

流域スケールでの放射性物質の 動態について

(独) 国立環境研究所地域環境研究センター
林 誠二

国立環境研究所での多媒体放射性物質研究

放射性物質の広域的な実態と動態の把握、将来分布や生物移行の予測、
対策オプションの効果予測 等

環境動態計測

■ 森林、河川、ダム湖沼、沿岸海域における
動態(空間分布、移行や蓄積等)の実態把握、
モデルのためのデータ取得

多媒体環境モデリング

■ 対象地域
南東北・北関東一帯を中心とする広域
■ 大気モデル・陸域モデル・沿岸海洋モデルに
結合による動態解明・将来予測

ヒト曝露解析

- ・重点調査対象地域における曝露源解析のための計測手法・体制の整備
- ・短期的・長期的曝露解析手法の開発
- ・ ^{131}I の曝露解析手法(^{129}I 測定法)の開発

生物・生態系影響調査

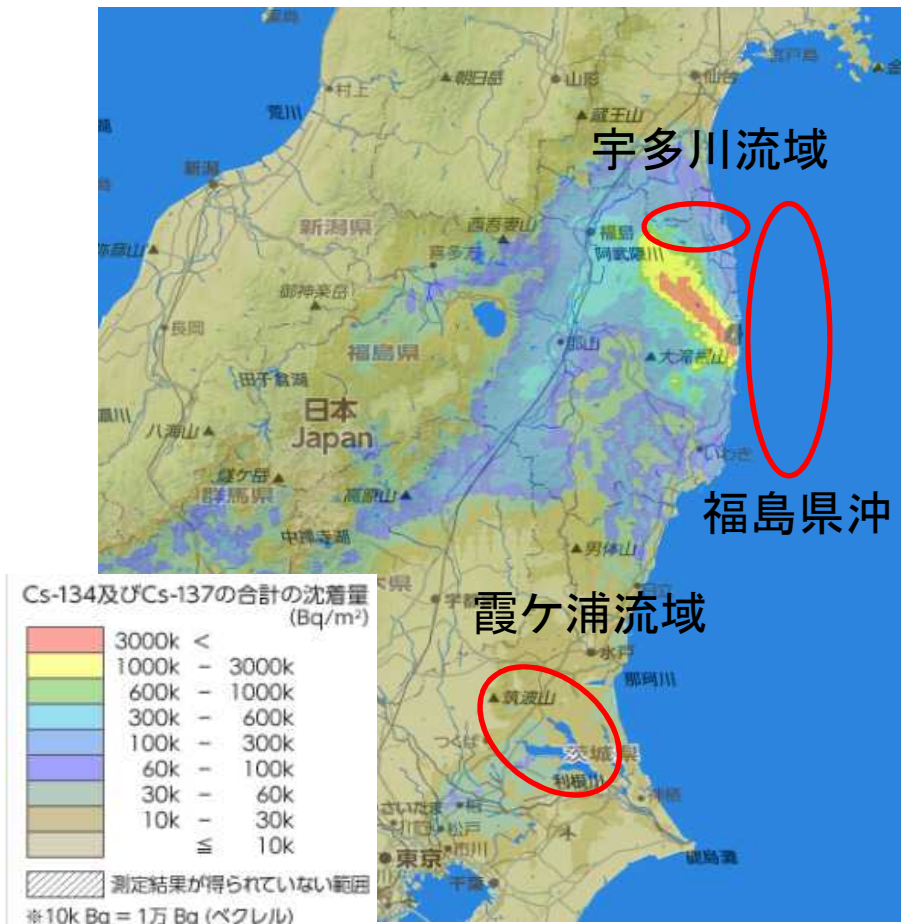
- ・遺伝子組換え植物及び野生菌類を用いた放射線影響評価手法の開発
- ・齧歯類に対する影響調査

放射性物質による人の健康への影響
把握に貢献

放射性物質による生物・生態系への
影響把握に貢献

環境動態計測研究の概要

流域圏スケールでの放射性物質の動態をモニタリング



モニタリングの対象

- ・場から場への移動・集積
→ストックとフローの定量評価
- ・非生物→生物、生物間の移行

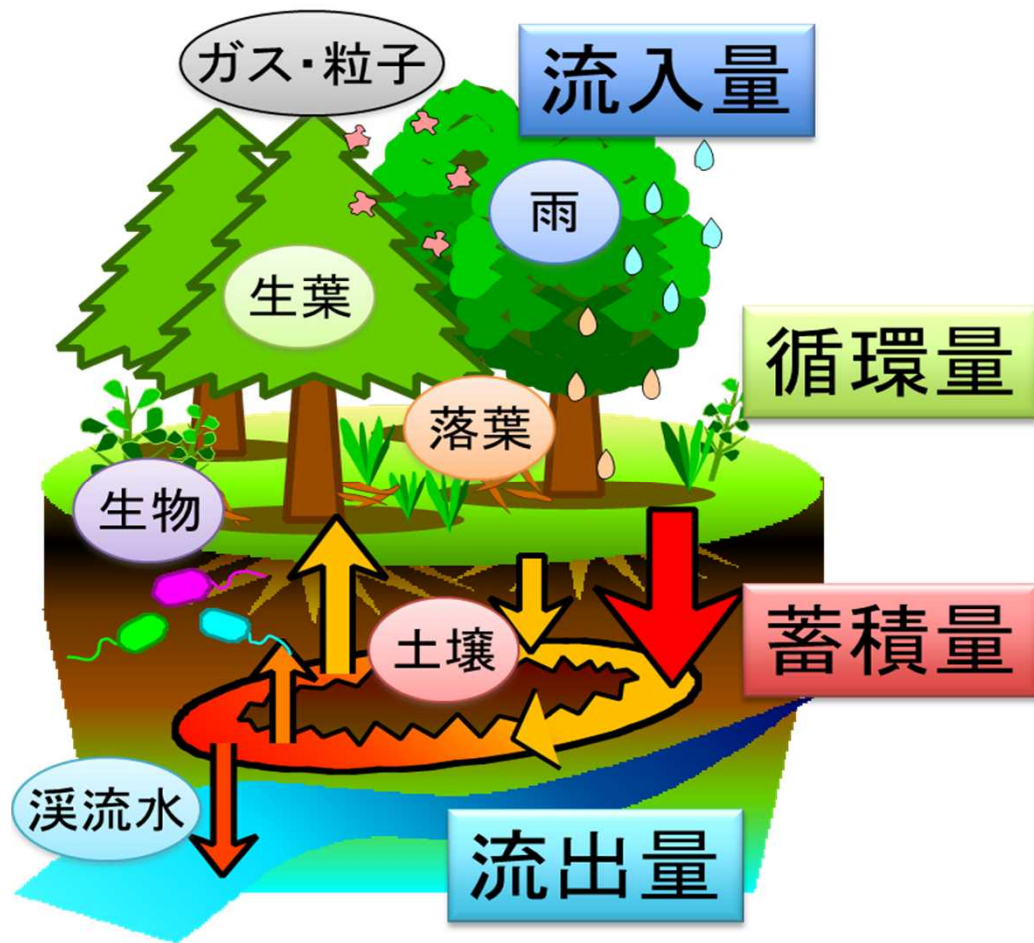
対象流域

- ・軽汚染地域：霞ヶ浦流域
- ・重汚染地域：福島県宇多川流域
(+福島県沖)

