

定期的な水底地形実測を導入した 陸水域の流れと水底地形変動の 予測手法の開発と実用化

岡山大学 赤穂 良輔・渡辺雅二

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

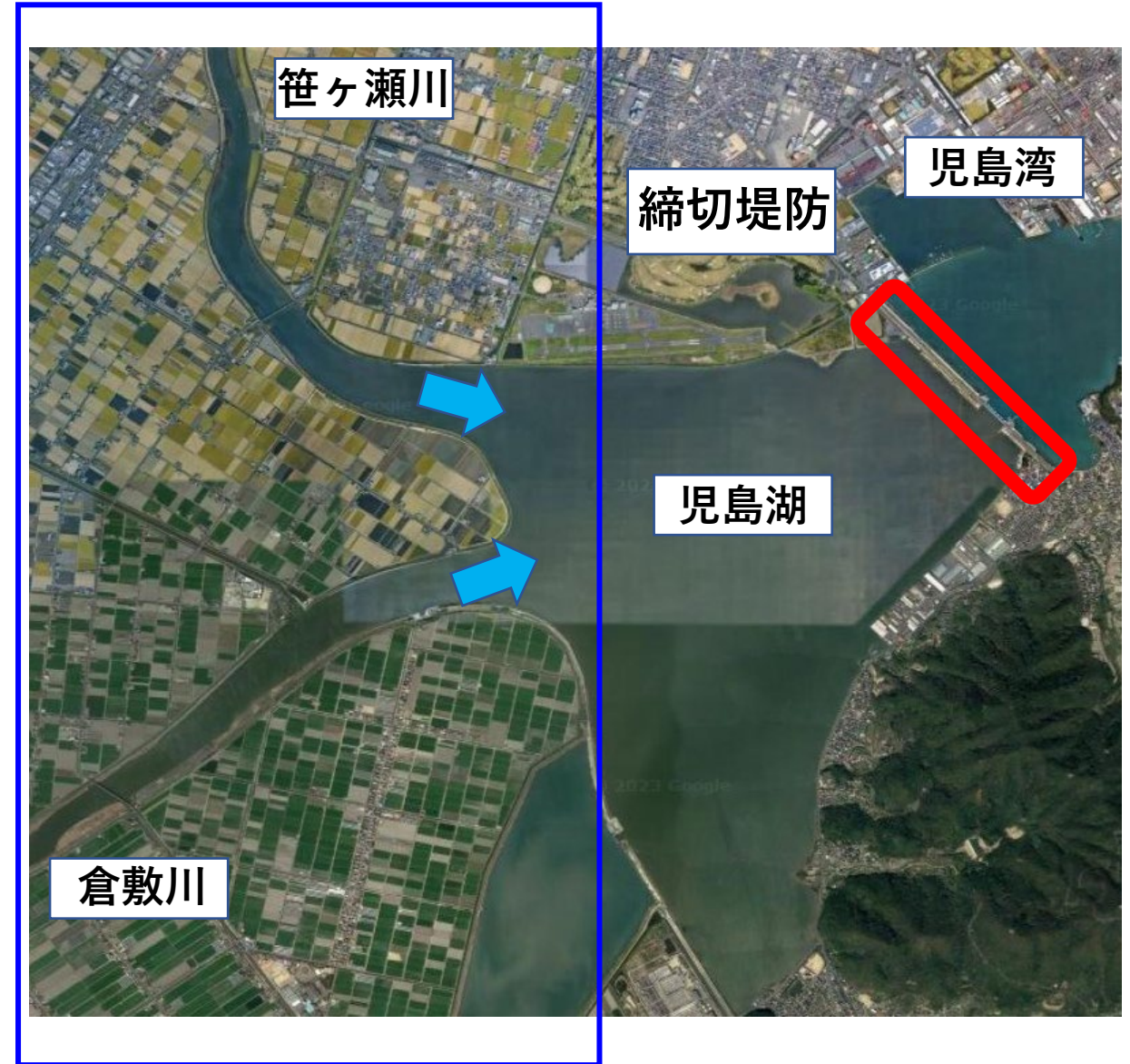
岡山県児島湖

- ・ 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



見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



見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

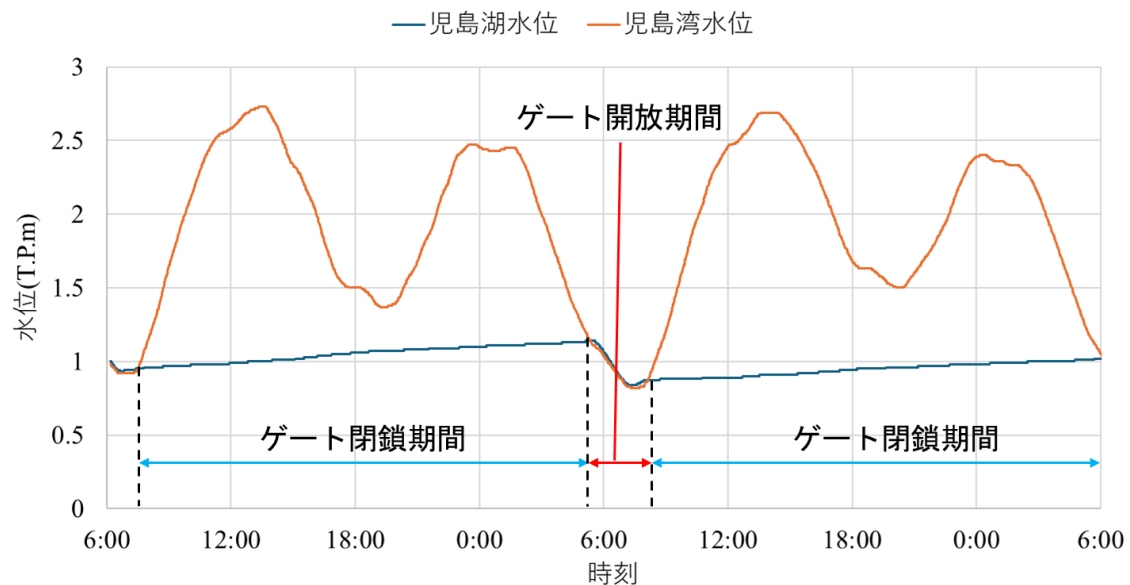
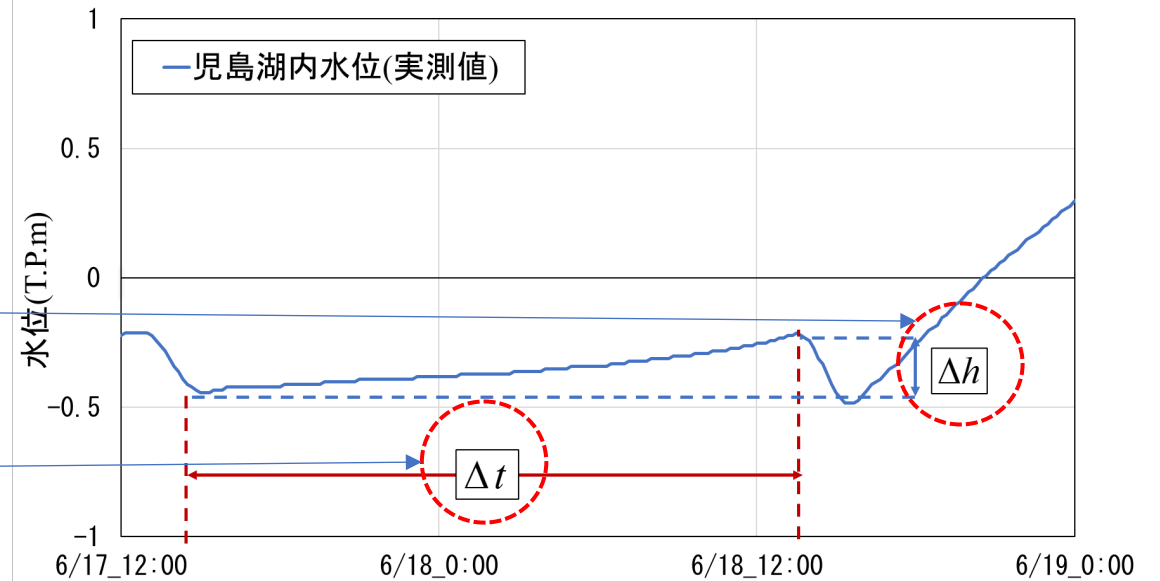
年間堆積厚分布をゲート操作頻度で重み付け評価する方法を検討

