



# 水圏における放射性物質動態評価 シミュレーション技術の開発

日本原子力研究開発機構 (JAEA)  
システム計算科学センター

山田 進

## 本研究の協力者

町田昌彦、岩田亜矢子 (システム計算科学センター)

北村哲浩、中西貴宏、操上広志 (福島研究開発部門・福島環境安全センター)

渡辺将久 (福島研究開発部門・企画調整室)

# はじめに

福島第一原子力発電所(1F)の事故により、環境中に放出された放射性物質の水による動態をシミュレーションで評価する。



## 重要課題： 住民の安心・安全な帰還 安全で効率的な廃炉作業

- 河川やダムにおける放射性物質(セシウム)の動態シミュレーション
  - ➡ 安全な水の利用、効率的な除染
- 1F港湾内の放射性物質の動態シミュレーション
  - ➡ 汚染水の管理、外洋への影響評価、漁業再開の指標

# 河川やダムにおける放射性物質の 動態シミュレーション

## ダムシミュレーション

大柿ダム

3次元モデル

洪水時のダム内での振る舞い

## 河川シミュレーション

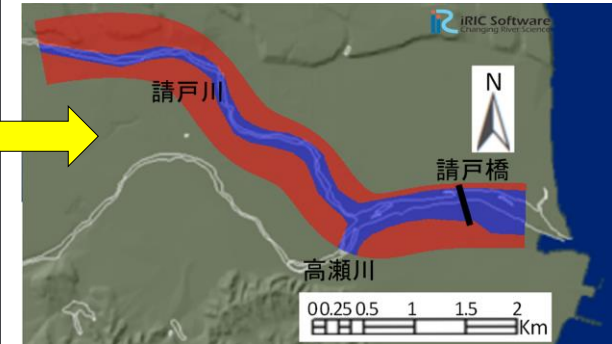
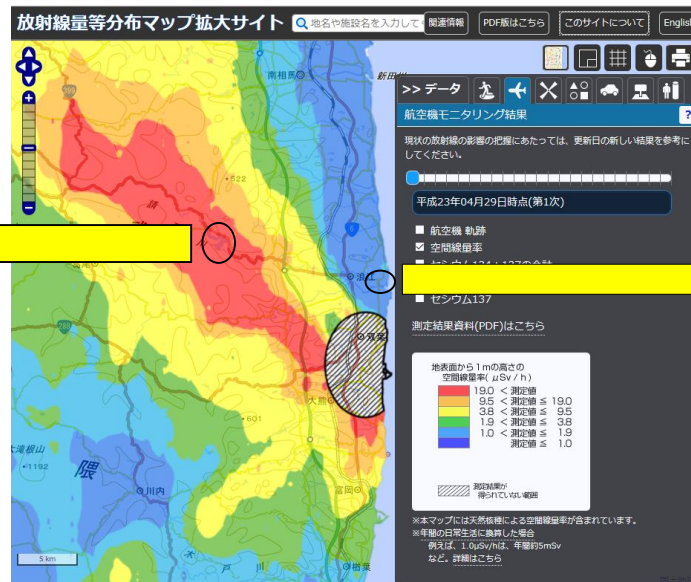
請戸川河口付近

(請戸川と高瀬川の合流付近)

2次元モデル (Nays2D [1])

洪水時の堆積

### 事故当時の空間線量



請戸川の河口付近

大柿ダム

(国土地理院の数値標高モデル(DEM)データに基づき作成)

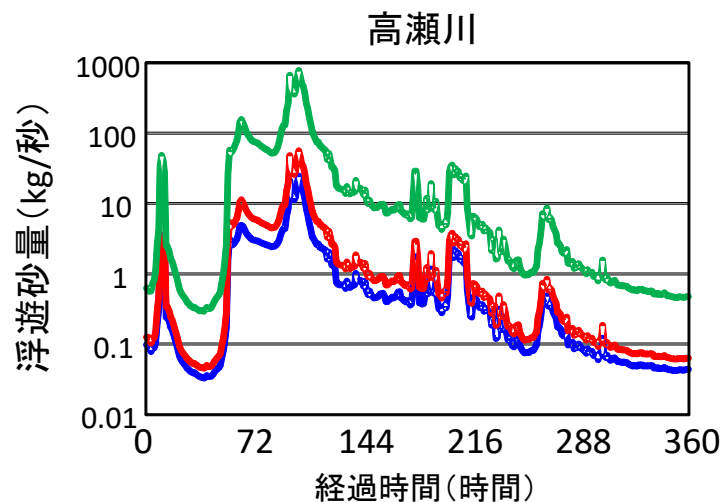
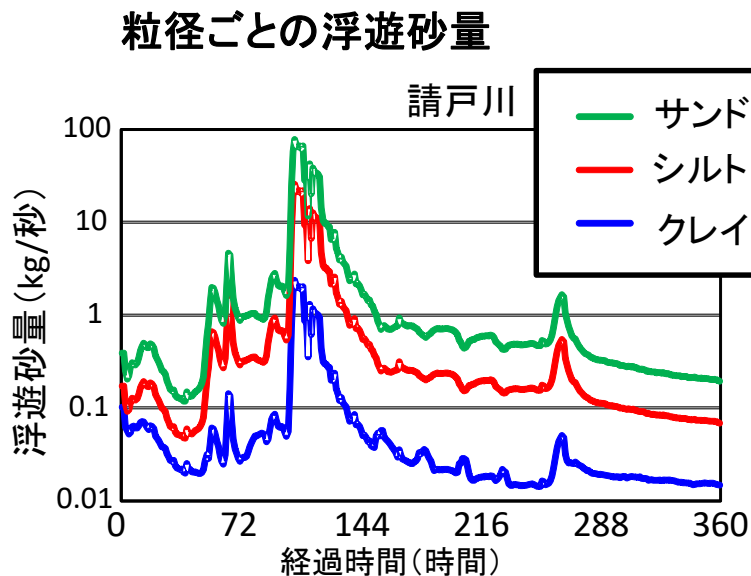
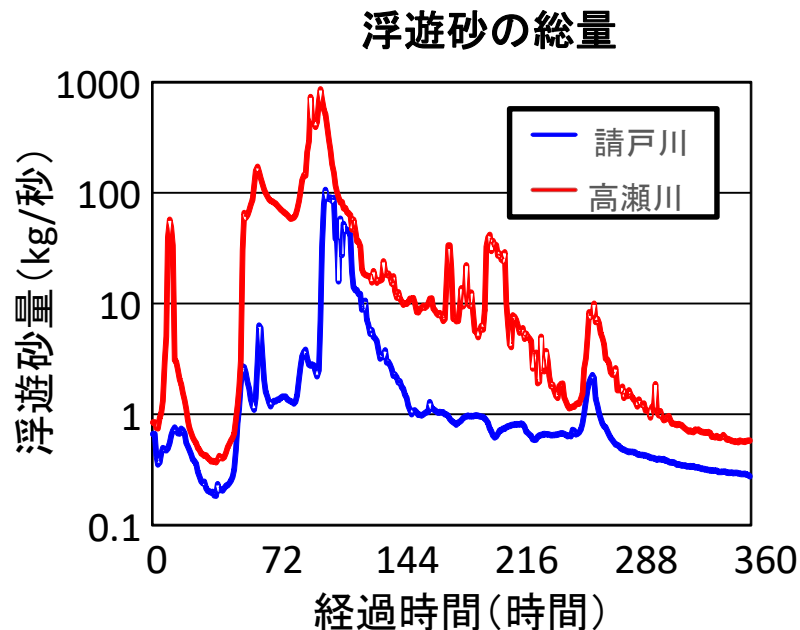
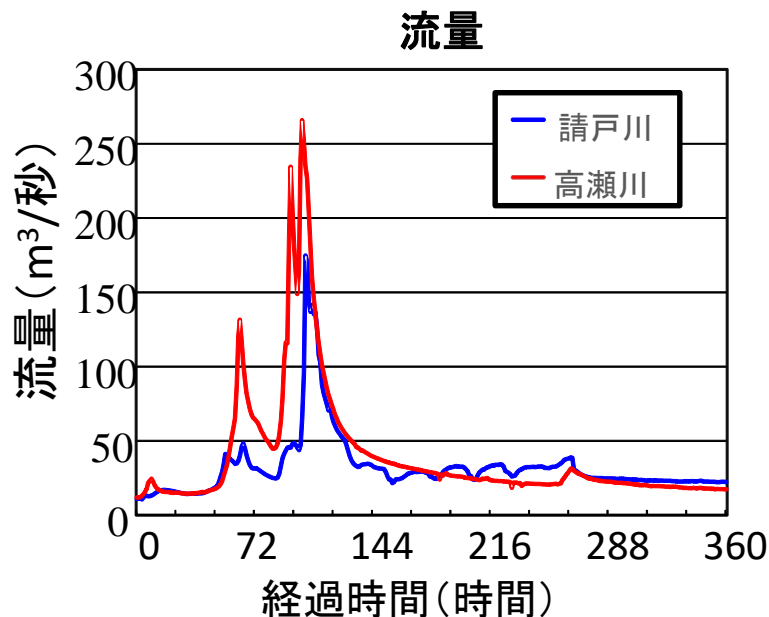
2011年4月29日の空間線量

