



# 農業用ため池における水底放射能のin-situ測定法

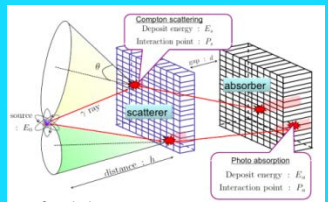
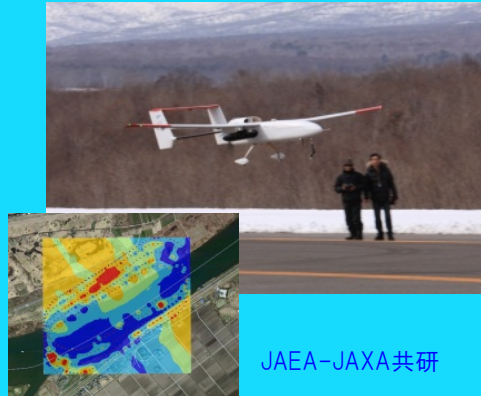
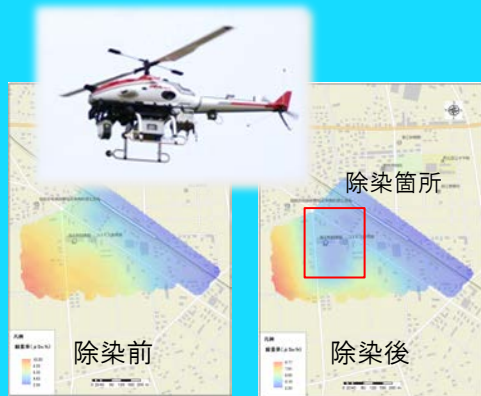
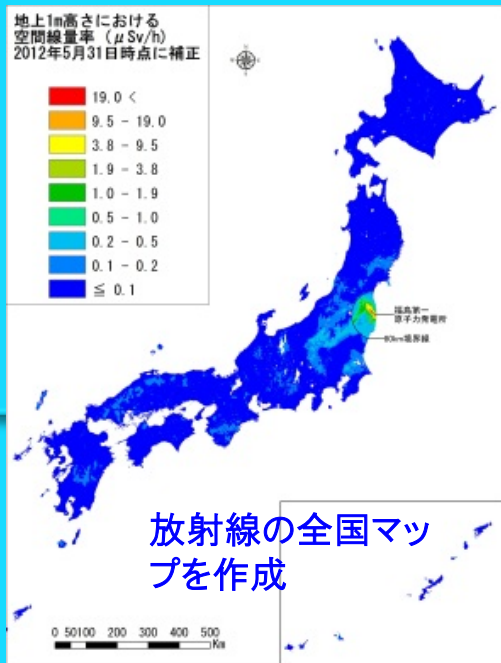
(独) 日本原子力研究開発機構 福島技術本部  
福島環境安全センター 眞田幸尚、鳥居建男



# 放射線を“面”で捉える技術とその活動

## 空からのアプローチ(広域を迅速に！)

- ・航空機モニタリング
- ・無人ヘリモニタリング
- ・無人機システム
- ・コンプトンカメラ



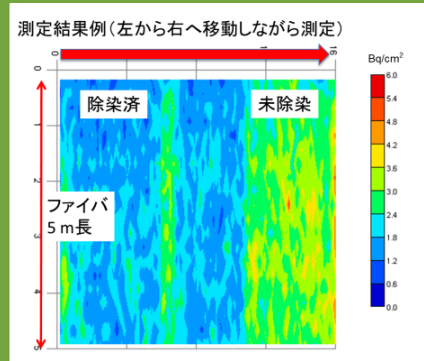
無人ヘリで上空から 詳細な放射線分布測定

JAEA-JAXA共研

JST公募研究採択  
古河機器金属・東大・東北大

## 陸のアプローチ(除染効果を面的に)

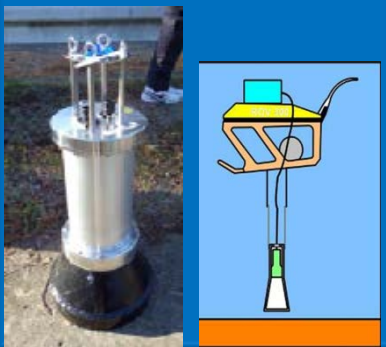
- ・PSFを用いた表面汚染2次元マッピング



JST公募研究採択  
JREC/JAEA

## その他

- ・水中測定システムの開発研究





# JAEA はじめに

ため池とは・・・降水量が少なく、流域の大きな河川に恵まれない地域などで、農業用水を確保するために水を貯え取水ができるよう、人工的に造成された池。全国に約21万箇所（1位兵庫、2位広島、3位香川）。

**福島県→約3,700カ所（農水省所管：ため池底の放射性物質濃度を調査）**

## ① 東北農政局・福島県の合同調査（底質の調査件数）

2012年4月：第1回（12カ所）

2012年4月：第2回（14カ所）

2012年9月：第3回（37カ所）

## ② 福島県の大規模調査

2013年11月：県内1941カ所の調査

☆最大値 本宮市 37万Bq/kg-dry



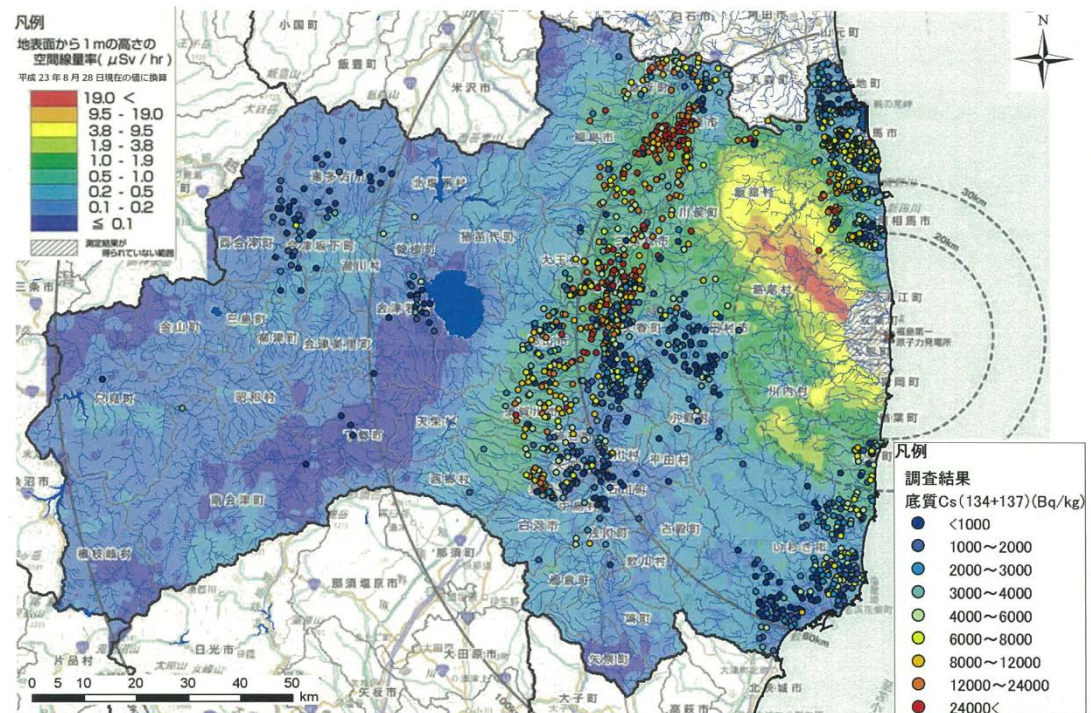
☆農地への放射性物質の流出懸念

☆浚渫時（除染目的以外）の廃棄物の取り扱い

2014年・・・

○ 大規模調査

○ 浚渫の検討



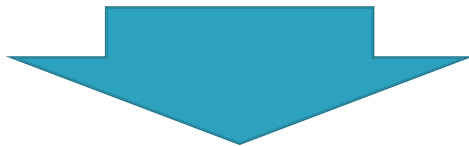
出典：空間線量率「文部科学省による 福島県西部の航空機モニタリングの測定結果について」(平成23年9月12日)

底質Cs(134+137)濃度と空間線量率との関係

(ニーズ)

- ため池の放射性物質の分布状況を把握したい
- ため池から農地への放射性物質の移行状況

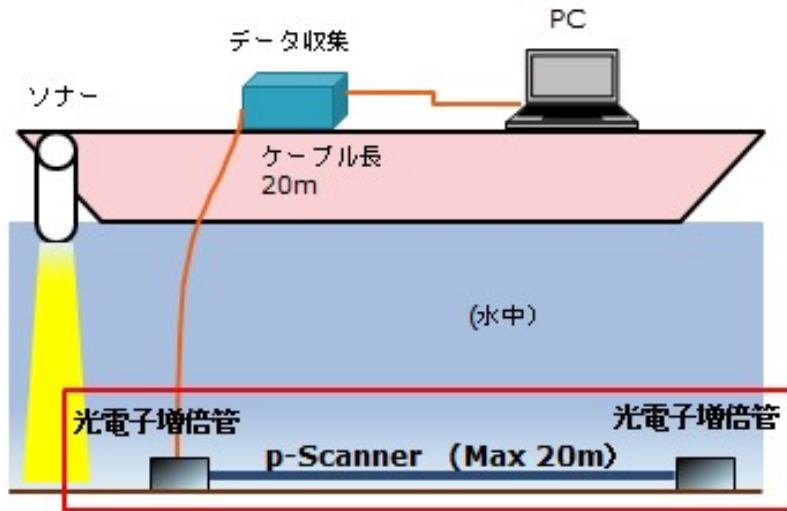
- 水底の放射性物質量の評価は、堆積物を採取し、ガンマ線スペクトル分析する手法が一般的だが、
  - ✓ サンプルが廃棄物になる
  - ✓ 水底の全領域の分布の把握には多くのサンプルが必要



