

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

2-2004

水防災・農地・河川生態系・産業への複合的な気候変動影響と適応策の研究
(JPMERF20202004)

令和2年度～令和4年度

Development of Comprehensive Assessment Methods and Adaptation Measures for Climate Change
Impacts on Water-related Disaster, Agriculture, Freshwater Ecosystem and Local Economy

〈研究代表機関〉

東海国立大学機構岐阜大学

〈研究分担機関〉

国立研究開発法人土木研究所

岐阜県水産研究所

〈研究協力機関〉

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

岐阜県農業技術センター

九州大学

国立研究開発法人国立環境研究所

令和5年5月

目次

I. 成果の概要	1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究目標	
4. 研究開発内容	
5. 研究成果	
5-1. 成果の概要	
5-2. 環境政策等への貢献	
5-3. 研究目標の達成状況	
6. 研究成果の発表状況	
6-1. 査読付き論文	
6-2. 知的財産権	
6-3. その他発表件数	
7. 国際共同研究等の状況	
8. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II-1 安全安心で持続可能な「清流の国ぎふ」に向けた戦略立案のための河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法の開発	19
(国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学)	
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
II-2 世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響評価技術開発と適応策の共創	30
(国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学)	
要旨	
1. 研究開発目的	
2. 研究目標	
3. 研究開発内容	
4. 結果及び考察	
5. 研究目標の達成状況	
6. 引用文献	
III. 研究成果の発表状況の詳細	47
IV. 英文Abstract	53

I. 成果の概要

課題名 2-2004 水防災・農地・河川生態系・産業への複合的な気候変動影響と適応策の研究
 課題代表者名 原田 守啓 (国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学
 高等研究院 地域環境変動適応研究センター センター長)

重点課題 主：【重点課題⑧】気候変動への適応に係る研究・技術開発
 副：【重点課題⑭】生態系サービスの持続的な利用やシステム解明に関する研究・技術
 開発

行政要請研究テーマ (行政ニーズ) (2-4) 地域特性に応じた気候変動影響及び適応策に関する研究

研究実施期間 令和2年度～令和4年度

研究経費

69,324千円 (合計額)

(各年度の内訳：令和2年度：32,925千円、令和3年度：21,008千円、令和4年度：15,391千円)

研究体制

(サブテーマ1) 安全安心で持続可能な「清流の国ぎふ」に向けた戦略立案のための河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法の開発 (東海国立大学機構岐阜大学)

(サブテーマ2) 世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響評価技術開発と適応策の共創 (東海国立大学機構岐阜大学)

研究協力機関

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

岐阜県農業技術センター

九州大学

国立研究開発法人国立環境研究所

本研究のキーワード 気候変動, 複合的影響評価, 河川生態系, 適応策, 共創

1. はじめに (研究背景等)

我が国における気候変動影響は、近年全国各地で発生している豪雨災害や猛暑など、既に様々な形で顕在化しつつある。また、地域により異なる適応ニーズに応える科学的知見を創出し、地域に即した適応策を実行するためには、国際的、国家的な枠組みに加えて地域での取り組みを推進する枠組みが不可欠である。本課題の申請機関である岐阜大学と岐阜県は、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム SI-CAT (2014-2019年度) のモデル自治体として、最新の気候変動予測プロダクトに基づく豪雨災害の規模・頻度を地域レベルで評価する手法を開発し、適応策の検討に着手し、県政の大部分にまたがる横断的な気候変動適応の推進体制を構築した。さらに、気候変動適応法第13条に基づく地域気候変動適応センターを県と大学で2020年4月に共同設置し、各種の共同研究及び普及啓発活動を精力的に展開している。この地域適応センターは、大学と地方自治体の連携型設置形態であることに加え、地域ニーズに基づく共同研究機能、適応推進に向けた人材育成機能など、様々な面で全国初の取り組みとなる特徴を有しており、本課題は岐阜県気候変動適応センターにおける共同研究プロジェクトとして位置付けている。

地域における適応を推進するためには、協働の体制を背景として、地方自治体の施策立案や地域のステークホルダーの意思決定に資する地域側の視点に立った総合的な影響評価情報と、ステークホルダーが実行可能な適応オプションに対する科学的・社会的な裏付け、さらにはステークホルダーそのものの動機形成が必要であろう。本プロジェクトでは、従来の自然災害、農林水産業、自然生態系といった、適応7分野毎に独立した形ではなく、地方自治体の施策立案や地域のステークホルダーの意思決定の材料につながるよう、地域側の視点からみた総合的な影響評価を実施し、地方自治体・専門家・ステークホルダーの協働による地域全体を俯瞰した効果的な適応策の共創を推進する。

2. 研究開発目的

本研究では、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム SI-CAT (2015-2019)、環境省・農林水産省・国土交通省連携事業である地域適応コンソーシアム事業 (2017-2019) 等により創出された気候変動予測・影響評価に加え、大学及び県が保有する研究手法と実務的知見の統合を図る。これにより、起伏に富む地形を有し全国トップクラスの気温や降水量の多さなど気候変動の課題先進県「清流の国ぎふ」の安全・安心の確保に向けて、水防災・農地・河川生態系・産業文化に及ぶ複合的な気候変動影響を地域視点で総合評価する手法を構築する。さらに、2015年に世界農業遺産「清流長良川の鮎」として認定され、地域循環共生圏の先進モデルとされる「長良川システム」を持続するため、河川生態系と地域の産業・文化活動に気候変動が及ぼす影響評価手法の開発から適応策の立案までを、地域のステークホルダーとの協働により実現する。

3. 研究目標

研究計画書に記載した研究目標及び研究計画について以下に示す。

全体目標	<ul style="list-style-type: none"> ・文科省SI-CAT，適応コンソーシアム事業等で創出された，最新の気候変動予測プロダクト及び影響評価情報を活用し，地域における気候変動適応ニーズに応える影響評価手法を開発するとともに，具体的な適応策を地域のステークホルダーとの協働により提案する． ・地域における気候変動適応の推進体制のモデルとして，行政・行政系機関研究者・大学研究者・地域のステークホルダーの協働により推進する『岐阜モデル』を確立する． ・岐阜県の地域気候変動適応計画に本研究課題及びSI-CAT等で創出された科学的知見を実装するとともに，地域における適応の推進を通じて得られた知見を国の気候変動適応センター，A-PLAT等を通じて情報発信・共有する．（アウトカム）
サブテーマ1	安全安心で持続可能な「清流の国ぎふ」に向けた戦略立案のための河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法の開発 (略称：水災害・農地・生物多様性への温暖化影響の総合評価)
サブテームリーダー/所属機関	原田 守啓／国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・水災害・農地・生物多様性を包含した地域スケールの総合的な温暖化影響評価手法を開発する． ・岐阜県主要5流域を対象に評価手法を適用し，評価結果をとりまとめる． ・評価の結果をモデル市町村・地域と共有し，ケーススタディ的に適応策の検討を行い，モデル市町村・地域に対して提案する．
サブテーマ2	世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響評価技術開発と適応策の共創 (略称：長良川システムへの温暖化影響評価と適応策)
サブテームリーダー/所属機関	伊藤 健吾／国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学
目標	<ul style="list-style-type: none"> ・モデル流域（木曾川水系長良川を想定）を対象に，流量・水温・環境DNAのモニタリング体制を構築し，集中的なモニタリングにより実態把握とモデル検証データを得る． ・河川水温の時空間分布に対する温暖化影響予測手法を開発する． ・洪水・渇水頻度，水温の変化により，地域資源であるアユと冷水性魚類が被る影響の評価手法を開発する． ・これらの評価結果を踏まえ，漁業・養殖業，観光業，河川管理者等のステークホルダーとともに気候変動への地域における適応策を共創する．

4. 研究開発内容

【サブテーマ1】安全安心で持続可能な「清流の国ぎふ」に向けた戦略立案のための河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法の開発

サブテーマ1では、岐阜県の主要5流域を対象とし、文科省 SI-CAT 等を通じて実施してきた水防災、農地（水田）に対する気候変動影響評価を精査・拡充し、中小河川ごとの洪水・渇水リスクと農地及び農業の継続性の将来変化をマップ化・指標化する。また、岐阜県が開発した農地と河川の関係性に基づく生物多様性評価手法を適用する。これらの総合評価により、水害に対する土地の安全性、水田農地及び水田農業の継続性、農地の生物多様性寄与度に対する気候変動影響の度合いを可視化・定量化する。この結果を、問題意識を共有する市町村・地域に展開し、防災・まちづくり、生物多様性保全の各方面での議論の基礎資料とする。

【サブテーマ2】世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響評価技術開発と適応策の共創

サブテーマ2では、長良川流域を対象とし、気候変動がアユ等魚類に及ぼす影響評価手法を構築し、地域のステークホルダーとともに適応策を共創する。まず、実態把握のために、既存の断片的な河川水温、環境 DNA データを、漁協等が加わるモニタリング体制の下で拡充し、河川水温・流量とアユ等魚類の季節動態の把握を試行する。そして、①河川流量・水温の時空間分布に対する気候変動影響の予測評価手法、②洪水・渇水・水温変化に対するアユ・冷水性魚類の影響評価モデル、③地域の産業や文化活動（漁業・釣り・鶺鴒飼・観光等）に及ぶ影響評価モデルの研究開発を一体として行い、洪水・渇水・水温変化を起点とした魚類への影響と、地域への間接的影響を評価可能な手法を構築する。サブテーマ1の結果に加え、一連のプロセスを漁協、河川管理者、観光事業者等のステークホルダーと共有しながら、実行可能な適応策の立案と期待効果の評価を行い、適応策の社会実装を支援する。

5. 研究成果

5-1. 成果の概要

本研究は、岐阜県と岐阜大学が共同設置した岐阜県気候変動適応センターにおける県と大学の連携・協働の枠組みを基盤として、大学及び国研究機関の研究者と県行政・県試験研究機関により実施された。本研究課題の成果は大きく3項目に集約することができ、政策決定者向けサマリー（別紙）では下表に示す項目を提示している。

表0.1 政策決定者向けサマリー 項目一覧

1. 地域における気候変動適応の効果的な推進体制について	
1-1.	地方行政と専門家の協働は地域における気候変動適応と EBPM に資する
1-2.	ステークホルダーとの協働による気候変動影響の把握は社会の行動変容を加速する
2. 温暖化は水災害リスクの上昇だけでなく河川生態系と水田農業にも影響	
2-1.	洪水規模・頻度は増加し河川氾濫原の水害リスクも増大。流域治水への取り組みの重要性が高まる。
2-2.	水田における高温不稔は頭在化・カメムシ、ジャンボタニシの増加にも温暖化は影響
2-3.	農業排水路においても水温上昇は生物群集に影響。河川と農業排水路の連続性が重要
3. 温暖化が主要水産魚種アユに及ぼす影響とその適応策について	
3-1.	夏季の水温上昇がアユの分布を制限し、秋季の産卵を遅らせている
3-2.	川の温暖化対策として支川の水源涵養機能の保全が今後ますます重要となる
3-3.	水系ネットワークの連続性と避難場となる河道内氾濫原が重要
3-4.	気候変動に適応した生態系サービスの活用方策の推進

第1のまとまった成果として、地域における気候変動適応の効果的な推進体制に関する知見の創出が挙げられる。岐阜県と岐阜大学は、気候変動適応法第13条に基づく地域気候変動適応センターを2020年4月に共同設置し、各種の共同研究及び普及啓発活動を精力的に展開している。この地域適応センターは、大学と地方自治体の連携型設置形態であることに加え、地域ニーズに基づく共同研究機能、適応推進に向けた人材育成機能など、様々な面で特色を有している。本研究課題は、岐阜県気候変動適応センターにおける共同研究として位置付けられ、県行政・県試験研究機関と大学及び国研究機関の研究者により実施された。県試験研究機関が保有する現場情報と、研究者によるデータ解析、モデルシミュレーション等を結合することによって、リアリティのある分析が可能となった。

各都道府県に存在する水産試験場や農業試験場等のいわゆる試験研究機関が保有する過去から現在に至る現場情報は、過去数十年に亘って進行してきた温暖化の影響の分析を行う上で貴重な情報であり、環境課題の分析を進める上で有効なデータ資源であるといえる。加えて、県行政及び試験研究機関は、現場のステークホルダーとのネットワークを有しており、ステークホルダー参画型のデータ収集、調査研究結果の共有等を円滑に進める上で有効であることを示すことができた。また、研究成果の普及啓発においても、県と大学が有する社会的信用を背景として、県と大学のそれぞれが強みをもつチャンネルを通じて行うことができ、ステークホルダーの適応に向けたマインドセットを高め、適応策の実施に向けた行動変容をサポートすることが可能となることを示すことができた。

第2のまとまった成果として、サブテーマ1『河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法の開発』を通じて、温暖化は水災害リスクの上昇だけでなく河川生態系と水田農業にも影響することを明らかとしたことが挙げられる。主な成果は、以下のとおりである。

1) 岐阜県下主要5流域を含む8流域を対象として河川の洪水ピーク流量の再現性に優れた洪水流出解析モデルを構築し、地球温暖化対策に資するアンサンブル気候変動予測データベース d4PDF 領域気候モデルの過去気象、2℃昇温、4℃昇温の条件下における各数千年分の時間降水量を入力条件として洪水流出解析を行い、年最大洪水イベントを数千年分に亘って分析した結果、国が管理する大河川では、国土交通省が2℃昇温時の温暖化影響として提示している影響度合い（100年確率の雨量

- が 1.1 倍、洪水流量が 1.2 倍)と同程度の評価値となるが、大河川の支川にあたる中小河川では変化倍率がより大きいことが示された。中小河川は大河川と比べて相対的に治水安全度の整備水準が低いことから、水害リスクの上昇は大河川よりも中小河川の方が大きいことが強く示唆された。
- 2) 国が管理する大河川より上流の県管理区間の谷底平野部における河川の氾濫は複雑な氾濫特性を持つ。これを表現可能な河道一氾濫一体型モデルを長良川谷底平野区間を対象として構築し、d4PDF を入力条件として構築した洪水データベースから、発生確率が異なる洪水 50 波形を対象に氾濫解析を行い、谷底平野区間における多段階外力の洪水による氾濫解析を行い、今後増加することが予想される計画超過洪水がもたらす水災害リスクについて分析を行った。その結果、堤防と背後地形によって区切られる氾濫ブロックの地形的特性によって水災害リスクの変動が大きく異なることが示された。温暖化によって計画規模を上回る超過洪水の発生確率が上昇するとの予測の元で、河川の氾濫原にあたる土地の水災害リスクを評価するための基本的な手法を構築することができた。
 - 3) 温暖化影響によって増加する洪水規模・頻度は、河川生態系に対する洪水攪乱の強度を増加させることが予想されたことから、数千年分の洪水規模頻度を分析することを目的とした洪水流出解析モデルとは別に、長良川流域を対象として年間の流量変動を高精度で再現可能な河川流況モデルを RRI (Rainfall-Runoff-Inundation) モデルをベースとして構築し、長良川流域内の任意の地点における洪水攪乱強度の評価が可能な手法を提案・構築した。サブテーマ 2 で調査分析を行った長良川流域におけるアユの分布に高強度の洪水与えた影響について分析を試み、長良川のアユが高強度の洪水から退避して流域全体を移動している様子が示された。
 - 4) 農地における温暖化影響を稲作農業への影響と農業排水路を利用する水生生物群集への影響の観点から検討した。長良川流域を含む木曾川水系の谷底平野部での調査の結果、水稻の高温障害の一種である高温不稔が顕在化しつつあることが確認されており、地形や微気象との関係性について調査分析を行った。岐阜県ではコシヒカリとハツシモの作付けが多く、高温障害はコシヒカリについて報告が多く、晩生種のハツシモはあまり被害を受けていなかった。高温障害が発生している地域ではこれを回避するための“かけ流し灌漑”などが実施されているが、農業用水の反復利用が盛んな地域では用水の水温そのものが高すぎる場合や、かけ流し灌漑が河川水温の上昇を招いている状況などがあることが現地調査により把握された。サブテーマ 2 の主な論点である「河川の水温上昇」という温暖化影響は河川から取水／河川に排水する農地とも密接に関係する状況が明らかとなった。一方、出穂期、開花期の高温を原因とする不稔とは別に、山地に囲まれた谷底平野部では、カメムシによる吸汁を原因とした不稔も多く確認された。カメムシの越冬及び繁殖を温暖化が助長しているとの報告もある。
 - 5) 濃尾平野では以前からイネを食害するジャンボタニシ (スクミリンゴガイ) が増殖し、平野部における分布域を次第に北上させている。冬季の越冬可能性に着目したモデルを構築し、日本全国 1km 地域気候予測シナリオデータセットを入力条件として実施した将来予測によれば、その結果は気候シナリオに大きく依存するものの 2030 年代には平野部全域に分布を拡大しうることも予想され、効果的な対策を早期に講じる必要性が高まっていることが示された。
 - 6) 農地と農業排水路と河川の関係性に着目し、濃尾平野における農業排水路を主対象とした膨大な受益地単位の生物・物理データから、魚種ごとの生息適地の条件となっている物理環境条件を分析するとともに、魚類群集の多様性を評価するモデルを構築した。農業排水路に生息する魚種の生息適地の条件として、水温の影響を受ける魚種は少なくないことが分かった。水田及び農業排水路は本来水温が高い傾向がある環境であるが、種によっては気温上昇に伴って水温が上昇することによって生息に適さなくなる可能性があることが確認された。
 - 7) 魚類群集の生物多様性モデルにより、農業排水路を利用する魚類は、河川と排水路を行き来しており、その連続性が生物多様性を支えていることが裏付けられた。また、「受益面積」と「河川との連結性」に着目することで、受益地 (農業水路網) 単位で魚類群集の多様性を推定・可視化し、保全優先度を評価可能となった。さらに、モデルのパラメタである「河川との連結性」の数値を変化させることで、連結性の改善による多様性の回復を予測することもできる。河川における洪水規模・

頻度の増加は、河川側の水位変動の頻度が変化することによって河川と農業排水路の接続頻度を変化（増加）させる可能性があるが、その影響については分からないことが多く、物理的に落差を解消することが連続性を確保する上での確実な対策であるといえる。

サブテーマ1の主要な成果は以上に示すとおりであり、研究成果として得られた知見は、河川管理者、営農家、土地改良区（農業用水の管理者）及び一部の基礎自治体への情報共有を図りながら、研究期間の早い段階から適応策の創出を目論んだ。本来、サブテーマ1では河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法を構築し、その評価結果を地域のステークホルダーや基礎自治体に共有することによって、トレードオフを生じない適応策の創出と社会実装を目指すものであったが、主要なターゲットとなるステークホルダーたるコメ農家の現状認識や将来展望は様々であり、一つの地域の中でも営農家が異なる展望を持っていること、全ての地域で共通して有効な適応策を見出すことは困難であることなどが早い段階で把握されたことから、アドバイザーボード会合における助言等を通じてサブテーマ1の位置付けを見直し、社会的な関心が高くステークホルダーの積極的な協力が得られたサブテーマ2との関係性を強化し、またサブテーマ2の議論に貢献する方向へと軌道修正を行ったものである。

第3のまとまった成果として、サブテーマ2『世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響評価技術開発と適応策の共創』を通じて、日本の主要内水面水産魚種であるアユに温暖化が及ぼす影響についての科学的知見を多く創出したことと、地域における具体的な適応策への取り組みを多く後押しできたことが挙げられる。主な成果は、以下のとおりである。

- 1) 3つの共同研究機関及び長良川本川筋の3つの漁業協同組合の連携により、2020年から2021年にかけて、長良川流域を中心に約170地点の密な水温観測体制を構築するとともに、42地点におけるアユの環境DNAモニタリングを複数回実施した。ステークホルダーとの協働によるモニタリングは、調査分析の結果を即座に共有する上でも有効であった。また、漁業者が経験した過去数十年の生物季節の変化は、長良川流域におけるアユへの温暖化影響の全体像を理解する上で有用であった。
- 2) 2020年、2021年に実施した長良川流域全体における水温モニタリングと、アユ環境DNA分析の結果により、長良川のアユの時空間分布が把握された。2020年6月から7月にかけて続いた長い出水の後、大部分のアユは主要支川である板取川と、本川上流域に分布していたが、その後、長良川本川に移動・分散する過程で、日水温が26℃を超える範囲を避ける傾向が確認された。水温26℃はアユの生息に好適なレンジの上限に近く、長良川中下流域の夏季の水温はアユの生息には適さない水準にまで上昇していることが明らかとなった。
- 3) 猛暑・渇水時にアユが姿を消した区間には、1300年の歴史を持つ長良川鵜飼（岐阜市）、小瀬鵜飼（関市）が行われている区間も含まれた。水温が高い区間は、谷底平野の下流から扇状地にかけて分布し、水田農業が盛んな地域と一致していた。農業用水は河川が渇水時にも取水され、水田で温められた農業排水が河川に流入することにより河川の水温上昇に寄与していることが示唆された。
- 4) 秋季のアユの産卵期も遅くなってきていることが漁業関係者間では認識されていたところ、本研究課題では流域内7か所の漁場において、漁業者の協力によって日々漁場で捕獲される「落ち鮎」（成熟し婚姻色を呈した産卵降河個体）の量とサイズを2020年秋季、2021年秋季に記録し、この分析結果から、アユの産卵降河が誘発される条件を明らかにした。この結果から、アユの産卵降河には水温低下と増水という二つの条件が揃う必要があり、秋季の気温及び水温上昇が産卵降河を遅らせている主要因であることが分かった。
- 5) 長良川流域を対象として河川水温の変動パターンを分析した結果、気温と河川水温の関係性、降水量に対する河川水温の応答特性等が明らかとなり、この関係性をもとに構築した河川水温モデルは良好な再現性を示した。
- 6) 源流に近い渓流域における水温プロセスモデルを、国際的に利用実績が多いSWATモデル(Soil & Water Assessment Tool)をベースとして構築・実装し、山地斜面からの中間流出と地下水流出のバラ

