



流砂河床変動の若手勉強会（札幌）

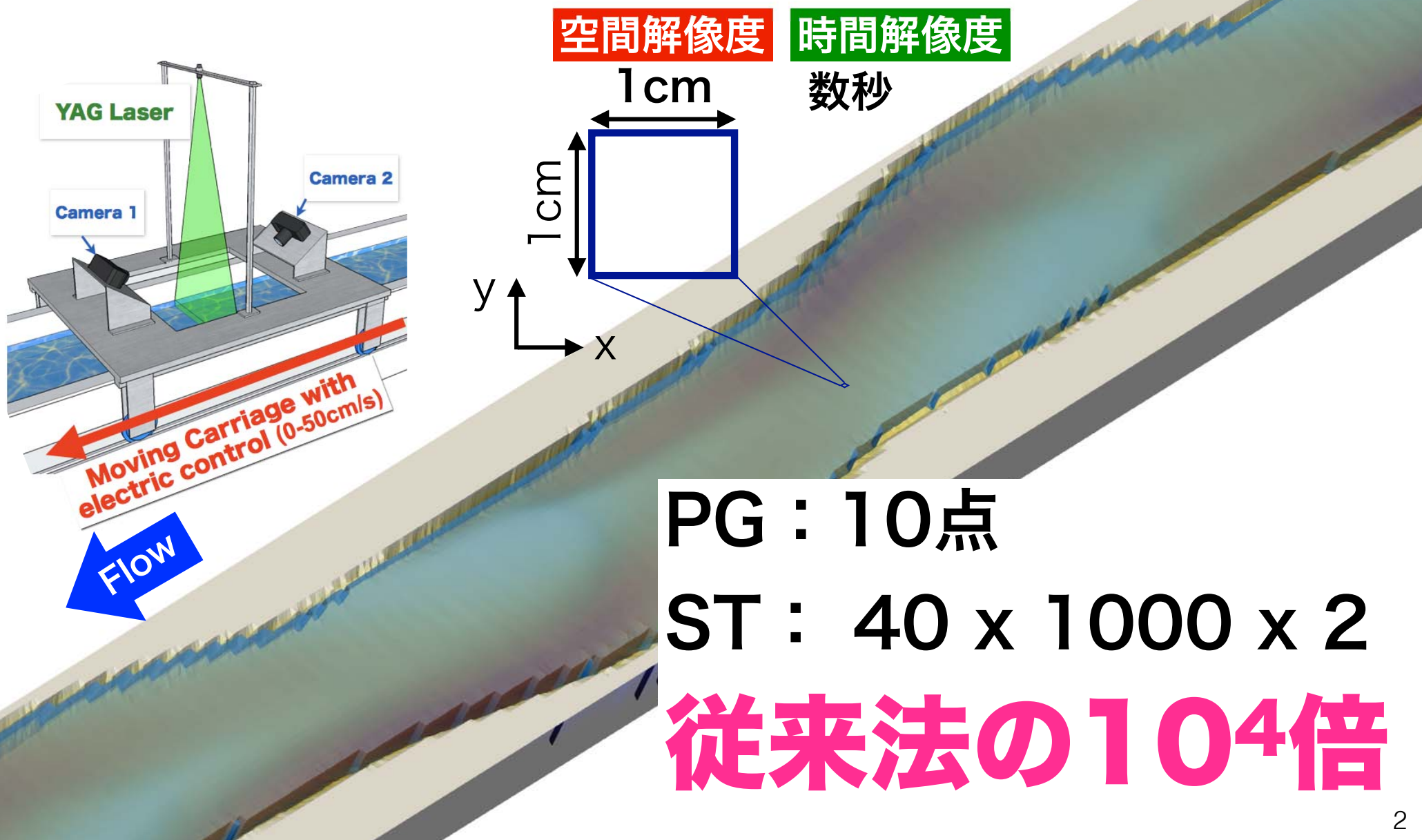
2019年8月25日

モデル駆動とデータ駆動の 協調による砂州の機構解明

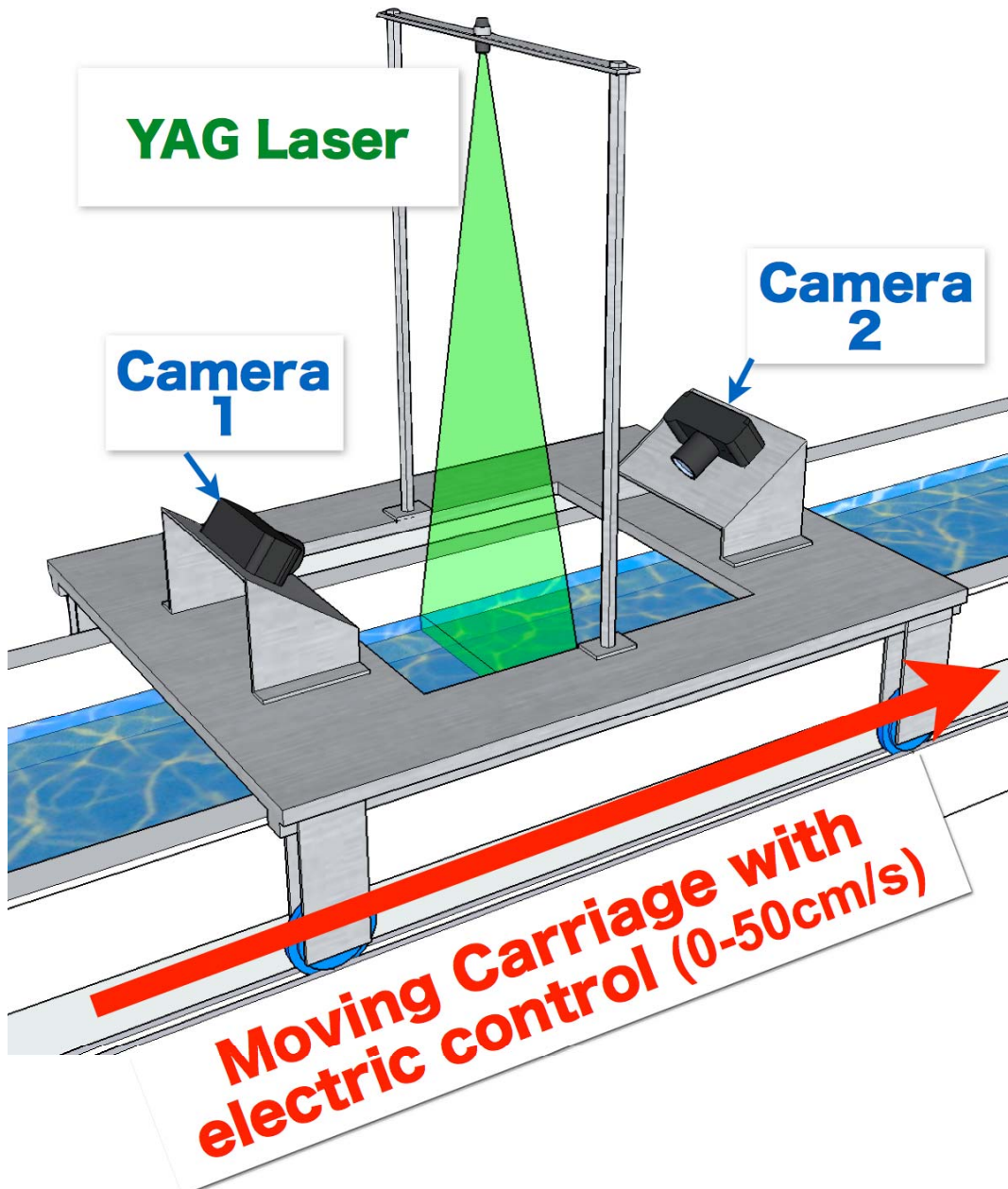
新潟大学 安田 浩保

水面・底面の非接触同時計測

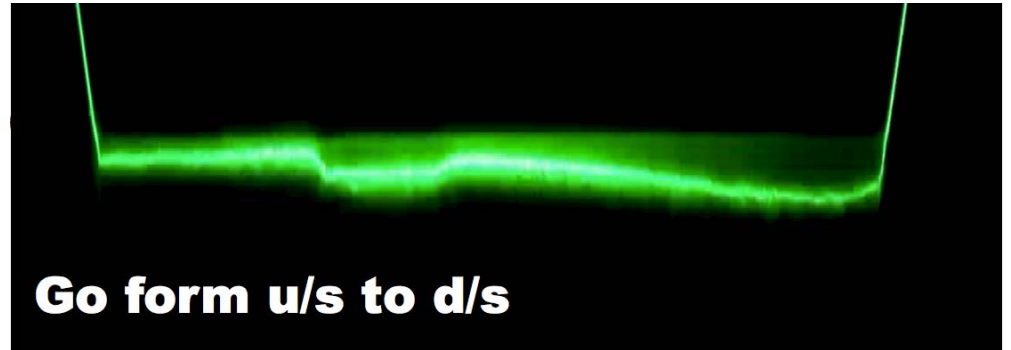
Data & Information Richの境遇を作る



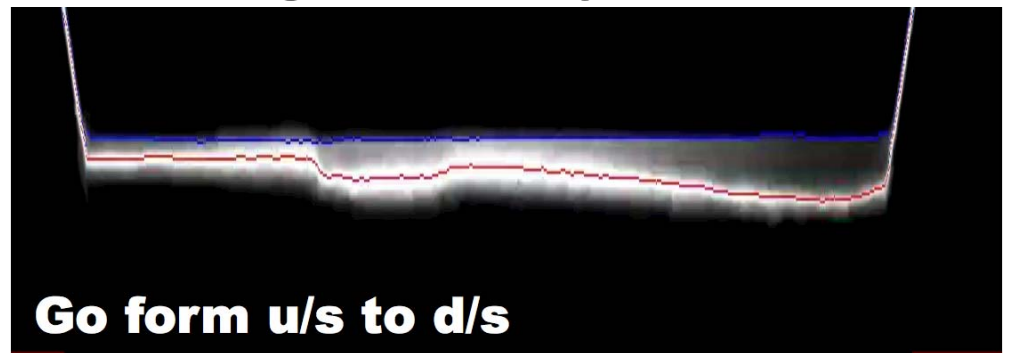
水面・底面の高解像度計測法



1. Taking Photograph:

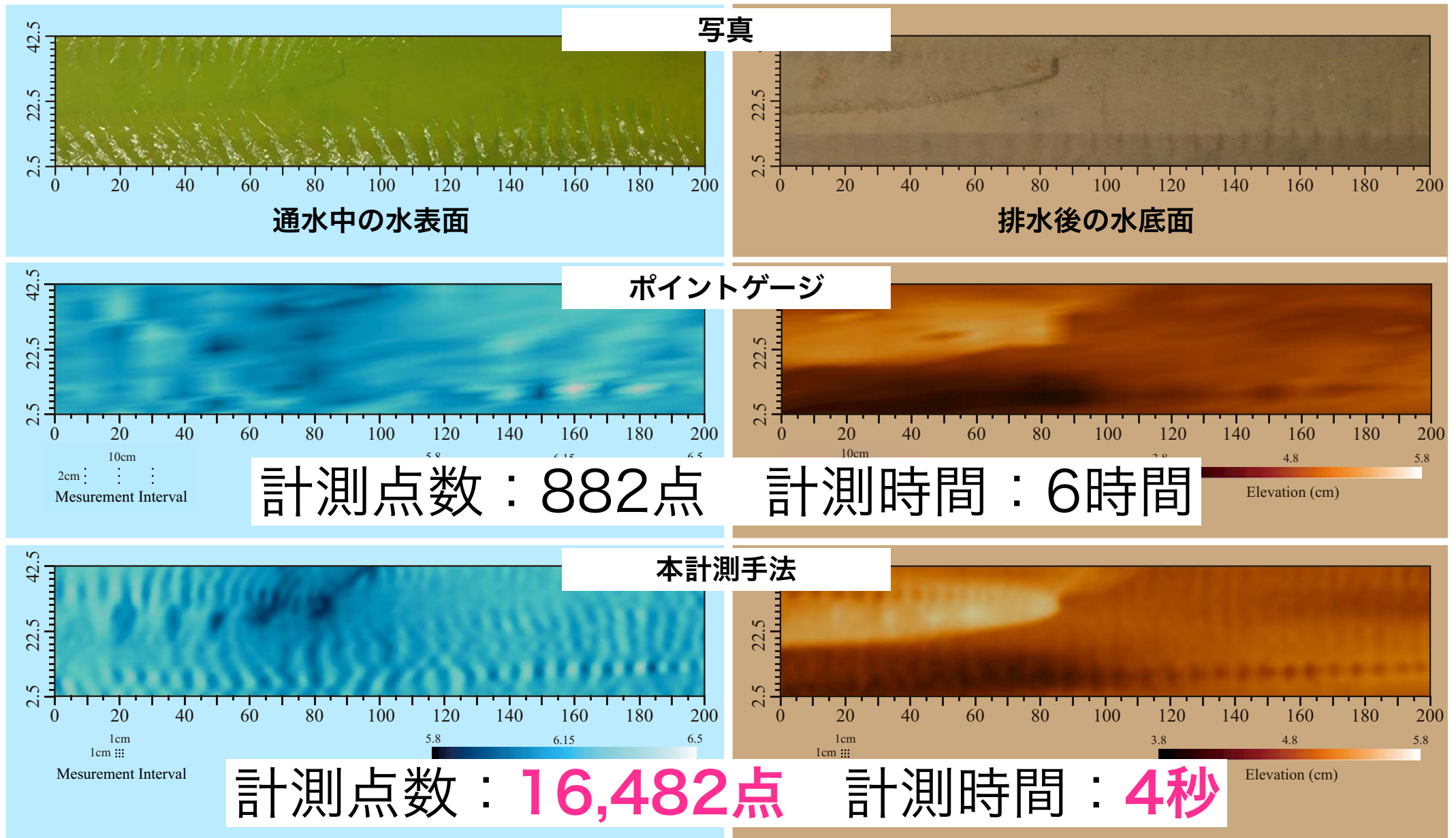


2. Image Analysis:



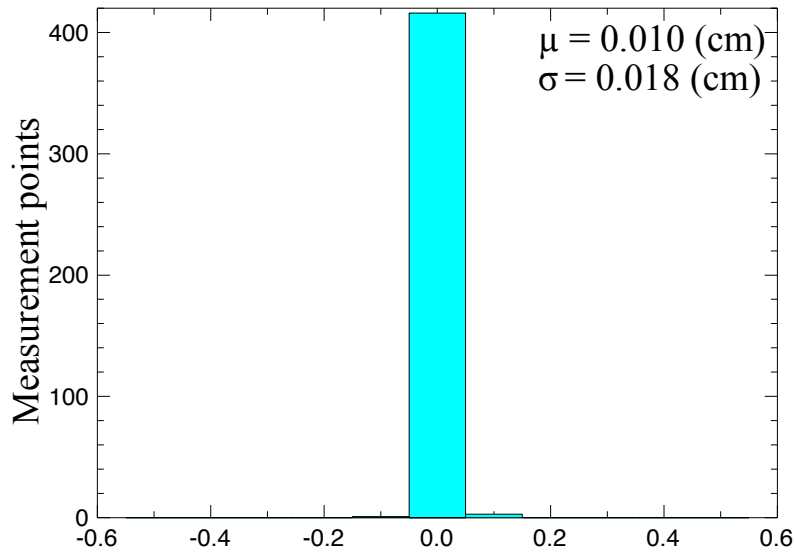
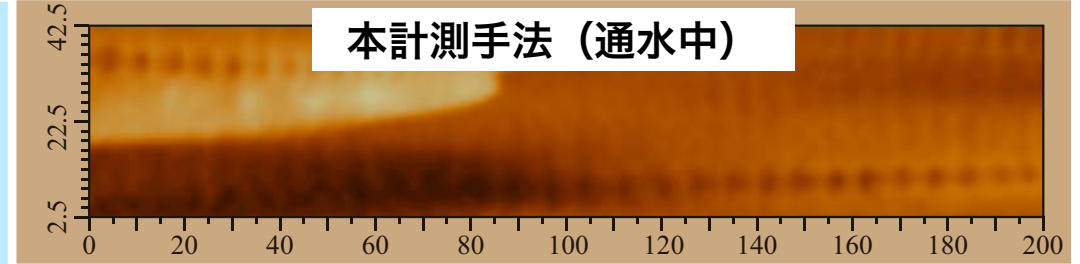
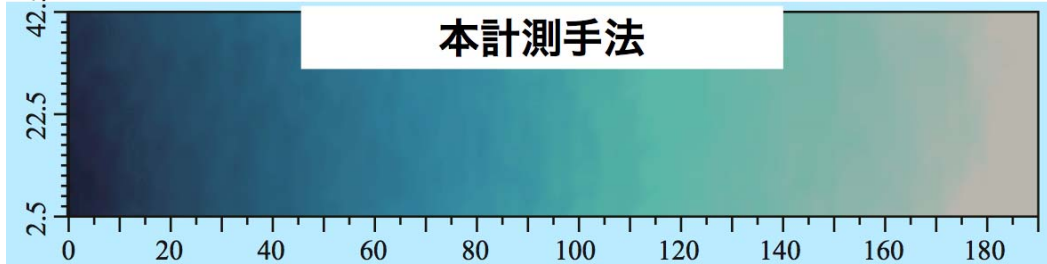
