

報告書

IAEA と福島県との間の協力プロジェクト (2018年～2022年)

東京電力(株)福島第一原子力発電所事故後の
オフサイトにおける除染及び環境修復

県内で得られた結果と国際的な知見との比較

2023年9月

緒言

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津波、そして東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故により、福島県を含む日本各地に放射性物質が沈着した。

2012年12月、国際原子力機関（IAEA）と福島県は、福島第一原発事故に起因する電離放射線から県民と環境を継続的に守るため、放射線モニタリングと環境修復に関連する分野で県に広範な支援を提供するため、県とIAEAの協力の枠組みを定めることを目的とした実施取決めに署名した。この協力は、日本の既存の活動を補完し、福島県民や福島県を訪れる人々にとって直接的な支援やサポートを提供することを目的としていた。

本書は、福島県と国際原子力機関（IAEA）が2012年から2022年まで実施した協力プロジェクトの一環として実施された福島県の除染及び環境修復に関する研究をまとめたものである。本報告書は、福島県における放射性核種の環境モニタリングと、環境中の放射性セシウムの挙動に関する具体的な研究で得られた経験を網羅している。特に、事故後に福島県で行われた調査と、世界の他の地域で行われた調査の両方で得られたデータの比較に焦点を当てている。また、チェルノブイリと福島との類似点と相違点が強調されている。本書は、IAEA加盟国すべてと共有されることとなる。

IAEAは、福島県と国際原子力機関（IAEA）の協力プロジェクトに参加し、本書の草稿作成およびレビューへ貢献された方々に謝意を表す。本書の責任者は、IAEA放射線・輸送・廃棄物安全部の T. Yankovich と J. Brown である。

目次

1.	はじめに	1
1.1.	背景	1
1.2.	目的	2
1.3.	範囲	3
1.4.	報告書の構成	3
2.	環境中の放射性セシウムの動き	4
3.	マトリクス構造による包括的なデータの整理	6
4.	淡水系における放射性セシウム	9
4.1.	移行プロセス	9
4.2.	河川水中の放射性セシウム	11
4.2.1.	懸濁物質中および溶存態放射性セシウム	11
4.2.2.	リター層からのCs-137の溶出と流出水中の溶存態Cs-137の濃度	15
4.2.3.	4つの源流域におけるCs-137の動態	16
4.3.	Cs-137の懸濁物質中への放射性セシウムの混入について	18
4.3.1.	流量、懸濁物質濃度、懸濁物質のCsレベルの相互作用	18
4.3.2.	増水時の懸濁物質の起源	19
4.3.3.	懸濁物質中の規格化されたCs-137濃度	20
4.3.4.	土地利用とCs-137表面流出	22
4.3.5.	懸濁物質におけるCs-137のフラックス	24
4.4.	河川水中の溶存態及び懸濁態Cs-137濃度のモデル化	26
4.5.	河川におけるCs-137の動態に関する日本と海外の知見の比較	27
4.5.1.	河川水中のCs-137の実効環境半減期	27
4.5.2.	流域からのCs-137の減少	29
5.	除染作業における経験	31
5.1.	除染活動による河川及び流域への影響	31
5.2.	河床及び川岸の除染	33
5.2.1.	台風や洪水が除染効果の持続性に与える影響	34
5.3.	河川の環境修復に関する国際的な知見	35
5.3.1.	管理面からの対策	36
5.3.2.	技術的対策	36
6.	Cs-137を含む放射性微粒子	38
6.1.	放射性微粒子に関する一般的な情報	38
6.2.	浜通りの河川の懸濁物質から検出されたCsMPs	38
6.3.	放射性核種濃度を高めた粒子に関する国際的知見	40
7.	除染作業の実施状況	43

7.1.	福島県内の除染作業.....	43
7.2.	陸域における除染及び環境修復の国際的な知見.....	45
8.	一般住民に対する情報発信.....	48
8.1.	福島事故後に実施した活動.....	48
8.2.	国際的経験.....	49
9.	要旨.....	51
10.	参考文献.....	53

附属資料Ⅰ：日本および欧州の河川における Cs-137 の挙動

附属資料Ⅱ：福島県内の河川における浮遊物質中の Cs-137 の時間依存性

附属資料Ⅲ：福島県内の河川における Cs-137 フラックスについて

要旨

2011年3月11日の地震及びこれに伴う津波、そして東京電力（株）福島第一原子力発電所事故は、放射性核種の環境放出をもたらした。福島県における放射性セシウムの沈着は非常に不均一であり、最も影響を受けた地域は、発電所の北西部に位置し、森林に覆われ、河川、貯水池などの淡水域が多く存在する山岳地帯であった。

この事故を受けて、日本政府は食品の摂取制限を行った。事故直後から、食品中の放射能濃度の制限値への適合をチェックし、日本政府によって設定された一般公衆の基準値に対する大気中のガンマ線量率を評価するためのモニタリングが開始された。さらに、陸水域における放射性セシウムの挙動を詳細に分析するための研究プログラムも開始された。福島県は、市町村に技術的助言を提供するだけでなく、対策の計画と実施において重要な役割を果たした。

2012年12月、福島県と国際原子力機関（IAEA）との間で、放射性廃棄物の管理、放射線モニタリング、除染及び環境修復に関する協力が開始された。協力の焦点は、1950年代以降にこれらの分野で開発された国際的な優れた手法に基づき、福島県の放射線状況を分析・議論し、福島県に技術的助言を提供することであった。

本報告書は、福島第一原子力発電所事故による放射性核種沈着の影響を受けた地域の除染及び環境修復に関する協力の成果をまとめたものである。報告書の主なテーマは（1）淡水域における放射性セシウムの挙動、（2）福島県内の河川の流域における ^{137}Cs の移動、（3）福島県における環境修復、（4） ^{137}Cs を含む微粒子（CsMPs）の特性、及び（5）福島県内の放射性物質の状況や除染活動の計画及び進捗状況に関する一般市民への情報発信である。

1. はじめに

1.1. 背景

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震、及びこれに伴う津波、そして東京電力（株）福島第一原子力発電所事故が発生した。放射性核種は環境中に放出され、特に福島県と近隣の県に沈着した。事故直後から、ガンマ線量率とその時間依存性、食品中および環境媒体中の放射性核種濃度を測定し、環境中の放射性核種の挙動を研究するため、モニタリングが開始された。

高レベルの放射性核種の影響を受ける地域における既存の被ばく状況における人と環境の保護に関する要件は、IAEA 安全基準シリーズ No.GSR Part 3「放射線防護と放射線源の安全性：国際基本安全基準」に定められている。このような過去の活動や事象の影響を受けた場所・地域において環境修復を計画・実施し、基本安全基準で定められた要件を満たすことに関する勧告は、IAEA-GSG-15 に記載されている。

過去の活動によって影響を受けた地域における実際の管理に関して加盟国を支援するため、IAEA は、除染及び環境修復技術、ならびに環境中の放射能および放射線レベルの低減におけるそれらの効果について記述した技術報告書を発行している。重要なものとしては、（1）放射性核種の事故放出後の農業対策ガイドライン、（2）環境汚染の放射線学的影響を低減するための環境修復戦略のガイドライン、（3）都市環境における放射能汚染と環境修復措置の有効性の評価、（4）日本における環境修復努力の10年などがある。福島第一原子力発電所事故に関する IAEA 報告書技術第5巻は、事故後に実施されたオンサイトおよびオフサイトの復旧作業について包括的に記述している。原子力事故後の廃止措置と環境修復に関する国際専門家会合に関する IAEA 報告書は、様々な加盟国で実施された廃止措置と環境修復プロジェクトから得られた経験と教訓を要約している。

2012年12月、IAEA と福島県は、「放射線モニタリングおよび修復分野の協力に関する福島県と国際原子力機関（IAEA）との間の実施取決め」（以下、「実施取決め」）に署名した。

2016年4月から5月にかけて、また2017年12月には、実施取決めが修正・延長された。

IAEA が同県に支援を提供した実施取決めの一部である活動は、以下のように要約できる：

- 無人航空機による環境マッピング技術の応用や放射性物質の長期モニタリングなど、陸域及び水域における放射線モニタリングに関する調査・研究
- 県内の陸域及び水域の除染に関する調査・研究
- 環境修復で発生する放射性廃棄物の管理に関する調査・研究

協力の目的は、福島第一原発事故に起因する電離放射線から人々と環境を確実に守るため、これらの分野で県に包括的な支援を提供することであった。この協力では、日本の既存の活動を補完し、福島県民や福島県を訪れる人々に直接的な支援やサポートを提供することを目的とした。これらのプロジェクトの実施における IAEA の活動は、国際的な経験と優れた手法に基づき、県に効果的な技術支援とサポートを提供することに重点を置いた。

本書で要約されたデータの一部は、IAEA の放射線影響評価プログラム (MODARIA) の中で分析されたものである。事故後に日本で実施された放射線生態学的研究の結果も要約され、日本で収集された事故前のデータ、およびより広範なテーマと環境をカバーする世界の他の地域の既存データと比較されている。

1.2. 目的

本書の目的は、福島第一原子力発電所事故後に得られた経験の世界的な普及に貢献できるよう、2012 年から 2022 年にかけて福島県が IAEA と実施した協力プロジェクトで得られた放射生態学に係る情報をとりまとめ提供することである。報告書の焦点は、環境中の放射性セシウムの挙動と、事故後の除染及び環境修復の効果である。

IAEA と福島県との協力の一環として、IAEA の安全基準や国際的な優れた手法に基づき、国際的な専門家や IAEA 職員が、測定結果の評価や県が実施する対策の計画・実施に関する技術的な助言を行った。さらに、他の研究機関が実施した環境中の放射性セシウムの動態に関する研究結果も議論に含まれた。報告書のトピックは次のとおりである。

- 淡水域における¹³⁷Csの挙動（水中および浮遊・底質中の放射性セシウムの経時変化を含む）
- 表面流出による集水域からの¹³⁷Csの流出
- 福島県の淡水域における除染活動とその効果
- 放射性セシウムを含む微粒子（CsMPs）の特性
- 一般市民に対する情報発信及び結果の普及に関する経験
- 世界の他の地域における、陸域および水域への放射性核種の放出に対する環境修復活動で得られた世界的な経験のレビュー

本書は、協力プロジェクトで得られた情報をまとめたものである。環境中の放射性セシウム移行のモニタリングに関する関連プログラムで得られたデータや、放射性セシウムの環境中での移行に関する特定のトピックを調査するために設定された研究プロジェクトも含まれている。

本書は主に、福島第一原子力発電所から環境に放射性核種が放出された後の日本からの環境移行データについて、県内で得られたこの経験を IAEA 加盟国と共有することを目的としている。

1.3. 範囲

本書は、事故後に放射性セシウム濃度が上昇した地域の管理に役立つ情報を提供するものである。具体的には、

- 集水域への短期沈着に伴う陸水域における淡水および堆積物中の放射性セシウムの時間依存性の推定
- 集水域における放射性セシウムの移行における地表流出の重要性の推定
- 淡水域における環境修復の手段の有効性と持続性の評価
- 住宅地における除染の有効性に関する情報を利用した手法の選択
- 一般市民に対する情報発信（利害関係者が納得できるような改善策の設定）

1.4. 報告書の構成

報告書は 9 つの章と 3 つの附属資料で構成されている。

第 2 章では、環境中の放射性セシウムの挙動について簡単に概説している。第 3 章では、マトリクス構造による包括的なデータ整理について述べている。第 4 章では、福島県の淡水系における放射性セシウムの挙動を説明し、その結果を世界的な経験と比較する。第 5 章では、除染作業における日本と世界の経験を要約する。第 6 章では、事故時に福島第一原子力発電所から放出された放射性セシウム含有微粒子（CsMPs）の存在量と特徴に焦点を当てる。第 7 章では、居住地における除染について世界的な経験と比較する。第 8 章では、事故後の市民への情報発信のいくつかの側面に焦点を当て、第 9 章では報告書の主な調査結果をまとめている。

報告書には 3 つの附属資料がある。附属資料 I は、日本とヨーロッパの河川における ^{137}Cs の動態に関するデータをまとめたものであり、附属資料 II は、2011 年から 2021 年までの福島県の河川における懸濁物質中の ^{137}Cs 放射能濃度を示したものであり、附属資料 III は、福島県の河川における ^{137}Cs のフラックスを示したものである。

2. 環境中の放射性セシウムの動き

この事故では、幅広い種類の放射性核種が放出された。その多くは短寿命のため、数週間から数カ月で崩壊する。長期的に最も重要となる放射性核種は Cs-134 と Cs-137 である。2011 年は、Cs-134 と Cs-137 の比率は約 1 だったが、Cs-134 (2.06 年) と Cs-137 (30.1 年) の半減期が異なるため、2022 年 3 月までには、Cs-134/Cs-137 の比率は約 0.03 まで下がると予想されている。

福島県内の放射性セシウムの沈着は非常に不均一で、最も影響を受けた地域は福島第一原子力発電所 (FDNPS) の北西部である (図 1)。この地域は山岳地帯で、主に森林に覆われており、川や貯水池などの淡水域が多く存在する。

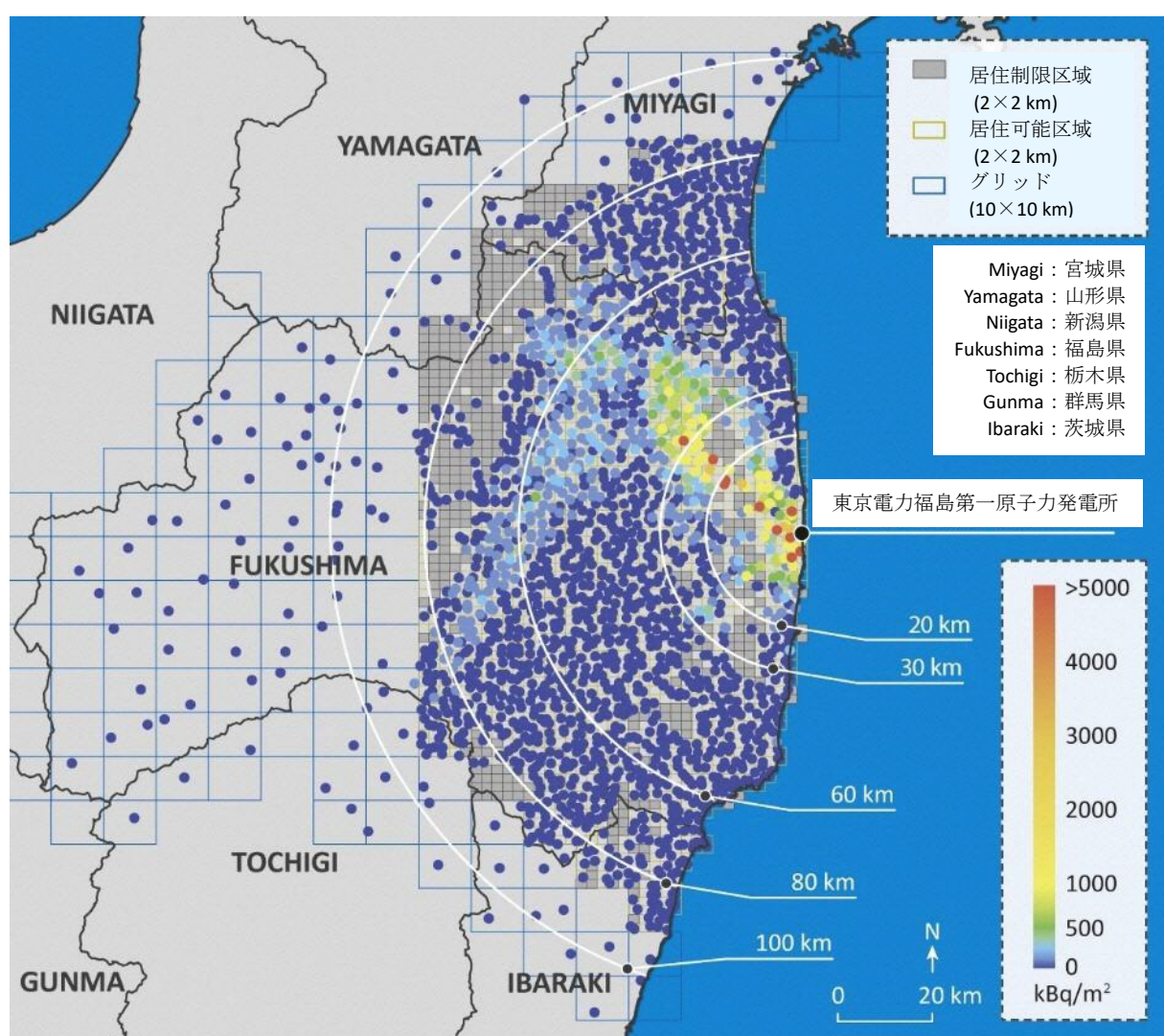


図 1 : 2011 年 6 月 14 日時点の福島県内の Cs-137 の沈着量 (IAEA, 2015)

環境中のセシウムの挙動については、過去 70 年の間に多くの知識が得られている。放射性セシウムは、核実験、稼働中の原子力施設、原子力事故などで環境中に放出

されている。環境中のセシウムの挙動を制御する重要な特性は、土壌及び浮遊物質のミネラル成分、水域の底泥の両方に強く吸着されることである。

一般的に、土壌中での移動は遅く、堆積物中にかなりの割合で蓄積し、植物によるセシウムの取り込みは少ない。しかし、カリウムの供給が不十分な酸性有機土壌（IAEA, 2010）や、粘土鉱物の風化が進んだ熱帯土壌（Wasserman ら、2008）では、土壌からのセシウムの取り込みがより多くなる場合がある。

淡水環境では浮遊物質への吸着が強いため、セシウムは効果的に底質に沈着し、水中の放射性セシウム濃度は急速に低下する。そのため、堆積物が移動する河川や湖沼におけるセシウムの移動は重要なプロセスである。魚などの生物相によるセシウムの取り込みは、特にカリウム濃度の低い水域で大である。

3. マトリクス構造による包括的なデータの整理

福島県では、環境中の放射性核種の挙動や被災地の除染に関する様々な研究が行われてきた。このような知識へのアクセスを容易にするために、構造化された方法でデータを文書化するマトリクス方式が提唱されている。データを包括的かつ簡潔にまとめることで、福島県で達成された成果と、これらの分野における世界の経験との比較を容易に表すことができる。

マトリクスの構造を表1に示す。しかし、マトリクスは表というよりは、むしろデータを報告するための構造を定義している。多くの場合、調査結果を単純なデータポイント（計測や調査で引き出された実際の情報）として表中に取りまとめることは難しい。多くのデータセットは、長年にわたって様々な場所で収集された多くの個別データから構成されており、パラメータやプロセスに応じた表現が必要である。

福島県などで実施された放射性核種の挙動や除染に関する研究成果をまとめるためのデータマトリクスには以下のプロセスを含んでいるが、必要かつ適切であれば、さらに多くのプロセスを導入することが可能である：

- 河川水中のCs-137濃度の時間依存性
- ダム湖／貯水池におけるCs-137濃度の時間依存性
- 淡水域の底質におけるCs-137濃度の時間依存性
- 流域／流域面積からのCs-137の流出率
- 河川水および浮遊物質中のCs-137の実効環境半減期
- 環境中に存在する放射性セシウム濃度が極めて高い微粒子
- 除染（河川）
- 除染（住宅地）

各プロセスには、結果の概略と簡単な（予備的な）評価を可能にする、以下のような複数の記述が必要である。

- パラメータ／数量の定義
- 試料採取地点
- 観測期間
- 報告されたパラメータ／数量の単位
- 以下の項目を適宜添えた発表結果：
 - 単一値、個別データポイント
 - 時系列での数値（図および／または表）
 - 空間的な分布を表す量やパラメータ値
 - 1つまたは複数の変数に従属して算出された被説明変数を記述する関数
- 主な影響要因
- プロセスの影響因子への依存性、その他プロセスを特徴づける顕著な事項。

報告される結果の形式は、プロセスの性質によって異なる。研究結果は、例えば、単一の値、時系列に見た値、または1つ以上の変数に依存して結果を記述する関数として、適切に報告される。環境媒体中のパラメータや放射能の空間分布を示すために、地図が含まれる場合がある。どのようなプロセスでも、結果を提示するための個別のフォーマットが必要であるため、より具体的にフォーマットを定義することは不可能である。

他の国で導出されたデータも、同じ構造で報告することができる。これにより、福島県で実施された研究との比較が容易になる。

マトリックスは、データを形式的に含めるための「大きな表」と考えてはならない。多くの場合、何年にも渡る時系列で結果が示され、個別のポイントも多いため、これは不可能である。

このマトリックスは、福島県内および世界各地で行われた取組に関するデータを報告するための一般的な構造を提案している。

以下では、福島県で得られた結果をまとめ、環境中の放射能汚染に関する諸外国の研究結果と比較する。提示された結果は、上に示したデータ構造を統合する基礎となりうるものである。

表 1：福島県などで精緻化されたデータを包括的かつ簡潔にまとめるための構造を定義するマトリックス

プロセス	パラメータ/数量	標本の場所	観測期間	単位	値	影響力因子
1 河川水中の Cs-137 濃度の時間依存性	溶存態 Cs-137 の測定値			Bq/m ³	時系列に見た河川の観測点	流量 濁度 浮遊物質濃度
	粒子態 Cs-137 の測定値			Bq/kg		
	溶存態 Cs-137 のシミュレーションレベル			Bq/m ³		
	粒子態 Cs-137 のシミュレーションレベル			Bq/kg		
2 ダム湖／貯水池における Cs-137 濃度の時間依存性	溶解された Cs-137 の測定値			Bq/m ³	ダム湖・貯水池の観測点における時系列データ	
	粒子状 Cs-137 の測定値			Bq/kg		
	溶解された Cs-137 のシミュレーションレベル			Bq/m ³		
	粒子状 Cs-137 のシミュレーションレベル			Bq/kg		
3 淡水域の底質における Cs-137 濃度の時間依存性	粒子状 Cs-137 の測定値			Bq/m ³	河川／ダム湖／貯水池の観測点における時系列データ	
	粒子状 Cs-137 のシミュレーションレベル			Bq/kg		
4 流域面積からの Cs-137 の流出率	流域／流域面積からの Cs-137 の流出			Bq/ m ² a (単位面積当たりの時間当たりの放射能減少)		土地利用、地形の傾斜、降水量、降水量の多い事象の数、流域面積
5 実効環境半減期	環境媒体中の Cs-137 の経時的な減少量			日または年 特定した成分の数		事故後の時間、考慮された媒体、環境条件
6 環境中の微粒子	発見された放射性セシウム含有微粒子 (CsMPs)			発見された粒子の数 単位面積あたりの粒子の数		粒子の種類
	構成			粒子に含まれる主な元素 (mg/kg)		
	放射能			Bq/粒子 Bq/kg		
7 除染 (河川)	除染対策 (例：海岸堆積物除去、底質除去、雑草除去など)。			該当するもの： 除染前と除染後の単位重量当たり放射能 (Bq/kg) 除染前と除染後の単位面積当たり放射能(Bq/m ²) 除染前と除染後の放射線量率		除染後の雨量、降雨後の豪雨事象、地形の傾き除染強度、除染された領域、除去された物質 (土壌、堆積物、リターなど) の量、適用された除染手段

4. 淡水系における放射性セシウム

4.1. 移行プロセス

河川や湖沼、貯水池の水は、飲料水やかんがい用水として、また商業目的のために広く利用されている。2011年の事故により、福島県の水源に欠かせない流域も汚染された。

淡水系におけるセシウムの移行スキームを図2に示す。流域から淡水域への放射性セシウムの移行の原動力は水の流れである。放射性セシウムは土壌の鉱物に強く吸着されるため、主に堆積物に付着して移行する。流出水中の放射性セシウムの量は、土地利用（植生、舗装された人工構造物、裸地）、降水量と降雨強度、地表の傾斜の複雑な相互作用の結果である。

淡水系には、河川、湖沼、貯水池が含まれる。かんがい用水や飲料水としての水利用は、人間環境とのつながりを意味する。集水域における放射性セシウムの輸送は連続的ではなく、降水量や表面水の流出量によって変化する。乾季には非常に低くなる一方で、降雨量が多いときには桁違いに高くなることもある。そして、河川が越流して流域内の地域が浸水し、水とともに運ばれた汚染された浮遊物質が氾濫原に堆積することがある。

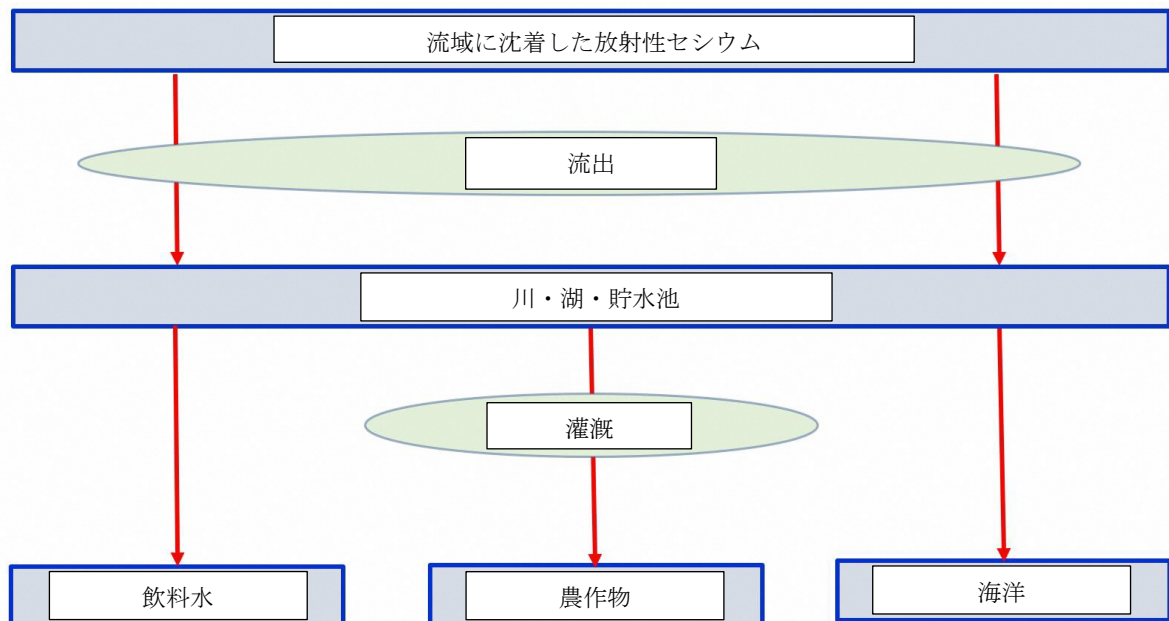


図2：流域から海洋への放射性セシウムの移行スキーム（赤矢印は区画間の移行を示す）

福島県の水の供給にとって淡水域は非常に重要であることから、2011年の事故直後から淡水域のセシウムのモニタリングが複数の機関によって開始された。モニタリングプログラムでは、以下の活動を実施した：

- 溶存態および浮遊粒子中の放射性セシウム濃度の測定
- 底質中の放射性セシウム濃度の測定
- 流域からの放射性セシウムの流出率
- 河川水による放射性セシウムの移行
- 水文学的特性
 - 水位・流量の測定
 - 降水量
 - 濁度
- 水の組成
 - 主要イオン（カリウム、カルシウム、マグネシウム、アンモニウム）の濃度
 - 浮遊物質量

そのため、阿武隈川と沿岸流域面積における河川に30か所のモニタリングステーションを設置した（図3）。

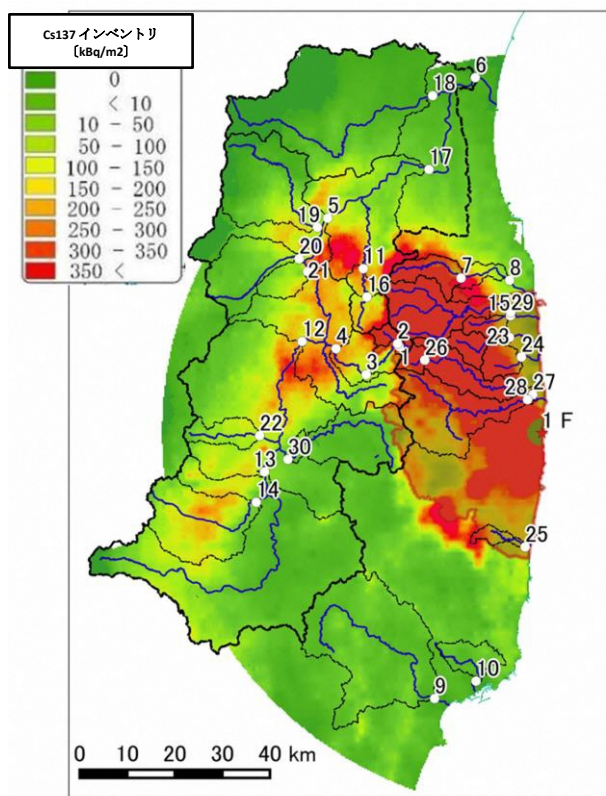


図3：2011年7月2日に算出されたCs-137沈着量の地図。赤い網掛けは本来の避難区域を示す。地図中の数字は、表6のサイトに対応している。（図はTaniguchi et al., 2019より再掲）

4.2. 河川水中の放射性セシウム

4.2.1. 懸濁物質中および溶存態放射性セシウム

淡水中の放射性セシウムは、溶存態および粒子態として存在する。セシウムは粘土粒子に強く収着するため、放射性セシウムの大部分は浮遊物質に吸着されている。湖や貯水池のような穏やかな水域や、流量の少ない河川では、浮遊物質はすぐに底質へと沈降する。

図 4a は、2011 年から 2021 年までの期間を対象とした福島県の河川の水中における浮遊物質中の Cs-137-放射能濃度の絶対値と正規化濃度、図 4b は、溶存 Cs-137 の絶対値と正規化放射能濃度である（谷口ら、2019；福島県、2023）。正規化された粒子状および溶存 Cs-137 の放射能濃度とは、Cs-137 の放射能濃度を集水域の単位面積あたりの平均 Cs-137 沈着量で割った値を表す。正規化することで、沈着密度の違いの影響を排除し、流域間の比較可能性を向上させることができる。データには阿武隈川水系の本流と、浜通り地域の 9 つの小河川水系が含まれる。

事故直後の浮遊物質中の Cs-137 濃度は 10,000 Bq/kg を超えたが、その後濃度は着実に低下している。浮遊物質中の Cs-137 放射能濃度の変化は顕著で、1～2 桁の規模に及ぶが、浜通り地域の河川では 3 桁の規模に及ぶこともある。しかし、河川流域ごとに Cs-137 の沈着量、規模、傾斜、土地利用が異なるため、この変動は驚くには値しない。浮遊物質中の Cs-137 規格化された濃度の変動は小さくなっている。図 4 の基礎データは付属書 I に示されている。

河川水中の溶存 Cs-137 の測定事例は少ない。セシウムは浮遊物質に強く収着するため、河川水中の溶存 Cs-137 の濃度は比較的低い。阿武隈川とその支流では測定期間内に、数百 mBq/L から数 mBq/L に低下している。浜通り地域の河川では、その低下はあまり顕著ではない。水中の溶存放射性セシウムのレベルは、世界保健機関（WHO）が推奨する飲料水中の Cs-137 の品質基準である 10 Bq/L（図 4b（上）に表示）をはるかに下回っている。

