

研究開発成果報告会

～環境回復に向けての取り組み～

要旨集



期 日：平成25年3月22日(金)

会 場：福島ビューホテル 3階「安達太良」



独立行政法人日本原子力研究開発機構
福島技術本部 福島環境安全センター

プログラム

期日／平成25年3月22日（金）
会場／福島ビューホテル 3階「安達太良」

10：00～10：10	開会挨拶 理事 伊藤 洋一
10：10～10：50	「福島環境安全センター活動報告」 福島環境安全センター センター長 石田 順一郎
10：50～11：35	特別講演「復興に向けた福島大学の取り組み」 福島大学 学長 入戸野 修
11：35～12：00	「遠隔放射線モニタリング技術の高度化」 鳥居 建男
12：00～13：30	昼休憩
13：30～13：55	「土壌沈着量分布や空間線量率分布マップの作成」 斎藤 公明
13：55～14：20	「福島長期環境動態研究（F-TRACE）」 ～福島県における放射性核種の環境中移動調査・研究～ 飯島 和毅
14：20～14：45	「Cs脱離機構解明と脱離法の開発」 矢板 毅
14：45～15：05	休 憩
15：05～15：30	「帰還困難区域路面における超高压水除染技術の適用」 ～超高压水除染技術の高度化研究～ 田川 明広
15：30～15：50	「住宅敷地内砂利の除染」 ～摩砕方式と超音波洗浄方式～ 加藤 貢
15：50～16：10	「除染推進活動に係る取り組み」 青木 勲
16：10～16：20	閉会挨拶 福島環境安全センター 副センター長 中山 真一

ご挨拶



独立行政法人日本原子力研究開発機構
福島技術本部 本部長代理（理事）
伊藤 洋一

平成23年3月11日、東北地方太平洋沖地震に端を発し、東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故が発生しました。これに伴い大量の放射性物質が環境中に放出されるという極めて深刻な事態が発生し、2年が経過しました。

我が国唯一の原子力に関する総合的な研究開発機関である独立行政法人日本原子力研究開発機構（原子力機構）は、事故発生以来、これまで災害対策基本法の指定公共機関として、環境放射線モニタリング等の専門家派遣、除染事業のためのガイドライン作成や行政への積極的な支援・協力、除染技術実証、放射線に関するコミュニケーション活動等を積極的に進めてまいりました。

また、福島県内関係機関との連携強化を図るため、平成23年6月に福島市内に活動の拠点となる福島環境安全センターの前身である福島事務所を開設して、福島県、福島大学、福島高専（高専機構）と連携協力協定を締結すると共に、環境放射線モニタリング技術の高度化、除染技術の改良・開発、土壌等減容化に向けたセシウムの吸脱着機構の解明、福島県における放射性核種の環境中移動調査・研究等についても、原子力機構の力を結集して取り組んでおります。

日頃から原子力機構の活動にご理解をいただいている皆さま方には、この場をお借りして感謝申し上げますとともに、被災した地域の日も早い再生を願い、今後とも、国・県・市町村等の関係機関や住民の方々と一体となって活動してまいります。

本日は、これらの環境回復に向けて取り組んできた研究開発テーマの中から代表的なテーマの状況や成果等を報告させていただきます。原子力機構の活動について一層のご理解をいただくとともに、環境回復に尽力されておられる皆さまにとりまして、今後の活動の一助となれば幸いです。

特別講演

「復興に向けた福島大学の取り組み」

福島大学長 入戸野 修

東日本大震災と原発事故から早くも2年が過ぎました。福島大学の多くの研究教育活動は、地域社会と密接なつながりの中で展開してまいりましたので、発災直後から活発な地域支援活動が開始しました。平成23年4月には、地域の復興のために学内組織「うつくしまふくまし未来支援センター」(FURE)を開設し、平成24年度からは専任スタッフを増員し、原発災害被災地域にサテライトを設置するなど、必要な支援体制ができる機能強化を図ってきています。しかし、震災・原発災害からの地域復興は道半ばで、多くの課題が発生し、支援活動は今後も長期にわたると考えられます。これまでの一連の活動を振り返り、復興に向けた支援活動の今後の在り方について、何らかの方向性を見出す必要があると考えます。

以下に、復興に向けた福島大学の取り組みの内容等についてその概要を示します。

1) 初動対応と被災状況の把握と被害想定への対応

- ・危機管理対策本部設置
- ・構成員全員の安否確認実施 (3/23 全構成員無事確認)
- ・建物等の被災状況の把握
- ・学業業務対応(入試・卒業・入学・諸手続き等の対応)
- ・被災地からの避難者対応と施設提供
- ・教職員／学生ボランティア活動開始

2) 大学再開と授業開始までの対応

- ・放射線計測活動(県北部エリアの放射線計測マップ作成、大学キャンパス内計測)

- ・ 附属学校園入学式挙行（4月中）
- ・ 大学の入学式（5/9）、授業開始（5/12）
- ・ 大学構内及び附属学園の放射線量計測データのホームページ公開

3) 構成員の安全性確保・放射線計測・除染活動・放射線相談

- ・ 放射線対応マニュアル／地震対応マニュアル
- ・ 放射線と健康リスク講演会
- ・ 放射線の影響に関する学生の疑問に対応するための「放射線相談窓口開設」
- ・ 放射線ガイドブックの作製配布
- ・ 大学構内のU字型側溝等の除染工事実施
- ・ 地震総合訓練の実施
- ・ 連携機関との協力で除染処理の実証試験実施

4) 地域に向けた災害支援活動・復興支援活動と大学の「知」の活用

- ・ うつくしまふくしま未来支援センターの活動
- ・ 子どもたちの学習支援活動
- ・ 部門設置(こども・若者支援部門、復興計画支援部門、環境エネルギー部門、企画・コーディネイト部門・・・2年間の活動後、組織改編による支援活動機能を強化)
- ・ ふくしま復興支援学生ネットワーク
- ・ 未来を担う人材育成支援／OECD 東北スクール

5) 高等教育機関等との連携協定の締結と協力連携活動の実施

- ・ 日本原子力研究開発機構
- ・ 長崎大学
- ・ 広島大学
- ・ 放射線医学総合研究所
- ・ 産業技術総合研究所
- ・ IRSN 等外国研究機関との連携協力の実施
- ・ 環境放射能研究所(環境放射の素の動態と影響を解明する先端研究拠点の整備)

6) 複合災害から学んだ教訓と今後の対応と課題

- ・ 平常時のリスクマネジメントの重要性
- ・ 災害想定と減災対応の対策規定の整備
- ・ 正確な情報収集と情報の迅速提供の整備
- ・ 災害マニュアルの整備と訓練実施

福島環境安全センター活動報告

福島環境安全センターの主な取組み



福島大学との連携協定締結(2011.7.20)



IAEA除染ミッションチーム来福(2011.10.9)



放射線に関するご質問に答える会



体表面汚染自動測定機能付WBC車の導入(2013.2.22)

平成23年3月11日に発生した東京電力福島原子力発電所の事故に対し、原子力機構は、災害対策基本法の指定公共機関として活動を開始しましたが、同年5月6日に理事長を本部長とする福島支援本部（現福島技術本部）を設置し、組織的な対応を行っています。

福島技術本部は、企画調整部、福島環境安全センター、復旧技術部の3部体制を敷き、その内、企画調整部は福島技術本部の業務全体の総括や関係機関との調整を担当し、復旧技術部は破損燃料の処理や滞留水の処理などの廃止措置に向けた研究開発を担当しています。一方、福島環境安全センターは、前身の福島事務所を平成23年6月に福島市内に設置し、それ以降、福島県、福島大学、福島高専（高専機構）と連携協力協定を締結するなど福島地区の関係機関と連携し、除染作業の支援、環境モニタリング・マッピングの作成や高度化、環境回復に向けての研究開発を担っています。この福島環境安全センターの活動・取り組みについて紹介します。

1. 福島地区における諸活動

平成23年11月から約半年かけて、内閣府からの委託事業として除染モデル実証事業を実施しました。除染対応地域は20mSv/年を超える高線量域が中心で、そこで除染を行う際にさまざまな技術や手法を用いてデ

ータを集め、その知見を基に、屋外での大規模な除染の方法、効率的な除染の方法、作業員の放射線防護に関する安全確保策等を提示しました。この事業の実施により、除染作業から除去物の収集・運搬、仮置きまでの一連の作業手順を確立すると共に、屋外の除染作業においても作業員に対する適切な放射線管理のできることを実証しました。また、除染の実施計画策定のための事前調査の重要性を指摘し、除染作業のベストプラクティスを提示して、国による本格除染のための工事共通仕様書にその成果を反映しました。さらに除染の推進・最適化に向けた今後の研究開発の方向性を提示しました。

現在、福島県を中心とした除染活動が円滑に推進できるよう国や県、各市町村の除染活動に専門家を派遣し、除染特別地域では環境省の除染活動に協力して除染作業の技術指導を行うとともに、汚染状況重点調査地域では各市町村の除染計画策定のための技術協力や除染技術に関する指導・支援を行っています。一連の対応の中で、「仮置場」の設置の遅れにより除染が進まないという難しい課題がありますが、住民とのコンセンサスを得るために、住民説明会や仮置場現地視察会等において技術的知見から説明を行う等、積極的に協力しています。これらの活動は合計で約2,300件にのぼっています。

環境回復への取り組み状況

	平成23年					平成24年					平成25年	平成26年	平成27年	平成28年	
	3月	5月	7月	9月	11月	1月	3月	5月	7月	9月	11月				
原子力機構の福島拠点	▲東電福島第一原子力発電所事故発生														
	福島駅前に事務所設置														
	県庁近くに仮拠点設置														
	福島大学構内に居室 (約100名が福島に駐在して活動を展開)														
	笹木野分析所運営開始														
環境モニタリング等	環境モニタリング、専門家派遣、資機材の提供、健康相談窓口開設等														
	CSTP戦略推進事業														
	文部科学省委託事業(詳細モニタリング)														
	有人ヘリ・無人ヘリによる広域モニタリング(福島県内及び全都道府県)														
	放射線管理要員研修(計12回、約400名)														
除染	学校・幼稚園の校庭・遊庭、通学路、プール等の除染														
	除染マニュアル公表														
	CSTP戦略推進事業(土壌除染・俣野試験)														
	福島県委託「除染業務主任者講習会」(計30回開催、7800名受講)														
	内閣府委託事業「除染ガイドライン作成調査」伊達市、南相馬市にてモデル除染を実施														
	内閣府委託事業「警戒区域等除染実証業務」警戒区域等11市町村にてモデル実証と技術実証を実施														
	環境省福島除染推進チームに除染専門家派遣協力(県内40市町村対応に20名配置)														
	(国直轄地域11市町村・関東東北7県61市町村対応等に28名配置)														
	環境省除染技術実証事業への技術支援														
コミュニケーション活動等	「放射線に関するご質問に答える会」を約220箇所で開催(約17,200名参加)														
	福島県要請による県民の内部被ばく(WBC)検査(約36,700名検査)														
	災害対策本部要請による避難者の一時立入プロジェクトへの支援(6巡目までに125陣派遣)														
福島県との協力	施設設計・整備														
	福島県と連携、笹木野分析所を設置、活動を展開														
	福島県の構想検討、委員会での審議														
	施設設計														
	建設														
	福島県環境創造センター(仮称)														
研究計画	遠隔放射線測定技術開発、除染廃棄物減容化技術開発、放射線物質の環境動態研究開発														

