

# 環境汚染への対応に係る研究開発

平成26年1月28日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

福島技術本部

福島環境安全センター 油井 三和

## これまでの主な実績

- 原子力災害の指定公共機関として人的・技術的支援  
(初期モニタリング、専門家派遣、資機材提供等)
- 航空機モニタリングや無人ヘリコプターなどによる汚染の分布状況や迅速な測定を通じた住民帰還や避難指示区域の見直しの反映、除染計画立案などに貢献
- 「除染モデル実証事業」「除染技術実証試験事業」などの受託を通じ、高線量地域の11市町村の面的除染や除染候補技術の評価などを実施  
⇒ これらの成果を踏まえ、環境省除染ガイドラインが策定され、福島県全域の本格除染等が開始



## 本格除染開始後のJAEAの研究開発の基本方針

福島の一ニズが、事故直後の緊急時の対応から、住民帰還の判断、帰還後の長期的な住民の安全・安心の確保に移ってゆくなかで、JAEAの限られたリソースの配分の見直しを行いつつ、環境回復に貢献してゆく。

主要な役割は以下の2点。

- 住民が安全で安心な生活を取り戻すための解決策や判断の根拠となる科学的技術的根拠・知見を体系立てて提供
- 環境回復に効果的な技術や評価手法を開発し提供

# 本日の説明内容

国の直轄除染や市町村除染が本格的に進むなか、環境汚染の課題解決のため、反映先(➤)を明確に研究開発

## 1. 福島環境回復に向けた研究開発:

- 森林、河川・ダム・ため池、河口域、海洋におけるセシウムの動態予測に基づく除染技術の合理化、長期被ばく評価
- 環境中の放射線の経時変化情報を提供し、除染や被ばく評価に反映
- 最新の技術を用いた除染技術を提供

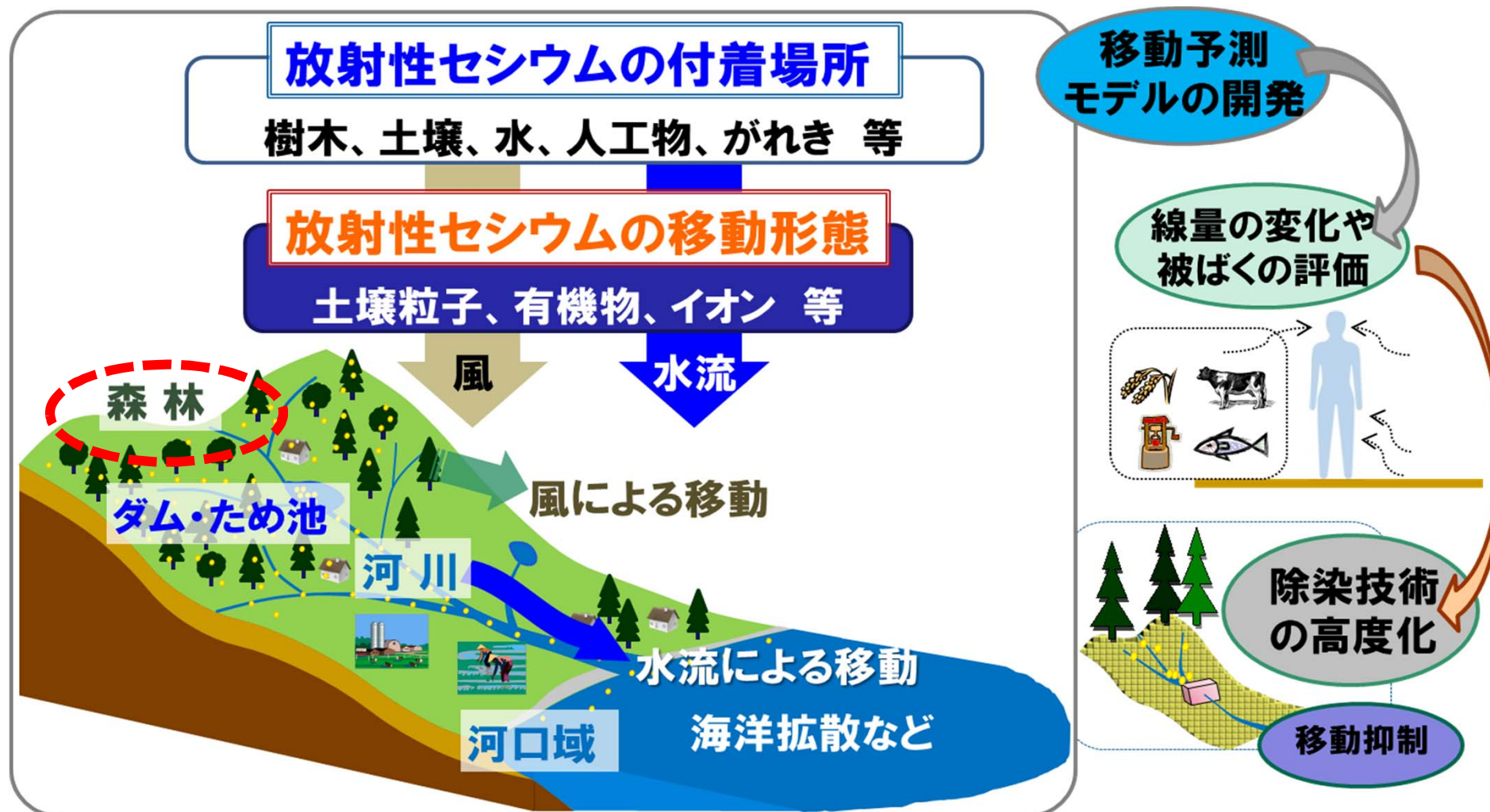
## 2. 関係機関との連携協力・国際協力:

- 農林水産業等の復興
- 世界の環境汚染事故(ウィンズケール原子炉火災等)の経験の活用

## 3. 福島県環境創造センター構想への対応:

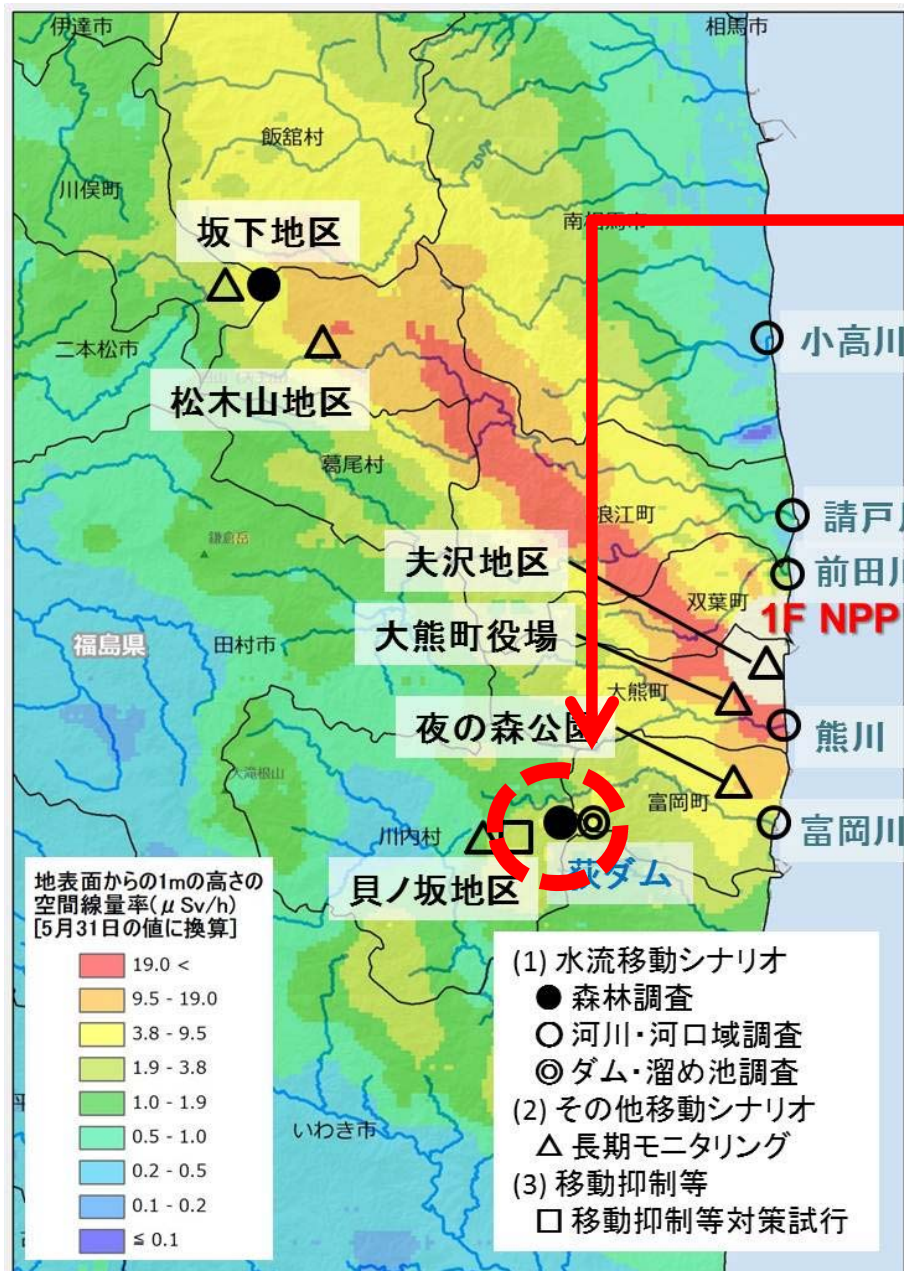
- 長期的なセシウム移動予測に基づく環境回復や産業復興への貢献

# 1.福島環境回復に向けた研究開発の概要





# 森林調査(1): 調査地点



茨ダム周辺の  
森林

茨城県北部  
の森林

# 森林調査(2): 放射性セシウムの深度分布



## スクレーパープレートによる試料採取

- 地表面から深度20cmまで採取
- 深度10cmまでは1cm間隔、それ以降は2cm間隔

暗褐色有機質土壌(細根を多数含む)

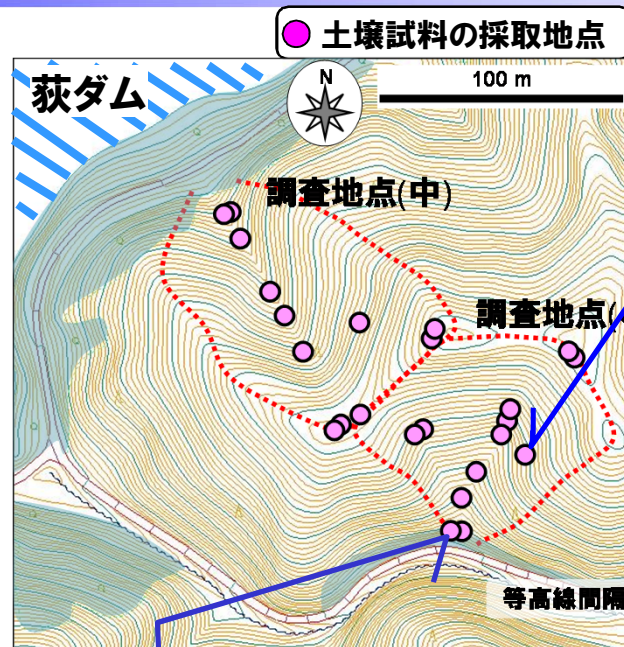
暗褐色土壌

赤褐色砂混じり粘土質土壌

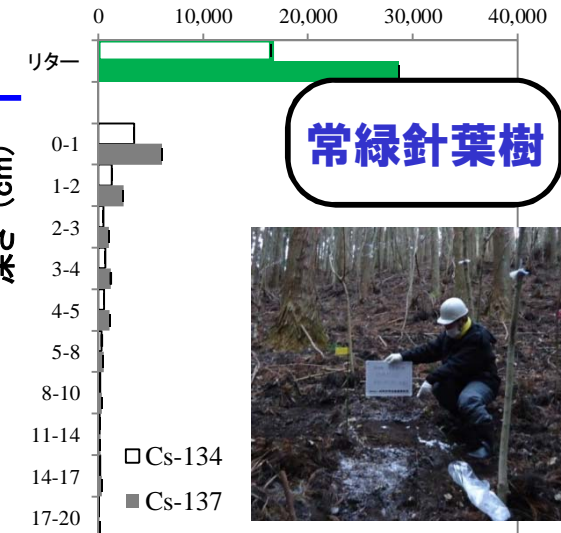


## 土壌層位

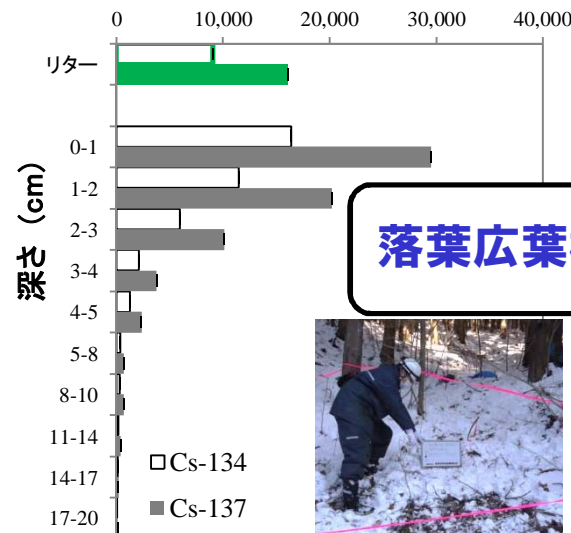
- 褐色森林土
- 谷底で有機質層が厚く、斜面で薄い傾向



放射性セシウム濃度 (Bq/kg)



放射性セシウム濃度 (Bq/kg)



