

# 福島長期環境動態研究(F-TRACE)

## 福島県における放射性核種の環境中移動調査・研究

---



LONG-TERM ASSESSMENT OF TRANSPORT OF RADIOACTIVE  
CONTAMINANT IN THE ENVIRONMENT OF FUKUSHIMA

福島長期環境動態研究プロジェクト

福島技術本部 福島環境安全センター



## 目的

- 放射性セシウムの移動データを取得し、移動予測モデルを開発する。
- 放射性セシウムの移動による被ばく線量の変化を推定する。
- 被ばく線量低減に有効な移動抑制等の対策を提案する。

### 放射性セシウムの付着場所

・森林 ・土壌 ・人工物 ・水 ・がれき 等

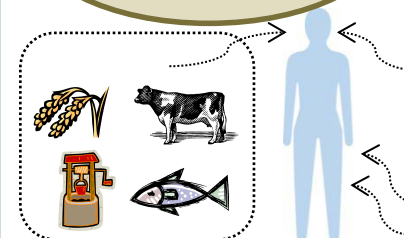
### 放射性セシウムの移動形態

・土壌粒子 ・有機物 ・イオン 等

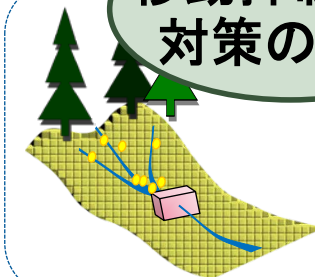


### 移動予測モデルの開発

被ばく線量  
の変化の評価



移動抑制等の  
対策の提案



## 水流による移動： 浜通り側中小5河川

### ①森林調査

- ・川俣町坂下地区（落葉広葉樹）
- ・川内村荻地区（常緑針葉樹）

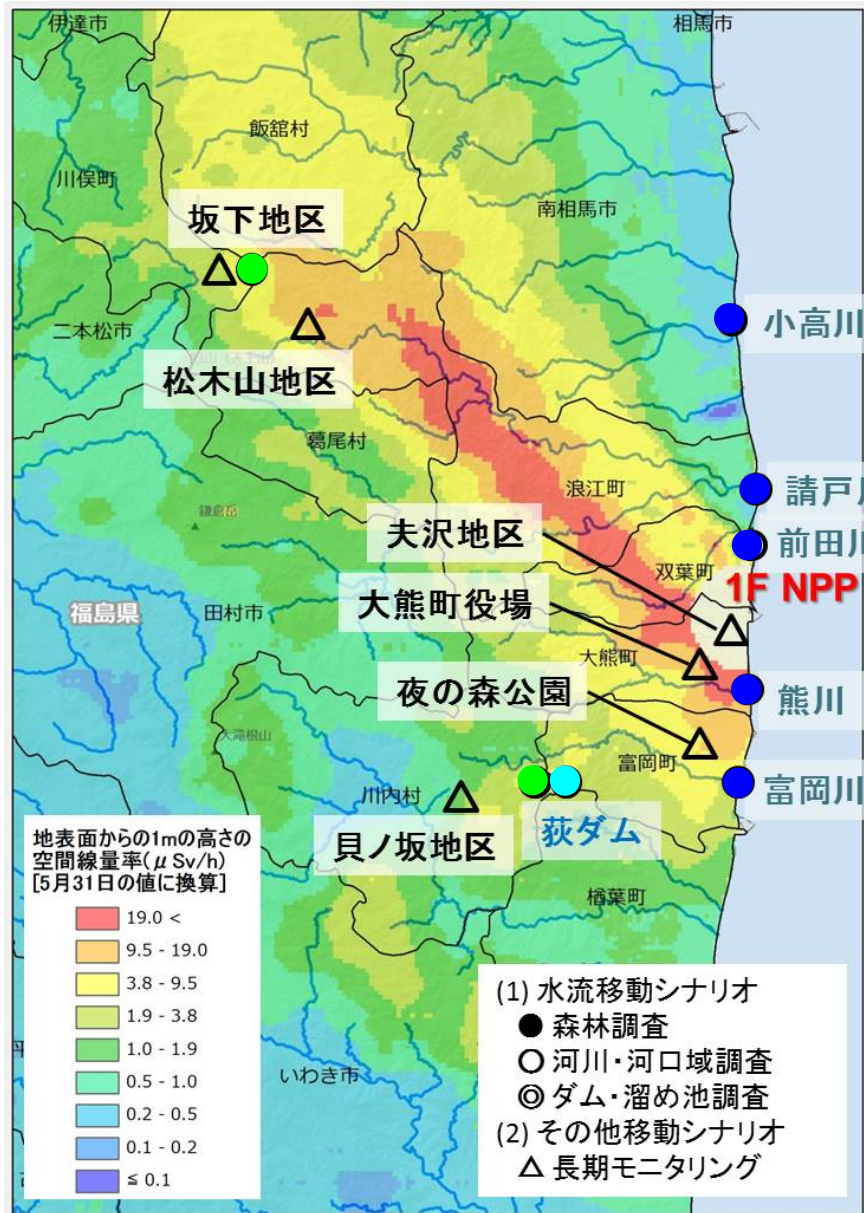
### ②河川・河口域調査

- ・請戸川・高瀬川（中～下流河川モデル）
- ・富岡川・荻野沢川（森林～上流～ダム総合的評価）
- ・小高川（土壌粒子特性，塩濃度影響）
- ・熊川（森林～河口までのモデル検証）
- ・前田川（森林～河口までのモデル検証）

### ③ダム調査

- ・荻ダム（荻野沢川水系）

- 高線量地域から低線量地域に流れる  
⇒ **放射性セシウムの動きを検知しやすい**
- 規模が小さく**モデル化・検証が容易**



## その他の移動： 除染モデル事業実施区域

○長期空間線量率・表面密度測定

・山地部：川俣町(坂下地区)

川内村(貝ノ坂地区)

・平地部：大熊町(役場, 夫沢地区)

富岡町(夜の森公園)

浪江町(松木山地区)

➤ 高線量地域の中に低線量地域が存在

⇒ 放射性Csの流入を検知しやすい



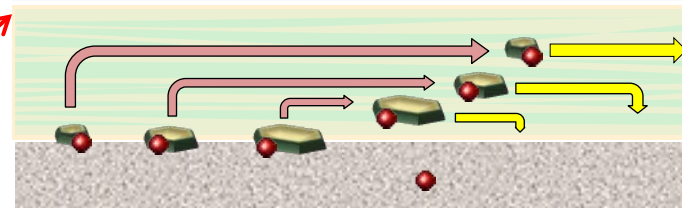
## 【森林周辺】 鉛直移行, 移動開始

- ・樹幹流・落葉によるセシウムの移動
- ・植物分解に伴う溶存セシウムの放出
- ・地中へのセシウム移動と有機物影響
- ・セシウムが付着した土壌粒子の水流による移動



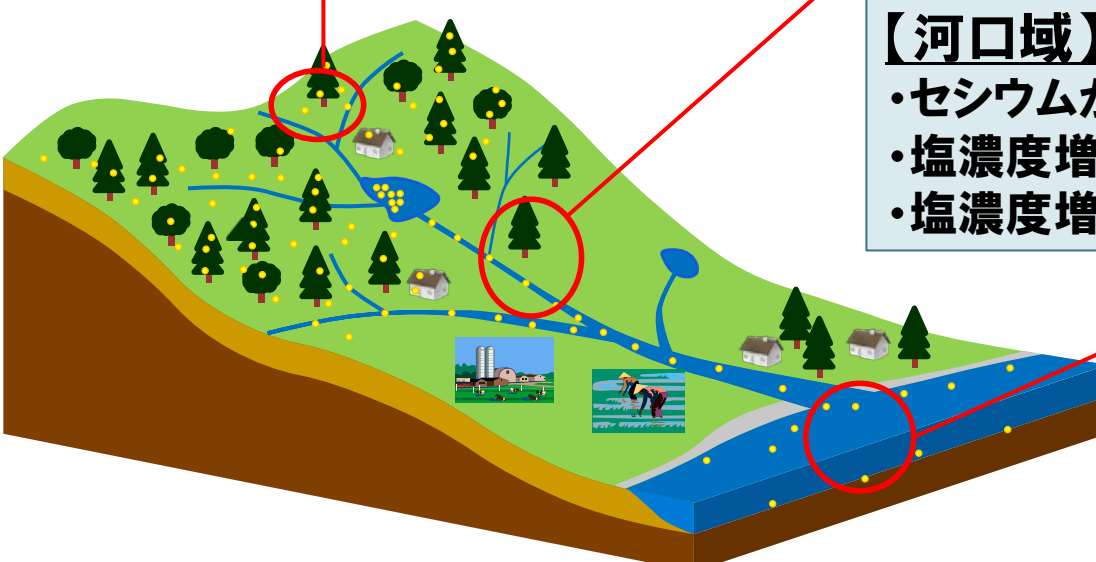
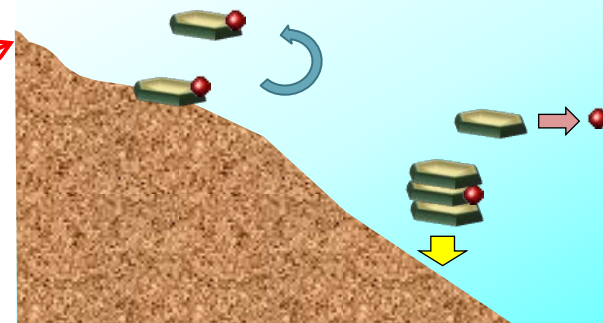
## 【河川, ダム・湖沼】 移動, 蓄積

- ・セシウムが付着した土壌粒子の水流による移動
- ・ダム等の流速が遅い場所での土壌粒子の蓄積
- ・河川敷の植物による土壌粒子の捕捉



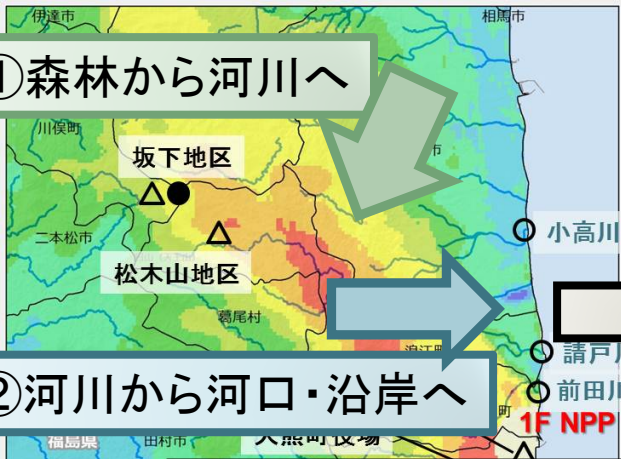
## 【河口域】 塩濃度増加の影響

- ・セシウムが付着した土壌粒子の海流による移動
- ・塩濃度増加による土壌粒子からのセシウム脱離
- ・塩濃度増加による土壌粒子の団粒化・沈着



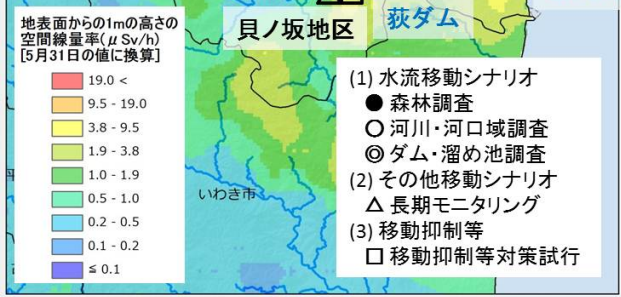
## 放射性物質の移動

### ① 森林から河川へ



### ② 河川から河口・沿岸へ

### ③ 河口・沿岸から海洋へ

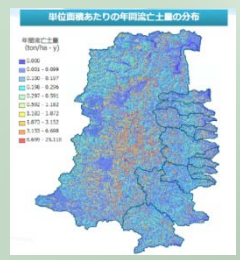


## モデル

### ① 森林から河川へ

→ 土壌浸食モデル  
USLEなど

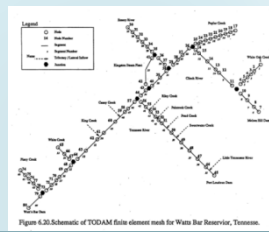
河川への流入量が得られる



### ② 河川から河口・沿岸へ

→ 1次元河川モデル  
TODAMなど

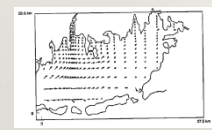
海への流入量を得られる



### ③ 河口・沿岸から海洋へ

→ 3次元河口・沿岸モデル  
FLESCOT、ROMSなど

海における放射性セシウムの動きがわかる



計算結果

入力

計算結果

入力

# 森林調査

---

# 森林調査①： 調査内容と調査地点

調査地点	植生	地形	土壌
川俣町 山木屋 坂下地区	<u>落葉広葉樹を主体</u> とし、 尾根や家屋付近に常緑 針葉樹が少量分布する	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 南向き斜面</li> <li>✓ 斜面の傾斜は緩傾斜から急傾斜まで幅広い</li> <li>✓ 傾斜と方位の異なる斜面の組み合わせが複数あり、<u>複雑な地形</u></li> </ul>	風化花崗岩、マサ、 赤色土壌、褐色森林土(黒色土壌)
川内村 荻地区 (調査地点A)	<u>常緑針葉樹を主体</u> とし、 低木として落葉広葉樹が 少量分布する	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 北向き斜面</li> <li>✓ 谷と斜面の組み合わせからなる<u>比較的単純な地形</u></li> <li>✓ 谷の出口から尾根に向かい中から急傾斜になる</li> </ul>	マサ、褐色森林土 ※一部に赤色土壌
川内村 荻地区 (調査地点B)	<u>常緑針葉樹を主体</u> とし、 低木として落葉広葉樹が 少量分布する	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 南向き斜面</li> <li>✓ 谷と斜面の組み合わせからなる<u>比較的単純な地形</u></li> <li>✓ 全般的に急傾斜で傾斜の変化に乏しい</li> </ul>	マサ、褐色森林土 ※一部に赤色土壌

