

流域環境における放射性物質の動態

(独) 国立環境研究所

多媒体での放射性物質実態把握・動態解明グループ

林 誠二

国立環境研究所における多媒体での放射性物質研究

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

- 重点対象地域
重汚染地域: 福島県東部(宇多川等)
軽汚染地域: 茨城県(筑波山、霞ヶ浦)
- 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
阿武隈川水系/福島県沿岸域/関東北部を中心とする広域
- 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

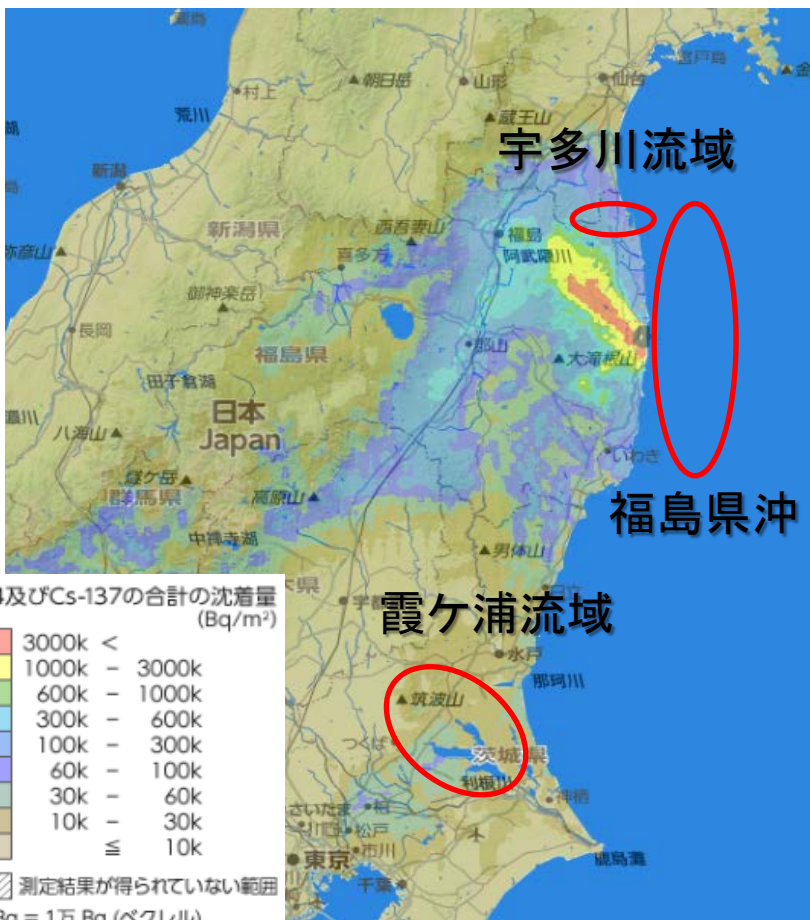
- ・ 遺伝子組換え植物及び野生菌類を用いた放射線影響評価手法の開発
- ・ 齧歯類に対する影響調査

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

環境多媒体動態計測研究の位置付け

流域圏スケールでの放射性物質の動態計測を実施



計測の対象

- ・場から場への移動・集積
- ・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
→コアサイト，手法開発，機構解明
- ・重汚染地域：福島県宇多川流域
(+福島県沖)
→実態把握、社会・行政ニーズへの対応

手法活用

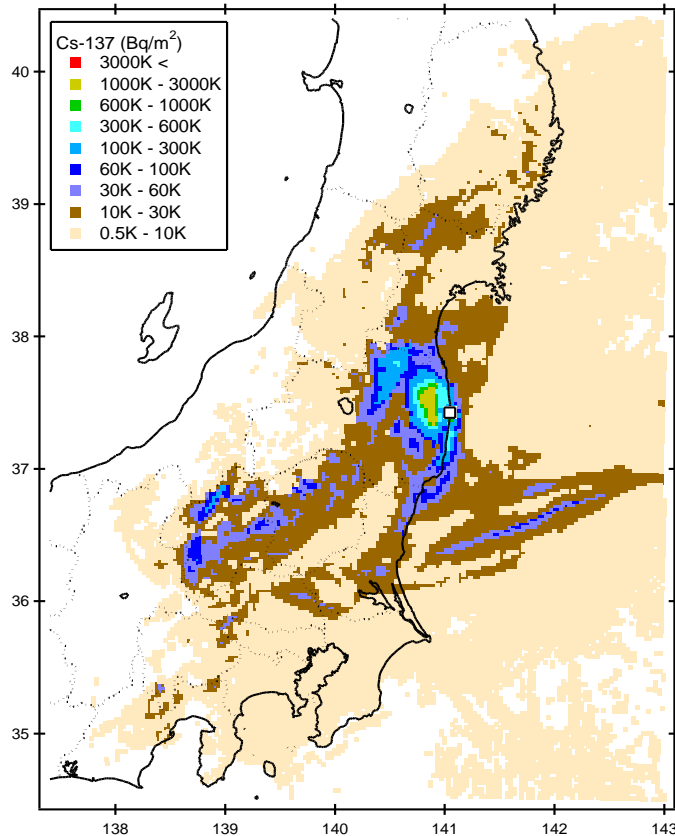


本日の発表内容

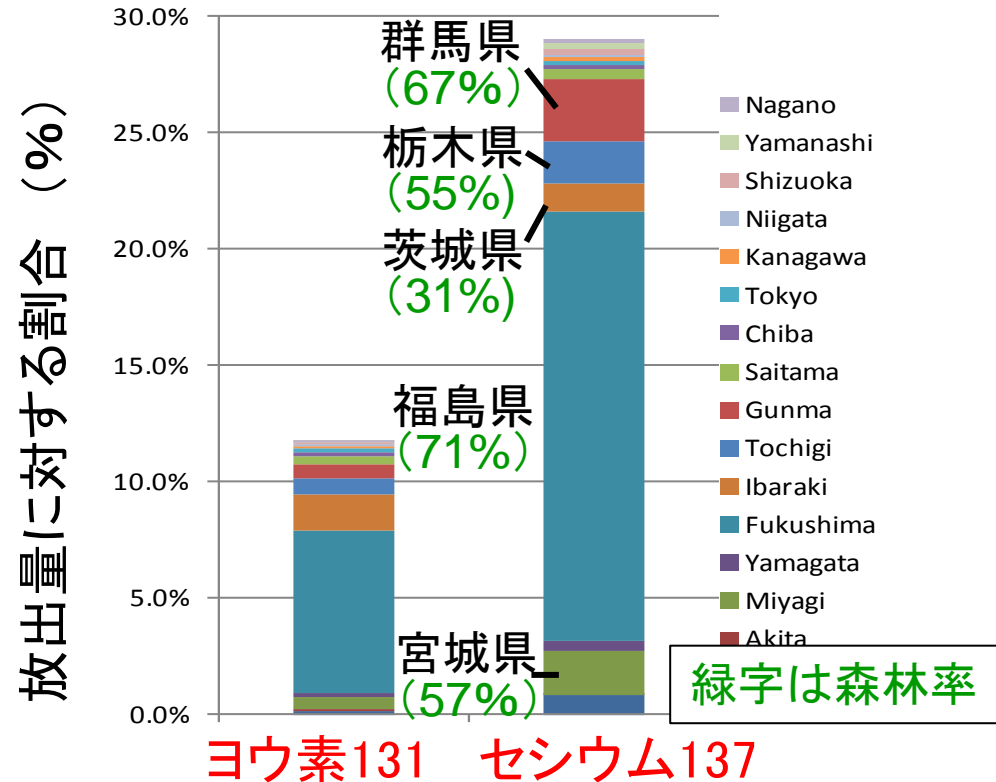
- 森林域における放射性物質の動態
- 流域スケールでの放射性物質の移動と集積
- 生物への移行状況

セシウム137の沈着状況

セシウム137の積算沈着量分布 算定結果 (Morino et al. 2011)



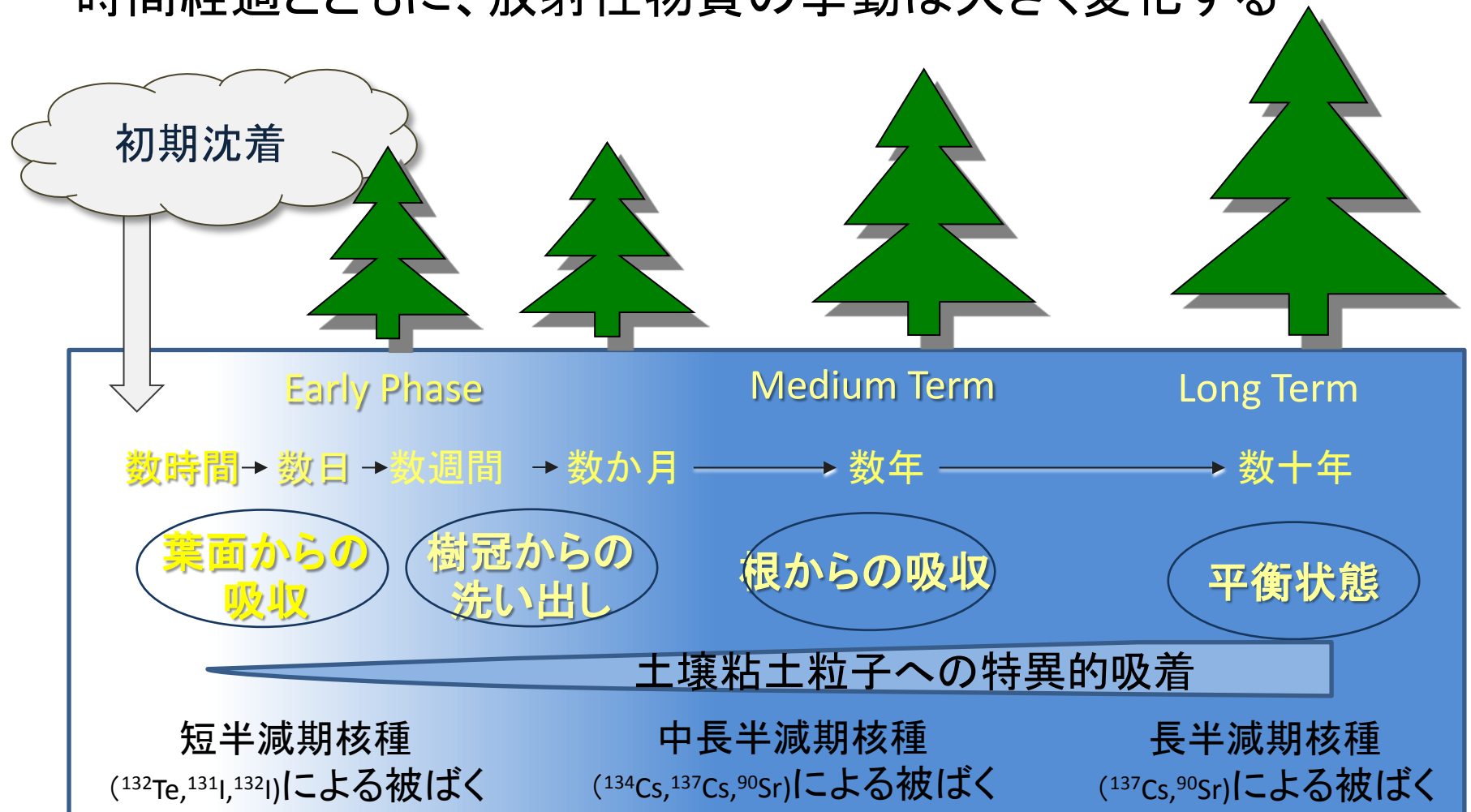
都県別沈着量



大量の放射性Csが広域にわたって森林域に沈着

森林生態系に沈着した放射性物質の推移 (既往の知見のまとめ)

時間経過とともに、放射性物質の挙動は大きく変化する



Shaw(2007)の図より改訂

日本固有の気候・林相の影響は？

➤ 湿潤多雨な気候

- ・チェルノブイリ原発事故重汚染地域の年降水量は600～900mm, 福島県内では1200～1400mm(30年平均値)
- ・夏期を中心に高い微生物活性

➤ 急峻な山地地形

- ・多くの森林は比較的急峻な山地に形成(チェルノブイリ原発事故重汚染地域では、森林の多くはなだらかな丘陵地帯に)

➤ スギ, ヒノキ等の人工林(荒廃化)

