

# 常呂川における流量観測高度化の取り組みと 流量算出精度向上の検討

STUDY ON IMPROVEMENT OF FLOW OBSERVATION ACCURACY  
IN THE TOKORO RIVER

(株)北開水工コンサルタント

北見工業大学 社会環境系教授

(株)北開水工コンサルタント

国土交通省 北海道開発局 網走開発建設部

国土交通省 北海道開発局 網走開発建設部

○佐々木章允

渡邊康玄

井上和哉

森岡洸太郎

大島省吾

# 背景・目的

## 大規模出水時における浮子観測の問題点

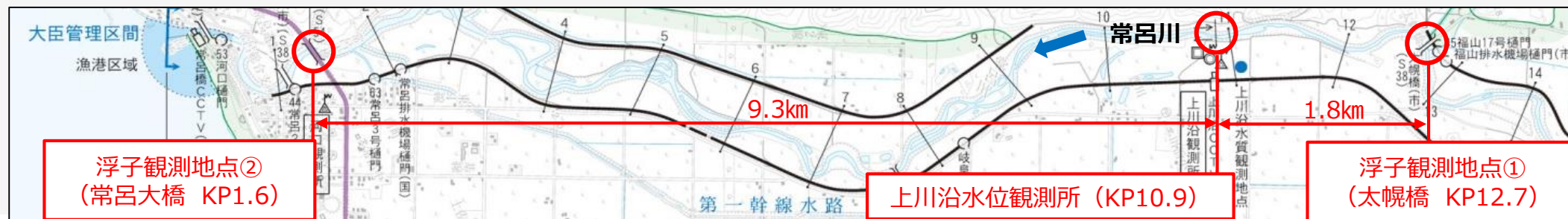
- 浮子投下対象となる橋の水没や周辺道路の冠水による観測不可。
- 豪雨・暴風雨時の観測下における観測員の安全確保。
- 急激な増水による水位上昇期、ピーク時の観測が困難。

## 常呂川 上川沿観測所 (KP10.9) での浮子観測の問題点

- 浮子投下対象の①太幌橋 (KP12.7) は堤々間に架かっていないため、高水敷冠水後は観測継続が困難。
- 高水敷冠水後は下流の②常呂大橋 (KP1.6) で観測。基準水位地点 (KP10.9) との距離が離れているため水位、流量に時間差が発生。
- 河口に近いため潮位の影響を受け、正確な流速・流量が観測できない場合がある。



### <上川沿観測所の位置関係>



# 背景・目的

大規模出水時における浮子観測の問題、上川沿観測所における問題を解決するため、

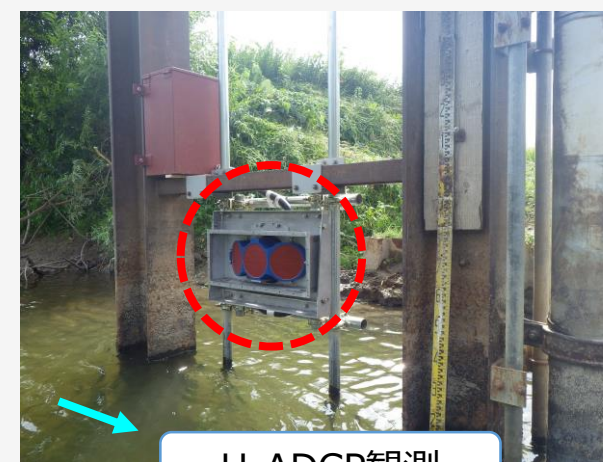
- 夜間も連続して観測可能な遠赤外線カメラで撮影した出水時の映像を、  
画像処理型流速測定法（以下、画像解析）を用いて解析・観測し、流量を算出。
- 複数の手法（画像解析, ADCP, H-ADCP）で流量算出を行い、精度向上手法の検討を実施。



遠赤外線カメラ（画像解析）



ADCP曳航観測



H-ADCP観測

# 観測機器の選定・観測条件

## 画像解析用カメラ

- 出水時の観測は夜間となる場合もあるため、光源がない暗闇でも撮影可能なFLIR社製の**遠赤外線カメラ**（FC-Series O）を選定。
- **計画規模洪水時の水面幅を網羅するため、遠赤外線カメラを2台設置。**
  - ①低水路用として水位標第2柱の上部 ②高水敷用として左岸堤防上のCCTV柱
- 撮影範囲（水面幅）に応じた焦点距離のカメラレンズを選定。（低水路用カメラ：19mm 高水敷用カメラ：60mm）
- 10分毎に30秒間映像を撮影、解析（検査線間隔）は横断方向1m毎。



遠赤外線カメラ  
(FLIR社製 FC-series O)



低水路撮影用 水位標第2柱の上部



高水敷撮影用 左岸堤防上のCCTV柱

遠赤外線カメラ

# 観測機器の選定・観測条件

## ADCP曳行観測

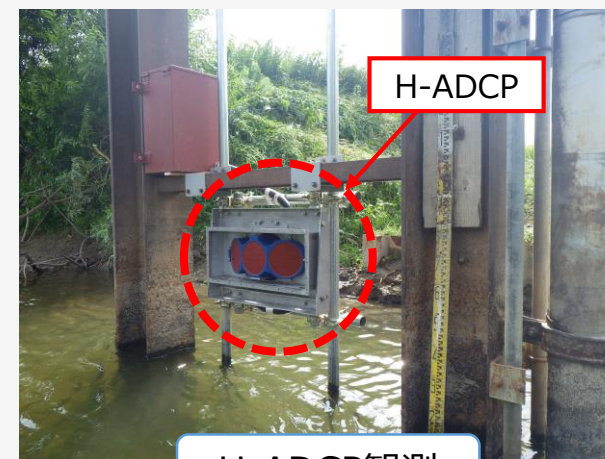
- ワークホースADCPリオグランデ（1200kHz）を使用。
- 「ハイスピードモード」, 1アンサンプル=3ping×サブ10ping, 層厚0.2m。
- 出水時に横断方向1m平均、鉛直方向0.2m間隔で観測。