- 水底の放射性物質の量や分布状況を、効率よく、かつ詳細に調べることを目標に、水底の放射性物質濃度を直接測定する技術を開発

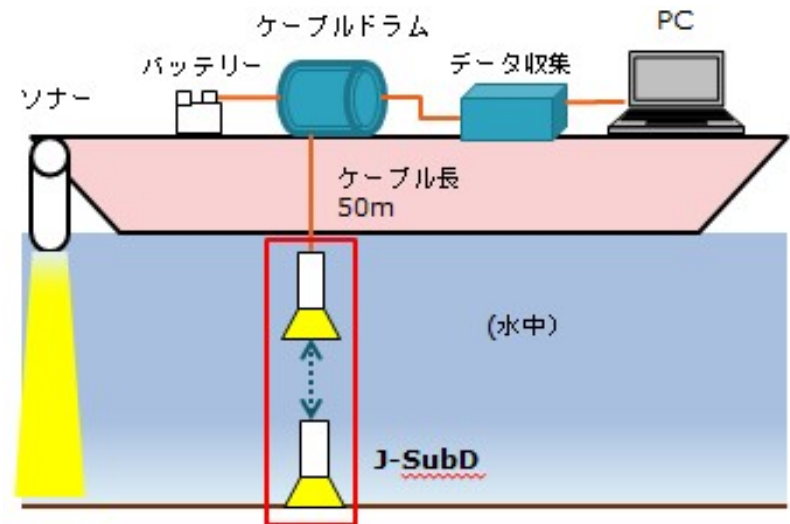
# 水底測定用の機器

## ・ 線測定用機器(p-Scanner)



- 検出部にファイバーのプラスチックシンチレーターを使用
- 検出部は最大20m
- 陸上で使用実績あり

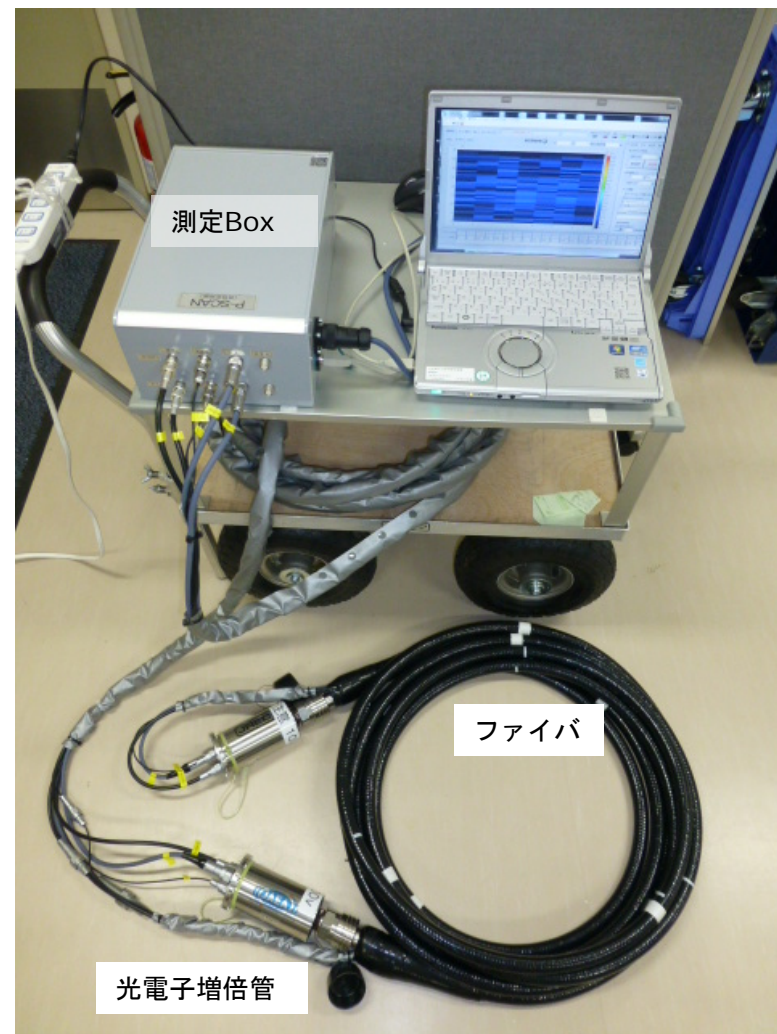
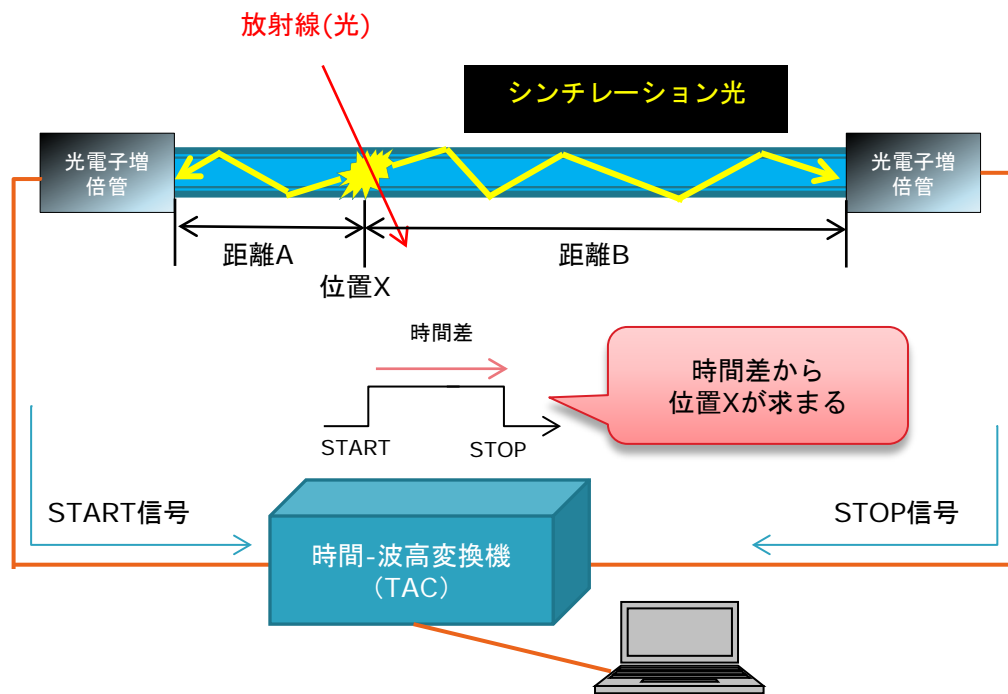
## ・ 点測定用機器(J-SubD)



- 検出部に  $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$  シンチレーターを使用
- スペクトル分析が可能
- 検出器の応答特性を計算コードを用いて解析し、実際の水底の状況を模擬した評価が可能

両者を併用することで、水底の放射性物質濃度のマップ化

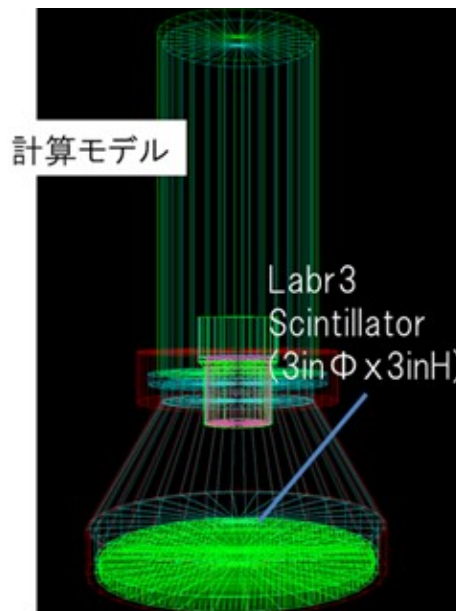
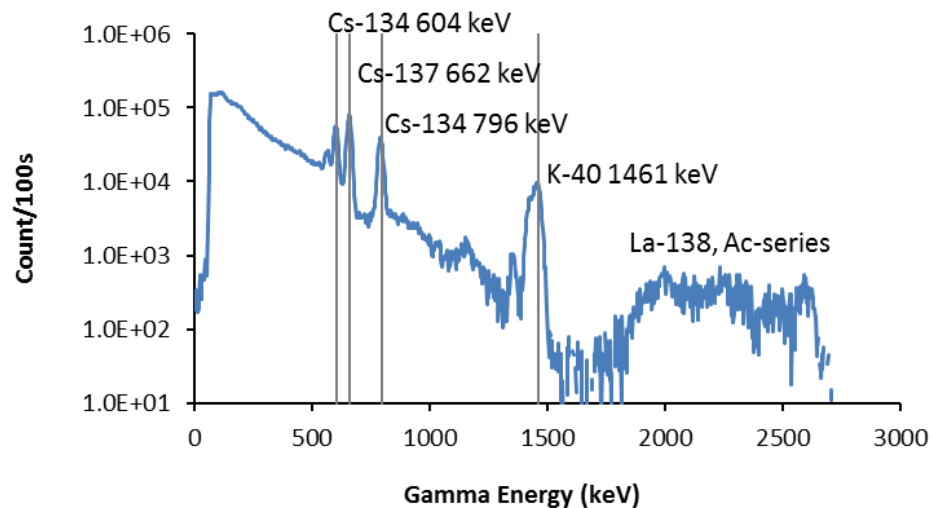
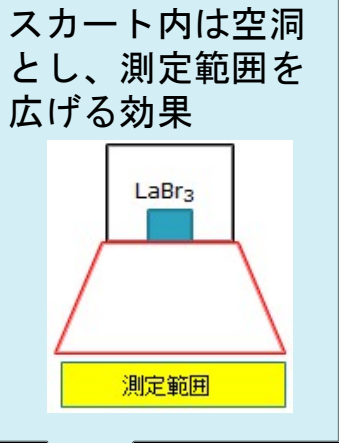
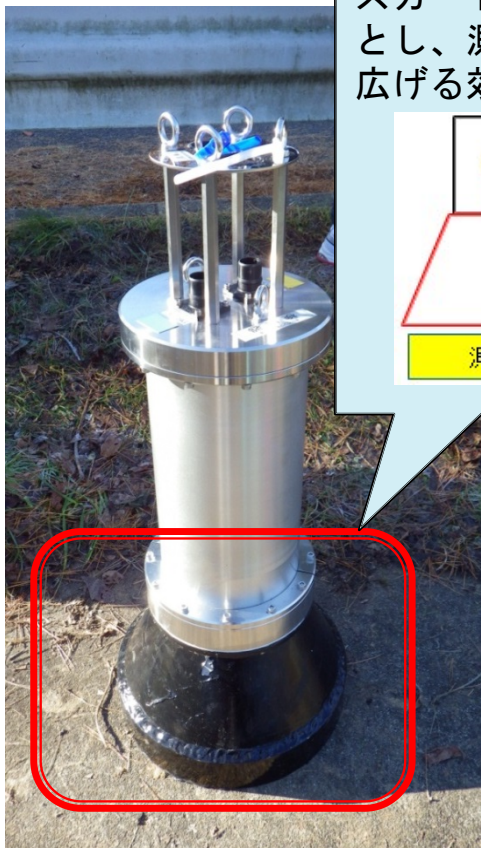
# JAEA プラスチックシンチレーションファイバ (p-Scanner)



**特徴**  
検出器の長さ : 5m-20m  
位置分解能 : 40cm(10m)



# 水底測定用スペクトロメータ (J-subD)



計算コードで体系化



堆積物中の放射性セシウム濃度への換算

(EGS5 ver1.04コード)

