

2012年版

# 環境再生に向けて

独立行政法人日本原子力研究開発機構





## はじめに

2011年3月11日、東京電力株式会社福島第一原子力発電所は東北地方太平洋沖地震とこれに伴う津波により損傷し、大量の放射性物質を環境中に放出する極めて深刻な事故が発生しました。

我が国で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は、事故発生直後に機構内に対策本部を設置し、事態の状況把握や収束に向け、政府をはじめ関係自治体に対して種々の協力を行ってまいりました。具体的には、原子力安全委員会等へ専門家を派遣し、技術的助言あるいは科学的知見の提供などを行うとともに、文部科学省からの要請を受け、環境放射線のモニタリングや環境放射能の分析、資機材の提供などを行ってまいりました。さらに、環境モニタリングや除染技術実証等の現地活動を推進強化するとともに、県内関係機関との連携強化を図るため、理事長を本部長とする福島支援本部（後に「福島技術本部」に改組）を立ち上げて福島県内にその活動拠点となる福島環境安全センターを開設し、原子力機構の力を結集して取り組む体制を整えました。

原子力機構は、福島技術本部福島環境安全センターを中心に、引き続き環境中放射能分布調査、除染技術や放射線モニタリング技術の改良・開発、人材育成やコミュニケーション活動等の環境回復に向けた取り組みを積極的に展開してまいりたいと考えております。

本誌は、日頃の研究開発で得られた最新のトピックスを皆様に広くご紹介するためにとりまとめたもので、本年より毎年作成することとしています。多くの皆様に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、今後の展開にご期待いただくための一助となることを願っております。

日頃より、原子力機構の活動にご理解をいただいている皆様方には、この場をおかりして感謝を申し上げますとともに、今後とも関係府省庁、自治体、住民の方々より、ご指導、ご協力をいただきながら、事故により被災した地域の日も早い復興に貢献してまいります。

2012年11月

独立行政法人  
日本原子力研究開発機構

理事 伊藤 洋一



# 目次

## 環境再生に向けて

### 緊急時対応

- 1. 原子力機構の緊急時対応について 1
  - －指定公共機関としての原子力機構の役割と実績－1

### 放射線モニタリング

- 2-1 上空からの放射線モニタリング 3
  - －(1)有人ヘリコプターを用いた日本全域のモニタリング－
- 2-2 上空からの放射線モニタリング 7
  - －(2)無人ヘリコプターを用いた放射線分布の詳細モニタリング－
- 2-3 地上からの放射線モニタリング 9
  - －土壌沈着量分布や空間線量率分布のマップの作成－
- 2-4 放射線測定結果の発信 11
  - －環境復興の礎となるデータを世界に発信－

### 地域との連携・協力

- 3-1 安全・安心な生活を取り戻すために 13
  - －(1)チルドレンファースト、放射線・除染講師派遣活動－
- 3-2 安全・安心な生活を取り戻すために 15
  - －(2)環境放射線測定、WBC、住民の一時立ち入り協力－
- 3-3 安全・安心な生活を取り戻すために 16
  - －(3)放射線に関するご質問に答える会－

3-4 福島県除染推進活動	17
－(1)専門家活動による自治体への協力：概要－	
3-5 福島県除染推進活動	18
－(2)専門家活動による自治体への協力：家屋除染－	
3-6 福島県除染推進活動	19
－(3)専門家活動による自治体への協力：床下除染－	
3-7 関係機関との協力について	20
－福島県民との信頼醸成に向けた連携協力－	

## **除染事業、除染技術開発**

4-1 除染モデル実証事業	21
－(1)実施体制と方法－	
4-2 除染モデル実証事業	23
－(2)宅地とグラウンドの除染－	
4-3 除染モデル実証事業	25
－(3)農地と森林の除染－	
4-4 除染技術実証事業	27
－(1)土壌の除染を目指して－	
4-5 除染技術実証事業	29
－(2)水処理技術－	
4-6 路面の除染効果最大、除去物最少を目指して	31
－超高压水を用いた除染技術の高度化－	
4-7 除染技術情報の効果的運用に向けた取り組み	33
－ポータルサイトを通じた効率的・効果的な除染技術の提供に向けて－	

## **測定装置・手法の開発**

- 5-1 線量率の迅速測定・マッピングシステムについて 35
  - －迅速測定・記録システム「ガンマ・プロッタ H」の開発と利用－
- 5-2 商品化目前：除染前後の効果確認システムの開発 37
  - －プラスチックシンチレーションファイバ (PSF)－
- 5-3 セシウム 134 と 137 を個別定量する簡便な手法 39
  - －普及型の NaI(Tl)スペクトロメーターによる弁別定量法を開発－

## **動態研究・基礎研究**

- 6-1 福島県における環境中の放射性セシウムの移動 41
  - －福島長期核種動態研究プロジェクト－
- 6-2 海洋における放射性セシウムの動態 42
  - －海底堆積物中の放射性セシウム濃度の変動要因－
- 6-3 汚染した災害廃棄物等の取扱いについて 43
  - －処理処分および再利用に際して作業員、周辺住民が受ける線量の評価－
- 6-4 減容化のためのセシウム分離剤の開発 45
  - －セシウム高選択性ベンゾクラウンの開発－
- 6-5 ポリイオンによる表層土壌処理 47
  - －汚染された土壌の除染と再汚染の防止のための表層土壌処理－
- 6-6 イオンビーム育種技術を除染に活かす 49
  - －セシウム吸収植物・微生物の品種改良－
- 6-7 植物を利用した土壌修復技術の開発 51
  - －スクリーニング試験の実施と適用可能性試験の開始－
- 6-8 放射性 Cs の可視化による移動挙動の解明 53
  - －陸上汚染の実態解明に向けて－

6-9 森林汚染のバイオ除染法の開発	55
－担子菌類による Cs 濃集と除染への応用－	
6-10 グラフト重合技術を活用しフェルト生地で Cs を捕集	57
－放射線グラフト重合法によるセシウム除染材料の開発－	
6-11 焼却時の放射性セシウム挙動評価について	59
－焼却施設での放射性セシウム挙動シミュレーション－	
6-12 除去物(有機物)処理技術開発	61
－(1)飯舘村での焼却処理試験及び加熱処理時における Cs 挙動の解明－	
6-13 除去物(有機物)処理技術開発	63
－(2)高線量域で発生する放射性廃棄物の減容処理技術の開発－	
付録 原子力機構の環境再生への取り組み	
付録 航空機ならびに地上モニタリング結果	







# 環境再生に向けて



図 福島県が制作した、県と県民等が一体となり新生ふくしまの創造に向けた気運醸成のためのロゴマーク

環境回復に向けた活動として、原子力機構では、主に次の活動を展開しています。

## 1. 指定公共機関としての緊急事態対応

平成 23 年 3 月 11 日東日本大震災発生直後から、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、事故当日に現地への専門家派遣要請をうけ、翌 3 月 12 日専門家 7 名がモニタリング等に必要な機材を持参し、百里基地から自衛隊ヘリで現地に移動しました。以後、現在も対応は継続中です。平成 24 年 3 月 31 日までに、モニタリング要員等延べ 45,318 名を派遣しました。(No.1)

## 2. 放射線モニタリング

人体への影響把握や除染計画を策定するためには放射性物質の汚染状況や放射線線量率を正確に把握する必要があります。そこで、日本全域の放射線量を航空機でモニタリング (No.2-1) するとともに、福島県内のより詳細な測定を無人ヘリコプターを利用して測定しました (No.2-2)。また、福島県の放射性物質の沈着量分布を地上でモニタリング (No.2-3) することで汚染状況の把握を行っています。

これらの環境放射能モニタリングデータは、世界へ向けて発信 (No.2-4) しています。

## 3. 地域との連携・協力

安全・安心な生活を取り戻すためにチルドレンファースト活動を実施 (No.3-1) し、内部被ばく検査や一時立ち入りへの協力 (No.3-2) を行っています。科学的根拠に基づいたデータを携えた専門家が訪問し、データの解釈方法を解説するとともに普段抱えている質問に答える「放射線に関するご質問に答える会」を福島県内にある全保育園、幼稚園、小中学校約 1700 校園を対象に実施しています (No.3-3)。

内閣府・環境省からの要請により、「除染推進専門家チーム」を選任し、福島県内の各市町村における除染活動の円滑な推進のため各自治体等への協力活動を開始しました (No.3-4、No.3-5、No.3-6)。また、福島県や福島大学等と連携協力協定を結んで協力を行っています (No.3-7)。

## 4. 除染事業、除染技術開発

放射性物質に汚染された環境を修復するためには、除染により放射線量率を低減させることが重要です。除染について原子力機構は、ガイドライン作成、除染カタログ作成、各種技術支援、行政への技術指導やマニュアル作成への協力を実施しています。そのために、除染モデル実証事業 (No.4-1、No.4-2、No.4-3)、や新技術の実証 (No.4-4、No.4-5、No.4-6) を行い、除染に関する技術情報をデータベースとして活用できる準備 (No.4-7) を行っています。

## 5. 測定装置・手法の開発

除染現場等で迅速かつ正確に測定できる装置の開発として、広範囲を迅速に測定 (No.5-1) したり、面的な汚染状況を把握できる測定器を開発 (No.5-2) し、企業と連携して商品化を進めています。また、すでに普及している NaI (TI) スペクトロメーターによる簡便なセシウム分析手法を開発 (No.5-3) しました。

## 6. 環境動態研究・基礎研究

セシウムの環境中の動態挙動を把握し、基礎研究を進めることは、より抜本的な環境回復を行う上で重要です。

そこで、放射性セシウムの環境動態挙動の調査研究

(No.6-1)、海洋における放射性セシウムの濃度変化の調査 (No.6-2) や除染作業や仮置き場周辺住民が受ける線量評価の研究 (No.6-3) などを開始しました。また、基礎研究としてセシウム吸着剤 (No.6-4) や表層土壌剥離手法 (No.6-5)、植物による除染の可能性 (No.6-6、No.6-7)、付着した放射性セシウムの可視化 (No.6-8)、担子菌類のセシウム濃集 (No.6-9)、セシウム吸着剤の研究 (No.6-10)、焼却施設内での挙動シミュレーション (No.6-11)、有機物の焼却処理時の挙動研究 (No.6-12) や発生する廃棄物の減容化技術の開発 (No.6-13) などを行っています。

# No.1 原子力機構の緊急時対応について

## —指定公共機関としての原子力機構の役割と実績—

### 活動の総括



### 特殊車両、資機材の提供による内部被ばく測定評価



### 環境モニタリング活動



- ・3月12日から、現地での緊急時モニタリング活動の対応
- ・モニタリング計画立案、現場活動、データ評価への対応
- ・長期に亘るモニタリング活動の継続実施
- ・学校の校庭の環境放射線測定の実施

原子力機構は災害対策基本法等に基づく指定公共機関として、平成23年3月11日に発生した東日本大震災発生直後から、人的・技術的な協力活動の拠点として、原子力緊急時支援・研修センター（支援・研修センター）を機能させ、各部署と連携を取りながら総力を挙げて、さまざまな協力活動を実施しました。

支援・研修センターにおいては、自身の立地する茨城県も被災する中、免震建屋、自家用発電機等を駆使して、専門家の活動拠点機能を維持するとともに、24時間体制の人的資源も確保し、住民防護のための対応について国等と調整を図りながら、資機材の提供及び人的・技術的な協力活動を長期に亘り確実かつ実効的に実施しました。

以下に支援・研修センターとして対応した活動の実績を報告します。

#### <国等への専門家の派遣>

- ・文部科学省非常災害対策センター（EOC）への専門家派遣を行いました。
- ・福島県庁内に設置された現地原子力災害対策本部の活動拠点への専門家の派遣を行いました。

#### <環境モニタリング活動>

- ・発災当初（平成23年3月12日早朝）に自衛隊の支援を受け、自衛隊ヘリコプターにて現地に専門家を派遣しました。
- ・専門家現地到着と同時に、東京電力福島第一原子力発電所半径20km以遠地域の環境モニタリングを実施し、環境放射線や放射性物質濃度の現状を把握しました。
- ・福島県内小中学校等の環境放射線測定、校庭土壌測定を行いました。

#### <国や自治体からの要請に基づく取組み>

- ・福島県からの要請により、福島県民の内部被ばく測定評価を移動式全身カウンタ測定車及び東海研究開発センター全身カウンタ（WBC）を用いて実施しました。
- ・経済産業省原子力安全・保安院を通じた福島県からの要請により、福島県自治会館に開設された電話相談窓口及び茨城県からの要請により茨城県庁相談窓口において住民の方々からの問合せに対応しました。
- ・警戒区域への住民の方々の一時立入のための中継基地対応要員、安全管理対応要員を派遣しました。

## 放射線基礎、放射線防護に係る訓練



- ・消防職員（高根沢、須賀川、栃木県消防学校、茨城県消防学校）
- ・保健所職員（ひたちなか市近接5保健所）
- ・立地地方公共団体の職員

## 健康相談ホットライン



- 支援・研修センター内に健康相談ホットラインを開設
- 福島県自治会館での健康相談窓口対応

## 警戒区域への住民一時立入プロジェクト



警戒区域への住民の一時立入のための中継基地対応要員  
及び住民の安全管理対応要員の派遣

・「健康相談ホットライン」を支援・研修センターに設置し、電話による問合せに対応しました（H23年3月17日～H24年9月18日終了、延べ約5,600人・日、対応件数：約34,600件）。

原子力災害においては、放射線が人体に与える影響に対する住民の方々の不安や心配を共有することは重要な活動であり、原子力の専門家として説明を行いました。

### <特殊車両、資機材の提供>

- ・移動式全身カウンタ測定車を派遣し、住民及び東京電力福島第一原子力発電所内作業員の体内放射能測定を実施し、被ばく線量評価をするとともに、東京電力(株)へ貸与した際も測定及び被ばく線量評価に協力しました。
- ・この他、モニタリング車3台、体表面測定車1台及び身体洗浄車1台等を派遣しました。
- ・各種放射線測定器、放射線防護資機材を緊急時モニタリング活動等の現地活動、国及び地方公共団体に提供しました。

### <防災関係機関等の技術能力向上のための技術協力>

地方公共団体の行政職員、消防・警察・自衛隊等の防

災関係機関に対しては、それぞれの要望を踏まえるとともに、求められる活動に直接活かすサーベイメータ取扱訓練、放射線防護衣脱着訓練等の実技を取り入れました。

さらに、原子力施設立地以外の区域の消防本部からの要望に応え、原子力防災、放射線防護についての研修を実施しました。ごみ焼却灰等に放射性セシウムが含まれたことを踏まえ、地方公共団体の行政職員、ごみ焼却施設及び下水処理施設職員を対象にした放射線基礎知識、放射線防護に関する装備、作業管理についての研修を実施しました。また、工業製品の風評被害への対応として、福島県、茨城県からの依頼を受け、県職員、一般企業職員等へ汚染検査のための研修を実施しました。

これらの活動を通して原子力機構は、国、地方公共団体の原子力災害対応に貢献すべく総力を挙げて取り組んできました。

なお、IAEA 調査団報告（平成23年6月16日付）の中では、「災害時の住民の不安解消に関して原子力機構が大きく関わった対応が国による災害活動において重要な役割を果たしている」と検証されています。

## 原子力緊急時支援・研修センター

●参考文献 原子力機構ホームページ「東日本大震災発生に伴う対応状況について」<http://www.jaea.go.jp/jishin/past.htm>

# No.2-1 上空からの放射線モニタリング

## -(1) 有人ヘリコプターを用いた日本全域のモニタリング

表 2-1-1 航空機モニタリングの実績

日時	測定場所	モニタリング名	
2011	4/6-4/29	発電所から 80 km 圏内	1 次モニタリング #
	5/18-5/26	発電所から 80-100 km (南側は 120 km) 圏内	2 次モニタリング
	5/31-6/2	発電所から 80 km 圏内	3 次モニタリング
	6/22-10/10	東日本全域	
	10/25-11/5	発電所から 80 km 圏内	4 次モニタリング
2012	1/30-5/20	西日本・北海道全域	
	2/6-2/10	警戒区域内モニタリング	警戒区域モニタリング

#DOE と 文科省が共同で実施



図 2-1-1 航空機モニタリング機器

航空機モニタリング機器は、大型の NaI 検出器の計数率と GPS による位置情報を同期させたデータを 1 秒毎に保存する装置です。現在の位置情報をリアルタイムにコンピューターに表示させることも可能です。

広域の放射線分布をより少ない人的資源によって短い時間で測定することができる方法として、航空機モニタリングが挙げられます。航空機モニタリングの研究・開発は、1979 年に発生したスリーマイル原子力発電所事故を契機に、我が国では旧日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構；以下、原子力機構）を中心に進められてきました。しかしながら、広範囲の測定に対応できる航空機モニタリングのデータ採取方法やデータ解析方法、マッピング手法が整備されていませんでした。そこで、原子力機構では、今回の福島第一原子力発電所事故による放射性セシウムの影響範囲を調査するための航空機モニタリングを実施する中で、モニタリング方法を整備しつつ、解析手法の開発、整備を行ってきました。特に、東日本と西日本では天然放射線のバックグラウンドが大きく変化するため、その弁別や地上の線量に換算するパラメータの設定方法や解析手法等を整備してきました。

福島第一原子力発電所事故後の航空機モニタリングは、文部科学省と米国エネルギー省により、福島第一原子力発電所周辺のモニタリングとして開始されました。その後、原子力機構が米国エネルギー省の技術を、国内にある測定装置を活用できるように日本版にアレンジし、実施体制を整えました。測定範囲は、発電所周辺から徐々に広げていき、東日本の測定を 2011 年 10 月まで、西日本・北海道の測定を 2012 年 5 月までに実施しました。表 2-1-1 に航空機モニタリングの一連の実績について示します。航空機によるモニタリングでは、図 2-1-1 に示すように、大型の  $\gamma$  線用の検出器 (NaI 検出器) をヘリコプターに搭載し、GPS で測定した位置・高度情報と  $\gamma$  線の計数率を同期させたデータを採取します。データは、東日本は 3 km メッシュ（福島福島第一原子力発電所の近傍は 1.8 km メッシュ）に、西日本・北海道は 5 km メッシュの測線間隔で採取しました。採取したデータは、地上で測定したデータと比較し、高度などの影響を補正して地上 1m での線量率に換算します。換算した線量率は、同

時に測定していた  $\gamma$  線のエネルギースペクトルから天然の放射性核種の影響を差し引き、放射性セシウムの沈着量 ( $\text{Bq}/\text{m}^2$ ) に換算します。今回、日本全域の線量率を測定するにあたり、大量のデータが処理可能なように、測定方法・項目等の統一・最適化を行い、ルーチン化しました。

図 2-1-2 に、放射性セシウム及び図 2-1-3 に空間線量率の沈着量のマップを示します。このマップは、場所によって測定日が異なるため、減衰補正を行い 2012 年 5 月 31 日時点の線量率に換算して、同一マップ上に表示しています。まず、図 2-1-3 に示した線量率のマップを見ると、赤色で示した  $19 \mu\text{Sv}/\text{h}$  以上の高線量率となっている地域は発電所から北西の方向およそ 30 km まで帯状に広がっていることが分かります。福島第一原子力発電所周辺の線量率マップを拡大して、図 2-1-3 の右図に示します。発電所から 80 km 圏内は、赤色の高線量率地域の近傍に段階的に  $1.9 \sim 19 \mu\text{Sv}/\text{h}$  の地域が分布していますが、発電所の北側の沿岸やいわき市までの南側の地域の線量率は、 $1.0 \mu\text{Sv}/\text{h}$  以下となっています。また、 $1.0 \mu\text{Sv}/\text{h}$  以上の線量率の地域は北西方向に 80 km まで広がり、そこから南西方向に関東地方の西部まで  $0.1 \mu\text{Sv}/\text{h}$  以上の線量率の場所が見られました。また、岩手県の南部や茨城県の南部から千葉県の一部にかけて  $0.1 \mu\text{Sv}/\text{h}$  以上の線量率の場所が見られました。

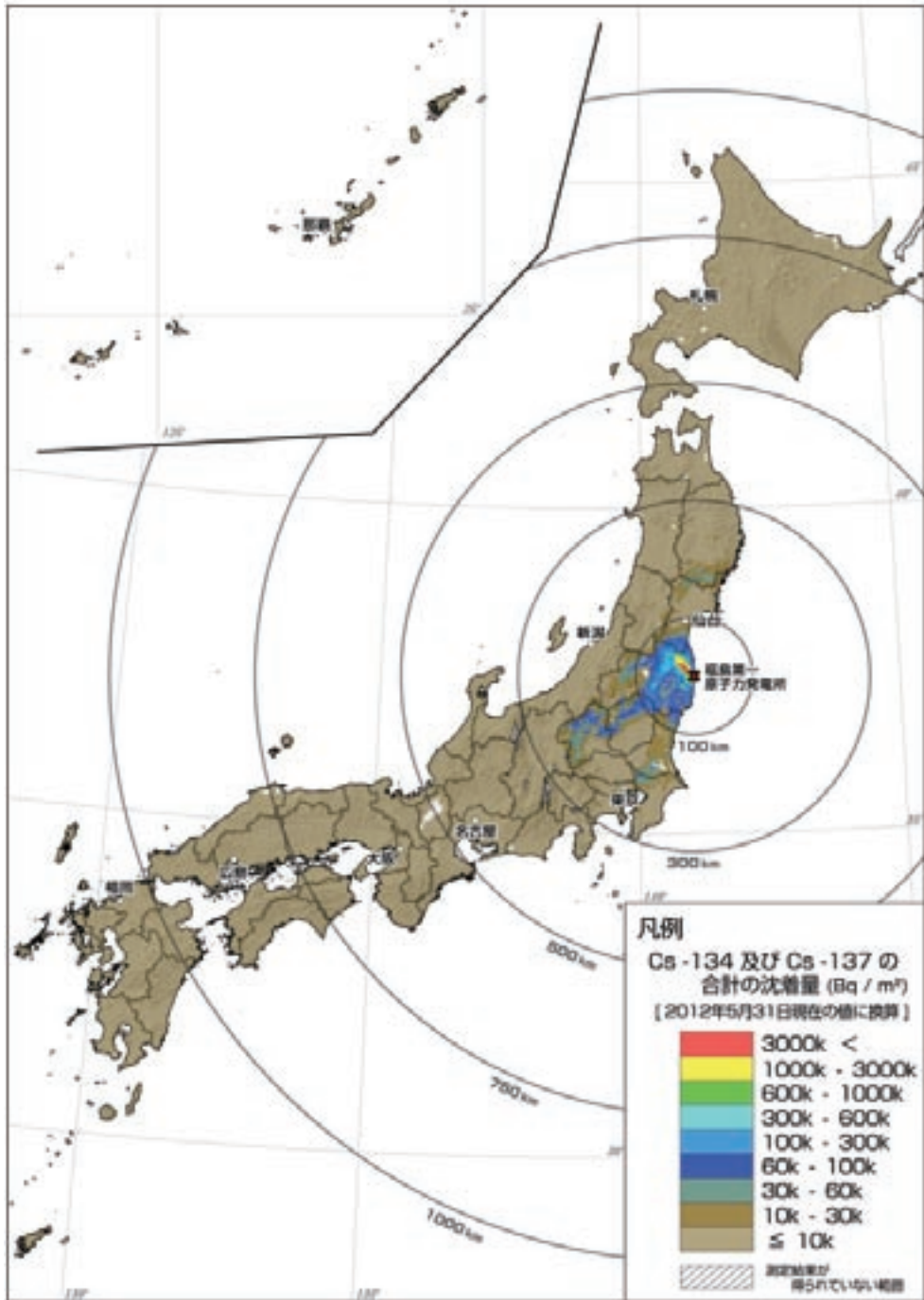


図2-1-2 放射性セシウムの沈着量マップ

ヘリコプターに大型の NaI 検出器を搭載し、3 km - 5 km 間隔（原子力発電所近傍は 1.8 km 間隔）測定し、得られたデータを地上から 1m 高さの線量率に換算しました。

天然の放射性核種の影響を除いた図 2-1-2 に示した放射性セシウムの沈着量のマップでは、線量率と同じような分布の傾向が見られたものの、新潟県や長野県に見られた比較的線量率の高い場所は天然の放射性核種の影響であることが分かりました。この地域は、事故前に地質図から計算した日本全国の天然放射性核種による線量率マップと定性的に一致することが分かっています。また、北海道や西日本では、いずれの地域も、放射性セシウムの沈着量は検出下限値以下でした。

以上のとおり、日本全域の航空機モニタリングを実施することによって、国内の空間線量率や放射性セシウムの沈着量の分布を明らかにしました。

測定する中で、低汚染地域において天然核種の影響を

減算評価する必要性から、天然核種を弁別する手法を開発整備し、事故由来の放射性セシウムの影響範囲を明らかにすることができました。また、広範囲にわたる航空機モニタリングを行うことにより、空間線量率分布を評価する技術的経験を蓄積できたことや事故以前には測定例のなかった天然核種に起因する自然放射線の分布についても確認できたことも成果の一つといえます。

今後は、事故により放出された放射性セシウムのウエザリングによる環境中での移行について注視し、放射性セシウムの沈着量の変動を継続的に調査することが重要であり、そのためには測定手法とともに、解析技術の高精度化を図っていく必要があると考えています。

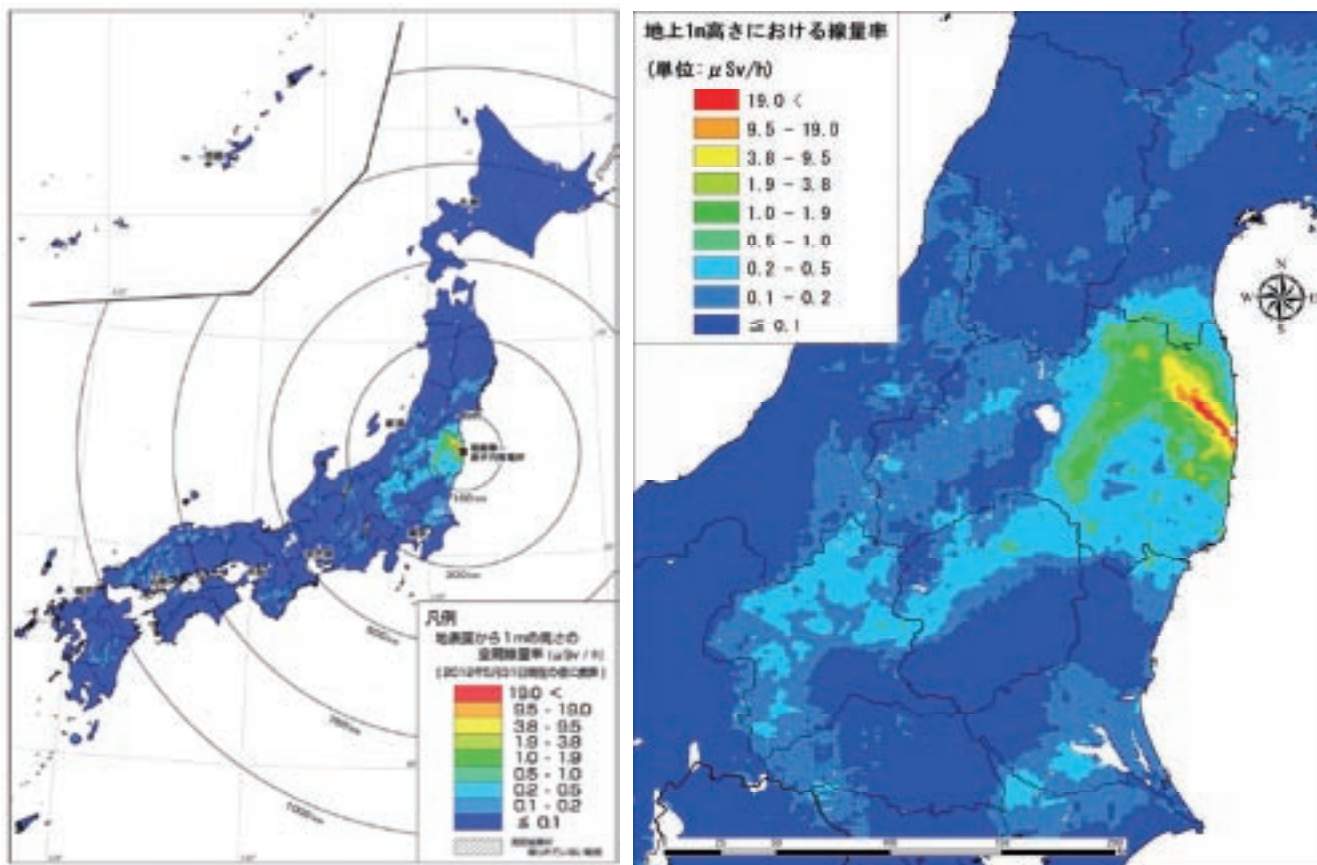


図 2-1-3 空間線量率マップ 全国(左)、東日本(右)

ヘリコプターに大型のNaI 検出器を搭載し、3 km - 5 km 間隔 (原子力発電所近傍は 1.8 km 間隔) 測定し、得られたデータを地上から 1m 高さの線量率に換算しました。空間線量率には天然放射線の影響が含まれます。

沈着した放射性 Cs の沈着量について地形に着目し、地図ソフトを用いて 3 次元分布を作成することができました。この図からは、大気中に放出された Cs は、奥羽山脈、飯豊山脈、越後山脈、下野山地、関東山地に沿って、放射性 Cs が拡散、沈着していることが確認されました。また、主要な沈着場所は、1000 m より低く、標高 1400 m の鳥居峠をほとんど越えられなかったと推察されました。

本マップは、文部科学省の下記のホームページで一般公開されており、だれでも見ることができます。

(<http://radioactivity.mext.go.jp/ja/>)

今後とも、原子力機構では、迅速に広範囲の放射線を測定し、可視化する手法の研究を進めてまいります。

なお、本研究は、文部科学省からの平成 23 年度委託事業「広域環境モニタリングのための航空機を用いた放射性物質拡散状況調査」の成果の一部です。



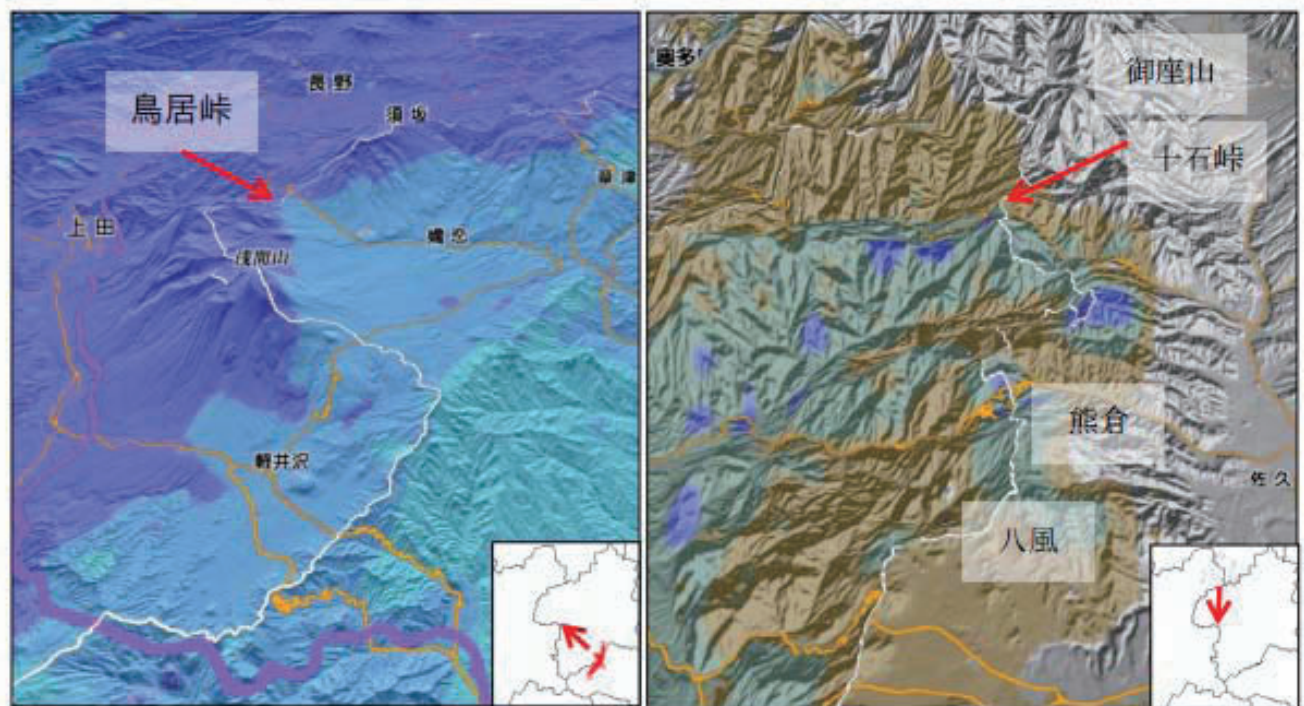
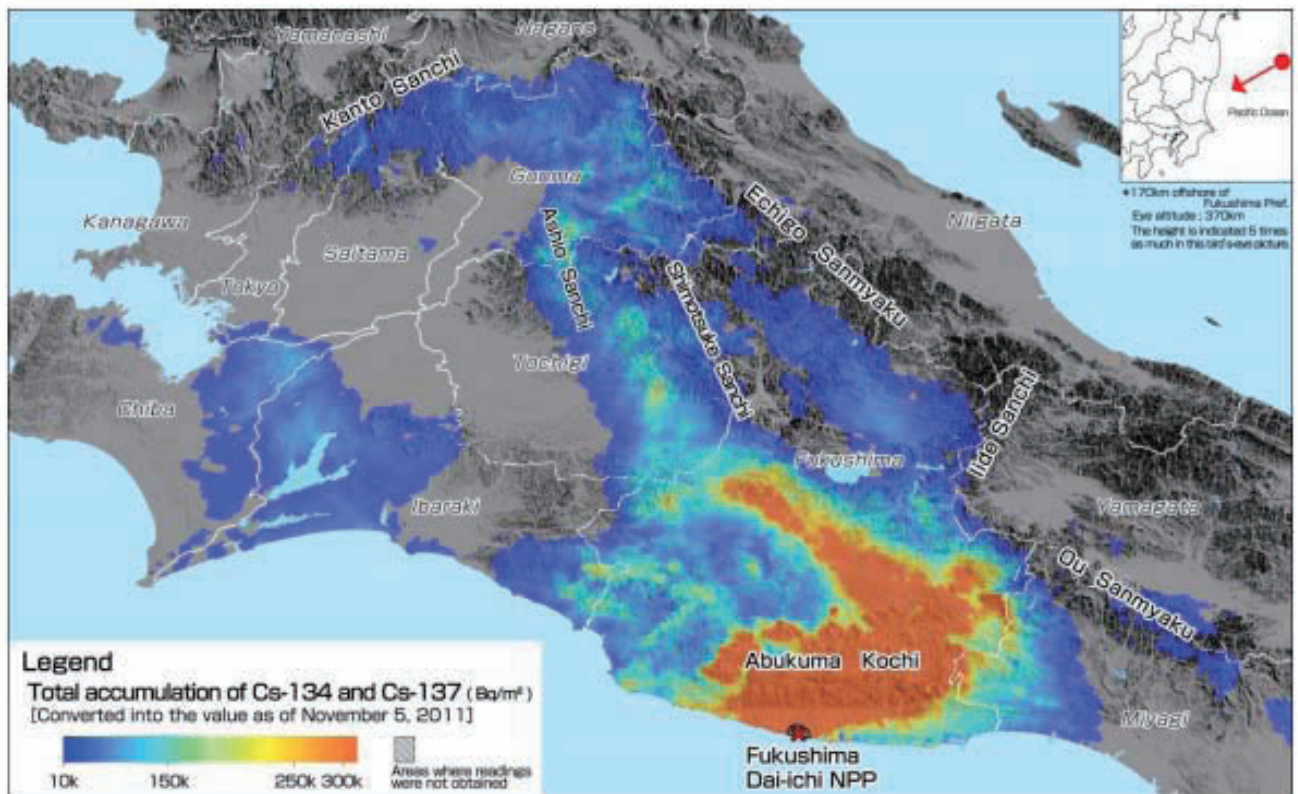


図2-1-4 空間線量率の3次元マップ

福島技術本部 福島環境安全センター 鳥居建男

●参考文献

日本原子力研究開発機構, 広域環境モニタリングのための航空機を用いた放射性物質拡散状況調査報告書, 2012年,  
[http://www.jaea.go.jp/fukushima/airbornemonitoring\\_report.html](http://www.jaea.go.jp/fukushima/airbornemonitoring_report.html)