ADCP曳航観測

## H-ADCP観測

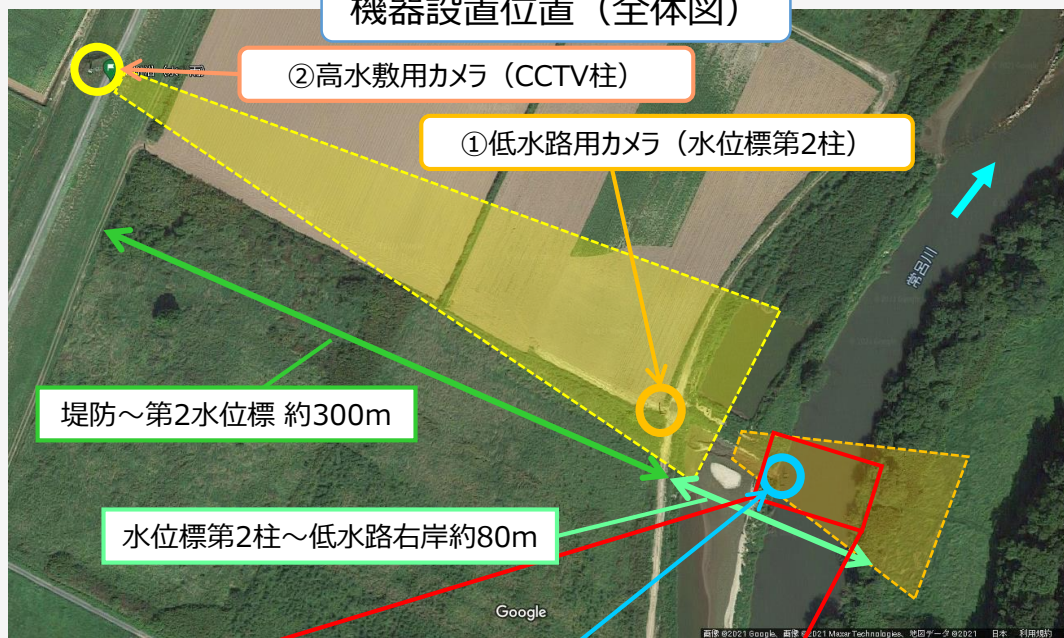
- ワークホースH-ADCP（300kHz）を使用。
- 水位標第1柱に固定設置、設置高2.7m、横断方向1mピッチで流速観測。
- 10分毎に1秒間隔で1分間流速観測。



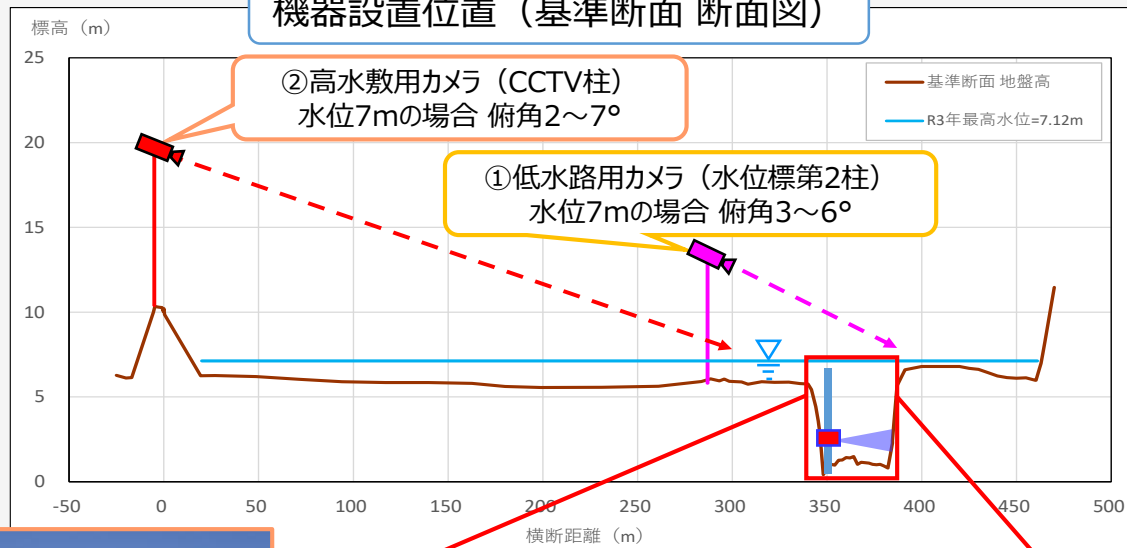
H-ADCP観測

# 観測方法 -遠赤外線カメラ・ADCP・H-ADCP-

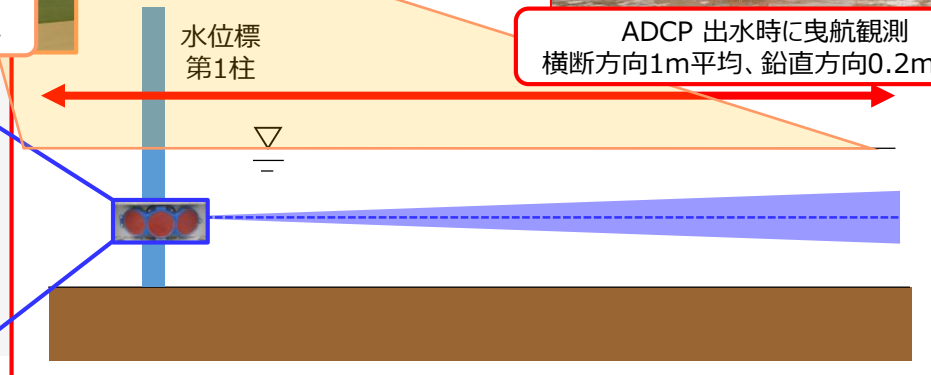
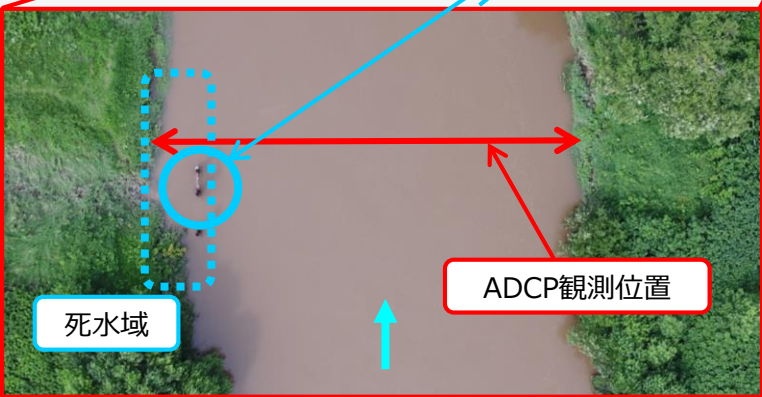
機器設置位置 (全体図)