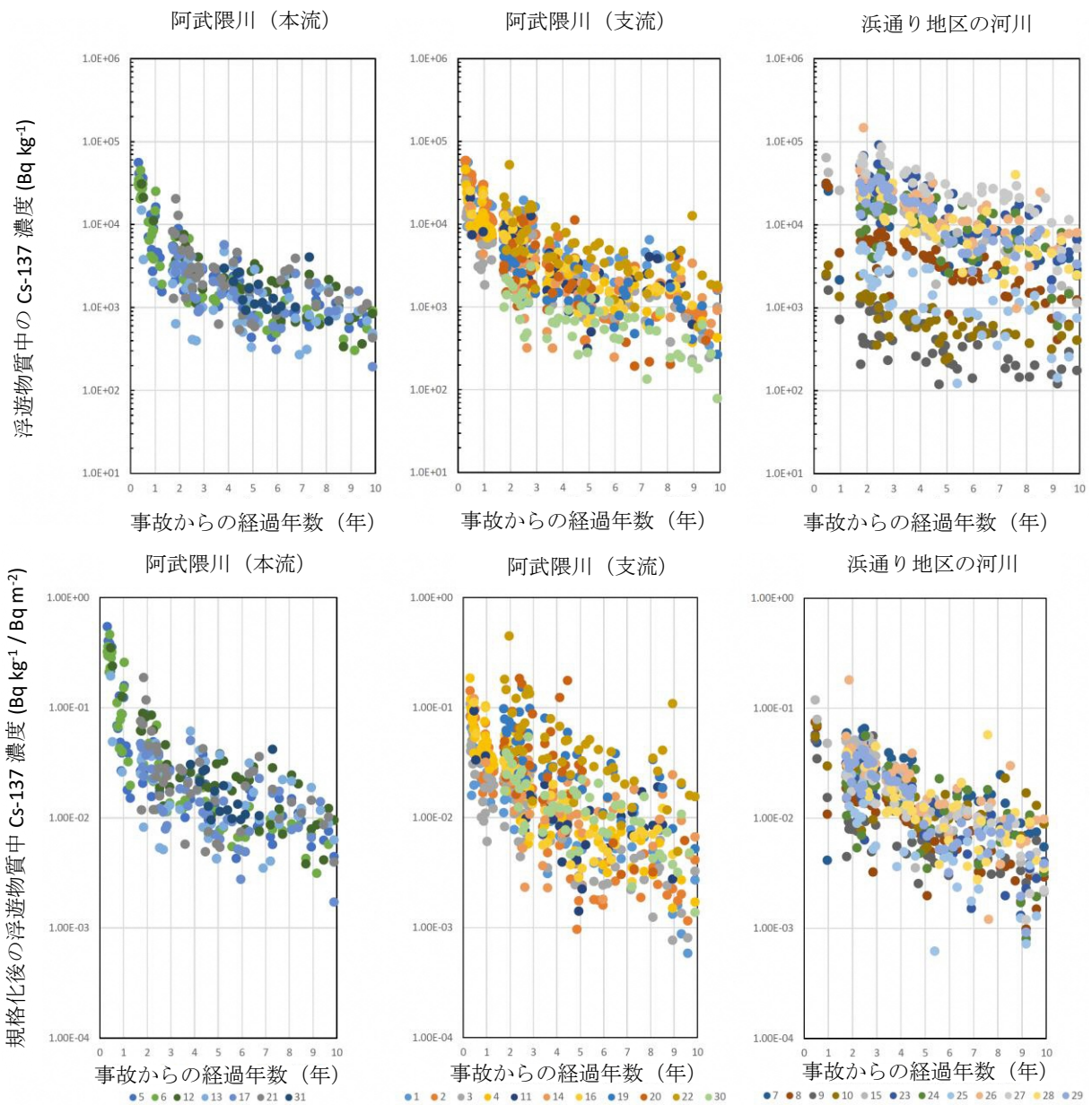


図 4a : 福島県の河川水中の浮遊物質中 Cs-137 放射能濃度 (上) と規格化後の放射能濃度 (下) (Takeuchi et al., 2023a)

(数字は次の河川を示す : 1 水境川、2 口太川上流、3 口太川中流、4 口太川下流、5 伏黒、6 岩沼、7 真野、8 小島田堰、9 松原、10 小名浜、11 月舘、12 二本松、13 御代田、14 西川、15 北町、16 川俣、17 丸森、19 瀬ノ上、20 八木田、21 黒岩、22 富田、23 太田、24 小高、25 浅見、26 津島、27 請戸、28 高瀬、29 原町、30 赤沼、31 亘理)

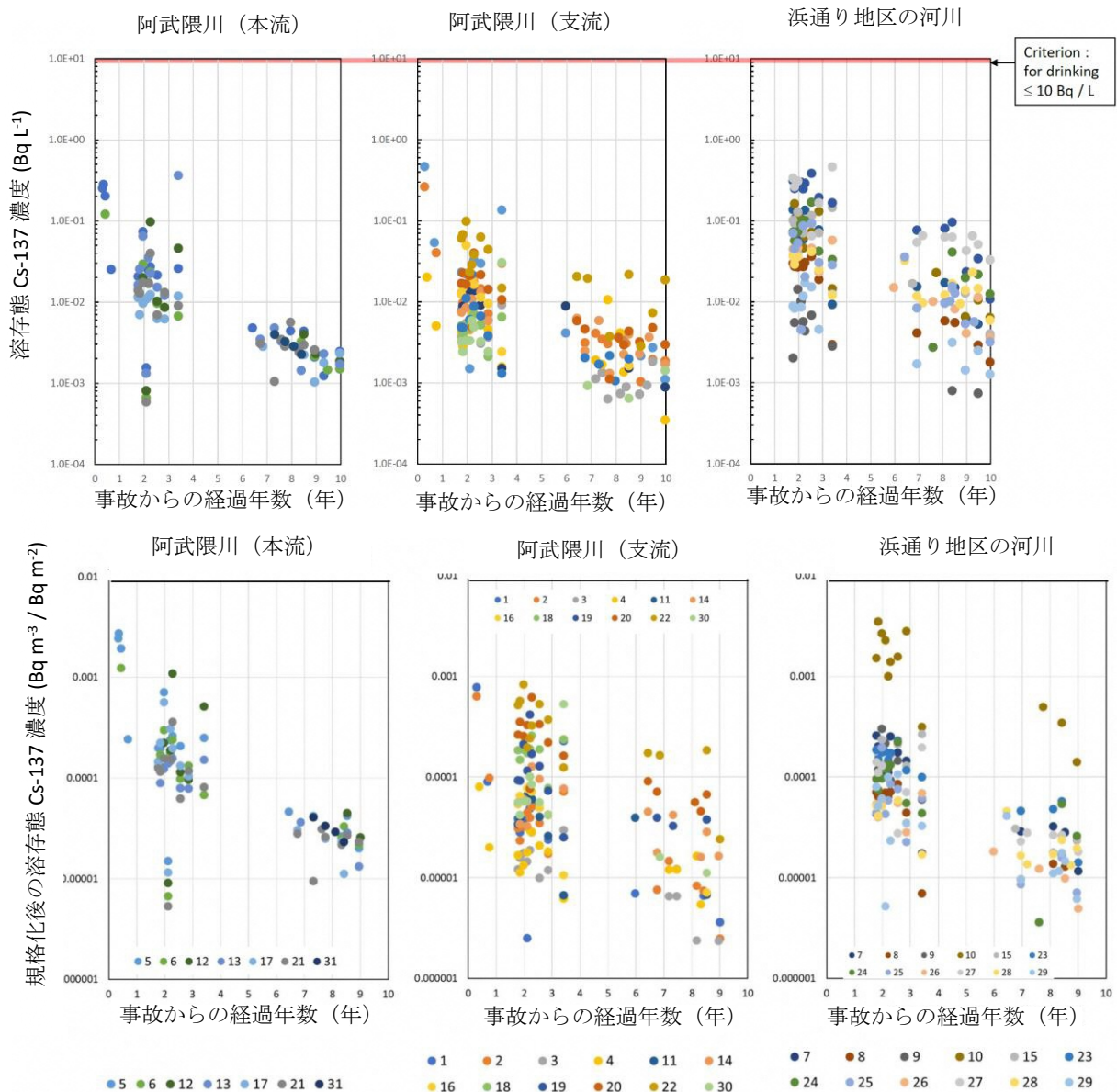


図 4b : 福島県内の河川水中の溶存態 Cs-137 放射能濃度 (上) と規格化後の放射能濃度 (下) (Takeuchi et al., 2023b)

(数字は次の河川を示す : 1 水境川、2 口太川上流、3 口太川中流、4 口太川下流、5 伏黒、6 岩沼、7 真野、8 小島田堰、9 松原、10 小名浜、11 月舘、12 二本松、13 御代田、14 西川、15 北町、16 川俣、17 丸森、18 船岡大橋、19 瀬ノ上、20 八木田、21 黒岩、22 富田、23 太田、24 小高、25 浅見、26 津島、27 請戸、28 高瀬、29 原町、30 赤沼、31 亙理)

淡水における Cs-137 濃度の時間依存性は、物理的壊変、移行、堆積物の移動など、環境媒体中の Cs-137 濃度の低下を引き起こすすべての過程を統合した実効環境半減期¹によって定量化される (IAEA, 2010)。

¹ 生態学的プロセスおよび物理的壊変による河川水中の Cs-137 濃度の低下

2012年から2021年の期間に観測された河川における粒子態および溶存態 Cs-137 濃度について推定された実効環境半減期は、表 2 にまとめられている。粒子態 Cs-137 濃度は溶存態 Cs-137 濃度よりもやや緩やかに低下し、実効環境半減期の変化も小さい。概して、溶存態 Cs-137 濃度との差はあまりみられない。

表 2：福島県内の河川における粒子態および溶存態 Cs-137 の実効環境半減期（2012 年～2021 年）。観測点数は括弧内に記載（Takeuchi et al., 2023a, 2023b）。

Cs-137 の 形態	2012 年～2021 年の期間における Cs-137 の実効半減期（年）			
	阿武隈川	阿武隈川の支流	浜通りの河川	全河川の平均
粒子態	3.7 (6)	3.2 (11)	3.1 (12)	3.2 (29)
溶存態	2.8 (6)	3.0 (10)	2.7 (11)	2.8 (27)

2011 年から 2021 年までの比曽川と割木川の浮遊物質中および溶存態 Cs-137 濃度の時間依存性を図 5 に示した。どちらの河川においても、全観測期間を通じて、連続的かつ比較的滑らかな減少が見られる。堆積直後の速い成分の後に、堆積後数ヶ月からより遅い成分が続く。

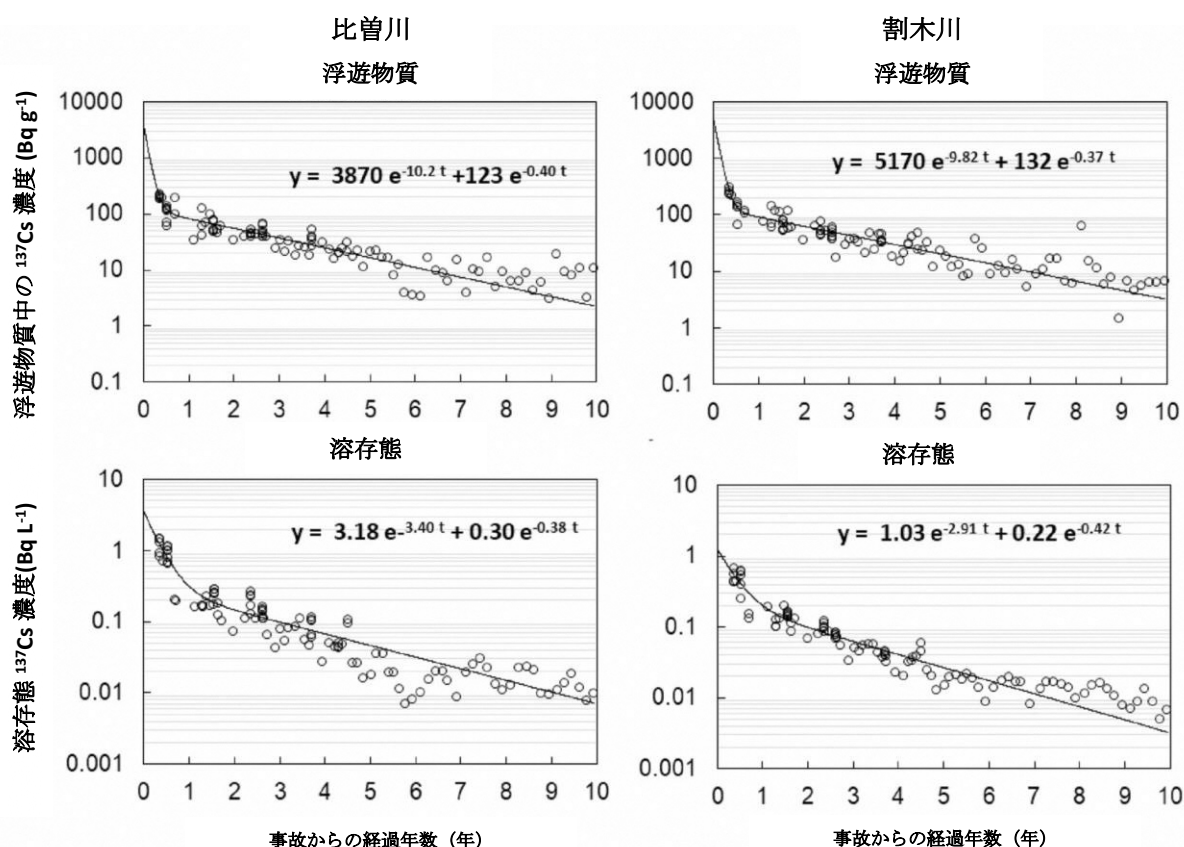


図 5：2011-2021 年の比曽川と割木川の粒子状および溶存態 Cs-137 の放射能濃度（Ueda et al., 2021 年より再掲）（注意: 重なっている円もあるため、黒い円があるように見えるが、円の種類は 1 つだけ）

Nakanishi and Sakuma (2019)は、2015年から2018年にかけて、請戸川と太田川の水中の粒子態および溶存態 Cs-137 濃度の減少を調査した。この時期、粒子態 Cs-137 の実効半減期は、請戸川と太田川でそれぞれ 2.1 年、1.5 年であることが観測された。溶存態 Cs-137 の減少はより緩やかで、実効半減期は請戸川が 3.3 年、太田川が 2.2 年であった。表 2 に示した値と同じ範囲内にある。

表 2 の河川水中の Cs-137 の実効半減期の値はやや短い、表 2 の観測期間が 2012～2021 年（谷口他、2019 年、谷口他、2020 年、福島県、2023 年）であるのに対し、Nakanishi and Sakuma (2019)では 2015～2018 年となっていることに留意する必要がある。したがって、この違いを過大評価すべきではない。

4.2.2. リター層からの Cs-137 の溶出と流出水中の溶存態 Cs-137 の濃度

Nakanishi and Sakuma (2019)は、河川水中の溶存態 Cs-137 濃度が夏に最大、冬に最小となる季節変動を見出した。氾濫域に存在するリターの分解による Cs-137 の放出が、河川における溶存態 Cs-137 の重要な供給源であることが示唆された。観測期間の終盤（2015～2018 年）になると、季節変動はあまり顕著ではなくなった。

これらの結果は、東日本の 66 の河川で規格化された溶存態 Cs-137² 濃度を測定した Tsuji et al. (2019)の研究によって支持されている。規格化された溶存態 Cs-137 濃度は、流域面積の森林被覆率が高いほど低く、一方、市街地の割合が高いほど高濃度であることがわかった。都市部における高濃度のカリウムや溶存有機炭素が、流出水に含まれる土壌粒子への Cs-137 の吸着を阻害していると推測される (Tsuji et al, 2019)。

さらに、Tsuji et al. (2019) は、規格化された溶存態 Cs-137 濃度が地形湿潤指数 TWI³ に伴って上昇することを見出した。平坦地では、流出量が少なく、地表面が濡れている期間が斜面より長いため、TWI は高くなる。森林地帯は主に斜面になっているため、TWI は低くなる；これは、水中の溶存態 Cs-137 濃度と流域における森林被覆率との間に負の相関が見られることを示す結果と一致する。

Sakakibara et al. (2021) は、福島の広葉樹林のリター層からの Cs-137 の溶出について研究し、重要な結果を示した：

- リター層からの Cs-137 の溶出量は、リター層と雨水の接触面積および接触時間が増加するにつれて増加した。
- 降雨量の増加に伴い、流出水中の溶存態 Cs-137 濃度が増加し、リター層と水の接触面積と接触時間も増加した。

² 正規化溶存態 Cs-137 濃度：河川水中の溶存態 Cs-137 と流域面積の平均 Cs-137 沈着量の比率[m²/L]。

³ 地形湿潤指数は次のように定義される：TWI= ln(流域面積 / [tan(傾き)])

結論として、Nakanishi and Sakuma (2019)、Tsuji et al. (2019)、Sakakibara et al.ら (2021) の研究結果は、リター層からのCs-137の溶出と流出水中の溶存態Cs-137の濃度には一貫して関係があることを示している。しかし、これらの知見は、河川水中における総計のCs-137放射能に対する溶存態Cs-137および浮遊物質中のCs-137の寄与との関連で考える必要がある。図4と図5が示すように、河川水中のCs-137は圧倒的に浮遊物質に吸着している。

4.2.3. 4つの源流域におけるCs-137の動態

Iwagami et al. (2019)は、2011年から2016年にかけて、福島県の4つの源流域において、溶存態Cs-137および浮遊物質と粗大有機物に吸着されたCs-137の濃度の時間依存性を調査している。

渓流水中のCs-137濃度の時間変化は、1成分または2成分の指数関数で近似された。最初の200日間の期間と2012年から2016年までの期間に分けて検討した。

最も早く低下したのは溶存態¹³⁷Cs濃度で、2011年6月から12月にかけて、実効環境半減期 $T_{\text{eff},1}$ が44から77日の範囲と見積もられた(表3)。

第二段階では、溶存態Cs-137、浮遊物質に吸着されたCs-137、粗大有機物に吸着されたCs-137の間で違いが生じた。

- 溶存態Cs-137濃度は、0.89～5.3年の実効環境半減期に従って減少した。
- 粗大有機物に吸着されたCs-137は、0.82～2.1年の $T_{\text{eff},2}$ に従って減少した。
- 渓流水中の¹³⁷Csの中で最大の画分は浮遊物質に吸着されている画分であった。渓流水中のこの画分の濃度は、報告された1.6～22年の T_{eff} 値と大きなばらつきがある。

表 3 : Cs-137 の形態が異なる場合の源流域からの放流水における Cs-137 放射能濃度の実効半減期 (Iwagami et al., 2019、 Onda et al., 2020).

フェーズ	集水域	¹³⁷ Cs の存在形態	実効環境半減期	
			T _{eff,1} (2011年6月～12月)	T _{eff,2} (2012年～2016年)
2011年6月～12月	高太石 a	溶存態	77 日	
	疣石 c	溶存態	44 日	
	石平 d	溶存態	44 日	
2012年1月から 2016年11月	高太石 a	溶存態		2.2 年
		浮遊物質		22 年
	世戸八 b	溶存態		5.3 年
		粗大有機物		2.1 年
		浮遊物質		2.5 年
	疣石 c	溶存態		0.98 年
		粗大有機物		0.82 年
		浮遊物質		4.6 年
	石平 d	溶存態		0.89 年
		粗大有機物		1.0 年
浮遊物質			1.6 年	

a 高太石 : 杉林 99%、草地 1%、b 世戸八 : 杉林 100%)

c 疣石 : スギ・落葉樹林 76%、草地 23%、d 石平 : スギ林 81%、草地 19%

一般に、流出水中の ¹³⁷Cs 濃度の低下は、草地の割合が高い流域の方が森林の割合が高い流域よりも早かった。この結果は、Yamashita et al. (2016) で報告された、草本中の ¹³⁷Cs 濃度がリター層よりも急速に低下したことと一致する。

4.3. Cs-137 の懸濁物質中への放射性セシウムの混入について

4.3.1. 流量、懸濁物質濃度、懸濁物質の Cs レベルの相互作用

流量と浮遊物質濃度および浮遊物質中の Cs-137 濃度の関係は、Arai et al. (2021) の研究により明らかにされた。調査は広瀬川の流域で行われ、広瀬川と阿武隈川の合流点付近で水試料が採取された。

この研究では、i) 河川水および浮遊物質中の粒子状 Cs-137 濃度、ii) 河川水及び浮遊物質中の総有機炭素濃度 (TOC)、iii) 隣接する森林土壌、森林リター、河川敷土壌および河川堆積物中の Cs-137 および TOC 濃度の測定に基づいている。河川水試料は通常の流量条件と台風通過時や通過後の流量⁴が多い条件で採取された。試料採取は、2017 年 9 月から 2019 年 10 月まで実施された。

さらに、本研究ではこれら媒体中の Cs-137 濃度、TOC および $\delta^{13}\text{C}$ ⁵ 値から、懸濁物質中の森林土壌、森林リター、森林土壌および河川堆積物の寄与率を決定した。寄与率は、基準水位時と高水位時の混合モデルによって推定された。

結果を図 6 に示す。河川水中の浮遊物質濃度の上昇に伴い、

- 河川水中の浮遊物質中の Cs-137 の濃度が上昇した。
- 水中の有機物濃度が上昇した。
- 浮遊物質中の Cs-137 濃度が低下した。
- 浮遊物質中の全有機炭素濃度が減少した。
- 浮遊物質中の $\delta^{13}\text{C}$ 値が低下した。

流量が多い時には、河床堆積物の再懸濁が流量の増加とともに強く影響するため、通常の流量時よりも河川水中の浮遊物質濃度が高くなった。

⁴ 低水位時条件とは、最後の降水から少なくとも 2 日以上経過した後に採水し、浮遊物質濃度が 1.5~4.2mg/L の範囲にあったものとした。

台風時や台風後の高水位時条件の試料では、浮遊物質濃度は 5~930mg/L の範囲で変動した。

⁵ $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャー：炭素-13 は天然の安定炭素同位体であり、地球上の炭素の約 1.1%が C-13 である。 $\delta^{13}\text{C}$ シグネチャーは、環境試料中の Vienna PeeDee Belemnite (VPDB) 標準 (Hoffman and Rasmussen, 2022) からの $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比の偏差をパーミル単位で定量化する。 $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャーは、サンプルと VPDB 標準の ^{13}C と ^{12}C の濃度から、以下のように計算される。

$$\delta^{13}\text{C} = \left[\frac{^{13}\text{C}_{\text{sample}}/^{12}\text{C}_{\text{sample}} - ^{13}\text{C}_{\text{standard}}/^{12}\text{C}_{\text{standard}}}{^{13}\text{C}_{\text{standard}}/^{12}\text{C}_{\text{standard}}} \right] \times 1000.$$

有機物中の $\delta^{13}\text{C}$ 値が低いことは、C-13 の原子質量が C-12 に比べて大きいため、光合成の際に植物によって $^{12}\text{CO}_2$ が取り込まれやすくなり、これが植物体中の $\delta^{13}\text{C}$ 値の低下を引き起こす。

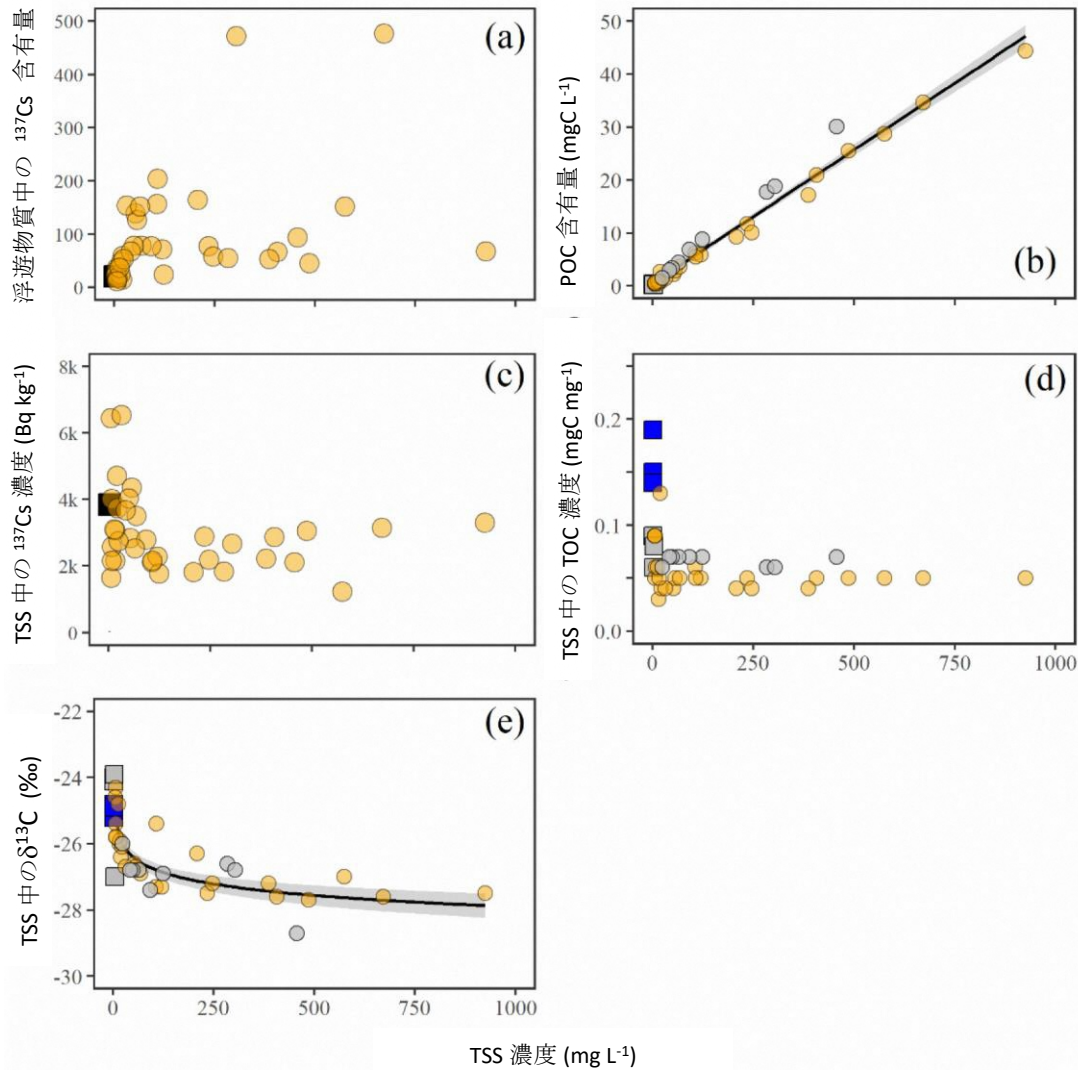


図6：水中のTSS（全浮遊物質）に対する、水中の(a) 浮遊物質中のCs-137含有量、(b) POC（粒子態有機炭素）含有量、浮遊物質中の(c) Cs-137濃度、(d) TOC（全有機炭素）濃度、および (e) $\delta^{13}\text{C}$ 値。（推定値はグレー、実測値は青とオレンジ、四角は低水位時条件、丸は高水位時条件）。（図：Arai et al., 2021）

4.3.2. 増水時の懸濁物質の起源

$\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャー、水中の TOC 濃度、浮遊物中の Cs-137 放射能濃度は、試料中の炭素源を決定するために使用された。異なる媒体や森林土壌サンプルにおける $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャーは、河川水中に増加した浮遊物質の起源を示すものである。表 4 に、調査地の様々なサンプルにおける $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャー、Cs-137 濃度、TOC 濃度をまとめた。河川からの物質の $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャーは-25.4 から 26.4 ‰の範囲であるのに対し、森林の土壌とリターの $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャーは-26.4 から-30.0 ‰の範囲で変化した。つまり、河川堆積物、河岸土壌、森林土壌、森林リターの間で、 $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャーに明確な差があることがわかる。

表 4：河川および森林試料の $\delta^{13}\text{C}$ -シグネチャー、Cs-137 放射能濃度及び全有機炭素 (Arai et al., 2021)

試料	$\delta^{13}\text{C}$ シグネチャー (%)	サンプル数	Cs-137 放射能濃度 (Bq/kg)	サンプル数	全有機炭素 (mgC/mg)	サンプル数
森林土壌	-26.9±0.6	12	5400±1600	12	0.11±0.021	12
森林リター	-30.0±0.5	16	240±150	16	0.47±0.011	16
河岸土壌	-26.4±0.8	15	470±530	46	0.018±0.015	15
河川堆積物	-25.4±0.8	21	110±110	175	0.001±0.001	21

水中の全浮遊物質濃度の増加とともに $\delta^{13}\text{C}$ シグネチャーが低下し、流速が増加する傾向にあることから、森林土壌と森林リター層の相対的な寄与が低下していることがわかる。同時に、河川水中の浮遊物質の上昇に伴い、TSS に対する河岸土壌と河川堆積物の相対的な寄与が増加する。総浮遊物質へのさまざまな寄与を統計的に分析した結果、次の仮説が確認された：

- ベースフロー条件下では、森林土壌が浮遊物質に対して70%近くを占めている。川岸土と川底土の寄与は共に約7%である。
- 高流量では、河川水中のTOCの絶対的濃度が上昇した。その結果、浮遊物質に対する森林土壌の相対的な寄与は48%に減少し、TSSに対する河岸土壌と河川堆積物の両方の投入量は約50%に増加した。

4.3.3. 懸濁物質中の規格化された Cs-137 濃度

河川流域における放射性セシウムの長期的な挙動は、水供給、農業、レジャー活動への放射性セシウムの影響の可能性を評価するために不可欠である。

福島河川では、30 の観測地点において放射性セシウム濃度の観測が行われた (Taniguchi et al. 2019)。観測地点間での放射性セシウム動態を比較するために、Cs-137 濃度は、流域面積における平均沈着量の平均値で規格化した (Taniguchi et al., 2019)。評価の基になったデータは、付属書 I にまとめられている。

Cs-137 濃度の時間依存性は、2 つの成分を持つ指数関数で近似された。その結果を図 7 に示す。データの対象期間は 2011 年から 2016 年までである。浮遊物質中の Cs-137 濃度の低下は、事故後 1 年目に急激な低下がみられ、その後数年間にわたって緩やかになるという特徴があった。

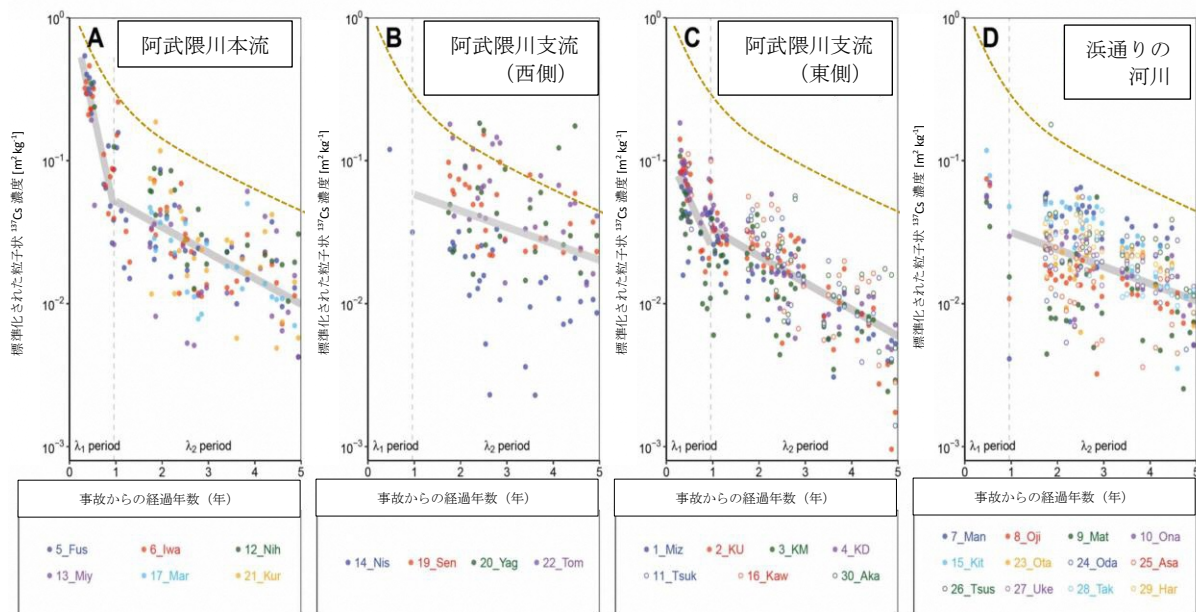


図 7 : (A) 阿武隈川本流、(B) 阿武隈川支流（西側）、(C) 阿武隈川支流（東側）、(D) 浜通りの河川における、浮遊物質中の規格化された Cs-137 濃度の時間依存性（図 C では、サイト 1_Miz と 2_KU は除染作業が実施されたため解析から除外した（図は Taniguchi et al. (2019) より））。図 7 の浮遊物質中の Cs-137 放射能濃度の基礎データは、付属書 I にまとめられている。

阿武隈川水系の 6 つの観測地点については、流域からの Cs-137 の流出を推定するため、より詳細な調査を実施した。検討した各流域について、規格化した浮遊物質中の Cs-137 濃度 $C'(t)$ の減少を、2011 年 6 月から 2012 年 3 月、2012 年 4 月から 2015 年 8 月の各フェーズについてそれぞれ単指数関数で近似した。

— 2011年6月から2012年3月までの期間： $C'_1(t) = a_1 \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$ (eq. 1a)

— 2012年4月から2015年8月までの期間： $C'_2(t) = a_2 \cdot e^{-\lambda_2 \cdot t}$ (eq. 1b)

ここで、 a_1 と a_2 は期間 1 と期間 2 のパラメータ、 λ_1 と λ_2 は対象河川の浮遊物質中の Cs-137 の還元率を表す。

パラメータ a_n および $T_{\text{eff},n}$ の値を表 5 に示す ($T_{\text{eff},n}$ は式(1)の λ_n に相当する。1a および 1b が準じるのは： $T_{\text{eff},n} = \ln 2 / \lambda_n$)。浮遊物質中の Cs-137 濃度は急速に低下する。浮遊物質中の規格化 Cs-137 濃度は、第 1 期では 0.3~1.6 年の実効環境半減期の範囲に従って低下し、第 2 期では低下速度が遅くなり、1.4~2.7 年の半減期に相当するようになる。

表 5 には、2012 年から 2016 年にかけて他の 24 地点で測定された浮遊物質中の Cs-137 の半減期も含まれている。測定を開始する時期が遅かったため、低下の短期成分を決定できず、第 2 成分についてのみ実効環境半減期が示されている。これらの観測地点では、浮遊物質中の Cs-137 濃度の推定実効環境半減期は 1.1 年から 16 年までと様々である。