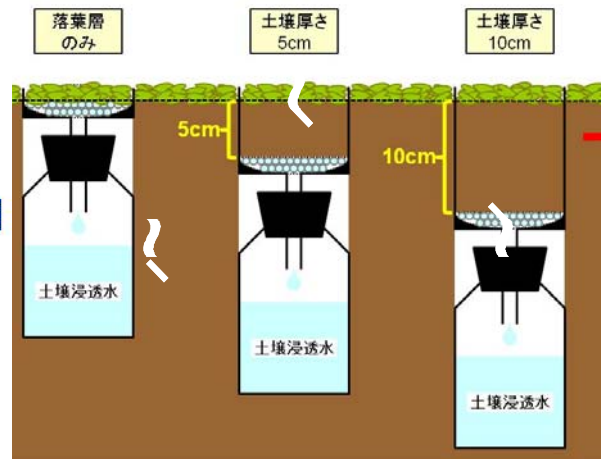
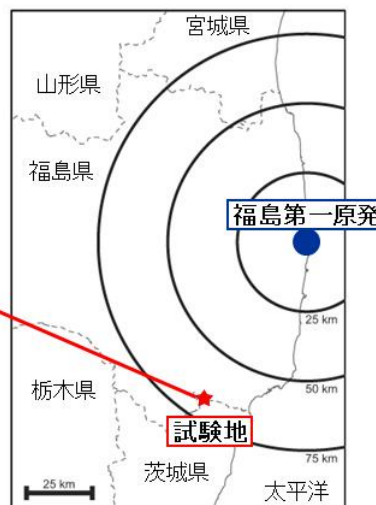
事故後2年たってもセシウムは土壌表層5cm以内に90%以上とどまっている



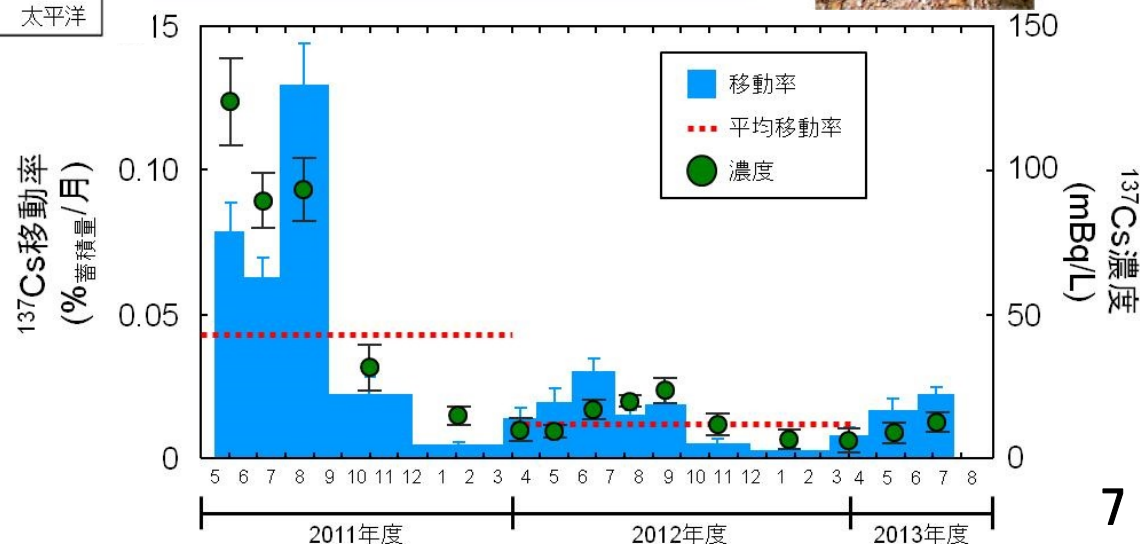
# 森林調査(3): 土壌浸透水中のセシウム挙動

茨城県北部の落葉広葉樹林  
(北茨城市小川試験地:  
標高:580~720m、面積:0.7km<sup>2</sup>)

ライシメーターを用いた  
土壌浸透水の連続採取

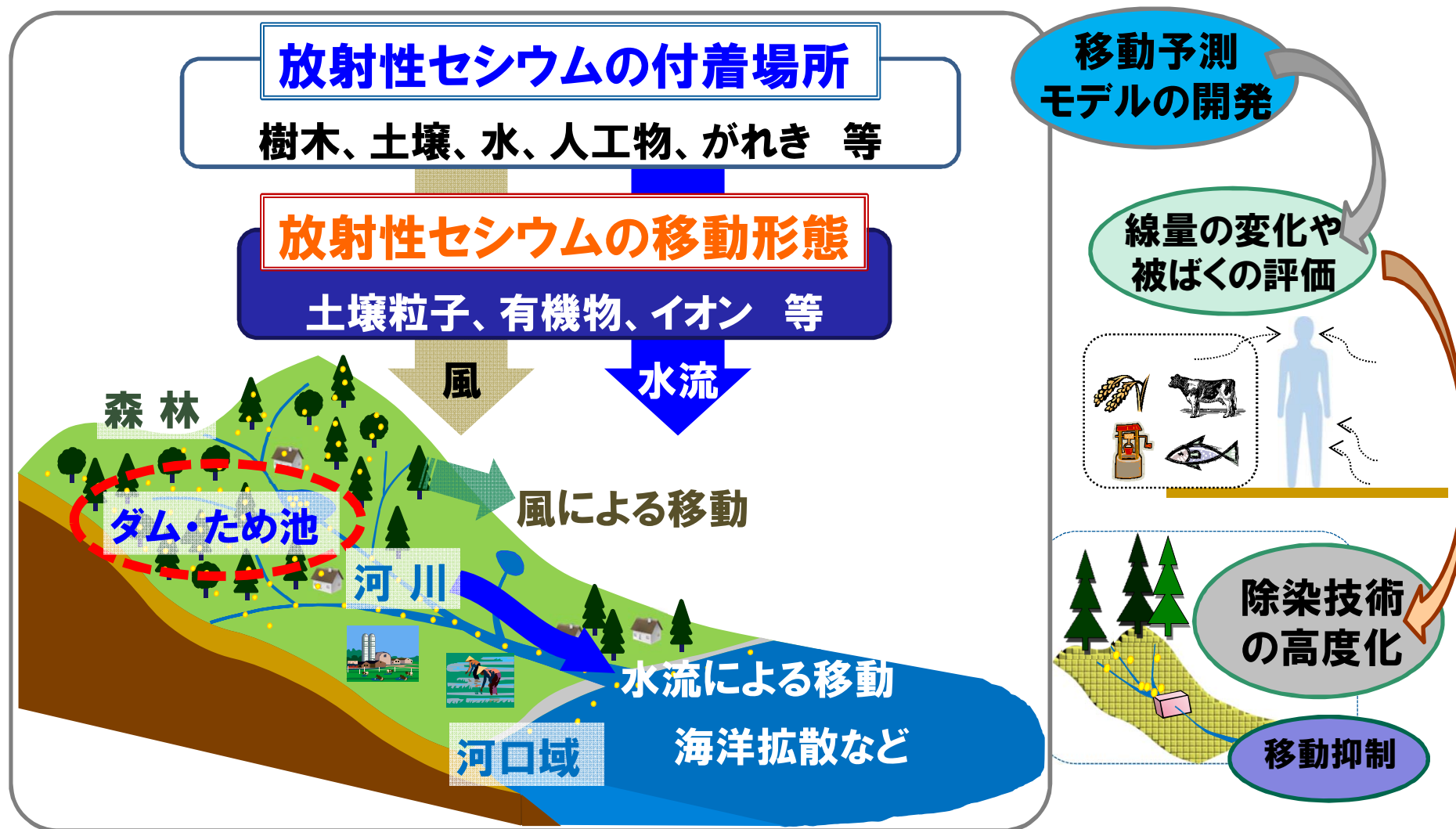


土壌中を移動する放射性セシウムの割合はごく僅かで、森林地帯から周辺地域に流出しにくい

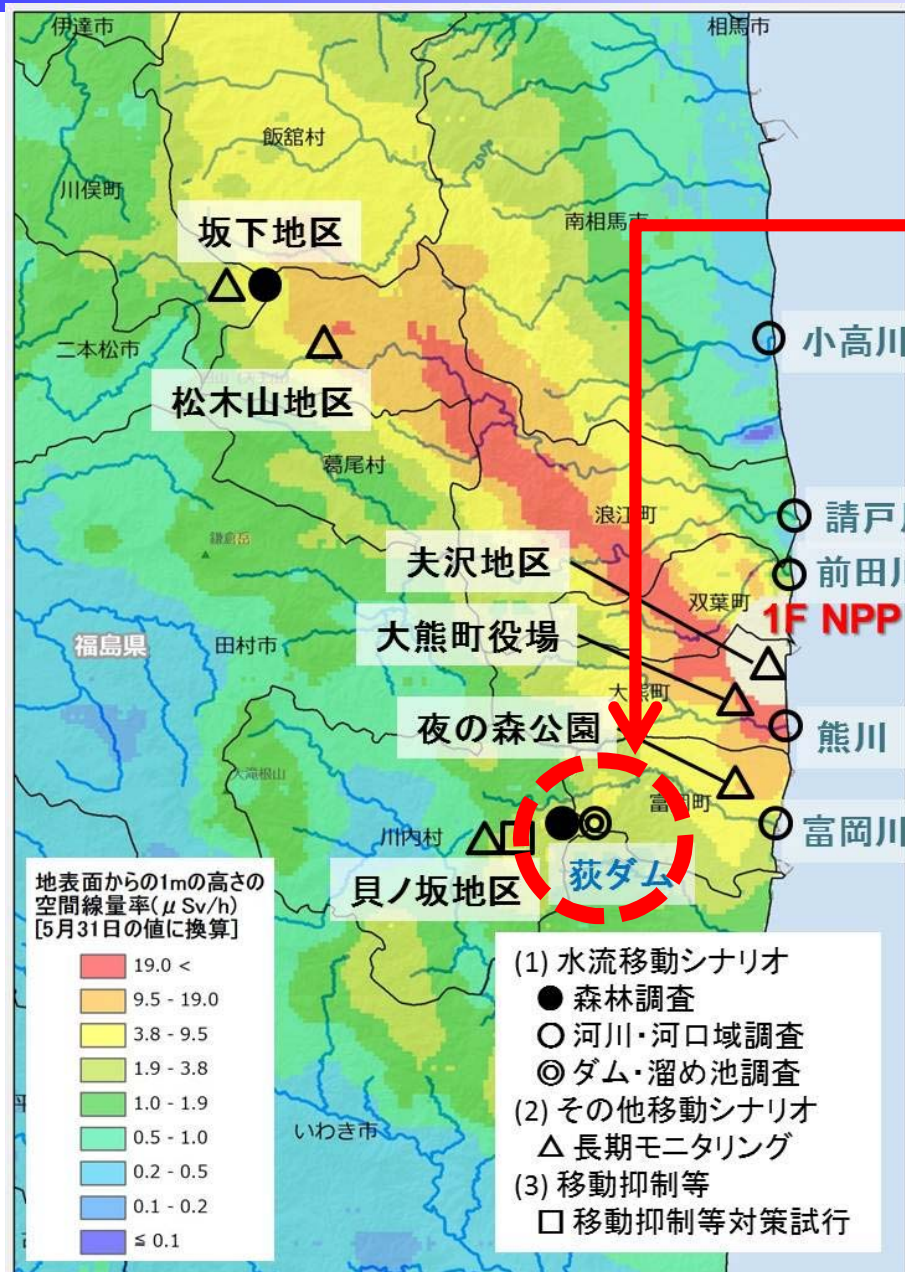




# 1.福島環境回復に向けた研究開発の概要



# ダム調査(1): 調査地点



荻ダム

福島大学  
調整池



## ダム調査(2): 堆積物・湖水の調査



水試料の採取  
(船上からハイロート採水器)



湖底堆積物試料の採取  
(スミス・マッキンタイヤ採泥器)

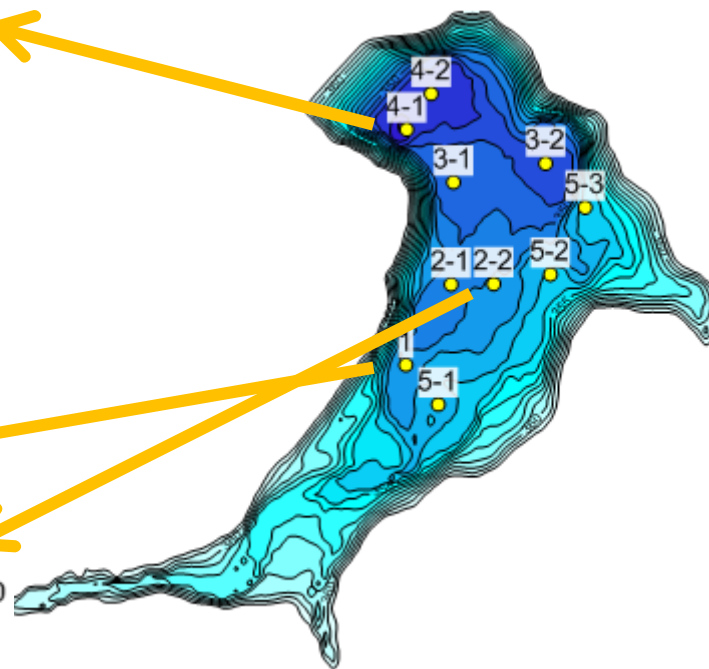
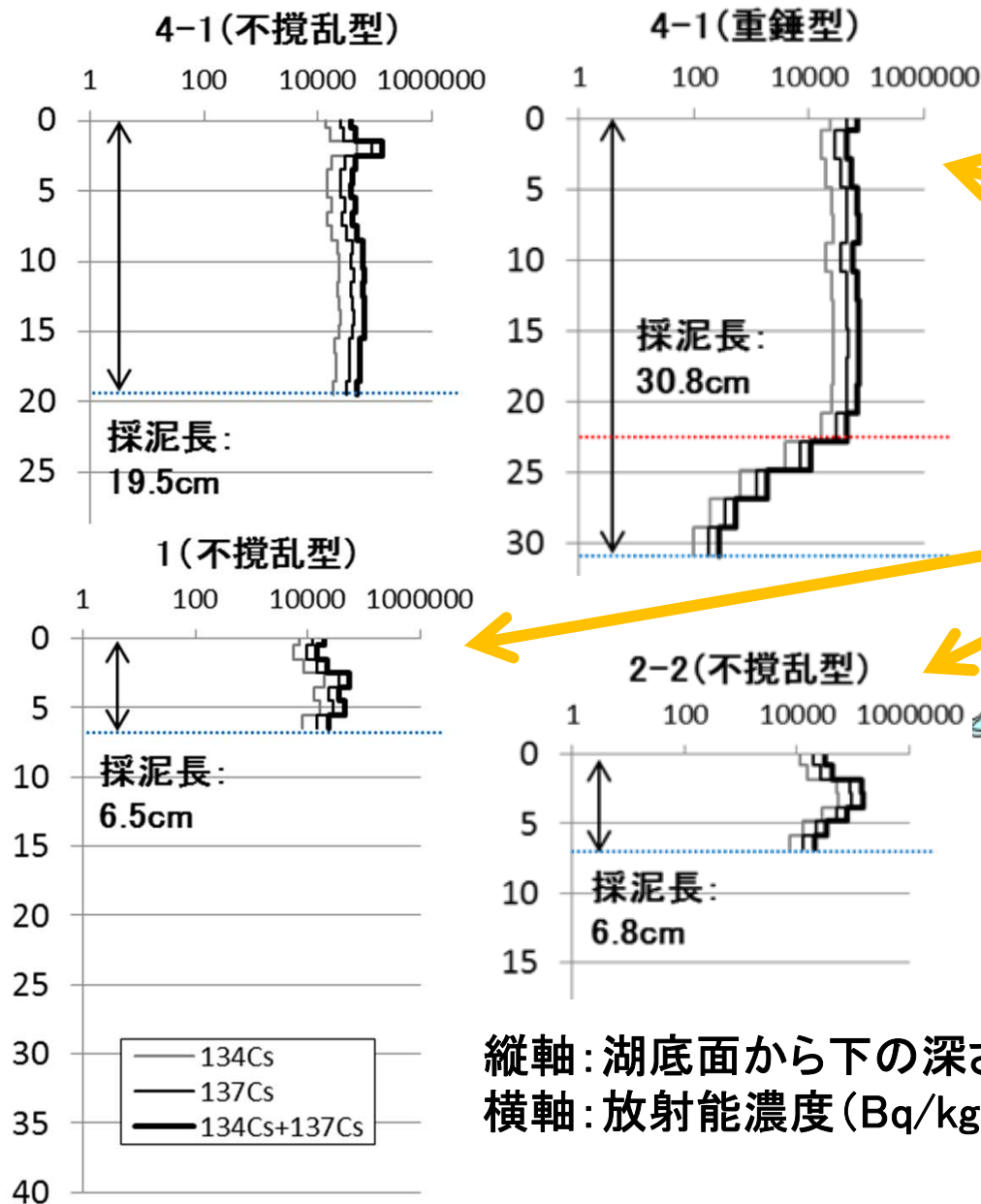


