



平成 30 年度 研究開発・評価報告書  
評価課題「福島環境回復に関する技術等の研究開発」  
(中間評価)

Assessment Report on Research and Development Activities in FY 2018  
Activity: “Research and Development of the Technologies  
for Fukushima Environment Recovery”  
(Interim Report)

企画調整室

Planning and Co-ordination Office

福島研究開発部門

Sector of Fukushima Research and Development

December 2019

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Evaluation

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

平成 30 年度 研究開発・評価報告書  
評価課題「福島環境回復に関する技術等の研究開発」  
(中間評価)

日本原子力研究開発機構  
福島研究開発部門  
企画調整室

(2019 年 9 月 13 日受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成 28 年 12 月 21 日内閣総理大臣決定）及びこの大綱的指針を受けて作成された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成 29 年 4 月 1 日文部科学大臣改定）、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」（平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 30 年 3 月 29 日改正）等に基づき、平成 30 年 11 月 2 日に「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価を福島環境研究開発・評価委員会に諮問した。

これを受けて、福島環境研究開発・評価委員会は、委員会において定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された第 3 期中長期計画期間（平成 27 年 4 月から平成 34 年 3 月）における研究開発計画に関する説明資料の検討及び各担当者による口頭発表と質疑応答を実施した。

本報告書は、福島環境研究開発・評価委員会より提出された中間評価の内容をとりまとめるとともに、「評価結果（答申書）」を添付したものである。

---

本報告書は、福島環境研究開発・評価委員会が「国の研究開発評価に関する大綱的指針」等に基づき実施した外部評価の結果を取りまとめたものである。

福島研究開発部門 企画調整室（事務局）

東京事務所: 〒100-8577 東京都千代田区内幸町 2-2-2 富国生命ビル 19 階

Assessment Report on Research and Development Activities in FY 2018  
Activity: “Research and Development of the Technologies for Fukushima Environment Recovery”  
(Interim Report)

Planning and Co-ordination Office  
Sector of Fukushima Research and Development  
Japan Atomic Energy Agency  
Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(Received September 13, 2019)

Japan Atomic Energy Agency (hereinafter referred to as “JAEA”) consulted an assessment committee, “Evaluation Committee of Research and Development Activities for Fukushima Environment” (hereinafter referred to as “Committee”) for interim evaluations of “Research and Development of the Technologies for Fukushima Environment Recovery” in accordance with “General Guideline for the Evaluation of Government Research and Development (R&D) Activities” by Cabinet Office, Government of Japan, “Guideline for Evaluation of R&D in Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology” and “Regulation on Conduct for Evaluation of R&D Activities” by JAEA.

In response to the JAEA’s request, the Committee evaluated the R&D programs and activities of during the period of about three years from April 2015. The Committee evaluated the R&D activities and programs based on the explanatory materials prepared by JAEA and its oral presentations with questions-and-answers sessions.

This report summarizes the results of the evaluation by the Committee with the Committee report.

Keywords: Fukushima, Environment Recovery, Assessment Report

---

This evaluation report presents the result of third-party evaluation conducted based on “General Guideline for Evaluation of Government R&D Activities” by Cabinet Office, Government of Japan, etc.  
(Secretariat) Planning and Co-ordination Office, Sector of Fukushima Research and Development

## 目 次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. 概要 .....                   | 1  |
| 2. 福島環境研究開発・評価委員会の構成 .....    | 2  |
| 3. 審議経過 .....                 | 3  |
| 4. 評価方法 .....                 | 5  |
| 5. 評価結果（答申書） .....            | 7  |
| 付録 参考資料（日本原子力研究開発機構 作成） ..... | 57 |

## Contents

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Outline .....                                                                                  | 1  |
| 2. Evaluation Committee of Research and Development Activities<br>for Fukushima Environment ..... | 2  |
| 3. Status of Evaluation .....                                                                     | 3  |
| 4. Procedure of Evaluation .....                                                                  | 5  |
| 5. Results of Evaluation (Committee Report) .....                                                 | 7  |
| Appendix References (documents owned by Japan Atomic Energy Agency) .....                         | 57 |

This is a blank page.

## 1. 概要

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、「原子力機構」という）は、「国の研究開発評価に関する大綱的指針」（平成 28 年 12 月 21 日内閣総理大臣決定）及びこの大綱的指針を受けて作成された「文部科学省における研究及び開発に関する評価指針」（平成 29 年 4 月 1 日文部科学大臣改定）、並びに原子力機構の「研究開発課題評価実施規程」（平成 17 年 10 月 1 日制定、平成 30 年 3 月 29 日改正）等に基づき、平成 30 年 11 月 2 日に「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価を福島環境研究開発・評価委員会に諮問した。

これを受けて、福島環境研究開発・評価委員会は、委員会において定められた評価方法に従い、原子力機構から提出された第 3 期中長期計画期間（平成 27 年 4 月から平成 34 年 3 月）における研究開発の進捗状況に関する説明資料の検討及び各担当者による口頭発表と質疑応答を実施した。

その結果、各研究開発課題については、いずれも順調に進捗しており、事故後の収束に向けた研究開発という緊急事態に柔軟に対応しつつ取り組んできたこと、学会発表だけでなく地域への的確な情報提供による将来への安心感、信頼感の醸成に努めていること、各課題とも、予定された研究成果のほか、復旧・復興状況に応じた研究の追加・修正が適切になされているなどの評価を頂いた。また、研究成果の反映について、国や市町村における対策立案、情報提供による住民の不安軽減等に役立てられるとともに、一部開発技術については民間への技術移転が進められるなどの具体的な成果が認められることから、「特に顕著な成果の創出」や「顕著な成果の創出」が認められるとともに、「将来的な成果の創出の期待等が認められる」と判断された。

また、第 3 期中長期計画期間の後半の研究開発の進め方については、社会的なニーズに合致した課題が設定されていること、適宜技術移転が進められる計画であることなどから、妥当と判断された。引き続き、今後の避難指示解除や住民帰還などの復興を支援するため、積極的に国や自治体等との双方向のコミュニケーションを図り成果の反映先を意識して研究開発を進めること、他機関との連携による研究成果の創出や情報発信、長期的な視点での若手研究者の人材育成に取り組むことなどの意見があった。

## 2. 福島環境研究開発・評価委員会の構成

本委員会は平成 25 年 2 月 1 日に設置され、平成 30 年 12 月 1 日時点で以下の 10 名の委員から構成されている。

|     |         |                                                                          |
|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------|
| 委員長 | 高橋 隆行   | 国立大学法人福島大学 学長特別補佐<br>環境放射能研究所長<br>理工学群 共生システム理工学類 教授                     |
|     | 青野 辰雄   | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構<br>放射線医学総合研究所 福島再生支援本部<br>環境動態研究チーム チームリーダー         |
|     | 伊藤 京子   | 国立大学法人大阪大学 経営企画オフィス<br>特任准教授                                             |
|     | 大迫 政浩   | 国立研究開発法人国立環境研究所<br>資源循環・廃棄物研究センター長                                       |
|     | 菅野 信志   | 福島県 危機管理部<br>政策監                                                         |
|     | 五味 高志   | 国立大学法人東京農工大学 農学研究院<br>国際環境農学部門 教授                                        |
|     | 崎田 裕子   | 特定非営利活動法人持続可能な社会をつくる元気ネット<br>理事長<br>ジャーナリスト・環境カウンセラー                     |
|     | 田野井 慶太郎 | 国立大学法人東京大学 大学院農学生命科学研究科<br>応用生命化学専攻 東京大学アイソトープ農学教育研究施設<br>放射線植物生理学研究室 教授 |
|     | 長谷川 聖治  | 株式会社 読売新聞東京本社<br>事業局 局次長                                                 |
|     | 細見 正明   | 国立大学法人東京農工大学 工学研究院<br>応用化学部門 教授                                          |

(委員は五十音順)

### 3. 審議経過

- (1) 理事長より委員長に対し「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する事後評価及び事前評価について諮問：平成 26 年 9 月 16 日

- (2) 第 4 回福島環境研究開発・評価委員会（事後／事前評価）開催：平成 26 年 12 月 10 日

◆ 事後評価

- 環境回復に向けた研究開発の基本方針
- 環境モニタリング・マッピング技術の高度化
- 福島長期環境動態研究
- Cs の吸脱着過程の解明
- 除染技術の高度化
- 除去物・災害廃棄物の減容方法の開発

◆ 事前評価

- 第 3 期中長期計画について
- 環境モニタリング・マッピング技術開発
- 福島長期環境動態研究
- 除染減容技術の高度化

◆ その他の活動の報告

- 他の研究部門における福島環境回復に関連する研究開発
- 個人被ばく線量測定・評価に関する包括的な研究開発

- (3) 評価結果（答申書）のまとめ

上記の審議結果に基づき委員長が評価結果をまとめ、平成 27 年 3 月 9 日に答申した。

- (4) 第 5 回福島環境研究開発・評価委員会開催：平成 28 年 3 月 1 日

◆ 環境回復に向けた研究開発の課題と対応

◆ 福島環境回復に関する技術等の研究開発の進捗

- 環境モニタリング・マッピング技術の高度化
- 環境動態研究
- 除染・廃棄物減容技術の高度化

◆ 平成 27 年度の福島環境安全センターで取り組む受託等の事業

◆ 研究開発拠点の整備状況

- (5) 第 6 回福島環境研究開発・評価委員会開催：平成 28 年 12 月 17 日

◆ 環境回復に向けた研究開発の課題と対応

◆ 福島環境回復に関する技術等の研究開発の進捗

- 分析技術の高度化

- 環境モニタリング・マッピング技術の高度化
- 環境動態研究
- 除染・廃棄物減容技術の高度化

◆ 研究開発拠点の整備状況

(6) 第7回福島環境研究開発・評価委員会開催：平成30年2月18日

- ◆ 福島研究開発部門の活動状況
- ◆ 環境回復に向けた研究開発の課題と対応
- ◆ 福島環境回復に関する技術等の研究開発の進捗
  - 環境モニタリング・マッピング技術の高度化
  - 長期環境動態研究
  - 包括的評価システムの開発
  - 分析技術の高度化
  - 除染・廃棄物減容技術の高度化

(7) 理事長より委員長に対し「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価について諮問：平成30年11月2日

(8) 第8回福島環境研究開発・評価委員会（中間評価）開催：平成30年12月1日

- ◆ 環境回復に向けた技術等の研究開発の実績と計画について
  - 環境回復に向けた研究開発の全体概要
  - 環境モニタリング・マッピング技術開発
  - 福島長期環境動態研究
  - 除染・減容化技術の高度化
  - 今後の研究開発の進め方
- ◆ 全体討議

(9) 評価結果（答申書）のまとめ

上記の審議結果に基づき委員長が評価結果をまとめ、平成31年1月30日に答申した。

## 4. 評価方法

理事長からの諮問に基づき、第3期中期計画期間における研究開発内容のこれまでの実績と今後の計画に係る中間評価を基本としつつ、当初の計画に関する事前評価への対応状況も加味して評価を行った。

### 4.1 評価方法と評価の観点

#### 4.1.1 事後評価

下記の各研究開発課題について、各実施担当者より説明を受け、原子力機構が実施した自己評価に対し、以下の観点から、研究開発の進捗の妥当性、研究成果及びアウトカムの実績等について評価を行った。

- 環境モニタリング・マッピング技術の高度化
- 福島長期環境動態研究
- 除染・減容化技術の高度化

#### (1) 研究開発の進捗の妥当性

- ◆ 目標の設定は妥当であったか
- ◆ 課題設定の質・量は適切であったか
- ◆ 状況に応じて柔軟に計画の見直し（追加・削除）等が行われたか 等

#### (2) 研究成果及びアウトカムの実績

- ◆ 質・量ともに適切な研究成果が創出されているか
- ◆ 成果の反映先に対して、適切なタイミング・質・量で成果を提供できたか
- ◆ 国民との相互理解の促進の観点から適切な情報発信がなされているか 等

#### (3) 全体に係る事項

- ◆ 国内外他機関との連携の妥当性
- ◆ 若手研究者の育成・支援への貢献の程度
- ◆ イノベーション創出への取組み
- ◆ 今後の研究開発の取組みの妥当性（体制・予算等を含む） 等

評価は以下の方法で行った。

まず、(1)～(3)に関する原子力機構の自己評価について説明を受けるとともに質疑を行った後、表4-1の評価基準に従い、各委員がそれぞれ実績の評価及びその理由や意見等を評価シートに取りまとめた。次に、集計した評価結果及びその理由や意見等を基に、研究開発課題毎に審議を行い、委員会としての評価結果を取りまとめるとともに総合評価と総評を取りまとめた。

表 4-1 評価と評価基準

| 評価 | 評価基準                                                                                                               |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、適正、効果的かつ効率的な研究開発運営の下で、「研究開発成果の最大化」に向けて特に顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。 |
| A  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、適正、効果的かつ効率的な研究開発運営の下で、「研究開発成果の最大化」に向けて顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。   |
| B  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められ、着実な研究開発運営がなされている。            |
| C  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」又は「適正、効果的かつ効率的な研究開発運営」に向けてより一層の工夫、改善等が期待される。              |
| D  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」又は「適正、効果的かつ効率的な研究開発運営」に向けて抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。      |

5. 評価結果（答申書）

平成 31 年 1 月 30 日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
理事長 児玉敏雄 殿

福島環境研究開発・評価委員会  
委員長 高橋 隆行

研究開発課題の中間評価結果について（答申）

平成 30 年 11 月 2 日付貴発「30 原機（福）015」において諮問のありました「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価を行った結果を別紙の通り答申します。

別紙：「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価

以 上

This is a blank page.

別紙

「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価

「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価

目次

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 1. 概要 .....                  | 11 |
| 2. 評価方法 .....                | 11 |
| 3. 研究開発課題の評価 .....           | 12 |
| 3.1 環境モニタリング・マッピング技術開発 ..... | 12 |
| 3.2 福島長期環境動態研究 .....         | 13 |
| 3.3 除染・減容技術の高度化 .....        | 14 |
| 3.4 その他 .....                | 15 |
| 3.5 総合評価 .....               | 16 |
| 添付資料 中間評価シート .....           | 17 |

## 1. 概要

福島環境研究開発・評価委員会（以下、「評価委員会」という。）は、日本原子力研究開発機構（以下、「機構」という。）理事長からの諮問（平成 30 年 11 月 2 日 30 原機（福）015）に基づき、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画（以下、「第 3 期中長期計画」という。）における東京電力福島第一原子力発電所事故の対処に係る研究開発のうち、環境回復に係る研究開発に関して中間評価を実施した。

## 2. 評価方法

機構が実施した研究開発課題の自己評価に対し、以下の観点から、研究開発の進捗の妥当性、研究成果及びアウトカムの実績等について評価を行った。

### （1）研究開発の進捗の妥当性

- ◆ 目標の設定は妥当であったか
- ◆ 課題設定の質・量は適切であったか
- ◆ 状況に応じて柔軟に計画の見直し（追加・削除）等が行われたか 等

### （2）研究成果及びアウトカムの実績

- ◆ 質・量ともに適切な研究成果が創出されているか
- ◆ 成果の反映先に対して、適切なタイミング・質・量で成果を提供できたか
- ◆ 国民との相互理解の促進の観点から適切な情報発信がなされているか 等

### （3）全体に係る事項

- ◆ 国内外他機関との連携の妥当性
- ◆ 若手研究者の育成・支援への貢献の程度
- ◆ イノベーション創出への取組み
- ◆ 今後の研究開発の取組みの妥当性（体制・予算等を含む） 等

評価は、まず、（1）～（3）に関する機構の自己評価について説明を受けるとともに質疑を行った後、表 2-1 の評価基準に従い、各委員がそれぞれ実績の評価およびその理由や意見等を評価シートに取りまとめた。次に、集計した評価結果およびその理由や意見等を基に、研究開発課題毎に審議を行い、委員会としての評価結果を取りまとめるとともに総合評価と総評を取りまとめた。

表 2-1 評価と評価基準

| 評価 | 評価基準                                                                                                               |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、適正、効果的かつ効率的な研究開発運営の下で、「研究開発成果の最大化」に向けて特に顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。 |
| A  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、適正、効果的かつ効率的な研究開発運営の下で、「研究開発成果の最大化」に向けて顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる。   |
| B  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」に向けて成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められ、着実な研究開発運営がなされている。            |
| C  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」又は「適正、効果的かつ効率的な研究開発運営」に向けてより一層の工夫、改善等が期待される。              |
| D  | 目的・目標・計画等に照らし、研究成果、取組等について諸事情を踏まえて総合的に勘案した結果、「研究開発成果の最大化」又は「適正、効果的かつ効率的な研究開発運営」に向けて抜本的な見直しを含め特段の工夫、改善等が求められる。      |

### 3. 研究開発課題の評価

#### 3.1 環境モニタリング・マッピング技術開発

評価委員会は、機構より報告がなされた環境モニタリング・マッピング技術開発（参考資料 1 及び参考資料 2）について、表 2-1 に示された評価基準に照らして、進捗の妥当性、研究成果及びアウトカムの実績等を評価した結果、「S」の評価であると判断した。「S」の評価に当たっては、委員からは以下のような意見が出された。

- ✧ 全体として所定の計画に対して研究成果が着実に創出されているとともに、外部からの要請に応えた計画の追加や外部資金の獲得による新規研究の追加に対しても柔軟かつ迅速な対応がなされており、当該分野におけるトップランナーの技術がニーズとつながり好循環を生み出している点を高く評価する。
- ✧ 特に、空間線量率の状況をさまざまな観点から総合的かつ的確に把握し伝えることは、除染、環境回復、復興の道筋にとって大変重要であり、内閣府や原子力規制庁等の行政的な意思決

定に研究成果が継続的に活用されている点を踏まえれば、環境モニタリング・マッピング技術の基礎基盤を支える研究機関としての役割を十二分に果たしてきたといえる。

- ✧ 研究成果が多数の論文として公表されていることに加え、原子力規制庁の放射能測定マニュアルの改訂への貢献等、これまでに得られた研究成果の公表が着実に進んでおり、また数々の学会賞の受賞につながっている点を高く評価する。
- ✧ 池底の放射能測定技術の民間移転や福島第一原子力発電所の排水路モニタリングへの適用、無人ヘリや無人飛行機を用いた放射能測定技術の原子力防災への適用等、技術開発と実用化がうまくつながり、成果の最大化が図られている点を高く評価する。
- ✧ 福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえて開発された放射線モニタリング技術やマッピング技術を韓国や米国との共同研究等を通じて、広く国際的に発信することは重要であり、その取り組みを評価する。
- ✧ 統計学的手法による統合マップ化技術や路線バスを利用した放射線測定システム技術は有効であると考えられるものの、どこまでシステムとして使いやすいものができるのか、利用者がどこまでこれを活用できるのか（必要としているのか）といった視点で、今後の目標を明確にした上で技術開発を行っていくことが重要である。
- ✧ 現場への実用化に当たっては、放射線計測技術の開発に加え、無人ヘリや無人機のオペレーターの養成等も併せて重要な課題になると考える。機構が主体となって取り組む事項と民間等が主体となって取り組む事項とを整理し、より一層メリハリをつけた技術開発が望まれる。
- ✧ 基本的な技術開発は一定の成果を得たことから現場への適用や応用に軸足を移していくとのことについて評価する。一方で、基礎研究から応用研究（技術移転や製品化等を含む）への移行には、まだ多くの解決すべき課題があると考えられることから、予算的・人的な手当も含め、今後も着実に取り組まれることを期待する。
- ✧ 帰還困難区域では、特定復興再生拠点区域の整備が本格化している状況にあり、事故から8年が経過した現時点においても機構の環境モニタリング・マッピング技術に期待されているところは大きい。引き続き、開発してきた技術の適用や応用研究に加え、行政等のニーズを戦略的に掘り起こし、先行的に研究開発を進め、アウトカムに円滑につなげていくことが望まれる。

### 3.2 福島長期環境動態研究

評価委員会は、機構より報告がなされた福島長期環境動態研究（参考資料 1 及び参考資料 2）について、表 2-1 に示された評価基準に照らして、進捗の妥当性、研究成果及びアウトカムの実績等を評価した結果、「A」の評価であると判断した。「A」の評価に当たっては、委員からは以下のような意見が出された。

- ✧ 全体として所定の計画に対して研究成果が着実に創出され、外部からの要請に応えた計画の追加に対しても柔軟かつ迅速な対応がなされるとともに、環境動態研究で得られた成果の地域への還元についても積極的に実施している点を高く評価する。
- ✧ 特に、福島県環境創造センターで活動する 3 機関（機構、福島県、国立環境研究所）が協同

で対応した浪江町十萬山林野火災時の動態解明等、突発的な課題に対する対応も適切であり、自治体や住民の懸念払拭に貢献したことは、成果の最大化に向けた取組の結果であり、高く評価されるものである。

- ✧ 研究成果が多数の論文として公表されていることに加え、福島環境情報サイトを通じて環境モニタリングデータベースや環境動態研究で得られた知見を Q&A 方式で取りまとめた根拠情報 Q&A などがホームページ上で公開される等、これまでに得られた研究成果が利用者の興味や知識に応じた形で体系的かつ着実に公表が進んでいる点を高く評価する。
- ✧ 森林、河川、ダム等の継続的な環境動態調査を通じて、流域における Cs の流出量が非常に小さくその大部分が森林内に長期に留まることや溶存態 Cs の挙動が生態系の Cs 蓄積に影響を与えること等を定量的に評価し、今後、環境回復の上で長期的な課題となる事項を絞り込むことができたことは評価できる。
- ✧ 生活圏における Cs の動態評価のための様々なモデル解析ツール（SACT、GETFLOWS、ADRET、3D-ADRES 等）の整備が着実になされているものの、それぞれのモデルの有効性、使いやすさ、パラメータの必要性等を含めた検証が必要である。
- ✧ 今後は、帰還困難区域を中心として、まだ基準値を超えた農林水産物（キノコや淡水魚）等の生態系への Cs 移行等の課題に取り組むことが重要と考えるが、国内外の研究機関やニーズを有する福島県や地元自治体と連携を強化して進めていくことを期待する。
- ✧ 福島環境情報サイトを充実させ、これまでに得られたデータや知見をしっかりとアーカイブし、事故直後の状況について解析や解明が進むように、成果を取りまとめることを期待する。また、サイト上の情報が利用者にとどのように活用されたのか等のユーザビリティに関しても合わせて評価することにより、サイトの有効性を高める取り組みにつながることを期待される。さらに、住民の生活と直結したよりわかりやすい情報の発信を進めていくことを期待する。

### 3.3 除染・減容技術の高度化

評価委員会は、機構より報告がなされた除染・減容技術の高度化（参考資料 1 及び参考資料 2）について、表 2-1 に示された評価基準に照らして、進捗の妥当性、研究成果及びアウトカムの実績等を評価した結果、「A」の評価であると判断した。「A」の評価に当たっては、委員からは以下のような意見が出された。

- ✧ 全体として所定の計画に対して成果が着実に創出され、研究開発の観点から一定の評価はできるが、技術の実効性や実規模への拡大可能性などの観点からすれば、一部の課題については困難なテーマ設定であったと考えられる。その意味で、本中期計画の半ばを目途にいくつかのテーマを終了させた点は、研究開発の状況を踏まえた判断としては妥当であり、評価できる。
- ✧ 除去土壌等の分別・減容等の処理技術開発については、環境省の受託事業として、減容技術や再生利用の現状や課題を明らかにするとともに再生利用に伴う被ばく評価の考え方を整理し、国の減容・再生利用技術戦略の策定に大きく貢献した点を高く評価する。

- ◇ 除染効果システム（RESET）の高度化・実証については、除染範囲の決定や自治体の帰還等の検討にも活用され、十分な成果およびアウトカムが示された点を高く評価するとともに、今後、特定復興再生拠点区域における除染活動に大いに反映されていくものと期待される。
- ◇ Cs 吸脱着挙動に関する基礎研究については、多数の論文が公表されており、学術的に価値の高い成果が創出されていることのみならず、除染・処理・再生利用技術の基盤となる成果を提供されたことを評価する。
- ◇ 「放射線に関するご質問に答える会」をはじめとして、コミュニケーション・原子力人材育成活動に、多くの研究者や科学の専門性を有する方々が参画されている。これは、専門知識を有する人々が現地の方々と関わり、科学的知識や実際の環境を鑑みて、交流していった非常に貴重な事例だと考える。このため、2011 年以降これまでの、この活動を行った方々の行った内容、気づき、考え方の変化等を事例として取りまとめることを期待する。
- ◇ ポリイオン等による Cs 移行抑制、磁気分離、グリセリン溶解法など終了する個々の技術開発については、実用化に向けた課題をより明示的に抽出することが望ましい。
- ◇ 除染・減容技術の高度化に関しては、除染効果システム（RESET）の高度化や Cs 吸脱着挙動に関する基礎研究等のいくつかのテーマを除き、一定の成果及び課題の抽出をもって技術開発の側面からは終了する方針が示されたものの、市民・社会の理解を得て除去土壌等の中間貯蔵や最終処分を実現していくためには、今後も機構が担う役割があるものと考えられる。これらについて、今後もフォローできる体制を残しつつ的確な対応を継続していくことを期待する。

### 3.4 その他

評価委員会は、機構より報告がなされた福島環境研究開発に関する国内外他機関との連携、若手研究者の育成・支援、イノベーション創出への取組み、今後の研究開発の取組み（体制・予算等を含む）等（参考資料 1 及び参考資料 2）について、概ね妥当であると判断するが、いくつかの要望・改善の意見もあることから、最終評価に向けて、対応について検討いただきたい。

- ◇ 各課題とも、復旧・復興状況に応じた研究の追加・修正が適切になされ、また、多くの研究の成果が、その時々々の行政需要や住民の期待に対応したものとなっており、今後の地域の復興に大きく貢献することが期待される。引き続き、関係機関との連携を図りながら、研究の深化・加速化を図るとともに、状況の変化に応じた研究内容の見直しを行い、地域に貢献する研究を進めてほしい。
- ◇ 原子力防災・放射線計測の分野においてクロスボーダーアクシデント等に備えて隣国の韓国との連携を強化していることは高く評価できる。また、LBNL との共同研究により、空間放射線統合マップの高精度化に成功したことも評価できる。
- ◇ 環境動態研究でこれほど大型のプロジェクトは他に存在しない。さらに今後、関連のプロジェクトが減少していくことが予想されることから、本プロジェクトが国内のオフサイト研究の柱として機能し、国内の研究を総括するような役割を担っていくことを期待する。一方で、機構の現地研究が長くなればなるほど復興から遠ざかる（復興が遠い）という印象を与

えるパラドクスになる可能性もある。福島県や地元と連携しつつ、機構の今後の研究開発体制を検討することが望ましい。

- ✧ 環境回復研究は今後も長期的な対応が必要なテーマであり、若手人材の育成支援を積極的に行っている点は評価できる。予算等の制約の中で、持続可能な人材確保と育成については課題であると思われる。また、自然科学分野だけでなく、社会実装につなげる専門性をもつ社会科学分野の人材など、今後は人材の多様性に関する戦略も必要であると思われる。
- ✧ 研究の推進にあたり、多くの外部資金を獲得して進捗・充実を図っており、高く評価できる。復興特会が終了することも見越して、外部機関との連携を含めた競争的研究予算の獲得なども視野に入れて、検討していく必要がある。
- ✧ 研究成果のより着実な技術移転を図るために、特許など知的財産権の取得なども積極的に進めることを期待したい。

### 3.5 総合評価

評価委員会では、「環境モニタリング・マッピング技術」、「福島長期環境動態研究」、「除染・減容技術の高度化」の3つの課題について、中間評価を実施した。また、国内外他機関との連携の妥当性などさらに4項目についても意見をまとめた。

3つの課題の全てについて、全体的に学術的・社会的観点から、多くの重要な成果が生まれているものと評価できる。特に、外部資金の積極的獲得による研究内容の充実、論文等を通じた学術成果の積極的発信などが実施され、多数の受賞を受けるなど学術的価値の高い成果が生まれている。またそれらの成果の多くは、行政の意思決定などにも有効に活かされるとともに、地域自治体や市民にわかりやすく情報提供されるなど、社会的にも大きな成果をあげている。これら一連の成果は、総合的に高く評価できる。今後は、これらの成果を単なる研究に終わらせることなく着実な応用へとつなげるとともに、よりわかりやすく有用な情報発信を継続・発展させていきたい。また、国内外他機関との積極的な連携、若手人材育成への精力的な取り組みなども評価できるものである。

以上のことにより評価委員会は、表 2-1 に示された評価基準に照らして、「東京電力福島第一原子力発電所事故の対処に係る研究開発のうち、環境回復に係る研究開発」の進捗の妥当性、研究成果及びアウトカムの実績等を総合的に評価した結果、「A」の評価であると判断した。

## 添付資料

### 中間評価シート

- 表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発
- 表-2 委員会評価・意見：環境モニタリング・マッピング技術開発
- 表-3 自己評価：福島長期環境動態研究
- 表-4 委員会評価・意見：福島長期環境動態研究
- 表-5 自己評価：除染・減容技術の高度化
- 表-6 委員会評価・意見：除染・減容技術の高度化
- 表-7 自己評価：全体に係る事項
- 表-8 委員会評価：全体に係る事項
- 表-9 委員会総合評価

This is a blank page.

表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発（1/6）

| 自己評価 【S】                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(1) 研究開発の進捗状況の妥当性（情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直し（継続、変更、中止等）も含む）</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>① 福島県内空間線量率速報システムは、平成 26 年までにシステムの構築を実施し、同システムにより公開する情報として、平成 27 年より航空機（有人ヘリ）及び車両等による陸域モニタリングデータ等の情報発信を開始した。情報発信するデータについては、それぞれの手法による大規模なモニタリングデータを取得するとともに、手法の高度化に取り組んだ。特に航空機モニタリングについては、地形の起伏及び自然核種由来の <math>\gamma</math> 線の影響を考慮した新解析手法の開発に取り組み、それぞれ平成 29 年及び平成 30 年に課題を解決した。また、平成 30 年に、同システムの情報の迅速性及び信頼性に着目した国（内閣府）により、復興拠点解除に向けたモニタリング及び被ばく評価の支援を要請された。このように当初計画には想定されていなかった課題と、外部からの要請に対し、適切に対応が図られていると判断できる。</p>                                                                                                                                  |
| <p>② 無人ヘリコプターによる放射線モニタリング技術は、平成 26 年までに地上の空間線量率を測定する基本的な技術を構築し、民間企業に技術移転するとともにその技術の特許申請を行った。その技術の確かさが認められた結果、平成 29 年の十万山における火災への対応、平成 30 年の内閣府復興拠点モニタリングへの対応、平成 29 年の仮置き場モニタリングへの適用について、外部から要請があり、それらの要請に対しては所要の成果を達成した。また同技術の高度化として、大幅な精度向上が期待される逆問題解析へ取り組み、平成 32 年度の技術移転に向けて、民間企業と契約交渉を行っている。さらに、平成 28・29 年に牧草地を対象とした深さ方向の放射性 Cs 分布を推定する深度分布手法開発を行なった。加えて、森林内でのモニタリングについては、無人機を用いた上空からの評価手法と森林内の実測の 2 つのアプローチから手法が確立しつつあり、発展的な研究に取り組んでいる。また河川敷における環境動態研究との協同調査により、放射性 Cs 動態の解明に寄与している。このように、当初計画には想定されていなかった外部からの要請と、技術の高度化に取り組んでおり、適切に対応が図られていると判断できる。</p> |
| <p>③ 水底モニタリング技術の開発は、農業用ため池底の分布測定については、平成 25 年に水土里ネットに技術移転し、以降は現場適用を促進するための技術的バックアップを継続している。具体的なバックアップとしては、基本的な技術提供だけでなく、水土里ネットが福島県から受託した実証事業を実施する上で課題となったインベントリーの評価手法や除染範囲決定のための解析方法を提供した。技術の高度化として、平成 28 年から深度方向の放射性 Cs 分布を推定する手法の開発に着手し、平成 30 年に開発に至った。また、海洋におけるモニタリング技術の開発は、平成 27 年に無人観測船による簡便な水底の放射線分布測定技術を開発し、以降は現場における適用事例の蓄積を図っている。本モニタリング技術をベースとし、福島県の助成事業として、実用技術としての利用促進に取り組んでいる。さらに、本知見は次世代の無人海洋調査船の開発に発展し、平成 30 年に現場での実証試験を開始している。このように、着実な進捗が図られている。</p>                                                                                         |

表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発（2/6）

④ JAXA との共同研究で実施してきた無人航空機を用いた広域の放射線モニタリング技術の開発は、放射線測定システムのハード開発は平成 27 年度までに終了し、以降は安全性の向上などの適用研究を進めている。適用研究中に経験したいくつかの事故経験から改善項目を抽出し、改善されたハード及びソフト的な知見は現機に反映されている。具体的には、平成 28 年度に発生したパイロットの速度誤認識による墜落事故の対策として機体に速度表示機能を付加したことや、平成 29 年に発生した主翼の製造上の不備による破損事故については再度設計を見直し信頼性の向上を実現している。一方、本技術をベースに、平成 28 年から原子力防災への展開を見据えたブルーム測定技術開発等の技術の基礎研究に取り組んでおり、平成 30 年には地上沈着と弁別しブルームを正確に測定できる検出器の開発や、大気拡散シミュレーションを元に最適なフライトプランを導出するソフトウェアの開発を完了する見込みである。本技術は、平成 31 年以降、民間移転や防災技術としての収斂を目指す。このように、着実な進捗が図られている。

⑤ 高線量下の地表におけるガンマ線可視化技術の実証は、除染前後の分布測定用に開発したプラスチックシンチレーション検出器の技術をベースに、原子力発電所内の排水溝におけるモニタリング機器として応用し、平成 28 年までに水中の  $\beta\gamma$  放出核種を測定可能とするモニターの開発を行なった。その結果、平成 29 年から東京電力により、排水路中のモニターとして運用されている。現在も継続的に運用のための技術改善支援を行っている。さらに、現場側のニーズを元に平成 27 年から  $\beta\gamma$  弁別の技術開発に取り組み、室内試験を経て、平成 30 年から現場試験を実施するなど、平成 31 年からの運用に向けた取り組みが進んでいる。このように、着実な進捗が図られている。

## (2) 研究成果・アウトカムの暫定的確認

### [1] 実効的かつ総合的な環境モニタリング

原子力発電所事故の発生初期の平成 23 年から、規制庁からの受託事業として実施している放射性物質の分布データの集約は、有人ヘリ、無人ヘリ、歩行、及び走行（車両）を利用したモニタリングからなり、多岐にわたる安全管理への取り組みが必要となるが、これまで無事故で調査を実施してきたことは、適正な運営を継続してきた結果である。また、上記のとおり、モニタリングの範囲や解像度等が異なる複数のモニタリングの結果を、それぞれのメリット、デメリットを踏まえた上で、規制庁をはじめとする関係機関に対して、適切な情報発信を行なってきた。その結果、避難区域の解除や除染範囲の決定などの国や自治体の施策の唯一無二の重要な情報として活用されてきた。これらの政策への反映状況は内閣府原子力被災者生活支援チームから公開されている避難指示区域の見直し資料（例えば [http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131009/131009\\_02a.pdf](http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/131009/131009_02a.pdf)）に航空機モニタリングのマップが記載されていることから明らかである。これらの成果については、平成 30 年に日本原子力学会より貢献賞を受賞したほか、国際的にも注目され、国際誌の要請により 3 回の特集号が発行される等、学界レベルにおいても特に顕著な成果を創出してきたと判断できる。以上の成果は、事故発生後から今日に至る 7 年にわたって、モニタリングに参加してきた調査員や関係機関のモチベーションを維持しつつ、成果の最大化に向けた絶え間ない検証を継続してきた結果であり、我々にしかなしえない成果の創出と考える。

表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発 (3/6)

## [2]継続的なモニタリングと評価・解析手法の高度化

規制庁からの受託事業として実施している陸域のモニタリング（定点、歩行、走行（車両）サーベイ、In-situ Ge 測定、スクレーパープレートによる土壌採取）では、引き続き対象域内のモニタリングの実施と、発注元の規制庁への適切な結果報告を着実（毎年、期限内に）に実施した。スクレーパープレートによる土壌採取で取得したデータの解析により、放射性 Cs が時間の経過とともに徐々に地中に浸透していることを明らかにした（Matsuda et al., 2015）。この結果は、航空機によるモニタリングの結果を評価する上でも、極めて重要な成果である。また、車両サーベイの結果を用いて、今後 20 年以上の長期にわたる空間線量率分布の予測モデルを開発し、福島復興の計画策定に必要な中長期的な情報を提供した（Kinase et al., 2017）。当該予測モデルの論文は、2017 年に原子力学会の論文賞を受賞した。さらに、In-situ Ge 測定については、測定結果の相互比較手法（Mikami et al., 2014）が、品質の担保された適切な手法と判断され、規制庁が定める測定手法の標準化へ反映された。上記のとおり、事業を継続する過程で取得したデータの考察が適切に進展していることに加え、適用した調査手法の一部が国の標準的な測定手法に認められるなど、優れた成果が得られていると判断できる。

## [3]統計学的な統合マップ化手法の開発

放射線計測や解析技術に関する世界トップレベルの技術を有するローレンスバークレー国立研究所と、統計学的手法を応用した異なった手法による測定結果を統合する技術を開発した。この統合マップ化手法は、航空機モニタリングや、走行（車両）サーベイ等のそれぞれのメリットを活かした、統合的な放射性 Cs の分布や将来予測解析に必要なツールとして、特に複数のモニタリング手法を実施している機構にとって、重要な手法であり、その成果は原子力規制庁により被ばく評価の標準的なベースデータとしての採用が検討されている。

## [4]測定手法の標準化と予測モデルの開発

規制庁からの受託事業として実施している陸域のモニタリング（定点、歩行、走行（車両）サーベイ、In-situ Ge 測定、スクレーパープレートによる土壌採取）では、引き続き対象域内のモニタリングの実施と、発注元の規制庁への適切な結果報告を着実（毎年、期限内に）に実施した。スクレーパープレートによる土壌採取で取得したデータの解析により、放射性 Cs が時間の経過とともに徐々に地中に浸透していることを明らかにした（Matsuda et al., 2015）。この結果は、航空機によるモニタリングの結果を評価する上でも、極めて重要な成果である。また、車両サーベイの結果を用いて、今後 20 年以上の長期にわたる空間線量率分布の予測モデルを開発し、福島復興の計画策定に必要な中長期的な情報を提供した（Kinase et al., 2017）。当該予測モデルの論文は、2017 年に原子力学会の論文賞を受賞した。さらに、In-situ Ge 測定については、測定結果の相互比較手法（Mikami et al., 2014）が、品質の担保された適切な手法と判断され、原子力規制庁が定める測定手法の標準化へ反映された。上記のとおり、事業を継続する過程で取得したデータの考察が適切に進展していることに加え、適用した調査手法の一部が国の標準的な測定手法に認められるなど、優れた成果が得られていると判断できる。

表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発（4/6）

## [5]農業用ため池底の直接測定手法の開発

PSF を利用した、ため池水底の放射性 Cs のモニタリングは、面的な放射性 Cs 分布を効率的に把握することができる手法として、平成 26 年に福島県の実証事業の助成対象となったほか、農林水産省の対策マニュアルに採用されるなど、技術開発の成果は確実に実用化段階に移行している（眞田ほか, 2016）。また、ため池水底の底質表面のスペクトル測定から得られる散乱  $\gamma$  線/直接  $\gamma$  線計数率比に着目した、水底の放射性 Cs の深さ分布を評価する手法を開発した（Ochi et al., 2018）。この手法を用いることにより、迅速かつ簡便に放射性 Cs の深さ分布を把握するが可能となるため、福島県が進めるため池除染等の事前評価への反映等、実用化に向けた取り組みに進むことが期待される。上記のとおり、事業を継続する過程で取得したデータの考察が適切に進展しているが、成果数としては 1 つにとどまり、かつ成果の実用化等への展開を注視すべきであると判断される。

## [6]オンサイトにおける汚染水管理技術開発

福島第一原子力発電所構内における汚染水管理への PSF の適合性を確認した。その結果を踏まえ、排水溝（5 か所）におけるモニタリング機器として配備された。また、汚染水に含まれる  $\beta$  線源核種の分布を把握することを目的として、 $\beta$  線を遮へいするコンジット管を利用し、 $\beta\gamma$  弁別型の検出器の開発を実施中である。これまでの室内試験では、適切な弁別が確認されており、実用化に向けた取り組みに進むことが期待される。

## [7]復興拠点モニタリング方法の検討

「①福島県内空間線量率速報システムの構築」及び「②無人ヘリコプターによる放射線モニタリング技術の高度化」における機構の取り組みを通じて、国や自治体等から勝ち取った信頼等により、国（内閣府）より、3 町（富岡町、大熊町及び双葉町）の避難区域内の JR 駅周辺地区におけるモニタリングへの協力を要請され、平成 30 年 8 月から現地での調査を開始している。同調査では、無人ヘリによる対象領域の線量率分布と、モデル行動パターン毎の内部及び外部被ばくの試算を行い、帰還困難区域の解除に向けた特定復興再生拠点におけるスポット的な解除に向け、安全・安心対策の検討に必要となる科学技術的な知見を提供することが期待されている。さらに、無人ヘリの解析技術の高度化として取り組んでいる ML-EM 手法を適用し、線量分布の精度向上を確認したほか、被ばく評価における確率論的手法と決定論的手法の有効性の検討を行うなど、モニタリング及び解析技術の高度化への取り組みもあわせて実施しており、技術レベルの一層の向上に寄与することが期待される。

## [8] 路線バスを利用した放射線測定システム

公共バスに搭載した自動車用放射線測定機器（KURAMA）により測定した空間線量率を自動的に公開するシステムを構築した。また分かりやすい情報発信の一環として、任意の地点の線量率のトレンドが確認できる機能等の改良を重ねており、引き続き、一般住民等に向けた安心感を与えるための情報発信としての活用が期待される。

表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発（5/6）

## [9]無人飛行機システム（UARMS）の開発

無人航空機を用いた広域の放射線モニタリング技術の開発は、平成 27 年度までにシステム構築を終了し、実用的な放射線モニタリングを可能とすることが出来た。当該システムの論文は計測制御学会賞を受賞した。さらに、国から原子力防災への適用研究としてのブルーム計測技術開発事業を受託する等、今後の普及が期待される。

## [10]放射性 Cs の沈着過程の推定

放射性 Cs の沈着量が山地の中腹で高く、降雨による湿性沈着だけでは説明できない事象が確認され、航空機モニタリングの結果と WSPEEDI のシミュレーションを用いた解析により、事故時の沈着メカニズムについて考察した。その結果、放射性エアロゾルは、山地の中腹など特定の高度で霧や雲に取り込まれて落下していたことを明らかにした。この結果は放射性 Cs の動態理解にとって重要であるとともに、PM2.5 をはじめとする大気汚染物質の挙動解明にも発展する成果である。さらには、航空機モニタリングと WSPEEDI の組み合わせが、事故初期の現象の解明に極めて有効であることを示し、今後の原子力防災への取り組みに影響を与える重要な知見であると考えている。

## [11]森林内線量分布測定手法の開発

樹高、樹幹の位置、樹木密度等による線量分布の相違を把握するため、森林内におけるドローンによる線量率の計測を実施している。その結果、樹高と線量率の減衰の相関が得られるとともに、それらの相関をシミュレーションで概ね再現できることから、森林内における線量分布を推定できる可能性が得られた。また、植生の相違の評価では、夏期と終期の落葉の有無に着目した計測を実施しているところである。

## [12]牧草地におけるモニタリング手法確立

除染直後に土壌の天地返しを行った牧草地では、表層より深い場所に放射性 Cs が存在し、その結果、牧草の根を通じて放射性 Cs が家畜等に移行することが懸念された。そこで、機構が有する無人ヘリモニタリング技術による牧草地を対象とした放射性 Cs 分布状況の把握と、家畜改良センターと北里大学が有する家畜の病理学的な調査等のノウハウ、及び東京大学が有する土壌粒子における放射性 Cs 吸着特性の知見等、それぞれの技術的メリットを考慮した共同研究を実施した。本成果をもとに、無人ヘリによるデータのスペクトル解析の結果、牧草地における放射性 Cs の深さ方向の分布を推定する手法を開発した。

表-1 自己評価：環境モニタリング・マッピング技術開発（6/6）

---

**[13] 韓国との連携**

韓国原子力安全技術院（KINS）とは、平成 25 年度から、福島河川敷を対象とした合同無人ヘリモニタリング等を通して、韓国原子力研究所（KAERI）とは、平成 30 年度から、福島における In-situ Ge 測定等のクロスチェック等を通して、両機関の解析手法の妥当性等について、双方向の技術交流を行ってきた。この取り組みは、個別のモニタリング手法の技術レベルの向上に寄与するだけでなく、隣国との原子力防災への共通認識を形成するために、極めて重要な取り組みと考える。さらには、韓国における福島県産農林水産物の風評に関する正確な認識の形成にも資することが期待される。

---

**[14] 航空機モニタリングに関する関係各国との情報交換**

航空機を利用したモニタリングは世界各国で行なわれていることから、出来るだけ幅広い情報収集を行なう必要がある。そこで、航空機モニタリングに関する情報を効率的に入手するための取り組みとして、**International AMS meeting** への参加や、ラトビア等における現地情報収集活動等を実施している。当該取り組みにより、航空機モニタリングの最新の知見の把握はもちろんのこと、福島県における線量分布の現状などの正確な発信への寄与が期待される。

---

**[15] 福島県環境創造センターとの共同研究**

仮置場跡地の効率的なフォローアップモニタリング手法の構築の一環として、福島県環境創造センターと共同で、PSF、In-situ Ge、無人ヘリによるモニタリング、試料採取・分析、及び計測結果の比較評価を行った。今年度も数箇所を対象とした適用試験を実施する予定である。