表 5 : 2011 年 6 月～2012 年 3 月および 2012 年 4 月～2015 年 8 月の期間における浮遊物質中の Cs-137 の標準化放射能濃度の時間依存性を表す指数関数 (Taniguchi et al. (2019))、観測地点 7～30 の測定は 2012 年 4 月に開始された。

観測地点名	2011 年 6 月から 2012 年 3 月までの 減少を表す指数関数		2012 年 4 月から 2015 年 8 月までの 減少を表す指数関数	
	a_1	$T_{\text{eff},1} \text{ (y)}$	a_2	$T_{\text{eff},2} \text{ (y)}$
1 水境川	0.64	1.6	0.36	2.7
2 口太川_上流	0.79	0.37	0.21	2.0
3 口太川_中流	0.74	0.33	0.26	1.6
4 口太川_下流	0.64	0.75	0.36	1.4
5 伏黒	0.96	0.18	0.04	1.8
6 岩沼	0.92	0.22	0.08	1.5
7 真野	-	-	0.040	8.2
8 小島田堰	-	-	0.020	4.6
9 松原	-	-	0.022	3.7
10 小名浜	-	-	0.060	2.1
11 月舘	-	-	0.117	1.1
12 二本松	-	-	0.128	1.6
13 御代田	-	-	0.039	2.9
14 西川	-	-	0.032	2.5
15 北町	-	-	0.117	1.5
16 川俣	-	-	0.118	1.1
17 丸森	-	-	0.063	1.8
18 船岡大橋	-	-	-	-
19 瀬ノ上	-	-	0.133	2.4
20 八木田	-	-	0.060	16.4
21 黒岩	-	-	0.132	1.3
22 富田	-	-	0.286	1.5
23 太田	-	-	0.031	3.8
24 小高	-	-	0.021	11.4
25 浅見	-	-	0.033	2.1
26 津島	-	-	0.088	1.7
27 請戸	-	-	0.037	2.8
28 高瀬	-	-	0.070	1.7
29 原町	-	-	0.042	3.0
30 赤沼	-	-	0.050	2.0

4.3.4. 土地利用と Cs-137 表面流出

さらに、口太川上流の流域では、土地利用と表面流出による Cs-137 濃度低下の関係 (Taniguchi et al., 2019) が明らかになった。土地利用は、流出量が少ないとされる森林と、流出量がより多い水田、農地、都市利用 (PFU) に分類された。結果を図 8 に示す。事故直後は地表面流出による Cs-137 濃度の低下がより顕著であるため、2011 年 6 月～2012 年 2 月 (上段) と 2012 年 3 月以降を分けて考察している。

流域の水田、農地、市街地 (PFU) の割合と以下のパラメータとの関係について、2011年6月から2012年2月と2012年3月から2015年8月の期間ごとに、図8にプロットした：

- 浮遊物質中の規格化されたCs-137濃度の低下率 λ （式1）はPFU割合の上昇に伴って上昇する。
- スケーリングファクター a （式1）はPFU割合の上昇に伴って上昇する。
- 流域からのCs-137の総流出率はPFU割合の上昇に伴って上昇する。

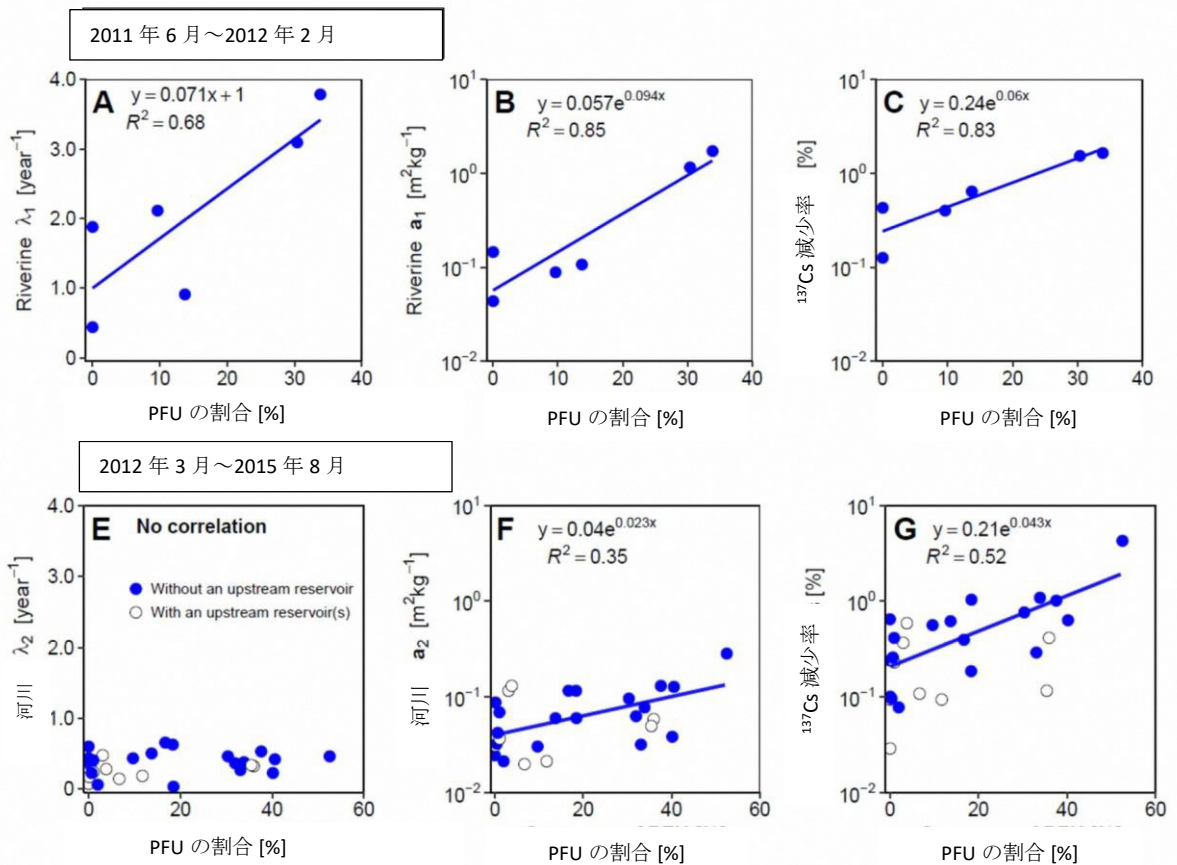


図 8：水田・農地・市街地（PFU）の割合とスケールングファクター a 、浮遊物質中の正規化 Cs-137-放射能濃度の低下率 λ 、及び表面流出による流域からの Cs-137 流出率（図は Taniguchi et al. 2019 より）。

このデータから、流域からの流出は、PFU の割合が増えるにつれて上昇することが明確に示された。これらの関係は、後半の時期に比べ、第 1 期（2011 年 6 月～2012 年 2 月）でより顕著に現れている。この観測は、阿武隈川河口付近の観測地点（岩沼）において、森林からの流出量と PFU からの流出量の比較（図 9）でも確認されている（Taniguchi et al., 2019）。なお、第 1 期は 9 ヶ月間のみであるが、第 2 期は 3.5 年の期間を対象としている。

- 第1期では、森林面積はPFUよりも約2倍であるが、森林からのCs-137の総流出量は、PFUからの流出量よりも1/3～1/4程度であった。
- 第2期では、森林からのCs-137の流出量は第1期とほぼ同じであったが、PFUからのCs-137流出量は、第1期の半分程度となっている。

岩沼地点の流域におけるCs-137の総沈着量は約470TBqである（表6）。森林とPFUからの総流出量は2011～2015年の期間で約10TBqなので、Cs-137は河床堆積物とともに大きく移動している。しかし、流域のCs-137の総沈着量と比較すると、流出が流域内のCs-137沈着量を減少させる重要性は小さい。それにもかかわらず、流出は局所的に土壌と堆積物中のCs-137濃度に大きな変化をもたらす可能性がある。

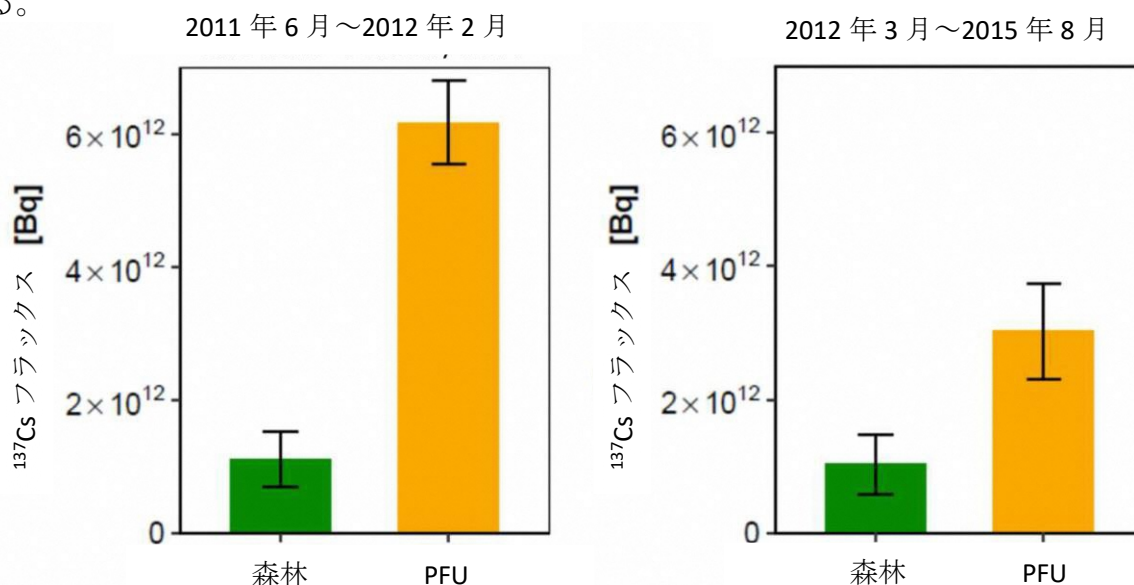


図 9：岩沼地点で観測された森林及び PFU からの粒子態 Cs-137 フラックス（森林：62%、PFU30%）（谷口ら、2019）

4.3.5. 懸濁物質における Cs-137 のフラックス

表 6 の観測地点において観測期間中の Cs-137 のフラックスを推定した。正規化された浮遊物質中の Cs-137 濃度は、表面流出と河床堆積物の移動に伴う流域からの Cs-137 減少を定量化するための基礎となる。さらに、流域からの Cs-137 のフラックスを推定するために、以下の量を考慮した。

- 2011年6月時点で考慮された流域の平均的な初期沈着量
- 流量や濁度などの水文データ
- 降水量
- 標高や土地利用などの地形データ

観測期間を通して、河川を流れる浮遊物質と Cs-137 のフラックスを毎月算出し、まとめられている（Taniguchi et al., 2019）。これらの分析は、福島県内の 30 か所の観測地点を対象として実施され、その結果を表 6 に示す。表 6 の基礎データは付録 II にまとめてある。

表 6 : Cs-137 の流出量に関する研究の対象となった流域の特徴 (Taniguchi et al., 2019)

地点名	集水面積 (km ²)	平均沈着 量 (kBq/m ²)	流域からの Cs-137 減少率(%)		粒子態 Cs-137 の寄与率 (%)	流域からの s- 137 減少率(%)	粒子態 Cs-137 の寄与率 (%)
			2011年6月 ~ 2012年3月	2011年6月 ~ 2015年8月	2011年6月 ~ 2015年8月	2012年10月 ~ 2015年8月	
1 水境川	7.5	745	0.13	0.4	97.2	0.24	98.3
2 口太川-上流	21.4	477	0.39	1.1	98.5	0.65	98.9
3 口太川-中流	62.8	357	0.4	1.0	99.6	0.57	99.7
4 口太川-下流	135	269	0.64	1.4	99.7	0.62	99.7
5 伏黒	3640	95.9	1.7	3.3	98.7	1.09	97.5
6 岩沼	5310	88.4	1.6	2.7	96.5	0.78	96.6
7 真野	75.6	499				0.10	90.0
8 小島田堰	111	406				0.11	89.3
9 松原	571	40.0				0.09	69.6
10 小名浜	70.1	38.8				0.42	66.7
11 月舘	83.6	223				0.40	99.2
12 二本松*	2380	81.8					
13 御代田	1290	74.1				0.64	96.4
14 西川	290	132				0.30	97.6
15 北町	35.8	565				0.37	93.4
16 川俣	56.6	229				0.19	97.4
17 丸森*	4120	105					
18 船岡大橋#	20.2	775					
19 瀬ノ上	313	41.9				0.59	94.3
20 八木田	185	52.7				1.04	92.1
21 黒岩	2920	103				1.01	98.6
22 富田	72.6	98.5				4.3	98.3
23 太田	49.9	1770				0.03	82.2
24 小高	50.3	724				0.08	83.4
25 浅見	25.8	194				0.10	91.4
26 津島	25.4	952				0.10	98.0
27 請戸	153	2570				0.23	87.5
28 高瀬	264	726				0.42	99.5
29 原町	200	964				0.26	98.5
30 赤沼	242	52.6				0.12	92.9

* 濁度データが少なすぎるため、解析に含まれない

溶存 Cs-137 のデータのみであったため、解析に含まれない

一般に、流出および河川を介した移行による流域からの Cs-137 放射能低下は低い。1年目は0.13~1.7%、2011年6月から2015年8月までの期間は0.1~4.3%の低下幅がある。同期間に、Cs-137の放射能は物理減衰によりそれぞれ1.7%と9.2%低下した。調査した流域では、Cs-137とCs-134の放射能の低下は、流出よりも物理減衰によるものがより重要である。流出するCs-137の大半は粒子態であり、その割合は96.5~99.6%である。

4.4. 河川水中の溶存態及び懸濁態 Cs-137 濃度のモデル化

福島県の河川における溶存態および粒子態 Cs-137 濃度は、TODAM⁶モデルを適用して計算された。このモデルは、河川における放射性核種の移行を推定するために設計された。このモデルには、水の流れや地形、粒度分布などのデータが必要である。福島県では、広瀬川流域における溶存態 Cs-137 および粒子態 Cs-137 の移行計算に適用された。調査地域内では、高根川、布川、石田川、小国川が広瀬川に合流している。

図 10 は、広瀬川における粒子態および溶存態 Cs-137 濃度の実測値と推定値を示している。シミュレーションは比較的流量の少ない平水時を対象とした。水中の粒子態および溶存態 Cs-137 濃度は、水の組成、浮遊物質中の粘土、シルト、及び砂の含有量、濁度、流量の相互作用による結果である。浮遊物質中の Cs-137 濃度は数千 Bq/kg の桁であり、溶存態 Cs-137 濃度は 1-5 Bq/m³の範囲である。このような複雑性があるにも関わらず、実測値と推定値はおおむね一致した。Cs-137 の移行を理解することは、河川における浄化対策、河床堆積物の除去、対策の持続性に係る計画を支援するものである。

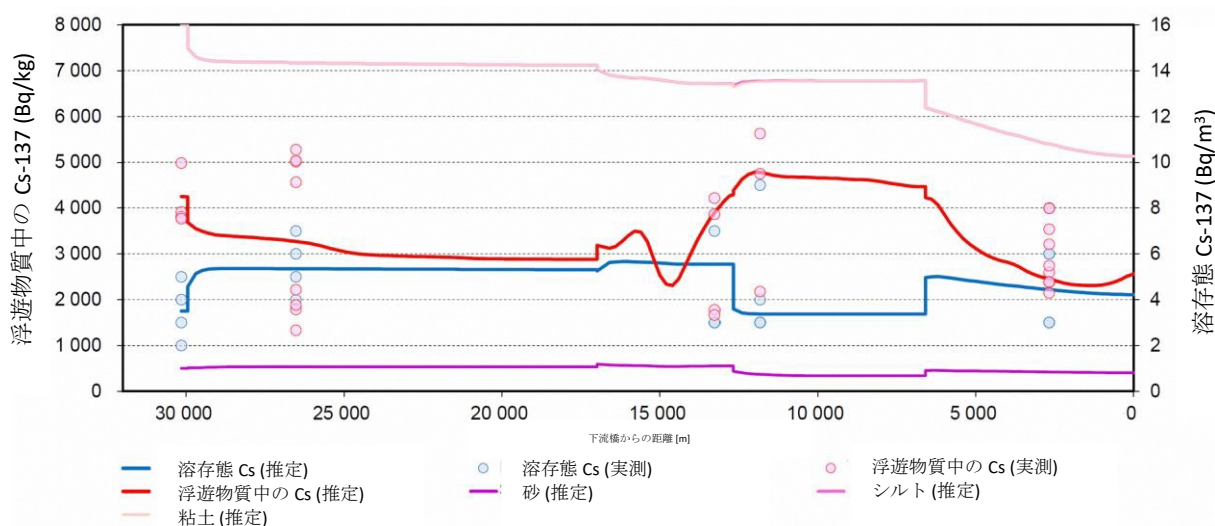


図 10：広瀬川での粒子態および溶存態 Cs-137 濃度の実測値と TODAM モデルによるシミュレーション結果の比較

⁶ TODAM モデル (Time-dependent, One-dimensional Degradation And Migration) は、大西ら (低レベル廃棄物管理のためのマルチメディア放射性物質被ばく評価法の開発、PNL-3370、パシフィックノースウェスト国立研究所、リッチランド、ワシントン州、米国(1983)) により開発された。このモデルは、ハンフォード (米国ワシントン州)、チョルノービリ (ウクライナ)、マヤック (ロシア連邦) における浄化プロジェクトの枠組みに見るように、多くの国で淡水系における放射性核種の移行シミュレーションに適用されている。

4.5. 河川における Cs-137 の動態に関する日本と海外の知見の比較

4.5.1. 河川水中の Cs-137 の実効環境半減期

1986年のチェルノブイリ事故後、ヨーロッパ各地の淡水域で、水中および浮遊物質・底質中のCs-137のモニタリングが行われてきた (Smith et al., 2004)。しかし、異なる水域のCs-137濃度を直接比較することはできない。水域のCs-137濃度とその時間依存性は、沈着量、流域面積、水域の大きさ、降水量、降雨強度、傾斜、土地利用などの相互作用の結果であると考えられる。

淡水系でのCs-137の挙動を比較しやすくするため、堆積物、浮遊物質または水中の放射性核種の時間依存性は指数関数または指数関数の合計により近似された。利用可能なデータが取得できれば、異なる河川や流域面積の比較を容易にするために、放射能濃度を流域面積の平均沈着量に正規化することも可能である：

$$C_w(t) = C_0 \cdot \sum_1^n a_n \cdot e^{-\lambda_n t} \quad (\text{eq. 2a})$$

$$C'_w(t) = \frac{C_0}{D_0} \cdot \sum_1^n a_n \cdot e^{-\lambda_n t} \quad (\text{eq. 2b})$$

ここで、

$C_w(t)$ は、堆積物 (Bq/kg) /水中 (Bq/L) での時間に伴う放射能の変化

$C'_w(t)$ は、堆積物/水中 (m^2/kg または m^2/L) での時間に伴う正規化放射能の変化

C_0 は、堆積物/水中 (Bq/kgまたは Bq/L) の初期濃度

D_0 は、流域の平均初期沈着量 (Bq/m^2)

a_n は、指数関数 n の重み係数

λ_n は、指数関数 n (a^{-1})の減少率 (対応する半減期 $T_{1/2,n} = \ln(2)/\lambda_n$)を表す。

式2a及び2bのパラメータについて、国際的な知見から得られた値と、2011年以降に福島県で行われた研究で決定された値を表 AI.1 にまとめた (付録 I、すべての参考文献を含む)。しかし、全ての研究で式2a、2bに含まれる全てのパラメータが決定できたわけではない。

これらの研究から、観測期間、汚染後の観測開始時期によって指数関数の数が異なることが分かっている。長期に渡る研究では、沈着直後から、水中の放射性セシウムの長期的低下傾向の典型的なパターンは、3つのフェーズで特徴付けられる。しかし、沈着してからの観測開始が遅すぎたために、初期の濃度が確定できず、事故直後の急激な低下を期間内に観測できなかったケースもあった。また、観測期間が十分な期間ではなく、長期的な低下傾向を確認できなかったケースもあった。

表 AI.1 (付録 I) にまとめたデータから、以下のような傾向を抽出することができる：

一般的な見解

— 予想通り、事故直後が河川水中のCs-137の濃度が最大となる。

- ほとんどのデータは、浮遊物質に関するものである。しかし、粒子態と溶存態Cs-137で観測された実効環境半減期は同じ範囲である。
- 概して、日本と世界の他の地域で観測された時間に伴う傾向はよく一致している。一般的な低下パターンは、どちらでもよく似ている。

初期の低下

- 水中のCs-137濃度は、最初は急激に低下し、時間の経過とともに緩やかに低下する。
 - ヨーロッパの河川では、沈着直後から約2-3週間の期間に、実効環境半減期5日に従ったCs-137濃度の低下が確認された。
 - 河川水中のCs-137測定では、沈着の数日後から、20～50日の範囲の実効環境半減期が観察された。
 - また、測定開始時期が遅い場合もある（チェルノブイリ事故後の1987年、FDNPP事故後の2012年）。そうすると、非常に急激な濃度低下は、もはや第1成分には反映されない。このようなケースでは、実効半減期は70～270日であり、あるケースでは1.6年であった。
- 福島での結果は、世界の知見とよく一致している。

5～15年の観測期間における低下

- 多くのデータセットでは、急速に低下する初期段階は含まれていない。ほとんどのデータセットでは、放射性核種の沈着後数か月から5～15年の観測期間をカバーする第2成分を利用できる。
 - ウクライナの河川では、実効環境半減期が2.0～6.5年の範囲に存在した。
 - フィンランドの2つの河川では、3.5年と6年であった。
 - イプチ川（ロシア）では、1987年から1991年の間に1.3年の実効半減期が観測された。
 - 福島県では、48のデータセットでは、0.7年から16年までの範囲に存在した。3つは1年未満、別の3つは5年以上だった。1.1～4.6年の範囲に42個あった。
- これらの結果は、ウクライナ、ロシア、フィンランドで観測された実効半減期と非常によく一致している。

長期的な低下

- 観測期間が十分に長い場合、第3段階を確認することができる場合がある。しかし、第3の指数項の寄与は全体として非常に小さいため、第3の低下成分を定量化するには少なくとも15年以上の観測期間が必要である。これまで福島県で行われてきた研究では、このような長期の観測期間を確保することはまだできていない。

- ヨーロッパと西アジアの25の河川において、水中のCs-137濃度の時間に伴う変化を分析したところ、実効環境半減期16年の第3成分が同定された。この成分が全体の減少へ寄与する割合ははわずか0.5%であり、実際の関連性はわずかなものである。

4.5.2. 流域からの Cs-137 の減少

FDNPS の事故による放出と同様に、チェルノブイリ事故による放出も短時間で発生した。流域からの放射能流出を推定するために、IAEA (2009) では、移行関数が提案された。これは、流出プロセスによって流域に沈着した放射能の低下率を時間の関数として記述するものである。福島県で行われた研究と一致して、流出は流域の特性、放射性核種、考慮されるべき量（溶存態または粒子態放射性核種の流出、総流出量）などの特定の状況に依存する。移行関数は 2 つの要素から構成されている。

$$f(t) = f_1 \cdot \lambda_1 \cdot \exp [-(\lambda_1 + \lambda_r) \cdot t] + f_2 \cdot \lambda_2 \cdot \exp [-(\lambda_2 + \lambda_r) \cdot t] \quad (\text{eq. 3a})$$

$$f_1 + f_2 = 1 \quad (\text{eq. 3b})$$

ここで、

f_1 は、短期的（急速）流出する放射能の割合

f_2 は、長期的に流出する放射能の割合

λ_1 、 λ_2 、 λ_r はそれぞれ流出と物理的減衰の短期成分と長期成分の減少率(a^{-1})を表す。パラメータ f_1 、 f_2 、減少率 λ_1 、 λ_2 は、流出試験とフィールド観察から決定されたものである。

Cs-137 の総流出量については、パラメータ f_1 は 0.2～7.4%の範囲を網羅している。ただし、小面積での実験では、その範囲の上限が決められている。流域の場合、 f_1 については、放射性セシウムの典型的な推定値として、1%の桁数の値が示されている。溶存態 Cs-137 の f_1 の範囲は 0.007～1.7 % であり、粒子態 Cs-137 については十分なデータが得られていない。

短期間の流出による減少率 λ_1 は約 24 a^{-1} と推定され、これは約 10 日の半減期に相当する。

表面流出による長期的な Cs-137-放射能の低減は、はるかに少ない。流出による低減の総計については、Cs-137 の λ_2 値は $0.00004 \sim 0.01$ /年と広い範囲に及んでいる。放射能の低減が非常に小さい平坦な場所も数値に含まれている。流域スケールでは、放射性セシウムの典型的な推定値として 1%未満の λ_2 値が示されている (IAEA, 2009)。 λ_2 の上限値 0.01 /年は、物理的減衰率 λ_r の 0.023 /年による放射能低減よりも小さく、例えば、流域における Cs-137 総量の減少は、一般に放射性壊変が支配的であると考えられる。

溶存態 Cs-137 と粒子態 Cs-137 の流出に対する λ_2 の範囲は、それぞれ $0.00007 \sim$

0.02 a⁻¹ および 0.00009 ~ 0.1 a⁻¹であった。ここでも、低い方の範囲での数値は、もともと流出量が非常に少ない平坦な地形を指している。

これらの結果は、福島県で実施された研究の結果と概ね一致している。

5. 除染作業における経験

5.1. 除染活動による河川及び流域への影響

口太川流域の上流部では、2013年3月から2015年12月まで、1,600 haの面積で除染事業が実施された。この地域は主に森林(730 ha)と農地(610 ha)として利用され、71 haは道路で残りは住宅地として利用されている。除染作業は、農地表土の除去、道路や舗装された場所の洗浄を中心に行われた。大半の作業は、2014年4月から2015年3月にかけて実施された。

図11に、除染作業前、作業中、作業後における河川を流下した浮遊物質量を示す。流域からの土砂の流出は、除染作業中に増加し、終了後は減少した。しかし、除染作業終了後も、除染作業前に比べて流出する浮遊物質量は多くなっていた。

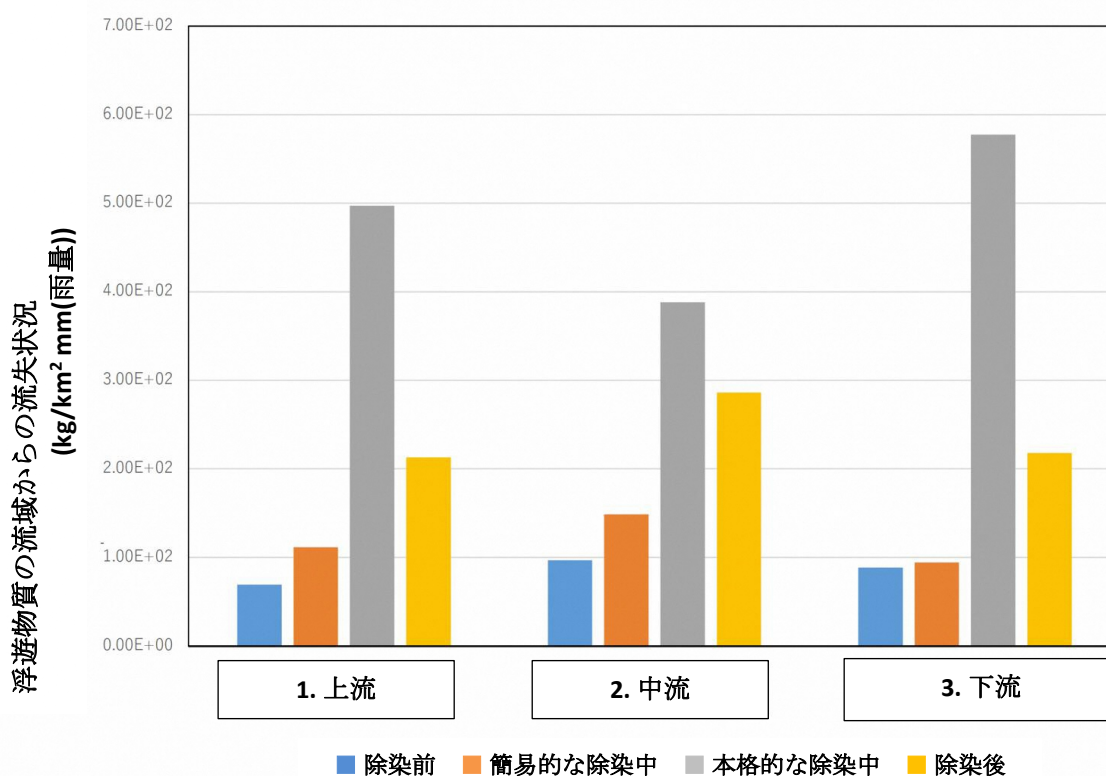


図11：除染作業前、作業中、作業後の口太川流域での浮遊物質量（福島県、2020年）

図12は、口太川流域における上流、中流、下流からのCs-137の月別流出量を総沈着量に対する割合で示している。月別の流出率は、沈着直後が最も高かった。除染作業中は、土壌表層が破壊され、侵食が激しくなったため、月々の流出率が増加した。この地域は、2015年9月と2016年に台風による大雨で広範囲に浸水したため、これが2015年9月と2016年の月別Cs-137流出率の上昇を引き起こした。除染終了後、Cs-137の流出率は低下した。

除染作業中、表面流出による流域からの Cs-137 の流出率は、1 か月あたり 0.03% の桁数であり、流域における総 Cs-137 量の減少にあまり寄与しておらず、放射性壊変（1 か月あたり 0.19%）の方が優勢である。

しかし、流域全体で偏りなく流出しているわけではないことに注意が必要である。地域によっては、Cs-137 流出量が多いところもあるが、全く浸食の影響を受けないところもある。上流域から流出した放射能の受け皿となる地形要素についても同様である。受け入れ側の地形要素全体でのインベントリーは大きく変化しない場合もあるが、局所的には、濃度がかなり変化するかもしれない。

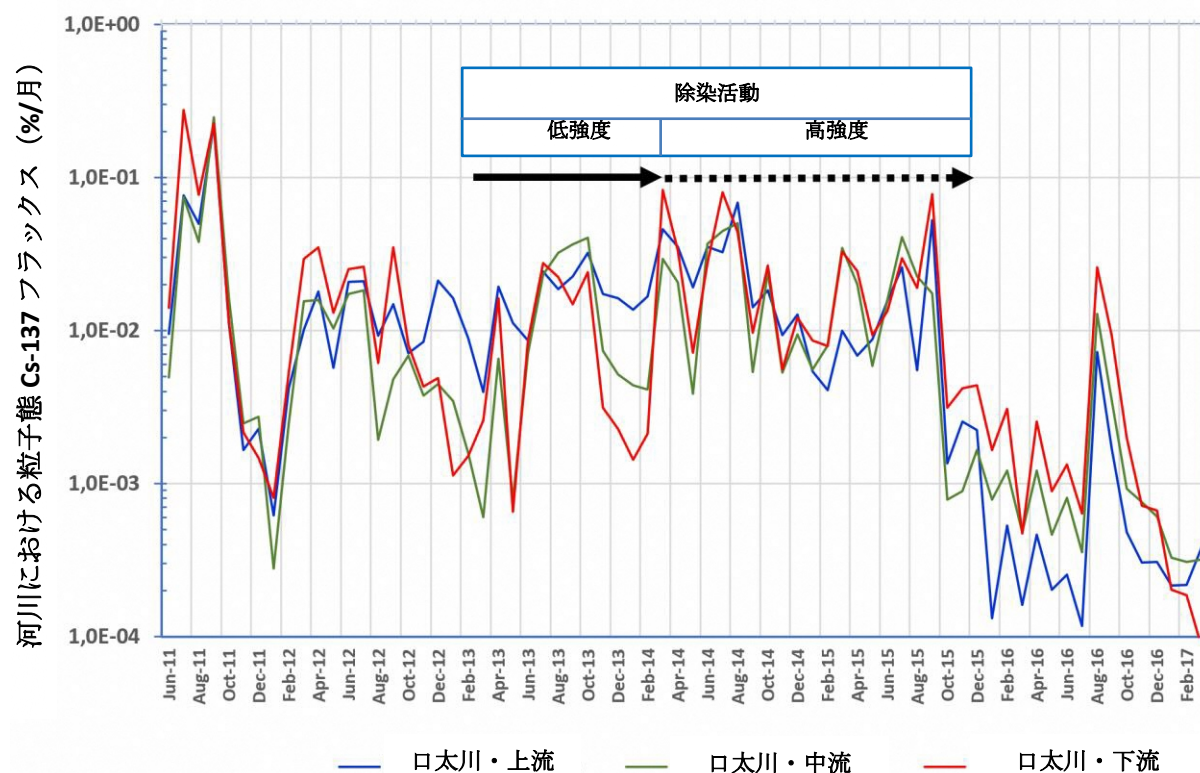


図 12: 口太川流域の上流、中流、下流における浮遊物質と Cs-137 の月別流出量。除染作業は 2013 年 3 月から 2015 年 12 月まで行われ、除染強度は 2014 年 4 月から 2015 年 3 月が最も高かった（図は Taniguchi et al., 2019, 2020 のデータから作成）。