「放射線量等分布マップ拡大サイト/地理院地図」より

[1] i-RICプロジェクト、<http://i-ric.org/ja/>

# 請戸川河口付近の2Dシミュレーション:境界条件

台風による洪水時のシミュレーション(2015年9月7日0時からスタート)を実施



# 請戸川河口付近の2Dシミュレーション:結果

使用シミュレーションコード

並列化した2次元河川シミュレーションコード **Nays2D**

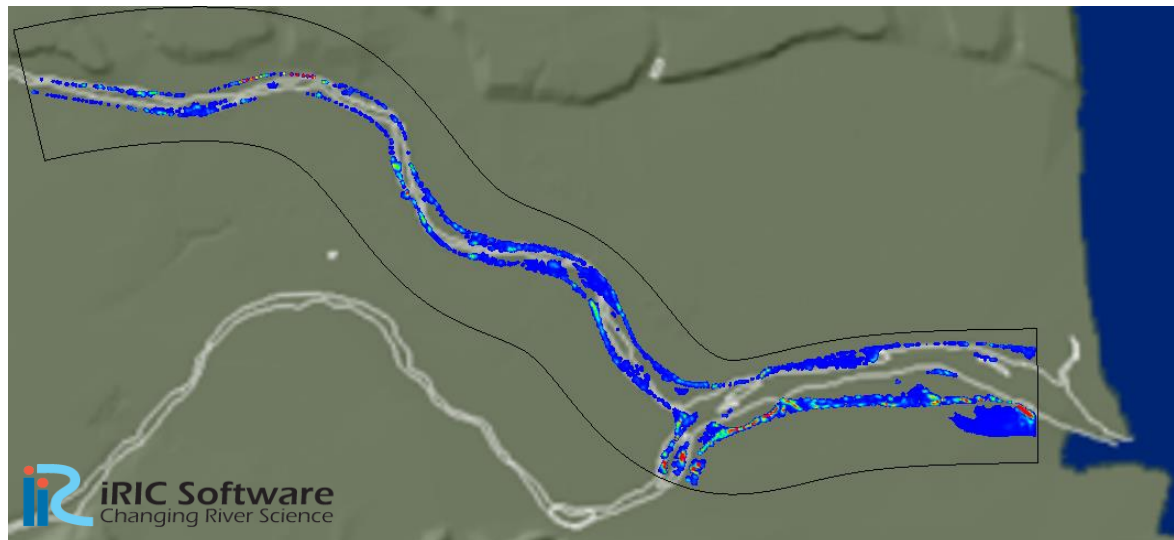
分割数

850 × 100

使用計算機

SGI ICEX (原子力機構所有)

堆積土砂量



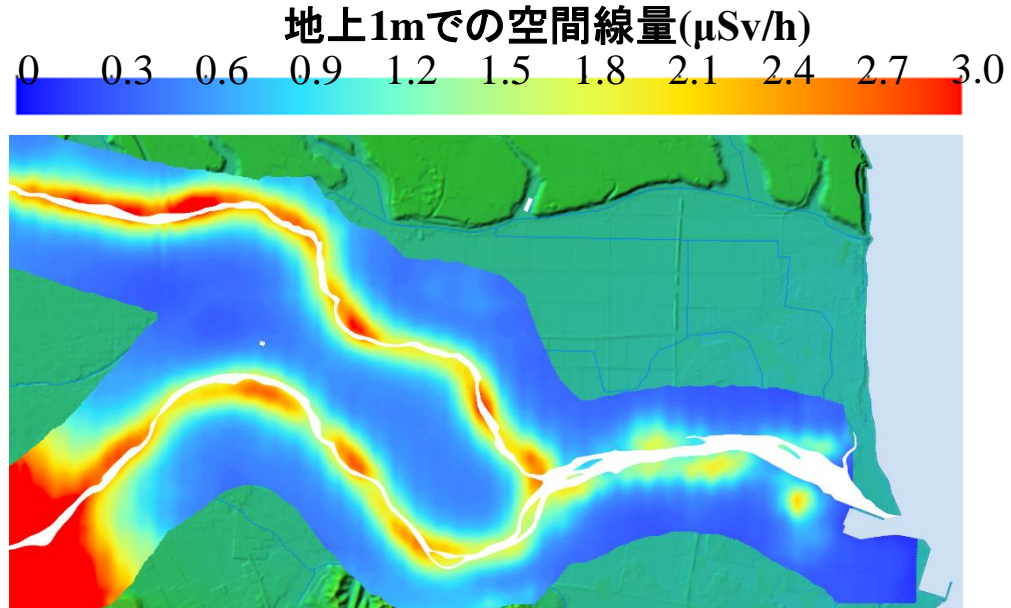
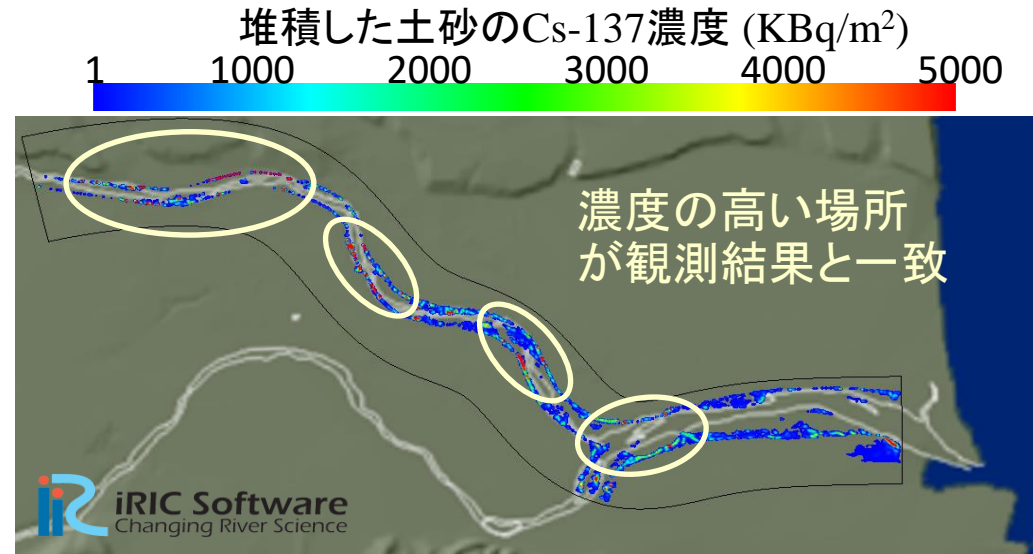
河川敷に多く堆積していることが確認できる

# 請戸川河口付近の2Dシミュレーション:結果

## 土砂に吸着したセシウム濃度

2015年7月に測定

	セシウム濃度 (kBq/kg)	
	請戸川	高瀬川
サンド (>0.6mm)	57	6
シルト (0.03- 0.6mm)	71	5
粘土 (0.00045- 0.03mm)	118	10



2012年12月無人ヘリにより測定

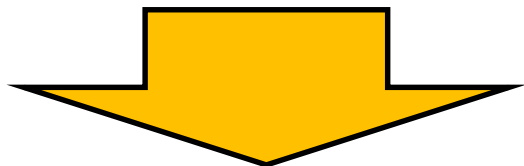
Sanada, Y. Et. al, Exploration Geophysics 45(1) 3-7, 2013.

