

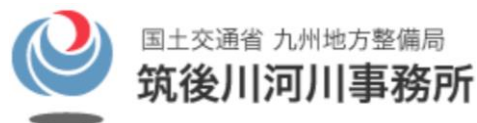
逆流防止操作が必要となるタイミングの前後における 支川合流部の水門付近の流向・流速分布



安田吾郎・白川祐樹・高良圭・鴨志田穂高
Goro YASUDA Yuki SHIRAKAWA Kei KORA Hodaka KAMOSHIDA
(発表者)



清水康行
Yasuyuki SHIMIZU



坂口 誠・熊井教寿
Makoto SAKAGUCHI Norihisa KUMAI

研究の目的と背景

- ①ゲート操作員の高齢化
- ②バックアップ体制脆弱化

水門操作員は、
2015年時点で
60歳以上が6割
70歳以上が25%



社整審答申(2022)

担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行

SIPスマート防災
(2023～)



(信頼性が高い)水門操作の遠隔化・自動化技術の開発

GOAL

- ③現場に人が張り付いていても
流向判定が難しい場所がある



目視や水位差で判断できなければ、
標識になるものを流したり、
ゲートを少し閉めたり...

本研究のテーマ

そもそも、逆流の発生前後
における水門付近の水の
流れはどうなっているのか

2D

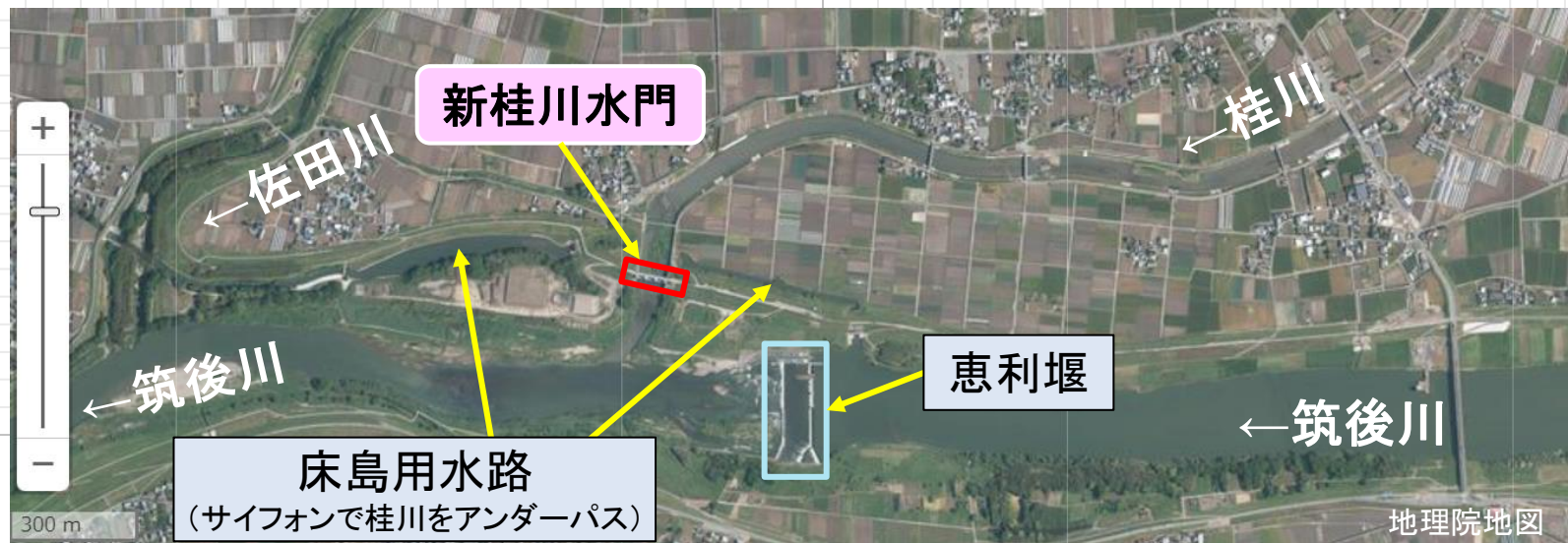
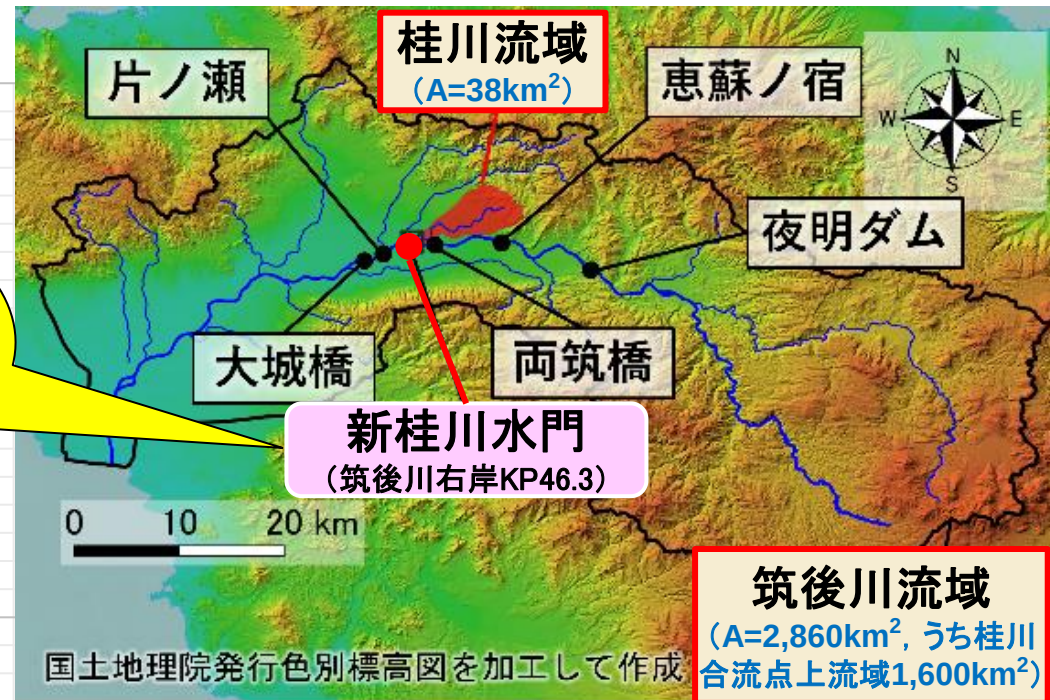
3D

遠隔・自動操作でも流向判定を
誤らない技術の開発

故障等による不稼働リスクの低減

研究対象とした新桂川水門の位置

逆流が起きている
かどうかの判定が
難しいとの認識が
関係者に共有されて
いる水門



新桂川水門の概要



新桂川水門での逆流防止操作の実施状況

数年に1回のペースで 逆流又はそれに近い状況が発生している。

豪雨名称	平成24年7月 九州北部豪雨	平成29年7月 九州北部豪雨	令和2年7月 豪雨	令和5年7月 大雨
解析対象 期間	2012年 7月13～15日	2017年 7月5～6日	2020年 7月6～8日	2023年 7月9～10日
新桂川水門 操作の有無	全閉操作あり	全閉操作なし	断続開閉操 作？	全閉操作なし

合流点付近での逆流防止のため、
全閉操作を実施

完全な閉扉までは行わなかった
との証言あり

流向判断が難しくなりかけた状況例(2024年7月1日14:00頃)

下流(合流点)方向



上流方向



このときの**片の瀬地点**ピーク水位は7月1日15時に**7.76m**。過去10年の最高水位(下の表)と比較してみると、1年確率洪水より少し小さい程度の規模感の出水。