- ・日本固有の樹種(ヒノキは台湾にも分布)
- ・林業の不振による管理不備(間伐遅れ)による荒廃化
- ・福島県では4割弱が人工林

既往の知見を踏まえつつ、循環・流出に係る
放射性Cs動態の詳細な計測が不可欠

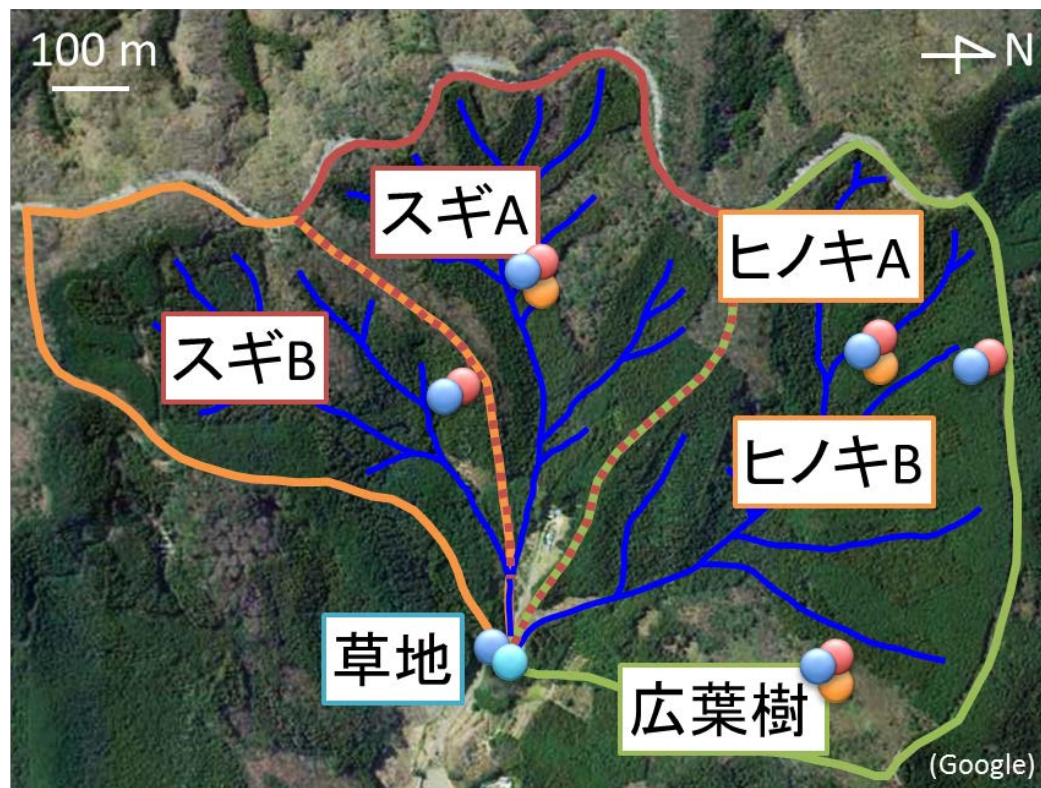
筑波山森林試験地での調査

① 事故後の状況把握 (初動調査)

- 土壌の予備調査
(2011年4月14日, 1地点)
- 雨水・土壌・落葉の ^{137}Cs
(2011年4月27日, 5地点)

② 経過モニタリング

- 雨水・落葉の ^{137}Cs
(毎月1回×10ヶ月×3地点)
- 渓流水経由での ^{137}Cs 流出量
流量自動連続観測
出水時採水(2011年8月, 9月,
2012年2月, 5月)



● 雨水 ● 土壌コア ● 落葉 ● 渓流水

筑波山の南東斜面に位置, 集水域面積: 67.5 ha,
75%がスギ・ヒノキの人工林

2010年5月より物質収支調査を実施中

森林生態系への初期沈着と動態



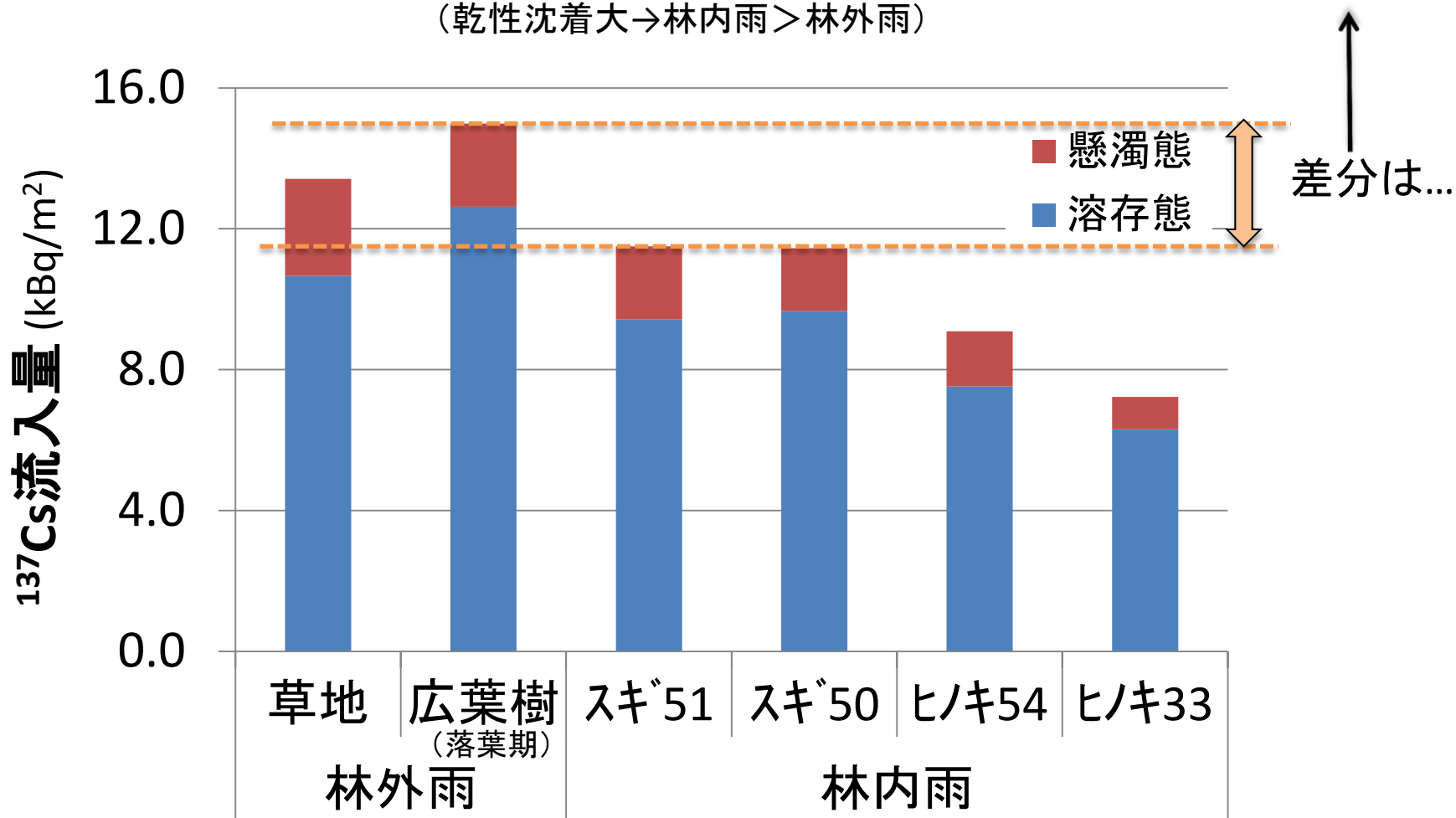
リタートラップ

林床への初期沈着量 = 採取雨水中濃度 × 雨量

➤ 事故後1.5ヶ月間の¹³⁷Cs平均沈着量: **11.7 kBq/m²/1.5ヶ月**

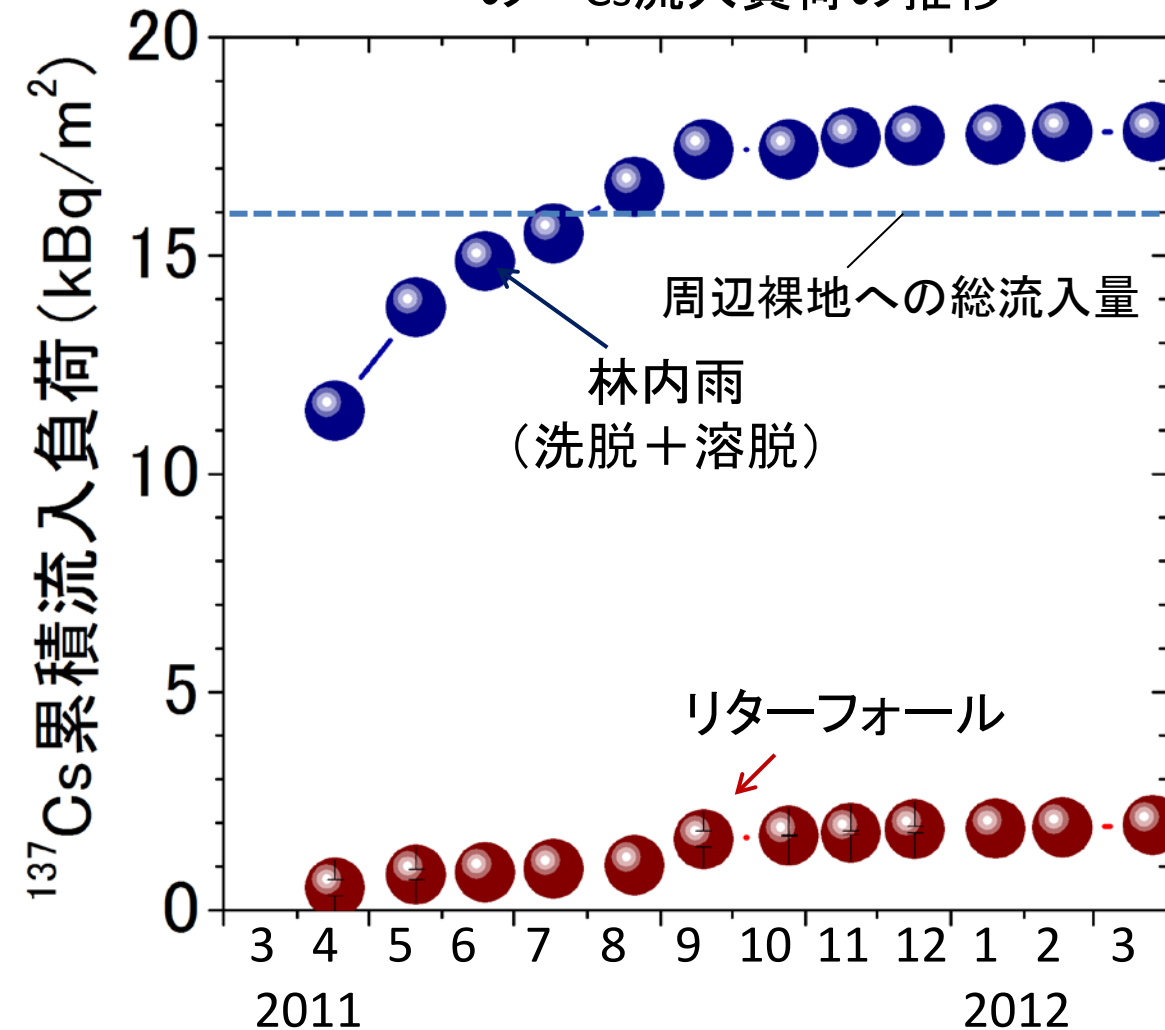
➤ 林外雨 > 林内雨 → 湿性沈着メイン + 林冠に保持・吸収!?

