

ふくしまの環境を取り戻すために ～13年にわたる環境回復研究の成果～

飯島 和毅

廃炉環境国際共同研究センター（CLADS）

事故直後

現在

放射線の状況

身体汚染・内部被ばく

家に帰りたい

生業の再開



- 安全確保のための情報から、
安心して生活を再開し、営むための情報へ、
環境回復の進捗に応じた情報の提供が求められた。

- **放射線状況の把握**

- 従来のモニタリング（定点の観測）だけでなく、
マッピング（面的な分布状況の観測）へ

- **現状の改善：大規模除染**

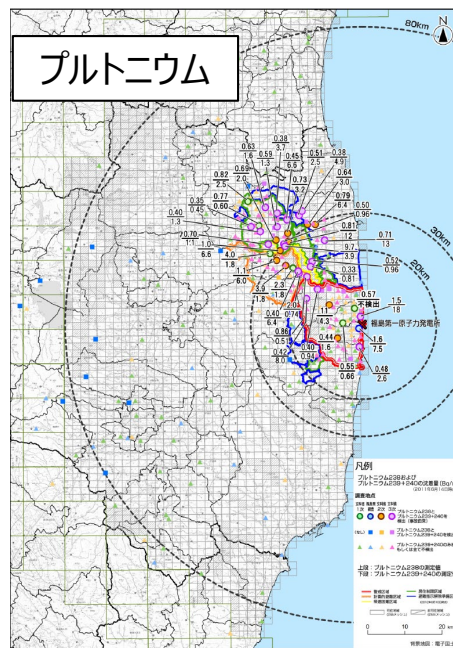
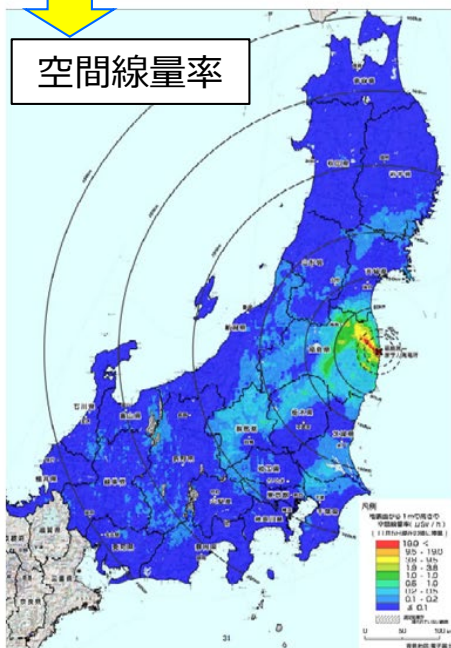
- 除染方法、廃棄物の管理、除染作業の進め方等の構築

- **将来の予測：環境動態研究**

- セシウムの中での動きの解明することにより、
除染された生活圏へのセシウムの再流入、林産物等への
移行の可能性など、将来の挙動を評価

- **分かりやすい情報提供**

- 自治体や住民の方々に成果を活用いただくための工夫



※2011年11月5日現在の値に換算

文部科学省発表 2011年12月16日

- 事故直後は、自治体・地区ごとの対策検討のため、線量率や放射性物質の面的分布の把握が必要。



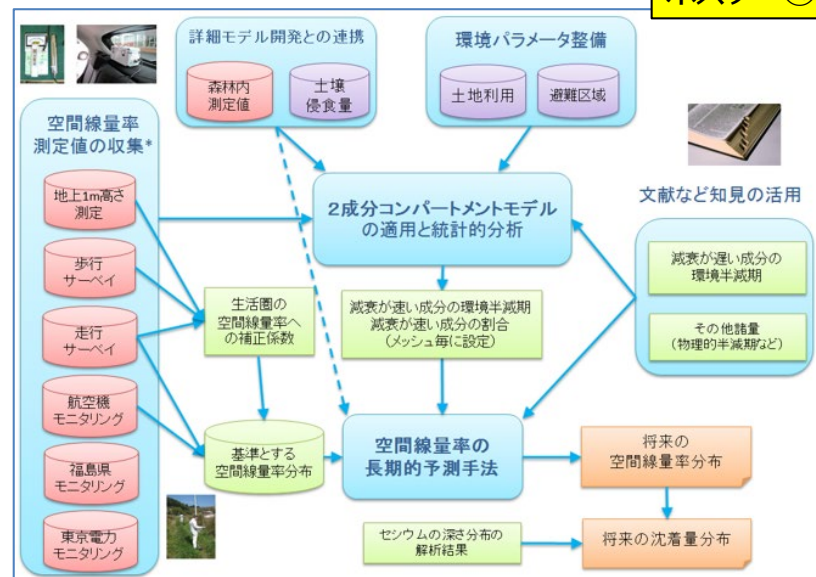
- 航空機による空間線量率分布の測定手法の整備とマップ化
- 地上測定値との比較による精度向上
- 様々な放射性物質の沈着量の比較
→ 被ばく線量に寄与する主たる核種は放射性セシウム

