



## **基調講演**

# **「原子力機構におけるふくしま復興のための研究開発」**

**平成27年11月9日**

**原子力機構・福島環境安全センター 油井三和**

ふくしまの環境回復に係るこれまでの取り組み -研究成果報告会-

◇事故後4年半以上が経過し、  
国の直轄除染や自治体の除染が進行中

ふくしま復興に向けた環境回復への地元のニーズとは……

## 主なニーズ

- 除染されずに残る7割を占める森林対策  
(セシウムの将来予測・被ばく評価、河川・ダム・ため池対策、  
林業の再生等)
- 帰還困難区域を含む空間線量率の予測と帰還の見通し
- 2, 200万m<sup>3</sup>に及ぶ除去土壌等の減容化・再利用
- リスクコミュニケーション(1mSv/年問題)

# ふくしま復興に向けた国、福島県、自治体のニーズの例



## 福島県:

- 環境創造センターの県の研究者の教育
- イノシシの汚染調査

## 飯館村:

- 森林対策と林業再生
- 生活と農業のリスク

## 川俣町:

- 森林除染、キノコ・山菜対策(帰還後の楽しみ)

## 川内村:

- 森林対策
- ダム等の管理方法

## 南相馬市:

- 除去土壌の減容・再利用
- 稲の作付け可否
- 行政区単位の線量率予測

## 葛尾村:

- 帰還や森林対策等に関する定期協議

## 大熊町:

- 5km圏内放射線データの提供
- 淡水魚の汚染対策

## 富岡町:

- 復興拠点の線量予測
- 線量に関するリスク

## 環境省:

- 河川湖沼森林等の対策
- 帰還困難区域除染後のフォローモニタリング

## 農水省:

- ため池・ダム対策

## 浪江町:

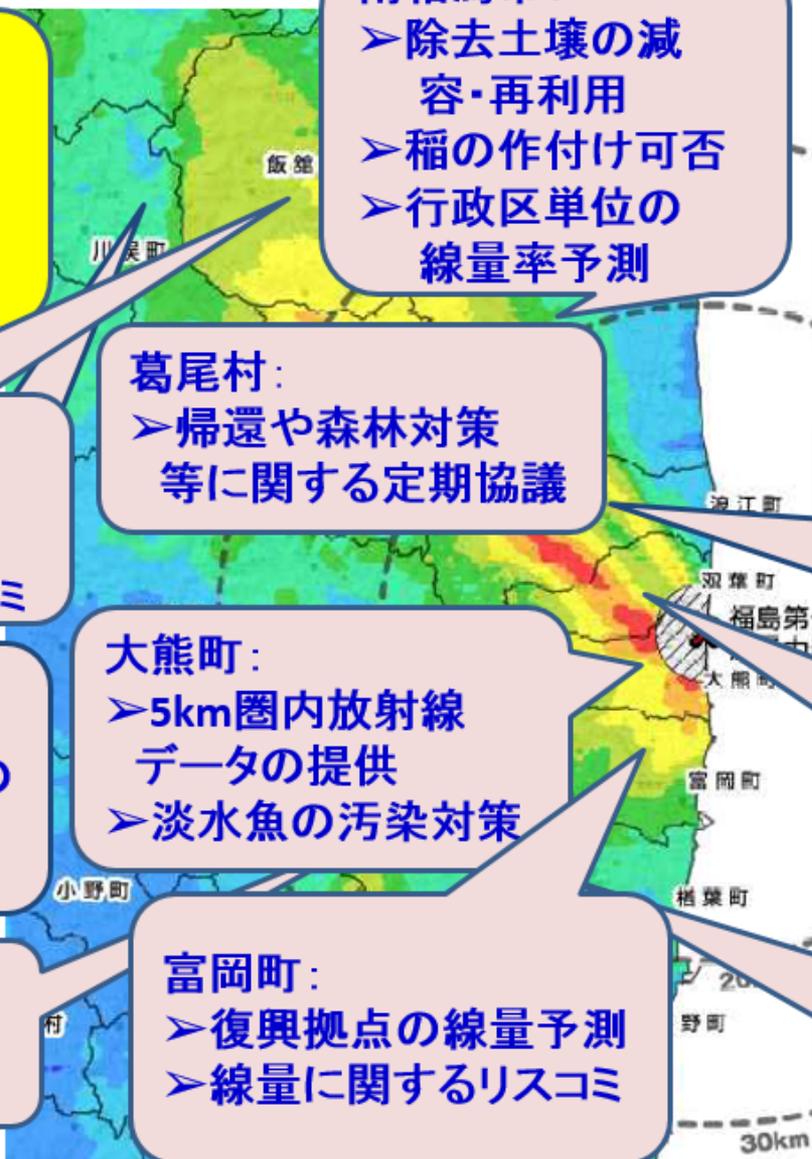
- 住居、生活回りの除染評価

## 双葉町:

- 空間線量率の予測(帰還困難区域、復興拠点など)

## 楢葉町:

- 水(ダム)と森林対策
- キノコ、山菜対策(帰還後の楽しみ)