(乾性沈着大 → 林内雨 > 林外雨)



事故後の林床への¹³⁷Cs沈着量の推移

事故後1年間のスギ50年生林地表面
への¹³⁷Cs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



林床での汚染源は、事故後の落葉(L層)ではなく、初期沈着や林内雨の影響による有機物(FH)層や表層土壌(A層)では！

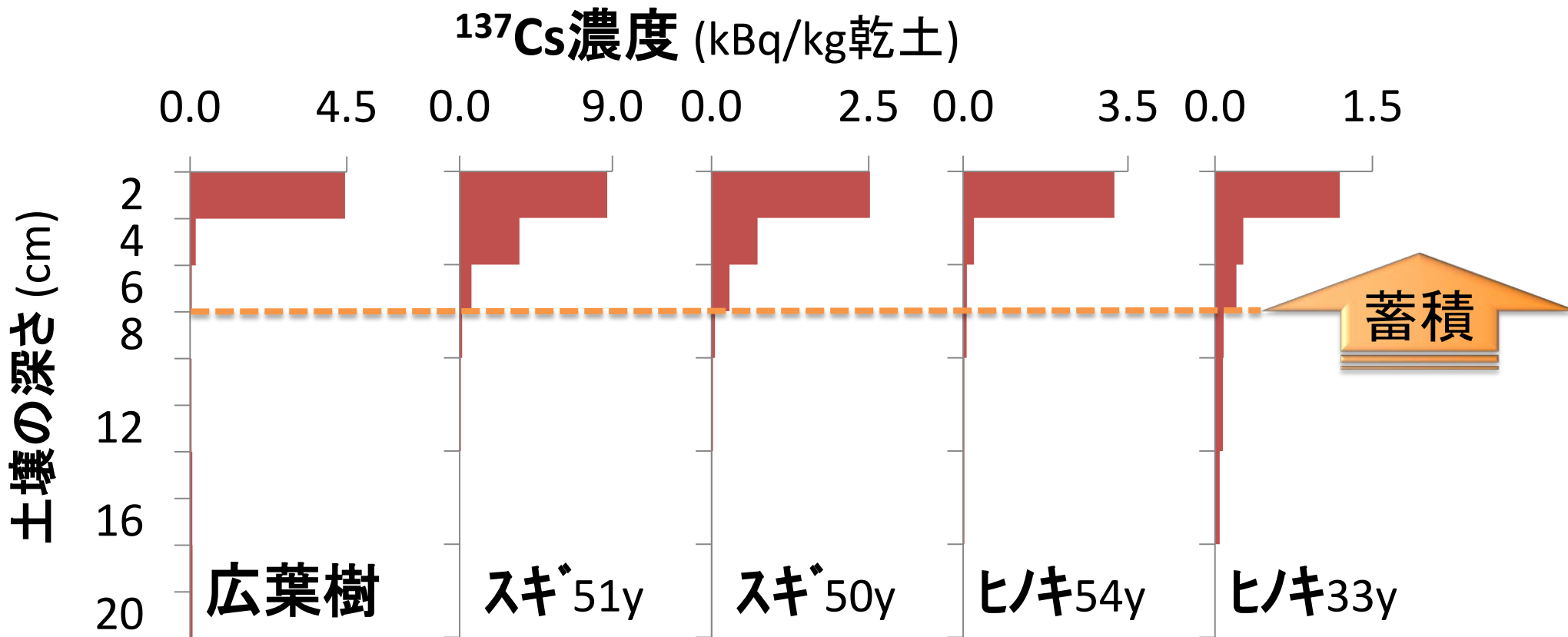
土壌における挙動



筑波山での事故直後の ^{137}Cs 土壌分布状況

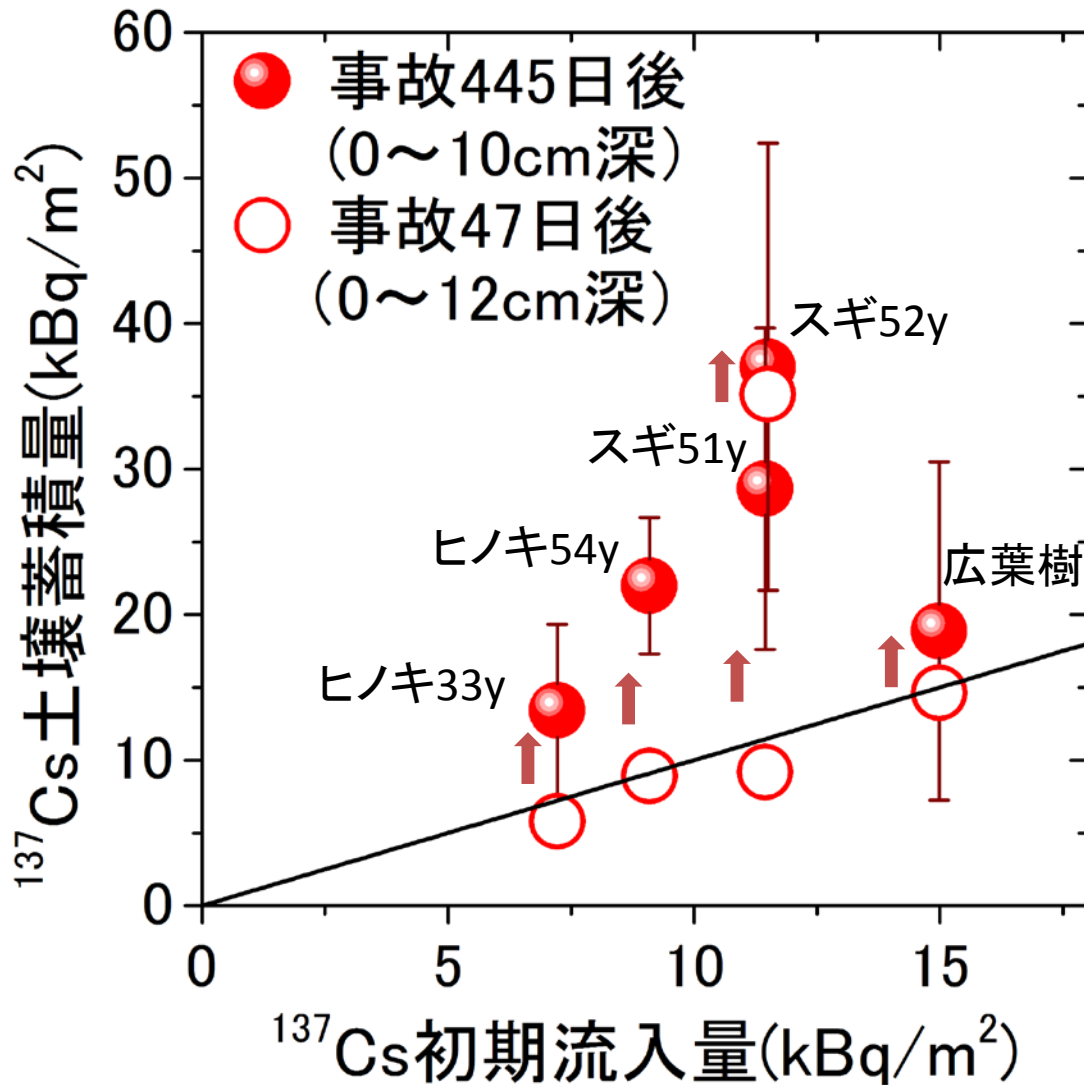
土壌採取日: 2011年4月27日(事故47日後)

土壌深さ方向での濃度分布



リター層を含む表層 0-6 cm部分に吸着し、高濃度を呈する
→75~90%が蓄積

事故後1年の筑波山林地土壌における¹³⁷Cs蓄積量の変化



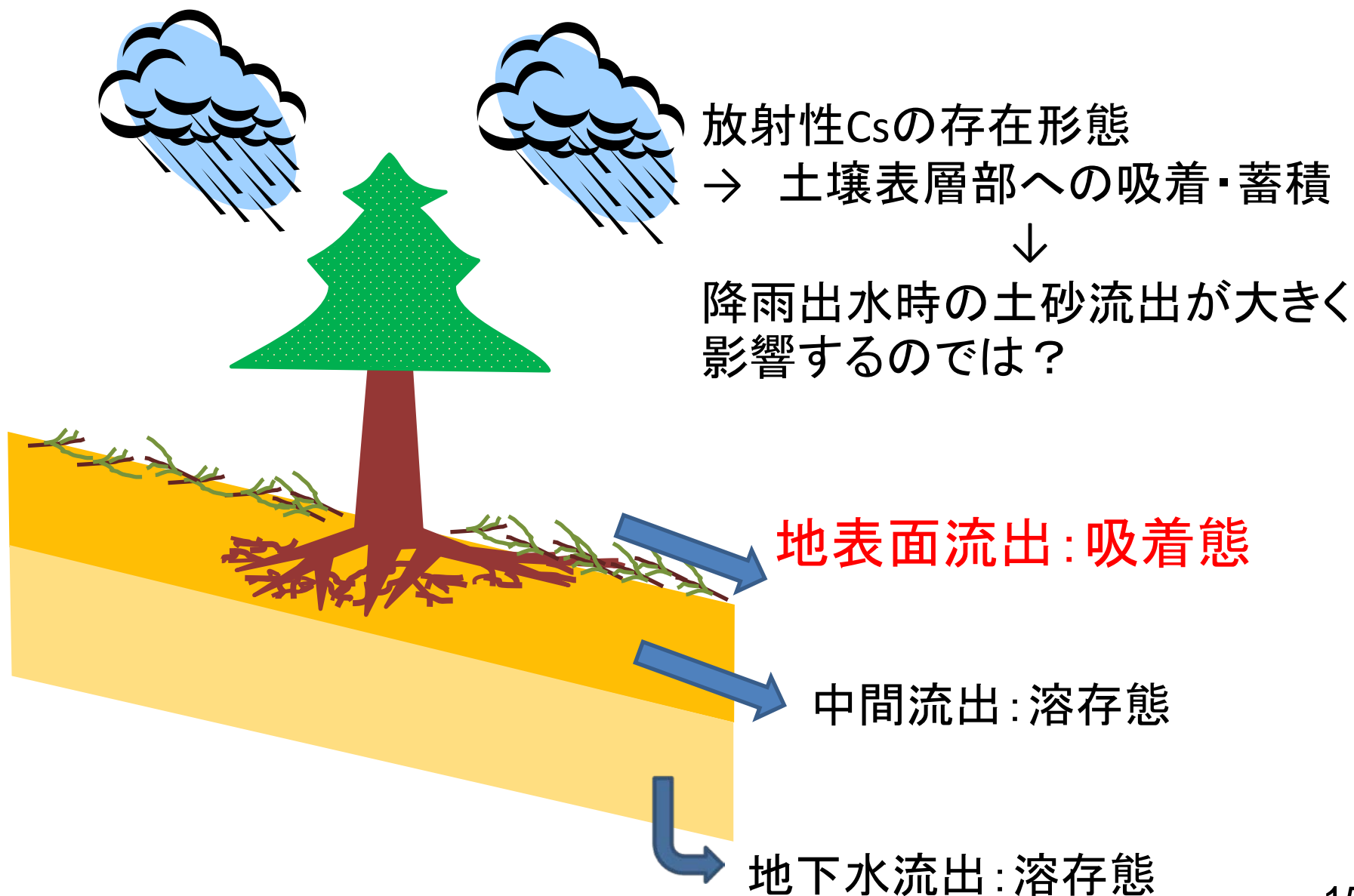
土壌への蓄積量は事故直後よりも増加
 → 樹冠部の物理的除染(林内雨、リターフォール)の影響
 → 有機物層へ更なる集積

比較的動き易い状態で存在
 → 脱着や微生物分解に伴う下方移動や植物への移行の計測が不可欠

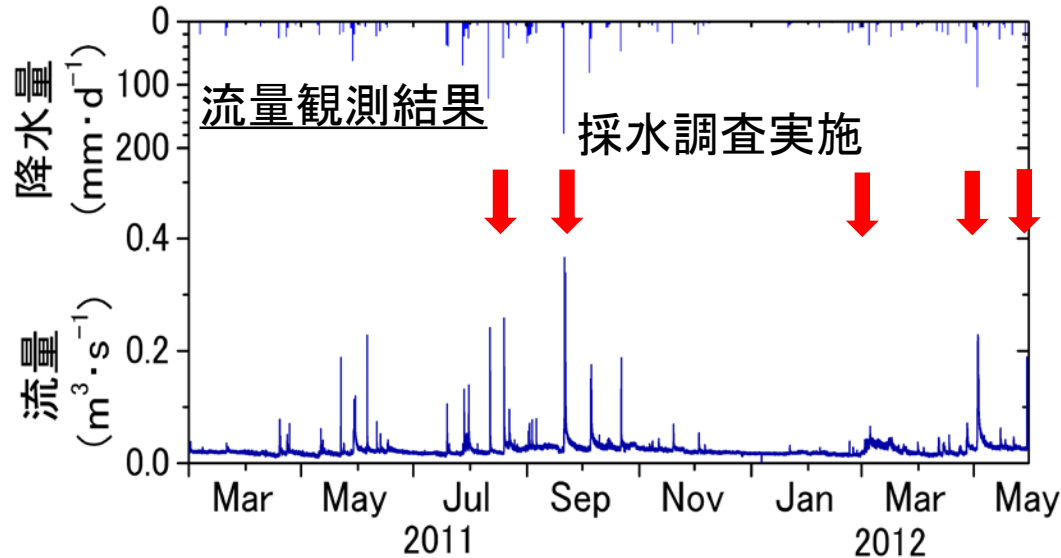
湿潤多雨な気候による
 活発な微生物分解と雨水浸透
 ↓
 チェルノブイリ事故後と比べ、
 下方への移動を早める？

(事故後1.5か月間の林内雨負荷)