---

表-2 委員会評価・意見：環境モニタリング・マッピング技術開発（1/4）

S 評価：6 名、A 評価：4 名

## S 評価委員からの意見

- 項目と一致した研究課題が適切に遂行されている。当初予定内容に加えて、外部資金による新たな研究テーマが増えても、柔軟な対応がなされ、成果を挙げている。
- 当初計画の課題を進めつつ、外部資金を獲得して、さらにテーマの内容が拡大されている。
- 実証場の環境に合わせて、開発技術移転が進められている。
- 空間線量に関するデータを種々の方法で成果を挙げ、多数の論文等の公表だけでなく、学会賞受賞はその内容が優れていることを示している。アウトカムとして「成果の最大化」に向けた取り組みが自治体だけでなく住民への理解に大きな役割を果たし、特に顕著な成果を創出しており、高く評価できる。
- 成果を着実にまとめ、学術論文として発表し、学会賞受賞という専門性で高い評価を得ている。一方で行政的な意思決定の資料に貢献しており、成果の最大化から特に顕著な成果の創出されたことを高く評価できる。
- 社会のニーズにこたえる成果が得られただけでなく、汎用性の広い成果が得られている。さらに原子力規制庁のマニュアルやデータベースに採用されるものもあり、顕著な成果が創出されている。
- 期待されている成果が得られ、その成果は内閣府や規制庁の依頼に活用されている。これは特に顕著な成果の創出に伴うものであり、高く評価できる。
- 無人飛行機システムの開発から原子力防災への適用研究などに発展しており、さらにモデルとの比較にまで成果が得られている。成果の最大化に向けた結果であり、特に顕著な成果の創出がなされている。
- 国内のみならず国外との連携も進んでおり、様々なケースを想定した国際的な取り組みは評価できるものである。
- 被ばく評価に向けて 3 次元分布計測技術は重要なもので、これまでに得られた技術をベースに、国際共同研究を進めることができることは高く評価されるものである。将来の成果の創出が期待できるものである。
- 事故当初からのニーズに沿った研究開発課題の設定が行われ、成果も着実あるいは期待以上のものが得られている。当初予定のない時々の要請にも的確に応えている。ニーズ把握を戦略的に行い、先行的に研究開発を進め、アウトカムに円滑につなげていくことが望まれる。
- 多くの研究成果とアウトカムを生み出した貢献度を高く評価する。トップランナーの技術が、ニーズとつながり好循環を生み出している。
- 線量の状況を的確に把握し伝えることが、除染、環境回復、復興の道筋にとって大変重要であり、その技術基盤を支える機関としての役割を十二分に果たしてきたと考える。なお、技術開発が収束する時期になり、せっかくの成果をどう市民生活に伝え、活かすのか、活かしているのか、アウトプットとアウトカムが重要。より迅速に成果を活かす場合、最初に市町村や農林漁業者団体など対象集団から課題を受け止め、共に研究するような形はとれないか？ 実装のための応用研究をどう進めるか、今後の重要なステップと考える。

表-2 委員会評価・意見：環境モニタリング・マッピング技術開発（2/4）

S 評価：6 名、A 評価：4 名

## S 評価委員からの意見（続き）

- 農業や林業の再開のための線量評価や、復興拠点のモニタリングは帰還を考える人には重要ながら、このような研究をしていることをまだまだ多くの市民は知らない。研究していることそのものを知っていただくことが必要。まず研究をしているという研究者たちの苦勞を伝え、共感を得て、避難している方の安心感、帰還された方の安心感を一層醸成していただきたい。
- 住民の方々にとっては、農業の再開、林業、漁業の再開は重要な関心事となっており、今後の研究をこの方向に集約しているのは賛同する。
- 農地や溜池の詳細調査だけでなく、森林内線量評価が可能になりつつあるのは林業再開への貢献として重要である。林業者との情報交換など研究過程での連携を充分とっていただきたい。なお、多様な状況の土地での実験の場合など、暮らしや将来の地域の発展・復興の方向性をつないで検討していただきたい。あるいは環境動態研究と連携した取り組みが必要と考える。
- 多くのテーマについて、着実な進捗が見られ評価できる。また、復興拠点モニタリング方法の検討など、突発的な課題にも取り組んで成果を出しており、高く評価できる。
- 今後の計画として、基本的な技術開発は一定の成果を得たことから応用に軸足を移していくとのことであつたが、基礎研究から応用研究（技術移転や製品化等を含む）への移行には、まだ多くの解決すべき課題があると思われるので、予算的・人的手当も含め、着実に取り組まれることを期待したい。せっかくの多くの素晴らしい成果を埋もれさせないために。
- 75 本の学術論文や複数の論文賞受賞など学術的評価の高いアウトプットがみられること、複数の成果が国や自治体等の意思決定、各種マニュアル等に取り入れられるなど、アウトプット・アウトカムもにとってもよい成果を出していると評価できる。
- 目的・目標を上回る進捗があると判断できる。特に、外部の要請を受けた際に対応できる能力を有しながら研究開発が進む状況は大変に好ましいと思う。
- 成果が各受賞につながるなど、既に高く評価されている取り組みである。環境モニタリング分野において機構のこの質の高い取り組みなくしては復興計画もままならなかったと考えられることから、最高評価で臨むのが適当である。
- 環境モニタリングに関連する技術開発は、「環境回復に係る研究開発」の基礎をなすもので重要である。実効的かつ総合的な環境モニタリングに関する研究成果は大いに評価できる。森林域、住宅地域、ため池やダム湖、河川を含む水域におけるモニタリング手法の標準化とともに、除染に伴う空間線量率や暴露評価モデルの構築されてきた。そうした手法やモデルの検証結果を示してほしい。住民とのコミュニケーションツールとして、身近に、迅速に、かつ住民も参加して被ばく線量分布を理解できる技術開発を目指してほしい。
- 無人ヘリコプター、無人航空機を用いた技術やガンマ線可視化技術の開発や水底モニタリング技術などは高く評価される。
- 自治体の要請に即座に対応できた点や、国際的な研究機関との連携も評価できる。

表-2 委員会評価・意見：環境モニタリング・マッピング技術開発（3/4）

S 評価：6 名、A 評価：4 名

## A 評価委員からの意見

- 計画に対して研究成果が着実にあがっており、研究開発の進捗は妥当である。
- 環境モニタリングの成果の利用者に関して、利用者の地域、立場、目的など進めた分析を行うことにより、環境モニタリングの成果がどのような影響を与えたかを知ることができる。大規模な調査を行うことは困難であるため、まずは簡易に確認できる枠組みを進めていかれることを期待する。
- 豊富で高度な研究成果に基づく環境モニタリング情報であると感じるが、そのような研究成果に基づく成果であることを適切に伝えていかれることを期待する。
- このような成果を復興に向けた取り組みに適用されると述べられたが、国や他の研究者との意見交換に基づく取り組みに加え、当該自治体の方からの意見に基づく取り組みを創出する場や枠組みを行われることを期待する。
- いずれの技術開発も着実に進捗しているとともに、外部からの要請に応えた計画の追加修正を適切に行っている。
- 特定復興再生拠点区域の整備に向けた検討への知見の提供など、行政施策への大きな貢献が図られており、優れた成果が得られている。
- 開発された技術の今後の応用に向け、引き続き行政等のニーズの掘り起こしを行ってほしい。
- 全体的な成果やアウトプットは明確である。データの公表などについては進めているのか、明示されるとよい。
- 溜め池の底泥の濃度測定については、技術開発が進められている。これらの技術がオンサイトでの技術にも活用されている点は、技術の発展性が明確であり、たいへんよい。
- 統合化マップ化技術は有効であると思われるが、どこまでシステムとして使いやすいものが出来るのかは重要である。
- 路線バスについての活用はユニークであるが、どこまで、利用者がこれを活用している、もしくは必要と感じているのかのニーズが不明。
- 無人機を事故直後の活用も考えているようであるが、オペレーターの養成などについては、どのように考えているのか？エアロゾルと汚染物質の関連については学際研究としての寄与としては、たいへん大きな評価に値する。
- 森林環境下における森林外や森林内における新たな計測がみられる。森林の分野への応用としては、どのようなものを考えられるか？
- 韓国や米国との共同研究が活発に実施されており、日本の技術やデータが蓄積されてきた成果、研究力が向上した結果と評価される。
- 基幹技術の民間への移転が始まり、広く利用されている。また、行政に対しては広く認知され、成果が上がっている。
- 研究と実用化がうまくつながり、着実に成果をあげているといえる。マッピングで重要なのは精度であるが、着実に精度が上がっていると考えられる。

表-2 委員会評価・意見：環境モニタリング・マッピング技術開発（4/4）

S 評価：6 名、A 評価：4 名

## A 評価委員からの意見（続き）

- 行政の施策に広く応用されていることは、高く評価できる。それが住民の安全安心に寄与したのかも調べてほしい。行政を通じての発信より、研究者・研究機関からの直接の発信は重要だと考える。
- 研究発表がプレス発表されているのはとても良い。わかりやすく伝える努力の現われであるので、継続してほしい。
- 原子力問題に関しては国際連携が不可欠であり、どんどん進めてほしい。特に韓国との連携は、風評対策としても重要。韓国の研究者を通じて、実証的・科学的なデータに基づく発信になる。政治レベルでは緊張関係にあるが、研究者レベルでは、それに左右されず積極的に行ってほしい。
- データが蓄積されてきたことで研究が広がってきていることはよくわかる。どのくらいの研究者と共同で行っているのか、数字がわかれば提示してほしい。

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（1/7）

| 自己評価 【A】                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 研究開発の進捗状況の妥当性（情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直し（継続、変更、中止等）も含む）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 【移動挙動調査】                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ① 森林域から河川およびダム湖を包含する放射性 Cs 流出量の調査観測手法を計画通り平成 27 年度までに構築し、流域からの流出量は年 1%以下であることを明らかにするとともに、森林除染地での観測を平成 28 年度より開始した。得られた流域の地形特徴や土地利用状況、放射性 Cs のインベントリ及び放射性 Cs 濃度の経年変化の特徴等に基づき、調査流域を約 60%程度に合理化した。平成 31 年度以降、農林水産物における利用可能性の高い溶存態放射性 Cs の移行挙動に重点をおいて調査研究を進めていく予定。                                                                                                                                                                                                                                      |
| ② 平成 27 年度までの調査研究成果により、放射性 Cs が森林域に留まる傾向を示す結果が得られたことから、農林産物（樹木、樹木根、山菜、きのこ）の放射性 Cs 移行挙動に係る調査研究を計画を前倒して平成 27 年度より開始し、樹木等の林産物の放射性 Cs 濃度変化と移行経路に関する調査結果を得た。平成 31 年度以降、陸域における放射性 Cs 分布と農林産物の濃度分布との関連性に関する調査研究に重点をおいて進める。                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ③ 核種の挙動理解を支える調査研究として、初期の核種沈着挙動を調べるために、環境中の放射性 Cs の化学形態の特性評価手法を計画通り平成 28 年度までに確立させ、評価を進めた。また、環境中での核種挙動メカニズムを調べるために、放射性 Cs 吸着固相の元素構成や鉱物構成を分析する手法を計画通り平成 28 年度までに確立し、分析を進めた。これらの手法を用いて、引き続き評価を進める。さらに、自治体や漁協の要請を受け、当初計画に追加して、有機結合型トリチウム（OBT）や Sr-90 分析手法の簡素化と迅速化に取り組み、平成 30 年度までに手法を確立した。平成 31 年度以降、海産物を中心に分析事例を蓄積していく。ゲルマニウム（Ge）半導体検出器を用いた放射能濃度定量については、動態研究や外部機関からの依頼分析の様々な性状（土壌、液体、植物、ダスト等）や形状に対応できる分析環境を整備するとともに、ISO/IEC17025 国際標準規格に基づく品質管理体系を平成 27 年度に整備し、客観的評価体制を維持している。引き続き本体制を維持しつつ、依頼分析に対応する。 |
| ④ 帰還困難区域内で平成 29 年春に発生した林野火災に対しては、福島県、浪江町及び原子力規制庁の要請を受け、環境影響調査を福島県環境創造センター3 機関が分担協力して実施した。機構においては、本件のような突発的な事象に対しても、当初計画に追加して、各調査研究の成果を結集して取り組み、平成 29 年度内に調査結果の中間報告を取りまとめた。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| ⑤ 平成 27-29 年度の文部科学省公募事業研究「発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究」の外部資金を獲得し、オフサイトの環境動態研究で培われた手法・成果を、積極的にオンサイトの調査研究に適用した。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（2/7）

## 【個別モデル・データベース】

- ① 土壌流亡解析、河川水系解析及び被ばく評価モデルについて、計画通り平成 28 年度までに、各モデルの詳細開発を進め、計算時間の大幅短縮や現地調査の結果を取り込みが可能な解析モデル群（SACT、GETFLOWS、ADRET、3D-ADRES）及び必要となるパラメータ整備を実施した。
- ② 放射性 Cs 移動や空間線量率評価に係る個別モデルに加えて、計画を前倒しし、森林及び水域生態系の放射性 Cs 移行解析に係るモデル開発を実施した。
- ③ 平成 28 年度までに開発した解析モデルの妥当性確認について、平成 29 年度以降にかけて、実測値との比較に基づき進めるとともに、包括的評価システムへの導入を進めている。今後、農林水産物における利用可能性の高い溶存態 Cs の移行挙動予測をモデル改良の重点課題として進め、平成 33 年度までに包括的評価システムに解析モデルを組み込む予定。

## 【包括的評価システム開発】

平成 28 年度までに環境動態研究調査で取得されたデータを「環境モニタリング DB」に組入れ、平成 29 年度に調査研究で得られた知見を科学的根拠に基づく「根拠情報 Q&A サイト」として整備した。加えて、平成 30 年度 9 月に個別モデルによるケーススタディ事例からなる「解析事例ベース」を整備し、合わせて個別モデル自体を自治体等限定的な利用者に公開する枠組みを整備した。さらに、これら「環境モニタリング DB」、「根拠情報 Q&A サイト」、「解析事例ベース」からなる評価システム全体のトップページに関連サイトやリンク集等を設け、システムの公開用プロトタイプを完成させた。今後は取得データを適宜システムに更新し、森林内循環や溶存態 Cs 発生メカニズムに係る未解明の研究成果を取り入れるとともに、システムの利用性改善等を実施し、システムを完成させる。

## (2) 研究成果・アウトカムの暫定的確認（概要）（以下、放射性 Cs を Cs と記載）

以下の 1) から 8) の調査研究成果は、自治体に報告し自治体での活用を通じて住民の不安軽減や自治体の施策への反映が期待されるとともに、住民の被ばく評価、放射線防護に資する事が期待される。また将来予測の結果は、今後の農林水産業の施策立案に反映されることが期待できる。

## 1) 森林動態

- 未除染の森林において林外への Cs 流出率は沈着量の 1%未満であり、森林では放射性 Cs が留まる傾向を明らかにした（Niizato et al., 2016; 渡邊ほか, 2017）。この成果により、森林内での放射性 Cs 分布と林産物への移行予測に係る調査観測が重要であることを明確にした。
- 除染地を対象とした観測では、未除染地と比較して、放射性 Cs 流出量は約 3.5 倍程度であったが、1%に満たない流出率である成果を得た。さらに除染直後に 30%であった被覆率が 60%程度に回復したことにより流出量が 1/3 にまで減少し、除染による流出量の増加は 1 年程度で終息すること、除染後 2 年目には植生の回復により未除染地と同程度の流出量となる結果が得られ、結果を自治体に報告し自治

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（3/7）

体主催の住民説明会等の基礎資料として活用して頂いた（川俣町山木屋小中学校の平成 30 年度再開に係る自治体説明会）。

- 森林総合研究所と連携し、森林総合研究所が林野庁から委託を受けて実施している森林内の放射性物質の分布状況調査の試験地を対象として、放射線監視技術開発グループと協働し、林外の線量率測定データを林内の空間線量率へ変換するためのパラメータ取得に係る調査研究を実施した。平成 30 年度からは、得られたパラメータ値の妥当性確認に係る調査研究を森林総合研究所と協働して進めるとともに、森林内の放射性 Cs 分布から林内の空間線量率を評価するための評価ツールを開発し（佐久間ほか, 2018）、森林総合研究所による評価ツールとの比較検証を進めている。

## 2) 河川水系動態

- 河川源流域では、リターや土壌から溶存態 Cs が湧水中に溶出し、河川水中の溶存態の起源となっている可能性を明らかにした。
- ダム湖水や堆積物中の Cs 及び各種イオン濃度分布等多元的なデータに基づき、季節ごとの Cs 挙動を明らかにした。その結果、ダム堆積物からの溶存態 Cs 溶出の影響が限定的であることを明確にした。
- 河川敷における放射性 Cs 濃度と空間線量率の分布と時間変化の要因を明らかにした（Saegusa et al., 2016）。また、事故から数年経過した現時点での河川水に含まれる放射性 Cs 濃度の時間変化を明らかにするとともに将来の濃度レベルを予測した（Nakanishi and Sakuma, 2019）。河川敷の放射性 Cs 濃度・空間線量率のモニタリング結果は浪江町の「避難指示解除に関する有識者検証委員会報告書」策定に貢献した。
- 河口沿岸域の海底土中の放射性 Cs 濃度は、全般的に陸域と比較して 2～3 オーダー程度低く、また放射性 Cs 濃度が比較的高い領域は、特異な海底地形を有した領域であり、同様の特徴的な領域が海底面全体の約 0.2%の面積しか有しないことを示した（Tsuruta et al., 2017）。

## 3) 生活圏動態

- 市街地における線量率を観測し、除染後であっても物理減衰や他の土地利用より速やかに減少すること、市街地固有の要素（舗装面や屋根）において、線量率や放射性 Cs 存在量の減少が早いことを示した（Yoshimura et al., 2017; 吉村, 2018; 中間ほか, 2018）。
- 放射性 Cs の土壌への可逆的・不可逆的な収脱着を考慮して深度方向への移行挙動をモデル化し、平坦地における深度方向の放射性 Cs 分布を説明できることを明らかにした（Kurikami et al., 2017）。また、市街地での放射性 Cs 分布情報をもとに、市街地の構成要素による遮蔽／減衰効果を考慮して、空間線量率分布を再現する手法を整備した（Kim et al., 2018）。

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（4/7）

## 4) 生態系への移行

- 広島大学と連携し、樹木内での放射性 Cs 移行挙動を調査。また、放射性 Cs の移行において内部の溶存成分（樹液）に溶存態 Cs が含まれていることを明らかにし、山菜等の可食部の植物への移行のメカニズムを考える上で樹液が重要な移行媒体となることを示した。さらに、樹木からの放射性 Cs 除去プロセスとして、窒素やリン、カリウムといった元素と同様に樹幹流による除去プロセスが作用していることを明らかにした（Sasaki et al., 2016）。
- 帰還困難区域を含む地域において山菜、きのこ等の林産物における Cs の移行率および経年データを取得した。また、森林の林床に降下した落葉から溶存態 Cs が溶出することが明らかになり、生物に取り込まれやすい溶存態 Cs の起源の一つとして落葉の重要性を示した。
- 東京大学と連携し、大気浮遊塵を介した農作物（コマツナ）の二次汚染の評価を実施した。洗浄により Cs-137 濃度が低下したことから、コマツナ外部に Cs-137 の一部が付着したと考えられた（Nihei et al., 2018）。
- 弘前大学と連携し、淡水魚への放射性 Cs の濃縮プロセスの解明に向け、河川水、河川堆積物、小動物等河川構成要素中の Cs 挙動を評価した。養殖池のヤマメについては、餌を摂取できない小さな個体が、池底に付着する藻類や水生生物を摂取することで Cs-137 濃度が高くなる可能性が示唆された。
- 大気浮遊じん吸入による被ばくの評価の研究ではヘルムホルツ研究所との共同研究により、大気浮遊じんを対象に世界的な標準法である ICRP 推奨の吸入被ばく推定モデルの検証を進めている。

## 5) 挙動予測モデル開発・整備

- 1F 近傍の浜通りの 5 つの河川を対象に、水・粒子の物理的輸送と、放射性 Cs の溶出・吸脱着等化学的挙動等の個別移動現象を組み合わせで一連のプロセスとすることにより、河川水系全体での Cs の移動・堆積挙動を定量的に俯瞰できる河川水系移動挙動予測モデルを整備した。これにより、年平均的な挙動だけでなく、極端な気象条件下での移行・堆積挙動を予測し、これらの挙動における支配的な現象を抽出することを可能にした。異なる出水イベント時の流出解析を実施し、流域内のダムの有無や、土地利用割合、初期沈着時の空間分布等、流域のどのような特徴が Cs 流出に重要なのかを評価した（Sakuma et al., 2017）。これらの成果に基づいて、様々な条件下での取水口における出水時の濁度と Cs 濃度の関係を明らかにするケーススタディを実施した。
- 溶存態 Cs については、国立環境研究所と連携して、太田川上流域（南相馬市、浪江町）においてその挙動に関する調査および動態シミュレーションを実施した。国立環境研究所では、濁度や溶存態・懸濁態 Cs 濃度を取得し、原子力機構はその観測データを用いて、水、土砂、放射性 Cs 動態シミュレーションを実施した。本共同研究の成果により、溶存態 Cs 動態をモデルで概ね再現することができ、その成果を国際誌に発表した（Sakuma et al., 2018）。

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（5/7）

## 6) 成果を分かりやすく発信する取り組み

- 既に公開している「環境モニタリングデータベース」、「根拠情報 Q&A サイト」に加え、機構で実施した様々な解析的研究の成果を取りまとめた「解析事例ベース」を整備し、これら三者を取りまとめた総合的・多角的に福島環境について提示する福島環境情報サイトのプロトタイプを構築した。
- 環境モニタリングデータベースは平成 27 年の公開以来、「放射性物質の分布状況等調査」等で約 8 億レコードのデータを登録し、累計約 95 万アクセス、2TB のダウンロードを記録している。
- 根拠情報 Q&A サイトは、平成 30 年 3 月末に検索機能やユーザーフレンドリーな構造への見直し等のリニューアル後、アクセス数が大幅に増加している（平成 30 年 9 月時点で約 2.8 万アクセス、月平均のアクセス数は平成 29 年 3 月～平成 30 年 4 月の約 2,500 アクセスから、平成 30 年 4 月～9 月の約 4700 アクセスに増加）。
- 解析事例ベースについては、対象利用者層を考慮し、一般向けには解析的研究の成果を Q&A などと関連付けながら提示することとする一方、自治体等に対しては解析ツールを扱うことができる環境を構築し、平成 30 年度末の公開を予定している。当該サイトでは帰還困難区域における将来の空間線量率の推定や広域的な放射性 Cs 濃度の推定、また取水口での濁度と放射性 Cs 濃度の関係等についても提示する予定である。これらにより、農業用水の取水管理等、自治体の施策への活用が期待できる。

## 7) 初期沈着挙動評価

- 地衣類を用いて初期 Cs 沈着量や、沈着した放射性核種の化学種を評価する手法を整備し、山域における放射性 Cs 分布やその後の動態に及ぼす初期放射性 Cs 沈着化学種の影響評価に適用した（Dohi et al., 2015）。
- 東京大学、筑波大学等と連携し、沈着した放射性核種の化学種のうち、不溶性 Cs 含有粒子の特性評価を実施した。その結果、1000℃以下で Cs が放出される等、粘土鉱物中の Cs と挙動が異なることを解明した（Okumura et al., 2018）。
- 山域における放射性 Cs の沈着状況を詳細に調査し、ブルームによって、特定の標高の沈着量が多いケースや、常緑針葉樹林で比較的沈着量が多いケースがあることが分かった。山域調査で明らかにした線量率分布データは、いわき市をはじめとする県内 4 自治体へ提供するとともに、林野火災の火災前における線量率情報として磐城森林管理署へ情報提供した。
- LIDAR を用いた大気浮遊物質の沈着挙動評価に向け、三次元的粒子分布評価手法開発を進め、比較的狭い領域において粒子濃度の空間分布評価が可能であることを確認した。

## 8) 核種分析手法の整備と多様な分析対応

- Ge 半導体検出器を用いた放射能濃度定量については、ISO 品質保証体制（平成 27 年 10 月に ISO/IEC17025 国際標準規格の試験所認定を取得）下で、外部機関（内閣府、原子力規制庁等）からの様々な性状・形状の試料に関する依頼分析に対応。
- 有機結合型トリチウム（OBT）の分析では、条件や装置を見直すことで従来工程を半減。新たな分析手順で、国際比較試料分析で妥当な測定結果が得られた。

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（6/7）

- 
- Sr-90 の分析では、樹脂濃縮－ICP-MS 測定法を適用し、海産物試料に最適な測定条件・システムを構築。約 1 時間の分析時間（公定法では約 1 ヶ月）で、食品の基準値（100 Bq/kg）と同程度の検出下限値を達成した。
  - 土壌中における放射性 Cs 吸着固相について、元素構成や鉱物構成を分析し、生物（地衣類）に付着している初期沈着放射性 Cs 含有粒子についても EPMA 等で分析を行い、将来予測される環境中の放射性 Cs の濃度や被ばく線量の計算に資するデータを取得している。
- 

以上の環境動態研究を通じて得られた様々な成果・手法を組み合わせ、自治体による具体的な施策や省庁における放射能汚染対策、廃炉への具体的な応用等が達成でき、具体的なアウトカムが明確な成果として、以下 3 点が挙げられる。

---

【総合的成果①河川水系における Cs 動態理解】

- ダム調査において、事故初期の上流域からの放射性 Cs 流出量、流出土砂の放射性 Cs 濃度の時間変化とその粒度依存性等、我が国の地形、土地利用、土壌等の性質を踏まえた放射性 Cs の流出特性の検討に必要な各種パラメータを定量的に提示した（Funaki et al., 2018）。
  - これらの調査結果等を踏まえて、台風等の洪水イベントの放射性 Cs 流出への影響や水門管理による放射性 Cs 流出抑制効果等について、予測解析を実施し、その妥当性を検証した（Kurikami et al., 2016 ; Yamada et al., 2015）。
  - ダム下流域への放射性 Cs 流出の影響について、無人ヘリを用いた空間線量率モニタリング、および、河川敷堆積物中の放射性 Cs 濃度分布の時間変化評価を実施し、定量的な判断材料を提供した。
  - これらの成果は、貯水池下流域の住民の帰還や営農再開へ向けた不安を払拭する上で重要な科学技術的知見と判断され、東北農政局が作成した「大楯ダムの放射性 Cs の実態と対策―請戸川地区の農業復興に向けて―（第 2 版）」において、採用された。
- 

【総合的成果②十万山火災時の Cs 動態の理解】

- 平成 29 年 4 月下旬から 5 月上旬にかけて福島県の帰還困難区域で発生した林野火災に対して、福島県環境創造センターを構成する福島県、原子力機構、国立環境研究所の 3 機関が一体となり、火災中及び鎮火後における周辺環境への影響を把握するための調査を実施した。調査実施にあたっては、原子力機構が全体研究計画作成等で中心的な役割を果たした。
  - 初期沈着挙動評価手法を適用し、延焼地からの放射性 Cs 飛散は有意ではなく、空間線量率増加もほとんど認められないことを明らかにした。また、火災時に採取した大気浮遊じん中の放射性 Cs 濃度から推計された内部被ばく線量は、天然の放射性物質の吸引によるものと比較して十分低いとの結果が得られた。
-

表-3 自己評価：福島長期環境動態研究（7/7）

- 
- 森林動態調査手法を適用し、延焼地からの放射性 Cs 流出特性を調査したところ、下草やリターが焼失した斜面では流出量の増加は認められたが、他の森林斜面における観測結果の範囲内であった。
  - 河川水系動態調査手法を適用し、河川への放射性 Cs の流出状況を調査、有意な増加は確認できないとの結果が得られた。
  - 得られた結果は浪江町除染検証委員会（平成 29 年 10 月）、福島県廃炉安全確保県民会議（同年 11 月）及び福島県廃炉安全監視協議会環境モニタリング評価部会（同年 12 月）にて報告し、自治体と地域住民の懸念払しょくに貢献した。
- 

【総合的成果③オンサイト初期核種分布の推定】

- 平成 27-29 年度の文部科学省公募事業研究「発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究」の外部資金を獲得し、森林動態、初期沈着挙動評価、核種分析手法整備で培われた手法を適用し、オフサイトの放射性核種分布に基づくサイト内の初期核種分布推定手法を開発した（国立科学博物館、京都大学、福島大学と連携）。
  - 表土深部方向への各核種の分布状況を明らかにし、Cs・Sr については複数化学種の重畳を考慮した移流拡散モデルを整備し、実データがモデルを用いて再現できる可能性を示した。また、深さ方向プロファイルと表層における核種組成から、Pu-239+240 および Am-241（Pu-241 からの崩壊）はグローバルフォールアウト起源が主であり、Sr-90、Pu-238、Cm-244 は 1F 事故起源が主であることを明らかにした。
  - 各プルームの汚染源と核種組成、無人ヘリ測定結果に基づく大気拡散モデルを構築し、核種分布状況を再現、サイト内の各地点の核種インベントリ評価に見通しを得ることができた。これにより、サイト内の各地点において、廃炉に向けた過去の作業で発生した、あるいは、将来の作業で発生する様々な固体廃棄物中の核種インベントリの定量的な評価、ならびに実際の固体廃棄物管理の現場で抜き取り検査等により行われるインベントリ確認の大幅な効率化が期待できる。
-

表-4 委員会評価・意見：福島長期環境動態研究（1/4）

S 評価：2 名、A 評価：8 名

## S 評価委員からの意見

- 福島に戻る方の不安に科学的根拠を持ってお示しするための研究、との最初のご説明が明確でわかりやすかった。そのような点からいうと、放射線の動態研究が進み、自治体への情報提供はかなり進んでいることは大変評価できる。
- 次の段階として、個人の方、あるいは事業団体、個人を支える役割の方などへのもう一段ブレイクダウンした情報提供を進めていただきたい。
- 「森林における Cs の移動は小さい」「地表面の被覆が重要」など、貴重な成果を林業家に伝え、山菜類は食べられるのか、川遊びはできるのかなど、生活と直結した内容にも期待する。
- 河川での状況も重要。市民は夏に水遊びができるのか、木戸川の手が影響しないのかなど、砕けた情報はどの段階で出すのか？
- 大規模災害が増加傾向にあり、研究成果は特定の課題を持った自治体だけでなく、全市町村に提供してはどうか？
- 成果をわかりやすく発信するのは、重要な作業であり、公表後、自治体や生活支援相談員、放射性相談員、健康相談員など地域住民の方々を支える役割の方がすぐに活用できるよう、積極的に提供していただきたい。
- トリチウム水の処分に関する検討が山場を迎えている。このような流れを踏まえて、現状の情報が提供できるように、多様な課題の時期を見た研究テーマの設定を進めていただきたい。1) 検査体制をどう作るか。2) 放出前後、環境、農林水産物等、どうデータをとるのか。3) 検査や情報公開過程での市民の信頼を得るための配慮事項、など。
- 当初の目的・目標を上回る進捗であると考え。特に、外部や現場での判断から研究計画を変更しながら進めている現状は大変に好ましいと考える。
- これだけ多くのサイトで多彩な情報を収集しているプロジェクトは現況存在しないのではないだろうか。このプロジェクトは日本の環境モニタリング研究の中心的存在と言える。様々な大学や研究機関との連携や共同研究も多く活動中であり、既に論文化されている点は大変高く評価できる。住民や行政への要請にも応えられている。山火事への対応など臨機応変な活動も合わせて考えると、これ以上の成果・アウトカムを想像しがたい。
- 自己評価を A としているが、A 評価とする理由を探すのが困難であるぐらい質の高いアウトカムがあると考え。

## A 評価委員からの意見

- 計画の見直しや新しい課題にも柔軟に対応して、目的を明確にまとめ、成果を挙げている。
- 得られた成果は、論文等で発表するだけでなく、地域への還元がなされている。今後のさらなる成果も期待できるものである。
- 長期的な観測結果をまとめた成果を論文等で発表するだけでなく、地域への還元がなされている。今後のさらなる成果も期待できる。これまでの成果も高い質の成果が得られている。

表-4 委員会評価・意見：福島長期環境動態研究（2/4）

S 評価：2 名、A 評価：8 名

## A 評価委員からの意見（続き）

- 環境動態において生活圏における研究は不可欠なものであり、将来予測のための貴重な成果を着実にまとめている。今後のさらなる成果も期待できる。
- 得られた成果は、論文等で発表するだけでなく、地域への還元がなされている。これまで成果をベースに今後のさらなる発展も期待できるものである。
- 諸過程ごとの実測値をベースに挙動予測モデルが開発されており、自治体の政策等に貢献している。引き続きデータを積み上げることで精度の高い予測モデルが創出されることが期待される。
- 一般向けと自治体向けに分かりやすい情報発信の取組は、理解促進のために重要なことである。ユーザー分析を行うことで、顕著な成果の創出が期待できる。
- オンサイト近傍でのオフサイトの研究は重要であるが、土地利用の関係で、研究できる場所などが今後限定される可能性が高い。これまでに得られた知見をしっかりとアーカイブし、事故直後の状況について解析や解明が進むように、成果の取りまとめを期待する。
- 放射性 Cs 以外の核種についても取り組まれ、顕著な成果を得ている。引き続きこの分野についても研究が継続することを期待する。
- 総合的な取組は、分かりやすい情報発信にも繋がるところもあり、その結果が自治体の政策に貢献されている。この結果は、将来的な成果の創出にも期待できるものである。
- 3 機関共同でまとめられたものであり、住民の懸念払拭に貢献したことは、成果の最大化に向けた取組の結果であり、高く評価されるものである。
- 計画に対して研究成果が着実にあがっており、研究開発の進捗は妥当である。
- 福島環境情報サイトに関して、サイトの利用者の地域、立場、目的など進めた分析を行うことにより、サイト上の情報がどのような影響を与えたかを知ることができる。大規模な調査を行うことは困難であるため、まずは簡易に確認できる枠組みを進めていかれることを期待する。
- 福島環境情報サイトのユーザビリティに関しても、合わせて評価することにより、サイトの有効性を高める取り組みにつながることを期待される。
- 「科学的裏付けに基づいた情報」を使っている点に関して、研究者や専門家以外の方々が「科学的裏付けに基づいた情報」をどのように捉えているのかを詳細に確認していかれることを期待する。
- 解析事例ベースの情報公開に向けて、時間的制約があると考えるが、公開前・公開後も含め、使いやすさの評価に基づき改良を行うことにより、より効果が高まることが期待される。
- 当初計画および追加的な事項について、適切に対応し進捗してきた。特に林野火災の緊急的対応には、福島環境創造センター三機関で連携して機動的に対応した。
- 他機関連携の下で、多くの成果が生まれた。特に、多くの現場データとそれらを基にしたモデリング研究は、今後の関連知の体系化のプラットフォームになる可能性がある。情報のアーカイブ化、社会への情報発信についても、戦略的に行いつつあり、今後の展開が期待される。

表-4 委員会評価・意見：福島長期環境動態研究（3/4）

S 評価：2 名、A 評価：8 名

## A 評価委員からの意見（続き）

- 計画どおり進捗しているほか、外部の要請に応じて一部の研究を追加するなど、適切に計画の見直しを行っている。
- 森林や河川、ダム等の動態の解明が大きく進展した。林野火災時の動態解明にも関係機関と連携し、積極的に取組み、自治体や住民の不安解消に貢献するなど、研究成果が有効に活用されている。
- 多様な森林における評価を実施し、森林からの流出が小さいことを確認したなどの定量評価は評価できる。さまざまなモデル（SACT、GETFLOWS、ADRET、3D-ADRES）を評価書の中で用いているが、どのモデルが有効であるのか等を検討しているのか不明である。モデルの使い勝手、パラメータの必要性などを含めて、検討が必要である。
- 湧水で濃度が少なく、その後大きくなるものが溶出によるものと可能性を示しているが、これが可能性ではなくプロセス要因を把握する方法は、今後検討されているのか？
- 農産物の調査が実施されているが、各大学との連携はみえるが、この調査が福島県下のどのような地域連携で行われているのか？現場とのフィードバックが重要であるので、その点を今後、さらに拡大していくことが期待される。
- コンパートメントモデルなどで、クリティカルパスなどを明示できるかと思うが、流域や地域により、このクリティカルパスが異なるのか、もしくは統一的な見解が得られているのか、今後の課題などの整理があるといい。
- データの継続的な公開は重要ですので、この部分の今後に発展は大いに期待します。又、一般的にわかりやすい内容に落とし込んだデータ整理している点は、他の研究チームと比較すると、全体的に評価できる。
- 溶存態および懸濁態について個々の研究成果が見られるのは評価に値する。データの蓄積の重要性とともに、現象があきらかになってきた。しかし、これまでの調査で明らかになってきた流出特性が、洪水や出水として、どのような規模（発生の回帰年など）であったのか？の評価はされているのでしょうか？将来発生する洪水や降雨イベントにおける Cs 流出を検討する上でも、これまでのモニタリング結果に対応する降雨イベント、気象現象の位置づけを明確化したほうがよい。
- 山火事跡地におけるモニタリングについて、火事後の継続調査は行われているのか？
- 今後、オンサイトを中心とした研究の重要度は大きくなると予想されるが、オンサイトとオフサイトでの研究の位置づけ、課題の整理はされているのでしょうか？
- 当初計画した研究課題に対して、着実な進捗が見られる。また、浪江町十萬山林野火災への対応など、突発的な課題に対する対応も適切であり評価できる。
- 当初の計画の他、環境動態の研究で得られた成果の展開を図るとともに、成果が自治体に提供されるなど着実に成果が出ていると評価できる。一方で、環境動態研究はチェルノブイリなど過去の事象から学ぶことも多いと思われ、そういった国際連携に関する成果についても記載すべきではないか。

表-4 委員会評価・意見：福島長期環境動態研究（4/4）

S 評価：2 名、A 評価：8 名

## A 評価委員からの意見（続き）

- モニタリングが進展し、環境への影響が今後どう変化していくか、今最も求められている分野であり、そのデータの蓄積を含めて広く発信する努力を続けてほしい。また、そうした発信がどう使われているかのフィードバックあるいはどのように使えるかの提示も積極的に進めると良いと感じた。
- 研究成果は着実に上がっている。自治体の要請に基づく農林水産物への移行挙動に関する研究の前倒しでの検討は妥当と考える。
- 林野火災のすばやい対応はとても評価できる。研究は、当初の目標を遂行することも大切であるが、このように臨機応変に行うことも大事である。
- 根拠情報 Q&A サイトは三層構造でいいか。「根拠情報」という名前はわかりにくい。「もっと知りたい」、「さらに知りたい」などのわかりやすい表記がよい。
- 自治体との協力は研究や研究者が見える取組みであり、評価できる。
- 環境中に残存する放射性 Cs の濃度はどのように変化するのか？という疑問に応えるべく、現地調査や室内試験、モデリングを通じて十分な成果が得られた。
- 環境中の放射性 Cs は生活圏に影響を及ぼさないのか？という疑問に対しても、生活圏内における蓄積、堆積状況や被ばく線量評価のための解析ツールの開発など着実に成果が出ている。ただ、キノコや淡水魚への移行についての将来予測は課題である。
- 包括的評価モデルの構築に向けて、各コンパートメントモデルがどのように組み込んでいくのか、何を出力とするのか、全体像が十分理解できない。また、GETFLOW モデルを用いた放射性 Cs の挙動を表現する流域モデルの開発において、地下水への影響を評価できるパラメータの整備や観測データの収集が必要である。

表-5 自己評価：除染・減容技術の高度化（1/3）

## 自己評価 【A】

**(1) 研究開発の進捗状況の妥当性（情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直し（継続、変更、中止等）も含む）**

国、市町村の除染の状況に併せて研究開発を進めてきており、除染効果予測や線量予測の実施などで除染の推進を支援し避難指示解除へ貢献するなどにより所期の目標を達成している。また、除去土壌等の分別・減容等処理技術開発では、当初の計画に加え期中に最終処分に向けた技術開発戦略策定に係る業務を環境省から受託して実施し、国の技術戦略策定に貢献するとともに再生利用実証事業の実施に貢献するなど、国の目標に沿って事業を遂行した。一方で、Cs 移行抑制技術、除染で生じた除去土壌や可燃物の減容化技術の開発については、既存技術の中から有望な技術を選定して技術開発を進め、チェックアンドレビューにより実用化に向けた課題を整理して研究開発の継続の可否について判断した。今後、帰還困難区域の避難指示解除等の復興に向けた取組みの中で、国や自治体の要請に応じて技術支援等を実施する。

除染による線量低減の効果や線量の将来予測解析のために開発した除染効果評価システム（RESET）の高度化・実証においては、「空間線量率減衰の2成分モデル」の適用性を評価し、現状の半減期パラメータが問題なく適用できることを確認するなど計画通り進捗している。また、帰還困難区域を対象とした除染効果予測解析を実施し、その結果を自治体等へ提供したことで、特定復興再生拠点の詳細な解析依頼が自治体から要請されるなど、自治体の要請に応じた対応を行っている。今後は、環境動態研究で整備する「包括的評価システム」への組込を行う。

ポリイオン等による Cs (Cs) 移行抑制技術の開発においては、土木分野で実績のあるポリイオンや浮遊懸濁態補修材を用いた Cs 移行抑制試験を原位置で実施し、一定の効果があることを確認したが、山地森林からの Cs 流出量が少ないとの環境動態研究での成果などを踏まえて、継続実施についての判断を行い、得られた結果を土木分野などでの反映を目的とした取りまとめを実施して研究開発を終了した。

除去土壌等の分別・減容等処理技術開発においては、期中において除染で発生した除去土壌等の「最終処分に向けた技術開発戦略策定業務」を環境省から受託し、環境省が公表した「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略」（平成 28 年 4 月）、「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方」（平成 29 年 4 月）の策定において技術的に貢献することにより、減容・再生利用の道筋を明らかにし、南相馬市での再生利用実証事業の実施（平成 29 年 4 月）に結び付けることができた。また、超高減容化に有効性が期待できる分級減容処理法としての磁気分離技術について、実際の放射性 Cs を含む汚染土壌を用いた基礎試験を実施したが、大量の土壌を処理するための処理能力や土壌の性状の変化への対応などの大型化に向けた課題等を明らかにし、中間貯蔵施設での適用までのスケジュールを含めた実現性について判断を行って開発を終了した。Cs の吸脱着機構の解明については、粘土鉱物との吸着特性の評価手法の確立など基礎研究を着実に進めており、今後環境動態研究での核種移行メカニズムの解明などへの成果展開を目的に研究を継続する。

表-5 自己評価：除染・減容技術の高度化（2/3）

可燃物の分解・減容技術開発については、産業界での技術動向を踏まえて溶解・分解によるバイオ燃料化や堆肥化の技術を選定して基礎試験を実施し、実用化に向けた課題を明らかにした。また、可燃物の焼却処理が各地で実施される状況になったことなどの社会情勢を踏まえて検討し、技術開発を終了した。

## (2) 研究成果・アウトカムの暫定的確認

除染効果評価システム（RESET）については、特定復興再生拠点などの対象に対し、現実的に信頼性をもって復興拠点の線量の予測解析を行うため、以下の解析手法の開発を実施した。

- 広範囲を対象とした膨大なデータを処理し、地図上で可視化する仕組みを開発
- 航空機モニタリングデータや歩行サーベイなど複数の手法で取得されたデータを総合的に活用できる手法を導入
- 除染係数について帰還困難区域における除染モデル実証事業で得られたデータから推定を実施
- 経時変化の精度向上を図るため、ウェザリング効果を考慮した方法を導入

また、「除染モデル実証事業」を実施した 21 ヶ所を対象に除染後エリアでの「空間線量率減衰の 2 成分モデル」の適用性を評価し、現状の半減期パラメータが問題なく適用できることを確認した。本システムを用いて、環境省の依頼を受けて中間貯蔵施設整備にあたっての除染効果の予測解析を実施し、作業員の被ばく低減に資する検討の基礎情報として提供し、実際の施設整備計画に反映された。また、帰還困難区域にある地元自治体の要請に基づき除染シミュレーション結果と線量率の将来予測結果を提供し、特に富岡町での帰還困難区域と接する避難指示区域の除染効果評価では国による境界部の帰還困難区域の除染が実現するなど、地元自治体の復興計画の立案等に貢献する顕著な成果を創出した。引き続き、国や自治体の要請に応じ、住民帰還などへ貢献することが期待される。

ポリイオン等による Cs 移行抑制技術の開発の成果については、水中の土壌懸濁態の捕集試験において、総懸濁態量の約 6% を捕集できることを確認した。一方で、環境動態研究において森林等からの Cs の流出量が低いことが確認されたことから、研究開発を終了し、これまでの成果について土木分野等における反映などを目的とした取りまとめを行っている。

除去土壌等の分別・減容等処理技術開発では、以下の成果を挙げている。

- 1) Cs の吸脱着機構の解明において、これまでに得られた粘土鉱物との結合状態などの情報を基に研究開発をさらに進め、以下の成果を挙げている。
  - 放射光電子顕微鏡を用いて元素の分布や化学結合の情報をナノスケールで明らかにする手法を確立し、除去土壌や模擬燃料デブリの分析などへの応用が期待されている（Yoshigoe et al., 2018、2018 年 1 月プレス発表）。
  - X 線分光による風化黒雲母における吸着 Cs の電子状態を評価し、Cs の脱離の指標となる知見を得るなどの成果を得ている（日本原子力学会「2017 年秋の大会」発表）。

表-5 自己評価：除染・減容技術の高度化（3/3）

- 
- 粘土鉱物からの Cs 除去と再結晶化の試験を実施し、混合塩を添加し過熱することで Cs が除去され、風化黒雲母が 4 種類の結晶（普通輝石・和田石・赤鉄鉱・方解石）に変化することを明らかにした（Honda et al., 2017）。本成果については、海外でも注目され、フランスの環境企業が混合塩溶融による土壌からの Cs 分離技術として実用化に向けた検討を進めている。
  - 土壌粘土粒子の表面構造と Cs 吸着特性との関係について、計算科学により解明を行い、「ほつれたエッジ」と呼ばれるナノメートル程度の特殊な構造に Cs が最も強く吸着されることを立証することなどを明らかにした（Okumura et al., 2018、2018 年 7 月プレス発表）。

