定組織                |  | 復興計画検討委員会  |  | 復興計画検討委員会   |  |
| 委員数                   |  | 21   |  | 35  |  |
| 町職員数                  |  | 11   |  | 0   |  |
| 主な策定組織の委員構成           |  | 有識者(1)町職員(11)<br>市民代表(9)<br>※( )は委員数   |  | 有識者(3)町職員(14)<br>公社(1)<br>産業団体(3)   |  |
| 町職員比率                 |  | 52.4%  |  | 71.4%   |  |
| その他策定組織               |  | ■復興計画会議<br>町長・副町長・教育長・役場各課の管理職<br>■復興計画会議専門部会<br>①子育て支援②医療福祉介護③産業振興雇用支援<br>④復興強点づくり<br>町内団体から各部会に5~6名参加<br>※第1次と同様 |  | ■復興まちづくり計画検討会議(町長・町役場各課長)、<br>※第二次と同様、ただし復興計画会議専門部会は設置されず<br>- 有識者会議(部会計画等の専門5名)<br>- 有識者会議(部会計画等の専門5名)                               |  |
| 住民参加手法                |  | ・無定期によるワークショップ<br>・大熊町復興のための中学生による意見発表会<br>・町民アンケート  |  | ・町民ヒアリング(計49名)<br>①いわき市(1団地・10名)<br>②磐梯山(1団地・12名)<br>③会津若松市(2団地・27名)<br>※避難先の復興公営住宅団地の住民で、「磐梯町」<br>る・迷っている」「磐梯しない」方を対象に実施<br>・町民アンケート |  |

## 3 福島原発事故被災自治体の復興計画策定過程における住民参加の変遷

福島第一原子力発電所の立地町であり、事故後に全町避難を実施した大熊町・双葉町を対象として、両町において原発事故後に復興計画の改定が複数回なされるなかで、計画策定過程における住民参加の形態・内容(計画策定組織と住民参加手法)がいかに変遷したのかを時系列で比較・分析した(表1)。データは復興計画の内容、両町の復興計画策定を担当した政策企画部門の職員・復興計画策定委員を務めた有識者へのインタビュー調査から取得した。

結果、大熊町と双葉町の復興計画策定組織と住民参加手法には差異がみられ、その差異は復興計画の改定がなされるなかでも維持されたこと、大熊町・双葉町では全町避難を経て、帰還が進むなかで、移住者や新規事業者などの新たなステークホルダーの復興にむけた意見や要望を収集することを目的として、計画策定組織の構成と住民参加手法が見直されていたこと、両町では町外企業やコンサルタントの強い影響力は、復興計画の策定過程で確認することができなかったことが明らかになった。本研究では分析結果をもとに、浜通り地域における自治の課題および、政府が定める原子力災害の復興法制度・復興政策の課題を指摘した<sup>[1]</sup>。

## 引用文献

[1] 辻岳史, 松岡俊二:福島原発事故被災自治体の復興計画策定過程における住民参加の変遷:大熊町・双葉町を事例として, アジア太平洋討究, 47, 25-48(2023).

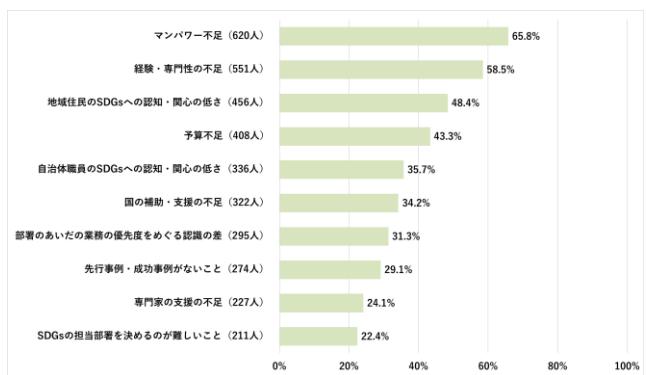


図1 SDGs推進の障壁に対する自治体職員の意識

※「当てはまる」と回答した者の割合

## 正確な情報の効果的な発信のあり方に関する研究

## 福島県民の意識の把握

福島県

## 1はじめに

東日本大震災における原発事故で放出された放射性物質に起因する健康不安は、生活を脅かす社会的問題の素因を成す。社会的問題とは「望む状況」と「現状」の差であり、人々の認識で生じる。そこで、福島県民の不安の様相を知ることを研究の端緒とし、対応を探っていく。

## 2方法

一定期間ごとに同じ質問で社会調査の手法に則した意識調査が、社会的問題の把握に繋がる。福島県政世論調査は県民を母集団に毎年1回、無作為抽出、郵送法で条件を満たす。調査質問にある、『原発事故による長期的な健康に対する不安(以下「健康不安」という。)』、『日ごろ、放射線の影響が気になる(以下「影響」という。)』および『伝えたい』を用いて、災害など他の不安意識との関連を合わせて放射線不安を精査する。

## 3結果と考察

『健康不安』について5択選択肢『①はい、②どちらかと言えば「はい」、③どちらとも言えない、④どちらかと言えば「いいえ」、⑤いいえ』で尋ねている。結果を図1に示す<sup>[1]</sup>。2013年から2024年まで、否定:「⑤いいえ」は安心を、肯定:「①はい」は不安を表わす。時間経過により、不安感が減少し、安心感が増加している。災害や食品など他項目に対する

不安の程度と差が、少なくなってきたている

同様に『影響』の結果を図2に示す。否定:「⑤いいえ」=気にならないが多数である。弱肯定を選びがちな黙認傾向が多少見て取れる。両質問間のポリコリック相関を算出すると、0.65程度で関連している。放射線による不安を示す人々は、食品、生活環境や消費生活に関する不安傾向とも相関がある。

『伝えたい』は、県産物の安全性、放射性モニタリング、観光に関する情報など12項目から選ぶ。項目反応理論を用いて、安全か経済を求める志向に二分しつつあることを示した<sup>[2]</sup>。数量化III類による分析から、『健康不安』と『影響』の両方とも否定を選ぶ安心派(25.2%)、両方とも肯定あるいは弱肯を選ぶ不安派(12.7%)とそれ以外(62.1%)に区別される。

県民の放射線による不安は、他項目の不安に比べて特別な対応が必要なレベルとは言えないが、不安を感じないと主張する25.2%を除けば、強弱はあるが不安感を持っていることを意識する必要がある。

## 引用文献

- 篠田佳彦:福島県政世論調査から読み解く福島県民の意識、令和4年度環境創造センター成果報告会、P20、(2022).
- 篠田佳彦:福島県政世論調査:「知りたいこと」と「伝えたいこと」、令和5年度環境創造センター成果報告会、P47、(2023).

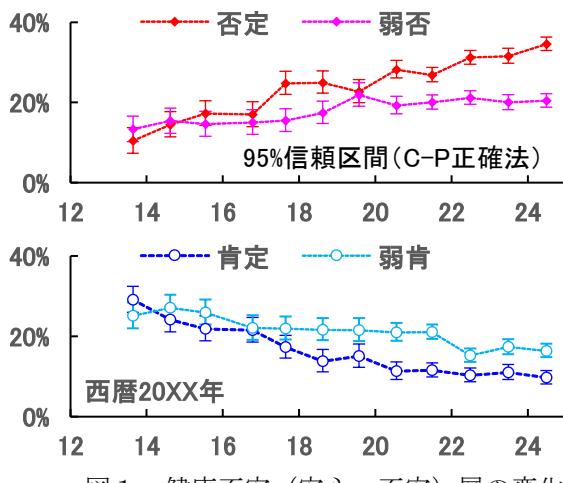


図1 健康不安(安心、不安)層の変化

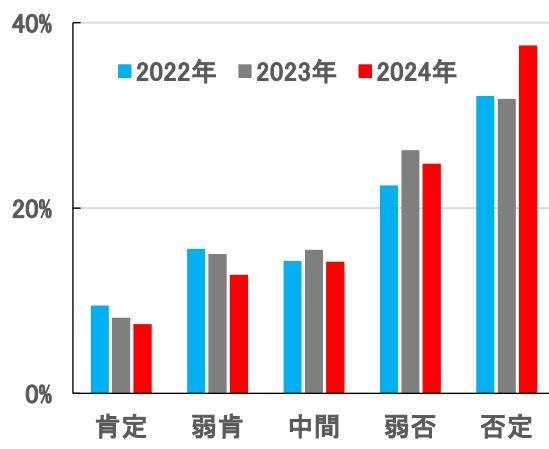


図2 影響(放射線が気になる)層の変化

## 正確な情報の効果的な発信のあり方に関する研究

### 「正確さとわかりやすさ」の実践と意義

福島県

#### 1 諸言

東日本大震災における原発事故直後から、市民が抱く放射線による不安解消を目指した啓蒙活動が行われた。しかし、目的の不安解消が成されたとは言い難い。知識付与が放射線関連の問題を解決する決め手と見る活動は今も続き、更なる強化が促されている<sup>[2]</sup>。

当センターでは、2019年度から開始した研究事業フェーズ2において、正確な情報の効果的な発信のあり方に関する研究が追加された<sup>[3]</sup>。ここでは、情報における「正確さとわかりやすさ」を要点に、受け手が抱く放射線リスクへの不安との関係を明らかにし、改善への道を示していく。

#### 2 方法

牛海綿状脳症による健康不安に対する英国政府の活動が、科学技術に対する市民への対応のあり方を変える契機となり、不安や忌避は知識不足に拠るものではないと報告された<sup>[1]</sup>。その後に発行され、関連する活動などに関する報告書や論文を精査して情報における「正確さとわかりやすさ」の意味やそれが求められる要因について明らかにしていく。そして、周知における資料に求められる要件を示す。

#### 3 結果と考察

安全は個々人の価値観に依存する社会的な手続きである<sup>[2]</sup>。多くの啓蒙活動は、「科学的」を前面に感情を非科学的と排斥する。力の非対称を強く持つ対象間のやり取りでは、「科学的」は政治的なものを隠匿する手段として用いられることがある。弱い立場の被説明者では「科学的」に対峙することは簡単ではない。対峙する手段として、ゼロリスクや安心を持ち出すことで感情面に訴える。不安を有する被説明者が寄り添いや判断の代行を求めていれば、知識情報は正確でわかりやすくとも有用にはなりえない。

また、やり取りを成すコミュニケーションには感情の促しが根底にある。そこで、不安を打ち消すために感情を否定することを求める知識情報伝達は、コミュニケーションそのものが不全となりうることが懸念される。このとき、「わからない」とする否定は求めていることが異なる意味を持つ場合がある。

これらを念頭に、わかりやすさを追求していく。

まず、重要なことは意識である。情報の受け手を想定し、求めていることの把握が第一歩になる。そして、無の自分に説明するつもりで情報を整理することが肝要となる。このとき、「安全」、「安心」、「リスク」、「リスクコミュニケーション」など一般的に使われていても、多用される用語・語句は意味することを共通認識とすることも重要である。

その上で、説明手順を「理由・根拠→ゆえに→結論・主張」形式から「結論・主張→なぜなら→理由・根拠」形式とすることを前提にする。後者は一般的な思考になる。定義の共通化は最初に成すべきだが、適度な長さに抑える。そして、話すより聞く。