片の瀬地点における年最高水位(赤字は今次出水より高い水位)

年	2014	2015	2016	2017	2018
最高水位	4.82	5.47	7.19	10.30	9.67
年	2019	2020	2021	2022	2023
最高水位	8.46	10.52	8.40	6.94	10.14

現地確認者の証言

- ・中央付近は動きがほぼ無く、流れてきたゴミなどが滞留した状態
- ・合流点の手前で漂流物の速度が落ちていた
- ・水門から下流の動きはかなりゆっくり(30分ぐらいの時間でほんの数メートル動いたかなという感じ)

 iRIC Software 水理シミュレーションモデル
Changing River Science

Nays2DH

非定常平面2次元流れ・河床変動計算

本論文で使用了したソルバー

Cabernet2D
(開発中)

非定常平面2次元流れ・河床変動計算
+
分合流点・氾濫域を含む河道解析機能

分合流点を含む水理計算に適している

本論文での実施範囲

二次元水理解析

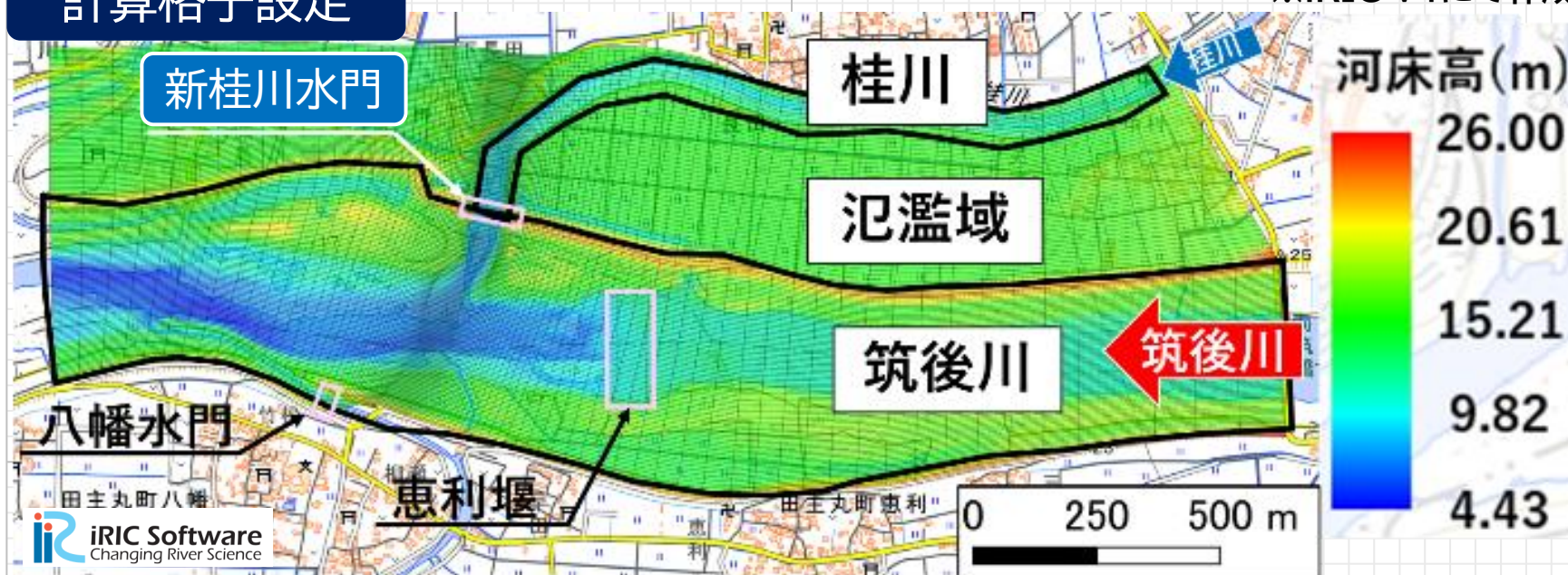
逆流の有無・流量に応じた水流の傾向把握

三次元水理解析

上層・下層の流れの違いを考慮した水流の傾向把握

計算格子設定

※iRIC v4にて作成



- ・新桂川水門付近の流水の挙動を詳細に把握するため、水門付近の格子間隔が密になるようにした。
(水門の横断幅65mに対し、桂川横断方向1.8m、縦断方向8mの格子を生成)
- ・筑後川縦断方向の上流側に1.05倍、下流側に1.08倍と等比級数的に格子サイズを漸増させた。

本シミュレーションの計算条件

【移流項の差分方式】

CIP法

【計算ステップ】

0.125秒

※CFL条件を満たし、計算結果が安定する計算ステップとした。

【乱流モデル】

ゼロ方程式モデル

渦動粘性係数 ν_t は次式で与えた。

$$\nu_t = a u_* h \quad (a: \text{定数} \quad u_*: \text{摩擦速度} \quad h: \text{水深})$$

※定数 a は、河川砂防技術基準における水深や粗度が空間的に漸変する場合の値(0.13～0.15)を参考に0.15とした。

河道形状・河床勾配の設定方法

筑後川

2020年度に行われた航空レーザー測深(1/1000)および空中写真撮影(地上解像度5cm)業務の成果を使用した。

筑後川の河床勾配は(両筑橋～大城橋間平均で)1/1100, 桂川は1/1600。

桂川 大規模な改修が行われたため、年別に異なる断面形状を設定

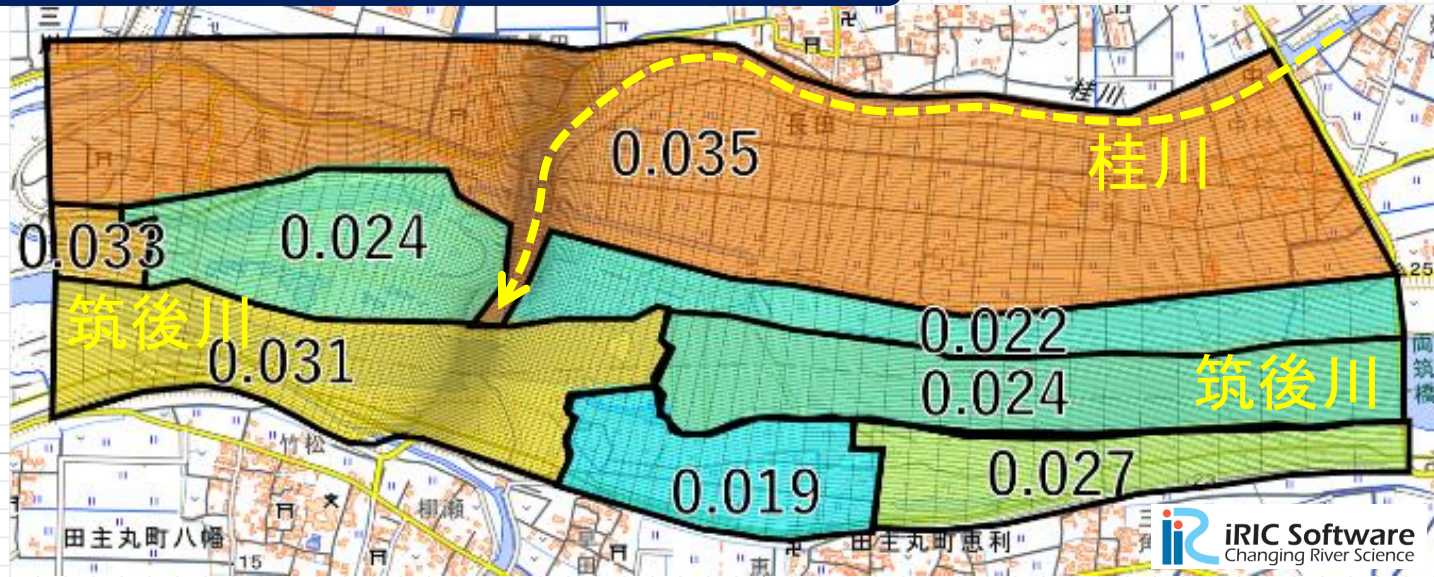
H29年洪水時の河道断面については2019(R1)年度に福岡県が実施した河道横断測量成果から設定。R2・R5年洪水については、その測量以降の桂川河道改修の進捗状況を反映した河道断面を設定。H24洪水については、R1測量実施以前に行われた河川改修内容の内、資料が残っていた部分を反映して推定。

