

川の自然環境の解明に向けて

-河川生態学術研究会の概要-

河川生態学術研究会

1. 研究会設立の背景・目的

平成7年（1995年）、河川が本来持っている自然環境の役割を見直して、それまでの河川管理のあり方を再検討しようとする気運が高まる中、生態学と河川工学の研究者が共同して河川生態学術研究会を創設した。河川生態学術研究会では、河川の本質の理解を深めることが重要であるという共通認識のもと、新しい河川管理を検討するための総合的な研究を進めることになった。

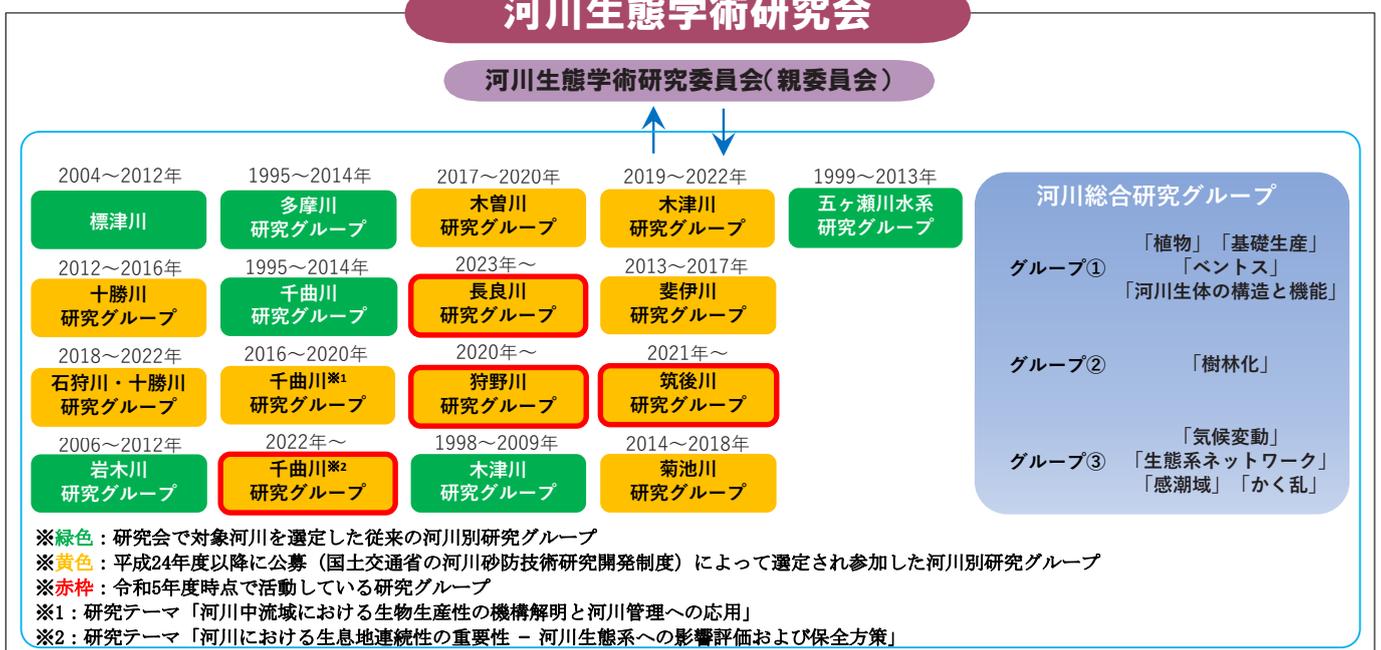
研究は、生態学的な観点より河川を理解し、川のあるべき姿を探ることを目的とし、その達成に向けて、以下のようなテーマを設定し研究を進めている。

- I. 河川流域・河川構造の歴史的な変化に対する河川の応答を理解する。
- II. ハビタットを類型化し、その形成・維持機構、生態的機能を明らかにする。
- III. 生物現存量、種構成、生物の多様性、物質循環、エネルギーの流れを明らかにすることにより、河川生態系の構造と機能を解明し、河川に対する生物の役割を明らかにする。これらを用いて河川的环境容量を推定する。
- IV. 洪水や渇水などの河川が本来持つ攪乱などの自然のインパクト及び河道や流量の管理、物質の流入など的人為的インパクトの影響を明らかにする。河川環境の保全・復元手法を導入し、その効果を把握・評価する。

2. 実施体制

研究は大学などの研究者と国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人土木研究所などとの共同研究として進めている。

【実施体制】



4. 研究の紹介

木曾三川流域における生物群集を対象とした河川生態系の管理手法に関する研究

木曾川（2017～2020年度） 代表：森 誠一（岐阜協立大学教授）

研究目的

- ①流域の地史的背景を踏まえ、河川物理環境への現生的な人為的改変に対する生物応答を進化史的な時間スケールから適応現象として検証する。主として土砂動態や湧水動態など河川環境の時間的・地理的変動が生物の繁殖成功に与える影響を、外来種動向を含めて固有淡水魚の生息に焦点を置いて解析する。
- ②本研究成果を根拠にした改善事業の効果評価をし、地域連携の視点をもって保全・再生事業の実施レベルまで発展させ、今後の事業管理における目指すべき河川環境目標を検討する。

●河川及び研究地区の概要

木曾三川は、濃尾平野周縁の山麓域に扇状地を発達させつつ、下流一帯に平野を形成させた主要因であり、本来的に広大なデルタ・氾濫原や潤沢な伏流水・湧水といった環境特性をもった日本最大級の河川水系である。当該流域は、淡水魚類をはじめ多くの固有種群が生息する生物地理学的に貴重な地域であり、保全上の価値も緊急性も高い。

●研究背景と概要

河川生態系の空間スケールごとの歴史的変遷と築堤を含めた人為的環境変動にตอบสนองする魚類の繁殖成功を解析し、その保全を検討する（図-1）。繁殖成功の実現において、イタセンパラは産卵する二枚貝の生息場、またハリヨは産卵のため雄が営巣する場の環境が最重要で、生息場の生態を研究する最適材料である。

生息場の保全に、今、何をすべきか？

扇状地・湧水

河道内氾濫原ワンド



図-1 保全（繁殖成功をもたらす営為）を目的とする研究アプローチの3つの空間スケール

●テーマⅠ 河道内氾濫原（攪乱更新の水域）の環境変遷における魚類の生息実態

- ①全ゲノム解析による歴史的人口動態解析によって、イタセンパラの集団サイズは縄文海進期以降の淡水域面積の変動との連動が示唆された。
- ②イタセンパラの実態は、本流に開口し接続水域数が多いなど冠水し易いワンド域に有意に生息し、さらに環境DNA分析等により、産卵初期の出水に乗じた移動分散が示された（図-2）。
- ③左右岸のワンド間のイタセンパラは遺伝的集団構造が異なり、低水路が両岸間の自由交流を阻害が示唆され、さらに近年形成された中洲のワンド集団は両岸の中間的な遺伝的組成を示し、岸間の交流寄与を示した。

- ④湧水位～平水位高で高水敷掘削された地区では、その後の微地形変化に伴い新しくワンドが形成され、二枚貝の定着が高い割合で確認された。ただし10年以上経過すると、ワンド面積も二枚貝量も減少傾向となり、環境の経年劣化が示された。

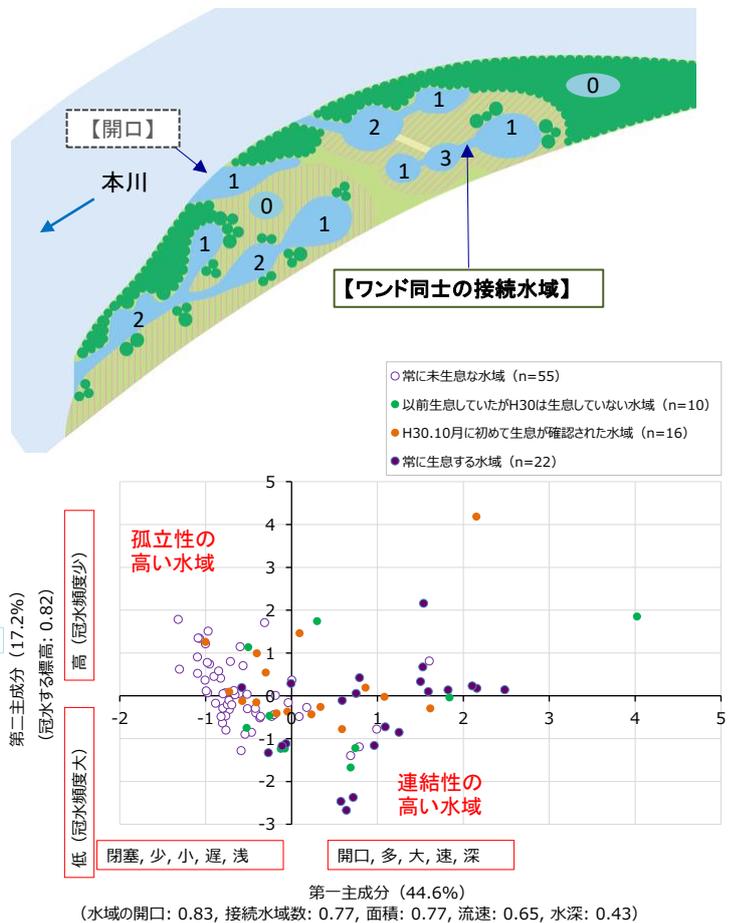


図-2 各ワンド等水域の物理環境とイタセンパラの生息有無との関係

- ⑤糞DNA分析から外来種ヌートリアによる二枚貝の被害が裏付けられ、二枚貝の再生産が悪化し、イタセンパラにも負の影響が懸念された。
- ⑥個別ワンドの環境改善策として、底泥の除去や樹木伐開等による一定の効果が示された。これらの改善策が行われたワンドでは、二枚貝が新たに定着し、イタセンパラの産卵、稚魚の浮出も確認された。

●テーマⅡ 湧水動態が魚類生態に及ぼす応答、復元および効果検証

- ①水位・水質・流量等の同時多点連続観測に基づい

て、巨視的に湧水の涵養域の同定や伏流水・湧水の河川流量への寄与度、および微視的に個々の湧水の湧出・浸透過程を検証した。

- ②河川史として、河道の変遷を歴史資料等や、水系に残る止水域の水底堆積物中の放射性同位体元素の分析に着手し、近代以降の堆積速度の経年変化の水底を通じて、本来の湧水環境の再現を検討した。

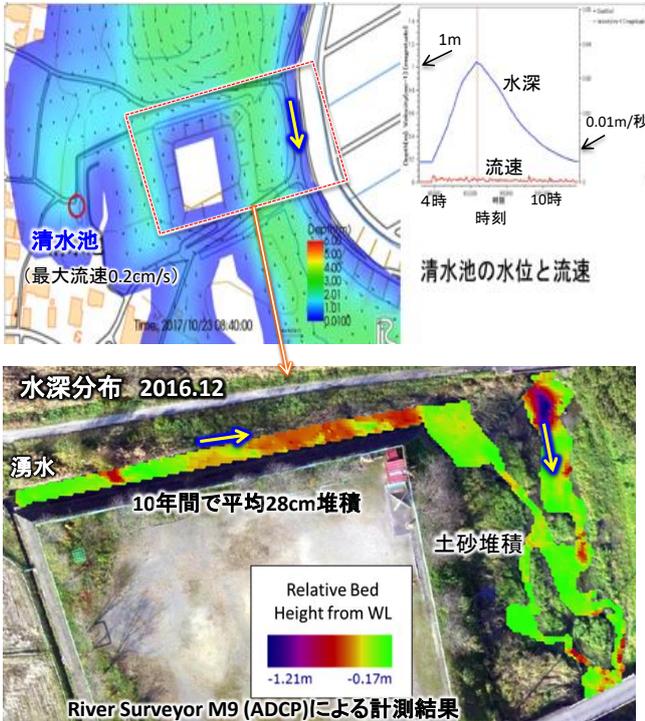


図-3 中流湧水域におけるハリヨの営巣微環境としての出水時の水深・流速分布 (iRIC 解析) と平時時の水深分布 (土砂堆積の動向)

- ③右岸の各湧水地の連続観測を行い、湧水地ごとの冠水頻度と水位の特徴を把握した。また、中下流部の水位上昇は本川上流からの降雨による流量増加ではなく、合流する揖斐川の出水状況に大き

く依存する特徴が明らかになった (図-3)。

- ④河川水および湧水の溶存ストロロンチウム同位体比は、河川流程に沿った生息場所の指標として有効であり、魚類の移動履歴に適用すべく検討をした。
- ⑤津屋川の湧水が潤沢な中流域において、本流域と湧水域の湧水影響範囲の季節変動を比較して、ハリヨなど淡水魚の生活史とベントス群集を調査した。
- ⑥ハリヨの集団遺伝構造や繁殖生態の把握によって、生息状況が 30 年前のデータと比較して明らかに悪化しており、現況環境を参照するだけでなく、過去の生息環境を再現する必要性を明示した。

