

## 10. 河川表面流計測に基づく洪水時横断水深分布の 推定

岐阜大学

吉村英人

## 【講演】

### ＜スライド1＞

岐阜大学の吉村と申します。このようなタイトルで発表しますが、今日の発表は割と、今の流量観測の課題に対する内容が多かったと思うのですが、最後にというか、今後もう少し発展していくべき、こういうこともできるのではないかと思って取り組んでいる研究の一つを紹介したいと思います。

### ＜スライド2＞

今の表面流速を計測する技術というのは、まだ一部課題はあるにしろ、おおよそがある程度の精度で計測できるようになってきていると思います。その先を考えた時に、表面流速場が得られるので、そこから表面には見えない、水面の下の情報を、表面流速あるいは表面の画像などから推定していくかというところで、水面下の情報推定に関する研究を進めているところです。

推定するものとしては、今取り扱っているのは、例えば乱流場です。表面流速を得て、そこから水面下の乱流構造が分からぬかなど、この辺は先ほどの発表にもあったような、並列らせん流などの特定に使えるのではないかと進めているところです。あともう一つは水深です。今日お話しするのはこちらなのですが、特に洪水時の河床の増大は計測が難しいですので、そういうものを表面流速から把握できないかというところで進めているものです。

### ＜スライド3＞

その水深の推定に関する話になりますが、今説明したように、流量観測で最終的に流量を出すには、ここに式に書いていますように、水深が必要になってきます。もちろん更正係数もありますので、更正係数も大事なのですが、河床変動が特に大きい場合には水深が大事になってきます。ただ、洪水時の水深を把握するすべはなかなかないというのが現状ではあります。もちろん計測できればいいのですが、なかなか実際の出水時に ADCP を動かすなどしているというのではないので、画像だけから水深が推定できないかと考えているところです。

### ＜スライド4＞

水深を表面の流速、あるいは乱れなどから推定しようとする取り組みは、これまでにも幾つか基礎的な研究は行われてきています。ここに書いていますように、水面勾配、いわゆる抵抗則に基づいて推定するものや、あるいは乱れの性質、それから波です。水面波が生じますので、その性質から推定しようとするものがあります。ただ、いずれも特徴が、得意なところ、不得意なところがありますので、なかなか、いつでもそれが使えるというわけではありません。われわれは乱れの性質や波の性質をうまく使っていって、より推定精度を高めるということを行っているわけですが、今日は波の性質に基づいて、洪水時の横断の水深を推定することを行っています。その成果を紹介したいと思います。

## ＜スライド5＞

具体的にどのように推定していくのかというところですが、基本的には STIV で使われている時空間画像です。検査線上で得られる時空間画像を使って推定していきます。STIV の場合は、通常この STI の画像から、いわゆる、この斜めの勾配線、これが、流れが移流しているものとして、この流速を正しく抽出すれば正しい表面流速が得られるということになります。

ただ、見ていただいて分かるように、実際にはここに、平均的な流れとはまた違った方向の縞模様が入っています。この辺りは波の成分や、あるいはノイズ的な要素が含まれているわけですが、STIV で流速を求める時にはそれらを除いた上で、表面流速に近い成分だけを抽出しています。正しい流速を抽出するいろいろな方法があるのですが、今のところ精度が一番高いやり方は、時空間画像をそのまま使うわけではなく、これを離散フーリエ変換、2次元のフーリエ変換を行って、こういった波数と周波数のスペクトルに置き換えて抽出しています。

## ＜スライド6＞

このように変換しますと、色の明るいところが幾つか出でてきます。このうち、ここに移流と書いていますが、この斜めに走っているピークのところが、つまり表面流速に対応するところですので、このピークをうまく捉えてやると、正しい表面流速が抽出できるということになります。

それ以外のところを見てもらうと、こういったところや、あるいはこの辺にも、少し明るいピークが出でているところがあります。通常はこれが波の成分などに対応していますので、これが邪魔になるので、これを捨てる、捨わないようにして、移流だけを捉えて表面流速を得るということを STIV でしています。

ただ、別のこの成分、これはつまり波の成分を表しているのですが、この波の成分というのは、ここに、式に書いていますが、理論的には水深の情報を含んでいます。波の分散関係というのがあるのですが、ここから波の波速には、比較的長い波は水深に依存しますので、その成分がこういったところに表れてきます。従って、今まで表面流速を出すために捨てていた、こういった水面波の成分を逆に有効活用して、それを水深推定に使おうということを行っています。

## ＜スライド7＞

どのようにしてこのスペクトル画像、スペクトル分布から波の成分を抽出するかということですが、理論的には、ここに書いているように、流れに対して前進する波、後退する波というので、こういった分散関係式というのが得られます。従って、この出ているピーク、一番フィットするこの関数、どの水深だったら一番これにフィットするかというのを、水深を順番に変えながらやっていって、一番確からしいところを探します。

その時に使っているのが、この Normalized Scalar Product と呼ばれるものなのですが、簡単に説明しますと、元のスペクトルに、先ほどの分散関係に伴う水深を入れたところだ

けが、値が強くなるような、こういった重み関数を用意して、それを掛け合わせます。従って、この分散関係に従う線上の値だけ、値周辺、分散関係の式の周辺の値だけが抽出されることになります。それを、水深を少しずつ変えていくとそれぞれ値が得られるのですが、最もフィッティングしている場合には最も値が大きくなるので、その値が大きくなつたところを最適値として使うという方法になります。