手法活用



森林域における ^{137}Cs の循環と流出特性を調査



①筑波山(霞ヶ浦流域)での調査

- 林内雨－落葉－土壌－生葉をセットで調査

→ ^{137}Cs 循環特性を把握

- 降雨時流出調査

- ・SS成分の分級操作
- ・溶存態成分の濃縮操作

→ ^{137}Cs 流出特性を解明

②宇多川上流域での調査

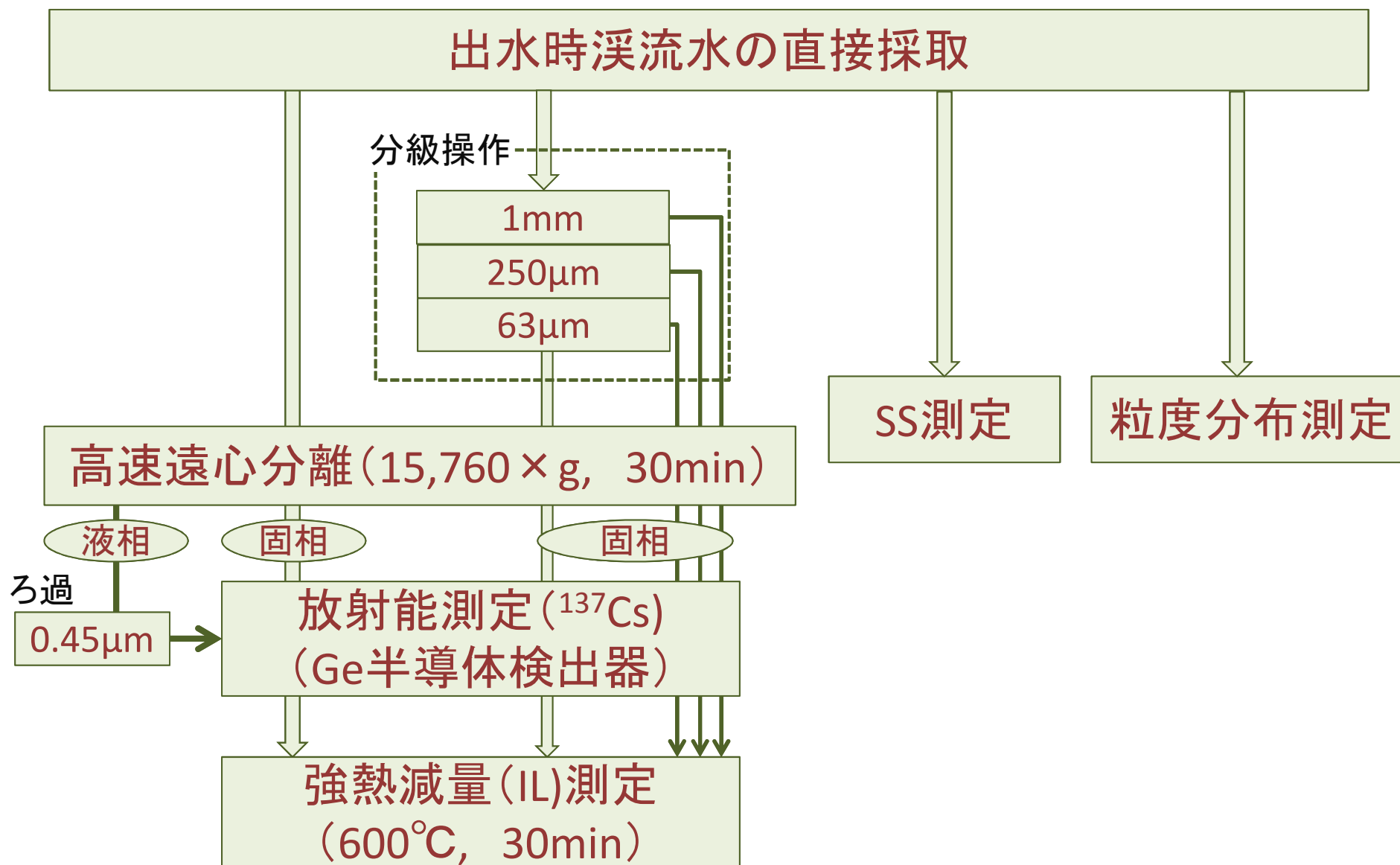
- 土壌鉛直分布調査

→ 樹種毎の ^{137}Cs 蓄積状況の把握

- 降雨時流出調査

→ ^{137}Cs 流出量の定量評価

放射性Cs流出特性の把握を目的とした測定の概要



^{137}Cs 流出量推定手法

$$^{137}\text{Cs} \text{流出量} = \text{溶存態} + \text{懸濁態}$$

$$\text{溶存態}^{137}\text{Cs} \text{流出量} = \text{流出水量} \times \text{溶存態}^{137}\text{Cs} \text{平均濃度}$$

流量自動連続観測

定期採水 + 降雨流出時採水

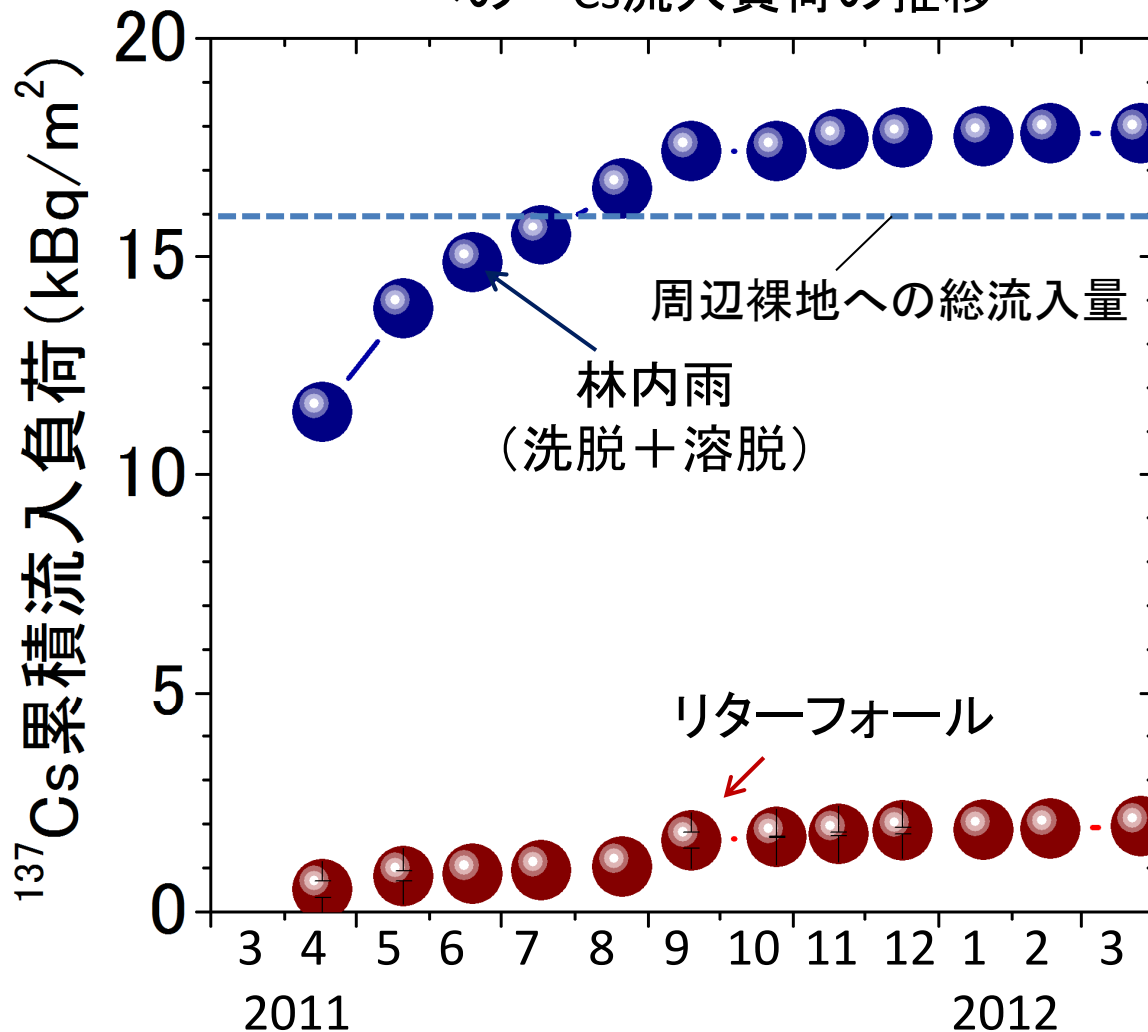
$$\text{懸濁態}^{137}\text{Cs} \text{流出量} = \text{流出水量} \times \text{浮遊性土砂濃度} \times \text{浮遊性土砂含有}^{137}\text{Cs} \text{平均濃度}$$

