

滋賀県犬上川中下流域における 熱赤外画像および二次元不定流解析を用いた 湧水性希少魚種のハビタット保全計画の検討



泉野 珠穂¹ ・ 金尾 滋史² ・ 瀧 健太郎^{3,4}

1 株式会社ウエスコ 防災・環境事業部

2 滋賀県立琵琶湖博物館

3 滋賀県立大学 環境科学部

4 公益財団法人リバーフロント研究所



ハリヨについて

Gasterosteus aculeatus subsp. トゲウオ科イトヨ属



日本固有種

自然分布は滋賀県と岐阜県のみ。

湧水の枯渇や生息環境の悪化

により個体数が減少

絶滅危惧IA類に指定されている。

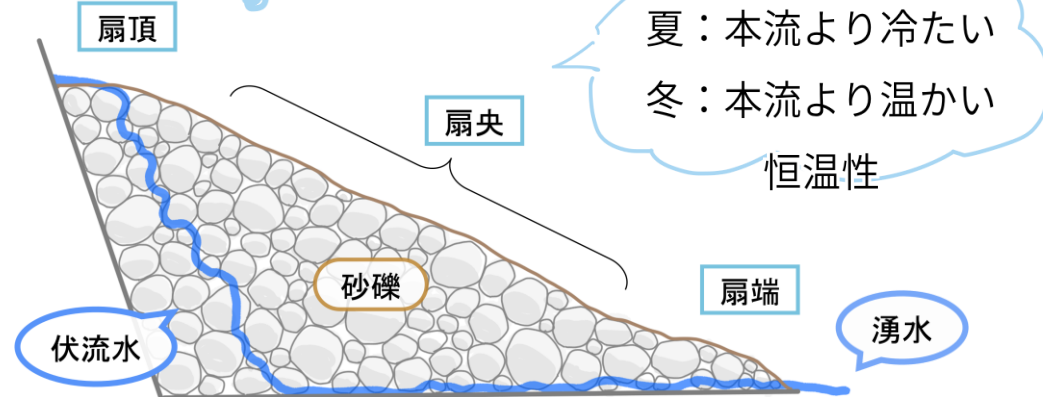
様々な生息条件

- ・ 1年を通して水温が20℃以下の冷水域
(= **湧水環境依存種**)
- ・ 泳ぐのが苦手 → 流れが緩やかな止水域
- ・ 営巣するための水草が繁茂している
- ・ 底質が泥から砂泥

湧水の特徴

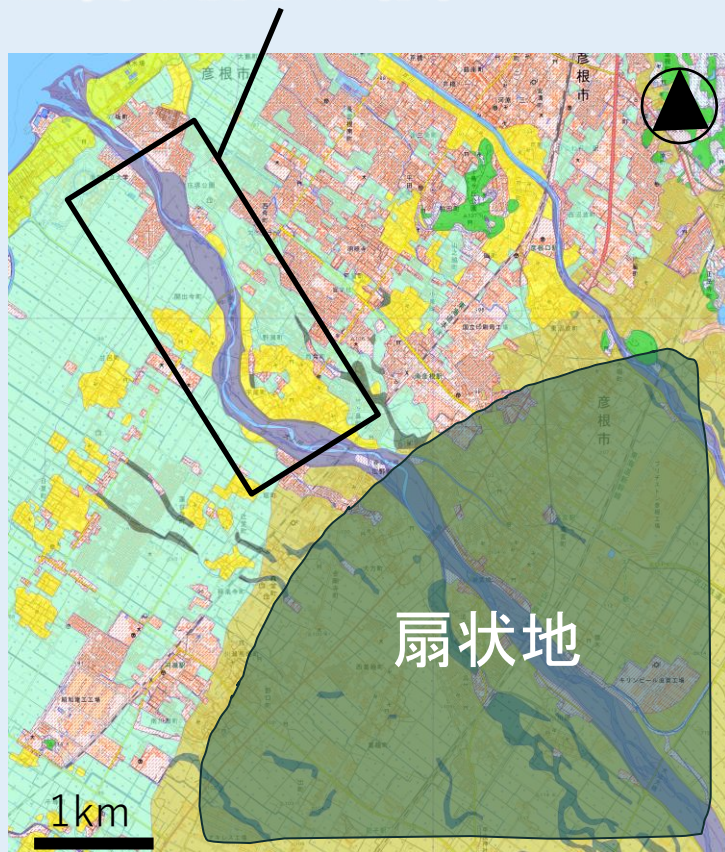
💧 水温が1年を通して安定

💧 水質が良好



河川に棲むハリヨの希少性

対象地域：犬上川下流域
豊富な湧水が存在



国土地理院：土地条件図

犬上川は河道内の自然条件下の止水域が生息地となっている珍しい地域

理想の生息地イメージ



水温 **20℃** 以下
水深 **1m** 程度
流速 **小**



下流側で
本川と繋がる

point

- 1 夏でも冷たい湧水
- 2 川の中の池（止水域）ワンド



岐阜県
養老町



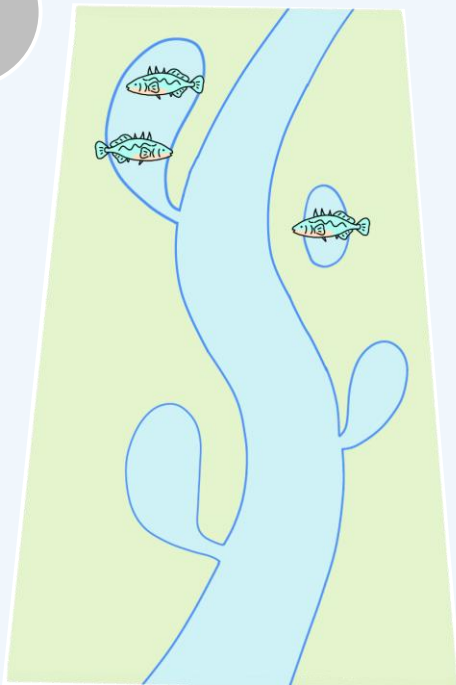
本川

ワンド

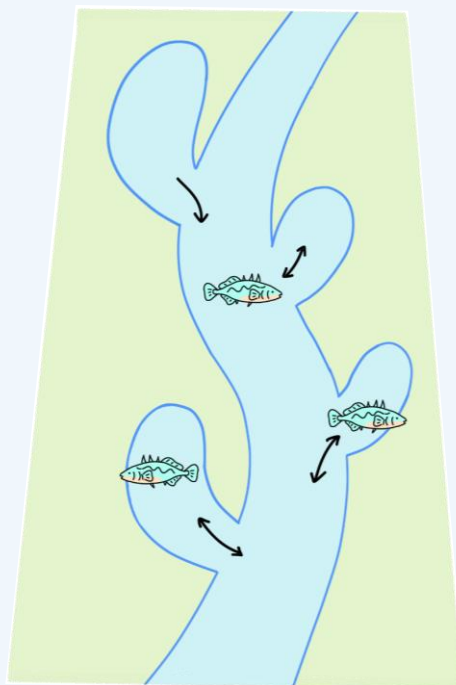
犬上川のハリヨが絶滅の危機

昔

平水時



増水時

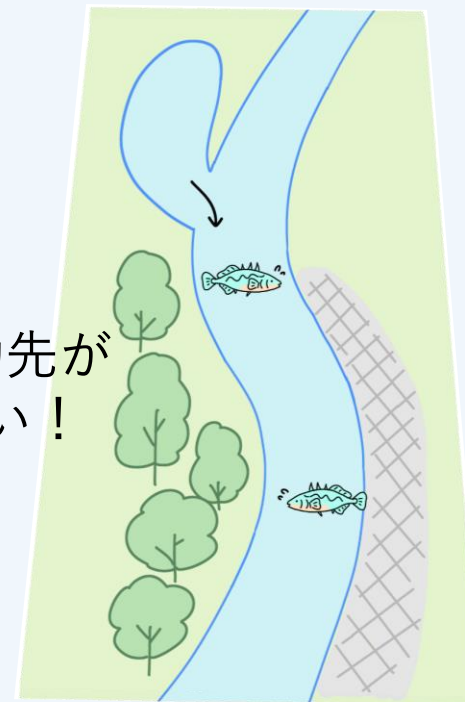


今

平水時



増水時



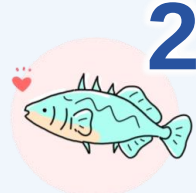
かつては河道内に生息地が無数に存在
本流と止水域を行き来する
増水時に分布を変化・拡大
(上野ら,2012)