放射性セシウムの流出



^{137}Cs 流出量推定手法



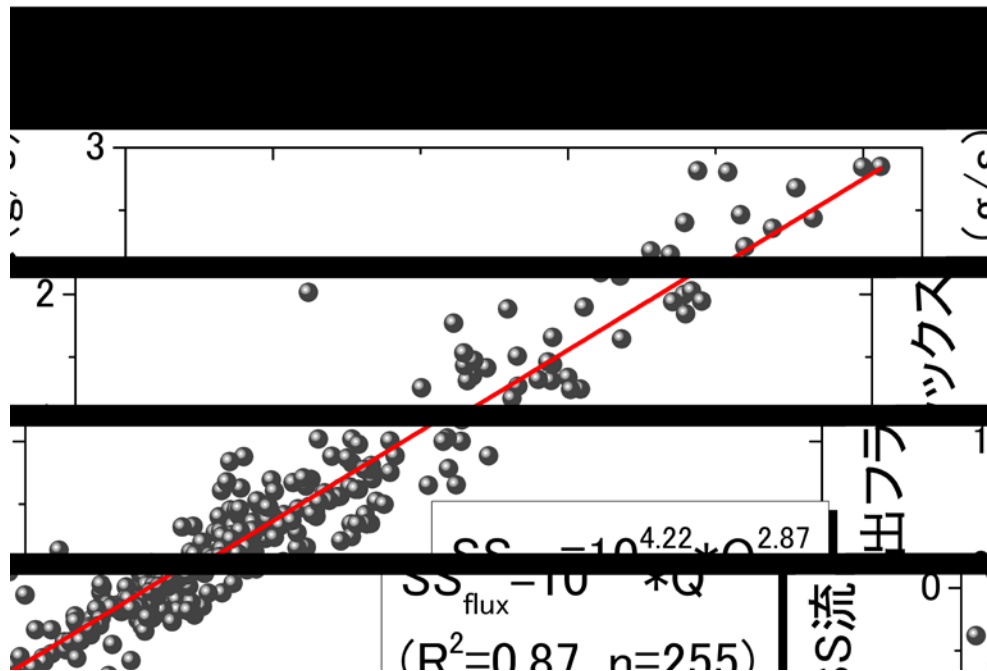
方法:

^{137}Cs の土壌吸着性の高さに着目、以下の調査を実施

- ・流量自動連続観測
 - ・降雨時連続採水
 - ・浮遊土砂中の ^{137}Cs 含有量測定
 - ・土砂流出量の観測
- 浮遊土砂流出特性:L-Q式の推定

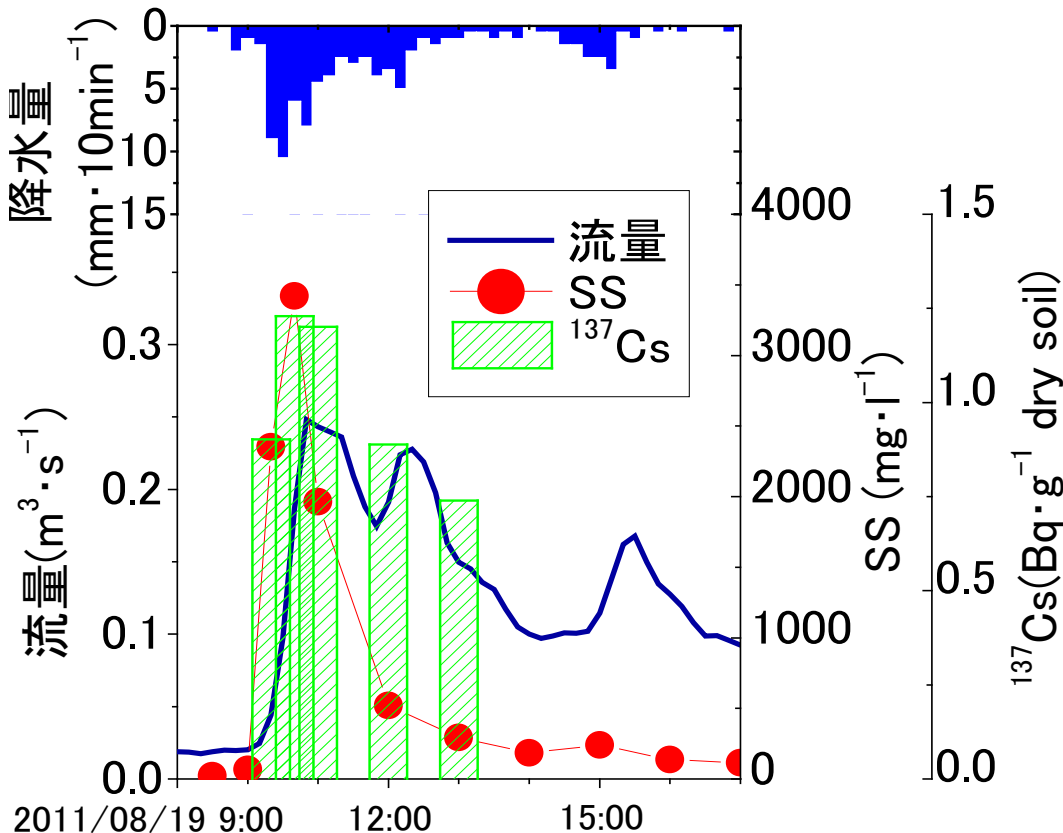


浮遊土砂流出量から
 ^{137}Cs 流出量を推定

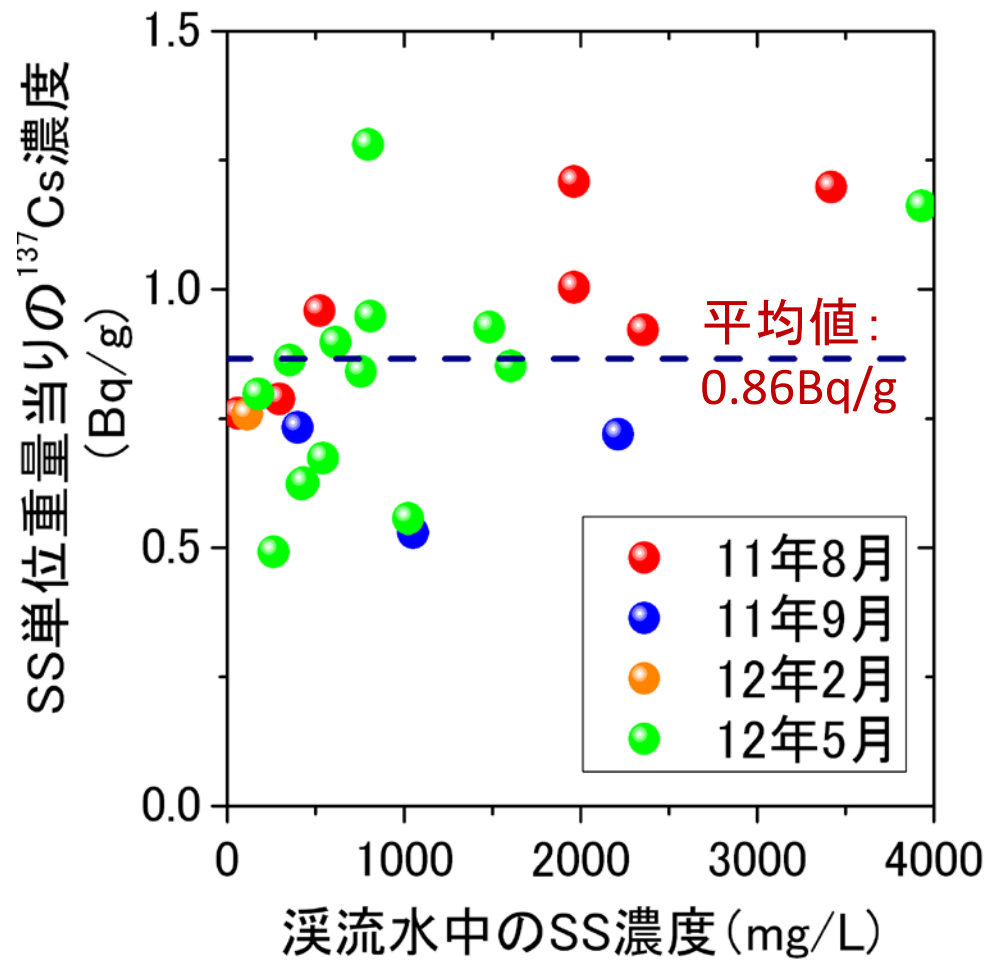


降雨時における ^{137}Cs の流出状況

降雨流出時の渓流水中の ^{137}Cs 濃度変化



渓流水中のSS濃度と ^{137}Cs 濃度の関係



- 事故後の経過時間に伴う濃度低下は未だ確認できない
- ^{137}Cs の流出は、流出土砂の量だけでなく質にも依存？

原発事故後17カ月間の ^{137}Cs 流出量

^{137}Cs 流出量推定結果(期間:2011/3/16~2012/8/31)

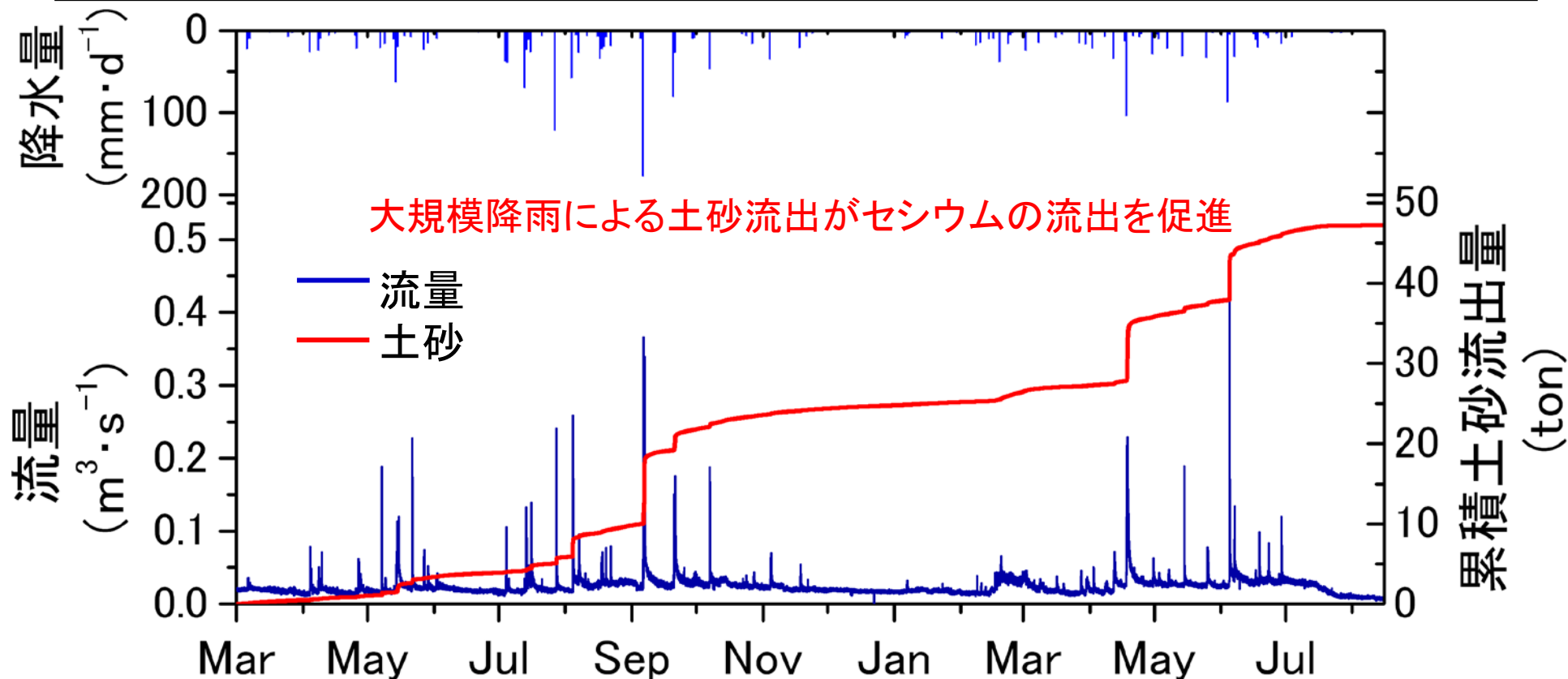
L-Q式による土砂総流出量算定値:約47トン

✓ ^{137}Cs 総流出量:43メガベクレル(=浮遊土砂総流出量(kg)×含有割合(≒900Bq/kg))

