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。

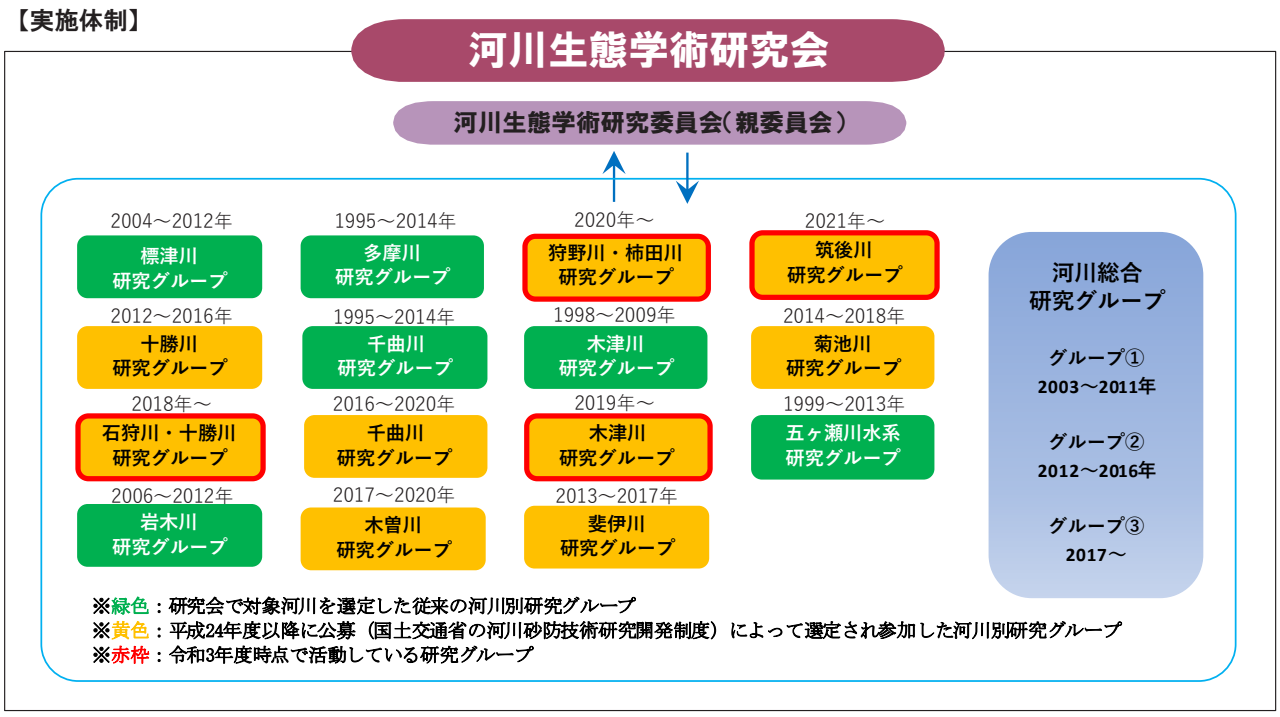
Ⅳ．洪水や渇水などの河川が本来持つ攪乱などの自然のインパクト及び河道や流量の管理、物質の流入などの人為的インパクトの影響を明らかにする。河川環境の保全・復元手法を導入し、その効果を把握・評価する。

Ⅴ．Ⅰ～Ⅳに関する結果を総合し、生態学的な視点を踏まえた河川管理のあり方を検討する。

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】

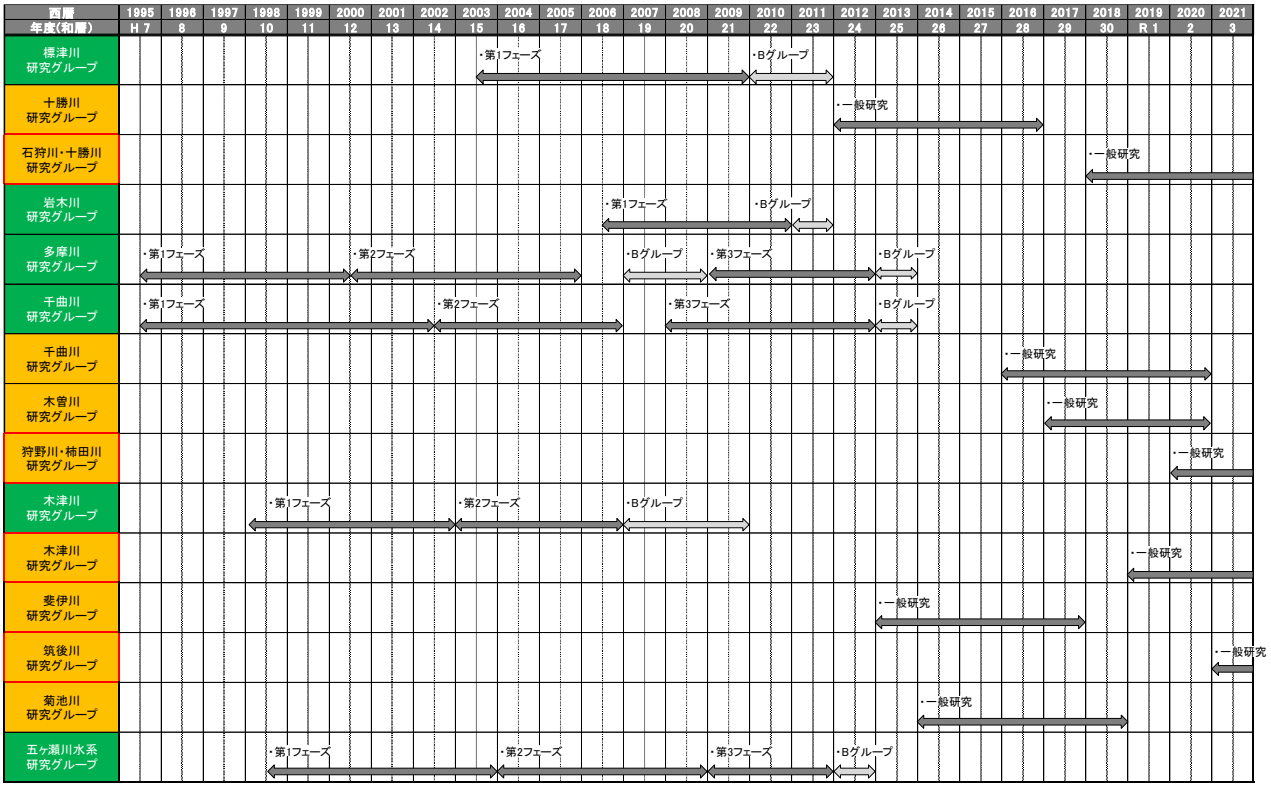


3．研究会の歴史

研究会は、平成 6 年(1994 年)からの 4 回の準備検討会を経て、平成 7 年(1995 年)に設立した。同年には、実際のフィールドを対象に調査研究を行う河川別研究グループとして、多摩川と千曲川を研究対象とした二つの研究グループが研究を開始した。その後、かく乱の多い砂河川の木津川で平成 10 年(1998 年)から、北川(のちに五ヶ瀬川水系に拡大)では、大規模出水に伴う激特事業と連動する形で平成 11 年(1999 年)から、蛇行復元試験地を持つ標津川で平成 16 年(2004 年)から、汽水湖である十三湖を持つ岩木川で平成 18 年(2006 年)から、それぞれ研究が開始され、研究対象河川は全国に広がった。平成 24 年(2012 年)からは、新たに河川砂防技術研究開発公募(国土交通省)に採択された研究グループが参加する形となり、平成 24 年(2012 年)の十勝川をはじめとし、斐伊川(2013 年)、菊池川(2014 年)、千曲川(2016 年)、木曽川(2017 年)、石狩川・十勝川(2018 年)、木津川(2018 年)、狩野川・柿田川(2020 年)が研究会に参加した。