治水目的の河床掘削や護床工設置等
→ワンドが消失
今では生息が確認されているのは
一つの小水域のみ

目的



1 UAVと熱赤外センサーを用いて
犬上川の**湧水地点を特定**する



2 水理諸量や水温分布から
ハリヨの**生息適地を推定**する



3 洪水による地形変化を観察し
ワンドの形成過程を考察する



4 ハリヨの**生息地の保全・再生**
のための**方法を検討**する

意義

絶滅の危機に瀕しているハリヨを保全・再生するための河川管理の
検討に寄与すること。

河川の自然再生や多自然川づくりに寄与すること。

方法

ドローン空撮+画像処理

○湧水把握

水温データ取得



○ワンドの経過観察

航空写真

地形データ取得



iRIC 洪水流解析

○流れのシミュレーション

水深
流速) データ取得



・洪水時の
地形変化を再現



・ブロック設置時の
地形変化を再現



機械学習 MaxEnt

○生息適地モデル

ハリヨの分布を予測



・ブロック設置時の
生息確率の変化を確認



現地調査

水温計測

採捕調査

水深計測



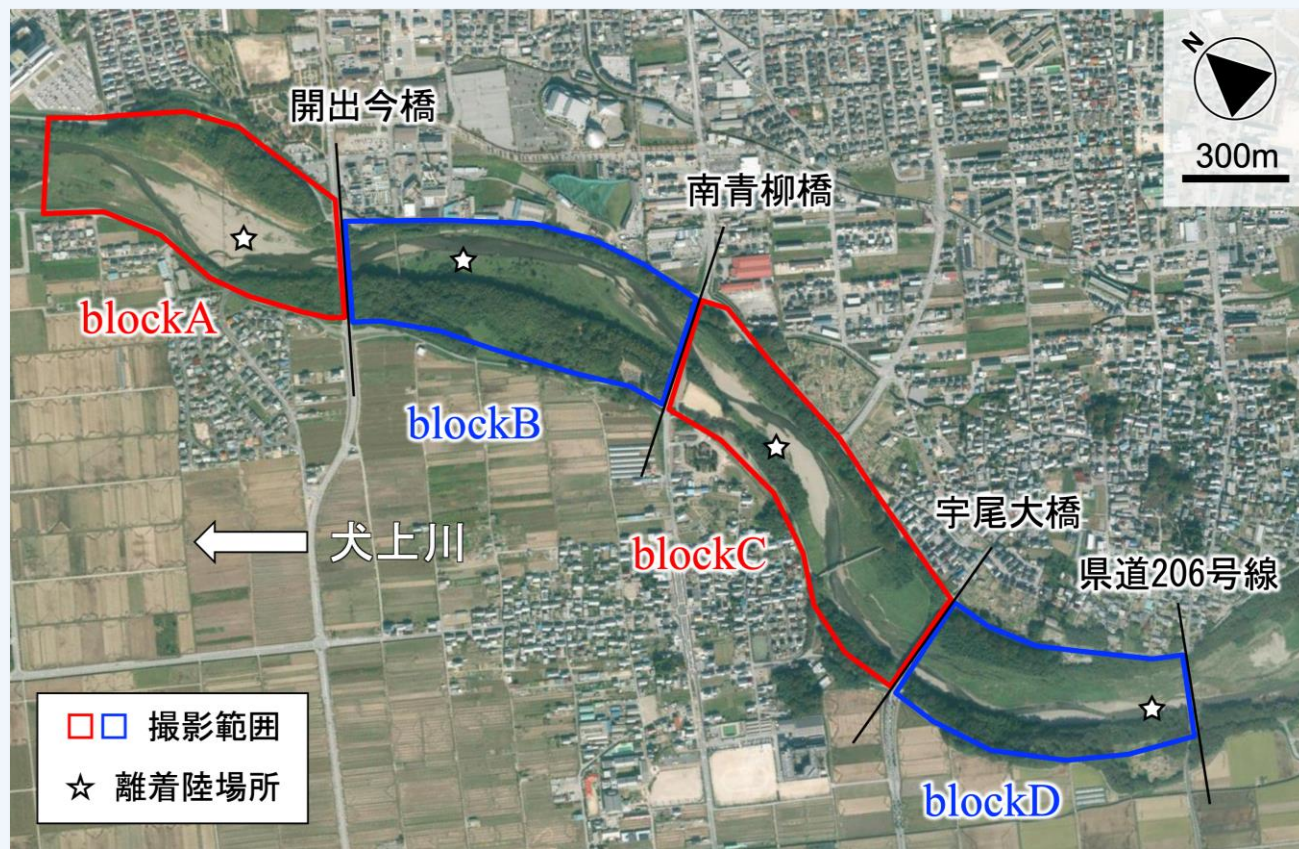
1. 湧水地点の特定



UAV機体：MATRICE 300 RTK



熱赤外センサー：Altum-PT



! 温度差で湧水地点を可視化

水温分布図を作成

→ 夏：本流より水温**低**

冬：本流より水温**高**

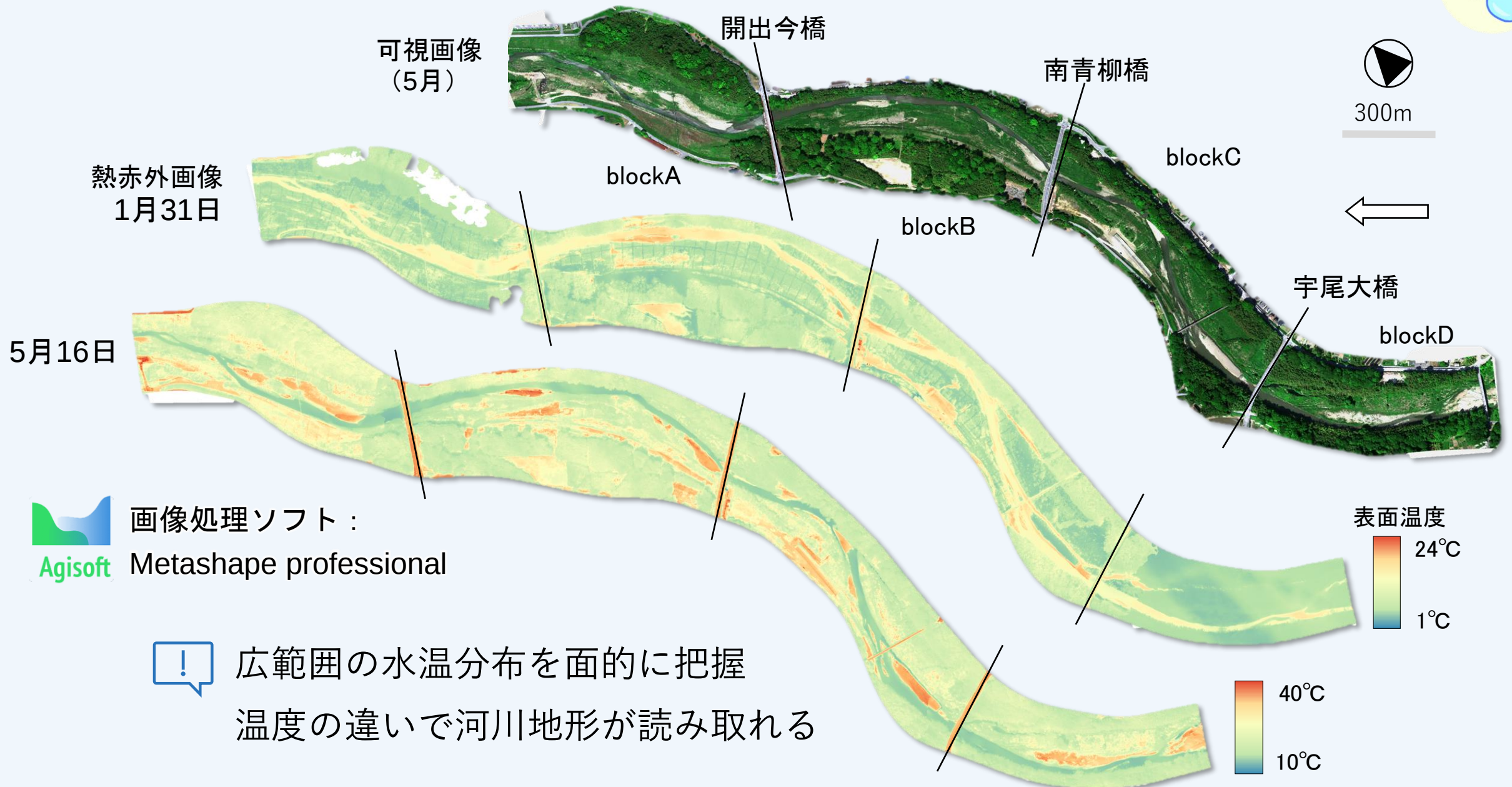
! 水温安定性の算出

月に一度の撮影 (11～5月)