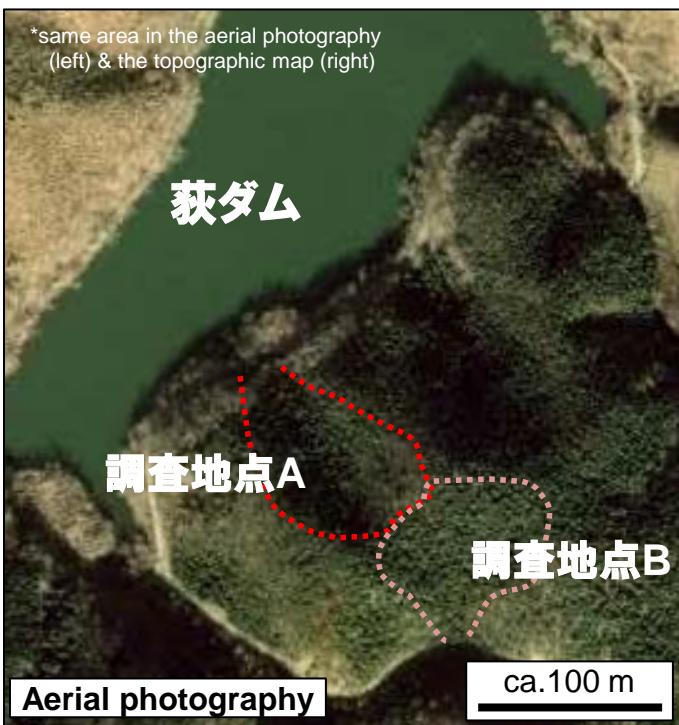




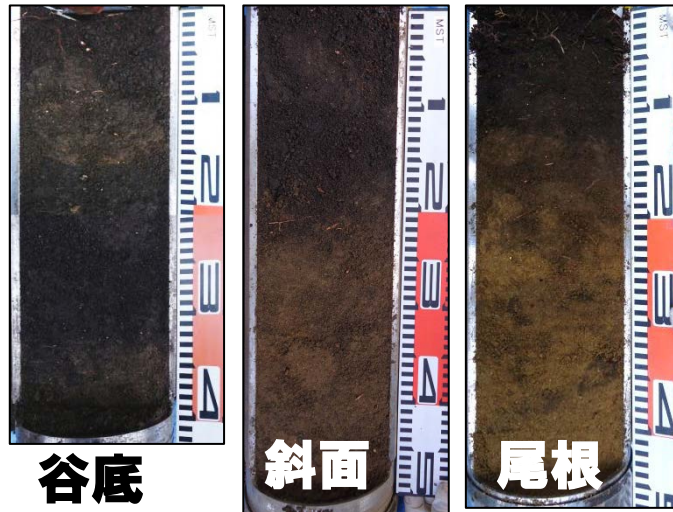
- 表面流や土砂の移動に伴う放射性物質の移動挙動を把握。
- 移動に影響を及ぼす植生、地形、土壌の分布を把握し、その相関を調査。

# 森林調査③： 土壌の特性

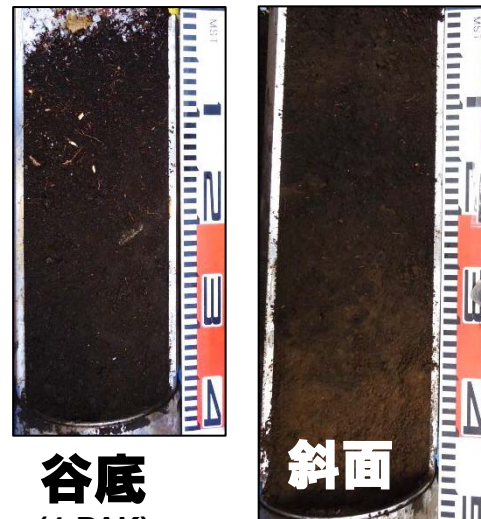
\*same area in the aerial photography (left) & the topographic map (right)



- スクレーパープレート
- 柱状試料採取機 (ぱかっとサンプラー)



調査地点A

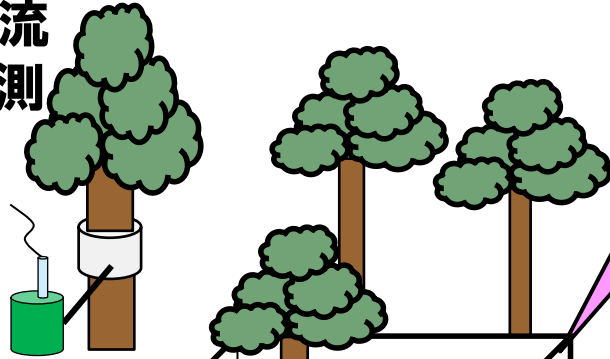


調査地点B

# 森林調査④：流水の調査



樹幹流  
の計測



観測区画



雨量計



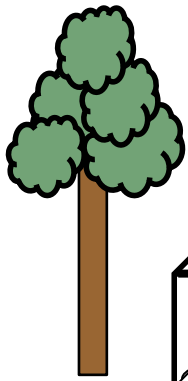
尾根線  
= 水系の境界

調査地点A

調査地点B

観測区画の  
候補地点

約100m



土壌水分計

約6m

約10m

水位計

三角堰

濁度計

土砂貯留用  
タンク

- 斜面に一定の区画を区切る。
- 区画内の降水が地表面流，樹幹流となって流れる量をそれぞれ測定。
- 区画から流出する地表面流を集め，土砂流出量を測定。
- 機器を設置し，定常的に観測。

# 森林モデルの例： 土壌侵食モデル

## USLE (Universal Soil Loss Equation)

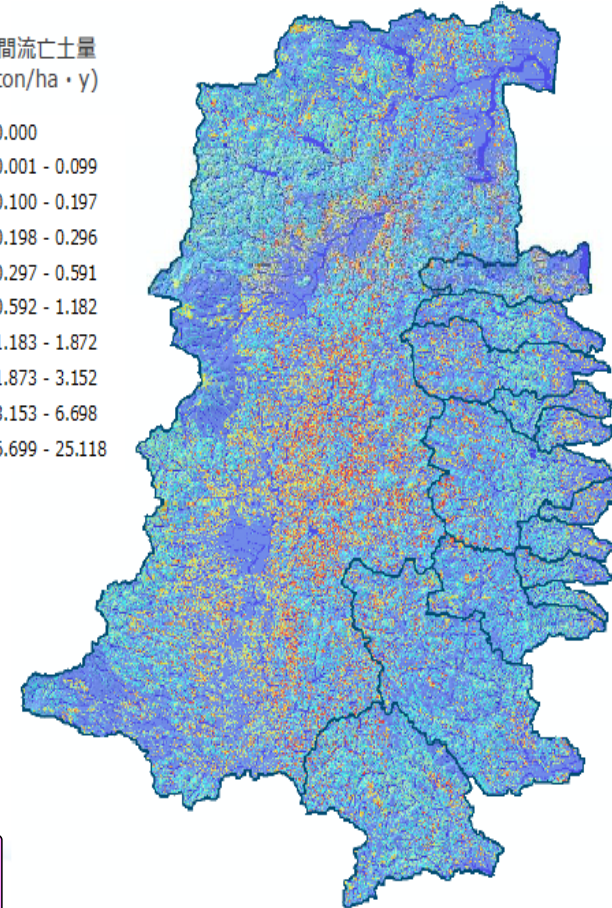
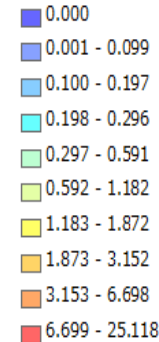
- アメリカ農業省により開発
- 日本の農業フィールドにおいても広く適用

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

### 各係数の設定方法(既存データ)

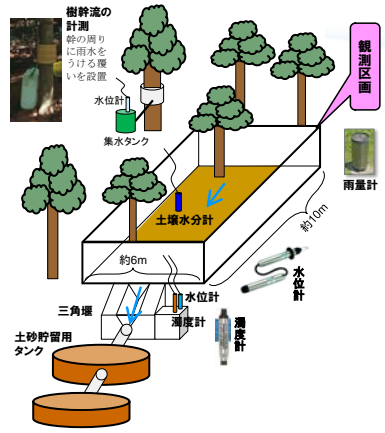
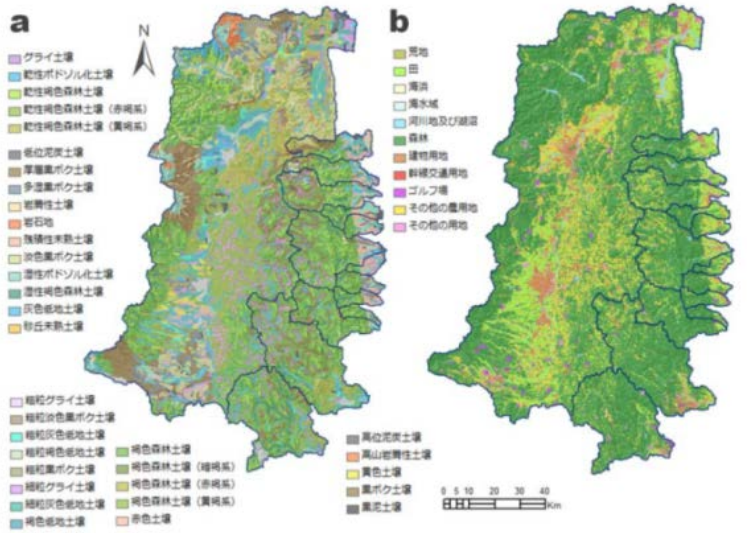
- A: 年間土壌流亡可能量 (ton/ha/y)
- R: 降雨係数 < 降雨データ (気象庁)
- K: 土壌係数 < 土壌分布 (内閣府)
- LS: 地形係数 < 地形 (国交省)
- C: 作物係数 < 土地利用 (国交省)
- P: 保全係数 < 土地利用 (国交省)

年間流亡土量  
(ton/ha・y)