●まとめ

土砂や伏流水等の動態にそれぞれ依拠するワンドや湧水域の環境特性の成因や変動 (図-4) を、水文・水理学的把握に加え環境 DNA や同位体等から解析し、その応答としての生物挙動を群集生態や集団遺伝学的なアプローチ等から検証した。木曾川では区間スケールとして、イタセンパラの産卵母貝の生息を維持する氾濫原環境ワンド群の維持を目的とし、循環的な再生モデルを提示した。また、津屋川は湧水の潤沢な中流域を区間スケール視点とし、ハリヨの“営巣可能面積”に影響を与える物理環境要件を明示し、さらに局所個体スケールとして個体の繁殖成功を加味した環境改善を検討した。

●河川管理への応用

本研究から、低水路・高水敷の二極化や樹林化が進行する木曾川中流域では、高水敷掘削を一定期間ごとに繰り返し、新たな生息環境を一定量確保する「循環的氾濫原再生」を起こす「川普請」を提示した。また、津屋川においては、湧水の堤内地への漏水や土砂堆積が湧水を抑止する箇所や掘削深を検討し、湧水生態系を修復する精度を向上した。生息環境の最適状況を繁殖成功率等の計測から判定し、土木的な環境改善の根拠とした。実際に、その根拠をもとに事業実施し、検証を含め効果を得ている。

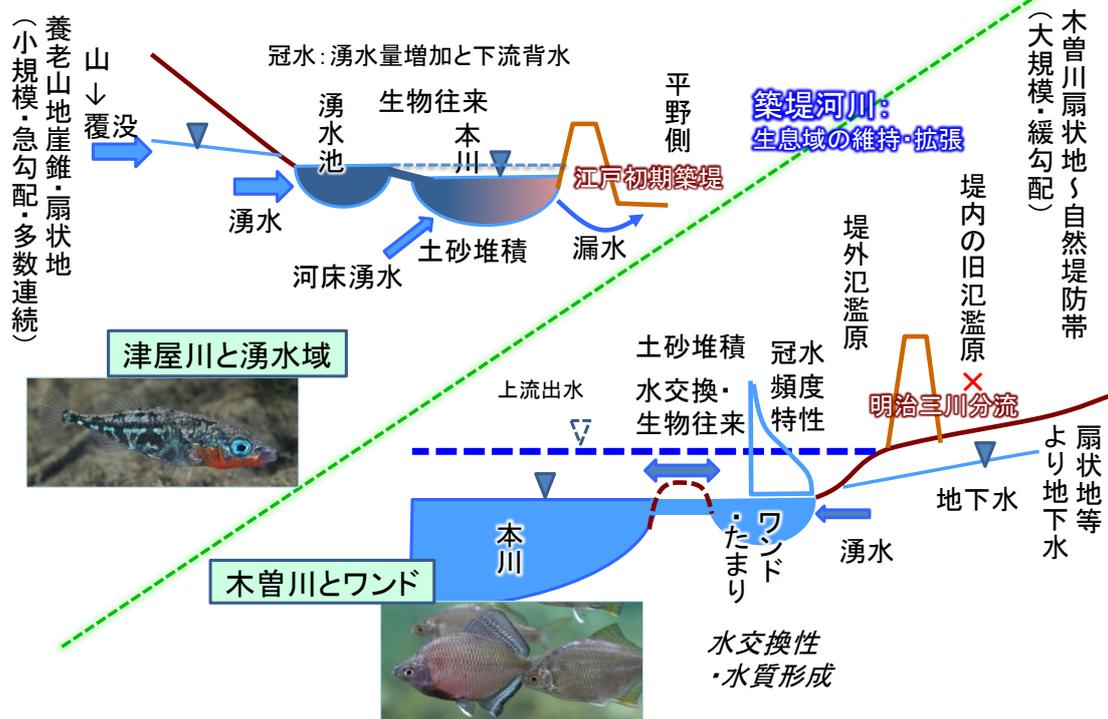


図-4 河川形成に築堤の歴史をもつ木曾川と津屋川における河川環境の特徴と共通項

気候変動下における河川生態系のレジリエンス

－ 河川構造、生物多様性、生態系機能に着目して －

石狩川・十勝川（2018～2022 年度予定） 代表：中村太士（北海道大学大学院教授）

研究目的

- ①大規模洪水攪乱後の回復過程（5～10 年の短期変化）を明らかにする。
- ②長期モニタリングデータを使って、物理環境と個体群の安定性（15 年以上の長期変化）を明らかにする。
- ③流域水循環モデル（流量・水温）を構築する。
- ④モデル統合と複数の気候変動シナリオによる予測を行い、河川管理のあり方を提案する。

●背景と目的

気候変動による流況、流砂、河畔植生の変化はすでに発生している。本プロジェクトの目的は、1) 攪乱前後（5～10 年の短期変化）の河川構造、生物多様性、生態系機能について比較検討することにより、気候変動下における河川生態系のレジリエンスを評価する、2) 15 年以上の長期モニタリングデータを使った時系列解析を行い、異なる地質や湧水・非湧水河川が流域に存在することが、年変動や攪乱に対する地域個体群の安定性に及ぼす影響を評価する、3) 流域水循環および統計モデルによる水温予測モデルを構築し、気候変動下における種間競争を踏まえた種分布予測を実施する、4) 上記調査結果およびモデルを統合し、複数の気候変動シナリオ（CO₂ 増加、現状維持、抑制など）に対する河川生態系の応答と、それに基づく防災、生物多様性、生態系機能の保全戦略、河川管理の在り方を提案することにある。

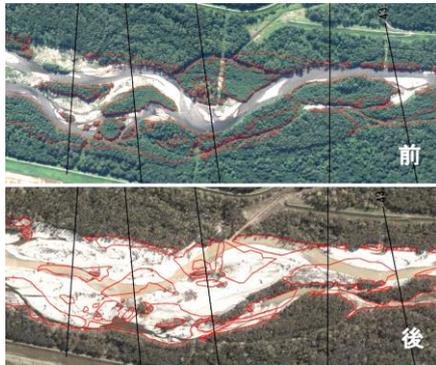


図-1 2016 年洪水前後の札内川

●2016 年大規模洪水攪乱（図-1）からの生物相の回復

2017 年秋、2018 年初夏、2018 年秋および 2019 年夏の全調査回において、植物種数（プロットごとの平均）が攪乱レガシー（流木）のあるプロットでは、レガシー無しのプロットに比べて有意に高い傾向が明らかとなった（図-2）。

4 年間にわたる回復過程を羽化水生昆虫の群集構造および砂礫堆における有機物分解に焦点を当てて調べた。砂礫性の陸域昆虫類は攪乱後減少したが、1 年後にはすでに回復しつつあった。また、水生昆虫や魚類は、洪水直後にも大きく個体数を下げておらず、洪水攪乱への頑強性が高いことが示唆された（図-3）。

河床面由来の分類群は洪水以前の群集構造にほぼ回復した一方で、河床間隙水域に生息し 3 年の生活史を有するカワゲラ目的一种についてはまだ個体数が回復しておらず、このことが群集構造全体の回復におけるボトルネックとして示された。有機物分解速度は洪水 2 年後には事前のレベルに回復

し以降継続して安定的であった。稀有な大規模洪水攪乱に対しては、河床間隙に生息する昆虫相が特に脆弱である可能性が示唆された。

また、「湧水河川は攪乱に対しても頑強である」という仮説は、ある程度支持され、攪乱後の飛翔昆虫量やコウモリの活動量は湧水河川の方が高かった。湧水や非湧水河川が支流レベルで存在することが、流域全体を利用する上位捕食者への安定した餌供給につながっていると考えられる。

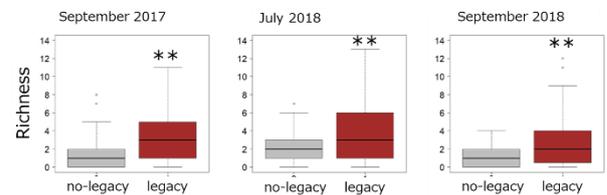


図-2 十勝川・札内川における大規模出水後に残された攪乱レガシーと植物種数の比較

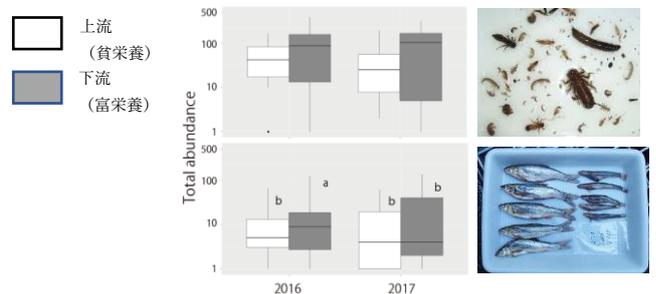


図-3 2016 年洪水前後の水生昆虫（上）と魚類（下）の個体数変化 Negishi et al. (2019) Landsc. Ecol. Eng.

●長期モニタリングデータによる解析

1990 年から実施されてきたサケ産卵床の分布と河川地形との長期モニタリングデータ（図-4）を解析した結果、サケ産卵床の分布は、河床高の変化量、低水路の比高差、サケ産卵期の水面幅などと、地下水位差で説明された。各地形要因は、年々産卵床が減る方向に変化しており、サケの産卵環境が悪化していることが明らかとなった。

空知川の非湧水支流におけるオシヨロコマの個体群長期データを解析し、温暖化と競争種であるアメマスとの関係性を検討した。1998 年から 2019 年にかけて空知川流域は明瞭な温暖化傾向にあった。解析の結果、オシヨロコマ、アメマス共に温度が高い年には個体数が多く、降水量が多い年には個体数が少ない傾向があった。また、オシヨロコマ 0 歳魚の個体数とアメマス個体数との間には負の相関があった。

近縁のサケ科魚類であるオシヨロコマおよびアメマスを用いて、種内・種間競争に水温環境が与える影響を野外操作実験により明らかにした（図-5）。

その結果、非湧水河川において、オシヨロコマは単独区よりも混生区で負の成長を示したのに対し、湧水河川においては単独区および混生区で同様であった。アメマスは両方の水温環境において単独区よりも混生区でより高い成長を示した。以上の結果から、アメマスからオシヨロコマへの負の影響は水温環境に依存していると考えられる。

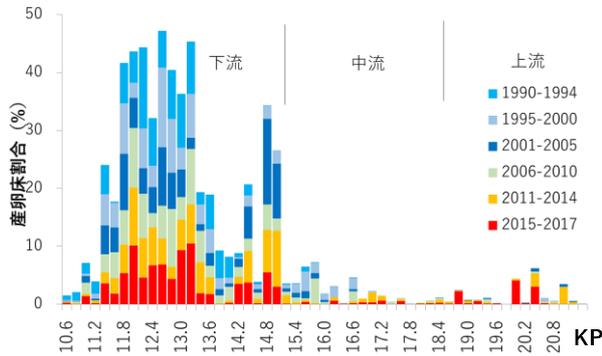


図-4 豊平川におけるサケ産卵床の分布割合の変化
有賀ほか (2021) 応用生態工学参照

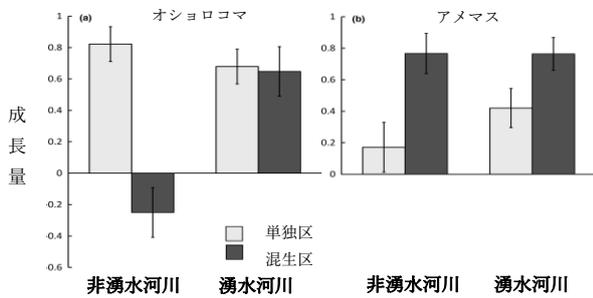


図-5 温度依存競争 Watz et al. (2019) Freshw. Biol.

