

2026/10/06

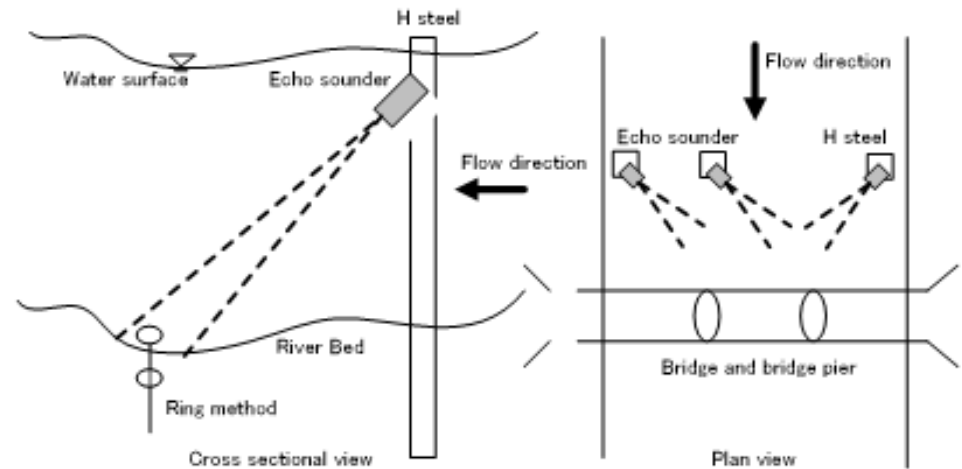
令和8年度土木研究所講演会
AI等を活用した土木技術の最前線

洪水中の川底の変化を知りたい！ ～洪水時の河床高を把握する技術～

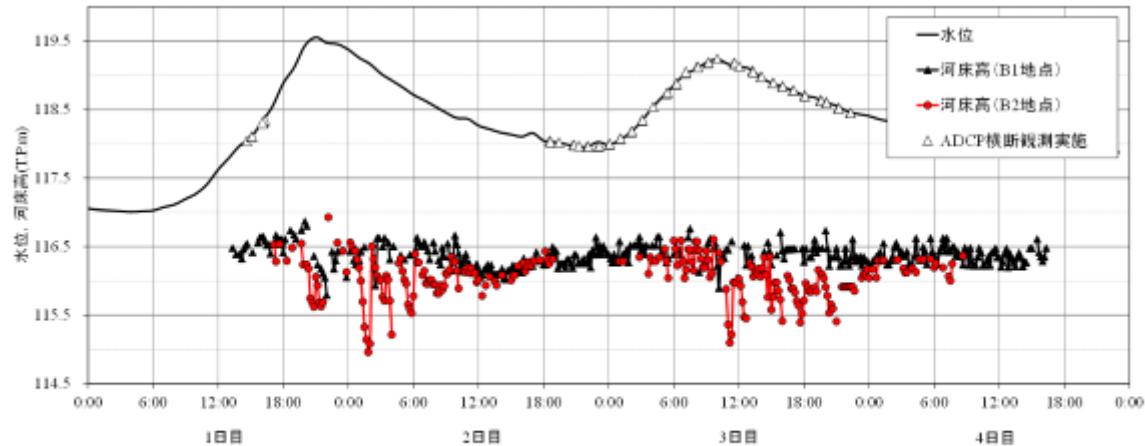
Key words : DX × AI
面計測 × 推定技術

国立研究開発法人 土木研究所
河道保全研究グループ
河道監視・水文チーム
主任研究員 萬矢⁰ 敦啓

既往の河床変動に関する計測技術



音響測深器を斜めに向けることで、H鋼周辺の局所洗掘の影響がない地点の河床高を測定できる。



水位および河床高の時系列図

B1、B2地点の横断位置については右図(ADCP横断観測重ね合わせ図)を参照。

水文・水理技術検討会資料集【平成27年度分】



参考写真1 砂面計の設置状況（姫川）

山地河道における流砂水文観測の手引き（案）

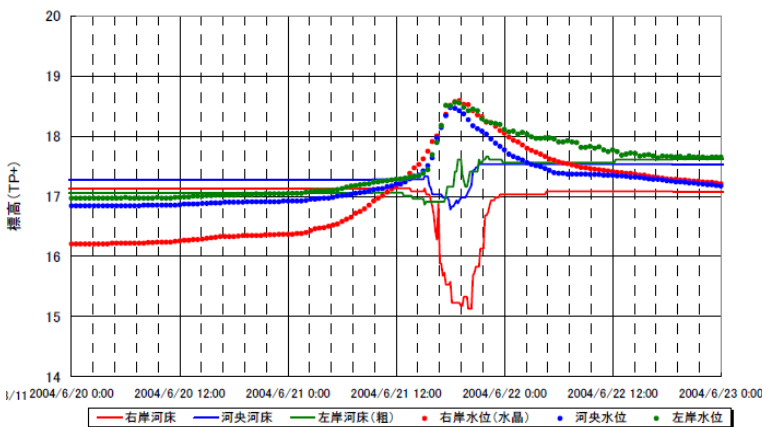


図-3.2.3 観測結果（H16.6 手越）

「河床変動の特性把握と予測に関する研究」₁

河床変動による構造物の被災の例

2025/06/15閲覧 (<https://www.yomiuri.co.jp/pluralphoto/20210329-OYT1I50025/>)



