

(案)

報告

東京電力福島第一原子力発電所事故による
環境汚染の調査研究の進展と課題



令和2年（2020年）〇月〇日

日本学術会議

総合工学委員会

原子力安全に関する分科会

この報告は、第 23 期総合工学委員会原子力事故対応分科会原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会、及びこれを継承する第 24 期総合工学委員会原子力安全に関する分科会原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会での審議結果を踏まえ、第 24 期総合工学委員会原子力安全に関する分科会において取りまとめ公表するものである。

日本学術会議総合工学委員会原子力安全に関する分科会（第 24 期）

委員長	矢川 元基	(連携会員)	公益財団法人原子力安全研究協会会長、東京大学・東洋大学名誉教授
副委員長	柘植 綾夫	(連携会員)	公益社団法人日本工学会顧問・元会長
幹事	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
幹事	野口 和彦	(連携会員)	横浜国立大学リスク共生社会創造センター長、大学院環境情報研究院教授
	大倉 典子	(第三部会員)	芝浦工業大学名誉教授、SIT 総合研究所特任教授／中央大学大学院理工学研究科客員教授
	上坂 充	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科原子力専攻教授
	佐倉 統	(連携会員)	東京大学大学院情報学環教授
	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノロ大洗研究所長、東京大学名誉教授
	関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
	竹田 敏一	(連携会員)	福井大学附属国際原子力工学研究所特任教授
	松岡 猛	(連携会員)	宇都宮大学基盤教育センター非常勤講師
	向殿 政男	(連携会員)	明治大学顧問・名誉教授
	森口 祐一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授／ 国立研究開発法人 国立環境研究所 理事
	山地 憲治	(連携会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE) 副理事長
	成合 英樹	(特任連携会員)	筑波大学名誉教授

原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（第 24 期）

委員長	森口 祐一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授／ 国立研究開発法人 国立環境研究所 理事
副委員長	恩田 裕一		筑波大学アイソトープ環境動態研究センター教授、 センター長
幹事	内田 俊介		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門 安全研究センター 材料・構造安全研究ディビジョン 材料評価研究グループ 研究

			囑託
幹事	高橋 知之		京都大学複合原子力科学研究所准教授
	植松 光夫	(連携会員)	埼玉県環境科学国際センター 総長、東京大学名誉教授
	大塚 孝治	(連携会員)	国立研究開発法人理化学研究所仁科加速器センター客員主管研究員、東京大学名誉教授
	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノ大洗研究所長、東京大学名誉教授
	関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
	中島 映至	(連携会員)	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構参与
	五十嵐康人		京都大学複合原子力科学研究所教授
	伊藤 好孝		名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
	内田 滋夫		国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所廃棄物技術開発研究チームリーダー
	海老原 充		早稲田大学教育・総合科学学術院教授
	斎藤 公明		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力緊急時支援・研修センター 囑託
	篠原 厚		大阪大学大学院理学研究科教授
	谷畑 勇夫		大阪大学核物理研究センター特任教授
	鶴田 治雄		一般財団法人リモート・センシング技術センター客員研究員
	豊田 新		岡山大学理学部教授
	内藤 正則		一般財団法人エネルギー総合工学研究所原研究顧問
	難波 謙二		福島大学・共生システム理工学類教授
	星 正治		広島大学名誉教授
	榎本 和義		大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構名誉教授

原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（第 23 期）

委員長	柴田 徳思	(連携会員)	公益社団法人日本アイソトープ協会専務理事
副委員長	中島 映至	(連携会員)	東京大学大気海洋研究所教授
幹事	高橋 知之		京都大学原子炉実験所准教授
幹事	鶴田 治雄		東京大学大気海洋研究所特任研究員
	大塚 孝治	(連携会員)	東京大学理学系研究科教授
	関村 直人	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授

森口 祐一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
伊藤 好孝		名古屋大学太陽地球環境研究所教授
五十嵐康人		気象研究所環境応用気象研究部第四研究室長
植松 光夫		東京大学大気海洋研究所教授
内田 滋夫		独立行政法人放射線医学総合研究所特別上席研究員
海老原 充		首都大学東京理工学研究科教授
恩田 裕一		筑波大学大学院生命環境科学研究科教授
斎藤 公明		独立行政法人日本原子力研究開発機構福島支援センター上級研究主席
篠原 厚		大阪大学大学院理学研究科教授
谷畑 勇夫		大阪大学核物理研究センター教授
豊田 新		岡山大学理学部教授
内藤 正則		一般財団法人エネルギー総合工学研究所原子力工学センター部長
難波 謙二		福島大学共生システム理工学類教授
星 正治		広島大学名誉教授
榎本 和義		高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター教授

(※第 23 期小委員会委員については、肩書は当時のものを記載。)

本報告の作成にあたっては、小委員会のもとに設置した以下の 2 つのワーキンググループメンバーの方々及び執筆協力者に御協力いただいた。

東京電力福島第一原子力発電所事故に関連する
放射線・放射能測定データアーカイブズワーキンググループ

委員長	伊藤 好孝		名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
幹事	高橋 知之		京都大学複合原子力科学研究所准教授
	柴田 徳思	(連携会員)	株式会社千代田テクノロ大洗研究所長、東京大学名誉教授
	永江 知文	(連携会員)	京都大学大学院理学研究科教授
	浅沼 順		筑波大学アイソトープ環境動態研究センター教授
	内田 滋夫		国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所廃棄物技術開発研究チームリーダー
	加藤 弘亮		筑波大学アイソトープ環境動態研究センター准教授

	久保田明子	広島大学原爆放射線医科学研究所助教
	熊本雄一郎	国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境部門 海洋観測研究センター 主任研究員
	倉方 慶明	東京外国語大学文書館特定研究員
	斎藤 公明	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力 緊急時支援・研修センター 嘱託
	佐藤 信浩	京都大学複合原子力科学研究所助教
	篠原 厚	大阪大学大学院理学研究科教授
	武宮 博	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構システ ム計算科学センター長
	谷垣 実	京都大学複合原子力科学研究所助教
	鶴田 治雄	一般財団法人リモート・センシング技術センター客員研究 員
	難波 謙二	福島大学共生システム理工学類教授
	早川 和宏	東洋大学副学長・法学部法律学科教授
	星 正治	広島大学名誉教授
	馬 文超	筑波大学アイソトープ環境動態研究センター研究 員
	政池 明	京都大学名誉教授
	本林 透	理化学研究所仁科加速器研究センター特別顧問
	米澤 稔	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構研究連 携成果展開部科学技術情報課技術主幹
オブザーバ	中川 透	国立国会図書館電子情報部主任司書

事故と環境情報の交流ワーキンググループ

委員長	内藤 正則	一般財団法人エネルギー総合工学研究所研究顧問
幹事	内田 俊介	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研 究・防災支援部門 安全研究センター 材料・構造安 全研究ディビジョン 材料評価研究グループ 研究 嘱託
幹事	鶴田 治雄	一般財団法人リモート・センシング技術センター客員研究 員
	柴田 徳思 (連携会員)	株式会社千代田テクノロ大洗研究所長、東京大学名誉教授

関村 直人	(連携会員)	東京大学副学長、東京大学大学院工学系研究科教授
森口 祐一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻教授／ 国立研究開発法人 国立環境研究所 理事
五十嵐康人		京都大学複合原子力科学研究所教授
伊藤 好孝		名古屋大学宇宙地球環境研究所教授
逢坂 正彦		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子 力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎 工学研究センター 燃料・材料工学ディビジョン長
帰山 秀樹		国立研究開発法人水産研究・教育機構 中央水産研 究所 海洋・生態系研究センター 放射能調査グル ープ 主任研究員
斎藤 公明		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力 緊急時支援・研修センター嘱託
篠原 厚		大阪大学大学院理学研究科教授
末木 啓介		筑波大学数理物質系教授
滝川 雅之		国立研究開発法人海洋研究開発機構地球環境部門 北極環境変動総合研究センター 北極化学物質循環 研究グループ グループリーダー
永井 晴康		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力 基礎工学研究センター環境・放射線科学ディビジョ ン長
溝上 伸也		東京電力ホールディングス福島第一廃炉推進カン パニー 福島第一原子力発電所 燃料デブリ取り 出しプログラム部(本社駐在)スペシャリスト(福島 第一原子力発電所事故の分析と調査)
星 正治		広島大学名誉教授

執筆協力者 津旨 大輔

一般財団法人電力中央研究所環境科学研究所上席研究員

(※小委員会、ワーキンググループの所属は令和2年4月1日時点)

本報告の作成に当たり、以下の職員が事務を担当した。

事務	犬塚 隆志	参事官（審議第二担当）
	五十嵐 久留美	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付専門職

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議総合工学委員会には、2011年4月に原子力事故対応分科会が設置された。同分科会に設置された事故調査分野、環境汚染調査分野の両小委員会の活動は、22期、23期も継続され、第24期は原子力安全に関する分科会に継承された。環境汚染調査に関しては第22期に、放射性物質の輸送沈着過程に関するモデル計算結果の比較に関する報告が取りまとめられた。その後、小委員会では、第22期に設置したデータアーカイブズに関するワーキンググループの活動を継承するとともに、第23期に事故と環境情報の交流ワーキンググループを新たに設置した。本報告は、これらの活動を含め、小委員会が取り組んできた事故由来の環境汚染の調査に関する報告を取りまとめたものである。

2 現状及び問題点

東京電力福島第一原子力発電所の事故により放射性物質が環境中に大量に放出され、さまざまな媒体に汚染が広がる事態から、約9年が経過した。この間、放射性物質の環境中での動態解明や影響評価、除染や廃棄物処理など対応策に関する調査研究も進められ、成果が蓄積された。これらは数多くの機関によって担われ、関連する学術分野や学協会も多岐にわたり、環境汚染の調査研究の全貌を把握することは容易ではない。国際機関による報告に対し国内機関による体系的な報告はなく、環境汚染の調査研究の俯瞰は困難だった。

3 報告の内容

本報告では、環境汚染に関する調査・研究が対象とする範囲やそれを担う主体や資金源などを概観したうえで、主要分野ごとの調査研究の進展と課題を整理し、共通する課題と教訓を明らかにした。また、それらの総括と具体的な提案を、以下の6項目にまとめた。

(1) 事故進展解析と環境影響の解析の連携

放出量の時間変動は、主に環境中での測定結果からの逆解析で推計されてきたが、短寿命核種については、事故後初期の実測データが極めて限られ、かつ放出の時間変化は炉内事象の進展に大きく依存する。環境影響の解析に求められる核種別の放出量やその化学形態の経時変化の情報を事故進展解析コードのみから得ることは現時点では困難だが、環境中で観測された核種構成比や形態の変化の要因を推察するうえでは、両分野の交流には大きな意義がある。事故時の環境放出の時系列的な解明においては、炉内事象とともに、格納容器や建屋からの放出経路の解明が重要な課題と考えられる。

(2) 事故からの経過時間に応じた環境動態モデルと環境モニタリングの必要性

事故後初期の事象解明においては、大気拡散沈着モデル(ATDM)の国際比較がさらに進展し、当時の事象を再現する新たな実測値も得られてきた。事故から数年以内には、環境のさまざまな構成要素内とそれら相互間での放射性物質の中長期的な環境動態の

実測調査とモデル化が、多くの機関による学際的な調査研究により進展し、膨大な環境モニタリングの統計解析と経験式に基づく空間線量率の将来予測モデルの開発も行われた。緊急事態への対応として開始されたモニタリングが縮小傾向にある中、科学的な事象解明に不可欠な情報を得るためのモニタリングの継承が喫緊の課題である。

(3) 情報や試料の散逸防止のための長期にわたる組織的対応

一元的な集約が進む公的機関所管のモニタリングデータに対し、研究者や個人・民間によるデータは、一元的集約や保全を行う仕組みが無く散逸が懸念される。これらについてもデータの収集と保全を組織的に行う恒久的な体制が必要である。その端緒として、官民学全ての測定データの所在についてメタ情報から検索できるメタデータベース構築が進められている。また、環境試料についても有用な試料の利用機会確保と散逸防止のため、保管体制の確立と不要な試料の処分に関する法律・制度の整備が急務である。

(4) アカデミアと行政機関との連携と役割分担

原子力施設の緊急時、アカデミアの構成員は、行政機関からの要請に応じて専門家として行政の対応策に参画することもあり得る。一方、アカデミアとしての独立性、中立性及び自律的な情報発信を確保し、かつ自由な発言と発想を担保することは、緊急時における迅速かつ適切な対応や、発信情報の信頼性確保のために重要である。併せて、長期的・人類的観点から学術の対象として捉えることも、アカデミアの使命である。アカデミアと行政が連携し、情報や要請が迅速かつスムーズにつながる仕組みと、研究者が長期にコミットできる体制作りや、緊急時に利用できる研究費整備が必要である。

(5) 放射線教育の重要性

今回の事故で明らかになったのは、社会としての放射線に関連した知識の欠如である。放射線の知識を広めることは国の重要な役割であり、放射線に関する基本的な知識を低学年から教育の中にも含めることや、大学の総合教育として、学部・学科によらず全ての学生が履修できる環境放射線について学ぶ講義を行うことが必要である。このような施策を実現するべく、関連学協会から文部科学省等に具体案を提案することが求められる。

(6) 研究の進展の全貌把握、横断的解析と当事国としての環境汚染調査報告の必要性

事故調査に関し複数の報告があるのに対し環境汚染については一元的な動きはみられず、第22期提言の一つ[5]は、分野及び府省横断的な取り組みの必要性を指摘していた。各分野で調査研究が進展し多くの成果が得られたが、多岐にわたる研究成果の全貌把握は容易ではなく、環境汚染調査と健康調査の連携など、横断的解析は未だ十分とはいえない。事故後10年を迎えるにあたり、事故の環境影響の全貌が把握できるよう、包括的かつ緻密な報告を当事国としてまとめることが課題である。さらに、長期にわたる環境汚染調査や実際に放射線のあるフィールドで研修を行うことを可能とすべく、一部地域では環境の改変を実施しないことを提案する。

目 次

1	はじめに	1
2	環境汚染調査の範囲と本報告の主対象	2
(1)	漏出・放出から影響の行き着く先までの経路、段階	2
(2)	時間スケール	2
(3)	空間スケール	2
(4)	調査研究を担う機関・学術分野、関連する研究資金、成果の発表先	3
①	事故由来の環境汚染の調査研究を担う機関	3
②	関連する学術分野と成果の発表先	3
③	調査研究のための競争的資金	4
(5)	環境汚染調査の対象段階、主な研究主体、本報告の主対象の関係	4
3	主要分野ごとの環境汚染調査の進展と課題	5
(1)	炉内事象と環境放出の関連性	5
(2)	事故後初期の事象とくに大気経由の輸送と初期被ばく	6
①	大気移流拡散沈着モデル(ATDM)の相互比較の進展	6
②	事故後初期の大気中放射性核種濃度の実測による再現の進展	6
③	初期被ばくの解明における環境動態解析と線量評価の連携	7
④	不溶性セシウム微粒子の発見と性状解明の進展	7
(3)	地表沈着量、空間放射線量率の地理的分布と線量率の推移	8
(4)	陸域における環境動態	10
(5)	海洋における環境動態	11
(6)	環境汚染と健康影響	12
①	福島県の県民健康調査	12
②	環境汚染調査と被ばく線量評価	12
③	他の被ばく事故などでのがんの原因調査	12
④	福島の調査で必要なこと	12
(7)	汚染された地域の環境回復と復興に向けた取り組み	13
4	環境汚染調査に関連する分野の課題と教訓	14
(1)	環境汚染に関する情報の収集と蓄積	14
①	事故当初からの測定データと蓄積の状況	14
②	学術会議におけるデータアーカイブ活動	14
③	測定試料のアーカイブ問題	15
④	今後の展望と問題点	15
(2)	アカデミアと行政機関との連携の重要性	16
①	事故初期の環境汚染状況の把握を目的としたアカデミアの動き	16
②	アカデミアと行政機関の連携のあり方	16

(3) 放射線教育の重要性	17
5 報告の総括	18
(1) 事故進展解析と環境影響の解析の連携	18
(2) 事故からの経過時間に応じた環境動態モデルと環境モニタリングの必要性 ...	18
(3) 情報の散逸防止のための長期にわたる組織的対応	18
(4) アカデミアと行政機関との連携と役割分担	19
(5) 放射線教育の重要性	19
(6) 研究の進展の全貌把握、横断的解析と当事国としての環境汚染調査報告の必要性	19
<参考文献>	20
<参考資料1> 第24期の小委員会の開催経過と分科会における本報告に関する審議経過	29
<参考資料2> 環境汚染調査に関する資料、図表	30

1 はじめに

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震とこれに伴う大津波によって、東京電力福島第一原子力発電所（以下1Fと表記）は全電源を喪失して稼働中の3基の原子炉が炉心溶融に至り、大量の放射性物質が環境中に放出された。発災当時は日本学会議第21期にあたり、発災1週間後に幹事会声明[1]、その後4月15日にかけて六次にわたる緊急提言が発出された。第二次提言[2]は、放射性物質による環境汚染に着目し、地表の表面汚染、空气中放射能濃度、地表の放射線量率、住民の被ばく線量等について、大規模調査の必要性和大学等の協力を得て早急に実施すべきことを提言した。8月の第七次提言[3]では、広範囲にわたる放射性物質の挙動の科学的調査の長期的・継続的な解明、調査結果の統一フォーマットでのデータベース化・全世界の研究者への公開を提言した。