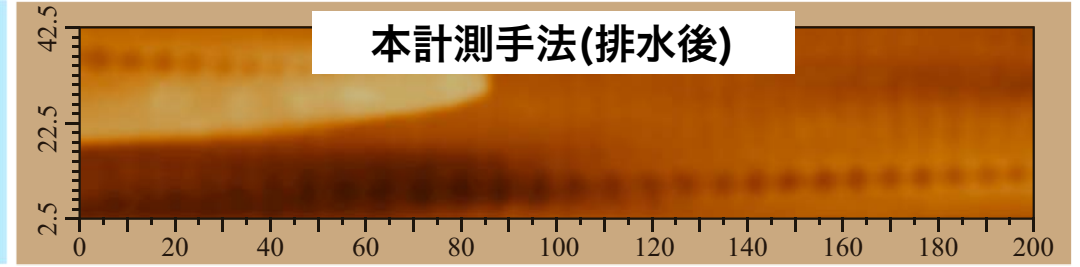
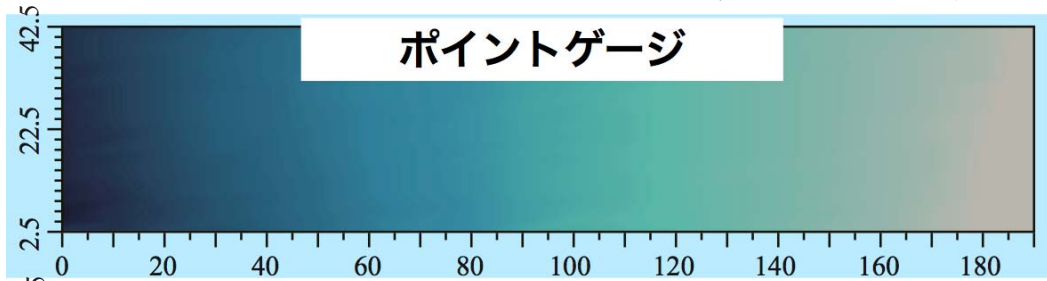
時空間的に高解像度な水表面と水底面の定量情報の取得が可能

移動床水理への適用性の検証

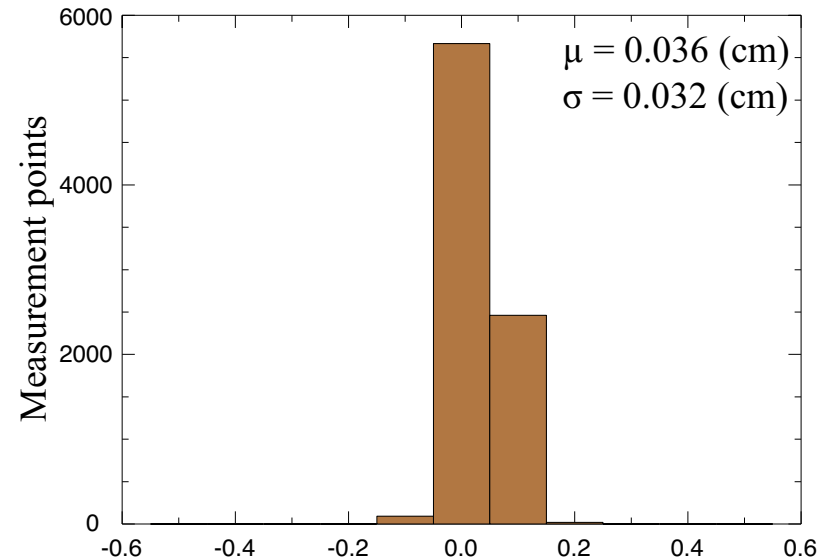


時空間的に高密度な計測が可能

本計測手法の計測精度



水面位のヒストグラム

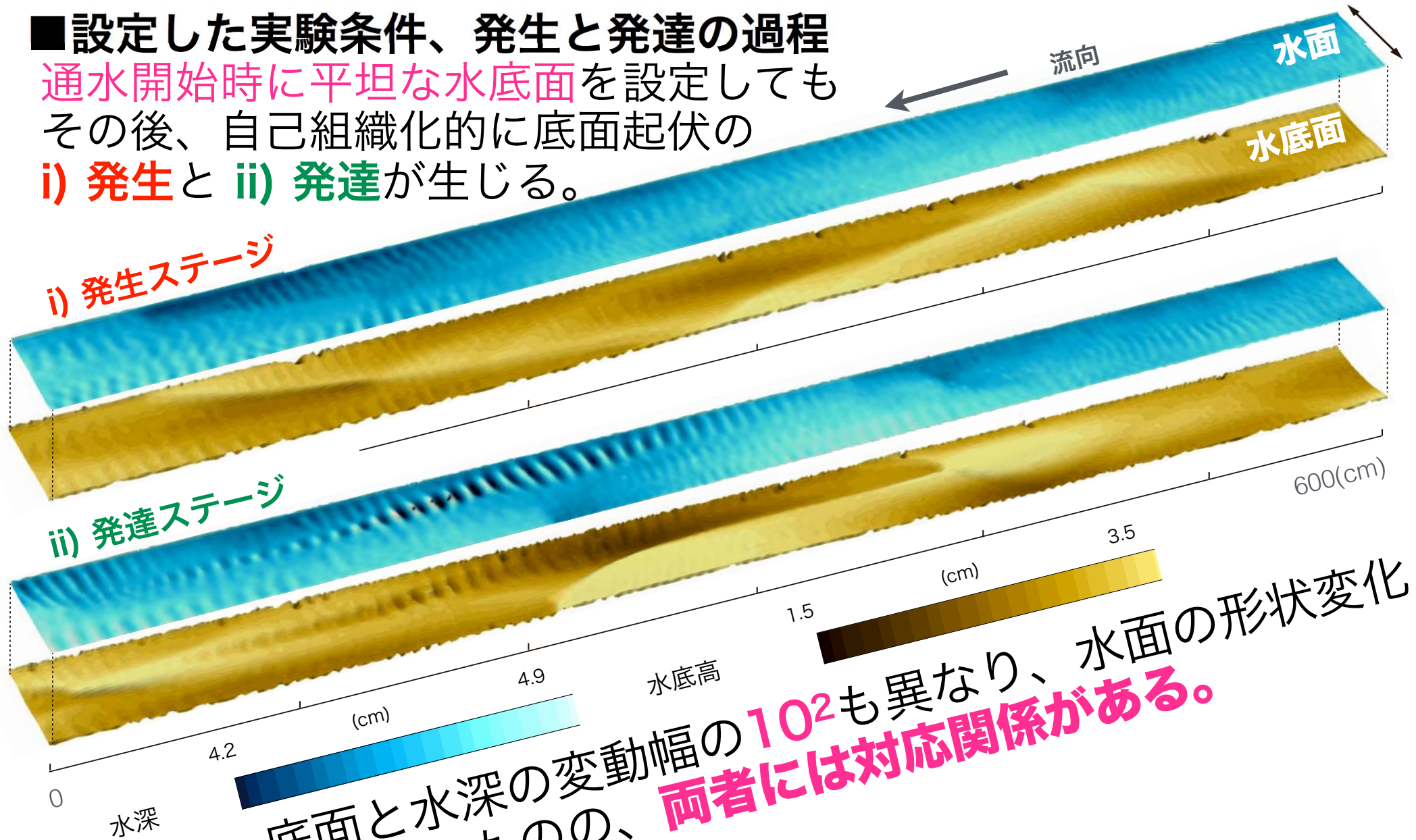


水底位のヒストグラム

計測誤差は現象の最大波高の 3% 未満

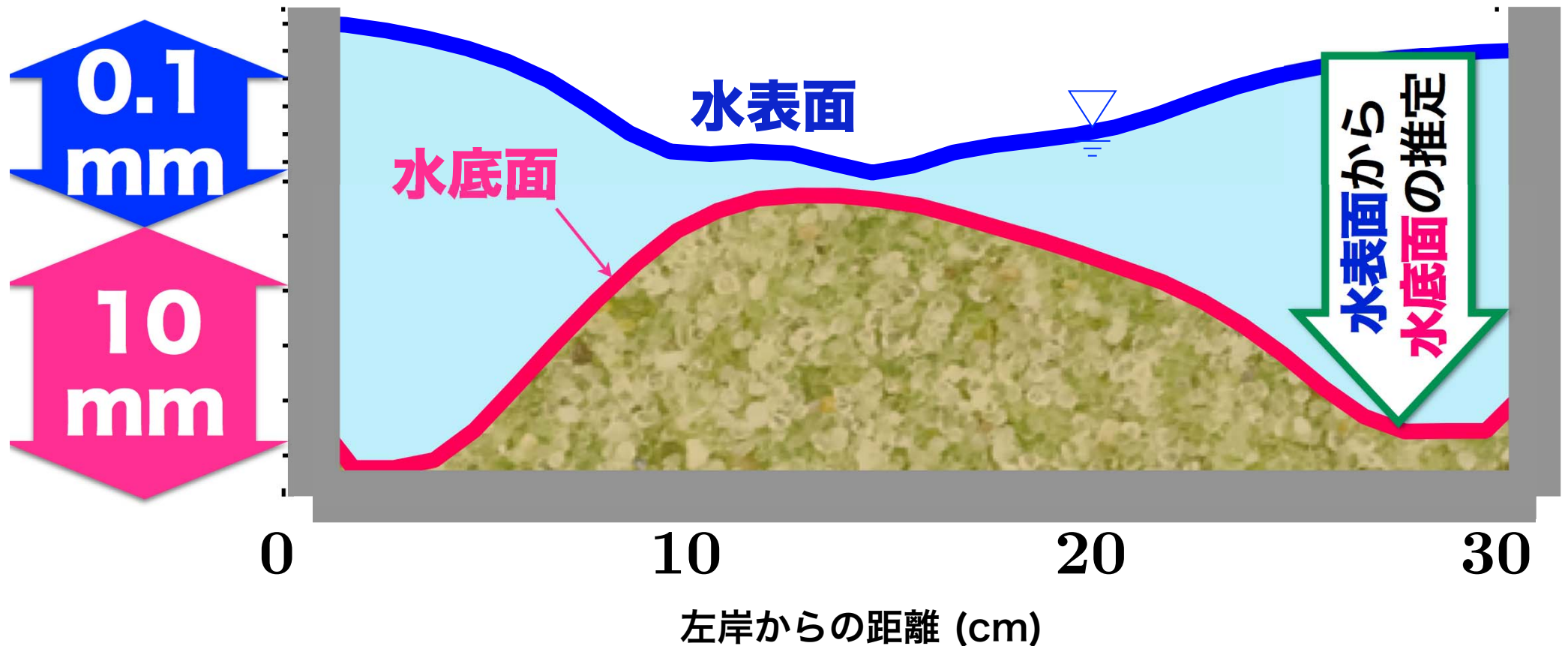
水面・底面の非接触同時計測

■設定した実験条件、発生と発達の過程
通水開始時に平坦な水底面を設定しても
その後、自己組織化的に底面起伏の
i) 発生と ii) 発達が生じる。



底面と水深の変動幅の 10^2 も異なり、水面の形状変化は微細なもの、**両者には対応関係がある。**

水面・底面の一意的対応関係 (水路幅方向)