ンスによって溪流の水温が形成されるプロセスモデルを構築した。地下水水温は地温と熱平衡に達しており地温はその土地の年間平均気温に漸近することから、温暖化が溪流水温の昇温につながる影響経路を記述するための手法が構築された。

- 7) 流域の地形・土地利用や河道特性に基づく河川水温の特徴を、大気と水塊とが熱的平衡状態にあるときの理論水温である平衡水温と実際の水温の差として表現する手法の構築と分析を進めた。また、流域・河道の特徴によって、気温の上昇が水温の上昇に反映されやすい流域の特徴を統計的に分析した。これにより、温暖化が進行した際に河川水温が受ける影響度合いを記述するための基本的な手法が構築された。
- 8) 水温の上昇が魚類群集の分布に及ぼす影響を分析するため、複数の水温指標と魚種ごとの分布情報から魚類の生息密度モデルを構築した。これを用いて、仮に水温が 2℃ 昇温した際の分布を検討した結果、例えば冷水性魚種アマゴの分布は現在よりも高標高域まで及ぶ可能性など、温暖化の進行に伴う潜在的な分布域の推定が可能となった。

上記の主な研究成果のうち、世界農業遺産として認定されている「清流長良川の鮎」への温暖化影響については地元の関心も非常に高く、1300年の歴史を有する長良川鵜飼及びこれを資源とした観光を中心とした長良川温泉では、鵜飼関係者、温泉旅館組合、観光地域づくり法人（DMO）らに調査分析結果を早期段階から共有した結果、研究グループとステークホルダーの間で、実行可能で有望な適応策の候補（適応オプション）について様々な提案が交わされた。その中のいくつかは既に試行あるいは実行に移されつつある（5-2 環境政策への貢献にて後述）。

最後に、本研究課題の取り組みの特徴として、研究成果の普及啓発、ステークホルダーとの対話を重視し、様々な手段を通じてアウトリーチ活動を行ったことが挙げられる（詳細は、III. 研究成果の発表状況の詳細（3）、（4）、（6）に示す）。大きく分けて、地域のステークホルダーへの情報提供と対話、行政への情報提供、マスコミ等を通じた情報発信、市民への普及啓発、他地域・団体への知見の共有等に分けられる。35件の科学・技術対話のうち、とくにステークホルダーへの積極的な情報共有と対話によって、各主体が適応策に取り組む機運が醸成されたといえる。16件のマスコミ報道は、地域のシンボルである清流長良川に及ぶ温暖化影響への地域の関心の高さを示すものであった。本研究成果は、岐阜県気候変動適応センターによる「ぎふ気候変動適応セミナー」というウェビナーチャンネルにおいても複数回取り上げ、現在 Youtube チャンネルで視聴可能としている。

本研究課題の成果を広く市民やステークホルダーに向けてハイブリッド形式で行ったシンポジウム（2022年10月29日、長良川国際会議場にて開催）では、研究者が研究プロジェクトの全体像や個別の研究成果を報告するだけでなく、長良川鵜飼鵜匠頭、まちづくり団体代表者、岐阜県観光国際局、研究課題のアドバイザー等も参加し、各ステークホルダーが取り組みはじめた適応策についても意見交換がなされた（図0.1）。

本研究課題の成果として作成した普及啓発冊子「安心のくらしのヒント BOOK@ぎふ vol.2」（2023年3月発行）は、岐阜県気候変動適応センターを通じて広く配布されはじめており、加えて岐阜県地球温暖化防止活動推進員が市民や小中学校を対象に行う普及啓発活動の教材としても活用されていく見込みである（図0.2）。

環境研究総合推進費シンポジウム

長良川流域が直面する温暖化にどう適応するか？ ～生態系の恵みと流域文化・産業を持続可能なものとするには～

【本シンポジウムの趣旨】
世界農業遺産に認定された「清流長良川の鮎」、1300年の伝統を誇る長良川の鵜飼など、長良川が育む生態系の恵みに支えられた多様な流域文化・産業は岐阜の魅力であり、長良川流域に住まう市民のシビックプライドの根幹をなすものです。
『地球温暖化の影響は既に長良川に様々な形で及んでいるのではないだろうか？』研究者のそんな疑問から始まった岐阜大学・岐阜県水産研究所・(国研)土木研究所による3年間の共同研究プロジェクトは、長良川に既に及んでいる温暖化の影響を明らかにするとともに、『長良川の生態系がもたらす恵みにつながる多くの皆様との協働によって、この恵みを持続可能なものとしていくために、わたしたちができること・やるべきことを模索してきました。
本シンポジウムは、主な研究成果を分かりやすく報告するとともに、これからの長良川のための提案を地域の皆様と共有することを目的に開催します。

【日時】 2022年10月29日(土) 9:45～12:00(9:30開場)
【会場】 長良川国際会議場5F国際会議室(岐阜市長良橋光2695-2)
【開催方法】 Zoomウェビナーによるハイブリッド開催
【定員】 ①会場40名 ②Zoom500名(いずれも事前登録制/先着順)
参加無料・要事前申込(申込が切:10/23(日))

【申し込み】 お申し込みは主催者ウェブサイトから。

■開会挨拶・趣旨説明 原田守啓(岐阜大学) 9:45

■第一部:研究成果報告 10:00～
「長良川流域を駆け巡るアユ、温暖化はどう影響するか？」 永山滋也(岐阜大学)
「漁師と探る！落ちアユが川を下るタイミング」 藤井亮史(岐阜県水産研究所)
「川と農地のつながりが支える生態系と温暖化の影響(仮)」 森照貴(国研)土木研究所

■第二部:パネルディスカッション 11:00～
「生態系の恵みと流域文化・産業を持続可能なものとするには」
パネリスト: 中村太士(北海道大学) / 馬場健司(東京都大学) / 乃田啓吾(岐阜大学)
杉山雅彦(岐阜県長良川鮎匠代表) / 門脇和正(長良川リバースケープ) / 堀 智考(岐阜県観光国際局)

主催:岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター 共催:岐阜県気候変動適応センター
本シンポジウムは(独)環境再生保全機構「環境研究総合推進費[2・2004]水防災・農地・河川生態系・産業への複合的な気候変動影響と適応策の研究」により開催いたします。

図0. 1 シンポジウム 長良川流域が直面する温暖化にどう適応するか？
～生態系の恵みと流域文化・産業を持続可能なものとするには～
(URL: <https://www.youtube.com/watch?v=EAhDZz5eBjo&t=69s> にて動画公開中)

CONTENTS

- 1 目次
- 2 巻頭言
- 3 気象庁
- 4 鮎
- 5 鮎
- 6 鮎
- 7 鮎

安心な暮らしのヒント BOOK

@ぎふ

鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

岐阜県が誇る長良川のアユに温暖化で異変が起きています

岐阜の観光や名産品に欠かせないアユにせまる。鮎と鮎

岐阜県が誇る長良川流域は、その豊かな自然環境に支えられてきました。アユは、この豊かな自然環境を育むために欠かせない存在です。しかし、近年、温暖化の影響でアユの生態系に変化が起きています。鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

鮎、鮎と洪水を巡るアユ

鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

鮎の食味が温暖化で変わっちゃうかも！

図0. 2 普及啓発冊子「安心なくらしのヒント BOOK@ぎふ vol.2」の紙面の一部
(URL: https://www1.gifu-u.ac.jp/~gu_rarc/document/anshinkurashi_hintbook2.pdf にて配布中, 20p)

5-2. 環境政策等への貢献

本研究課題は、『地域特性に応じた気候変動影響及び適応策』に資するものとして、環境省地球環境局気候変動適応室の行政推薦課題として実施された。

3年間の研究期間を通じて、地域における気候変動適応の推進体制のモデルケースとして、地方行政と地方大学が共同で取り組む地域気候変動適応センターの効果的な取り組みのあり方についての知見を創出するとともに、地域における気候変動適応を推進することができた。その過程で得られた知見は、大きく以下の2項目にまとめられる。

まず、地方行政と専門家の協働は地域における気候変動適応を推進する上で、非常に効果的なスキームであるといえる。特に、各都道府県に存在する水産試験場や農業試験場等のいわゆる試験研究機関が保有する過去から現在に至る現場情報は、過去数十年に亘って進行してきた温暖化の影響の分析を行う上で貴重な情報であり、環境課題の分析を進める上で有効なデータ資源であるといえる。加えて、県行政及び試験研究機関は、現場のステークホルダーとのネットワークを有しており、ステークホルダー参画型のデータ収集、調査研究結果の共有等を円滑に進める上で有効である。研究成果の普及啓発においても、県と大学が有する社会的信用を背景として、県と大学のそれぞれが強みをもつチャンネルを通じて行うことができ、ステークホルダーの適応に向けたマインドセットを高め、適応策の実施に向けた行動変容をサポートすることが可能となる。本研究課題を通じて、このスキームは気候変動適応のみならず、複雑に絡み合う地域課題と環境課題の同時解決につながりうるものであることを確信している。

さらに、本研究課題のサブテーマ2における漁業者や観光事業者との協働にみられるような、ステークホルダーとの協働による気候変動影響の把握は社会の行動変容を加速することができることである。ステークホルダーの主な関心事は気候変動への適応にはおかれていないことが多いが、気候変動影響の把握を専門家らと共に行うことにより、気候変動影響をステークホルダーがより具体的に認識し、適応に向けた行動変容への機運を醸成することができる。また、専門家は、ステークホルダーの現状認識や将来の展望を把握しながら、地域のステークホルダーが実行可能な適応オプションを抽出することができる。加えて、農林水産漁業等、自然環境と密接な生業に従事するステークホルダーは、過去数十年の自然環境と生物季節の変化を記憶している。ステークホルダーの定点観測的な記憶と、専門家による分析とを合わせることにより、過去数十年間に生じた環境の変化についてステークホルダーの証言とともに、説得力のある分析結果を地域に提示することが可能となる。本研究課題においては、世界農業遺産「清流長良川の鮎」を巡るステークホルダーとの協働によって、ステークホルダー自身から適応オプションが多く提案されたことは、地域における気候変動適応の推進において、ステークホルダーに当事者として関わってもらうことの重要性と有用性を示すものであった。

<行政等が既に活用した成果>

【岐阜県行政における成果の活用】

本研究課題の成果が活用された行政施策の例として、岐阜県地球温暖化防止・気候変動適応計画（令和3年3月）への気候変動影響情報の提供と、これに基づく重点施策の形成が挙げられる。水産業、淡水生態系、観光業の分野では本研究課題の成果に基づく施策が重点施策として設定された。

特に水産業及び淡水生態系の分野では、世界農業遺産「清流長良川の鮎」推進協議会に、新たに資源管理・増殖部会を設置（令和5年1月）し、気候変動影響下における長良川のアユの持続可能性を高めるための資源管理の枠組みが設置されるに至り、引き続き科学的知見に基づくEBPMを志向した資源管理体制が整備されたことは、本研究課題が貢献した重要な成果であるといえる。

【岐阜市政における成果の活用】

岐阜市が中心となり、国土交通省の支援を受けて進めている「ぎふ長良川鵜飼かわまちづくり計画」（令和3年3月19日登録）の検討組織に、本研究プロジェクトの進捗状況が随時共有されることに

より、気候変動外力に適応した長良川鵜飼という方向性が計画に陽に記載され、取り込まれた。

【地域における成果の活用】

1300年の歴史を有する長良川鵜飼及びこれを資源とした観光を中心とした長良川温泉では、鵜飼関係者、長良川温泉旅館協同組合、観光地域づくり法人（DMO）らに調査分析結果を早期段階から共有した結果、屋形船によらない鵜飼観覧が可能な川棧敷の社会実験、鵜飼漁期の見直しの案、産卵降河が遅くなった結果秋の行楽シーズンと漁期が重なりつつある落ちアユを「秋アユ」としてブランド化する案などがステークホルダー間から提案され、一部は既に実施に移されつつある。ステークホルダー間で長良川のアユに対する温暖化影響が共通認識として共有された結果、有望な適応策の創出と試行を後押しすることができた。

<行政等が活用することが見込まれる成果>

【地域における気候変動適応の推進体制のモデルケース 対象：全国の地域気候変動適応センター】

県行政と地方大学の協働による地域気候変動適応センターは、地域における気候変動適応を推進する上で、非常に効果的なスキームであるといえる。特に、各都道府県に存在する水産試験場や農業試験場等のいわゆる試験研究機関が保有する過去から現在に至る現場情報は、過去数十年に亘って進行してきた温暖化の影響の分析を行う上で貴重な情報であり、環境課題の分析を進める上で有効なデータ資源であるといえる。加えて、県行政及び試験研究機関は、現場のステークホルダーとのネットワークを有しており、ステークホルダー参画型のデータ収集、調査研究結果の共有等を円滑に進める上で有効である。研究成果の普及啓発においても、県と大学が有する社会的信用を背景として、県と大学のそれぞれが強みをもつチャンネルを通じて行うことができるなど、ステークホルダーの行動変容を促進する上で効果的な動きが可能である。今後、研究成果のみならず、取り組みのあり方等について他地域の地域気候変動適応センターとの情報共有を行い、他地域における気候変動適応体制を構築・強化する一助となれればと考えている。

【流域治水への取り組みのモチベーションを高める 対象：主に長良川流域】

国が管理する大河川では、国土交通省が2℃昇温時の温暖化影響として提示している影響度合い（100年確率の雨量が1.1倍、洪水流量が1.2倍）と同程度の評価値となるが、大河川の支川にあたる中小河川では変化倍率がより大きいことが示された。中小河川は大河川と比べて相対的に治水安全度の整備水準が低いことから、水害リスクの上昇は大河川よりも中小河川の方が大きいことが強く示唆された。河川の洪水流下能力を上回る洪水（超過洪水）の発生は、人口が集積した平野部より上流の中山間地域において、より河川の氾濫による被害を増大させる。一方、上流域での氾濫は下流区間に到達する洪水のピーク流量を減少させる側面ももつ。気候変動による洪水規模頻度の増加に対してハード整備には限界があり、河川に流入する水量を低減するための流域治水対策は、洪水調節施設が少ない長良川流域においてひととき重要性が高い。

本研究課題において重点的に調査分析を行った長良川流域にある関市では、水田貯留（田んぼダム）の整備への取り組みがスタートした（2022年度より）。また、岐阜県農政部は岐阜県下での田んぼダム整備促進に関するモデル事業に着手し、長良川流域に位置する関市2地域を対象に実証実験を行うこととなった（2022年度より）。本研究グループは本研究課題の成果を活かしつつ、引き続きこれを伴走支援する計画である。

【水災害リスクへの中長期的な対応としての土地利用政策への貢献 対象：岐阜県及び一部自治体】

都市再生特別措置法の改正により、立地適正化計画における居住誘導区域を災害レッドゾーンから除外すること、防災指針の策定の義務付けといった改正がなされた。本研究課題の成果の一部である水災害リスク分析結果について、岐阜県都市建築部を通じて主要3市（岐阜市、大垣市、関市）に2021年から情報提供を行っている。うち2市では立地適正化計画の見直しを進めている最中であり、温暖

化による気候変動外力の増加や、各市域の地形的特徴の分析結果が計画見直しの背景情報として活用されつつある。

【河川水温上昇への対応の促進 対象：主に長良川流域】

温暖化に伴う陸水（河川・湖沼）の水温上昇は、温暖化による生態系への影響の一要因として国際的に注目されているが、降水量が多く水温変動も激しい我が国においてはあまり注目されてこなかった。しかしながら、我が国の河川においても水温上昇は河川生態系に顕著な影響を与えていることが、長良川のアユを例として確認された。

河川の水温上昇や洪水攪乱強度の増加に対する効果的な適応策として、支川流域の水源涵養機能の保全、水系ネットワークの連続性の保全、洪水時の避難場となる河道内氾濫原の樹林帯の重要性等を提示した。国土交通省及び岐阜県が河川管理者であることから、科学的根拠を踏まえた実効性の高い対策を河川管理者に対して提案していく。

【持続可能な観光の実現への貢献 対象：岐阜県及び岐阜市】

世界農業遺産「清流長良川の鮎」は地域のブランドを高めている一方で、その持続可能性に温暖化が及ぼす影響についてもその一端が明らかとなった。近年国際的に着目されている「持続可能な観光」の観点からも、とりわけ生態系サービスに依拠した観光資源については、気候変動にも適応した形での観光のあり方を志向した取り組みが必要であり、長良川の河川環境を流域住民一丸となって保全していくことはもとより、気候変動影響がより顕在化することを前提とした生態系サービスの利用方策が必要であることが、本研究課題におけるステークホルダーとの対話の中で意識された。今後、「持続可能な観光」を志向する地域の取り組みにおいて、本研究課題によって得られた知見が最大限活用されるよう情報提供を強化していく。

5-3. 研究目標の達成状況

全体目標	目標の達成状況
<ul style="list-style-type: none"> 文科省SI-CAT、適応コンソーシアム事業等で創出された、最新の気候変動予測プロダクト及び影響評価情報を活用し、地域における気候変動適応ニーズに応える影響評価手法を開発するとともに、具体的な適応策を地域のステークホルダーとの協働により提案する。 	<p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 岐阜県下主要5流域を含む8流域を対象として河川の洪水ピーク流量の再現性に優れた洪水流出解析モデルを構築し、地球温暖化対策に資するアンサンブル気候変動予測データベースd4PDF領域気候モデルを用いて、中小河川単位での評価を行った。評価の結果は河川管理者及び都市計画担当者に情報共有され、一部は基礎自治体の立地適正化計画見直しの背景情報として活用されている。（サブテーマ1） 稲作農家との対話を通じて、農家が高温障害よりも深刻な被害と感じているジャンボタニシによる食害についてフォーカスし、温暖化に伴う分布拡大の可能性と防除の方策について検討を行い、情報提供を行った。（サブテーマ1） 世界農業遺産「清流長良川の鮎」への温暖化影響について、長良川本川3漁協との協働により洪水・渇水・水温上昇の側面から現状把握と影響分析を行った結果、今後の資源管理のあり方を検討する体制が岐阜県により立ち上げられた。（サブテーマ2） 観光関係者の間では、気候変動にも適応した「持続可能な

	<p>観光」を志向したいくつかの適応策が試行・実行された。 (サブテーマ2)</p>
<p>・地域における気候変動適応の推進体制のモデルとして、行政・行政系機関研究者・大学研究者・地域のステークホルダーの協働により推進する『岐阜モデル』を確立する。</p>	<p><u>目標を大きく上回る成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・本研究課題を通じて、県行政・県試験研究機関・大学研究者等の連携による気候変動適応の推進体制の強みが実感された。 ・県試験研究機関が保有する現場情報及び現場のステークホルダーとのネットワークと、研究者によるデータ解析、モデルシミュレーション等を結合することによって、リアリティのある分析が可能となった。とくに、世界農業遺産「清流長良川の鮎」を対象としたサブテーマ2ではその有効性が大いに示された。 ・長良川鵜飼及びこれを資源とした観光を中心とした長良川温泉では、鵜飼関係者、温泉旅館組合、観光地域づくり法人(DMO)らに調査分析結果を早期段階から共有した結果、研究グループとステークホルダーの間で、実行可能で有望な適応策の候補(適応オプション)について様々な提案が交わされた。 ・気候変動影響の把握を専門家らと共に行うことにより、気候変動影響をステークホルダーがより具体的に認識し、適応に向けた行動変容への機運を醸成することができたといえる。
<p>・岐阜県の地域気候変動適応計画に本研究課題及びSI-CAT等で創出された科学的知見を実装するとともに、地域における適応の推進を通じて得られた知見を国の気候変動適応センター、A-PLAT等を通じて情報発信・共有する。(アウトカム)</p>	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・岐阜県地球温暖化防止・気候変動適応計画(令和3年3月)への気候変動影響情報の提供と、これに基づく重点施策の形成が促進された。特に水産業及び淡水生態系の分野では、世界農業遺産「清流長良川の鮎」推進協議会に、新たに資源管理・増殖部会を設置(令和5年1月)し、気候変動影響下における長良川のアユの持続可能性を高めるための資源管理の枠組みが設置されるに至り、引き続き科学的知見に基づくEBPMを志向した資源管理体制が整備されたことは、本研究課題が貢献した重要な成果であるといえる。 ・国民との科学・技術対話に相当するアウトリーチ活動を計35件行った。マスコミ報道は16件に及び、地域のシンボルである清流長良川に及ぶ温暖化影響への地域の関心の高さを示すものであった。マスコミ報道のうち一件は準全国紙中日新聞の一面に掲載された。 ・国適応センターとの情報共有を積極的に行い、A-PLATへの情報提供を行った。国適応センターからのインタビュー形式での記事掲載2件、国適応センターが主催する意見交換会での話題提供複数回、研究成果のプレスリリース、ウェビナー動画等に関する情報提供等を行った。

	<ul style="list-style-type: none"> 本研究課題の成果として作成した普及啓発冊子「安心のくらしのヒントBOOK@ぎふvol.2」（2023年3月発行）は、A-PLAT省庁・自治体作成のパンフレット・普及啓発ツールに掲載していただいている。
--	--