また、平成 16 年(2004 年)に設置された総合研究グループは、河川別研究グループの研究成果を横断的にとりまとめたり、特定のテーマに着目した全国の河川の研究などを進めている。設置当初のグループは、「植物」、「基礎生産」、「ベントス」、「河川生態の構造と機能」の 4 つの研究テーマを設定し、研究テーマごとにワーキンググループを設け研究を進めた。平成 24 年(2012 年)からは二つ目のグループが、河川水辺の国勢調査結果など統一的なデータを用いて、全国的な樹林化傾向の把握やメカニズムの解析に取り組んだ。平成 29 年(2017 年)に始まった現行のグループからは、若手研究者の育成にも重点が置かれ、気候変動が河川水温、河川生態系へ与える影響の把握、回遊性生物が河川生態系に与える影響の把握(生態系ネットワーク)をテーマとした 2 グループが研究を進めている。

河川別研究グループの研究経緯



※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 3 年度時点で活動している研究グループ

4．研究の紹介

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

千曲川（2016～2020 年度） 代表：平林公男（信州大学大学院教授）

研究目的

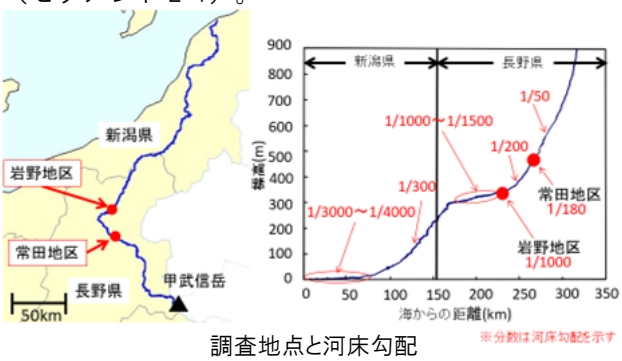
①「生息場の質と構造」が多様で「物質循環と生物生産性」が活発に行われている河川中流域の瀬・淵ユニットにおいて、観測技術・分析技術を駆使し、物理環境、一次生産及び二次生産を一連の系としてとらえる「生物生産系」の構造解明を行う。

②河川生態系は、時間的・空間的な変動が大きいため、複数年・流域を通した野外データ観測を継続し、二次生産力の変動幅を明らかにする。

③フィールドにおいて直接観測が出来ない項目や、推測が難しい項目については、近年著しい進歩が認められる数値モデルを駆使し、二次生産系全体の把握に努めるとともに、二次生産系を良好に保つための河川管理基準を提案する。

●河川及び研究地区の概要

千曲川は甲武信ヶ岳（2,475m）に源を発し、長野市において犀川を合わせて北流し、新潟・長野県境で信濃川と名を改める。信濃川は一級河川で、日本で最も流路延長の長い河川である。常田地区は上田市に位置する常田新橋から上田橋を中心とした約 1,500m の区間である。河原は中流区間特有の砂礫で構成されており、平均河床勾配は、1/180 程度、蛇行を繰り返しながら瀬と淵を形成する中流域の景観が顕著である（セグメント 1）。また、岩野地区は長野市岩野地先に位置する岩野橋を中心とした約 1,000m の区間である。平均河床勾配が 1/1,000 程度、複列砂州と交互砂州の混在領域となっている（セグメント 2-1）。

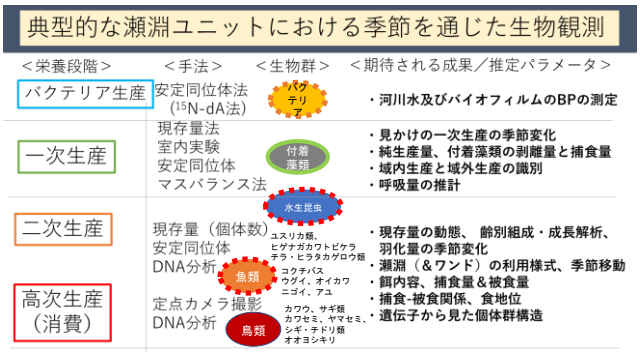


調査地点と河床勾配

信濃川流域図（千曲川）

常田地区調査地点

岩野地区調査地点



●二次生産系を解明するための研究体制

本研究においては、千曲川中流域における二次生産系を明らかにするために、以下の 7 研究小グループ（バクテリア生産グループ、一次生産グループ、水生昆虫類グループ、魚類グループ、鳥類グループ、物理環境・モデルグループ、流域スケールでの物質移動解明グループ）を作成し、調査研究にあたった。以下に調査グループ毎に、研究成果の概要を示す。

【バクテリア生産グループ】

常田地区（瀬・淵）、岩野地区（瀬）の 3 地点において、河川水中およびバイオフィルム中のバクテリア生産量を千曲川で初めて測定した。生産量は地区、河川単位の違いよりも季節変動が卓越することが明らかとなった。また、生態系総生産量と比較すると極めて小さい値（1.8%）であることを明らかにした。

【一次生産グループ】

現場での水中溶存酸素濃度の連続観測からマスバランス法により生態系総生産量と生態系呼吸量の算出を行った。また、現場での付着藻類の現存量変化の観測および室内培養実験から付着藻類の剥離量と被食量の純生産量に占める割合を求めた。さらに流下有機物の起源を炭素安定同位体比から求め、これら情報を統合し、常田地区における炭素の物質収支を推計した。四季を通して総生産量を呼吸量が上回った。

【水生昆虫類グループ】

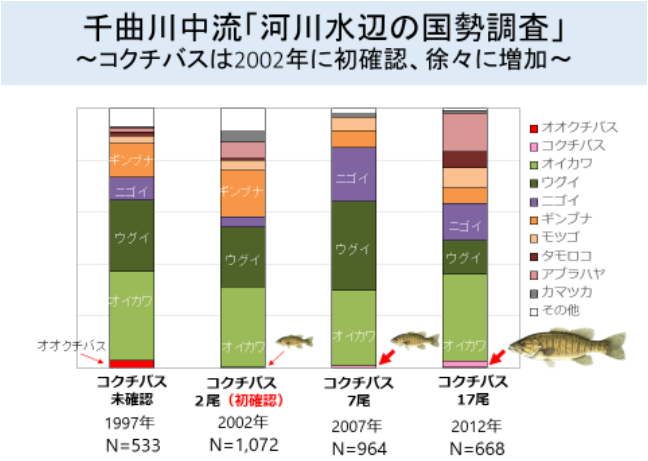
①羽化法を用いてユスリカ類、ガガンボ類、その他の水生昆虫類について、瀬淵における二次生産力を推計した。②カゲロウ類については、現存量法から瀬・淵における二次生産力を推計した。③瞬間成