## No.2-2 上空からの放射線モニタリング

### —(2)無人ヘリコプターを用いた放射線分布の詳細モニタリング—

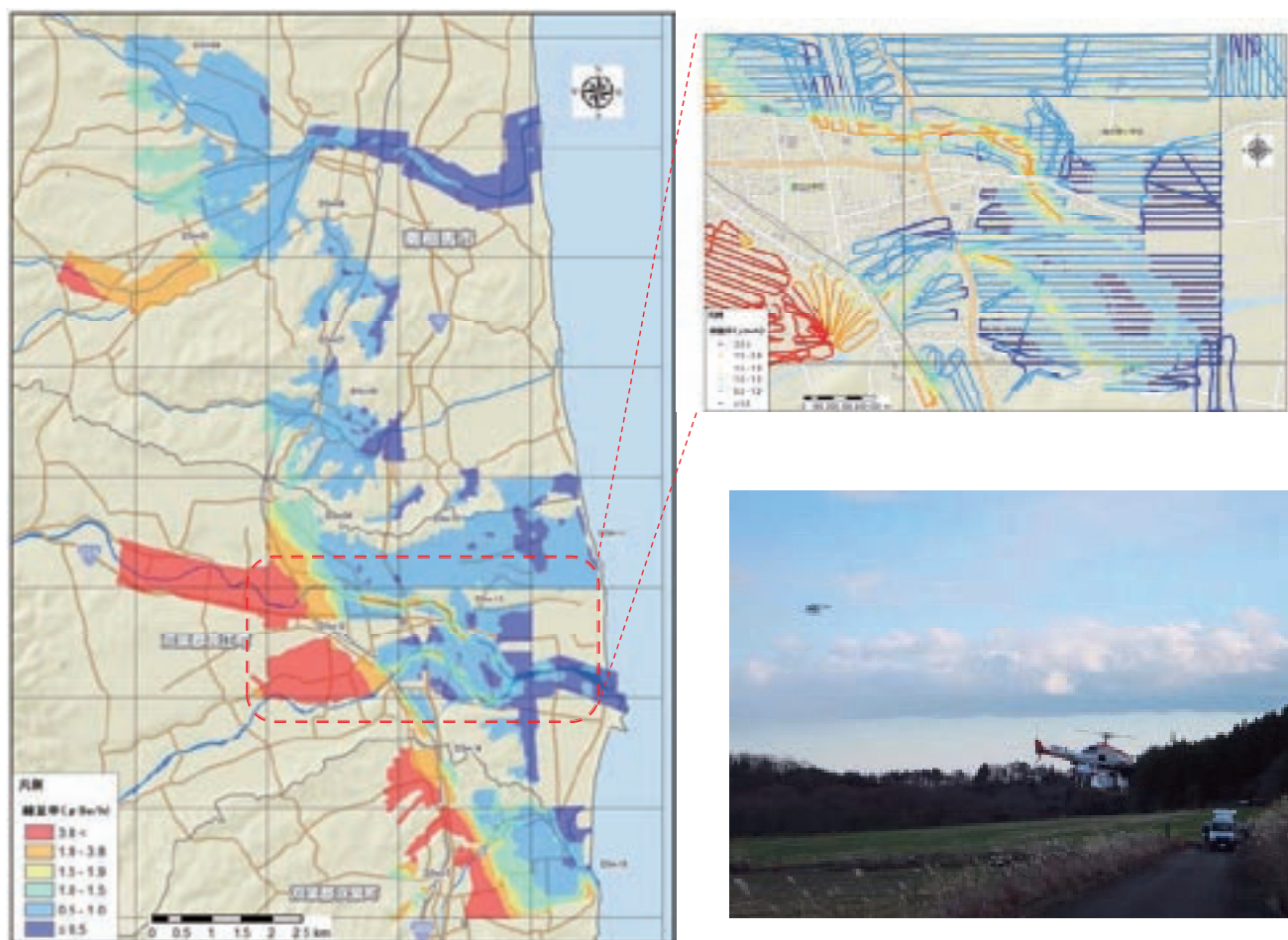


図2-2-1 無人ヘリコプターによる放射線分布測定例

無人ヘリコプターに、放射線検出器を搭載し、警戒区域を中心に50-80 mの間隔でフライトし(左図:コンター図, 右上図:航跡)、得られたデータを地上から1 m地点の線量率に換算しました。河川に沿って周辺より高い線量率を示す場所があることが分かります。右下図:フライト風景

農業散布等で広く利用されている産業用無人ヘリコプターに、GPSの位置情報を基に自動で飛行できる自律機能を搭載した機種が開発されています(以下、自律型無人ヘリコプター)。原子力機構(旧核燃料サイクル開発機構)では、1999年の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は、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。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。また、地上局(ワゴンタイプの車両)と定期的に通信用しており、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など、安全機能も充実しています。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、同じ位置を何度でも飛行できるので除染前後のモニタリングに適していること、少ない人的資源で広域の面的な

測定が可能であることが挙げられます。また、有人の航空機モニタリングよりも低い高度を飛行するので、より詳細な分布が把握できます。

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、除染モデル地区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てきました。

無人ヘリコプターの放射線モニタリングでは、ヘリコプターに大型のプラスチックシンチレータ(20cm×20cm×2cm)を用いた測定システムを搭載します(図2-2-2)。無人ヘリモニタリングのデータ採取は、対地高度を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の間隔で楕形に飛行します。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。さらに内挿法を用いて、線量率の分布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

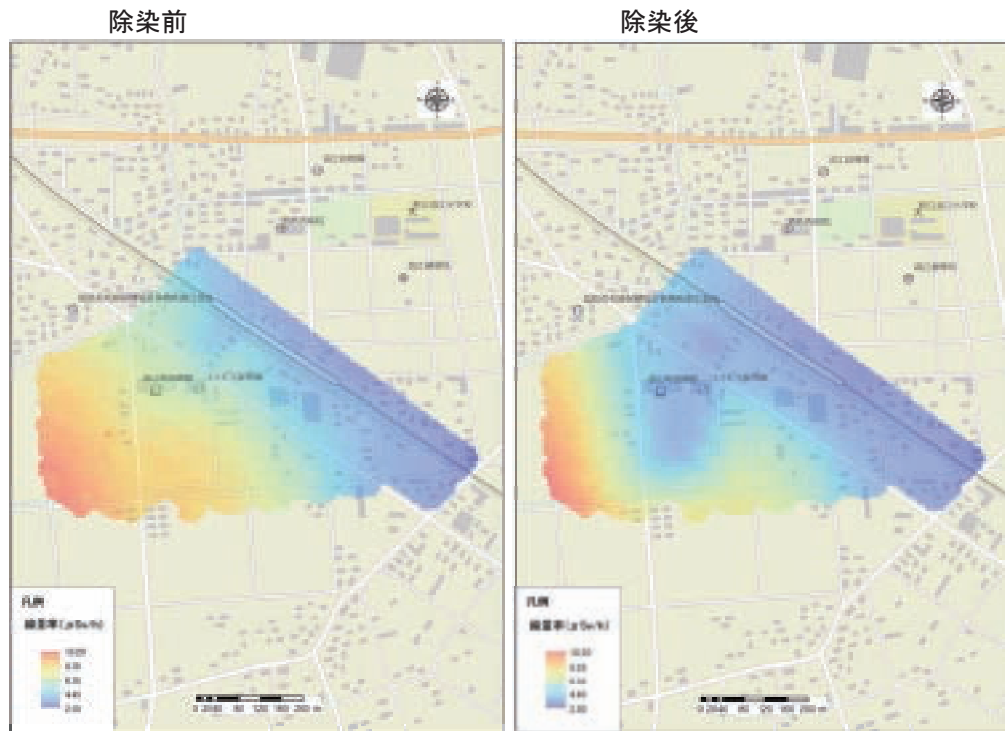


図 2-2-3 除染前後における無人ヘリモニタリング結果の比較  
駅周辺の除染したエリアが周辺の線量率より低くなっていることが分かる。

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 50m であれば、半径 50m の地上の円内）の平均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 0.5～1.5 倍の範囲内で一致することが分かりました。

警戒区域内のモニタリングは、平成 23 年 12 月から平成 24 年 3 月まで、約 100 km<sup>2</sup> を実施しました。結果の一部を図 2-2-1 に示します。このように、有人の航空機モニタリングの結果よりも、詳細な放射線量率の分布が確認できます。また、河川敷に沿って、線量率が周辺よりも高くなっている場所があることが確認できました。

本成果は、除染計画策定のための広域モニタリングとして、環境省の下記の HP から閲覧できます。

([http://josen.env.go.jp/progress/tokubetsuchiiki/tokubetsuchiiki\\_final\\_report.html](http://josen.env.go.jp/progress/tokubetsuchiiki/tokubetsuchiiki_final_report.html))

除染モデル地区の除染前後の測定を実施しました。除染前後の測定には、あらかじめフライト経路をプログラミングしておき、前後において同じ場所と高度でフライトを行いました。図 2-2-3 に一例を示したように、除染を行った場所において、線量率が下がっていることが確認できます。

無人ヘリコプターの放射線モニタリングでは、1km<sup>2</sup> 当たり 1 時間程度でモニタリングでき、人員は操作員 2 名及び離着陸や異常の際にバックアップを行う資格を持ったマニュアルヘリコプターのオペレータ 1 名の最低 3



図 2-2-2 無人ヘリコプターによる放射線モニタリングシステム

名で運用が可能です。地上をサーベイメータで人手をかけて測定することを考えると、少ない人的資源、低いコスト、低い被ばくによるモニタリングが可能になると考えています。また、人が立ち入りにくい山間部や田畑の測定も可能です。

今後とも、迅速に広範囲の放射線を測定し、可視化する方法について研究を進めてまいります。

本研究は、内閣府からの平成 23 年度委託事業「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」の成果の一部です。

●参考文献

## No.2-3 地上からの放射線モニタリング

### — 土壌沈着量分布や空間線量率分布のマップの作成 —

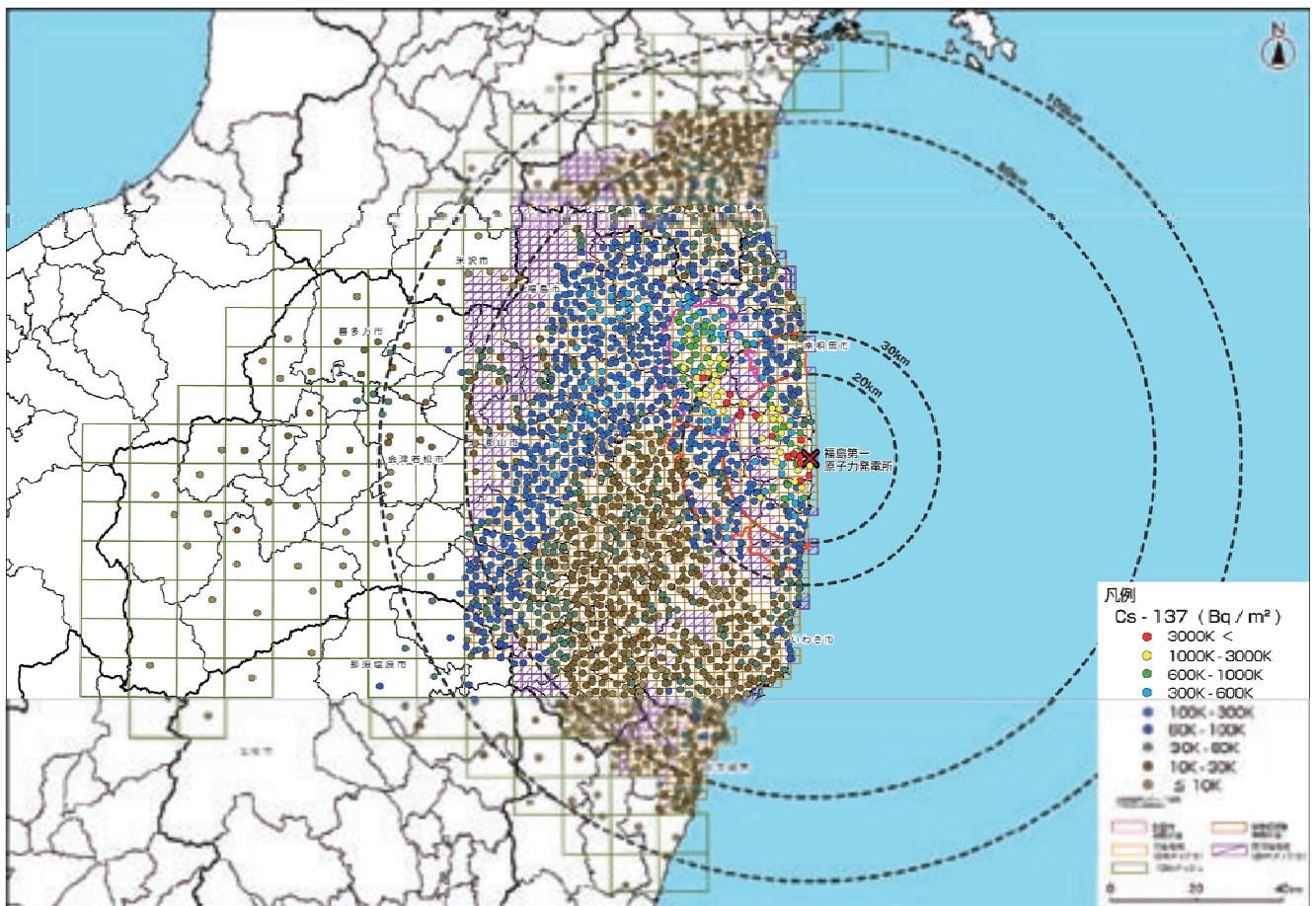


図 2-3-1 Cs-137 の土壌沈着量 (Bq/m<sup>2</sup>) のマップ

福島サイトから 80 km 圏内を 2 km メッシュに、80-100 km 圏内と残りの福島県を 10 km メッシュに区分し、各メッシュ内で適切な 1 地点を選びそれぞれ 5 個の土壌試料を採取しました。採取した 10,000 を越える土壌試料を 22 の機関で分担して分析し、ガンマ線放出核種の濃度をしらべ、この結果をもとに土壌沈着量マップを作成しました。2011 年 6 月 14 日のデータとして表しています。

福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性物質による環境や人への影響を長期にわたり正しく評価し適切な対策を講じるために、放射性物質の沈着量や空間放射線量率の詳細な分布を把握することが必要とされます。事故直後から文部科学省やその他の多くの機関により多数の環境モニタリングが実施され、多くの環境放射線・放射能データが蓄積されました。しかし、これらのデータは測定手法、精度、測定場所、測定時間等がまちまちで、蓄積されたデータを集約してマップを作成するのは難しい状況にありました。

そこで、行政側と研究現場側の双方から、信頼の置ける大規模な環境調査結果に基づく放射性物質分布マップ等を作成することが急務であるという提案がなされました。このような状況のもと、文部科学省から科学技術戦略推進費による委託を受け、原子力機構が多くの大学や研究機関等と協力しマップ作成事業を実施

しました。当事業では土壌試料の採取には 400 名を越える参加者が、土壌試料の分析には 300 名を越える参加者がいました。

6 月上旬に開始した当事業では、土壌試料を約 2200 地点で採取し分析を行うことで、Cs-137、Cs-134、I-131、Te-129m、Ag-110m、Pu-238、Pu-239+240、Sr-89、Sr-90 に関する土壌沈着量分布マップを作成しました。また、土壌採取地点における地上 1m の空間線量率マップ、さらには自動車に京都大学で開発された KURAMA 走行測定システムを搭載して 17,000 km にわたり測定を行い、道路上の空間線量率マップを作成しました。

図 2-3-1 は、単位面積あたりの放射線量を示した、Cs-137 の土壌沈着量マップです。福島サイトから北西方向に高い濃度の地点が存在すること、福島県中央部の中通りの部分の濃度が相対的に高いこと等が明確に

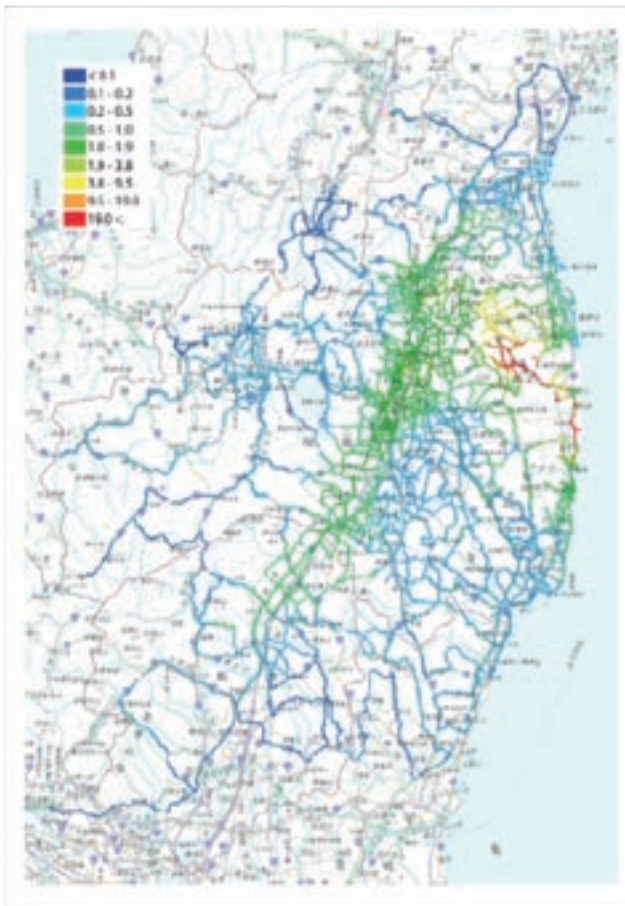


図 2-3-2 走行サーベイの結果

KURAMA システムを用いて測定した空間線量率値と GPS データによりマップを作成しました。これに際して、ノイズの除去、道路から外れたデータの補正、トンネル内のデータの削除等の処理を行なっています。

見てとれます。Cs-134 に関してこれと良く似たマップが得られています。また、事故初期の被ばくで重要な核種である I-131 についても、観測地点はセシウムほど多くはないが、貴重なマップを作成しました。さらに、明らかに事故により放出されたと考えられるプルトニウム及びストロンチウムが検出されましたが、1960-70 年代に大気中核実験で放出されて残っているバックグラウンドのプルトニウムやストロンチウムと比べてその濃度は特に高いものではありませんでした。検出された放射性核種による今後 50 年間の被ばく線量を評価した結果、Cs-137 と Cs-134 が重要でその他の核種の寄与は小さいことが確認されました。

図 2-3-2 は、走行サーベイにより測定した空間線量率分布を示しています。走行サーベイでは平面上の詳細な線量率分布が得られます。この結果から、特に原子力発電所の近傍ではわずかな距離で線量率が急激に変化する様子(図 2-3-3)、山間部において山の尾根の片側を放射性ブルームが通過する様子、福島県の中通りで高度と沈着量に関係がある様子(図 2-3-4)等の特徴が明らかになっています。

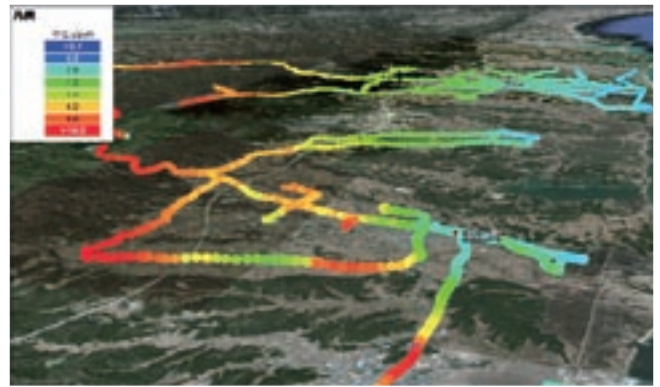


図 2-3-3 福島第一発電所北側の走行サーベイ結果  
わずかな距離で線量率が急激に変化する様子が見取れます。



図 2-3-4 郡山盆地周辺の走行サーベイ結果  
盆地の部分は相対的に線量率が高く、両側の山に向かって高度が高くなるにつれて線量率が低くなります。

また、科学技術戦略推進費として始まった当事業はその後継続して 2 次調査と 3 次調査が実施されており、測定結果の比較・解析により空間線量率の経時変化の特徴や、土地利用状況による減衰の特徴が明らかになりつつあります。2 次調査では、調査地域を 0.2 mSv/h 程度の低い地域までを対象とすることとし、岩手県から神奈川県までの広い範囲で調査を実施しました。また、3 次マップ調査では、環境中での放射性セシウムの移動の状況を調べることに重点を置いて調査を行なっています。

これらの結果は、事故影響の評価や対策のための基礎データとして広く参照されています。原子力機構では、マップ事業の成果を次項で述べるデータベースとして管理、公開して行きます。また、汚染状況の経時変化の解析と放射性核種の移行メカニズムを明らかにする研究成果から、空間線量率分布等の将来予測につなげるための研究を継続して実施し、今後の対策等に役立てる予定です。

本研究は、文部科学省からの委託事業「放射性物質分布状況等に関する調査研究」の成果の一部です。

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, 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, 平成 23 年度科学技術戦略推進費報告書, [http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5235/26/5600\\_201203131000\\_report1-2.pdf](http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5235/26/5600_201203131000_report1-2.pdf)

# No. 2-4 放射線測定結果の発信

—環境復興の礎となるデータを世界に発信—

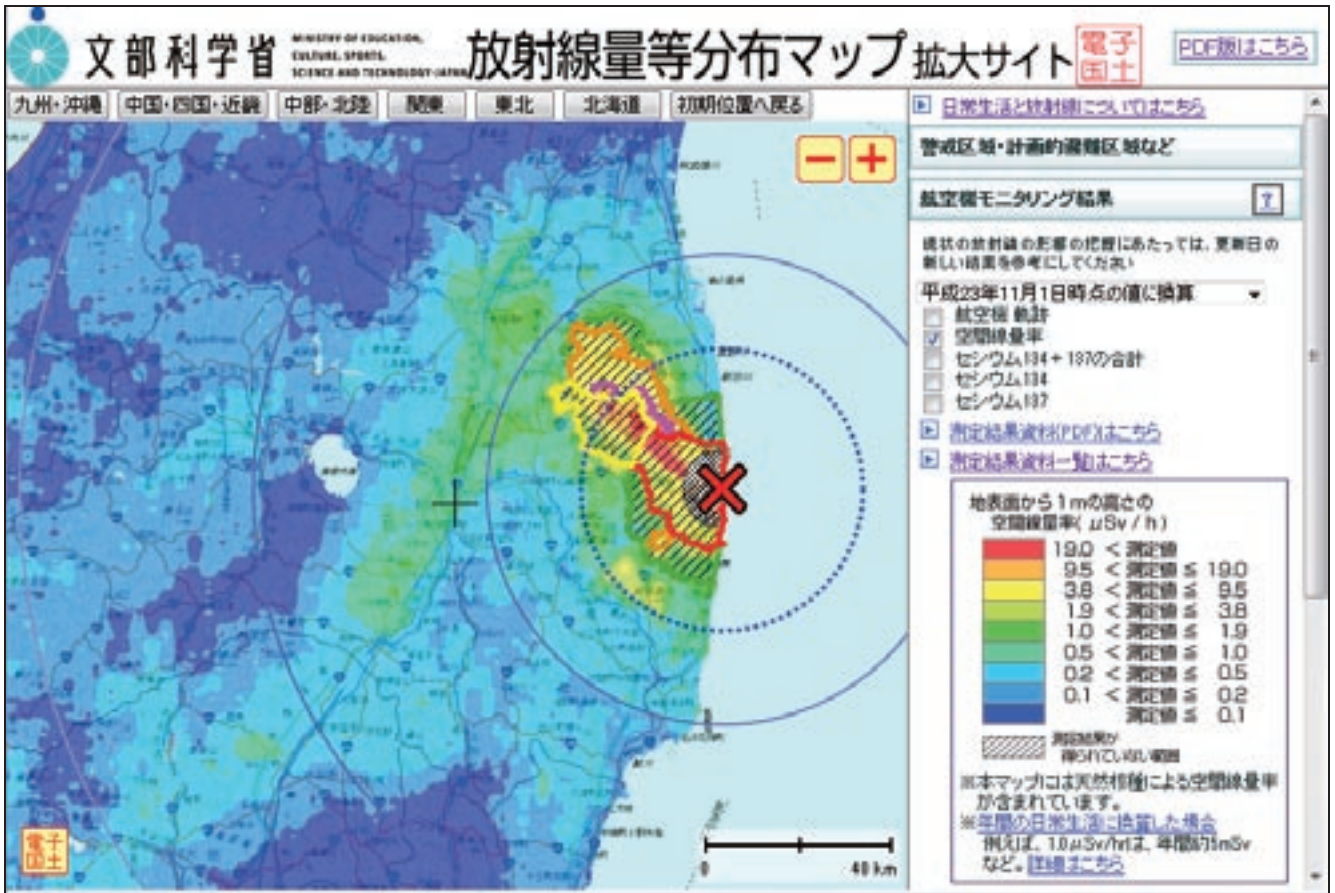


図 2-4-1 放射線量等分布マップ 拡大サイト

空間線量率や核種濃度を可視化することで、直感的な把握が可能です。(http://ramap.jaea.go.jp)

原子力機構は、放出された放射性物質による環境への影響に対応し、その対策基盤を確立するための調査研究を行いました。その一環として、福島県及び近隣県における空間線量の測定結果や、地表・地中の土壌及び河川・地下の水の分析結果等を集積、統合して一元的に保管し、住民の健康及び環境への影響を将来にわたり継続的に確認していくためのデータ公開システムを構築しました。

データ公開システムは、「放射線量等分布マップ」（以下、分布マップ）と「放射性物質の分布状況等調査データベース」（以下、データベース）の2つの機能に大別されます。分布マップは、平成23年10月に公開され（図2-4-1）、データベースは、平成24年9月に公開されています（図2-4-2）。ユーザは、パソコンにあるブラウザを使って、いつでもどこからでもインターネットを経由してこれらを利用することができます。

分布マップは、ユーザの利用環境や利用目的にあわせて、「電子国土版」、「PDF版」、「スマートフォン版」を用意しております。特に「電子国土版」は、空間線量率や核種濃度を地図上に表示し、拡大・縮小することで直感的に環境放射能の状況を確認することができます。また、種類の違うデータを重ね合わせて表示することができ、分布の傾向を比較することが可能です。さらに、小中学

校を地図上に表示する機能や、地名や公共施設等の名前を検索できる機能なども備えています。

データベースは、データ分類名、データ種類名、都道府県名、市町村名を選択していただくことで、ユーザが閲覧したい測定結果をブラウザ上一覧表示することができます。また、空間線量率や核種濃度の数値データの他に、調査実施地点ごとに測定手法、分析手法、及び測定誤差等の付帯情報を加えた詳細な情報も閲覧することが可能です。さらに、これらデータはXML形式やCSV形式によるファイルでダウンロードすることもでき、ユーザが使用しているアプリケーション等にデータを取り込むことで、研究・業務等に活用していただけます。

公開にあたって多くのアクセスが予想されたことから、システムの負荷テストを事前に実施しました。特に分布マップについては、地図と分布マップの重ね合わせ処理を行うサーバに負荷がかかり、接続が切れる障害が発生することが、負荷テストによって判明しました。そこで事前に重ね合わせ処理を行う対策をとったところ、リクエスト失敗率を20%から、わずか0.000001%に抑えることができました。実際の公開では、公開後10日間で30万人を超えるアクセスがあり、総リクエスト数は1億1千万を超えましたが、システムは問題なく稼働しました。

一覧表示：福島県及び近隣県の2,200箇所で行われた空間線量率の測定結果  
(H23.6：放射線量等分布マップの作成等に係る調査)

該当区域：福島県（全体）

実施機関：文部科学省

表示対象期間の指定： 2017/03/04 から 2017/03/08 まで 表示

1,733 件中 1 ~ 20  
表示件数： 10

調査地点番号	測定日	住所	測定緯度 北緯	測定経度 東経	福島県一帯からの距離(km)	空間線量率(μSv/h)
022012090401101	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°29'29.9"	140°42'4.2"	25.0	4.5E+00
022012090401102	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°27'49.4"	140°40'41.2"	24.0	9.5E+01
022012090401103	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°24'1.7"	140°45'45.3"	33.0	1.5E+00
022012090401104	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°24'59.8"	140°42'7.1"	33.0	5.5E+00
022012090401105	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°24'50.4"	140°38'18.2"	39.0	4.0E+00
022012090401106	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°29'27.3"	140°38'23.3"	29.2	1.5E+00
022012090401107	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°29'24.8"	140°38'21.9"	28.0	1.5E+00
022012090401108	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°29'27.8"	140°40'42.4"	26.5	1.5E+00
022012090401109	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°26'41.0"	140°40'31.0"	37.5	4.0E+00
022012090401110	2011-06-04	福島県 伊達郡川俣町	37°26'39.0"	140°38'24.0"	39.2	3.5E+00

1,733 件中 1 ~ 20

一覧データ取得 CSV形式 (6件分)      一覧データ取得 CSV形式 (6件分)

※Excel/CSV形式のデータをダウンロードするには、右のボタンをクリックしてください。  
※Excel形式のダウンロードは、6件分以内のCSVファイルをご利用ください。

戻る

関連するリンク先へのリンク先

- 放射線量率による放射線量分布マップ（調査結果マップ）の作成について
- 福島県内の放射線量率による放射線量分布マップ（調査結果マップ）の作成について

図 2-4-2 放射性物質の分布状況等調査データベース

空間線量率や核種濃度に関する定量的な値を提供することで、解析を支援します。(http://radb.jaea.go.jp)

表 2-4-1 主なデータ種類

公開されている主なデータ種類になります。今後さらに追加されていく予定です。

データ種類	分布マップ	データベース
福島県及び近隣県の2,200箇所で行われた空間線量率の測定結果及び採取された土壌試料の核種分析結果	有り	有り
福島県及び近隣県の走行サーベイによる空間線量率の測定結果	有り	有り
航空機モニタリングの空間線量率の測定結果及び放射性セシウムの沈着量の測定結果	有り	有り
福島県内で採取された河川水・河底土・井戸水・浮遊砂の核種分析結果	無し	有り
浪江町、川俣町等で採取された土壌中の放射性物質の深度分布の測定結果	無し	有り
モデル地域（川俣町山木屋地区周辺）で採取された土壌中の放射性物質の深度分布の測定結果	無し	有り
福島市南西部の2kmメッシュ内で採取された土壌中の放射性物質の深度分布の測定結果	無し	有り
福島県及び近隣県（77箇所）で採取された土壌中の放射性物質の深度分布の測定結果	無し	有り

上記調査研究で得られた測定結果の他にも、文部科学省が事故発生初期から測定してきた航空機モニタリングによる測定結果についても、整理・集約したものから順に分布マップ・データベースに登録して公開しております。分布マップ・データベースに登録されている主なデータの種類のについては、表 2-4-1 をご覧ください。

放射性物質による環境影響を継続的に調査するため、平成 24 年 6 月より新たに福島県内の約 6,500 地点における空間線量率などの調査が開始されています。今後も警

戒区域・計画的避難区域等の見直しや放射性物質による環境影響の把握、住民の健康管理、適切な除染対策等に必要な情報として、これらの測定結果を収集し、データ公開システムを介して引き続き公開していきます。

本研究は、文部科学省からの受託研究「放射性物質分布状況等に関する調査研究」、「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第 2 次分布状況等に関する調査研究」及び「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。

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、平成 23 年度科学技術戦略推進費報告書、2012, p.1-97~1-104,  
(http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5235/26/5600\_201203131000\_report1-2.pdf)

# No.3-1 安全・安心な生活を取り戻すために

## —(1)チルドレンファースト、放射線・除染講師派遣活動—



図 3-1-1 チルドレンファースト活動のロゴ



図 3-1-3 学校遊具除染の手引き



図 3-1-2 原子力機構の除染専門家の指導のもと、一緒に除染作業を行っている風景

### チルドレンファースト活動

原子力機構は、平成 23 年 8 月 26 日に原子力災害対策本部が決定した「除染に関する緊急実施基本方針」における子どもの生活空間の線量低減化に優先して取り組む「チルドレンファースト(図 3-1-1)」の考え方にに基づき、文部科学省に協力して、学校等が行う除染活動に放射線や除染の専門家を派遣し、技術的な助言や指導等を行っています。学校の先生や保護者、地域の住民の方々が協力して子供の生活環境の放射線量低減に向けた活動を行うことは、安心の醸成や地域コミュニティーの再生にもつながる重要な取り組みであり、それに原子力機構も除染専門家として協力し一緒に取り組んでいこうというものです。

最初のチルドレンファーストの対応は、平成 23 年 12 月 3 日の旧緊急時避難準備区域にある南相馬市の太田小学校での校舎及び周辺の除染作業で、参加した方々は「子

どもたちが帰って来ないと地域は元気を取り戻せない」「孫たちが安心して勉強のできる環境を作りたい」という思いで真剣に作業を行っていました。この学校の生徒は、それまで市内の別の小学校で授業を受けていましたが、この除染作業が学校の再開につながりました。

この他、小・中学校や保育所の遊具除染指導、通学路等の除染方法の講習会開催、プール除染の助言、プラスチックシンチレーションファイバーを使用しての面的な汚染状況の調査等で、10 月末までに 16 件の対応を行いました。

特に遊具に関しては、事故後、使用を制限している学校、保育園等が多く、除染を行い早く安心して使用させたいとの思いから指導・助言の依頼がありました。機構の除染専門家の指導のもと、一緒に除染作業を行うことで納得感や遊具使用に対する安心感をもっていただけたようです(図 3-1-2)。





図 3-1-4 除染業務講習会の風景



図 3-1-5 放射線・除染講習会テキスト

これらの活動を通じて得られた知見により、遊具除染の手引き（図 3-1-3）を作成し HP に掲載すると共に活用していただいております。

今後もチルドレンファーストの方針の下、福島県内の子どもたちが安心して校庭や園庭で活動できるようにすることで健康な体と健全な精神の育成に少しでも役立つよう取り組んでいきます。

#### 放射線・除染講師派遣等

除染作業を行うにあたっては、除染事業者、除染業者等の育成や住民の理解が急務となっています。原子力機構は、福島県が主催する「除染業務講習会」「放射線・除染講習会」へOBの協力も得て講師派遣を行っています。

「除染業務講習会（図 3-1-4）」は除染作業に従事される方を対象に、適切かつ安全な除染作業を行うための専門知識と技能取得を目的として福島県が開催するもの

で、原子力の専門知識を有する原子力機構が、テキスト作成、説明会への講師派遣を行っています。昨年 10 月から開始し、今年 9 月までに 26 回開催され、約 7,000 人が受講し、福島県知事名の修了証を得ています。

「放射線・除染講習会（図 3-1-5）」は、地域のリーダー的存在となる町内会長、区長、自衛消防団員等を対象として、放射線に関する正しい理解や生活圏の除染を推進するために福島県が実施している講習会で、今年 1 月の第一回開催から 9 月末までに 42 回開催されました。

このように福島県をはじめ各市町村や団体等が行う講習会や除染の実習指導等に対して、原子力機構OBの協力も得て積極的な活動を行っています。

## No.3-2 安全・安心な生活を取り戻すために

### －(2)環境放射線測定、WBC、住民の一時立ち入り協力－



図3-2-1 環境放射線測定の風景



図3-2-2 全身カウンタ(WBC)による内部被ばく測定



図3-2-3 警戒区域への住民の一時立ち入りの協力

#### 環境放射線測定、環境放射能分析の実施

文部科学省からの要請を受け、発災翌日(3月12日)の未明にモニタリング等の専門家を現地へ向けて派遣し、現地でのモニタリング活動を開始しました。以降、東京電力福島第一原子力発電所の半径20km以遠の地域を対象にモニタリング車等により、環境放射線、土壌中及び空气中放射性物質の濃度測定を実施しています。

これらの測定結果は、文部科学省から公表されています。

#### 避難指示解除準備区域への帰還・復興を支援するための放射線モニタリングの実施

区域見直し(警戒区域から避難指示解除準備区域への見直し)を受けて、南相馬市、田村市、川内村の住民の帰還に向け、当該区域において重要な公共施設(学校、保育園、病院)での空間線量モニタリング、里山における空間線量モニタリングなどを実施しています。これらのモニタリングの結果は、文部科学省から公表されています。

#### 全身カウンタによる住民の内部被ばく測定

福島県民の健康調査の一環として、福島県からの要請に基づき2011年7月から東海研究開発センターの全身カウンタ(WBC)及び移動式全身カウンタ車を用いて福島県民の内部被ばく測定を実施しています。開始以来、これまでに(2012年9月末)までに約28,000人が測定を受けています。

これらの測定結果は、福島県等が行った内部被ばく測定の結果と合わせて、福島県から定期的に公表されています。

#### 警戒区域への住民の一時立ち入りの協力

福島第一原子力発電所の半径20km圏内の警戒区域内への住民の一時立ち入りに関連し、住民の線量の結果に関する問い合わせ対応や安全管理者としてバスに同乗するなどの対応を実施しています。

## No.3-3 安全・安心な生活を取り戻すために

### －(3)放射線に関するご質問に答える会－



福島県内地域別開催件数(平成24年9月末)



答える会の説明資料



答える会 実施風景

福島県内の保育園、幼稚園、小中学校の児童・生徒をお持ちの保護者や先生方を主な対象に、「放射線に関するご質問に答える会」(答える会)を実施しています。答える会は、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、保護者や学校の先生方の放射線について科学的な理解を深め、不要な不安を少しでも和らげていただければと企画したものです。

答える会では、原子力機構におけるリスクコミュニケーション活動の経験から、原則として4名の職員によるチームを構成し、放射線に関する基礎的な内容を説明したのち、参加者からの質問に対して丁寧にお答えする時間をできるだけ長く取ることによって、一方向の説明ではなく参加者とのコミュニケーションが図れるようにしました。また、説明に用いる資料については、参加者が関心を抱きそうな事項を網羅し、平易で中立的な記載と

なるよう努めました。さらに、答える会の終了後に、参加者に任意で無記名のアンケートをお願いし、参加者がどのようなことを知りたいと思っているか等を確認し、以降の運営に反映させています。

答える会は、平成23年7月に開始しましたが、本年9月末までに合計で205回実施し、約15,600人の方に参加いただきました。

答える会終了後に実施したアンケート(平成23年度分)では、参加者の38%の方が「良く理解できた」、54%の方が「少し理解できた」と回答するなど、一人ひとりのご質問に丁寧に答えることにより一定の効果をあげていることを確認できましたが、参加いただく方の質問に更にもっときめ細かくお答えできるよう、創意工夫を重ねて資料や説明方法の改善を図っていきたく考えています。