氾濫域

2021年の航空測量成果に基づく数値地図5mメッシュ(国土地理院)を使用した。

マンニング式に基づく粗度係数の設定方法

※iRIC v4にて作成



筑後川

筑後川河川事務所保有の一次元解析用粗度係数を初期値として与え、
水理シミュレーション結果との整合性が高まるよう逆算粗度を設定

桂川

河川管理者(福岡県)が桂川の流下能力評価に用いる0.035を適用

氾濫域

桂川と同じ0.035を適用(既往文献でのレンジ内, モデル設定省力化)

解析区間の境界条件設定方法

筑後川上流端流量

その時の洪水の高水流量観測結果を反映したHQ式に基づく「恵蘇の宿地点流量」と、流出モデルベースの「恵蘇の宿地点下流残留域(美津留川;流域面積7.7km²)からの流出量」の和とした。

残留域(美津留川)からの流出量は、筑後川河川事務所が保有する流出モデルに、関係する雨量観測所計測データを入れて求めたもの。

桂川上流端流量

筑後川河川事務所が保有する流出モデルに、関係する雨量観測所計測データを入れて求めた。

下流端水位

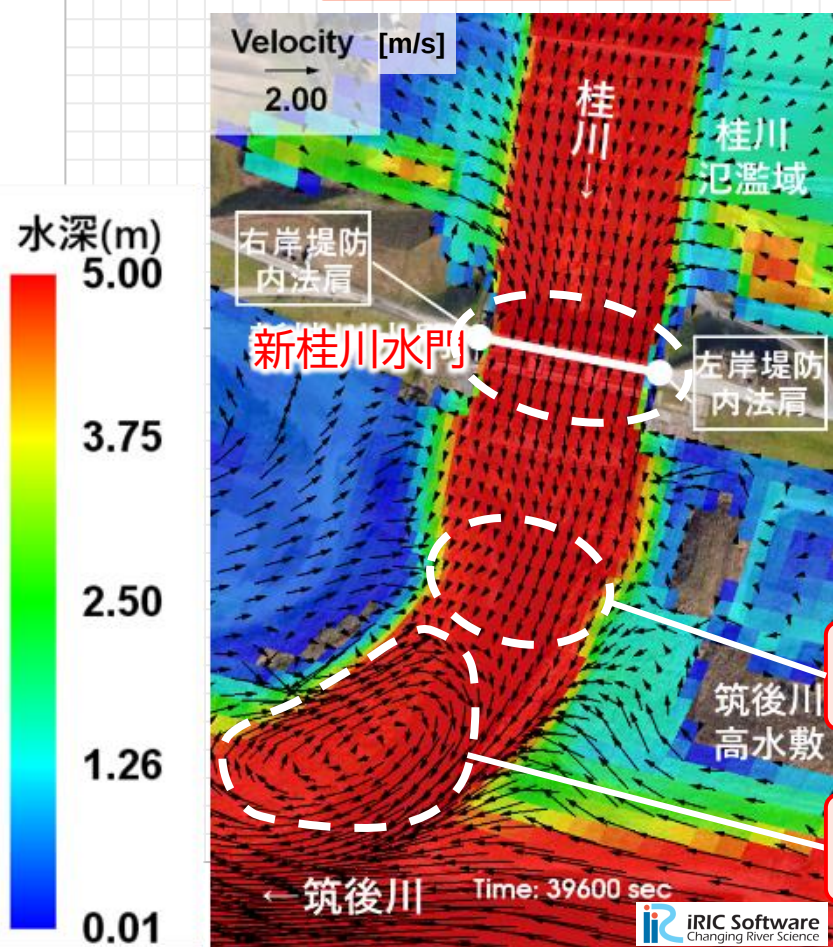
「恵蘇の宿地点」、「新桂川水門地点」、「片ノ瀬水位基準点(解析区間下流端の約2km下流)」の3点の水位を滑らかに結ぶ二次の近似曲線より設定した。

H29洪水シミュレーション結果

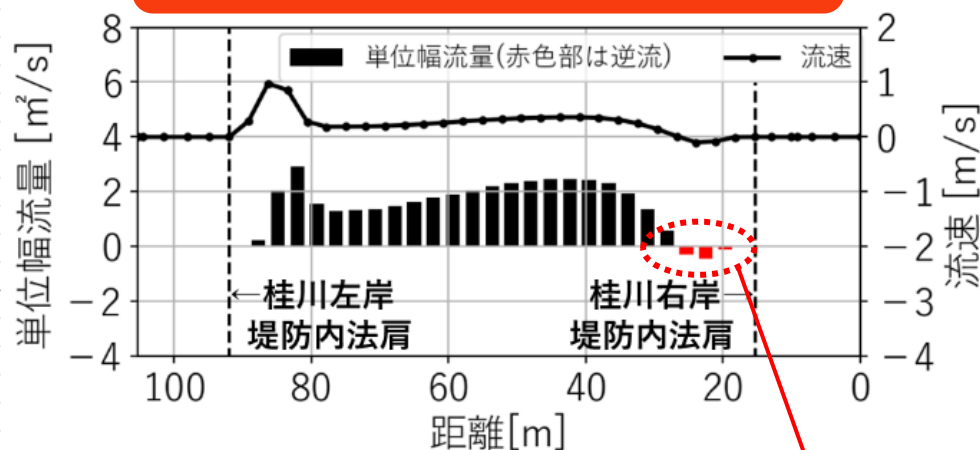
水門断面全体での逆流は無し(当時の現地での判断と一致)。
しかし、水門断面内でも局所的には逆流も発生。

H29九州北部豪雨 ピーク水位時(7月5日22時)のシミュレーション結果

流速ベクトル



単位幅流量及び流速分布 (断面全体では順流110m³/s)



(10分平均流量で)右岸側に逆流が発生

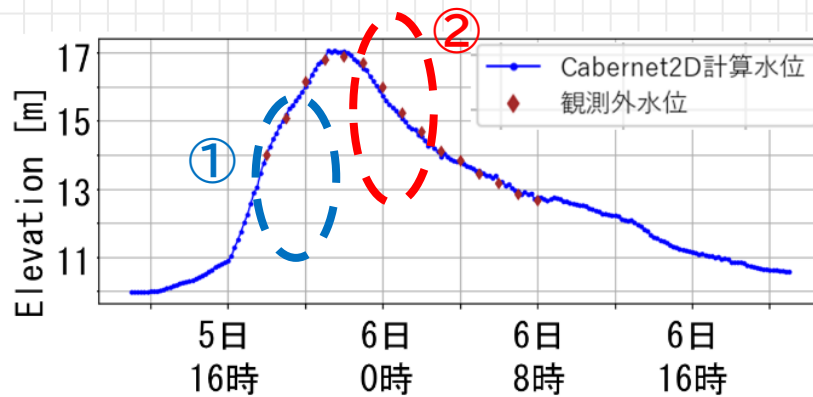
主流線は左岸側(図の右側)

