

# 計算機解析と実験および計測による 河川防災技術の実用化に関する研究

## 計測に関する研究報告

赤穂良輔<sup>1</sup>，渡辺雅二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域准教授

<sup>2</sup>岡山大学名誉教授，岡山大学特命教授（研究）

# 目次

1. 概要
2. 研究の背景
3. 研究方法
4. 研究結果
5. まとめ

# 1. 概要

気候変動の進行にともない今後益々活発となることが想定される水循環に対し陸水域および沿岸水域に関する的確な情報による防災対策が要求される。本研究では、河川の流れと水底地形の変動に関する計算機解析に実測データを導入した信頼性の高い解析手法の開発と実用化および応用に取り組み、河川氾濫時の堤防の安全性評価に資することを目標とする。本研究では防災の観点から実験と計測および計算機シミュレーションによる河川の流れと水面下の地形変動に着目し、信頼性の高い実験と計測手法および解析システムの開発と実用化および応用を目的とする。すなわち実測データを計算機シミュレーションに導入した解析システムの構築を目標とし、河川災害に対する防災・減災に資することを目標とする。

## 2. 研究の背景

### 国内外で頻発する豪雨災害

- 平成30年7月豪雨：死者 119 名，負傷者 29 名，全壊 213 戸，半壊 340 戸 [1]
- 令和元年台風第 19 号と低気圧による大雨：死者 104 人，行方不明者 3 人，重傷者 43 人，軽傷者 341 人，全壊 3308 棟，半壊 30024 棟 [2]
- 令和2年7月豪雨：死者 84 人，行方不明者 2 人，重傷者 23 人，軽傷者 54 人，全壊 1621 棟，半壊 4504 棟 [3]
- 令和3年7月1日の大雨をはじめとする豪雨：死者 26 名，行方不明者 1 名，負傷者 7 名，全壊 56 戸，半壊 11 戸 [4]
- 令和5年9月10日に降り始めた雨がもたらしたリビア洪水：死者およそ8000 人 [5]
- 令和6年9月能登半島豪雨：死者 10 人，行方不明者 1 人 [6]
- 令和6年10月スペイン東部洪水：217 人死亡、行方不明者多数 [7]

## 気候変動と水域に関するデータの重要性

- 人為的な気候変動は、既に世界中の全ての地域において多くの気象と気候の極端現象に影響を及ぼしているとの指摘[8]。
- 気候変動の進行にともなう地球表面と大気の間の水循環活発化。災害をもたらすような豪雨は益々頻繁に発生するようになるという懸念。
- 内水氾濫や堤防の決壊の未然防止を目的とする河川や湖沼および沿岸水域に関する適格な情報の取得と定期的なアップデートの重要性。
- 小型船舶を用いた測位と測深による狭小水域に対する機動的な水底地形データの計測手法と解析手法について、これまでの研究の更なる展開。

### 3. 研究方法

#### 計測機器

- VRS (Virtual Reference Station, 仮想基準点) 方式の RTK-GNSS (Real Time Kinematic 衛星測位システム) 受信機 (GNSS0, GNSS1, GNSS2)
- 音響測深機 (200 kHz)
- OKAYAMA 1 (写真1)



小型船舶 OKAYAMA 1 (岡山大学所有船舶)  
令和7年3月28日, ラ・コスタマリーナにて

写真1: 2024年11月8日

2025/06/06

第25回 J I C E 研究開発助成成果報告会

6

舷側に取り付けられた支柱の下端には音響測深機送受波器が固定される（写真2）。GNSS受信機に接続されたアンテナは支柱の先端に取り付けられた。支柱は船舶の進行方向に対し直角の方向に角度を変化させる（写真3，写真4）。

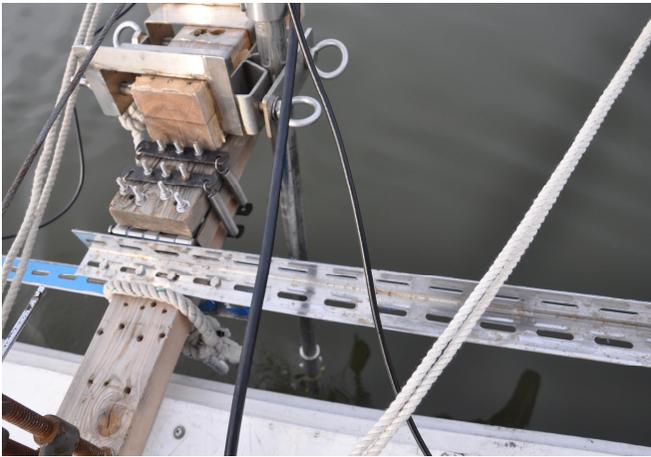


写真2：水中の下端に音響測深機送受波器が取り付けられた支柱，令和6年12月20日児島湖にて



写真3：ウインチによる巻き取り解放時の支柱と（d）ウインチ巻き取り時の支柱とGNSSアンテナ，令和6年12月20日，児島湖にて



写真4：ウインチ巻き取り時の支柱とGNSSアンテナ，令和6年12月20日，児島湖にて

## 4. 研究結果

児島湾の一部を締切堤防で閉め切ってできた岡山県の児島湖で令和7年3月13日に実施した計測の結果を例示する。測位データの緯度－傾度成分は直交座標に変換され[1]，GNSS受信機に接続されたアンテナの平面上の軌跡と楕円体高および音響測深機の実出力結果が得られた（図1）。児島湖の外郭はオンラインソフトウェア[2]の実出力結果を用いて作成された。