機器設置位置 (基準断面 断面図)

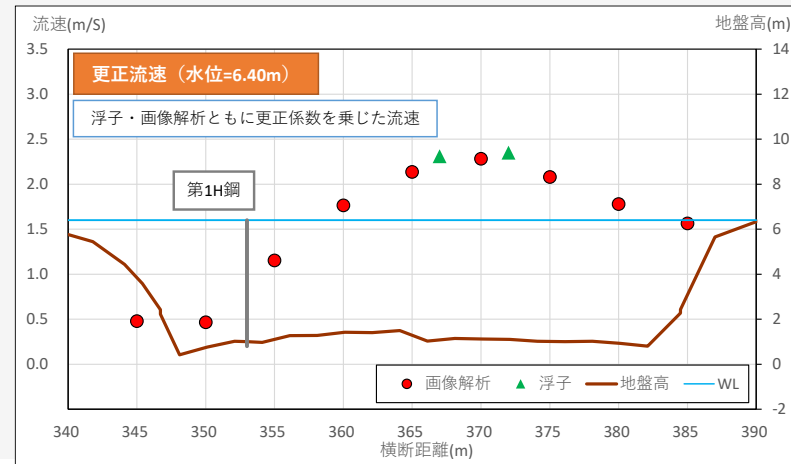
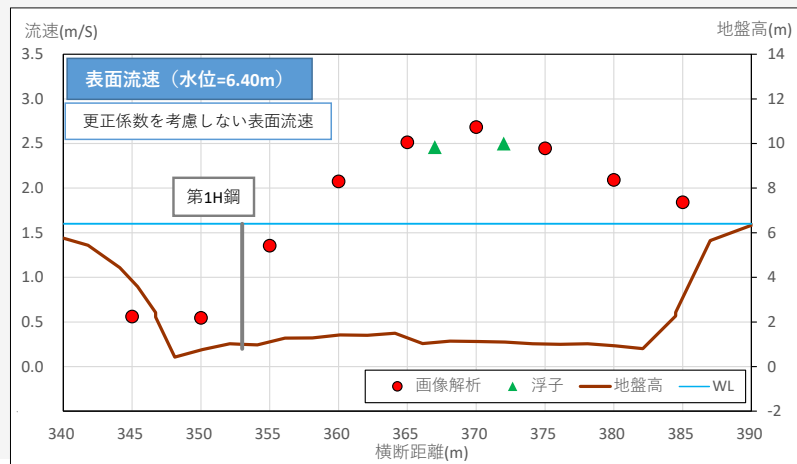
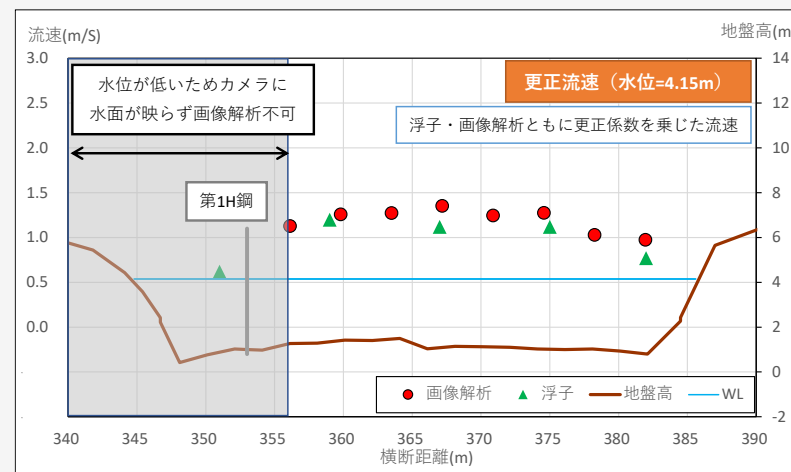
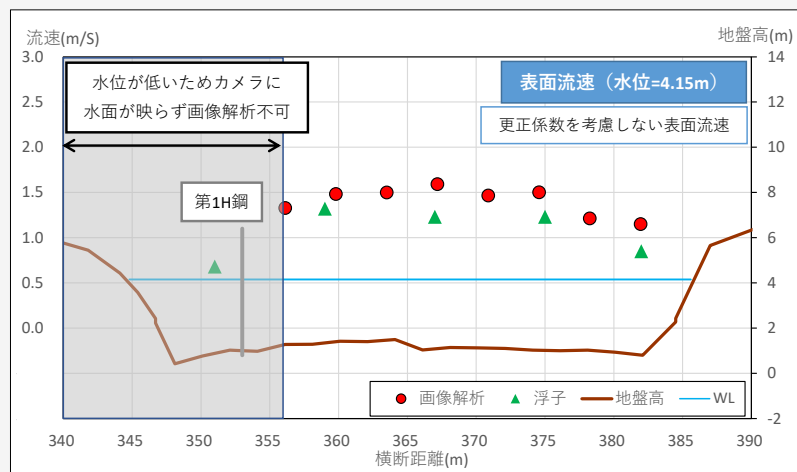