各自治体等のニーズをふまえ、反映先を明確にして研究開発を実施

## 1. 環境回復に関わる研究開発:

### ◆環境モニタリング・マッピング

➢環境中の放射線の経時変化情報を提供し、除染計画や被ばく評価に反映

### ◆環境動態研究

➢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

### ◆除染・減容技術開発

➢最新の動向をふまえた除染・減容技術を提供  
➢除染後の線量を評価するシステムの開発、運用

### ◆コミュニケーション活動と成果の発信

## 2. 環境創造センター計画:

➢福島県、国立環境研究所と連携して、H27年度から協力開始  
➢長期的なセシウムの動態予測に基づく環境回復やの産業復興への貢献

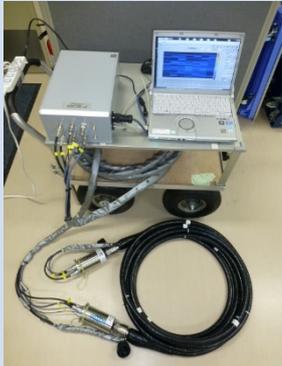
## ◆環境モニタリング・マッピング

- 環境中の放射線の経時変化情報を提供し、除染計画や被ばく評価に反映
  - 放射線計測技術の開発、測定結果のデータベース化・公開

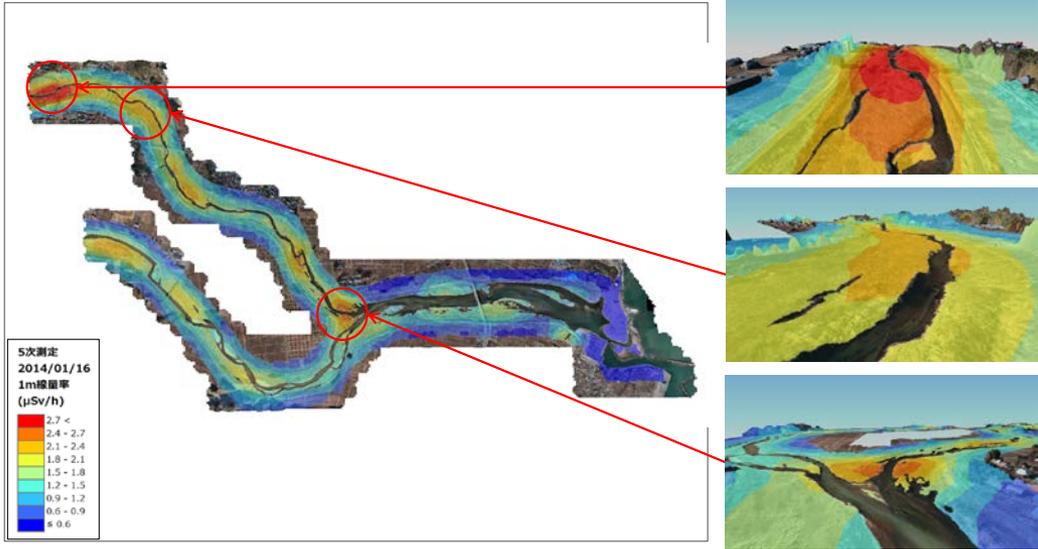
# 環境モニタリング・マッピング ～放射線計測技術開発～



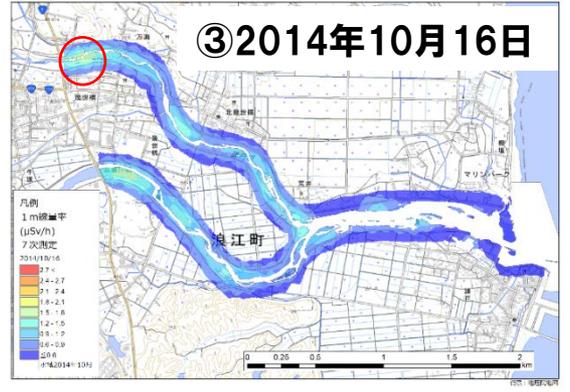
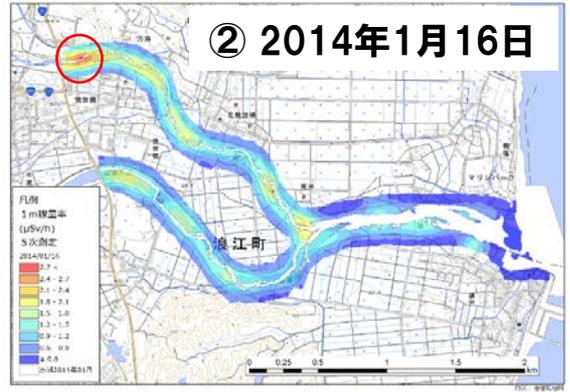
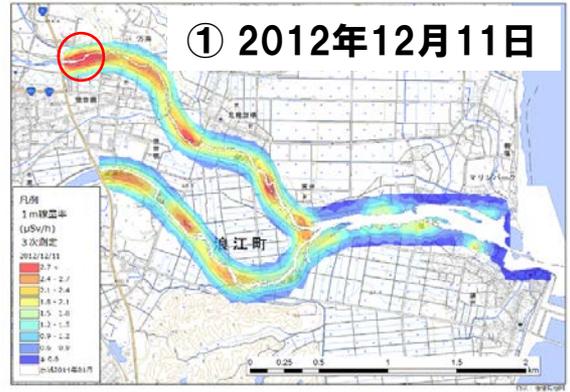
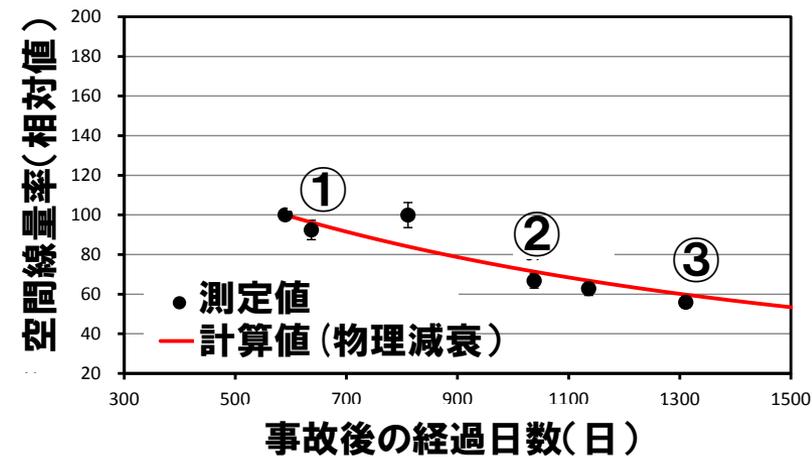
項目	無人ヘリコプター(R-MAX)	無人航空機(UARMS)	ドローン
写真			

項目	水中無人探査機 (ROV)	プラスチックシンチレーションファイバー (PSF)	水中スペクトロメータ (mini-sub)
写真			

# 環境モニタリング・マッピング ～河川敷の線量率変化～

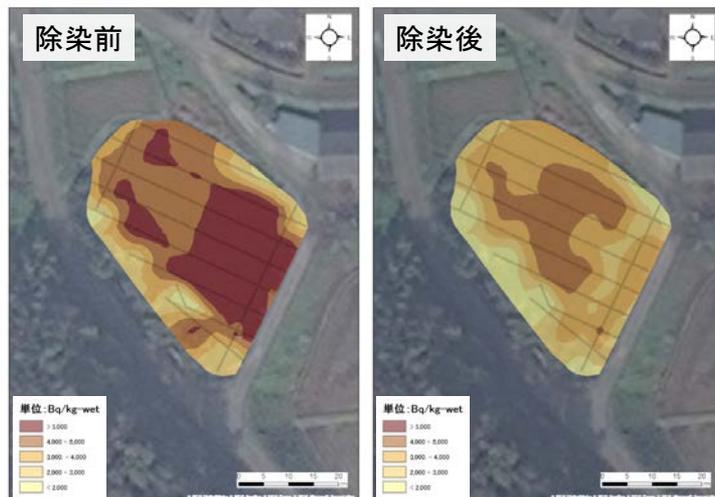
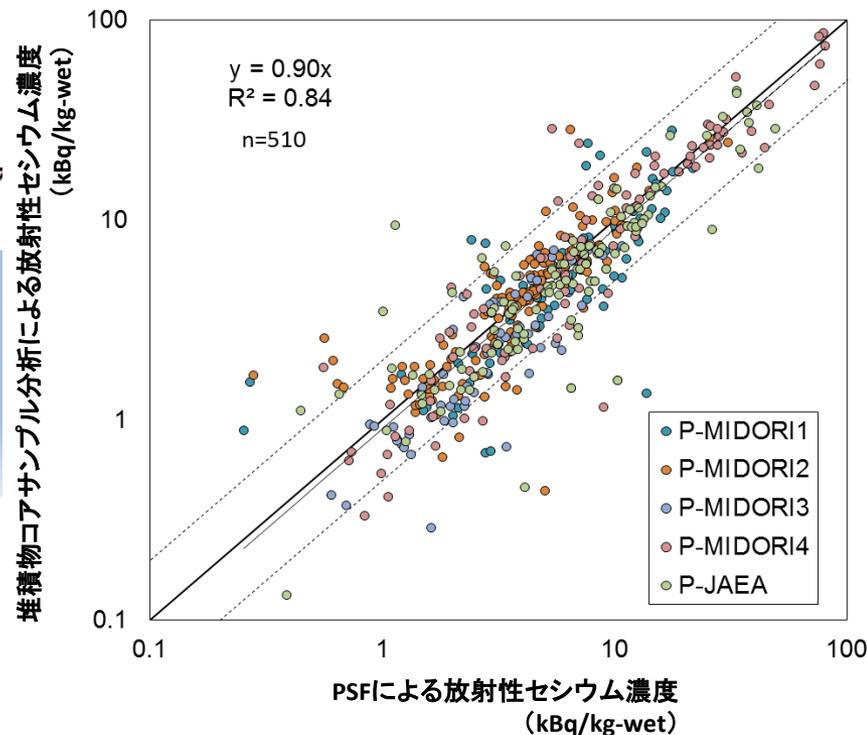
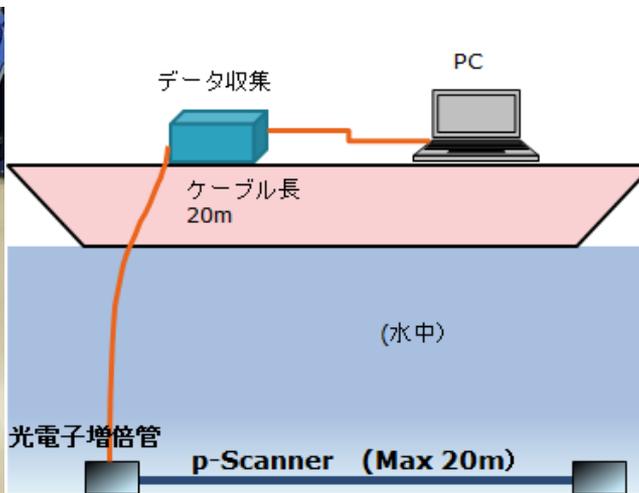


空間線量率は徐々に減少傾向



## ～農業用ため池の放射性物質濃度分布測定技術～

### ★ プラスチックシンチレーションファイバに(PSF)による水底の直接測定

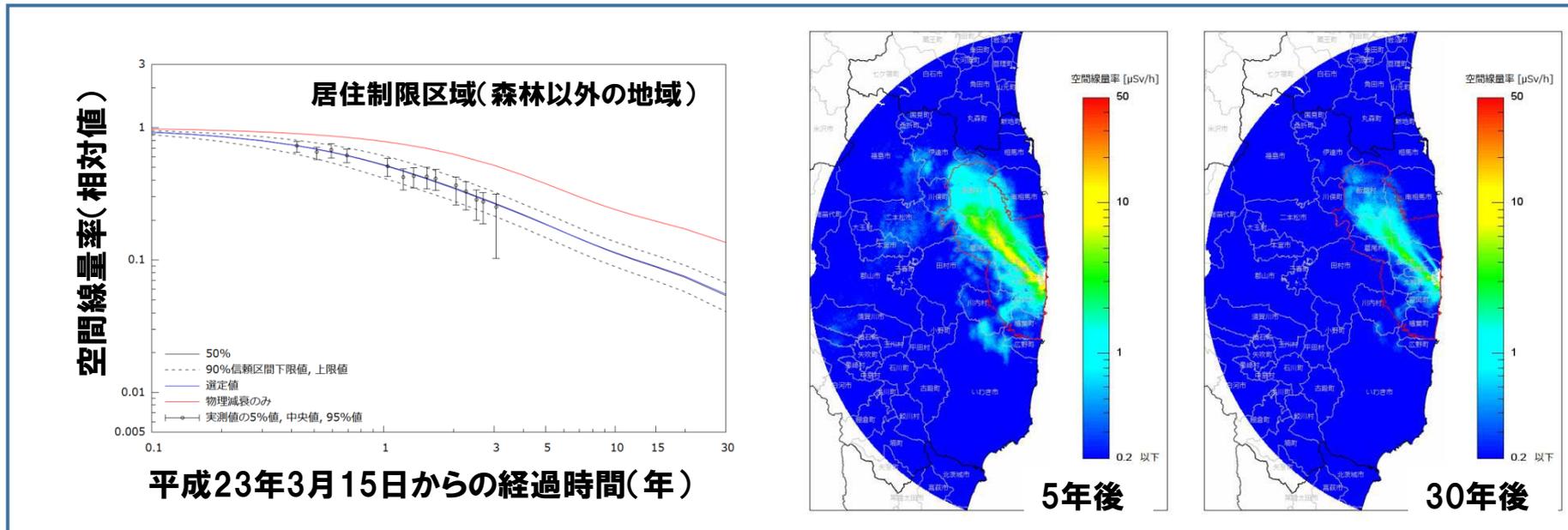


堆積物コアサンプルとの比較  
⇒概ね一致

水土里ネットへの技術移転  
H26年度に約100池の計測実施

# 環境モニタリング・マッピング

## ～将来の生活圏の空間線量率の予測～



- チェルノブイル事故等の知見から得られた経験式を用いた予測。空間線量率の減衰傾向を2つの指数関数の組合せ(減衰の早い成分と遅い成分)で近似した経験式を使用(100 m メッシュで計算)。
- 土地の利用状況や人間活動による変化傾向の違いを考慮し、30年後までの空間線量率分布マップを作成→特に、人間活動全般により線量率低減は加速