第22期では東日本大震災復興支援委員会が設置され、災害に強いまちづくり分科会、産業振興・就業支援分科会と並んで、放射能対策分科会が設置された。同分科会は、放射能による環境汚染を主な審議対象とするもので、2012年4月に第一の提言[4]、2014年9月に第二の提言[5]が発出された。これら以外にも、東日本大震災、原発事故に関連する日本学会議からの提言、報告は多数にわたる。その主なものを参考表1に示す。

総合工学委員会においては、事故後間もない2011年4月に原子力事故対応分科会が設置された。同分科会に設置された福島第一原発事故調査に関する小委員会（以下、「事故調査小委員会」、原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（以下、「環境汚染調査小委員会」）の活動は22、23期も継続され、第24期は原子力安全に関する分科会に継承された。環境汚染調査小委員会は2011年5月に設置提案されたもので、原発事故に伴って環境中に放出された放射性物質に関するさまざまな調査結果について、各分野の専門家による検討を行い、対策に必要な調査項目の選定、放射性物質の挙動に関するモデルに対する課題の抽出、公開データが公表された場合の社会に対する影響の大きさと公開の手続きのあり方などを検討するために設けられた。第22期には、放射性物質の輸送沈着過程に関するモデル計算結果の比較に関する報告[6]が取りまとめられた。その後、小委員会では、第22期に設置した東京電力福島第一原子力発電所事故に関連する放射線・放射能測定データアーカイブズワーキンググループ(WG)の活動を継承するとともに、第23期に事故と環境情報の交流WGを新たに設置した。本報告は、これら2つのWG活動を含む小委員会の活動成果の報告である。

1F事故による環境汚染に関しては、事故後初期には十分な実態把握が困難な状況もみられたが、事故から約9年が経過する中で、放射性物質の環境中での動態解明や影響評価、除染や廃棄物処理といった対応策などに関する調査研究が精力的に進められ、成果が蓄積されてきた。これらの調査・研究は、数多くの機関の専門家によって担われ、関連する学術分野は多岐にわたり、関連する学協会も数多い。このため、事故由来の放射性物質に関して、その全貌を把握することは今でも容易ではない。UNSCEAR[7]-[10]、IAEA[11]などの国際機関による報告がある一方、国内機関による体系的な報告がなされていないことを踏まえ、1F事故による環境汚染の調査研究の進展を俯瞰し、今後に向けた課題や提案を整理することが必要との問題意識のもとに、本報告をとりまとめたものである。

2 環境汚染調査の範囲と本報告の主対象

(1) 漏出・放出から影響の行き着く先までの経路、段階

圧力容器、格納容器等の損傷によって、原子炉から環境中への放射性物質が放出された。最大の放出先は大気であり、海への放出がこれに次ぐ。大気中に放出された放射性物質は、風で運ばれ、降水（雨、雪）や霧などとあいまって一部は地表に沈着し、一部は海面に降下する。また、陸地に降下した放射性物質の一部も河川や湖沼などを介して海に達し、これらは、海への直接放出分とともに、海洋中を拡散する。地表は森林、農地、市街地など多様な用途で利用されており、それらの場所を形成する生態系の働きや、地表を形成する土壌や人工的な表面被覆の性質の影響を受けながら、環境媒体間を移動し、あるいは同じ場所に長くとどまる。

これら環境中での放射性物質の分布や挙動が本報告でいう環境汚染調査の主対象であるが、人の健康、生活や生業への影響を考えるうえでは、呼吸、飲料水や農林水産物などを介する放射性物質の摂取経路、沈着した放射性物質の除染やこれに伴う除去土壌や廃棄物の輸送、保管、処理処分など、人との接点に強い関心が注がれる。

本報告では、原子炉からの漏出・放出から、影響が行き着く先までの一連の過程を視野に入れる。但し、漏出・放出の要因となる炉内の事象、収穫後の農産物の検査や流通、環境から除去後の廃棄物・土壌の処理処分技術、人の摂取後の体内動態や影響など、「環境」と密接に関わりつつも、環境中での汚染事象そのもの以外については、簡潔なレビューや環境汚染との関わりの記述にとどめる。

(2) 時間スケール

本報告では、事故後初期の事象、事故後から現在までの経過を主対象とするが、森林生態系における物質循環や、 ^{137}Cs の半減期（約 30.2 年）を考慮すれば、少なくとも数十年スケールにわたる長期的推移についても視野に入れる必要があることに留意し、今後、中長期にわたって継続すべきモニタリングや調査研究についても触れる。

(3) 空間スケール

事故による環境汚染は、原子力発電所の敷地内（サイト内）、中間貯蔵施設用地などサイト近傍、帰還困難区域などの汚染度の高い地域、福島県内外の除染が行われるレベルに達した地域、除染には至らなかったが一定レベル以上の放射性物質で汚染された廃棄物の発生した地域など、東日本の広い範囲に及んでいる。さらに、全球規模での大気中の輸送や、太平洋広域での輸送を経た、世界規模での事故由来の放射性物質を対象とする研究も事故後初期から行われ、環境放出量の逆推計などに活用されている。一方、サイト内やサイト近傍の環境汚染状況も学術調査上重要な意味を持つと考えられるが、廃炉、土壌・廃棄物の貯蔵などのため、既に大きく改変されており、立ち入りの制約などから調査研究対象としては限定的となっている。あらためて研究取り組みが望まれる。

(4) 調査研究を担う機関・学術分野、関連する研究資金、成果の発表先

① 事故由来の環境汚染の調査研究を担う機関

環境汚染の調査研究のように、営利性が低く公益性の高い分野の学術調査研究は、主に公的機関や大学によって担われている。原子力・放射線利用に関連する人や環境への影響を1F事故以前から扱ってきた国立の試験研究機関には、日本原子力研究開発機構(JAEA)と放射線医学総合研究所¹とがある。また、大気圏内核実験の時代より農林水産省(水産庁を含む)、国土交通省(気象庁を含む)、厚生労働省、防衛省などで、放射能調査が、さらには地方自治体においても実施されてきた。ただし、1F事故以前には、法体系上、放射性物質は、広い意味での環境汚染に関する調査研究、公害・環境行政、廃棄物行政の対象から除外されてきた。1F事故後生じた諸問題対応のため、環境汚染一般を主な対象としてきた国立環境研究所(NIES)をはじめとして、経済産業省、前記農林水産省、国土交通省、厚生労働省など多くの官庁の傘下の研究機関でも1F事故由来の環境汚染に関する調査研究が開始された。JAEAでは、事故直後の調査研究は東海地区を中心とした諸部門で担われたが、その後、1F事故関連の部門が福島研究開発部門に再編され、環境汚染は現在、福島環境安全センターが主に担当している。同センター、NIES福島支部、福島県の三者は、三春町に新設された福島県環境創造センター²にて連携して調査研究を進めており、2015年度から10か年の中期取組方針の第2フェーズに移行した。米の全袋検査が実施された福島県をはじめ、地方自治体の環境、農林水産関連などの調査研究機関も重要な担い手の一つである。

② 関連する学術分野と成果の発表先

分野を問わず、大学が学術的な調査研究の担い手であることはいままでもない³。神田[12]によれば、1F事故関連の研究や放射線教育に対する外部競争的資金に採択された大学数は、国公立27、私立12にのぼる。また、1F事故の環境汚染調査を担った大学アカデミアの属する分野も多岐にわたる。原子力工学、放射線医療など原子力・放射線利用に関わる分野、放射線教育を担う分野、天然、人工両面で放射性核種を扱う放射化学、汚染物質一般を扱う環境科学などがその例である。文部科学省・日本学術振興会による科学研究費補助金(以下科研費と表記)の現行の審査区分において、「放射」という語を区分名やキーワードに含む区分を抽出して参考表2に示す。

成果の発表先となる国内学会は、日本原子力学会、日本保健物理学会、アイソトープ・放射線研究発表会など、旧来からの原子力・放射線分野と、環境学や物質の計測・分析に関する分野がある⁴。国際誌では、Journal of Environmental Radioactivity

¹ 2016年に量子科学技術研究開発機構に再編され、現在は同機構量子医学・医療部門の一部。

² モニタリング、調査研究、情報収集・発信、教育・研修・交流を行うための総合的な拠点として2016年に設置。

³ 大学においても、いくつかの組織設置が行われた。筑波大学アイソトープ環境動態研究センターは、2012年12月に設立され、アイソトープ基盤研究部門、放射性物質環境移行部門、環境動態予測部門の3部門で、環境中の放射性物質の移行、環境動態予測を行っている。福島大学においては、2013年7月に環境放射能研究所が設立され、森林、河川、湖沼、海洋等の環境における放射性核種の動態に関する基礎的ならびに応用的研究を行うことを目的にしている。

⁴ 「環境」と「放射能」の両者を冠した学会として、1999年のJCO事故を契機に発足した環境放射能研究会、事故後発

で特集が複数回組まれるなど、1F 事故関連の論文が専門誌に多く掲載され、Scientific Reports などのオープンアクセス誌も主要な発表先となっている。事故関連の多数の書籍のうち、環境汚染に関する科学的なものは限られるが[13]-[16]、環境汚染調査小委員会の複数の委員が編者として関わり、広範な内容をカバーした書籍[17]が刊行され、英語版[18]により世界的にも知見と教訓が発信されたことが特筆される。

③ 調査研究のための競争的資金

大学での調査研究では、科研費が代表的な財源である。このうち1F 事故に直結する最も大規模な課題として、新学術領域研究（研究領域提案型）「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究（2012-2016 年度、代表：恩田裕一筑波大学教授）がある。同課題は、4 項目各 2 班の計 8 班（大気物理、大気陸面、海洋、海洋生物、陸域移行過程、陸域生態、化学形態、測定技術開発）の分野横断的な研究チームによる計画研究と、第 1 期（2013-14 年度）、第 2 期（2015-16 年度）各 11 課題計 22 課題の公募研究から構成された。若手育成策を組み入れ、研究期間の後半には、計画班が分野を超え連携する連携研究課題が実施された。この大型研究の後継的な活動として、共同利用・共同研究拠点事業「放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点（以下、「共同研究拠点」⁵）が文部科学大臣の認定を受け、平成 31 年度から活動を開始している。前述の集計[12]では、これら 2 事業のほか、文部科学省の計 5 事業、原子力規制委員会の 2 事業、環境省による原子力災害影響調査等事業の計 8 事業が対象だが、これら以外の競争的資金も 1F 事故由来の環境問題に関する研究の資金源となっている。科学技術振興機構（JST）の先端計測分析技術・機器開発プログラムの放射線計測領域、環境再生保全機構（環境省所管）が配分する環境研究総合推進費などがその例である。また、財団による環境研究助成[19]で、「東日本大震災や放射能汚染などの原発事故に関わる研究も歓迎」と特記された例もある。

(5) 環境汚染調査の対象段階、主な研究主体、本報告の主対象の関係

以上に示した本報告の主対象について、2014 年の東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会の第二次提言に掲載された図をもとに、参考図 1 に示す。

足した環境放射能除染学会の例がある。

⁵ 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター、福島大学環境放射能研究所、弘前大学被ばく医療総合研究所、日本原子力研究開発機構福島研究開発部門福島環境安全センター、量子科学技術研究開発機構量子医学・医療部門高度被ばく医療センター福島再生支援研究部、国立環境研究所福島支部が参画。

3 主要分野ごとの環境汚染調査の進展と課題

(1) 炉内事象と環境放出の関連性

1F 事故では、地震発生後直ちに原子炉の運転を停止し、非常用ディーゼル発電機が稼働し、残留熱の除去が続けられた。しかし、巨大津波ですべての電源を失い、最終的には3基の原子炉のすべてが冷却不全により、炉心溶融に至った。その結果、原子炉燃料体に閉じ込められていた大量の ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs などの放射性核分裂生成物（FP）が原子炉内に放出され、その一部が環境に放出されるに至った[20]。FPの環境への放出は、定性的には事故の進展プロセスと対応して説明づけられている。しかし、各号機から環境への定量的な放出量評価には、シビアアクシデント（SA）解析コードによる解析が不可欠である。SA解析コードは、事故時のソースターム評価のために世界各国、各機関で開発されている。1F事故以降、OECD/NEA（経済協力開発機構原子力機関）を中心にSA解析コードのベンチマーク評価が実施され、主要SA解析コードの妥当性が評価された。これまでに、事故発生から炉心溶融に至る一連のプロセスの解析結果は詳細に評価されており、プロセスモニタに残された温度、圧力、水位などの測定記録との比較で、主要なSA解析コードによる解析結果は比較的妥当な範囲で一致することが示された[21]。

FPが燃料から原子炉圧力容器（RPV）、格納容器（PCV）、原子炉建屋—いわゆる深層防護を破り環境へ放出されるプロセスは、ガス、蒸気、水の移行挙動で決まり、これらはSA解析コードによる各領域の温度、圧力の分布に基づき計算される。したがってFPの環境への放出量の評価精度は、SA解析コードの精度に依存する。例として、原子炉での温度、圧力、蒸気の流れを可能な限り機構論的に解析することが特徴であるSAMPSONコードを用いたFPの環境への放出量解析[22]につき述べる。SAMPSONコードではRPV、PCV及び原子炉建屋を40余の領域に分けて熱流動特性、炉心変形を求め、さらにFP移行の各計算モジュールによりまず、各領域の温度、圧力、領域間の蒸気の移行量を得て、各領域のFP濃度、領域間のFP移行量が計算される（参考図2）。

FPの移行量評価に際しては、対象FPの化学形態が重要である。ガス状あるいはエアロゾル状で気中に浮遊するもの、水に溶けやすいもの、構造材の表面に沈着し易いものなど、同じFP核種でも化学形態により異なる挙動を示す。これまでの事故時のヨウ素、セシウムの挙動評価では、CsI、CsOHという安定、平衡な化学形態が想定されてきた。しかし、欧州のPhèbus FPプロジェクトでの実燃料を用いたモックアップ実験では非平衡の状態の Cs_2MoO_4 、 I_2 、HOI、HIなどの影響が無視できないことが確認された。これら非平衡状態の Cs_2MoO_4 、 I_2 、HOI、HIを追加してFP移行と環境への放出量が解析された。残念ながら、現状では原子炉及びPCV内のFP挙動解析結果の妥当性を評価できる実測値がなく、結果の妥当性確認が難しい。一方、ヨウ素、セシウムを主とするFP核種の環境への放出量としては、WSPEEDI（世界版緊急時環境線量情報予測システム）を用いた環境データから逆推論で求めた報告がある。

FPの環境への放出プロセスには、i)ベント時に圧力抑制プール（S/C）からスタックを通した放出、ii)PCVからフランジ部のシール部、原子炉建屋を通した放出、あるいはiii)PCVの損傷した部位を経て原子炉建屋を通した放出など、様々な経路が想定されるが、

機器損傷箇所、その程度などを定量的に評価できるデータが乏しく、その評価は今後のプラントの実態調査を待たざるを得ない。そこで、比較的放出経路が単純な 1 号機の初期ベント時の放出を中心に解析し、WSPEEDI の結果と比較が行われた(参考図 3)。SAMPSON コードによる Cs の解析結果は WSPEEDI 評価値より一桁近く小さな値を示した。そのため、ベント時に CsOH などサプレッションプール水中に溶解した成分がミストとして放出されるプロセスなど、さらにきめ細かなプロセスを加えることが重要で、現在モデルの改良が進められている。甲状腺被ばくの点で重要度の高いヨウ素については、高い評価精度が求められる。現状、ヨウ素放出量は妥当な誤差範囲として容認できる範囲の値を示した。単体のヨウ素放出が過大評価の要因だが、非平衡の化学形態評価の詳細化とも併せて、解析精度向上の努力が必要である。

さらには、2、3号機からの環境放出量は、主要な機器の損傷について詳細な評価が不可欠で、定量的な放出量評価は今後の課題である。また、SA 解析コードそのものの精度向上は、事故調査小委員会とも連携して、進めることが肝要である。

(2) 事故後初期の事象とくに大気経由の輸送と初期被ばく

① 大気移流拡散沈着モデル(ATDM)の相互比較の進展

大気への放出から地表への沈着に至る過程を記述する ATDM⁶⁾は、本報告が主対象とする環境中の放射性物質の動態、とくに事故後初期の事象の解明において重要な役割を果たす。第 22 期の小委員会報告[6]では、大気輸送モデルの比較が、9 個の領域モデルと 6 個の全球モデルについて行われた。国内外の機関の参画を得たモデル間の比較はその後も継続され、用いる気象場と放出量の経時変化(ソースターム)を揃えた比較[23]に発展した。第 22 期報告のモデル間比較では、全球大気中の滞留量、地表沈着量、それらの物質収支とともに、大気中濃度実測値との比較も行われたが、その時点では比較可能な地点が限られた。その後、大気中の浮遊粒子状物質(SPM)の常時監視測定局の使用済みテープ状ろ紙の測定を利用した東日本の約 100 地点の ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 濃度の連続測定値に関する研究成果[24]-[25]が公表され、ATDM による成果と組み合わせ、参考図 4 に示すように多くの放射性プルーム⁷⁾の挙動が明らかにされた[26]。このことで、従来は困難だった大気中濃度の放射性物質濃度の ATDM の再現性検証が可能となり、7 機関の参画によるモデル間比較が行われた[27]。