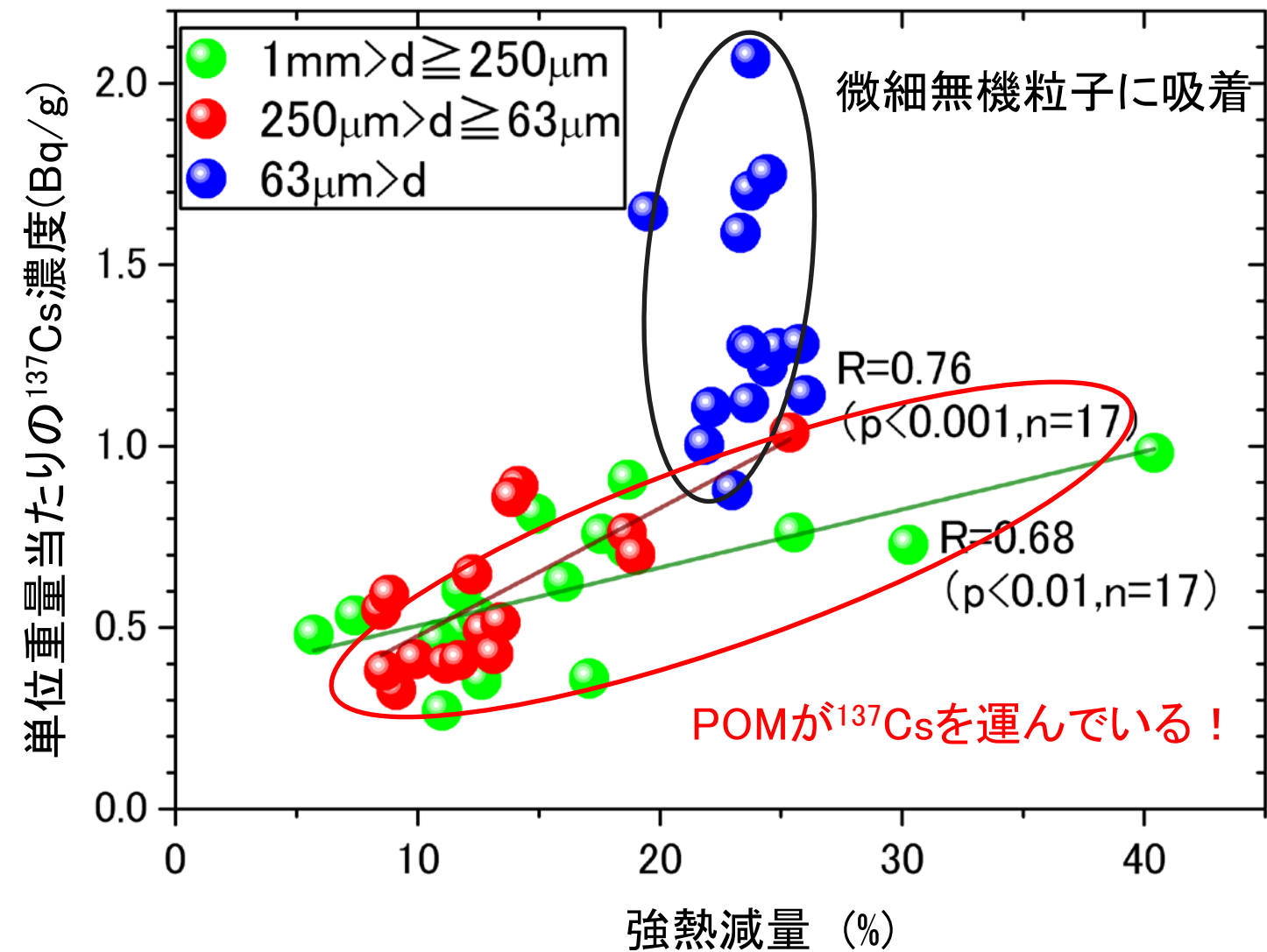
✓1平方メートル当たりの ^{137}Cs 総流出量:0.06キロベクレル

→ 流域への流入量(約13kBq/m²)の0.4%(溶存態を考慮しても0.5%程度)

対象期間における試験流域(67.5ha)での流量連続観測データと浮遊土砂流出量推定結果



分級操作結果：¹³⁷Cs流出へのPOMの寄与



POM: 粒状態有機物

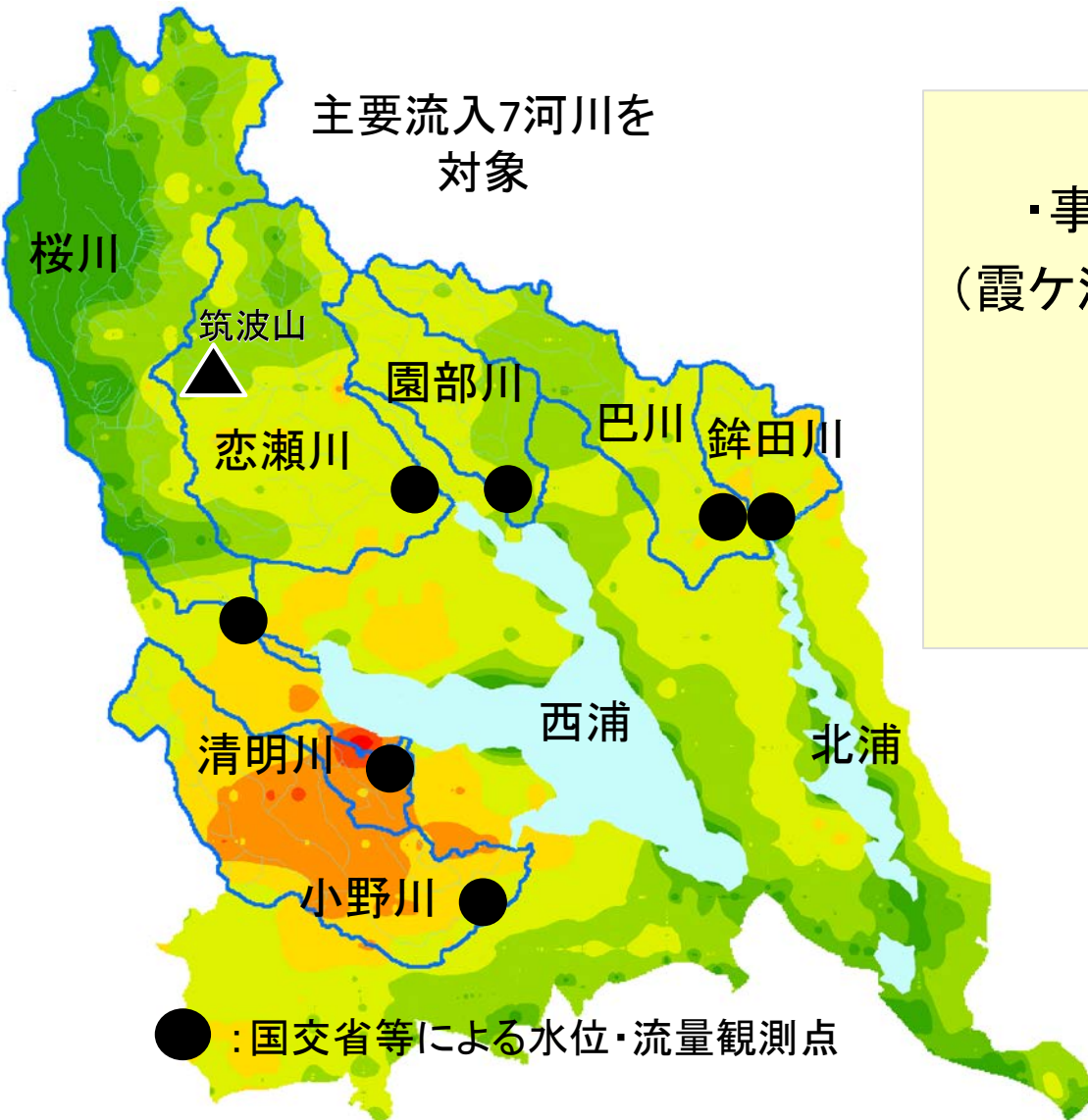
- 1mm以上の画分 (CPOM)は微量、¹³⁷Csは検出限界以下
- 63μm以上の画分が¹³⁷Cs量の15~48%を占める

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

本日の発表内容

- 森林域における放射性物質の動態
- 流域スケールでの放射性物質の移動と集積
- 生物への移行状況

霞ヶ浦への¹³⁷Cs流入量を推定する



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)

推定手法:

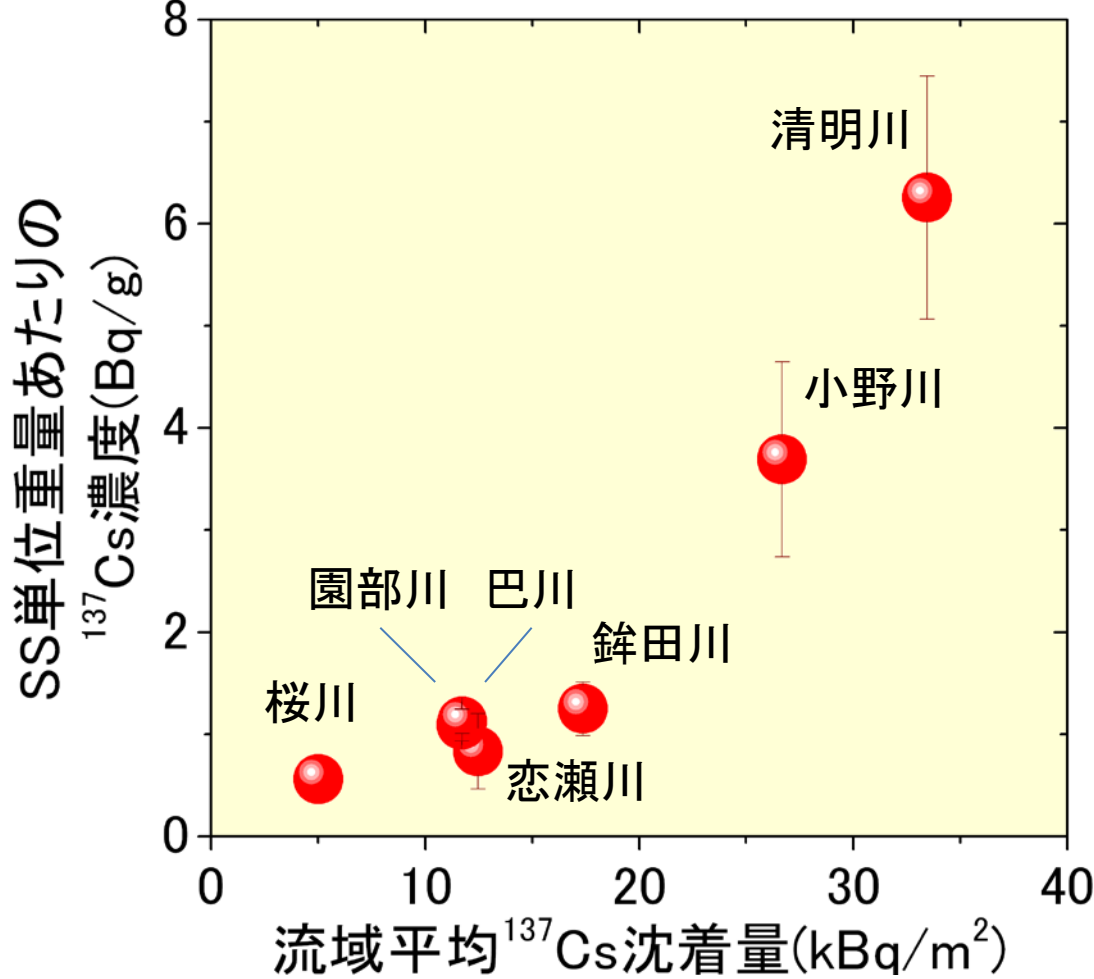
- ・事故後の浮遊土砂流出フラックスの算定
(霞ヶ浦河川事務所提供データ: 流量, 濁度, SS)
- +
- ・降雨流出時の連続採水調査
- ・SS含有¹³⁷Cs濃度測定
- ↓
- 各流域からの¹³⁷Cs流出量を算定

沈着量、土地利用の違いが
¹³⁷Cs流出に及ぼす影響は？



主要流入河川流域からの ^{137}Cs 流出状況

出水時における河川水浮遊土砂(SS)に含まれる ^{137}Cs 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 ^{137}Cs 流出量試算結果