浮遊性土砂フラックス

- 筑波山ではL-Q(流量によるSSフラックス推定式)から推定
- 宇多川では濁度-浮遊性土砂濃度関係式を基に推定

事故後の林床への ^{137}Cs 沈着量の推移

事故後1年間のスギ50年生林地表面
への ^{137}Cs 流入負荷の推移



樹冠への初期沈着分：
→ 半年の間に林内雨経由で大部分
が林床へ移動



既往の事例とほぼ合致

林内雨負荷 >> リターフォール

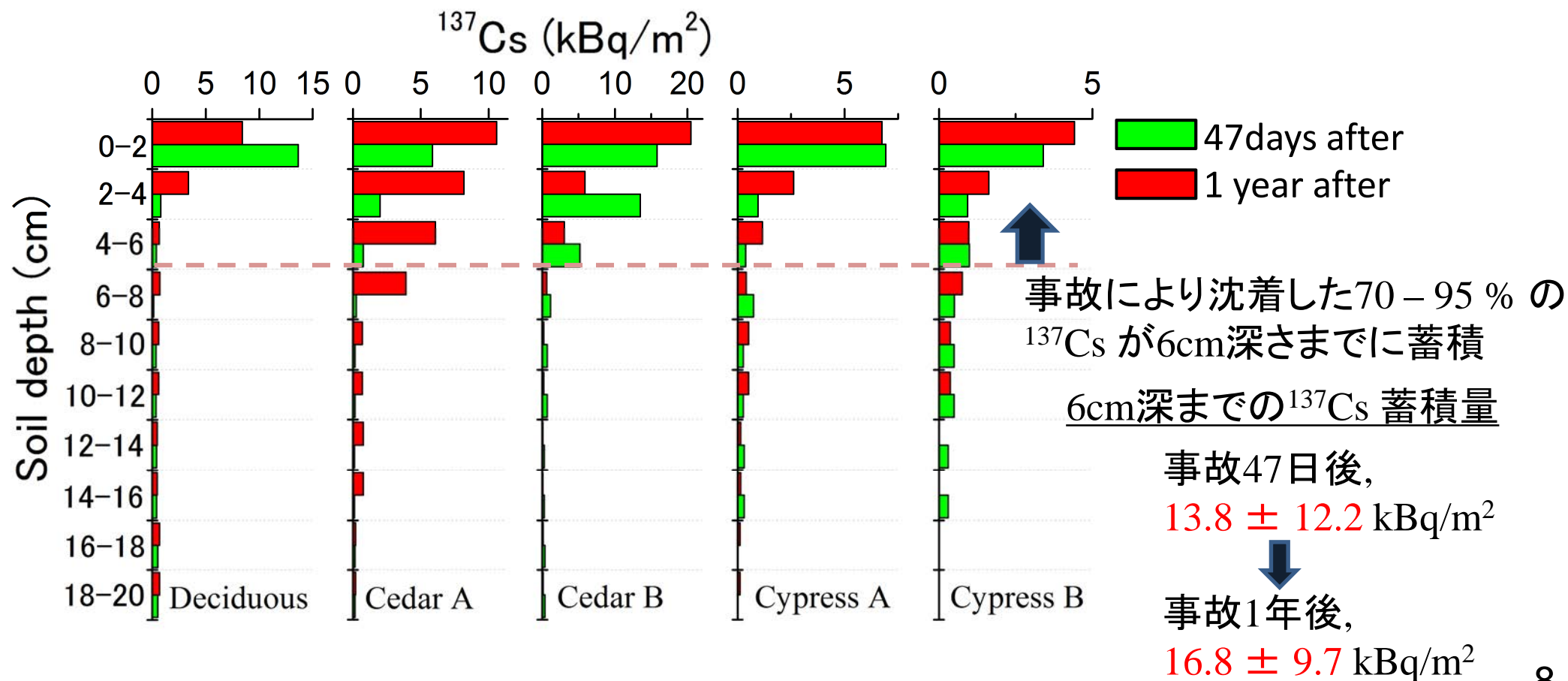


林床の汚染は、事故後の新たな落葉
(L層)より、初期沈着や事故後の林内
雨の影響が大きい

森林土壌への ^{137}Cs の蓄積特性と推移

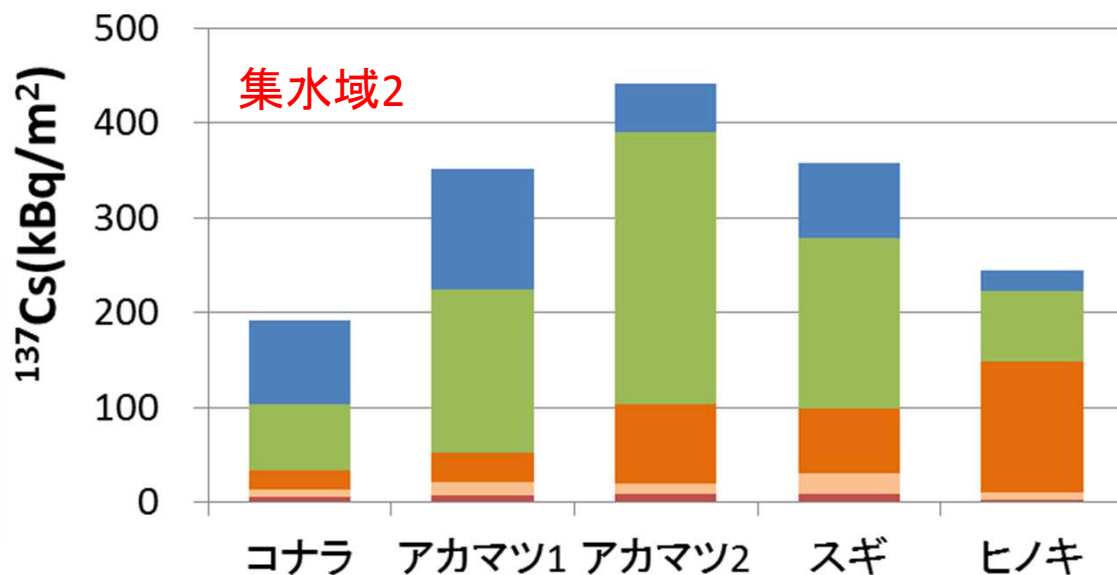
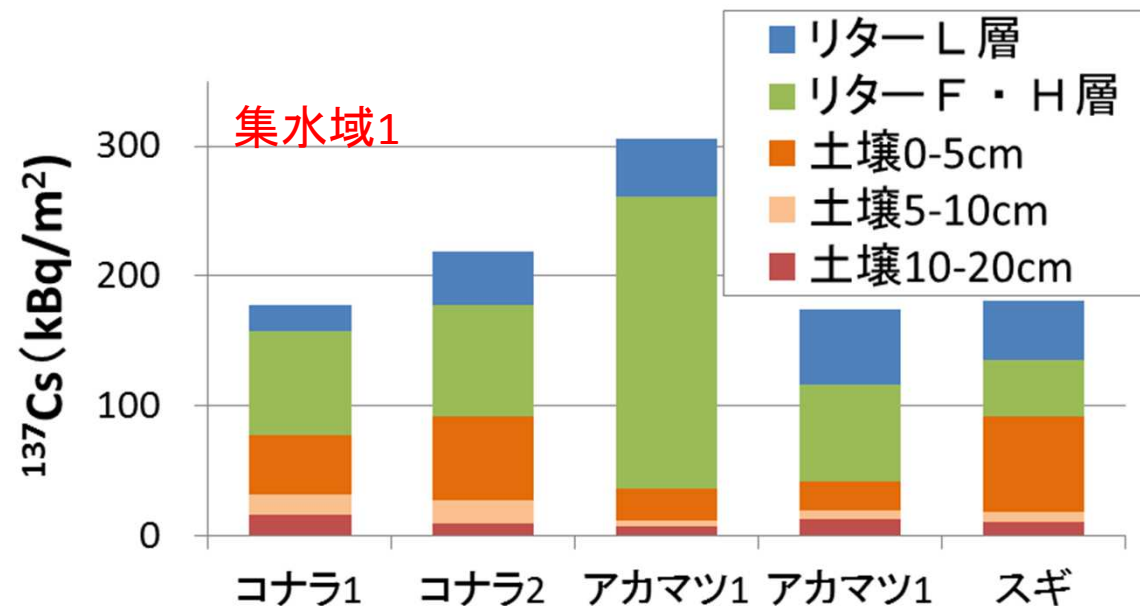
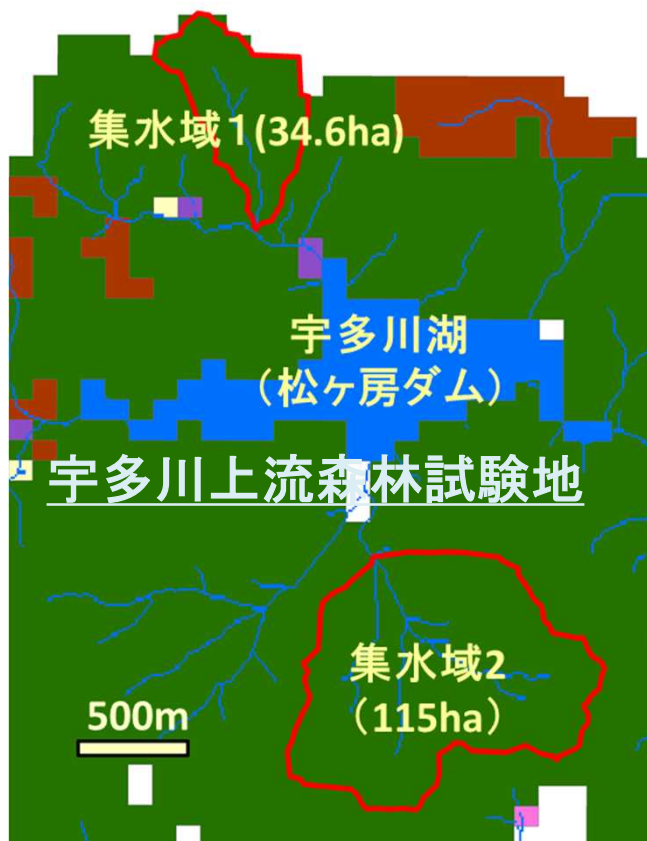
- リター層を主とする表層土壌に蓄積し、下方移動速度は小さい
- 樹冠からの移行(林内雨&リターフォール)によって初期沈着時に比べ土壌蓄積量は増加

筑波山の主な樹種における ^{137}Cs 土壌蓄積量鉛直分布



宇多川上流森林域での ^{137}Cs 蓄積状況

(調査日: 2012年9月18~20日)