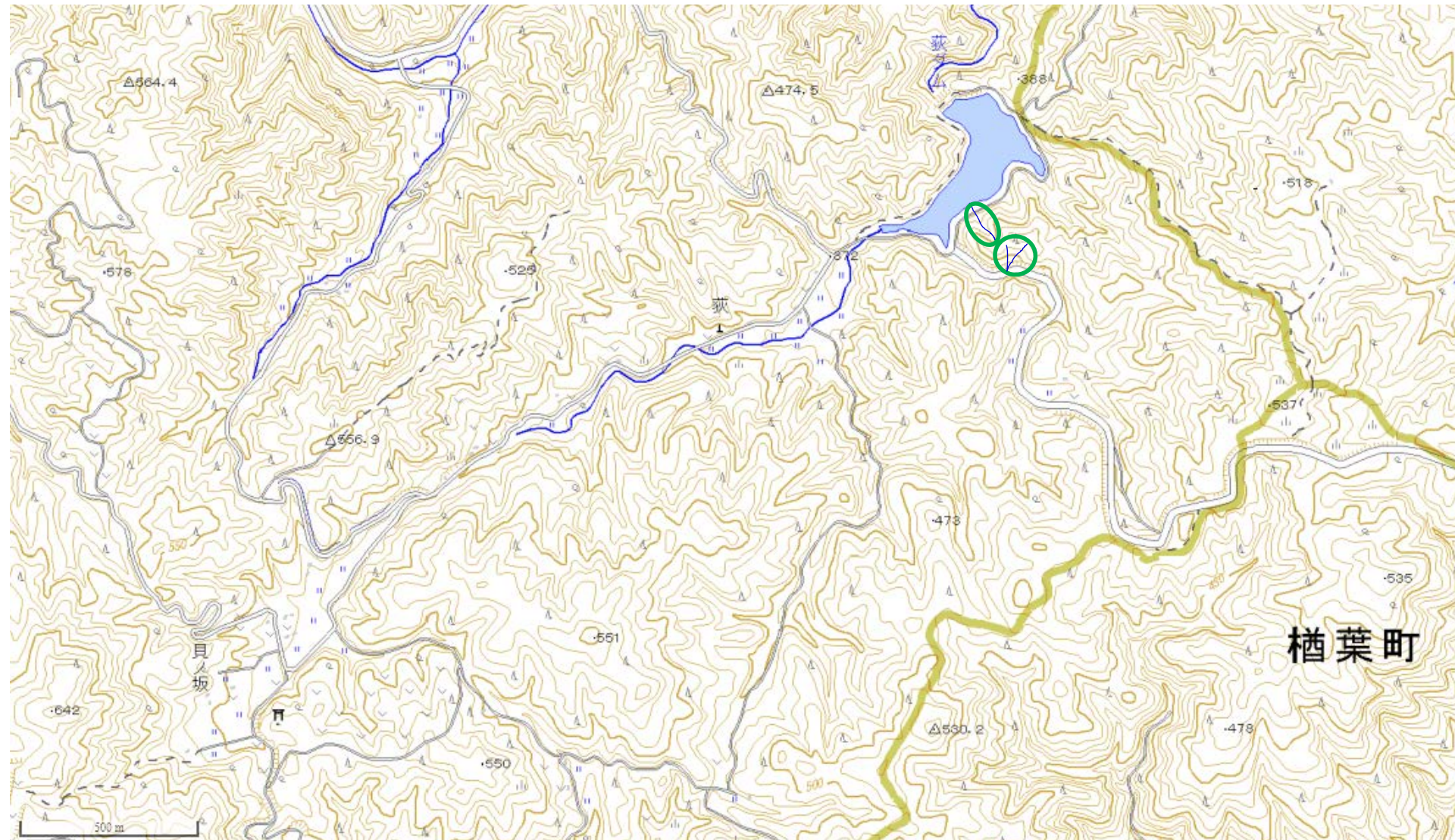


データ更新  
モデル改良

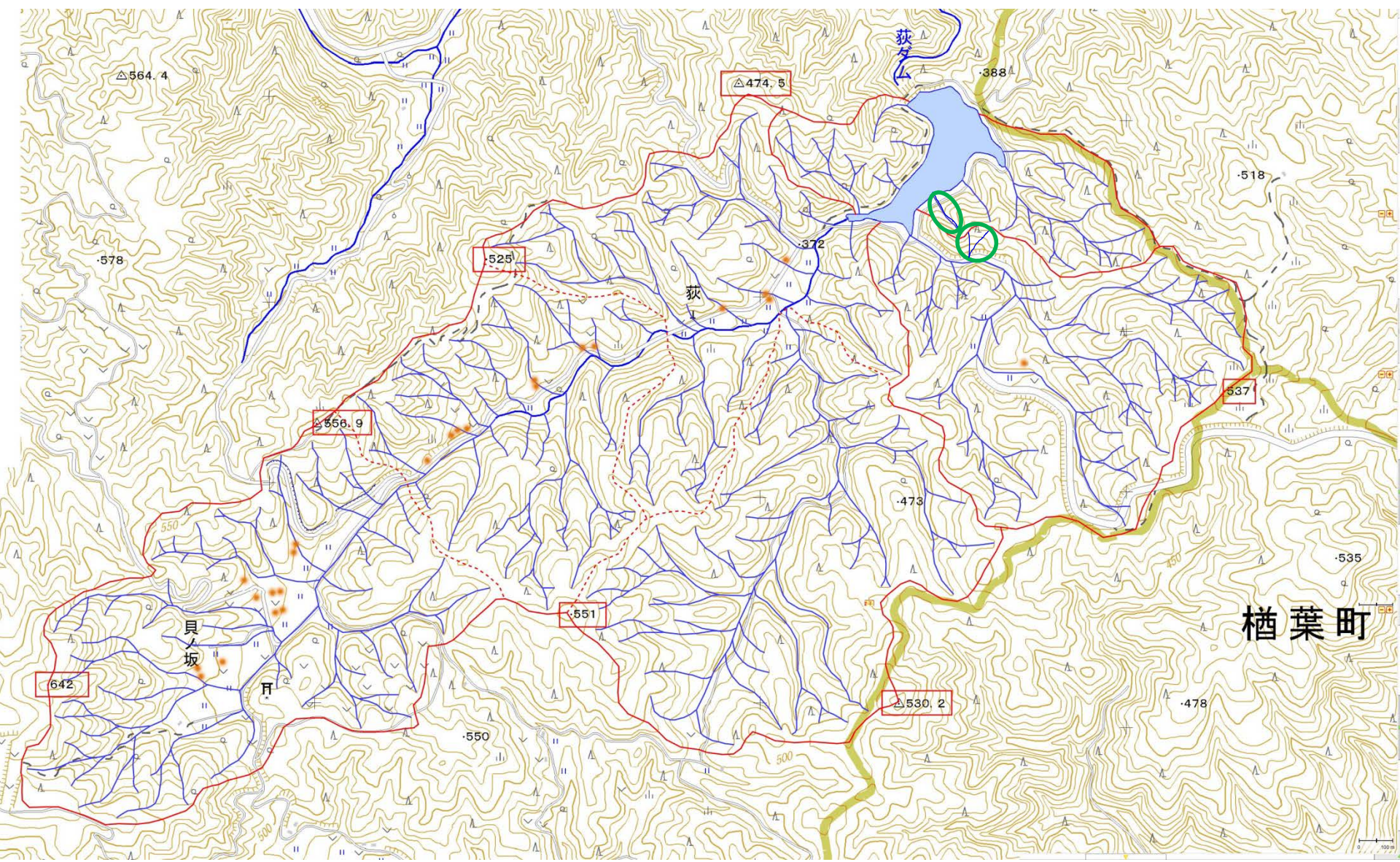
年間土壌流亡可能量



現地調査



# 小水系の集合⇒河川水系



# 河川調査

---

# 河川調査①： 調査内容と調査地点

## ● 基礎情報調査

- ✓ 衛星データ(ASTER)解析で、地形、表土、植生、土地利用状況等の情報取得

## ● 形状調査(河川横断面測量)

## ● 河川調査

- ✓ 流量・濁度・線量率測定
- ✓ 水試料採取(セシウム濃度・浮遊懸濁物質濃度・粒径分布測定等)
- ✓ 土壌試料採取(セシウム濃度・粒径分布・鉍物組成測定等)

## ● 流水の連続観測装置(水位, 濁度)

河川名	形状調査	河川調査	連続観測
小高川	31地点	13地点	0地点
請戸川	24地点	18地点	2地点
高瀬川	20地点	8地点	0地点
前田川	17地点	10地点	0地点
熊川	34地点	14地点	0地点
富岡川	14地点	11地点	0地点
荻野沢川	7地点	7地点	2地点



河川調査地点





河川流速計



濁度計



自動観測機器(水位、濁度)

同一横断面上で

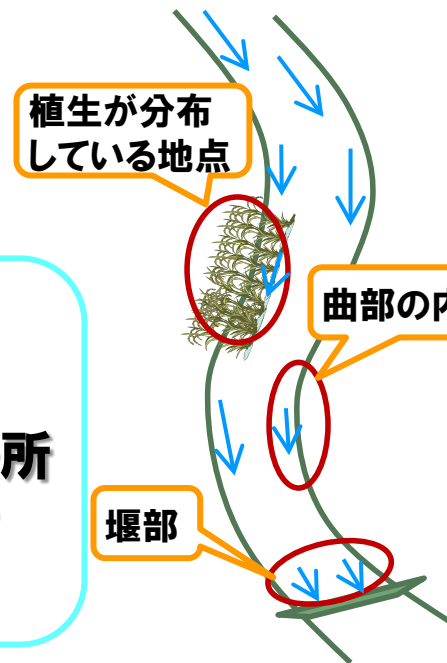
- ✓ 河川流量・濁度は、一定間隔ごとに測定
- ✓ 河川水は、流速の速いところと遅いところで採取