観測された各核種の最大沈着量を仮定したときに50年間に受ける実効線量

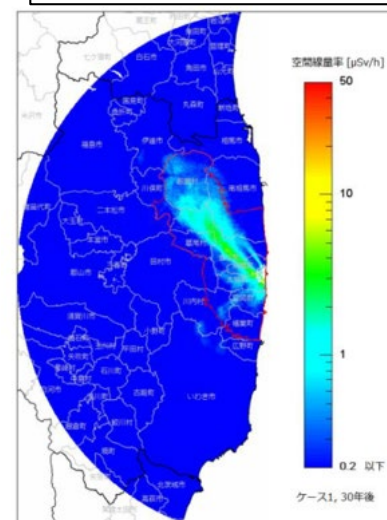
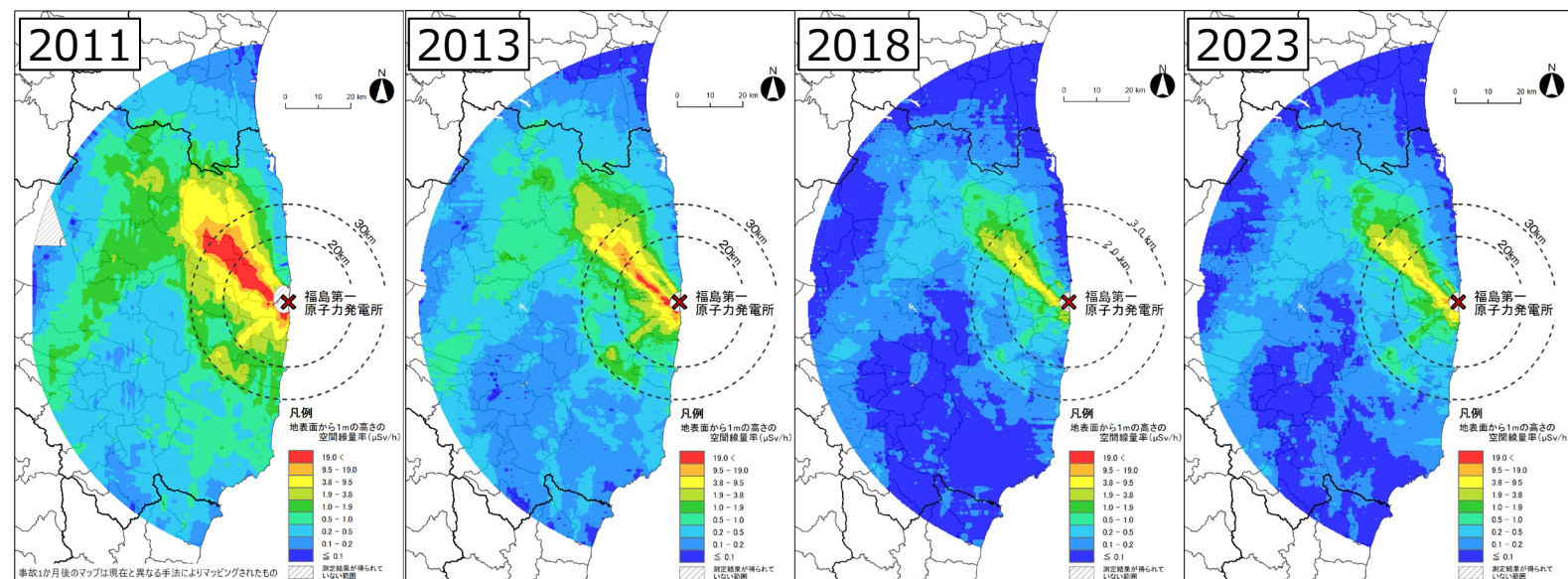
Radionuclide	Half-life period	Maximum deposition density level*1 (Bq/m ²)	Estimated effective dose over 50 years	
			Conversion factor (mSv/kBq/m ²)	Obtained results (mSv)
Cs-134	2.065 years	1.4×10^7	5.1×10^{-3}	71
Cs-137	30.167 years	1.5×10^7	1.3×10^{-1}	2000 (2.0Sv)
I-131	8.02 days	5.5×10^4	2.7×10^{-4}	0.015
Sr-89	50.53 days	2.2×10^4	2.8×10^{-5}	0.00061 (0.61μSv)
Sr-90	28.79 years	5.7×10^3	2.1×10^{-2}	0.12
Pu-238	87.7 years	4.0	6.6	0.027
Pu-239+240	2.411×10^4 years	15.0	8.5	0.12
Ag-110m	249.95 days	8.3×10^4	3.9×10^{-2}	3.2
Te-129m	33.6 days	2.7×10^6	2.2×10^{-4}	0.6

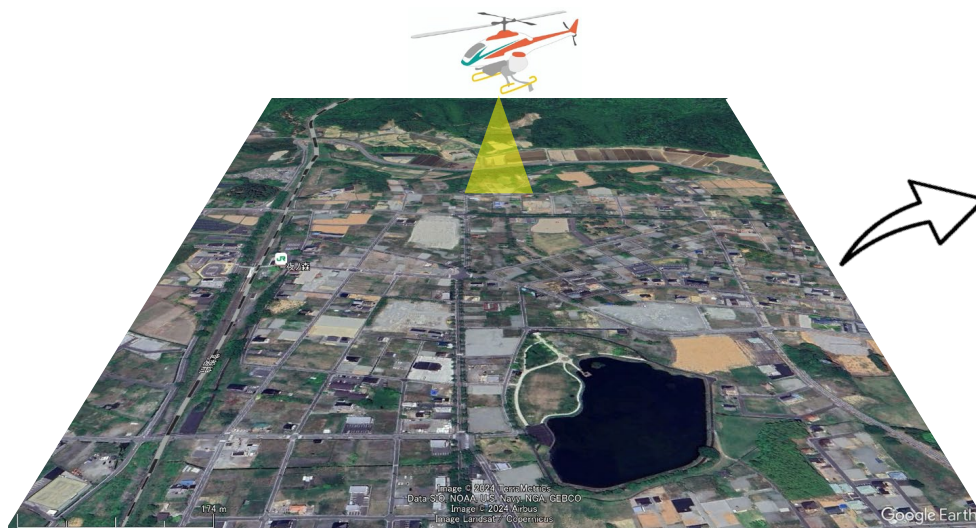
*1: Converted to radiation levels as of June 14, 2011

- 現在も測定は継続され、面的分布の時間変化が分かる貴重なデータになっている。
 - － 土地の利用状況や人間活動による過去の変化傾向の違いを考慮して、空間線量率の減衰を表すモデルを構築し、空間線量率分布の予測図を作成した。

