

## 第28回 河川情報取扱研修

# 水文観測ロボットを用いた 流量観測自動化手法の開発と実証

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 敦啓

## ものすごく苦勞して流量値を取得したときの流況



北海道開発局札幌開発建設部提供

## 災害発生規模の洪水

このとき起きた事象

- 既往の**水位計の破損**
- **水位流量観測地点の立入制限**
- 量水標をCCTVカメラで直読
- 停電
- 観測場所の変更
- 浮子観測開始
- 変更後の橋梁が立ち入り禁止により**浮子観測終了**
- **画像解析手法で観測開始**

このような出水時に再度、被災しないように河道計画を見直す場合が多い。

→ ダム、堤防、貯水池

このとき計測した流量値は、河道計画を見直したときに採用された。

## 令和元年台風19号でおきたこと

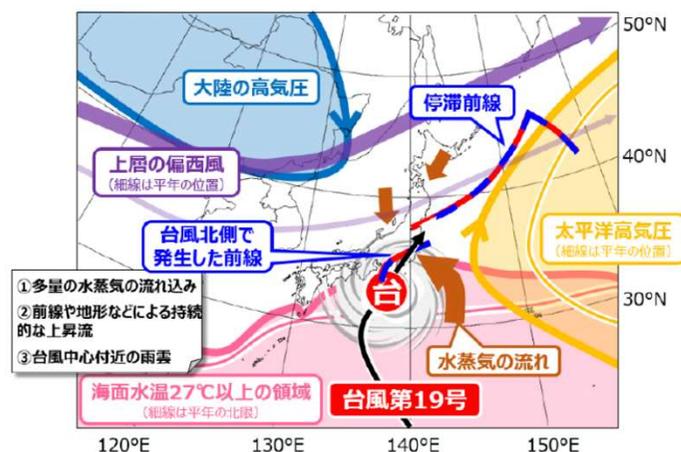


図1 台風第19号による記録的な大雨の気象要因のイメージ図

引用

令和元年東日本台風（台風第19号）による大雨、暴風等  
令和元年(2019年)10月10日～10月13日 （速報）

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html>

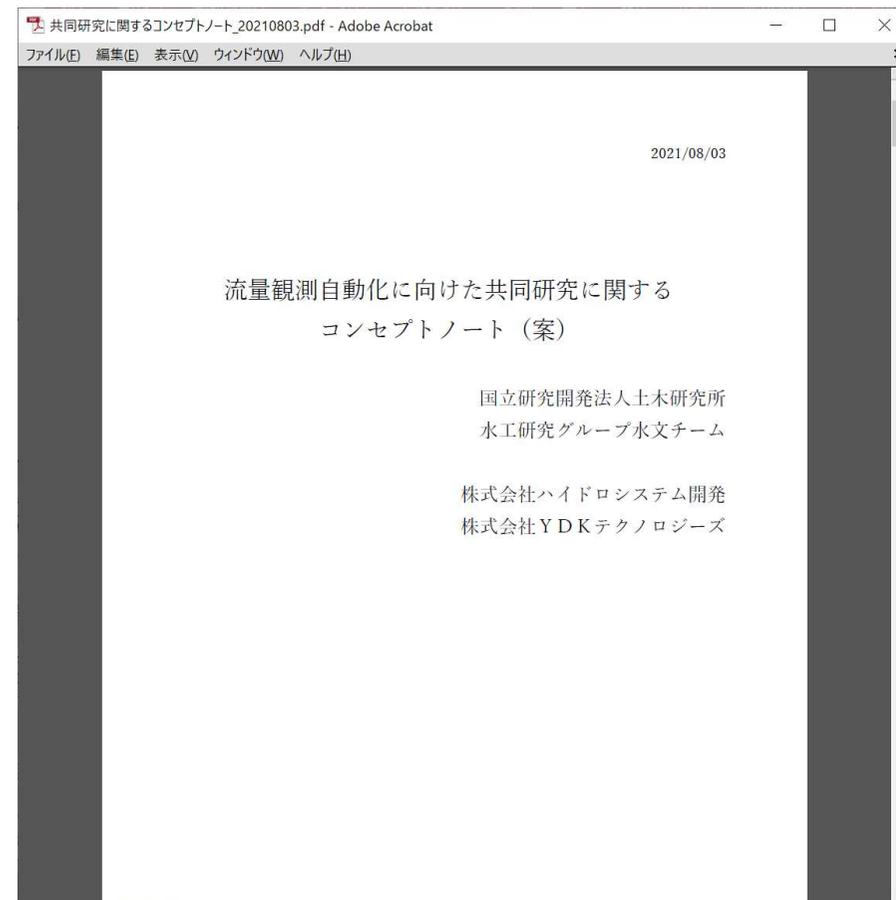
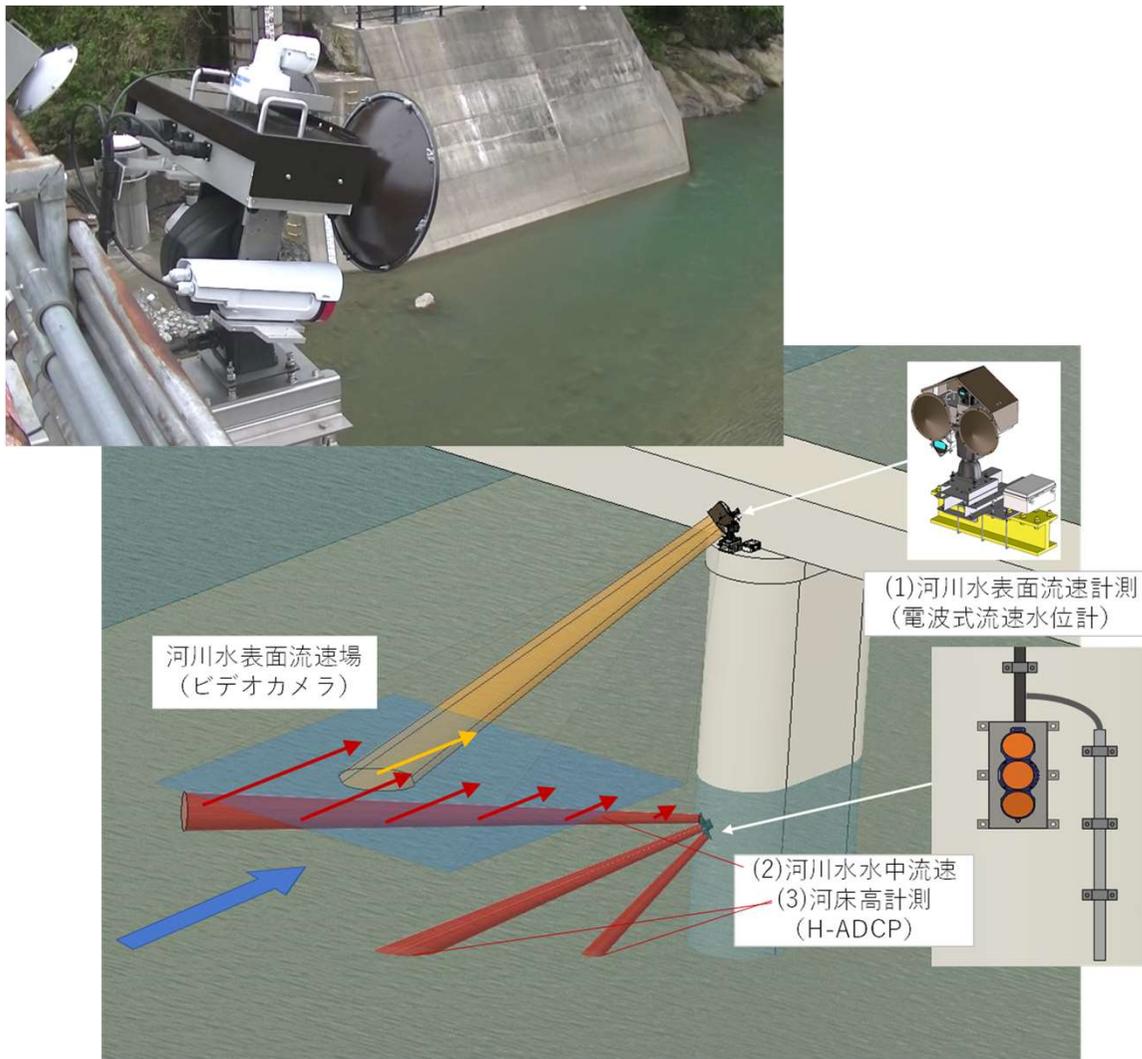
台風19号を受けて某地整の担当者の話