技法としては、「一文を短く」が原則である。一文中に主語と述語が1個ずつ、一文一要素とすることなどで主張が誤解されずに伝わる情報に近づく。読点「、」は省略かつ多用せず、句点「。」で文と文の繋がりが明確にしていく。特に、プレゼンでは句点を意識し、話の間とする。判断基準として、6歳の子供、日本語が堪能でない外国人などに伝わること、機械翻訳で正確な外国語に翻訳できることなどが挙げられる。さらに、やさしい日本語支援システム（例えば、やんしす<sup>[3]</sup>）などを適用するのも算段である。

ただし、分かりやすさの追求は、小手先の技法の前に説明意図を含む心構えを重視するべきである。

#### 4 結言

行政や専門家の多くは、市民の認知バイアスによって不安や拒否が生じると考える傾向が強くなり、啓蒙に目が向く。しかし、「自分にはバイアスがないと考えるバイアス」が、盲点である。啓蒙から脱し、放射線不安が知識不足によるとする見解を疑うことで見える対策に目をむけるべきである。

#### 引用文献

- [1] House of Lords: Third Report-Science and Society, (2000).
- [2] 岸本充生：安全とは作法である, SYNODOS <https://synodos.jp/opinion/society/18165/>, (参照 2025-2-28)
- [3] www.spcom.ecei.tohoku.ac.jp/aito/YANSIS/, (参照 2025-2-28)

## 省エネ行動の促進に向けたモデルの検討

福島県

## 1 はじめに

福島県では、福島県地球温暖化対策推進計画に基づき、省エネに関する普及啓発等を実施している。環境配慮行動に関する様々なモデルが提唱されており、それらを参考にすることで普及啓発を効果的に実施できると考えられる。一方で、自治体によって普及啓発等の取組が異なるため、人々の省エネに関する様々な認知や取組状況が異なると考えられる。

本研究では、福島県における省エネに関する普及啓発を、より効果的にすることを目的として、福島県民に適した省エネ行動のモデルを検討した。

なお、本報は、日下部ら（2022）<sup>[1]</sup>において学会発表されているものを引用している。

## 2 方法

広瀬（1994）<sup>[2]</sup>の提唱した二段階モデルを参考として、仮説モデルを構築した。

2020 年にインターネットでのアンケート調査により、福島県民の省エネ行動の実施度とその規定因について測定した。調査対象は調査会社に登録されている福島県居住のモニター（20 歳以上の男女 1,800 人）とした。回答形式は全て 6 段階のリッカート尺度とした。

肯定的な回答～否定的な回答を 6～1 点と得点化し、「省エネ行動」の実施度及び「行動意図」については、それぞれ 6 種類の項目を統合（6～36 点）した。

仮説モデルについて共分散構造解析を行い、修正指標等を参考にして最適なモデルを検討した。

## 3 結果と考察

得点化したアンケート結果（平均値）は次のとおり。省エネ行動：25.1、行動意図：27.8、環境態度：4.5、便益・費用評価：3.6、記述的規範：3.6、主観的規範：3.3、行動知識：3.8、危機感：4.6、責任感：4.4、対処有効性認知：4.4。

得点化したアンケート結果を用いて、共分散構造解析を行った（図 1）。モデルについて、有意水準 5% で有意なパスを実線、有意でないパスを破線とした。各説明変数の「省エネ行動」への標準化総合効果は「行動意図」が 0.72 と最も大きく、次いで「対処有効性認知」「危機感」「記述的規範」がそれぞれ 0.18、0.15、0.14 と比較的大きい値を示した。そのため、これら 3 つの要素について、県民の認知を向上させることにより、効果的に「省エネ行動」を促進できると考えられる。

## 4 成果の活用

本研究成果について、省エネ行動の普及啓発を行う際の参考資料として関係課へ情報提供した。

## 引用文献

- [1] 日下部一晃, ほか: 福島県民の省エネ行動に関するモデルの検討, 環境情報科学 51-1 第 18 回環境情報科学ポスターセッション発表要旨集, p. 81 (2022).
- [2] 広瀬幸雄: 環境配慮的行動の規定因について, 「社会心理学研究」第 10 卷第 1 号, pp. 44-55 (1994).

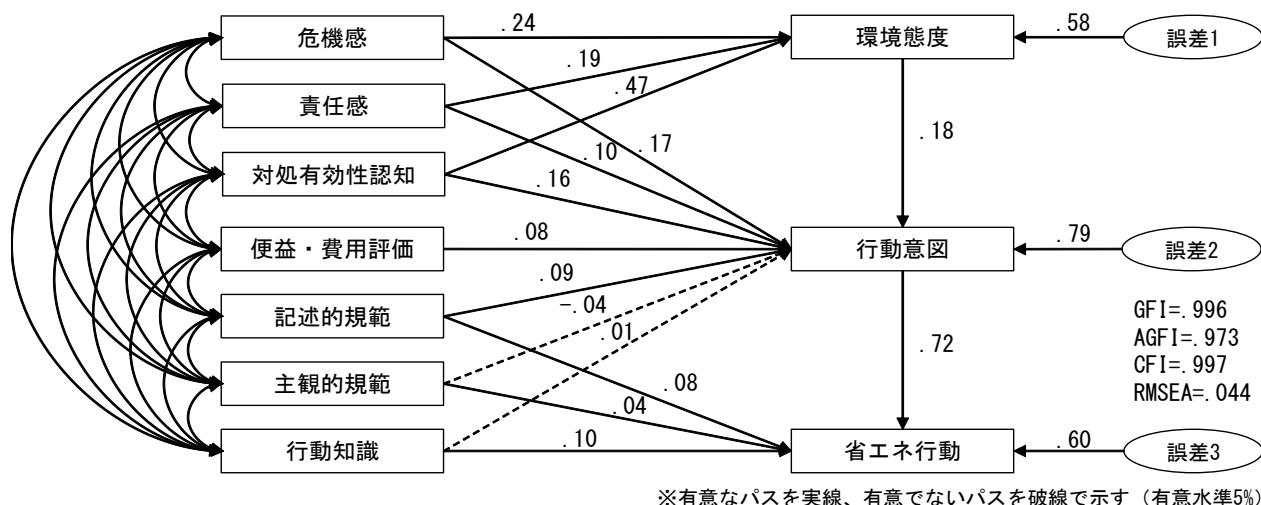


図 1 検討した省エネ行動に関するモデルとパス係数

## いわき地域における将来の洪水による間接被害の動学推計

福島県

## 1 はじめに

福島県では気候変動への適応策等を効果的に進めるための基礎データとして、福島大学と連携して「福島県の気候変動と影響の予測」（令和5年3月）を取りまとめている。「福島県の気候変動と影響の予測」（以下「県報告書」という。）<sup>[1]</sup>では、7分野で気候変動の影響を分析しているが、このうち産業・経済活動分野への影響を定量的に推計することは重要な課題であると考えられる。

自然災害による経済被害は、直接被害と間接被害に大きく分けられる。直接被害とは、災害時の建物や機械・設備といったストックの被害を指し、間接被害は営業停止やサプライチェーンの寸断、需要・投資の減少によるフローの被害を指す。本研究では、福島県において気候変動が産業・経済活動分野に与える間接被害について推計することを目的とする。

## 2 方法

県報告書で潜在的洪水被害額が最大であった、いわき地域を対象とした。間接被害を含む長期の潜在的洪水被害額について、動学的応用一般均衡モデル（Dynamic Computable General Equilibrium Model、以下「DCGEモデル」という。）を用いて推計した。洪水被害による直接被害を生産設備＝資本ストックの減少ととらえ<sup>[2]</sup>、それが各産業の生産量や家計消費にどのような変化をもたらすか分析した。

表1 分析に用いたシナリオ

| シナリオ                     | 内容                        | 対象期間                   |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| 現在                       | 評価基準期間における実績              | 評価基準期間<br>[1981-2000年] |
| SSP1-2.6<br>(持続可能なシナリオ)  | 持続可能な発展の下で、気温上昇を2°C未満に抑える | 2100年期<br>[2061-2100年] |
| SSP2-4.5<br>(化石燃料依存シナリオ) | 中道的な発展のもとで、気候政策を導入する      |                        |
| SSP5-8.5<br>(化石燃料依存シナリオ) | 化石燃料依存型の発展の下で、気候政策を導入しない  |                        |

分析に用いるシナリオには、県報告書で用いられたSSP (Shared Socio-economic Pathways) シナリオからSSP1-2.6(持続可能なシナリオ)、SSP2-4.5(中道発展シナリオ)、SSP5-8.5(化石燃料依存シナリオ)の3つを用いた（表1）。分析対象期間は2100年期とし、動学シミュレーションの期間は20年とした。

## 3 結果と考察

分析の結果、以下の3つの結論を得た。

- 1) いわき地域において将来の気候変動下で洪水が発生した場合、SSP1-2.6シナリオでは約34億円、SSP2-4.5シナリオでは約84億円、SSP5-8.5シナリオでは約641億円の間接被害が生じる可能性が示唆された（図1）。
- 2) 3つのSSPシナリオの結果を比較すると、気候変動が激甚化するにつれ、直接被害額に対する間接被害額の割合が高まる傾向がみられた。
- 3) 3つのSSPシナリオの結果を比較すると、気候変動が激甚化するにつれ、間接被害を受ける産業部門の数は増える傾向がみられた。また、被害を受けた産業部門における生産量および家計消費も大きく低下する傾向がみられた。

## 引用文献

[1] 福島県：福島県の気候変動とその影響の予測。(2023).

[2] 西鶴 & 武藤：山梨県における動学CGEモデルを用いた洪水被害に着目した地球温暖化の影響評価。土木学会論文集G(環境), 73(6), 391-402(2017).