長法を用いて、トビケラ主要５種の生産力を推計した。以上の結果から、水生昆虫類の生産力に与える要因として(1)年による洪水攪乱の時期と規模の違い、(2)流程の異なる場所による違い、(3)瀬淵の違いの３点に整理ができた。さらに、トビケラ類の生産力が水生昆虫全体の 50%以上を占めること、カゲロウ類は全体の 10%程度しか占めないが、物質循環の観点からは極めて重要であることなどが明らかとなった。

トビケラ幼虫

【魚類グループ】

千曲川中流で優占する在来魚ウグイ、オイカワ、ニゴイならびに外来魚コクチバスの分布、個体数、現存量の動態を調査した。中流域のコクチバスは 2015 年の調査開始以降、個体数密度、現存量ともに高い水準を維持したが 2019 年秋の大規模出水で激減した。2019 年までの魚類現存量および食性データに基づき「瀬」と「淵」における主要魚種の日当たり捕食量（藻類、水生昆虫、魚類）を推定した。



【鳥類グループ】

瀬淵ユニットにおける鳥類別の利用頻度の現地観測を定点カメラにより行った。岩野地区と常田地区に加えて鼠橋地区、冠着地区に調査範囲を拡大した。その結果、食物へのアクセス性が瀬淵の鳥類相とその多寡に影響を与えるという一般性を確認することが出来た。また、淵が主に昼間利用されるのに対し、瀬では昼夜を通して鳥類の利用が見られ、捕食圧が相対的に高いことが示唆された。

【物理環境・モデルグループ】

淵における微細粒子堆積シミュレーションを行い、その堆積に関する空間的な分布を検討した結果、常田の淵では、左岸近くの主流部から外れた箇所に流下物質が堆積しやすい傾向にあり、岩野の淵では、左岸側と淵中流部の右岸側に堆積しやすい傾向が得られた。河川流況・生物間相互関係を考慮し生産性を推定する河川版コンパートメントモデルを提案し、その有効性を確認した。生産性管理基準として、河川横断測量データに基づき広い瀬、水際部及び生物生産の状況を推定できる「b(平水時の平均川幅)/ h(平水時の平均水深)」を提案し、その有効性を確認した。

【流域スケールでの物質移動解明グループ】

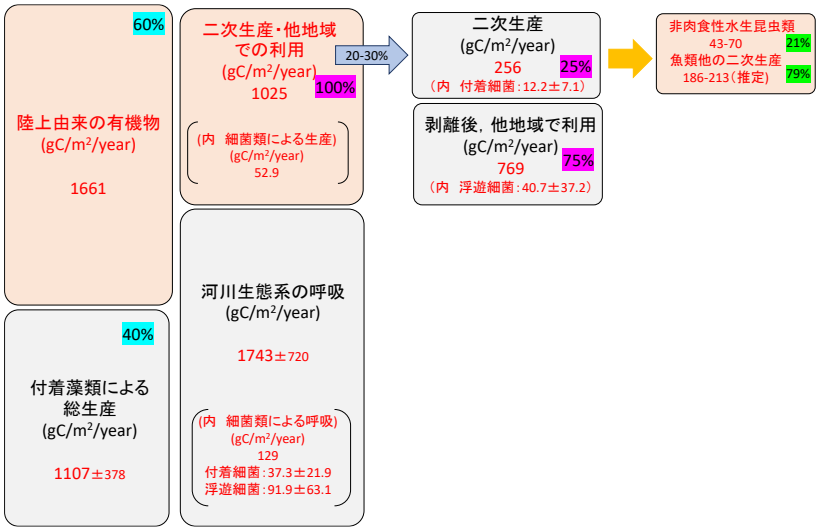
瀬や淵、ワンド・たまりなどの様々な生息場を利用する水生昆虫類の個体群構造と遺伝構造の解析を実施した。その結果、水系内の移動分散の方向性や強度に関する解析を実施し、水系内の「source-sink（供給源-供給先）」の関係性を議論するとともに流域内における遺伝的多様性のホットスポット評価を実施した。

●まとめ

千曲川中流域における炭素の物質収支については、下図に示すとおりである。バクテリアの生産量・呼吸量が極めて小さいこと、外来生有機物と内生有機物の比が６：４であること、河床の呼吸量がかなり大きいことなどが明らかとなった。

●河川管理への応用

健全な中流域の河川生態系の物質循環を維持するために、短期的な視点からは、栄養段階の上位に位置する魚類（コクチバス）や鳥類（カワウ）などの個体数の管理が重要である。中期的な視点からは、外来生有機物の供給源としての河畔林の適正な維持管理、藻類現存量増加のための浅く広い瀬・水際部の創出（砂礫河原再生事業の継続）が重要である。長期的な視点からは、定期的に河床の土砂が大きく動く大・中規模攪乱のある瀬・淵構造が明瞭な河川の維持・再生、支流河川の果す役割の再認識等が指摘できる。



千曲川中流域の瀬における炭素の物質収支

木曽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

木曽川(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

木曽三川は、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応答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。

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（撹乱更新の水域）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渇水位～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。

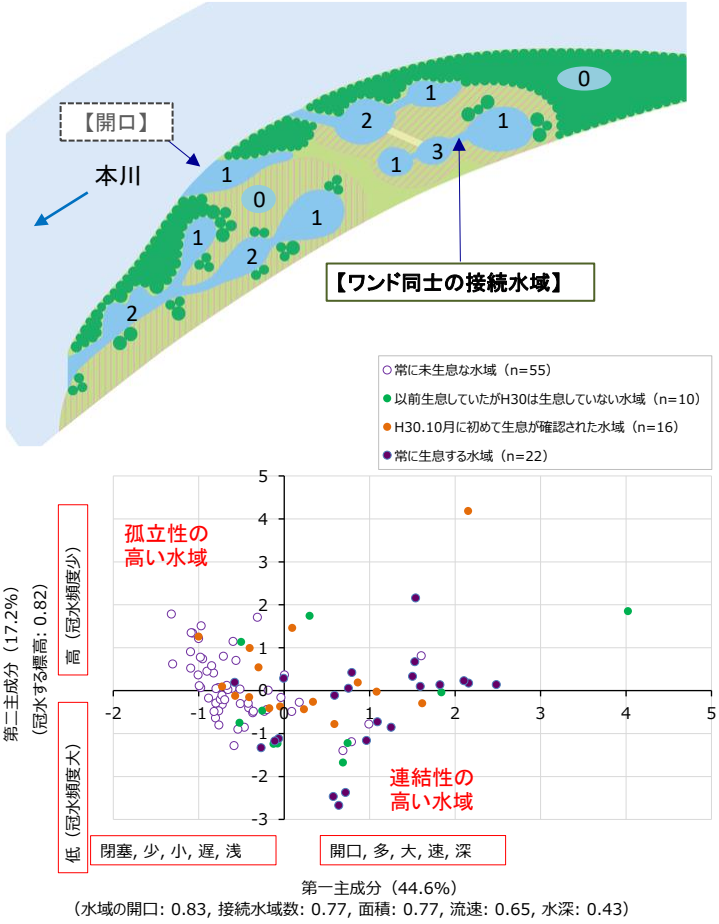


図-2 各ワンド等水域の物理環境とイタセンパラの生息有無との関係

⑤糞 DNA 分析から外来種ヌートリアによる二枚貝の食害が裏付けられ、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。