せん断力を受け、渦を巻く二次流が発生

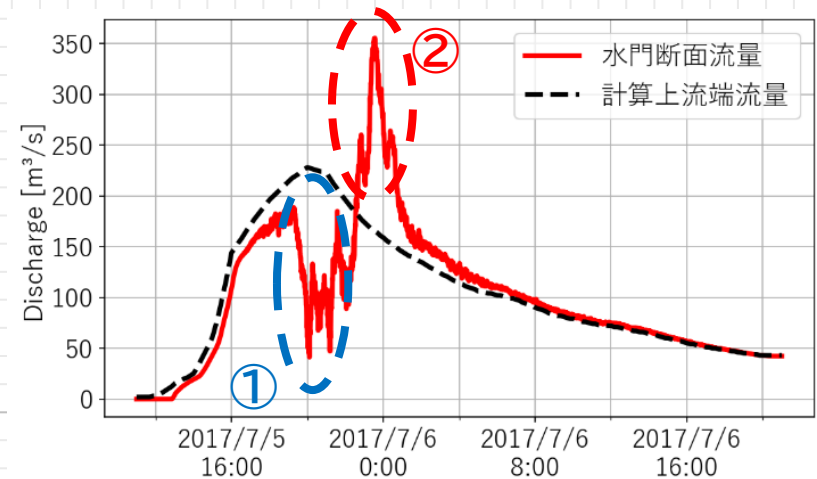
※iRIC v4にて作成

H29洪水シミュレーション結果 水位・流量比較

桂川水位(水門地点)



桂川流量(水門断面・計算上流端)