5.2. 河床及び川岸の除染

事故直後から包括的な除染事業が実施され、住宅地や公共区域、農地での放射能や放射線量が低下した。公共区域では、学校や幼稚園への子どもの通学路や、地域レクリエーション活動に利用されるエリアに焦点を当てた。

除染の実施可能性および除染対策の効果を調査するために、空間線量率の低減という観点から、福島県内の3地点の除染が検討された：

- 上小国川：川沿いの道は、学校への通学路や地域レクリエーション活動に利用されている。
除染対策として、除草と川底の土砂の除去を行った。さらに、植生や土壌を図13の通り、河川堤防から除去した。2014年8月から11月にかけて、除染活動を実施した。空間線量率は約2分の1に低減した(Nishikiori and Suzuki, 2017)。
- 新田川公園：川に近く、レジャーに利用される地域。モデル計算を行い、空間線量率を低減させることが可能であると推定した。
- 南相馬市の水無川にある自然公園はレジャーに利用されている。シミュレーションにより、除染対策の有効性が検証された。



図 13：2014年の除染作業前と作業中の上小国川（Nishikiori and Suzuki, 2017）

5.2.1. 台風や洪水が除染効果の持続性に与える影響

福島県は時折台風に見舞われ、大雨や川の氾濫、洪水に見舞われることがある。このような高水位条件下では、河床の土砂や堆積物が大きく移動し、近隣の浸水地域に浮遊物質が堆積することがある。台風が除染効果の持続性に及ぼす影響を探るため、空間線量率の包括的な測定が行われた。図 14 は、2014 年 9 月～2015 年 9 月までの上小国の調査地域での空間線量率の時間変化を示している。2015 年 8 月に台風が発生した。

図 14 の 2015 年 2 月～2015 年 9 月にかけての空間線量率の低下は、台風の影響を示していると思われる。興味深いのは、台風に伴う物質の移動が、除染の効果に影響を与えなかったことである。

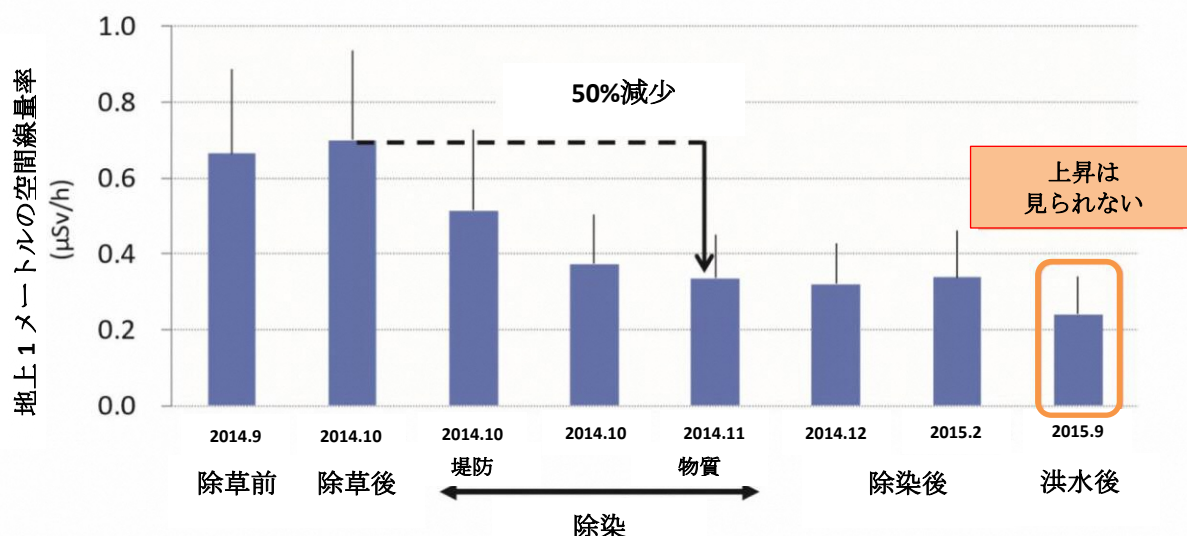


図 14 : 2015 年 8 月に洪水が発生した上小国川の除染（雑草、河床堆積物、土壌、堤防の植生の除去）実証地点における γ 線量率の時間変化（福島県・IAEA、2020）

2019 年 10 月にも台風 19 号と呼ばれる台風が福島県を直撃した。2019 年 10 月の台風直後の空間線量率を包括的に測定し、2018 年 1 月のものと比較して台風の影響を評価した。その結果を表 7 に示す。3 つの地点すべてで、空間線量率が低下した。洪水流とともに運ばれた物質の Cs-137 濃度は、洪水前の河床堆積物より明らかに低い。

表 7：台風 19 号前後の平均空間線量率の比較（福島県、IAEA、2020 年）

調査地点	数量	高さ 1m での γ 線量率($\mu\text{Sv/h}$)	
		台風 19 号前 (2018 年 1 月 31 日)	台風 19 号後 (2019 年 10 月 17 日)
上小国川	平均値	0.34	0.18
新田川公園	平均値	0.30	0.20
水無川公園	平均値 (範囲)	0.21 (0.07-0.42)	0.16 (0.02-0.32)

5.3. 河川の環境修復に関する国際的な知見

1950 年代初頭から、汚染された河川の管理について、世界中で経験が積み重ねられてきた。1940 年代後半から 1950 年代にかけて、マヤーク（ロシア連邦）の核施設から大量の放射性核種が淡水環境に放出された（Akleyev and Degteva, 2021）。この施設では 1940 年代後半から核燃料と核兵器の材料が生産された。ハンフォード施設（米国）からの流出物や、1940 年代半ば以降、ハンフォード・サイトで不適切に保管された液体廃棄物によっても、淡水環境は汚染された（Farris et al., 1996）。1986 年のチェルノブイリ原子力発電所事故（IAEA, 2006）により、プリピャチ川（ウクライナ）の氾濫原に放射性物質が沈着し、それが引き金となってプリピャチ川への長期的な放射性物質の流入が始まった。

いずれの場合も、河川水は飲料水として、かんがい用水として、そして商業用水として利用されていた。淡水の汚染から生じる可能性のある放射線の影響を軽減するために、除染対策を導入した。

淡水域は、絶えず状況が変化する動的な仕組みを持つ。重要な制御因子は、水位や水流の変動、周辺の流域からの流入、沈降や再懸濁である。これらの要因によって、溶存態および粒子態の放射性核種の濃度が変化する。溶存態・粒子態の放射性核種は動きつづける。淡水域は動的な性質を持っているため、淡水域の活動レベルを下げたり、人の被ばくを減らすための介入手段については、選択肢が限られている。対策は 2 つのグループに分類され（Smith et al., 2001; Smith and Beresford, 2005）、最も重要なものは以下のとおりである：

管理対策

- 人および家畜のための飲料水の使用制限
- 汚染された河川敷への立入制限
- 漁業および淡水魚消費の制限

技術的対策

- 上水道における水処理
- 堤防の建設による水路の変更
- 浮遊物質を強制的に沈殿させるトラップの導入
- 魚による水中の放射性核種の取込みを低減させる対策
- 放射性核種を吸着する薬剤による溶存態放射性核種の除去

5.3.1. 管理面からの対策

マヤック、チョルノービリ、ハンフォードの河川の汚染を管理する中で管理対策が適用された (Onishi, 2014; IAEA, 2006)。これらの現場での経験から、十分な水と魚が他の供給源から得られるのであれば、こうした対策は効果的であり、実施も容易であることがわかる。これは、局所的な汚染や小さな水域では保証され得るが、より広範囲の人間に影響する可能性のある大規模な汚染では困難な場合がある。

線量低減における管理対策の放射線学的妥当性は、飲料水の取水、かんがい用水としての河川水の利用、地元魚の消費などの生活習慣に大きく依存する。管理対策の利点は、水中、堆積物、魚中の放射能濃度が放射性壊変や他の減衰過程で低下した場合、簡単に規制を解除できることである。

5.3.2. 技術的対策

チョルノービリ事故後の当初、一部の水道局で木炭やゼオライトが適用されていた。I-131、Ru-106、Cs-134、Cs-137、Sr-90の放射能濃度は約2分の1に低減した一方で、ヨウ素とルテニウムには炭が、セシウムとストロンチウムにはゼオライトが有効であることがわかった。吸着剤の供給量が限られているため、長期間の処理が必要な場合は、新しい吸着剤への代替が必要である (IAEA, 2006)。

チョルノービリ事故の経験から、淡水域において水中および堆積物中の放射能レベルを低減するために実施される技術措置は、地域特有の水文条件を考慮して慎重に計画する必要があることが分かっている。

粒子態放射性セシウムの移行を抑制するため、プリピャチ川にセジメントトラップを設置した。この対策は、大半のセシウムがセジメントトラップでは捕捉できない溶存態であったため、効果は非常に低かった。さらに、流速が速すぎて、小さな浮遊粒子を捕集することができなかった。しかし、キエフ貯水池や福島県内の横川ダム (太田川)、高の倉ダム (水無川)、大柿ダム (請戸川)、坂下ダム (熊川) などにはセジメントトラップとして機能していることが判明した (Konoplev et al., 2018; Voitsekhovych et al., 2018)。ダムでは流量が少ないため、粒子の沈降が効果的に引き起こされる。これは、湖や貯水池に放射性セシウムを効果的に沈殿させる一般的な現象である。

チョルノービリ地域のより小さな川では、溶存態放射性核種を吸収するためにゼオライトを含む約130の堤防が設置された (Voitsekhovitch et al., 1997)。その効果は薄く、Sr-90とCs-137は5~10%しか除去できなかった。吸着物質が飽和したことにより、この効果は比較的短時間で失われた。つまり、この対策は持続的ではない。可能性のある選択肢として、Cs-137とSr-90を除去するためにヨシ原で水を濾過することが考えられるが、手順が複雑でありより広い範囲への適用は難しい (Voitsekhovitch et al., 1997)。

現地状況によっては、水文学的な対策により、汚染された水に伴い土地から放射性核種が拡散するのを防ぐことができる場合がある。1993年、プリピャチ川の左

岸に建設された堤防によって、高濃度に汚染されたプリピャチ氾濫原からプリピャチ川は分離された。この対策により、高度に汚染された氾濫原からプリピャチ川への放射性核種の流入を防ぐことができた (Konoplev et al., 2018)。チョルノービリ原発の周辺は平地であるため、この対策は技術的に可能であった。福島県のような山間部での水文対策は、技術的に可能であるとしても、はるかに複雑でコストがかかると思われる。

スウェーデンの 18 の湖では、石灰の散布は淡水魚の Cs-137 濃度に影響を与えなかった (Hakanson, 1992)。スウェーデンの 13 の湖にカリウムを散布し、セシウムとカリウムの競合作用を検証した。しかし、湖の水の回転率が高すぎて、湖水中のカリウム濃度を十分な濃度で保つことができなかったため、この結果では最終的な結論を導き出すことはできない。

ベラルーシのスビャートヤ湖では、天然のカリウム濃度が低いため、塩化カリウムの散布がより効果的であった。大型パーチ（食用の淡水魚）の Cs-137 濃度は、およそ 3 分の 1 に低下した (図 15) (Smith et al., 2003)。しかし、カリウムの散布は、堆積物中のカリウムとの競合により、水中の放射性セシウム濃度の上昇を招き、飲料水やかんがい用水として使用する場合には許容できない可能性がある。

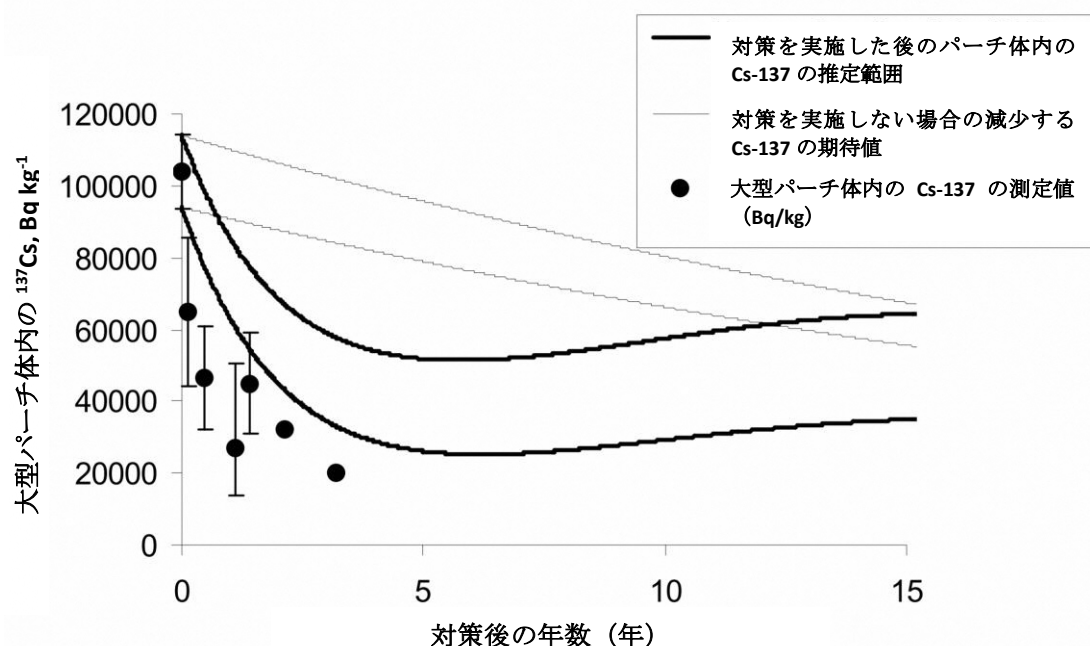


図 15 : 1998 年のカリウム散布から 2013 年までのパーチの Cs-137 の活性濃度。対策がない場合の減少予想も示しており、実効半減期を 20 年と想定している (Smith, 2001)。

チョルノービリ事故後、淡水域への流入を防ぐために、数多くの対策が試行され、実施された。一般に、河川のような動的な環境では物質の拡散を制御するのは複雑であり、こうした対策における当初の期待には応えられなかった。工学的対策はコストが高く、実施が困難な場合が多い。さらに、被災国の公衆の被ばく線量への影響は全体的に小さかった (IAEA, 2006)。一般市民の被ばく低減という点では、飲料水の取水制限と漁業制限が最も効果的だった。

6. Cs-137 を含む放射性微粒子

6.1. 放射性微粒子に関する一般的な情報

福島県内で行われたいくつかの調査では、エアフィルター、ハウスダスト、土壌、事故現場付近の植物の葉、農業資材、鳥の羽、河川水などの様々な媒体から、オートラジオグラフィ法により放射性セシウムを含むガラス状粒子の一種が発見されている (Abe et al., 2014, 2021; Igarashi et al., 2019; Kurihara et al., 2020)。この粒子は通常、不溶性セシウム粒子 (CsMPs) と呼ばれる。これらの粒子は、原子炉から放出され、大気中に拡散した。これまでのところ、ほとんどのCsMPsは原子炉の比較的近くで検出されているが、FDNPPから数百キロメートル離れた場所でも検出されている (Abe et al., 2021)。

CsMPsの化学組成と同位体組成を調査し、CsMPsの発生源と思われる場所と事故時のCsMPs生成プロセスを特定するための研究が行われた。CsMPの主な元素はSi、Fe、Zn、Cs、Oであり、タイプA粒子とタイプB粒子と呼ばれる2種類の粒子が確認されている (Igarashi et al., 2019; Miura et al., 2020)。

- タイプ A の粒子はほぼ球状で、直径は通常 5 μm 以下である。タイプ A の粒子は、ケイ酸塩ガラスに由来する。放射能は 1 粒子あたり数 Bq の Cs-137 である。Cs-134/Cs-137 比は 1 を超えており、これは FDNPP の 2 号機と 3 号機の事故時の燃料の燃焼を反映している。したがって、タイプ A の粒子は 2 号機と 3 号機から発生したと考えられる。
- タイプ B の粒子は様々な形状をしており、直径は数 μm から最大 400 μm である。これらの粒子は、原子炉で使用されている断熱材であるシリケート繊維に由来するものと思われる。放射能は 30-19000Bq の範囲にある。Cs-134/Cs-137 の比率は 1 以下である。タイプ B の粒子は、FDNPP の 1 号機に関連している。

このようなセシウム微粒子 (CsMP) は、ゆっくりと分解される。Okumura et al.(2019)は、半径約 1 μm の CsMP を用いた溶解度実験を行った。溶媒は海水と純水を使用した。海水への溶解速度は、純水よりも 10 倍程度高かった。この実験については、Igarashi et al.(2019)は、この粒子の海水中での寿命は 10 年未満と推定している。純水中での溶解速度は 10 年以下であり、溶解性が低く、高い持続性を持つことを示している。FDNPP 周辺で 2011 年から 2017 年に採取された土壌サンプルでの調査 (Ikehara et al., 2020) によると、土壌中の放射性セシウムの 2-80%はこのような粒子と関連している可能性があるという。

6.2. 浜通りの河川の懸濁物質から検出された CsMPs

2018年10月に浜通りの河川のモニタリング地点で浮遊物質中のCs-137に関する調査を行った際、Cs-137濃度が異常に高い試料が採取された。この濃度は、同時期に採取された他のサンプルと比較して、約5倍も高いものだった (図16)。浮遊物質中のCs-137濃度の上昇は、放射性セシウム微粒子の存在と関連していた。

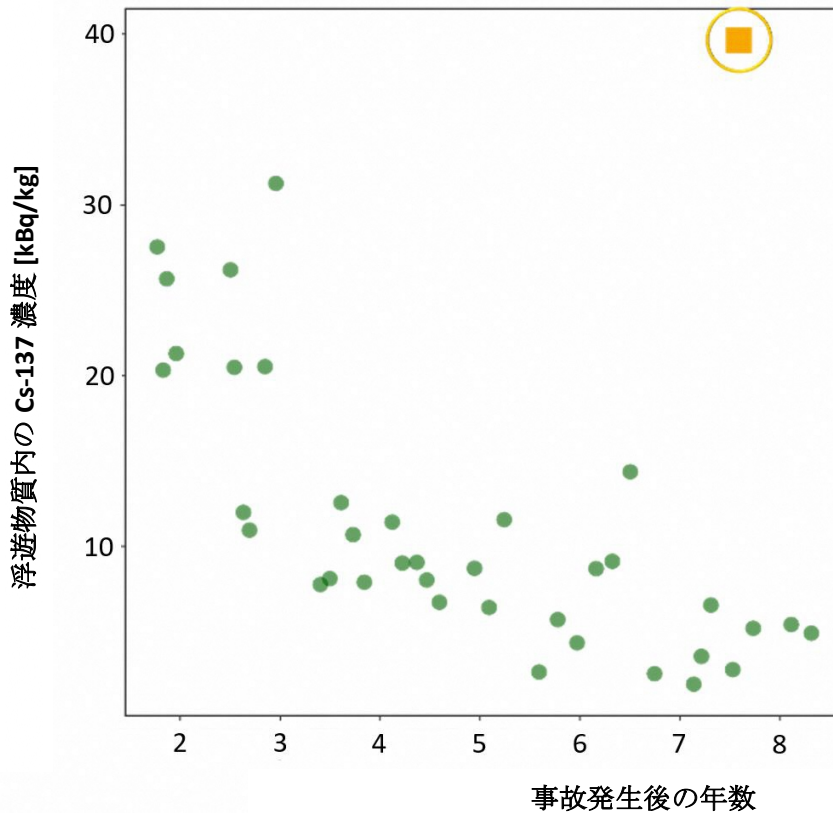


図 16： 浜通り河川のモニタリング地点における浮遊物質中の Cs-137 濃度の時間変化を見ると、ある一つのサンプルは例外的に Cs-137 濃度が高かった。

Miura et al., (2018) は、2011 年から 2016 年に実施された調査において、口太川で発見された CsMPs の特徴をまとめた (表 8)。浮遊物質サンプル中の Cs-137 の分配係数 K_d は、CsMP の放射能を除いたサンプルとそれを含めたサンプル中の Cs-137 放射能に基づいて計算された。いずれの場合も、全活性 (CsMP を含む) に基づく K_d 値の方が高く、CsMP の溶解度の低さを示している。

表 8： 口太川で採取した CsMPs 中の Cs-137 濃度；CsMPs の数、固相の CsMP の有無による K_d 値 (Miura et al., 2018)。

採取日	CsMPs の数	CsMPs 中の Cs-137 (Bq)	フィルター上の CsMPs の割合 (%)	CsMPs を伴わない場合の K_d (L/g)	CsMPs を伴う場合の K_d (L/g)
2011年7月31日	17	4.3	15	1400	1700
2012年8月3日	1	0.11	1.3	1910	1950
2014年5月3日	6	4.1	36	1100	1700
2014年11月22日	4	0.77	67	4600	14000
2015年11月22日	5	2.3	66	3200	9300
2016年4月1日	3	0.48	36	850	1300

FDNPP から西 50km の不織布上に堆積した 5 つの CsMPs の特性は、Kurihara et al., (2020)によって調査された。直径は 1.6-2.7 μm 、総 Cs-137 放射能は 0.7-1.9Bq、Cs-134/Cs-137 比は 0.96-1.17 であった。これらの特性と U-235/U-238 の比率から、これらの CsMPs はすべて 2 号機由来のタイプ A と分類された。

土壌や懸濁物質試料中の CsMPs の調査 (Miura et al., 2018; Igarashi et al., 2019) から、環境中の Cs-137 のうち Cs-微粒子と結びついているのはごく一部であることが示されている。しかし、CsMPs の環境中での長期的な動態は、まだ十分に解明されていない。淡水系での溶解度の低さは、バイオアベイラビリティの低さを示している (Okumura et al., 2019))。CsMPs が作業員や一般人の線量に与える影響については、まだ研究されていない。

6.3. 放射性核種濃度を高めた粒子に関する国際的知見

また、放射性核種が増して環境中に粒子が発生することは、チェルノブイリ事故後に検出された現象である (Beresford et al. 2016)。しかし、チェルノブイリでは原子炉の種類や事故の詳細が異なるため、福島県で見つかった粒子と比較すると、その特徴は大きく異なっている。チェルノブイリ原発から放出された粒子の中には、高い放射能を含むものがあるため、「ホットパーティクル」と呼ばれるようになった。このチェルノブイリ原発からの粒子は、凝縮粒子と燃料粒子に分類される。

凝縮粒子

凝縮粒子は、高温での燃料要素の分解時に生成されたもので、通常 1 μm オーダーの大きさを持つ。揮発性核分裂生成物 (I, Cs などの同位体) が大気中に放出され、不活性担体粒子に凝縮された。このような粒子は、核実験の後にも大気中で検出されている。凝縮粒子の中には、Ru-106 と Ba-140 (半減期 374 日と 12.8 日) のように、1 つの支配的な核種を含む比較的高い放射能を持ち、放射能は 500-10000Bq/粒子の範囲にあるものもあった。これらの同位体の半減期は比較的短いため、このような粒子による長期的な影響はない (Beresford et al.,2016)。

燃料粒子

燃料粒子は、核燃料の小さな破片で、燃料が破壊するときに生成された。燃料粒子は凝縮粒子よりも高い放射能濃度を示した。燃料粒子はウラン酸化物から成り、放射性核種組成は損傷したユニットにおける燃料組成と類似していたが、揮発性核種 (I-131, Cs-134/137, Ru-106 等) は枯渇していた。燃料粒子の大きさは、数マイクロメートルから数百マイクロメートルであった。燃料の放射能は一般的に 100-1000Bq/粒子であった。

環境中の挙動

損傷したチェルノブイリ原発の周囲 30km の立入禁止区域では、1 m^2 あたり最大 10^5 個の燃料粒子が検出された。燃料粒子の沈着は、原子炉サイトから離れるにつれて減少した。燃料粒子は水への溶解度が低い。したがって、原子炉からの距離が長くなるにつれて、より溶解度の高い粒子の寄与が大きくなるため、水溶性粒子と

交換性粒子の割合が増加した。水に溶けない燃料粒子の存在により、降下物中の非交換型 **Cs-137** の割合は、チョルノービリ近郊では約 **75%**であったが、原子炉から **200km** 離れたブリャンスク地域では **40~60%**、**2000km** 離れたカンブリア（イギリス）では **10%**に過ぎなかった（Beresford et al. 2016）。

チョルノービリ原発周辺では、事故後数年間、燃料粒子からの放射性核種の溶出が重要なプロセスであり、特に **Sr-90** の溶出が増加した。土壌では、**10** 年以内に燃料粒子がほぼ分解した。ホットパーティクルの溶解度が低いため、チョルノービリから放出された放射性セシウムは、大気圏内核実験由来の放射性セシウムなどより高い分配係数（**K_d**）を持つ。その結果、土壌中の移行は遅くなり、放射性セシウムのバイオアベイラビリティは原子力発電所に近い場所で低くなった（Beresford, et al. 2016）。

チョルノービリから遠く離れた場所では、状況は異なっていた。沈着後 **1** 年では、**Cs-137** の植物による取り込みは、燃料粒子の沈着が多い地域と比較して、**4-5** 倍高かった。その後、特に土壌から植物への放射性セシウムの移行は、粘土鉱物へのセシウムの収着が進むことにより減少した。

福島での **CsMPs** とチョルノービリでのホットパーティクル

福島とチョルノービリの事故後、放射性核種の濃度が高まった粒子が発見された。しかし、粒子はまったく異なる。

- 福島タイプ **A** 粒子は、兵器放射性降下物の後などに発見された凝縮粒子と同様のサイズスペクトルを持っている。しかし、タイプ **B** 粒子はチョルノービリのホットパーティクルより小さい。
- チョルノービリのホットパーティクルは主に燃料片であるが、**CsMPs** は原子炉材料のあらゆる液化・蒸発過程で発生するガラス質である（Igarashi et al, 2019）。
- **CsMPs** の総放射能は、一般にチョルノービリのホット・パーティクルより低い。
- チョルノービリ原発から放出されたホットパーティクルには、より幅広い放射性核種が含まれているが、福島の **CsMPs** には主に **Cs-137** が含まれている。
- チョルノービリのホットパーティクルは、その直径が大きいため、原子炉の近くに沈着し、原子炉から離れるとホットパーティクルの数は減少する。

放射性核種を含む粒子は、その大きさ、溶解性、放射能、化学組成から、線量に関していくつかの疑問を呈している。これらの疑問については、現在調査中である。

線量計算の重要な指標は、腸管吸収（放射性核種の腸管から血液への移行）である。**Cs-137** を食物や水から摂取した場合の線量換算係数の計算（ICRP, 2012）では、

腸管吸収を 100 %と仮定しているが、これは悲観的な仮説である。CsMPs の溶解度は相対的に低いため、腸管吸収が低く、単位摂取量あたりの線量は[Sv/Bq]という値で低くなると思われる。この仮説を確認するためには、さらなる研究が必要である。

7. 除染作業の実施状況

7.1. 福島県内の除染作業

除染計画では、2011年8月（MoE, 2011）、放射性核種の沈着が進んでいる地域を、除染特別地域（SDA）と汚染状況重点調査地域（ICSA）に分類した：

- SDAは、福島第一原子力発電所から半径20km以内の旧「警戒区域」と、事故後1年間で個人の追加年間線量が20mSvを超える可能性がある原発から半径20kmを超えて位置する旧「計画的避難区域」で構成されている（IAEA2015）。
- ICSAには、初年度の追加放射線量が、個人に対して1～20mSvと推定された自治体が含まれている。空間線量率が0.23 μ Sv/h以上の地域は、ICSAに割り当てられた。この値はICSAの指定基準として使用されたが、除染の対象にはならなかった。

2018年3月までに、福島県内の除染活動（帰還困難区域（DRZ）を除く）は終了した。SDAでは、住宅地23,000戸、農地8,700ha、住宅地に近い森林7,800ha、道路1,500haで除染が行われた。ICSAでは、庭を含む418,583戸の住宅、11,958棟の公共施設、31,061haの農地、住宅地近くの4,478haの森林（生活圏）、18,841kmの道路で除染作業が行われた（MoE, 2020）。

除染の際、帰還困難区域を除き約1,400万m³（MoE, 2021）の土壌と廃棄物が発生し、それらは仮置場（TSS）に保管された。仮置場から中間貯蔵施設への土壌と廃棄物の輸送は2015年に開始され、輸送は2022年には帰還困難区域を除き概ね完了した。

除染作業の効果については、Evrard et al.,(2019)がまとめている。農地、森林、道路、住宅地について表9にまとめている（UNSCEAR, 2021, Evrard et al., 2019, Yasutaka et al., 2013）。データは、JAEAが実施した実証試験（Evrard et al., 2019）に基づくものである。その効果は、除染作業前後の1mの高さでの空間線量率の比として求められる低減係数で定量化される。興味深いことに、空間線量率の高い地域ほど効果が高いことがわかった。

表 9：除染作業による空間線量率の低減率（％）（Evrard et al. 2019, Yasutaka et al. 2013、UNSCEAR、2021）

除染対策	除染対策による空間線量率の低減係数			
	修復前の線量率			
	≤1 μSv/h	1-3 μSv/h	3-10 μSv/h	>10 μSv/h
農地				
表土と下層土の入替え、ゼオライトとカリウムの添加	1.5	2.0	1.9	5.0
ゼオライトとカリウムを用いた耕起	1.3	1.4	1.4	2.0
森				
落ち葉の除去	1.1	1.2	1.3	1.4
道路				
道路・側溝の清掃	1.1	1.2	1.3	1.5
住宅地				
全体的な修復	1.4	1.5	2.0	3.3
局所的な修復	1.2	1.2	1.3	1.5

現場状況下での除染作業の効果を、除染特別地域（MoE, 2020）の図 17 に示す。土地利用の形態にもよるが、除染作業直後の平均空間線量率は 30～60%減少している。除染作業から 6～12 ヶ月後、空間線量率は除染前より 55～76%低下した；この減少は、土壤中の移動、道路の清掃、（比較的短寿命の Cs-134 の）放射性崩壊などの継続的な減衰過程によるものである。現地の条件下で得られた結果は、表 9 に示すように、実証試験で得られた線量率 1μSv/h の結果と一致している。

SDA における除染作業の効果

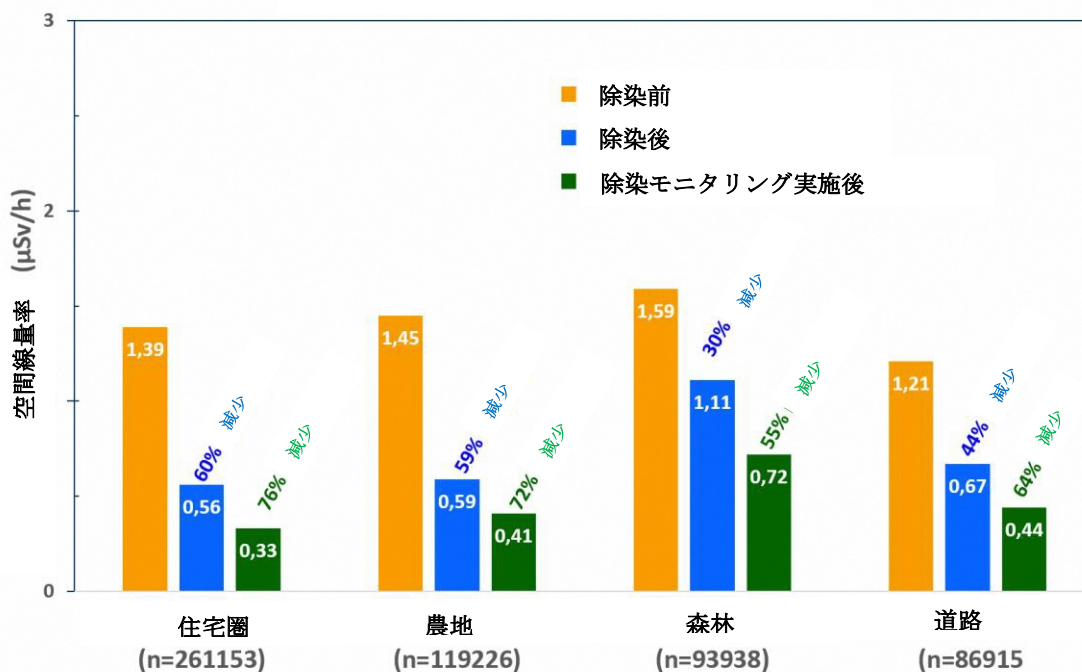


図 17：除染特別地域における土地利用別の除染作業の効果（MoE, 2020 のデータを基に再作成した）

SDA の除染作業前後の空間線量率の分布を図 18 に示す (MoE, 2018)。測定は、除染活動開始前、終了直後、終了から数ヵ月後に実施した。空間線量率の平均値は 1.27 μ Sv/h から 0.63 μ Sv/h、0.44 μ Sv/h に低下した。これらの結果は、表 9、図 17 の結果と一致する。除染作業終了後も空間線量率が低下していることから、対策の一貫性が確認された；結果として、再汚染があったとしても、それは重要性の低い現象であることが判った。