- 河川における流量，水中の濁度等，水の流れと水流による土壤粒子の動きを定常的に観測。
- 流量－濁度・土壤粒子の濃度－放射性物質の濃度等の相間を把握。

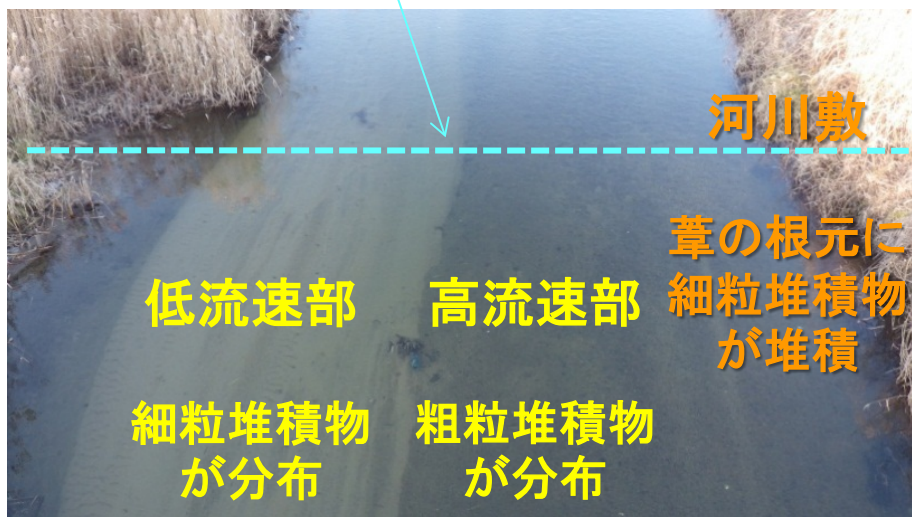
# 河川調査③： 土壌試料の採取



同一横断面上で  
✓ 流速が異なる場所  
✓ 堆積状況が異なる場所  
✓ 線量率が異なる場所  
で試料採取・測定。



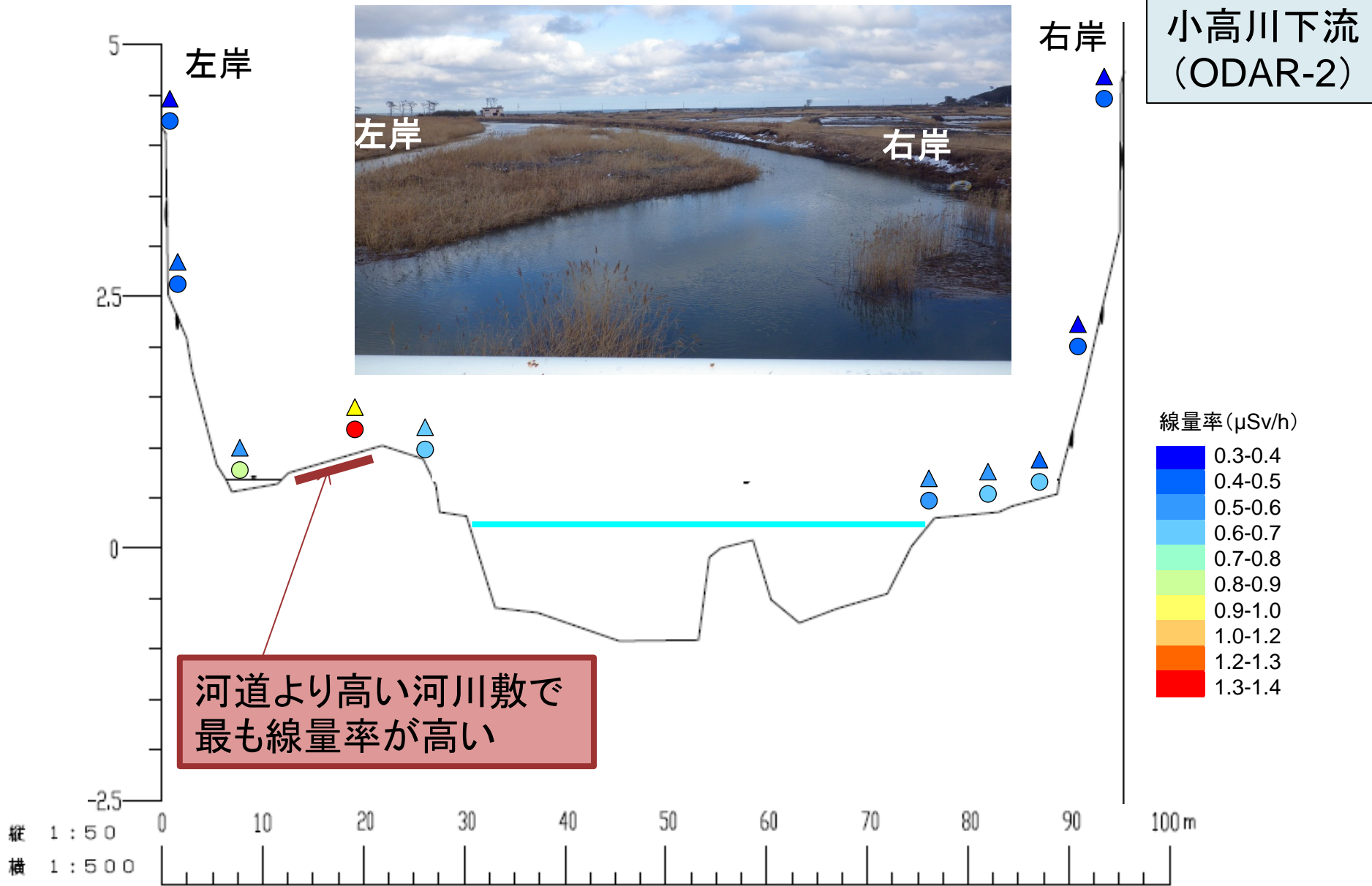
スクレイパープレート



## 深さ・面的な分布測定

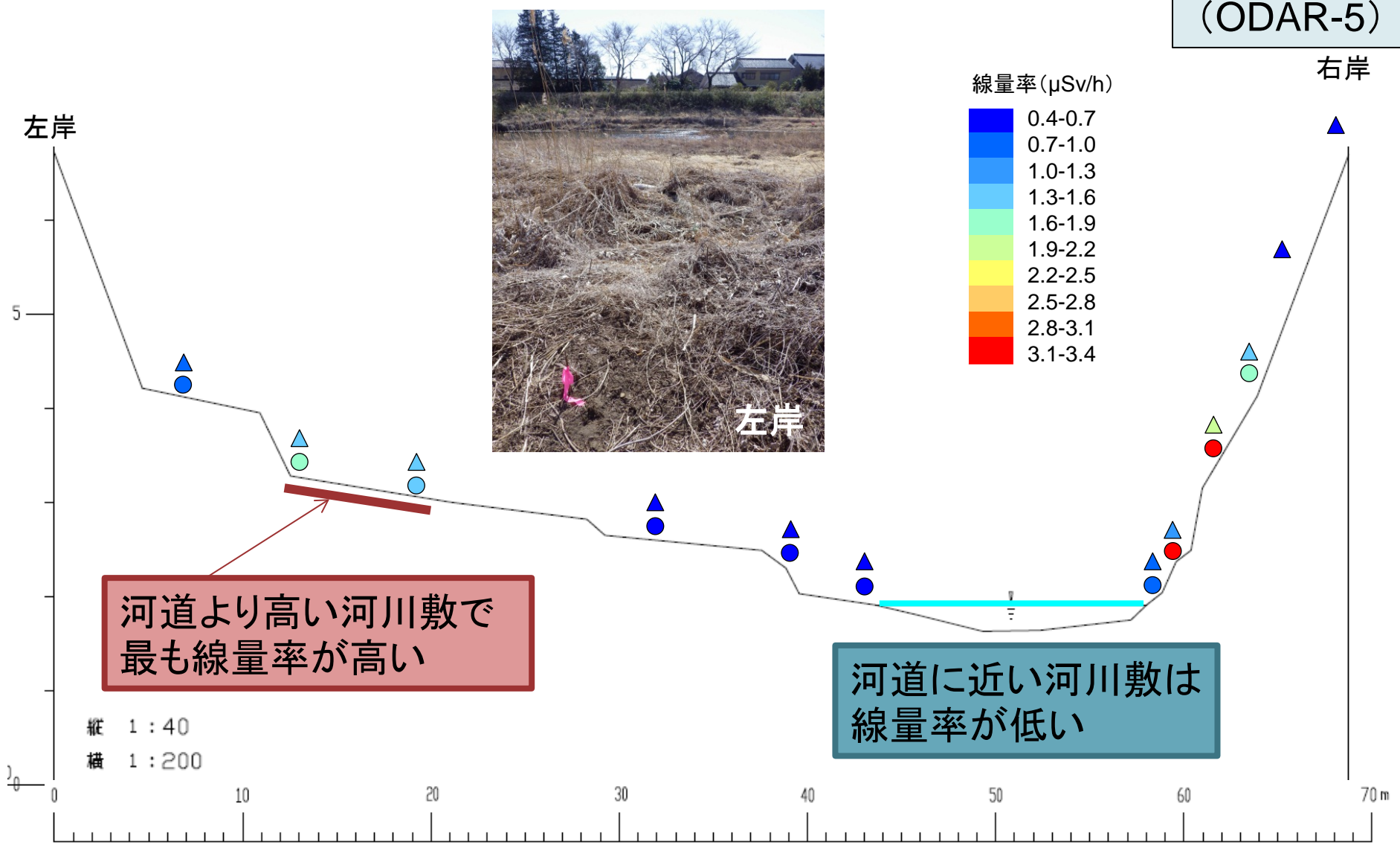
- ・堆積物の特性 (鉱物組成, 粒径)
- ・放射性セシウム濃度
- ↓
- ・放射性セシウムの移動に寄与する鉱物と移動過程を推定

# 河川調査④： 線量率の調査(下流)



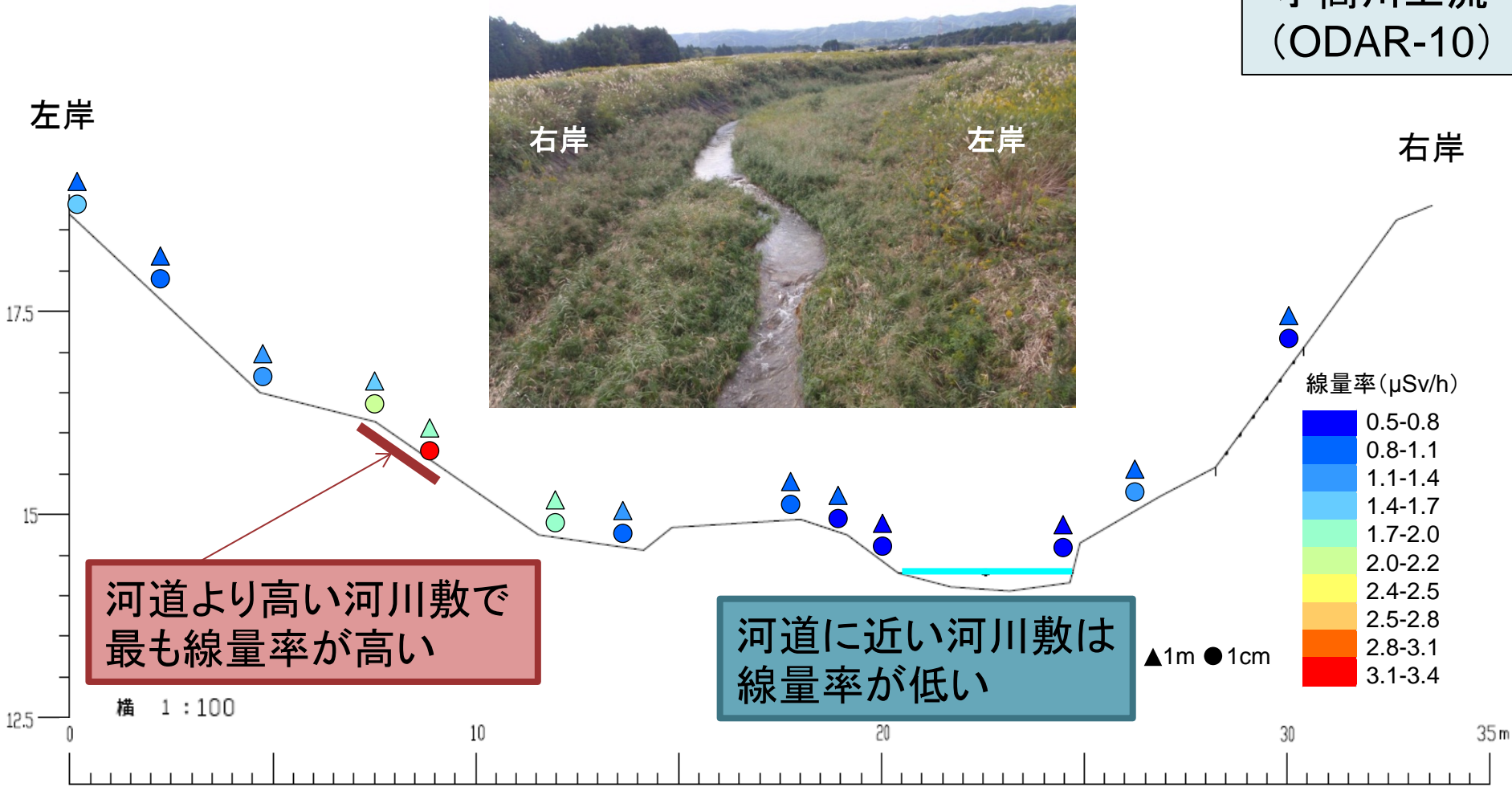
# 河川調査⑤：線量率の調査(中流)

小高川中流  
(ODAR-5)



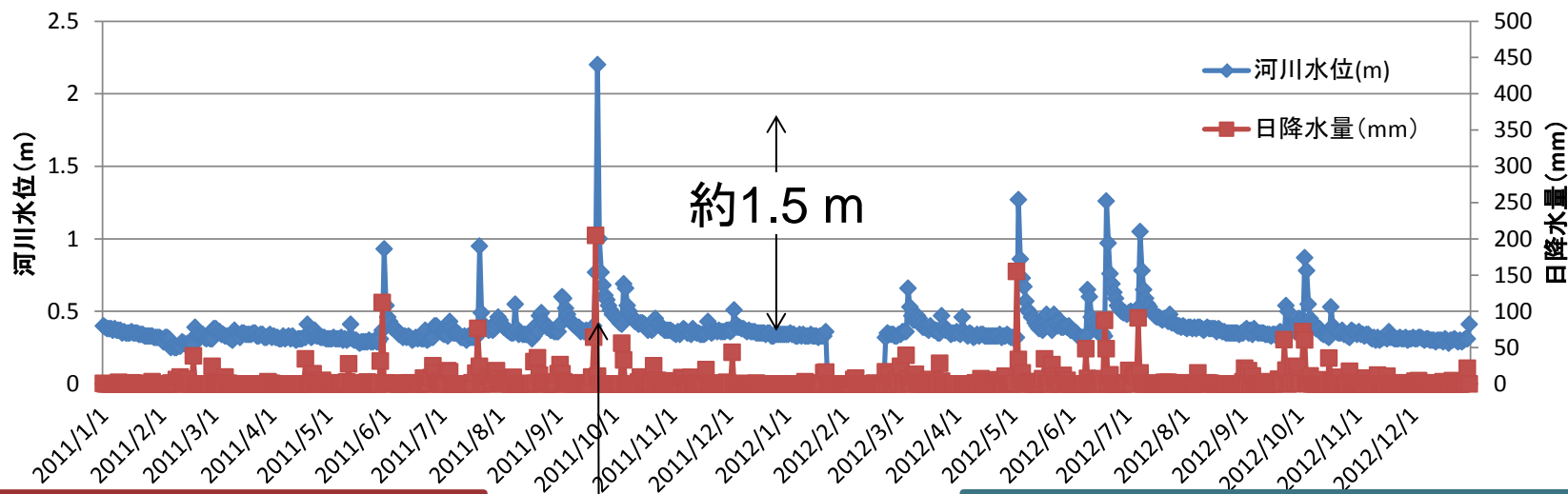
# 河川調査⑥：線量率の調査(上流)

小高川上流  
(ODAR-10)



