

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故後の
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

中間報告書

（2013年－2020年）

【福島県提案プロジェクト】

【概要版】

2021年3月

福島県

はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震及びこれに伴う東京電力㈱福島第一原子力発電所^{※1}の事故により環境中に放出された放射性物質により県土が汚染された事及び他の様々な要因により、16万人以上の県民が避難生活を余儀なくされた。事故からおよそ9年となる2020年7月現在でも、約3万8千人の県民が県内外に避難し、依然として帰還できずにいる（福島県ホームページ「ふくしま復興ステーションのふくしま復興のあゆみ第28版」（<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/403521.pdf>）より。）。

福島県がこの前例のない原子力災害から環境を回復し、県民が将来にわたり安心して暮らせる環境を創造していくためには、世界の英知を結集して対応することが必要であったことから、原子力に関する分野において高度な知見を有する国際原子力機関（以下「IAEA」という。）と連携して取り組むこととし、2012年12月に福島県とIAEAとの間で協力に関する覚書を取り交わした。

この覚書に基づき、福島県とIAEAとの間で「放射線モニタリング」及び「除染」の分野における実施取決めについて同日付けで署名し、福島県協力プロジェクト（以下、「FCP」という。）が始まった。

その後、福島県が実施するプロジェクトに対してIAEAから支援を受ける新たな枠組みとして、2013年4月及び10月に次の福島県提案プロジェクト（以下「FIP」という。）5件について、協力期間を3年間とする実施取決めについて署名し、プロジェクトが始まった（以降、「前プロジェクト」）。さらに、本FIPは2016年4月及び5月に2017年12月までの協力期間の延長及び協力範囲の変更^{※2}に関する実施取決めを取り交わした。

2013年4月～2017年12月に行ったFIPの成果を「東京電力㈱福島第一原子力発電所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～2017年）【福島県提案プロジェクト】」として、2018年3月付けで取りまとめた（以降、「前プロジェクトの最終報告書」）。これは冊子版の発行とともに、福島県のホームページ（<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/298/iaeasummary2017.html>）にて閲覧が可能である。

しかし、本県の環境回復は道半ばであり、提案したプロジェクトはIAEAの更なる支援をいただくことが必要との判断から、2017年12月に2022年12月まで協力を続けることで合意が得られ、再度実施取決めを取交わした（以降、「本プロジェクト」）。本報告書は、FIP4を除き、2018年度～2019年度の活動を中心に2013年度からの活動に関する中間報告書の概要版である。FIP4については、2015年度で完了したため、前プロジェクトの最終報告書からの再掲（一部表現修正）及び最近の活用状況の追記となる。

※1 東京電力㈱福島第一原子力発電所は、2016年4月1日から東京電力ホールディングス㈱福島第一原子力発電所に移行した（以下同じ。）。

※2 協力範囲の変更に併せて、一部FIPのプロジェクトの名称が変更になった。

- FIP1 モニタリングに基づく放射性セシウムの動態が水圏に与える影響の評価
(河川等における放射性核種の動態調査)
- FIP2 野生動物における放射性核種の動態調査
- FIP3 陸水域における持続可能な放射性物質対策
(河川・湖沼等における放射性物質対策)
- FIP4 GPS 歩行サーベイによる環境マッピング技術の開発
- FIP5 放射性物質を含む廃棄物の適正な処理の検討
(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な処理の検討)

1. FIP1 モニタリングに基づく放射性セシウムの動態が水圏に与える影響の評価

1.1. 目的

2011年3月の東京電力（株）福島第一原子力発電所事故により、環境中へと多量の放射性物質が放出され、県土においてもそれらの降下及び沈着が確認された。事故から9年以上が経過した現在、福島県を流れる河川の放射性セシウム濃度は十分に低下しているものの、取り巻く環境の変化が河川での放射性セシウムの動きに及ぼす影響についても注視していく必要がある。そこで、本プロジェクトでも河川水中の放射性セシウム濃度のモニタリング及び

モデル計算による将来予測を中心に、河川を介した放射性セシウム動態の解明に関する研究を引き続き実施する。加えて、新規に浮遊砂試料中の放射性セシウム濃度を特異的に高める可能性を有する不溶性放射性セシウム粒子の実態把握及び懸濁態放射性セシウムの負荷源の推定についての研究を開始する。

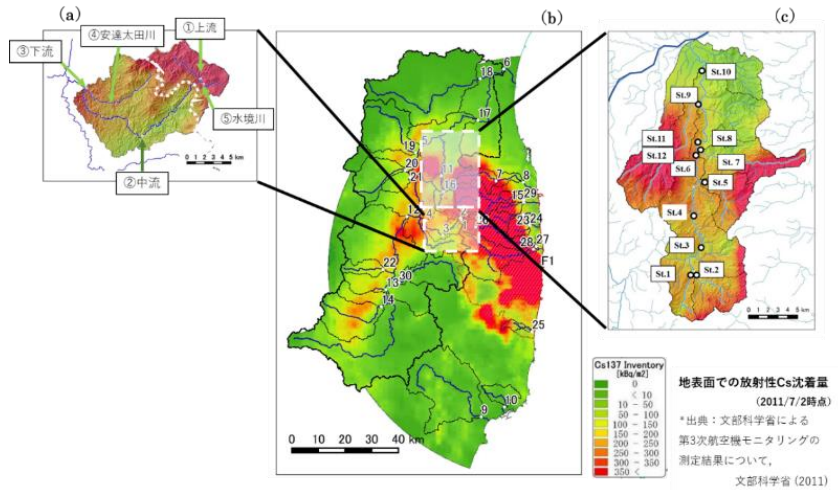


図 1 観測地点概要。(a)口太川流域、(b)広域多地点調査、(c)広瀬川流域。【地表面での放射性 Cs 沈着量 (2011/7/2 時点) * 出典：文部科学省による第 3 次航空機モニタリングの測定結果について、文部科学省 (2011)】

1.2. 実施内容

前プロジェクトで整備した観測網（図 1 (a), (b), (c)）において、濁度・水位の連続観測、浮遊砂サンプラーによる浮遊砂採取、河川水中の懸濁態・溶存態セシウム 137 の回収等を実施した。

1.3. 結果

河川水中の懸濁態及び溶存態セシウム 137 濃度の経年変化を示す（図 2）。事故直後ほど急激な変化ではないものの、現在も懸濁態及び溶存態セシウム 137 濃度は時間の経過とともに低下する傾向を示していることから、河川水中の放射性セシウム濃度は時間の経過とともに低下し、現時点でもその傾

