

ゲームエンジン等を活用した川づくりと ICT施工を見据えた河道設計の試行

●池上 龍¹・澤 海人²・杉本 博幸³・堀江 克也⁴・藤崎 大樹⁵

(発表者：●)

目次

- 01 ゲームエンジンについて
- 02 はじめに (検討の背景、検討対象区間)
- 03 検討方法・結果
 - ① 環境目標の設定 (対象箇所、目標生物種、創出環境場)
 - ② 三次元設計 (1.環境場作成、2.物理環境の確認)
 - ③ 三次元設計データの作成
- 04 まとめ

- 1 いであ株式会社 九州支店 河川水工部
現) 同社 イノベーション戦略本部 AI研究開発室
- 2 いであ株式会社 九州支店 環境技術・生態部
- 3 いであ株式会社 九州支店 河川水工部
- 4 いであ株式会社 社会基盤本部 国土保全事業部河川部
- 5 九州地方整備局 川内川河川事務所 調査課
現) 同事務所 流域治水課

ゲームエンジン について

Made with...

- ▶ Unreal Engine : ①②
- ▶ Google Photorealistic 3D Tiles : ②
- ▶ Cesium for Unreal : ②
- ▶ Twinmotion : ③
- ▶ Megascans : ③

ゲーム開発を行うために作成された 統合開発環境

▶ 主要な処理を**搭載プログラムで代行**し開発を効率化

いろいろな事が
簡単に👤



① 測量成果の読み込み
▶ 地形の編集

② 広域3Dモデルの読み込み
▶ 仮想空間上を自由に歩く

③ 植生モデルの読み込み
▶ フォトリアルな表現

近年...

- ▶ 河川整備事業の合意形成の円滑化 (川野ら, 2022)
- ▶ 河川景観評価手法 (林田ら, 2022)

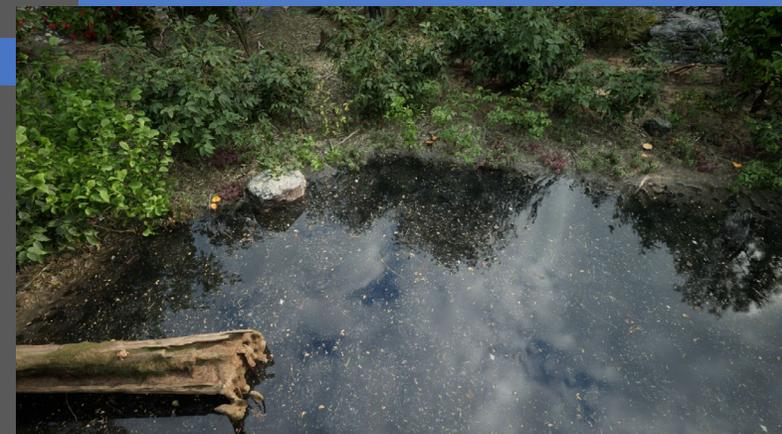
①



②



③



これまで

- ❑ 治水と環境が一体となった検討ワークフロー（河川CIM標準化検討小委員会, 2021）
 - ▶ 3次元設計における技術のあい路の解消
- ❑ 汎用的なソフトを用いた検討プロセス（福嶋ら, 2022）
 - ▶ 多自然川づくりの高度化

【実河川における事例】

- ❑ 3次元ツール (iRIC) を用いた治水・環境の一体的な評価を試行（周ら, 2022）
 - ▶ 有効性の確認や課題を抽出

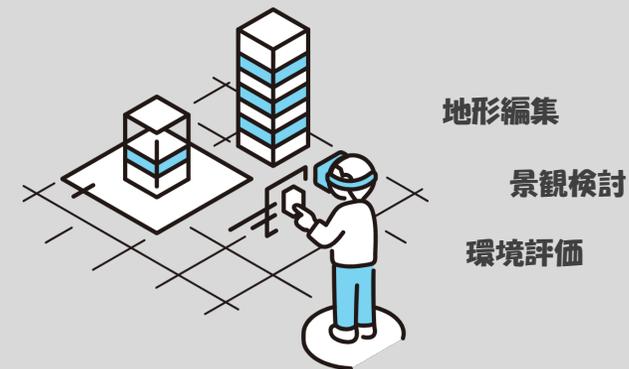
実河川への適用事例は限定的...