② 事故後初期の大気中放射性核種濃度の実測による再現の進展

その後、1F から 20 km 圏にある 2 地点の測定結果[28]が公表されたことで、近距離での放射性プルームの挙動がより詳細に明らかとなった。放出時刻の逆推計など、ソースタームの精度向上にも有用と考えられる。さらに、放射性セシウム¹³⁷Cs の測定に加え、大気粉塵の採取試料中の長半減期核種 ^{129}I が質量分析により定量可能なことが報告[29]された。甲状腺被ばくの観点から注目される ^{131}I は半減期が約 8 日と短く、事故後の実測地点が限られ、時空間地域分布を知ることが困難だったが、事故直後の大

⁶ ATDM : Atmospheric Transportation, Dispersion and Deposition Model (大気移流拡散沈着モデル) の略語。

⁷ プルーム : 元の語義は「羽毛」。大気中に放出された物質が、煙、雲のように流れていく現象。

気中 ^{131}I の地域分布再現に新たな可能性が生まれた。また、事故直後の大気中 ^{131}I 実測値の総合解析[30]から、 $^{131}\text{I} : ^{137}\text{Cs}$ の事故後初期の放射能比は、多くの地点、日時で炉内インベントリ比に近い約 10:1 (3 月 11 日に半減期補正) であったが、これに比べて ^{131}I をより多く含むプルームが存在したことも明らかにされた。

一連の測定値から新たに得られた主な知見を以下に示す。

- ・ 1F 近傍の大気汚染測定局のろ紙分析から、1F 北方向、南方向の両方において、断続的に多くのプルームが通過したことが再確認された。
- ・ 大気中 ^{137}Cs 濃度の最大値は、原発北西約 3 km の地点において 3 月 12 日 14-15 時に観測された 13,600 Bq/m³ であり、1 号機水素爆発よりも前の時間帯である。
- ・ この高濃度プルームは、1F 北西～北方向で避難が完了していなかった地域も通過した可能性が高く、呼吸由来の内部被ばく線量の推計で考慮される必要がある。

③ 初期被ばくの解明における環境動態解析と線量評価の連携

UNSECAR による 2013 年報告[7]においても、ATDM を用いた被ばく線量推計が行われたが、初期の観測データの不足から、大きな不確実性があることが指摘されていた。その後の 2015-2017 年白書[8]-[10]では、①、②に示した分野の調査研究の進展が、不確実性の改善に貢献することへの期待が記載されている。被ばく線量評価は、2. (4) ③で示した環境省の原子力災害影響調査等事業により、「東京電力福島第一原子力発電所事故における住民の線量評価に関する包括研究」(平成 26～28 年度) 及び「事故初期の内部被ばく線量評価の精緻化に関する包括的研究」(平成 29～30 年度) が JAEA、放射線医学総合研究所等の参画のもとで実施され[31]、ATDM に基づく代表的な避難シナリオ別の甲状腺内部被ばく線量の推計も実施された。

④ 不溶性セシウム微粒子の発見と性状解明の進展

3. (1) で示したとおり、従来の事故解析では、セシウムの主たる放出形態は CsI または CsOH が想定されていた。これらの化学形態であれば水溶性だが、事故後初期に茨城県つくば市で大気試料を採取したろ紙から、イメージングプレートや電子顕微鏡による観察により、比放射能が高く、不溶性の微粒子(代表的な粒径は 2 μm 程度)が発見された[32]。球状であることからセシウムボールと名付けられ、大気試料だけでなく、河川水、土壌などさまざまな媒体についての調査研究が進んだ。一方、比放射能はこれより数桁低いが、粒径が数十～数百 μm で、1 粒子あたりの放射能が最大で 10,000 Bq を超える不定形状の不溶性粒子も発見された。便宜上、これを B タイプ、当初発見されたものを A タイプと呼び区別されている。A タイプで非球状のもの、B タイプで球状のものもその後見つかかり、現在は CsMP との表記が用いられる。 $^{134}\text{Cs} : ^{137}\text{Cs}$ の放射能比から、A タイプは 2 号または 3 号機由来、B タイプは 1 号機由来と考えられる。発見後早期から、A タイプはガラス構造であること、セシウム以外の多くの金属元素を含むことなどが報告されたが、その後、性状の解明が深められ[33]、地表沈着量に占める CsMP の割合が 1F からの方位別に異なること[34]などから、3 月 14-15 日にかけての特定の放射性プルームにのみ含まれていたと考えられている。

この SiO_2 を主材としたガラス状で高比放射能の Cs を含む微小粒子は、1F 事故発生

以前には想定されておらず、チェルノブイリ事故の知見の想定範囲外にある。シリカガラスなので環境や人体中で比較的長期に安定に存在でき、不均一な β 線照射を引き起こすことから影響評価上重要なばかりでなく、原子炉内部から適切な試料を得られない現状から、炉内事象の解明に関し極めて重要な証拠物となっている。すなわち、廃炉手法や廃炉安全の確立（燃料デブリの回収、炉内除染、作業員や周辺的安全確保等）に関しても重要な知見を与える可能性が大きい。しかし、Puをはじめ α 放射体の含有量に関する情報が少なく、知見の蓄積に務めて廃炉作業に係るリスク評価へ寄与することが必要である。放射性微粒子に関する解明は1F事故後9年間で徐々に進捗したが、放出時期及びその放出源（号炉）との関係、発生メカニズム、精度よい放出量評価、沈着したCsの水溶性—非水溶性の割合等について究明の余地が大きい。現状、一粒子毎に分離作業を進める分析法しかなく、バルク的な分離法が確立されていない。多大な労力と予算を投入してでもバルク分離法の開発が待ち望まれるし、開発が達成されれば廃棄物減容や効率的除染にも寄与できるため、継続的な研究が求められる。また、放射性微粒子は最近の実験知見などに基けば、環境中でのウェザリングによりCsが徐々に溶脱、あるいは本体が徐々に溶解消失すると想定される。しかし、自然界での消失過程自体は確認・観察されておらず、現状その取り組みもない。国民の安全・安心の観点からこうした推移を見守る実証的な研究の発展が強く求められる。

(3) 地表沈着量、空間放射線量率の地理的分布と線量率の推移

1Fから大気中に放出された放射性プルームにより東日本の広域に放射性物質の沈着が生じた。全般的には1Fから80 km圏内の地域の汚染が大きかったが、とりわけ原発から北西方向に沈着量の非常に高い地域が存在する。また、福島県の中通りから栃木県を通り群馬県に達する、相対的に沈着量が高い細長い領域が存在する。さらに、茨城県の南部から千葉県の北部にかけての地域、並びに宮城県の北部から岩手県の南部にかけての地域に飛び地的に沈着量が高い地域が存在する。

事故直後から異なる組織による環境測定がいくつか行われたが、大規模かつ系統的な沈着量の調査が初めて実施されたのは2011年6月だった[35]（第1次分布状況調査）。この調査で広域にわたり観測された放射性核種は ^{89}Sr 、 ^{90}Sr 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ 、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{238}Pu 、 $^{239+240}\text{Pu}$ と複数存在したが[35]–[39]、この時点で既に空間線量率の99%は放射性セシウムによること、また長期被ばくの観点からも放射性セシウムが圧倒的に重要なことが確認された[35]。 $^{129\text{m}}\text{Te}$ の沈着量から事故直後の ^{127}Te 沈着量を推定する試みや[40]、 ^{129}I の測定により ^{131}I の沈着量マップを精緻化する取り組みも行われた[41]。異なる放射性核種の沈着量比を利用し、沈着に寄与した主な原子炉を特定することも試みられた[42, 43]。 ^{137}Cs の陸地への総沈着量は2~2.5 PBq程度と見積もられた。1Fから80 km圏内の土地利用状況別の放射性セシウム沈着量は土地利用面積とほぼ比例し、70%が森林域に、20%が農地に、5%が建物用地に沈着したと評価された[44]。

分布状況調査はその後も継続的に実施され、空間線量率及び沈着量の経時的な変化を解析する基本的なデータを提供した[45]。また、並行してヘリコプターを利用した航空

機モニタリングも実施された[46]。2011～2016年までの空間線量率マップを参考図5に、平均空間線量率の減少傾向を参考図6に示す[47]。参考図6では自然ガンマ線からの空間線量率への寄与は差し引き、セシウムに起因する空間線量率の減少傾向を示している。分布状況調査による地上の測定は数種類の異なる手法を用いて実施されたが、手法により異なる状況を対象とした測定を行っているため、空間線量率の減少傾向も異なる。2011年6月から2016年8月の間に、物理半減期により空間線量率は当初の37%程度まで減少したと見積もられる。走行サーベイ[48]で測定した道路上の平均空間線量率は、物理減衰のみで予想される線量率の1/3程度に、攪乱のない平坦地における空間線量率[49]は半分程度に減少した。歩行サーベイ[50]は2013年に開始されたため2011年からの線量率減少比を直接に計算できないが、他の測定との相対的な関係から走行サーベイと平坦地測定の間データがプロットされると推測される。これらの結果をまとめると、2016年までに生活圏の環境の空間線量率は、物理減衰に比べて平均でファクター2～3程度速く減衰したと判断される[47]。空間線量率の減少の原因は、放射壊変による減衰、水平及び垂直方向へのセシウムの移行、除染、に大別される。 ^{134}Cs の物理半減期が約2年と相対的に短いため当初は物理減衰が最も重要な原因だったが、現在では ^{134}Cs の存在比は小さくなり、今後は放射壊変による空間線量率の大きな減少は期待できない。

放射性セシウムは経時的に地中に浸透している。地中浸透の指標となる実効緩衝重量深度 β_{eff} はこれまでのところ事故後の経過時間にはほぼ比例する形で増加している[51]。 Cs の地中浸透で土によるガンマ線遮蔽効果が増加し、空間線量率を減少させる原因となっている。2016年時点で、地中浸透により空間線量率は平均25%程度減少したと見積もられる。地中浸透による空間線量率の減少傾向をチェルノブイリ事故と比べると、福島での減少傾向は遅い[47]。放射性セシウムは土の微細粒子に強く吸着しているため水平方向への移行も全般的に小さいと考えられるが、アスファルト等の人工建造物に付着した放射性セシウムや耕作が行われた田畑のセシウムは移行しやすいことがわかっており、水平方向のセシウムの移行が空間線量率の減少を加速する一因となっていると考えられる。2011年の時点では、水平方向のセシウムの移行により空間線量率が最大で30%程度減少したと考えられる[47]。水平移行の影響は事故直後に特に顕著であった傾向が見られるため、将来にわたって同じ割合で空間線量率の減少が起こる訳ではないことが予測される。今後、放射性物質移行研究と相互に検証していく必要がある。

また、平坦地における空間線量率測定データに関し、除染が行われた地点を含めた場合と含めない場合を比較した結果、80km圏内における平坦地空間線量率の平均値は、除染により20%程度減少したと見積もられた。除染の影響に関してはより詳細な評価が必要である。空間線量率の減少傾向及びその原因の寄与割合はあくまでも平均値で、状況に応じて大きく変動する。空間線量率はそこに生活する住民の被ばく線量に関わるため、その減少傾向を精度良く把握するには、地域毎に解析を行うことが必要である。

空間線量率の減少傾向を変動させる要因として土地利用状況と人間活動が挙げられる。土地利用状況に関しては、森林で空間線量率の減少が遅いのに対し、都市域では速く、田畑はその中間にある[52]。これらの傾向は放射性セシウムの環境中での移行のし

やすさで説明される。また、人間活動が空間線量率の減少を加速することを示唆する現象が複数観測されており[48, 53]、人間活動の影響の定量的解析は今後の重要な課題である。

(4) 陸域における環境動態

降下した放射性物質は、環境中を物質輸送に伴って移行することが知られている。1 F 事故後、森林に降下した放射性物質・様々な土地利用の地域における放射性物質の存在量・移動量の測定が参考図7のように、前述した事故直後の分布状況調査に合わせて開始され、それらの調査の結果、森林・様々な土地利用での土壌区画からの放射性物質の河川への移行・水田からの浮遊土砂・渓流水・河川水への移行・さらに、河川水の移動に伴う放射性物質の運搬に関し成果が得られた。また、2 (4)③で述べた新学術研究をはじめとしたグループ研究や[54]、JAEA、NIES 等の研究機関による組織的研究も加わり、陸域における放射性物質の挙動の解明は進みつつある。

森林からの放射性物質の移行は、川俣町のモデル地域における調査によって6年間の長期モニタリング成果が得られており[55]、特に雨水に伴う移行プロセスについても実態が明らかになった[56]。また、樹体内への放射性物質の移行については、フランス IRSN チームによる詳細調査[57]、森林総合研究所による長期モニタリングサイトでの調査[58]などにより、移行が進んでいる樹種も存在することが明らかになってきた。

土壌における放射性物質の下方移動については、土地利用ごとに大きな違いがあり、特に水田地域で速く[59]、森林地域で遅いことがわかった[60]。水田からの放射性物質は、代掻き時を中心として一部が河川に流出し、その濃度は、初期に高かった[61]。侵食による放射性セシウムの損失も土地利用に依存し、特に、草原と森林<植生農地<裸地の順に増加した[62]、草原では、侵食率は一般に0.01%/年を大きく下回ることがわかっている。放射性物質の下方以降と土壌の侵食・運搬が上述した空間線量率の減少と密接に関わっており、これらの関連研究が必要とされる。

移行した放射性物質は、河川へと流下する。森林流域からの放射性物質の移行は、おもに浮遊砂によってもたらされる[63]。一方、森林における溶存態はリターの溶解に支配されることがわかってきた[64]。長期的な変化においては、森林における懸濁態セシウム濃度は初期は低かったものの、その低減は遅いことがわかってきている[65]。都市域の河川では、他の土地利用流域の河川よりもセシウム濃度が高い傾向がある[66]。

阿武隈川水系の長期モニタリングサイトでは、事故後約1年までの期間に河川水中の懸濁態セシウム濃度がチェルノブイリ原発事故後を超える速いペースで濃度低下し、事故後5年目までにプリチャピ川の1/3～1/21になった[67]。また、海洋への放射性セシウムの輸送総量は約12TBqで、およそ流域沈着量の3%程度にあたり、このほぼすべて(96.5%)は粒子状で輸送されていた。30地点の長期モニタリングサイトデータの解析から初期の放射性セシウムの主な発生源は水田、耕作地、市街地であり、ここから全放出量の85%が流出していた[67]。これらの知見が得られた一方、事故直後から3ヶ月程度の放射性物質の移行や今後の予測については未だ不明な点が多く、これまでのデー

タの取りまとめとともに再解析等によるさらなる研究が必要とされる。

陸域における農作物については、初期には、放射性物質の直接降下による野菜の汚染 [68] や、その後、転流や経根吸収等により農作物の汚染が生じた [69]。これらの環境汚染は、事故後、作物への移行に関する調査研究が農林水産省の研究機関や大学などにより精力的に行われ、玄米への移行については、土壌中の交換性カリウムの量が十分であれば、移行が押さえられること [70]、通常の施肥管理の状態、玄米への移行は 2011 年では事故前よりもやや高いが、3 年目には事故前のレベルに戻っていることが報告されている [71]。林産物については、樹体内部へと放射性物質が移行している状況が確認されていることから [72]、森林における汚染状況の継続調査が必要とされる。

こうしたボトムアップ的な取り組みに加え、今後、省庁横断的かつ、学問分野の垣根を取り払い放射性物質の移行過程の解明とその影響を評価するとともに、得られた成果のアーカイブをすすめて、国内はもとより国際社会へも発信し、福島環境回復の様々な課題の解決に資することが課題となろう。

(5) 海洋における環境動態

1F 事故起源の海洋中の放射性物質は、i) 直接海洋への漏洩、ii) 大気中に放出された後、海洋に沈着、iii) 大気放出の後、陸面に沈着し、河川から供給、の 3 つの経路から由来し、i) と ii) が主要な経路・量を占めるとされる。 ^{137}Cs 以外の核種も観測されたが、放射能としての量も少なく、 ^{137}Cs と比べると環境への影響も小さいことが確認されている。

海洋への ^{137}Cs の直接漏洩量は、海洋モデルと 1F 近傍の観測データによって推定され [73]、3-6 PBq の範囲とされる [74]。直接漏洩率は事故直後の 10^{14}Bq/day から 10^9Bq/day のオーダーに減少したが、2018 年においても継続している [75, 76]。大気から海洋への ^{137}Cs の沈着量は、大気モデルと海洋における観測結果を用い、15-19 PBq と推定された [74]。沿岸海洋へ供給された ^{137}Cs は溶存態として、その分布は沿岸流、中規模渦、黒潮の海水の動きの影響を強く受けている [77]。第 22 期報告では沿岸海洋モデルの比較も行われた [6]。また、北太平洋スケールでは、黒潮続流域に沿って東進するとともに、海洋中層へ沈み込んでいる [78]。 ^{137}Cs 濃度は移流と拡散、放射壊変により低下しているが、今後も観測が可能な放射能濃度レベルである。海洋中の ^{137}Cs の一部は堆積物へ移行し、陸域から供給された粒子態 ^{137}Cs も海底へ堆積する。堆積物中の ^{137}Cs の存在量は、観測結果から $130 \pm 60\text{TBq}$ と見積もられる [79]。堆積物の ^{137}Cs 濃度の減少は海水に比べて遅く、今後も継続的な観測による減少メカニズムの解明が必要である [80]。また堆積物中には放射性 Cs が高濃度の不溶性粒子の存在も確認されており、堆積物から海水や海洋生物の移行を把握する際は、不溶性粒子の役割の把握も重要である [81]。特に事故初期の高濃度 ^{137}Cs の海洋生物への移行によって、漁業自粛や出荷制限などの影響が生じた。海洋生物中の ^{137}Cs 濃度は減少し続けているが、生物種毎の ^{137}Cs の移行及び排出メカニズムの解明には課題が残されている [82]。