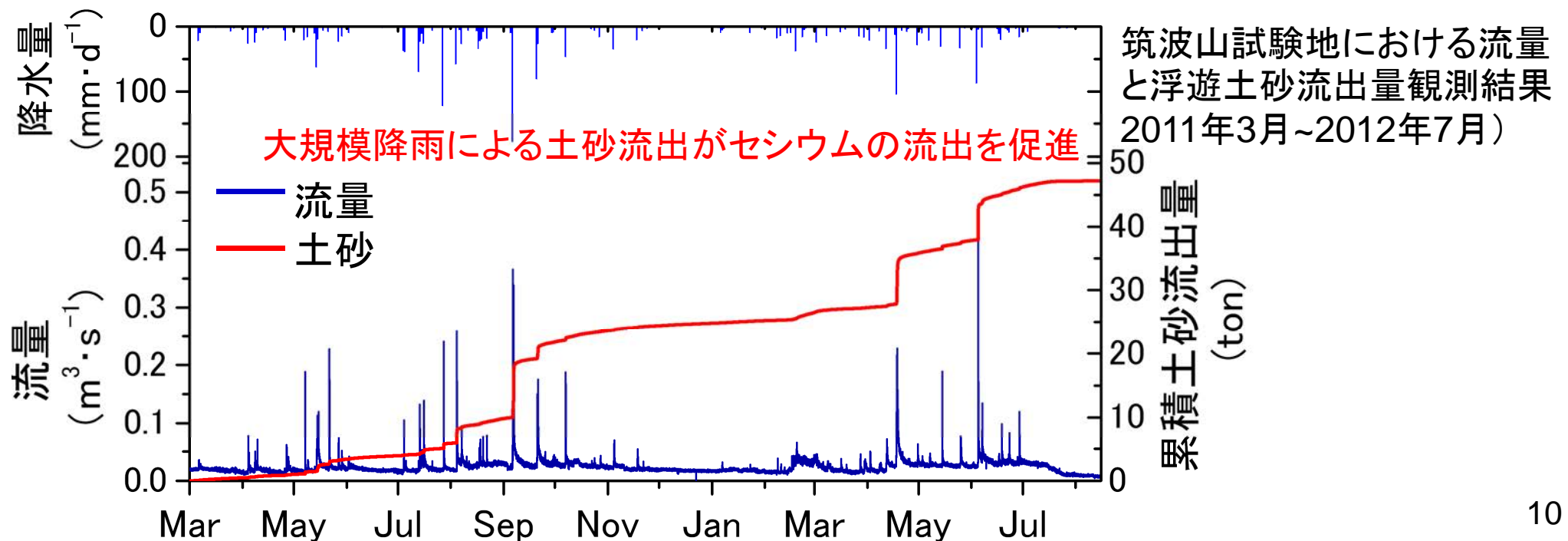


- 90%以上が土壌5cm深までに蓄積(大部分がリター層に)
- 表層土壌ではヒノキが最も高濃度(6,200Bq/kg乾重)

量から見た¹³⁷Cs流出状況

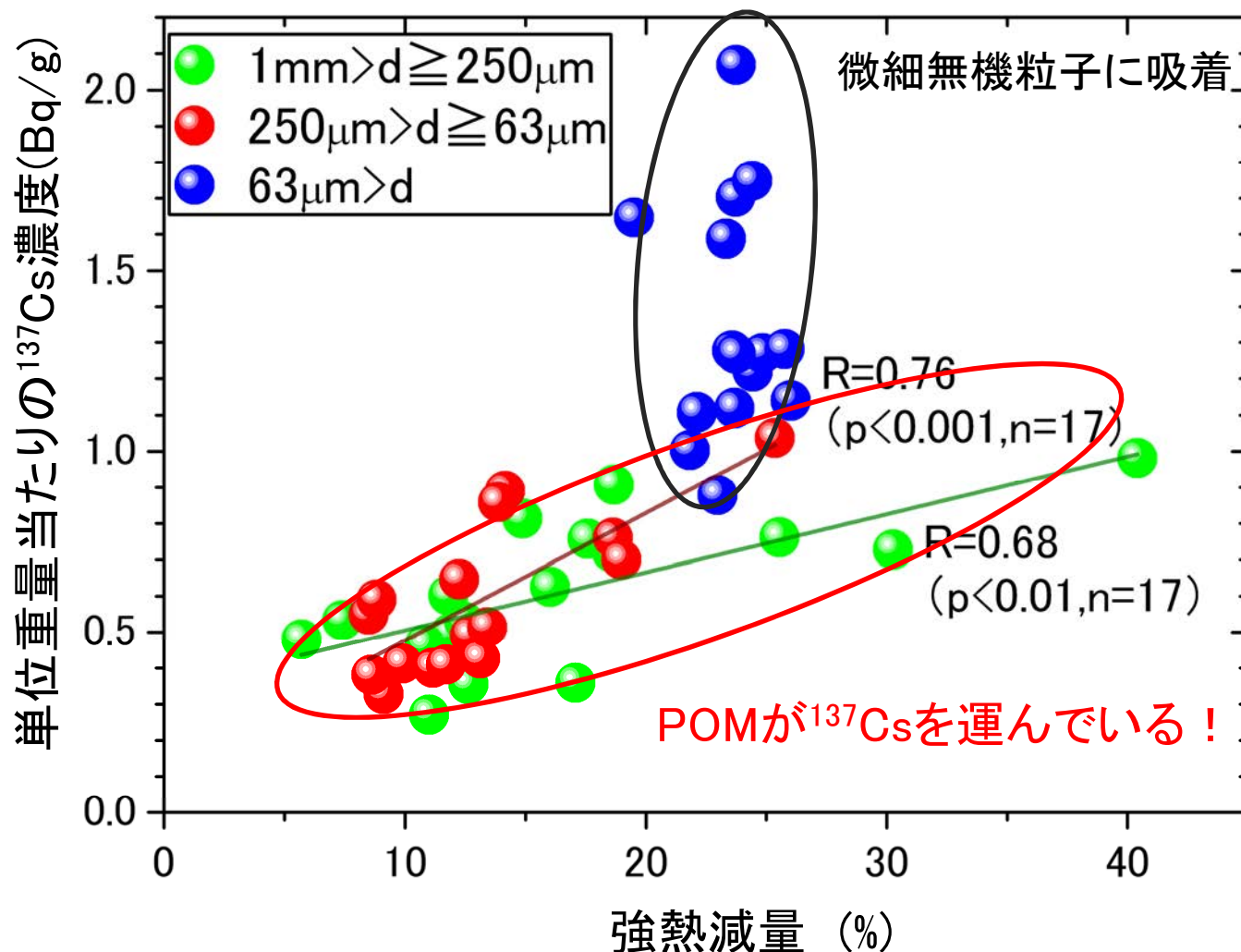
	筑波山 (1年間)	宇多川上流 (7か月間)
SS由来 ¹³⁷ Cs 濃度 (kBq/kg)	0.86	17~22
SS由来の ¹³⁷ Cs 流出量 (kBq/m ²)	0.04	0.41~0.67
SS由来の ¹³⁷ Cs 流出率 (%)	0.3	0.02~0.03

- 懸濁成分に関連した形態での流出が主体(溶存態Csは0.02Bq/L未満)
- 流域の汚染程度に関わらず流出率は小さい(年間0.3%未満)
- 下流水域へは、大規模降雨時に限定、かつまとまって流入