崩落した別所線の鉄橋（2019年10月13日撮影）

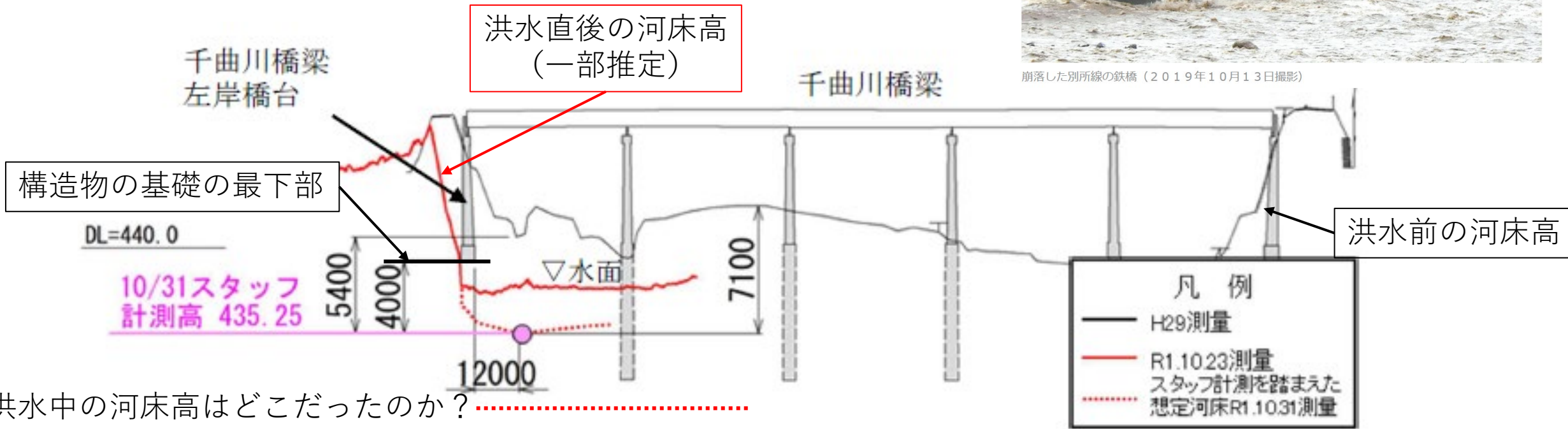


図 4.3.39 千曲川橋梁横断図

洪水時の河床変動の実態を把握したい。

従来の技術

点情報

本技術

面情報

本研究の目的

- ✓実現象の解明及びデータ蓄積

将来的に期待される技術

- ✓河床変動計算の検証・改良
- ✓河道設計に資する河床変動計算の確立

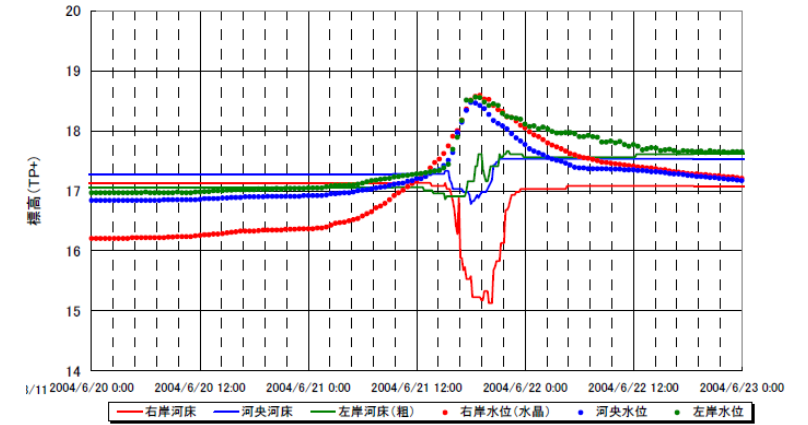
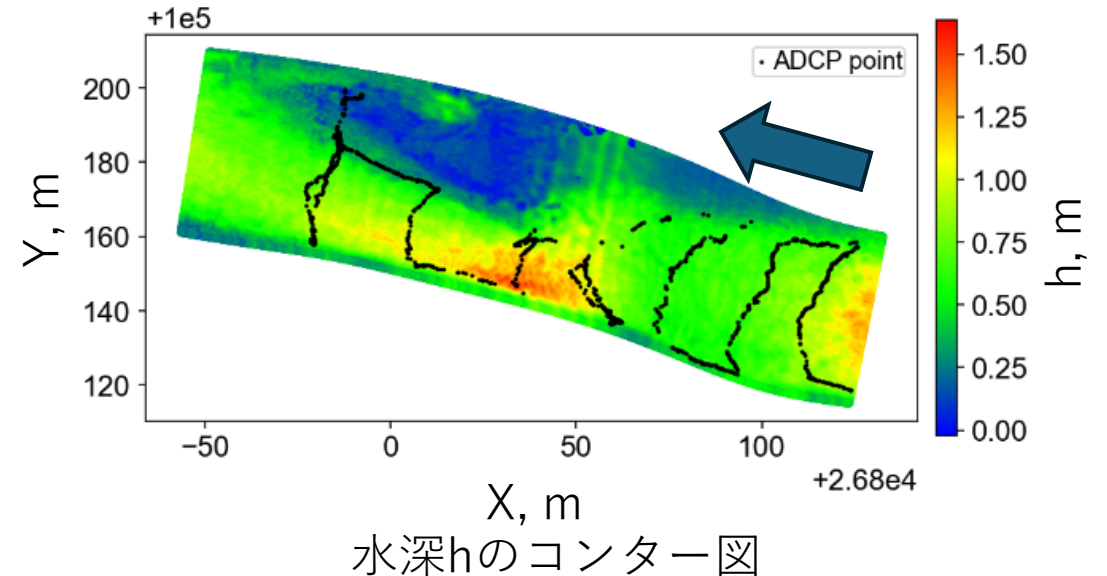
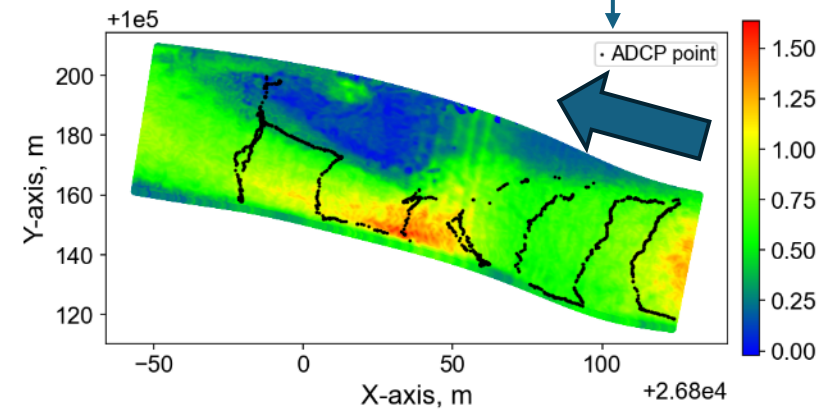


図-3.2.3 観測結果 (H16.6 手越)

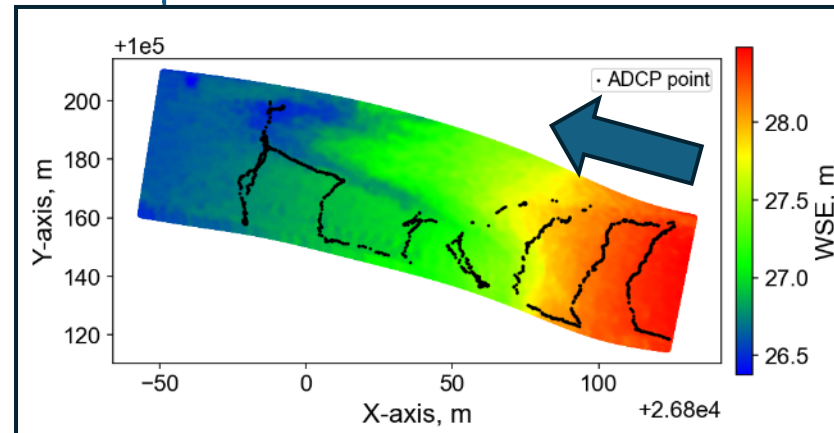


本研究の概要 AIによる解析

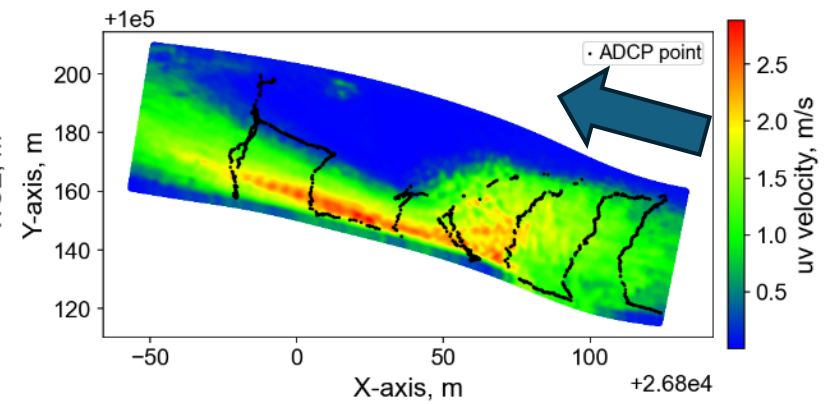
表面情報の取得：DX



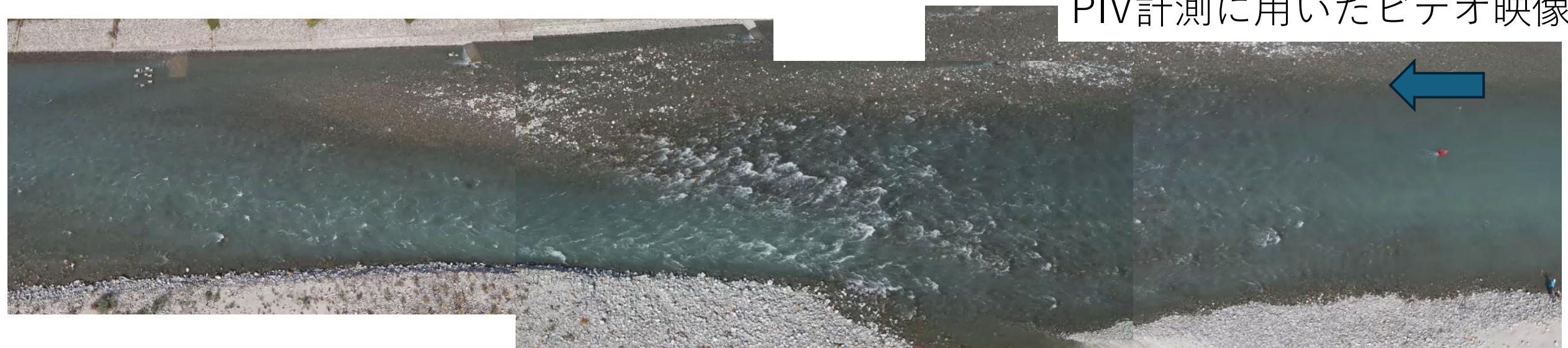
推定水深又は河床高
本研究の目標



LiDARにより計測した水面形

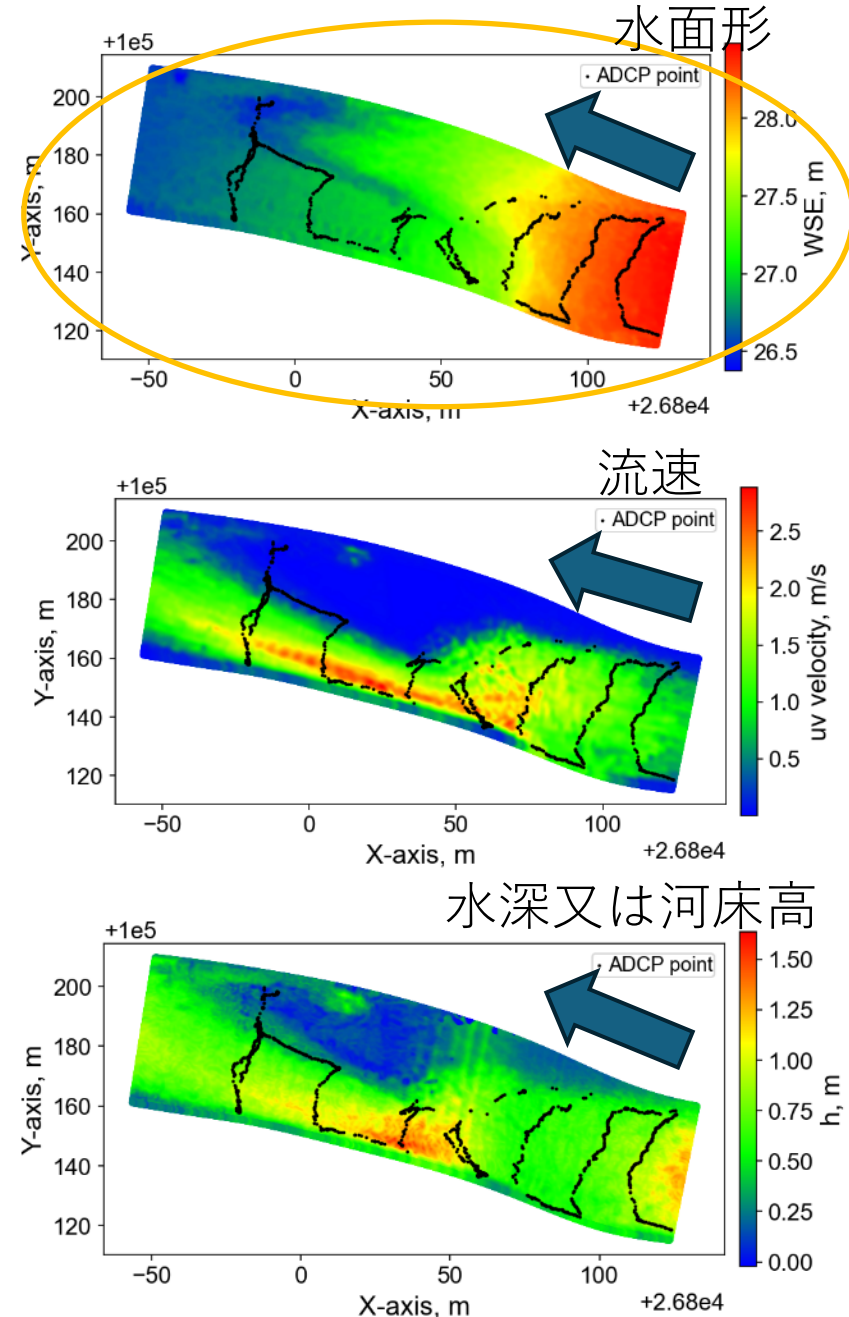


PIVを用いて計測した流速分布



PIV計測に用いたビデオ映像

流速・水面計測、河床高算出に関する手法とその違い



流速	水面形	河床高算定
UAV-PIV	UAV-SfM (水面の凹凸も含めた計測)	UAVの操作が難しい 解析が難しい
	UAV-LiDAR (水面の凹凸も含めた計測)	計測が容易 LiDAR搭載が必須
	UAV-SfM (水面は計測無し 河岸のみ計測)	計測が簡易 自動・無人観測への移行の可能性
		基礎方程式より逆解析
		表面流速と連続条件から逆算
		PINN s