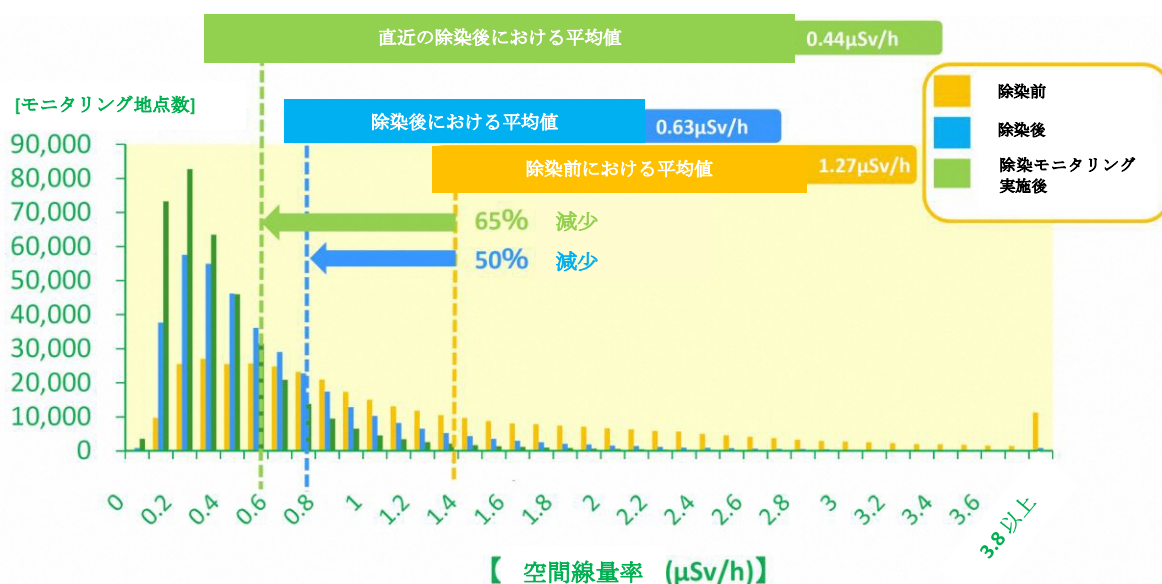


図 18：除染作業前後の除染特別地域の空間ガンマ線量率分布 (MoE, 2018)

7.2. 陸域における除染及び環境修復の国際的な知見

除染対策の効果は、放射性核種、地表面、土壌中の放射性核種の深さ分布、土地利用など、様々な要因が複雑に絡み合った結果である。汚染された土地の除染と修復については、チェルノブイリ事故後の数十年間にわたる多くの経験が蓄積されている (IAEA, 2006)。研究は、現地だけでなく、制御された実験条件下でも行われている。修復作業は、外部および内部被ばくの低減の両方に重点を置いて行われた。

表 10 は、チェルノブイリ事故の被災地で試された様々な対策で達成可能な汚染表面の除染係数をまとめたものである (Roed ら、1995 年)。区画内から放射性核種が除去されれば、線量率を最も低くできる (例：土壌の除去、表面の砂の吹きつけ、アスファルト表面処理)。この大きなばらつきは、除去された表層の厚みが異なるため、一般に、除去した表層の厚みが増すと低減係数は高くなる。ただし、この結果は非常によくコントロールされた実験条件であることに留意する必要がある (Roed ら、1995)。通常的生活環境に適用されるとしたら、ほとんど達成できないものである。現地環境では、範囲の下限からの除染係数がより現実的であると考えられる。とはいえ、好ましい条件のもとで慎重に実施される対策は、かなり有効で

あることがデータから読み取れる。より現実的な条件での日本での実証試験（表 9）で得られた除染係数は小さく、表 10 で示した範囲のより低い値と整合する。このような技術は、チェルノブイリ事故の被災地での除染作業で適用された。チェルノブイリ事故後、高額な費用のため、すべての被災地で体系的に処理されたわけではない（IAEA, 2006）。

表 10：各都市表面における達成可能な除染係数（無次元）（Roedet al., 1995）

表面	除染技術	除染係数
窓	洗浄	10
壁	砂の吹きつけ	10-100
屋根	ホースによる洗浄および／または砂吹きつけ	1-100
庭園	掘削	6
庭園	表面除去	4-10
樹木・低木	切除または除去	≈10
街並み	掃き掃除、掃除機掛け	1-50
アスファルト	表面処理	>100

除染作業による外部被ばくによる年間実効線量の低減については、Balonov ら（1992）により研究された。Balonov らは、1989年にブリャンスク州（ロシア連邦）で実施された大規模な除染作業の前後に、空間線量率の測定と個人の外部被ばく線量の測定を実施した。人口平均で、外部被ばくによる年間実効線量は 10～20%減少した。屋外作業者への影響は 10%未満であったのに対し、学校や幼稚園に通う子どもへの影響は約 30%減少した。

チェルノブイリ事故後、ベラルーシ、ロシア、ウクライナでは、多くの地域で、食品からの摂取が人々の年間被ばく量に大きく影響していた。福島県では、集中的な食品モニタリングと食品中の放射性セシウムを低く制限することにより、このようなケースはなかった。なお、福島県の土壌からの Cs-137 の取り込みは、鉍物に放射性セシウムが強く吸着しているため、比較的低い値である。

チェルノブイリ事故後、土壌からの Cs-137 の取り込みは、人々にとって、長期的な内部被ばくの原因となる可能性があるため、注目された。農作物によって Cs-137 の取り込みを減らすための有効な対策を探ることに重点が置かれた。

表 11 は、土壌⁷からの放射性セシウムの取り込みを低減するための様々な対策の有効性を比較したものである（IAEA, 2015）。最も効果的だが、最もコストがかかるのは、放射性核種の除去である。放射性核種が根に取り込まれなくなる程、放射性核種が深くに埋没している深耕でも同様の効果を得ることができる。

⁷ なお、除染は、土壌からの Cs-137 の取り込みが減少するという観点から、定量化されている。表 10 では、処理区域における空間線量率の低減で効果を定量化している。

しかし、深耕は土壤に大きな影響を与えるため、すべての土地に適用できるわけではない。その他の対策は、通常の農作業に含まれる。低減係数は、その土地特有の農法、土壤、植物の種類などの優勢的な条件に依存し、これらの係数は被災地域によって異なる。しかしながら、低減係数の範囲は、様々な除染・修復措置において同様である。

表 11：チョルノービリおよび福島第一事故後に得られた農産物への放射性セシウムの移行に対する低減係数の比較 (IAEA, 2015, Annex IV)

修復の選択肢	土壤からの放射性セシウムの取込みに対する低減係数	
	チョルノービリ	福島
表土の除去	適用外	4-5
通常耕作	2.5-3	1.5-2.5
深耕 ^{a, b}	3-8	2-3
土壤の反転耕	10-16	適用外
カリウムの使用	1.5-3	1.5-3
有機肥料の使用	1.5-2	1.3-2.5
吸着剤の使用	1.3-2	1.5-1-8
抜本的改修	2-9	8
簡易改修	2-3	4

^a 深さ 5cm までの表土を 50cm の深さから採取した土と入れ替える深耕。

^b 高さ 1m での外部被ばく線量率の低減。

8. 一般住民に対する情報発信

8.1. 福島事故後に実施した活動

環境中への人工放射性核種の放出は、被災地の人々の注目を集めている。恐れ、不安、将来の発展に対する懸念、放射線の影響に対する懐疑、環境汚染の管理に対する懸念は、放射性核種の事故放出の余波で見られる典型的な現象である（IAEA, 2015）。

FDNPP の事故後、福島県内の放射線量状況、除染活動の計画や進捗状況について、一般公衆に情報を提供する仕組みが構築された。農業、漁業、食糧供給、環境モニタリング、制限解除、放射線状況の今後の展開への影響など、放射線安全に関する情報とガイダンスを広めるために幅広いトピックが取り上げられた（環境省、2020）。

これらの目的のために、市町村や福島県は、さまざまな情報チャンネルを活用した:

- 「コミュタン福島」（福島県環境創造センター）は、2016年に設立された。設立以来、当センターは国民への重要な情報チャンネルの一つにもなっている。
- 地元新聞社、ラジオ局、テレビ番組
- 被災地住民への説明会・相談会の開催
- 住民による放射線の話や除染後の地域の状況の理解を手助けするための基礎的・総合的な情報の提供
- 放射線に関するパンフレット、漫画本、ビデオの紹介
- 環境省が設置した環境再生プラザは、放射線に関する体験型の展示やワークショップを行う福島市にある情報センター
- 自治体、地域、学校などに専門家が訪問し、放射線量の状況や今後の展開に関する実際の話について意見交換
- 廃炉、除染、生活環境の整備など、復旧・復興に向けた取組、福島県経済の活性化・再生に向けた活動などの情報を共有するためのウェブサイトを開設（福島県、2021年）
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/>

やがて、測定結果や科学的知識の単なる伝達から、放射線に関する問題についての住民との対話へと、情報提供活動の焦点は移っていった。住民との対話の意図は、自分たちの住む地域の安全に対する意識を自ら育ててもらうことにある。

除染作業終了後、空間線量率は順調に低下したが、放射線リスク、除去された土壌や廃棄物の保管、日常生活への影響の可能性などの懸念は残された。基本的には、

放射線被曝の状況について、合理的に理解はされているが、それにもかかわらず、感覚的には、不安や恐怖を伴うことが多い。

依然として、地方自治体と住民のコミュニケーションを支援するため、正しく、わかりやすい情報を提供する努力を続けている。その目的は、環境修復のための膨大な努力とその結果としての環境条件の改善について、地域と国全体の人々の認識を高めることにある。

8.2. 国際的経験

原子力・放射線事故後の経験から、被災地の住民との交流が不可欠であることがわかる。これには、環境汚染に関する一般市民へのタイムリーな情報提供、環境汚染から生じる放射線障害に関する対話、放射線、社会、経済的影響を緩和するための方策に関する議論、一般市民や特定の団体から寄せられる懸念に対応するための公開討論といった活動が含まれる。

1987年、ゴイアニア（ブラジル）で発生した放射線障害。約 52TBq の放射能を持つ医療用線源としての Cs-137 がスクラップ回収業者によって開封された。Cs-137 の大部分は環境中に飛散し、地域住民の被曝を引き起こした。人と環境のモニタリング、被災地の除染、除染廃棄物の管理など、総合的な活動が開始された。一般市民との交流の経験など詳細は、IAEA（1988）にまとめられている。

ICRIN プログラム（国際チョルノービリ研究情報ネットワーク）においても、貴重な知見が得られた（Proehl, 2016）。このプログラムは、2009年に4つの国際機関（UNDP、UNICEF、IAEA、WHO）⁸によって、ベラルーシ、ロシア、ウクライナのチョルノービリ事故被災地で開始された。このプログラムの目的は、放射線に関する科学的に正しい情報を提供し、農業実務に関する地域住民との対話を開始し、被曝を低減するための個人の習慣について話し合うことだった。さらに、これらの地域の経済発展のための取り組みも始まった。

福島県とIAEAの協力の中で、事故後の市民との交流に関する世界的な経験について詳しく議論された。議論の要点を表12にまとめた。

今回の議論では、住民との交流が複雑なプロセスであることが強調された。公式的な情報源以外にも、噂が飛び交い、汚染状況が悪化するに従って他の情報源からも情報が入手できるようになることが、特別な課題である。これまでの経験から、すべての情報源が信頼できるわけではない。そのため、相反する情報が拡散するのである。国民が信頼できる情報源とそうでないものを明確に区別することが難しく、公式の情報チャンネルに対する信頼が損なわれる可能性がある。

⁸ UNDP：国際連合開発計画
UNICEF：国際連合児童基金
IAEA：国際原子力機関
WHO：世界保健機関

したがって、チョルノービリやゴイアニア事故後の経験によれば、地域住民や一般国民との対話や実りある議論を成功させるには、信頼関係の構築と維持が最も重要な要素である。

表 12：日本国外の事故後管理に不可欠と認識された国民とのコミュニケーションに関する側面 (Proehl, 2016; IAEA 1988)

項目	重要な細目
情報	<ul style="list-style-type: none"> ● 透明性を確保する：その情報はどこから来るのか？ ● 信頼性：情報源は信頼に足るものか？ ● 完成度の高さ：何がわかっている、何が不確かなのか？知識格差は関連しているか？ ● 放射線の状況：何が起きたのか、現状はどうなのか、次はどうなるのか ● 受け手に合わせた情報提供：子供、農家、レジャー施設など、特定のグループの懸念に対処すること
情報配信	<ul style="list-style-type: none"> ● ラジオ、テレビ ● インターネット、ソーシャルメディア ● パンフレットなどの印刷物 ● 情報センターの設置 ● 科学的に正しい情報を発信するために、尊敬と信頼のおける人物が関与していること ● 成果の普及に医師や教員を巻き込む
人と直接触れ合う	<ul style="list-style-type: none"> ● 被災者との対話と議論を可能にする情報イベントの開催 ● 市場、文化イベント、地元の祭りなど、公共の場で適格な専門家にアクセスできること ● 必要に応じて、すぐに情報が得られるような窓口や情報サービスを設置する ● 適格で信頼できるコンタクトパーソンへのアクセス可能性 ● 個人生産食品に対するモニタリング ● 放射線問題とその影響に関する対面での議論、社会的・経済的テーマにおける個人への助言の提供

9. 要旨

本報告書は、東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により放射性物質が沈着した地域の除染・修復について、福島県と国際原子力機関（IAEA）が協力した結果をまとめたものである。2018年から2022年にかけて実施された議論の結果、得られた主な知見を紹介している。

- 福島県内の淡水域における放射性核種の動態を調べるため、2011年に包括的なモニタリングと研究プログラムが開始された。予想通り、河川水中のCs-137の濃度は沈着直後に最大となる結果が得られた。河川水中の溶存態および粒子態Cs-137濃度は、2011年以降、着実に減少した。
- 河川水中の浮遊物質量は、水位が上昇すると増加する。浮遊物質中のCs-137放射能濃度は、流量の少ない時期に高くなる傾向がある。
- 森林地域では、森林の土壌やリターが河川における浮遊物質量に大きく影響する可能性がある。
- 福島県の河川における溶存態および粒子態Cs-137濃度を、TODAMモデルによりシミュレーションした。その結果、実測値と計算値はほぼ一致した。
- 通常、河川水中のCs-137濃度の時間依存性は、沈着後の異なる段階を表す1～3成分の指数関数で記述されることが多い。
 - ヨーロッパの河川では、沈着直後の約2-3週間の間は5日の半減期に従ってCs-137濃度が低下することが観察された。しかし、多くのデータセットでは、この急激に低下する初期段階は含まれていない。
 - 多くのデータセットは、放射性核種の沈着後数ヶ月から5-15年の観測期間を網羅している。福島県内の河川では、48の河川水のデータセットのCs-137の実効環境半減期は0.7～16年という値になっている。1年未満は3件のみ、5年以上も3件のみであった。1.1～4.6年の範囲にあるデータは42件であった。
 - 観測期間が十分に長ければ、場合によっては第3の段階を確認することができる。しかし、3つ目の要素を定量化するためには、少なくとも15年の観測期間が必要である。福島県では、このような長い観測期間をまだ確保できない。
 - ヨーロッパと西アジアの25の河川の水において、実効環境半減期が16年の長期成分を確認した。この成分の濃度低下全体への寄与はわずか0.5%であり、実際の関連性はわずかなものである。
 - 概して、福島県と世界の他の地域で観測された時間の経過に伴う傾向はよく一致している。一般的な変化パターンは、日本国内外で類似している。

- 流出による**Cs-137**の減少は、土地利用によって異なる。**Cs-137**の流出は、水田、農地、住宅地の割合が増えるにつれて増加する。
- 流域内での除染活動により、土壌やそれに付着した**Cs-137**の流出が増える。除染作業中に行われた調査では、表面流出による**Cs-137**の総流出は、1ヶ月あたり**0.03%**の桁であった。放射性物質の壊変による**Cs-137**の低下率は、1ヶ月あたり**0.19%**である。
- 森林や草地のリター層から**Cs-137**が溶出すると、降雨に伴う表面流出水中の溶存態**Cs-137**濃度が上昇する可能性がある。
- 福島県の河道の一部で環境回復作業を行ったところ、空間線量率は約**2分の1**に低減した。この効果は、その後の数年間も持続した。
- 国際的な経験から、河川での除染作業は、水の流れが動的であるため、困難であることが分かっている。工学的対策はコストがかかり、実施が困難な場合も多いため、公衆の被ばく量に対する全体的な影響は依然として低い。住民の被ばく低減には、飲料水の取水制限と漁業制限が最も効果的であった。
- 福島とチェルノブリの事故後、放射性核種の濃度が高い粒子が検出された。チェルノブリのホットパーティクルは燃料の破片であり、福島の放射性降下物に含まれる不溶性セシウム粒子（**CsMPs**）とは異なるものである。**CsMPs**は、チェルノブリ原発から放出されたものに比べて小さく、放射能もかなり低い。
- 福島県内の除染作業は、帰還困難区域を除き**2018年**に終了した。除染特別地域（**SDA**）では、除染作業直後では、空間線量率が**44～60%**低減した。除染終了から**6～12ヶ月**後、空間線量率は除染前より**55～76%**低下した。これらの低下傾向は、チェルノブリ事故後の経験と一致している。
- **Cs-137**濃度を低下させるために、チェルノブリ原子力発電所事故後と同じような技術が適用された。その取組に対する効果は、比較可能な限り、チェルノブリ事故後と全般的に同じであった。
- 事故後の状況を管理する段階における一般住民との交流には、複雑なプロセスが含まれる。多くのグループや個人の興味・関心に対応する必要があるため、被災地の人々との対話を開始し維持するための、個別の状況に応じたコミュニケーション戦略の必要性が浮き彫りになっている。
- 環境中の放射性セシウムの挙動と汚染地域の除染について、福島県で精緻に行われた結果を包括的かつ簡潔にまとめられるよう、データ報告の構造を定義するためのマトリックスが提案されている。

10. 参考文献

- Abe, Y., Iizawa, Y., Terada, Y., Adachi, K., Igarashi, Y., Nakai, I. (福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性微粒子のシンクロトロン放射光マイクロビームを利用した複合 X 線分析によるウランの検出及び元素の化学状態分析) ; *Anal. Chem.* 86, 8521– 8525 (2014)
- Abe, Y., Onozaki, S., Nakai, I., Adachi, K., Igarashi, Y., Oura, Y., Ebihara, M., Miyasaka, T., Nakamura, H., Sueki, K., Tsuruta, H., Moriguchi, Y. (福島事故による放射性セシウム含有微粒子の関東地方における広域分布について) ; *Progress in Earth and Planetary Science*, 8:13, (2021)
- Akleyev, A, Degteva, M (ロシア連邦の γ -Mayak 施設における兵器級プルトニウム生産による放射能放出の放射線生態学的結果) ; *Journal of Radiological Protection* 41 (2), p 67 (2021)
- Arai, H., Fujita, K., Yoshita, H., Taniguchi, K. (河川の基準流量と高流量における粒子状放射性セシウム源の比率に関する寄与度の相違について：福島県中部地域におけるケーススタディ) ; *Water* 2021, 13(21), 3021
- Balonov, M.I., V.Y. Golikov, V.G. Erkin et al. (チョルノービリ事故により被災した居住圏の除染に向けた大規模プログラムの理論と実践 p. 397-415: 原子力事故への介入水準および対策に関する国際セミナーの議事録) ; *EUR* 14469 (1992).
- Beresford, N.A., Fesenko, S., Konoplev, A., Skuterud, L., Smith, J., Voigt, G. (チョルノービリ事故から 30 年 私たちは何を学んだのか?) ; *Journal of Environmental Radioactivity* 157 (2016) 77-89
- Evrard, O., Chartin, C., Laceby, J.P., Onda, Y., Wakiyama, Y., Nakao, A., Cerdan, A., Lepage, H., Jaegler, H., Vandromme, R., Lefèvre, I., Bonté, P. (福島県で主要な放射性汚染プルームを流出する沿岸河川における洪水堆積物中の放射性核種汚染 (2011-2020 年)) ; *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 2555–2560, 2021
- Evrard, O., J.P. Laceby and A. Nakao. (福島事故後の景観除染の有効性：レビュー) ; *SOIL* 5(2): 333-350 (2019).
- Farris, WT, Napier, BA, Ikenberry, TA, Shipler, DB (ハンフォード・サイトから大気中ならびにコロンビア川に放出される放射線量) ; *Health Phys*, 71(4), 588-601(1996)
- 福島県 (復興・再生のあゆみ) ; (<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal-english/>)(2021)
- 福島県 (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, 中間報告書 (2013 年-2020 年) 【福島県提案プロジェクト】) ; 2021 年 3 月
- 福島県、国際原子力機関 (中間報告書 (2013～2020 年) 国際原子力機関と福島県との間の協力プロジェクト 放射線モニタリング及び除染) ; 2020 年 12 月 <https://www.iaea.org/sites/default/files/21/04/iaea->

fukushima_prefecture_cooperation_in_radiation_monitoring_and_remediation_-_mid-term_report_english.pdf

Hakanson, L., Andresson, T. (チョルノービリ事故後のスウェーデンの湖魚の放射性セシウムに対する除染対策について) ; *Aquat Sci.*, 54 (1992) 141-162.

Hoffman, D.W., Rasmussen, C.: (Vienna Peedee Belemnite Isotope Reference の ^1H NMR 分光法による炭素安定同位体比の絶対値決定) ; *Anal. Chem.* 2022, 94, 13, 5240–5247.

Igarashi, T. Kogure, Y. Kurihara, H. Miura, T. Okumura, Y. Satou, Y. Takahashi, N. Yamaguchi (福島第一原子力発電所事故により放出された環境中のセシウム含有微粒子の考察) ; *Journal of Environmental Radioactivity* 205–206 (2019) 101–118.

Ikehara, R., Morooka, K., Suetake, M., Komiya, T., Kurihara, E., Takehara, M., Takami, R., Kino, C., Horie, K., Takehara, M., Yamasaki, S., Ohnuki, T., Law, G.T.W., Bower, W. Grambow, B., Ewing, R.C., Utsunomiya, S. (福島第一原子力発電所から環境中に放出された放射性セシウムを多く含む微粒子の存在量と分布) ; *Chemosphere* 241 (2020) 125019.

国際原子力機関 : IAEA (チョルノービリ事故の環境影響とその修復 : 20 年の経験、チョルノービリ・フォーラム専門家グループ「環境」報告書) ; ウィーン, 国際原子力機関, 2006

国際原子力機関 (陸域および淡水域における放射性核種の環境移行予測のためのパラメータハンドブック) ; テクニカルレポートシリーズ No 472, ウィーン 2010.

国際原子力機関 (放射線評価のための陸域および淡水域における放射性核種移行の定量化) ; IAEA-TECDOC-1616 IAEA, ウィーン, 2009

国際原子力機関 (福島第一原子力発電所事故 技術編 4/5 放射線の影響 (附属書付)) ; IAEA, ウィーン (2015)

国際原子力機関 (ゴイアニアにおける放射線事故について) IAEA, ウィーン (1988)

国際放射線防護委員会 (ICRP 刊行物 60 に基づく線量係数の概説) ; ICRP 刊行物 119. Ann. ICRP 41(付録), 2012.

Iwagami, S., Onda, Y., Sakashita, W., Tsujimura, M., Satou, Y., Konuma, R., Nishino, M., Abe, Y. (福島第一原子力発電所事故後の水源流域における Cs-137 流出の 6 年間のモニタリング調査) ; *J. Environ. Radioact.* 210 (2019) 106001.

Konoplev, A., Voitsekhovych, O., Onishi, Y. (陸域および水域の生態系で実施された浄化に関する国際的な知見 ; 福島県 – IAEA 間における会合, ワークショップ 2018 年 2 月 6-8 日)

Kurihara, Y., Takahata, N., Yokoyama, T.D., Miura, H., Kon, Y., Takagi, T., Higaki, S., Yamaguchi, N., Sano, Y., Takahashi, Y. (福島第一原子力発電所由来の放射性セシウム含有球状微粒子におけるウランとセシウムの同位体比) ; *科学レポート* 10:3281 (2020)

Kudelsky, A.V., Smith, J.T., Petrovich, A.A. (魚類への Cs-137 蓄積対策としての排水路を持たない湖へのカリウム添加の試み) *Radioprotection-Colloques* 37 (2002) 621-626.

- 環境省（日本）、2018（日本における環境回復）；
http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf
- 環境省（日本）、2020（日本の被災地におけるオフサイトの環境修復活動）；
http://josen.env.go.jp/en/pdf/environmental_remediation_2008.pdf
- 環境省（日本）、2021（放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(英語版 2nd edition) (第9章: 事故からの回復に向けた取組)
<https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/09-02-01.html>
- 環境省（日本）(2011)（平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法），平成23年（2011年）法律第百十号(日本)。
- Miura, H., Kurihara, Y., Sakaguchi, A., Tanaka, K., Yamaguchi, N., Higaki, S., Takahashi, Y.（福島県口太川における河川水中の放射性セシウム含有微粒子の発見および放射性セシウムの固液分配係数(Kd)に与える影響について）；*Geochemical Journal*, 52 (1-10) 2018
- Miura, H., Kurihara, Y., Yamamoto, M., Sakaguchi, A., Yamaguchi, N., Sekizawa, O., Nitta, K., Higaki, S., Tsumune, D., Itai, T., Takahashi, Y.（放射線分析を用いた多角的な解析により福島事故から得られた放出された2種類のセシウムを含む微粒子の特性評価）；*Scientific Reports* 10, 11421 (2020)。
- Nakanishi, T., Sakuma, K.（福島事故後の中期および将来的な河川水中のCs-137濃度の傾向について）；*Chemosphere* 215, 272-279, 2020.
- Nishikiori, T. and S., Suzuki（福島県の河川敷における放射性セシウムの除染について）；*Journal of Environmental Radioactivity*, Volume 177, October 2017, Pages 58-64(2017).
- Okumura, T., Tamaguchi, N., Terumi, D., Iijima, K., Kogure, T.（福島原子力発電所から放出された放射性セシウム含有微粒子の溶解挙動）；*Scientific Reports*, 9, 3520 (2019).
- Onda, Y., S. Hayashi, S. Nagao, Y. Ishii, H. Tsuji, K. Taniguchi, K. Nishina, K. Suzuki, S. Watanabe, G. Proehl, P. Boyer, G. Laurent.（流域と河川） In: *International Atomic Energy Agency:（福島第一原子力発電所事故後の日本における放射性核種の環境移行について） IAEA TECDOC-1927 (2020).*
- Proehl, G.: 国際チェルノブイリ研究情報ネットワーク (ICRIN)（事故後の修復技術と戦略に関する技術会議） IAEA, ウィーン, 14 June 2016.
[https://gnssn.iaea.org/RTWS/general/Shared%20Documents/Environmental%20Assessment/TM-52829%2013-17%20June%202016/Presentations%2014%20June%202016/11-2016-06-14%20\(ICRIN\).pdf](https://gnssn.iaea.org/RTWS/general/Shared%20Documents/Environmental%20Assessment/TM-52829%2013-17%20June%202016/Presentations%2014%20June%202016/11-2016-06-14%20(ICRIN).pdf)
- Roed, J., Andersson, K., Prip, H.（事故から9年後の除染の実践的手法） Risoe-R-828(EN), Risø National Lab., Roskilde (1995).
- Sakakibara, K., Iwagami, S., Tsujimura, M., Konuma, R., Sato, Y., Onda, Y.（福島県広葉樹林における暴風雨時のリター層からの放射性セシウムの溶出）；*Science of*

The Total Environment 796, 148929, (2021)

Smith, J.T., Voitsekhovitch, O.V., Håkanson, L., Hilton, J. (飲料水および淡水産食品の摂取による放射性物質の低減対策に関する批判的考察) ; *Remediat. Strateg.* 56 1 (2001) 11.

Smith, J.T., Voitsekhovitch, O.V., Hakanson, L., Hilton, J. (飲料水および淡水産食品の摂取による放射性物質の低減対策に関する批判的考察) ; *Journal of Environmental Radioactivity* 56 (2001) 11–32

Smith, J., Beresfore, N. (大災害とその結末) Springer ((Berlin, Heidelberg, New York), 2005.

Smith, J.T., Wright, S.M., Cross, M.A., Monte, L., Kudelsky, A.V., Saxen, R., Vakulovsky, S.M., Timms, D.N., 2004. (Sr-90 と Cs-137 の河川輸送のグローバル解析) ; *Environ. Sci. Technol.* 38, 850–857. <https://doi.org/10.1021/es0300463> .

Takeuchi, Y., Fujita, K., Arai, H., Nasu, K., Taniguchi, K. (2023a), Suspended ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs concentrations in the rivers within the 80km radius from TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. CRiED, University of Tsukuba.

<https://doi.org/10.34355/Fukushima.Pref.CEC.00143>

Takeuchi, Y., Fujita, K., Arai, H., Nasu, K., Taniguchi, K. (2023b), Suspended and dissolved radiocesium concentrations in river water within the 80km radius from TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. CRiED, University of Tsukuba.

<https://doi.org/10.34355/Fukushima.Pref.CEC.00115>

Taniguchi, K., Onda, Y., Smith, H., Blake, W., Yoshimura, L., Yamashiki, Y., Kuramoto, T., Saito, K. (河川を介した福島フォールアウトの放射性セシウムの移行と再区分) ; *Environm. Sci. Technol.* 2019, 53, 12339-12347

Taniguchi, K., Kuramoto, T., Onda, Y. (2020), (東京電力福島第一原子力発電所から 80km 圏内の河川における Cs-134 および Cs-137 の月別フラックス) ; CRiED, University of Tsukuba, doi: 10.34355/Fukushima.Pref.CEC.00015

Tsuji, H., Ishii, Y., Shin, M., Taniguchi, K., Arai, H., Kurihara, M., Yasutaka, T., Kuramoto, T., Nakanishi, T., Lee, S., Shinano, T., Onda, Y., Hayashi, S. (東日本の河川における溶存態 Cs-137 濃度を制御する要因について) ; *Science of the Total Environment* 697, 134093, (2019)

UNSCEAR (福島第一原子力発電所の事故による放射線被曝の水準および影響について : 2013 年 UNSCEAR 報告書 (案) 以降に発表された情報の意図) 2021 年発行

Voitsekhovitch, O. V., Nasvit, O., Los'y, Y., & Berkovski, V. (1997). (1986 年チョルノービリ事故によるドニエプル川流域の水質汚染対策についての現在の考察) In G. Desmet, R. Blust, R. N. J. Comans, J. A. Fernandez, J. Hilton, & A. de Bettencourt (編.), (淡水・河口域の放射線生態学 (pp.75-86)) アムステルダム: Elsevier.

Voitsekhovych, O., Konoplev, A., Onishi, Y. (表層水中における Cs-137 移行のモデル化) ; 福島県環境創造センター、福島県 – IAEA 間の会合、ワークショップ 2018 年 2 月 6-8 日

Wasserman, M.A., F. Bartoly , A.P. Portilho, E.R.R. Rochedo, A.G. Viana , D.V. Pe´rez, C.C. Conti (熱帯土壌における Cs-137 および Co-60 の潜在的移動度および

生物学的利用能に及ぼす有機質改良の影響) ; *Journal of Environmental Radioactivity* 99 (2008) 554-562.

World Health Organization (WHO) (2021) (飲料水の水質に関するガイドライン。第1および第2補遺を含む第4版)

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

Yamashita, M., Eguchi, S., Tateishi, T., Tsuiki, M. (植物における放射性セシウム濃度の種ごとの相違および経年変化) ; *Jpn. J. Grassl. Sci.* 62 3 (2016) 134

Yasutaka, T., Iwasaki, Y., Hashimoto, S., Naito, W., Ono, K., Kishimoto, A., Yoshida, K., Murakami, M., Kawaguchi, I., Oka, T., Nakanishi, J., 2013a. (福島での長期的外部被ばくによる実効線量における除染効果のGISによる評価) ; *Chemosphere* 93, 1222-1229

Yasutaka, T., Naito, W., and Nakanishi, J. (2013b) (外部被ばく線量に対する福島の放射線汚染地域における除染戦略の費用および効果) ; *PloS One*, 8, e75308, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075308>.