本検討

iRICやゲームエンジンを複合的に活用し
計画からICT施工データ作成まで

一連の過程を実河川で適用：**結果報告**

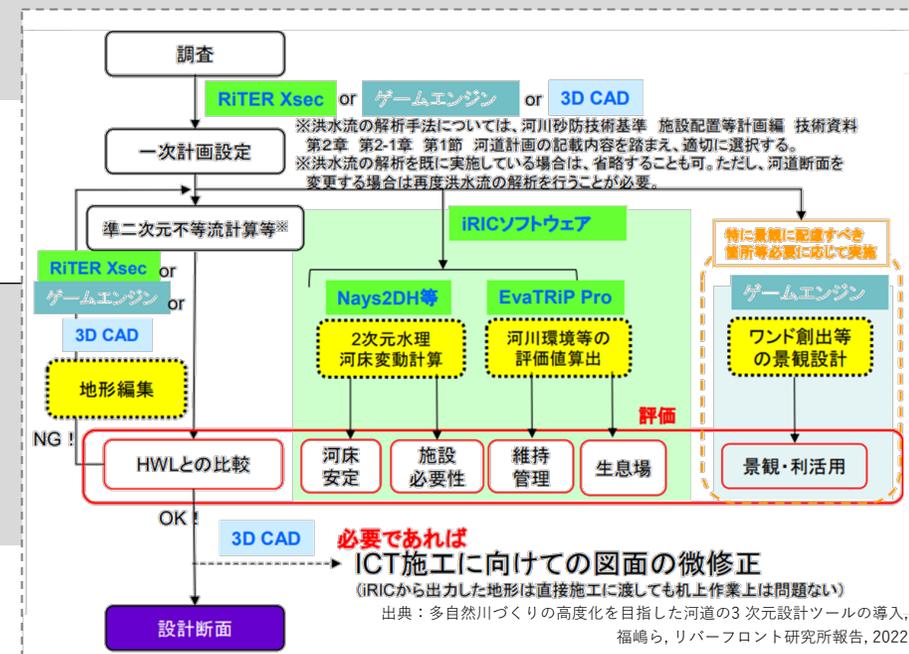
3次元設計ツールの活用



地形編集

景観検討

環境評価

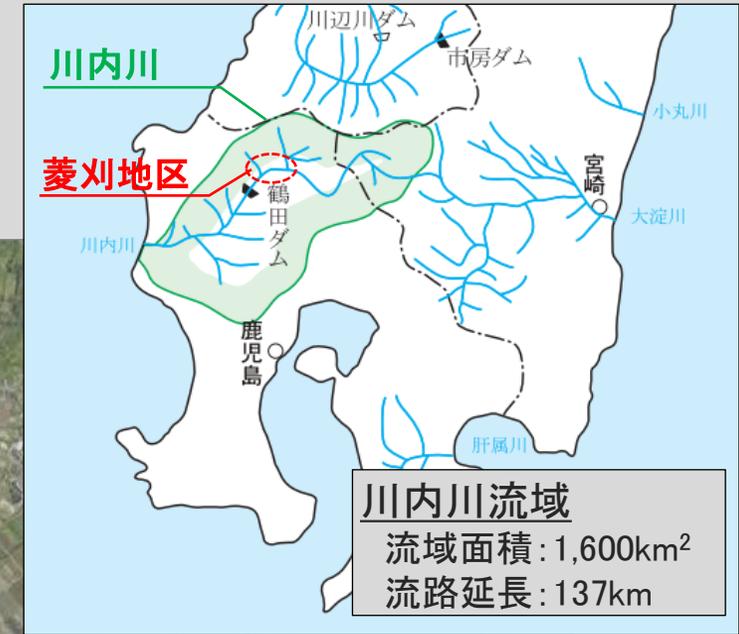
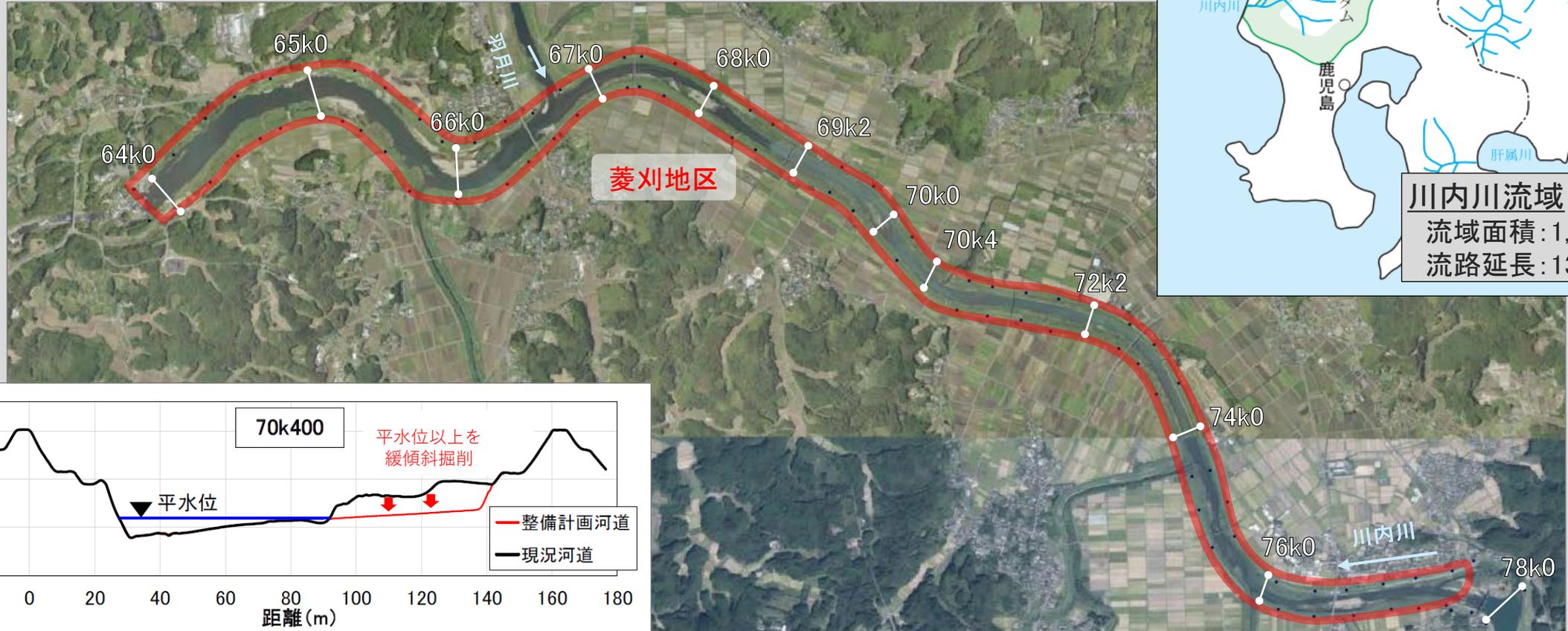


3次元設計ツールを活用した設計のプロセス

□ 一級河川 川内川の菱刈地区 (63k8~77k4)

河川激甚災害対策特別緊急事業の対象地区 (H18.7洪水において甚大な被害が発生)