柱状堆積物試料の採取  
(不攪乱柱状採泥器)



柱状堆積物試料の採取  
(重錘型柱状採泥器)

# ダム調査(3): 湖底堆積物の放射能分析結果



- 深い場所: 厚い細粒の堆積層 (22cm程度、セシウム濃度一定)。
- 浅い場所: 薄い細粒の堆積層 (7cm程度)。
- 全ての地点・深さの湖水中: セシウムは検出されず。

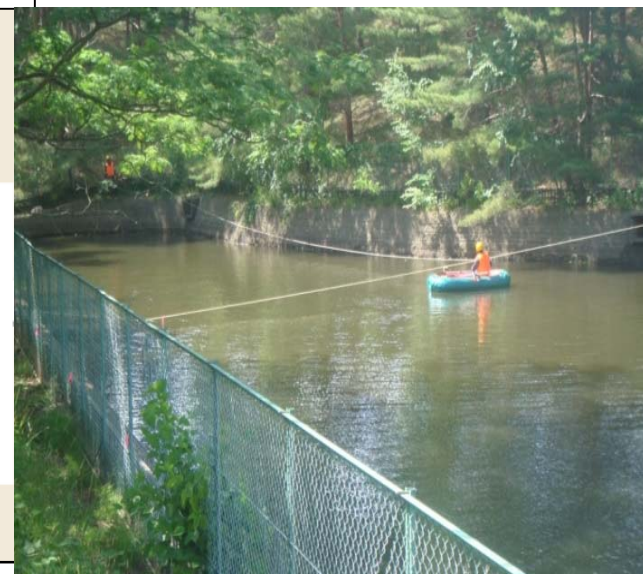
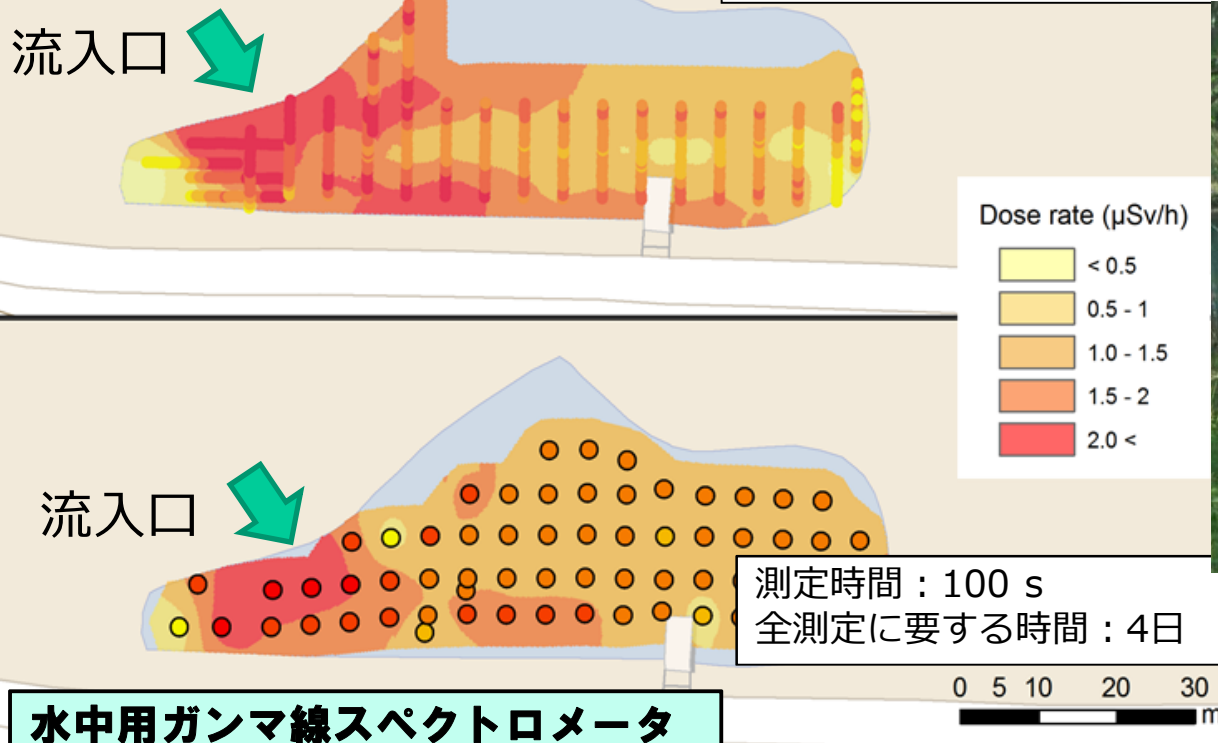