質から見た ^{137}Cs 流出状況

粒径画分毎の浮遊性土砂含有 ^{137}Cs 濃度

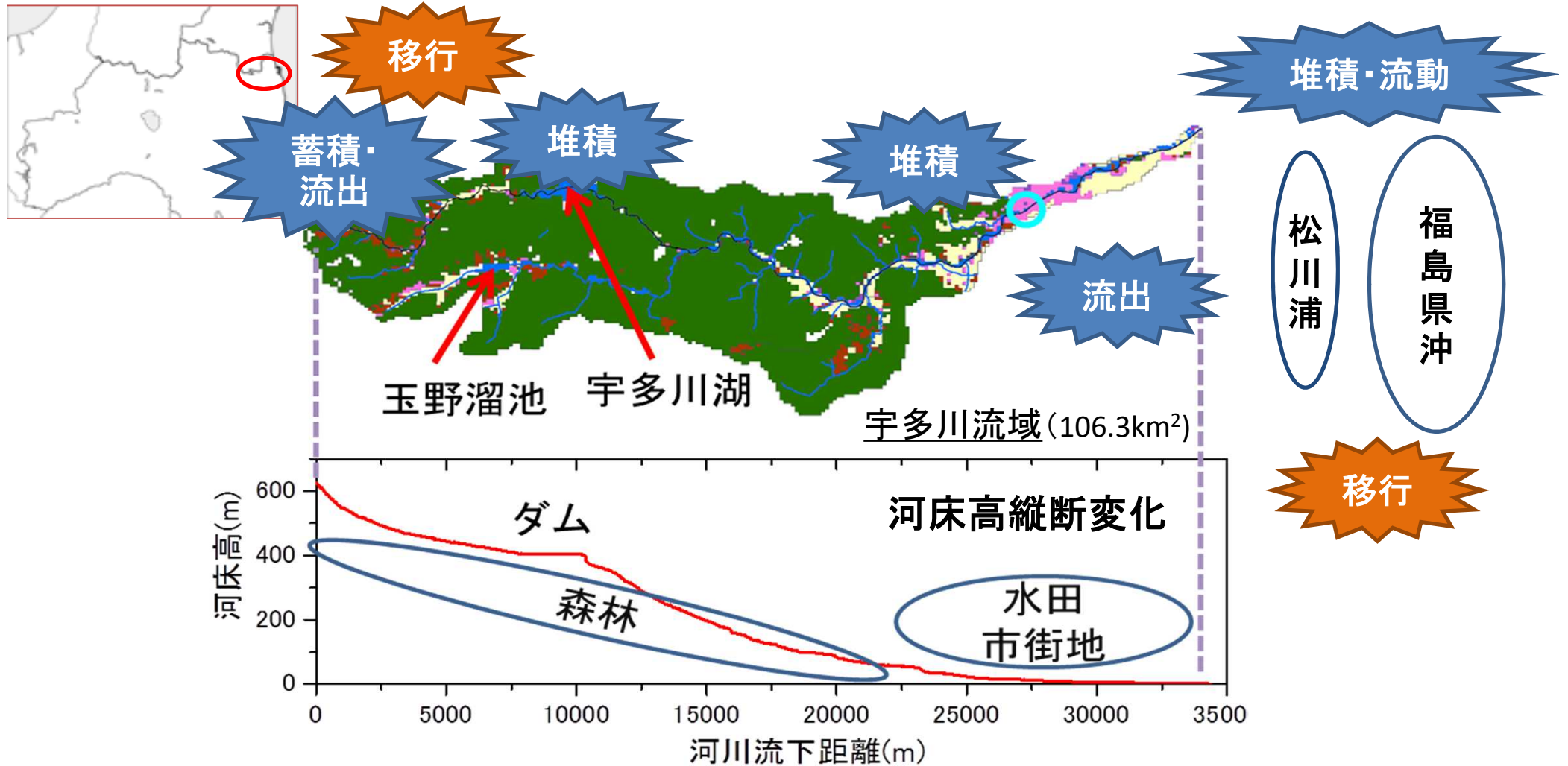


POM: 粒状態有機物
(主に植物の遺骸)

- 1mm以上の画分 (CPOM)は微量、 ^{137}Cs は検出限界以下
- 63 μm 以上の画分が ^{137}Cs 量の15~48%を占める

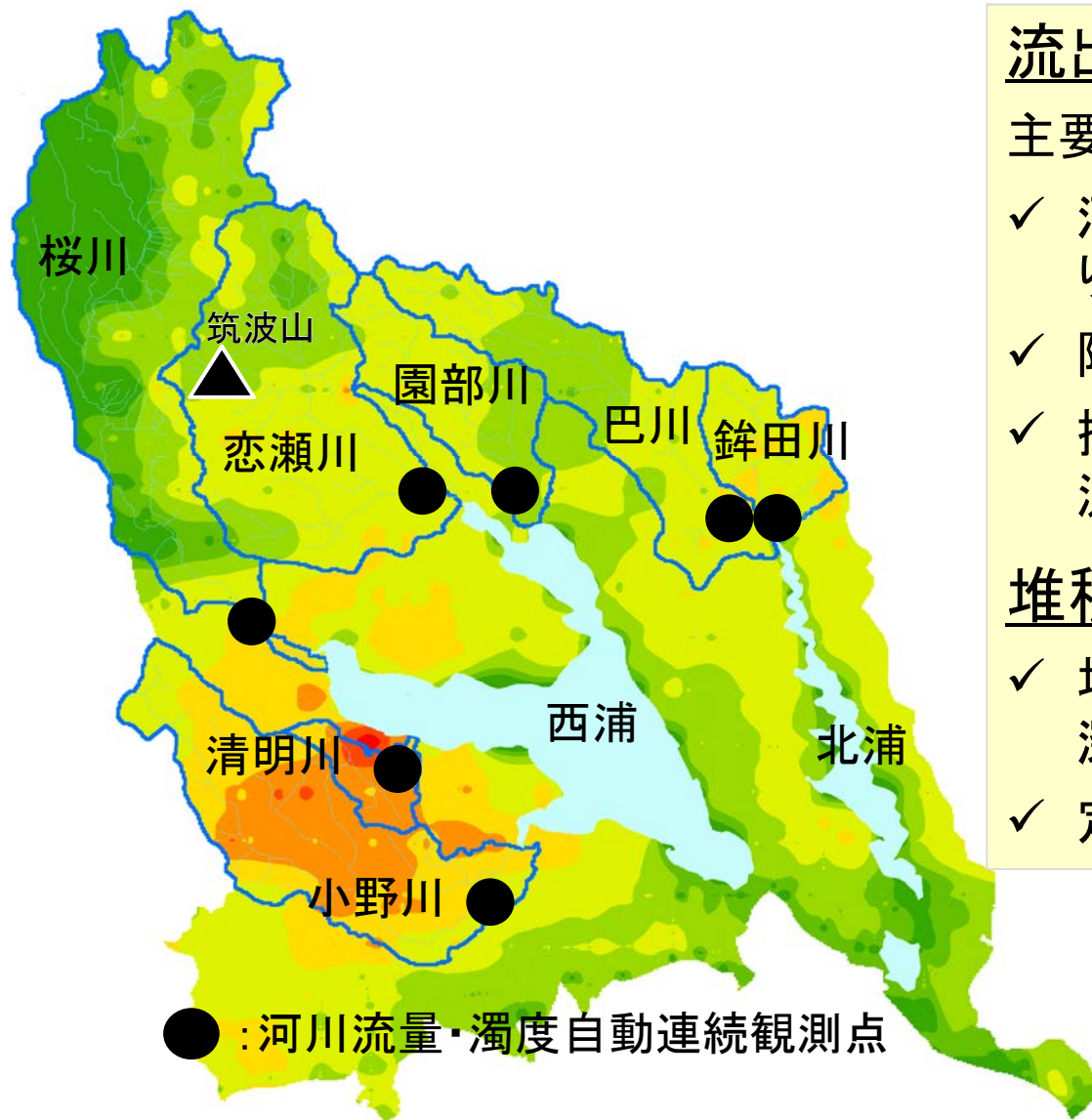
下流水域の水棲生物への蓄積→食性を考慮したモニタリングが重要

流域スケールでの放射性物質の移動と集積を把握



急峻な上流から平坦な下流に向けた、土砂動態に伴われた移動・集積 (流入水域や市街地への移染)を把握することが肝要

霞ヶ浦流域での流出・堆積調査



霞ヶ浦流域セシウム¹³⁷沈着量マップ
(文科省航空機モニタリング)

流出調査

主要7流入河川を対象とした、

- ✓ 河川流量・濁度自動連続観測(事故以前より実施:霞ヶ浦河川事務所)
- ✓ 降雨流出時の連続採水調査
- ✓ 採取試料中の懸濁態と溶存態の¹³⁷Cs濃度測定