これらの成果は、除去土壌からの Cs 除去や環境中での Cs の移行挙動の解明に貢献することが期待される

- 2) 環境省から受託した、除染で発生した除去土壌等の「最終処分に向けた技術開発戦略策定業務」では、除染で生じた除去土壌等の発生量・性状・放射性 Cs 濃度を整理するとともに、分級・減容化技術について既存技術の適用性評価を行い、その結果を踏まえて再生利用量と最終処分量の試算を実施した。また、再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る品質・維持管理の考え方の整理、作業時・供用時の被ばく評価による安全性の確認を行い、国による減容・再生利用技術開発戦略の策定、再生資源化した除去土壌の安全な利用に係る基本的な考え方の策定、並びに再生利用実証事業の実施に貢献した。
- 3) 再生利用を促進する上で必要となる粉じん飛散の監視手法として LIDAR を用いた時空分布モニタリングシステムの実証試験を行い、粉じん飛散状況の可視化を実証し、粉じん飛散監視技術としての適用性を確認した。

---

可燃物の分解・減容技術開発では、バイオマス燃料化の基礎試験などを行い、酸触媒の濃度が溶解条件に大きく影響すること、対象物により分解性が異なるなどの結果であり、実用化に向けた課題の抽出を行った。

---

環境省からの受託事業「除染効果検証等及び基準等検討業務」では、除染エリアを対象とした空間線量率の追跡調査のデータを積み上げ、空間線量率の平均値が継続して低下傾向であることを確認し、除染効果が持続していることを確認し、その結果が環境省から公表された。また、森林除染モデル調査において、調査計画の立案から調査結果の評価までの一連過程において技術的な助言や現場での技術指導を行い、環境省の森林除染に関する方針策定に貢献した。このように、環境省、福島県、県内外の市町村からの要請に基づき、これまで培ってきた知見を活用し、各種除染活動に関してより高度で専門的な技術的支援を実施し、除染活動の進捗に貢献した。今後、帰還困難区域の除染などにおいて、国等の要請に応じ、技術支援等を行うことが期待される。

---

国の検討会や自治体の除染検討委員会などにおいて、専門家として、住民帰還に向けた助言を行うなど、国や自治体の復旧・復興に向けた計画立案などに貢献した。引き続き、国や自治体の委員会等の場において、専門家としての助言等を行うことが期待される。

---

表-6 委員会評価・意見：除染・減容技術の高度化（1/3）

| A 評価：8 名、B 評価：2 名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A 評価委員からの意見                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 進捗状況は確認を行い、状況に応じて見直しが進められており、問題は感じない。</li> <li>➤ 刻々と変化する状況に対応できる空間線量率とその将来予測についてもまとめられており、今後の成果も期待できる。</li> <li>➤ 研究計画通りに進捗することができなかったが、この方法のデメリットを証明している。それは成果であり、明確に研究を終了することは重要である。</li> <li>➤ 研究成果は得られ学术论文等で発表されている。アウトカムについては、活用や応用への期待しかなかった。</li> <li>➤ 委託事業はそのミッションをクリアしている。</li> <li>➤ 技術開発や基礎実験から実用化に向けた問題点を明らかに、課題を終了したことは重要である。</li> <li>➤ これまでに培ってきた技術や成果が活用することで住民の安全安心を確保するや地域の復興や復旧に貢献できたことは評価できる。</li> <li>➤ 地道な活動で著しい成果が得られるものではないが、不可欠な活動であり、このような対話が信頼関係を築きあげることになり、重要な役割を果たすものである。</li> <li>➤ 計画に対して研究成果があがっており、研究開発の進捗は妥当である。</li> <li>➤ コミュニケーション・原子力人材育成活動には、多くの研究者や科学の専門性を有する方々が述べ 1000 名程度参画されたと伺っている。これは、専門知識を有する人々が現地の方々と関わり、科学的知識や実際の環境を鑑みて、交流していった非常に貴重な事例だと考える。このため、2011 年以降これまでの、この活動を行った方々の行った内容、気づき、考え方の変化等を、事例としてぜひ報告・公表いただくことを期待する。これは、同様の状況に対する貴重な資料となると考える。</li> <li>➤ 上記と合わせて、これまでの成果や得られた知見を踏まえ、コミュニケーション・原子力人材育成活動から発展する今後のコミュニケーション活動の展開を検討されることを強く期待する。</li> <li>➤ 研究開発を取り巻く情勢は刻々と変化していることから、当初計画について英断をもって見直したことは妥当であったと理解できる。国の戦略作りへの関与を計画に取り入れたことは、適切であり且つ貢献度も高かった。</li> <li>➤ 吸脱着挙動に関する基礎研究については、学術的価値のみならず、除染・処理・再生利用技術の基盤となる成果を提供されたことを評価する。国の受託業務において、国の技術開発戦略策定を科学的基盤を踏まえて検討できたこと、再生利用基準の検討に資する被ばくシナリオ評価結果を提供できたことなど、機構の貢献度は極めて高い。</li> <li>➤ 全体として、終了した課題などがある。メリハリなどが重要であるものの、終わらせるだけではなく、研究成果としては重要である。</li> <li>➤ 研究を終了した根拠が、山地森林からの流出が少ないという点のみでは根拠が脆弱である。</li> <li>➤ 減容化としては、かなり明確な成果が出ているかと思います。</li> <li>➤ 実用化の課題が見えたとしているが、具体的に何なのか不明瞭？</li> </ul> |

表-6 委員会評価・意見：除染・減容技術の高度化（2/3）

## A 評価：8 名、B 評価：2 名

## A 評価委員からの意見（続き）

- ウェザリングの効果を入れたモデル化は有効である。ウェザリングによる効果によりどの程度予測が上がったのか？データは示されているが、最大・最小値が大きい。平均値の議論と、ばらつきの議論が必要なのではないか？
- この課題をなぜ、土木分野等における反映を目的としたとりまとめなのか？
- 再生資材の利用についての試算は、重要である。しかし、この試算が試算のみで終わっており、今後、どのように活用されるのか不明瞭である。とくに、これを実現するための仕組みとして、何が必要であるか検討することが重要となる。さらに LiDAR でどのように粉塵が把握されるのか？
- 実用化に向けた課題の抽出をより明示的に現れていると良いかと思います。
- 除染の推進に果たした功績は大きい。また今回は的確に効果モデルを検証してきており、新しい技術ではないが、役割は果たしており、日本の経験としてきちんと蓄積するべきと考える。特にこれまでの成果の体系化は重要と考える。
- 成果を蓄積するために、学会発表だけでなく、論文等で蓄積をしていただきたい。なお、廃炉にどうつながりきちんと検討することが重要。
- 地元自治体の帰還、再開発、復興計画などに貢献する流れが定着しているのは評価できる。この取り組みを全自治体が活用できるような視点が必要と考える。
- 技術開発では成果が出ており、研究としては収束する方向性は納得できるが、世界に向けた情報集約や論文としての評価を得るなど、丁寧に実施して欲しい。
- 再生利用の課題を抽出したことで、平成 28 年で研究を終了したとあるが、市民・社会の理解を得て現実するのはこれからであり、今後、研究が必要な点もあるのではないかと。フォロー体制は残して、的確に対応を継続していただきたい。
- 相談員など制度は整っているが、放射線に関する情報を直接キーパーソン人材に伝えるのは重要であり、役割の重要性は変わらない。
- 計画に沿った進捗が図られていると考えられる。また、研究内容を精査し、継続・終了の判断を適切に行っていると評価できる。
- 既に多くのテーマが研究開発を終了しているが、各研究から得られた知見は、復興計画の立案や国の政策策定に貢献するなどの成果を挙げており、評価できる。
- 順調に研究が進展した結果、一部の研究が終了している点は妥当である。特に、森林からの Cs 流出が少ないという知見から、Cs 移行抑制技術の開発を終了する点は、やみくもに続けることなく柔軟な計画見直しをしたということで、むしろ高く評価すべきである。
- 廃棄物についてはアウトカムを出すにしても、行政上難しい状況があるのではないだろうか。科学的知見としては十分な成果が得られていると考える。
- 研究成果、特に除染について可視化できる RESET の開発は評価できる。経年変化も含めた予測も住民の関心事であり、積極的に進めてほしい。

表-6 委員会評価・意見：除染・減容技術の高度化（3/3）

A 評価：8 名、B 評価：2 名

## A 評価委員からの意見（続き）

- 計画通り進捗しているが、除染の進捗に伴い、研究ニーズが縮小している。
- 開発された除染効果評価システムや除去土壌等の分別・減容等処理技術などの成果については、今後の除去土壌等の処理や帰還困難区域の除染などの取組みへの技術的な支援としての貢献が期待される。
- 除染・減容技術の高度化の研究期間中、要請される研究テーマが変化していく中での研究成果として、除染効果システム（RESET）の高度化・実証については、十分な成果があり、今後、特定復興再生拠点区域における除染活動に大いに反映されていくものと期待される。
- 一方で、ポリイオン等による Cs 移行抑制、磁気分離、グリセリン溶解法など個々の技術開発については、研究開発としての観点から一定の評価はできるが、技術の実効性や処理規模の拡大可能性などの観点からすれば、困難なテーマ設定であったと考えられる。その意味で、平成 28 年度や平成 29 年度に終了した点は、研究開発の状況を踏まえた判断であったと評価できる。

表-7 自己評価：全体に係る事項（1/6）

## (1) 国内外他機関との連携の妥当性

- 
- 韓国原子力安全技術院（KINS）とは、平成 25 年度から、福島県の河川敷を対象とした合同無人ヘリモニタリング等を通して、韓国原子力研究所（KAERI）とは、平成 30 年度から、福島における In situ Ge 測定等のクロスチェック等を通して、両機関の解析手法の妥当性等について、双方向の技術交流を行ってきた。この取り組みは、個別のモニタリング手法の技術レベルの向上に寄与するだけでなく、隣国との原子力防災への共通認識を形成するために、極めて重要な取り組みと考える。さらには、韓国における福島県の農林水産物への風評に関する正確な認識の形成にも資することが期待される。【韓国 KINS、KAERI との連携】
- 
- 航空機を利用したモニタリングは世界各国で行なわれていることから、できるだけ幅広い情報収集を行なう必要がある。そこで、航空機モニタリングに関する情報を効率的に入手するための取り組みとして、International AMS meeting への参加や、ラトビア等における現地情報収集活動等を実施している。当該取り組みにより、航空機モニタリングの最新の知見の把握はもちろんのこと、福島における線量分布の現状などの正確な発信への寄与が期待される。【航空機モニタリングに関する関係各国との情報交換】
- 
- 仮置場跡地の効率的なフォローアップモニタリング手法の構築の一環として、福島県環境創造センターと共同で、PSF、In situ Ge、無人ヘリによるモニタリング、試料採取・分析、及び計測結果の比較評価を行った。今年度も数箇所を対象とした適用試験を実施する予定である。【福島県環境創造センター連携】
- 
- 放射線計測や解析技術に関する世界トップレベルの技術を有するローレンスバークレー国立研究所と、3次元放射線測定技術及び測定手法の異なる測定結果の統計学的な統合マップ化手法の開発を共同で実施している。3次元放射線測定技術では、放射性 Cs の沈着量を可視化することにより、住宅地や竹林等における効率的な沈着量分布の把握が可能となった。特に、測定器の無人ヘリやドローン等への搭載により、住宅地や森林域などにおける 3 次元的な放射性 Cs 分布の計測が可能となり、広範囲の精度の高い除染計画の策定等への波及が期待される。統合マップ化手法は、航空機モニタリングや、走行（車両）サーベイ等のそれぞれのメリットを活かした、統合的な放射性 Cs の分布や将来予測解析に必要なツールとして、特に複数のモニタリング手法を実施している原子力機構にとって、重要な手法である。【LBNL 共研】
- 
- 福島県環境創造センターを構成する福島県、国立環境研究所及び機構の 3 機関連携として、原子力規制庁及び自治体（福島県、浪江町）の要請を受け、十万山林野火災による環境影響評価に係る調査を実施した。同調査において、県は既設のダスト観測に加えて臨時観測点によるダストサンプリング、国立環境研究所は河川への流出影響、原子力機構は山岳調査に長けたメンバー構成による放射性 Cs の分布調査、森林斜面地での流出量評価及び山稜沿いの空間線量率調査を行い、各機関の強みを生かし分担して協力する調査連携体制のもと進めることができた。【3 機関連携】
-

表-7 自己評価：全体に係る事項（2/6）

- 
- 国立環境研究所と連携して、太田川上流域（南相馬市、浪江町）における溶存態放射性 Cs の挙動に関する調査および動態シミュレーションを実施した。国立環境研究所は、濁度や溶存態・懸濁態放射性 Cs 濃度を取得し、原子力機構はその観測データを用いて、水、土砂、放射性 Cs 動態シミュレーションを実施した。溶存態放射性 Cs 動態をモデルで概ね再現することができ、その成果を国際誌に発表した（Sakuma et al., 2018）。各機関の強みを生かし、成果として発信することができた。【国立環境研究所との太田川の調査】
- 
- 河川水系を介した放射性 Cs の移行のうち、直接的な管理が困難な水産資源等の生物への移行評価は、極めて重要な課題である。生物の被ばく評価と放射性物質の分析に関する高い技術的知見が必要であるため、当該知見を有する弘前大学と共同研究を実施している。これまでのところ、溶存態 Cs 濃度が比較的高い請戸川水系及び太田川水系における調査研究を実施しており、淡水魚における放射性 Cs の移行経路に関する情報の蓄積が図られた。【弘前大学との共同研究】
- 
- 森林総合研究所との共同研究では、森林総合研究所が林野庁から委託を受けて実施している森林内の放射性物質の分布状況調査の試験地を対象として、放射線監視技術開発グループと協働し、林外の線量率測定データを林内の空間線量率へ変換するためのパラメータ取得に係る調査研究を実施した。平成 30 年度からは、得られたパラメータ値の妥当性確認に係る調査研究を森林総合研究所と協働して進めるとともに、森林内の放射性 Cs 分布から林内の空間線量率を評価するための評価ツールを開発し、森林総合研究所による評価ツールとの比較検証を進めている。このように森林総合研究所と機構が保有する調査研究資源を持ち寄り統合することで、森林内空間線量率評価を実施するためのツール開発を迅速に進めることができ、相互の強みを生かした連携と分担を進めている。【森林総合研究所との共同研究】
- 
- ヘルムホルツ研究所との共同研究では、機構が現地モニタリングを、ヘルムホルツ研究所が長年の経験を有する大気浮遊じんの分析、解析を担うことで、大気浮遊じんの吸入による被ばくの評価と、世界的な標準法である ICRP 推奨の吸入被ばく推定モデルの検証が相互協力の下でなされており、国際会議での発表など成果が得られつつある。大気浮遊じんを介した農作物の二次汚染に関わる東京大学との共同研究では、大気浮遊じんの評価を機構が、農学に強みを持つ東京大学が農作物の評価を担い、国際会議での発表や国際誌への投稿（Nihei et al., 2018）など成果が得られつつある。【ヘルムホルツ研究所・東京大学との共同研究】
- 
- 初期沈着挙動評価については、電顕的手法を用いた微粒子の特性分析を東京大学と協力して進めており、当方の飛散物評価手法と合わせて実施することで、微粒子の分析例を大幅に増やすことができ、東京大学の投稿論文発表等（Okumura et al., 2018）大きな成果が得られている。また、筑波大学、東京慈恵会医科大学、大阪大学との連携では、放射性 Cs を含む粒子の分離抽出を筑波大学と東京慈恵会医科大学が、特性評価を筑波大学と大阪大学が、メカニズムの解析を機構と東京慈恵会医科大学が協力して進めており、成果も得られている。【東京大学、筑波大学等との共同研究】
-

表-7 自己評価：全体に係る事項（3/6）

- 
- コケを用いた大気浮遊物質特性評価手法については、飛散物評価に用いるコケの好適種選定、観測・育成方法助言についてナポリ大学と協力して進めており、機構が実施するコケバッグ実地観測、適用性評価並びに大気浮遊物質特性評価のための浮遊物質の時空間分布を把握できる千葉大学の LIDAR 技術と合わせて、今後研究を進めていく。【ナポリ大学との共同研究】
- 
- 環境中の放射性核種分析手法については、福島大学が樹脂濃縮-ICP-MS 測定システムを開発し、機構が前処理を含めた測定条件の最適化を進め、協働で整備を進めている。また、この成果の一部を活かし、京都大学が土壤中の放射性核種の分布評価とモデル化、機構が放射性核種吸着固相の解明と相互作用モデル化を進め、協働で土壤中核種移行挙動の解明を進めている。【福島大学、京都大学との共同研究】
- 
- 福島県に対して、除染効果の維持状況と今後の空間線量率変化の予測評価において、現地でのモニタリングや RESET でのシミュレーションに係る技術指導を行っている。これらの成果については、環境除染学会において、福島県との連名でポスター発表を実施した。【福島県環境創造センター】
- 
- 大阪大学との連携では、磁気分離技術の開発として超電導磁石等の開発を大学が担当し、分離結果の評価を機構が行うなど、役割分担を明確にして実施した。【大阪大学との共同研究】
- 
- 除去土壌を使用した土木工事における粉塵の拡散状況を、Light Detection And Ranging (LIDAR) 技術でモニタリングする技術開発を実施しており、LIDAR 技術については千葉大学が、放射性物質濃度の評価を機構が実施するなど、役割分担を明確にして進めている。【千葉大学との共同研究】
- 

## (2) 若手研究者の育成・支援への貢献の程度

若手研究職及び技術者のキャリアアップ、モチベーション向上への取組みとして以下を実施した。

- 研究職について、国際会議（入社 1 年目より毎年、AGU、EGU、Goldschmidt Conference 等）への積極的な参加（毎年度 2～3 名程度）機会を創出した。
  - 機構が主催する成果報告会（機構報告会、福島部門成果報告会等における自己の成果発表（毎年度 2～3 名程度））機会を創出した。
  - 国際誌への論文投稿に係る研究業務に集中可能な業務配分を行い、筆頭著者として国際誌への論文投稿機会の創出、さらには、社会人博士課程の進学機会を創出し、学会誌への掲載や博士号取得・取得見込み等、若手育成に大いに貢献した。
  - 自己スキルアップ及び業務上必要な資格取得、知識及び技術取得のための講習会等（酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者技能講習、サイエンスコミュニケーション講座、SEM（電子顕微鏡）機器分析講習会、応用情報処理技術者、放射線取扱主任者講習、PHITS 講習会、核燃料物質取扱主任者講習等）への参加や資格取得の機会を創出した。
-

表-7 自己評価：全体に係る事項（4/6）

- 
- 機構主催の夏期休暇実習生の受入に当たり若手職員に講師を務めさせ、学生への教育を通じて若手職員が自ら考え行動し、課題を解決していく機会を創出した。
  - 現場作業に関する地元説明や住民の方々への説明会に出席させ、地元対応についての経験を積ませ、OJT による地域対応のスキル育成機会を創出した。
  - 福島県環境創造センターなどで開催されるイベントでの研究成果説明などに出席させ、業務内容の説明経験を積ませるなど、若手の育成機会を創出した。
  - JOSHikai-II（機構主催：高校生の理系女子が外部有識者とのディスカッションを通じて今後のキャリアパスを考える交流会）の運営業務に女性技術職を参加させ活躍の場及び研究職希望者との意見交換や気軽に話し合える場を創出した。
  - 放射性物質の分析手法の高度化などを目的として設立されたコンソーシアム（水コンソーシアム）に、若手研究者及び技術者を積極的に参加させ、技術の向上・継承を働きかけている。
- 

### (3) イノベーション創出への取組み

---

- 地衣類・コケバッグによる大気浮遊物質評価手法の開発  
ナポリ大学との研究協力のもと進めている本手法開発は、目的に応じて生物が有する機能を活用している非常に省力化された安価・簡易な手法であり、大気汚染物質調査への応用が可能である。将来、様々な大気中汚染物質の検出評価分野で、大きなインパクトを与える可能性がある。
  - SfM を用いた放射性 Cs 流出量評価手法  
SfM（Structure from Motion）技術を応用した地形測量データに基づく放射性 Cs 流出量の評価手法開発で蓄積される地形測量に関するノウハウは、土砂災害地における被害状況の把握や微地形解析による土砂災害予測への応用が期待される。
  - Cs 吸脱着機構の解明において実施した放射光光電子顕微鏡によるナノスケール化学状態分析法の開発の成果は、除去土壌だけでなく、模擬燃料デブリの分析など、電子結合の情報を把握する手法としての活用が期待される。
  - LIDAR を用いた粉じん監視技術については、時空分布モニタリングシステムであり、廃炉作業の現場での適用など、広範囲での活用が期待される。
  - 水底モニタリング技術の開発で得られたモニタリング技術の知見やノウハウを、国内企業（ウィンディネットワーク等）や JAMSTEC 等の有する海洋調査技術と組み合わせた無人観測船の開発を共同で進めている。様々な海洋調査のプラットフォームとなることが期待される。
- 

### (4) 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分の妥当性

---

調査研究の実施に当たり、運営費交付金（復興特会）に加え、国、自治体等からの事業を受託する等、外部資金の獲得に積極的に取り組んでいる。復興特会の終了時期（平成 32 年度）を見越して、今後も更なる外部資金の獲得に努め、研究開発を進める。

---

表-7 自己評価：全体に係る事項（5/6）

| 【外部資金の獲得状況】                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| （平成 27 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 平成 27 年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約）事業（562 百万円）</li> <li>➤ ホールボディカウンター（WBC）検査による福島県民健康調査支援業務（107 百万円）</li> <li>➤ 平成 27 年度除染関係基準等に係る調査検討業務（45 百万円）</li> <li>➤ 広域線量率分布測定用装置（KURAMA-II）データ解析・補正委託業務（41 百万円）</li> <li>➤ 平成 27 年度最終処分に向けた技術開発戦略策定調査業務（200 百万円）</li> <li>➤ 発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究（30 百万円）</li> <li>➤ 水底の放射線分布測定手法に関する技術指導（4 百万円）</li> <li>➤ プラスチックシンチレーション光ファイバー（PSF）を用いた汚染水測定に関する技術指導（0.1 百万円）</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                           |
| （平成 28 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 平成 28 年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約）事業（516 百万円）</li> <li>➤ 平成 28 年度ホールボディカウンター（WBC）検査による福島県民健康調査支援業務（77 百万円）</li> <li>➤ 平成 28 年度除染関係基準等に係る調査検討業務（35 百万円）</li> <li>➤ 広域線量率分布測定用装置（KURAMA-II）データ解析・補正業務（41 百万円）</li> <li>➤ 平成 28 年度除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略の具体化等に係る調査業務（200 百万円）</li> <li>➤ 発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究（30 百万円）</li> <li>➤ 水底の放射線分布測定手法に関する技術指導（1 百万円）</li> <li>➤ プラスチックシンチレーション光ファイバー（PSF）を用いた汚染水測定に関する技術指導（0.2 百万円）</li> <li>➤ 圃場空間線量モニタリングと土壌から牧草への放射性 Cs の移行環境の解明（2 百万円）</li> <li>➤ 「平成 28 年度原子力施設等防災対策等委託費（生活行動パターンを模擬した連続的な空間線量率の測定）事業」に関する技術指導（1 百万円）</li> <li>➤ 平成 28 年度福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析に係る委託業務（7 百万円）</li> <li>➤ 【その他補助金】海洋調査を目的とした無人観測船の開発（10 百万円）</li> </ul> |
| （平成 29 年度）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 平成 29 年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約）事業（466 百万円）</li> <li>➤ 平成 29 年度ホールボディカウンター（WBC）検査による福島県民健康調査支援業務（87 百万円）</li> <li>➤ 平成 29 年度除染関係基準等に係る調査検討業務（31 百万円）</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

表-7 自己評価：全体に係る事項（6/6）

- 
- 広域線量率分布測定用装置（KURAMA-II）データ解析・補正業務（43 百万円）
  - 発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究（24 百万円）
  - 水底の放射線分布測定手法に関する技術指導（1 百万円）
  - 平成 29 年度福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析に係る委託業務（7 百万円）
  - 【その他補助金】海洋調査を目的とした無人観測船の開発（32 百万円）
- 

（平成 30 年度）

- 平成 30 年度放射性物質測定調査委託費（東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約）事業（510 百万円）（※H30 年度より契約箇所は安全研究・防災支援部門）
  - 平成 30 年度ホールボディカウンター（WBC）検査による福島県県民健康調査支援業務（98 百万円）
  - 平成 30 年度除染効果検証等及び基準等検討業務（12 百万円）
  - 広域線量率分布測定用装置（KURAMA-II）データ解析・補正業務（43 百万円）
  - 水底の放射線分布測定手法に関する技術指導（1 百万円）
  - 平成 30 年度福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析に係る委託業務（8 百万円）
  - 檜葉町における内部被ばく測定と不安の軽減に関する研究（2 百万円）
  - 平成 30 年度原子力施設等防災対策等委託費（生活行動パターンを模擬した連続的な空間線量率の測定及び詳細モニタリング結果のマップ化）事業に関する技術指導（0.1 百万円）
  - 平成 30 年度帰還困難区域における継続モニタリングに関する調査・解析業務（1 百万円）
  - 【その他補助金】海洋調査を目的とした無人観測船の開発（32 百万円）
-

表-8 委員会評価：全体に係る事項（1/2）

- 
- 各機関との連携は、目的が明確であり、得られる成果についても福島研究に貴重なものである。高く評価されるものである。
  - 人材育成は調査研究を継続するためには必要不可欠であり、重要な取り組みである。
  - 積極的な外部資金の獲得は高い評価をすることができる。ただ、一連の成果の中で、どのような住み分けで、各課題が研究を進めているか、発表の中で区別することができなかった。研究成果も研究課題ごとにまとめて頂くと評価がしやすい。
  - 他機関との連携により、日本が進めている研究開発を広く他国に周知することが期待されるため、積極的な連携が期待される。
  - 将来を担う研究者をビジョンをもって育成することは継続的な活動に必須だと考える。このため、さらに積極的に効果的な方法を用いて若手研究者の育成・支援を実施されることを期待する。
  - 複数の波及的な試みが行われており、高い研究成果を踏まえ、さらなる発展が期待される。一方で、記載されている内容は「社会的インパクト」に近く、「イノベーション」とは少しずれるように感じる。
  - 多様な機関と共同研究等を積極的に実施している点を評価する。アウトカムに戦略的につなげるための行政との連携も今後必要ではないでしょうか。
  - オフサイト問題は今後も長期的対応が必要なので、若手人材を育成支援を積極的に行っているのは評価できる。予算制約の中で、持続可能な人材確保と育成について課題であると思われる。また、社会実装につなげる専門性をもつ人材など、今後は人材の多様性に関する戦略も必要であると思われる。
  - 復興特会が終了することも見越して、外部予算について外部との連携を含めた競争的研究予算の獲得などもどのように行っていくか、検討していく必要がある。
  - 引き続き関係機関との連携を進め、今後の研究開発における自らの研究の深化・加速化を図るとともに、外部への研究成果の展開・普及を図っていくことが望まれる。
  - 森林火災時の突発的な対応が出来た点はこれまでの研究やその継続性が生かされたと思われる。今後の気候変動や降雨量の変化なども考慮すると、継続性は重要である。
  - 実際にどの程度の若手研究者がいるのか世代別の職員数がわかるとこの部分がより明確化できる。博士号の取得割合や社会人博士の育成はどの程度か？
  - 特許や意匠登録などの知財の数値的な根拠があるといい。
  - 全体として、多くの外部資金を獲得実績がある。今後この部分が重要になるかと思います。人材育成とともに、学部資金獲得への方針や取り組みないようについて、具体的なものがある。
  - 機構の事故後の研究、特に環境動態研究などは、福島に関わるすべての住民、市民にとっては、勇気をいただける内容だと考える。そのため、このような研究成果を活用して社会に繋ぐ科学技術コミュニケーションにどう取り組むかは、大変重要と考える。アルプス処理水、高レベル廃棄物、廃炉情報など、うまくつなぎ社会的な信頼関係をつくるにはどうしたらいいか、常にそこを考える入り口を提供する重要な機関と考える。このような研究の社会実装と共に、人材育成なども考えていただくといいのではないかと。
  - 自分でテーマを広げて研究できる人材を育てる、という方向は賛成。社会と接点を持ちながら、環境回復、復興につながる成果、人材育成を期待したい。
-

表-8 委員会評価：全体に係る事項（2/2）

（続き）

- 
- 根拠情報の階層 Q&A サイトなど、オープンサイエンスの視点で取り組んでいることは、事故後の研究体制として評価できる。
  - 原子力安全に関して極めて重要な韓国との連携を進めてきていることは高く評価できる。また、LBNL との共同研究により、空間放射線統合マップの高精度化に成功したことも評価できる。そのほか、国内外大学・研究機関、福島県、との連携も積極的に進めている点も評価できる。
  - 研究の推進にあたり、多くの外部資金を獲得して進捗・充実を図っており、高く評価できる。
  - 環境動態研究でこれほど大型のプロジェクトは他に存在しない。さらに今後、関連のプロジェクトが減少していくことが予想される。そんな中、本プロジェクトが国内のオフサイト研究の柱として機能していただき、国内の研究を総括するような役割を担っていくことを期待したい。
  - 人材育成は大きな課題である。大学との他、国際的な連携を継続していただき、優秀な人材の確保・育成に協力願いたい。
  - 機構のノウハウを外部に移行する意味でも連携には力を入れてほしい。逆に機構の現地研究が長くなればなるほど復興から遠ざかる（遠い）という印象を与えるパラドクスになる。主体を福島県や地元にししながら、機構が側面をサポートするというのが将来的には望ましい。
  - 海外連携は不可欠であり、機構でなくてはできない。研究者レベルでの交流は科学技術外交の観点からも重要。
  - 若手育成はとても重要であり、力を入れて取り組んでほしい。自然科学分野だけでなく、社会科学分野の人材、若手研究者も取り込み、これまでにないユニークな研究を継続してほしい。
  - 海外の大学を含めた研究機関との連携は、国内の大学も巻き込んで若手人材育成に注力していただきたい。
  - イノベーションの創出は、どの分野でも達成するのは困難であるが、放射性 Cs の環境動態のみならず、わが国独自の除染活動や除去土壌などの減容化技術も含めて、特に環境モニタリング、マッピング技術、除染評価モデルの高度化が期待される。
-

表-9 委員会総合評価（1/3）

S 評価：2 名、A 評価：8 名

## S 評価委員からの意見

- 除染、モニタリング、環境回復に向けた環境動態研究など、事故後の収束に向けた研究開発という緊急事態に柔軟に対応し、取り組んでこられたことを評価させていただきます。特に、国や自治体の制度設計への貢献は大変評価できるものがありますが、それだけでなく、市民、社会への的確な情報提供による将来への安心感、信頼感の醸成に努力しておられ、そのご努力に、S 評価をさせていただきます。ただし、今後避難指示解除の地域にとっては、帰還して復興を成し遂げる長い道のりの過程であり、継続して支える研究機関でいていただきたいと考えます。また、今後の廃炉に向けて必要な科学的な情報が広がることも考えられ、資源エネルギーを通じた協力か、規制庁や環境省を通じた協力か、対応を整理していただきながら、広く貢献していただきたいと考える。
- 中間評価で S をつけることの抵抗感もないわけではないが、当初の計画を超える成果が得られているのは明白であると考えます。
- 今後の活動への期待も高まるが、ここでは敢えて基礎研究を期待したい。機構ならではのサイト&先端機器を活用することで科学的に価値の高い知見が得られる可能性は高い。その成果は基礎研究に分類され、かつ被災地住民の生活に直結しないものもあるかもしれないが、今後、機構がこの研究分野で国際的に存在感を高めるためにはかならずや必要である。
- 多方向との連携も進んでおり、この取り組みの姿勢を今後も継続していただきたい。

## A 評価委員からの意見

- 計画に対して着実に調査研究は進捗しており、その成果は学会や論文等で発表されている。発表というアウトプットだけでなく、住民や一般の方の目線に立った発表、説明や解説が積極的に行われている。引き続き、継続して調査研究を行いつつ、福島事故のとりまとめだけでなく、今後の原子力施設の対応の基盤となる情報のとりまとめを期待する。
- 計画に対して研究成果が着実にあがっており、研究開発の進捗は妥当である。先進的な研究成果が複数生み出されており、積極的な研究開発の進捗が高く評価できる。
- 研究成果の発信と対象地域との関係構築において、日本でこれまでに行われた原子力・放射線に関連する事例と共通する部分と異なる部分があると感じられる。本研究開発においては、地域の人々の考えに沿うように進める方法がとられているように感じ、新しい関係構築の方法論の開発につながる事が期待される。このため、高度な研究成果を踏まえた、地元や地域の人々との新しい関係構築の方法論の提案を強く期待する。
- 福島の現場に根ざし、ニーズも踏まえながら、機構の強みを生かした研究の進展がみられ、アウトカムにつながる成果が得られ、福島環境回復に大きく貢献した。特にモニタリング・マッピング技術開発、環境動態研究については、高いレベルの成果をあげている。また、当初計画だけでなく、国や自治体等からの緊急的な要請にも積極的に対応して、原子力を専門とする中核機関として重要な役割を果たしている。マッピング事業に加えて、減容化・再生利用技術開発戦略策定や土壌再利用基準検討における被ばくシナリオ評価などの検討は特筆される。また、学術分野においても、先導性を発揮し、モニタ

表-9 委員会総合評価 (2/3)

S 評価 : 2 名、A 評価 : 8 名

## A 評価委員からの意見 (続き)

- リングデータベースや関連情報のアーカイブ活動、など、オープンサイエンスにつながる基盤的活動も行っており、評価される。中長期計画の後半においては、取り巻く情勢も変化していくことから、社会ニーズを戦略的に把握し、研究開発をさらに効果的・効率的に行うことが期待される。
- 各課題とも、予定された研究成果のほか、復旧・復興状況に応じた研究の追加・修正が適切になされている。また、多くの研究の成果が、その時々行政需要や住民の期待に対応したものとなっており、今後の地域の復興に大きく貢献することが期待される。引き続き、関係機関との連携を図りながら、研究の深化・加速化を図るとともに、状況の変化に応じた研究内容の見直しを行い、地域に貢献する研究を進めてほしい。
  - かなりの研究の広がりがあり、研究が発展している点は評価が高い。ただし、全体として、成果のみを強調する傾向があり、中間評価でもあることから、個々の研究から見えてくる研究としての「課題」への説明があると、今後研究の進め方を考える上で良い。
  - 個別研究が、個々に高度化・専門化している点は評価できる。一方で、研究が各論的になり、全体としての方向性がぼやける印象も一部にみられる。これまでの研究成果をふまえながら、もう一度、全体像を見直し、さらには、研究としてのコンセプトを作り直す作業も重要かと思われる。
  - 研究として Cs の移行メカニズムの解明については、詳細が行われており、事故後数 10 年を見据えた継続が重要と思われる。
  - いくつかの数理モデルが構築されているが、それらが散在する傾向があり、全体としてももう少し整理して、どんな対象やスケールでどんな数値モデルを使っているのか整理する必要がある。
  - 数理モデルにおいては、数値化できる（数値化が必要な）現象とできないものがあるのではないかなどを整理してほしい。
  - 避難区域解除への貢献→貢献の見える化→富岡の事例が明確であるが、それ以外でもこのようなケースを積み上げてほしい。
  - 見通しがたったものについては、整理していく必要がある。モニタリングとしても見通しがたったものがあるのか？
  - 研究としての発展は明確であり、論文の本数も確実に増えている。国際共同研究を実質化させるために、今後、国際共著論文等が増えると期待したい。
  - チェルノブイリとの比較なども今後の予定については、明確ではない。
  - モデル等の結果についての公開は非常に重要であり、結果などが公表されている点は、評価される。一方で、モデル結果の見方などについていかにわかりやすく説明するのが重要である。その点注意しながら、進めていただければと思う。

表-9 委員会総合評価 (3/3)

S 評価 : 2 名、A 評価 : 8 名

## A 評価委員からの意見 (続き)

- 若手人材育成について実施しているのは評価できる。研究人材のみならず、研究を社会還元できる人材像も重要であり、これらをふまえた、10～20 年の次世代人材を育成してほしい。また、育成人材交流の中に、国際交流を進め、日本の拠点研究としての国際化をすすめてほしい。
- 成果の数値データがまとめてあると、良い。論文数、国際論文数、国際共著数（申請数）、特許取得数、若手人材育成数など。
- 今後、外部資金獲得への取り組みがより重要になるかと思うが、組織として若手人材育成とともに、外部資金獲得への取り組みを行っていくことが重要になると思われる。コンソーシアムなどの連携強化は重要な要素となるので、これらをふまえた体系的な取り組みが重要である。
- 「環境モニタリング・マッピング技術開発」「福島長期環境動態研究」「除染・減容技術の高度化」のすべてのテーマにおいて、着実な研究進捗があり、またアウトプット・アウトカムも確実に成果として出ており、総合的に高く評価できる。また、事業をとりまくさまざまな環境変化や突発的な事象に対して柔軟かつ適切に対応している点も素晴らしい。
- 中間評価としてはとても高く評価できる。成果の蓄積は広がり、技術は幅広く利用されている。自治体だけでなく、住民のニーズを先取った研究も進めてほしい。
- 海外との連携についても成果を提示してほしい。
- 最終評価時には、中間評価での反省・問題点を考慮し、どのように取り組んだのかを明確にまとめてほしい。
- 原子力を専門とする中核機関としての機構が、専門性をいかした環境モニタリング・マッピング研究と、そのデータを用いた環境動態研究については、十分な成果が得られた。また、こうした成果をもとに、機構が地元自治体からの要請や特定復興再生拠点に即座に対応できたことは、特筆すべきアウトカムといえる。
- 除染・減容技術の高度化については、すでに除染が終了し、中間貯蔵施設への搬入が山場を迎えている時期において、高濃度放射性 Cs を含む焼却灰の減容化技術に特化して、その技術開発を進め、これらの最終処分への方向性を議論できるベースの構築に貢献してほしい。

## 付録

## 参考資料

(日本原子力研究開発機構 作成)

This is a blank page.

## 参考資料 1

研究開発課題の中間評価について（諮問）

This is a blank page.

30 原機（福）015  
平成 30 年 11 月 2 日

福島環境研究開発・評価委員会  
委員長 高橋 隆行 殿

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
理事長 児玉 敏雄

研究開発課題の中間評価について （諮問）

「研究開発・評価委員会の設置について」（17（達）第42号）第3条第1項に基づき、次の事項について諮問します。

記

〔諮問事項〕

- ・第3期中長期計画における「福島環境回復に関する技術等の研究開発」に関する中間評価

以 上

This is a blank page.

## 参考資料 2

### 中間評価 配布説明資料

資料 8-5 : 研究開発の全体概要

資料 8-6-1 : 環境モニタリング・マッピング技術開発

資料 8-7-1 : 福島長期環境動態研究

資料 8-8-1 : 除染・減容技術の高度化

資料 8-9-1 : 今後の研究開発の進め方

資料 9 : 研究開発成果の一覧

This is a blank page.