底面と水深の変動幅の 10^2 も異なり、水面の形状変化は微細なもの、**両者には対応関係がある。**

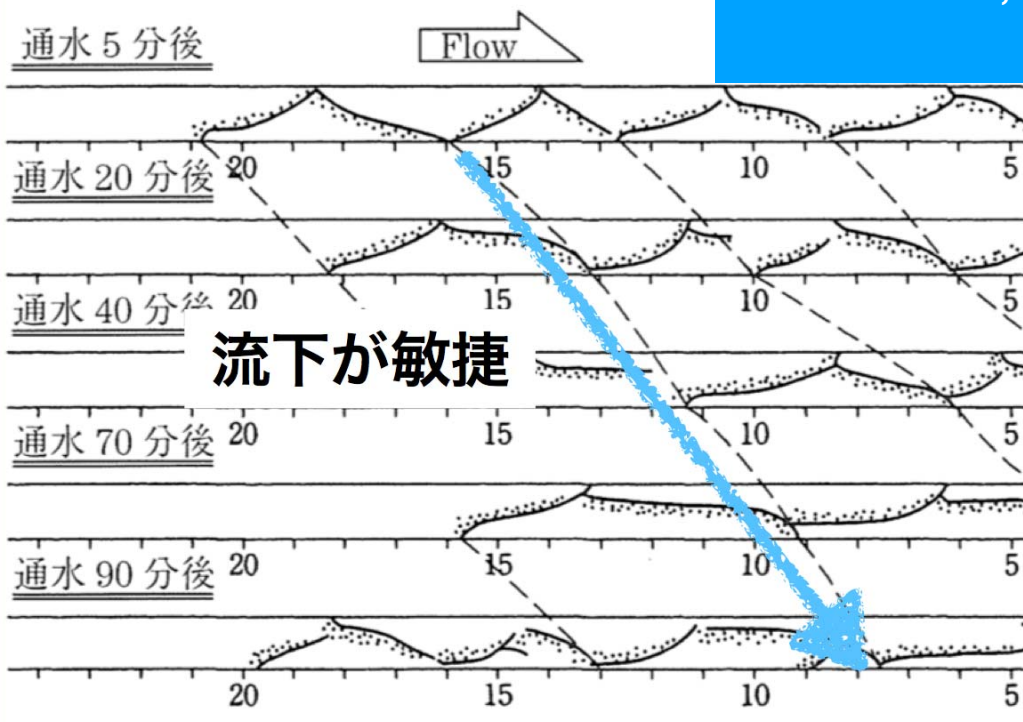
交互砂州の流下に関する認識

流下を維持する

実験時間: **90 min**

$B/H = 43, I_b = 1/120$

d, τ^*



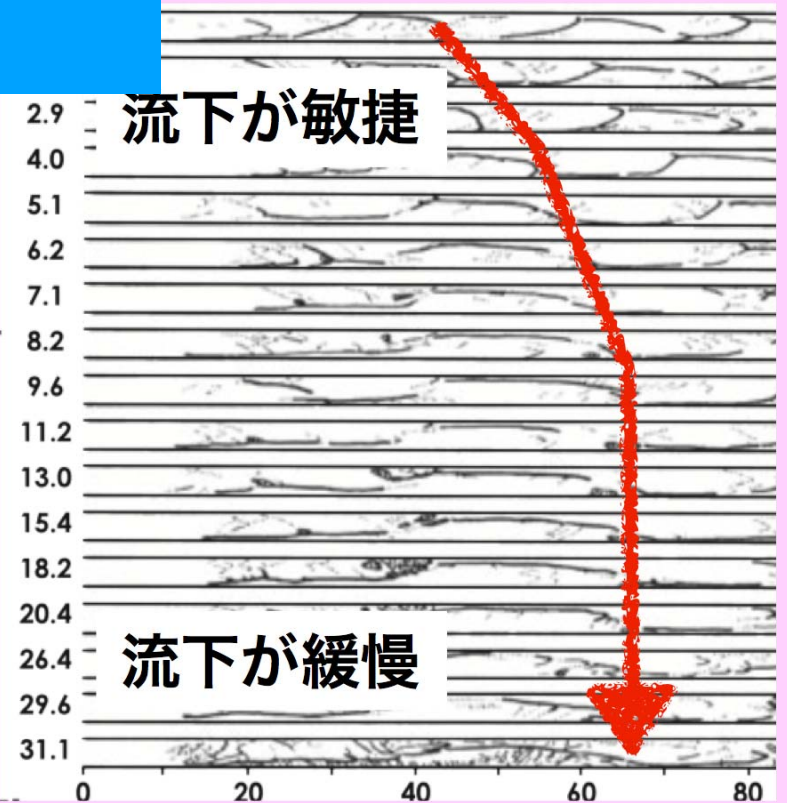
引用：山本らの実験, 1987

流下を維持しない

実験時間: **31 hour**

$B/H = 43, I_b = 1/96$

時間 [h]



引用：Ikeda H, Experiments on bedload transport, bedforms, and sedimentary structures using fine gravel in the 4-meter-wide flume, 1983

どのような条件で流下を維持するかわからない

河床の双曲型方程式の導出

流砂の連続式

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1 - \lambda} \frac{\partial q_B}{\partial x} = 0$$

流砂関数(M.P.M式)

$$q_B = 8(\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \sqrt{sgd^3}$$

定常の水面形方程式

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{i_b - I_e}{1 - Fr^2}$$

新たに構築した非定常の水面形方程式

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{i_b - I_e}{1 + \frac{4}{3}Fr^2}$$

$$\frac{\partial q_{Bx}}{\partial x} = \frac{\partial q_{Bx}}{\partial \tau_{*x}} \frac{\partial \tau_{*x}}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial x}$$

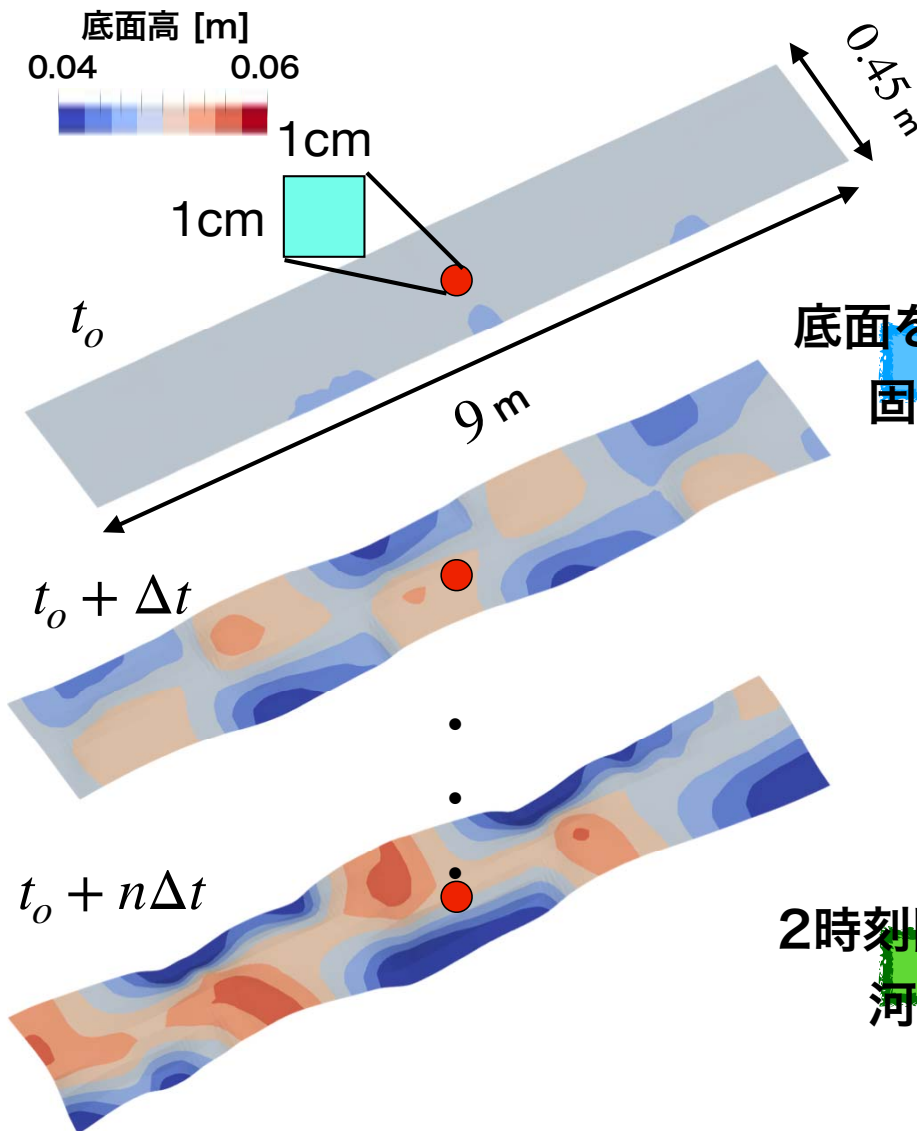
$$\frac{\partial z}{\partial t} + M_{s,u} \frac{\partial z}{\partial x} = -I_e M_{s,u}$$

$$M_s = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3} I_e}{sd(1 - \lambda)(1 - Fr^2)}$$

$$M_u = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3} I_e}{sd(1 - \lambda)(1 + \frac{4}{3}Fr^2)}$$

砂州の流下速度式の適用性検証

- 計測した底面を既知とした固定床計算を実施
- 計算の水理量を用いて河床変動量を算出し，実測値と比較



底面を既知とした
固定床計算

交互砂州の流下速度の理論式

$$\frac{\partial z}{\partial t} + M \frac{\partial z}{\partial x} = -MI_e$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -M \left(\frac{\partial z}{\partial x} + I_e \right)$$

実測値による河床変動量

2時刻間の高さから
河床変動量

$$\frac{\Delta z}{\Delta t} = \frac{z_t - z_{t-1}}{10 \text{ min}}$$

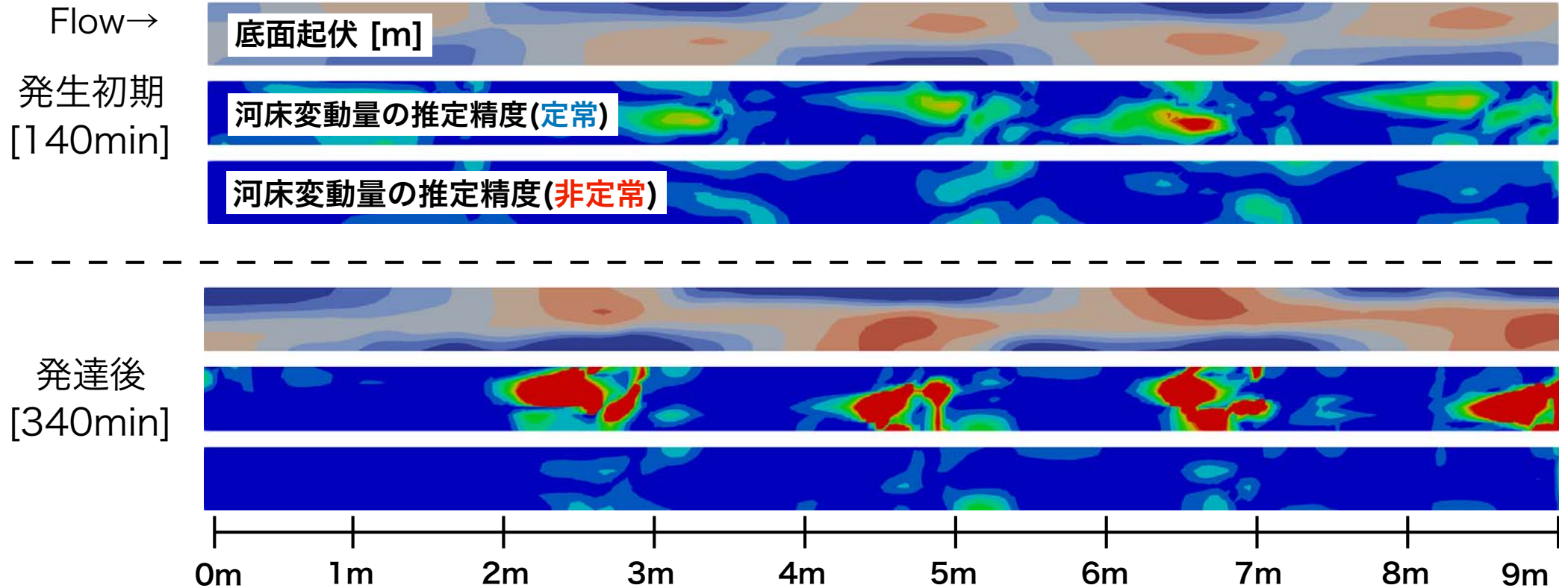
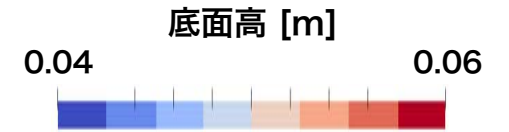
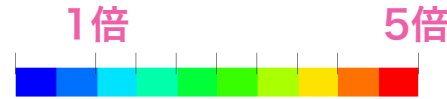
砂州の流下速度式の適用性検証

$$\frac{\partial z}{\partial t} + M_{s,u} \frac{\partial z}{\partial x} = - M_{s,u} I_e$$

$$M_s = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3 I_e}}{sd(1 - \lambda)(1 - F_r^2)}$$

$$M_u = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3 I_e}}{sd(1 - \lambda)(1 + \frac{4}{3}F_r^2)}$$