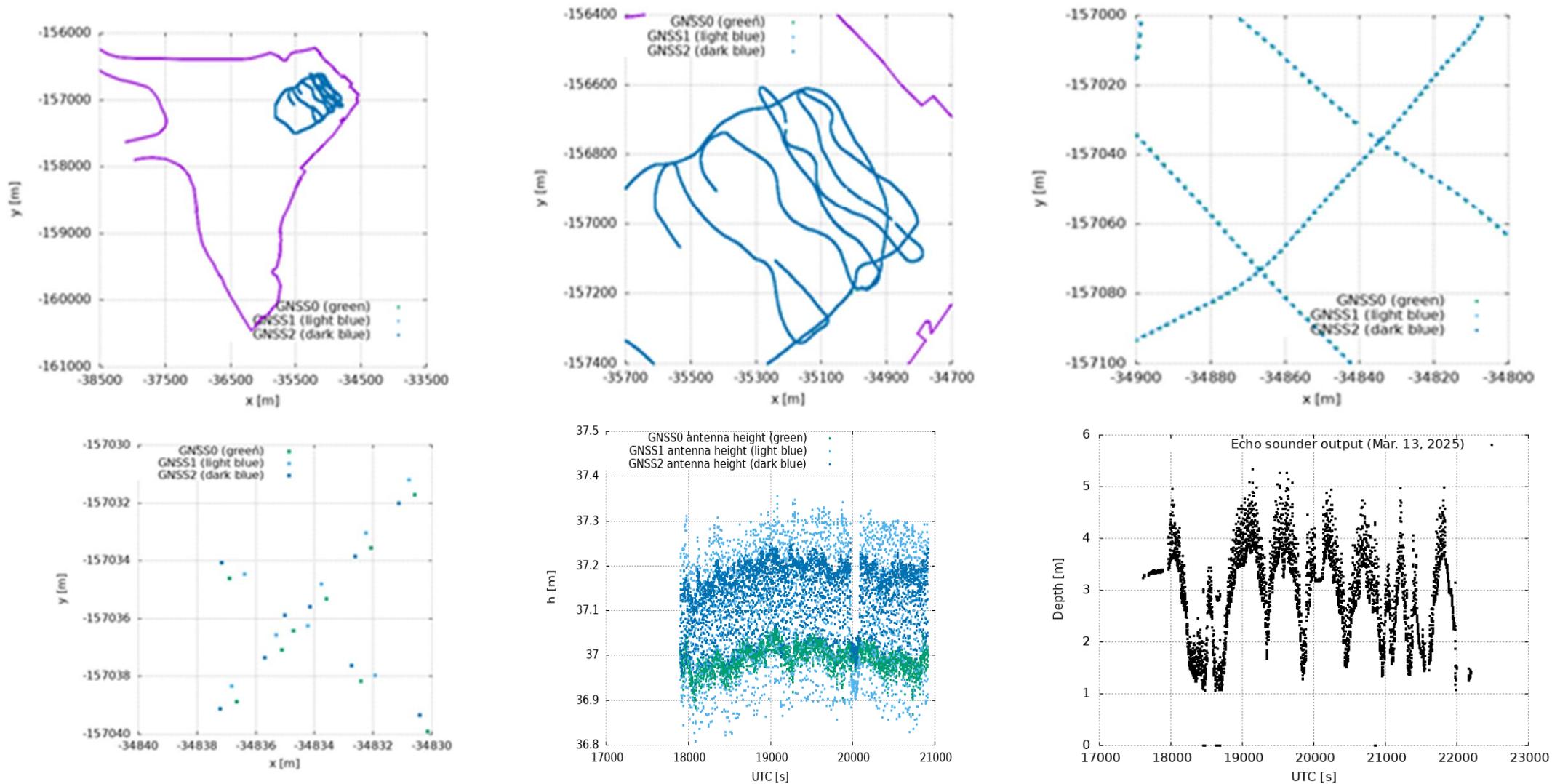
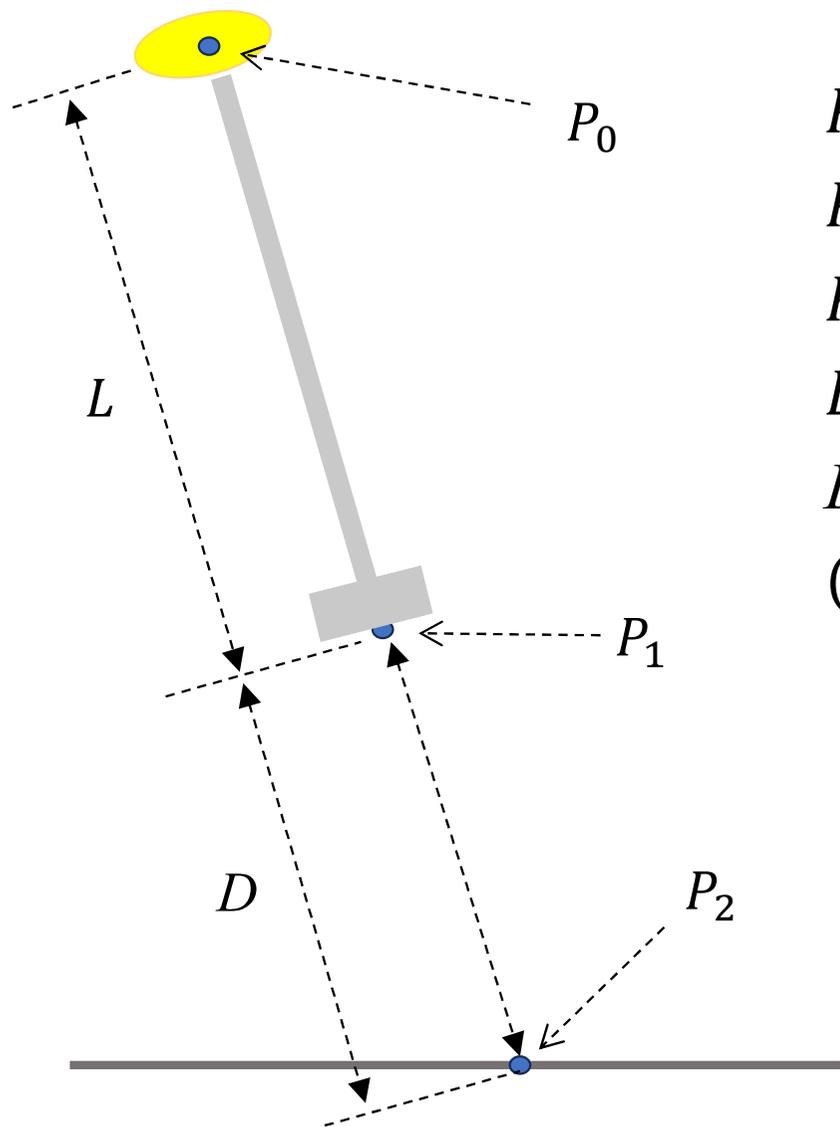


図1：GNSS0，GNSS1，GNSS2および音響測深機からの出力（xy平面上の軌跡と楕円体高および水深）

写真3と写真4にそのアンテナを示す三つのGNSS受信機（GNSS0, GNSS1, GNSS2）のからの出力結果から、アンテナと音響測深機送受波器が取り付けられた支柱の上端から下端までのベクトルが得られる。このベクトルから得られる単位方向ベクトルに支柱先端に取り付けられたアンテナから送受波器先端までの距離および音響測深機からの出力結果をかけることによって水底の点を表す三次元データ得られる。



$P_0(x_0, y_0, z_0)$ : GNSS0アンテナの中心

$P_1(x_1, y_1, z_1)$ : 送受波器の先端

$P_2(x_2, y_2, z_2)$ : 水底の点

$L$ :  $P_0$ から $P_1$ までの距離 (2.834 m)

$D$ : 音響測深機からの出力 (m)

