



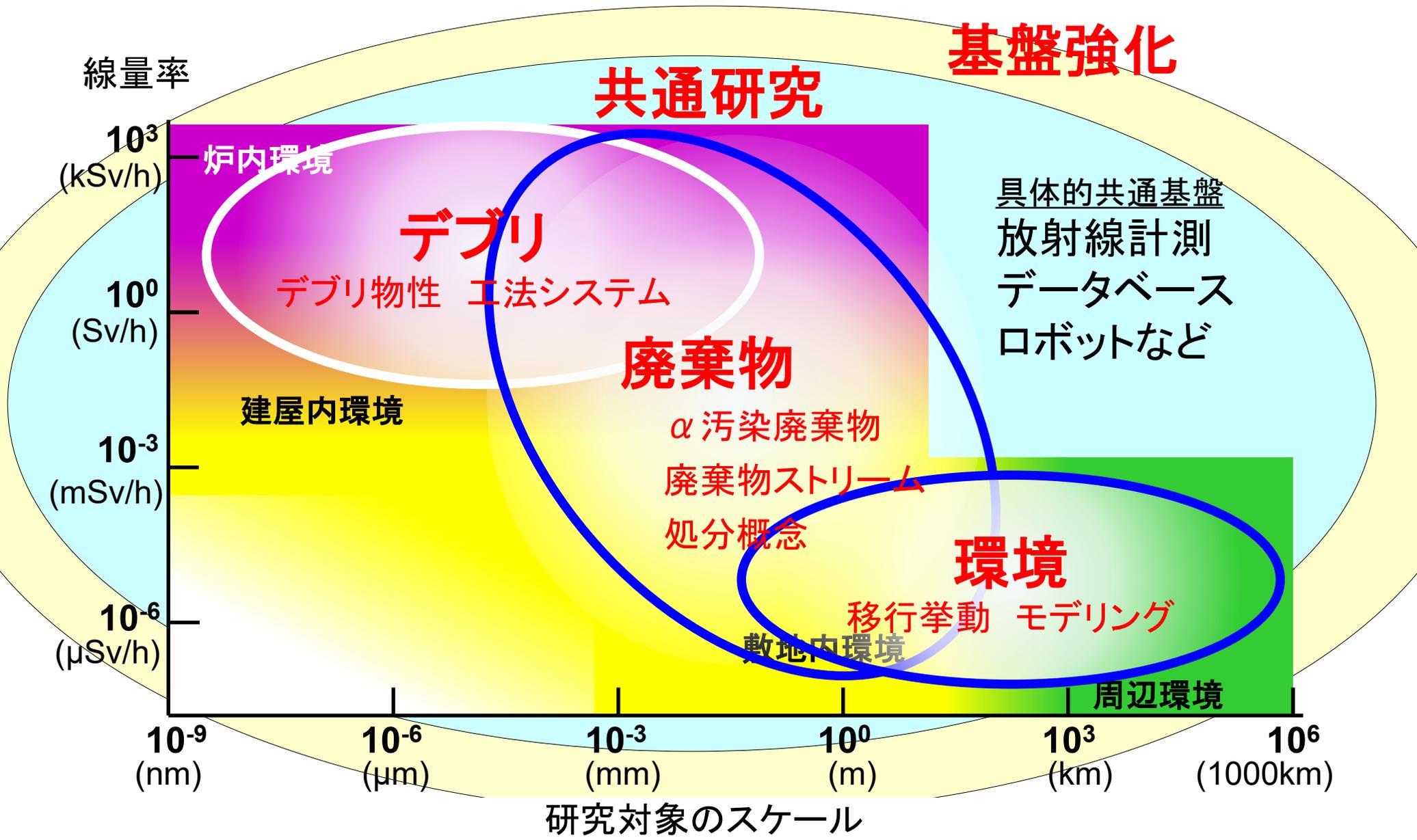
部門報告③

放射性廃棄物の処理処分と 環境回復に係る研究開発

廃炉環境国際共同研究センター
環境影響研究ディビジョン
環境モニタリングディビジョン
廃棄物処理処分ディビジョン

飯島 和毅





放射性廃棄物管理

■ 中長期ロードマップ

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

大熊第1棟
運用開始

廃棄確認方法
の整備・確立

安全確保の方法論

2030年頃までの
望ましい姿

第3期の主な成果

- ◆ 廃棄物の性状把握方法の確立
- ◆ 統計的手法に関する技術開発の進展
- ◆ 廃棄物データベースの整備
- ◆ 処理手法の開発

→ 研究成果により、廃棄物に関する技術的見通し等に寄与。
→ 今後、処理・処分方策の構築に向け、合理的な評価が課題。

廃棄物管理の安全確保に向け、処理・処分方策の具体化されていることが期待される。

- 廃棄物の適切な分別・保管管理
- α 汚染廃棄物、高濃度から低濃度放射性廃棄物の合理的な分析・評価技術確立(標準化)
- 主要な廃棄物ごとの処分概念を踏まえた処理技術
- 主要な廃棄物に適用する処分概念の技術候補の検討