LiDARによる水面形状の計測 (Matrice300RTK・ZenmuseL2の活用)

Zenmuse L2(レーザスキャナ)

LiDAR

測距精度 (RMS 1σ) : 2 cm @ 150 m

対応最大リターン : 5

最小検知範囲 : 3 m

レーザービーム発散角 : 水平 0.2 mrad、垂直 0.6 mrad

レーザー波長 : 905 nm

レーザースポット サイズ : 水平 4 cm、垂直 12 cm
@ 100 m (FWHM)

レーザーパルス放射周波数 : 240 kHz

レーザーの安全性 : クラス1 (IEC 60825-1:2014)

参考絞り : 有効絞り : 23.85 mm (円形と同等)

慣性航法システム

IMU更新頻度 : 200 Hz

加速度計の範囲 : $\pm 6\text{ g}$

角速度計の範囲 : $\pm 300\text{ dps}$

方位精度 (ヨー) (RMS 1σ) : リアルタイム : 0.2° 、
後処理 : 0.05°

姿勢精度 (ピッチ／ロール) (RMS 1σ) : リアルタイム : 0.05° 、後処理 : 0.025°

水平位置精度 : RTK FIX : 1 cm + 1 ppm

RTK測位精度 : RTK FIX : 1.5 cm + 1 ppm

Matrice 300 RTK

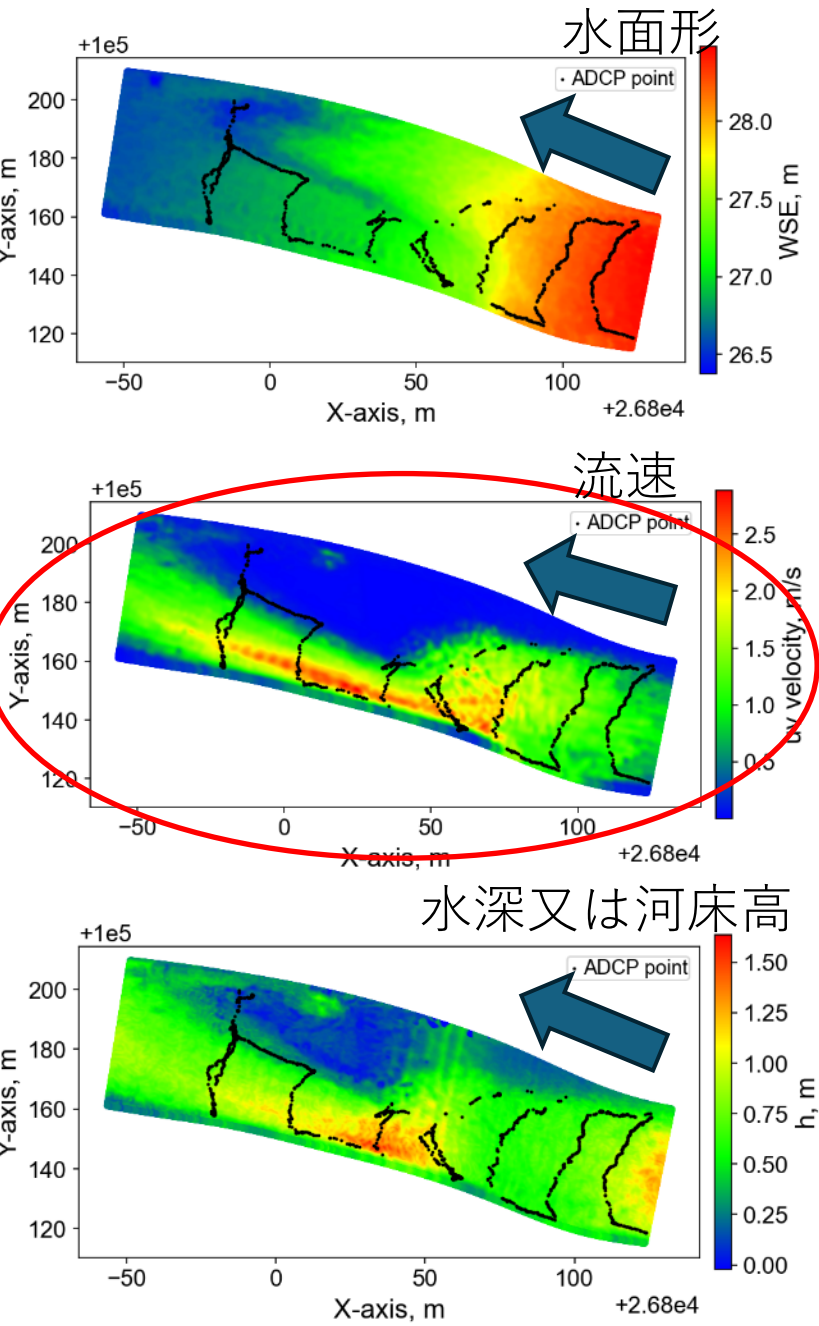
業務用ドローン

最大飛行時間55分

雨天対応やホットスワップ機能

6方向障害物センサー

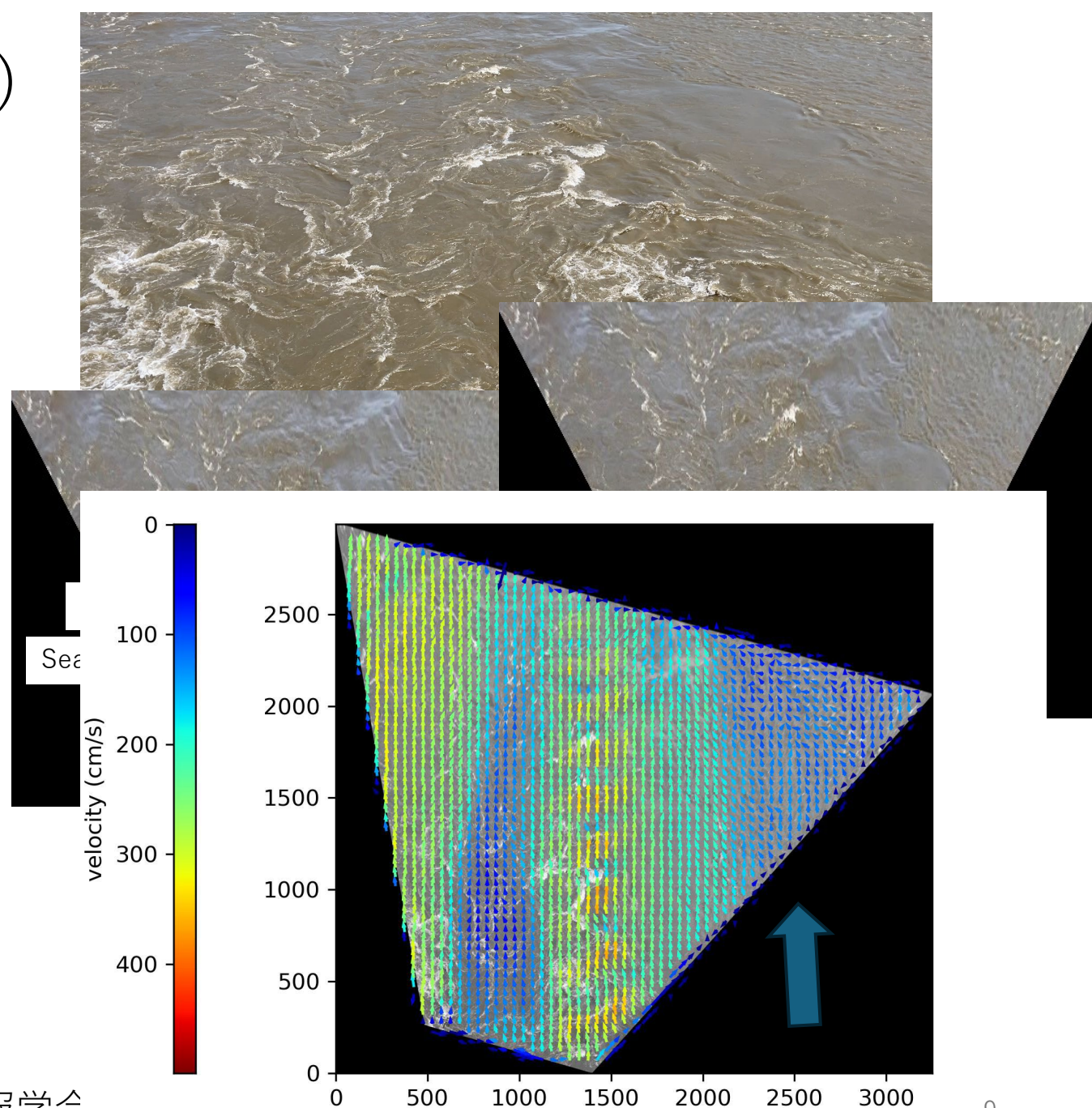




流速	水面形	河床高算定
UAV-PIV	UAV-SfM (水面の凹凸も含めた計測)	UAVの操作が難しい 解析が難しい
	UAV-LiDAR (水面の凹凸も含めた計測)	計測が容易 LiDAR搭載が必須
	UAV-SfM (水面は計測無し 河岸のみ計測)	計測が簡易 自動・無人観測への移行の可能性
		基礎方程式より逆解析
		表面流速と連続条件から逆算
		PINN s