<http://dx.doi.org/10.1071/EG13004>



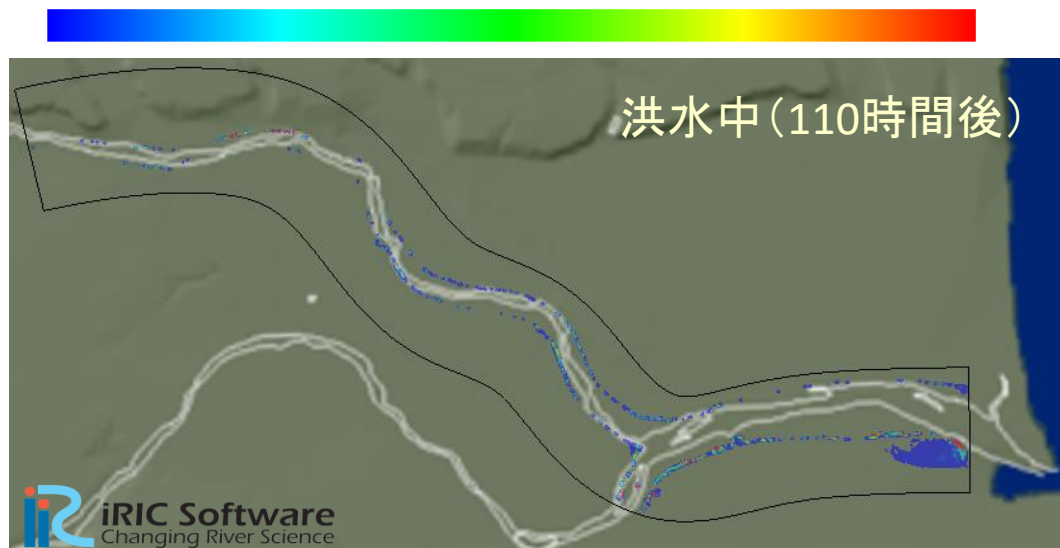
# 2度目の洪水による浮遊砂の振る舞い

- 一度洪水が起こった後に、もう一度同じ洪水が起こった場合のシミュレーション
- 2度目の洪水時には浮遊砂の流入はないと仮定



一度堆積した土砂は  
洪水中は再浮遊し、  
洪水終了時に再び堆積する

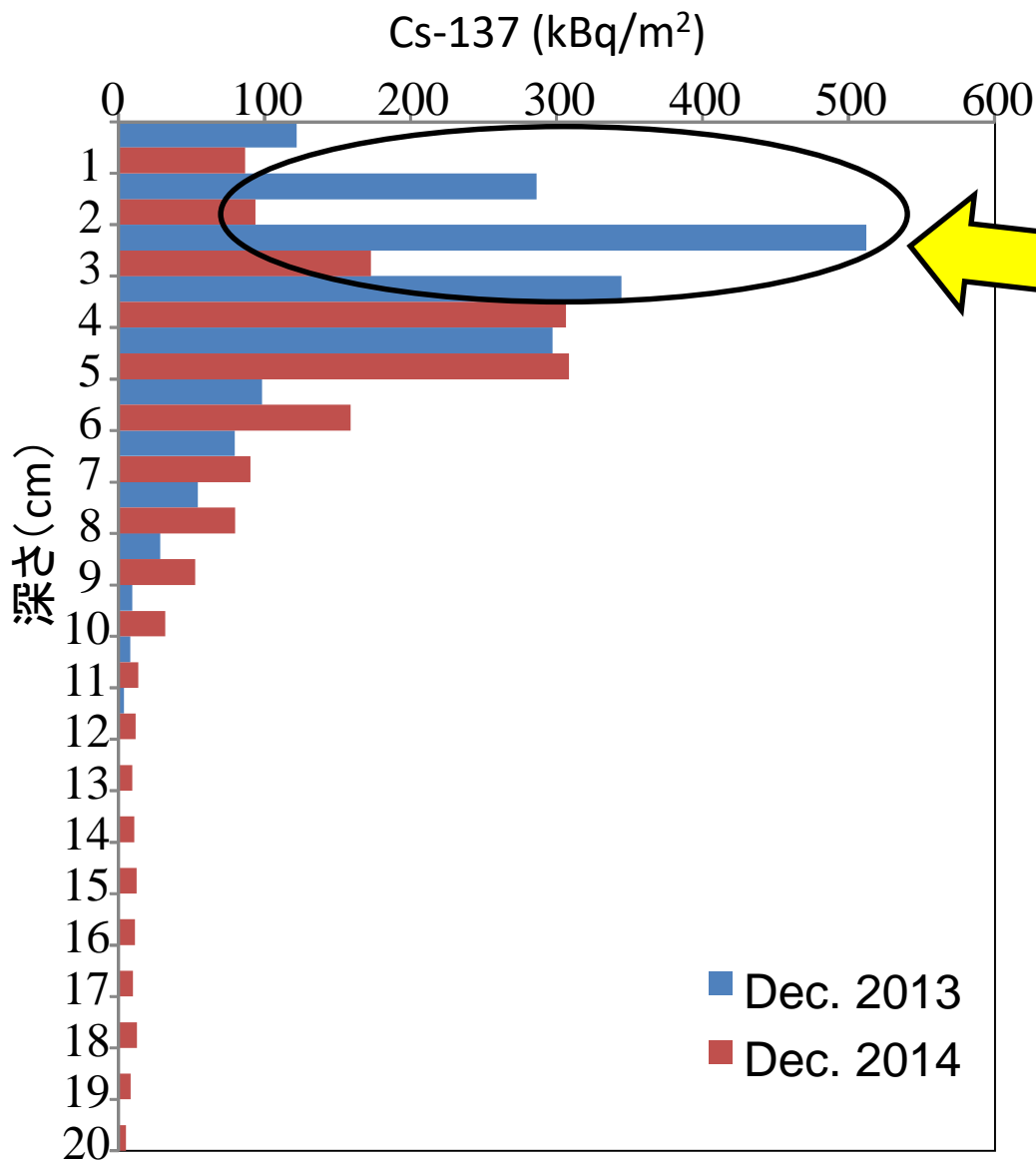
堆積量(m)  
0.00001 0.06 0.12 0.18 0.24 0.30



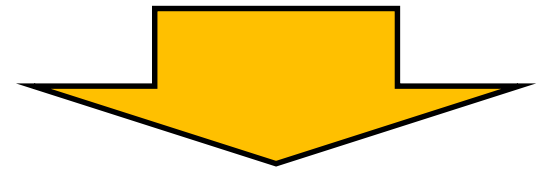
堆積量(m)  
0.00001 0.06 0.12 0.18 0.24 0.30



# 2度目の洪水による浮遊砂の振る舞い



2013年に堆積している  
高濃度の土砂が2014年  
にはなくなっている



洪水により流出したと  
考えられる

この期間に4回の洪水が  
発生している

シミュレーションと一致

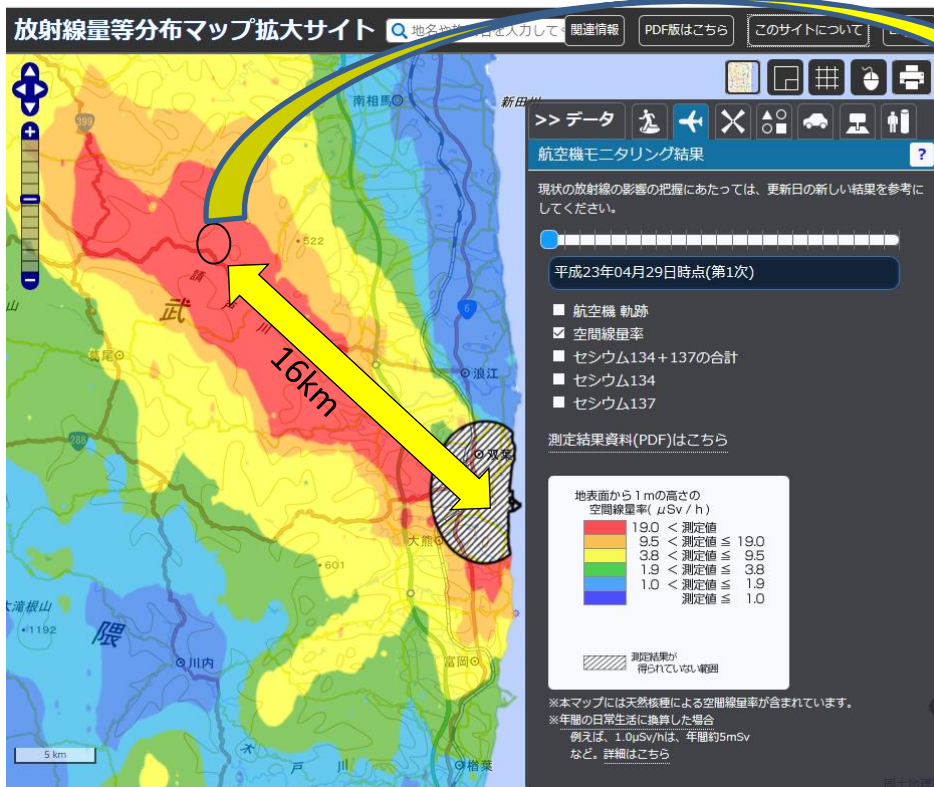
原子力機構のより測定された請戸橋南側(右岸)の  
河川敷における鉛直方向のセシウム濃度分布  
(2013年12月と2014年12月)



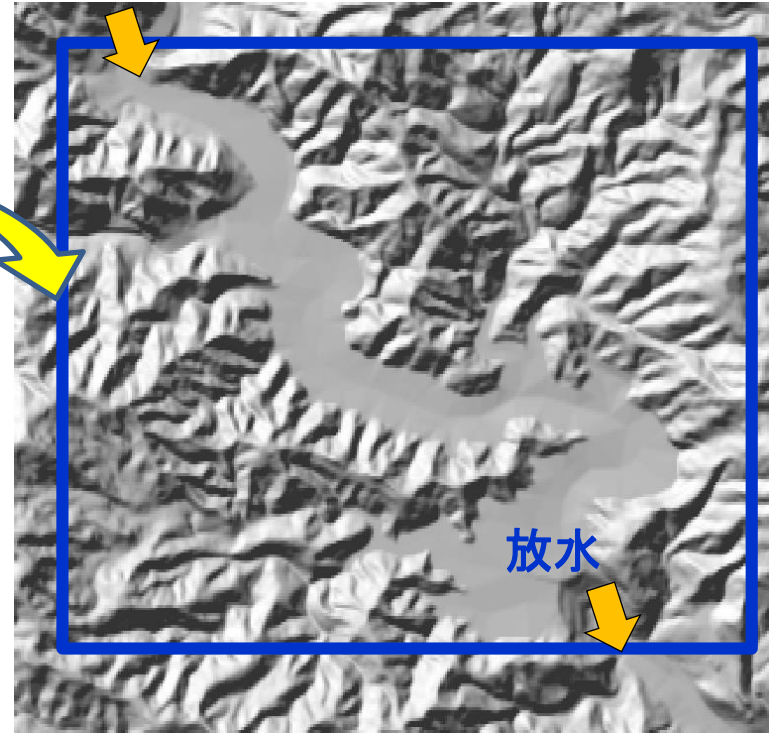
# 大柿ダムの3Dシミュレーション

## 大柿ダム

事故発生当時のホットスポットに存在



流入



(国土地理院の数値標高モデル(DEM)データに基づき作成)