附属資料 I : 日本および欧州の河川における Cs-137 の挙動

附属資料 I.1: 河川における Cs-137 の動態を説明するためのデータのまとめ (半減期は短期、中期、長期の各成分について示す。複数の構成要素が与えられている場合、これらの構成要素の重み付け係数を括弧内に示す。)

河川名または地点名	観測期間	媒体	実効半減期 (重み付け係数 (ある場合))			参 考
			T _{eff,1} (短期)	T _{eff,2} (中期)	T _{eff,3} 長期	
チェルノブイリ事故の影響を受けたヨーロッパの河川						
プリピャチ (ウクライナ)	1986 年 5 月	溶存態	11 日			Smith 2005
ドニエプル (ウクライナ)	沈着後 1~3 週間	溶存態	9.0 日			
グラット (スイス)		溶存態	19 日			
ラベ (ドイツ)		溶存態	18 日			
ポー (イタリア)	1986 年 5 月 20 日~7 月	溶存態	35 日			Monte 1995
ヨーロッパの河川	1986 年 5 月 1 日~15 日		5 日			Santschi 1990
ウクライナの 9 河川	1987-1991	溶存態	-	1.0-2.1 年	-	Smith 2005
フィンランドの 5 河川	1987-1991	溶存態	-	1.7-4.3 年	-	
ベラルーシの 5 河川	1987-1991	溶存態	-	1.0-1.4 年	-	
ドーラ・バルテア(イタリア)	1987-1991	溶存態	-	1.9 年	-	
ライン (ドイツ)	1987-1991	溶存態	-	1.3 年	-	
ライン (ドイツ)	1987-1991	粒子状物質	-	1.9 年	-	
プリピャチ (ウクライナ)	1987-1991	溶存態	-	1.6 年	-	
プリピャチ (ウクライナ)	1995-1998	溶存態	-	3.8 年	-	
ドニエプル (ウクライナ)	1995-1998	溶存態	-	3.6 年	-	
デスナ (ウクライナ)	1995-1998	溶存態	-	9.9 年	-	
フィンランドの 5 河川	1995-2002	溶存態	-	5.2-7.5 年	-	
ベラルーシの 5 河川	1994-1998	溶存態	-	2.1-4.5 年	-	
プリピャチ (ウクライナ)	1995-1998	粒子状物質	-	8.2 年	-	
ドニエプル (ウクライナ)	1995-1998	粒子状物質	-	7.5 年	-	
デスナ (ウクライナ)	1995-1998	粒子状物質	-	2.6 年	-	
プリピャチ (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	3.0 年(*)	14 年(*)	
プリピャチ(チェルノブイリ)	1987-2001	無濾過水	-	2.5 年(*)	15 年(*)	
ドニエプル (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	1.9 年(*)	8.3 年(*)	
ウージュ (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	2.6 年(*)	6.2 年(*)	
テテリフ (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	3.1 年	-	
イルピン (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	2.8 年	-	
ブラジェンカ(ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	5.3 年(*)	6.0 年(*)	
イリヤ (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	3.2 年	-	

河川名または地点名	観測期間	媒 体	実効半減期 (重み付け係数 (ある場合))			参 考
			T _{eff,1} (短期)	T _{eff,2} (中期)	T _{eff,3} 長期	
サハン (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	2.7 年(*)	16 年(*)	
グリニツァ (ウクライナ)	1987-2001	無濾過水	-	2.0 年(*)	21 年(*)	
プリピャチ (ウクライナ)	1988-2018	粒子状物質	-	1.1 年(*)	10 年(*)	
ドニエプル (ウクライナ)	1989-2012	粒子状物質	-	3.6 年(*)	7.6 年(*)	Smith 2001
ウクライナの河川	1987-2001	溶存態	-	2.0-6.5 年	-	
アジアとヨーロッパの 25 河川	1987-2001	無濾過水	20 日 (0.905)	1.6 年	16 年	Smith 2004
イプチ川 (ロシア)	1987-1991		-	1.3 年	-	IAEA (2003)
キュミ (フィンランド)	1990-1996		-	6.0 年	-	Saxen (2001)
コケマエン(フィンランド)	1990-1996		-	3.5 年	-	
FDNPP 事故の影響を受けた日本の河川または地点名						
請戸川	2015-2018	溶存態	-	3.7 年	-	Nakanishi (2019)
		粒子状物質	-	2.3 年	-	
太田川	2015-2018	溶存態	-	2.4 年	-	
		粒子状物質	-	1.6 年	-	
高太石	2011-2013	溶存態	-	0.69 年	-	Iwagami (2017)
疣石	2011-2013	溶存態	-	0.69 年	-	
石平	2011-2013	溶存態	-	1.5 年	-	
福島河川	2012-2014	溶存態	-	1.8±0.5 y	-	Ochiai (2016)
小高川	2012-2016	河床土	-	4.7±1.3 年	-	Shizuma et al. (2018)
		河川水	-	3.7±0.6 年	-	
太田川		河床土	-	1.5±0.4 年	-	
		河川水	-	2.1±0.6 年	-	
新田川		河床土	-	1.8±0.6 年	-	
		河川水	-	1.0±0.2 年	-	
真野川		河床土	-	2.1±0.2 年	-	
		河川水	-	0.9±0.1 年	-	
水境川	2011-2016	粒子状物質	1.6 年 (0.64)	2.7 年 (0.36)	-	Taniguchi et al. (2019)
口太川・上流	2011-2016	粒子状物質	135 日 (0.79)	2.0 年 (0.21)	-	
口太川・中流	2011-2016	粒子状物質	120 日 (0.74)	1.6 年 (0.26)	-	
口太川・下流	2011-2016	粒子状物質	274 日 (0.64)	1.4 年 (0.36)	-	
伏黒	2011-2016	粒子状物質	66 日 (0.92)	1.8 年 (0.08)	-	
岩沼	2011-2016	粒子状物質	80 日	1.5 年	-	

河川名または地点名	観測期間	媒 体	実効半減期 (重み付け係数 (ある場合))			参 考
			T _{eff,1} (短期)	T _{eff,2} (中期)	T _{eff,3} 長期	
			(0.92)	(0.08)		
真野	2012-2016	粒子状物質	-	8.2 年	-	
小島田堰	2012-2016	粒子状物質	-	4.6 年	-	
松原	2012-2016	粒子状物質	-	3.7 年	-	
小名浜	2012-2016	粒子状物質	-	2.1 年	-	
月舘	2012-2016	粒子状物質	-	1.1 年	-	
二本松	2012-2016	粒子状物質	-	1.6 年	-	
御代田	2012-2016	粒子状物質	-	2.9 年	-	
西川	2012-2016	粒子状物質	-	2.9 年	-	
北町	2012-2016	粒子状物質	-	1.5 年	-	Taniguchi et al. (2019)
川俣	2012-2016	粒子状物質	-	1.1 年	-	
丸森	2012-2016	粒子状物質	-	1.8 年	-	
瀬上	2012-2016	粒子状物質	-	2.4 年	-	
八木田	2012-2016	粒子状物質	-	16 年	-	
黒岩	2012-2016	粒子状物質	-	1.3 年	-	
富田	2012-2016	粒子状物質	-	1.5 年	-	
太田	2012-2016	粒子状物質	-	3.8 年	-	
小高	2012-2016	粒子状物質	-	11 年	-	
浅見	2012-2016	粒子状物質	-	2.1 年	-	
津島	2012-2016	粒子状物質	-	1.7 年	-	
請戸	2012-2016	粒子状物質	-	2.8 年	-	
高瀬	2012-2016	粒子状物質	-	1.7 年	-	
原町	2012-2016	粒子状物質	-	3.0 年	-	
赤沼	2012-2016	粒子状物質	-	2.0 年	-	
阿武隈川	2011-2017	粒子状物質	0.14 (0.96)	1.5 年 (0.04)	-	Sakuma (2019)
FP の河川沿岸域	2011-2017	粒子状物質	0.12 (0.93)	2.6 年 (0.07)	-	
阿武隈川・沿岸部の河川	2011-2017	溶存態	0.14 (0.94)	2.6 年 (0.06)	-	
比曽川	2011-2021	粒子状物質	0.068 年 (0.97)	1.7 年 (0.03)	-	Ueda et al. (2021)
比曽川	2011-2021	溶存態	0.20 年 (0.914)	1.8 年 (0.086)	-	
割木川	2011-2021	粒子状物質	0.071 年 (0.975)	1.9 年 (0.025)	-	
割木川	2011-2021	溶存態	0.24 年 (0.82)	1.7 年 (0.18)	-	

*このデータは、これらの河川における Cs-137 の減少が、2つの成分を持つ指数関数に従うことを示

している。しかし、長期成分の不確実性が非常に高く、重み付け係数を特定の値に割り当てるのが合理的でないと考えられたため、著者らは2成分の重み付け係数を示していない。したがって、この値は、長期成分の一次推定値として考えるべきである。長期成分の不確実性が高いのは、生態学的半減期に比べて観測期間が短いためである。

***有効半減期は、宇多川、真野川、新田川、太田川、小高川、請戸川、阿武隈川での測定値から算出した。

附属資料 I 参考文献

- IAEA, 2003. (ロシア連邦ブリャンスク地域イプチ川流域のチョルノービリフォールアウトデータを用いた環境移行モデルの検証) (BIOMASS テーマ 2 の線量再構築ワーキンググループ報告書) 生物圏のモデリングと評価方法 (BIOMASS) プログラム。国際原子力機関、ウィーン、IAEA-BIOMASS-4. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Biomass4_web.pdf
シナリオの説明は、別途、アメリカ疾病予防管理センターから以下のサイトで公開されている。 http://www.cdc.gov/nceh/radiation/brochure/profile_intl_projects.htm
- Iwagami, S., Onda, Y., Tsujimura, M., Abe, Y., 2017a. (福島第一原子力発電所事故後の福島県内源流域における浮遊物質、粗大有機物および溶解成分による放射性 Cs-137 流出への寄与に関して) J. Environ. Radioact. 166, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.07.025>.
- Konoplev, A., V. Kanivets, G. Laptev, O. Voitsekhovich, O. Zhukova, M. Germenchuk (河川・湖沼におけるチェルノブイリ由来放射性核種の長期動態について) In: A. Konoplev, K. Kato, S.N. Kalmykov (編) (環境中の放射性核種の挙動 II (チョルノービリ)), シンガポール 2020.
- Monte, L. (淡水系流域からの放射性核種移行関数の評価) ; Journal of Environmental Radioactivity. 26, 71-82, 1995.
- Nakanishi, T., K. Sakuma (福島事故後の中期および将来における河川水中の Cs-137 濃度の推移) ; Chemosphere, 215 (2019)
- Ochiai, S., Ueda, S., Hasegawa, H., Kakiuchi, H., Akata, N., Ohtsuka, Y., Hisamatsu, S. (2012~2014 年の福島県東部の河川水における原子力発電所事故に由来する ¹³⁷Cs 濃度の空間的および時間的变化) ; J. Radioanal. Nucl. Chem. 307, 2167-2172 (2016).
- Onishi, Y. (福島・チョルノービリ事故の環境アセスメントと米国ハンフォード・サイトの廃棄物管理について) ; 第 23 回国際会議 理論応用力学, Procedia IUTAM 10, 372-381 (2014)
- Sakuma, K. T. Nakanishi, K. Yoshimura, H. Kurikami, K. Nanba, M. Zheleznyak (福島事故直後から 2017 年までの河川における ¹³⁷Cs の流出を推定するためのモデリングアプローチ) ; Journal of Environmental Radioactivity 208–209 (2019)
- Santschi, P., Bollhalder, S., Zingg, S., Lück, A., Farrenkothen, K. (放射性フォールアウト後の水面の自浄作用。1986~1988 年のチョルノービリ事故後のヨーロッパ水域からの根拠。) Environ. Sci. Technology 24(4), 519-527, 1990
- Saxen, R. E. Ilus: (1986~1996 年におけるフィンランドの河川からバルト海への Cs-137 および Sr-90 の流出について) J. Environm. Radioac. 54 (2001) 275-291
- Shizuma, K., W.I. Nursal, Y. Sakurai (福島第一原子力発電所事故後の 2012 年から

2016年にかけての南相馬市5河川における堆積物および河川水中の放射性セシウム濃度の長期モニタリング) *Applied Science*, **2018**, *8*, 1319; doi:10.3390/app8081319.

Smith JT, Voitsekhovich OV, Konoplev AV, Kudelsky AV (2005a) (水圏の放射能について) In: Smith JT, Beresford NA (編) チョルノービリでの惨事とその結末。Springer-Praxis, ベルリン, pp 139–190 Smith, J.T., Konoplev, A.V., Bulgakov, A.A., Comans, R.N.J., Cross, M.A., Kaminski, S., Khristuk, B., Klemm, E., De Koning, A., Kudelsky, A.V., Laptev, G., Madruga, M.-J., Voitsekhovitch, O., Zibold, G. (最終報告書：チョルノービリ地域の帯水層と表面水：観測と予測評価)；プロジェクト IC15 CT98-0205, 2001。

Smith, J.T., Wright, S.M., Cross, M.A., Monte, L., Kudelsky, A.V., Saxen, R., Vakulovsky, S.M., Timms, D.N., 2004. (Sr-90 および Cs-137 の河川移行のグローバル解析)； *Environ. Sci. Technol.* *38*, 850–857. <https://doi.org/10.1021/es0300463>.

Taniguchi, K., Onda, Y., Smith, H., Blake, W., Yoshimura, L., Yamashiki, Y., Kuramoto, T., Saito, K. (河川を介した福島フォールアウトの放射性セシウムの移行と再区分)； *Environm. Sci. Technol.* *2019*, *53*, 12339-12347.

Ueda, S., Hasegawa, H., Ohtsuka, Y., Ochiai, S., & Tani, T. (2021). (福島事故による汚染水域の10年間の放射性セシウム河川流出パターン)； *Journal of Environmental Radioactivity*, *240*, 106759. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2021.106759>

附属資料Ⅱ：福島県内の河川における懸濁物質中の **Cs-137** の時間依存性

附属資料Ⅱ.1：福島第一原子力発電所周辺 80 km 圏内の河川における浮遊物質中の **Cs-137** の動態を推定するための基礎データ (Taniguchi et al. 2019; Taniguchi et al. 2020)