コミュニケーション活動では、園児や児童など小さなお子さんに対する放射線の影響への不安が特に大きいことを踏まえて、福島県内の小中学校・幼稚園・保育所の保護者、先生約17,200人の方を対象に「放射線に関するご質問に答える会」を約220回開催しました。

福島県からの要請により、放射線被ばくに対する心配への対応として、県内に住む3万人以上の住民の方々を対象にホールボディカウンタ(WBC)及び移動式WBC車を用いて、内部被ばく測定検査を実施しました。今後とも継続して測定していく予定です。

2. 主な研究開発

(1) 環境回復評価研究

事故直後から環境放射線や土壌等の放射能測定を継続するとともに、文部科学省からの委託事業による詳細な土壌沈着量分布や空間放射線量率分布マップの作成、航空機による広域モニタリングにも取り組んでいます。

放射性物質による住民の健康管理等を確実にを行うためには、空間線量率や陸域土壌等における放射性物質の蓄積量について、広範囲な分布状況を詳細かつ精緻に把握することが不可欠との判断から、放射線量等分布マップを作成し、継続的に更新・充実していくこととしています。

そのため、サーベイメータを使用した線量率の定点観測、土壌採取等による放射性核種分析調査、プラスチ

ックシンチレーションファイバ(PSF)による面的線量率分布、γプロッタ等による集落単位での線量率分布、車両走行サーベイによる東日本の線量率分布、無人ヘリによる地域単位での線量率分布、航空機による広域の線量・核種濃度分布調査を実施しています。

また、事故由来の主たる放射性物質であるCs-137は半減期が約30年であり、今後とも長期に渡って注視する必要があります。その環境中における移動を予測するモデリングのため、森林、ダム・ため池、河川、河口域等における予備調査を行い、フォローアップモニタリングを実施していきます。

(2) 環境回復に向けた技術開発

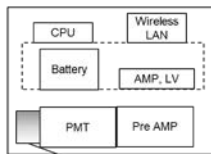
放射性Csによる土壌汚染等に由来した空間線量率を低減するため土壌表面の剥離などが行われつつある。これら剥離した土壌を仮置場に一時保管し、その後、中間貯蔵施設に保管管理するに当たり、出来るだけ容積を減らす観点から、セシウムの吸脱着過程の解明などを行い、減容化等に資する研究開発を行う。

また、除染モデル実証事業で確認された除染方法の技術的課題の解決、得られた成果を始めとする除染技術情報の利用、除染計画等の除染活動の支援等を通じ、除染事業の更なる迅速化に資する。

避難されている住民の方々が一日でも早く自宅に帰還できることを念頭に、除染技術の改良・開発、除染廃棄物の減容化などの研究開発を行っています。

1. 遠隔放射線モニタリング技術の高度化

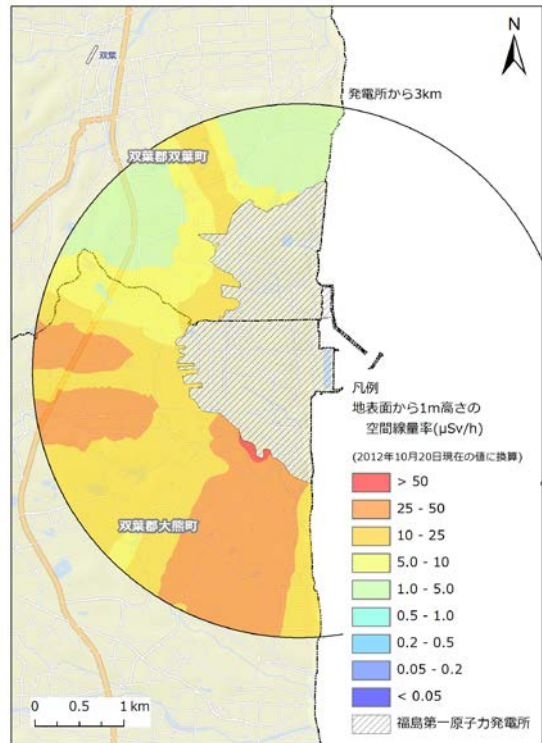
～放射線を“面”で捉える測定技術～



・計数率をリアルタイムにマップ上に表示

↑ 図 1-1 無人ヘリコプターによる放射線モニタリングシステム 自律型の無人ヘリコプターに放射線測定用の検出器 (LaBr₃シンチレーション検出器: 38 mm φ × 38 mmH × 3本) を搭載。

→ 図 1-2 東京電力福島第一原子力発電所から 3 km 圏内における放射線量マップ 本マップには天然核種による空間線量率が含まれている。



原子力機構では、東日本大震災以来、有人や無人のヘリコプターを使用して放射線の分布を“面”で測定する遠隔放射線モニタリングの技術を開発し、実際に現場で適用しています。上空からの遠隔放射線モニタリングは、山林や田畑などの人が容易に入れない場所の測定が可能であること、放射線の分布を視覚的に把握しやすいことから有用です。ここでは、無人のヘリコプターを用いた放射線モニタリングの技術開発を中心に、遠隔放射線モニタリング技術について紹介します。

近年、農薬散布等で使用されているマニュアル型 (操作員が無線で操縦するタイプ) の無人ヘリコプターをベースにした自律型の無人ヘリコプター (図 1-1, ヤマハ発動機(株)製自律航行型 RMAX) が開発され、火山観測や農作物の生育観調査等に使用されています。自律型無人ヘリコプターは、高精度の GPS による位置情報を元に、あらかじめプログラミングした航路を設定した高度と速度で自動的に姿勢の制御をしながら飛行できます。また、1 時間以上飛行することができ、速度は最大 70 km/h まで出すことが可能です。無人ヘリコプターは、地上局 (ワンボックスカー) に設置するパソコンで制御し、制御信号は操作員の画像とともに常時送受信されます。万が一、信号が途絶えると、離陸した場所まで自動的に帰還できる機能等、安全機能も充実しています。

原子力機構では、1999 年に発生した JCO 事故を契機に原子力防災のツールとして、自律型無人ヘリコプターによる放射線モニタリングシステムを開発してきました。自律型無人ヘリコプターによる放射線モニタリングの利

点は、測定器と操作員の距離が取れるため、被ばく量を低く抑えられること、同じ位置を何度も飛行できるため、除染前後のモニタリング等、放射線の変動測定に適しています。また、少ない人的資源で広域の面的な測定ができること、航空機モニタリングよりも低い高度を飛行するため、詳細な分布が把握できる特長を有します。

無人ヘリコプターに搭載する放射線検出器は、38 mm φ × 38 mmH の LaBr₃ シンチレーション検出器を採用しました (図 1-1)。無人ヘリモニタリングのデータ採取は、対地高度を一定 (50 - 100 m) に保ち、4 - 8 m/s (約 15 - 30 km/h) の速度で、測定対象エリアを 50 - 80 m の間隔で楕円に飛行します。採取したデータは、高度補正や半減期の減衰補正を行い、地上から 1 m 地点の線量率に換算します。換算したデータは、内挿法を用いて、線量率の分布図 (コンター図) として地図上に表示します。本測定における地上の測定範囲は、測定した高度によって変化しますが、地上からの高度と同じ半径の円内 (対地高度 50 m であれば、半径 50 m の地上の円内) の放射線量の平均値を求めていることとなります。本モニタリングシステムで算出した線量率と地上でサーベイメータを用いて測定した線量率を比較すると 0.75 - 1.5 倍の範囲内で一致することが分かっています。

原子力機構では、東京電力福島第一原子力発電所事故発生後、放射性セシウムで汚染された地域の測定を行ってきました。2011 年 12 月からは、内閣府から委託を受け、除染実施地域の除染前後の測定及び除染計画策定のための広域モニタリングを実施しました。2012 年からは、

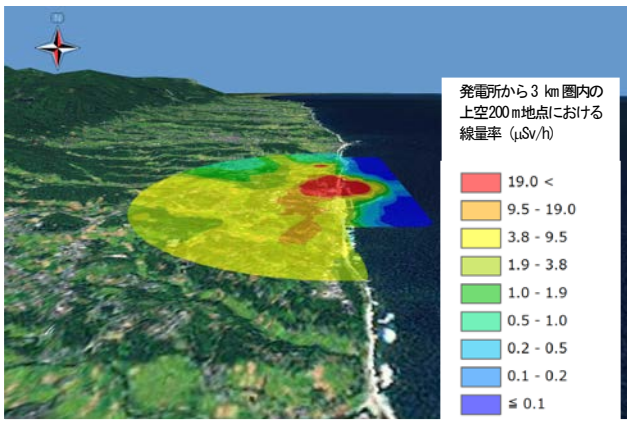


図1-2 発電所から3 km圏内上空200 mの線量率 (μSv/h)

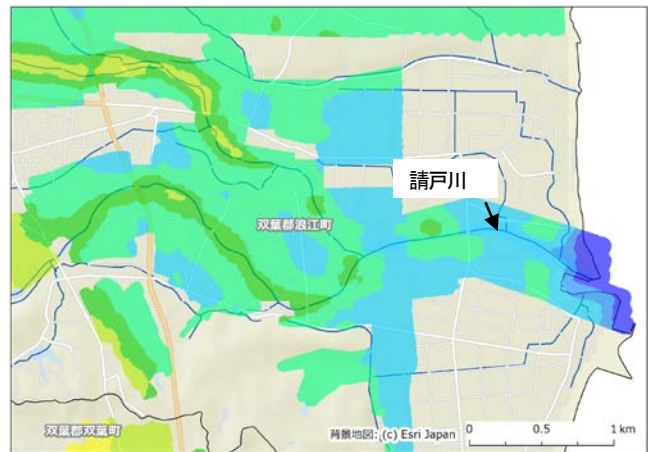
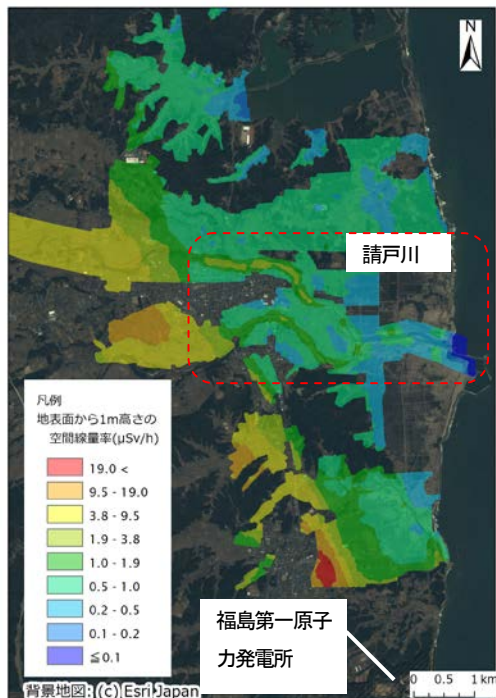
線量率の高い東京電力福島第一原子力発電所から3 km圏内のモニタリングや放射性物質の移行に影響を与えると考えられる河川に着目し、河川敷のモニタリングを実施しました。以下、各々の結果について記述します。