サブテーマ1 目標	目標の達成状況
<ul style="list-style-type: none"> 水災害・農地・生物多様性を包含した地域スケールの総合的な温暖化影響評価手法を開発する。 	<p><u>一定の成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 当初計画では、サブテーマ1では河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法を構築し、その評価結果を地域のステークホルダーや基礎自治体に共有することによって、トレードオフを生じない適応策の創出と社会実装を目指すものであったが、主要なターゲットとなるステークホルダーたるコメ農家の現状認識や将来展望は様々であり、一つの地域の中でも営農家が異なる展望を持っていること、全ての地域で共通して有効な適応策を見出すことは困難であることなどが早い段階で把握されたことから、アドバイザーボード会合における助言等を通じてサブテーマ1の位置付けを見直し、社会的な関心が高くステークホルダーの積極的な協力が得られたサブテーマ2との関係性を強化し、またサブテーマ2の議論に貢献する方向へと軌道修正を行ったものである。
<ul style="list-style-type: none"> 岐阜県主要5流域を対象に評価手法を適用し、評価結果をとりまとめる。 	<p><u>一定の成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 岐阜県下主要5流域を含む8流域を対象に水災害リスクの分析を実施した。 濃尾平野全域を対象として農地－農業排水路－河川の関係性に着目した魚類群集構造解析を行った。 濃尾平野全域を対象として、ジャンボタニシの越冬可能性評価と温暖化影響予測を行った。
<ul style="list-style-type: none"> 評価の結果をモデル市町村・地域と共有し、ケーススタディ的に適応策の検討を行い、モデル市町村・地域に対して提案する。 	<p><u>一定の成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 当初計画において主要なターゲットとしていたステークホルダーたるコメ農家を中心とした適応策の検討が難しいと判断されたため、本研究成果の活用が期待される行政機関を中心として、気候変動影響に関する情報提供や適応策として望ましい施策の方向性について提案を行った。主な成果事例について以下に示す。 水災害リスク分析結果や県管理区間における超過洪水時の氾濫被害に関する分析結果は、国土交通省木曽川上流河川事務所、岐阜県県土整備部河川課、岐阜県都市建築部都市政策課、岐阜市・大垣市・関市に情報共有され、河川行政、都市計画行政、防災行政等の基礎資料として活用されている。 農地－農業排水路－河川の関係性に着目した魚類群集構造

	<p>の解析結果は、岐阜県県土整備部河川課及び農政部農地整備課が取り組んでいる「水みち連携事業」に情報提供され、河川と農地の連続性の確保を進める科学的根拠となっている。</p>
--	--

サブテーマ2目標	目標の達成状況
<ul style="list-style-type: none"> モデル流域（木曾川水系長良川を想定）を対象に、流量・水温・環境DNAのモニタリング体制を構築し、集中的なモニタリングにより実態把握とモデル検証データを得る。 	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 3つの共同研究機関及び長良川本川筋の3つの漁業協同組合の連携により、2020年から2021年にかけて、長良川流域を中心に約170地点の密な水温観測体制を構築するとともに、42地点におけるアユの環境DNAモニタリングを複数回実施した。 ステークホルダーとの協働によるモニタリングは、調査分析の結果を即座に共有する上でも有効であった。また、漁業者が経験した過去数十年の生物季節の変化は、長良川流域におけるアユへの温暖化影響の全体像を理解する上で有用であった。
<ul style="list-style-type: none"> 河川水温の時空間分布に対する温暖化影響予測手法を開発する。 	<p><u>目標どおりの成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 長良川流域を対象として河川水温の変動パターンを分析した結果、気温と河川水温の関係性、降水量に対する河川水温の応答特性等が明らかとなり、この関係性をもとに構築した河川水温モデルは良好な再現性を示した。 源流に近い渓流域における水温プロセスモデルを開発し、温暖化が渓流水温の昇温につながる影響経路を記述するための手法が構築された。 流域の地形・土地利用や河道特性に基づく河川水温の特徴を、平衡水温を基準として記述する手法、気温に対する感熱特性の分析手法により記述した。 上記の手法は温暖化の進行による河川水温への影響を記述するそれぞれ各手法の長所を有しており、今後各所の気候変動予測プロダクトと組み合わせることによって、温暖化が水温上昇を通じて引き起こす河川生態系への記述の高度化に資するものである。
<ul style="list-style-type: none"> 洪水・渇水頻度、水温の変化により、地域資源であるアユと冷水性魚類が被る影響の評価手法を開発する。 	<p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 2020年、2021年に実施した長良川流域全体における水温モニタリングと、アユ環境DNA分析の結果により、日水温が26℃を超える範囲を避ける傾向が確認された。水温26℃はアユの生息に好適なレンジの上限に近く、長良川中下流域の夏季の水温はアユの生息には適さない水準にまで上昇していることが明らかとなった。 秋季のアユの産卵期も遅くなってきていることが漁業関係者間では認識されていたところ、本研究課題では流域内7か

	<p>所の漁場において、漁業者の協力によって日々漁場で捕獲される「落ち鮎」（成熟し婚姻色を呈した産卵降河個体）の量とサイズを2020年秋季、2021年秋季に記録し、この分析結果から、アユの産卵降河が誘発される条件を明らかにした。この結果から、アユの産卵降河には水温低下と増水という二つの条件が揃う必要があり、秋季の気温及び水温上昇が産卵降河を遅らせている主要因であることが分かった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・上記の成果から、アユの生育期の分布条件に関するモデル、産卵降河の発生条件に関するモデルが整備され、河川流況・水温モデルと組み合わせることによって、国内広域で汎用性のあるアユの生育・産卵に関する時空間分布モデルが構築できる準備が整った。 ・水温の上昇が魚類群集の分布に及ぼす影響を分析するため、複数の水温指標と魚種ごとの分布情報から魚類の生息密度モデルを構築した。これを用いて、仮に水温が2℃昇温した際の分布を検討した結果、例えば冷水性魚種アマゴの分布は現在よりも高標高域まで及ぶ可能性など、温暖化の進行に伴う潜在的な分布域の推定が可能となった。
<ul style="list-style-type: none"> ・これらの評価結果を踏まえ、漁業・養殖業、観光業、河川管理者等のステークホルダーとともに気候変動への地域における適応策を共創する。 	<p><u>目標を上回る成果をあげた。</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ・岐阜県地球温暖化防止・気候変動適応計画（令和3年3月）への気候変動影響情報の提供と、これに基づく重点施策の形成が進んだ。特に水産業及び淡水生態系の分野では、世界農業遺産「清流長良川の鮎」推進協議会に、新たに資源管理・増殖部会を設置（令和5年1月）し、気候変動影響下における長良川のアユの持続可能性を高めるための資源管理の枠組みが設置されるに至り、引き続き科学的知見に基づくEBPMを志向した資源管理体制が整備されたことは、本研究課題が貢献した重要な成果であるといえる。 ・長良川鵜飼関係者、長良川温泉旅館協同組合、観光地域づくり法人（DMO）らに調査分析結果を早期段階から共有した結果、屋形船によらない鵜飼観覧が可能な川棧敷の社会実験、鵜飼漁期の見直しの案、産卵降河が遅くなった結果秋の行楽シーズンと漁期が重なりつつある落ちアユを「秋アユ」としてブランド化する案などがステークホルダー間から提案され、一部は既に実施に移されつつある。 ・河川管理者に対しては、河道掘削による河川地形の平坦化（瀬淵の消失）や樹木伐採による洪水避難場の創出が河川環境に及ぼす影響と温暖化影響を助長することについて情報提供を行った。しかしながら、治水安全度を高める社会的要請と河川環境保全との間で抜本的な対応を見出すことは困難な状況が続いている。

6. 研究成果の発表状況

6-1. 査読付き論文

<件数>

15件

<主な査読付き論文>

- S. Nagayama, M. Sueyoshi, R. Fujii, M. Harada: Basin-scale spatiotemporal distribution of ayu *Plecoglossus altivelis* and its relationship with water temperature from summer growth to autumn spawning periods. *Landscape and Ecological Engineering*, 19, 21–31 (2023)
- S. Nagayama, R. Fujii, M. Harada, M. Sueyoshi: Low water temperature and increased discharge trigger downstream spawning migration of ayu *Plecoglossus altivelis*. *Fisheries Science* (in press)
- M. Harada, S. Nagayama: Impacts of flood disturbance on the dynamics of basin-scale swimming fish migration in mountainous streams. *Water*, 14, 538 (2022)
- 森照貴: 河川と氾濫原をつなぐ洪水が生物多様性に及ぼす影響. 水環境学会誌, 45, 146-150 (2022)
- N. Ishiyama, M. Sueyoshi, J. García Molinos, K. Iwasaki, J.N. Negishi, I. Koizumi, S. Nagayama, A. Nagasaka, Y. Nagasaka, F. Nakamura: Underlying geology and climate interactively shape climate change refugia in mountain streams. *Ecological Monographs*, e1566(2023), <https://doi.org/10.1002/ecm.1566>
- 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: 平衡水温を用いた流域スケールの河川水温管理指標の提案. 河川技術論文集, 27, 289-294 (2021)
- 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: ランダムフォレストと変数重要度分析を用いた河川流域での水温変化特性の支配要因の検出. 土木学会論文集 B1 (水工学), 77(2), I_997-I_1002 (2021)
- 原田守啓, 瀧健太郎: d4PDF 領域気候モデルと洪水流出解析による流域を俯瞰した洪水規模・頻度の分布特性の分析. 土木学会論文集 B1(水工学), 77(2), I_475-I_480(2021)
- 平野和希, 原田守啓: 流域スケールにおける洪水攪乱外力の評価手法. 土木学会論文集 B1(水工学), 78, I_907-I_912 (2022)
- W. Higashikawa, M. Sueyoshi, T. Mori, R. Yonekura, K. Nakamura: The Satogawa Index: A landscape-based indicator for freshwater biodiversity in Japan. *Ecological Indicators*, 152, 110350 (2023)

6-2. 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

6-3. その他発表件数

査読付き論文に準ずる成果発表	0件
その他誌上発表（査読なし）	4件
口頭発表（学会等）	14件
「国民との科学・技術対話」の実施	35件
マスコミ等への公表・報道等	16件
本研究費の研究成果による受賞	2件
その他の成果発表	7件

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究者略歴

研究代表者・サブテーマ1リーダー：原田 守啓

岐阜大学大学院工学研究科修了，博士（工学），技術士（建設部門）
建設コンサルタント勤務，（独）土木研究所専門研究員を経て，
岐阜大学流域圏科学研究センター准教授。
現在，岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター/センター長 を兼務。

研究分担者

（サブテーマリーダー及び分担機関の代表者のみ示す）

1) 伊藤 健吾（サブテーマ2リーダー）

鳥取大学連合農学研究科，農学博士
岐阜大学農学部助手を経て
現在，岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター・応用生物科学部/准教授

2) 森 照貴（分担機関代表者）

名古屋大学農学部卒業，北海道大学環境科学院修了，博士（環境科学）
日本学術振興会(DC2)，北海道大学，（独）土木研究所専門研究員，日本学術振興会(PD)を
経て
現在，（国研）土木研究所流域水環境研究グループ自然共生研究センター/主任研究員

3) 藤井 亮吏（分担機関代表者）

北海道大学水産学部卒業，北海道大学大学院水産科学研究科修了，博士（水産科学）
現在，岐阜県水産研究所漁業研修部/部長

II. 成果の詳細

II-1 安全安心で持続可能な「清流の国ぎふ」に向けた戦略立案のための河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法の開発

国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学

岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター長／准教授 原田 守啓

岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター／准教授 乃田 啓吾

岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター／教授 松井 勤

岐阜県水産研究所

試験研究部／専門研究員 米倉 竜次

国立研究開発法人土木研究所

水環境研究グループ自然共生研究センター／センター長（元主任研究員） 森 照貴

国立大学法人九州大学

大学院工学研究院環境社会部門／助教 丸谷 靖幸

（研究分担期間2020.4～8, 2020.9より異動のため協力者に変更）

【主な研究協力者】

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

農業環境変動研究センター／上級研究員 石郷岡 康史

岐阜県農業技術センター

作物部／部長 吉田 一昭

〔要旨〕

河川の氾濫原にあたる農地を主な対象とし、温暖化の影響のうち、河川の洪水・濁水・水温上昇を主な影響要因ととらえ、サブテーマ1では河川の洪水規模頻度の変動、氾濫原に位置する農地における温暖化影響、河川―農業排水路―農地の関係性とその場を利用する生物群集に着目した温暖化影響評価技術の開発を行った。サブテーマ2の成果と連携した形で、河川管理者、営農家、土地改良区（農業用水の管理者）及び一部の基礎自治体への情報共有を行い、適応策の実施に向けた機運を醸成した。

1. 研究開発目的

我が国における気候変動影響は、近年全国各地で発生している豪雨災害や猛暑など、既に様々な形で顕在化しつつある。また、地域により異なる適応ニーズに応える科学的知見を創出し、地域に即した適応策を実行するためには、従来の自然災害、農林水産業、自然生態系といった、適応7分野毎に独立した形ではなく、地方自治体の施策立案や地域の意思決定の材料につながるよう、地域側の視点からみた総合的な影響評価を実施する必要がある。そこでサブテーマ1では、水防災・農地・河川生態系・産業文化に及ぶ複合的な気候変動影響を地域視点で総合評価する手法を構築することを目的とした。

2. 研究目標

- 水災害・農地・生物多様性を包含した地域スケールの総合的な温暖化影響評価手法を開発する。
- 岐阜県主要5流域を対象に評価手法を適用し、評価結果をとりまとめる。

○評価の結果をモデル市町村・地域と共有し，ケーススタディ的に適応策の検討を行い，モデル市町村・地域に対して提案する。

3. 研究開発内容

サブテーマ1では，山地から平野まで多様な自然環境と土地利用を有する岐阜県の主要5流域を対象とし，中小河川ごとの水災害リスクと温暖化影響，稲作農業への温暖化影響，農地と河川の関係性によってもたらされている生物多様性評価手法とこれに温暖化が与える影響の分析を行う。

当初計画では河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法を構築し，その評価結果を地域のステークホルダーや基礎自治体に共有することによって，トレードオフを生じない適応策の創出と社会実装を目指すものであったが，主要なターゲットとなるステークホルダーたるコメ農家の現状認識や将来展望は様々であり，一つの地域の中でも営農家が異なる展望を持っていること，全ての地域で共通して有効な適応策を見出すことは困難であることなどが早い段階で把握されたことから，アドバイザーボード会合における助言等を通じてサブテーマ1の位置付けを見直し，社会的な関心が高くステークホルダーの積極的な協力が得られたサブテーマ2との関係性を強化し，またサブテーマ2の議論に貢献する方向へと軌道修正を行ったものである。すなわち，温暖化の影響のうち，河川の洪水・濁水・水温上昇を主な影響要因ととらえ，サブテーマ1では河川の洪水規模頻度の変動，氾濫原に位置する農地における温暖化影響，河川―農業排水路―農地の関係性とその場を利用する生物群集に着目した温暖化影響と適応策にフォーカスし，サブテーマ2の成果と連携した形で，河川管理者，営農家，土地改良区（農業用水の管理者）及び一部の基礎自治体への情報共有を図りながら，研究期間の早い段階から適応策の創出を目論んだ。

4. 結果及び考察

4-1. 国管理河川及び県管理河川を含む洪水規模・頻度への温暖化影響分析

岐阜県下主要5流域を含む8流域を対象として河川の洪水ピーク流量の再現性に優れた洪水流出解析モデルを構築（図1.1）し，地球温暖化対策に資するアンサンブル気候変動予測データベース d4PDF 領域気候モデルの過去気象，2℃昇温，4℃昇温の条件下における各数千年分の時間降水量を入力条件として洪水流出解析を行い，年最大洪水イベントを数千年分に亘って分析した。

国が管理する大河川では，国土交通省が2℃昇温時の温暖化影響として提示している影響度合い（100年確率の雨量が1.1倍，洪水流量が1.2倍）と同程度の評価値となるが，大河川の支川にあたる中小河川では変化倍率がより大きいことが示された。中小河川は大河川と比べて相対的に治水安全度の整備水準が低いことから，水害リスクの上昇は大河川よりも中小河川の方が大きいことが強く示唆された。図1.2には，本川主要地点と小流域におけるX年確率流量の変化倍率を，紙数の都合で2度昇温実験のみ示す。国土交通省のとりまとめでは100年確率の降雨量に対してのみ変化倍率が提示されているが，図によれば本川主要地点の変化倍率よりも各小流域の変化倍率の方が大きいことが確認され，小流域にある中小の支川における超過洪水発生頻度の方が本川よりも相対的にリスクが高まる可能性が示唆された。

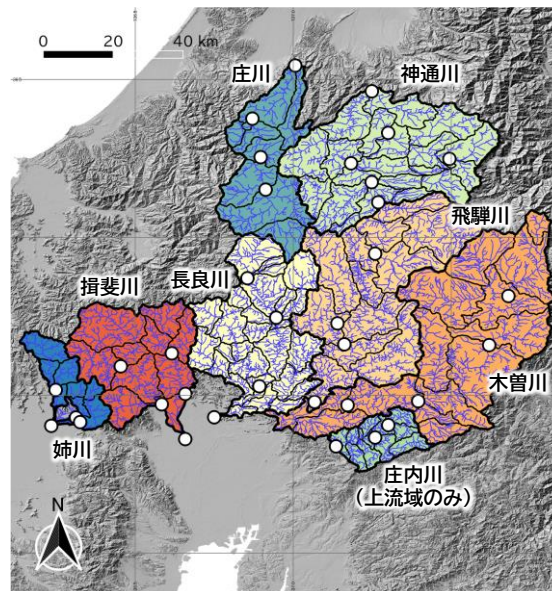


図1. 1 貯留関数法モデルにおける小流域分割と本川主要地点（白丸）¹⁾

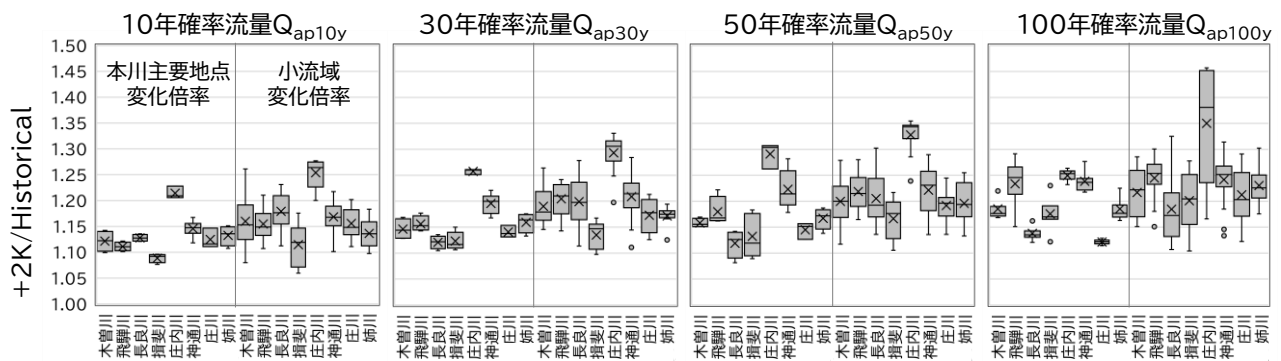


図1. 2 本川主要地点と小流域の X 年確率流量の変化倍率（2 度昇温実験／過去実験）¹⁾

4-2. 長良川谷底平野区間における多段階洪水外力に対する氾濫特性と国管理区間への影響

計画規模以下から想定最大規模までの多段階の洪水外力を効果的に想定するための知見を得ること、複雑な氾濫形態を有する谷底平野部における超過洪水時の氾濫現象の特徴を考察すること等を目的し、これを表現可能な河道一氾濫一体型モデルを長良川谷底平野区間を対象として構築した（図1. 3）。d4PDFを入力条件として構築した洪水データベースから、発生確率が異なる洪水50波形を対象に氾濫解析を行った。これらの洪水の発生確率は想定最大規模（1/3000）から10年確率（1/10）に相当する。図1. 4に氾濫解析結果の例を示す。これらのケースはd4PDF過去実験3000年分のうち、1番目（1/3000）、7番目（7/3000）、30番目（30/3000）であり、例えば30番目のケースは1/100、すなわち100年確率程度に相当する。

解析結果を分析した結果、谷底平野に流入する各河川の流量配分により浸水面積に大きいばらつきが生じるのに対し、下流区間へのピークカット効果のばらつきは相対的に少ないことが示された。16の氾濫ブロック別の浸水面積を分析した結果、氾濫水の貯留の量と貯留（氾濫）が生じるタイミングが4パターンに分類でき、複雑な氾濫形態を有する谷底平野区間における氾濫現象が下流に与える影響を分析的に提示できることが示された。

今後増加することが予想される計画超過洪水がもたらす水災害リスクについて分析を行った結果、堤防と背後地形によって区切られる氾濫ブロックの地形的特性によって水災害リスクの変動が大きく異なることが示された。また、谷底平野区間における超過洪水による氾濫は、下流の国管理区間に到達する洪水ピーク流量を1割程度低下させることが明らかとなった。