\*空間線量率の予測図は、原子力機構が平成26年度原子力規制庁の委託業務を実施する中で得た知見をもとに作成したものである。当該図は、50%値の予測。

# 環境モニタリング・マッピング

## ～測定結果のデータベース化・公開～

- 環境モニタリングデータの集約、管理、公開
  - 関係省庁、自治体が独自に公開しているデータを一元的に集約し、ナショナルデータベースとして管理、公開
  - マップ、グラフ、関連資料、解析支援ツール等をあわせて提供

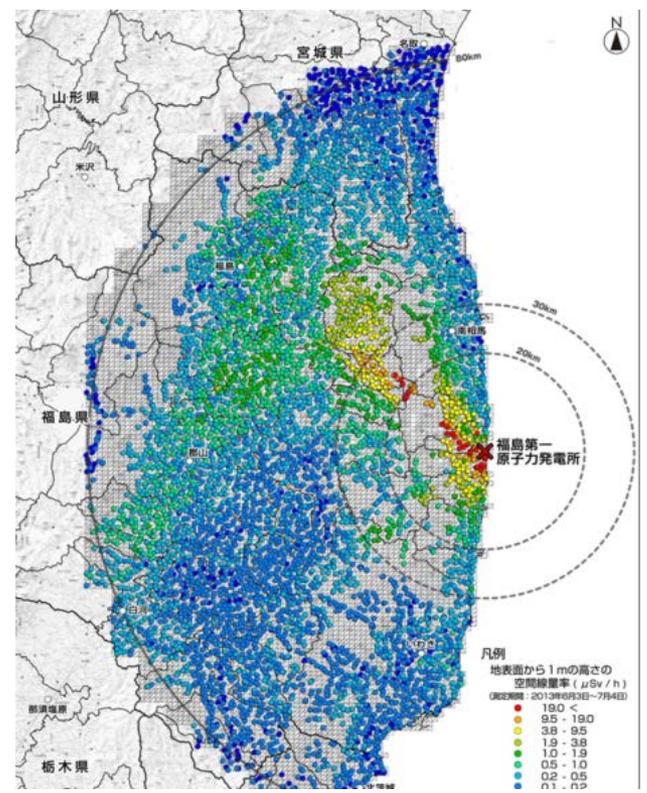
### ■ 「環境モニタリングデータベース」の現状

- 平成27年2月からインターネット上に公開

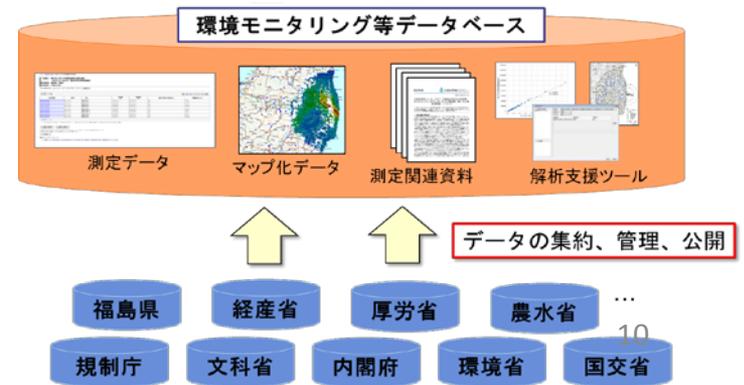
URL: <http://emdb.jaea.go.jp/emdb/>

### ■ 主な登録データ(総レコード数 2億レコード)

- 空間線量率の測定結果
  - 陸域における放射能濃度の測定結果数値
  - 陸域における放射能濃度の深度分布測定結果
  - 陸水域における放射能濃度の測定結果
  - 海域における放射能濃度の測定結果
  - 大気中の放射能濃度の測定結果



モニタリングデータベースに登録されている線量率マップの例



## ◆環境動態研究

- 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

# 環境動態研究

## ～環境動態研究の概念～



### 放射性セシウムの付着場所

樹木、土壌、水、人工物、がれき 等

### 放射性セシウムの移動形態

土壌粒子、有機物、イオン 等

風

水流

森林

ダム・ため池

河川

風による移動

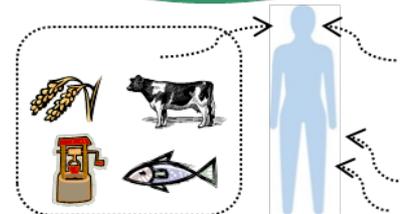
水流による移動

河口域

海洋拡散など

移動予測  
モデルの開発

線量の変化や  
被ばくの評価

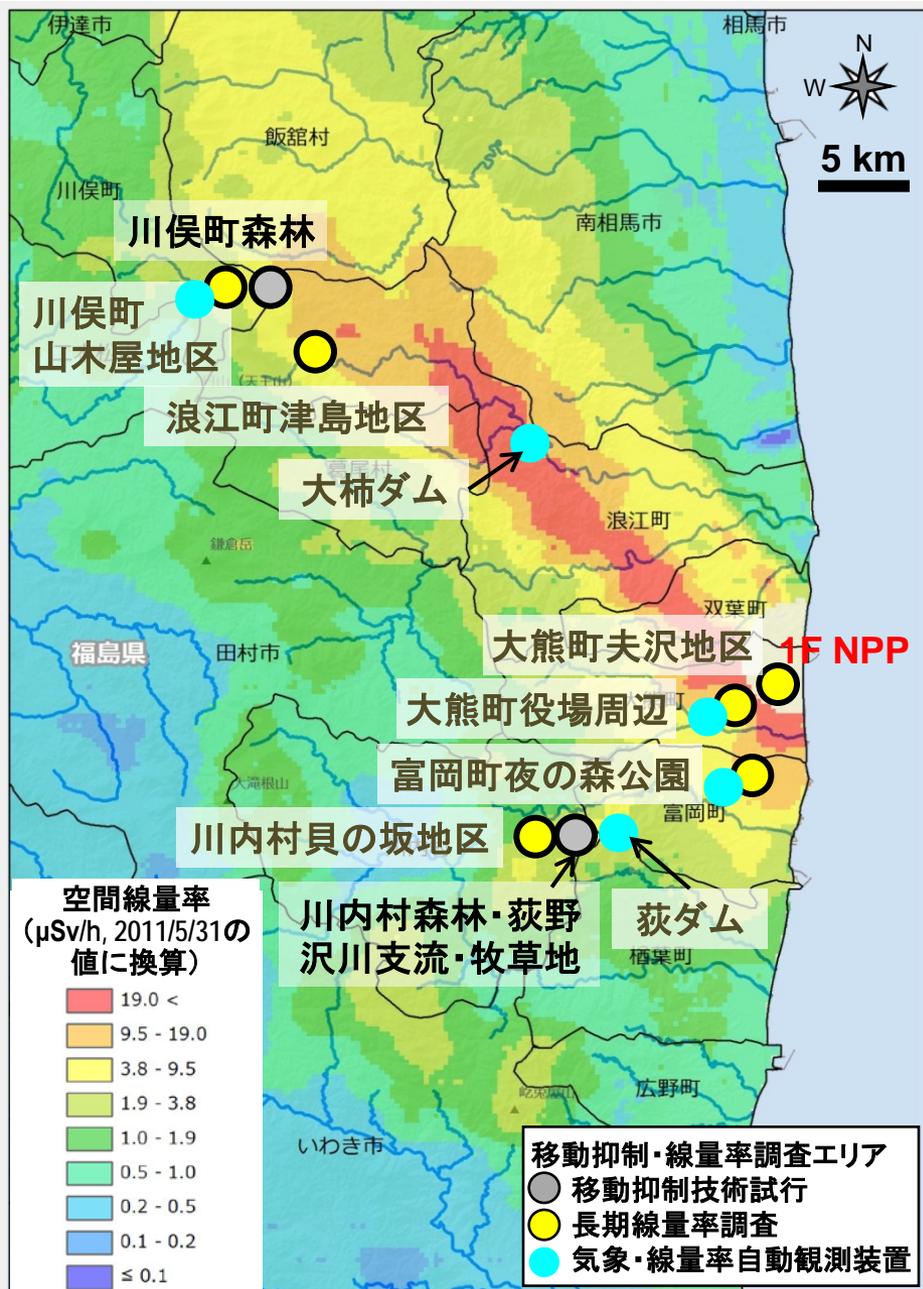


除染技術  
の高度化

移動抑制



# 環境動態研究～調査エリア(2/2)～



## □移動抑制技術試行

- ✓川俣町森林 (急斜面, 微粒子捕捉)
- ✓川内村森林 (急斜面, 微粒子捕捉)
- ✓川内村荻野沢川支流 (小河川, 微粒子捕捉)
- ✓川内村牧草地 (緩斜面, 固定化)