	恋瀬	小野	清明	銚田
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

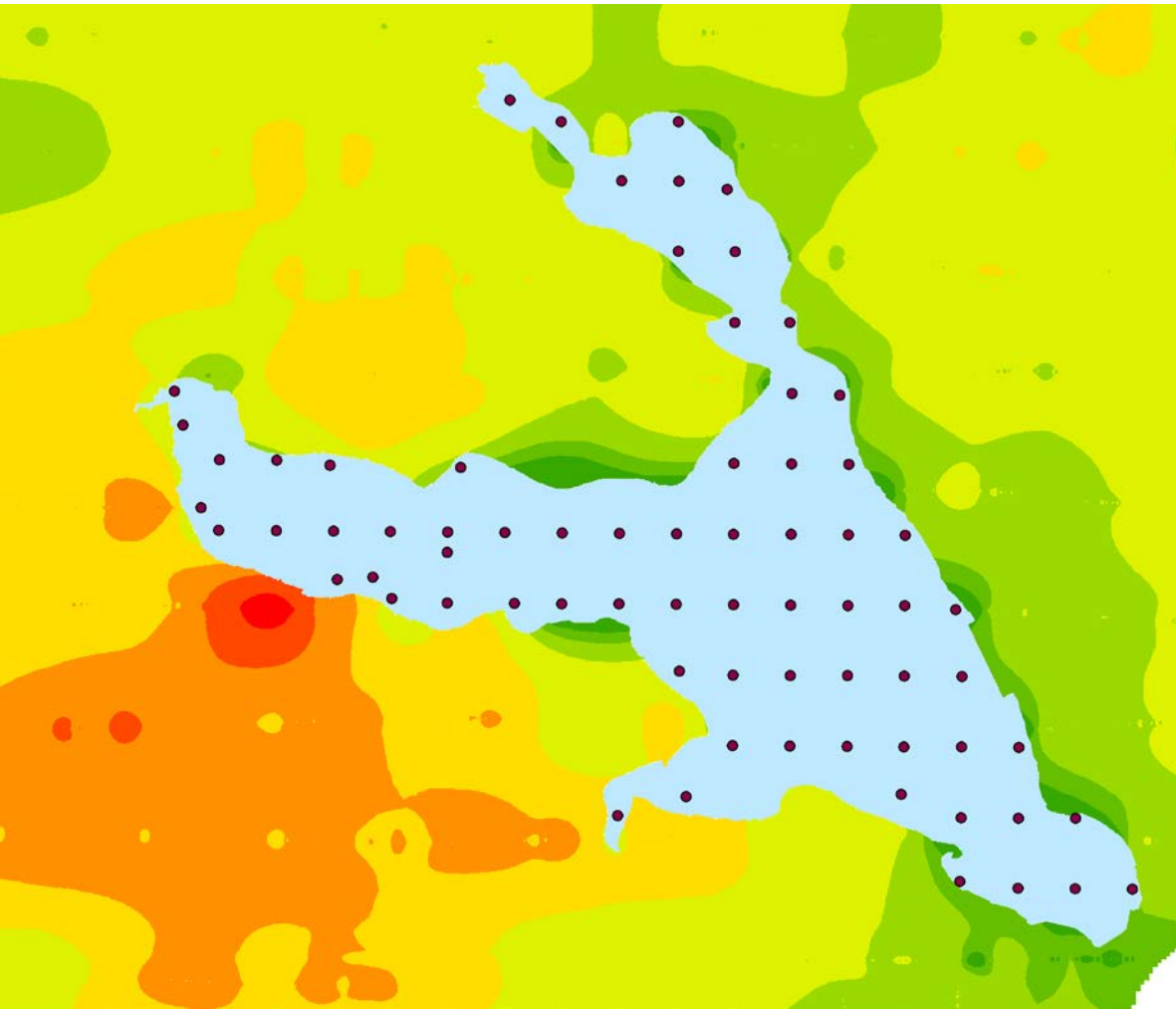
流域全体でも、ほとんど流出していない

SS中の ^{137}Cs 濃度 → SS濃度に依存せず変動
 → 流域沈着量に依存

霞ヶ浦への ^{137}Cs 堆積状況を把握する

西浦を対象に2012年12月に堆積分布調査を実施

● : 底泥採取地点



Grabサンプル



柱状堆積物(コア)

- 表層5~15cm深までの底質中の放射性Csを測定
- 15cm以深にも事故由来の放射性Csが分布 → 非常に早く鉛直に混合

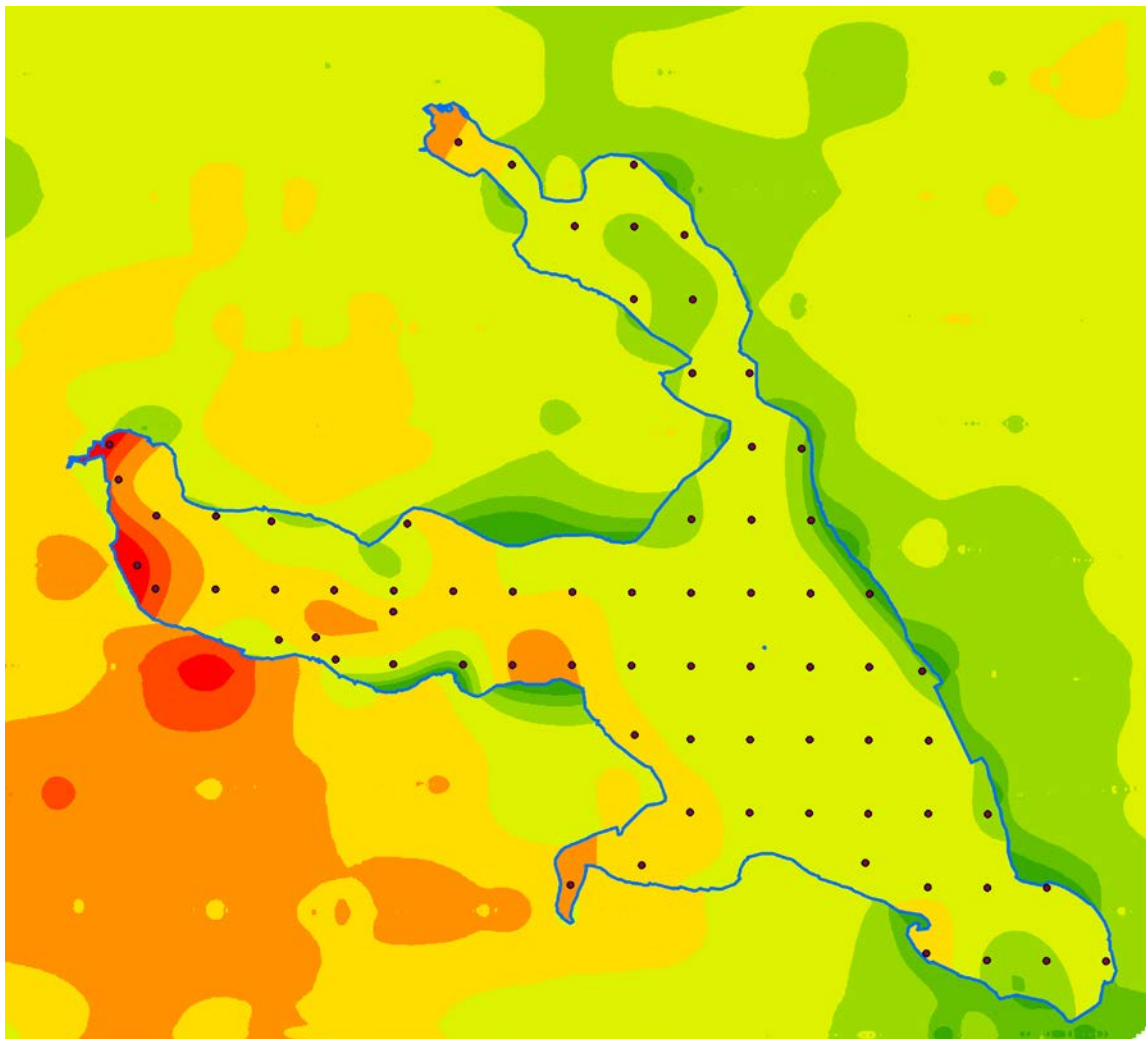
Cs-137蓄積量($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)

■ <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 <

霞ヶ浦底質における ^{137}Cs 堆積分布

^{137}Cs 堆積分布図

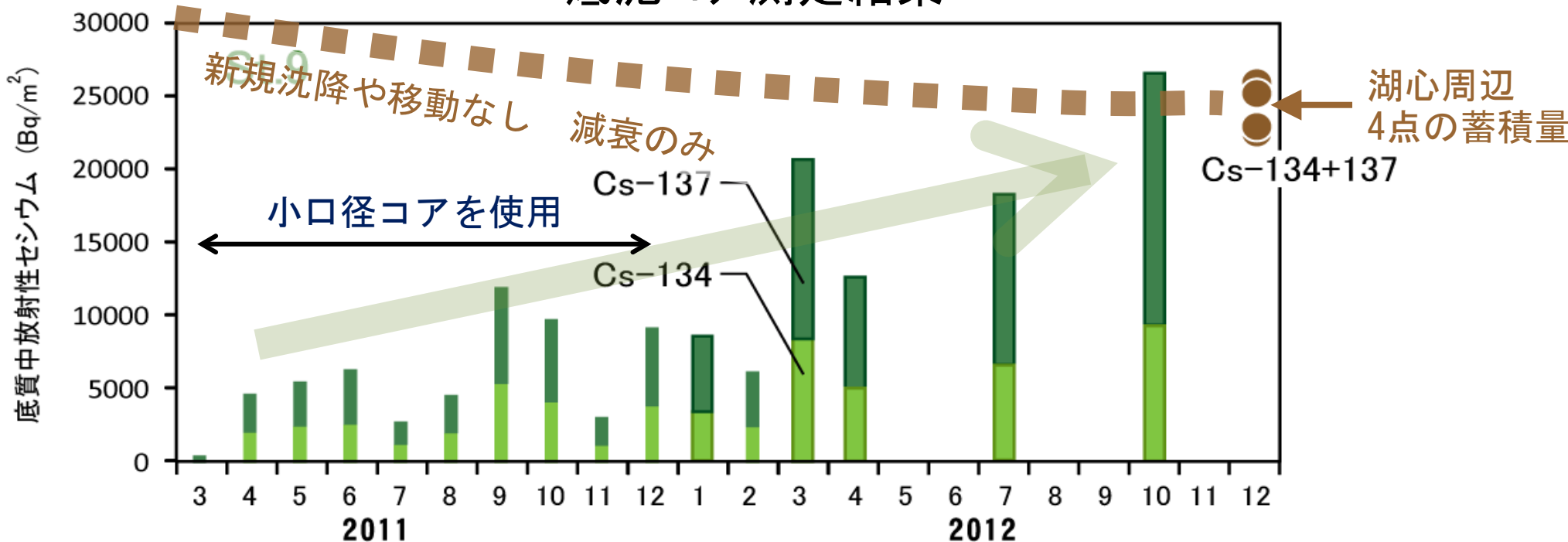
(採取地点データから2次スプライン補間により作成)



- ・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

湖心底質における蓄積量の経時変化

底泥コア測定結果



小口径コア (4cmφ) は表層の (高濃度な) 軟泥を取り逃がしやすい?

