

聖牛設置 0 年目 (2017 年)

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-

聖牛設置 3 年目 (2020 年)

聖牛設置 5 年目 (2022 年)

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。

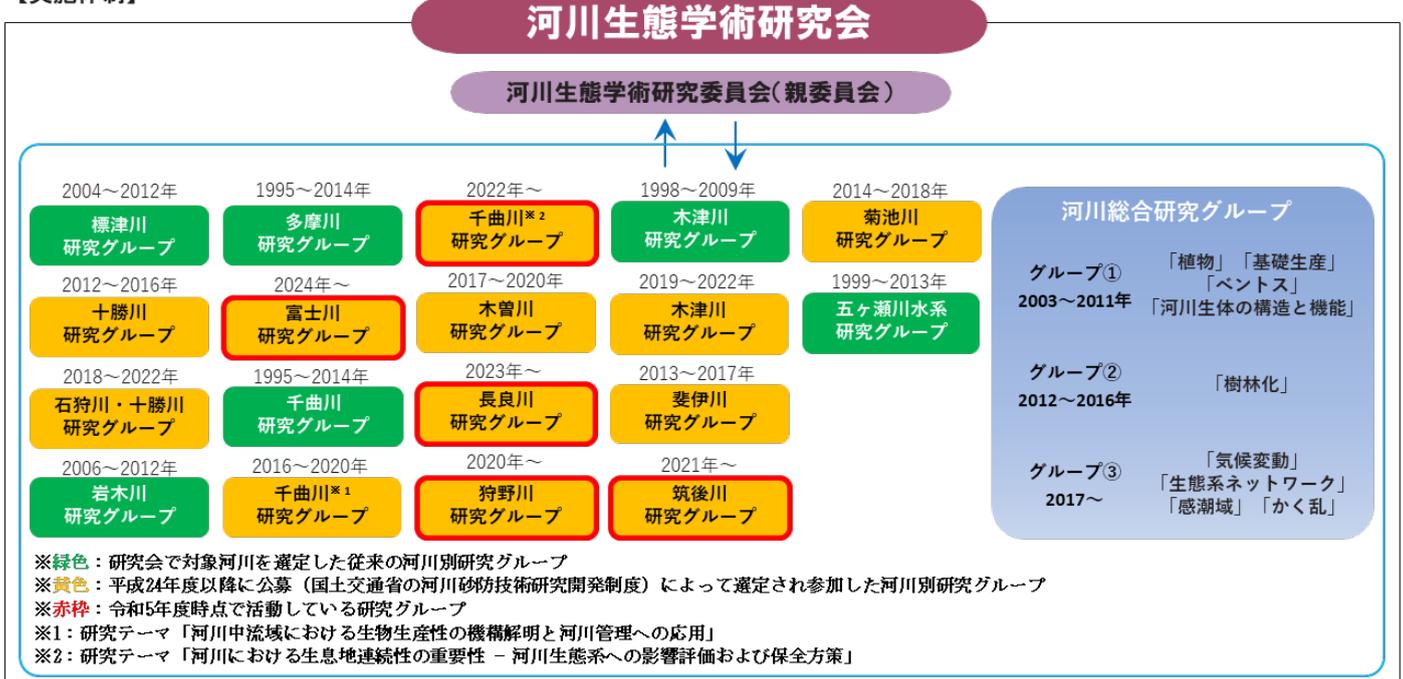
研究は、生態学的な観点より河川を理解し、川のあるべき姿を探ることを目的とし、その達成に向けて、以下のようなテーマを設定し研究を進めている。

- 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の環境容量を推定する。
- 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

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） 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。

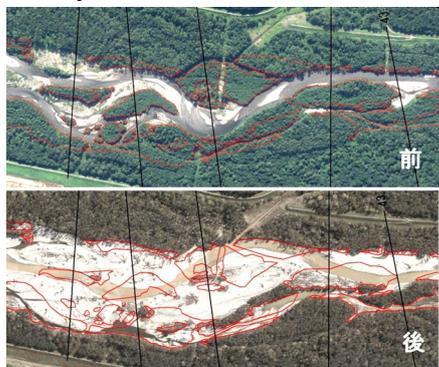


図-1 2016 年洪水前後の札内川

●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いまだ

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。

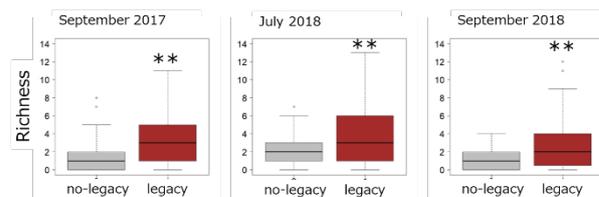


図-2 十勝川・札内川における大規模出水後に残された攪乱レガシーと植物種数の比較

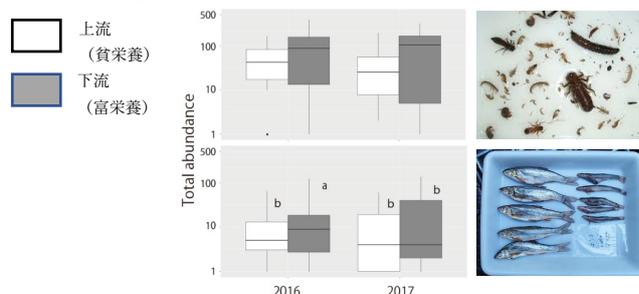


図-3 2016 年洪水前後の水生昆虫（上）と魚類（下）の個体数変化 Negishi et al. (2019) Landsc. Ecol. Eng.

●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ョ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、オショロコマ、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、オショロコマ 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。

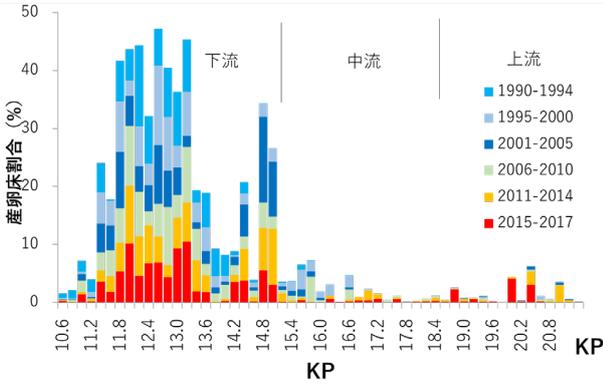


図-4 豊平川におけるサケ産卵床の分布割合の変化
有賀ほか (2021) 応用生態工学参照

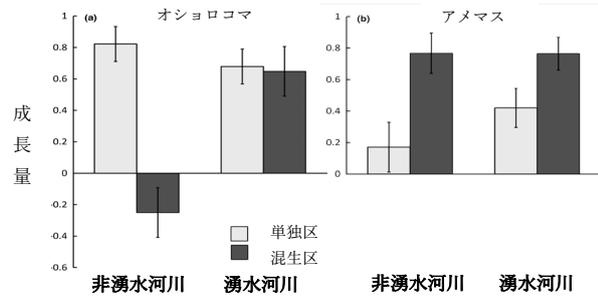


図-5 温度依存競争 Watz et al. (2019) Freshw. Biol.