今後の過酷事故による海洋放射能汚染への備えとして、1F 事故による海洋汚染のモデル化による一般化が求められる。その際、海洋は 1F 事故起源放射性物質の終着点で

あるため、大気及び河川などからの供給経路とともに検討を行う必要がある[83]。

(6) 環境汚染と健康影響

① 福島県の県民健康調査

福島県では1F事故後、県民健康調査を行ってきた。主な内容は i)外部被ばく線量を見積もるための基本調査、ii)甲状腺の検査、iii)健康診査、など合計5つの調査や検査が含まれている[84]。i)基本調査では、問診票に記述する方法で事故後の居住地の移動などを調査し、各地の被ばく線量の結果を使って外部被ばく線量を求めている。ii)の甲状腺の検診では超音波検診装置を使った検診を行いその結果を報告している[85], [86]。対象者は震災時概ね18歳以下の子供である。iii)の健康診査では、一般的な健康診断の結果が報告されている

② 環境汚染調査と被ばく線量評価

環境汚染調査に関して各分野間の情報交換を行い各分野の研究の進展を図ることが、本小委員会の役割である。環境汚染調査と健康影響との関連では、環境汚染調査の結果から求められる被ばく線量評価が重要である。すなわち、被ばく線量と健康影響との相関を調べることで、放射線の影響があるかどうか判断できる。外部被ばく線量は、福島県の県民健康調査の中の基本調査で評価されている。例えば、Saitoら[35]は福島県内地域を2 km メッシュに区分し測定したが、そのデータから評価が可能である。内部被ばく線量については¹³¹Iによる被ばくの評価が必要となるが、IAEA レポート[87], [88]、Shikarev et al. [89], [90]のデータを使えば、甲状腺の内部被ばく線量評価は可能である。3.(2)で示したとおり、大気分野の実測、モデル双方の研究に大きな進展が見られ、データは呼吸経由の内部被ばくの推計にも活用されつつある。

③ 他の被ばく事故などでのがんの原因調査

これまでの放射線の被ばく線量とがんの発症との調査で主なものは、広島・長崎の被爆者の調査、チェルノブイリでの調査(例えば[91])、セミパラチンスクでの調査[92]がある。これらの調査では被ばく線量とがんの発症率との関係を見出し、原因が放射線による被ばくであると結論した。さらにその相関関係から放射線の被ばくによるリスクを解析している。特に広島・長崎の調査で求められたリスクは、放射線防護の主たるデータとして使われている。

④ 福島の調査で必要なこと

しかしながら、福島では放射線が発症の原因であるかどうかの調査はまだ行われていない。たとえば、UNSCEAR レポート[7]では「福島第一原発事故による被ばく線量はチェルノブイリ事故後の被ばく線量よりも大幅に低いので、福島第一原発事故による放射線被ばくに起因する公衆の健康影響の発生率の増加は識別できない可能性が高い。」と述べているだけであり、IAEA レポート[87]でも支持されている。既存の被ばく線量と健康影響のデータ(例えば県民健康調査)だけでもこうした解析はある程度は可能であり、発生率の増加が識別できないとしても「識別できなかった」という結論を得ることには大きな意味があると考えられる。

甲状腺がんについては、統計的解析を行った研究例(Tsuda ら[93])があり、発症率が有意に高いことを示している。しかしながら、ここで使われた甲状腺の被ばく線量は古いデータで過大評価されていることが分かっている。また線量の区分が大きい。さらに観察期間が短い。Ohira ら[94]も発症率と線量の関係解析を行っているが、内部被ばくではなく外部被ばく線量による地域区分を用いた解析である。そのため、より注意深く被ばく線量（特に甲状腺の¹³¹Iによる内部被ばく線量）との相関関係があるかどうかを調べる必要がある。それにより、これまでの多くの議論、たとえば、スクリーニング効果による増加であるかどうかなど、に対して答えが出せる可能性がある。これまで小児甲状腺がんについて述べたが、放射線影響研究所で行われているように大人を含めた全ての疾病について解析が必要である。例えば、セミパラチンスクの住民について被ばく線量と疾病の関係の解析が進行中[95]である。福島についても、プライバシーに配慮した形で適正にデータが開示されれば、こうした国際チームによる解析も可能であろう。

(7) 汚染された地域の環境回復と復興に向けた取り組み

本報告の主対象は環境汚染の調査と研究であるが、汚染された地域の環境回復や地域の復興も、学術の社会への貢献という観点で重要なテーマである。第22期東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会の第2の提言[5]においても、5項目の提言の1つとして、「地域復興支援に関する学術的活動の強化」を挙げていた。また、この分野では、社会学委員会傘下の分科会の提言[96]をはじめ、原子力災害以外も含む東日本大震災被災地の復興に関する他の提言が発出されてきたことにも留意すべきである。

一定レベル以上の汚染を受けた地域では、放射性物質汚染対処特別措置法のもとで、国及び地方自治体による面的除染が行われてきた。面的除染は、2018年3月に終了し、同法のもとでは除染の対象外であった帰還困難区域でも、特定復興拠点での除染が実施されている。環境汚染調査との関連では、3.(3)で述べた空間線量率の経時的な推移と被ばく線量の減少に除染の効果がどの程度表れたかが関心の対象となる。

2.(4)②で言及した環境放射能除染学会は、除染研究や技術発展に関する情報交換や成果発表の場として設立されたが、その後、「環境放射能とその除染・中間貯蔵及び環境再生のための学会」と改称し、これは除染で発生した除去土壌や廃棄物の保管・貯蔵、除染後の地域の再生へと地域のニーズが移行、拡大したことに呼応したものであろう。また、福島県環境創造センターの調査研究を構成する4部門のうち、除染・廃棄物部門と環境創造部門の2部門が本項目に該当するが、2019年からの第2フェーズでは、環境動態と環境創造に重きを置く方針が示され、本報告の主対象である環境動態の調査研究を、環境の回復、創造を通じた復興にどう結び付けるかが今後の課題といえる。

2.(4)③で触れた政府系の調査研究資金のうち、『大学等の「復興知」を活用した福島イノベーション・コースト構想促進事業』は、文部科学省と復興庁の事業であり、2019年度は18校28事業が採択されている。環境汚染に関する調査研究が、学術による復興支援とどのように連携しうるかも今後の重要課題であろう。

4 環境汚染調査に関連する分野の課題と教訓

(1) 環境汚染に関する情報の収集と蓄積

① 事故当初からの測定データと蓄積の状況

1F 事故当初から、政府・自治体から民間企業、研究者、市民まで様々な人々により多種多様な放射能・放射線測定が行われてきた。測定データの多くはインターネット上に公開され一般から閲覧可能であり、最初期からボランティアによる集約化の試みがあった[97]。その後、各省庁・自治体所轄の測定データについては、原子力規制委員会によってデータベース化も進んだ[98]。但し、当初各自治体サイトに公開された測定データは、サイト更新によりリンク切れが数多く発生している。これに対し、研究者による測定データは、基本的に各専門分野での論文や口頭発表により成果として公開されるが、データそのものの公開例はまだ少ない。論文などの書誌情報は原子力研究機構による福島原子力事故関連情報アーカイブ(FNAA)[99]により目録化され検索可能となっている。FNAAは測定データの目録も含み、国立国会図書館のデジタルアーカイブ事業 WARP[100]とも連携し、リンク切れサイトも一部閲覧する事ができる。一方、事故直後から民間や個人による測定も活発に行われ、個人やボランティア団体のブログなどで公開されてきた。これら民間のデータは、測定器や手法が不統一で、測定精度も必ずしも保証されないが、政府・自治体や研究者がカバー困難な場所での測定により「ホットスポット」が見つかる例[101]や、地域での住民自身による食料品測定[102]や長期定点観測[103]などの貴重な情報を含むことがある。民間、個人の測定データを収集する公的な枠組みはなく、各個人のサイト維持に拠っている。一般的に、インターネット上の情報の寿命は2年と言われ、継続的に収集と保全を行わないと情報が失われる危険性がある。国会図書館のWARPは、政府機関のサイトのみ収集対象とし、民間・個人のサイトは収集範囲外である。これらの状況を受け、2013年には日本物理学会・日本アーカイブズ学会の両学会会長連名の声明「民間の測定データを含むあらゆるデータの収集とアーカイブ化を」が発出されている[104]。

② 学術会議におけるデータアーカイブ活動

日本学術会議では、第一次提言[2]や第七次提言[3]において、環境モニタリングについて一元的かつ継続的な体制の構築や、データベース化して公開すること等を提言してきた。2015年から、本小委員会下に設けたWG[105]において、研究者、民間・個人を含む全ての測定データ集約を目指し、メタデータの収集とメタ情報からデータの所在を検索できるメタデータベース[106]の構築を行ってきた。登録されるメタデータ情報は、測定日時、場所、測定量などデータ自身に関する情報、データ保有者やデータ公開（公開場所、公開手段、公開可否）に関する情報に加え、測定目的やアーカイブ情報（元データ収集状況、他データベースへのリンク等）である。これらの情報から、該当するデータの所在を、政府・自治体、民間・個人、研究者の隔てなく横断的に検索できる。2019年11月現在、登録されたデータセット数は593件、首都圏から北海道・西日本にわたる34,310測定地点が登録されている。一方、新学術領域等での

研究者の活動では、大気・陸域・海洋における膨大な測定データと研究成果が創出され、2019年度より共同利用・共同研究拠点として発足する筑波大学アイソトープ環境動態研究センターへ引き継がれ、データ doi を付したデータ公開の作業が進んでいる[107]。

③ 測定試料のアーカイブ問題

データのアーカイブと並んで課題となるのが環境試料の取り扱いである。事故直後から公的機関や研究者個人が様々な環境試料を採取し測定に供した。これらの環境試料のうち、例えば福島近隣において採取された土壌試料[35]は、福島大学環境放射能研究所において保管され、貸出しや配布が実施されている。しかしながら、その他の多くの環境試料は、採取した機関や研究者個人が保管する状況にある。事故から8年以上が経過し、試料を保有する研究者の退職等により破棄・散逸すれば、将来可能となり得る新たな測定手段による有用な情報の損失となるだけでなく、不測の汚染拡散につながる可能性もある。また、水試料は容量が大きいこと、生体試料などは冷凍保存の必要があることなど、長期保管に要するコストも考慮する必要があり、試料アーカイブ機関が必要となろう。

現在様々な機関等で保管される試料の散逸を防ぐために、将来有用となる可能性のある試料の保管体制、及びその保管の判断指標の確立と、不要な試料の回収と廃棄処分に関する法律・制度の整備が急務である。また、国際的かつ将来世代への責務として、住民の生活に影響の無いような配慮を行なった上で、国有地の一部の自然環境を将来にわたって保全することの検討を行うべきである。

④ 今後の展望と問題点

個人・民間含めた測定データの一元的な集約と自由な利用、また恒久的アーカイブに向けて、データの著作権移管、関係者の個人情報保護など法律的な問題の整理や、データ公開に関わる風評被害等の問題点への対処が必要となる。測定地点の粗視化や非開示期間の設定により、関係者を保護する仕組みが必要である。また、本来データベース作成には登録データの質の保証が前提であるが、全データの発掘・保全が先決であることや、必要な質の内容は用途により異なることから、悪意ある捏造データをのぞき質に寄らず全て収集・登録をするべきである。民間・個人測定データの質はまちまちでも、住民個人が自ら測定器を用いて放射線測定を行った状況自体に史的な意義もあると考えれば、人文社会学的な研究への利用も考えられる。

これらの活動は今後100年に渡るもので恒久的アーカイブ機関が必要だが、現在は必ずしも長期的な基盤の保証のない大学機関の活動に頼っている。国会図書館や公文書館等、公共のアーカイブ機関と連携した長期的体制が必要である。採取試料のアーカイブについても、試料特有の問題である保管場所や保管コストについて公的な措置を行い、関係者の保護に配慮しながら試料の自由な利用制度の確立を行うべきである。

(2) アカデミアと行政機関との連携の重要性

原子力施設の緊急時における対応は、国、地方公共団体及び原子力事業者が実施するが、併せて関係する指定公共機関が協力することとなっている。一方、緊急時における学術機関（特に大学等）の位置づけは定かではなく、行政機関との連携と役割について検討を要する。ここでは、原子核物理学者のグループの行動が、大学や関連学会との連携に広がり、文部科学省を動かし実現した2011年の土壌調査プロジェクト(第1回分布状況調査)[35]と、分野融合的な連携により立ち上がった放射能環境動態に関する新学術領域術研究[54]を例に、その経緯と課題を整理することで、アカデミアと行政機関との今後の連携の在り方について検討する。

① 事故初期の環境汚染状況の把握を目的としたアカデミアの動き

事故初期の研究者の緊急時の取り組みと行政との関係は、例えば、参考文献[14]の第10章に熱気を持って語られている。アカデミアにおける環境汚染状況の把握を目的とした事故対応の初動は、原子核物理核懇談会の大阪大学のメンバーが中心となり、地球化学や放射化学も含めた合同検討会が2011年3月16日に大阪大学で行われ、前例のない関連学術団体の連携が図られた。文部科学省でもこれらのボトムアップの活動に呼応して、土壌調査プロジェクトがスタートした。また、日本地球化学会、日本地球惑星科学連合、日本放射化学会の連携により大規模な大気測定体制が作られたが、緊急時の研究費が得られず研究者個人の研究費で始動した。海洋、森林、河川等の分野も同様の状況で、これらの連携は2012年の新学術領域研究として予算的サポートが得られてはじめて、分野横断的な大きな研究の波となった。

前者はアカデミアのボトムアップが国のプロジェクトとして進められた例で、大規模な調査やそのデータの責任の所在を明確化する意味で成功例である。後者は学術研究としての予算枠での分野横断的研究であり、学術的意義と世界への発信に加え、汚染の未来予測や環境回復、中立の立場での住民への情報提供という側面で大きな貢献があった。

② アカデミアと行政機関の連携のあり方

上記の活動は事故初期においてアカデミアの活動が有効だった事例だが、一方、学術的側面では大きな課題を残した。例えば、アカデミアと行政機関が事故直後に連携し速やかに対応できたならばより貴重なデータが取得できたし、行政の初期の施策にも有益な情報が得られたと思われる。特に対応の遅れによる ^{131}I データの不足は痛恨の極みである。また、土壌試料は事故の初期状況等を把握する上で貴重な試料だが、管理体制上、その利用は特定の事業に参加する研究者に限られた。2019年度から福島大学環境放射能研究所で管理され、ようやく自由な研究利用が可能な体制となった。

アカデミアに属する研究者は、もちろん、1F事故のような緊急時には、使命感、社会貢献、社会・行政からの要請に敏感に呼応するし、そうすべきともいえる。よって、各研究者が行政機関からの要請に応じて、緊急時対応に専門家として参加することもあり得る。一方で、緊急時だからこそ、アカデミアとしての独立性、中立性及び自律的な情報発信を確保し、かつ研究者の自由な発言と発想を担保することが、迅速かつ

適切な対応や、発信される情報の信頼性確保のために必須である。併せて、長期的・人類的観点から学術の対象としても捉えることも、アカデミアの使命である。さらには、アカデミアと行政機関が連携し、それぞれの情報や要請が迅速かつスムーズにつながる仕組みと、研究者が長期にコミットできる体制が求められる。そのためには、緊急時に必要な研究費の仕組みも整備・保障されなければならない。

なお、原子力規制委員会の設置に伴い、放射線規制の部門が原子力規制庁に集約された一方、放射線に関する学術的研究は文部科学省の管轄である。上述の緊急時におけるアカデミアの対応に関し両者の役割分担も課題であり、早期に検討を進める必要がある。

(3) 放射線教育の重要性

原子力事故による環境汚染は、影響を受けた当事者はもとより、国民全般の関心事であり、さらに関心は国外にも及ぶ。SNS（ソーシャル・ネットワーキング・サービス）の普及等によって、事故による環境汚染の影響について、公的機関やマスメディア以外にもさまざまな情報が発信された。このような状況において様々な情報が錯綜し、国民的的確な理解が妨げられるような状況もみられた。

放射線に対する歴史上の経験を考えた場合、我が国は世界で最も充実した教育と人材育成をすべきである。しかるに、1F 事故で今更ながらに明らかになったのは、社会としての放射線に関連した知識の欠如である。放射線は我々の居住空間に常に存在し、医療・農業を初めとして種々の利用がなされている。しかし、系統的な教育は全くなされていないと言っても過言ではない。現状では、今後重大事故が発生した場合、危険な状況を避ける知識の欠如や、過大な不安感から高リスク行動をとる可能性も懸念される。現在、科学者の中で同意される放射線の知識を多くの人が共有できれば、このような問題は軽減するであろう。環境放射線の知識を広めることは国の重要な役割であり、以下のような施策を関連学協会から文部科学省等に提案し、早急に実施することが望まれる。