#### ＜スライド8＞

全体をまとめますと、STIV で得られる時空間画像に、まず窓関数と呼ばれるものを掛けます。それを FFT をして、先ほどのスペクトルを得ます。これをそのまま使うと、やはりノイズが乗っていますので、それを除去あるいは正規化して、フィッティングしやすいように行います。その上で先ほどの NSP を行って、水深を決めていくという流れになります。

#### ＜スライド9＞

実際に推定しようとする場合には、どのような画像でもいけるというわけではなくて、いろいろスペクトルの解像度などが要求されます。それによって精度が変わってくるわけですが、この辺りは今日は割愛します。そういった考えられる指標に基づいて画像を使つていくと、水深がある程度の精度で推定できるということになります。

#### ＜スライド10＞

それから、今的方法の実河川への適用ということで、長良川の忠節橋、大学の近くですが、そこに適用して検証を行いました。表面流速を、そばに付けられた CCTV カメラで撮影していますので、それを用いて推定を行っています。

#### ＜スライド11＞

検証用のデータとしては、出水時に得られている、こちらの条件 1 の動画を用いた場合と、それから平水時というのがあるのですが、風が比較的強い、9m/s ぐらいの風が吹いている時で、この場合も水面波、風波が発生していましたので、それを使って推定しました。

ちなみに、この動画はいずれも 2023 年なのですが、比較対象とする水深は、今回は出水時、あるいはこの平水時に計測しているものではないです。ただ、この地点は、横断測量がこの前後、2023 年の 1 月と 24 年の 1 月に行われていて、その差はほとんどなくて、河床が動いていないと判断しましたので、この 2024 年のデータを比較対象として見てみました。

#### ＜スライド12＞

これが実際の洪水時の動画です。これぐらいの規模の洪水の動画を使っています。

#### ＜スライド13＞

平水時は、これは少し見づらいかもしれないですが、風が強く吹いていて、この辺に波立ち、逆風で風波が生じているという状況です。

#### ＜スライド14＞

こちらは各検査線を横断方向に、STIV と同じで、14 設定し、それぞれで解析を行います。平水時は、水があるのは 5 番から 8 番だけですので、この範囲だけで推定を行ってい

ます。

#### ＜スライド15＞

この辺りは割愛しますが、画像解析に関するパラメータはこのようになります。この辺の周波数解像度、あるいは波数解像度というのがあるのですが、この辺りは先ほど途中で出てきた推定精度に関するものになってくるので、この辺りがどれぐらい取れるかというのを、割ときっちり決めて解析をする必要があります。

#### ＜スライド16＞

こちらは水深の推定結果です。条件1の洪水時の結果としては、水色、赤、それから緑の3種類があります。これは途中に出てきた重み関数と呼ばれるものの、パラメータを変えたものになります。このパラメータによって、若干推定精度が変わってくるということになります。この場合は、一番緑のパラメータを使った場合が、比較的測量された水深分布を再現できているということになります。ただ、パラメータが少し違うものになると、異常値が生じる場合もあるという結果になりました。

それから平水時、条件2のほうは、比較的パラメータに対する感度は小さくて、異常値も、いずれも出でていないということで、多少パラメータによって差異はありますが、比較的河床高が推定できているという結果になりました。全体的に見まして、水深推定の誤差は、一部異常値がどうしても出でてしまいますが、それを除けば20%以下で推定できています。標準偏差としては0.4メートル以下というところで、まずはまずの推定精度かと考えています。

#### ＜スライド17＞

この辺りは少し細かい話になるのですが、ではどうしてこの異常値が生じるのかというところです。これは最初に出てきたフルード数によってスペクトルの分布が変わるので、それによって推定のしやすさが変わってきます。例えばこの13番は、フルード数も0.29と比較的小さくて、これぐらいだと、最初に説明した移流と波の成分が割とうまく分離できて、推定しやすくなっています。

従って、最適値を決める際にはNSPの値も、ひと山の曲線になっていますので、大体この辺が最適値だというのが得られるのですが、5番の検査線のように、少し解像度的にも粗くなつて、移流と波がうまく分離できない、かつフルード数が、高いところで0.6ぐらいなのですが、これぐらいになってくると、NSPの分布がふた山描くようになってくるのです。そうすると、こちらが最適なのか、こちらが最適なのかという区別がうまくつきづらい場合があって、こちらを採用してしまうとかなり外れた異常値になるというところで、この辺りは何らかの制約条件を入れるなどして、今後改善していかないと考えています。

#### ＜スライド18＞

最後にまとめですが、今回お見せしたのはあくまでケーススタディーというか、比較的やりやすいところで解析を行いましたので、まずはまずの精度で推定はできています。ただ、