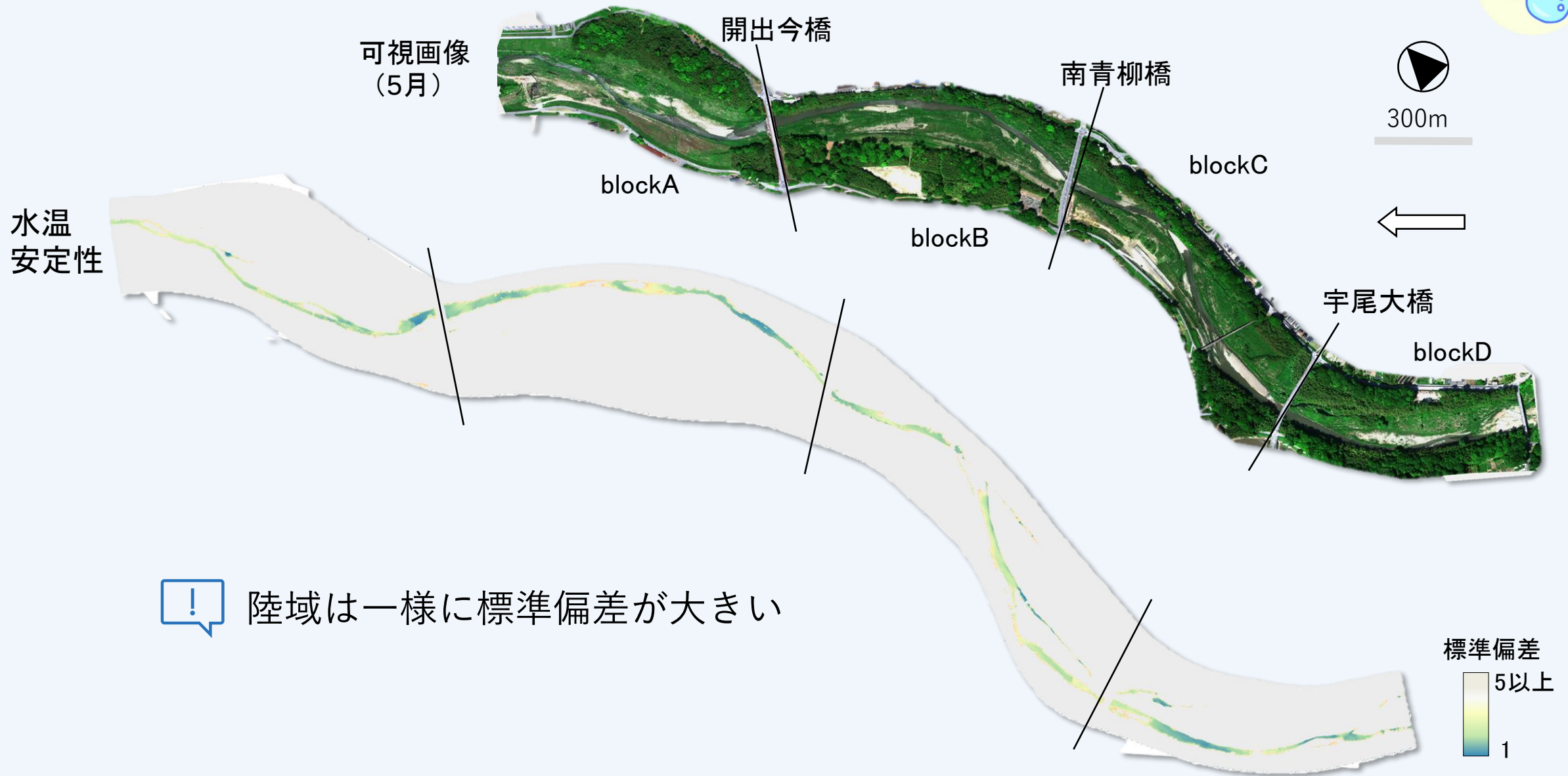
湧水は一年中水温が一定

→ **標準偏差**を算出

1. 湧水地点の特定



1. 湧水地点の特定



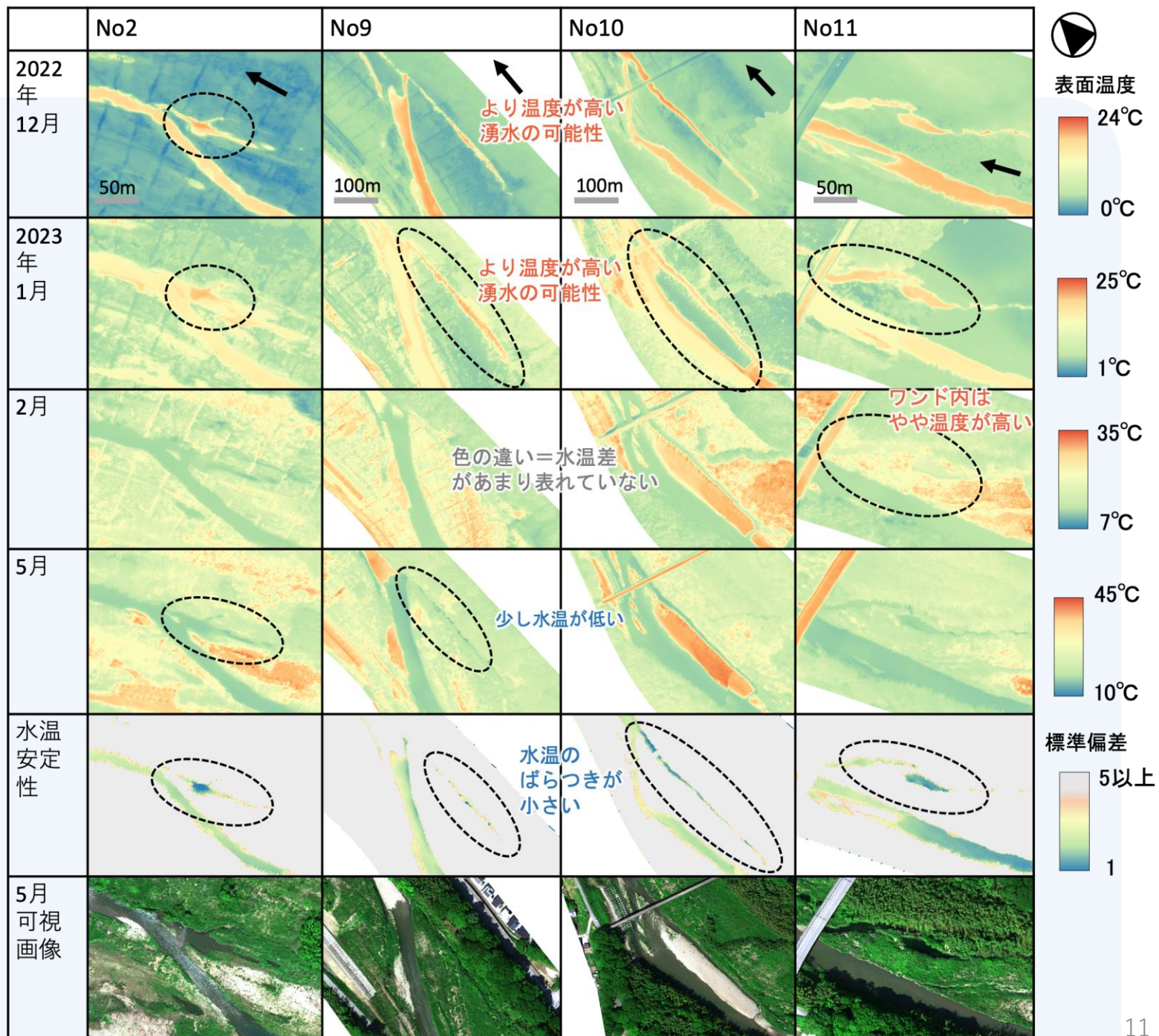
1. 湧水地点の特定

温度差が表れた場所を
抜粋・拡大

! 夏は冷たく冬は暖かい
湧水の特徴が表れた

! 標準偏差が小さい
＝季節による水温差が小さい

湧水の存在が示唆された



1. 湧水地点の特定



2. 生息適地の推定



MaxEnt (Maximum Entropy model) 機械学習の一種

在データ

生息が確認されている水域に
ポイントを作成



+

環境変数

水温分布

(温度差がわかりやすい
12・1・5月のデータ)

水温安定性

(半年分の水温の標準偏差)

最大水深・最大流速

(平水時・1/3洪水・1/10洪水)

ハリヨの生息条件

- ・冷たい水・ある程度の水深
- ・緩やかな流速



生息適地を 推定

(解像度 1m四方)

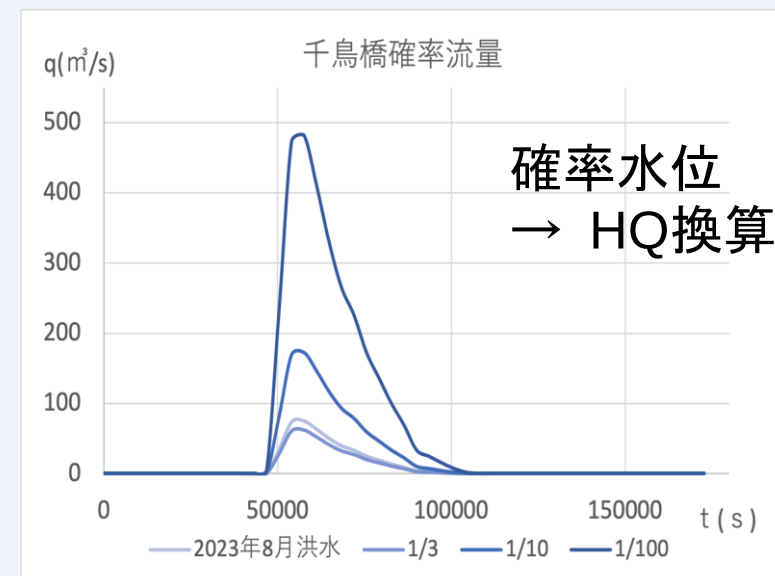
2. 生息適地の推定



洪水流解析ソフト：iRIC Nays2DH



ハイドログラフ



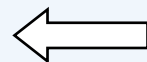
- ・ 洪水規模 3 パターン
(1/3年・1/10年・1/100年)
- ・ 平水時 : $0.5\text{m}^3/\text{s} \times 5 \text{ 時間}$

最大水深
最大流速) 抽出

2. 生息適地の推定



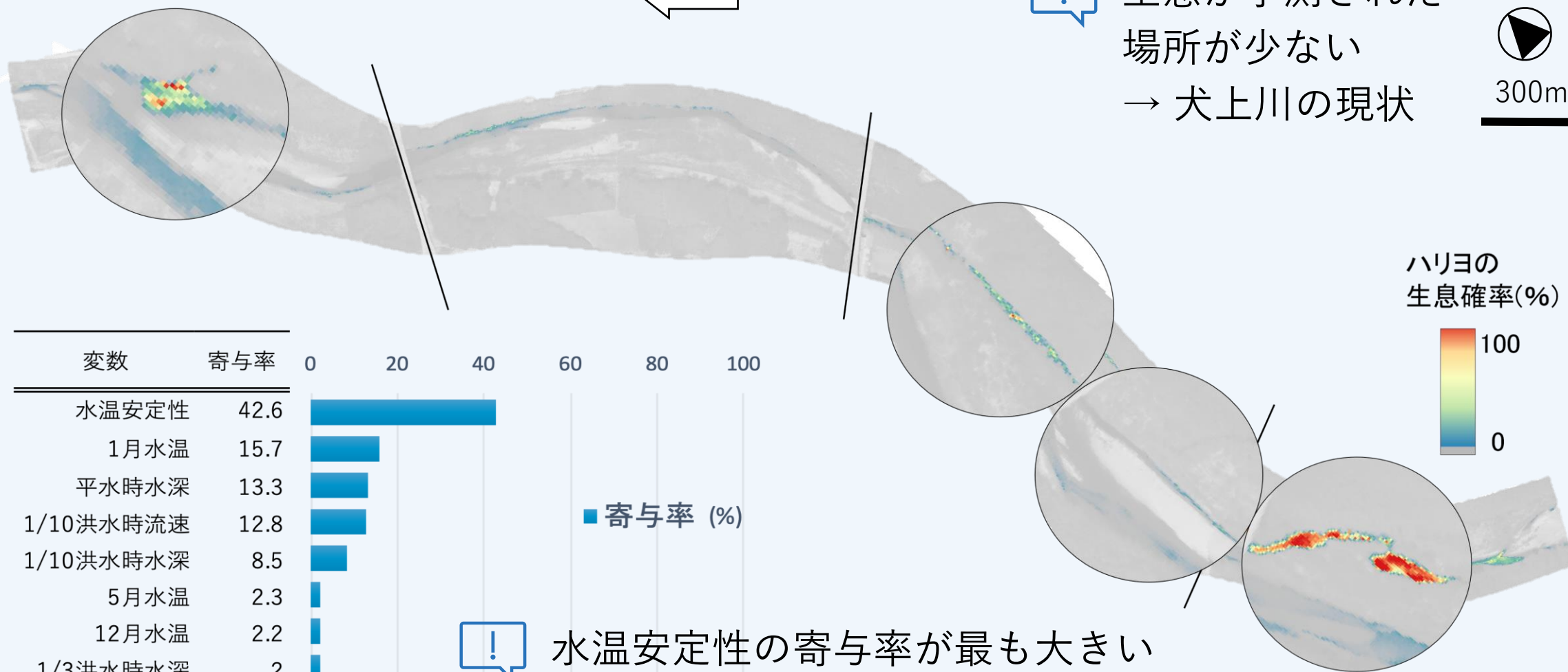
ハリヨの生息確率マップ



生息が予測された
場所が少ない
→ 犬上川の現状



300m



変数	寄与率	0	20	40	60	80	100
水温安定性	42.6						
1月水温	15.7						
平水時水深	13.3						
1/10洪水時流速	12.8						
1/10洪水時水深	8.5						
5月水温	2.3						
12月水温	2.2						
1/3洪水時水深	2						
平水時流速	0.5						
1/3洪水時流速	0						

