



環境DNAを活用した環境情報の高度化に関する共同研究

研究項目1 環境DNAの水圏調査等への実装に向けた技術体系の構築

効率的な環境DNA採水条件の検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社

Pacific
Consultants

Producing
The Future™

P R O D U C I N G
T H E F U T U R E

研究の背景と目的



- ✓ 河川水辺の国勢調査(魚類)への環境DNA調査の導入が決定している。
⇒限られた予算(調査地点数)の中で、どのような場所に採水地点を設定すると良いか？※
 - ✓ 本研究では、環境DNA調査において「採水すべき環境条件」を明らかにすることを目的とした。
 - ✓ 採水地点の設定における課題
- 課題1:魚類群集組成に大きく変化のない区間で、採水地点が多いと不効率。
⇒Q1.どのような環境条件が、流程の検出魚類相の変化に大きな影響を与えるか？
- 課題2:河川全体の魚類相を網羅的に把握するために重要な環境が局所的にある場合、一定間隔の採水では漏れてしまう可能性がある。
⇒Q2.魚類相を効率的かつ網羅的に把握するために重要な環境条件はあるのか？

※(先行研究)土研による環境DNA分析を用いた河川調査における地点間隔設定の検討事例¹
(北川ら,2022)

- ⇒今回研究と同じデータセットを利用。採水地点間隔を1.2km未満に設定することで、効率的、安定的なtaxa数の検出が期待できることを示唆
- ⇒無作為に採水地点を配置した場合の検討。今回の研究では環境条件に着目し検討。

✓ Q1.どのような環境条件が、流程の検出魚類相の変化に大きな影響を与えるか？

⇒ランダムフォレスト(RF)解析

【ねらい】:検出魚類相に影響する要因を明らかにする

- ・類似度指数(Sorensen指数)に基づくnMDSを実施し、採水地点間の魚類相の類似性を2次元空間に表現。
- ・各軸の値を応答変数、多数の環境変数※を説明変数としてランダムフォレスト解析を実施し、魚類相の変化に対する各環境変数の寄与度(重要度)を算出。