●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。

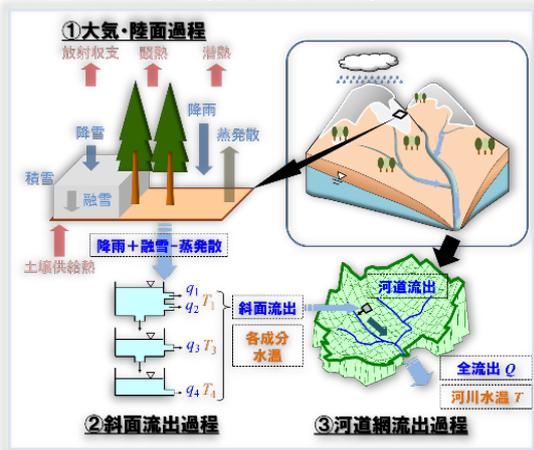


図-6 流域水循環モデルのイメージ

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、非火山性地質ほ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。

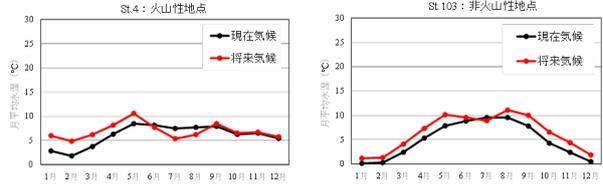


図-7 気候変動による小流域の河川水温変化についての推定結果

●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)。

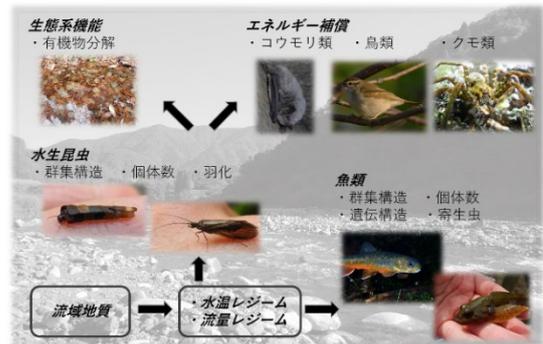


図-8 地質の違いを介した水温と流況の変化と生態系の構造・機能への影響

●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。

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。

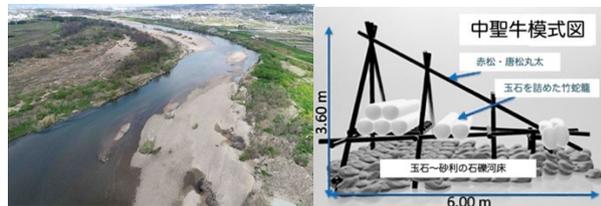


図-1 木津川玉水橋下流砂州（左）と中聖牛模式図（右）

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 法人やましろ里山の会が静岡県の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）。

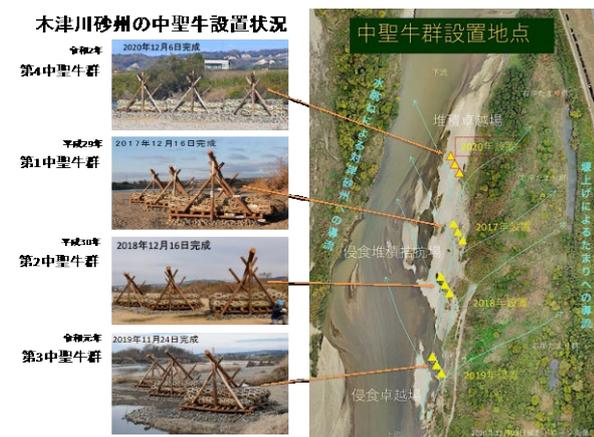


図-2 中聖牛 12 基が設置された木津川玉水橋下流砂州

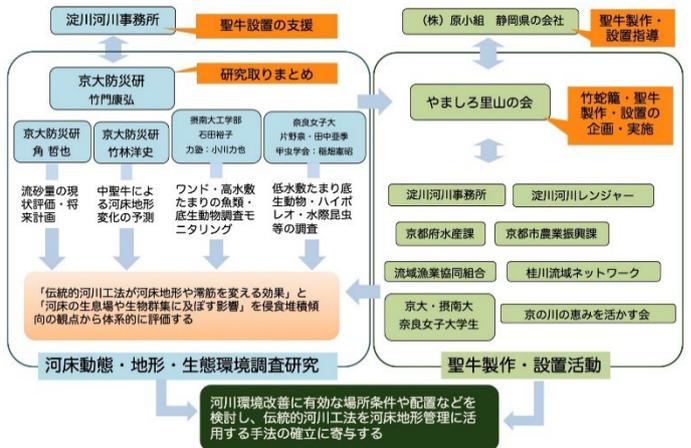


図-3 研究実施体制図

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ろ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)。

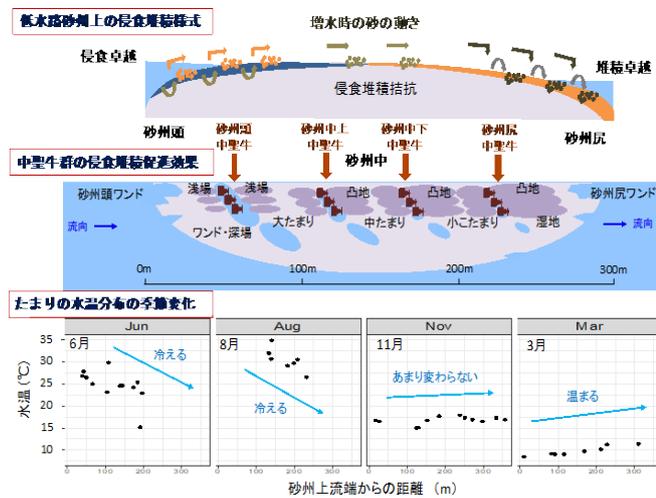


図-6 中聖牛の砂州地形改変と生息場形成機能まとめ

●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

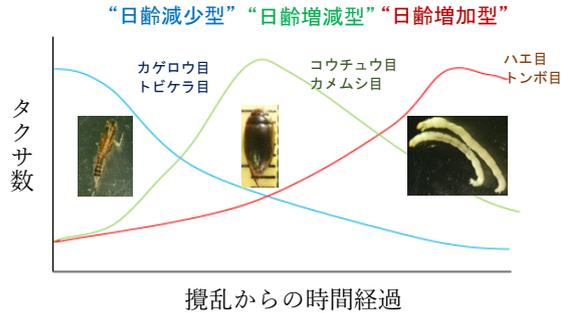


図-7 たまりの日齢と底生動物群集の応答仮説

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。

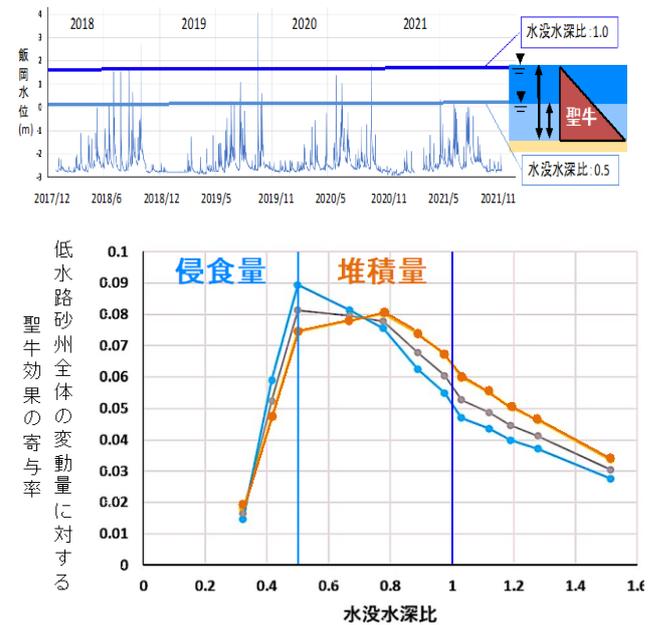


図-8 出水規模に応じた中聖牛の地形改変効果。聖牛の水没水深比は聖牛の高さに対する水深の割合を示す

●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、流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流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。また建設後約60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流水の挙動と河床構造の変化を水理モデル、表流水と地下水を考慮した数値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い、当該河川におけるより適切な運用方法を提案する。

●2023 年度（令和 5 年度）の主な成果

一般研究移行後4年目の今年度は、これまで得られた成果をまとめ始めるとともに、最終年度に向けて河川管理にどう寄与していくかを見据えてプロジェクト研究を展開した。

放水路の建設後約60年を経て、本川河道形状については河道特性に応じた変化がみられる。放水路分派点（河口距離17.8km）から下流約5km（セグメント2-1）では、流量減少に応じた川幅縮小と河床低下が生じ、狭く深い河道が形成されていた一方で、それより下流から河口まで約11km（セグメント2-2）では河岸満杯流量に大きな変化がなく、洪水分派の影響の出方が異なることを示した。また一次元河床変動計算の結果、分派点下流の河道形状変化には、放水路の洪水分派に伴う流量変化に加えて給砂量の減少傾向がみられた。その要因は、分派点上流部での堆積や放水路への流出によって下流へ流れる土砂の量が減少したためと推察された。