■ 寄与率 (%)

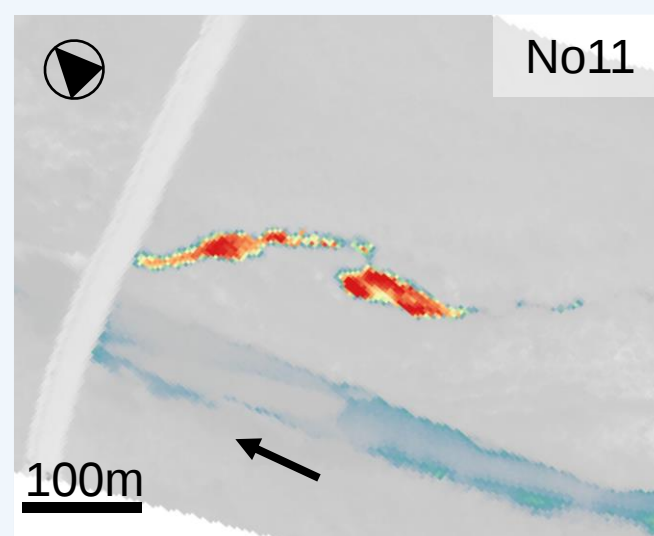
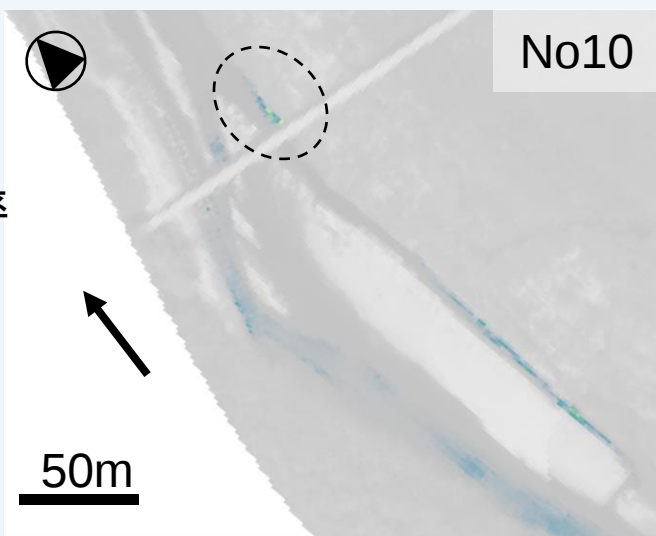
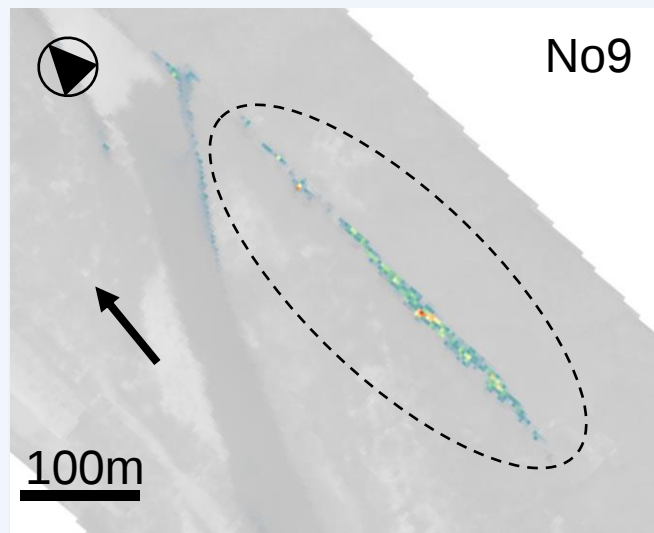
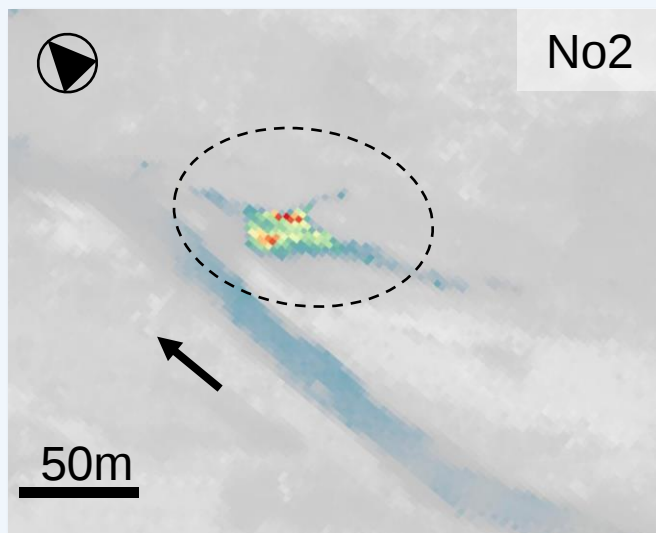