演繹
成果と課題

俯瞰

の反映

第4期の
主要課題

①合理的な性状把握・評価

1F放射性廃棄物管理を進めるための合理的な性状把握・評価方法を確立する。

②高濃度廃棄物の方策構築

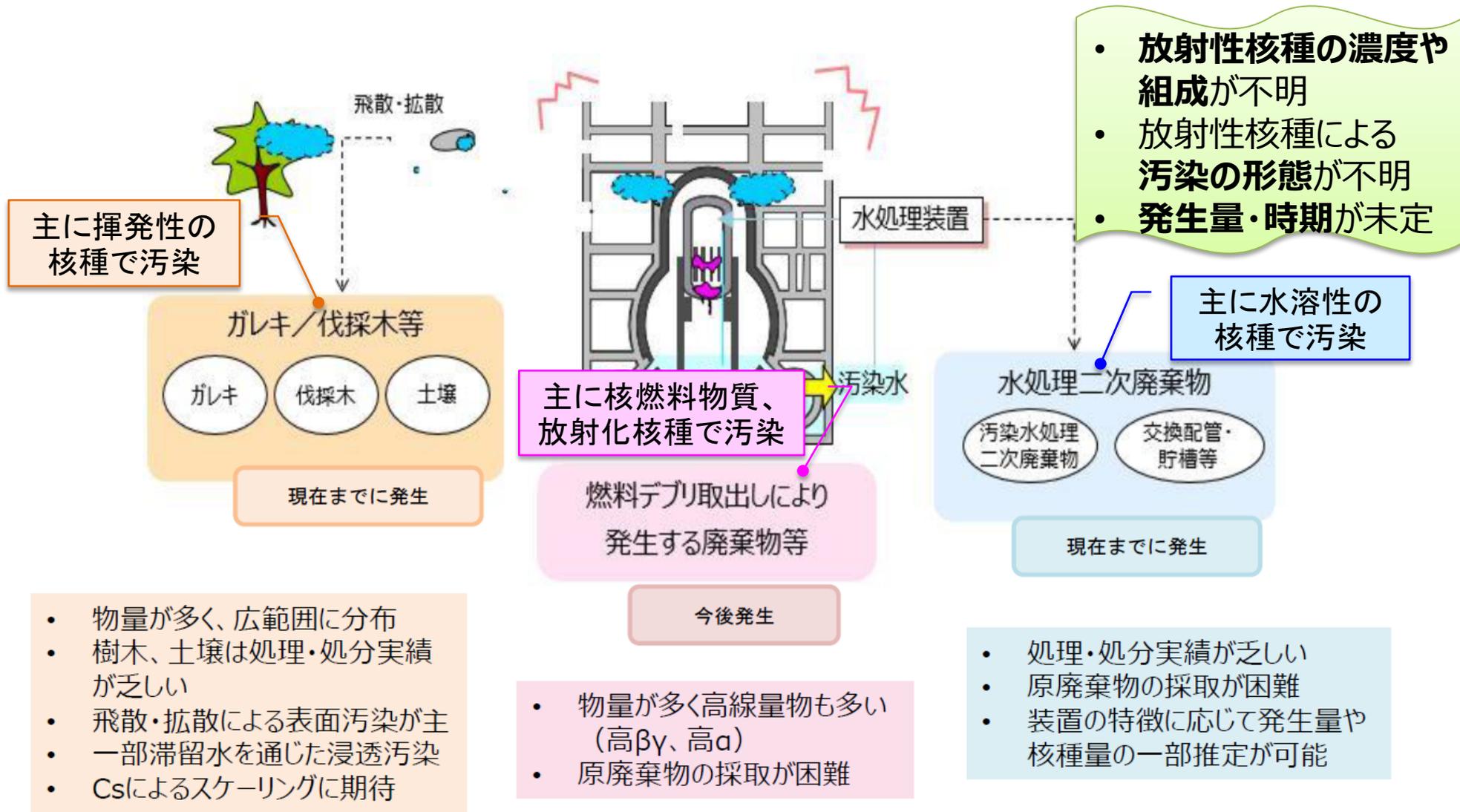
高濃度放射性廃棄物の安全な処理・処分方策を構築する。

③低濃度廃棄物処理具体化

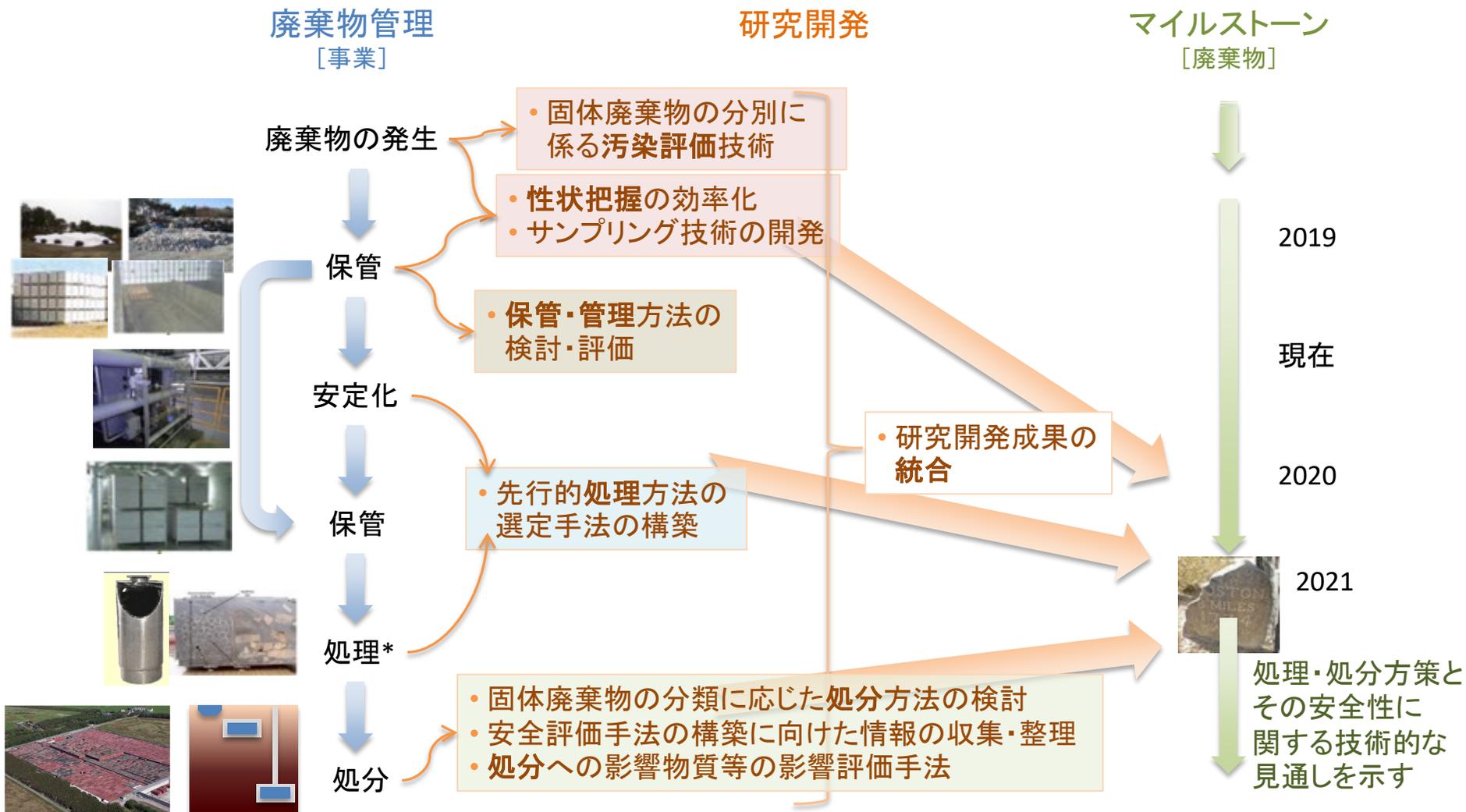
多種多様な低濃度放射性廃棄物の廃棄体化を含め、処分を見据えた処理を具体化する。

④知見集約と他施設展開

得られた知見を結集し、既存原子力施設の放射性廃棄物管理にも寄与する。

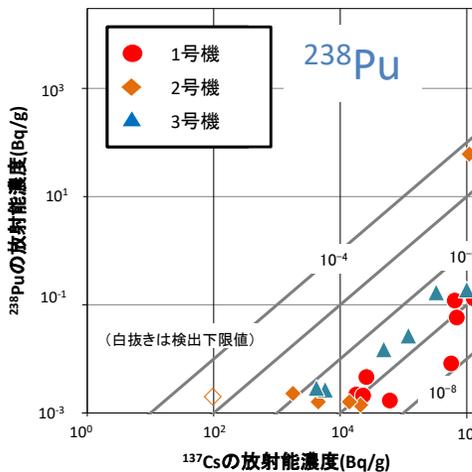
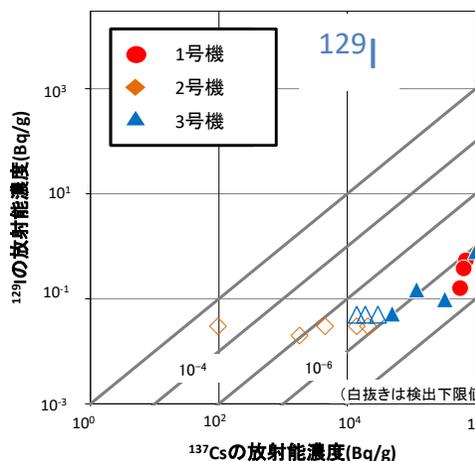
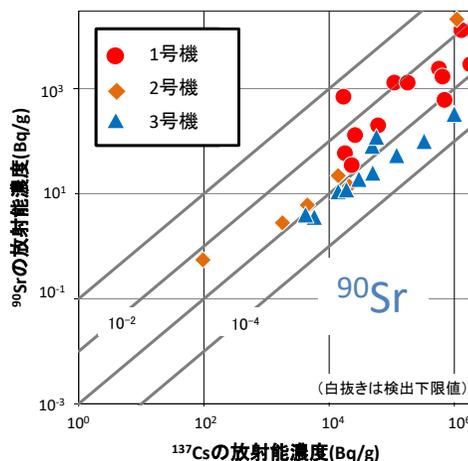
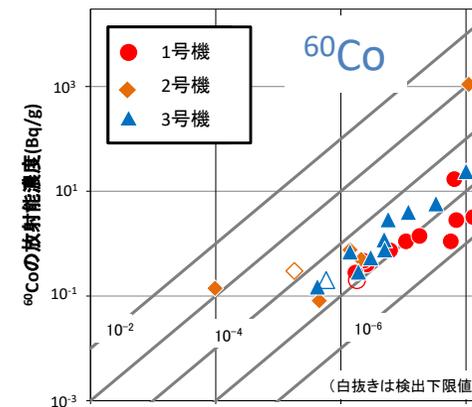
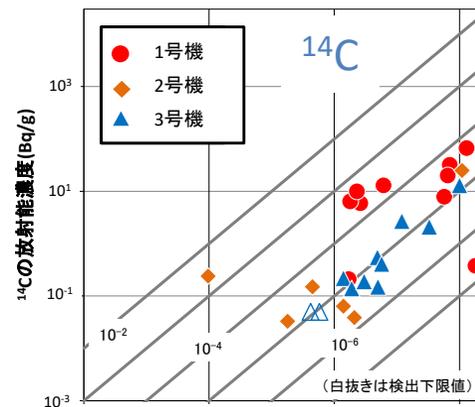
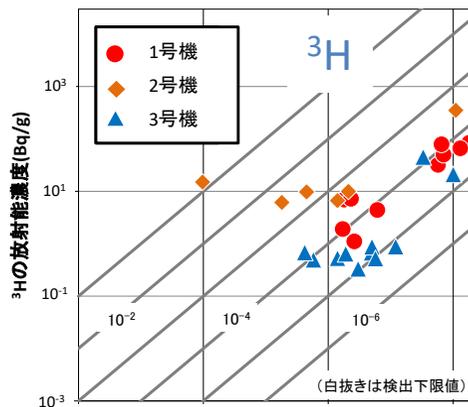


• 津波による海水、ホウ酸水中のホウ素、飛散防止剤等の化学物質等の混入



* 処理・処分検討の結果に応じて分類して廃棄体化・保管

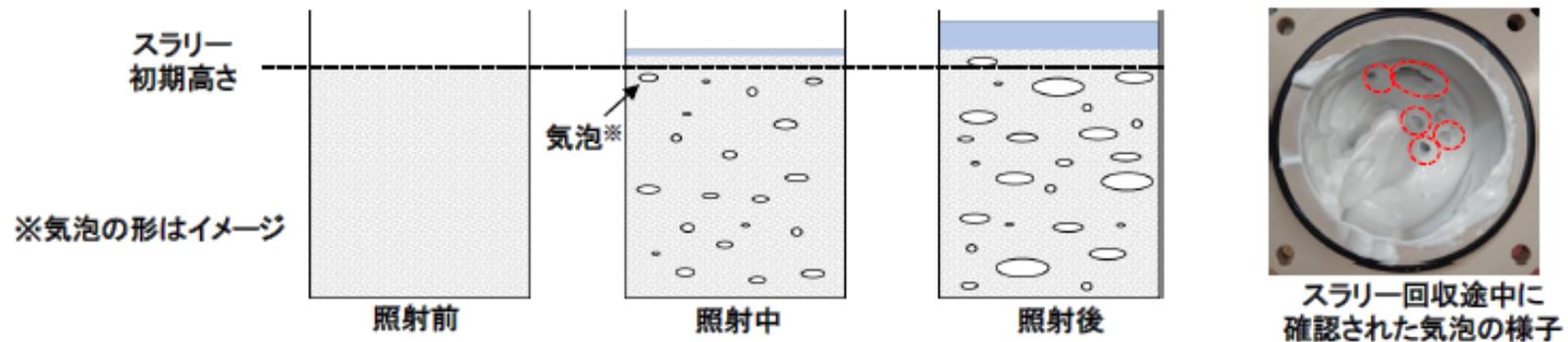
- 1F で発生する廃棄物の分析を茨城県に所在する分析施設で実施している。
- 原子炉建屋内で得た瓦礫試料からは、 ^{137}Cs のほか、 ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{129}I 等の核分裂生成物、 ^{238}Pu 等の α 核種、 ^{14}C 、 ^{60}Co 等の放射化生成物が検出されている。これら核種の濃度を推定できるよう、 ^{137}Cs 濃度との関係を調べている。



☒ 原子炉建屋内で採取された瓦礫試料に検出された核種の濃度 (^{137}Cs に対するプロット) *

* 福島第一原子力発電所の固体廃棄物試料分析 (現状までの成果報告), 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議, 第42回, 平成29年5月25日。

- 多段式照射容器を用いた試験により、模擬スラリーのガンマ線照射に伴うスラリー内水素気泡保持特性および保持の高さ依存性を検討。
- 照射により気泡の成長に伴うスラリーの容積の増大と水位の上昇および上澄み液の生成が確認された。

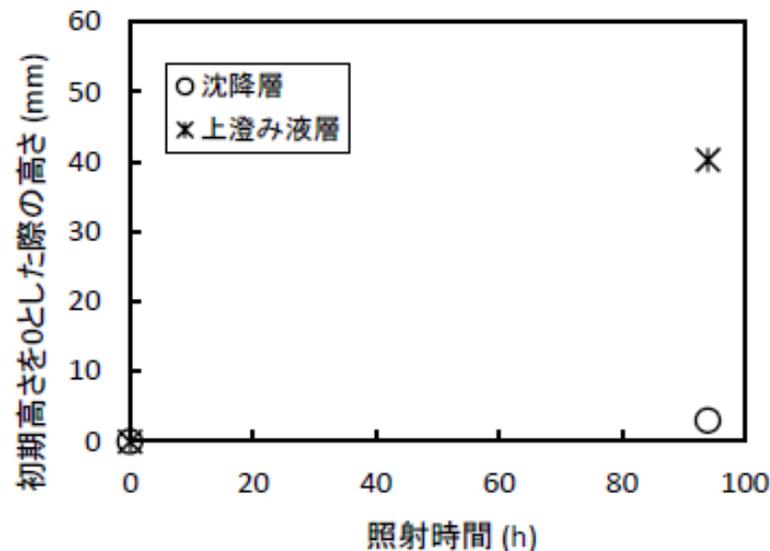
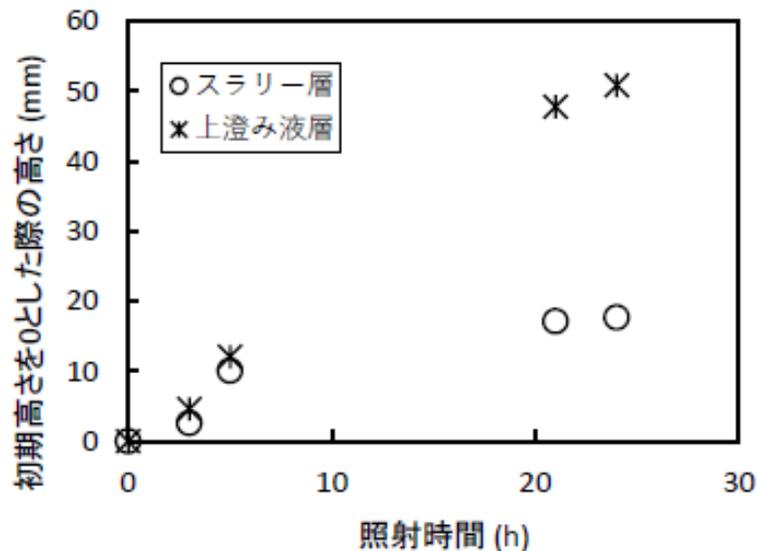
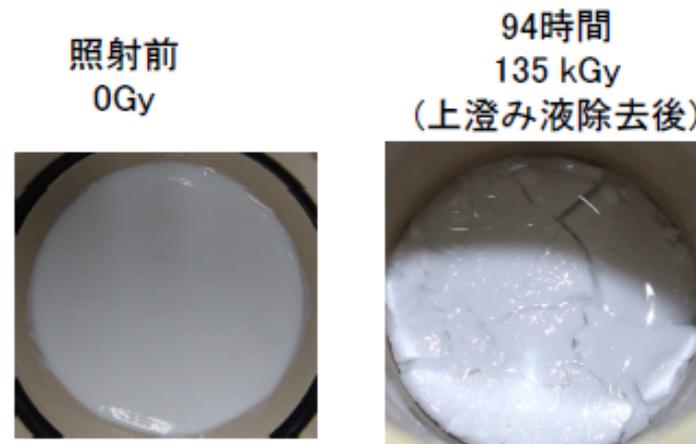
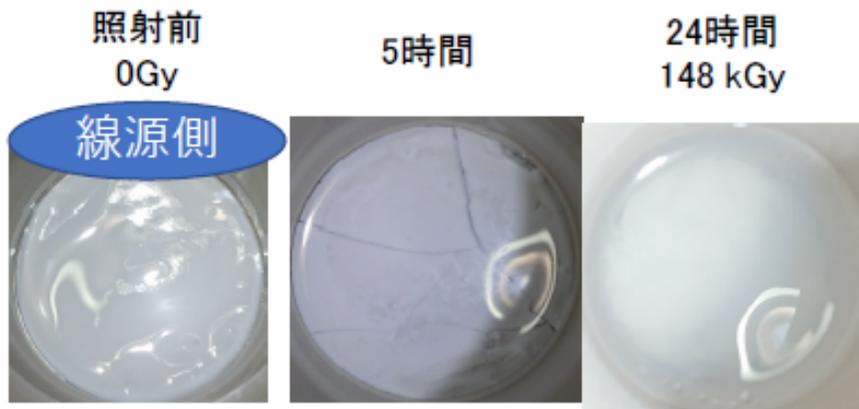