堆積調査

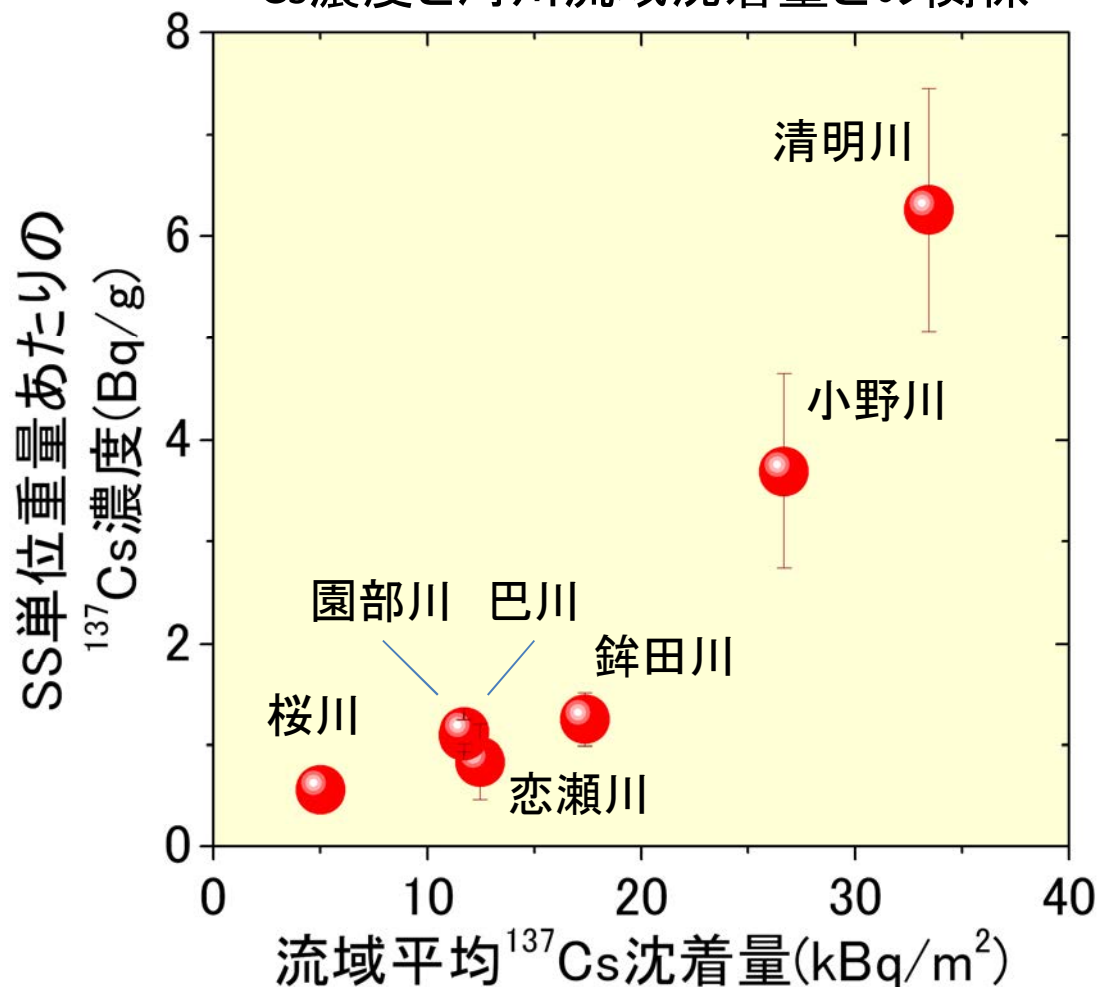
- ✓ 堆積分布調査:湖内80地点を対象に15cm深までの¹³⁷Cs蓄積量を測定(2012年12月)
- ✓ 定点コアサンプリングによる経時解析

Cs-137蓄積量(Bq·m⁻²)

<2,500	20,000 - 30,000
2,500 - 5,000	30,000 - 40,000
5,000 - 10,000	40,000 - 50,000
10,000 - 20,000	50,000 <

主要流入河川流域からの¹³⁷Cs流出状況

出水時における河川水浮遊土砂(SS)に含まれる¹³⁷Cs濃度と河川流域沈着量との関係



事故後1年間の浮遊土砂経由での¹³⁷Cs流出量試算結果

	恋瀬	小野	清明	鉾田
SS比流出量 (kg/m ²)	0.036	0.016	0.028	0.021
¹³⁷ Cs比流出量 (kBq/m ²)	0.030	0.061	0.18	0.026
¹³⁷ Cs流出率 (%)	0.24	0.23	0.52	0.15

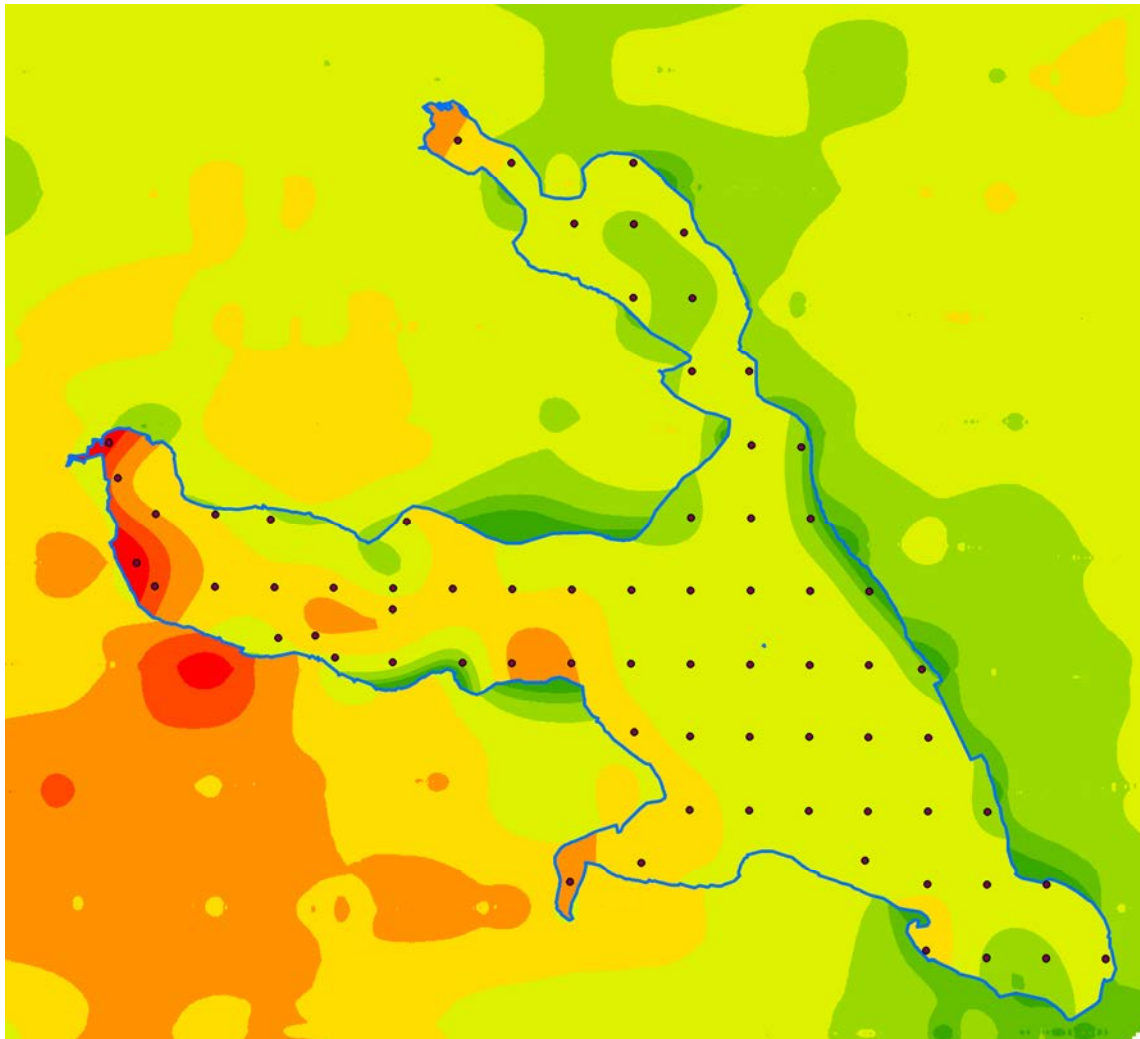
流域全体でも、ほとんど流出していない

SS中の¹³⁷Cs濃度 → SS濃度に依存せず変動
→ 流域沈着量に依存

霞ヶ浦底質における ^{137}Cs 堆積分布

^{137}Cs 堆積分布図

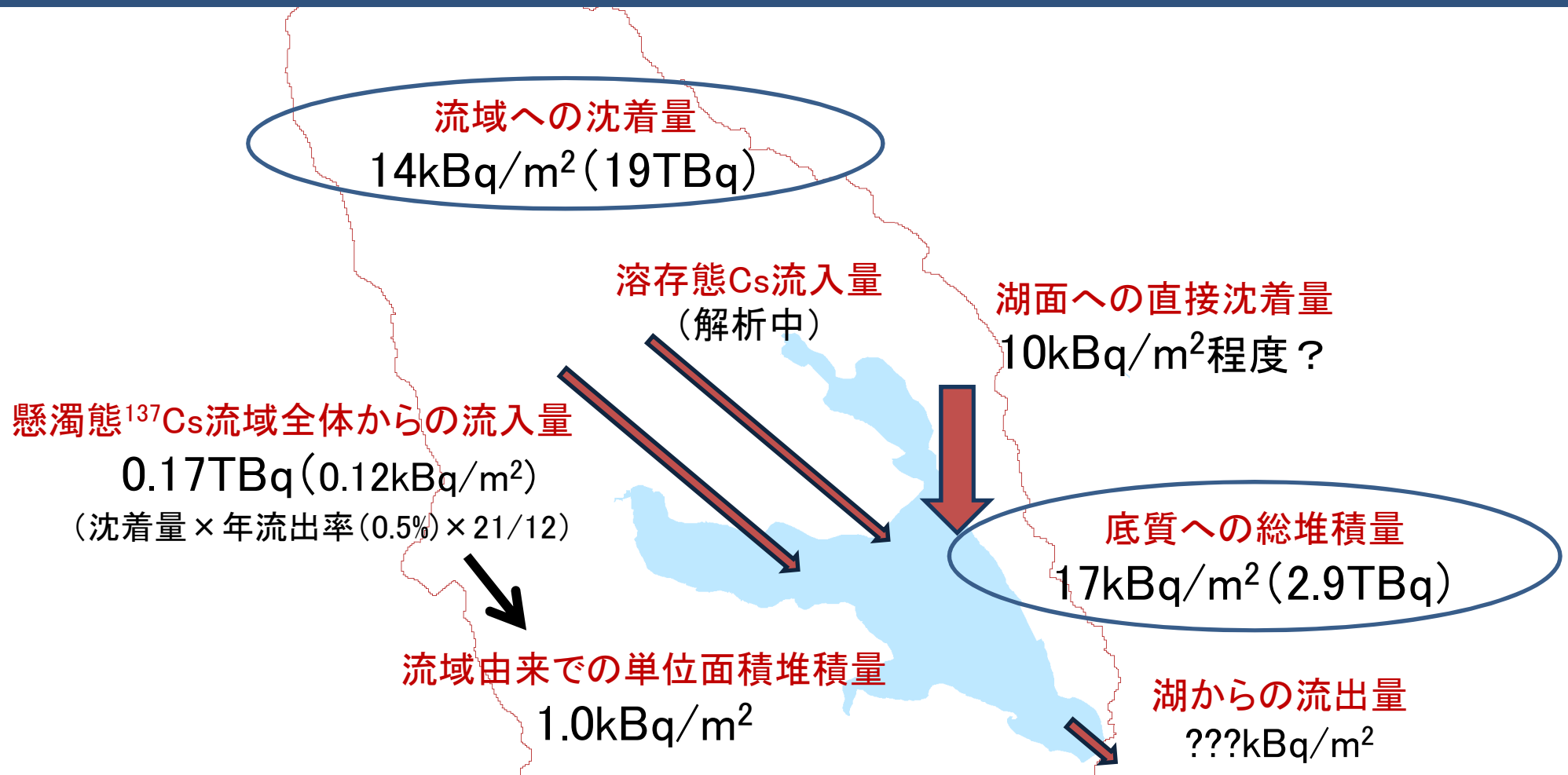
(採取地点データから2次スプライン補間により作成)