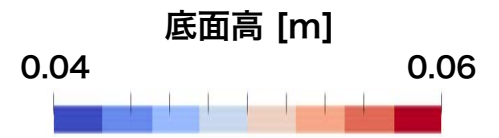
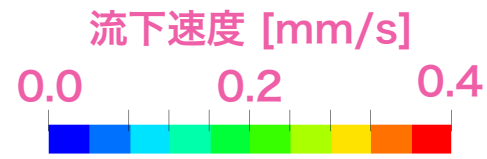
河床変動量の推定精度
(実測値-推定値)/粒径



非定常性を考慮した流下速度式は十分に実測値を推定

※等流流速は
270 [mm/s]

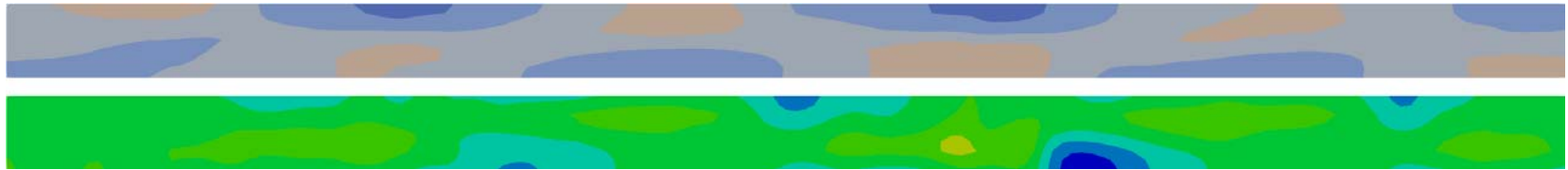
$$M_u = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3 I_e}}{sd(1 - \lambda)(1 + \frac{4}{3}F_r^2)}$$



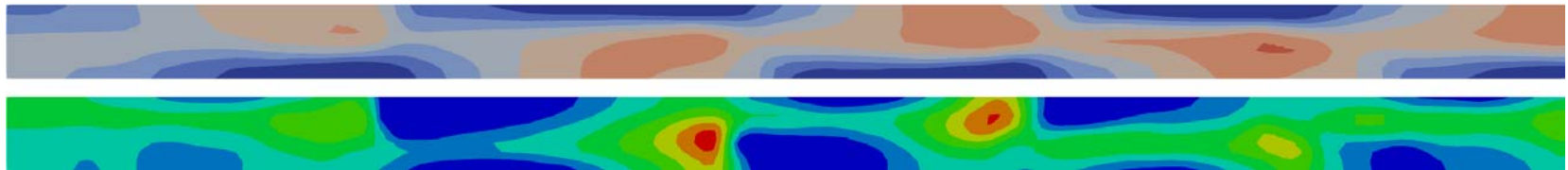
平坦床
[10min]



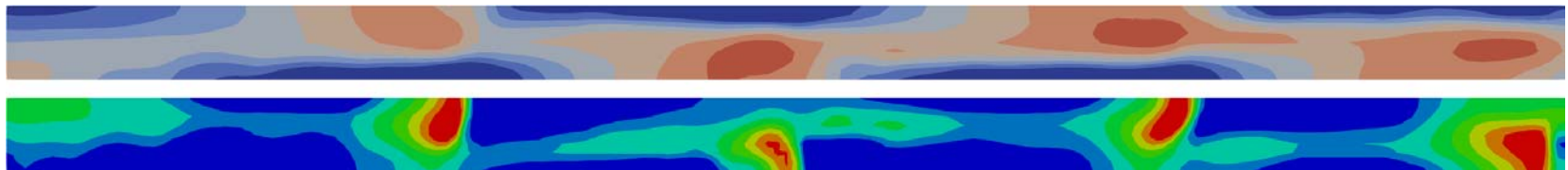
発達初期
[90min]



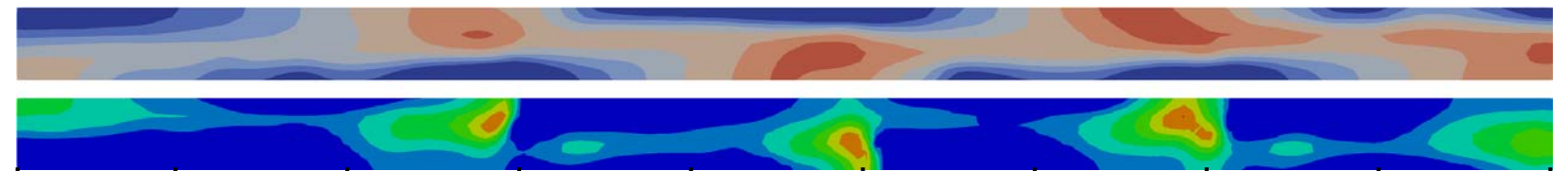
発達初期
[180min]



発達後
[270min]

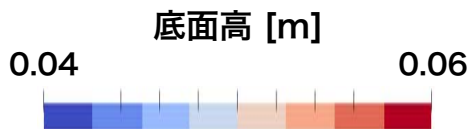


発達後
[360min]



砂州の流下速度は空間分布を持ち、流速の 10^{-3} ほど遅い

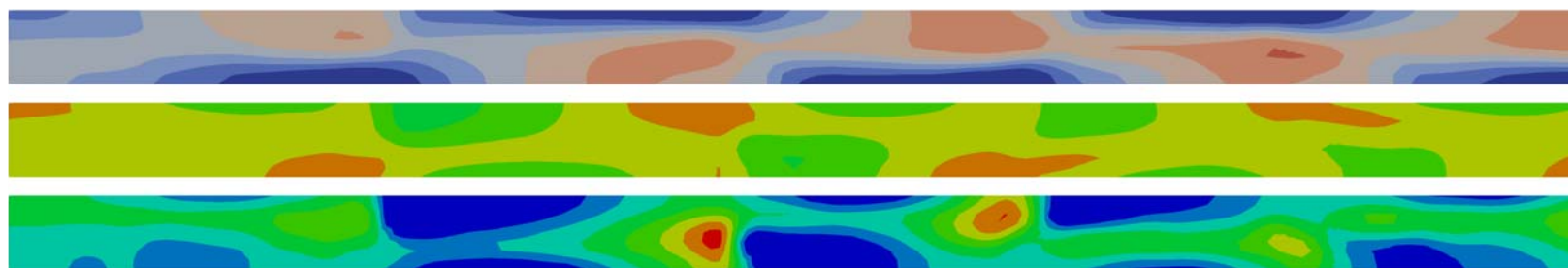
$$M_u = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{1/2} \sqrt{sgd^3 I_e}}{sd(1 - \lambda)(1 + \frac{4}{3} F_r^2)}$$



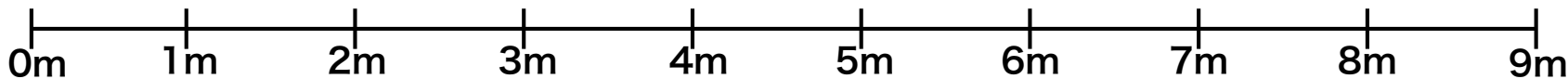
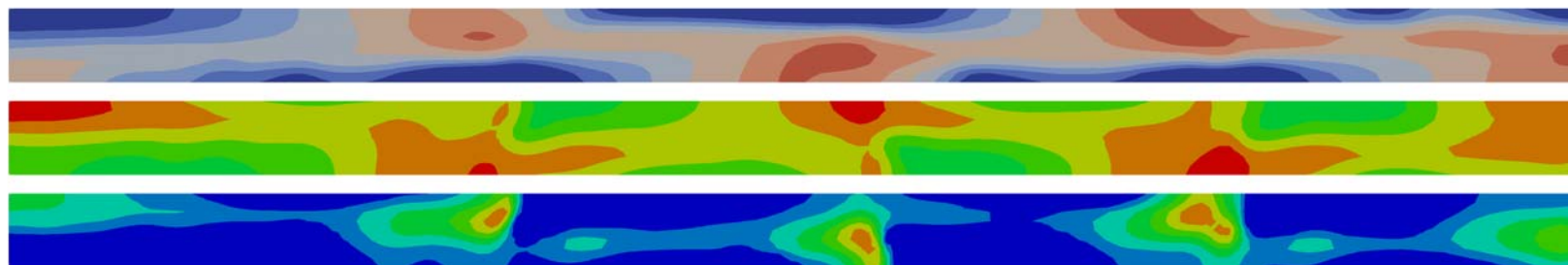
平坦床
[10min]



発達初期
[180min]



発達後
[360min]



砂州の流下速度は空間分布を持ち，流速の 10^{-3} ほど遅い

14 エネルギー損失の時空間の変化

IRIC Software
Changing River Science

水底位の変位量(cm)

エネルギー損失

流向 →

2.0

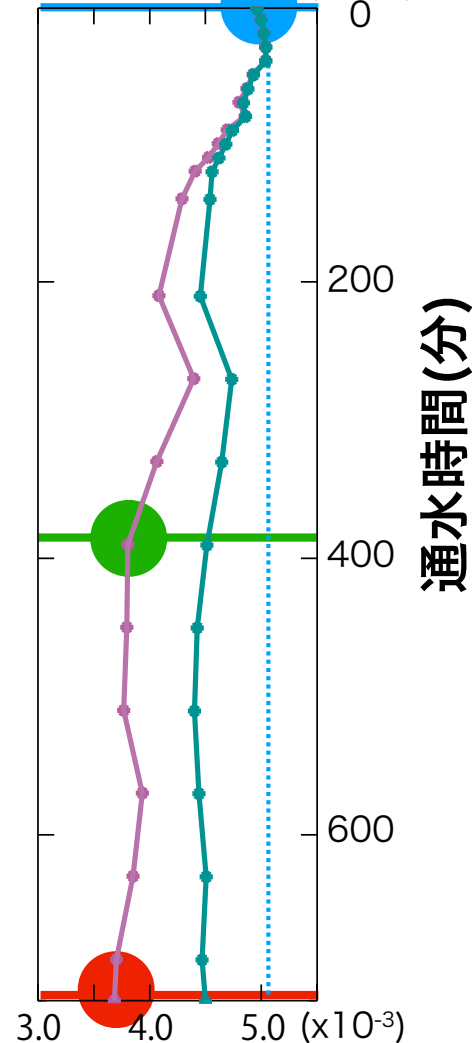
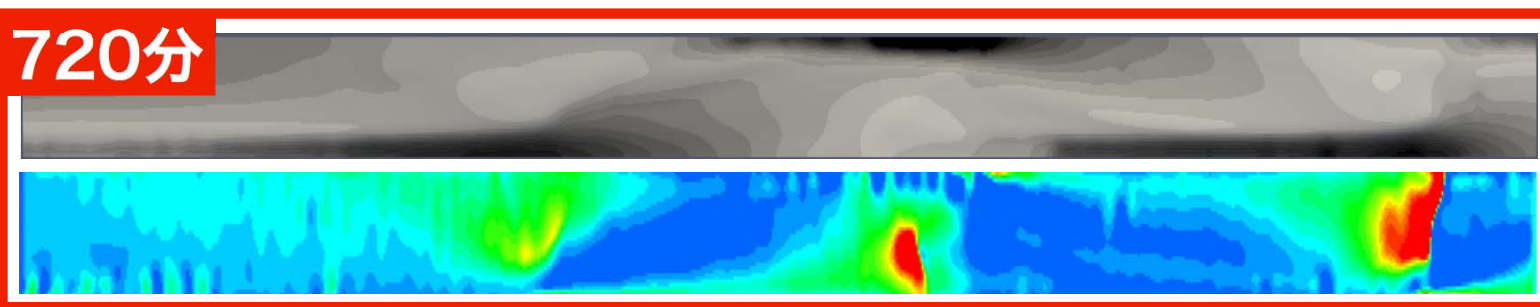
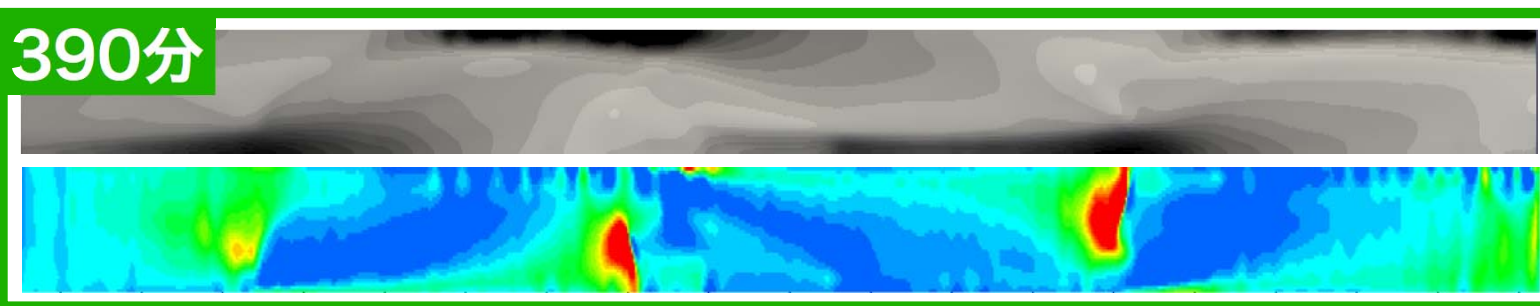
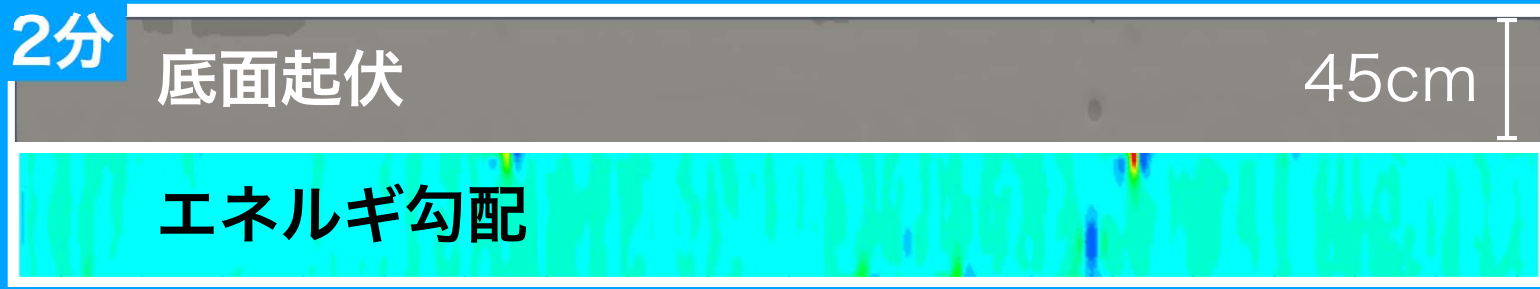
6.0