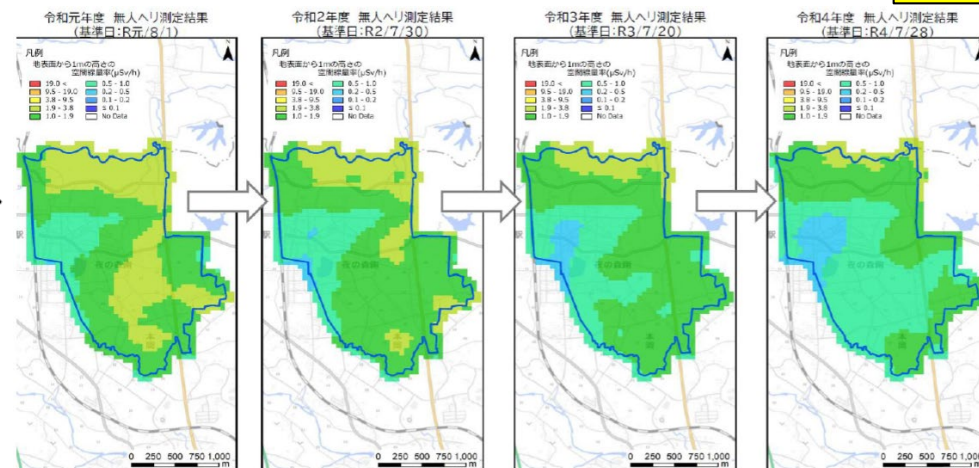


2041の分布予測





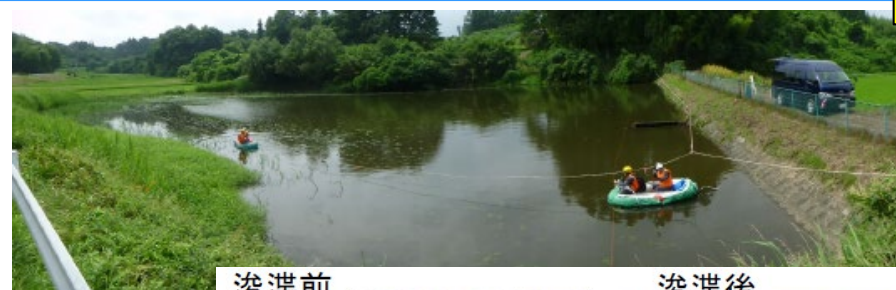
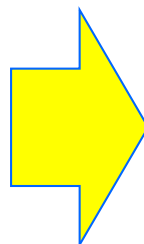
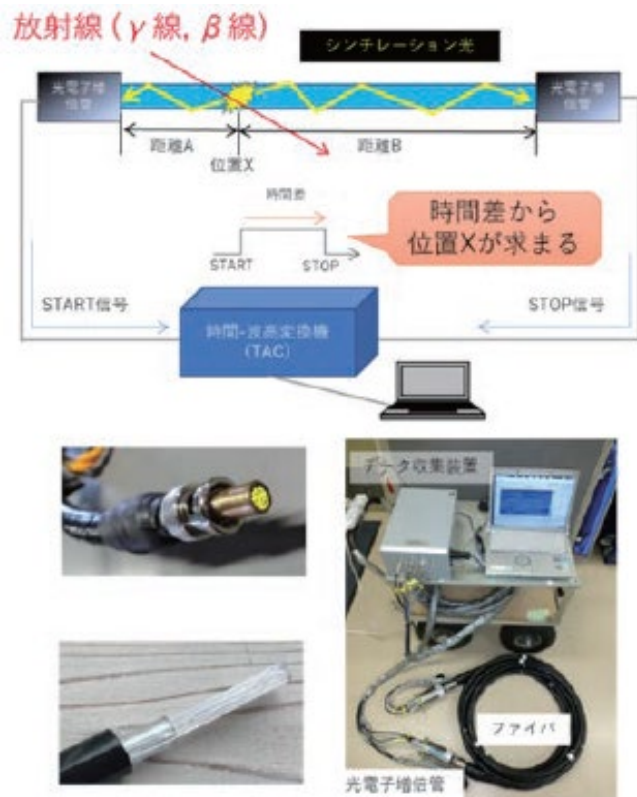
生活圏を構成する住宅、宅地、農地、森林など様々な要素を含むエリアを対象とした評価が可能であることが要求される。



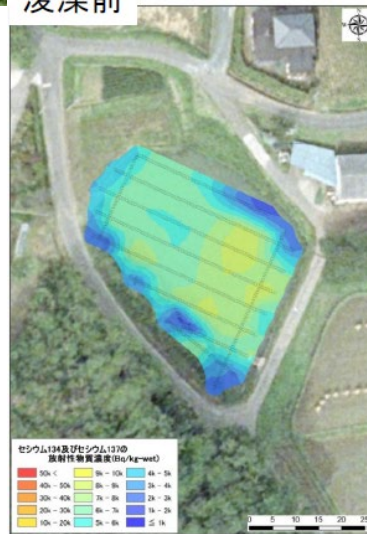
富岡町における無人ヘリコプターによる空間線量率分布状況の測定結果（富岡町除染検証委員会報告書、令和5年2月6日）

特定復興再生拠点区域の避難指示解除 (令和5年4月1日)

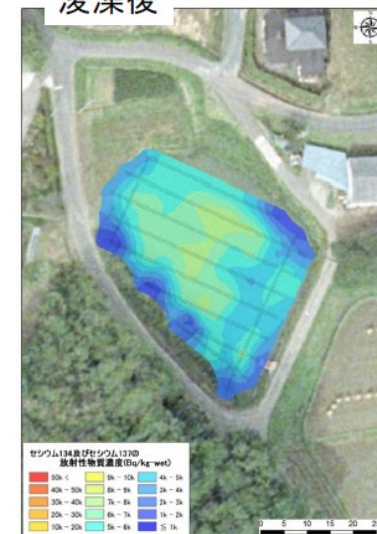
- 避難指示解除のためのマッピングで求められるのは…
 - － 生活圏の中でさらなる除染が必要な高線量率エリア（ホットスポット）を見つけられること
 - － 過去の分布と比較できるように、いつでも同じ品質（解像度、速さ等）で測定できること
 - － 意思決定に使えるように、迅速に、分かりやすく、測定結果・評価結果を示せること
- これらのニーズを満たす無人ヘリコプターによる測定手法を整備。
測定結果は、避難指示解除を目指す自治体で活用されている。