- ・湖の西側土浦入で高め
→ 初期沈着を反映
- ・河口部で局所的に高い
小野川, 清明川, 花室川, 恋瀬川
→ 流入を反映
- ・総堆積量は2.9TBq(17kBq/m²)
- ・コアの経時変化とあわせて解析

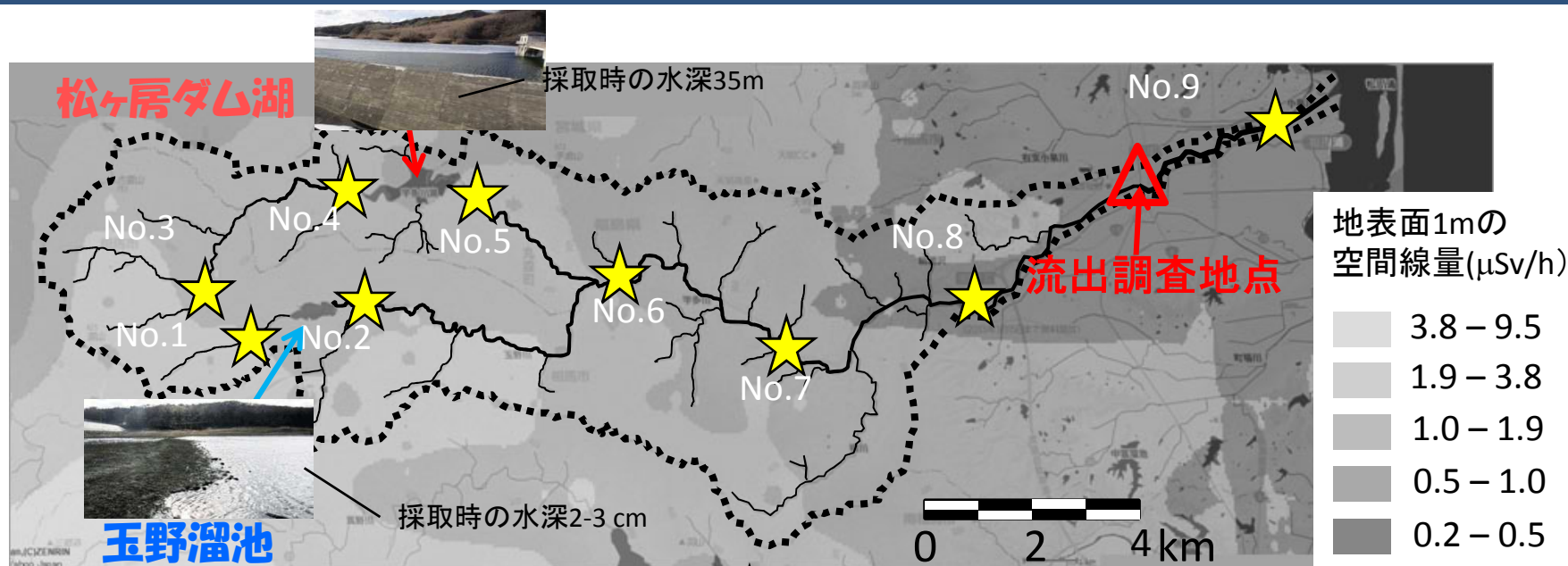
●: 底泥採取地点

霞ヶ浦(西浦)流域における ^{137}Cs フローとストック: 事故後21ヶ月間まとめ

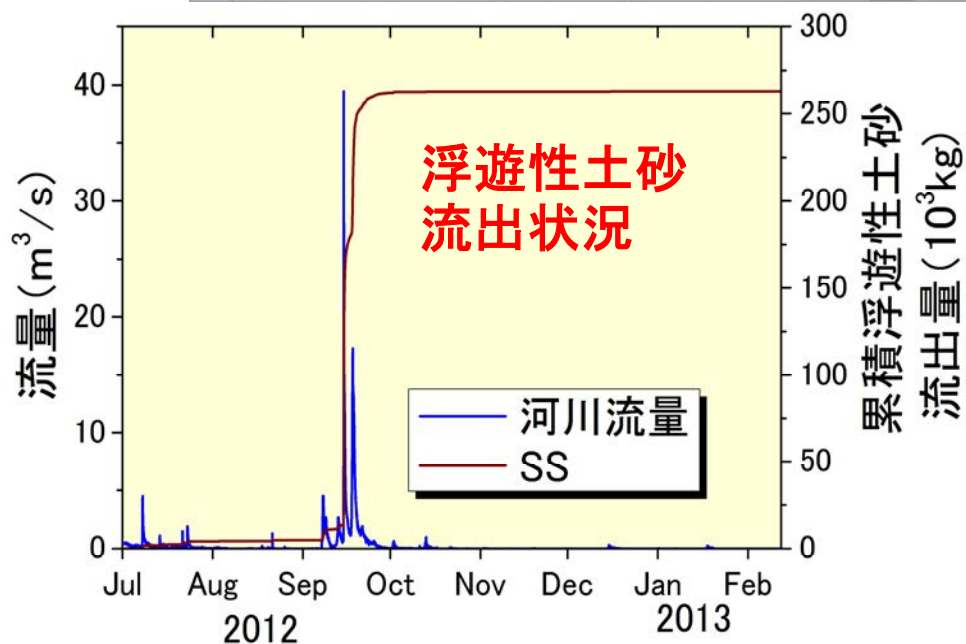


- 浮遊性土砂由来の流入の寄与はこれまでもこれから小さい?
- 直接沈着や市街地からの初期流出と長い滞留時間(200日)が底質ストックに寄与

宇多川における流出・堆積状況



★: 河床堆積調査地点



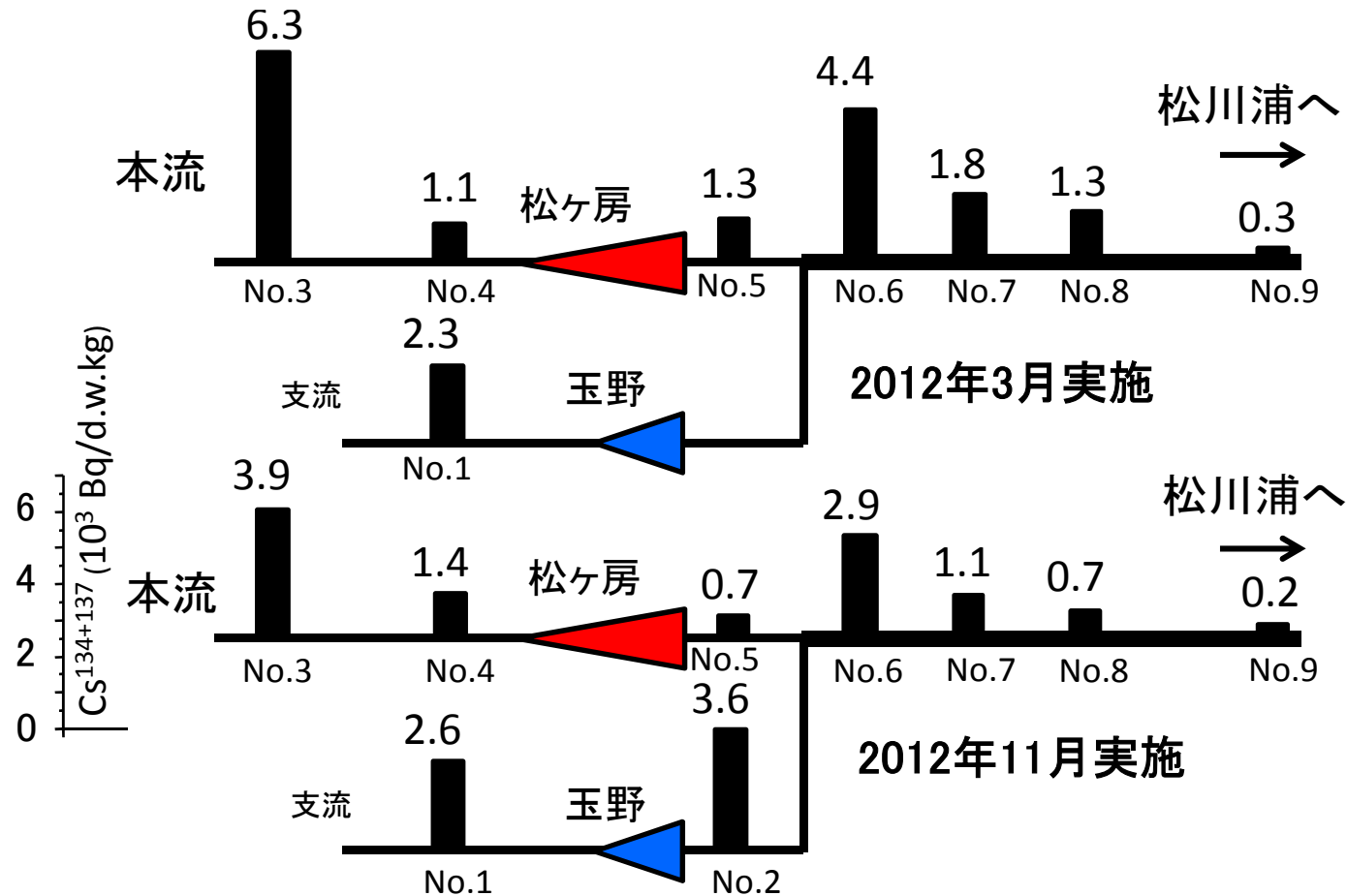
流域全体での流出状況

SS含有平均 ^{137}Cs 濃度: $9,000\text{Bq/kg}$
 SS由来の ^{137}Cs 流出量: 0.024kBq/m^2
 (2.4GBq)
 ^{137}Cs 流出率: 0.012% (12年7月~13年/2月)

森林だけでなく流域全体からも流出は限定的
 ただし、少雨状況であったことは考慮すべき

河床堆積物中の放射性セシウムの蓄積状況

河床堆積物中の¹³⁷Cs濃度

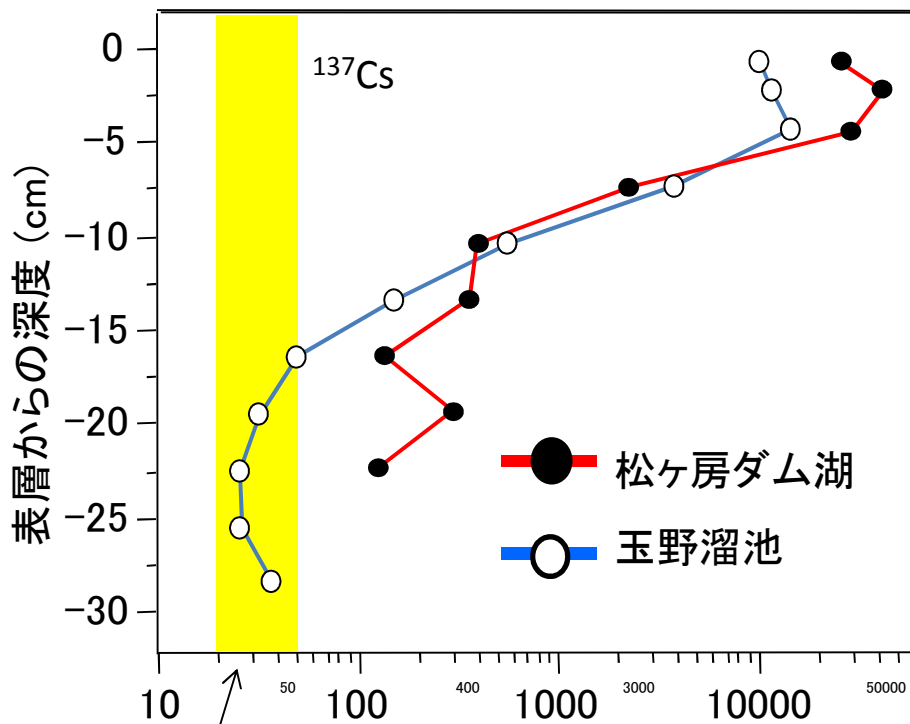