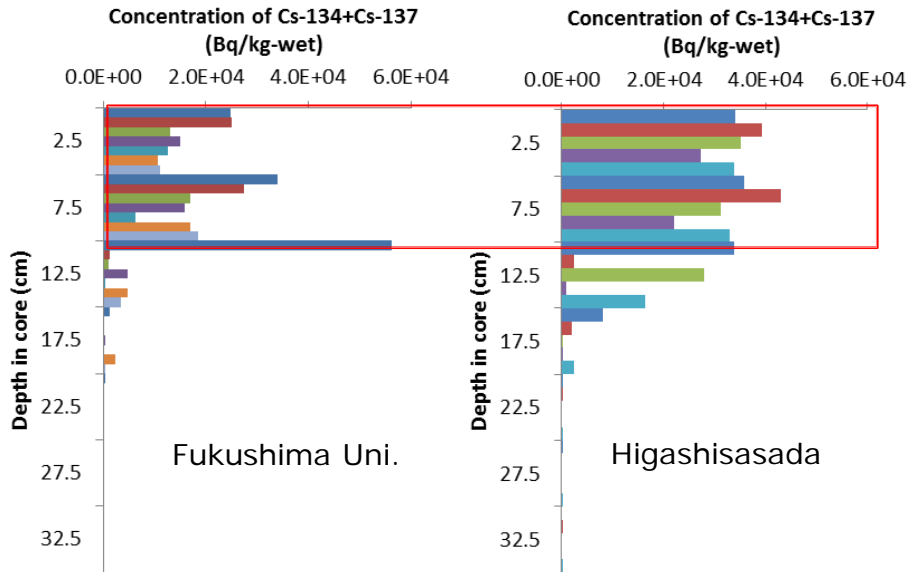
- ・検出器: LaBr<sub>3</sub>: Ce 3 inΦ × 3 inH
- ・高さ62.5cm(吊り下げ治具込みで81.0cm), 直径36cm(スカート部)24cm(フランジ部)19cm(円筒部), 重さ約33kg(水中重量約10kg)

# ため池底堆積物中の線源設定

堆積物中の放射性セシウムの鉛直分布

鉛直分布の測定（実測値）  
堆積物コア試料

☆様々な場所のため池において30本程度堆積物コアを採取

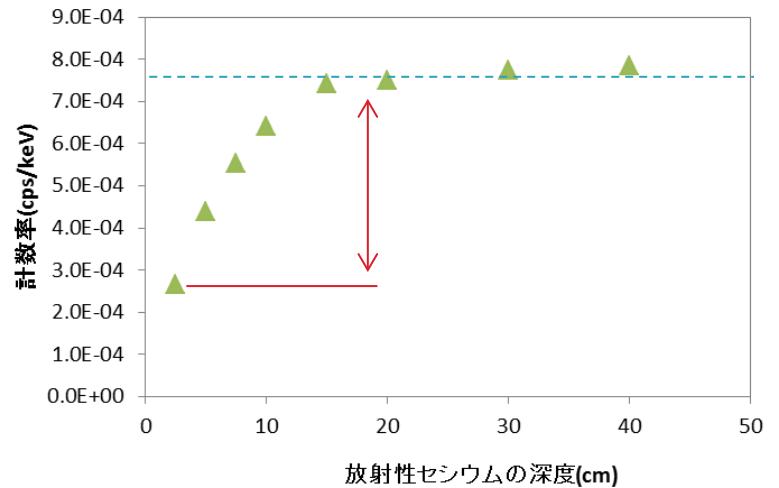


表層から10cmまでに放射性物質は均一に分布している

密度の違いによるレスポンスの変化

☆計算条件

- 堆積物表層からCs-137が均一分布
- 深さ2.5-40 cmにおけるJ-subDの計数率をプロット

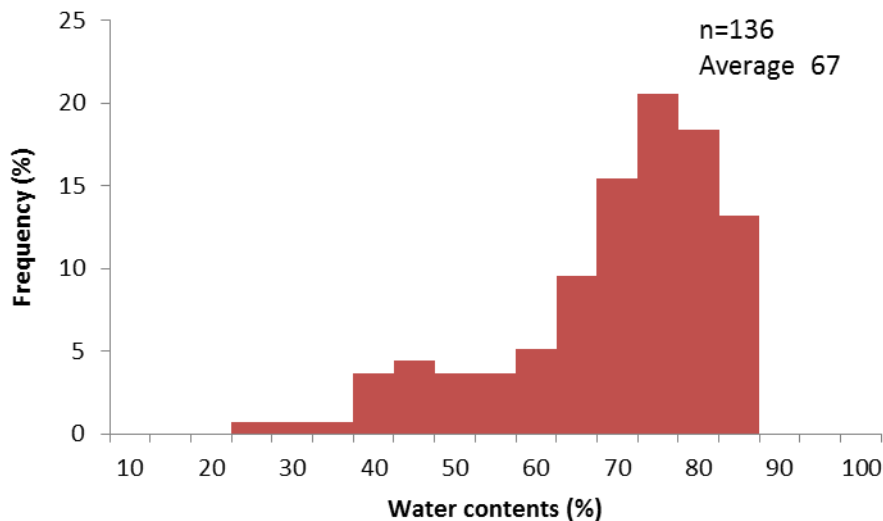
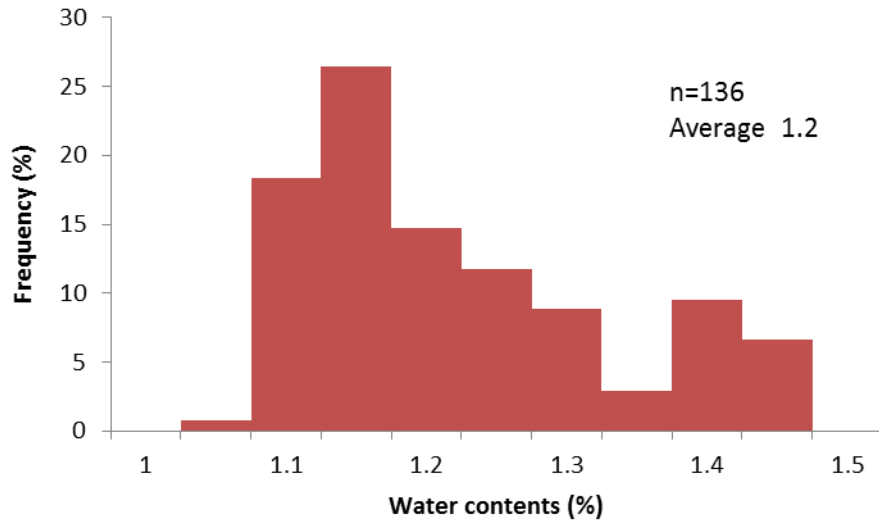


- 堆積物中の放射性セシウムからの放射線は15cm深さまで
- 2.5cmと10cmでは倍異なる  
→鉛直分布は換算の重要なファクター



# ため池底堆積物中の線源設定

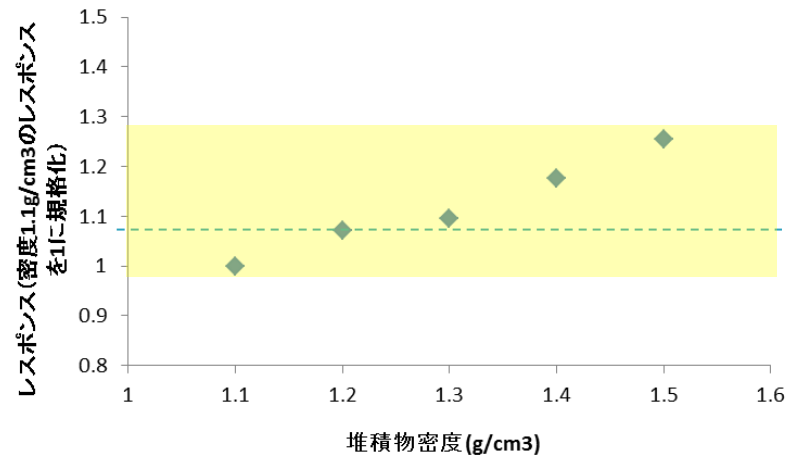
含水率の測定 (実測値)  
エクマンパーズ試料



密度の違いによるレスポンスの変化  
(計算結果)

☆計算条件

- 堆積物表層から10 cmにCs-137が均一分布
- 密度1.1-1.5 g/cm<sup>3</sup>におけるJ-subDの計数率をプロット



密度1.2 g/cm<sup>3</sup>で線源設定すれば、密度の違いによる放射能換算値の不確かさは20 %程度



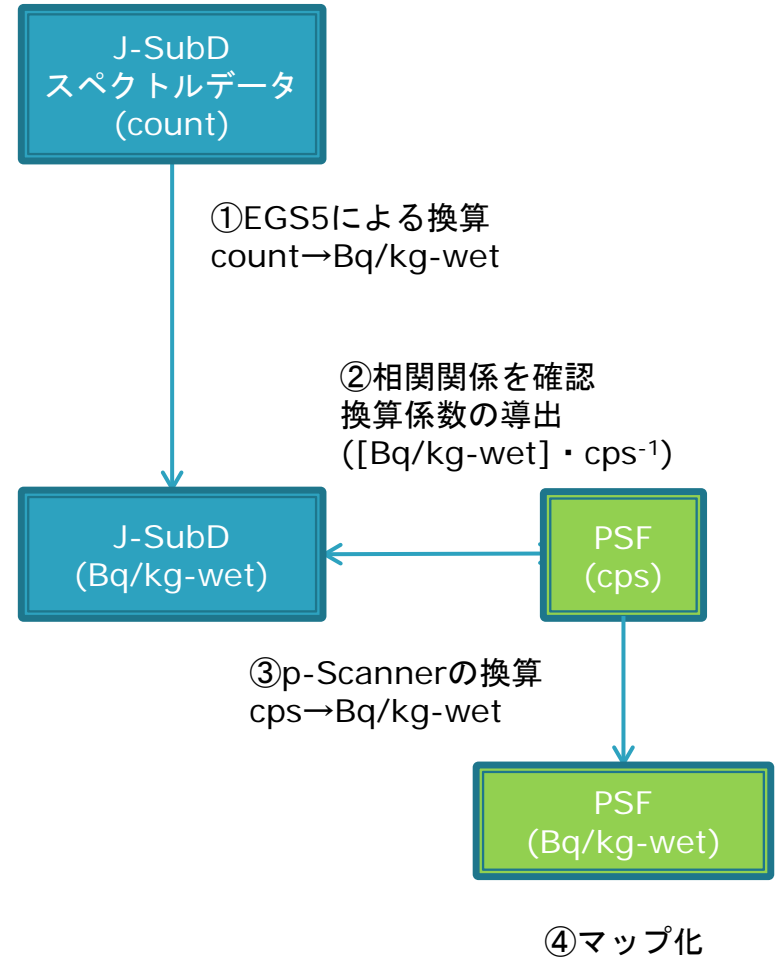
ため池ごとに設定も可能

- ① モンテカルロ計算コードEGS5を使い、J-SubDのスペクトルデータのエネルギーピーク (Cs-137: 662 keV, Cs-134: 796 keV) を元にBq/kg-wetに換算