課題としては、最後に説明したように、動画の品質によっては異常値が出る場合がありますので、その場合はどう低減していくかということです。

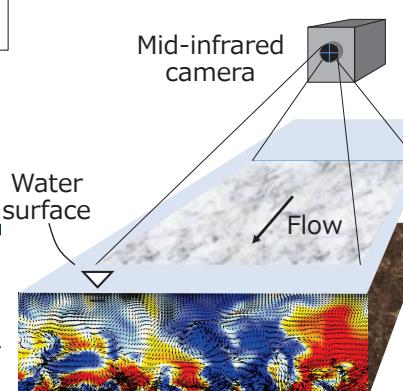
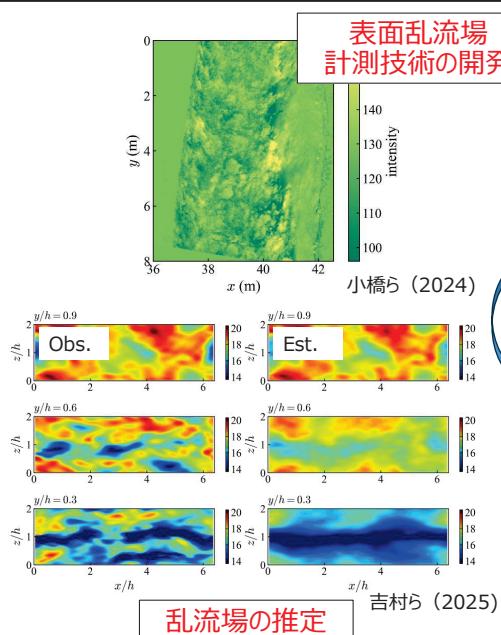
あとは、本当にやりたいところは、もっとフルード数が高くなつて河床変動が激しくなる場での推定ですので、そういったところに、どれぐらいロバストに推定が可能なのかというところです。現状、最後にお見せしたように、まだまだフルード数 1 など、そこまでできない状況なので、その辺をどう改善していくかというのが課題です。以上です。

# 河川表面流計測に基づく 洪水時横断水深分布の推定

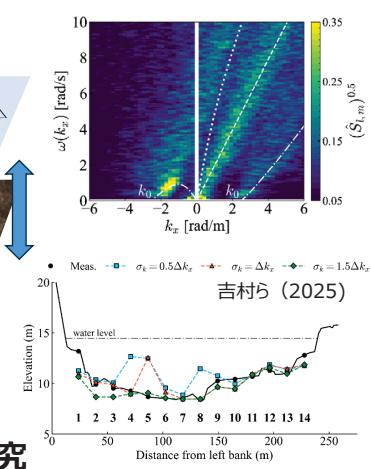
吉村 英人 (岐阜大学)



## 河川表面流計測の今後の展開



河川表面流計測に基づく  
水面下の情報推定に関する研究



# 研究の背景と目的 一河川流量観測の非接触型手法一

- ・河川流量観測において**非接触型手法**の活用が進展

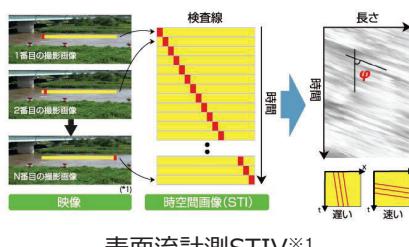
- ・流量の推定には表面流速だけでなく**水深**も重要

$$\bullet Q = \sum_i^N \alpha_i U_{s,i} b_i h_i$$

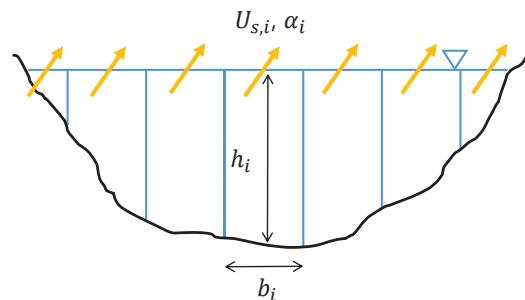
( $\alpha_i$  : 更正係数,  $U_{s,i}$  : 表面流速,  $b_i$  : 区分幅,  $h_i$  : 平均水深,  $N$  : 横断面の区分数)

- ・洪水時の流れや河床変動の現象理解においても**水深**の把握は重要

→ **洪水時の水深の計測は困難**



※1 Hydro-STIV | (株)ハイドロ総合技術研究所 (hydrosoken.co.jp)



3

# 研究の背景と目的 一水深の推定手法一

- ・水面勾配（抵抗則）からの推定

- e.g., 工藤ら (2024)

- ・乱れの性質（積分スケール, 乱れエネルギー）からの推定

- e.g., Jonson & Cowen (2016), 椿ら (2020)

- ・波の性質（分散関係）からの推定

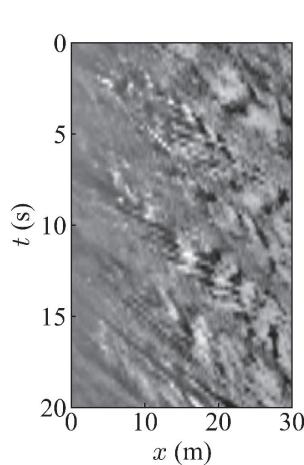
- e.g., Dolcetti et al. (2022)