- 気泡保持量を検討した結果、上下の段に均等に気泡が保持されていることが明らかとなった。
- 気泡を保持に伴う局所的な脱水による密度増加や巣のような構造体ができることで降伏応力は増加し、結果気泡はより抜けにくくなると推測される。

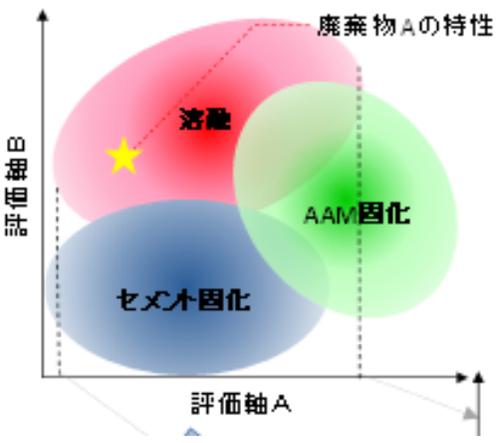
観察された挙動は試験条件と実機条件との相違により、過大あるいは過少に評価され、例えば、寸法、時間、照射線量率(水素発生速度)などを十分に留意する必要がある

高吸収線量率の短期間試験 (148 kGy / 25h)

低吸収線量率の長期間試験 (135 kGy / 94h)



- スラリーの容積の増大と水位の上昇および上澄み液の生成が確認された。
- また、スラリー表面に大きな亀裂が確認された。

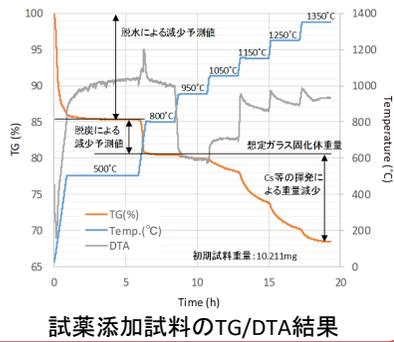


- 発生する**廃棄物の特性**から、**適用可能な技術を選定**する手法（アプローチ手法）を検討
- 主に国内外で実績のある**低温固化処理**（セメント、AAM）に係るデータを取得

安全に処理できるのか？（核種揮発性等）

Cs揮発抑制等に係る検討

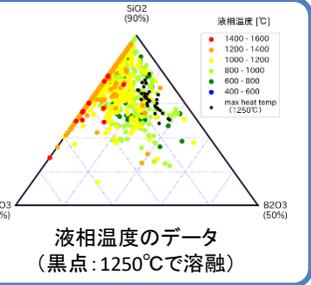
- ゼオライトからのCs揮発温度などの基本挙動に係るデータ取得
- 処理工程上の個別の処置（コールドキャップ、トップオフリット、ホウ素添加手順等）によるCs揮発抑制効果に係るデータ取得中



固化できるのか？（流動性、硬化速度等）

溶融可能廃棄物混合範囲の検討

- これまでの様々な廃棄物等の溶融試験や実規模試験データと、ガラスデータベースを組合せ、**主な水処理二次廃棄物の溶融可能な廃棄物混合範囲を推定**



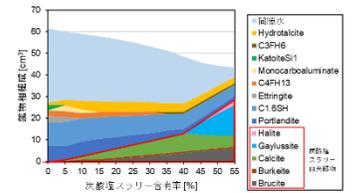
安全に処分できるのか？（圧縮強度、核種溶出率等）

低温固化特性データの取得

- 流動性、固化特性、圧縮強度などの基準から適切な配合比並びに充填可能上限を導出
- スラリー廃棄物混合固化体の溶出特性、耐放射線性に加え構成する相を同定
- 固化に影響する廃棄物に適用可能な特殊セメントの代替適用性評価

固化体長期安定性確認

- 含有放射能による到達温度解析
- 熱、乾燥による中期的な固化体変質
- 長期的な固化体構成相の変化



炭酸塩スラリー含有量に対するセメント固化体の鉱物相積変化

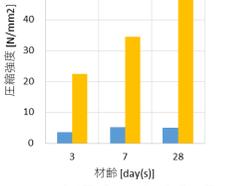
固化可能性簡易検査手法開発

- 廃棄物の吸水性、膨潤性などの特性、固化材との反応性（ガス発生、発熱など）、固化特性（強度、流動性など）を指標として、遠濾管を用いた簡易な検査手法を開発
- 指標の間接的定量判定方法を検討中

Step	1	2	3	4	5
詳細性状	形状・大きさ、かさ密度	膨潤性、発熱性、発熱性、ガス発生	分散性、粒度分布	セメント影響、凝固液の影響（発熱性、ガス発生）	粘性（pH）
操作状況					
条件・操作など	試料 8g	試料 8g 純水 滴下量 10.7cc	純水 投入量 (合計) 40cc 滴下速度から 60分後	セメント 影響し、攪拌液の添加	部どう、遠心分離後、上澄みに取り除く
観察	形状粉砕状、かさ密度 0.8g/cc	膨潤なし、発熱なし、ガス発生なし、補水量: 0.54 cc/g	発熱なし、ガス発生なし	アルカリ性、pH=10.8	
次のStep移行可否	○	○	○	○	○

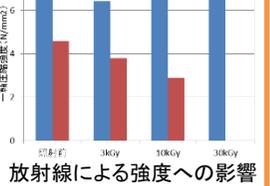
開発した簡易検査ステップ検証例

炭酸塩スラリー含有固化体の圧縮強度の比較



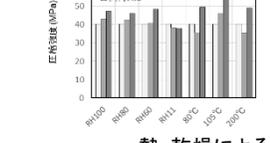
廃棄物混合による発現強度の比較 (OPC-炭酸塩スラリー)

放射線による強度への影響

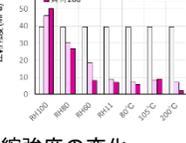


放射線による強度への影響

OPC



AAM



熱・乾燥による圧縮強度の変化

放射性廃棄物管理

■ 中長期ロードマップ

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

大熊第1棟
運用開始

廃棄確認方法
の整備・確立

安全確保の方法論

2030年頃までの
望ましい姿

第3期の主な成果

- ◆ 廃棄物の性状把握方法の確立
- ◆ 統計的手法に関する技術開発の進展
- ◆ 廃棄物データベースの整備
- ◆ 処理手法の開発

→ 研究成果により、廃棄物に関する技術的見通し等に寄与。
→ 今後、処理・処分方策の構築に向け、合理的な評価が課題。

廃棄物管理の安全確保に向け、処理・処分方策の具体化されていることが期待される。

- 廃棄物の適切な分別・保管管理
- α汚染廃棄物、高濃度から低濃度放射性廃棄物の合理的な分析・評価技術確立(標準化)
- 主要な廃棄物ごとの処分概念を踏まえた処理技術
- 主要な廃棄物に適用する処分概念の技術候補の検討

演繹
成果と課題

俯瞰

の反映

第4期の
主要課題

①合理的な性状把握・評価

1F放射性廃棄物管理を進めるための合理的な性状把握・評価方法を確立する。

②高濃度廃棄物の方策構築

高濃度放射性廃棄物の安全な処理・処分方策を構築する。

③低濃度廃棄物処理具体化

多種多様な低濃度放射性廃棄物の廃棄体化を含め、処分を見据えた処理を具体化する。

④知見集約と他施設展開

得られた知見を結集し、既存原子力施設の放射性廃棄物管理にも寄与する。

1 F放射性廃棄物管理を進めるための合理的な性状把握・評価方法を確立する。

- 様々な種類の廃棄物の分析データを利用して、含まれる放射エネルギーを推定する方法を開発する。
- 核種が移行する割合を分析データに基づいて元素のグループごとに求める。(図1)
- 核種の濃度は、統計的な分布(対数正規分布)を示すことを利用して、**分布の不確実性**(パラメータ μ と σ の信用区間)を**定量的に評価**する。(図2左)
- モデルに基づいて分布を重ね合わせて移行割合の分布を推定する。(図2右)

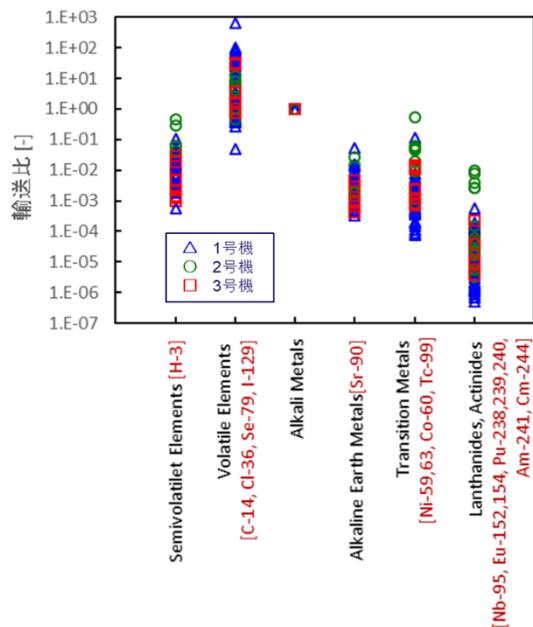
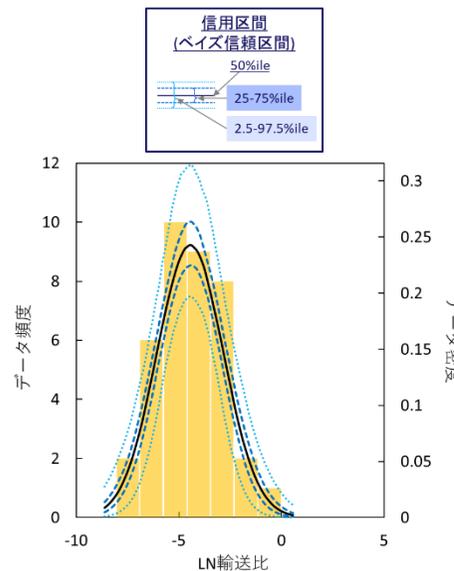
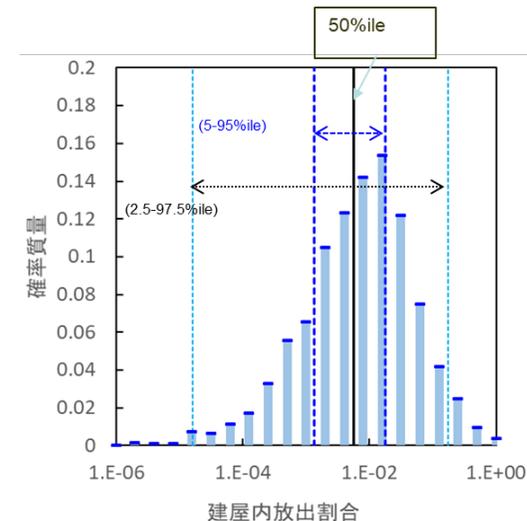