水温安定性の寄与率が最も大きい
→ 湧水の特徴を表す指標として有用

2. 生息適地の推定



ハリヨの生息確率マップ



湧水地点を抜粋・拡大

- 湧水のあるワンドで生息確率が高い(70%以上)
- 現地調査でハリヨの生息を確認
- 流路になっているため流速が速く生息確率が低い

限られた在データから
湧水地点の生息地としての
ポテンシャルを評価

3. ワンド形成過程の考察



洪水によってワンド周辺の地形が変化

洪水流下後にワンド内が最大約50cm深くなっていた

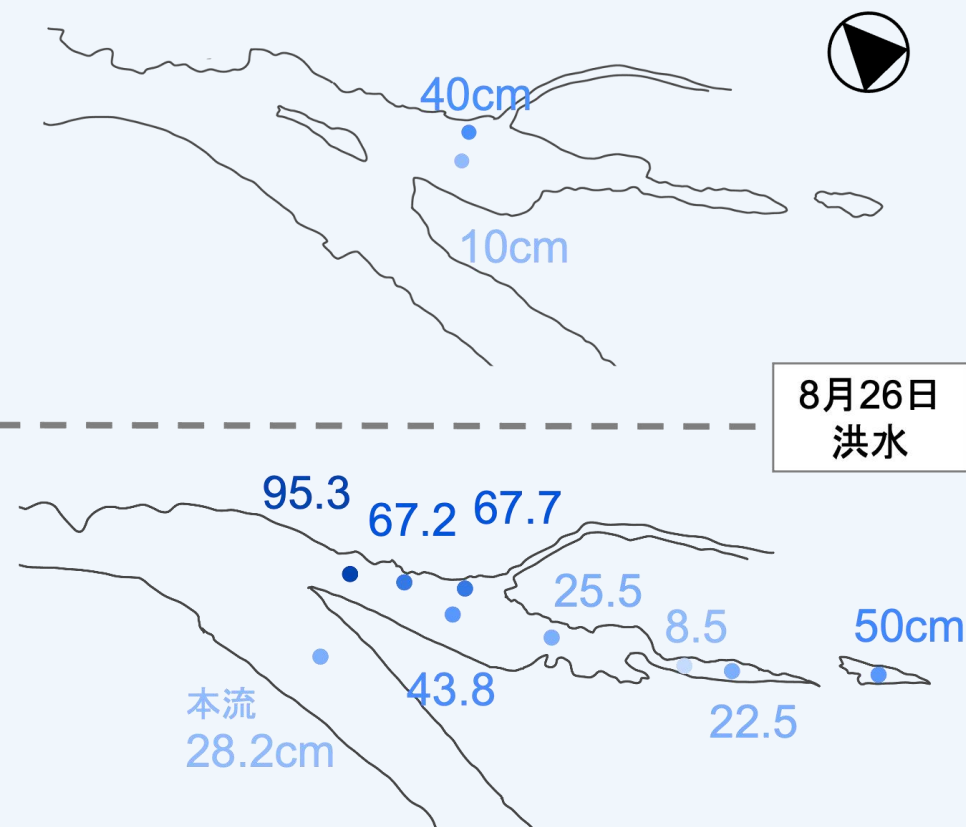
8月洪水以降
月に一度空撮・水深計測



現地写真



航空写真



ワンド形状スケッチ + 水深計測結果

3. ワンド形成過程の考察

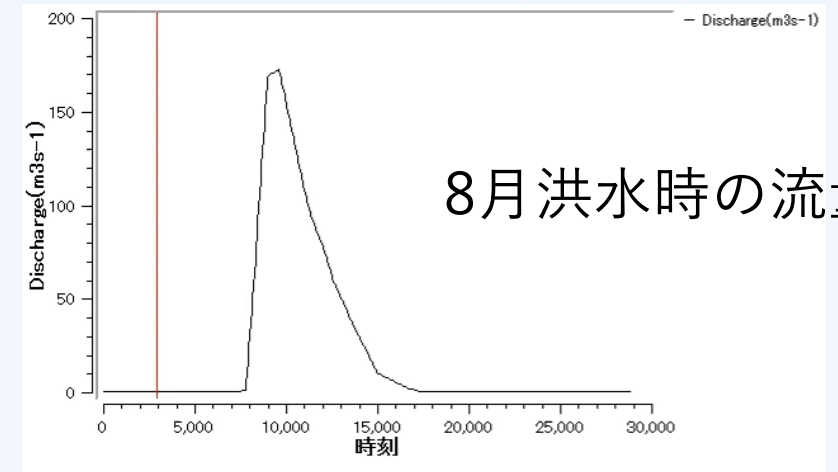


! 洪水時のワンド周辺の地形変化を再現

iRICを用いて狭域詳細モデルを構築



ハイドログラフ



! 本流とワンドの間に
土砂が堆積

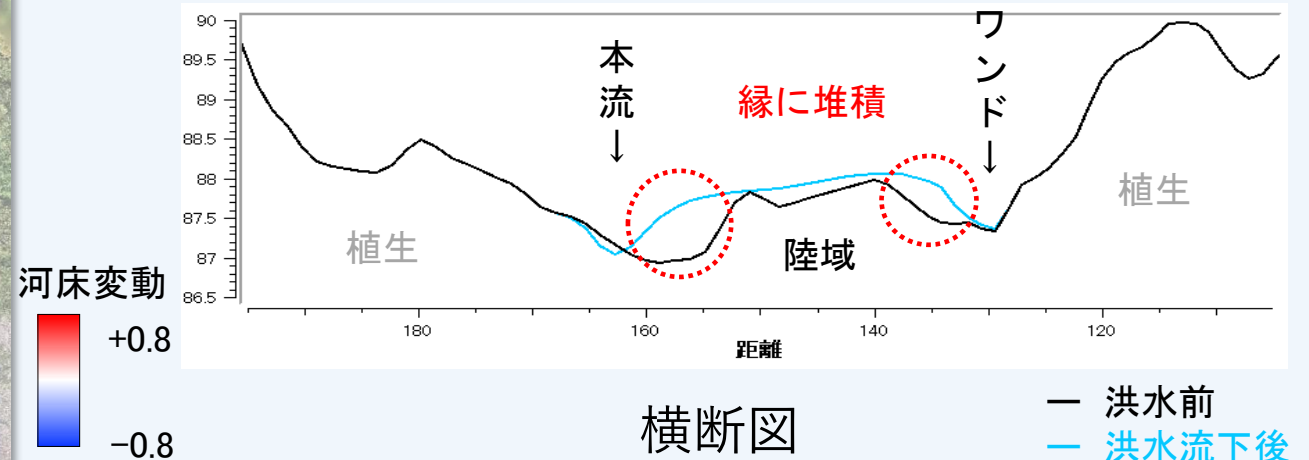
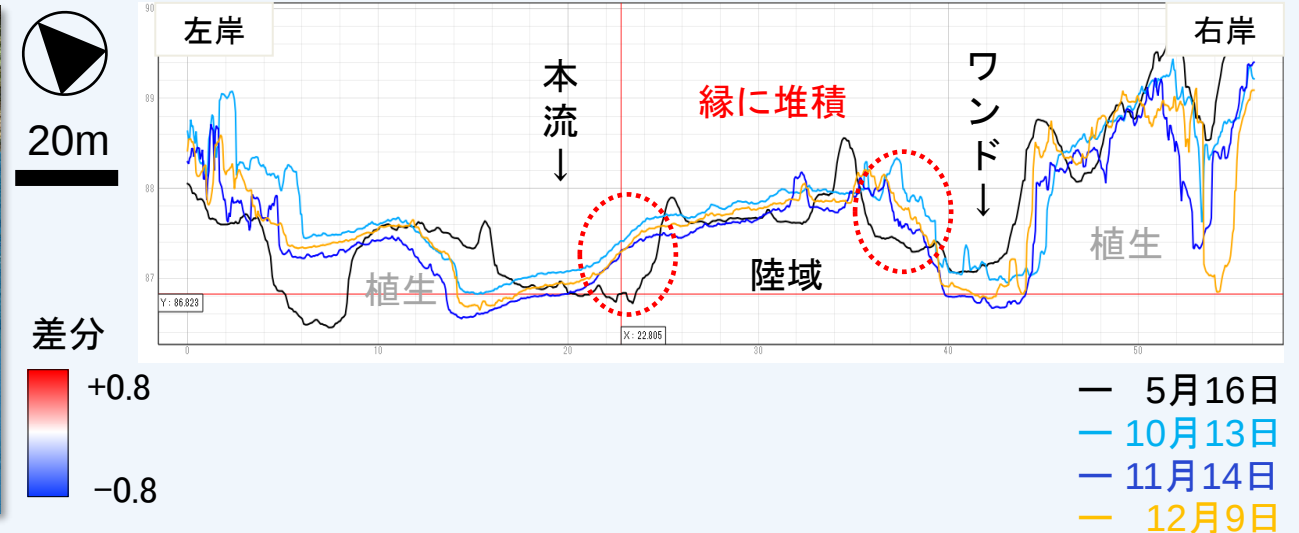
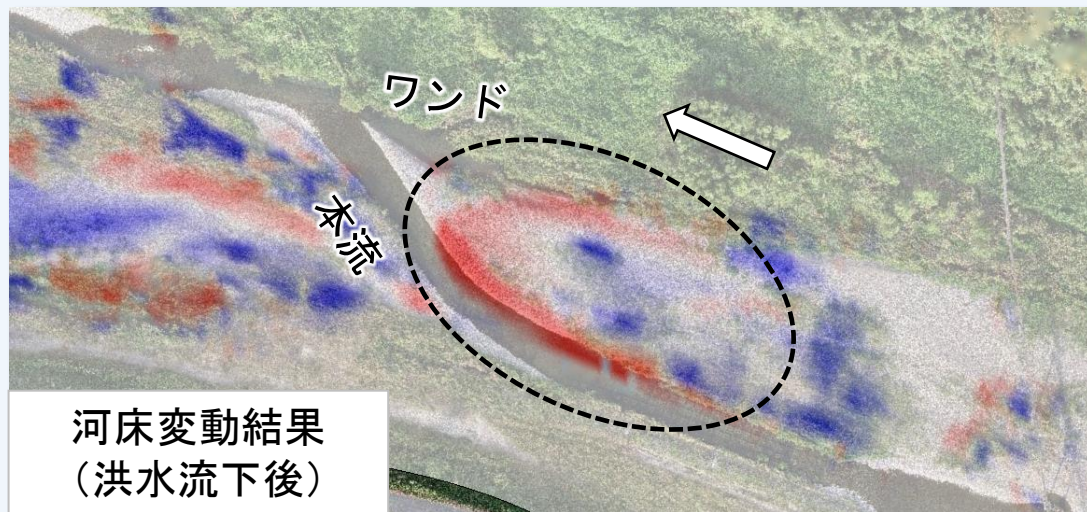
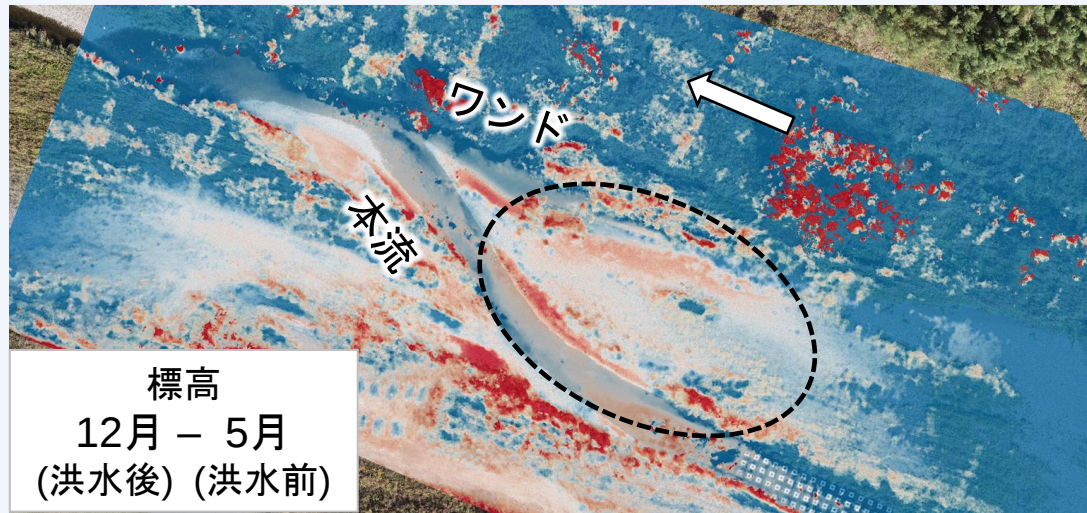