※環境変数:距離標、地盤高、EC、水温、横断構造物、支川合流、樋管合流を使用

✓ Q2.魚類相を効率的かつ網羅的に把握するために重要な環境条件はあるのか？

✓ ⇒相補性解析

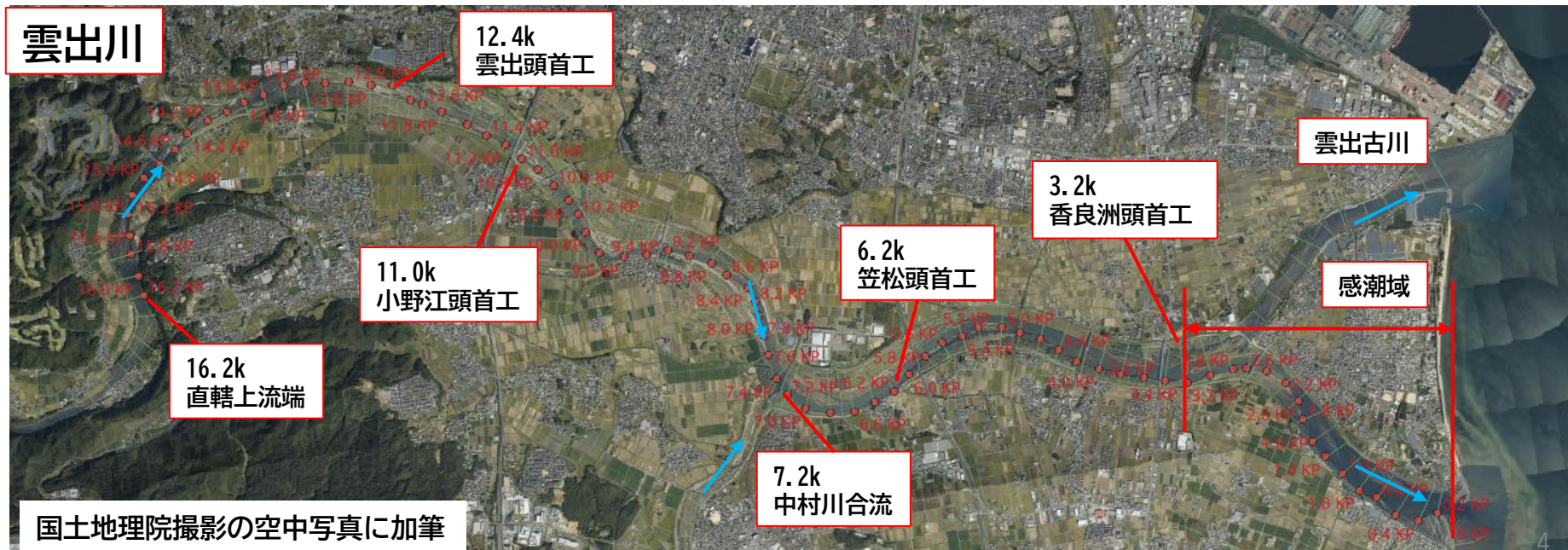
【ねらい】:少ない地点数で網羅的に種を検出する上で重要な地点を明らかにする

- ・全種を1回以上検出するようにデータセットから採水地点を選択するときに、選択回数が多い(重要な)地点を抽出。
- ・抽出された地点の検出魚類相、その地点の環境的特徴を考察。

雲出川の直轄区間0～16.2kにおいて200mピッチで魚類の環境DNAメタバーコーディング(MB)分析が行われており(合計79地点の在不在データ)、当該データを用いて解析を実施。(採水日:2020/11/2～4)、(欠測3地点:0.0k、1.2k、4.8k)

魚類MB分析結果のほか、下記のデータを使用。

- ・採水時に測定した水質データ(EC、採水時水温)
- ・1mスケールの地盤高データ
- ・河川環境基図調査による瀬・淵、ワンド、横断工作物等、植生情報



解析方法



✓ Q 1. 流程の検出魚類相の変化を把握できる環境条件はあるのか？

ランダムフォレスト（RF）解析の方法

各環境変数が、検出される魚種の種組成の変化に及ぼす影響を定量的に示したい。

地点ごとの環境DNA
検出種組成



nMDS

nMDS結果: 地点間の
魚類相の違いを2軸で表現



RF解析

各環境変数が検出種組成の
変化に及ぼす影響の検討

・地点ごとの魚類出現パターンは複雑であり、流程全体の検出種組成変化の解釈は困難

⇒地点による検出種組成の違いを表現するため、非類似度指数(Sorensen指数)に基づくnMDSを実施

〔 nMDS: 群集組成の似た地点同士が近くなるように、平面上にプロット(群集組成を2次元で表現) 〕

⇒種組成の違いへの各種環境要因の影響を考察するため、RF解析を実施

〔 RF解析: 応答変数に対する説明変数の重要度(寄与度)を算出 〕

応答変数: 各採取地点のnMDSの各軸の値

説明変数: 環境要因 (EC、水温、横断構造物、支川合流)