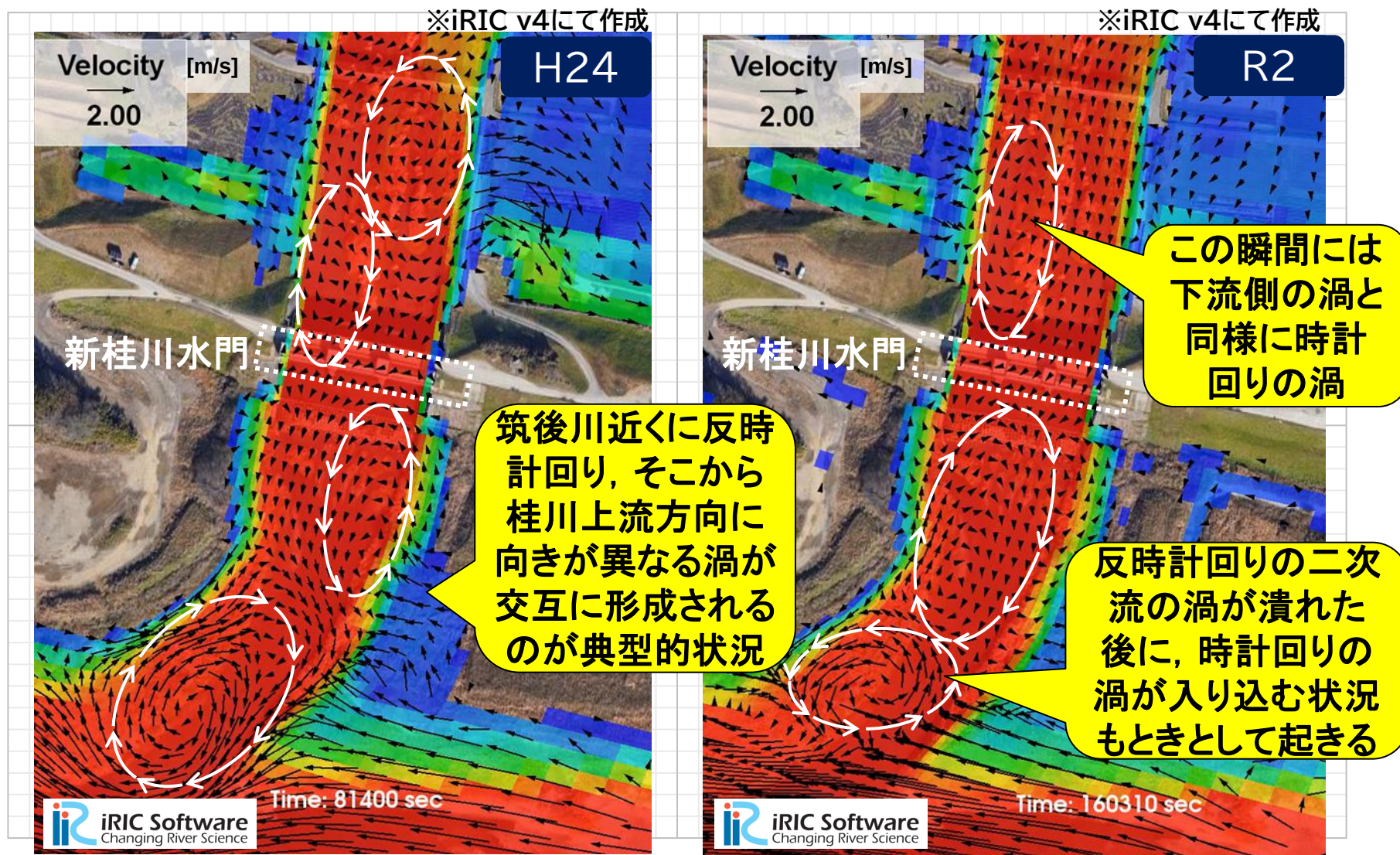
① 水位は上昇しているが流れは滞留傾向にある

→本川(筑後川)からの背水の影響

② 水位は低下しているが流量は増加している

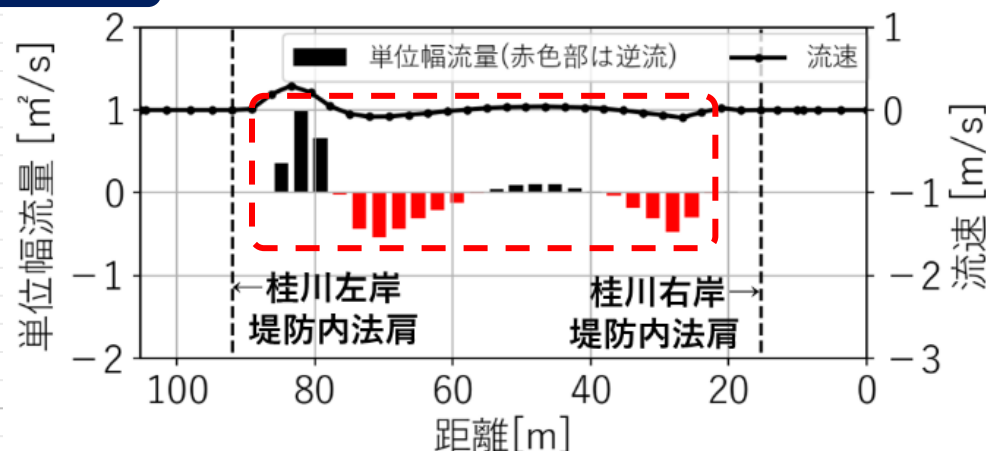
→水位低下に伴う吸い出し効果が発生

シミュレーション上の逆流開始前後の瞬間における流速ベクトル分布



逆流開始時点前後各5分, 計10分平均(恵利堰での跳水を起源とする振動影響排除のために一定時間平均値採用)での新桂川水門断面での流量・流速分布

H24

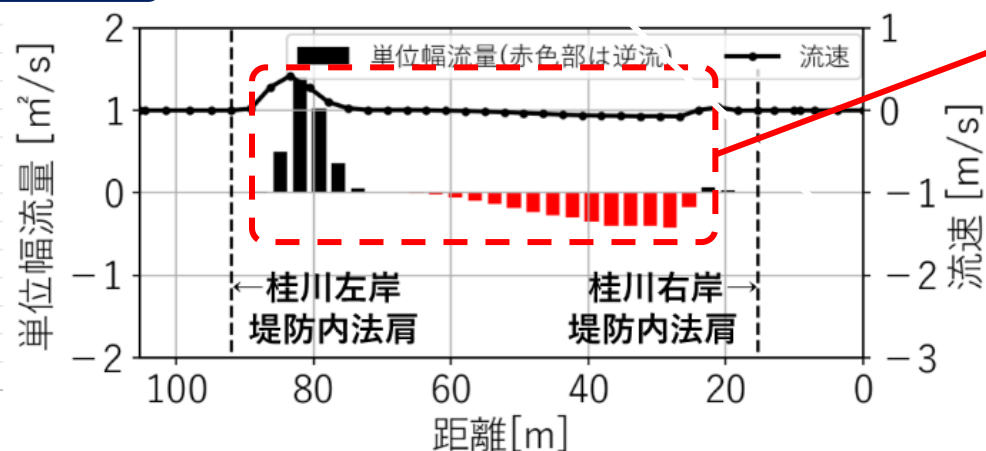


左岸から右岸にかけて
順流と逆流が交互に発生

考えられる要因

位置が時間的に不安定な, 小規模な渦が認められる状況下で発生

R2