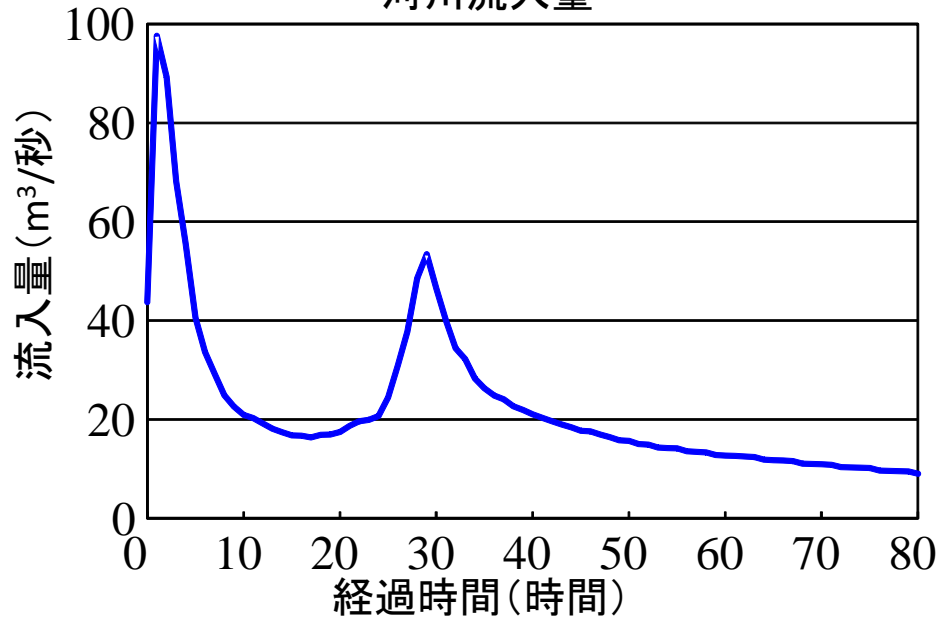
約2km×約2kmの領域

「放射線量等分布マップ拡大サイト/地理院地図」より

10m×10mメッシュで分割(鉛直方向は25分割)し、3次元コードでダム内の流動場をシミュレーション

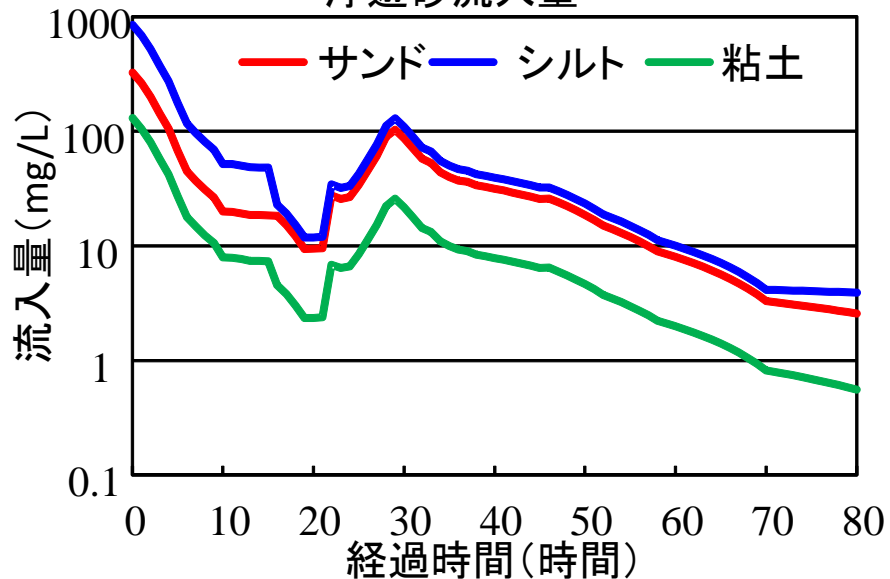
# 大柿ダムの3Dシミュレーション

## 河川流入量

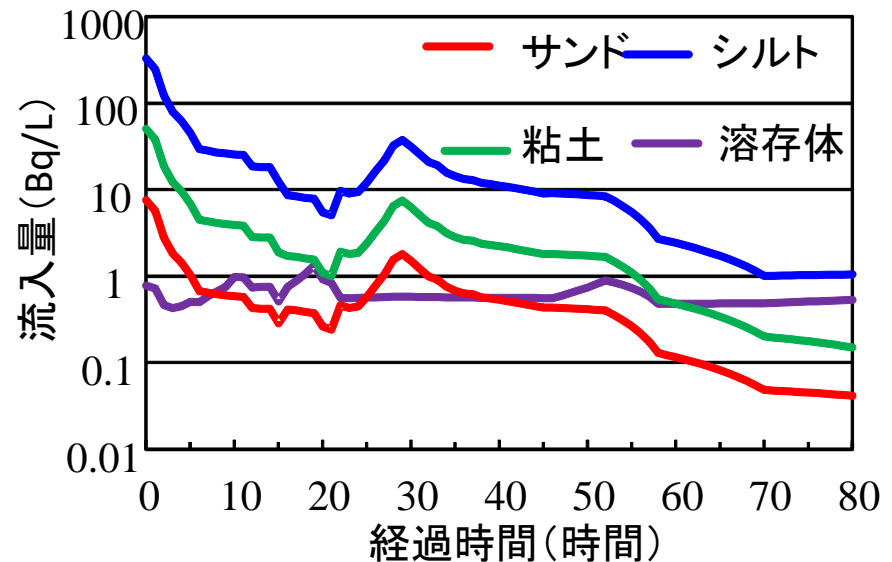


ダムの初期水温: 17度  
入力河川の水溫: 12度、22度  
ダムの放水口の標高: 140m、150m  
ダム内の初期Cs濃度  
溶存体: 0.5 Bq/L  
土砂に付着: 0

## 浮遊砂流入量

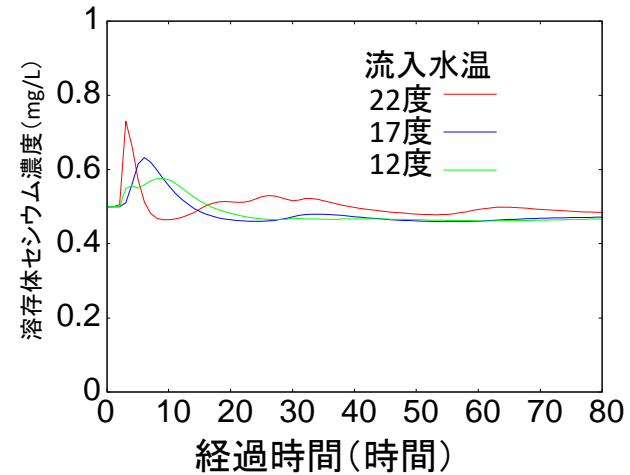
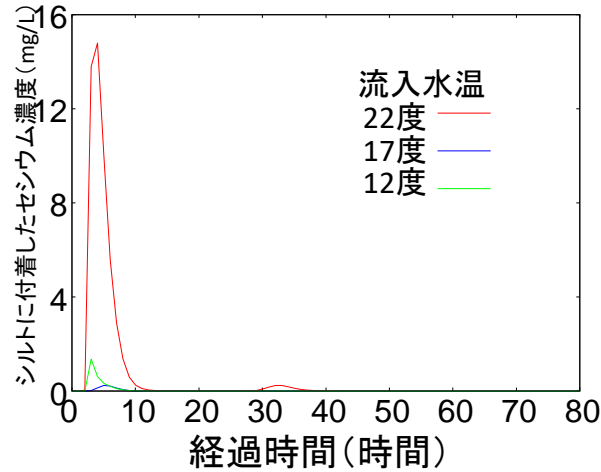
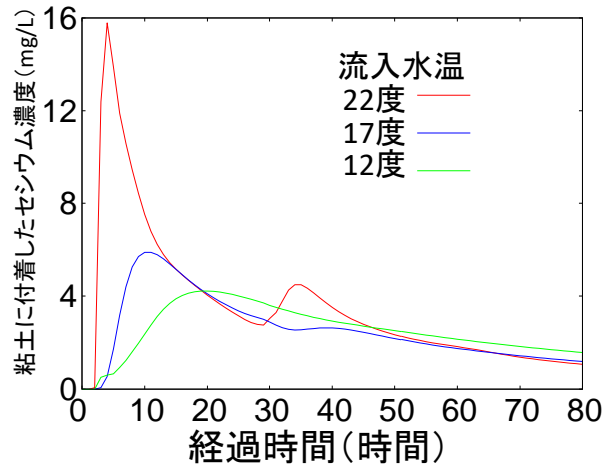


## セシウム流入量

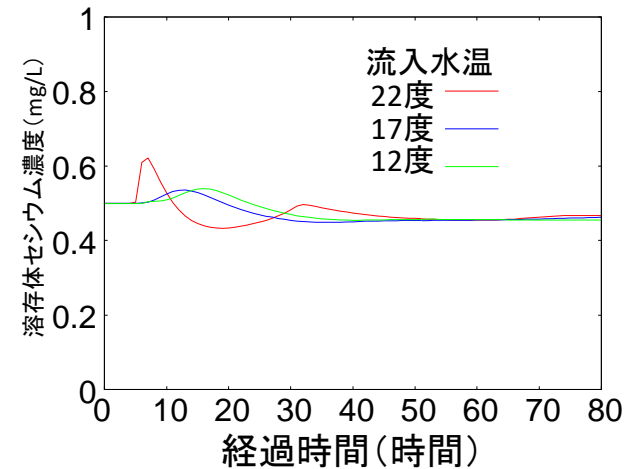
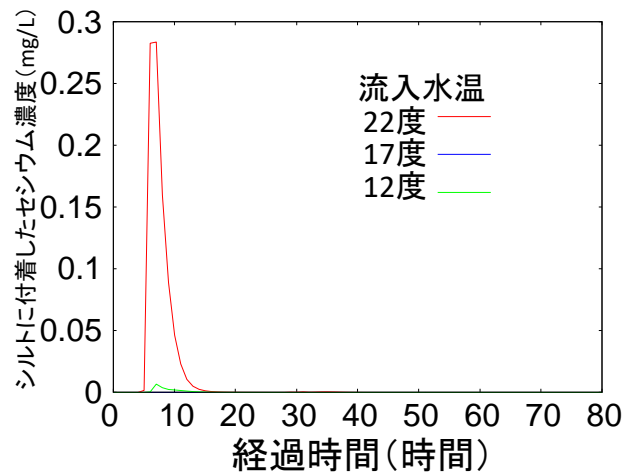
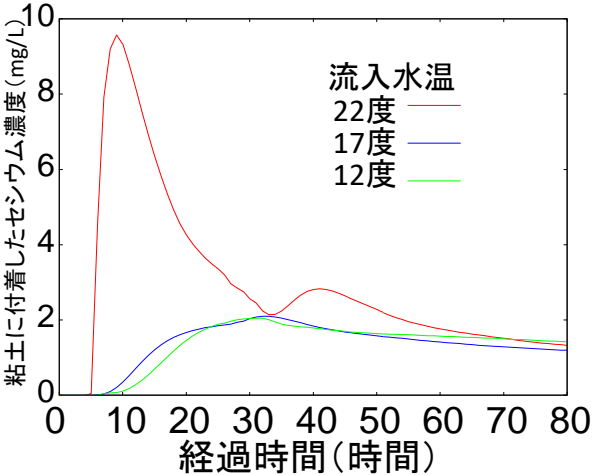