1. 放射線についての基本的な知識を学校教育にしっかりと取り入れる。具体例として、小学校、中学校、高等学校の教科書に、それぞれ、放射線というものの存在、放射線の利用や人体への影響、放射線の正体や環境中の放射線に関する項目を取り入れる。
2. 大学における総合的教育として、環境放射能や放射線の講義を行う。この講義は、学部・学科によらず全ての学生が履修できるようなものにする。大学により該当分野の教員が居ない場合は、講師派遣を関連学協会が中心となり行う。
3. 小中高の理科教師にも教育が必要である。放射線について基礎から最先端の話題までの系統だった教育プログラムを教員研修等に取り入れ、その指導には関連分野の大学教員（退職教員を含む）等を派遣する。

また、前述の将来にわたる研究のため一部地域を除染や改変することなく、保全すれば、放射線に関する実践的な教育の場としても非常に有効である。チェルノブイリなどの例に倣い、このエリアを国際共同教育研究拠点として世界の研究者と自治体からなる体制で運営すれば、教育研究に関して世界に貢献する象徴的な場とできる。

5 報告の総括

(1) 事故進展解析と環境影響の解析の連携

事故と環境情報の交流ワーキンググループにおいては、第 23 期、第 24 期に 10 回の会合を重ね、事故進展解析、環境情報の双方の専門家が最新の解析結果を互いに提供し、ヨウ素やセシウムをはじめとする放射性核種の放出時の化学形態、放出のタイミング、放出の原因となった炉内での事象などについて、情報交換を重ねた。

放出量の時間変動は、主に環境中での測定結果からの逆解析で推計されてきたが、短寿命核種については、事故後初期の実測データが極めて限られ、かつ放出の時間変化は炉内事象の進展に大きく依存する。環境影響の解析に求められる核種別の放出量やその化学形態の経時変化の情報を事故進展解析コードのみから得ることは現時点では困難だが、環境中で観測された核種構成比や形態の変化の要因を推察するうえでは、両分野の交流には大きな意義がある。事故時の環境放出の時系列的な解明においては、炉内事象とともに、格納容器や建屋からの放出経路の解明が重要な課題と考えられる。

(2) 事故からの経過時間に応じた環境動態モデルと環境モニタリングの必要性

初期内部被ばくの解明、及びその後中長期にわたる汚染の形成の主因となる地表への乾性・湿性沈着の観点から、大気拡散沈着モデル (ATDM) が重要な役割を果たす。第 22 期の報告[6]以降、ATDM の国際比較がさらに進展し、当時の事象を再現する新たな実測値も得られてきた。事故から数年以内には、河川、ダム・ため池、河口・沿岸域、海域などの水系、森林、農地、市街地などの土地・土壌、そこにおける生態系など、環境のさまざまな構成要素内とそれら相互間での放射性物質の中長期的な環境動態の実測調査とモデル化が、多くの機関による学際的な調査研究により進展した。さらに、膨大な環境モニタリングの統計解析と経験式に基づく空間線量率の将来予測を行うモデルの開発も行われた。これらの成果は UNSCEAR、IAEA などの国際機関にも提供された。モデルの検証には実測値が不可欠だが、初期の実測値不足を補う事故直後の採取試料からの当時の汚染分布の再現も進んだ例もある。緊急事態への対応として開始された政府機関によるモニタリングが縮小傾向にある中、今後とも、中長期的な汚染の推移を評価し、科学的な事象解明に不可欠な情報を得るためにも、モニタリングの継承が重要な課題である。

(3) 情報の散逸防止のための長期にわたる組織的対応

空間線量率や放射性核種の環境媒体中濃度など、事故の環境影響に関する測定データは、国や地方の行政機関、研究機関などの公的機関が関与した情報は、一元的なアクセスが容易となるよう段階的に改善されてきた。一方、大学などの学術研究機関で得られた測定データは全体が公開されることは稀で、その一元的な把握は困難である。また、個人を含むその他の主体により得られた情報の保全は極めて困難となっている。これら一連の情報のアーカイブの作成が急務だったことから、データ収集の主体や収集・公開方法等について検討し、メタデータ収集とメタ情報からデータの所在を検索できるメタ

データベースの構築が行われた。但し、今後、長期にわたり情報の散逸を防ぐためには、事故の環境影響に係る情報の保管に関し組織的対応を行う恒久的なアーカイブ機関が必要である。また、国会図書館や公文書館等公共のアーカイブ機関と連携した長期的体制づくりも必要である。なお、環境試料についても、有用な試料の散逸と汚染の拡大を防ぐため、将来有用となる可能性のある試料の保管管理（試料保管の判断指標の確立を含む）と、不要な試料の収集及び処分に関する制度の確立が喫緊の課題である。

(4) アカデミアと行政機関との連携と役割分担

原子力施設の緊急時に、アカデミアの構成員は、行政機関からの要請に応じて、専門家として参加することもあり得る。一方、アカデミアとしての独立性、中立性及び自律的な情報発信を確保し、かつ研究者の自由な発言と発想を担保することは、緊急時における迅速かつ適切な対応や、発信される情報の信頼性を確保するために重要である。併せて、長期的・人類的観点から学術の対象としても捉えることも、アカデミアの使命である。アカデミアと行政機関の連携を確保し情報や要請が迅速かつスムーズにつながる仕組みと、研究者が長期にコミットできる体制や、緊急時の研究費の整備が求められる。

(5) 放射線教育の重要性

今回の事故で明らかになったのは、社会としての放射線に関連した知識の欠如である。放射線の知識を広めることは国の重要な役割であり、放射線に関する基本的な知識を低学年から教育の中にも含めることや、大学の総合教育として、学部・学科によらず全ての学生が履修できる環境放射線について学ぶ講義を行うことが必要である。このような施策を実現するべく、関連学協会から文部科学省等に具体案を提案することが求められる。

(6) 研究の進展の全貌把握、横断的解析と当事国としての環境汚染調査報告の必要性

事故後比較的早期に複数の事故調査報告がなされたが、事故による環境汚染に関しては、原子力規制行政の再編後も政府側では一元的な動きがみられない状況があった。このため、第22期東日本大震災復興支援委員会放射能対策分科会の提言[5]では、事故による環境影響について、分野横断的、府省横断的な取り組みの必要を指摘し、原子力規制行政支援に対応する新たな学術的枠組みにも言及していた。競争的研究資金によるものも含め関係府省、各分野の調査研究が進展し、横断的な学際研究も展開され、これらの一連の調査研究において多くの成果が得られた。しかし、分野が多岐にわたることもあり、全貌の把握は容易ではない。それゆえ横断的な解析も十分には進んでいない。

事故後10年という区切りの時期を迎えるにあたり、本報告自身も、その一助となる役割を担うことを企図したものであり、また、一部の課題については、事故後10年を目途とする国際機関による報告書の作成が進行中だが、事故の環境影響の全貌が把握でき、さらに包括的かつ緻密な報告を事故の当事国としてまとめておくことが課題である。さらに、長期にわたる環境汚染調査や実際に放射線のあるフィールドで研修を行うことを可能とすべく、一部地域では環境の改変を実施しないことを提案する。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議幹事会、声明「東北・関東大震災とその後の原子力発電所事故について」、2011年3月18日。
- [2] 日本学術会議東日本大震災対策委員会、東日本大震災に対応する第二次緊急提言「福島第一原子力発電所事故後の放射線量調査の必要性について」、2011年4月4日。
- [3] 日本学術会議東日本大震災対策委員会、東日本大震災に対応する第七次緊急提言「広範囲にわたる放射性物質の挙動の科学的調査と解明について」、2011年8月7日。
- [4] 日本学術会議東日本大震災復興支援委員会、提言「放射能対策の新たな一步を踏み出すために 一事実の科学的探索に基づく行動を一」、2012年4月9日
- [5] 日本学術会議東日本大震災復興支援委員会、提言「復興に向けた長期的な放射能対策のために 一学術専門家を交えた 省庁横断的な放射能対策の必要性一」、2014年9月19日
- [6] 日本学術会議総合工学委員会事故対応分科会、報告「東京電力福島第一原子力発電所事故によって環境中に放出された放射性物質の輸送沈着過程に関するモデル計算結果の比較」、2014年9月2日
- [7] United Nations Scientific Committee for Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR, 原子放射線の影響に関する国連科学委員会) : Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami, UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with scientific annexes, Annex A, 2013.
- [8] UNSCEAR: Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami - A 2015 White Paper to guide the Scientific Committee's future programme of work, 2015
- [9] UNSCEAR: Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami - A 2016 White Paper to guide the Scientific Committee's future programme of work, 2016
- [10] UNSCEAR: Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami - A 2017 White Paper to guide the Scientific Committee's future programme of work, 2017
- [11] International Atomic Energy Agency (IAEA, 国際原子力機関) : The Fukushima Daiichi Accident. Report by the Director General, GC(59)/14, 2015.
- [12] 神田玲子：国際教育研究拠点について～放射線研究分野から見た現状と課題～、福島浜通り地域の国際教育研究拠点に関する有識者会議（第3回）資料2-5、令和元年9月19日開催、2019
- [13] Nakanishi, T. & Tanoi, K. (Eds): Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident. Springer, 2013.
- [14] Takahashi, S. (Ed.): Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident, Springer, 2013.
- [15] Takahashi, T. (Ed.): Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future. 2015, Springer.
- [16] 「環境放射能」研究会（編）：東京電力福島第一原子力発電所事故以降の5年間における

- る環境放射能研究のとりまとめ、KEK Report 2016-3, 2017, 高エネルギー加速器研究機構.
- [17] 中島映至、大原利眞、植松光夫、恩田裕一（編）：原発事故環境汚染：福島第一原発事故の地球科学的側面、東京大学出版会、2014
- [18] Nakajima, T., Ohara, T., Uematsu, M., Onda, Y. (Ed.): Environmental Contamination from the Fukushima Nuclear Disaster -Dispersion, Monitoring, Mitigation and Lessons Learned -, Cambridge University Press, 2019.
- [19] 住友財団：環境研究助成 募集要項（2012年度分ほか、複数年度）
- [20] 日本原子力学会：東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会、福島第一原子力発電所事故その全貌と明日に向けた提言－学会事故調最終報告書－、2014年3月11日、丸善出版, p.98-105, ISBN978-4-621-08743-5, 2014.
- [21] OECD/NEA: Benchmark Study of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (BSAF Project) Phase I Summary Report. Nuclear Regulation, NEA/CSNI/R, 2015.
- [22] Suzuki, H., Kino C, Nishikawa, A., Pellegrin, M., Chak, M.: Three Weeks Analysis of the Fukushima Daiichi Unit 1 NPP by the SAMPSON Code. 12th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-12), paper #825, Qingdao, China, October 14-18, 2018
- [23] Sato, Y., Takigawa, M., Sekiyama, T. T., Kajino, M., Terada, H., Nagai, H., et al. : Model intercomparison of atmospheric ^{137}Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: Simulations based on identical input data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 11,748–11,765, 2018
- [24] Tsurura, H., Oura, Y., Ebihara, M., Ohara, T., Nakajima, T.: First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations. *Scientific Reports*, 4 : 6717, 2014
- [25] Oura, Y., Ebihara, M., Tsuruta, H., Nakajima, T., Ohara, T., Ishimoto, M., Sawahata, H., Katsumura, Y., Nitta, W.: A database of hourly atmospheric concentrations of radiocesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) in suspended particulate matter collected in March 2011 at 99 air pollution monitoring stations in eastern Japan. *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences*, 15(2), 1-12, 2015.
- [26] Nakajima, T., Misawa, S., Morino, Y., Tsuruta, H., Goto, D., Uchida, J., Takemura, T., Ohara, T., Oura, Y., Ebihara, M., Satoh, M.: Model depiction of the atmospheric flows of radioactive cesium emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Progress in Earth and Planetary Science*, 4, 2, 2017
- [27] Tsuruta, H., Oura, Y., Ebihara, M., Moriguchi, Y., Ohara, T., Nakajima, T.: Time-series analysis of atmospheric radiocesium at two SPM monitoring sites near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant just after the Fukushima accident on March 11, 2011. *Geochemical Journal*, 52 (2), 103-121, 2018
- [28] Kitayama, K., Morino, Y., Takigawa, M., Nakajima, T., Hayami, H., Nagai, H., Terada, H., Saito, K., Shimbori, Y., Kajino, M., Sekiyama, T. T., Didier, D., Mathieu, A., Quélo, D., Ohara, T., Tsuruta, H., Oura, Y., Ebihara, M., Moriguchi, Y., Shibata, Y.: Atmospheric modeling of ^{137}Cs

plumes from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant - Evaluation of the model intercomparison data of the science council of Japan. *Journal of Geophysical Research:Atmospheres*, 123, 7754–7770, 2018

[29] Ebihara, M., Oura, Y., Shirai, N., Nagakawa, Y., Sakurai, N., Haba, H., Matsuzaki, H., Tsuruta, H., Moriguchi, Y. :A new approach for reconstructing the ^{131}I -spreading due to the 2011 Fukushima nuclear accident by means of measuring ^{129}I in airborne particulate matter. *Journal of Environmental Radioactivity*, 208-209, 2019

[30] Tsuruta, H., Moriguchi, Y., Nakajima, T.: Dynamics of atmospheric ^{131}I in radioactive plumes in eastern Japan immediately after the Fukushima accident by analysing published data. *Scientific Reports*, 9:13240, 2019.

[31] 環境省：原子力災害影響調査等事業（放射線の健康影響に係る研究調査事業）における報告書，<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/reports.html>

[32] Adachi, K., Kajino, M., Zaizen, Y., Igarashi, Y.: Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident. *Scientific Reports*, 3:2554, 2013.

[33] Igarashi, Y., Kogure, T., Kurihara, Y., Miura, H., Okumura, T., Satou, Y., Takahashi, Y., Yamaguchi, N.: A review of Cs-bearing micro particles in the environment emitted by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 205–206, 101–118, 2019

[34] Ikehara, R., Morooka, K., Suetake, M., Komiyama, 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.: Abundance and distribution of radioactive cesium-rich microparticles released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the environment. *Chemosphere*, 241, 2020.

[35] Saito, K., Tanihata, I., Fujiwara, M., Saito, T., Shimoura, S., Otsuka, T., Onda, Y., Hoshi, M., Ikeuchi, Y., Takahashi, F., Kinouchi, N., Saegusa, J., Seki, A., Takemiya, H., Shibata, T. : Detailed deposition density maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 308-319, 2015. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

[36] Tagami, K., Uchida, S., Uchihori, Y., Ishii, N., Kitamura, H., Shirakawa, Y.: Specific activity and activity ratios of radionuclides in soil collected about 20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: Radionuclide release to the south and southwest. *Science of the Total Environment*, 409 (22), 4885-4888, 2011.

[37] Zheng, J., Tagami, K., Watanabe, Y., Uchida, S., Aono, T., Ishii, N., Yoshida, S., Kubota, Y., Fuma, S., Ihara, S.: Isotopic evidence of plutonium release into the environment from the Fukushima DNPP accident. *Scientific Reports*, 2, 304; Doi:10.1038/srep00304, 2012.

[38] Ishii, N., Tagami, K., Takata, H., Fujita, K., Kawaguchi, I., Watanabe, Y., Uchida, S.: Deposition in Chiba Prefecture, Japan, of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant fallout. *Health Physics*, 104, 189-194, 2013.

- [39] Sahoo, S. K., Kavasi, N., Sorimachi, A., Arae, H., Tokonami, S., Mietelski, J. W., Lokas, E., Yoshida, S.: Strontium-90 activity concentration in soil samples from the exclusion zone of the Fukushima daiichi nuclear power plant. *Scientific Reports*, 23925(6), 1-10, 2016, DOI:10.1038/srep23925
- [40] Tagami, K., Uchida, S., Ishii, N., Zheng, J.: Estimation of Tellurium-132 distribution in the eastern part of Fukushima prefecture at the early stage of Fukushima daiichi nuclear power plant accident. *Environmental Science and Technology*, 47, 5007-5012, 2013.
- [41] Muramatsu, Y., Matsuzaki, H., Toyama, C.: Analysis of ^{129}I in the soils of Fukushima prefecture: Preliminary reconstruction of ^{131}I deposition related to the accident at Fukushima Daiichi nuclear plant (FDNPP). *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 344-350, 2015.
- [42] 佐藤志彦、末木啓介、笹公和、松中哲也、柴山尚大、高橋努、木下哲一：福島第一原発北西部に広がる高線量地域の $^{110\text{m}}\text{Ag}$: ^{137}Cs 比を用いた分類、放射化学、28-29、2015.
- [43] Chino, M., Terada, H., Nagai H., Katata, G., Mikami, S., Torii, T., Saito, K., Nishizawa, Y.: Utilization of $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ in the environment to identify the reactor units that caused atmospheric releases during the Fukushima Daiichi accident. *Scientific Reports*, DOI: 10.1038/srep31376, 2016.
- [44] Saito, K., Yamamoto, H., Mikami, S., Andoh, M., Matsuda, N., Kinase, S., Tsuda, S., Yoshida, T., Matsumoto, S., Sato, T., Seki, A., Takemiya, H.: Radiological conditions in the environment around the Fukushima Daiichi nuclear power plant site. *Global Environmental Research*, 20:15–22, 2016.
- [45] Saito, K., Onda, Y.: Outline of the national mapping projects implemented after the Fukushima accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139:240-249, 2015.
- [46] Sanada, Y., Sugira, T., Nishizawa, Y., Kondo, A., Torii, T.: The aerial radiation monitoring in Japan after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Progress in Nuclear Science & Technology*, 4:76-80, 2014.
- [47] Saito, K., Mikami, S., Andoh, M., Matsuda, N., Kinase, S., Tsuda, S., Yoshida, T., Sato, T., Seki, A., Yamamoto, H., Sanada, Y., Wainwright-Murakami, H., Takemiya, H.: Summary of temporal changes in air dose rates and radionuclide deposition densities in the 80 km zone over five years after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 210, 105878, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.12.020>
- [48] Andoh, M., Mikami, S., Tsuda, S., Yoshida, T., Matsuda, N., Saito, K.: Decreasing trend of ambient dose equivalent rates over a wide area in eastern Japan until 2016 evaluated by car-borne surveys using KURAMA Systems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 192:385-398, 2018.
- [49] Mikami, S., Tanaka, H., Matsuda, H., Sato, S., Hoshide, Y., Okuda, N., Suzuki, T., Sakamoto, R., Andoh, M., Saito, K. :The deposition densities of radiocesium and the air dose rates in undisturbed fields around the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant; their temporal changes for five years after the accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139:320-343, 2019.
- [50] Andoh, M., Yamamoto, H., Kanno, T., Saito, K.: Measurement of ambient dose equivalent rates by walk survey around Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using KURAMA-II until 2016.