# 研究開発の全体概要

平成30年12月1日

宮原 要

福島環境安全センター



## 中長期的な取組方針

1

### JAEA中長期計画の目標（H27～H30年度半ば）

#### 環境モニタリング・マッピング技術開発

- 生活圏のモニタリング、個人線量評価技術の提供
- 未除染の森林、河川、沿岸海域等の線量評価手法を確立

#### 福島長期環境動態研究

- セシウム挙動評価等を実施
- 自治体や産業界等に対し、農業・林業等の再興に資する技術提供
- 外部専門家による評価も踏まえ調査の継続を判断

- 包括的評価システムの構築を進め、科学的裏付けに基づいた情報を適時適切に提供

- 合理的な安全対策の策定、農業・林業等の再生、避難指示解除及び帰還に関する各自治体の計画立案等へ貢献

#### 除染・減容技術の高度化

- セシウムの移行メカニズムの解明等
- 合理的な減容方法及び再利用方策の検討・提案

- 除去土壌等の管理に係る負担低減に貢献

### 環境創造センター中長期取組方針

基本理念：放射性物質により汚染された環境を早急に回復し、福島県民が将来にわたり安心して暮らせる豊かな環境を創造  
調査研究：①放射線計測、②除染・廃棄物、③環境動態・影響評価、④環境創造

#### 【フェーズ1（H27～H30年度）】

- 除染の徹底、除染廃棄物等の適正処理、環境動態解明など、福島県の環境回復に資する喫緊の課題への対応を優先

#### 【フェーズ2以降】

- フェーズ1での3者の取組成果等を改めて評価した上で策定

原子力機構

福島県

国環研

フェーズ1  
(H27～H30年度)

フェーズ2  
(H31～H33年度)

フェーズ3  
(H34～H36年度)

中長期取組方針（10年間）

福島県環境創造センター（三春町施設）





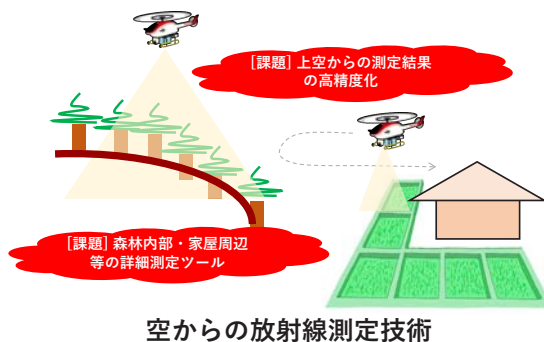
## 環境モニタリング・マッピング技術開発

2

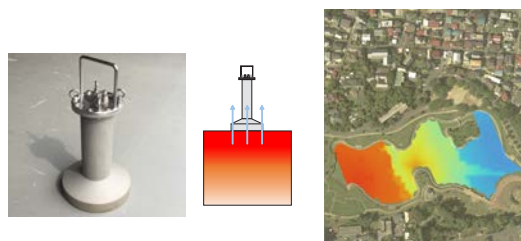
- 生活圏のモニタリング、個人線量評価技術の提供
- 未除染の森林、河川、沿岸海域等の線量評価手法を確立

### アプローチ

- 無人機等の輸送手段と放射線検出器を組み合わせた計測技術の開発
  - 除染効果の確認や避難区域解除の判断のため、陸上の広域な場所や測定が難しい場所（山域等）の効率的な測定、ニーズに応じた詳細な分布の測定
  - 河川水系でのセシウムの移動評価のため、水底のセシウム濃度測定
- 併せて、空からの測定結果を地上の空間線量率に、水底の測定結果を堆積物中の放射性物質濃度に換算する等の評価手法を整備
- 位置分解能を向上させた放射線分布マップを作成し、個人線量評価に活用



空からの放射線測定技術



水底のセシウム濃度測定技術



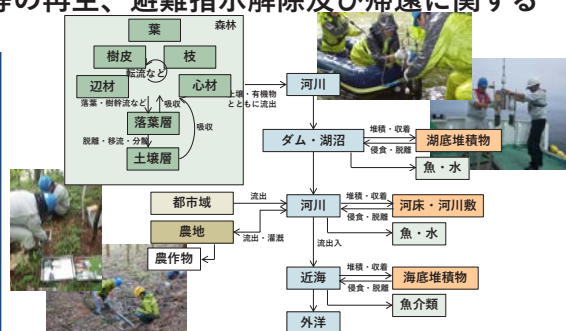
## 環境動態研究

3

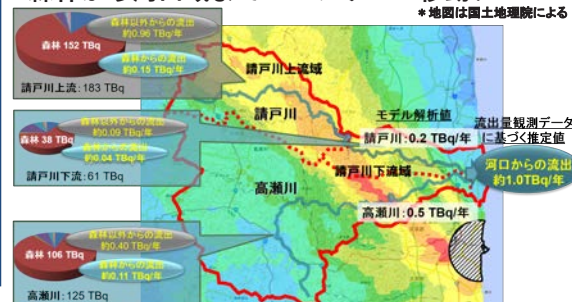
- セシウム挙動評価等を実施し、科学的裏付けに基づいた情報を適時適切に提供
- 合理的な安全対策の策定、農業・林業等の再生、避難指示解除及び帰還に関する各自治体の計画立案等に貢献

### アプローチ

- 森林から河口域まで、個別移動現象を組み合わせて一連のプロセスとすることにより、河川水系全体でのセシウムの移動・堆積挙動を定量的に俯瞰し、支配的な現象を抽出し、それらを表現する数理モデルを構築
- 様々な自然現象や環境条件の変化を想定したセシウム移動・堆積のケーススタディを実施
- 調査から推定された現象を演繹的に確認するとともに、将来の環境中のセシウムや線量率の分布を予測し、自治体等の施策立案のための情報を提供



森林から河口域までのセシウムの移動プロセス  
\* 地図は国土地理院による



請戸川水系全体からのセシウムの流出フロー



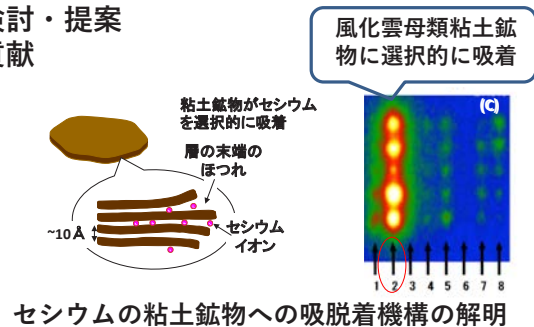
## 除染・減容技術の高度化

4

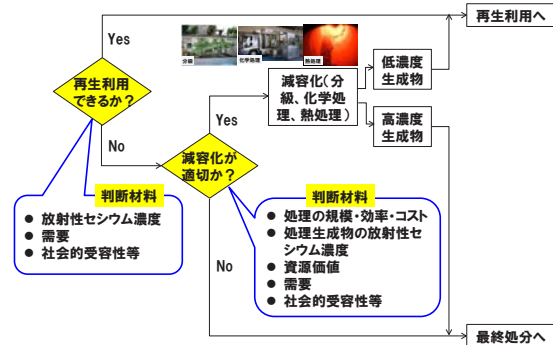
- セシウムの移行メカニズムの解明等
- 合理的な減容方法及び再利用方策の検討・提案
- 除去土壌等の管理に係る負担低減に貢献

### アプローチ

- 帰還困難区域等の復興計画に資する除染後の線量低減効果の評価手法の開発
- 粘土鉱物とセシウムの相互作用について、放射光、X線分光、電子顕微鏡および量子科学計算などを利用した原子・分子レベル解析による土壌粒子に対する吸脱着機構の解明とセシウム除去手法の開発
- 除去土壌等の発生量・性状・セシウム濃度を整理し、再生利用量と最終処分量の試算
- 再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る品質・維持管理の考え方整理、作業時・供用時の被ばく評価による安全性の確認



セシウムの粘土鉱物への吸脱着機構の解明



除去土壌等の減容・再生利用フロー



## 情勢変化への柔軟な対応

5

### 情勢変化

- 中間貯蔵施設への除去土壌等搬入開始 (平成27年3月)
- 行政事業レビュー (平成28年6月)
- 除染の収束と避難区域の解除 (～平成29年4月)
- 福島復興再生基本方針の改訂 (平成29年6月)
- 福島復興再生特別措置法の改正 (平成29年5月)
- 帰還困難区域内に特定復興再生拠点区域を設定 (平成29年9月～平成30年5月)

### 対応

- 減容再生利用戦略策定支援
- 環境動態研究への重点化
- 浪江町林野火災後の調査対応
- 特定復興再生拠点への対応



## 避難指示解除への貢献

環境モニタリング、除染モデル実証、 $^{137}\text{Cs}$ 動態研究、個人線量推定等、  
実効的・総合的な環境回復に係る研究開発成果を国・自治体等へ提供：  
継続して実施してきた活動が多くの自治体における避難指示解除の実現に貢献

- 南相馬市（平成28年7月12日解除）**
- ダム底質の汚染状況や灌漑用水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度の経時変化等のモニタリングと $^{137}\text{Cs}$ 動態研究の成果を提供
  - 除染検証委員会の委員として、避難指示解除に向けた報告書、提言の策定に寄与
  - 環境省を支援し、南相馬市での除去土壌の再生利用実証試験の開始に貢献

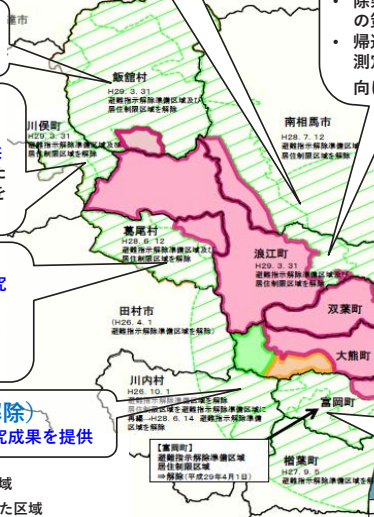
- 飯館村（平成29年3月31日解除）**
- 未除染の山地森林域における $^{137}\text{Cs}$ 動態研究成果を提供

- 川俣町（平成29年3月31日解除）**
- 山地森林域における $^{137}\text{Cs}$ 動態研究成果、キノコ・山菜の $^{137}\text{Cs}$ 濃度測定結果等を提供
  - 帰還後の生活行動パターン・経路に沿った空間線量測定に基づく個人線量推定結果を提供

- 葛尾村（平成28年6月12日解除）**
- 未除染の山地森林域における $^{137}\text{Cs}$ 動態研究を実施中
  - 国による葛尾村の住民説明会資料に、帰還後の生活行動パターン・経路に沿った空間線量測定に基づく個人線量推定結果を提供

- 川内村（平成28年6月14日解除）**
- 未除染の山地森林域における $^{137}\text{Cs}$ 動態研究成果を提供

● 帰還困難区域 ● 避難指示解除準備区域  
● 居住制限区域 ● 避難指示が解除された区域



- 浪江町（平成29年3月31日解除）**
- 灌漑用水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度や請戸川河川敷の $^{137}\text{Cs}$ 濃度の経時変化等のモニタリングの成果を検証委員会へ報告し、避難指示解除の根拠の一つとなった「避難指示解除に関する有識者検証委員会報告書」策定に貢献

- 除染検証委員会の委員として、除染検証結果報告書の策定に寄与
- 帰還後の生活行動パターン・経路に沿った空間線量測定に基づく個人線量推定結果を提供（自治体職員向けの説明会を実施）

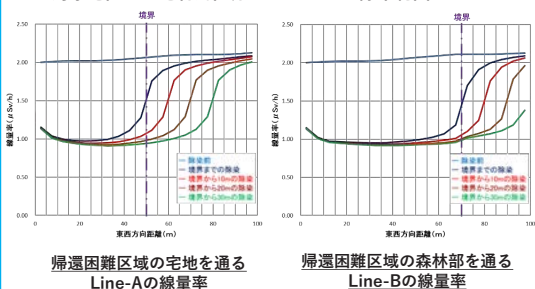
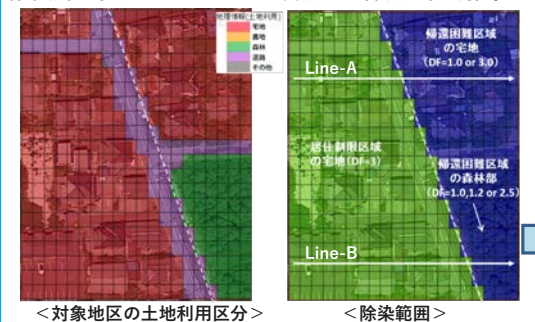
- 富岡町（平成29年4月1日解除）**

- 河川、ダム、河口域の $^{137}\text{Cs}$ 動態研究成果と市街地、山域における線量率の調査結果を提供
- 除染検証委員会の委員として、避難指示解除に向けた報告書・提言の策定に寄与
- 居住制限区域と接する帰還困難区域（境界付近）を除染することによる居住制限区域の線量低減効果の予測評価を実施し、その評価結果を参考にした町の要望も踏まえ、帰還困難区域の境界付近の除染を環境省が実施
- 住民相談窓口対応の一環として、放射線計測の技術支援活動を実施する等、帰還に向けた住民の不安解消に貢献
- 帰還後の生活行動パターン・経路に沿った空間線量測定に基づく個人線量推定結果を提供（自治体職員、避難住民向けの説明会を開催）



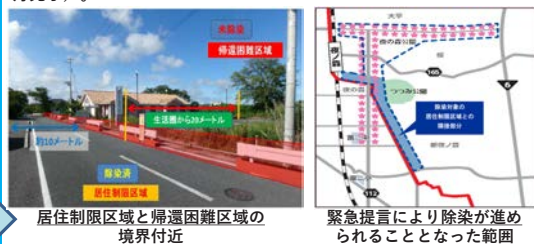
## 避難指示解除への貢献 - 富岡町における除染活動の支援 -

除染活動支援システム“RESET”による  
除染効果の予測シミュレーション  
富岡町の依頼を受け、居住制限区域に対する帰還困難区域からの放射線の影響を評価するため、境界からの除染範囲をパラメータに除染効果の予測シミュレーションを実施した（平成27年11月）。



### 居住制限区域と帰還困難区域の境界際の除染<sup>1)</sup>

富岡町除染検証委員会は、生活圏の線量率の低減及び町民の不安解消の観点から、居住制限区域に接する帰還困難区域側の除染の実施について緊急提言を行った。環境省は、委員会の提言を踏まえ、境界から20mまでの帰還困難区域の除染を実施した（平成28年11月完了）。



1) 出典：富岡町除染検証委員会報告書ほか



## 復興庁行政事業レビュー対応（平成28年6月）

8

### レビュー結果

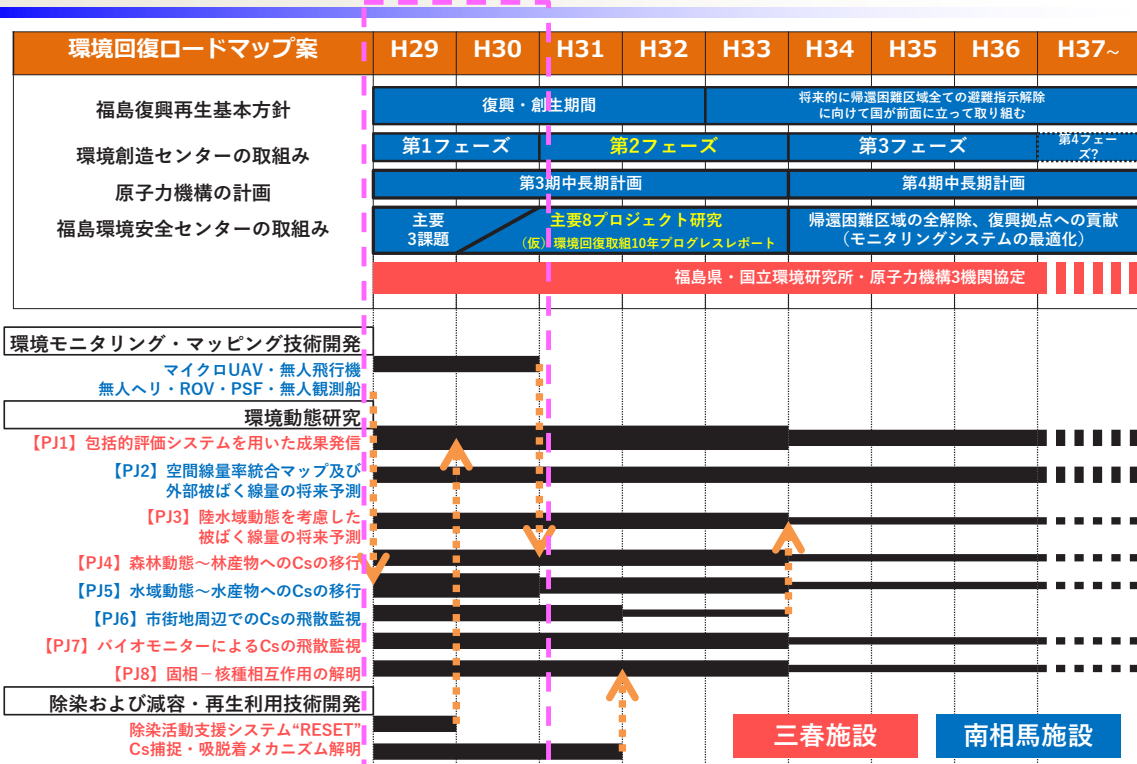
（6名の委員評価：「廃止」0、「事業全体の抜本的改善」0、「事業内容の一部改善」5、「現状通り」1）

- ・技術開発や研究成果の検証を徹底し、対象事業の絞り込みや重点的な目標の設定等メリハリをつけた取り組みが必要
- ・長期的な取り組みが必要なものについては、その進捗状況を踏まえ、将来一般会計等において実施することも検討すべき
- ・今後の進捗に応じて、県、国立環境研究所との役割分担を検討していくことが必要



## 環境回復の研究開発に係るロードマップ

9





# 主務大臣評価

10

|        | 平成27年度 | 平成28年度 | 平成29年度 |
|--------|--------|--------|--------|
| 主務大臣評価 | A      | A      | A      |
| 自己評価   | A      | S      | A      |

## 平成27年度

- 環境回復に係る研究開発に関しては、環境動態研究、除染減容技術の高度化技術開発等を実施し、環境回復対策の検討や自治体の復興計画立案等に貢献する顕著な成果を創出したことから、高く評価する。

## 平成28年度

- 環境回復に係る研究開発に関しては、線量率分布測定技術及び可視化技術の開発、除染等で発生する廃棄物の再利用・減容技術の開発等、顕著な成果が創出されていることから、高く評価する。
- 環境回復に係る研究開発については、地元自治体や関係機関等のニーズを把握することに努め、着実に実施するとともに、その成果の普及を図ることで、福島県の環境回復及び環境創造への取組を支援することが必要である。

## 平成29年度

- 中長期目標等に沿って、放射性物質による汚染された環境の回復に係る実効的な研究開発を着実に実施している。
- 平成29年5月に帰還困難区域である浪江町において山林火災が発生した。この火災による放射性物質飛散の環境影響評価のため、これまでの環境回復に関する研究において整備してきた調査・解析手法、技術開発の成果を最大限に活用して火災後の森林の線量率分布等の解析・予測を実施し、調査結果を自治体等へ報告した。このことは、研究成果を生かし、自治体のニーズに適切かつ柔軟に貢献した好例であり、高く評価すべきである。
- 自治体の要請に応じ、復興拠点と想定される地区の詳細な除染シミュレーションと空間線量率の将来予測や公共施設の空間線量率の将来予測を実施し、結果について情報提供を行った。また、除染エリアを対象とした空間線量率の追跡調査では、これまでの調査データにより、空間線量率の平均値が継続して低下傾向であることを示し、これまでの調査の総括を実施して、その結果が環境省から公表された。これらのことは、研究成果を生かし、国、自治体のニーズに適切かつ柔軟に貢献した、今後の避難区域解除に貢献しうる成果であり、高く評価すべきである。



資料 8-6-1

# 環境モニタリング・マッピング技術開発

平成30年12月1日

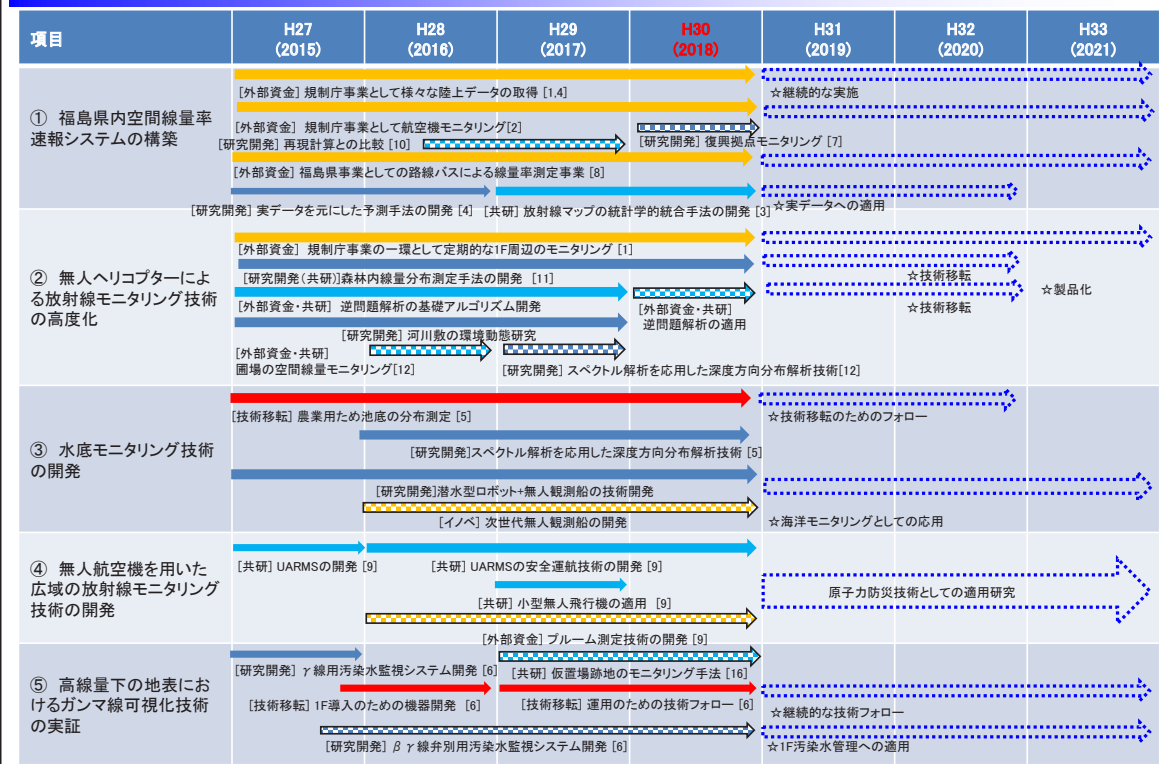
眞田 幸尚

福島環境安全センター



## 研究開発の進捗状況の妥当性

➡ 当初予定内容  
 ⇨ 状況変化等による派生した研究項目





## 主要な成果とアウトカム

### [1] 実効的かつ総合的な環境モニタリング

2

【当初の目標と背景】規制庁の受託事業で行われる「放射性物質の分布データの集約」の継続的な実施。様々なツールを用いた複合的なモニタリング。

#### 【成果の概要】



#### アウトプット

- モニタリングの確実な実施とHP等による公開
- 原子力学会 貢献賞受賞 (2018年)
- Journal of Environmental Radioactivity特集号3回等、関連論文22本

#### アウトカム

- 測定結果は除染範囲の決定等、行政的な意思決定に採用→避難指示解除の実現に向けた国、自治体における検討に大きく貢献



## 主要な成果とアウトカム

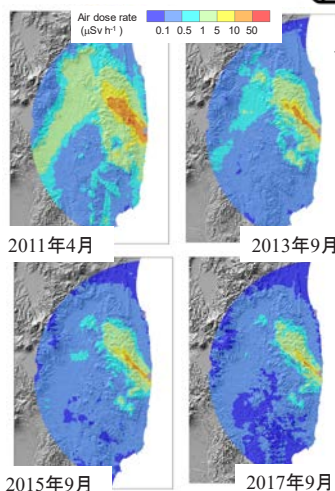
### [2] 継続的な広域モニタリングと評価・解析手法の高度化

3

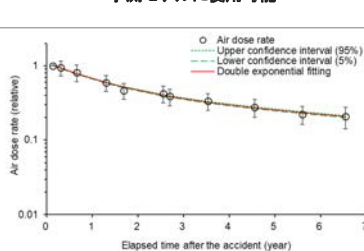
【当初の目標と背景】規制庁の受託事業で行われる航空機モニタリングの継続的な実施・測定結果の評価(環境半減期)・解析手法の高度化。

#### 【成果の概要】

##### ★継続的なモニタリングの完遂

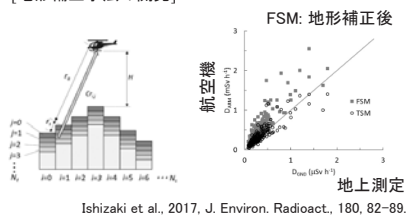


##### ★測定結果の評価 →予測モデルに使用可能

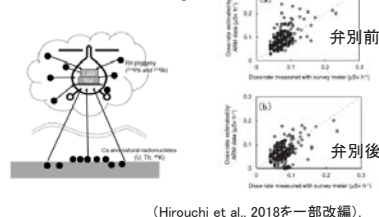


##### ★解析手法の高度化

###### [地形補正手法の開発]



###### [空気中ラドン弁別手法開発]



#### アウトプット

- 原子力学会 技術賞受賞 (2017年)
- Journal of Environmental Radioactivity特集号3回等、関連論文22本
- The JNST Most Popular Article Award (Inomata et al., 2015)

#### アウトカム

- 測定結果は除染範囲の決定等、行政的な意思決定に採用→避難指示解除の実現に向けた国、自治体における検討に大きく貢献
- 手法の高度化と変化傾向評価



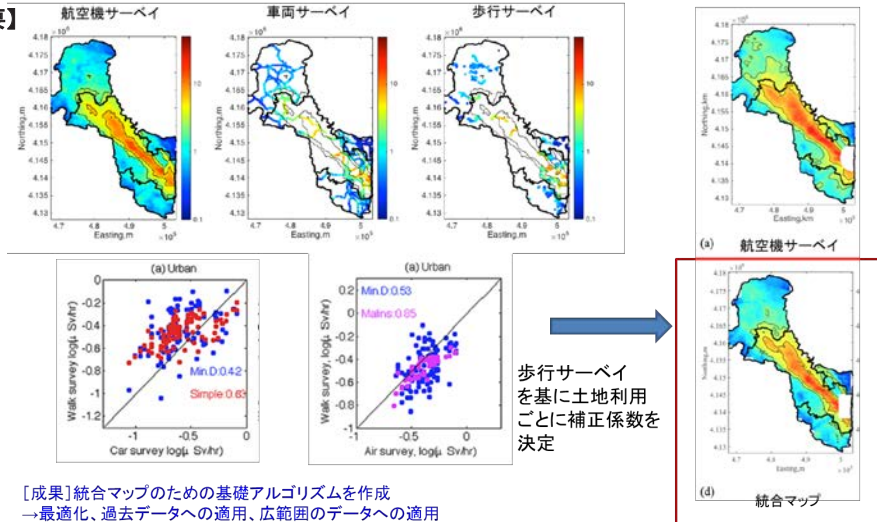
## 主要な成果とアウトカム

### [3] 統計学的な統合マップ化手法の開発

4

【当初の目標と背景】事故時の放射線計測や解析技術の世界トップレベルであるローレンスパークレー国立研究所と測定手法の異なる測定結果の統計学的な統合手法を共同で研究。

#### 【成果の概要】



(Wainwright et al., 2017を一部改編)

アウト  
プット

- 統合マップ手法は、規制庁事業として様々なデータに適用することを目的に開発中
- 現在、計算過程の最適化等最終段階
- 英文論文2件

アウト  
カム

- 原子力規制庁により、被ばく評価のベースデータとして採用を検討中



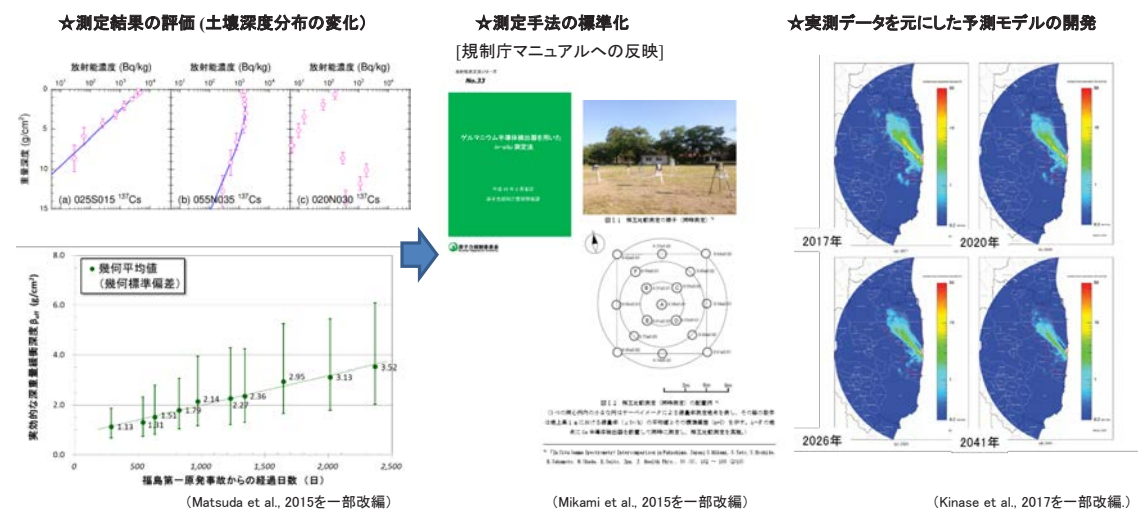
## 主要な成果とアウトカム

### [4] 測定手法の標準化と予測モデルの開発

5

【当初の目標と背景】事故後の知見を反映した土壤中における放射性セシウムの直接測定手法の検証及び測定手法の標準化への貢献。実際の測定データの解析を元にした将来予測モデルの開発。

#### 【成果の概要】

アウト  
プット

- 土壌の深度分布測定を継続的に実施
- 様々な測定データを集約・パラメータ化により予測モデルを開発
- 関連論文6本

アウト  
カム

- 深度分布のデータは沈着量評価等の様々な研究のベースデータに採用
- 規制庁マニュアルへの反映



## 主要な成果とアウトカム

### [5] 農業用ため池底の直接測定手法の開発

6

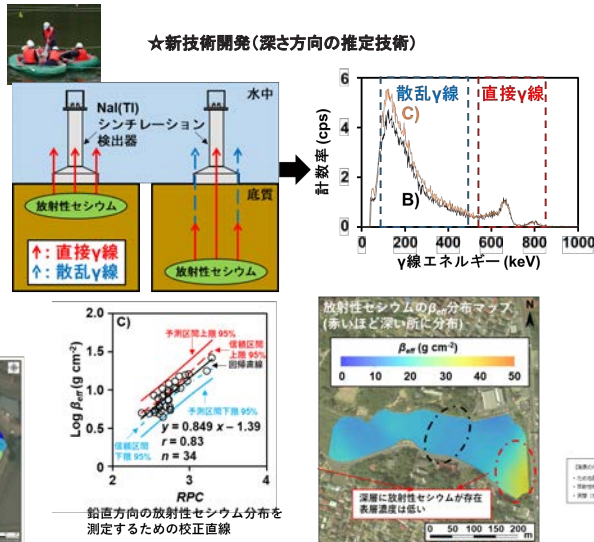
【当初の目標と背景】福島県内に3700か所あるため池底の放射性セシウムの蓄積状況をサンプルを採取することなく現場で直接的に分布を把握する手法の開発。営農再開及び除染判断等に反映を目指す。

#### 【成果の概要】

##### ★ファイバー型検出器の適用



##### ★新技術開発(深さ方向の推定技術)



##### ★成果の公表、標準化

アウト  
プット

- H26年度からの福島県農林水産部による実証事業の助勢(水土里ネット福島との技術指導契約～現在も継続中)
- H26年及びH30年に技術開発のプレス発表を実施
- 関連論文4本

アウト  
カム

- 福島県農林水産部によるため池の測定事業への貢献
- ため池の除染等の政策判断に活用
- 農水省マニュアルへの採用(H26)



## 主要な成果とアウトカム

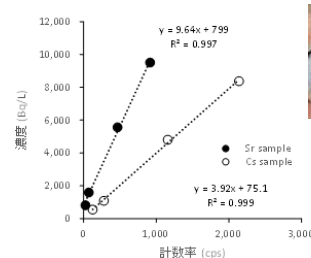
### [6] オンサイトにおける汚染水管理技術開発

7

【当初の目標と背景】1F構内における汚染水管理が社会的な問題となる中、簡便な漏洩検知方法が求められている。ファイバー型の検出器の適用を検討し、現場での運用を目指す。

#### 【成果の概要】

##### ★1Fでの基礎試験と運用開始



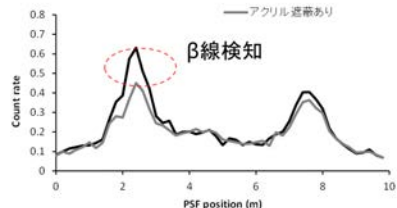
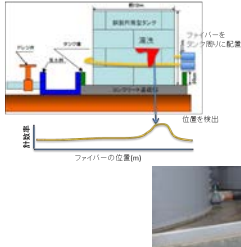
##### ★新技術開発(βγ弁別型)

##### 研究進捗による新展開



##### ★ファイバー型検出器の適用

##### ○ 案1:タンク周りでの迅速漏洩検知



真田ら, 2016, JAEA-Research, 2016-011

アウト  
プット

- 1F敷地内での実証試験を実施
- 当初の予定から派生し、βγ弁別型システムを開発
- 関連論文2本

アウト  
カム

- 成果が認められTEPCOによる排水溝でのモニタリング機器としての採用(5か所に設置)
- βγ弁別型も現場採用予定



## 主要な成果とアウトカム

### [7] 復興拠点モニタリング方法の検討

8

【当初の目標と背景】帰還困難区域における特定復興再生拠点区域の整備にむけた放射線防護対策の検討に必要となる科学技術的な知見の提供。内閣府および規制庁から本年8月に依頼され、迅速に対応。

#### 【成果の概要】

##### ★無人ヘリによる詳細モニタリング

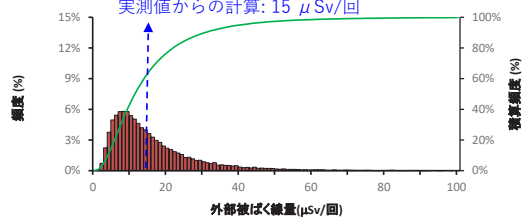
##### 研究進捗による新展開

##### ★外部及び内部被ばく評価(確率論的評価手法の検討)

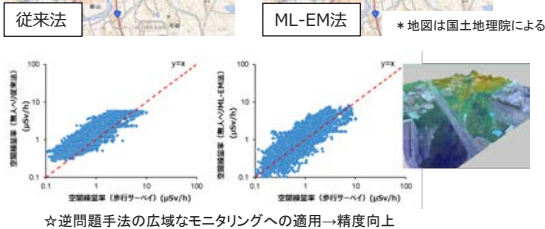
[決定論的評価手法]

| 行動パターン (想定) | 朝<br>8:00~ | 昼<br>~18:00 | 夕<br>~18:00 | 1回の活動に伴う外部被ばく線量 $\mu\text{Sv}/\text{回}$ |
|-------------|------------|-------------|-------------|-----------------------------------------|
| 大川原地区での勤務   |            |             |             | 1.4                                     |
| 福島第一原発での勤務  |            |             |             | 9.1                                     |
| 調査区域内を自由に移動 |            |             |             | 15                                      |

[確率論的評価手法]

実測値からの計算:  $15 \mu\text{Sv}/\text{回}$ 

★モンテカルロ計算コードを用いた確率論的評価は、防護対策に有効であることを確認



★逆問題手法の広域なモニタリングへの適用→精度向上

アウト  
プット

- 規制庁モニタリングの実績等が評価され、内閣府および規制庁から復興拠点のモニタリング技術の確立として依頼
- H30年度の成果をとりまとめ中 (関連論文2本)

アウト  
カム

- 特定復興再生拠点区域における放射線防護対策の検討に関し、内閣府が原子力規制委員会で報告する資料に成果が反映
- 復興拠点の全域解除に向けて引き続き協力



## 主要な成果とアウトカム

### [8] 路線バスを利用した放射線測定システム

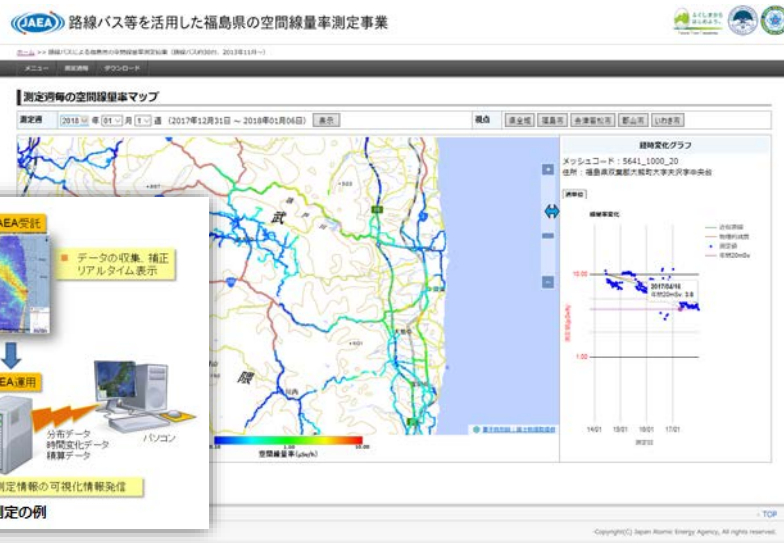
9

【当初の目標と背景】H24から開発を始めた自動車用放射線測定機器 (KURAMA) を路線バスに搭載し、自動的に放射線情報を公開するシステムの開発と運用。市街地の詳細なモニタリングデータとしての活用。

#### 【成果の概要】

##### ★システムのホームページ公開

[https://info-fukushima.jaea.go.jp/joho/car\\_survey2/weekly\\_map.html](https://info-fukushima.jaea.go.jp/joho/car_survey2/weekly_map.html)

アウト  
プット

- 福島県の復興事業としての継続的な運用
- ホームページにおける可視化機能の充実・継続的な機能付加
- 関連論文2本

アウト  
カム

- 市街地における安心・安全を示すデータとして貢献



## 主要な成果とアウトカム

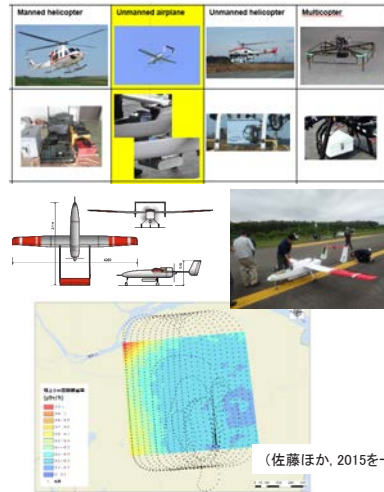
### [9] 無人飛行機システム (UARMS) の開発

10

【当初の目標と背景】 H24から開発を始めた無人飛行機による放射線測定システムの運用研究および応用研究。飛行時間6時間という燃費の良さを生かした広域な測定技術。

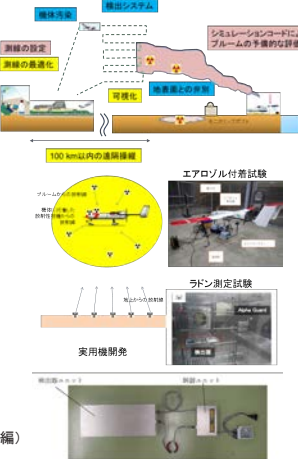
#### 【成果の概要】

##### ★無人飛行機の開発



(佐藤ほか, 2015を一部改題)

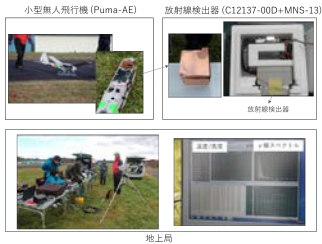
##### ★原子力防災への適用研究 (ブルーム計測技術開発: 規制庁受託)



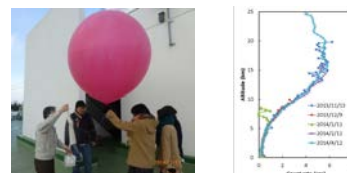
##### 研究進捗による新展開

##### ★開発経験をベースにした様々なプラットフォームへの適用研究

##### 【小型無人飛行機の活用 (H29 NICT共研)】



##### 【ゾンドの活用 (H25-H26 福島大共研)】



#### アウト プット

- H24-H27まで、システム開発を実施
- 計測自動化学会の論文賞を受賞 (2017年)
- 関連論文6本

#### アウト カム

- 原子力防災への適用研究としてのブルーム計測技術開発事業を受託
- 放射線計測技術はその他のプラットフォームへも波及



## 主要な成果とアウトカム

### [10] 放射性セシウムの沈着過程の推定

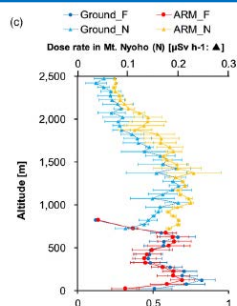
11

【当初の目標と背景】 事故時における放射性核種の沈着メカニズムについては、いまだに明らかとなっていない。大気拡散計算の一種であるWSPEEDIと航空機モニタリングの結果を比較して考察し、沈着過程の考察を実施。

#### 【成果の概要】

##### ★山域での航空機と地上の比較 (精度検証)

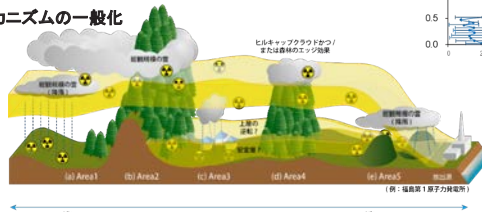
##### 研究進捗による新展開



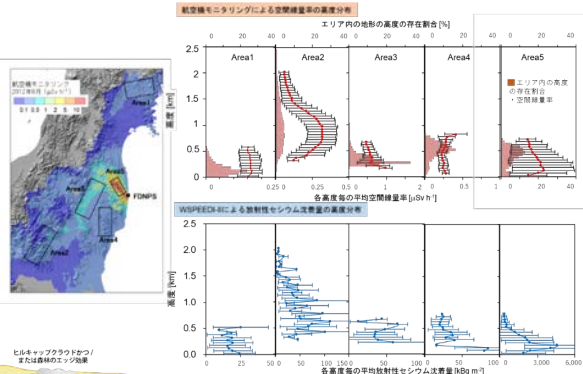
##### ★成果の公表



##### ★沈着過程メカニズムの一般化



##### ★航空機データと再現計算との比較から特徴点の抽出



(Sanada et al., 2018を一部改題)。

#### アウト プット

- 航空機モニタリングのデータと大気シミュレーションを組み合わせた新展開 (茨城大学、産総研の研究者との共同研究)
- H29年度プレス発表実施
- 関連論文3本

#### アウト カム

- 一般的な汚染物質の大気中の挙動に関する画期的な知見を導出 (環境科学分野への貢献)



## 主要な成果とアウトカム

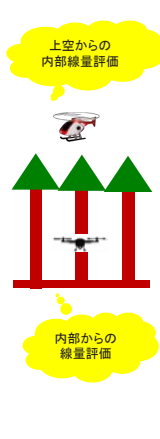
### [11] 森林内線量分布測定手法の開発

12

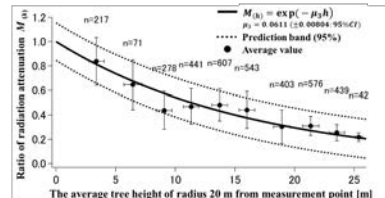
【当初の目標と背景】放射性セシウムが長期的に存在すると予測される森林において、森林の活用、被ばく対策等のため、森林内の放射線分布を効率的かつ詳細にモニタリングする技術を開発する。

#### 【成果の概要】

##### ★アプローチ

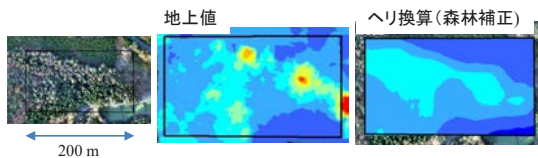
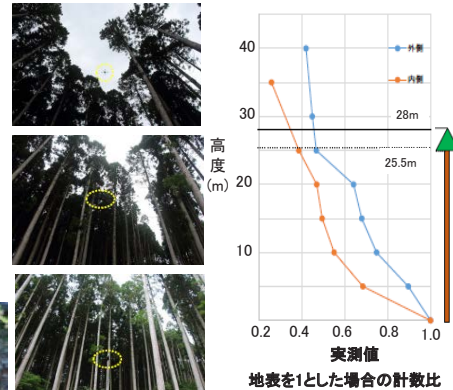


##### ★上空からの評価のための樹木の遮蔽係数評価 (広島大学共同研究)



上空からの実測結果と森林内の線量率測定結果から樹木の高さと遮蔽率の関係性を導出

##### ★ドローンを用いた森林内(林縁部)鉛直分布の実測 (森林総研共同研究)



(Sasaki et al., 2018を一部改編)

LNBLとの共研による3次元計測、  
名大との共研による逆問題解析に発展

#### アウト プット

- 樹高と遮蔽の関係性を発見
- 樹幹や樹木密度等による線量分布の違いや、落葉の有無による影響等の検討を継続中
- 関連論文2本

#### アウト カム

- 放射線の換算パラメータとして貢献
- 他の共研に発展中



## 主要な成果とアウトカム

### [12] 牧草地におけるモニタリング手法確立

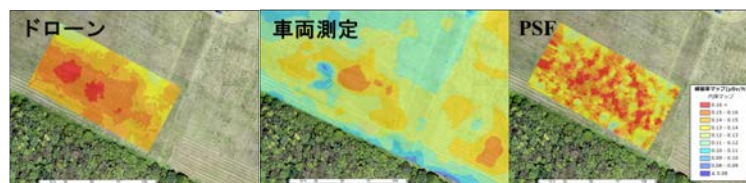
13

【当初の目標と背景】除染直後に土壌の天地返しを行った場所では、深い場所にセシウムが存在し、牧草の根から放射性セシウムが移行しやすくなるという報告。深さ方向の分布をダイレクトに測定する手法が求められている。

#### 【成果の概要】

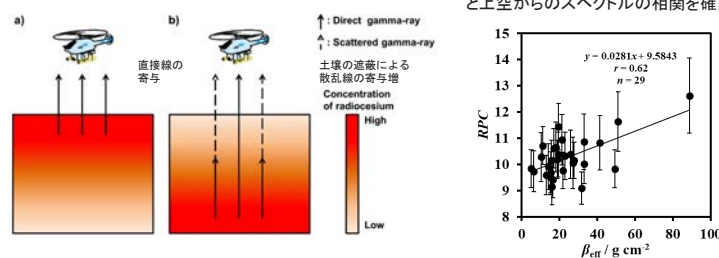
##### ★様々な手法によるモニタリング手法の検討

##### 研究進捗による新展開

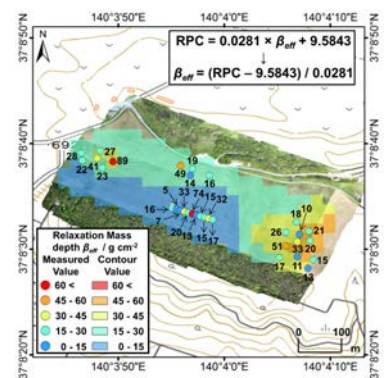


##### ★土壌深度のスクリーニング手法の開発

土壌サンプリングによる緩和深度結果と上空からのスペクトルの相関を確認



南側エリアを除き反転耕した圃場での無人ヘリモニタリング



(Ochi et al., 2017を一部改編)

#### アウト プット

- 東大、家畜改良センター、北里大学と農研機構の競争資金を元に共同研究
- 無人ヘリにより測定したスペクトルを解析することで深さ方向の分布を推定する技術を開発
- 関連論文2本

#### アウト カム

- 浪江町おまる牧場等へ本手法を適用するなど広大な圃場の標準的な測定手法として適用研究中



## 主要な成果とアウトカム [13] 韓国との連携

14

【当初の目標と背景】クロスボーダーアクシデントを想定し、隣国との原子力防災時における情報交換は必要。原子力防災に係る放射線計測の専門家との比較測定等実施。KINS: 韓国原子力安全技術院, KAERI: 韓国原子力研究所

### 【成果の概要】

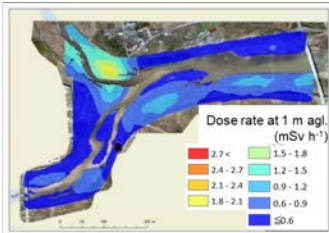
#### ★KINSとの定期的な情報交換と福島での比較測定 (H25～)

|            |                                  |
|------------|----------------------------------|
| 2013/10/22 | 第1回技術会議@東京+有人ヘリ見学(規制庁監視情報課主催)    |
| 2013/12/26 | 第2回技術会議@デジョン+韓国無人ヘリ見学            |
| 2014/10/14 | 第3回技術会議@東京+F1周辺見学@福島             |
| 2015/10/1  | 第4回技術会議@ひたちなか+F1周辺における検出器比較試験@福島 |
| 2016/7/26  | 第5回技術会議@つくば+GAGG検出器工場見学          |
| 2018/11/7  | 第6回技術会議@福島+有人ヘリ見学                |
| 2019/2/xx  | 第7回技術会議@デジョン                     |

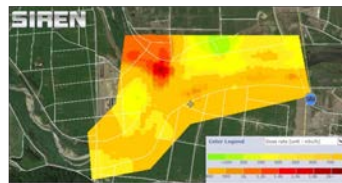
#### ★KAERIとの情報交換・比較測定 (H30～)

2018/10/2-5 情報交換+共同測定実施

JAEA data: analyzed by JAEA



JAEA data: analyzed by KINS



アウト  
プット

- 原子力防災への適用を視野に、福島で培った技術適用に向け様々な観点から情報交流および福島での共同試験を実施
- 関連論文1本

アウト  
カム

- 隣国との放射線計測技術の相互理解
- 新技術の共同研究を検討中



## 主要な成果とアウトカム [14] 航空機モニタリングに関する関係各国との情報交換

15

【当初の目標と背景】クロスボーダーアクシデントを想定し、米国との原子力防災時における情報交換は重要。航空機モニタリングに関する国際情報交換を定期的の実施。

### 【成果の概要】

#### ★International AMS meeting (NNSA主催) における定期的な情報交換、福島における情報の提供

|              |                                                                                                       |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2018/6/25-29 | 6th AMS International Technical Exchange on Uncertainty in Radiological Aerial Measurements           |
| 2018/2/20-22 | US-Japan Technical Workshop on Aerial Radiological Emergency Response Concept of Operations           |
| 2016/4/11-15 | International AMS Technical Exchange Alternative Platforms for Aerial Radiological Emergency Response |
| 2012/4/9-12  | International Aerial Measuring Systems (AMS) Symposium                                                |



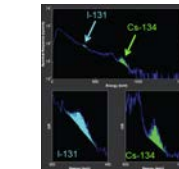
#### ★事故初期に米国が取得したデータからI-131の濃度マップ作成



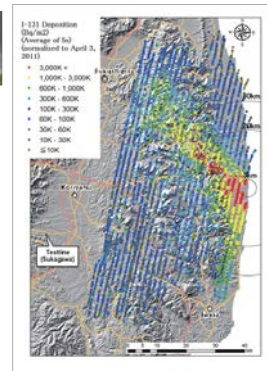
Aircraft used by DOE for monitoring



Radiation Detector on the Aircraft



Extracting iodine-131 peak and cesium-134 peak from spectra



A result of iodine-131 measured on April 2 and 3

\* 地図は国土地理院による  
(Torii et al., 2013を一部改編)

アウト  
プット

- 事故後、航空機モニタリングの技術移転を米国DOEから受けた関係性から国際会議等での講演を実施
- 各国の防災関係者との交流

アウト  
カム

- 世界中の関係者への福島の情報を提供
- 航空機モニタリングに関する国際的な動向を調査



## 主要な成果とアウトカム

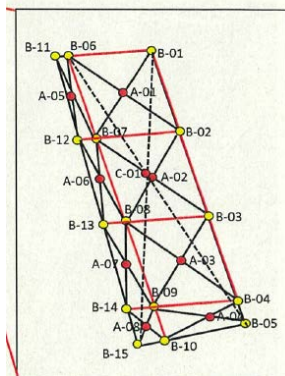
### [15] 福島県環境創造センターとの共同研究

16

【当初の目標と背景】仮置場跡地のモニタリング方法は除染関係ガイドラインに土壌サンプルの採取と測定と定められている。効率的な評価方法の確立が求められている。

#### 【成果の概要】 ★様々な手法を適用し比較

##### ★除染関係ガイドライン

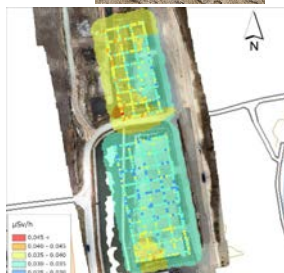


サンプル採取の手段  
全域の評価が難しい

PSF



In-situ Ge



無人ヘリ

アウト  
プット

- H29年度に3つの仮置場での測定を経て、手法の一定の信頼性を確認
- H30年度もいくつかのフィールドでの適用可能性を検証中

アウト  
カム

- 仮置場における標準的な手法として採用を目指す



## 主要な成果とアウトカム

### [16] 米国LBNLとの共同研究

17

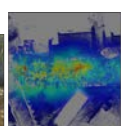
【当初の目標と背景】事故時の放射線計測や解析技術の世界トップレベルであるローレンスバークレー国立研究所とSLAM技術を用いた3次元分布計測技術の開発。測定手法の異なる測定結果の統計学的な統合手法を共同で研究。

#### 【成果の概要】

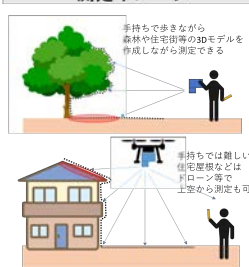
##### ★3次元放射線計測装置の開発



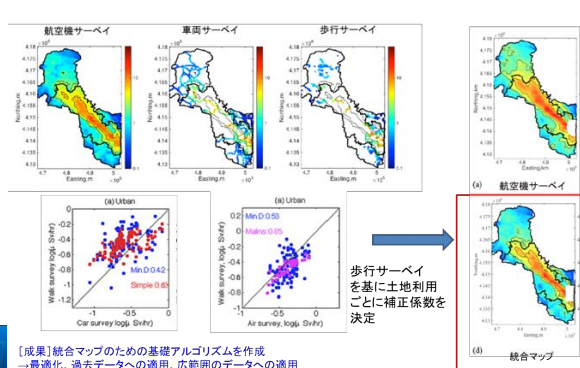
##### 竹林にて歩行測定



##### 測定イメージ



##### ★統合マップ化手法の開発



(Vetter et al., 2016を一部改編)

(Wainwright et al., 2017を一部改編).