現在、答える会は町内会なども対象に加えて活動を継続しています。

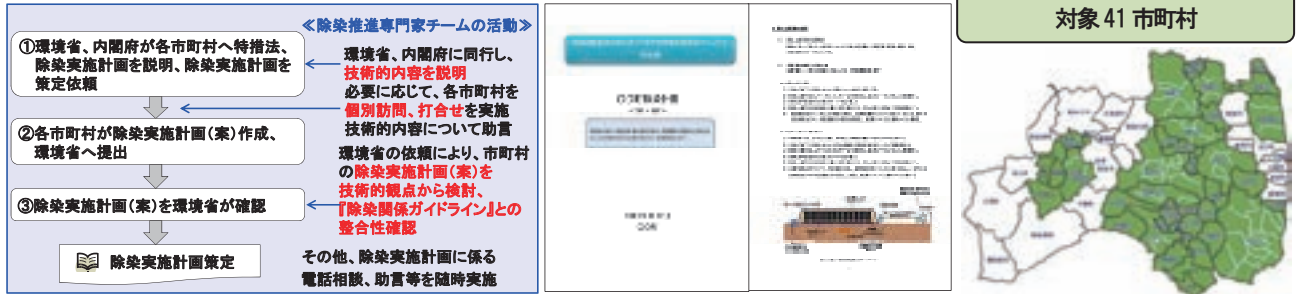
# No.3-4 福島県除染推進活動

## －(1) 専門家活動による自治体への協力：概要－

### 【除染推進専門家チームの発足と役割】

- H23.9.28：各拠点から専門分野に精通した技術者・研究者が集結、『除染推進専門家チーム』が発足
- 福島県内の除染活動の円滑な推進のため自治体を支援

### 1. 福島県内各市町村における除染実施計画の策定協力～除染実施計画策定までの流れ～



### 2. 除染に係る技術指導・支援等



平成 23 年 9 月 28 日に内閣府・環境省からの要請により、「除染推進専門家チーム」が発足し、福島県内の各市町村における除染活動の円滑な推進のため各自治体等への支援活動を開始しました。

「除染推進専門家チーム」の主な活動は以下のとおりです。（括弧内は平成24年9月現在）。

1. 福島県内各市町村の除染実施計画の策定協力 (446件)
  - (1) 各市町村を訪問し、技術的内容を説明 (115件)
  - (2) 実施計画に関する相談、助言等 (331件)
2. 除染に係る技術指導・協力等 (407件)
  - (1) 「除染活動」協力、技術相談・指導 (221件)
  - (2) 除染講習会開催、監督者等育成 (31件)
  - (3) 仮置場設置に係る技術指導、現地調査 (74件)
  - (4) 住民説明会における説明への協力 (81件)

特に、現状、除染作業で発生した除去土壌等を一時保管するための仮置場の設置について、どの自治体も大変苦慮されている状況であるため、2(3)項の技術指導等、2(4)項の住民説明への協力を重点をおいた活動となっています。

上記項目に係る対応を以下に示します。

#### ・仮置場設置に係る技術指導、現地調査

- ①自治体からの相談：候補地が適正かどうか等の相談に

応じて必要な情報やアドバイスを提供。

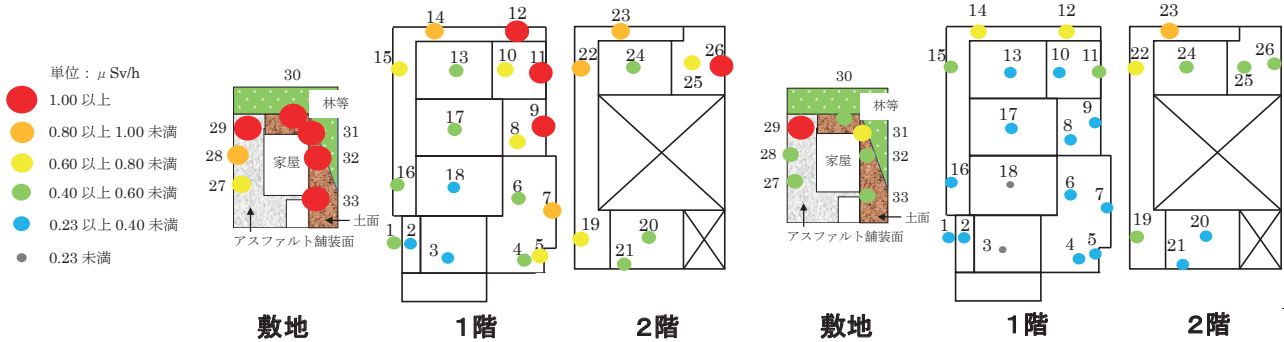
- ②事前調査：インターネットや既存情報等に基づいて、地形、土壌、地質、水理、植生及び土地利用状況等を確認し、現地での確認事項やアドバイス項目を整理。
  - ③現地確認：上記内容、近隣家屋との位置関係、候補地周辺の被災状況やアクセスルート及びインフラの状況等を確認するとともに、自治体や周辺住民の要望を確認。
- #### ・住民説明会における説明への協力

- ①説明資料作成：仮置場の必要性、設置・管理に必要な要件の解説、近隣家屋からの距離、インフラ等の地域の状況に応じた具体的な助言のまとめ。
- ②住民説明会：技術的観点から除染方針、方法とその進め方、除去土壌等の収集・運搬、仮置場の構造・設置に関する安全対策等を説明。特に、設置目的（生活環境中に飛散した放射性物質を除去・収集し一ヶ所に集め、適切に保管することにより、除去・収集した放射性物質を安全に管理すること）を説明。

現在、仮置場の設置の遅れにより除染が進まない状況であるため、県が行う説明会や仮置場現地視察会等において技術的知見からの説明を行う等、住民の同意取得に協力しています。

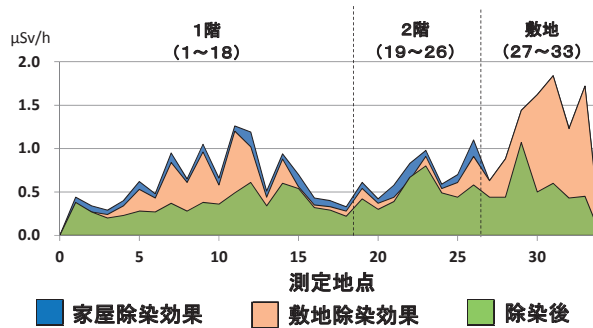
# No.3-5 福島県除染推進活動

## —(2) 専門家活動による自治体への協力：家屋除染—



**図3-5-1 除染前の空間線量率測定状況**  
除染前に敷地、屋内(1階及び2階)について、1m高さの空間線量率を測定

**図3-5-2 除染後の空間線量率測定状況**  
除染後に敷地、屋内(1階及び2階)について、1m高さの空間線量率を測定



**図3-5-3 除染前後の空間線量率測定状況**  
敷地、屋内(1階及び2階)について、除染前、家屋除染後、敷地除染後の空間線量率を段階的に測定することで、それぞれの除染効果を確認

前ページ2. 除染に係る技術指導・協力等の一例として、自治体が除染業者を対象として実施した家屋除染講習会の例を示します。

講習会に参加した多くの監督者、作業員の方々にとって除染は経験がない作業であり、放射線の知識から除染技術までを短時間で指導する必要がありました。そこで放射線の基礎知識、除染についての座学を設けるとともに除染現場では除染方法の実演、実践でのポイントの解説及び直接指導を丁寧に繰り返し行うことで除染方法の理解と技術の向上を図りました。

除染の対象となった家屋は、アスファルト舗装面と土面に面し、その外周が林等に覆われている環境でした(図3-5-1)。除染により敷地や家屋だけでなく、屋内についても除染により空間線量率が低減することを確認するため、除染前、家屋除染後、敷地除染後と段階的に測定を行い、家屋除染及び敷地除染について、それぞれの除染効果を確認し、評価を行いました(図3-5-1～3参照)。

**1. 具体的な除染方法：**家屋に対しては屋根・雨樋の堆積物除去、拭き取り後の高圧水洗浄を実施し、敷地に対してはアスファルト舗装面の高圧水洗浄、土面の落葉除去、低木の剪定、表土除去等、環境省「除染関係ガイドライン」に基づいた方法を選定しました。

**2. 結果(敷地の空間線量率)：**敷地除染を効果的に実施することで着実に低減することを確認しました(敷地：No. 27～33)。また、アスファルト舗装面で特に亀裂が多い部分では高圧水洗浄でも汚染が取りきれないことを確認しました(敷地：No. 29)。

**3. 結果(屋内の空間線量率)：**家屋除染及び敷地除染により低減が図られ、特に敷地除染が効果的であることを確認しました(1階：No. 5、7、9、11、12、14等)。

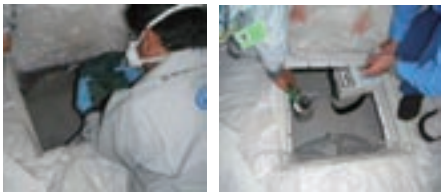
**4. 評価：**除染後に屋内で空間線量率が高かった場所は未除染の家屋周辺の林等や高圧水洗浄でも汚染が残ったアスファルト舗装面に面した部屋であり、また、2階部分の除染効果が低いことから、林等からの影響が大きく、周辺の除染の必要性が認められる例となっています。

**5. まとめ**

これらの市町村によるモデル除染への協力を通して得られた知見等は今後の各市町村の除染活動に展開することで、効果的な除染の実施及び円滑な除染活動の推進が図られるものと考えます。

# No.3-6 福島県除染推進活動

## —(3) 専門家活動による自治体への協力：床下除染—



除染工法	前(cpm)	後(cpm)	低減率
ウエス拭取り工法	3700	3700	0%
ブラシ除染工法	4000	4000	0%
紙ヤスリ除染工法	4000	2200	45%
金ブラシ除染工法	4400	1600	60%
グラインダー除染工法	5300	530	90%

図3-6-1 単体試験結果



図3-6-2 モックアップ試験

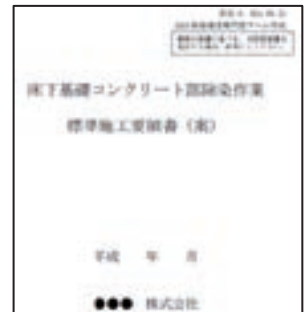


図3-6-3 作業標準(表紙)

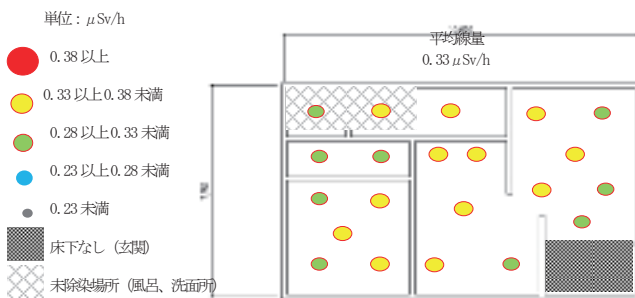


図3-6-4 除染前

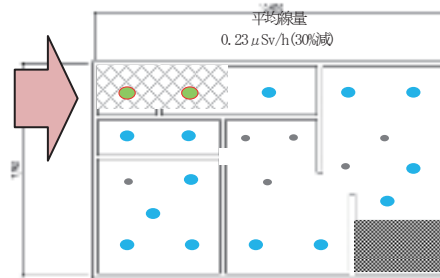
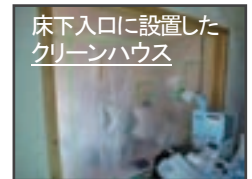


図3-6-5 除染後



屋外周辺(建屋前道路) 0.27 μSv/h

前々ページ2. 除染に係る技術指導・支援等の一例として、事故当時建設中だった一般住宅の基礎コンクリート部分が汚染されているケースについて、技術指導を行った例を示します。

本件は、市町村(環境省経由)より、屋外に比べて屋内の空間線量率が高い住宅の原因究明の要請があったものです。現場調査を行った結果、床下の基礎コンクリートが汚染していることが判明しました。この住宅が新築であることに着目して、汚染した碎石の使用の有無や施工の段階で汚染された可能性の有無を調査しました。その結果、事故発生時期と床下の基礎コンクリートの施工が終了した時期が一致しており、基礎コンクリートが汚染していたことに気が付かず住宅を建設したことによるものと判明しました。

さらに環境省、市町村からその対応策についても検討要請があり、これまでに経験したコンクリート等の除染方法について単体試験を行い、汚染したコンクリートを切削(グラインダー除染工法)することが有効であることを確認しました。実際の床下を再現し、グラインダー除染工法のモックアップ試験を行い、改良型カプラとダイヤモンドカッターとの組合せが作業性に富み除染効果もあることが分かりました。これらの試験の結果を基に床下除染工法に係る福島スタンダードを目指した「床下基礎コンクリート部除染作業標準施工要領書」を作成しました。この要領書は、現在実際の除染作業に活用されています。

1. 単体試験：グラインダー除染工法の低減率が最も高  
福島技術本部 福島環境安全センター

く、作業性に優れていることがわかりました(図3-6-1)。

2. **モックアップ試験**：改良型カプラとダイヤモンドカッターとの組合せが、粉じん発生量が最も少ないこと、作業性に優れていることなどがわかりました(図3-6-2)。
3. **作業標準の作成**：単体試験、モックアップ試験の結果をもとに、作業に関わる工事関係者とも協議し、「床下基礎コンクリート部除染作業標準施工要領書」を作成しました(図3-6-3)。
4. **除染作業の結果**：目標値の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。一部、目標値を僅かに下回った風呂及び洗面所については床下部に複数の水配管が敷設されており、研削作業ができなかったものです(図3-6-4、図3-6-5)。
5. **更なる改善点**：1部分ではあるものの、研削作業ができない敷設配管箇所の線量低減策を検討する必要があります。
6. **まとめ**：今回の除染作業場所は、床下であり切削の際粉じんが発生するため、作業環境上問題があることが分かっていたことから、モックアップ試験においては、切削と同時に吸引する機能を組み合わせることで、粉じん発生量を低減する工法を見出しました。作成した作業標準(床下基礎コンクリート部除染作業標準施工要領書)を基に除染作業を行った結果、作業性を確保しつつ床下の空間線量を低減することができました。更なる改善を図りつつ、各市町村の除染活動に展開することで、今後とも効果的な除染の実施及び円滑な除染活動の推進が図られるものと考えます。

## No.3-7 関係機関との協力について

### —福島県民との信頼醸成に向けた連携協力—



福島大学協定締結の様子



福島工業高等専門学校との覚書締結の様子

東京電力福島第一原子力発電所の事故により福島県民が被った被害を回復するため、原子力機構は、平成23年6月に福島事務所開設以来、福島県内での活動を本格化させてきました。

#### 福島大学との協力について

福島大学とは、事故後に同大学附属中学校における放射線測定及び除染調査をはじめ、附属幼稚園、附属小学校及び特別支援学校等の放射線量低減化の取り組みを進めるとともに、附属幼稚園及び附属中学校における屋外プール水の除染実証試験を実施するなどの協力を既に始めておりました。

このような経緯を踏まえ、平成23年7月20日に原子力機構鈴木理事長と福島大学入戸野学長との間で、連携協力に関する協定を締結しました。

この協定により、双方の機関が有する人的資源、研究資源を活用し、研究及び人材育成の充実、学術及び科学技術の発展並びに復興による地域貢献により尽力する体制が整いました。

その後、福島大学とは内閣府の委託事業「平成23年度除染技術実証試験」における協力、同大学が実施する除染モデル実証試験への協力、同大学附属幼稚園の園児の保護者を対象とした「放射線に関するご質問に答える会」の開催などの協力を進め、平成24年7月からは福島環境安全センターの放射線遠隔測定を担当するグループが同大校园内に駐在して活動を進めております。

#### 福島工業高等専門学校との協力について

福島工業高等専門学校（以下「福島高専」と称します）と原子力機構は、これまでに共同研究や学生のインターンシップ受け入れなどの協力を進めてきました。

福島高専は事故後に再生可能エネルギー、原子力安全、原理工学の分野において教育、研究及び地域貢献による復興人材育成を進めることとなり、特に原子力安全分野における協力パートナーを求めていました。一方、原子

力機構も被害回復に向けた取り組みが長期間にわたることから、福島県における復興人材育成への貢献を望んでおりました。

このような両機関の事情から、平成24年3月28日に原子力機構と福島高専との間で、連携協力の実施に関する覚書を締結し、地域復興のための人材育成、人材交流及び研究協力を進めることとなりました。

この覚書に基づき、平成24年9月に福島高専で開催された原子力・放射線関連実習への原子力機構からの講師派遣など、復興人材育成に向けた取り組みが行われております。

#### 福島県との協力について

原子力機構が福島県の環境回復に向けた長期的な取組を行うためには、環境試料分析、移行挙動評価等の活動を行う分析所が必要であり、福島県も環境試料分析等を行う施設を新たに整備する必要性がありました。

これまで原子力機構と福島県は、モニタリング、県民被ばく調査、講習会への講師派遣等の協力を通じて信頼関係を構築してきたこともあり、両機関が必要とする分析所施設を共同で整備し、協力関係の深耕と両機関の活動強化を図ることとしました。

このため、平成24年3月30日に福島県と機構との間で連携協力に関する協定を締結し、環境放射線計測、環境試料分析、除染に係る技術開発、放射線と除染に関する知識の普及等の活動を進めることとしました。

その後、本協定の下に福島県と協力して福島市内に分析所を整備し、平成24年9月19日から運用を開始しました。

# No.4-1 除染モデル実証事業

## — (1)実施体制と方法 —



図4-1-1 除染モデル実証事業の対象地区

除染により人々の健康や生活環境に及ぼす影響を速やかに低減することが喫緊の課題となりました。このため、国は「除染に関する緊急実施基本方針」を決定し(平成23年8月26日)、その中で、「国は責任をもって除染を推進」すること、また「特に高い線量の地域も含め、各地域でのモデル事業を通じて効果的な除染方法、費用など、除染に必要となる技術情報等を継続的に提供」する旨を示しています。さらに国は、除染作業を実施していく上で必要となる技術や知見を整備するために「除染モデル実証事業」を、原子力機構に委託しました。

「除染モデル実証事業」では、年間の追加被ばく線量が20mSvを超えるような高線量の地域を主な対象とし、効率的・効果的な除染方法や作業員の放射線防護に関わる安全確保の方策を確立することを主な目的とし、警戒区域、計画的避難区域等において、一定のモデル地区の面的な除染を実施し、どのような除染方法が効果的か、除染によって線量率はどの程度下げられるか、対象物の材質・周辺環境・汚染濃度等の要因が除染効果にどの程度影響するか等について検討・実施しました。

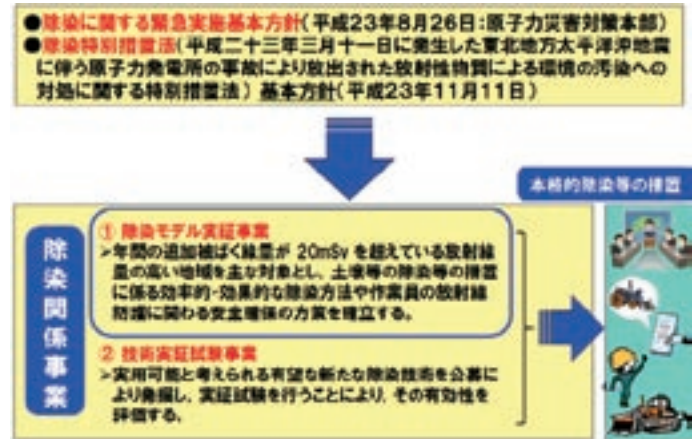


図4-1-2 除染モデル実証事業の背景と目的

### 除染モデル実証事業の作業実施主体の選定

除染モデル実証事業の実施に当たっては、国が示した「除染実施地域の選定のための基本方針」に従い、原子力機構が森林、農地、宅地等の要素を含む想定除染区域を設定しました。そして、この想定除染区域に対し、効率的・効果的な除染方法や作業員の安全を確保するための方策についての提案を企画公募形式により求め、除染モデル実証事業の作業実施主体としての能力を備えた候補者を選定するとともに、除染対象とする12の市町村を3つのグループに分け、グループ毎に様々な汚染濃度の対象地区を含めるようにすることで、複数の作業実施主体による多岐に渡る提案の実証ができるようにしました。

また、企画公募では、以下の内容についての提案を求めました。

#### ①汚染レベル、対象物に応じた除染方法の提案

汚染レベルの高低に応じた除染対象物毎の除染方法、予想される効果(目標とする対象地域の放射性物質の除去率等)、発生する除去物量、見積もり価格(単価)等を含めた提案

#### ②想定除染区域を対象とした除染、除去物処理等の提案

除染計画、モニタリング計画、放射線・安全管理計画、除染により発生する除去物処理計画を含めた提案  
応募者からの提案に係る書類審査等の後、上記の3つのグループに対応する共同企業体を選定しました。

- ・グループ A (南相馬市、川俣町、浪江町、飯館村) :  
大成建設・間組・日本国土開発・三菱マテリアル・アトックス・関場建設共同企業体
- ・グループ B (田村市、双葉町\*、富岡町、葛尾村) :  
鹿島・日立プラントテクノロジー・三井住友建設共同企業体
- ・グループ C (広野町、大熊町、楡葉町、川内村) :  
大林・戸田・アトックス・日立造船・アタカ大機共同企業体



グループ ／市町村	除染モデル実証事業 対象地区	除染対象(合計約209 ha)		
		主な構成要素・特徴	広さ	
Aグループ	南相馬市	金房小学校周辺	農地、建造物(小学校)、道路、森林、宅地	約14 ha
	川俣町	坂下地区	森林、農地、道路、宅地	約11 ha
	浪江町	津島地区	建造物(中学校等)、森林、宅地、道路	約18ha
		権現堂地区	建造物(駅・軌道、図書館等)、民家、道路、農地	
飯舘村	草野地区	建造物(いいたてホーム等)、農地、民家、宅地、森林、道路	約17 ha	
	「いいたて全村見守り隊」拠点等			
Bグループ	田村市	地見城地区	農地、森林、宅地、道路	約12 ha
	葛尾村	役場周辺	森林、建造物(小学校、役場)、宅地、道路	約7 ha
	富岡町	夜の森公園	建造物(中学校、グラウンド等)、宅地、森林、道路(桜並木)	約11 ha
		富岡第二中学校		
双葉町	—	—	—	
Cグループ	広野町	苗代替地区	建造物(役場、小・中学校、グラウンド)、宅地、森林、道路	約33 ha
	大熊町	役場周辺	建造物(役場、公民館、公園)、宅地、道路	約5 ha
		夫沢地区	農地、森林、宅地、道路	約17 ha
	楢葉町	上繁岡地区	農地、宅地、森林、道路	約4 ha
		南工業団地	建造物(工場等)、道路	約37 ha
	川内村	貝ノ坂地区	農地、森林、民家、道路	約23 ha

表 4-1-1 除染対象地区の特徴

### 除染実施対象地区の選定までの流れ

除染モデル実証事業における除染実施地区の選定にあたっては、除染実施地区内での平面的な土地利用の形態及び立体的な地形を考慮しました。今後の本格的な除染作業を進める際には、放射線の影響が除染実施地区からのものだけでなく、その周辺の未除染地区からのものについても考慮する必要があります。例えば、除染実施地区とその周辺の未除染地区との地形上の位置関係によって周辺からの放射線による影響の範囲が異なると考えられるからです。平地の場合、除染を実施した生活圏への周辺地区からの放射線の影響はそれほど大きくならないと考えられますが、除染を実施した生活圏が谷にある場合、周辺地区からの放射線の影響は顕著になると予想されます。このような場合には、生活圏以外の周辺地区からの放射線の影響も考慮して、周辺地区まで範囲を広めに設定して除染すること等が考えられます。除染モデル実証事業における除染実施地区の選定に当たっても、このような除染効果の影響が比較・評価できるような様々な地形が含まれるように努めました。

なお、森林、農地、宅地、大型建造物及び道路等の除染対象を含む除染実施対象地区の選定に当たっては、除染の結果発生する除去物等の仮置場が近隣に確保できるか、除染作業において必要となるインフラストラクチャ(水道、電気、休憩所、トイレ、駐車場、資材置き場等)の整備・確保が可能か、といった点が重要な要素となり、これらについて関係する自治体と調整・協議し、A～Cグループの各市町村における除染実施地区を選定しました(図 4-1-1)。各除染実施地区における除染対象物等の構成要素・特徴及び除染対象の広さ(面積)を表 4-1-1 に示します。

### 除染作業計画策定

除染モデル実証事業では、ある程度広範な面的除染の実施を通じ、今後、国が主体となり実施する除染特別地域を対象とする本格的除染への反映を念頭に、費用対効果が高くかつ効果が実証された除染方法の提示、除去土壌等の可能な限りの減容化、作業員の放射線防護に関わる安全確保の方策の確立等を行うことが求められました。

このため、除染モデル実証事業では、「除染技術カタログ」(内閣府)等に記載されている除染技術など、既にある程度の除染効果が確認されている除染技術を中心とし、それぞれの共同企業体が提案した除染技術を採用することとしました。また、除染作業計画の具体化に当たっては、除染技術毎の除去効果、コスト、必要要員数、除去物の発生量や性状、作業に伴う被ばく線量、安全性、除染技術の課題や限界、面的な除染効果について、必要なデータや知見を取得するとともに、社会的・法的制約事項などを反映できるよう留意することとしました。

また、平成23年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故により大量の放射性物質が大気中に放出されたが、除染モデル実証事業の開始が事故後8か月程度経過した平成23年11月以降であったことから、本事業において除染の対象とする主要な放射性物質は放射性セシウム(Cs-134及びCs-137)としました。

No. 2～No. 6の研究は、内閣府からの受託研究「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」の成果の一部です。

#### ●参考文献

1) 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 報告書,

[http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model\\_report.html](http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report.html)

# No.4-2 除染モデル実証事業

## — (2) 宅地とグラウンドの除染 —



図4-2-1 宅地の除染

表4-2-1 屋根の除染方法の比較

除染方法	高圧水洗浄	ブラッシング	拭き取り	剥離剤塗布
焼付鉄板	—	10%程度	10%程度	0~16%
塗膜鉄板	—	30%程度	5%程度	15~18%
粘土瓦	0~74%	50%程度	0~77%	1~53%
セメント瓦	30%程度	5%程度	0~3%	32~33%
スレート	22~33%	0~64%	10~24%	23~49%
除去物発生量	ほとんどなし	ほとんどなし	多少(ウエス)	多少(剥離剤)
二次汚染	飛散の土埃等あり	流束で水回収	なし	なし
施工速度	ブラッシングより早い	140m <sup>2</sup> /日	ブラッシングより遅い	ブラッシングより遅い
適用条件	・飛散防止措置等が必要 ・瓦脱落リスク	・洗浄水の回収処理が必要	・ウエス、洗浄水の処理が必要	・養生で1~3日必要

\*1: 表面汚染の低減率

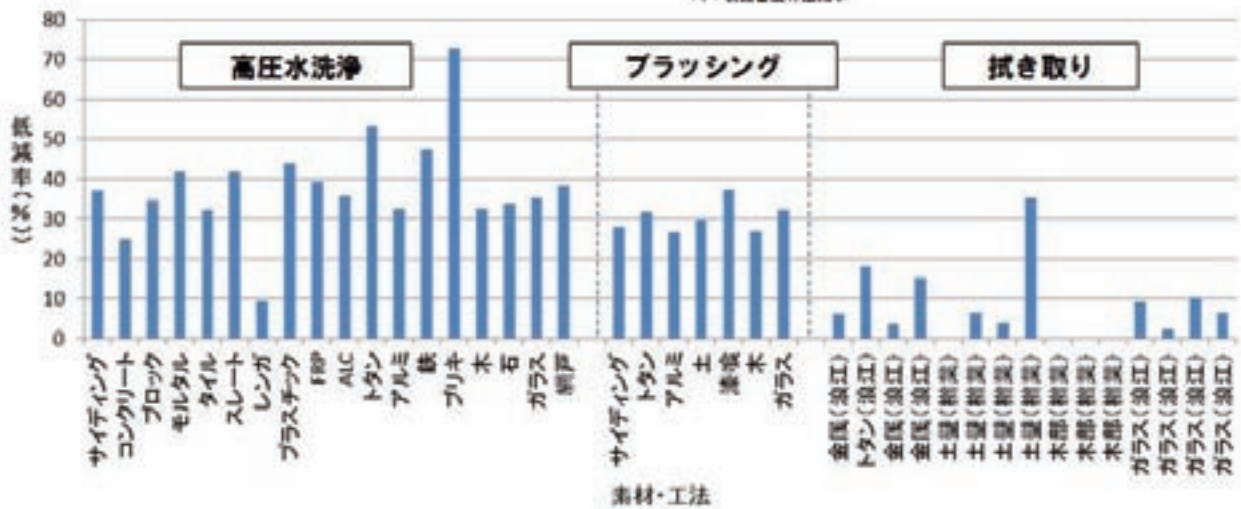


図4-2-2 壁の除染

### 宅地の除染

除染前には、汚染程度を把握するためのモニタリングを実施し、これらの情報をもとに、高圧水洗浄、拭き取り、剥離剤塗布による剥ぎ取り等の除染方法を宅地の除染として適用しました。このとき、雨樋下部にある周りに比べて汚染の度合いが特に高い部分（ホットスポット）などを見つけて、これらを事前に除去しました。(図4-2-1)

屋根の除染は高所作業なため、足場や梯子が必要になり、また、斜面で瓦など曲面に対して施すので、人力による作業が中心となりました。震災や津波による屋根の健全度への影響にも留意し、厳冬期の除染では、除染時に使用した水が凍ることによる屋根の損傷にも配慮しました。

表4-2-1に示すとおり、剥離剤塗布による除染効果が他の方法よりも低減率が高い結果となりましたが、用いた剥離剤では養生に1~3日程度を要し、剥ぎ取り完了まで足場の撤去ができないなどの作業性のデメリットがありました。また、高圧水洗浄では、洗浄水と共に飛散する土埃等の飛散防止・回収等の作業が必要でした。屋根について、材質の違いによって除染効果に差異が確認できました。

瓦は材質により低減率自体は異なるものの、水を使った洗浄と比較し、洗浄水と共に飛散する土埃等の二次汚染の可能性が低く、建物の損傷等による室内への漏えいの可能性が無いという点でブラッシングや拭き取りも有利と言えます。

図4-2-2に示すとおり、高圧水洗浄による結果とブラッシングによる結果に顕著な差は見られませんでした。拭き取りについては表面が土壁や木製の場合はほとんど除染効果が得られず、トタン等の金属やガラスについても顕著な効果はありませんでした。高圧水洗浄については、洗浄水と共に飛散する土埃等の飛散防止・回収、水処理等の作業が必要となりました。水を使った洗浄と比較し、建物の損傷等による室内への漏えいの可能性が低い、水処理等が必要ないという点でブラッシングの方が有利とも考えられます。ただし、他の除染において高圧水洗浄を用い、既に水処理等の用意がある場合は、漏えいに留意しつつ壁にも高圧水洗浄が適用可能と考えられます。



図 4-2-3 グラウンドの除染

### グラウンドの除染

図 4-2-3 に示すように、ハンマーナイフモアとスイーパーを利用するとき、スイーパーのみでは、剥ぎ取り効率が悪いので、ハンマーナイフモア（草刈り機の軸を改造済）で表土のほぐしを行い、グラウンド表面をほぐした後スイーパーで掻き取りました。一度に剥ぎ取る事のできる厚さは 1cm 程度なため、目標剥ぎ取り厚さとなるまで複数回同一部分を走行しました。薄く剥ぎ取りができるため、除去物の発生量を抑制することができますが、施工スピードが遅いため、大面積には適さない場合があります。モーターグレーダーは、平らで広いグラウンドに利用し、表面の凹凸がある場合は、事前に振動ローラーによる地ならしを行った後にモーターグレーダーを利用し、さらにスイーパーを併用することで剥ぎ取りの精度が高くなります。掻き取った表土を溢散させず、取り残しを防ぐために、バックホウでかき集めることも重要です。路面切削機を利用するときには、広い面積を効率よく剥ぎ取ることが可能ですが、重機幅が大きいのでグラウンド境界部の剥ぎ取りには不向きです。なお、場所によっては土壌の硬軟にばらつきがあり、実際の切削深さにもばらつきが生じたことから、土壌表面が柔らかい場合は剥ぎ取りを確実にを行うために、事前に振動ローラーによって、均一な硬さとなるように締め固めたのちに剥ぎ取りを行いました。

表土の剥ぎ取りによる除染効果で、剥ぎ取り厚さと低減率の関係を調べた結果、剥ぎ取り方法による低減率の違いは顕著に見られませんでした。除染前に土壌中のセシウムの分析結果を基に剥ぎ取り厚さを決めて除染作業を実施したため、セシウムを土壌中に取り残すことが少なく高い除染効果を確認しました（表 4-2-2）。除染を行う場合、事前に土壌調査を行いセシウムの土壌中の深度分布を踏まえて除染効果が十分得られる剥ぎ取り厚さを決めて、実施面積に基づき最適な施工のための除染方法を選定する必要があります。なお、薄層で剥ぎ取る必要がある場合は、1 cm 程度で剥ぎ取りを管理できる改造さ

表 4-2-2 グラウンドの除染方法の比較

除染方法	薄層土剥ぎ取り			天地返し
	ハンマーナイフモア + スイーパー	路面切削機	モーター グレーダー	
低減率※1	90%程度	80～90%	90%程度	80～85%
除去物発生量 (目標 2 cm 深さ)	200 個/ha	200～500 個/ha (目標 2～5cm 深さ)	200～500 個/ha (目標 2～5cm 深さ)	なし
二次汚染	ほとんどなし	ほとんどなし	多少あり	ほとんどなし
施工速度	270m <sup>2</sup> /日	1,580m <sup>2</sup> /日	640m <sup>2</sup> /日	180m <sup>2</sup> /日
適用条件	・平地 ・凍土は不可 ・表土が溜まっていること	・平地 ・表土が溜まっていること ・ 3cm 以下制振回数	・平地 ・凍土は不可 ・表土が溜まっていること ・ 2cm 以下制振回数	・排水層がある場合困難

※1：表面硬度の低減率

れたハンマーナイフモア（土壌のほぐし）とスイーパー（ほぐされた土壌の回収）による剥ぎ取りを行いました。

大面積を除染するときは、切削幅が広い路面切削車による剥ぎ取りが効率的であり、剥ぎ取り厚さが均質にできる利点があります。但し、路面切削車などの大型重機は重いため、表面が柔らかいグラウンドの場合は事前に振動ローラーで大型重機が走行できる程度に締め固めたのちに除染します。大型重機での作業が困難なグラウンドの境界部では、人力やバックホウの剥ぎ取りを併用します。寒冷地の凍結した土壌においては、事前の調査による放射性セシウムの深度分布を踏まえて決定された剥ぎ取り厚さでの剥ぎ取りができず、それ以上の厚さの土壌を剥ぎ取らざるを得ない場合があります。また、凍結した土壌が日中融けると、土壌が緩んで重機を使用した施工ができなくなる事象もありました。

排水処理が施されているグラウンドでは、天地返しを行うと、排水処理の施工部分を壊してしまう可能性があるため、天地返しは適用できませんが、排水処理が施されていない未舗装駐車場や空き地などでは、天地返しによる除染は効果的でありました。天地返しの施工スピードは剥ぎ取りによる除染方法に比べて劣るものの、剥ぎ取り残し・剥ぎ取りこぼしが極めて少なく、除染エリア外へ搬出する除去物が発生しないなど、天地返しにもメリットがあります。

グラウンドの除染で得られた知見としては、グラウンド土壌中の放射性セシウム濃度の深度分布を測定した結果、ほとんどの地点において、表面から深度 3～5cm 程度の範囲に 90% 以上が残留、凹凸がある場合は凹部が削り残されることになるため、事前に平らにならす必要があります。剥ぎ取りが不十分な場所については人力で剥ぎ取ることが重要、事前に試験区間を設け、剥ぎ取り深度と低減率の関係を調査し、剥ぎ取り深さを決定することが重要であるということが分かりました。

#### ●参考文献

# No.4-3 除染モデル実証事業

## — (3) 農地と森林の除染 —



図 4-3-1 農地の除染



図 4-3-2 固化剤散布による表土剥ぎ取り

表 4-3-1 反転耕等の除染方法の比較

除染方法	反転耕 (トラクタ+プラウ)	天地返し (バックホウ)
低減率※1	30 ~ 60%	65%程度
除去物発生量	なし	なし
二次汚染	なし	なし
周辺環境への影響	なし	なし
施工速度	1,340m <sup>2</sup> /日	120m <sup>2</sup> /日

※1: 空間線量率(1m)の低減率

表 4-3-2 表土剥ぎ取りの除染方法の比較

除染方法	薄層表土 剥ぎ取り機 (2cm剥取)	バックホウ (5cm剥取)	表面固化剤散布	
			分選回収機	バックホウ剥ぎ 取り回収
低減率※1	35%程度	20~70%	—	40~70%
除去物発生量	300袋/ha	300~800袋/ha	300~800袋/ha	300~800袋/ha
二次汚染	なし	なし	なし	なし
施工速度	500m <sup>2</sup> /日	1,200m <sup>2</sup> /日	固化剤散布: 2870m <sup>2</sup> /日 土壌回収: 410m <sup>2</sup> /日	—
適用条件	・表土は剥ぎ取 り不可能	・地耐力のある硬 まったり層 ・重機が入り難等 を疑うことがある ・5cm以下の薄層 剥ぎ取りは困難	・乾燥したほ場 ・濡れしたほ場 及び水点下以 下では剥取し ない	・地耐力のある 硬まったり層 ・濡れしたほ場 及び水点下以 下では剥取し ない

※1: 空間線量率(1m)の低減率

### 農地の除染

トラクターに牽引されたプラウにより 30cm 深さで、放射性セシウムで汚染された表層付近の土壌（表層土）と下層にある土壌（下層土）を反転させる「反転耕」を実施しました。また、「天地返し」という、表層土及び下層土を一時的に撤去した後、下方に表層土を、上方に下層土を埋め戻す方法を利用しました。これは、十分な耕盤の深度があることを確認した後、地表面から深さ 5 cm 程度を「表層土」、深さ 5cm から 50cm までを「下層土」として、天地返しを行うものです。なお、施工にあたっては、表層土剥ぎ取り厚さ 5cm の精度を保つため、法面バケット付のバックホウを使用するとともに、表土を剥ぎ取った後の掘削には、汚染の拡散を防止するために他のバックホウを使用しました。