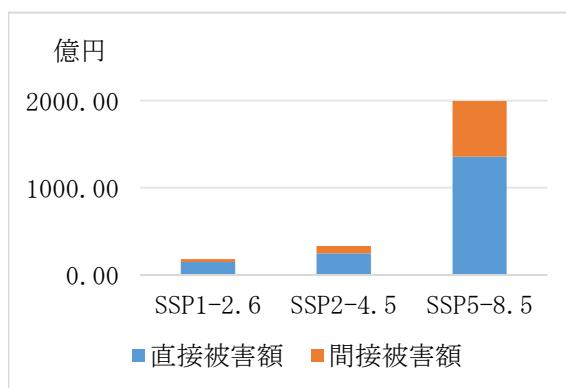


図1 分析結果

## 引用・参考文献リスト

|  |       |
|--|-------|
| 避難指示区域解除に向けた外部被ばく線量評価手法の開発と社会への活用  | P. 22 |
| [1] 原子力規制庁:放射性物質の分布状況等に関する調査 成果報告書,<br><a href="https://radioactivity.nra.go.jp/ja/docs/reps/rad-dist">https://radioactivity.nra.go.jp/ja/docs/reps/rad-dist</a> .   |       |
| [2] Sato R. et al.: Assessment of individual external exposure doses based on environmental radiation in areas affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. Environ. Int., 194, 109148 (2024).                            |       |
| 水中での放射線測定技術の開発 (ROV、PSF)   | P. 24 |
| [1] E. Katengeza et al.: The Ecological half-life of radiocesium in surficial bottom sediments of five ponds in Fukushima based on it in situ measurements with Plastic Scintillation Fibers. Environ. Sci. Proc. Imp., 22, 1566–1576 (2020).  |       |
| [2] E. Katengeza et al.: Optimizing calibration factors of plastic scintillation fibers for improved accuracy of it in situ radiocesium concentration measurements in bottom sediments of agricultural ponds. Cogent Eng., 11, 2340203 (2024). |       |
| 森林内におけるセシウム循環と林産物等に与える影響に関する解析的検討  | P. 30 |
| [1] Kurikami et al.: Numerical study of transport pathways of <sup>137</sup> Cs from forests to freshwater fish living in mountain streams in Fukushima, Japan. J. Environ. Radioact., 208–209, e106005 (2019).                                |       |
| [2] 操上広志: 菌根菌のセシウム <sup>137</sup> 濃度の変化傾向から想定される移行経路に関する解析的検討. 第 10 回環境放射能除染研究発表会, S1-7 (2021).  |       |
| [3] Hashimoto et al.: Dynamics of radiocaesium within forests in Fukushima—results and analysis of a model inter-comparison. J. Environ. Radioact., 238–239, e106721 (2021).   |       |
| [4] 操上広志, ほか: 森林管理の追加対策が木材中 Cs 濃度に与える影響に係る解析的検討. 第 13 回環境放射能除染研究発表会, P2-04 (2024).   |       |
| 地衣類、コケを用いた放射性セシウム挙動研究への活用  | P. 32 |
| [1] T. Dohi et al.: Accumulation mechanisms of radiocaesium within lichen thallus tissues determined by means of in situ microscale localisation observation. PLoS ONE, 17(7), e0271035 (2022).  |       |
| [2] DiPalma et al.: Testing mosses exposed in bags as biointerceptors of airborne radiocaesium after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident. Chemosphere, 308, 136179 (2022).   |       |
| 大気中の放射性セシウム調査  | P. 33 |
| [1] G. Steinhauer et al.: Post-Accident Sporadic Releases of Airborne Radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Site. Environ. Sci. Technol., 49, 14028–14035 (2015).   |       |
| [2] 土井妙子, ほか: つくばと飯館における福島第一原発事故由来の大気中放射性セシウム濃度の変化と高濃度現象の要因. RADIOTOPES, 68, 83-104 (2019).  |       |
| [3] ICRP: ICRP Publication 71 Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides – Part 4 Inhalation Dose Coefficients. (1996).   |       |
| [4] 公益財団法人原子力安全研究協会: 新版 生活環境放射線 (国民線量の算定) (2011).  |       |

|   |       |
|---|-------|
| 除染廃棄物のシャフト式ガス化溶融処理における放射性セシウムの揮発促進  | P. 61 |
| [1] Noda et al.: Behavior of radioactive cesium during direct melting treatment of decontamination waste with and without Cl-containing additives. <i>Process Saf. Environ. Prot.</i> , 143, 186–195 (2020).<br>[2] Kuramochi et al.: HCl emission during co-pyrolysis of demolition wood with a small amount of PVC film and the effect of wood constituents on HCl emission reduction. <i>Fuel</i> , 87, 3155–3157 (2008).  |       |
| 除染廃棄物等焼却施設における放射性 Cs の焼却残渣への移行・溶出挙動   | P. 62 |
| [1] 藤原大, ほか: 除染廃棄物等焼却施設における放射性 Cs の焼却残渣への移行・溶出挙動調査. 第 27 回廃棄物資源循環学会研究発表会 要旨集, pp. 365–366 (2016).<br>[2] Fujiwara et al.: Behavior of radioactive cesium during incineration of radioactively contaminated wastes from decontamination activities in Fukushima. <i>J. Environ. Radioactivity</i> , 178–179, 290–296 (2017).<br>[3] 大迫政浩, ほか: 放射性セシウムを含む廃棄物の焼却処理. <i>都市清掃</i> , 65, pp. 23–27 (2012).  |       |
| 福島県を流れる河川における放射性セシウムの経時変化   | P. 77 |
| [1] M. Aoyama K, Hirose: Radiometric determination of anthropogenic radionuclide in seawater, “Radioactivity in the environment”, Ed. by P.P. Povinec, Elsevier, pp. 137–162 (2008).<br>[2] 森田裕子, ほか: 陽イオン交換樹脂を用いる放射性セシウムの除去. <i>分析化学</i> , 62 (6), 541–545 (2013).   |       |
| 阿武隈川と福島県浜通り複数河川における河川水質と土地利用の関係   | P. 79 |
| [1] K. Taniguchi et al.: Transport and Redistribution of Radiocesium in Fukushima Fallout through Rivers. <i>Environ. Sci. Technol.</i> , 53(21), 12339–12347 (2019).   |       |
| 地衣類を放射性セシウム降下量の指標に適用する試み  | P. 95 |
| [1] P.L. Nimis : Radiocesium in plants of forest ecosystems. <i>Studia Geobotanica</i> . 15, 3–49 (1996).<br>[2] T. Dohi et al.: Radiocaesium activity concentrations in parmelioid lichens within a 60 km radius of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. <i>J. Environ. Radioact.</i> , 146, 125–133 (2015).<br>[3] 土肥輝美: 1-3 フォールアウトを記録する生物・地衣類. 「原子力機構の研究開発成果 2015」, 日本原子力研究開発機構 (2015).  |       |
| 福島県における淡水魚の放射性セシウム汚染と汚染経路の解明  | P. 97 |
| [1] Y. Ishii et al.: Different factors determine <sup>137</sup> Cs concentration factors of freshwater fish and aquatic organisms in lake and river ecosystems. <i>J. Environ. Radioact.</i> , 213, e106102 (2020).<br>[2] M. Sakai et al.: Contrasting seasonality of <sup>137</sup> Cs concentrations in two stream animals that share a trophic niche. <i>Environ. Pollut.</i> , 315, e120474 (2022).<br>[3] Y. Ishii et al.: Contrasting radiocesium transfer in the river and lake food webs: Importance of trophic level and food source. <i>J. Environ. Radioact.</i> , 263, e107184 (2023). |       |
| 野生山菜への放射性セシウム移行調査   | P. 98 |
| [1] S. Hayashi et al.: Explaining the variation in <sup>137</sup> Cs aggregated transfer factor for wild edible plants as a case study on Koshiabura ( <i>Eleutherococcus sciadophylloides</i> ) buds. <i>Sci. Rep.</i> , 13, e14162 (2023).<br>[2] M. Sakai et al.: Exploring simple ways to avoid collecting highly <sup>137</sup> Cs-contaminated <i>Aralia elata</i> buds for the revival of local wild vegetable cultures. <i>PLoS ONE</i> , 19, e0292206 (2024).  |       |

|   |        |
|---|--------|
| <p><b>環境動態研究におけるシミュレーション研究の10年</b></p> <p>[1] 長尾郁也, ほか: 福島における放射性セシウムの環境動態研究の現状 (平成30年度版). JAEA-Research 2019-002 (2019).</p> <p>[2] K. Sakuma et al.: Watershed-Geochemical Model to Simulate Dissolved and Particulate <math>^{137}\text{Cs}</math> Discharge From a Forested Catchment. <i>Water Resour. Res.</i> 58, e2021WR031181 (2022).</p> <p>[3] K. Sakuma et al.: Simulation study on <math>^{3}\text{H}</math> behavior in the Fukushima coastal region: Comparison of influences of discharges from the Fukushima Daiichi and rivers. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 192, 115054 (2023).</p> <p>[4] M. Kim et al.: Simulation study of the effects of buildings, trees and paved surfaces on ambient dose equivalent rates outdoors at three suburban sites near Fukushima Dai-ichi. <i>J. Environ. Radioact.</i>, 210, e105803 (2019).</p> <p>[5] A. Malins et al.: Calculations for ambient dose equivalent rates in nine forests in eastern Japan from <math>^{134}\text{Cs}</math> and <math>^{137}\text{Cs}</math> radioactivity measurements. <i>J. Environ. Radioact.</i>, 226, e106456 (2021).</p> <p>[6] H. Kurikami et al.: Numerical study of transport pathways of <math>^{137}\text{Cs}</math> from forests to freshwater fish living in mountain streams in Fukushima, Japan. <i>J. Environ. Radioact.</i>, 208-209, e106005 (2019).</p> | P. 99  |
| <p><b>河川流域及び沿岸域における放射性物質動態モーリング</b></p> <p>[1] K. Sakuma et al: Watershed-Geochemical Model to Simulate Dissolved and Particulate <math>^{137}\text{Cs}</math> Discharge From a Forested Catchment. <i>Water Resour. Res.</i> 58, e2021WR031181 (2022).</p> <p>[2] K. Sakuma et al: Simulation study on <math>^{3}\text{H}</math> behavior in the Fukushima coastal region: Comparison of influences of discharges from the Fukushima Daiichi and rivers. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 192, 115054 (2023).</p>   | P. 100 |
| <p><b>流域モデルによる陸域での放射性物質の中長期予測</b></p> <p>[1] H. Kurikami et al.: Coupling the advection-dispersion equation with fully kinetic reversible/irreversible sorption terms to model radiocesium soil profiles in Fukushima Prefecture. <i>J. Environ. Radioact.</i>, 171, 99-109 (2017).</p>   | P. 101 |
| <p><b>ツキノワグマとイノシシの筋肉中放射性セシウム濃度の季節変動</b></p> <p>[1] Y. Nemoto et al.: Seasonal variation of Cesium-137 concentration in Asian black bear (<i>Ursus thibetanus</i>) and wild boar (<i>Sus scrofa</i>) in Fukushima Prefecture, Japan. <i>PLoS One</i>, 13(7), e0200797 (2018).</p>  | P. 103 |
| <p><b>イノシシの筋肉中放射性セシウム濃度と胃内容物の関係</b></p> <p>[1] Y. Nemoto et al.: Effects of <math>^{137}\text{Cs}</math> contamination after the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident on food and habitat of wild boar in Fukushima Prefecture. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i> 225, 106342 (2020).</p>  | P. 104 |
| <p><b>ツキノワグマの遺伝的個体群間における放射性セシウム汚染の違い</b></p> <p>[1] Y. Nemoto et al.: Difference in radionuclide contamination among genetic populations of Asian black bear in Fukushima. <i>Ursus</i>, in press (2025).</p>   | P. 105 |
| <p><b>ツキノワグマの行動と利用場所の線量率の季節変化</b></p> <p>[1] Y. Nemoto et al.: Seasonal variation of Cesium-137 concentration in Asian black bear (<i>Ursus thibetanus</i>) and wild boar (<i>Sus scrofa</i>) in Fukushima Prefecture, Japan. <i>PLoS One</i>, 13(7), e0200797 (2018).</p> <p>[2] Y. Nemoto et al.: Effects of <math>^{137}\text{Cs}</math> contamination after the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident on food and habitat of wild boar in Fukushima Prefecture. <i>J. Environ. Radioact.</i>, 225, e106342 (2020).</p>  | P. 106 |