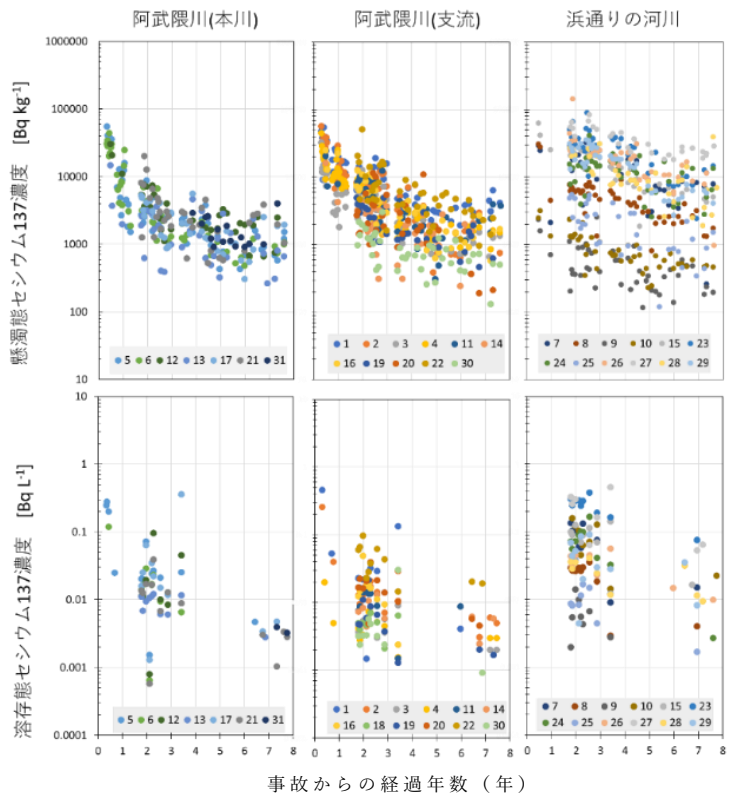


図 2 河川水中のセシウム 137 濃度。(上段) 懸濁態、(下段) 溶存態。

向が継続していることが確認された。また、これらのデータを基に懸濁態及び溶存態セシウム 137 の実効環境半減期を算出したところ、懸濁態セシウム 137 は概ね 2.8 年、溶存態セシウム 137 は 3.6 年と推定された。事故直後の懸濁態セシウム 137 の実効環境半減期は、阿武隈川で 0.24 年、チェルノブイリ原子力発電所事故後のプリピャチ川で 0.31 年であったと推定されていることから、2 年目以降の結果は、事故直後に示した速度と比較して 1/10 程度まで低下するものの、チェルノブイリ原子力発電所事故後のヨーロッパの河川で推定された値の範囲に存在することが確認された（1～4 年程度）。

次に、流域内での除染作業の進行に伴う河川水中の懸濁態放射性セシウム濃度の変化を詳細に検討するため、流域全体が除染特別地域に指定されていた口太川流域（図 1 (a)）を対象として解析したところ、除染が集中的に行われた期間に、上流域に位置する観測地点では懸濁態セシウム 137 濃度が顕著に低下した（図 3）。これには、除染の進行に伴う土砂流出量の増加が影響したと考えられた。なお、この流出量は除染の終了に伴い減少したものの、除染前よりも依然高い水準が維持されている。

モデル計算による将来予測に関する研究については、本プロジェクトから広瀬川流域（図 1 (c)）に加えて、口太川流域（図 1 (a)）を対象流域として設定し、データ収集を開始した。図 4 に、広瀬川流域での出水時の河川水中の懸濁態及び溶存態セシウム 137 濃度の変化についてのシミュレーション結果を示す。一部の点でやや乖離が見られるものの、濃度変化のパターンについては概ね再現することができた。

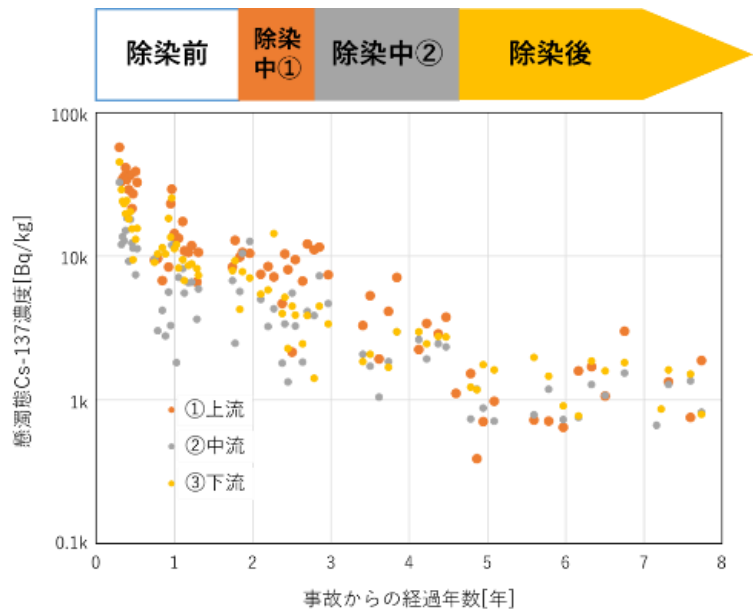


図 3 除染の進捗に対する懸濁態セシウム 137 濃度の変化

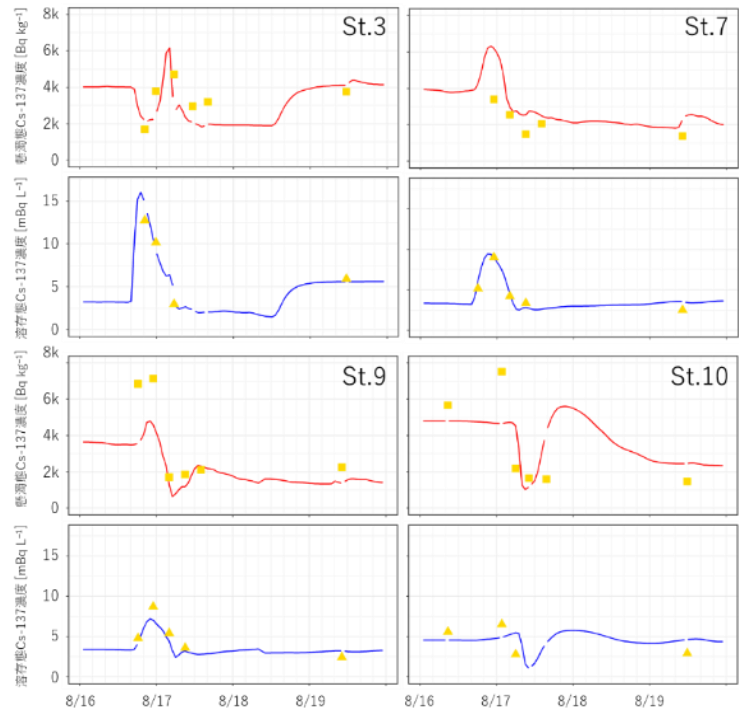


図 4 TODAM モデルによる出水時の結果。
【上段：懸濁態、下段：溶存態】
(期間：2016 年 8 月 16 日～2016 年 8 月 19 日)

1.4. まとめ

本プロジェクトにおいても、引き続き河川水中の放射性セシウム濃度のモニタリング及びモデルによる将来予測を中心に研究を実施している。河川水中の懸濁態及び溶解態セシウム 137 濃度はともに、事故直後から見られた時間の経過とともに低下する傾向が維持されていることが確認された。加えて、流域内で行われた除染は河川水中の懸濁態セシウム 137 濃度に明瞭な影響を及ぼすことが明らかとなった。シミュレーションによる将来予測については、平水時の条件下での計算結果の精緻化及び出水時での試算を実施した。加えて、異なる流域での将来予測に向けた観測態勢の整備を行った。以上のことに加えて、本プロジェクトで新たに開始する調査・研究について必要な準備等を行った。