Particle Image Velocimetry (PIV)

- カメラ情報（カメラの位置、角度、相対的な高さ）の保存
 - 幾何変換のために必要な情報
- 動画から画像フレームを抽出する
- 基準点不要の手法を用いて幾何学変換を行う
- 探索領域（Search size）や検査領域（wsize）など、PIV解析用のパラメータを設定する
- 直接相互相関法を用いて同じ画像を探し、それを変位点とする。
- 変位点の距離、時間間隔から速度を求める
- 300セット程度のデータから平均速度を算出する

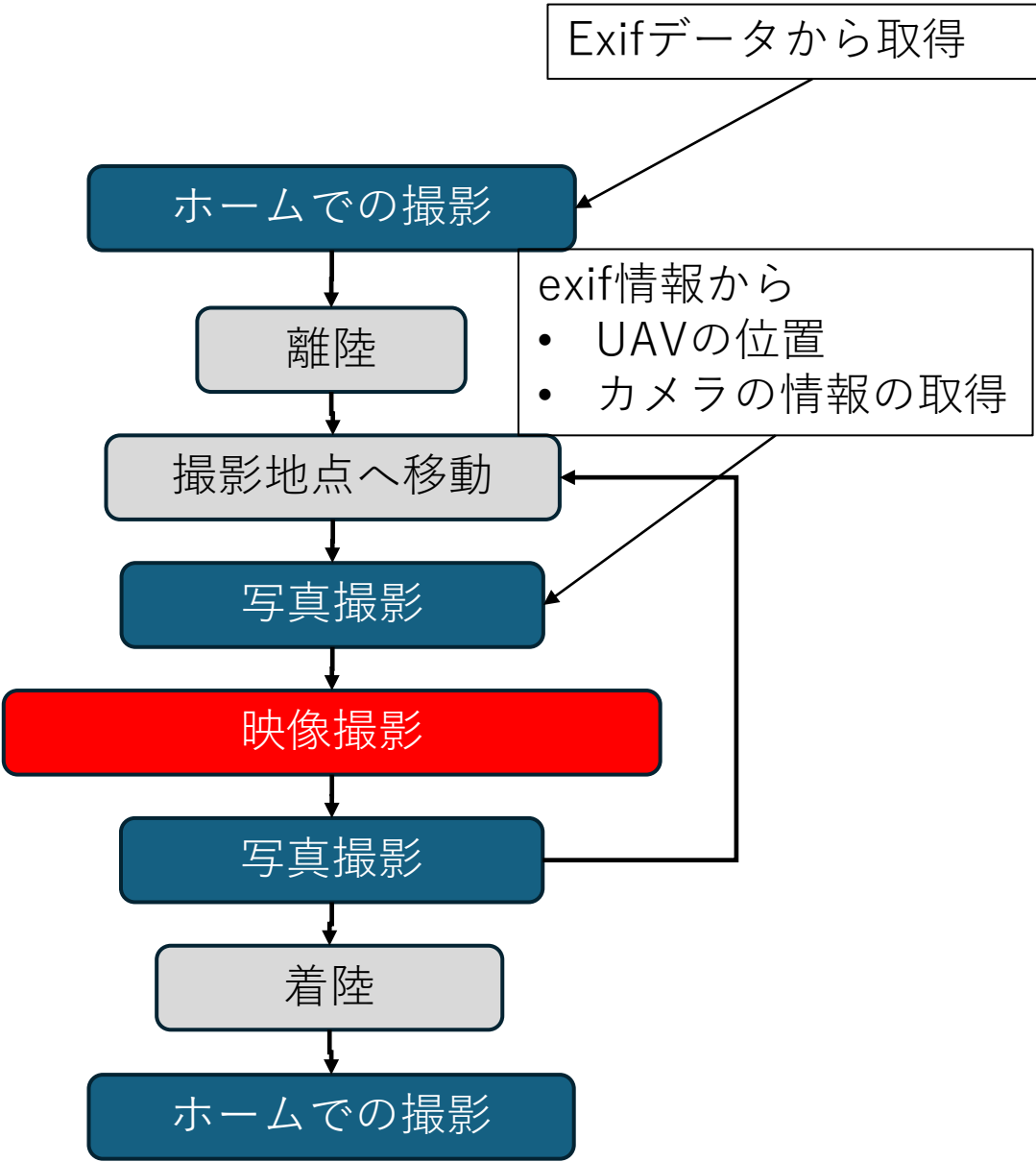


自動飛行のための飛行計画の一例

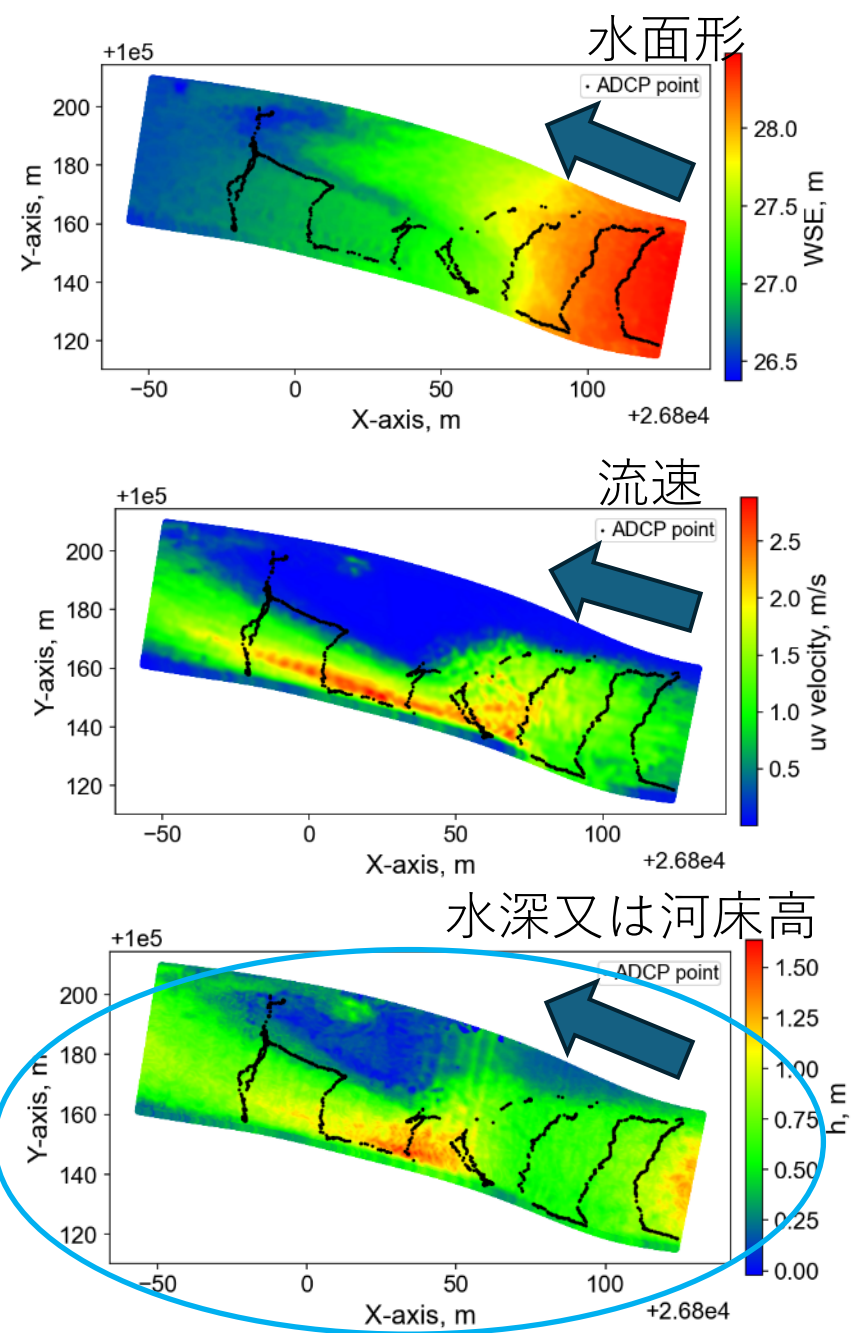


対象領域の設定と飛行経路の一例

参考文献：UAVを用いた水文観測マニュアル（案）
<https://www.ric.or.jp/gyoumu/public/>



PIVのための飛行計画



流速	水面形	河床高算定
UAV-PIV	UAV-SfM (水面の凹凸も含めた計測)	UAVの操作が難しい 解析が難しい
	UAV-LiDAR (水面の凹凸も含めた計測)	計測が容易 LiDAR搭載が必須
	UAV-SfM (水面は計測無し 河岸のみ計測)	計測が簡易 自動・無人観測への移行の可能性
		基礎方程式より逆解析
		表面流速と連続条件から逆算
		PINN s