浚渫前



浚渫後



・ 浚渫エリアの変化を視覚的に確認

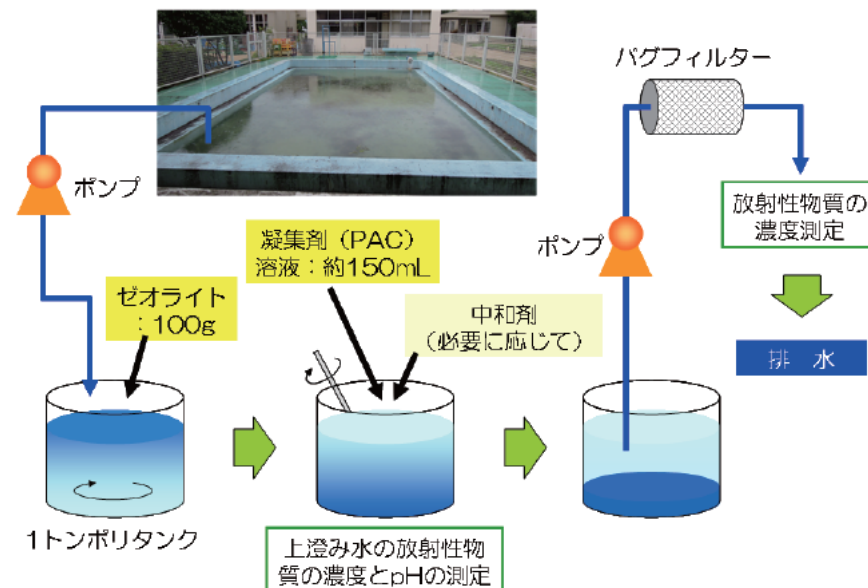
- 陸上の測定技術を農業用ため池の池底の放射線分布測定に応用
 - － 農林水産省の「ため池の放射性物質対策技術マニュアル」に採用され、2013 年度から水土里ネット福島に技術移転を行い、農業用ため池の測定ツールとして利用された。



実証試験の様子



福島大学附属中学校・幼稚園における線量低減対策



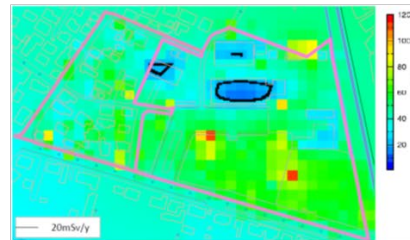
凝集沈殿法の概念図

- 事故後、児童生徒が利用する学校や幼稚園等に対して、最初に線量低減対策が求められた。



- － 校庭・園庭：実証試験を行い、直ちに実施可能な対策として、剥離した土壌を地下にまとめて集中保管する方法と土壌の上下入れ換えを提案した。
- － プール：プール水の除染方法についての実証試験を行うとともに、ゼオライトと凝集剤を用いた凝集沈殿法に関するマニュアルを作成。

事前測定・計画立案

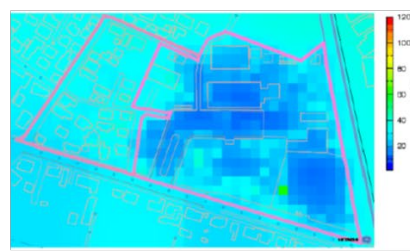


除染・効果の評価

建物



道路



除染手法の適用を
踏まえた除染カタログ等
の更新

国、自治体、住民、一般
の事業者の方々等が
行う除染の実施における
具体的な参考事例
(手引き等)として活用

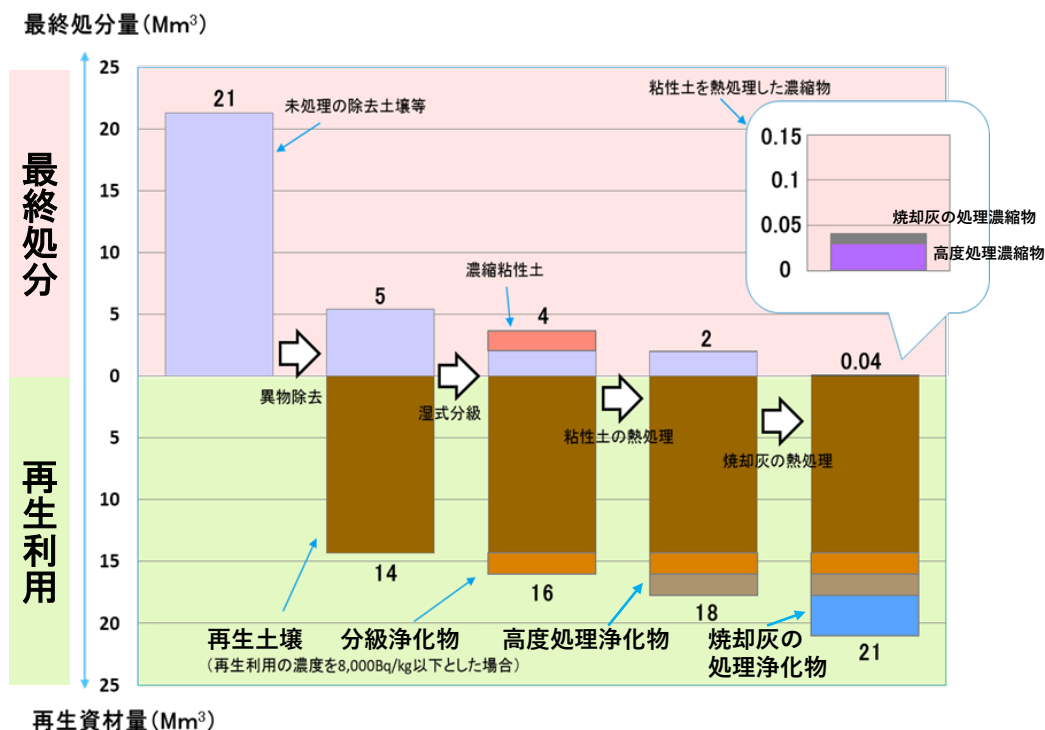
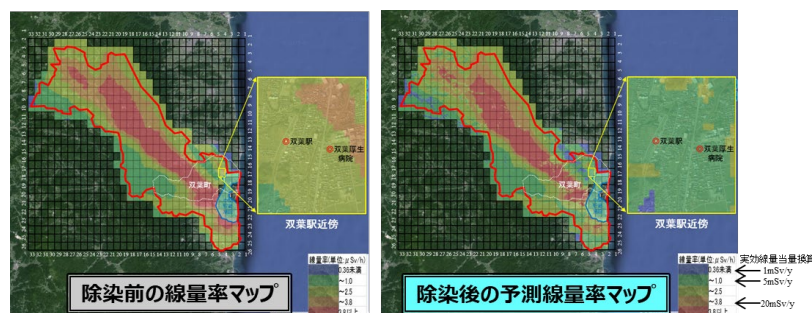
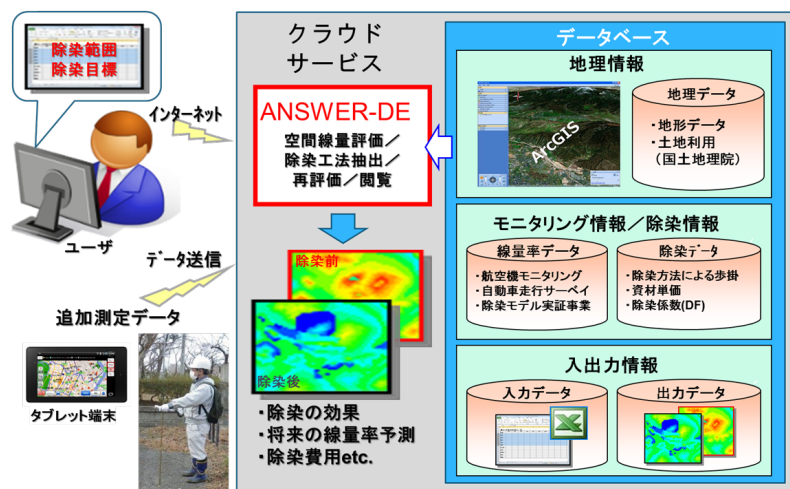
発生した除去土壌等の管理