2. FIP2 野生動物における放射性核種の動態調査

2.1. 目的

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により、多くの野生動物において放射性セシウムなどの放射性核種が検出されていることから、生態系における放射性セシウムの動態解明に関する調査・研究を行った。

2.2. 実施内容

(1) 野生動物の筋肉中放射性核種濃度の測定結果

県内における野生動物の筋肉に含まれる放射性核種濃度のモニタリング調査結果から、イノシシ等の筋肉に含まれるセシウム 137 濃度について調べた。

(2) イノシシ及びツキノワグマの筋肉中セシウム 137 濃度の長期変動

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 濃度について、事故後の時間経過に伴う変動を線形モデルにより解析した。

(3) イノシシの個体群構造

イノシシの DNA を用いて MIG-seq 解析を行い、遺伝的構造に基づく県内におけるイノシシの個体群構造を調査した。

2.3. 結果

(1) 野生動物の筋肉中放射性核種濃度の測定結果

2011年5月から2020年3月までに県内で捕獲されたイノシシ及びツキノワグマでは、相双、県北、県中地方において筋肉に含まれるセシウム 137 濃度が高い個体

が多く捕獲される傾向がみられ、各地方のセシウム 137 土壌沈着量との関連が示唆された。県中地方のイノシシにおいては、近年においても検出下限値未満～10,000Bq/kg 程度の幅広い濃度の個体が捕獲されていた(図1)。

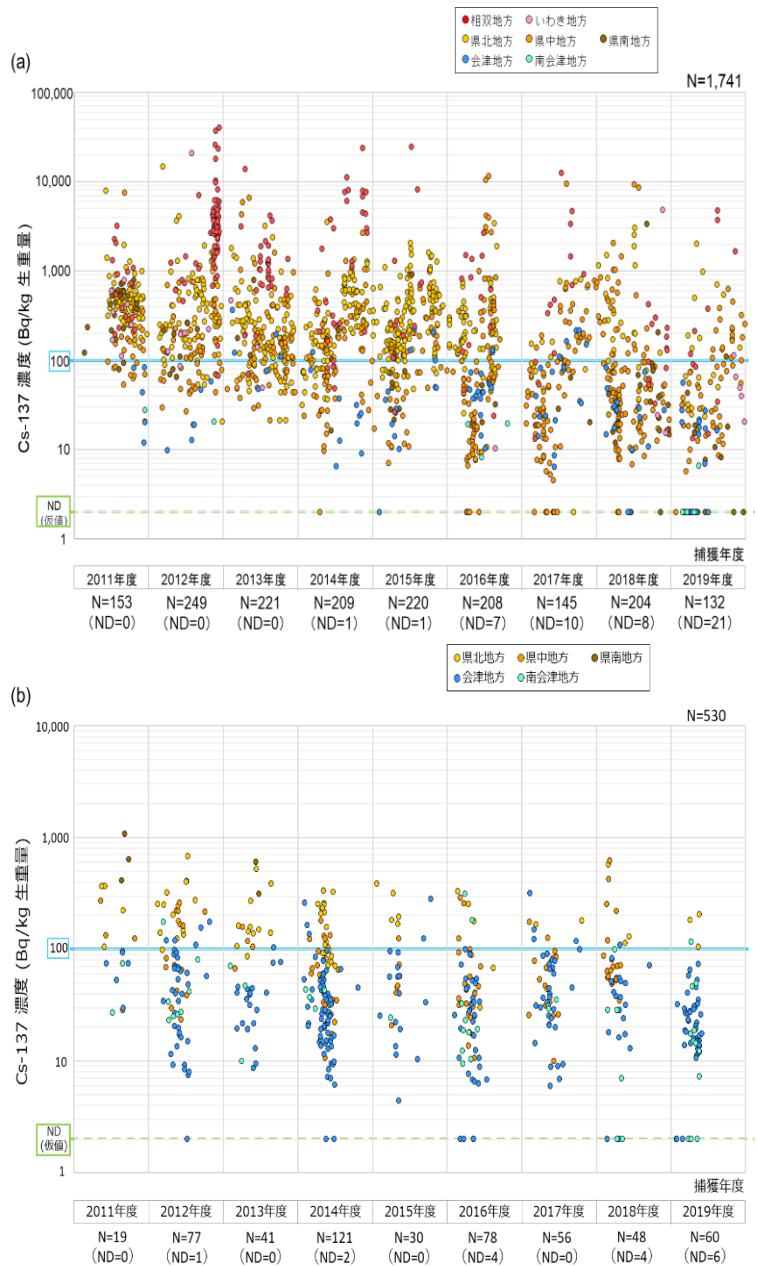


図1 (a)イノシシ及び(b)ツキノワグマの筋肉に含まれるセシウム 137 濃度モニタリング結果(捕獲地域別) ※丸は各個体の測定値を示す。

(2) イノシシ及びツキノワグマの筋肉中セシウム 137 濃度の長期変動

低濃度期（4-8月）、高濃度期（12-3月）で減少傾向が見られたが、減少はわずかであり、特に高濃度期では推定値に大きな幅がみられた。また、ツキノワグマの筋肉に含まれるセシウム 137 濃度については、全期間と低濃度期（7-9月）は、減少傾向が見られたが、高濃度期（11-1月）は時期が進むに従って推定値の幅が大きくなった（図 2）。