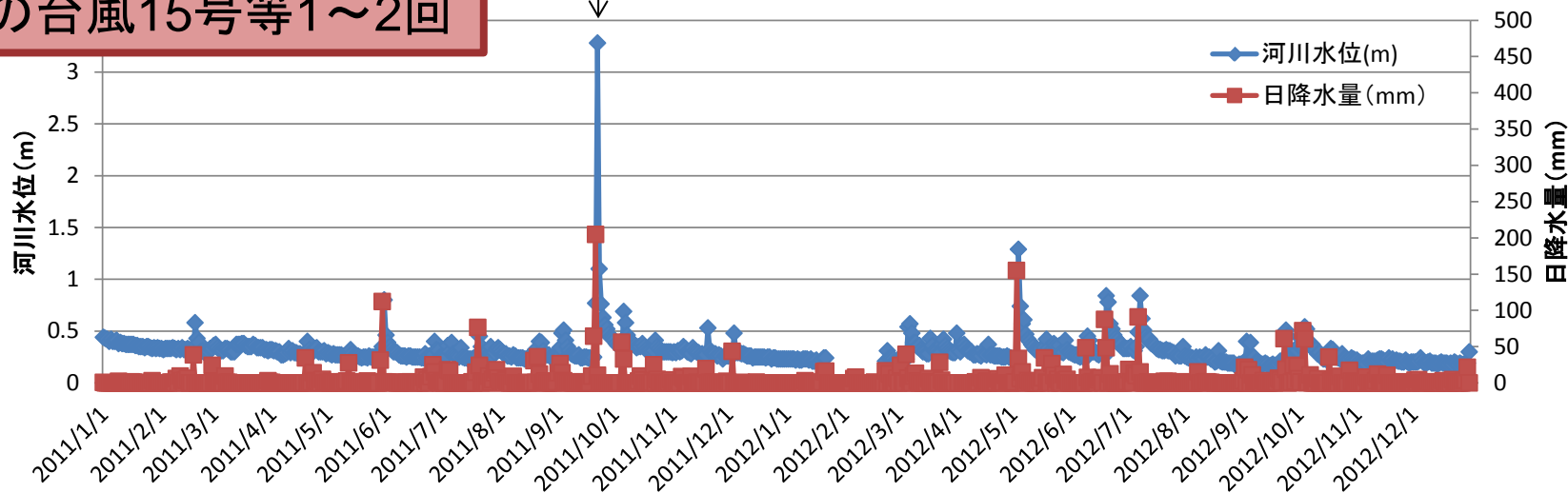
# 河川調査⑦： 水位変化の例

## 小高川水位

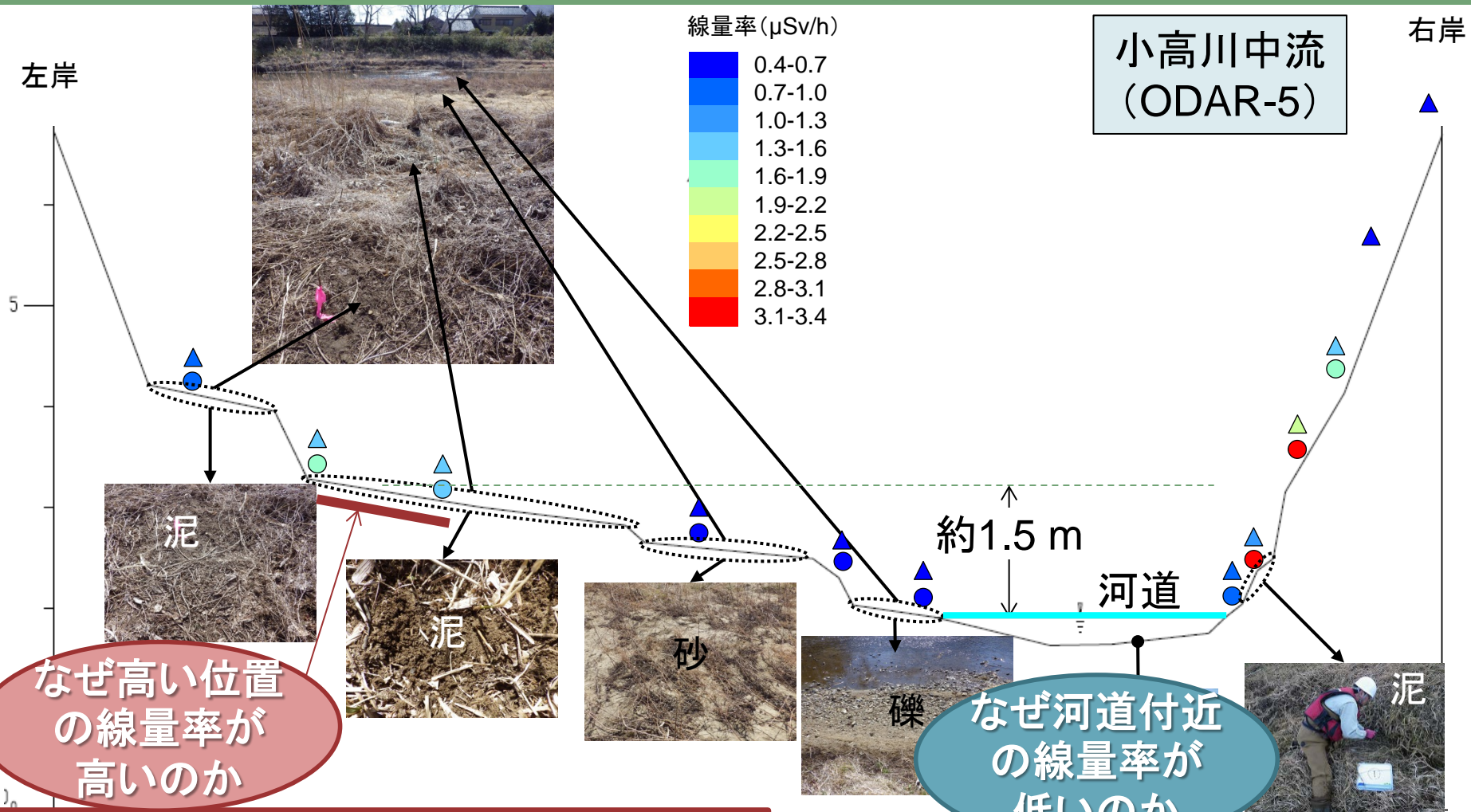


線量率が高い場所に水が到達した**高水**は、2011年9月の台風15号等1~2回

1年間に数回程度、数十cm程度の**水位上昇**は認められる



# 河川調査⑧： 土壌粒子の堆積挙動



なぜ高い位置の線量率が高いのか

**高水時**にのみ水が到達  
→高水時のみセシウムを含む粒子が移動

**植生**がある  
→微細な粒子も捕捉

なぜ河道付近の線量率が低いのか

**やや水位が上昇した時**に水が到達  
→セシウムを含む細かい堆積粒子が下流に流される。上流からのセシウムを含む粒子の移動・堆積はない。

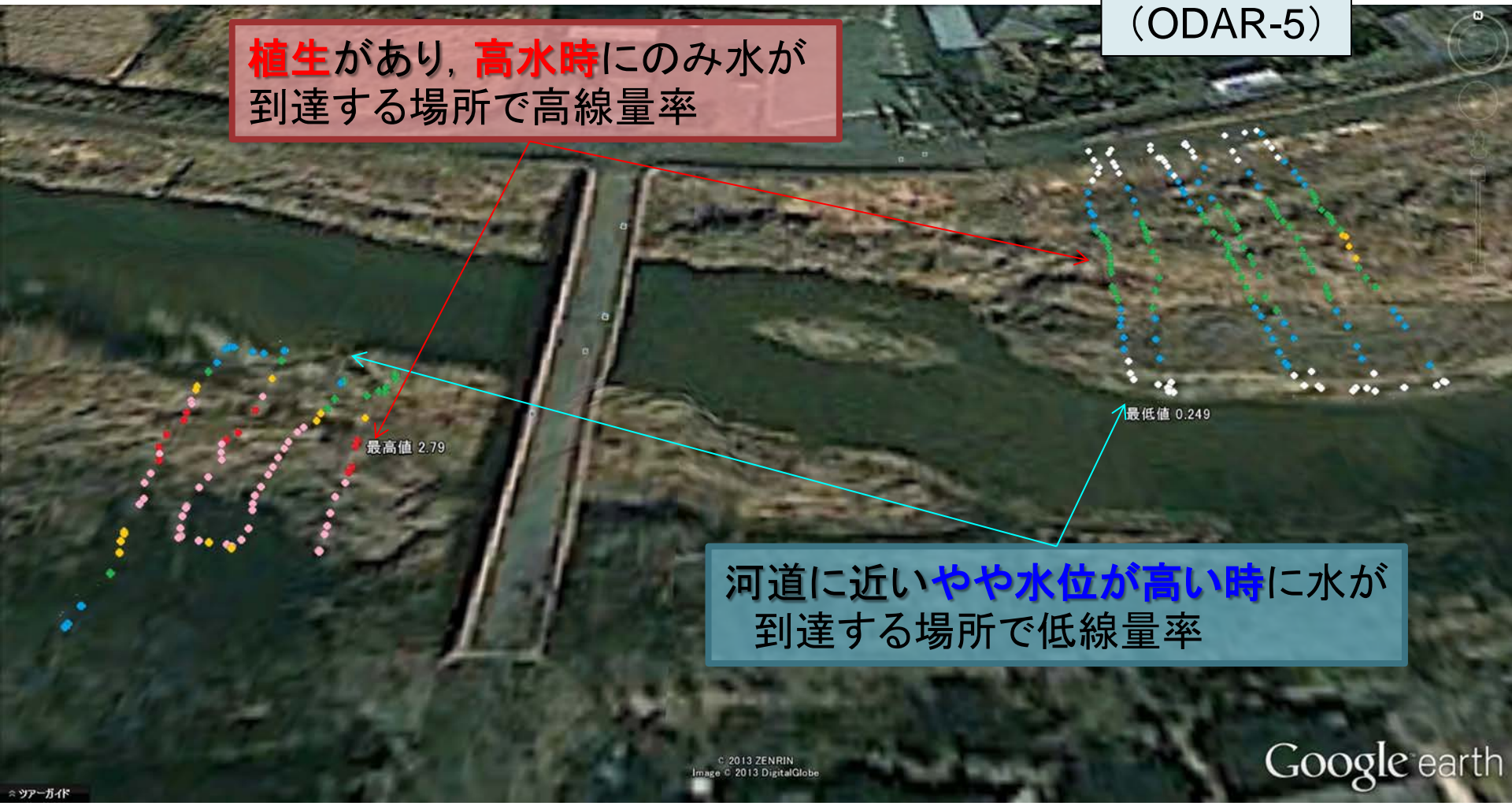
# 河川調査⑨： 線量率の面的分布(中流)

1 m高さ

小高川中流  
(ODAR-5)

植生があり、高水時にのみ水が到達する場所で高線量率

河道に近いやや水位が高い時に水が到達する場所で低線量率



最高値 2.79

最低値 0.249

© 2013 ZENRIN  
Image © 2013 DigitalGlobe

Google earth

凡例

● 0.5 $\mu$ Sv/h以下	● 0.5~1.0 $\mu$ Sv/h	● 1.0~1.5 $\mu$ Sv/h
● 1.5~2.0 $\mu$ Sv/h	● 2.0~2.5 $\mu$ Sv/h	● 2.5 $\mu$ Sv/h以上

$\gamma$ プロッタによる空間線量率の分布状況測定結果



# 河川調査⑩： 線量率の面的分布(中流)

5 cm高さ

小高川中流  
(ODAR-5)

植生があり、高水時にのみ水が到達する場所で高線量率

最高値 3.42

最低値 0.226

河道に近いやや水位が高い時に水が到達する場所で低線量率

© 2013 ZENRIN

Image © 2013 DigitalGlobe

Google earth

凡例

- |                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|
| ● 0.5 $\mu$ Sv/h以下   | ● 0.5~1.0 $\mu$ Sv/h | ● 1.0~1.5 $\mu$ Sv/h |
| ● 1.5~2.0 $\mu$ Sv/h | ● 2.0~2.5 $\mu$ Sv/h | ● 2.5 $\mu$ Sv/h以上   |

$\gamma$ プロットによる空間線量率の分布状況測定結果

## TODAMモデル

- 米国パシフィックノースウェスト国立研究所 (PNNL)により開発
- 浮遊物質、溶存セシウムおよび浮遊物質に付着するセシウムについて、河川および河口における水流による輸送(粒径の異なる3種類の粒子を考慮可能)

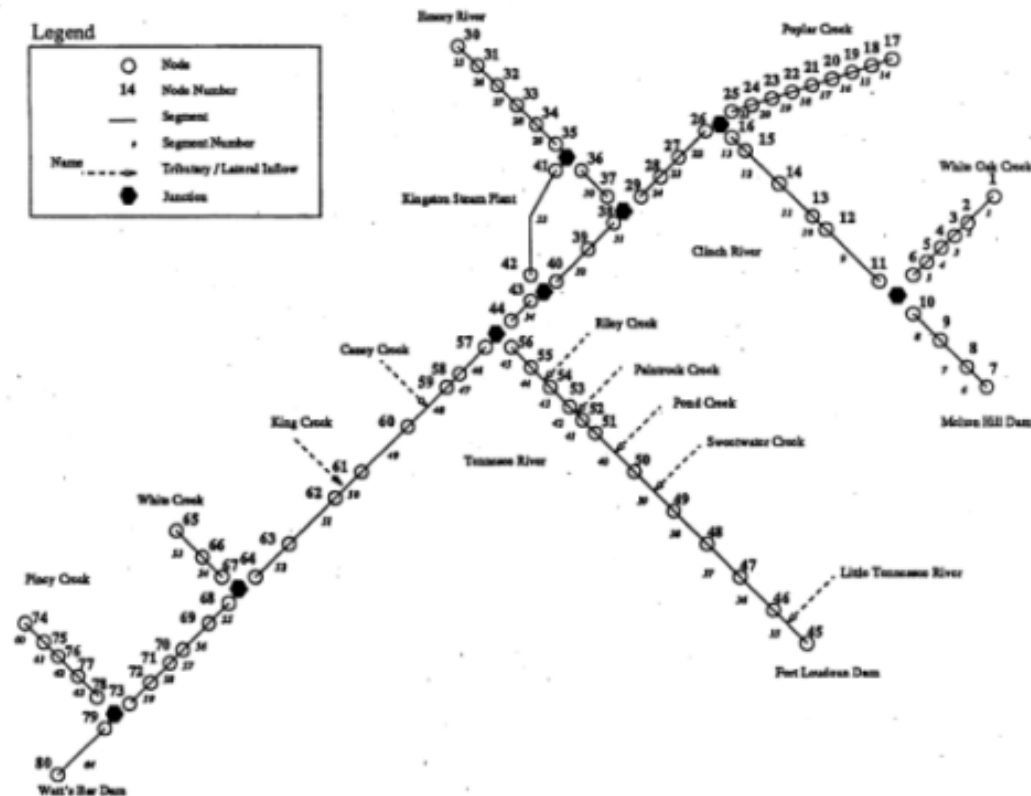
## 主な入力データ

- 河川形状
- 流量
- 浮遊物質の物理特性  
(粒径分布, 河床の間隙率等)
- 収着・脱離特性
- 臨界せん断応力
- 拡散係数
- 境界条件・初期条件



## 主な出力情報

- 浮遊物質の空間的・時間的分布
- 溶存セシウム、浮遊物質に付着するセシウムの空間的・時間的分布



TODAMによる河川シミュレーションの概念図

## 主なインプットデータ (FLESCOTの場合)

- 河川および河口の形状
- 流量
- 風向・風速
- 温度
- 海流の流速および方向
- 波の高さ・周期
- 塩分濃度
- 浮遊物質の物理特性 (例えば粒径分布や河床の間隙率)
- 収着・脱離特性
- 臨界せん断応力
- 拡散係数
- 境界条件・初期条件