東京電力福島第一原子力発電所事故の直前に田起こししていない農地では、放射性セシウムによる汚染の多くが地表面から深さ 5cm 程度の表土にとどまっていることから、表土を削り取る「表土剥ぎ取り」も実施しました。この「表土剥ぎ取り」では、草刈り後、表土を剥ぎ取り、剥ぎ取った表土をフレキシブルコンテナへ詰め込むという手順で実施しました。剥ぎ取る表土の厚さは、除染前の土壌サンプリングの測定の結果や、除染前に試験的に表土の剥ぎ取りを実施して、効率的に線量を低減できる厚さを調査した結果から決定しました。表土剥ぎ取りは、バックホウ（機械）をおもに利用しましたが、畝のある畑等では鋤簾等を用いて人力で表土剥ぎ取りを行いました。また、果樹園（梨園）では、地表面から 1.6m の高さにワイヤを使用した棚があったため、背丈の低い超小型機械（バックホウとクローラダンプ）を使用しました。この他、薄層表土剥ぎ取り機による表土剥ぎ取り（2cm）も試行しました。これは、ハンマーナイフモア式草刈り機をベースにした薄層表土剥ぎ取り機により表層 2cm 程度までの草根の切断とほぐしを行うもので、ほぐした土壌はバックホウで回収しました。

土を固める薬剤（固化剤）を土壌表面に散布し、固化した土壌表層を削り取る「固化剤散布による表土剥ぎ取り」を実施しました。これは、草刈り後、農地表面への固化剤を混合したスラリーの散布、養生（一定期間の静置）、固化した表層土壌のバックホウ等の機械により剥ぎ取り、剥ぎ取った表土をフレキシブルコンテナへ詰め込むという手順で行うものです。固化剤を用いた表土剥ぎ取りでは、固化剤を散布することで表土が灰白色にマーキングされるため、取り残しや取りこぼしの目視確認が可能となり、作業の効率化や、表土を固化することによる土壌の飛散抑制効果が期待できます。固化剤にマグネシウム系固化剤またはセメント系固化剤を使用しました。これらの固化剤は、氷点下では固化しないため、冬期の使用には、気温などの注意が必要です。



図4-3-3 森林の除染

表4-3-3 森林の除染方法の比較

除染方法	腐植・腐植土層除去 (干池)	腐植・腐植土層除去 (傾斜地)	腐植・腐植土層・表土の除去 (干池)	樹木	
				樹幹洗浄	枝打ち
常緑樹林の放射性物質の比率 (2011年8月)	44~84%			樹皮: 1~3%	枝葉: 14~53%
低減率※1	5~90%	5~90%	20~80%	30~85%	5~40%
除去作業量	300~900 t/ha	300~900 t/ha	1000~2000 t/ha	少量	3700t/ha (減容なし)
二次汚染	なし	なし	なし	飛沫による土壌汚染	林床に土が落下
周辺環境への影響	傾斜地は土砂流出に留意				
施工速度	310m <sup>2</sup> /日	340m <sup>2</sup> /日	220m <sup>2</sup> /日	32本/日	150本/日

※1: 表面線量の低減率。但し、枝打ちは空間線量率(1m)の低減率  
 ※2: 公園の樹木等人の手に触れる可能性のあるものは、洗浄する必要性が高い。

森林に隣接する家屋居住者への被ばく線量低減効果に係る調査: 測定箇所



森林内除染の様子: 腐植土除去による除染方法



森林入口からの除染範囲および森林内の除染方法の違いによる森林入口での線量率変化に係る測定結果 (uSv/h)

領域	測定点	除染前	森林外縁から 10m以内の高0.8m付近			森林外縁から 20m以内の高0.8m付近		森林外縁から 30m以内の高0.8m付近	
			除草・ 落葉かき	腐植土層 除去	人口付近 枝打	除草・ 落葉かき	腐植土層 除去	除草・ 落葉かき	腐植土層 除去
計測エリア境界 (家屋側)	①	2.6	2.2	1.4	1.3	1.2	1.3	1.2	
	②	2.5	2.3	1.6	1.4	1.5	1.4	1.3	
計測エリア境界 (家屋側)	③	2.4	1.7	1.4	-	1.5	1.4	1.4	
	④	2.7	2.3	2.0	-	2.2	2.2	1.5	

※1 区画1除草・落葉かき後の線量率は、地表高1cmで測定。1m高までの値は、概ねこの0.8程度。  
 ※2 広葉樹は全て落葉しており枝打ちは実施していない。

図4-3-4 森林の除染範囲

### 森林の除染

森林の除染では、常緑樹林、落葉樹林ともに、地表を対象に落葉、腐植土の除去を行いました。これらの除去に当たっては、熊手や鋤簾を利用した人力作業が主となりますが、作業が可能な場合にはバックホウ等の重機を利用し、必要に応じて、表土の剥ぎ取りも実施しました。地表の除染に当たっては、線量低減のみならず、森林の持つ防災機能や生物多様性保全機能などの保全も考慮しました。(図4-3-3) 腐植土層の除去に先立ち、除去深度と除染効果の関係を調査し、除去深度を決定することが重要です。山林などの傾斜地及び竹林など樹間が狭い場所ではバキューム車による吸引搬送が効率的でした。山林などの傾斜地では、腐植土層全てを除去する必要がある場合は、しがら、土のう積みなどの土砂流出防止対策を含めて検討が必要です。地面に樹木の根が現れている箇所も多く見られました(表4-3-3)。一方、樹木については、線量の高い地区等においては枝葉に対しては枝打ちを実施しました。樹幹については、農林水産省の調査結果から、放射性セシウムの付着割合が1~3%と小さく、空間線量率への影響は小さいと考えて除染を実施しませんでした。富岡町の夜の森公園の桜並木や植林につい

ては、人が触れる可能性があることから水・ブラシ洗浄や高圧水洗浄を適用しました。図4-3-4に示すように、生活圏に接する森林外縁から森林の奥部方向に除染(落葉除去と腐植土層除去)を進め、放射線量の影響変化を調査したところ、10m奥部まで除染したところで、生活圏境界において測定される空間線量率は除染前に比べて40%程度低下しました。他方、10m以上の森林奥部に除染を進めても、生活圏境界において測定される空間線量率は、ほとんど低下しませんでした。生活圏に隣接する森林の除染(除草と落葉除去と腐植土層の除去)を行うと、森林近隣の生活圏の放射線量を下げることが分かりました。

### 道路の除染

道路の深度方向の放射性物質の分布を調べたところ、高線量地域でのアスファルト舗装面では、放射性物質は密粒度の舗装面では表面から深度2~3mm程度まで、多孔質な排水性舗装でも表面から深度5mm程度までに大部分が残留していることが分かりました。以上の条件を踏まえて、舗装面の切削厚さ等の各除染方法の除染条件を設定することで、効果的な除染であることが分かりました。

#### ●参考文献

# No.4-4 除染技術実証事業

## — (1) 土壌の除染を目指して —

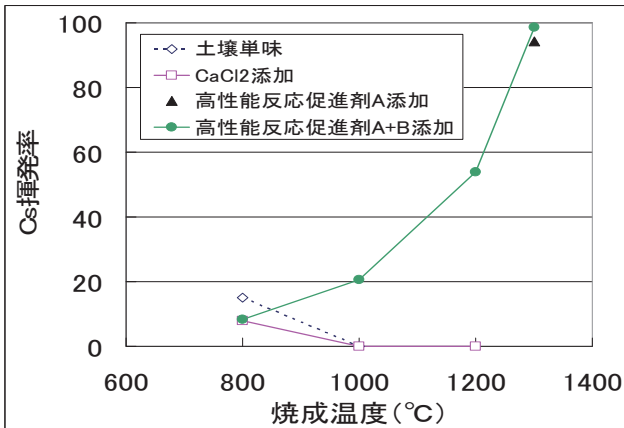


図 4-4-1 回転加熱による試験結果

高性能反応促進剤を添加することにより、単純に熱を加えるだけでは除去できない放射性物質をほぼ 99%以上除去することが可能であった。

飛散した放射性セシウムは放射性プルームとして漂った後に雨や雪と共に地上に降り注ぎました。雨などの水に溶けた放射性セシウムは、1価の陽イオンとして振る舞いました。セシウムイオンは、負に帯電している土壌粒子表面の粘土層である 2:1 型層状ケイ酸塩と呼ばれる薄い層状構造の間に取り込まれ、きわめて強く「固定」されます。そして、他の陽イオンによって簡単に置き換えることができなくなりました。

土壌の放射性セシウムは約 80%が地表から 5cm 以内に存在しています。しかもほとんどは表層 2, 3cm に分布しています。表土除去が除染として有効であるのはこのためですが、放射能濃度や除去物量抑制の観点から深さ方向に攪拌希釈する方法も空間線量率を低減させる方法としては有効である。

原子力機構は、表層をはぎ取った土壌中から放射性セシウムをさらに取り出すために、土壌に固定されたセシウムの沸点である 685°C、セシウムの化合物の融点や沸点 (Cs<sub>2</sub>O : 融点 490 °C、CsCl : 融点 645°C、沸点 1295°C、CsOH : 融点 272°C、沸点 990°C) を考慮した 1300°C程度にまで加熱しましたが、放射能濃度は、-9.8% ~+14.0% の範囲でばらついている程度の変化しかなく、単に加熱するだけでは、顕著な揮発挙動は見られないことを確認しました (図 4-4-1)。

原子力機構は、内閣府から委託された事業の中で除染の新技術発掘の公募を行い、その中で高性能反応促進剤を加え、回転加熱により均一に熱を加えることで粘土層の層状構造からセシウムを取り出す技術を採用し、実証試験を実施したところ、図 4-4-1、表 4-4-1 に示すように 99.9%以上のセシウムを取出せることを確認しました。一方、放射性セシウムは飛灰と共に高性能フィルタで回収

	汚染土壌 (Bq/kg)			浄化処理物 (Bq/kg)		
	Cs134	Cs137	合計	Cs134	Cs137	合計
土壌①	27,100	28,900	56,000	<26	19	<45
土壌②	33,000	34,300	67,300	<17	29	<46

表 4-4-1 回転加熱と高性能反応促進剤による除染結果

2 サンプルの土壌に対し、高性能反応促進剤を加えた回転加熱を実施したところ、放射能濃度を 3 桁落とすことが確認された。但し、回収される灰は 100 倍に濃縮されるため取扱いには注意が必要である。

され、回転加熱炉の外には漏れ出ないことを確認しましたが、放射能濃度が約 100 倍に濃縮されることから、取扱いに注意が必要であることがわかりました。

また、粘土のように土壌粒径が小さいほどセシウムが良く吸着していることがわかっており、土壌の粘土の含有率によって変化しますが、粒度を分ける分級により回収することで約 70%の除染を行うことができることが分かっていました。

そこで、分級時により多くの粘土を回収できる技術も採択しました。分級には、大きく分けて乾式分級と湿式分級があります。除染に応用できる技術は基本的には土の表面に付着しているセシウム含有粘土をいかに効率よく回収できるかという技術です。除去する際に機械的に研磨することで摩砕したり、ジェット水流で洗浄したり、すり揉み洗い (スクラビング) したりすることで粘土をはぎ取ります。

ただ、土壌の除染効果を評価するには、いくつか注意しなければ、正確な評価はできません。特に、放射能濃度で湿式分級を評価する場合には、土壌に含まれる含水率によって濃度が簡単に変わってしまうことと特殊な洗浄を実施せずに分級を行うだけでも粘土を除去でき、それだけでも約 70%の除染効果があることを考慮して評価する必要があります。

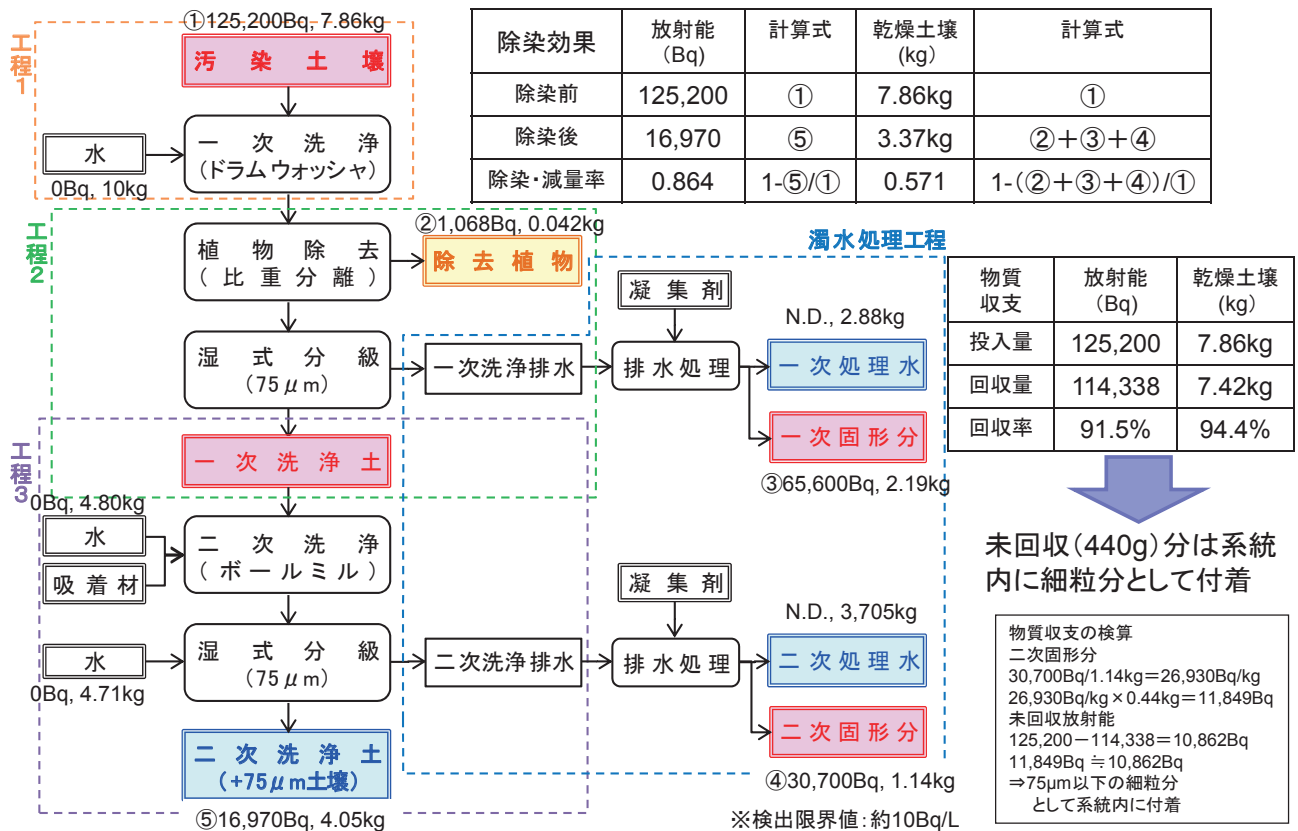


図4-4-2 土壤除染のマスパランスの評価方法例

粘土分に放射能が多く付着しているため分級によって細粒分を回収すれば70~80%程度の除染は可能である。土壤の評価を行う際には、総放射能により系統内のマスパランスを測定して評価することが重要である。

分級による除染効果は、次の方法で評価します。

- ①原土の粒度分布毎の放射能濃度を測定する。
- ②原土の重量、含水率を測定し、乾燥状態での放射能濃度ならびに全放射能を求めます。
- ③各工程の重量、含水率、放射能を測定し除染前後で全放射能の収支を確認する。放射能収支が合わない場合は、除染システムとして回収率が悪く系統内で放射能溜まりができていいる可能性もあり汚染濃度が高い地域においては装置の取扱いが難しくなり、作業員の被ばく増加につながる可能性がある。
- ④除染効果については、乾燥重量ベースによる放射能濃度で評価を実施する。湿潤状態では、含水率によって放射能濃度を意図的に変化させることができるため、乾燥重量ベースの評価とする。
- ⑤除染システムの純粋な除染効果は、除染前後の粒度分布毎の放射能濃度を比較することで求める。基本的には、摩砕等により土壤分布は細粒側にシフトする。
- ⑥再洗浄やすすぎなど繰り返しの洗浄効果などを確認し評価する。
- ⑦汚染濃度の異なる土壤を用いて、除染技術の適用範囲

を求める。

- ⑧細粒分が多い場合、除染後の含水率によっては増量する場合もあるため、脱水と脱水による減量率を評価する。
- ⑨コストに対しての損益分岐点を評価する。

複数の湿式分級方法を実施しました。その結果を総合的に評価すると、除染前の原土の粘土の割合が30%以上である場合、除染後の含水率によっては、増量する場合もわかりました。また、除染後の土壤の再利用基準が定められていないことから、評価上の基準として1,000または8,000Bq/kgを目標値とした場合、除染効果は約80%であることがわかりました。このことから除染前の原土の放射能濃度が5,000または40,000Bq/kgまでの土壤でない目標を達成できないことから、目標によっては、土壤の適用濃度がある技術であることがわかりました。

現在、洗浄後の土壤について明確な再利用基準がないため、今後は、再利用基準を明確にする必要があります。

●参考文献

# No.4-5 除染技術実証事業

## —(2)水処理技術—



図4-5-1. ゼオライトブロック



図4-5-2. 模擬水路による吸着効果確認試験

表4-5-1. 模擬水路による浄化実験結果

試料	取水位置	Ge半導体検出器 放射能濃度(Bq/ℓ)			低減率
		Cs-134	Cs-137	計	
ゼオライトブロック	通過前(原水)	9,989	13,241	23,230	46.7%
	通過後	5,239	7,143	12,382	

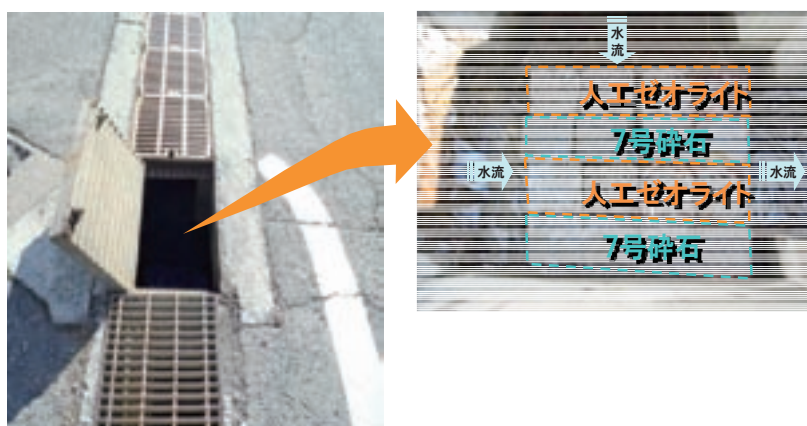


図4-5-3. 既存水路における吸着試験

原子力機構がまとめた学校プールの除染の手引きでは、ゼオライトを中心とした吸着・凝集剤により水中の放射性セシウムを凝集沈殿させ処理する方法が示されています。また、放射能が検出される水の測定データからは、粘土のような細かい粒子であるSS

(Suspended Solid) 成分濃度と相関がみられることから、放射性物質は水中のSS成分に多く含まれていると考えられています。実際、環境中の公共用水域については、環境中の水そのものにはほとんど放射性セシウムが含まれていないことが分かっています。

このような中、除染後の排水が河川に流れ出て、田畑の再汚染につながる懸念も示されており、この対処方法の一つとして排水柵等でセシウムやSS成分を回収する方法の開発が望まれています。

そこで、人工ゼオライトをブロックの形状に成型した「ゼオライトブロック」(図4-5-1)を集水柵や排水

側溝に設置することで、除染後の排水や降雨等から流入する放射性セシウムを吸着する排水のフィルタとしての機能について実証試験を行いました。

ゼオライトブロックの機能確認試験では、図4-5-2. に示した模擬水路を用い、その水路の途中に人工ゼオライトブロックを設置し、放射性セシウムを含む住居の樋下堆積物等を水に混合した汚染水を流下させ、ゼオライトブロックにより汚染水を除染しました。

その結果、表4-5-1. に示すようにゼオライトブロックにより、汚染水の放射能濃度を46.7%に低減することができ、人工ゼオライトブロックが放射性セシウムを吸着することが確認されました。

また、人工ゼオライトを汚染地域の既存の排水柵に設置し、雨水等の環境水中のセシウムが下流側に流出するのを抑える効果を評価する試験も行いました(図6-3. 参照)。



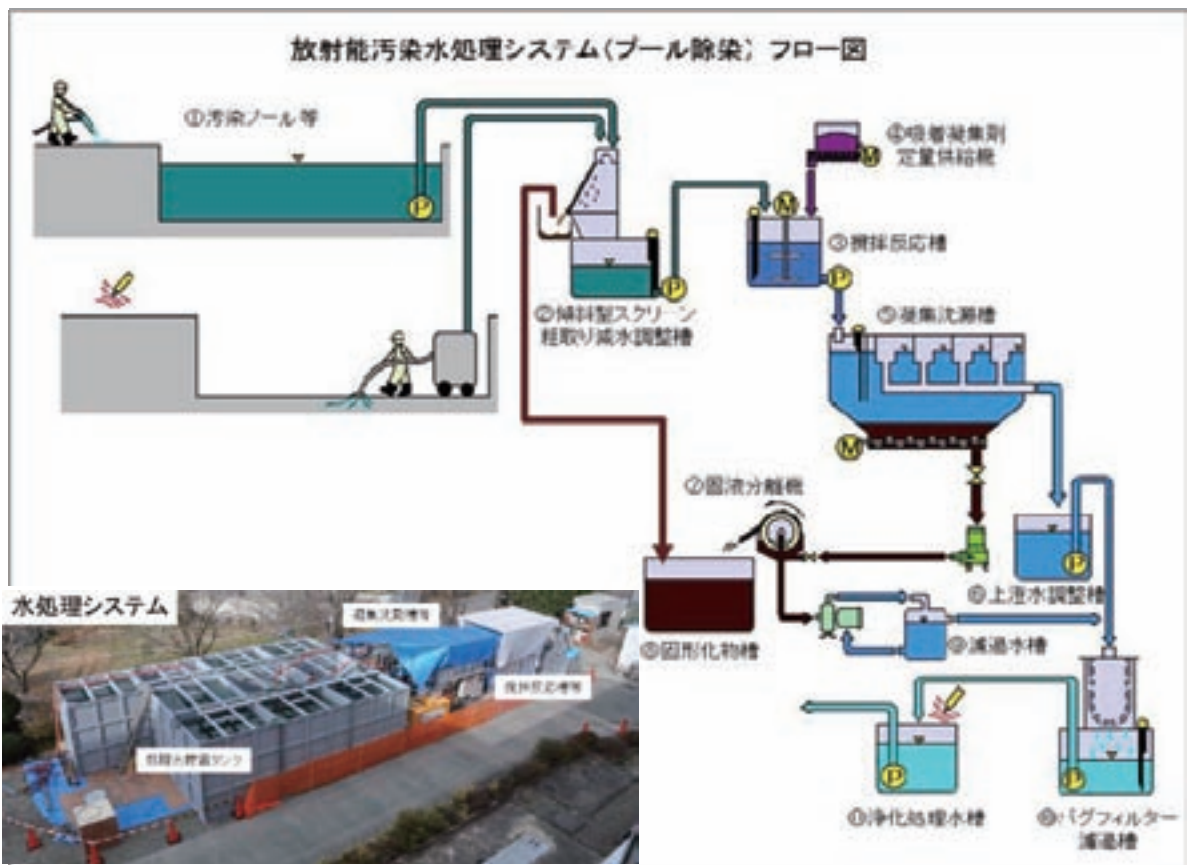


図 4-5-4. 放射能汚染水処理システム(プール除染)フロー図

この試験では、イオン化されたセシウムの人工ゼオライトブロックによる捕獲の効果を確認するために、土壌中のSS成分を吸着できる碎石ブロック(ゼオライトを含んでいないため、水中のセシウムイオンの吸着能はなし)も同時に対照試験体として排水枡へ設置し、試験を行いました。設置後の人工ゼオライトブロックと碎石ブロックからは、放射性セシウムが確認され、汚染レベルは低いものの、人工ゼオライトブロックの方が碎石ブロックよりも多くの放射性物質を捕獲していました。実用として使用するためには、試験データの補完が必要であり、また、放射性セシウムを効率的に吸着させる条件の検討や、耐久性の確認等が必要です。

一方、プールや防火水槽の水は、粘土などのSS成分と接触する頻度が少なく、セシウムがイオンの状態で存在する可能性が否定できないことから、原子力機構が実証していない、ゼオライト以外の凝集沈殿剤を用いた水の除染手法を実証しました。

試験では、プール除染の際に発生する汚染水の水処

理を凝集剤とフェロシアン化鉄(プルシアンブルー)を用いて実施しました(図4-5-4)。フェロシアン化鉄はセシウムイオンの吸着剤として用いていますが、フェロシアン化鉄を配合せず、凝集剤のみの場合であっても、除染後の水が検出下限値(20Bq/kg)未満であることを確認しました。この結果より、放射性セシウムが、イオンの形で水中に存在しないで、SS成分に吸着している場合には、セシウムイオンを選択的に吸着するフェロシアン化鉄を使用しなくとも、凝集剤による凝集沈殿で、放射性セシウムを除去可能であることが示されました。これはセシウムイオンを吸着する性質があるゼオライトについても同様と考えられ、処理対象の汚染した水にセシウムイオンが存在しない場合にはゼオライトを用いる必要がないと考えられます。

今後、水処理においては、まず少量の処理対象の水を用いたビーカー試験を実施し、凝集剤による凝集沈殿だけで水中から放射性セシウムを除去できるかどうかをまず確認することが、効率的な水処理方法を早期に選択する上で重要となります。

福島技術本部 企画調整部 渡辺将久

●参考文献

原子力機構, 学校プール水の除染の手引き～安全にプールの利用を再開するために～,  
(<http://www.jaea.go.jp/fukushima/pdf/josentebiki/01v2.pdf>).

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】,  
[http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model\\_report/report\\_3.pdf](http://www.jaea.go.jp/fukushima/kankyoanzen/d-model_report/report_3.pdf)

# No.4-6 路面の除染効果最大、除去物最少を目指して

## — 超高压水を用いた除染技術の高度化 —

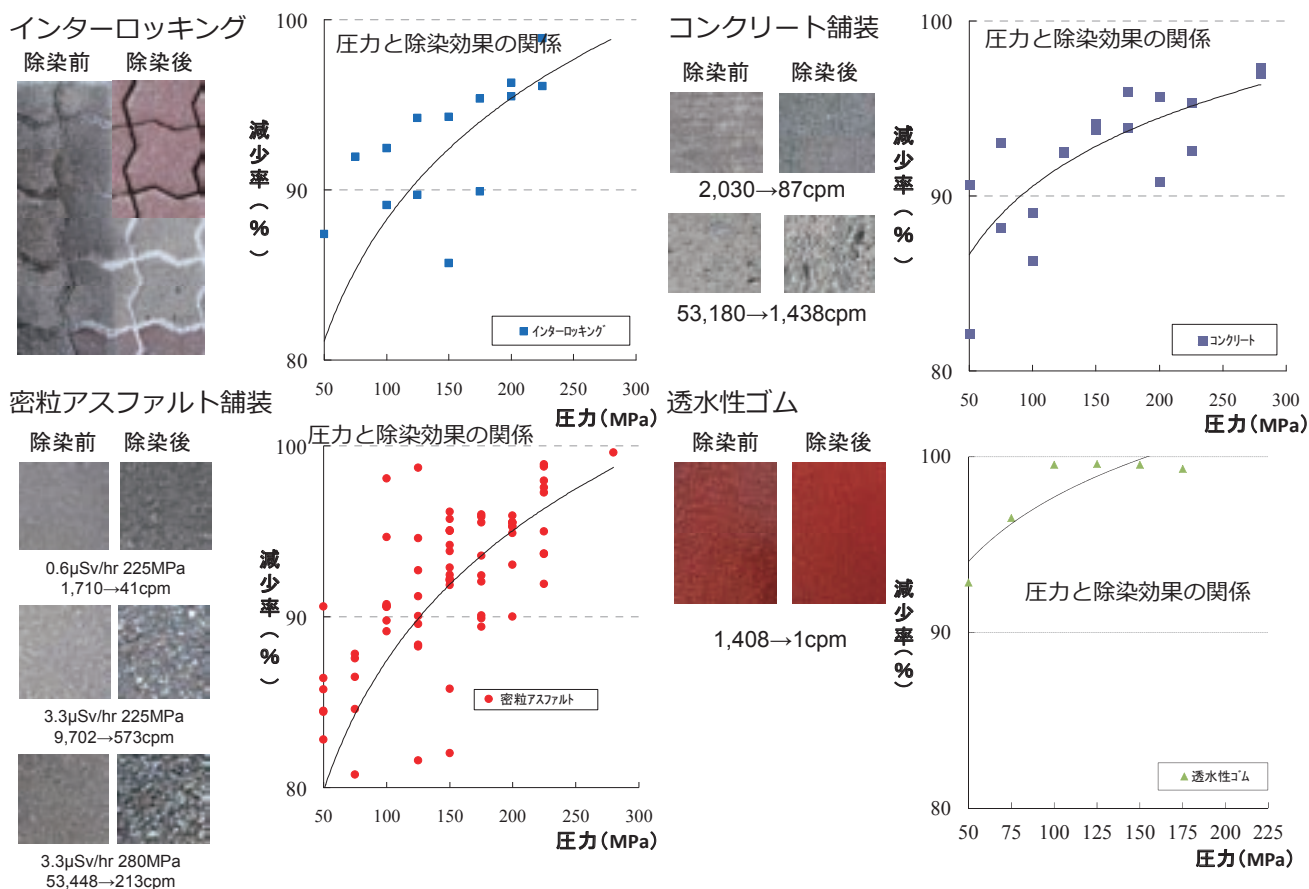


図 4-6-1 圧力変化による除染効果の変化

インターロッキング、密粒アスファルト、コンクリート、透水性ゴムなど様々な路面に対して、圧力をパラメータに超高压水による除染を実施した試験結果。200MPa 以上の超高压によって 90%以上の除染効果を得ることができた。また、透水性ゴムのような素材についても圧力を調整することで高い除染効果を得ることができた。

道路等の路面汚染は表面から 1~2 mm程度の深さに放射性セシウムが留まっていることが確認されています。その薄い層を削り取ることで除染を行うことができますが、重機などを用いた機械的方法では、余分に削り取ります。そのため、十分高い除染効果は得られますが、除去物の発生量が多いという課題があります。原子力機構では、これを解決するために、超高压水を用いた表面処理工法によって、路面の表面薄層を削り取り、水ごと吸引回収し、水処理によって回収水の放射能濃度を十分に下げることによって、水を再利用できるシステムの実証試験を行いました。

その結果、図 4-6-1 に示すように、インターロッキングブロック、密粒アスファルト、コンクリート、透水性ゴムなどに対して、圧力を 150MPa から 200MPa まで調整することで、90%以上の除染効果を得ることができました。また、密粒アスファルトについては、約 53000cpm の表面汚染を約 200cpm にまで除染することが確認できました。

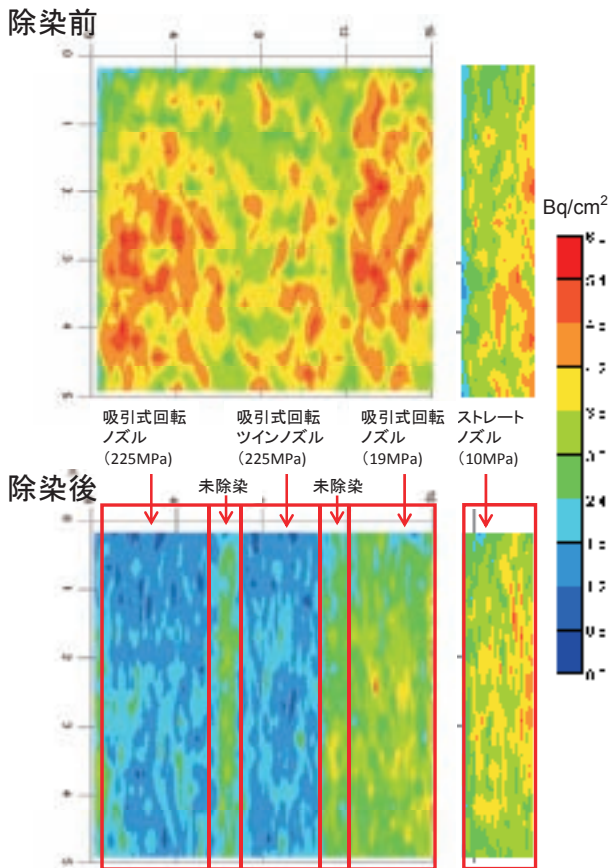
但し、表面汚染が高いほど、多く削り取る必要があることが分かりました。

また、インターロッキングブロックの場合、目地砂についても深さ 3cm 程度まで汚染していることが確認されたことから、目地砂まで回収できる本システムが除染にも非常に効果が高いことがわかりました。

また、図 4-6-2 に示すように一般的に利用されている水を回収しない高压水洗浄と市販の吸引式高压水洗浄技術と超高压水技術の比較を行いました。

測定は、光ファイバを通過したガンマ線が光として検出されるプラスチックシンチレーションファイバ (PSF) を用いて実施しました。

その結果、超高压水除染では、225MPa の圧力によって、均一かつ高い除染効果を得ることが確認できました。



**図 4-6-2 通常の高圧水洗浄、市販の吸引式回転高圧水洗浄と超高圧水洗浄の比較**  
放射能密度の測定は、プラスチックシンチレーションファイバ (PSF) を用いて実施した。

このように、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、水圧と吸引力を高くし、水量を少なくすることで、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を確認しました。この最適パラメータであれば、1つの超高圧ポンプを用いて最大3台までの洗浄装置を取り付けて除染を行うことができ、3台同時に除染することで作業効率を最大3倍にすることが可能であることがわかりました。

そこで、洗浄装置を3台とし除染効果の効率化を確認しました。その結果、洗浄装置を3台にしても除染効果を保ちながら、除染できることが確認できました(図4-6-3)。

次に超高圧水除染の適用性拡大のために、様々な用途に合わせた洗浄装置を開発しています。図4-6-4に示しているのは、先端のノズルが2つあり、除染効率が高く



**図 4-6-3 1つの超高圧ポンプから3つの洗浄装置で除染できることを確認している試験風景**  
除染パラメータの最適化で最大3倍までの効率化が図られた。



**図 4-6-4 様々な用途に合わせて洗浄装置を開発**

上左図:先端に洗浄ノズルが2つある洗浄装置。作業効率が約2倍になった。上右図:壁際などの水の滞留しやすい端部を除染する洗浄装置。端部の除染により除染効果を高めることができた。下図は、形の定まらない場所や狭隘部で利用できる超高圧洗浄装置。

なるツインジェットや水が滞留しやすく、これまでの洗浄装置では除染することができなかった、端部用洗浄装置、複雑な形状や狭隘部などで利用できるハンディジェットを開発し、様々な用途に応じて使い分けができ、目的に応じて除染装置を変更できるようにしました。

今後、高線量地域において同様の効率化を図ることが可能であるか、東京電力福島第一原子力発電所の中の除染へ応用可能であるかなどを検討する予定としています。

本研究は、内閣府からの受託研究「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】」の成果の一部を利用し、原子力機構が研究開発を継続している成果です。

●参考文献

# No.4-7 除染技術情報の効果的運用に向けた取り組み

## ーポータルサイトを通じた効率的・効果的な除染技術の提供に向けてー



図 4-7-1 除染技術情報の効果的運用に向けた取り組みの概念図

モデル事業等で得られた効率的・効果的な除染技術情報を利用しやすく、階層的に整備するとともに、これらの情報へのアクセス、抽出、利用、理解を支援するためのポータルサイトの整備を CMS やマルチメディアコンテンツ(動画等)を活用して進めています。

内閣府から受託した除染モデル実証事業等を通じて得られた成果は、千数百頁を超す報告書として取りまとめられました。これらの成果は、国直轄による本格除染や市町村による除染を実施する際に活用されるべきものですが、除染実施者が報告書の中から必要な情報を抽出することは容易ではなく、モデル事業の成果の活用面での工夫が求められています。

このような現状を踏まえ、モデル事業等で得られた知見や技術、経験等を、効率的・効果的に本格除染等を進める際に活用して頂くため、モデル事業等の報告書に記載された情報を中心に、インターネットを通じて、誰もがアクセスでき、必要な情報を抽出、利用することが可能なポータルサイト(情報への入口となるサイト)の整備を進めています。このポータルサイトでは、モデル事業等で示された除染技術に関わる情報に加え、除染に係る法律やガイドライン、環境省による除染事業(先行除染、本格除染)を通じて得られた知見等についても関係する外部リンク等により活用できるようにする計画です。また、このようなポータルサイトの整備にあたり、以下の内容を実施する予定です。

### (1) 除染技術情報の分類と構造的整理

除染実施者等のユーザーによるポータルサイトへのアクセス、除染技術情報の抽出、利用、理解が容易となるように除染技術情報の分類と構造的な整理を行います。

### (2) コンテンツマネジメントシステム(CMS)を活用した除染技術情報の提示

大量で多種多様な除染技術情報を対象に、ユーザーの知識レベル等に合わせて、分かりやすく情報を提示するため、CMS(ウェブサイトで扱うテキストや画像などのコンテンツを管理するシステム)による階層性のある情報整理手法を活用し、ポータルサイトを制作します。また、除染作業等に関するビデオ映像や除染による空間線量率低減の仕組みを解説したアニメーション映像等を用い、ユーザーの理解促進を図るためのマルチメディアコンテンツ(テキストだけでなく動画や音声等を活用したコンテンツ)も活用します。