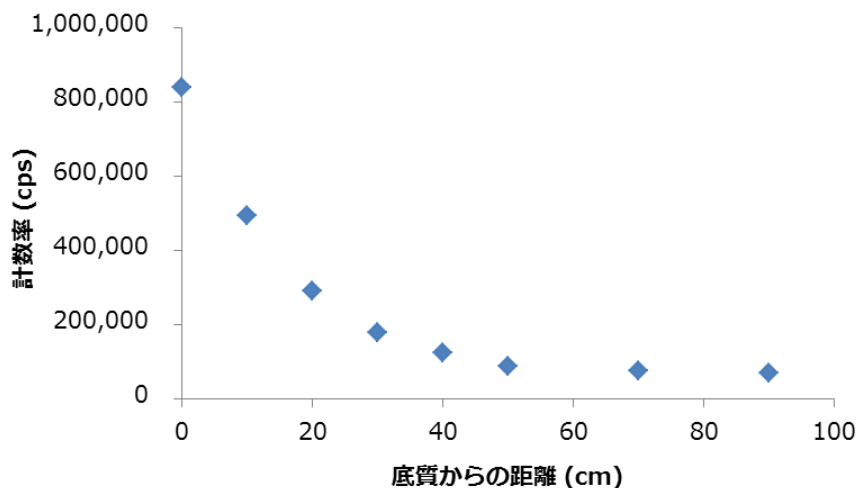
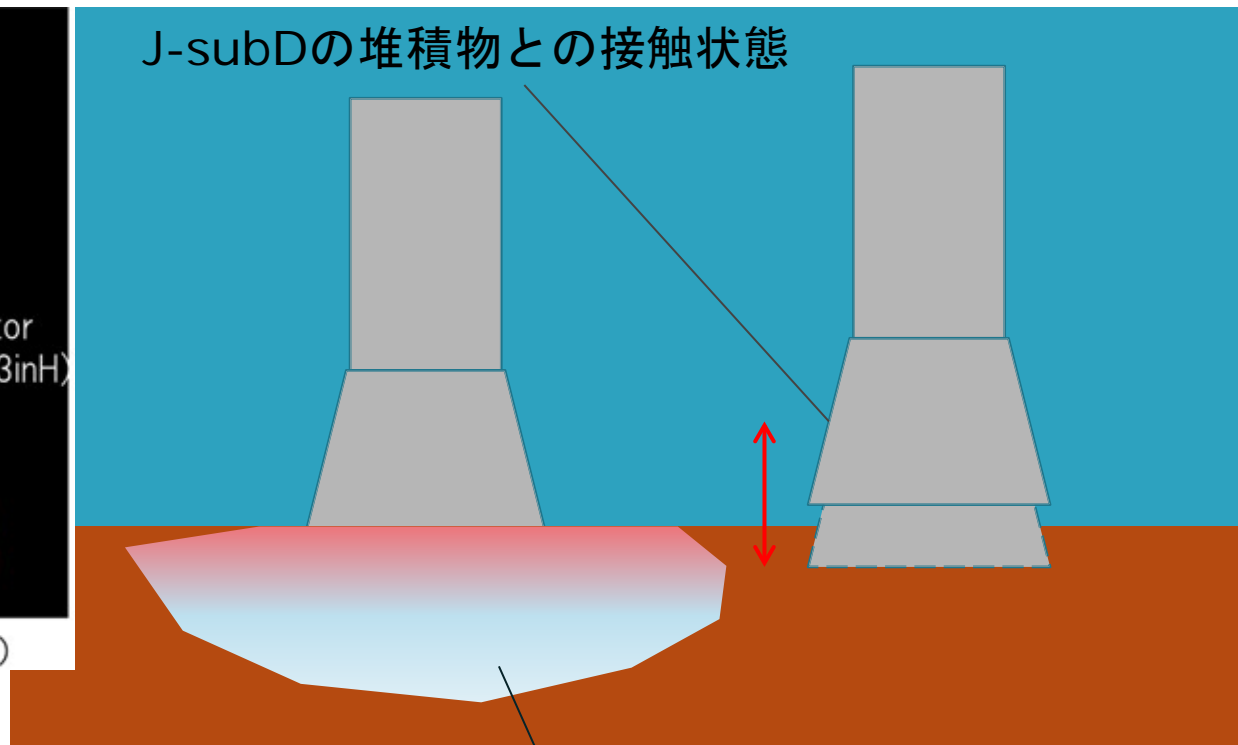
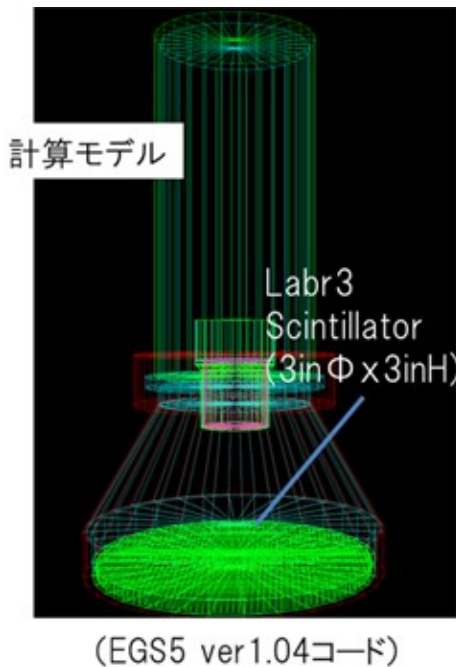
☆換算係数の条件

- ・ 表層から10cmに放射性Csが均一分布
- ・ 堆積物の密度 1.2 g/cm<sup>3</sup>

- ② p-Scanner(cps)と J-SubD(Bq/kg-wet)の測定値を比較し、相関関係からp-Scannerの換算係数を導出([Bq/kg-wet]・cps<sup>-1</sup>)
- ③ ②の換算係数を元に、p-Scannerの測定値を[cps]から[Bq/kg-wet]に換算
- ④ p-Scannerの解析結果を内挿法(Kriging)によりマップ化



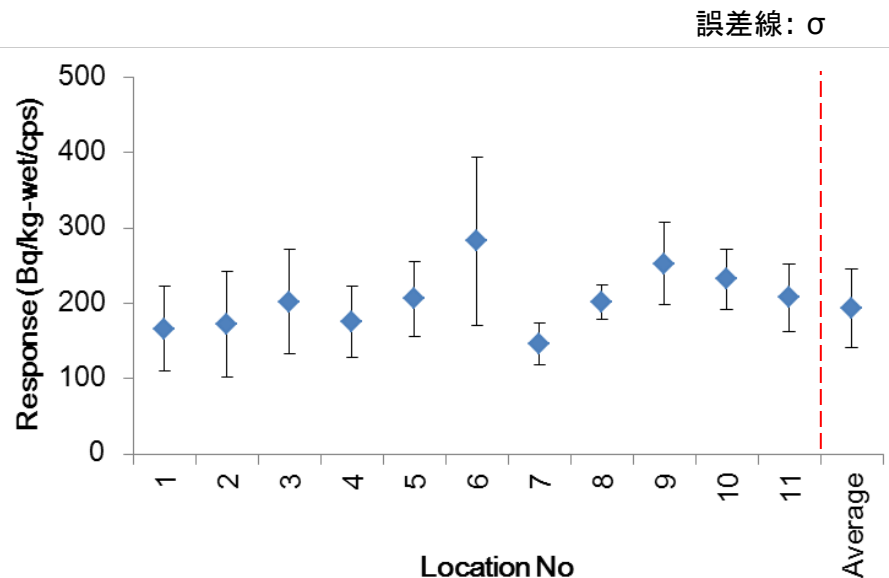
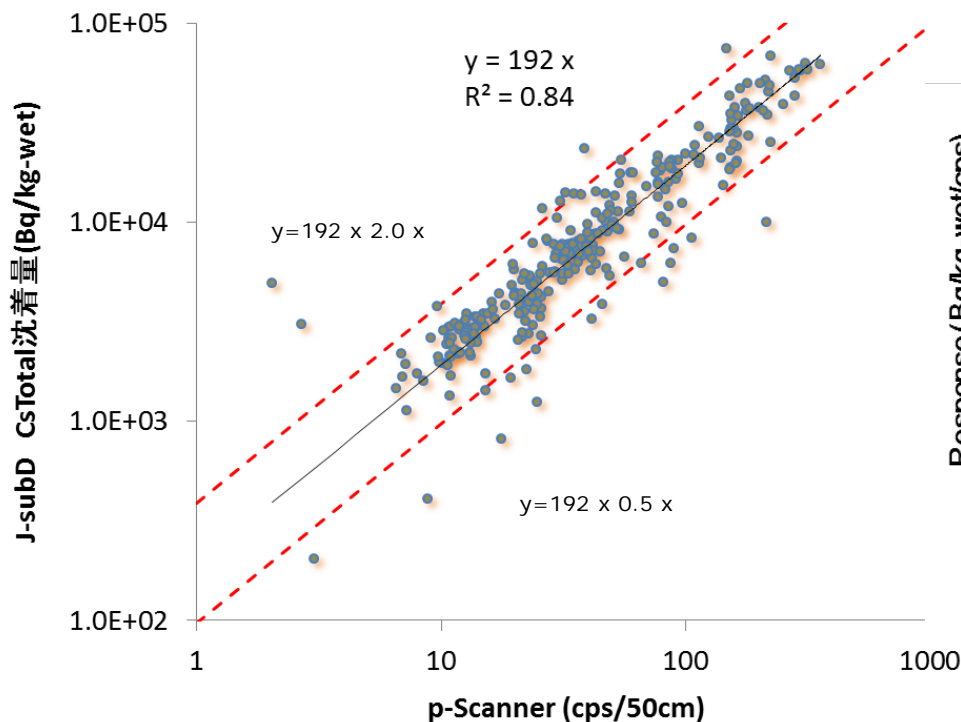
# 本換算方法の不確かさ要因