- 流量観測の受注業者の社長から発注者への連絡の一例
- 「自分の社員を命の危険にさらすことができないので、流量観測を実施することはできない」

- 河道計画に最も必要なデータは計画規模の流量であること
- 既往の流量観測手法は今後、採用することができない。
- 無人化への移行が絶対である。

→第5次社会資本整備重点計画/重点施策「新技術を活用した河川管理の高度化による防災・減災の取組を推進」  
基準水位・流量観測所における自動流量観測導入率をR2年度8.7%--> R7年度100%とする。

# 水文観測ロボット



国立研究開発法人 土木研究所  
株式会社ハイドロシステム開発  
株式会社YDKテクノロジーズ

## 水文観測ロボットの目標と特徴

- 水文データ（特に大規模出水時）欠損をゼロとする。
- 持ち得る全ての技術を投入し，欠測ゼロに対応する。
- あらゆる技術の中から目的に応じて適切な技術を選択する。

## 水文観測ロボットと人型ロボットの比較

人型ロボット	水文観測ロボット
頭脳	<ul style="list-style-type: none"><li>• 人工知能を用いた自己判断機能</li><li>• データ分析</li><li>• データ保存</li></ul>
運動性能	<ul style="list-style-type: none"><li>• 機器の駆動（首振り機構）</li></ul>
五感性能	<ul style="list-style-type: none"><li>• 画像・電波・音響技術を用いた水文観測</li></ul>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• 遠隔操作，データ転送</li></ul>

## 水文観測ロボット開発の経緯

共同研究 1（現存する技術）

期間：2017年1月～2021年3月

課題名：電波技術を用いた河川水表面流速と水位の計測手法の確立に関する研究

共同研究者：横河電子機器

共同研究 2（今後の技術展開）

期間：2022年6月～現在に至る

課題名：河川の流速，水位，河床高の自動計測に関する研究

共同研究者：ハイドロシステム開発，YDKテクノロジーズ

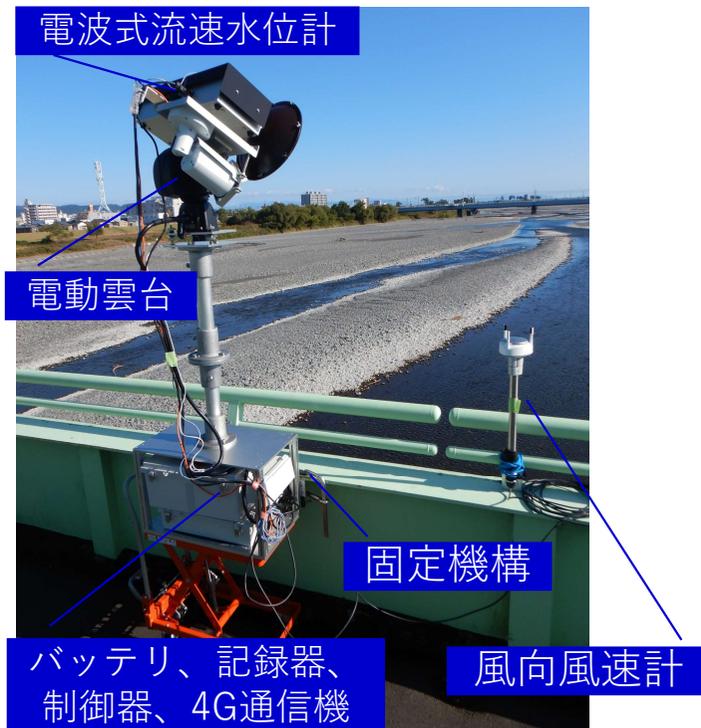
# 水文観測ロボット 設置型実証試験

橋上および測水塔に機器を設置し、長期連続実証試験を実施



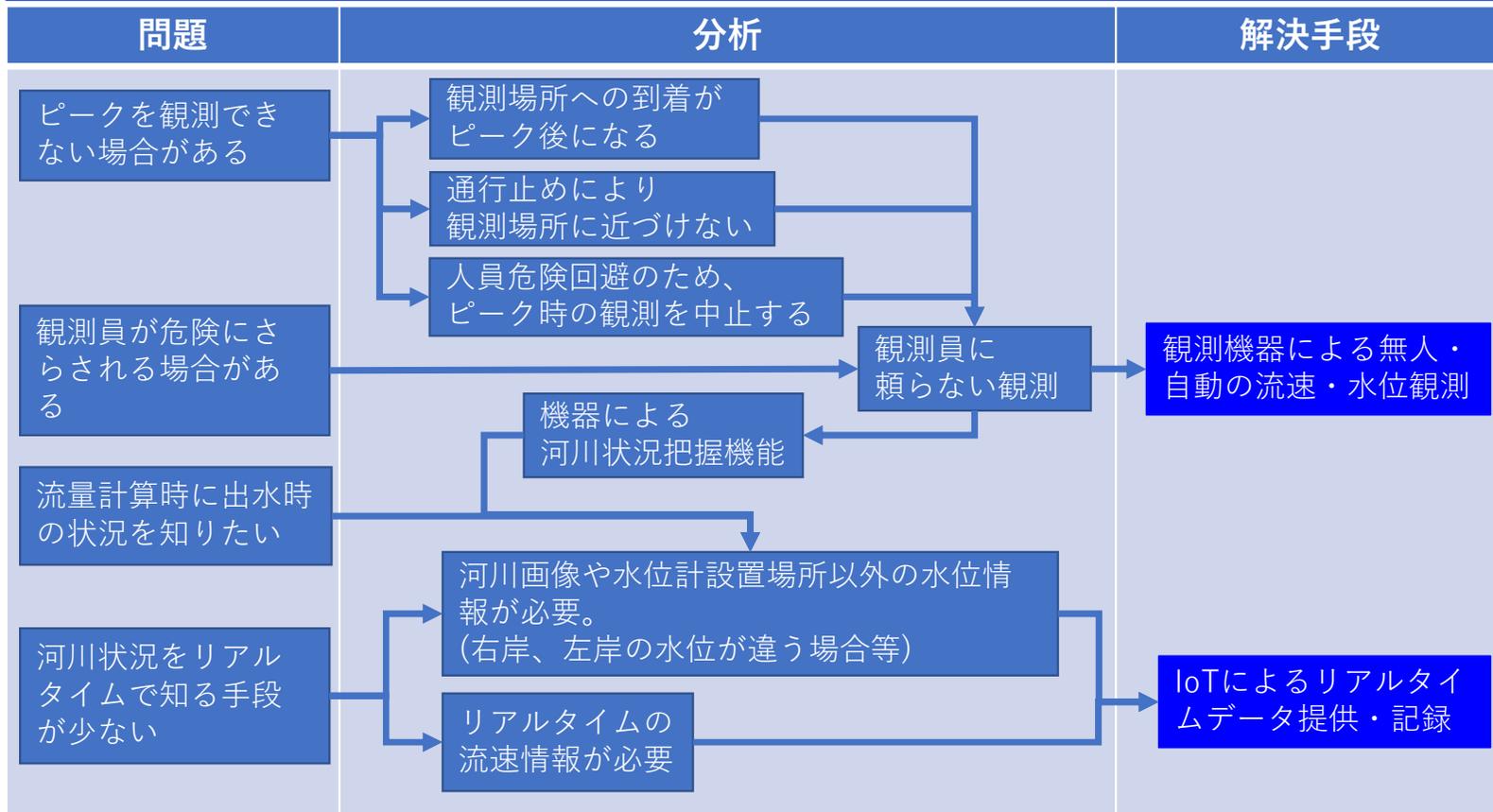
## 水文観測ロボット 移動型実証試験

- 設置型水文観測ロボットの機能・性能を維持したまま、機動力を付加。観測場所、観測期間を任意に設定可能。
- 水位計流出時や水位観測所外における緊急観測対応の観点から改良を実施。