|  |        |
|--|--------|
| ツキノワグマの行動、食性、および食物中の放射性セシウム濃度  | P. 107 |
| [1] Y. Nemoto et al.: Seasonal variation of Cesium-137 concentration in Asian black bear ( <i>Ursus thibetanus</i> ) and wild boar ( <i>Sus scrofa</i> ) in Fukushima Prefecture, Japan. <i>PLoS One</i> , 13(7), e0200797 (2018).<br>[2] Y. Nemoto et al.: Effects of <sup>137</sup> Cs contamination after the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident on food and habitat of wild boar in Fukushima Prefecture. <i>J. Environ. Radioact.</i> , 225, e106342 (2020).  |        |
| 鳥類のセシウム 137 濃度のモニタリング  | P. 108 |
| [1] 福島県: 「野生鳥獣の放射線モニタリング調査」, <a href="https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/wildlife-radiationmonitoring1.html">https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/wildlife-radiationmonitoring1.html</a> (参照 2025-09-04)<br>[2] R. Saito, et al.: Monitoring <sup>137</sup> Cs concentrations in bird species occupying different ecological niches; game birds and raptors in Fukushima Prefecture. <i>J. Environ. Radioact.</i> , 197, 67-73 (2019).<br>[3] 斎藤梨絵, ほか: 福島県内のカワウ ( <i>Phalacrocorax carbo</i> ) の体内に含まれる放射性セシウム濃度のモニタリング調査. <i>環境放射能除染学会誌</i> , 10(4), 157-164 (2022). |        |
| イノシシの筋肉中のセシウム 137 濃度と胃内容物中に含まれるセシウム 137 の存在形態の関係   | P. 109 |
| [1] R. Saito, H. Tsukada, Chapter23. Physicochemical fractions of radiocesium in the stomach contents of wild boar and its transfer to muscle tissue. In "Behavior of Radionuclides in the Environment III" Ed. By K. Nanba, A. Konoplev, T. Wada, Springer Nature Singapore Pte Ltd, pp. 495-505 (2022).<br>[2] R. Saito et al.: Relationship between radiocaesium in muscle and physicochemical fractions of radiocaesium in the stomach of wild boar. <i>Sci. Rep.</i> , 10(1), e6796 (2020).   |        |
| イノシシ体内に含まれるセシウム 137 含有量推定方法の検討 -体組織別調査と焼却残渣調査-   | P. 110 |
| [1] 斎藤梨絵, ほか: イノシシ体内に含まれる放射性セシウム量推定方法の検討-体組織別調査と焼却残渣調査の実施. <i>環境放射能除染学会</i> , 7(3), 165-173 (2019).  |        |
| 帰還困難区域周辺におけるイノシシ筋肉中の放射性セシウム濃度のモニタリング   | P. 113 |
| [1] R. Saito, et al.: Monitoring of radioactive cesium in wild boars captured inside the difficult-to-return zone in Fukushima Prefecture over a five-year period. <i>Sci. Rep.</i> , 12, e5667 (2022).  |        |
| 福島県内における野生傷病鳥獣のセシウム 137 のモニタリング  | P. 114 |
| [1] 村上 貴恵美, ほか: 福島県内における野生傷病鳥獣のセシウム 137 のモニタリング. 「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)研究成果報告書」, pp. 79-80 (2024).  |        |
| 福島県内におけるキジ( <i>Phasianus colchicus</i> )の行動調査  | P. 115 |
| [1] 神田 幸亮, ほか: 福島県内におけるキジ( <i>Phasianus colchicus</i> )の行動調査. 「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)研究成果報告書」, p. 90 (2024).   |        |
| ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収率  | P. 116 |
| [1] 小松 仁, ほか: ブタにおける消化管内での安定セシウム吸収率. 「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点(ERAN)研究成果報告書」, p. 77 (2024).  |        |
| イノシシの胃内容物組成分析  | P. 117 |
| [1] 菅原 裕弥, ほか: 福島県のイノシシ( <i>Sus scrofa</i> )の胃内容物分析. 「日本哺乳類学会会要旨集」, p. 180 (2023).   |        |

|  |        |
|--|--------|
| イノシシの消化管内容物の元素分析<br>[1] 小松 仁, ほか: 福島県内の野生イノシシにおける消化管内容物中の酸不溶性灰分の組成.<br>「飼育野生動物栄養研究会要旨集」, (2023).   | P. 118 |
| ゲルマニウム半導体測定装置及び非破壊式簡易測定装置における測定値の比較検証<br>[1] 厚生労働省:「非破壊検査法による食品中の放射性セシウムスクリーニング法について(令和3年3月26日付け厚生労働省医薬・生活衛生局食品監視安全課事務総務),<br><a href="https://www.mhlw.go.jp/content/11135000/000760358.pdf">https://www.mhlw.go.jp/content/11135000/000760358.pdf</a> (参照 2025-09-29)<br>[2] 厚生労働省: 食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の検討. 「令和6年度 厚生労働科学研究費補助金 (食品の安全確保推進研究事業). 食品中の放射性物質等検査システムの評価手法の開発に資する研究 (23KA1006) . 研究分担報告書」, (2025). | P. 119 |
| イノシシの行動圏調査<br>[1] B. J. Worton: Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. <i>Ecology</i> , 70(1), pp. 164-168 (1989).  | P. 120 |
| 低線量放射線等による生物影響評価<br>[1] J. Garnier-Laplace et al.: Fukushima Wildlife Dose Reconstruction Signals Ecological Consequences. <i>Environ. Sci. Technol.</i> , 45, 5077-5078 (2011).<br>[2] T. Okano et al.: Effects of environmental radiation on testes and spermatogenesis in wild large Japanese field mice ( <i>Apodemus speciosus</i> ) from Fukushima. <i>Sci. Rep.</i> , 6, e23601 (2016).                     | P. 121 |

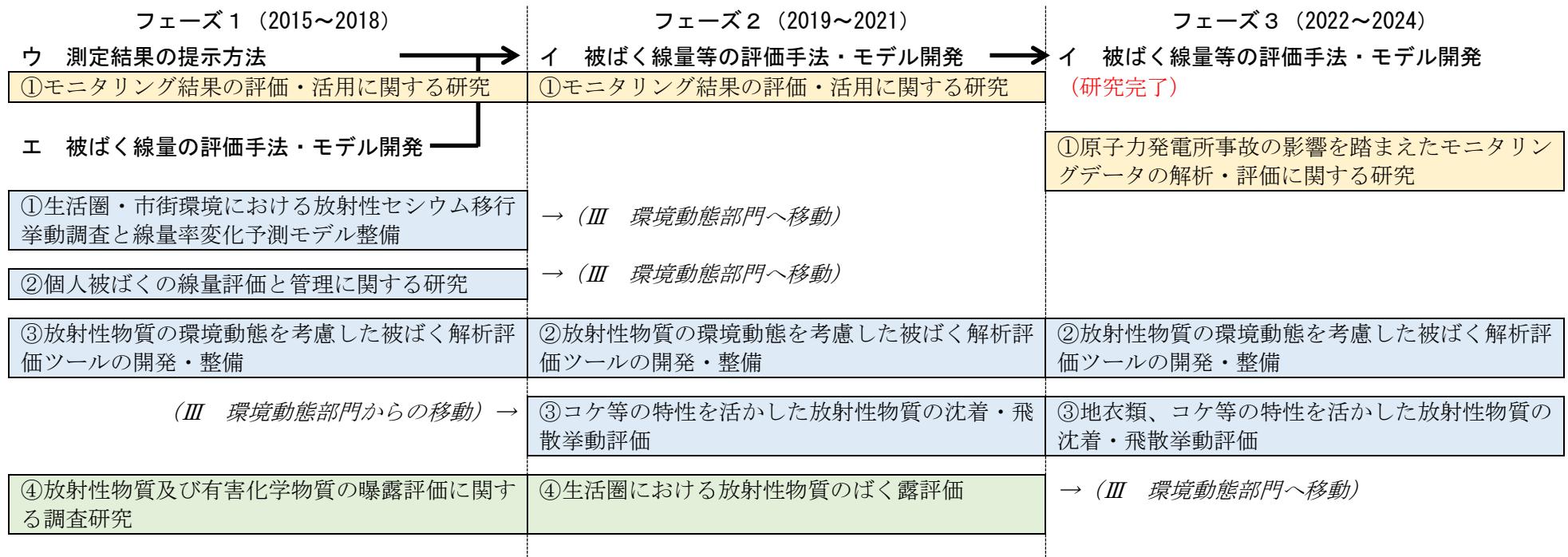
## 參考資料

## フェーズ1～フェーズ3における調査研究課題の変遷

### 【I 放射線計測部門】 (1/2)

| フェーズ1 (2015～2018)               |   | フェーズ2 (2019～2021)                         | フェーズ3 (2022～2024)                |
|---------------------------------|---|---|----------------------------------|
| ア 分析手法の開発                       | → | ア 分析・測定技術の開発                              | ア 分析・測定技術の開発                     |
| ①放射性核種の簡易・迅速な分析法の開発             |   | ①モニタリング等に活用するための放射性物質の分析・測定法の研究           | ①動態解明等のための放射性物質の分析法の高度化          |
| ②放射能分析技術の高度化                    |   | ②放射性物質分析技術の高度化                            | ②放射性物質分析技術の高度化                   |
| イ 測定技術の開発                       | → | → (ア① モニタリング等に活用するための放射性物質の分析・測定法の研究 と統合) |                                  |
| ①空間線量及び放射性物質の測定技術に関する研究         |   | ③避難指示区域における詳細な線量評価手法の確立と経時変化の解析           | ③避難指示区域解除に向けた放射線測定技術開発と原子力防災への適用 |
| ②無人ヘリによる放射能・線量測定技術の高度化          |   |   |                                  |
| ③広域放射線観測飛翔体に関する研究開発             |   |   |                                  |
| ④水中放射線挙動監視・測定技術の開発              |   |   |                                  |
| ⑤水中放射性物質測定技術の開発                 |   |   |                                  |
| ⑥簡易可視化技術を用いた森林エリア放射線分布測定技術の応用研究 |   | (研究完了)                                    |                                  |

【I 放射線計測部門】 (2/2)



【Ⅱ 除染・廃棄物部門】 (1/2)

フェーズ1 (2015~2018)

ア 除染・移動抑制技術の開発

①河川・湖沼等の放射性物質の除去技術に関する研究

②放射性セシウムの移動抑制技術開発

イ 除染効果の評価及び環境への影響評価

①除染効果の評価に関する研究

②環境回復技術支援のための除染シミュレーションに基づいた除染技術支援  
- 「除染活動支援システム (RESET)」の適用評価

フェーズ2 (2019~2021)

ア 除染等に関する継続的な技術支援

①放射性物質対策の効果持続性の把握

(研究完了)

(研究完了)

→ (ア① 放射性物質対策の効果持続性の把握 に統合)

(研究完了)

③除去土壤等の保管等に係る適正管理手法の確立

(研究完了)

フェーズ3 (2022~2024)

【Ⅱ 除染・廃棄物部門】 (2/2)

フェーズ1 (2015~2018)

ウ 減容化技術の開発・高度化

①一般廃棄物焼却施設における放射性物質を含む廃棄物の適正処理に関する研究

②除去土壤等の分別・減容等処理技術開発

③放射性物質を含む廃棄物等の減容化技術の開発・高度化

エ 廃棄物等の管理手法・適正処理処分技術の開発

①除去土壤や除染廃棄物の処理等の技術的課題に対する研究

②仮置場等の安全性評価及び住民合意形成手法に関する研究

③廃棄物の埋立処分後の放射性セシウムの挙動に関する研究

④放射性物質に汚染された廃棄物の安全な再利用に関する研究

⑤資源循環・廃棄物処理過程におけるフロー・ストックの適正化技術と管理手法の確立

⑥低汚染廃棄物等の最終処分、及び除去土壤等の中間貯蔵プロセスの適正化と長期管理手法

フェーズ2 (2019~2021)