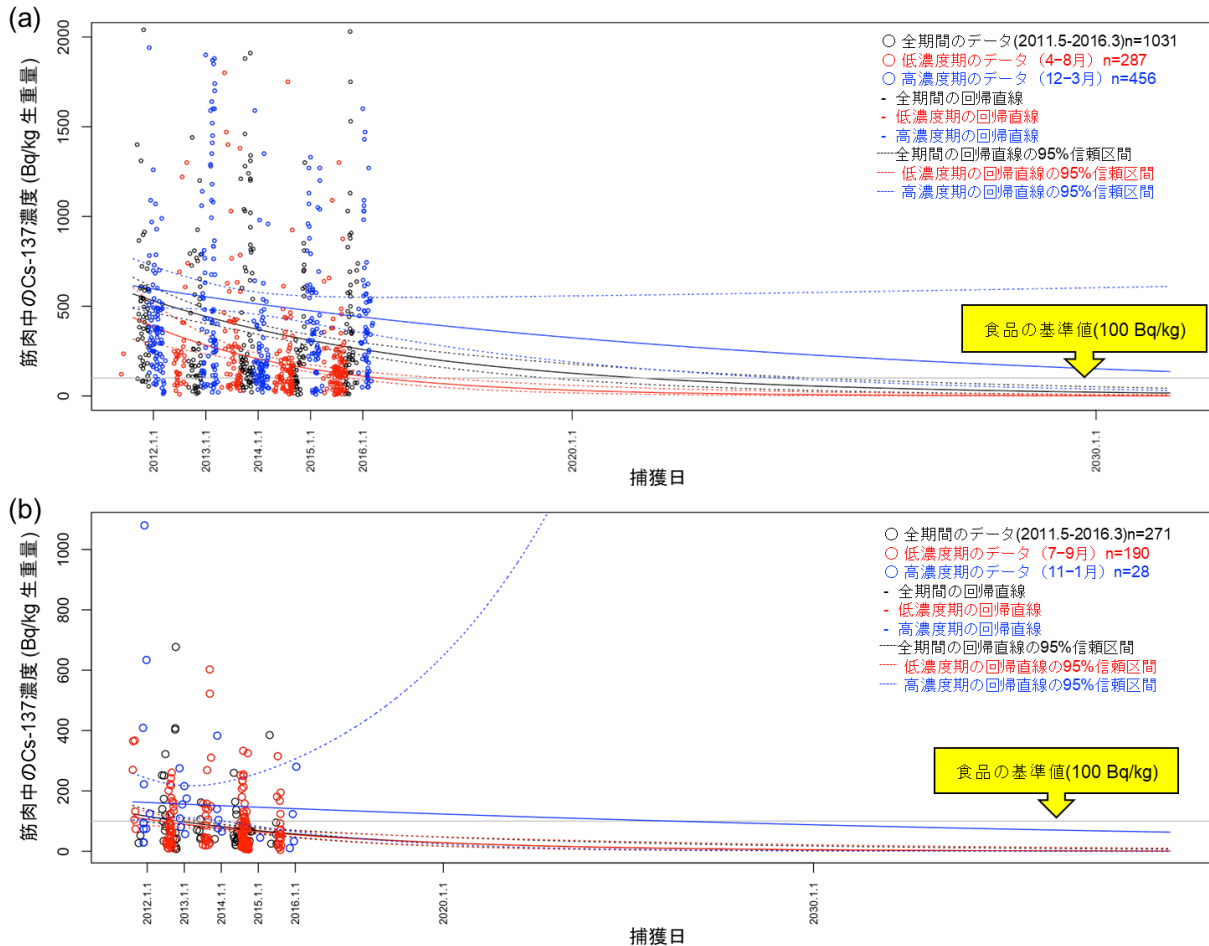


図 2 イノシシ(a)とツキノワグマ(b)における筋肉に含まれるセシウム 137 濃度の季節毎の長期変動

(3) イノシシの個体群構造

福島県及び熊本県で採取したイノシシの肉片から抽出したDNAをMIG-seq解析しSNPsを抽出した。SNPsの情報をもとにSTRUCTURE解析及びクラスター解析を行った。STRUCTURE解析の結果、県内のイノシシは大きく2つの遺伝子系統に分かれることが示唆された（図 3, 4）。また、クラスター解析の結果、相双北部、

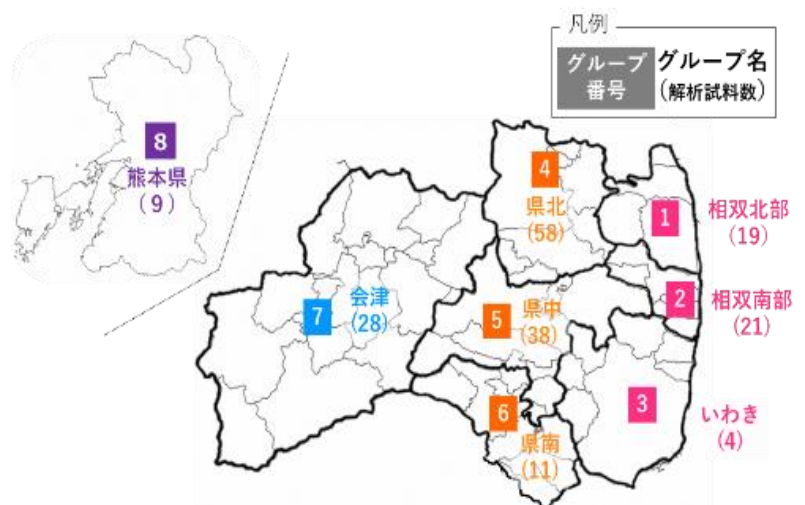


図 3 MIG-seq 解析を行った試料のグループ分けと解析数

相双南部、いわき、県南に生息するグループと県北、県中、会津及び熊本に生息するグループに分かれることが示された（図 3, 5）。さらに、2 系統の検出割合を市町村ごとにまとめた結果、イノシシはおおよそ阿武隈川を境界とする県の西側と東側との間で移動が制限されている傾向が認められた（図 6）。