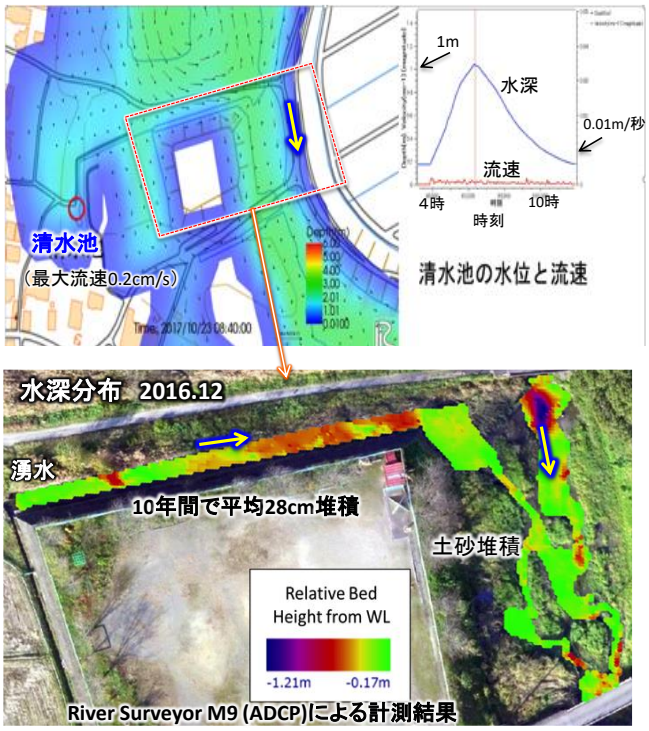


図-3 中流湧水域におけるハリヨの営巣微環境としての出水時の水深・流速分布(iRIC 解析)と平水時の水深分布(土砂堆積の動向)

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。木曽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曽川中流域では、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度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。

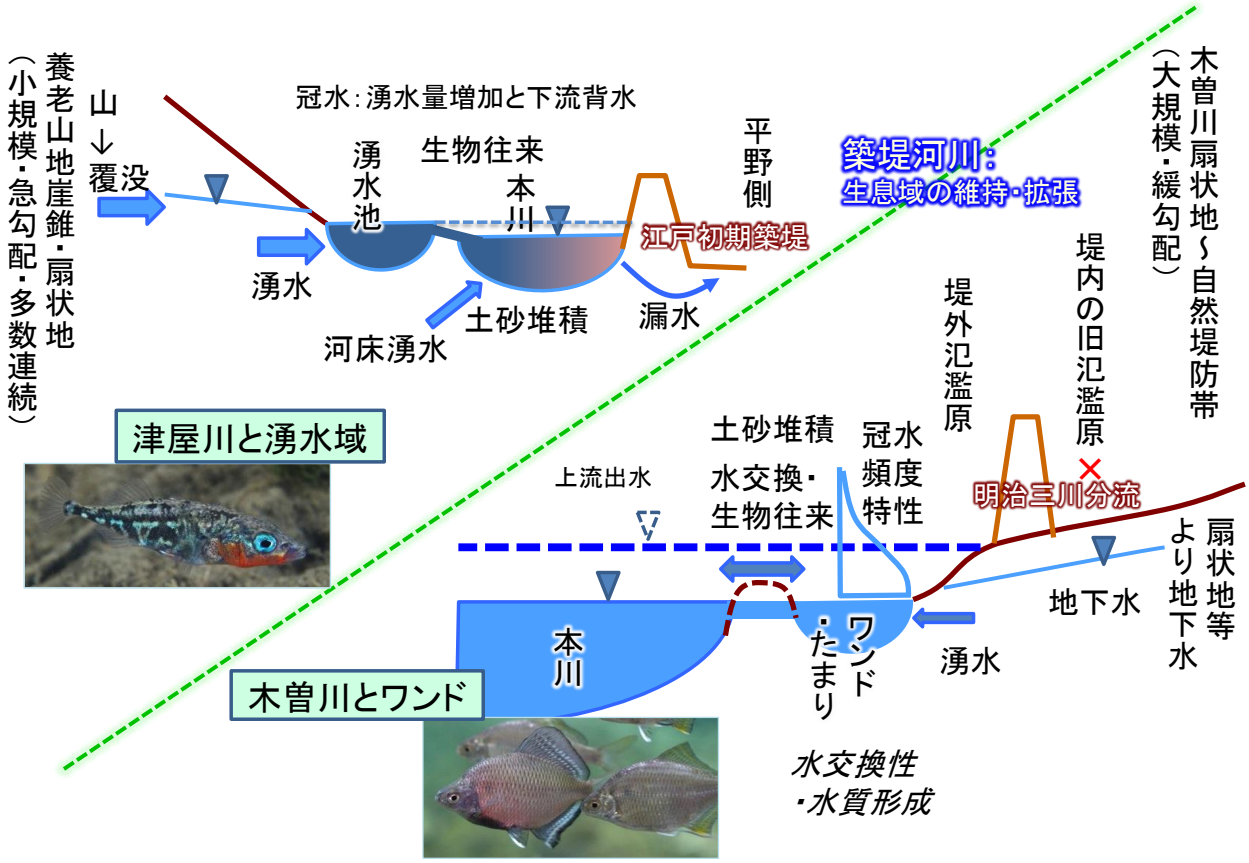


図-4 河川形成に築堤の歴史をもつ木曽川と津屋川における河川環境の特徴と共通項

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（CO_2 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。

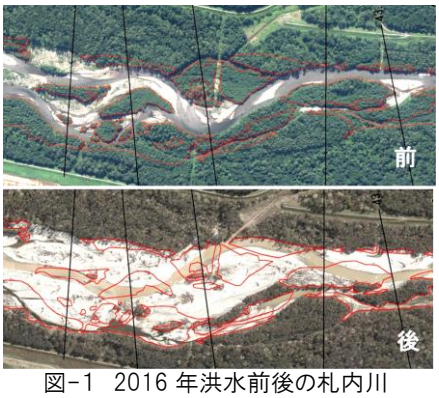


図-1　2016 年洪水前後の札内川

【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の一種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。

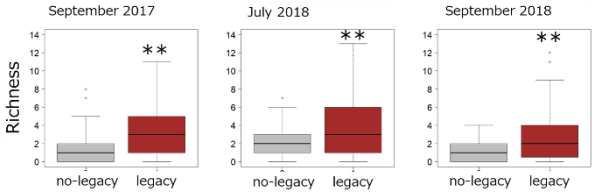


図-2　十勝川･札内川における大規模出水後に残された攪乱レガシーと植物種数の比較

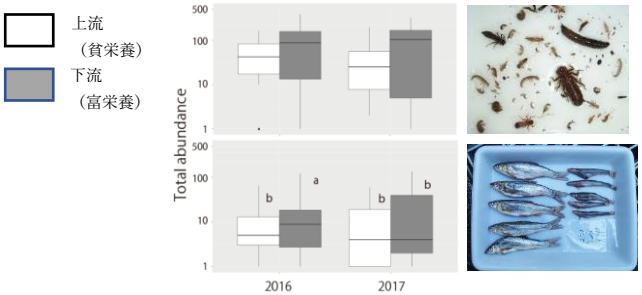


図-3　2016 年洪水前後の水生昆虫(上)と魚類(下)の個体数変化 Negishi et al. (2019) Landsc. Ecol. Eng.