### (3) 試験運用及び課題の抽出

制作したポータルサイトをもとに、非専門家を含むテストユーザーを対象とし、ポータルサイトの表示の視認性や種々の機能の操作性、情報の分かりやすさ等を確認するための試験運用を行います。この試験運用を通じて、本格運用に先立ち、修正・改良すべき課題を抽出します。

福島における除染事業は、国際的にも関心が高く、注目されている内容であるため、モデル事業等における成果を分かりやすい形で、海外に向けて情報を発信することも必要です。このため、ポータルサイトは、日本語版と英語版を作成する予定です。

本ポータルサイトの本格運用により、モデル事業等を含めた除染に関わる統合的な知識を主に除染作業従事者や自治体関係者等が活用可能となるような環境整備を目指しています。



# No.5-1 線量率の迅速測定・マッピングシステムについて

## —迅速測定・記録システム「ガンマ・プロッタ H」の開発と利用—



表示部拡大

図 5-1-1 開発したガンマ・プロッタ H と測定の様子

表 5-1-1 要求された機能と開発したシステムの仕様及び得られた効果

要求された機能	システムの主要仕様	開発による効果
小型・軽量	<ul style="list-style-type: none"> <li>長さ約180 c mのステッキ型</li> <li>アルミ製</li> <li>本体重量約2 k g (電池重量除く)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>可搬性の向上</li> <li>不整地などでも容易な取扱</li> </ul>
時間短縮	<ul style="list-style-type: none"> <li>PS検出器を地上高さ5 c mと100 c mに配置し同時測定</li> <li>測定結果の自動マッピング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定・記録・作図に要する時間労力を大幅に軽減</li> </ul>
安易な操作	<ul style="list-style-type: none"> <li>測定データの自動記録</li> <li>オートレンジ切り替え</li> <li>ホットスポット検知ブザー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ処理の自動化により特別な操作が不要</li> </ul>
簡便なマップ作成	<ul style="list-style-type: none"> <li>高性能GPSの搭載により約60 c mの精度で位置測定</li> <li>電子地図などとの測定結果の重ね合わせ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>作図操作の自動化により特別な操作は不要</li> <li>リアルタイムでのマッピングが可能</li> </ul>

### 開発の経緯

福島県における環境修復（除染）作業や住民の方々の安全安心のためには、住宅や農地などの生活圏でのホットスポットを検出できるきめ細かい線量率のマップを作成する必要があります。また、測定した結果を迅速に可視化し、関係者へ情報提供できることが必要となります。一方で、可搬型サーベイメータを用いたマッピング作業では一定の高さを保持した正確な測定や測定結果や測定位置を正しく記録する必要があり、専門的な知識と労力が必要となります。このようなことから、迅速・簡単に線量率を測定し、マッピングできるシステムの開発が望まれていました。

### 開発目標

環境中での線量率測定では、測定場所が平地に限らず、田畑などの不整地、住宅などの裏庭、住宅に隣接する森林部など様々な場所となるため、可搬性に優れているこ

とが必要となります。また、線量率の測定結果をマッピングし可視化する際には、作業に要する負担や時間を軽減すること、関係者が見やすい線量率マップであることが必要です。さらに、除染の進展に伴い住民や作業員などの関係者が繰り返し測定を実施することになるため、操作が簡便であることが必要と考えました。

このような要求を踏まえ、開発する線量率マッピングシステムについては、既存のシステムでは十分に要求性能を満足しないことから、新しいシステムとして①小型・軽量（可搬型）、②作業時間の短縮、③安易な操作、④簡便なマップ作成機能を有するシステムの開発を行いました。



図 5-1-2 川俣町の除染実施エリアと周辺の測定結果



図 5-1-3 通常モニタリングとの比較

### システムの概要

開発したシステムである「ガンマ・プロッタ H」は、高精度 GPS を搭載した長さ約 180 cm のステッキ状の本体に地上高さ 5 cm と 100 cm の位置にそれぞれプラスチックシンチレーション (PS) 検出器 (測定範囲: 0.1 ~ 300  $\mu\text{Sv/h}$ ) を配置しています (図 5-1-1)。これにより異なる 2 つの高さの線量率を同時に取得でき、電子地図または衛星地図上に測定した線量率をディスプレイ上に表示できます。開発したシステムは、市販の汎用品を組み合わせることで開発したため、特別な操作はなく、誰でも簡単に操作できます。開発目標に対するシステム概要と開発における効果を表 5-1-1 に示します。

### 実際の測定例

開発したガンマ・プロッタ H のシステムを用い、除染モデル実証事業で除染を実施したエリアにおいて、線量率の測定を実施しました。

図 5-1-2 に川俣町の除染実施エリア (約 11ha) とその周辺を測定した結果を示します。全体で約 12ha 程度のエリアにおいて、約 2000 点の 2 つの高さの線量率データを

測定し、線量率の分布を把握することができることを確認しました。また、これまでのモニタリング作業では、30 名程度で数日必要であった測定時間も、2 名が 4 時間程度でマッピング処理まで行うことができ、モニタリング作業の大幅な効率化を図れることを確認しました。

さらに、図 5-1-3 に示すように、通常のモニタリング機器を用いた測定結果との比較を行ったところ、概ね同等の測定結果を得ることができました。

### まとめ

開発の途中において現地試験を実施し、その結果を反映させることで、当初設定した開発目標を満足するシステムを開発することができ、除染作業などにかかるモニタリング作業などの負担を大幅に軽減することができる見通しを得ることができました。また、自治体等の関係者などへのデモンストレーションにおいても高い評価が得られました。

# No.5-2 商品化目前： 除染前後の効果確認システムの開発

## —プラスチックシンチレーションファイバ (PSF)—

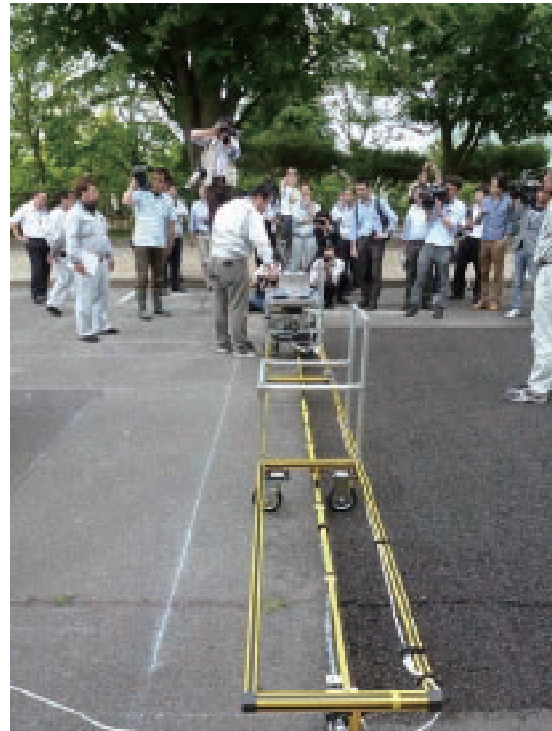
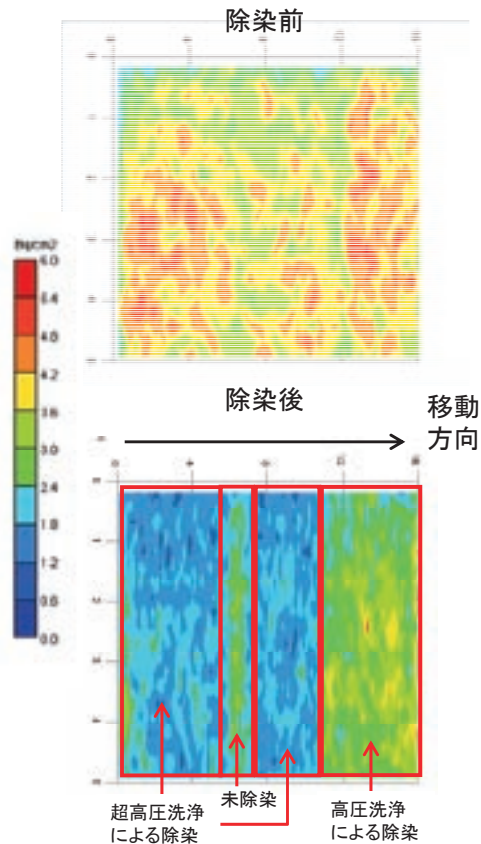


図5-2-1 プラスチックシンチレーションファイバ検出器による除染前後の測定例

左図：プラスチックシンチレーションファイバ検出器を地上から5 cmの高さに固定し、除染前後で移動しながら測定した例。除染方法(超高压除染と高压除染)による差が視覚的に確認できる。右図：測定風景

プラスチックシンチレーションファイバ(以下、PSF)は、1990年代に放射線分布検出器として、東大と原子力機構(旧動力炉・核燃料開発事業団)により開発し、主として原子力施設内の線量分布測定や線量監視のためのツールとして使用してきました。

この検出器は、光ファイバのコア(中芯部)が放射線を感じて発光するプラスチックシンチレータを用いており、その両端に備えた光センサー(光電子増倍管)で光ファイバに入射した放射線の数を数えます。そして、光ファイバへの放射線の入射位置により発光位置が異なることを利用して、両端の光センサーに到達する光の時間差から発光位置を特定することができます。この検出器の利点は、検出部を最長20 mまで拡張できることから、一度に広範囲の測定が行えること、測定場所に合わせてひも状の検出部を自在に曲げられること等が挙げられます(図5-2-2)。

これらの特徴を利用し、除染の前後で測定値を比較することによって、除染の効果を可視化するシステムを開発しました。図5-2-1に示し

ましたのは、その結果の一例です。アスファルトの汚染箇所10 m×15 mを、超高压洗浄と高压洗浄の2タイプの除染方法で除染し、除染の前後でPSFを速度10 cm/sで移動しながら5秒間ごとの測定を連続して実施し、地表面の放射性物質濃度に換算した後、マップ化しました。

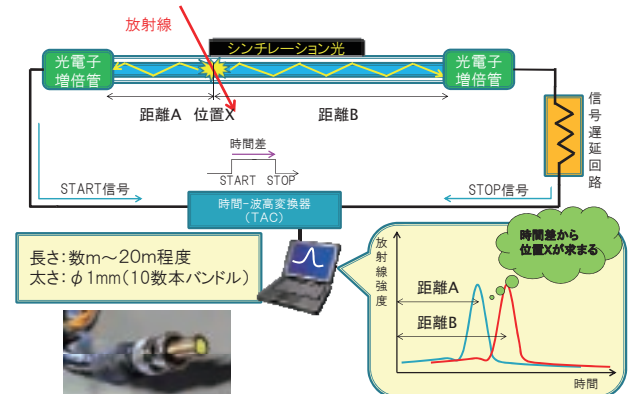


図5-2-2 PSFの原理

放射線による発光は、ファイバにより両端の光検出部(光電子増倍管)に伝えられ、その時間差で位置を特定します。



河川における測定



湖底における測定



森林内における測定



仮置き場における測定



図5-2-3 PSF の応用

PSF は、検出器自体の耐水性が高いため、河川や湖底での測定が可能です。また、フレキシブルであることから森林内や仮置き場などの平たんでない場所に沿わせて測定することができます。

図に示したように、除染の前後で地表面の放射性物質濃度が減少していることがわかります。

また、除染の方法により、効果が異なることも視覚的にわかります。

除染現場では、市販のサーベイメータにより除染の前後の放射線量を測定することにより、除染効果を確認していますが、測定に時間と人手がかかることが大きな課題となっています。本システムは、検出部を台車で移動させながら測定することができるため、例えば、除染前の平均が  $1 \mu\text{Sv/h}$  程度の  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  の測定面積を 5 分程度で測定することができます。また、測定ニーズに応じて、スキャン速度を可変することによって低線量率の場所から高線量率の場所まで短時間に連続測定することも可能です。

今後、自動マッピングシステム等を付加し、更に使いやすいシステムに改良し、より多くの除染現場に投入していくことを目指してまいります。

また、PSF は、検出部がフレキシブルであり、両端の光センサーの部分耐水性にすることによって、水中に沈めることも可能であることから、水中測定を含めていろいろな応用が考えられます。

図 5-2-3 に、応用例を示します。これまで、原子力機構では、耐水性を利用して、河川や湖底における測定やフレキシブルであることを利用して森林内や仮置き場における測定に適用できることを確認してきました。

なお、本研究は、独立行政法人 科学技術振興機構における先端計測分析技術・機器開発プログラムの開発課題として 2012 年に採択（注）されました。本研究では、商品化とアプリケーション化が目的とされており、今年度内に商品化される予定です。

（注）重点開発領域「放射線計測領域」実用化タイプ（短期開発型）「シンチレーション光ファイバを用いた 2 次元マッピングシステムの実用化開発」

●参考文献

## No.5-3 セシウム 134 と 137 を個別定量する簡便な手法

—普及型の NaI(Tl)スペクトロメーターによる弁別定量法を開発—

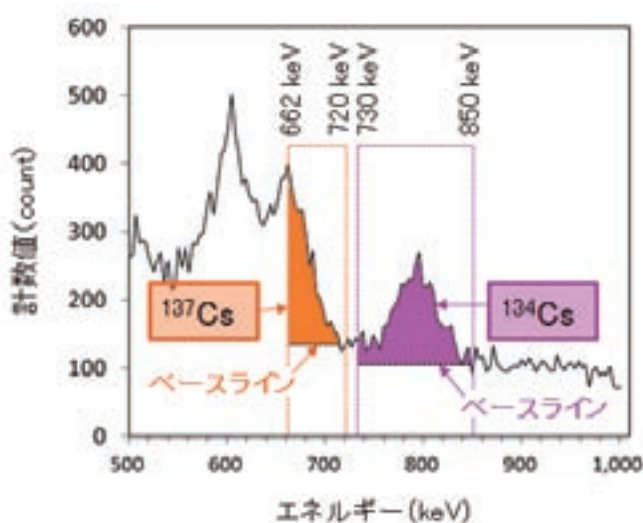


図 5-3-1 セシウム 134 と 137 を弁別定量する考え方

汚染試料から得られた波形データのうち、本手法では、着色部分の領域を両核種の定量に用います。662-720 keV ( $^{137}\text{Cs}$ )と 730-850 keV ( $^{134}\text{Cs}$ )の範囲の計数値をそれぞれ合算した後、ベースライン以下に相当する計数値を自然放射線などに由来するものとして除外します。このベースラインの高さは、 $^{137}\text{Cs}$  に対しては 720-730 keV の範囲の平均値、 $^{134}\text{Cs}$  に対しては 850-970 keV の範囲の平均値としました。

現在、食品や土壌、肥料など、放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$ ) の定量分析が求められる試料は膨大な数に上っており、多くの方々がこれに取り組んでいます。利用される装置の中で、タリウムヨウ化ナトリウムシンチレーションスペクトロメーター (NaI(Tl)スペクトロメーター) とゲルマニウム半導体検出器 (Ge 検出器) の二つが代表的なものです。NaI(Tl)スペクトロメーターは、価格は 200 万円程度からあり、人力で運搬可能な重量とサイズで、常温で使用可能であることから、Ge 検出器の価格がおおよそ 2,000 万円、重量は数トン、使用時に液体窒素による冷却が必要であることと対比すると、はるかに利用しやすい装置と言え、実際、すでに多くの団体への普及が進んでいます。しかしその一方で、放射性物質の種類を識別する能力が Ge 半導体検出器に比べて大きく劣るため、本来は  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  を区別して測定する目的に適した装置でないという欠点があります。そこで本研究では、放射線計測の専門家以外の人々が用いることを想定した上で、現在普及している一般的な NaI(Tl)スペクトロメーターを利用して、特別な機器やソフトウェアなどの追加コストをかけることなく、試料中に含まれる  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の個別の存在量を定量できる、可能な限りシンプルな分析手法の開発を目指しました。多様な現場で分析に取り組んでいる多くの人々に、計測や解析のノウハウ

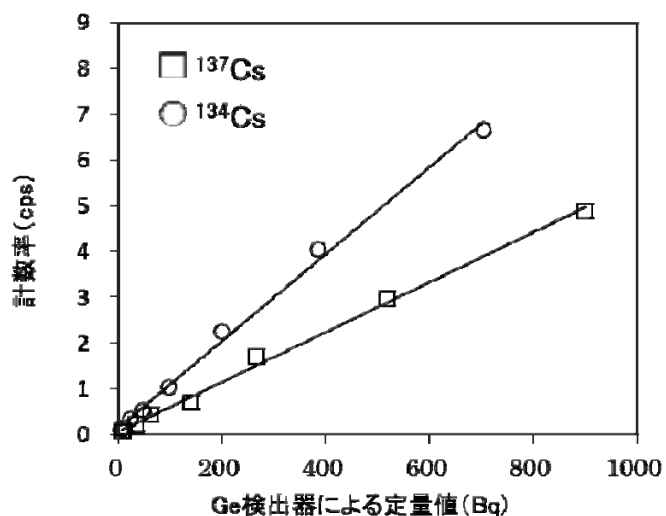


図 5-3-2 定量に用いる領域面積と両核種の量との相関

数段階の濃度となるよう同一の試料を希釈して、これを Ge 検出器によって測定した値と本手法で定量に用いる領域の面積が比例していることを確認しました。ここに示した例では、一般的な U-8 容器(容積 100 mL)を計測に使用しており、少なくとも  $^{134}\text{Cs}$  では約 5 - 700 Bq、 $^{137}\text{Cs}$  では約 7 - 900 Bq の範囲でこの直線性が保たれています。

を共有し蓄積していく土台として利用して頂くためには、手法を「ブラックボックス」にしてしまうのではなく、可能な限り単純な原理に基づき、分析者自身や第三者による検証や改良が可能な開かれたものにする必要があるとの考えに、この開発方針は基づいています。本研究は、原子力機構量子ビーム応用研究部門、高崎量子応用研究所、東京大学、秋田県立大学に所属する放射線計測の専門家と農学研究者らが、議論を重ねながら共同で進めたものです。

一般的な NaI(Tl)スペクトロメーターによって汚染試料を測定すると、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  が放出するガンマ線に由来するピークが重なり合った波形が得られます(図 5-3-1)。一般に、こうした波形から各々のピークを解析していくには、数学的な関数を曲線の形に当てはめていく「フィッティング」という方法を使うことが多いのですが、それには特別なソフトウェアが必要になります。そこで私たちは、各核種の量に面積が比例するような領域を波形の中から抜き出すという別の方法を採用することにしました。理論計算を元に、 $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の相互の影響や、周辺環境からの背景放射線の影響、天然の放射性物質であるカリウム 40 による影響が最も少ない領域を選び出しました(図 5-3-1、着色部分)。

	$^{137}\text{Cs}$		$^{134}\text{Cs}$	
	本手法による定量値 (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ge 検出器による値との比	本手法による定量値 (Bq kg <sup>-1</sup> )	Ge 検出器による値との比
腐葉土 A	1.2×10 <sup>4</sup> ±69	0.97	9.0×10 <sup>3</sup> ±44	1.01
腐葉土 B	6.0×10 <sup>3</sup> ±60	0.98	4.4×10 <sup>3</sup> ±38	0.95
草地土壌	1.7×10 <sup>4</sup> ±72	0.97	1.3×10 <sup>4</sup> ±47	0.98
牛糞堆肥 1	7.0×10 <sup>2</sup> ±12	0.94	5.7×10 <sup>2</sup> ±8.2	1.01
牛糞堆肥 2	5.9×10 <sup>2</sup> ±11	0.87	4.8×10 <sup>2</sup> ±7.4	1.06
牛糞堆肥 3	7.2×10 <sup>2</sup> ±13	1.06	5.1×10 <sup>2</sup> ±7.7	0.99
牛糞堆肥 4	6.3×10 <sup>2</sup> ±12	1.00	4.7×10 <sup>2</sup> ±7.3	0.96

**表 5-3-1 実施例** 本手法を用いれば、一般に普及している NaI(Tl)スペクトロメーターによっても、Ge 検出器によるものと非常に近い定量値が得られることがわかります(表中の測定値は 2012 年 1 月～2 月当時のものです)。東京電力福島第一原子力発電所事故によって放出された Cs-134 と Cs-137 の存在比は、事故直後にはおよそ 1 : 1 ですが、物理的減衰によって、事故後一年でおよそ 0.7 : 1、二年でおよそ 0.5 : 1 になっていきます。両核種の定量結果の比がこの値から著しく離れている場合は、試料調製・計測・解析の過程に不適切な点があるなど、何らかの特別な原因があると考えられます。

多くの市販の装置では、ごく一般的な表計算ソフトに波形データをファイル出力することが可能であり、表計算ソフト上では、これらの着色部分の領域の面積に相当する計数値(count)を簡単な合算で求めることができます。求めた計数値を計測に要した時間(s)で割って計数率(count per second; cps)としたところ、これが試料中の $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の量を正確に反映していることを確認できました(図 5-3-2)。本手法に限らず、どのような定量分析法にも言えることですが、こうした計測データから $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の量を求めるためには、ものさしとなる標準試料(含まれる $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の量が前もって定量・保証済みの試料のこと)が必要です。本研究では、汚染土壌などをミルサーで粉碎したのち「手芸用樹脂粘土」とよく混和することによって、計測容器内にムラなく充填でき、かつその状態で安定に保存できること、また図

5-3-2 の計測に用いたような濃度段階の異なる「希釈系列」を簡単に自作できることを見出し、これを専門機関で定量しておけば簡易的な標準試料としても利用できることを示しました。

最後に、本手法の有用性を実証するため、福島県と栃木県から採取された実際の汚染土壌や堆肥を分析し、Ge 検出器による測定値と比較したところ、高い一致性が見られ、本手法で精度よく $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ を個別に定量できることが分かりました(表 5-3-1)。本手法によって、試料の希釈の程度と定量の結果が直線的であること(図 5-3-2)と、 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の比が半減期に応じた割合であること(表 5-3-1)を、分析者自らが確認すれば、試料調製や装置校正などの方法が適切であったかどうかを検証し、分析の信頼性の向上に反映させていくことが可能になると期待できます。

量子ビーム応用研究部門

●参考文献

尹永根ほか, NaI(Tl)スペクトロメーターによるセシウム 134 および 137 を弁別した定量方法, 日本土壤肥料学雑誌, vol.83, no.3, 2012, p.296-300.  
原子力機構プレスリリース(東京大学、秋田県立大学と共同), 「NaI(Tl)スペクトロメーターでセシウム 134 と 137 を個別に定量する簡便な手法を開発」, 平成 24 年 6 月 22 日, <http://www.jaea.go.jp/02/press2012/p12062201/index.htm>

# No.6-1 福島県における環境中の放射性セシウムの移動

## —福島長期核種動態研究プロジェクト—



図6-1-1 福島長期核種動態研究プロジェクトの概要  
放射性セシウムの移動予測モデルの開発、被ばく線量評価システムの開発、移動抑制等の対策の検討、包括的な評価システムの開発の4つを柱として、調査・研究を進めます。

現在、福島県内に残存する事故由来の放射性物質のうち、最も放射能濃度が高いものはセシウム 137 ( $^{137}\text{Cs}$ )で、その半減期が約 30 年であることを考えれば、今後長期に亘って放射線による健康影響を注視する必要があります。そのためには、 $^{137}\text{Cs}$ をはじめとする放射性物質の環境中での動きを観測し、その結果に基づいて動きを予測することが求められます。またその結果、放射性物質の移動抑制や回収等の対策や除染計画策定に対する基礎的情報を提供することも可能となります。

放射性セシウムの大きな源は森林・山地で、降雨、台風、融雪といった増水時に水を介して、また侵食された土壌粒子とともに移動しますが、逆に、特定の地形を有する場所に沈着することも考えられます。環境中での放射性物質の分布は、こうした自然現象に従って変化するとともに、除染という人為的な行為にも影響されます。

そこで、原子力機構は、放射性セシウムの移動を予測する研究「福島長期核種動態研究プロジェクト」に着手し、以下のような調査・研究を進めていきます。

### ①放射性核種の移動予測モデルの開発

未除染区域（特に森林）から生活圏・海に至る環境中の様々な移動経路において、地形等の基礎調査、気象・流水・放射線状況等の観測、土壌・水・植物等の環境試料採取・分析を進め、流水や風等による放射性セシウムの移動挙動を調査します。

分析に際しては試料採取場所近くに装置を設置し、迅速な分析・データ評価を図るとともに、一部の低線量試料については、福島市笹木野に開設された分析所において詳細な放射能測定・化学分析を実施します。

これらの調査結果に基づき、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ます。

### ②被ばく線量の評価システムの開発

放射性セシウムの移動を考慮した被ばく線量を評価するとともに、移動挙動および被ばく線量の評価結果に基づき被ばく線量への影響が大きい重要な放射性セシウムの移動経路を特定する評価システムを開発します。

### ③移動抑制等の対策の検討

重要な放射性セシウムの移動経路上において、被ばく線量低減の観点から、例えばフィルター、土壌固化材、既存の砂防ダム・溜め池等を活用した効率的な移動抑制等の対策を検討します。

### ④包括的な評価システムの開発

これら一連の成果を包括した「核種動態予測・移動抑制等対策システム（仮称）」を構築していきます。

平成 24～26 年度は、流水による移動については浜通り側の中小河川、風等による移動については除染モデル実証事業実施地区においてそれぞれ調査・研究を進め、平成 27 年度以降は、浜通り側の全河川および阿武隈川水系の河川を含む広範な地域を対象とします。

その他、地衣類と呼ばれる菌類の一種が放射性セシウムを取り込み蓄積しやすいことに着目し、広くこれらを採取・放射性セシウム濃度等を測定することにより、中長期的な放射性セシウムの移動挙動を評価する際の指標として活用する手法についても検討を進めます。

## No.6-2 海洋における放射性セシウムの動態

### —海底堆積物中の放射性セシウム濃度の変動要因—

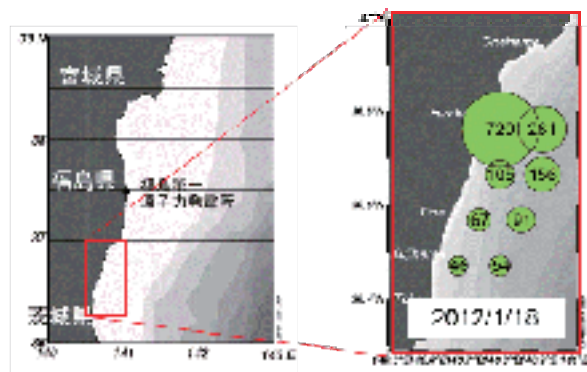


図 6-2-1 調査海域と堆積物 0-3cm 層中の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の分布(2012 年 1 月) 濃度の単位は Bq/kg-乾土

調査は、福島第一原子力発電所の南 70km から 110km、水深 30~100m の海域において、定点を設けて行いました。2011 年 6 月から 2012 年 1 月までの間、4 回にわたって海底堆積物を採取しました。調査は、原子力機構のモニタリング船「せいかい」によって行いました。

茨城県北部沿岸域(図 6-2-1)は、事故後の数か月間に、比較的高い濃度の放射性セシウムを含む海水が流入した海域であると推測されています。国がこの海域で実施したモニタリング調査では、事故由来の放射性セシウムが堆積物からも検出され、海底環境への影響が懸念されています。本研究では、茨城県北部沿岸域に定点を設けて、放射性セシウムの濃度分布や沈着状況を詳細に調査し、堆積物への放射性セシウムの輸送過程を解析しました。

堆積物  $1\text{m}^2$  あたりの  $^{137}\text{Cs}$  の蓄積量は、2012 年 1 月現在、 $3.7\text{ kBq}$  から  $27\text{ kBq}$  で、水深の浅い観測点ほど大きく、2011 年 8 月以降、目立った変動は見られませんでした(図 6-3-2)。 $^{137}\text{Cs}$  濃度を堆積物の上層(0-3cm 層)と下層(3-10cm 層)に分けて調べた結果、水深 50m 未満の浅海域では、 $^{137}\text{Cs}$  の多くが堆積物下層に存在していることがわかりました。沖合海域に比べて粒径が大きく空隙が多い浅海域堆積物では、(1) 堆積物の間隙を通して高濃度のセシウムを含む海水が下層堆積物と作用する、(2) 放射性セシウムを含む微小粒子が堆積物の空隙に取り込まれる、(3) 底生生物が堆積物内部を移動する、といった過程を経て、放射性セシウムが堆積物深部に運ばれ、蓄積したと考えられます。

海底堆積物中のセシウムは、イオン交換によって堆積物表面に弱く吸着するもの、有機物に取り込まれるもの、鉱物に強く沈着するもの、の 3 つに分類することができます。これらの画分を段階的に分離する実験を行った結果、茨城県沿岸における堆積物中の放射性セシウムは主

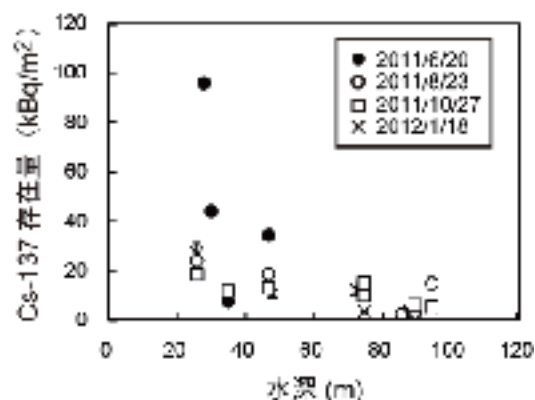


図 6-2-2 堆積物 10cm 深まで積算した  $1\text{m}^2$  あたりの  $^{137}\text{Cs}$  の蓄積量と水深との関係

に鉱物粒子に強く沈着しており、一旦沈着すると海水には再び溶けにくい特徴を持つことがわかりました。この特徴は、海底堆積物中の放射性セシウムの量が減少しにくい原因の一つと言えます。また、堆積物中の放射性セシウムのうち、魚類などの餌となりやすい有機物粒子に取り込まれるものの割合は、約 2 割でした。

堆積物上層における  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、観測期間中全体として減少傾向を示しましたが、浅海域の一部の観測点では局所的に高い濃度が観測されました(図 6-2-2)。

浅海域の代表的な観測点において、堆積物試料を  $75\ \mu\text{m}$  のふるいで分け、 $^{137}\text{Cs}$  濃度を粒径別に測定した結果、放射性セシウムの大部分が、海流によって移動しにくい大径の粒子として存在していた一方で、一部の放射性セシウムは海流の影響を受けて移動しやすい小径の鉱物粒子に比較的高い濃度で存在していました。浅海域では、このような小径粒子が海水の流動に伴って移動し、一時的に滞留することによって、堆積物上層での放射性セシウム濃度を局地的に変動させたと推測されます。

本研究で明らかにした放射性セシウムの海底堆積物への沈着状況と輸送過程は、放射性核種移行予測モデルに適用することにより、海底に沈着した放射性核種濃度の将来予測にも役立たせる予定です。

なお、本研究の海洋調査と放射能分析は、原子力機構東海研究開発センター 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部の協力によるものです。

# No.6-3 汚染した災害廃棄物等の取扱いについて

## —処理処分および再利用に際して作業員、周辺住民が受ける線量の評価—

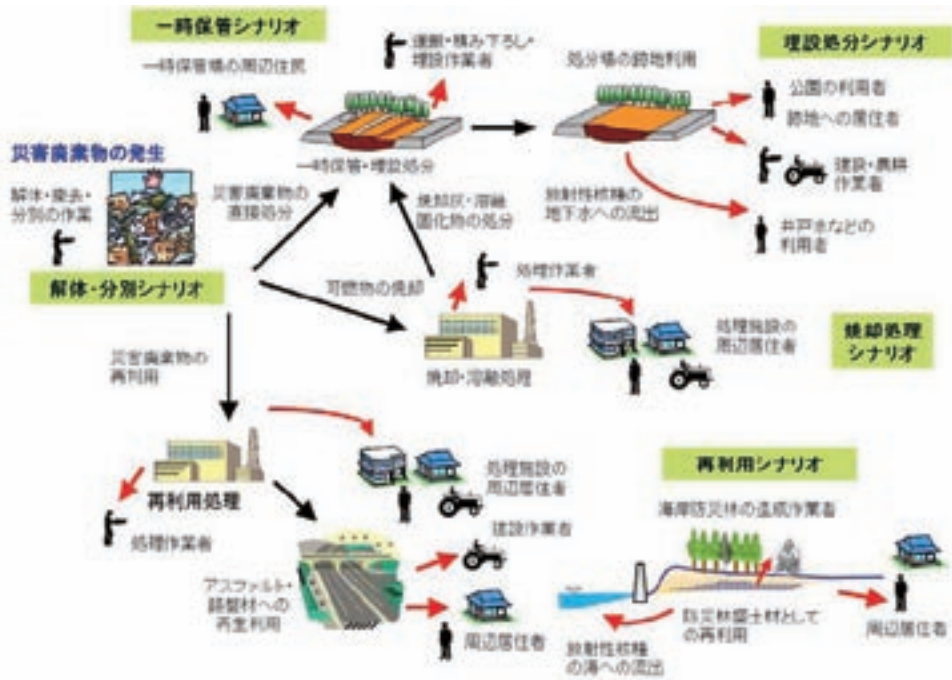


図 6-3-1 放射性セシウムで汚染した災害廃棄物等の処理、処分、再利用等に関するシナリオ

クリアランスレベルの評価と同様に、コンクリート、金属、可燃物の廃棄物を対象に、運搬、焼却処理、再生利用、埋設処分といった一般的な廃棄物の処理スキームを想定した網羅性あるシナリオを設定しました。なお、一般的な再利用については、クリアランスレベルの基準を踏襲した 100 Bq/kg が目安値として存在するため、利用目的を限定したシナリオについての評価を行いました。

東日本大震災により発生した大量の災害廃棄物のうち放射性物質により汚染した災害廃棄物、高濃度の放射性セシウムを含む下水汚泥や浄水発生土等の災害廃棄物等は、作業員や公衆への放射線に対する安全性を確保しつつ迅速に対処する必要がありましたが、事故直後は汚染した災害廃棄物等の取扱い基準、適切な管理や方法が定められていない状況でした。

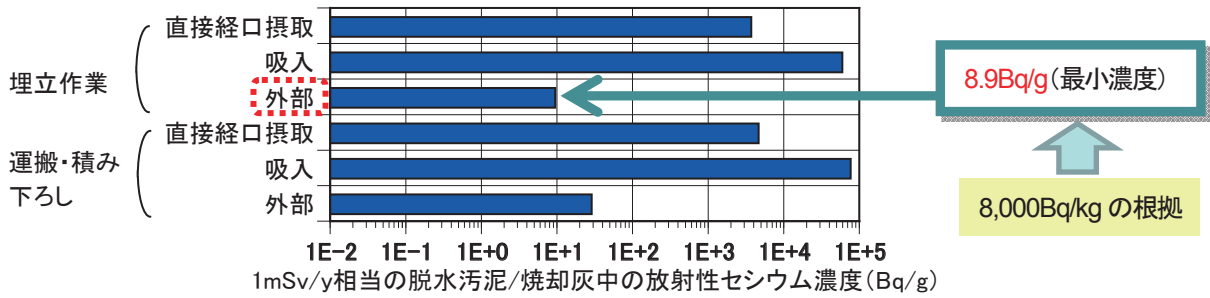
そこで、放射性物質により汚染した災害廃棄物等の処理、埋設処分および再利用に関する取扱い方針の策定のための技術的な情報を迅速に提示することを目的として、災害廃棄物等の処理・埋設処分ならびに再利用に伴う作業員および公衆の被ばく経路を想定し、それらの被ばく経路に対する線量を解析しました。さらに、その解析結果から、原子力安全委員会が「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について（平成 23 年 6 月 3 日）」で示した事故の影響を受けた廃棄物の処理、埋設処分ならびに再利用に対する線量の目安値を満足する、災害廃棄物等および焼却灰等処理廃棄物中の放射性セシウムの濃度を求めました。

### 1. 災害廃棄物等の処理、処分に関わる線量評価

各所で発生した災害廃棄物等の種類や濃度、取扱い状況、その後の処理や処分の見込みなどを総合的に勘案した結果、これまでに開発し、解析評価の実績のあるクリアランスレベル（放射性物質の放射能濃度が低く人の健

康への影響が無視できることから、放射性物質として扱う必要がない濃度基準）の評価体系の多くが、当該評価シナリオ検討に適用できる可能性があることに着目し、クリアランスレベル評価のシナリオをベースとして、個々の汚染物に固有な移行経路や取扱いを追加的に考慮することにより、網羅性と信頼性を担保した評価シナリオを極めて短期に設定しました（図 6-3-1）。また、より実態に則した解析を実施するため、災害廃棄物等の取扱い現場や処理施設に出向き、作業や施設の実態を把握することにより、適切なシナリオ、評価条件、パラメータの設定を行いました。

解析の一例として、脱水汚泥および焼却灰の埋設処分作業に係る作業員についての評価結果を図 6-3-2 に示します。事故により発生した災害廃棄物等の処理や処分に関する作業員や周辺住民への影響を評価した結果、処分場跡地への立入制限等を条件に、放射性セシウム濃度が 8,000 Bq/kg 以下であれば作業員や周辺住民の安全が確保できる見通し等を示しました。

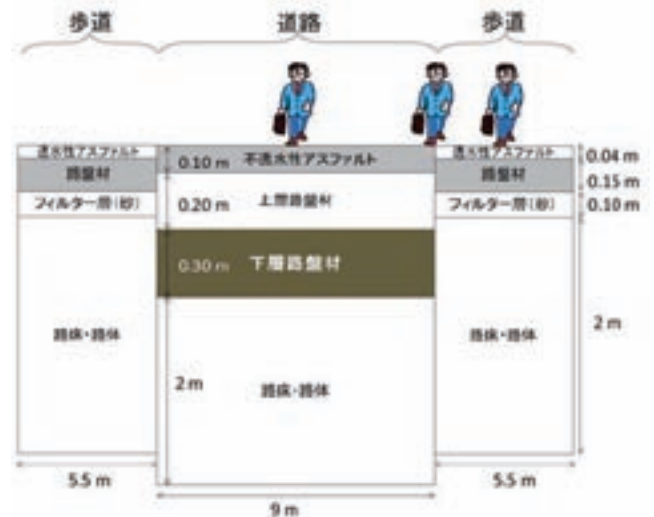


**図 6-3-2 脱水汚泥および焼却灰の埋設処分作業に係る作業員に対する安全確保のための限界放射能濃度の評価例**  
シナリオに沿った移行経路ごとに、1 mSv/y 相当の外部被ばく、内部被ばく(吸入および口径摂取)を与える脱水汚泥および焼却灰の放射性セシウム濃度を算出しました。最も厳しい線量を与える可能性があるのは、埋立作業における作業員の外部被ばくでした。そのときの濃度 8.9 Bq/g から、放射性セシウム濃度が 8,000 Bq/kg 以下の災害廃棄物等であれば、保管作業、処理事業、埋設作業等に係る作業員や周辺住民の安全が確保できることを示しました。

2. 災害廃棄物等の再利用に関わる線量評価

汚染した災害廃棄物等の物量低減と有効活用が期待される、コンクリートくず等の道路および防災林盛土への再利用について、作業員や周辺住民に与える線量を評価しました(図 6-3-3)。下層路盤材としての再利用および防災林盛土材としての再利用を想定した場合、放射性セシウムの平均濃度としてそれぞれ 2,700 Bq/kg、および 4,100 Bq/kg までであれば、原子力安全委員会の示す目安値を満足するという結果を得ました。

事故に起因する汚染物に対するこれらの解析結果は、原子力災害対策本部、環境省、国土交通省、農林水産省等へ提供し、「平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」に関わる環境省令、ならびに災害廃棄物等に対する具体的な措置として公表された指針やガイドライン策定の科学的根拠として活用されています(表 6-3-1)。



**図 6-3-3 コンクリートがれき再利用に関する評価例**  
コンクリートがれきを道路建設に再利用した場合の作業員および周辺住民が受ける被ばく線量解析を実施しました。地表より 30 cm 下の下層路盤材に用いる場合、平均で 2,700 Bq/kg 以下を満たすことにより、再利用可能であることを示す結果を得ました。

**表 6-3-1 当該評価結果が科学的根拠として活用された指針やガイドライン等の例**

「福島県内の下水処理副次産物の当面の取扱いに関する考え方について」(H23.5.12、原子力災害対策本部及び国交省指針)
「放射性物質が検出された上下水処理等副次産物の当面の取扱いに関する考え方」(H23.6.16、原子力災害対策本部及び国交省指針)
「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」(H23.6.23、環境省指針)
「一般廃棄物焼却施設における焼却灰の測定及び当面の取扱い」(H23.6.28、環境省指針)
「福島県内(警戒区域及び計画的避難区域を除く)における生活圏の清掃活動(除染)に関する基本的考え方」(H23.7.15、原子力災害対策本部及び原子力安全・保安院指針)
「一般廃棄物焼却施設における焼却灰等の一時保管について」(H23.7.28、環境省指針)
「災害廃棄物の広域処理の推進について(東日本大地震により生じた災害廃棄物の広域処理の推進に係るガイドライン)」(H23.8.11、環境省指針)、(H24.1.11 一部改訂、環境省指針)
「一般廃棄物処理施設における放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の処理について」(H23.8.29、環境省指針)
「除染関係ガイドライン」(H23.12.14、環境省指針)、「廃棄物関係ガイドライン」(H23.12.27、環境省指針)
「管理された状態での災害廃棄物(コンクリートくず等)の再生利用について」(H23.12.27、環境省指針)
「放射性セシウムで汚染された稲わらの輸送・保管に係る安全性の評価」(H23.9.5、農水省へ情報提供)
「コンクリートくず等の海岸防災林盛土材への再利用に係る線量評価について」(H24.4.13、H24.7.26、林野庁へ情報提供)

安全研究センター サイクル施設等安全研究ユニット 廃棄物安全研究グループ 木村英雄

●参考文献

木村英雄, 災害(汚染)廃棄物の路面材への再利用について, 日本原子力学会 第 28 回バックエンド夏期セミナー, 福島市, 平成 24 年 8 月 22-23 日.