発電所から3 km圏内は事故による放射性物質の放出源（原子炉建屋）に近く、上空では建屋からの放射線の影響が考えられたことから有人の航空機モニタリングは実施されてきませんでした。今回、無人ヘリコプターにより測定したことによって、初めて3 km圏内の放射線の面的な分布が分かりました。地上から高さ1 mにおける線量率のモニタリング結果を図1-2に示します¹⁾。本マップは、放射線量率の分布の視覚的な把握だけでなく、詳細な放射能の沈着状況やその移行解析にも役立つものと考えられます。また、国土交通省からの依頼によ

り、3 km圏内の高度1500 m以上の飛行禁止を解除するために、発電所敷地内の上空200 mを飛行し、空間線量率の測定を行い、高度1500 mの最大線量率を推定しました²⁾。3 km圏内の高度200 m上空の線量率マップを図1-2に示します。敷地外の3 km圏内については、上述した図1-2の結果を、実効的な線量減弱係数によって、200 mの線量率に換算しています。本測定結果を受けて、現在、3 km圏内の上空1500 m以上の飛行禁止は解除されています³⁾。

警戒区域内を中心に広域に測定した例を図1-3-1に示します。このように、詳細な線量率の分布が視覚的に把握できます。また、本測定において、請戸川流域において周辺よりも線量率が高いことが分かりました。図1-3-2に無人ヘリコプターの軌跡と河川敷を拡大して示します。本測定は、2012年の3月に実施しました。このように河川敷の線量率は、周辺の線量率と比較して数倍から10倍程度高くなっていることが分かりました。その後、2012年の10月と12月にも測定し、同様な傾向が見られることを確認するとともに、下流域では線量が上昇している場所も見られました。本結果は、河川を介して放射性物質の移動が起きている結果と考えられることから、今後ともモニタリングを継続するとともに、環境試料の採取等の放射性物質の挙動に関するデータを採取していく予定です。

本研究は、文部科学省からの受託研究「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」の成果の一部です。



←図1-3-1 広域の線量率測定例 2011年10月-2012年3月までの測定結果、河川に沿って線量率が高いことが分かります。

↑図1-3-2 河川敷の線量率測定例

福島技術本部 福島環境安全センター 鳥居 建男

●参考文献

- 1) 第3次分布状況等調査進捗状況説明資料「無人ヘリコプターを用いた福島第一原子力発電所から3 km圏内の空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の分布状況の把握、及び河岸周辺における空間線量率、放射性セシウムの沈着量の分布状況の把握」、原子力機構福島技術本部 HP (<http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/tyouki-eikyuu/giji/05/pdf/5-1-2.pdf>)
- 2) 飛行禁止区域解除を目的とした無人ヘリコプターによる福島第一原子力発電所上空のモニタリングの結果について、原子力機構福島技術本部 HP (<http://www.jaea.go.jp/fukushima/other/2013-0205.pdf>)
- 3) 東京電力福島第一原子力発電所周辺の飛行禁止区域の制限緩和について、国土交通省 HP (http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku10_hh_000060.html)

2. 土壌沈着量分布や空間線量率分布マップの作成

～統一した信頼のおける手法を用いて詳細なマップをつくる～

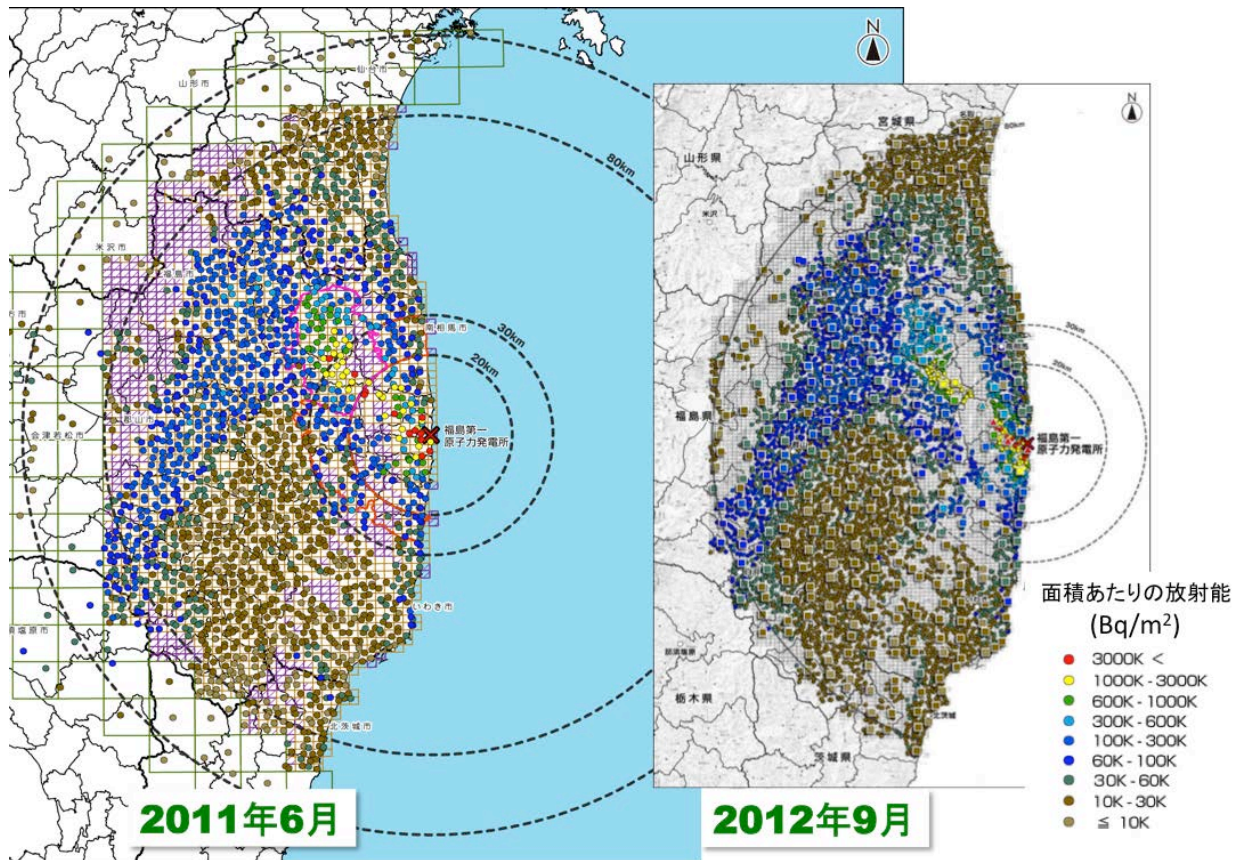


図2-1 セシウム134の土壌沈着量を示したマップ

2011年の6月には約11,000個の土壌試料を採取し、固定式ゲルマニウム検出器を使用して核種分析を行ない、土壌沈着量分布マップを作成しました。2012年9月のマップは、可搬型ゲルマニウム検出器を使用したin situ 測定の結果を基にし、空間線量率から評価した沈着量も合わせて作成しました。

事故により放出された放射性核種は、広い地域に沈着して空間線量率を高めました。事故直後から多くの環境放射線・能の測定データが複数の機関により取得されました。しかし、取得されたデータはその手法、精度、場所、時間等の条件が様々だったため、これらのデータを統合してマップを作成するのは難しい状況にありました。一方、事故の影響を正しく評価し、適切な対応をとるためには統一した信頼のおける手法を用いたマップの作成が必要でした。

そこで、原子力機構は多くの大学、研究機関、地方自治体等と協力しながら空間線量率分布や放射性物質の土壌沈着量分布を詳細に示すマップ作成のための事業を開始し、これまでに第1次から第3次までの調査を実施してきました。

放射性物質の沈着量について、2011年6月に開始した第1次調査においては、福島第一原発から100 kmまでの範囲と残りの福島県を対象にして、約2,200箇所、約11,000個の土壌試料を採取しこれを分析することで、土壌への沈着量を評価してマップを作成しました。第1次調査では、ガンマ線放出核種であるセシウム134、セシウム137、ヨウ素131、テルル129m、銀110m、アルファ線放出核種であるプルトニウム238、プルトニウム

239+240、β線放出核種であるストロンチウム89、ストロンチウム90に対するマップを作成しました。これらのマップにより、事故により放出された主要な放射性核種の分布の状況が明らかになりました。

第2次調査以降、ガンマ線放出核種に対しては、土壌を採取するかわりに、測定地点周囲の平均的な沈着量を測定することが可能な、可搬型ゲルマニウム検出器によるin situ 測定を利用してマップを作成してきました。これまでに、2011年6月、2012年3月、2012年9月、2012年12月の時点での土壌沈着量のマップを作成しました。

図2-1では、2011年6月と2012年9月のセシウム134の土壌沈着量を比較しています。左図に比べて右図では、黄色や緑色で示された高い沈着量の地域の広さが明らかに小さくなっており、2011年6月に比べて2012年9月のセシウム134の放射能が減少していることが分かりました。この減少には、物理的半減期による減衰に加えて、風雨等によりセシウムが移動したことによる効果も寄与していると考えられます。