※環境変数について、データのある植生情報、瀬渚の有無等についても検討を行ったが、重要度が低かったため最終的にモデルから除いた。

解析結果



✓ Q 1. 流程の検出魚類相の変化を把握できる環境条件はあるのか？

ランダムフォレスト（RF）解析の結果

① 連続変数の変化に伴って、検出種組成が変化

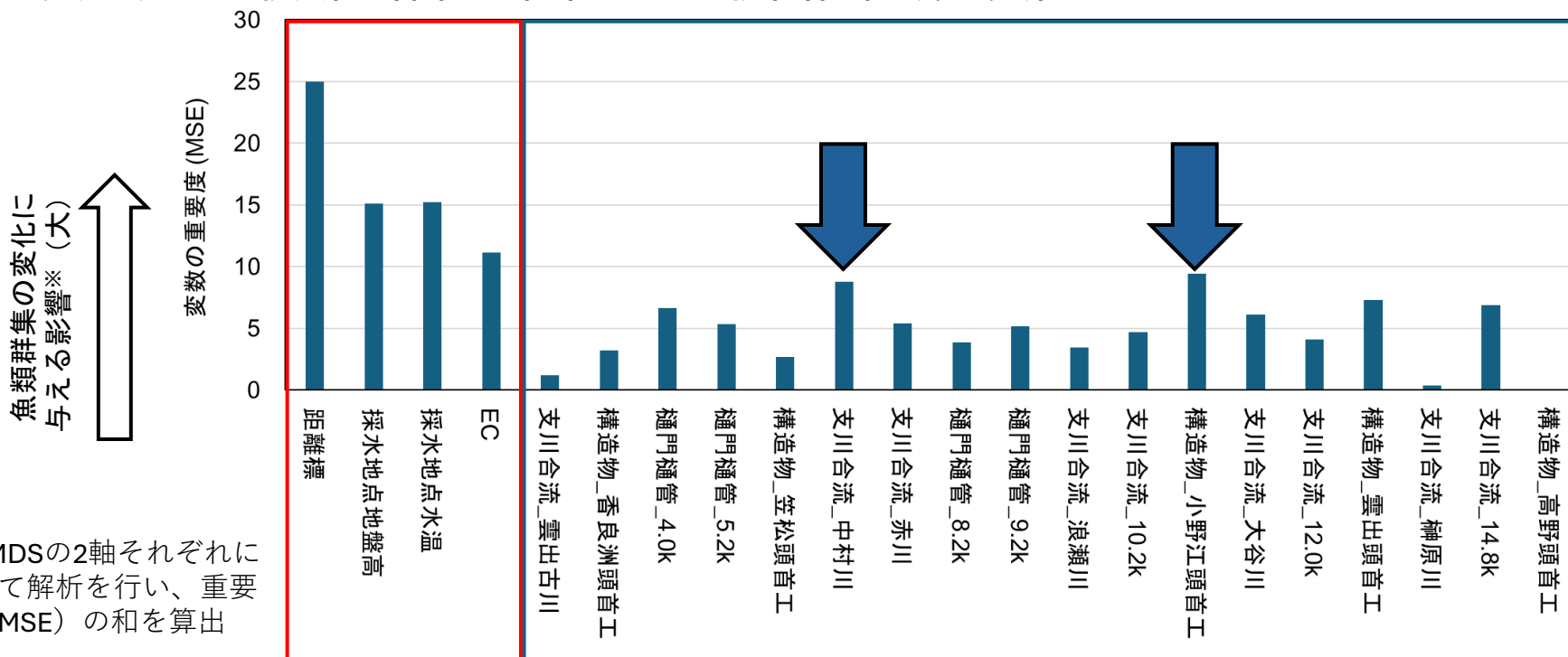
重要度大⇒【連続環境変数】・距離標・地盤高・水温・EC