$(\alpha, \beta, \gamma)$ : 音響測深機が指す方向ベクトル

$$x_2 = x_0 + (L + D)\alpha$$

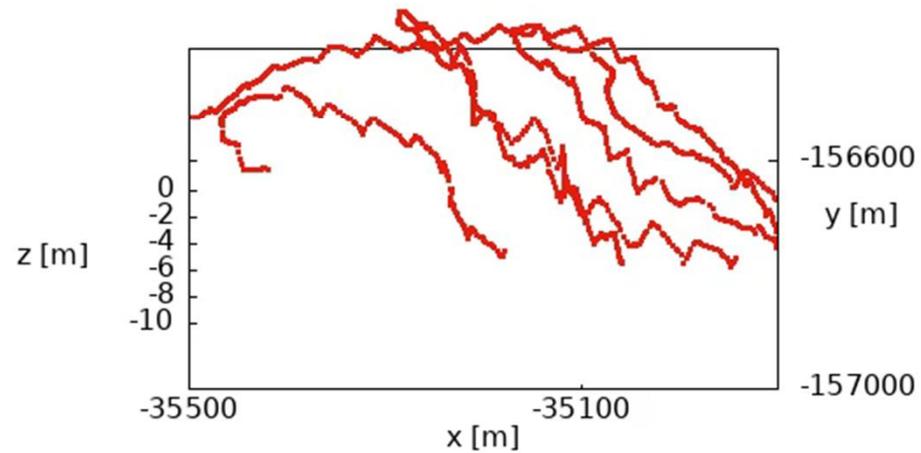
$$y_2 = y_0 + (L + D)\beta$$

$$z_2 = z_0 + (L + D)\gamma$$

図2: GNSS アンテナと音響測深機送受波器

Topographic data: Mar. 13, 2025 (0)

Data points •



動画1 : RTK-GNSSデータと音響測深機データから構成される三次元水底地形データ  $(x, y, z) = (x_2, y_2, z_2 - 36.2)$

# メッシュ列の生成

水域の地形は三角形メッシュ上の区分線形関数で近似的に表される。初期メッシュ  $M_0$  から始め、三角形メッシュ  $M_{j-1}$  の各要素を四分割し三角形メッシュ  $M_j$  を求めることにより、三角形メッシュ列  $M_0, M_1, M_2, \dots$  が生成された (図3)。

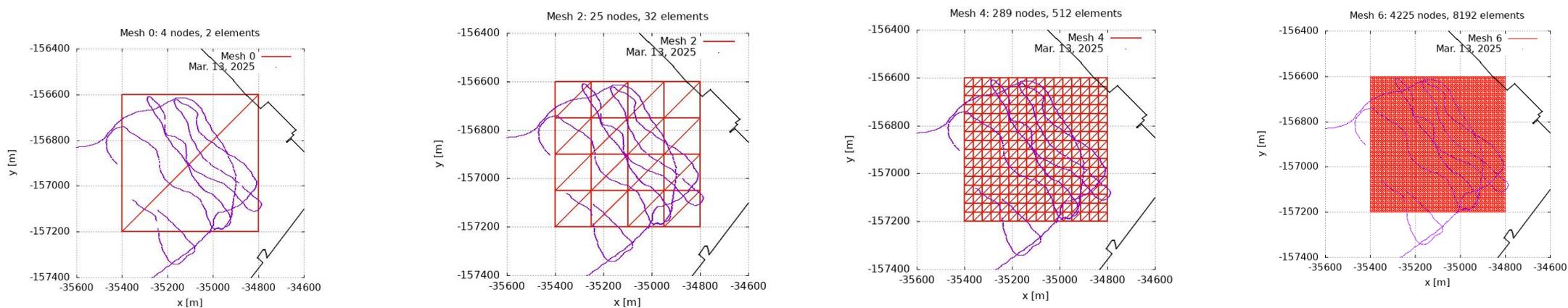


図3: メッシュ列の一部 ( $M_0, M_2, M_4, M_6$ )

# 最小二乗近似の適用

三角形メッシュの各要素に定義された一次関数を， $xy$  成分が 要素内に存在する水底地形データに対する最小二乗近似によって求める方法[3]によって三角形メッシュM6に対し得られた地形を表す区分線形関数の例を示す（図4，動画2）。

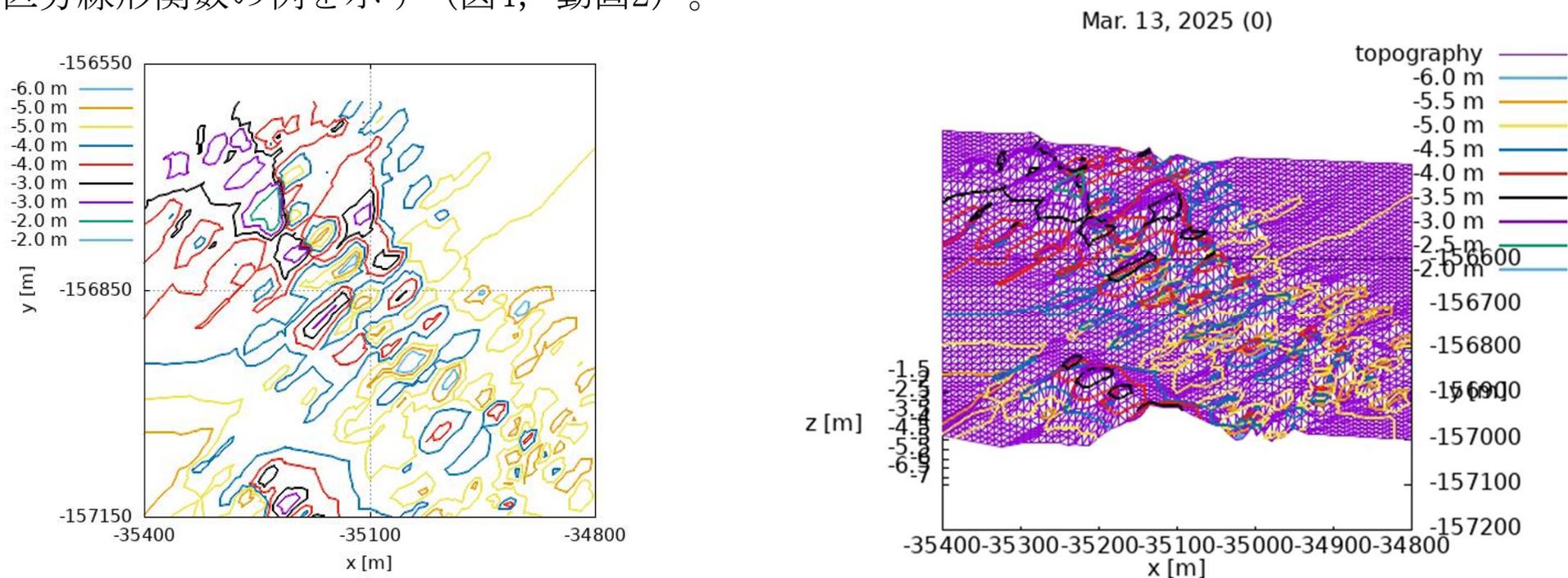


図4:  $xy$ 平面上の等深線

動画2: 水底地形を表す区分線形関数

## 5. まとめ

複数のGNSS受信機を用いて音響測深機送受波器が指す方向を求め、更に、送受波器の指す方向を船舶の進行方向に対し直角の方向に変化させることによってより広範囲の計測を可能とする計測方法について考察を行った。GNSS受信機から得られる位置データと音響測深機から得られる水深データを同期させるときに生じる誤差を極力小さくすることが当面の課題である。今後はこの手法を含めた一連の手法の妥当性の検証し、また定期的な計測による地形変化の考察を行うことを目標とする。

