

2次元計算と 3次元計算の違い

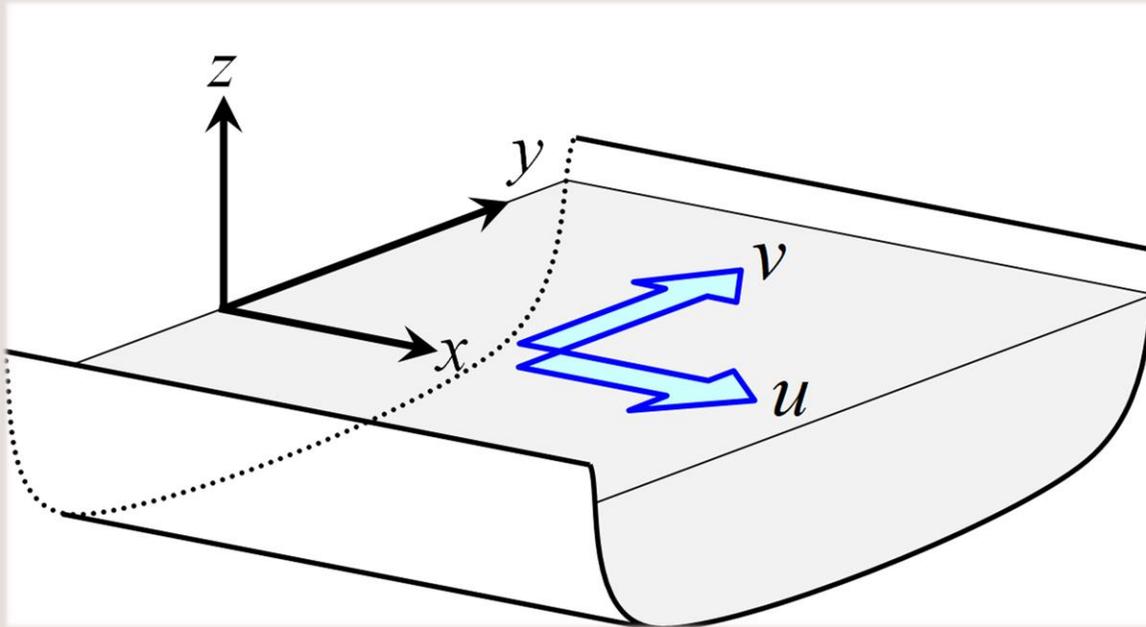
地形解像度と流況モデルの違いが解析結果に及ぼす影響

1. はじめに
2. 対象河川の概要と河床材料粒度分布
3. 数値解析モデルの概要と解析条件
4. 解析結果と考察
5. おわりに

鳥取大学学術研究院工学系部門
梶川 勇樹

はじめに (1)

2次元モデル+河床変動



河川縦断・横断方向にメッシュを切る

計算で求まる諸量

- ◎ 水深平均流速 u, v
- ◎ 各地点の水深 h
- ◎ 各地点の河床高 z_b

長所

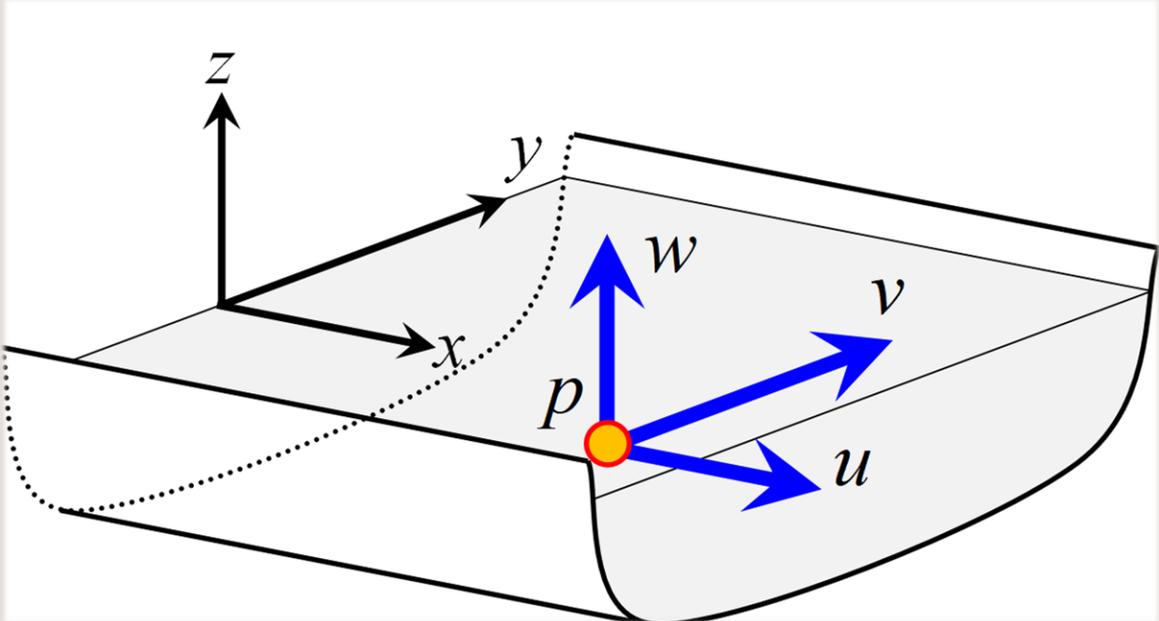
比較的長距離・長期間の計算が可能 (十数km)
 平面的な流況・河床変動が計算可能
 河川弯曲部の河床変動はある程度再現可能

短所

構造物周辺の局所洗掘現象は再現が困難

はじめに (2)

3次元モデル+河床変動



縦断・横断・鉛直方向にメッシュを切る

計算で求まる諸量

- ◎ ある点の流速 u, v, w
- ◎ ある点の圧力 p
- ◎ 各地点の水深 h
- ◎ 各地点の河床高 z_b

長所

構造物周辺の詳細な流れまで再現可能
 平面的な河床変動計算が可能
 局所的な河床変動（局所洗掘現象）が再現可能

短所

計算時間・計算容量が膨大になる **従来は...**
 長距離・長期間の計算は困難（数百m程度まで）

はじめに (3)

流れや河床変動に関する研究

近年 計算機性能の向上に伴い、比較的**大領域を対象とした3次元解析**も**可能**



合流部のような**3次元的な流況**が発達する**実河川**を対象とした**3次元数値解析**も進む

● 近年の河川測量

緑レーザーを用いた**航空レーザー測深** (ALB: Airborne LiDAR Bathymetry)

➔ 従来の定期縦横断測量では取得が困難であった**合流部**や**構造物周辺**の**詳細な3次元点群データ**を得ることが可能

詳細な実地形に基づく3次元解析の益々の発展が期待

一方で...