●水温推定モデルの構築

解像度 20km の気候変動予測データ (MRI-NHRM20) を解像度 1km へ細分化する統計的ダウンスケーリング (SDS) 手法によって、北海道全域を対象として、高解像度の将来水文諸量を作成した。次に、石狩川水系空知川を対象として複数の小流域での現地観測を実施し、降雪・融雪プロセスも含めた降水に対する流出応答や流出成分ごとの水温が適切に推定できるモデルを構築した (図-6)。この際、火山性、非火山性といった地質条件を加味し、水循環や水温の推定を行った。

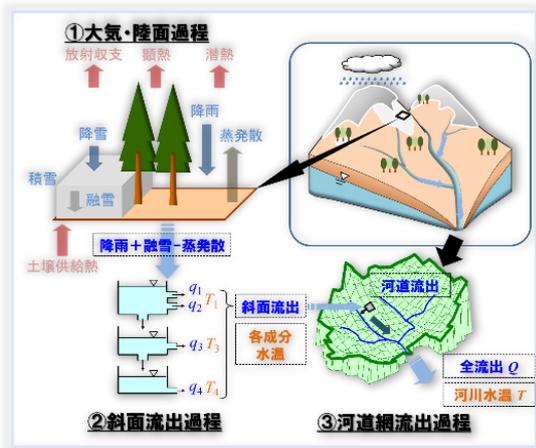


図-6 流域水循環モデルのイメージ

その結果、小流域でもある程度の精度で水温を再現できるモデルが構築でき、さらに RCP8.5 のシナリオで気候変動による水温変化を推定したところ、火山性地質の水温は安定しており、非火山性地質は

ど大きな水温変動が起きないことが明らかになった (図-7)。また、初夏には流量が減少し、地下水流成分の寄与が大きくなることで火山性地質、非火山性地質ともに 7 月に水温が落ち込む様子が確認された。

さらに、GLM による統計モデルを構築した結果、流域地質は気温に次いで水温変動に大きな影響を与えていることが明らかになった。

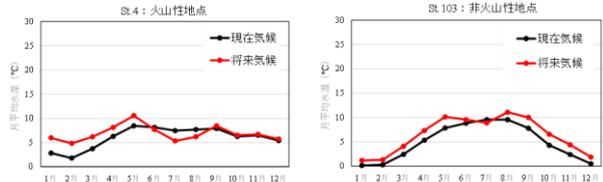


図-7 気候変動による小流域の河川水温変化についての推定結果

●気候変動と生物の応答

気象変動下では、河床変動、流木の生産・流出・堆積機構も変化すると考えられ、水理実験を実施し、水理モデルを構築した。

夏季平均水温は気温だけでなく流域地質に影響を受けており、火山岩が優占する流域はその他の流域に比べ、気温に関わらず夏季平均水温が約 3.6°C 低かった。また、火山岩類が優占する流域ほど水温や流況が安定した湧水的環境であった。

異なる流域地質間では湧水寄与度が異なり、結果として水温レジームの変化を介してハナカジカなどの冷水性魚類の分布に影響を与えていた。また、温暖化シナリオの解析の結果、湧水の卓越する火山岩流域は他の流域に比べ、本種の生息適地がより多く残存することが推定された。つまり、冷水性魚類にとって特定の地質流域が climate-change refugia として機能する可能性が示唆された。

こうした影響は、魚類の分布のみならず、水生昆虫の羽化量・羽化タイミング、落葉の分解機能、陸上捕食者であるクモ類、鳥類、コウモリ類の分布に影響を与えていることが、明らかになった (図-8)。

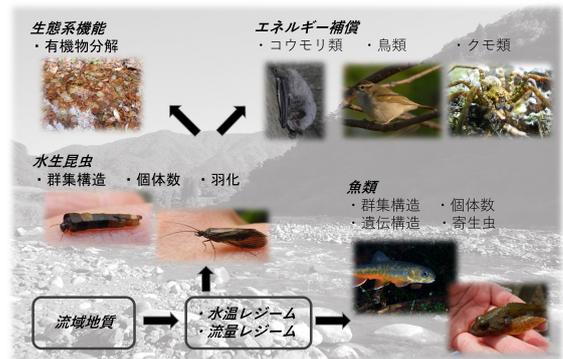


図-8 地質の違いを介した水温と流況の変化と生態系の構造・機能への影響

●河川管理への活用

防災面では水理モデルによって流木生産、流出、堆積過程を予測することが可能になり、流木残置も含めて適切な管理を提言することが可能になった。環境面では流域レベルの環境の異質性と様々な分類群の回復過程、魚類個体群、産卵環境の安定性、温暖化に伴う水温予測と保護区間を特定することができ、気候変動を考慮した空間明示的な保全戦略を示すことが可能になった。特に流域地質に応じて形成される Climate-change refugia の存在は重要で、それらと他の生息地間の孤立化を防止・解消することが重要であると考えられる。

伝統的河川工法を用いた木津川の河床地形管理手法に関する研究

木津川（2019～2023 予定） 代表：竹門 康弘（大阪公立大学客員研究員）

研究目的

- ①中聖牛などの伝統的河川工法が河床地形や滯筋を改変する効果を明らかにする
- ②砂州上の位置と聖牛によるたまり等の生息場形成効果との関係を明らかにする
- ③数値計算やモデル実験により、目的に応じた聖牛の設置法を検討する
- ④中聖牛を活用した河床地形管理手法を提案し伝統的河川工法の地域継承の事例を示す

対象河川の概要と研究の背景

淀川水系の木津川は、風化花崗岩からマサ土が流出する流路延長 99km の「砂河川」であり砂州の発達した河川景観を特徴としている（図-1 左）。古名の「泉川」は、かつて湧水が豊富にあったことを示している。しかし、近年は土砂動態の低減にともない、河床低下・河道の二極化・植生化が進行しており、砂州の生態機能の保全と再生が課題となっている。一方、木津川上流域の6つのダム群では、治水運用と堆砂対策を併せた、置き土等の土砂還元事業が計画されており、下流河道においては治水・利水・環境の要請に応じた河床地形管理の必要性が高まっている。

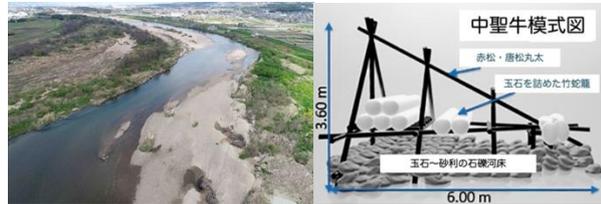


図-1 木津川玉水橋下流砂州（左）と中聖牛模式図（右）

伝統的河川工法の活用と効果検証

本研究は、土砂動態を活性化する河床地形管理手法として伝統的河川工法である聖牛（せいぎゅう、ひじりうし）（図-1 右）の活用を検討するものである。聖牛は、設置した河岸の上下流で河床への土砂堆積を促進し河岸侵食を防止する働きが知られている。本研究では、中聖牛を侵食堆積傾向の異なる砂州頭、砂州中、砂州尻に設置し（図-2）、地形改変効果や聖牛によって形成される生息場の生態機能を比較検証することを目的とした。ただし、聖牛等の伝統的河川工法は、多くの地域で制作技術や設置手法などが失われている。本研究では、地元のNPO 法人やましる里山の会が静岡県原小組から同技術の指導を受け、伝統的河川工法の復活を試みた（図-3 右）。その上で、野外のモニタリング調査、模型を用いた水路実験、ならびに平面二次元河床変動計算によるこれらの成果に基づいて、伝統的河川工法を活用した河床地形管理手法の確立を目指した（図-3 左）。

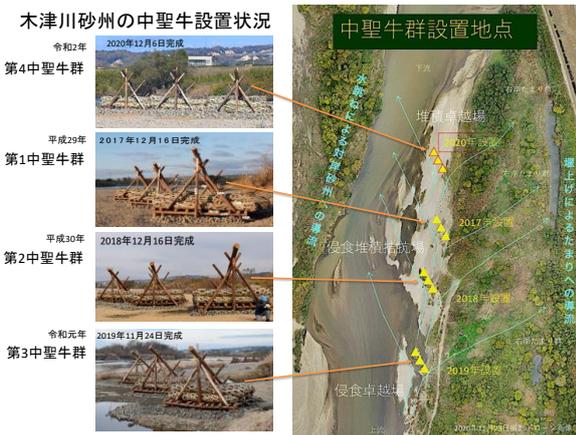


図-2 中聖牛 12 基が設置された木津川玉水橋下流砂州

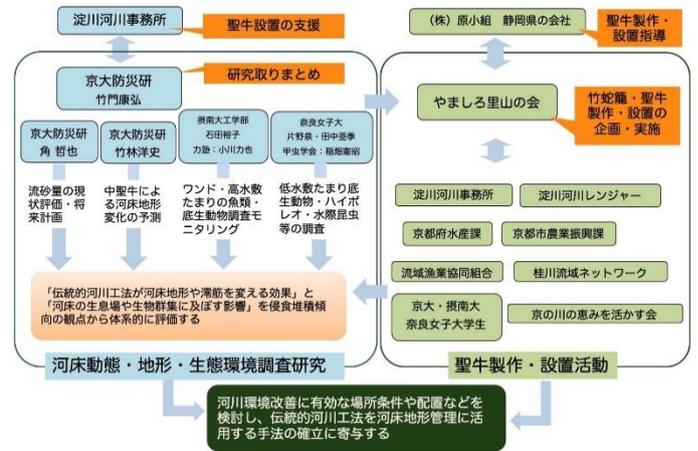


図-3 研究実施体制図

伝統的河川工法の現役復活

本研究では、竹木の加工から竹蛇籠・聖牛の制作設置技術をやましる里山の会が習得した。竹蛇籠の制作方法 (<https://www.youtube.com/watch?v=jJ58FYIAfd8>) と中聖牛の製作設置方法が YouTube に纏められている (<https://www.youtube.com/watch?v=2iEnreHyUag>)。本研究では、河川利用や河川管理への市民参加として、「川普請に相当する参加型河川管理」が実現された（図-4）。今後、各地へ伝統河川工法と市民参加型河川管理が普及することが期待される。



図-4 市民参加による竹蛇籠や中聖牛の製作設置

中聖牛群の地形改変と生息場形成効果

中聖牛群の河床地形改変効果として、1) 水刃ねによる対岸侵食促進、2) 堰上げによる高水敷たまりの冠水頻度促進、3) 流速低減による堤防侵食抑制、4) 局所洗掘によるたまり・わんど形成等の効果を検証してきた。1)については、中聖牛群自体の水刃ね効果は限定的であるものの、中聖牛群の上下流への土砂堆積によって設置した砂州が上下流方向に発達し、経年的に滯筋が対岸側へシフトすると予測された（図-5）。一方、2) と 3) については数値計算では流速の増加や低減の効果が認められたが現場の変化は限定的であった。これは、調査地砂州自体の河床低下傾向が中聖牛群の堰上げ効果や土砂堆積効果を上回ったためと考えられた。これらに比べて、4) の中聖牛近傍の局所的な地形改変効果は極めて顕著であり、砂州頭では大きく深いたまりやワンドが、砂州中では中規

模のワンドやたまりが、砂州尻では小規模のワンドやたまりが形成され(図-5)、砂州頭~砂州尻の間には湿地を含めて様々な存続時間の一時的生息場が形成された。



図-5 中聖牛群(全12基)設置後の滞筋の変化

中聖牛群の設置により形成されたたまり群は局所洗掘の結果、天然たまりに比べて水深/面積比が大きく、長寿であり、底生動物群集の組成にはゲンゴロウ類、ガムシ類、マツモムシ類などの鞘翅目や半翅目の種数が多い傾向や、ミナミメダカ、キマダラカゲロウ、キイロヤマトンボ、コオナガミズスマシなどの希少種が記録された。これらの水域生息場は砂州内の伏流水の影響下にあるため、水温や水質が砂州頭から砂州尻への明瞭な環境勾配を示すことから、中聖牛の設置位置の違いが生息場や生息種の多様性促進に働くことが示唆された(図-6)。

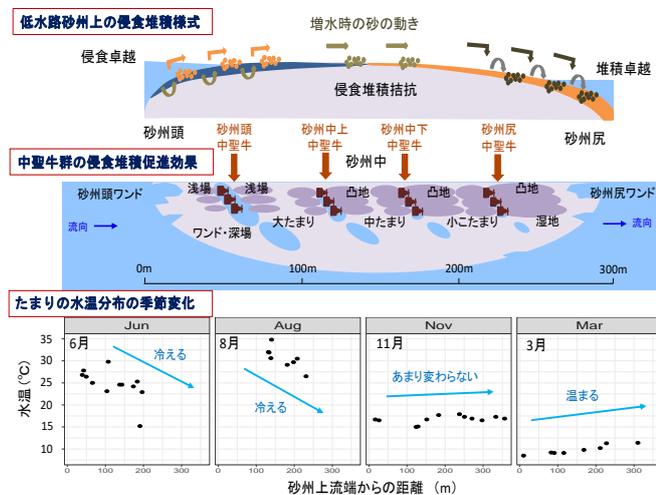


図-6 中聖牛の砂州地形改変と生息場形成機能まとめ

●短時間で変動する生息場の生態機能

たまりやワンドの形状は、砂州上の空間的な異質性のみならず、出水時に大きく変化するため、生物群集の組成は出水規模や出水からの時間の関数として捉えることができる。現在、2020年度と2021年度に調査した木津川のたまり動物群集や間隙生物群集について、出水からの日齢に対する群集応答仮説(図-7)の基づいた分析を進めている。これにより、砂州上に形成される「水域生息場の時間変動に対する水生動物種の適応戦略」の考察を目指している。これらの知見は、河川管理における**生息場の変動様式**に応じた出水規模・頻度と河床を構成する土砂の粒径などの目標設定に役立つと期待される。