▶大規模な河道掘削が予定：治水、維持管理面を考慮した河道形状

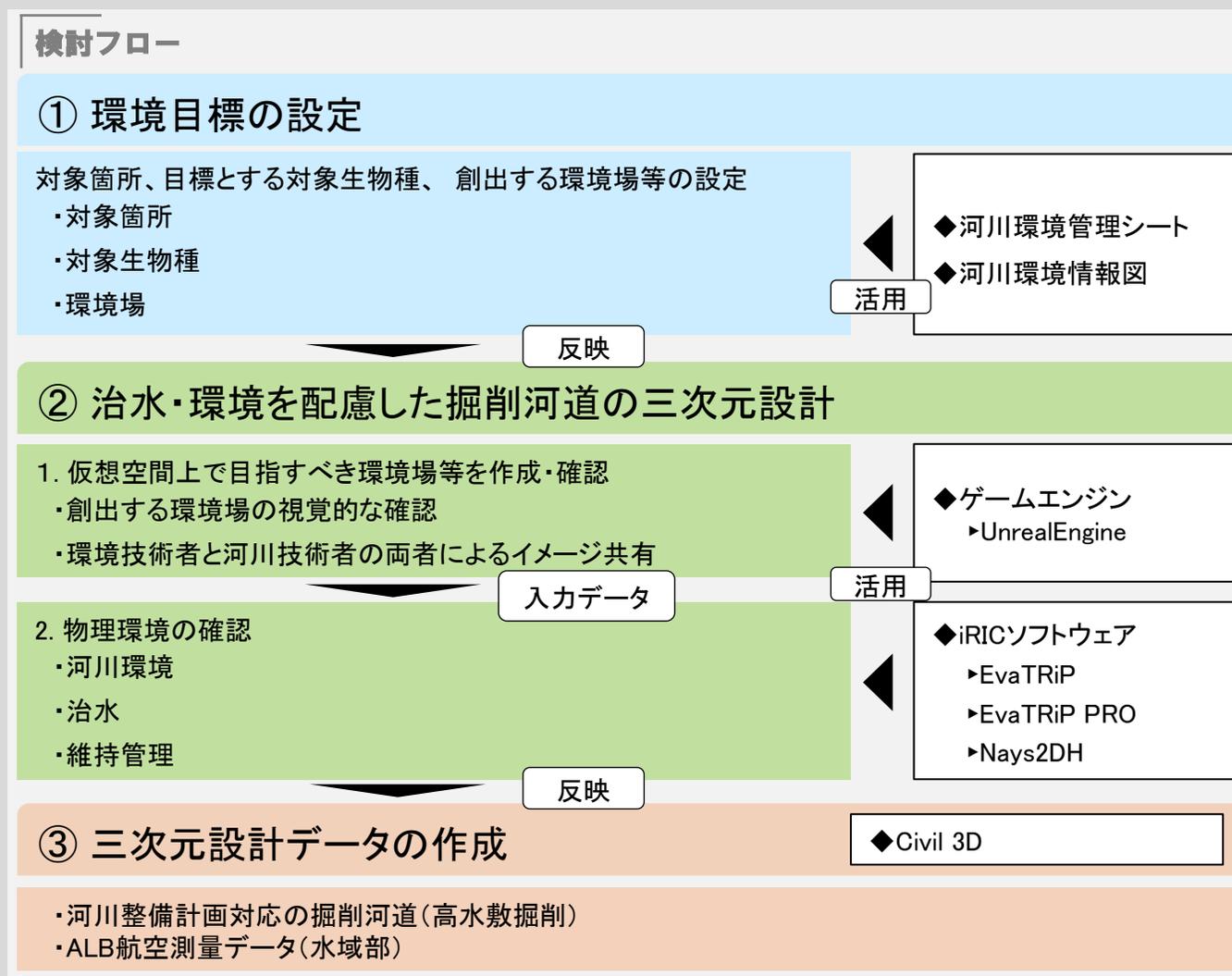


※地理院タイル (航空写真) を加工して作成

河道掘削による河川環境面への影響...

□ 環境目標設定～三次元設計～ICT施工(三次元設計)データ作成の流れ

▶河川環境管理シート、ゲームエンジン、iRIC等を活用



① 環境目標の設定

環境目標の設定を行うにあたり…

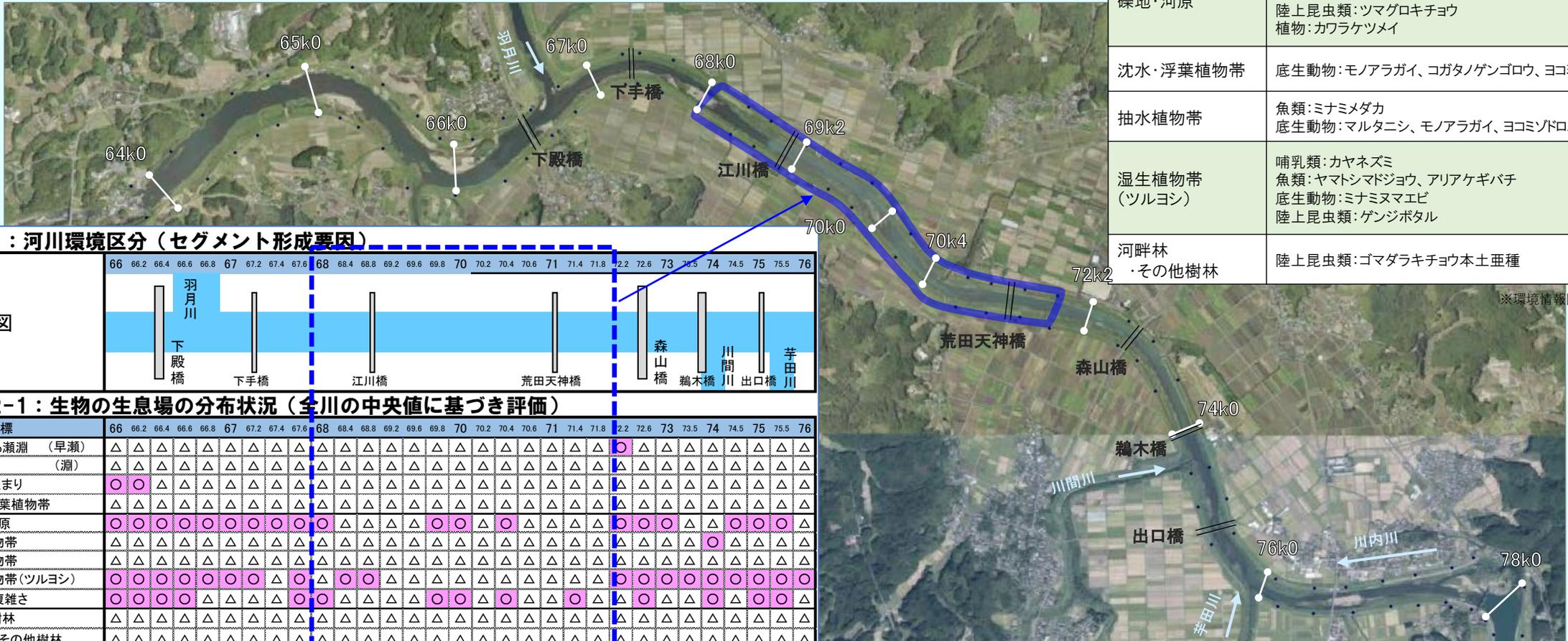
□ 生息場分布 (河川環境管理シート)

▶ 68k0~72k0区間は上下流側と比べ **生物生息場の多様性評価値が低い**

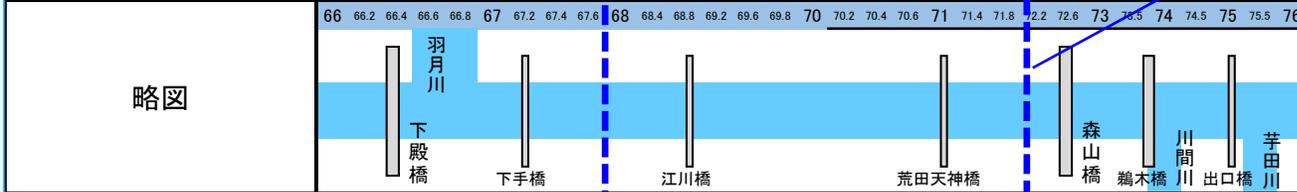
□ 生息場と利用する生物 (河川環境情報図)