H-ADCP (水位標第1柱)

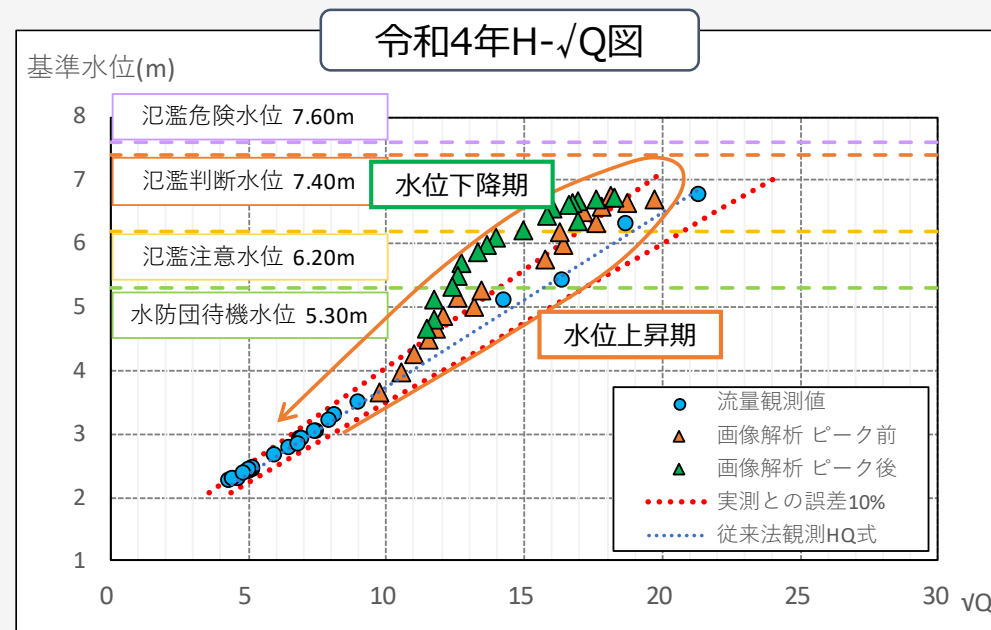
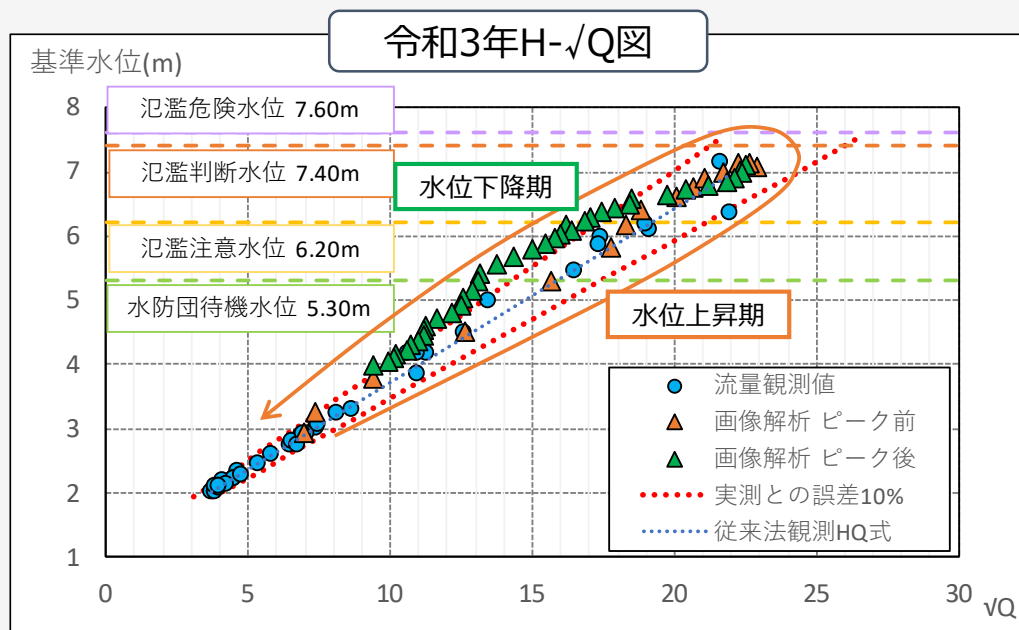


# 観測結果 -低水路内流速比較-

- 画像解析流速に適用する修正係数 (0.85) の検証のため、画像解析と浮子の表面流速と修正流速を比較。  
⇒表面流速よりも修正係数を適用した修正流速の方が画像解析と浮子観測の流速差が小さい。