## □長期線量率調査

(除染モデル実証事業実施エリア)

- ✓川俣町山木屋地区(+自動観測装置)
- ✓浪江町津島地区
- ✓大熊町役場周辺(+自動観測装置)
- ✓大熊町夫沢地区
- ✓富岡町夜の森公園(+自動観測装置)
- ✓川内村貝の坂地区

## □沈着挙動評価(地衣類調査)

- ✓南相馬市, 浪江町, 双葉町, 大熊町, 富岡町, 川内村, 川俣町の公共施設・公園内の樹木, 街路樹等

□放射性セシウムの大部分は、森林内に留まっている  
(森林内から林外への年平均セシウム流出率は、  
0.2%程度)

□放射性セシウムの大部分は土壌の表層付近に分布  
(地表から5 cm以内に90%以上の放射性セシウムが  
留まっている)

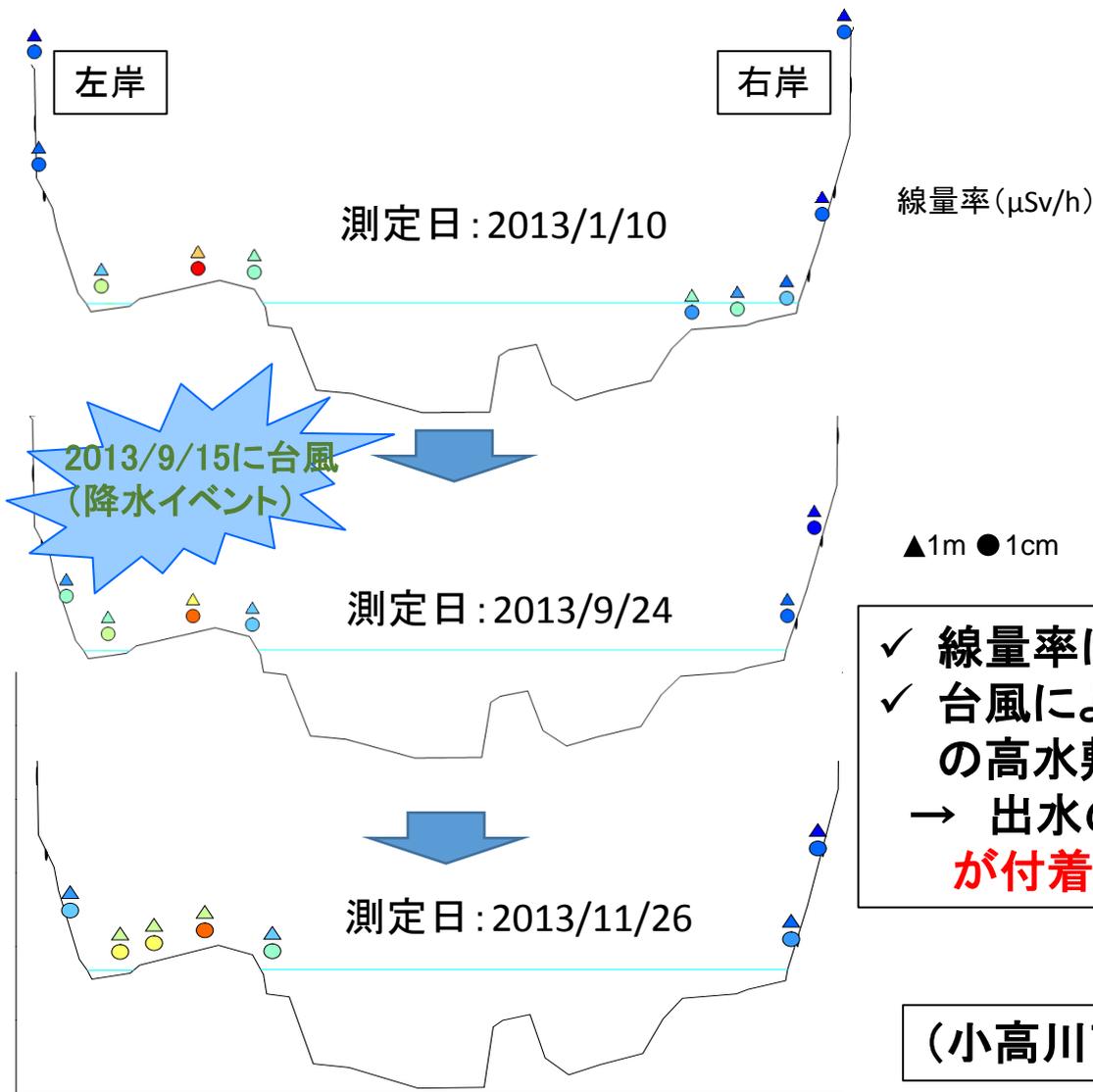


森林調査(スクレーパープレート  
による試料採取: 地表面から  
深度20cmまで)



森林内の表層水、土砂移動の連続観測

# 環境動態研究 ～河川・ダム調査～

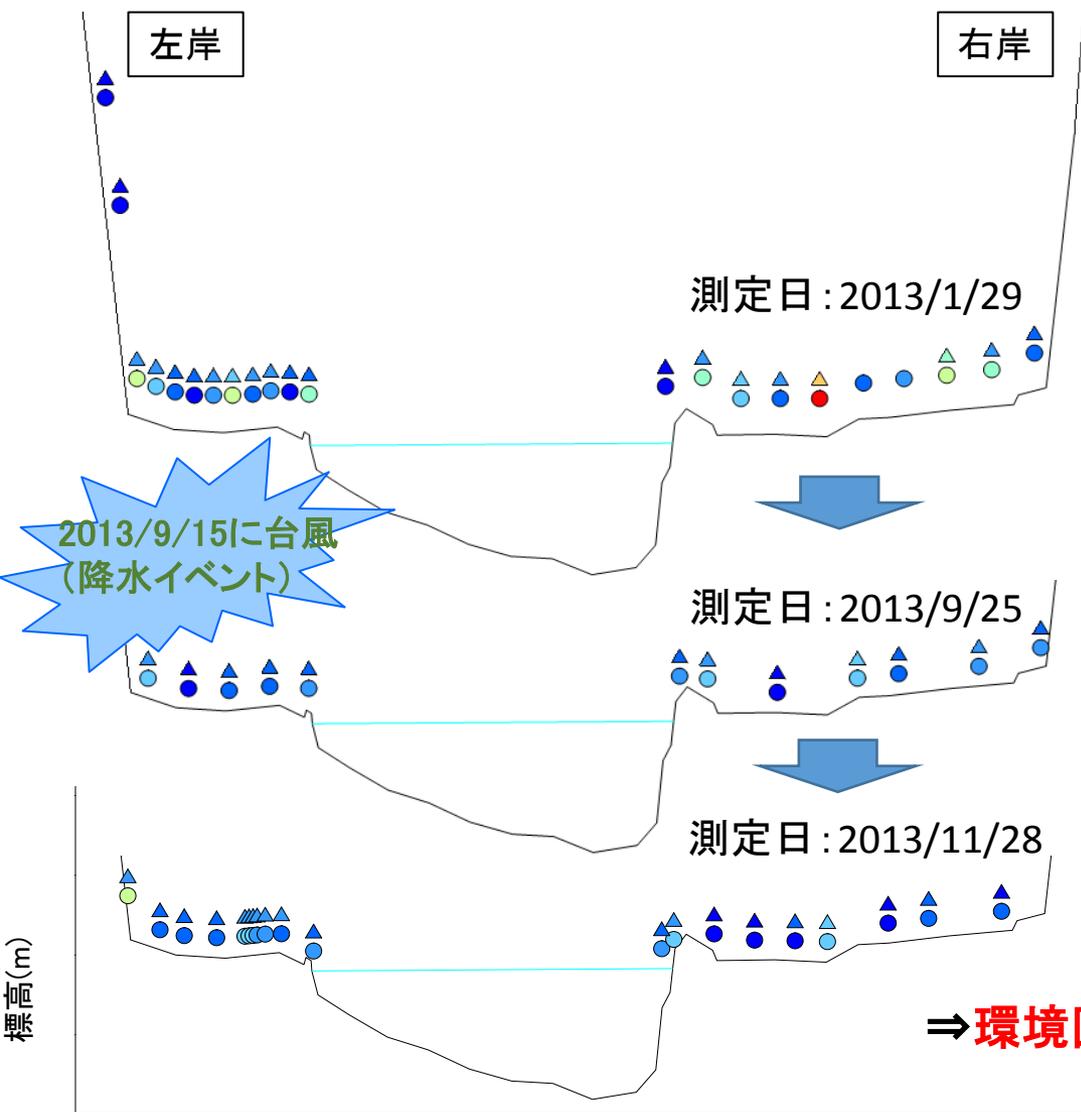


- ✓ 線量率は全体的に減少傾向
- ✓ 台風による増水の約2か月後に左岸側の高水敷の線量率が微増傾向  
→ 出水の影響により、**上流からセシウムが付着した土壤粒子が移動した可能性**

(小高川下流域: **上流にダムなし**)