## 水文観測ロボットの狙い(流量観測)

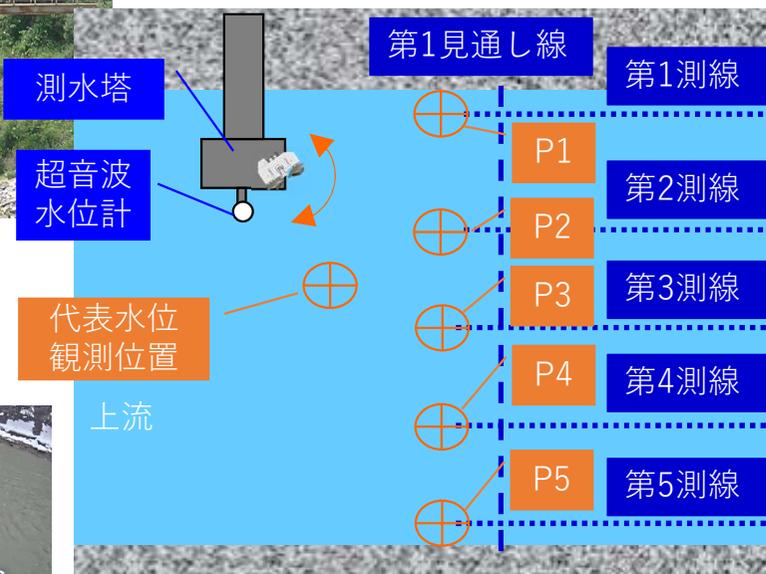
<水文観測ロボットの狙い>  
 ▶ 河川管理の問題を解決する。



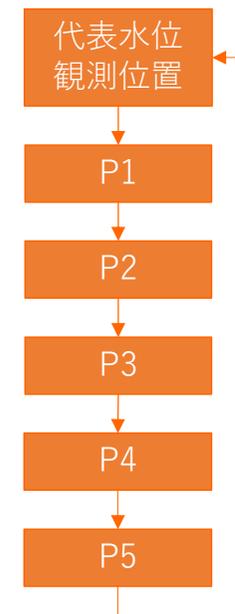
## 若水水位観測所における流量観測実施例

水文観測ロボットによる自動・無人流量観測

- 設定した値を超えると、水位観測から流量観測へ自動移行
- あらかじめ設定した測線の流速・水位を自動で計測
- 河川事務所から流速、水位、河川状況をリアルタイム監視

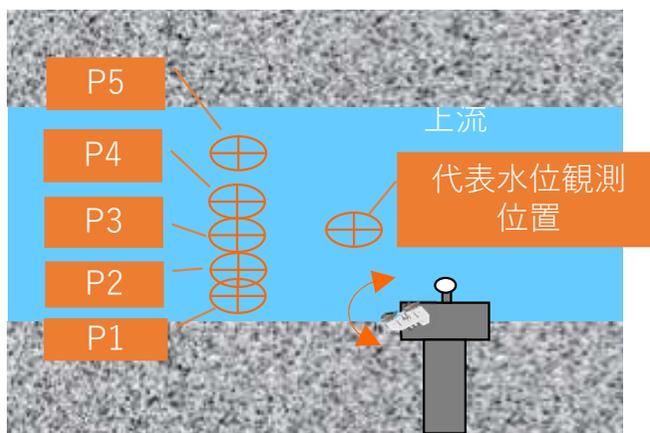
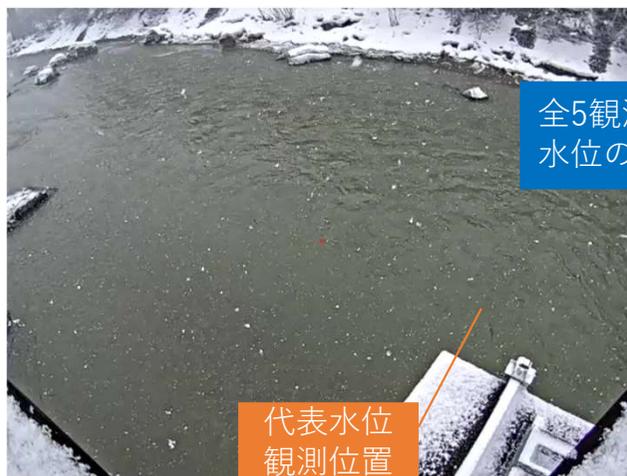


観測シーケンス  
(10分毎に巡回)