アウト  
プット

- SLAM技術を用いた3次元分布計測技術の開発
- 統合マップ手法は、規制庁事業として様々なデータに適用することを目的に開発中
- 関連論文3本

アウト  
カム

- 3次元計測技術の技術移転を検討中
- 統合マップは被ばく評価のベースデータとして採用を検討中



## H30以降の研究イメージ(⇒今後の取り組み)

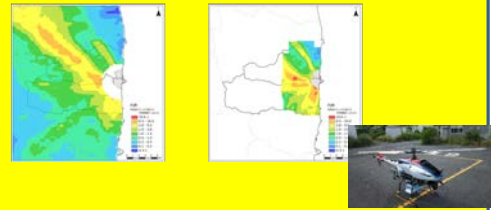
18

- ・遠隔モニタリング技術の高精度化とローカルな環境動態研究の融合
- ・ローカルな測定情報の比較を基にした解析範囲のスケールアップ

### ★放射性計測技術開発

広域な測定データからの全体像の把握

陸海の継続的なモニタリング  
防災技術としての応用



精度の向上

接点

- ・特徴点・パラメータ
- ・シミュレーション

新たな知見から描く環境中での放射性セシウムの挙動



比較データ取得

### ★環境動態研究

ローカルデータの積み重ねによるセシウムの挙動メカニズムの解明



## まとめと自己評価

19

○継続的な航空機モニタリングや地上測定などの大規模事業を**継続的に安全に**遂行するとともに、変化傾向などの有効な情報を取りまとめている。

○測定手法について、精度向上や新たな情報を取得可能な新技術開発に継続的に取り組み、成果は公表するだけでなく**現場適用・技術移転**を進めている。

○上記の成果については、国内外の科学雑誌に**75本の論文**としてまとめており、プレス発表するなど成果公表に努めている。

○上記の成果は、**国内学会で表彰**され、学術的評価が高い。

○上記の成果が認められ、内閣府から復興拠点に関する**新たな業務**を依頼されたり、TEPCOからのニーズに基づきβγ弁別型の検出器を開発するなどの**新展開**があり、当初の予定以上の成果を導出している。



自己評価[S] (研究開発成果の最大化)に向けて**特に顕著な成果の創出**や将来的な成果の創出の期待等が認められる)



資料 8 - 7 - 1

# 福島長期環境動態研究

平成30年12月1日  
飯島 和毅  
福島環境安全センター

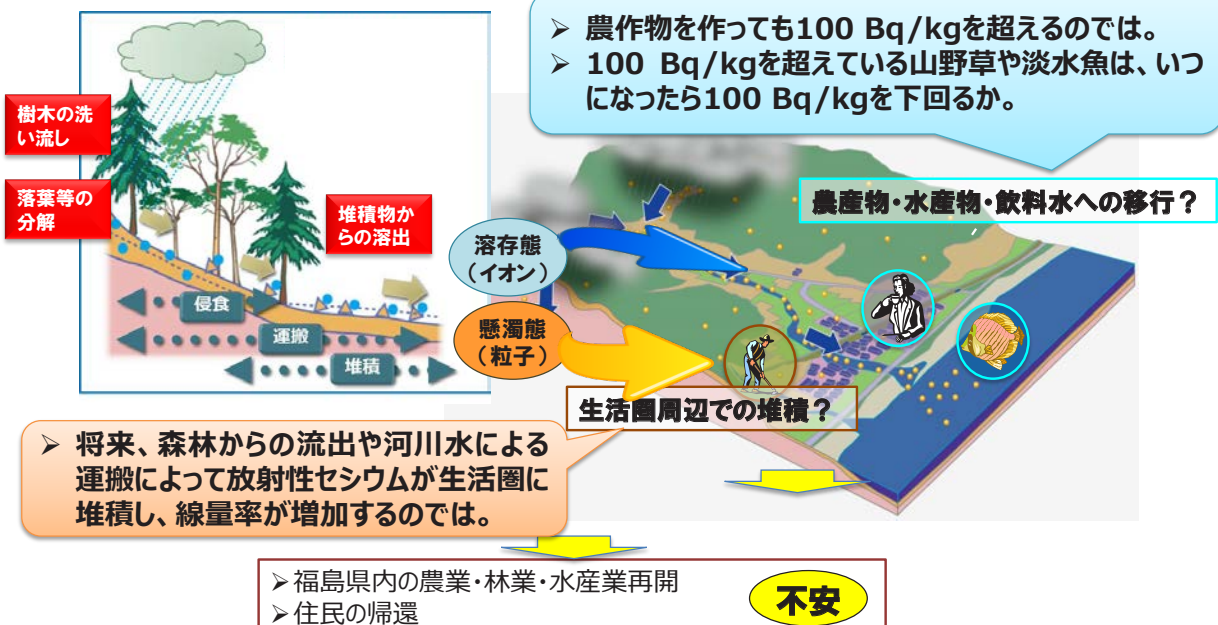


## (1) 研究開発の全体像；背景

1

環境中に残存する放射性セシウムの濃度は、どのように変化するか。

環境中の放射性セシウムは、生活圏に影響を及ぼさないのか。





## (1) 研究開発の全体像；目的

2

環境中に残存する放射性セシウムの濃度は、どのように変化するか。

環境中の放射性セシウムは、生活圏に影響を及ぼさないのか。

現地調査・室内実験により、  
・移動挙動データ取得と傾向の把握  
・溶存態の生成等のメカニズム解明

・環境データベースの整備  
・環境中移動挙動や、農産物等への移行・被ばく線量評価のための解析ツールの整備



## (2) 個別課題と達成目標

3

|                                | 27年度                                                                | 28年度                                   | 29年度                                 | 30年度                                        | 31年度                  | 32年度 | 33年度 |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|------|------|
| 【移動挙動調査】                       | 放射性セシウム流出量の調査観測手法の構築                                                | 放射性セシウム流出量の調査観測、流出量評価と移動現象理解           | 調査流域を60%に合理化                         | 溶存態放射性セシウムの移動挙動の把握                          |                       |      |      |
| ① 放射性セシウム流出量評価 (森林、河川水系、市街地)   | 除染地における観測開始                                                         |                                        |                                      |                                             |                       |      |      |
| ② 農林水産物への放射性セシウム移行挙動評価         | 農林水産物(樹木、山菜、きのこ、樹木根)・水産物への放射性セシウム移行挙動調査                             | 自治体からの要望が多いことから、関係研究機関と協力しつつ前倒し実施      |                                      | 放射性セシウム分布、溶存態放射性セシウム移行挙動、農林水産物の濃度変化との関連性の検討 |                       |      |      |
| ③ 挙動理解を支える調査研究 (沈着挙動調査、核種挙動調査) | 国際認証QA体系下での各種環境試料の分析、初期沈着化学種の分布状況把握、放射性セシウム移動・吸着媒体の解明、核種含有粒子分析手法の開発 | 有機結合型トリチウム(OBT)、Sr-90の分析手法確立           | 自治体・漁協からの要望が多いことから、関係研究機関と協力しつつ前倒し実施 | QA体系下での環境試料の分析、核種化学種と移動プロセスの解明              |                       |      |      |
| ④ 突発的な事象への適用：十万山火災の環境影響調査      |                                                                     | 浪江町十万山林野火災の環境影響調査                      | 福島県環境創造センター3機関が分担・協力                 | 検出下限値の向上、多核種同時分析への発展                        |                       |      |      |
| ⑤ オンサイト研究への適用：オンサイト核種初期分布推定    |                                                                     | オフサイト核種分布・動態に基づくオンサイト核種初期分布推定(文科省公募事業) |                                      | 延焼森林における環境影響調査                              |                       |      |      |
| 【個別モデル・データベース】                 | 土壌流亡解析、河川水系解析、被ばく評価モデル整備、パラメータ整備                                    | 解析モデルの妥当性確認、包括的評価システムへの組み込み            |                                      | 河川水系解析モデルにおける溶存態放射性セシウム移動挙動予測精度の向上、妥当性確認    |                       |      |      |
| 解析モデル群の開発と整備、パラメータ整備           | 森林／水域生態系の放射性セシウム移行解析モデル開発、包括的評価システムへの組み込み                           |                                        |                                      | 農林水産物への移行挙動予測精度の向上、妥当性確認                    |                       |      |      |
| 【包括的評価システム開発】                  | 環境モニタリングDBへのデータ組込                                                   |                                        |                                      | データ更新・Q&Aサイト更新                              | 包括的評価システムの公開プロトタイプ完成  |      |      |
|                                |                                                                     |                                        |                                      | 根拠情報Q&Aサイト整備・公開                             | 新たな成果や改良モデル・予測結果の組み込み |      |      |
|                                |                                                                     |                                        |                                      | 解析事例ベース整備                                   | システムの利用性改善            |      |      |

● 情勢変化や得られた知見、自治体等の要望に基づき研究開発を前倒し、追加実施、成果創出  
→ 農林水産物への移行挙動、OBT及び<sup>90</sup>Sr分析手法の確立、林野火災地における環境影響調査

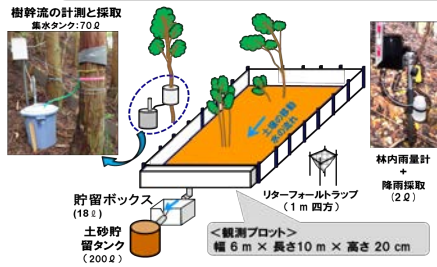


## (4) 主要な成果とアウトカム (1/14)

## 森林域における環境動態

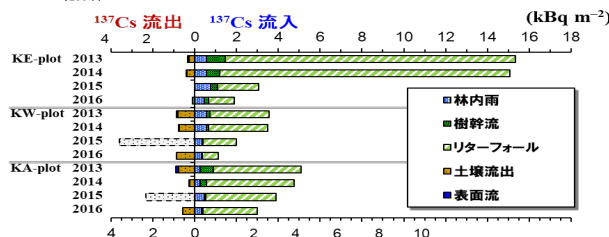
4

- 里山近隣における未除染の森林および山岳地における長期観測により、林外への放射性セシウム流出量はいずれも沈着量の1%未満であり、森林は放射性セシウムを留める機能を有する(Niizato et al., 2016; 渡辺ほか, 2017)。
- 除染地での観測から、除染後1年程度で森林地表面の落葉や下草が増加し、未除染地と同程度の流出率となる結果が得られ、林外への流出抑制では地表面の被覆を維持・回復することが重要である点を明確にした。

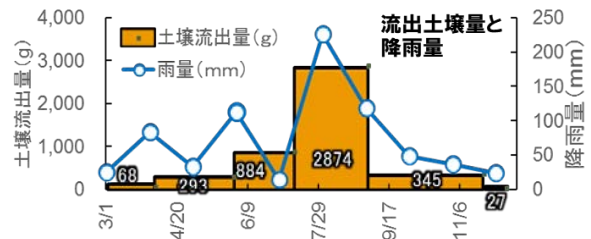


## ● 観測プロットによる放射性セシウム流出量の観測

- ・林内雨
- ・リターフォール
- ・樹幹流
- ・土壌流出
- ・表面流



## ● 除染地における放射性セシウム流出量の観測



観測期間 2016年3月16日-12月9日

| $^{137}\text{Cs}$ 沈着量<br>[kBq m <sup>-2</sup> ] | 流出土壌<br>[kg m <sup>-2</sup> ] | $^{137}\text{Cs}$ 流出量<br>[kBq m <sup>-2</sup> ] | $^{137}\text{Cs}$ 流出率 |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------|
| 1,600                                           | 0.56                          | 10.5                                            | 0.66 %                |

アウトカム

- 得られた成果を自治体に提供し、自治体主催の住民説明会における基礎資料として活用された。
- 林外への放射性セシウム流出抑制対策において落葉落枝と下草の重要性を明確にできた点は、帰還地における里山管理や住居周辺の抑制対策における活用を期待。
- 投稿論文1件、学会proceedings 1件



## (4) 主要な成果とアウトカム (2/14)

## 河川水系における環境動態

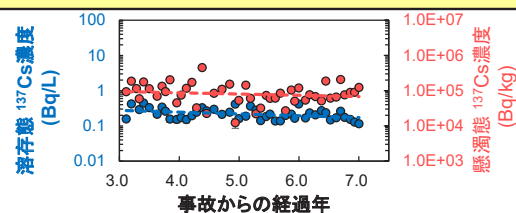
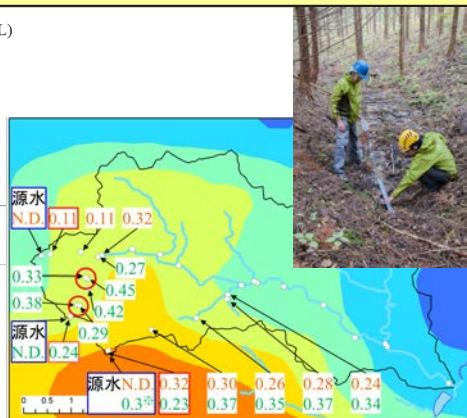
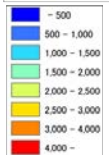
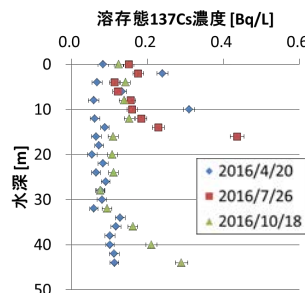
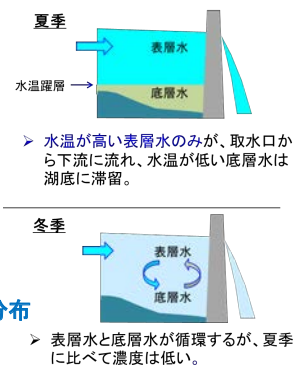
5

- 河川源流域では、湧水中に溶存態Csは検出されないが、数m流れた渓流水中には溶存態Csが検出されることから、河床の落葉や土壌から溶存態Csが溶出し、河川水中の溶存態の起源となっている可能性を明らかにした。
- ダム湖水・堆積物中のCs・各種イオン濃度分布等多元的なデータに基づき、季節ごとのCs挙動を理解。ダム堆積物からのCs溶出の影響が限定的であることを明らかにした。

溶存態Cs濃度 (Bq/L)  
 橙: 2016/11/9-10  
 緑: 2017/8/23-24  
 測定誤差  
 概ね±0.03 Bq/L

検出下限値 (N.D.)  
 概ね0.07 Bq/L

$^{137}\text{Cs}$  沈着量 (kBq/m<sup>2</sup>)  
 第8次航空機サーベイ,  
 2013年11月

大柿ダム放流水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度の時間変化大柿ダム湖水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度の深さ分布

アウトカム

- 浪江町除染検証委員会へ報告し、避難指示解除に貢献。
- 東日本大震災からの農業・農村の復旧・復興を支援することを目的とした「大柿ダムの放射性セシウムの実態と対策—請戸川地区の農業復興に向けて—第2版」(東北農政局, 2018年4月)の策定に貢献。

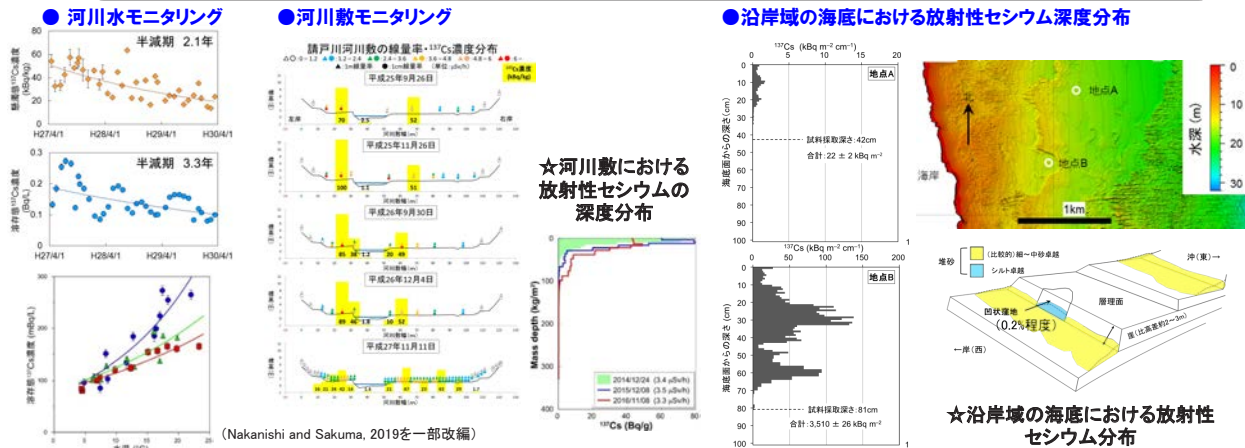


## (4) 主要な成果とアウトカム (3/14)

## 河川水系における環境動態

6

- 河川敷における放射性セシウム濃度と空間線量率の分布と時間変化の要因を解明(Saegusa, et al., 2016)。
- 事故から数年経過後(H30年春まで)の河川水に含まれる放射性セシウム濃度の時間変化を明らかにし、将来の濃度レベルを予測(Nakanishi and Sakuma, 2019)。
- 河川水系から河口・沿岸域に流入した放射性セシウムについて、全般に放射性セシウム濃度及び存在量は陸域と比較して低く、その分布は特異な海底地形を有するエリアであることを特定(Tsuruta et al., 2017)。



アウトカム

- 河川敷の継続モニタリング結果を浪江町除染検証委員会へ報告し、避難指示解除に貢献。
- 河口・沿岸域における放射性セシウム濃度と存在量が陸域と比較して低く、特異な海底地形を有するエリアに分布が限定されることは、海生生物等への有意な移行が限定的であることを示唆する基礎データとして重要。
- 投稿論文3件

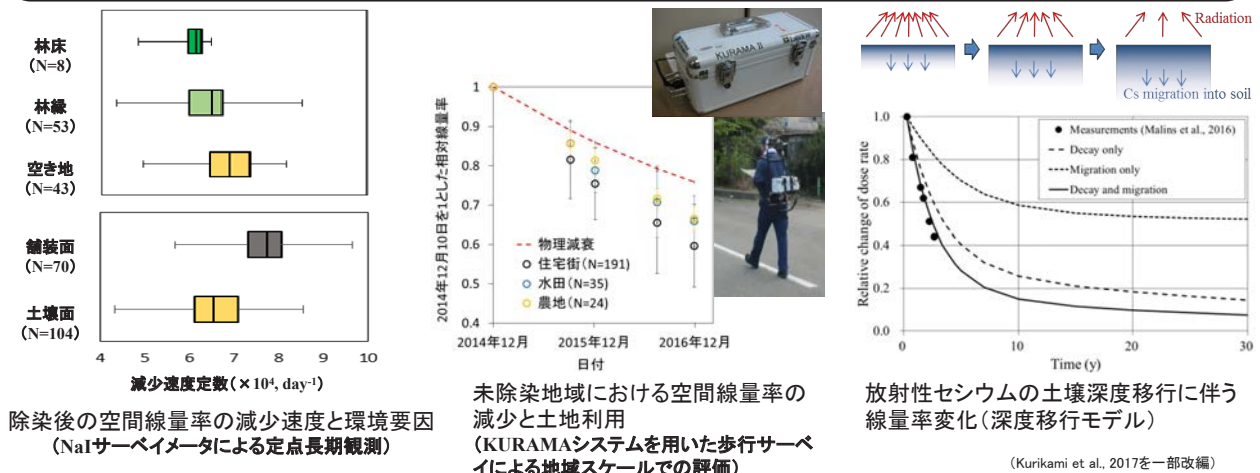


## (4) 主要な成果とアウトカム (4/14)

## 生活圏における環境動態

7

- 市街地固有の構成要素(住宅街、舗装面等)では放射性セシウム存在量の減少が速く、市街地の線量率は除染後であっても他のエリアより減少が速いことを明らかにした(Yoshimura et al., 2017)。
- 放射性セシウムと土壌の可逆的および不可逆的吸着を考慮することで、平坦地における深さ方向の放射性セシウム分布を説明できることを明らかにした。放射性セシウムの深さ方向分布や、市街地の構成要素による遮へい効果等を考慮して、空間線量率分布を再現する手法を整備した(Malins et al., 2016, Kurikami et al., 2017, Kim et al., 2018)。



アウトカム

- 土壌深度移行に伴う線量率評価結果は、未除染地における線量率の予測に役立つと期待。また、深度分布の変化や土壌への付着メカニズムの解明を通じて、植物等へ移行する放射性セシウムの低下予測等に役立つと期待。
- 投稿論文4件

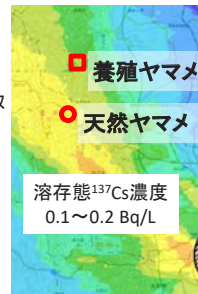
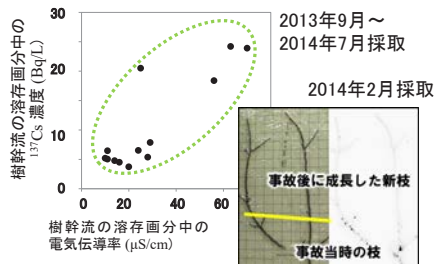


## (4) 主要な成果とアウトカム (5/14)

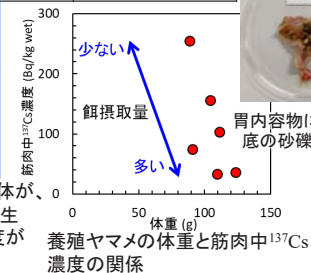
## 生態系への移行

8

- 樹木内での放射性セシウム移行挙動（広島大学と連携）、森林内山野草・キノコ等、林産物への放射性セシウム移行挙動データを取得 (Sasaki et al., 2016)。落葉分解、樹液が溶存態Csの起源・輸送等、森林生態系内の重要な放射性セシウム移行過程であることを明らかにした。
- 東京大学と連携し、大気浮遊塵を介した農作物（コマツナ）の二次汚染の評価を実施。洗浄によりCs-137濃度が低下したことから、コマツナ外部にCs-137の一部が付着したと考えられた (Nihei et al., 2018)。
- 弘前大学と連携し、淡水魚への放射性セシウムの濃縮プロセスの解明に向け、河川構成要素中の放射性セシウム挙動を評価。養殖池において放射性セシウムのヤマメへの移行評価を実施し、溶存態Csの濃縮係数を150以下と推定。



| 2017年採取ヤマメの <sup>137</sup> Cs濃度 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| 養殖ヤマメ                           | 70 Bq/kg wet    |
| 天然ヤマメ                           | 1,030 Bq/kg wet |

⇒溶存態<sup>137</sup>Csが移行？

胃内容物に養殖池底の砂礫を確認

- ✓ 1F事故時に存在した枝の表面には、放射性セシウムが不均質に分布
- ✓ 樹幹流の電気伝導度と樹幹流中の放射性セシウム濃度は正の相関を示し、主要陽イオン（窒素、リン、カリウム等）と同様の振る舞いを示唆

アウトカム

- 樹体からの放射性セシウム移動について川俣町に報告。得られたデータに基づく木材の濃度予測に期待。
- 淡水魚への移行に関する成果を南相馬市環境回復推進委員会で報告。
- 投稿論文2件

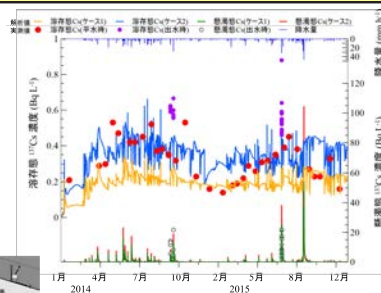
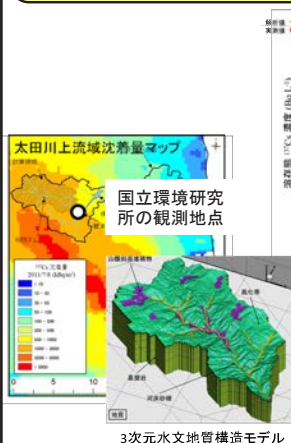
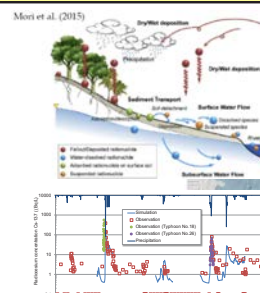


## (4) 主要な成果とアウトカム (6/14)

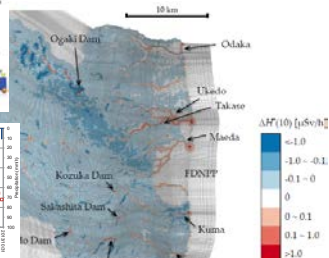
## 挙動予測モデル開発・整備

9

- 水・粒子の物理的輸送と、放射性セシウムの溶出・吸脱着等化学的挙動を基本とした土壌流出解析モデルを整備。年平均的な挙動だけでなく、極端な気象条件下での移動・堆積挙動予測を可能にした (Sakuma et al., 2017, 2018a,bほか)。
- 国環研と連携し、太田川上流域（南相馬市、浪江町）における溶存態放射性セシウムの挙動を調査。懸濁態に加え、粒径ごとの吸着量の違いを考慮することで、溶存態の動態を概ね再現できた。一方で、降雨直後の溶存態濃度の上昇は再現できず、源流域における溶出挙動の影響が大きいと考えられた (Sakuma et al., 2018; Tsuji et al., 2016)。

河川水の溶存態及び懸濁態<sup>137</sup>Cs濃度

(Sakuma et al., 2017を一部改編)



大雨前後での線量率変化の評価例(土壌流出解析モデル)

アウトカム

- 様々な降雨時の請戸川水系の各頭首工における放射性セシウム濃度の時間変化予測データを浪江町に提供。
- 国・自治体の森林・河川管理の方策検討や農林水産業の再開に向けた施策検討への貢献に期待。
- 投稿論文5件

- 使用した実測パラメータ(赤:福島長期環境動態研究の成果、青: JAEA成果)
- 流域沈着量(航空機サーベイ)
- 気象データ(降水量、気温、湿度など)、地形、地質、土地利用など
- 侵食・堆積に係るパラメータ
- 河川流量、土砂流出量の経時変化
- 河川での放射性セシウム濃度の経時変化
- 放射性セシウムの土壌深度分布の経時変化(文科省受託事業)
- 線量率(河川敷周辺、平坦地)(文科省受託事業)

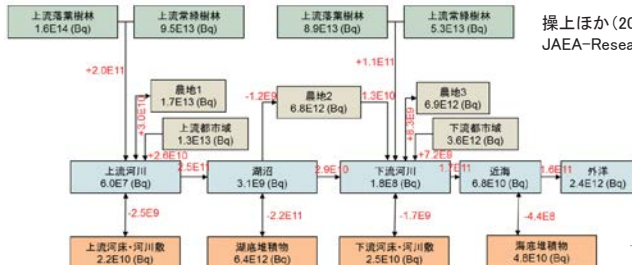


## (4) 主要な成果とアウトカム (7/14)

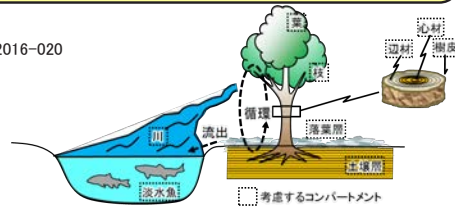
## 挙動予測モデル開発・整備

10

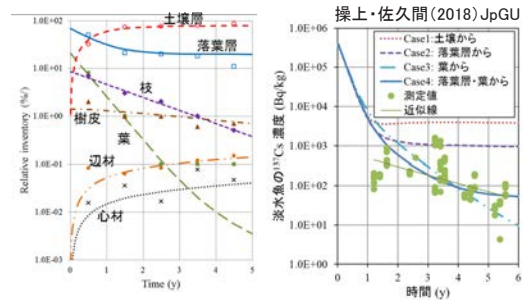
- 流域スケールの放射性セシウムの動態（森林内循環、河川への流出、農林水産物への移行）を考慮した被ばく評価モデル（コンパートメントモデル）を開発し、包括的評価システムへ導入。
- 河川水・淡水魚の汚染源として森林内の落葉層からの側方流入、河川への落葉の直接流入の双方の影響が明らかとなった。



操上ほか(2016)  
JAEA-Research 2016-020



- 使用した実測パラメータ(赤; 福島長期環境動態研究の成果、青; JAEA成果)
- ・流域沈着量(航空機サーベイ)
  - ・森林内各部位の放射性セシウム濃度の経時変化
  - ・樹冠から林床への放射性セシウム移行フラックスの経時変化
  - ・森林、田畑(文科省受託事業)、都市域から河川への放射性セシウム年間流出率
  - ・湖沼での沈降率
  - ・淡水魚への放射性セシウム移行係数
  - ・河川水(文科省受託事業)・淡水魚の放射性セシウム濃度



## アウトカム

- 本成果は農林水産物中の放射性セシウム濃度の将来予測、施策検討に役立つと期待される。
- JAEA成果報告書1件



## (4) 主要な成果とアウトカム (8/14)

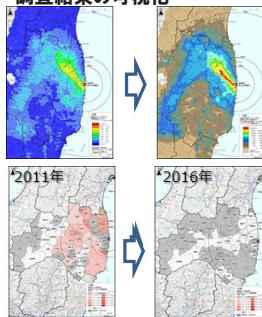
## 成果を分かりやすく発信する取り組み(福島環境情報サイト)

11

- 「環境モニタリングデータベース」、「根拠情報Q&A」及び「解析事例ベース」から構成された「福島第一原発事故後の福島の環境情報サイト(包括的評価システム)」のプロトタイプを整備し、科学的裏付けに基づいた情報を、それぞれの特徴にあった形でわかりやすく提供。
- 根拠情報Q&Aでは、利用者が福島の環境に関する情報を、自身の興味・知識レベルに応じて多角的に取得可能。

## 環境モニタリングデータベース

- ・様々な調査結果を集約
- ・データフォーマットを統一
- ・調査結果の可視化



## 根拠情報Q&amp;A

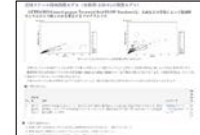
- ・環境動態研究で得られた知見をQ&A形式で提示
- ・利用者の知識レベルに合わせた階層構造



公開済) <https://fukushima.jaea.go.jp/QA/>

## 解析事例ベース

- ・個別モデルの成果による知見を提示 (一般向け)



- ・解析ツールを自ら利用する環境を提供 (自治体向け)



H30年度末に公開予定

公開済) <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/>

## アウトカム

- 科学的知見に基づく不安の低減や自治体の施策の補助に期待。
- 環境モニタリングデータベース：国内外より多数の利用実績(約95万アクセス、2TBデータDL、H30.10月時点)。
- 根拠情報Q&A：H29年度の平均アクセス約2,500/月 ⇒ H30年度は約4,700/月



## (4) 主要な成果とアウトカム (9/14)

12

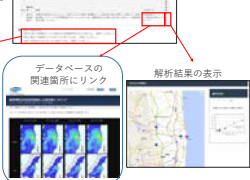
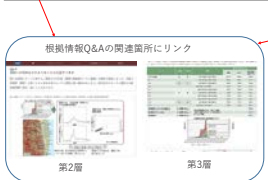
## 成果を分かりやすく発信する取り組み(解析事例ベース)

- 解析的研究の成果を提示する環境を整備（一般向け）。
- 解析ツールを利用可能な環境を整備（自治体向け）。
- データベースやQ&Aとリンクした形で個別モデルに基づく成果を利用可能となり、不確実性も含めて知識を深めることができる。

一般向け…個別モデルによるケーススタディ等の成果を提示

「なにが分かったか」で  
成果をカテゴライズモデル開発状況、  
不確実性を明記

解析結果の参照、その知見に基づくQ&amp;Aへのリンク

自治体向け…Web上で動く解析ツールを提供  
(パスワード管理)CMFW…環境中の様々な構成要素中のセシウムの移行  
⇒**農林水産物濃度の推定**SACT…年間の土砂流出量とそれに基づくセシウムの再分布  
⇒**将来のセシウム濃度分布**GETFLOWS…頭首工等の濁度・セシウム濃度  
⇒**取水管理への活用**  
(計算負荷が大きいため、結果のみの閲覧)

アウトカム

- 不確実性があるとの前提で、様々なケースを想定した将来推定が実施可能になり、自治体等の政策立案のための情報を提供できる。

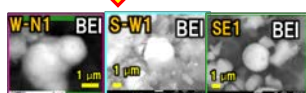
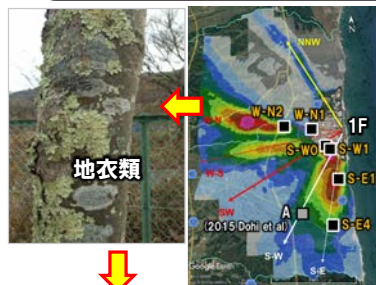
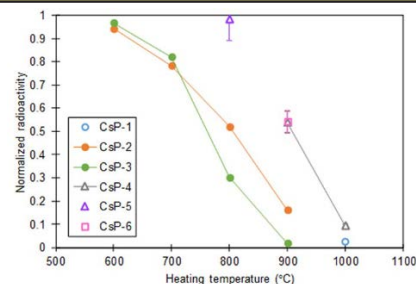


## (4) 主要な成果とアウトカム (10/14)

13

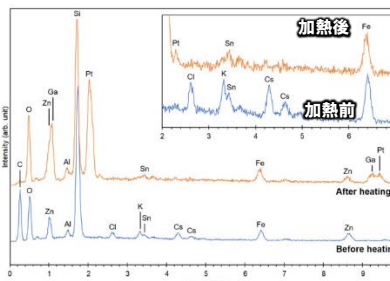
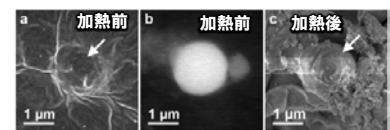
## 初期沈着挙動評価

- 地衣類を用いて初期放射性セシウム沈着量、化学種を評価する手法を整備。整備した手法を山域における放射性セシウム分布やその後の動態に及ぼす初期沈着化学種の影響評価に適用(Dohi et al., 2015)。
- 不溶性Cs含有粒子の特性評価を実施(東京大学、筑波大等と連携)。600℃以上で加熱するとCsが放出されることを明らかにした(Okumura et al., 2018)。粘土鉱物中のCsと比べて、粒子中の結合が比較的緩く、溶出しやすい可能性。

地衣類に沈着した不溶性Cs含有粒子の電顕的手法による化学種特性評価  
(従来法に比べ効率的に分析可能)

加熱時の不溶性Cs含有粒子中の放射能の変化

- ✓ 600℃を超えると粒子中のCs放射能が減少
- ✓ 加熱前後の粒子の形態的变化は無い



加熱前後の不溶性Cs含有粒子の電子顕微鏡像(上)とEDS元素分析結果(下)

アウトカム

- 環境に残存する不溶性Cs含有粒子による被ばくの懸念払拭施策への貢献に期待。
- 投稿論文2件



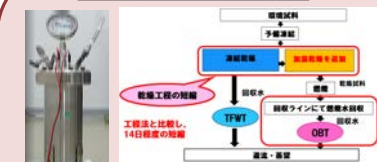
(4) 主要な成果とアウトカム (11/14)

## 核種分析手法の整備と多様な分析対応

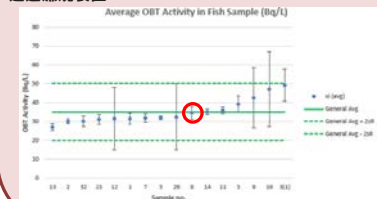
14

- 有機結合型トリチウム（OBT）の分析では、条件や装置を見直すことで従来工程を半減。新たな分析手順で、国際比較試料分析で妥当な測定結果が得られた。
- Sr-90の分析では、樹脂濃縮-ICP-MS測定法を適用し、海産物試料に最適な測定条件・システムを構築。約1時間の分析時間（公定法では約1ヶ月）で、食品の基準値（100 Bq/kg）と同程度の検出下限値を達成。
- Ge半導体検出器を用いた放射能測定については、ISO品質保証体制下で、外部機関からの様々な性状・形状の試料に関する依頼分析に対応。

## OBT分析法の簡易、迅速化



迅速燃焼装置 前処理の乾燥プロセスを迅速化



国際比較試料分析の結果

## ICP-MSを利用したSrの迅速分析法開発



Sr-90を添加した魚試料の濃度分析結果

| spiked [Bq L <sup>-1</sup> ] | blank    | digested fish, x1000 | digested fish, x200 | digested fish, x100 |
|------------------------------|----------|----------------------|---------------------|---------------------|
| 0                            | ND       | 8.0±4.6              | ND                  | ND                  |
| 12                           |          | 21.9±12.1            |                     |                     |
| 24                           |          | 48.1±12.1            |                     |                     |
| 48                           | 48.0±6.1 |                      | 44.7±20.2           | 39.4±11.0           |
| 96                           |          | 108.5±11.1           |                     |                     |

本法で魚試料中のSr-90濃度を定量できた  
検出下限値は0.35 Bq/L (~740 Bq/kg)

## Ge半導体検出器を用いた放射能分析



ガンマ線分析用標準線源

採取試料の内容や状態に応じ、さまざまな形状の測定用サンプルを受け入れ可能。

ISO/IEC17025を維持  
規制庁などの外部機関からの測定依頼を含む  
6000件/年の分析を継続

アウトカム

- 環境動態研究をはじめ、福島環境安全センターの様々な研究開発をサポート。
- 国の水産業における懸念払拭施策への貢献に期待。

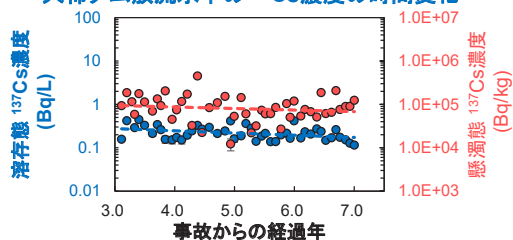
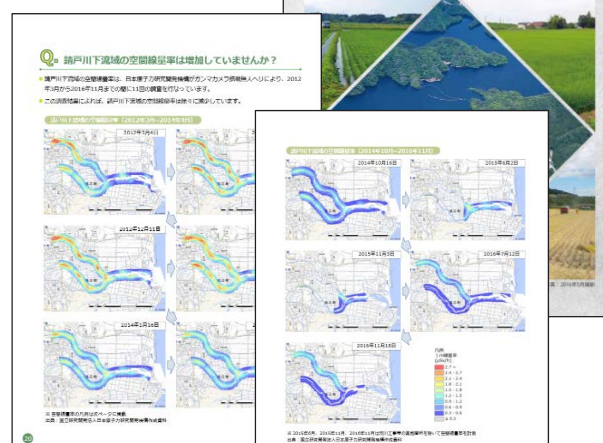
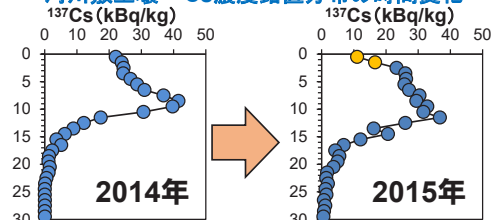


(4) 主要な成果とアウトカム (12/14)

## 総合的成果①河川水系におけるセシウム動態の理解

15

- 請戸川の河川敷の空間線量率（無人ヘリに搭載したガンマカメラでの測定）や土壌中の<sup>137</sup>Csの鉛直分布の時間変化、大柿ダム形状、上流域からの<sup>137</sup>Cs流出量や<sup>137</sup>Cs濃度の時間変化・粒度依存性(Funaki et al., 2018)等の定量的な情報や、挙動解析結果に基づき、河川水系全体での動態を把握(Kurikami et al., 2016; Yamada et al., 2015)。

大柿ダム放流水中の<sup>137</sup>Cs濃度の時間変化河川敷土壌<sup>137</sup>Cs濃度鉛直分布の時間変化

河川敷の空間線量率は物理減衰よりも早い速度で減少

アウトカム

- 成果を東北農政局、福島県、浪江町等へ提供。農業・農村の復旧・復興支援を目的とした「大柿ダムの放射性セシウムの実態と対策—請戸川地区の農業復興に向けて—第2版」（東北農政局、2018年4月）の策定に貢献。
- 投稿論文3件

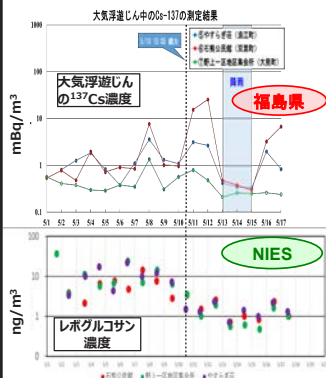
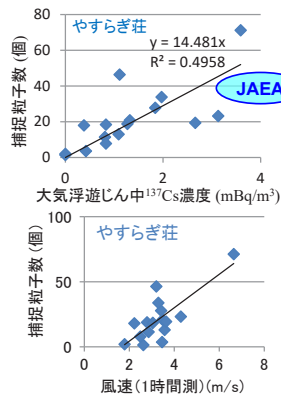
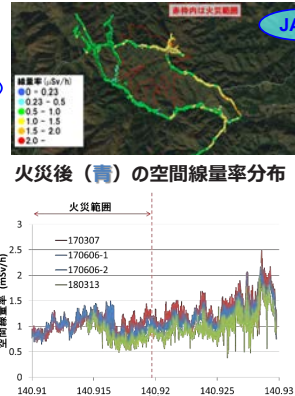


## (4) 主要な成果とアウトカム (13/14)

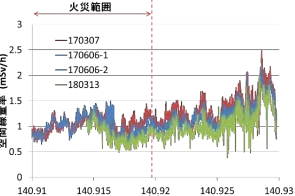
## 総合的成果② 十万山火災時のセシウム動態の理解

16

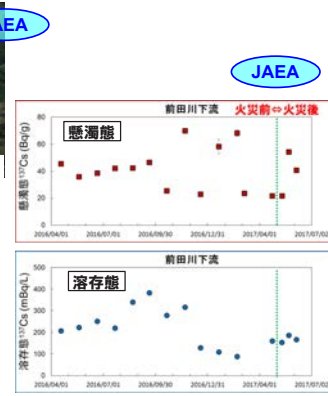
- 十万山（浪江町・双葉町帰還困難区域）で発生した林野火災に対して、福島県環境創造センターを構成する福島県、原子力機構、国立環境研究所の3機関が分担・協働し、周辺環境への影響把握に係る調査を実施。
- 森林・河川水系における流出観測手法、沈着挙動評価手法、遠隔モニタリング手法を総合的に適用。河川への放射性セシウム流出、延焼地からの放射性セシウム飛散、空間線量率増加はほとんど認められないことを明らかにした。

鎮火前後の大気浮遊じん中の<sup>137</sup>Cs濃度および林野火災起源化学物質濃度大気浮遊じん中の<sup>137</sup>Cs濃度、風速と捕捉粒子数の相関

火災後（青）の空間線量率分布



火災前（赤）・後（青・緑）の空間線量率分布の比較



延焼地から流出する河川下流域での火災前後の懸濁態・溶存態Cs濃度

アウトカム

- 浪江町除染検証委員会（H29年10月）、福島県廃炉安全確保県民会議（同年11月）および福島県廃炉安全監視協議会環境モニタリング評価部会（同年12月）にて原子力機構が中心となって取りまとめた成果を報告し、自治体と地域住民の懸念払しょくに貢献。
- 県が策定を進めている帰還困難区域内での自然災害対策マニュアルの具体化（H30年9月に県による3機関研究担当へのヒアリング実施；福島県放射能調査課情報交流会）に向けた取組に反映。