0.00

0.02

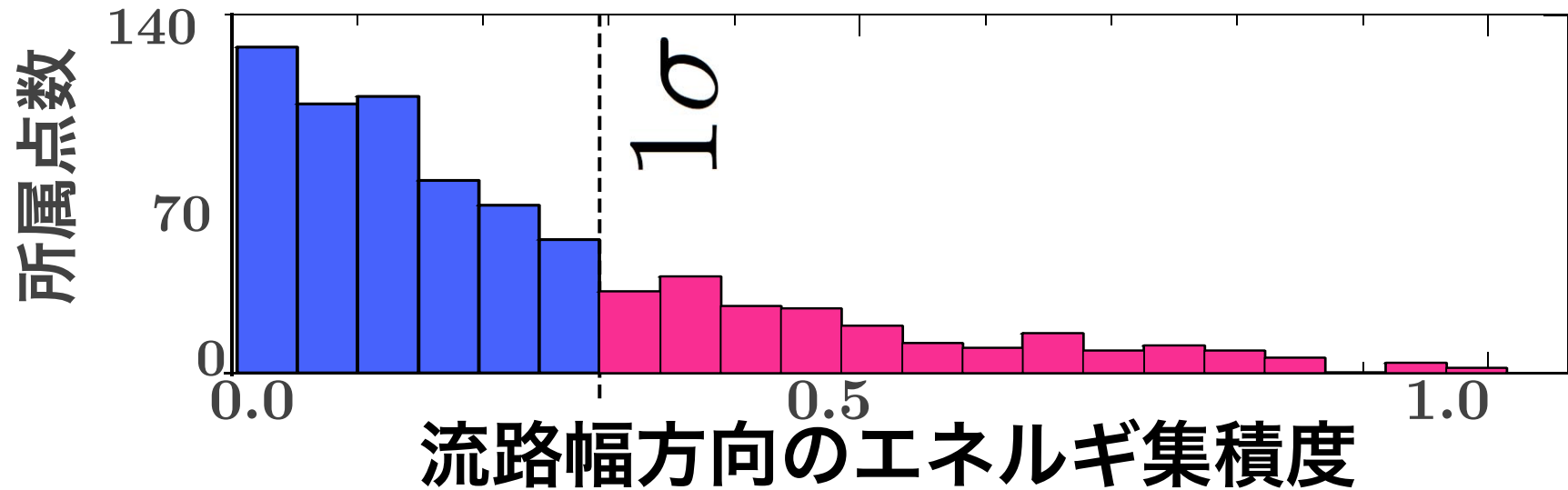
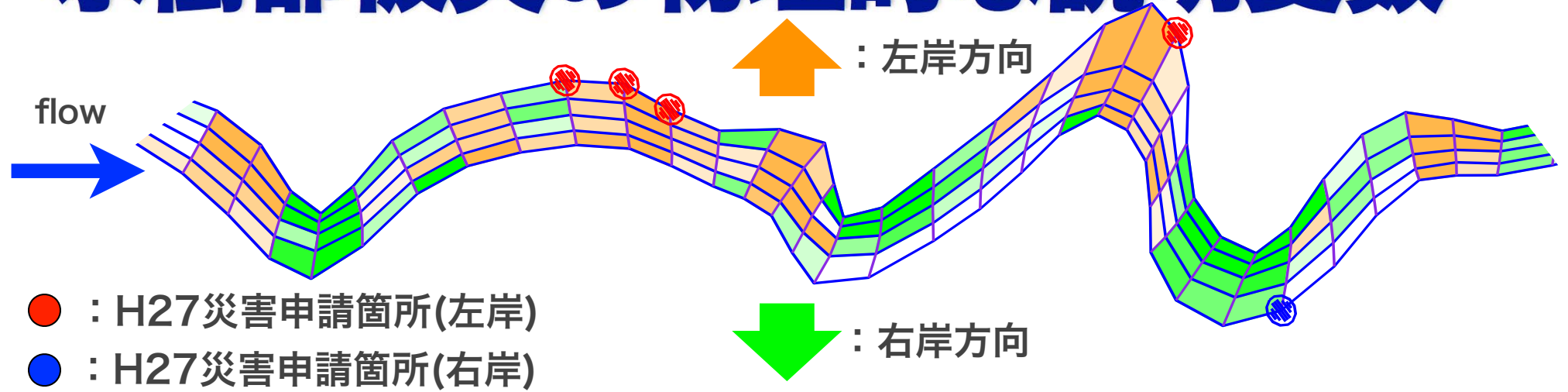
全区間で平均した
エネルギー損失

3.0 4.0 5.0 ($\times 10^{-3}$)