地表水・地下水交換フラックスを考慮した HGS シミュレーターによって放水路の有無による分派点上・下流側における流路と流速の変化を可視化した。これに加えて、今年度は気象条件や地形、地質、土地利用によって区分される流域内の地域ごとの地表水・地下水交換フラックスを明示し、狩野川本川の流況変化に対する各支川の影響が異なることを明らかにした。

狩野川の駿河湾生態系への影響として重要な栄養塩の供給については、河川水中のアンモニア濃度の高さなどから間隙水中の微生物活性の大きさが推測され、地表水・地下水交換フラックスの大きさやその変動との関連で検討を進めている。さらに今年度は安定同位体解析から沿岸表層の植物プランクトン生産が動物プランクトンや魚類の高次

段階の生産を支えていることを示した。

以上の研究成果以外に、特に河畔植生、アユの生態、江浦湾の底生生物の動態について今年度までに明らかになったことを以下に解説する。

●河畔林におけるメダケ群落の位置とその意味

メダケ群落は、無次元掃流力の高い湾曲部外岸に群落を多く形成しており、過去10年間で放水路下流での群落の面的増加率が200%を超えることが明らかになった。メダケは地下茎の進展に伴う稈の再生によって群落を拡大するため強い流れへの抵抗力が大きく、同時にこの特徴が流下した土砂の堆積を促進する。メダケ群落の拡大はこのような河道形成への影響のみならず、メダケが優占するような場ではオギなどの草本類は群落を形成することができず、河畔植生の多様性が失われていくという問題もある。

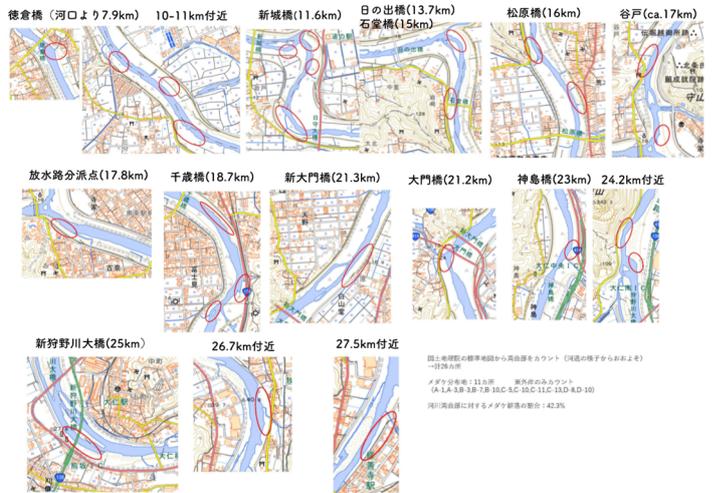


図1. 狩野川修善寺橋下流（河口より27.5km付近）から徳倉橋（同7.9km）におけるメダケ群落分布。観測された河道湾曲部の43%でメダケ群落が生育していることが見出された。

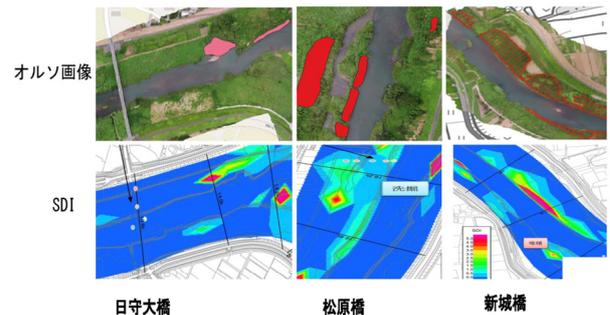


図2. SDI値とメダケ群落の形成場所の関係。メダケ群落と平面二次元流況解析モデル（SDI）を比較（提供：建設技研）すると、SDIが高く、メダケ群落によって土砂が堆積しやすい環境が形成されるようだ。

メダケ伐採後の植生回復手法としてオギの移植実験も試みた結果、除根をしない系ではほぼ一年後のオギの植被率は10%に留まったのに対し、除根までおこなった系ではオギが優占し、植被率が50%に達することが確認された。

●アユ遡上の可能性：夏の豪雨で海に流下したアユの成魚は生き残れるか

アユ成魚の海水環境における浸透圧調節能を解析するとともに、海水環境への順化に伴う体液浸透圧の変化およびエラ・腎臓におけるイオン輸送体・チャンネル遺伝子の発現解析を行った。その結果、アユは成魚でも海水環境に適応できる個体が複数存在した。海水環境に適応した個体の体液浸透圧は、淡水環飼育したアユと同じレベルに維持されていた。このことは、アユはサケなどの広塩性魚類と同様の浸透圧調節機構を保持していることがはじめて明らかになった。体液浸透圧値および *atp1a*, *cftr*, *nhe3* 遺伝子発現の傾向が類似し、この生理機構がこれらの遺伝子と関連することが示唆できた。

また、海水中のアユが淡水に向かうか、海水に向かうかの指向性実験もなされ、アユは淡水を選択する傾向がみられた。したがって江浦湾に放出されたアユは、塩濃度の薄い放水路側に戻って来ることが予想される。

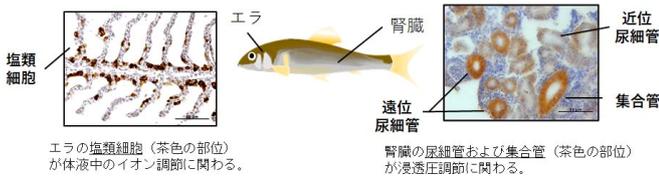


図3. アユ成魚のエラと腎臓における浸透圧調節機構。

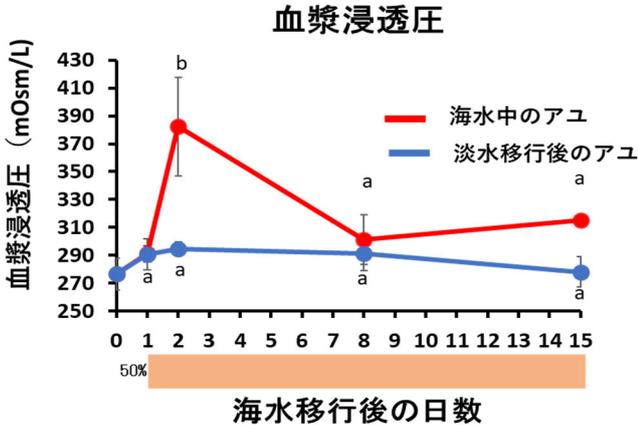


図4. 海水へ移行させたアユの血漿浸透圧の変化。100%海水へ移行させた成魚も1週間後には淡水群と同じ血漿浸透圧を示した。

●放水路出口の江浦湾における黒色堆積物の面的広がりの把握と底生生物の生態

放水路出口の水深2m以浅の海底には、淘汰が悪い礫混じり粗粒-細粒砂 (Md 221.8-661.4 μm、含泥率<36.5%) が堆積するが、江浦湾奥部で水深が一気に10m以深まで急傾斜する崖下から陸起源の植物片を多く含む黒色中粒シルト (Md 18.7-26.8 μm、含泥率76.8-86.5%) が堆積し始め、その広がりは江浦湾中央部に向かって舌状に幅200-300mで分布し、特に放水路開放後、夏に成層構造が発達すると黒色堆積物は放水路出口から約700m地点(水深約40m)まで至ることを現場観測によって明らかになった。水深10m以深の黒色堆

積物(中粒シルト)は植物片の腐敗・分解のため還元的环境となり、化学合成細菌が共生する二枚貝類が生息する。すでに共生細菌が確認されているキヌタレガイでは本研究でも追認されたが、本研究で嫌気環境からしばしば見出されるサクラガイについては遺伝子解析でのみ共生細菌の存在が確認されており、今後研究を進める。水深30m以深の黄褐色中粒-細粒シルトは植物片の腐敗が少なく酸化的な底質のため、貝形虫類など酸素呼吸をする動物群が生息可能となっている。