実務 { 実用面からも**2次元解析が主流**
➔ **合流部等**であっても**3次元解析の適用は少ない**

はじめに (4)

しかしながら…

- 護岸等の河道制御施設の計画：**洪水流速や河床変動を考慮すること**が求められる
 - ➔ **2次元解析**ではそれらを**適切に評価できていない可能性**
- ALBデータ ➔ 解析メッシュが十分な解像度を有していない場合，**洪水流速等を適切に評価できていない可能性**

研究事例紹介

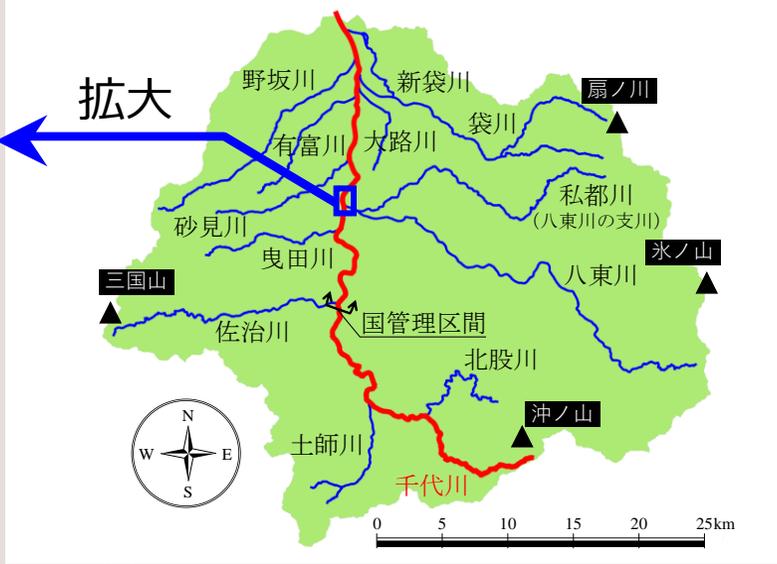
鳥取県東部を流れる千代川と八東川との合流部を対象に，解析メッシュにおける**地形解像度（メッシュ幅）**と**流況モデル（2次元解析，3次元解析）**の違いが**流れと河床変動解析に及ぼす影響**について紹介

2次元解析の限界，解析結果の河道制御施設計画への反映における留意点を把握する上で**有用**

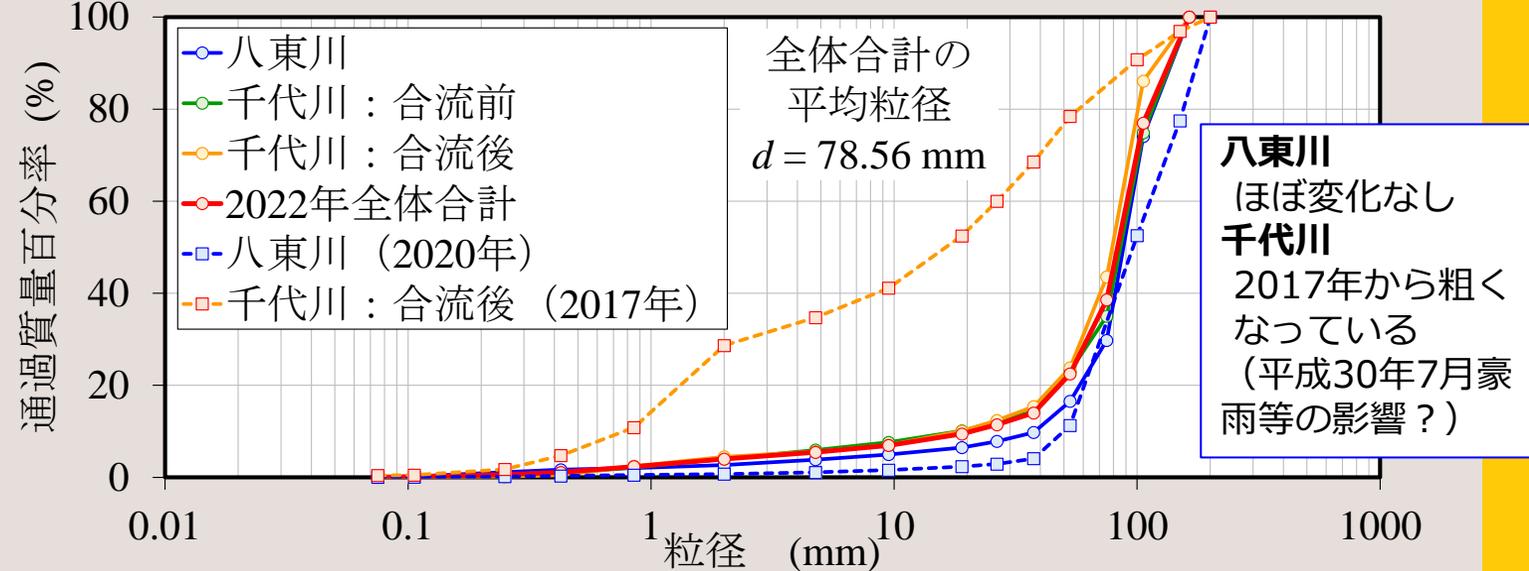
対象河川合流部の概要と河床材料



千代川と八東川との合流部



- 鳥取県東部を流れる一級河川
- 流域面積 (合流前)
千代川 : 584 km²
八東川 : 417 km²
- 河床勾配 : 約1/350
- 植生は草本類が主



数値解析モデルの概要と解析条件 (1)

数値解析モデル

		2次元モデル (2DH)	3次元モデル (3D)
基礎方程式		浅水流方程式	RANS方程式
渦動粘性係数		0-方程式モデル	標準型 $k-\varepsilon$ モデル
底面せん断力		マンシング式	対数則 (粗度高はマンシング-ストリクラー式より)
計算格子		レギュラー格子	コロケート格子
差分法	移流項	WENO (Weighted Essentially Non-Oscillatory) 法	
	圧力項	6次精度中央差分	
	粘性項	2次精度中央差分	
河床変動解析		竹林らによる掃流砂層モデル 一様粒径の掃流砂のみ考慮	

- ◎ 両モデルとも **デカルト座標系**を採用
- ◎ **差分法**も同一のもの
- ◎ **河床変動解析**：
堰、水制、高水敷は**固定床**
- ◎ **マンシング粗度 n** ：
Bray式