▶ 「ワンド・たまり」「礫地・河原」「湿性植物帯 (ツルヨシ)」において **利用する生物群が多い**

生物生息場	生息場を利用する生物(一部抜粋)
連続する瀬淵	魚類:アユ 植物:カワゴケソウ、チスジリ
ワンド・たまり ※氾濫原の水域 (細流等も含む)	両生類:アカハライモリ、トノサマガエル 爬虫類:ニホンイシガメ 魚類:ヤマトシマドジョウ、ミナミメダカ 底生動物:マルタニシ、コガタノゲンゴロウ
礫地・河原	鳥類:マナヅル、イカルチドリ 爬虫類:ニホンスッポン 陸上昆虫類:ツマグロキチョウ 植物:カワラケツメイ
沈水・浮葉植物帯	底生動物:モノアラガイ、コガタノゲンゴロウ、ヨコモソドロムシ
抽水植物帯	魚類:ミナミメダカ 底生動物:マルタニシ、モノアラガイ、ヨコモソドロムシ
湿性植物帯 (ツルヨシ)	哺乳類:カヤネズミ 魚類:ヤマトシマドジョウ、アリアケギパチ 底生動物:ミナミヌマエビ 陸上昆虫類:ゲンジボタル
河畔林 ・その他樹林	陸上昆虫類:ゴマダラキチョウ本土亜種



◆ 基本情報1: 河川環境区分 (セグメント形成要因)



◆ 基本情報2-1: 生物の生息場の分布状況 (全川の中央値に基づき評価)

距離標		66	66.2	66.4	66.6	66.8	67	67.2	67.4	67.6	68	68.4	68.8	69.2	69.6	69.8	70	70.2	70.4	70.6	71	71.4	71.8	72.2	72.6	73	73.5	74	74.5	75	75.5	76
生物生息場	水域	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	1 連続する瀬淵 (早瀬)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	(淵)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	2 ワンド・たまり	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	3 沈水・浮葉植物帯	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	4 礫地・河原	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	5 抽水植物帯	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	6 湿性植物帯	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
7 湿性植物帯(ツルヨシ)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
8 水際の複雑さ	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
9 山付き樹林	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
10 河畔林・その他樹林	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	
生息場の多様性の評価値		4	4	3	3	2	2	2	1	3	2	1	1	0	0	2	2	0	2	0	0	1	0	3	3	2	1	3	2	3	3	1

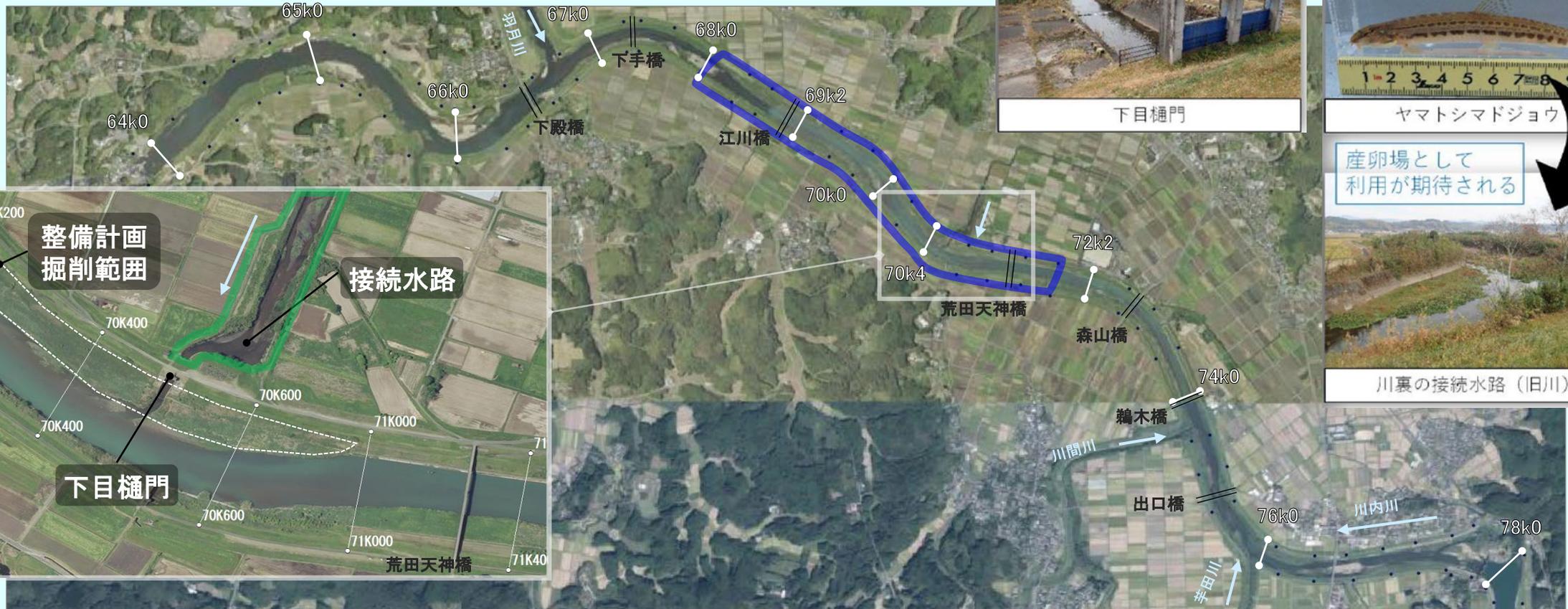
※環境情報図より整理

※地理院タイル (航空写真) を加工して作成

① 環境目標の設定

下目樋門（70k4付近）の接続水路は**良好な湿地環境**

▶ 評価値が低い区間（68k0～72k0）への**生物の供給源**となることが期待



- ▶ 下目樋門周辺にワンド・たまり（細流環境含む）を創出し生物生息場の多様性を向上
- ▶ 堤内地を含むエコロジカルネットワークを形成

② 治水・環境を配慮した掘削河道の三次元設計

1. 目指すべき環境場等の作成・確認

□ゲームエンジンにより仮想空間上に河道モデル※を構築

※河道モデルは現行整備計画河道ベース

(水中部はALB測量成果を反映)



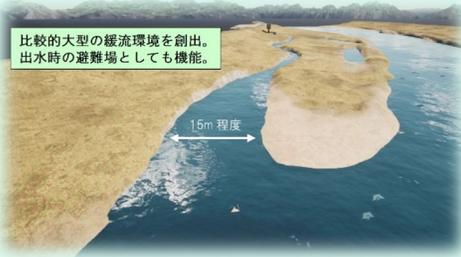
水路部①_水路幅の狭い箇所

- 比較的流速のある細流環境となることを想定し、水際にルリシ等の植物帯が定着することで、アリアケギバチの生息場としての機能を期待。
- この他、川内川上流域に生息する典型的な魚類であるオイカワ、カワムツ等の稚仔魚の生育場としての機能を期待。



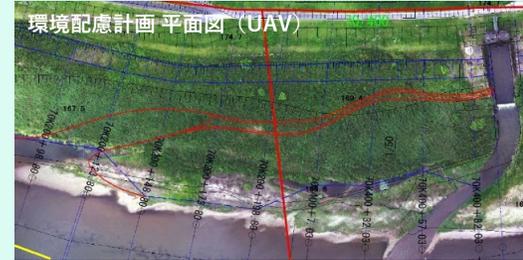
水路部②_水路幅に広がりを持たせた箇所

- 水路部①と比較して緩やかな流れとなり、緩傾斜の水際は湿地環境となることを想定。
- 緩流域がミナミメダカの生育場として、緩傾斜部の水衝部から陸域への移行帯はヤマトシマドジョウの生育場としての機能を期待。
- 湿地環境はヤマトシマドジョウの産卵場、コガタノゲンゴロウ、ミナミヌマエビの生育場としての機能を期待。