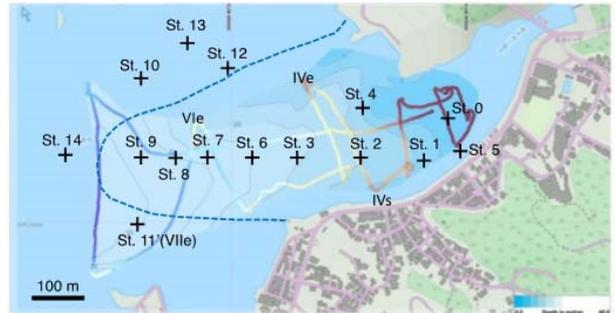


図5. 江浦湾内の黒色堆積物の面的観測(2023.9.15)。青い点線の内側に陸現生堆積物が確認された。

調査された各地点からは、貝類と共に小型甲殻類である貝形虫類も定量採集され、湾内の群集組成が明らかになった。2023年6月の河口堰開放を挟んで貝形虫類の個体数密度を観測したところ、出口に近く個体数密度が高かった地点(St.1,2)では開放後に個体数密度は減少し、遠い地点では変化がないか微増となる傾向がみられた。また、本来海水の湾内からは産出することのない淡水性(湧水性)種の新鮮な殻が湾内に散在していることも明らかになり、これは出水時の放水路からもたらされた可能性が推察される。

●狩野川の河川水が駿河湾の漁獲高に与える影響

狩野川河川水は栄養塩類の濃度が高く、沿岸生態系の一次生産に寄与することを昨年度紹介した。安定同位体分析を進めたところ、この有機物が上位の栄養段階へとつながっていくことが認められた。駿河湾を代表するシラスとの関係を検討してみると、図6のように狩野川の流量との間にある程度の相関があることも認められた。河川水が沿岸生態系に与える影響の理解を深めるためにさらに検討を進める。

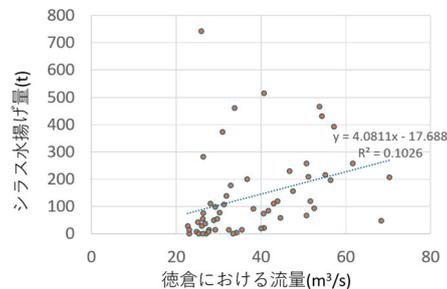


図6. 狩野川・徳倉における月平均流量と駿河湾(吉田、用宗、由比漁港)におけるシラス水揚げ量の関係(月平均流量が80m³/sを超えた4観測点)

●今後の展望

一般研究5年目にあたる来年度は最終年度である。これまでの研究成果をまとめ報告するとともに、河川管理に資するためのより具体的な方策を河川事務所とも連携して提示・実践してゆく。

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 (九州大学大学院教授)

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構造や河川を特定する。

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。被災地河川は災害直後の2017年秋、対照河川や本川に比べて検出種数とDNA総量が小さかったこと(図-1)、その後、2019年、2021年と生物量を増加させたことから、豪雨で負の影響を受けた後、徐々に回復を見せていると判断された。対照河川については、豪雨直後、被災河川よりも高い生物量を示したが、2019年に減少、そして、2021年には増加傾向を示した。2017年の豪雨直後は、流域全体での生物のストックとして機能した可能性、そして、その後の減少は出水による影響の可能性が示唆された。

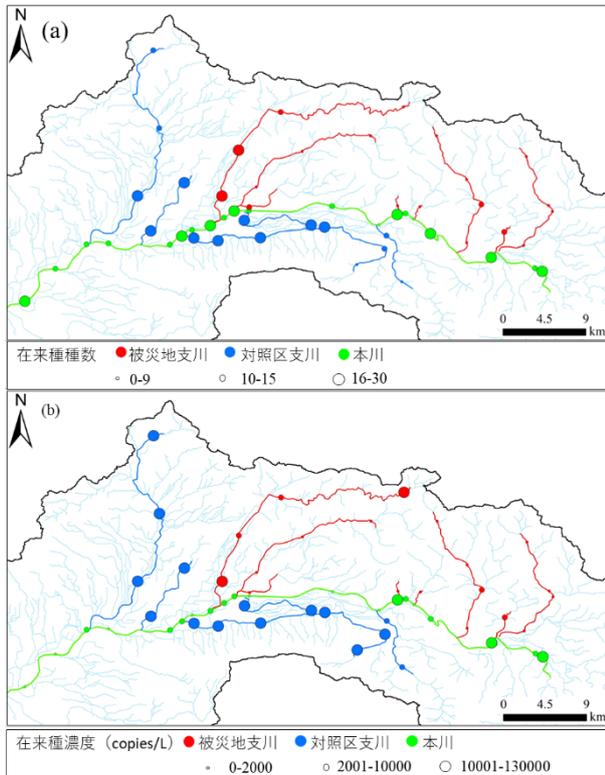


図-1 環境DNA定量メタバーコーディングによる災害直後(2017年秋)の被災河川(赤)、対照河川(青)、本川(緑)の種数(a)およびDNA量(b)

狭域的な視点で生態系の回復ソースとして機能した空間構造に着目すると、ダム湖やため池が豪雨災害時に魚類を受け止め、回復の起点となったこと、

被害を受けなかった支流からの加入があったことなどが挙げられる。

なお、豪雨被害が大きかったエリアにおいて、生態系に大きな被害が認められなかった河川もあった。伝統工法を使った横断構造物が被害軽減に貢献した河川(写真-1a)、ダムの貯水機能により下流への被害が軽減された河川(図-1aの赤の大きいプロット)、河床が大きな攪乱を受ける前に氾濫することでセグメント2区間の生物に影響がなかった河川(写真-1b)などが挙げられる。

甚大な被害を受け、災害直後に魚がいなかった川(写真-1cd)で、現在、タカハヤが個体数を増加させている(写真-1e)。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(図-2)。



写真-1 野鳥川の石畳(a)、災害直後の桂川の下流河道(b)、災害直後(c)とその3年後(d)の妙見川上流および3年後の妙見川で採集されたタカハヤ(e)

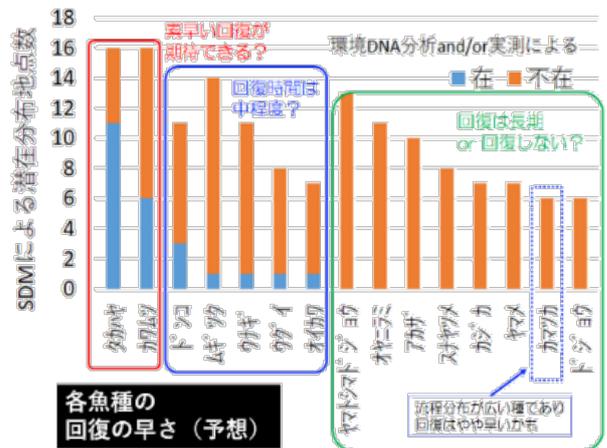


図-2 魚類の回復の可能性

DNA レベルでタカハヤの流域内での集団遺伝構造を調査したところ、被災河川だけでなく、対照河川においても遺伝的多様性の上昇傾向が認められた。この結果は、2017年の豪雨被害あるいはその後の豪雨で対照河川のタカハヤ個体群に影響があったことを示している。そして、特筆すべき事項として、2017年に大きな被害を受けた妙見川において遺伝的多様性の劇的な回復が認められた点が挙げられる。この川の調査地点の下流にはため池があり、災害直後の調査でため池からタカハヤの環境DNAが検出され、先述したように、ダムやため池のストック効果が言われていた。恐らく、出水により流されたタカハヤがため池で受け止められ流下を免れたことで、速やかに上流域へ再度進出できたことが、遺伝的多様性の急激な回復につながったと考察される。

渓流域の水生昆虫類の回復については、河道地形が現在も回復途中であり、それに呼応したタクサ数の変化を見せている。表層地質の影響は顕著であり、花崗岩質の河川での回復が遅い傾向を見せている。そして、災害から数年たった今、河道で水枯れが起こり、回復途中にあった水生昆虫類が減る現象が確認された。災害前後での流域内の保水力や流出パターンに変化が生じたことが想像される。興味深い現象である一方、調査地の多くで河川改修工事が行われ、調査の継続そのものが難しい状況になりつつある。

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があった。そのような河川では、飛ばない水生甲虫のヒメドロムシ類(写真-2abc)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、