イ 廃棄物等の適正処理・再生利用技術の確立

①廃棄物の処理における放射性物質等の適正管理手法の確立

(研究完了)

②放射性物質を含む廃棄物等の減容化技術の開発・高度化

フェーズ3 (2022~2024)

ア 廃棄物等の適正処理・再生利用技術の確立  
(研究完了)

②最終処分に向けた除去土壤等の減容化・処分技術システムの開発

→ (ア③ 除去土壤等の保管等に係る適正手法の確立 に移動)

→ (ア③ 除去土壤等の保管等に係る適正手法の確立 に移動)

③廃棄物処理施設等における放射線影響についての安全性評価

※テーマの一部は、イ①に移動

①廃棄物処理施設等における放射線影響についての安全性評価

④資源循環・廃棄物処理過程におけるフロー・ストックの適正化技術と管理手法の確立

③帰還困難区域等での廃棄物・資源循環フローと事故由来放射能汚染廃棄物対策の検証

⑤低汚染廃棄物等の最終処分、及び除去土壤等の中間貯蔵プロセスの適正化と長期管理手法

→ (ア② 最終処分に向けた除去土壤等の減容化・処分技術システムの開発 に統合)

イ 地域循環共生圏の創造に向けたバイオマス利活用技術の確立

①資源循環等の推進に向けたバイオマスの有効利活用に関する研究

②対策地域内等におけるバイオマス利活用技術及びシステムの開発

JAEA

NIES

福島県

【Ⅲ 環境動態部門】 (1/2)

フェーズ1 (2015~2018)

ア 移行挙動評価

①放射性核種の環境中における移行挙動に関する研究

②森林域における放射性セシウム移行挙動調査と環境動態モデル構築

③河川における放射性セシウム移行挙動調査

④ダム・溜め池における放射性セシウム移行挙動調査

⑤河口域における放射性セシウム移行挙動調査

⑥環境動態を支配するミクロ量放射性核種の微視的挙動解明

⑦環境中の放射性セシウム沈着挙動評価

⑧流域圏における放射性セシウムの動態解明

フェーズ2 (2019~2021)

ア 移行挙動評価

①放射性核種の環境中における移行挙動の実態把握及び将来予測に関する研究

②森林域における環境動態及び林産物への放射性物質の移行挙動に関する研究

③水域における環境動態及び水産物への放射性物質の移行挙動に関する研究

④固相-核種相互作用及びCs捕捉・吸脱着メカニズム解明

→ (I 放射線計測部門への移動)

⑤流域スケールでの生物利用性放射性セシウムの動態解明

⑥放射性セシウムの生物移行特性評価と将来予測

フェーズ3 (2022~2024)

ア 移行挙動評価

①放射性核種の環境中における移行挙動の実態把握及び将来予測に関する研究

②森林生態系における放射性物質の環境動態に関する研究

③水域における環境動態及び水産物への放射性物質の移行挙動に関する研究

④環境中放射性核種の固液間相互作用機構の解明

⑤流域スケールでの生物利用性放射性セシウムの動態解明と発生抑制策の評価

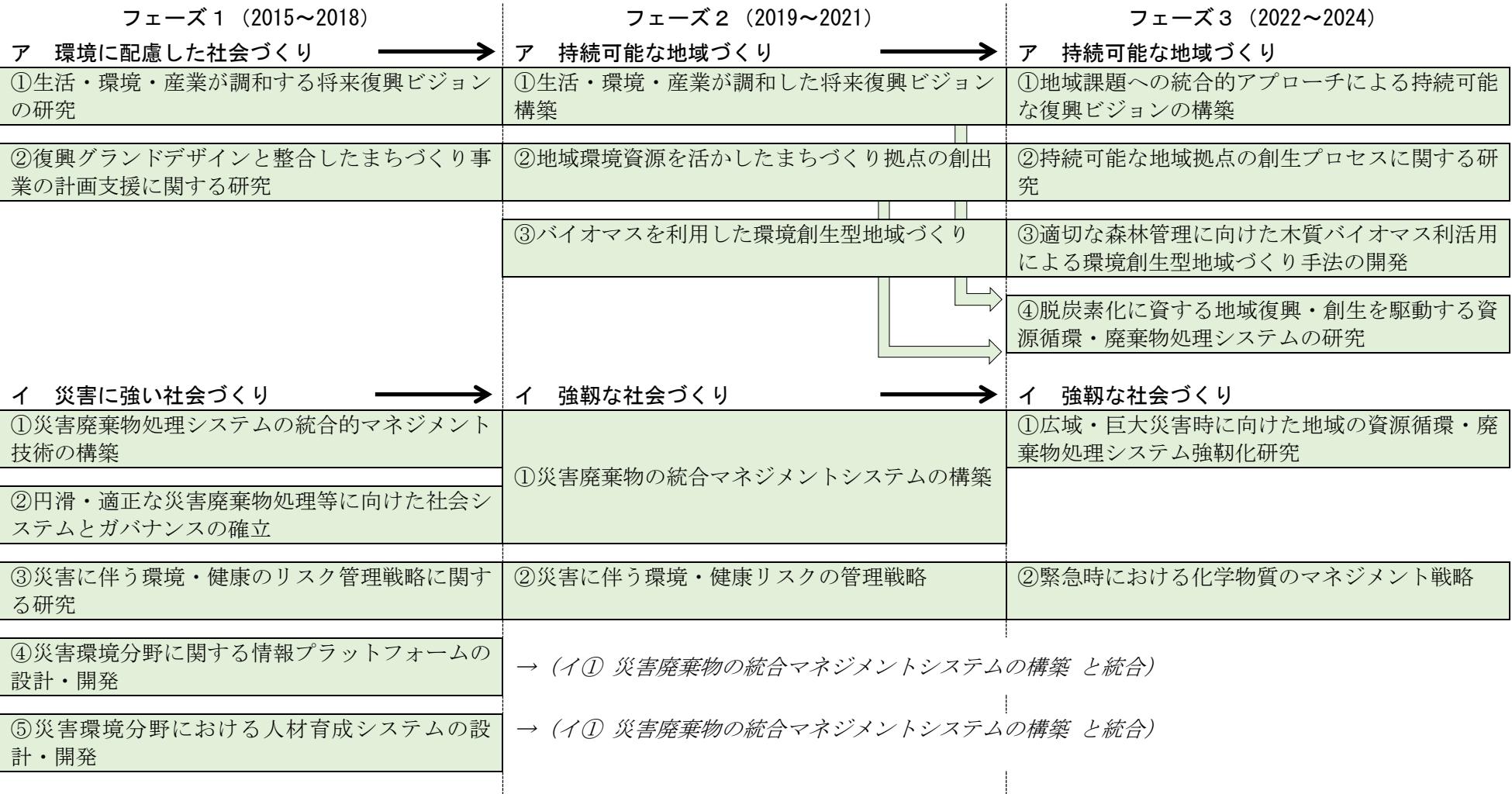
⑥放射性セシウムの生物移行特性評価と将来予測  
(放射線計測部門から一部移動)→



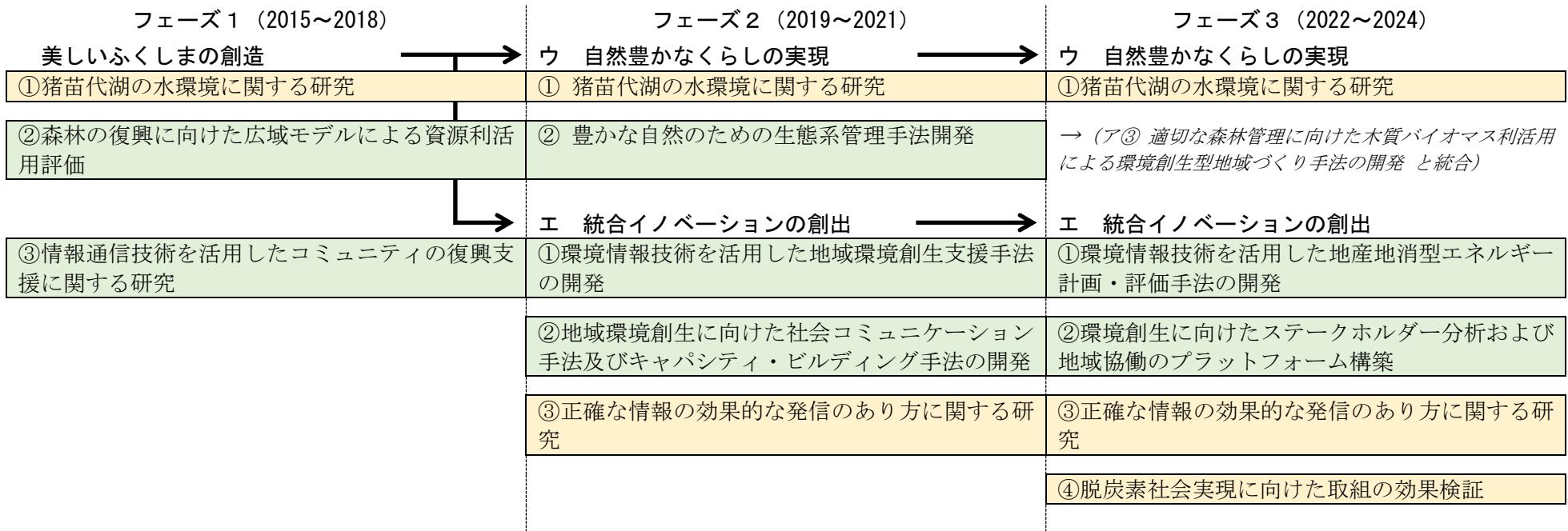
【Ⅲ 環境動態部門】 (2/2)

| フェーズ1 (2015~2018)                    |   | フェーズ2 (2019~2021)                           | フェーズ3 (2022~2024)             |
|--------------------------------------|---|---|-------------------------------|
| <b>イ 移行モデル</b>                       | → | <b>イ 移行モデル</b>                              | →                             |
| ①(再掲) 放射性核種の環境中における移行挙動に関する研究        |   | →(ア① 放射性核種の環境中における移行挙動の実態把握及び将来予測に関する研究に統合) |                               |
| ②(再掲) 森林域における放射性セシウム移行挙動調査と環境動態モデル構築 |   |   | ①陸水域動態モデルの開発                  |
| ③放射性セシウムの河川・ダム・ため池・河口域における移動解析モデルの開発 |   | ①陸水域動態モデルの開発                                |                               |
| ④福島県内の広域を対象とした土壤流亡解析モデルの開発           |   |   |                               |
| ⑤流域圏における多媒体環境モデリング                   |   | ②流域圏における多媒体環境モデリング                          | ②原子力発電所事故後初期の環境挙動の実態解明        |
| (I 放射線計測部門から一部移動) →                  |   | ③福島の環境影響評価を総合的に行う包括的評価システムの整備               | ③福島の環境影響評価を総合的に行う包括的評価システムの整備 |
| <b>ウ 野生生物への影響把握</b>                  | → | <b>ウ 生態系への影響把握</b>                          | →                             |
| ①野生生物における放射性核種の挙動及び行動予測に関する研究        |   | ①野生動物に対する原子力発電所事故の影響に関する研究                  | ①野生動物に対する原子力発電所事故の影響に関する研究    |
| ②放射線等の生物影響評価                         |   | ②放射線等の生物影響評価                                | ②原発周辺における指標生物の平時モニタリング        |
| <b>エ 生態系管理手法等</b>                    | → |   |                               |
| ①生態系・景観変化の実態調査                       |   |   | ③生態系の実態把握と回復研究                |
| ②かく乱された生態系の回復研究                      |   | ③生態系の実態把握と回復研究                              |                               |