$$n = 0.104i^{0.177} \quad (i_b \text{は河床勾配})$$
より $n = 0.036$ を領域
一様に与えた

ただし

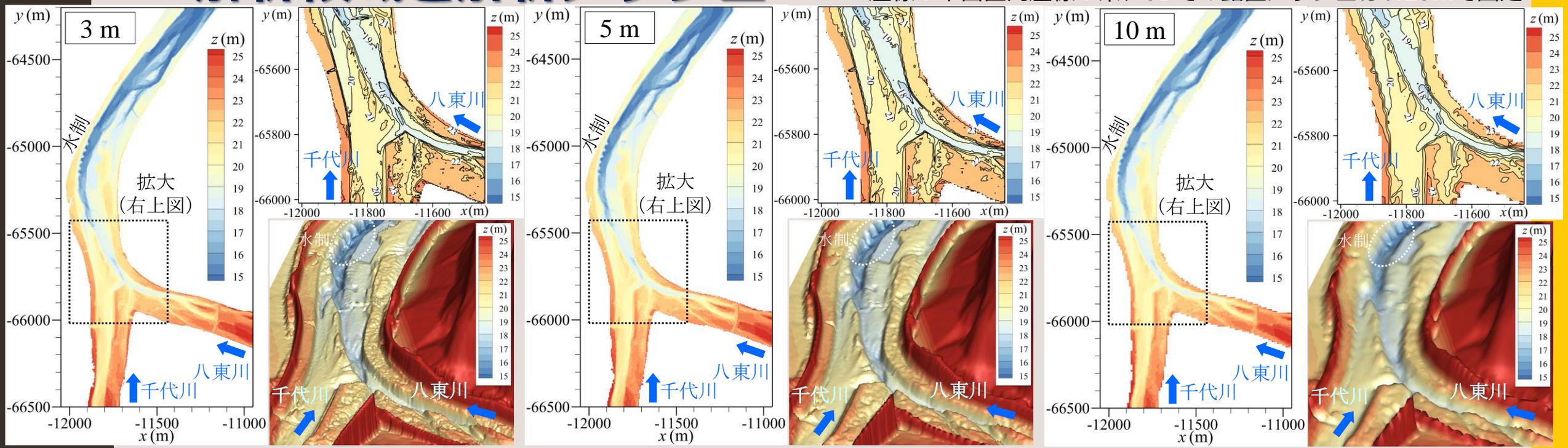
高解像度の解析では**粗度を過大評価している可能性**

➔ 観測データとの比較から**解像度と粗度との関係の検討が必要**

数値解析モデルの概要と解析条件 (2)

解析領域と解析メッシュ

座標：平面直角座標V系、3Dでの鉛直メッシュは0.25mで固定



流量比

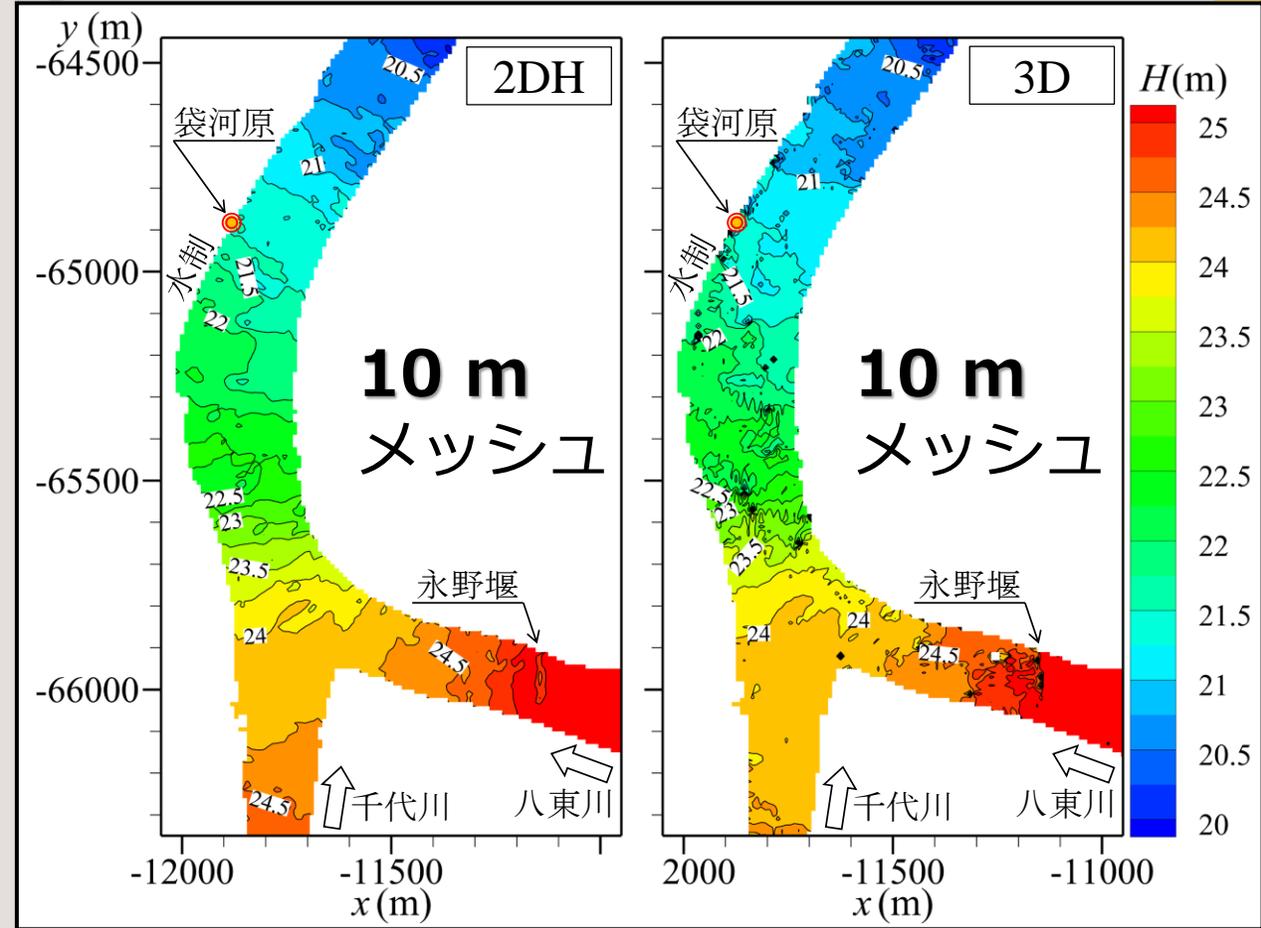
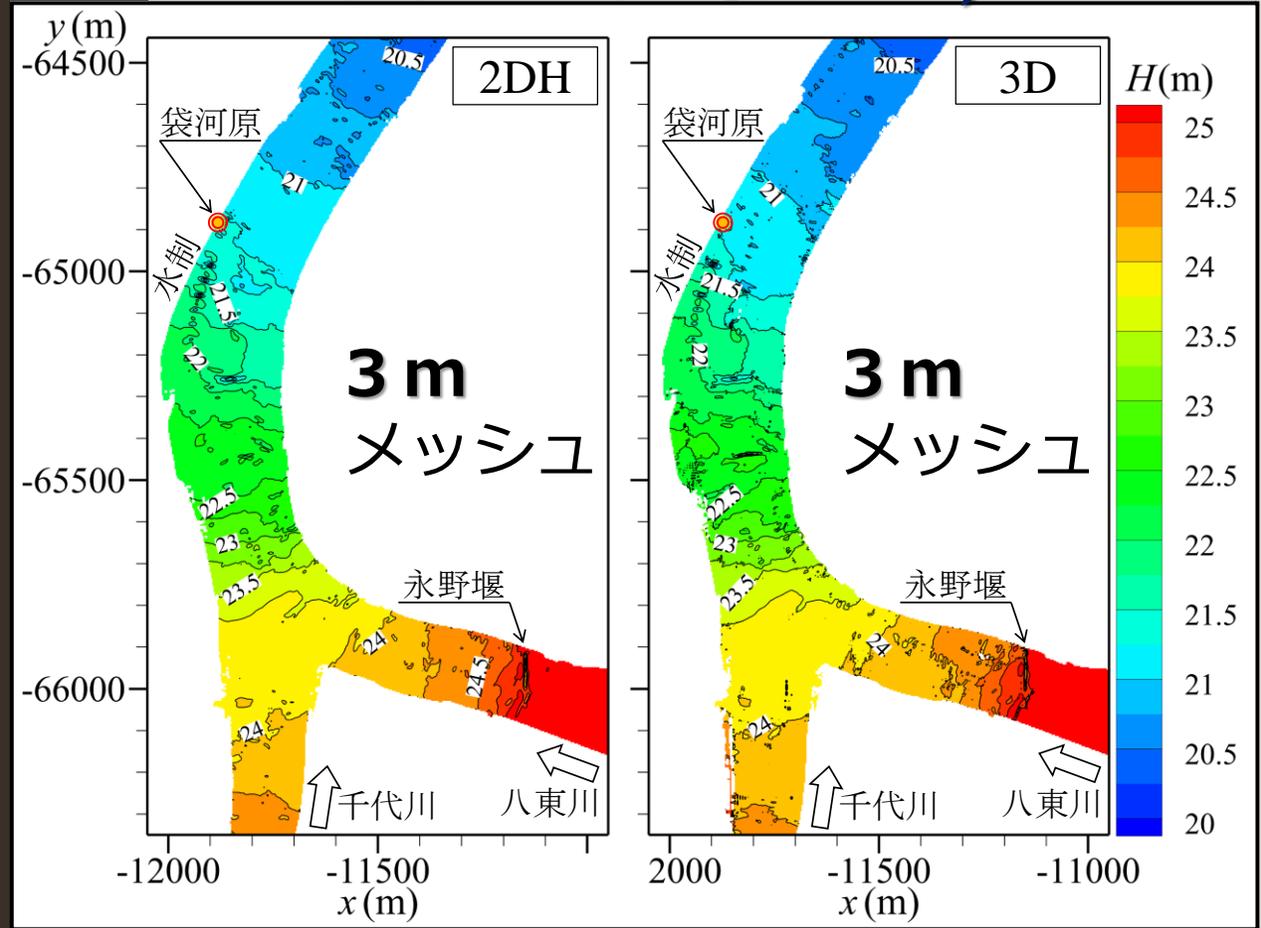
- 千代川：八東川 = 1：1 (計画高水流量配分)
- 合流後流量 → 2,000および3,000 m³/sの2ケース