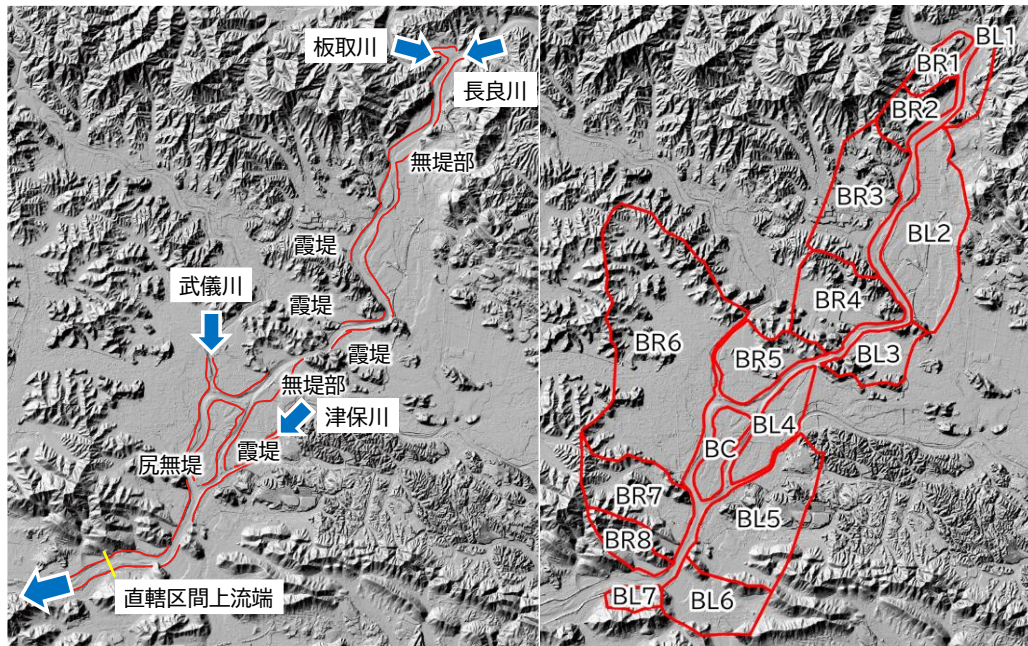


図 1. 3 木曾川水系長良川 谷底平野区間（左）及び氾濫ブロック（右）²⁾

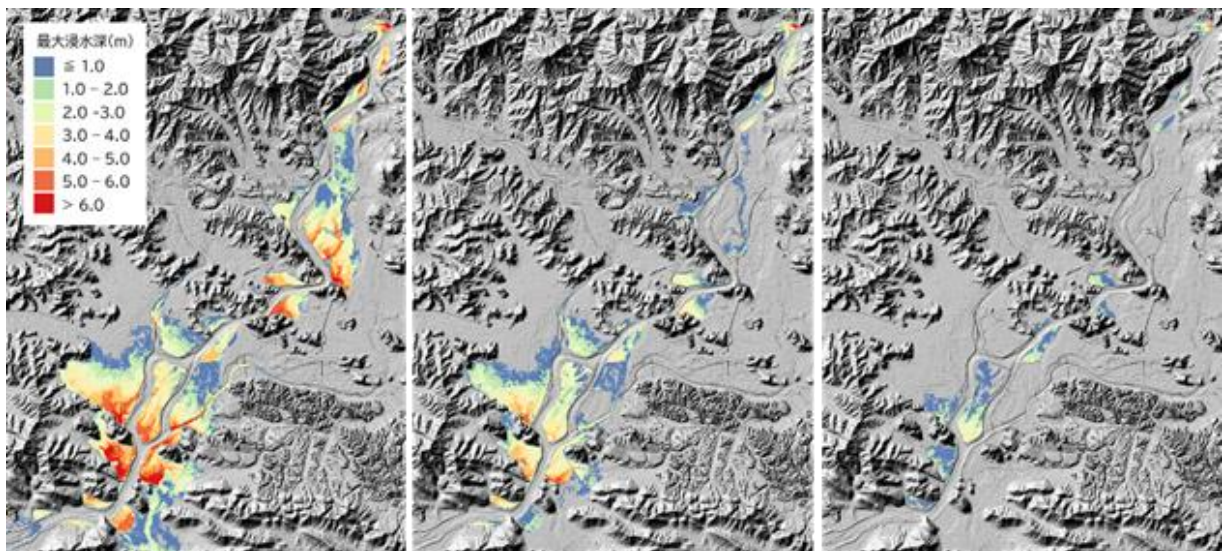


図 1. 4 最大浸水深の分布の例（実験順位 N=1, 7, 30）²⁾

4-3. 流域スケールでの洪水攪乱外力の評価手法の開発と長良川流域への適用

温暖化影響によって増加する洪水規模・頻度は、河川生態系に対する洪水攪乱の強度を増加させることが予想されたことから、数千年分の洪水規模頻度を分析することを目的とした洪水流出解析モデルとは別に、長良川流域を対象として年間の流量変動を高精度で再現可能な河川流況モデルを RRI (Rainfall-Runoff-Inundation) モデルをベースとして構築し、長良川流域内の任意の地点における洪水攪乱強度の評価が可能な手法を提案・構築した。本研究は、サブテーマ 2 (4-2. アニメーション空間分布に河川洪水攪乱が及ぼす影響) の検討後に手法を改良したものであり、温暖化により規模頻度が高まると予想される洪水攪乱の評価指標を提案しようとしたものである。

著者らは既往研究³⁾において扇状地区間における土砂輸送に着目して 4 段階の流量ステージを提案した。既往研究では砂州全体の土砂移動が生じはじめるステージ 3 の閾値として、平瀬部の代表粒径に対する無次元限界掃流力に着目した。最大粒径クラスの粒径集団の移動が生じる状況をステ

ージ4と定義した。本研究では、この考え方を流域全体に適用するため、任意の地点について代表粒径 d_R を与えておき、これに対する無次元掃流力を計算することによって、任意地点における洪水攪乱の規模を表す指標として利用した。解析対象地点は、サブテーマ2で実施されたアユ環境DNA分析の調査地点とし、2020年、2021年の2年間を計算対象とした。RRIモデルには積雪過程が導入されていないため、積雪期・融雪期の計算は助走計算扱いとした。提案した洪水攪乱指標を用いて、2020年長良川流域における2期間の洪水イベントを評価・集計した結果を図1.5に示す。(a)が期間1(6/10-8/10)、(b)が期間2(8/11-10/5)を示す。上から、①日比流量の最大値 Q_{\max} 、②無次元掃流力の最大値 τ^*_{\max} 、③無次元掃流力 τ^* が0.05を超過した累積時間の割合、④無次元掃流力 τ^* が0.10を超過した累積時間の割合である。③ $\tau^* \geq 0.05$ の累積時間の割合、④ $\tau^* \geq 0.10$ の累積時間の割合は、それぞれ、対象区間の河床材料の主材料となる粒径集団が移動しうる時間帯の割合、最大粒径クラスの土砂ですら移動が生じ河川地形が大きく変化する時間帯の割合を示す。図-5③(a)と図-5④(a)に着目すると、期間1の吉田川上流域では全地点で3割以上の時間において主材料の輸送が生じており(③(a))、1割以上の時間は河川地形が大きく変化するほどの状況であった(④(a)) ことなどが読み取ることができる。相対的に長良川本川上流域や、板取川に作用していた洪水攪乱の継続時間は短かったことも読み取れる。このように、無次元掃流力及びこれを閾値とした継続時間の指標は、各河川区間に作用した洪水攪乱の程度を、河床材料の移動や河床変動の度合いとして捉えることを可能としている。サブテーマ2で調査分析を行った長良川流域におけるアユの分布に高強度の洪水与えた影響(II-2, 4-2参照)について洪水攪乱強度の観点からより詳細な分析が可能な手法が提案できた。

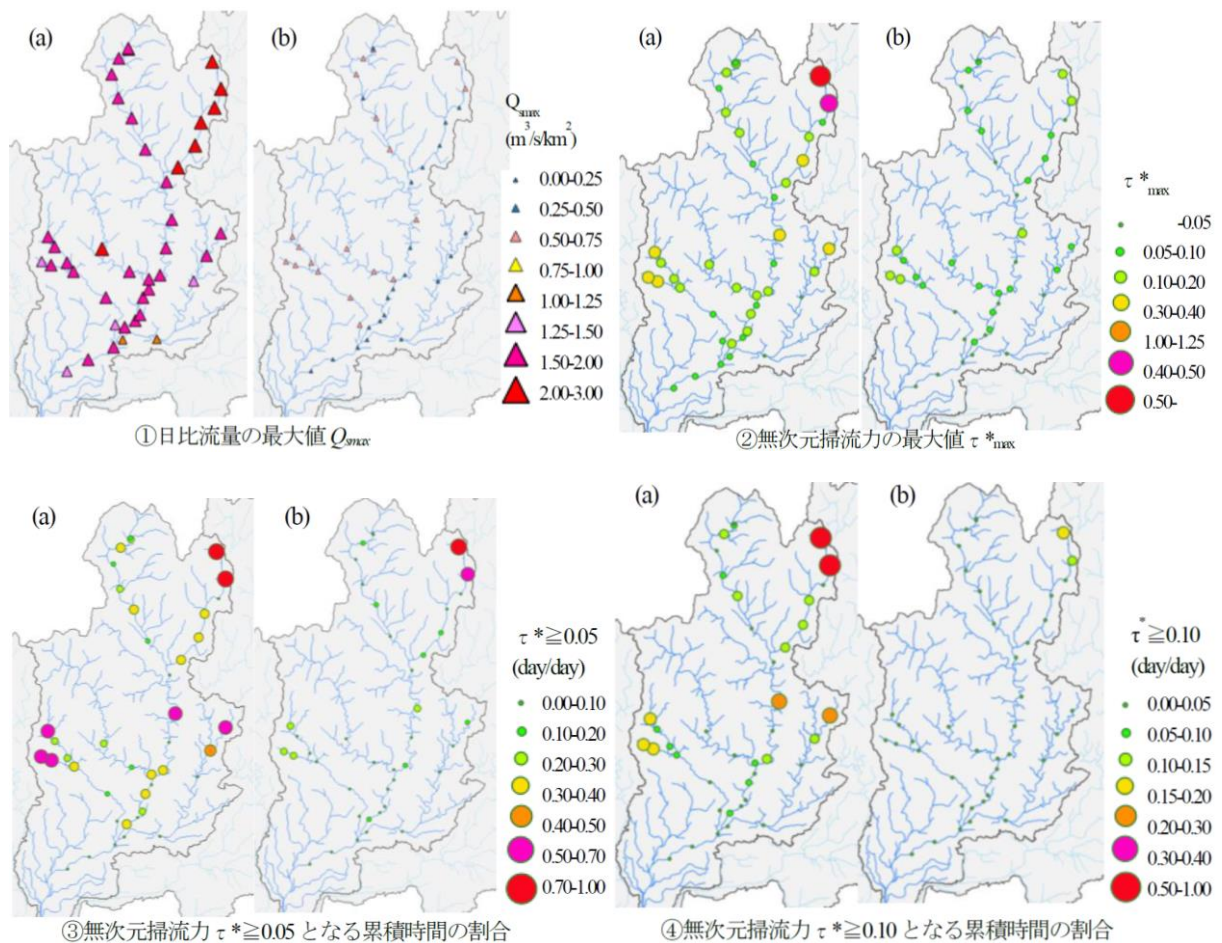


図1.5 各洪水攪乱指標の集計結果 ((a)期間1, (b)期間2) ⁴⁾

4-4. コメ農業への温暖化影響① 高温不稔の発生条件に関する現地観測

農地における温暖化影響を稲作農業への影響と農業排水路を利用する水生生物群集への影響の観点から検討した。長良川流域を含む木曾川水系の谷底平野部での調査の結果、水稻の高温障害の一種である高温不稔が顕在化しつつあることが確認されており、地形や微気象との関係性について調査分析を行った。図1. 6は、2020年に高温不稔が発生した水田の分布を示しており、岐阜県中濃地区から東濃地区の範囲を示している。これらの地点のうち、長良川流域曾代用水受益地を含む数か所で微環境観測を実施した。岐阜県ではコシヒカリとハツシモの作付けが多く、高温障害はコシヒカリについて報告が多く、晩生種のハツシモはあまり被害を受けていなかった。微環境との関係性の分析を引き続き実施していく。

高温障害が発生している地域ではこれを回避するための“かけ流し灌漑”などが実施されているが、農業用水の反復利用が盛んな地域では用水の水温そのものが高すぎる場合や、かけ流し灌漑が河川水温の上昇を招いている状況などがあることが現地調査により把握された。サブテーマ2の主な論点である「河川の水温上昇」という温暖化影響は河川から取水／河川に排水する農地とも密接に関係する状況が明らかとなった。一方、出穂期、開花期の高温を原因とする不稔とは別に、山地に囲まれた谷底平野部では、カメムシによる吸汁を原因とした不稔も多く確認された。カメムシの越冬及び繁殖を温暖化が助長しているとの報告もある。高温不稔発生条件に関する詳細な分析は研究期間中に完了していないが、研究成果を早期に地域の関係者に伝えるため、コメへの温暖化影響についてとりまとめた内容を普及啓発冊子に収録した。普及啓発冊子におけるコメの温暖化影響のページを、図1. 7に示す。

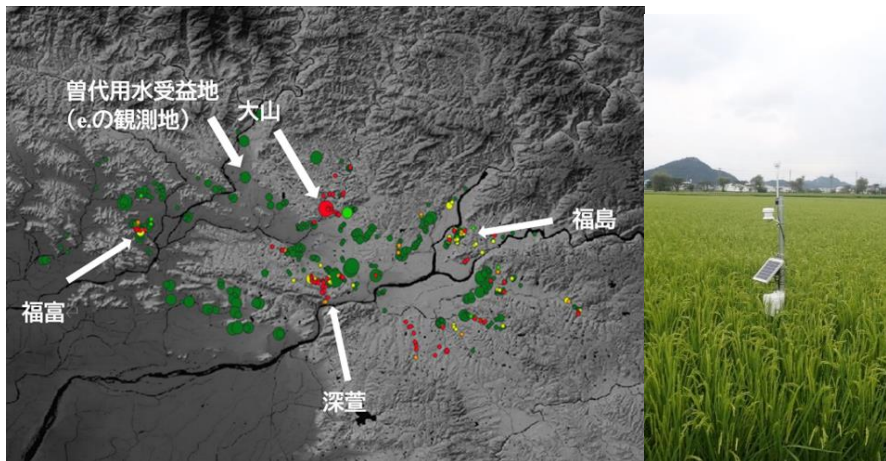


図1. 6 高温不稔の発生地域及び高温不稔発生水田における微環境観測

暑さが厳しすぎるとお米の出荷量が減る？

イネはアジア原産で暑さに比較的強い作物ですが、近年の日本の暑さで、お米もまいっています。

暑さが原因で、お米が白く濁る(白米熟粒)、もみの中が空っぽ(高温不稔)に

近年、岐阜県をはじめ、全国で夏の気温が40℃近い日があります。7月下旬から9月上旬の時期に高温になると、お米の品質が低下してしまいます。イネが受粉して実っていく段階で、目安として一日の平均気温が27℃を超える日が続くと、でんぷんが少なくスカスカのお米が増えてきて、農りがラスのような乱反射で白く濁ります(白米熟粒)。食べても問題ありませんが、冷えるとべちゃっとして食感がかわります。また、受粉する際に35℃を超えてくると、花粉がだめになって、中にお米がない空っぽのみみ殻が増えてきます(高温不稔)。

植物は葉から水蒸気を出して体温を下げます。ですから正確には気温だけでなく、湿度が高いか、風が通るか、お日々に日陰になっているか、糖が上のほうかでイネの体温は変わります。もともと気温が高い場所も種の遺伝子のおかげで耐暑性がない組み合わせもあります。人が熱中症になりやすい条件では、イネもダメージをうけやすいのです。

こうした品質の悪いお米は、出荷前に機械でじかれることが多いので、発生量の把握がつかみづらくなっています。岐阜の2大品種はハツシモとコシヒカリです。ハツシモは遅い時期に実るので暑さの影響を受けにくいですが、コシヒカリは全体的に暑さの影響を受けやすくなっています。高温に強いお米の品種研究がすすんでいます。また温暖化によって、越冬する害虫や、熱帯産の外來生物が増えてイネを食い荒らす可能性も指摘されています。

食生活の変化や家族構成の変化によって、日本ではこの80年間で1人あたりのお米消費量が半分減りました。米の消費の3割はコンビニなどの弁当や惣菜に使われています。けれどお米は日本の文化に欠かせませんし、保存食としても優秀です。水田は一時に雨が降るため洪水や土砂崩れを助く効果もあります。お米づくりが維持されるような対策を考えてみましょう。

お米ができるまでと気候変動の影響

イネの花は、雄花(めしべ)と雌花(おしべ)に分かれています。雄花は花粉を飛ばし、雌花は花粉を受け取ります。花粉は、雄花の柱頭から雌花の柱頭に落ちて、受精を行います。この過程で、高温による花粉の乾燥や、花粉の飛散量の減少などが、受精率を低下させ、お米の出荷量を減らします。

イネの成長は、3月から10月にかけて行われます。この期間に、高温による乾燥や、水不足などが発生すると、お米の品質が低下します。また、高温による害虫の発生や、病気の原因にもなります。

米の消費量が減っているのに、さらに収入減は困る。

お米を食べて、農家の人が対策できるような応援しよう

全国で昔ながらのブランド米の人氣が根強く、農家は気候変動に対応した新品種に切り替えづらい傾向にあります。暑さ、食害など新しい問題の対応には手間とお金がかかります。みんなでお米を食べて、農家を支援しよう。

図1. 7 コメに対する温暖化影響の解説記事(安心なくらしのヒント BOOK@ぎふ vol.2 pp.10-11.)

4-5. コメ農業への温暖化影響② ジャンボタニシ越冬条件に着目した広域評価

稲作農家との対話を通じて、農家の関心が高温不稔の発生や高温障害を回避するための水管理の問題よりも、むしろ近年増殖しているジャンボタニシ（スクミリンゴガイ）によるイネ食害にあることが分かった。濃尾平野においては、その分布域を次第に北上させておりコメ農業への温暖化影響といえる。そこで、稲作農家のニーズに応えるために、ジャンボタニシの冬季の越冬可能性に着目したモデルを構築し、日本全国 1km 地域気候予測シナリオデータセット（農研機構）を入力条件として過去気象及び将来予測を実施した。

ジャンボタニシが越冬不可能となる条件として、「1日のうち 3.5℃を下回る時間の低温積算気温」に着目した。この条件は別途実施した実験により、有効性が確かめられている（伊藤ら未発表）。これを気候シナリオデータセットに含まれる日最低 *tasmin*、日平均 *tas*、日最高 *tasmax* の3つの値から求める方法を考案した。気候シナリオデータセットに含まれる GCM 5 種類、過去気象については 1981-2005 の計 25 年分を使用し、将来気候については RCP2.6 シナリオの 2026-2050 の啓 25 年分を使用した。計算対象年を 4 半期（1～3 月、4～6 月、7～9 月、10～12 月）に区切って四半期ごとの低温積算気温を集計した。さらに、ジャンボタニシが越冬できるかどうかを判定するため、冬季を挟む 10 月～翌年 3 月までの間の低温積算気温を対象に、これが 1000 時間を下回る年数が何年現れるかを各メッシュで集計した。25 年の各年の下半期から翌年への越年処理を行うことから最大値は 24 となる。図 1. 8 は 5 つの GCM を用いた解析結果のメッシュ平均値を図化したものである。

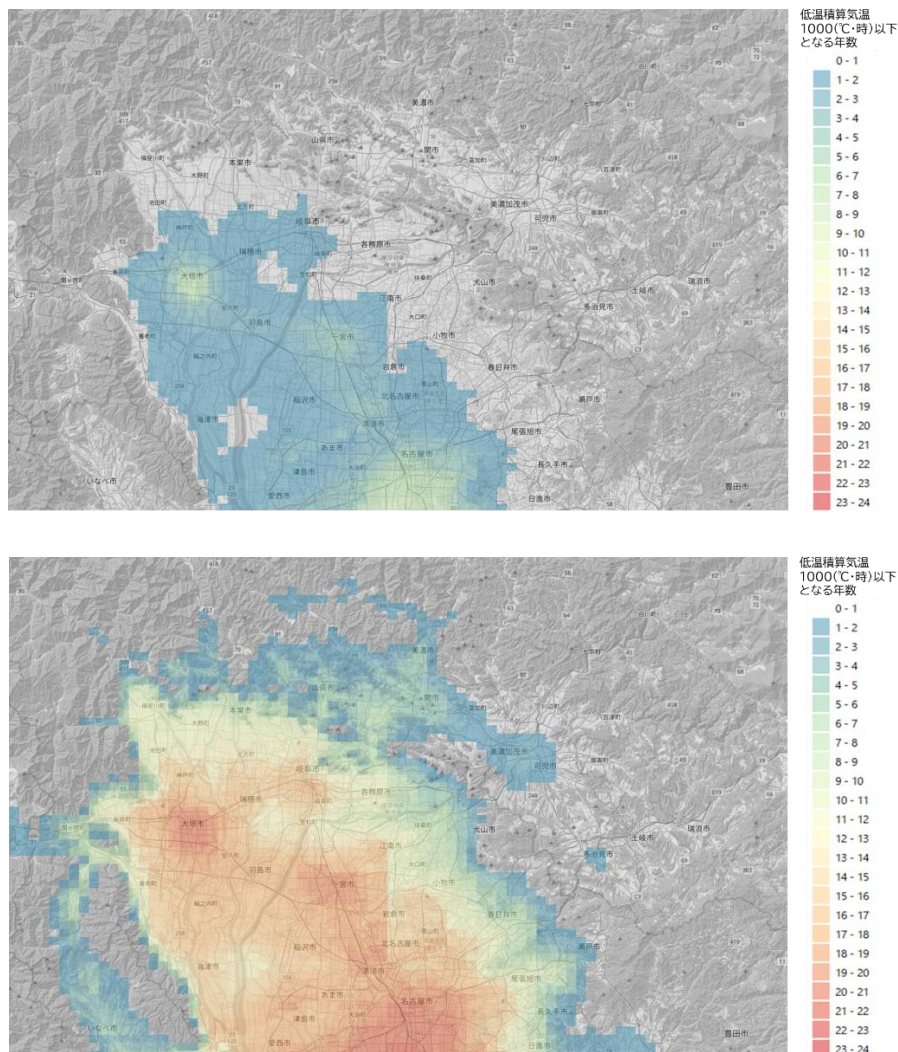


図 1. 8 ジャンボタニシ越冬可能年数 (X/25 年), 5GCM 平均
(上: 1981-2005, 下: RCP2.6 2026-2050)