TensorFlow

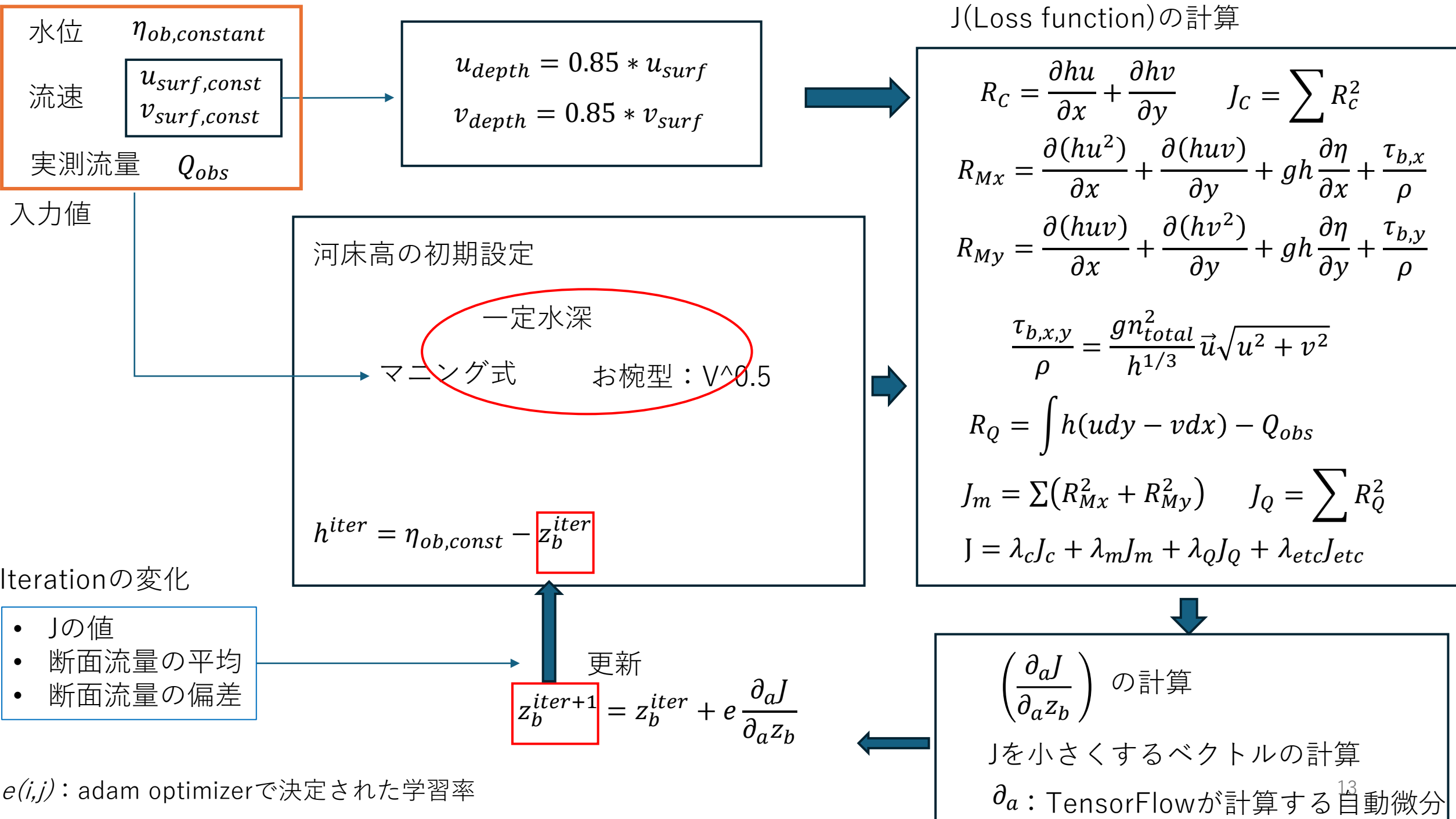
- 自動微分（Automatic Differentiation）を中核としたオープンソースの計算ライブラリ
- 関数の勾配を厳密かつ効率的に計算することが可能

PINNs: Physics Informed Neural Networks

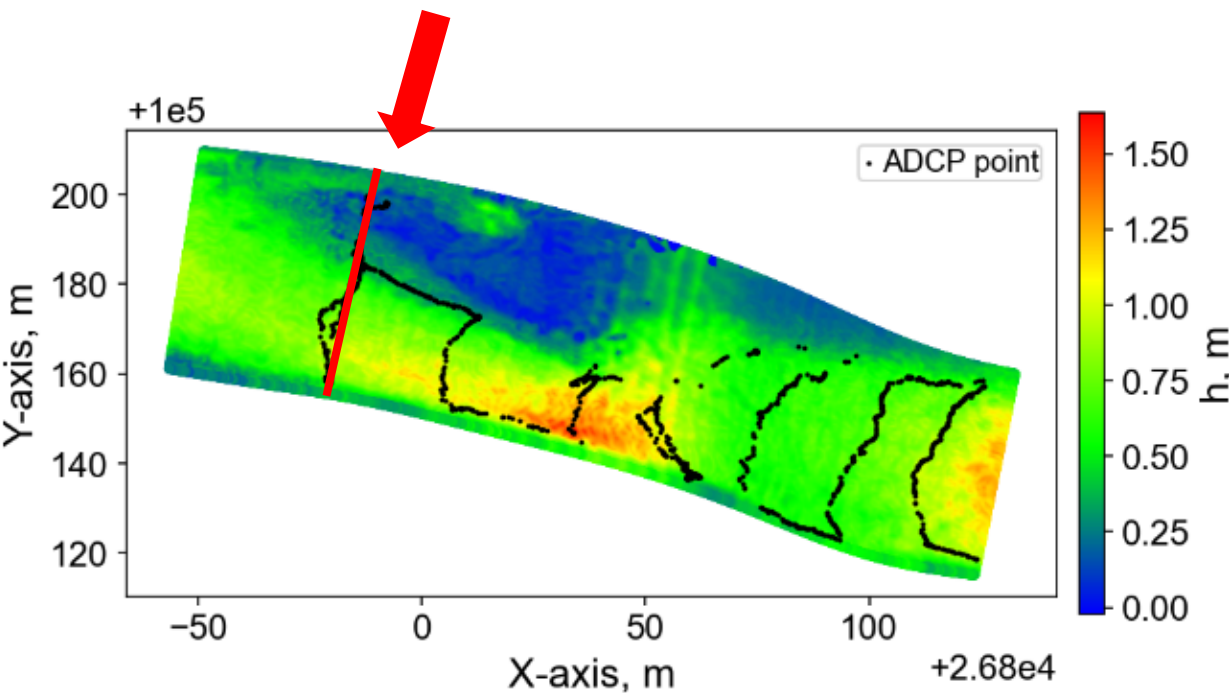
- Raissi et al. (2019) が 偏微分方程式の残差を損失関数に直接組み込む手法を確立
- 従来のニュートン法や随伴変数法（Adjoint法）のように、随伴方程式を解析的に導出・実装する必要がない。

砂州への適用性に関する既往の論文

- Y. Ohara, D. Moteki, S. Muramatsu, K. Hayasaka, H. Yasuda, Physics-informed neural networks for inversion of river flow and geometry with shallow water model Open Access, Physics of Fluids 36, 106633 (2024), <https://doi.org/10.1063/5.0232852>