# 謝辞

本研究は，令和2年度および令和3年度（公財）ウエスコ学術振興財団研究活動費助成事業と（公財）八雲環境科学振興財団令和4年度環境研究助成および（一財）日本国土開発未来研究財団2022年度，2023年度学術研究助成と（一財）国土技術研究センター2023年度（第25回）研究開発助成事業による支援を受けた。これらの支援に対し深く感謝する。

重点研究課題 研究課題番号⑤

助成受付番号 第23008号

# 計算機解析と実験および計測による 河川防災技術の実用化に関する研究

---

数値解析に関する研究報告

岡山大学 赤穂 良輔・渡辺雅二

# 研究背景

## 近年 豪雨災害

気候変動の影響を受け頻度の増加，規模の拡大  
河川や貯水池の管理が**重要**

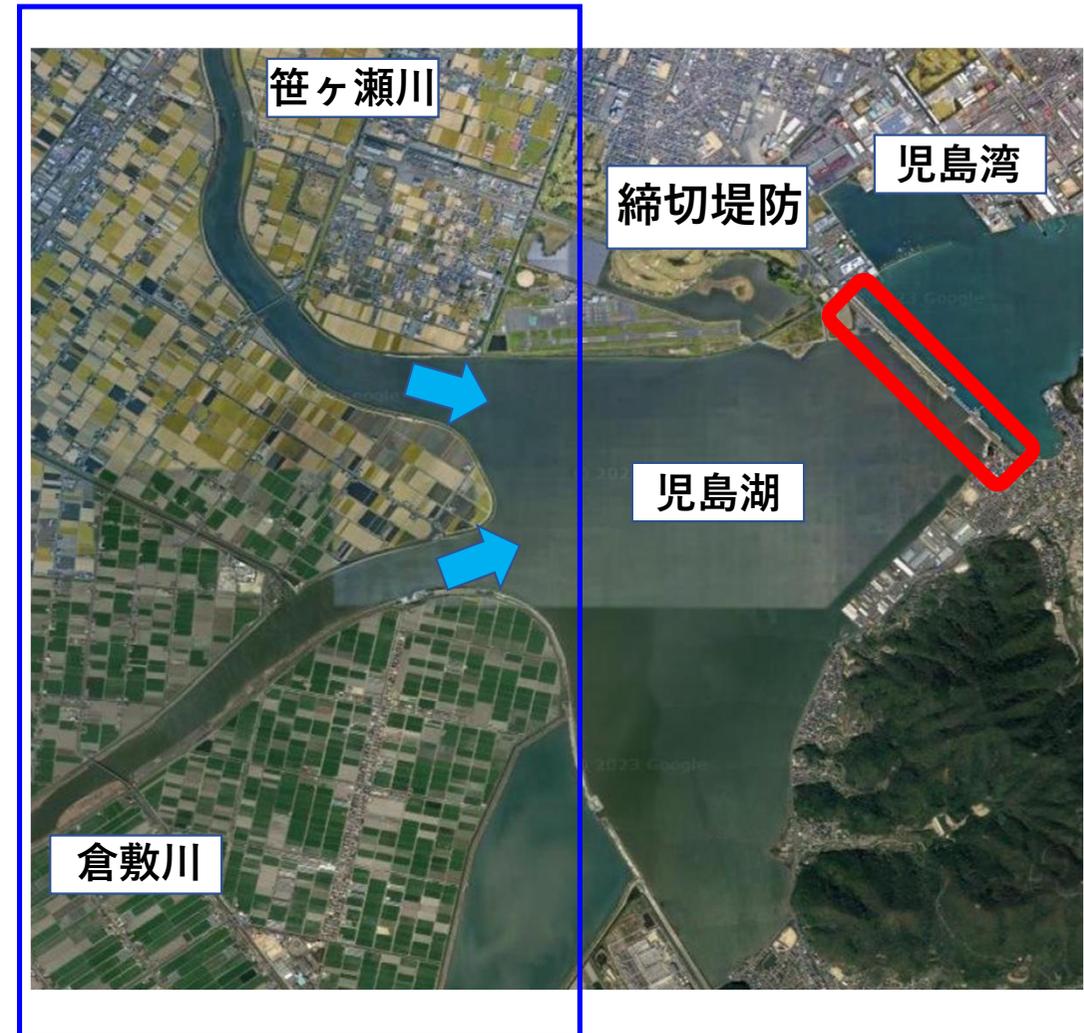
## 岡山県児島湖

- ・ 笹ヶ瀬川，倉敷川からの流入
- ・ 締切堤防の樋門操作

適切な樋門管理により湖内水位を管理



干拓地内の洪水・高潮による  
浸水被害の防止



児島湖の水底地形の維持・管理

流入量 流出量 土砂流入出量

水底の土砂堆積と洗堀状況

が不十分

平面二次元モデルを用いた流動解析

- ・長期間における流況計算に有効
- ・河川より流入する土砂流動を解析する

定期的な水底地形の測量

- ・RTK-GPS及び音響測深機による測量
- ・測量データによる水底地形の作成技術

土砂流入出量



児島湖の土砂流動特性について基礎的な検討を行う

流入量 流出量

水底の土砂堆積と洗堀状況

## ①簡易的な流量算出方法

- ・ H-Q曲線を用いた流量算出が困難
- ・ 児島湖のゲート操作が観測水位に影響

児島湖の水位上昇速度と表面積により河川流入量を算出

ゲート閉鎖期間で  
クラス分析

## ②平面二次元モデルを用いた流動解析

- ・ 表層の粒度分布よりウォッシュロードの堆積が支配的
- ・ 面的な堆積傾向の違い、長期間計算が必要

河川より流入する水塊のクラスごとの流動特性を比較検討

流速・水深より  
堆積ポテンシャルを算出

## ③ウォッシュロードの堆積ポテンシャル分布の推定

- ・ 河川からの流入SS濃度に関するデータが不足
- ・ 堆積ポテンシャルを用いた定性的な検討からはじめる

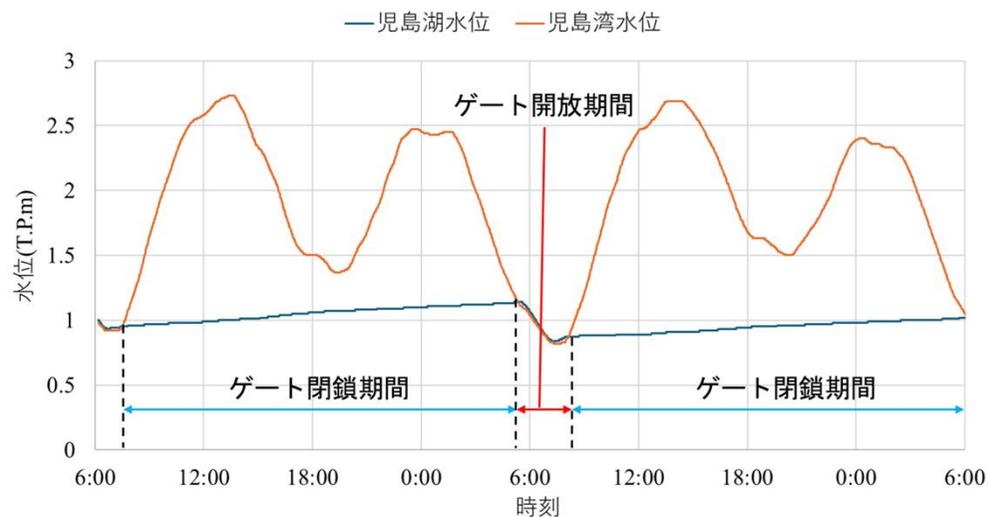
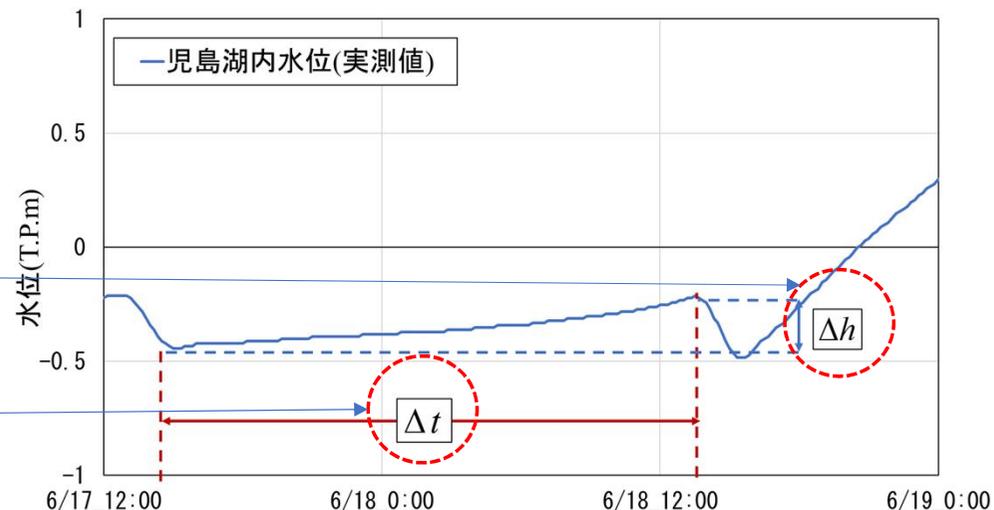
年間堆積厚分布をゲート操作頻度で重み付け評価する方法を検討

# ①流量算出方法

河川流入量を  $Q(\text{m}^3/\text{s})$ , 児島湖水位上昇速度を  $\frac{\Delta h}{\Delta t}(\text{m/s})$ ,

児島湖面積を  $A(\text{km}^2)$  とすると,

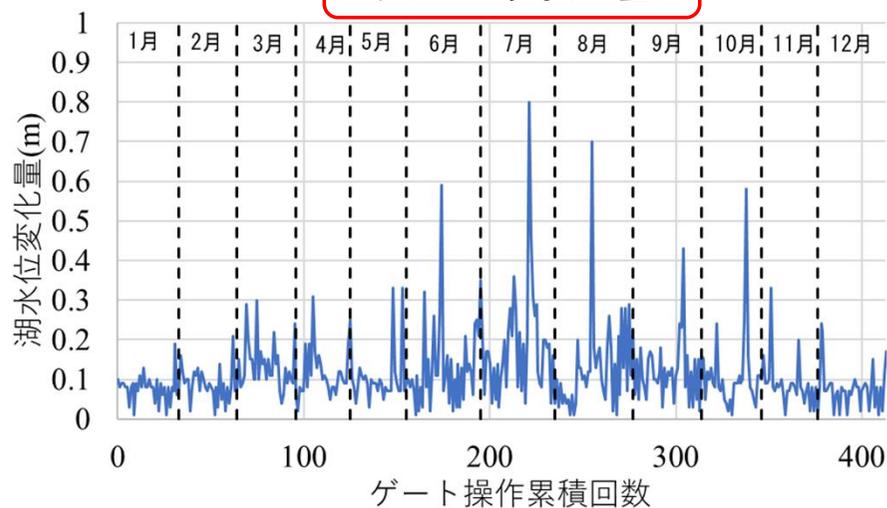
$$Q = \frac{\Delta h \times A \times 10^6}{\Delta t}$$