本川接続部ワンド

- 水路部と比較し、より広い緩流環境となり、本川に生息する比較的大型魚類の利用を期待。
- 出水時に魚類等の避難場としての機能を期待。

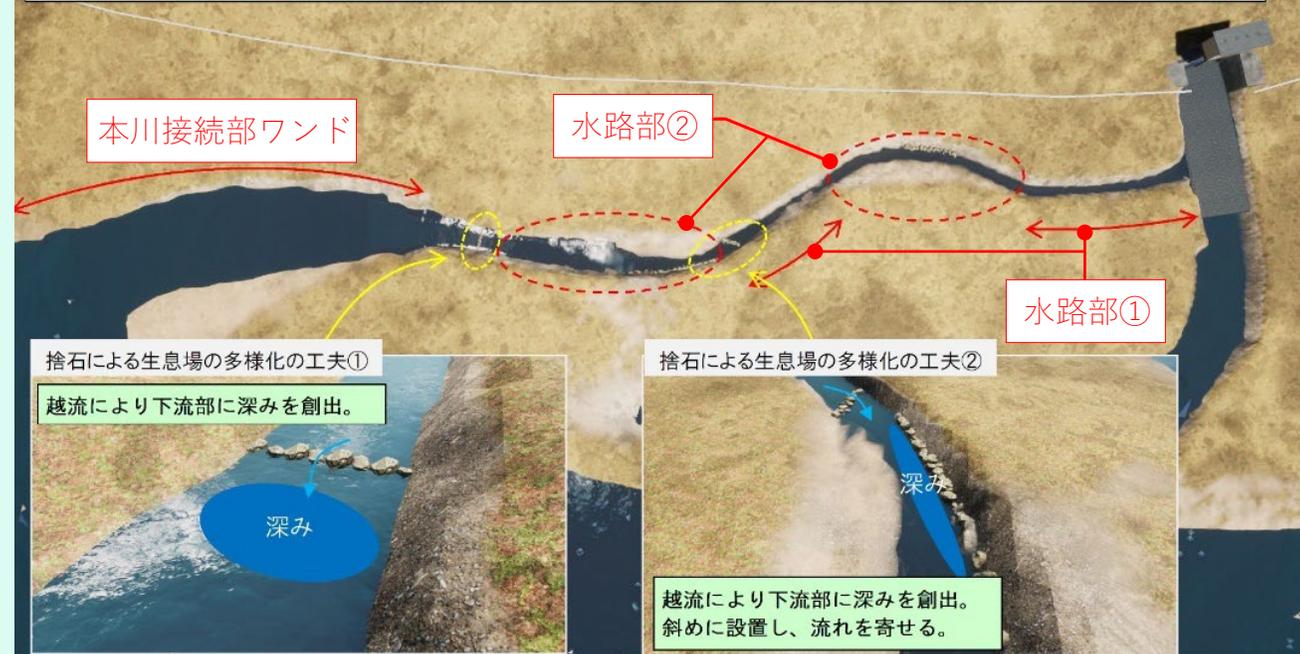


ねらい : 周辺区間に比べ「生息場の多様性の評価」が低い、70.4k付近において、ワンド・たまり、緩流、細流環境を創出し、環境の改善を図る。

コンセプト : 当該区間に生息するヤマトシマドジョウやミナミメダカ、ミナミヌマエビ、コガタノゲンゴロウ等の緩流、細流環境を好む生物の生息場、産卵場となるワンド・たまり、緩流、細流環境を創出する。

構造 : 縦断方向に細長い水路形状を基本とし、所々に広がりをつける。出水等により、堆積が進行しにくいように、常時流入支川から通水させる。水路幅は2~5m。

・水路部①(水路幅が細い区間)、水路部②(水路幅に広がりがある区間)、本川接続部ワンドの3つの区分で構成。
・捨石により、流れに変化を持たせ、多様な生息場を創出、維持する。



創出する環境場(水深や川幅、流れの変化など)のイメージを環境技術者と河川技術者で共有、作成

② 治水・環境を配慮した掘削河道の三次元設計

2. 物理環境の確認 (解析モデルの構築 : iRIC)

物理環境の確認を行うにあたりiRICによる解析モデルを構築

モデル化範囲の設定



▶評価箇所に対し、モデル化範囲は上下流に広く設定 (助走計算)

※粗度係数、河床材料等は河道計画で使用されている値を設定

※上流端流量は荒田水位観測所における観測流量を設定

※下流端水位はHQ (河道計画) 換算水位を設定

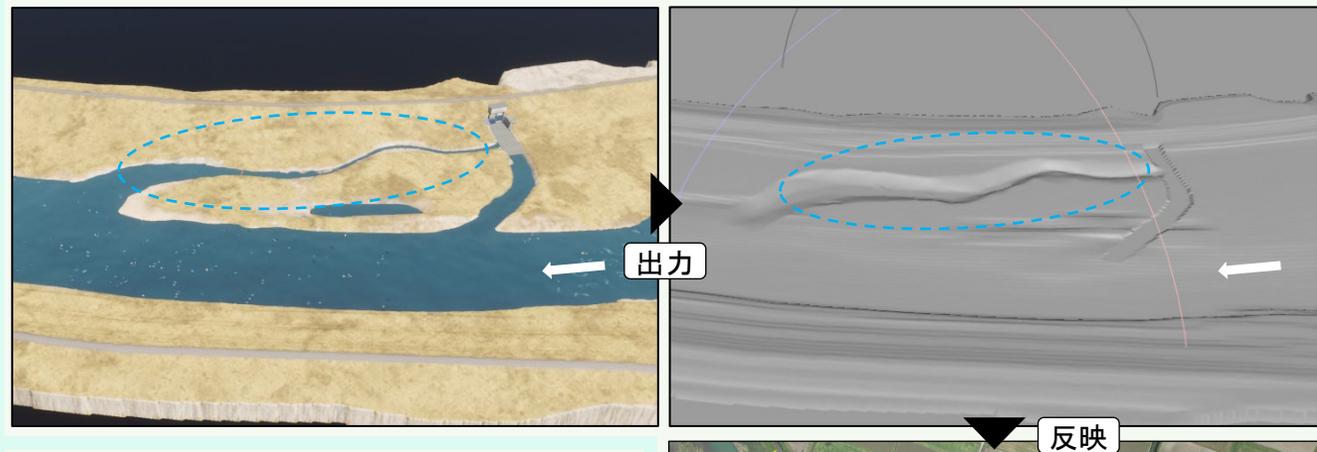
※横流入量 (下目樋門) を設定

▶平水時 (平水流量 : 現地調査値)