逆流が右岸寄りに偏っている

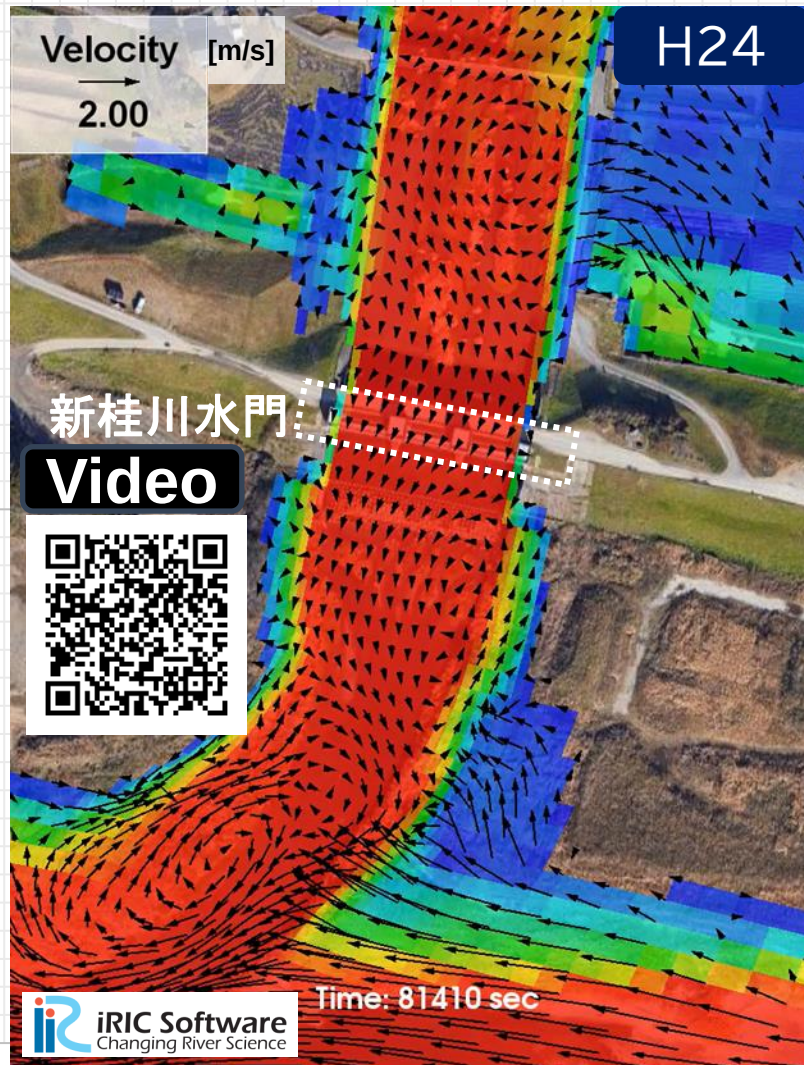
考えられる要因

大きな時計回りの渦により
左岸側で順流が、
右岸側で逆流が卓越したため

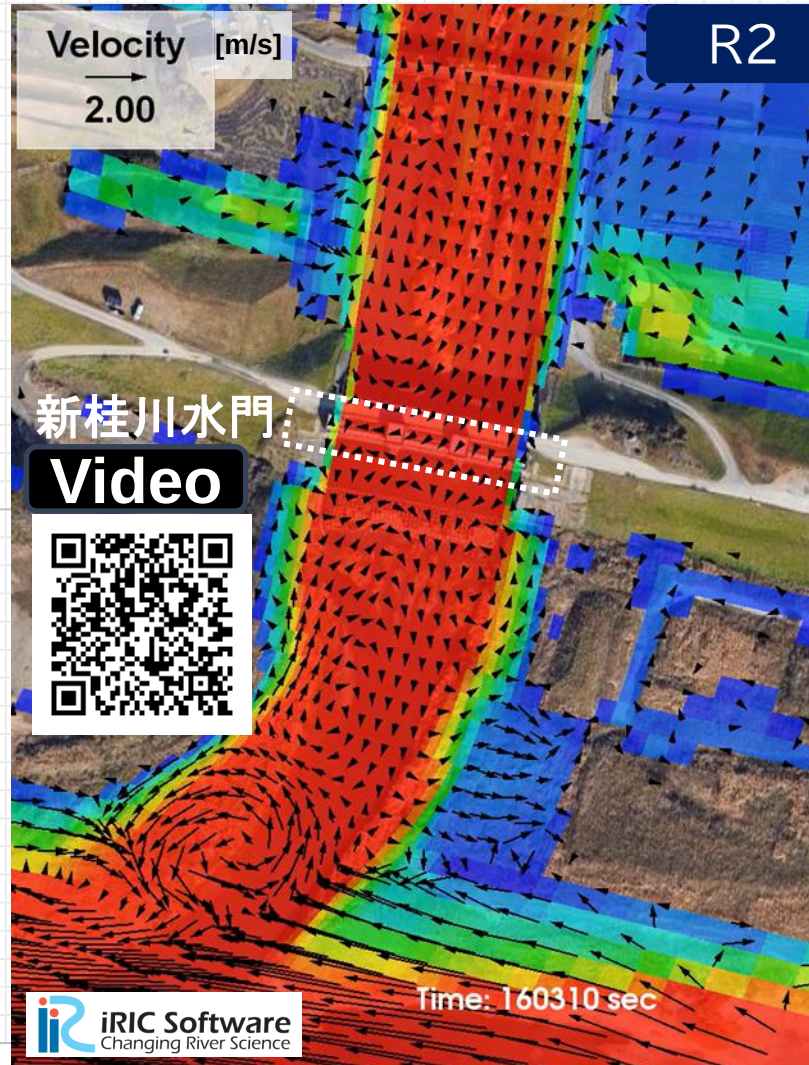
H24・R2洪水シミュレーション結果比較

シミュレーション上の逆流開始前後各30分(計1時間)の流速ベクトル分布

※iRIC v4にて作成



※iRIC v4にて作成



H24・R2洪水シミュレーション結果比較



北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

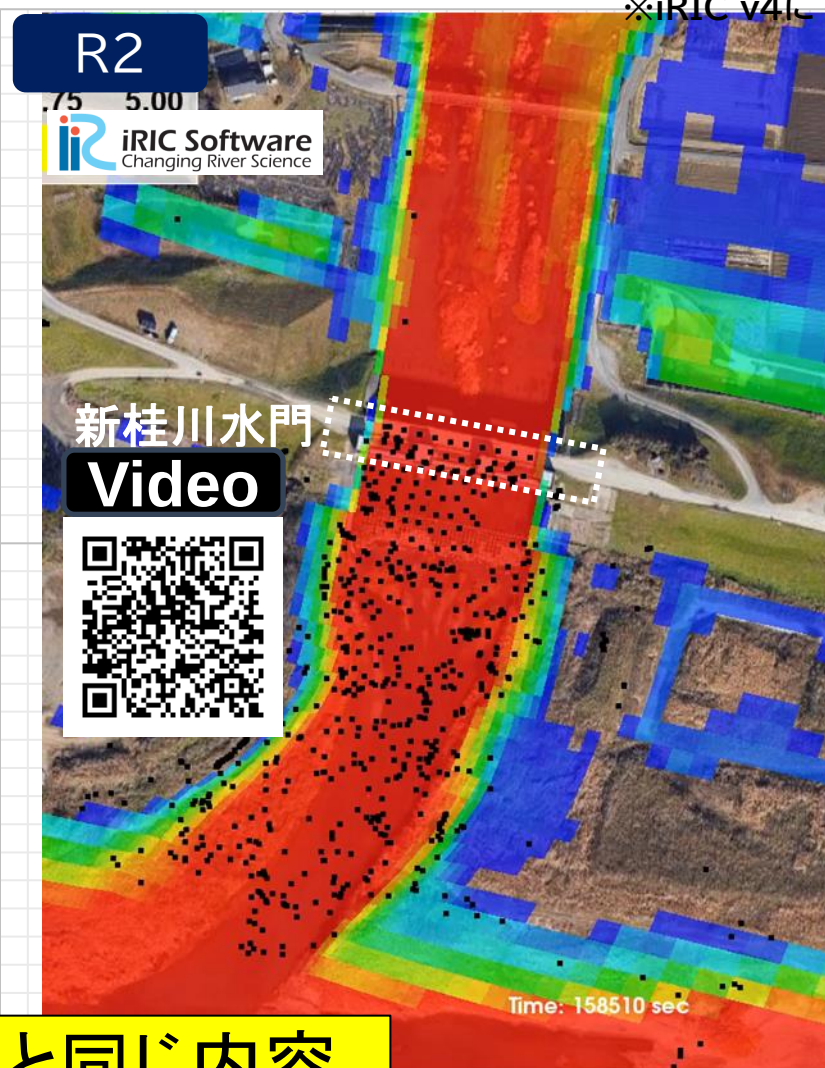
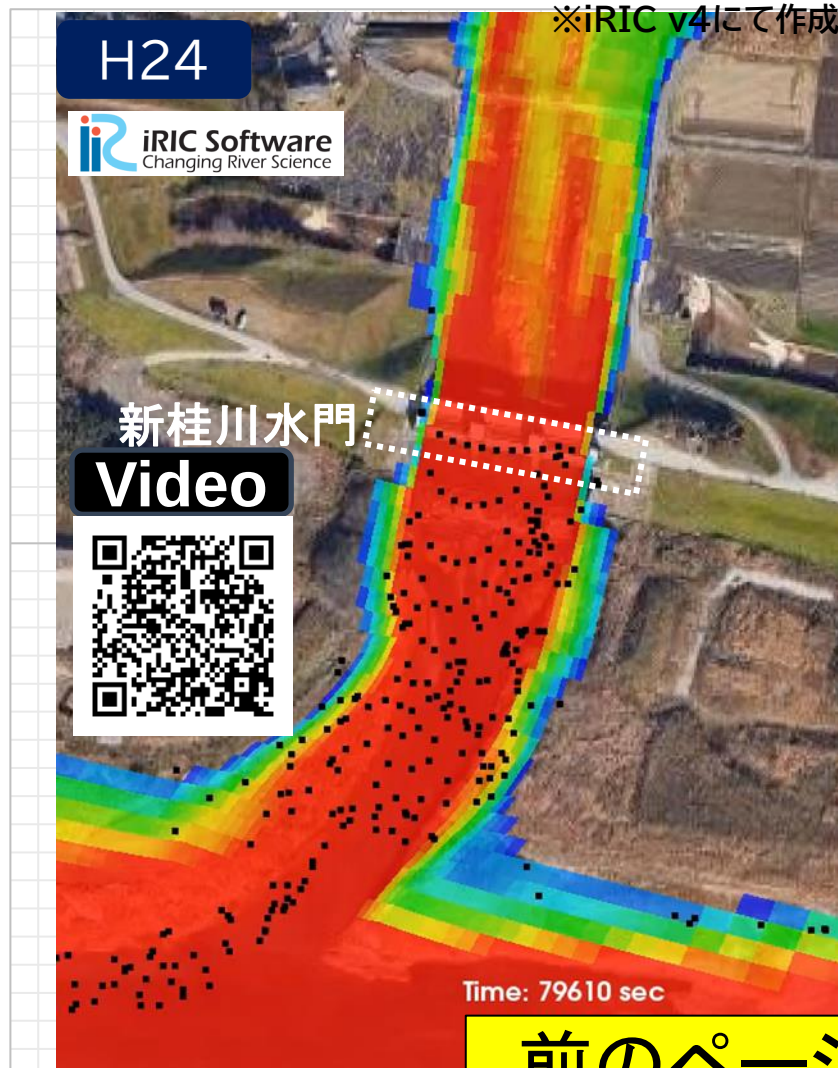