- 1) 濃度は上流 > 下流、ダム・溜池の前後での変化は小さい → 近傍の汚染状況に強く依存？
- 2) 玉野川支流で濃度が高く、支流合流後の下流に向けて濃度が低下
→ 汚染された上流の堆積物の動きは遅く、事故後20カ月を経ても河口にはほとんど到達していない

湖沼堆積物中の放射性セシウム¹³⁷Csの蓄積状況

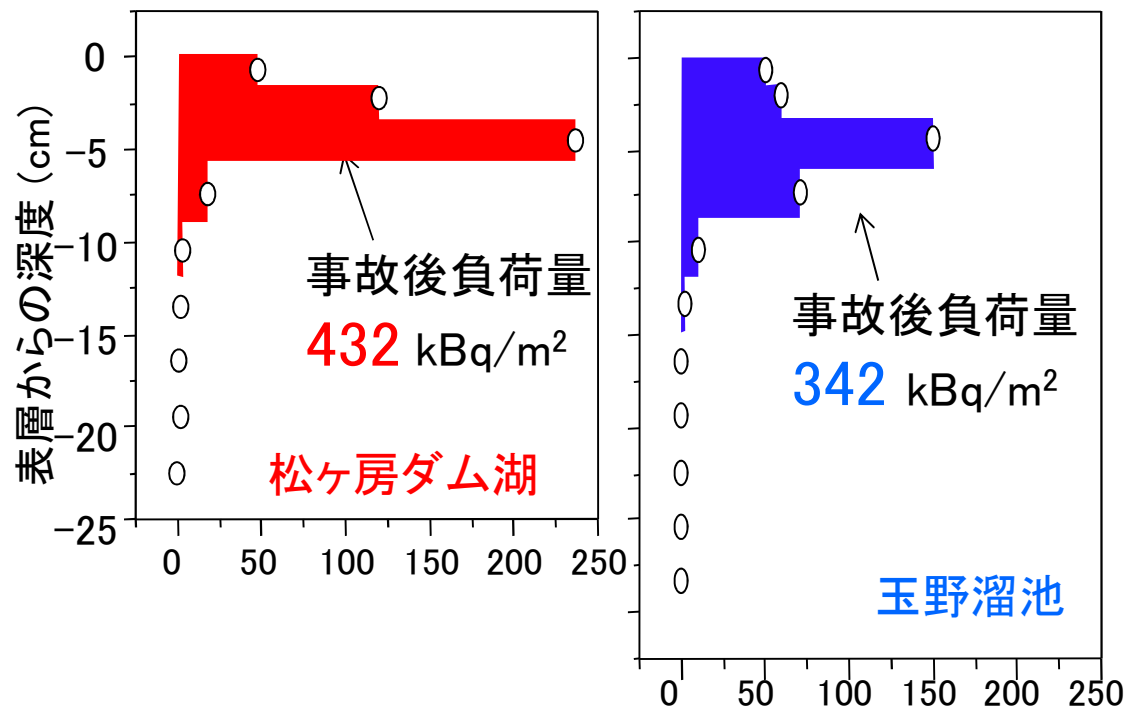
2012年11月実施

¹³⁷Cs濃度の深度プロファイル



一般的な震災前の¹³⁷Cs (Bq/kg)
¹³⁷Csの濃度

事故後の放射性セシウム¹³⁷Cs蓄積量 (kBq/m²)



各層の¹³⁷Csの単位面積当たりの総量(kBq/m²)

周辺山林へのCs-137平均沈着量(300 ± 80 kBq/m²)と比較すると、湖沼堆積物中には**山林と同等もしくは若干多めに蓄積**

→ 直接沈着・初期流入の影響が大きく、現況での集水域からの流入の寄与は小さいのでは

まとめ

流域スケールでの放射性セシウムの動態

- 森林域からの流出は、汚染の程度に関わらず非常に少ない
- 動き易いものは、沈着後速やかに移動・再集積した可能性が高い
- 巨視的に視れば、現況では流出による減衰（上流域）や再集積による汚染（下流域）速度は、自然減衰よりも小さいのでは？
- 流入水域や河床への堆積物としての ^{137}Cs の対処が、今後の課題