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2011-06-27	水境 (口太川)	4.85E+04	1.45E+03	7.5	745.2
2011-07-12	水境 (口太川)	3.85E+04	1.25E+03		
2011-07-20	水境 (口太川)	9.28E+03	5.57E+02		
2011-07-25	水境 (口太川)	2.42E+04	1.06E+02		
2011-08-01	水境 (口太川)	5.54E+04	1.11E+03		
2011-08-09	水境 (口太川)	2.57E+03	6.19E+02		
2011-08-16	水境 (口太川)	3.39E+04	1.34E+03		
2011-08-24	水境 (口太川)	3.42E+04	6.45E+02		
2011-08-30	水境 (口太川)	1.15E+04	2.80E+02		
2011-09-10	水境 (口太川)	2.75E+04	1.04E+03		
2011-09-17	水境 (口太川)	3.50E+04	2.10E+03		
2011-12-08	水境 (口太川)	1.31E+03	3.37E+02		
2011-12-22	水境 (口太川)	1.21E+04	4.63E+02		
2012-01-14	水境 (口太川)	2.65E+04	4.17E+02		
2012-01-28	水境 (口太川)	2.46E+04	1.10E+03		
2012-02-11	水境 (口太川)	2.53E+04	7.02E+02		
2012-02-21	水境 (口太川)	2.55E+04	1.16E+03		
2012-02-25	水境 (口太川)	2.54E+04	2.29E+02		
2012-03-09	水境 (口太川)	2.00E+04	2.33E+02		
2012-03-20	水境 (口太川)	1.52E+04	5.94E+02		
2012-03-29	水境 (口太川)	1.32E+03	6.17E+02		
2012-04-17	水境 (口太川)	1.73E+03	1.48E+02		
2012-04-25	水境 (口太川)	1.63E+04	4.31E+02		
2012-05-15	水境 (口太川)	7.99E+03	1.87E+02		
2012-05-30	水境 (口太川)	1.73E+04	6.53E+02		
2012-06-21	水境 (口太川)	1.15E+04	4.00E+02		
2012-06-29	水境 (口太川)	1.63E+04	1.93E+02		
2012-12-05	水境 (口太川)	6.29E+03	2.41E+02		
2012-12-19	水境 (口太川)	8.45E+03	4.22E+02		
2013-01-11	水境 (口太川)	1.45E+04	2.92E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-01-23	水境 (口太川)	9.49E+03	3.51E+02		
2013-02-27	水境 (口太川)	1.07E+02	2.19E+02		
2013-04-18	水境 (口太川)	8.65E+03	2.72E+02		
2013-05-21	水境 (口太川)	4.53E+03	2.28E+02		
2013-06-18	水境 (口太川)	9.76E+03	3.87E+02		
2013-07-26	水境 (口太川)	1.42E+04	3.11E+02		
2013-08-09	水境 (口太川)	9.80E+03	3.12E+02		
2013-08-23	水境 (口太川)	1.43E+04	2.56E+02		
2013-09-12	水境 (口太川)	1.93E+04	3.06E+02		
2013-09-26	水境 (口太川)	9.62E+03	1.75E+02		
2013-10-30	水境 (口太川)	4.32E+03	1.04E+02		
2013-11-21	水境 (口太川)	1.30E+04	3.16E+02		
2013-12-24	水境 (口太川)	1.26E+04	3.22E+02		
2014-01-17	水境 (口太川)	9.49E+03	1.82E+02		
2014-02-26	水境 (口太川)	1.61E+04	3.71E+02		
2014-08-05	水境 (口太川)	4.83E+03	9.10E+01		
2014-09-09	水境 (口太川)	3.30E+03	9.60E+01		
2014-10-21	水境 (口太川)	1.80E+03	5.30E+01		
2014-12-04	水境 (口太川)	5.37E+03	1.18E+02		
2015-01-15	水境 (口太川)	6.88E+03	1.66E+02		
2011-06-27	口太・上流 (口太川)	5.75E+04	2.50E+01	21.4	477.4
2011-07-06	口太・上流 (口太川)	3.32E+04	1.10E+03		
2011-07-12	口太・上流 (口太川)	3.45E+03	1.43E+03		
2011-07-20	口太・上流 (口太川)	3.58E+04	1.68E+03		
2011-07-25	口太・上流 (口太川)	4.13E+04	1.61E+03		
2011-08-01	口太・上流 (口太川)	3.41E+04	1.37E+03		
2011-08-09	口太・上流 (口太川)	2.92E+04	6.14E+02		
2011-08-16	口太・上流 (口太川)	3.68E+04	1.36E+03		
2011-08-24	口太・上流 (口太川)	2.02E+04	4.23E+02		
2011-08-30	口太・上流 (口太川)	2.90E+04	1.72E+02		
2011-09-10	口太・上流 (口太川)	3.09E+03	1.36E+03		
2011-09-17	口太・上流 (口太川)	3.28E+04	1.12E+03		
2011-12-08	口太・上流 (口太川)	7.40E+03	3.25E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2011-12-22	口太・上流 (口太川)	9.63E+03	5.24E+02		
2012-01-14	口太・上流 (口太川)	6.84E+03	2.84E+02		
2012-01-27	口太・上流 (口太川)	1.07E+03	7.10E+01		
2012-02-11	口太・上流 (口太川)	8.46E+03	7.10E+01		
2012-02-21	口太・上流 (口太川)	2.32E+04	6.48E+02		
2012-02-25	口太・上流 (口太川)	2.94E+04	6.61E+02		
2012-03-09	口太・上流 (口太川)	1.44E+04	4.21E+02		
2012-03-20	口太・上流 (口太川)	1.32E+04	1.90E+02		
2012-03-29	口太・上流 (口太川)	1.16E+04	3.94E+02		
2012-04-17	口太・上流 (口太川)	1.75E+04	1.07E+02		
2012-04-25	口太・上流 (口太川)	1.09E+04	1.53E+02		
2012-05-15	口太・上流 (口太川)	1.06E+04	3.15E+02		
2012-05-30	口太・上流 (口太川)	1.19E+04	4.58E+02		
2012-06-21	口太・上流 (口太川)	6.65E+03	8.70E+01		
2012-06-29	口太・上流 (口太川)	1.06E+04	1.43E+02		
2012-12-05	口太・上流 (口太川)	8.47E+03	2.29E+02		
2012-12-19	口太・上流 (口太川)	1.30E+04	2.80E+02		
2013-01-11	口太・上流 (口太川)	9.94E+03	1.88E+02		
2013-01-23	口太・上流 (口太川)	1.07E+04	3.26E+02		
2013-02-27	口太・上流 (口太川)	1.05E+04	3.45E+02		
2013-04-18	口太・上流 (口太川)	7.49E+03	2.72E+02		
2013-05-21	口太・上流 (口太川)	8.53E+02	2.91E+02		
2013-06-18	口太・上流 (口太川)	7.22E+03	9.70E+01		
2013-07-26	口太・上流 (口太川)	1.02E+04	2.34E+02		
2013-08-08	口太・上流 (口太川)	1.04E+04	4.00E+02		
2013-08-23	口太・上流 (口太川)	8.12E+03	2.38E+02		
2013-09-12	口太・上流 (口太川)	2.16E+03	4.70E+01		
2013-09-26	口太・上流 (口太川)	9.52E+03	1.40E+02		
2013-10-30	口太・上流 (口太川)	6.75E+03	7.00E+01		
2013-11-21	口太・上流 (口太川)	1.22E+04	2.76E+02		
2013-12-24	口太・上流 (口太川)	1.11E+04	3.14E+02		
2014-01-17	口太・上流 (口太川)	1.17E+04	2.04E+02		
2014-02-26	口太・上流 (口太川)	7.43E+03	1.46E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-08-05	口太・上流 (口太川)	3.31E+03	7.30E+01		
2014-09-09	口太・上流 (口太川)	5.32E+03	1.43E+02		
2014-10-21	口太・上流 (口太川)	1.95E+03	4.10E+01		
2014-12-04	口太・上流 (口太川)	4.16E+02	1.15E+02		
2015-01-15	口太・上流 (口太川)	7.14E+03	1.59E+02		
2011-06-27	口太・中流 (口太川)	3.27E+04	1.99E+03	62.8	357.2
2011-07-06	口太・中流 (口太川)	1.21E+04	5.60E+02		
2011-07-12	口太・中流 (口太川)	1.37E+04	6.64E+02		
2011-07-20	口太・中流 (口太川)	1.28E+04	6.61E+02		
2011-07-25	口太・中流 (口太川)	1.51E+04	5.88E+02		
2011-08-01	口太・中流 (口太川)	1.85E+04	7.68E+02		
2011-08-10	口太・中流 (口太川)	9.29E+03	2.68E+02		
2011-08-16	口太・中流 (口太川)	1.81E+04	8.27E+02		
2011-08-24	口太・中流 (口太川)	1.75E+04	7.64E+02		
2011-08-30	口太・中流 (口太川)	1.14E+04	3.20E+02		
2011-09-10	口太・中流 (口太川)	6.76E+03	2.50E+02		
2011-09-17	口太・中流 (口太川)	1.27E+04	6.02E+02		
2011-12-08	口太・中流 (口太川)	7.73E+03	4.65E+02		
2011-12-22	口太・中流 (口太川)	3.04E+03	1.38E+02		
2012-01-14	口太・中流 (口太川)	4.33E+03	2.51E+02		
2012-01-28	口太・中流 (口太川)	3.16E+03	1.40E+02		
2012-02-11	口太・中流 (口太川)	5.65E+03	1.91E+02		
2012-02-21	口太・中流 (口太川)	3.31E+03	1.85E+02		
2012-02-25	口太・中流 (口太川)	1.20E+04	7.94E+02		
2012-03-10	口太・中流 (口太川)	1.19E+04	3.09E+02		
2012-03-20	口太・中流 (口太川)	6.65E+03	2.43E+02		
2012-03-29	口太・中流 (口太川)	7.13E+03	1.61E+02		
2012-04-17	口太・中流 (口太川)	8.27E+03	2.43E+02		
2012-04-26	口太・中流 (口太川)	5.58E+03	1.69E+02		
2012-05-15	口太・中流 (口太川)	6.58E+03	1.74E+02		
2012-05-30	口太・中流 (口太川)	6.63E+03	3.38E+02		
2012-06-22	口太・中流 (口太川)	3.66E+03	5.20E+01		
2012-06-29	口太・中流 (口太川)	5.96E+03	1.14E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2012-12-05	口太・中流 (口太川)	6.82E+03	2.45E+02		
2012-12-18	口太・中流 (口太川)	2.50E+03	1.95E+02		
2013-01-10	口太・中流 (口太川)	5.69E+03	1.42E+02		
2013-01-22	口太・中流 (口太川)	1.05E+04	2.77E+02		
2013-02-26	口太・中流 (口太川)	1.28E+04	4.38E+02		
2013-04-18	口太・中流 (口太川)	5.04E+03	1.63E+02		
2013-05-21	口太・中流 (口太川)	3.26E+03	1.72E+02		
2013-06-18	口太・中流 (口太川)	4.32E+03	8.60E+01		
2013-07-26	口太・中流 (口太川)	3.85E+02	7.70E+01		
2013-08-09	口太・中流 (口太川)	3.40E+03	2.25E+02		
2013-08-23	口太・中流 (口太川)	1.34E+03	4.50E+01		
2013-09-12	口太・中流 (口太川)	5.56E+03	1.62E+02		
2013-09-26	口太・中流 (口太川)	3.28E+03	8.40E+01		
2013-10-30	口太・中流 (口太川)	1.84E+03	4.60E+01		
2013-11-20	口太・中流 (口太川)	4.16E+03	6.40E+01		
2013-12-24	口太・中流 (口太川)	3.88E+03	1.02E+02		
2014-01-16	口太・中流 (口太川)	7.33E+03	9.60E+01		
2014-02-25	口太・中流 (口太川)	4.72E+03	5.70E+01		
2014-08-07	口太・中流 (口太川)	2.10E+03	5.40E+01		
2014-09-09	口太・中流 (口太川)	1.73E+03	5.70E+01		
2014-10-21	口太・中流 (口太川)	1.06E+03	4.10E+01		
2014-12-04	口太・中流 (口太川)	1.86E+02	5.30E+01		
2015-01-15	口太・中流 (口太川)	2.99E+03	7.30E+01		
2011-06-27	口太・下流 (口太川)	4.56E+04	1.98E+03	135.2	269.1
2011-07-06	口太・下流 (口太川)	2.92E+04	1.52E+03		
2011-07-12	口太・下流 (口太川)	2.41E+04	6.38E+02		
2011-07-19	口太・下流 (口太川)	2.33E+04	1.11E+03		
2011-07-25	口太・下流 (口太川)	1.98E+04	5.48E+02		
2011-08-01	口太・下流 (口太川)	2.44E+04	8.51E+02		
2011-08-10	口太・下流 (口太川)	1.82E+04	9.60E+02		
2011-08-16	口太・下流 (口太川)	2.05E+04	5.66E+02		
2011-08-24	口太・下流 (口太川)	1.30E+04	6.98E+02		
2011-08-30	口太・下流 (口太川)	9.21E+03	1.09E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2011-09-10	口太・下流 (口太川)	1.73E+04	6.48E+02		
2011-09-17	口太・下流 (口太川)	1.68E+04	1.01E+03		
2011-12-08	口太・下流 (口太川)	3.94E+03	1.65E+02		
2011-12-22	口太・下流 (口太川)	1.04E+04	4.80E+01		
2012-01-14	口太・下流 (口太川)	1.17E+04	6.34E+02		
2012-01-28	口太・下流 (口太川)	1.04E+04	3.56E+02		
2012-02-11	口太・下流 (口太川)	1.85E+04	1.18E+02		
2012-02-21	口太・下流 (口太川)	1.36E+04	2.77E+02		
2012-02-25	口太・下流 (口太川)	2.55E+04	3.26E+02		
2012-03-10	口太・下流 (口太川)	1.13E+04	4.19E+02		
2012-03-20	口太・下流 (口太川)	1.21E+04	2.10E+02		
2012-03-29	口太・下流 (口太川)	7.77E+03	2.94E+02		
2012-04-17	口太・下流 (口太川)	9.54E+03	2.72E+02		
2012-04-26	口太・下流 (口太川)	6.82E+03	1.47E+02		
2012-05-15	口太・下流 (口太川)	8.67E+03	2.79E+02		
2012-05-30	口太・下流 (口太川)	8.87E+03	5.61E+02		
2012-06-22	口太・下流 (口太川)	8.21E+02	1.72E+02		
2012-06-29	口太・下流 (口太川)	7.40E+03	3.34E+02		
2012-12-05	口太・下流 (口太川)	7.98E+02	3.10E+02		
2012-12-18	口太・下流 (口太川)	9.38E+03	3.05E+02		
2013-01-10	口太・下流 (口太川)	4.29E+03	1.32E+02		
2013-01-22	口太・下流 (口太川)	7.86E+03	2.96E+02		
2013-02-26	口太・下流 (口太川)	7.09E+03	1.43E+02		
2013-04-18	口太・下流 (口太川)	5.48E+03	9.30E+01		
2013-05-21	口太・下流 (口太川)	5.86E+03	2.99E+02		
2013-06-18	口太・下流 (口太川)	1.44E+04	5.11E+02		
2013-07-26	口太・下流 (口太川)	8.36E+03	2.35E+02		
2013-08-09	口太・下流 (口太川)	5.18E+02	9.70E+01		
2013-08-23	口太・下流 (口太川)	2.30E+03	8.80E+01		
2013-09-12	口太・下流 (口太川)	4.51E+03	1.54E+02		
2013-09-26	口太・下流 (口太川)	3.92E+03	1.21E+02		
2013-10-30	口太・下流 (口太川)	2.48E+03	5.30E+01		
2013-11-20	口太・下流 (口太川)	3.89E+03	1.06E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-12-24	口太・下流 (口太川)	1.42E+02	2.60E+01		
2014-01-16	口太・下流 (口太川)	4.52E+02	1.03E+02		
2014-02-25	口太・下流 (口太川)	3.39E+03	7.40E+01		
2014-08-05	口太・下流 (口太川)	1.86E+03	5.10E+01		
2014-09-09	口太・下流 (口太川)	2.09E+03	5.80E+01		
2014-12-04	口太・下流 (口太川)	1.70E+03	6.40E+01		
2015-01-15	口太・下流 (口太川)	2.99E+03	1.00E+02		
2011-07-11	伏黒 (阿武隈川)	5.53E+04	1.80E+03	3645	95.9
2011-07-19	伏黒 (阿武隈川)	3.02E+04	1.85E+03		
2011-07-25	伏黒 (阿武隈川)	4.10E+04	9.71E+02		
2011-08-09	伏黒 (阿武隈川)	3.23E+03	4.27E+02		
2011-08-16	伏黒 (阿武隈川)	3.88E+04	9.80E+02		
2011-08-24	伏黒 (阿武隈川)	3.25E+04	8.29E+02		
2011-08-31	伏黒 (阿武隈川)	2.18E+03	4.18E+02		
2011-09-10	伏黒 (阿武隈川)	3.09E+04	1.29E+03		
2011-09-17	伏黒 (阿武隈川)	3.37E+04	1.24E+03		
2011-12-09	伏黒 (阿武隈川)	5.16E+03	1.41E+02		
2011-12-21	伏黒 (阿武隈川)	6.58E+03	2.64E+02		
2012-01-13	伏黒 (阿武隈川)	1.34E+04	7.05E+02		
2012-01-27	伏黒 (阿武隈川)	4.91E+03	1.84E+02		
2012-02-10	伏黒 (阿武隈川)	3.77E+03	3.48E+02		
2012-02-20	伏黒 (阿武隈川)	5.13E+03	3.98E+02		
2012-02-26	伏黒 (阿武隈川)	1.01E+04	4.99E+02		
2012-03-21	伏黒 (阿武隈川)	1.26E+04	4.49E+02		
2012-03-30	伏黒 (阿武隈川)	1.61E+03	9.50E+01		
2012-05-30	伏黒 (阿武隈川)	3.93E+03	2.32E+02		
2012-06-28	伏黒 (阿武隈川)	1.53E+03	4.50E+01		
2012-12-07	伏黒 (阿武隈川)	2.71E+03	1.36E+02		
2012-12-17	伏黒 (阿武隈川)	2.62E+03			
2013-01-09	伏黒 (阿武隈川)	2.09E+03	2.38E+02		
2013-01-21	伏黒 (阿武隈川)	2.54E+03	4.90E+01		
2013-02-25	伏黒 (阿武隈川)	8.84E+03	2.87E+02		
2013-04-17	伏黒 (阿武隈川)	4.51E+03	1.72E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-05-20	伏黒 (阿武隈川)	1.58E+03	2.80E+01		
2013-06-17	伏黒 (阿武隈川)	4.99E+03	1.25E+02		
2013-09-12	伏黒 (阿武隈川)	2.40E+03	6.00E+01		
2013-09-25	伏黒 (阿武隈川)	1.75E+03	6.00E+01		
2013-11-19	伏黒 (阿武隈川)	2.30E+03	8.10E+01		
2013-12-24	伏黒 (阿武隈川)	2.49E+03	8.40E+01		
2014-01-16	伏黒 (阿武隈川)	2.53E+02			
2014-02-25	伏黒 (阿武隈川)	2.82E+03	5.80E+01		
2014-08-04	伏黒 (阿武隈川)	2.34E+03	5.70E+01		
2014-09-11	伏黒 (阿武隈川)	2.55E+03	7.00E+01		
2014-10-20	伏黒 (阿武隈川)	1.02E+02	8.00E+00		
2014-12-03	伏黒 (阿武隈川)	2.17E+02	4.50E+01		
2015-01-13	伏黒 (阿武隈川)	1.51E+03	8.60E+01		
2011-07-12	岩沼 (阿武隈川)	3.09E+04	1.61E+03	5313	88.4
2011-07-19	岩沼 (阿武隈川)	3.45E+03	1.71E+03		
2011-07-26	岩沼 (阿武隈川)	2.83E+04	1.01E+03		
2011-08-10	岩沼 (阿武隈川)	2.02E+04	6.29E+02		
2011-08-17	岩沼 (阿武隈川)	4.44E+04	2.00E+03		
2011-08-25	岩沼 (阿武隈川)	1.62E+04	9.31E+02		
2011-08-31	岩沼 (阿武隈川)	2.01E+04	6.86E+02		
2011-09-10	岩沼 (阿武隈川)	2.72E+04	3.45E+02		
2011-09-17	岩沼 (阿武隈川)	2.81E+04	1.64E+03		
2011-12-09	岩沼 (阿武隈川)	8.02E+03	4.31E+02		
2011-12-21	岩沼 (阿武隈川)	6.44E+03	1.99E+02		
2012-01-13	岩沼 (阿武隈川)	4.22E+02	9.80E+01		
2012-01-27	岩沼 (阿武隈川)	7.45E+03	2.23E+02		
2012-02-10	岩沼 (阿武隈川)	8.48E+03	3.16E+02		
2012-02-20	岩沼 (阿武隈川)	8.34E+03	3.54E+02		
2012-02-27	岩沼 (阿武隈川)	3.82E+03	1.63E+02		
2012-03-21	岩沼 (阿武隈川)	1.46E+04	7.21E+02		
2012-03-30	岩沼 (阿武隈川)	2.48E+04	1.02E+03		
2012-04-25	岩沼 (阿武隈川)	4.57E+02	2.25E+02		
2012-05-15	岩沼 (阿武隈川)	1.82E+03	1.00E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2012-05-29	岩沼 (阿武隈川)	3.08E+03	5.30E+01		
2012-06-28	岩沼 (阿武隈川)	1.89E+03	8.20E+01		
2012-12-19	岩沼 (阿武隈川)	3.18E+03	1.71E+02		
2013-01-09	岩沼 (阿武隈川)	7.01E+03	2.12E+02		
2013-01-21	岩沼 (阿武隈川)	2.91E+03	1.08E+02		
2013-02-27	岩沼 (阿武隈川)	4.37E+03	1.39E+02		
2013-04-18	岩沼 (阿武隈川)	4.54E+03	3.30E+01		
2013-05-20	岩沼 (阿武隈川)	2.16E+03	7.90E+01		
2013-06-17	岩沼 (阿武隈川)	2.05E+03	8.50E+01		
2013-07-26	岩沼 (阿武隈川)	2.51E+03	7.90E+01		
2013-08-08	岩沼 (阿武隈川)	6.69E+03	1.03E+02		
2013-08-23	岩沼 (阿武隈川)	2.54E+03	9.60E+01		
2013-09-12	岩沼 (阿武隈川)	2.95E+03	8.70E+01		
2013-09-25	岩沼 (阿武隈川)	2.72E+03	8.40E+01		
2013-10-31	岩沼 (阿武隈川)	2.23E+03	5.50E+01		
2013-11-19	岩沼 (阿武隈川)	1.21E+03	3.80E+01		
2013-12-24	岩沼 (阿武隈川)	1.14E+03	3.80E+01		
2014-01-16	岩沼 (阿武隈川)	1.09E+03	2.10E+01		
2014-02-25	岩沼 (阿武隈川)	1.31E+02	3.40E+01		
2014-08-04	岩沼 (阿武隈川)	1.25E+03	3.70E+01		
2014-08-04	岩沼 (阿武隈川)	2.35E+03	6.00E+01		
2014-09-11	岩沼 (阿武隈川)	1.16E+03	4.70E+01		
2014-09-11	岩沼 (阿武隈川)	2.29E+03	6.40E+01		
2014-10-20	岩沼 (阿武隈川)	1.39E+03	3.40E+01		
2014-10-20	岩沼 (阿武隈川)	1.47E+02	4.50E+01		
2014-12-03	岩沼 (阿武隈川)	2.10E+03	6.20E+01		
2015-01-13	岩沼 (阿武隈川)	2.93E+03	8.60E+01		
2015-01-13	岩沼 (阿武隈川)	2.93E+02	5.40E+01		
2012-12-06	真野 (真野川)	2.98E+04	8.30E+02	75.6	498.7
2012-12-18	真野 (真野川)	3.09E+04	7.61E+02		
2013-01-10	真野 (真野川)	1.26E+04	1.90E+02		
2013-01-22	真野 (真野川)	1.83E+04	2.00E+02		
2013-02-26	真野 (真野川)	2.09E+04	5.34E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-04-18	真野 (真野川)	2.14E+04	5.62E+02		
2013-05-21	真野 (真野川)	1.67E+04	3.96E+02		
2013-06-18	真野 (真野川)	3.90E+03	1.77E+02		
2013-07-25	真野 (真野川)	3.47E+04	2.84E+02		
2013-08-08	真野 (真野川)	3.28E+04	1.04E+03		
2013-08-22	真野 (真野川)	2.38E+03	7.33E+02		
2013-09-11	真野 (真野川)	3.39E+04	9.84E+02		
2013-09-26	真野 (真野川)	2.53E+04	5.46E+02		
2013-10-30	真野 (真野川)	2.28E+04	4.14E+02		
2013-11-20	真野 (真野川)	2.48E+04	5.50E+02		
2013-12-23	真野 (真野川)	2.25E+04	5.48E+02		
2014-01-17	真野 (真野川)	9.29E+03	2.62E+02		
2014-02-26	真野 (真野川)	1.48E+04	5.07E+02		
2014-08-05	真野 (真野川)	1.43E+04	2.85E+02		
2014-09-08	真野 (真野川)	2.04E+03	2.75E+02		
2014-10-21	真野 (真野川)	1.80E+04	3.52E+02		
2014-12-04	真野 (真野川)	1.37E+03	3.46E+02		
2015-01-14	真野 (真野川)	1.10E+03	2.40E+02		
2011-09-26	小島田堰 (真野)	2.81E+04	4.34E+02	110.8	405.5
2012-12-06	小島田堰 (真野)	7.78E+03	2.88E+02		
2012-12-18	小島田堰 (真野)	6.30E+03	2.38E+02		
2013-01-10	小島田堰 (真野)	7.07E+03	2.40E+02		
2013-01-22	小島田堰 (真野)	6.71E+03	2.26E+02		
2013-02-26	小島田堰 (真野)	6.13E+03	1.09E+02		
2013-04-18	小島田堰 (真野)	6.51E+03	1.29E+02		
2013-05-22	小島田堰 (真野)	5.85E+03	7.80E+01		
2013-06-18	小島田堰 (真野)	6.30E+03	3.41E+02		
2013-07-25	小島田堰 (真野)	6.18E+03	8.70E+01		
2013-08-08	小島田堰 (真野)	7.67E+03	2.69E+02		
2013-08-22	小島田堰 (真野)	7.32E+03	1.54E+02		
2013-09-11	小島田堰 (真野)	5.64E+03	2.29E+02		
2013-09-26	小島田堰 (真野)	8.42E+03	2.34E+02		
2013-10-30	小島田堰 (真野)	7.20E+03	1.64E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-11-20	小島田堰 (真野)	7.08E+03	1.81E+02		
2013-12-23	小島田堰 (真野)	5.41E+03	1.63E+02		
2014-01-17	小島田堰 (真野)	1.35E+03	1.30E+01		
2014-02-26	小島田堰 (真野)	4.69E+03	1.11E+02		
2014-08-05	小島田堰 (真野)	6.26E+03	9.20E+01		
2014-09-08	小島田堰 (真野)	5.69E+03	1.70E+02		
2014-10-21	小島田堰 (真野)	4.89E+03	1.37E+02		
2014-12-04	小島田堰 (真野)	4.81E+03	1.01E+02		
2015-01-14	小島田堰 (真野)	9.10E+01	3.36E+02		
2011-09-27	松原 (鮫川)	1.61E+03	7.00E+01	570.9	40.0
2012-12-08	松原 (鮫川)	1.12E+03	5.30E+01		
2012-12-17	松原 (鮫川)	2.06E+02	1.10E+01		
2013-01-09	松原 (鮫川)	4.30E+02	1.90E+01		
2013-01-21	松原 (鮫川)	3.69E+02	1.80E+01		
2013-02-25	松原 (鮫川)	3.66E+02	7.00E+00		
2013-04-17	松原 (鮫川)	9.00E+02	5.00E+00		
2013-05-20	松原 (鮫川)	3.53E+02	5.00E+00		
2013-06-17	松原 (鮫川)	9.23E+02	4.20E+01		
2013-08-08	松原 (鮫川)	1.04E+03	2.20E+01		
2013-08-22	松原 (鮫川)	4.57E+02	1.50E+01		
2013-09-11	松原 (鮫川)	8.47E+02	2.10E+01		
2013-09-25	松原 (鮫川)	4.33E+02	1.20E+01		
2013-10-29	松原 (鮫川)	7.47E+02	2.30E+01		
2013-12-23	松原 (鮫川)	2.29E+02	1.40E+01		
2014-01-15	松原 (鮫川)	2.59E+03	5.10E+01		
2014-02-24	松原 (鮫川)	3.99E+02	1.10E+01		
2014-09-08	松原 (鮫川)	8.12E+02	4.00E+01		
2014-10-20	松原 (鮫川)	5.87E+02	1.70E+01		
2014-12-03	松原 (鮫川)	5.93E+02	2.00E+01		
2015-01-13	松原 (鮫川)	2.57E+02	9.00E+00		
2012-12-08	小名浜 (藤原川)	2.38E+03	9.90E+01	70.1	38.8
2012-12-17	小名浜 (藤原川)	1.33E+03	2.80E+01		
2013-01-09	小名浜 (藤原川)	1.35E+03	4.80E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-01-21	小名浜 (藤原川)	1.29E+03	2.70E+01		
2013-02-25	小名浜 (藤原川)	1.44E+03	1.80E+01		
2013-04-17	小名浜 (藤原川)	1.19E+03	4.20E+01		
2013-05-20	小名浜 (藤原川)	1.33E+03	3.80E+01		
2013-06-17	小名浜 (藤原川)	2.12E+03	1.03E+02		
2013-07-25	小名浜 (藤原川)	7.51E+02	3.10E+01		
2013-08-08	小名浜 (藤原川)	7.23E+02	7.00E+00		
2013-08-22	小名浜 (藤原川)	9.90E+02	3.20E+01		
2013-10-29	小名浜 (藤原川)	1.28E+03	3.60E+01		
2013-12-23	小名浜 (藤原川)	7.98E+02	1.90E+01		
2014-01-15	小名浜 (藤原川)	4.40E+02	1.30E+01		
2014-02-24	小名浜 (藤原川)	1.10E+03	2.50E+01		
2014-08-08	小名浜 (藤原川)	7.59E+02	2.90E+01		
2014-09-08	小名浜 (藤原川)	6.96E+02	2.60E+01		
2014-10-20	小名浜 (藤原川)	7.11E+02	2.60E+01		
2014-12-03	小名浜 (藤原川)	8.33E+02	2.60E+01		
2015-01-13	小名浜 (藤原川)	5.73E+02	1.60E+01		
2011-08-31	月舘 (広瀬川)	2.07E+04	2.00E+02	83.6	222.8
2011-09-26	月舘 (広瀬川)	7.37E+03	1.68E+02		
2012-12-19	月舘 (広瀬川)	8.60E+03	9.30E+01		
2013-01-11	月舘 (広瀬川)	9.11E+03	9.10E+01		
2013-01-23	月舘 (広瀬川)	1.01E+04	2.52E+02		
2013-02-27	月舘 (広瀬川)	6.36E+03	1.53E+02		
2013-04-18	月舘 (広瀬川)	6.69E+03	1.62E+02		
2013-05-21	月舘 (広瀬川)	4.82E+03	1.67E+02		
2013-06-18	月舘 (広瀬川)	8.75E+03	3.62E+02		
2013-08-09	月舘 (広瀬川)	5.20E+03	1.93E+02		
2013-08-23	月舘 (広瀬川)	6.60E+03	1.32E+02		
2013-09-13	月舘 (広瀬川)	8.82E+03	2.99E+02		
2013-09-27	月舘 (広瀬川)	4.17E+03	1.02E+02		
2013-10-31	月舘 (広瀬川)	1.69E+03	5.70E+01		
2013-11-21	月舘 (広瀬川)	2.18E+03	6.90E+01		
2013-12-25	月舘 (広瀬川)	1.26E+04	3.22E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-01-15	月舘 (広瀬川)	3.53E+03	1.24E+02		
2014-02-25	月舘 (広瀬川)	3.26E+03	8.50E+01		
2014-08-07	月舘 (広瀬川)	1.57E+03	3.90E+01		
2014-09-10	月舘 (広瀬川)	4.43E+02	6.50E+01		
2014-10-21	月舘 (広瀬川)	2.51E+03	6.50E+01		
2014-12-04	月舘 (広瀬川)	3.07E+03	6.00E+01		
2015-01-14	月舘 (広瀬川)	2.13E+03	5.30E+01		
2011-08-31	二本松 (阿武隈川)	3.05E+04	2.36E+02	2380	81.8
2011-10-18	二本松 (阿武隈川)	2.09E+04	1.84E+02		
2012-12-07	二本松 (阿武隈川)	5.42E+03	2.40E+02		
2012-12-17	二本松 (阿武隈川)	5.34E+03	2.77E+02		
2013-01-09	二本松 (阿武隈川)	7.75E+02	2.39E+02		
2013-01-21	二本松 (阿武隈川)	3.66E+03	7.60E+01		
2013-02-25	二本松 (阿武隈川)	7.19E+03	1.92E+02		
2013-04-18	二本松 (阿武隈川)	3.60E+03	1.52E+02		
2013-05-21	二本松 (阿武隈川)	7.48E+03	2.22E+02		
2013-06-18	二本松 (阿武隈川)	5.48E+03	2.09E+02		
2013-09-13	二本松 (阿武隈川)	2.46E+03	1.14E+02		
2013-09-27	二本松 (阿武隈川)	1.64E+03	5.60E+01		
2013-11-20	二本松 (阿武隈川)	1.12E+02	4.20E+01		
2013-12-24	二本松 (阿武隈川)	4.02E+03	9.80E+01		
2014-01-16	二本松 (阿武隈川)	2.67E+02	9.30E+01		
2014-02-25	二本松 (阿武隈川)	1.66E+03	6.00E+01		
2014-08-05	二本松 (阿武隈川)	2.03E+03	4.40E+01		
2015-01-14	二本松 (阿武隈川)	2.25E+03	7.40E+01		
2011-09-01	御代田 (阿武隈川)	1.48E+02	3.28E+02	1287	74.1
2011-09-27	御代田 (阿武隈川)	3.75E+03	9.80E+01		
2012-12-07	御代田 (阿武隈川)	1.92E+03	8.70E+01		
2012-12-18	御代田 (阿武隈川)	2.60E+03	2.27E+02		
2013-01-10	御代田 (阿武隈川)	2.78E+03	4.70E+01		
2013-01-22	御代田 (阿武隈川)	6.27E+02	2.90E+01		
2013-02-26	御代田 (阿武隈川)	3.23E+02	9.20E+01		
2013-04-17	御代田 (阿武隈川)	3.05E+03	7.80E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-05-20	御代田 (阿武隈川)	2.76E+03	1.00E+02		
2013-06-17	御代田 (阿武隈川)	1.68E+03	6.10E+01		
2013-07-25	御代田 (阿武隈川)	8.15E+02	1.36E+02		
2013-08-22	御代田 (阿武隈川)	1.94E+03	7.50E+01		
2013-09-13	御代田 (阿武隈川)	2.97E+02	1.04E+02		
2013-09-25	御代田 (阿武隈川)	4.07E+02	1.10E+01		
2013-11-20	御代田 (阿武隈川)	3.93E+02	1.10E+01		
2013-12-23	御代田 (阿武隈川)	8.78E+02	1.00E+01		
2014-01-16	御代田 (阿武隈川)	9.27E+02	1.40E+01		
2014-02-25	御代田 (阿武隈川)	9.92E+02	3.90E+01		
2014-08-06	御代田 (阿武隈川)	9.13E+02	3.00E+01		
2014-12-05	御代田 (阿武隈川)	1.59E+03	5.00E+01		
2015-01-14	御代田 (阿武隈川)	4.69E+03	1.73E+02		
2012-12-18	西川 (釈迦堂川)	3.29E+03	1.77E+02	289.4	132.0
2013-01-10	西川 (釈迦堂川)	3.68E+03	1.29E+02		
2013-01-22	西川 (釈迦堂川)	3.47E+03	1.47E+02		
2013-02-26	西川 (釈迦堂川)	4.37E+03	1.39E+02		
2013-04-17	西川 (釈迦堂川)	2.92E+03	7.00E+01		
2013-05-20	西川 (釈迦堂川)	1.57E+03	4.30E+01		
2013-06-17	西川 (釈迦堂川)	2.96E+03	1.46E+02		
2013-07-25	西川 (釈迦堂川)	4.11E+03	1.14E+02		
2013-08-08	西川 (釈迦堂川)	1.98E+03	5.00E+01		
2013-08-22	西川 (釈迦堂川)	3.49E+03	9.90E+01		
2013-09-12	西川 (釈迦堂川)	2.16E+03	4.70E+01		
2013-09-26	西川 (釈迦堂川)	7.16E+02	2.20E+01		
2013-10-29	西川 (釈迦堂川)	3.16E+02	1.00E+01		
2013-11-20	西川 (釈迦堂川)	3.25E+03	8.50E+01		
2013-12-23	西川 (釈迦堂川)	4.55E+03	1.07E+02		
2014-01-16	西川 (釈迦堂川)	1.46E+02	4.90E+01		
2014-02-25	西川 (釈迦堂川)	3.78E+03	9.00E+01		
2014-08-07	西川 (釈迦堂川)	4.96E+02	1.50E+01		
2014-09-08	西川 (釈迦堂川)	1.30E+01	3.30E+01		
2014-10-20	西川 (釈迦堂川)	3.14E+02	9.00E+00		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-12-03	西川 (釈迦堂川)	1.93E+03	4.80E+01		
2015-01-14	西川 (釈迦堂川)	2.08E+03	6.90E+01		
2011-09-26	北町 (水無川)	4.22E+04	8.99E+02	35.8	565.0
2012-12-06	北町 (水無川)	2.67E+04	9.45E+02		
2012-12-18	北町 (水無川)	2.11E+04	3.01E+02		
2013-01-10	北町 (水無川)	2.28E+04	7.73E+02		
2013-01-22	北町 (水無川)	2.73E+04	3.76E+02		
2013-02-26	北町 (水無川)	2.24E+04	3.64E+02		
2013-04-18	北町 (水無川)	2.75E+04	4.37E+02		
2013-05-21	北町 (水無川)	2.55E+04	1.22E+02		
2013-06-18	北町 (水無川)	2.46E+04	7.50E+02		
2013-07-25	北町 (水無川)	2.49E+04	8.59E+02		
2013-08-08	北町 (水無川)	2.64E+04	5.18E+02		
2013-08-22	北町 (水無川)	2.32E+04	2.84E+02		
2013-09-11	北町 (水無川)	2.24E+04	5.63E+02		
2013-09-26	北町 (水無川)	1.80E+04	3.50E+02		
2013-10-30	北町 (水無川)	2.05E+04	1.95E+02		
2013-11-20	北町 (水無川)	2.94E+04	7.51E+02		
2013-12-23	北町 (水無川)	2.13E+04	4.81E+02		
2014-01-17	北町 (水無川)	2.56E+04	5.03E+02		
2014-02-26	北町 (水無川)	1.96E+04	3.43E+02		
2014-08-06	北町 (水無川)	1.44E+04	2.82E+02		
2014-09-09	北町 (水無川)	1.32E+04	1.70E+02		
2014-10-21	北町 (水無川)	9.03E+03	1.67E+02		
2014-12-04	北町 (水無川)	1.60E+04	3.73E+02		
2015-01-14	北町 (水無川)	1.38E+04	4.42E+02		
2011-08-31	川俣 (広瀬川)	2.52E+04	3.37E+02	56.6	229.1
2011-09-26	川俣 (広瀬川)	1.30E+03	3.41E+02		
2012-02-24	川俣 (広瀬川)	2.26E+04	4.70E+02		
2012-12-05	川俣 (広瀬川)	7.41E+03	3.15E+02		
2012-12-19	川俣 (広瀬川)	1.27E+04	1.67E+02		
2013-01-10	川俣 (広瀬川)	6.47E+03	2.55E+02		
2013-01-22	川俣 (広瀬川)	6.76E+03	3.08E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-02-26	川俣 (広瀬川)	1.10E+04	4.21E+02		
2013-04-18	川俣 (広瀬川)	8.75E+03	3.03E+02		
2013-05-21	川俣 (広瀬川)	5.90E+03	1.80E+02		
2013-06-18	川俣 (広瀬川)	1.11E+04	5.00E+02		
2013-08-09	川俣 (広瀬川)	1.03E+04	3.66E+02		
2013-08-23	川俣 (広瀬川)	6.37E+03	1.75E+02		
2013-09-13	川俣 (広瀬川)	6.45E+03	2.50E+02		
2013-09-27	川俣 (広瀬川)	2.00E+00	7.10E+01		
2013-10-31	川俣 (広瀬川)	4.35E+03	9.20E+01		
2013-11-21	川俣 (広瀬川)	4.42E+03	1.14E+02		
2013-12-25	川俣 (広瀬川)	4.89E+03	5.40E+01		
2014-01-15	川俣 (広瀬川)	1.51E+03	2.70E+01		
2014-02-25	川俣 (広瀬川)	3.00E+03	7.50E+01		
2014-08-07	川俣 (広瀬川)	1.26E+02	3.70E+01		
2014-09-10	川俣 (広瀬川)	2.60E+01	6.30E+01		
2014-10-21	川俣 (広瀬川)	1.33E+03	2.90E+01		
2014-12-04	川俣 (広瀬川)	3.58E+03	9.70E+01		
2015-01-15	川俣 (広瀬川)	4.49E+03	8.40E+01		
2012-12-07	丸森 (阿武隈川)	5.30E+01	2.31E+02	4123	105.1
2012-12-17	丸森 (阿武隈川)	4.91E+03	1.42E+02		
2013-01-09	丸森 (阿武隈川)	3.23E+03	1.56E+02		
2013-01-21	丸森 (阿武隈川)	2.66E+03	5.00E+01		
2013-02-25	丸森 (阿武隈川)	4.17E+03	1.07E+02		
2013-04-17	丸森 (阿武隈川)	4.43E+03	1.33E+02		
2013-05-20	丸森 (阿武隈川)	3.11E+03	1.07E+02		
2013-06-17	丸森 (阿武隈川)	2.54E+03	1.14E+02		
2013-09-12	丸森 (阿武隈川)	4.11E+03	9.00E+01		
2013-09-25	丸森 (阿武隈川)	1.36E+03	3.50E+01		
2013-11-19	丸森 (阿武隈川)	1.26E+03	3.50E+01		
2013-12-24	丸森 (阿武隈川)	8.83E+02	2.40E+01		
2014-01-16	丸森 (阿武隈川)	9.51E+02	2.30E+01		
2014-02-25	丸森 (阿武隈川)	2.96E+02	7.90E+01		
2014-08-04	丸森 (阿武隈川)	2.06E+03	6.50E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-10-20	丸森 (阿武隈川)	2.03E+03	5.80E+01		
2014-12-03	丸森 (阿武隈川)	1.43E+03	1.80E+01		
2015-01-13	丸森 (阿武隈川)	5.64E+03	1.90E+02		
2012-12-07	瀬上 (摺上川)	5.00E+03	2.62E+02	313.3	41.9
2012-12-17	瀬上 (摺上川)	4.02E+03	1.39E+02		
2013-01-09	瀬上 (摺上川)	3.18E+02	1.31E+02		
2013-01-21	瀬上 (摺上川)	3.00E+03	1.07E+02		
2013-02-25	瀬上 (摺上川)	3.81E+03	8.30E+01		
2013-04-17	瀬上 (摺上川)	3.50E+03	1.13E+02		
2013-05-20	瀬上 (摺上川)	3.34E+03	8.70E+01		
2013-06-17	瀬上 (摺上川)	2.54E+03	8.10E+01		
2013-07-26	瀬上 (摺上川)	2.67E+02	8.40E+01		
2013-08-09	瀬上 (摺上川)	4.65E+03	1.02E+02		
2013-08-23	瀬上 (摺上川)	2.53E+03	7.00E+01		
2013-09-11	瀬上 (摺上川)	7.85E+03	1.55E+02		
2013-09-25	瀬上 (摺上川)	1.67E+03	4.30E+01		
2013-10-31	瀬上 (摺上川)	1.13E+03	3.00E+01		
2013-11-19	瀬上 (摺上川)	1.12E+02	4.20E+01		
2013-12-24	瀬上 (摺上川)	2.98E+03	6.10E+01		
2014-01-16	瀬上 (摺上川)	5.02E+03	1.93E+02		
2014-02-25	瀬上 (摺上川)	1.45E+03	4.60E+01		
2014-08-04	瀬上 (摺上川)	1.19E+03	3.40E+01		
2014-09-08	瀬上 (摺上川)	4.09E+02	1.45E+02		
2014-10-20	瀬上 (摺上川)	1.28E+02	4.00E+01		
2014-12-03	瀬上 (摺上川)	1.46E+03	3.20E+01		
2015-01-13	瀬上 (摺上川)	1.48E+03	3.30E+01		
2012-12-07	八木田 (荒川)	2.76E+03	1.88E+02	184.6	52.7
2012-12-17	八木田 (荒川)	3.13E+03	1.30E+02		
2013-01-09	八木田 (荒川)	1.46E+03	5.00E+01		
2013-01-21	八木田 (荒川)	1.50E+03	5.80E+01		
2013-02-25	八木田 (荒川)	1.13E+03			
2013-04-17	八木田 (荒川)	5.80E+03	1.62E+02		
2013-05-20	八木田 (荒川)	2.06E+03	3.60E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-06-17	八木田 (荒川)	1.02E+02	2.90E+01		
2013-07-26	八木田 (荒川)	9.25E+03	2.47E+02		
2013-08-08	八木田 (荒川)	1.16E+04	2.76E+02		
2013-08-23	八木田 (荒川)	3.82E+02	1.07E+02		
2013-09-12	八木田 (荒川)	1.03E+04	2.30E+02		
2013-09-25	八木田 (荒川)	1.63E+03	4.20E+01		
2013-12-24	八木田 (荒川)	2.72E+03	9.10E+01		
2014-01-16	八木田 (荒川)	1.88E+02	4.20E+01		
2014-02-25	八木田 (荒川)	5.54E+03	1.71E+02		
2014-08-04	八木田 (荒川)	9.23E+02	3.10E+01		
2014-09-10	八木田 (荒川)	2.96E+03	7.50E+01		
2014-10-20	八木田 (荒川)	1.47E+03	3.70E+01		
2014-12-05	八木田 (荒川)	3.81E+03	1.08E+02		
2015-01-15	八木田 (荒川)	2.31E+03	6.40E+01		
2012-12-07	黒岩 (阿武隈川)	8.16E+03	3.33E+02	2921	103.4
2012-12-17	黒岩 (阿武隈川)	1.27E+02	4.40E+01		
2013-01-09	黒岩 (阿武隈川)	7.62E+02	2.71E+02		
2013-01-21	黒岩 (阿武隈川)	2.03E+04	3.58E+02		
2013-02-25	黒岩 (阿武隈川)	1.28E+04	3.66E+02		
2013-04-17	黒岩 (阿武隈川)	4.84E+03	1.98E+02		
2013-05-20	黒岩 (阿武隈川)	6.62E+02	1.73E+02		
2013-06-19	黒岩 (阿武隈川)	1.28E+03	2.70E+01		
2013-07-26	黒岩 (阿武隈川)	5.43E+03	8.30E+01		
2013-08-10	黒岩 (阿武隈川)	4.83E+03	1.12E+02		
2013-08-24	黒岩 (阿武隈川)	4.27E+03	1.07E+02		
2013-09-11	黒岩 (阿武隈川)	3.03E+02	9.30E+01		
2013-09-25	黒岩 (阿武隈川)	1.71E+03	6.00E+01		
2013-11-19	黒岩 (阿武隈川)	2.26E+03	6.00E+01		
2013-12-24	黒岩 (阿武隈川)	3.06E+03	7.00E+01		
2014-01-16	黒岩 (阿武隈川)	2.59E+03	7.20E+01		
2014-02-25	黒岩 (阿武隈川)	1.86E+03	4.60E+01		
2014-08-04	黒岩 (阿武隈川)	3.03E+03	8.90E+01		
2014-09-11	黒岩 (阿武隈川)	2.90E+03	8.40E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-10-20	黒岩 (阿武隈川)	6.24E+02	2.00E+01		
2014-12-03	黒岩 (阿武隈川)	2.23E+03	5.30E+01		
2015-01-13	黒岩 (阿武隈川)	1.79E+03	5.50E+01		
2012-12-18	富田 (逢瀬川)	2.10E+04	4.76E+02	72.6	98.5
2013-01-10	富田 (逢瀬川)	1.68E+04	3.83E+02		
2013-01-22	富田 (逢瀬川)	4.78E+02	7.22E+02		
2013-02-26	富田 (逢瀬川)	5.17E+04	5.05E+02		
2013-04-17	富田 (逢瀬川)	1.04E+04	2.34E+02		
2013-05-20	富田 (逢瀬川)	4.54E+03	9.80E+01		
2013-06-17	富田 (逢瀬川)	1.41E+04	6.97E+02		
2013-07-25	富田 (逢瀬川)	1.38E+04	9.00E+01		
2013-08-08	富田 (逢瀬川)	4.82E+03	1.54E+02		
2013-08-22	富田 (逢瀬川)	7.51E+03	2.05E+02		
2013-09-12	富田 (逢瀬川)	7.75E+03	1.48E+02		
2013-09-26	富田 (逢瀬川)	4.60E+01	8.90E+01		
2013-10-30	富田 (逢瀬川)	8.42E+03	2.00E+02		
2013-11-20	富田 (逢瀬川)	1.53E+04	5.42E+02		
2013-12-24	富田 (逢瀬川)	1.70E+04	3.45E+02		
2014-01-16	富田 (逢瀬川)	1.55E+04	5.01E+02		
2014-02-25	富田 (逢瀬川)	1.63E+02	7.90E+01		
2014-08-06	富田 (逢瀬川)	3.89E+03	9.70E+01		
2014-09-09	富田 (逢瀬川)	6.22E+03	1.23E+02		
2014-10-22	富田 (逢瀬川)	4.00E+03	8.30E+01		
2014-12-05	富田 (逢瀬川)	9.15E+03	2.23E+02		
2015-01-14	富田 (逢瀬川)	3.30E+03	1.10E+02		
2012-12-06	太田 (太田川)	5.13E+04	1.32E+03	49.9	1768
2012-12-18	太田 (太田川)	7.50E+03			
2013-01-10	太田 (太田川)	3.88E+04	1.09E+03		
2013-01-22	太田 (太田川)	6.70E+04	2.84E+03		
2013-02-26	太田 (太田川)	7.50E+03			
2013-04-18	太田 (太田川)	3.76E+04	1.93E+03		
2013-05-21	太田 (太田川)	1.53E+04	2.89E+02		
2013-06-18	太田 (太田川)	2.83E+04	7.50E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-07-25	太田 (太田川)	5.34E+04	6.99E+02		
2013-08-08	太田 (太田川)	5.29E+04	6.30E+02		
2013-08-22	太田 (太田川)	9.06E+04	2.09E+02		
2013-09-11	太田 (太田川)	1.03E+04	2.30E+02		
2013-09-26	太田 (太田川)	4.91E+04	1.51E+03		
2013-10-30	太田 (太田川)	3.58E+03	3.45E+02		
2013-11-20	太田 (太田川)	3.76E+04	8.50E+02		
2013-12-23	太田 (太田川)	2.96E+04	7.24E+02		
2014-01-17	太田 (太田川)	5.48E+04	4.83E+02		
2014-02-26	太田 (太田川)	2.51E+04	1.77E+02		
2014-08-06	太田 (太田川)	4.02E+04	1.29E+03		
2014-09-09	太田 (太田川)	3.64E+04	7.88E+02		
2014-10-21	太田 (太田川)	3.91E+04	1.04E+03		
2014-12-04	太田 (太田川)	2.84E+04	2.82E+02		
2015-01-14	太田 (太田川)	3.75E+04	1.10E+03		
2012-12-06	小高 (小高川)	1.56E+04	7.50E+02	50.3	724.2
2012-12-18	小高 (小高川)	7.85E+03	3.20E+02		
2013-01-10	小高 (小高川)	1.35E+04	3.62E+02		
2013-01-22	小高 (小高川)	1.38E+04	2.73E+02		
2013-02-26	小高 (小高川)	8.62E+03	2.70E+02		
2013-04-18	小高 (小高川)	1.49E+04	4.30E+02		
2013-05-21	小高 (小高川)	4.01E+03	5.80E+01		
2013-06-18	小高 (小高川)	1.43E+04	4.87E+02		
2013-07-25	小高 (小高川)	1.19E+04	8.60E+01		
2013-08-08	小高 (小高川)	1.94E+04	3.92E+02		
2013-08-22	小高 (小高川)	1.30E+04	3.81E+02		
2013-09-11	小高 (小高川)	1.36E+04	3.15E+02		
2013-09-26	小高 (小高川)	4.04E+04	6.83E+02		
2013-10-30	小高 (小高川)	1.73E+04	2.20E+02		
2013-11-20	小高 (小高川)	2.36E+04	4.25E+02		
2013-12-23	小高 (小高川)	1.63E+04	5.10E+02		
2014-01-17	小高 (小高川)	1.45E+04	3.93E+02		
2014-02-26	小高 (小高川)	1.48E+04	5.07E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-08-06	小高 (小高川)	1.73E+04	3.60E+02		
2014-09-09	小高 (小高川)	2.23E+04	7.40E+02		
2014-10-21	小高 (小高川)	1.64E+04	3.72E+02		
2014-12-04	小高 (小高川)	1.28E+04	1.92E+02		
2015-01-14	小高 (小高川)	9.96E+03	2.91E+02		
2012-12-08	浅見 (浅見川)	4.90E+03	1.93E+02	25.8	193.8
2012-12-17	浅見 (浅見川)	1.07E+02			
2013-01-09	浅見 (浅見川)	5.55E+03	1.64E+02		
2013-01-21	浅見 (浅見川)	2.53E+03	1.52E+02		
2013-02-25	浅見 (浅見川)	4.88E+03	6.50E+01		
2013-04-17	浅見 (浅見川)	2.21E+03	6.70E+01		
2013-05-20	浅見 (浅見川)	1.76E+03	6.90E+01		
2013-06-17	浅見 (浅見川)	2.04E+02	6.70E+01		
2013-07-25	浅見 (浅見川)	4.27E+03	7.70E+01		
2013-08-08	浅見 (浅見川)	4.08E+03	1.05E+02		
2013-08-22	浅見 (浅見川)	2.66E+03	3.00E+01		
2013-09-11	浅見 (浅見川)	4.74E+03	1.23E+02		
2013-09-25	浅見 (浅見川)	5.40E+03	2.10E+02		
2013-12-23	浅見 (浅見川)	2.80E+03	6.30E+01		
2014-01-15	浅見 (浅見川)	1.03E+03	7.00E+00		
2014-02-24	浅見 (浅見川)	1.09E+03	3.40E+01		
2014-09-08	浅見 (浅見川)	4.16E+03	1.19E+02		
2014-12-03	浅見 (浅見川)	2.63E+03	4.80E+01		
2015-01-13	浅見 (浅見川)	7.09E+02	4.60E+01		
2012-12-05	津島 (請戸川)	4.48E+04	1.03E+03	25.4	951.5
2012-12-18	津島 (請戸川)	2.48E+04	3.33E+02		
2013-01-11	津島 (請戸川)	3.43E+04	8.87E+02		
2013-01-23	津島 (請戸川)	1.45E+04	8.24E+02		
2013-02-27	津島 (請戸川)	3.51E+04	8.64E+02		
2013-09-13	津島 (請戸川)	3.51E+03	1.11E+03		
2013-09-27	津島 (請戸川)	2.01E+04	6.82E+02		
2013-10-29	津島 (請戸川)	2.16E+04	4.33E+02		
2013-11-21	津島 (請戸川)	2.48E+04	5.78E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-01-15	津島 (請戸川)	2.27E+04	5.79E+02		
2014-02-26	津島 (請戸川)	2.53E+04	5.44E+02		
2014-08-09	津島 (請戸川)	1.77E+04	3.52E+02		
2014-09-10	津島 (請戸川)	1.60E+04	4.31E+02		
2014-10-22	津島 (請戸川)	2.06E+03	3.29E+02		
2014-12-05	津島 (請戸川)	1.49E+03	2.09E+02		
2015-01-15	津島 (請戸川)	2.31E+04	5.18E+02		
2012-12-17	請戸 (請戸川)	5.55E+04	1.04E+03	152.6	2566
2013-01-09	請戸 (請戸川)	6.55E+04	8.02E+02		
2013-01-21	請戸 (請戸川)	5.32E+04	8.80E+02		
2013-02-25	請戸 (請戸川)	4.06E+04	3.54E+02		
2013-09-11	請戸 (請戸川)	6.78E+04	1.38E+03		
2013-09-25	請戸 (請戸川)	8.48E+04	1.83E+03		
2013-11-19	請戸 (請戸川)	5.60E+04	5.58E+02		
2014-01-15	請戸 (請戸川)	5.11E+04	7.09E+02		
2014-02-27	請戸 (請戸川)	3.13E+04	6.44E+02		
2014-08-08	請戸 (請戸川)	4.05E+04	5.13E+02		
2014-09-10	請戸 (請戸川)	4.40E+04	1.21E+03		
2014-12-05	請戸 (請戸川)	3.14E+04	3.43E+02		
2015-01-13	請戸 (請戸川)	4.60E+04	1.40E+03		
2012-12-17	高瀬 (高瀬川)	2.75E+04	3.63E+02	263.7	726.0
2013-01-09	高瀬 (高瀬川)	2.03E+04	4.57E+02		
2013-01-21	高瀬 (高瀬川)	2.57E+04	3.63E+02		
2013-02-25	高瀬 (高瀬川)	2.13E+04	3.58E+02		
2013-09-11	高瀬 (高瀬川)	2.62E+04	9.11E+02		
2013-09-25	高瀬 (高瀬川)	2.05E+04	7.10E+02		
2013-10-29	高瀬 (高瀬川)	1.20E+04	2.95E+02		
2013-11-19	高瀬 (高瀬川)	1.09E+04	2.09E+02		
2014-01-15	高瀬 (高瀬川)	2.05E+04	2.00E+02		
2014-02-27	高瀬 (高瀬川)	3.13E+04	7.81E+02		
2014-08-08	高瀬 (高瀬川)	7.75E+03	1.62E+02		
2014-09-10	高瀬 (高瀬川)	8.10E+03	1.94E+02		
2014-10-22	高瀬 (高瀬川)	1.26E+04	2.57E+02		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2014-12-05	高瀬 (高瀬川)	1.07E+04	2.49E+02		
2015-01-13	高瀬 (高瀬川)	7.91E+03	1.04E+02		
2012-12-06	原町 (新田川)	3.13E+04	1.10E+03	200.3	963.7
2012-12-18	原町 (新田川)	1.32E+04	1.31E+03		
2013-01-10	原町 (新田川)	2.75E+04	5.15E+02		
2013-01-22	原町 (新田川)	2.43E+04	5.06E+02		
2013-02-26	原町 (新田川)	1.81E+04	5.83E+02		
2013-04-18	原町 (新田川)	2.74E+04	3.60E+02		
2013-05-21	原町 (新田川)	3.18E+04	7.79E+02		
2013-06-18	原町 (新田川)	1.61E+04	2.08E+02		
2013-07-25	原町 (新田川)	2.92E+04	2.67E+02		
2013-08-08	原町 (新田川)	3.61E+04	7.71E+02		
2013-08-22	原町 (新田川)	1.68E+04	1.05E+02		
2013-09-11	原町 (新田川)	3.51E+04	4.78E+02		
2013-09-26	原町 (新田川)	3.12E+04	1.10E+03		
2013-10-30	原町 (新田川)	2.66E+04	3.25E+02		
2013-11-20	原町 (新田川)	2.93E+04	4.59E+02		
2013-12-23	原町 (新田川)	2.13E+03	5.19E+02		
2014-01-17	原町 (新田川)	2.72E+04	6.05E+02		
2014-02-26	原町 (新田川)	2.00E+04	3.86E+02		
2014-08-05	原町 (新田川)	2.08E+03	3.58E+02		
2014-09-09	原町 (新田川)	1.87E+04	4.03E+02		
2014-10-21	原町 (新田川)	1.84E+04	3.19E+02		
2014-12-04	原町 (新田川)	1.86E+04	2.79E+02		
2015-01-14	原町 (新田川)	1.84E+04	4.91E+02		
2012-12-18	赤沼 (大滝根川)	9.88E+02	3.80E+01	242.6	52.6
2013-01-10	赤沼 (大滝根川)	2.19E+03	4.00E+01		
2013-01-22	赤沼 (大滝根川)	1.39E+03	4.20E+01		
2013-02-26	赤沼 (大滝根川)	1.99E+03	7.40E+01		
2013-04-17	赤沼 (大滝根川)	1.74E+02	7.90E+01		
2013-05-20	赤沼 (大滝根川)	1.26E+03	1.90E+01		
2013-06-17	赤沼 (大滝根川)	1.21E+03	2.20E+01		
2013-07-25	赤沼 (大滝根川)	1.66E+03	4.60E+01		