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,

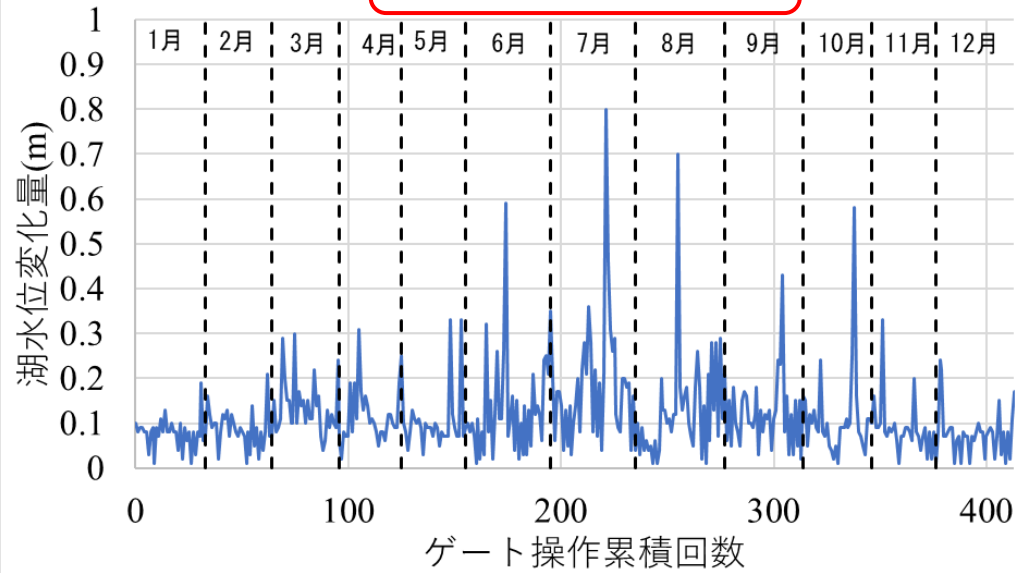
$$Q = \frac{\Delta h \times A \times 10^6}{\Delta t}$$