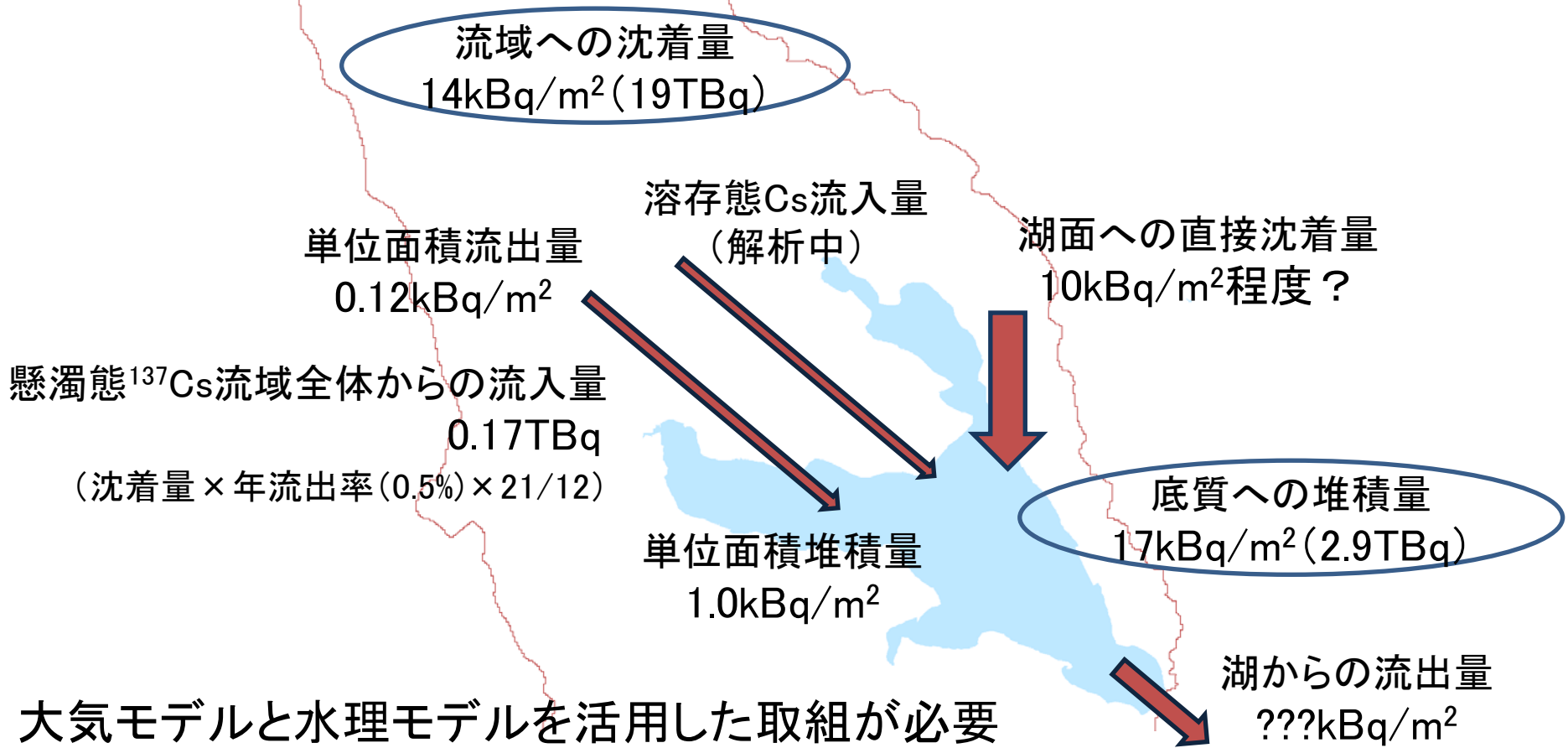
2012年1, 3, 4月, その後, 7月から

大口径 (11cmφ) 不かく乱試料の採取 → 3ヶ月ごとに蓄積量を評価

St. 3, 7, 9 (湖心) の3点

湖心底質では放射性セシウムが蓄積

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



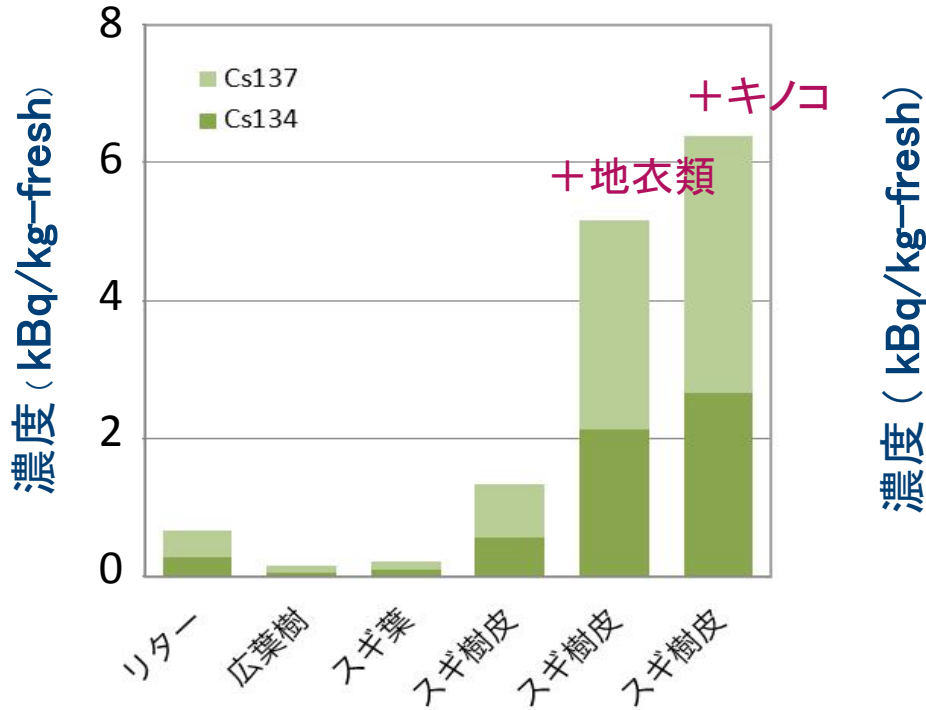
- 大気モデルと水理モデルを活用した取組が必要
- 浮遊土砂由来の流入の寄与はこれまでもこれからも小さい
- 直接沈着や市街地からの初期流出と長い滞留時間(200日)が底質ストックに寄与

本日の発表内容

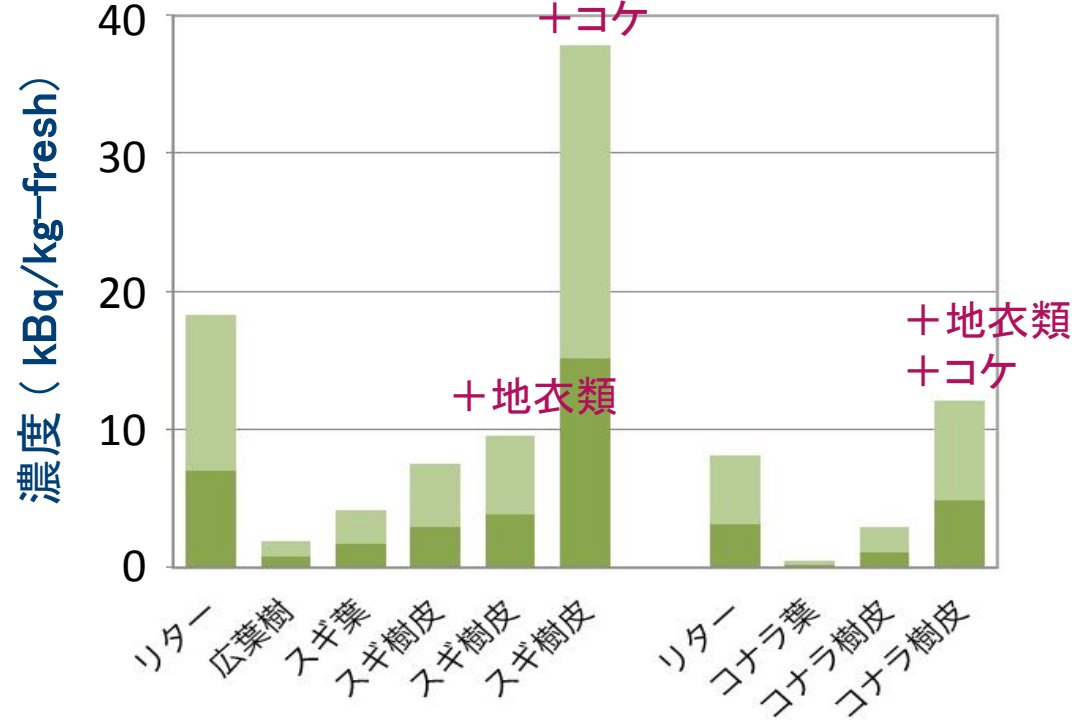
- 森林域における放射性物質の動態
- 流域スケールでの放射性物質の移動と集積
- 生物への移行状況

地衣類・キノコ・コケによる放射性Csの濃縮

筑波山 (2012年5月)



宇多川 (2012年9月)



筑波山周辺のキノコ類測定結果(2012年)

木材腐朽菌: 1,000~5,000Bq/kg

菌根菌: 10~100Bq/kg



継続的なモニタリングにより、今後の推移を明らかとすることが必要

霞ヶ浦における放射性物質の水生生物への移行

霞ヶ浦

- ①国内で2番目に大きい湖（福島に最も近い大型湖沼）
- ②飲料水・漁業など自然の恵みを提供する湖
- ③NIESのプラットフォーム機能と30年のデータが蓄積



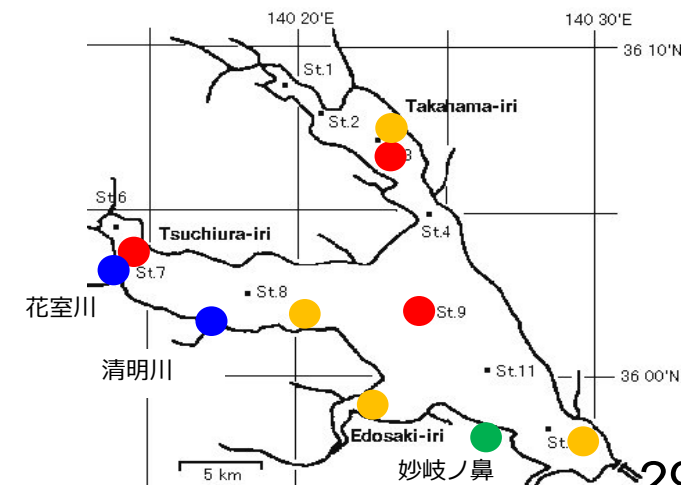
目標

モニタリングによる、**様々な水生生物への放射性物質の移行・蓄積過程に関する実態と動態の把握**

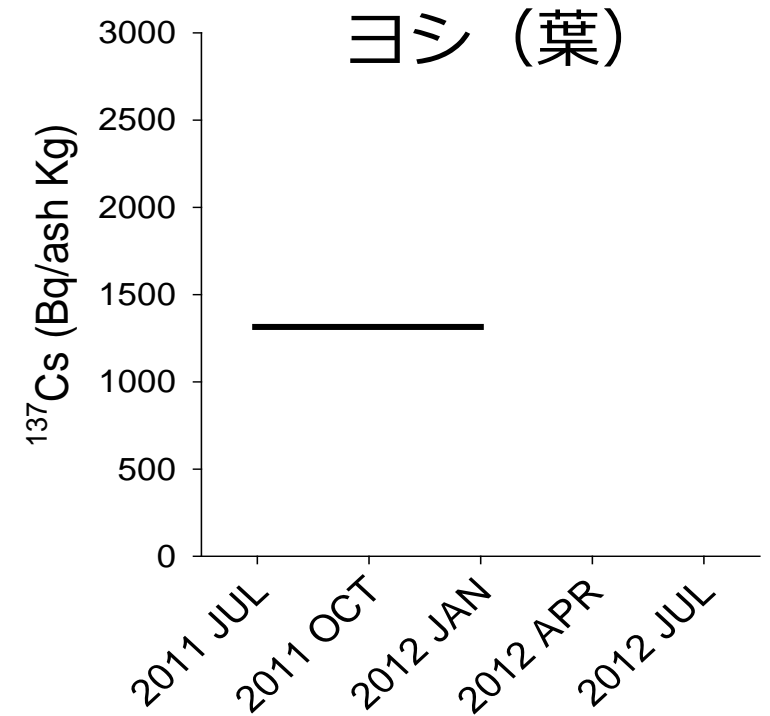
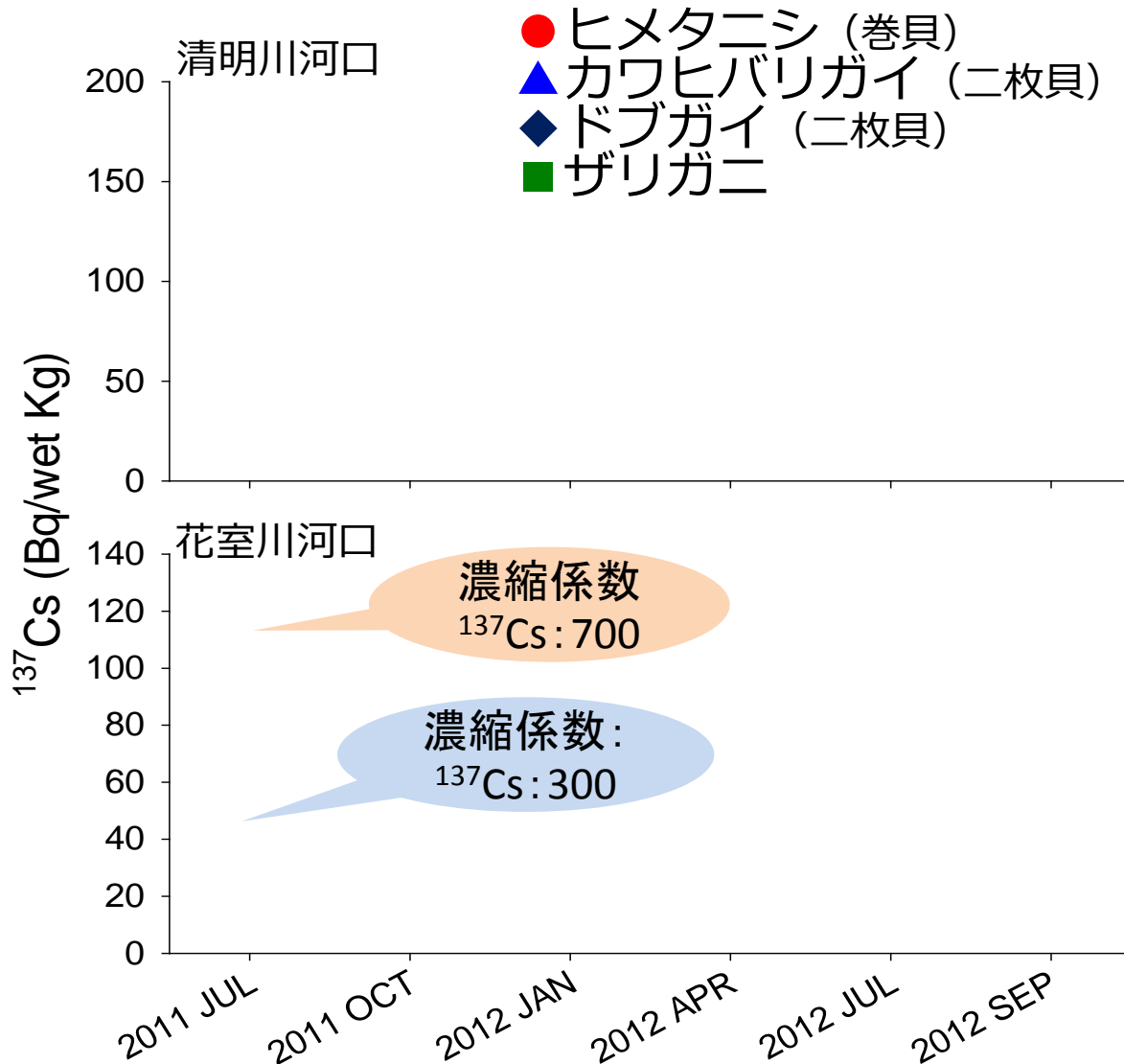
→特にトレンドの把握、濃縮係数の算出・比較、食物網からの考察