Journal of Environmental Radioactivity, 190-191:111-121, 2018.

[51] Matsuda, N., Mikami, S., Shimoura, S., Takahashi, J., Nakano, M., Shimada, K., Uno, K., Hagiwara, S., Saito, K.: Depth profiles of radioactive cesium in soil using a scraper plate over a wide area surrounding the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139: 427-434, 2015.

[52] Kinase, S., Sato, S., Takahashi, T., Sakamoto, R., Saito, K.: Ecological Half-life of Radioactive Caesium within the 80 km Radius of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. IRPA2014 Abstract Book 163-166. 2014.

[53] Kinase, S., Takahashi, T., Saito, K.: Long-term prediction of ambient dose equivalent rates after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 54:1345-1354, 2017. DOI: 10.1080/00223131.2017.136565

[54] https://kaken.nii.ac.jp/ja/file/KAKENHI-AREA-2409/2409_kenkyu_seika_hokoku_ja.pdf

[55] Kato, H., Onda, Y., Saidin, Z., H., Sakashita, W., Hisadome, K., Loffredo, N.: Six-year monitoring study of radiocesium transfer in forest environments following the Fukushima nuclear power plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 210, 105817, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2018.09.015

[56] Loffredo, N., Onda, Y., Kawamori, A., Kato, H.: Modeling of leachable ¹³⁷Cs in throughfall and stemflow for Japanese forest canopies after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Science of the Total Environment*, 493, 701-707, 2014. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.06.059

[57] Coppin, F., Hurtevent, P., Loffredo, N., Simonucci, C., Julien, A., Gonze, M. A., Nanba, K., Onda, Y. and Thiry, Y.: Radiocaesium partitioning in Japanese cedar forests following the “early” phase of Fukushima fallout redistribution. *Scientific Reports*, 6, Article number: 37618, 2016. DOI:10.1038/srep37618

[58] Imamura, N., Komatsu, M., Ohashi, S., Hashimoto, S., Kajimoto, T., Kaneko, S., Takano, T.: Temporal changes in the radiocesium distribution in forests over the five years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *Scientific Reports*, 7, 8179, 2017.

<https://doi.org/10.1038/s41598-017-08261-x>.

[59] Takahashi, J., Wakabayashi, S., Tamura, K., Onda, Y. : Downward migration of radiocesium in an abandoned paddy soil after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 182, 157–164, 2018.

[60] Takahashi, J., Onda, Y., Hihara, D., Tamura, K. : Six-year monitoring of the vertical distribution of radiocesium in three forest soils after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of environmental radioactivity*, 192, 172-180, 2018

[61] Wakahara, T., Onda, Y., Kato, H., Sakaguchi, A., Yoshimura, K.: Radiocesium discharge from paddy fields with different initial scrapings for decontamination after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 16 (11), 2580 – 2591, 2014.

[62] Yoshimura, K., Onda, Y., Kato, H. : Evaluation of radiocesium wash-off by soil erosion from

- various land uses using USLE plots. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 362-369, 2015.
- [63] Iwagami, S., Onda, Y., Tsujimura, M. and Abe, Y. : Contribution of Radioactive ^{137}Cs discharge by Suspended Sediment, Coarse Organic Matter, and Dissolved Fraction from a Headwater Catchment in Fukushima after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, 166, Part 3, 466-474, 2017.
- [64] Iwagami, S., Tsujimura, M., Onda, Y., Konuma, R., Satou, Y., Sakakibara, K., Yoschenko, V. : Dissolved ^{137}Cs concentrations in stream water and subsurface water in a forested headwater catchment after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Hydrology*, 573, 688-696, 2019
- [65] Iwagami, S., Onda, Y., Sakashita, W., Tsujimura, M., Satou, Y., Konuma, R., Nishino, M., Abe, Y. : Six-year monitoring study of ^{137}Cs discharge from headwater catchments after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 210, 106001, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106001
- [66] Murakami, M., Shibayama, N., Sueki, K., Mouri, G., a, Haechong, O., Nomura, M., Koibuchi, Y., Oki, T.: Occurrence and partition ratios of radiocesium in an urban river during dry and wet weather after the 2011 nuclear accident in Fukushima. *Water Research*, 92 87-93, 2016.
- [67] Taniguchi, K., Onda, Y., Smith, H, G, Blake, W, H., Yoshimura, K., Yamashiki, Y., Kuramoto, T., Saito, K.: Transport and redistribution of radiocaesium in Fukushima fallout through rivers. *Environmental Science & Technology*, 53, 21, 12339-12347, 2019. DOI:10.1021/acs.est.9b02890
- [68] Ohse, K., Kihou, N., Kurishima, K., Inoue, T., Taniyama, I.: Changes in concentrations of I-131, Cs-134 and Cs-137 in leafy vegetables, soil and precipitation in Tsukuba City, Ibaraki, Japan, in the first 4 months after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 225–229, 2015.
- [69] 田上恵子: 直接沈着及び経根吸収による放射性核種の植物への移行, *Radioisotopes*, 61, 267-279, 2012
- [70] Yamamura, K., Fujimura, S., Ota, T., Ishikawa, T., Saito, T. Arai, Y., Shinano, T.: A statistical model for estimating the radiocesium transfer factor from soil to brown rice using the soil exchangeable potassium content. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 195, 114-125, 2018.
- [71] Tagami, K., Tsukada, H., Uchida, S., Howard, B.J.: Changes in the Soil to Brown Rice Concentration Ratio of Radiocaesium before and after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident in 2011. *Environmental Science & Technology*, 52, 8339–8345, 2018
- [72] Coppin, F., Hurtevent, P., Loffredo, N., Simonucci, C., Julien, A., Gonze, M. A., Nanba, K., Onda, Y., Thiry, Y.: Radiocaesium partitioning in Japanese cedar forests following the “early” phase of Fukushima fallout redistribution. *Scientific Reports*, 6, 37618, 2016. DOI:10.1038/srep37618
- [73] Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M. and Hirose, K., Distribution of oceanic ^{137}Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 100-108, 2012.
- [74] Aoyama, M., Kajino, M., Tanaka, Y., Sekiyama, T., Tsumune, D., Tsubono, T., Hamajima, Y.,

- Inomata, Y., Gano, T.: ^{134}Cs and ^{137}Cs in the North Pacific Ocean derived from the March 2011 TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan: Part Two - Estimation of ^{134}Cs and ^{137}Cs inventories in the North Pacific Ocean. *Journal of Oceanography*, 72(1), 67-76, 2016
- [75] Kanda, J.: Continuing ^{137}Cs release to the sea from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through 2012. *Biogeosciences*, 10, 6107-6113, 2013.
- [76] 町田昌彦、山田進、岩田亜矢子、乙坂重嘉、小林卓也、渡辺将久、船坂英之、森田貴己：福島第一原発港湾からの放射性セシウム ^{137}Cs の推定流出量の変遷 —2011 年 4 月～2018 年 6 月までの 7 年間に渡る月間流出量の推定—、日本原子力学会和文論文誌、18, 226-236, 2019.
- [77] Masumoto, Y., Miyazawa, Y., Tsumune., Tsubono, T., Kobayashi, T., Kawamura, H., Estournel, C., Marsaleix, P., Lanerolle, L., Mehra, A., Garraffo, Z. D.: Oceanic Dispersion Simulations of ^{137}Cs Released from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Elements*, 8, 207–212, 2012.
- [78] Aoyama, M., Uematsu, M., Tsumune, D. and Hamajima, Y.: Surface pathway of radioactive plume of TEPCO Fukushima NPP1 released ^{134}Cs and ^{137}Cs . *Biogeosciences*, 10, 3067–3078, 2013.
- [79] Kusakabe, M., Oikawa, S., Takata, H. and Misonoo, J.: Spatiotemporal distributions of Fukushima-derived radionuclides in nearby marine surface sediments. *Biogeosciences*, 10, 5019–5030, 2013.
- [80] Otsuka, S.: Processes affecting long-term changes in ^{137}Cs concentration in surface sediments off Fukushima. *Journal of Oceanography*, 73, 559-570, 2017.
- [81] Kubo, A., Tanabe, K., Suzuki, G, Ito, Y., Ishimaru, T., Kasamats-Takasawa, N., Tsumune, D., Mizuno, T., Watanabe, Y. W., Arakawa, H., Kanda, J.: Radioactive cesium concentrations in coastal suspended matter after the Fukushima nuclear accident. *Marine Pollution. Bulletin*, 131A, 341-346, 2018.
- [82] Wada, T., Fujita, T., Nemoto, Y., Shimamura, S., Mizuno, T., Sohtome, T., Kamiyama, K., Narita, K., Watanabe, M., Hatta, N., Ogata, Y., Morita, T., Igarashi, S.: Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima: An update after five years. *Journal of Environmental Radioactivity*, 164, 312-324, 2016.
- [83] 津旨大輔、神田穰太、海洋における長期環境動態と将来予測、連載講座「福島第一原発事故に伴う放射性核種の長期環境動態と将来予測」、RADIOISOTOPES, 68, 793-803, 2019.
- [84] 福島県の県民健康調査のホームページ： <http://fukushima-mimamori.jp/outline/>
- [85] 福島県県民健康調査報告、福島県立医科大学 2018 年 12 月：
http://fukushima-mimamori.jp/outline/report/media/report_h30.pdf
- [86] 第 36 回「県民健康調査」検討委員会資料 2019 年 10 月 7 日：
- [87] International Atomic Energy Agency (IAEA): The Fukushima Daiichi accident Technical Vol. 4 Radiological consequences, 2015. ISBN 978-92-0-107015-9.
- [88] International Atomic Energy Agency (IAEA): The Fukushima Daiichi Accident, Radiological Consequences. Technical Vol. 4/5, Annex VII. IAEA, Vienna, 2015.

- [89] Shinkarev, S., Kotenko, K., Granovskaya, E., Yatsenko, V., Imanaka, T., Hoshi, M.: Estimation of the contribution of short-lived radioiodines to the thyroid dose for the public in case of inhalation intake following the Fukushima accident. *Radiation Protection Dosimetry*, 164, 1-2. 51-56, 2015. doi:10.1093/rpd/ncu335.
- [90] Uyba, V., Samoylov, A., Shinkarev, S.: Comparative analysis of the countermeasures taken to mitigate exposure of the public to radioiodine following the Chernobyl and Fukushima accidents: lessons from both accidents. *Journal of Radiation Research*, 59, S2, 40-47, 2018. doi: 10.1093/jrr/rry002.
- [91] United Nations Scientific Committee on the effect of radiation: UNSCAER 2008, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Sources, Effects and risks of ionizing radiation. ISBN-13:978-92-1-142280-1, e-ISBN-13:978-92-1-054482-5.
- [92] Bauer, S., Gusev, B., Pivina, L., Apsalikov, K., Grosche, B.: Radiation Exposure due to Local Fallout from Soviet Atmospheric Nuclear Weapons Testing in Kazakhstan: Solid Cancer Mortality in the Semipalatinsk Historical Cohort, 1960–1999. *Radiation Research*, 164, 409-419, 2005.
- [93] Tsuda, T., Tokinobu, A., Yamamoto, E., Suzuki, E.: Thyroid Cancer Detection by Ultrasound Among Residents Ages 18 Years and Younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. *Epidemiology*, 27: 316–322, 2016.
- [94] Ohira, T., Takahashi, H., Yasumura, S., Ohtsuru, A., Midorikawa, S., Suzuki, S., Fukushima, T., Shimura, H., Ishikawa, T., Sakai, A., Yamashita, S., Tanigawa, K., Ohto, H., Abe, M., Suzuki, S.: Comparison of childhood thyroid cancer prevalence among 3 areas based on external radiation dose after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: The Fukushima health management survey, *Medicine*, 95(35), e4472, 2016. doi: 10.1097/MD.0000000000004472, 2016
- [95] 基盤研究(A) (一般) (2019–2022 年度) 代表：星正治. 「カザフ旧ソ連核実験場周辺住民の放射線被曝と健康影響—新たな視点：放射性粉塵—」 課題番号 19H01149.
- [96] 日本学術会議社会学委員会東日本大震災の被害構造と日本社会の再建の道を探る分科会：東日本大震災からの復興政策の改善についての提言、2014 年 9 月 25 日
- [97] 「国・自治体による高さ 1m・0.5m 計測を中心とした放射線量マップ」 (<http://www.nnistar.com/gmap/fukushima.html>), 「RadMonitor311」 (<https://sites.google.com/site/radmonitor311/>)
- [98] 原子力規制委員会、「放射線モニタリング情報」 (<http://radioactivity.nsr.go.jp>)
- [99] 日本原子力研究開発機構、「福島原子力事故関連情報アーカイブ(FNAA)」 (<https://f-archive.jaea.go.jp>)
- [100] 国会図書館、「インターネット資料収集保存事業(WARP)」 (<http://warp.da.ndl.go.jp>)
- [101] Yuh_Fazioli, 「柏市周辺ホットスポット疑惑MAP」, <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1hv5kb73L4hM65KPwr1G00sE4DkU&client=firefox-a&hl=ja&ie=UTF8&brcurrent=3%2C0x60229b5fd61b9511%3A0x1cb677dbffe07bbe%2C0&msa=0&z=11&ll=35.85991747158854%2C140.00302101269529>

- [102] 市民放射能測定データサイト みんなのデータサイト, (<https://minnanods.net>)
- [103] ふくしま再生の会、「モニタリング情報」
(<http://www.fukushima-saisei.jp/mon/monitoring/>)
- [104] 日本アーカイブズ学会・日本物理学会
(https://www.jps.or.jp/public/fnpp_act/statement.php)
- [105] 東京電力福島第一原子力発電所事故に関する放射線・放射能測定データアーカイブ
ズワーキンググループ (<http://www.radarc311.jp>)
- [106] 「放射能・放射線測定メタデータベース(RADARC311)」
(<http://radarc311.isee.nagoya-u.ac.jp>)
- [107] 筑波大学、「Environmental Radioactivity Datasets website」
(<http://www.ied.tsukuba.ac.jp/database>)

＜参考資料 1＞第 24 期の小委員会の開催経過と分科会における本報告に関する審議経過

平成 30 年

- 5 月 7 日 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（第 1 回）
役員の選出、前期の活動報告、今期の活動計画、WG 設置について
- 9 月 4 日 原子力安全に関する分科会（第 5 回）
環境汚染調査小委員会の活動報告、WG を含む委員構成の確認

平成 31 年

- 2 月 12 日 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（第 2 回）
「報告」など、24 期に意思の表出を目指す方針について審議
- 4 月 11 日 原子力安全に関する分科会（第 8 回）
環境汚染調査小委員会の活動成果を「報告」にまとめる方針を支持

令和元年

- 7 月 11 日 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（第 3 回）
意思の表出を「報告」とすることの決定、骨子作成方針の検討
- 7 月 24 日 原子力安全に関する分科会（第 9 回）
骨子作成方針の提示、環境汚染調査に関する報告の作成承認
- 11 月 26 日 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会（第 4 回）
「報告」案の内容審議
- 12 月 2 日 原子力安全に関する分科会（第 11 回）
小委員会報告案の審議・承認

令和 2 年

- 月○日 日本学術会議幹事会（第○回）
報告「東京電力福島第一原子力発電所事故による環境汚染の調査研究の進展と課題」について承認

<参考資料2>環境汚染調査に関する資料、図表

1. 東電福島第一原発事故に関連した研究に対する競争的外部資金

文部科学省

- ①学術研究活動支援事業:大学等の「復興知」を活用した福島イノベーション・コースト構想促進事業 (H30～) (放射線影響との関連があるもの)
- ②科学研究費助成事業新学術領域研究 (研究領域提案型) :福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究 (H24～H28)
- ③共同利用・共同研究拠点:放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点 (H31～R3)

環境省

- ④原子力災害影響調査等事業 (放射線の健康影響に係る研究調査事業) (H24～H29)
- 放射線健康管理・健康不安対策事業 (放射線の健康影響に係る研究調査事業) (H30～)

○東電福島第一原発事故後の放射線教育推進に対する競争的外部資金 (大学教育以上)

文部科学省

- ⑤国際原子力人材育成イニシアティブ事業 (H23以降の採択課題)
- ⑥課題解決型高度医療人材養成プログラム (放射線災害を含む放射線健康リスクに関する領域) (H28～R2)

原子力規制委員会

- ⑦原子力人材育成等推進事業費補助金 (H28～29)
- ⑧放射線安全規制研究戦略的推進事業費 (健全な放射線防護実現のためのアイソトープ総合センターをベースとした放射線教育と安全管理ネットワーク) (H29～R3)

2. 福島事故による環境汚染関連の研究発表が行われてきた主な国内学会
日本原子力学会、日本保健物理学会、アイソトープ・放射線研究発表会、日本放射線影響学会、日本放射線安全管理学会、環境放射能研究会、環境放射能除染学会、日本放射化学会、JpGU（日本地球惑星科学連合）

3. 学会誌、論文誌等における主な特集
特集「東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う土壌調査に関する文部科学省大規模調査プロジェクトに関する資料」, RADIOISOTOPES, 2013, VOL. 62, No.10
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/radioisotopes/62/10/_contents/-char/ja

Journal of Environmental Radioactivity の分布状況調査関係の特集号

- Saito K, Onda Y, Hisamatsu S. (Edt.), SPECIAL ISSUE: Japanese national projects on large-scale environmental monitoring and mapping in Fukushima Volume 1. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139: 240-434, 2015.
- Saito K, Onda Y, Hisamatsu S. (Edt.), SPECIAL ISSUE: Japanese national projects on large-scale environmental monitoring and mapping in Fukushima Volume 2. *Journal of Environmental Radioactivity*, 166: 417-474, 2016.
- Saito K, Onda Y, Hisamatsu S. (Edt.), SPECIAL ISSUE: Five years of Fukushima. (to be published in Dec. 2019).