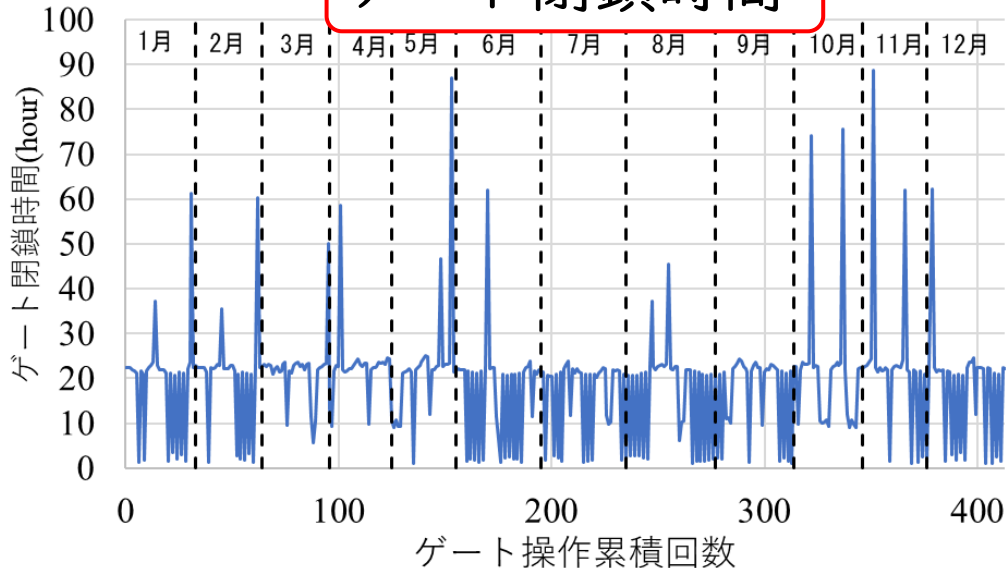
➡ 2019年の1年分の内外水位データより
年間流量の推定

流入流量に関する検討

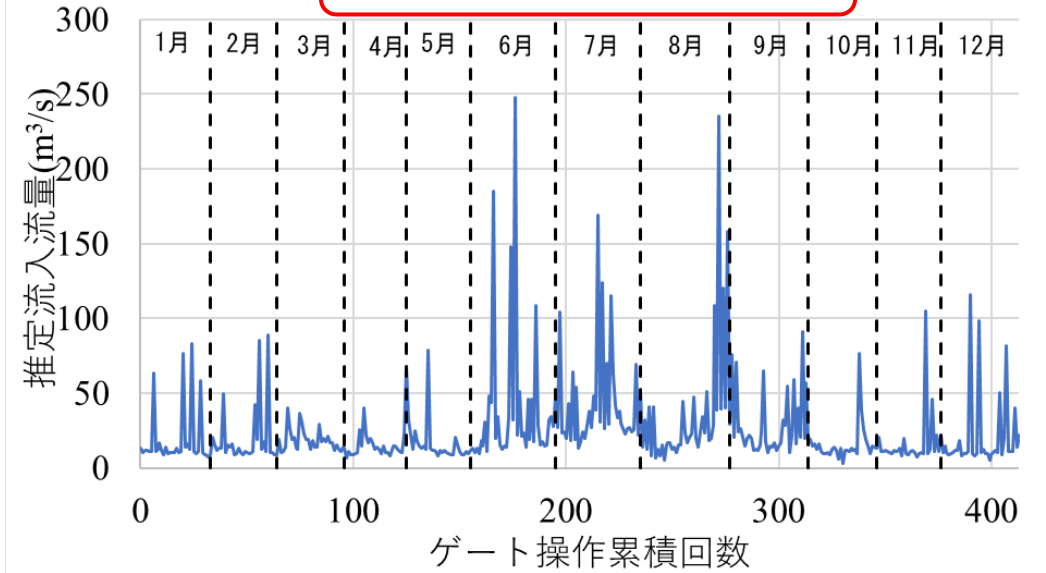
湖水位変化量



ゲート閉鎖時間



流入流量の推定

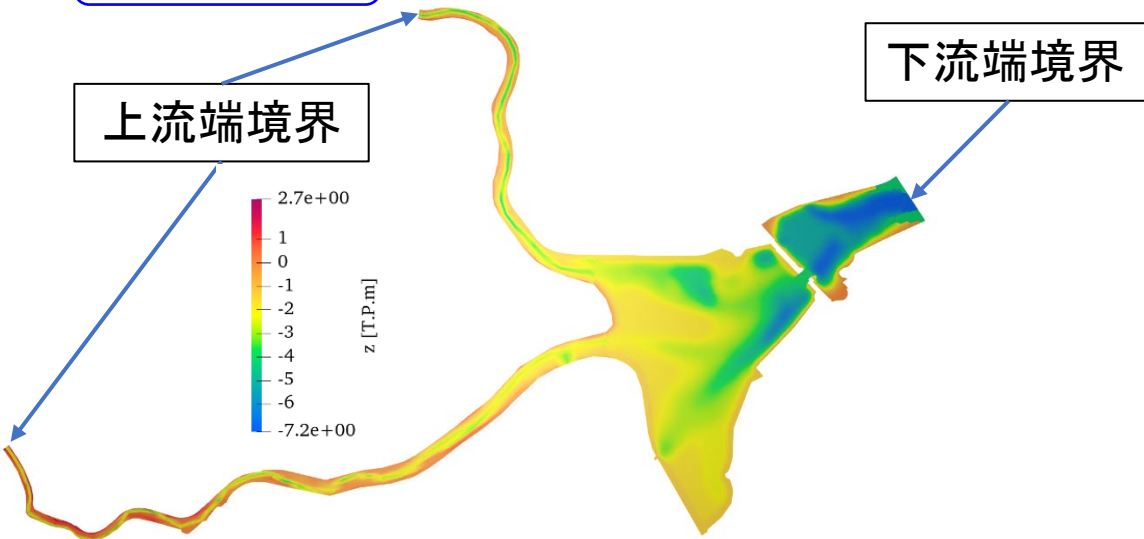


クラス	ゲート閉鎖区分	ゲート操作回数(回)	ゲート平均閉鎖時間(hour)	平均流量(m³/s)
1	0-6時間	66	3.3	64.1
2	6-12時間	18	10.6	22.1
3	12-24時間	106	20.3	20.2
4	24-36時間	206	24.9	15.9
5	36-48時間	4	40.3	20.0
6	48-72時間	9	58.4	12.1
7	72-96時間	4	82.6	10.2