# 放水口から流出するセシウム濃度

放水口の高さ: 140m



放水口の高さ: 150m



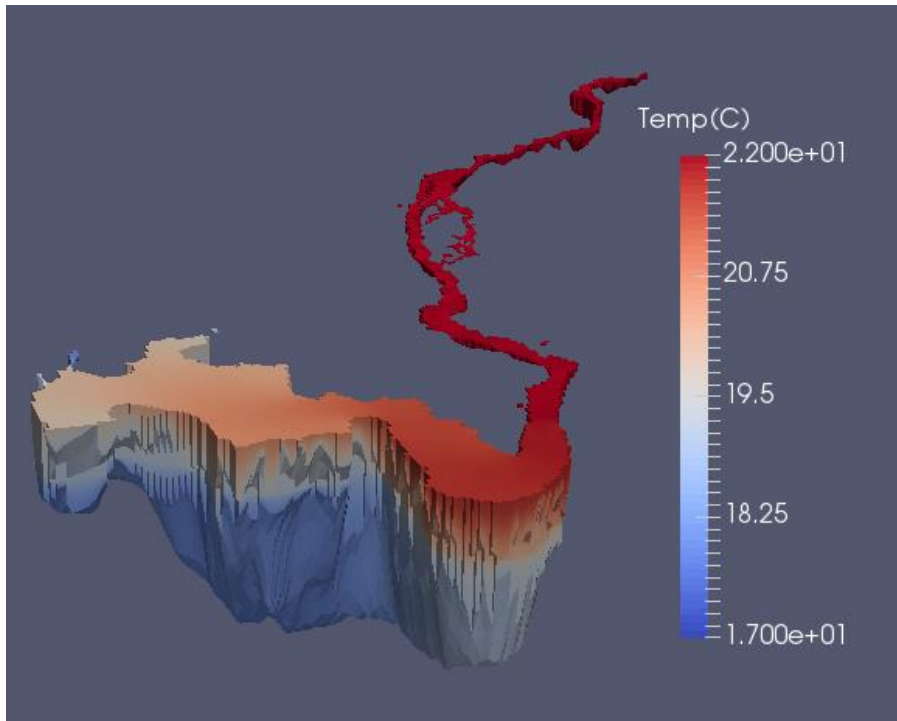
流入水温が高いほうが多くのセシウムが放水口から放出される

排水口が高いほうがダム内に多くの(セシウムの付着した)土砂が堆積する

# 大柿ダムでの3Dシミュレーション

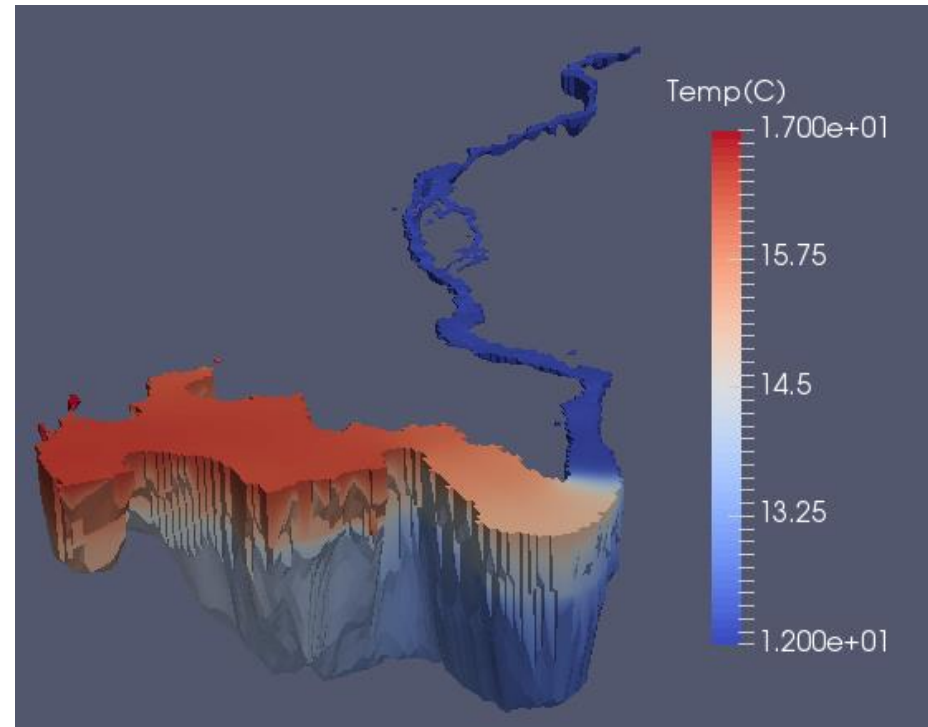
10時間後の水温 放水口の標高: 140m

流入する川の水温: 22度



表面に流れ込む

流入する川の水温: 12度

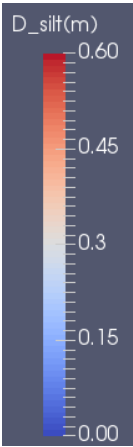
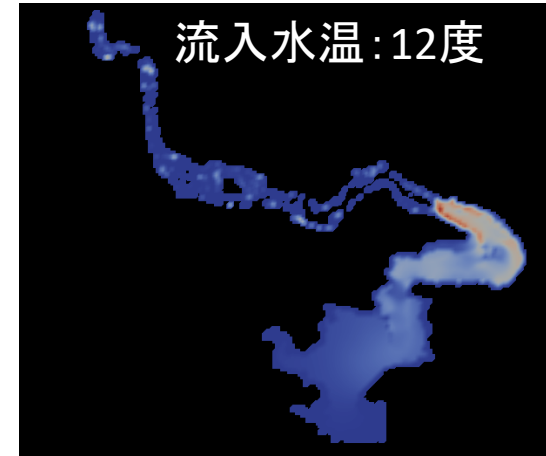
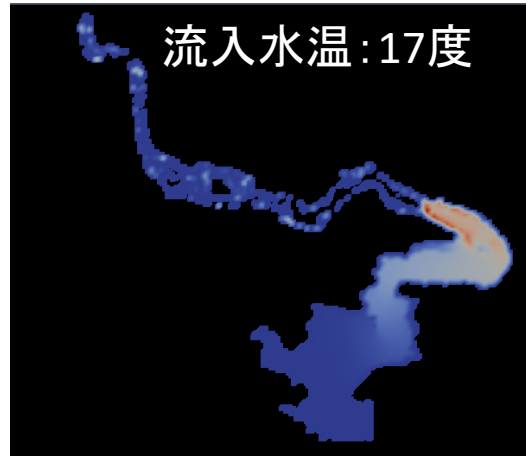
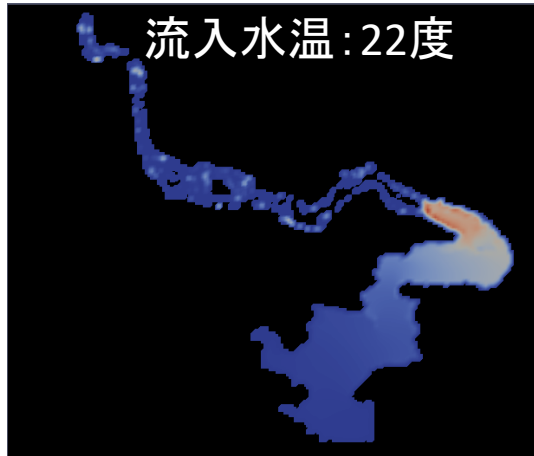


ダム底に流れ込む

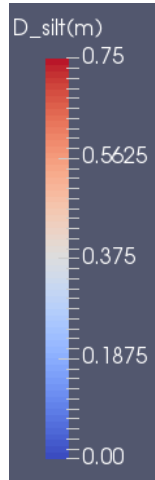
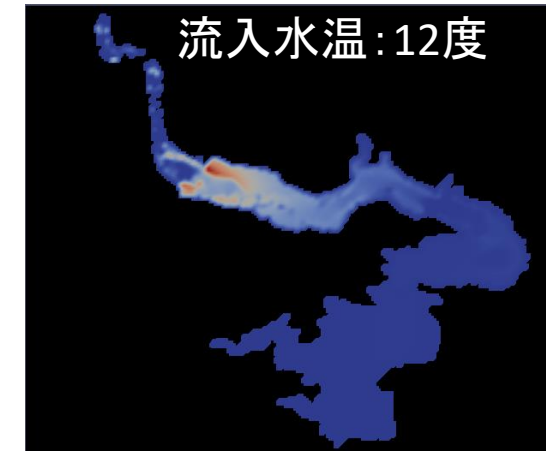
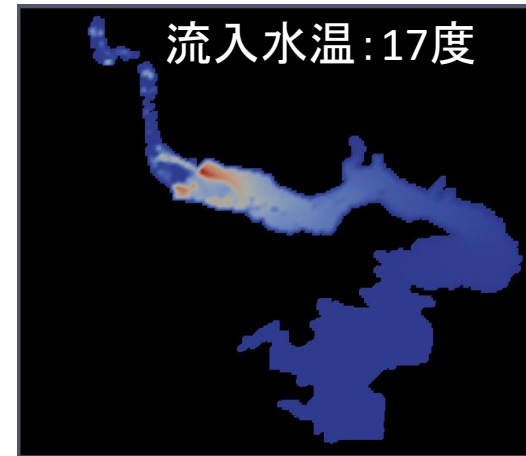
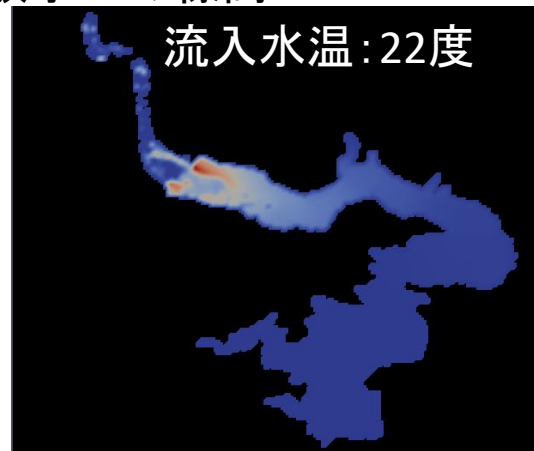
水温によってダム内の流動場は大きく異なる

# 大柿ダムの3Dシミュレーション

80時間経過後のシルトの堆積分布



放水口の標高: 150m



水深が深くなって流速が遅くなるところで堆積する



水温の影響よりも、排水口の標高(水位)の影響が大きい

# 福島第一原子力発電所港湾内 シミュレーション

港湾内に流入した放射性物質の影響の評価

国・東電の対策により港湾内に流入する放射性物質量は減少

遮水壁閉合前(2015年10月頃まで)