河床変動解析

- 地形解像度5 m, 平均粒径 $d = 78.56 \text{ mm}$ (河床材料調査) を使用
- 流量2,000および3,000 m³/sを一定流量として4時間通水
- 2DHの河床変動解析において二次流の影響は考慮していない

解析結果と考察 (1)

水位分布 (流量2,000 m³/s)



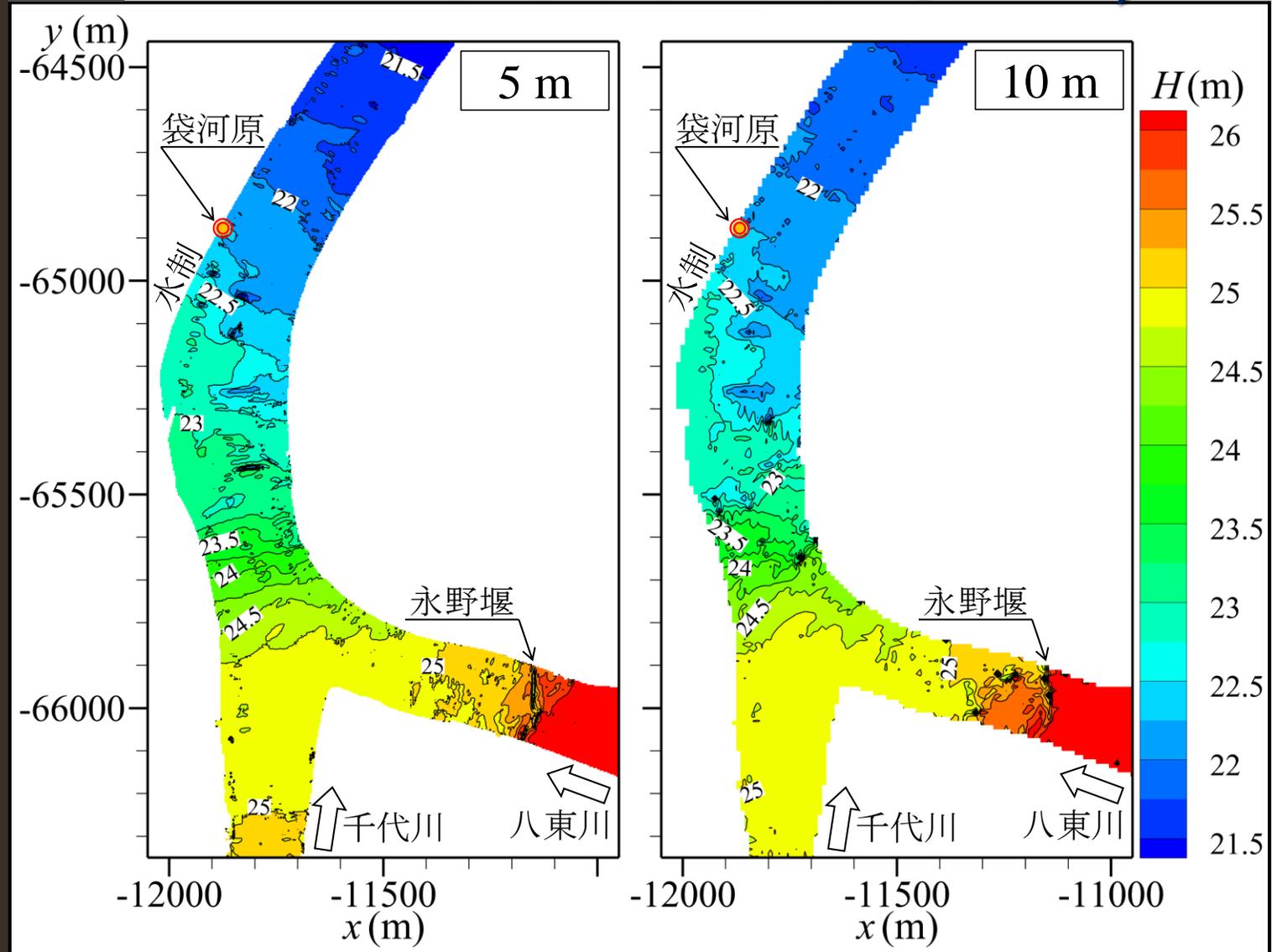
◎ 解像度 (メッシュ幅) が同じ場合, **流況モデルの違いはほとんど表れない** 流量3,000 m³/s
でも同様

◎ 解像度が低い場合, 合流部での水位が上昇

➡ 永野堰を十分解像できていないため, **八東川の流が合流部まで強く影響**

解析結果と考察 (2)

3Dによる水位分布 (流量3,000 m³/s)