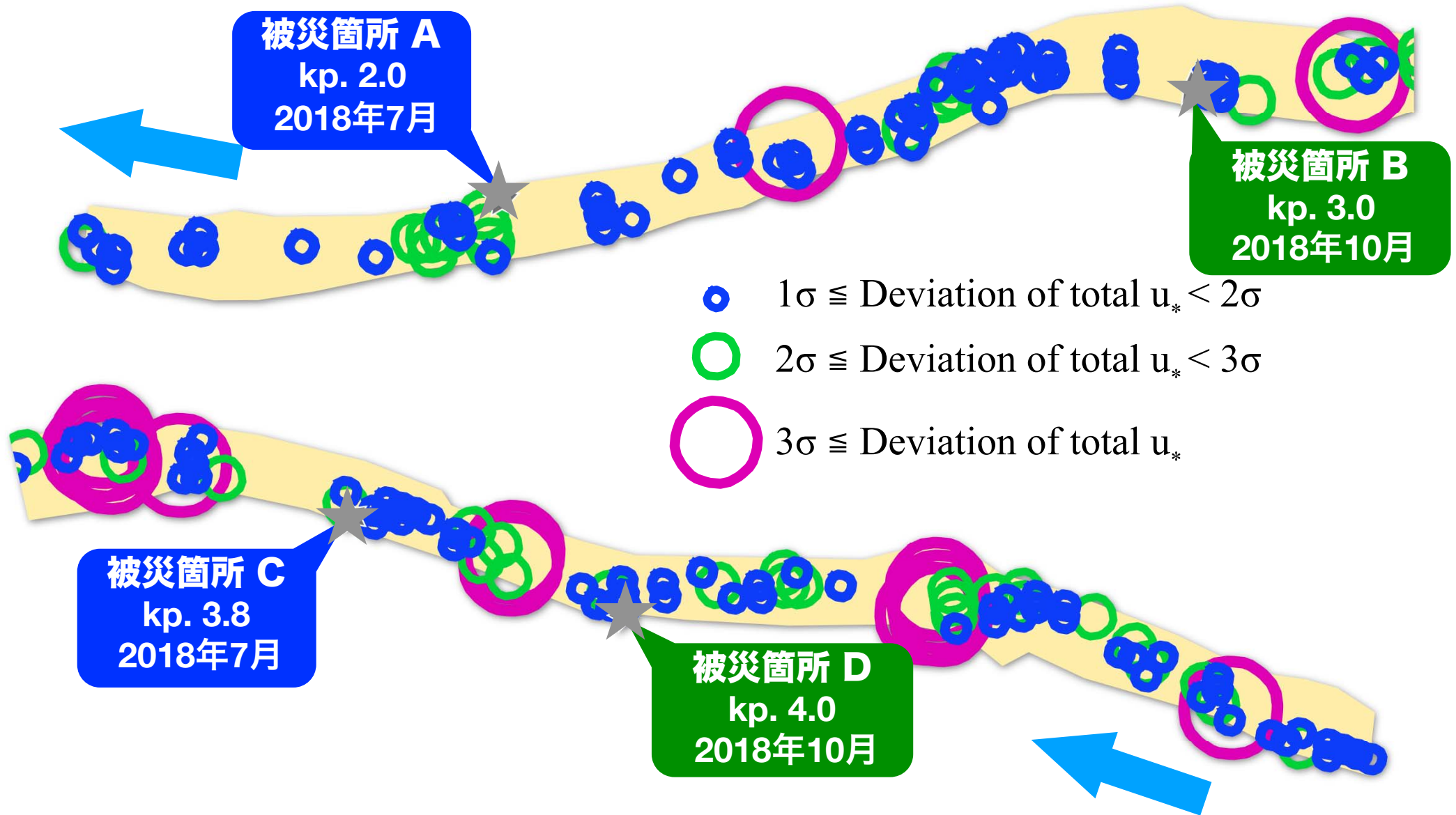
平坦床より砂州河床はエネルギー損失は20%減少

水衝部被災の物理的な説明変数



流路幅方向のエネルギー集積度の階級が**1σ以上**に
全被災箇所の3/4が所属⁵

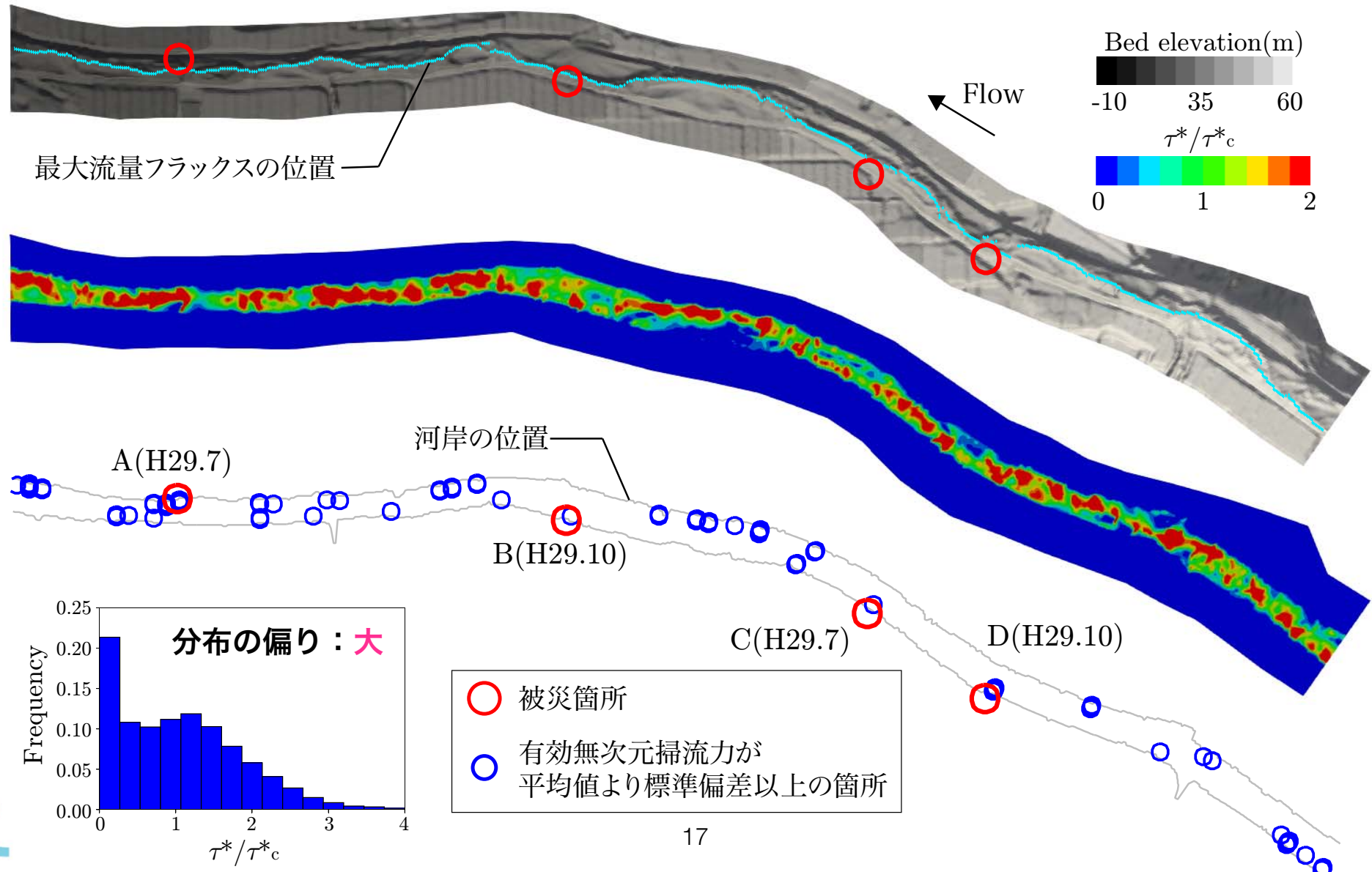
摩擦速度と被災箇所の関係



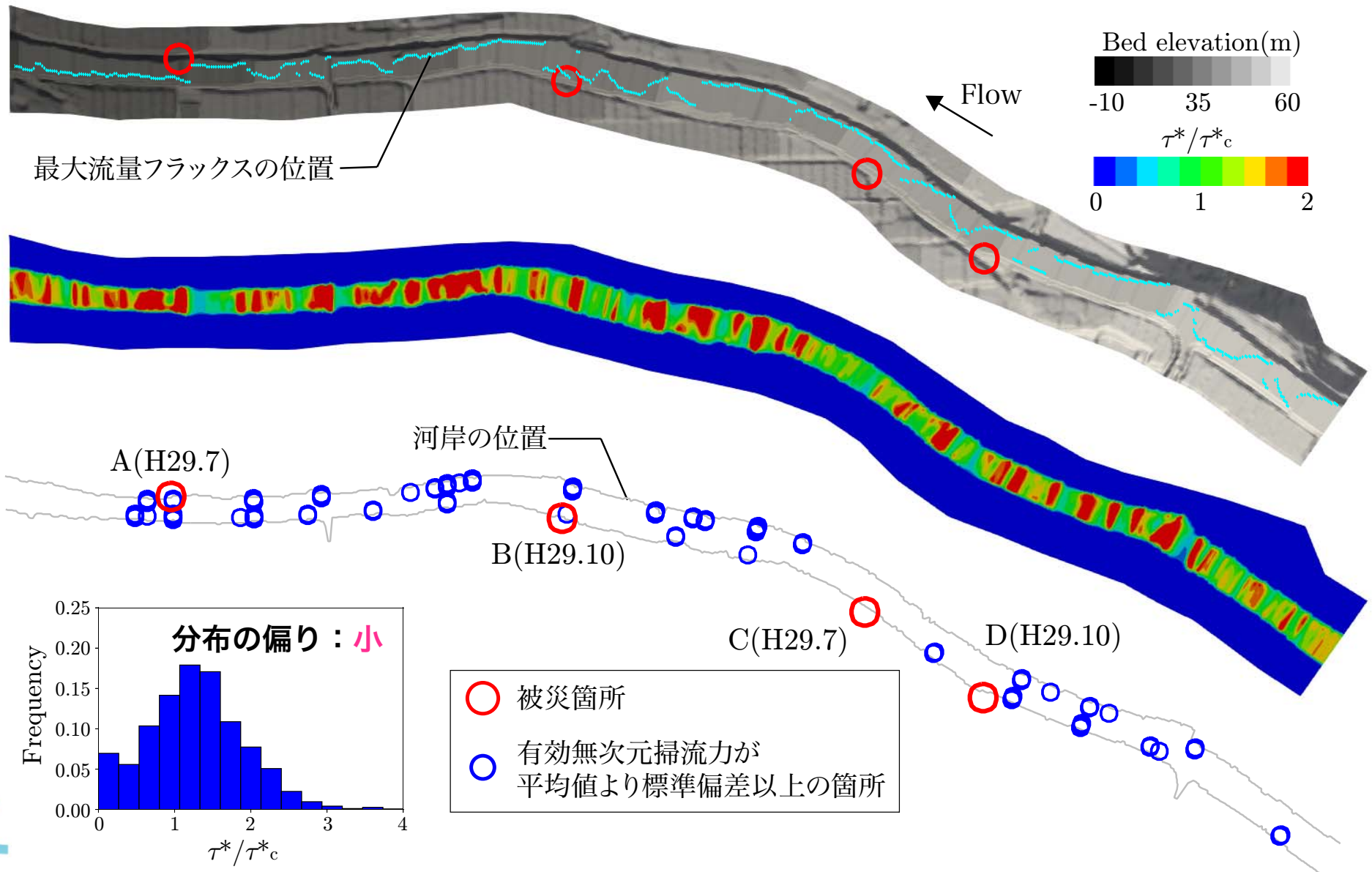
洪水前の河川地形に基づき脆弱点が推定可能か

河道脆弱区間の推定・砂州地形

□ 交互砂州の形成を要因とした滞筋の偏心が河岸欠損等の被災箇所と関係か？

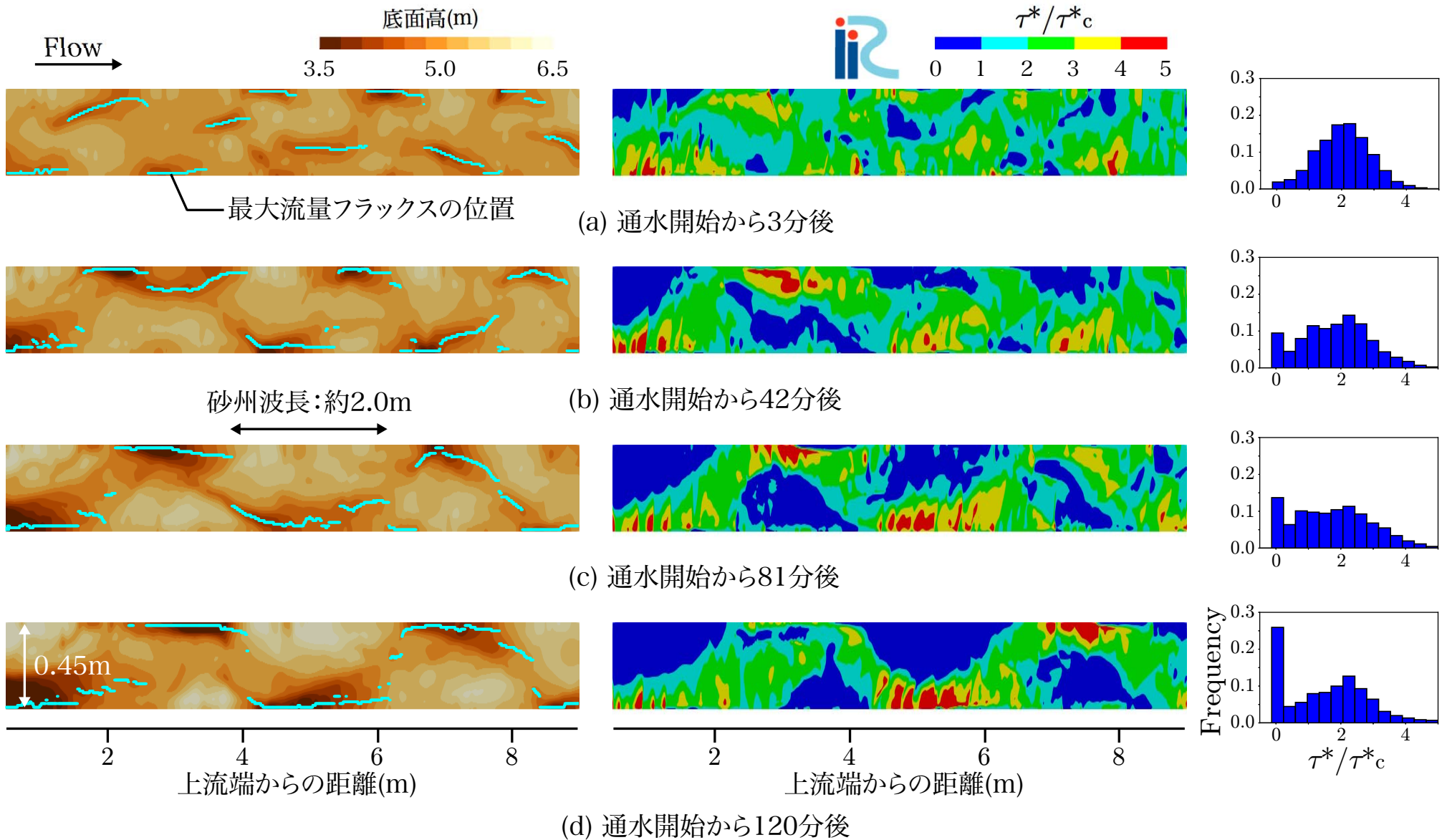


河道脆弱区間の推定・平坦床



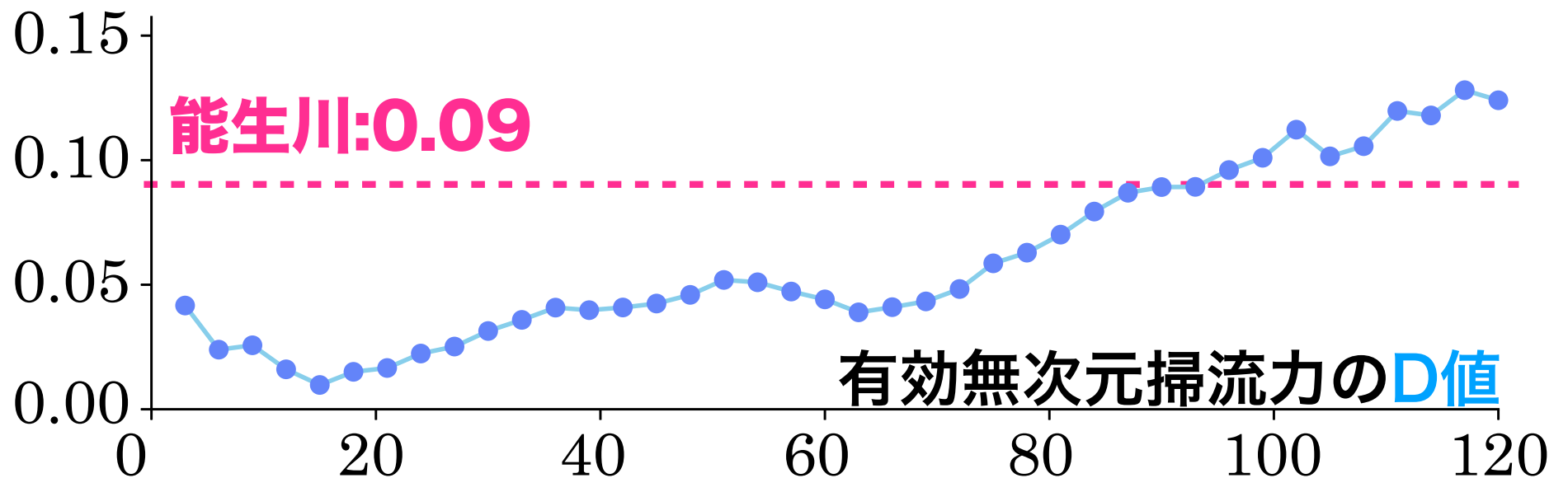
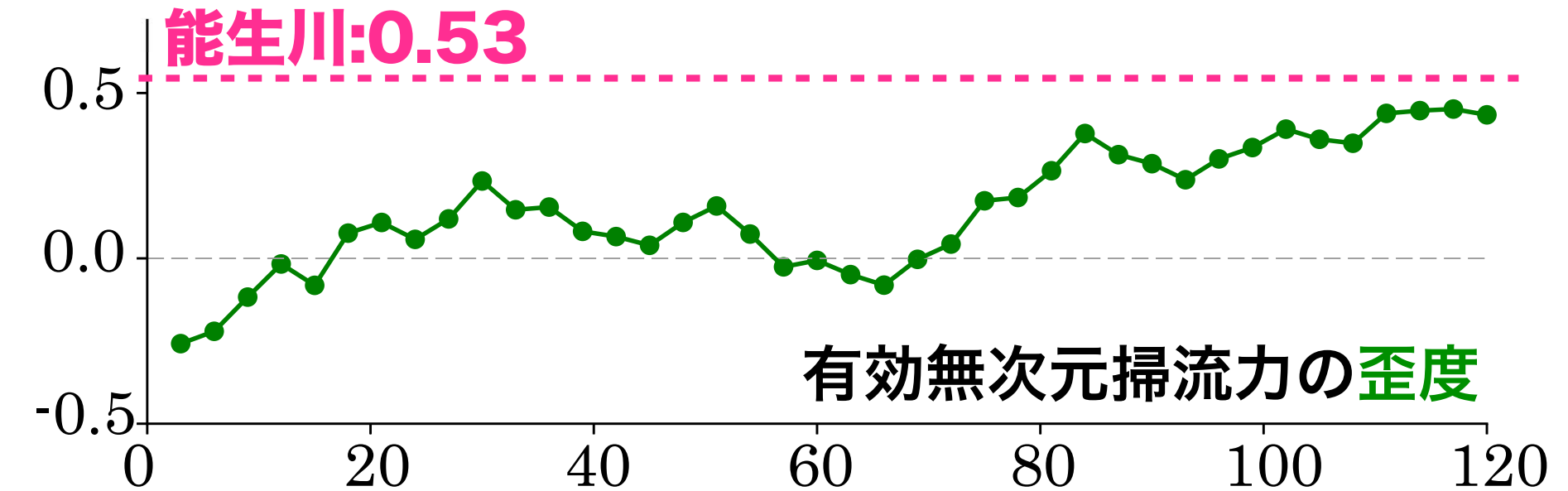
流路の平面形状よりも交互砂州の形成を要因とした滞筋の偏心が**河岸欠損等の被災箇所との関係性が示唆**