これまでの調査により、今後の被ばく線量を考えた際には、他の放射性核種に比べて放射性セシウムが非常に重要であることが確認されました。

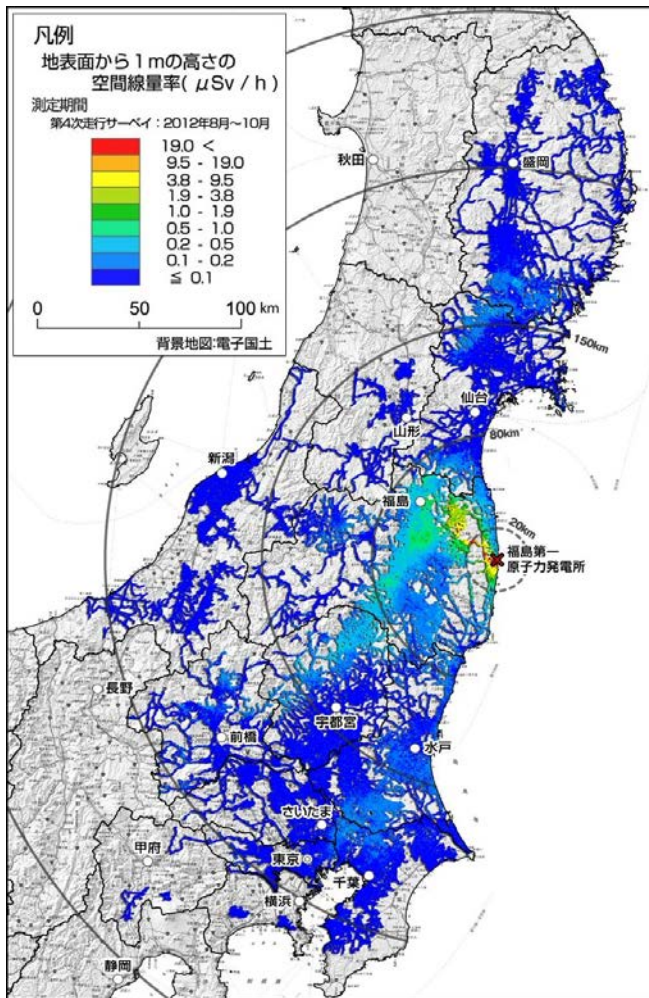


図 2-2 走行サーベイによる空間線量率マップ
原子力機構及び地方自治体がそれぞれ KURAMA-II を用いて測定した結果を合成して作成しました。

原子力機構では、2つの異なる手法を用いて空間線量率を測定しマップを作成しました。1つめは京都大学原子炉実験所で開発された KURAMA システムを利用した走行サーベイ、もう一つはサーベイメータを用いた地上 1 m 高さの空間線量率測定です。

走行サーベイについては、第 1 次調査では原子力機構が中心になり測定を実施しましたが、第 2 次調査以降は参加希望のあった地方自治体と協力して測定を実施しました。小型で操作が簡単な KURAMA-II システムを多数製作して活用することで、図 2-2 に示すような広域にわたる詳細なマップを作成することが可能となりました。

これまでに実施した 5 回の走行サーベイにより、道路周辺の空間線量率の経時的な減少の様子が明らかになってきました。道路上で測定した空間線量率は、放射性セシウムの物理的な半減期よりも顕著に早く減少することが確認されています。道路上で測定した空間線量率は、

福島技術本部 福島環境安全センター 斎藤 公明

●参考文献

文部科学省原子力災害対策支援本部ほか、東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果、放射線量等分布マップの作成等に関する報告書（第 1 編）(1)、平成 23 年度科学技術戦略推進費報告書、2012、p.1-1-1-64、http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5235/25/5600_201203131000_report1-1.pdf

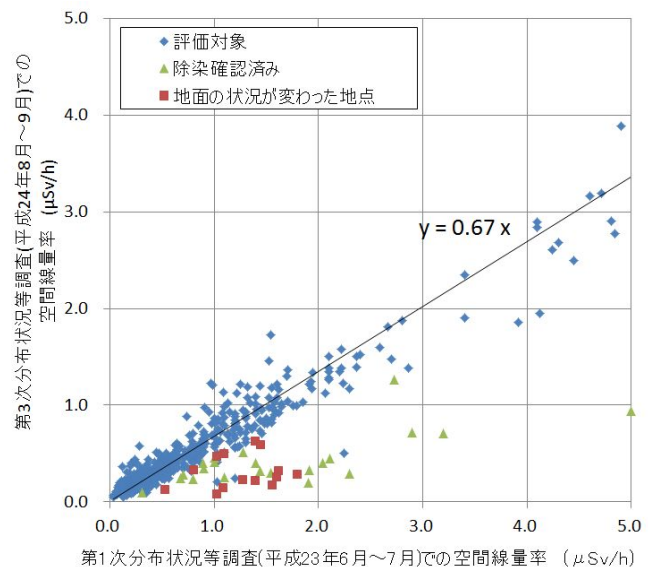


図 2-3 第 1 次調査と第 3 次調査の空間線量率の比較
第 1 次調査と第 3 次調査との測定地点の距離が 20 m 以内である場合を選び、空間線量率を比較した。

道路に沈着した放射性セシウムと道路周辺に沈着した放射性セシウムの両方からのガンマ線によるものです。道路上の放射性セシウムは風雨等により洗い流され易いことがわかっていますが、道路上の空間線量率の顕著な減少はこれだけでは説明できないと考えられます。原子力機構では、道路上で測定した空間線量率と、人間が居住する環境の空間線量率との関係を今後詳細に調べる予定です。

図 2-3 は、地上 1 m 高さで測定した空間線量率を 2011 年 6 月と 2012 年 8 月の間で比較したものです。ほとんどの空間線量率は良い相関を示し、14 ヶ月の間に空間線量率は 33%程度減少していることが分かりました。この期間における物理的半減期による空間線量率の減少は 25%程度と見積もられるため、10%弱の空間線量率の減少は風雨等による放射性セシウムの除去効果によるものと考えられます。図 2-3 では、他の地点に比べて高い空間線量率の減少傾向を示す地点がありました。調査した結果、これらのほとんどは除染が行なわれたか、砂利を引く等地面の状況が変化した場所であることがわかりました。除染活動による空間線量率の低下が、実測により確認できたこととなります。

本研究は、文部科学省からの受託研究「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」及びそれに先行する受託研究の成果の一部です。

3. 福島長期環境動態研究(F-TRACE)

～福島県における放射性核種の環境中移動調査・研究～



図3-1 森林調査エリアの設定例(川内村萩地区)

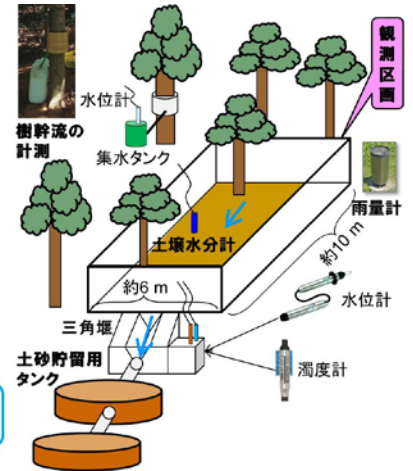


図3-2 観測区画における連続観測の概念図

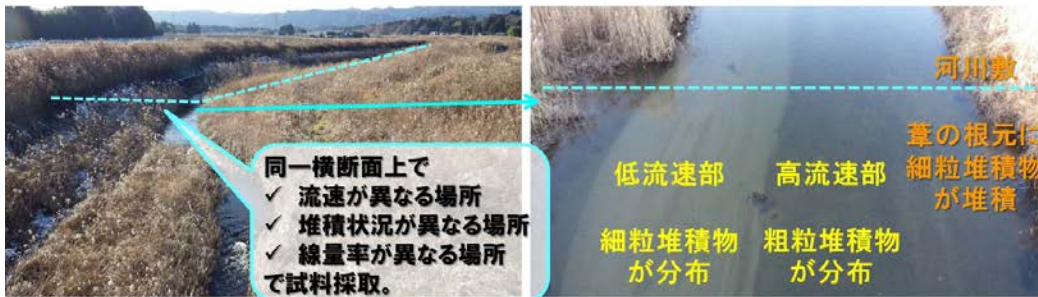


図3-3 河川調査における試料採取場所選定の考え方

原子力機構は、福島県内に残存する事故由来の放射性セシウムの環境中における移動を予測、被ばく線量への影響が大きい移動経路を明らかにし、移動抑制等の対策を提案することを目指した「福島長期環境動態研究(F-TRACE)プロジェクト」を進めています。

本研究では、移動予測手法の開発に当たり、森林・山地に存在する放射性セシウムが、土壌粒子や植物等に付着し、水流や風によってそれらとともに移動する過程に着目しています。水流による移動の場合、放射性セシウムは主に土壌粒子に付着し、森林・山地から河川～ダム・湖沼～河口域という経路における水の流れに乗って移動すると考えられます。そのため、一つの河川系を移動経路と考え、この経路に沿って多くの観測点を設置し、放射性セシウムと土壌粒子の動きを調査しています。また、昨年度内閣府からの委託で実施した除染モデル実証事業により除染が行われた区域において、周辺の未除染区域からの放射性セシウム流入の有無を調べ、その移動過程を推測することを目的として、継続的な線量率等の観測を行っています。これらの現地調査結果に基づき、一連の移動を支配する物理・化学現象を数理モデルとして表すとともに、このモデルを用いてそれぞれの移動経路における放射性セシウムの移動を予測できるシステムを開発しています。

ここでは、放射性核種の移動予測モデルの開発に向けた、現地調査の状況について報告します。

1. 水流による移動過程の調査

浜通り側の5河川(小高川、請戸川、前田川、熊川、富岡川、各支流を含む)の水系を主な対象として、現地調査を開始しました。

(1) 森林調査

植生(広葉樹、針葉樹)、地形(斜面の傾斜、向き)等の違いを考慮した3か所の調査地点を選定しました。萩野沢川(富岡川の支流)水系内の川内村萩地区の調査地点(図3-1)では、尾根線を境界とし、その内側における水の流れや土砂の動きと、それらに伴う放射性セシウムの移動挙動を調べています。具体的には、観測区画内での水の流れの計測や土砂の採取(図3-2)、土壌中における土壌の種類・特性と放射性セシウムの分布の測定、水や土砂の流れに影響を及ぼす地形や植生の種類・密度の分布の測定などを行っています。また、室内実験により、採取した土壌との放射性セシウムの吸着・脱着挙動や、落葉・リター層の分解に伴う放射性セシウムの放出挙動を調べています。

(2) 河川調査

各河川の橋(高水時でも調査が可能)、堰(堆積物が堆積しやすい)、支流合流点、ダム出入口、河口付近を中心



図3-4 ダムにおける試料採取例(川内村荻ダム)