◎ **流量3,000 m³/sの場合**
 解像度の低下に伴う合流部での**水位上昇は表れなかった**
 ➔ 流量が大きい場合, 全体的に水位が上昇し, 相対的に地形の影響が小さくなる

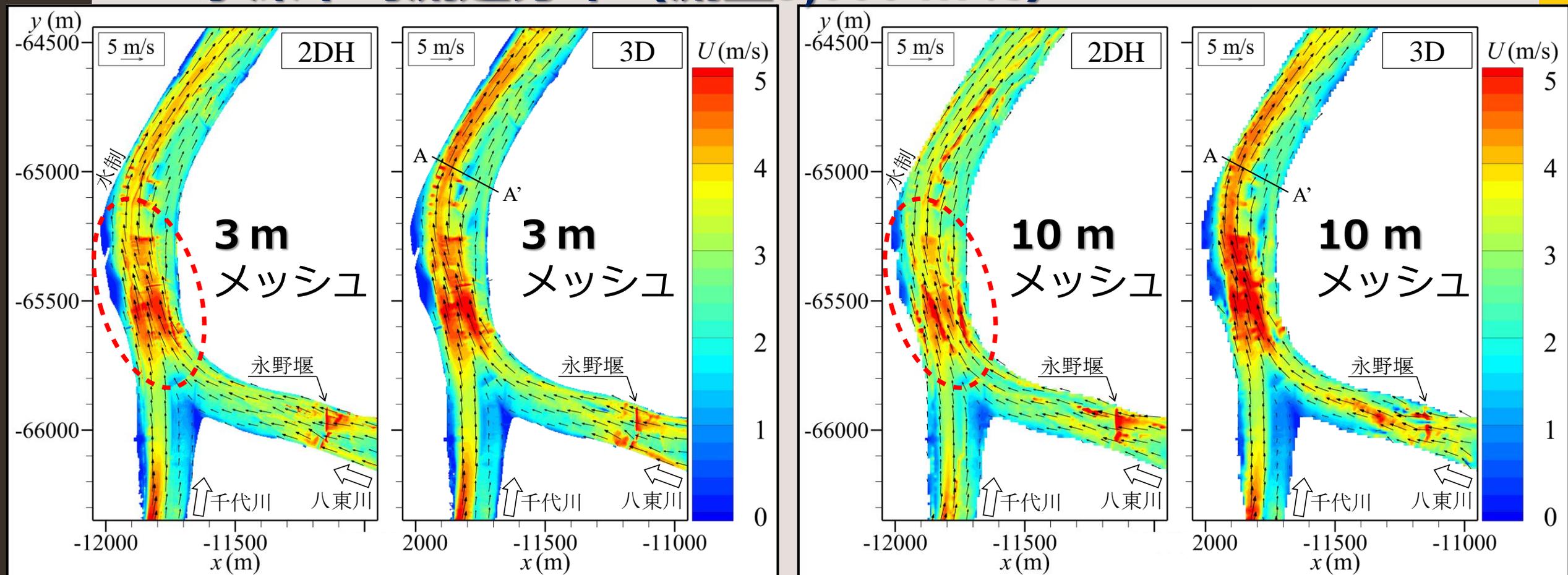
▶ **河川合流部での水位の評価**

◎ **流況モデルの違いによる影響は小さく, 2DHでも十分な評価が可能**

◎ **ただし, 流量が小さい場合には地形解像度の影響が表れる可能性があるため注意**

解析結果と考察 (3)

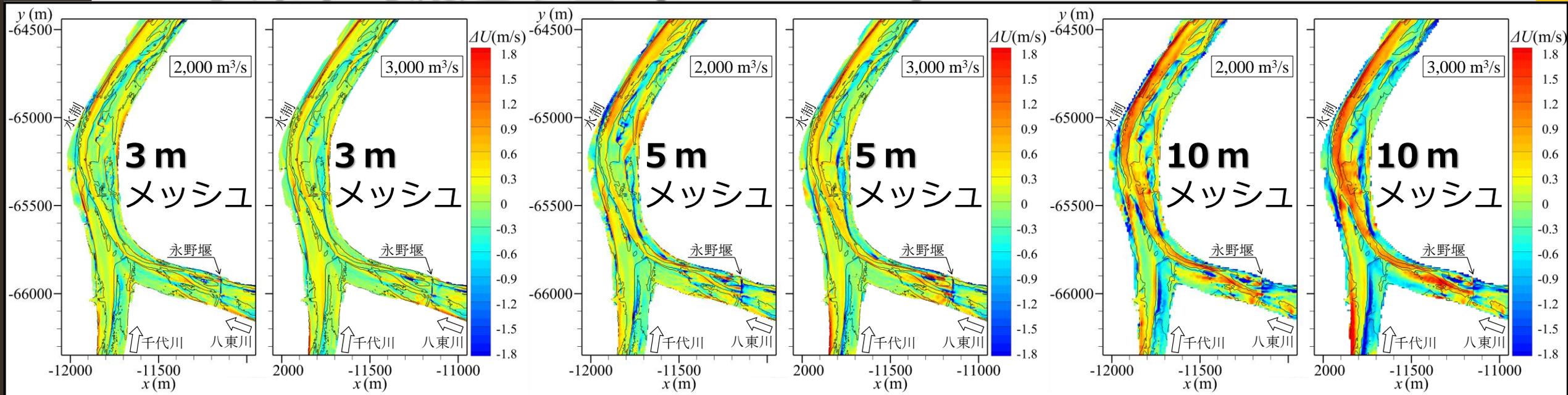
水深平均流速分布 (流量 $3,000 \text{ m}^3/\text{s}$)



- ◎ 2DH : 解像度が上がるにつれて, 合流後～滞筋に沿った流速が大きくなる
 - ◎ 3D : 解像度の違いによる流速の変化は小さい
- 同じ解像度の場合, 3Dの方が2DHよりも滞筋に沿った流速が大きい

解析結果と考察 (4)