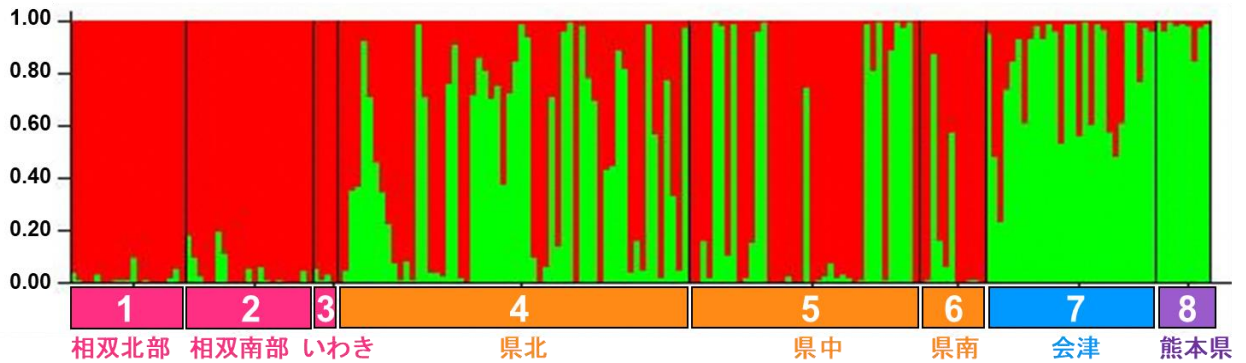


図 4 イノシシの DNA データに基づく STRUCTURE 解析の結果

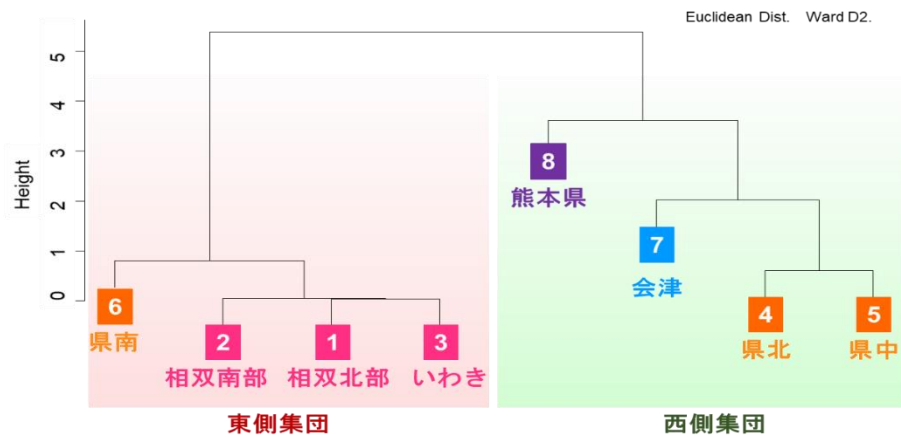


図 5 イノシシの DNA データに基づくクラスター解析の結果

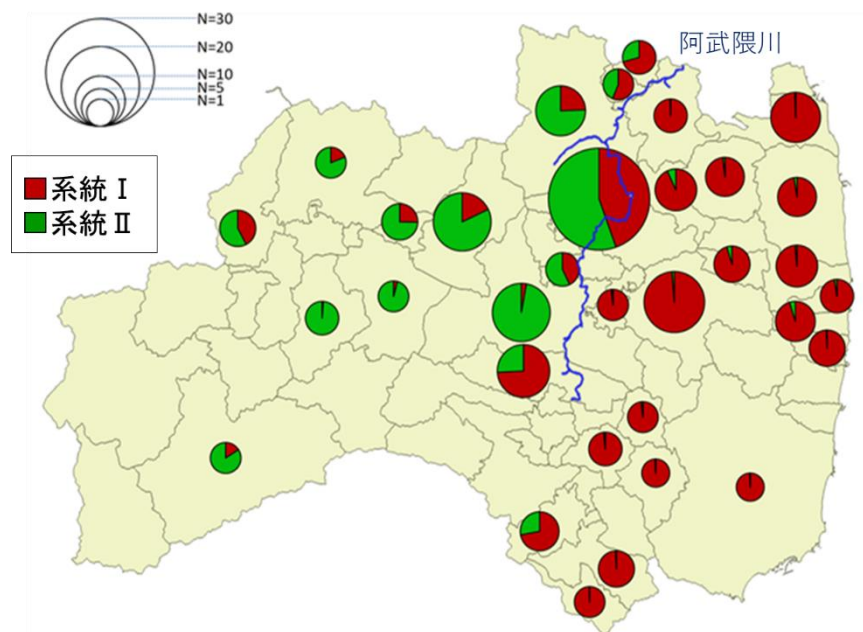


図 6 イノシシ 2 系統の地理的な分布

2.4. まとめ

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 濃度は、セシウム 137 土壌沈着量が多い地域で捕獲された個体ほど高い傾向にあったが、地域内における個体間のばらつきは大きかった。また、近年であっても濃度の高い個体が捕獲されることがあった。

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 濃度の長期的な変動は、全期間と低濃度期には時間経過に伴う減少が見られたが、高濃度期では、両種とも時間経過に伴って推定値の幅が大きくなった。

福島県内のイノシシは、遺伝的に2系統群に分かれる傾向が認められ、おおよそ阿武隈川を境界として東西に移動が制限されている可能性が示唆された。

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 濃度については、減少傾向は認められるものの、個体間のばらつきや季節的な変動もあり、長期的な変動の正確な推定のためにはさらなるデータの拡充が必要である。また、個体が移動・分散することが、同地域で捕獲された個体であっても筋肉に含まれるセシウム 137 濃度にばらつきが生じる一つの要因であることが考えられる。

今後も、イノシシ等の体内に含まれる放射性セシウム濃度のモニタリングを継続し、一部の野生動物の放射性セシウム濃度が高い要因を調べる必要があると考える。

3. FIP3 陸水域における持続可能な放射性物質対策

3.1. 目的

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に伴う環境中への放射性物質（主として放射性セシウム）の拡散によって、水環境が汚染された。この事故への対応として、行政及び研究機関を中心として、放射性物質の挙動を明らかにするための水・堆積物・水産物のモニタリング調査がなされたほか、除染等の対策が進められてきた。2017年12月までの本プロジェクトでは国外を含む既存の知見を踏まえ、本件に適用可能な放射性物質対策を整理するとともに、除染対策の実施例が限られた河川において、除染試験を実施し、その有効性と効果持続性を明らかにした。また、県内の河畔公共利用地を対象として汚染状況の調査を行ってきた。これら実施結果については前プロジェクトの最終報告書においてまとめられている。一方で、河川では出水に伴って放射性物質を含む土砂の侵食・堆積が生じ、汚染状況に変化が生じる場合があり、除染後に再汚染等が生じる懸念がある。このことから、2018年以降においても、実証試験を行った河川敷について引き続き除染効果の持続性を検証するとともに、2019年台風第19号通過に伴う大規模出水による河川公園の汚染状況や空間線量率の変化等について検討した。

3.2. 実施内容

(1) 植生繁茂下における河川敷除染効果の持続性の検証

2014年に除染の実証試験を行った河川敷を対象とし、植生が繁茂した状況で空間線量率、堆積物の放射性物質濃度を測定し、再汚染の有無について調査した。

(2) 大規模出水による河畔の汚染状況の変化

これまでに調査を行ったことのある河川敷及び河川公園（計3地点）を対象に、2019年台風第19号の通過に伴う空間線量率の変化及び公園内の状況変化を調査した。

3.3. 結果

(1) 植生繁茂下における河川敷除染効果の持続性の検証

試験地においては除染区間・非除染区間共に実証試験以降、空間線量率は低下傾向が続いた（図1）。除染区間では実証試験により空間線量率が半減したのち、植生の刈取りを止めた2017年以降においても継続的に空間線量率が低下した。非除染区間は除染区間に比べて線量率の低下が早かった。空間線量率の測定からは、除染試験後の再汚染は確認されなかった。

2016年末から2017年8月の間に、植生の繁茂する河川敷に堆積した新規堆積物の放射性物質濃度は、植生のない河川敷への堆積物に比べると高い濃度を示したが、除染試験前と比較すると低かった。一方、2017年台風21号の後には厚さ20cm程度の土砂が河川敷上に堆積したが、土砂の放射性セシウム濃度は低く、泥面分も少なかった。1年の植生回復では中程度の降雨イベントの場合には細粒土砂をある程度捕捉するが、大規模出水における捕捉効果が小さかったと考えられた。

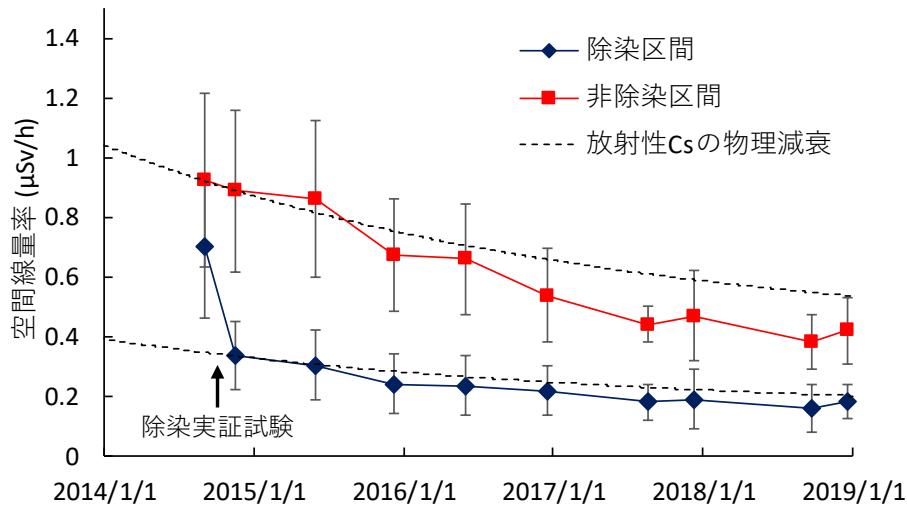


図 1 上小国川空間線量率の変化

注：放射性セシウムの物理減衰はセシウム 134 と 137 の初期沈着量を 1:1 として計算した。また、除染実証試験終了後の 2014 年 11 月 16 日に合わせて初期値を設定した。