- ・ 堆積物中の放射性物質の鉛直分布
- ・ 密度、含水率

水の遮蔽→40 cmで15 %



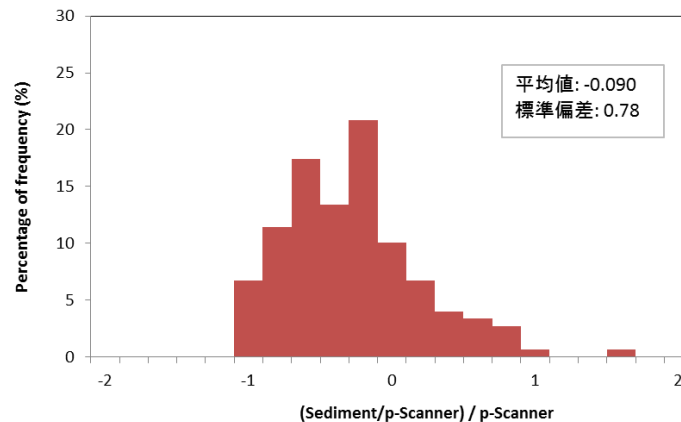
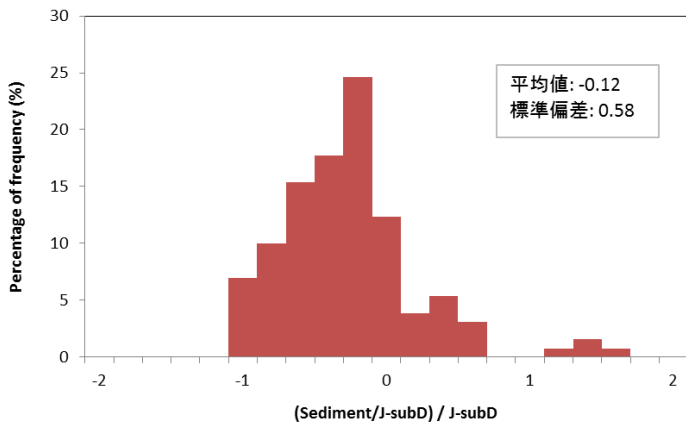
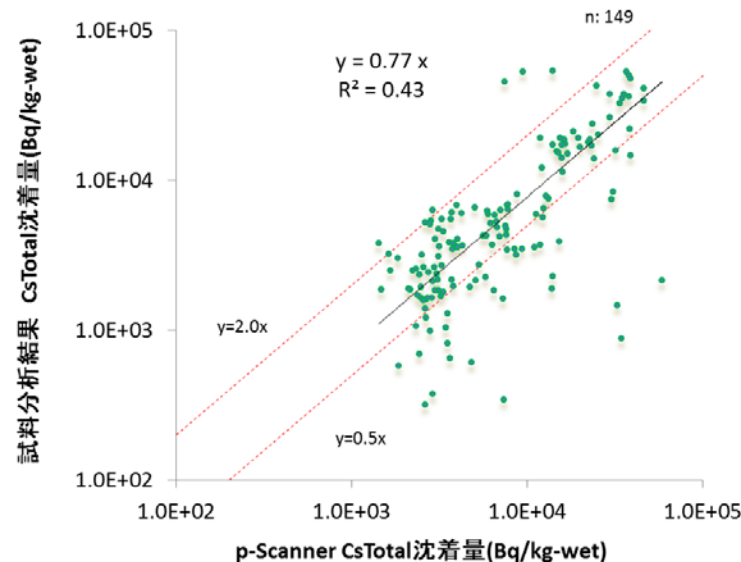
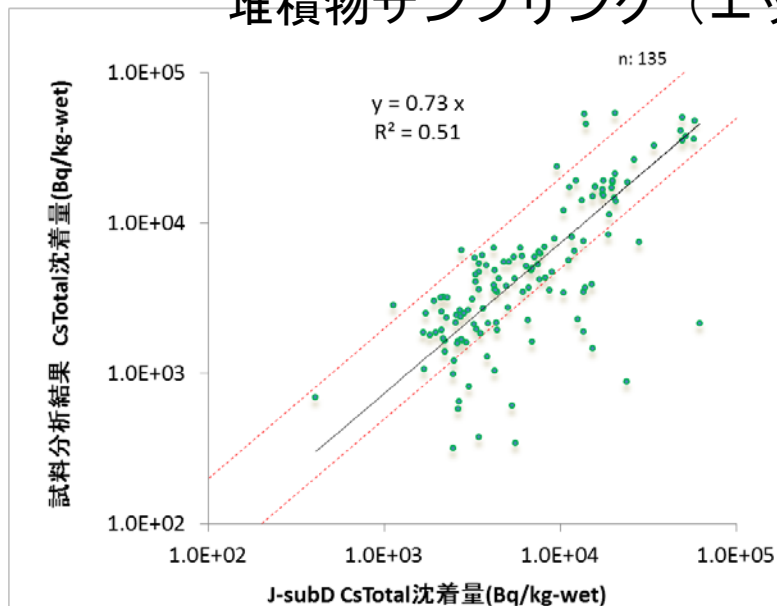


- 検出下限値 (天然核種の水底でBG測定し(@北海道)、3σ法で算出)
  - 100 s測定 (Bq/kg-wet)

p-Scanner		J-subD		
Cs-total		Cs-137	Cs-134	Cs-total
	61	140	81	220

# 測定結果の妥当性について

堆積物サンプリング（エックマン）との比較→概ねよい相関




## ☆ばらつきの要因

- ・ 堆積物中の放射性物質の鉛直分布
- ・ 堆積物採取場所と測定場所の不一致
- ・ 構造物や倒木などによるファイバーと堆積物との密着性

# 測定対象

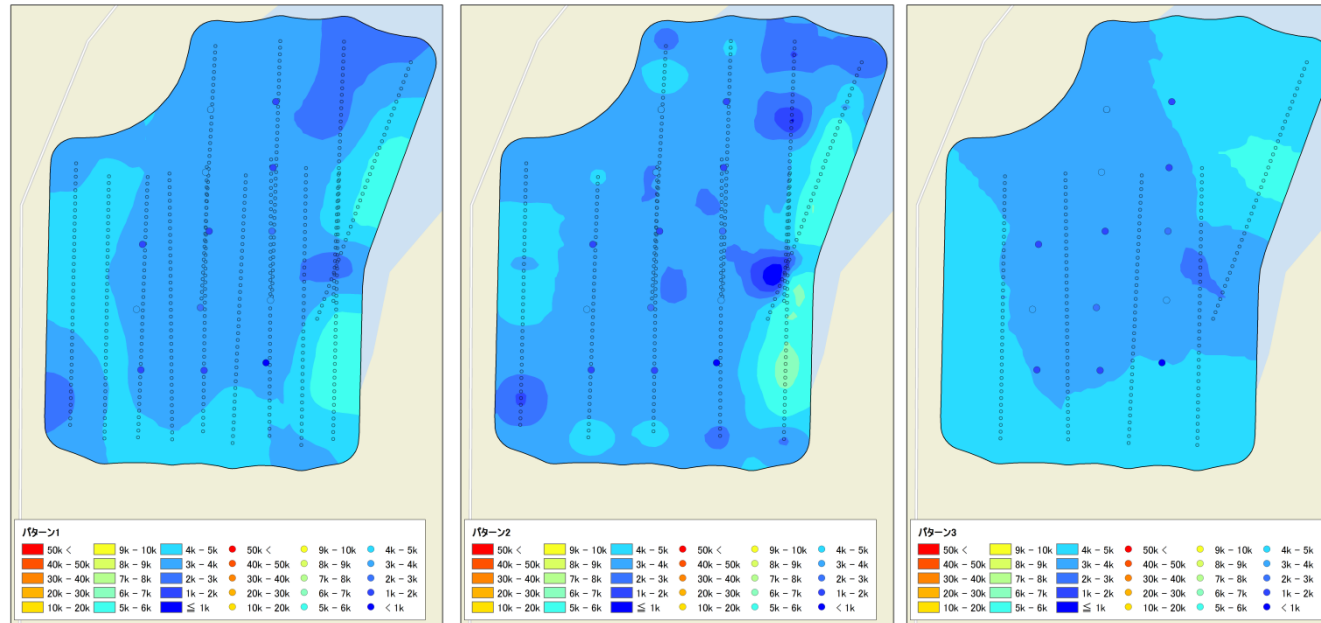
No.	池名	場所	集水域(ha)	測定日	解析進捗
1	鏡ヶ池(浚渫前)	大玉村	2.3	4/3,4	済
2	東笹田池	本宮市	10	4/11,12	済
3	鏡ヶ池(浚渫後)	大玉村	2.3	5/13,14	済
4	北屋敷池	南相馬市	2.6	6/4,5	済
5	ヤボヶ池	南相馬市	25	6/6,7	済
6	福大第3調整池	福島市	13.4	6/11,12	済
7	堀沢沼	伊達市	8.6	7/1-7/4	済
8	梶内沼	伊達市	54	7/5	済
9	道法内池	本宮市	8	7/30-8/2	済
10	萩ダム	川内村		8/5-8/8	済
11	大池	本宮市	19	8/21-8/29	済
12	東笹田池(経時変化)	本宮市	10	9/24-27	済
13	寺ノ前池	南相馬市	11	10/7-10/11	済
14	滝沢第1	南相馬市		10/21-11/9	解析中
15	上田代池	福島市		11/18-11-22	解析中
16	鷹ノ巣池	南相馬市		11/25-11/29	解析中

 : 福島県内のため池を管理している福島県農地管理課からの依頼による

 : 福島大学の協力により実施



## ○ 測線の間隔



- ・ 5 m間隔を基本
- ・ Krigingのセミバリオグラフによる解析により、より最適化を検討中

2.5 mメッシュ

5 mメッシュ

10 mメッシュ

## ○ 測定の流れ

- (1) p-Scannerによる池底全域の測定 (5 mメッシュ) → 測量による始点、終点の位置測定
- (2) p-Scannerで測定した場所のJ-subD測定
- (3) 同地点における堆積物採取 (エックマン、堆積物コア採取)

☆ 100 m<sup>2</sup>のため池で3-4日で終了 (5人)

# 測定位置の計測

- 高精度GPS (RTK-GPS)を基本とした測量技術の導入

測定方法	詳細分類	測定精度	測定時間	測定結果
DGPS		数m ~100m	1秒~1分	後処理 又はリアルタイム
スタティック (静的干渉測位)	スタティック	数mm	約60分	後処理
	短縮 スタティック	数mm	約20分	後処理
キネマティック (動的干渉測位)	キネマティック	数cm	1秒~1分	後処理
	RTK-GPS	数cm	1秒~1分	リアルタイム