【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ョ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，オショ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、アメマスからオショ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。

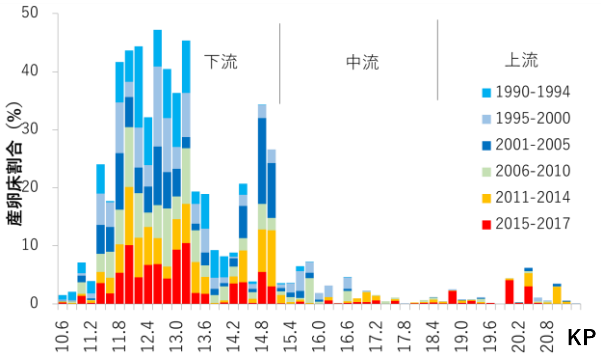


図-4　豊平川におけるサケ産卵床の分布割合の変化
有賀ほか(2021)応用生態工学参照

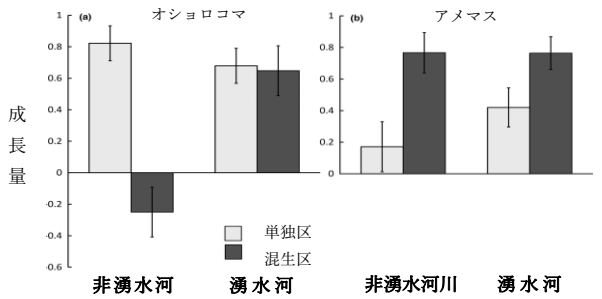


図-5　温度依存競争 Watz et al.(2019) Freshw. Biol.

【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-NHRCM20)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。

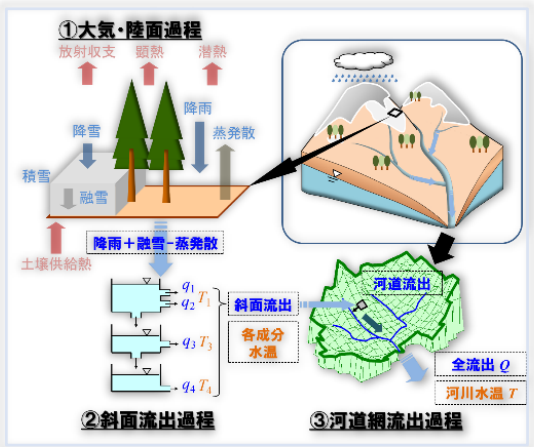


図-6　流域水循環モデルのイメージ

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、地下水流出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。

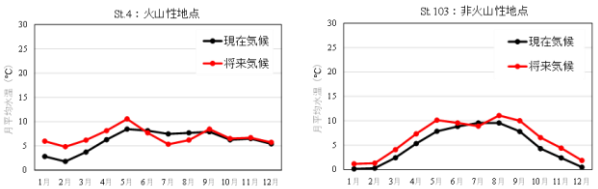


図-7　気候変動による小流域の河川水温変化
についての推定結果

【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・モデル構築を進めている（図-8）。

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℃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、徐々に明らかになりつつある（図-9）。

図-8　河畔林の動態を含めた水理モデルの構築

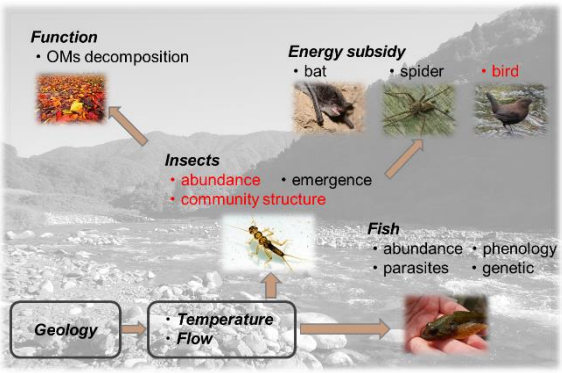


図-9　地質の違いを介した水温と流況の変化と生態系
の構造･機能への影響

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(京都大学教授)

研究目的

①中聖牛などの伝統的河川工法が河床地形や澪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

●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「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）。しかし、近年は土砂供給の減少による河床低下と河道の二極化が進行しており、前木津川研究グループで究明された砂州の生態機能の保全と再生が課題となっている。また、木津川では、上流 6 ダム群による治水運用と堆砂対策を併せた、置き土等の総合土砂管理が計画されており、砂州の生態機能の保全と再生に寄与する河道の管理手法を研究する必要がある。

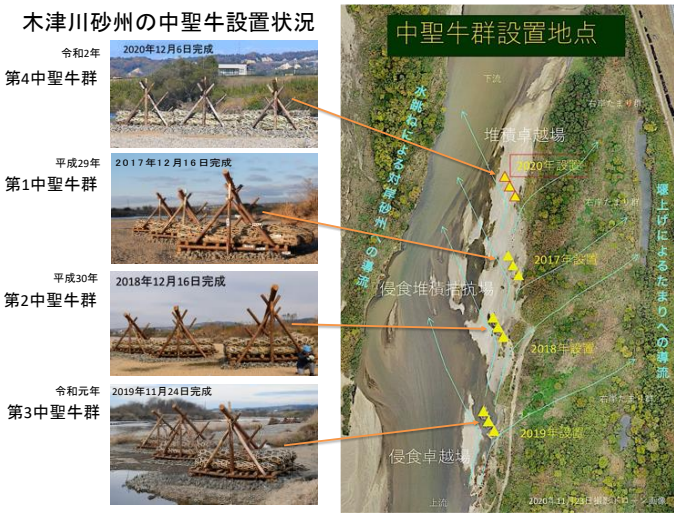


図-1 中聖牛 12 基が設置された木津川玉水橋下流砂州

●伝統河川工法の活用と効果検証

本研究は、伝統的河川工法の技術伝承ならびに、河川環境改善を目的とした河床地形管理手法としての活用を検討するものである。中聖牛などの伝統的河川工法（図-1）には、河床の侵食・堆積促進効果により区間スケールの河床地形を制御する働きがある。木津川では、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-1）、中聖牛の地形改変効果や生息場の生態機能を評価するための野外研究を行っている。また、中聖牛の設置法検討のため、中聖牛の模型を用いた水路実験や平面二次元河床変動計算による室内研究を行っており、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ている。

●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)水刎ねによる対岸浸食促進、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)局所洗掘よるたまり･わんど形成等の効果を検証している。4)については、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たまりが、砂州尻では小規模のたまりや湿地が形成され(図-2)、砂州頭～砂州尻の間に様々存続時間の一時的たまりの生息場が形成された。