：流程方向の連続的な変化に伴う検出種組成の変化をとらえている

② 支川、横断構造物の上下流で、検出種組成の傾向が異なる

重要度大⇒【支川合流】中村川【横断工作物】小野江頭首工

：支川流入や横断工作物の存在により検出種組成が変化する



結果の解釈



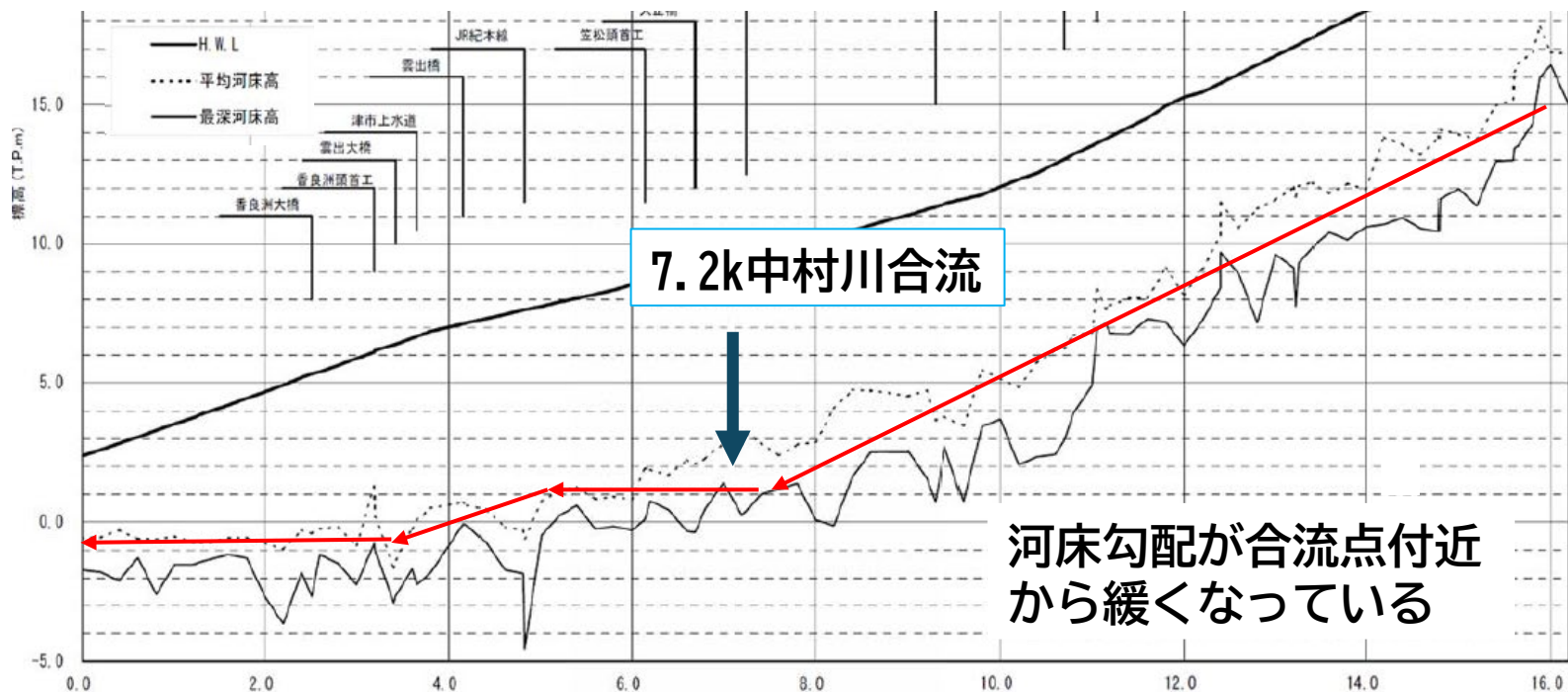
✓ Q 1. 流程の検出魚類相の変化を把握できる環境条件はあるのか？

ランダムフォレスト（RF）解析の結果

■支川(中村川)合流点の重要度が高い要因(考察)