3. ワンド形成過程の考察



! 実際の地形データと解析結果を比較

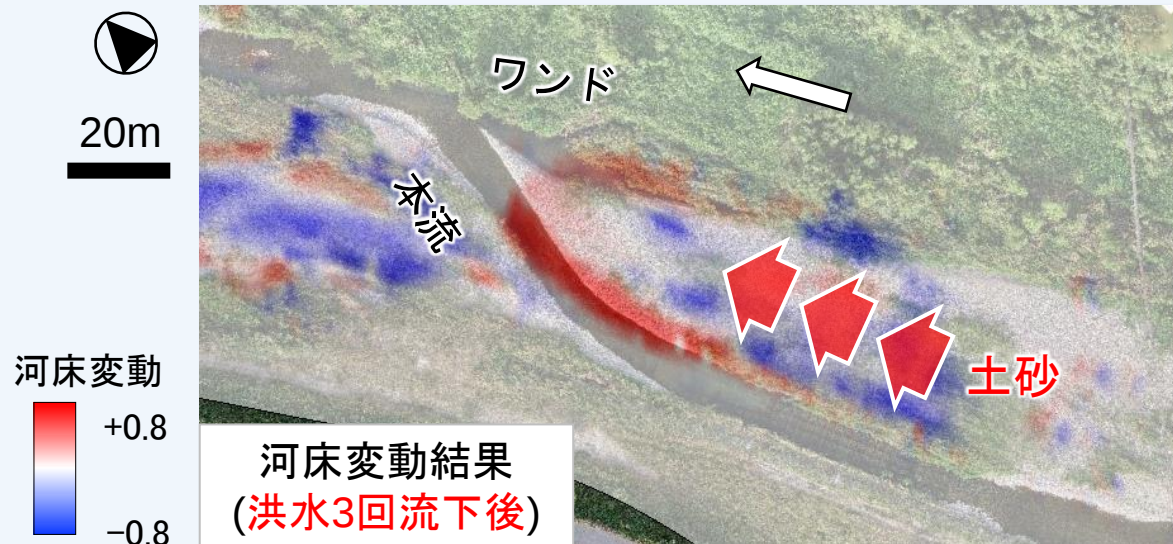
! 高い再現性



3. ワンド形成過程の考察



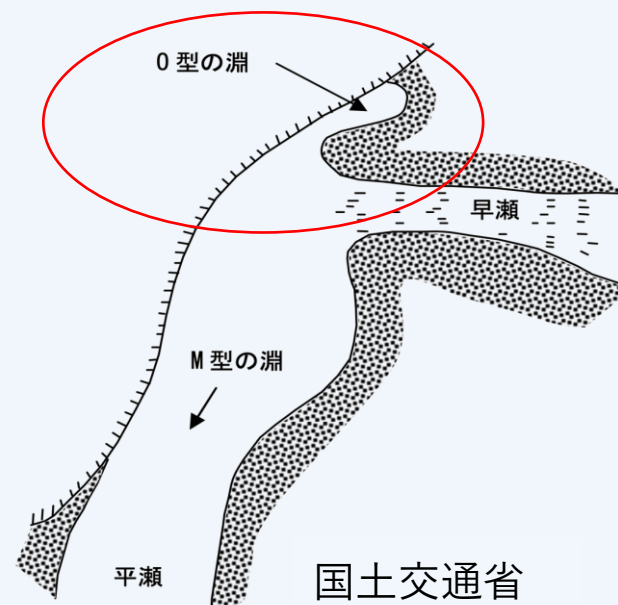
同じ波形を3回流した場合



- 弧状の堆積→下流側に土砂が押される
- 実際は上流から土砂の供給
→ 植生の侵入 → 陸域が発達

! ワンド形成過程まとめ

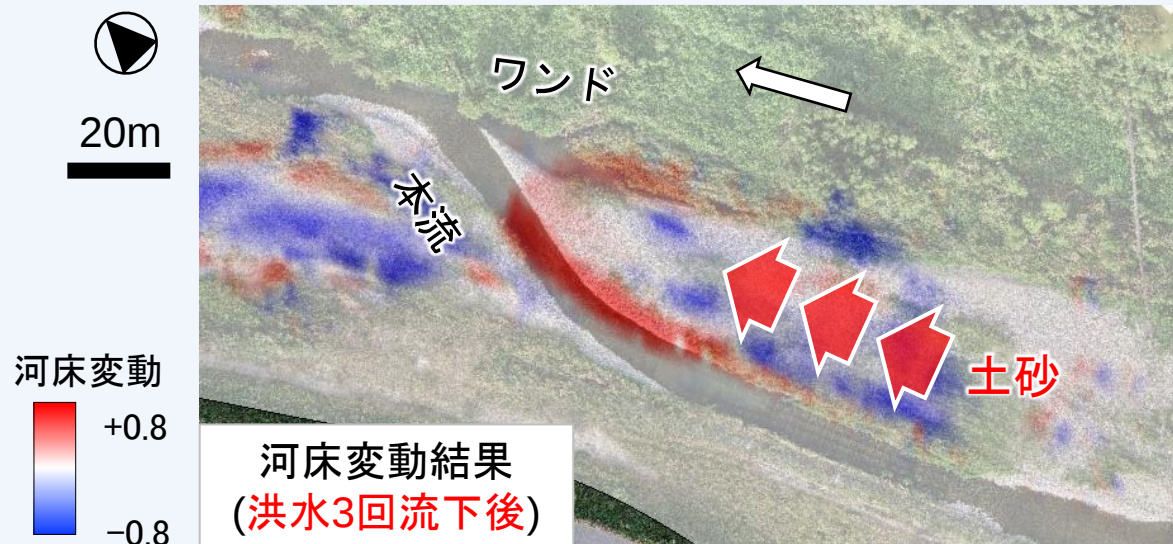
- ! 洪水により本流とワンドの間の陸域が成長することで相対的に深くなる
- ! O型の地形を造り出すことが重要
→ 自然の力で地形が安定



3. ワンド形成過程の考察



同じ波形を3回流した場合



- 弧状の堆積→下流側に土砂が押される
- 実際は上流から土砂の供給
→ 植生の侵入 → 陸域が発達

! ワンド形成過程まとめ



主流路には**土砂堆積は進んだ**ものの、
ワンド内には周辺植生の影響で
土砂堆積はほとんどない。

↓
想定以上に**好適環境の形成**が進行！

4. 生息地再生方法の検討



! ブロックの設置による地形の改変

余ったブロックで魚の避難場所を造る



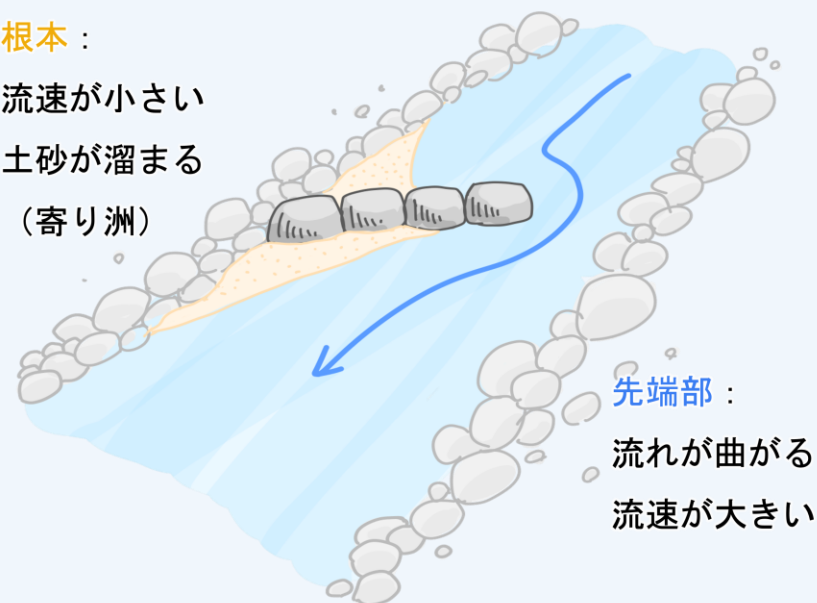
掘れた箇所
に水たまり

高時川自然再生事例

上流向きに突き出した水制工

根本：

流速が小さい
土砂が溜まる
(寄り洲)