武田聖司(廃棄物安全研究グループ): S. Takeda, H. Kimura, Safety Assessment for Transportation and Interim Storage of the Rice Straw contaminated by Radioactive Cesium due to the Severe Accident at the Fukushima Nuclear Plant, 12th International Conference on Radiation Shielding (ICRS 12) and 17th Topical Meeting of the Radiation Protection and Shielding Division of the American Nuclear Society (RPSD 2012), Nara, 2-6, Sep. 2012.

武田聖司, 木村英雄, 放射性セシウムの検出された汚泥の処理・処分に伴う被ばく線量の評価, 保健物理, (印刷中).

# No.6-4 減容化のためのセシウム分離剤の開発

## —セシウム高選択性ベンゾクラウンの開発—

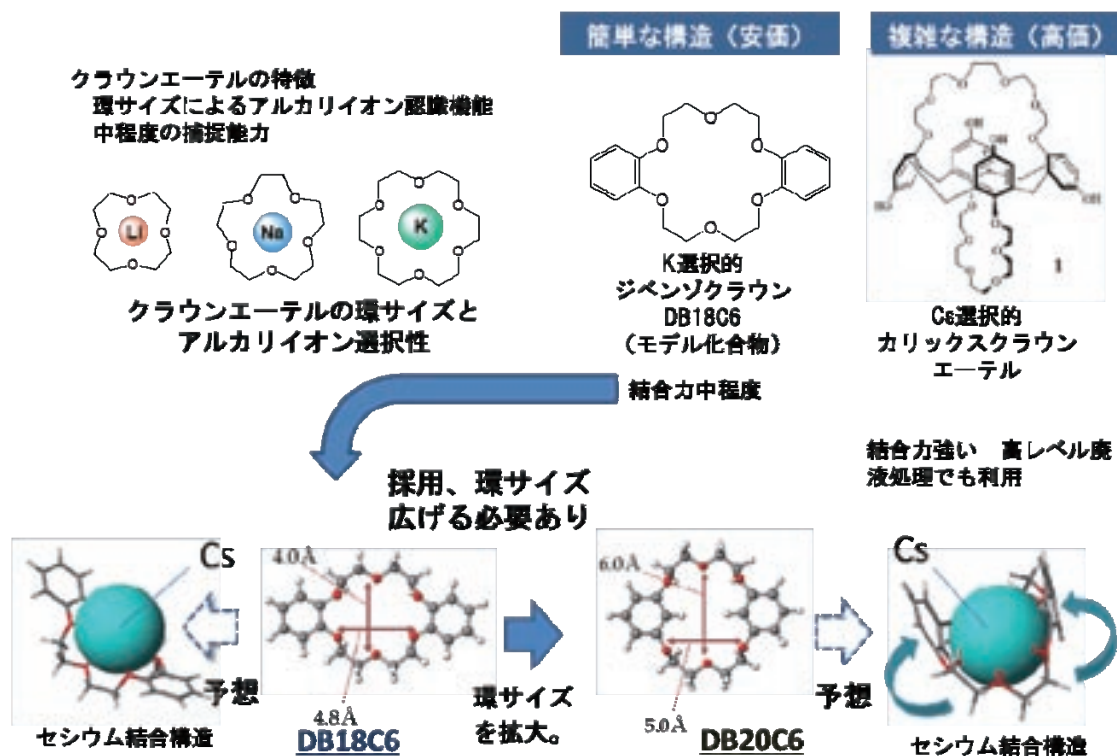


図 6-4-1 ジベンゾクラウン(DB20C6)の設計概念

セシウム高選択的ベンゾクラウン(DB20C6)は、天然水（海水、河川水、地下水）、農業用水、土壌からの浸出溶液など、セシウムと化学的性質の類似したカリウムが多く共存する溶液から放射性を含むセシウムだけを除去することを目的に開発しました。

我々の研究グループは、これまでに核燃料サイクルにおけるアクチノイドやレアメタルの選択的高効率分離を目指し、量子ビーム（放射光および中性子など）を用いて元素選択性の解明に関する研究を行ってきました。そこで、これまで蓄積しているノウハウを生かし、セシウム分離材を開発できないかと検討し、最初のアプローチとして環境中（特に環境水：湖沼水、河川水、農業用水等）に放出された放射性セシウムの中で水溶性セシウム（水に溶けているセシウム）を高効率で分離回収できる分離剤（有機化合物）の開発を開始しました。

我々の住んでいる環境には、アルカリ金属（ナトリウム、カリウム、セシウムなど）やアルカリ土類金属（カルシウムなど）が多く含まれています。これらの元素に対してイオンの大きさを認識する能力がある化合物としてクラウンエーテルが一般的に知られて

います。また、核燃料サイクルでは、セシウム選択的な有機化合物としてカリックスクラウンエーテル（図 6-4-1 右上に表示）という化合物が開発され、高レベル放射性廃液からのセシウム分離への適用が検討されています。しかし、カリックスクラウンエーテルは、図のように大きな分子であり、合成が困難であることなどから経済性の面で今回の除染活動には適用が難しい化合物です。そこで我々は、アルカリ金属であるセシウムに選択的な有機化合物としてクラウンエーテルの設計、合成法の検討、分離特性の解明、実フィールドにおける実用性検討を行うことを目的として研究を始めました。なるべく小さな分子を作るという観点からカリウムを選択的に認識できるジベンゾ 18-クラウン 6-エーテル (DB18C6) を出発物質とした設計を開始しました（図 6-4-1 中央）。まずベンゼン環とエーテル基の連結位置を変更することで、クラウン環のサイズを広げ、セシウム選択性を高めるという検討について理論計算を基に実施しました。



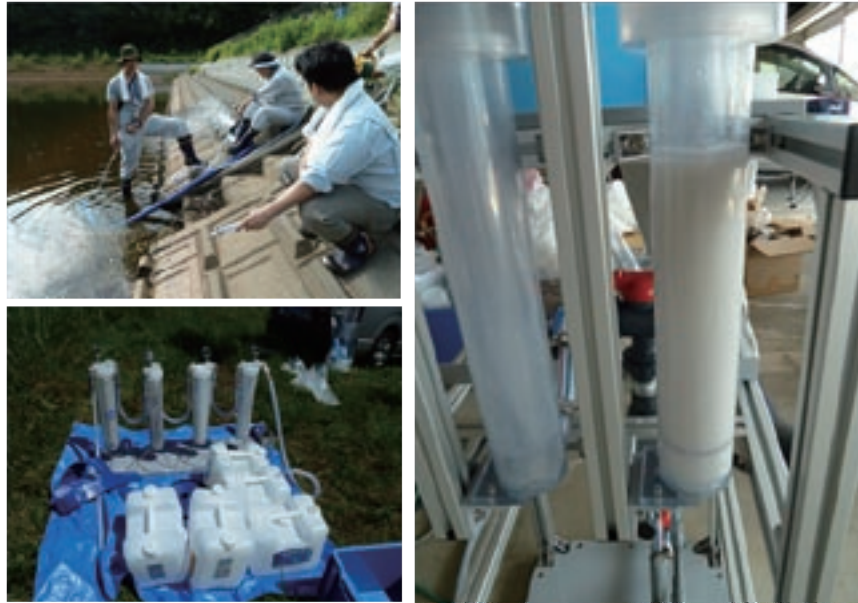


図 6-4-2 飯舘村でのフィールド試験の様子とトルネード型拡散塔の写真

ベンゼン環とエーテル基が新しい位置で結合したクラウンエーテル DB20C6 は、環サイズが BOB カリックスクラウンエーテル (米国オークリッジ国立研究所で開発) 程度の大きさがあることや、この分子の持つベンゼン環が選択的にセシウムを捕まえることなどが、理論計算などを通じてわかりました。この選択性は、カリウムやナトリウムなど大きさの小さい元素に対しては働かないものであり、その結果、高濃度のナトリウムやカリウム存在下でもセシウムを効率よく分離することができました。次のステップとして、この物質に照準を絞って実験室レベルでの大量合成法の確立を行うとともに、分離性能や、そのメカニズムに関する検討を行いました。

放射光を用いる分析 (EXAFS 法) によれば、セシウムに結合する水の原子間距離が 0.05~0.1Å 程度短くなるとともに、全体の配位数が 2 程度減少するなど、DB20C6 のセシウムへの効率的な結合状態を示す結果が得られました。一方、実験室での分離実験からは、セシウムをカリウム、ナトリウムから分離するには十分な性能があることがわかりました。これらの結果は、開発した DB20C6 が、汚染環境水などからの放射性セシウム除染に適用可能であることを示しています。

フィールド試験においては、開発した DB20C6 を市販のシリカゲルに保持させた吸着材を新しく開発しました。開発した DB20C6 担持シリカ吸着剤の利用については、カラムに充填するのではなく、より大量の水を処理するために、トルネード型拡散塔※(吸着塔、図 6-4-2 右) を設計し、福島県飯舘村飯樋地区及び長泥地区の農業用水を用いて現地でフィールド試験を

実施しました(図 6-4-2)。その結果、放射性セシウムは 99.9%が除去されたという結果が得られ、DB20C6 による吸着材の有効性が実験的に確かめました。さらに、放射性セシウムを吸着したベンゾクラウン型吸着材を 0.1 mol/L の硝酸溶液で洗浄することで、吸着した放射性セシウムを 100 %回収できること、数度の再利用においてもその性能が維持していることを確認することが出来ました。

今後は、さらに吸着性能を高めることで DB20C6 の効率化を図る予定であり、使用後の廃棄物を少なくするための研究を進める予定です。

本研究は、文部科学省からの受託研究「高分子捕集材を利用した環境からの放射性物質回収・除去技術等の開発」の成果の一部です。

※トルネード型拡散塔とは、天然水(河川、海水、地下水他)など水に溶けている成分を取り出すための分離カラムのことで、分離に用いる吸着材をカラム内に竜巻状(トルネード状)に拡散させて使用する方式のものを指す。

#### ●参考文献

鈴木伸一、矢板毅(分担)、「クラウンエーテルを初めとした高分子捕集材によるセシウム吸収効果」, 東日本大震災後の放射性物質汚染対策 pp. 204-210, 株式会社 NTS 出版 (2012)

## No.6-5 ポリイオンによる表層土壌処理

### —汚染された土壌の除染と再汚染の防止のための表層土壌処理—

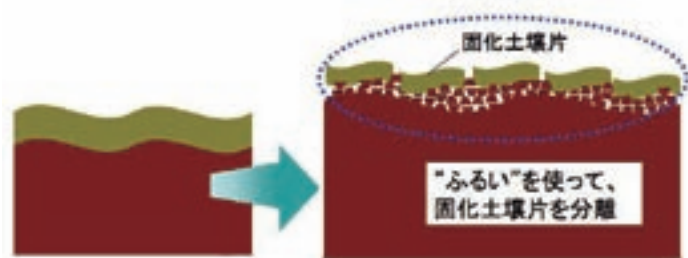


図6-5-1 固化土壌片のふるい分け

表層土壌処理によって固化させた部分(固化土壌片)のみを“ふるい”を使って分離することができます。



図6-5-2 固化した畑土壌の様子

畑土壌にポリイオン複合体を作用させ、乾燥・固化させた土壌片です。

表層土壌を固化したり粘着化したりする薬剤を散布して行う表層土壌処理は、再汚染の防止に役立ちます。環境に放出された放射性セシウムは、土壌中の粘土の微細粒子などに吸着され、多くは土壌の表層にとどまることが知られています。その一方で、風により微細粒子の粉塵が発生したり、雨により微細粒子を含む表層泥水が流出することにより汚染が拡がるのが考えられます。表層泥水は、豪雨、台風などの降雨量が多いときに大量に発生します。表層泥水の一部は下水にも流入し、下水汚泥の放射能濃度を上昇させる原因にもなっています。草木の少ない場所(裸地)、傾斜地においては、表層泥水の流れが発生しやすく、とりわけ、表層土壌処理が重要になります。表層土壌処理のための薬剤(表層土壌処理剤)としては、ポリイオン(イオン性のポリマー)などが知られています。表層土壌処理剤の水溶液を土壌に散布することで、効果的に粉塵飛散や表層泥水の発生を抑制できます。表土のはぎ取りなどの除染に先立って、表層土壌処理によって放射性セシウムの移行・拡散を抑制する措置が取られていれば、除染した場所の周辺の土壌から放射性セシウムが飛来・流入することによる再汚染のリスクを大きく低減できるはずで

また、除染を安全かつ効率的に行うためにも、表層土壌処理は有効です。表層にとどまる放射性セシウムの最も効果的な除染方法は、表層土壌をはぎ取ることですが、これを安全に行うためには、粉塵の飛散や泥水の発生を防止する必要があります。加えて、除染(表土のはぎ取り)を効率的に行うという観点からも、表層土壌処理は重要

です。放射性セシウムの大部分が存在する表層のみを上手に固化あるいは粘着化し、こぼれ落ちを防ぎながら固化・粘着化した部分のみを除去できれば、除染を効率的かつ精密に行うことができます。凸凹している土壌表面に対しても、固化・粘着化した部分とそれ以外の部分をふるい分けることにより、効率的で精密な除染が可能です(図6-5-1)。これによって、はぎ取る土壌の量を最低限に抑えられます。

表層土壌処理に用いるポリイオンには、陽イオンであるポリカチオンと陰イオンであるポリアニオンがあります。ポリカチオンの水溶液とポリアニオンの水溶液を混合すると、ポリイオン複合体と呼ばれる非常に粘り気の強いゲルが生成します。この高粘性ゲルが土壌粒子どうしを強く粘着し、粉塵化、泥水化を防ぎます。ポリイオン複合体は、塩(塩化ナトリウム、硫酸カリウムなど)を加えると溶けて水溶液にもどります。散布の際には、ポリカチオンとポリアニオンが共存し、なおかつゲル化していない水溶液として散布したいので、このような塩を加えることで、散布を困難にするポリイオン複合体(高粘性ゲル)を生成させないようにします。乾燥による水分の蒸発あるいは降雨による塩の流出により、土壌中でポリカチオンとポリアニオンがポリイオン複合体になります。ポリイオン複合体は、環境中での長期耐性に優れているため、



図 6-5-3 福島県伊達市小国でのポリイオンによる土壌除染試験

伊達市小国の公民館(小国ふれあいセンター)の広場の土壌に対して、ポリイオン(表層土壌処理剤)を使った除染試験を行ったときの様子です。

長い年月の間、表層土壌からの粉塵、泥水の発生を防ぎます。また、表層土壌のはぎ取りの際には、適度な硬さ(硬すぎず軟らかすぎず)で土壌を固化でき、かつ、粉塵、泥水の発生を防いで作業時の安全を確保します。なお、ポリイオンは、食品の分野などで増粘剤、安定剤として利用されている安全性の高い物質で、安価に大量調達することもできます。1986年のチェルノブイリ原子力発電所の事故後に、土壌からの放射性物質の飛散防止を目的として利用された実績もあります。

図 6-5-2 に、原子力機構・原子力科学研究所(茨城県東海村)の構内にて採取した粘土シルト質土壌(花壇の土壌)に対してポリイオン複合体を適用し、乾燥・固化した際の様子を示します。ポリイオン複合体の作用により、ポリイオン水溶液が届いた部分のみが固化します。

図 6-5-3 に、ポリイオンを使った土壌除染の様子を示します。福島県伊達市からの支援要請を受けて、小国地区(特定避難勧奨地点)にある公民館の土壌に対し、ポリイオン水溶液を用いて除染しました(2011年7月)。総面積1,500㎡を対象として、ポリイオン水溶液の散布後に表土を2cmはぎ取る除染を行った結果、85-90%の除染率を得ることができました。

# No.6-6 イオンビーム育種技術を除染に活かす

## —セシウム吸収植物・微生物の品種改良—

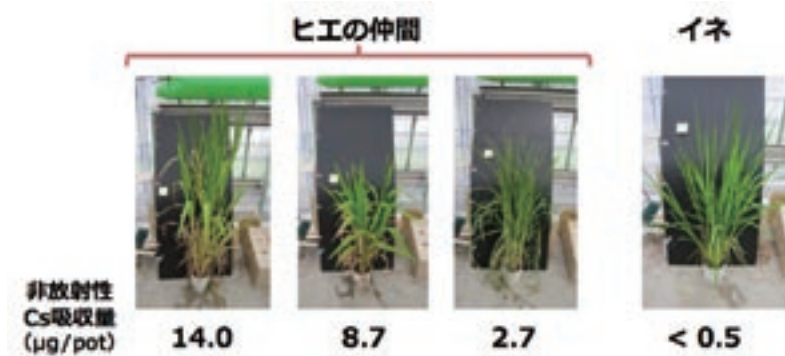


図 6-6-1 ヒエとイネのセシウム吸収能力評価試験

植物種及び品種／系統間でセシウム吸収能力に差異が認められました。ヒエは比較的セシウム吸収能力が高く、一方、イネはセシウム吸収能力が比較的低いことが分かりました。この結果は、イオンビーム育種技術を用いて、植物のセシウム吸収能力を改変できる可能性が高いことを示しています。

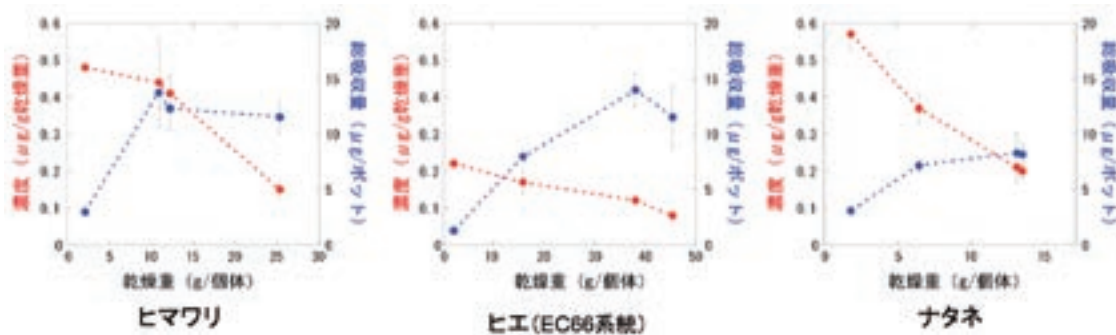


図 6-6-2 地上部の乾燥重量とセシウム濃度及び総吸収量との関係

いずれの植物においても生育が進むに従って植物体中のセシウム濃度が低下し、総吸収量が頭打ちになったことから、多回刈りが可能なヒエは、素材としての優位性が高いと考えられます。

高 LET のイオンビームは、X線、ガンマ線といった低 LET 放射線とは異なり、莫大なエネルギーを遺伝子に局所的に付与するので、新しい性質をもった変異原として期待されています。原子力機構では、世界最初の材料・バイオ研究のための専用施設として高崎量子応用研究所に設置されたイオンビーム照射研究施設 TIARA のサイクロトロンを用いて、イオンビーム照射による突然変異育種技術に関する研究開発を行ってきました。

一方、昨年 3 月の東北地方太平洋沖地震の影響による東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、放射性物質が大気中に放出され、その一部が東北及び関東の広い地域に降下しました。表層土や汚泥に含まれる主たる放射性核種はセシウムであり、物理的半減期が長いことから、放射性セシウムの除染がこれから数十年間長期的に対処しなければならない問題となっています。

イオンビーム変異誘発研究グループでは、これまでに培ってきたイオンビーム育種技術を放射性セシウムの問題解決に適用することで何ができるか議論を重ねた結果、農地浄化用のセシウム高吸収植物、内部被ばくを軽減するためのセシウム低吸収植物及び放射性廃棄物減容化のためのセシウム濃縮微生物を開発することを計画しました。

ファイトレメディエーションは自立的に繁殖する植物の物質吸収能力を利用するため、適切な植物を適切な場所で用いることを前提とするなら、コストと労力、除去土壌の量の抑制の両面から、原理的に有望な技術です。我々は、農地土壌の回復に最適な植物を選定することに注力しました。これまでに、10 種類の植物について非放射性セシウムの吸収能力を評価した結果、ヒエは比較的セシウム吸収能力が高いことに加え、環境適応能力が高いことから高吸収植物を開発する素材として注目しました (図 6-6-1)。また、いずれの植物においても生育が進むに従って植物体中のセシウム濃度が低下し、総吸収量が頭打ちになることが示唆されたことから、多回刈りが可能なヒエは、素材としての優位性が高いと考えられます (図 6-6-2)。さらに、バイオマスやセシウム吸収能力の観点から有望視されているソルガムも高吸収植物開発の材料として検討しています。この研究は、民間会社との共同研究で行っており、原子力機構は、イオンビーム照射による有用変異体の選抜と原子吸光法等によるセシウム吸収能力評価分析を担当し、民間企業は、福島県内の圃場でのヒエやソルガム等の試験栽培を担当しています。現在、TAIRA でイオン照射した変異集団を圃場にて育成し、有望変異株候補の選抜を進めているところです。

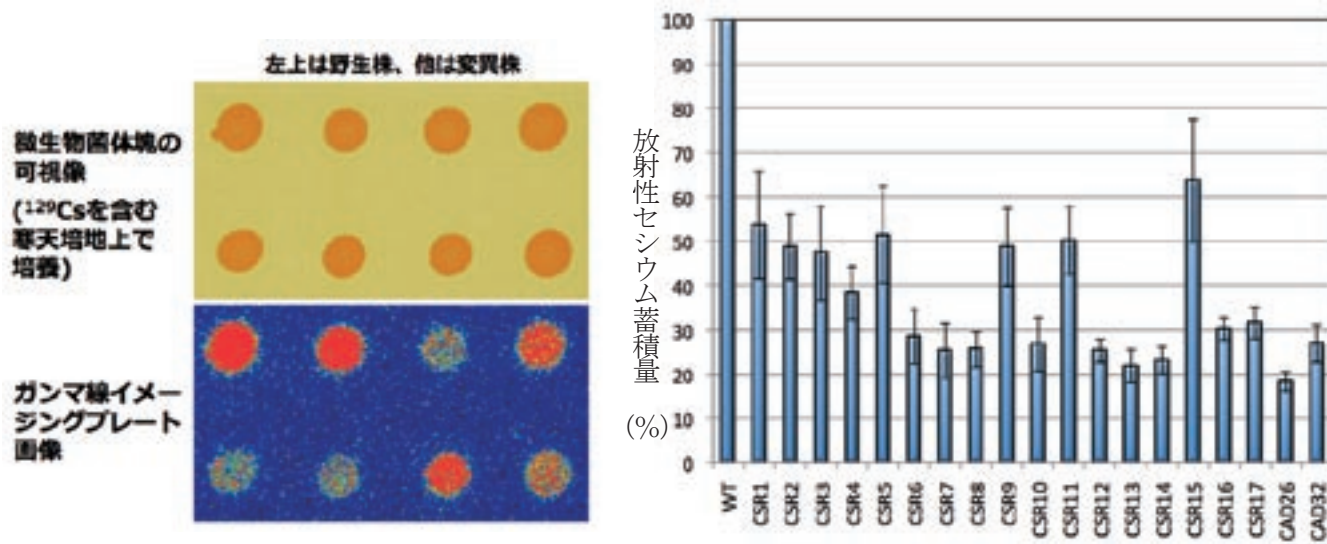


図6-6-3 放射線抵抗性細菌による放射性セシウムの細胞内蓄積能力評価試験

(左) 放射線抵抗性細菌の菌体塊の可視像とイメージングプレート画像。細胞に蓄積された<sup>129</sup>Csから放出されるガンマ線が多いほど、イメージングプレート画像で赤味が強く表示されます。(右) 放射線抵抗性細菌の異なる株間におけるセシウム蓄積量の差異。WT:野生株、CSR1~17、CAD26及びCAD32:セシウム蓄積能低下変異株。この結果から、放射性抵抗性細菌はセシウムを細胞内に取込む能力が高いことが分かりました。また、この結果は、イオンビーム育種技術を用いて、放射性抵抗性細菌のセシウム蓄積能力を向上させることができる可能性が高いことを示しています。

また、上記のセシウム吸収能力評価試験の結果、イネはセシウム吸収能力が比較的低いことが示唆されました。昨年、イオンビーム育種技術を用いてカドミウム低吸収イネの作出に成功していることから、セシウム吸収能力がさらに低いイネ変異体の作出も可能性があると考えており、選抜を進めています。

放射能除去に対する微生物の有効性を検証しようという試みも、事故後早くから一部の人の間で試みられましたが、いずれも科学的な検証の域に達するものではありませんでした。また、放射性物質の除染の必要性を考えた場合、セシウムは土壌に強く吸着しているため、表層土や汚泥からセシウムを選択的に取り出す技術の確立が急務とされていますが、このような技術開発に微生物を直接利用することも現実的ではないと思われます。しかし、大量の放射性廃棄物を別途保管しなければならないことを考えると、土からセシウムを回収する何らかの技術が確立された後、二次的にセシウムを濃縮・回収し、保管する放射性廃棄物の量をなるべく減らすことが必要となってきます。この二次的なセシウム濃縮に微生物を利用することを、様々な方法の中の選択肢のひとつとして考えることは可能です。

菌体内に放射性セシウムを取り込むと、当然のことながら、微生物も放射線の影響を受けます。二次濃縮ともなれば、被ばく量は微生物の致死線量には至らずとも、突然変異を高頻度に誘発することにもなります。濃縮効率、低コスト、安全性などを勘案すると、放射線抵抗性細菌デイノコッカスが二次的な放射性セシウム濃縮のた

めの宿主として有望です。これまでに、セシウム129を用いて微生物のセシウム蓄積能を簡便に画像解析する技術を開発し、放射線抵抗性細菌デイノコッカスがセシウムを菌体内に蓄積する能力を持つことを明らかにしました(図6-6-3)。

この技術と知見をもとに、デイノコッカスにイオンビーム育種技術を適用することで、セシウム蓄積能の向上した変異体を獲得することを計画しています。変異株の効率的な選抜には、セシウム蓄積に関わる遺伝子群のDNA塩基配列情報を有効に活用する予定です。注目している遺伝子は、カリウム取込み、リン酸取込み及びポリリン酸生合成に関する遺伝子群など、セシウムの細胞内蓄積能力に強く関わると考えられる遺伝子です。

今後、研究開発を進め、平成25年度末までに、セシウム高吸収ヒエ、セシウム高吸収ソルガム、セシウム低吸収イネ、セシウム高濃縮菌の候補系統を選抜する予定です。その後、RIイメージング研究グループが開発を進めているRIイメージング技術を用いて選抜系統の性能評価試験も実施し、実用化を目指します。

本技術は、土壌の除染方法の適用が困難な低～中レベルの汚染地域における環境浄化や放射性セシウムの二次濃縮による放射性廃棄物の減容化に寄与するものです。本研究開発によって、イオンビーム育種技術の新たな適用分野を開拓すると共に、バイオレメディエーションによる省労力かつ安価な放射性セシウム除染技術・減容化技術を確立し、汚染地域の環境修復と産業復興に貢献したいと考えています。

●参考文献

# No.6-7 植物を利用した土壌修復技術の開発

## —スクリーニング試験の実施と適用可能性試験の開始—

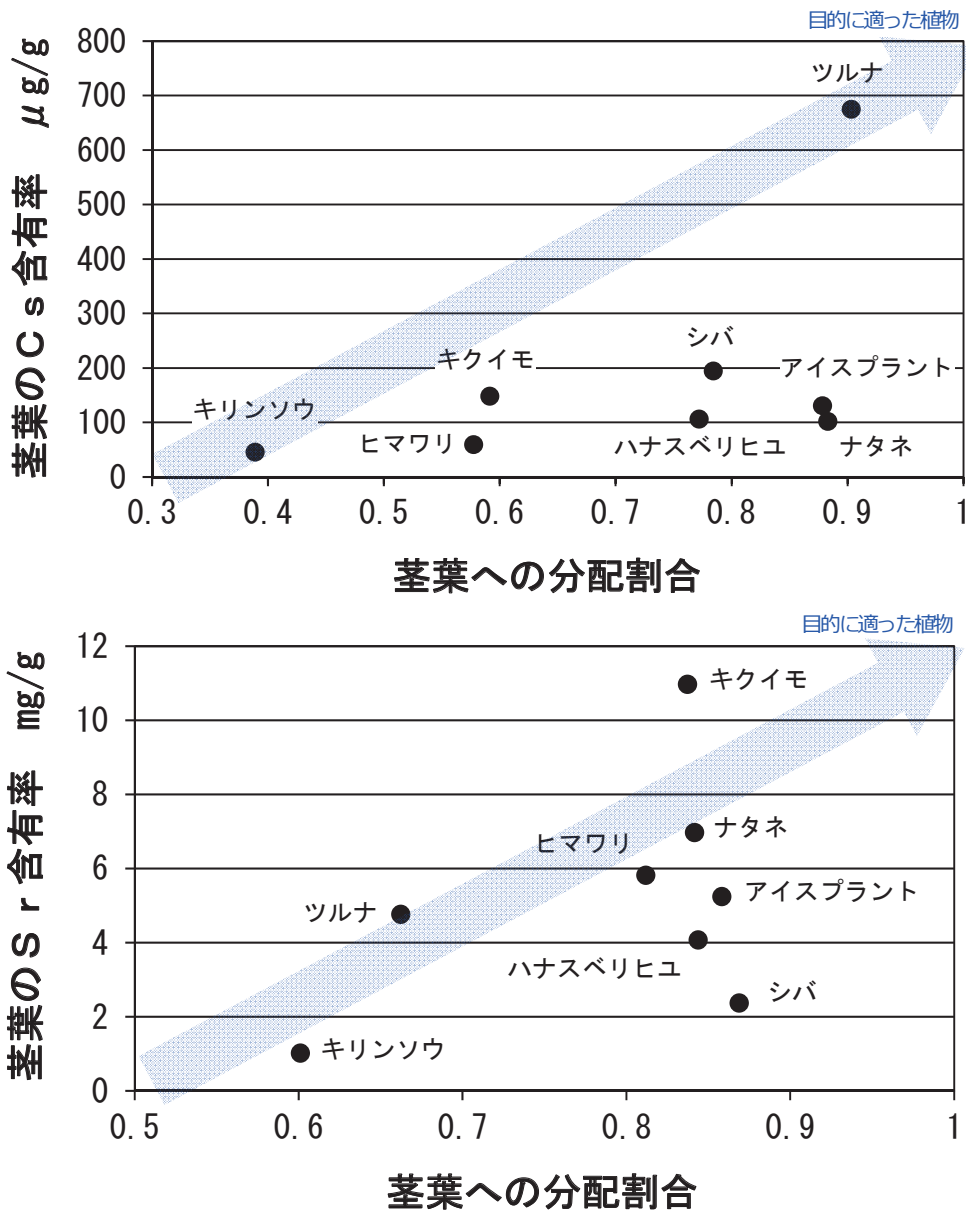


図6-7-1 茎葉への分配割合と茎葉の含有率との関係(平成23年度成果)

ナトリウムを特異的に吸収する好塩性植物を中心に選定したが、国内で大規模試験が行われていたヒマワリ等も試験した。基本培養液で一定期間栽培した苗を使用し、対照区、Cs添加区、Sr添加区の3処理区を設け、安定同位体である<sup>133</sup>Cs、<sup>88</sup>Srの試薬を利用して試験した。総合的に判断して、ツルナとアイスプラントを選定した。

鳥取大学農学部と原子力機構は、農地土壌等における環境修復技術開発として、植物を利用した浄化手法（ファイトレメディエーション）について共同研究をしています。鳥取大学農学部は農業指導や水耕栽培による基礎的試験等を、原子力機構はフィールド試験や放射能分析等を、それぞれ分担しています。平成23年度は、フィールドでの実証試験に供しうる有望な植物種を2、3種程度選定するため、必要な温度と照度を調節した環境で、水耕栽培によるスクリーニング試験を実施しました。また、フィールドでの実証試験による適用可能性の調査計画を策定しました。平成24年度は、選抜した植物種で、計画

に従い、適用可能性調査を行っています。

### 1. 水耕栽培によるスクリーニング試験

#### (1) 供試植物の選定

供試植物種は、セシウムと同じ1価のアルカリ金属であるナトリウムを特異的に吸収する好塩性植物を中心に選定しましたが、そのほか国内で大規模試験が行われているヒマワリ等も試験しました。栽培や収穫に手間のかからないこと、回復後に農作の妨害をしないことなどに留意しました。



a)播種 (6月)



b)ツルナの生育 (8月)

図6-7-2 現地試験の様子(平成24年度)

### (2) 試験方法

育苗または購入した苗を基本培養液で一定期間栽培した後、試験を開始しました。対照区、セシウム (Cs) 添加区、Sr 添加区の3処理区を設け、安定同位体である  $^{133}\text{Cs}$ 、ストロンチウム (Sr) -88 ( $^{88}\text{Sr}$ ) の試薬を利用しました。吸収能を調査するとの観点から、Cs ( $\text{CsCl}$ ) および Sr ( $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 添加区の濃度をそれぞれ  $1.6836 \text{ mg/L} (=0.01 \text{ mM})$ 、 $266.62 \text{ mg/L} (=1 \text{ mM})$  としました。原則として、試験開始後2週間目に採取し、器官(茎、葉、根) 毎に K、Ca、Mg、Sr、Cs を測定しました。試験期間を考慮して、含有率(乾燥重量あたりの量) を指標としました。

### (3) 結果

結果の概要を図6-7-1に示します。空間線量への寄与が高いセシウムについて、茎葉への分配割合が高く、含有率が高いこと、また個体重量が大きいことなど、総合的に判断して、今回の試験範囲で最も適した植物種はツルナとアイスプラントであると結論が得られました。Cs、Sr 共に主に茎葉に集積するほか、表層近くに根を張り匍匐して株が大きくなることから、表層土壌の汚染物質除去に適しています。効果的な適用には、吸収と分配の生育時期による変化、植物の生長特性、根の分布などについてフィールドでの調査が必要です。