参考表1 日本学術会議による東日本大震災、原発事故関連の主な提言（第21～22期）

[出典] 日本学術会議ホームページ「提言・報告等」から抽出して作成

期	発出日	担当委員会・分科会名	提言の表題
21	2011/3/25	東日本大震災対策委員会	東日本大震災に対応する第一次緊急提言
21	2011/4/4	東日本大震災対策委員会	東日本大震災に対応する第二次緊急提言「福島第一原子力発電所事故後の放射線量調査の必要性について」
21	2011/4/5	東日本大震災対策委員会	東日本大震災に対応する第三次緊急提言「東日本大震災被災者救援・被災地域復興のために」
21	2011/4/5	東日本大震災対策委員会	東日本大震災に対応する第四次緊急提言「震災廃棄物対策と環境影響防止に関する緊急提言」
21	2011/4/13	東日本大震災対策委員会	東日本大震災に対応する第五次緊急提言「福島第一原子力発電所事故対策等へのロボット技術の活用について」
21	2011/4/15	東日本大震災対策委員会	東日本大震災に対応する第六次緊急提言「救済・支援・復興に男女共同参画の視点を」
21	2011/6/8	東日本大震災対策委員会・被災地域の復興グランド・デザイン分科会	東日本大震災被災地域の復興に向けて-復興の目標と7つの原則-
21	2011/6/24	東日本大震災対策委員会・エネルギー政策の選択肢分科会	日本の未来のエネルギー政策の選択に向けて-電力供給源に係る6つのシナリオ-
21	2011/8/3	東日本大震災対策委員会	第七次緊急提言「広範囲にわたる放射性物質の挙動の科学的調査と解明について」
21	2011/9/21	東日本大震災対策委員会・第一部 3.11以降の新しい日本社会を考える分科会	東日本大震災復興における就業支援と産業再生支援
21	2011/9/27	東日本大震災対策委員会・臨床医学委員会出生・発達分科会	東日本大震災とその後の原発事故の影響から子どもを守るために
21	2011/9/30	東日本大震災対策委員会・被災地域の復興グランド・デザイン分科会	東日本大震災被災地域の復興に向けて-復興の目標と7つの原則(第二次提言)-
21	2011/9/30	東日本大震災対策委員会・食料科学委員会水産学分科会	東日本大震災から新時代の水産業の復興へ
22	2012/4/9	東日本大震災復興支援委員会	学術からの提言-今、復興の力強い歩みを-
22	2012/4/9	東日本大震災復興支援委員会	災害廃棄物の広域処理のあり方について
22	2012/4/9	東日本大震災復興支援委員会 災害に強いまちづくり分科会	二度と津波犠牲者を出さないまちづくり-東北の自然を生かした復興を世界に発信-
22	2012/4/9	東日本大震災復興支援委員会 産業振興・就業支援分科会	被災地の求職者支援と復興法人創設-被災者に寄り添う産業振興・就業支援を-
22	2012/4/9	東日本大震災復興支援委員会 放射能対策分科会	放射能対策の新たな一歩を踏み出すために-事実の科学的探索に基づく行動を-
22	2012/12/5	環境学委員会環境政策・環境計画分科会	「ひと」と「コミュニティ」の力を生かした復興まちづくりのプラットフォーム形成の緊急提言
22	2012/12/5	環境学委員会環境政策・環境計画分科会	いのちを育む安全な沿岸域形成の早期実現に向けた災害廃棄物施策・多重防御施策・生物多様性施策の統合化の緊急提言
22	2013/1/31	地球惑星科学委員会	地質地盤情報の共有化に向けて-安全・安心な社会構築のための地質地盤情報に関する法整備-
22	2013/3/28	東日本大震災に係る学術調査検討委員会	東日本大震災に係る学術調査-課題と今後について-
22	2013/5/2	社会学委員会社会福祉学分科会	災害に対する社会福祉の役割-東日本大震災への対応を含めて-
22	2013/6/27	社会学委員会東日本大震災の被害構造と日本社会の再建の道を探る分科会	原発災害からの回復と復興のために必要な課題と取り組み態勢についての提言
22	2013/9/6	東日本大震災復興支援委員会福島復興支援分科会	原子力災害に伴う食と農の「風評」問題対策としての検査態勢の体系化に関する緊急提言
22	2014/3/31	臨床医学委員会放射線・臨床検査分科会	緊急被ばく医療に対応できるアイソトープ内用療法拠点の整備
22	2014/4/23	東日本大震災復興支援委員会災害に強いまちづくり分科会 環境学委員会環境政策・環境計画分科会	いのちを育む安全な沿岸域の形成に向けた海岸線の再生に関する提言
22	2014/6/10	食料科学委員会水産学分科会	東日本大震災から新時代の水産業の復興へ(第二次提言)
22	2014/6/13	総合工学委員会原子力事故対応分科会	東京電力福島第一原子力発電所事故の教訓
22	2014/8/20	環境学委員会環境政策・環境計画分科会	震災復興原則を踏まえた環境政策・環境計画の新たな展開
22	2014/8/25	農学委員会土壌科学分科会	放射能汚染地における除染の推進について-現実を直視した科学的な除染を-
22	2014/9/4	健康・生活科学委員会・環境学委員会環境リスク分科会	環境リスクの視点からの原発事故を伴った巨大広域災害発生時の備え
22	2014/9/4	臨床医学委員会放射線防護・リスクマネジメント分科会	医学教育における必修化をはじめとする放射線の健康リスク科学教育の充実
22	2014/9/11	第一部福島原発災害後の科学と社会のあり方を問う分科会	科学と社会のよりよい関係に向けて-福島原発災害後の信頼喪失を踏まえて-
22	2014/9/16	東日本大震災復興支援委員会 産業振興・就業支援分科会	被災者に寄り添い続ける就業支援・産業振興を
22	2014/9/19	東日本大震災復興支援委員会 放射能対策分科会	復興に向けた長期的な放射能対策のために-学術専門家を交えた省庁横断的な放射能対策の必要性-
22	2014/9/22	東日本大震災復興支援委員会 災害に対するレジリエンスの構築分科会	災害に対するレジリエンスの向上に向けて
22	2014/9/25	社会学委員会東日本大震災の被害構造と日本社会の再建の道を探る分科会	東日本大震災からの復興政策の改善についての提言
22	2014/9/30	東日本大震災復興支援委員会福島復興支援分科会	東京電力福島第一原子力発電所事故による長期避難者の暮らしと住まいの再建に関する提言
22	2014/9/30	地球惑星科学委員会地球・人間圏分科会	東日本大震災を教訓とした安全安心で持続可能な社会の形成に向けて
22	2014/9/30	地球惑星科学委員会	これからの地球惑星科学と社会の関わり方について-東北地方太平洋沖地震・津波・放射性物質拡散問題からの教訓-

参考表2 科学研究費の審査区分における放射線・放射能関連の分野

[出典] 日本学術振興会科学研究費助成事業平成30年度審査区分表をもとに、区分名、キーワードに「放射」という語を含む区分を抽出して作成

小区分		中区分	大区分
31010	原子力工学関連 (放射線安全、放射線ビーム工学)	31 原子力工学、地球資源工学、エネルギー学	D 工学
34020	分析化学関連(放射化学)	34 無機・錯体化学、 分析化学	E 化学
34030	グリーンサステイナブルケミストリーおよび環境化学関連(環境放射能)		
47020	薬系分析および物理化学関連 (放射化学)	47 薬学	H 薬学・病理学
50020	腫瘍診断および治療学関連	50 腫瘍学	I 医学・歯学
52040	放射線科学関連 (放射線治療学、放射線基礎医学、 放射線技術学)	52 内科学関連	
57060	外科系歯学関連(歯科放射線学)	57 口腔科学	
63020	放射線影響関連(放射線、測定、 管理、修復、生物影響、リスク、など)	63 環境解析評価	K 環境学
64020	環境負荷低減技術および保全修復技術 関連(放射能除染)	64 環境保全対策	
80040	量子ビーム科学関連 (放射線検出器)	14 プラズマ学 15 素粒子、原子核、 宇宙物理学	B 理学

領域間の放射性物質移行研究（現在までの主な研究主体）

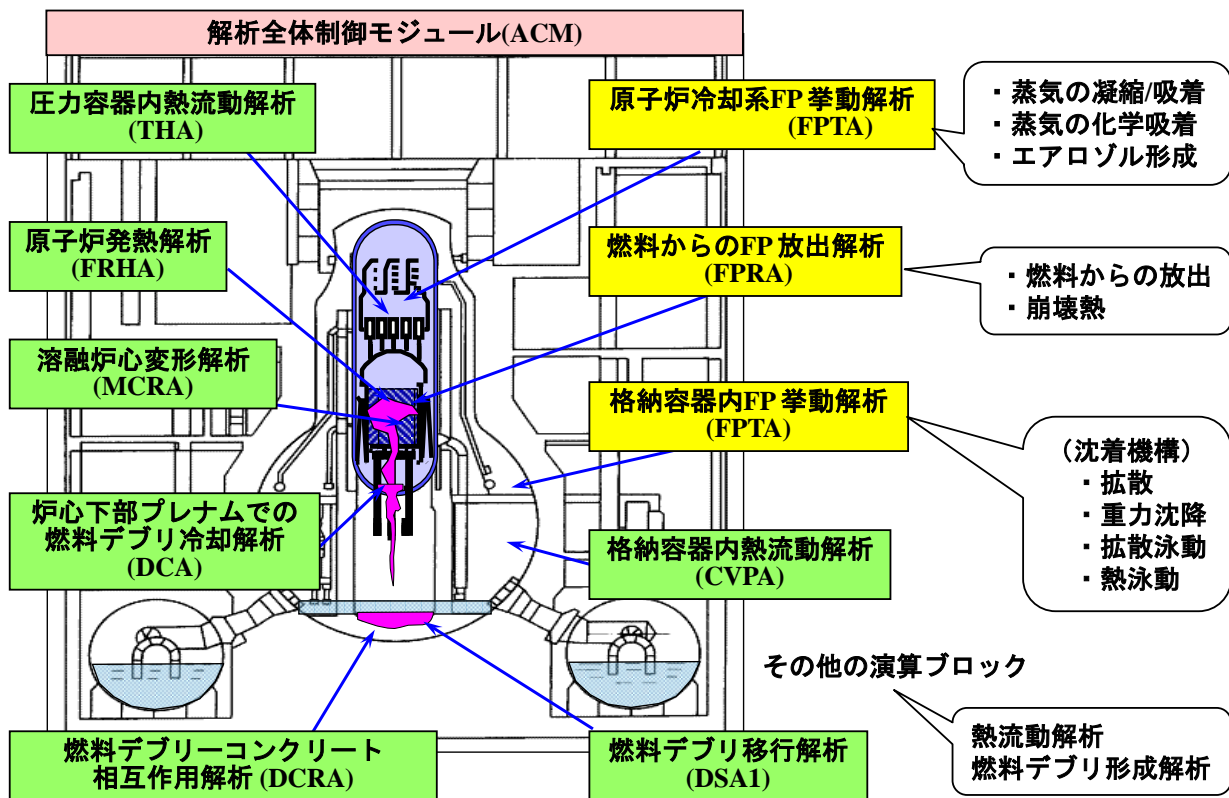
発生源	放出・拡散 原子力機構 国環研、気象研、電中研、JAMSTEC、大学	汚染水の浸透 原子力機構	放出・拡散 原子力機構 JAMSTEC 気象研、電中研					作業員の被曝 放医研
1	大気	沈着 国環研	沈着 原子力機構 JAMSTEC 気象研、電中研	沈着 文科省（一規制庁） 農研機構、農環研 原子力機構 大学、福島県	沈着 文科省（一規制庁） 農研機構、農環研 森林総研 大学（筑波大他） 福島県	沈着 文科省（一規制庁） 原子力機構	沈着 農環研 農研機構 福島県	呼吸・外被ばく 放医研 国環研
	再浮遊（飛散）	河川・湖沼・地下水	漏洩・移行・蓄積 地下水漏洩 東京電力 原子力機構 大学（筑波大他） 環境省	漁獲 農研機構 農環研 大学（筑波大他）			移行・蓄積 福島県 放医研 国立保健医療科学院 大学（筑波大他）	飲用・外被ばく （含レジャー・作業環境） 福島県、文科省（一規制庁） 放医研
	再浮遊（飛散） 特にトリチウム	汽水・海水混入 文科省（一規制庁） 環境省	5 海洋	各セルにおいて、時計回りに領域間の移行を記述			移行・蓄積 水産研 福島県 放医研 大学（海洋大他）	呼吸・外被ばく・飲用 （含レジャー・作業環境） 放医研
	再浮遊 （飛散、燃焼、花粉） 原子力機構 文科省（一規制庁） 気象研、大学 農研機構・農環研	農畜・流出 文科省（一規制庁） 大学（筑波大他） 環境省、 原子力機構 国環研、農環研		陸上環境 （動・植物・農地・牧草地）		除染・廃棄 環境省 国環研	移行・蓄積 農研機構、農環研 福島県 大学（筑波大他） 放医研	呼吸・外被ばく （含レジャー・作業環境） 放医研 国環研
	再浮遊 （飛散、燃焼、花粉） 原子力機構 文科省（一規制庁） 大学（茨城大・東工大等）・森林総研	農畜・流出 文科省（一規制庁） 大学（筑波大他）、 森林総研・国環研・ 原子力機構		流出・養蚕・林内雨 農環研 農研機構 森林総研	4 陸上環境 （森林）	3 除染・廃棄 環境省 原子力機構	移行・蓄積 大学（筑波大他） 森林総研、福島県 放医研	呼吸・外被ばく （レジャー・作業環境） 放医研 国環研
	再浮遊 （飛散、燃焼） 国環研	流出 国環研 原子力機構 大学（東大他）	流出 環境省			7 陸上環境 （市街地、処理施設）		呼吸・外被ばく （含通勤・通学先）
	再浮遊（燃焼） 国環研			給餌・廃棄 農環研 福島県 国環研		廃棄 国環研	食品・餌・飲料水	食事 放医研 国環研 国立保健医療科学院 国立医薬品食品衛生 研究所
							6 人の被ばく	

参考図 1 環境汚染調査研究の対象、主な主体、本報告の主対象の関係

[出典] 日本学術会議東日本大震災復興支援委員会の 2014 年 9 月の提言[5]に掲載されたものを再掲し、本報告第 3 章の各節（○囲み番号）が主にとりあげる対象を示した。

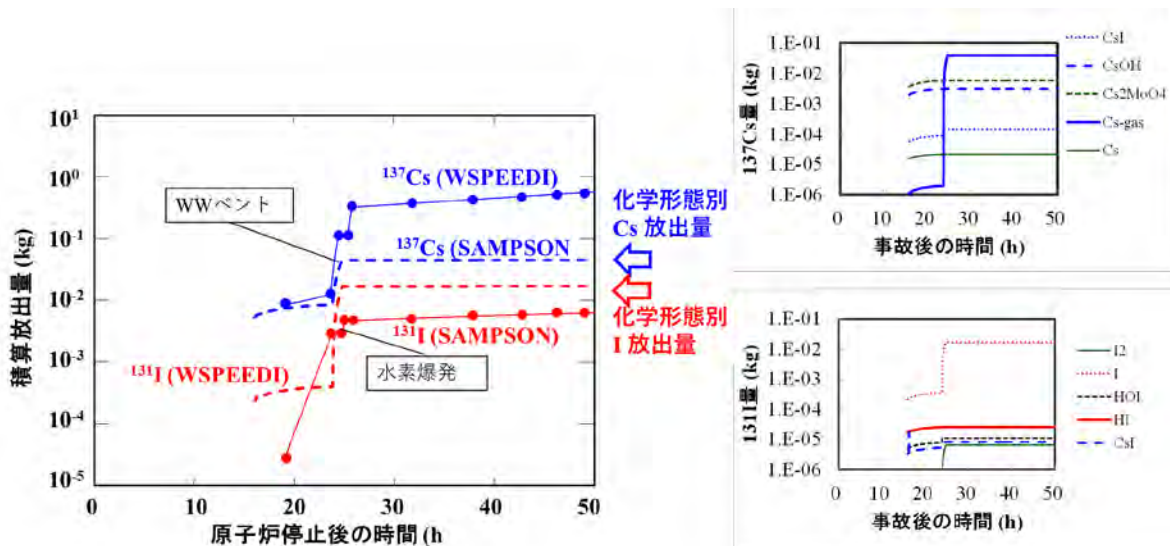
フランス IRSN*による放射性物質の移行のマトリクス図を基に、我が国における放射性物質移行の環境動態研究の状況について、放射性物質の移行の因果関係を時計回りに記載したもの。例えば、対角セルの右上側では、1 行 2 列は発生源から大気への放出、2 行 5 列は大気から陸上への沈着、5 行 8 列は農地から食品への移行、8 行 9 列は食品摂取による内部被ばくを表す。対角セルの左下側では、7 行 4 列は陸地から海洋への流出、4 行 2 列は海洋から大気への蒸発を表す。

*) IRSN (2011) SYMBIOSE : A Simulation Platform for Performing Radiological Risk Assessments.