## 若水観測所 流量観測テスト結果

- 流速、水位の無人・自動流量観測に成功
- 全5観測位置の流速、水位の連続データ(10分毎)を取得



## 若水観測所 観測可能な河川表面の把握

<成果> 流量観測ロボットが観測可能な河川表面状態を把握

- さざなみ程度で観測可能
- 表面に景色が映り込む状態では観測不能



観測不能



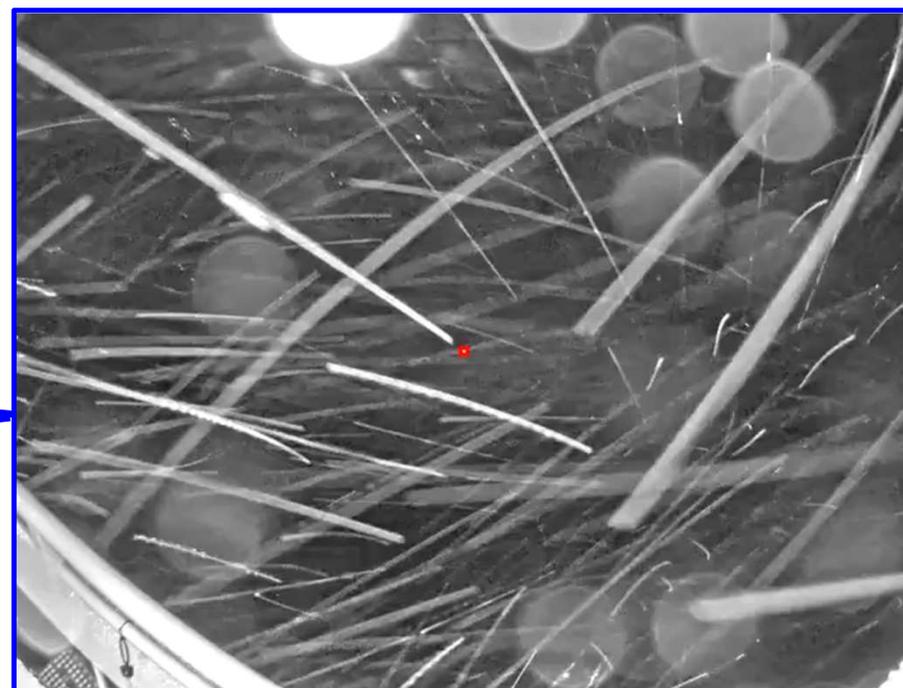
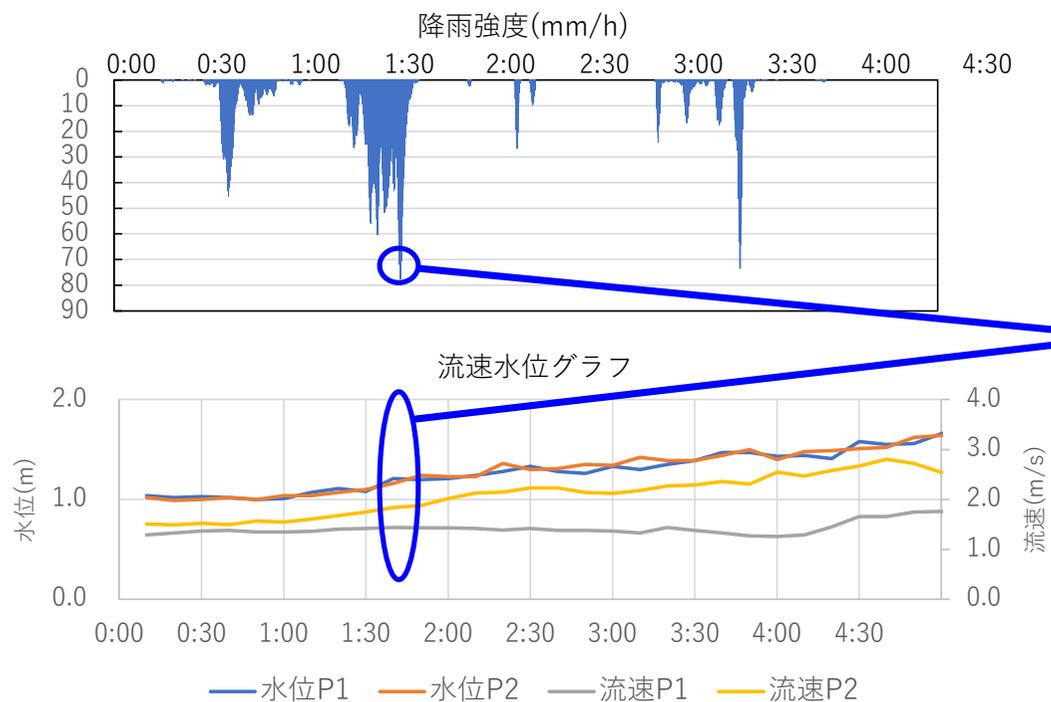
観測可能



## 外乱除去機能向上(1/3)

流量観測ロボットは、反射電波を解析して、**速度**情報、**距離**情報を抽出します。  
**速度**情報のみの電波流速計と比べ、河川と雨滴を識別する情報が増えるため、雨滴による異常値が減少します。

2021年9月18日 安倍川橋 台風14号観測

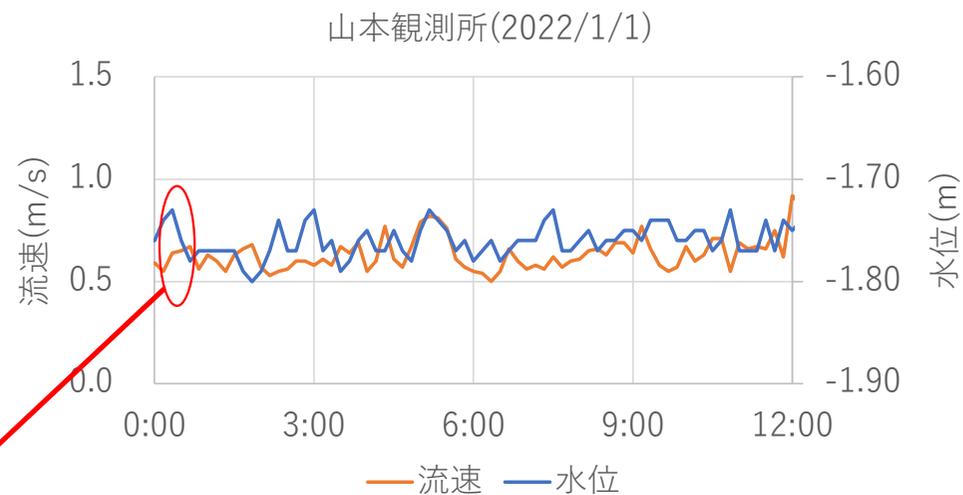


流量観測ロボット  
カメラ画像

## 外乱除去機能向上(2/3)

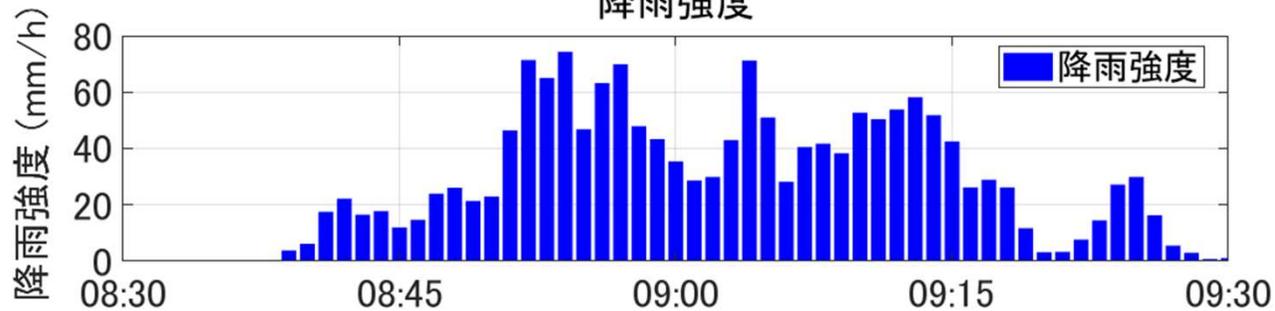
姫川 山本水位観測所における長期連続観測により、降雪の影響を受けることなく観測できることを実証。

2022年1月1日0時  
流量観測ロボットカメラ画像



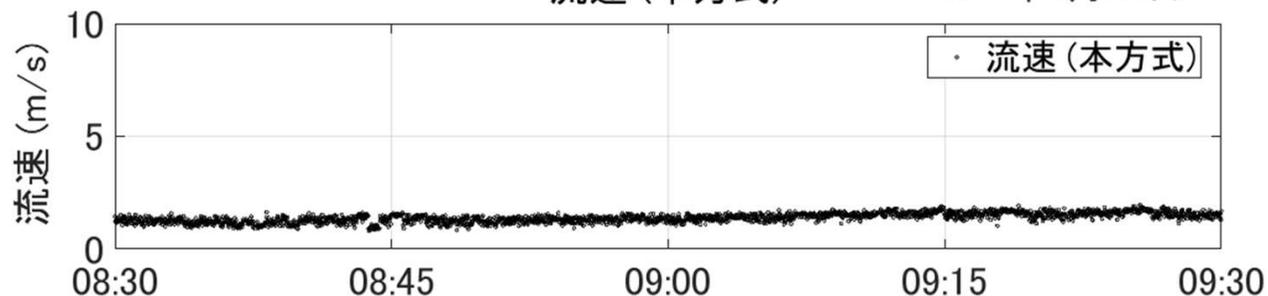
# 外乱除去機能向上(3/3)