図1 建屋内での空気への放出割合を算出するための分析データ(輸送比に換算)



分布の不確実性に関するベイズ統計による評価

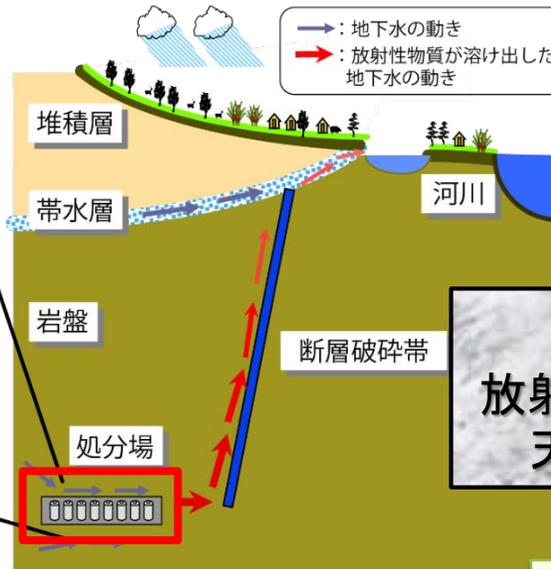
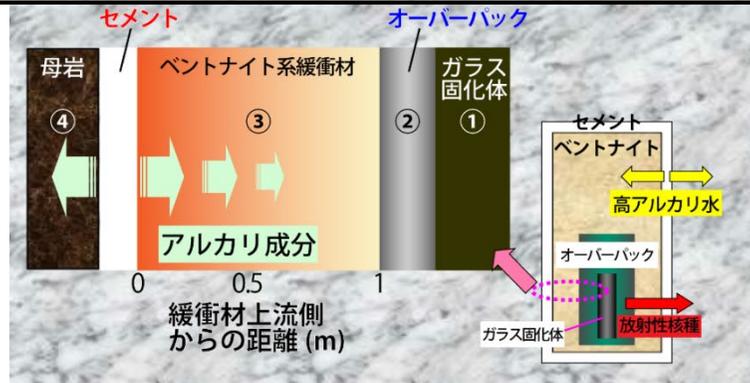


ベイズ統計を援用して求めた核種の移行割合

図2 分析値に基づいて求める核種の移行割合

高濃度放射性廃棄物の安全な処理・処分方策を構築する。

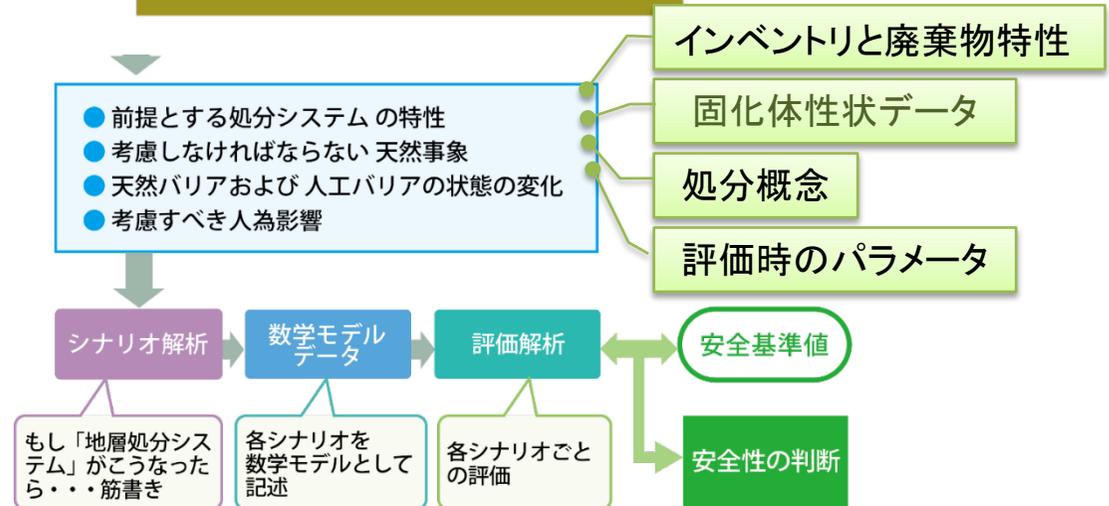
人工バリア 放射性物質の移行を抑制する人工障壁



天然バリア 放射性物質の移行を抑制する天然の岩盤からなる障壁

- ✓ 処分する廃棄物の性状の不確かさが大きく、処分で想定すべきバリアの性能の幅が大きい。
- ✓ 共存する化学物質等の不確かさが大きく、天然バリアや人工バリアの状態への影響の幅が大きい。

○安全評価や全体工程合理化検討の際に、**不確かさがどう影響するかを定量的に把握**する。

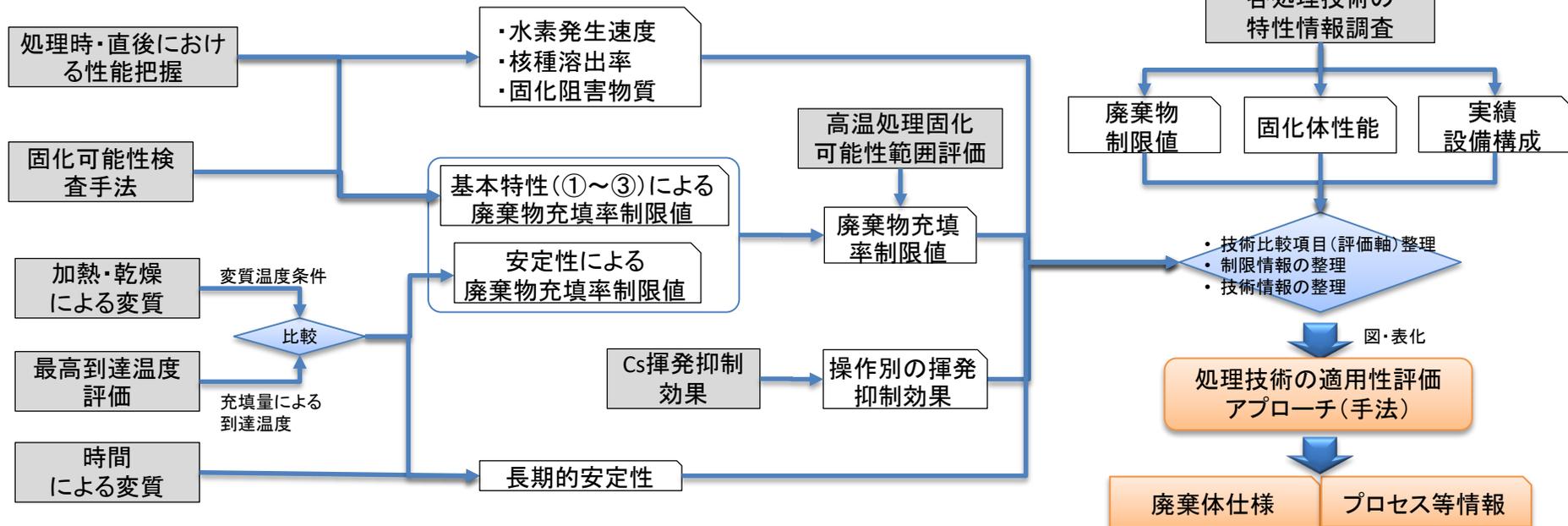


多種多様な低濃度放射性廃棄物の廃棄体化を含め、処分を見据えた処理を具体化する。

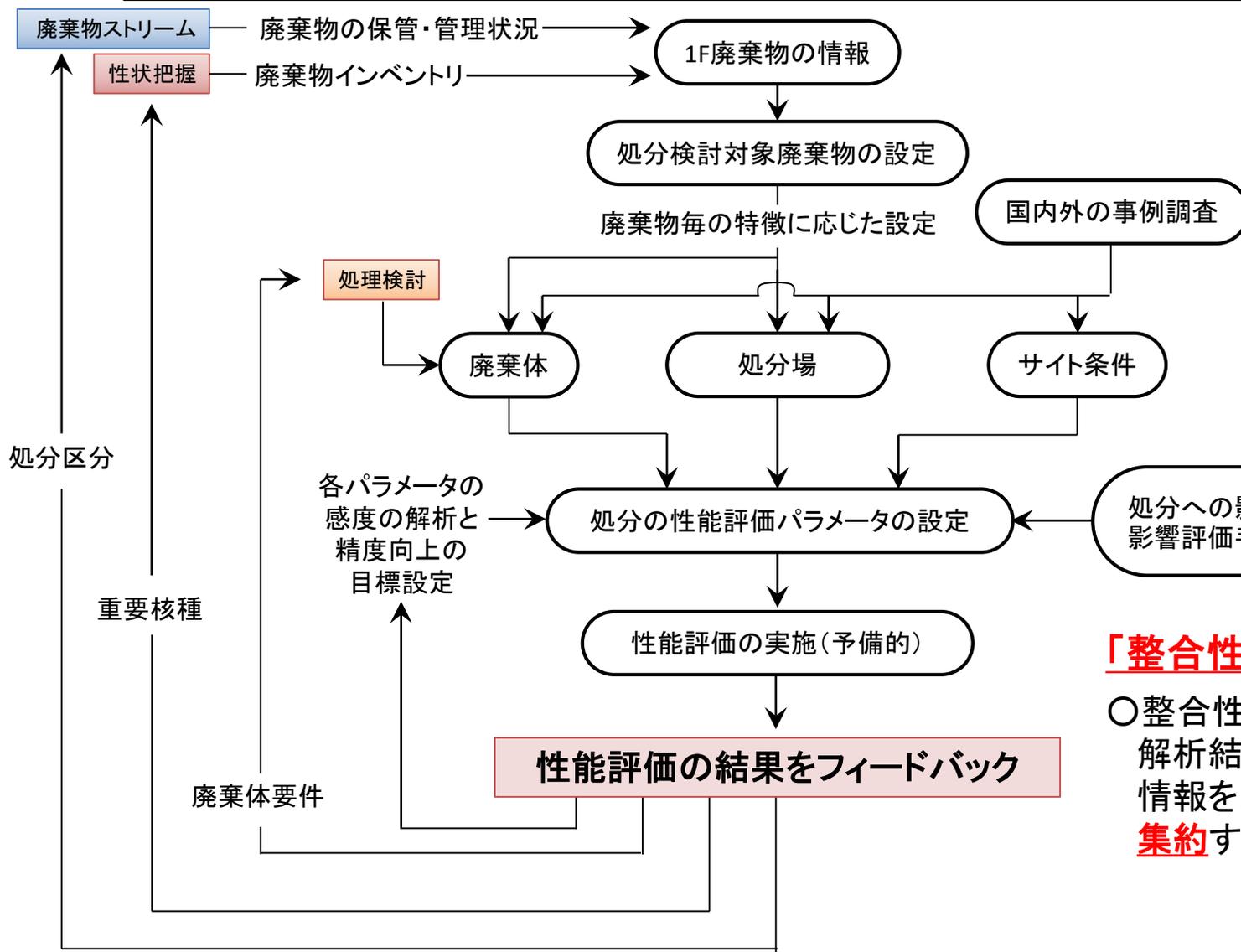
- ✓ 廃棄物が有する**物理的・化学的特性**により固型化剤の特性が変化し、作製した**固化体の性能に影響を及ぼす可能性**。
- ✓ 性能を維持しなければならない**時期**は、それぞれの性能によって異なる。
- 特性の不確実性、処分から要求される性能、維持期間を考慮して、**処理技術と処理工程での管理目標**を設定していく。