# ため池調査：底土の放射線測定システム

プラスチック・シンチレーション・ファイバ (PSF) 測定  
 ・ライン測定  
 ・一度に広い範囲測定可能

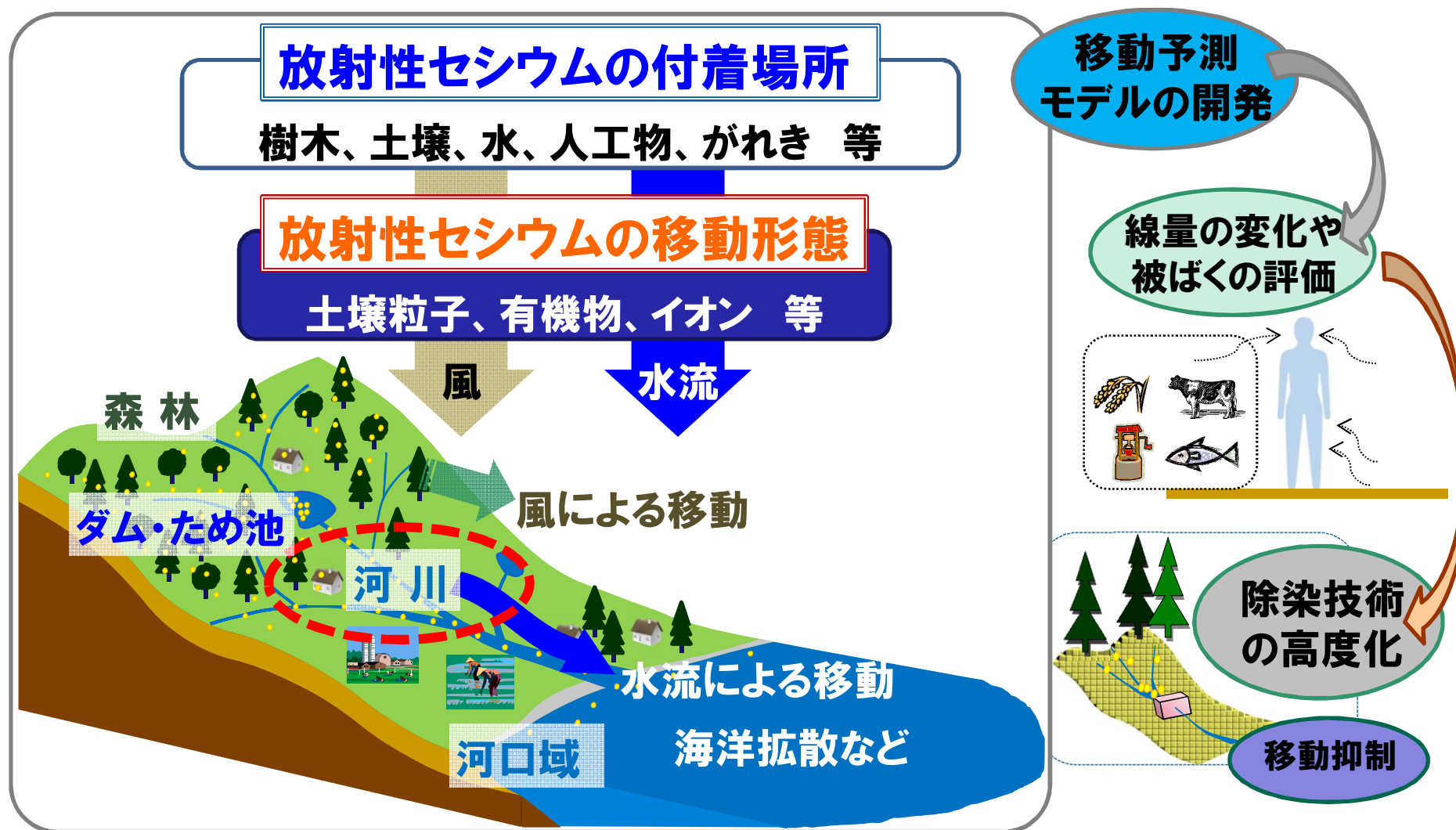
## 福島大学調整池での測定結果

測定時間：100 s  
 全測定に要する時間：2日

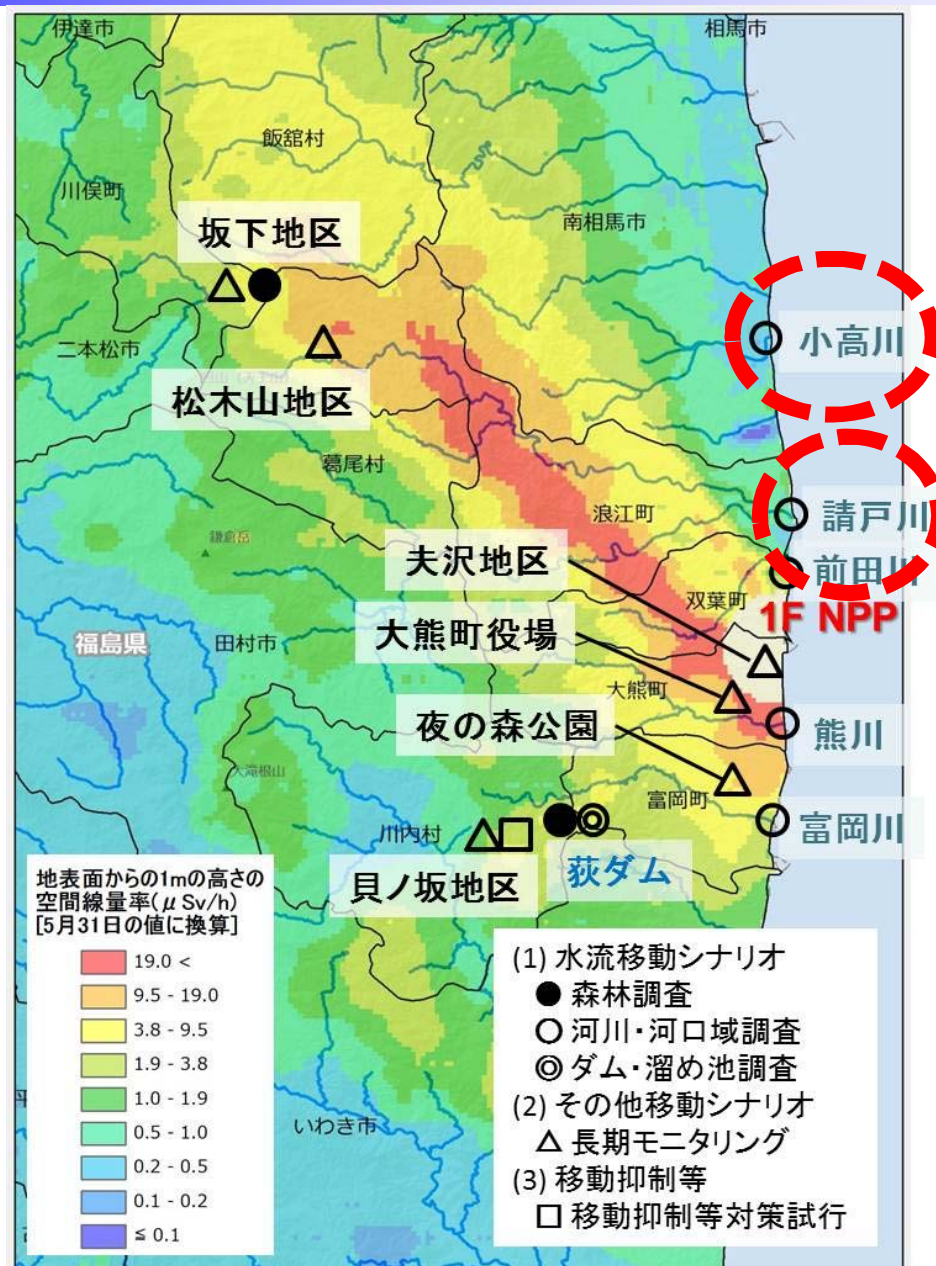


水中用ガンマ線スペクトロメータ (J-SubD) 測定  
 ・ポイント測定  
 ・高感度  
 ・スペクトル採取

# 1.福島環境回復に向けた研究開発の概要

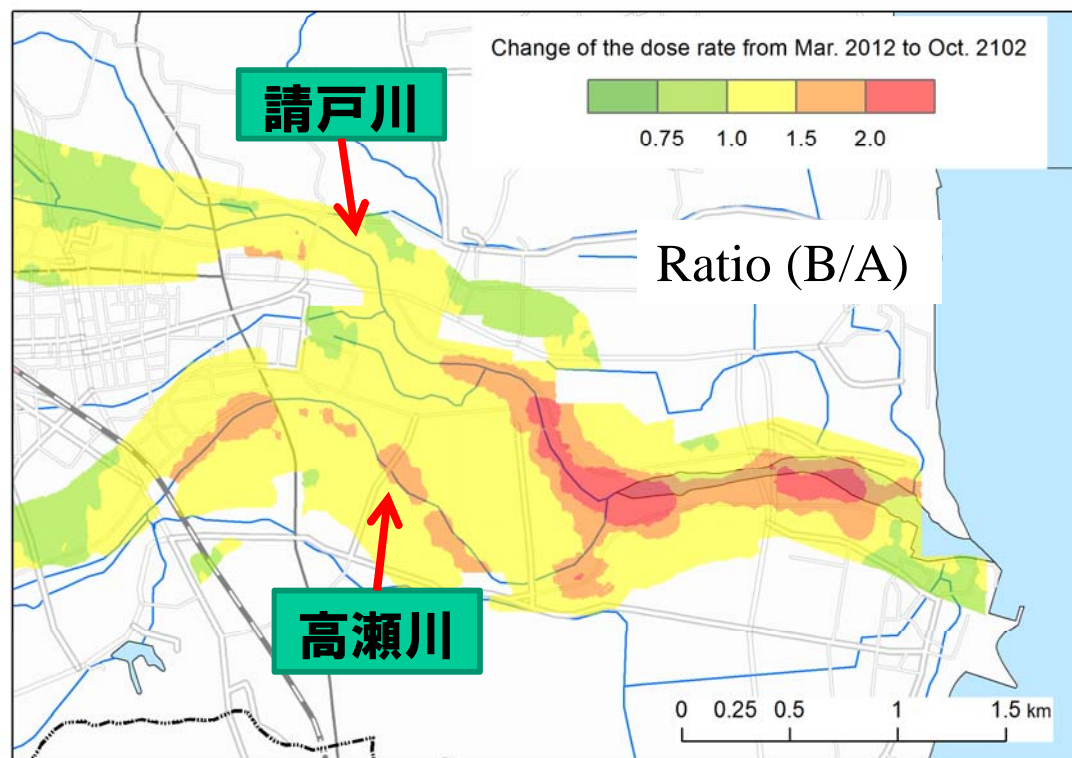
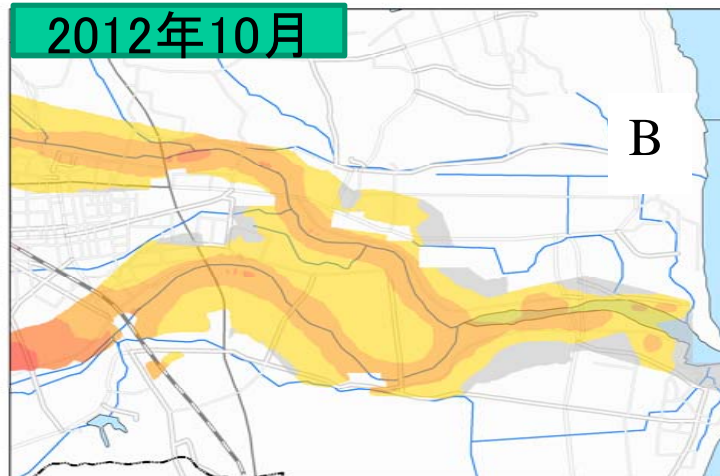
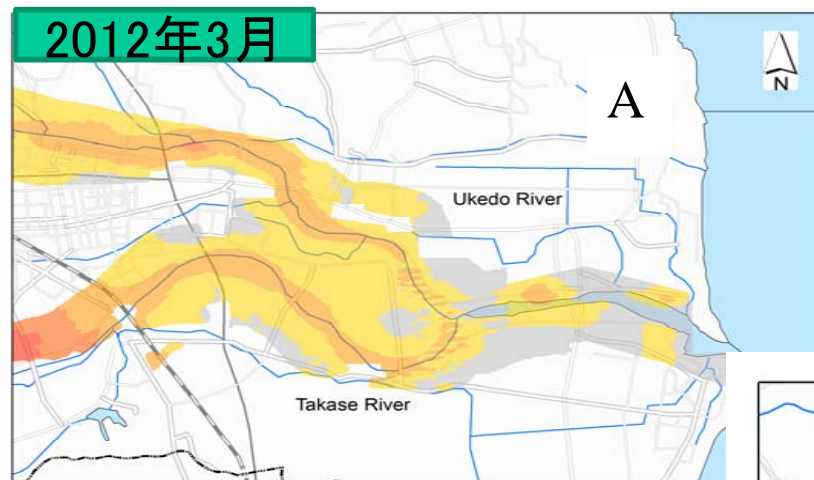


# 河川調査(1): 調査地点





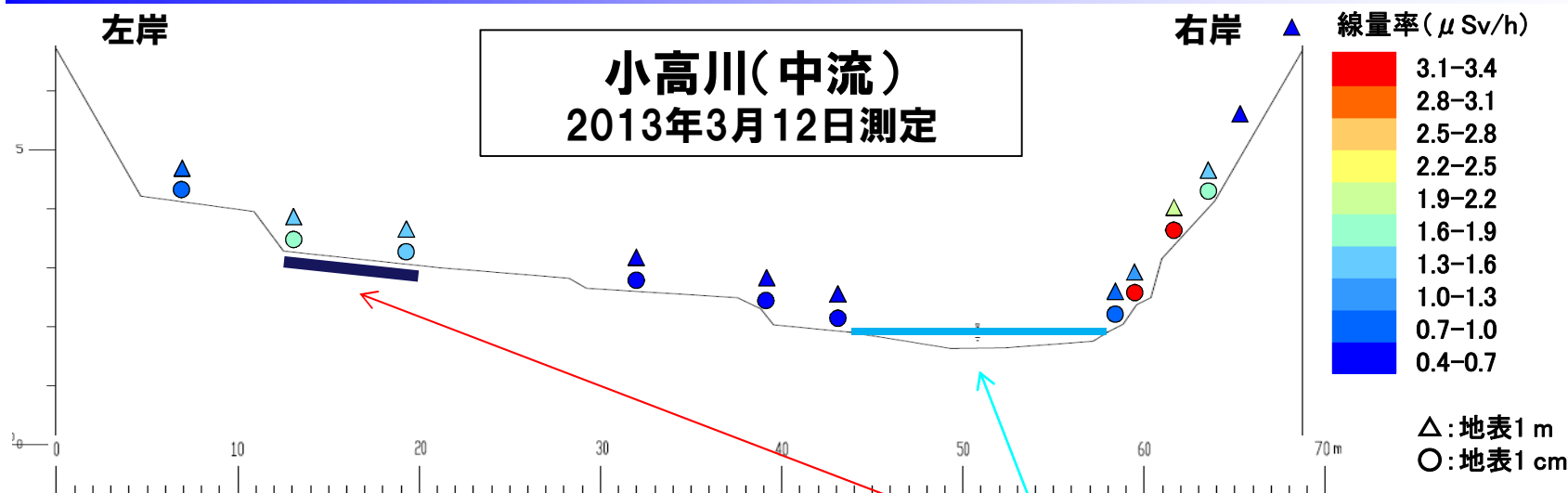
## 河川調査(2):無人ヘリ放射線測定



環境中の河川におけるセシウム移動を把握:増水時に移動、河川敷に堆積  
⇒除染計画等に反映



# 河川調査(3): 放射性セシウムの堆積(中流)



堆積しやすい場所(高線量率)

- ・植生が繁茂
- ・高水時にのみ水が到達

堆積しにくい場所(低線量率)

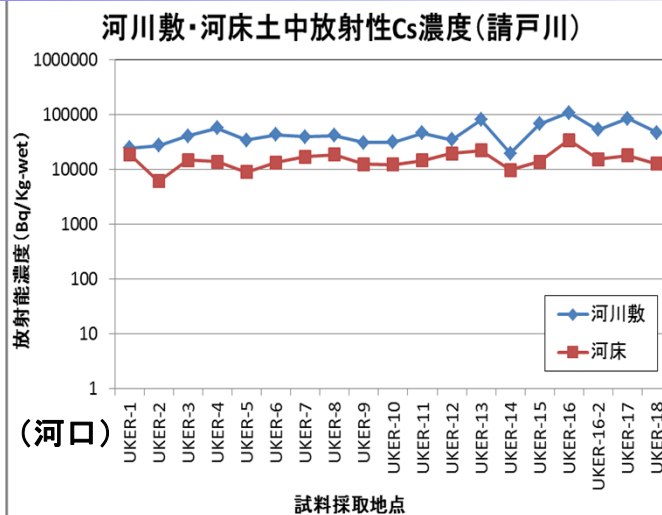
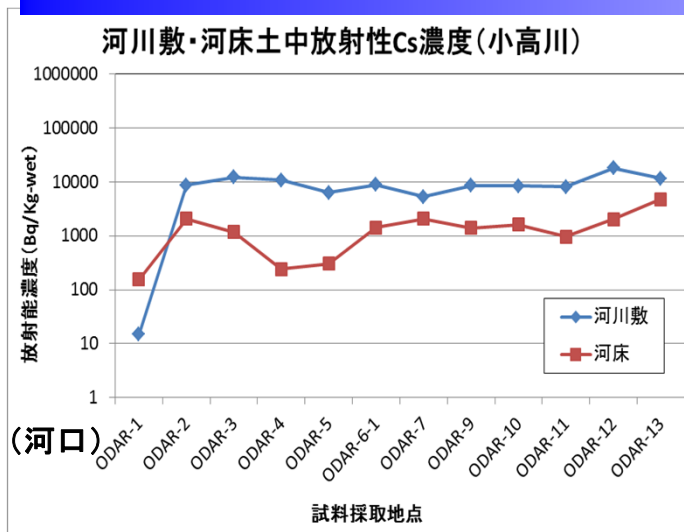
- ・礫・砂が堆積
- ・水位がやや上がると水が到達

線量率(mSv/h)

- 2.5<
- 2.0 - 2.5
- 1.5 - 2.0
- 1.0 - 1.5
- 0.5 - 1.0
- ≤0.5

測定線(写真中白点線)上各点の線量率(上)と線量率分布測定結果(地表5cm, 下)