→ **計測の困難さ, キャリブレーションの必要性, 水深への変換係数が定まらない, 単一水深のみの推定, などそれぞれ課題がある。**

## 本研究の目的と内容

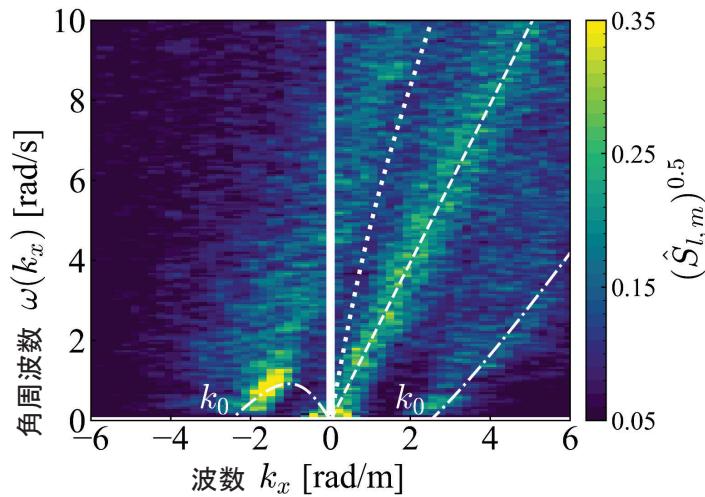
- ・河川表面の主流方向の時空間画像から横断水深分布を推定する新たな手法を提案
- ・水面変動の波数-周波数スペクトルと波の分散関係の対応を活用
- ・実河川での適用性の検証

## 波紋の時空間画像と波数-周波数スペクトル



時空間画像 (STI)

2次元離散  
フーリエ変換  
(DFT)



波数-周波数スペクトル

5

## 波紋の分散関係

### ・移流

※ 表面張力と速度勾配は微小と仮定

$$\omega_A(k_x) = \mathbf{U}_s k_x$$

### ・前進波

$$\omega_{GW}(k_x) = \mathbf{U}_s k_x + \{gk_x \tanh(k_x h)\}^{0.5}$$

### ・後退波

$$\omega_{GW}(k_x) = \mathbf{U}_s k_x - \{gk_x \tanh(k_x h)\}^{0.5}$$

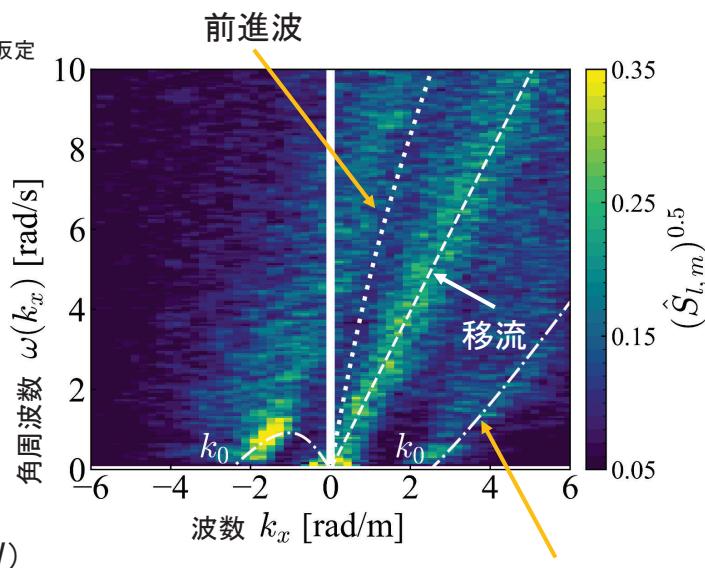
$v$  : 表面流速,  $\omega$  : 角周波数,  $k_x$  : 主流方向  
波数,  $k_0$  : 定在波の波数,  $g$  : 重力加速度,  
 $h$  : 水深

$$\text{定在波: } U_s k_0 = \{gk_0 \tanh(k_0 h)\}^{0.5}$$

移流

→流速  $\mathbf{U}_s$  の推定 (STIV)

前進波・後退波→水深  $h$  の推定 (提案手法)



6

## Normalized Scalar Product (NSP)

### Normalized Scalar Product

$$M = \frac{\langle G(k_{x,l}, \omega_m, h) S(k_{x,l}, \omega_m) \rangle}{\langle G \rangle \langle S \rangle}$$