## 降雨強度



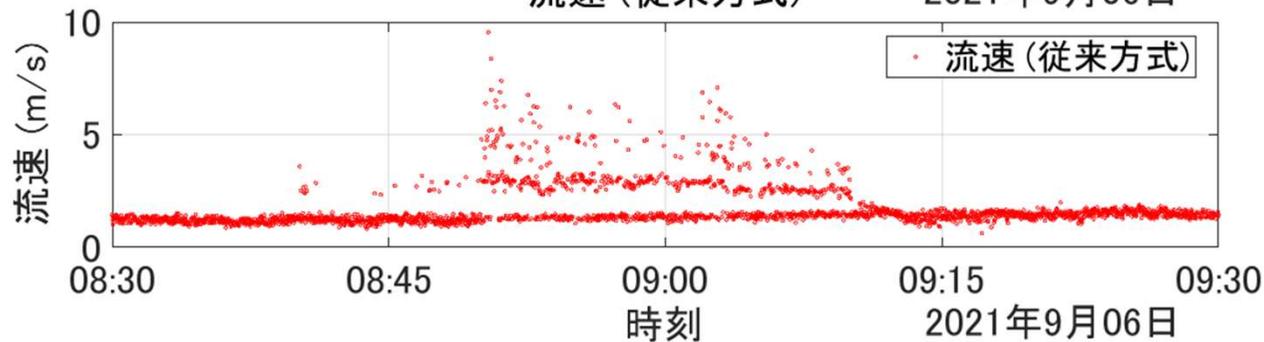
## 流速 (本方式)

2021年9月06日



## 流速 (従来方式)

2021年9月06日



本方式  
流量観測ロボット  
多周波CWレーダ+流速・水位計測  
アルゴリズム

従来方式  
RYUKAN  
CW方式レーダ+流速計測アルゴ  
リズム

滯筋変化対応した水位観測

## 流量観測ロボットの狙い(水位観測)

<流量観測ロボットの狙い>  
➤ 河川管理の問題を解決する。

<問題>  
水位計が欠測する

原因①

原因②



<解決法> 非接触観測

出水後の滯筋変化による欠測

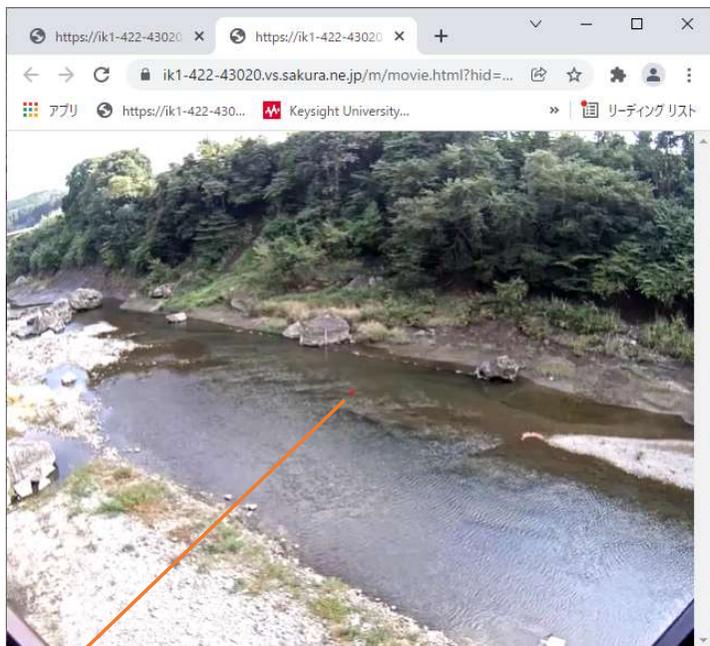
滯筋が変化し欠測が発生した場合、①「水位計の移設工事」、または②「河道工事により滯筋を戻す」作業が必要となる。これらを行う場合、河川管理者の業務が増大する。また、欠測からの復旧に時間がかかる。

<解決法>

事務所からの河川リアルタイム監視手段、および観測位置変更手段の提供

## 流量観測ロボットによるリアルタイム河川監視

クラウドを通じて、流速、水位、河川動画の把握が可能。事務所にいながら、出水後の滞筋変化に気づくことができる。



画面中心に電波照射位置のマーカあり

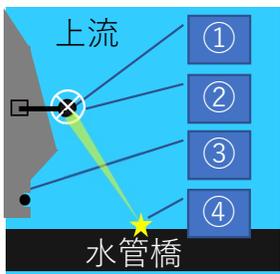
- 観測場所の状況を、リアルタイムで確認することが可能
- 電波照射位置が観測に適しているか視認できる





# 姫川 山本水位観測所における観測位置変更(1/2)

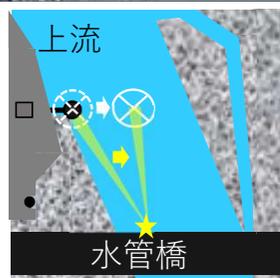
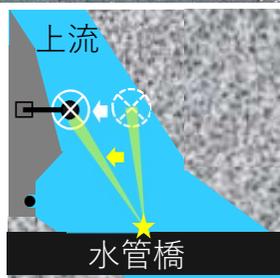
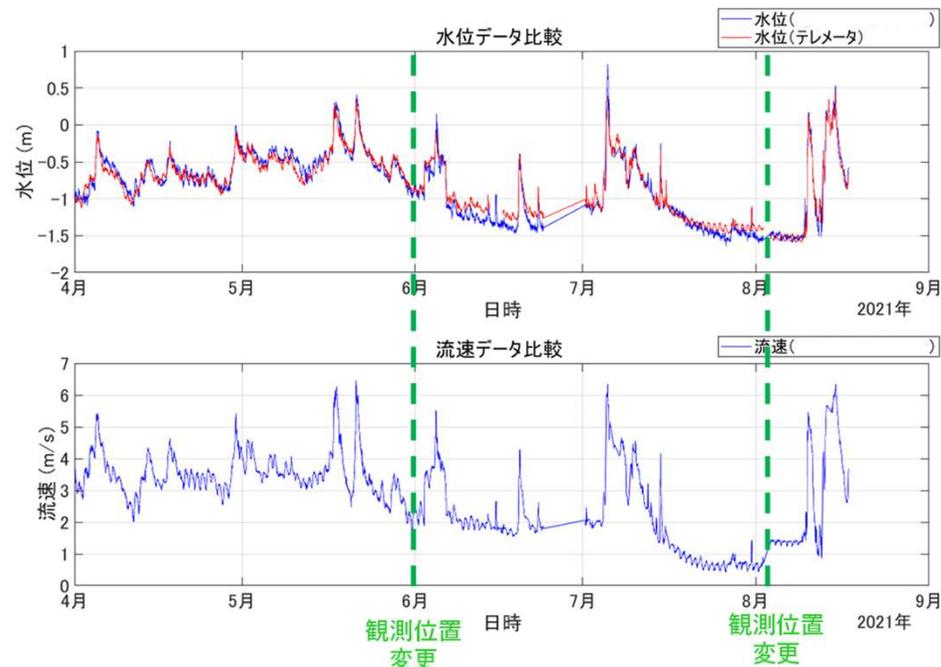
## 3回の滞筋変化に、リモート操作で観測(電波照射)位置を変更