- a)船上からのハイロート採水器による採水、b)不攪乱柱状採泥器による採泥、
c)フロート式構からの重錘型柱状採泥器による採泥



図3-5 気象観測一体型放射線自動観測装置



図3-6 地衣類の例

地衣類とは菌類と藻類の共生体で、根を持たず対表面から水分等を吸収すること、年間を通じて成長すること等から、放射性セシウムを蓄積しやすいとの報告があります。

に、それぞれ7~18か所の調査地点を選定し、水流により土壌粒子とともに流れ、河底に堆積する放射性セシウムの挙動を調べています。具体的には、河川の流に垂直な同一線上において、河川の流量や濁度の測定(数か所)、河川水(流れの速い場所と遅い場所で採取、図3-3)中の土壌粒子の種類・特性と放射性セシウム濃度の測定、河川敷土壌や河底堆積物中における土壌粒子等の種類・特性と放射性セシウムの分布の測定などを行っています。このうち流量・濁度の測定については、数か所で自動観測装置による連続観測を行います。また、室内実験により、採取した土壌、堆積物、水中の土壌粒子等との放射性セシウムの吸着・脱着挙動などを調べています。

(3) ダム・湖沼調査

荻ダム(荻野沢川水系)において、河川水により土壌粒子とともに流入し、湖底に堆積する放射性セシウムの挙動を調べています。具体的には、ダム湖水やダム流入・流出水中の土壌粒子の種類・特性と放射性セシウム濃度の測定、堆積物の量や堆積速度を把握するための湖底面形状や堆積相の計測、湖岸土壌や堆積物(堆積挙動の異なる数か所で採取、図3-4)中における土壌粒子等の種類・特性と放射性セシウムの分布の測定などを行っています。また、室内実験により、採取した堆積物との放射性セシウムの吸着・脱着挙動を調べます。

(4) 河口域調査

請戸川河口において、河川水により運ばれ、海水(塩水)と混合された後の土壌粒子や放射性セシウムの挙動の変化を調べます。具体的には、無人観測船を用いて、それらの挙動に影響を与える水温、電導度(塩分)、濁度の海中における分布を測定します。また、室内実験により、河川調査で採取した水中の土壌粒子等が海水と接触した際の重合(細かな土壌粒子が多数集まり大きな粒子になる現象)挙動や放射性セシウムの脱着挙動などを調べます。

2. その他の移動過程の調査

除染モデル実証事業を実施した地区のうち6地区(川俣町坂下地区、浪江町津島地区、大熊町役場周辺および夫沢地区、富岡町夜の森公園、川内村貝の坂地区)において、定期的な線量率等の測定を開始しました。このうち、川俣町坂下地区および富岡町夜の森公園には気象観測一体型放射線測定装置(図3-5)を設置し、連続観測を行っています。

また、放射性セシウムを比較的蓄積しやすいとの報告がある地衣類(菌類と藻類の共生体、図3-6)に着目し、地衣類中と周辺環境(土壌・樹皮等)中の放射性セシウム濃度の時間変化を比較することにより、その環境における放射性セシウムの移動のしやすさを推測する試みもを行っています。

4. Cs 脱離機構解明と脱離法の開発

～セシウムはどのような形で土壤にとどまっているのか？～

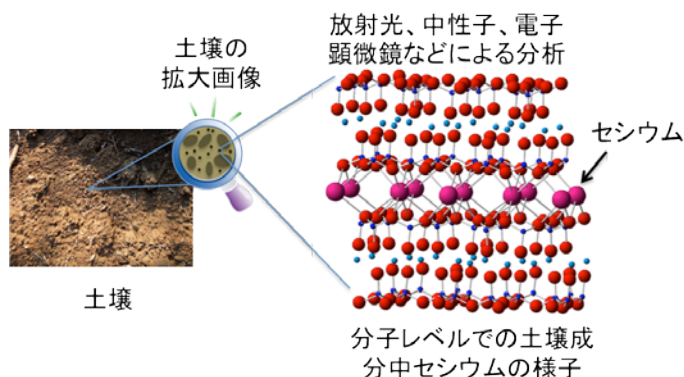


図4-1 土壤中の粘土鉱物に捕捉されたセシウム

放射線の空間線量を高めている原因物質である放射性セシウムは、土壤を構成する粘土鉱物に捕捉されていると考えられています。我々は、SPring-8などの放射光施設、J-PARCなどの中性子散乱施設、高分解能電子顕微鏡などの先端的分析技術を駆使してセシウムの本当の存在状態を解明し、汚染土壤の減容化などに貢献していきます。

事故により、主に放射性ヨウ素及びセシウムによる土壤汚染を引き起こしました。その結果、福島県の一部の地域の空間線量は、自然に存在する放射性物質によるレベルよりも高い線量を示す地域が認められました。現在は比較的寿命の長いセシウム-137（半減期は、約30年）による放射能の影響が残っており、生活圏内における土壤表面のはぎ取りや、天地返しなどが実施されつつあります。これらははぎ取った土壤などは、一時保管の後、中間貯蔵施設への保管が予定されています。その際、限られた保管スペースを有効に利用すること、また貯蔵期間中の安全を確保する必要があることは、言うに及びません。そのため、膨大な土壤廃棄物を最適な量に減容することや、保管中の放射性物質の安定化について十分な検討をする必要があります。

環境中におけるセシウムの移行の振る舞いについては、これまでに多くの研究がありますが、まだ分からない部分が沢山あります。その理由としては、土壤を構成する物質が複雑であること、極微量セシウムの土壤で存在状態などが十分に分かっていないことによります。その結果、土木的あるいは化学的な処理方法が一筋縄では進まない等の問題があります。そこで、この難問に取り組むために、原子力機構、物質材料研究機構および大学などで“セシウム吸脱着機構解明と脱離法の開発”に関する研究チームを組織しました。この研究チームは、兵庫県の播磨地区にある世界最高性能のX線分析装置である放射光SPring-8、茨城県東海村の中性子散乱施設J-PARC、最先端の電子顕微鏡など様々な分析機器を使い、理解が十分でなかった“セシウムがどのようにして土壤に入り込み、そしてどのようにとどまっているか？”という問題に取り組んでいます。この最新の分析結果を、汚染土壤の最適な処理法や、安全保管に関する方法の開発など様々な問題の解決に貢献させることを目指しています。

我々の研究チームでは、まず福島県飯舘村の土壤の質を分析し、特に細粒の粘土鉱物には、多くの放射性セシウムが吸着していることを明らかにしました。（図4-1、4-2）すなわち、事故由来のセシウムは、現在、母岩の

風化粘土鉱物に吸着していることが考えられます。我々は、その中で特に吸着能の高い粘土鉱物であるパーミキュライトやイライトに対する吸着構造や吸着の強さについて解明することを試みました。

構造解析の実験は、兵庫県佐用町にある原子力機構専用ビームラインSPring-8 BL11XUにおいて行われました。この実験で用いた方法は、X線の吸収率を測定するもので、広域X線吸収微細構造法（EXAFS:エグザフス）という方法です。この結果から、粘土に取り込まれたセシウムの周りにどのような元素が、どの位の位置に、どのくらいの量、存在するかが分かります。この結果を図4-2にしめました。この図4-2（左）では、セシウム周りには大小あわせて、4種類以上の元素が存在し、セシウムに近い方から、酸素（酸素1, 2）、ケイ素などが存在することが分かります。セシウムに近い元素は、セシウムと直接引き合っていることを示しますので、セシウムは、酸素と直接つながっていることが分かります。また、この酸素でも2種類の酸素があって、ケイ素とつながった酸素と水の酸素とつながったものがあります。特にこのケイ素と繋がった酸素は、その結合距離の短さから、水に比べかなり強い力でつながっていることが予想されます。この結合距離と粘土の基本的な構造とを総合すると、図4-2（右）のようなセシウムの吸着構造を予想することができます。また、これらの構造が繰り返し構造を取っていると考えた場合、図4-1のような、粘土の層状構造の間隙にセシウムが取り込まれたような構造を取っていることが考えられます。これらの結果を基に、セシウムを引き剥がすには、どのように取り出すべきか、温度条件など様々なことを科学的に予想することができます。また、この安定構造が、中間貯蔵施設などにおいてどの程度安定に存在しうるかなどの予測にも活用することができます。

我々の研究チームでは、土壤廃棄物の減容化を行う上で、水洗浄、湿式分級などの土木的な方法に加え、化学的な処理法などを用いる総合的な減容法の適用が妥当であると考えています。

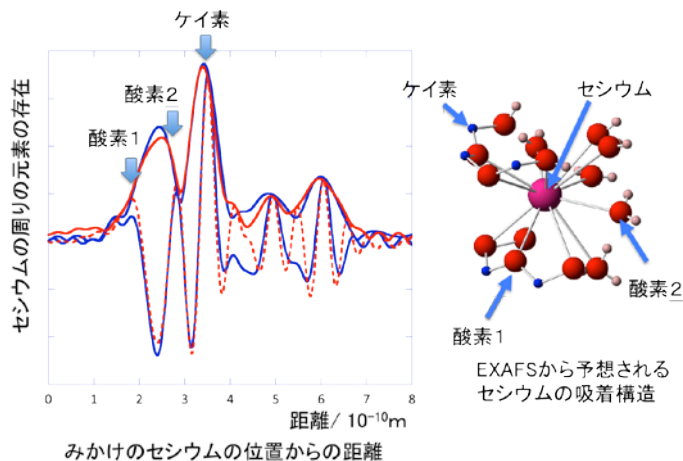


図4-2 広域X線吸収微細構造法 (EXAFS) によるセシウム周りの元素存在度 (左) と予想されるセシウムの吸着構造 (右)

セシウムは、酸素1を介して粘土鉱物に強く保持されていることが分かる。特に、酸素1を介した結合は、水の酸素 (酸素2) に比べ非常に強い力でつがっていることが明らかとなった。この構造の繰り返し、上図4-1に示したような形となる。

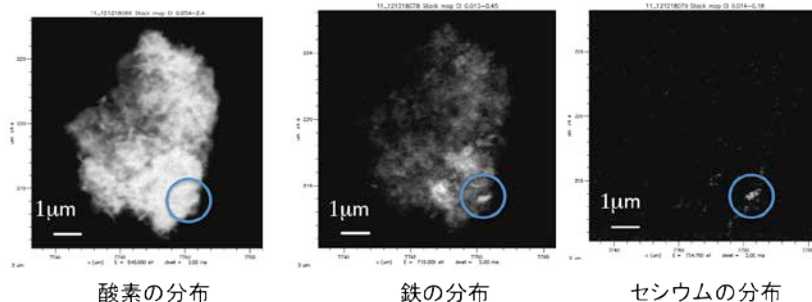


図4-3 X線顕微鏡 (STXM) によるシュウ酸洗浄後の酸素、鉄、およびセシウムの分布

3つの写真は、同じ粘土粒子を撮像したものである。白が濃いほど、それぞれの元素の濃度が高い事を示す。酸素は、全体に均一に分布しているので、白色の濃淡が粘土そのものの大きさや厚みを表している。他方で、鉄やセシウムは、不均一な分布を取っており、特にセシウムに関しては、特異な吸着部位があることが分かる。