- 大規模除染の実施に向けて、手法を選択する際に、実データに基づいた定量的な情報（低減効果、コスト、除去物発生量）が求められた。

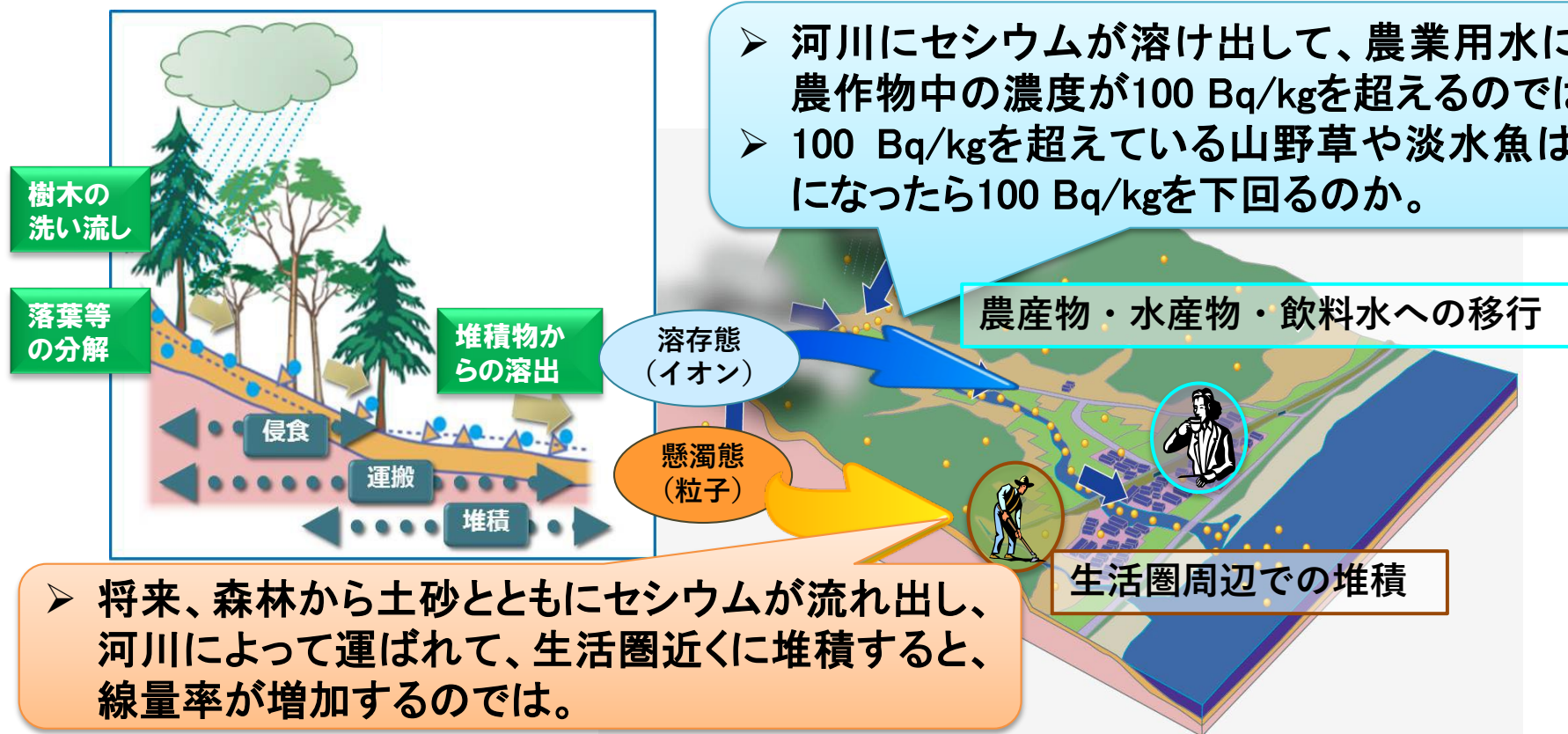


- 高線量域（約20 mSv/年超）の広域を対象として、適用した除染手法等の実データに基づき、除染方法や、作業員の放射線防護に係わる安全確保策等の選択肢を提示するためのモデル実証事業を実施した。