・中村川の合流点付近の雲出川の河床勾配変化点

⇒中村川合流点より下流側ではミナミメダカ、モツゴ、ブルーギル等、流れの緩い箇所に生息すると考えられる魚類が検出されている。



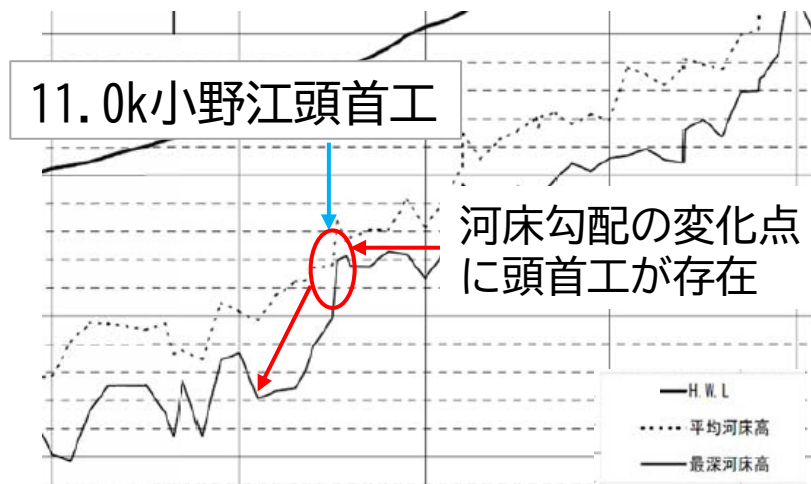
雲出川縦断面図

結果の解釈



■【横断構造物】小野江頭首工の重要度が高い要因（考察）

- ・小野江頭首工は上流側と下流側の水面幅の比が大きく異なる箇所
- ・河床勾配が緩い小野江頭首工上流側に環境DNAが滞留
⇒頭首工の上流側に対して下流側の水面幅が狭い
⇒下流側では検出地点数が少ない種が検出されている



雲出川縦断面図

出典：雲出川河川維持管理計画（令和2年10月国土交通省中部地方整備局三重河川国道事務所）に加筆



出典：国土地理院撮影の空中写真に加筆

Q 1. 流程のどの様な地点で検出魚類相が大きく変化するのか。

「流入支川下流・横断構造物」には魚類相の変化への影響が大きい箇所が存在。河床勾配の変化点では特に流速の変化による環境DNAの滞留が起きるほか、魚類のハビタットの物理環境（流速、河床材、水深）の変化による魚類相の変化も見られると考えられる。

Q2. 魚類相を効率的に網羅するために重要な環境条件はあるのか？

相補性解析の方法

雲出川のデータセットに出現する魚種を網羅的に検出するためには、どのような地点を選択すると効率的か？

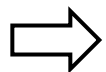
Marxan：保護地域の選定に使われるソフトウェア

- ・少コスト(保護区の箇所数、面積等)で保全目標を達成できるような保全候補地の選定に用いられる。
- ・保全候補地の選定を複数回を繰り返し、選択回数が多い地点が保全優先度が高いと考えられる。

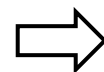
⇒本研究では小コスト(少ない採水地点)で生息種を網羅的に検出できるような環境DNA採水地点の選定にMarxanを応用

Marxanにより、雲出川に出現する全種※を1回以上検出できるように採水地点を選択し、優先度の高い地点の環境的な特徴について検討。

環境DNA採水による
地点ごとの検出種組成



採水地点の
重要度評価
(Marxan)