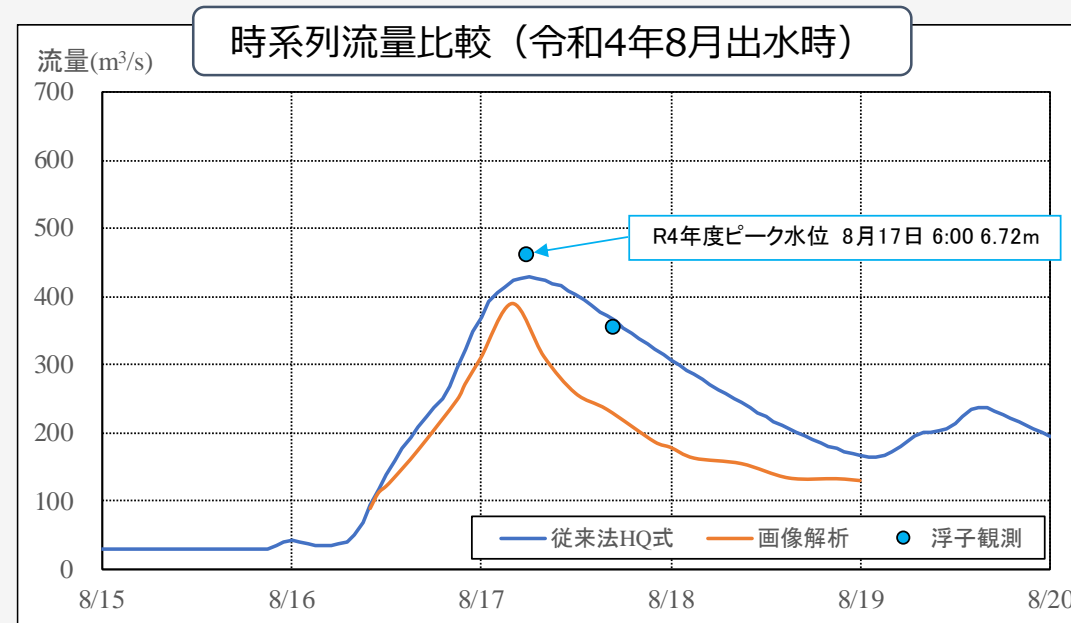
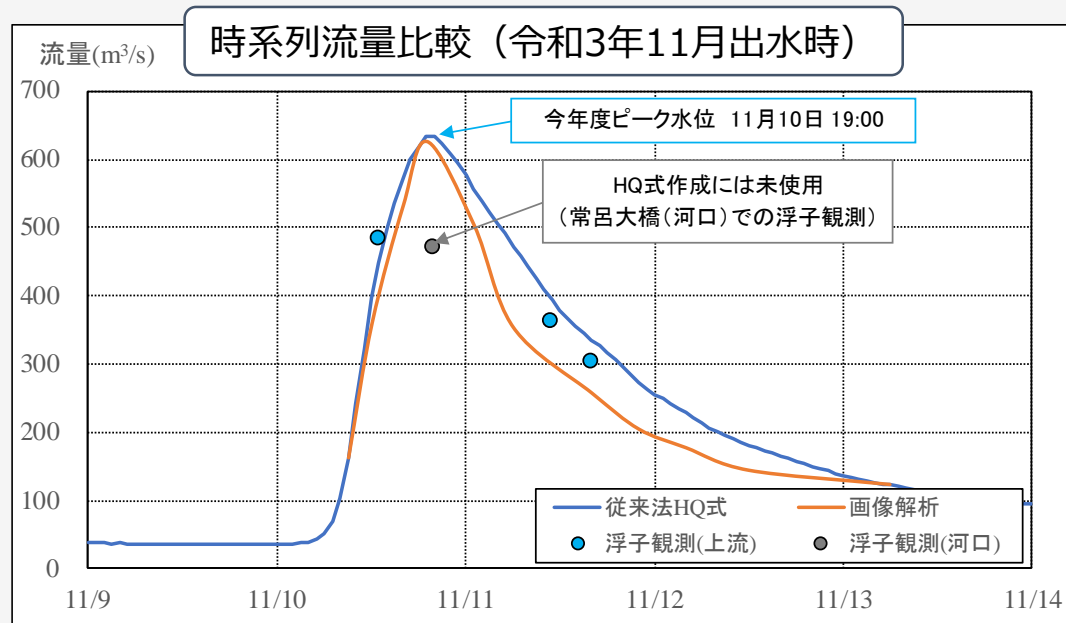
# 観測結果 -画像解析と従来法観測値の流量比較-



- 画像解析 ▲ ▲ は、水位上昇～ピーク水位付近では従来法 ● (流速計・浮子) による流量の誤差10%以内の精度。
- 令和3年は高水敷冠水後 (水位=約6.5m以上) も流量がばらつくことなく水位上昇～下降まで観測できている。
- 水位5～6m付近で従来法と誤差が大きくなる要因として、上流の太幌橋で観測された流量の一部が基準断面まで流下せず、河道内に貯留されたことが考えられる。
- 画像解析による連続観測により、洪水時における水位流量曲線の反時計回りのループを確認。



# 観測結果 -出水時流量の時系列比較-



- 令和3年は、水位上昇期～ピーク水位付近までの流量は概ね一致。ピーク～水位下降期では、従来法HQ式の流量が過大。
- 令和4年は、高水敷が冠水し始める流量150m<sup>3</sup>/s（水位約5.0m）付近から従来法HQ式の流量が過大。ピーク付近では従来法HQ式と画像解析の流量差は小さい。
- 高水敷が冠水し始めた後に流量差が大きくなる要因として、浮子観測と画像解析で観測地点が異なること、流速算出の測線数が異なることが考えられる。（浮子→4～5測線 画像解析→10測線(検査線10本)以上）

## 鉛直流速分布の推定 -対数分布則の適用-

- 上川沿観測所において、画像解析流量とADCP観測流量を比較したところ、画像解析流量がADCP流量よりも過少に算出された。⇒ 上川沿観測所では修正係数0.85が適さない可能性がある。

『非接触型流速計測法の手引き（案）令和5年3月』では、

- 「各観測所における適切な値を使用することが望ましいが、やむを得ず検証ができない場合、暫定的に0.85を使用しても良い。」 ⇒ **観測所によっては適さない場合もある。**
- 新たな流量算出手法として**対数分布則を用いて鉛直流速分布を推定、推定した鉛直流速分布から流量の算出**を行い、それぞれの流量の比較を行った。