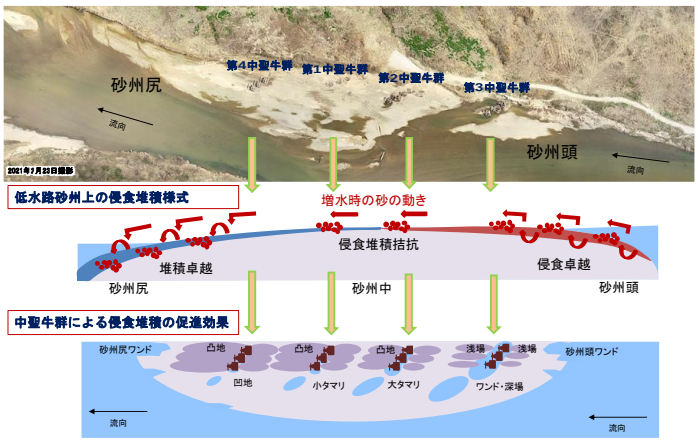


図-2 中聖牛の砂州地形改変と生息場形成機能まとめ

●短時間で変動する生息場の生態機能

中聖牛群によって形成されたワンドやたまりの魚類･底生動物･間隙生物群集の時空間変動をモニタリング調査することによって、砂州の比高や縦横断的な位置と水域としての存続時間の違いが生物多様性に及ぼす効果を追究している。その結果、たまりが形成されてからの日齢に応じた生物群集の変化が示唆されており(図-3)、生息場の時間変動と生物多様性の関係が明らかになることが期待される。

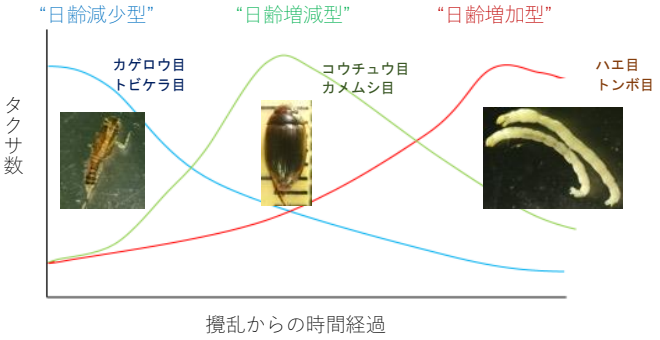


図-3 たまりの日齢と底生動物群集の応答仮説

●待受工法としての伝統的河川工法の活用と伝承

木津川では、川上ダム完成後（2022. 3 予定）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。本研究で明らかとなった「中聖牛群が土砂の捕捉堆積と侵食供給の双方の機能を果たす効果」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**」として評価することができる。また、中聖牛群を待受工法として採用することは、伝統的河川工法の伝承を促進するとともに計画設計施工に市民が参加する川普請型河川管理の先例となることが期待される。

流況変化に対する河川ー海洋沿岸生態系の応答：狩野川水系における解明と生態系保全策

狩野川・柿田川（2020～2024 年度予定） 代表：塚越哲（静岡大学教授）

研究目的

①豪雨イベントとバイパス放水路による水量調節操作が、下流域や沿岸の生態系に及ぼす影響を、水位変動や河床構造、さらには水文モデルから明らかにする。
②豪雨イベントの前後、バイパス放水路分岐点の上流と下流などを対象的にとらえ、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するとともに，豪雨イベントと流量調節による環境応答を総合的にとらえる。
③研究成果を統合し、バイパス放水路という特色をもつ河川に対する管理を生かして、生態系の保全や生物多様性の保護に応用する。

●研究概要

静岡県東部を涵養する狩野川は、豪雨時における下流の氾濫をバイパス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する。また建設後 50 余年経過するバイパス放水路分岐点の上流と下流において、フロラから微生物に至るまでのサイズ、生態を異にする生物、有機および無機物質の挙動をとらえることによって、バイパス放水路の生態学的影響を明らかにする。さらに豪雨時の水の挙動をモデルと河川構造の精査によってシミュレートし、実際の降雨時の流量観測でクロスチェックを行いながら、豪雨時の流量予測体制を確立する。これらによってバイパス放水路の当該河川におけるより適切な運用方法を生態系保全の観点から模索する。

（上）内浦湾奥部から放水路出口を望む（ドローン撮影）.
（右）放水路出口から採集された底生生物.

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

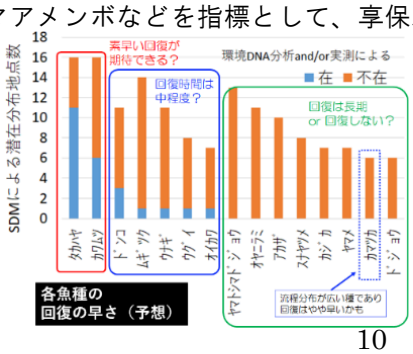
筑後川（2021～2025 年度予定） 代表：鬼倉徳雄（九州大学教授）

研究目的

①短期～長期的な経過時間を含めた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流程ごとに特定する。
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大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。

●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。また、コントロールサイトとして、300 年前の享保水害が発生した同南側と比較することで、短期的なプロセスに加え、長期的プロセスの推定を試みる。山間地の斜面崩壊の影響を大きく受けた上流域では、生態系はリセットされた状態であること（採捕調査・環境 DNA 調査で確認）、ダム湖やため池で魚類の生息が確認できたこと、種分布モデルの推定値と災害直後の実測値の比較と各種の生態的特性から、各魚種の回復の早さが概ね推定できていることなどから、今後も調査を継続することで、災害後の生物相の回復過程の追跡、回復ソースとして寄与する環境構造の特定、種ごとの回復力などを明らかにできる。表現型として異なる翅型を持つシマアメンボなどを指標として、享保水害地域と比較することで、長期的な視点にたった研究を展開できる。



流域生態系における生物の移動とその生態系機能の評価手法開発

総合研究グループ(2017～2021 年度) 代表:佐藤 拓哉(神戸大学大学院准教授)
宇野 裕美(日本学術振興会 特別研究員(北海道大学))

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。
④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）に源を発し、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）に源を発し、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）に源を発し、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）。

写真 1. 有田川で捕獲された両側回遊魚類

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）。

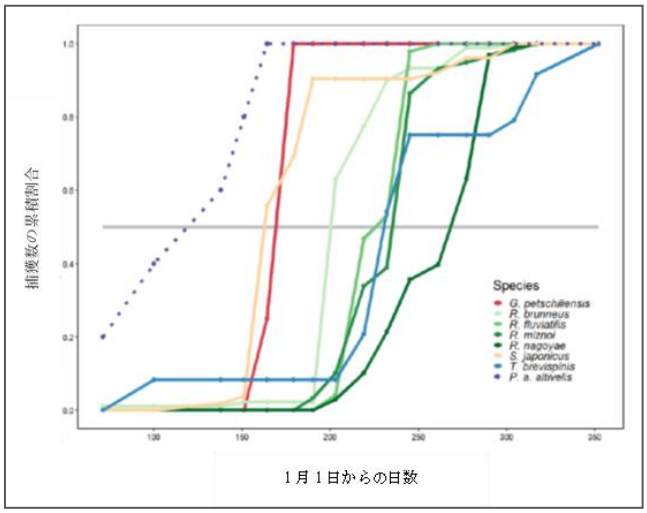


図1. 両側回遊魚各種の捕獲数の累積割合. 図中の横線は累積割合 50%を示す(Tanaka et al.の図を改変・引用)