- TS(トータルステーション)による測定位置の記録



測定位置  
の記録

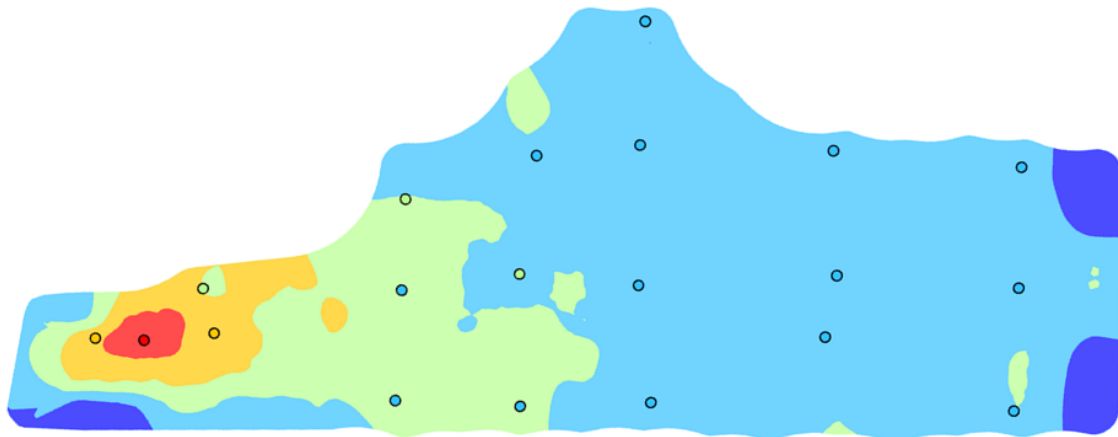




# 作業風景



# 測定結果1



放射性物質の濃度が  
高く出ている位置

堆積物サンプリング(kBq/kg-wet) p-Scanner測定結果(kBq/kg-wet)



p-Scannerによるコンター図  
と堆積物サンプリングの傾向  
が良く一致している

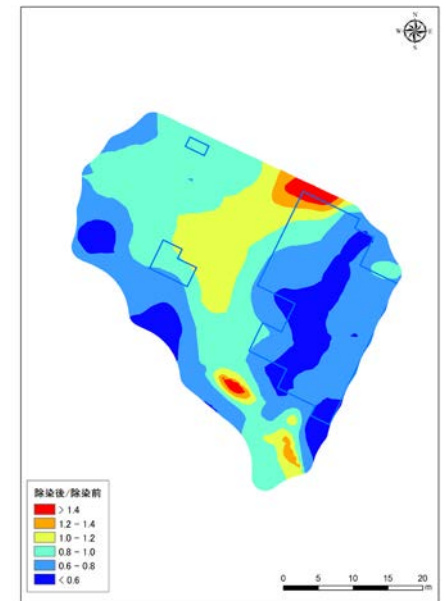



# 測定結果2 (浚渫前後比較)

除染前



除染後



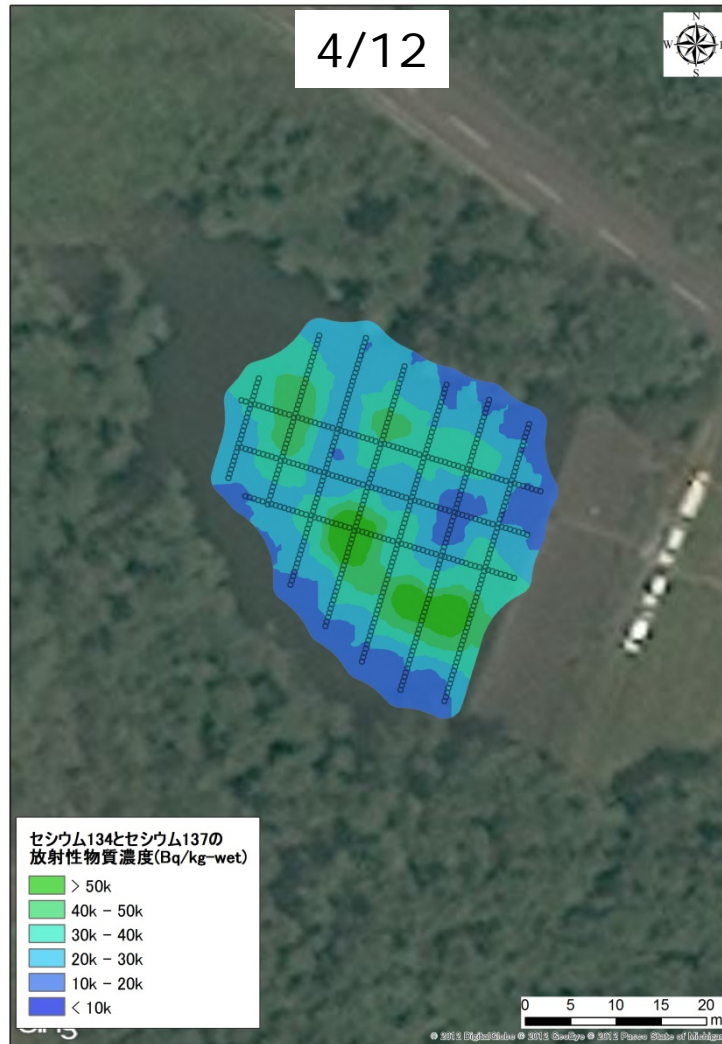
 : 浚渫エリア

・ 全体的に5,000Bq/kg-wetを超える部分が小さくなっている



- ・ ため池の効率的な除染の計画をする際に有益
- ・ 除染効果の確認にも適用可能

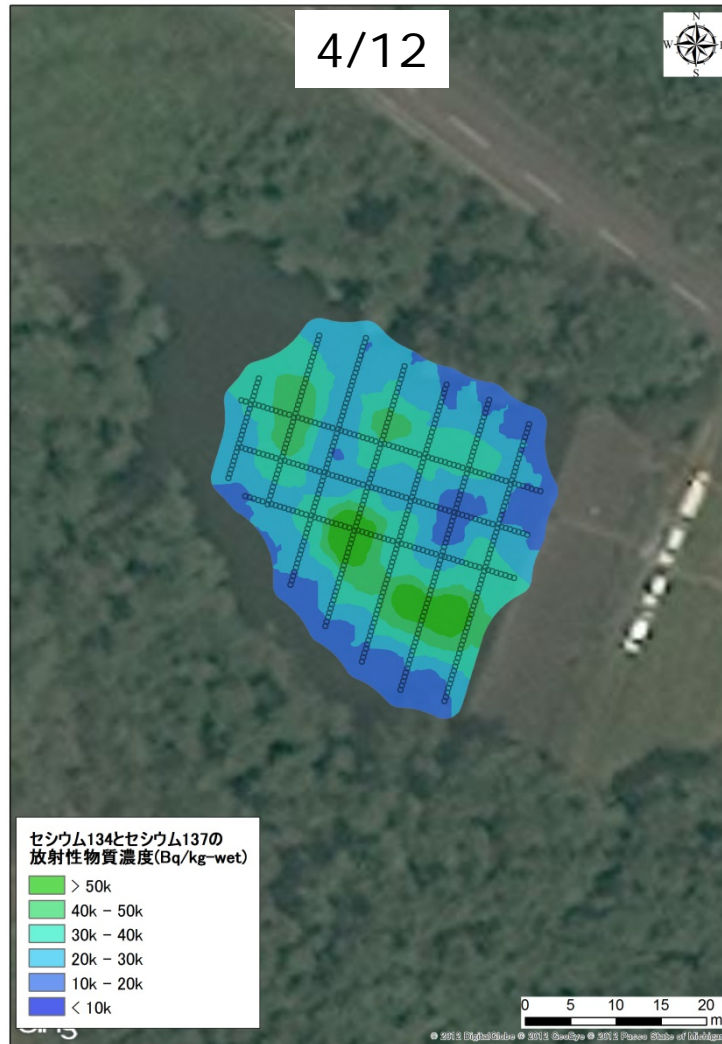
# 測定結果3 (経時変化)