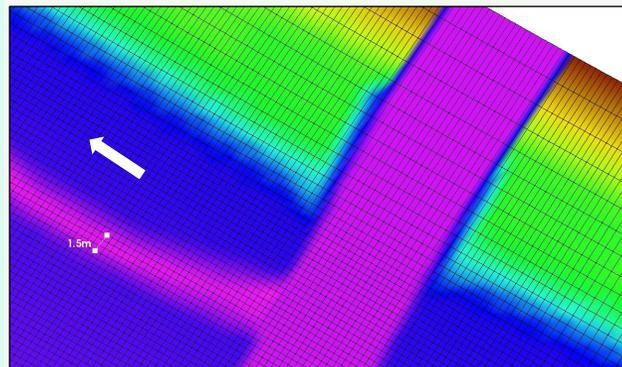
▶洪水時 (横流入無し)

※構築した水理モデルは、河道計画検討で構築されているモデル (菱刈地区全体を対象) と比較することで妥当性を確認

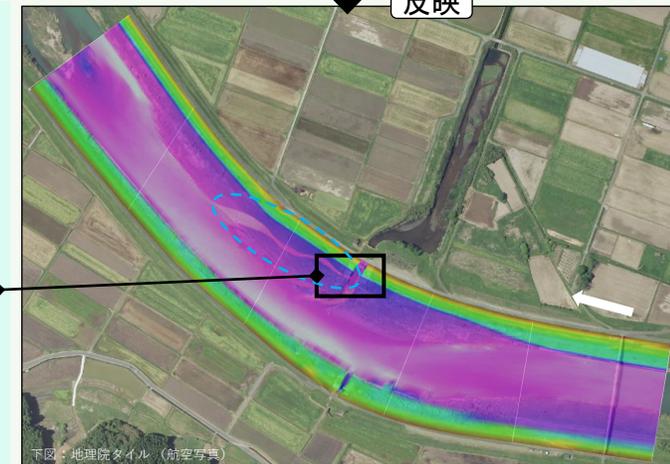
iRIC解析モデルへの地形反映



メッシュサイズの設定



▶水路幅1.5mに対し地形を再現できるようにメッシュサイズを小さく設定 (0.5m²程度)



▶ゲームエンジンで設計した河道を出力 (demデータ)
▶出力したdemデータをiRICへ反映

2. 物理環境の確認 (評価条件、解析ケース)

物理環境の確認を行うにあたり評価条件を設定

河道安定性

- 河床変動解析を実施
 - 掘削後の再堆積状況を確認
 - 河床低下傾向が確認された箇所について構造物への影響を確認
 - 中長期の評価：平均年最大流量を10サイクル
 - 大規模出水後の評価：整備計画流量

瀬淵環境

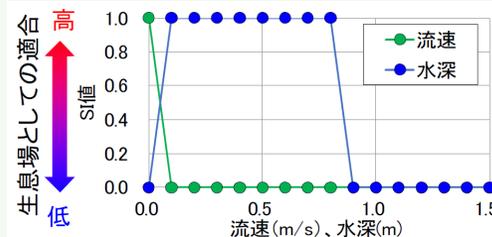
- フルード数により環境場を分類 (Entwistle et al., 2018)
 - 目標とする環境場となるかを確認

フルード数閾値

Pool : Fr < 0.04	Riffle : 0.245 ≤ Fr < 0.49
Glide : 0.04 ≤ Fr < 0.15	Cascade : 0.49 ≤ Fr
Run : 0.15 ≤ Fr < 0.245	/rapid

魚類生息場

- 流速・水深分布から魚類生息ポテンシャルを算出 (PHABSIM)
 - 目標とする魚類の生息場環境となるかを確認
 - ※以下を理由とし”オイカワ稚仔魚”を対象魚種に設定
 - 目標とする環境 (ワンド・たまり) に生息
 - ワンド創出箇所の上下流に産卵場が確認 (環境情報図)
 - 稚仔魚の生息場として機能することを期待



※以下を参考に作成
淡水魚類生息条件データ集, 水産庁中央水産研究所, 2001.

植物生育可否の可能性

- 生育条件式 (大石ら, 2015) より植生の生育可能性評価を実施
 - ワンド水路部への植生繁茂状況を確認

$$h_{VD_est} = -0.1 \log(V) + 0.05 \quad \dots V: \text{水深平均流速}$$

$h < h_{VD_est}$ 植物育成の可能性が高い
 $h > h_{VD_est}$ 植物育成の可能性が低い

- 流出評価指標WOI (田中ら, 2010) より植生の流出可能性評価を実施
 - 掘削後の樹林化可能性を確認

$$WOI = \tau_{90} / \tau_{c90} \quad \dots \tau_{90}: 90\% \text{粒度径の無次元掃流力}$$

$\tau_{c90}: 90\% \text{粒度径の無次元限界掃流力}$

$WOI < 1$ 植物流出可能性が高い
 $WOI \geq 1$ 植物流出可能性が低い

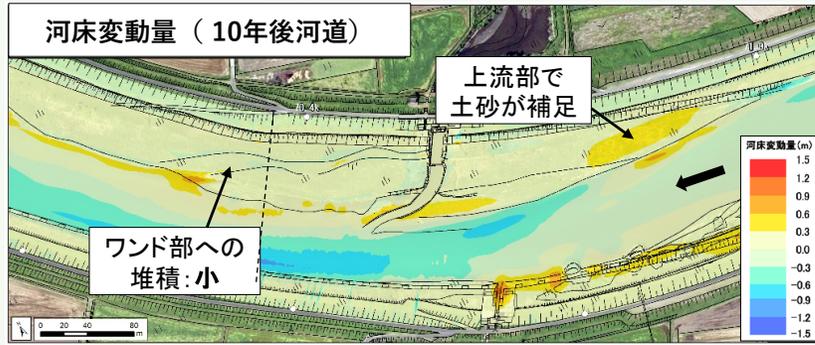
【解析ケース】

解析	対象河道	対象流量	河道安定性	瀬淵環境	魚類生息環境	植物	
						生育可能性	流出可能性
流況解析	現況河道	平水流量	—	—	●	—	—
	環境配慮河道	平水流量	—	●	●	●	—
		平均年最大流量	—	—	—	—	●
		整備計画流量	—	—	—	—	●
	10年後予測河道	平水流量	—	—	●	●	—
		平均年最大流量	—	—	↑	↑	—
整備計画流量		—	—	—	—	—	
河床変動解析	環境配慮河道	平均年最大流量	●	●	●	—	—
		10サイクル整備計画流量	●	—	—	—	—
環境評価			—	●	●	●	●