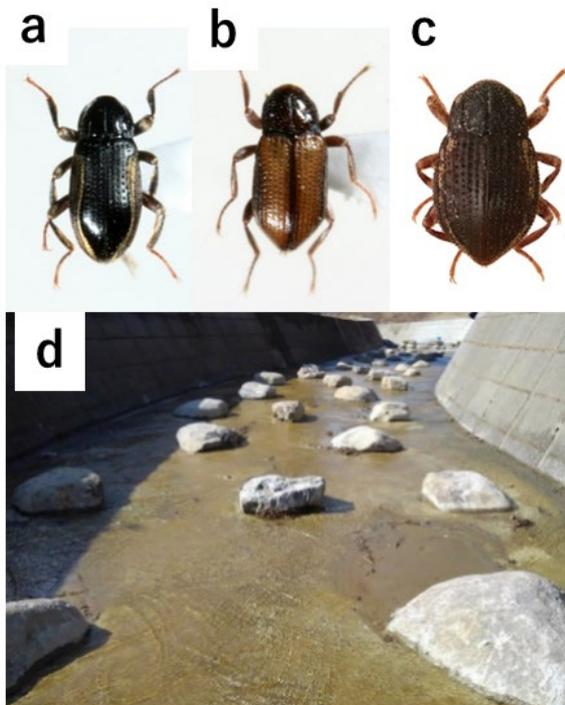


写真-2 代表的なヒメドロムシ類(高頻度で出現する種: a ミゾツヤドロムシ; 出現頻度が小さい種: b ヒメツヤドロムシ, c キュウシュウカラヒメドロムシ) およびヒメドロムシすら生息できない河川改修後の溪流河川

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。特に、山地溪流河川の災害復旧においては、河床低下を防ぐため河床をコンクリートで固めるケースが多発している(写真-2d)。土砂が堆積するケースを除き、その生態系への負の影響は極めて大きく、溪流河川における河川整備の在り方について早急に対応策を提案する必要があると考えている。

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、先述した通り、災害直後もセグメント2区間で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により、各種の生息区間の全域がわずか1-2年で改修されるため、その影響は極めて大きい。現在、回復傾向を見せてはいるものの、セボシタビラをはじめ、数種の魚類が確認できない状況にある。

令和2年3月に種の保存法指定種となったセボシタビラ(写真-3a)については、桂川で採集された数個体を九州大学水産実験所に避難させ、人工授精での採卵(写真-3b)により個体を存続している。そして、桂川セボシタビラ等勉強会を開催(令和5年7月と翌年2月)、環境省、福岡県(河川および自然環境行政)、地元のコンサルタント会社等と議論を行いながら、令和5年8月に約70個体(写真-3cd)、令和6年3月に約230個体を再導入した(WWFジャパンも再導入に協力)。本種については、種特異的プライマーを使った環境DNA分析技術を確立済みであり、放流効果等をモニタリングしながら、今後の対応を検討することとしている。今回、河川生態学術研究会筑後川グループが主導して、桂川での本種の対応を行ったが、種の保存法指定種が生息する河川で災害が発生した際の対応をどのように行うべきかは、関連省庁の主導のもと、事前に協議しておくことが必要であろう。課題の一つとして挙げておきたい。



写真-3 系統保存中のセボシタビラ雄(a)と採卵の様子(b)、および桂川への再導入の様子(cd)

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

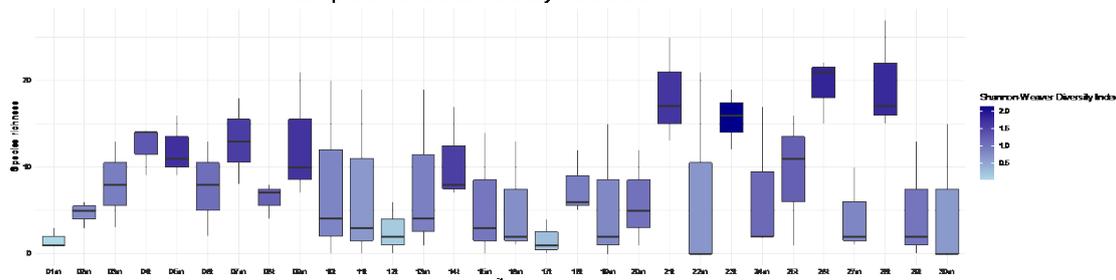
千曲川・信濃川水系を主たるフィールドとして、魚類等の淡水生物の生息地連続性を把握し、出水による河川の攪乱や河川工作物が、その連続性、さらにはメタ個体群の構造や持続性、群集構造、生物間相互作用に与える影響を明らかにする。(1)水系における複数の生息域からなるメタ個体群の基本構造と攪乱に対する応答、(2)生息域内の群集を調査から把握し、(3)これらをメタ個体群モデルに組み込むことにより、河川の生息域連結の重要性を明らかにする。さらに、(4) 魚類移動モニタリング技術の開発をこれらの研究に応用し、(5) 信濃川水系における魚道・堰の改修に向けた提言を行う。

(1)魚類のメタ個体群構造を明らかにするために、環境DNAを用いた支流を含む源流域から河口までの千曲川・信濃川水系の魚類相調査を行い、ダム等河川工作物で移動が制限される生息地ごとの魚類分布を明らかにした。ここでは、絶滅危惧種を含む61種の魚が検出され、上流から下流にかけての魚類群集の種の豊かさや多様性の変化や類似性について明らかとなった。また、支流のほうが本流よりも種多様性が高いこと、同種内の遺伝的多様性が生息地間で異なることも分かった。さらに、水質と河川構造が魚類の現存量 Index (eDNA read count) に影響を与えることが、統計解析により示唆された。上田市内の電気漁法・eDNA 調査では、支流-本流間の障壁数の増加が分類学的・遺伝学的多様性が減少させることや、生息地の不均質性が魚類群集の多様性を増す傾向を見出した。攪乱の影響調査では、千曲川中流では台風19号の前後で、コクチバスの減少とオイカワの増加が見られた。外来魚ブラウン

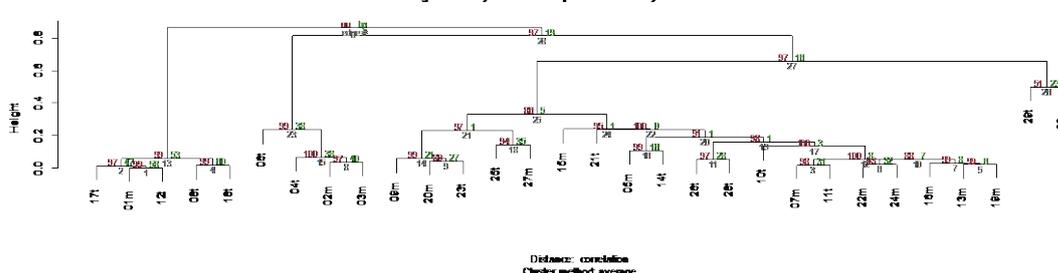
トラウトのイワナ生息域の上流への分布拡大を理解するために eDNA 調査を行い、外来魚の遡上を阻止している堰堤のマッピングを行っている。(2) 河川内の石表面の微生物叢への攪乱影響について、EcoPlate を用いた野外調査の結果から速い流速で多様性が高いことが示唆された。流速の影響について厳密な検証するための室内実験を行いつつある。(3)目的に応じて流体力学的なモデルと生態学的なモデルを使い分ける。千曲川中流域の長期的な河道地形の変遷(1976-2020)と台風19号の発生前後の地形変化を調べた結果、土砂量増加、結節網状度減少、直線的な流路の形成が明らかとなった。台風の影響では、全体的には土砂量の増加が見られた。(4) 水路に水中カメラを設置し、リアルタイム動画記録システムを構築した。機械学習による画像分析の精緻化を進めており、信濃川全域の複数の魚類の画像からの判別を試みている。(5) 流域の分断化に関するモデルを構築する準備を始めた。魚類の分布・現存量・多様性、環境、維持流量、魚道の性能等に関するデータ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する予定である。