4月に浚渫後測定  
 4月より9月の方が水量が増加していた  
 水底の放射性物質の移動が視覚的に捉えられる

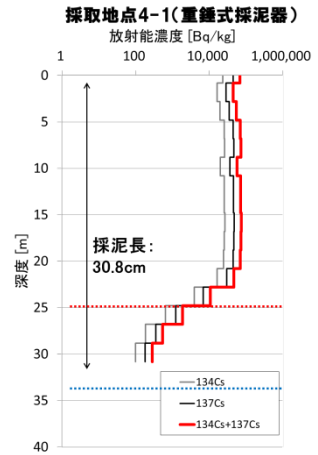
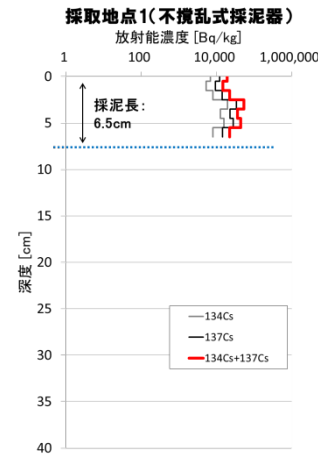
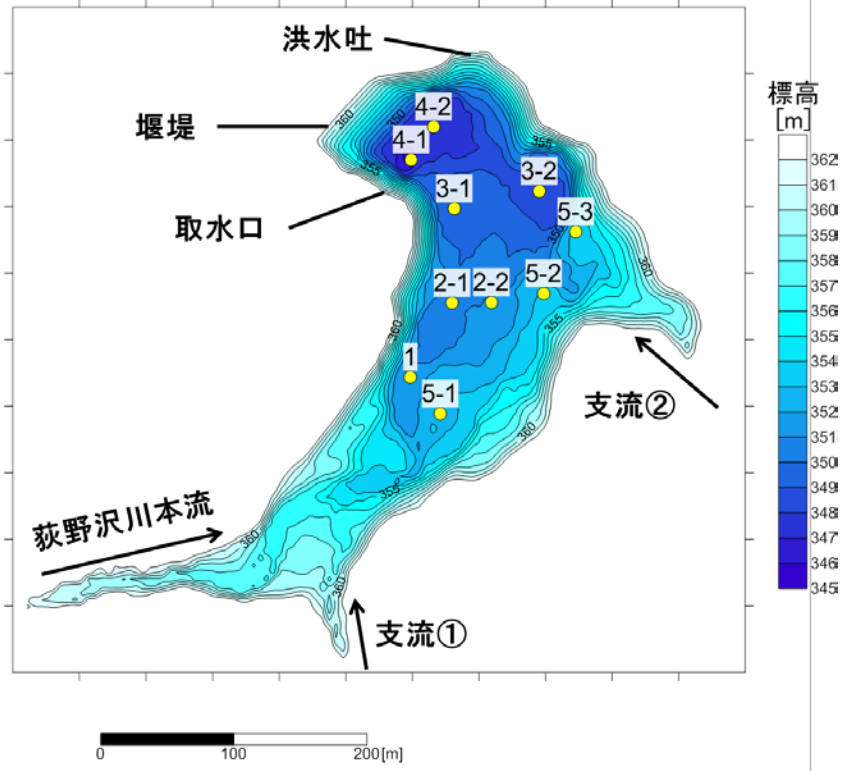
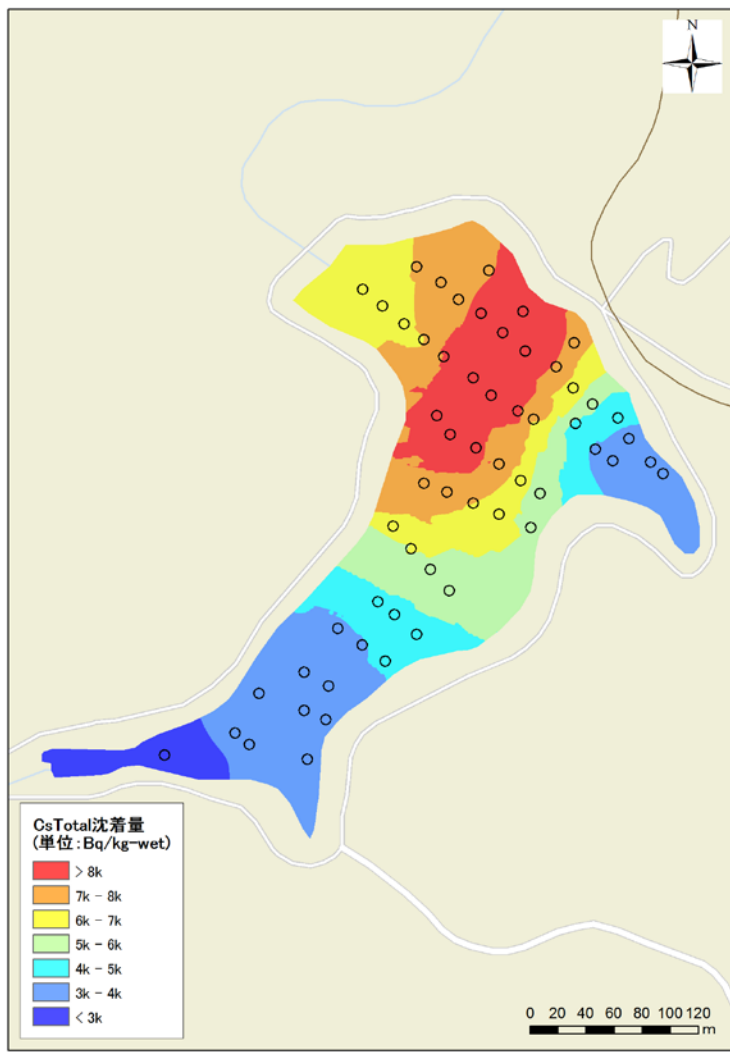


# 測定結果3 (経時変化)



4月に浚渫後測定  
 4月より9月の方が水量が増加していた  
 水底の放射性物質の移動が視覚的に捉えられる

# 測定結果4 (ダムの測定)

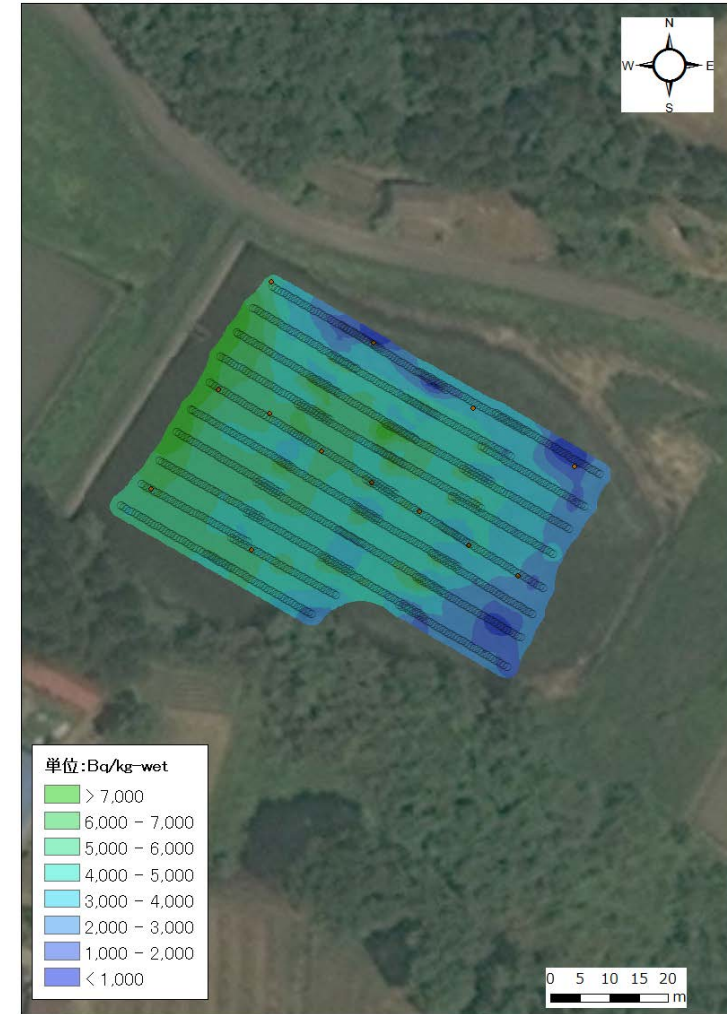
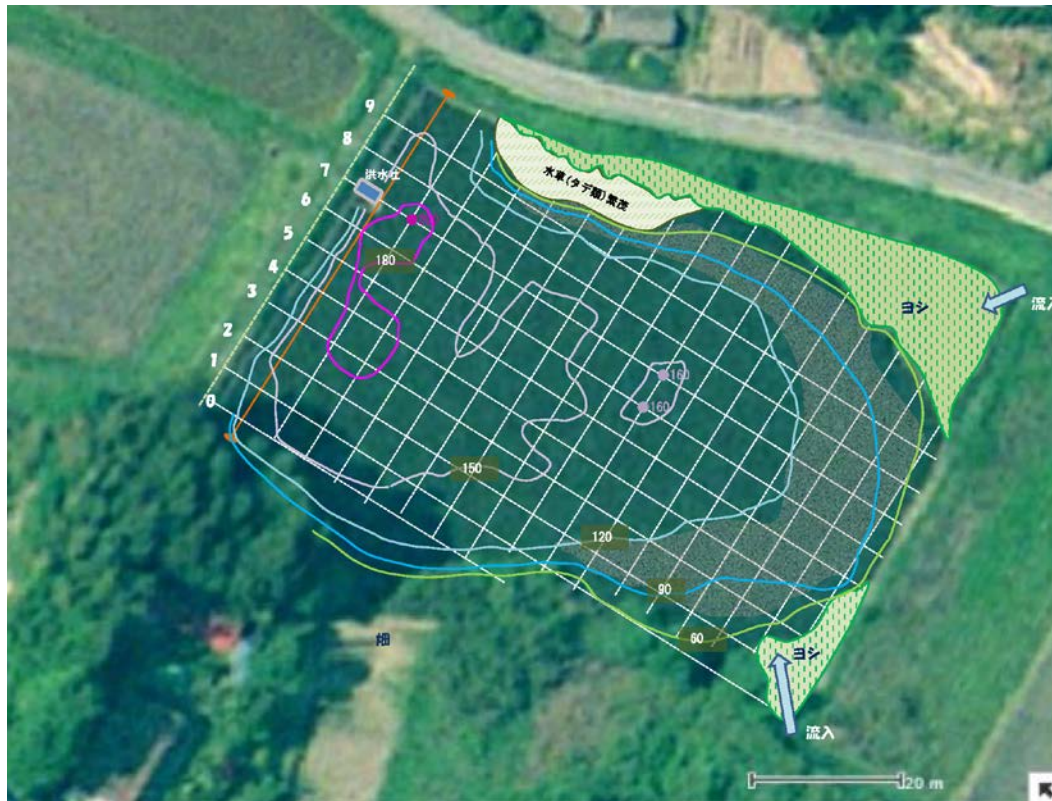


- ため池との条件の違い
- 環境動態研究への活用



# 放射能分布の解釈と考察

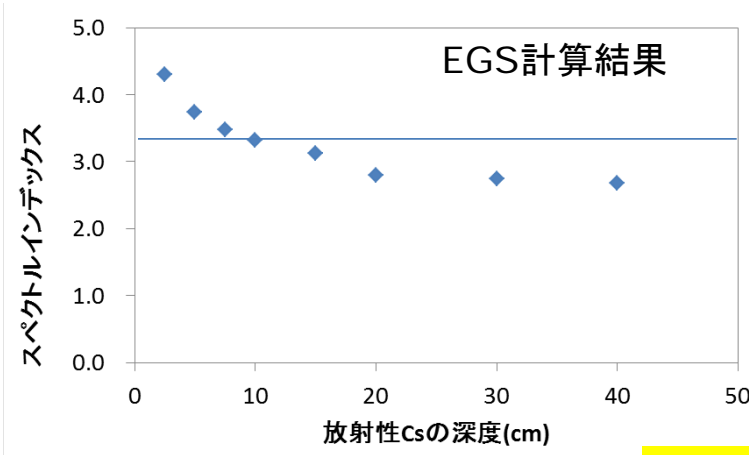
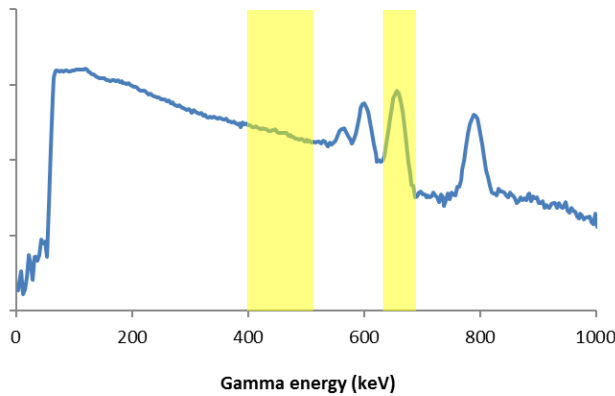
## 典型的なため池の放射線分布