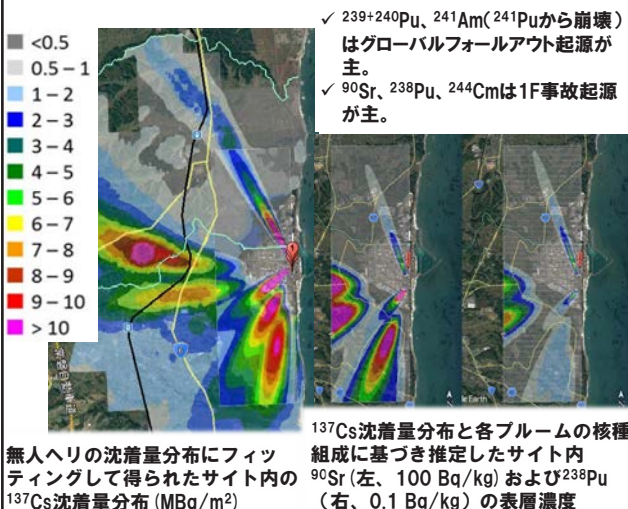
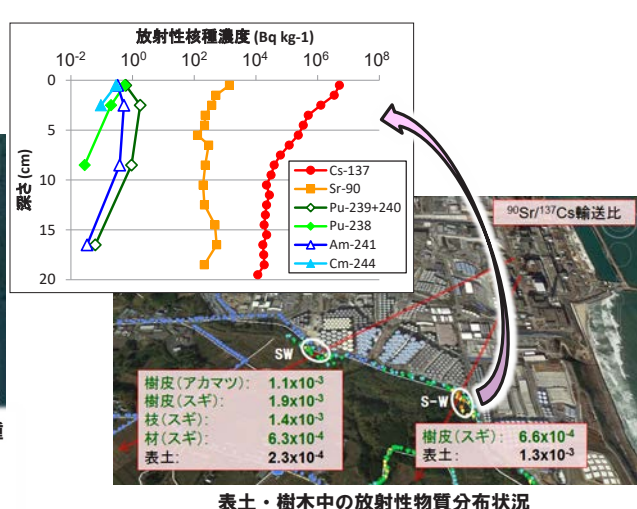


## (4) 主要な成果とアウトカム (14/14)

## 総合的成果③ オンサイト初期核種分布の推定

17

- 文部科学省の公募研究において、森林動態、初期沈着挙動評価、核種分析手法整備で培われた手法を適用し、オフサイトの放射性核種分布に基づくサイト内の初期核種分布推定手法を開発（科博、京大、福島大と連携）。
- 土壌中Cs・Srインベントリについては複数化学種の重畳を考慮した移流拡散モデルを整備。各ブルームの汚染源、無人ヘリ測定結果に基づく大気拡散モデルを構築。各ブルームの核種組成に基づき、核種分布状況を推定した。

無人ヘリの沈着量分布にフィッティングして得られたサイト内の<sup>137</sup>Cs沈着量分布 (MBq/m²) (左、100 Bq/kg) および<sup>238</sup>Pu (右、0.1 Bq/kg) の表層濃度

表土・樹木中の放射性物質分布状況

アウトカム

- オンサイトにおける放射性セシウム以外の放射性核種の分布状況評価を達成した。
- 廃炉に向けた過去および将来発生する固体廃棄物中の核種インベントリの評価や安全確認の大幅な効率化への貢献が期待できる。



## まとめと自己評価

18

### 【第三期中長期計画】

- 環境動態研究については、**セシウム挙動評価**等を実施し、自治体や産業界等に対し、目標期間半ばまでに**農業・林業等の再興に資する技術提供**を行い、その後は外部専門家による評価も踏まえ調査の継続を判断する。
- これらを踏まえた包括的評価システムの構築を進め、**科学的裏付けに基づいた情報を適時適切に提供**することにより、**合理的な安全対策の策定、農業・林業等の再生、避難指示解除及び帰還に関する各自治体の計画立案等に貢献**する。
- 研究開発の実施に当たっては、福島県及び国立研究開発法人国立環境研究所との**3機関で緊密な連携・協力**を行いながら、福島県環境創造センターを活動拠点として、計画策定段階から民間・自治体への技術移転等を想定して取り組むなど、**成果の着実な現場への実装により、住民の帰還に貢献**する。
- **データ取得・現象理解、挙動予測ツールの整備、わかりやすい情報提供システムの整備・運用を達成し、情報提供を適時適切に実施し、関係機関・自治体等の施策に反映**できた。このように、**投稿論文等に研究成果を取りまとめつつ、所期の目的を達成した。**
- 自治体や関係機関からの要望が大きい**農林水産物への移行評価を前倒しで実施。**
- 突発的に発生した十萬山火災時の環境影響評価や、1Fサイト内核種分布評価等、**動態研究以外の課題**に、環境動態研究で培った**知見・手法を適宜展開し、成果を挙げた。**



自己評価[A]（「研究開発成果の最大化」に向けて**顕著な成果の創出**や将来的な成果の創出の期待等が認められる）



## 今後の研究の方向性

19

- 研究開発の重点項目
  - － 溶存態生成・生態系移行の現象理解とモデル化
    - ・ 農林水産物中濃度の将来予測を進める上でカギ
  - － 長期的なセシウム濃度減少傾向の現象理解・モデル化
    - ・ チェルノブイリ事故影響との比較は国際的にもニーズ大
- 研究成果の展開
  - － 自治体との協力
  - － オフサイトにおける核種挙動のオンサイト研究への適用
  - － 環境創造センターにおける協力の強化
  - － 共同利用・共同研究拠点への参画
  - － 分かりやすい情報提供の維持・更新



## 自治体との協力：浪江町における取り組み

20

### 山・森林管理

モデルエリアを複数設定し、**土壌・樹木・山菜・湧水等のセシウム濃度を継続観測、将来予測や濃度推測**の手法を確立する。

### 水マップ作成

河川に合流する**沢の溶存態濃度を測定**し、流量も多く、セシウム濃度が高い沢を特定する。それらの沢の合流点等で、2ヶ月に1回河川水中の**溶存態濃度や関連水質を測定**する。また、**魚の濃度を測定し、水・魚の濃度分布をマップ化**する。

### 農地・農業への影響予測

河川移行解析により、各頭首工における**降水量・濁度予測曲線**を作成し、農業用水使用時の水門管理に資する。

### 飛散監視

区域境界や除染・解体作業エリア付近において、**ダスト採取や気象・線量率の継続観測**等を実施し、**被ばく評価**を行う。

Google earth, Image2016 TerraMetrics



### 河川敷・河床管理データベース

ドローン・無人ヘリ等で河川敷の**線量率分布を測定**する。線量率が特に高い場所は、2次元解析を行い、**堆積履歴を推測**するとともに、数か所で定期的に**深さ方向分布等を測定**し、堆積履歴を把握する。これらに基づき、**セシウム堆積履歴データベース**を作成し、河川管理部署と共有、**浸漬時の対策を立案・試行**する。

### 河口域マップ作成

無人観測船等で定点の**底土表面の線量率を定期観測**する。また、**魚の濃度を測定し、底土・魚の濃度分布をマップ化**する。

### 十萬山火災影響評価

火災による線量率分布、放射性セシウムの分布状況・流出挙動、野生生物への**影響を調査**するとともに、**飛散・流出挙動を解析**する。



## 放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点 (Environmental Radioactivity Research Network Center)

21

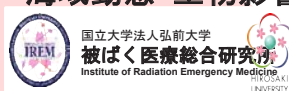
- H31年度からの発足を目指し、主幹機関(筑波大)とともに手続きを進めているところ。

### 陸域環境動態



陸域における放射性物質の移行メカニズム  
放射性物質の存在形態および測定技術研究  
AMSを用いた環境移行研究

### 海域動態・生物影響



海域における放射性物質の動態と影響評価  
野生生物への放射線影響評価

### 福島における総合調査



福島における研究拠点  
福島における動態研究の総合化  
福島事故アーカイブ資料の活用

### モデル評価



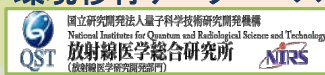
福島環境安全センター  
放射性物質環境中の移行モデル  
放射性物質の環境データベース

### 環境影響評価



福島支部  
生態系への移行評価  
生物・生態系影響評価

### 環境移行データベース



福島再生支援本部  
放射線環境影響評価  
環境移行パラメータ



### 国際共同研究の推進と国際発信

データの共有、測器の共同利用、データベースの利用を通じ共同研究を推進



# 除染・減容技術の高度化

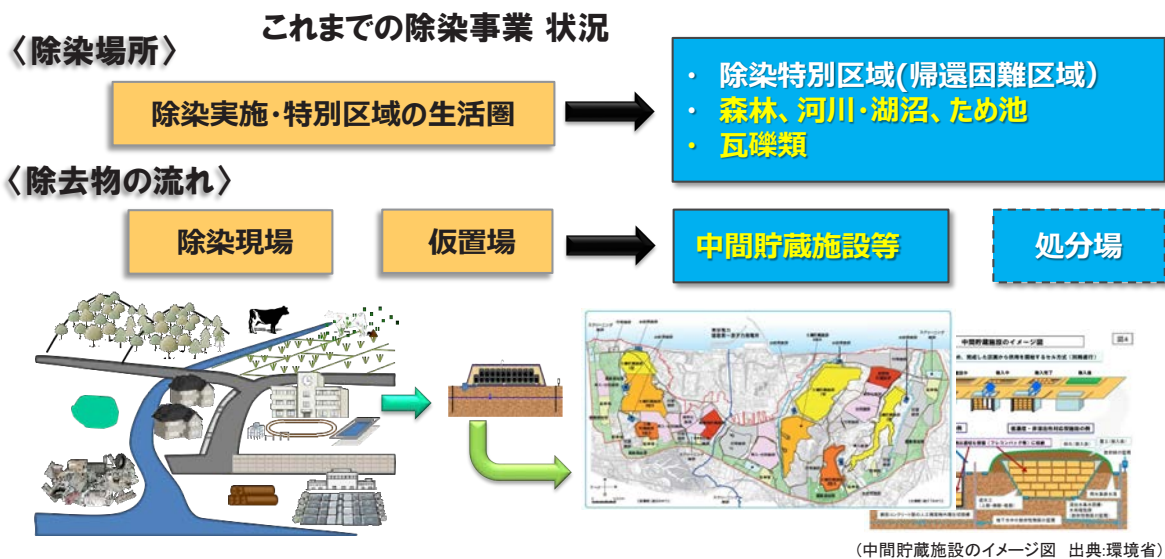
平成30年12月1日  
川瀬 啓一  
福島環境安全センター



## 研究開発の目標

1

1. 除染モデル実証事業等で得られた成果をはじめ、除染技術開発情報の活用等を通して除染活動支援に資する。
2. 除去土壌等の分別・減容・再生利用に関する技術開発を行い、最終処分量の低減化に資する。





## 研究開発の個別の課題と達成目標

2

| 各研究テーマ        | 27年度                                                                                                                                                                                            | 28年度 | 29年度 | 30年度 | 31年度 | 32年度 | 33年度 |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| 除染等           | <b>除染効果評価システムの高度化・実証</b><br><b>【目標】</b> 除染事業や除染後の評価（除染効果の維持確認、将来予測）評価、フォローアップを継続して実施し、国、自治体への情報提供・支援を的確に実施する。<br>○解析精度向上のためのシステムの高度化・半減期パラメータの検証・帰還困難区域の予測解析による自治体等への情報提供                       |      |      |      |      |      |      |
|               |                                                                                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |      |
| 除去土壌等の減容・再生利用 | <b>ポリイオン等によるセシウム移行抑制技術の開発</b><br><b>【目標】</b> 放射性Csの移行に関する住民の被ばく低減や不安等に対応するため、水や風の流れによって生活圏へ移動することを抑制する手法を開発する。<br>○ポリイオンや浮遊懸濁態捕集材を用いたセシウム移行抑制試験                                                 |      |      |      |      |      |      |
|               |                                                                                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |      |
| 除去土壌等の減容・再生利用 | <b>除去土壌等の分別・減容等処理技術開発</b><br><b>【目標】</b> 膨大な量の除去土壌の再生利用を促進することで、処分量の低減、処分負担の軽減を目指す。そのための国等から支援要請に的確に対応する。<br>○磁気分離技術等の減容化技術の基礎試験の実施<br>○セシウムの吸脱着機構の解明を実施<br>○環境省受託業務として除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略策定を支援 |      |      |      |      |      |      |
|               |                                                                                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |      |
| 再生利用          | <b>可燃物の分解・減容技術開発</b><br><b>【目標】</b> 除染現場で発生する草木類などの可燃物について、焼却とは別の安全な分解・減容処理技術を開発、実用化を目指す。<br>○グリセリン溶解法等の減容処理基礎試験の実施                                                                             |      |      |      |      |      |      |
|               |                                                                                                                                                                                                 |      |      |      |      |      |      |



## 研究開発の進捗状況

3

○国、市町村の除染の状況に併せて研究開発を進めてきており、本格除染の完了に伴い、主要な研究開発を終了している。今後、帰還困難区域の避難指示解除等の復興に向けた取組の中で、国や自治体の要請に応じて技術支援等を実施する。

### ☞ 除染効果評価システム（RESET）の高度化・実証

「除染モデル実証事業」を実施した21ヶ所を対象に除染後エリアでの「空間線量率減衰の2成分モデル」の適用性を評価し、現状の半減期パラメータが問題なく適用できることを確認。

### ☞ ポリイオン等によるセシウム移行抑制技術の開発

ポリイオンや浮遊懸濁態補修材を用いたセシウム移行抑制試験を実施し、一定の効果があることを確認。山地森林からのCs流出量が少ないとの環境動態研究での成果などを踏まえて、研究開発を終了。

### ☞ 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発

分級減容処理技術として、磁気分離技術についての基礎試験を実施し、大型化に向けた課題等を明らかにして開発を終了。また、セシウムの吸脱着機構の解明を着実に進めており、今後環境動態で成果を反映。

### ☞ 可燃物の分解・減容技術開発

溶解・分解によるバイオ燃料化の技術開発を実施し、実用化に向けた課題の抽出を行い、技術開発を終了。



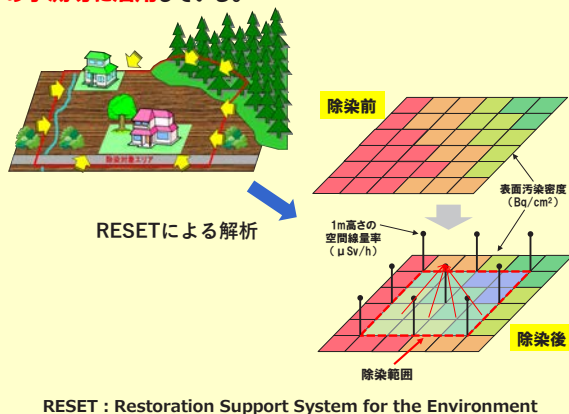
## 主な成果とアウトカム

4

### 1) 除染効果評価システムの高度化・実証 (1/2)

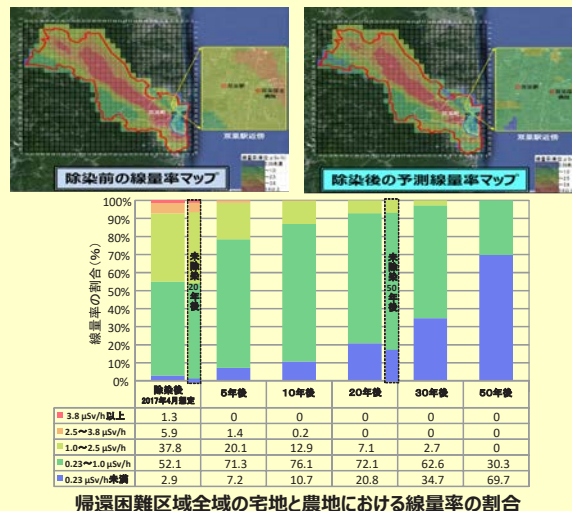
① 広範囲の膨大なデータを処理し、**地図上に可視化する仕組みを開発**、② 航空機モニタリングや歩行サーベイなど複数の手法で取得されたデータを総合的に活用できる**手法の導入**、③ 除染係数を帰還困難区域の除染モデル実証事業で得られたデータから**推定**、④ 経時変化の精度向上を図るため**ウェザリング効果を考慮した手法を導入**し、システムの高度化を実施した。

除染活動支援システム(RESET)は、国や自治体が策定する効率的・効果的な除染活動の計画立案を支援する目的に開発したもので、本システムは福島県の除染対策課や福島環境創造センター等で利用されている。また、**国や自治体の依頼を受けて効果的な除染方法や除染範囲の検討、将来の線量率の予測等に活用している。**



【帰還困難区域の除染シミュレーションと将来予測の例】

帰還困難区域の復興計画を見通す際に必要となる 除染の効果と将来の線量率予測を実施し、**国や自治体に情報提供を実施した。**



アウトカム

除染効果や空間線量率の将来予測の**現実的で信頼性のある解析結果の提供が可能となり、避難指示解除や自治体等の除染範囲の検討や復興計画の策定に貢献した。**

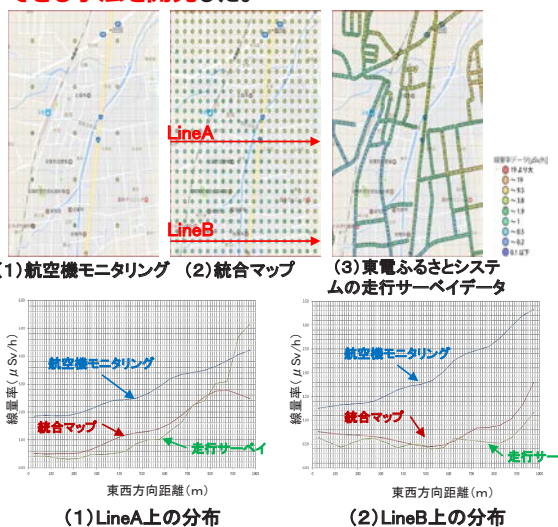


## 主な成果とアウトカム

5

### 1) 除染効果評価システムの高度化・実証 (2/2)

航空機モニタリングや歩行サーベイなど複数の手法で取得された空間線量率のデータを総合的に活用できる**手法を開発した。**



除染措置後のエリアに対する「**空間線量率減衰の2成分モデル**」の適用性を、除染モデル実証事業での空間線量率の継続モニタリング(21地区)を対象に検証し、現状の**半減期パラメータが適用可能であることを確認した。**

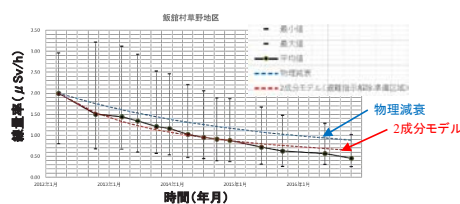
【空間線量率減衰の2成分モデル】

放射性セシウムの物理減衰に加え、風雨などの自然的要因による減衰効果(**ウェザリング効果**)を考慮した空間線量率の減衰予測モデル。

空間線量率減衰の2成分モデル式

$$D(t) = (D_0 - D_{GC}) \left( \exp(-\ln 2 / T_{fast} \cdot t) \cdot (1 - f_{fast}) \exp(-\ln 2 / T_{slow} \cdot t) \right)^{k+1} \exp(-\lambda_{137} t) + D_{GC}$$

減衰が速い成分 減衰が遅い成分 物理減衰成分



アウトカム

除染実施区域や特定復興再生拠点などを対象とした解析結果を提供することで、帰還困難区域の境界部分の除染が国に認められるなど、**自治体等の帰還困難区域の除染範囲の検討や復興計画の策定に大きく貢献した。**



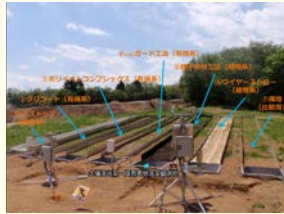
## 主な成果とアウトカム

6

### 2) ポリオン等によるセシウム移行抑制技術の開発 (1/1)

被ばく線量に大きく寄与する放射性セシウム（Cs）に着目し、山間部や森林等の非生活圏に存在するものが、水や風の流れによって**生活圏へ移動することを抑制する手法を開発**する。

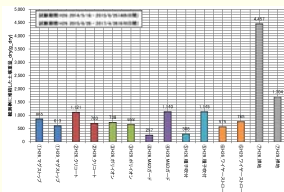
#### 傾斜地の微細土壌粒子の流出防止技術の工法比較 (6種類)



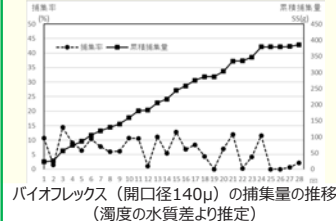
##### 【コストを含めた比較】

- ▶ 短期（1年程度）で再吹付等を実施する場合はM&D※1、種子吹付が適している。
- ▶ 3年以上放置する場合はマグストップ※2、グリコート※3が適している。
- ▶ ポリオン※4とワイヤースロー※5はコスト的にメリット少ない。

- ※1：有機系固化材（生物分解性）
- ※2：無機系粘着材
- ※3：有機系固化材
- ※4：有機系固化材
- ※5：有機系シート（網状）



#### 小規模河川を想定した捕集材による懸濁Csの捕捉試験



● 500m<sup>3</sup> (SS総量約6kg) の水を通水し、約0.4kg (SS総量の約6%) のSSを捕集。

#### 【成果】

移動抑制技術の基礎試験を行い、懸濁Csの移動抑制に一定の効果があることを確認した。



## 主な成果とアウトカム

7

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (1/7)

常磁性を有する2:1型粘土鉱物(主にパーミキュライト)は、比較的強固にCsを吸着するため、この2:1型粘土鉱物を選択的に捕捉する磁気分離技術は汚染土細粒分の分別技術として応用できる可能性がある。このため、**磁気分離による効率的な分離に向けた実証試験を大阪大学と連携して実施した。**

#### 【成果】

汚染土による実証試験の結果、10μmより大きい細粒分を確実に分別できることを確認した（右図）。



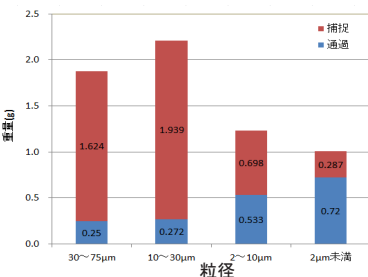
##### 【超電導磁石の仕様】

磁場強度：最大6テスラ  
磁石内径：50mmφ  
磁石軸長：1,000mm

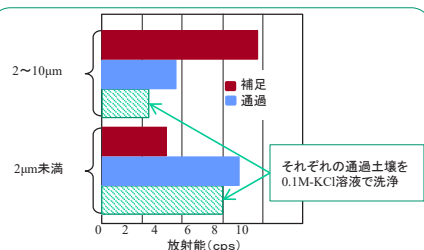
##### 【試験条件】

試料：懸濁液  
農地土壌（南相馬市）の湿式分級後の細粒分(75μm未満)7g と水 1.5ℓ

磁場強度：6 テスラ  
試験液流速：3cm/s  
磁気フィルタ：左図



粒径別の分離状況



0.1M-KCl添加環境において、吸着状態のCsは、1:1型粘土鉱物からは溶離され、2:1型粘土鉱物中には留まることが知られており、本試験でもKCl洗浄効果が確認できました。これにより予め2:1型粘土鉱物にCsを選択的に吸着させ、その後Cs吸着した2:1型粘土鉱物を選択的に除去することも期待できる。

#### 【成果】

細粒分の分離が可能であるが、実用化にまでに解決すべき課題があることを確認した。



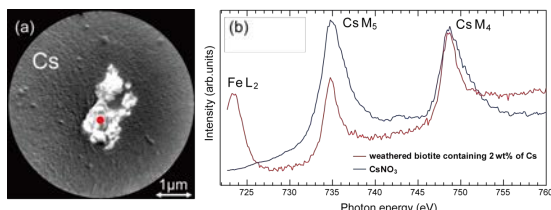
## 主な成果とアウトカム

8

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (2/7)

除去土壌の減容技術開発の基礎情報とするため、セシウムに対する吸着特性の解明を行っており、放射光光電子分光、X線分光、量子科学計算等により、**吸着構造、結合状態および動的吸着特性等の解析**を実施した。

#### 放射光光電子顕微鏡による ナノスケール化学状態分析法の開発

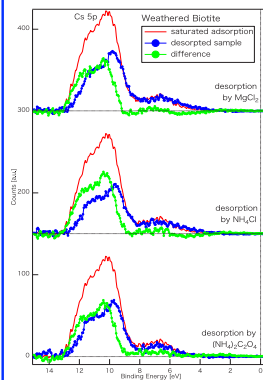


- (a) Csを人工的に2 wt%吸着した風化黒雲母の放射光光電子顕微鏡像  
(b) 赤線: (a)の赤印位置におけるX線吸収スペクトル  
青線: CsNO<sub>3</sub>のスペクトル  
➤ 粘土中のCsとCsNO<sub>3</sub>と化学状態の類似性とFeの存在を確認

#### [成果]

放射光光電子顕微鏡により、薄い導電性膜によるCsなどの**元素分布や化学結合の情報をナノスケールで解明**した。本成果は、除染土壌や模擬燃料デブリの分析などへの応用が期待される。  
(Yoshigoe et al., 2018を一部改編)

#### X線分光による風化黒雲母における 吸着セシウムの電子状態の解明



Cs 飽和吸着試料に脱離処理を施し、脱離後も残存する Cs (青) と処理によって脱離した Cs (緑) の電子状態を比較

風化黒雲母の Cs 吸着サイトにおいて、脱離困難サイトと脱離容易サイトでは電子状態に明らかな違いがあることが分かりました。

#### [成果]

Csの脱離が困難になる粘土鉱物中の吸着サイトの電子状態を評価し、**Cs脱離の指標となる知見が得られた**。

#### アウトカム

ナノスケールでの化学状態の分析法を開発し、除染土壌や模擬燃料デブリの分析などへの応用が期待される。

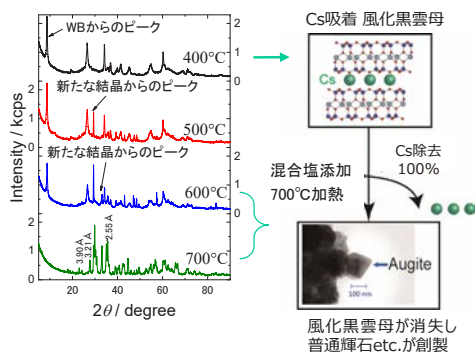


## 主な成果とアウトカム

9

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (3/7)

#### 粘土鉱物からのCs除去と再結晶化



#### [成果]

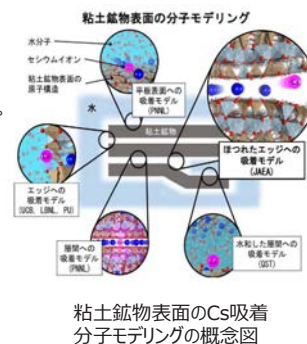
Csが強く吸着している風化黒雲母に、混合塩(NaCl+CaCl<sub>2</sub>)を添加し、700°Cで加熱すると、Csが除去され、風化黒雲母が、4種類の結晶、普通輝石((Ca,Mg,Fe,Al)<sub>2</sub>(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)、和田石((Ca,Mg)<sub>6</sub>(Al,Fe)<sub>4</sub>(Si,Al)<sub>3</sub>O<sub>4</sub>Cl<sub>3</sub>)、赤鉄鉱(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、方解石(CaCO<sub>3</sub>)に変化することが判明した。本成果については、海外でも注目されており、**フランスCEAなどが実用化に向けた取組みを実施**している。

(Honda et al., 2017を一部改編)

#### 粘土粒子の表面ナノ構造とCs吸着特性との関係を解明

粘土鉱物表面の原子構造をモデル化し、それぞれの構造に対するCs吸着強度を計算科学研究手法で評価。

表面構造に対するCs吸着強度を比較することで、強く影響を与える表面構造がほつれたエッジであることが分かった。



#### [成果]

粘土鉱物表面におけるCsの吸着についての基礎的科学的知見を日米の計算科学者が連携して系統的にまとめ、最新のシミュレーション研究の結果を集約してナノレベルの構造という視点で粘土鉱物が見せるCs吸着機構を解明した。この成果は、**放射性Cs含有土壌の長期保管リスク低減や減容化技術開発への適用が期待**される。

(Okumura et al., 2018を一部改編)

#### アウトカム

除去土壌の減容化技術の基礎情報としての活用や、環境中でのCs移行挙動の解明に貢献することが期待される。



## 主な成果とアウトカム

10

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (4/7)

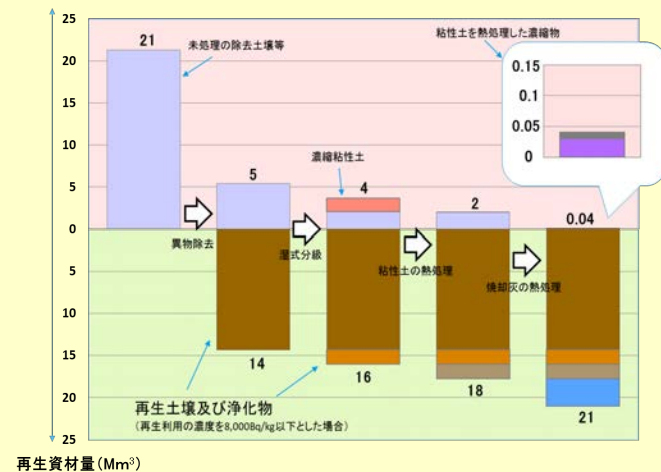
除染で発生した除去土壌等の発生量・性状・放射性セシウム濃度を整理し、**再生利用量と最終処分量の試算**を環境省の受託業務として実施し、**除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略策定を支援した。**

#### 再生利用量と最終処分量の試算

環境省から「最終処分に向けた技術開発戦略策定調査業務」を平成27年度、28年度の2年間受託して、

1. 減容技術の現状及び課題とその対応案
2. 再生利用に関する課題の検討
3. 減容・再生利用等技術開発戦略の検討を実施した。

除去土壌の放射性セシウム濃度別の発生量、性状等を整理・検討した。また、既存の分級・化学処理等の処理技術について除去土壌の処理への適用性を評価し、その結果を基に除去土壌の処理システムを想定し、**再生利用量**（放射能濃度が低いもの、また、減容処理によって放射能濃度が低くなったもの）と**最終処分量の割合について検討した。**この結果を、環境省の戦略検討会に提示し、**国の技術開発の戦略策定を支援した。**

最終処分量 (Mm<sup>3</sup>)再生資材量 (Mm<sup>3</sup>)

#### アウトカム

**世界的にも類を見ない除去土壌等の最終処分に向けた国の減容・再生利用技術戦略の策定に大きく貢献した。**

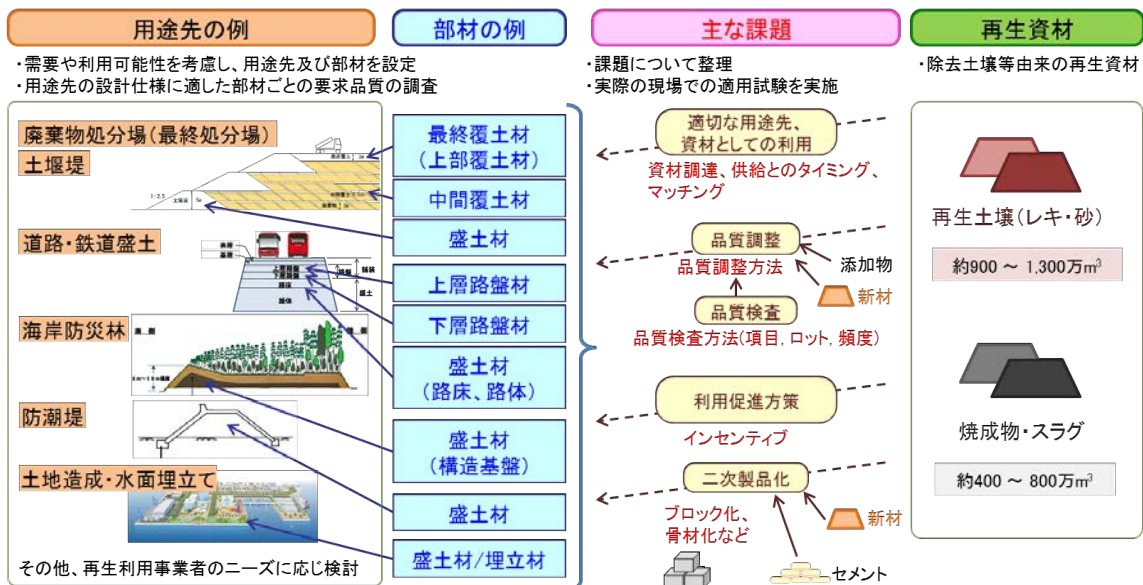


## 主な成果とアウトカム

11

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (5/7)

・再生資材が公共事業等の土木・建築資材等に活用される際の品質調整方法及び品質検査方法の確立、二次製品化における懸念事項等（添加物によるセシウムの溶出特性への影響等）の課題を抽出し、対応案を整理して、**用途先及び資材品質確保の考え方を明確化するための検討を実施した。**また、放射線影響に関する安全性確保の観点から、必要となる供用中の維持管理上の留意点の整理、災害時の土木構造物の損壊シナリオ・モデル等について検討し、当該モデルに基づく被ばく評価等を実施した。



【出典】中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会資料（環境省HPより）



## 主な成果とアウトカム

12

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (6/7)

除染で発生した放射能濃度の低い除去土壌等を再生資材として利用するため、①再生利用に係る追加被ばく線量評価の考え方を整理し、②再生利用を想定した被ばく評価等を行い、③再生利用の基本的考え方の作成に貢献した。

#### 再生利用に係る追加被ばく線量評価

##### ①再生利用に係る追加被ばく線量評価の考え方を整理

再生利用による一般公衆及び再生資材を取り扱う作業員の追加被ばく線量が、年間1mSvを超えないことを条件として、再生資材の放射性Cs濃度を算出する考え方を整理した。

また算出した濃度に基づき、一般公衆に対する追加被ばく線量をさらに低減するための遮へい措置設計を検討する考え方を整理した。

##### ②再生利用を想定した被ばく評価 (例)

コンクリート等で被覆された盛土に再生資材を利用することを想定し、検討対象となる具体的な行為、対象者、被ばく形態 (外部、吸引、経口) を整理し、被ばく経路の設定を実施した。

##### ③再生資材の放射能濃度及び覆土厚の算出・提案

再生資材として想定した用途毎の利用可能な放射性Cs濃度、及び通常の供用時に周辺住民や利用者への追加被ばく線量が年間10μSvを超えない覆土厚を算出し、再生利用の設計に資する提案を行った。

#### 追加被ばく線量評価の結果

破損時を除く供用時において、施設設計 (適切な遮へい等の措置) による追加被ばく線量の更なる低減について検討したところ、盛土では、覆土等の厚さを50 cm以上確保すれば、追加被ばく線量は0.01 mSv/yを超えない結果となった。また、廃棄物処分場では、30 cm以上の保護工の厚さを確保すれば、追加被ばく線量は0.01 mSv/yを超えない結果となった。

| 経路         | 用途先    | 覆土等                | 再生資材の放射能濃度<br>[Bq/kg] | 覆土等の厚さに応じた一般公衆の追加被ばく線量 (外部被ばく)<br>[mSv/y] |                 |                 |        |
|------------|--------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|--------|
|            |        |                    |                       | 10 cm                                     | 30 cm           | 50 cm           | 100 cm |
| 一般公衆の外部被ばく | 盛土     | 土砂・アスファルト          | 6,000 <sup>*1</sup>   | 0.13                                      | 0.012           | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        |                    | 8,000                 | 0.18                                      | 0.016           | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        | コンクリート             | 6,000 <sup>*1</sup>   | — <sup>*2</sup>                           | — <sup>*2</sup> | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        |                    | 8,000                 | — <sup>*2</sup>                           | — <sup>*2</sup> | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        | 植栽土砂               | 5,000 <sup>*1</sup>   | — <sup>*2</sup>                           | — <sup>*2</sup> | — <sup>*2</sup> | < 0.01 |
|            |        |                    | 8,000                 | — <sup>*2</sup>                           | — <sup>*2</sup> | — <sup>*2</sup> | < 0.01 |
|            | 廃棄物処分場 | 中間覆土 <sup>*3</sup> | 8,000                 | < 0.01                                    | < 0.01          | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        | 最終覆土               | 保護工 (客土等)             | 5,000 <sup>*1</sup>                       | 0.052           | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        |                    | 8,000                 | 0.083                                     | < 0.01          | < 0.01          | < 0.01 |
|            |        | 土壌埋                | 8,000                 | 0.047                                     | < 0.01          | < 0.01          | < 0.01 |

【出典】中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会資料 (環境省HPより)

#### アウトカム

再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方の策定や、世界的にも類を見ない汚染土壌の再生利用につながる再生利用実証試験の実施に大きく貢献した。



## 主な成果とアウトカム

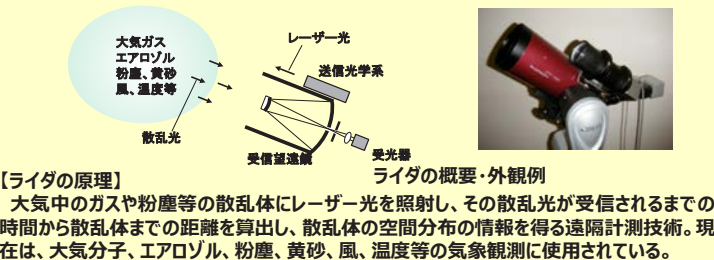
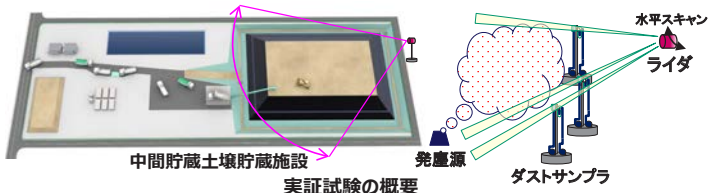
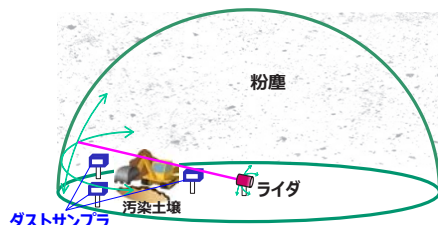
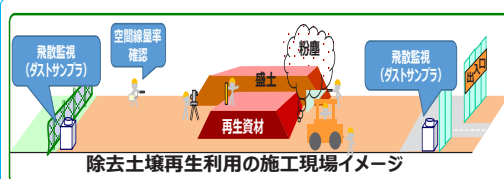
13

### 3) 除去土壌等の分別・減容等処理技術開発 (7/7)

除去土壌の再生利用\*において作業等で舞い上がった除去土壌由来の粉塵の拡散状況は、周辺住民や作業員の安全・安心のための情報として重要である。作業場所全域の拡散状況をモニタリングするため、粉塵の空間分布をライダー (LIDAR: Light Detection And Ranging) で観測し、粉塵の放射能量をダストサンプラで測定して、それらを組み合わせ汚染粉塵の拡散分布情報を取得するための実証試験\*\*を千葉大学と共同で実施した。

\* 「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方」 (H28年6月環境省)

\*\* 中間貯蔵・環境安全事業株式会社 (JESCO) の平成29年度除去土壌等の減容等技術実証事業 (その9) において千葉大学等と共同実施 (契約納期 H30年2月末)



#### 【成果】

粉じん飛散の監視技術としての適用性を実証し、除去土壌の再生利用現場などでの粉じん飛散監視技術としての適用性を確認した。



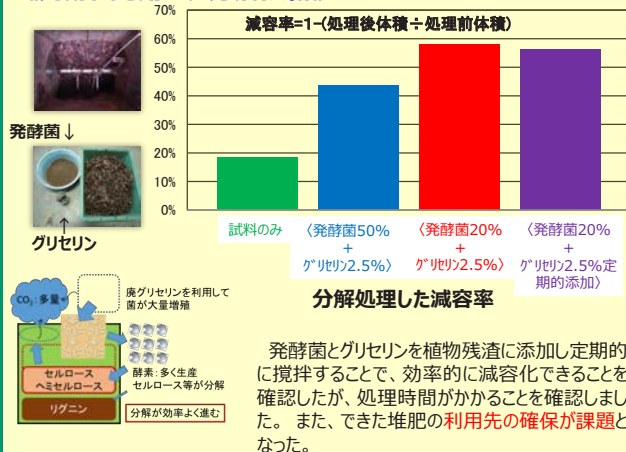
## 主な成果とアウトカム

### 4) 可燃物の分解・減容技術開発 (1/1)

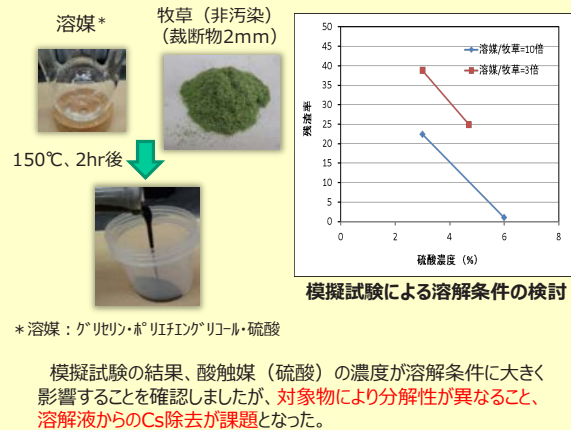
14

可燃物について、**住民の不安を払しょく**できる安全安心な処理技術、有機物を溶解・分解できる合理的な処理技術、かつ、**処理後の残渣物の再利用や有価物としての利活用**も図れる技術を開発することを目標として、超高温好気性発酵菌（YM菌）分解による分解法、及び酸触媒存在下でのグリセリンによる分解法について検討を実施した。

#### 《発酵菌を用いた分解技術》



#### 《酸触媒存在下でのグリセリンによる分解法》



#### 【成果】

分解減容化の基礎試験を実施し、実用化に向けた課題を明らかにした。



## 主な成果とアウトカム

### 5) 国自治体等の要請に基づく技術支援活動 (1/2)

15

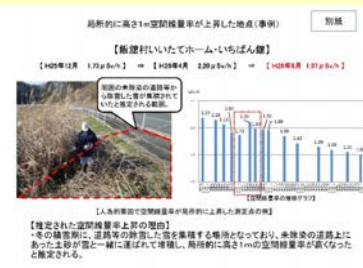
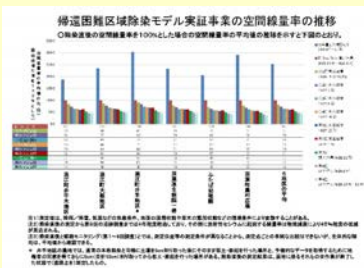
#### 除染実施区域への協力・支援

除染等の措置に係る支援として、JAEAが開発したガンマプロットを活用した環境中の空間線量率測定・評価の支援などを実施している。また、環境省の森林除染モデル調査においては、計画立案から調査結果の評価までの各段階における技術的な助言などを行うとともに、自治体からの要請に基づき耕作を再開する農地の面的な空間線量率の測定や土壌中の放射性Cs濃度の分析・評価などの支援も実施している。

（平成30年9月末現在：合計4,092件実施）

#### 除染モデル実証事業での空間線量率の継続モニタリング （帰還困難区域内：11地区、帰還困難区域外：10地区）

環境省の要請を受け、除染実施地区の空間線量率の変化についての**継続モニタリングを定期的に実施**した。その結果、除染後の空間線量率は上昇することはない、**除染の効果が持続していることを確認**し、環境省へ報告した。この結果は、**環境省のウェブサイトにおいて公表**された。



#### アウトカム

- ・国や自治体の検討委員会において、専門家として**復旧・復興に向けた計画策定に貢献**した。
- ・継続モニタリング調査など、**環境省や福島県内外の自治体の依頼に的確に対応**し、除染の推進・避難指示解除など、**住民の安全安心の確保や地域の復旧・復興に貢献**した。



## 主な成果とアウトカム

### 5) 国自治体等の要請に基づく技術支援活動 (2/2)

16

#### コミュニケーション・原子力人材育成活動

##### ①放射線に関するご質問に答える会

福島県内において、平成23年7月より福島県内の保育園、幼稚園、小中学校の保護者並びに先生方などを主な対象に、「**放射線に関するご質問に答える会**」を実施。現在は、**中学校等での放射線教育としての対応も実施**。

(平成30年9月末までに258ヶ所で開催、約22,800人参加)

##### ②原子力人材育成活動

人材育成及びリスクコミュニケーション活動の一環として、WBC車を用いた実習活動などを実施。長岡技大、福島高専、郡山女子大などでは、学生を主体に一般の方々とのコミュニケーションを含めて、WBC受付から結果説明までを行う**WBC実習を通して測定の意味や意義及び相手の気持ちに立ったコミュニケーションの在り方**などについて実習を実施。



#### 県民健康管理調査

○県民健康管理調査（内部被ばく検査）の**計画立案、検査と結果の評価、その他問い合わせ対応**を実施

(平成23年7月11日～30年9月30日までに、92,550人（子供72,090人、大人20,460人）測定)



## 今後の取組み

17

○国や自治体の要請に応じて、帰還困難区域における特定復興再生拠点の整備や避難指示解除等の復興・再生に向けた取組みに貢献できる研究開発や技術支援等を、福島県環境創造センター等の関係機関と連携して、引き続き実施する。

#### 【除染効果評価システムの高度化・実証】

○引き続き帰還困難区域の線量予測などの自治体等の要請に応えつつ、解析精度の向上を図り、**環境動態研究の包括的評価システムへの組み込み**を行う。

#### 【除去土壌等の分別・減容等処理技術開発】

○Csの吸脱着挙動の解明については、引き続き基礎研究を実施し、得られた成果については**環境動態研究への展開**を図る。  
○再生利用技術開発として実施した**LIDARによる粉じんモニタリング技術**については、**環境動態研究の飛散監視技術として研究開発を継続**する。