$$\frac{u}{U_*} = \frac{1}{k} \ln \frac{z'}{k_s} + A_r$$

$$U_* = \sqrt{ghi}$$

$u$  : 流下方向流速（画像解析流速, H-ADCP流速）

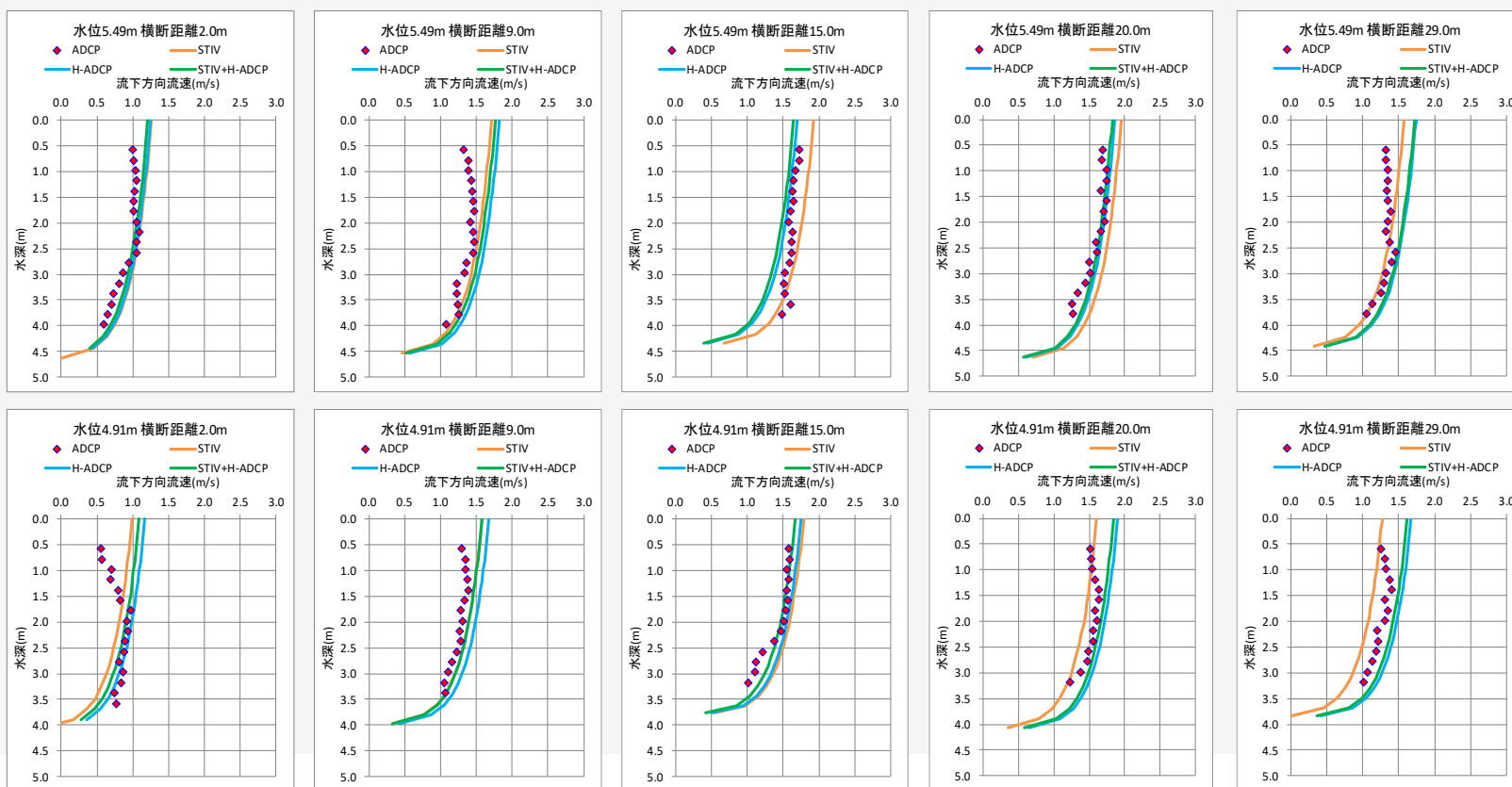
$U_*$  : 摩擦速度  $h$  : カルマン定数 (=0.4)

$z'$  : 河床からの高さ  $k_s$  : 相当粗度  $A_r$  : 普遍定数 (=8.5)

$i$  : 水面勾配 (=1/2000 現地実測値)  $h$  : 水深

# 鉛直流速分布の比較

- 流下方向流速に、①画像解析(STIV)、②H-ADCP、③画像解析(STIV)とH-ADCPの両方を使用した場合、それぞれに対数分布則を用いて鉛直流速分布を推定。
- ④画像解析(STIV)に更正係数を適用した場合、⑤ADCP曳航観測、と①,②,③の鉛直流速分布、流量を比較。
- 対数分布則を用いて推定した鉛直流速分布は、ADCP観測とほぼ一致。