## 主なアウトプット

- 浮遊物質の空間的・時間的分布
- 溶存セシウム、浮遊物質に付着するセシウムの空間的・時間的分布

## 数値モデル(検討中)

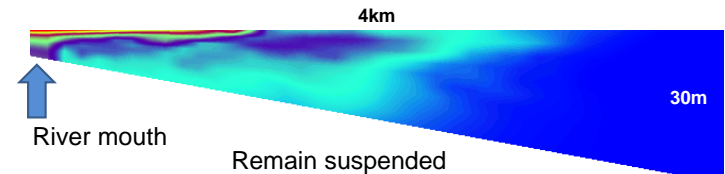
- FLESCOT, ROMS, Nays2D 等

D~ 0.004mm: Clay

Settling velocity  $1.3 \times 10^{-5}$  m/s

$h_d = 50$   
 $= 75$  m (stormy)

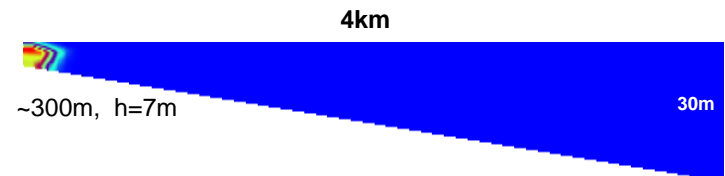
ROMS Simulation: 4kmx4km



D~ 0.06mm: Silt

Settling velocity  $3.2 \times 10^{-3}$  m/s

$h_d = 25$   
 $= 48$  m (stormy)



ROMSによる請戸川河口の  
シミュレーションの例

# ダム調査

---



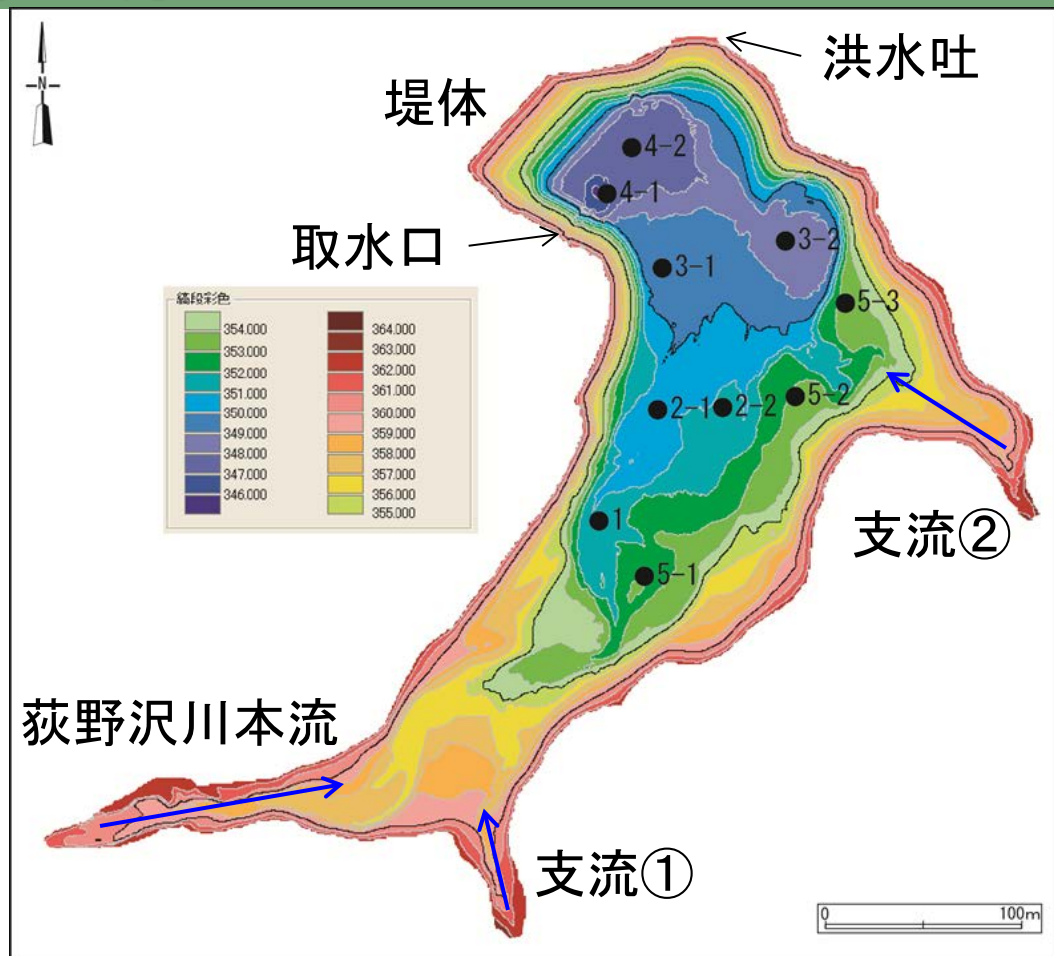
- 水流により**土壌粒子**と共に河川から流入し、湖底に堆積・河川に流出する**放射性物質の挙動**を把握。
- 移動・堆積に及ぼす**流量**、**地形**等の影響を調査。

# ダム調査②: 堆積挙動の調査

## 3次元形状調査(湖底面)



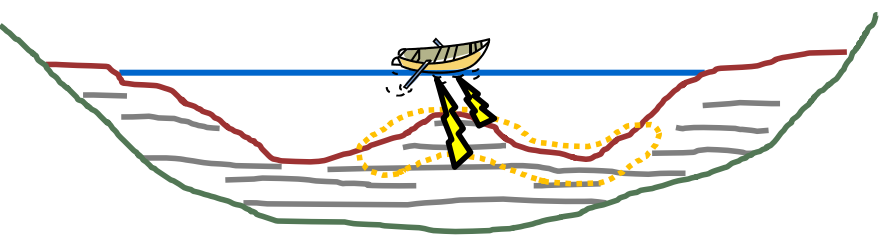
## 3次元形状調査(干出面)



荻ダムの湖底面形状の調査結果  
(2013年1月測定)

- 過去の湖底面形状と比較することにより、湖底の堆積物の量、堆積速度、堆積挙動を把握。

## 湖底面下の堆積相調査





水試料の採取  
(ハイロート採水器で表・中・深層で採取)



湖底堆積物試料の採取  
(スミス・マッキンタイヤ採泥器)



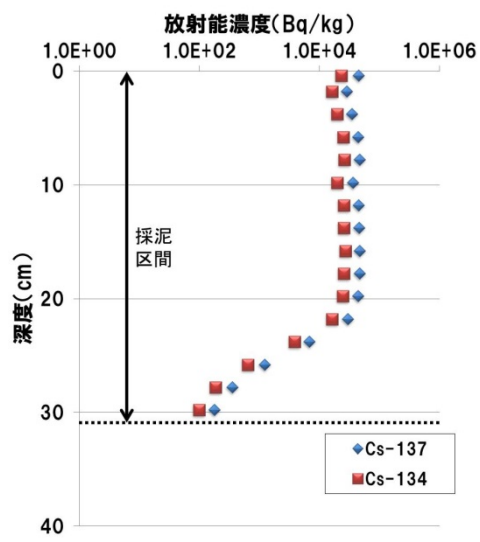
柱状堆積物試料の採取  
(不攪乱柱状採泥器)



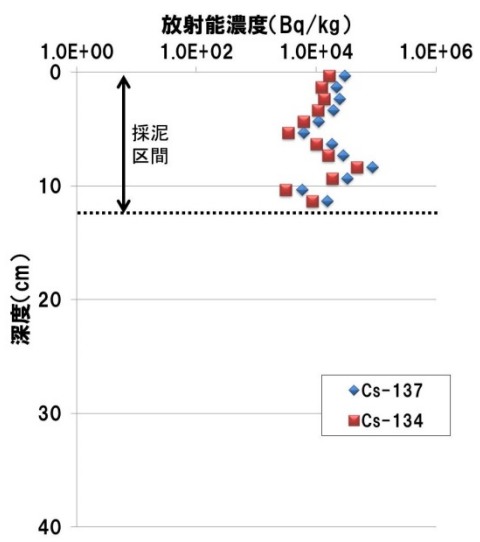
柱状堆積物試料の採取  
(重錘型柱状採泥器)

# ダム調査④: 堆積物中の放射性セシウム濃度

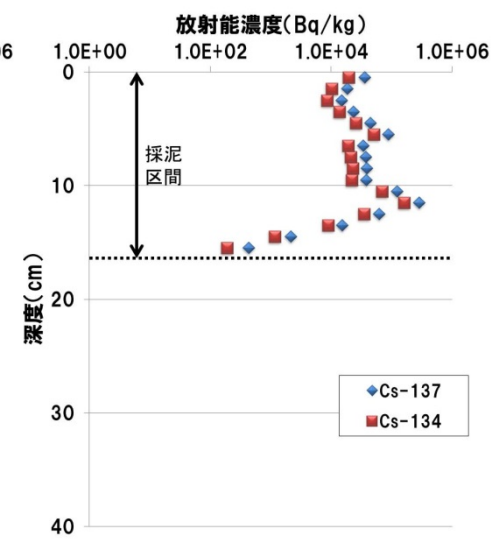
4-1-GRS(重錘式)



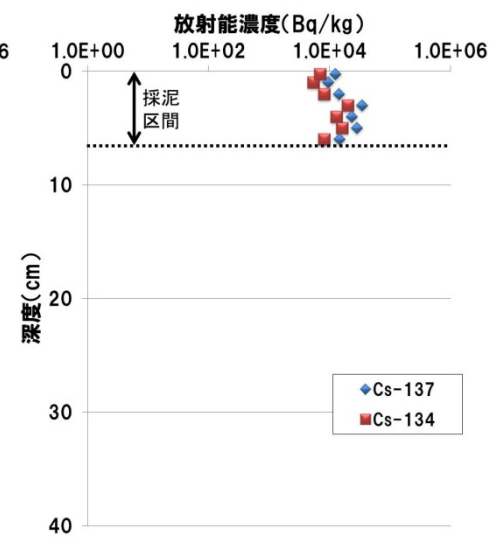
4-2-HRS(不攪乱式)



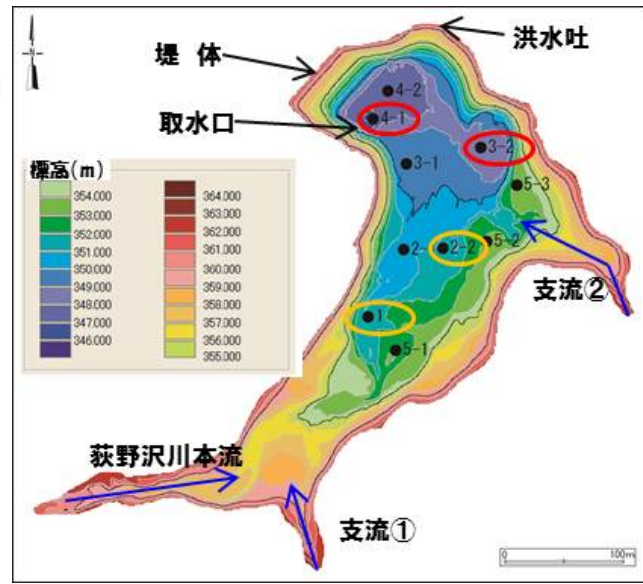
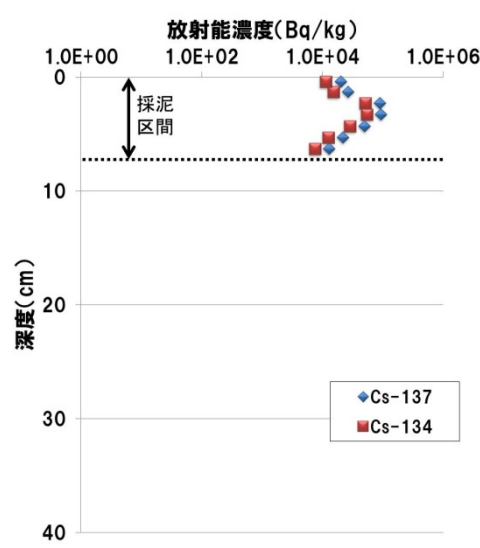
3-2-HRS(不攪乱式)



1-HRS(不攪乱式)



2-2-HRS(不攪乱式)



➤ **3-2**および取水口付近の**4-1**は、水深が深く、他の地点よりも放射性セシウム濃度が高い底質土が厚く堆積。

➤ **1**および**2-2**などダムの上流域では、**3-2**や**4-1**と比較し、堆砂量が少ない(堆積速度が遅い)可能性がある。

➤ **湖水試料**中の放射性セシウム濃度は全深度で**検出限界以下**。



# 長期空間線量率等測定

---

# 線量率測定①：観測機器



気象観測装置  
及びカメラ

ソーラーパネル

## 測定記録項目 (10分毎)

- 気温 (-40~60°C)
- 相対湿度 (0~100%)
- 気圧 (540~1100hPa)
- 雨量 (0~999.98mm)
- 風向 (8方位)
- 風速 (0.9~67.1m/s)
- 空間線量率 (0.01~99.99 $\mu$ Sv/h)
- カメラ静止画像 (日中のみ)