➡ クラスごとの流況解析を実施

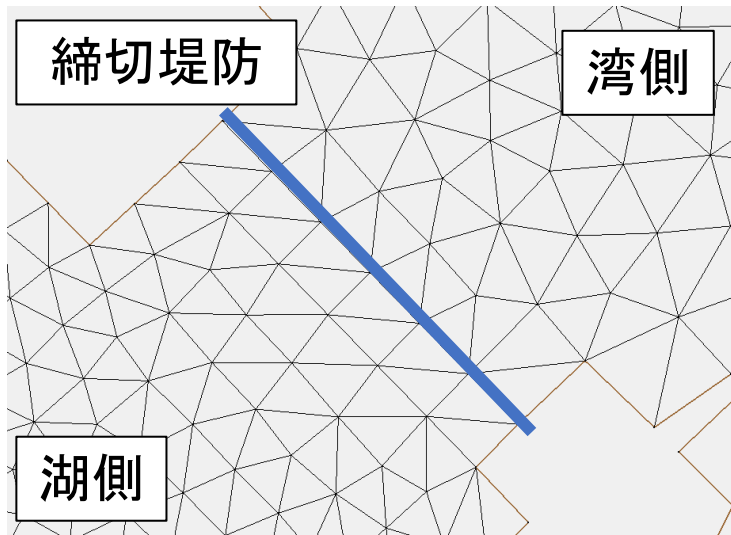
②平面二次元モデルによる流況解析条件

計算領域

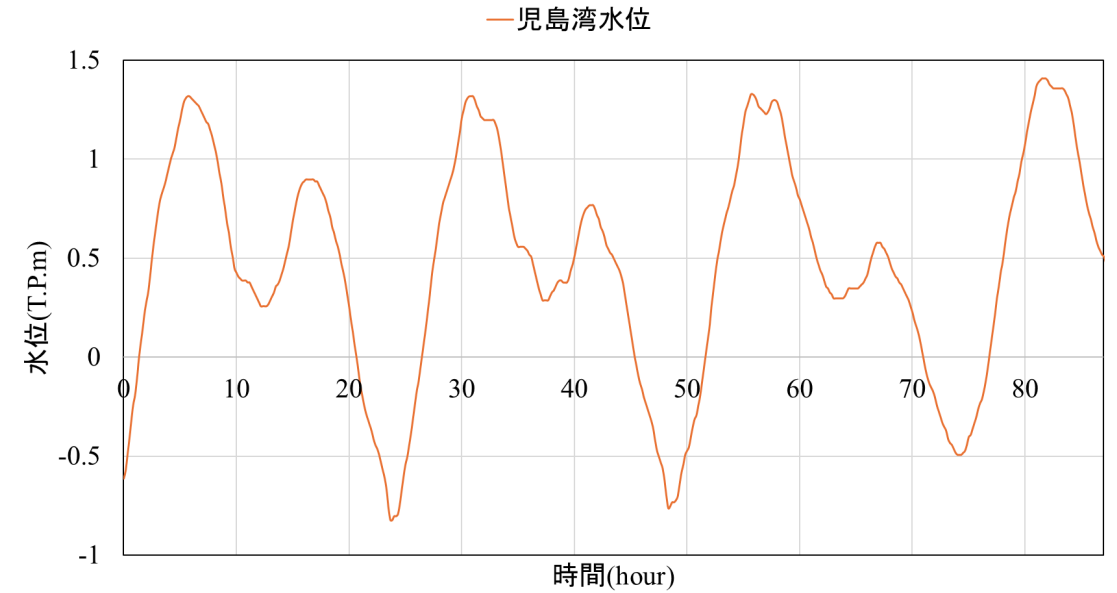


計算格子

- 格子サイズ
児島湾:30m
締切堤防
防:24m
児島湖:20m

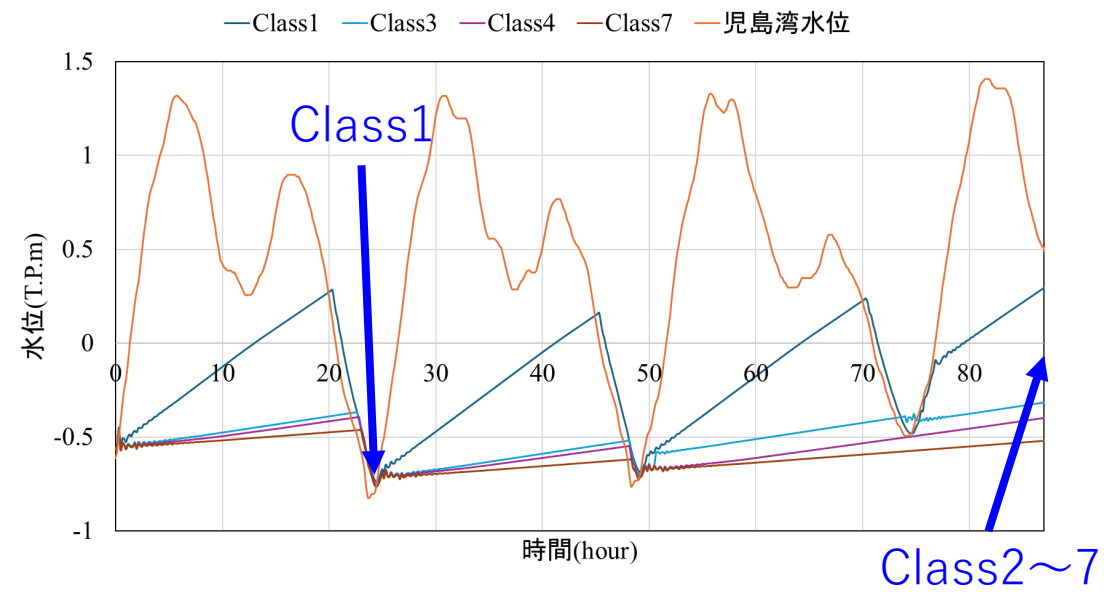


境界条件

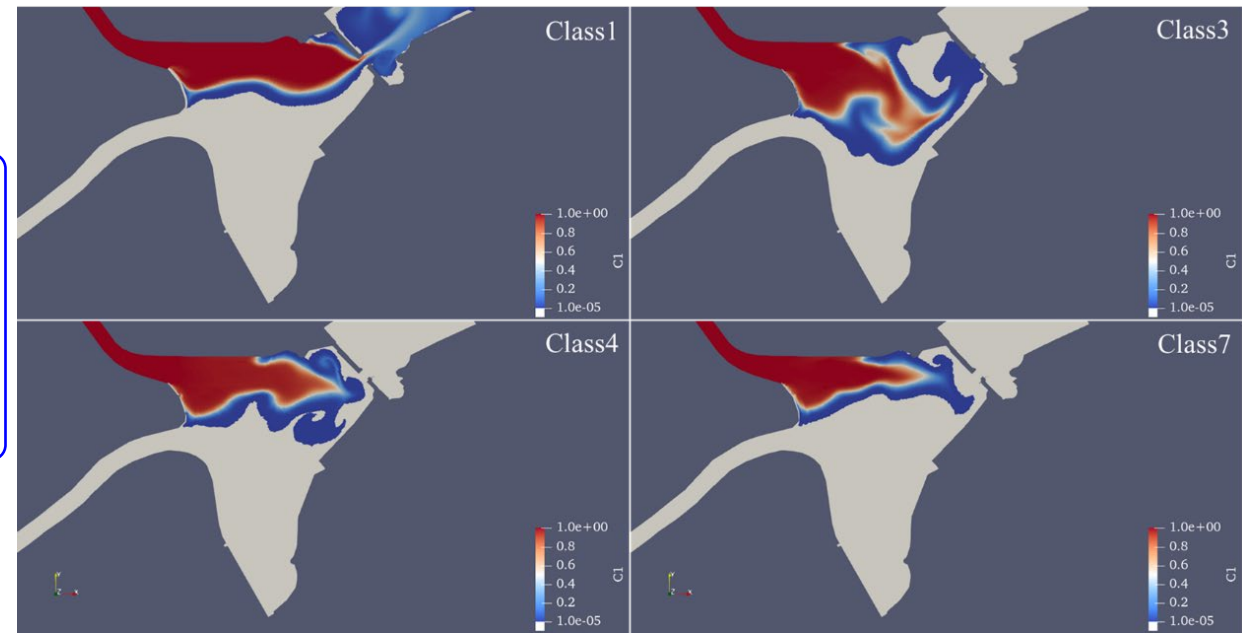


- 上流端流量
算出したクラスごとの流入流量 (定常)
- 下流端水位
児島湾潮位 (1月大潮期を想定)
- ゲート開放操作
児島湖と児島湾水位一致時刻

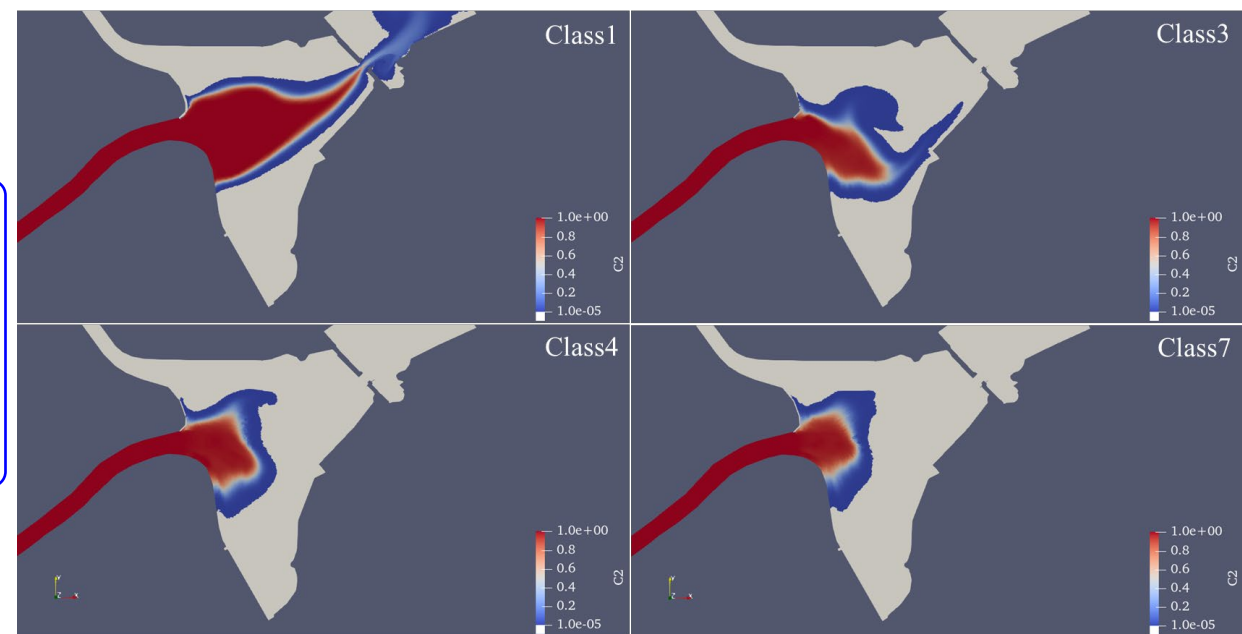