固化処理において廃棄物の充填率を決定する際に考慮される主な固化体の性能とその性能の維持が求められる時期

性能	処理	保管	処分
①流動性	〇		
②硬化速度	〇		
③圧縮強度			〇
④水素発生速度	〇	〇	
⑤核種溶出率			〇



得られた知見を結集し、既存原子力施設の放射性廃棄物管理にも寄与する。



「整合性のある管理体系」

○処分サイトや方法が決まっていない中で、性状把握から処分まで整合性のある管理体系を構築するため、**評価結果を各工程にフィードバックする手法**を構築する。

「整合性の根拠となる情報の集約」

○整合性の根拠となる実験結果、解析結果、解析のためのデータ等の情報を、**科学的な根拠とともに集約**する。

2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028

復興庁国際教育
研究拠点

環境創造センター
フェーズ3終了

帰還困難区域の全域解除目標
(2020年代末)

第3期の主な成果

2030年頃までの
望ましい姿

- ◆ 放射性物質移行挙動モデルの開発
- ◆ 除染評価ツールの確立
- ◆ モニタリング及びデータ分析による評価
- ◆ FACE!Sによるデータベース化と情報発信

→ 研究成果により、避難区域解除や将来予測に寄与。
→ 今後、全域解除に向け、更なる移行挙動の解明が課題。

帰還困難区域の全域解除に向け、安心・安全確保の理解が浸透していることが期待される。

- 2020年代での帰還困難区域の全域解除を目指す
- 個人被ばく管理・評価が進められ、除染と合わせて安全な帰還が担保される
- 未除染の森林などにおける放射性物質移行挙動が理解され、農産物の安全性が担保

演繹
成果と課題

俯瞰

第4期の
主要課題

①避難指示解除への貢献

モニタリングデータ分析技術・被ばく評価手法の高度化により、避難指示解除に貢献する。

②影響評価・予測の提示

放射性物質挙動を把握し、将来にわたる影響評価・予測を社会に分かりやすく提示する。

川俣町の落葉広葉樹林 (コナラ林)

2019.10.19撮影

2019年の台風19号と
その後の豪雨により、
落葉の大規模な流出や
土壌侵食の痕跡はない。

川内村の常緑針葉樹 林(スギ林)

2019.10.31撮影

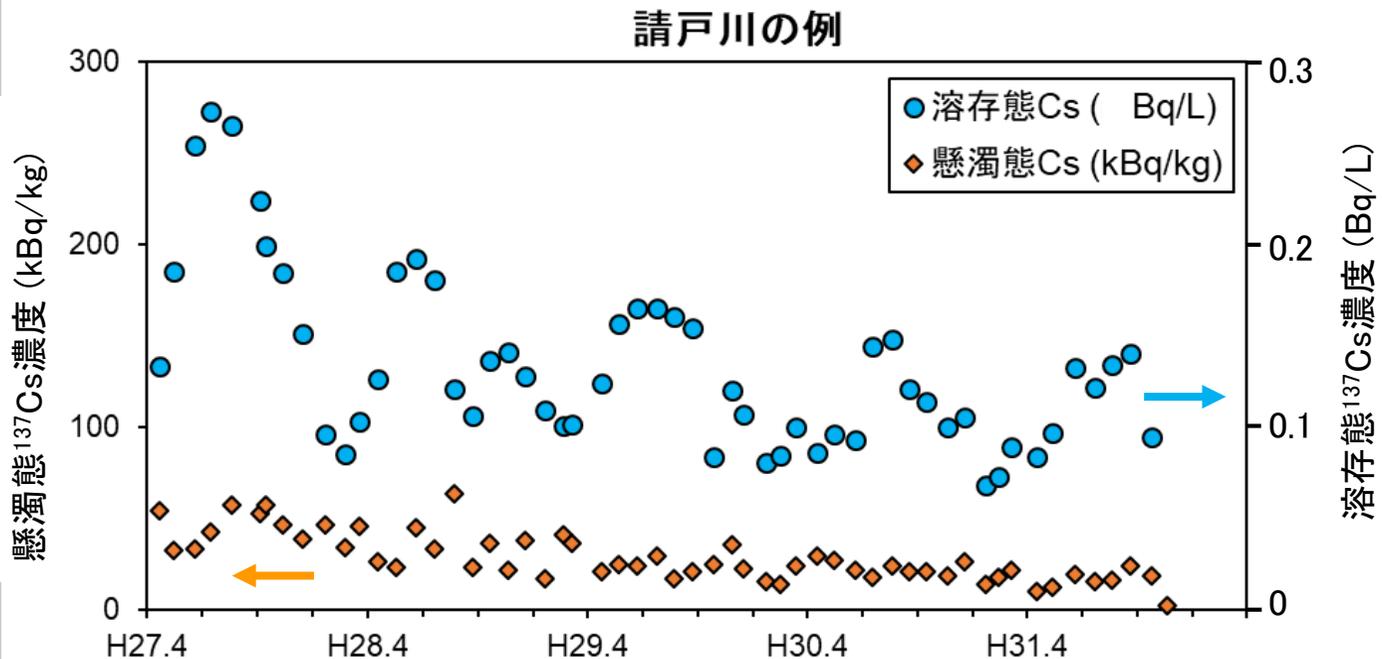
- 10月期の流出率を用いて年間流出率を算出すると、
0.06%(スギ林)、0.16%(コナラ林) = 平常時データ(0.05 – 0.24%)の範囲内。
- 林床が落葉で被覆されている場合、台風時でも森林からの流出量は極めて少ない。

～河川水中のセシウム流出挙動～

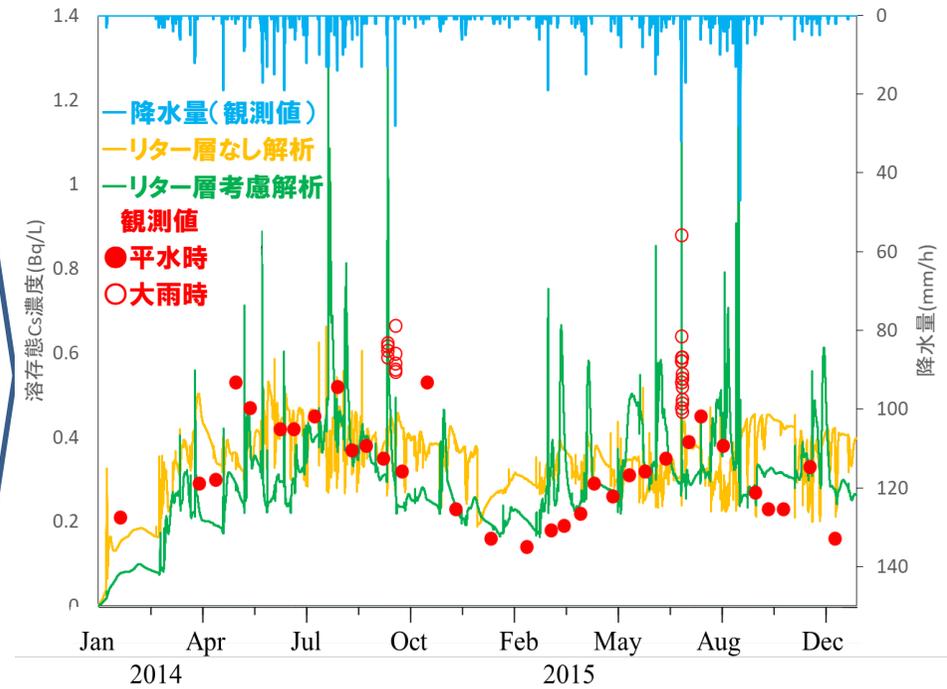
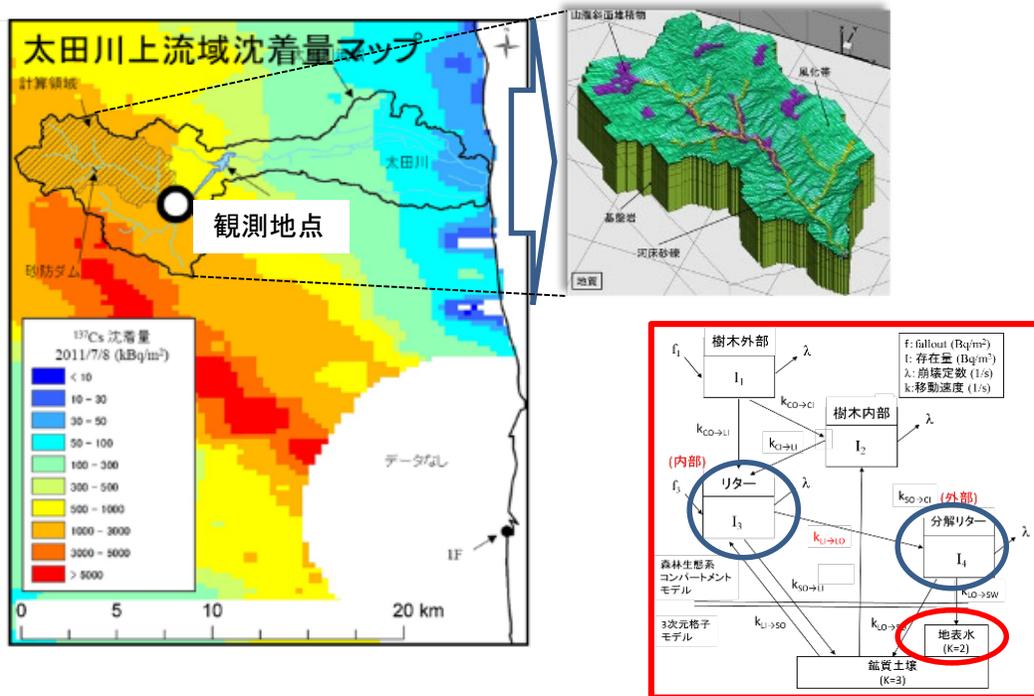
- 河川水中¹³⁷Cs濃度は物理的な半減期(30年)より**速い速度で低下した**。
- 溶存態¹³⁷Cs濃度は季節的な変動が見られるが、**最大でも1 Bq/Lを十分に下回っている**。

平成27年度以降の河川水中¹³⁷Cs濃度の実効半減期(濃度が半分になる時間)

実効半減期	平均	太田川	小高川	請戸川	高瀬川	熊川	富岡川
溶存態 ¹³⁷ Cs	4.7年	3.3年	6.7年	4.8年	6.5年	3.8年	3.2年
懸濁態 ¹³⁷ Cs	3.4年	1.8年	2.7年	2.4年	4.8年	6.9年	1.5年