$$h^{\text{est}} = \arg \max_h (M)$$

→  $M$ が最大となる水深を探索

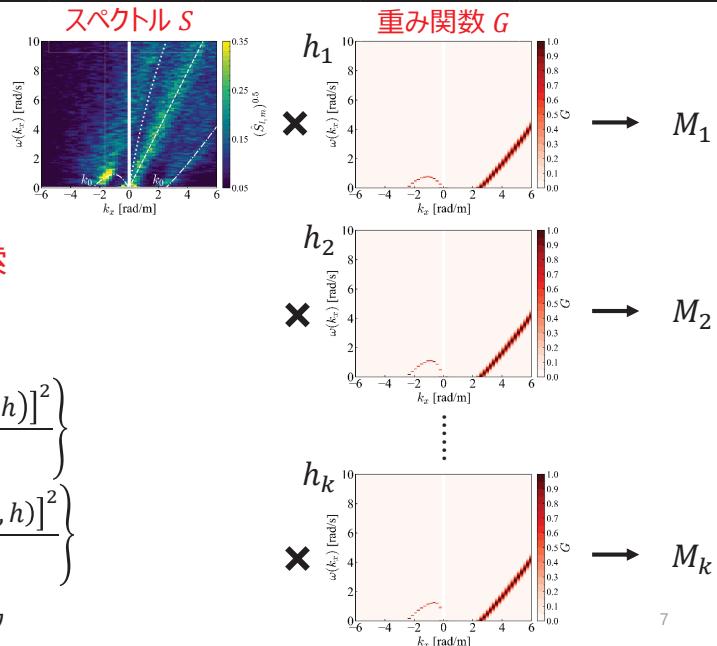
### 重み関数 $G$

$$G(k_{x,l}, \omega_m, h) = \max(G_\omega, G_k)$$

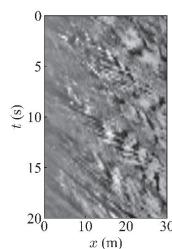
$$G_\omega(k_{x,l}, \omega_m, h) = \exp \left\{ -\frac{[\omega_m - \omega_{\text{GW}}(k_{x,l}, h)]^2}{\sigma_\omega^2} \right\}$$

$$G_k(k_{x,l}, \omega_m, h) = \exp \left\{ -\frac{[k_{x,l} - k_{x,\text{GW}}(\omega_m, h)]^2}{\sigma_k^2} \right\}$$

$\sigma_\omega, \sigma_k$  : 周波数および波数方向の分布パラメータ



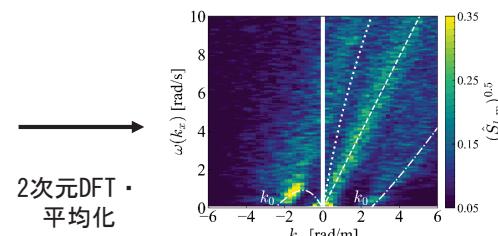
## 水深の推定手順



窓関数

$$W(x, t) = \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_m^2} \left[ \frac{(x - x_c)^2}{L_x^2} + \frac{(t - t_c)^2}{T^2} \right] \right\}$$

① 時空間画像 (STI) :  $I(x_i, t_j)$

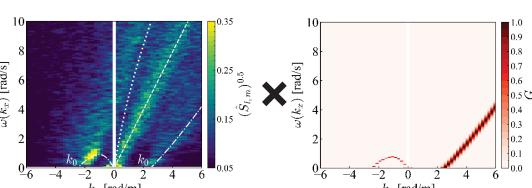


2次元DFT ·  
平均化

② 波数-周波数スペクトル:  $S(k_{x,l}, \omega_m)$

- 移流成分の除去 :  $S_{l,m} = 0$
- 正規化 :  $\hat{S}_{l,m} = S_{l,m} / \sum_l S_{l,m}$
- ノイズ除去 :  $\hat{S}_{l,m} = 0$  when  $\hat{S}_{l,m} < \hat{S}_{l,m} / N_t$

③ 正規化 · ノイズ除去



④ Normalized Scalar Product

## 要求されるスペクトル解像度 $\Delta k = 2\pi/L_x$ , $\Delta\omega = 2\pi/T$

$$\Delta\omega = \frac{\partial\omega_{\text{GW}}}{\partial h} \Delta h$$

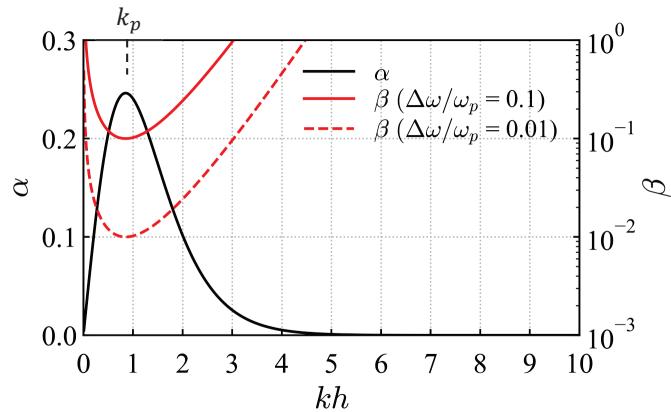
- 水深変化 $\Delta h$ に対する周波数の感度

$$\alpha = \left( \frac{h^3}{g} \right)^{0.5} \left( \frac{\partial\omega_{\text{GW}}}{\partial h} \right) = \frac{k_x h}{2 \cosh^2(k_x h)} \left( \frac{k_x h}{\tanh(k_x h)} \right)^{0.5}$$

- 周波数解像度 $\Delta\omega$ に対する水深の誤差

$$\beta = \frac{1}{h} \frac{\Delta\omega}{\left( \frac{\partial\omega_{\text{GW}}}{\partial h} \right)}$$

10%以下の誤差で推定したい場合,  $\Delta kh < 1$  の波数解像度と  $\Delta\omega < 0.1\omega_p$  の周波数解像度が望ましい



水深変化に対する周波数の感度と水深の誤差

9

## 実河川への適用

- 観測地点

- 長良川忠節橋下流 (岐阜市)

- 観測内容

- 河川表面流速

- CCTVカメラ (1920×1080 pixel, 30 Hz)
- 木曽川上流河川事務所鉄塔

- 風向・風速

- 風向風速計2か所 (Onset社S-WCF-M003, 1 Hz)
- 忠節水位観測所 (T.P. 21.75 m)
- 事務所屋上 (T.P. 29.56 m)