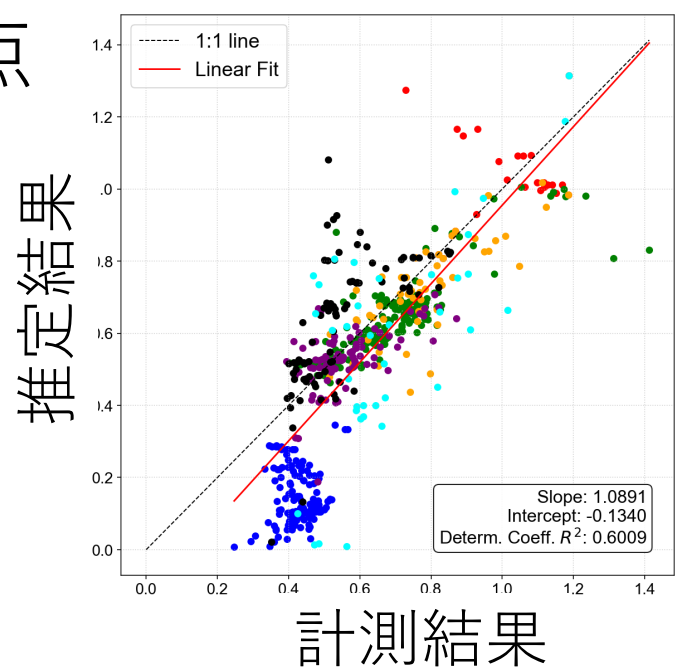


推定結果の評価方法の紹介

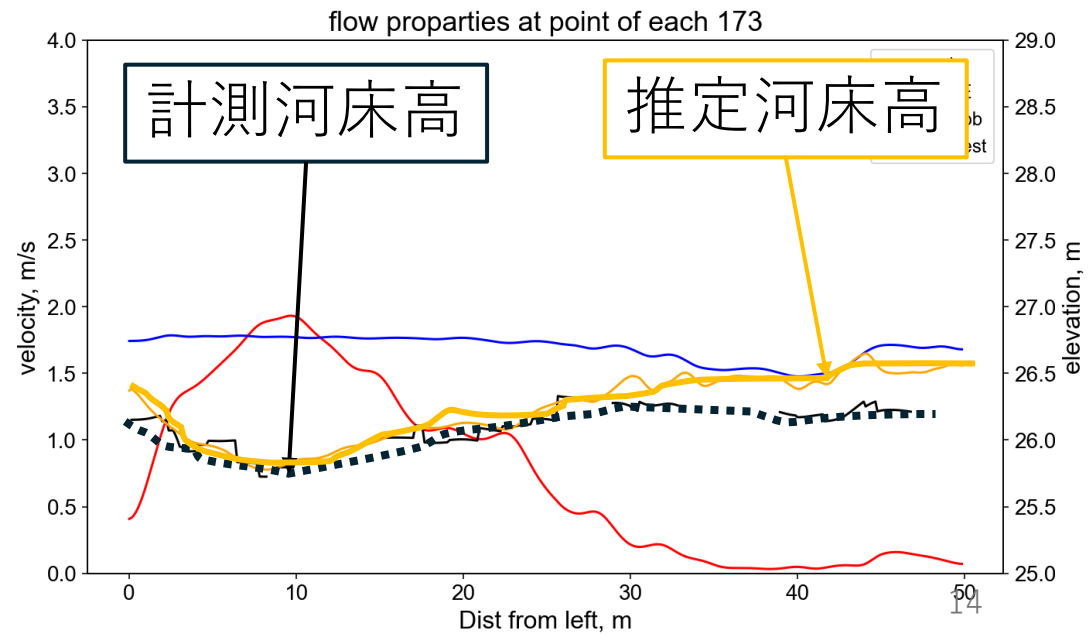


黒点：検証のための水深の計測

全点



測線

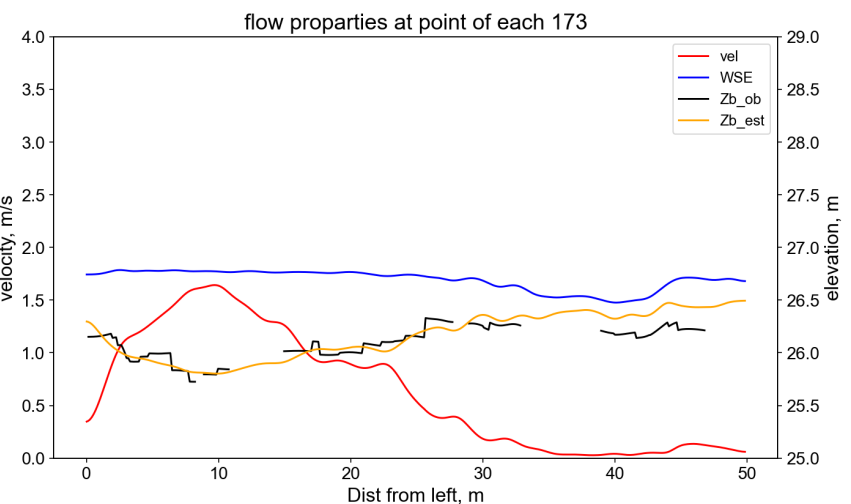
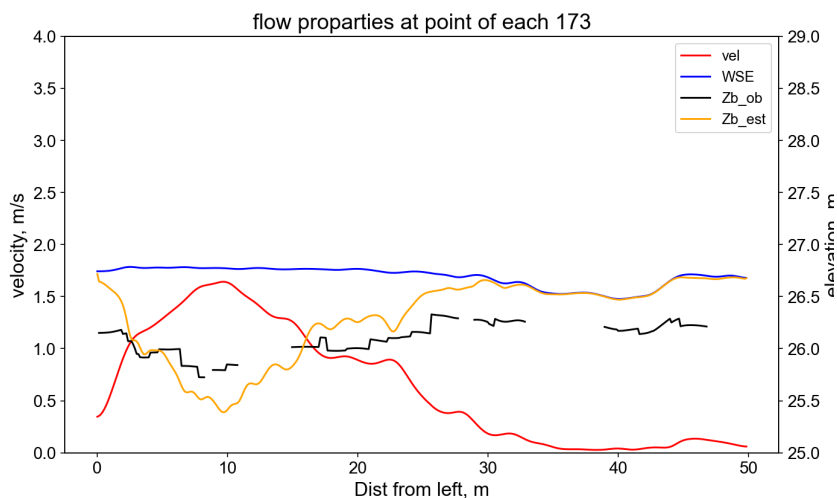
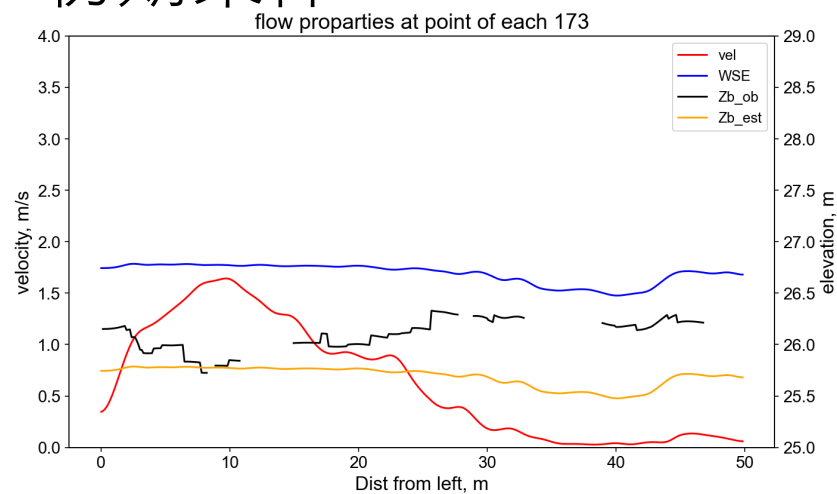


一定水深

初期条件

マニング式

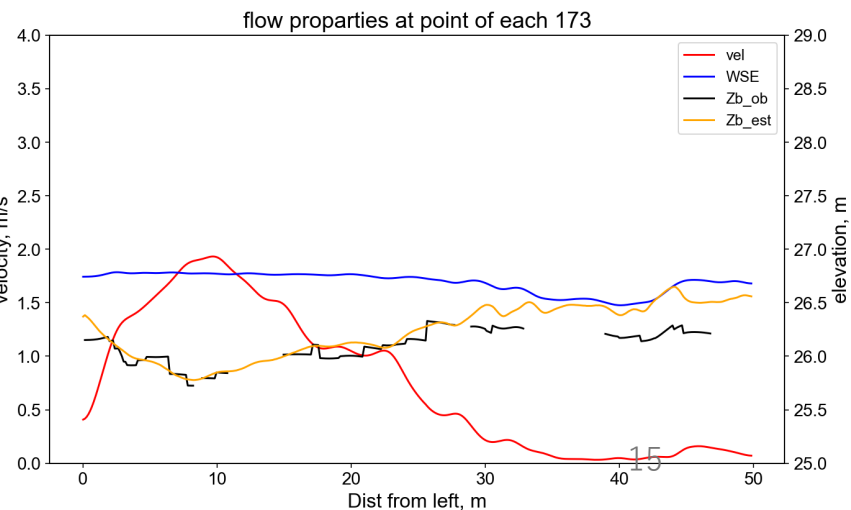
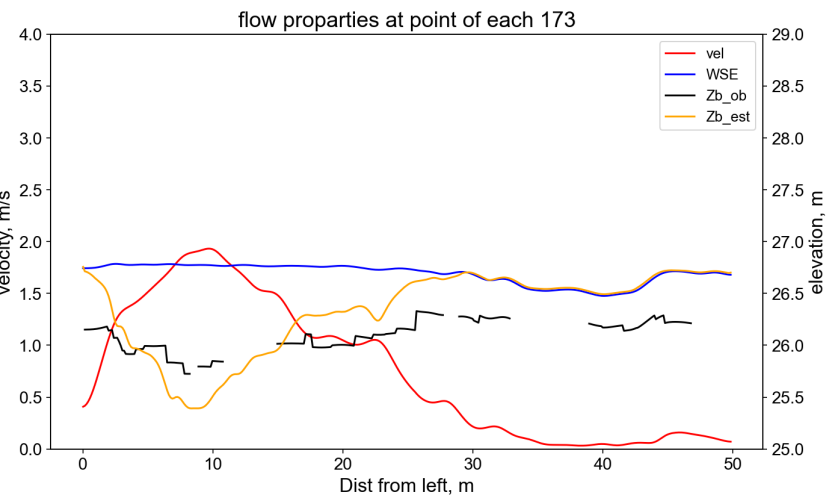
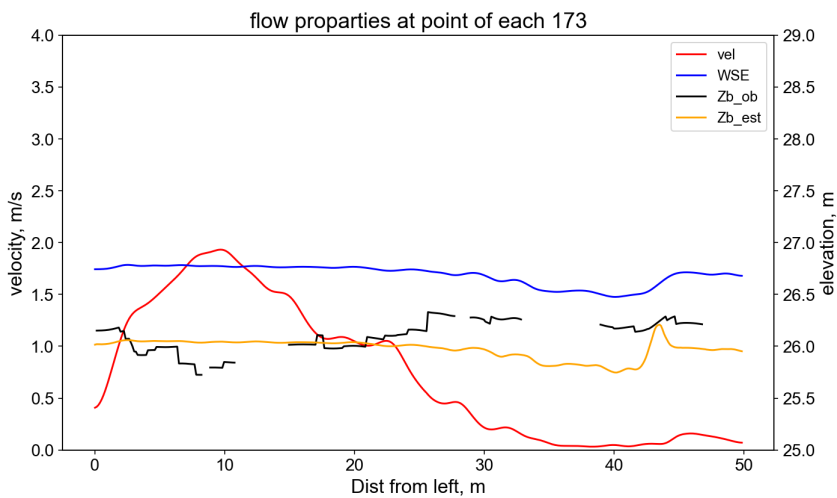
お椀型： $V^{0.5}$