- ・空間線量率の変化と気象条件の相関を観測
- ・空気中のダスト中に含まれる放射性セシウム濃度を測定。



- ・周囲からの放射性セシウムの移動過程を推定。

空間線量率計測,  
GPS, データ記録  
及びデータ転送

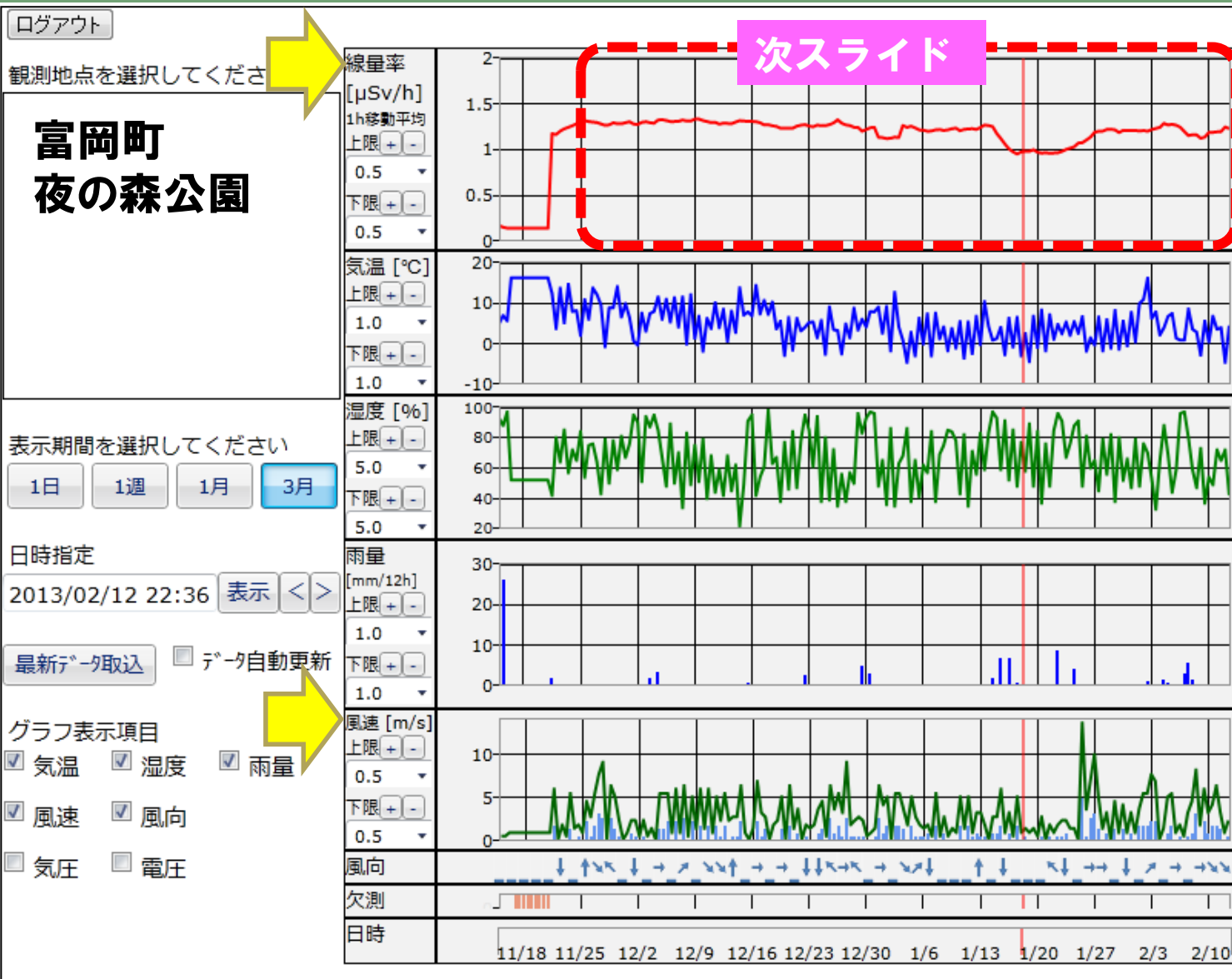


ダストサンプリング



気象観測・空間線量率  
自動観測装置

# 線量率測定②：自動観測装置による観測例



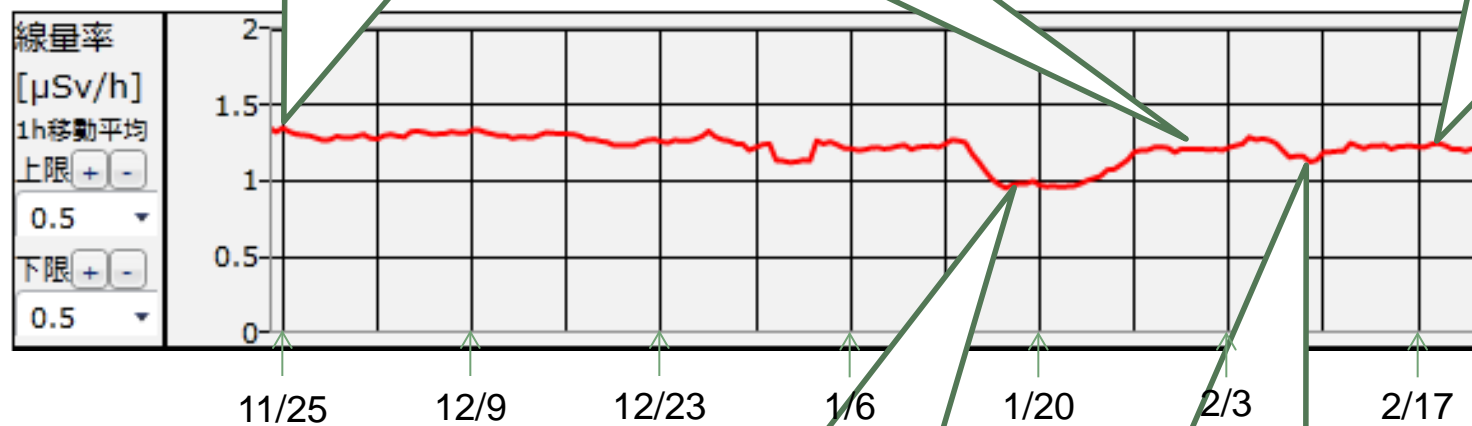
気象観測・カメラ



空間線量率計測,  
GPS, データ記録  
及びデータ転送

➤ 強風等に起因する急激な線量率上昇は認められていない。

# 線量率測定③： 自動観測装置による観測例



➤ 空間線量率の減少は、積雪による遮蔽効果と推測。

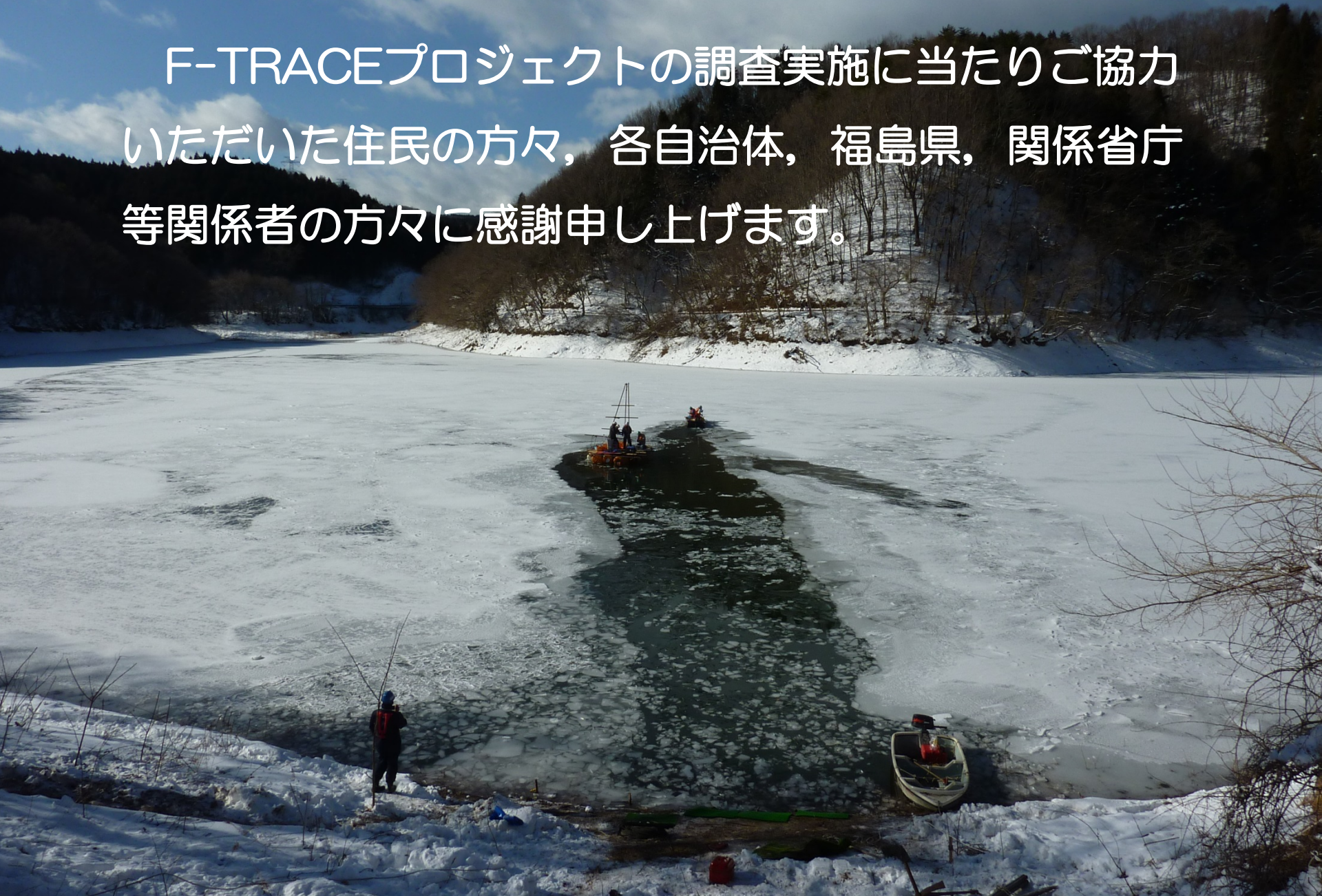
## ● 水流移動過程

- 森林調査: 詳細測定のための観測区画を設置。
- 河川調査: 河川敷の空間線量率分布から、放射性セシウムの移動過程を推定。
  - 台風等の高水流量時に、上流から放射性セシウムを吸着した土壌粒子が、高い位置の植生に捕捉された。
  - 河道付近の土壌粒子は、その後の増水時に下流に運ばれた可能性。
- ダム調査: 放射性セシウムを吸着した土壌粒子が堆積しやすい場所と堆積しにくい場所が存在。

## ● その他の移動過程

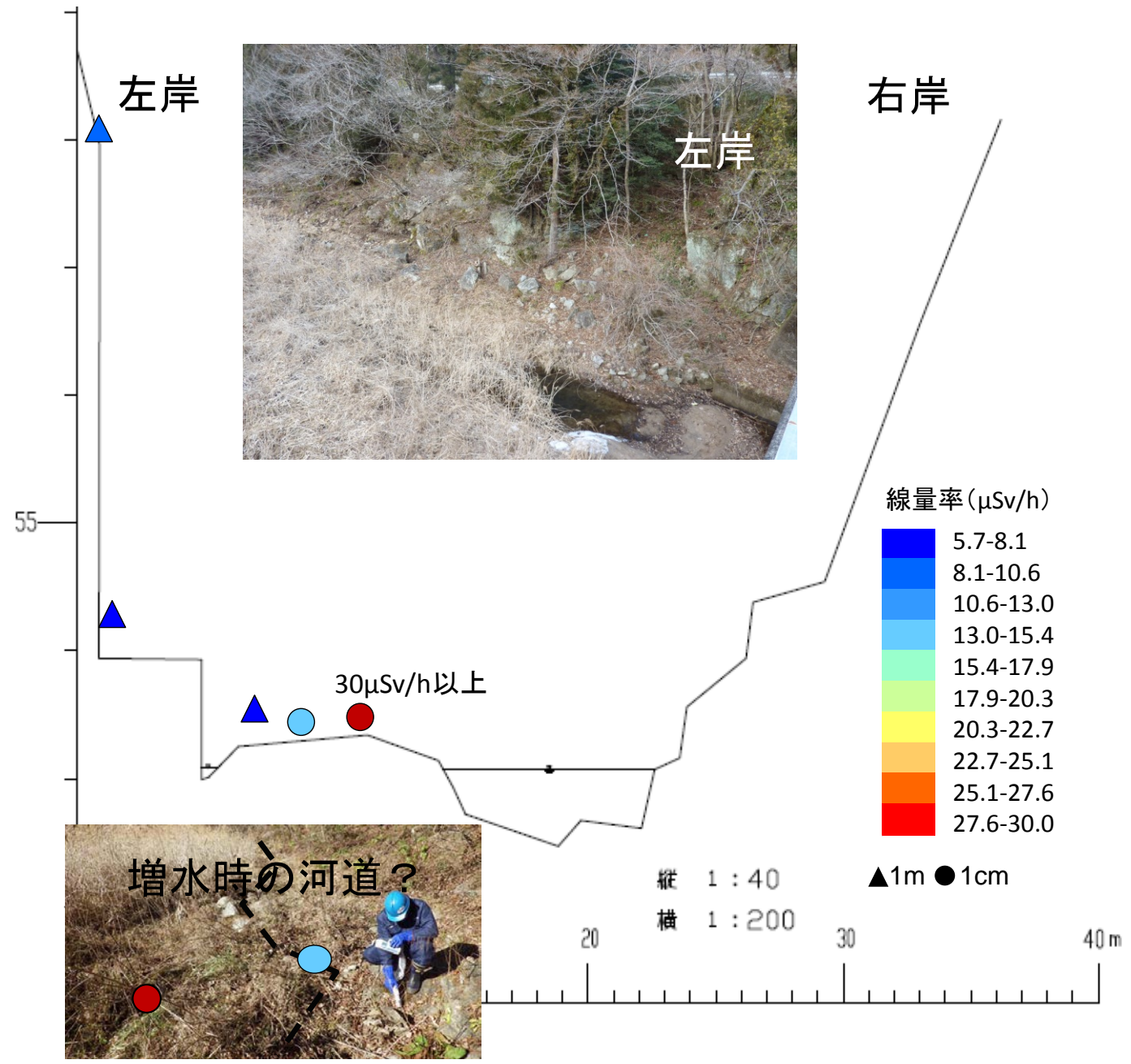
- 長期線量率等測定: 強風等による急激な空間線量率の増加は、秋から冬にかけては認められていない。