各 GCM の評価結果にはばらつきがあり，GCM に結果は大きく依存するものの 2030 年代には平野部全域に分布を拡大しうることも予想され，効果的な対策を早期に講じる必要性が高まっていることが示された．これらの成果は，岐阜県気候変動適応センターを通じて関係者に情報発信される予定である．

4-6. 農業排水路を利用する魚類群集の生息条件分析及び温暖化影響の検討

農業排水路に生息する淡水魚を保全するために再生すべき水路環境を，濃尾平野の広域魚類データを用いて明らかにした．決定木図では，分岐の上の要因ほど種数にとって重要な環境を示す．魚類の種数に対しては，水路幅の大小が強く影響し，大きい水路ほど魚類種数が多くなった．そして，大きな水路ではさらに河川との間の落差工が低いほど多くの種が確認された．一方で，小さい水路では，深い水深や水路内に移動を阻害する落差がないことが重要であった．最も魚類種数が少ないのは，小さく浅く水路内に落差が多く存在し，さらに河床がコンクリートで覆われた水路であった．

次に，各魚種の在不在に対して各水路環境の相対的重要度を算出し，生態特性（止水，流水，半止水性）ごとにまとめて比較した．止水性魚類は水田面積や水路長が重要であり，流水性魚類は河川との間の落差の高さや水温が重要であった．特に流水性魚類の生息確率に対しては水温の重要度が高く，排水の水温変化や将来の温暖化による分布の変化が示唆される結果となった．

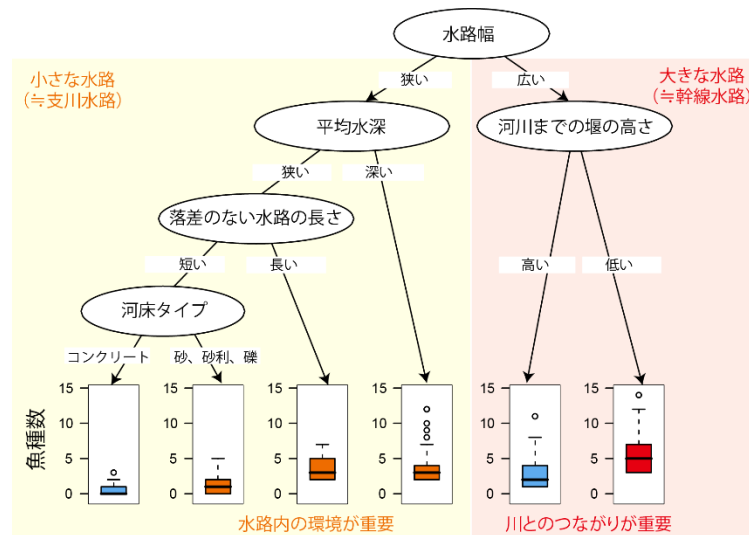


図 1. 9 農業排水路の魚類種数の決定木図

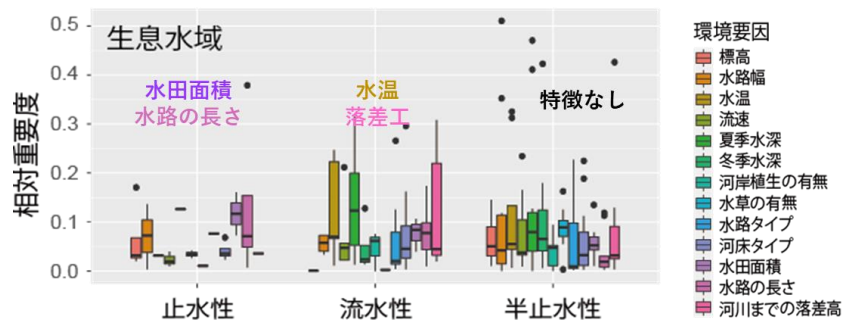


図 1. 10 魚類の生態的特性に応じた水路環境要因の重要性．図内の要因名は各生態特性に対して重要度が高かった要因を表す．

4-7. 河川-農業排水路の連結性が魚類生物群集の種多様性に与える影響

濃尾平野全域を対象とした農業排水路の魚類群集データ（図1. 11右上）と，農地と河川の分断状況（図左上）に基づき構築した魚類群集の生物多様性モデル（図左下）により，農業排水路を利用する魚類は，河川と排水路を行き来しており，その連続性が生物多様性を支えていることが裏付けられた．また，「受益面積」と「河川との連結性」に着目することで，受益地（農業水路網）単位で魚類群集の多様性を推定・可視化し，保全優先度を評価可能となった（図右下）．河川との連続性が確保されていない排水路における魚種数（図右下赤点線）に対して，連続性が確保された排水路の魚種数（図右下緑点線）は有意に大きく，また受益面積に対して指数関数的な分布があることが認められる．これらのモデルのパラメタである「河川との連結性」の数値を変化させることで，連結性の改善による多様性の回復を予測することもできる．河川における洪水規模・頻度の増加は，河川側の水位変動の頻度が変化することによって河川と農業排水路の接続頻度を変化（増加）させる可能性があるが，その影響については分からないことが多く，物理的に落差を解消することが連続性を確保する上での確実な対策であるといえる．

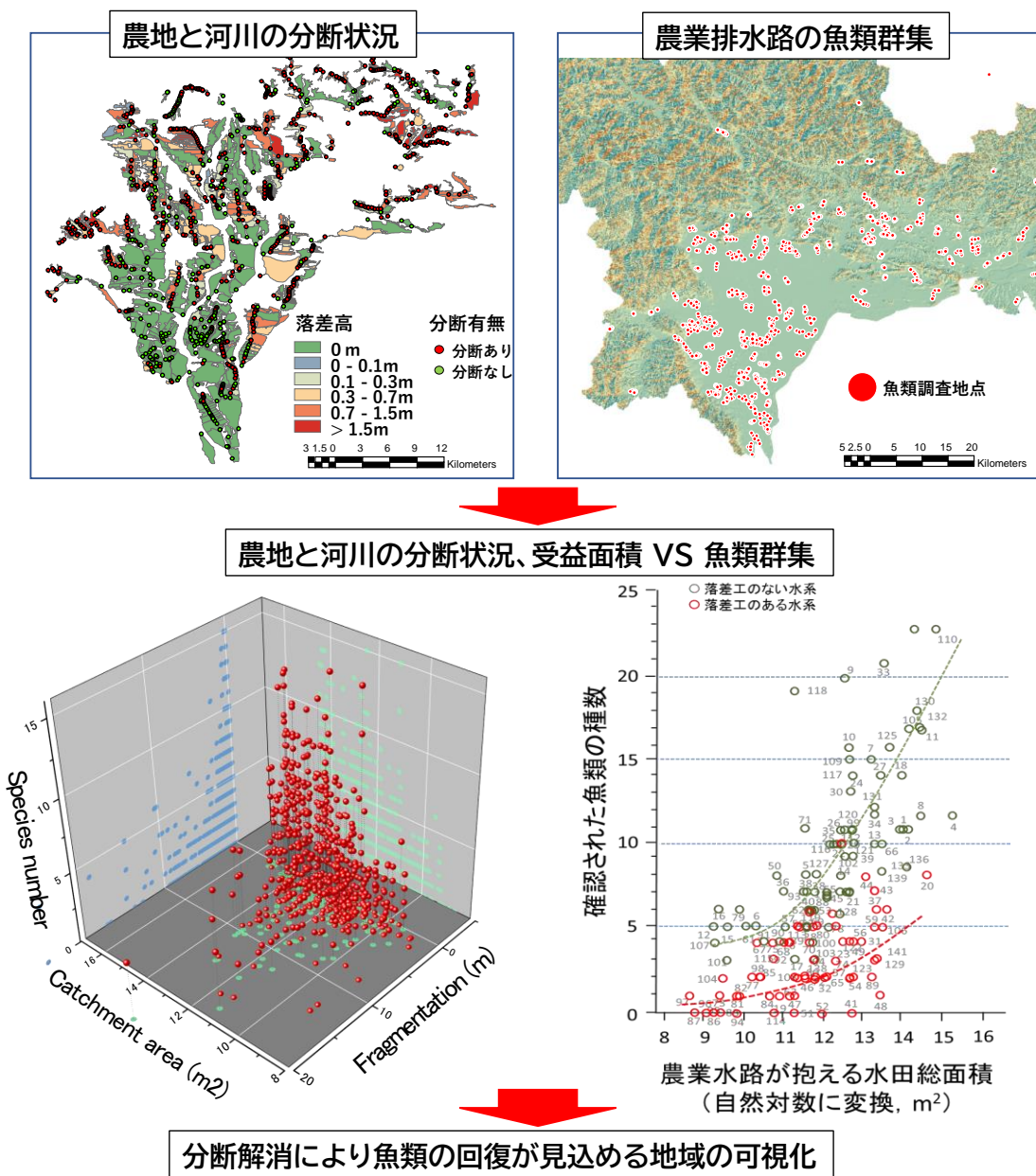


図1. 11 河川-農業排水路の連結性，農地受益面積に着目した魚類群集多様性モデル

また、サブテーマ1で扱った温暖化による洪水規模頻度の変化は、間接的に河川と農業排水路の連結性を変化させる可能性がある。すなわち、排水路から河川への水面落差によって分断されている箇所が、増水によって連結する頻度が増加する可能性がある。河川と農業排水路及び氾濫原との接続頻度は河川生態系を特徴づける重要な環境要因⁵⁾であり、今後、この観点からも複合的な分析を進めていく。

5. 研究目標の達成状況

サブテーマ1における研究目標及び達成状況の自己評価は以下のとおりである。

【目標1】水災害・農地・生物多様性を包含した地域スケールの総合的な温暖化影響評価手法を開発する。

【達成状況】一定の成果をあげた。

- ・当初計画では、サブテーマ1では河川氾濫原の水災害リスク・農地継続性・生物多様性の総合評価手法を構築し、その評価結果を地域のステークホルダーや基礎自治体に共有することによって、トレードオフを生じない適応策の創出と社会実装を目指すものであったが、主要なターゲットとなるステークホルダーたるコメ農家の現状認識や将来展望は様々であり、一つの地域の中でも営農家が異なる展望を持っていること、全ての地域で共通して有効な適応策を見出すことは困難であることなどが早い段階で把握されたことから、アドバイザリーボード会合における助言等を通じてサブテーマ1の位置付けを見直し、社会的な関心が高くステークホルダーの積極的な協力が得られたサブテーマ2との関係性を強化し、またサブテーマ2の議論に貢献する方向へと軌道修正を行ったものである。

【目標2】岐阜県主要5流域を対象に評価手法を適用し、評価結果をとりまとめる。

【達成状況】一定の成果をあげた。

- ・岐阜県下主要5流域を含む8流域を対象に水災害リスクの分析を実施した。
- ・濃尾平野全域を対象として農地－農業排水路－河川の関係性に着目した魚類群集構造解析を行った。
- ・濃尾平野全域を対象として、ジャンボタニシの越冬可能性評価と温暖化影響予測を行った。

【目標3】評価の結果をモデル市町村・地域と共有し、ケーススタディ的に適応策の検討を行い、モデル市町村・地域に対して提案する。

【達成状況】一定の成果をあげた。

- ・当初計画において主要なターゲットとしていたステークホルダーたるコメ農家を中心とした適応策の検討が難しいと判断されたため、本研究成果の活用が期待される行政機関を中心として、気候変動影響に関する情報提供や適応策として望ましい施策の方向性について提案を行った。主な成果事例について以下に示す。
- ・水災害リスク分析結果や県管理区間における超過洪水時の氾濫被害に関する分析結果は、国土交通省木曾川上流河川事務所、岐阜県県土整備部河川課、岐阜県都市建築部都市政策課、岐阜市・大垣市・関市に情報共有され、河川行政、都市計画行政、防災行政等の基礎資料として活用されている。
- ・農地－農業排水路－河川の関係性に着目した魚類群集構造の解析結果は、岐阜県県土整備部河川課及び農政部農地整備課が取り組んでいる「水みち連携事業」に情報提供され、河川と農地の連続性の確保を進める科学的根拠となっている。

6. 引用文献

- 1) 原田守啓, 瀧健太郎: d4PDF 領域気候モデルと洪水流出解析による流域を俯瞰した洪水規模・頻度の分布特性の分析. 土木学会論文集 B1(水工学), 77(2), I_475-I_480(2021)
- 2) 原田守啓, 中島大雅, 瀧健太郎: 複雑な氾濫形態をもつ谷底平野部における超過洪水時の氾濫現象. 河川技術論文集, 28, 31-36 (2022)
- 3) 原田守啓, 平野和希: 幅広い流況下における砂州動態を記述するための流量指標, 河川技術論文集, 第 27 巻, pp.439-444, (2021)
- 4) 平野和希, 原田守啓: 流域スケールにおける洪水攪乱外力の評価手法. 土木学会論文集 B1(水工学), 78, I_907-I_912 (2022)
- 5) 森照貴: 河川と氾濫原をつなぐ洪水が生物多様性に及ぼす影響. 水環境学会誌, 45, 146-150 (2022)

II-2 世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響評価技術開発と適応策の共創

国立大学法人東海国立大学機構岐阜大学

岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター／准教授	伊藤 健吾
岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター／特任助教	永山 滋也
岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター／教授	大西 健夫
岐阜大学高等研究院地域環境変動適応研究センター／准教授	奥岡桂次郎

岐阜県水産研究所

漁業研修部／部長	藤井 亮吏
下呂支所／専門研究員	岸 大弼

国立研究開発法人土木研究所

流域水環境研究グループ流域河川生態チーム／専門研究員	溝口 裕太
流域水環境研究グループ自然共生研究センター／専門研究員	末吉 正尚

[要旨]

世界農業遺産「清流長良川の鮎」を支える長良川システムへの温暖化影響を、行政、漁業協同組合、観光事業者等のステークホルダーとの協働により把握し、適応策の創出に繋げた。気候変動が河川生態系に与える影響を、洪水・渇水に加えて水温変化の観点から記述するため、長良川流域全体を対象とした広域の水温、環境 DNA 観測体制を整備し、2020年、2021年の二か年にわたるアユの時空間分布のデータセット、河川水温のデータベースを構築した。水文モデル解析と結合した分析により、洪水、渇水・高水温がアユの分布に与えている影響を定量的に評価することができた。漁師の協力により得たデータをもとに、秋季のアユの産卵降河を誘発するトリガーが河川流量の増加と水温低下の2つであり、両方が揃わなければ降河が誘発されないことを確かめた。

研究例が少ない日本の河川水温の変動特性の分析が進んだほか、源流域・溪流の水温形成過程、河川水温に流域・河道特性が与える影響、温暖化が進んだ際の感熱特性など、日本の淡水生態系に対する温暖化影響を評価分析するための貴重な知見を多く創出することができた。

これらの研究成果はステークホルダーに共有され、行政、漁業者、観光事業者各方面において適応策の試行・実行が進んだことは本研究課題の大きな成果と位置付けることができる。

1. 研究開発目的

岐阜県は自然豊かな県土に長良川をはじめとする清流が流れ、多くの市民が河川に愛着を持つことから「清流の国づくり」が県政のスローガンに掲げられる一方、岐阜県は起伏に富む地形を有し全国トップクラスの気温や降水量の多さなど気候変動の課題先進県でもある。2015年に世界農業遺産「清流長良川の鮎」として認定され、これを支える「長良川システム」は地域循環共生圏の先進モデルとされる。しかしながら、2018年7月西日本豪雨による洪水、その後の8月の猛暑・渇水を通じて1300年の歴史をもつ長良川鵜飼は開催できない日々が続き、また、研究代表者らの研究グループは長良川鵜飼が開催されている長良川扇状地区間からアユの姿が消えていることが予備調査により把握され、清流長良川の鮎に温暖化の影響が既に及び始めていることが示唆された。

サブテーマ2では、気候変動が河川生態系に与える影響を、洪水・渇水に加えて水温変化の観点から記述する。本テーマでは、漁業者含む複数の主体の協働によるモニタリングを行うことで、実態把握段階から科学的知見と経験的知見の相互理解を進め、社会実装可能な適応策をステークホルダーと

ともに共創する下地を形成する。

2. 研究目標

- モデル流域（木曾川水系長良川を想定）を対象に、流量・水温・環境 DNA のモニタリング体制を構築し、集中的なモニタリングにより実態把握とモデル検証データを得る。
- 河川水温の時空間分布に対する温暖化影響予測手法を開発する。
- 洪水・渇水頻度、水温の変化により、地域資源であるアユと冷水性魚類が被る影響の評価手法を開発する。
- これらの評価結果を踏まえ、漁業・養殖業、観光業、河川管理者等のステークホルダーとともに気候変動への地域における適応策を共創する。

3. 研究開発内容

サブテーマ2では、長良川流域を対象とし、気候変動がアユ等魚類に及ぼす影響評価手法を構築し、地域のステークホルダーとともに適応策を共創する。まず、実態把握のために、既存の断片的な河川水温、環境 DNA データを、漁協等が加わるモニタリング体制の下で拡充し、河川水温・流量とアユ等魚類の季節動態の把握を試行する。そして、①河川流量・水温の時空間分布に対する気候変動影響の予測評価手法、②洪水・渇水・水温変化に対するアユ・冷水性魚類の影響評価モデル、③地域の産業や文化活動（漁業・釣り・鵜飼・観光等）に及ぶ影響評価モデルの研究開発を一体として行い、洪水・渇水・水温変化を起点とした魚類への影響と、地域への間接的影響を評価可能な手法を構築する。サブテーマ1の結果に加え、一連のプロセスを漁協、河川管理者、観光事業者等のステークホルダーと共有しながら、実行可能な適応策の立案と期待効果の評価を行い、適応策の社会実装を支援する。

4. 結果及び考察

4-1. ステークホルダー協働による長良川流域における水温・アユeDNA調査体制の構築

流域面積 1984km²、河川延長 166km をもつ大河川長良川の中上流域に分布するアユの時空間分布に、洪水・渇水等の流量変動、水温変動が与えている影響を把握するため、流域全体を対象としたモニタリング調査体制をステークホルダーの協力を得て構築した。3つの共同研究機関及び長良川本川筋の3つの漁業協同組合の連携により、2020年から2021年にかけて、長良川流域を中心に約170地点の密な水温観測体制を構築するとともに、42地点におけるアユの環境 DNA モニタリングを複数回実施した（図2.1）。以下、サブテーマ2の成果報告においては環境 DNA を eDNA と表記するものとする。

eDNA 調査のための採水は、2020年8月から12月の9回、2021年4月から11月末の15回、計24回に及ぶものであり、約2週間おきに各回約2日間をかけて調査地点を巡回して採水サンプルを採取した。また、山地溪流も含め約170地点に水温ロガーを設置し、毎時刻の水温を計測・記録した。水温ロガーの設置には、漁業協同組合の協力を得た。河川管理者である岐阜県県土整備部より、県が管理する通常型水位計及び危機管理型水位計の全ての観測データの貸与を受けた。

このようにして得られた貴重なデータセット・データベースに、水文モデル解析を組み合わせることにより洪水、渇水・高水温がアユの分布に与えている影響、秋季のアユの産卵降河を誘発するトリガー等について、科学的にも貴重な知見を得ることができた。

ステークホルダーとの協働によるモニタリングは、調査分析の結果を即座に共有する上でも有効であった。また、漁業者が経験した過去数十年の生物季節の変化は、長良川流域におけるアユへの温暖化影響の全体像を理解する上で有用であった。



図 2. 1 長良川流域におけるアユ eDNA 調査地点

表 2. 1 アユ eDNA 採水サンプリング実施日とアユ生活史の関係性

アユ生活史の概略	2020 年	2021 年	
遡上期・放流期	(着手前)	4/12	
		4/26	
		5/10	
		5/25	
成長期	長雨による 増水	6/8	
		6/22	
		7/19	
		8/11	8/2
		8/25	8/30
		9/14	9/14
		9/23	9/28
産卵期	10/6	10/12	
		10/20	10/25
		11/4	11/8
		11/17	
	12/1	11/29	

4-2. アユ時空間分布に河川洪水攪乱が及ぼす影響

2020 年, 2021 年に実施した長良川流域全体における水温モニタリングと, アユ eDNA 分析の結果により, 長良川のアユの時空間分布が把握された. 研究着手直後の 2020 年 6 月から 7 月にかけて, 長良川流域では多量の降雨が続き, 出水後に着手した eDNA 調査では, 大部分のアユは主要支川である板取川と, 本川上流域に分布していたことが示唆された (図 2. 2).