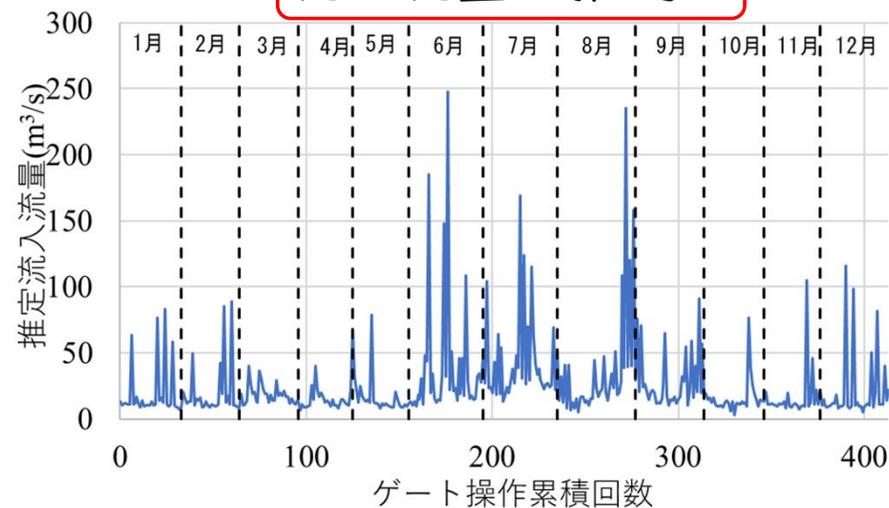
2019年の1年分の内外水位データより  
年間流量の推定

# 流入流量に関する検討

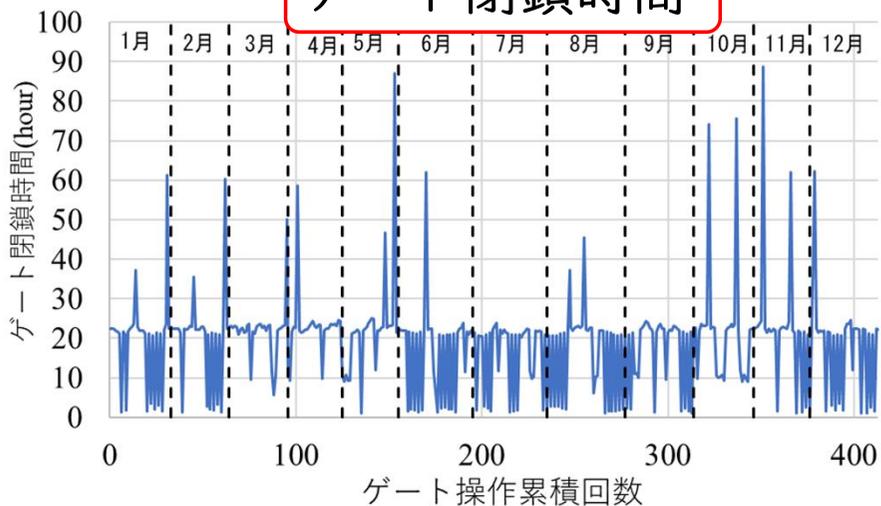
湖水位変化量



流入流量の推定



ゲート閉鎖時間

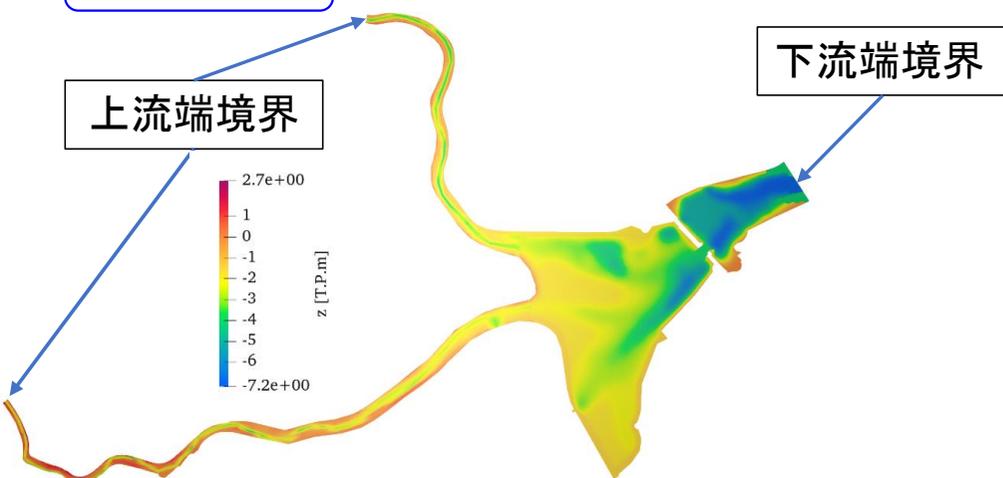


クラス	ゲート閉鎖区分	ゲート操作回数(回)	ゲート平均閉鎖時間(hour)	平均流量(m³/s)
1	0-6時間	66	3.3	64.1
2	6-12時間	18	10.6	22.1
3	12-24時間	106	20.3	20.2
4	24-36時間	206	24.9	15.9
5	36-48時間	4	40.3	20.0
6	48-72時間	9	58.4	12.1
7	72-96時間	4	82.6	10.2