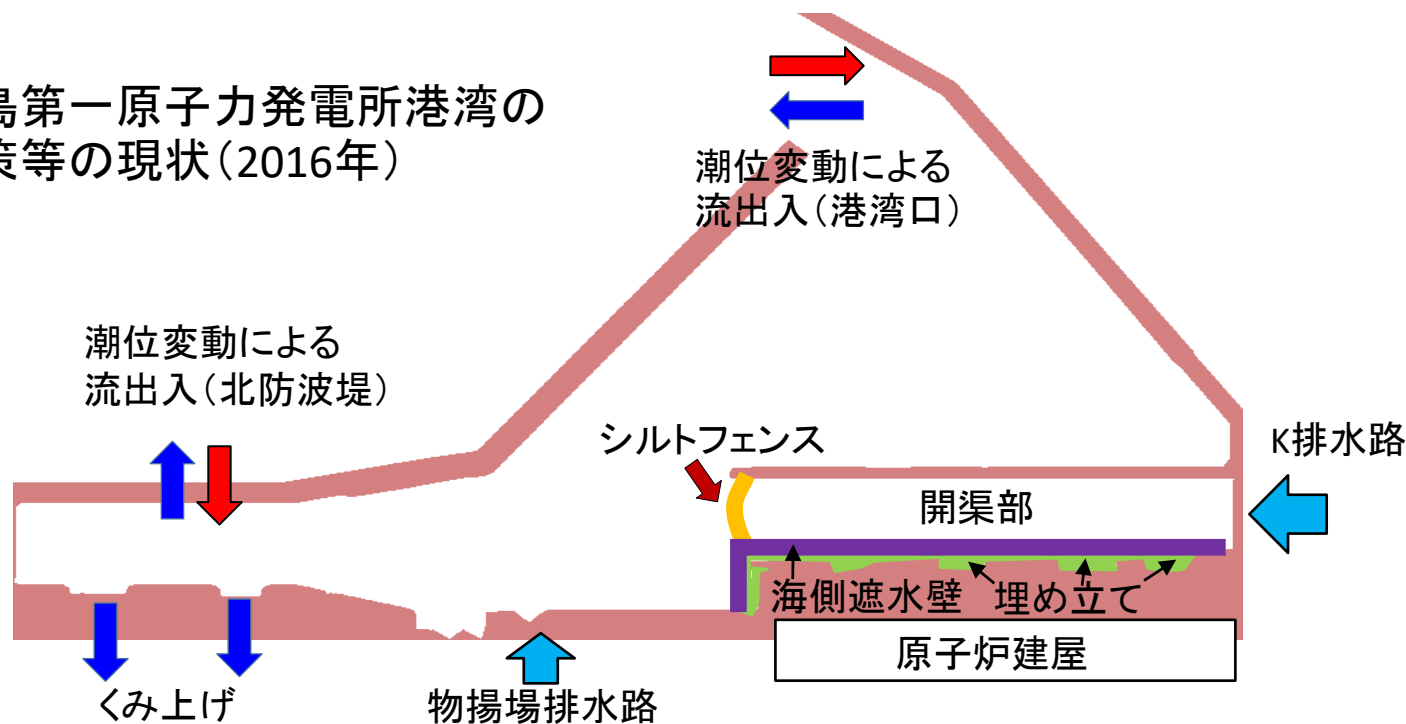
原子炉建屋経由の地下水



遮水壁閉合後(2015年10月頃から)

排水路経由で海面に流れ込む淡水

福島第一原子力発電所港湾の  
対策等の現状(2016年)



潮位変動による  
流出入(港湾口)

潮位変動による  
流出入(北防波堤)

くみ上げ

物揚場排水路

シルトフェンス

開渠部

海側遮水壁 埋め立て

原子炉建屋

K排水路



# 2次元シミュレーション

遮水壁閉合前

港湾に流入する地下水は海中から流入するため、海水と混ざりあって移動する

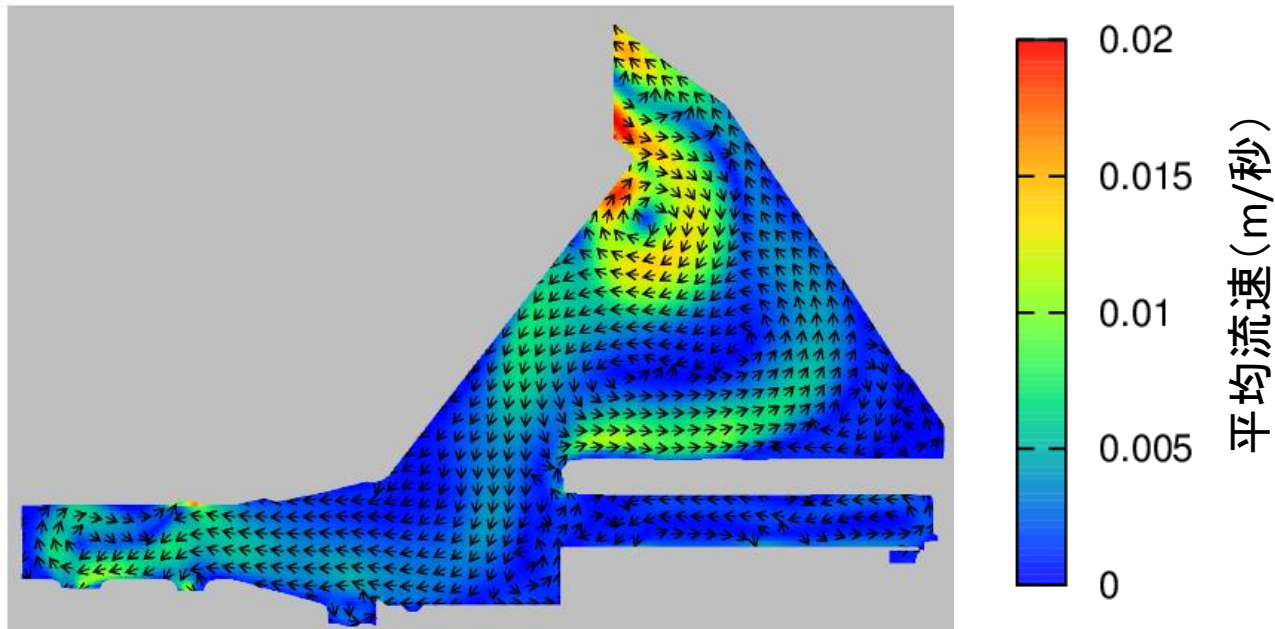


2次元シミュレーションでも対応できる

鉛直方向の情報(流速・濃度等)の平均を利用

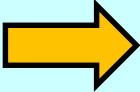
- ✓ 定常状態の流れ・濃度の評価
- ✓ 計算点が少ないため細かいメッシュ間隔で高速に計算可能

2次元シミュレーションによる平均流速場

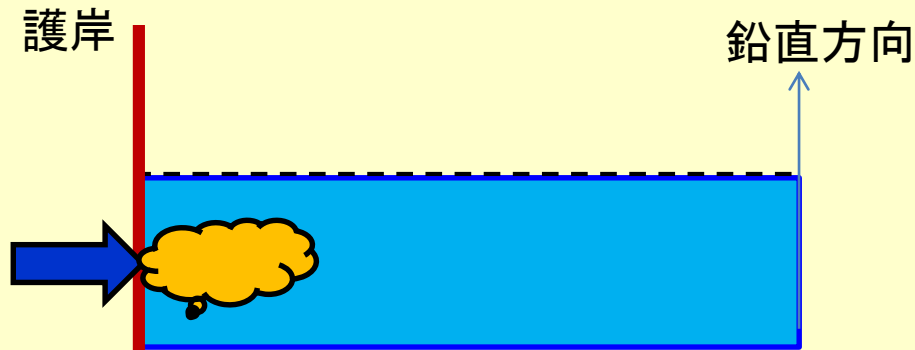


# 3次元モデルシミュレーションの必要性

遮水壁を閉じて、排水路を設置(2015年10月頃)