# 河川調査(4): 堆積物中放射性セシウム濃度

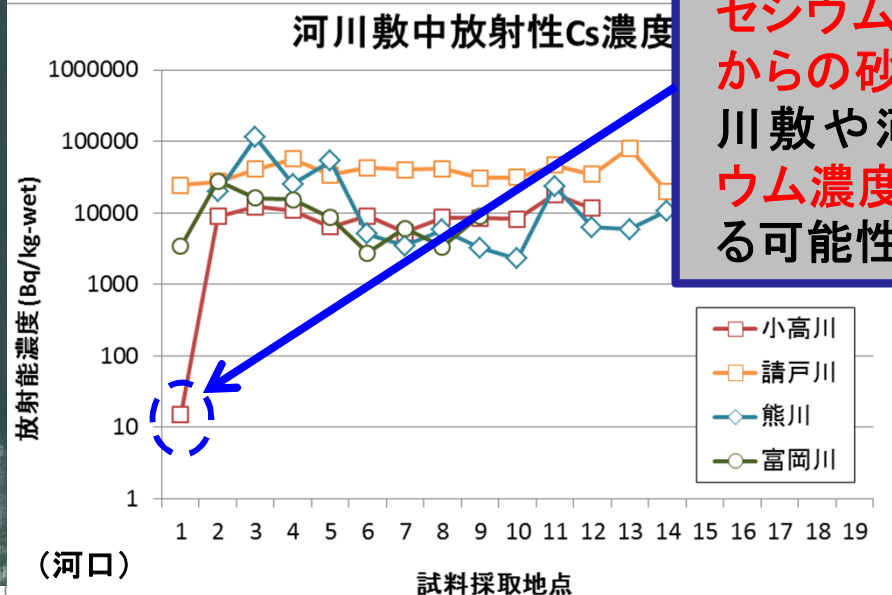


・放射性セシウム濃度(小高川・請戸川): 全体的に、河川敷土の方が河床土に比べて高い。

小高川(左図)及び請戸川(右図)の河川敷・河床土中の放射性セシウム濃度



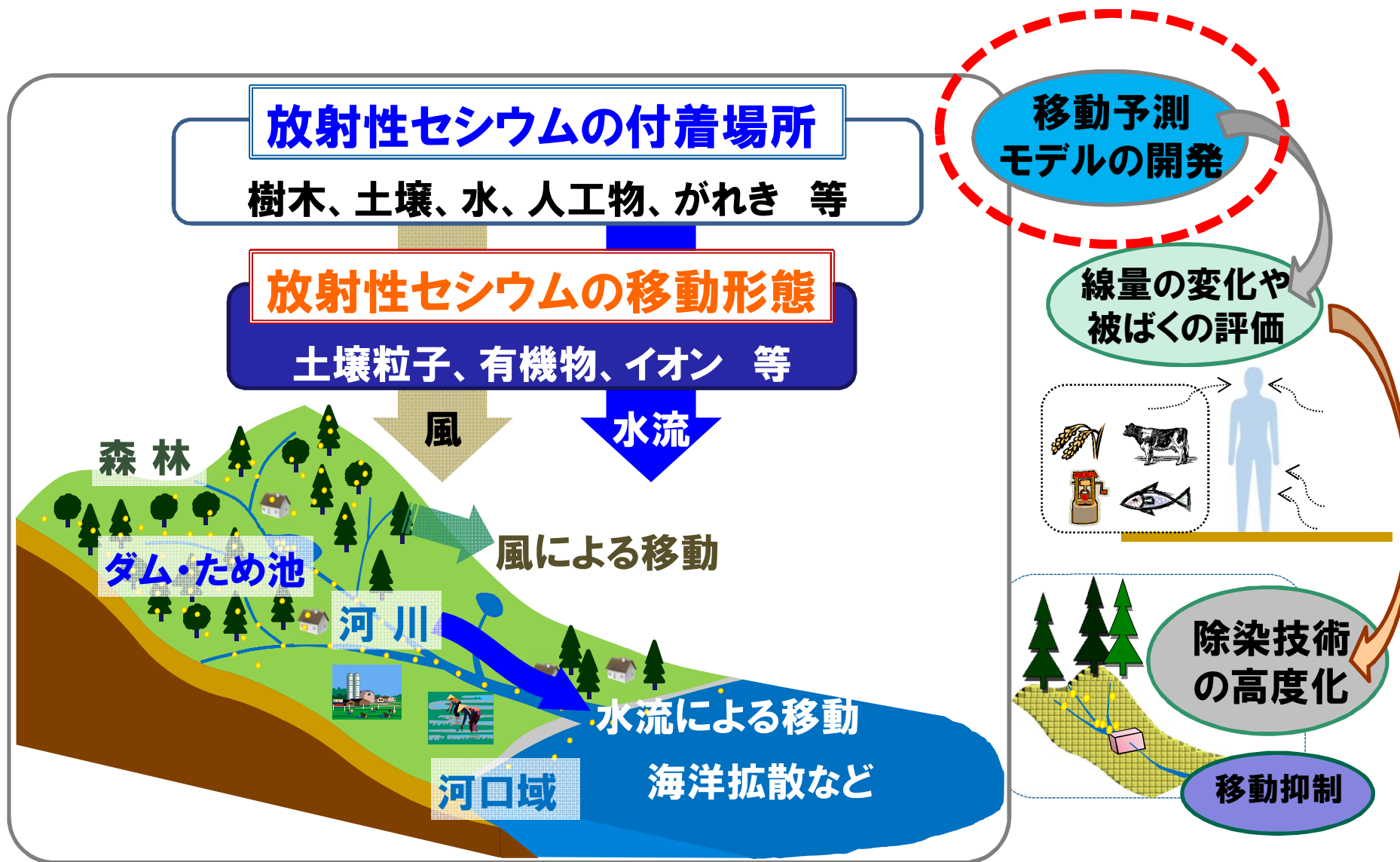
小高川(河口に砂州なし、海水浸入)



・小高川は砂州が形成されておらず海水の浸入に伴う塩濃度上昇による土壌粒子からのセシウム脱離や、海域からの砂の浸入で、河川敷や河床土のセシウム濃度が低下している可能性がある。

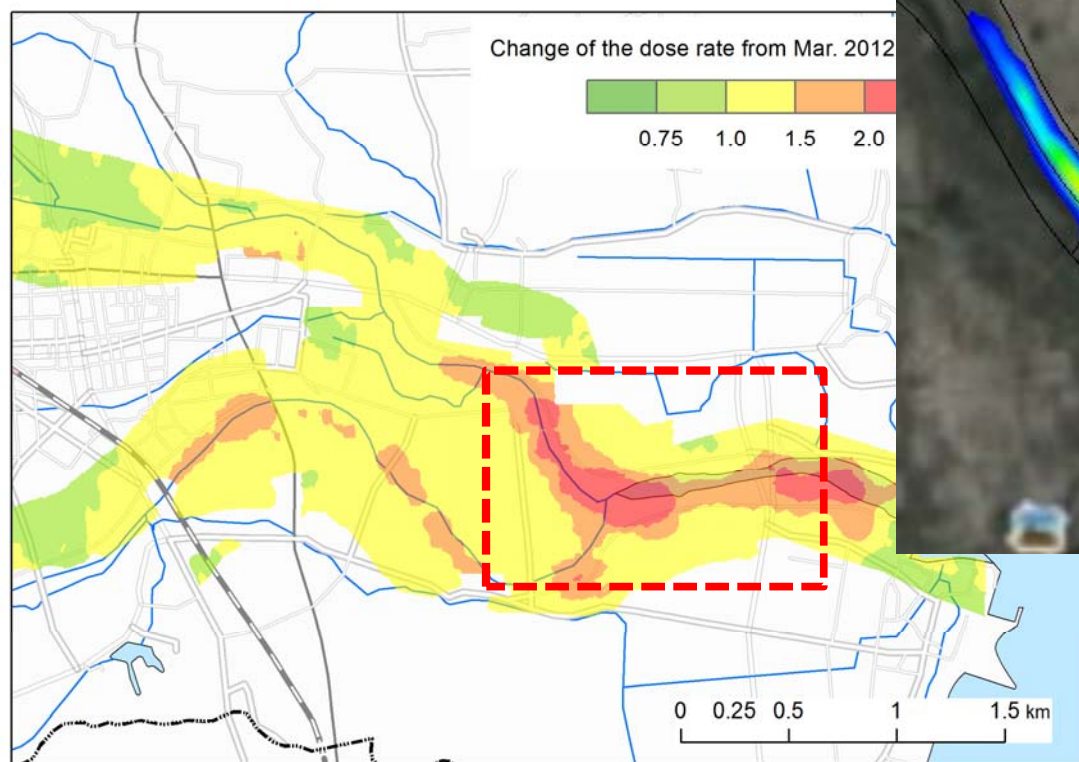
各河川の河川敷土中の放射性セシウム濃度の比較

# 1.福島環境回復に向けた研究開発の概要

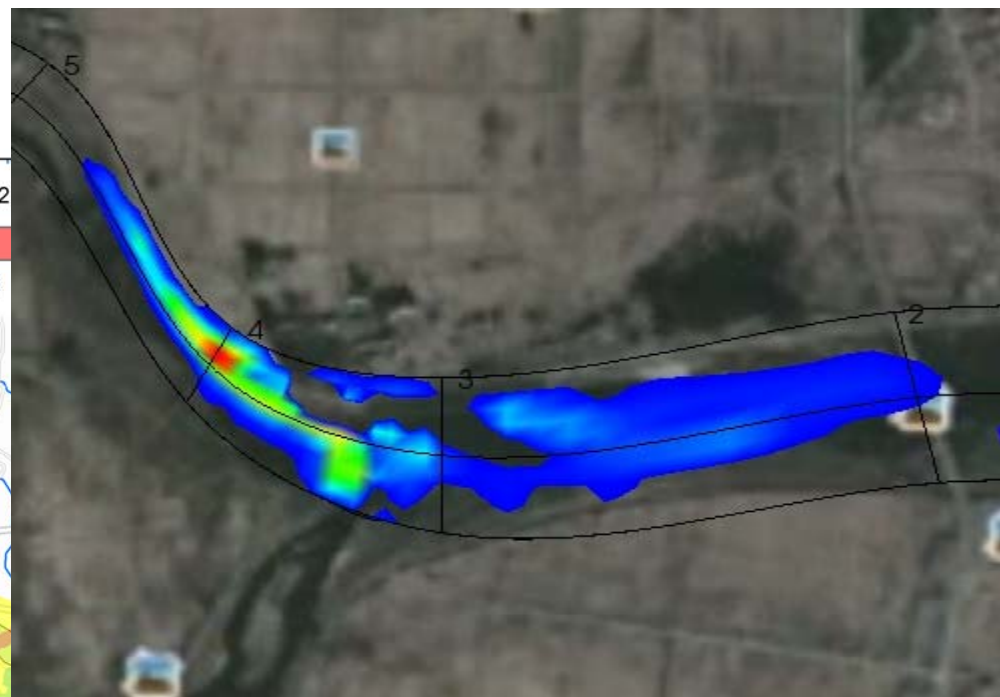




## 2次元河川シミュレーションコード iRIC (International River Interface Cooperative) による解析結果



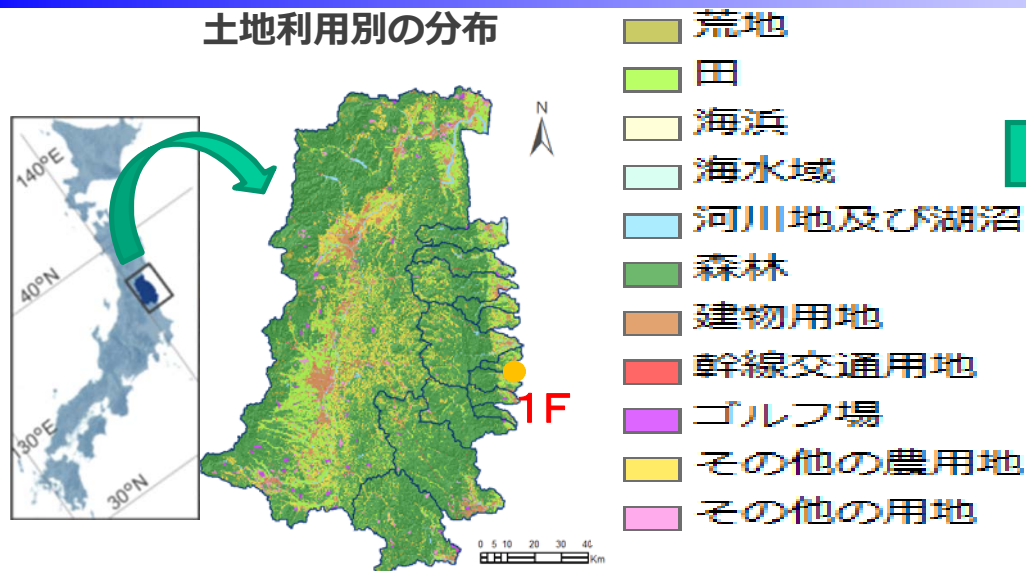
線量率の変化度合



輸送土砂の集積



土地利用別の分布



土壌流出予測式 USLE  
(Universal Soil Loss Equation)  
による評価



土地区分	面積 (km <sup>2</sup> )	土壌流出量 (t/y)	初期 セシウム量 (Bq)	セシウム流出量 (Bq/y)	セシウム 流出 割合(1/y)
全体	8370	1,233,801	$1.3 \times 10^{15}$	$1.2 \times 10^{13}$	1.0%
森林	5329	292,773	$9.2 \times 10^{14}$	$4.0 \times 10^{12}$	0.4%
%	64%	24%	69%	33%	—

- ・浜通り側の土地全体の 64% を森林が占めるが土壌流出量は全体の 24% に留まる。
- ・森林からのセシウム流出割合は僅か 0.4% (流出量のほぼ全量は水域に集積する)。
- ・除染の目的で森林を伐採すると土地の形態が変わり、土地利用係数が変化する可能性があり、対策を講ずる際には注意が必要。

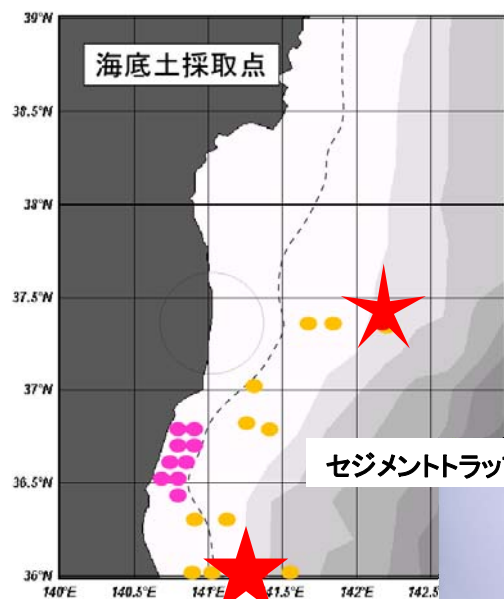
# 1.福島環境回復に向けた研究開発の概要



# 海洋拡散状況(1): 詳細把握と将来予測

## 福島沖海域に特化した海洋動態予測モデルの開発

### 海洋調査



**土壌採取**  
海底土中の $^{137}\text{Cs}$   
の鉛直分布

移行プロセス  
パラメータ

セジメントトラップ係留点(★印)

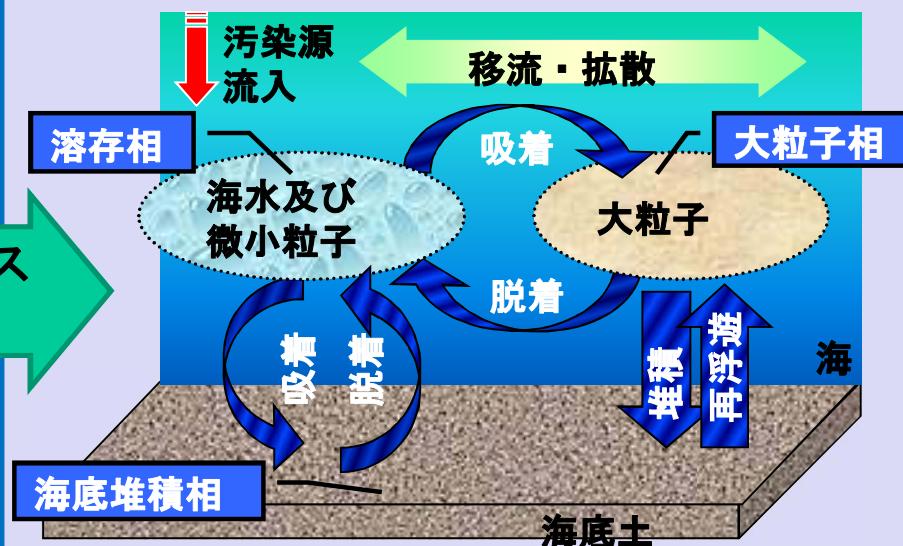
● せいかい 2011年6, 8, 10月  
● 白鳳丸 KH11-07 2011年8月  
● 淡青丸 KT11-27 2011年10-11月