●出水規模と聖牛の地形改変効果の関係

たまりやワンドの形成や存続時間は、図-6に示した増水時の砂の動きに依存している。本研究期間中には図-8に示したように、水位上昇規模で4m超えが1回、3m超えが1回、2m超えが8回生じた(図-8)。これらの出水時の地形変化を低水路砂州上の土砂の侵食・堆積量と対

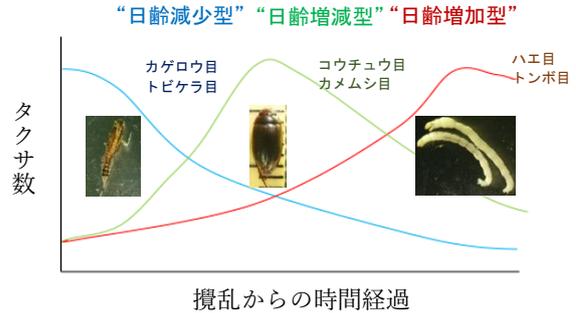


図-7 たまりの日齢と底生動物群集の応答仮説

応させて分析した結果、中聖牛の設置に起因する地形変化量は中規模の出水時に顕著になる現象が観察された。そこで中聖牛の高さ(3.6m)に対する中聖牛の水没深の割合を水没水深比と定義して、2次元河床変動計算によって低水路砂州全体の河床変動量に対する聖牛の寄与率を分析した結果、侵食量は水没水深比0.5で、堆積量は水没水深比0.8で最大化することがわかった(図-8)。木津川では水没水深比1が年平均最大洪水流量時の水深なので、砂州の土砂動態を活性化するためには中聖牛のサイズが妥当であることが裏付けられたことになる。

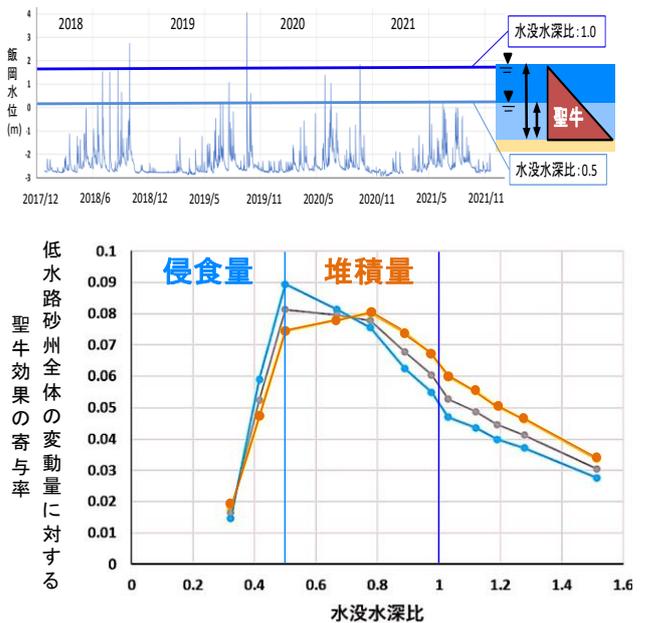


図-8 出水規模に応じた中聖牛の地形改変効果。聖牛の水没水深比は聖牛の高さに対する水深の割合を示す

●待受工法としての伝統的河川工法の活用

木津川では、川上ダム完成後(2022年以降)に、高山ダムなど上流ダム群からの本格的な排砂(置き土)が予定されている。そこで、ダム管理者と河川管理者が連携して、この土砂を下流河道で適正に受け止めて河川環境改善に活かす管理手法の確立が急務である。中聖牛群が発揮する土砂の捕捉堆積と侵食供給の双方の機能は、状況に応じて土砂の捕捉と供給を繰り返す「**土砂の息継ぎ場**」を提供する「**待受工法**」として活用できる可能性を示している。

研究目的

- ① 豪雨イベントと放水路による水量調節が下流域や沿岸の構造や生態系に及ぼす影響を明らかにする。
- ② 豪雨イベントの前後、放水路分岐点の上流と下流などを対称的にとらえ、底質、フロラ、ベントス、微生物、非生物要素の挙動を明らかにし、豪雨イベントと流量調節に対する環境応答を総合的にとらえる。
- ③ 研究成果を統合し、放水路という特色をもつ河川における生態系の保全や生物多様性の保護に生かす管理手法を提案する。

●背景と研究の概要

狩野川は、豪雨時における下流の氾濫を放水路の建設によって克服した河川であり、このような河川において流況変化が河川や沿岸域（海洋）の生態系に与える影響を観測している。また建設後 50 余年が経過した放水路への分派点上流と下流において、植生から微生物に至るまでの多様な生物、有機および無機物質の挙動をとらえて、放水路の生態学的影響を明らかにしている。さらに分派点付近の豪雨時の水の挙動と河床構造の変化を水理模型、表流水と地下水を考慮した数理モデルによってシミュレートし、豪雨時の流量予測体制を支援できるようにする。一方放水路の開放が沿岸（江浦湾）に及ぼす影響も注視しており、これらを総合的に扱って放水路の当該河川におけるより適切な運用方法を提案してゆく。

●2022 年度（令和 4 年度）の主な成果

一般研究移行後 3 年目の今年度は、放水路分岐点付近の水の流れについて、水理模型と数理シミュレーションの 2 つの手法を用いて、放水路の開放がどのような水の動きを生み、河床構造にどのような変化をもたらすかについて、実地調査を含めて考察を進めた。その結果、放水路の開放は明らかに分派点付近の河床構造に大きな影響を与えており、それが狭窄部（17km 付近）前後とそれ以降の河川形態に影響を及ぼしていることが示唆された。

一方、狩野川の水が駿河湾に与える影響も明らかになり、駿河湾にそそぐ大井川など他の一級河川と比較して流量は少ないが、栄養塩の供給によって沿岸生態系の生物生産に大きく寄与していることが明らかになった。また放水路出口から沿岸生態系に関しても調査が進み、放水路が江浦湾にもたらした陸生植物片の堆積物の広がりも具体的に確かめられ、ここに形成された特殊な還元環境下で生きる貝類の生態に新たな知見が加わった。

●分派点付近の河床地形と水流の理解

図 1 は 1/1000 スケールで作成された分派点付近を再現した水理模型である。実験室では垂直と水平の両アングルから同時に動画を撮り、放水路開放に伴う河床地形の変化を観察した。垂直方向からの動画では、放水路開放と共に水面勾配ができ、河床波が上流から下流へと連続的に形成され、分派点直上の左岸の一部が水面から出る様子や分派点上流左岸からの流れが分派点直下の左岸（出張所前）にぶつかって淵が形成される様子が再現された。また水平方向から、放水路開放前は狭窄部下流で河床低下が起き、開放後は河床波の流下と共に狭窄部上流で



図-1 放水路分派点を再現した 1/1000 の水理模型。画面下への分岐が放水路、左端が狭窄部に当たる。

洗堀が始まり、分派点直下から河床上昇が進行する様子などが再現された。

一方、HydroGeoSphere によるコンピューターシミュレーションでも出水時に放水路が開放された際の分派点付近の水深や水の流れが再現された。ここでも分派点付近の左岸に沿って河床に顕著な浸食が起こることや、出水時に左岸に沿って流れる早い水流がほぼダイレクトに放水路に流れ込む様子が再現された（図 2）。さらに豪雨時（2019 年の台風 19 号）の放水路開放後の分派点付近における地表水位と地下水フラックスの変動の予測も行い、開放 3 時間後ごろから水位の上昇が始まり、5 時間後頃に水位がピークに達する一方、地下水フラックスは水位上昇に先んじて減少する様子などが見出され（図 3）、実際のデータとの比較を進めている。

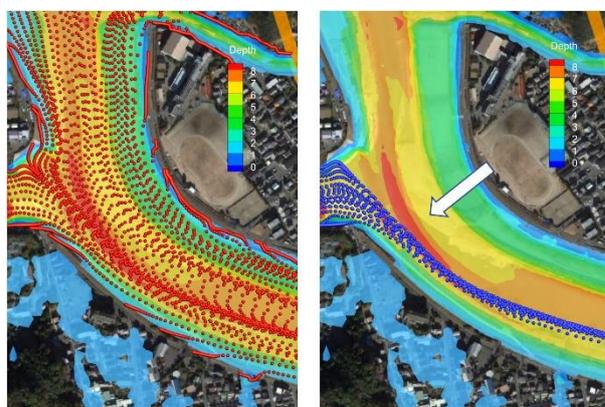


図-2 HydroGeoSphere による豪雨時（2019.10.12, 台風 19 号）に放水路を開放した時の水の流れと水深のシミュレーションモデル（左）。右は左岸沿いに流れる流速の速い流れ（青色）の大部分が、放水路に直接流れ込む様子を示している。白矢印は特に水深が深くなる箇所を示す。

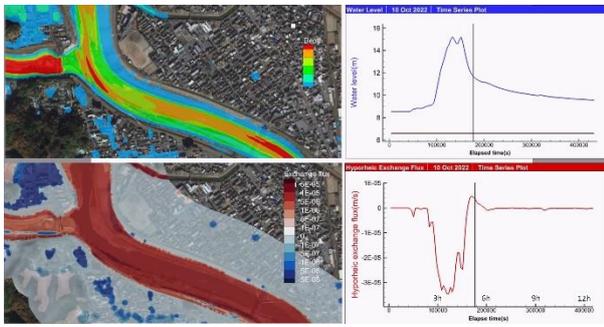


図-3 HydroGeoSphere による豪雨時 (2019.10.12, 台風 19 号) の地表水位 (上) と地下水フラックス (下) の変動。

●分派点付近に生息する微生物フロラの特徴

分派点付近では堆積物中の微生物フロラが調べられた。観測点は放水路直上と直下のそれぞれ流心と右岸で、計 4 地点が比較された (図 4)。その結果流心が否かよりも堆積物の粒度組成が近似する場では近似したフロラが形成されることが示され、特に砂状粒子 (0.5-3 mm) の堆積が認められる地点 (直上流心と直下右岸) では微生物フロラの構成がよく類似した。これは水流と河床構造が堆積物粒子の構成を決めると、それに微生物がいち早く応答してフロラが決定されることを示唆する。

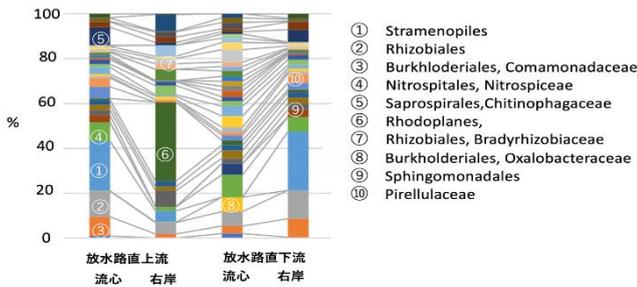


図-4 放水路分派点付近 4 地点の微生物フロラの比較。堆積物の粒径が近似した放水路直上流の流心 (左端) と同じく直下の右岸 (右端) がフロラも近似する。

●狩野川が駿河湾の生態系に及ぼす影響

駿河湾には狩野川その他 3 本の一級河川が注ぐが、流量では狩野川が最も小さい。しかし供給する栄養塩の濃度では、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 $\text{Si}(\text{OH})_4$ や特に PO_4^{3-} で狩野川が他の河川に比較して顕著であることが分かった (図 5)。このことは、狩野川のもたらす河川水が駿河湾の生態系の涵養に大きく寄与していることを示唆している。

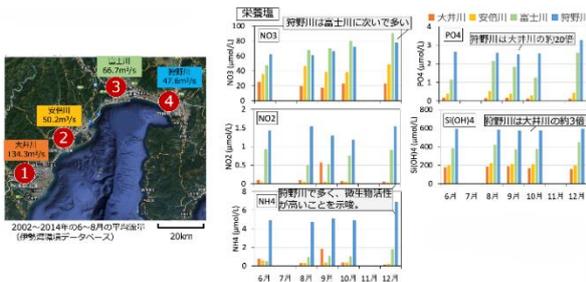


図-5 駿河湾にそそぐ一級河川①大井川 (橙色)、②安部川 (黄色)、③富士川 (緑色)、④狩野川 (青) の流量 (右) と栄養塩の量 (左)。左図では各月の栄養塩の量が棒グラフで色分けされている。

また、出水時の江浦湾 (駿河湾奥部) における植物プランクトンの増殖速度が、放水路出口と本川河口部から 6 Km 沖付近までの計 6 点観測された。いずれの地点においても、流量が $1000\text{m}^3/\text{s}$ まで増加し続ける傾向がみられ、大規模出水は植物プランクトンの増殖に有意に影響することが示された (図 6)。