選択された採水地点の
傾向に対する環境要素
の影響を検討

※汽水魚は感潮域の0～3.2kが重要な区間と想定されたため、汽水魚を除いた淡水魚、回遊魚の全種について分析。

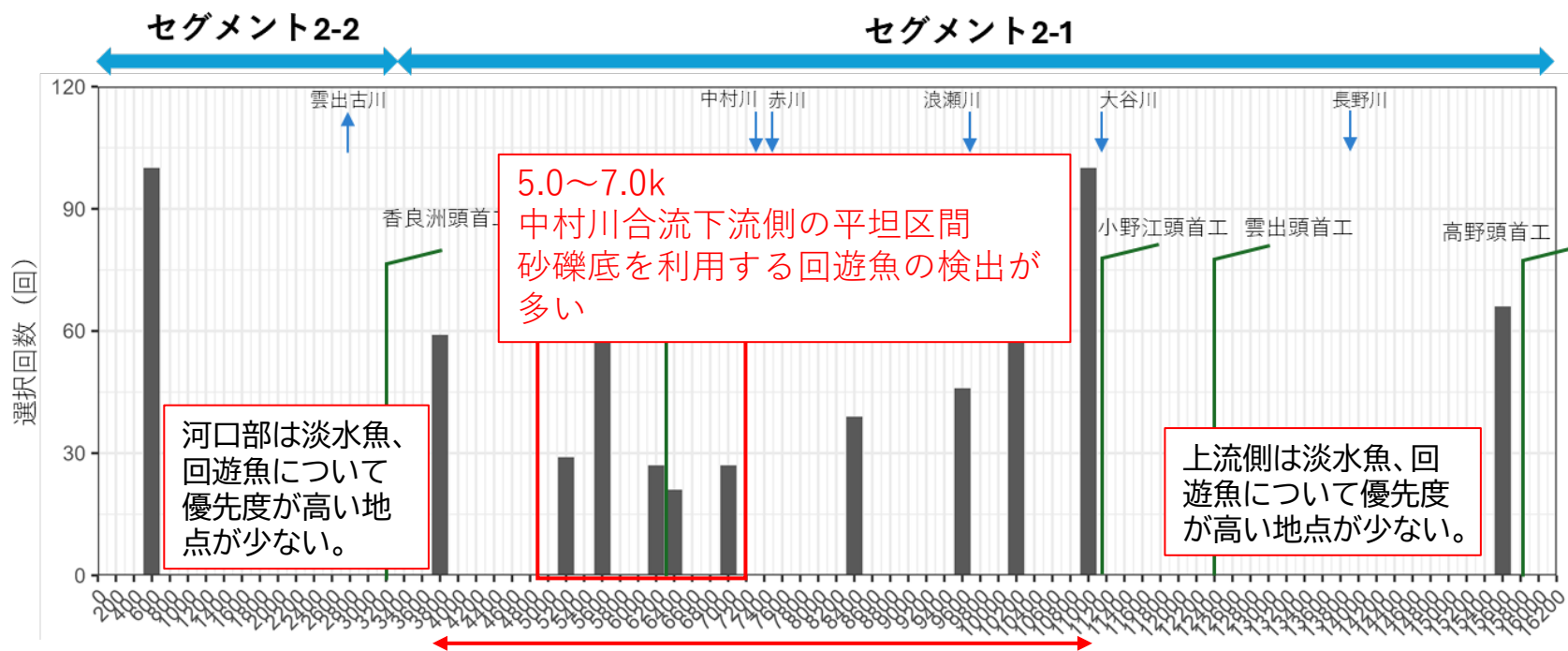
解析の結果



Q2. 魚類相を効率的に網羅するために重要な環境条件はあるのか？

相補性解析の結果

- ・4.0～11.0kには、出現種を網羅する上で優先度の高い地点が点在
⇒少ない地点数で河川全体の出現種を網羅できるような地点の選択回数が多い
- ・このうち5.0～7.0k区間では砂礫底を利用する回遊魚(ドンコ、カワアナゴ、スナヤツメ 北方種等、河川全体で検出箇所の少ない種)の検出が多い。
⇒河川下流で河床勾配が緩い区間が、これらの種の生息環境である砂礫環境となつてい
ると考えられる。

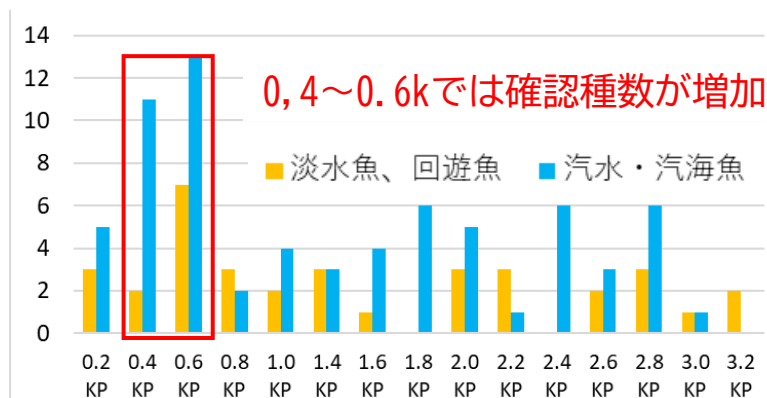


4.0～11.0k 優先度の高い地点が点在
相補性解析結果※ (採水地点の優先度)