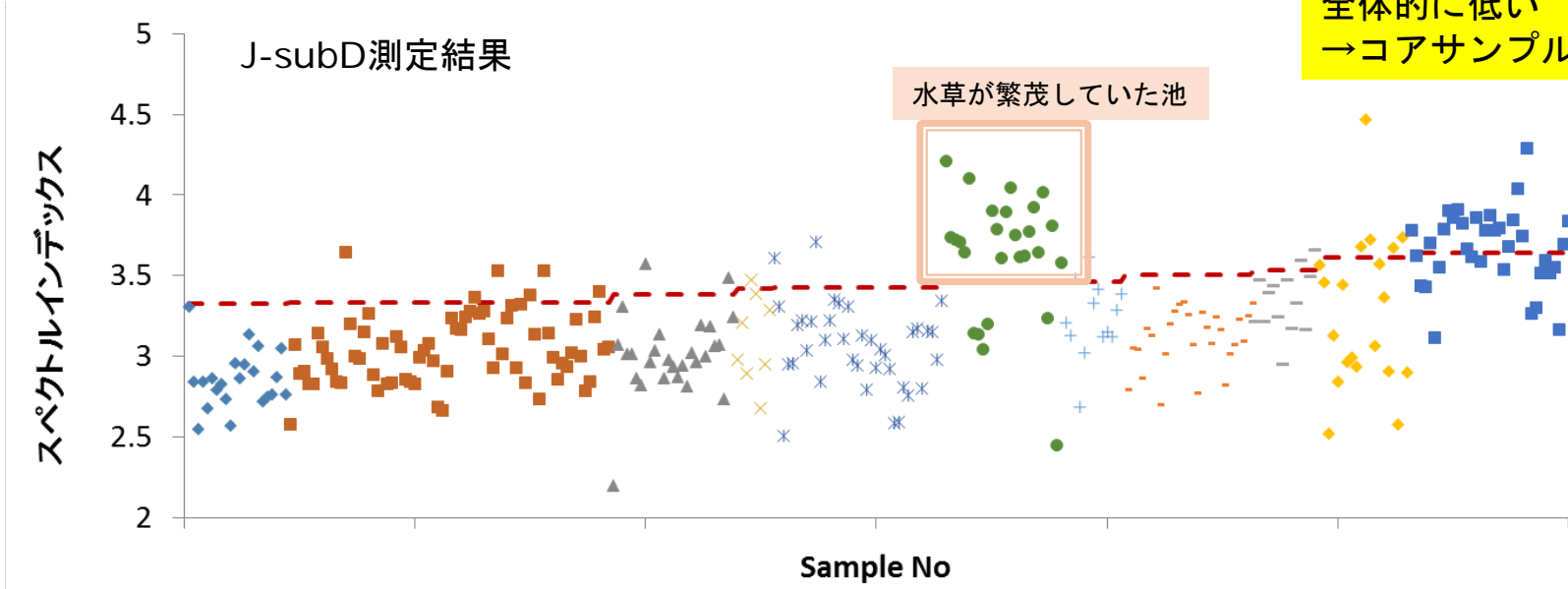
水深の深い場所と放射性セシウムの濃度が高いが一致している  
排水側（堰側）が高い傾向にある

# スペクトルから分かること (1/2)

スペクトルインデックス (例えば(400-500 keV)/661ピーク)  
から、鉛直分布に関する情報が得られないか？→深さ方向による換算値補正のため



10 cm均一分布: 3.3

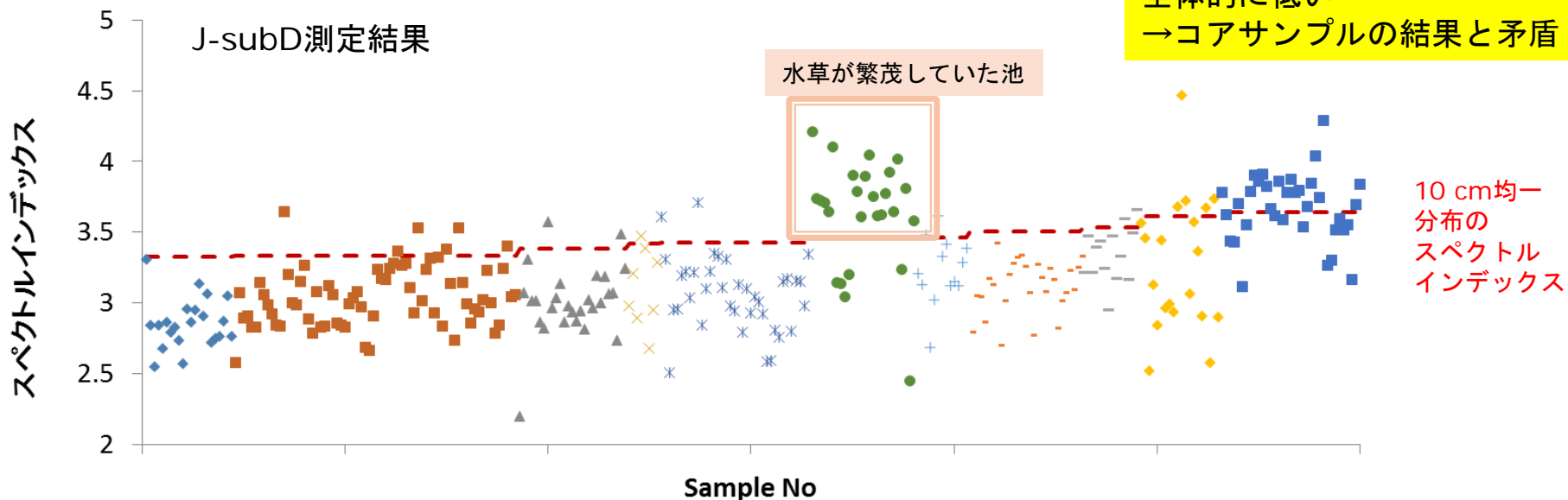


全体的に低い  
→コアサンプルの結果と矛盾

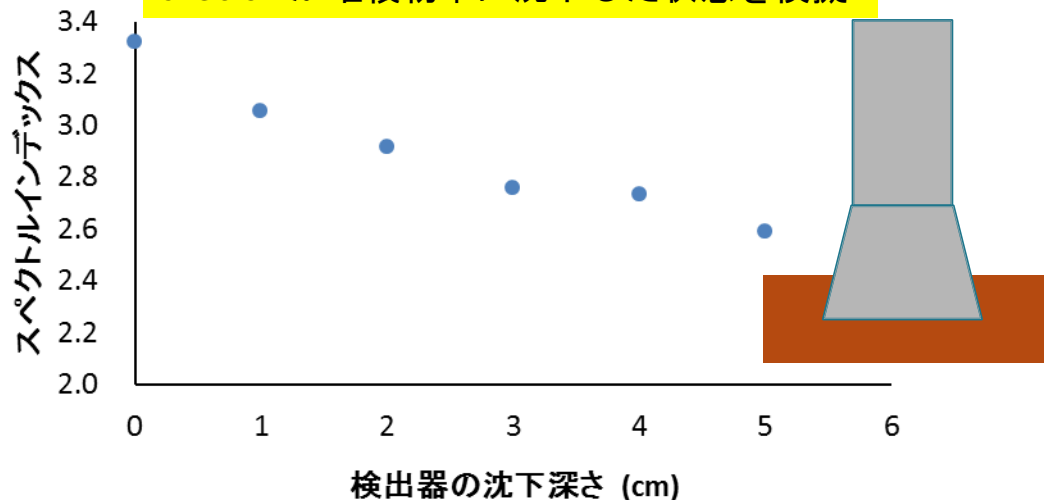
10 cm均一分布の  
スペクトル  
インデックス

# スペクトルから分かること (1/2)

J-subD測定結果



J-subDが堆積物中に沈下した状態を模擬



スペクトルインデックスにより堆積物中の鉛直分布に関する情報を得るには、、、

- 検出器が沈まない工夫
- 沈んだ状態を加味

継続して検討する



# まとめと今後の展開

## 成果

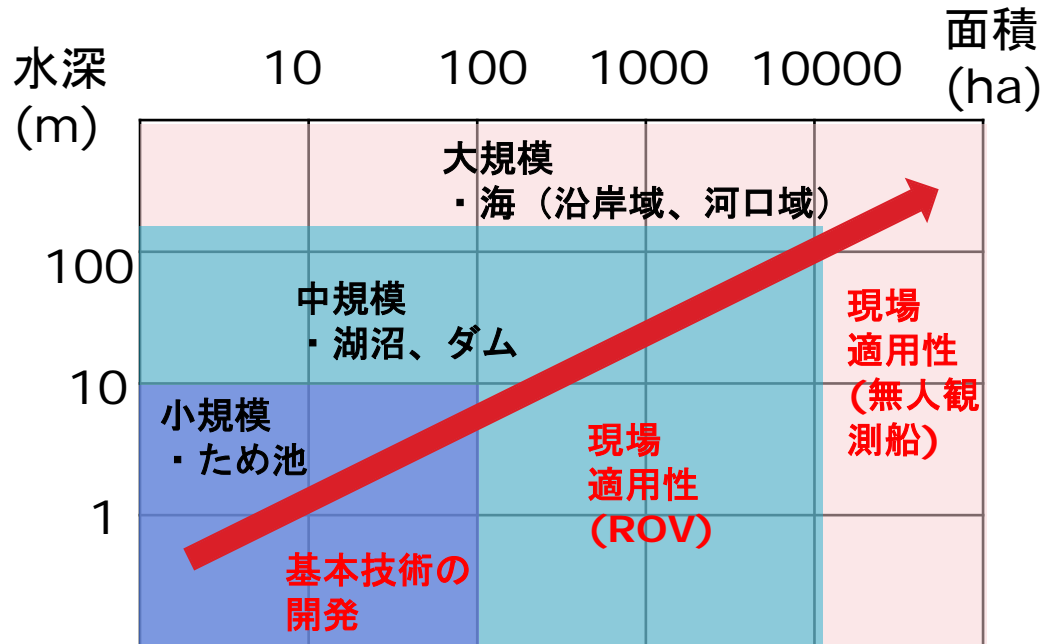
- ため池全域の水底における放射性物質の分布評価を可能とした
  - ✓ため池の効率的な除染計画に有益
  - ✓除染効果の確認にも適用可能

## 展開

- 測定精度の向上
- 測定対象の適用範囲拡大
- 民間への技術移転 → 水土里ネットとの技術指導契約 (H25年12月～)



# 水底の放射線分布測定手法開発



## 大規模 (海)

無人観測船システムの開発 (東海大学かんちゃん: 共同研究)



## 小規模 (ため池) 基本技術の開発

本日の発表



## 中規模 (湖沼・ダム) ROVシステムの開発







ご清聴ありがとうございました