(2) 大規模出水による河畔の汚染状況の変化

全ての調査地において、2019 年台風第 19 号の通過後には空間線量率が全体的に低下した（図 2）。今回の台風通過に伴う空間線量率の低下は、放射性物質の物理壊変による低下幅よりも大きく、過去の台風（2015 年台風第 15 号）通過前後と比べても顕著であった。河川公園の現地踏査の結果から、河川沿いにおいて放射性物質濃度の高い堆積物が一部流失していたほか、砂や礫が河道近傍を中心に多量に堆積していることが確認された。堆積物流失による放射線源の消失や、放射性物質濃度の低い砂礫の被覆による遮蔽効果によって空間線量率が低下したと考えられた。

本調査では 2019 年台風第 19 号によって一般には再汚染は生じておらず、むしろ自然減衰の作用によって空間線量率が低下していたことが確認された。

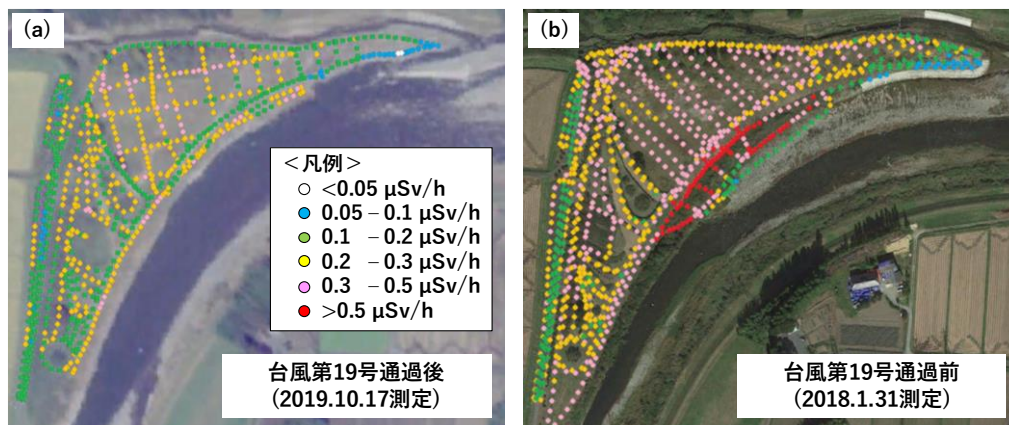


図 2 河川公園における空間線量率分布。(a)台風第 19 号通過後、(b)通過前

注：(a)の背景写真は内閣情報調査室が 2019 年 10 月 17 日に撮影した衛星画像である。

(b)の背景写真は Google Earth Pro より取得した（撮影日 2018.10.21）。

3.4. まとめ

2014年に除染の実証試験を行った河川敷において引き続き除染効果の持続性を検証した。河川敷に植生が繁茂した状況下においても、継続的に空間線量率が低下していた。顕著な放射性Csの蓄積もみられず、除染効果が維持されていたことが確認された。

また、2019年台風第19号通過に伴う河川周辺における再汚染の有無を検証するため、河川公園等において空間線量率の測定と現地踏査を行った。空間線量率の上昇は一般には確認されず、むしろ河川近傍において空間線量率が大きく低下しており、出水に伴う自然減衰作用による影響が確認された。

4. FIP4 GPS 歩行サーベイによる環境マッピング技術の開発

4.1. 目的

福島県では、東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故後の県内の空間線量率の把握のため、様々な手法で空間線量率測定を実施し、ホームページなどで情報提供を行っている。

しかし、住宅地周辺の路地、公園、森林等では定点測定や走行サーベイの実施が難しいため、これらのモニタリングを補完する目的で GPS 歩行サーベイ（以下「歩行サーベイ」という。）による環境マッピング技術の開発を行った。

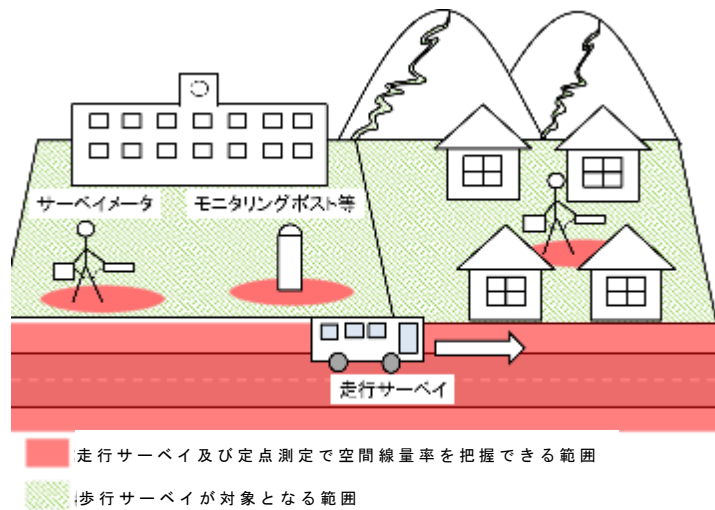


図 1 歩行サーベイの測定範囲

4.2. 実施内容

(1) 機器等の整備

歩行サーベイには京都大学が開発した KURAMA-II を利用した。KURAMA-II は放射線の検出器及び GPS から得られたデータを組み合わせることにより、空間線量率のマッピングを行うシステムである。

ここでは高精度の GPS を搭載し、機材をバックパックに収納するなど、より歩行サーベイに適した構成とし、未経験者でも利用できるようにマニュアルを作成した。

また、測定結果をマッピングするための GIS データ処理システムを整備した。

(2) 歩行サーベイに必要なパラメータの収集

歩行サーベイは、測定者自身による遮へい等により、方向によって放射線源からの寄与が異なるため、方向特性の確認を行った。

また、サーベイメータとの比較試験による補正係数の決定のため、トレーサビリティのある校正を実施した NaI (T1) サーベイメータによる 1m 高さでの空間線量率を最も確からしい値として、歩行サーベイの測定値と比較した。



写真 1 歩行サーベイ風景

(注：2015年度終了テーマにつき、前プロジェクトの最終報告書概要版からの再掲（一部表現修正）及び最近の活用状況を追記）

4.3. 結果

方向特性の確認の結果、方向特性による歩行サーベイの測定値への影響は小さいと考えられた。また、NaI (Tl) サーベイメータとの比較では空間線量率が $1\mu\text{Sv/h}$ を境として検出器を低空間線量率用と高空間線量率用で使い分ける必要があることが分かった。

このことを踏まえ、補正係数については低空間線量率用検出器を用いる場合は 1.3、高空間線量率用検出器を用いる場合は 1.1 とした。

4.4. まとめ

2015 年度までに歩行サーベイの開発は一定の成果が得られ、歩行サーベイでの空間線量率測定が可能となった。

また、2016 年度からは、市町村等の求めに応じて、歩行サーベイを実施、又は貸し出しするなどして活用しており、近年では、公共事業（里山再生モデル事業等）の放射線モニタリングに活用している。