Fish species richness and diversity in the Shinano River



Dendrogram Analysis of Fish Species Diversity in the Shinano River



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

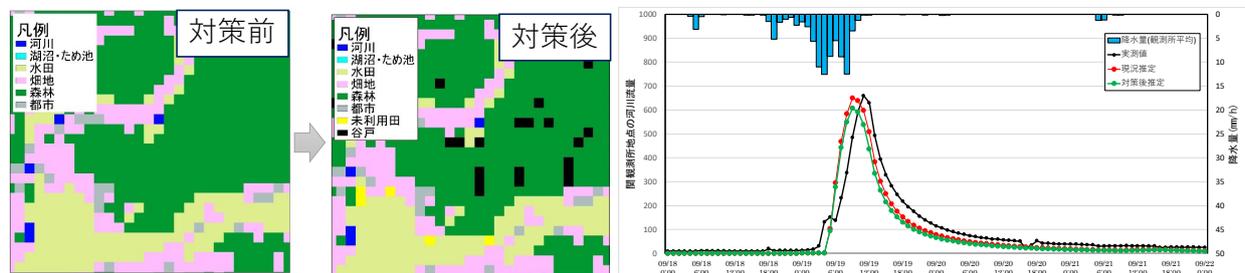
長良川（2023～2028 年度予定） 代表：萱場 祐一（名古屋工業大学教授）

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。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。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。上記の結果から、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。2023年度（令和5年度）に実施した②の研究では、比較的水田等の土地利用面積が多い津保川流域を対象として谷戸、耕作放棄地の貯留・浸透能を高めた場合の流出量の低減量を感度分析的に評価しました。対策後はハイドログラフに対して流出量が減少していることが分かります。また、生息適地モデルから数種のトンボについては生息地面積が増大することも分かりました。



多様な扇状地河川を有する富士川流域における治水と環境を両立する

流域治水策の検討に向けた研究

富士川（2024～2029 年度予定） 代表：大槻 順朗（山梨大学大学院准教授）

研究目的

- ①流域特徴による潜在的河道環境と氾濫原環境が生態系に与える影響の解明
- ②本川扇状地氾濫原における水温形成と生態系における機能の解明
- ③扇状地河川の支川・本川・氾濫原の機能による水系全体での相互補完性の解明
- ④扇状地河川の環境の保全再生に資する流域治水施策の提案と評価

研究概要

本研究の最終目標は、「扇状地河川の特性に基ついた流域治水対策による生態系の保全・再生プロセスの提案」です。研究対象を、本川に流れ込む急こう配の「支川」と直轄区間に相当する「本川（釜無川や笛吹川）」とに領域を区分し、さらにそれらの河道と氾濫原における課題に取り組みます。

支川に関しては、支川河道の環境変化を継続的にモニタリングし、植生の定着や時間経過を評価します。先行研究では、河道の礫列構造に着目し、これらの流域間比較と人為改変の影響を調査しました。対象生物種や領域を拡大し、インパクトレスポンスモデルの妥当性と精度を向上させます。また、氾濫原領域を含む河道＝氾濫原の統合的環境指標として両生類（カジカガエル）に着目し、広告音（鳴き声）調査から環境との関係性と指標としての有効性を検証します。これらを通じ、河道掘削の影響を最小限にとどめる工法の提案や、氾濫原での樹林帯の治水・環境両側面での寄与を定量評価し、具体的な提案に結びつくエビデンスを得ていきます。

次に、本川氾濫原では、本川の氾濫原水域の水温動態や生物群集の応答を継続的に評価します。この水域では夏季に湧水による水温低下効果が確認されています。また、環境DNAによる魚類相の空間分布が季節間で異なっており、本川・氾濫原における環境の相互補完性が示唆されます。さらに、取水操作が水環境に与える影響を評価するための水理モデルを構築し、利水による生物多様性への寄与を評価します。

また、洪水履歴や微地形に基づいて地域を特徴づけ、過去の災害や治水システムを総合的にレビューします。想定される流域治水施策の評価モデルを構築し、合理的な対策優先順位やホットスポット抽出手法を確立します。これらの知見を基に、最終的に扇状地河川の生態系保全・再生プロセスを提案します。

河川水温の時空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を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）。