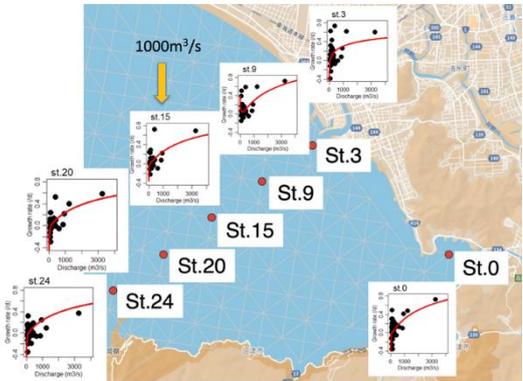


図-6 江之浦湾における植物プランクトンの増殖速度観測点と河川水供給量に対する増殖速度。 $1000\text{m}^3/\text{s}$ まで急激に増加してそれ以上は頭打ちになる。

●放水路出口の海底堆積物の分布とその生態系

放水路出口から約 400m 沖付近から水深が急激に深まり、そこには未分解の陸生植物の葉などが大量に堆積していることは既に報告してきたが、その広がりについて新たな知見が得られた。この堆積物は、少なくともヤマハマリーナ沼津の東側の防波堤付近まで広がり、西端は出口から約 1000m 付近まで到達していることが確かめられた (図 7)。

また、還元的堆積物には硫酸還元菌を共生させることで知られる二枚貝類が生息しているだけでなく、まだ共生細菌が報告されていない二枚貝の生息も確認された。

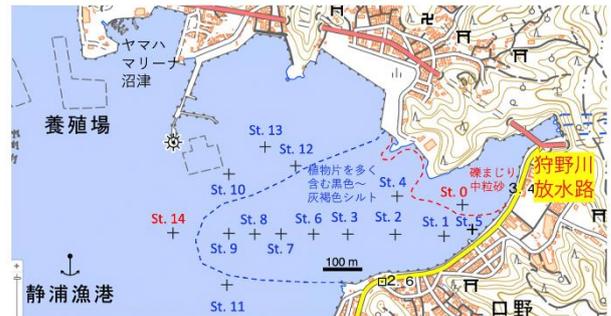


図-7 放水路出口 (江ノ浦湾奥部) における海底堆積物の分布。青文字の地点が陸生植物片を含む還元的堆積物、赤文字の地点が酸化的堆積物を示す。

●今後の展望

一般研究に移行から 3 年が経過し、令和 5 年度は 4 年目を迎える。個々の研究成果の中で、重点的に取り組む部分を精査して、無駄のない研究計画をたてて遂行してゆく。また本研究の目的である放水路の開放が河川及び沿岸影響も観測しつつ、これらを総合的にとらえて放水路の当該河川におけるより適切な運用方法を河川管理者と密に連携をとって提案してゆく。

大規模攪乱後の生態系回復プロセスとそれを担保する河川構造

: 2つの時間軸(平成29年7月九州北部豪雨と1720年6月享保水害)に着目したアプローチ

筑後川 (2021~2025年度予定) 代表: 鬼倉徳雄 (九州大学教授)

研究目的

- ①短期~長期的な生態系回復プロセスを、各種の生態的特性を加味しながら解明する。
- ②激甚化した災害レベルでも生態系回復ソースとなりうる空間構造とその複雑性を特定する。
- ③想定外の災害時にも回復ソースとして寄与できる重要河川を選定する。
- ④災害後の河川の復旧工事と回復プロセスとの関係性を明らかにする。
- ⑤災害復旧工事の影響を評価し、課題を抽出、その解決策を提言する。

研究概要

本研究は、平成29年7月九州北部豪雨で被害を受けた筑後川水系の中流域の北側を中心に、生態系の回復プロセスを追跡するとともに、生態系の回復ソースとなりうる河川構造、複雑性、河川を特定する。斜面崩壊の影響を大きく受けた上流域では、生態系がリセットされ、また広域の環境DNA調査から流域全体での影響等が把握できた。特に、被害を受けなかった中流域左岸側の支流において、災害直後のDNA量が大きく、その後、DNA量が低下している点は大変興味深い結果であり、災害時、流域全体での生物の移動等の可能性を示唆させ、また支流を含めた流域内の複雑性が果たす重要な役割を推察させる。

災害直後にはダム湖やため池で魚類の生息が確認でき、回復の起点となりうること、被害を受けなかった支流と本流が回復ソースとして機能したこと、表層地質の相違が影響の大きさ、回復の早さに影響すること、伝統工法が影響低減に寄与したことなども明らかとなった。河道地形については現在も回復途中であり、災害から数年たった今、河道で水枯れが起り、水生昆虫が減る現象が確認されている。災害前後での流域内の保水力や流出パターンの変化が想像される。

甚大な被害を受け、災害直後に魚がいなかった川で、現在、タカハヤが個体数を増加させている。この魚は、被災地内で素早い回復をすると予想した魚種の一つである。現在、DNAレベルでタカハヤの流域内での集団遺伝構造を調査中である。このように、各魚種の回復の早さもある程度推定でき、他に保全上の重要河川や重要エリアを魚類の分布データ等で評価することも可能となった。

平成29年7月九州北部豪雨の被害は小さい支流にも認められ、それらの小さな山地溪流河川には元々魚類が生息していなかった可能性も考えられた。そのような河川では、飛ばない水生甲虫のヒメドROMシ類が影響評価に優れると考え、それらを指標生物とした調査も行っている。そして、実際に、九州北部豪雨被災地と被害がなかった地域(享保水害地域)間で差異が検出され、また、北部豪雨地域内での河川改修による負の影響も検出できている。

上流域で土砂災害等の被害を受け、下流域で浸水被害が起こった桂川は、災害直後も希少淡水魚が多く残っていた。この川は筑後川の旧河道であり、過去に堆積した粗い材料で河床が構成されているため、現在の桂川の自流では大きな攪乱を受けないことが、高い生物多様性の維持に寄与していると判断された。二線堤、輪中堤、遊水地などの氾濫流制御を行ったシミュレーション解析により、北部豪雨クラスの出水での被害を大幅に抑制できることが明らかとなった。しかしながら、この川は激特事業で全川改修することとなり、生物学的視点、河川工学的視点から積極的に助言を行ったが、被災河川での川づくりにおけるいくつかの課題が浮き彫りとなった。最も大きい問題点は、小河川を短期間で改修することで、その影響は極めて大きく、現在、いくつかの魚種が確認できない状況にある。工事期間中の重要種の避難も含めて検討していたため、平成31年3月に種の保存法指定種となったセボシタピラについては、九州大学水産実験所に数個体を避難させ、人工授精での採卵により個体を存続している。今後、桂川の回復状況を見ながら、適宜、再導入を進めていく予定である。

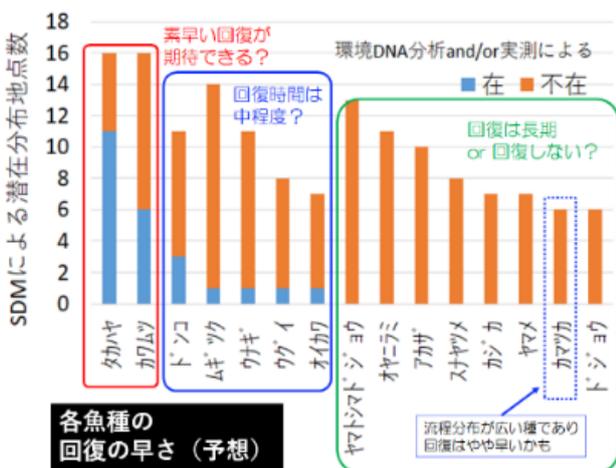


図-1 魚類の回復の可能性



写真-1 災害直後の風景



写真-2 ヒメドROMシすら生息できない河川改修後の溪流河川



写真-3 セボシタピラの採卵

河川における生息地連続性の重要性

－ 河川生態系への影響評価および保全方策

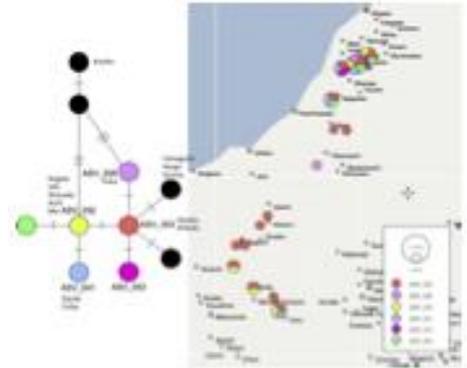
千曲川・信濃川（2022～2026 年度予定） 代表：箱山 洋（長野大学教授）

研究目的

- ①河川生態系における攪乱や河川工作物の存在が、魚類の生息地の連続性、さらには個体群・群集の健全性・持続性に与える影響を明らかにする。
- ②魚道・水路等における魚類の移動・種判別を行う自動カメラ観測機の開発を行う。
- ③流域の分断化に関するモデルを構築し、流域全体のシステムとしてどのような規模で魚類の移動を確保する必要があるのかを評価し、魚道の拡充整備などに関する提言としてまとめる。

研究概要

千曲川・信濃川水系を主たるフィールドとして、最新のゲノム科学を取り入れて、魚類等の淡水生物の生息地連続性を把握し、出水による河川の攪乱や河川工作物が、その連続性、さらにはメタ個体群の構造や持続性、群集構造、生物間相互作用に与える影響を明らかにする。生物の分布に影響する水質等の環境要因も測定し、生物への影響評価を行う。また、淡水生物の移動を把握するために、新たに、魚類種ごとの移動のビデオモニタリング装置に関する技術開発を行う。最終的には、魚類の移動を阻害する河川工作物や洪水攪乱が魚類の減少に与える影響を評価し、魚道等の改善による千曲川・信濃川の河川システム全体における魚類の生息地利用の回復案を提案する。



河川工作物による集団の分断化：eDNA 調査による集団の地理的遺伝変異（例：オイカワについて妙見堰の上下流域で顕著な違い）

気候変動及び流域治水シナリオに基づく生物多様性の評価とハビタット管理手法の提案

長良川（2023～2028 年度予定） 代表：萱場 祐一（名古屋工業大学教授）

研究目的

- ①気候変動化における流域治水の実装シナリオ（流域治水シナリオ）の設定
- ②流域治水シナリオに対する流域における生物多様性の予測・評価
- ③河道掘削に対する河道内の地形・植生等の予測手法の開発
- ④幾つかの河道分担流量に対する河道掘削後の河道内での生物多様性の予測と評価

研究概要

長良川とその流域を対象として以下の4つの視点から研究を進めます。①対象流域において気候変動が進んだ場合を想定し、流域治水の実装シナリオを幾つか設定します。次に、②生物生息空間としての機能を有している浸透・貯留空間を流域治水シナリオに基づき配置した際の流域スケールでの生物多様性の予測・評価を行います。また、③河道掘削を行った後の河道地形・植生等の変化を適切に予測する手法の開発を行った上で、④流域治水シナリオで明らかになった幾つかの河道分担流量に対する河道掘削後の河道内での生物多様性の予測・評価を行います。上記の結果に基づき、流域治水シナリオの進展に応じた流域－河道における包括的な生物多様性を明らかにします。

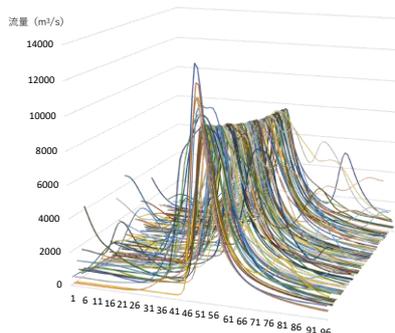


図-1 d4PDF に基づく+2K 実験 (N=102) 結果

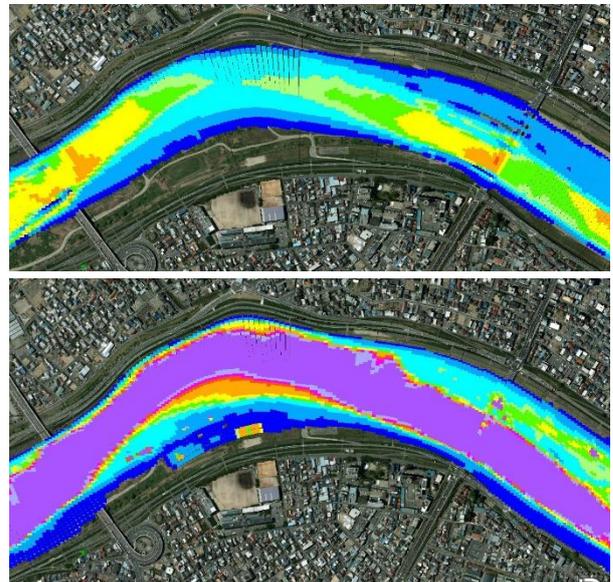


図-2 植生動態モデルの開発－長良川における自然攪乱（掃流力）と冠水頻度分布の計算例

河川水温の時空間的変動とそれが河川生態系に与える影響

総合研究グループ（2017～2021 年度） 代表：一柳英隆（熊本大学大学院特別研究員）

研究目的

- ①河川水温変化の実態の把握：各河川各場所の水温レジームの特徴を明らかにし、近 30-40 年の経年変化の実態およびその要因を解明する。
- ②水温変化の河川生態系への影響の把握：水温レジームの変化が河川生物の分布や各地点の群集構造にもたらした影響を明らかにする。