### セジメントトラップ

表層から海底への  
粒子状 $^{137}\text{Cs}$ の沈降  
過程の解明

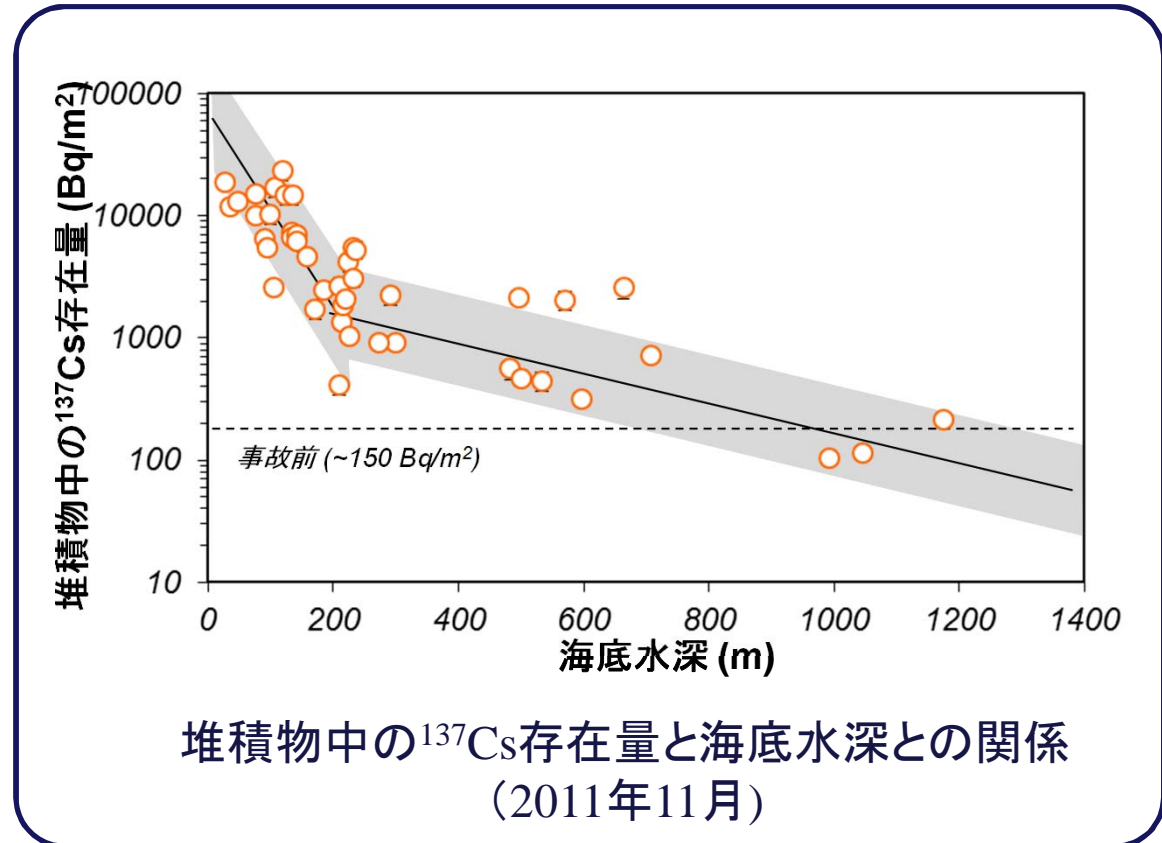
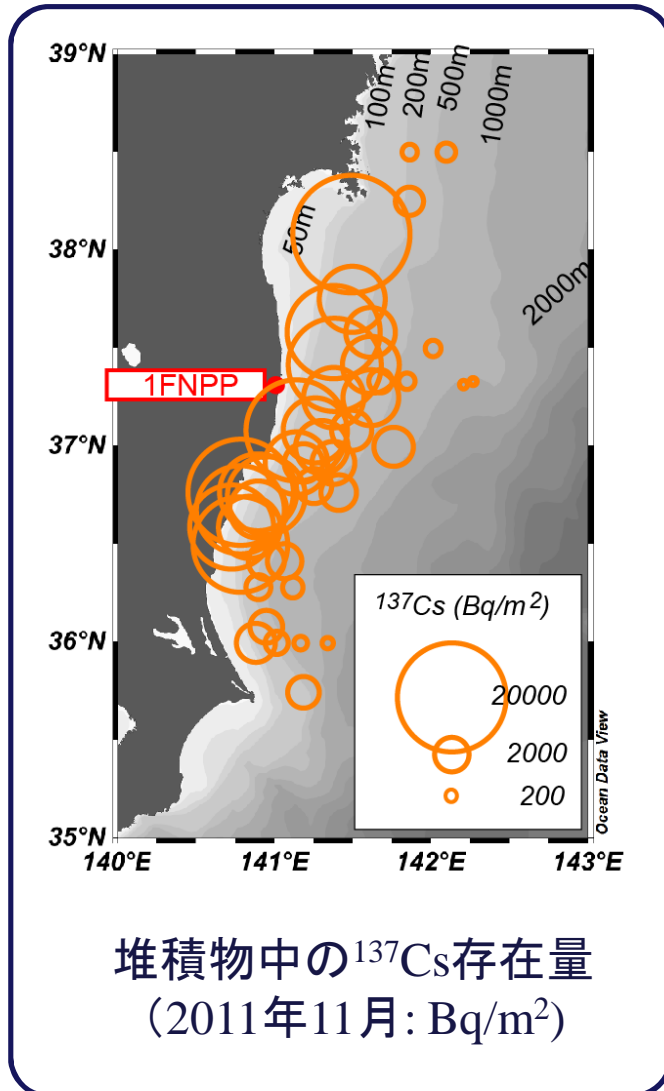


### 海洋動態予測モデル



実態に近い海底土の核種  
分布の把握と移行の評価

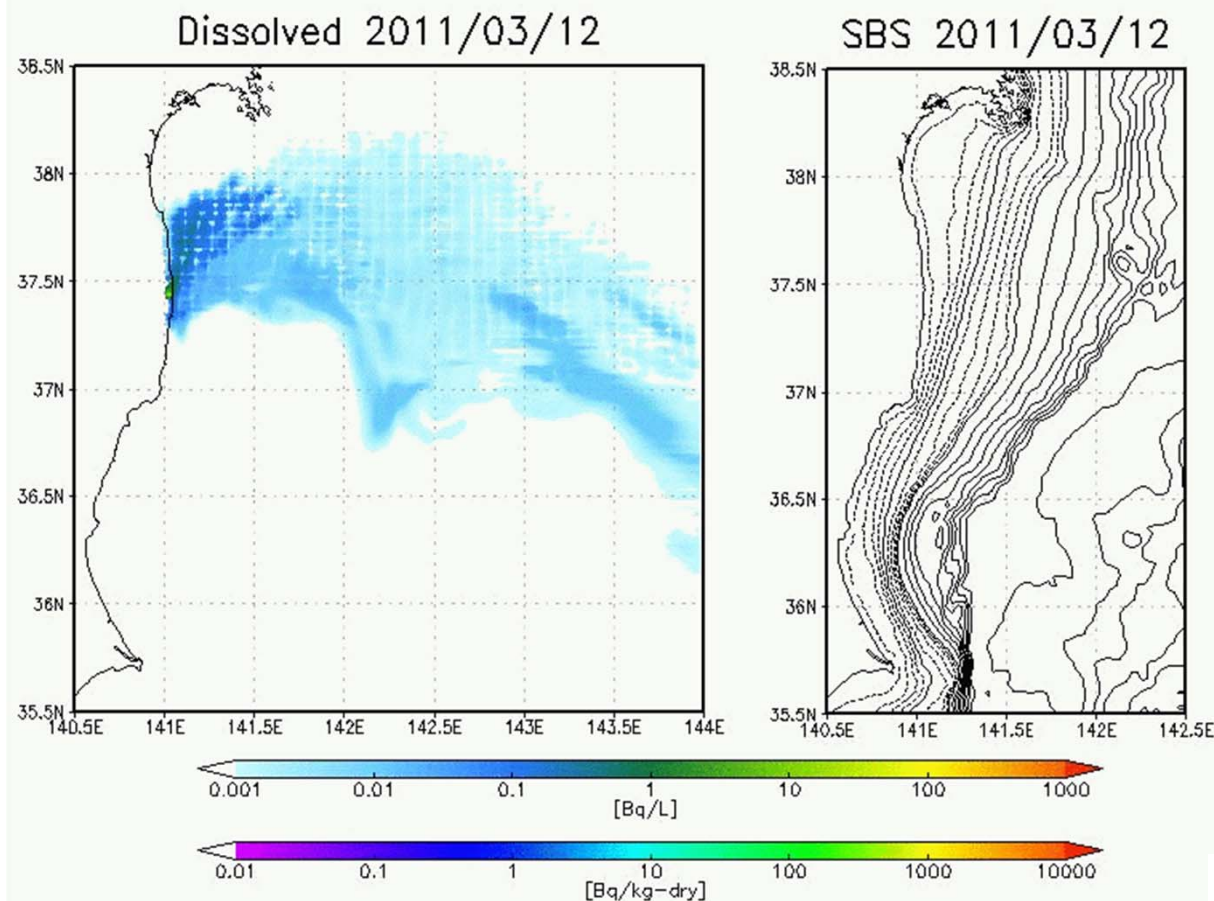
## 海洋調査結果: 堆積物中の $^{137}\text{Cs}$ 存在量の分布



- 近海域海底の $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量は0.2 PBq程度
- 95%が水深200m以浅の沿岸域に存在
- 事故後早い段階で堆積物に沈着



## 海洋拡散計算: 海表水・堆積物中 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の変化



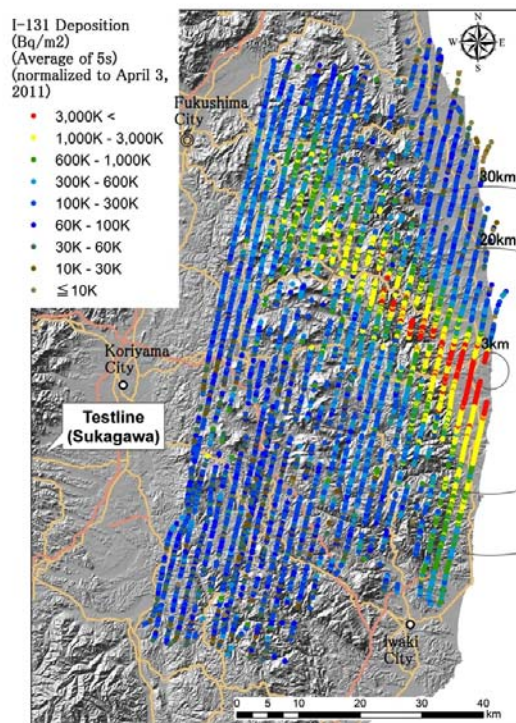
- 8月までに堆積物濃度はほぼ固定、岸沿いに南北に分布
- 岸から沖方向へ濃度が低下する相対的な傾向を再現
- 沿岸域(浅海域)での予測精度は良好