その理由としては、土壌の質が土地ごとに千差万別であり、一つの方法ですべての土壌を処理するのは不可能と考えるからです。また、セシウムへの粘土鉱物への吸着状態が科学的に極めて安定であることが分かった場合、その状態を維持させることは、安全な保管につながるとも考えられ、この部分に関しては、減容の必要性を鑑みて総合的に考えることがよいと考えています。

図4-3には、セシウムを吸着させた粘土鉱物 (パーミキュライト) を約 100°C でシュウ酸処理した後、その粘土の状態を、米国ローレンスバークレー国立研究所の放射光施設 Advanced Light Source (ALS) をもちいる X線顕微鏡 (STXM) によって観察したものです。この方法は、放射光の X線を極限まで細くし、粘土鉱物に対する局所的なレントゲン写真をつなげることで、全体の画像を作っています。またそれぞれの微小領域では、存在する元素の結合状態や存在量があわせて分かるという方法です。ところで、このシュウ酸処理では、もともと吸着していたセシウムの95%以上が剥がれることがわかりました。一方で、酸化ケイ酸による基本的な構造は残っていることは確認しましたが、粘土としての特徴的な構造は、既に無くなっていることも X線回折実験 (XRD) や粘土を構成する主要な元素分析の結果から分かっています。すなわち、残留しているセシウムは、極端な難剥離性のセシウムの状態であることが示唆されます。図4-3において、

酸素の分布は、均一に分布していますが、濃淡が観察されるのは、試料とした粘土鉱物の厚みを表していると考えられます。一方、鉄に関しては、薄く均一分布している一方で、青い○で表示してある近傍では、酸素の濃淡より明らかにつよい濃淡がでている事が分かります。これは、この部分に鉄が沢山存在していることを示しています。セシウムに関してはどうでしょう？ほとんどのセシウムが剥離されている事が分かります。しかしながら、鉄が比較的高濃度に存在する領域においては、セシウムが存在している事が分かります。特に、青い○で囲った部分に関しては、セシウムが明らかにスポット的に存在している事が分かります。今回用いたパーミキュライトは、アルミニウムを中心にもつ八面体の構造と、ケイ素を中心にもつ四面体の構造が交互に折り重なり、基本的な粘土構造を保っていますが、一部、風化など様々な自然による作用の過程で水と接触し、その中に溶け込んでいる元素とアルミニウム、ケイ素などが置換する可能性があります。特に鉄はケイ素、アルミニウムと入れ替わる可能性があり、その程度の違いが鉄の濃淡として現れたと考えられます。その結果、ある特定の部位が形成され、その部位にはまり込んだセシウムは、粘土鉱物の層状構造が崩壊するような処理を施した後もケイ酸塩の骨格に留まるといふ新しい可能性を指摘した結果であると考えられます。

5. 帰還困難区域路面における超高压水除染技術の適用

～超高压水除染技術の高度化研究～

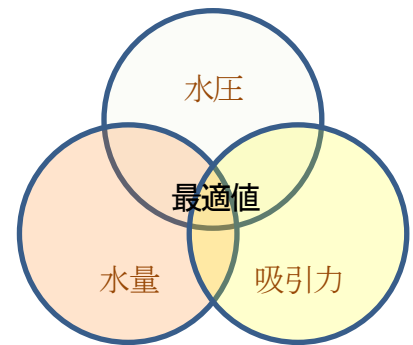


図5-1 除染に影響を与えるパラメータは、水圧、水量と吸引力(右下図)であり、パラメータを最適化することで最大3台同時作業(作業効率3倍)(上図)が可能となりました。また、乗用型の二連ヘッド(左下)も開発しました。

超高压水除染技術は高い除染性能が得られていることが確認されていますが、装置性能には余裕があり最適化を図ることで、更なる作業効率の向上などの研究を行う余地がありました。また、今後実施される帰還困難区域における除染でも効率的かつ十分な除染性能を発揮できることを確認する必要があります。

超高压水除染技術では、水圧だけではなく、水圧と水量による路面への衝撃によって表層を薄く切削する最適なパラメータを設定し、切削した除去物を回収することで高い除染効果を達成します。汚染状況に応じては、低い圧力、少ない水量でも充分除染することができます。その結果、超高压ポンプの先端に取り付けるヘッド数を増やし作業効率を最大3倍にまで向上することができました(図5-1上図²⁾)。これを応用し、乗用型の二連ヘッドの装置も開発しました。

このように、作業効率を高めながら、除染効果を最大にし、除去物発生量を最小にする最適なパラメータを探す試験を実施したところ、路面へのダメージを必要最小限とし、表面だけを削り取り、水を90%以上回収できるパラメータがあることが確認できました。

そこで、帰還困難区域区域における面的除染を実施するために大熊町にある県立大野病院の広さ約1.3haの駐車場で除染試験を行いました。路面は、水が浸透してしまい骨材の裏側まで汚染され、除染効果の得にくい透水性舗装で試験を行いました。

これは、透水性舗装面で除染効果を確認することで、

より効果の得やすい密粒アスファルト面などでの効果を担保するためです。図5-2は、水量と水圧を調整し、それぞれのパラメータで除染を行った際の衝撃力と除染効果の関係を示した図です。このように衝撃力を向上させることで除染効果も高まることが確認できましたが、注意が必要なのは、除染効果が高いほど切削量も多くなるということです。場合によっては、路面の補修も必要となるかもしれません。一方で、図5-2の結果がポンプ吐出圧が低くても水量を増加することで同様の除染効果を得ることができることを示しています。ただ、水量を増やすとそれだけ吸引力も必要になります。

試験を行った駐車場(約1.3ha)の表面汚染密度は30~50kcpmと高い汚染密度であり、ヘッド3台を利用できる衝撃力(~135N)では、十分な除染効果を得られず、ヘッド2台を利用できる衝撃力(~230N)で面的除染を行いました。

図5-3の黒点は原子力機構が開発した迅速測定システムガンプロッタH(GPSを搭載した空間線量率測定器)によって測定しています。通常のサーベイでは、測定点1点当たり、測定時間は30秒(時定数10秒)で測定され、それを表面と1m高さで測定すると1点の測定に約1分はかかります。しかしガンプロッタHは1点3秒で測定(測定精度は試験場所ではNaIと同程度。但し、線量率が低くなると誤差は大きくなる)することができ、表面と地面から1mの高さを同時に測定できます。

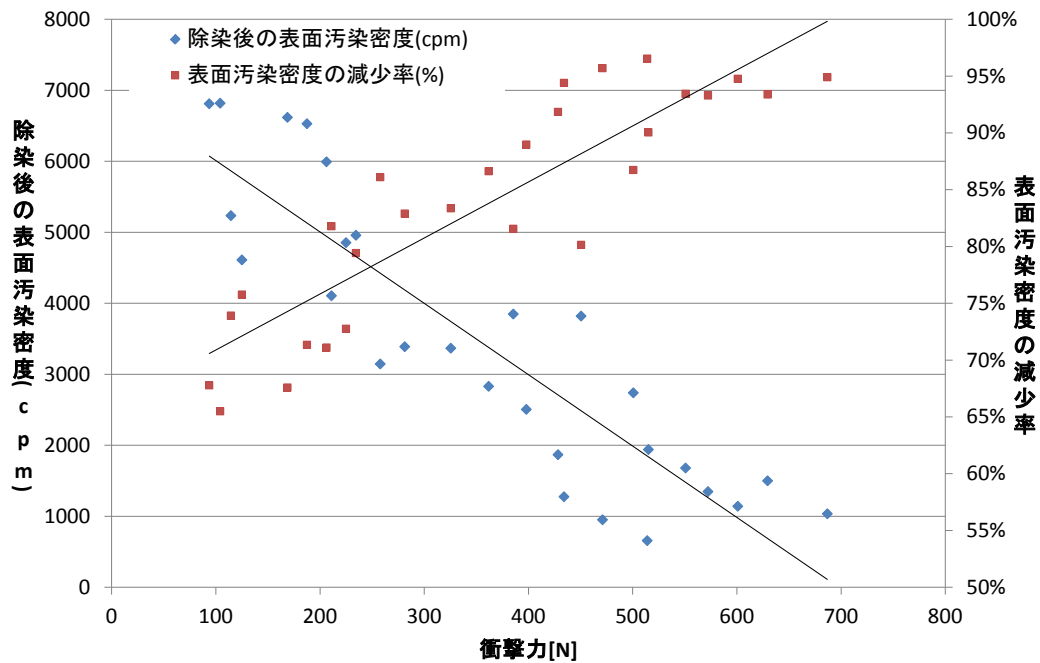


図5-2 超高压水除染による衝撃力と除染効果(表面汚染密度、減少率)の相関関係。これは、水圧が低くても必要な衝撃力を満たす水量を得ることができれば、同様の除染効果を得ることができることを示しています。但し、衝撃力が上昇するほど、路面のダメージが大きく、補修が必要になり廃棄物も多くなることからバランスの取れたパラメータを選定する必要があります。

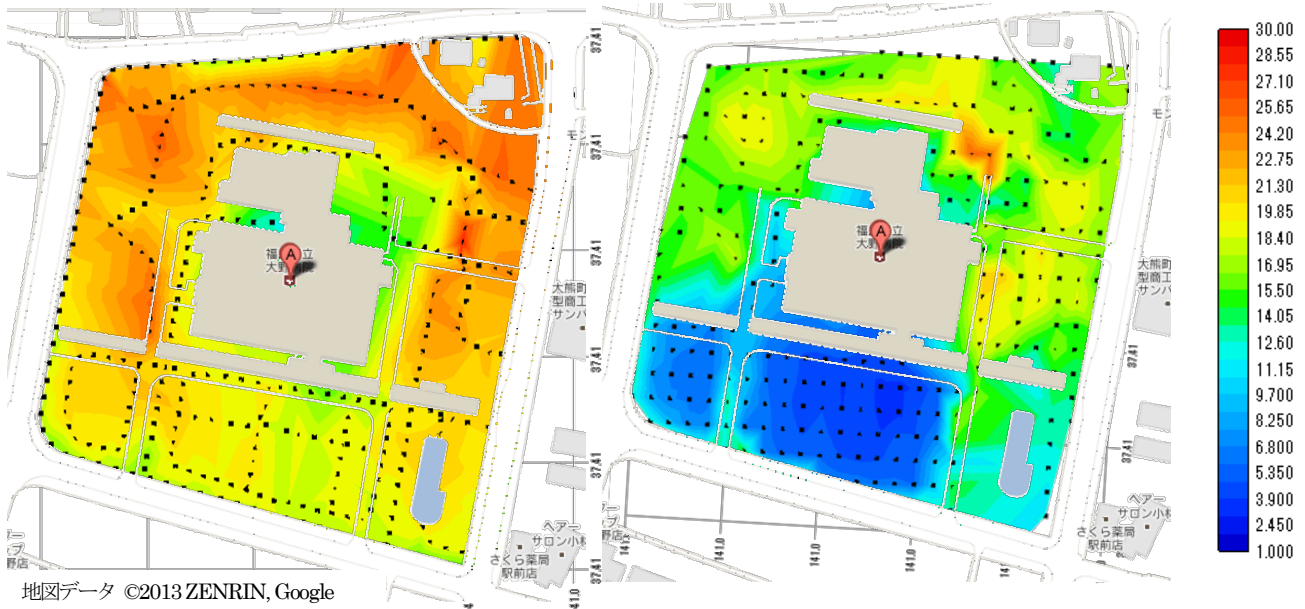


図5-3 高線量地域(帰還困難区域)における面的除染効果の比較(左図:除染前、右図:除染後)。除染後青くなっている部分が除染実施箇所です。半減期を考慮すれば、2014年6月には避難解除準備区域相当の $3.8 \mu\text{Sv/h}$ になると予想されます。