推定結果



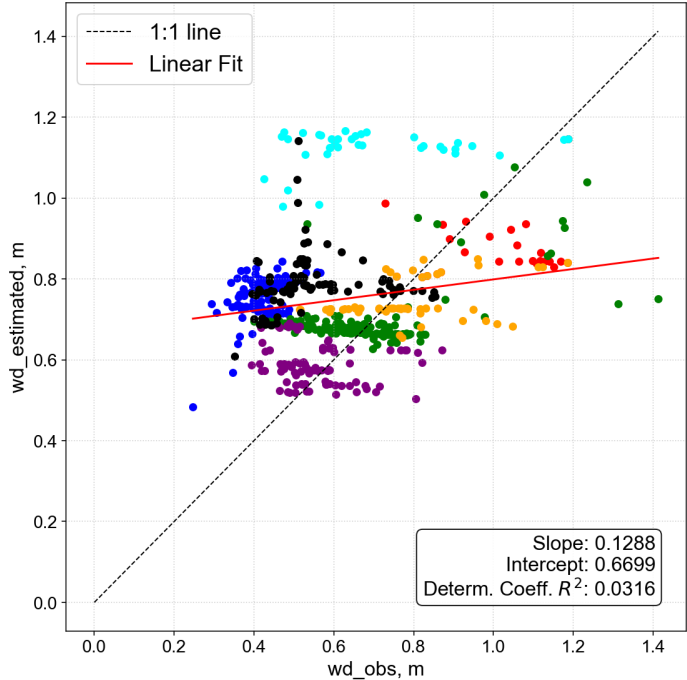
After iteration



本発表のまとめ

一定水深

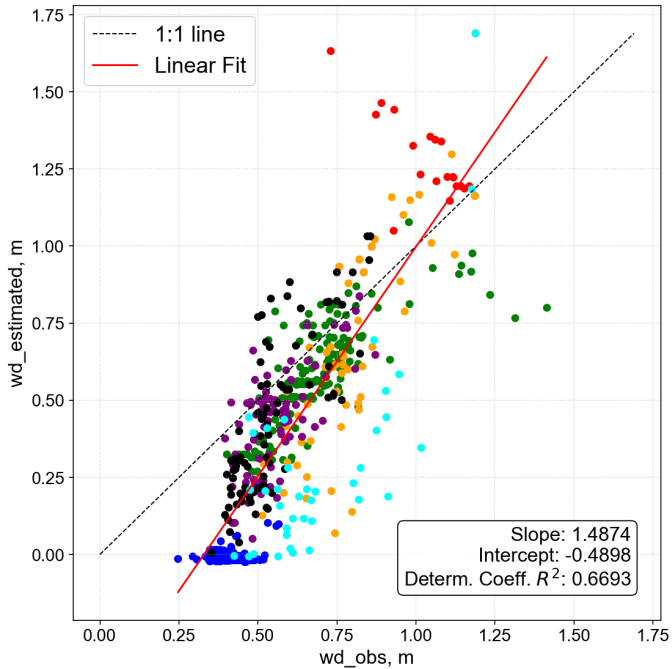
推定結果



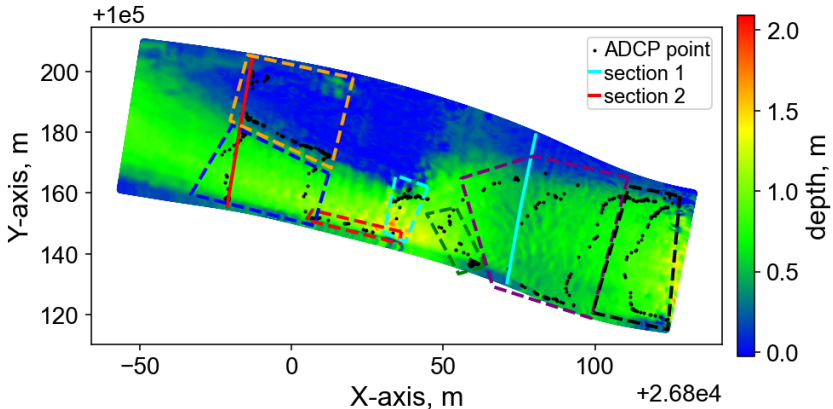
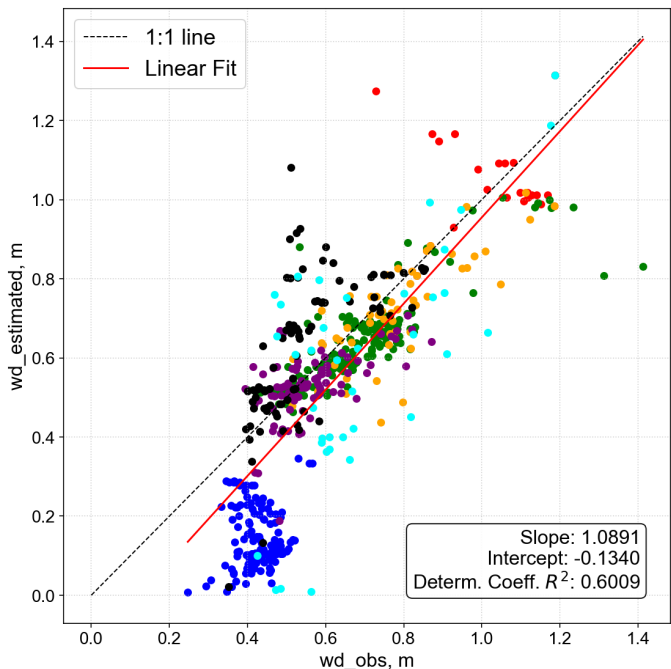
計測結果

	一定水深	マニング式	お椀型
Slope	0.1288	1.4878	1.0897
R ²	0.0316	0.6693	0.6009

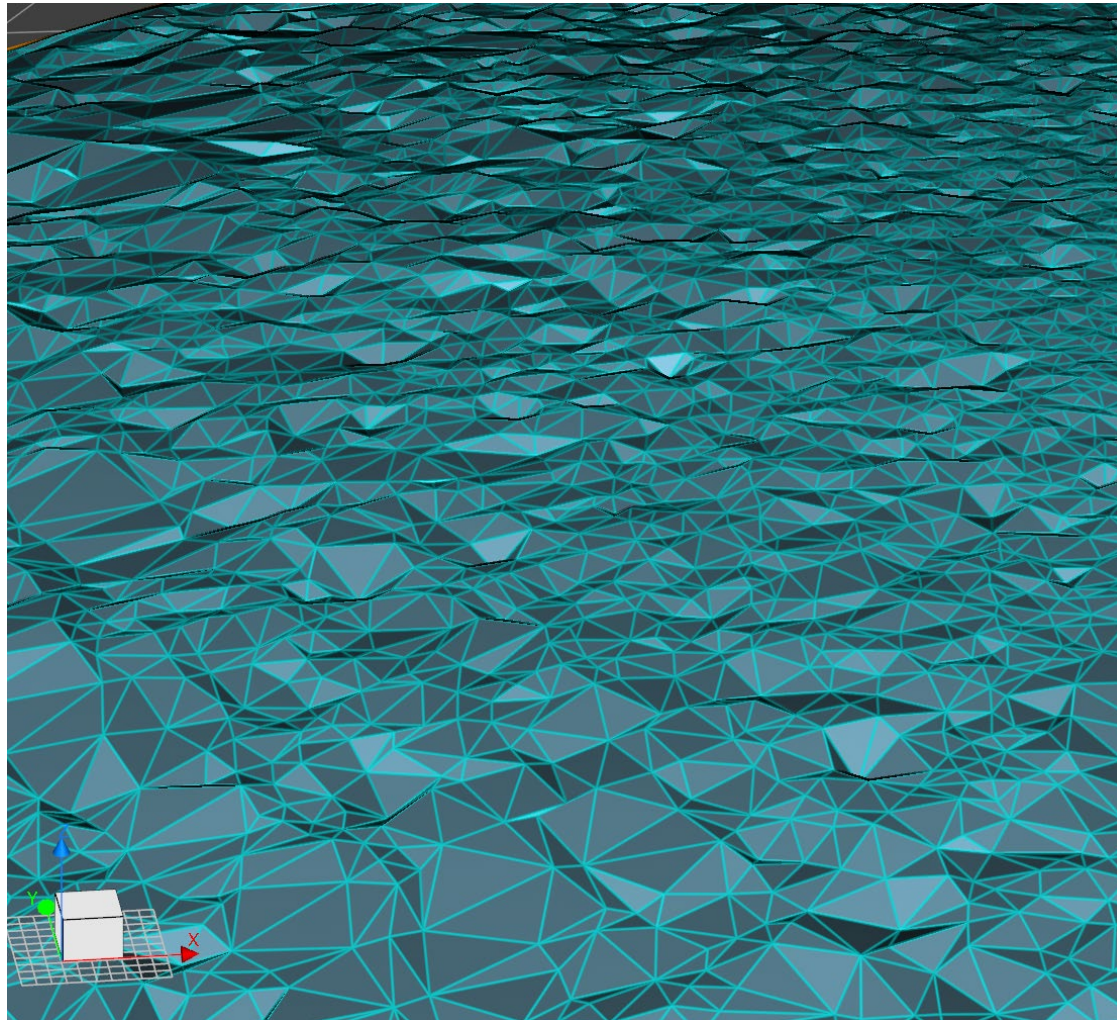
マニング式



お椀型



水面形状の計測 (LiDAR) : 点密度とTINによる内挿の一例



平水時における水面の計測事例

レーザー方程式

$$P_r \propto \frac{\rho_{eff} \cdot G(\theta)}{R^2}$$

P_r 受信電力 (測定される反射強度)

C 装置固有のシステム定数

ρ_{eff} 対象物表面の固有反射率

θ レーザー光の入射角

R 対象物までの距離 (m)