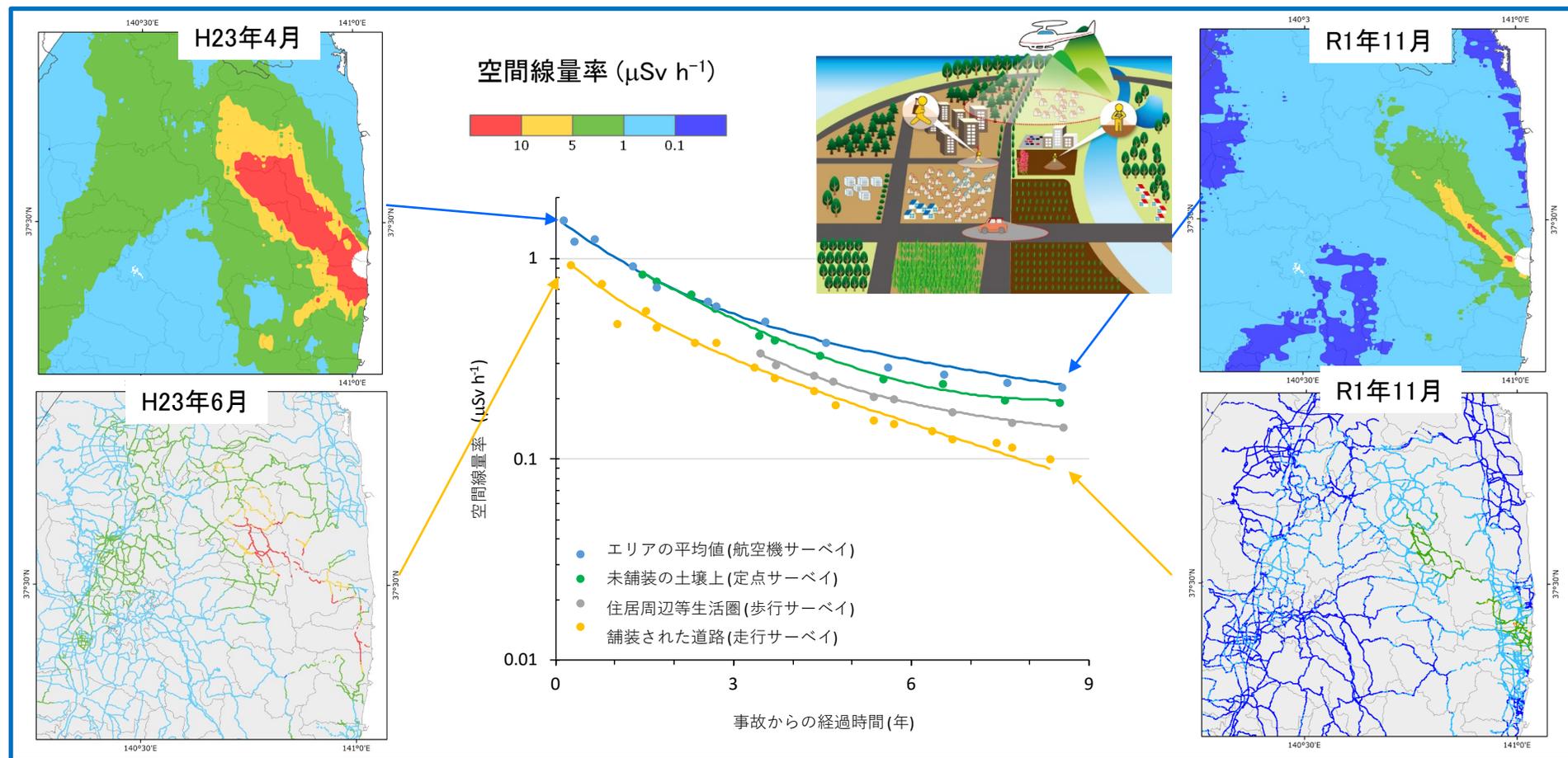


- 河川水中の溶存態セシウムの挙動は、源流域(森林と河川の接点)における溶出の影響が大きい(現地調査結果)。
- これまでに開発したシミュレーションに、新たに森林における有機物からのCs溶出とその温度依存性を考慮したモデルを追加したところ、降雨直後の溶存態濃度の上昇・平水時の季節変動も含めて、河川水中の溶存態濃度の挙動を再現することができた。



太田川上流域における河川水の溶存態 ^{137}Cs 濃度

- 規制庁の受託事業「放射性物質の分布データの集約」において、様々なツールを用いて空間線量率や土壌中の放射性セシウム濃度の分布状況を事故直後から継続的にモニタリングし、分かりやすくマップ化している。
- また、空間線量率の減少傾向を調べ、将来の空間線量率の予測に役立てている。



- 調査研究で得られた成果を、解説とともに取りまとめ、「**福島総合環境情報サイト (FaCE!S、フェイス)**」として公開している。
Fukushima Comprehensive Environmental Information Site



「福島総合環境情報サイト」(FaCE!S)
<https://fukushima.jaea.go.jp/ceis/>

根拠情報Q&Aサイト

放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト

- 調査でわかったことをQ&A形式で紹介。
- **簡単な説明から詳細な解説まで** 詳細度の異なる階層構造。

- これまでに得られた様々な**観測データ**のデータベース。データのダウンロードやグラフも作れます

- 根拠情報Q&Aサイトをイラストや端的な言葉に修正し、リニューアル公開。
- 研究成果から得られた最新の知見の取り込み。
- 根拠情報となる報告書の英語版を公開。

- 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイトは、わかりやすく、管理コストを抑えた新データベースとして開発。

根拠情報Q&Aサイト



放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト

○新規に知見を加えたQ&Aの例

- ✓「河川水中に溶けているセシウムの濃度はどのようなところで高いのですか」
- ✓「野生きのこのこのセシウムの吸収しやすさは種類によって違うのですか」
- ✓「森林のセシウム分布は今後も変化しますか」



復興庁国際教育
研究拠点

環境創造センター
フェーズ3終了

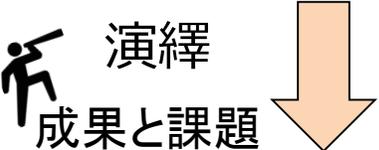
帰還困難区域の全域解除目標
(2020年代末)

第3期の主な成果

2030年頃までの
望ましい姿

- ◆ 放射性物質移行挙動モデルの開発
 - ◆ 除染評価ツールの確立
 - ◆ モニタリング及びデータ分析による評価
 - ◆ FACE!Sによるデータベース化と情報発信
- 研究成果により、避難区域解除や将来予測に寄与。
→ 今後、全域解除に向け、更なる移行挙動の解明が課題。

- 帰還困難区域の全域解除に向け、安心・安全確保の理解が浸透していることが期待される。**
- 2020年代での帰還困難区域の全域解除を目指す
 - 個人被ばく管理・評価が進められ、除染と合わせて安全な帰還が担保される
 - 未除染の森林などにおける放射性物質移行挙動が理解され、農産物の安全性が担保



第4期の
主要課題

①避難指示解除への貢献

モニタリングデータ分析技術・被ばく評価手法の高度化により、避難指示解除に貢献する。

②影響評価・予測の提示

放射性物質挙動を把握し、将来にわたる影響評価・予測を社会に分かりやすく提示する。

モニタリングデータ分析技術・被ばく評価手法の高度化により、避難指示解除に貢献する。

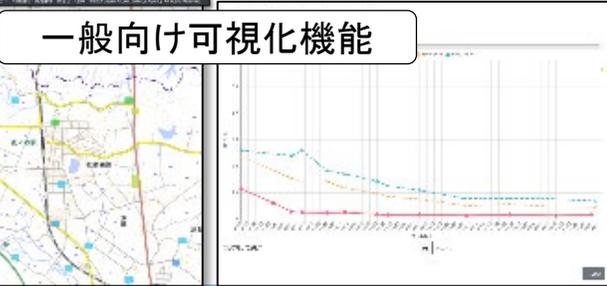
- 帰還困難区域解除や被ばく評価の基盤となる代表的線量率分布の提示、および、国内外におけるデータの積極的活用・可視化の促進による現象理解の深化のために、**信頼性の高いナショナルデータベース**として整備する。

統一的環境モニタリングデータベースの開発・運用

省庁や自治体ごとに公開されている空間線量率・放射能モニタリングデータを集約する。

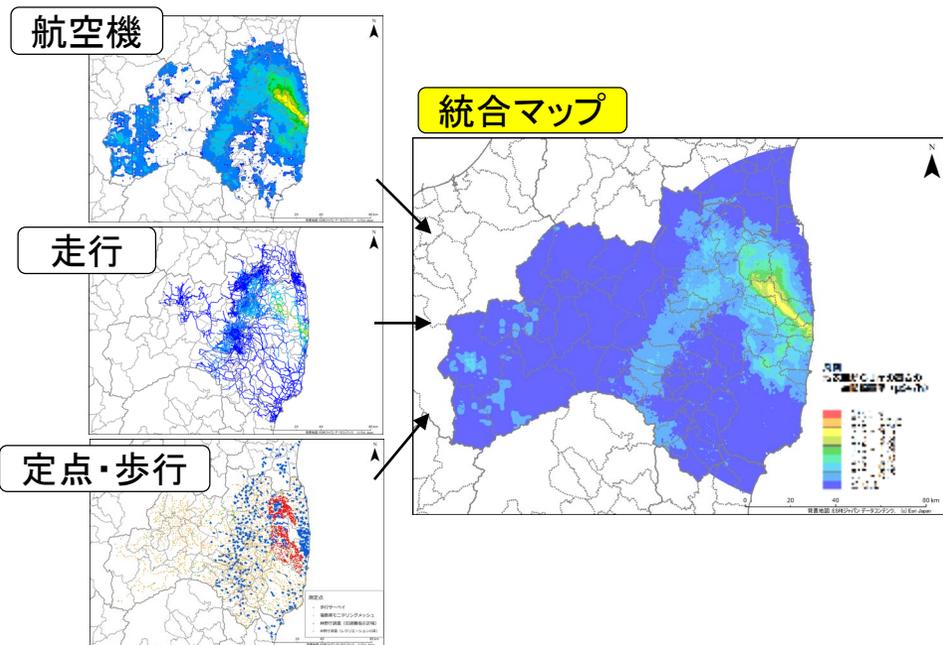
データ処理を容易にするためにフォーマットを統一。

視覚的・感覚的に使いやすいインターフェイスや可視化機能を整備。



データ統合による代表的線量率分布の構築

異なる測定手法のデータをベイズ統計手法により統合し、帰還困難区域解除や被ばく評価での利用を志向した代表的線量率分布を構築する。

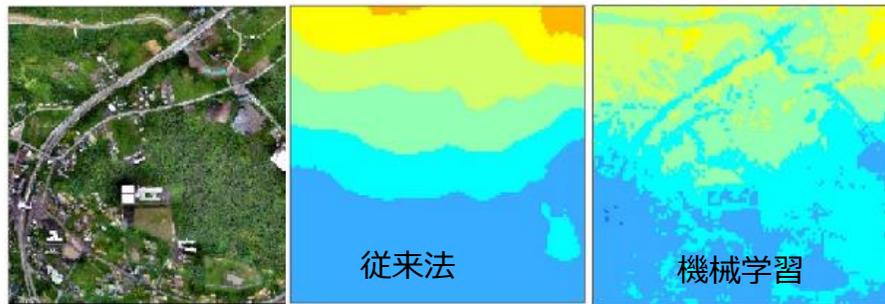


モニタリングデータ分析技術・被ばく評価手法の高度化により、避難指示解除に貢献する。

- 高線量率エリアの帰還困難区域解除に対応するために、精度の高い空間線量率の推定手法、実測個人被ばく線量・生活行動パターンに基づく被ばく評価モデルを組み合わせた**被ばく評価手法**を確立する。