先端部：
流れが曲がる
流速が大きい

語源



釣り針の返し
=BARB

バーブ工模式図

4. 生息地再生方法の検討



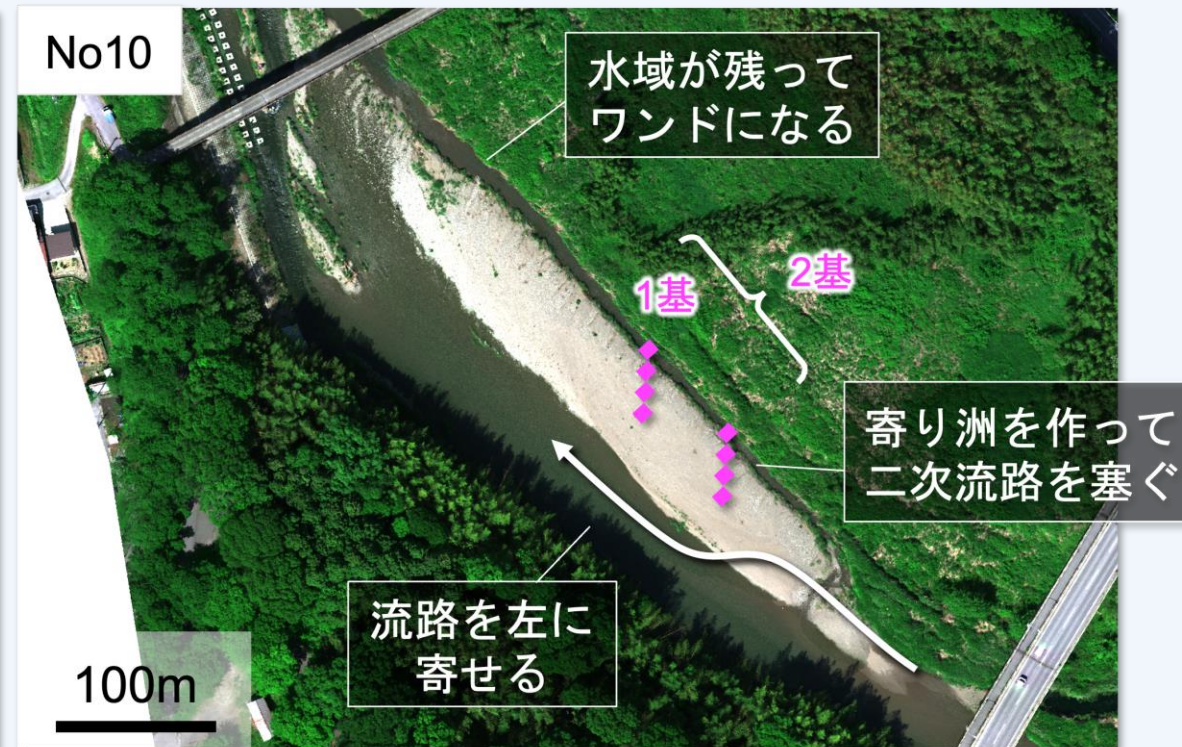
! ブロックの設置による地形の改変

湧水があり本流と距離が近い2地点を選定
iRICモデル上で地形高を変更

今あるワンドを深くする



二次流路を塞いでワンド状にする



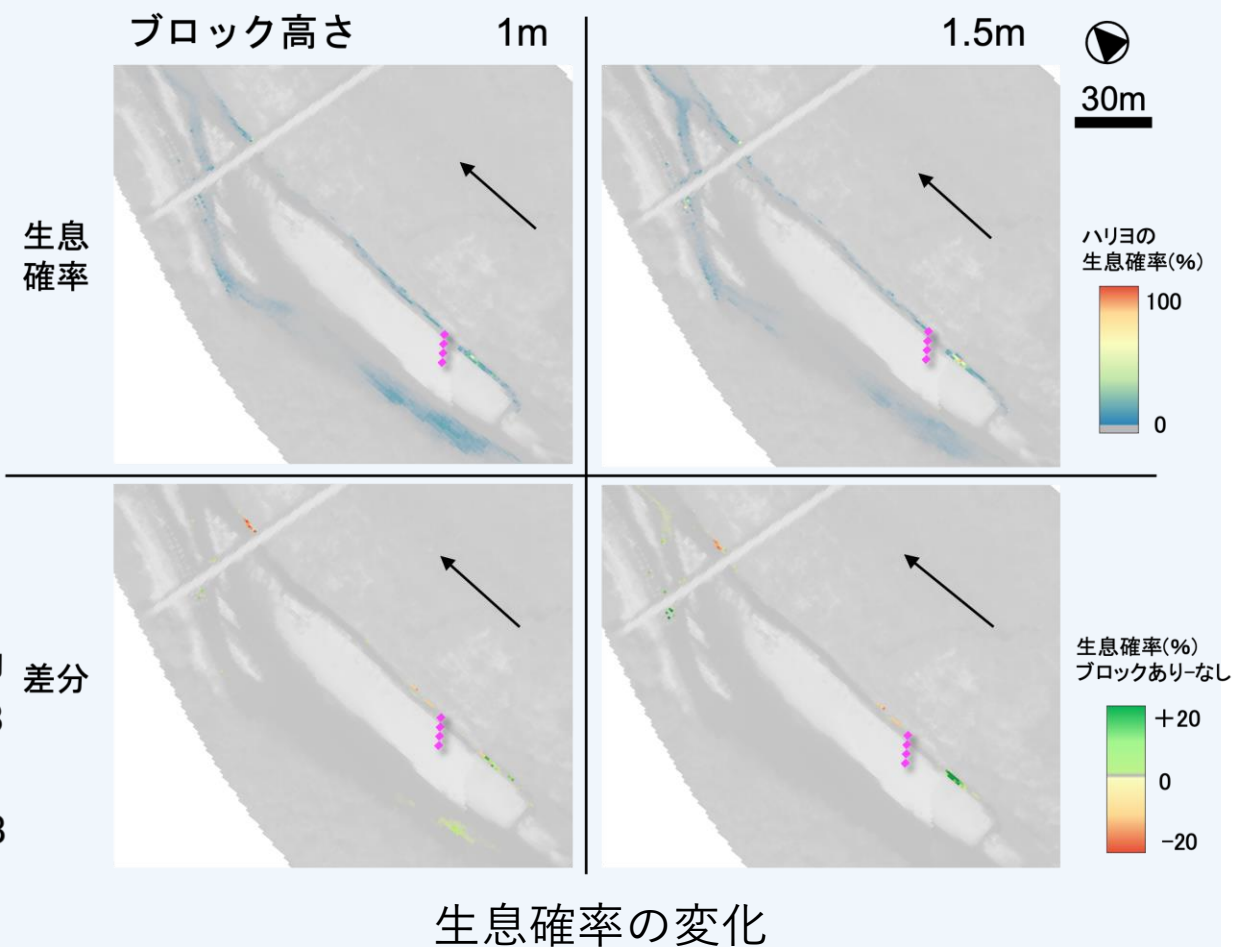
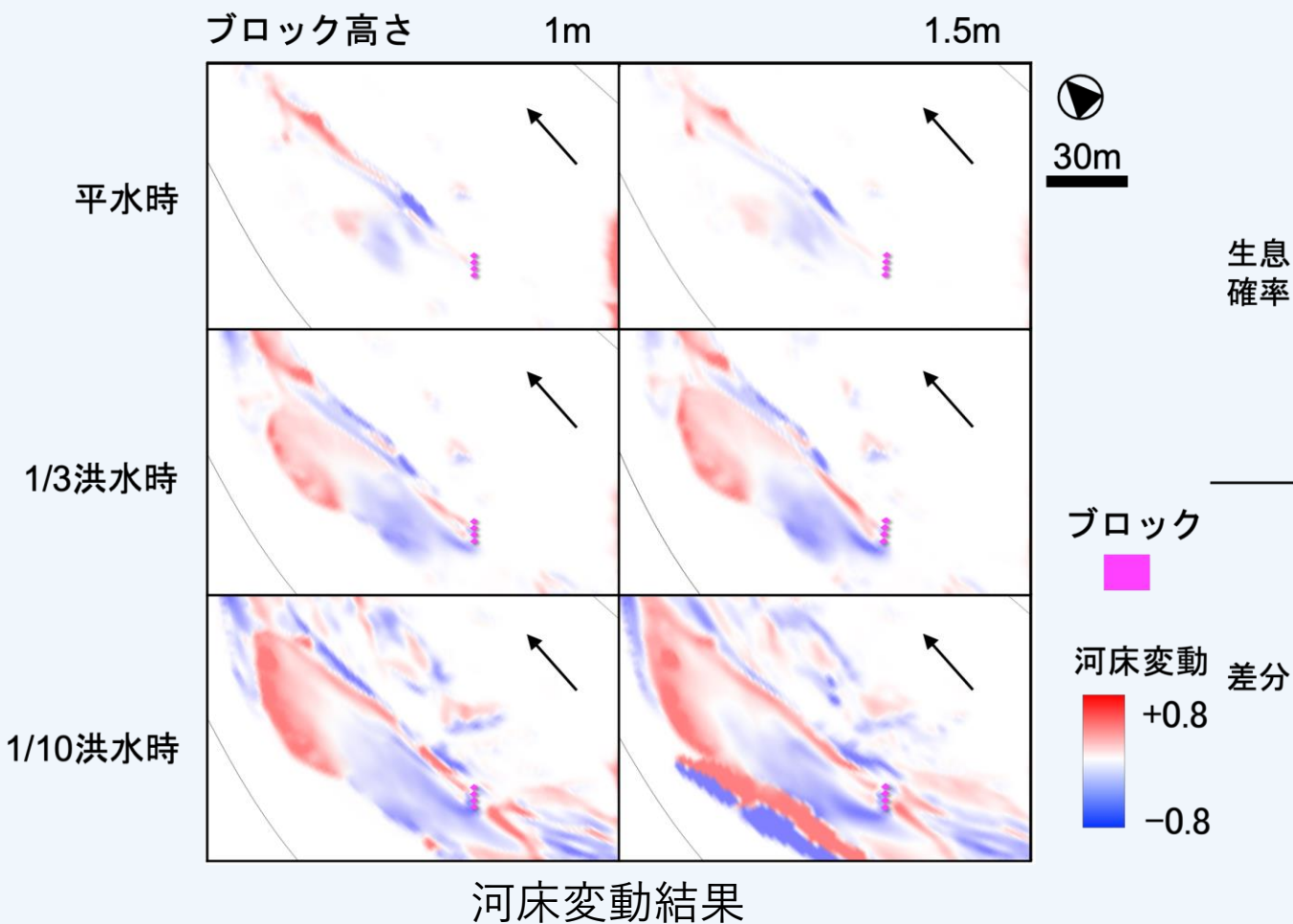
ブロック設置場所