このガンマプロッタ H を用いて詳細に測定した結果、平均 $20 \mu\text{Sv/h}$ あった空間線量率が平均 $5 \mu\text{Sv/h}$ (最低で $3.6 \mu\text{Sv/h}$) にまで除染できました。これは、半減期を考慮すれば、2014年6月には避難解除準備区域相当の $3.8 \mu\text{Sv/h}$ まで低下すると予想されます。このことから、帰還困難区域においても超高压水除染で効率的に除染を行うことにより避難解除準備区域相当の線量率まで除染が可能であることがわかりました。また、回収した水は凝集沈殿処理と微細粒子を取り除くフィルタを使って処理

を行い、十分に放射能濃度が低減していることを確認したうえで、再利用して除染できることを確認しました。

最後に、超高压水除染技術は本研究を通じて環境省が定める除染の標準工法として予算措置されることになり、楡葉町の本格除染でも採用されたことから、実用化段階に達したと考えています。

今後は民間企業の企業努力により高い品質が保たれながらコストダウンが図られることを期待します。

●参考文献

- 1) 原子力機構, “原子力機構, 福島第一原子力発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務【除染技術実証試験事業編】”, 2012
- 2) 原子力機構, “Topics 福島”, 2012.10.22 No.3

6. 住宅敷地内砂利の除染

～摩砕方式と超音波洗浄方式～

【模擬試験状況】

《摩砕方式》



図 6-1-1 バレル研磨機



図 6-1-2 模擬試験砂利の投入



図 6-1-3 試験状況



図 6-1-4 着色した砂利の試験後状態

《超音波洗浄方式》



図 6-2-1 超音波洗浄機
(試験前状態)



図 6-2-2 試験後の液面状態



図 6-2-3 試験後の底部状態

住宅、公共施設及び墓地等には、砂利を敷いている場合が多く、廃棄物にするには膨大な量になります。碎石よりも高価な砂利については、除染を行って表面線量率を下げる事ができれば、除染後の砂利を再使用することで敷地内の線量率低減化が図れます。また、廃棄物の発生量を抑えることで中間貯蔵施設への負担が軽減できます。

1. 除染方式の選択

平成 23 年度の除染モデル実証事業では、高圧水洗浄機(5MPa)を用いて砂利の一部を洗浄しましたが、あくまで砂利から砂やゴミ等を分級したものであり、砂利そのものの除染ではありませんでした。

今回の除染試験は、連続して砂利どうしをこすり合わせ、表面を削り取る摩砕方式と、小さな気泡(キャビテーション)による衝撃波を利用して砂利の表面から放射性セシウムを除去できる可能性がある超音波洗浄方式を選択しました。

摩砕方式として試験に用いたバレル研磨機(図 6-1-1)は、槽底のパーセーターを回転し、渦巻き状の水流で砂利を連続して研削します。これは、洗濯機という擦り洗いで強力な研削力があり、砂利の表面が確実に削れるため、高い除染効果が期待できます。除染した砂利は再使用することを考慮し、処理によって砂利が割れにくい条

件および処理時間と除染効果のバランスを見出す必要があります。

超音波洗浄方式として試験に用いた超音波洗浄機(図 6-2-1)は、キャビテーション効果の強い周波数を採用することにより除染が期待できます。放射性セシウムが砂利の表面に付着している状態により除染効果が変わるため、処理時間がどれだけ必要か確認する必要があります。

2. 模擬試験状況及び知見

摩砕方式の模擬試験では配合比を変えて摩砕状況を把握し、例えば 20kg の砂利(18kg の砂利と油性ペイントで着色した砂利 2kg (図 6-1-2))、20ℓ の水及び 20 分の処理時間で行った結果(図 6-1-3 及び図 6-1-4)、研削した砂利の量が約 1.6kg(砂利の約 8%)、割れた砂利の量が約 10g(砂利の約 0.05%)、着色した砂利の状態を見ると 9割以上のペイントが研削できることを確認しました。従って、バレル研磨機を用いた試験では、十分な研削力の割に砂利の割れがほとんど無く除染の有効性を確認しました。

また、超音波洗浄方式の模擬試験では、2kg の砂利(摩砕方式で試験した砂利と油性で着色した砂利を追加)、10ℓ の水、60 分の処理時間で行った結果(図 6-2-2 及び図 6-2-3)、一度摩砕して表面を削った砂利からでも超音波洗浄で研削物(除去物)が出てくることを確認しました。

【除染試験】

《摩砕方式》



図 6-1-5 摩砕試験状況



図 6-1-6 試験前(左)と試験後(右)の砂利



図 6-1-9 砂利の断面(試験前)

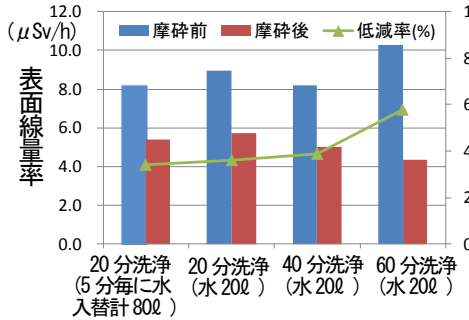


図 6-1-7 試験前後における表面線量率

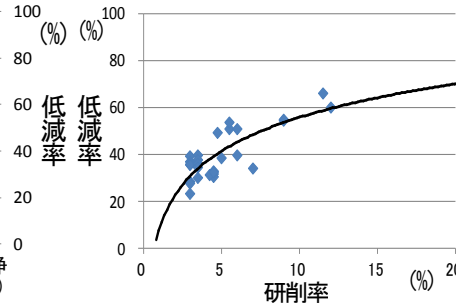


図 6-1-8 研削率と低減率の関係

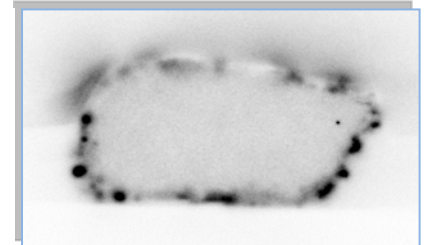


図 6-1-10 イメージングプレートで分かった放射性セシウムの分布状態(黒色部分)

《超音波洗浄方式》



図 6-2-4 試験前状態



図 6-2-5 試験後の底部状態

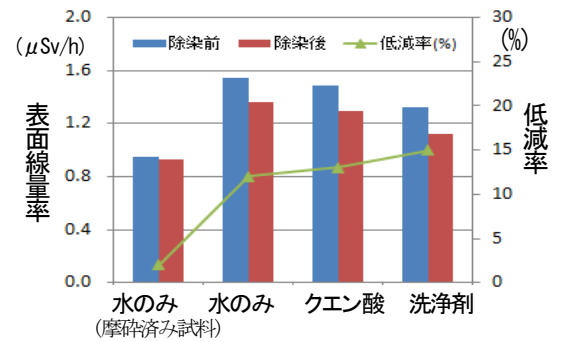


図 6-2-6 試験前後における表面線量率

3. 試験用砂利

一般に使用されている砂利の種類は沢山ありますが、富岡町のリフレ富岡の庭と屋上に敷かれている花崗岩、及び花崗岩と堆積岩が混在した 2 種類の砂利を採取し試験用試料としました。

4. 試験結果

摩砕方式では、各試験中及び試験後の状態から、砂利の表面が確実に削れていることを確認しました(図 6-1-5 及び図 6-1-6)。表面線量率を測定した結果、除染前が 8.2~10.3 $\mu\text{Sv/h}$ であったのに対し、除染後が 5.0~5.7 $\mu\text{Sv/h}$ になり、低減率が平均で 37%、最大で 39%になりました(図 6-12)。

砂利の研削率を確認した結果、新規購入した砂利を模擬試験した時が約 8%であったのに対し、2 種類の砂利を試験した平均の研削率は約 4%でした。模擬試験の研削率付近になるまで処理時間を延長した結果、表面線量率の低減率が最大 66%になりました(図 6-1-7)。

砂利の表面には凹凸があり、凹み部の一部は削れていないことが分かりました。また、放射性セシウムが砂利の内部に入り込んでいる可能性があるため、どのような分布状態にあるかをイメージングプレート測定器(フィルムに放射線を感光させた測定方法、以下、IP と称します。)

を用いて観察しました。砂利(花崗岩)を半割りした断面(図 6-1-9)と IP の結果(図 6-1-10)を観察すると砂利表面の黒い部分(黒雲母)に放射性セシウムが多く付いていることが確認できました。また、表面より少し深いところまで入っていることも分かりました。

試験結果から、10 $\mu\text{Sv/h}$ 程度の砂利の表面線量率を、例えば 10 分の 1 にするには、研削率が 15%よりかなり多く必要になる可能性があります(図 6-1-8 近似曲線より)。

超音波洗浄方式では、事前に砂利を濯ぎ表面に付着した汚れを落としてから槽に入れ(図 6-2-4)、水のみ・クエン酸・洗浄剤の条件で各 120 分間かけて試験を行い、ほぼ同程度の研削量がありました(図 6-2-5)。表面線量率を測定した結果、除染前が 1.3~1.5 $\mu\text{Sv/h}$ であったのに対し、除染後が 1.1~1.4 $\mu\text{Sv/h}$ になり、低減率は洗浄剤を使用した条件が最も良く 15%になりました(図 6-2-6)。