参考図2 SA解析コードSAMPSONの概要

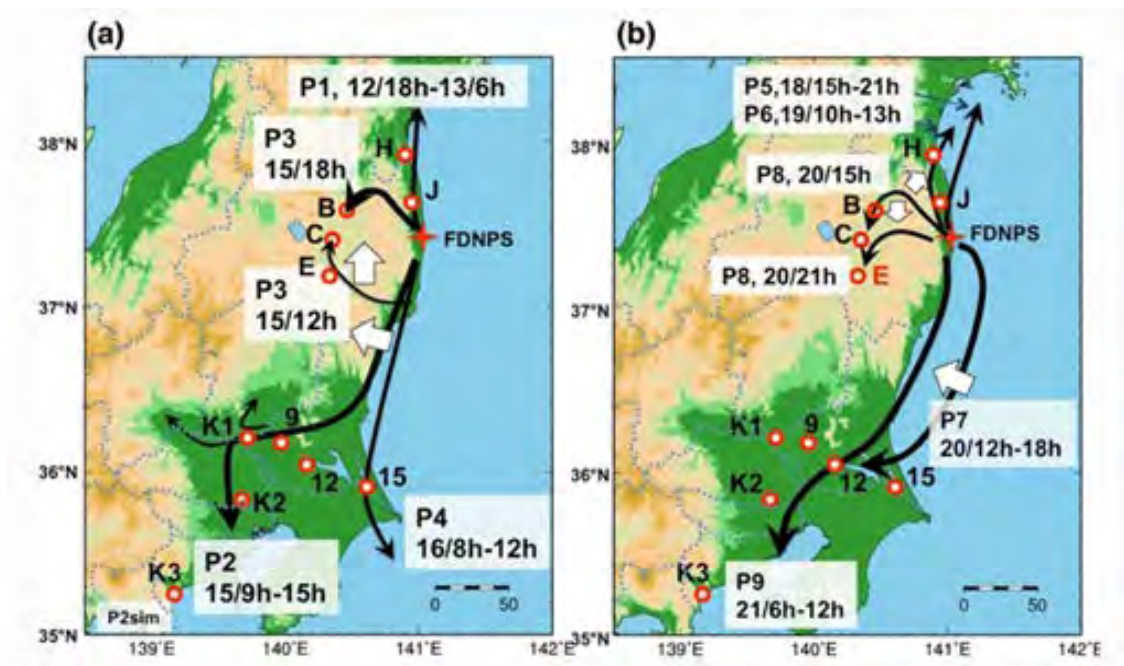
[出典] 参考文献(22)の Fig. 1 の和訳。SAMPSON コード構成要素の主要機能を図示。



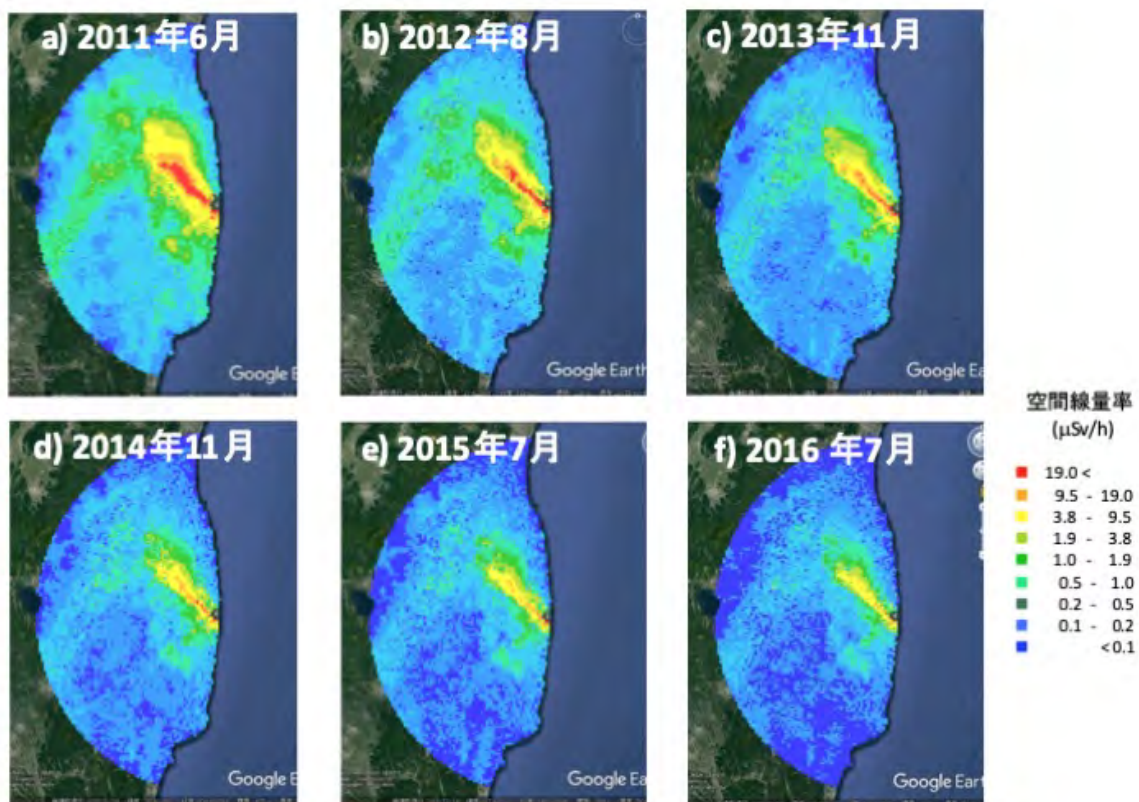
参考図3 1号機からの環境放出量

- SA 解析コード SAMPSON の結果と WSPEEDI 評価値との比較 -

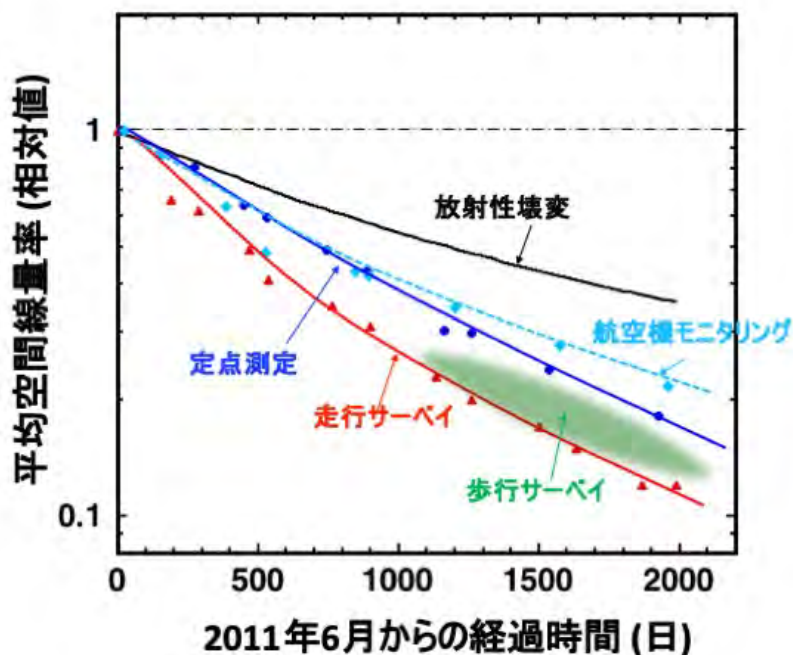
[出典] 「事故と環境情報の交流」ワーキンググループ第24期 第1回会合資料24期 1-1 「事故時格納容器内のFP挙動解析-1号機 SAMPSON 解析の現状」から抜粋。SAMPSON コードで計算した1号機からのFP放出量の揭示変化を示したものの。



参考図4 事故後初期の主要なプルームの通過経路
 [出典] Nakajima et al.(2017)[26] Fig. 15



参考図5 福島原発から80 km 半径内の空間線量率分布の経時変化
 航空機モニタリングの結果と地上における平坦地測定の結果を単純な方法で合成した。
 [出典] Saito et al. (2019) [47]に掲載された図を一部改編



参考図6 福島原発から80 km 半径内の平均空間線量率の経時変化
 自然ガンマ線による空間線量率を差し引き、放射性セシウムによる空間線量率の現象傾向を示した。

[出典] Saito et al. (2019) [47]に掲載された図を一部改編



参考図7 陸域における放射性物質移行調査の模式図

[出典] 科学研究費「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」説明資料

提言等の提出チェックシート

このチェックシートは、日本学術会議において意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）の査読を円滑に行い、提言等（案）の作成者、査読者、事務局等の労力を最終的に軽減するためのものです¹。

提言等（案）の作成者は提出の際に以下の項目を1～11をチェックし、さらに英文タイトル（必須）、英文アブストラクト（任意）、SDGs との関連の有無（任意）を記載し、提言等（案）に添えて査読時に提出してください。

記入者（委員会等名・氏名）：総合工学委員会原子力安全に関する分科会・森口祐一

和文タイトル 東京電力福島第一原子力発電所事故による環境汚染の調査研究の進展と課題

英文タイトル（ネイティブ・チェックを受けてください）

Progress and challenges in studies of environmental contamination caused by TEPCO Fukushima

Dai-ichi Nuclear Power Station accident

	項目	チェック
1. 表題	表題と内容は一致している。	1. はい 2. いいえ
2. 論理展開 1	どのような現状があり、何が問題であるかが十分に記述されている。	1. はい 2. いいえ
3. 論理展開 2	特に提言については、政策等への実現に向けて、具体的な行政等の担当部局を想定していますか（例：文部科学省研究振興局等）。	1. はい 部局名： 本報告は、その内容に関する行政の担当部局が一元化されていないこと自身を問題意識としているが、関連する省庁、部局を以下に例示する。 原子力規制庁(放射線防護グループ)、環境省(環境

¹ 参考：日本学術会議会長メッセージ、「提言等の円滑な審議のために」（2014年5月30日）。
<http://www.scj.go.jp/ja/head/pdf/1>

		再生・資源循環局、水・大気環境局当、環境保健部放射線健康管理担当参事官室、大臣官房環境研究技術室)、復興庁(原子力災害復興班)、文部科学省(研究振興局、研究開発局)、農林水産省(農林水産技術会議)、厚生労働省(医薬・生活衛生局) 2. いいえ
4. 読みやすさ 1	本文は 20 ページ (A4、フォント 12P、40 字×38 行) 以内である。※図表を含む	1. はい 2. いいえ
5. 読みやすさ 2	専門家でなくとも、十分理解できる内容であり、文章としてよく練られている。	1. はい 2. いいえ
6. 要旨	要旨は、要旨のみでも独立した文章として読めるものであり 2 ページ (A4、フォント 12P、40 字×38 行) 以内である。	1. はい 2. いいえ
7. エビデンス	記述・主張を裏付けるデータ、出典、参考文献をすべて掲載した。	1. はい 2. いいえ
8. 適切な引用	いわゆる「コピペ」(出典を示さないで引用を行うこと) や、内容をゆがめた引用等は行わず、適切な引用を行った。	1. はい 2. いいえ
9. 既出の提言等との関係	日本学術会議の既出の関連提言等を踏まえ、議論を展開している。	1. はい 2. いいえ
10. 利益誘導	利益誘導と誤解されることのない内容である。	1. はい 2. いいえ
11. 委員会等の趣旨整合	委員会・分科会の設置趣旨と整合している。	1. はい 2. いいえ

※9で「はい」を記入した場合、その提言等のタイトルと発出委員会・年月日、既出の提言等との関係、相違点等について概要をお書きください

本報告の「1.はじめに」にも記したとおり、東電福島第一原発事故に関連する日本学術会議からの提言や報告は多数にわたるが、特に関係が深いものとして、第 22 期東日本大震災復興支援委員会の 2 つの提言「放射能対策の新たな一歩を踏み出すために 一事実の科学的探索に基づく行動をー」(2012 年 4 月 9 日) 及び「復興に向けた長期的な放射能対策のために 一学術専門家を交えた省庁横断的な放射能対策の必要性ー」(2014 年 9 月 19 日) が挙げられる。本報告は、これら 2 つの提言で指摘されていた、原発事故の環境影響に関する領域横断的な研究体制の構築、情報の一元的な収集・提供の必要性、学術

研究による放射能対策・政策の支援などに対する問題意識を継承し、それに応えようとするものである。学際的な調査研究のその後の進展に関して、初期被ばくの実態解明のための大気中放射性物質濃度の再現など 2014 年提言で具体的に言及されていた事項についてはやや詳しく触れつつ、その全体像を俯瞰的にとりまとめた報告としている。また、情報の散逸防止のための長期にわたる組織的対応の必要性、アカデミアと行政機関との連携と役割分担、放射線教育の重要性など、事故から時間が経過した中での課題を再整理した。そのうえで、調査研究の進展の全貌把握、横断的解析の必要性を再度強調している。

※チェック欄で「いいえ」を選択した場合、その理由があればお書きください

◎ SDGs（持続可能な開発目標）との関連（任意）

以下の 17 の目標のうち、提出する提言等（案）が関連するものに○をつけてください（複数可）。提言等公表後、学術会議 HP 上「SDGs と学術会議」コーナーで紹介します。

1. () 貧困をなくそう
2. () 飢餓をゼロに
3. (○) すべての人に保健と福祉を
4. (○) 質の高い教育をみんなに
5. () ジェンダー平等を実現しよう
6. (○) 安全な水とトイレを世界中に
7. (○) エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
8. () 働きがいも経済成長も
9. () 産業と技術革新の基盤をつくろう
10. () 人や国の不平等をなくそう
11. (○) 住み続けられるまちづくりを
12. () つくる責任つかう責任
13. () 気候変動に具体的な対策を
14. (○) 海の豊かさを守ろう
15. (○) 陸の豊かさも守ろう
16. () 平和と公正をすべての人に
17. () パートナリシップで目標を達成しよう

※「持続可能な開発目標（SDGs）」とは

2015 年 9 月に国連総会が決議した「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」が掲げた目標。

詳細は国連広報センターHP をご覧ください。

http://www.unic.or.jp/activities/economic_social_development/sustainable_development/2030agenda/

提言等公表時のSDGs説明

この説明は、日本学術会議の意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）を日本学術会議ホームページのSDGsコーナーで紹介し、多くの関係者の閲読を促進するためのものです。

提言提出時のチェックシートにおいてSDGsとの関連に記述した場合は、日本語紹介文と英文アブストラクトを記載し、提出してください。

記入者（委員会等名・氏名）：総合工学委員会原子力安全に関する分科会・森口祐一

和文タイトル 東京電力福島第一原子力発電所事故による環境汚染の調査研究の進展と課題

◎ SDGs（持続可能な開発目標）との関連

チェックシートで選択した項目に○をつけてください。

1. () 貧困 2. () 飢餓 3. (○) 健康 4. (○) 教育 5. () ジェンダー平等
6. (○) 安全な水 7. (○) エネルギー 8. () 経済成長 9. () 産業と技術革新
10. () 不平等 11. (○) まちづくり 12. () つくるつかう責任 13. () 気候変動
14. (○) 海の豊かさ 15. (○) 陸の豊かさ 16. () 平和と公正 17. () パートナリシップ

◎ 和文紹介文 200字以内

東京電力福島第一原子力発電所の事故から9年が経過する中で、環境中への放射性物質の放出、環境中での動態や影響に関する調査研究が大きく進展しました。本報告は、多岐にわたる学術分野、学協会、数多くの機関で担われてきた環境汚染調査研究を概観するとともに、残された課題を整理し、長期にわたる試資料の保存や放射線教育の充実、包括的な環境汚染調査報告の必要性など、今後に向けた教訓と提案をまとめたものです。

◎ 英文アブストラクト 150 words 以内

During past nine years since the nuclear accident of the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, investigations and analyses of environmental release, kinetics and impacts of radioactive substances have made a significant progress. This report provides an overview of environmental pollution studies undertaken by a variety of academic fields, scientific societies and many institutions. The report also sorts out remaining issues for further studies and compiles lessons and ideas for the future, including long-term archives of records and materials, improvement in radiation education, as well as needs for comprehensive reporting of environmental pollution.

◎ キャッチフレーズ 20字以内

原発事故の環境影響を解明して後世に伝える

◎ キーワード 5つ程度

東電福島第一原発事故、環境動態、モニタリング、アーカイブ、放射線教育