Dissolved: 海表流れ  
SBS: 堆積物

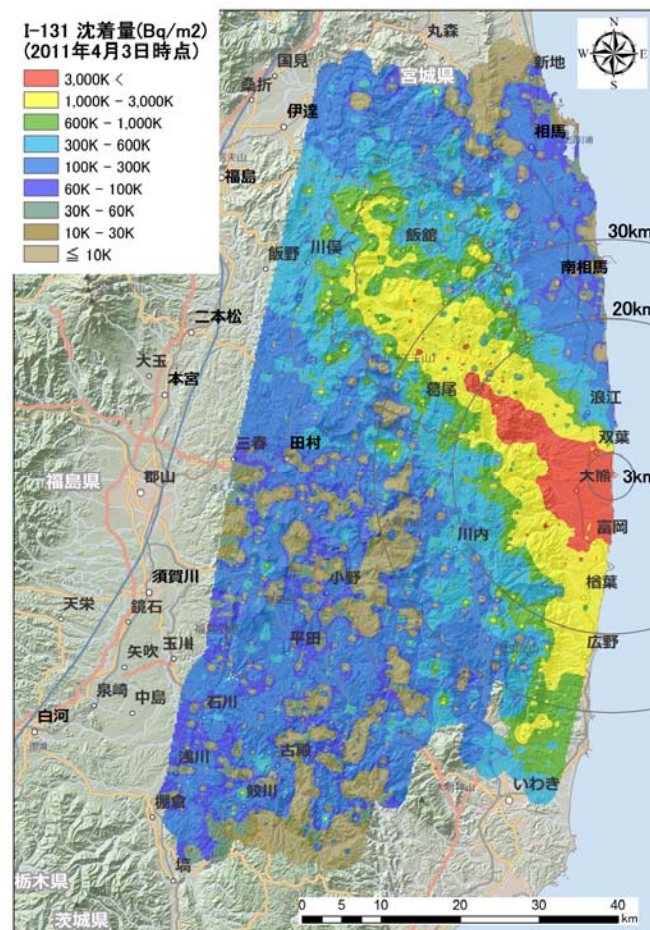
# 1.福島環境回復に向けた研究開発の概要



米国エネルギー省が事故後初期に航空機により測定した結果を日米共同研究により解析し、福島第一原子力発電所事故により放出されたヨウ素131の地表面沈着量を把握した。



## 実測値に基づくヨウ素131の分布

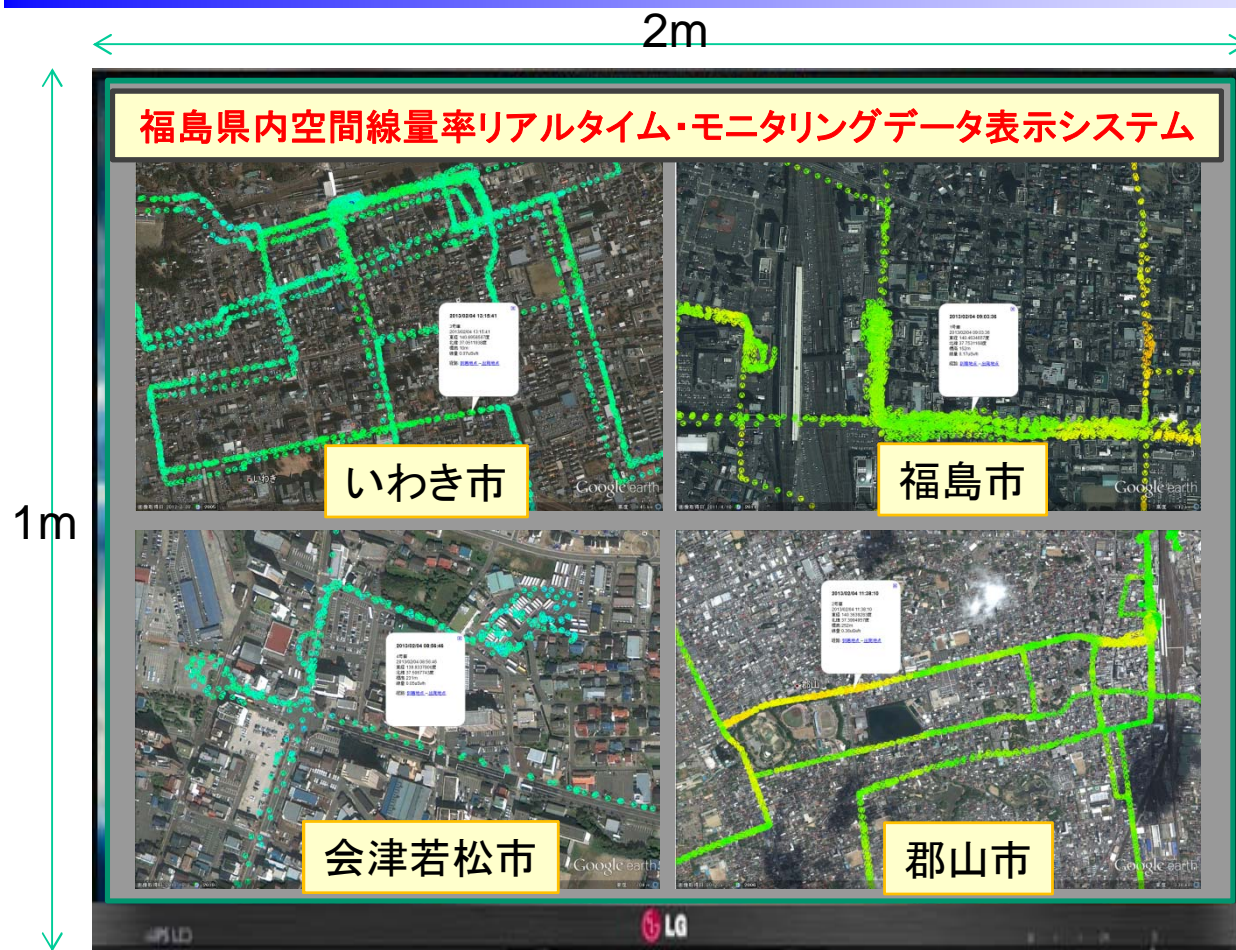


事故後早い段階でのヨウ素131の地表面沈着量分布が明らかとなり、事故後初めてヨウ素131の“面”的な分布図(マップ)を得た。





# 福島県内空間線量率の調査： リアルタイム・モニタリングデータの可視化表示



80インチの大型ディスプレイを  
ユニックスビル一階に設置



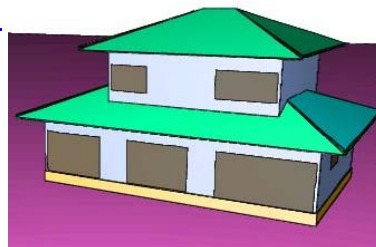
ユニックスビル

福島県、京都大学、JAEAの3機関が連携、県内4市の路線バスにKURAMAを搭載し実証試験を実施  
福島県：KURAMAによる空間線量率測定の実施  
京都大学：KURAMAによる空間線量率測定に関する技術指導  
JAEA：測定データの収集、解析、結果の可視化、情報発信