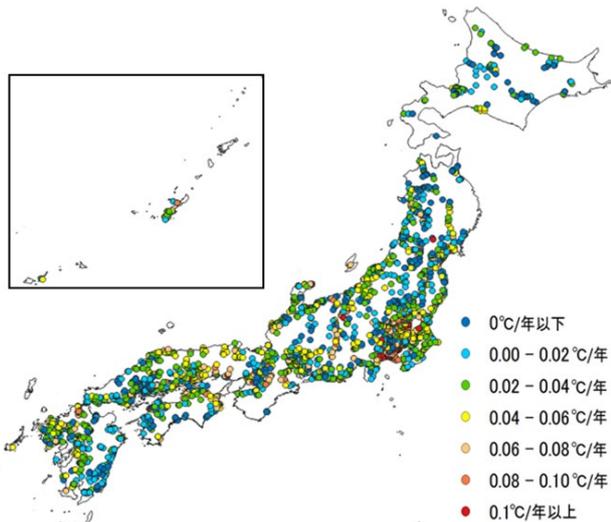


図-1 全国の水溫観測地点における1981-2015年の年平均水溫の変化

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。

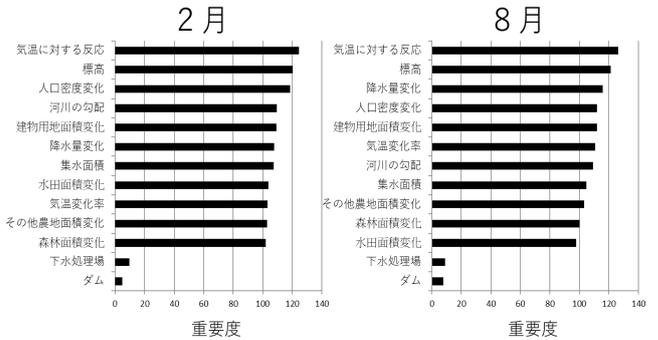


図-2 全国の水溫変化率を予測するモデル（ランダムフォレスト）における環境要因の重要度（2月と8月の例）

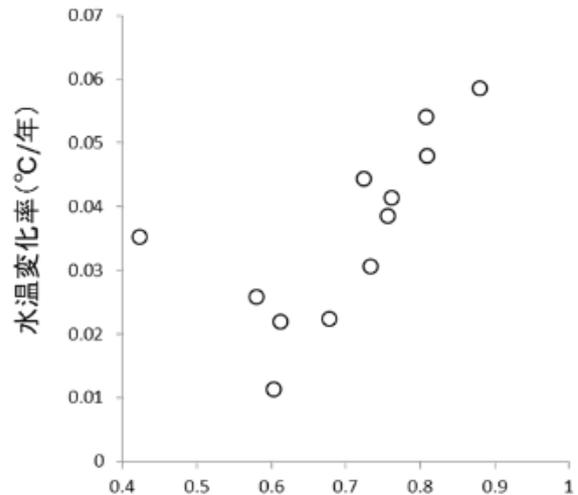


図-3 菊池川水系における水溫と気温の關係（水溫の気温に対する回帰の傾き）と経年的な河川水溫変化率の關係

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）。

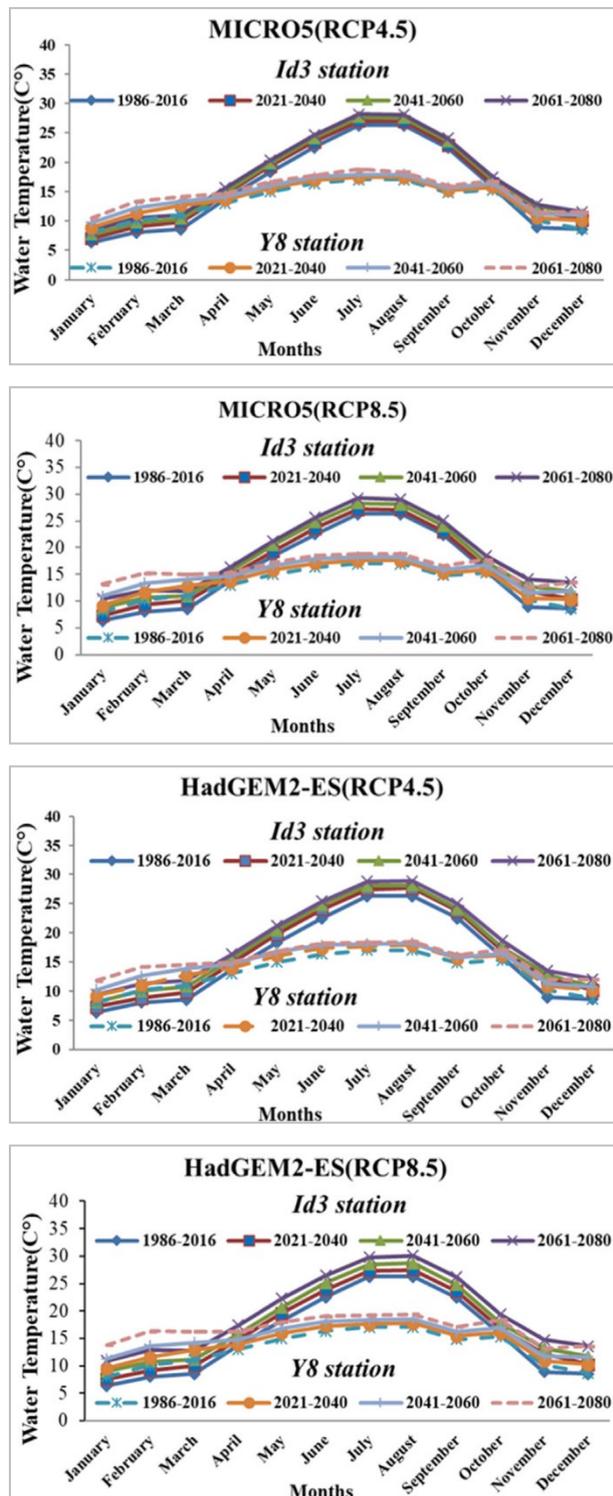


図-4 RCP4.5 及び RCP8.5 シナリオ、HadGEM2-ES 及び MICRO5 気候モデルを用いた菊池川の 2 地点 (Id3: 上流、Y8 下流) における河川水温変化の将来予測 Reihaneh et al. (2020) J. Hydrol.

●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)。

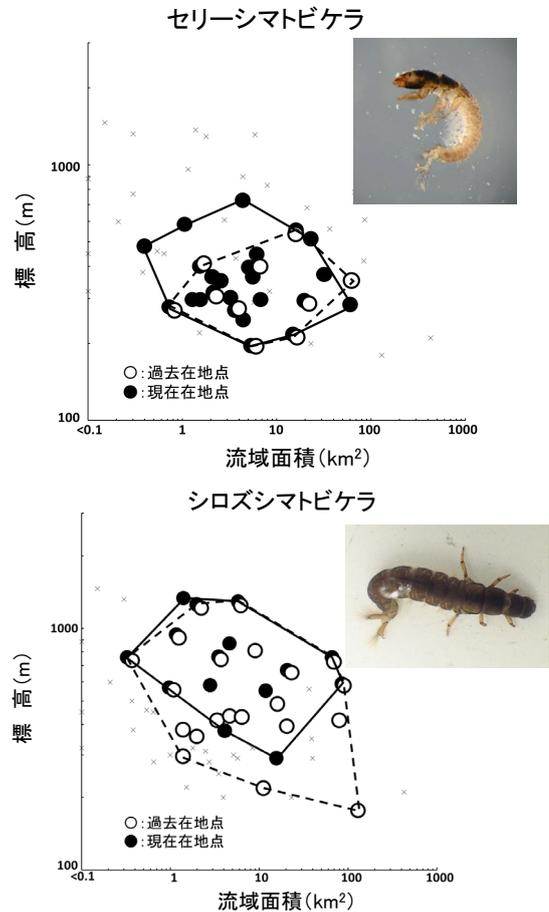


図-5 多摩川におけるトビケラ 2 種の分布の変化

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樣ではない。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 41 km 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

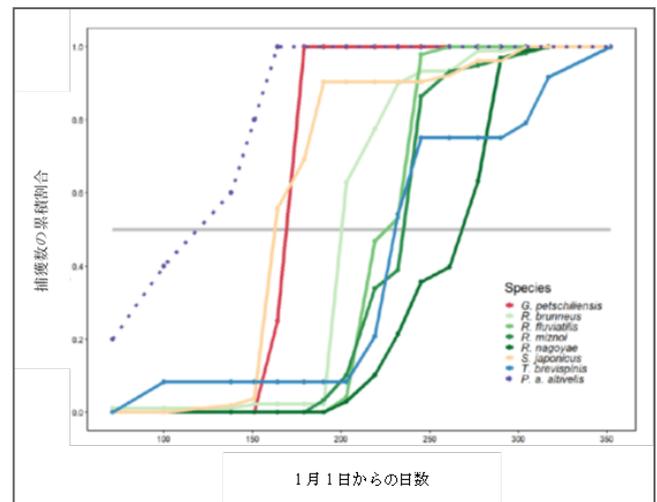


図-1 両側回遊魚各種の捕獲数の累積割合。図中の横線は累積割合50%を示す（Tanaka et al.の図を改変・引用）

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、川の一區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。

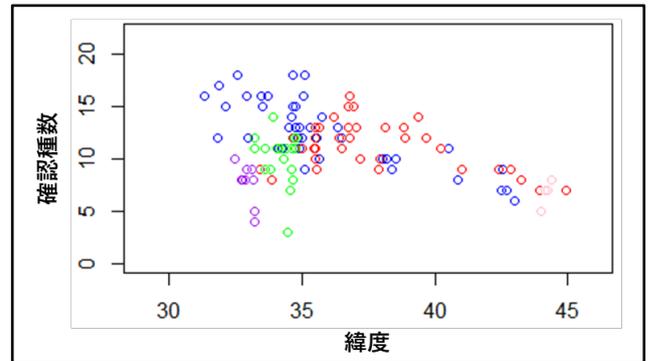


図-3 両側回遊魚の種数と緯度経度の関係

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画像から直接「在・不在」を判別する方法の構築
 ②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。

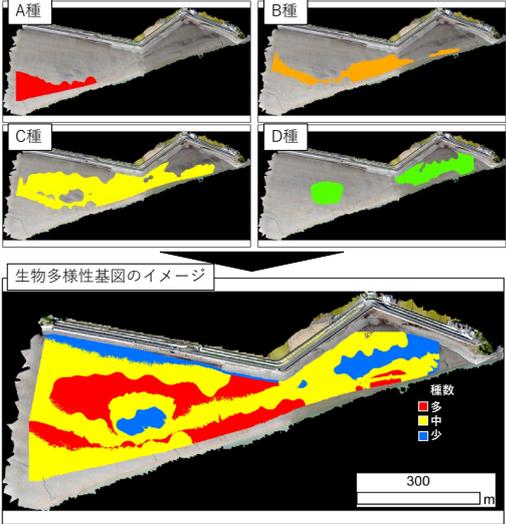


図-1 最終的な研究成果のイメージ

●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とともに、「群集タイプ」の判別を試みる予定である。

●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、対象分類群に応じた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、間隙水から干潟に生息するハゼ科魚類が検出されることが明らかになった。様々な粒径の干潟で、採集と間隙水の環境 DNA 分析の結果を比較したところ、間隙水の環境 DNA 分析は、特に礫干潟では採集より効率的であることが明らかになった。今後は、ミズハゼ類が識別可能なユニバーサルプライマーを用いた野外調査、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。