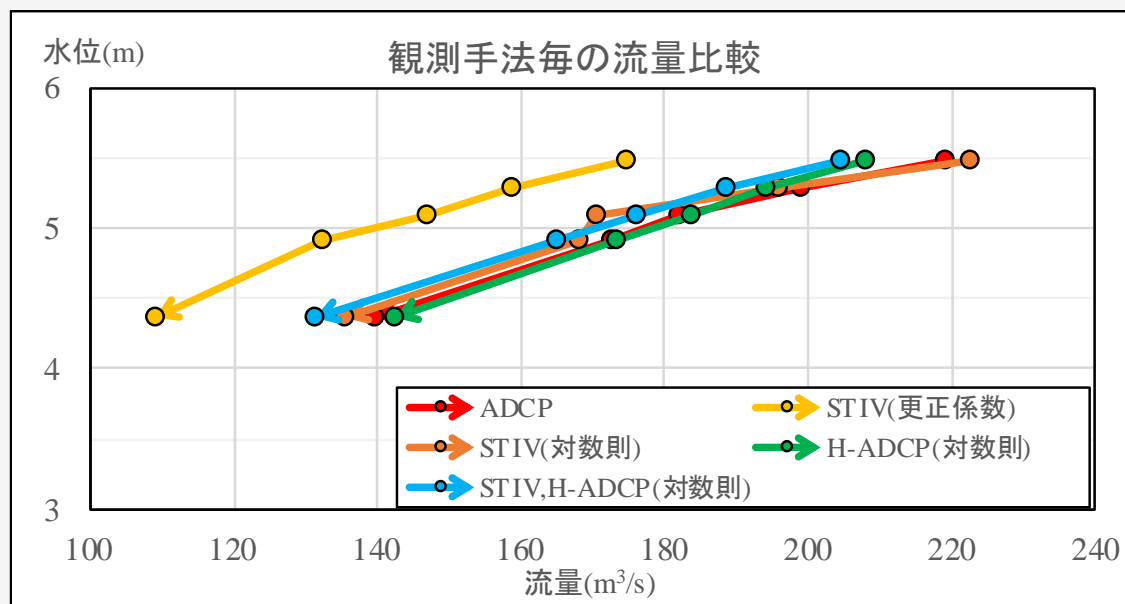


## 〈比較・検証パターン〉

- ①画像解析：対数則
- ②H-ADCP：対数則
- ③STIV+H-ADCP：対数則
- ④画像解析：更正係数
- ⑤ADCP曳航観測

# 鉛直流速分布から推定した流量の比較

- 推定した鉛直流速分布から算出した流量①,②,③と④画像解析(更正係数0.85)、⑤ADCP曳航観測の流量を比較。



## 〈比較・検証パターン〉

- ①画像解析：対数則
- ②H-ADCP：対数則
- ③STIV+H-ADCP：対数則
- ④画像解析：更正係数
- ⑤ADCP曳航観測

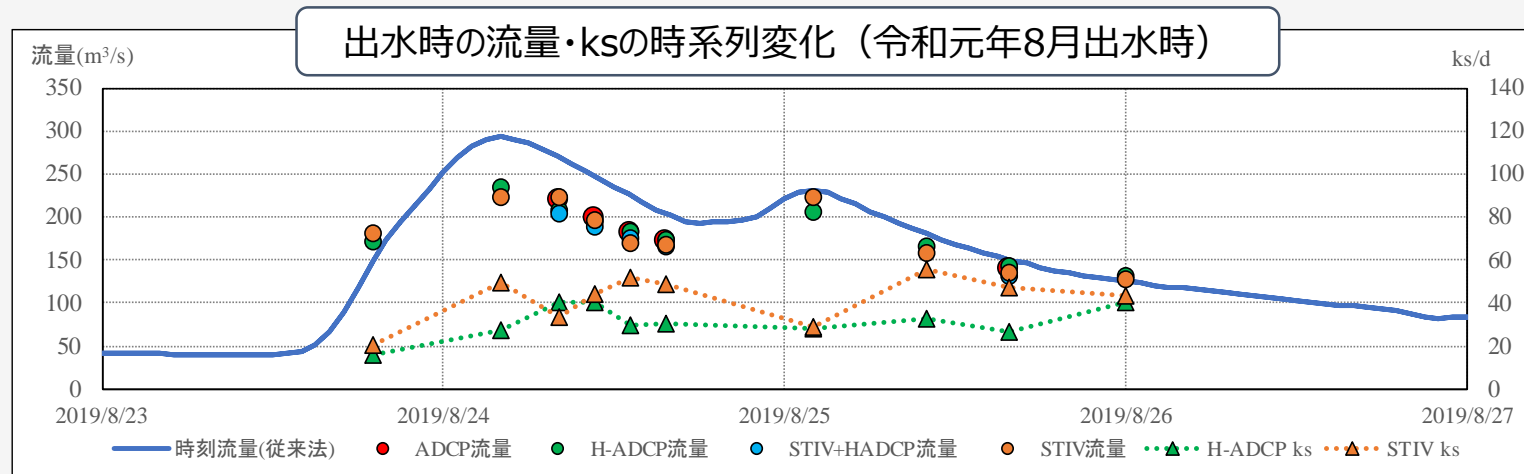
- ④画像解析に更正係数0.85を適用した流量は、⑤ADCPよりも20～30%過小。
- 対数分布則を用いた①画像解析(STIV)、②H-ADCP、③画像解析(STIV)+H-ADCPは⑤ADCPとの流量差は数%程度。 ⇒ 対数分布則を用いることで流量精度が向上。

# 出水中のks（相当粗度）の変化

- 鉛直流速分布推定時に算出したks(相当粗度)を観測地点付近の平均粒径（ $d=0.03\text{m}$ ）で無次元化し、出水中の時系列変化、測線毎のksの変化を確認。

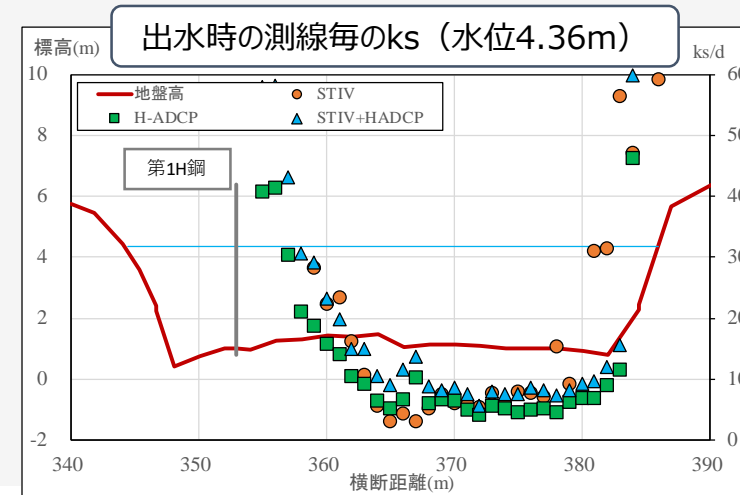
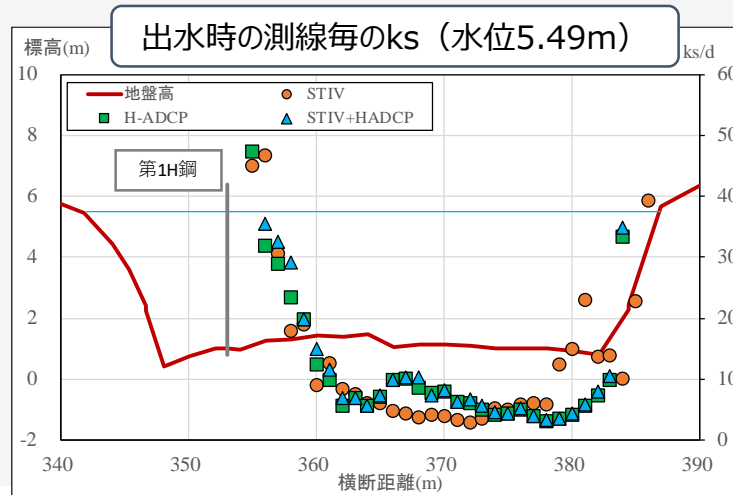
## 出水中の時系列変化