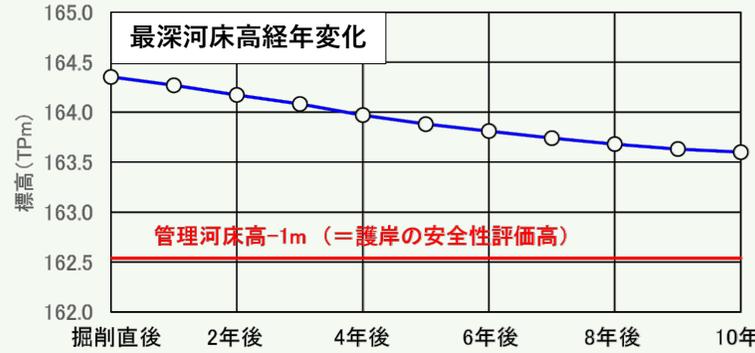
② 治水・環境を配慮した掘削河道の三次元設計

2. 物理環境の確認 (河道の安定性、瀬淵環境)

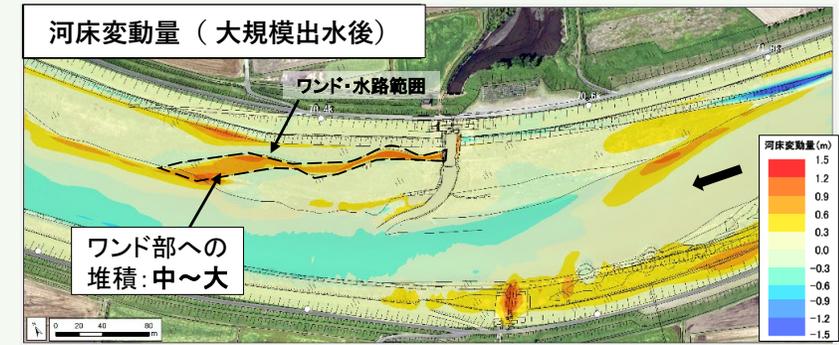
河道安定性



▶10年後の再堆積量は小さくワンドや水路部は維持

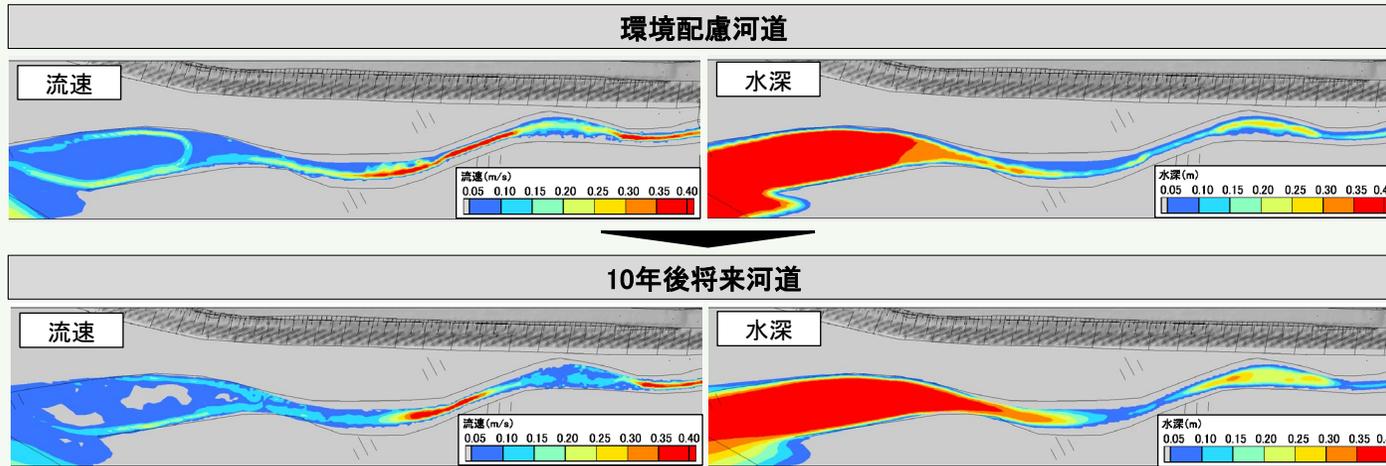


▶護岸の安全性に影響はないことを確認

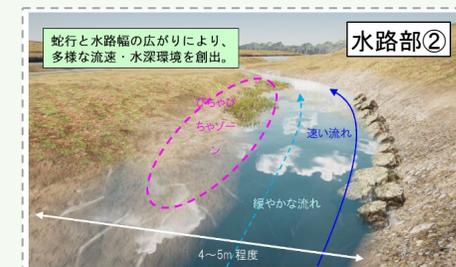
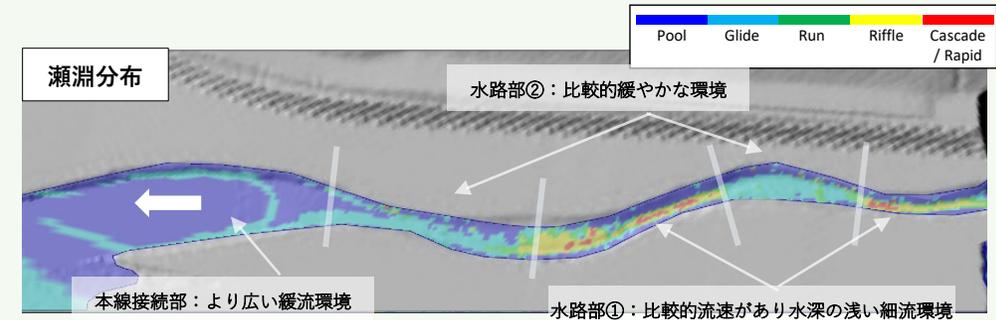