●研究背景と概要

温度は、生物の生理や行動、分布、群集の構造、生態系の機能などに強く影響を及ぼす要因である。気候変動による温度上昇により、生物の季節性、体サイズ、生活史特性、分布などが過去と比較して変化しているという報告が世界的に蓄積されつつある。

河川水温上昇についても、世界各地から報告があるが、河川の水温は時空間的に不均質であり、また、気候変動による水温上昇についても地点間で変異がある。実際の河川の水温やその変動には、様々な自然的・人為的な要因が影響する。気候変動への適応策を導くためには、要因を分離し、各要因によりどのような水温変化がもたらされるのかを把握する必要がある。

温度の上昇による生物や生態系の変化については、陸上や海洋と比較して、河川では信頼性の高い長期観測結果が乏しい。日本においては、過去から河川環境の様々な調査が行われ、それを統合することで、河川における温暖化の影響を解析することが可能であると考えられる。ここでは、河川水温と河川に生息する生物について、実際にどのような変化が起こってきたのか、その実態を明らかにすることを目的として研究を進めた。

●テーマⅠ 河川の水温変化の実態とその要因

国土交通省の水文水質データベース及び環境省の公共用水域水質測定結果の水温データを用いて、1981～2015 年の 35 年間の水温の変化とその要因を全国的に解析した。

季節を通じた河川水温変化率は、全国平均で 0.03°C/年であり、上昇傾向が確認された。地方によって水温変化率には違いがあり、関東地方で高い場合が多く、北海道、東北地方及び九州地方で低い傾向がみられた（図-1）。

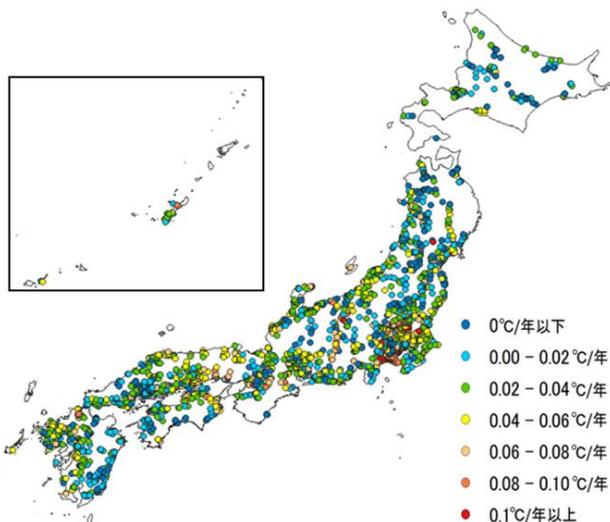


図-1 全国の水温観測地点における 1981-2015 年の年平均水温の変化

水温変化率の地点間変異に対しては、湧水流入率と関連すると考えられる水温の気温に対する反応が最も変異を説明し、水温の気温に対する回帰の傾きが小さな地点ほど、経年的な水温変化率が低かった（図-2、図-3）。その結果、どの地方においても、標高の高い場所ほど水温上昇が小さく、河口近くの標高が低い地点では水温上昇率が大きい傾向があった。また気温や降水量の変化には地理的な変異があり、それが水温変化率の変異に影響していた。人為的な要因については、人口密度や建物用地割合が高くなった地点で、水温上昇が大きい傾向があり、その傾向は冬季に強かった。

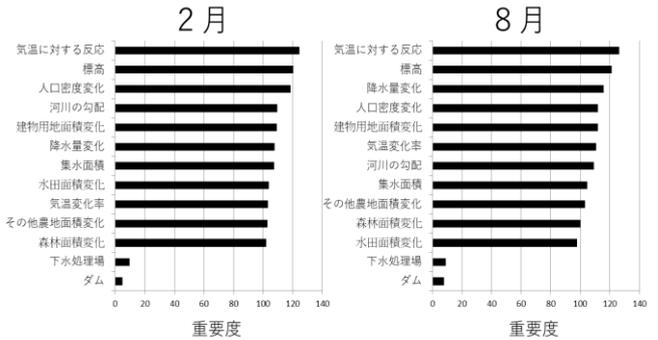


図-2 全国の水温変化率を予測するモデル（ランダムフォレスト）における環境要因の重要度（2月と8月の例）

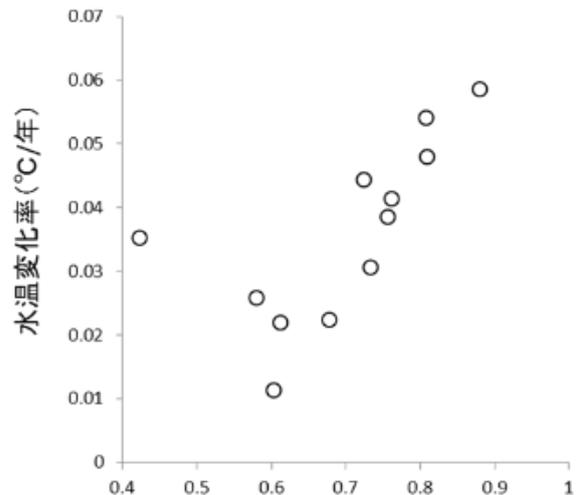


図-3 菊池川水系における水温と気温の関係（水温の気温に対する回帰の傾き）と経年的な河川水温変化率の関係

菊池川水系をモデルとして、複数の気候変動シナリオ、気候モデルを用い、ダウンスケーリングすることで、各地点の水文（流量）、河道内水理、水温を予測する統合的なモデルを作成し、季節や場所により生物の生息適性に与える影響を解析した。水温の変化は、地点や場所のより異なり、気候変動影響の強さは流域内でも場所により異なることが示された（図-4）。

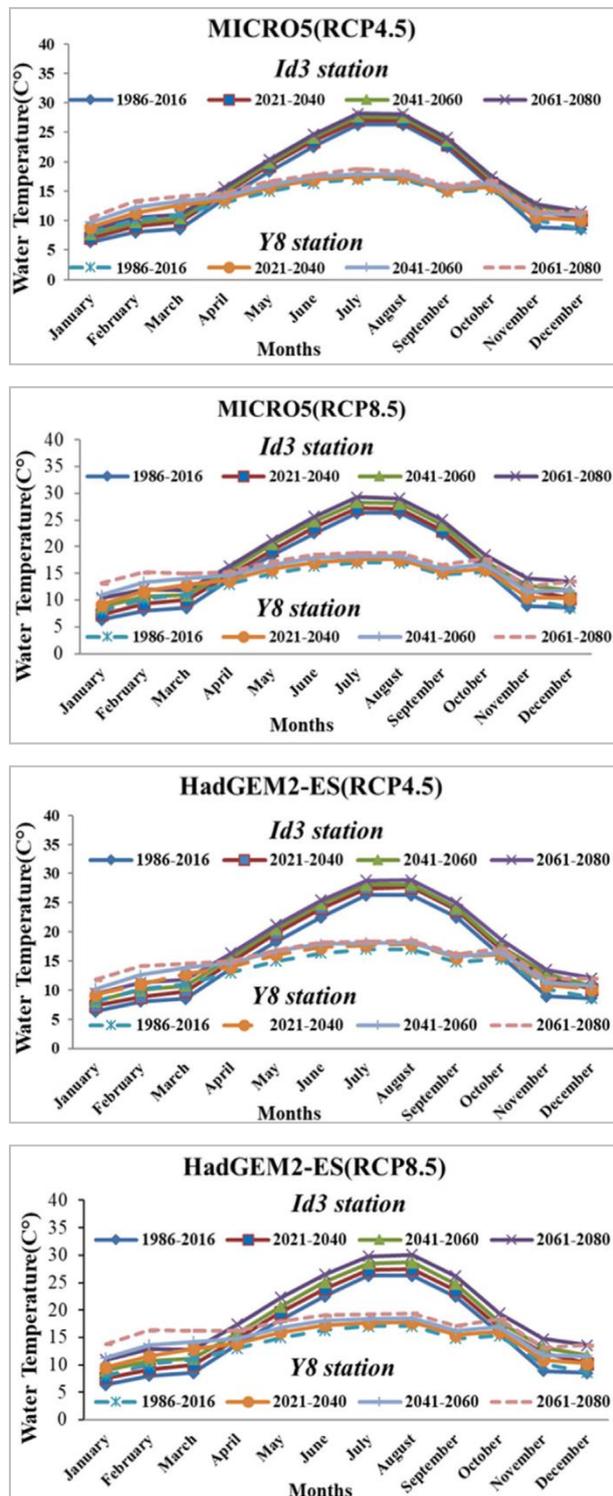


図-4 RCP4.5 及び RCP8.5 シナリオ、HadGEM2-ES 及び MICRO5 気候モデルを用いた菊池川の 2 地点 (Id3：上流、Y8 下流) における河川水温変化の将来予測 Reihaneh et al. (2020) J. Hydrol.

●テーマII 水温変化の河川生態系への影響

河川水温の温度上昇に伴う河川生態系に変化については、各地の群集の変化と水温上昇との関係、河川生息生物の分布の変化について研究を進めた。

多摩川水系でのトビケラ相が、1989~1991 年に各地点での水温とともに明らかにされている。同じ地点において、トビケラ類の採集と水温測定を 2019~2021 年 (30 年後) に行い、標高分布が上昇している種があることを確認した (図-5)。

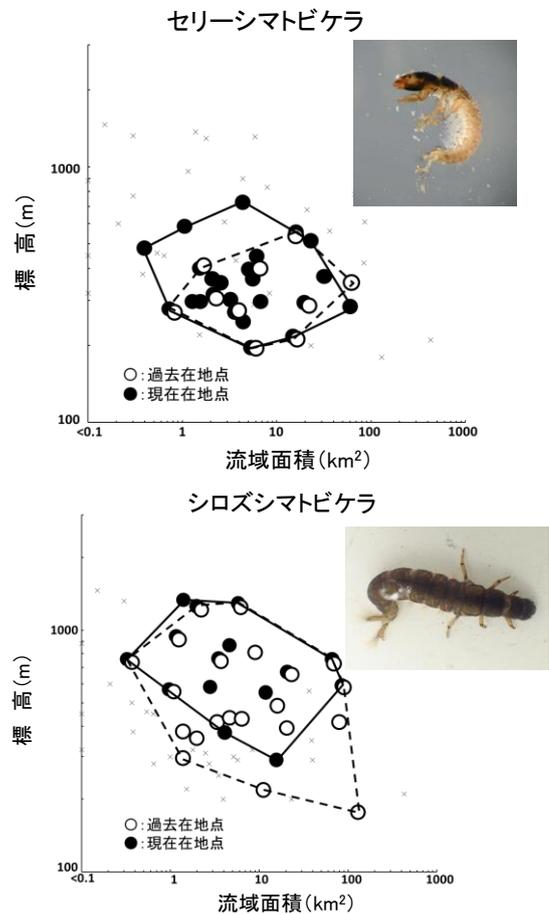


図-5 多摩川におけるトビケラ 2 種の分布の変化

全国的にも河川各地点において、温暖地の底生動物種の割合が高くなりつつあることを確認した。

●まとめ

本研究では、河川の水温変化の空間変異、それに対する各環境要因の影響を解析した。また、検証例が稀な河川性生物の温暖化に伴う分布変化を示した。

気候変動に伴う温度上昇に対する生物の反応は一様ではない。たとえば、ある生物にとってみれば、秋や冬の温度上昇の方が、夏の上昇よりも影響が大きいかもしれない。生物に対する温度上昇の影響のパターンを認識し、その影響を緩和する河川での適応策を提案することが必要になる。

●河川管理への活用

湧水その他の影響により、水温の気温との関係性が低くなることは、長期的にも水温の上昇を抑える。このためには、地下を含めた水循環の健全化が必要である。

研究目的

- ①海岸河川で卓越した種多様性を有する両側回遊性魚類（アユやヨシノボリ類等）・甲殻類（テナガエビ等）に注目して、それらの種多様性と季節移動パターンの多様性を評価する手法開発を行う。
- ②両側回遊性生物が海洋から河川への遡上を通して、河川流域にもたらす海洋資源輸送能、および河川の生態系機能に及ぼす影響の評価を行う。
- ③河川水辺の国勢調査データを取りまとめて、日本列島における両側回遊性魚類の種多様性パターンの基礎資料を作成する。