国土交通省 九州地方整備局
筑後川河川事務所

IHI

シミュレーション上の逆流開始前後各30分(計1時間)のGELATO動画

※iRIC v4にて作成



前のページと同じ内容
の別表現の資料です

H24九州北部豪雨 逆流発生時刻と水門操作時刻の比較



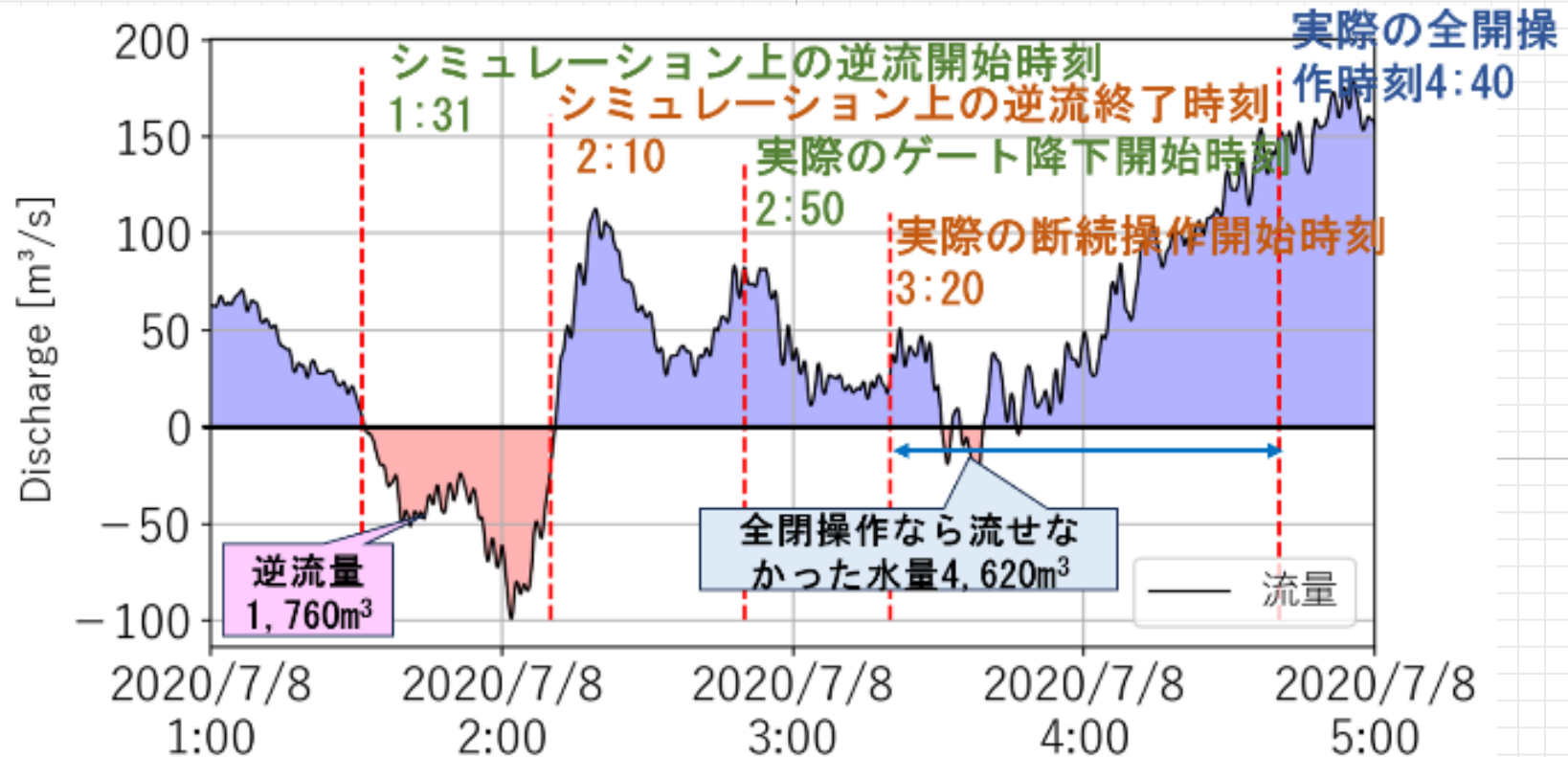
H24



実際の閉操作よりも早期に水門を閉め、比較的すぐに開操作を行うことで、逆流を防止しつつ流量28,200m³を流下させることができた可能性がある。

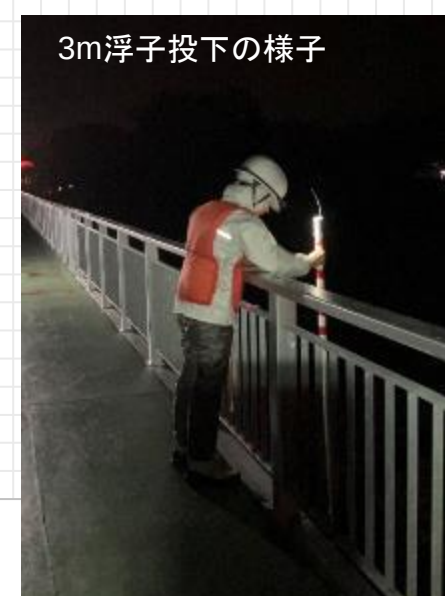
R2九州北部豪雨 逆流発生時刻と水門操作時刻の比較

R2



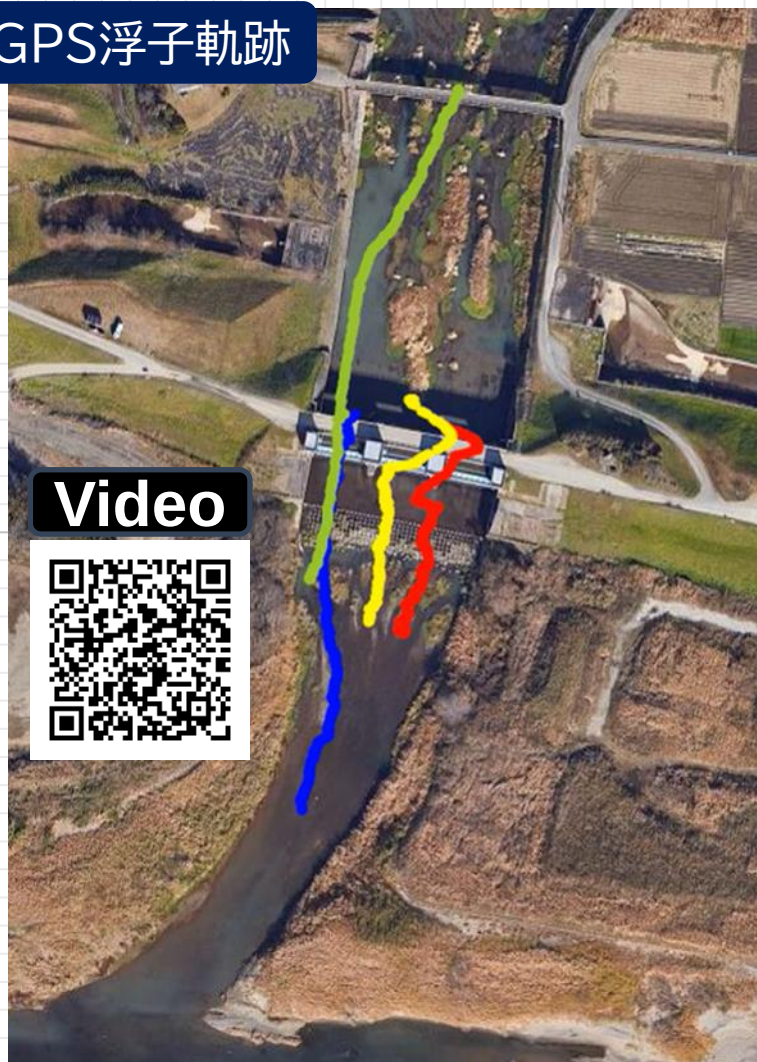
実際のゲート降下開始時刻がシミュレーション上の逆流開始時刻より**1時間以上遅れて**おり、このズレを解消することでより効果的に支川の排水ができる可能性がある。(但し、桂川のハイドロは流出モデルベースのものであり精度の限界には留意必要)

- 流量観測で使われる浮子の頭にGPSを搭載したもの（明星電気が開発）。
- ラジオゾンデの通信技術・基板の小型モジュール化技術を浮子に応用したもの。
- 投下後，河川縦断方向の連続的な流速を観測できるため，合流/分流地点など従来は観測が難しかった地点の観測が可能になる。
- 通常の浮子同様に，表面流速を測るだけでなく，ターゲット水深を定めた観測も可能。
- 気圧計を取り付け、周辺の気圧計での計測値との差から高さ方向の浮子の動きを求めることも可能。