- 除去土壌の再生利用と最終処分の選択肢を比較・検討し、戦略策定を支援。
 - － 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。
 - － 既存技術の除去土壌処理への適用性を評価し、可能な処理システムを想定。

- 様々なデータに基づき、除染後に期待される線量率分布を推定するシステム (RESET) を開発。
- 自治体の除染計画策定で活用。

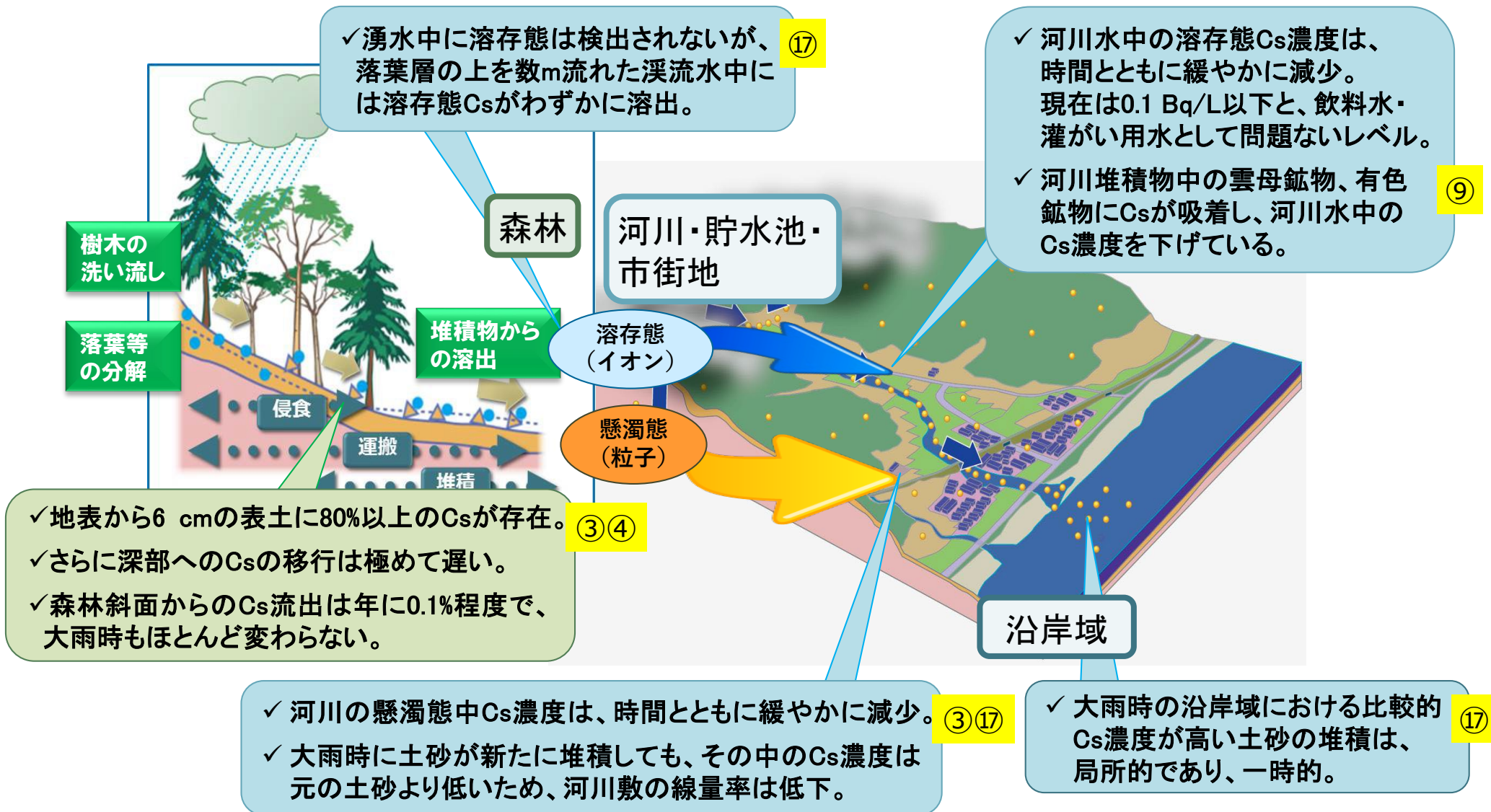


- 森林に残存する放射性セシウムが、将来、生活圏に流出し、線量率や農林水産物中のセシウム濃度の増加などの影響を及ぼす可能性が懸念された。



- － 環境中でのセシウムの動きのメカニズムを明らかにし、その移行を表現できるシミュレーションを開発して、将来の影響を評価した。

- 森林から流出するセシウムは少なく、生活圏への影響はほとんどない。



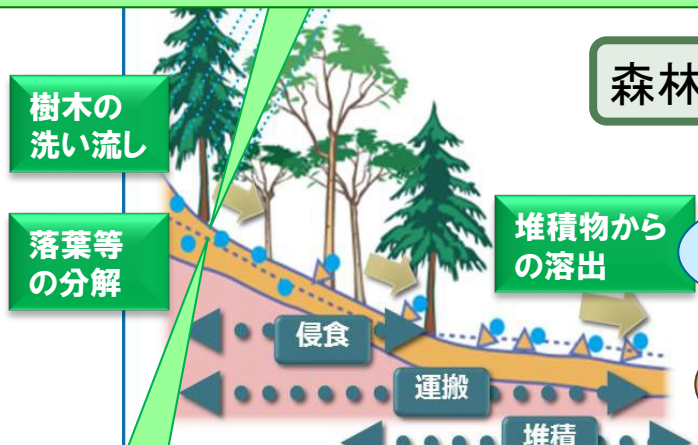
- 森林にセシウムが残存し、隣接する生態系に長期間影響を及ぼす。

✓根から樹木に吸収・蓄積されているCsの量は、1年間に実質0.1%程度。落葉中のCs濃度は横ばい傾向で、樹木内をCsが循環し、ほぼ一定になっている可能性。

④

✓シミュレーションでは木材の濃度の減少は極めて緩やか。

⑦



森林

河川・貯水池・市街地

溶存態
(イオン)