被災可能性が高い河道状態の推定



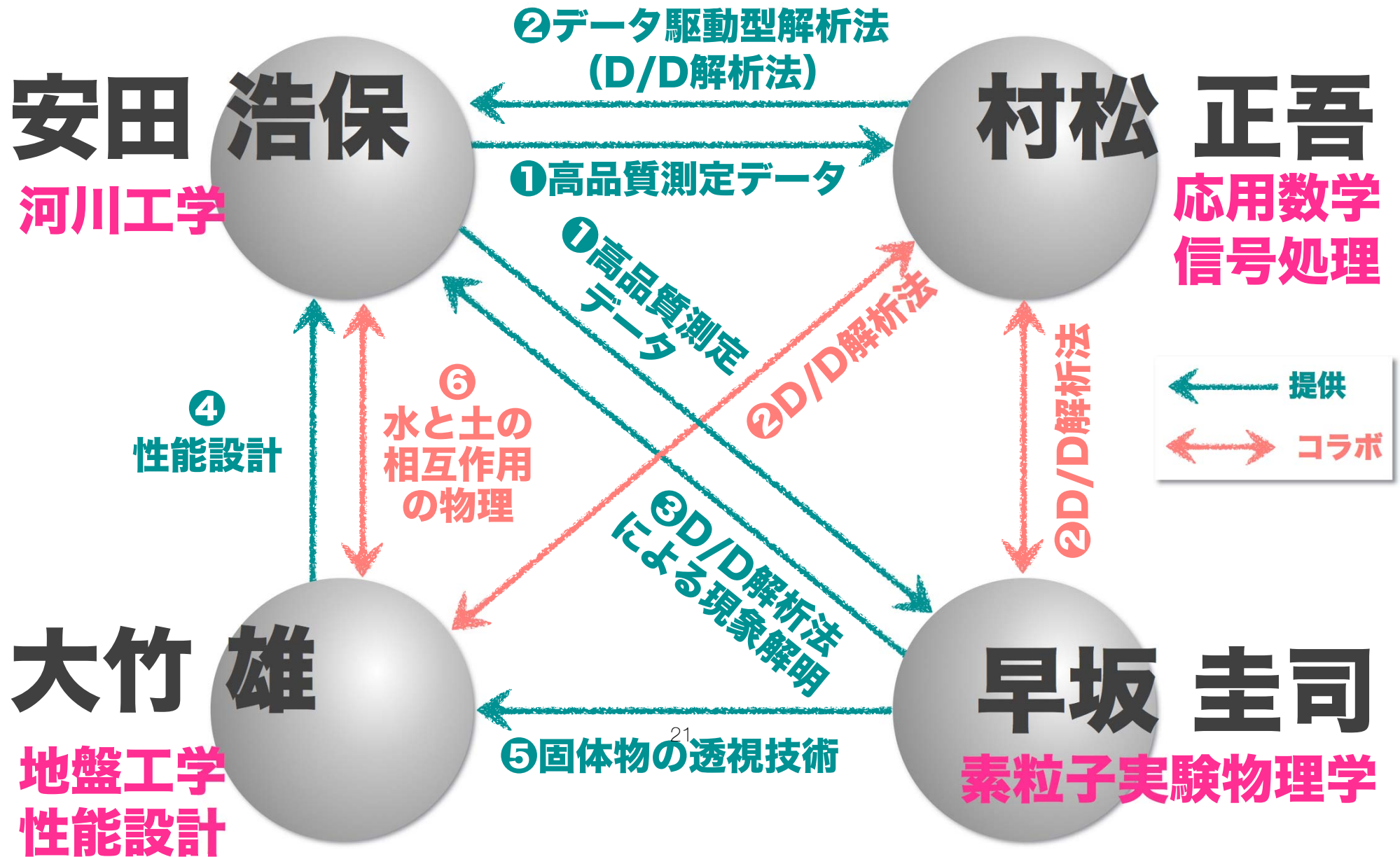
交互砂州の発達に従って流れが左右岸沿いに偏倚し、有効無次元掃流力の**頻度分布は正規分布から乖離**