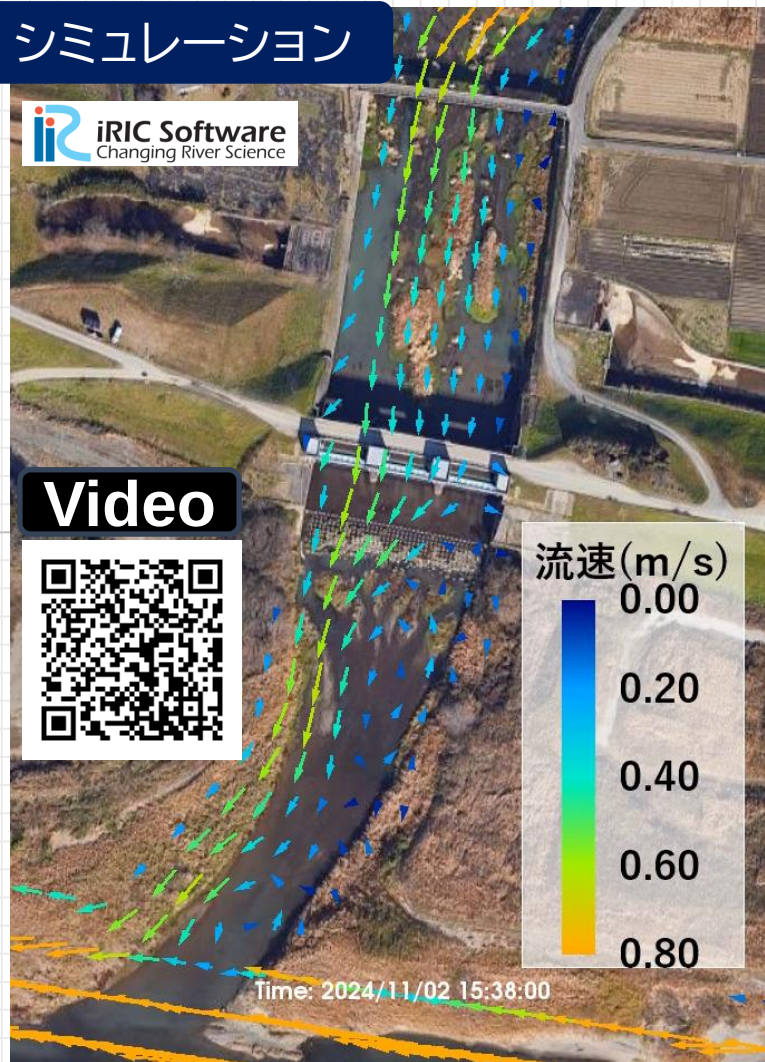


GPS浮子軌跡・シミュレーションの流速の時間変化(2024年11月2日)

GPS浮子軌跡



シミュレーション



※iRIC v4にて作成

GPS浮子観測結果とシミュレーション結果の比較

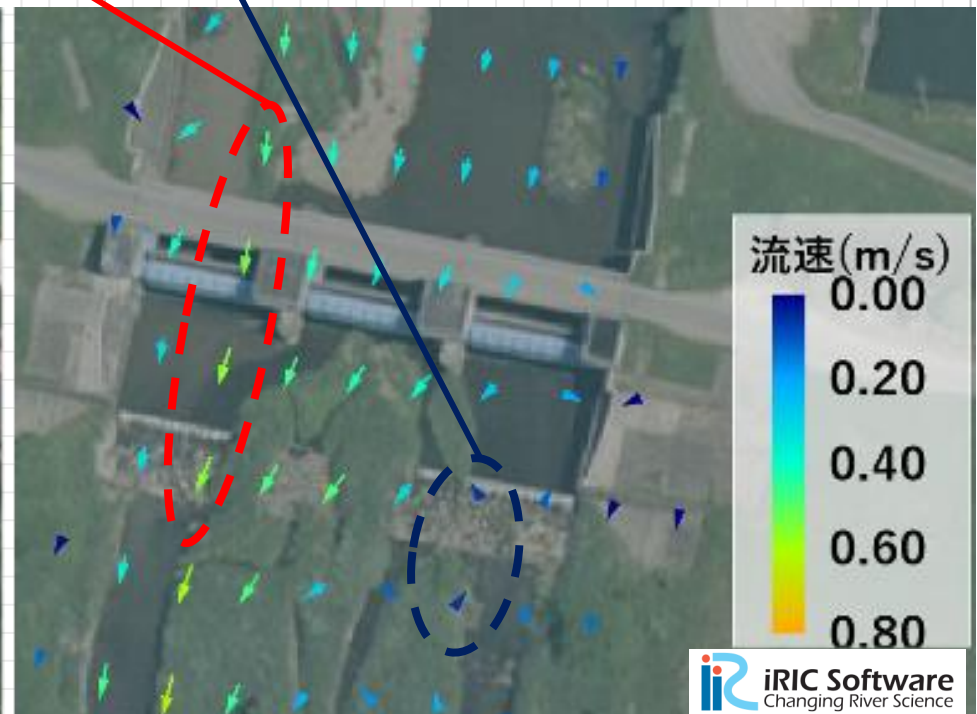
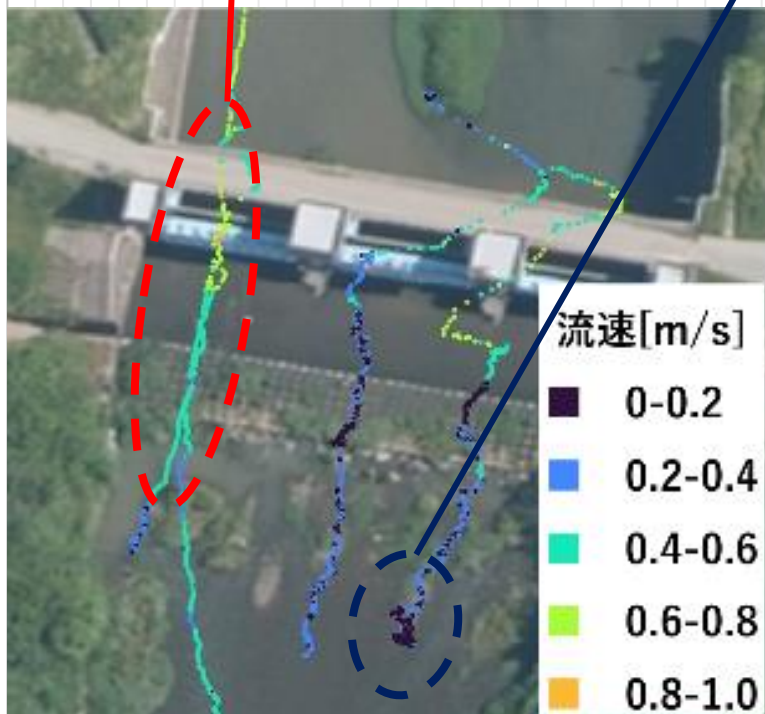
○浮子観測・シミュレーションに共通する特徴(2024年11月2日 15:38)

右岸寄りに主流線が集まる

左岸寄りに流れの停滞が見られる

GPS浮子軌跡

シミュレーション



まとめと今後の課題

- ① 新桂川水門付近では、逆流発生前後において、水門断面上の位置により流向が異なり、1点での観測では適切に流向を判断することができないことが確認された。
- ② このため、今後、遠隔でも断面全体での流向・流速を実用的レベルで把握できるようにするためのセンサー類の効果的な選定や配置等に関する検討が重要。
- ③ 流速が小さい状況下での流向把握には風の影響の考慮も重要。
- ④ 今回はiRIC CABERNET2Dを用いた二次元の水理計算を行ったが、本支川合流部での水の挙動は三次元性も強いと考えられ、三次元での検討にも取り組む予定。
- ⑤ 合流点の形状や本支川の流況等に応じて、今回得られた成果がどの程度の汎用性を持つのか等についての検討にも取り組む予定。
- ⑥ GPS浮子を用いた観測は、水理シミュレーション結果の検証に効果的。しかし、昨年夏に観測体制を整えて以降に大きな洪水がなく、もっと大きな洪水の際のデータを得ることが課題。