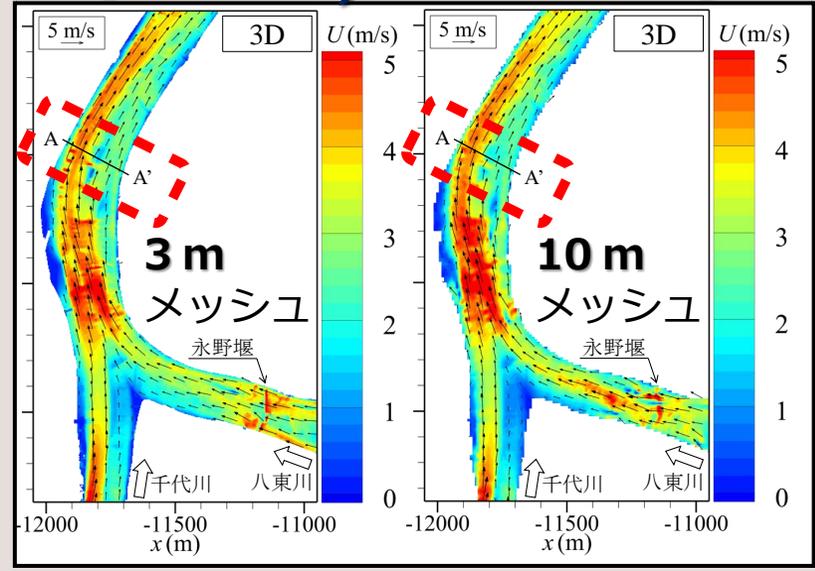
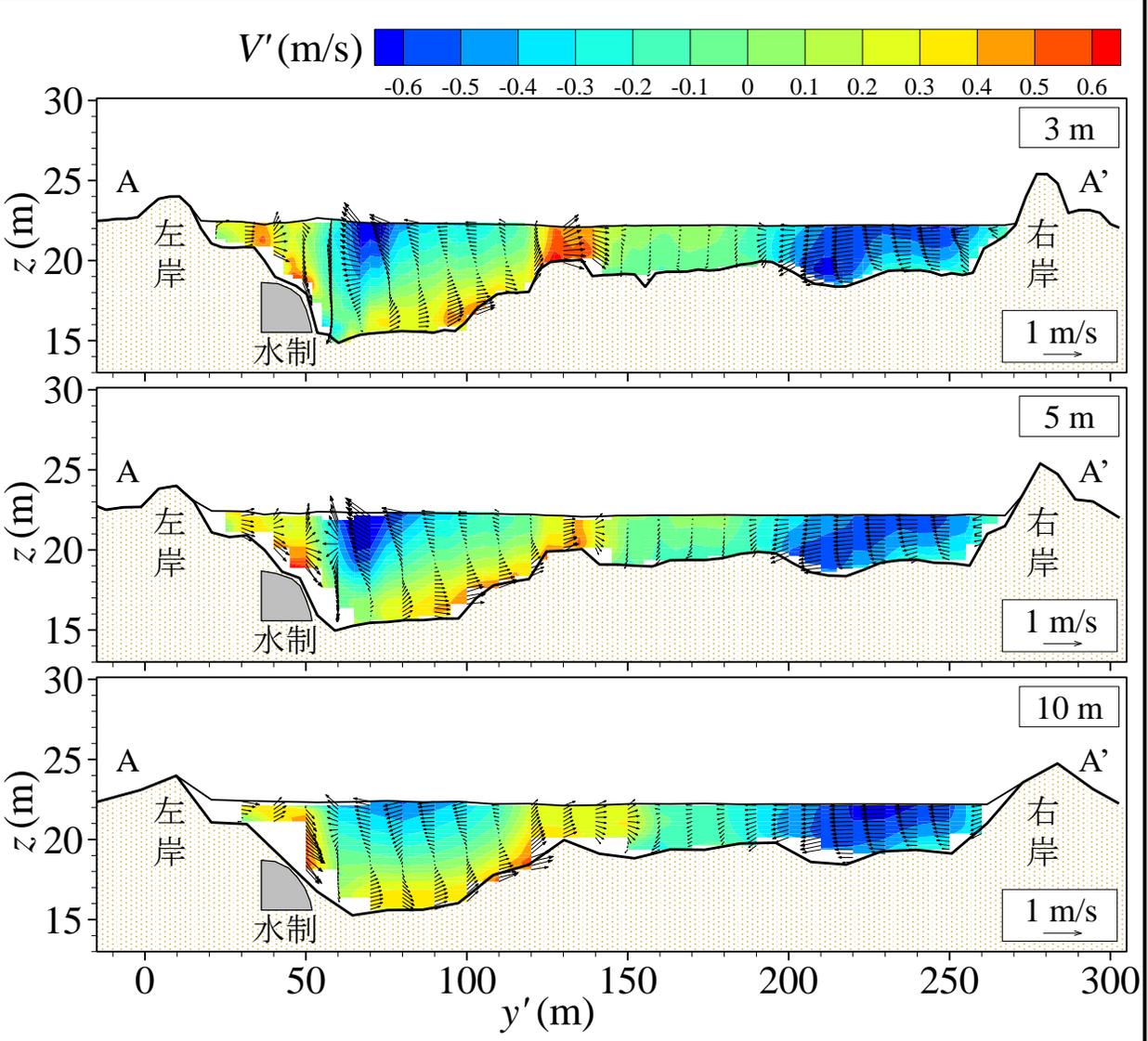
水深平均流速の差 (3D - 2DH)



- ◎ **解像度が高い**場合, 2DHと3Dとの間に大きな差はない
- ◎ **解像度が下がる**につれて**流速差が大きくなる**
 ➔ 2DHは3Dよりも最大約 40% 流速値を低く評価 (10mメッシュの場合)
- ◎ **砂州・高水敷上では2DHの流速が大きい** (2DHでは河川横断方向に流れが拡散)
 ➔ 2DHでは水深平均量を扱っているため, 横断方向の勾配 (水深) 急変部における運動量輸送を適切に評価できない

解析結果と考察 (5)

3DによるA-A'横断面流況 (流量3,000 m³/s)



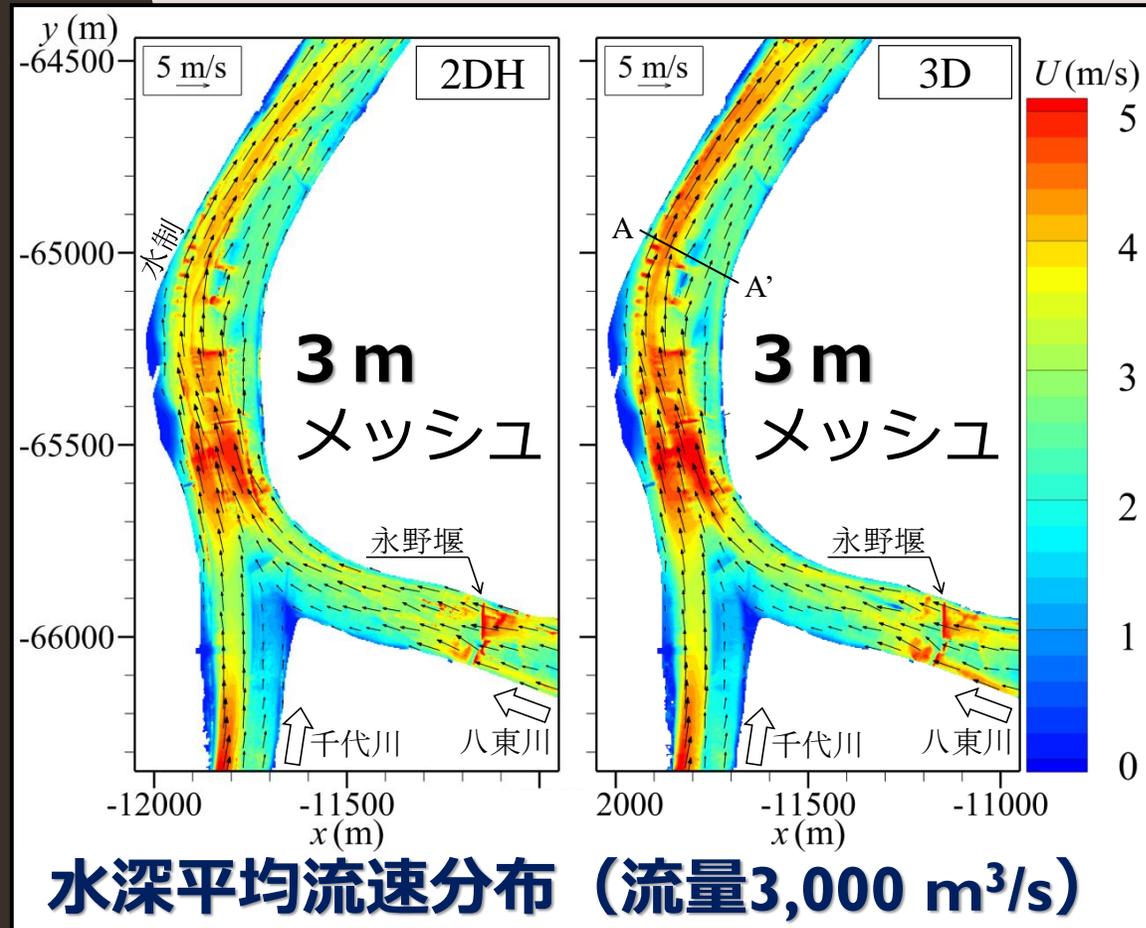
◎ **合流と湾曲の両者が影響**
 ➔ **どちらの影響かは明示できないが、低水路内で二次流が発達**