➡ クラスごとの流況解析を実施

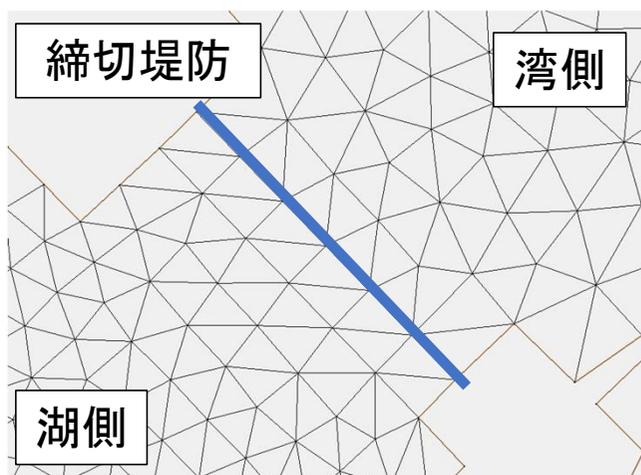
## ②平面二次元モデルによる流況解析条件

### 計算領域

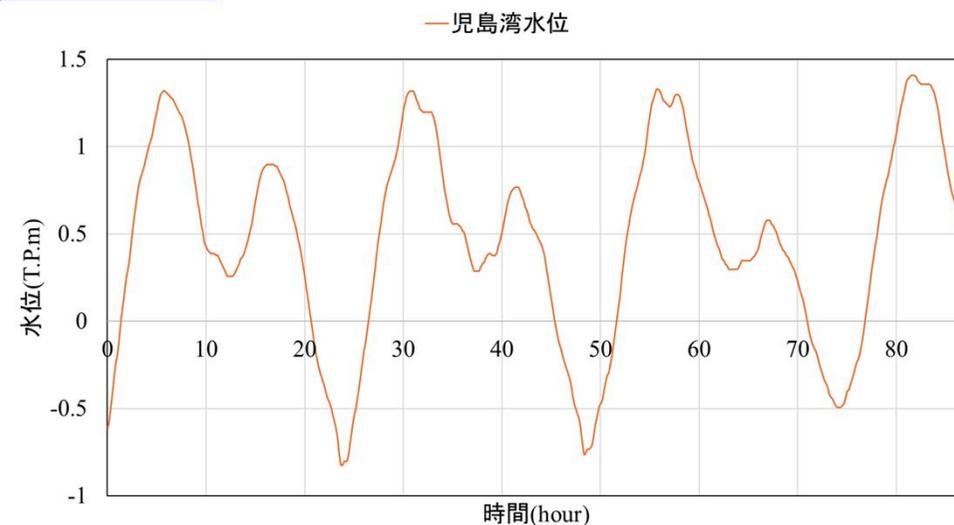


### 計算格子

- 格子サイズ  
児島湾:30m  
縮切堤防:24m  
児島湖:20m

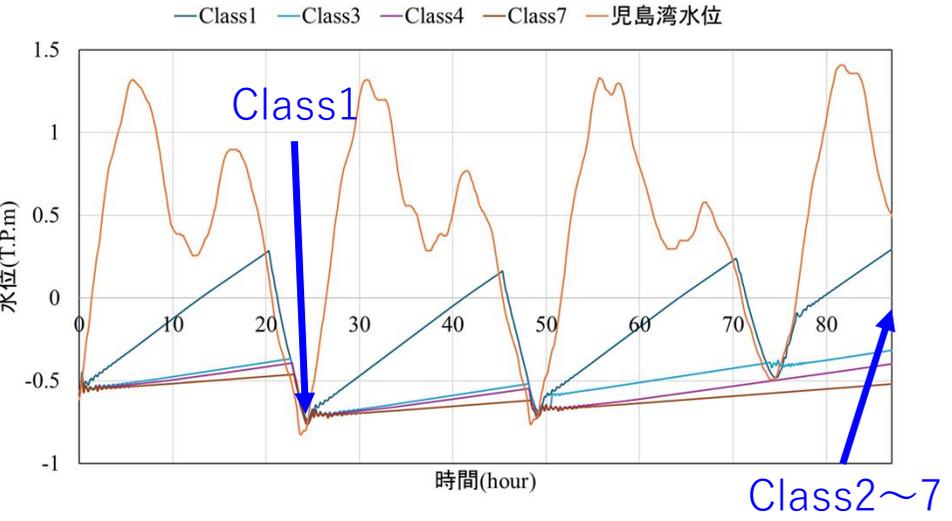


### 境界条件

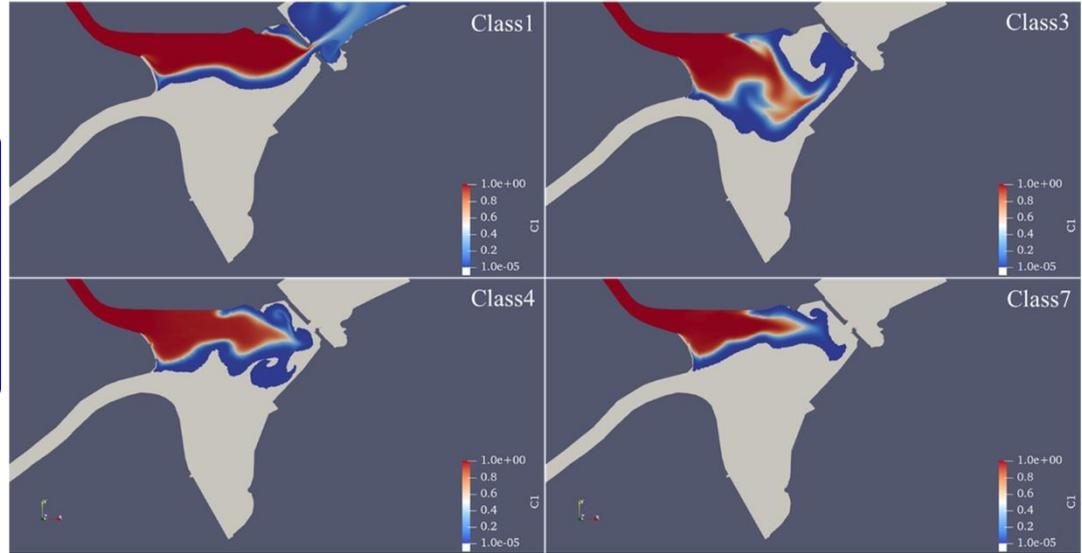


- 上流端流量  
算出したクラスごとの流入流量 (定常)
- 下流端水位  
児島湾潮位 (1月大潮期を想定)
- ゲート開放操作  
児島湖と児島湾水位一致時刻

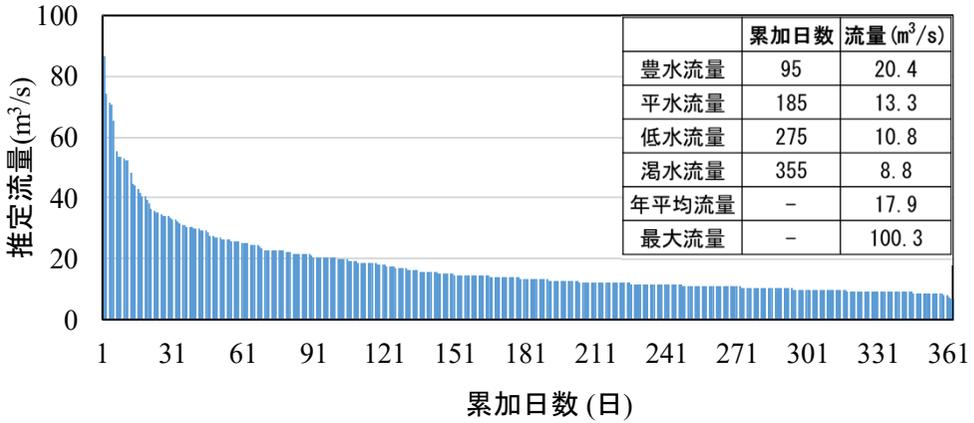