【IV 環境創造部門】 (1/2)



【IV 環境創造部門】 (2/2)



## 東日本大震災～令和5年度までの主な動き

※「令和6年度版福島県環境白書-本編-」より引用

### 【原子力発電所について】

#### 平成23年(2011年)

3月11日・東日本大震災発生。

〃・国が東京電力福島第一原子力発電所（以下「福島第一」）について、原子力緊急事態宣言。

〃・国が福島第一の半径3km圏内に避難指示。

12日・国が東京電力福島第二原子力発電所（以下「福島第二」）について、原子力緊急事態宣言。

〃・国が福島第二の半径3km圏内に避難指示、半径10km圏内に屋内退避指示。

〃・福島第一1号機原子炉建屋で水素爆発。

〃・国が福島第二の半径10km圏内に避難指示。

〃・国が福島第一の半径20km圏内に避難指示。

14日・福島第一3号機原子炉建屋で水素爆発。

15日・福島第一4号機原子炉建屋で水素爆発。

〃・国が福島第一の半径20～30km圏内に屋内退避指示。

18日・国が原発事故の深刻度を「レベル5」と暫定評価。

4月12日・原子力安全・保安院が原発事故の評価を「レベル7」に訂正。

17日・東京電力が原発事故収束に向けた工程表

「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」を発表。

5月20日・東京電力が、福島第一7, 8号機増設中止と1～4号機の廃炉を正式決定。

6月18日・県、立地町が東日本大震災後はじめて、福島第一の原発事故収束作業を現地調査。

7月14日・福島第一において、循環注水冷却システムが稼働。

19日・「福島第一原子力発電所・事故収束に向けた道筋」のステップ1の目標（原子炉の安定的な冷却等）を達成し、ステップ2（原子炉の冷温停止状態等）へ移行。

10月20日・県議会が県内原発の全基廃炉の請願を採択。

11月30日・県が県内原発の全基廃炉を要請する方針を表明。

12月16日・「福島第一原子力発電所・事故収束に向けた道筋」のステップ2が完了。

21日・ステップ2以降の廃炉工程表として、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ（以下「中長期ロードマップ」）」を決定。

26日・国が福島第二の原子力緊急事態宣言を解除。

#### 平成24年(2012年)

1月31日・東京電力が、福島第二の冷温停止維持に係る設備等の復旧計画を提出。

5月17日・福島第二4号機の復旧が完了。

6月20日・原子力規制委員会設置法が成立。

7月5日・国会事故調査委員会が報告書をとりまとめ。

23日・政府事故調査委員会が最終報告書をとりまとめ。

9月19日・原子力規制委員会が発足。

10月11日・福島第二3号機の復旧が完了。

11月7日・国が福島第一を原子炉等規制法に基づく特定原子力施設に指定。

12月7日・県が廃炉安全監視協議会を設置。

## 平成 25 年(2013 年)

- 2月 15 日・福島第二 2 号機の復旧完了。
- 3月 28 日・東北電力が浪江・小高原発の建設計画中止を発表。
- 30 日・福島第一において、「多核種除去設備 (A L P S)」の試運転開始。
- 4月 1 日・県原子力安全対策課に原子力専門員配置。
- 5月 30 日・福島第二 1 号機の復旧が完了。
- 福島第二の冷温停止の維持設備の本設復旧が全ての号機で完了。
- 6月 27 日・政府廃炉対策推進会議が、中長期ロードマップを改訂。
- 7月 11 日・県が廃炉安全監視協議会環境モニタリング評価部会を設置。
- 22 日・福島第一 4 号機原子炉建屋の燃料取り出し用カバーの設置完了。
- 8月 4 日・県が廃炉安全確保県民会議を設置。
- 9月 3 日・国が汚染水問題に関する基本方針を決定。
- 19 日・県が廃炉安全監視協議会労働者安全衛生対策部会を設置。
- 20 日・安倍首相が福島第一を視察し、東京電力に 5, 6 号機の廃炉を要請。
- 10月 1 日・県原子力安全対策課に原子力対策監配置。
- 12月 18 日・東京電力は福島第一 5, 6 号機の廃炉方針を決定。
- 20 日・国は廃炉・汚染水問題に対する追加対策を決定。
- 汚染水問題に対する予防的重層的な対策が示される。

## 平成 26 年(2014 年)

- 4月 1 日・楢葉町役場内に原子力安全対策課楢葉町駐在員を配置。
- 5月 21 日・福島第一において、地下水バイパス計画による地下水の海への排出を開始。
- 12月 22 日・福島第一 4 号機の使用済燃料プールから全ての燃料の取り出しを完了。

## 平成 27 年(2015 年)

- 1月 7 日・県、双葉町、大熊町は東京電力との旧安全協定を見直し、新たに「福島第一原子力発電所の廃炉等の実施に係る周辺地域の安全確保に関する協定」を締結。
- 6月 12 日・政府は廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議を開催し、「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」を改訂。
- 9月 14 日・福島第一において、サブドレン処理済水を海へ排出開始。

## 平成 28 年(2016 年)

- 2月 24 日・東京電力が福島第一原発事故当時における通報・報告状況(炉心溶融等の公表遅れ)について公表。
- 3月 18 日・福島第一において、雑固体廃棄物焼却設備による焼却開始。
- 31 日・福島第一において、陸側遮水壁(凍土方式)の凍結開始。
- 4月 1 日・原子力安全対策課楢葉町駐在員を楢葉原子力災害対策センターへ移転。
- 9月 1 日・県、周辺 11 市町村は東京電力と「福島第一原子力発電所の廃炉等の実施に係る周辺市町村の安全確保に関する協定」を新たに締結。

## 平成 29 年(2017 年)

- 9月 26 日・政府は廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議を開催し、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」を改訂。

## 平成 30 年(2018 年)

- 2月 21 日・福島第一において、3 号機燃料取り出し用カバーのドーム屋根の設置完了。
- 6月 14 日・東京電力は福島第二の全基を廃炉とする方針を公表。

## 平成 31 年・令和元年(2019 年)

3 月 27 日・福島第一において、フランジ型タンクに貯留している多核種除去設備 (ALPS) 等処理水の移送が完了。

9 月 30 日・東京電力が経済産業大臣へ福島第二における発電事業変更届書（9 月 30 日廃止日）を提出。

12 月 26 日・県、楢葉町、富岡町は東京電力との旧安全協定を見直し、新たに「福島第二原子力発電所の廃炉等の実施に係る周辺地域の安全確保に関する協定」を締結。

〃・県、周辺 11 市町村は東京電力と「福島第二原子力発電所の廃炉等の実施に係る周辺市町村の安全確保に関する協定」を新たに締結。

27 日・政府は廃炉・汚染水対策関係閣僚等会議を開催し、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」を改訂。

## 令和 2 年(2020 年)

4 月 29 日・福島第一において、1/2 号機排気筒の解体が完了。

12 月 11 日・福島第一において、ALPS 処理水の貯留タンク全数（約 137 万 m<sup>3</sup>）の設置が完了。

## 令和 3 年(2021 年)

2 月 28 日・福島第一 3 号機の使用済燃料取り出し完了。

4 月 13 日・政府は廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議を開催し、「東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」を決定。

6 月 23 日・福島第二において、廃止措置に着手。

12 月 28 日・政府は ALPS 処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた関係閣僚等会議を開催し、「ALPS 処理水の処分に関する基本方針の着実な実行に向けた行動計画」を決定。

## 令和 4 年(2022 年)

8 月 4 日・福島第一において、ALPS 処理水希釈放出設備等の設置工事に着手。

## 令和 5 年(2023 年)

8 月 24 日・福島第一において、ALPS 処理水の海洋放出を開始。

## 【除染について】

### 平成 23 年(2011 年)

7 月 22 日・除染アドバイザーを委嘱。

8 月 2 日・町内会等による自主的除染への助成開始。

26 日・国が除染の基本的な考え方を決定。

30 日・放射性物質汚染対処特措法一部施行。

9 月・除染アドバイザー派遣開始。

10 月 4 日・除染業務講習会開催。(10 月～)

13 日・県生活環境部に環境回復推進監を設置。

〃・県除染対策課が発足。

〃・県が除染・廃棄物対策推進会議設置。

11 月 11 日・国が放射性物質汚染対処特措法に基づく基本方針により土壌等の除染等の措置に関する基本的事項等決定。

- 14日・県が除染技術実証事業、面的モデル除染事業を開始。  
27日・除染の推進に向けての「安心・安全フォーラム」の開始。(11月～)

- 12月 9日・「除染計画策定マニュアル」作成。  
〃・除染対策事業交付金受付開始。  
28日・除染特別地域に11市町村、汚染状況重点調査地域に40市町村が指定される。

### 平成24年(2012年)

- 1月 1日・放射性物質汚染対処特措法全面施行。  
14日・放射線・除染講習会開催。  
18日・除染情報プラザが開所。(除染専門家派遣、除染情報発信等)  
26日・国が原発周辺の除染工程表を発表。  
31日・除染業務に係る技術指針公表。
- 2月 28日・汚染状況重点調査地域に追加指定(柳津町)。県内指定41市町村。
- 3月 29日・「福島県面的除染の手引き」作成。
- 4月 13日・田村市、楢葉町、川内村の特別地域内除染実施計画策定。  
18日・南相馬市の特別地域内除染実施計画策定。
- 5月 13日・除染対話フォーラム開催。(5月～)  
24日・飯舘村の特別地域内除染実施計画策定。
- 6月 5日・放射線・除染講習会開催。(6月～)
- 7月 18日・仮置場現地視察会。(7月～)  
25日・田村市の本格除染着手。
- 8月 10日・川俣町の特別地域内除染実施計画策定。
- 9月 4日・川内村の本格除染着手。  
6日・楢葉町の本格除染着手。  
25日・飯舘村の本格除染着手。  
28日・葛尾村の特別地域内除染実施計画策定。
- 11月 21日・浪江町の特別地域内除染実施計画策定。
- 12月 27日・汚染状況重点調査地域の指定解除(昭和村)。県内指定40市町村。  
28日・大熊町の特別地域内除染実施計画策定。

### 平成25年(2013年)

- 4月 25日・葛尾村、川俣町の本格除染着手。
- 5月 17日・除染管理目標の設定の考え方(暫定版)提示。
- 6月 24日・大熊町の本格除染着手。  
26日・富岡町の特別地域内除染実施計画策定。  
28日・田村市において計画に基づく除染終了。
- 8月 26日・南相馬市の本格除染着手。  
28日・仮置場現地視察会。  
〃・仮置場等技術指針(第1版)公表。  
29日・仮置場設置事例集策定。
- 9月 10日・除染の進捗状況についての総点検。
- 11月 27日・浪江町の本格除染着手。
- 12月 26日・特別地域内除染実施計画の変更。  
(6市町村:南相馬市、飯舘村、川俣町、葛尾村、浪江町、富岡町)