また、本技術開発の目的に適った植物は、対象物質を特異的に吸収して高含有率を示す植物種、あるいは含有率

は通常であっても植物のサイズが大きく面積あたりの除去率が高い植物種ですが、今回の試験では植物種の生育段階が必ずしも一致していないことから、フィールドでの試験の際には後者の観点も含めて確認する必要があります。

### 2. 適用可能性調査に係る現地試験

フィールドでの試験の主要な目的は、選抜した植物種の現地環境への適合性と生育特性の汚染領域への適合性などを確認することです。現地の気候に依存する成長速度、生育期間、根の深度分布等の要因が影響する。評価項目は以下の通りとしました。

#### (1) 現地の気候・風土に係る項目

(気候条件、土壌条件など)

#### (2) 植物的特徴に係る項目

(移行・吸収能力、根域深度など)

#### (3) 栽培技術に係る項目

(生育状況、収穫時期、栽培の容易さなど)

#### (4) 費用

(設備、栽培、廃棄物処分など)

#### (5) そのほか

(拡散・浸食抑制の状況、除染目標・要求)

適用可能性調査に係る現地試験を現在(平成24年度)実施中です(図6-7-2)。

#### ●参考文献

# No.6-8 放射性 Cs の可視化による移動挙動の解明

## —陸上汚染の実態解明に向けて—

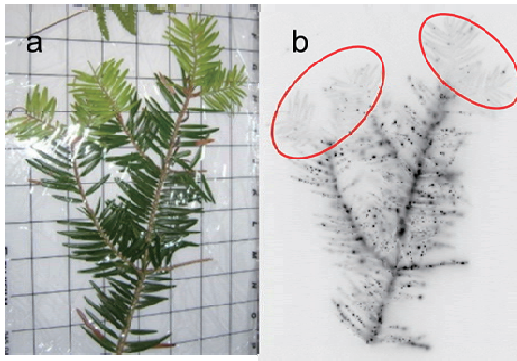


図6-8-1 カヤのオートラジオグラフィ分析

カヤの枝葉(a)のオートラジオグラフィ像(b)に現れた黒い部分は放射性Csが存在することを示します。赤で囲った部分は事故後に成長した枝葉((a)の黄緑色の葉)です。赤線内には黒い斑点がほとんどありません。

事故により陸上に降下した放射性核種は、植物や土壤にどのように付着し、その後どのように移動するのか。この疑問は事故による汚染の市街地ばかりでなく農地や森林における実態解明と将来予測のために明らかにする必要があります。

放射性核種の分布については、数十から数百 km などの広い範囲における分布はよく調べられています。放射性セシウム (Cs) は水とともに移動する際に土壤鉱物や有機物などの数 mm オーダーの物質と相互作用します。したがって、分布の将来的な変化を予測するためには、狭い局所的な範囲での放射性 Cs の挙動を明らかにする必要があります。農地などで採取した試料中の放射性核種の局所的な分布は、深さ方向や水平方向に細断した試料の放射能を部分毎にγ線検出器で測定して求めることが可能です。しかしながら、これ等の作業には手間と時間がかかります。私たちは、放射能分布を画像化するオートラジオグラフィという技術を用いることにより、土壤や植物に付着した放射性核種の分布を調べました。

2011年5月に福島県相馬郡飯舘村において、カヤ、杉、牧草、土壤などを採取しました。放射線に反応する蛍光体が塗布された板 (イメージングプレート、IP) にこれらの試料を密着させ、一定時間静置しました。IP 上における放射線が当たった場所を読み取り、画像解析を行い、試料の放射能分布像を得ました。

カヤの枝葉の写真(図 6-8-1a)と放射能分布像 (図 6-8-1b) を比べると、枝葉の部分に黒い斑点が数多く検出されました。黒い斑点は、IP が放射線を受けた部分です。5月の時点では<sup>131</sup>Iは減衰しほとんど無くなっていますから、斑点は放射性 Cs によるものです。葉の部分には

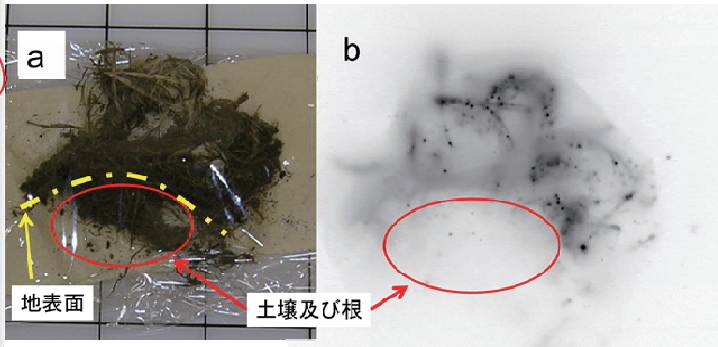


図6-8-2 牧草のオートラジオグラフィ分析

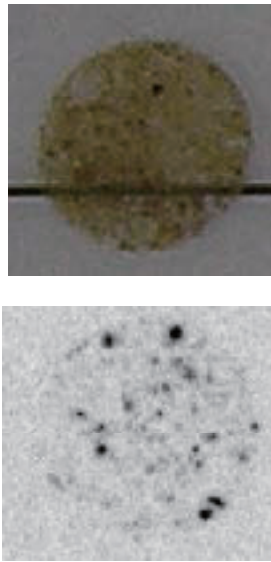
(a)には採取した試料の地表面を黄色い線で、根及び土壌を赤線で示します。オートラジオグラフィ像 (b)の赤線内には黒い斑点がほとんどないことから、牧草から土壌に移行した放射性Csはほとんどないことがわかります。

濃い緑色の葉と黄緑色の葉が存在します (図 6-8-1a)。濃い緑色の葉は事故以前に生育した古い葉で、黄緑色の葉は事故後に生育した新しい葉です。両者を比べると、濃い緑色の葉には黒い斑点が分布しますが、黄緑色の葉にはほとんどありません。このことから、古い葉に付着した放射性 Cs が新しい葉にほとんど移らなかったことがわかります。杉の測定でも同様の結果が得られました。

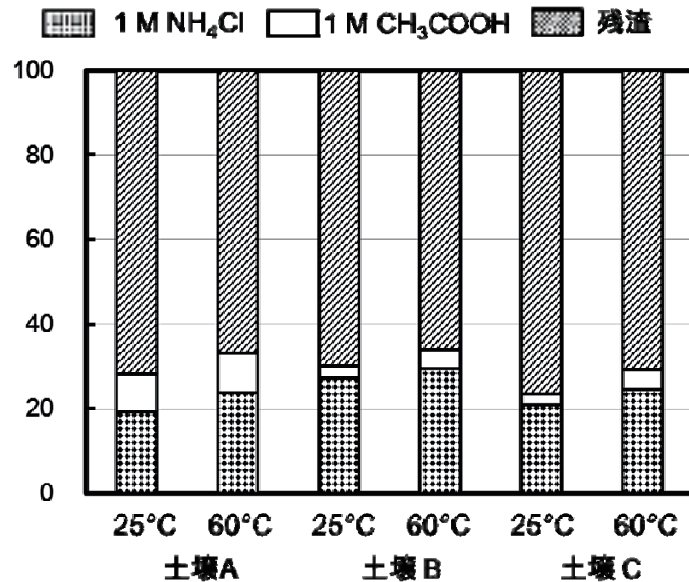
さらに、カヤの葉の位置に着目して、放射能を GM サーベイメーターで測定しました。カヤの葉を位置により鉛直方向上部にあったものと株にあったものに分けて、GM サーベイメータにより放射能を調べました。その結果、上部に位置している葉の方が株のものよりも高い計数、すなわちより多くの放射性 Cs が付着していることがわかりました。植物に付着している放射性 Cs は、3月15日の降雨により降下したと考えられています。降下した放射性 Cs が上部に位置する葉により多く付着していることは、植物が放射性 Cs の地上への効果を防いだと考えられます。

次に、牧草地における放射性 Cs の分布について調べました。根や土ごと採取した牧草 (図 6-8-2a) の放射能分布像 (図 6-8-2b) では、牧草部分には黒い斑点が多く検出されました。一方、根や土の部分には黒い斑点はほとんど検出されませんでした。このことは、降下した放射性 Cs が地表の牧草部分に付着したため、土壌には到達しなかったこと、また、雨などにより牧草から流出し土壌に移行した Cs がほとんどないことを示しています。





**図 6-8-3 土壌のオートラジオグラフィ分析**  
土壌の研磨薄片試料(上図)のオートラジオグラフィ像(下図)に現れた黒い部分は放射性 Cs が存在することを示します。



**図 6-8-4 土壌中の放射性 Cs の試薬溶液による脱離割合**  
3カ所で採取した土壌を 1M NH<sub>4</sub>Cl 溶液、1M CH<sub>3</sub>COOH 溶液に浸漬して脱離した放射性 Cs の割合(全量=100%)を示します。脱離の温度を 25°C 及び 60°C としました。

土壌に直接降下した放射性 Cs はどう分布しているでしょうか。放射性 Cs の土壌中の局所的な分布を調べるために、農地において採取した土壌をスライドガラス上に薄くのり付けて磨いた研磨薄片試料を作製しました(図 6-8-3: 上図)。土壌の写真から、土壌は均一なもののように見えます。一方、研磨薄片試料の放射能分布像(図 6-8-3: 下図)から、土壌中の局所的な範囲において放射性 Cs は不均一に分布することがわかりました。不均一な分布の原因を突き止めるため、異なる試薬溶液を用いて土壌から放射性 Cs を脱離させる試験を実施しました。3 箇所から採取した土壌試料を、1 mol/L NH<sub>4</sub>Cl 溶液、1 mol/L CH<sub>3</sub>COOH 溶液に浸漬して脱離した放射性 Cs の濃度を測定しました。脱離実験は温度の影響を調べるために 25°C 及び 60°C で実施しました。結果を図 6-8-4 に示します。土壌中に存在する放射性 Cs の約 20% が 1 mol/L NH<sub>4</sub>Cl 溶液で脱離されました。1 mol/L CH<sub>3</sub>COOH 溶液

ではほとんど脱離せず、約 80% の放射性 Cs が土壌中に残りました。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>イオンは土壌にイオン交換反応で吸着した元素イオンを脱離します。このことから、約 80% の放射性 Cs はイオン交換反応よりも強く土壌に保持されていると考えられます。土壌の深度方向における放射性 Cs の分布を調べた結果から、表層 5cm に降下した放射性 Cs のほとんどは分布しています。私たちの結果で得られた土壌に強くされた Cs は他のイオンにより脱離しないことから、降雨などにより移動されにくい放射性 Cs のほとんどの部分は表層付近にとどまっていると考えられます。

本研究で用いた試料は、事故から約 2 ヶ月後に採取したものです。事故による放射性核種による汚染の長期的変化を予測するため、今後も試料採取と分析を継続して行い、植物や土壌に付着した放射性 Cs の長期的挙動を明らかにしたいと考えています。

●参考文献

坂本文徳, 大貫敏彦, 香西直文, 五十嵐翔祐, 山崎信哉, 吉田善行, 田中俊一, オートラジオグラフィを用いた福島第一原子力発電所起源の放射性降下物の局所的な分布解析, 日本原子力学会和文論文誌, vol.11, 2012, p.1-7.

N. Kozai, T. Ohnuki, M. Arisaka, M. Watanabe, F. Sakamoto, S. Yamasaki, M. Jiang, Chemical states of fallout radioactive Cs in the soils deposited at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, J. Nucl. Sci. Technol., 49, 473-478(2012).

# No.6-9 森林汚染のバイオ除染法の開発

## —担子菌類による Cs 濃集と除染への応用—

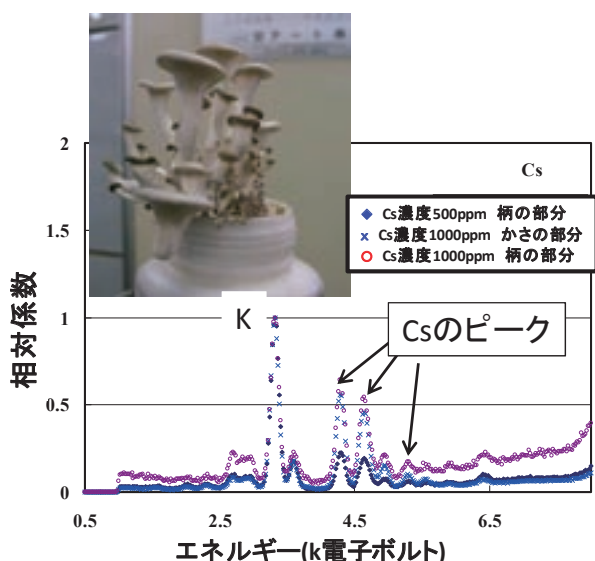


図6-9-1 安定同位体Csを添加した米ぬか培地で成長した子実体の写真及び蛍光X線スペクトル

写真で示す子実体からかさ及び柄の部分を探取して蛍光X線分析により元素を特定しました。蛍光X線のスペクトルは、Kのピーク高さを1として規格化してあります。Csのピークは矢印で示す様に複数箇所に見られます。ピークの面積が大きいほどたくさんのCsを含んでいます。

微生物は環境中において生育するために様々な元素イオンを細胞内に取り込む機能を有します。例えば、細胞表面には水に溶けたイオンを吸着するための官能基を有します。さらに、微生物はイオンを細胞内へイオンチャンネルなどを経て取り込んでいます。微生物の特殊な機能を用いることにより放射性セシウム (Cs) を回収する技術は、環境に優しいエコフレンドリーな方法です。

森林に降下して蓄積している放射性Csを微生物に濃集することにより、次の二つの問題解決に繋がると考えて研究を進めています。一つ目は、落ち葉などのリター層に蓄積した放射性Csを回収することです。もう一つは、放射性Csを微生物に濃集させることで、森林における放射性Csの循環を断ち切り、森林から農地や市街地などへの放射性Csの流出を防ぐことです。

現在、担子菌類などの糸状菌に着目した研究を行っています。担子菌類の子実体であるいわゆるキノコには放射性Csが濃集していることが知られています。そこで、担子菌類の一種の*Pleurotus sp.*及び*Lentinula sp.*を用いてCsを添加した培地での生育実験を行いました。実験では、安定同位体Cs含有濃度を変えた米糠培地（おが粉と米糠を4:1（容量比）で混合した培地）を250 mlの容器に充填して、*Pleurotus sp.*の種菌を植菌して成長させ子実体を発生させました。実験で得られた菌糸や子実体試料については光学顕微鏡、蛍光X線分析装置及び加速器を用いたμ-PIXE（脚注1）により取り込まれた元素の分析を行いました。さらに、放射性Csの菌糸への取り込みを調べるため、<sup>137</sup>Csあるいは安定同位体Csを含む寒天培地に*Lentinula sp.*を植菌して、

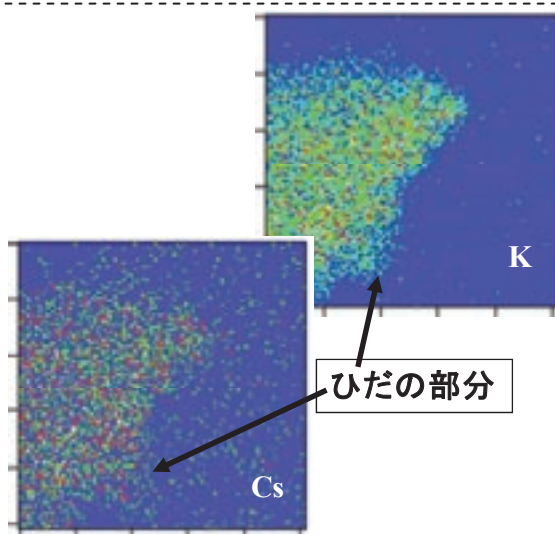


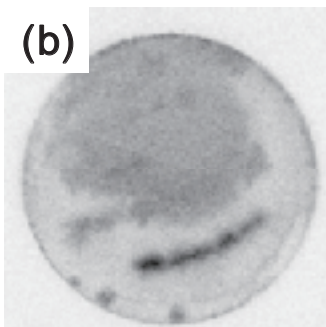
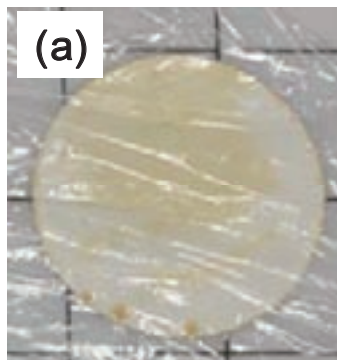
図6-9-2 μ-PIXEにより分析した子実体のかさ部分の元素分布  
緑色-赤色で示す部分にはCsあるいはKが存在します。赤色ほど元素の濃度が高いことを示します。Kの分布が鮮明であることからKの濃度がCsよりも高いことがわかります。この結果は、蛍光X線による分析結果と一致します。

取り込まれたCsをオートラジオグラフィおよび走査型電子顕微鏡 (SEM)、エネルギー分散型元素分析により調べました。

Csを含む培地に接種した*Pleurotus sp.*は、1000 ppmまで添加した培地において子実体の発生を確認できました。また、子実体の蛍光X線スペクトル（図6-9-1）から、培地内のCs濃度が500 ppmと1000 ppmの場合にはCsのピークを確認できました。Csのピーク面積は培地中のCs濃度が高いほど大きくなりました。この結果から、培地内におけるCs濃度が高いほど、子実体中にCsを多く取り込んでいることが明らかになりました。

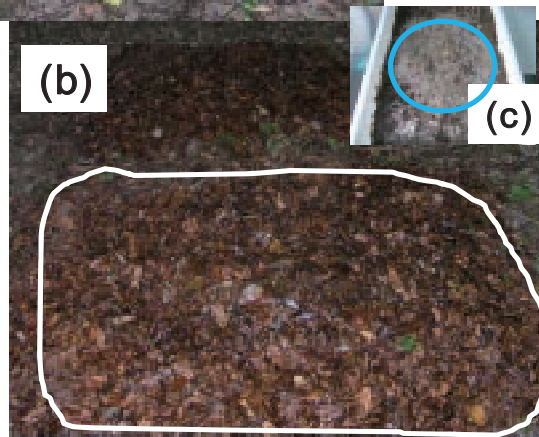
子実体中に取り込まれたCsの分布を調べるため、子実体のかさの部分の部分を薄片化してμ-PIXEにより分析しました（図6-9-2）。子実体に取り込まれたCsは子実体中に一様に分布していました。ひだの部分にも分布していることから、胞子中にもCsが存在している可能性があります。また、CsとKの分布を比べると両者はほとんど同じ位置に存在することがわかります。CsイオンがKイオンと同じアルカリ金属イオンであること、及びイオン半径が同程度であることから、両者は似たような挙動をした結果と考えることができます。

放射性Csを含む寒天培地中で成長した菌糸のオートラジオグラフィ像（図6-9-3）から、菌糸が存在している部分が放射線に感光して黒くなっています。この結果は、菌糸内に放射性Csが取り込まれていることを示しています。したがって、*Lentinula sp.*が成長過程で培地から放射性Csを細胞内に取り込んだことが明らかになり



**図6-9-3 放射性Csを含む培地で成長した菌糸のオートラジオグラフィ像**

糸状菌の菌糸は寒天培地の上面(a)において成長しています。オートラジオグラフィ像(b)に現れた黒い部分は放射性Csが存在すること示します。



**図6-9-4 森林内での担子菌の生育・放射性Cs回収試験**

約1Lの容器内で前培養した菌種を30cm間隔で森林リター層の上に設置します(a)。この上に落ち葉を菌種が全て埋没するようにかぶせます(白線)(b)。1ヶ月程度で菌糸が伸びてきます(c)。水色で囲んだ部分の白いものが成長した菌糸のかたまり。

ました。

これらの結果から、糸状菌は菌糸及び子実体内に放射性Csを濃集することを確認しました。現在、実際の森林における成長試験並びに放射性Csの回収試験を行っています。図6-9-4は原子力機構・構内において実施している糸状菌の育成・放射性Cs回収試験のために設置した菌種(a)、及び菌種に周辺の落ち葉をかぶせて埋没させた様子を示しています。一ヶ月程度で菌種から菌糸が成長して落ち葉層内に伸びてきます。この試験よりも小規模の

試験で実施した際に成長した菌糸の様子を(c)に示します。(c)の菌糸が成長した部分の放射能は回りの部分よりも2倍程度高いことを確認しました。この結果から、実際の森林においても、放射性Csが菌糸中に濃集できることを示しています。

今後も、森林での試験を継続し、さらに、福島において育成・放射性Cs回収試験を実施して、森林の除染に貢献できる技術を開発していきたいと考えています。

脚注1  $\mu$ -PIXE分析: 高崎量子科学研究所のTIARAなどの加速器を用いて数MeV(百万電子ボルト)に加速した荷電粒子(イオン)を試料に照射すると試料内の原子と粒子との衝突により、元素に特有のエネルギーの特性X線が発生する。マイクロmオーダーに絞ったビームの位置を変えながら測定することにより、元素の空間分布が得られる。

●参考資料

大貫敏彦、江幡大蔵、坂本文徳、香西直文、山崎信哉、椎名和弘<sup>1</sup>、菅野崇、担子菌へのCsの濃集挙動、2012年度日本地球化学会第59回年会講演要旨集、p34。

椎名和弘<sup>1</sup>、菅野崇、坂本文徳、香西直文、山崎信哉、大貫敏彦、担子菌類による放射性Csの除染試験、2012年度日本地球化学会第59回年会講演要旨集、p149

# No.6-10 グラフト重合技術を活用しフェルト生地で Cs を捕集

## —放射線グラフト重合によるセシウム除染材料の開発—

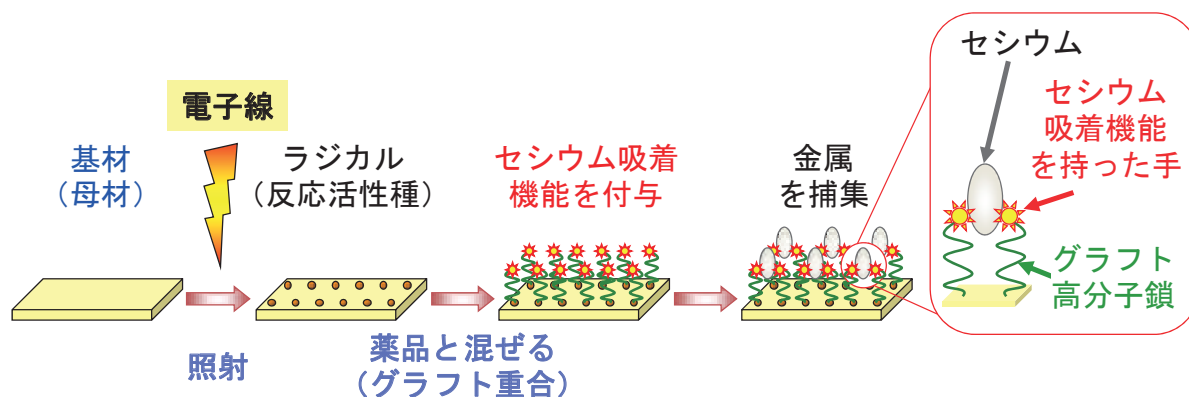


図 6-10-1 セシウムを捕捉可能な除染材料の合成工程

元の材料(ここでは繊維状素材)の特性を保持した状態で、異なる機能を付与することができる放射線グラフト重合法を活用して、水中に溶けているセシウムなどを吸着可能な除染材料を開発しました。基材から別の高分子鎖が成長してくるので、接ぎ木(グラフトという名前の由来)重合とも呼ばれています。

飛散した放射性物質のうち、半減期が長く、経時による減衰が見込めない放射性セシウムの中でも、特に水中に溶けているセシウムに対して親和性の高い高分子除染材料について開発を進めました。これまで水に溶けているセシウムを捕捉するための材料としては、フェロシアン化物やゼオライトなどに実績がありましたが、除染材自体を含め、廃棄物が生成されることが必然だったので、廃棄物の減容化を考慮した形で進めました。そのため、除染材料を可能な限り繰り返し使用して、除染材料そのものの廃棄物の低減と回収したセシウム等の減容化を図ることが必要であると考えました。そこで、これらの要求を満たす材料に仕上げるためには、除染材料を高分子化することが重要であると考えました。

除染材料(捕集材)の作製には、耐久性の高いポリエチレン製のフェルト状の生地にセシウムを捕捉可能な官能基(吸着基)を付与するため、 $\gamma$ 線や電子線を用いて既存の高分子素材を機能化する放射線グラフト重合法を活用し、吸着基としてリンモリブデン酸基を導入した捕集材を合成しました。このグラフト重合法で捕集材を合成する工程を図 6-10-1 に示します。

開発したセシウム用捕集材の性能は、1 mg/L の安定セシウム溶液を用いたバッチ吸着試験及びカラム吸着試験により評価しました。バッチ吸着試験では、50 ml の溶液に、50 mg (1 cm 角) の捕集材を入れ、24 時間浸漬すると、セシウムをほぼ 100% 捕集することがわかりました。

また、カラム吸着試験では、内径 7 mm のカラムに 47 mg のセシウム捕集材を充填した後、粒子状や平膜状の材料に比較して 50 倍程度高速で 1 mg/L の安定セシウム溶液を通過させた結果、水圧による損失を軽減可能な布状の基材を適応した効果から捕集材体積の 3,000 倍量の溶液までセシウムを吸着除去できることが確認できました。その時点の捕集量(破過容量)は、捕集材 1 kg 当たり、54 g となり、0.4 mmol 程度の捕集能力があることがわかりました(図 6-10-2)。実験室レベルでの捕集材の評価を終えた後、環境水に溶け込んでいる放射性セシウムを対象とした評価に展開しました。この捕集材を用いたフィールドテストでは、10 トン以上の水処理を一度に行うことを想定し、捕集材の量産化(図 6-10-3)を試み、効率的に作製できる条件を見出すことができました。作製した捕集材の評価は、福島県内の学校プール水を用いて進め(図 6-10-4)、200 Bq/L の排出基準(当時)を満たせる非常に良好な成果が得られました。そこで、次に、実際の処理で障害となることが予想される浮遊物を多く含む水に対する評価を福島県内の溜池で実施しました。試験には、可溶性セシウムが 10 Bq/L 程度溶存している観賞用池の溜め水を用い、捕集材体積(約 50 mL、0.05 m<sup>2</sup>)の 2,000 倍量に相当する水量 100 L の処理を行った結果、溶存する放射性セシウムを検出限界以下まで除去することに成功しました(図 6-10-5)。

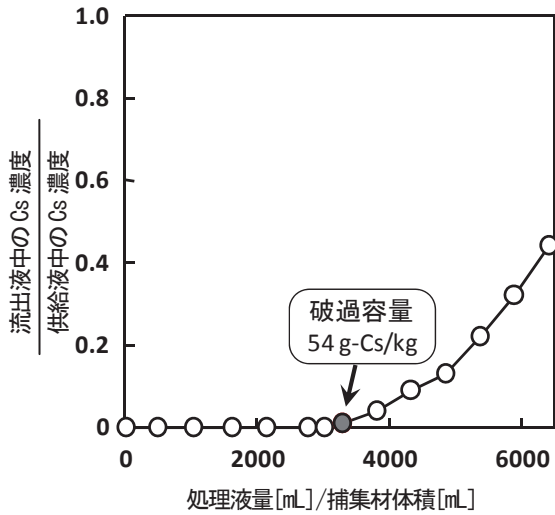


図 6-10-2 安定性セシウムを用いたグラフト捕集材の破過曲線 1mg/L の安定性セシウムを捕集材を充填した筒内に通液し、捕集材体積の 3,000 倍までセシウムを吸着することができました。



図 6-10-3 セシウム吸着用グラフト除染材料 放射線グラフト重合法によりフェルト状の生地にセシウムを捕捉可能なリンモリブデン酸基を導入した捕集材料の量産化条件を見出すことができました。



図 6-10-4 セシウム吸着用グラフト除染材料評価装置 学校のプール水からの放射性セシウム除去性能を評価するために、作製した捕集材料を筒状のカラムに充填して評価を行いました。

試料名	<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	全Cs
溜め水上澄み試料水①	14	20	34
溜め水上澄み試料水②	19	24	43
溜め水上澄み試料水③	17	22	39

↓ ミツランフィルタ (0.45μm) による濾過

<sup>134</sup> Cs	<sup>137</sup> Cs	全Cs	捕集材	全Cs	除去率 [%]
2.3	2.7	5		ND	100
4.5	6	10.5	ND	100	
4.8	6.3	11.1	ND	100	

[Bq/L]

図 6-10-5 グラフト捕集材を用いたフィールド評価結果 福島県内で実施したフィールド試験において、溜池中に溶けている放射性セシウムを検出限界以下まで除去することができました。

本捕集材料は、低濃度で水中に溶けているターゲットに対して効果を発揮する特徴を有し、特に繊維状に仕上げたことにより、粒子状の材料に比較して、高速で処理することが可能となりました。そのため、流れてくる汚染水を貯水しておく必要がなく、処理設備自体の小型化が図れることから、実用段階までの障害が比較的小さいと

考えられます。現在この利点をいかし、有機物中に固着したセシウムを可溶化させた後、可溶化液からセシウムを除去するプロセスの開発を進めています。

本研究は、文部科学省からの委託事業「高分子捕集材を利用した環境からの放射性物質回収・除去技術等の開発」の成果の一部です。

●参考文献

# No.6-11 焼却時の放射性セシウム挙動評価について

## —焼却施設での放射性セシウム挙動シミュレーション—

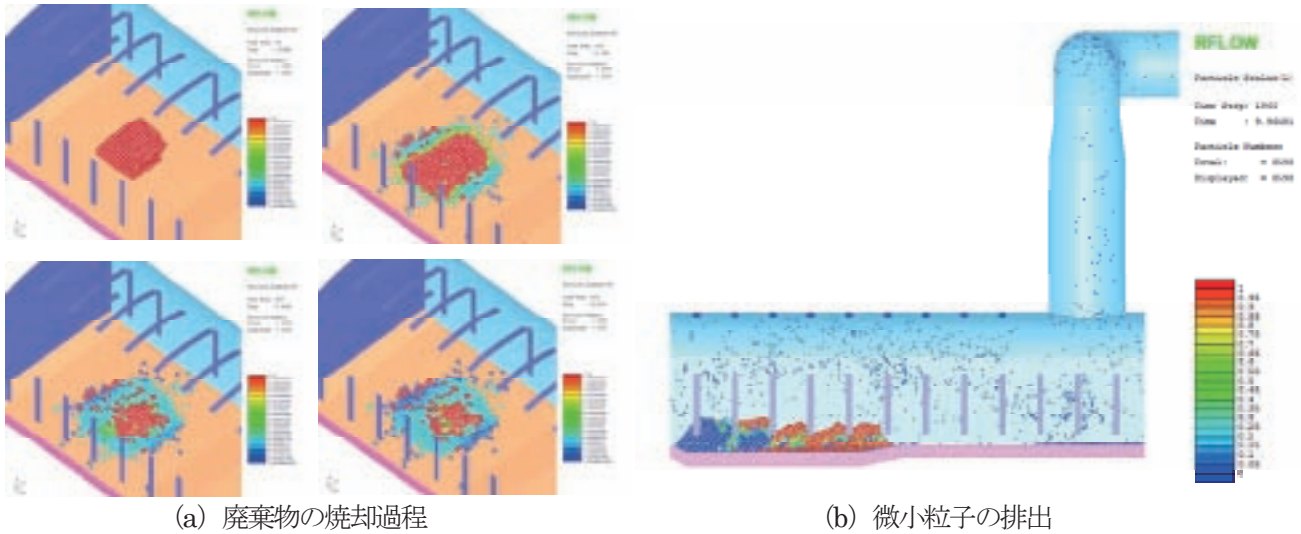


図 6-11-1 焼却炉のなかで、廃棄物は燃焼することによりサイズは小さくなり、粒子状物質へと変化します。(a)は廃棄物が燃焼し、焼却灰などの粒子となり、燃焼が進むことでサイズが小さくなっていく状況を示しています。(b)は焼却により発生した焼却灰などの粒子が焼却炉から排気ダクトへ排出される過程を示しています。これらの計算は個別要素法(DEM 法)を用いて実施しました。計算条件は次のとおりです。燃焼空気量: 720Nm<sup>3</sup>/hr、燃焼空気温度: 177°C、補助燃料・灯油投入量: 13kg/hr、補助燃料初期温度: 30°C、被燃物初期総重量: 11.7kg、被燃物成分: 水分10%、灰分7.2%、揮発分66.2%、チャー(未燃炭素と灰分から成る粒子)16.6%、廃棄物発熱量: 4,320kcal/kg、被燃物初期温度: 30°C。

放射性セシウムで汚染された災害廃棄物(8,000Bq/kg以下)の一部は、既存の焼却施設で処理されていますが、排ガスに含まれるセシウムの濃度は規制値を大幅に下回る結果が報告されています<sup>1)</sup>。しかし、これらの知見が、汚染レベルが高い指定廃棄物(8000Bq/kg以上)などに適用できるかについては確認できていません。焼却は、廃棄物の減容処理の有力な方法であることから、指定廃棄物の処理方法決定の一環として、セシウム汚染レベルの高い廃棄物を焼却した場合の、焼却炉内におけるセシウムの挙動を把握することが必要になっています。このためには、まず、既存の焼却炉内のセシウム挙動やバグフィルタや電気集塵機などでのセシウム捕集メカニズムを解明していくことが重要になっています。

ここで、焼却時のセシウム挙動ですが、廃棄物と一緒に焼却炉に入った放射性セシウムは、一般的に800°C以上の高温で燃やされ、多くは揮発、もしくは液滴となって排ガス中へ移動します。排ガス中に移動しなかった残りの放射性セシウムは、廃棄物の燃え残り(炉底灰)に留まると考えられています。

一方、排ガス中に移動した放射性セシウムは、主に塩化セシウム等(CsCl)の形で、200°C以下に冷やされたバグフィルタという筒状の布のフィルタに到着するまでの間に、ばいじんに付着すると考えられています。その結果、ばいじんと一緒に放射性セシウムもフィルタで捕集され、セシウムは外部に放出されないと考えられています<sup>1)</sup>。

したがって、セシウムの挙動を把握するためには、ば

いじんの濃度と粒径分布についての研究が必要になります。つまり、ばいじんの濃度等を計算してセシウムが付着するのに十分な条件であることを定量的に明らかにする必要があります。このため、焼却設備内のばいじんの濃度や粒子径分布(図6-11-1)をシミュレーションで求めます。これと合わせて、実際の焼却炉を用いた燃焼試験を行い、ばいじん濃度と粒子径分布について調査します。この結果を使って、シミュレーションで用いるパラメータの設定を行うことで、焼却条件とばいじんの濃度等の関係を求めることが可能となり、最終的にはセシウムの捕集条件を評価することができます。

これらの研究を通じて、焼却時の放射性セシウム挙動解析コードを開発し、ストーカ炉等の一般的な焼却炉で焼却可能な廃棄物の範囲を明らかにすると共に、セシウム汚染レベルの高い廃棄物を処理するための焼却炉の設計や運用基準を示していきます。セシウム挙動解析コードは以下の2つの機能を備えています。

機能1: 焼却炉からバグフィルタや電気集塵機に至る間の、ばいじんとセシウムの付着(凝集過程)を解析します。この結果とバグフィルタ等の性能評価結果と合わせて、排気スタックからセシウムが排気される可能性を評価します。

機能2: 焼却炉の炉底灰(主灰)及び炉内付着灰(飛灰)の発生量とセシウム濃度を解析します。この結果から、メンテナンス時の被ばく線量等を評価します。

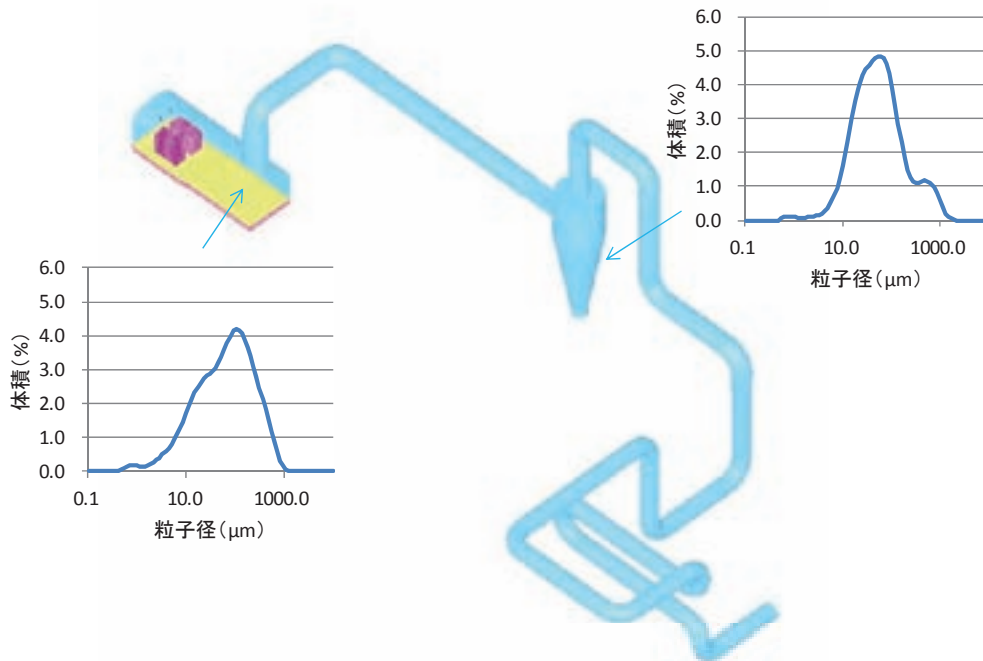


図 6-11-2 小型固定床型焼却炉では、排ガスは焼却炉→サイクロン→電気集塵機→フィルタユニット→排風機→スクラバー→排気スタックへと流れます。本試験では、焼却炉の排ガス温度は 650～770℃で、サイクロン出口の排ガス温度は 450℃、電気集塵機入口の排ガス温度は 162℃です。被燃物として紙、ビニールなどを使用しています。また、助燃油として灯油、LPGを使用しています。サンプリングは主灰が焼却炉、飛灰がサイクロン・サイクロン出口・電気集塵機入口で行いました。主灰・飛灰の分析の結果、主灰の粒子径は 100 μm 付近をピークにした分布になり、飛灰の粒子径は 60 μm 付近をピークにした分布になりました。