標本 年月日	観測地点 (河川名)	浮遊物質の 挙動 (Bq/kg)	標準偏差	流域面積 (km ²)	流域面積の平均 沈着量 (kBq/m ²)
2013-08-08	赤沼 (大滝根川)	1.04E+03	3.70E+01		
2013-08-22	赤沼 (大滝根川)	1.40E+03	4.90E+01		
2013-09-12	赤沼 (大滝根川)	1.52E+03	5.90E+01		
2013-09-26	赤沼 (大滝根川)	4.28E+02	1.30E+01		
2013-10-30	赤沼 (大滝根川)	4.77E+02	1.70E+01		
2013-11-20	赤沼 (大滝根川)	1.14E+03	4.10E+01		
2013-12-24	赤沼 (大滝根川)	3.06E+03	4.90E+01		
2014-01-16	赤沼 (大滝根川)	1.59E+03			
2014-02-25	赤沼 (大滝根川)	3.98E+02			
2014-08-06	赤沼 (大滝根川)	4.13E+02	1.70E+01		
2014-09-08	赤沼 (大滝根川)	8.96E+02	3.10E+01		
2014-10-20	赤沼 (大滝根川)	6.48E+02	1.70E+01		
2014-12-03	赤沼 (大滝根川)	6.31E+02	8.00E+00		
2015-01-14	赤沼 (大滝根川)	7.23E+02	2.80E+01		

附属資料Ⅱ 参考文献

Taniguchi, K., Onda, Y., Smith, H., Blake, W., Yoshimura, L., Yamashiki, Y., Kuramoto, T., Saito, K.: Transport and Redistribution of Radiocaesium in Fukushima Fallout through Rivers, (河川を介した福島フォールアウトの放射性セシウムの移行と再区分) Environm. Sci. Technol. 2019, 53, 12339-12347.

Taniguchi, K., Kuramoto, T., Onda, Y.: Suspended Cs-134 and Cs-137 concentrations in the rivers within the 80 km radius from TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, (東京電力福島第一原子力発電所から 80km 圏内の河川における Cs-134 および Cs-137 の浮遊濃度について) 筑波大学データベース ERAN : <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/database/all.html>, 10.34355/福島県 CEC.00014 (2020)。

附属資料Ⅲ：福島県内の河川における Cs-137 フラックスについて

附属資料Ⅲ.1 福島県の河川における粒子状 Cs-137 (Bq) の月別フラックス (Taniguchi et al, 2019)。緑色または茶色の値を示した月/地点では、水位および/または濁度のデータが得られなかった。これらの場合、粒子状 Cs-137 のフラックスは、Taniguchi et al. (2019)に記載されているように決定された。

標本採取の月	河川における月別の粒子状Cs-137フラックス(Bq)					
	水境	口太 (上流)	口太 (中流)	口太 (下流)	伏黒	岩沼
2011/06	1.31E+08	9.69E+08	1.11E+09	5.10E+09	1.29E+12	1.05E+12
2011/07	1.56E+09	7.75E+09	1.66E+10	1.00E+11	2.09E+12	1.95E+12
2011/08	1.55E+09	5.07E+09	8.45E+09	2.81E+10	3.69E+11	4.25E+11
2011/09	2.88E+09	2.26E+10	5.53E+10	8.17E+10	1.36E+12	3.41E+12
2011/10	2.49E+08	1.13E+09	3.65E+09	4.10E+09	9.72E+10	1.81E+11
2011/11	8.58E+07	1.69E+08	5.52E+08	7.88E+08	5.71E+10	9.49E+10
2011/12	9.49E+07	2.32E+08	6.14E+08	5.34E+08	5.43E+10	4.00E+10
2012/01	4.74E+07	6.34E+07	6.25E+07	2.94E+08	7.46E+10	5.95E+10
2012/02	1.10E+08	4.27E+08	5.52E+08	1.93E+09	1.27E+11	5.75E+10
2012/03	3.60E+08	1.03E+09	3.47E+09	1.07E+10	5.04E+11	2.21E+11
2012/04	3.96E+08	1.83E+09	3.53E+09	1.27E+10	2.12E+11	6.45E+10
2012/05	3.42E+08	5.82E+08	2.30E+09	4.77E+09	8.83E+11	7.28E+11
2012/06	3.19E+08	2.11E+09	3.89E+09	9.19E+09	1.90E+11	2.11E+11
2012/07	3.39E+08	2.14E+09	4.10E+09	9.47E+09	1.60E+11	1.84E+11
2012/08	1.42E+07	9.42E+08	4.34E+08	2.24E+09	2.93E+10	6.38E+10
2012/09	1.52E+08	1.52E+09	1.08E+09	1.27E+10	5.40E+10	6.09E+10
2012/10	5.38E+07	7.26E+08	1.53E+09	2.94E+09	1.03E+11	8.86E+10
2012/11	1.22E+07	8.57E+08	8.43E+08	1.56E+09	2.88E+10	7.54E+10
2012/12	4.63E+07	2.16E+09	1.00E+09	1.78E+09	2.81E+10	6.05E+10
2013/01	3.26E+06	1.66E+09	7.72E+08	4.13E+08	7.50E+10	6.74E+10
2013/02	1.78E+07	9.09E+08	3.55E+08	5.51E+08	1.59E+11	5.49E+10
2013/03	3.08E+08	4.06E+08	1.35E+08	9.43E+08	1.04E+11	4.64E+10
2013/04	4.06E+08	1.97E+09	1.46E+09	5.92E+09	1.40E+11	5.54E+10
2013/05	2.02E+07	1.14E+09	1.76E+08	2.39E+08	2.26E+10	3.29E+10
2013/06	1.50E+08	8.74E+08	1.59E+09	3.13E+09	3.86E+10	3.87E+10
2013/07	1.09E+09	2.47E+09	5.20E+09	9.99E+09	3.24E+11	5.72E+11
2013/08	1.51E+08	1.90E+09	7.23E+09	8.15E+09	2.64E+11	4.99E+11
2013/09	9.85E+07	2.29E+09	8.17E+09	5.40E+09	4.08E+11	3.15E+11
2013/10	5.03E+08	3.27E+09	9.07E+09	8.77E+09	2.12E+11	2.67E+11
2013/11	9.08E+07	1.76E+09	1.65E+09	1.14E+09	3.92E+10	2.04E+10
2013/12	3.92E+07	1.66E+09	1.16E+09	8.26E+08	5.06E+10	2.38E+10
2014/01	1.69E+07	1.40E+09	9.84E+08	5.22E+08	3.28E+10	1.47E+10
2014/02	2.41E+07	1.70E+09	9.24E+08	7.70E+08	4.62E+10	1.76E+10
2014/03	1.56E+09	4.68E+09	6.58E+09	3.02E+10	1.80E+11	6.06E+10
2014/04	9.03E+08	3.59E+09	4.61E+09	1.21E+10	9.44E+10	9.68E+10
2014/05	1.32E+08	1.96E+09	8.66E+08	2.60E+09	3.75E+10	2.50E+10
2014/06	3.75E+09	3.59E+09	8.29E+09	9.99E+09	9.72E+10	1.40E+11
2014/07	2.36E+09	3.32E+09	9.98E+09	2.90E+10	2.27E+11	2.24E+11
2014/08	1.02E+09	6.99E+09	1.12E+10	1.60E+10	1.17E+11	5.02E+10
2014/09	1.06E+08	1.44E+09	1.20E+09	3.53E+09	1.85E+10	3.28E+10
2014/10	9.96E+07	1.87E+09	5.37E+09	9.65E+09	1.96E+11	2.13E+11

標本採取の月	河川における月別の粒子状Cs-137フラックス(Bq)					
	水境	口太（上流）	口太（中流）	口太（下流）	伏黒	岩沼
2014/11	3.48E+07	9.48E+08	1.19E+09	2.02E+09	3.30E+10	4.69E+10
2014/12	4.52E+07	1.30E+09	2.11E+09	4.42E+09	3.27E+10	5.21E+10
2015/01	1.59E+07	5.51E+08	1.24E+09	3.14E+09	4.73E+10	3.51E+10
2015/02	1.65E+07	4.15E+08	1.79E+09	2.89E+09	4.95E+10	2.94E+10
2015/03	5.97E+07	1.01E+09	7.74E+09	1.19E+10	1.55E+11	1.03E+11
2015/04	3.51E+07	6.97E+08	4.47E+09	8.88E+09	1.25E+11	7.68E+10
2015/05	1.29E+07	8.92E+08	1.31E+09	3.40E+09	2.82E+10	4.06E+10
2015/06	2.12E+07	1.60E+09	3.58E+09	4.87E+09	6.49E+10	3.45E+10
2015/07	2.76E+07	2.64E+09	9.09E+09	1.08E+10	1.95E+11	1.03E+11
2015/08	1.62E+07	5.60E+08	5.05E+09	6.92E+09	3.33E+10	4.42E+10
合計 2011/06- 2015/08	2.19E+10	1.14E+11	2.34E+11	5.10E+11	1.13E+13	1.24E+13

附属資料Ⅲ.1 福島県内の河川における粒子状物質 Cs-137 (Bq) の月別フラックス
(続き)

標本採取の月	河川における月別の粒子状Cs-137フラックス(Bq)										
	真野	小島田堰	松原	小名浜	月舘	二本松	西川	北町	川俣	瀬上	八木田
2012/10	2.74E+08	6.14E+08	5.42E+08	4.82E+07	1.82E+08	4.46E+09	8.77E+08	2.84E+09	1.20E+08	7.36E+08	4.77E+08
2012/11	8.57E+08	1.15E+09	3.60E+08	3.93E+07	1.34E+09	4.31E+09	7.12E+08	3.08E+09	3.85E+08	1.13E+09	4.02E+08
2012/12	7.14E+08	1.25E+09	1.80E+08	4.05E+07	3.39E+08	1.51E+10	4.56E+08	2.88E+09	8.13E+08	3.46E+09	3.53E+08
2013/01	3.54E+08	1.21E+09	1.25E+08	1.75E+07	1.46E+08	7.90E+09	2.11E+08	7.25E+07	2.45E+08	4.16E+08	7.76E+07
2013/02	5.13E+08	1.04E+09	2.14E+08	1.27E+07	5.50E+08	2.61E+09	5.76E+08	2.57E+08	8.49E+08	7.20E+08	1.55E+08
2013/03	1.14E+09	1.09E+09	4.77E+08	1.33E+07	7.32E+06	1.94E+09	9.55E+07	3.98E+08	7.67E+07	2.62E+09	1.35E+09
2013/04	2.58E+09	1.02E+09	1.63E+09	1.17E+09	2.18E+09	8.49E+10	3.11E+09	1.04E+10	7.79E+08	1.82E+09	6.35E+09
2013/05	5.69E+08	1.09E+09	3.55E+08	2.29E+07	1.44E+08	4.88E+09	4.79E+08	1.15E+09	2.49E+08	1.32E+09	4.40E+08
2013/06	6.72E+08	1.07E+09	8.92E+08	2.59E+07	3.95E+08	3.15E+10	8.91E+08	2.39E+09	5.98E+08	5.77E+08	9.78E+08
2013/07	1.14E+09	2.00E+08	1.95E+09	5.69E+07	3.20E+09	7.10E+10	1.02E+10	3.98E+08	8.25E+09	8.93E+09	9.73E+09
2013/08	9.49E+08	7.26E+08	4.53E+08	5.05E+07	2.42E+09	2.27E+10	1.54E+10	3.73E+09	2.09E+09	2.91E+09	3.31E+09
2013/09	9.46E+08	4.85E+09	2.17E+09	4.79E+08	5.44E+09	3.09E+10	6.14E+09	2.48E+09	1.97E+09	5.42E+09	3.03E+09
2013/10	8.94E+08	3.63E+09	9.83E+08	2.85E+09	1.83E+09	8.45E+09	2.19E+10	5.57E+09	2.03E+09	3.96E+09	3.49E+09
2013/11	3.43E+08	3.09E+08	5.92E+07	1.24E+07	6.47E+08	1.56E+09	2.85E+08	5.45E+08	2.32E+08	1.43E+09	2.28E+08
2013/12	2.47E+08	2.58E+08	4.51E+08	1.10E+07	5.48E+08	3.21E+09	2.32E+08	5.34E+08	3.31E+08	3.29E+09	3.01E+08
2014/01	1.48E+08	9.66E+07	5.25E+08	5.10E+06	4.24E+08	2.65E+08	7.21E+07	4.66E+08	7.80E+07	2.78E+09	1.31E+08
2014/02	3.35E+08	5.24E+08	4.38E+08	1.25E+08	8.12E+08	1.33E+09	1.52E+08	3.56E+09	1.31E+08	1.12E+09	2.28E+08
2014/03	1.27E+09	3.16E+09	3.75E+08	8.27E+07	2.26E+09	2.02E+10	4.44E+09	1.66E+09	5.48E+08	2.77E+09	8.91E+08
2014/04	1.20E+09	2.42E+09	1.65E+09	7.60E+08	1.12E+09	1.19E+10	1.66E+09	4.86E+09	8.05E+08	2.01E+09	1.51E+09
2014/05	2.21E+09	8.46E+08	2.09E+08	1.33E+08	8.57E+09	4.08E+09	2.61E+08	4.21E+09	5.16E+07	9.35E+08	5.48E+08
2014/06	3.63E+09	5.36E+09	6.13E+08	1.13E+09	8.21E+09	1.95E+10	4.21E+09	3.82E+09	4.51E+08	3.01E+09	5.10E+09
2014/07	7.43E+09	4.41E+09	6.43E+08	6.76E+08	6.29E+09	5.37E+10	7.48E+09	7.72E+09	9.59E+08	6.51E+09	9.39E+09
2014/08	1.03E+09	1.49E+09	5.96E+08	1.93E+08	2.05E+10	2.74E+10	4.35E+09	5.38E+09	6.00E+08	1.93E+09	6.25E+09
2014/09	3.28E+08	2.78E+08	4.90E+08	7.01E+07	5.79E+08	1.29E+10	6.53E+08	6.56E+08	1.17E+08	8.53E+08	5.12E+09
2014/10	1.30E+09	3.19E+09	8.86E+08	2.05E+09	2.46E+09	6.94E+10	4.44E+09	3.85E+09	4.61E+08	1.50E+09	1.28E+10
2014/11	1.44E+08	1.41E+08	8.28E+08	6.11E+07	1.13E+09	4.16E+09	1.32E+09	1.37E+08	1.59E+08	7.90E+08	1.69E+09
2014/12	3.14E+08	9.90E+07	4.34E+08	5.61E+07	1.00E+09	2.78E+10	1.97E+09	1.27E+08	1.54E+08	1.26E+09	9.08E+08
2015/01	4.31E+08	4.26E+07	5.87E+08	9.07E+07	4.93E+08	1.09E+10	1.37E+09	6.28E+07	1.16E+08	1.05E+09	1.70E+09
2015/02	6.33E+08	1.01E+08	5.89E+08	9.75E+07	5.63E+07	4.76E+09	1.19E+09	4.16E+07	8.55E+07	9.11E+08	2.50E+09
2015/03	1.16E+09	2.69E+09	2.49E+08	5.10E+08	3.92E+08	1.17E+10	4.75E+09	4.43E+08	3.06E+08	2.72E+09	2.68E+09
2015/04	1.09E+09	9.07E+08	1.35E+08	1.23E+08	2.19E+08	9.60E+09	3.11E+09	2.72E+08	2.19E+08	2.78E+09	2.99E+09
2015/05	4.22E+08	6.78E+08	1.64E+08	8.73E+07	2.50E+07	1.29E+09	7.64E+08	1.31E+08	7.60E+07	1.32E+09	4.58E+09
2015/06	2.98E+08	5.87E+08	2.20E+08	7.34E+07	2.99E+07	3.25E+09	1.33E+09	4.31E+08	6.52E+07	1.16E+09	2.37E+09
2015/07	2.75E+08	8.82E+08	3.75E+08	1.68E+08	7.47E+07	1.54E+10	4.74E+09	6.98E+08	9.95E+07	1.83E+09	4.48E+09
2015/08	7.30E+07	1.11E+09	8.16E+08	1.63E+08	1.05E+08	4.37E+09	3.73E+09	2.05E+08	1.02E+08	1.81E+09	4.83E+09
合計 2012/10- 2015/08	3.59E+10	4.85E+10	2.17E+10	1.15E+10	7.42E+10	6.09E+11	1.14E+11	7.54E+10	2.46E+10	7.78E+10	1.01E+11

附属資料Ⅲ.1 福島県内の河川における粒子状 Cs-137 (Bq) の月別フラックス
(続き)

標本採取の月	河川における月別の粒子状Cs-137フラックス(Bq)											
	瀬上	八木田	黒岩	富田	太田	小高	浅見	津島	請戸	高瀬	原町	赤沼
2012/10	7.36E+08	4.77E+08	3.91E+10	6.70E+09	1.82E+08	8.09E+07	1.68E+06	1.26E+08	2.49E+09	4.84E+07	1.09E+09	2.80E+08
2012/11	1.13E+09	4.02E+08	2.89E+10	6.10E+09	4.88E+08	1.36E+08	6.20E+06	2.71E+08	4.47E+09	3.80E+08	1.74E+09	2.60E+08
2012/12	3.46E+09	3.53E+08	2.25E+10	2.11E+09	3.77E+08	7.92E+07	1.72E+07	2.41E+08	4.88E+09	4.58E+08	1.33E+09	1.67E+08
2013/01	4.16E+08	7.76E+07	2.81E+10	1.57E+09	3.78E+08	4.59E+07	8.02E+06	3.86E+08	3.33E+09	1.60E+08	7.39E+08	1.25E+08
2013/02	7.20E+08	1.55E+08	4.43E+10	1.19E+10	2.52E+08	3.66E+07	6.23E+06	1.62E+08	2.39E+09	7.57E+07	7.77E+08	1.02E+08
2013/03	2.62E+09	1.35E+09	1.99E+10	1.69E+09	2.94E+08	4.52E+07	1.46E+06	2.23E+08	6.44E+09	2.41E+08	1.24E+09	1.14E+08
2013/04	1.82E+09	6.35E+09	9.07E+10	3.08E+09	4.03E+08	2.01E+08	5.37E+07	6.71E+08	1.61E+10	7.06E+09	8.99E+09	4.46E+08
2013/05	1.32E+09	4.40E+08	1.48E+10	2.65E+09	1.92E+08	5.76E+06	3.87E+06	1.58E+08	2.55E+09	4.59E+08	7.42E+08	1.50E+08
2013/06	5.77E+08	9.78E+08	2.35E+10	6.43E+09	3.74E+08	1.97E+08	6.20E+06	1.58E+08	2.02E+09	2.04E+09	1.86E+09	1.30E+08
2013/07	8.93E+09	9.73E+09	7.43E+11	8.79E+10	3.79E+08	1.80E+08	1.11E+07	2.55E+08	1.12E+10	6.53E+09	1.14E+10	1.10E+09
2013/08	2.91E+09	3.31E+09	4.74E+11	4.90E+09	6.99E+08	6.97E+07	7.88E+06	7.02E+08	3.63E+10	2.35E+09	9.86E+09	3.00E+08
2013/09	5.42E+09	3.03E+09	1.65E+11	1.62E+10	4.73E+08	1.52E+09	4.03E+07	1.52E+09	2.00E+11	1.61E+10	5.73E+10	6.21E+08
2013/10	3.96E+09	3.49E+09	1.53E+11	7.08E+10	6.52E+08	3.01E+09	1.01E+08	2.10E+09	3.98E+10	2.81E+11	8.51E+10	2.46E+08
2013/11	1.43E+09	2.28E+08	5.23E+09	1.73E+09	9.55E+07	1.53E+08	2.33E+07	2.51E+08	4.32E+09	2.21E+09	4.74E+09	2.01E+07
2013/12	3.29E+09	3.01E+08	1.61E+10	2.35E+09	3.57E+07	1.02E+08	2.94E+07	4.52E+08	5.13E+09	3.65E+08	2.23E+09	2.14E+08
2014/01	2.78E+09	1.31E+08	3.40E+09	8.97E+08	2.77E+07	1.44E+08	7.66E+06	3.17E+08	1.78E+09	6.04E+07	1.51E+09	9.78E+07
2014/02	1.12E+09	2.28E+08	9.67E+09	1.40E+09	2.89E+07	3.42E+08	3.44E+07	3.38E+08	4.24E+09	2.58E+08	3.29E+09	2.95E+07
2014/03	2.77E+09	8.91E+08	6.39E+10	9.60E+09	2.64E+08	3.41E+08	9.22E+07	1.34E+09	4.98E+10	4.83E+10	4.31E+10	4.25E+08
2014/04	2.01E+09	1.51E+09	5.77E+10	3.20E+09	1.76E+09	6.43E+08	2.63E+08	1.16E+09	6.18E+10	1.09E+11	3.14E+10	5.72E+08
2014/05	9.35E+08	5.48E+08	1.26E+10	5.37E+09	2.23E+08	3.25E+08	1.70E+08	5.23E+08	5.14E+09	4.06E+08	1.06E+10	4.43E+08
2014/06	3.01E+09	5.10E+09	9.41E+10	1.09E+10	9.20E+08	1.84E+09	3.57E+08	4.49E+09	8.99E+10	8.00E+10	6.49E+10	3.49E+08
2014/07	6.51E+09	9.39E+09	3.01E+11	1.67E+10	6.84E+08	1.52E+09	2.40E+08	2.15E+08	8.22E+10	3.61E+10	3.90E+10	7.77E+08
2014/08	1.93E+09	6.25E+09	1.32E+11	2.33E+09	1.89E+09	2.57E+09	5.32E+08	1.46E+09	4.05E+10	1.76E+10	5.01E+10	7.56E+08
2014/09	8.53E+08	5.12E+09	3.10E+10	6.55E+08	1.51E+09	8.71E+08	2.50E+08	5.29E+08	3.01E+10	5.92E+09	5.74E+09	4.05E+08
2014/10	1.50E+09	1.28E+10	2.39E+11	1.06E+10	7.99E+09	6.32E+09	1.09E+09	3.78E+09	6.85E+10	7.64E+10	2.99E+10	1.29E+09
2014/11	7.90E+08	1.69E+09	1.31E+10	7.43E+08	7.09E+08	6.50E+08	9.58E+07	3.88E+08	1.16E+10	3.07E+09	2.26E+09	2.29E+08
2014/12	1.26E+09	9.08E+08	8.87E+09	6.37E+08	6.36E+08	2.99E+08	1.21E+08	4.31E+08	1.38E+10	2.08E+09	1.60E+09	2.81E+08
2015/01	1.05E+09	1.70E+09	4.50E+09	4.13E+08	4.78E+08	3.36E+08	6.38E+07	1.10E+08	7.44E+09	9.94E+08	1.17E+09	2.38E+08
2015/02	9.11E+08	2.50E+09	4.62E+09	3.12E+08	3.17E+08	4.57E+08	6.26E+07	9.99E+07	7.79E+09	1.20E+09	1.36E+09	2.19E+08
2015/03	2.72E+09	2.68E+09	5.44E+10	5.14E+09	6.12E+08	3.47E+09	1.67E+08	8.92E+08	2.59E+10	2.07E+10	1.31E+10	1.05E+09
2015/04	2.78E+09	2.99E+09	4.07E+10	3.79E+09	5.41E+08	6.90E+08	3.98E+07	5.28E+08	1.26E+10	9.75E+09	5.17E+09	8.30E+08
2015/05	1.32E+09	4.58E+09	1.68E+10	8.86E+08	4.78E+08	4.12E+08	4.18E+08	1.30E+08	5.71E+09	2.99E+09	6.98E+08	5.33E+08
2015/06	1.16E+09	2.37E+09	3.33E+10	2.23E+09	2.92E+08	5.55E+08	6.60E+07	6.45E+07	1.10E+10	2.11E+09	1.30E+09	3.23E+08
2015/07	1.83E+09	4.48E+09	6.12E+10	3.21E+09	8.07E+08	6.88E+08	3.07E+08	2.35E+08	1.90E+10	6.45E+10	3.11E+09	1.32E+09
2015/08	1.81E+09	4.83E+09	6.69E+09	2.71E+09	4.27E+08	5.80E+08	1.35E+08	1.68E+08	9.08E+09	3.13E+09	6.28E+09	3.94E+08
合計 2012/10- 2015/08	7.78E+10	1.01E+11	3.06E+12	3.08E+11	2.59E+10	2.89E+10	4.83E+09	2.49E+10	8.99E+11	8.03E+11	5.05E+11	1.48E+10

附属資料Ⅲ 参考文献

Taniguchi, K., Onda, Y., Smith, H., Blake, W., Yoshimura, L., Yamashiki, Y., Kuramoto, T., Saito, K.: Transport and Redistribution of Radiocaesium in Fukushima Fallout through Rivers. (河川を介した福島フォールアウトの放射性セシウムの移行と再区分) Environm. Sci. Technol. 2019, 53, 12339-12347.

Taniguchi, K., Kuramoto, T., Onda, Y.: Monthly fluxes of suspended ^{134}Cs and ^{137}Cs in the rivers within the 80 km radius from TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, (東京電力福島第一原子力発電所から 80km 圏内の河川における Cs-134 および Cs-137 の浮遊濃度について) <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/database/all.html>. 10.34355/福島県 CEC.00015 (2020).