懸濁態
(粒子)

✓濃度の高い河川の淡水魚(特に溪流魚)には、いまだにCs濃度が100 Bq/kgを超える個体が認められる。

✓シミュレーションでは、最近では森林土壌が溪流魚の主たるCs供給源であり、今後も濃度の減少は極めて緩やか。

⑦

✓キノコの子実体中のCs濃度は、菌糸が広がる培地中の平均的な濃度になる。シミュレーションでは、濃度が高い種は、今後も濃度の減少は極めて緩やか。

⑦⑧

✓地衣類中では、移行しやすいイオン状のCsもメラニンと結合して、長期間保持されている。

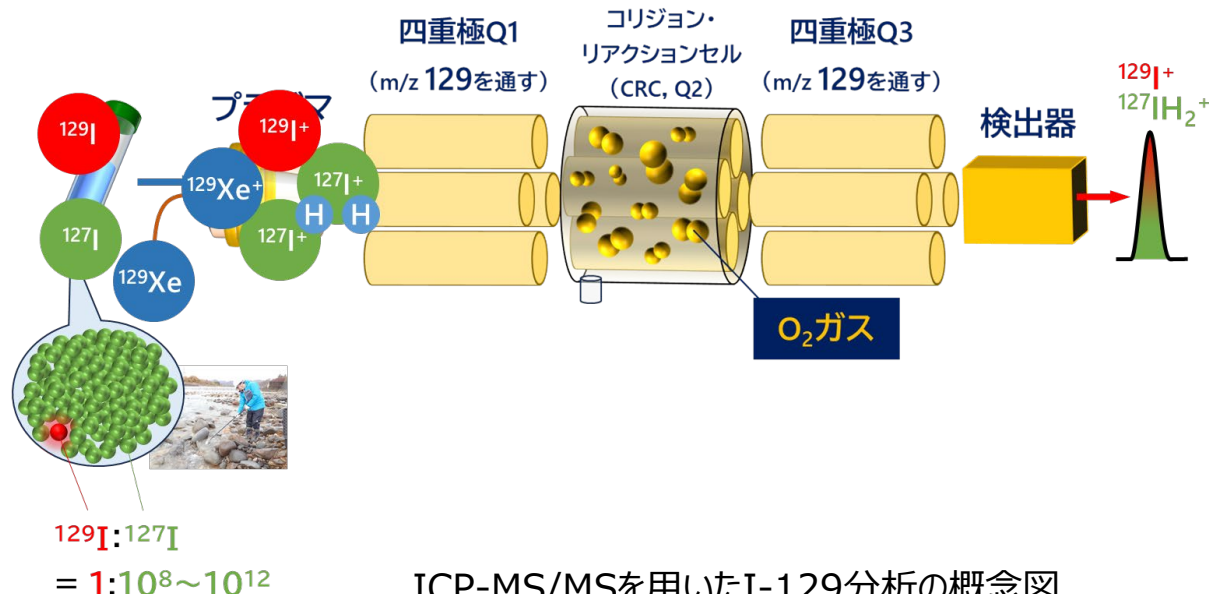
⑩

- 森林表土と生態系におけるセシウムの移行挙動を明らかにすることが課題。

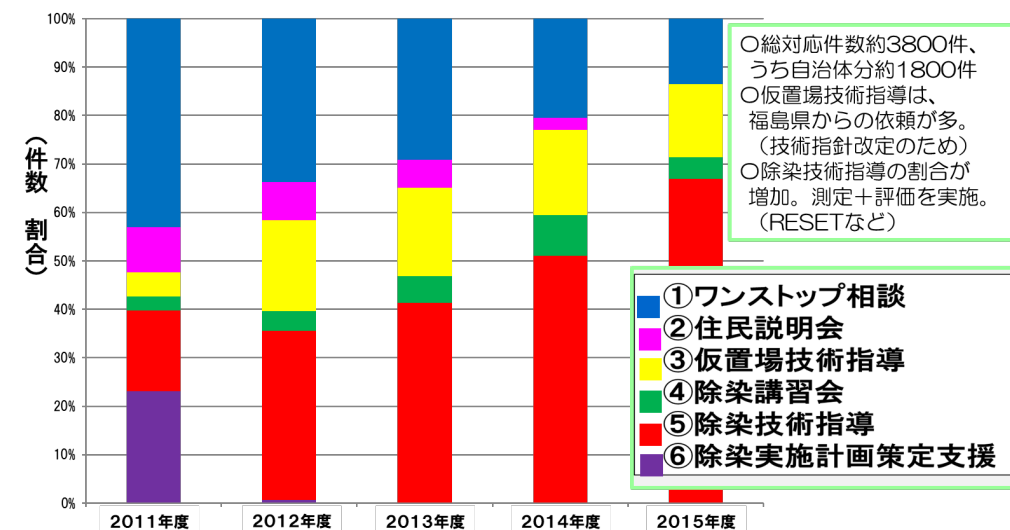
沿岸域

✓海水魚のCs濃度は100 Bq/kgを十分下回っており、これを超える個体は、種・数とも極めて限定的。

✓1F近海の底魚中のトリチウム・ストロンチウム90濃度は、検出限界未満。



- 環境中における長半減期難測定放射性核種の挙動を調べるため、ICP-MS/MSに以下の手法を組み合わせた極微量の核種の迅速分析手法を開発した。
 - プラズマ導入前に、カラム抽出法等を使って、目的核種を選択的に抽出・濃縮する。
 - 一段目の四重極通過後のリアクションセル部に様々なガスを導入し、他の核種とのガス反応性の違いを利用して、二段目の四重極での目的核種を選択性を向上させる。
 - 抽出カラムや導入ガスを変えることで、様々な核種に応用可能。