左岸基準点からの距離 (m)  
河川敷断面の各点における表面・空間線量率の時間変化での測定例

# 環境動態研究 ～河川・ダム調査～



▲1m ●1cm

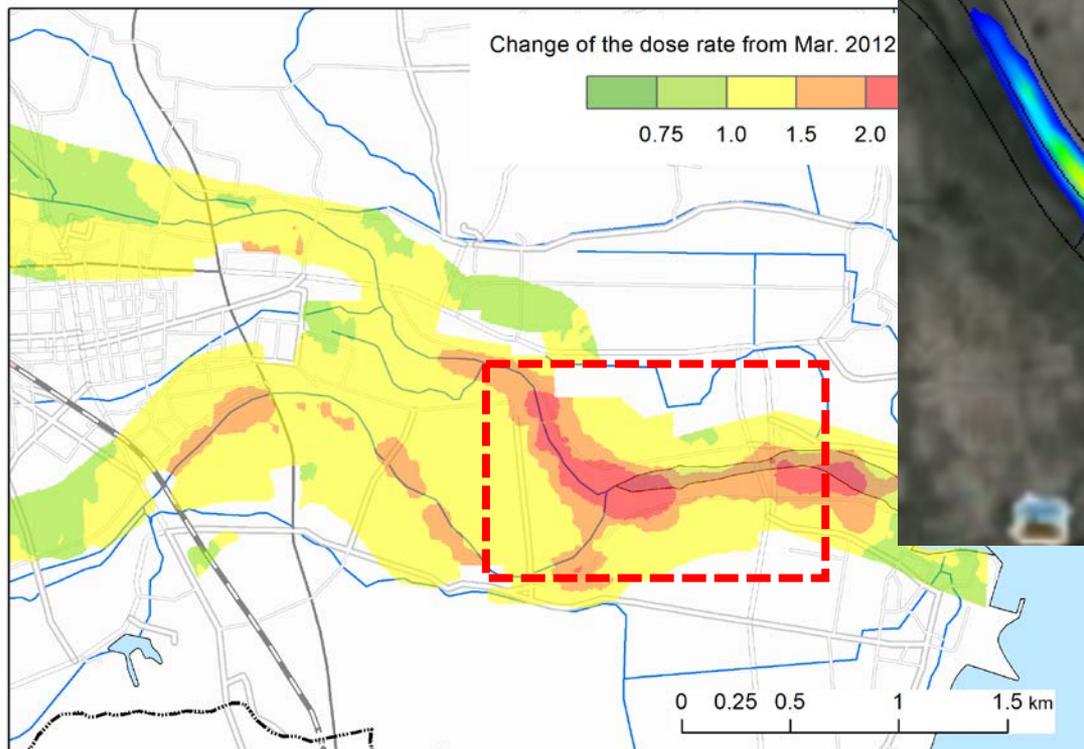
- ✓ 線量率は全体的に減少傾向
- ✓ 台風時の増水後も線量率は大きく変化しない
- ダムにより下流域への汚染土砂移動が抑制されている可能性

⇒環境回復に向けたダムの管理方策を検討

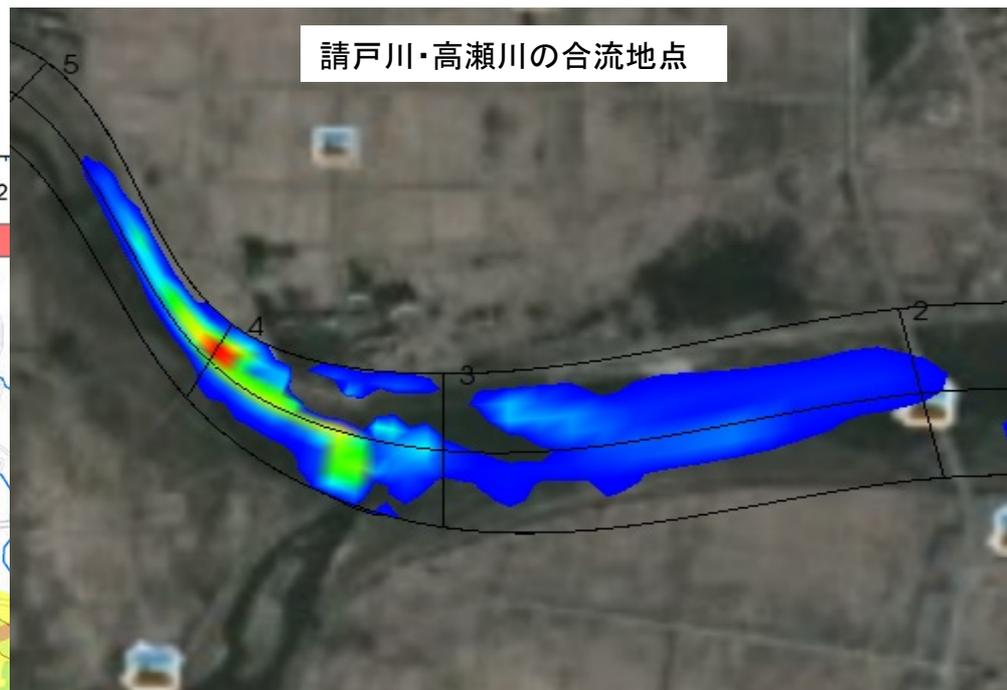
(請戸川下流域: 上流にダムあり)