## まとめと自己評価

18

○国、市町村の除染の進捗状況に併せて研究開発を進めてきており、本格除染の完了に伴い、主要な研究開発を終了している。

○除染効果評価システムについて、解析精度の向上のためのシステムの高度化を実施するとともに、地元自治体の要請に基づき帰還困難区域の除染効果予測や空間線量率予測などの情報提供を行い、復興計画の立案等に貢献している。

○セシウムの土壌への吸着機構の解明では、ナノスケールでの結合状態の評価手法の開発や特性評価を実施しており、その成果をプレス発表するなど成果公表に努めている。

○環境省からの受託業務においては、除去土壌等の最終処分に向けた国の技術開発戦略の策定への貢献、除染後の継続モニタリングの実施などによる除染の推進に貢献する等の成果を挙げている。



自己評価[A] (研究開発成果の最大化)に向けて顕著な成果の創出や将来的な成果の創出の期待等が認められる)



# 今後の研究開発の進め方

平成30年12月1日

宮原 要

福島環境安全センター



## 自己評価(平成27年度～30年9月)

1

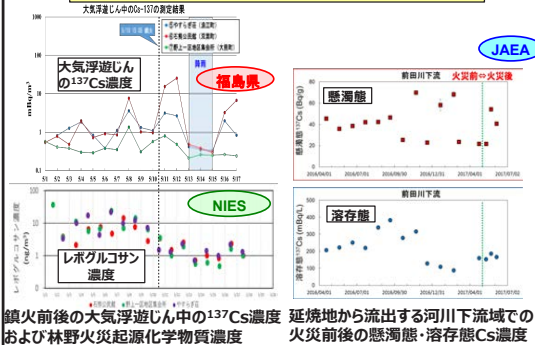
| 評価軸                                                          | 環境モニタリング・マッピング技術開発                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 自己評価 | 福島長期環境動態研究                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 自己評価 | 除染・減容技術の高度化                                                                                                                                                                                                                                          | 自己評価 |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| (1) 研究開発の進捗状況の妥当性(情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直し(継続、変更、中止等)も含む) | 計画通りの進捗に加えて、仮置場跡地のフォローアップモニタリング手法の検討や特定復興再生拠点区域のモニタリング及び線量評価等、国や県のニーズをとらえて柔軟に計画に組み込み対応                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | A    | 計画通りの進捗に加えて、三機関連携した林野火災の影響把握や一部研究計画の前倒し実施等、柔軟に計画に組み込み対応                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | A    | 計画通りの進捗                                                                                                                                                                                                                                              | B    |
| (2) 研究成果・アウトカムの暫定的確認<br>(主な成果及びアウトカムの例)                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>継続的に実効的かつ総合的な環境モニタリングを実施するとともに解析手法の高度化を図りモニタリング結果の統計学的な統合マッピング手法の開発を実施<br/>⇒避難指示解除の実現、国及び自治体における復旧・復興対策の検討に大きく貢献</li> <li>継続的にIn-situ Ge測定や137Csの土壌深度分布調査等を実施し、測定・評価手法を最適化及び標準化。</li> <li>実際の測定データを元に予測モデルの開発。<br/>⇒規制庁の放射線測定のマニュアル改定等に反映</li> <li>特定復興再生拠点区域の解除に向けたモニタリング(無人ヘリ)、ダストサンプリング)及び被ばく線量の評価を実施。<br/>⇒特定復興再生拠点区域の解除に向けた国・自治体における放射線防護対策の検討に活用</li> </ul> | S    | <ul style="list-style-type: none"> <li>河川水系動態に係る放射性Csデータや、遠隔モニタリングデータを総合し、河川全体におけるCs動態を解明し、河川敷の空間線量率、土壌中Csの鉛直分布の時間変化等の定量的なデータを東北農政局、県、自治体へ提供<br/>⇒農業・農村の復旧・復興を支援することを目的とした東北農政局パンフレットの策定に直接的に貢献</li> <li>成果を分かりやすく発信する取組みとして、「環境モニタリングデータベース」、「根拠情報Q&amp;A」、「解析事例ベース」を整備し、これらを取りまとめた総合的・多角的に福島環境について提示する福島環境情報サイトのプロトタイプを構築<br/>⇒科学的知見に基づく情報発信による不安の低減、自治体の施策検討への貢献に期待</li> </ul> | A    | <ul style="list-style-type: none"> <li>除染効果評価システムについて、地元自治体の要請に基づき、特定復興再生拠点の除染効果評価結果を提供するとともに、解析精度の向上のためのシステムの高度化を実施<br/>⇒地元自治体の復興計画の立案等に貢献</li> <li>環境省の受託業務として、除去土壌等の「安全な再生利用」に向けた戦略及び安全指標の策定の技術支援を実施<br/>⇒国の除去土壌等の最終処分に向けた取組の道筋の具体化に貢献</li> </ul> | A    |



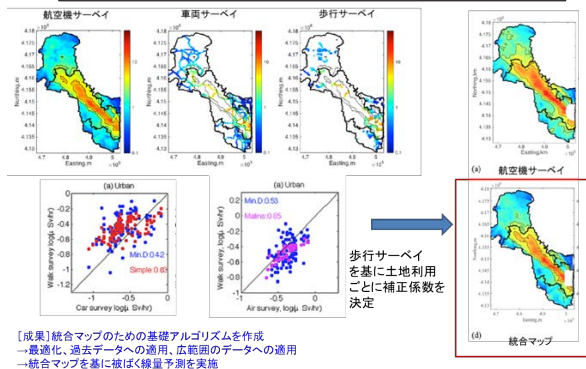
## 国内外他機関との連携について

### 国内外他機関との連携の事例

#### 福島県環境創造センター三機関の連携



#### ローレンスバークレー国立研究所との共同研究



十萬山（浪江町・双葉町帰還困難区域）で発生した林野火災に対して、福島県、原子力機構、国立環境研究所の三機関がそれぞれの得意分野を活かして分担・協働し、周辺環境への影響把握に係る調査を実施

ローレンスバークレー国立研究所と測定手法の異なる測定結果の統計学的な統合手法を共同で研究

そのほか、韓国の研究機関や国際会議の場を活用して、モニタリング技術開発に関する情報交換を実施。

環境動態研究においては、河川水系での溶存態セシウムの移行挙動に関する研究について、国立環境研究所や弘前大学等と連携して実施。森林内空間線量率を評価するためのツールの開発を森林総合研究所と連携して実施するなど、着実に国内外他機関との連携を進めており、各研究分野における成果、アウトカムの創出に貢献



## 若手研究者の育成・支援への貢献

### ①国際会議への積極的な参加

⇒AGU, EGU, Goldschmidt Conference等への積極的な参加（毎年度2～3名程度）機会の創出

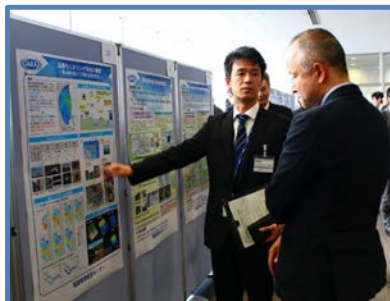
### ②国際誌をはじめとする学会誌への投稿、学位の取得

### ③機構主催の報告会、イベント、地元説明会等での成果の発表

### ④学生等、将来の研究者を育成するための実習等での若手の講師登用

### ⑤各種の資格取得のための講習会等への積極的な参加

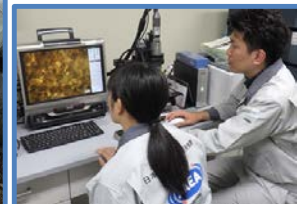
⇒酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者技能講習、SEM（電子顕微鏡）機器分析講習会、放射線取扱主任者講習、Phits講習会、核燃料物質取扱主任者講習等



③福島部門研究成果報告会での成果の発表



④原子力機構の夏季休暇実習に全国から大学生、高専生を受入れ（原子力への理解促進や原子力分野への人材育成に資する体験就業）



研究成果を積極的に発表する機会・経験を創出

学生への指導を通じて若手研究者・技術者が自ら考え行動し、課題を解決していく機会を創出



## イノベーション創出への取り組み例

4

これまでの研究開発成果の他分野への応用、また、他分野の技術を取り入れた新たな調査手法の開発への期待など

### 無人観測船の開発

国内初の無人船による海底測量の実施



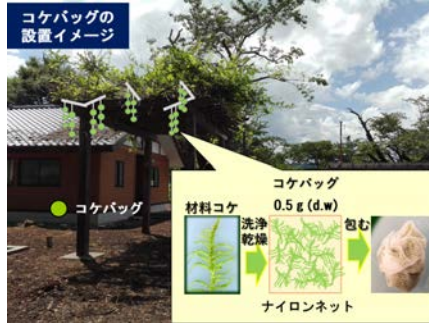
次世代無人船の完成イメージ



JAEAの水底のモニタリング技術を、国内企業（ウィンディネットワーク等）やJAMSTEC等の有する海洋調査技術と組み合わせ共同で開発

様々な海洋調査のプラットフォームとなることへの期待

### 地衣類・コケバッグによる大気浮遊物質評価手法の開発



ナポリ大学との研究協力のもとで実施。目的に応じて生物が有する機能を活用している非常に省力化された安価・簡易な手法

大気汚染物質調査分野への応用に期待



## 自己評価(平成27年度～30年9月)

5

(1) 研究開発の進捗状況の妥当性(情勢変化に対応した研究開発の目的・目標、進め方の見直し(継続、変更、中止等)も含む)については、

・「環境モニタリング・マッピング技術開発」、「福島長期環境動態研究」、「除染・減容技術の高度化」の全てのテーマについて、当初計画どおり進捗している。

・さらには、「環境モニタリング・マッピング技術開発」、「福島長期環境動態研究」の一部研究においては、計画を前倒しで進めているとともに、仮置場跡地のフォローアップモニタリング手法の検討や特定復興再生拠点区域のモニタリング及び線量評価、林野火災の影響把握に関する調査研究等、当初計画にない調査研究についても、国、自治体等のニーズをとらえて柔軟に計画に組み込み適切に対応した。

⇒以上を踏まえ、自己評価を「A」とする。

(2) 研究成果・アウトカムの暫定的確認については、

・「環境モニタリング・マッピング技術開発」では、継続的に総合的な環境モニタリングを実施、統合マップ化手法の開発や特定復興再生拠点区域のモニタリング及び線量評価等、避難指示解除の実現、国及び自治体における復旧・復興対策の検討に大きく貢献している。また、国のマニュアル類の改定に寄与する大きな成果を創出した。

・「福島長期環境動態研究」では、河川水系動態に係る調査等のデータを総合し、河川全体におけるCs動態を解明し、成果を国、自治体等へ提供するなど、農業・農村の復旧・復興を支援することを目的としたパンフレットの作成等に寄与する等の成果を創出した。さらには、これらの成果を取りまとめて、総合的・多角的に福島環境について提示する福島環境情報サイトのプロトタイプを構築し、今年度中の公開を予定しており、科学的知見に基づく分かりやすい成果情報発信による不安の低減、自治体の施策検討への貢献が期待される。

・「除染・減容技術の高度化」では、除染効果評価システム(RESET)による帰還困難区域の除染効果評価結果を提供し、国、自治体の除染、復興計画の立案等に貢献した。さらには、除去土壌等の安全な再生利用に向けた戦略及び安全指標の策定の技術支援を実施し、国の除去土壌等の最終処分に向けた取組の道筋の具体化に貢献した。

⇒以上を踏まえ、自己評価を「A」とする。

これらの調査研究を進めるに当たり、国内外の研究機関等との連携を積極的に進めるとともに、調査研究活動を通じて若手研究者の成果の創出、発信の機会を提供するなど人材の育成にも努めている。また、これまでの研究開発成果の他分野への応用、また、他分野の技術を取り入れた新たな調査手法の開発等、イノベーションの創出も期待される。

上記を総合的に踏まえ、中間評価における「環境回復に関する調査研究開発」の自己評価を「A」とする



## 研究資金・人材等の研究開発資源の再配分 －外部資金の獲得－

6

| 平成27年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 平成28年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 平成29年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 平成30年度                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>平成27年度放射性物質測定調査委託費(東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約)事業(562百万円)</li> <li>ホールボディカウンター(WBC)検査による福島県民健康調査支援業務(107百万円)</li> <li>平成27年度除染関係基準等に係る調査検討業務(45百万円)</li> <li>広域線量率分布測定用装置(KURAMA-Ⅱ)データ解析・補正委託業務(41百万円)</li> <li>平成27年度最終処分に向けた技術開発戦略策定調査業務(200百万円)</li> <li>発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究(30百万円)</li> <li>水底の放射線分布測定手法に関する技術指導(4百万円)</li> <li>プラスチックシンチレーション光ファイバー(PSF)を用いた汚染水測定に関する技術指導(0.1百万円)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>平成28年度放射性物質測定調査委託費(東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約)事業(516百万円)</li> <li>平成28年度ホールボディカウンター(WBC)検査による福島県民健康調査支援業務(77百万円)</li> <li>平成28年度除染関係基準等に係る調査検討業務(35百万円)</li> <li>広域線量率分布測定用装置(KURAMA-Ⅱ)データ解析・補正業務(41百万円)</li> <li>平成28年度除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略の具体化等に係る調査業務(200百万円)</li> <li>発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究(30百万円)</li> <li>水底の放射線分布測定手法に関する技術指導(1百万円)</li> <li>プラスチックシンチレーション光ファイバー(PSF)を用いた汚染水測定に関する技術指導(0.2百万円)</li> <li>圏場空間線量モニタリングと土壌から牧草への放射性セシウムの移行環境の解明(2百万円)</li> <li>「平成28年度原子力施設等防災対策等委託費(生活行動パターンを模倣した連続的な空間線量率の測定)事業」に関する技術指導(1百万円)</li> <li>平成28年度福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析に係る委託業務(7百万円)</li> <li>【その他補助金】海洋調査を目的とした無人観測船の開発(10百万円)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>平成29年度放射性物質測定調査委託費(東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約)事業(466百万円)</li> <li>平成29年度ホールボディカウンター(WBC)検査による福島県民健康調査支援業務(87百万円)</li> <li>平成29年度除染関係基準等に係る調査検討業務(31百万円)</li> <li>広域線量率分布測定用装置(KURAMA-Ⅱ)データ解析・補正業務(43百万円)</li> <li>発電所隣接サイト外領域における放射性核種の環境動態特性に基づくサイト内放射性核種インベントリ評価に関する研究(24百万円)</li> <li>水底の放射線分布測定手法に関する技術指導(1百万円)</li> <li>平成29年度福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析に係る委託業務(7百万円)</li> <li>【その他補助金】海洋調査を目的とした無人観測船の開発(32百万円)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>平成30年度放射性物質測定調査委託費(東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約)事業(510百万円)(※H30年度より契約箇所は安全研究・防災支援部門)</li> <li>平成30年度ホールボディカウンター(WBC)検査による福島県民健康調査支援業務(98百万円)</li> <li>平成30年度除染効果検証等及び基準等検討業務(12百万円)</li> <li>広域線量率分布測定用装置(KURAMA-Ⅱ)データ解析・補正業務(43百万円)</li> <li>水底の放射線分布測定手法に関する技術指導(1百万円)</li> <li>平成30年度福島県内空間線量率の経時変化傾向の分析に係る委託業務(8百万円)</li> <li>楢葉町における内部被ばく測定と不安の軽減に関する研究(2百万円)</li> <li>平成30年度原子力施設等防災対策等委託費(生活行動パターンを模倣した連続的な空間線量率の測定及び詳細モニタリング結果のマッピング)事業に関する技術指導(0.1百万円)</li> <li>平成30年度帰還困難区域における継続モニタリングに関する調査・解析業務(1百万円)</li> <li>【その他補助金】海洋調査を目的とした無人観測船の開発(32百万円)</li> </ul> |



## 事前評価時の主なご意見・コメント等 環境モニタリング・マッピング技術開発

7

- モニタリング対象をしっかりと見据えつつ、技術開発を行って欲しい。海外との研究協力も積極的に進めて欲しい。
- 研究目的・計画と地元のニーズがどの程度合致しているかに関して、適切な計画設定が重要であるとする。具体的には、計画が地元のニーズのどの点にどのように貢献し、計画が達成されることにより、復興にどの程度貢献できるのかを適切に示す必要がある。
- 機構でしかできない技術を発展するための意義がある。森林の林縁の測定には意義があるとは思えるが、森林内の線量測定には、あまり意義が感じられない。水底モニタリングについても、線量測定というよりは、底質のサンプリング等の自動化の方が重要であると考えられる。遠隔測定とそのキャリブレーションを行うことも併せて、設定していただきたい。
- 特に線量の高い地域での森林・住宅地・水底などの継続的なモニタリングは重要であり、対象別により詳細なデータ把握をめざした研究開発課題の設定は妥当と考える。
- 3次元計測を進めていこうという点は、ニーズに応じた対応であり、妥当なモチベーションだと思います。森林のモニタリングをする理由が、林産物(林業)の復興というのは無理があると思います。外部被ばくが全く問題でない森林ですら、シタケ原木の出荷は出来ていません。オンサイトで使えるという方が意義があると思います。高線量域に絞った目的でもよいように思います。
- 森林における環境モニタリングは極めて重要であり、さまざまな手法でさらに時間軸を意識して進めて欲しい。これは全体的に言えることであるがモニタリングの進展し、住民がどのように変化したのか、帰還が進んだかの研究課題も必要だと思う。



## 事前評価時の主なご意見・コメント等 環境モニタリング・マッピング技術開発

8

- 機構でしかできない技術を発展するための意義がある。住宅近傍の、森林の林縁の線量測定、住居地域の線量分布の詳細な調査は、住民の帰還において、重要な意義があると考えられる。
- 中長期計画ということで、ニーズの変化も考慮した長期間の戦略的な計画づくりが必要。また、単に研究開発し、民間への技術移転・支援だけでなく、社会実装を先導する取り組みも、様々なセクターとの連携によって進めていくべきではないか。
- 研究計画書には「・・・の高度化」という表現が多用されている。それで結構ながら、研究成果をどのように活用するのか、活用してほしいのかで、高度化の意味は違ってくる。例えば、精度を高めるだけでなく、将来的には、地元の方々や団体の参加を得て、住民参加型モニタリングなど新しいリスクコミュニケーション手法が可能性として考えられることから、簡単な手順で精度の高い計測ができる手法の開発なども、視野に入れていただいてもいいのではないかと考えている。



## 事前評価時の主なご意見・コメント等 福島長期環境動態研究

9

- 重要な課題であり、しっかりと取り組んでほしい。
- モデルを出口としたとりまとめは、妥当である。一方で、除染の影響で土壌侵食・河川・湖沼へと波及してくることが予想されるため、除染の影響を項目に加えていただきたい。
- 中長期的に重要な課題。生活圏と農林水産業への影響等を特に重視すべきと思います。
- 環境回復から復興に向けて、避難されている人やお住いの方々にとっての将来の生活の不安は根強い。そのような方々にとって重要な情報となる環境動態研究は重要であり、課題設定は妥当と考える。なお、研究成果が出てから社会に発信するだけでなく、このような課題を設定して研究をしている、ということを公表することが、社会の不安を少しでも和らげることになり、研究成果だけでなく、研究課題や計画自体の発信も重要課題として考えていただきたい。
- 生活圏除染が先行的に実施されてきたが、森林、河川、ダム等における放射性物質対策を求めるニーズは多いことから妥当であると思う。
- 網羅的な研究テーマなので、連携先との仕分けをどのようにするのかを、より明確にしたうえで進めてほしい。  
特に国環研とどのように住み分けるのか？→結果としてどのような成果になるのか、福島県のニーズに対応した優先順位をつけるべきである。予算は限定されているので重点化を図るべき。



## 事前評価時の主なご意見・コメント等 除染・減容技術の高度化

10

- 方向性としては妥当であるとする。
- 除染効果評価システムについては、是非現地データを大いに取り込み、重点的な高度化を期待する。一方で、特に超濃縮減容化の基礎となる基礎データの収集をまずはやるべきであり、そのエビデンスを基に、再検討が必要。ポリオン粘土法については、現在は、放射線遮蔽と土壌移動を抑止する材料が求められているので、遮蔽と土壌固定を合わせて用いる方法に変更すべき。
- 減容化技術については、県外最終処分までの出口から見た全体の技術システムをデザインしアセスメントを行った後に、あるいは並行して検討しながら、技術開発課題の対象を検討し、柔軟に対応していてもよいのではないか。減容化後の高濃度に濃縮された廃棄物の最終処分に向けた廃棄体の在り方等に関する研究課題も必要で、原子力分野の蓄積が活かせると思われる。
- 放射性物質に汚染された廃棄物の大幅な減容化は、中間貯蔵施設建設や30年後には完了するとされる最終処分場建設に関し、重要な要素となる。大幅な減容化を図れるようにめざす課題設定は妥当と考える。  
なお、ポリオンだけでなく、セシウム移行抑制に関する多様な技術開発を期待したい。
- 今後、市町村除染においては、比較的低線量域での効果的な手法が求められていることから、評価システムや移行抑制技術開発は必須の課題であり、妥当であると思う。



## 事前評価時の主なご意見・コメント等 総合的所見

11

- 研究開発課題および研究計画に関しては、全てのテーマについて妥当
- 課題の設定および計画の具体化に当たっては、原子力に関する総合的な研究機関である強みを活かし、機構でしかできないこと、ニーズ（成果の反映先）を明確にして進めることが重要
- ニーズの明確化に当たっては、これまでの機構の成果、計画等を分かりやすい形で公表し、国内外の関係機関、地元等と連携し、積極的に双方向のコミュニケーションを図ることが重要
- 今後、復興へ向けての取組が加速する中、研究開発成果をタイムリーに反映させるために、スピード感を持って研究開発を進めることが必要



## 情勢変化への柔軟な対応

12

### 情勢変化

- 中間貯蔵施設への除去土壌等搬入開始  
(平成27年3月)
- 行政事業レビュー  
(平成28年6月)
- 除染の収束と避難区域の解除  
(～平成29年4月)
- 福島復興再生基本方針の改訂  
(平成29年6月)
- 福島復興再生特別措置法の改正  
(平成29年5月)
- 帰還困難区域内に特定復興再生拠点区域を設定  
(平成29年9月～平成30年5月)

### 対応

- 減容再生利用戦略策定支援
- 環境動態研究への重点化
- 浪江町林野火災後の調査対応
- 特定復興再生拠点への対応



## 福島復興再生基本方針\*

13

\*平成29年6月30日改訂

### 【国の方針】

- 避難指示の解除はゴールではなく、スタートであり、帰還困難区域については、たとえ長い年月を要するとしても、将来的に帰還困難区域全てを避難指示解除し、復興・再生に責任を持って取り組む

### 【原子力機構の役割】

- 日本原子力研究開発機構において、放射性物質により汚染された環境の回復のための調査及び研究開発として、森林、河川域などの広いフィールドを対象とした放射性物質の環境動態に関する研究を行うとともに、その成果を基に放射線量の可視化と将来予測が可能なシステムを提供するなど、調査・研究開発の実施とその成果の普及を図る



## 福島環境安全センターの取り組み方針

14

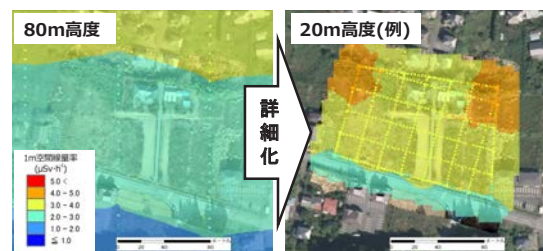
- H33年度は、福島県環境創造センター中長期取組方針フェーズ2（H31～33）の最終年度、フェーズ3（H34～36）を迎える時期
- H33年度は、JAEAの中長期目標期間の最終年度、H34年度より、新たな中長期目標の策定が必要
- H32年度で復興特会が終了することを受け、H33年度以降、福島環境安全センターにおいて進める事業に係る経費については、受託等の外部資金を獲得して実施していく
  - 帰還困難区域を中心とする空間線量率、陸域・水域の放射性物質濃度等の調査
  - 環境動態研究
- オフサイトでの調査・研究で得られる成果や技術を、原子力防災や1Fの廃炉に活用していく



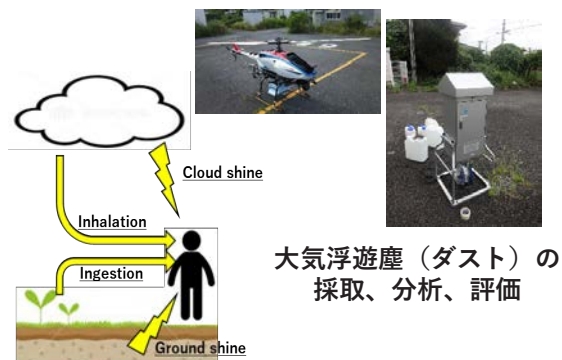
## 帰還困難区域を中心とする空間線量率、陸域・水域の放射性物質濃度等の調査

15

- 事故直後より原子力規制庁の受託事業（マップ事業）として主に陸域の調査を実施しており、今後は、水域（河川、河口域、海域）についての調査についても重要性が認識されてきている
- 内閣府からの帰還困難区域解除に向けた除染作業に当たって特定復興拠点復興拠点の空間線量、放射性物質濃度等の情報提供についての協力依頼等、国を中心に依然高いニーズを有し、機構への期待も大きい
- よって、継続して無人ヘリ等の調査に対応できる機能を維持し、国等の要請に応じたモニタリングに対応するとともに、より高精度の結果を提示するための調査・解析手法等の開発に取り組む
- これらの成果は、環境動態研究にも反映する



無人ヘリによる詳細な放射線測定



大気浮遊塵（ダスト）の採取、分析、評価

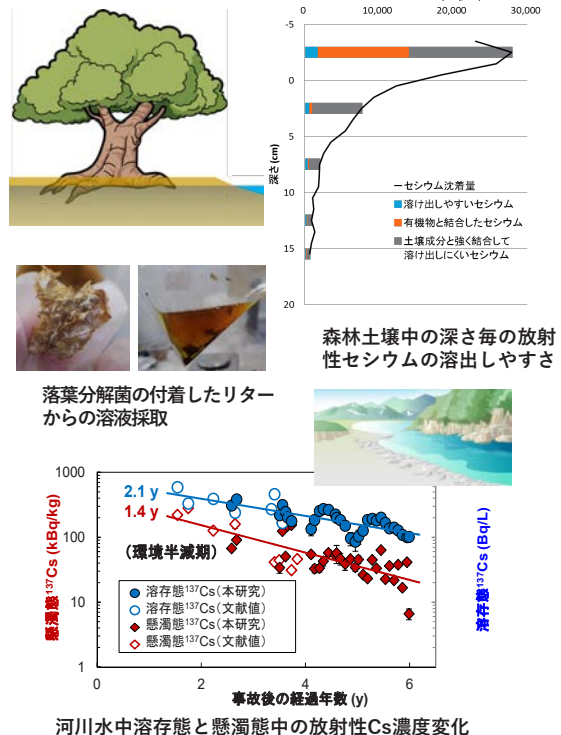
特定復興再生拠点の解除に向けた安全・安心対策の検討に必要となる科学技術的な知見の提供



## 環境動態研究

16

- 未除染の森林に残存するセシウムについて、例えばチェルノブイリでは事故10年経過後に樹木のセシウム分布傾向が変化することが報告されている等、森林内での循環挙動、溶存態の生成メカニズムの解明、水域での挙動解明と農林水産物への影響評価に関する調査研究を行うことが求められる
- 林野火災等の環境変化による影響等の速やかな調査及び影響評価については、福島県環境創造センター、国立環境研究所と連携し、迅速な対応が求められている等、福島県、及び県内自治体等を中心に高いニーズを有し、機構への期待も大きい
- よって、体制及び設備（分析機器等）を維持し、環境動態研究に取り組む



## 環境回復の研究開発に係るロードマップ

17



## 研究開発成果の一覧

(2015 年 4 月から 2018 年 10 月末時点)

(2015 年)

- 飯島和毅, 森林から河川水系を移動する放射性セシウムの環境動態研究の現状, 地球化学, vol.49, pp.203-215 (2015).
- 武藤琴美, 安藤麻里子, 竹内絵里奈, 他, 懸濁態及び溶存態 Cs の森林から河川への流出とその変化傾向, Proceedings of the 16th Workshop on Environmental Radioactivity, pp.252-257 (2015).
- 眞田幸尚, 鳥居建男, 村岡浩治, 福島原子力発電所事故後における無人機を用いた放射線モニタリング-UARMS の開発状況-, 第 53 回飛行機シンポジウム講演論文集, 2A05 (2015).
- 眞田幸尚, 森愛理, 石崎梓, 他, 平成 26 年度福島第一原子力発電所周辺における航空機モニタリング (受託研究), JAEA-Research 2015-006, 81p. (2015).
- 佐藤昌之, 村岡浩治, 穂積弘毅, 眞田幸尚, 山田勉, 鳥居建男, Multiple Model Approach による構造化ロバスト制御器設計法を適用した放射線モニタリング無人固定翼機の飛行制御則設計—福島県浪江町における放射線モニタリング飛行—, 計測自動制御学会論文集, vol.51, pp.215-225 (2015).
- 鳥居建男, 眞田幸尚, 空からの遠隔放射線モニタリング, 放射性物質対策技術, 株式会社エヌ・ティーエス, 東京, 370p. (2015).
- 横山信吾, 中田弘太郎, 鈴木伸一, 各種粘土鉱物の Cs の収着・脱離挙動, 粘土科学, vol.54, no.1, pp.28-35 (2015).
- Andoh, M., Nakahara, Y., Tsuda, S., Yoshida, T., Matsuda, N., Takahashi, F., Mikami, S., Kinouchi, N., Sato, T., Tanigaki, M., Takamiya, K., Sato, N., Okumura, R., Uchihori, Y., Saito, K., Measurement of air dose rates over a wide area around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through a series of car-borne surveys, J. Environ. Radioact., vol.139, pp.266-280 (2015).
- Atarashi-Andoh, M., Koarashi, J., Takeuchi, E. et al., Catchment-scale distribution of radiocesium air dose rate in a mountainous deciduous forest and its relation to topography, J. Environ. Radioact., vol.147, pp.1-7 (2015).
- Buesseler, K.O., German, C.R., Honda, M. C., Otosaka, S., et al., Tracking the fate of particle associated Fukushima Daiichi cesium in the ocean off Japan, Environmental Science & Technology, vol.49, pp.9807-9816 (2015).
- Dohi, T., Ohmura, T., Kashiwadani, H. et al., Radiocaesium activity concentrations in parmelioid lichens within a 60 km radius of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, J. Environ. Radioact., vol.146, pp.125-133 (2015).
- Ikeda, T., Suzuki, S., Yaita, T., Characterization of Adsorbed Alkali Metal Ions in 2: 1 Type Clay Minerals from First-Principles Metadynamics, J. Phys. Chem. A, vol.119, no.30, pp.8369-8375 (2015).
- Katata, G., Chino, M., Kobayashi, T. et al., Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of atmospheric dispersion model with improved deposition scheme and oceanic dispersion model, Atmos. Chem. Phys., vol.15, pp.1029-1070 (2015).

- Kinase, S., Sato, S., Sakamoto, R., Yamamoto, H., Changes in ambient dose equivalent rates around roads at Kawamata town after the Fukushima accident, *Rad. Prot. Dosim.*, vol.167, pp.340-343 (2015).
- Kinase, S., Takahashi, T., Sato, S., Yamamoto, H., Saito, K., Prediction of ambient dose equivalent rates for the next 30 years after the accident, *Proceedings of International Symposium on Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future*, pp.40-43 (2015).
- Kinouchi, T., Yoshimura, K., Omata, T., Modeling radiocesium transport from a river catchment based on a physically-based distributed hydrological and sediment erosion model, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.407-415 (2015).
- Kobayashi, S., Shinomiya, T., Kitamura, H. et al., Radioactive contamination mapping of northeastern and eastern Japan by a car-borne survey system, *Radi-Probe, J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.281-293 (2015).
- Kobayashi, T., In, T., Ishikawa, Y., Development of ocean dispersion concentration maps of the contaminated water released from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, *J. Nucl. Sci. Technol.*, vol.52, pp.769-772 (2015).
- Matsuda, N., Mikami, S., Shimoura, S. et al., Depth profiles of radioactive cesium in soil using a scraper plate over a wide area surrounding the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.427-434 (2015).
- Matsunaga, T., Nakanishi, T., Atarashi-Andoh, M. et al., A passive collection system for whole size fractions in river suspended solids, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol.303, pp.1291-1295 (2015).
- Mikami, S., Maeyama, T., Hoshide, Y. et al., The air dose rate around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant: its spatial characteristics and temporal changes until December 2012, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.250-259 (2015).
- Mikami, S., Maeyama, T., Hoshide, Y. et al., Spatial distributions of radionuclides deposited onto ground soil around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant and their temporal change until December 2012, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.320-343 (2015).
- Mikami, S., Sato, S., Hoshide, Y. et al., In situ gamma spectrometry intercomparison in Fukushima, Japan, *Jap. J. Health. Phy.*, vol.50, no.3, pp.182-188 (2015).
- Ohmura, Y., Matsukura, K., Abe, J.P., Hosaka, K., Tamaoki, M., Dohi, T., et al., <sup>137</sup>Cs concentrations in foliose lichens within Tsukuba-city as a reflection of radioactive fallout from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.141, pp.38-43 (2015).
- Onda, Y., Kato, H., Hoshi, M. et al., Soil sampling and analytical strategies for mapping fallout in nuclear emergencies based on the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.300-307 (2015).
- Perianez, R., Brovchenko, I., Duffa, C., Jung, K.T., Kobayashi, T., et al., A New comparison of marine dispersion model performances for Fukushima Dai-ichi releases in the frame of IAEA MODARIA program, *J. Environ. Radioact.*, vol.150, pp.247-269 (2015).
- Saito, K., Tanihata, I., Fujiwara, M., Saito, T., Shimoura, S., Otsuka, T., Onda, Y., Hoshi, M., Ikeuchi, Y., Takahashi, F., Kinouchi, N., Saegusa, J., Seki, A., Takemiya, H., Detailed deposition destiny maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.308-319 (2015).
- Sanada, Y., Torii, T., Aerial radiation monitoring around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using an unmanned helicopter, *J. Environ. Radioact.*, vol.139, pp.294-299 (2015).
- Sanada, Y., Urabe, Y., Orita, T. et al., In-situ measurement of radiation distribution in bottom sediments of irrigation ponds using plastic scintillation fiber, *Proceedings of ICONE-23, 23th International*

Conference on Nuclear Engineering, Chiba, Japan, May 17-21, ICONE23-2120, 4p. (CD-ROM) (2015).

Sanderson, D., Sanada, Y., Cresswell, A. et al., Integrating nuclide specific and dose rate based methods for airborne and ground based gamma spectrometry, Proceedings of International Symposium on Radiological issues for Fukushima's revitalized future, Fukushima, Japan, May 30-31, A2-1, (CD-ROM) (2015).

Seki, A., Saito, O., Nago, H., Suzuki, K., Tomishima, K., Saito, K., Takemiya, H., Development of a software platform for providing environmental monitoring data for the Fukushima Daiichi nuclear accident, Rad. Prot. Dosim., vol.164, pp.97-102 (2015).

Suzuki, C., Yoshida, H., Shuh, D.K., Suzuki, S., Yaita, T., NEXAFS analysis and electronic state of cesium in clay minerals, Proceedings of 23rd International Conference on Nuclear Engineering (ICONE-23), (DVD-ROM) (2015).

Tsuda, S., Yoshida, T., Tsutsumi, M., Saito, K., Characteristics and verification of a car-borne survey system for dose rates in air: KURAMA-II, J. Environ. Radioact., vol.139, pp.260-265 (2015).

Yamada, S., Kitamura, A., Kurikami, H. et al., High performance simulation for sediment transport on rivers on Fukushima area; Parallelization of 2D river simulation code Nays2D, Proceedings of Joint International Conference on Mathematics and Computation, Supercomputing in Nuclear Applications and the Monte Carlo Method (M&C + SNA + MC 2015) (CD-ROM), 9p. (2015).

Yamada, S., Kitamura, A., Kurikami, H. et al., Sediment and <sup>137</sup>Cs transport and accumulation in the Ogaki Dam of eastern Fukushima, Environ. Res. Lett., vol.10, pp.014013\_1-014013\_9 (2015).

Yoshimura, K., Onda, Y., Sakaguchi, A. et al., An extensive study of the concentrations of particulate/dissolved radiocaesium derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in various river systems and their relationship with catchment inventory, J. Environ. Radioact., vol.139, pp.370-378 (2015).

Yoshimura, K., Onda, Y., Kato, H., Evaluation of radiocaesium wash-off by soil erosion from various land uses using USLE plots, J. Environ. Radioact., vol.139, pp.362-369 (2015).

## (2016 年)

藤井健悟, 越智康太郎, 萩原健太, 他, 福島県の一般廃棄物焼却施設で生じた焼却飛灰中放射性セシウムの化学形態分析, 放射化学, vol.34, pp.1-11 (2016).

平尾法恵, 下山巖, 馬場祐治, 他, 真空加熱による粘土鉱物からのセシウム脱離挙動: 放射光を用いた X 線光電子分光法及び昇温脱離法による分析, BUNSEKI KAGAKU, vol.65 no.5, pp.259-266 (2016).

上平雄基, 川村英之, 小林卓也, 福島県沖海域を対象とした海洋拡散予測システムの開発と検証, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.72, pp.I\_451-I\_456 (2016).

宮村浩子, 武宮博, Wu Hsiang-Yun, 高橋成雄, 環境モニタリングデータの詳細度制御, 可視化情報学会誌, vol.36, pp.10-14 (2016).

越智康太郎, 栗原雄一, 青林諒, 他, 福島原発事故後の多摩川集水域における放射性セシウム濃度, Proceedings of the 17th Workshop on Environmental Radioactivity, pp.33-37 (2016).

越智康太郎, 萩原健太, 磯野成美, 他, 明治大学生田校舎周辺での放射性セシウムの観測, Proceedings of the 17th Workshop on Environmental Radioactivity, pp.139-141 (2016).

大渕敦司, 越智康太郎, 小池裕也, 他, 福島県の都市ごみ焼却飛灰の組成分析と放射性セシウム

- の分析, X 線分析の進歩, vol.47, pp.225-232 (2016).
- 斎藤公明, 栗原治, 松田規弘, 高原省吾, 佐藤哲朗, 連載講座: 福島周辺における線量測定と評価に関する問題点 VI 個人の外部被ばく線量評価の現状と課題, RADIOISOTOPES, vol.65, pp.93-112 (2016).
- 眞田幸尚, 福島第一原子力発電所事故後におけるプラスチックシンチレーションファイバーを用いた環境計測, 光学, vol.45, pp.300-305 (2016).
- 眞田幸尚, 山田勉, 佐藤義治, 他, プラスチックシンチレーションファイバ測定技術の福島第一原子力発電所における汚染水管理への応用, JAEA-Research 2016-011, 52p. (2016).
- 眞田幸尚, ト部嘉, 宮本賢治, 他, 潜水型ロボットを利用した水底の放射能分布測定手法の開発, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会論文集, RSJ2016AC3B3-03 (2016).
- 眞田幸尚, 宗像雅広, 森愛理, 他, 平成 27 年度原子力発電所周辺における航空機モニタリング(受託研究), JAEA-Research 2016-016, 131p. (2016).
- 吉村和也, 藤原健壮, 斎藤公明, 宅地における  $^{137}\text{Cs}$  分布特性, Proceedings of the 17th Workshop on Environmental Radioactivity, pp.67-71 (2016).
- Awual, M.R., Miyazaki, Y., Taguchi, T., Shiwaku, H., Yaita, T., Encapsulation of cesium from contaminated water with highly selective facial organic-inorganic mesoporous hybrid adsorbent, Chemical Engineering Journal, vol.291, pp.128-137 (2016).
- Awual, M.R., Yaita, T., Miyazaki, Y. et al., A Reliable hybrid adsorbent for efficient radioactive cesium accumulation from contaminated wastewater, Scientific Reports (Internet), 6:19937 | DOI: 10.1038/srep19937 (2016).
- Honda, M., Shimoyama, I., Okamoto, Y., Baba, Y., Suzuki, S., Yaita, T., X-ray absorption fine structure at the cesium L 3 absorption edge for cesium sorbed in clay minerals, The Journal of Physical Chemistry C, vol.120, no.10, pp.5534-5538 (2016).
- Iijima, K., Modeling Transport Behavior of Radiocesium through River Systems, Global Environmental Research, vol.20, pp.53-57. (2016).
- Ishizaki, A., Sanada, Y., Mori, A. et al., Investigation of Snow Cover Effects and Attenuation Correction of Gamma Ray in Aerial Radiation Monitoring, Remote Sensing, vol.8, (2016).
- Jiang, J., Shimazoe, K., Nakamura, Y., Takahashi, H., Shikaze, Y., Nishizawa, Y., Yoshida, M., Sanada, Y., Torii, T., et al., A prototype of aerial radiation monitoring system using an unmanned helicopter mounting a GAGG scintillator Compton camera, J. Nucl. Sci. Tech., vol.53, pp.1067-1075 (2016).
- Kitamura, A., Kurikami, H., Sakuma, K. et al., Redistribution and export of contaminated sediment within eastern Fukushima Prefecture due to typhoon flooding, Earth Surface Processes and landforms, vol.41, pp.1708-1726 (2016).
- Koarashi, J., Atarashi-Andoh, M., Matsunaga, T., Sanada, Y., Forest type effects on the retention of radiocesium in organic layers of forest ecosystems affected by the Fukushima nuclear accident, Scientific Reports (Internet), 6:38591 | DOI: 10.1038/srep38591 (2016).
- Koarashi, J., Nishimura, S., Nakanishi, T., Atarashi-Andoh, M., Takeuchi E, Muto, K., Post-deposition early-phase migration and retention behavior of radiocesium in a litter-mineral soil system in a Japanese deciduous forest affected by the Fukushima nuclear accident, Chemosphere, vol.165, pp.335-341 (2016).
- Konoplev, A., Golosov, V., Laptev, G., Nanba, K., Onda, Y., Takase, T., Wakiyama, Y., Yoshimura, K., Behavior of accidentally released radiocesium in soil water environment: Looking at Fukushima from a Chernobyl perspective, J. Environ. Radioact., vol.151, pp.568-578 (2016).

- Kurikami, H., Funaki, H., Malins, A., Kitamura, A., Onishi, T., Numerical study of sediment and  $^{137}\text{Cs}$  discharge out of reservoirs during various scale rainfall events, *J. Environ. Radioact.*, vol.164, pp.73-83 (2016).
- Malins, A., Kurikami, H., Kitamura, A. et al., Effect of remediation parameters on in-air ambient dose equivalent rates when remediating open sites with radiocesium-contaminated soil, *Health Physics*, vol.111, no.4, pp.357-366 (2016).
- Matsunaga, T., Nakanishi, T., Atarashi-Andoh, M., Takeuchi, E., Muto, K., Tsuduki, K., Nishimura, S., Koarashi, J., Otsuka, S., et al., Year-round variations in the fluvial transport load of particulate  $^{137}\text{Cs}$  in a forested catchment affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *J. Radioanal. Nucl. Chem*, vol.310, pp.679-693 (2016).
- Motai, S., Mukai, H., Watanuki, T., Ohwada, K., Fukuda, T., Machida, A., Kuramata, C., Kikuchi, R., Yaita, T., Kogure, T., Mineralogical characterization of radioactive particles from Fukushima soil using  $\mu$ -XRD with synchrotron radiation, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, vol.111, no.5, pp.305-312 (2016).
- Motokawa, R., Kobayashi, T., Endo, H. et al., Small-angle neutron scattering study of specific interaction and coordination structure formed by mono-acetyl-substituted dibenzo-20-crown-6-ether and cesium ions, *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol.53, no.8, pp.1205-1211 (2016).
- Mukai, H., Hirose, A., Motai, S., Kikuchi, R., Tanoi, K., Nakanishi, T.M., Yaita, T., Kogure, T., Cesium adsorption/desorption behavior of clay minerals considering actual contamination conditions in Fukushima, *Scientific Reports (Internet)*, 6: 21543 | DOI: 10.1038/srep21543 (2016).
- Mukai, H., Motai, S., Yaita, T. et al., Identification of the actual cesium-adsorbing materials in the contaminated Fukushima soil, *Applied Clay Science*, vol.121, pp.188-193 (2016).
- Niizato, T., Abe, H., Mitachi, K. et al, Input and output budgets of radiocesium concerning the forest floor in the mountain forest of Fukushima released from the TEPCO's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.161, pp.11-21 (2016).
- Nishizawa, Y., Yoshida, M., Sanada, Y. et al., Distribution of the  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  ratio around the Fukushima Daiichi nuclear power plant using an unmanned helicopter radiation monitoring system, *J. Nucl. Sci. Tech.*, vol.53, pp.468-474 (2016).
- Onuki, T., Aiba, Y., Sakamoto, F., Kozai, N., Niizato, T., Sasaki, Y., Direct accumulation pathway of radioactive cesium to fruit-bodies of edible mushroom from contaminated wood logs, *Scientific Reports (Internet)*, 6: 29866 | DOI: 10.1038/srep29866 (2016).
- Ota, M., Nagai, H., Koarashi, J., Modeling dynamics of  $^{137}\text{Cs}$  in forest surface environments: Application to a contaminated forest site near Fukushima and assessment of potential impacts of soil organic matter interactions, *Science of the Total Environment*, vol.551-552, pp.590-604 (2016).
- Perianez, R., Bezhenar, R., Brovchenko, I., Duff, C., Isosjpe, M., Jung, K.T., Kobayashi, T. et al., Modelling of marine radionuclide dispersion in IAEA MODARIA program: lessons learnt from the Baltic Sea and Fukushima scenarios, *Science of the Total Environment*, vol.569-570, pp.594-602 (2016).
- Saegusa, H., Ohyama, T., Iijima, K., et al., Deposition of radiocesium on the river flood plains around Fukushima, *J. Environ. Radioact.*, vol.164, pp.36-46 (2016).
- Sanada, Y., Orita, T., Torii, T., Temporal variation of dose rate distribution around the Fukushima Daiichi nuclear power station using unmanned helicopter, *Appl. Radiat. Isot.*, vol.118, pp.308-316 (2016).
- Sasaki, Y., Abe, H., Mitachi, K., et al., The Transfer of radiocesium from the bark to the stemflow of chestnut trees (*Castanea crenata*) contaminated by radionuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.161, pp.58-65 (2016).
- Sasaki, Y., Ishii, Y., Abe, H., et al., Translocation of radiocesium released by the Fukushima Daiichi Nuclear

Power Plant accident in Japanese chestnut and chestnut weevil larvae, Horticulture Journal, vol.2, pp.139-144 (2016).