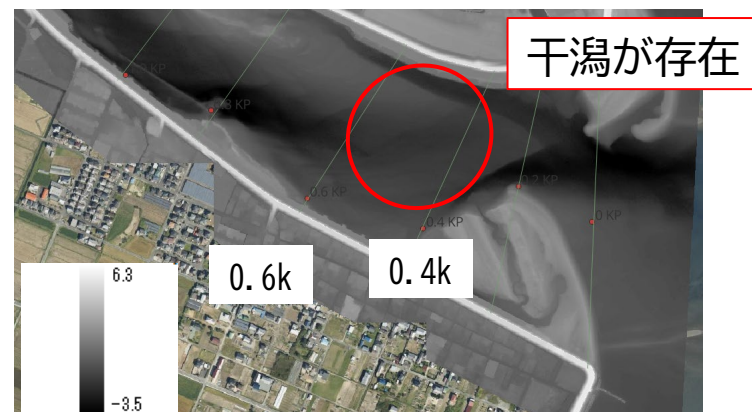
結果の解釈



- ・潮間帯では、0.6k付近に検出種数が多い箇所が存在。
⇒全川での検出が少ない淡水魚のアブラボテ、ソウギョ、フロリダバス等を検出。流下した環境DNAが溜まった可能性が高い。
- ・汽水魚・汽海魚についても0.6k付近で検出種数が増加
⇒当該区間には干潟が存在。干潟を利用するハゼ科魚類を検出。



※全川での検出箇所数が10%以下（8地点以下）の種のみを集計
河口部の局所的分布種※確認種数



国土地理院撮影の空中写真に加筆
河口部空中写真、地盤高

Q2. 魚類相を効率的に網羅するために重要な環境条件はあるか。

- ・河床勾配が緩くなる下流区間で砂礫底を利用する回遊魚を多く検出。
- ・河口部では干潟付近で多くの種を検出(潮汐を考慮)。

環境DNAの採水地点配置について

Q1: 流程の検出魚類相の変化を把握できる環境条件はあるか？

A1: 支川合流や構造物は、環境DNAにより検出される魚類相を変化させる可能性がある

- ・河床勾配の変化点
- ・横断工作物の上下流

Q2: 魚類相を効率的に網羅するために重要な環境条件はあるか？

A2: 下流の河床勾配が緩くなる区間

- ・河床勾配が緩くなる区間(砂礫底を利用する種を検出)
- ・河口部の干潟付近(潮汐に留意したうえで、環境にも留意)

本検討における課題

- ・採水地点周辺の実際の河床の状態は推定であり、検出魚類相の考察のためには河床材料のデータもあると望ましい。
- ・採水は概ね同時期に行われており、採水時の水温データはあったが、採水時間や天候による影響があるため、地点間の水温比較ができない。

⇒複数地点で水温の連続観測データがあると考察に活用できる。

1. 北川 哲郎, 村岡 敬子, 天羽 淳, 堀江 隆生, 岡本 祐司, 中村 圭吾:環境DNA 分析を用いた河川調査における地点間隔設定の最適化に向けた検討, 河川技術論文集 28 巻, 2022
2. 土居 秀幸, 岡村 寛:生物群集解析のための類似度とその応用:R を使った類似度の算出、グラフ化、検定, 日本生態学会誌61, 2011
3. 松葉 史紗子, 赤坂 宗光, 宮下 直:Marxanによる効率的な保全計画:その原理と適用事例, 保全生態学研究20巻1号, 2015
4. 北川哲郎, 村岡 敬子, 山田 拓也, 中村 圭吾:河川水辺の国勢調査(魚類)における環境DNAメタバーコーディング解析の試行事例分析, 河川技術論文集第26巻, 2020
5. 菅野 一輝, 篠原 隆佑, 中島 颯大, 村岡 敬子, 崎谷 和貴:汽水域の魚類群集把握に向けた環境 DNA の最適な採水手法の検討:河川技術論文集, 第 29 巻, 2023 年