### 平成26年(2014年)

- 1月 8日・富岡町の本格除染着手。
- 2月 28日・除染業務に係る技術指針(第2版)公表。

3月31日・計画に基づく除染が終了（川内村、楢葉町、大熊町）。

6月 6日・仮置場等技術指針（第2版）公表。

7月15日・双葉町の特別地域内除染実施計画策定。

11月17日・汚染状況重点調査地域の指定解除（三島町）。県内指定39市町村。

12月 ・帰還困難区域における拠点施設等の除染開始（大熊町）。

### 平成27年（2015年）

1月30日・放射性物質汚染対処特措法施行規則の一部改正。

2月 ・帰還困難区域における拠点施設等の除染開始（双葉町、富岡町）。

3月 2日・双葉町の本格除染着手。

13日・中間貯蔵施設保管場への除去土壤等のパイロット輸送開始。

26日・仮置場等技術指針（第3版）公表。

12月31日・葛尾村、川俣町において、計画に基づく除染終了。

### 平成28年（2016年）

3月31日・仮置場等技術指針（第4版）公表。

〃 ・双葉町において、計画に基づく除染終了。

9月 8日・汚染状況重点調査地域の指定解除（矢祭町）。

11月29日・汚染状況重点調査地域の指定解除（塙町、柳津町）。

12月31日・飯館村において、計画に基づく除染終了。

### 平成29年（2017年）

1月31日・富岡町において、計画に基づく除染終了。

3月31日・南相馬市、浪江町において、計画に基づく除染終了。除染特別地域の11市町村の面的除染が終了。

・汚染状況重点調査地域の36市町村の面的除染が概ね終了。

7月14日・除染情報プラザを「環境再生プラザ」へ名称変更。

18日・環境再生プラザとしてリニューアルオープン。

8月30日・仮置場等技術指針（第5版）公表。

12月25日・双葉町の特定復興再生拠点区域整備に向けた除染を開始。

### 平成30年（2018年）

3月 9日・大熊町の特定復興再生拠点区域整備に向けた除染を開始。

19日・汚染状況重点調査地域の36市町村の面的除染が全て終了。

5月30日・浪江町の特定復興再生拠点区域整備に向けた除染を開始。

7月 6日・富岡町の特定復興再生拠点区域整備に向けた除染を開始。

9月28日・飯館村の特定復興再生拠点区域整備に向けた除染を開始。

11月20日・葛尾村の特定復興再生拠点区域整備に向けた除染を開始。

### 平成31年・令和元年（2019年）

3月25日・汚染状況重点調査地域の指定解除（会津坂下町、湯川村、会津美里町）。

12月18日・仮置場等技術指針（第6版）公表。

### 令和2年（2020年）

3月16日・汚染状況重点調査区域の指定解除（鮫川村）。

### 令和3年（2021年）

12月27日・汚染状況重点調査地域の指定解除（大玉村）。

## 令和 4 年(2022 年)

3 月 31 日・汚染状況重点調査地域の指定解除(本宮市、桑折町、田村市)。

・除染特別地域の指定解除(田村市)。

6 月 12 日・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(葛尾村)。

30 日・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(大熊町)。

・汚染状況重点調査地域の指定解除(須賀川市、鏡石町、天栄村)。

8 月 30 日・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(双葉町)。

9 月 30 日・汚染状況重点調査地域の指定解除(小野町、白河市、泉崎村、中島村、矢吹町、相馬市)。

## 令和 5 年(2023 年)

3 月 31 日・汚染状況重点調査地域の指定解除(福島市、二本松市、国見町、郡山市、三春町)。

・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(浪江町)。

4 月 1 日・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(富岡町)面拠点。

5 月 1 日・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(飯舘村)。

9 月 29 日・汚染状況重点調査地域の指定解除(伊達市)。

11 月 30 日・特定復興再生拠点区域の避難指示解除(富岡町)点・線拠点。

12 月 20 日・特定帰還居住区域の避難指示解除に向けた除染を開始(双葉町、大熊町)。

## 令和 6 年(2024 年)

3 月 29 日・汚染状況重点調査地域の指定解除(いわき市、新地町、西郷村)。

### 【廃棄物について】

#### 平成 23 年(2011 年)

3 月 31 日・県災害廃棄物処理対策協議会設置。

5 月 16 日・国が東日本大震災に係る災害廃棄物の処理指針を策定。

8 月 18 日・東日本大震災により生じた災害廃棄物の処理に関する特別措置法施行。

30 日・放射性物質汚染対処特措法一部施行。

10 月 13 日・県が除染・廃棄物対策推進会議を設置。

11 月 11 日・国が放射性物質汚染対処特措法に基づく基本方針により汚染された廃棄物の処理に関する基本的事項を決定。

12 月 28 日・汚染廃棄物対策地域に 11 市町村が指定される。

#### 平成 24 年(2012 年)

1 月 1 日・放射性物質汚染対処特措法全面施行。

3 月・福島県東日本大震災災害廃棄物処理基金設置。

6 月 11 日・国が対策地域内廃棄物処理計画を策定。

#### 平成 25 年(2013 年)

8 月・県が福島県東日本大震災に係る災害廃棄物処理加速化指針を策定。

9 月 10 日・国が福島県の災害廃棄物等の処理進捗状況についての総点検を発表。

12 月 14 日・環境・復興両大臣から知事、大熊・双葉・富岡・楢葉町長へ既存管理型処分場の活用の要請(中間貯蔵施設設置についても要請)。

26 日・国が対策地域内廃棄物処理計画を見直し。

## 平成 26 年(2014 年)

2 月 1 2 日・既存管理型処分場の活用計画案の見直しについて、知事から環境・復興両大臣へ申入れ。

3 月 2 7 日・既存管理型処分場の活用計画案に関する県からの申入れに対し国から回答。

4 月 1 9 日・既存管理型処分場の活用に関する檜葉町住民説明会を開催(県同席)。

(4 月 20 日まで延べ 2 日間、286 名参加。)

6 月 8 日・既存管理型処分場の活用に関する富岡町住民説明会を開催(県同席)。

(6 月 14、15 日の延べ 3 日間、496 名参加。)

## 平成 27 年(2015 年)

3 月 3 0 日・東日本大震災で増加した廃棄物の発生状況を踏まえ、県が福島県廃棄物処分計画を 1 年前倒しして改定。

6 月 5 日・環境大臣が、知事及び富岡・檜葉両町長に対して、既存管理型処分場の更なる安全対策や国有化の考え方を提示。

2 7 日・既存管理型処分場の活用に関する富岡町住民説明会を開催(県同席)。

(6 月 28 日まで延べ 2 日間、231 名参加。)

7 月 1 9 日・既存管理型処分場の活用に関する檜葉町住民説明会を開催(県同席)。

(7 月 20 日まで延べ 2 日間、97 名参加。)

8 月 2 5 日・知事、富岡・檜葉両町長から環境大臣及び環境・復興両副大臣へ安全対策等に関する申入れ。

11 月 1 6 日・8 月 25 日の申入れを踏まえ、再度、国が考え方を提示。

2 4 日・知事が、国が行う既存管理型処分場を活用した特定廃棄物の埋立処分事業に関して、県から富岡・檜葉両町へ 100 億円を交付することを表明。

12 月 4 日・知事、富岡・檜葉両町長から環境大臣、復興副大臣に対して、国の埋立処分事業を容認する旨を回答するとともに、国が以下の 4 項目に責任を持って対応するよう申入れ。

※ 4 項目の申入れ内容

- ① 地元への丁寧な対応
- ② 処分場の国有化と県・両町との安全協定の締結
- ③ 県・両町との協議の上での輸送計画策定
- ④ 両町の地域振興策の具体化

## 平成 28 年(2016 年)

4 月 1 8 日・国が既存管理型処分場を国有化。

6 月 2 7 日・国、県、富岡・檜葉両町による管理型処分場の周辺地域の安全確保に関する協定を締結。

## 平成 29 年(2017 年)

11 月 1 7 日・特定廃棄物埋立処分施設への搬入・埋立処分を開始。

## 平成 31 年(2019 年)

3 月 2 0 日・特定廃棄物のセメント固型化処理施設が運転開始。

## 令和元年(2019 年)

8 月 5 日・国、双葉地方広域市町村圏組合、県によるクリーンセンターふたばの活用に係る基本協定を締結。

## 令和 3 年(2021 年)

2 月 1 8 日・国、県、大熊町、双葉地方広域市町村圏組合によるクリーンセンターふたばの周辺地域の安全確保に関する協定を締結。

## 令和 4 年(2022 年)

3 月 31 日・汚染廃棄物対策地域の指定解除(田村市)。

## 令和 5 年(2023 年)

6 月 1 日・クリーンセンターふたばへの搬入・埋立処分を開始。

10 月 31 日・特定廃棄物埋立処分施設への特定廃棄物の搬入・埋立処分が完了。

### 【中間貯蔵施設について】

## 平成 23 年(2011 年)

12 月 28 日・環境大臣兼原発事故担当大臣から知事及び双葉郡 8 町村長へ「中間貯蔵施設の設置を双葉郡内にお願いする」旨の要請。

## 平成 24 年(2012 年)

3 月 10 日・環境・復興両大臣から大熊、双葉、檜葉 3 町長へ中間貯蔵施設の設置要請。

8 月 19 日・環境・復興両大臣から知事・双葉郡 8 町村長へ中間貯蔵施設に関する調査を実施したい旨の要請。

11 月 28 日・知事が調査受入れを判断し、環境大臣へ伝達。

#### ○条件

- ① 調査受入れが建設受入れではないこと。
- ② 地元に丁寧な説明を尽くすなど、国としての責任を果たすこと。
- ③ 調査の取組状況を適時に報告すること。

## 平成 25 年(2013 年)

4 月 9 日・国が檜葉町の現地調査に着手。

23 日・国が大熊町の現地調査に着手。

28 日・県が中間貯蔵施設に関する専門家会議を設置。

10 月 11 日・国が双葉町の現地調査に着手。

12 月 14 日・環境・復興両大臣から知事、大熊・双葉・富岡・檜葉町長へ中間貯蔵施設の設置の要請(既存管理型処分場の活用受入れについても要請)。

## 平成 26 年(2014 年)

2 月 12 日・中間貯蔵施設の配置計画案の見直し等について、知事から環境・復興両大臣へ申入れ。

3 月 27 日・2 月 12 日の県からの申入れに対する国からの回答があり、3 項目(県外最終処分の法制化、用地の取扱い、生活再建策・地域振興策)について具体的に提示するよう申入れ。

4 月 25 日・環境副大臣が大熊・双葉両町長に面会し(県同席)、3 月 27 日に申入れた 3 項目の考え方について説明。

5 月 27 日・環境大臣が大熊・双葉両町長に面会(県同席)。住民説明会開催及び 3 項目の申入れ事項の対応状況について説明。

- ① 県外最終処分の法制化については、「日本環境安全事業株式会社法」に規定する。
- ② 用地の取扱いについては、住民票に関し総務省をはじめ政府内で検討している。
- ③ 地域の文化遺産・墓地等についてはきめ細やかに対応する。

31 日・国が大熊町・双葉町住民説明会を開始(県同席)。

(6 月 15 日まで延べ 9 日間、県内外において 16 回開催、参加者 2,605 名)

7 月 28 日・環境・復興両大臣が知事、大熊・双葉両町長と面談。

(法制化、用地の取扱いなどの具体的な考え方を提示)

8 月 9 日・環境・復興両大臣が知事、大熊・双葉両町長と面談。

(中間貯蔵施設等に係る交付金等の財政措置についての対応方針を提示)