●河川及び研究地区の概要

有田川は、伊都郡高野町の揚柳山（1009m）に源を發し、和歌山県中北部を流れる流程約94kmの河川である。富田川は、和歌山県と奈良県の県境に位置する安堵山（1184m）に源を發し、白浜町富田で太平洋に注ぐ。本流に大きなダムのない、海洋と河川の連続性が比較的良好に保たれている、流程約41kmの河川である。日置川は、和歌山県と奈良県の県境に位置する千丈山（1027m）に源を發し、和歌山県中南部を流れる流程約77kmの河川である。

●研究背景と概要

河川流域に生息する水生生物の多くは、季節や生活史段階によって、海洋と河川や河川内をダイナミックに「移動」している。多様な水生生物の移動を維持する環境整備は、河川流域の生物多様性や生態系の機能（エネルギー流や物質循環）を維持・創出する鍵になる可能性がある。

高緯度地域の河川流域において、遡河回遊性のサケ科魚類が海洋から河川上流へ移動することで、海洋の栄養塩を運搬し、河川や河畔林の生物多様性に大きなインパクトを及ぼすことは広く知られている。一方、アジアモンスーン気候帯に位置する日本の多くの温帯河川では、非常に多様な両側回遊性魚類（アユやヨシノボリ類等）・甲殻類（テナガエビ等）が海洋と河川間を移動する。それら両側回遊性の水生生物は、小型ながら極めて膨大な個体数を維持しているが、移動生態やそれらがもたらす生態系機能についてほとんど理解されていない。

本研究では、両側回遊性魚類・甲殻類に注目して、（1）種多様性と季節移動パターンの多様性、および（2）河川流域への海洋資源輸送能と河川の生態系機能への影響を評価するための手法を確立する。また、（3）河川水辺の国勢調査データを取りまとめて、日本列島における両側回遊性魚類の種多様性パターンの基礎資料を作成する。

●テーマⅠ 種多様性と季節移動パターンの多様性評価手法の開発

和歌山県有田川において、定期的な魚類捕獲調査を継続したところ、2科6属12種の両側回遊魚が確認された（写真-1）。

そのうち、捕獲個体数の多い8種（アユ、スミウキゴリ、ヌマチチブ、ボウズハゼ、クロヨシノボリ、オオヨシノボリ、ルリヨシノボリ、シマヨシノボリ）の遡上期間を調べたところ、アユ（4-7月）とシマヨシノボリ（7-10月）を除いて、種ごとの遡上時期は約1か月程度と短期間であった（図-1）。



写真-1 有田川で捕獲された両側回遊魚類

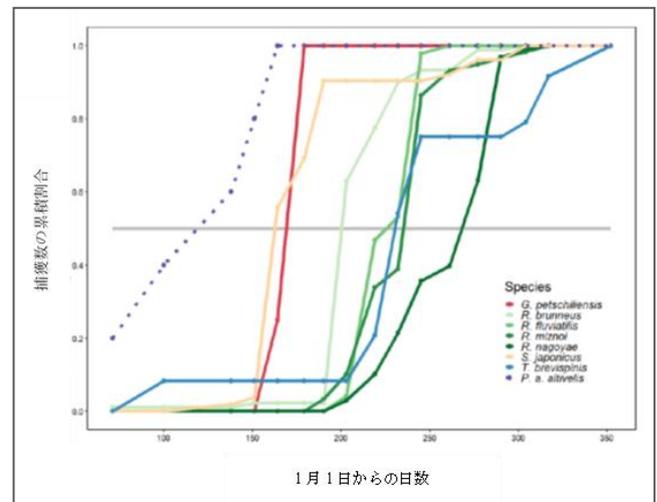


図-1 両側回遊魚各種の捕獲数の累積割合。図中の横線は累積割合50%を示す（Tanaka et al.の図を改変・引用）

一方、全8種をまとめると、2-11月の10か月に亘って、種の両側回遊性魚の遡上がみられた。すなわち、多様な種の両側回遊性魚類が生息していると、両側回遊魚全体の遡上期間がほとんど一年に亘る長期間になっていた（種多様性による遡上期間の長期化：Tanaka et al. 2020）。これは、両側回遊魚がもたらす機能や生態系サービス（漁業資源利用）が、種の多様性によって季節的に長期間維持されていることを示唆する。

●テーマII 河川流域への海洋資源輸送能と河川の生態系機能への影響評価

海洋資源輸送能 河川に遡上する両側回遊性魚類が、海洋の栄養塩輸送能をどの程度有するかを評価した。そのために、海洋由来の有機物と陸域由来の有機物で大きく異なる値を示すイオウ安定同位体比を測定した。

その結果、有田川で捕獲された両側回遊魚類の遡上個体は、海洋由来の有機物にみられるイオウ同位体比に近い値を示した(5.4-20.4 ‰)。一方、河川生態系内、および潜在的に陸域生態系から供給されるミミズやバッタ等の試料では、陸域由来の有機物にみられるイオウ同位体比に近い値を示した(-4.8 - 1.6‰)。これにより、イオウ同位体比分析を用いて、両側回遊魚類による海洋資源輸送能を評価できることが明らかになった。

生態系機能への影響 膨大な個体数の両側回遊生物(特にエビ類)が遡上する河川上流では、エビ類の有無が河川の群集構造や生態系機能(栄養塩循環)に影響を及ぼす可能性がある。そこで、川の一区画からエビなどの大型生物を選択的に除外するために、富田川支流の高瀬川において、電気柵を河川内に設置する野外操作実験を行った(図-2)。

その結果、エビが存在することで底生有機物の減少および底生藻類の増加が起り、水生昆虫の組成が変化した。さらに代謝速度の速いエビ類が生息する実験区では、それらの存在によって、底生生物によるアンモニアの排出が上昇し、河川水中の栄養塩循環にも影響を及ぼしていることが分かった。(Uno et al. 2022)



図-2 生態系機能への影響

●テーマIII 日本列島における両側回遊性魚類の種多様性パターン

日本では68種の両側回遊性魚類が報告されており、河川で確認されている全魚種の約15%を占める。両側回遊性魚類は、仔稚魚期に海洋で生活した後、河川に遡上して成長・繁殖する。そのため、それらの種多様性パターンは、河川流域内の環境条件のみでなく、海流の影響を色濃く反映している可能性がある。すなわち、両側回遊性魚類の種多様性情報を整理することは、(1)各流域における海洋と河川の連続性の指標となる、(2)海洋を介した流域間の連続性の指標となるという点で、非常に重要な課題と言える。

河川水辺の国勢調査データを活用し、全国の一級河川109水系における両側回遊性魚類の種多様性情報を取りまとめて解析を行った。両側回遊魚の種多様性は、緩やかながら、低緯度地域ほど高い傾向

が認められた。しかし、特に低緯度地域では同程度の緯度でも種多様性に大きな流域間の差異が認められた。これらの違いの一部は、各水系が流入する海域と関係しており、海流の影響を受けにくい瀬戸内海や有明海と八代海沿岸に流入する水系では、同緯度帯で太平洋側に流入する河川よりも種数が少ない傾向が認められた。これは、太平洋側に流入する水系では、おそらくは黒潮による海流分散によって南方系の種群が分布することが多いのに対して、瀬戸内海の水系では、海流分散をする南方系種群の分布確率が低いことが影響していると考えられる。

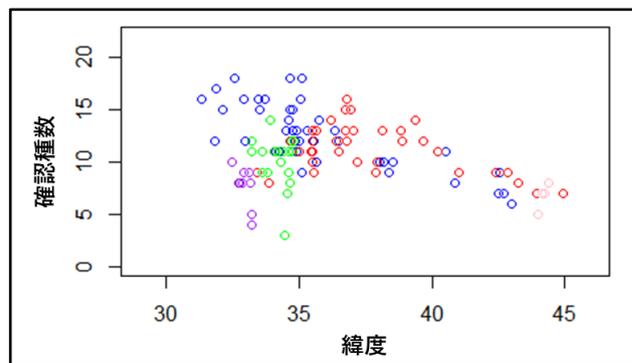


図-3 両側回遊魚の種数と緯度経度の関係

ポイントの色は5つの水系グループそれぞれを示す：(ピンク)オホーツク沿岸(渚滑川から網走川まで)、(青)太平洋沿岸(釧路川から川内川まで)、(赤)日本海沿岸(天塩川から松浦川まで)、(緑)瀬戸内海沿岸(大和川から大野川までと、土器川から肱川まで)、および(紫)有明海と八代海沿岸(本明川から球磨川まで)

●まとめ

本研究では、日本列島の河川流域の生物多様性を特徴づける両側回遊性魚類・甲殻類に注目して、その移動実態を把握する手法開発と移動がもたらす海洋資源輸送能や物質循環過程の改変といった生態系機能を解明した。さらに、日本列島における両側回遊性魚類の種多様性情報を整理した。

●河川管理への活用

本研究を通して、回遊性魚類・甲殻類の河川への遡上が、海と河川流域の生態系ネットワークを構築する担い手であることが明らかになってきた。そうした生態系ネットワークを保全・管理するためには、多様な種それぞれが本来もっている遡上季節や遡上の範囲を損なわない河川管理が重要になる。具体的には、遡上生物が下流から遡上してくることを考慮すると、河川本流の下流部に位置する潮止堰堤等の構造物に改善の余地がある。また、支流に関しても、本流の下流部に流れ込む支流ほど両側回遊生物の多様性が高いため、保全・管理の重要性は高い。回遊性生物の多様性と機能の保全においては、河川管理区分に関わらず、流域一貫で生物の移動ルートを考慮に入れた連続性の改善が必要であり、その具体的な方策の策定と実施が今後の河川管理の一つの大きな課題であろう。

●発表論文

Tanaka et al. 2020 Ecological Research 35: 494-503
Uno et al. 2022 Oecologia 198:493-505

研究目的

- ①空撮画像から直接「在・不在」を判別する方法の構築
- ②空撮画像から物理環境（地盤高，粒度等）を定量化し分布予測モデルにより判別する方法の構築
- ③汽水域においても通用する環境 DNA 分析手法の構築

●研究背景と概要

河川感潮域は、特有の生物が生息し、かつ生産力も非常に高い水域であるが、これまでの河川整備等人為的環境改変により負の影響を受け続けてきた環境である。よって今後は、河川感潮域の生態系の保全・再生を可能にする多自然川づくりのための技術的手法を構築・整理する必要がある。河川感潮域における多自然川づくりのための知見が、断片的な情報の蓄積に留まっている理由の一つに、調査時間の短さが挙げられる。感潮域における調査は、大潮まわりの干潮時前後に限定されるため、網羅的な調査が難しい。本研究では、感潮域の潮間帯に生息する多くの種に適応可能で、かつ短時間で、誰にでも調査可能な、再現性のあるモニタリング手法を検討

●空撮画像から直接「在・不在」を判別する方法

高解像度カメラを搭載可能な UAV を用いて、低空で干潟表面を撮影した空撮画像を用いて、AI による深層学習をおこなうことにより、生物の「在・不在」を判別する方法を構築する。これまでの研究で、現地撮影したデジタルカメラの画像を用いた場合、AI による深層学習により、多くの種の「在・不在」が判別可能であることが明らかになったため、今後は空撮画像を用いて解析することにより、識別可能な解像度を把握する予定である。

●空撮画像から物理環境（地盤高、粒度等）を定量化し分布予測モデルにより判別する方法

UAV を用いて干潟表面を空撮した画像を用いて、SfM によって干潟表面の地盤高を算出し、さらに画像解析によって、干潟表面の底質の粒度（泥分率か粒度区分）を算出し、それらを説明変数にした生物の分布予測モデルを作成する。これまでの研究で、AI による深層学習により、砂泥干潟の河床材料の泥分率を予測することが可能であることが明らかになったため、今後は空撮画像を用いて解析することにより、粒度が識別可能な解像度を把握する予定である。

●汽水域においても通用する環境 DNA 分析

干潟にパイプを打ち込む方法や、シャベルで干潟に穴を掘る方法を用いて河床の間隙水の採取し、DNA を抽出した後、対象分類群に応じた定量メタバーコーディング分析をおこなう。これまでの研究で、礫干潟において単管パイプやシャベルを用いて採水した水から間隙性のハゼ科魚類が検出されることが明らかになり、また従来の手法では区別できなかったミズハゼ類が識別可能なユニバーサルプライマーを開発した。今後は、砂干潟および泥干潟における本手法の適用、ミズハゼ類を対象とした野外調査、および干潟における環境 DNA の空間解像度の把握を実施する予定である。