5. FIP5 放射性物質を含む廃棄物の適正な処理の検討

5.1. 目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故により飛散し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主灰と飛灰それぞれに濃縮する。特に飛灰中の放射性セシウムは水との接触により溶出しやすいため、埋立処分場での埋め立て後に放射性セシウムによる周辺環境への汚染が懸念される。このため、放射性セシウムを含む主灰や飛灰を適正に処理処分していくことが喫緊の課題となっている。

そこで、主灰や飛灰中の放射性セシウムの溶出特性を把握した上で、粘土鉱物を活用し放射性セシウムの溶出を抑制する技術の検討を行う。さらに、放射性セシウムを含む焼却灰の埋め立てを開始している県内埋立処分場にて、その埋立状況及び埋立処分場構造等と浸出水中の放射性セシウム濃度との関連性を調査する。

5.2 実施内容

(1) 放射性セシウム難溶化試験

福島県内の一般廃棄物焼却施設において採取した主灰、加湿等行った主灰（処理後主灰）、飛灰及び重金属溶出防止処理を行った飛灰（処理後飛灰）について、放射性セシウム濃度及び純水に対するセシウム溶出率を測定した。さらに、焼却灰に対し放射性セシウム溶出抑制剤としての効果が期待される酸性白土を加え、溶出液の放射性セシウム濃度測定及び元素等濃度分析を実施した。

(2) 一般廃棄物焼却施設での焼却灰中の放射性セシウム難溶化試験

これまでの研究において焼却灰からの放射性セシウム難溶化に効果を示したゼオライトを用いて、実際の一般廃棄物焼却施設において添加試験を行い、焼却施設におけるゼオライトによる放射性セシウム溶出対策の実現可能性の検証を行った。

ア 通常運転時試験

廃棄物焼却施設の通常運転時に採取した焼却灰を試料とし、放射性セシウム濃度測定、放射性セシウム溶出試験及びゼオライトを添加しての放射性セシウム溶出試験を実施した。

イ 実施設での排ガス処理薬剤へのゼオライト添加試験

アの廃棄物焼却施設において排ガス処理薬剤にゼオライトを混合して運転し、排ガスの分析及び処理後飛灰の採取を行った。採取した処理後飛灰を試料として、放射性セシウム濃度測定及び放射性セシウム等溶出試験を行った。

ウ 実施設での飛灰のキレート剤混練部へのゼオライト添加試験

アの廃棄物焼却施設において、キレート材混練による焼却飛灰中重金属溶出防止処理の際にゼオライトを添加して施設の運転を行い、処理後飛灰を採取した。採取した処理後飛灰を試料として、放射性セシウム濃度測定及び放射性セシウム等溶出試験を行った。

(3) 埋立状況と放射性セシウムの浸出状況

福島県内の埋立処分場において浸出水中の放射性セシウム濃度の測定及び焼却灰の埋立状況の聞き取り調査を行いその関連性を調査した。

(4) 放射性セシウムの年間浸出状況とその他の元素の関連性

浸出水中から放射性セシウムが検出された埋立処分場において、1回/月浸出水の採取を行い、浸出水中の放射性セシウム及び元素等濃度分析を実施した。

5.3. 結果

(1) 放射性セシウム難溶化試験

焼却灰中の放射性セシウム濃度は、主灰等（主灰及び処理後主灰）よりも飛灰等（飛灰及び処理後飛灰）のほうが高く、また、放射性セシウムの溶出性についても主灰等より飛灰等のほうが高かった。また、焼却飛灰に重金属溶出防止剤（キレート剤）及び酸性白土を混ぜて長期溶出試験を行ったところ酸性白土による放射性セシウム難溶化効果が認められ（図1）、酸性白土の添加によってキレート剤の働きを阻害しないことが確認された。

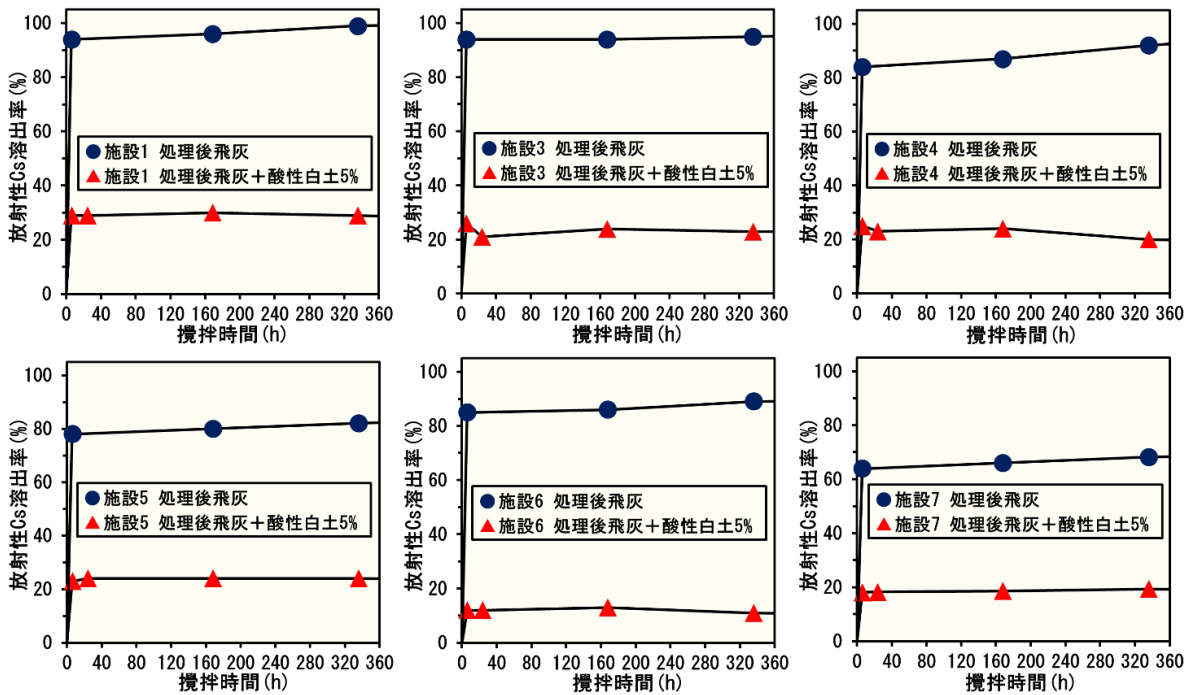


図1 放射性Cs難溶化試験結果（放射性Cs溶出率）

(2) 一般廃棄物焼却施設での焼却灰中の放射性セシウム難溶化試験

ア 通常運転時試験

通常運転時に採取した焼却灰の溶出試験を行ったところ飛灰等のほうが主灰よりも放射性セシウム濃度、放射性セシウム溶出率が高いことがわかり、同検体に繰り返し溶出試験を行うと1回目の溶出時の放射性セシウム溶出率が最も高いことが分かった（表1、表2）。さらに飛灰と処理後飛灰にゼオライトを加えた際の溶出試験結果との比較から、ゼオライトによって放射性セシウム溶出が抑制されること、及び、ゼオライトの添加によってキレート剤の働きが阻害されないことが確認された。