- 河川水位

- 水文水質データベース



10

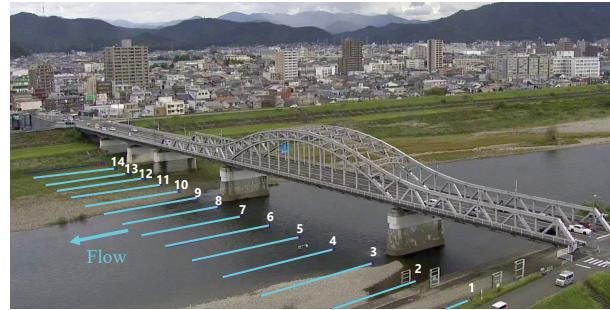
## 条件1（出水時）

- 2023/8/16 18:20 – 18:30
- 水位 : 14.16 T.P. m
- 風向・風速 : 西向き 1.34 m/s



## 条件2（平水時）

- 2023/10/10 12:20 – 12:30
- 水位 : 9.98 T.P. m
- 風向・風速 : 西向き 8.35 m/s



- 2023年1月と2024年1月の横断測量結果の差異はほとんどない
- 2023年8月16日以降大きな出水は生じていない→**2024年1月の横断測量結果と比較<sup>11</sup>**

## 条件1 : 2023/8/16 18:20



条件2：2023/10/10 12:20



## 検査線の諸元

検査線	条件1（出水時）					条件2（平水時）					
	No.	$U_s^{\text{est}}$ (m/s)	$h^{\text{meas}}$ (m)	$Fr$	$\Delta k_x h$	$k_0 h$	$U_s^{\text{est}}$ (m/s)	$h^{\text{meas}}$ (m)	$Fr$	$\Delta k_x h$	$k_0 h$
1	1.98	1.28	0.56	0.26	3.2	—	—	—	—	—	—
2	2.67	4.54	0.40	0.91	6.3	—	—	—	—	—	—
3	2.86	4.94	0.41	0.99	5.9	—	—	—	—	—	—
4	4.22	5.19	0.59	1.04	2.8	—	—	—	—	—	—
5	4.40	5.77	0.58	1.16	2.9	1.17	1.29	0.33	0.26	9.2	—
6	4.34	5.92	0.57	1.19	3.1	1.38	1.44	0.37	0.29	7.5	—
7	4.24	5.86	0.56	1.17	3.2	1.15	1.38	0.31	0.28	10.3	—
8	4.14	6.03	0.54	1.21	3.4	0.90	1.55	0.23	0.31	18.7	—
9	3.15	4.20	0.49	0.84	4.1	—	—	—	—	—	—
10	2.74	4.03	0.44	0.81	5.3	—	—	—	—	—	—
11	2.60	3.78	0.43	0.76	5.5	—	—	—	—	—	—
12	1.81	3.18	0.32	0.64	9.6	—	—	—	—	—	—
13	1.66	3.42	0.29	0.69	12.1	—	—	—	—	—	—
14	0.86	1.66	0.21	0.33	22.1	—	—	—	—	—	—

- 時空間画像
  - $31.4 \text{ m} \times 120 \text{ sec}$
  - 10分間25%オーバーラップ平均

- 周波数解像度
  - 条件1 :  $\Delta\omega/\Delta\omega_p = 0.077 - 0.167$
  - 条件2 :  $\Delta\omega/\Delta\omega_p = 0.077 - 0.086$

- 波数解像度
  - 条件1 :  $\Delta k_x h = 0.26 - 1.19$
  - 条件2 :  $\Delta k_x h = 0.26 - 0.31$

- 水深の探索範囲
  - 条件1 :  $0.5 - 6.5 \text{ m}$ で $0.1 \text{ m}$ 刻み
  - 条件2 :  $0.1 - 2.0 \text{ m}$ で $0.1 \text{ m}$ 刻み

- 重み関数 $G$ のパラメータ
  - $\sigma_\omega = 0.5\Delta\omega$
  - $\sigma_k = 0.5\Delta k_x, \Delta k_x, 1.5\Delta k_x$

$$G(k_{x,l}, \omega_m, h) = \max(G_\omega, G_k)$$

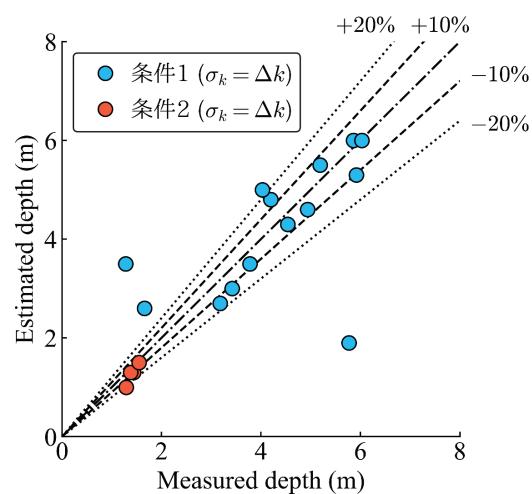
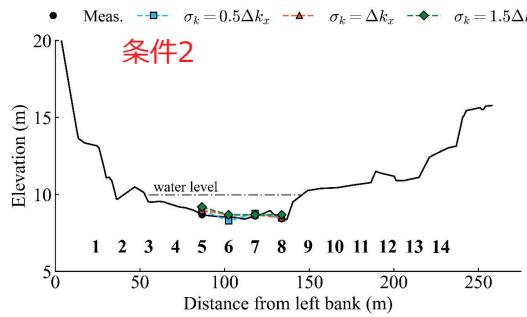
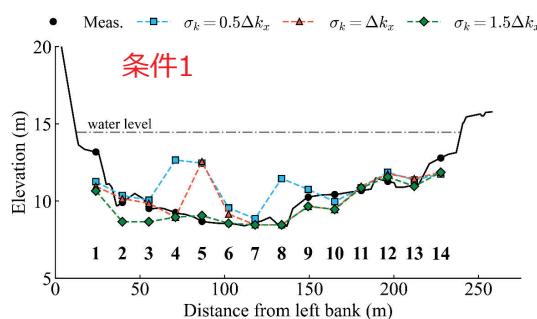
$$G_\omega(k_{x,l}, \omega_m, h) = \exp \left\{ -\frac{[\omega_m - \omega_{\text{GW}}(k_{x,l}, h)]^2}{\sigma_\omega^2} \right\}$$