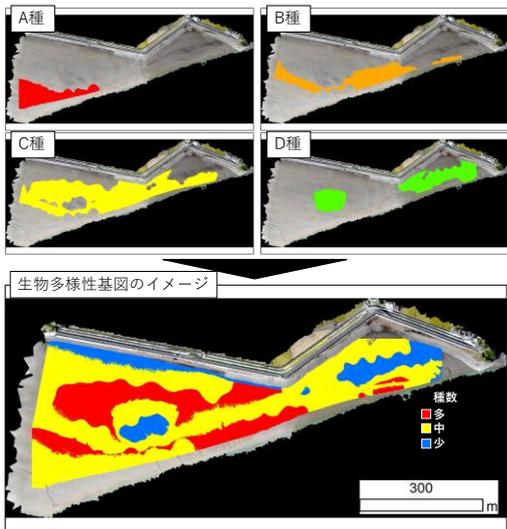


図-1 最終的な研究成果のイメージ

する。最終的には、植生図や環境基図のような、感潮河川潮間帯の「生物多様性基図」（図-1）を作成することが目標である。

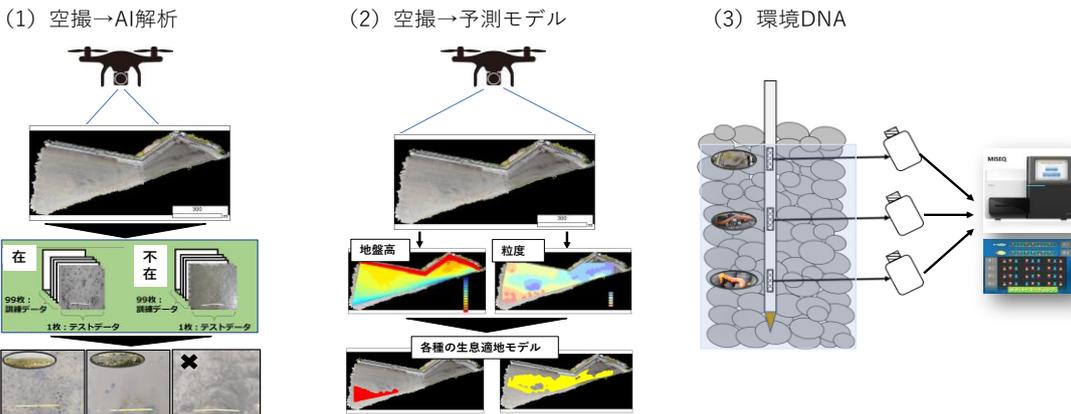


図-2 本研究の3つの手法のイメージ

研究目的

- ①現状として不足している出水攪乱に対する生物応答の情報を、既存生物情報の活用、攪乱後調査の実施、DNA 技術の導入により積極的に集積し、得られた知見を整理・分析することにより全国的な傾向を把握する。
- ②実際の出水発生地点で水文学的手法、土砂水理学的手法および現地観察手法に基づく攪乱評価手法を導入し、攪乱外力の評価と適用性の検討・改善を行う。

●研究背景

気候変動の進行により世界中で記録的な豪雨が発生し、河川では大規模出水が頻発化している。未曾有の出水攪乱にさらされることにより、河川生物は量的に減少し、その多様性も低下することが危惧されている。このため河川生態系の管理では、激化する出水攪乱の影響を緩和しうる保全方法を開発することが喫緊の課題である。

出水は機会的に発生する現象であるため、発生を予測して計画的に調査を行い、その影響を捕捉することは難しい。この問題を解決するためには、出水攪乱への生物応答を把握しうる広域的な調査体制を構築する必要がある。さらに、生物情報の収集がとりわけ困難な増水時や河床間隙水域での調査を実現しうる DNA 技術の開発と適用が求められている。

生物が受ける物理的攪乱を評価できる定量的な手法が確立されていないことも攪乱研究の成果を河川管理に応用することを難しくしている。これまでに水文学、土砂水理学等に基づく多くの攪乱評価手法が提案されているものの、生物応答に関する知見の不足もあり、それら手法の適用性を検討した研究は少ない。

●研究目的

本研究では、河川生態学および河川工学を専門とする研究者で構成される全国的なチームを組織することにより、上記 2 点の研究目的を達成することを目指している（図-1）。目的①では、既存生物情報の活用や攪乱後調査の実施、DNA 技術の導入等により、現状として不足している生物応答に関する情報を積極的に収集する。目的②では水文学的手法、土砂水理学的手法および現地観察手法による攪

乱評価を実施し、攪乱外力を多面的かつ広域的に示すとともに、各手法の生態学的な適用性の検討、改善を図る。以上の知見を融合させることにより、気候変動適応型の河川管理手法の開発に資する一般性の高い生態的学情報と技術的提案を全国スケールでの取り組みから提供すること最終目標としている。

●出水に対する生物応答事例の集積

平水時における既存生物データを整理することにより、国内河川を幅広くカバーする攪乱後調査の実施体制を整備している。北海道札内川および愛媛県面河川では、実際に発生した出水に即応した攪乱発生後調査を実施し、短期的な生物応答に関するデータを取得した。札内川のサンプルを利用して予備的な DNA 分析も行った。北海道内保護水面や重信川の長期生物データ、河川水辺の国勢調査の過去データ等を整理して生物の長期動態解析を実施する準備を進めている。

●攪乱評価手法の評価

出水攪乱外力を評価する各手法について、それらの導入に必要な基礎データを整理するとともに、攪乱評価の試行に取り組んでいる。水文学的手法については、宮崎県小丸川および大淀川で攪乱評価を導入し、流況再現結果の精査とモデルの改善を進めている。土砂水理学的手法については、岐阜県長良川水系を対象として解析に取り組んでいる。現地観察手法については愛媛県内の河川で手法の導入を試み、出水攪乱に対する生物応答との関係に関する解析を開始している。今後、生物応答事例が蓄積されるに伴い各地点で各攪乱評価手法を導入し、適用性を検討する。

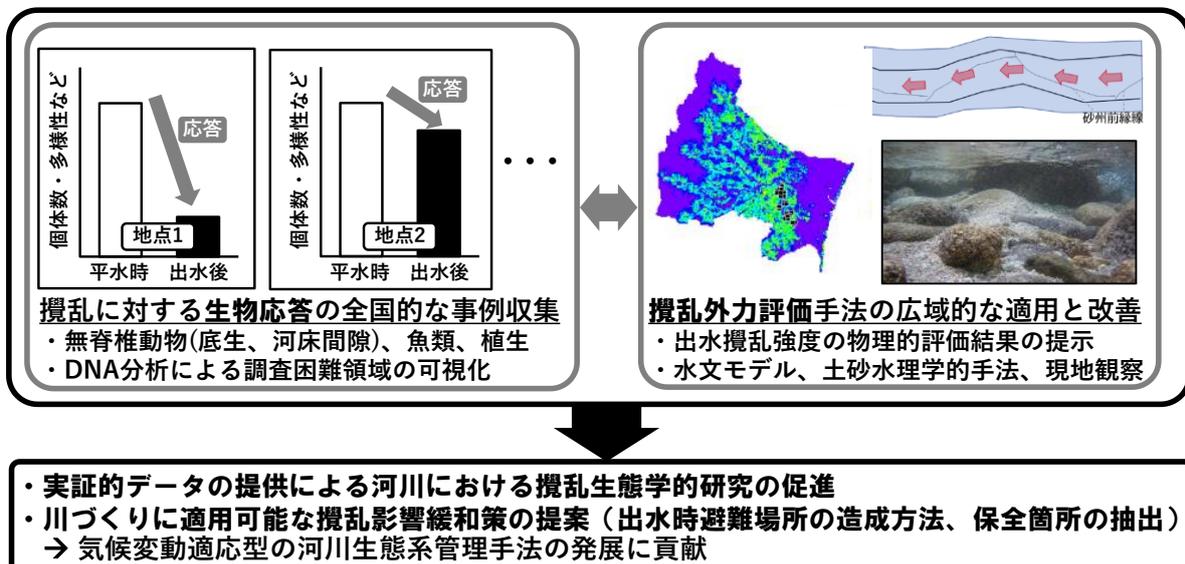
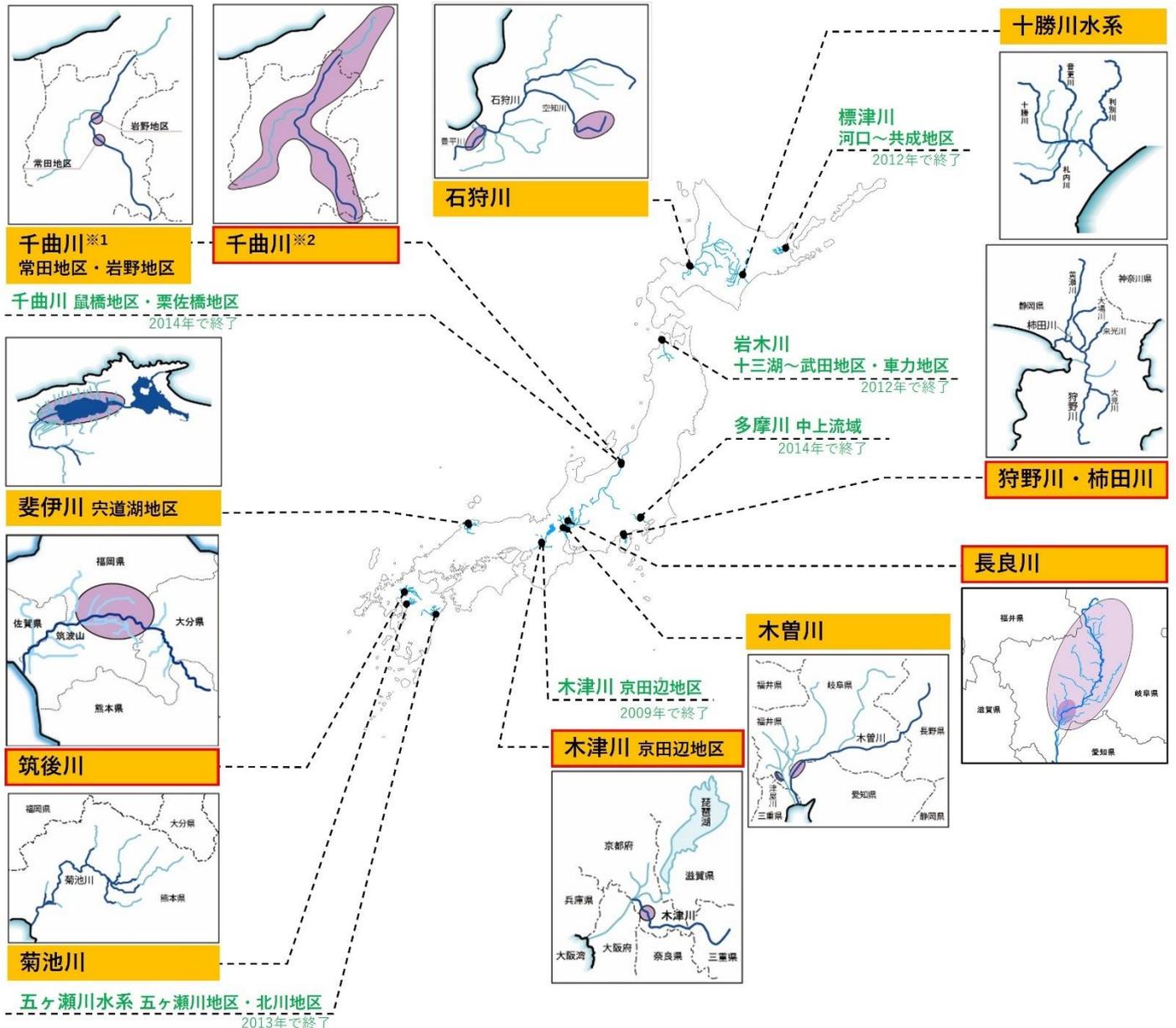


図-1 本研究の実施フロー

研究対象河川の一覧



- ※緑色：研究会で対象河川を選定した従来の河川別研究グループ
- ※黄色：平成24年度以降に公募（国土交通省の河川砂防技術研究開発制度）によって選定され参加した河川別研究グループ
- ※赤枠：令和5年度時点で活動している研究グループ
- ※1：研究テーマ「河川中流域における生物生産性の機構解明と河川管理への応用」
- ※2：研究テーマ「河川における生息地連続性の重要性 - 河川生態系への影響評価および保全方策」

お問い合わせ先

国土交通省水管理・国土保全局	河川環境課	TEL 03(5253) 8447
	治水課	TEL 03(5253) 8450
〒100-8918 東京都千代田区霞が関 2-1-3		Homepage: http://www.mlit.go.jp/

公益財団法人リバーフロント研究所	TEL 03(6228) 3860
〒104-0033 東京都中央区新川 1-17-24 NMF 茅場町ビル 7階	Homepage: http://www.rfc.or.jp

平成9年7月 第1版 発行・令和5年8月 第19版 改訂

このパンフレットの内容は、河川生態学術研究会各研究グループの研究成果および河川生態学術研究委員会での検討成果をとりまとめたものです。許可なく転載・複製することを禁じます。

※表紙の写真：十勝川水系札内川
提供：北海道開発局