解析結果：流入水塊の動態特性



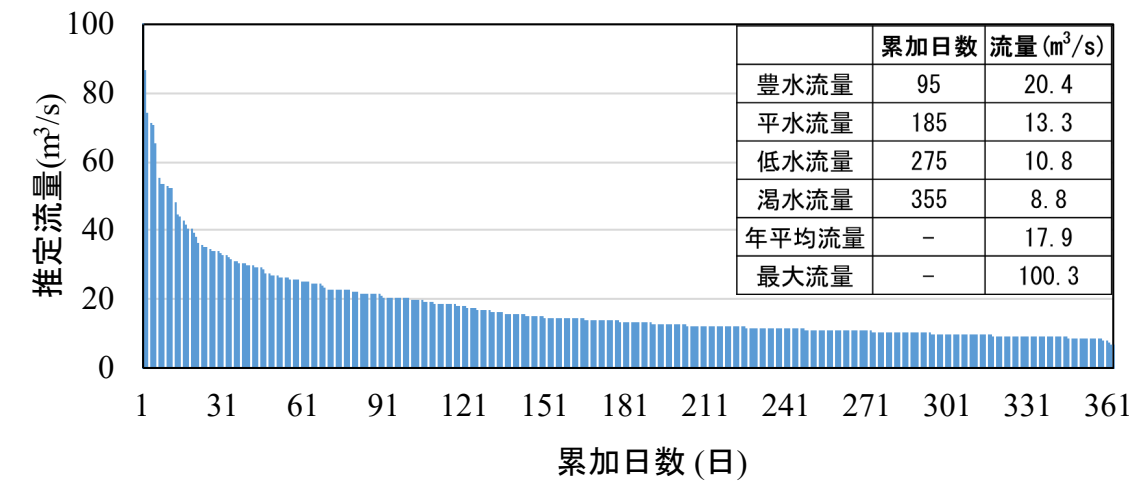
笹が瀬川



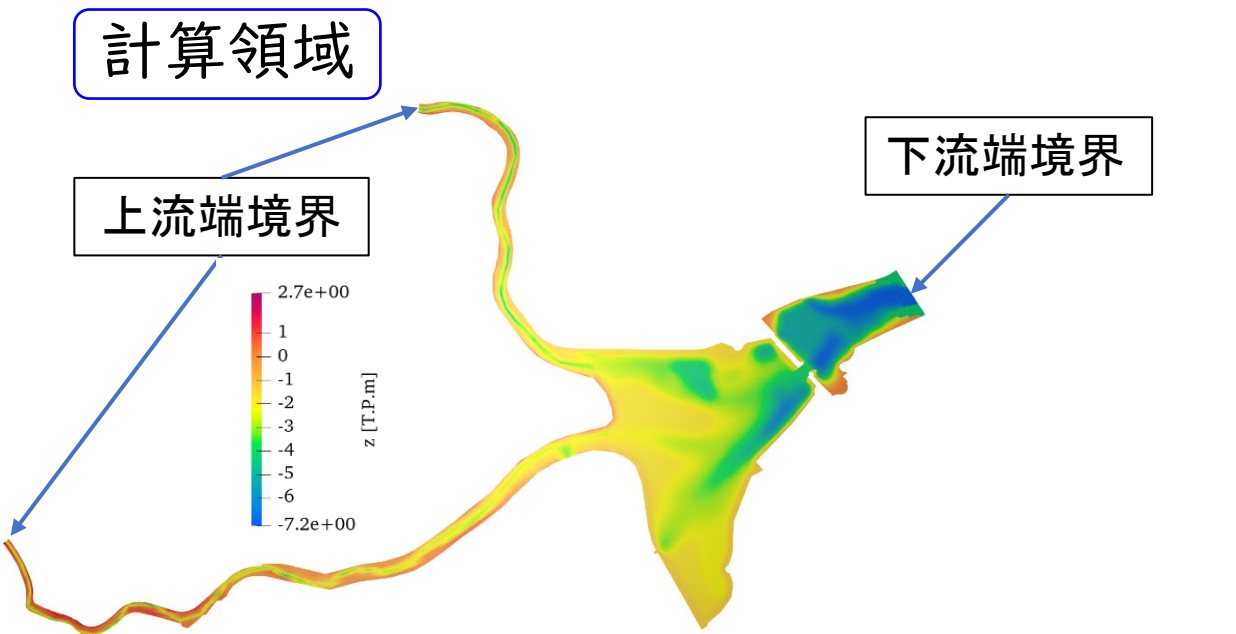
倉敷川



無次元濃度による移流拡散解析で
流速・拡散範囲を把握



③ ウォッシュロード堆積分布の予測



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

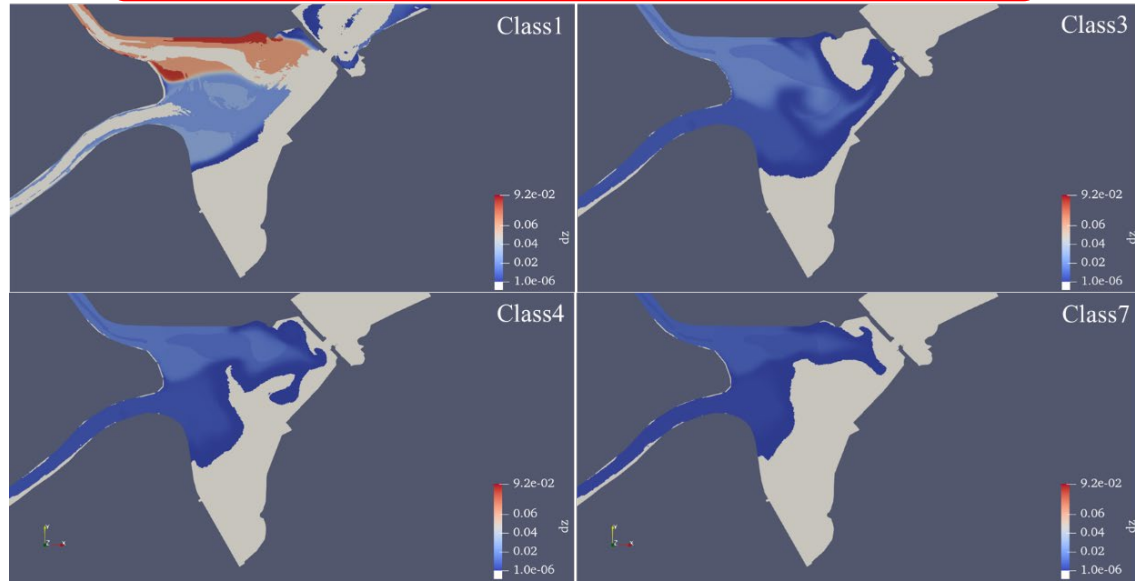
➡ 年間地形変化の簡便な推定

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 ³ /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