濁度が高い方が有利

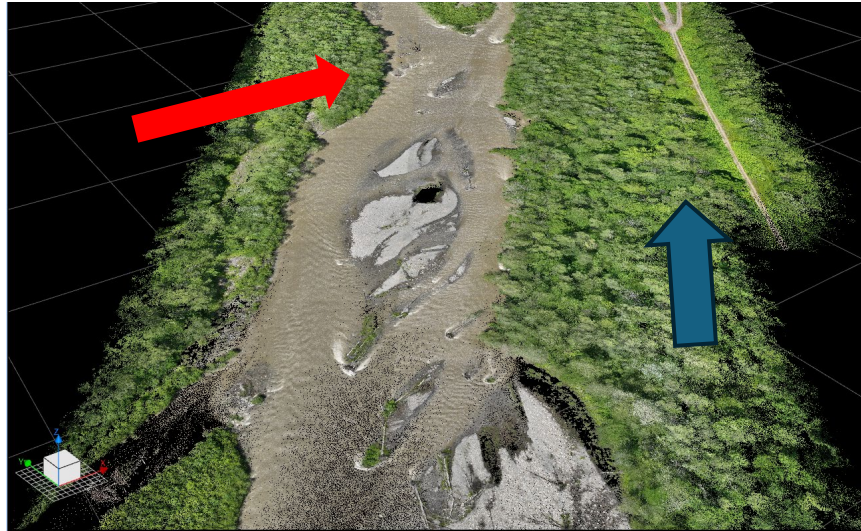
水面の凹凸が大きい方が有利

→ 洪水時の計測はよりよい結果を期待！！

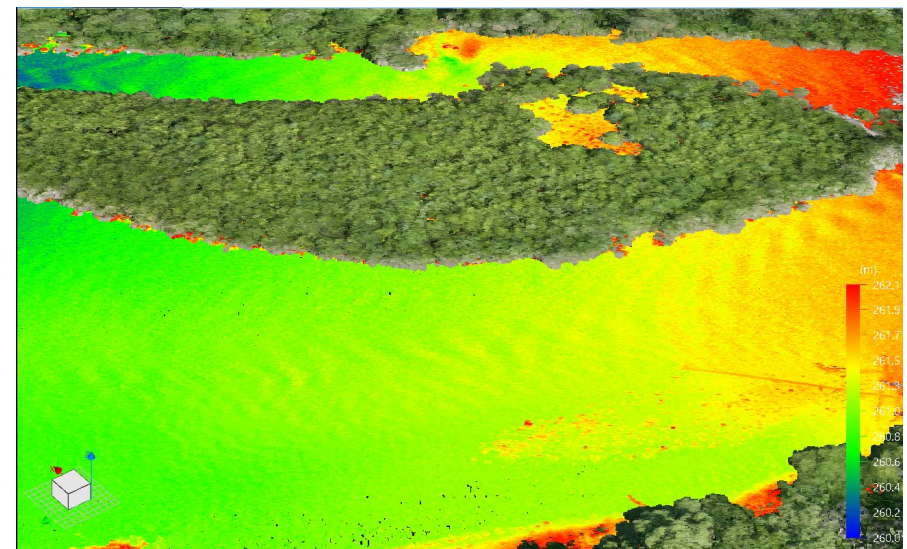
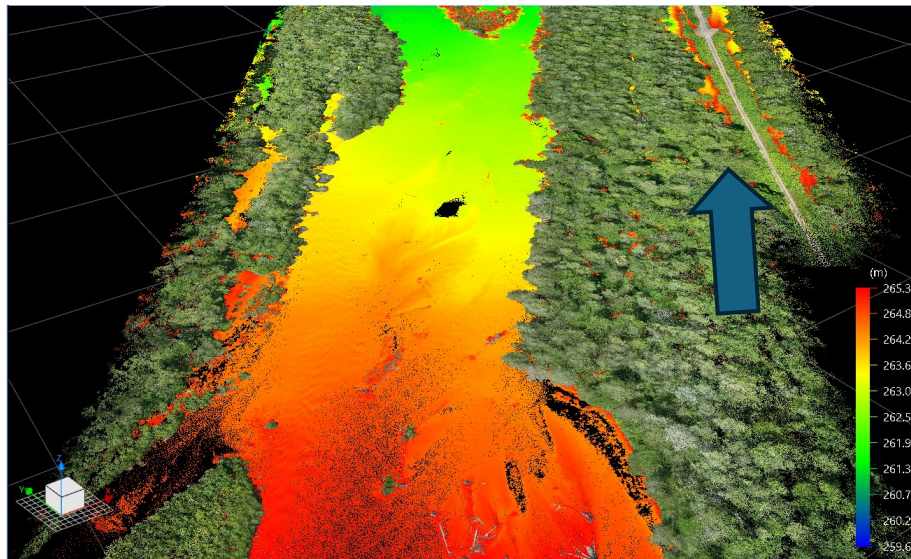
Höfle, B. and Pfeifer, N. (2007): Correction of laser scanning intensity data: Data and model-driven approaches, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62(6), pp.415-433

札内川（フラッシュ放流時）での計測事例

LiDARにより計測された点群（点群をRGBで着色）



LiDARにより計測された点群（点群を標高で着色）



本発表のまとめ

DX関連

表面流速の面的な計測方法

- 画像解析において伝統的な手法であるPIVを採用
- 評定点などはいずれにカメラのアングル情報を用いた手法を採用

水位の面的な計測方法

- 公共測量に資する精度のLiDARを用いて水面の計測を実施した。
- 平水時には点密度が下がるが、洪水時には点密度が上がるのが期待される。

今後の課題

- 流速計測方法の高速化

AI関連

- 表面情報から河床高を推定する手法の確立
- 推定結果は初期値の与え方に大きく依存する。
- 計測された表面情報から物理法則に準じた初期値を作成することで、観測値に近い推定結果を得ることが可能となった。
- 決定係数が0.6程度であっても、洪水時の河床形状の面的な把握は可能であると想定

今後の課題

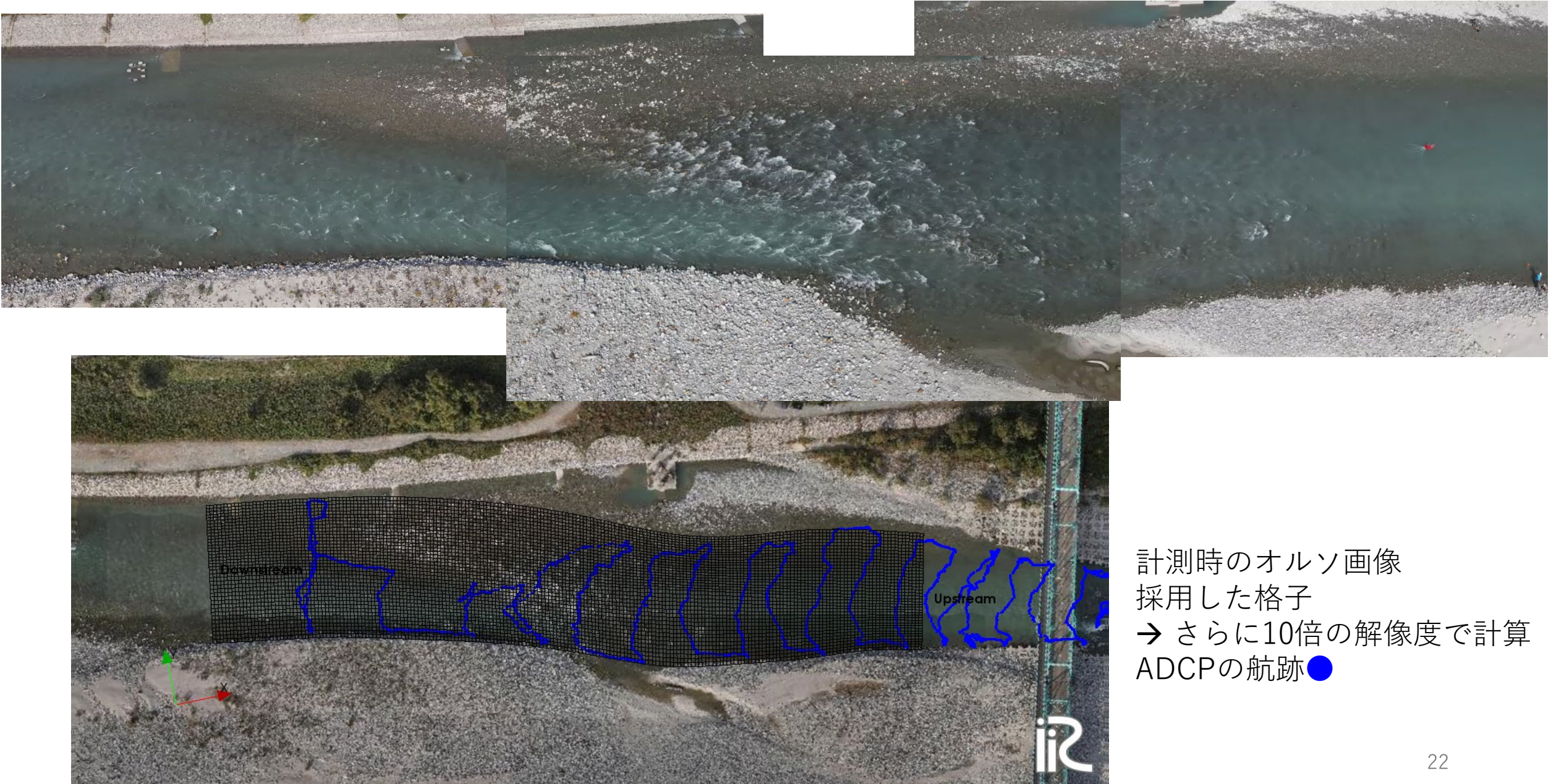
- 実際の河床材料の分布を考慮
- それに応じた粗度の空間分布を導入

想定質問とその解答

質問の分類	想定質問	回答及びコメント
計測範囲について	流速計測に関してはどの程度の範囲をカバーできるか？	一回の映像は最大でも 150m×150m程度 → 飛行高度が150mだから
推定河床高について	どんな種類の河床高の推定も可能？	平面二次元として仮定できる 流れ場のみ対応 → 水制周りの洗堀など局所洗堀は難しい
結果の即時性	流速、水面形の計測、取得されたデータから推定河床高まで得るのにどの程度の時間がかかるの？	データのダウンロード、解析等、 数時間以上かかる。 → 防災上求められる課題であるため今後、重要な改良点
計測可能な気象条件	洪水は大雨、大風条件もあるけれど、どの程度の気象条件なら計測が可能か？	大雨、大風は難しい。しかしながら飛行性能の向上は日進月歩。両者は同時並行で開発されるべき

発表資料に用いた代表的な参考文献

- 萬矢敦啓:実河川における流速・水位の面計測手法の開発とその活用,土木学会論文集, Vol.80, No.16, 23-16028, 2024.
- 萬矢敦啓, 工藤俊:河川表面情報とPINNsを用いた河床高推定の試み, 河川技術論文集,第32巻,pp.679-684, 2026年6月



計測時のオルソ画像
採用した格子
→ さらに10倍の解像度で計算
ADCPの航跡●