特に 解像度の低い10 mメッシュでも **二次流を表現可能**

3Dでは解像度が低下しても**基本的な三次元流況を評価でき**, 高水敷・低水路での流況の違いを**明確に区別できる**

解析結果に大きな違いが表れなかった

解析結果と考察 (6)



2DHでは高水敷～低水路の急変部を捉えることができた高解像度の場合にのみ流況の違いを表現可能

水深平均流速をある程度評価できた

河川合流部での流速の評価

◎ 解像度が高い場合は**2DH**でもある程度評価できるが、解像度が低い場合は滞筋内の最大流速を半分程度にまで低く見積る可能性があり注意が必要

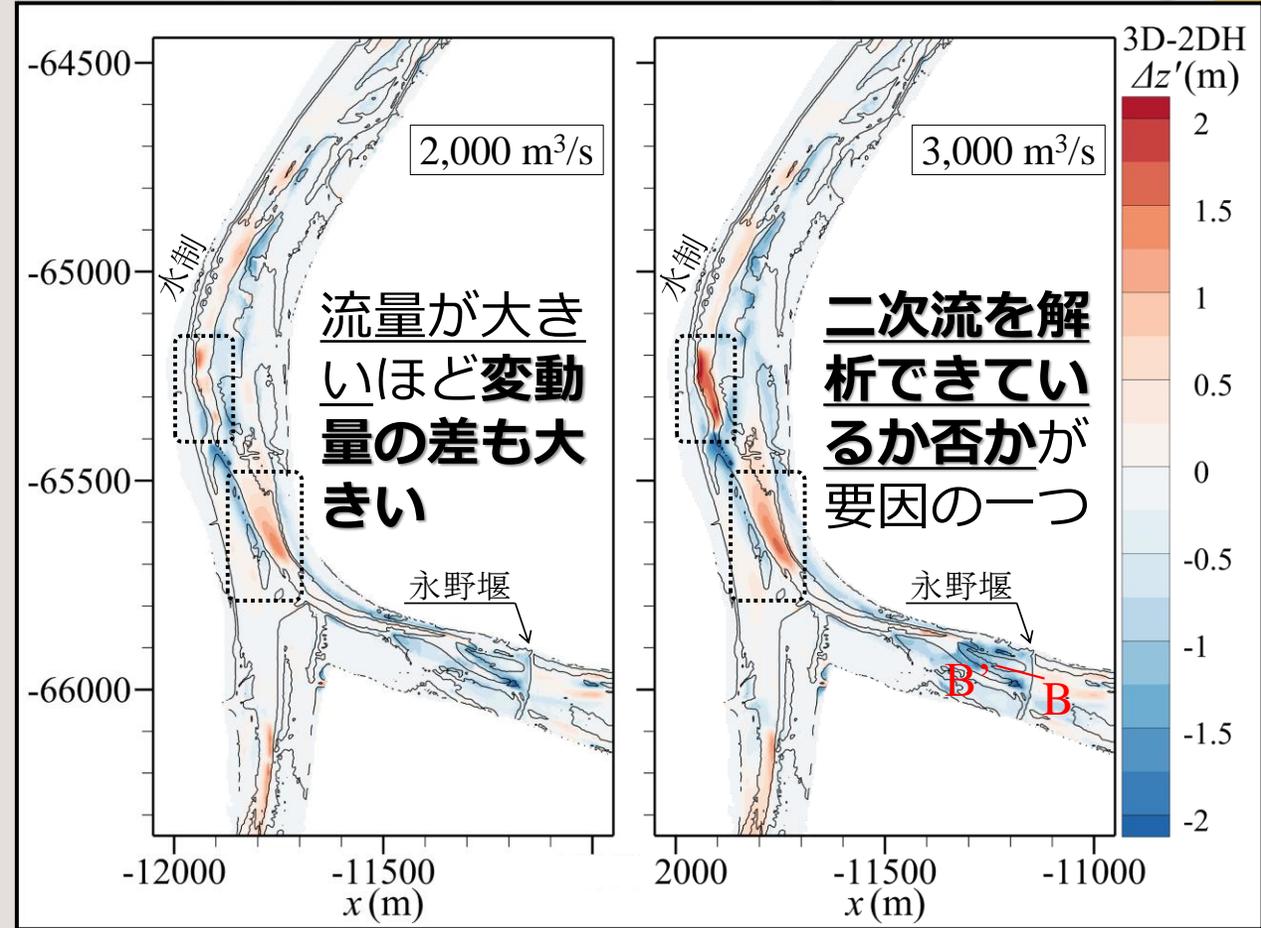
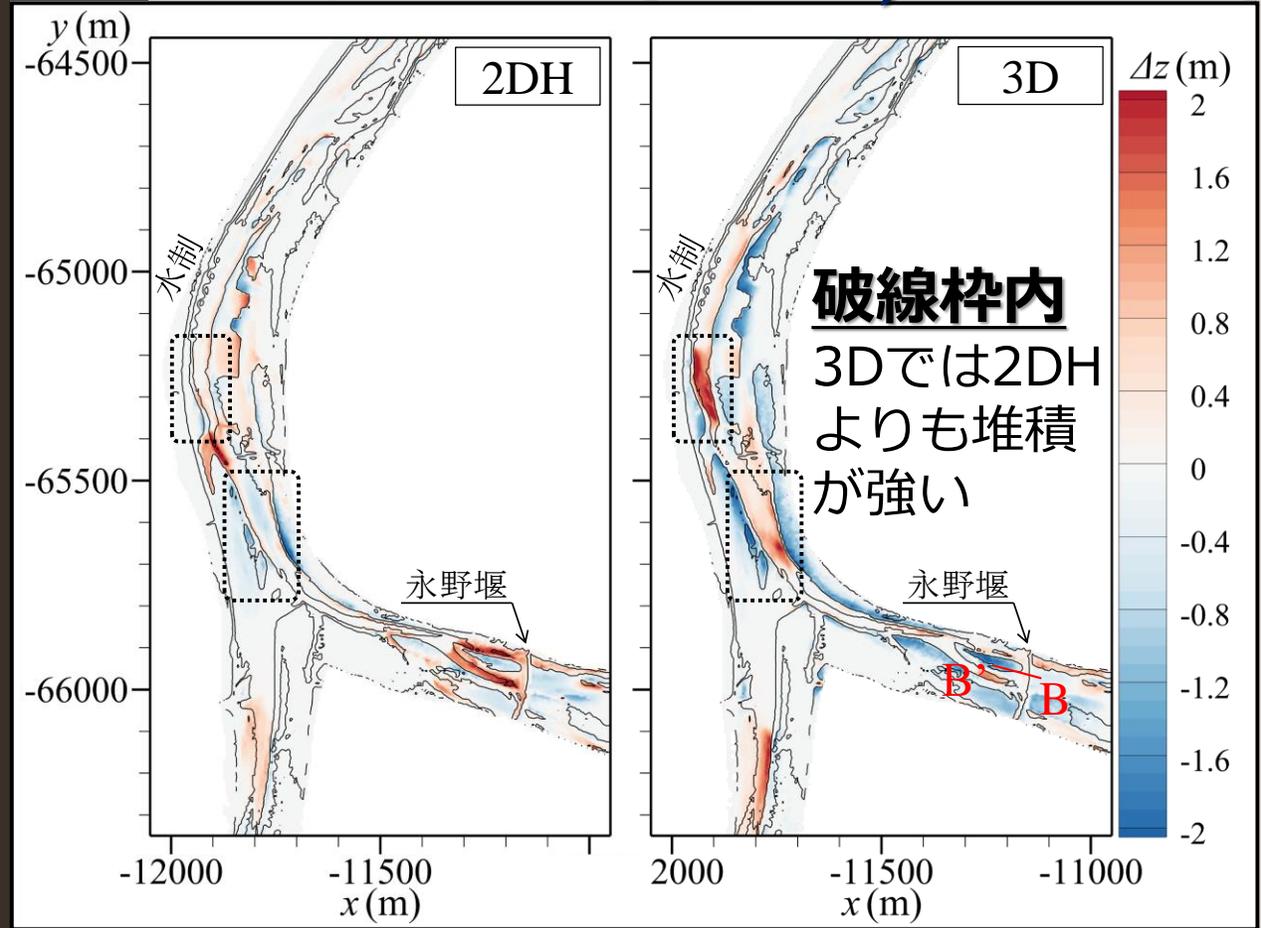
◎ **3Dは解像度が低くても、その流速値を概ね評価可能**