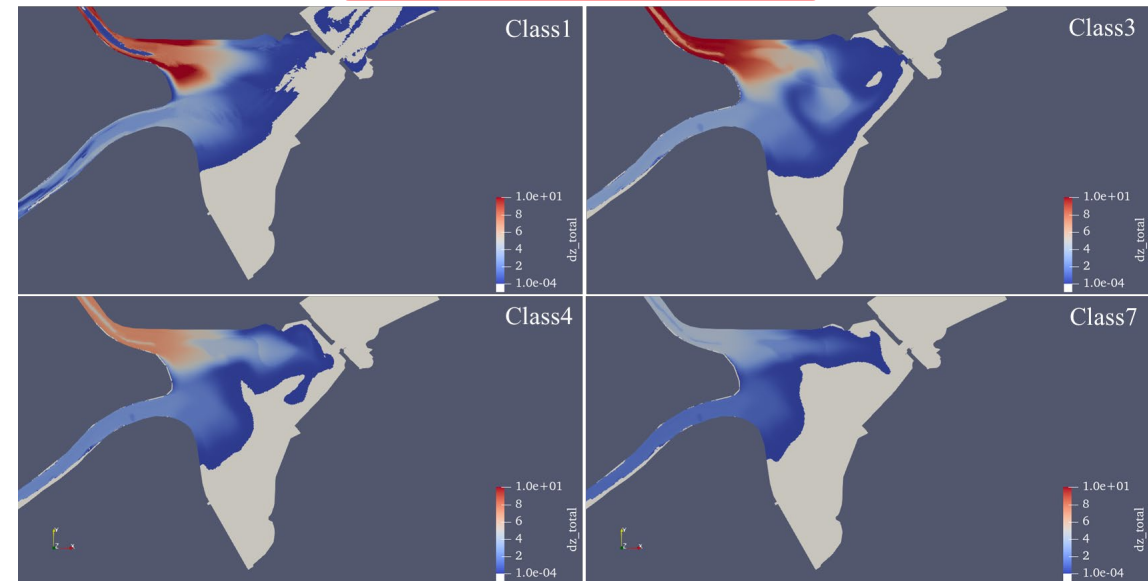
➡ 各クラスの流入水塊に対し
ウォッシュロード堆積厚を予測

解析結果：ウォッシュロード堆積分布の予測

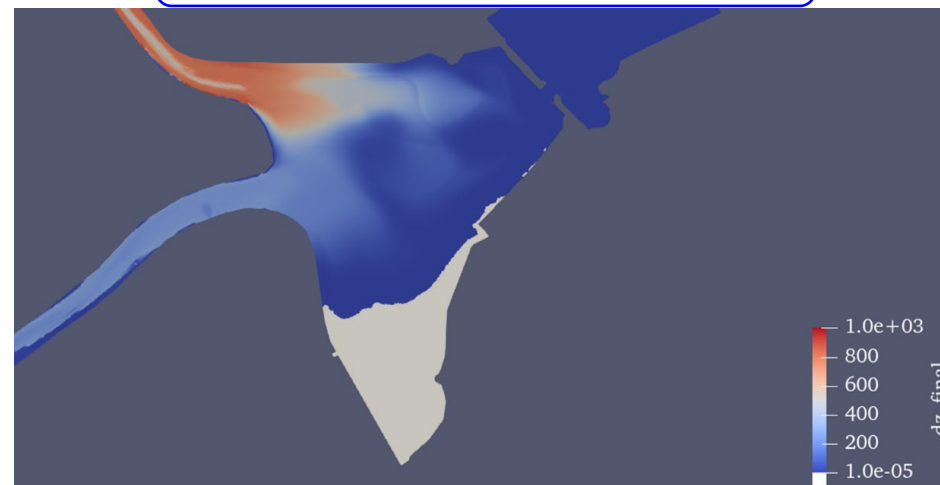
単位時間当たりの堆積厚変化量



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

計測方法とデータ処理

計測機器

- 仮想基準点方式 (VRS, Virtual Reference Station) の衛星測位システム受信機 (RTK-GNSS, Real Time Kinematic) 三台 (GNSS0, GNSS1, GNSS2)
衛星測位システム : GPS, QZSS (みちびき), GLONASS, Galileo
- 音響測深機 (シングルビーム, 200 kHz)
- OKAYAMA 1 (写真1)



写真1 : 小型船舶 OKAYAMA 1
令和7年6月12日, ラ・コスタマリーナ

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た。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2，写真3）。

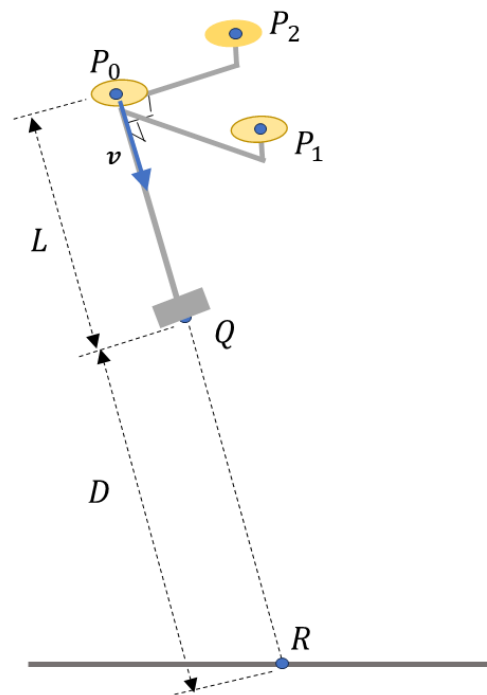


写真2：ウインチによる巻き取り解放時の支柱とGNSSアンテナ，令和7年6月12日，児島湖



写真3：ウインチ巻き取り時の支柱とGNSSアンテナ，令和7年6月12日，児島湖

三つのGNSS受信機 (GNSS0, GNSS1, GNSS2) からの出力結果から, GNSS0アンテナの中心を始点とし音響測深機送受波器の先端を指す単位ベクトルが得られる。この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と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 (図1)。



- P_0 : GNSS0アンテナの中心
- P_1 : GNSS1アンテナの中心
- P_2 : GNSS2アンテナの中心
- Q : 音響測深機送受波器の先端
- L : P_0 から Q までの距離 (2.834m)
- D : 音響測深機アウトプット(m)
- R : 水底地形上の点
- v : 点 P_0 を始点とし、の点 R 方向を指す単位ベクトル
- $v_1 = \overrightarrow{P_0P_1}$, $v_2 = \overrightarrow{P_0P_2}$,
- $$v = -\frac{1}{\|\overrightarrow{P_0P_1} \times \overrightarrow{P_0P_2}\|} \overrightarrow{P_0P_1} \times \overrightarrow{P_0P_2}$$
- $$R = P_0 + (L + D) v$$

図1 : GNSS受信機アンテナ、音響測深機送受波器、水底地形データ点 [1, 2]

令和7年7月24日、7月30日、8月12日、8月28日、
9月3日、9月18日、9月25日に実施した計測結果

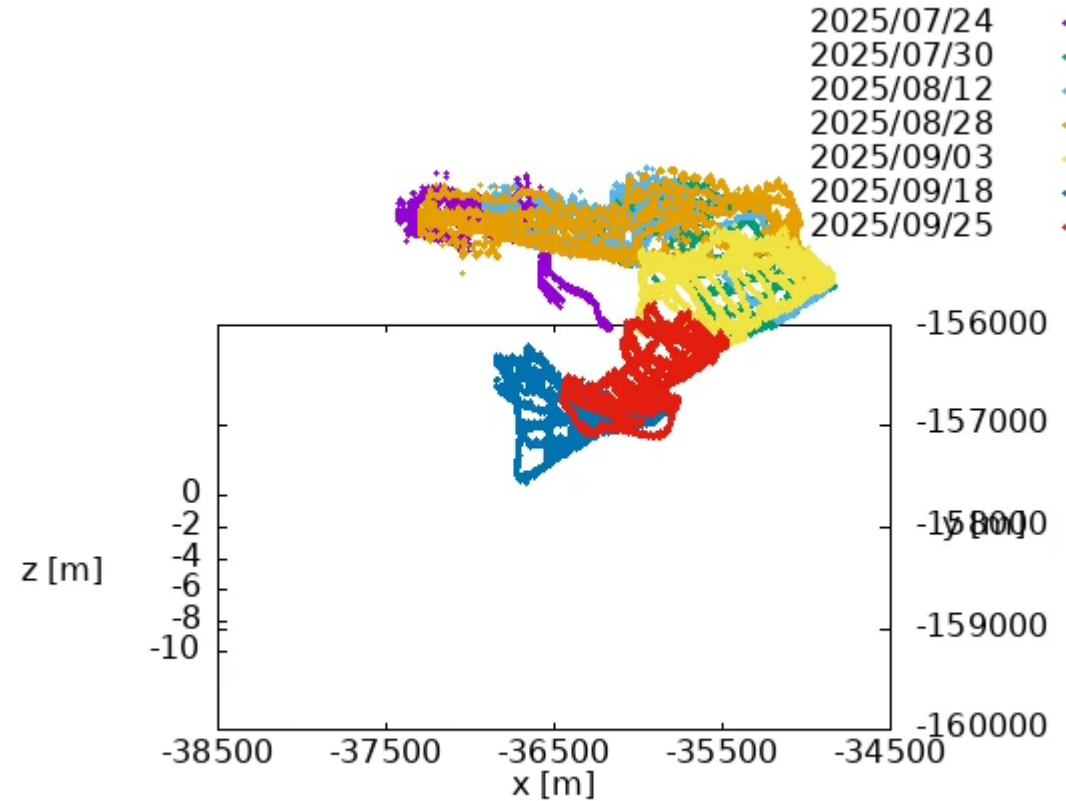
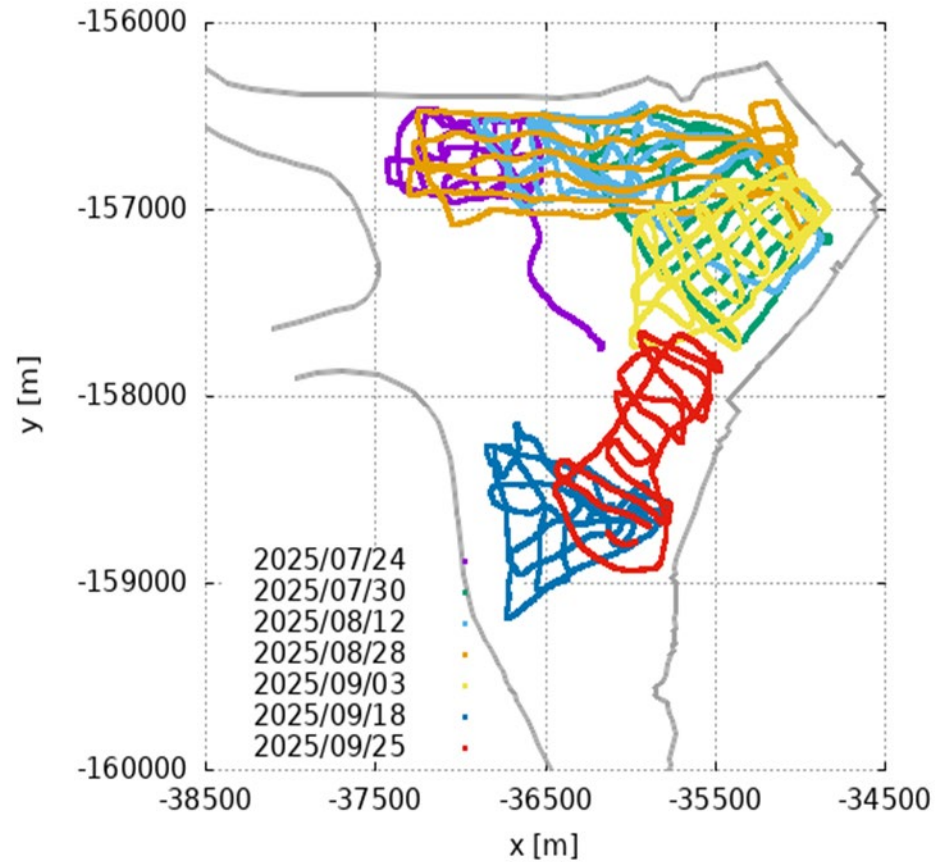