Sato, M., Muraoka, K., Hozumi, K., Sanada, Y., Tamada T., Torii, T., Flight Demonstration of Unmanned Airplane for Radiation Monitoring System with Preview Path-Tracking Controller, Proceedings of 2016 American Control Conference (ACC), Boston Marriott Copley Place, July 6-8, 2016. Boston, MA, USA, pp.6735-6740 (2016).

Shikaze, Y., Nishizawa, Y., Sanada, Y., et al., Field test around Fukushima Daiichi nuclear power plant site using improved Ce:Gd<sub>3</sub>(Al,Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> scintillator Compton camera mounted on an unmanned helicopter, J. Nucl. Sci. Tech., vol.53, pp.1907-1918 (2016).

Vetter, K., Andy Haefner, A., Barnowski, R., Pavlovsky, R., Torii, T., Sanada, T., Shikaze, Y., Advanced Concepts in Multi-Dimensional Radiation Detection and Imaging, Proceedings of International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), 70001 (2016).

Yang, B., Onda, Y., Wakiyama, Y., Yoshimura, K., et al., Temporal changes of radiocesium in irrigated paddy fields and its accumulation in rice plants in Fukushima, Environ. Pollut., vol.208, pp.562-570 (2016).

Yoshimura, K., Onda, Y., Wakahara, T., Time Dependence of the <sup>137</sup>Cs Concentration in Particles Discharged from Rice Paddies to Freshwater Bodies after the Fukushima Daiichi NPP Accident, Environ. Sci. Technol., vol.50, pp.4186-4193 (2016).

#### (2017 年)

安藤真樹, 松田規宏, 斎藤公明, KURAMA-II を用いた走行サーベイ測定による東日本での天然放射性核種の空間線量率評価, 日本原子力学会和文論文誌, pp.63-80 (2017).

川瀬啓一, 北野光昭, 渡邊雅範, 他, 内閣府除染モデル実証事業後の空間線量率の推移に関する調査結果; 第 1 回～第 11 回調査結果概要 (受託調査), JAEA-Review 2017-006, 173p. (2017).

小池裕也, 鈴木亮一郎, 越智康太郎, 他, 市販試薬を校正線源とする放射能分析, 分析化学, vol.66, pp.263-270 (2017).

中西貴宏, 大山卓也, 萩原大樹, 福島県浜通り地方における河川敷の空間線量率分布, Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, pp.107-111 (2017).

越智康太郎, 藤井健悟, 萩原健太, 他, 関東甲信越における土壤中放射性セシウムの化学形態モニタリング, 分析化学, vol.66, pp.175-180 (2017).

眞田幸尚, 石崎梓, 西澤幸康, 他, 有人ヘリコプタを用いた放射線モニタリング, 分析化学, vol.66, pp.149-162 (2017).

眞田幸尚, 森愛理, 岩井毅行, 他, 平成 28 年度緊急時対応技術適用のためのバックグラウンド航空機モニタリング (受託研究), JAEA-Technology 2017-035, 69p. (2017).

眞田幸尚, 森愛理, 岩井毅行, 他, 平成 28 年度原子力発電所周辺における航空機モニタリング (受託研究), JAEA-Technology 2017-034, 117p. (2017).

田中勝, 青山勲, 石坂薫, 大畑ゆき, 福池伊織, 川瀬啓一, 渡邊雅範, 時澤孝之, 他, リスクコミュニケーション実施上の課題の研究; 平成 27 年度 (委託研究), JAEA-Research 2017-003, 65p. (2017).

鶴田忠彦, 新里忠史, 中西貴宏, 他, 福島における放射性セシウムの環境動態研究の現状; 根拠となる科学的知見の明示をより意識した情報発信の一環として, JAEA-Review 2017-018, 86p. (2017).

- 渡辺貴善, 大山卓也, 石井康雄, 他, 3D レーザースキャナーによる測量から求めた治山ダムへの放射性セシウムの堆積量, *Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity*, pp.122-126 (2017).
- Honda, M., Okamoto, Y., Shimoyama, I., Shiwaku, H., Suzuki, S., Yaita, T., Mechanism of Cs Removal from Fukushima Weathered Biotite by Heat Treatment with a NaCl-CaCl<sub>2</sub> Mixed Salt, *ACS Omega*, vol.2, no.2, pp.721-727 (2017).
- Honda, M., Shimoyama, I., Kogure, T., Baba, Y., Suzuki, S., Yaita, T., Proposed cesium-free mineralization method for soil decontamination: Demonstration of cesium removal from weathered biotite, *ACS Omega*, vol.2, pp.8678-8681 (2017).
- Ishizaki, A., Sanada, Y., Ishida, M. et al., Application of topographical source model for air dose rates conversions in aerial radiation monitoring, *J. Environ. Radioact.*, vol.180, pp.82-89 (2017).
- Ishizuka, M., Mikami, M., Tanaka, T.Y. et al., Use of a size-resolved 1-D resuspension scheme to evaluate resuspended radioactive material associated with mineral dust particles from the ground surface, *J. Environ. Radioact.*, vol.166, pp.436-448 (2017).
- Kawamura, H., Furuno, A., Kobayashi, T. et al., Oceanic dispersion of Fukushima-derived Cs-137 simulated by multiple oceanic general circulation models, *J. Environ. Radioact.*, vol.180, pp.36-58 (2017).
- Kawase, K., Implementation of decontamination technologies appropriate to Japanese boundary conditions, *Global Environmental Research (Internet)*, vol.20, no.1&2, pp.83-90 (2017).
- Kinase, S., Takahashi, T., Saito, K., Long-term predictions of ambient dose equivalent rates after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *J. Nucl. Sci. Tech.*, vol.54, pp.1345-1354 (2017).
- Koarashi, J., Atarashi-Andoh, M., Amano, H. et al., Vertical distributions of global fallout <sup>137</sup>Cs and <sup>14</sup>C in a Japanese forest soil profile and their implications for the fate and migration processes of Fukushima-derived <sup>137</sup>Cs, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol.311, pp.473-481 (2017).
- Matsuda, N., Mikami, S., Sato, T., Saito, K., Measurements of air dose rates in and around houses in the Fukushima Prefecture in Japan after the Fukushima accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.166, pp.427-435 (2017).
- Mori, A., Takahara, S., Ishizaki, A., Iijima, M., Sanada, Y. et al., Assessment of residual doses to population after decontamination in Fukushima Prefecture, *J. Environ. Radioact.*, vol.166, pp.74-82 (2017).
- Muto, K., Atarashi-Andoh, M., Koarashi, J. et al., Sources of <sup>137</sup>Cs fluvial export from a forest catchment evaluated by stable carbon and nitrogen isotopic characterization of organic matter, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol.314, pp.403-411 (2017).
- Ochi, K., Sasaki, M., Ishida, M. et al., Estimation of the Vertical Distribution of Radiocesium in Soil on the Basis of the Characteristics of Gamma-Ray Spectra Obtained via Aerial Radiation Monitoring Using an Unmanned Helicopter, *Int. J. Environ. Res. Pub. Health.*, vol.14, pp.926-939 (2017).
- Otosaka, S., Processes affecting long-term changes in <sup>137</sup>Cs concentration in surface sediments off Fukushima, *J. Oceanogr.*, vol.73, pp.559-570 (2017).
- Saito, K., Onda, Y., Preface to a special issue “Japanese national mapping projects on large-scale environmental monitoring and mapping in Fukushima volume 2”, *J. Environ. Radioact.*, vol.166, pp.417-418 (2017).
- Sakuma, K., Kitamura, A., Malins, A. et al., Characteristics of radio-cesium transport and discharge between different basins near to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant after heavy rainfall events, *J. Environ. Radioact.*, vol.169-170, pp.137-150 (2017).
- Sanada, Y., Nakanishi, C., Urabe, Y. et al., Altitudinal characteristics of atmospheric deposition of aerosols in mountainous regions: Lessons from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident,

Science of the Total Environment, vol.618, pp.881-890. (2017)

Sato, M., Muraoka, K., Hozumi, K., Sanada, Y., Flight Demonstration of Simple Preview Altitude Control Algorithm for Unmanned Airplane, J. Aircraft, vol.54, pp.1571-1579 (2017).

Tsuda, S., Saito, K., Spectrum-dose conversion operator of NaI (TI) and CsI (TI) scintillation detectors for air dose rate measurement in contaminated environments, J. Environ. Radioact., vol.166, pp.419-426 (2017).

Tsuruta, T., Harada, H., Misonou, T. et al., Horizontal and vertical distributions of  $^{137}\text{Cs}$  in seabed sediments around the river mouth near Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, J. Oceanogr., vol.73, 2017, pp.547-558.

Wainwright, H.M., Seki, A., Chen, J., Saito, K., A multiscale Bayesian data integration approach for mapping air dose rates around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, J. Environ. Radioact., vol.167, pp.62-69 (2017).

Wei, L., Kinouchi, T., Yoshimura, K. et al., Modeling watershed-scale  $^{137}\text{Cs}$  transport in a forested catchment affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, J. Environ. Radioact., vol.171, pp.21-33 (2017).

Yaita, T., Matsumura, D., Kobayashi, T. et al., Investigation of Cesium Sorption Mechanisms into Clay Minerals, Global Environmental Research, vol.20, no.1&2, pp.33-44 (2017).

Yang, B., Onda, Y., Ohmori, Y., Sekimoto, H., Fujiwara, T., Wakiyama, Y., Yoshimura, K., et al., Effect of topsoil removal and selective countermeasures on radiocesium accumulation in rice plants in Fukushima paddy field, Science of the Total Environment, vol.603-604, pp.49-56 (2017).

Yoshimura, K., Saito, K., Fujiwara, K., Distribution of  $^{137}\text{Cs}$  on components in urban area four years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, J. Environ. Radioact., vol.178-179, pp.48-54 (2017).

## (2018 年)

石崎梓, 眞田幸尚, 西澤幸康, 他, 平成 28 年度無人飛行機を用いた放射性プルーム測定技術の確立 (受託研究), JAEA-Research 2017-012, 58p. (2018).

河野裕子, 菖蒲順子, 吉田智勇, 生田優子, 川瀬啓一, 山下清信 「放射線に関するご質問に答える会」資料の英文化, JAEA-Review 2018-007, 36p. (2018).

中間茂雄, 吉村和也, 藤原健壮, 他, 被覆面の違いによる除染後の空間線量率の変化傾向, Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity (2018). (受理 ; 2018 年 8 月 25 日)

中西貴宏, 大山卓也, 萩原大樹, 福島県浜通り地方における河川敷の空間線量率分布, Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity (2018).

斎藤宏, 野澤隆, 武宮博, 関暁之, 松原武史, 斎藤公明, 北村哲浩, 福島の環境回復に係る包括的評価システムの整備に向けた取り組み, JAEA-Review 2017-040, 34p. (2018).

佐久間一幸, 新里忠史, 金敏植, Alex Malins, 町田昌彦, 吉村和也, 操上広志, 北村哲浩, 細見正明, モンテカルロ放射線輸送コード(PHITS)を用いた森林内空間線量評価ツールの開発, 環境放射能除染学会誌, vol.6, no.3, pp.145-152 (2018).

田中勝, 河原長美, 石坂薫, 大畑ゆき, 福池伊織, 川瀬啓一, 時澤孝之, 他, リスクコミュニケーション実施上の課題の研究; 平成 28 年度 (委託研究), JAEA-Research 2018-001, 98p. (2018).

- 吉村和也, 地上計測を用いた市街地からのセシウム-137 流失率の評価, *Proceedings of the 19th Workshop on Environmental Radioactivity* (2018). (受理 ; 2018 年 6 月 25 日)
- Andoh, M., Mikami, S., Tsuda, S., Yoshida, T., Matsuda, N., Saito, K., Decreasing trend of ambient dose equivalent rates over a wide area in eastern Japan until 2016 evaluated by car-borne surveys using KURAMA systems, *J. Environ. Radioact.*, vol.192, pp.385-398 (2018).
- Andoh, M., Yamamoto, H., Kanno, T., Saito, K., Measurement of ambient dose equivalent rates by walk survey around Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using KURAMA-II until 2016, *J. Environ. Radioact.*, vol.190-191, pp.111-121 (2018).
- Azami, K., Otagaki, T., Ishida, M., Sanada, Y., Characteristics of radiocesium contamination of dry riverbeds due to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident assessed by airborne radiation monitoring, *Land. Eco. Eng.*, vol.14, pp.3-15 (2018).
- Fujii, K., Ochi, K., Ohbuchi, A. et al., Evaluation of physicochemical properties of radioactive cesium in municipal solid waste incineration fly ash by particle size classification and leaching tests, *Journal of Environmental Management*, vol.217, pp.157-163 (2018).
- Funaki, H., Yoshimura, K., Sakuma, K., Iri, S., Oda, Y., Evaluation of particulate  $^{137}\text{Cs}$  discharge from a mountainous forested catchment using reservoir sediments and sinking particles, *J. Environ. Radioact.*, vol.189, pp.48-56 (2018).
- Hiroushi, J., Nishizawa, Y., Urabe, Y., Shimada, K., Sanada, Y., Munakata, M., Development and application of a method for discriminating the influence of radon progenies in air from aerial radiation monitoring data, *Applied Radiation and Isotopes*, vol.141, pp.122-129 (2018).
- Kim, B.-J., Sasaki, M., Sanada, Y., Comparison of the Fukushima radioactive mapping by two different aerial radiation monitoring systems, *Prog. Nuc. Sci. Tech.* (2018).
- Kim, M., Malins, A., Yoshimura, K., Sakuma, K., Kurikami, H., Kitamura, A., et al., Simulation study of the effects of buildings, trees and paved surfaces on ambient dose equivalent rates outdoors at three suburban sites near Fukushima Dai-ichi, *J. Environ. Radioact.* (2018).
- Nakanishi, T., Sakuma, K., Trend of  $^{137}\text{Cs}$  concentration in river water in the medium term and future following the Fukushima nuclear accident, *Chemosphere*, vol.215, pp.272-279 (2018).
- Nihei, N., Yoshimura, K., Okumura, T. et al., Secondary radiocesium contamination of agricultural products by resuspended matter, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol.318, pp.341-346 (2018).
- Ochi, K., Sasaki, M., Ishida, M. et al., Comparison of airborne and ground-based tools used for radiation measurement in the environment, *Prog. Nuc. Sci. Tech.* (2018).
- Ochi, K., Urabe, Y., Yamada, T. et al., Development of an Analytical Method for Estimating Three-Dimensional Distribution of Sediment-Associated Radiocesium at a Reservoir Bottom, *Anal. Chem.*, vol.90, pp.10795-10802 (2018).
- Okumura, T., Yamaguchi, N., Dohi, T., Iijima, K., Kogure, T., Loss of radioactivity in radiocesium-bearing microparticles emitted from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant by heating, *Scientific Reports*, 8:9707 | DOI:10.1038/s41598-018-28087-5 (2018).
- Otosaka, S., Satoh, Y., Suzuki, T. et al., Distribution and fate of  $^{129}\text{I}$  in the seabed sediment off Fukushima, *J. Environ. Radioact.*, vol.192, pp.208-218 (2018).
- Sakuma, K., Malins, A., Funaki, H. et al., Evaluation of sediment and  $^{137}\text{Cs}$  redistribution in the Oginosawa River catchment near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant using integrated watershed modeling, *J. Environ. Radioact.*, vol.182, pp.44-51 (2018).
- Sakuma, K., Tsuji, H., Hayashi, S. et al., Applicability of  $K_d$  for modelling dissolved  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in Fukushima river water: Case study of the upstream Ota River, *J. Environ. Radioact.*, vol.184-

185, pp.53-62 (2018).

- Sanada, Y., Urabe, Y., Sasaki, M. et al., Evaluation of ecological half-life of dose rate based on airborne radiation monitoring following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.192, pp.417-425 (2018).
- Sasaki, M., Ishizaki, A., Sanada, Y., Development of analysis method for airborne radiation monitoring using the inverse problem solutions, *Prog. Nuc. Sci. Tech.* (2018).
- Satou, Y., Sueki, K., Sasa, K., Yoshikawa, H., Analysis of two forms of radioactive particles emitted during the early stages of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident, *Geochemical Journal*, vol.52, no.2, pp.137-143 (2018).
- Wainwright, H.M., Seki, A., Mikami, S. et al., Characterizing regional-scale temporal evolution of air dose rates after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, *J. Environ. Radioact.*, vol.189, pp.213-220 (2018).
- Yoshida-Ohuchi, H., Matsuda, N., Saito, K., Review of reduction factors by buildings for gamma radiation from radiocaesium deposited on the ground due to fallout, *J. Environ. Radioact.*, vol.187, pp.32-39 (2018).
- Yoshigoe, A., Shiwaku, H., Kobayashi, T. et al., Nanoscale spatial analysis of clay minerals containing cesium by synchrotron radiation photoemission electron microscopy, *Appl. Phys. Lett.*, vol.112, 021603, <https://doi.org/10.1063/1.5005799> (2018).

### 参考資料 3

福島環境研究開発・評価委員会（中間評価）における  
委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置

This is a blank page.

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (1/7)

| 答申書意見                                                                                                                                                            | 機構の対応措置                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>①環境モニタリング・マッピング技術開発</b>                                                                                                                                       |                                                                                                                          |
| 全体として所定の計画に対して研究成果が着実に創出されているとともに、外部からの要請に答えた計画の追加や外部資金の獲得による新規研究の追加に対しても柔軟かつ迅速な対応がなされており、当該分野におけるトップランナーの技術がニーズとつながり好循環を生み出している点を高く評価する。                        | 今後も好循環ができるように研究開発を継続いたします。                                                                                               |
| 特に、空間線量率の状況をさまざまな観点から総合的かつ的確に把握し伝えることは、除染、環境回復、復興の道筋にとって大変重要であり、内閣府や原子力規制庁等の行政的な意思決定に研究成果が継続的に活用されている点を踏まえれば、環境モニタリング・マッピング技術の基礎基盤を支える研究機関としての役割を十二分に果たしてきたといえる。 | 今後も行政ニーズを踏まえた研究開発を心がけます。<br>特に復興拠点の解除に向けた放射線防護対策に関わる行政の取り組みにおいては、機構の総合的技術力への期待も大きいことから、行政等が何に期待するか先を見通しつつ積極的に取り組んでまいります。 |
| 研究成果が多数の論文としての公表されていることに加え、原子力規制庁の放射能測定マニュアルの改訂への貢献等、これまでに得られた研究成果の公表が着実に進んでおり、また数々の学会賞の受賞につながっている点を高く評価する。                                                      | 今後も研究成果の速やかな公表に努めます。                                                                                                     |
| 池底の放射能測定技術の民間移転や福島第一原子力発電所の排水路モニタリングへの適用、無人ヘリや無人飛行機を用いた放射能測定技術の原子力防災への適用等、技術開発と実用化がうまくつながり、成果の最大化が図られている点を高く評価する。                                                | 今後も民間移転等の転換を視野に入れた成果の最大化を心がけます。                                                                                          |
| 福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえて開発された放射線モニタリング技術やマッピング技術を韓国や米国との共同研究等を通じて、広く国際的に発信することは重要であり、その取り組みを評価する。                                                                    | 今後も近隣諸国や技術の進んだ米国等との情報交換及び共同研究を継続的に実施いたします。                                                                               |
| 統計学的手法による統合マップ化技術や路線バスを利用した放射線測定システム技術は有効であると考えられるものの、どこまでシステムとして使いやすいものができるのか、利用者がどこまでこれを活用できるのか（必要としているのか）といった視点で、今後の目標を明確にした上で技術開発を行っていくことが重要である。             | 利用者のニーズを把握しつつ利用しやすいものとするよう、利用者からのフィードバックを反映するなど改善に努めます。                                                                  |

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (2/7)

| 答申書意見                                                                                                                                                                           | 機構の対応措置                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>①環境モニタリング・マッピング技術開発 (続き)</b>                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                              |
| <p>現場への実用化に当たっては、放射線計測技術の開発に加え、無人ヘリや無人機のオペレーターの養成等も併せて重要な課題になると考える。機構が主体となって取り組む事項と民間等が主体となって取り組む事項とを整理し、より一層メリハリをつけた技術開発が望まれる。</p>                                             | <p>プロジェクトを進める中での民間移転を継続的に整理し実施します。</p>                                                                                                                       |
| <p>基本的な技術開発は一定の成果を得たことから現場への適用や応用に軸足を移していくとのことについて評価する。一方で、基礎研究から応用研究（技術移転や製品化等を含む）への移行には、まだ多くの解決すべき課題があると考えられることから、予算的・人的な手当も含め、今後も着実に取り組まれることを期待する。</p>                       | <p>開発した技術の現場適用（環境動態研究への反映）や原子力防災への応用において解決すべき課題を明確にし、実際の現場への適用を通じて解決策を講じつつその有効性を確認していきます。その際、外部資金の獲得に努めるとともに、適切に技術移転を図り効率的な体制で取り組みを進めてまいります。</p>             |
| <p>帰還困難区域では、特定復興再生拠点区域の整備が本格化している状況にあり、事故から8年が経過した現時点においても機構の環境モニタリング・マッピング技術に期待されているところは大きい。引き続き、開発してきた技術の適用や応用研究に加え、行政等のニーズを戦略的に掘り起こし、先行的に研究開発を進め、アウトカムに円滑につなげていくことが望まれる。</p> | <p>今後とも、放射線測定ニーズを明確化するとともに、迅速に対応できるように先行的に技術開発を進めます。</p> <p>特に復興拠点の解除に向けた放射線防護対策に関わる行政の取り組みにおいては、機構の総合的技術力への期待も大きいことから、行政等が何に期待するか先を見通しつつ積極的に取り組んでまいります。</p> |
| <b>②福島長期環境動態研究</b>                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                              |
| <p>全体として所定の計画に対して研究成果が着実に創出され、外部からの要請に答えた計画の追加に対しても柔軟かつ迅速な対応がなされるとともに、環境動態研究で得られた成果の地域への還元についても積極的に実施している点を高く評価する。</p>                                                          | <p>県や自治体との連携をさらに強化し、避難指示解除・住民の方々の帰還が進むにつれて明らかになってきたニーズの高い課題の抽出を進め、解決に向け取り組んでまいります。また、地域のニーズを考慮した成果の取りまとめや情報公表・提供を引き続き進めてまいります。</p>                           |

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (3/7)

| 答申書意見                                                                                                                                                           | 機構の対応措置                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>② 福島長期環境動態研究 (続き)</b>                                                                                                                                        |                                                                                                                                                     |
| 特に、福島県環境創造センターで活動する3機関(機構、福島県、国立環境研究所)が協同で対応した浪江町十萬山林野火災時の動態解明等、突発的な課題に対する対応も適切であり、自治体や住民の懸念払拭に貢献したことは、成果の最大化に向けた取組の結果であり、高く評価されるものである。                         | 今後も、災害等の突発的な事象に対しては、福島県環境創造センターを核として早急かつ適切に取り組みを進められるよう、三機関および創造センター内各部門の間で引き続き緊密に連携してまいります。                                                        |
| 研究成果が多数の論文として公表されていることに加え、福島環境情報サイトを通じて環境モニタリングデータベースや環境動態研究で得られた知見をQ&A方式で取りまとめた根拠情報Q&Aなどがホームページ上で公開される等、これまでに得られた研究成果が利用者の興味や知識に応じた形で体系的かつ着実に公表が進んでいる点を高く評価する。 | 多様なユーザーのニーズを考慮した多層的な成果の取りまとめや情報公表を、引き続き進めてまいります。                                                                                                    |
| 森林、河川、ダム等の継続的な環境動態調査を通じて、流域におけるCsの流出量が非常に小さくその大部分が森林内に長期に留まることや溶存態Csの挙動が生態系のCs蓄積に影響を与えること等を定量的に評価し、今後、環境回復の上で長期的な課題となる事項を絞り込むことができたことは評価できる。                    | 長期的な課題については、チェルノブイリ事故時の知見や、1F事故の特徴や地域の懸念事項を考慮して、取り組むべきニーズの高い課題を適切に抽出しつつ、福島県をはじめとする関係機関と引き続き連携しながら取り組んでまいります。                                        |
| 生活圏におけるCsの動態評価のための様々なモデル解析ツール(SACT、GETFLOWS、ADRET、3D-ADRES等)の整備が着実になされているものの、それぞれのモデルの有効性、使いやすさ、パラメータの必要性等を含めた検証が必要である。                                         | 整備してきた様々なモデル解析ツールについては、段階的に自治体に提供し利用いただき、それぞれのモデルの有効性、使いやすさについてご意見を頂いて、よりよいものとなるようフィードバックをかけてまいります。また、実測値との比較によるモデルの検証を進め、必要に応じてパラメータの見直しを行ってまいります。 |

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (4/7)

| 答申書意見                                                                                                                                                                                                                   | 機構の対応措置                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>②福島長期環境動態研究（続き）</b>                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>今後は、帰還困難区域を中心として、まだ基準値を超えた農林水産物（キノコや淡水魚）等の生態系への Cs 移行等の課題に取り組むことが重要と考えるが、国内外の研究機関やニーズを有する福島県や地元自治体と連携を強化して進めていくことを期待する。</p>                                                                                          | <p>生態系への移行については、国内研究機関と引き続き連携しながら、課題に取り組んでまいります。また、県や自治体との連携をさらに強化し、避難指示解除・住民の方々の帰還が進むにつれて明らかになってきたニーズの高い課題の抽出を進め、解決に向け取り組んでまいります。</p>                                                                          |
| <p>福島環境情報サイトを充実させ、これまでに得られたデータや知見をしっかりとアーカイブし、事故直後の状況について解析や解明が進むように、成果を取りまとめることを期待する。また、サイト上の情報が利用者にどのように活用されたのか等のユーザビリティに関しても合わせて評価することにより、サイトの有効性を高める取り組みにつながることが期待される。さらに、住民の生活と直結したよりわかりやすい情報の発信を進めていくことを期待する。</p> | <p>引き続きデータベースの拡充、知見のアーカイブ化、定期的なサイトの更新等を進め、福島環境情報サイトを充実させてまいります。また、サイト上の情報が利用者にどのように活用されたのか等を、ログ記録やお問い合わせ窓口に寄せられるご意見等を参考に、サイトの有効性を高める取り組みにつなげてまいります。さらに、住民の生活と直結したよりわかりやすい情報の発信についても寄せられるご意見を基にさらに追求してまいります。</p> |
| <b>③除染・減容技術の高度化</b>                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                 |
| <p>全体として所定の計画に対して成果が着実に創出され、研究開発の観点から一定の評価はできるが、技術の実効性や実規模への拡大可能性などの観点からすれば、一部の課題については困難なテーマ設定であったと考えられる。その意味で、本中期計画の半ばを目途にいくつかのテーマを終了させた点は、研究開発の状況を踏まえた判断としては妥当であり、評価できる。</p>                                          | <p>今後、ニーズ・成果反映時期・実証の可能性などの事前検討を踏まえたテーマ選定や社会情勢の変化に応じた実施内容の見直しなど、効果的・効率的な研究開発に努めてまいります。</p>                                                                                                                       |
| <p>除去土壌等の分別・減容等の処理技術開発については、環境省の受託事業として、減容技術や再生利用の現状や課題を明らかにするとともに再生利用に伴う被ばく評価の考え方を整理し、国の減容・再生利用技術戦略の策定に大きく貢献した点を高く評価する。</p>                                                                                            | <p>今後も国や自治体等のニーズを踏まえた支援に努め、復旧・復興の推進を支援できるよう努めてまいります。</p>                                                                                                                                                        |

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (5/7)

| 答申書意見                                                                                                                                                                                                                  | 機構の対応措置                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>③除染・減容技術の高度化（続き）</b>                                                                                                                                                                                                |                                                           |
| 除染効果システム（RESET）の高度化・実証については、除染範囲の決定や自治体の帰還等の検討にも活用され、十分な成果およびアウトカムが示された点を高く評価するとともに、今後、特定復興再生拠点区域における除染活動に大いに反映されていくものと期待される。                                                                                          | 今後もシステムの高精度化に取組みつつ、地域や行政のニーズを踏まえた情報提供等に努めてまいります。          |
| Cs 吸脱着挙動に関する基礎研究については、多数の論文が公表されており、学術的に価値の高い成果が創出されていることのみならず、除染・処理・再生利用技術の基盤となる成果を提供されたことを評価する。                                                                                                                      | 今後は環境動態研究にも成果を展開するなど、基礎研究成果の幅広い活用に取り組んでまいります。             |
| 「放射線に関するご質問に答える会」をはじめとして、コミュニケーション・原子力人材育成活動に、多くの研究者や科学の専門性を有する方々が参画されている。これは、専門知識を有する人々が現地の方々と関わり、科学的知識や実際の環境を鑑みて、交流していった非常に貴重な事例だと考える。このため、2011 年以降これまでの、この活動を行った方々の行った内容、気づき、考え方の変化等を事例として取りまとめることを期待する。            | 今後、事例等の報告・公表のあり方等について検討いたします。                             |
| ポリイオン等による Cs 移行抑制、磁気分離、グリセリン溶解法など終了する個々の技術開発については、実用化に向けた課題をより明示的に抽出することが望ましい。                                                                                                                                         | 技術開発に係る報告書等の作成時に、実用化に向けた課題を明示するように対応いたします。                |
| 除染・減容技術の高度化に関しては、除染効果システム（RESET）の高度化や Cs 吸脱着挙動に関する基礎研究等のいくつかのテーマを除き、一定の成果及び課題の抽出をもって技術開発の側面からは終了する方針が示されたものの、市民・社会の理解を得て除去土壌等の中間貯蔵や最終処分を実現していくためには、今後も機構が担う役割があるものと考えられる。これらについて、今後もフォローできる体制を残しつつ的確な対応を継続していくことを期待する。 | 今後も国や地方自治体等のニーズを把握し、機構として取り組むべき項目に的確に対応できる体制の維持に努めてまいります。 |

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (6/7)

| 答申書意見                                                                                                                                                                                                                                  | 機構の対応措置                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>④その他</p> <p>(国内外他機関との連携、若手研究者の育成・支援、イノベーション創出への取組み、今後の研究開発の取組み(体制・予算等を含む))</p>                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                           |
| <p>各課題とも、復旧・復興状況に応じた研究の追加・修正が適切になされ、また、多くの研究の成果が、その時々行政需要や住民の期待に対応したものとなっており、今後の地域の復興に大きく貢献することが期待される。引き続き、関係機関との連携を図りながら、研究の深化・加速化を図るとともに、状況の変化に応じた研究内容の見直しを行い、地域に貢献する研究を進めてほしい。</p>                                                  | <p>機構の果たすべき役割等について検討し、外部機関との連携を強化し、事業を進めてまいります。</p>                                                                                                                                                                       |
| <p>原子力防災・放射線計測の分野においてクロスボーダーアクション等にて備えて隣国の韓国との連携を強化していることは高く評価できる。また、LBNL との共同研究により、空間放射線統合マップの高精度化に成功したことも評価できる。</p>                                                                                                                  | <p>今後も、海外との研究機関との共同研究、情報交換等を通じて連携を強化してまいります。</p>                                                                                                                                                                          |
| <p>環境動態研究でこれほど大型のプロジェクトは他に存在しない。さらに今後、関連のプロジェクトが減少していくことが予想されることから、本プロジェクトが国内のオフサイト研究の柱として機能し、国内の研究を総括するような役割を担っていくことを期待する。一方で、機構の現地研究が長くなればなるほど復興から遠ざかる(復興が遠い)という印象を与えるパラドクスになる可能性がある。主体を福島県や地元に移しつつ、機構が側面をサポートするという体制が将来的には望ましい。</p> | <p>平成 31 年度からスタートする環境動態に関する共同利用・共同研究拠点の連携研究機関の一つとして、これまでの研究成果を活かして、国内外の環境動態研究ネットワークの構築を進めてまいります。</p> <p>長期的な課題については、チェルノブイリ事故時の知見や、1F 事故の特徴や地域の懸念事項を考慮して、取り組むべきニーズの高い課題を適切に抽出しつつ、福島県をはじめとする関係機関と引き続き連携しながら取り組んでまいります。</p> |
| <p>環境回復研究は今後も長期的な対応が必要なテーマであり、若手人材の育成支援を積極的に行っている点は評価できる。予算等の制約の中で、持続可能な人材確保と育成については課題であると思われる。また、自然科学分野だけでなく、社会実装につなげる専門性をもつ社会科学分野の人材など、今後は人材の多様性に関する戦略も必要であると思われる。</p>                                                               | <p>持続的な人材確保と育成のために教育機関とも連携を図り、積極的に出前授業や実習などを実施しています。人材の多様性の観点にも留意し、引き続き、人材確保と育成に取り組んでまいります。</p>                                                                                                                           |

表-1 委員の主たる意見・提言に対する原子力機構の措置 (7/7)

| 答申書意見                                                                                                          | 機構の対応措置                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <p>④その他</p> <p>(国内外他機関との連携、若手研究者の育成・支援、イノベーション創出への取組み、今後の研究開発の取組み(体制・予算等を含む))(続き)</p>                          |                                                                        |
| <p>研究の推進にあたり、多くの外部資金を獲得して進捗・充実を図っており、高く評価できる。復興特会が終了することも見越して、外部機関との連携を含めた競争的研究予算の獲得なども視野に入れて、検討していく必要がある。</p> | <p>復興特会終了後の機構の果たすべき役割等について検討し、外部機関との連携を強化するとともに、必要な予算の獲得に努めてまいります。</p> |
| <p>研究成果のより着実な技術移転を図るために、特許など知的財産権の取得なども積極的に進めることを期待したい。</p>                                                    | <p>これまでに開発した技術の一部については既に特許申請を行うなどしており、今後も積極的に知的財産権の取得に努めてまいります。</p>    |

This is a blank page.

# 国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

| 基本量   | SI 基本単位 |     |
|-------|---------|-----|
|       | 名称      | 記号  |
| 長さ    | メートル    | m   |
| 質量    | キログラム   | kg  |
| 時間    | 秒       | s   |
| 電流    | アンペア    | A   |
| 熱力学温度 | ケルビン    | K   |
| 物質량   | モル      | mol |
| 光度    | カンデラ    | cd  |

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

| 組立量                     | SI 組立単位      |                    |
|-------------------------|--------------|--------------------|
|                         | 名称           | 記号                 |
| 面積                      | 平方メートル       | m <sup>2</sup>     |
| 体積                      | 立方メートル       | m <sup>3</sup>     |
| 速度                      | メートル毎秒       | m/s                |
| 加速度                     | メートル毎秒毎秒     | m/s <sup>2</sup>   |
| 波数                      | 毎メートル        | m <sup>-1</sup>    |
| 密度, 質量密度                | キログラム毎立方メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 面積密度                    | キログラム毎平方メートル | kg/m <sup>2</sup>  |
| 比体積                     | 立方メートル毎キログラム | m <sup>3</sup> /kg |
| 電流密度                    | アンペア毎平方メートル  | A/m <sup>2</sup>   |
| 磁界の強さ                   | アンペア毎メートル    | A/m                |
| 量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度 | モル毎立方メートル    | mol/m <sup>3</sup> |
| 質量濃度                    | キログラム毎立方メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 輝度                      | カンデラ毎平方メートル  | cd/m <sup>2</sup>  |
| 屈折率 <sup>(b)</sup>      | (数字の) 1      | 1                  |
| 比透磁率 <sup>(b)</sup>     | (数字の) 1      | 1                  |

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

| 組立量                           | SI 組立単位               |                   |                      |                                                                |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|
|                               | 名称                    | 記号                | 他のSI単位による表し方         | SI基本単位による表し方                                                   |
| 平面角                           | ラジアン <sup>(b)</sup>   | rad               | 1 <sup>(b)</sup>     | m/m                                                            |
| 立体角                           | ステラジアン <sup>(b)</sup> | sr <sup>(c)</sup> | 1 <sup>(b)</sup>     | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>                                 |
| 周波数                           | ヘルツ <sup>(d)</sup>    | Hz                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 力                             | ニュートン                 | N                 |                      | m kg s <sup>-2</sup>                                           |
| 圧力, 応力                        | パスカル                  | Pa                | N/m <sup>2</sup>     | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                             |
| エネルギー, 仕事, 熱量                 | ジュール                  | J                 | N m                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                              |
| 仕事率, 工率, 放射束                  | ワット                   | W                 | J/s                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>                              |
| 電荷, 電気量                       | クーロン                  | C                 |                      | s A                                                            |
| 電位差 (電圧), 起電力                 | ボルト                   | V                 | W/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 静電容量                          | ファラド                  | F                 | C/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup> |
| 電気抵抗                          | オーム                   | Ω                 | V/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>              |
| コンダクタンス                       | ジーメンズ                 | S                 | A/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup> |
| 磁束                            | ウェーバ                  | Wb                | Vs                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 磁束密度                          | テスラ                   | T                 | Wb/m <sup>2</sup>    | kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>                             |
| インダクタンス                       | ヘンリー                  | H                 | Wb/A                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>              |
| セルシウス温度                       | セルシウス度 <sup>(e)</sup> | °C                |                      | K                                                              |
| 光束度                           | ルーメン                  | lm                | cd sr <sup>(c)</sup> | cd                                                             |
| 照射度                           | ルクス                   | lx                | lm/m <sup>2</sup>    | m <sup>-2</sup> cd                                             |
| 放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>      | ベクレル <sup>(d)</sup>   | Bq                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ           | グレイ                   | Gy                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量 | シーベルト <sup>(g)</sup>  | Sv                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 酸素活性化                         | カタール                  | kat               |                      | s <sup>-1</sup> mol                                            |

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

| 組立量             | SI 組立単位           |                       |                                                                                      |
|-----------------|-------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | 名称                | 記号                    | SI 基本単位による表し方                                                                        |
| 粘着力のモーメント       | パスカル秒             | Pa s                  | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>                                                   |
| 表面張力            | ニュートンメートル         | N m                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                                                    |
| 角速度             | ニュートン毎メートル        | N/m                   | kg s <sup>-2</sup>                                                                   |
| 角加速度            | ラジアン毎秒            | rad/s                 | m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>                                   |
| 熱流密度, 放射照度      | ラジアン毎秒毎秒          | rad/s <sup>2</sup>    | m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>                                   |
| 熱容量, エントロピー     | ワット毎平方メートル        | W/m <sup>2</sup>      | kg s <sup>-3</sup>                                                                   |
| 比熱容量, 比エントロピー   | ジュール毎ケルビン         | J/K                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>                                    |
| 比エネルギー          | ジュール毎キログラム毎ケルビン   | J/(kg K)              | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>                                       |
| 熱伝導率            | ジュール毎キログラム        | J/kg                  | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                                       |
| 体積エネルギー         | ワット毎メートル毎ケルビン     | W/(m K)               | m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>                                                 |
| 電界の強さ           | ジュール毎立方メートル       | J/m <sup>3</sup>      | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                                                   |
| 電荷密度            | ジュール毎平方メートル       | V/m                   | m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>                                                 |
| 表面電荷密度          | クーロン毎立方メートル       | C/m <sup>3</sup>      | m <sup>-3</sup> s A                                                                  |
| 電束密度, 電気変位      | クーロン毎平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | m <sup>-2</sup> s A                                                                  |
| 誘電率             | クーロン毎平方メートル       | C/m <sup>2</sup>      | m <sup>2</sup> s A                                                                   |
| 透磁率             | ファラド毎メートル         | F/m                   | m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>                        |
| モルエネルギー         | ヘンリー毎メートル         | H/m                   | m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>                                                 |
| モルエントロピー, モル熱容量 | ジュール毎モル           | J/mol                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>                                  |
| 照射線量 (X線及びγ線)   | ジュール毎モル毎ケルビン      | J/(mol K)             | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>                  |
| 吸収線量率           | クーロン毎キログラム        | C/kg                  | kg <sup>-1</sup> s A                                                                 |
| 放射線強度           | グレイ毎秒             | Gy/s                  | m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>                                                       |
| 放射輝度            | ワット毎ステラジアン        | W/sr                  | m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> |
| 酵素活性濃度          | ワット毎平方メートル毎ステラジアン | W/(m <sup>2</sup> sr) | m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>                |
|                 | カタール毎立方メートル       | kat/m <sup>3</sup>    | m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol                                                  |

表 5. SI 接頭語

| 乗数               | 名称  | 記号 | 乗数                | 名称   | 記号 |
|------------------|-----|----|-------------------|------|----|
| 10 <sup>24</sup> | ヨタ  | Y  | 10 <sup>-1</sup>  | デシ   | d  |
| 10 <sup>21</sup> | ゼタ  | Z  | 10 <sup>-2</sup>  | センチ  | c  |
| 10 <sup>18</sup> | エクサ | E  | 10 <sup>-3</sup>  | ミリ   | m  |
| 10 <sup>15</sup> | ペタ  | P  | 10 <sup>-6</sup>  | マイクロ | μ  |
| 10 <sup>12</sup> | テラ  | T  | 10 <sup>-9</sup>  | ナノ   | n  |
| 10 <sup>9</sup>  | ギガ  | G  | 10 <sup>-12</sup> | ピコ   | p  |
| 10 <sup>6</sup>  | メガ  | M  | 10 <sup>-15</sup> | フェムト | f  |
| 10 <sup>3</sup>  | キロ  | k  | 10 <sup>-18</sup> | アト   | a  |
| 10 <sup>2</sup>  | ヘクト | h  | 10 <sup>-21</sup> | ゼプト  | z  |
| 10 <sup>1</sup>  | デカ  | da | 10 <sup>-24</sup> | ヨクト  | y  |

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

| 名称    | 記号   | SI 単位による値                                                                                   |
|-------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分     | min  | 1 min=60 s                                                                                  |
| 時     | h    | 1 h=60 min=3600 s                                                                           |
| 日     | d    | 1 d=24 h=86 400 s                                                                           |
| 度     | °    | 1°=(π/180) rad                                                                              |
| 分     | ′    | 1′=(1/60)°=(π/10 800) rad                                                                   |
| 秒     | ″    | 1″=(1/60)′=(π/648 000) rad                                                                  |
| ヘクタール | ha   | 1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>                                      |
| リットル  | L, l | 1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| トン    | t    | 1 t=10 <sup>3</sup> kg                                                                      |

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

| 名称       | 記号 | SI 単位で表される数値                                |
|----------|----|---------------------------------------------|
| 電子ボルト    | eV | 1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J   |
| ダルトン     | Da | 1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg  |
| 統一原子質量単位 | u  | 1 u=1 Da                                    |
| 天文単位     | ua | 1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m |

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

| 名称        | 記号   | SI 単位で表される数値                                                                                  |
|-----------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| バール       | bar  | 1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa                                                      |
| 水銀柱ミリメートル | mmHg | 1 mmHg=133.322 Pa                                                                             |
| オングストローム  | Å    | 1 Å=0.1 nm=100 pm=10 <sup>-10</sup> m                                                         |
| 海里        | M    | 1 M=1852 m                                                                                    |
| バイン       | b    | 1 b=100 fm <sup>2</sup> =(10 <sup>12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup> |
| ノット       | kn   | 1 kn=(1852/3600) m/s                                                                          |
| ネーパ       | Np   | SI単位との数値的な関係は、<br>対数量の定義に依存。                                                                  |
| ベレル       | B    |                                                                                               |
| デシベル      | dB   |                                                                                               |

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

| 名称                    | 記号  | SI 単位で表される数値                                                                            |
|-----------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| エルグ                   | erg | 1 erg=10 <sup>-7</sup> J                                                                |
| ダイン                   | dyn | 1 dyn=10 <sup>-5</sup> N                                                                |
| ポアズ                   | P   | 1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1 Pa s                                                  |
| ストークス                 | St  | 1 St=1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> |
| スチルブ                  | sb  | 1 sb=1 cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>                          |
| フオット                  | ph  | 1 ph=1 cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx                                       |
| ガリ                    | Gal | 1 Gal=1 cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>                           |
| マクスウェル                | Mx  | 1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb                                           |
| ガウス                   | G   | 1 G=1 Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T                                           |
| エルステッド <sup>(a)</sup> | Oe  | 1 Oe Δ (10 <sup>3</sup> /4 π) A m <sup>-1</sup>                                         |

(a) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 Δ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

| 名称        | 記号   | SI 単位で表される数値                                                       |
|-----------|------|--------------------------------------------------------------------|
| キュリー      | Ci   | 1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq                                       |
| レントゲン     | R    | 1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg                                     |
| ラド        | rad  | 1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy                                    |
| レム        | rem  | 1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv                                    |
| ガンマ       | γ    | 1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T                                        |
| フェルミ      | f    | 1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m                                    |
| メートル系カラット |      | 1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 <sup>-4</sup> kg                            |
| トル        | Torr | 1 Torr=(101 325/760) Pa                                            |
| 標準大気圧     | atm  | 1 atm=101 325 Pa                                                   |
| カロリ       | cal  | 1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ) |
| ミクロン      | μ    | 1 μ=1 μm=10 <sup>-6</sup> m                                        |