上面図の記号



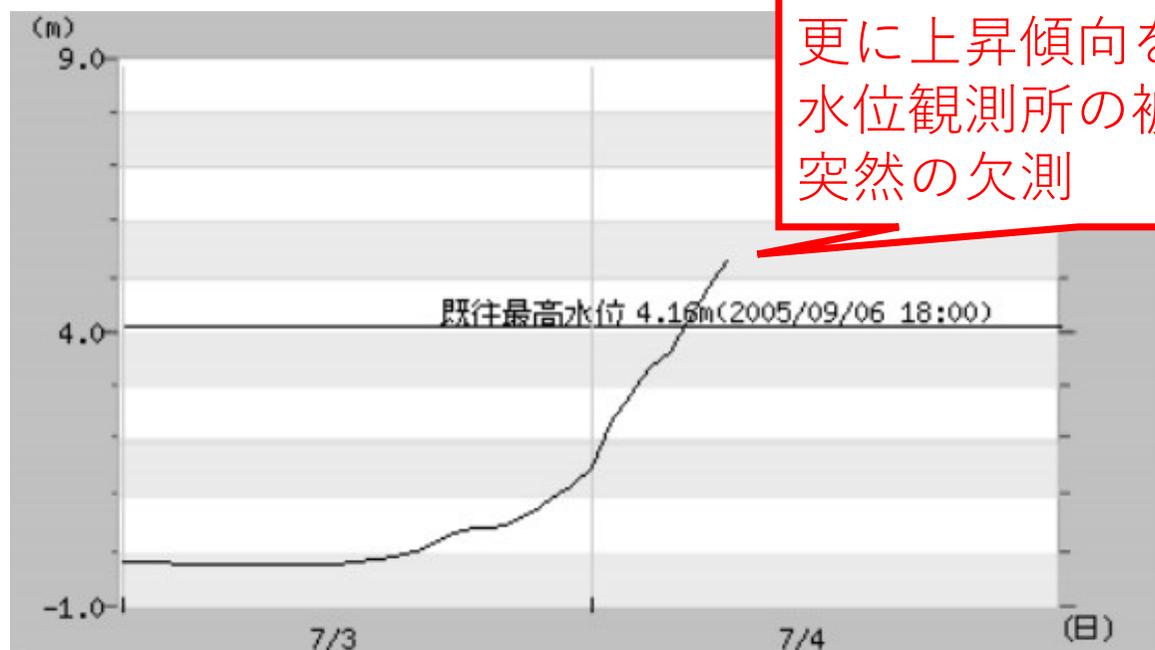
- ①超音波水位計
- ②流量観測ロボット観測(電波照射)位置
- ③水晶式水位計(推定)
- ④流量観測ロボット設置位置



## 移動型による災害支援用仮設観測

流量観測ロボットによる災害支援(1/2)

## 移動型流量観測ロボット 想定する災害支援シナリオ (例)



既往最大水位を超え、  
更に上昇傾向を示すも  
水位観測所の被災により  
突然の欠測

「水文水質データベース 2020/07/03 球磨川 人吉水位流量観測所」より

## 流量観測ロボットによる災害支援(2/2)

観測現場到着後、1時間程で観測開始が可能。

- 斜めに電波を放射するため、離れた場所の流速・水位の観測が可能
- クラウドを通じて、河川状況、水位、流速をリアルタイム監視

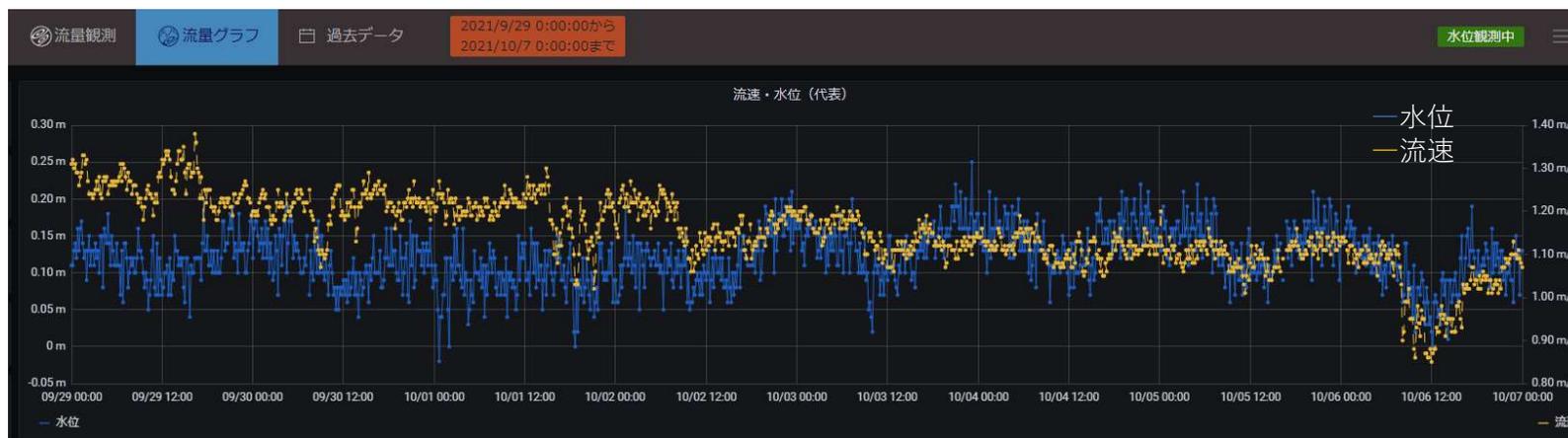


安倍川 手越観測所  
安倍川橋

## 移動型流量観測ロボットの仮設運用実証

千曲川 生田観測所に、2021年9月から11月まで移動型を仮設して観測を行った。

- 期間中安定した計測が出来た。
- 設置には、一部の担当者がWebで参加した。クラウドの画像、流速、水位情報より観測位置(電波照射位置)が適切か否かの判断を行った。
- 災害支援に移動式を使用した場合、遠隔地の専門家と調整を行いながら観測場所を決定することが可能である。



## 移動型流量観測ロボットの仮設位置

流量観測ロボットは、高所に設置する程観測範囲が広がる。  
移動型の仮設位置も高所が望ましい。



## 現在の設置及び設置予定箇所

- 北海道開発局 豊平川藻岩の上橋（2022年4月～2022年6月）
- 北海道開発局 千代田実験水路（2021年6月、2022年6月）
- 北陸地方整備局 姫川山本観測所（2015年9月～）
- 北陸地方整備局 黒部川愛本観測所（2022年7月～）
- 関東地方整備局 利根川目吹橋観測所？（2023年4月～）
- 四国地方整備局 重信川出合観測所（2022年7月～）

## 流量観測ロボット開発の経緯

共同研究 1（現存する技術）

期間：2017年1月～2021年3月

課題名：電波技術を用いた河川水表面流速と水位の計測手法の確立に関する研究

共同研究者：横河電子機器

共同研究 2（今後の技術展開）

期間：2022年6月～現在に至る

課題名：河川の流速，水位，河床高の自動計測に関する研究

共同研究者：ハイドロシステム開発，YDKテクノロジーズ

## 研究目的

河川の流速，水位，河床高の自動計測の結果から流量観測の自動化システムを構築することを目的とする．具体的には下記に示す考え方を基にシステムを構築する．なお同システムはセグメント3以外の観測所が対象である．

## 記

- ① 365日24時間の常時・監視観測システムであり，設置型観測システムであること
- ② 河床変動を考慮すること
- ③ 風補正及び流速補正係数を考慮すること
- ④ 適用限界の定量化
- ⑤ 河床粗度係数-無次元掃流力関係の定式化
- ⑥ 欠測時における対応，異常値の外し方
- ⑦ 不確実性の算定
- ⑧ 非接触型流速計を用いた流量観測手法の体系化
- ⑨ 本観測システムの導入に向けた考え方