図2：水底地形データの xy 成分、児島湖の外周データと平面直角座標への変換にはオンラインアプリケーション[3, 4] を利用した。

動画1：三次元水底地形データ

水域の地形は三角形メッシュ上の区分線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)。

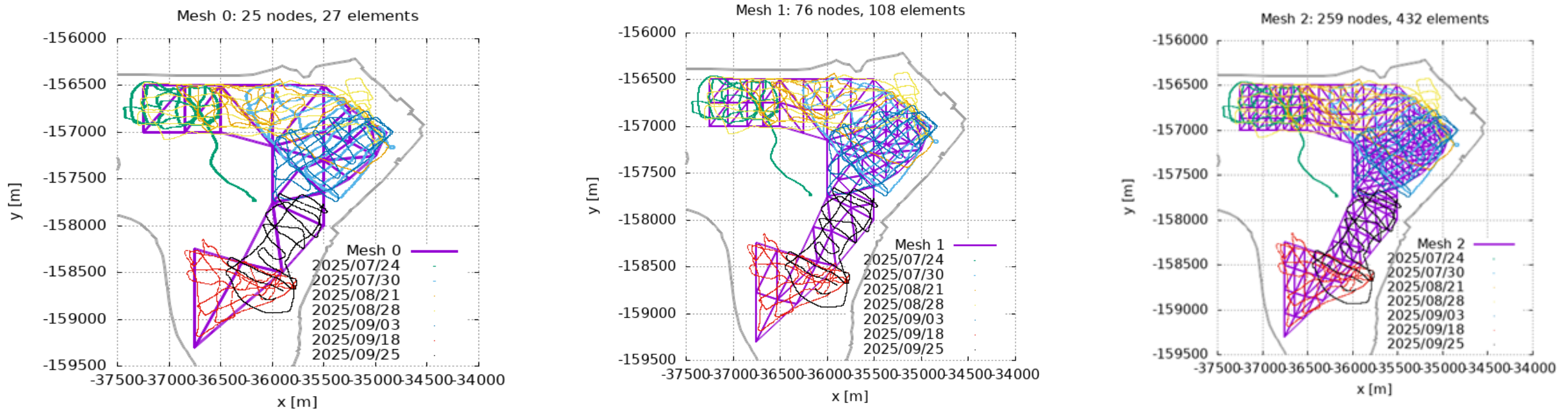


図3: メッシュ列の一部 (M_0, M_1, M_2)

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，その 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 M_2 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）。

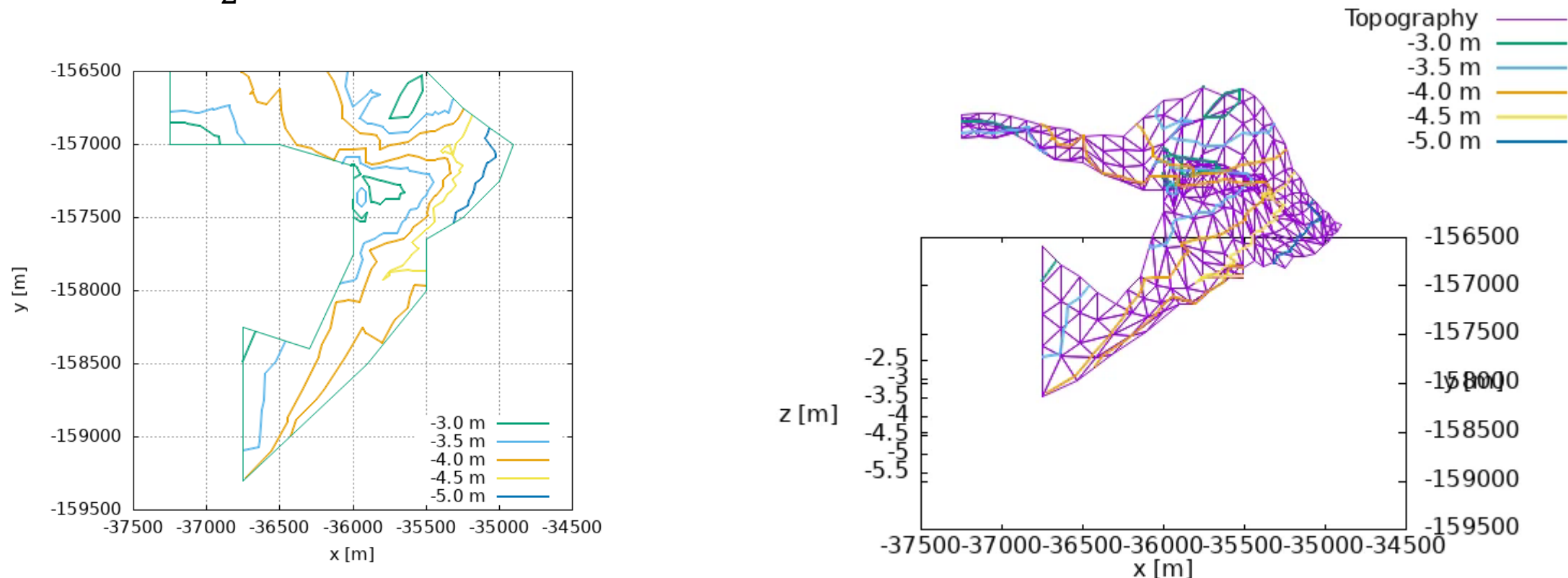


図4: xy 平面上の等高線

動画2: 水底地形を表す区分線形関数

地形変化に関する考察

2025年5月29日、6月26日、7月30日に実施された計測結果が解析された[2]。2025年3月13日に実施された計測の結果も示された[1]。2025年3月11日、3月13日、5月19日、5月29日、6月17日、6月26日の計測によって収録されたデータに基づく解析が行われた。三角形メッシュ M_2 の一部に対して行われた解析結果を図5と動画3に示す。