護岸から海中に流入する地下水  排水路経由で海面に流入する淡水

- 護岸から海中に流入する地下水

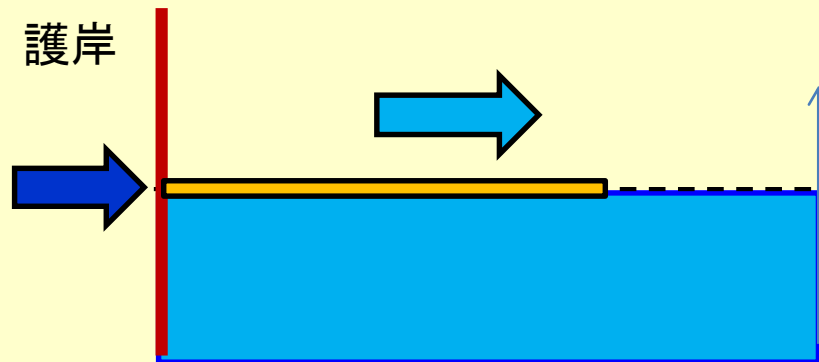


流入する地下水に海水が含まれているため、海水と混ざり合って移動する



鉛直方向の違いは少ない

- 排水路経由で海面に流入する淡水



淡水なので海水よりも軽く、表面を移動する

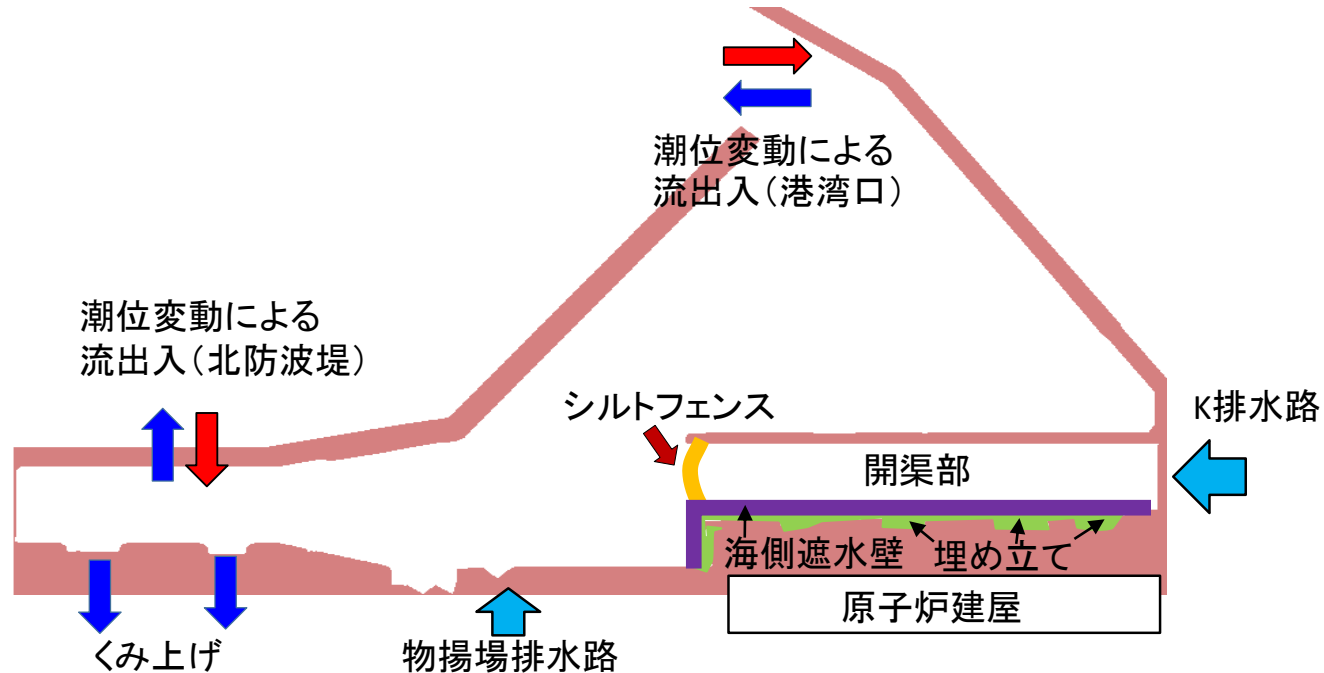


表層のみ濃度が高くなる

  
3次元シミュレーションが必要に

# 湾内シミュレーション

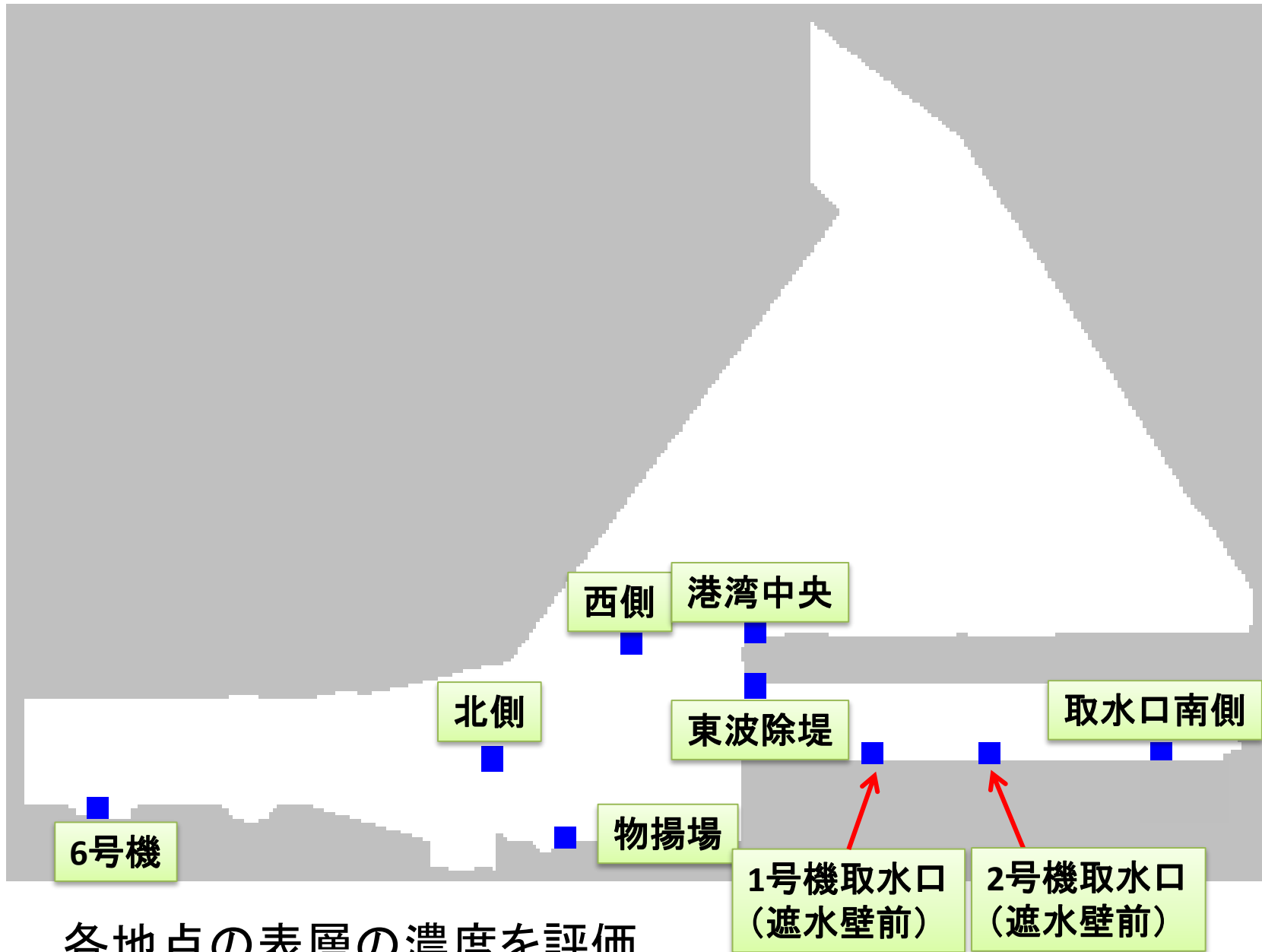
3次元シミュレーションによる港湾内に流入した放射性物質の影響の評価



- 計算セルの大きさ: 5m×5m、鉛直方向の格子数: 15
- 小名浜の潮位(標高)を参考に港湾口および北防波堤で潮位を与える  
2015年9月23日0時からシミュレーション
- 流入量  
K排水路: 淡水 $0.01\text{m}^3/\text{秒}$ 、トリチウム $12500\text{Bq}/\text{秒}$  ( $1.08 \times 10^9\text{Bq}/\text{日}$ )  
物揚場排水路: 淡水 $0.002\text{m}^3/\text{秒}$

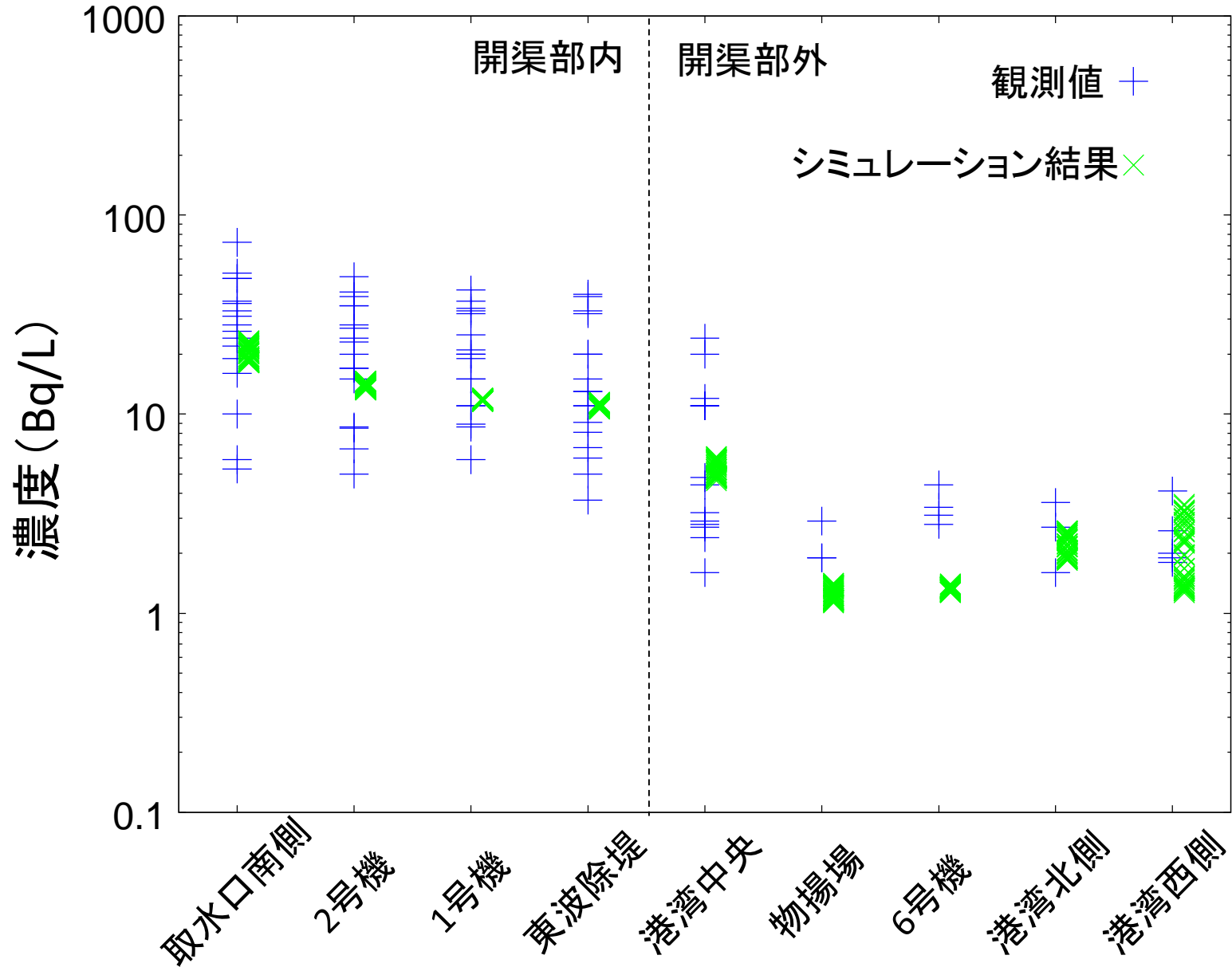
観測値は2015年11月から2016年3月まで(降雨日から3日間のデータは除去)