河川敷断面の各点における表面・空間線量率の時間変化での測定例

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

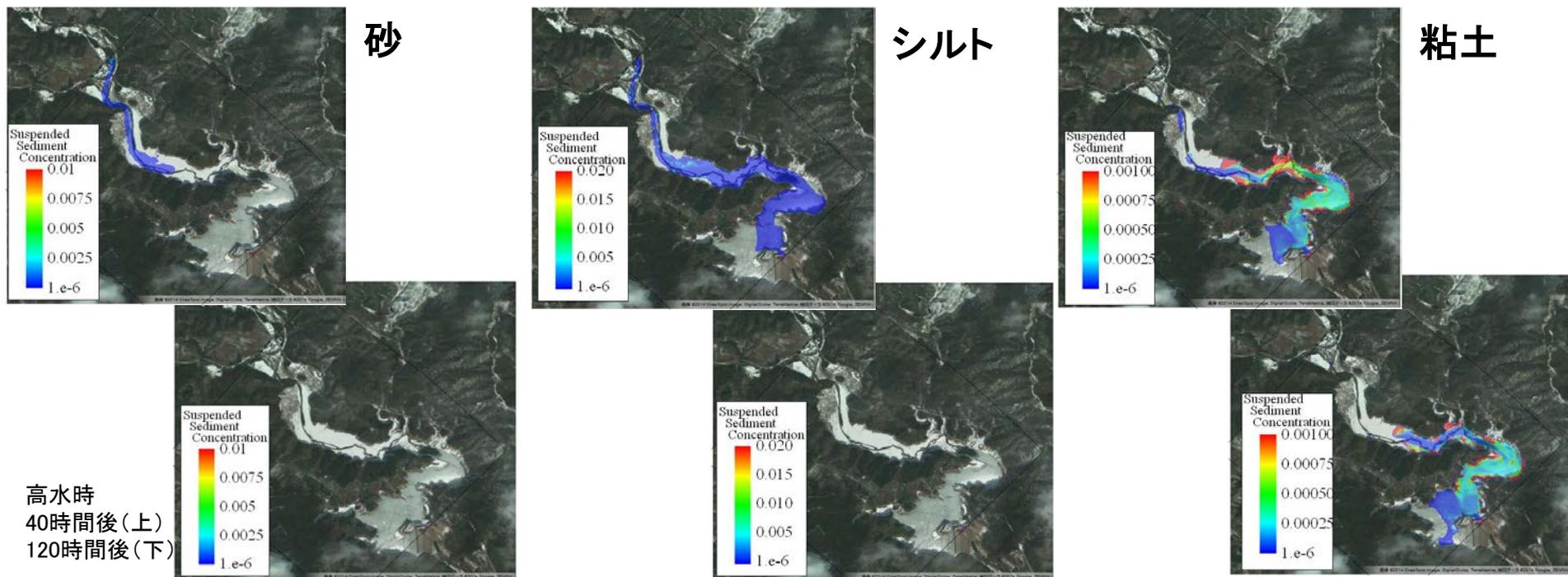


線量率の変化の測定結果



輸送土砂の集積解析結果

## 大柿ダムを対象として高水時の固相粒子の動き(濃度)の時間変化を解析



高水時40および120時間後の砂(左), シルト(中)および粘土(右)分画の湖水中濃度

粒径は、砂:0.1mm、シルト:0.01mm、粘土0.001mmとして計算

- 粒子の大きなもの(砂など)は、上流側に堆積
- 粒子の小さなもの(粘土等)は、下流側へ移動

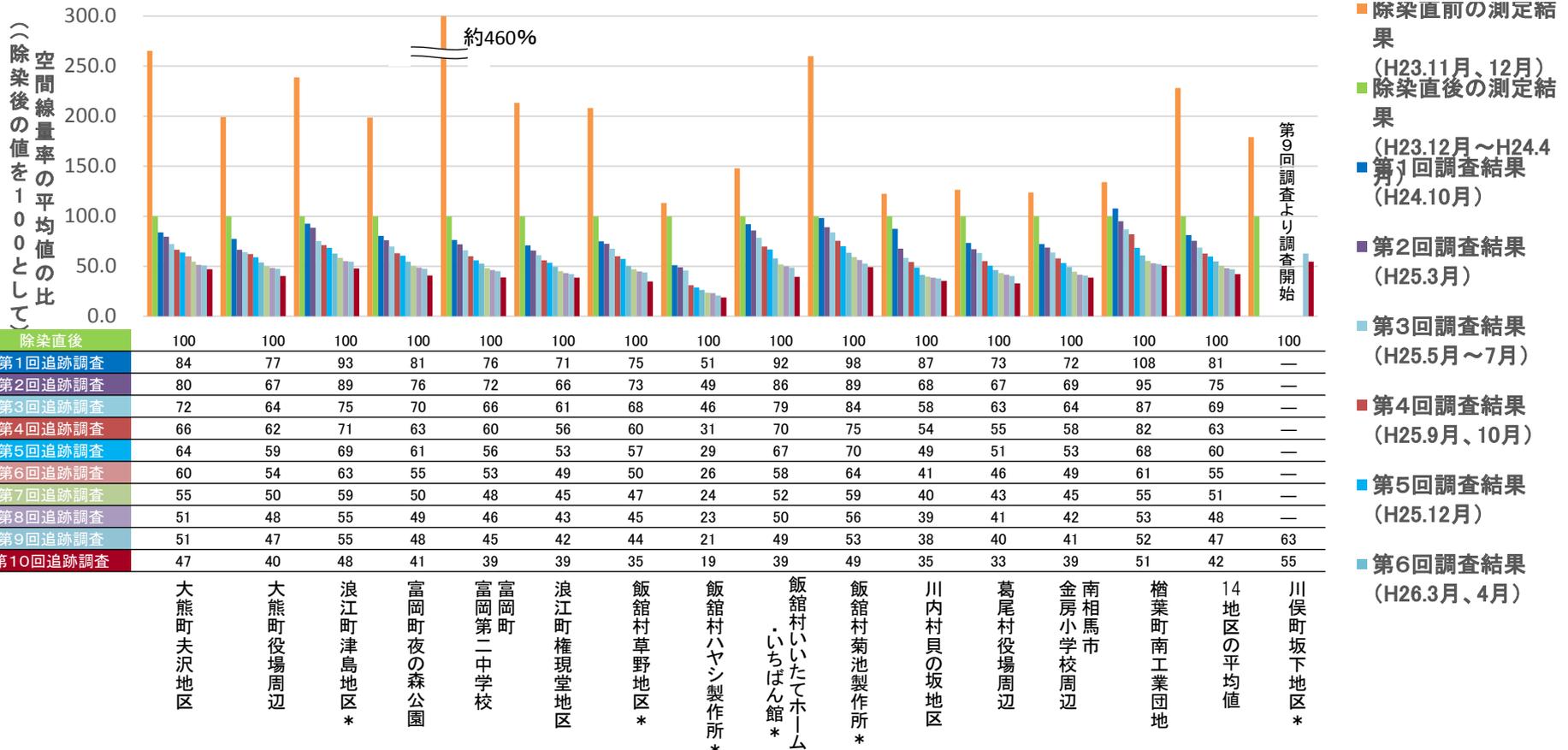
## ◆除染・減容技術開発

- 最新の動向をふまえた除染・減容技術を提供  
→ 減容化に向けたアプローチ
- 除染後の線量を評価するシステムの開発、運用  
→ 帰還困難区域の除染後の線量予測

# 除染・減容技術開発～除染効果の確認～



## ○除染直後の空間線量率を100とした場合の空間線量率の平均値の推移



\* : 浪江町津島地区、飯館村及び川俣町坂下地区の除染直後の測定結果については、積雪の影響を受けて測定値が低めとなっている可能性があります。

注1) 測定値は、降雨／降雪、気温などの気象条件、地面の湿潤状態や草木の繁茂状態などの環境条件により変動することがあります。

注2) 除染直後の測定から第10回の追跡調査までは3年3ヶ月程度経過しており、その間に放射性セシウムに起因する線量率は物理減衰により50%程度の低減が見込まれます。

出典：環境省HP ([http://josen.env.go.jp/area/model\\_after.html](http://josen.env.go.jp/area/model_after.html))

# 除染・減容技術開発～除染解析～

## -帰還困難区域を対象としたRESETによる試算-

### 目安となる線量率

線量率	年間の追加被ばく線量	備考
0.23 $\mu$ Sv/h	1 mSv	線量1mSvは国が策定した長期的な線量低減目標（ICRPの勧告に基づく追加被ばく線量の下限レベル）。
1.0 $\mu$ Sv/h	5 mSv	事故直後の福島市のレベル。
2.5 $\mu$ Sv/h	5mSv：除染電離則（週40時間52週換算）	2.5 $\mu$ Sv/h以下は被ばく管理が不要。
3.8 $\mu$ Sv/h	20 mSv	年間20mSv以下は避難指示解除準備区域。

### 試算結果：目安となる線量率までに低減する時間

現在の空間 線量率 ( $\mu$ Sv/h)	下記の線量率に低減するまでの年数					
	0.23 $\mu$ Sv/h		1.0 $\mu$ Sv/h		2.5 $\mu$ Sv/h	
	未除染	除染	未除染	除染	未除染	除染
19	100年以上	100年以上	100年以上	50年以上	50年以上	約25年
3.8	100年以上	50年以上	約40年	約4年	約4年	—
2.5	50年以上	約50年	約20年	—	—	—
1.0	約50年	約10年	—	—	—	—

※線量低減予測はセシウムの物理減衰のみを考慮

# 除染・減容技術開発～除染解析～

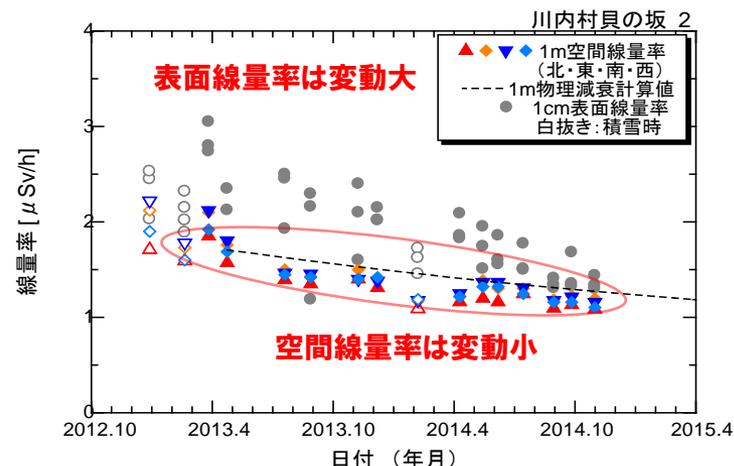
-帰還困難区域を対象とした試算からの提案-

- **住民の帰還目標の見直し:**  
長期的な目標として1mSv/年  
⇒5mSv/年を目安(\*)  
(現実的な帰還の目安レベルと思料)
- **住民の帰還目標の見直しに基づく  
帰還促進による線量低減の加速**  
(既存の膨大なデータの統計解析による変化傾向:  
人間活動全般により線量率低減は加速)

(\*) : ・ICRP勧告に基づく事故後の被ばく状況を考慮すべき  
・事故後に通常時の基準を当てはめるのは非現実的

# 森林からの放射性セシウム流出による空間線量変化

- 表面線量率の変動は、側溝などに一時的に溜まった土砂や枝葉等に付着した放射性セシウムが原因の一つと考えられます。
- 一時的に表面線量率が高くなっても、空間線量率への影響は小さいです。
- 空間線量率、表面線量率とも、概ね物理減衰相当の減少傾向を示しています。

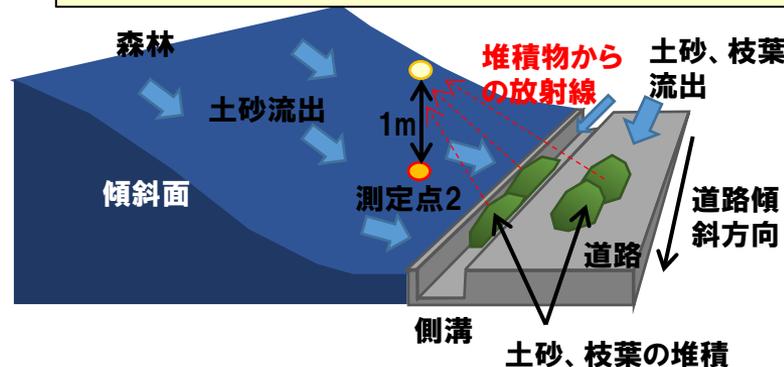


斜面下端付近での線量率の時間変化の例



線量率測定の様子

土砂移動、体積状況、放射線影響のイメージ(推測)