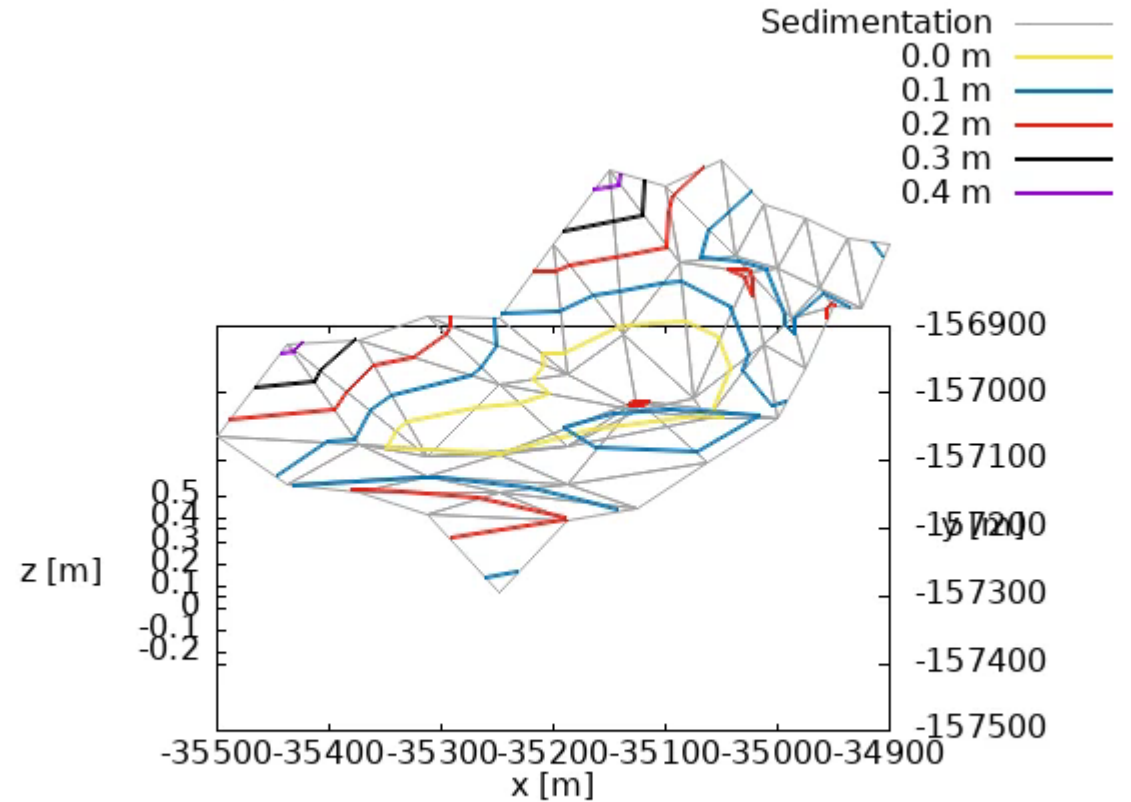
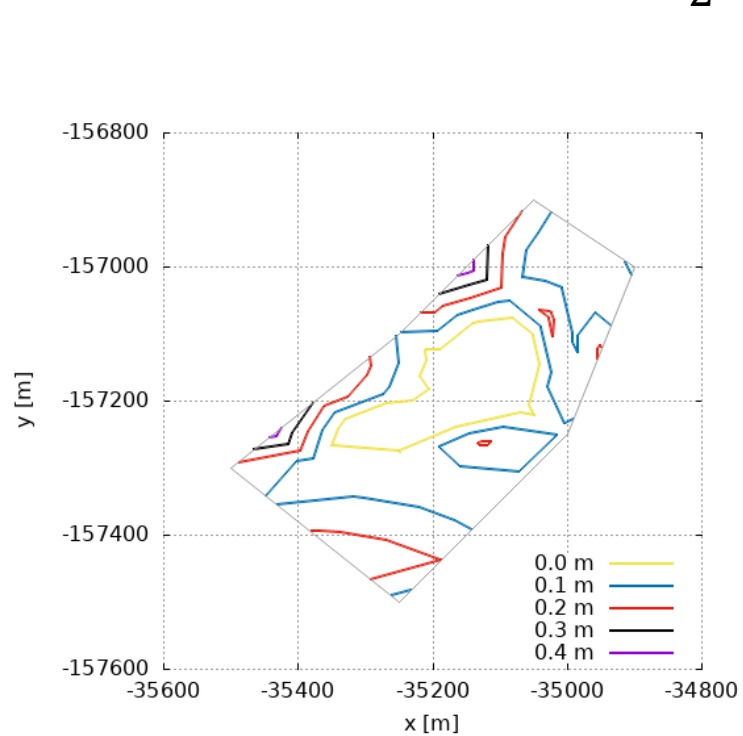


図5: xy 平面上の等高線

動画3: 堆積量を表す区分線形関数

5. まとめ

図1は、2025年7月から2025年9月の期間に実施された計測によって得られた水底地形データに対する水底地形として、三角形メッシュに定義された区分一次関数のグラフとして示す。また図5と図6は、2025年3月から2029年6月の期間に実施された計測によって得られた水底地形データに基づく区分一次関数からの変化量，あるいは増加量をし、定期的な計測により水底地形データの変化をデータとして把握することが可能であることを示す試行結果である。解析結果からは、より正確な変化を把握するには、精度に応じた対象領域における xy 成分の密度が必要となることが示唆される。

参考文献等

- [1] 赤穂良輔、渡辺雅二、第25回JICE研究開発助成成果報告会、2025年6月6日
- [2] Satoshi Iwakami, Masahiko Tamega, Masahide Sanada, Michiaki Mohri, Yoshitaka Iwakami^{1/}, Naoki Okamoto, Eishi Mitsui, Ryosuke Akoh, Shuji Jimbo, Masaji Watanabe, Field measurement and data processing for topography in water area, Submitted to International Conference on Industrial Engineering and Innovation (ICIEI 2025).
- [3] 岩上 聡, 爲賀 雅彦, 真田 将英, 毛利 道明, 岩上 義隆, 岡本 尚己, 光井 英視, 神保 秀司, 渡辺 雅二, 水面下の地形の形状推定に伴う問題点と計測結果の解析手法の提案, インダストリアルマテリアルズ, 応用数理, 第33巻・第1号, 32 - 39, 2023年3月 (依頼執筆)

謝辞

本研究は、令和2年度、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、（公財）八雲環境科学振興財団令和4年度環境研究助成、（一財）日本国土開発未来研究財団2022年度、2023年度、2024年度学術研究助成、（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。