この要因が洪水攪乱によるものであるかどうか検討するため, 長良川水系を構成する河川上の任意の地点における流出時系列を計算することを目的として, RRI (Rainfall-Runoff-Inundation) モデルを採用した. 本研究では, 地形情報として, World Wildlife Fund が提供する 15 秒 (約 450m) 解像度の HydroSHEDS を適用した. 雨量は, 気象庁のレーダー/雨量計解析降水量 (RA) データを使用した. このデータセットは, レーダー降水量と地上降水量を組み合わせで作成され, 雨量計が設

置されていない地域でも 1km グリッドの降水量をある程度の精度で表現することができる。このような、高精度な地形と降水量を入力条件とすることで、水文モデルの再現計算の精度の指標となる Nash 指標が 0.83~0.88 となる河川流況の再現性が高いモデルが構築された (図 2. 3)。

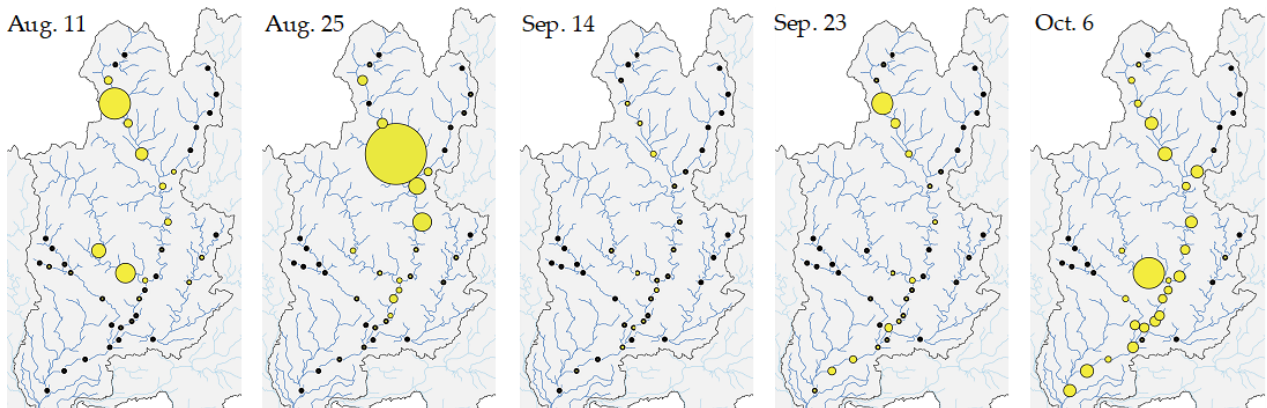


図 2. 2 長良川流域におけるアノ eDNA 濃度の空間的・時間的変化 (2020 年 8 月 11 日~10 月 6 日)¹⁾。黒丸は eDNA 調査地点を示す。黄色い円の大きさは、アノの eDNA 濃度を示す。

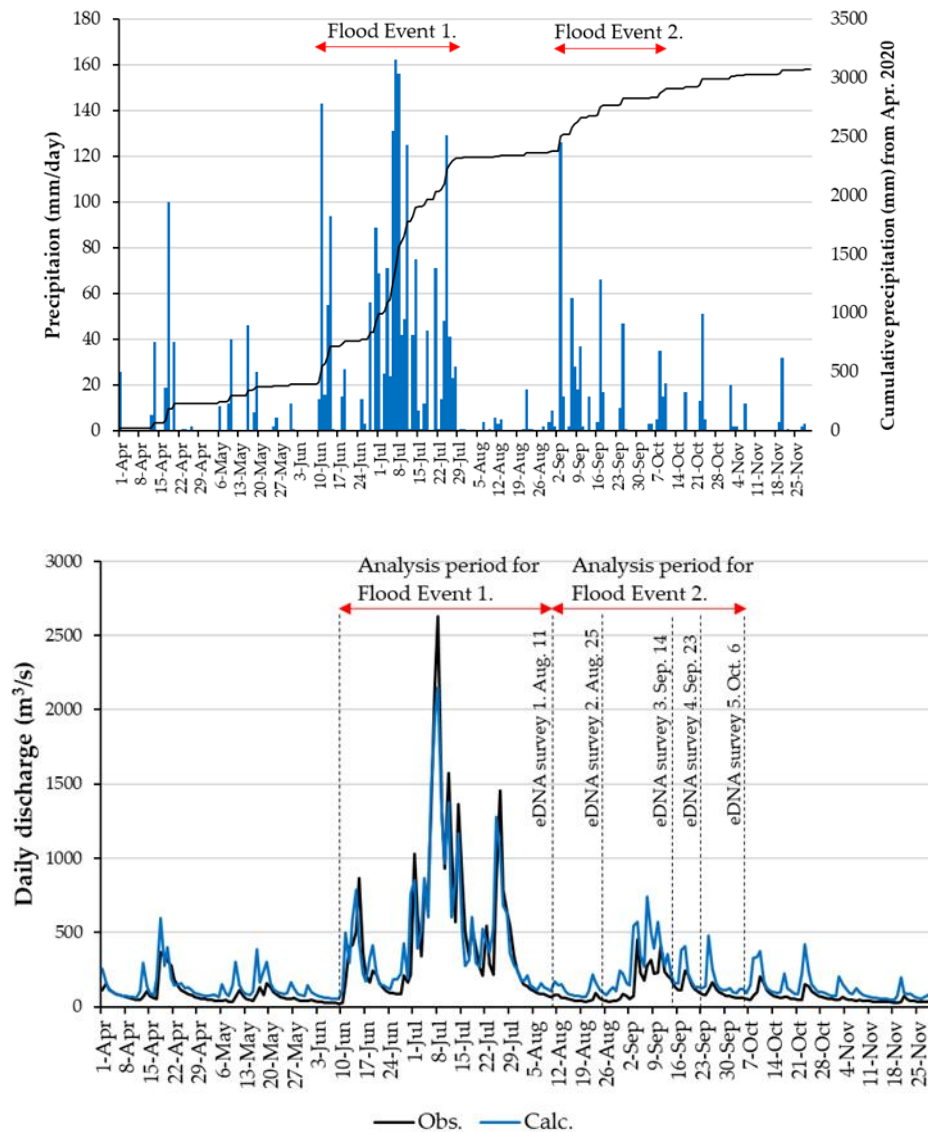


図 2. 3 八幡雨量観測所における日降水量 (上) と忠節水位流量観測所における流量ハイドログラフ (下)¹⁾。下図青線は再現計算結果を示す。

2020年8月から10月の成長期のeDNA分布のうち、洪水イベント1直後の8月11日と、成長期後半の10月6日のeDNA濃度分布に、洪水攪乱の強度が与えた影響について分析するため、RRIモデルから得られた流量を、比流量 Q_s を指標としてプロットしたものが図2. 4である。

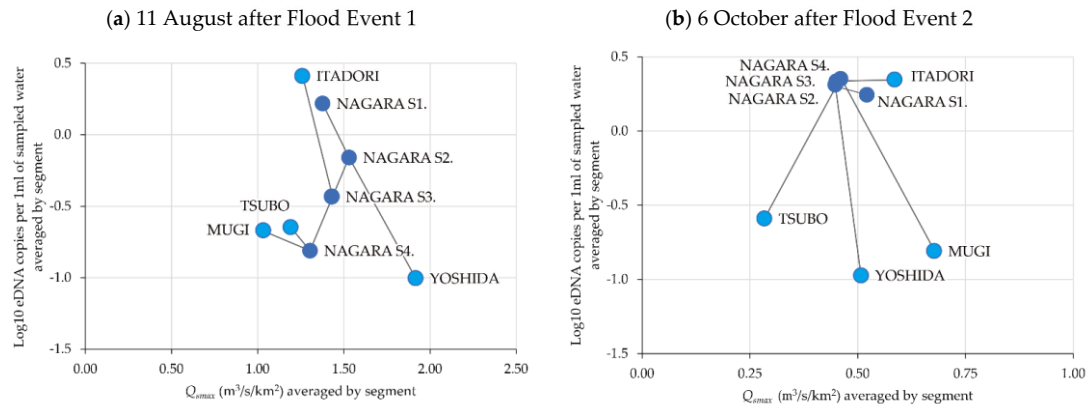


図2. 4 洪水イベント1後の8月11日 (a) と洪水イベント2後の10月6日 (b) の河川セグメントにおけるeDNA濃度と洪水比流量 Q_s の関係¹⁾

図2. 4では、長良川本流の区間は上流から下流に向かって1~4の番号が付けられている。洪水イベント1の後、平均eDNA濃度は河川セグメントごとに異なっていた(図a)。上流域の長良川S1と吉田川、合流点下流の長良川S2の関係を見ると、洪水規模が大きくなるほど平均eDNA濃度は低くなるのがわかる。同様に長良川S2と板取川、長良川S3の合流点下流の関係に着目すると、洪水規模が最も小さい板取川でeDNAの平均濃度が高いことがわかった。洪水イベント2(図b)の後では異なる傾向が見られた。長良川本川全体と板取川のeDNA濃度は一様になった。逆に、洪水イベント1(図a)の直後には低かった吉田川、武儀川、津保川のeDNA濃度は洪水イベント2以降も低いままであった。上記の分析結果から、アユはその移動性の高さから、高強度の洪水攪乱を回避する形で連結した支川や本川上流域に避難する形で分布していたことが示唆された。

4-3. アユ時空間分布に河川水温が及ぼす影響

2020年のeDNA調査結果と河川水温の関係性を検討した結果、長良川本川に移動・分散する過程で高い河川水温がアユの分布を制限している可能性が示唆された。産卵期まで含む全てのeDNA調査結果と、水温の関係性について統計的な解析を試みた結果を図2. 5に示す。実線は尤度比検定に基づくP値で有意なモデルを示している。実線で示したモデルがピークとなる水温を、破線とともに表示している。それぞれの調査時期において、アユは概ね日水温 20°C 前後の地点を多く利用しており、日水温が 26°C を超える範囲には分布しないことが確認された。水温 26°C はアユの生息に好適なレンジの上限に近く、長良川中下流域の夏季の水温はアユの生息には適さない水準にまで上昇していることが明らかとなった。

水温は一日の中でも数 $^\circ\text{C}$ の幅で変動する。日の出とともに水温は上昇し午後最も水温が高くなり、夕方から水温が低下しはじめる。真夏の日中、水温が上昇してアユにとっての好適な水温を上回ると、瀬にいたアユが友釣りの罠アユを追わなくなり、淵に潜むなどして釣れなくなることを釣り人たちは「土用隠れ」と呼んでいた。しかしながら、夕方になれば再び釣れるようになることも知られていた。長良川において観測された現象は、釣り人たちが知っていた土用隠れとは異なり、水温が高すぎてある区間からアユがいなくなった状態であり、この現象は「スーパー土用隠れ」とでも呼ぶべきものであった。

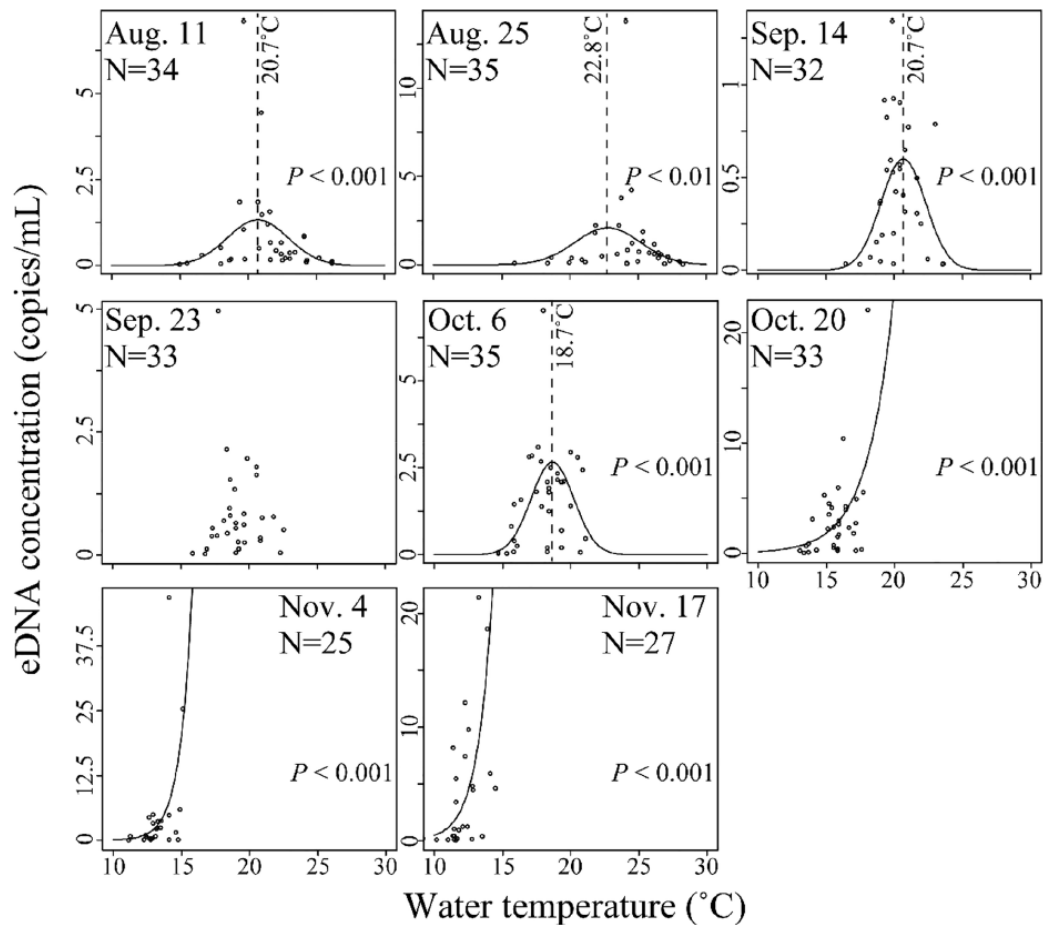


図2. 5 アユ eDNA 濃度とサンプリング日の日水温の関係性 (2020年)²⁾

この分析結果は世界農業遺産「清流長良川の鮎」に関わるステークホルダーに強い衝撃を与えたが、同時に中下流域の川漁師や鵜匠にとっては、既に実感していたことが科学的に裏付けられたものと受け止められ、それほどまでに大きな反響はなかった。

本研究における水温の分析では、長良川の支流が長良川本川の水温を夏季に冷却していることも明らかとなった。図2. 6左上の長良川本川の水温の縦断分布に着目すれば、上流側(左側)が低く、右に行くにつれ水温が上昇する。着目すべきは、主要支川である吉田川、板取川、武儀川、津保川が合流する箇所、本川の水温が変動しており、とくに夏季は吉田川、板取川、武儀川により長良川本川が冷却されていることが明瞭に把握される。一方、津保川は季節を問わず長良川本流より水温が高く、長良川の水温をかえって上昇させている。津保川は全川に渡って水田が多い河川であり、水田で温められた排水が河川水温を上昇させていることが強く示唆される。

支川の冷却効果は、温暖化影響による水温上昇へのミティゲーションを考える上で重要であり、支川の水源涵養機能が損なわれた際には水温上昇がより加速することも懸念される。

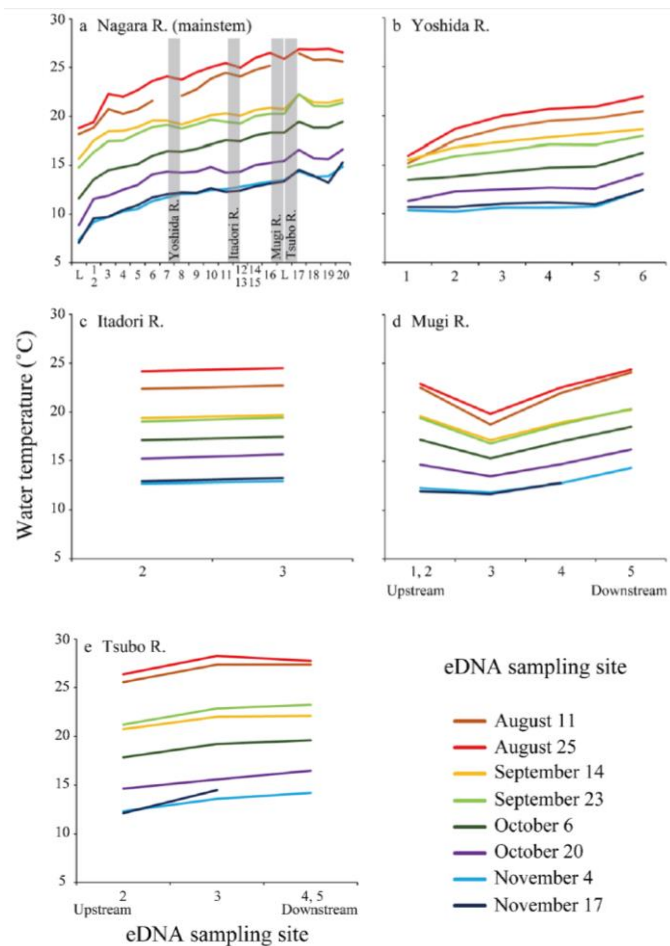


図2. 6 eDNA 採水地点最寄りの水温データロガーから得られる日水温 (a 長良川, b 吉田川, c 板取川の本流, d 武儀川, e 津保川) ²⁾

4-4. アユの産卵降河トリガー

アユは秋季に産卵のために川を降り、産卵場となる瀬に集まって、群れで産卵行動を行う。長良川においては扇状地の下流側（扇端部）にあたる岐阜市南部に主要な産卵場が分布している。しかしながら、その産卵期も次第遅くなってきていることが漁業関係者間では認識されていた。

本研究では流域内7か所の漁場において、漁業者の協力によって日々漁場で捕獲される「落ち鮎」（成熟し婚姻色を呈した産卵降河個体）の量とサイズを2020年秋季、2021年秋季に記録し、この分析結果から、アユの産卵降河が誘発される条件を明らかにした。

長良川では、落ち鮎をねらう伝統漁法として瀬張り網漁が複数地点でおこなわれている。図2.7には瀬張り網漁の様子を示す。本研究では、長良川上流域から7個所の瀬張り網漁場（図2.8）の漁師の協力を得て、秋季の出漁日に漁獲された量とおおよそのサイズを記録していただき、その記録を分析することでアユが産卵のための降河するトリガーとなる物理環境要因を分析した。7個所のうち最も下流に位置する瀬張り網の漁場は、長良川における最大規模のアユ産卵場ともなっている。

各漁場での漁獲量記録の例を、図2.9に示す。図中の緑色のバーで示すとおり、漁獲量には大きな変動があり、多量の漁獲がある日は、アユが盛んに産卵降河のための移動をしていることを示していると解釈される。図中には、日水温と日流量を変数として表示しており、漁期前半には出水があっても漁獲量が増えないが、後半では出水の直後に多量の漁獲があることが分かる。

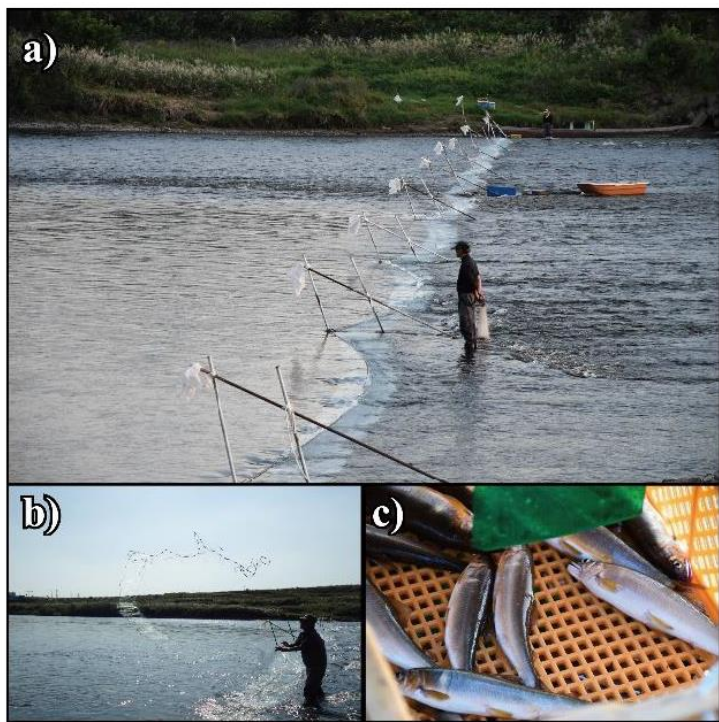


図2. 7 瀬張り網漁法の様子³⁾. (a)瀬張り網の主な仕掛けと下流に向かうアユを待つ漁師, (b) 遡上するアユに向かって網を打つところ, (c)捕獲したアユ.

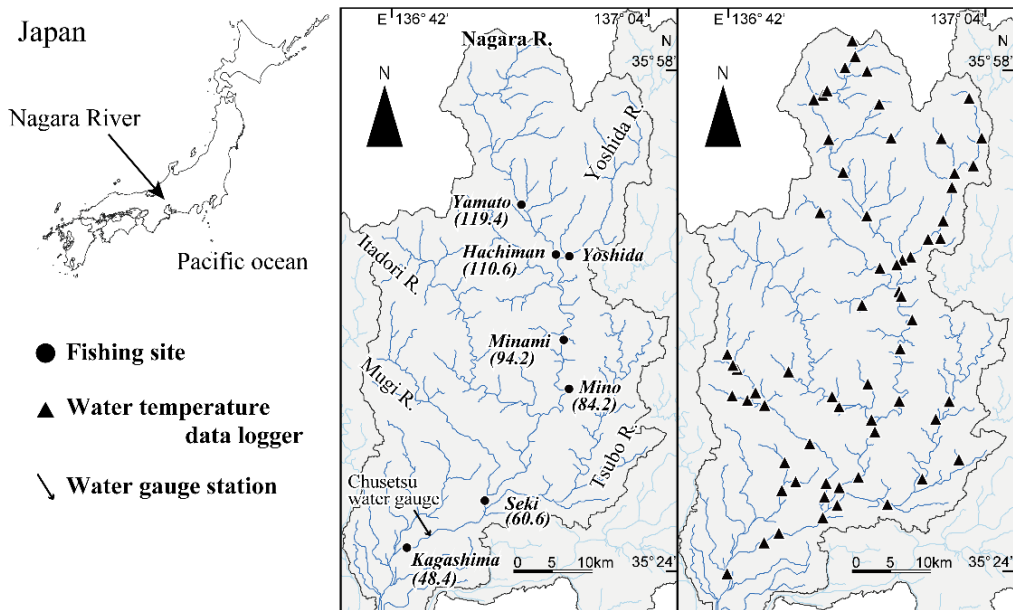


図2. 8 7箇所瀬張り網漁場, 水温測定地点の位置関係³⁾. 括弧内の数値は河口からの距離.