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)。

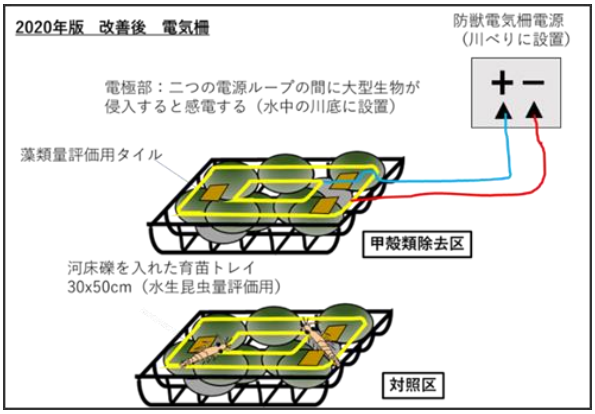


図2.　電気柵実験の概要

その結果、エビが存在することで資源競争や直接の捕食により水生昆虫の密度が減少すること、および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量が 9.9μmol・hr-1・m-2 から 24.2μmol・hr-1・m-2 の 2.4 倍に上昇することが明らかになった。

●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。

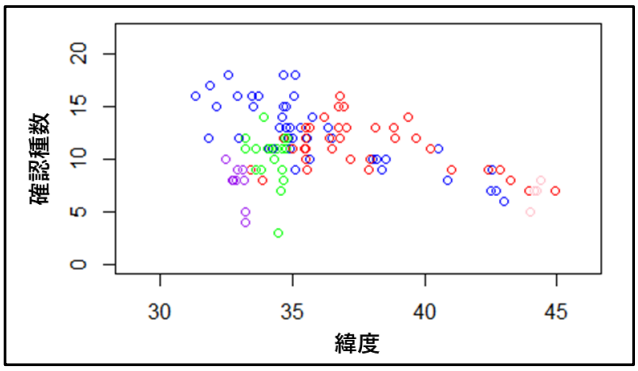


図 3.　両側回遊魚の種数と緯度経度の関係

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。今後の課題は、両側回遊性生物の多様性や機能の高い地域や河川を類型化し、河川管理に活用する情報基盤を形成することである。

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。

河川水温の上昇についても、世界各地から報告されている。しかし、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。

季節を通じた河川の水温変化率は、全国平均で 0.03℃/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）。

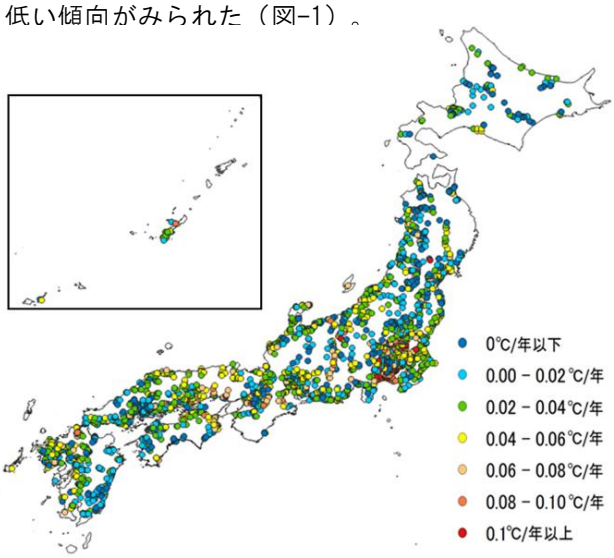


図-1　全国の水温観測地点における 1981-2015 年の年平均水温の変化

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。

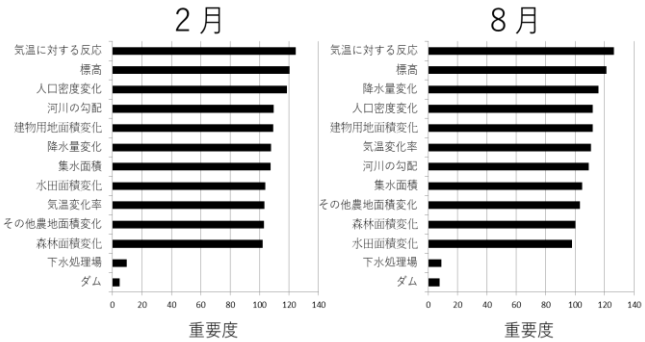


図-2　全国の水温変化率を予測するモデル(ランダムフォレスト)における環境要因の重要度(2 月と 8 月の例)