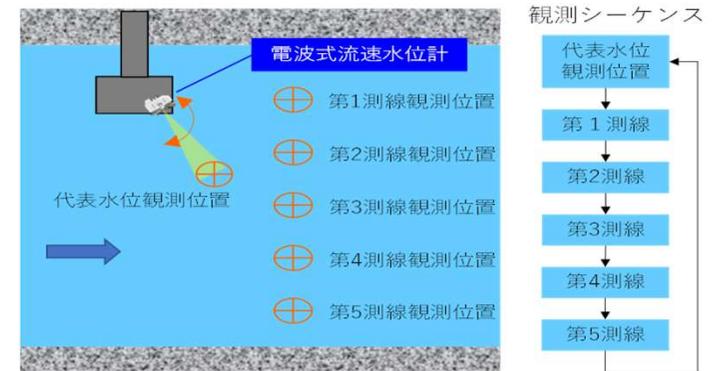
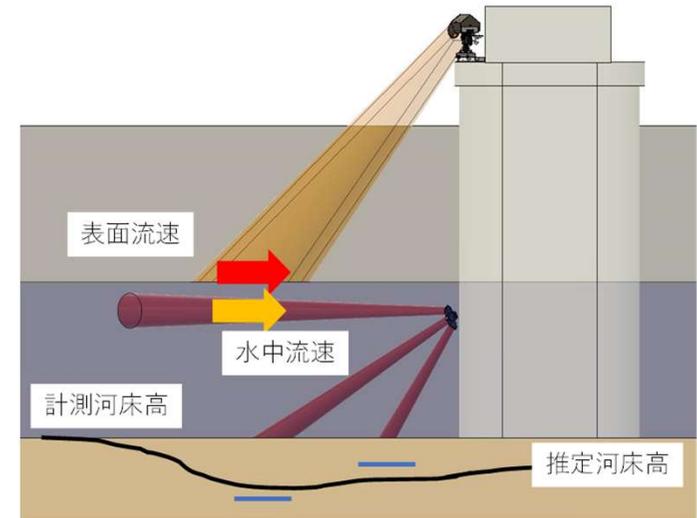
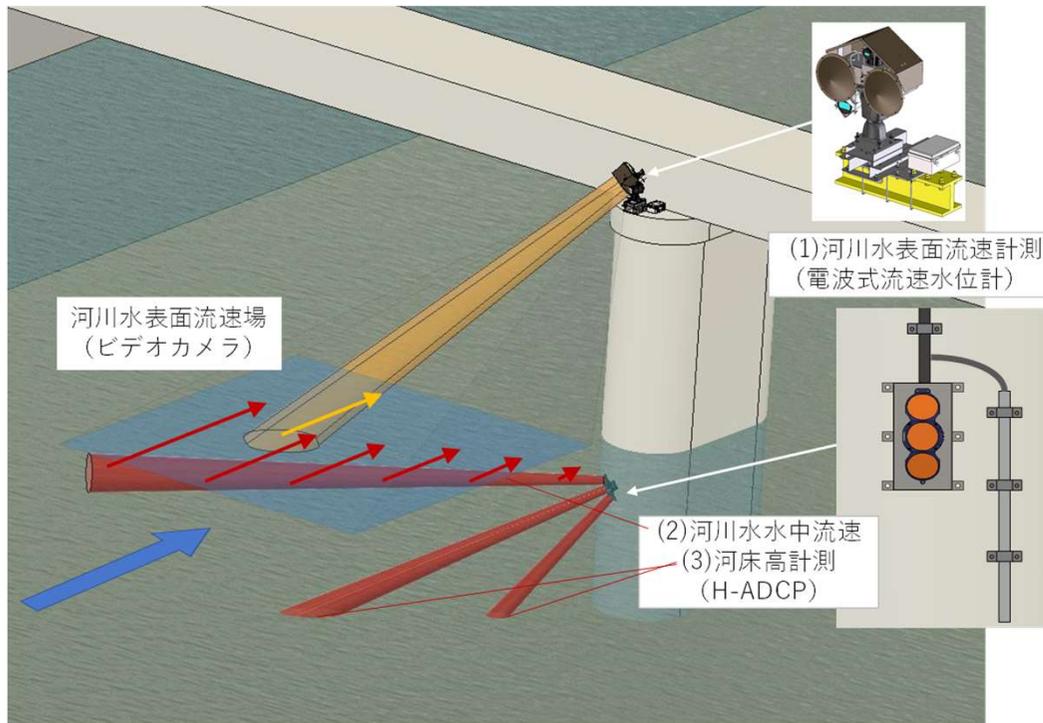
## その他

- ⑩ 流砂量を含めた水文観測の自動化へ向けた検討
- ⑪ 河床変動が活発な河道における水位観測
- ⑫ 移動型による災害支援
- ⑬ UAV搭載型の洪水時の監視システム
- ⑭ プラットフォーム機能を持つこと
- ⑮ 観測結果の安全保障が担保されていること
- ⑯ AI機能により観測地点の最適化

① 365日24時間の常時・監視観測システムであり，設置型観測システムであること

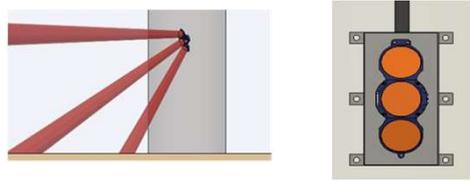
常時・監視観測システムは図-1に示すシステムであり，これらは次の観測項目を組み合わせるものとする。

- 1) 河川水表面流速の計測（電波式流速水位計，画像解析）
- 2) 代表地点における河川水流速の計測（H-ADCP）
- 3) 代表地点における河床高の計測（H-ADCP）
- 4) その他：水面勾配(複数の水位計)，河床材料，風向風速



# 流量観測ロボットの流量値を算定するまでのアルゴリズム (河床変動を考慮した場合)

(2) (3) 河川水流速及び河床高(H-ADCP)



水中流速及び河床高

(1) 河川水表面流速(電波式流速水位計)



流速/水位(○), 画像, カメラアングル

(4)-1 複数水位計



水面勾配

(4)-2 河床材料  
d50, d60/d10

計測ポイントの可否を判断し, 必要な照査域を変更する.

電波式流速水位計の流速値を真値とし, 画像解析から得られた結果より横断分布を作成.

(4)-3 風向風速計

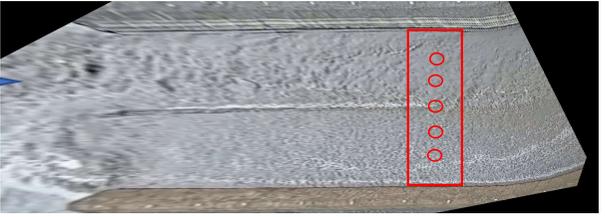


電波式流速水位計の水位値と水深から河床高の横断分布を作成する.

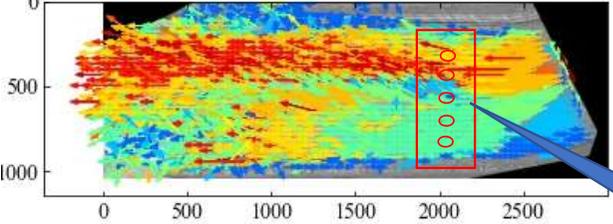
標定がない任意の画角に対して実施

計測河床高を用いた推定値の評価  
→ 修正が必要な場合は流水抵抗のパラメータを調整

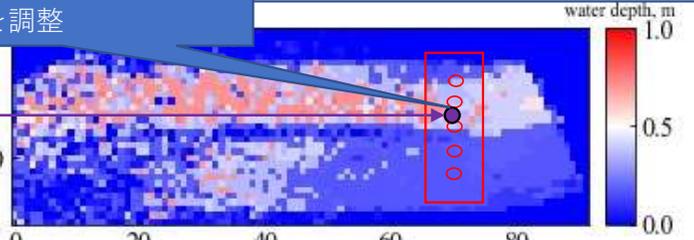
(5) 画像解析1: 幾何変換 (カメラアングル値及び電波式流速水位計から得られた水位値を用いる)