詳細な分布マップ作成技術の高度化

機械学習や無人機を用いたモニタリング技術を利用した特定復興再生拠点を含む避難指示区域の詳細な線量分布の作成。



生活行動パターンを考慮した評価

住民から聞き取った生活のパターンに沿った屋内外のモニタリングデータを利用し、空間線量率から被ばく線量を推計する。

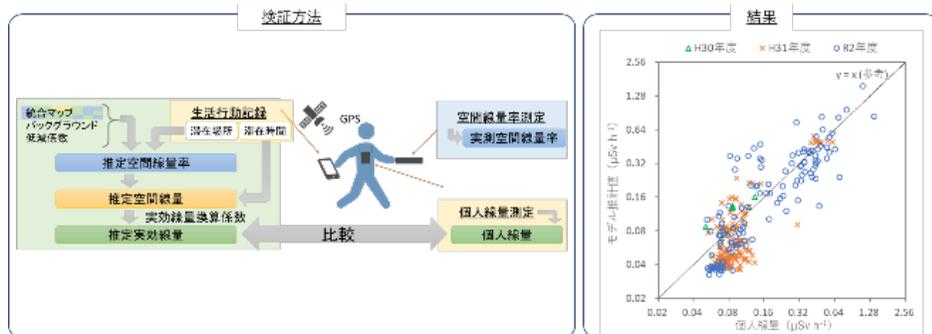


1日の被ばく線量評価例

パターンの集計から被ばくパターン抽出

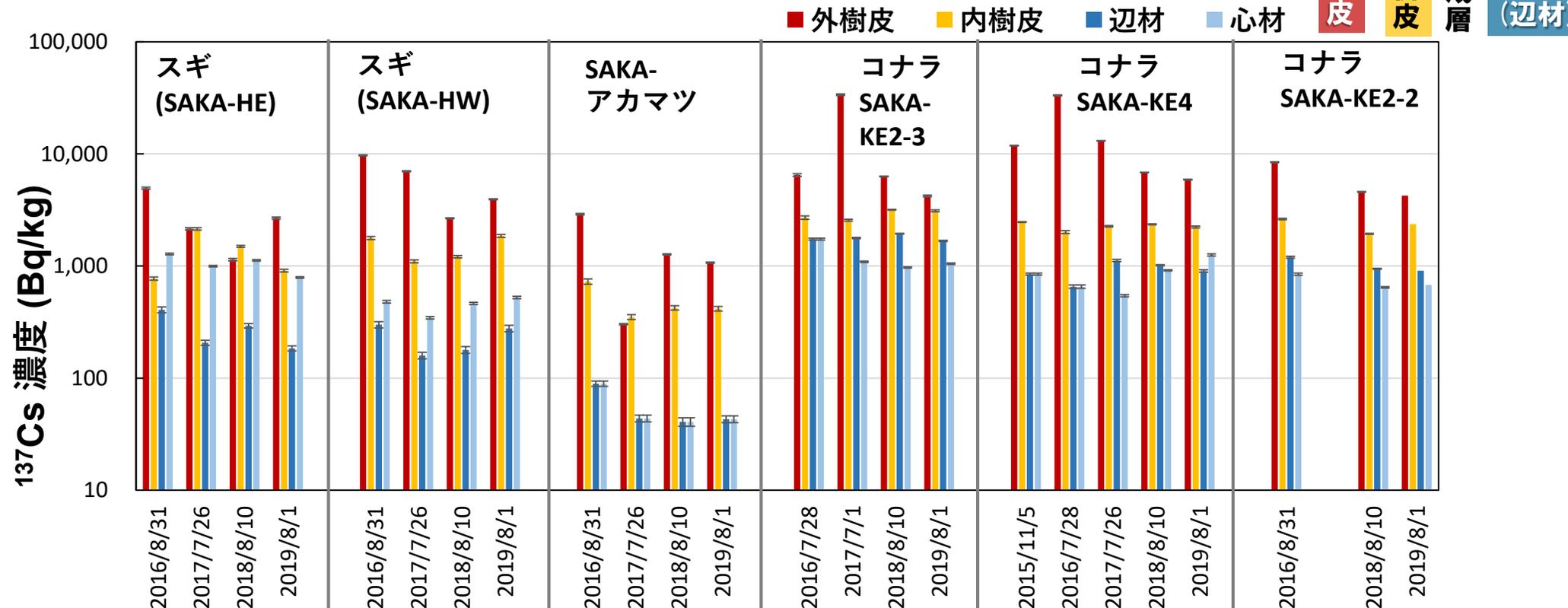
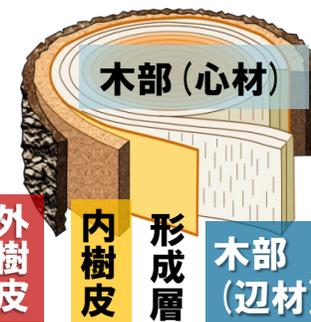
手法の信頼性評価

個人被ばく線量計との実測値と推計値を比較し、被ばく評価に影響する因子を解明する。



放射性物質挙動を把握し、将来にわたる影響評価・予測を社会に分かりやすく提示する。

- 樹皮で高く、木部で低い。
- 外樹皮は濃度が低下する傾向。他の部位は明らかな変化は認められない。
- **長期的な濃度の変化傾向を観測する必要がある。**

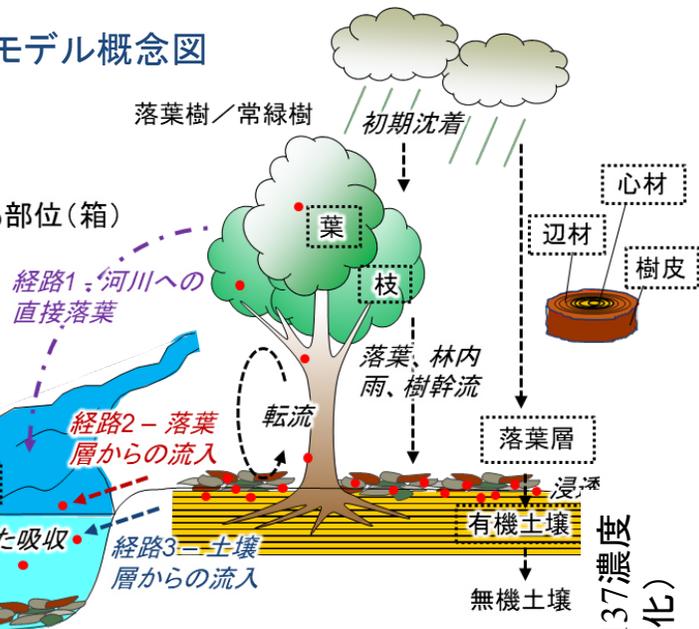


2015-2019年度における川俣町山木屋地区での樹木内セシウム濃度分布調査結果

放射性物質挙動を把握し、将来にわたる影響評価・予測を社会に分かりやすく提示する。

コンパートメントモデル概念図

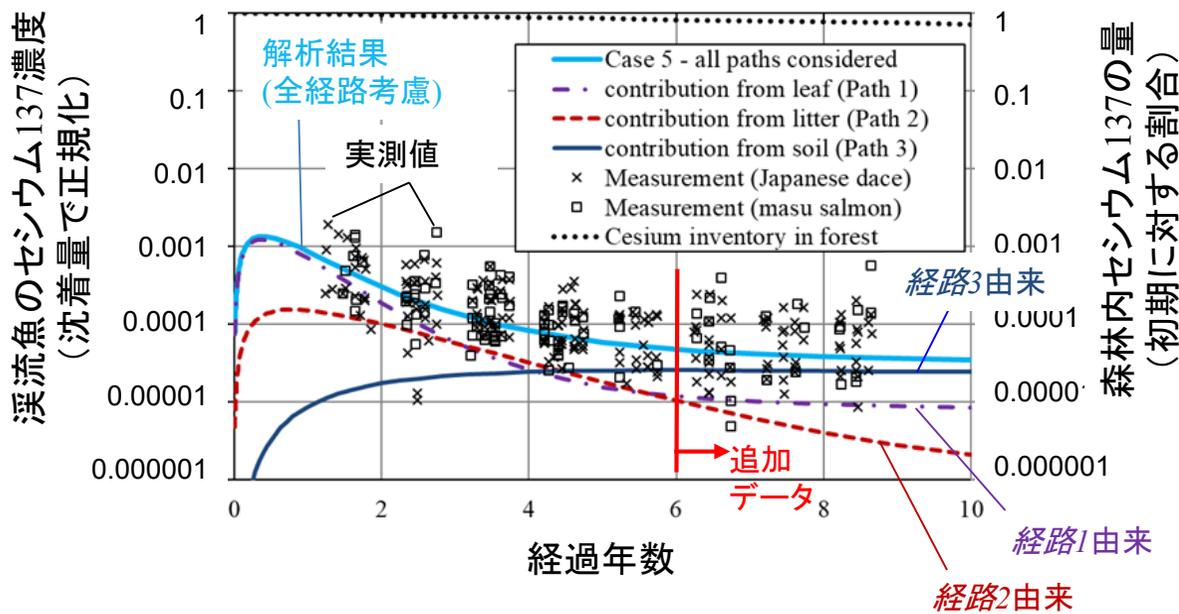
- セシウム
- ←--- セシウムの動き
- 計算で考慮する部位(箱)

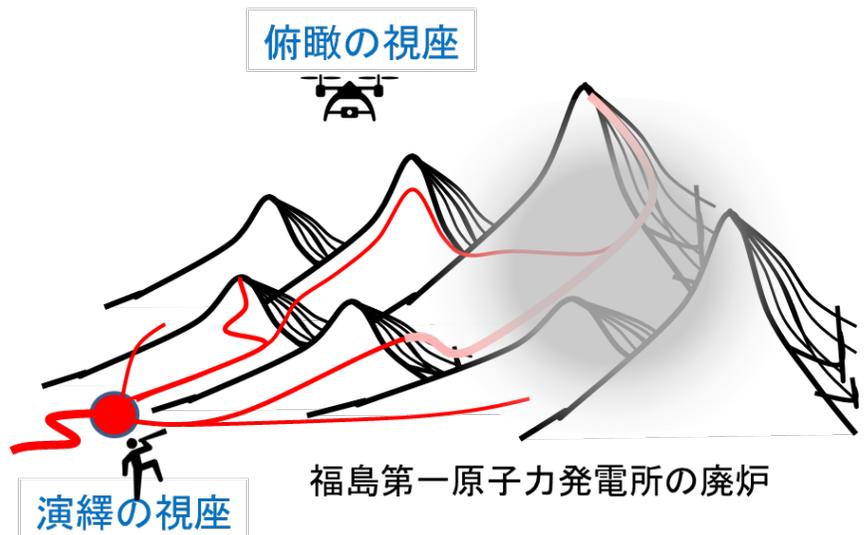


➤ 溪流魚に取り込まれるセシウムの挙動の解析結果

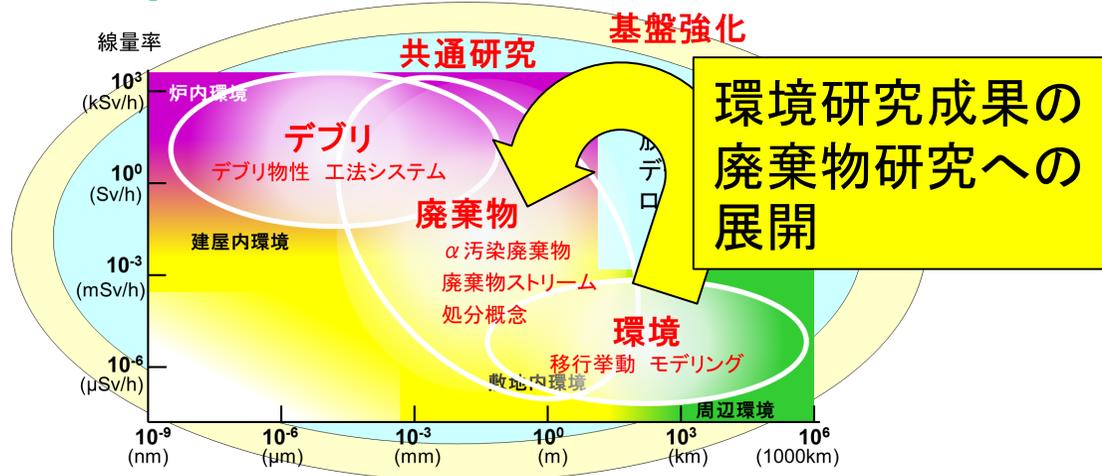
- 事故直後は、葉(経路①)や落葉層(経路②)に含まれるセシウム濃度が急速に低下
 - 溪流魚中のセシウム濃度が急速に低下
- 今後、有機土壌層(経路③)からの寄与が中心
 - 溪流魚のセシウム濃度は緩やかに低下