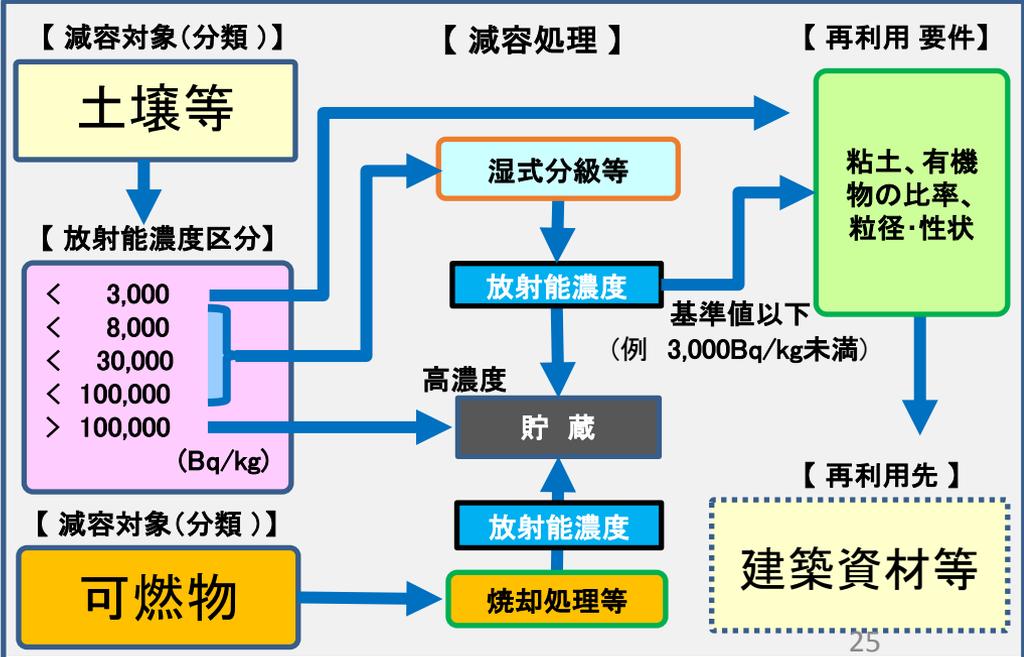
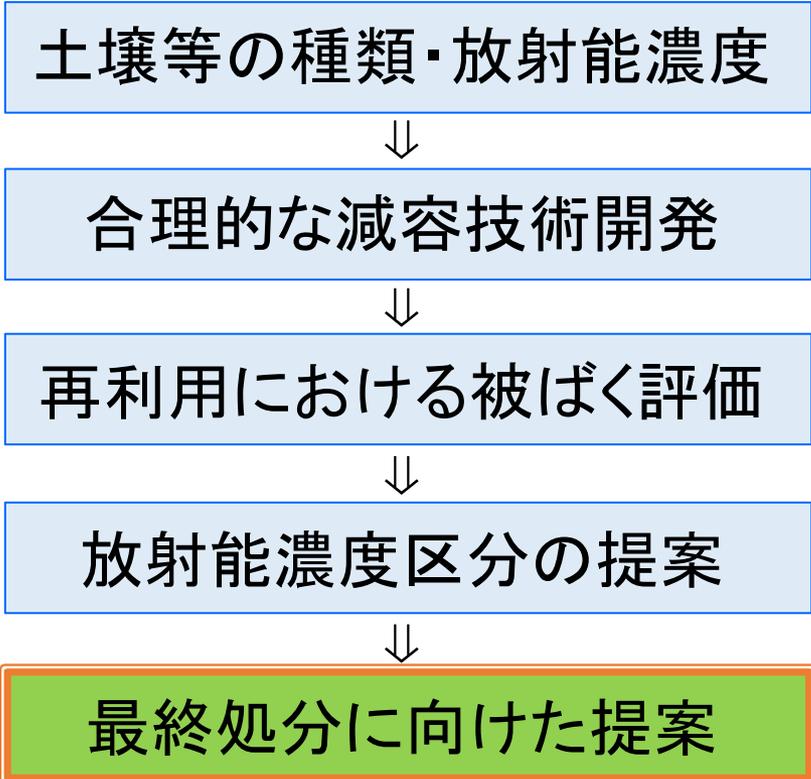


- 森林側からの土砂・枝葉等の流出によって、表面線量率が一時的に高くなる可能性はあるが、空間線量率には影響しない程度

# 除染・減容技術開発 ～土壌等の減容化に向けたアプローチ～

国の中間貯蔵除去土壌等の減容・再生  
利用技術開発戦略検討への貢献

- (1) 国のステップ 1～4のポイント  
: 減容化、再利用
- (2) JAEAのアプローチ

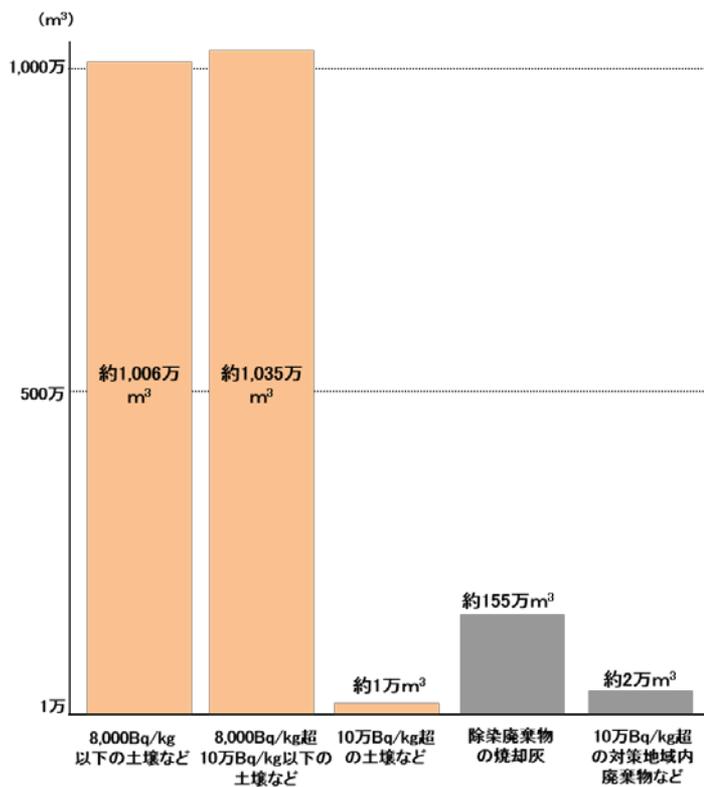


# 除染・減容技術開発 ～減容・再生利用する対象物の推計～

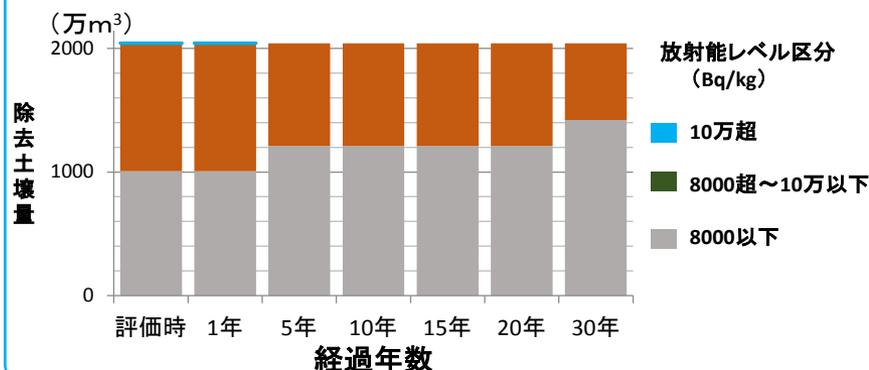


- ・除去土壌の発生量は、約2,000万m<sup>3</sup>と推計される(下図左)。
- ・現在約半分を占める放射能濃度が8,000Bq/kg以下のものは、放射能減衰により、30年後は約7割になる(下図右上)。
- ・放射性セシウムは、粘性土中に比較的多く存在する(下図右下)。
- ・減容処理を効果的に行うためには、放射能濃度と性状(粘性土か砂質土か)に適した減容技術を適用することが重要である。
- ・そのため、放射能減衰も考慮し、除去土壌等の放射能濃度と性状別の物量を推計する必要がある。