$$G_k(k_{x,l}, \omega_m, h)$$

$$= \exp \left\{ -\frac{[k_{x,l} - k_{x,\text{GW}}(\omega_m, h)]^2}{\sigma_k^2} \right\}$$

15

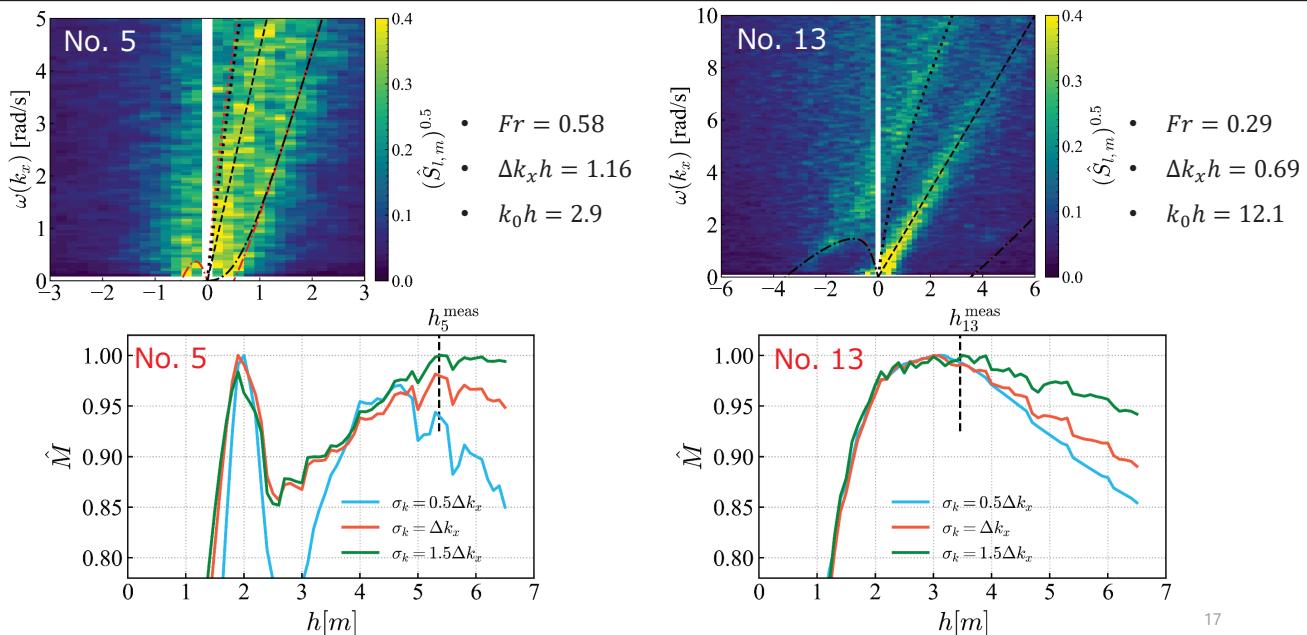
## 横断水深分布の推定結果



- 一部の異常値を除けば誤差は20%以下
- 誤差の標準偏差は約0.4 m

16

## 推定精度に関する考察（条件1）



17

## まとめと課題

### まとめ

- 河川表面の主流方向の時空間画像の波数-周波数スペクトルと波の分散関係の対応から、水深の横断分布を推定する手法を提案した。
- 実河川での検証から一部の異常値を除けば20%以下の誤差で測量水深と一致することを示した。
- 推定精度は波数-周波数スペクトルの解像度や重み関数のパラメータに依存し、特にフルード数が高い場合に異常値が生じやすくなる。

### 課題

- 異常値の低減・推定精度の向上
- フルード数が高くなる大規模な出水時にも適応可能な方法の検討
- 河床変動が生じている場での検証

18

## 【質疑・応答】

**【土木研究所 工藤】** 貴重なお話、大変ありがとうございました。先生のご説明の中で、今回の対象イベントの一つが、風によって水面の波が少し生じていたというお話があつたかと思います。そういった風による影響を受けた水面に対しても、今回の分散関係式というか、そういうものに立脚した方法というものは適用できるものなのですか。

**【岐阜大学 吉村】** 風の影響を受けている場合ですか。

**【土木研究所 工藤】** 波の基礎的なところがよく分かっていないくて恐縮なのですが、風の影響を受けた水面だと、単純な重力波というよりは、風の影響を受けた水面の形ということになっているのではないかと想像するのですが、そういった状況でもこの式は適用できるものなのですか。