➡ メッシュ数を抑えつつ、精度の良い流況予測が可能になるのでは？

解析結果と考察 (7)

河床変動量 (流量3,000 m³/s)

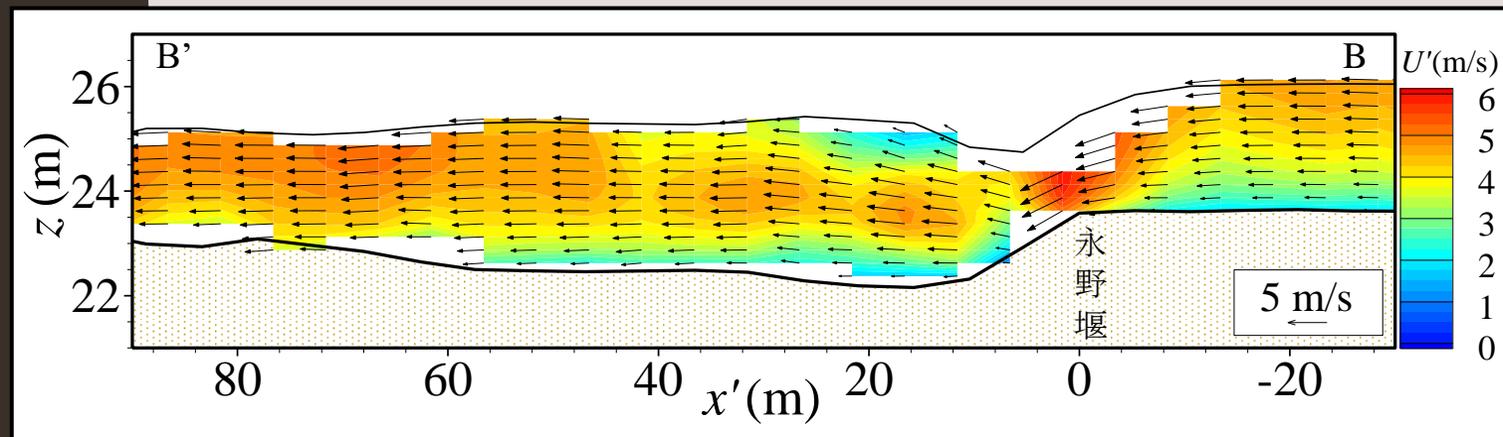
河床変動量の差 (3D - 2D)



- ◎ **3D**の方が**2DH**よりも**変動量が大きく**, 合流後の滯筋側岸に沿った**侵食が顕著**
- ◎ **永野堰下流**: **2DH**では滯筋に沿って強い**堆積傾向**が見られるものの,
3Dでは逆の**侵食傾向**にある

解析結果と考察 (8)

3DによるB-B'縦断面流況 (流量3,000 m³/s)



- ◎ 堰を越流した流れが水深中ほどに潜り込む流況が発生
- ➡ **3D**では**2DH**で表現できない流況を捉えており、堰直下流部で侵食が発生

河川合流部での河床変動の評価

- ◎ **3Dを基準**とした場合、**2DH**では**全体的な変動量を小さく見積る可能性**がある
 - ➡ 特に、合流直後からの二次流が発達すると考えられる領域で、**2DHによる変動量の過小評価傾向が強くなる可能性**がある
- ◎ 本研究では**2DH**において二次流を考慮していない
 - ➡ したがって、**今後は二次流を考慮した2DHとの比較検討が必要**である

おわりに

- ◎ **水位の評価** : **流況モデルの違いによる影響は小さく**, 平面二次元解析でも十分な評価が可能と考えられる。ただし, 流量が小さい場合には地形解像度の影響が表れる可能性がある。
- ◎ **水深平均流速の評価** : **解像度が高い場合は平面二次元解析でも評価可能**であるが, 解像度が低い場合は滞筋内の最大流速を三次元解析の半分程度にまで過小評価する可能性がある。一方, **三次元解析では解像度の高低による流速への影響が小さく**, 解像度が低くても概ねその流速値を評価可能と考えられる。
- ◎ **河床変動の評価** : 三次元解析を基準とした場合, 平面二次元解析では全体的な変動量を過小評価する。特に, 合流直後からの二次流が発達する領域では, **平面二次元解析による変動量の過小評価が強く表れる可能性**がある。

ご清聴ありがとうございました