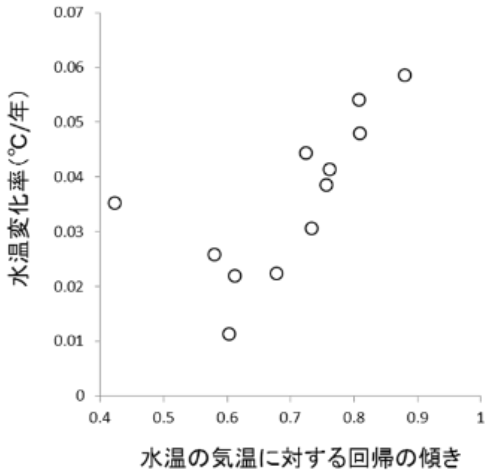


図-3　菊池川水系における水温と気温の関係(水温の気温に対する回帰の傾き)と経年的な河川水温変化率の関係

河川水温上昇が大きかった河川、逆に水温が低下している河川に着目すると、水利用や流域間の水の移動に依存すると推測される流量の変化に起因する水温変化が確認された。

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）。

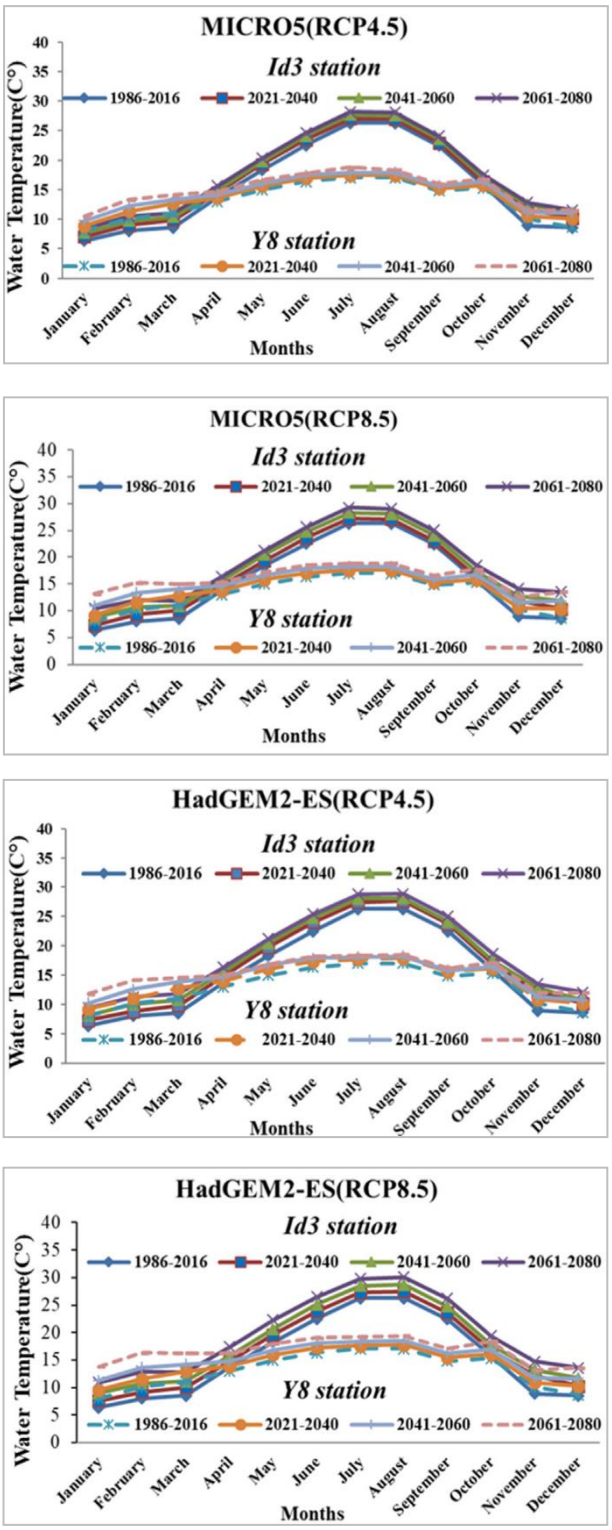


図-4 RCP4.5 及び RCP8.5 シナリオ、HadGEM2-ES 及び MICRO5 気候モデルを用いた菊池川の 2 地点(Id3：上流、Y8 下流)における河川水温変化の将来予測 Reihaneh et al. (2020)J. Hydrol.

●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）。

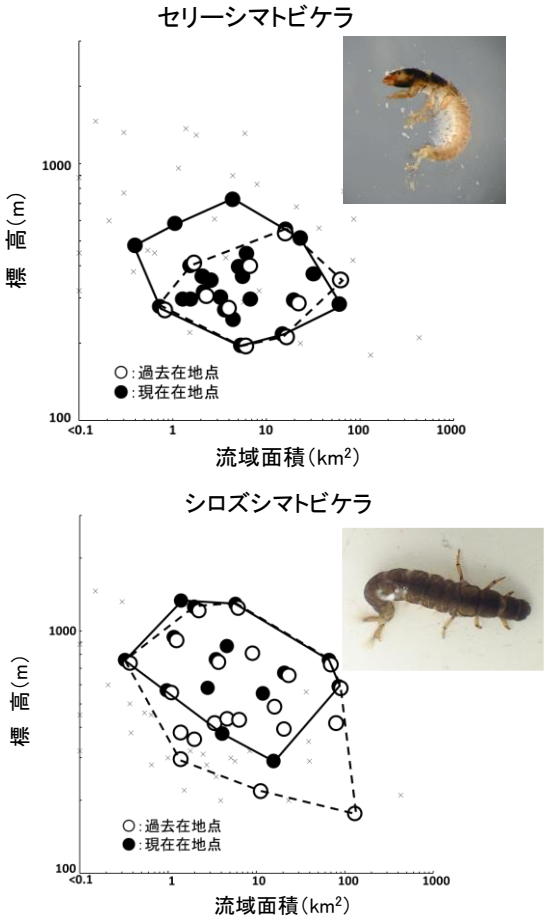


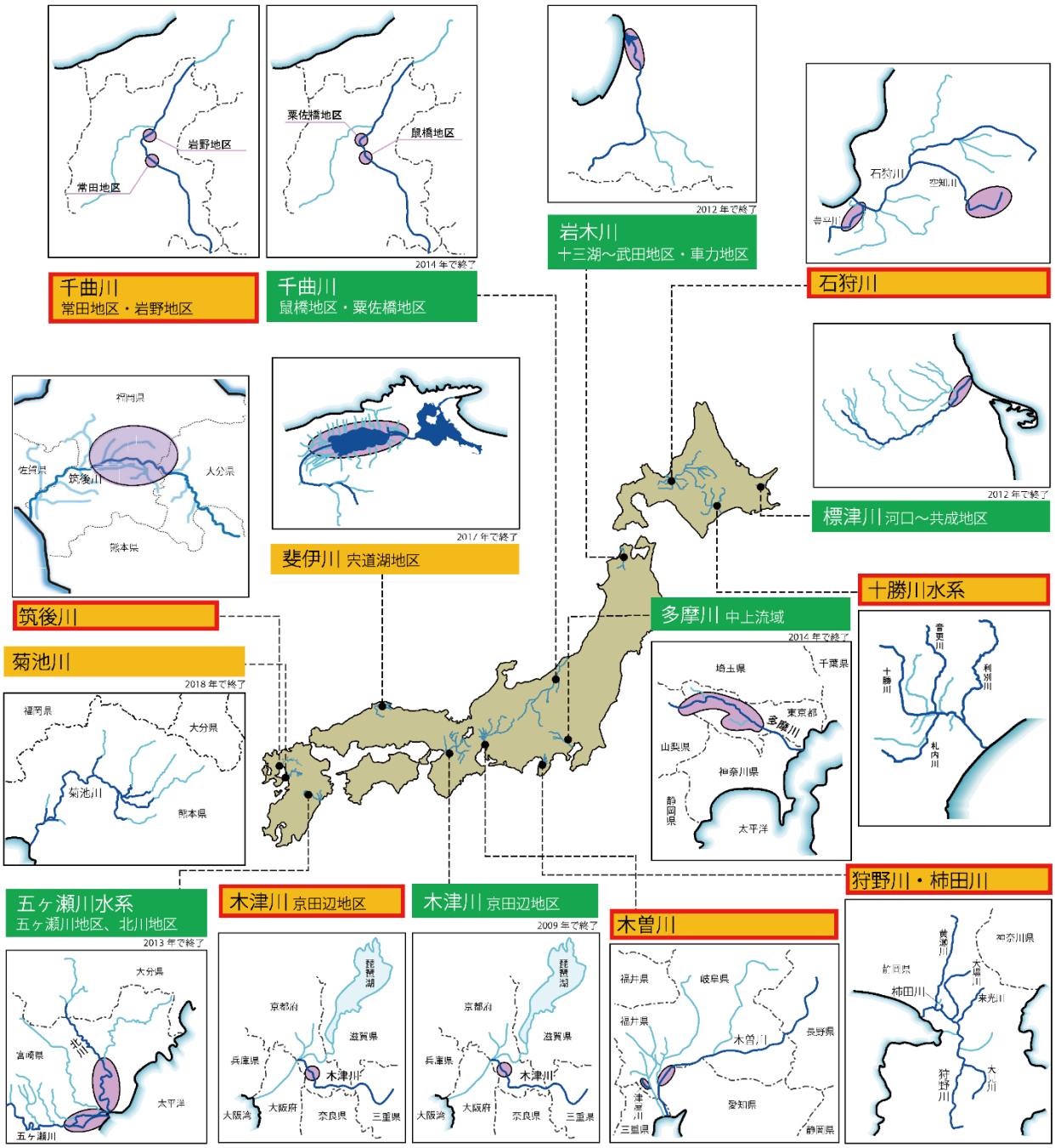
図-5　多摩川におけるトビケラ 2 種の分布の変化

分布標高の変化の大きさは、種によって異なった。分布の年代間の違いの種による変異については、全国における地理的な変化（緯度に変化）と合わせて、現在、分布変化が生じる種の特徴について解析している。分布の変化と種の特性の関係性を一般化することは、今後の気候変動による生態系変化を予測するのに重要になるだろう。

●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だろう。



※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3年度時点で活動している研究グループ

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　新川中央ビル 7 階　Homepage：http://www.rfc.or.jp

平成 9 年 7 月　第 1 版　発行･令和 3 年 7 月　第 17 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。