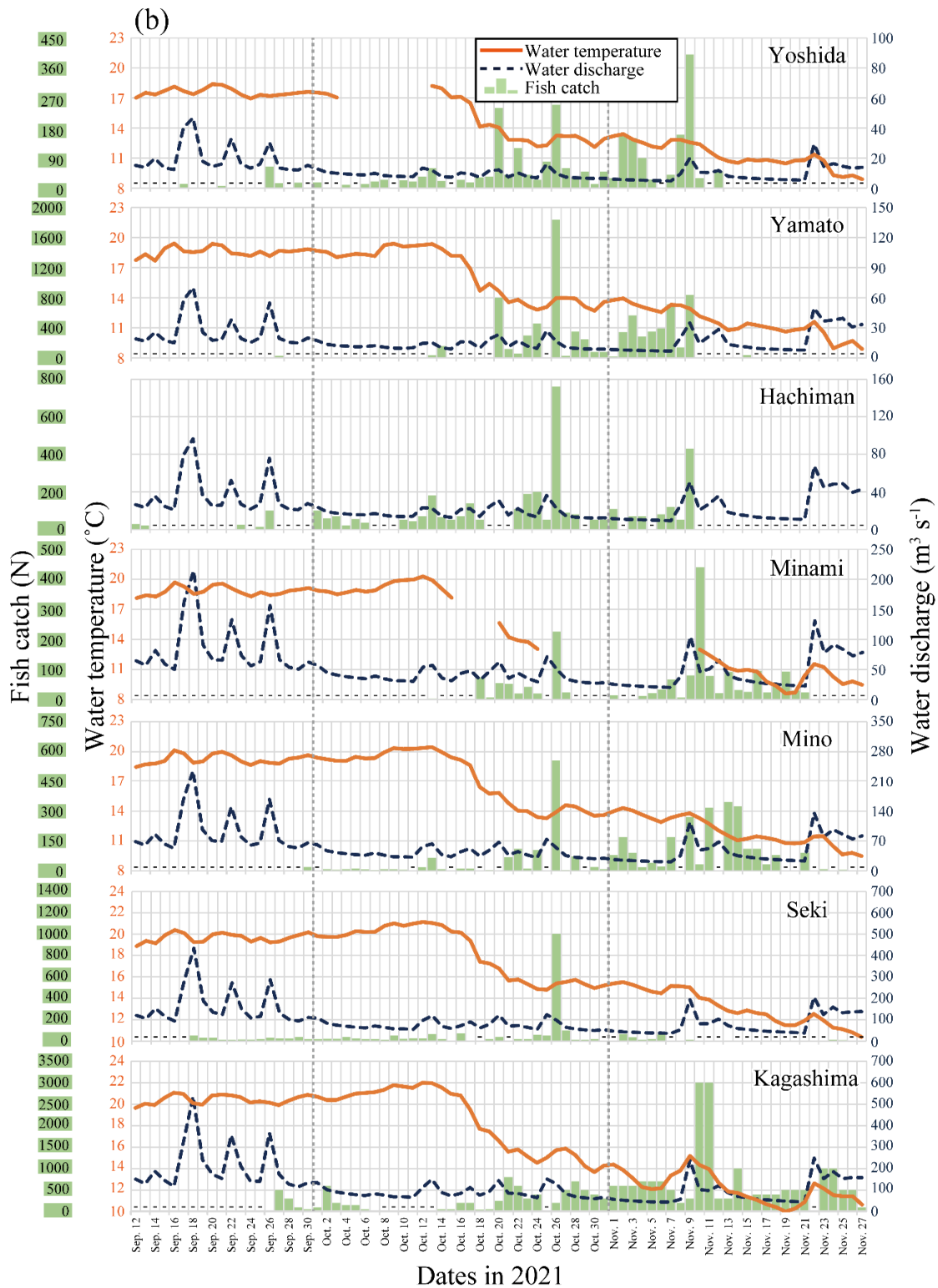


図2. 9 2021年の瀬張り網漁期(9~11月)の漁場における日漁獲量(N), 日水温($^{\circ}\text{C}$), 日流量(m^3s^{-1})³⁾. マイナスマーク(-)は漁を行わなかった日を示す. 2021年の八幡は水温データを入力できなかった. 2021年の吉田と美並は水温データが一部入手可能であった.

図2. 9に例示したような日々の漁獲量と, 水温及び流量の関係について統計解析を行った結果, 図2. 10に示す明瞭な条件が存在することが明らかとなった. すなわち, アユの産卵降河には水温低下と増水という二つの条件が揃う必要があり, 水温の低下(日水温 16°C 以下)の条件が先に必要で, そこに出水という条件が伴った際に, 降河行動が誘発されていることが定量的に示された. 漁師らは過去数十年でアユの産卵降河が約1か月遅れていると証言しており, 本研究によってその

原因は、秋季の気温及び水温上昇が産卵降河を遅らせている主要因であることを明らかにした。本成果は、漁師の協力を得て取得した調査データに基づいて、経験的に語られてきたアユの産卵降河について定量的な分析結果を示した点において、画期的な成果であると論文査読者に評価されており、我が国における市民科学のモデルケースとしても貴重な事例を創出できたと考えている。

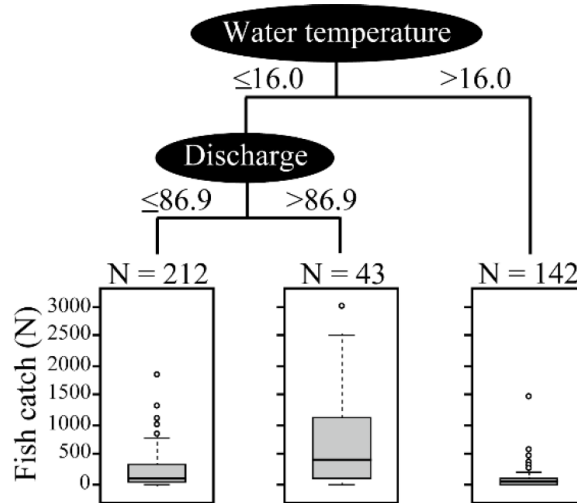


図2. 10 二か年の全漁場データを組み合わせた GLMM 決定木解析の結果³⁾。水文要因（説明変数）は楕円の中に白い文字で表している。各ノードにおけるサンプル数（N）と漁獲量の箱ひげ図を示す。

4-5. 長良川のアユへの温暖化影響が長良川鵜飼と地域経済に与える影響

「清流長良川の鮎」への温暖化影響が次第に明らかになる中で、1300年の歴史を有する長良川鵜飼及びこれを資源とした観光を中心とした長良川温泉では、鵜飼関係者、長良川温泉旅館協同組合、観光地域づくり法人（DMO）らに調査分析結果を早期段階から共有しながら、関係者が実行可能な適応策についての意見交換を複数回実施した。夏季の渇水・高水温の際には岐阜市からアユが姿を消すこと、落ち鮎の時期が過去数十年で約一か月遅くなっていることなどが、衝撃をもって受け止められた。今後の方策を検討する上で、長良川鵜飼と長良川温泉宿泊者の関係性についての分析を行い、判断材料として情報提供を行った。

長良川温泉旅館協同組合から提供された2004年から2019年までの顧客情報（個人情報を含まない）を対象に、月別来訪者の旅行コストを算出・分析した。分析対象は、インバウンドの増加、COVID-19パンデミックの影響を受けていない2008年～2012年の5年間とし、旅館組合の宿の月毎の宿泊者数、それぞれの出発地をもとに「長良川温泉を訪れることにどれだけの価値（旅行コスト）をかけてきているか」を分析した。

その結果、長良川温泉旅館への宿泊者のうち長良川鵜飼を観覧している乗船者数は近年3～4割り程度まで減っており、旅館への宿泊者は必ずしも長良川鵜飼を目当てに来訪しているわけではないこと、図2. 11に示すとおり、4月、9～10月の宿泊客の方が遠方からの顧客が多く、旅行費用が高いこと、一方、例年5月11日～10月15日の長良川鵜飼開催期間のうち、真夏は遠方からの客は少なく、近場からの顧客が多いことなどが明らかとなった。この分析結果の受け止めは、ステークホルダー間で様々であったが、アユが減っている真夏の猛暑の中で鵜飼を行うよりも、渇水・猛暑の際は休止し秋期の漁期を伸ばした方が良いだとか、秋の行楽シーズンに遠方から訪れる顧客に「落ち鮎」を新たなブランドとしてふるまってはどうか、といった適応に向けた行動変容を加速する効果があったと考えられる。

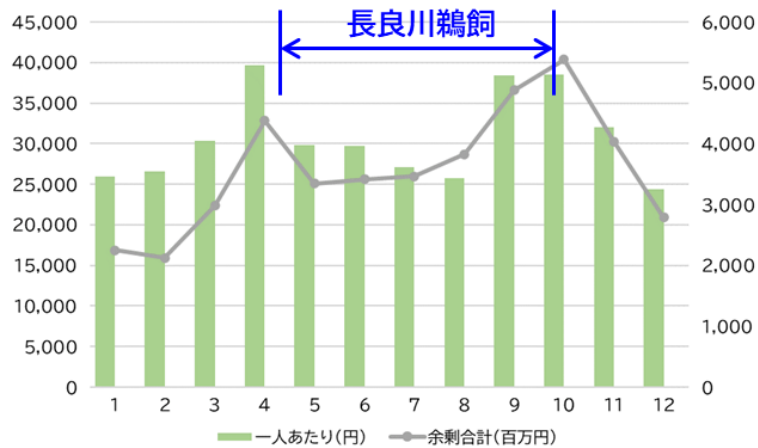


図2. 1 1 長良川温泉旅客の月別消費者余剰（2008～2012年）

本研究課題の一連の結果から明らかになった温暖化影響や、長良川鵜飼と長良川温泉旅館街の経済的な結びつきの分析結果などを情報共有した上で、意見交換を重ねた結果、ステークホルダー間からは新たな適応策がいくつも提案された。図2. 1 2は、長良川鵜飼及び温泉旅館等の関係者との対話を通じて整理された温暖化影響と有望な対策・適応オプション（案）のとりまとめの結果であり、本研究課題のハイライトの一つともいえる成果である。

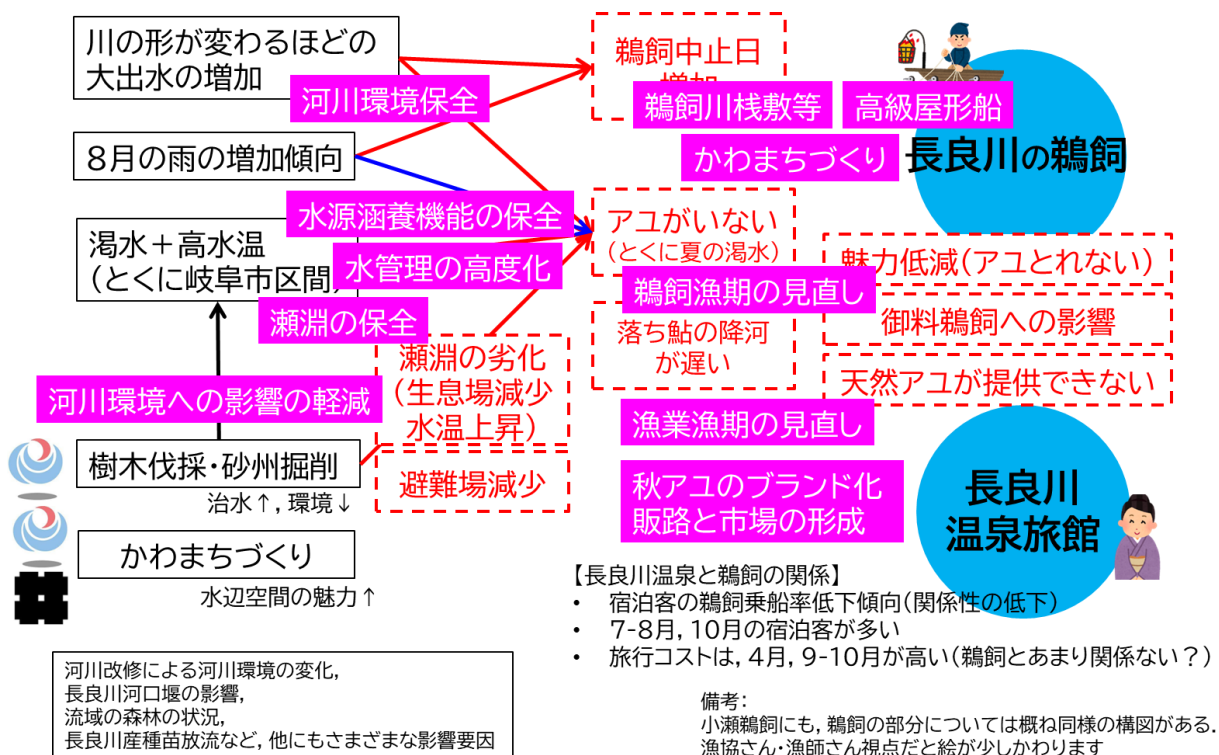


図2. 1 2 長良川鵜飼・長良川温泉における温暖化影響と有望な対策・適応オプション（案）

図中、マゼンタ色のボックスに白地で示されているのが、各関係者が実施するあるいは実施することが望ましい適応策を示している。屋形船によらない鵜飼観覧が可能な川栈敷の社会実験、鵜飼漁期の見直しの案、産卵降河が遅くなった結果秋の行楽シーズンと漁期が重なりつつある落ちアユを「秋アユ」としてブランド化する案などがステークホルダー間から提案され、一部は研究期間中に実施にうつされた。ステークホルダー間で長良川のアユに対する温暖化影響が共通認識として共有された結果、有望な適応策の創出と試行を後押しすることができた。

4-6. 長良川流域における河川水温レジームの分析とモデル化

長良川流域を対象として得られた河川水温データは、降水量が多く水量及び水温変動が激しい我が国における河川水温変動特性を理解する上で有用な知見を与えるものである。特に、長良川には大きなダムが存在しないため、概ね自然流況を背景とした河川水温変動が記録されている。また、既に構築された河川流況モデルにより、河川水温と気温、流量の関係性の分析が可能となった。河川水温データベースを分析した結果、気温と河川水温の関係性、降水量に対する河川水温の応答特性等についていくつかの知見が得られ、この関係性をもとに構築した河川水温モデルは良好な再現性を示した。論文未発表のため手法の詳細は割愛し概要のみを示す。

各地点の河川水温の変動特性を図2. 13に示す。日平均気温を横軸とした際に、河川水温は地点の年平均気温あたりを交点とした緩い傾きを持つ。河川流量と合わせた解析により、降雨⇒増水⇒水温低下という変動（図中水色の領域）と、渇水⇒気温に漸近して水温上昇という変動（図中赤色の領域）がみられ、水田受益地の多い河川は渇水してなくても河川水温が常に高い傾向を有する。

以上の関係性に基づいて、RRIモデルに河川水温計算モデルを試行的に実装した結果を、図2. 14に示す。試行的な計算結果から支川吉田川の最上流域と長良川本川の代表地点における計算結果を示している。水温の観測値は一日の中での時間変動を有するが、本モデルは日気温と日水温の関係性に基づいて構築されているため時間変動はほとんど計算されない。しかしながら日水温については概ね計算できており、今後モデルの検証と精度の向上を行い論文化する予定である。

ところで、図2. 13に示した水温変動特性の例のうち、特異な水温変動特性を有するのは、図中右上の神崎川である。この河川流域には大きな石灰岩体からなる山があり、年間を通じて一定に近い水温の湧水が河川の水源となっている。このような湧水河川では年間の気温変動に河川水温があまり影響を受けることがなく、図中では水温変動を示す近似線が水平に近づき、しかも変動が少ないことがわかる。アユの時空間分布に与える支川の冷却効果の重要性は前述のとおりであるが、支川ごとに異なる水温変動特性についても今後分析が進むことが、水源涵養機能の効果的な保全方を検討する上で重要であろう。

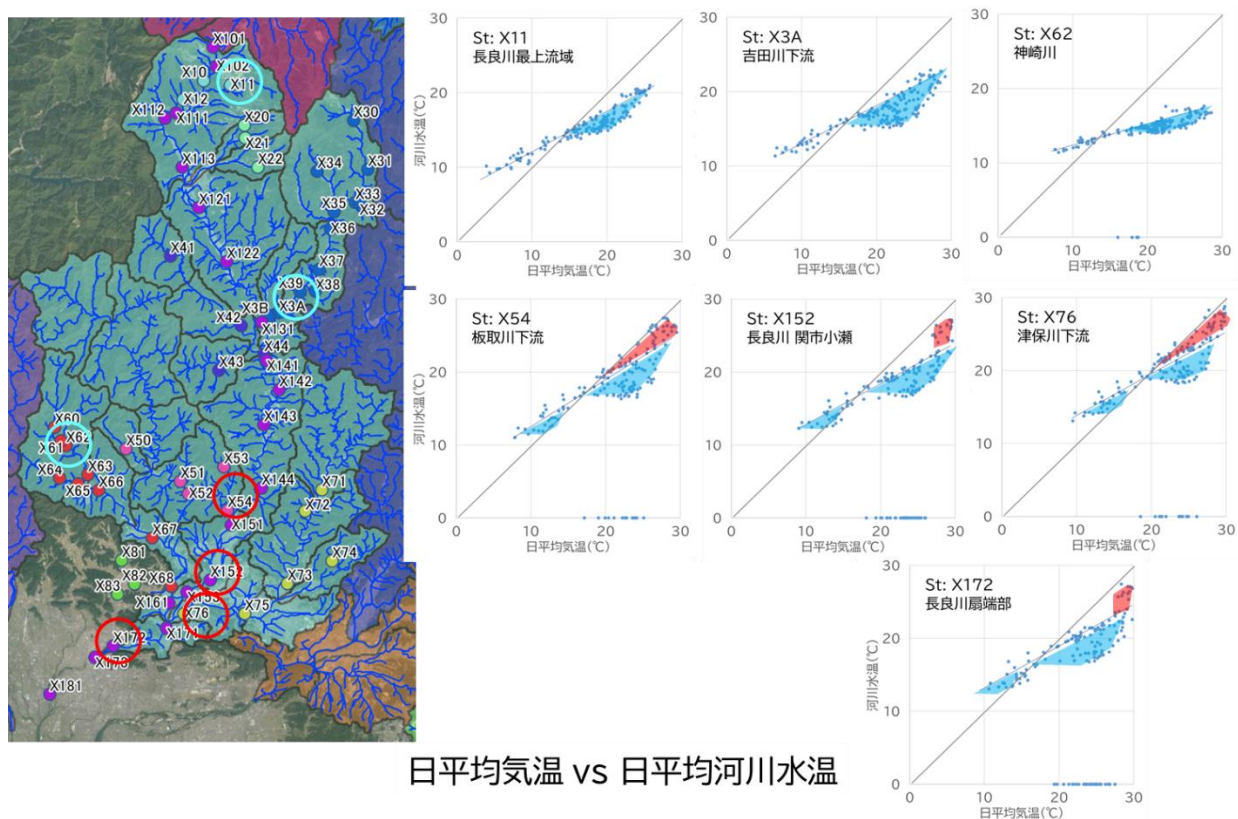


図2. 13 日平均気温を指標とした日平均水温の変動特性

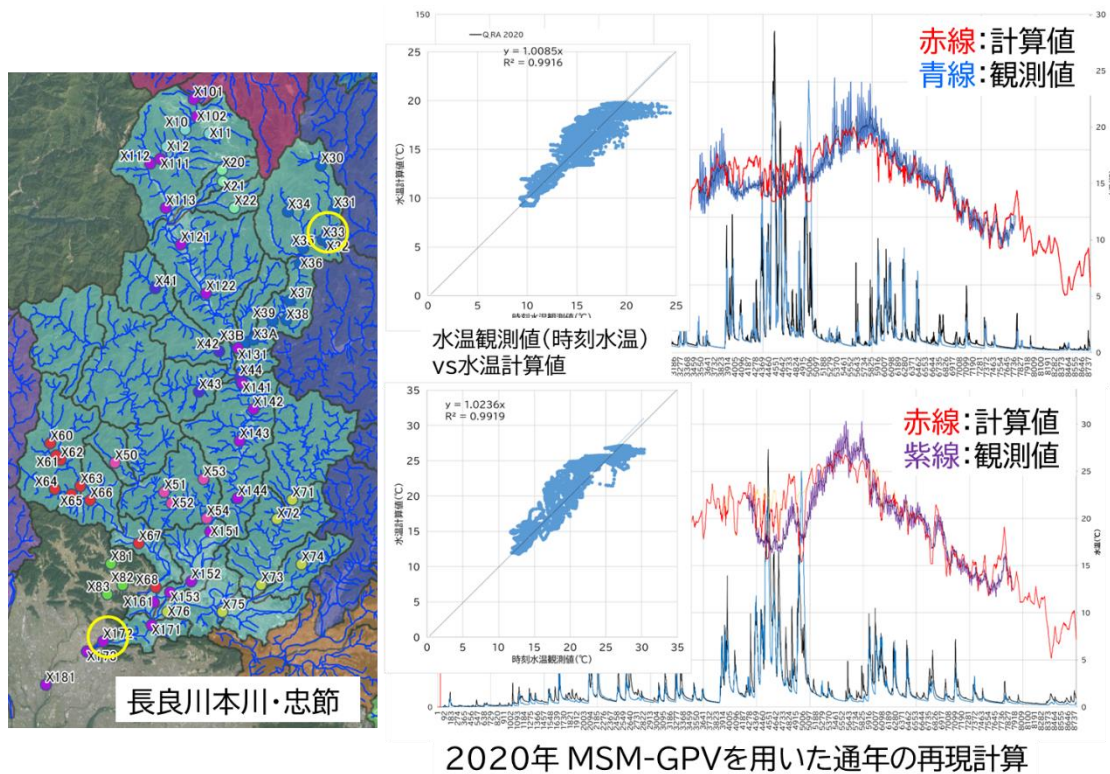


図2. 14 RRIモデルに河川水温モデルを実装した試験計算結果

4-7. 河川水温に農業用排水が及ぼす影響

4-3. で述べたとおり、日平均水温が26℃を超える範囲でアユが分布しなくなることで、夏季には支川が本川の水温を冷却していること、一方で水田が多い区間では水田からの温かい排水が河川を温めている可能性について述べた。2020年8月の猛暑・渇水時にアユが姿を消した区間には1300年の歴史を持つ長良川鶉飼（岐阜市）、小瀬鶉飼（関市）が行われている区間も含まれた。水温が高い区間は、谷底平野の下流から扇状地にかけて分布し、水田農業が盛んな地域と一致していた。農業用水は河川が渇水時にも取水され、水田で温められた農業排水が河川に流入することにより河川の水温上昇に寄与していることが示唆された。そこで、長良川流域のうち水田が多く集積する関市黒田地区の水田において、長良川から取水された用水の水温、水田の水温、排水路の水温を2021年に計測した。