F-TRACEプロジェクトの調査実施に当たりご協力  
いただいた住民の方々，各自治体，福島県，関係省庁  
等関係者の方々に感謝申し上げます。

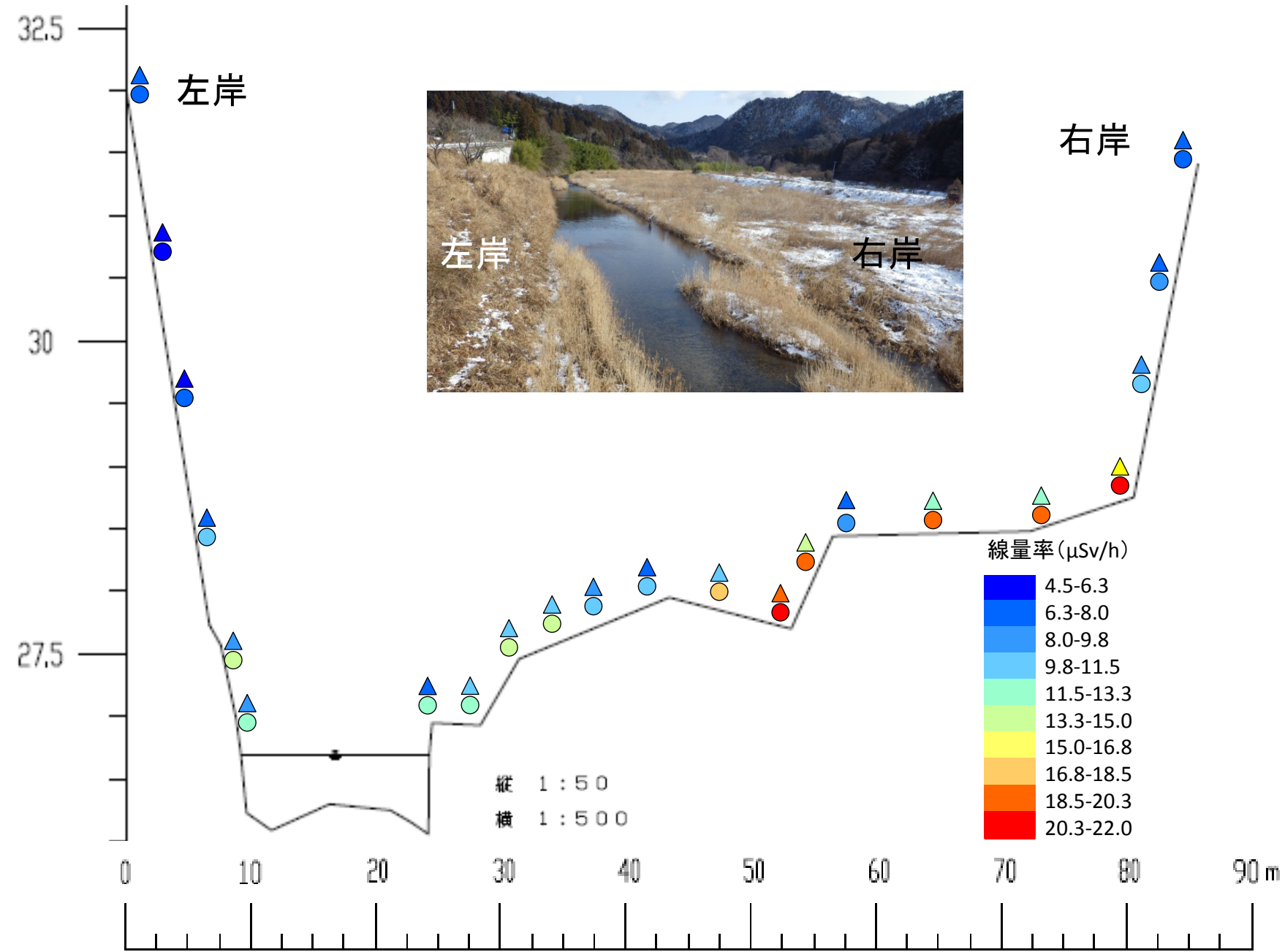


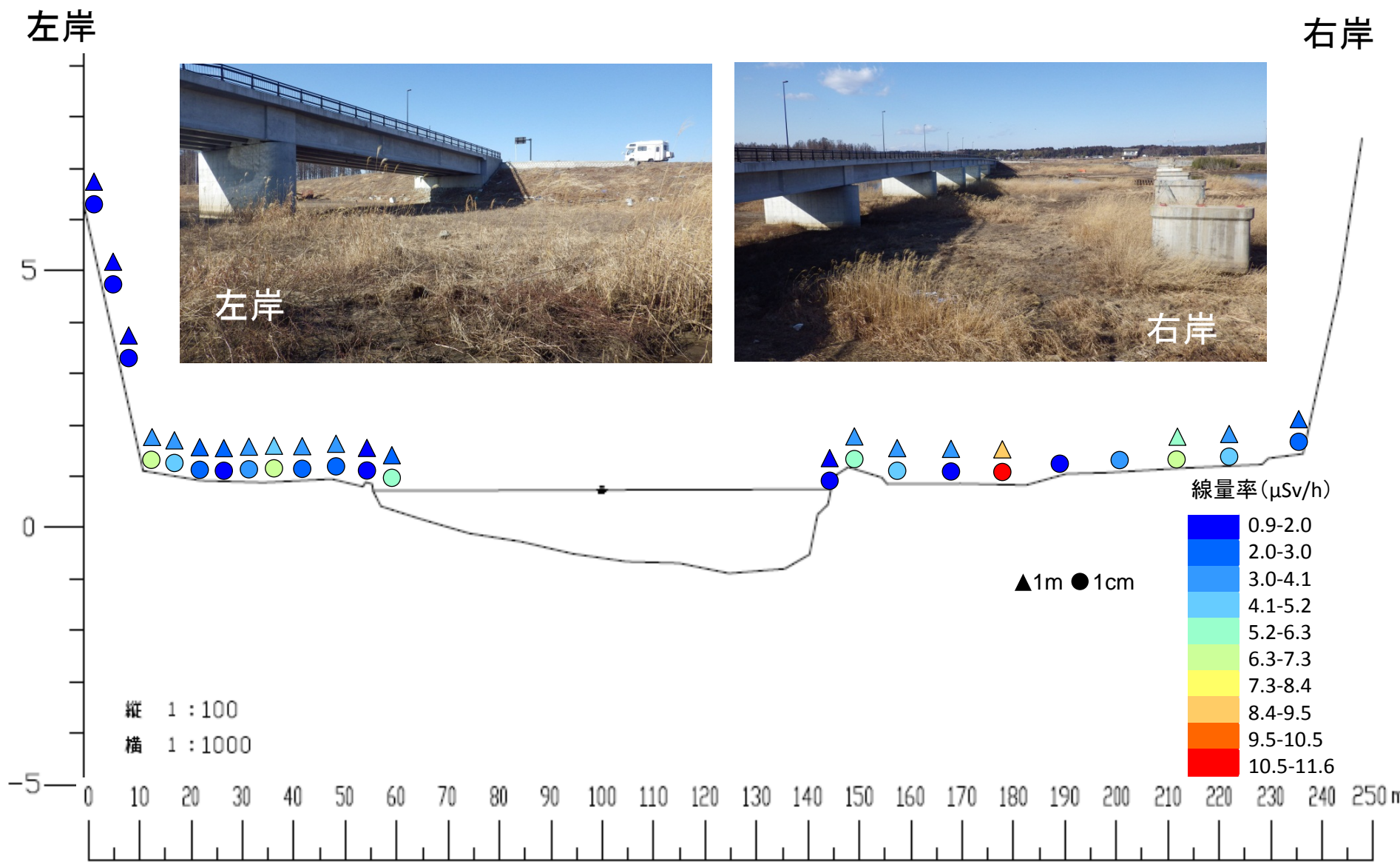
# 參考資料

---

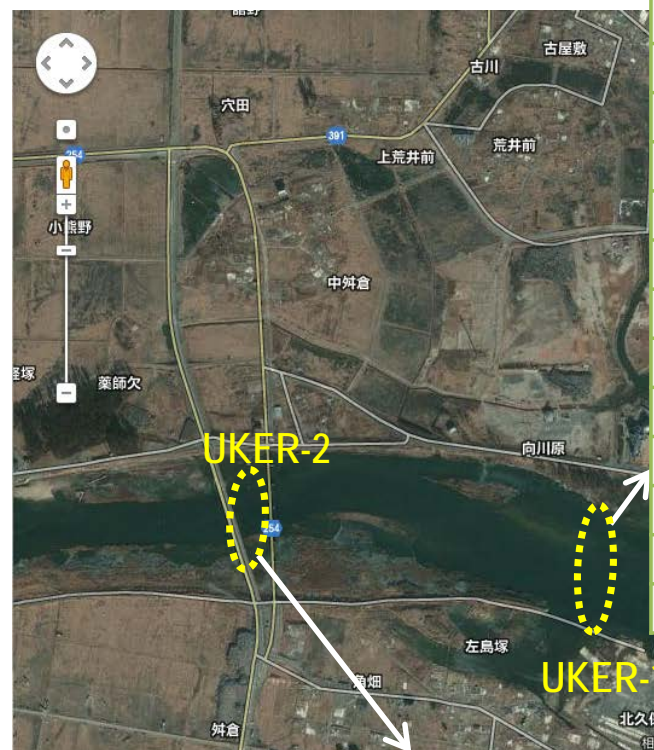








# 請戸川下流域の塩濃度



1月24日、9:10～(干潮から満潮への移行時) 単位:(%)

	左岸側	中央	右岸側
表層	0.01	0.01	0.02
0.5m	0.01		0.03
1m	0.01		0.24
1.5m	0.01		0.35
2m			0.33

1月24日、16:00～(満潮から干潮への移行時) 単位:(%)

	左岸側	中央	右岸側
表層	0.01	0.01	0.08
0.5m	0.01		0.10
1m	0.01		0.26
1.5m(1.2m)	0.02		0.52
2m			0.44

1月24日、9:50～(干潮から満潮への移行時) 単位:(%)

	左岸側	中央	右岸側
表層	0.01以下	0.01以下	0.01以下
0.5m	0.01以下	0.01以下	0.01以下
1m	0.01以下	0.01以下	0.01以下

1月25日、15:20～(満潮から干潮への移行時) 単位:(%)

	左岸側	中央	右岸側
表層	0.01以下	0.01以下	0.01以下
0.5m	0.01以下	0.01以下	0.01以下
1m	0.01以下	0.01以下	0.01以下



# 小高川下流域の塩濃度



1月25日、9:20～(高潮位時) 単位:(%)			
	左岸側	中央	右岸側
表層	1.2	1.4	1.3
0.5m	1.3	1.7	1.4
1m(0.7m)	1.8	1.7	
1月24日、12:50～(高潮位時) 単位:(%)			
	左岸側	中央	右岸側
表層	2.3	2.1	2.0
0.5m	2.4	2.5	2.3
1m	2.3	2.5	

1月25日、10:15～(低潮位時) 単位:(%)		
	左岸側	右岸側
表層	0.3	0.3
0.5m	2.0	2.1
1m(0.7m)	1.9	1.9
1月24日、14:15～(低潮位時) 単位:(%)		
	左岸側	右岸側
表層	0.1	0.1
0.5m	1.6	1.6
1m	1.7	1.6