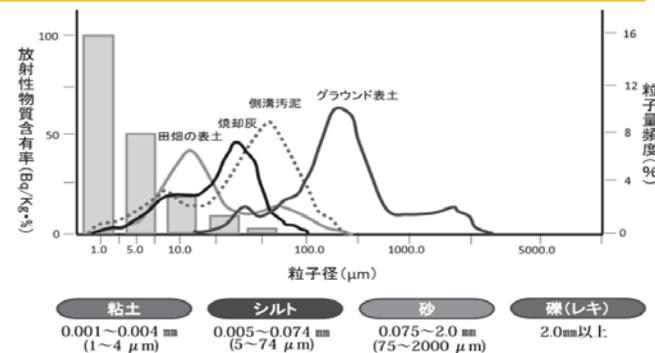
### 除去土壌などの発生量推計



### 放射能濃度毎の経時変化



### 土壌の性状別による放射性セシウムの付着特性

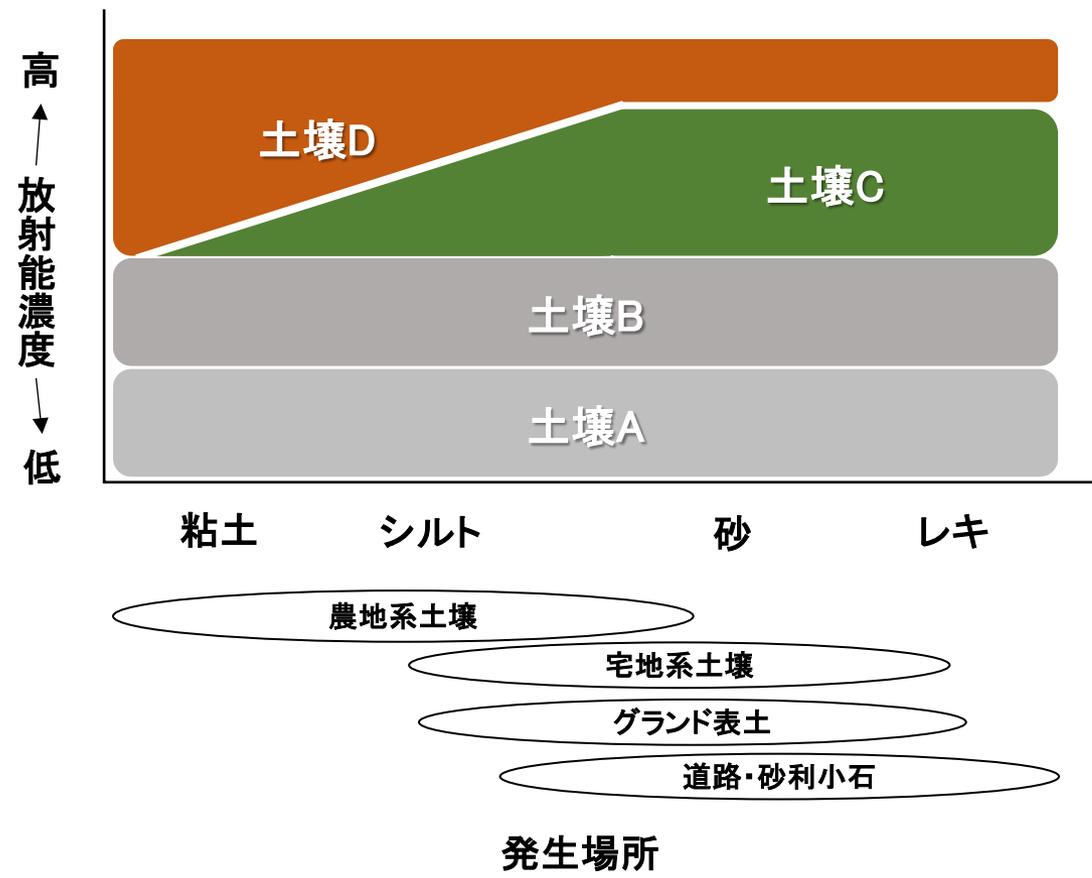


出典: 豊原治彦、佐藤敦政「放射性物質を含む汚染土壌等の洗浄と減容」(生物工学会誌第92巻5号)

# 除染・減容技術開発

## ～減容・再生利用する対象物の分類イメージ(除去土壌)～

- ・放射能濃度、土壌性状、適用する減容技術の特徴を踏まえ、除去土壌を以下の4つに分類する。
- ・それぞれの除去土壌に適した減容技術の適用を検討する。



- 土壌A: 放射能濃度が低く、用途先の放射能濃度に関するレベル(※)を満たし再生資源として使用できる粘性土及び砂質土
- 土壌B: 放射能濃度が土壌Aよりも高いが、放射能減衰を待って再生資源化できる粘性土及び砂質土
- 土壌C: 放射能濃度が中レベルの砂質土
- 土壌D: 放射能濃度が高い砂質土、及び放射能濃度が中レベル以上の粘性土

(※) 用途先の放射能濃度レベルは、用途に応じた遮へいの方法等によって異なる。

(左図は放射能濃度・性状別の模式図、物量は今後精査する)

## ◆コミュニケーション活動と成果の発信

福島県内の小中学校・幼稚園・保育園の保護者、教職員を主な対象に  
「放射線に関するご質問に答える会」を実施

子供への放射線の  
影響を心配する声  
の高まり

「コミュニケーション活動実施検討委員会」

機構が培った経験を基に、効果的なコミュニケーション活動方法について検討

- 参加者の質問に丁寧に答えることに重点を置き、放射線に関する科学的な理解の涵養
- 県内の小中学校・幼稚園・保育園の保護者、教職員、一般市民(町内会等)も対象
- 機構内から放射線・被ばく管理等の専門知識を有する職員を派遣



平成26年12月末までに241ヶ所で開催、約19,800人参加

## ○福島環境回復に係るセシウムに関する第2回国際ワークショップ

### 課題解決のために推奨された点

- 放射線対策: 長期的⇒自然減衰や環境浄化作用  
短期的⇒人為的な対策(ダムの管理等)
- 森林対策: 管理方策(間伐等)の設定や空間線量等の予測・評価
- 除去土壌の減容: 粘土や有機物の含有量に応じて、処理や再利用のプロセス
- 住民等とのコミュニケーション: リスクとベネフィットを対で簡潔にわかりやすく説明



## ○ローレンスバークレー国立研究所(米国)との国際共同研究の実施(H27.10～)

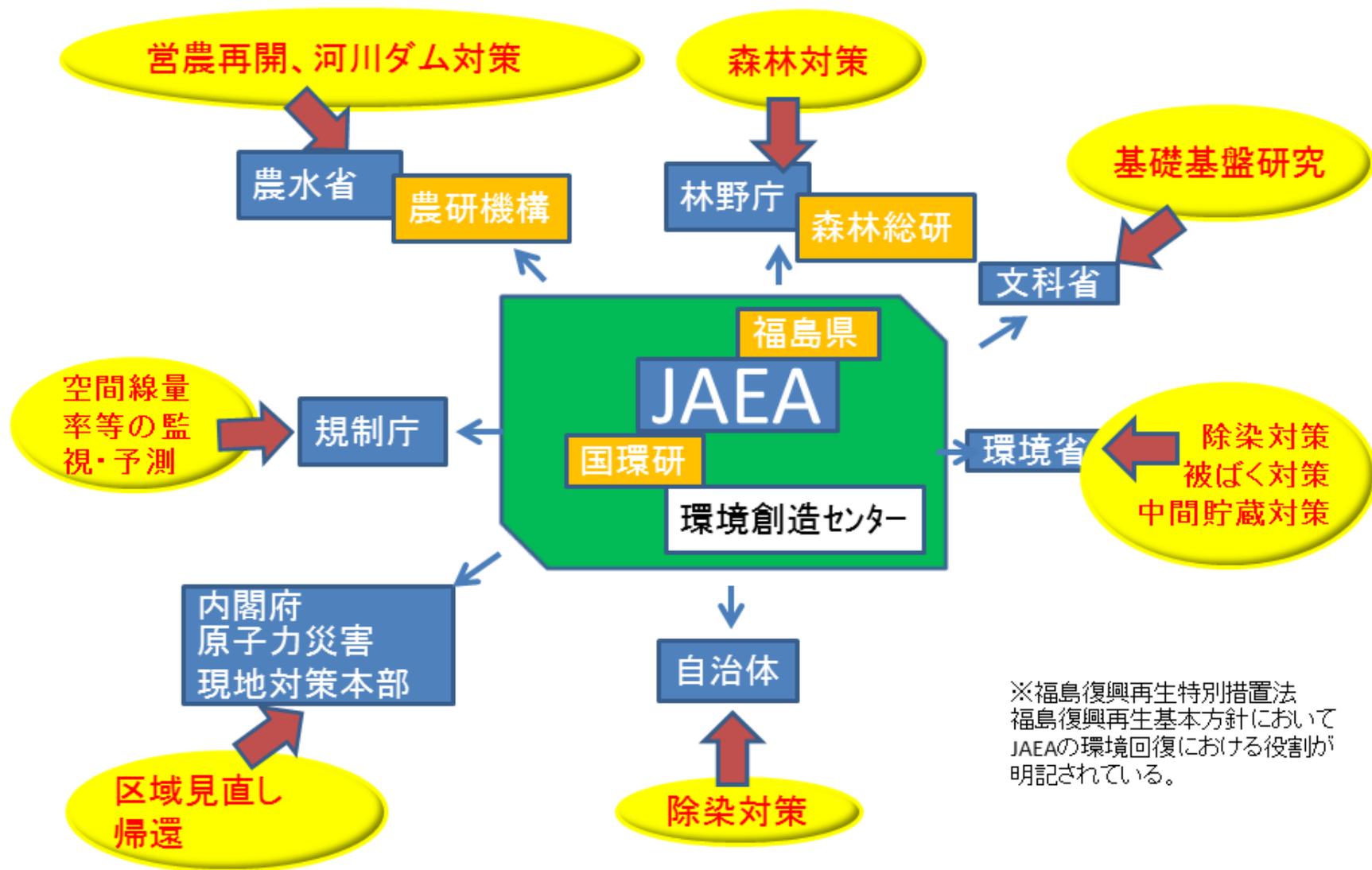
- マルチ・スケールでの個別集水域～河川流域での特性評価とモデル化
- 放射性核種による汚染の特性評価のための複雑なデータセットの統合
- 環境モニタリングデータの共有及び可視化のための標準化データベースとデータ管理枠組みの開発
- 航空機モニタリングにおける先進的概念とデータの再構築

## ◆環境創造センター計画

- 福島県、国立環境研究所と連携して、H27年度から協力開始
- 長期的なセシウムの動態予測に基づく  
環境回復や産業復興への貢献

# 環境創造センター計画

～環境回復に関するJAEAと関係省庁や他機関との関係～



※福島復興再生特別措置法  
福島復興再生基本方針において  
JAEAの環境回復における役割が  
明記されている。

□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、福島県、国立環境研究所との連携のもと、

- ・自治体等のニーズをふまえた環境回復に直結する目的指向のタイムリーな研究開発
- ・農林水産業に携わる方々への勇気づけ、産業の復興を支援する研究開発
- ・福島県環境創造センター計画を進めます。

□ここで得られた成果を国内外に積極的に発信します。

**ご清聴ありがとうございました**