▶大規模出水時の土砂堆積には留意が必要

瀬淵環境



▶10年後将来河道においても大きな変化はなく同様の傾向
▶時間経過後も環境場は維持されると推定

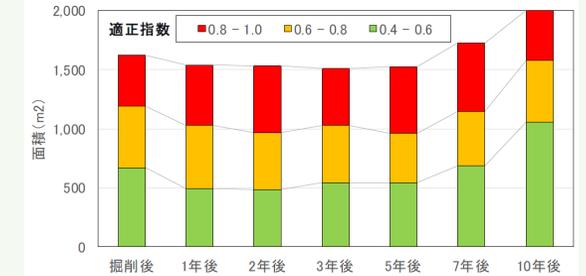
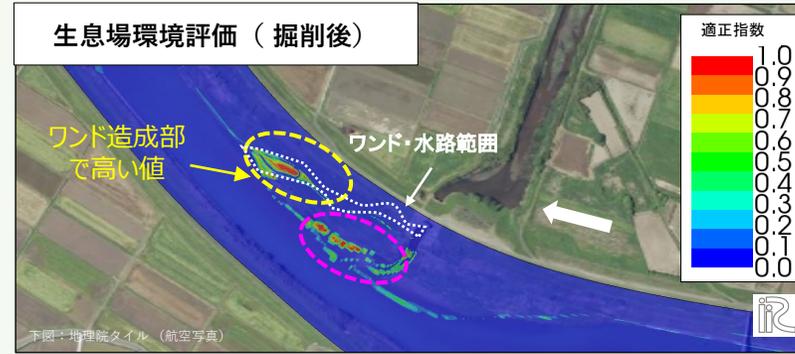
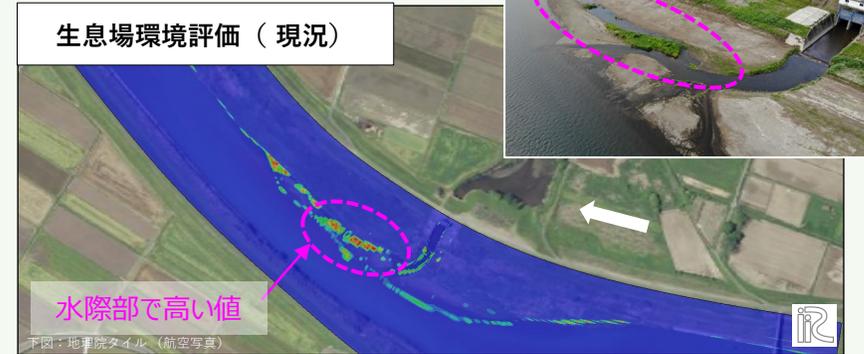


▶設計コンセプトに近い環境場となることが推定

② 治水・環境を配慮した掘削河道の三次元設計

2. 物理環境の確認 (魚類生息場、植物生育可否の可能性)

魚類生息場

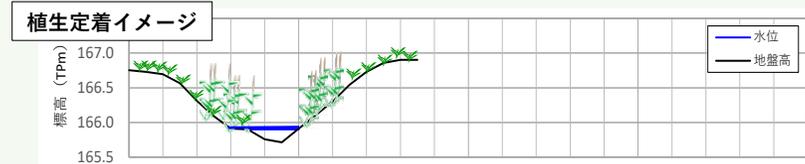
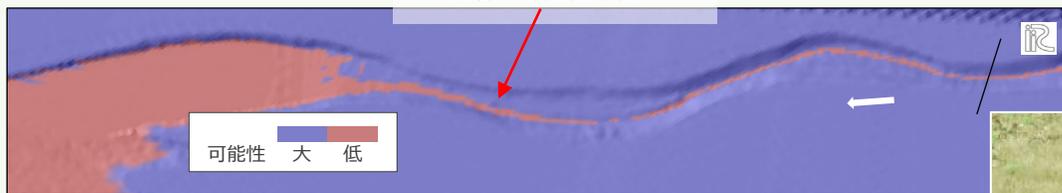


生息適地面積の経年変化

- ▶ オイカワ稚仔魚の生息場評価範囲が増加
- ▶ ワンド、たまり環境として機能すると推定

植物生育可否の可能性

生育可能性評価



- ・ ワンド流心部以外において草本群類が定着可能性が高い
- ▶ 水際部の植生が生息場として機能することが推定

【期待する生物生息場としての機能】

▶ 比較的流速のある細流環境となることを想定し、水際にツルヨシ等の植物帯が定着し、アリアケバチの生息場としての機能が期待される。



流出可能性評価



平均年最大流量流下時の流出可能性

- ・ ワンド造成を行う内岸部における流出可能性は高い
- ▶ 河道整備後も樹木は定着しないことが推定

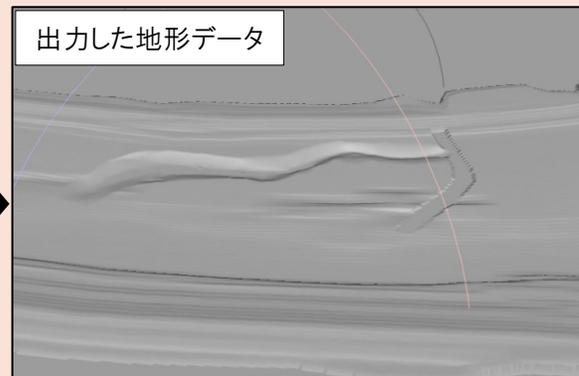
解析結果より妥当な河道設計であることを確認

③ 三次元設計データの作成

三次元設計データの作成



ゲームエンジンでデザインした地形



出力した地形データ



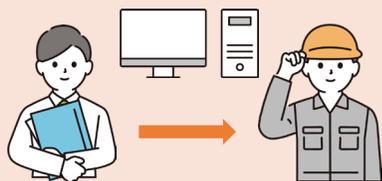
CIMモデル



サーフェスモデル(三次元設計データ)

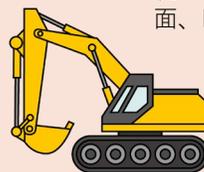
- Civil3D (Autodesk社) を使用し三次元設計データを作成
 - ▶ 「ゲームエンジンでデザインした地形」 ⇒ 「三次元設計データ」 への反映は問題なく受け渡しが可能

施工業者への三次元設計データの受け渡し



- 使用するCADソフトの違いによりデータが正常に読み込めない
 - ▶ データ形式をJ-LandXML形式とすることで対応

ICT施工



※ゲームエンジンでは複雑な微地形を表現した計画・設計を行うことができる反面、ICT施工が可能なTINサイズに制限

- TINサイズが小さすぎるとICT施工が不可能
 - ▶ TINサイズを施工業者と調整することで対応

コンセプトの共有



- 以下を作成
 - ・ コンセプト資料
 - ・ 実行exe
 - ※仮想空間内を歩き回る
- ▶ 施工業者と川づくりの設計コンセプトを共有

関係者間による事前の調整や柔軟な対応

まとめ

本検討において…

ゲームエンジンやiRICソフトウェアを活用して**計画からICT施工データ作成**までを一連の河道設計を川内川菱刈地区へ適用

- **効率的なイメージ（コンセプト）共有**：環境目標を定量的に示す（環管等）とともに、ゲームエンジンを用いる
- **コンセプト通りの地形による解析**：ゲームエンジン ⇒ iRICへのデータ引継ぎ
- **効率的な検討**：ゲームエンジン ⇒ iRIC（定量評価：治水、維持管理、河川環境） ⇒ 三次元設計データ
- **直観を表現するツールとしての有効性**：ゲームエンジン ⇒ iRICによる妥当性確認
- **サイズやデータ形式等の事前の調整**：ICT施工へのデータの引継ぎ

今後…

- 設計した三次元データをもとにICT施工を実施予定
- 施工後はモニタリングを行い、河道及び河川環境の変化を確認し知見を蓄積していく