**【岐阜大学 吉村】** 適用できます。基本的にはほとんど変わらないです。理論的にいうと、風で水面のところに水面勾配、シアーガーゲルと、若干ずれるというのは理論的にはあります。波と移流が、これは今、単純に足し算でやっていますが、理論的には速度勾配があると、このような単純な足し合わせでは駄目だというのがあるのですが、現実的にそういった微妙な違いは見えてこなくて、ほぼこれでフィットするというのが分かっています。

**【東京理科大学 柏田】** ご発表ありがとうございます。伺いたいのが、移流の成分は、移流の方向がおおむね分かっているので、検査線を設定して、その方向の成分を抜き取るというのは分かるのですが、先ほどの、特に平水時の波はいろいろな方向の波があるではないですか。そのいろいろな方向の波、何だったら検査線を横切るような波もあると思うのですが、それは問題にならないのですか。

**【岐阜大学 吉村】** あくまで主流方向に伝播する波しか見えてこないので。

**【東京理科大学 柏田】** 見えてこないというのは、STI の中には多分、主流方向以外の成分の変なものがたくさん入っているけれども、スペクトルにした時に、それは十分落ちているということですか。

**【岐阜大学 吉村】** 例えば斜めに伝播している波があれば、その斜めに伝播しているうちの主流方向成分は入ってきます。

**【東京理科大学 柏田】** なるほど。これは波の進行速度が大事なのですか。これはスペク

トル画像から左辺を出すのですよね。前進波、後退波といって、左辺を出して、右辺の  $h$  を出したいということではないのですか。

**【岐阜大学 吉村】**スペクトル画像としてはこれが得られます。これは単純に、縦軸が周波数で横軸が波数です。これはあくまで理論値なので、 $h$  が決まればこの線は引けるのです。この時に、 $U$  は STIV で得られていますので、この  $h$  を、一番合うものを探していきます。ということをやっています。

**【東京理科大学 柏田】**それは分かっているつもりなのですが、波の向きが多種多様なのが…、少し勉強します。

**【岐阜大学 吉村】**何となくおっしゃりたいことは分かりました。他の方向に向かっている波の成分ももちろん入ってきます。ただ、基本的には支配的な、主流方向がメインになってくるので、そこまで影響は出ないです。

例えばこの辺に出ているものは、われわれは定在波と呼んでいるのですが、斜めに動いているものの主流方向成分などは、割とこの辺に出てきます。

**【東京海洋大学 稲津】**個人的にすごく興味があります。話題になっている分散関係式は微小振幅なので、最後のほうで  $kh$  が大きいような場合が出てきて、それはフルード数が大きいというのがあったのですが、そういう時だと微小振幅になるのが難しくて、非線形性が強い、振幅分散などはありなのですが、そういうものでかなり変調したようになっていのではないかと思います。その場合は少し、理論をどうにかして修正することが重要なステップになるか？ということです。

**【岐阜大学 吉村】**非線形もわれわれは考えています、実際にそれでもやってみています。ただ、最初の質問でもあったのですが、その影響は、とはいえ波高もそんなに高くないので、かなり非線形性が強いかというと、そうでもないです。しかも、このスペクトル上でその差異の見分けがつかないぐらいなので、今のところはこれで十分だろうと思っていますが、場合によっては、本当に水面変動がかなり大きくなる場合などは、その辺も考慮していかないといけないとは思っています。

**【東京海洋大学 稲津】**個人的に、海のほうで同じような問題に取り組んだことがあったので、すごく興味がありました。ありがとうございます。

**【中央大学 手計】**撮る映像の波の具合はどれぐらいないといけないですか。のっぺりは駄目だと思いますが。というのも、やはり途上国や、技術的にはそういったところで、ぜ

ひ使いたいと。

**【岐阜大学 吉村】** どれぐらいかという指標は今のところ、スペクトルを出してみないと分からぬところはあるのですが、この時の動画、少し見えづらいかも知れないですが、これぐらいの変化がある感じであれば。

**【中央大学 手計】** 先ほどの低水は無理ですか。1つ前のですが。

**【岐阜大学 吉村】** そうですね。通常の低水の場合は。

これは、これも少し分かりづらいですが、風が割と強く吹いて、この辺が波立っているのですが、これをスペクトル解析すると波の成分が出てきますので、この場合は大丈夫です。ただ、風が吹いていないと低水は使えないです。

**【土木研究所 萬矢】** 先ほどの映像を見せてもらってもいいですか。

例えばピアがあつて、その脇から横向きに波が発生するではないですか。ピアがあつて、その後流の乱流の脇から、横断方向に少し波が発生していますよね。これが流れから中心の、流れから来る横側の波で、それは流れプラス前進波か、流れプラス後退波を代表する波と、同じと思ったら大丈夫ですか。

こういう感じの波は、例えばここで発生しているのは、いわゆる、こちらからこちら向きに行く波プラス前進波という形で、大きく広がっていくではないですか。その広がっているのを見る、ビジュアルにするのは難しいのですが、こちら側に行っている波がそれを代表していると思っていいのですか。

**【岐阜大学 吉村】** また後で。この辺りは結構、説明が難しいというか…。