実河川と模型水路の統計量の比較



能生川の被災前の河床地形は、模型実験の交互砂州が十分に発達した状態での統計量と概ね対応

異分野融合型研究の推進



データ駆動解析による底面推定

■ 劣化観測信号からの原信号復元



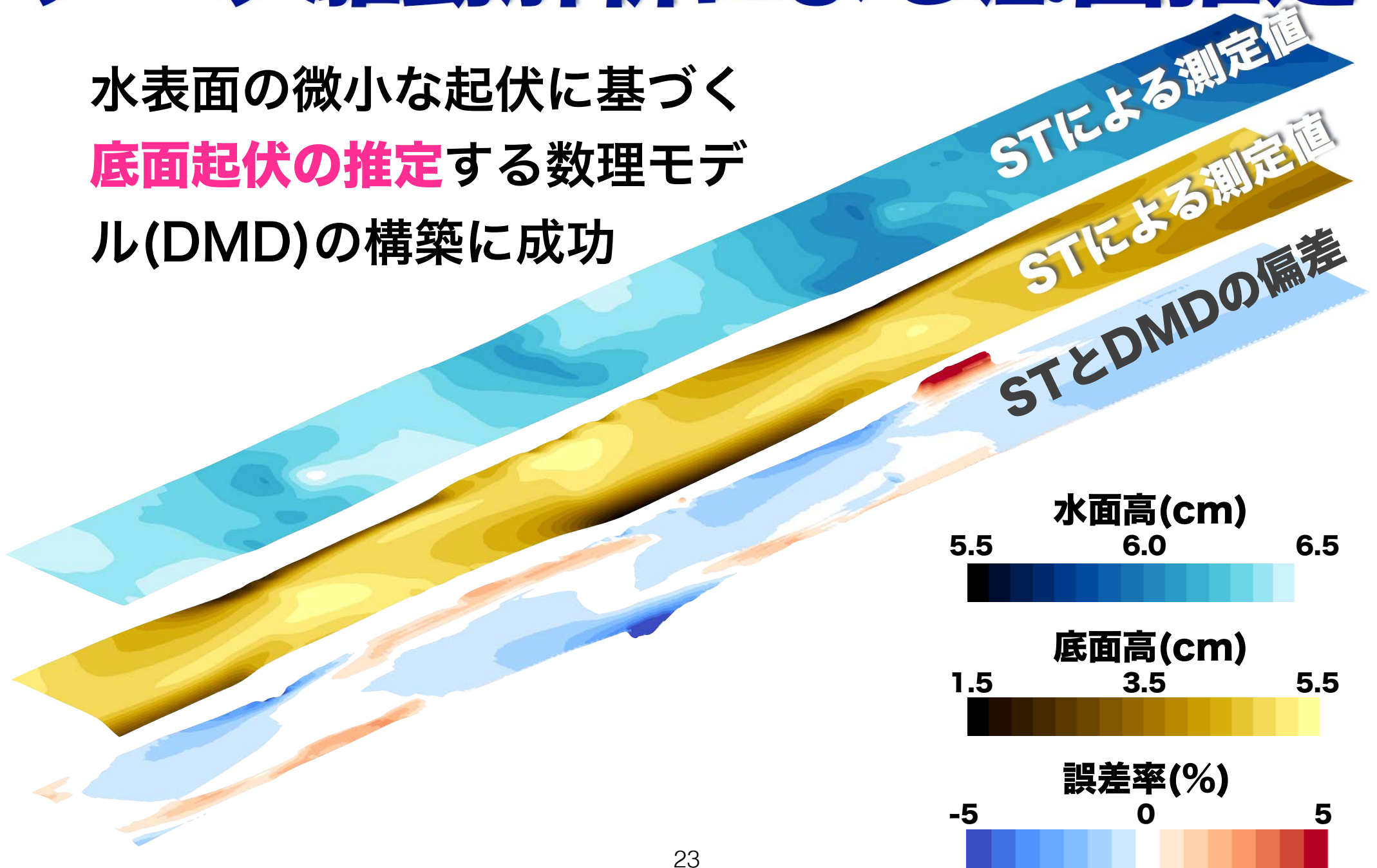
■ 観測した水面からの河床状態推定に適用



従来の**時不変を想定**した復元問題では推定が困難
時間的な制約を加えた復元問題の**新解法が不可欠**

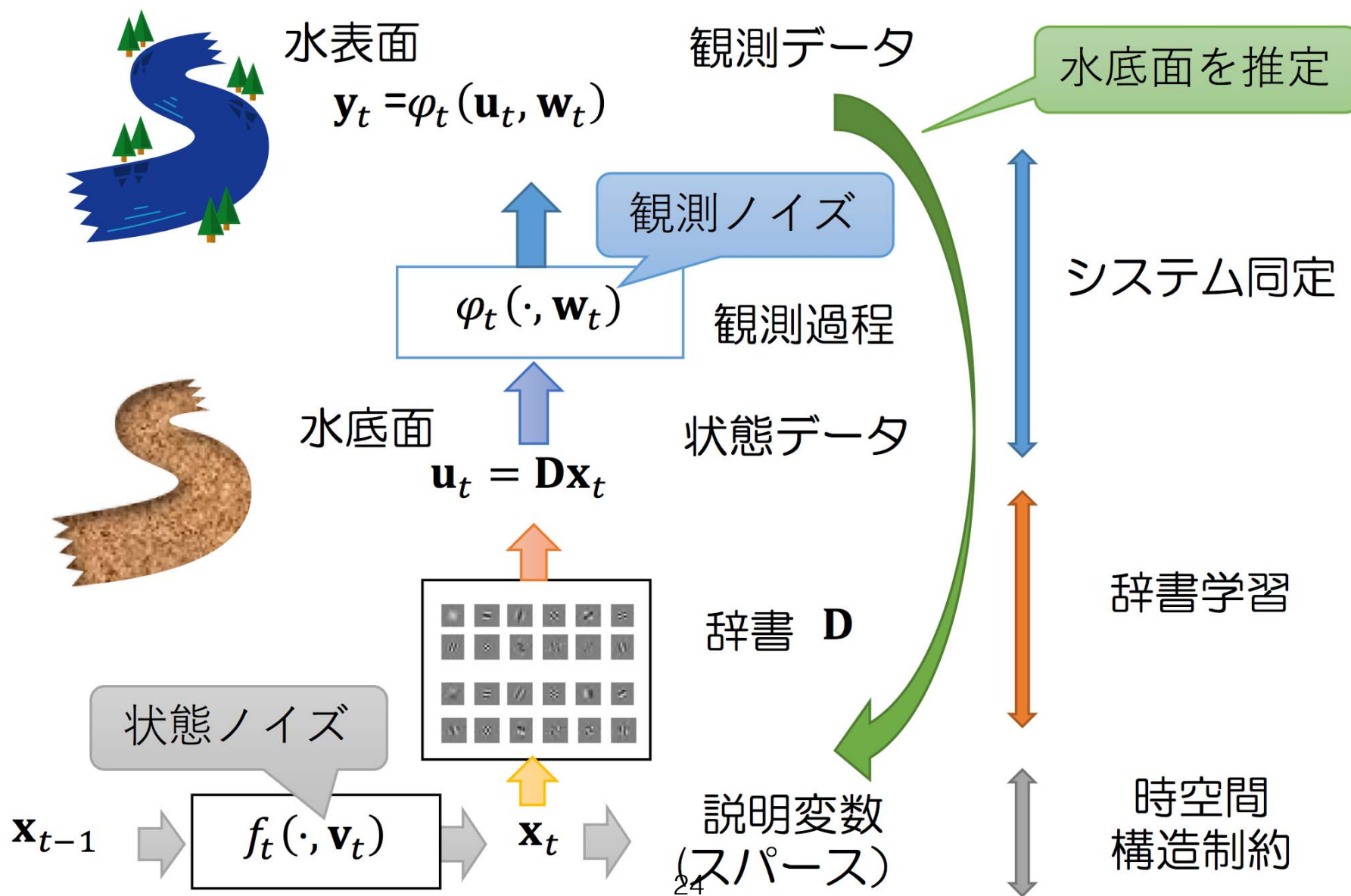
データ駆動解析による底面推定

水表面の微小な起伏に基づく
底面起伏の推定する数理モデル
(DMD)の構築に成功

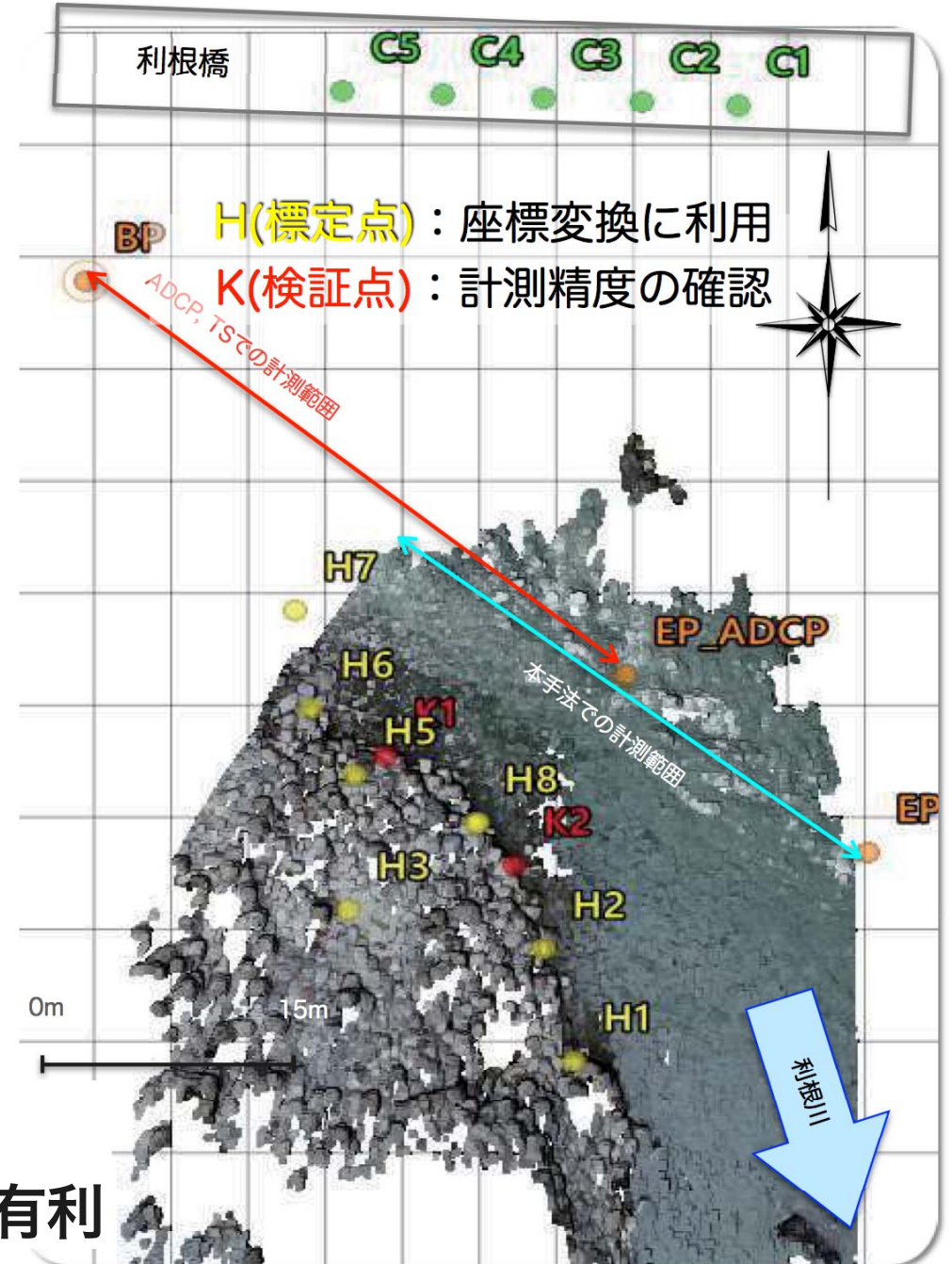
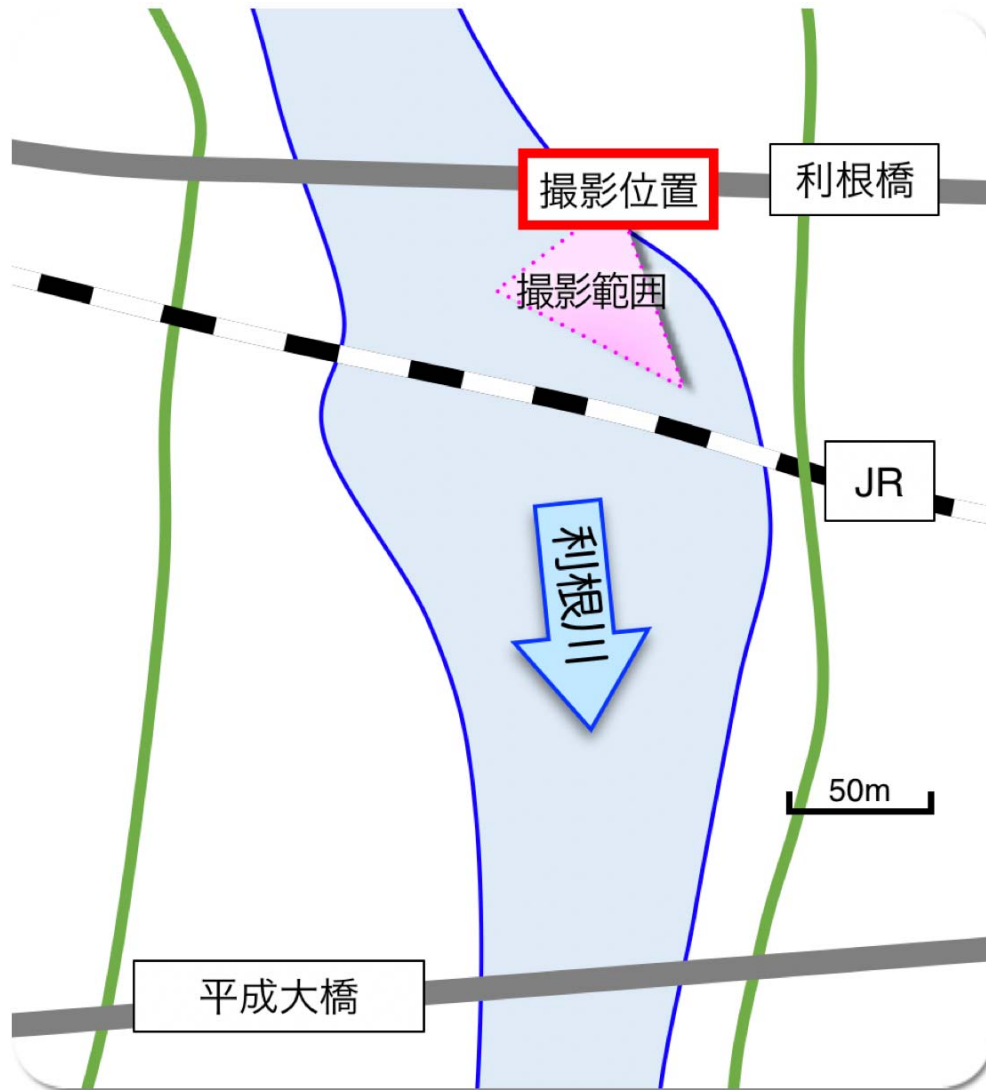


時間的制約を加えた復元問題

スパース正則化付再帰型フィルタの構築



計測方法と実施箇所



- 利根橋下流（群馬県 利根川）
- 早瀬・定在波のため特徴点多くSfM有利

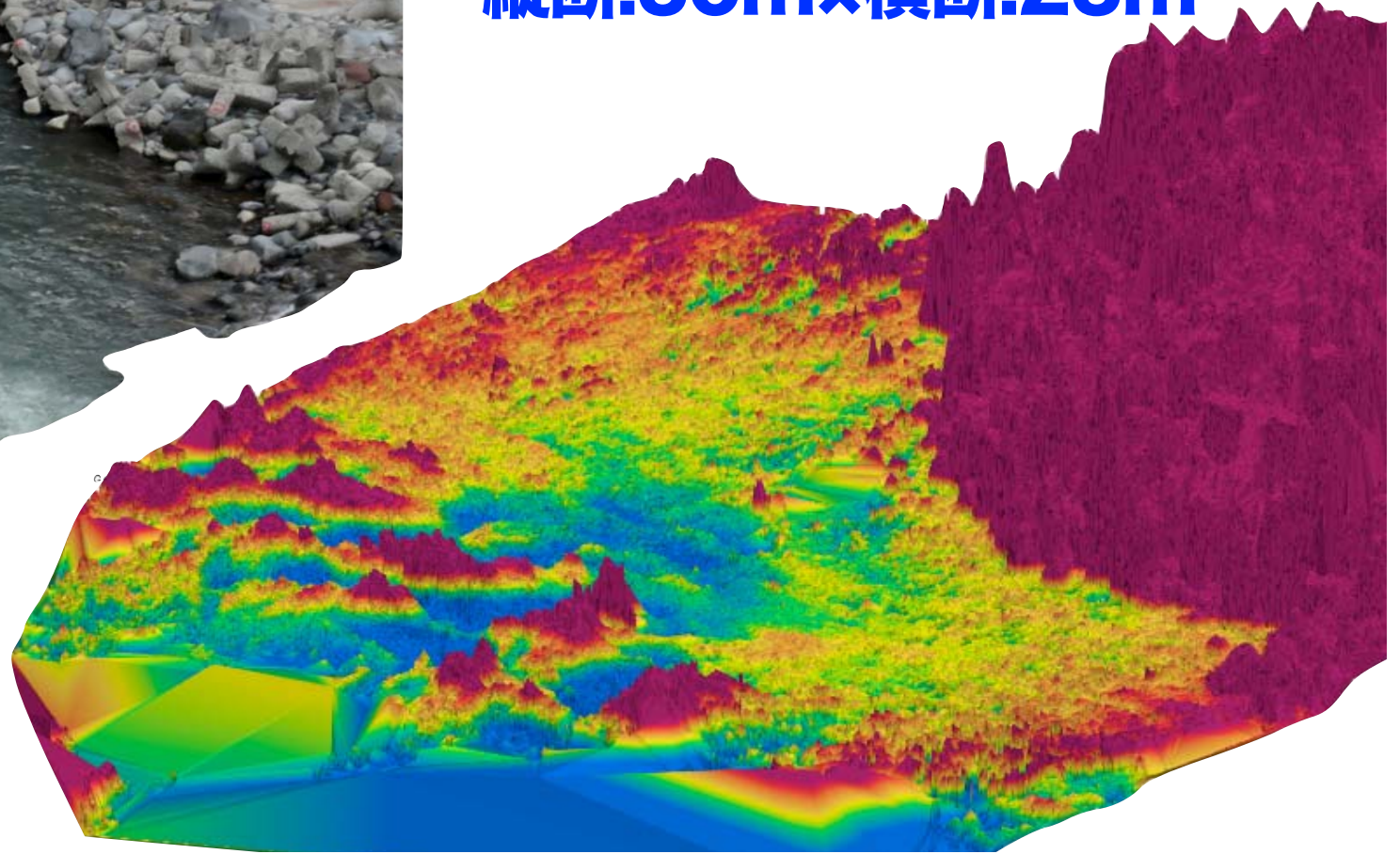
計測結果



計測範囲：

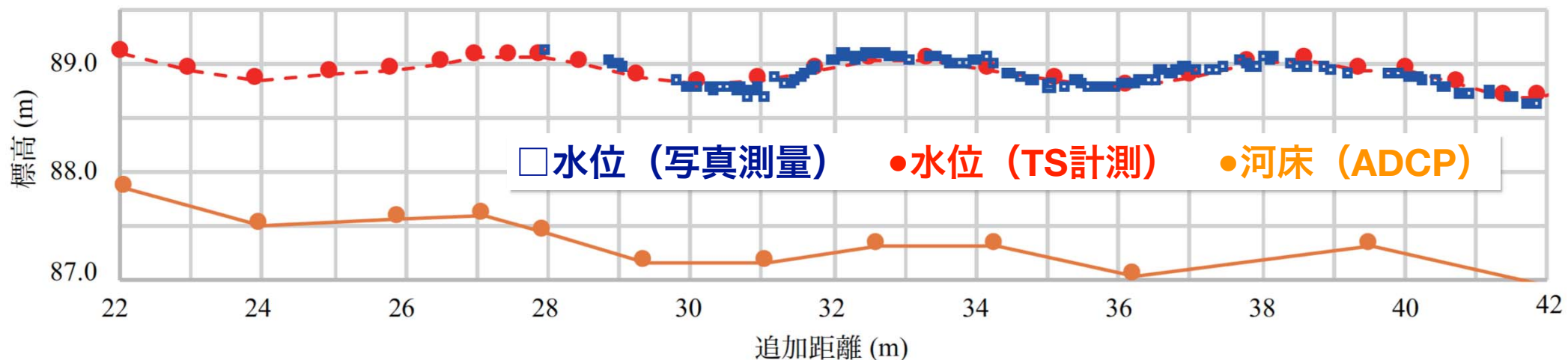
縦断:50m×横断:25m

Hiro Yasuda Yesterday, 12:40
132630



- **1500点/m² (1点/2.5cm²)の計測密度の達成**
- **水面の3次元座標の計測に成功**

計測精度の検証



検証点の座標値の比較

点名		X座標 [m]	Y座標 [m]	Z座標 [m]
K1	理論値	42749.714	-69419.485	89.635
	計測値	42749.724	-69419.542	89.606
	差分	-0.010	0.057	0.029
K2	理論値	42742.352	-69411.674	89.248
	計測値	42742.360	-69411.719	89.198
	差分	-0.008	0.045	0.050

水位計測結果の比較

No.	TS 平均 [m]	σ	TS 平均 +2 σ	TS 平均 -2 σ	計測水位 [m]
日時	2018年11月13日 15:06:40~15:09:46				15:16:30
1	89.04	0.022	89.08	88.99	88.98
日時	2018年11月13日 15:25:51~15:29:05				15:37:30
2	88.99	0.035	89.06	88.92	89.09
日時	2018年11月13日 15:46:15~15:53:44				15:39:30
3	88.88	0.029	88.94	88.83	88.86

- 不動点の座標を確認：XY、Z座標共に約5cm以内の誤差：水面形状を十分な精度で計測可能
- 水位:3地点中2地点で $\pm 2\sigma$ 以内の計測結果：高精度な計測結果

**科学の進歩は、
計算と観測が両輪
真実の一部しか見えない**