2011年7月から調査を開始

- 湖上調査：湖水・プランクトン・懸濁物
- 沿岸調査：底生動物（巻貝・二枚貝・甲殻類）
- 湿地調査：抽水植物・土壌



結果：底生動物（地点別）・抽水植物

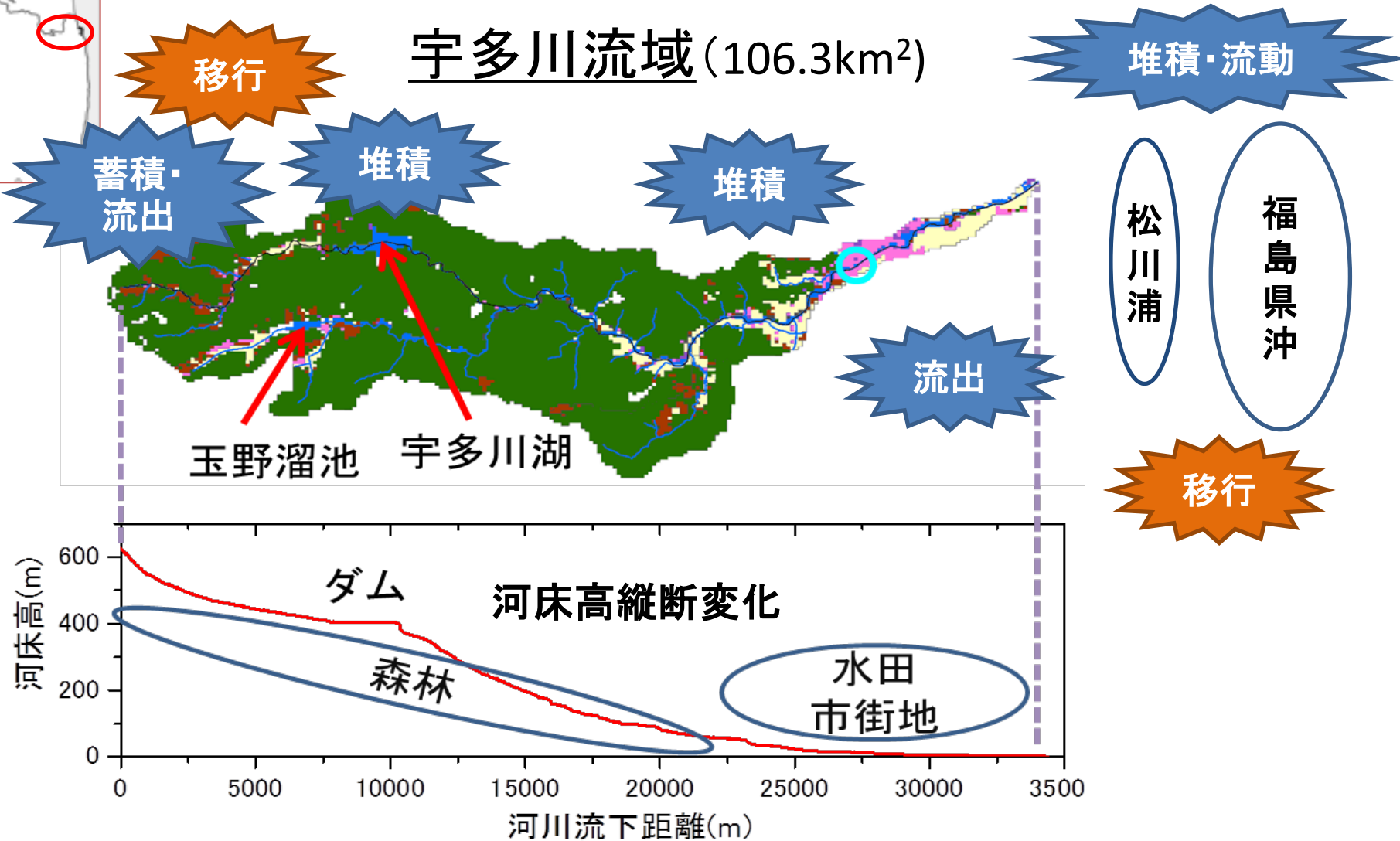


■ 底生動物
濾過摂食者の二枚貝はやや低い
→ 機能群によって異なる可能性

■ ヨシ
増減が不明瞭 → 今後、枯死ヨシや
土壌を測定、単位面積で評価

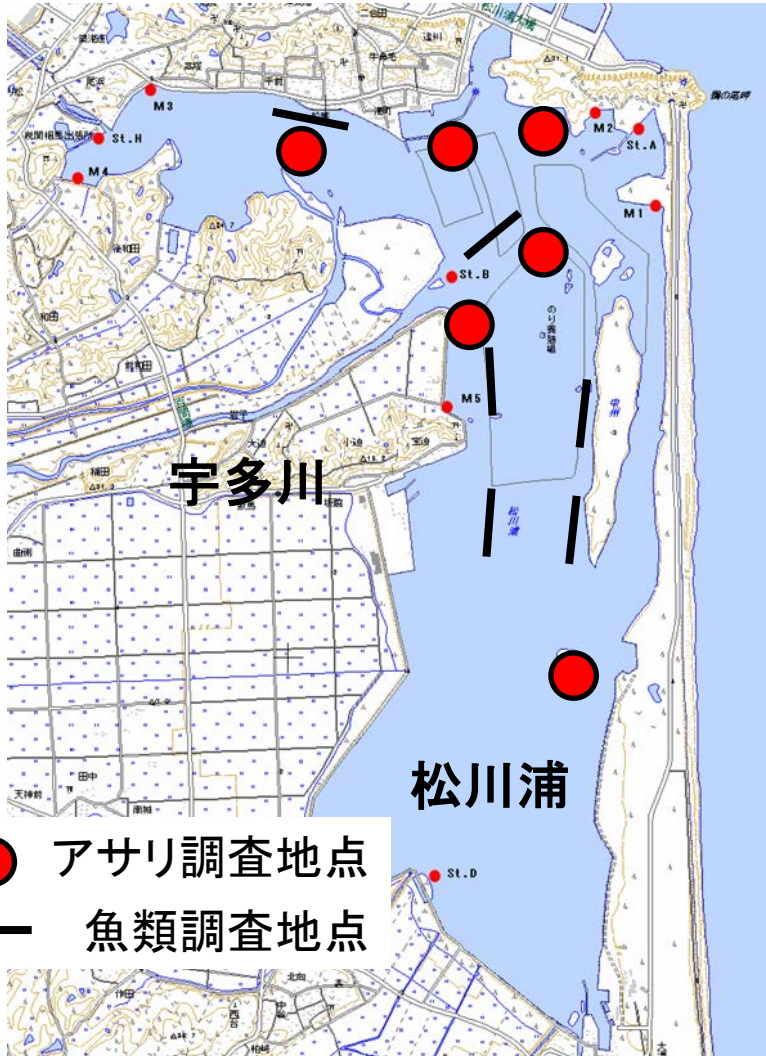
福島県内河川流域を対象とした調査研究の展開

(2012.7～)



土砂動態に伴われた移動・集積，集積場での生物移行を詳細に調査

松川浦



- ✓ 6定点でアサリ(鋤簾)及びカニ類等(もんどり網)を毎月採集(2012年10月～)
- ✓ (滞筋を中心の)6定点でイシガレイ等の幼稚魚(網口2mのビームトロール網)も毎月採集(2012年10月～)
- ✓ 各定点で海水・底質も採取(2012年10月～)
- ✓ 分析対象核種は、主に ^{134}Cs と ^{137}Cs とし、宇多川や小泉川からの流入部では ^{90}Sr も分析予定
- ✓ 対象種の分布密度、サイズ組成と放射性核種濃度との関係を、宇多川流域における放射性核種の移動・動態とともに解析
- ✓ 福島県水産試験場相馬支場との共同研究



福島沿岸・沖合

底質における核種の空間分布解析:

- ・沖合30kmまでの66定点(警戒区域を含む)で底質試料採取(2012年10月)
- ・核種分析(^{134}Cs と ^{137}Cs が中心; ^{90}Sr も一部)を実施中
- ・福島沖合における核種の動態のモデル解析に寄与

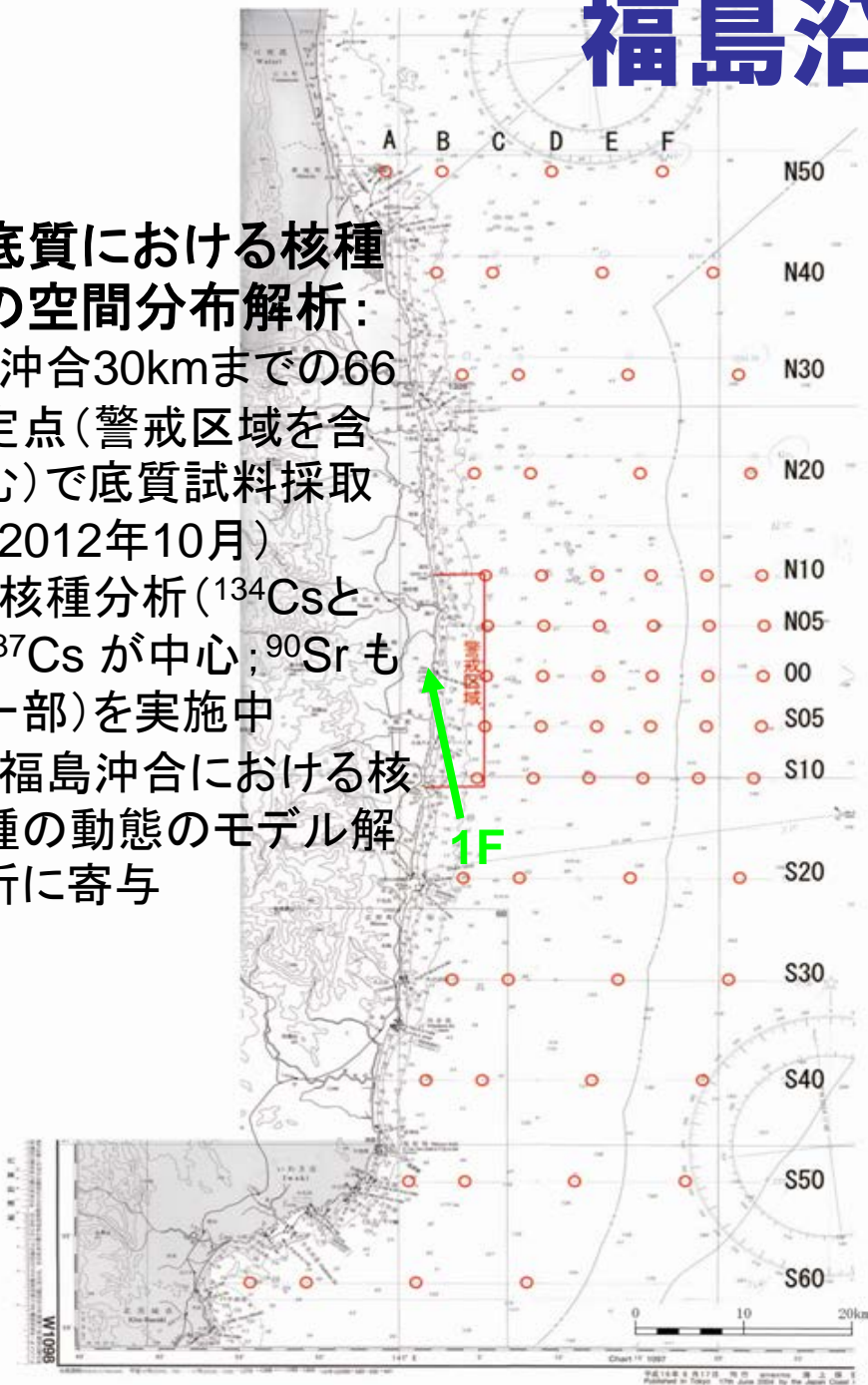
1F

底棲魚介類への核種の移行・蓄積と個体群・群集動態解析:

- ・相馬市沖、大熊町沖(第一原発沖合:警戒区域)、広野町沖の3定点で水・底質、プランクトン、ベントス、魚介類調査(2012年10月及び2013年1月)
- ・核種分析(^{134}Cs と ^{137}Cs が中心; ^{90}Sr も一部)を実施中
- ・病理組織検査及び個体群密度解析
- ・沿岸・沖合における放射性核種の動態に関するモデル化と潜在的生物影響の評価

カニ類がほとんど採集されない
エビ類も少ない

1F



環境動態計測班構成メンバー

- 森林域
地域C：林，越川，渡邊，錦織
生物生態系C：石井
- 河川・湖沼・湿地
地域環境C：高津，今井，小松，佐藤
生物生態系C：野原，松崎，佐竹，上野，中川
環境計測C：田中，荻部
- 沿岸域・海域
環境リスクC：堀口，児玉，漆谷，杢島
環境計測C：荒巻，田中，荻部
地域環境C：牧，金谷

ご清聴ありがとうございました