セシウム挙動解析コード開発は、パラメータ設定等が容易な小型焼却炉を対象とします。その後、既存の一般焼却炉に拡張させていきます。

ここで、小型焼却炉を対象としたセシウム挙動解析コードを整備する過程では、ばいじん生成モデルを設定することが必要です。ばいじん生成のメカニズムは、廃棄物が乾燥し、熱分解して粗大粒子になるプロセスと、廃棄物粒子の不完全燃焼で発生した炭化水素が凝縮・成長することで微小粒子になるプロセスが考えられます。

本研究では、図 6-11-1 に示したように廃棄物粒子の熱分解等の過程を中心に、ばいじんの濃度や粒子径を、燃焼プロセスにおける廃棄物粒子の伝熱・燃焼モデルを組み込んだ個別要素法によって解析しました。

個別要素法は 1971 年に Peter A.Cundall. によって提唱された理論で、任意に存在する粒子を剛体要素と考え、その挙動を質点の運動方程式で表します。また接触した剛体要素間にはバネを設定することによって、粒子間の力の相互作用を表します。そして、各要素の運動方程式を解いて挙動を解析するという手法です。

セシウム挙動解析コードのチューニングのため、原子力機構に設置されている小型固定床型焼却炉を対象にした焼却試験を実施して主灰・飛灰の分析を行いました。

主灰・飛灰のサンプリングは、図 6-11-2 に示したように主灰については焼却炉、飛灰についてはサイクロン及

びサイクロン出口、電気集塵機入口で実施しました。主灰・飛灰の分析で得られた、主灰と飛灰の粒子径分布をもとに小型焼却炉用解析コードを整備しました。さらに精度を上げるため、引き続き小型固定床型焼却炉を対象にした焼却試験を実施する予定です。

小型固定床型焼却炉とストーカ炉等の一般焼却炉では構造が異なるため、小型の焼却炉について整備した解析コードを一般焼却炉に拡張させるためには、ばいじんの粒子径分布等をシミュレーションするために必要な焼却設備の構造等に関する情報を得て、シミュレーションを行い、一般焼却炉での主灰と飛灰の粒子径分布等の情報から、シミュレーション結果を確認する必要があります。今後、自治体の協力を得ながら、既存の一般焼却炉について解析コードを整備する計画です。

●参考文献

1) 放射性物質を含む廃棄物の適正な処理処分, 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター,  
[http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo\\_publicver\\_120725ss.pdf](http://www.nies.go.jp/shinsai/techrepo_publicver_120725ss.pdf)

## No.6-12 除去物処理技術開発

### ―飯館村での焼却処理試験及び加熱処理時における Cs 挙動の解明―



図 6-12-1 パイロットスケール熱分解処理装置及び飯館村における実証試験の様子

刈り取った植物等の廃棄物を処理するため、パイロットスケールの蒸し焼き(熱分解)型の焼却処理装置を製作し、処理時の Cs 移行挙動特性等を調査しました。処理装置は、移設が容易なコンテナ 2 台に収納できるように設計し、製作しました。大阪で非放射性の麦わら等を用いて特性調査を行った後、飯館村に移設し、除染の目的で栽培されたヒマワリの焼却試験及び水田土壌の加熱試験を行い、データを取得しました。

#### はじめに

現在、多種多様な除染方法が検討されていますが、いずれの除染方法でも、大量の廃棄物が発生します。これらの廃棄物の処理や保管は除染を進める上で、重要な課題となっています。除染の際に発生する廃棄物は、汚染されている土壌に加えて、刈り取られた植物等もあります。植物等は、土壌と比べて汚染度合は低いですが断続的に生育し、また、腐敗などにより安定的に保管できないため、処理方法の確立が急がれています。

焼却処理は、植物等の可燃物を減容する有効な処理方法です。しかしながら、放射性物質を含む廃棄物の場合には、焼却した際に、放射性物質の一部が排気に移行するため、排気や灰の取り扱いには十分な検討と実証が必要になります。

#### 飯館村での焼却処理試験

除染に伴い発生する植物や土壌などの廃棄物を安全に減容処理するための焼却処理装置の開発及び試験を農林水産省からの受託事業として行いました。農業・食品産業技術総合研究機構(農研機構)と共同で研究を行い、農研機構は、装置の製作、焼却対象試料の作成・調達及び移行挙動評価を担当し、原子力機構は、装置の設計、焼却試験、試料の分析、移行挙動評価及び解体試験を担当しました。

処理で問題となっている Cs は、600°C 程度の比較的低い温度で、揮発すると推測されたので、熱分解方式の装置を選定しました。この方式は、廃棄物を燃やす一般的な焼却炉と比べて、低い温度での処理が可能であり、排ガス量も少ないという利点がある一方、若干減容率が小さくなるという欠点があります。今回は、穏やかな条件で加熱することで、できるだけ放射性物質を飛散させ

ないという点と、排気系を小さくでき、移動が可能なものにできる点に着目しました。熱分解炉は、産業廃棄物処理にも利用されている回転する円形の筒内で焼却するタイプ(ロータリーキルン)で、その処理能力は 1 時間当たり 2kg のものを設計しました。処理装置を図 6-12-1 に示します。

製作した処理装置を用いて、関西地区で栽培され、非放射性 Cs を含ませた麦わらを 400°C、600°C、800°C と温度を変化させて焼却処理試験を行いました。その後、飯館村クリアセンター敷地内に移設し、放射性 Cs を含むヒマワリの処理試験を 600°C で行いました。炭と灰を採取し、各々の重量を測定し、含まれる Cs 量を測定することで、焼却処理による Cs の移行挙動を調査しました。

結果を図 6-12-2 に示します。処理温度の上昇とともに、炭の発生量が減少しています。炭中の Cs 残存率についても処理温度の上昇によって減少する傾向を示しましたが、600°C 以上でも Cs が 30~70% 程度炭に残存しました。灰中での Cs の回収率は、麦わらの 800°C の試験では約 3.0% 程度で、その他は 0.5% 以下でした。

加えて、汚染のある土壌そのものについても加熱により、Cs の除去ができないかを探るため、飯館村の水田土壌を用いて 800°C で処理しました。最も除去できた場合でも全体の 86% は残存しており、800°C までの加熱では、土壌を除染することは困難であることがわかりました。



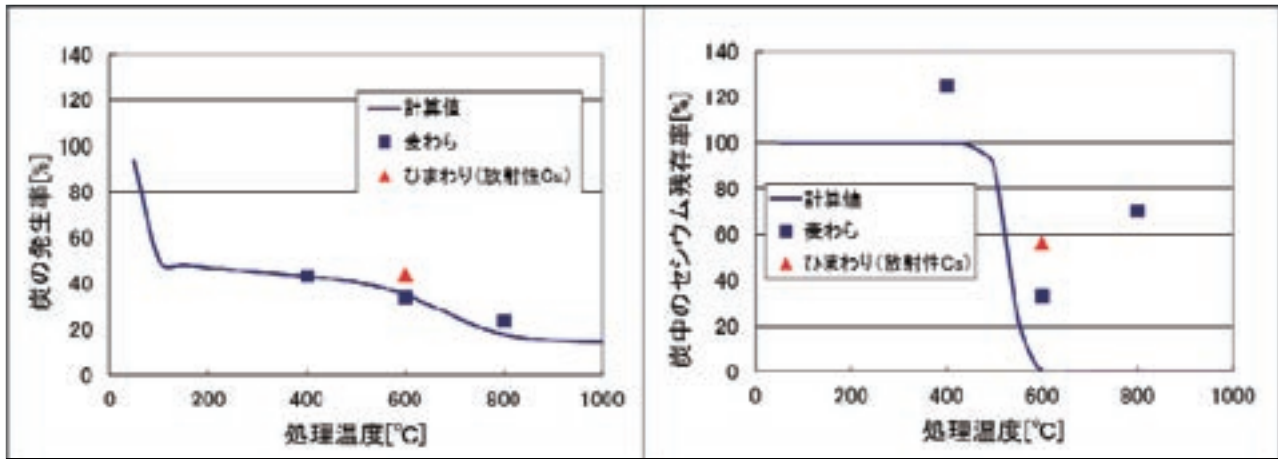


図 6-12-2 処理温度と回収された炭の発生率及び炭中の Cs 残存率

左の図は、炭(普通の焼却炉の主灰にあたるもの)発生率の試験結果と、熱力学的平衡計算により求めた計算値(実線)を示した図であり、ほぼ一致しています。右の図は炭中の Cs についての試験結果と計算値を比較したものです。炭の発生率は計算値とほぼ一致しているにも関わらず、炭に含まれる Cs の残存率は計算結果と一致せず、Cs が炭へ多く残っていました。

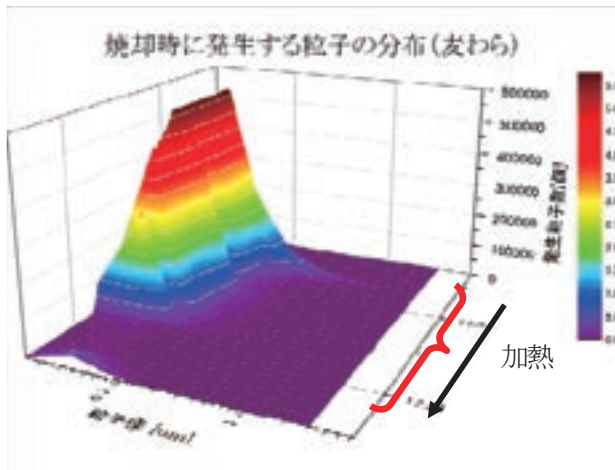


図 6-12-3 加熱時に発生する粒子の大きさ(粒子径)の変化

実験装置を用いて、麦わらを焼却した際に発生する(煙などに含まれる)粒子の大きさと量を測定した図を示します。この試験条件では、加熱して、温度が高くなる(加熱時間が長くなる)につれて、粒子数は減少していますが、細かい粒子が増えていることがわかります。これらの粒子を回収し、Cs が何程度ぐらいで、どのような大きさの粒子として存在するのかを調べています。

### 加熱処理時における Cs 挙動の解明

廃棄物を処理する際に放出される放射性物質の量などの問題は、住民の方々にとって重要な問題です。今回の試験条件範囲では、処理中の設備周囲や除塵フィルタ(バグフィルタと HEPA フィルタ)を通過した後の排気中には Cs は検出されず、環境や作業員の安全に影響を与えずに処理できていることを確認することができました。

一方で、当初想定していた Cs の挙動と異なるという結果も得られました。先に示した図 6-12-2 中の計算値(実線)は、Cs が焼却処理条件によってどのような化学形であるかを、熱力学的平衡計算という手法を用いて推測したものです。計算値と試験結果を比較すると、炭の発生率については予測通りの結果を示していますが、炭中の Cs 残存率については予測と異なるという結果が得られています。

この原因を探るため、加熱条件が Cs の排気系への移行状況(粒子の大きさ、物質の状態等)へ与える影響につ

いて、小規模の実験装置を用いて調査しています。図 6-12-3 に示したものは、麦わらを 800°C まで連続的に加熱した際に発生している粒子の大きさと量を示したグラフです。赤い枠の範囲では、加熱による温度上昇とともに、粒子の量が少なくなっていたり、大きな粒子が減っていたりしている様子がわかります。これらの粒子を回収し、どの大きさの粒子に Cs が存在するのかを明らかにする予定です。

このような基礎的な知見を多く収集することで、処理条件の異なる焼却炉や溶融炉などでどのように Cs が挙動するのかを把握し、フィルタの設計並びに、処理作業や設備のメンテナンスを行う作業員の安全確保に役立てられるデータを提供することを目指しています。

現地試験は、農林水産省からの受託事業「農地土壌等における放射性物質除去技術の開発(除去後の残渣処理)」の成果の一部です。

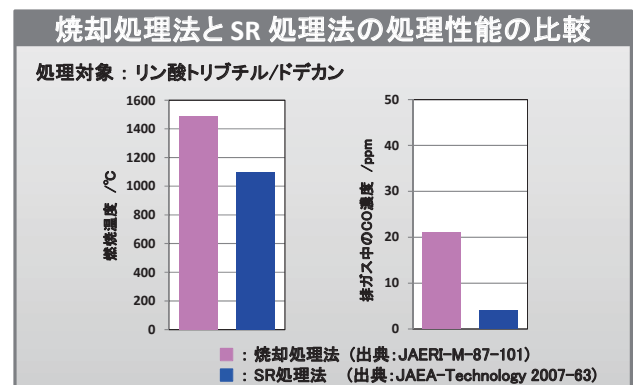
原子力科学研究所 バックエンド技術部 高減容処理技術課 大杉武史

### ●参考文献

- 大杉武史 他「植物残さ及び土壌の熱分解処理時におけるセシウムの移行挙動」農業及び土壌の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム P17  
 金澤真吾 他「パイロットスケール熱分解炉を用いた除染廃棄物の処理試験(1)」2012 年原子力学会秋の大会 C38  
 中塩信行 他「パイロットスケール熱分解炉を用いた除染廃棄物の処理試験(2)」2012 年原子力学会秋の大会 C39  
 大杉武史 他「パイロットスケール熱分解炉を用いた除染廃棄物の処理試験(3)」2012 年原子力学会秋の大会 C40

# No.6-13 除去物処理技術開発について

## — 高線量域で発生する放射性廃棄物の減容処理技術の開発 —



放射性物質汚染対処特別措置法により定められた特定廃棄物には、可燃物や難燃物、さらにはコンクリートや金属等の不燃物が混在しており、分離・分別が困難であるばかりか、水分や油分を含んでいるものもあります。このため、通常の焼却炉で直接処理することは非常に困難であり、合理的な処理方策を確立させる必要があります。

また、特定廃棄物の中には汚染レベルの高いものもあるため、焼却炉で処理を行うと、排ガス処理系のフィルタ等に蓄積する放射性物質の量が増大します。焼却炉の排ガス処理系は定期的にメンテナンスを行う必要があり、放射性物質の過度の蓄積はメンテナンス作業を困難にさせ、作業員の被ばくやコストの増大が問題となります。

上記の課題を解決するためには、廃棄物の分離・分別が不要で、排ガス処理系での放射性物質の蓄積が少ない減容処理技術の開発が求められます。

原子力機構では、焼却炉による処理が困難な放射性液体廃棄物の合理的な処理を目的に平成16年度から水蒸気を用いたガス化燃焼 (SR (Steam Reforming) 処理法) の開発を進めてきました。これにより、ウランを含む廃溶媒を対象にこれまで数百時間に及ぶ連続処理を達成するなどの大きな技術的成果を上げています。

SR 処理法は、高温の水蒸気との接触により廃棄物中の有機成分の分解・ガス化を行うガス化プロセスとガス化した有機物を酸化分解する燃焼プロセスを組み合わせた廃棄物処理法です。

SR 処理法の利点は、固体または液体の可燃性廃棄物に適用できるばかりか、不燃物も含めてこれらが混在した廃棄物であっても処理が可能な点であり、特定廃棄物に適用できる技術です。この利点により、特定廃棄物の分離・分別の負荷が軽減され、作業員の被ばくの低減、分

離・分別コストの削減が期待できます。

また、廃棄物のガス化を焼却炉の燃焼温度よりも低温で行えるため、放射性物質がガス化炉内に残留しやすくなり、排ガス処理系への放射性物質の蓄積が抑制されます。これにより、排ガス処理系のメンテナンス作業における放射線防護の簡素化が図られ、作業員の負荷及び被ばく低減が期待できます。また、焼却炉に比べて燃焼状態を安定させやすいため、排ガス中のCO濃度等を低く抑えられ、環境への負荷の低減が図れます。さらに、高温の水蒸気の添加により通常の熱分解処理法に比べてガス化時の煤の発生が抑制されるため、フィルタのメンテナンス頻度が少なくなり、コストの低減が期待できます。

上述した利点のあるSR 処理法を特定廃棄物の処理に適用するためには、特定廃棄物の性状に対応したガス化温度、水蒸気供給量、混合空気比等の処理条件を最適化する必要があります。また、大量の特定廃棄物を安定して処理できる装置の設計・製作に必要なデータを取得する必要があります。このため、模擬試料を用いて、①特定廃棄物の熱分解特性を把握する試験、②特定廃棄物による試験装置構成材料の腐食特性を把握する試験、③特定廃棄物の減容率等の処理性能の把握及び処理条件の最適化を行う試験、④ホット処理及び装置のスケールアップに向けた課題等を把握するための試験等を実施します。これにより、特定廃棄物を一度に処理する基礎的なデータ、ホット処理時に問題となる放射性物質の環境影響、被ばくの低減化等の基礎的なデータを取得します。これらの成果を活かし、プロトタイプ的设计及びSR 処理法による特定廃棄物の減容処理の実現を目指します。

核燃料サイクル工学研究所 環境技術管理部 処理技術課 曾根智之

### ●参考文献

・中川明憲 他、水蒸気改質処理法によるウランで汚染された廃 TBP/n-ドデカン処理技術開発, JAEA-Technology 2010-014

・M.Takai et al, Steam Reforming: Alternative Pyrolytic Technology to Incineration for Volume Reduction and Stabilization of Low-Level Radioactive Organic Liquid Wastes, Journal of Physics and Chemistry of Solids, Volume 66, Issue 2-4, p. 694-696



# 平成23年度の原子力機構の環境再生への取り組み

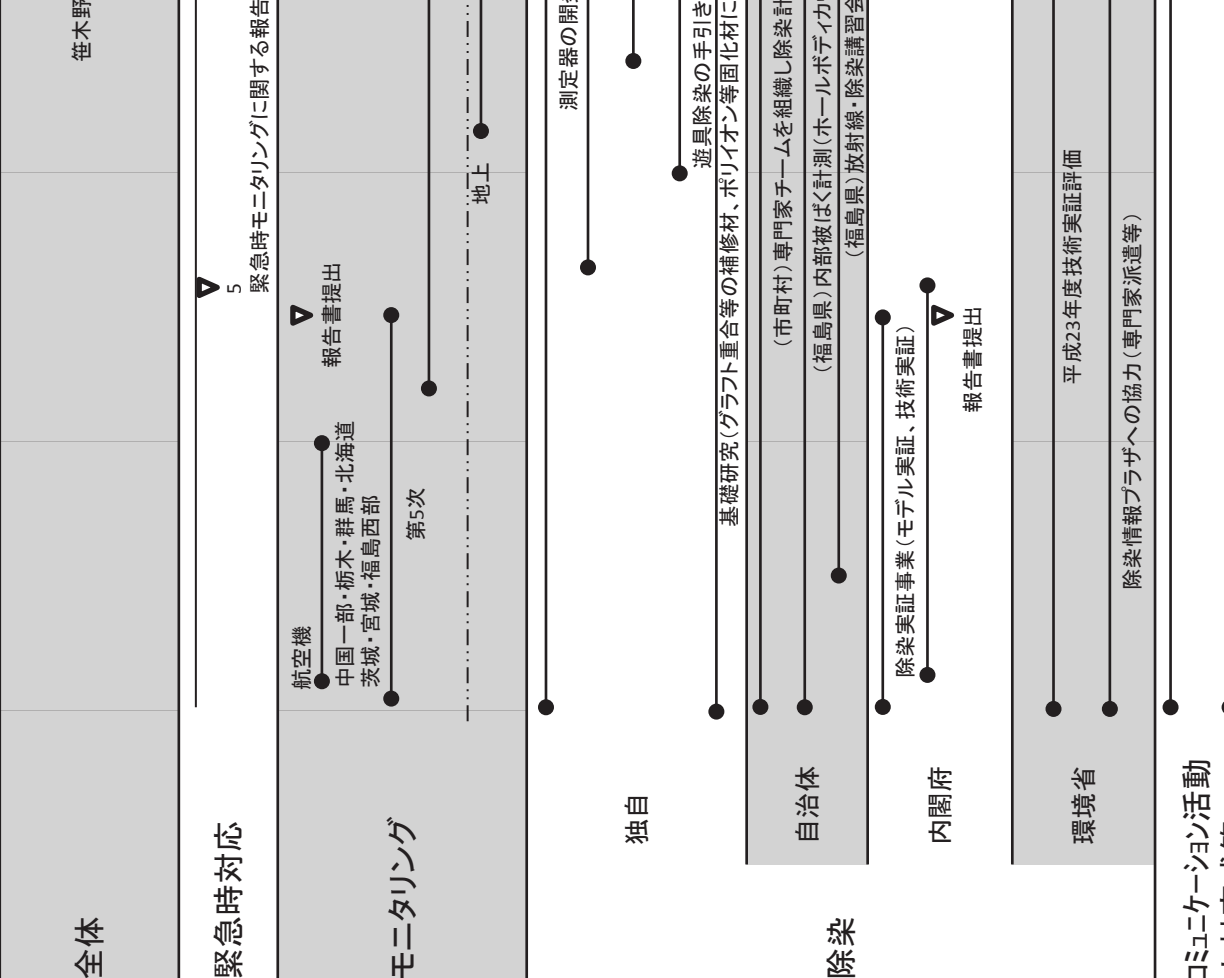
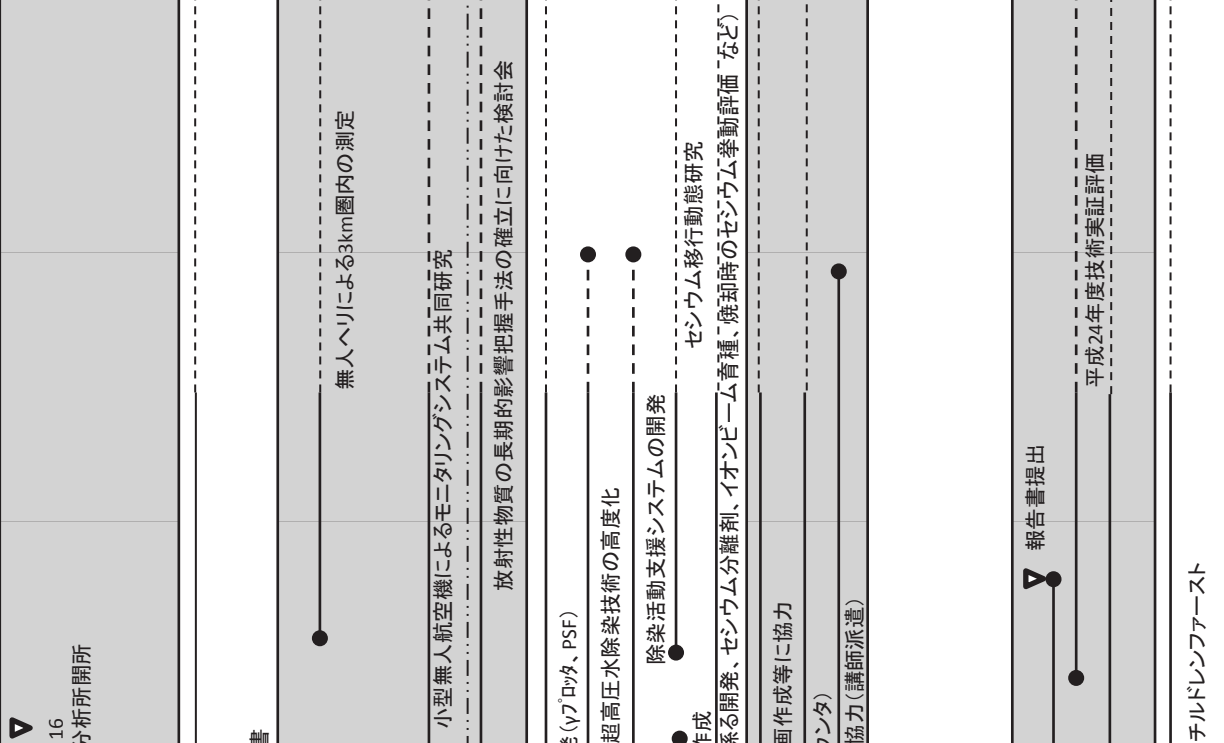
## 付録

項目	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
全体	▽ 11 東日本大震災発生 原子力機構対策本部設置	▽ 6 福島支援本部を新設 福島事務所を開設	▽ 30 福島大学と連携協定を締結	▽ 16 野田総理大臣除染現場視察 福島技術本部に改編 福島環境安全センター新設	▽ 21 組織改編	▽ 28 高専機構・福島高専 と協定締結	▽ 30 福島県と連携協定締結							
緊急時対応	<p>11 専門家を派遣しモニタリング開始 15 特殊車両配備、17 電話相談窓口開設</p> <p>平成24年3月31日までに派遣した述べ数(45318人) 環境放射線モニタリング: 6708人、環境放射線分析: 241人 住民問い合わせ窓口等の運営: 5477人、科学的知見や技術提供: 19148人 その他(文科省EOC、福島県等): 13744人</p>													
モニタリング	<p>第1次(DOE)、2次(NUSTEC) 航空機</p> <p>第3次 宮城・栃木・茨城 山形・福島西部・群馬・新潟・埼玉・千葉・第4次 警戒区域 九州・沖縄・四国・近畿・中国一部</p> <p>第1次調査、マップ作成 栃木県・宮城県・茨城県 梨・岐阜・富山・愛知・青森・石川・福井 東京・神奈川・秋田・岩手・静岡・長野・山</p> <p>JAEA役割: 実地調査、マップ作成 地上 第1次調査、福島県・山形県 第2次調査 無人ヘリ測定技術の開発</p> <p>測定・分析: 全国93大学等連合</p> <p>▽ 8 学校除染試験</p> <p>▽ 11 文科省へ結果報告</p> <p>▽ 27 国際シンポジウム 基礎研究(グラフ重合等の補修材、ポリイオン等固化材に係る開発)</p> <p>測定器の開発(γプロバ、PSF)</p>													
独自	<p>▽ 8 学校除染試験</p> <p>▽ 11 文科省へ結果報告</p> <p>▽ 27 国際シンポジウム 基礎研究(グラフ重合等の補修材、ポリイオン等固化材に係る開発)</p> <p>測定器の開発(γプロバ、PSF)</p>													
自治体	<p>(福島県) 学校等 線量低減対策の技術協力</p> <p>(福島県) 除染手引き作成技術協力</p> <p>(福島県) 内部被ばく計測(ホールボディカウンタ)</p> <p>除染ガイドライン作成調査</p> <p>除染実証事業(モデル実証、技術実証)</p>													
内閣府	<p>▽ 26 報告会</p>													
環境省	<p>除染情報プラザへの協力(専門家派遣等)</p> <p>H23年度技術実証</p>													
コミュニケーション活動 人材育成等	<p>21 チルドレンファースト</p> <p>14 放射線に関するご質問に答える会開始</p> <p>放射線測定要員及び管要員研修</p> <p>放射線に関するご質問に答える会実績 169団体、12378人(平成24年3月31日現在)</p>													

# 平成24年度の原子力機構の環境再生への取り組み

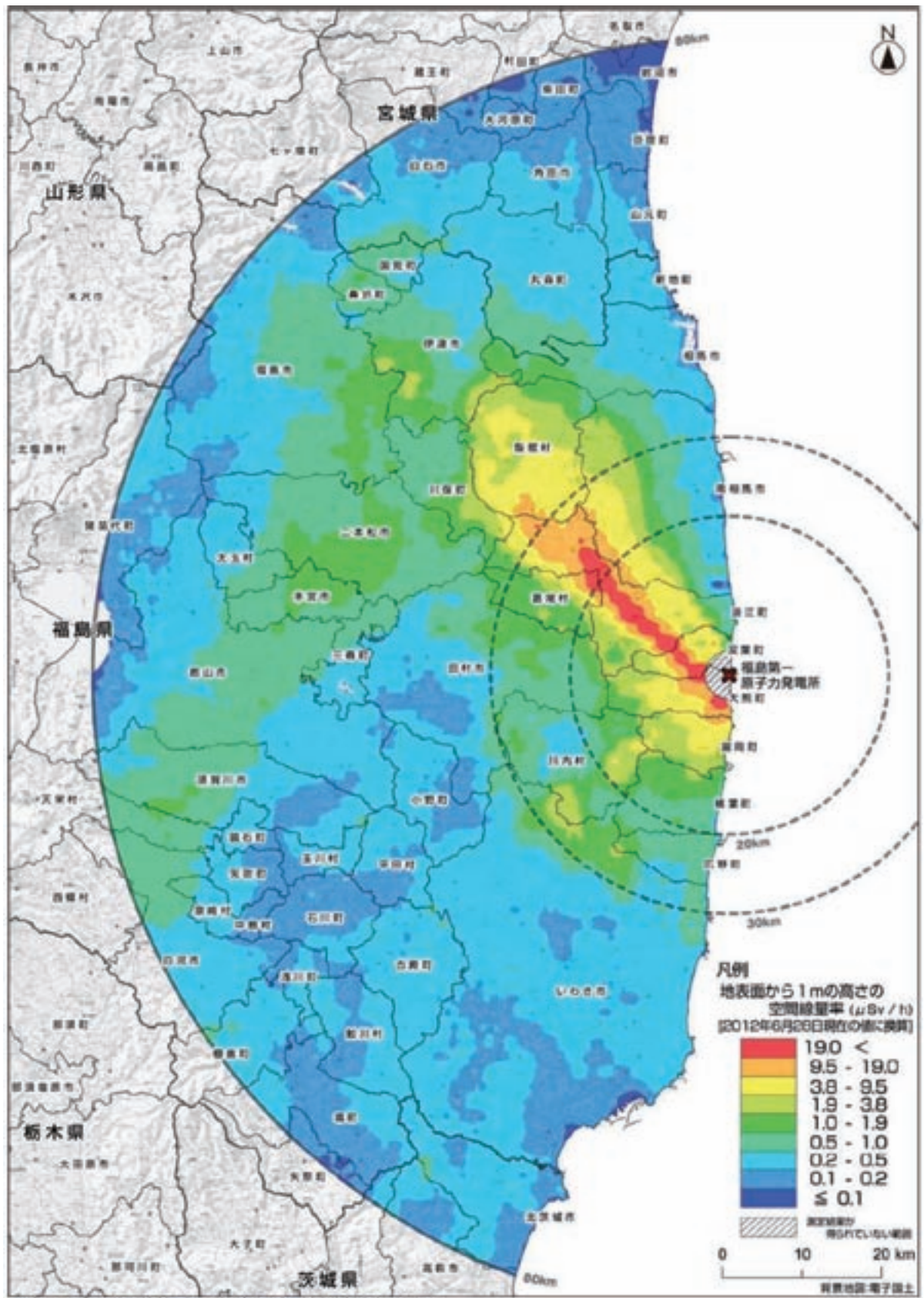
付録

項目	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
全体								▽ 16 榎木野分析所開所				
緊急時対応								▽ 5 緊急時モニタリングに関する報告書				
モニタリング	航空機 中国一部・栃木・群馬・北海道 茨城・宮城・福島西部	報告書提出	第5次							無人ヘリによる3km圏内の測定		
独自												
除染												
自治体												
内閣府												
環境省												
コミュニケーション活動 人材育成等												



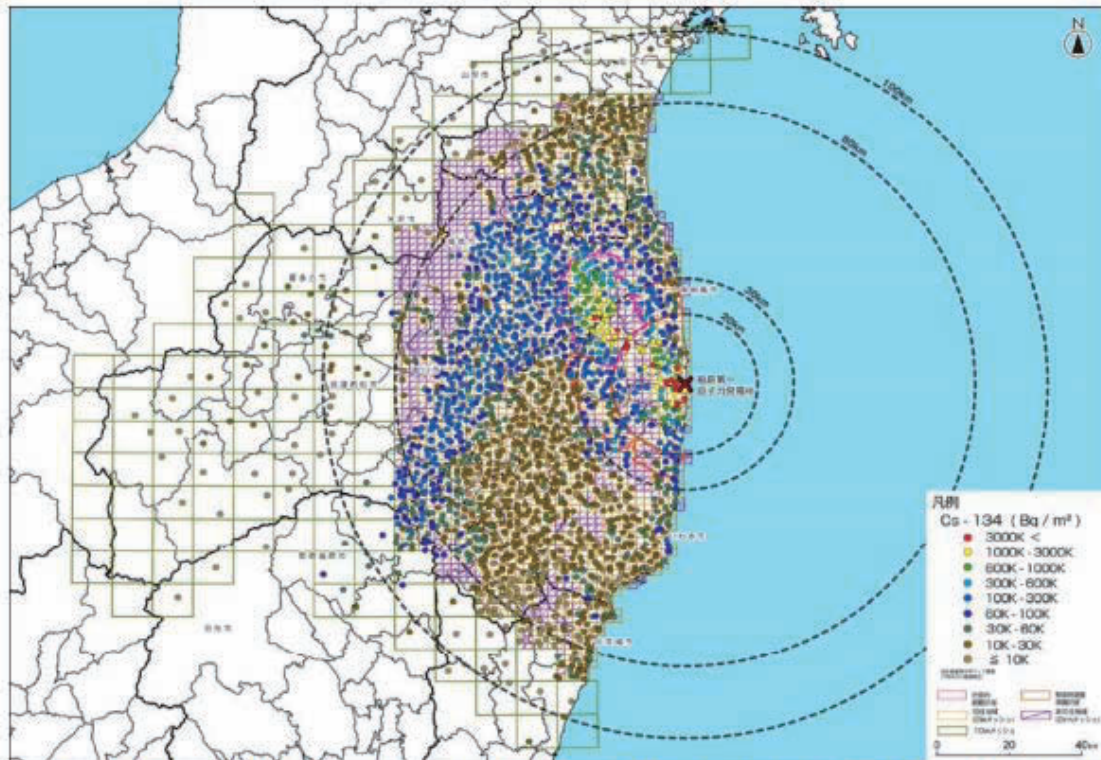
放射線に関するご質問に答える会

チャドレンファースト

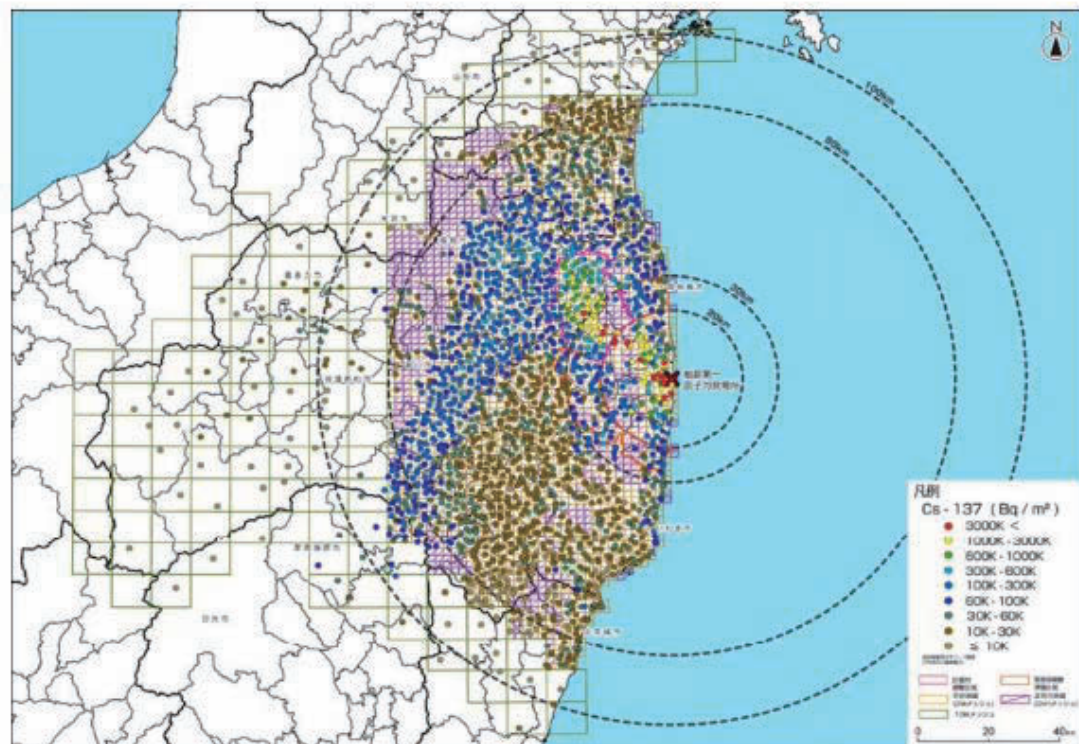


出典: 文部科学省 ①第5次航空機モニタリングの測定結果、及び  
 ②福島第一原子力発電所から80km圏外の航空機モニタリングの測定結果について

# 付録 陸上モニタリングによるセシウム134とセシウム137の濃度分布



セシウム 134 の土壌濃度マップ (平成 23 年 6 月 14 日時点に放射能濃度を換算)



セシウム 137 の土壌濃度マップ (平成 23 年 6 月 14 日時点に放射能濃度を換算)

出典: 文部科学省 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について,





## 環境再生に向けて

---

発行 2012年11月

編集・発行 独立行政法人 日本原子力研究開発機構

---

■本誌及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。

**独立行政法人 日本原子力研究開発機構**

**福島技術本部 企画調整部**

〒100-0011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号 富国生命ビル19階

TEL (03)3592-2111

FAX (03)5157-1950

---

©2012 日本原子力研究開発機構 (禁無断転載)



独立行政法人日本原子力研究開発機構