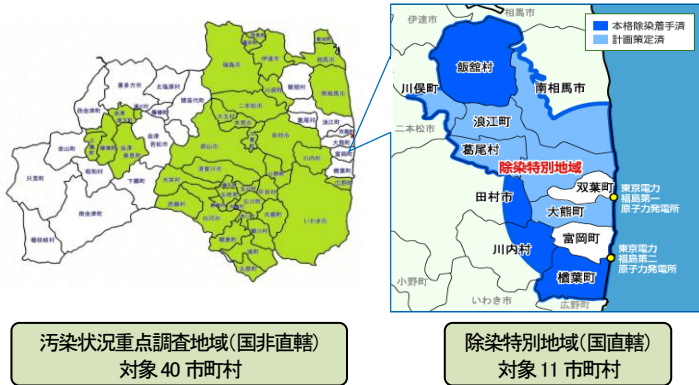
キャビテーションで砂利の表面を削る効果があることが分かりましたが、線量率が表される除染効果が小さく実用的ではありませんでした。超音波洗浄方式は、形状が複雑な対象物を除染する必要がある場合に適していると思われます。

7. 除染推進活動に係る取り組み

～福島県除染推進活動～

1. 福島県内各市町村における除染実施計画の策定協力及び技術指導・支援・協力等

(平成25年1月31日時点)



各市町村ご依頼・対応内容(国非直轄除染対応分)	件数(小計)	件数(合計)
1. 除染実施計画の策定協力	328	1020
(1)各市町村を訪問し、除染実施計画策定を支援(打合せ)	116	
(2)除染実施計画策定に係る相談、助言等(メール・電話対応)	212	
2. 除染に係る技術指導	669	
(1)除染に係る技術的な内容の相談、助言等(メール・電話対応)	181	
(2)除染活動支援・協力、技術相談・指導	267	
(3)除染講習会講師・監督者等支援	34	
(4)仮置場設置に係る技術指導・現地調査	123	
(5)住民説明会等(主に仮置場設置に対する安全性等の説明)	64	
3. 除染計画(仮置場以外)住民説明会	23	
上記以外の国直轄除染活動対応件数	1215件	

図 7-1 汚染状況重点調査地域及び除染特別地域

図 7-2 除染に係る技術指導・支援・協力等

2. 除染に係る技術指導(家屋除染)

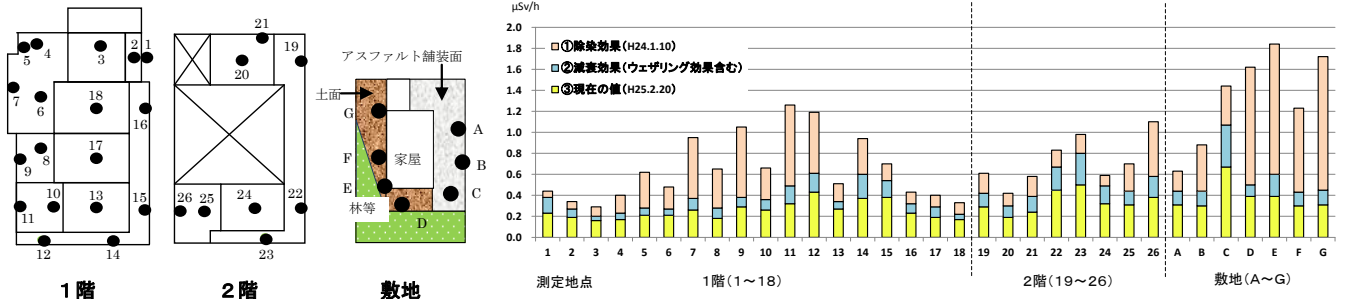


図 7-3 除染前後及び1年後の空間線量率(1m高さ)測定

除染前後に空間線量率を測定し、除染効果を確認。また、除染から約1年後に空間線量率を測定し、減衰効果(ウェザリング効果含む)を確認。

1. はじめに

平成23年9月28日、内閣府・環境省からの要請により、JAEA 福島支援本部内に「福島除染推進(専門家)チーム」(以下「専門家チーム」と言う。)が発足し、汚染状況重点調査地域に指定された福島県内の各市町村(図7-1)における除染活動の円滑な推進のための支援活動を開始しました。また、国直轄の除染事業を支援するため、平成24年2月1日に「除染活動推進員」を配置し、除染特別地域での除染技術指導、住民説明会や個別除染のための同意書取得等の支援活動を開始しました。

本報告では、専門家チームの除染推進活動について紹介します。

2. 専門家チームによる除染推進活動

除染推進活動の主な内容は、①除染実施計画の策定協力、②除染に係る技術指導の対応であり、平成25年1月末で対応件数が1,000件(図7-2)を超えました。

このうち除染に係る技術指導については、除染業者(業者)向けの講習会への協力をはじめ、監督者に対する指導方法のアドバイス、また、住民をはじめ市町村からの質疑等に対応すると共に、現地に出向き汚染源を特定するなど、現地指導に重点を置いた対応をしてきました。

汚染源の特定については、周辺からの影響を見極めることが重要になることから、例えば家屋除染の場合、家屋の位置や周辺環境、屋内への影響についても調査を行

っています。

また、家屋の屋内の線量が屋外の周辺に比べ高いという事例があり、現地調査の結果、住宅の床下(基礎コンクリート部分)に汚染源があることを特定しました。また、その原因が事故当時に建設途中で、基礎コンクリート部が露出していたためであることを突き止めました。床下の除染については、標準除染要領書を策定し、除染工法の標準化を図りました。

その後、福島県内だけでなく、他県においても同じようなケースで除染の必要性があると判断された所については、要領書に基づき作業を実施しています。

3. 除染に係る技術指導

(1) 家屋除染

家屋除染については、住宅のモデル除染を行うことで、除染についての理解を深めることができることから、自治体からの要請を踏まえ、除染業者及び監督者を対象に、家屋除染講習会を開催しました。

講習会に参加した多くの監督者、作業者は、これまで除染の経験がなく、測定器の取扱についても不明な方が多いということから、座学による講義の他、除染現場における実演、実践でのポイントの解説など、直接指導を丁寧に繰り返し行うことにより、短時間で除染方法の理解と技術の向上を図ることができました。

3. 除染に係る技術指導(床下除染)



図 7-4 グライNDER外観

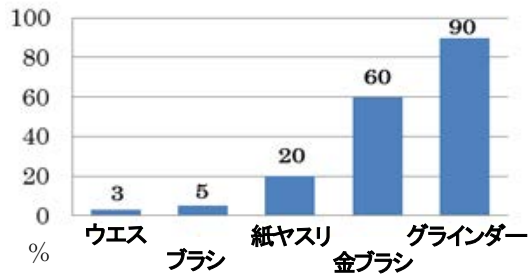


図 7-5 工法別単体試験結果(低減率)



図 7-6 クリーンハウス外観

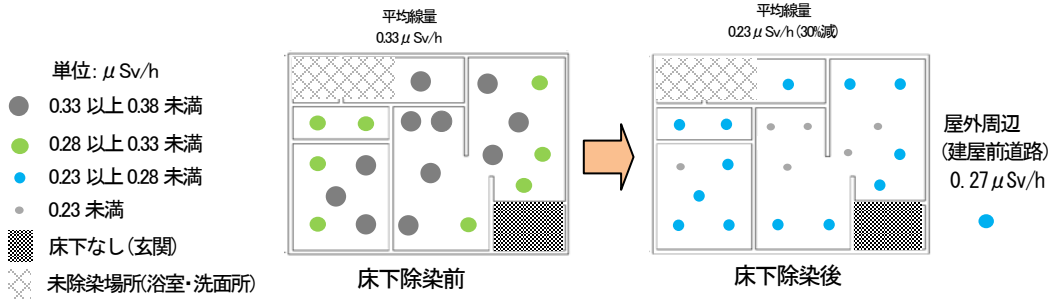


図 7-7 1階床上から高さ1mの各測定点での空間線量率



図 7-8 モックアップ試験状況

また、家屋周辺をくまなく調査することで、どの場所からの放射線の影響が大きいのか、どこを除染すると効果的なのかを調べながら、それらのポイント等について、アドバイスし、除染作業に取り組んでもらうことにしました。

特に、裏山や庭の低木、地面の形状、コンクリート部の亀裂の有無、側溝に流れる水の流れ等、放射性セシウムが集まりやすい箇所を特定し、その場所を重点的に除染することで、家屋除染を効率的かつ効果的に実施できることを理解してもらいました。

さらに、今回の家屋除染においては、屋内の空間線量率を測定し、屋外のどこが主な起因箇所かを特定するとともに、フォローアップモニタリングとして、除染後1年後の空間線量率を測定し(図7-3)、現状把握することで、住民の方の安心感を得るための活動も実施しているところです。

(2) 床下除染

上述した住宅の床下(基礎コンクリート表面)の除染について、対応方法を紹介します。

床下除染を行う上で、ポイントとなる点は、①除染により室内を汚さない、②作業員の被ばく低減に配慮する、③作業性が良く除染効果が高い点です。

これらを満足するため、基礎コンクリートの除染工法について単体試験を行い、コンクリート表面をグライNDER(図7-4)により切削する方法が最も効果的であることを確認しました(図7-5)。

次に、床下除染により、室内に粉塵が舞うことで、室内が二次汚染の可能性が考えられることから、床下の入

口にクリーンハウス(図7-6)を設け、局所排風機を用いて換気することで汚染の拡大防止に努めました。

さらに、作業場所が床下と狭所であること、切削の際に放射性物質を含んだ粉じんが発生する等、作業環境が良好でないことから、実際の床下を再現し、モックアップ試験(図7-7)を行いました。この結果、切削時に発生する粉じんを吸引する機能を追加した改良型カプラ(囲い)とダイヤモンドカッター(グライNDER刀具)との組合せが粉じん発生量が最も少なく、作業員の被ばく低減に配慮でき、除染効果も高いことを確認しました。

これらの試験の結果を基に床下除染工法に係る「床下基礎コンクリート部除染作業施工要領書(標準案)【DVD含む】」を制作し、同様な事象がある場合は、同じ手順で実施することとしました。これにより、居住者に対して、過去の作業風景や実績をみてもらうことができ、安心して頂きながら、除染を進めることができました。

この要領書を基に実際に除染を行った結果、目標値とした屋外周辺の空間線量率に比べ、同等又はそれ以下の値に低減することができました(図7-8)。

一方、課題として、実際の住宅の床下には、複数の水配管が敷設されているなど、除染が困難である場所(洗面所や浴槽の下部)があることから、その部分の除染方法について、装置の改良等も含め検討する必要があることもわかりました。

今後も、実際の現場で課題となっている事案について、原子力機構がこれまで経験し、かつ、対応してきた事例を活用することで、除染を効率的・効果的に実施することはもとより、住民が安心して生活できるように、活動を継続していきたいと考えています。

MEMO

A series of horizontal dotted lines for writing.



独立行政法人日本原子力研究開発機構
福島技術本部 福島環境安全センター

〒960-8031 福島市栄町6-6 ユニックスビル7F
TEL 024-524-1060 FAX 024-524-1069
<http://www.jaea.go.jp/fukushima/>