# 解析結果：流入水塊の動態特性



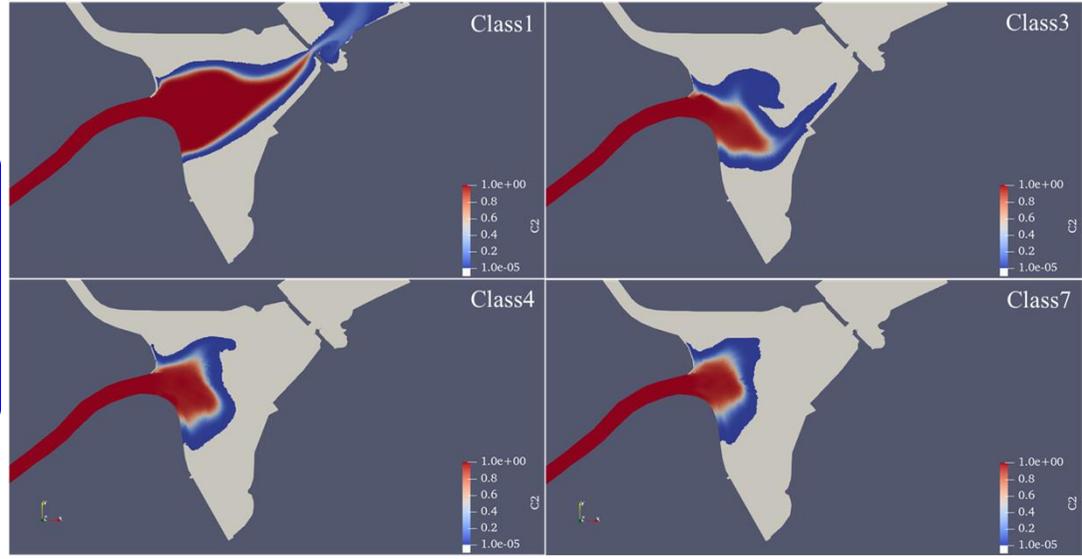
笹が瀬川



➡ 無次元濃度による移流拡散解析で  
流速・拡散範囲を把握



倉敷川

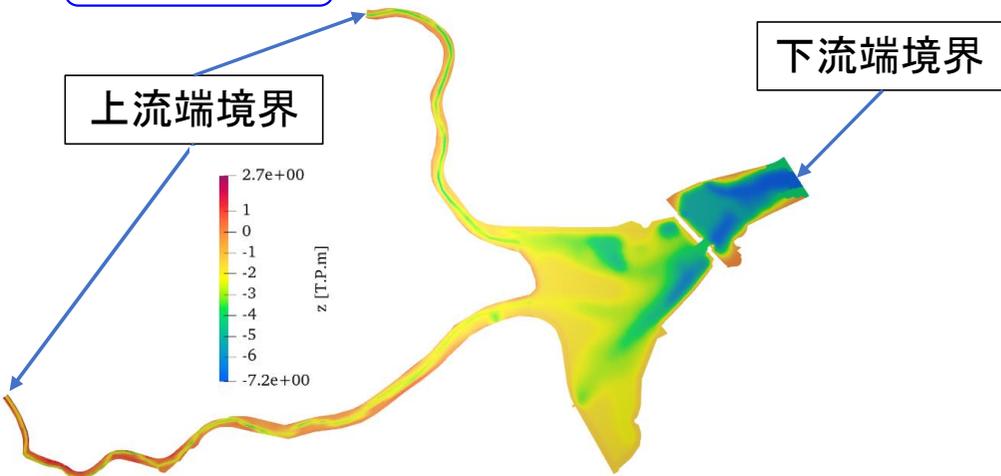


### ③ウォッシュロード堆積分布の予測

計算領域

上流端境界

下流端境界



クラス	ゲート閉鎖区分	ゲート操作回数(回)	ゲート平均閉鎖時間(hour)	平均流量(m <sup>3</sup> /s)
1	0-6時間	66	3.3	64.1
2	6-12時間	18	10.6	22.1
3	12-24時間	106	20.3	20.2
4	24-36時間	206	24.9	15.9
5	36-48時間	4	40.3	20.0
6	48-72時間	9	58.4	12.1
7	72-96時間	4	82.6	10.2