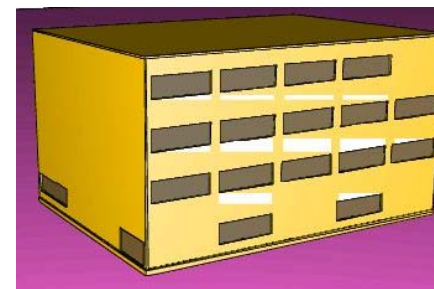
## 解析に用いた建物モデル

建物の特徴を考慮し  
27種類を選定

木造家屋のモデル⇒

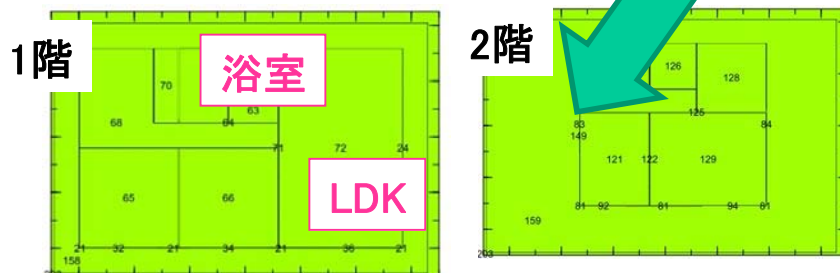


病院のモデル⇒

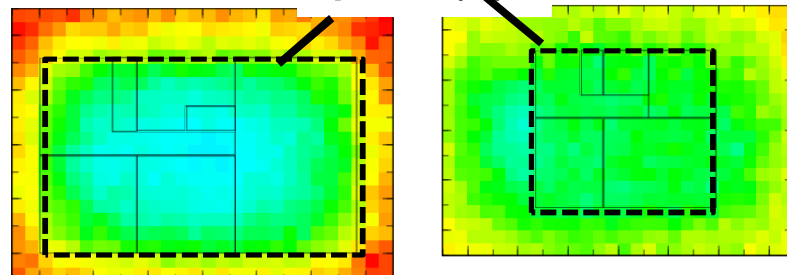


## 建物内の線量分布と線量低減効果の解析結果（地表広くにCs-137が分布した条件）

木造家屋

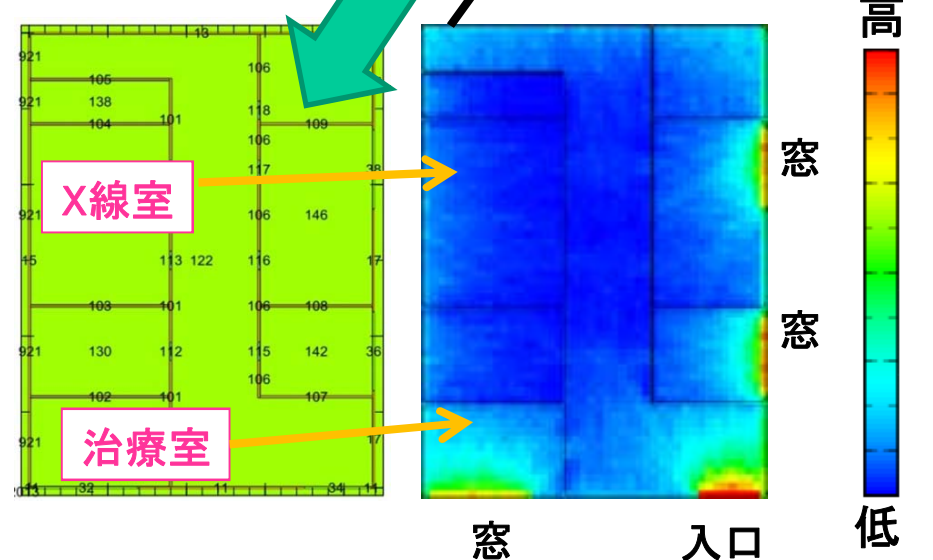


家屋の範囲



線量が最も低い1階の中心付近の  
低減効果は0.42

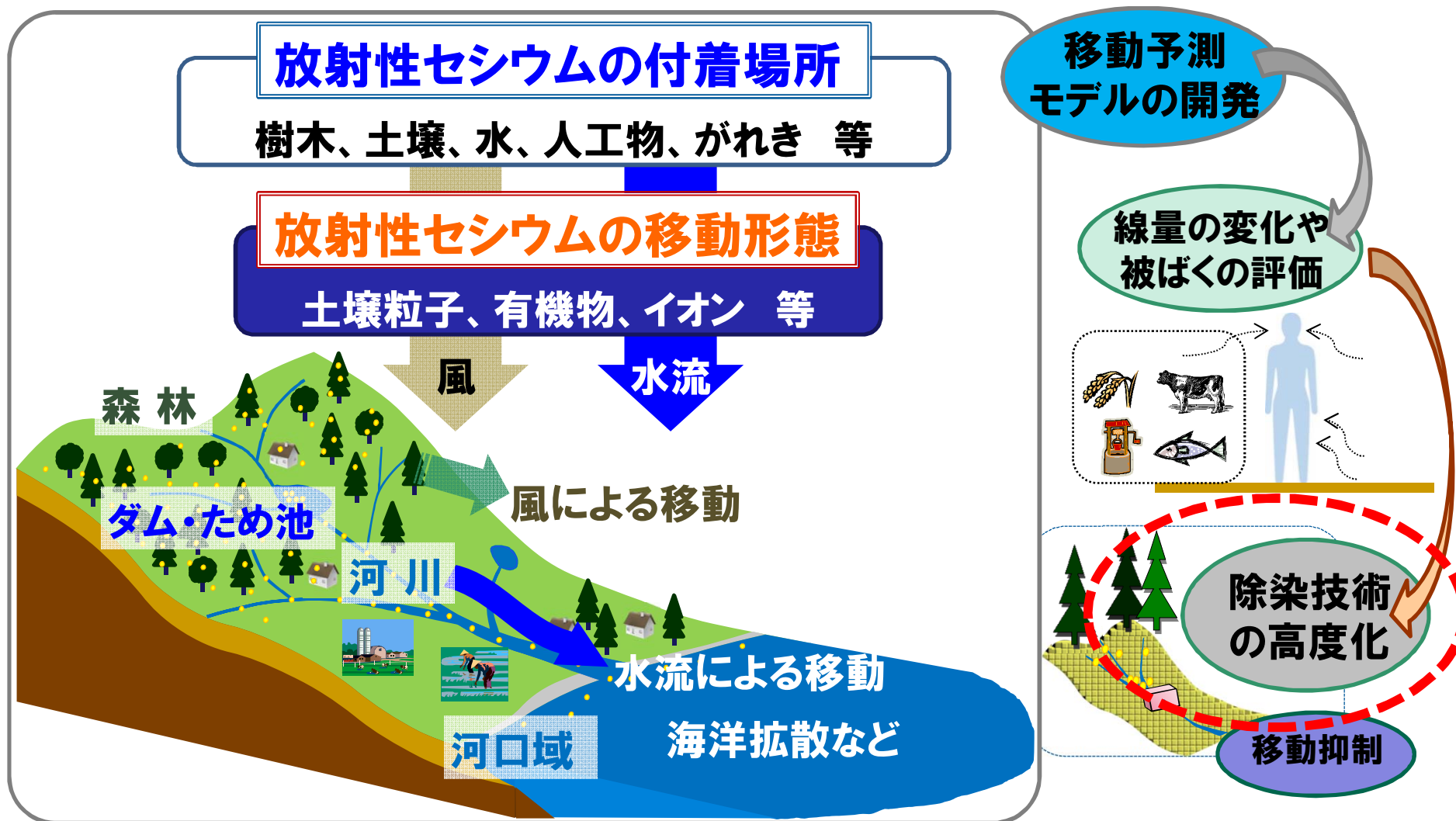
病院（1階）



窓の有無により、各部屋での線量は異なる  
低減効果：0.10（治療室），0.02（X線室）

建物の特徴を考慮した線量の低減効果データを整備

# 1. 福島環境回復に向けた研究開発の概要





# 除染技術等の高度化に向けた取り組み

## 除染技術

既存の経験の集約・  
知識化

森林・河川・ため池等  
の除染技術

再除染・瓦礫の  
除染技術



- 除染効果評価システム開発
- 除染効果の維持確認
- 汚染状況の見える化
- 高圧水除染技術の効率化

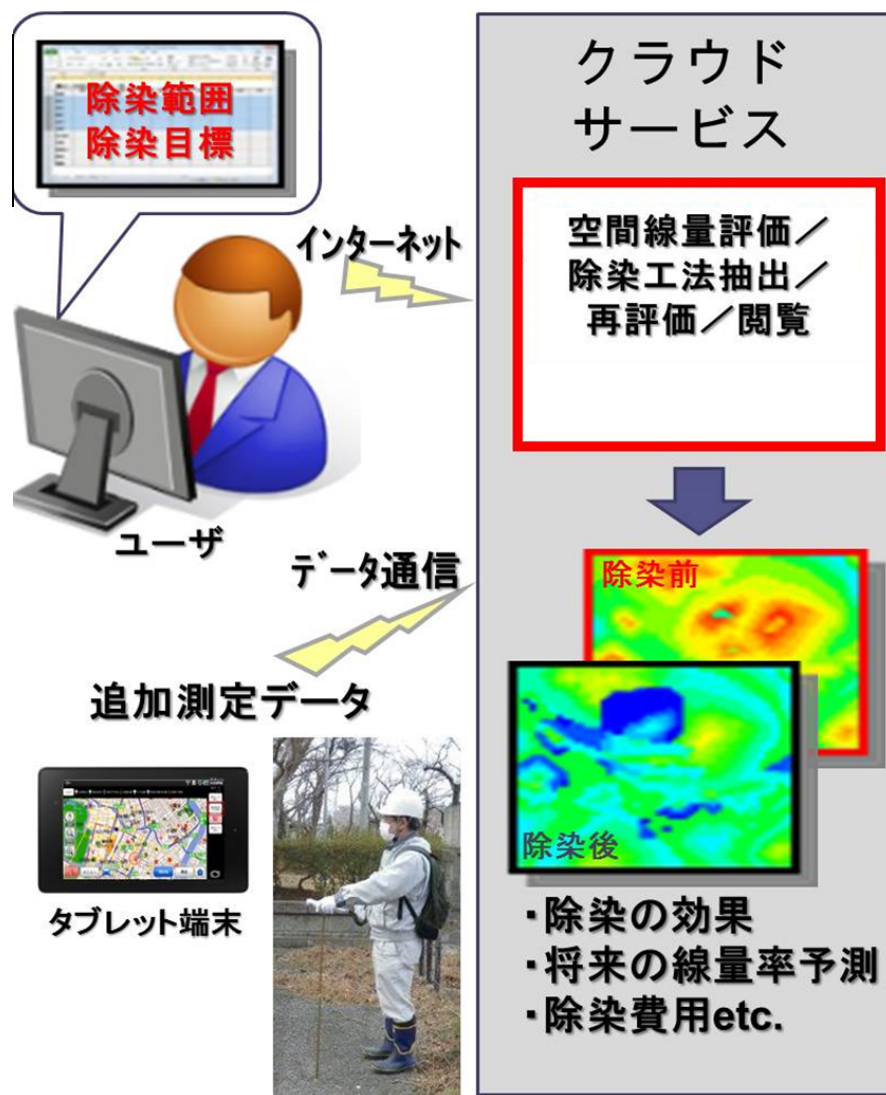
## 処理技術

除去物の  
減容・安定化  
処理技術



- 減容・安定化処理システム開発
- ・焼却時のセシウムの挙動評価

- 除染対象地域の線量率に応じた除染方法の検討、除染費用の算出、空間線量率の予測等が可能なシステムを高度化

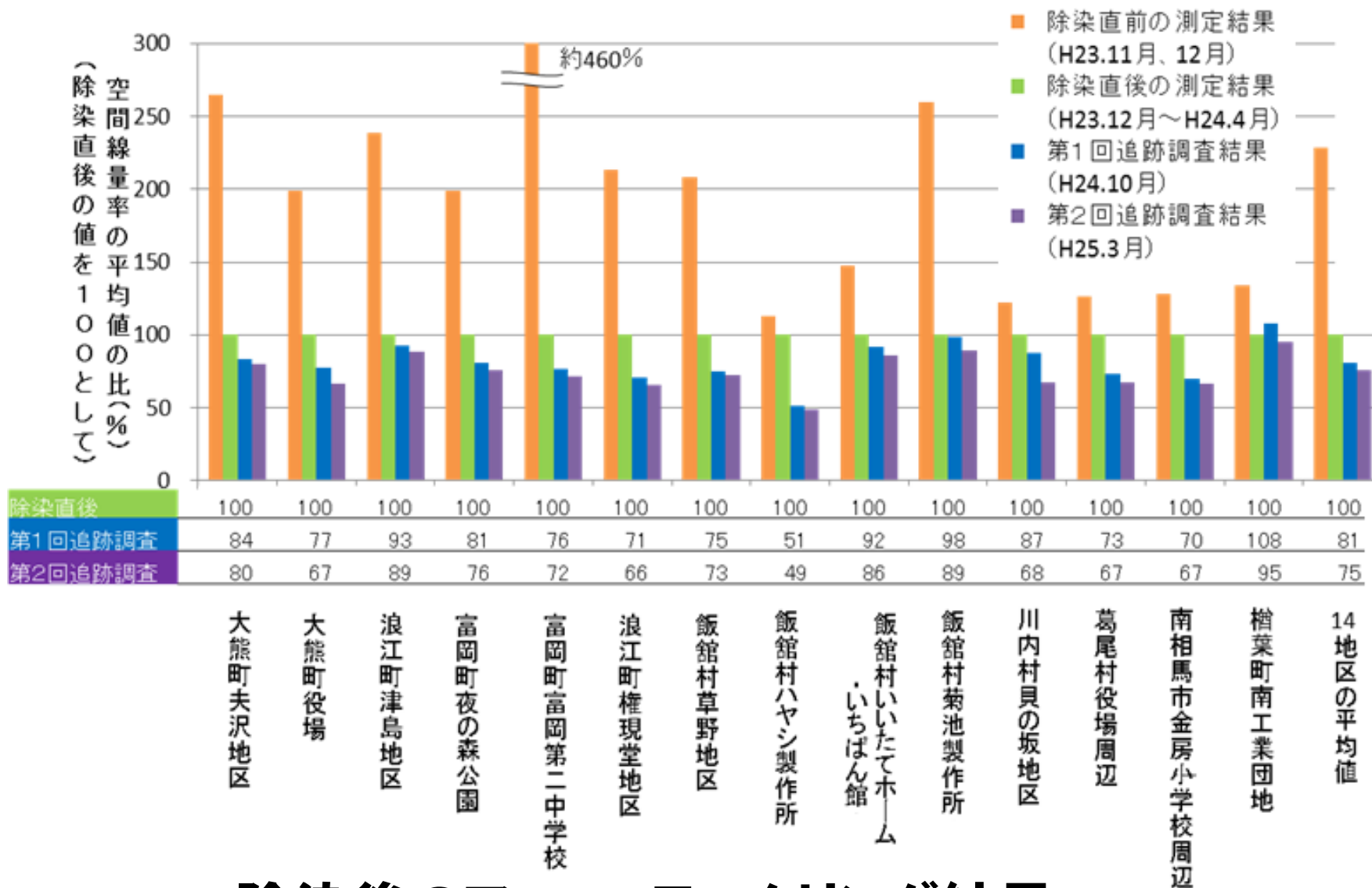


- 地形の3次元効果を考慮
- web GISによる地形データを利用
- データベースを使った入力の迅速化



効率的・効果的な  
除染の実施を支援

## 除染技術の高度化(2): 除染効果の維持確認



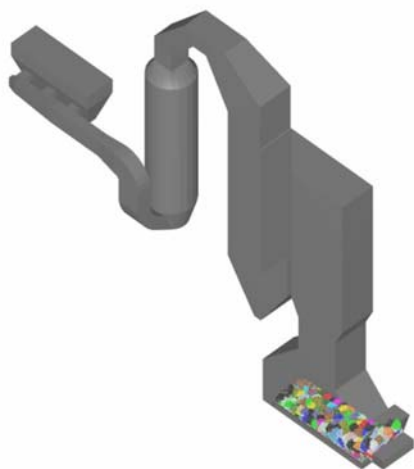
### 除染後のフォローモニタリング結果



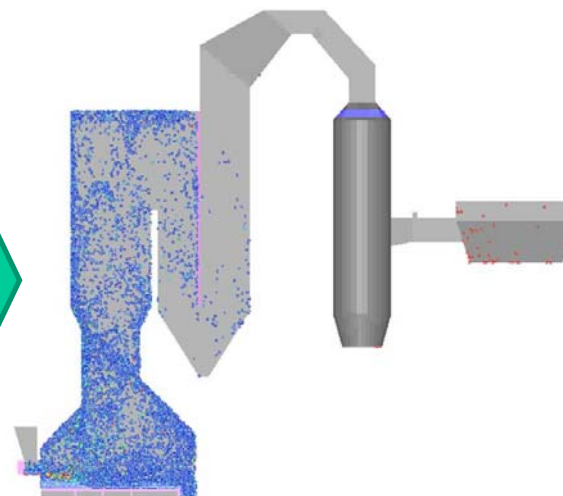
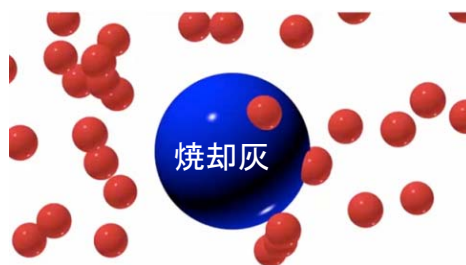
- 燃焼シミュレーションにより、一般焼却炉における灰の生成過程、セシウムの凝集過程を解析



一般焼却炉の安全な運用や、新たな焼却設備を設計する際の支援ツールとしての活用



+



焼却灰挙動解析モデル構築

セシウム凝集・付着  
モデル構築

焼却灰の  
セシウム挙動解析

## 2. 関係機関との連携・国際協力

### ①各専門機関と情報交換実施:

- ・国立環境研究所、農業・食品産業技術総合研究機構、農業環境技術研究所

### ②各大学等と共同研究の実施:

- ・森林総合研究所、産業技術総合研究所
- ・筑波大学、金沢大学、北海道大学、福島大学、千葉大学、新潟大学、東京都市大学、東海大学、東京大学

### ③国際協力:

- ・協力協定締結: スコットランド大学連合環境研究センター  
(SUERC、英国)
- ・共同研究実施: パシフィックノースウェスト国立研究所  
(PNNL、米国)

# 国際セシウムワークショップ

開催日：平成25年9月30日～10月2日、福島市（コラッセ福島）

参加国：イギリス、米国、スイス、フランス、ロシア、他日本人含めて約80名

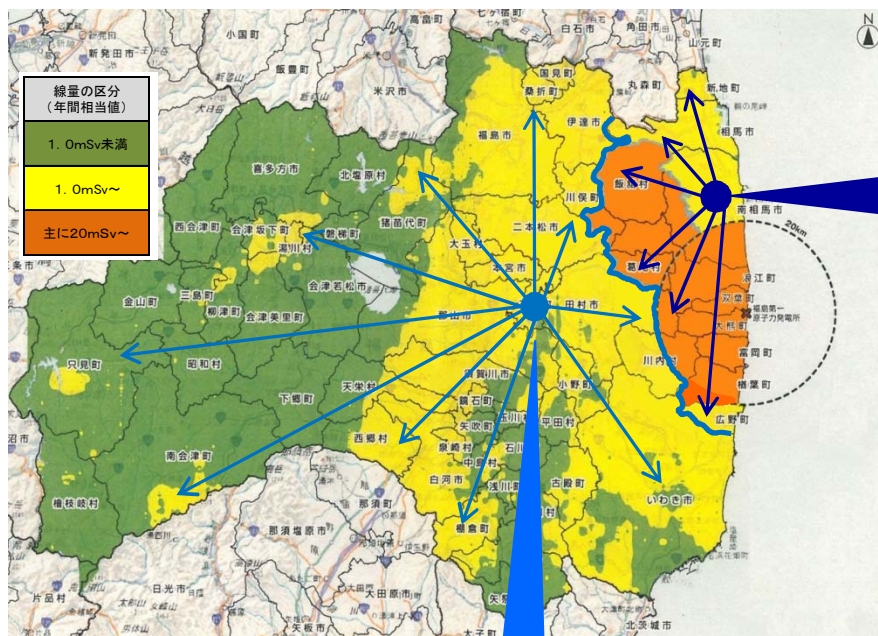


- ウィンズケール事故などの経験の活用
- 専門家のみでなくマスコミ、政治、教育などの職業人の複合的参画が不可欠
- 森林除染や河川除染は住民参画型で解決すべき

- 除染廃棄物減容は焼却に加え湿式分級が有効
- 環境動態研究は反映先（森林除染・河川除染）を意識することが重要
- セシウムの移行は粘土鉱物と天然有機物との相互作用の競合
- 今後膨大となる情報を有効利用するためのデータハンドリング・システムの開発が重要



# 3. 福島県環境創造センター構想への対応



## A施設(三春町)

- 1 機能
- ①モニタリング ②調査・研究
  - ③情報収集・発信
  - ④教育・研修・交流

### 2 施設概要

- 敷地面積: 約46,000㎡
- 延床面積: 16,000㎡程度
- 鉄筋コンクリート2階建 3棟
- ① 本館 4,228㎡
- ② 研究棟 約5,600㎡
- ③ 交流棟 約4,600㎡程度、等

附属施設2か所 約500㎡(大玉村、猪苗代町)



福島県田村郡三春町深作地内

## B施設(南相馬市)

### 1 機能

- ①原子力関連施設周辺のモニタリング
- ②原子力関連施設の安全監視

### 2 施設概要

- 敷地面積: 約19,000㎡
- 延床面積: 3,000㎡程度
- 鉄筋コンクリート2階建 1棟
- ① 本館 2,940㎡
- ② 校正施設 455㎡、等



福島県南相馬市  
原町区萱浜字巢掛場地内

整備工程	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度
基本設計					
実施設計					
建設工事			A施設	A施設 一部開所	開所 全施設
			B施設	B施設の開所	

- 福島県は、IAEAの招致、JAEA、国環研との連携などにより国内外の研究機関と緊密な協力関係の構築を期待
- 環境創造センターにおける機構の研究機能
  - ・ 環境放射線・放射能の測定（環境試料測定、無人ヘリ、走行サーベイ等）
  - ・ 長期環境動態研究
  - ・ 高線量地域の除染活動支援
  - ・ コミュニケーション活動
  - ・ その他の研究機能

# 環境回復で直面している課題と現状

- 森林、河川・ダム・ため池などの除染の合理性
  - ⇒ 環境動態研究により森林からの流出は顕著ではないこと、森林対策に関する注意点などが判明
- 除染廃棄物(15～31百万m<sup>3</sup>)の減容
  - ⇒ 焼却時のセシウム挙動の明確化
  - 湿式分級の有効性に関する専門家合意
- 再汚染の評価や移行抑制技術開発
  - ⇒ 再汚染は顕著ではないことが判明
- 環境中でのセシウムの長期挙動と被ばく評価
  - ⇒ 森林、河川・河川敷、ダム・ため池、河口域、海洋でのセシウムの挙動をおおよそ把握

# 今後に向けた活動

- 福島住民の方々が安心して生活できるよう、環境回復で直面している課題を解決するため
  - ・ 原子力の専門家集団として、目的指向のプロアクティブな研究開発
  - ・ 福島県環境創造センター構想への積極的な協力を進めます。
  
- ここで得られた成果を国内外に積極的に発信します。