- 各観測のksの平均値は、流量ハイドロと同様に出水中に変化しており、流量算出においては、ksの変化も考慮する必要がある。



## 出水中の測線毎のks

- 測線毎のksは、流速が速く流れが安定している流心付近ではほぼ一定だが、左岸側では大きい。
- 要因として、観測地点の上流が湾曲している、観測地点の左岸側が死水域になり流れが不安定であることが考えられる。



# おわりに -流量観測高度化・流量算出精度向上の検討のまとめ-

## 流量観測高度化 -遠赤外線カメラによる画像解析-

- 常呂川の上川沿観測所において、低水路用と高水敷用の2台の遠赤外線カメラで撮影した出水時の映像から、画像解析（STIV法）により、水位上昇～ピーク～下降までの流速・流量を算出。
- 令和3年11月の氾濫注意水位を超過し、高水敷が冠水するような出水でも、低水路から高水敷までの約400mの川幅で、同一測線で昼夜連続かつ無人で流速・流量を観測可能。
- 計画規模の出水でも同一測線で昼夜連続かつ無人で観測可能であることを確認。

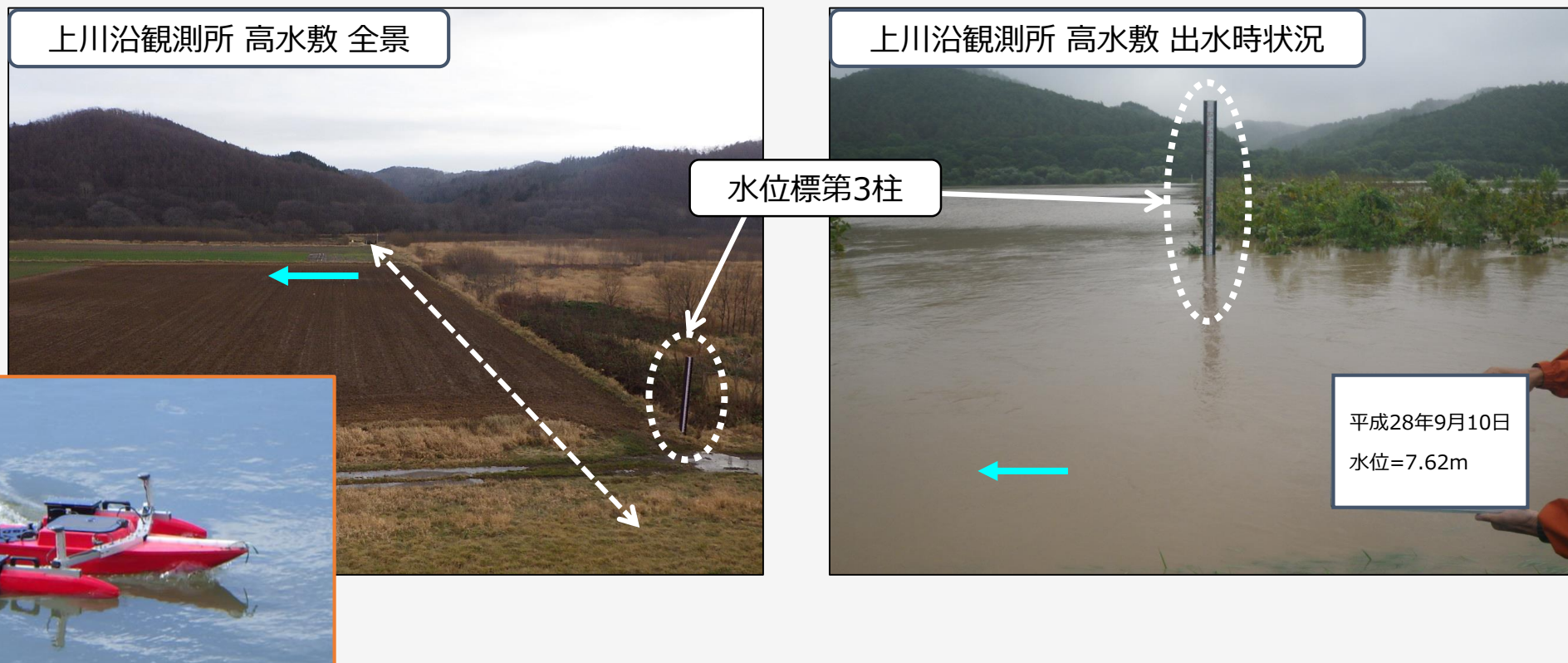
## 流量算出精度向上の検討

- 上川沿観測所では、画像解析流量(更正係数0.85)がADCP流量よりも20～30%過小に算出されていたため、複数の観測手法で得られたデータと対数分布則を用いて鉛直流速分布を推定し、流量を算出。
- 画像解析(表面流速)と対数分布則を用いることで、ADCPと同等精度の流量となった。
- H-ADCPと対数分布則を用いた手法でも同等の精度であったが、川幅が広い場合や河道が複断面である場合を考慮すると、画像解析が最も有効。

# おわりに -今後の課題-

## 今後の展開

- ・高水敷冠水時の高水敷の流速、流量の精度確認
- ・超過洪水での観測
- ・更正係数の検証
- ・他観測所への展開



橋が無いので高水敷をラジコンADCPで観測