表 1 主灰の繰り返し溶出試験結果(通常)

項目	単位	主灰(1日目午後)				
		1回目	2回目	3回目	4回目	
JISK0058-1	放射性Cs濃度(溶出)	Bq/L	0.5	0.3	0	0
	pH	-	11.7	11.3	10.8	10.9
	EC	mS/m	420	109	55.0	42.9
	放射性Cs溶出率*	%	2.0	1.2	0	0
	Hg	mg/L	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Cd		<0.009	<0.009	<0.009	<0.009
	Pb		<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
	As		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Se		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Cl-		1,010	136	46.0	14.7

※放射性 Cs 濃度(含有)250 Bq/kgとして各値を算出

表 2 キレート処理後飛灰の繰り返し溶出試験結果(通常)

項目	単位	キレート処理後飛灰(1日目午後)				
		1回目	2回目	3回目	4回目	
JISK0058-1	放射性Cs濃度(溶出)	Bq/L	120	10	1	0
	pH	-	12.4	12.5	12.6	12.6
	EC	mS/m	3,380	1,150	911	871
	放射性Cs溶出率*	%	75.0	6.3	0.6	0
	Hg	mg/L	0.0006	<0.0005	<0.0005	<0.0005
	Cd		<0.009	<0.009	<0.009	<0.009
	Pb		0.16	0.10	0.14	0.14
	As		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Se		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Cl-		10,400	1,200	256	88.6

※放射性 Cs 濃度(含有)1,600Bq/kgとして各値を算出

イ 実施設での排ガス処理薬剤へのゼオライト添加試験

廃棄物焼却施設の排ガス処理薬剤にゼオライトを混合して吹き込みを行ったところ、排ガスに悪影響を与えず、また、キレート剤の働きを阻害せず、処理後飛灰が水と接触した際の放射性セシウム溶出を抑制することができた。

ウ 実施設での飛灰のキレート剤混練部へのゼオライト添加試験

キレート剤混練部においてゼオライトを添加し混練を行ったところ、キレート剤の働きを阻害せず、吹き込みを行った際と同程度に放射性セシウムの溶出を抑制することができた。

(3) 埋立状況と放射性セシウムの浸出状況

埋立処分場における焼却灰の埋立状況と浸出水中の放射性セシウム濃度の関連性を調査したところ、主灰のみを埋め立てている埋立処分場では浸出水中から放射性セシウムは検出されず、飛灰を事故以前と同様雨水等と接触するような形で埋め立てている埋立処分場及び飛灰が雨水と接触しない様にしてしている処分場の一部では浸出水中から放射性セシウムが検出された。

(4) 放射性セシウムの年間浸出状況とその他の元素の関連性

2か年にわたり浸出水中から放射性セシウムが検出された4埋立処分場において浸出水中の放射性セシウム濃度を測定したところ、複数埋立処分場間での浸出水中の放射性セシウム濃度における共通の季節性は見られなかった(図2、図3)。また同一埋立処分場内でも浸出水中の放射性セシウム濃度に関する季節性は見られなかった。

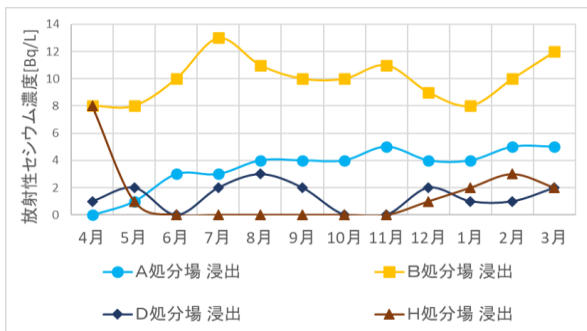


図 2 2017年度測定結果

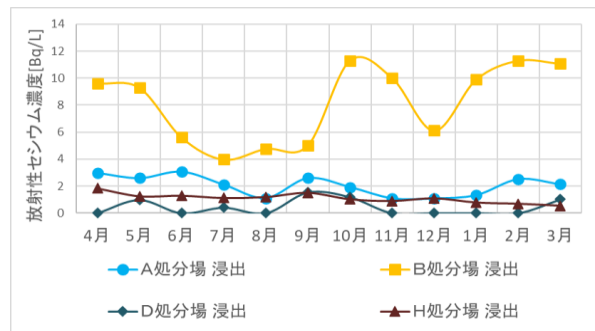


図 3 2018年度測定結果

また、放射性セシウム濃度とその他元素濃度との相関を見ると、放射性セシウムの浸出濃度と塩化物イオン浸出濃度には正の相関がみられた（図 4）ことから焼却灰中の塩化物イオン濃度及び塩化物イオンの溶出性が放射性セシウムの溶出に影響を与えている可能性がある。

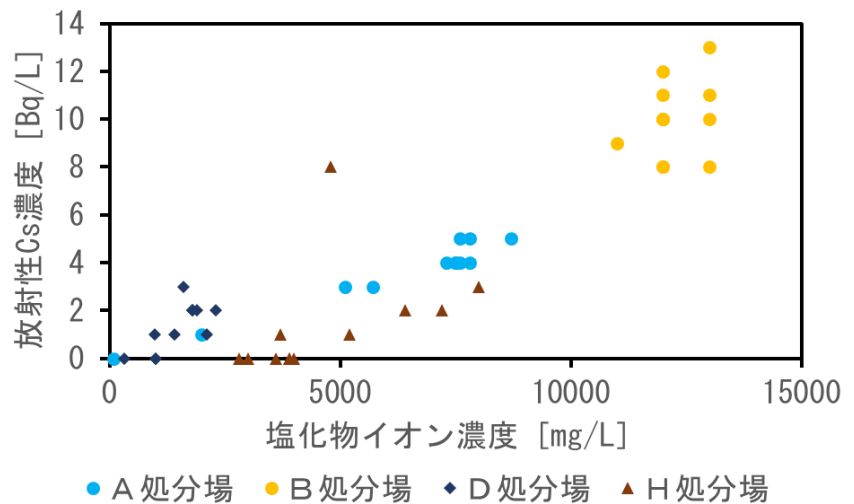


図 4 放射性 Cs 濃度と塩化物イオン濃度の相関

5.4. まとめ

県内で発生する放射性セシウムを含む廃棄物の処理・処分及び管理手法を検討するために埋立処分場及び廃棄物焼却施設において調査及び試験を実施した。埋立処分場において浸出水等の調査を実施したところ、焼却飛灰を雨水等と接触する状況で埋め立てると焼却飛灰から放射性セシウムが溶出し、浸出水から放射性セシウムが検出されることなどが確認された。

この焼却飛灰からの放射性セシウムの溶出を抑制するため各種焼却灰の溶出試験及びラボ並びに実施設における焼却灰中の放射性セシウム難溶化試験を実施した。その結果、ゼオライト等を焼却灰中に添加することで顕著な放射性セシウム溶出抑制効果が得られることが判明したが、実施設への適用においては対象となる焼却施設あるいは埋立処分場に応じた、添加方法及び添加量の検討が必要と考えられる。