福島県内の保育園、幼稚園、小中学校の保護者の方々、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。

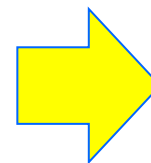
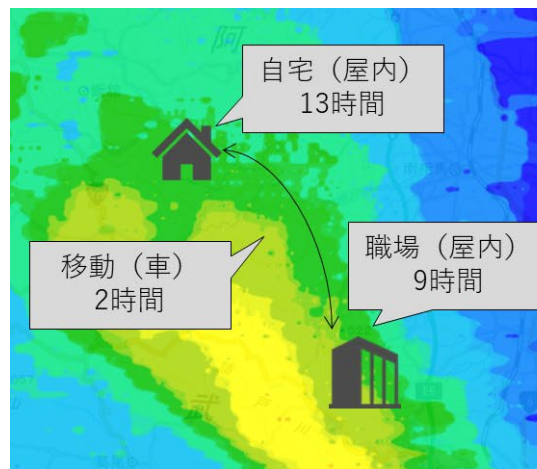


国や自治体からの要請に応じて、除染などに係る技術支援を実施。



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。

- 自治体や住民の方々に、技術や知見を直接提供し、質問・回答のプロセスを経て理解を深めていただくFace to Faceの情報提供の場を、様々な形で設けた。



- 生活行動パターンに沿った空間線量率に基づき被ばく線量を推定する手法を開発。
- 住民の方お一人ずつの行動パターンに対する被ばく線量を、手軽に推定できるシミュレータとして整備し、役場やHPで提供。

被ばく線量 シミュレーションシステム (SEED)

※画像をクリックすると動画が再生されます。

- 成果情報の提供サイトでは、説明の詳細度が異なる複数の階層に分けて情報を示すことで、関心の高さが異なる読み手に分かりやすくなるようにした。



Q 川の付近は危なくないですか。川の水に溶けたセシウムがまだ流れているのですか。

A 環境省は、平成27年（2015年）に河川・湖沼における汚染状況のデータを整理し、その環境中において、水辺のレクリエーション活動を行った際に受ける被ばく線量について試算を行いました。その結果、安全側に考えても、水辺のレクリエーション活動における被ばく線量は、20日間で最大0.03ミリシーベルトとなりました。これは、避難指示の基準である1年間20ミリシーベルトに比べて十分に低い値です。

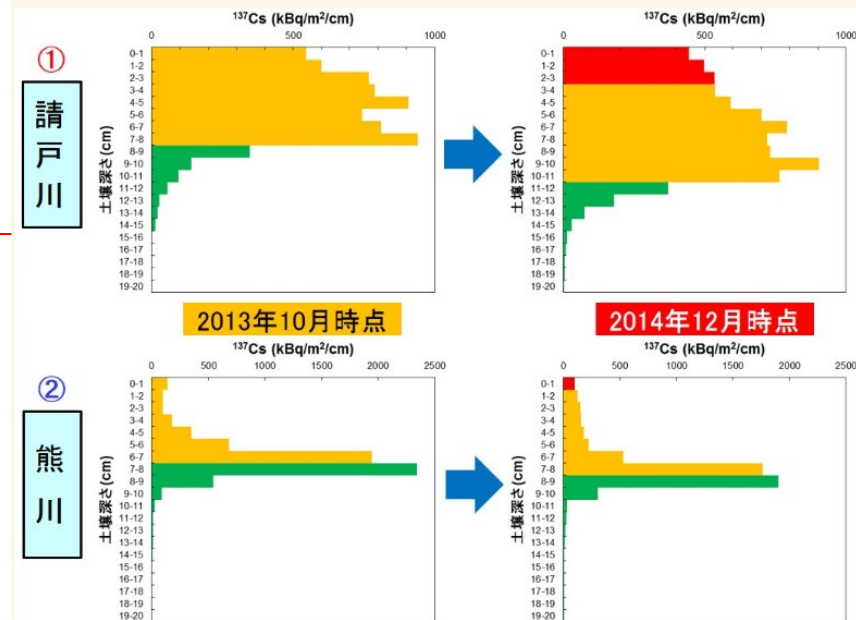
河川敷には、上流から運ばれたセシウムが付着した土砂が堆積するため、セシウムが蓄積しやすい環境にあります。私たちは、河川敷の土中のセシウム濃度の深さ方向の分布を、数年にわたって調査しました。

その結果、浅いところにはセシウム濃度が低い土砂がたまっていることがわかりました。これは、上流から運ばれる土砂の中のセシウム濃度が年々下がっていることを意味しています。そして、濃度の低い土砂が上に覆いかぶさることで、放射線が遮られてむしろ線量は低下することがわかりました。

問いに対して、まず簡潔な答を示す。
(第1層)

スライドで説明する時と同様に、根拠となるデータと簡単な解説を示す。
(第2層)

より詳細な根拠として、技術資料的な説明資料
(第3層)や論文等(第4層)へのリンクを示す。



参考文献

- 原子力規制委員会, “放射線量等分布マップの作成等に関する報告書(第1編)”。
- 原子力規制委員会, “放射線の影響に関する国連科学委員会、環境放射線の線量、影響およびリスク、UNSCEAR 2013年報告書, 第1巻 国連総会報告書 科学的附属書A: 2011年東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくのレベルと影響, United Nation, 2015, 306p, ed. Nation, 2015, 306p.
- 文部科学省, “放射線量等分布マップ拡大サイト”。

- 地表付近に残存する放射性セシウムが、生態系へどのようなプロセスで影響を及ぼしているのか、それを明らかにすることが、対策検討の第一歩。
 - － 地表付近でどのような形態で存在するのか。
 - － 隣接する生態系にどのような過程を経て移行しているのか。
 - － 生態系内でどのように保持・循環されているのか。



- 森林に隣接する生活圏では、残存するセシウムの影響は不可避。生活への影響を考慮した環境回復策の検討が必須。



- － 目的は、避難指示解除後の生活での被ばく線量を十分低く抑えること。空間線量率を下げることは、そのための手段の一つ。
- － 人間活動等の擾乱も考慮しつつ、環境や生態系中の放射性セシウム濃度をきめ細かく予測する。
- － 被ばくやその他のリスク要因を明らかにして、対策を検討することが必要。

ご清聴ありがとうございました