4. 生息地再生方法の検討



No10 バーブエ1基設置結果

- バーブエの下流で堆積
生息確率に大きな変化は見られない

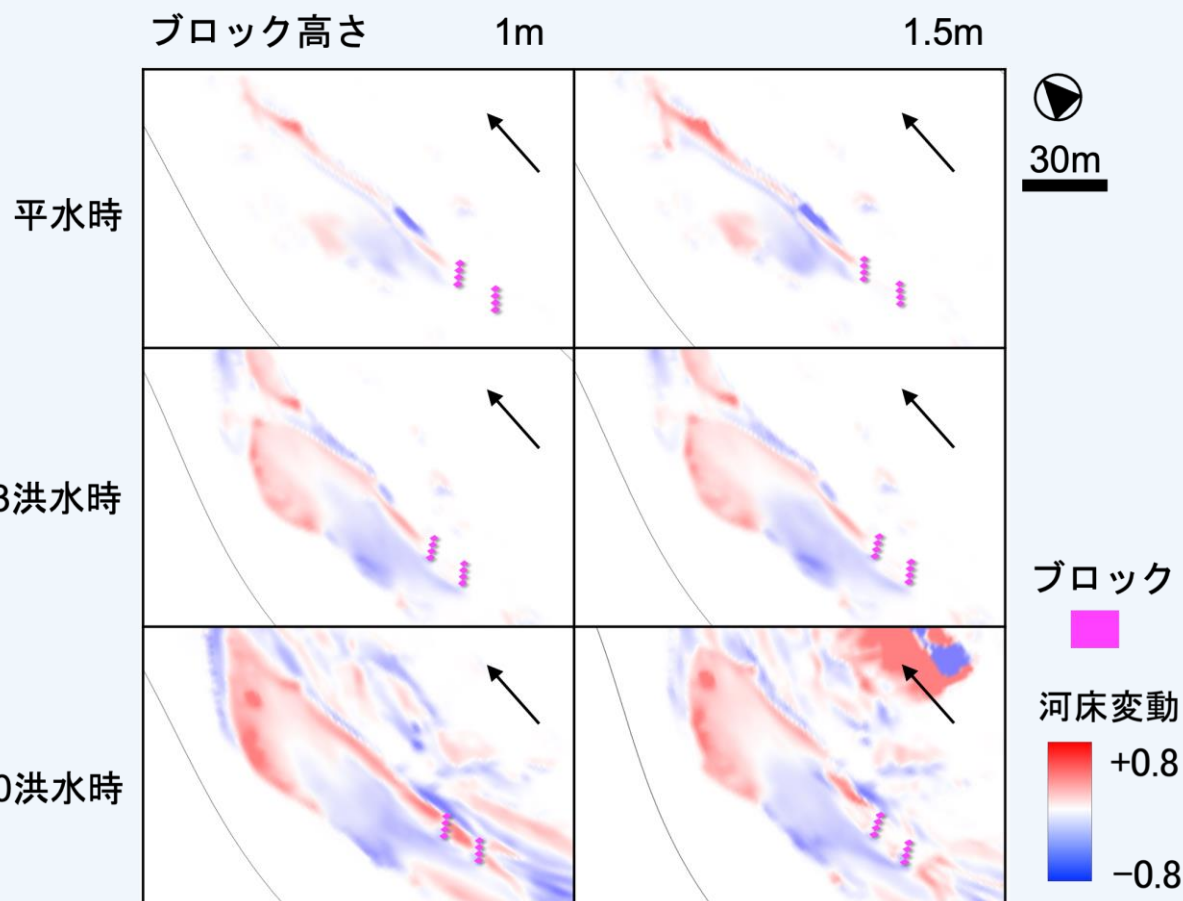


4. 生息地再生方法の検討

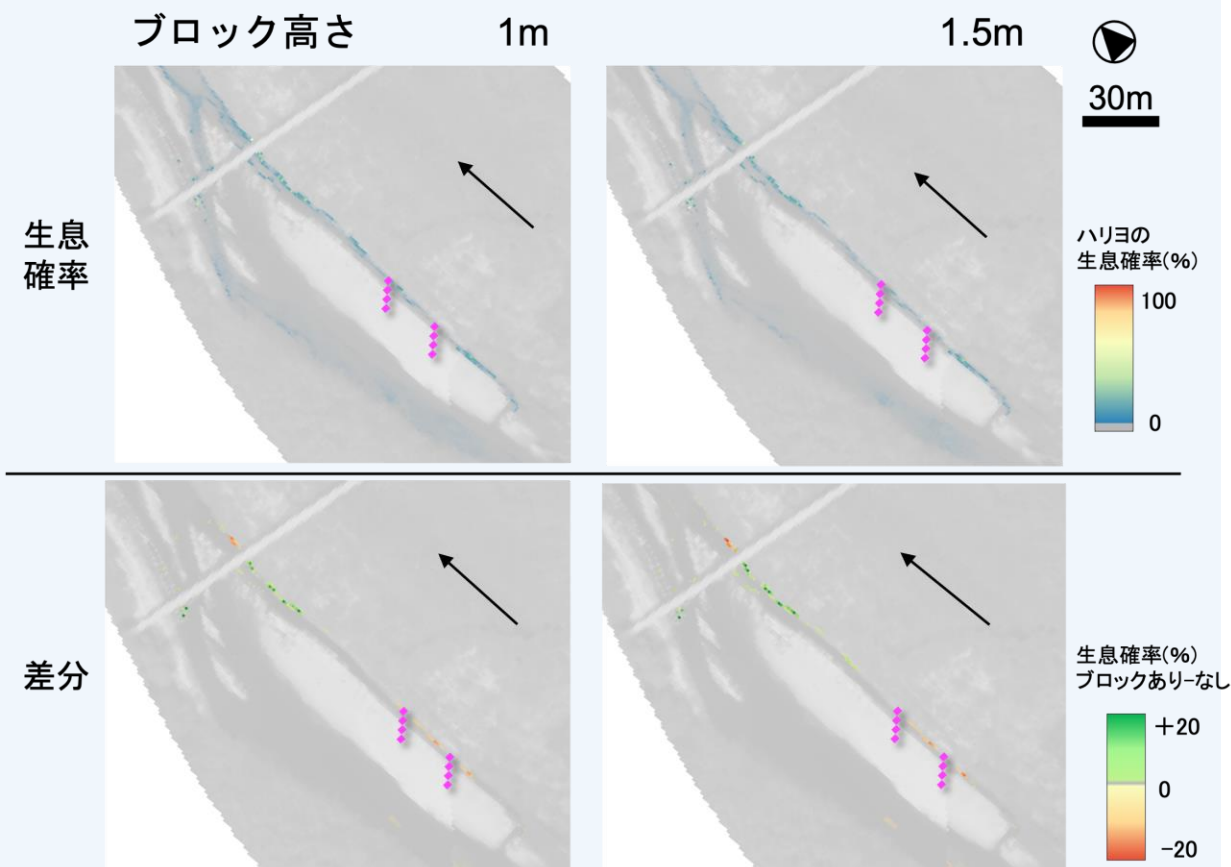


No10 バーブエ 2 基設置結果

- バーブエの下流で堆積
さらに下流の水域で生息確率が最大20%向上



河床変動結果



生息確率の変化

4. 生息地再生方法の検討

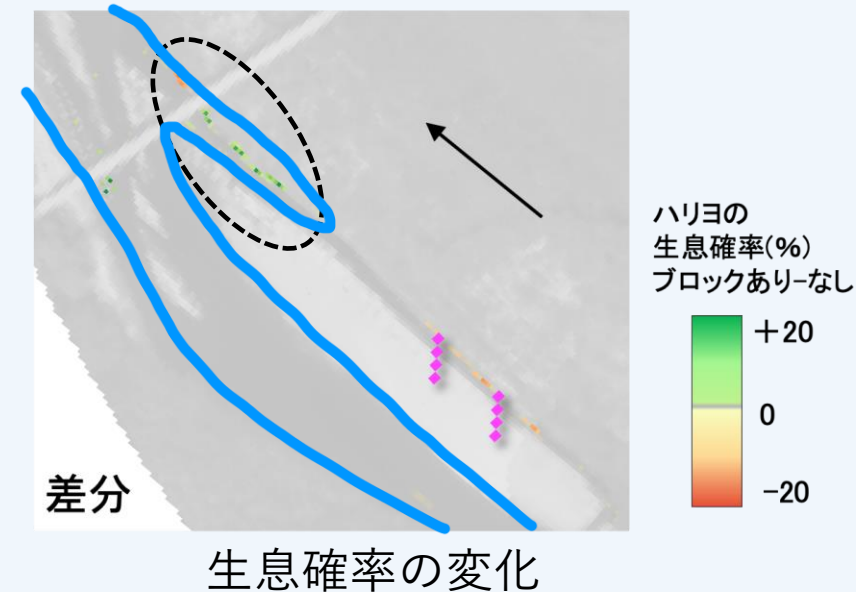
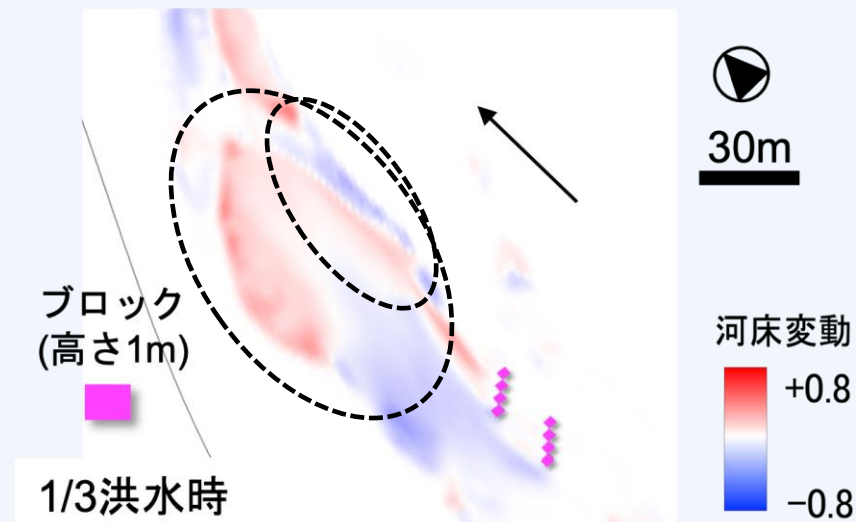


! 生息地再生方法のまとめ

- ! No2は自然の力でワンドが安定すると予測
→ 敢えて手を加えない（経過観察）
- ! No10でバース工を2基設置した場合
狙った場所で生息確率が向上
- ! 流れに挟まれた範囲で堆積が見られる

No10にバース工を2基設置
→ O型の地形を造り出せる

河床変動結果



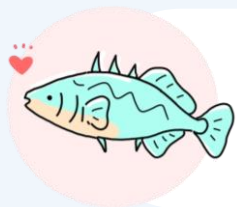
結 論

ハリヨの生息条件

- 1 夏でも冷たい湧水
- 2 川の中の池（止水域）ワンド



UAVと熱赤外センサーを用いた面的な
水温データの取得により湧水地点を特定した



水温・水深・流速データを組み合わせて生息適地モデルを構築した
限られた在データから湧水地点の生息地としてのポテンシャルを評価した



河床変動解析で洪水によるワンド周辺の地形変化を再現した
本流とワンドに挟まれた陸域に土砂が堆積し地形が安定することを示した



ブロックの設置による生息確率の変化を確認した
No10地点にバース工を2基設置すると生息確率が向上
洪水によるワンドの発達が見込まれる地形を造り出せることが示唆された

今 後

！ 犬上川におけるハリヨの生息地再生のためには



人が手を入れる必要が
あるところと
そうでないところ

現場にあるもので
維持管理の一環で
できる方法

実際の河川地形の
変化は複雑
生物の応答は繊細で不確実

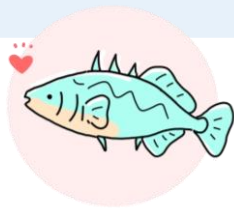
湧水がある場所で
ワンドが形成される
手助けをする

ハリヨが棲める
場所を用意
しておく

試験施工とモニタリング
慎重に長い目で
見守っていく必要



犬上川での 戦略的河道管理のポイント



のための



**MATRICE 300RTK
+ ALTUM-PT**

400万円

1回のドローン撮影
(1回20分の飛行を4回)

概ね学生3名で
1回5時間程度

画像処理 (オルソ作成)

約2日

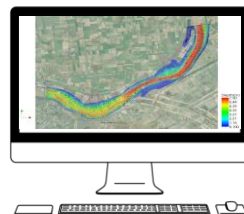
バース工設置

人力15人でも
半日あれば十分！



- 月1回のUAVによる（地形・表面水温の）モニタリングを継続し、ハビタットの状況変化を把握。ハリヨの分布調査も並行。

- 必要に応じてバース工などの対策を、河床変動モデルを用いて検討・実施。



- 継続的なモニタリングを行うことで、変化を即座に把握でき、「**小さな自然再生**」的な対応（日々の維持管理や研究活動・市民活動の一環で）で環境管理が可能。

- **物理環境**（水理諸量等）を**説明変数**としてポテンシャルマップを作成すると、対策の効果を事前に見える化できる！



- 環境省：湧水保全・復活ガイドライン (2010)
- 吉川慎平, 鷺見哲也：湧水環境依存種の生息場回復に向けた河道縦断における湧水ポテンシャル分布の評価 方法,河川技術論文集, 24 巻, pp.355-360 (2010)
- 森誠一・他：滋賀県ハリヨの危機, 魚類学雑誌, 63 巻, 2 号, pp.148-152 (2016)
- 環境省：環境省レッドリスト 2020 (2020)
- 滋賀県：ハリヨ保護増殖指針 (2020)
- 上野・他：滋賀県犬上川におけるハリヨ *Gasterosteus aculeatus microcephalus* の季節消長と生息場所利用, 地域自然史と保全, 34巻, 1号, pp.3-12 (2012)
- 丹羽英之・他：UAV に搭載した熱赤外センサーにより計測した河川水の表面温度と水草分布との関係, 応用生態工学, 22巻, 2号, pp.155-163 (2020)
- 国土地理院：地理院地図 GSI Maps, <<https://maps.gsi.go.jp>>, 2022-6-9
- 森誠一：魚と人を巡る水環境－ハリヨのこれまで、いま、これから, 水資源・環境, 7巻, pp.22-29 (1994)
- 「小さな自然再生」事例集編集委員会：できることからはじめよう 水辺の小さな自然再生事例集, pp.52-55, 日本の河川・流域再生ネットワーク(JRRN)(2015)
- 気象庁:過去の気象データ検索,
<<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>>, 2023-1-29

参考文献