25 日・知事が大熊・双葉両町長と面談。

(地権者の生活再建支援、その他地域振興策等の課題へ対応するため、両町合わせて 150 億円の財政措置（交付金）を行う考えを提示）

28日・復興大臣が大熊・双葉両町長（県同席）へ、「大熊・双葉ふるさと復興構想」を提示。

9月 1日・知事から環境・復興両大臣へ建設受入れ容認及び搬入受入れに当たっての確認事項を申入れ。

※ 搬入受入れに当たっての申入れ事項

1 避難地域の将来像について

2 財政措置について

3 確認事項

・地権者に対して、分かりやすい、丁寧な説明を行うこと。

・建設受入れの判断と搬入受入れの判断は別であり、搬入受入れの判断に当たっては、次の事項を確認すること。

① 県外最終処分の法案の成立

② 中間貯蔵施設等に係る交付金等の予算化、自由度

③ 国による搬入ルートの維持管理等及び周辺対策の明確化

④ 施設及び輸送に関する安全性

⑤ 県及び大熊町・双葉町との安全協定案の合意

〃 ・知事から総理大臣へ建設受入れ容認の伝達。

9月 29日・国が大熊町・双葉町地権者説明会を開始（県同席）。

（10月 12日まで延べ 10日間、県内外において 12回開催、参加者 901名

地権者数：2,365名、発送者数：1,269名）

10月 23日・大熊・双葉両町長が国へ申入れ（県同席）。

1 地権者に丁寧に説明し、地権者の理解を得られるようにすること。

2 説明会に出席されなかった地権者に対して、早急に説明を行うこと。

11月 19日・日本環境安全事業株式会社法の一部を改正する法律が成立。（12月 24日施行）

12月 16日・大熊町長が、建設受入れ容認を表明。

## 平成 27 年(2015 年)

1月 9日・中間貯蔵施設等に係る交付金（1,500 億円）、原子力災害からの福島復興交付金（1,000 億円）が計上された平成 26 年度補正予算案が閣議決定。

13日・双葉町長が、建設受入れ容認を表明。

14日・福島特定原子力施設地域振興交付金（93 億円）が計上された平成 27 年度当初予算案が閣議決定。

2月 3日・平成 26 年度補正予算が成立。

8日・環境・復興両大臣から知事へ県の確認項目（法制化等 5 項目）等に対する回答。

25日・知事、大熊・双葉両町長から環境・復興両大臣へ搬入受入れ容認を伝達。

・国、県、大熊・双葉両町による中間貯蔵施設の周辺地域の安全確保等に関する協定を締結

3月 13日・パイロット輸送の開始。

7月 15日・地権者説明の円滑化のため、大熊・双葉両町に新たに 1 名ずつ駐在員を配置。

## 平成 28 年(2016 年)

2月 19日・環境省が、大熊・双葉両町に対し、貯蔵施設などの本格施設の整備に着手し、平成 28 年度の輸送量を 15 万 m<sup>3</sup> 程度とする「平成 28 年度を中心とした中間貯蔵施設事業の方針」を説明。

3月 27日・福島復興再生協議会において、環境大臣が、「当面 5 年間の見通し」を公表。

28日・パイロット輸送が終了し、県内 43 市町村から 45,939 m<sup>3</sup> の除去土壌等が搬入された。

4月 1日・更なる地権者説明の促進のため、10名の県職員を国へ派遣。

5月 19日・国が「減容・再生利用技術開発戦略・工程表」を公表。

6月 17日・大熊町議会全員協議会において、町有地ふれあいパークおおくまの活用が容認され、7月 2日にいわき市立赤井中学校からの除去土壌等を搬出。

10月 19日・双葉町議会全員協議会において、町有地双葉総合公園の活用が容認され、12月 1日に二本松市から学校等の除去土壌等を搬出。

11月 15日・受入・分別施設及び土壌貯蔵施設整備の工事着工。

12月 9日・国が平成 29 年度の輸送量を 50 万  $m^3$  程度とし、平成 30 年度の輸送量に対応できる施設整備に着工することなどを明記した「平成 29 年度の中間貯蔵施設事業の方針」を公表。

## 平成 29 年(2017 年)

3月 31日・平成 28 年度の除去土壌等の輸送実績は、県内 46 市町村から 187,955  $m^3$ 、累計で 233,894  $m^3$  となり、19 市町村の輸送が完了。

10月 28日・土壌貯蔵施設の運用を開始。

11月 21日・国が平成 30 年度の輸送量を 180 万  $m^3$  程度、平成 31 年度も 400 万  $m^3$  を目指すこと、平成 31 年度の輸送量に対応できる施設整備に着工することなどを明記した「平成 30 年度の中間貯蔵施設事業の方針」を公表。

## 平成 30 年(2018 年)

3月 31日・平成 29 年度の除去土壌等の輸送実績は、県内 33 市町村から 551,481  $m^3$ 、累計で 785,375  $m^3$  となり、21 市町村の輸送が完了。

12月 6日・国が令和 3 年度までに帰還困難区域を除く除去土壌等の概ねの搬入完了を目指すこと、令和元年度は 400 万  $m^3$  を輸送することなどを明記した「2019 年度の中間貯蔵施設事業の方針」を公表。

## 平成 31 年・令和元年(2019 年)

3月 31日・平成 30 年度の除去土壌等の輸送実績は、県内 31 市町村から 1,839,054  $m^3$ 、累計で 2,624,429  $m^3$  となり、23 市町村の輸送が完了。

## 令和 2 年(2020 年)

3月 30日・中間貯蔵施設における除去土壌と廃棄物の処理・貯蔵の全工程で運転を開始  
31日・令和元年度の除去土壌等の輸送実績は、県内 29 市町村から 4,058,699  $m^3$ 、累計で 6,683,132  $m^3$  となり、26 市町村の輸送が完了。

## 令和 3 年(2021 年)

3月 31日・令和 2 年度の除去土壌等の輸送実績は、県内 25 市町村から 3,869,199  $m^3$ 、累計で 10,552,332  $m^3$  となり、33 市町村の輸送が完了。

## 令和 4 年(2022 年)

3月 31日・中間貯蔵施設や仮設焼却施設等への搬入量の合計が約 1,341 万  $m^3$  となり、県内に仮置きされている除去土壌等の中間貯蔵施設への搬入がおおむね完了(帰還困難区域を除く)。

5月 31日・運転終了した受入・分別施設について解体開始。

## 令和 6 年(2024 年)

2月 ・全ての受入・分別施設の解体が完了。

## 【環境創造センターについて】

### 平成 24 年(2012 年)

10月29日・環境創造センター基本構想公表。

### 平成 25 年(2013 年)

10月18日・環境創造センター本館（三春町）及び環境放射線センター（南相馬市）概要公表。

### 平成 26 年(2014 年)

1月31日・環境創造センター研究棟・交流棟（三春町）概要公表。

3月26日・環境創造センター本館（三春町）及び環境放射線センター（南相馬市）建設工事着工。

10月3日・環境創造センター研究棟・交流棟（三春町）建設工事着工。

### 平成 27 年(2015 年)

3月31日・猪苗代水環境センター（猪苗代町）建設工事着工。

5月29日・野生生物共生センター（大玉村）建設工事着工。

8月26日・環境創造センター本館（三春町）竣工。

9月30日・環境放射線センター（南相馬市）竣工。

環境放射線センター及び猪苗代水環境センター竣工。

10月27日・環境創造センター本館（三春町）開所。

11月16日・環境放射線センター（南相馬市）開所

12月21日・野生生物共生センター（大玉村）竣工。

28日・福島県環境創造センター条例の施行。

### 平成 28 年(2016 年)

3月31日・環境創造センター研究棟及び交流棟竣工。

4月15日・猪苗代水環境センター（猪苗代町）開所。

21日・環境創造センター研究棟への JAEA 及び国環研の入居式。

27日・野生生物共生センター（大玉村）開所。

7月21日・環境創造センター交流棟開所（環境創造センターグランドオープン）。

### 令和 5 年(2023 年)

3月19日・環境創造センター交流棟展示室リニューアルオープン

4月1日・気候変動適応センターを設置

## 【IAEAとの協力について】

### 平成 24 年(2012 年)

12月15日・県とIAEAとの間の協力に関する覚書締結。

〃・実施取決め締結（IAEA提案プロジェクト5件）。

### 平成 25 年(2013 年)

4月10日・実施取決め締結（福島県提案プロジェクト3件）。

5月27日・IAEA緊急時対応能力研修センターオープン。

7月22日・IAEA専門家が来県し、除染、廃棄物、放射線モニタリングの分野に関する意見交換を実施。

10月30日・実施取決め締結（福島県提案プロジェクト2件）。

〃・県がIAEA本部を訪問・協議。

～11月1日

---

12月11日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～19日

---

### 平成26年(2014年)

7月14日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～18日

---

10月20日・県がIAEA本部を訪問・協議。

～22日

---

12月15日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～18日

---

### 平成27年(2015年)

7月6日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～10日

---

10月13日・県がIAEA本部を訪問・協議。

～15日

---

10月27日・IAEA緊急時対応能力研修センターが環境創造センター本館に移転。

---

12月14日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～18日

---

### 平成28年(2016年)

6月27日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～7月1日

---

10月17日・県がIAEA本部を訪問・協議。

～21日

---

25日・実施取決め締結(福島県提案プロジェクト1件)。

---

11月26日・IAEA協力プロジェクト中間報告書公表。

---

12月5日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～9日

---

### 平成29年(2017年)

7月3日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～6日

---

10月16日・県がIAEA本部を訪問・協議。

～17日

---

12月25日・実施取決め締結(協力プロジェクトの5年間延長)。

---

### 平成30年(2018年)

2月6日・IAEA協力プロジェクトサマリーワークショップ開催。

～8日

---

7月4日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～6日

---

10月9日・県がIAEA本部を訪問・協議。

～12日

---

11月29日・IAEA協力プロジェクト最終報告書公表。

---

### 平成31年・令和元年(2019年)

1月28日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～2月 1日

---

7月 8日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～12日

---

### 令和2年(2020年)

2月 3日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～7日

---

### 令和3年(2021年)

2月 1日・IAEA専門家とオンラインで、引き続き意見交換を実施。

～10日

---

5月21日・福島県とIAEAとの間の協力に関する中間報告書（2013年～2020年）公表。

7月 7日・IAEA専門家とオンラインで、引き続き意見交換を実施。

～9日

14日

～16日

---

10月11日・IAEA専門家とオンラインで、引き続き意見交換を実施。

15日

18日

～22日

---

### 令和4年(2022年)

1月24日・IAEA専門家とオンラインで、引き続き意見交換を実施。

27日

31日

2月 1日

～4日

7日

---

7月13日

～14日

19日・IAEA専門家が来県し、引き続き意見交換を実施。

～22日

---

9月14日・県がIAEA本部を訪問・協議。

～16日

---

12月23日・実施取決め締結（協力プロジェクトの5年間延長）。

---

### 令和5年(2023年)

1月31日・IAEA協力プロジェクトサマリーワークショップ開催。

～2月 3日

---

3月 1日・福島県とIAEAとの間の協力に関する最終報告書（2016年～2021年）公表。

3月23日・福島県とIAEAとの間の協力に関する最終報告書（2013年～2022年）公表。

---

### 令和6年(2024年)

1月30日・IAEA専門家が来県し、意見交換を実施。

～2月 2日

---