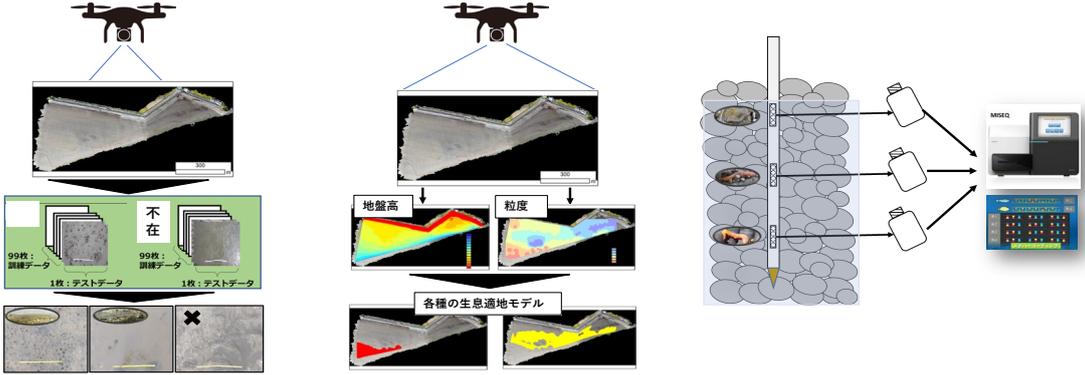


図-2 本研究の3つの手法のイメージ

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。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。

出水の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や、調査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。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て攪乱外力を評価するとともに、各手法の生態学的な適用性の検討し、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学的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・維持している。北海道札内川、愛媛県面河川流域および愛媛県石手川では、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て解析を進めている。このうち札内川については、得られたサンプルを利用した DNA 分析にも取り組んでいる。また、石手川についてはダム下流にも調査地点が設定されており、貯水ダムが底生動物・魚類応答に及ぼす影響についても検討を進めている（図-1）。北海道内保護水面における魚類データや愛媛県重信川の長期底生動物データ、河川水辺の国勢調査の魚類・植生に関する過去データを整理して生物の長期動態に関する解析を進めている。さらに、国内河川を対象として出水攪乱に対する生物応答を把握した既発表論文を収集して関連情報を蓄積している。

●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、宮崎県小丸川で開発した分布型流出モデルを魚類データが蓄積されている北海道内河川に適用すべく、鶴川流域にて流況再現結果の精査とモデルの改善を進めている（図-2）。土砂水理学的手法については、長野県千曲川水系等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進めている。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て適用性を検討するとともに、各手法の改善を目指す。

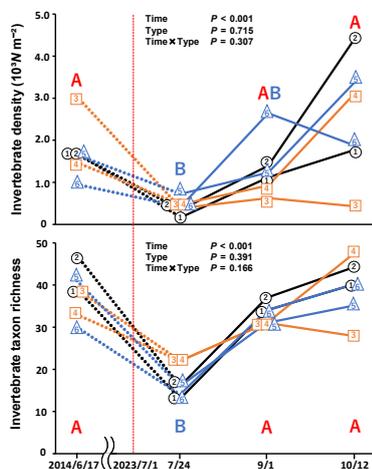


図-1 愛媛県石手川で発生した大規模出水に対する底生動物の応答。生息密度（左上）、分類群数（左下）および群集構造（右）の時間的変動。

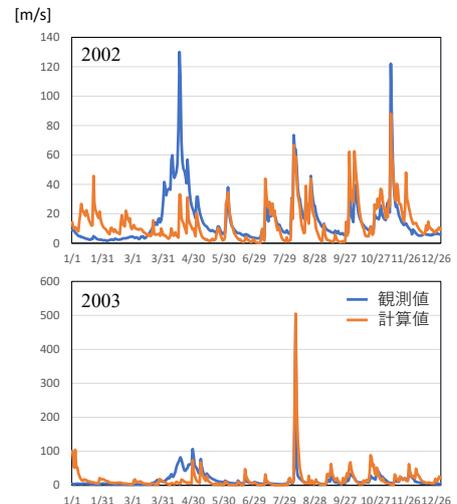
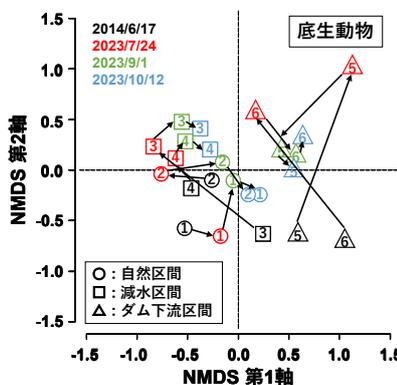
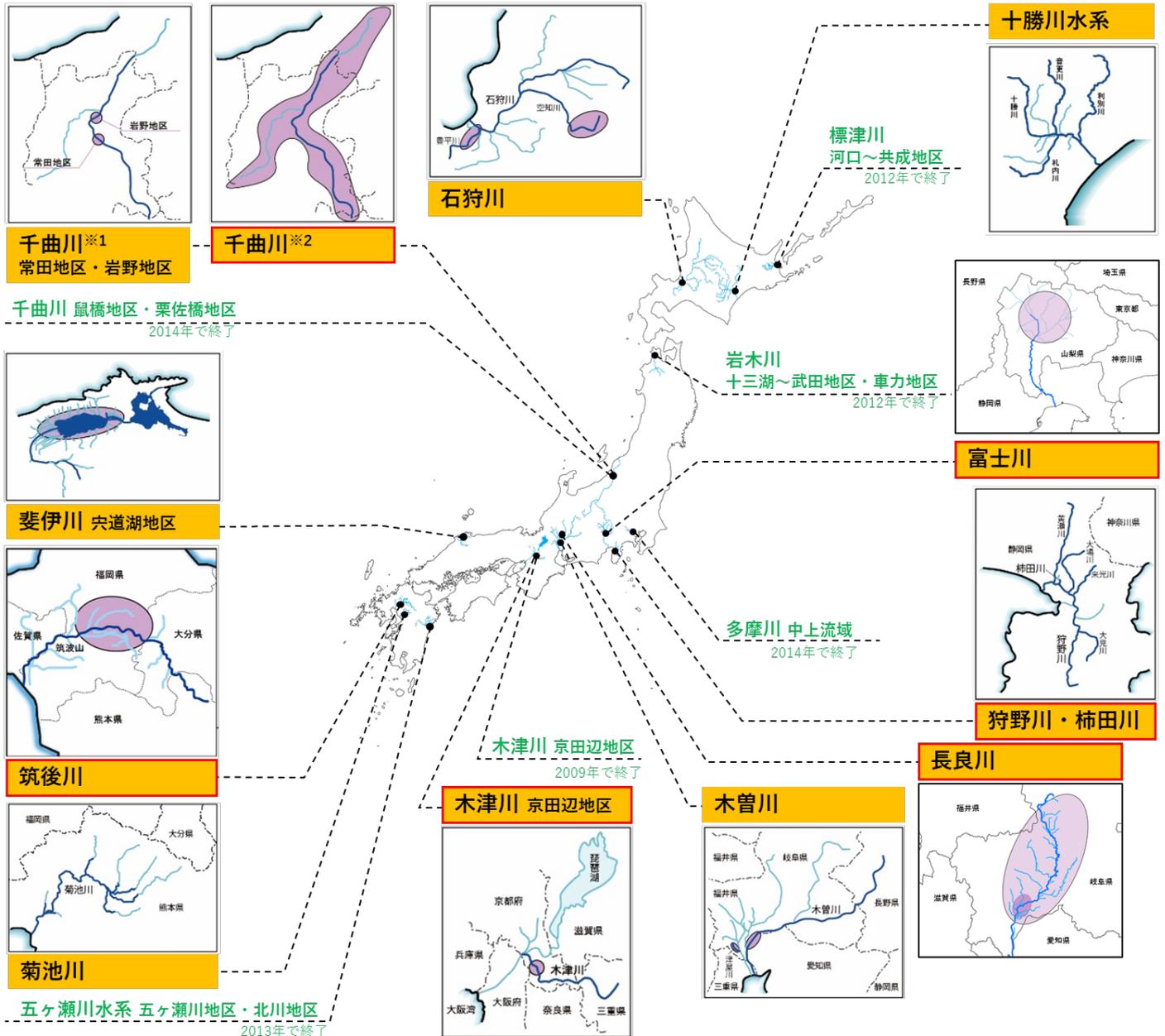


図-2 北海道鶴川流域の福山観測所における流出解析計算結果と観測値との比較。

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
治水課

TEL 03 (5253) 8447

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 6 年 8 月 第 20 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：淀川水系木津川(上から聖牛設置 0 年目(2017 年)、聖牛設置 3 年目(2020 年)、聖牛設置 5 年目(2022 年))
提供：竹門康弘(大阪公立大学客員研究員・木津川研究グループ代表)