➡ 各クラスの流入水塊に対し  
ウォッシュロード堆積厚を予測

堆積ポテンシャル

沈降必要時間： $t_{adv} = \frac{h}{w_s}$

$$\alpha = \min\left(1, \frac{t_{adv}}{t_{sed}}\right)$$

格子内滞在時間： $t_{sed} = \frac{l_c}{|u|}$

流入河川からのSS濃度

$$C_{river} = aQ^b \times 10^{-3}$$

単位時間あたりの堆積厚変化量

$$\Delta z = \frac{C_{river} C_0}{\rho_s} \cdot \alpha \cdot w_s \cdot \Delta t \cdot \frac{1}{1 - \lambda}$$

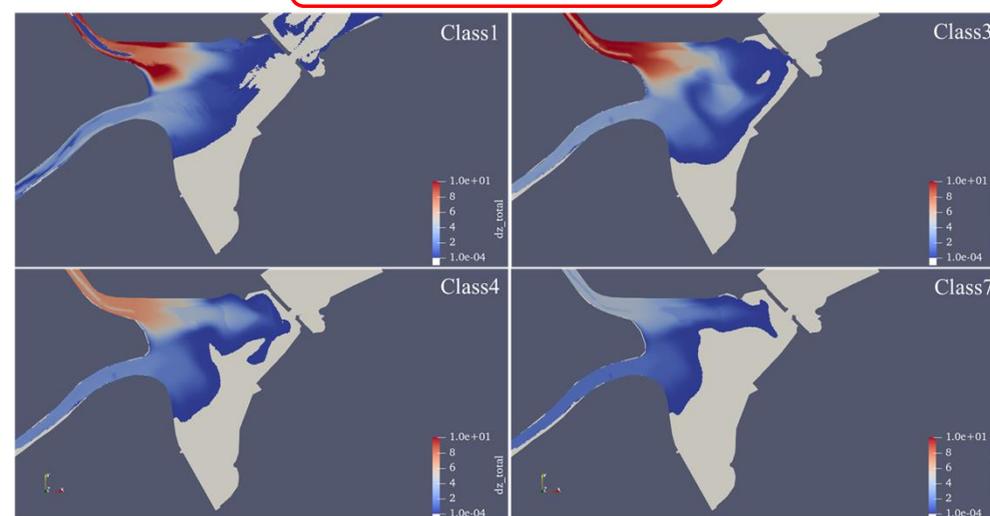
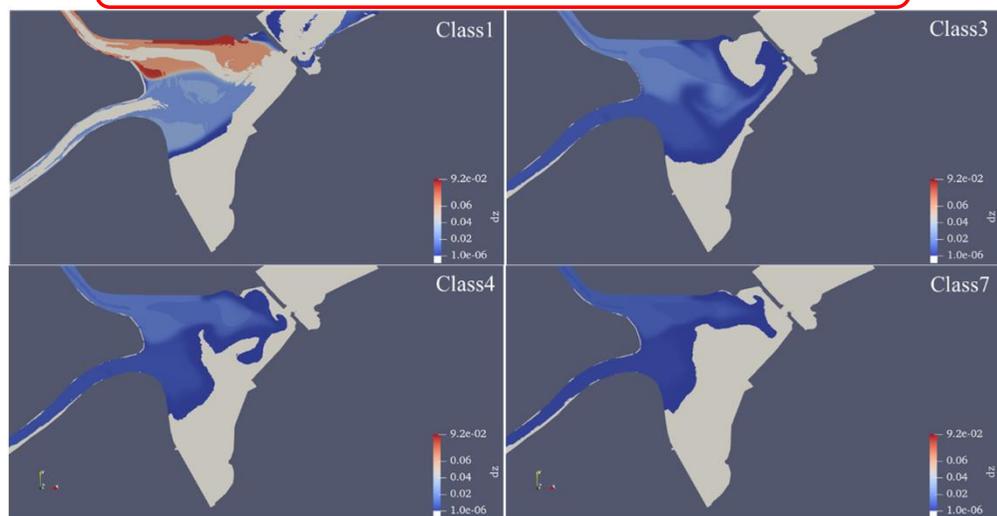
➡ クラス別の堆積厚分布に対し、  
ゲート操作回数で加重平均

➡ 年間地形変化の簡便な推定

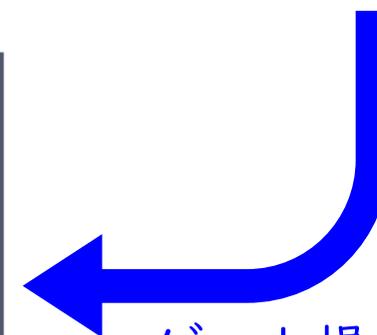
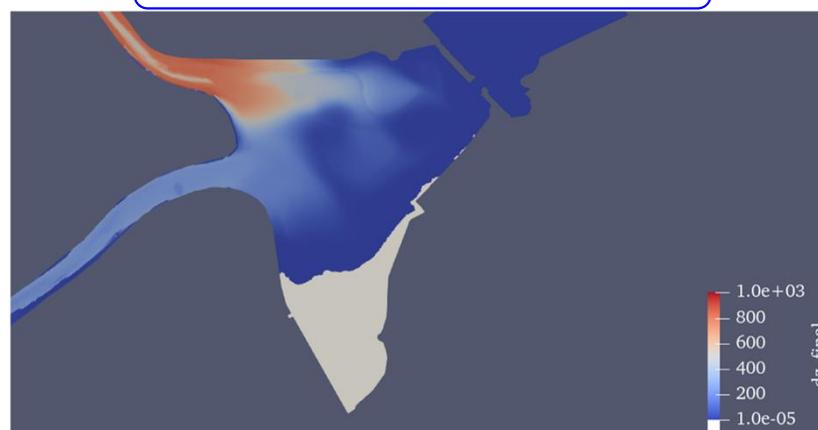
# 解析結果：ウォッシュロード堆積分布の予測

単位時間当たりの堆積厚変化量

総堆積厚変化量



年間堆積厚変化量



ゲート操作回数による  
加重平均

# まとめ：研究成果から今後に向けて

## 評価方法の提案

- 流況クラス別の堆積厚分布に対し、ゲート操作回数で加重平均  
→ 年間堆積厚分布を推定

## 計算結果より得られた知見

- 湖内には空間的な堆積の偏りがあり、特定区域で顕著な堆積が確認された
- 本手法は簡易ながら、年間を通じた堆積傾向の把握に有効

## 今後の展開

- 今後は、現地観測データとの比較やパラメータ調整により、中長期的な地形変化予測への活用が期待される

ありがとうございました