○ 現在もセシウム濃度が比較的高い溪流魚や、山野草・キノコ、木材等の将来濃度の推定にシミュレーションを適用し、森林や河川の管理方策検討に資する。





シェルパとしての俯瞰の視座 福島復興に向けてやらねばならないこと



シェルパとしての
演繹の視座
福島復興に向けて、
新しい研究への展開

- ◆ 廃棄物管理研究: 不可避免的に存在する **不確実性への対処**
 - **統計的手法**を活用した特徴の把握と対策立案
 - **様々なオプション**の提示と**選択するための手法**構築
 - 性状把握・保管・処理・処分の**全体を俯瞰した最適化**

- ◆ 環境: 難易度の高い **帰還困難区域解除**と**生態系への移行**
 - **信頼性の高いツール**の整備
 - 空間線量率の評価、データベース化、被ばく評価手法
 - 生態系内濃度と溶存態生成挙動の観測、モデルの改良

3 放射性廃棄物の処理処分と環境回復に係る研究開発

廃炉環境国際共同研究センター 環境影響研究Div. 環境モニタリングDiv.
兼務 廃棄物処理処分Div. 飯島 和毅

(1) はじめに

原子力機構では、1F事故直後から、事故で放出された環境中に沈着した放射性物質や空間線量率の分布を調査・評価し、分かりやすくマップ化してきました¹⁾。それらの評価結果や、空間線量率の変化傾向に基づく将来予測は、住民の方々が帰還した際の被ばく評価や、避難指示解除などの政府の放射線防護策を決定する際の基礎データとして活用され、重要な役割を果たしてきました。

また、2012年11月からは、森林に残存する放射性セシウムの河川・海や生態系への動きを調査し、その挙動を予測するシミュレーションを開発することを目的とした福島長期環境動態研究プロジェクトを進めてきました。その成果は、福島環境総合情報サイト (FaCEIS) 中の根拠情報 Q&A サイトにおいて、詳細度の異なる階層型の Q&A 形式で分かりやすく提供され、帰還後の生活再開や産業復興を支える基礎情報として活用されています²⁾。

一方、1Fサイト内においても、飛散・沈着した放射性物質の管理は、廃炉作業を安全に進める上で重要です。原子炉を継続的に冷却する際に発生する汚染水については、海への流出や、地下水・雨水の流入を避けつつ、多核種除去設備等での処理により放射性物質を除去した上で保管管理しています。1F 構内の放射性物質が沈着した土壌・樹木や、放射性物質が付着したガレキについても撤去が進み、空間線量率等が低減されたことで、1F 構内における作業環境は大幅に改善されました。今後、作業の障害となる構造物の撤去や作業環境の安全確保を行った上で、炉内に残存する燃料デブリの取り出しなど、廃炉作業が本格化することとなります。これらの工程では、放射性物質が付着した放射性廃棄物が発生します。これまでに発生した放射性廃棄物については、原子力機構が放射性物質の濃度を分析・データベース化³⁾し、それらの性状データに基づき、東京電力が安全に保管管理してきました。さらに、将来の放射性廃棄物の処分に向け、処理方法など今後の管理方法の検討も進められています。

本報では、これまでの成果を概観するとともに、今後本格化する廃炉作業に伴う放射性廃棄物の管理や、帰還困難区域の避難指示解除に向けた取り組みを進めていく上で重要な研究開発のトピックスを報告します。

(2) 1Fにおける放射性廃棄物の管理に関する研究開発

1Fの場合、放射性廃棄物に含まれる放射性物質の汚染過程が十分明らかになっていないことから、その中に含まれる放射性物質の濃度や組成、汚染形態、廃棄物の発生量には大きな不確かさが含まれていることを考慮しなければなりません。廃棄物管理の基本となる性状の把握

のため、少量の試料を茨城県の原子力機構の施設等に輸送し、放射性核種の濃度を測定しています(図1)。土壌、伐採木、ガレキについては、廃棄物毎に放射性核種の濃度は異なるものの、汚染の経路は同様であることから、核種の組成は同様と考えられます。そのため、基準となる核種(¹³⁷Cs)に対する核種の濃度比を統計的な手法を用いて評価し、基準となる核種を測定すれば廃棄物中の核種濃度を推定できるように、データの整備を進めています。さらに、廃棄物の安全な保管管理を支える研究開発に加えて、廃棄物の安定な形態への固化処理方法を選定するための研究開発、廃棄物を安全に処分するための研究開発、これらの研究開発成果に基づき、一連の廃棄物管理工程を最適化するための研究開発を進めています。

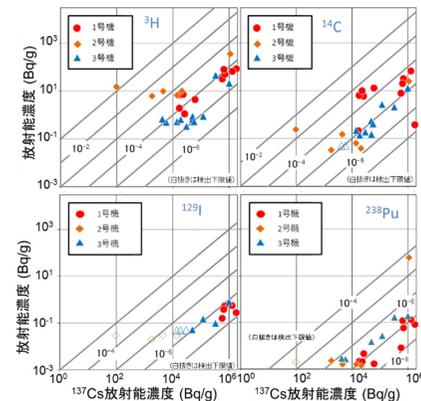


図1 ガレキ中放射性核種濃度の¹³⁷Cs濃度に対する相関⁴⁾
¹³⁷Cs濃度に対する他の放射性核種濃度の比が一定の場合、図中の斜線(斜線上の数値は比を示す)と同様の傾きで一連の測定値がプロットされます。

(3) モニタリング・マッピング

1F事故直後から、検出器を搭載した航空機や車両による広域モニタリングや、1Fから80km圏内の定点モニタリング等を継続的に実施し、空間線量率や土壌中の放射性セシウム濃度の分布状況を分かりやすくマップ化するするとともに、空間線量率の減少傾向を評価してきました。また、特定復興再生拠点の避難指示解除に向け、空間線量率や大気浮遊じんの詳細なモニタリングを行うとともに、将来の生活で予測される行動パターンと行動先のモニタリング結果に基づき被ばく線量を推定しています。

帰還困難区域解除の判断根拠となるのは、対象地点の

空間線量率と、そこで生活する際の被ばく線量です。空間線量率については、原子力機構だけでなく他の事業者が実施した過去のモニタリング結果を、環境モニタリングデータベース¹⁾に集約し、信頼性の高い政府データベースとして整備するとともに、異なる測定手法のデータをベイズ統計手法により統合し、様々な評価に用いる際の代表的な線量率の分布マップ(統合マップ)を構築しています(図2)。被ばく評価については、精度の高い空間線量率の推定と生活行動パターンに基づく被ばく評価モデルを組み合わせた被ばく評価手法を開発しています。

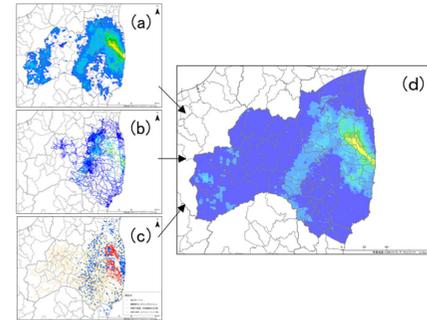


図2 統合マップ構築の概念図

(a)航空機、(b)車両走行、(c)歩行・定点でのモニタリングの結果をベイズ統計手法により統合し、評価対象エリア全域をカバーする統合マップ(d)を構築します。

(4) 放射性物質の動態研究

環境中における放射性セシウムの移動形態は、土壌粒子などに吸着された状態で移動する懸濁態と、イオンのように水に溶存した状態で移動する溶存態に分けられます。森林などから河川水系を通して1年間に海へ流出する放射性セシウムの量は、流域の総沈着量の1%に満たず、河川水中の懸濁態・溶存態いずれの濃度も時間とともに減少していることから、流出量も減少傾向にあります。また、溶存態の濃度は、いずれの河川においても1Bq/Lを下回っており、飲料水・灌がい用水として、十分低い濃度といえます。一方、森林は、環境に残された放射性セ

シウムの最大の流出源であるとともに、未だに放射性セシウム濃度が高いキノコ・山野草や溪流魚など、森林生態系や河川生態系における放射性セシウムの移行・蓄積挙動を推定する上で、森林内での挙動がカギを握っていることが明らかになってきました(図3)。森林の利活用は、福島復興を進めていく上で重要な課題の一つであることから、今後、より詳細に放射性セシウムの挙動をモデル化し、シミュレーションによる生態系内の濃度予測を精緻化していきます。

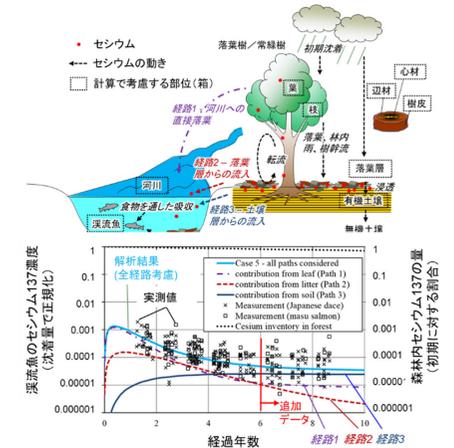


図3 溪流魚のセシウム濃度変化傾向の解析結果

事故直後は森林の落葉(経路1)及び落葉層(経路2)、今後は土壌層(経路3)から移行するセシウムの寄与が大きいと予想されます。

(5) おわりに

環境中に飛散した放射性物質の特徴と、1F内で放射性物質が付着した放射性廃棄物の特徴を俯瞰すると、放射性物質の組成や廃棄物からの移行挙動などの点で、類似していると考えられます。今後、動態研究やモニタリング・マッピングの成果を放射性廃棄物管理に関する研究にも適用し、必要な知見や技術の構築を進めていきます。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構, 放射性物質モニタリングデータの情報公開サイト, <https://emdb.jaea.go.jp/emdb/>.
- 2) 日本原子力研究開発機構, FaCEIS—福島総合環境情報サイト, <https://fukushima.jaea.go.jp/ceis/>.
- 3) 日本原子力研究開発機構, 福島第一原子力発電所事故廃棄物に関する分析データ集, <https://frandl-db.jaea.go.jp/FRANdLI/>.
- 4) 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構, 日本原子力研究開発機構, 福島第一原子力発電所構内で採取した瓦礫の分析, 廃炉・汚染水対策チーム会合/事務局会議 (第29回), https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2016/pdf/0428_3_4d_r.pdf