# 観測地点



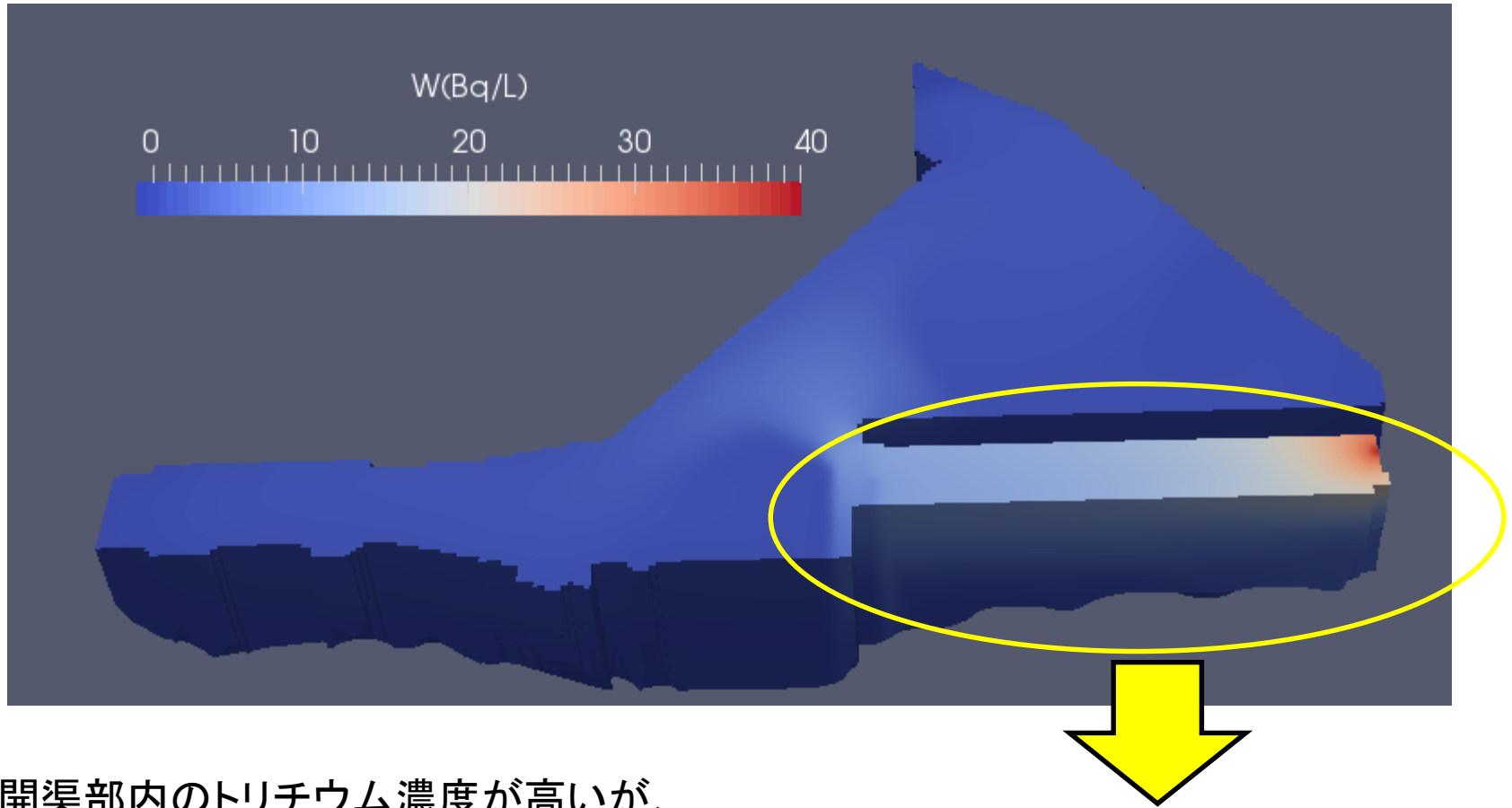
各地点の表層の濃度を評価

# 各地点でのトリチウム濃度



シミュレーション結果は観測値を再現している

# シミュレーションによるトリチウム濃度の分布状況



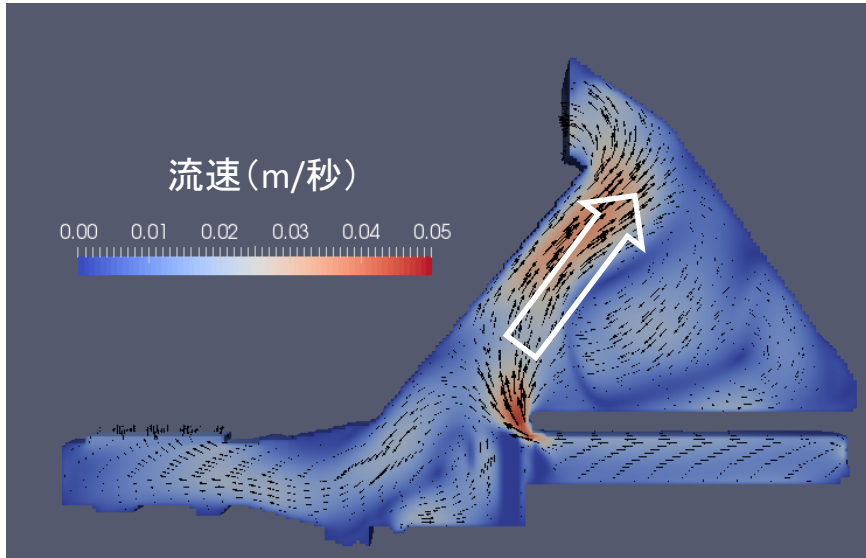
開渠部内のトリチウム濃度が高いが、開渠部口に設置されたシルトフェンスを挟んで濃度は低下する

K排水路から流入した淡水は海水との密度差で表層を流れている



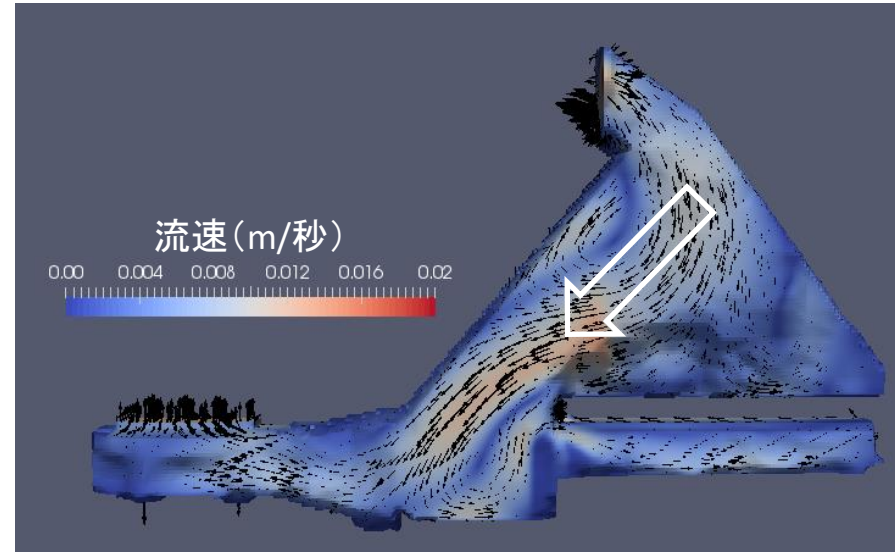
# 3次元流動シミュレーションによる流れ

海面の流れ



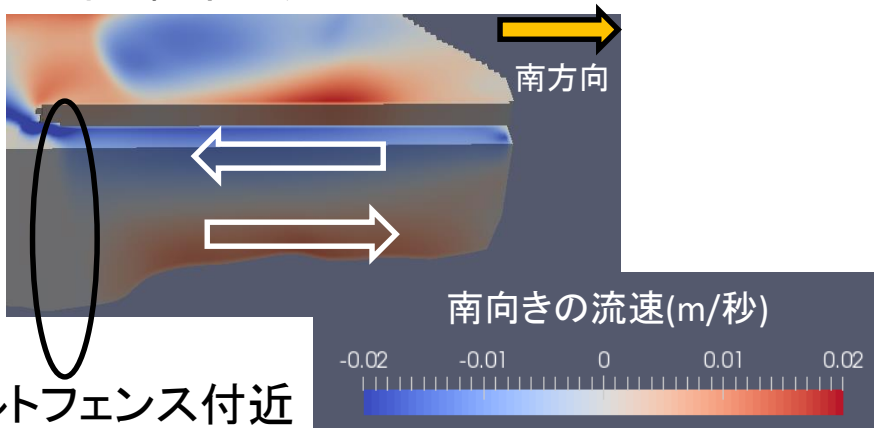
開渠部奥から港湾口への流れ

海底の流れ



港湾口から港湾内への流れ

開渠部の流速断面



開渠部上層：開渠部奥→開渠部口

開渠部下層：開渠部口→開渠部奥

シルトフェンス付近の流速は遅い

# まとめ

福島第一原子力発電所（1F）の事故により、環境中に放出された放射性物質の水の影響による動態を対象に合わせたシミュレーションコードを利用して評価した

✓ 2次元シミュレーション

河川：セシウムの付着した堆積土砂の分布の再現

✓ 3次元シミュレーション

ダム：温度や水深の違いによる動態の違いを評価



計算機シミュレーションによる

**住民の安心・安全な帰還、安全で効率的な廃炉作業**

への貢献

# 今度の予定

## 河川

- 福島県浜通りの8河川（太田川、小高川、請戸川、前田川、熊川、富岡川、井出川、木戸川）での評価
- 河川ごとの海洋への影響の評価
- 洪水の規模と堆積量の関係性を評価

## ダム

- 5ダムで（横川ダム、大柿ダム、坂下ダム、滝川ダム、荻ダム）の堆積量の評価
- ダム水の利用のための情報提供

## 港湾

- セシウムの振る舞いを評価
- 流出に対する対策方法の評価
- シミュレーション範囲を拡大し、外洋への影響を評価