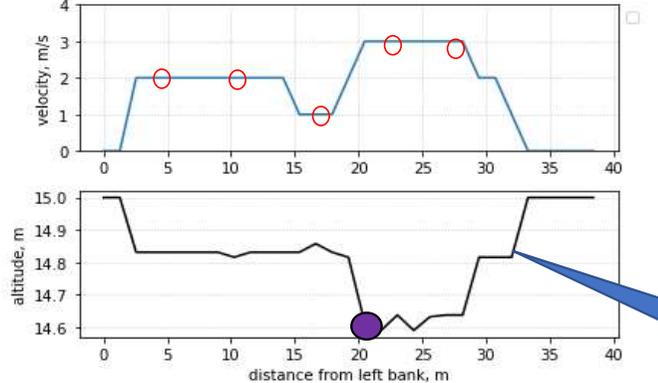
(6) 画像解析2: 河道全体の流速場の把握 (電波式流速水位計の点データを用いて画像解析から得られた空間分布を修正)



(7) 流速場・流水抵抗を用いた水深推定



(8) 対象測線における表面流速  $U_{si}$  及び河床高  $z_i$



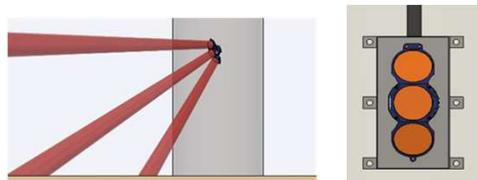
赤枠: 計測  
青枠: 処理

$$Q = \sum \alpha_i \cdot (U_{si} - f_i \cdot U_w) \cdot B_i \cdot h_i$$

(9) 流量値の決定

## ⑭ プラットフォーム機能を持つこと

(2) (3) 河川水流速及び河床高(H-ADCP)

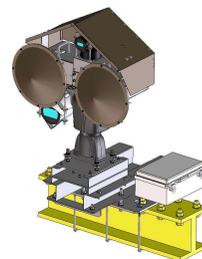


水中流速及び河床高

(1) 河川水表面流速(電波式流速水位計又は画像解析)



流速/水位(○), 画像, カメラアングル



赤枠：計測  
青枠：処理

流量値の決定

(4)-1 水位計やレーザーなど水面勾配

(4)-2 河床材料  
d50, d60/d10

(4)-3 風向風速計



風向風速

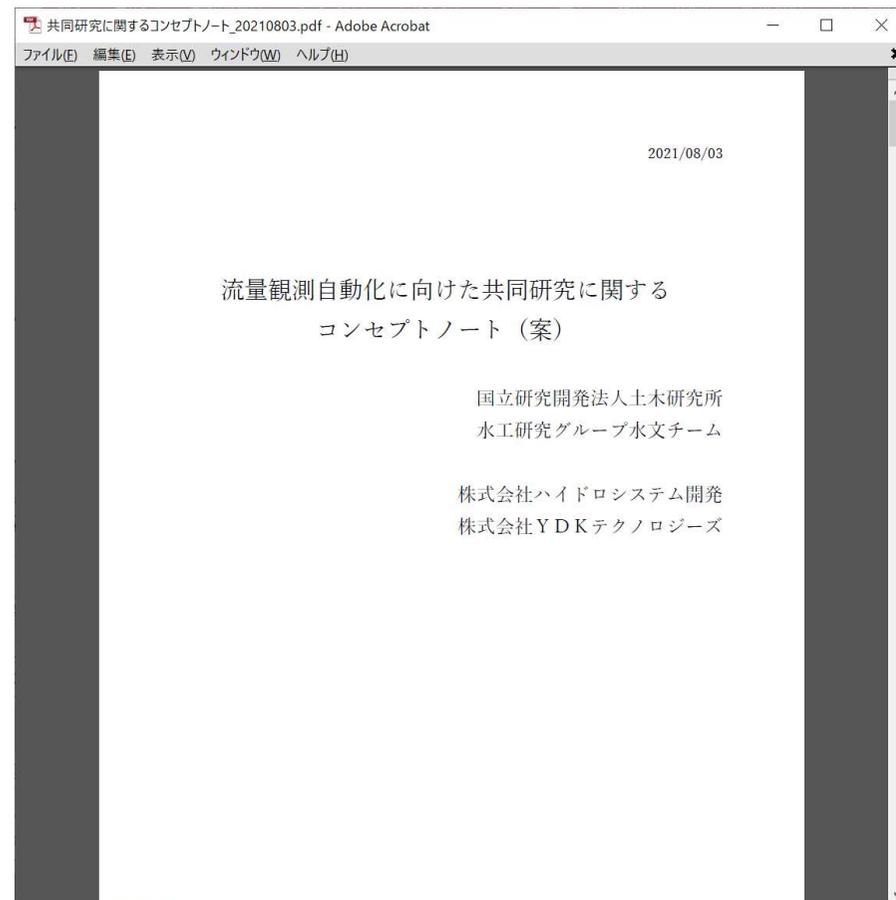
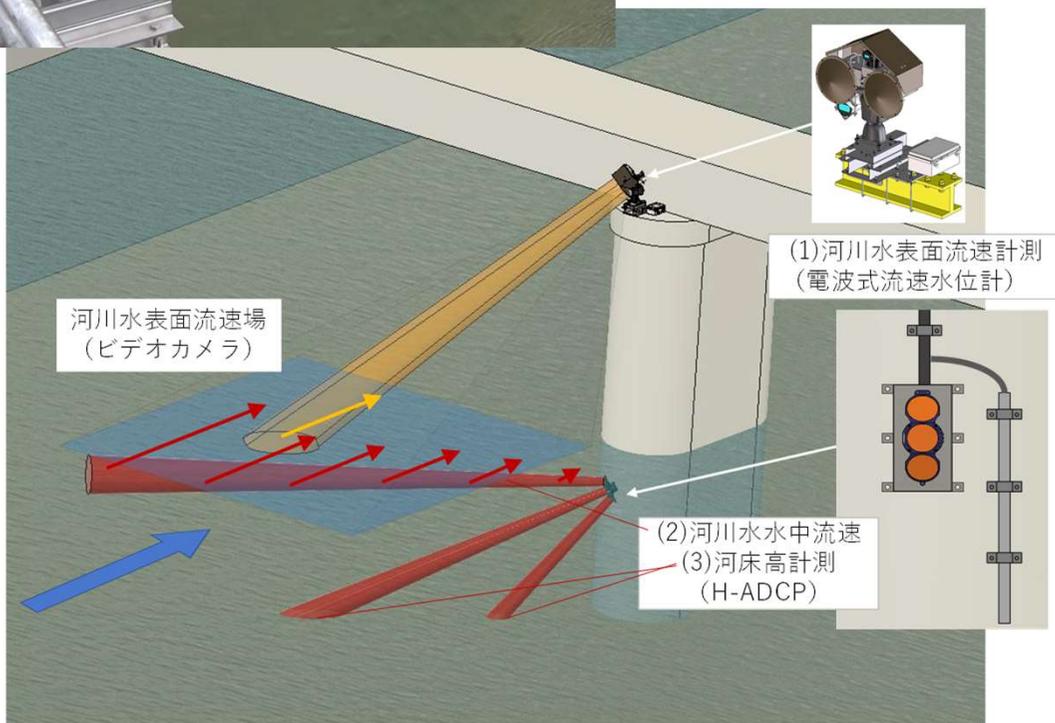
・このプラットフォーム機能は河川観測のインフラ的な役割を果たす。

・2021年度の技術基準による流量算出方法が可能

・今後の技術基準に向けたテラーモード

・今後発生する課題に対するロボットのアップデート

# 水文観測ロボット



国立研究開発法人 土木研究所  
株式会社ハイドロシステム開発  
株式会社YDKテクノロジーズ