図2. 15（右）に示すとおり、用水路の水温、排水路の水温、水田の水温は全く異なる。気温を横軸に取った際に、用水路の水温は気温より低く、図2. 13に示した河川水温とほぼ同様の変動特性をもつ。この地域の農業用水は長良川と板取川の合流部付近で取水されており、用水路取水地点から水田近くまでほぼ同じ水温で流達していた。水田内では、気温よりも数℃高い温度まで温まっており、これは大気と水塊とが熱的平衡状態にあるときの理論水温である平衡水温に近い状況になっていると考えられる。水田から排水された温かい水は、排水路を流下する過程で大気と熱平衡に達し、気温と同程度の水温になっていると考えられる。したがって、水田から排水される水は気温とほぼ同じ水温になっており、渇水時に河川でみられる水温上昇に水田からの排水が寄与している割合が大きいと考えられる。

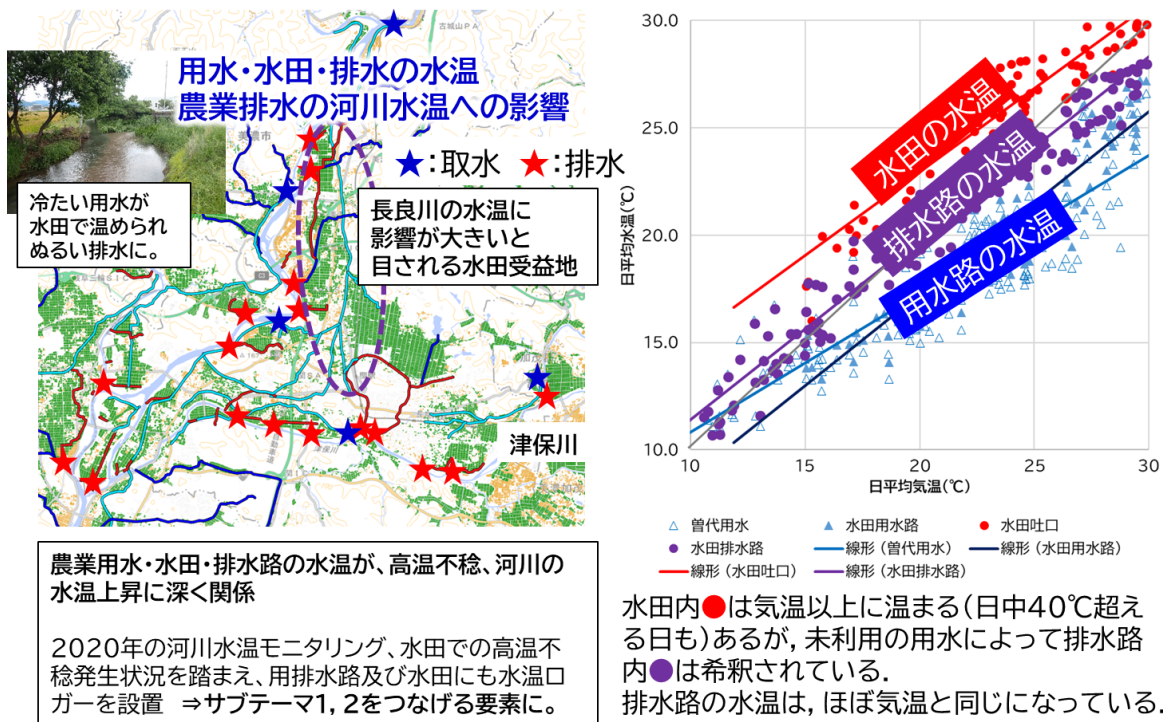


図2. 15 長良川流域における水田地帯の主要な用排水路 (左)
関市黒田地区の水田における水温変動特性 (右)

4-8. 源流域・溪流における水温プロセスモデルの開発

源流に近い渓流域における水温プロセスモデルを、国際的に利用実績が多い SWAT モデル(Soil & Water Assessment Tool)をベースとして構築・実装し、山地斜面からの中間流出と地下水流出のバランスによって溪流の水温が形成されるプロセスモデルを構築した。地下水水温は地温と熱平衡に達しており地温はその土地の年間平均気温に漸近することから、温暖化が溪流水温の昇温につながる影響経路を記述するための手法が構築された。

流出解析モデル(SWAT)に、地温・地下水水温変動を加味したモデルを構築

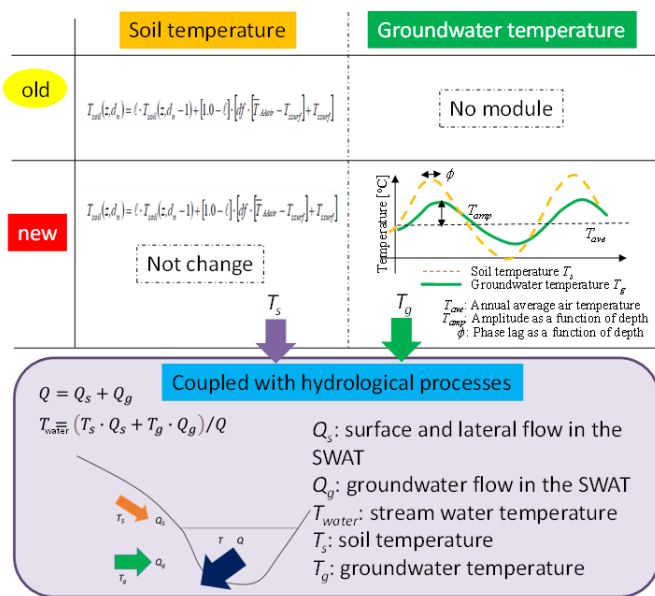


図2. 16 渓流水温プロセスモデルの概要図

4-9. 平衡水温モデルによる河川水温レジームの特徴分析・流域河道特性と感熱特性の関係性

流域の地形・土地利用や河道特性に基づく河川水温の特徴を、大気と水塊とが熱的平衡状態にあるときの理論水温である平衡水温と実際の水温の差として表現する手法の構築⁴⁾と長良川流域を対象とした分析を進めた(図2. 17に例示)。また、流域・河道の特徴によって、気温の上昇が水温の上昇に反映されやすい流域の特徴を統計的に分析⁵⁾した(図2. 18に例示)。例えば、荒地と建物用地の割合を見た際に、荒地が多いほど平常時の河川流量は増加し、逆に建物用地が多い流域では普段の河川流量が減少する傾向等が示された。これらの手法は引き続き検討を重ね、温暖化が進行した際に河川水温が受ける影響度合いを記述するための手法へと高めていく。

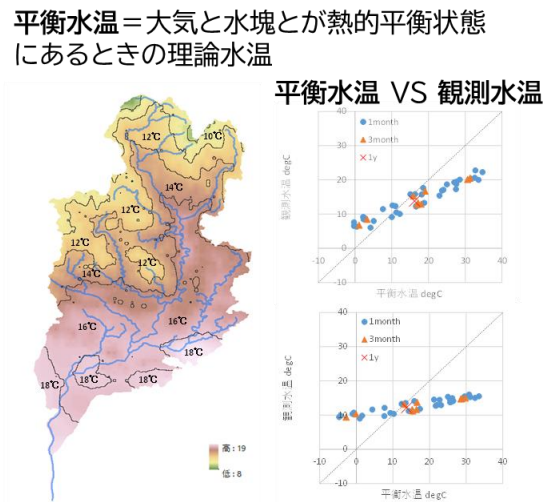


図2. 17 平衡水温を基準とした河川水温変動特性の分析例

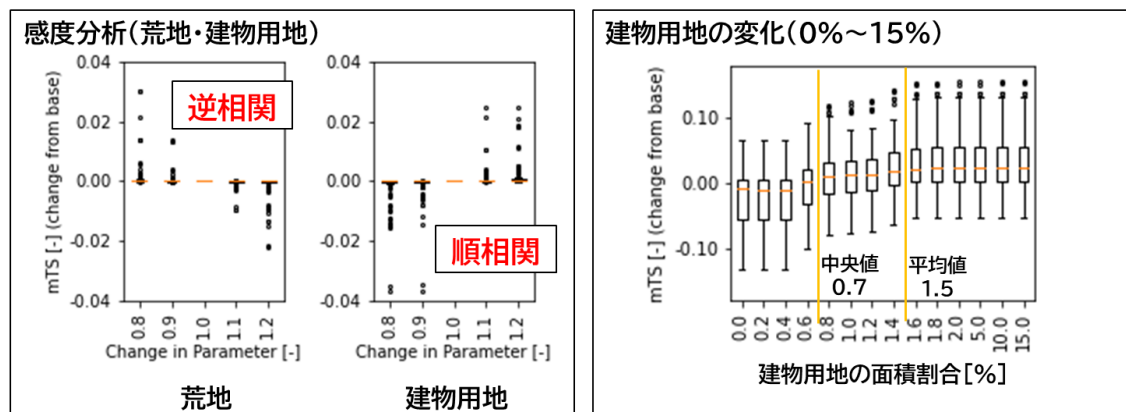


図2. 18 流域の土地利用が河川水温の感熱特性に与える影響の分析例

4-10. 水温指標を用いた魚種ごとの生息密度モデルと温暖化影響の分析

水温の上昇が魚類群集の分布に及ぼす影響を分析するため、複数の水温指標と魚種ごとの分布情報から魚類の生息密度モデルを構築した。これを用いて、仮に水温が 2°C 昇温した際の分布を検討した結果、例えば冷水性魚種アマゴの分布は現在よりも高標高域まで及ぶ可能性(図2. 19左下)など、温暖化の進行に伴う潜在的な分布域の推定が可能となった。

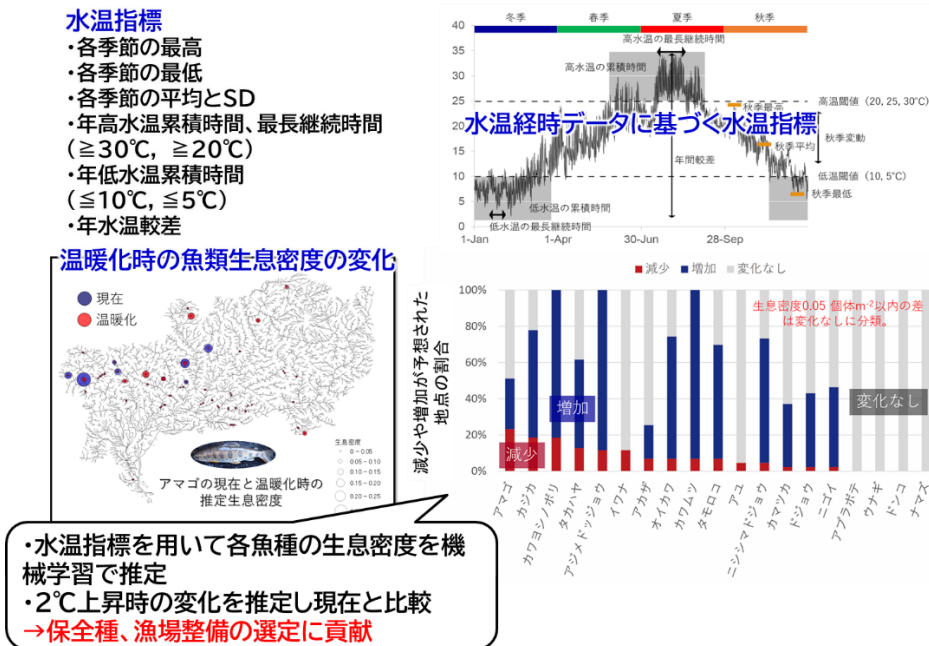


図 2. 19 水温を指標とした魚類生息適地モデルの開発と分析例

4-1-1. 湧水起源の特殊な環境を有する河川におけるカワノリの保全・持続的利用に向けた検討

「4-6. 長良川流域における河川水温レジームの分析とモデル化」の図 4. 13 で示した河川水温変動特性のうち、神崎川では石灰岩体を起源とする湧水環境が存在することを示した。当地には冷水性・貧栄養の環境に依存するカワノリ（環境省レッドリスト絶滅危惧 II 類 (VU)）が分布しており、かつては食用ノリとして加工され出荷された地域資源である。

カワノリを地域資源として持続可能な利用を模索するための生息適地条件の分析と温暖化影響について検討を行った。その結果、水源で $1\sim 3^{\circ}\text{C}$ の水温上昇があったとしても、照度を増加させることでカワノリの生育条件を整えることが可能であることが予測された。温暖化が進行する中でも人為的な環境操作によって地域資源を持続可能な形で利用していくための方策が示された。

5. 研究目標の達成状況

サブテーマ 2 における研究目標及び達成状況の自己評価は以下のとおりである。

【目標 1】 モデル流域（木曾川水系長良川を想定）を対象に、流量・水温・環境 DNA のモニタリング体制を構築し、集中的なモニタリングにより実態把握とモデル検証データを得る。

【達成状況】 目標どおりの成果をあげた。

- ・3つの共同研究機関及び長良川本川筋の3つの漁業協同組合の連携により、2020年から2021年にかけて、長良川流域を中心に約170地点の密な水温観測体制を構築するとともに、42地点におけるアユの環境DNAモニタリングを複数回実施した。
- ・ステークホルダーとの協働によるモニタリングは、調査分析の結果を即座に共有する上でも有効であった。また、漁業者が経験した過去数十年の生物季節の変化は、長良川流域におけるアユへの温暖化影響の全体像を理解する上で有用であった。

【目標 2】 河川水温の時空間分布に対する温暖化影響予測手法を開発する。

【達成状況】 目標どおりの成果をあげた。

- ・長良川流域を対象として河川水温の変動パターンを分析した結果、気温と河川水温の関係性、降水量に対する河川水温の応答特性等が明らかとなり、この関係性をもとに構築した河川水温モデ

ルは良好な再現性を示した。

- ・源流に近い流域における水温プロセスモデルを開発し、温暖化が渓流水温の昇温につながる影響経路を記述するための手法が構築された。
- ・流域の地形・土地利用や河道特性に基づく河川水温の特徴を、平衡水温を基準として記述する手法、気温に対する感熱特性の分析手法により記述した。
- ・上記の手法は温暖化の進行による河川水温への影響を記述するそれぞれ各手法の長所を有しており、今後各所の気候変動予測プロダクトと組み合わせることによって、温暖化が水温上昇を通じて引き起こす河川生態系への記述の高度化に資するものである。

【目標3】洪水・濁水頻度、水温の変化により、地域資源であるアユと冷水性魚類が被る影響の評価手法を開発する。

【達成状況】目標を上回る成果をあげた。

- ・2020年、2021年に実施した長良川流域全体における水温モニタリングと、アユ環境DNA分析の結果により、日水温が26℃を超える範囲を避ける傾向が確認された。水温26℃はアユの生息に好適なレンジの上限に近く、長良川中下流域の夏季の水温はアユの生息には適さない水準にまで上昇していることが明らかとなった。
- ・秋季のアユの産卵期も遅くなってきていることが漁業関係者間では認識されていたところ、本研究課題では流域内7か所の漁場において、漁業者の協力によって日々漁場で捕獲される「落ち鮎」（成熟し婚姻色を呈した産卵降河個体）の量とサイズを2020年秋季、2021年秋季に記録し、この分析結果から、アユの産卵降河が誘発される条件を明らかにした。この結果から、アユの産卵降河には水温低下と増水という二つの条件が揃う必要があり、秋季の気温及び水温上昇が産卵降河を遅らせている主要因であることが分かった。
- ・上記の成果から、アユの生育期の分布条件に関するモデル、産卵降河の発生条件に関するモデルが整備され、河川流況・水温モデルと組み合わせることによって、国内広域で汎用性のあるアユの生育・産卵に関する時空間分布モデルが構築できる準備が整った。
- ・水温の上昇が魚類群集の分布に及ぼす影響を分析するため、複数の水温指標と魚種ごとの分布情報から魚類の生息密度モデルを構築した。これを用いて、仮に水温が2℃昇温した際の分布を検討した結果、例えば冷水性魚種アマゴの分布は現在よりも高標高域まで及ぶ可能性など、温暖化の進行に伴う潜在的な分布域の推定が可能となった。
- ・これらの評価結果を踏まえ、漁業・養殖業、観光業、河川管理者等のステークホルダーとともに気候変動への地域における適応策を共創する。目標を上回る成果をあげた。
- ・岐阜県地球温暖化防止・気候変動適応計画（令和3年3月）への気候変動影響情報の提供と、これに基づく重点施策の形成が進んだ。特に水産業及び淡水生態系の分野では、世界農業遺産「清流長良川の鮎」推進協議会に、新たに資源管理・増殖部会を設置（令和5年1月）し、気候変動影響下における長良川のアユの持続可能性を高めるための資源管理の枠組みが設置されるに至り、引き続き科学的知見に基づくEBPMを志向した資源管理体制が整備されたことは、本研究課題が貢献した重要な成果であるといえる。
- ・長良川鵜飼関係者、長良川温泉旅館協同組合、観光地域づくり法人（DMO）らに調査分析結果を早期段階から共有した結果、屋形船によらない鵜飼観覧が可能な川棧敷の社会実験、鵜飼漁期の見直しの案、産卵降河が遅くなった結果秋の行楽シーズンと漁期が重なりつつある落ちアユを「秋アユ」としてブランド化する案などがステークホルダー間から提案され、一部は既に実施に移されつつある。
- ・河川管理者に対しては、河道掘削による河川地形の平坦化（瀬淵の消失）や樹木伐採による洪水避難場の創出が河川環境に及ぼす影響と温暖化影響を助長することについて情報提供を行った。しかしながら、治水安全度を高める社会的要請と河川環境保全との間で抜本的な対応を見出すことは困難な状況が続いている。

6. 引用文献

- 1) M. Harada, S. Nagayama: Impacts of flood disturbance on the dynamics of basin-scale swimming fish migration in mountainous streams. *Water*, 14, 538 (2022)
- 2) S. Nagayama, M. Sueyoshi, R. Fujii, M. Harada: Basin-scale spatiotemporal distribution of ayu *Plecoglossus altivelis* and its relationship with water temperature from summer growth to autumn spawning periods. *Landscape and Ecological Engineering*, 19, 21–31 (2023)
- 3) S. Nagayama, R. Fujii, M. Harada, M. Sueyoshi: Low water temperature and increased discharge trigger downstream spawning migration of ayu *Plecoglossus altivelis*. *Fisheries Science* (in press)
- 4) 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: 平衡水温を用いた流域スケールの河川水温管理指標の提案. 河川技術論文集, 27, 289-294 (2021)
- 5) 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: ランダムフォレストと変数重要度分析を用いた河川流域での水温変化特性の支配要因の検出. 土木学会論文集 B1(水工学), 77(2), I_997-I_1002 (2021)

III. 研究成果の発表状況の詳細

(1) 誌上发表

<査読付き論文>

【サブテーマ1】

- 1) K. Noda, K. Miyai, K. Ito and M. Senge: Effect of residents' involvement with small hydropower projects on environmental awareness. *Sustainability*, 12, 5994 (2020)
- 2) 原田守啓, 瀧健太郎: d4PDF領域気候モデルと洪水流出解析による流域を俯瞰した洪水規模・頻度の分布特性の分析. 土木学会論文集B1(水工学), 77(2), I_475-I_480(2021)
- 3) 丸谷靖幸, 小林知朋, 永井信, 宮本昇平, 矢野真一郎: 気象官署の降水量を用いた気候変動に伴う日本全国の長期的気候変化傾向の解明. 土木学会論文集B1(水工学), 77(2), I_1261-I_1266 (2021)
- 4) A. Lamichhane, M.K. Zaki, E. Okiria, H. Shirakawa, K. Noda: IOP Conf. Series: Decision-making in Climate Change Adaptation through a Cross-Sectoral Approach: Review. *Earth and Environmental Science*, 1016, 012034 (2022)
- 5) 森照貴: 河川と氾濫原をつなぐ洪水が生物多様性に及ぼす影響. 水環境学会誌, 45, 146-150 (2022)
- 6) 原田守啓, 中島大雅, 瀧健太郎: 複雑な氾濫形態をもつ谷底平野部における超過洪水時の氾濫現象. 河川技術論文集, 28, 31-36 (2022)
- 7) 平野和希, 原田守啓: 流域スケールにおける洪水攪乱外力の評価手法. 土木学会論文集B1(水工学), 78, I_907-I_912 (2022)
- 8) W. Higashikawa, M. Sueyoshi, T. Mori, R. Yonekura, K. Nakamura: The Satogawa Index: A landscape-based indicator for freshwater biodiversity in Japan. *Ecological Indicators*, 152, 110350 (2023)

【サブテーマ2】

- 1) 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: 平衡水温を用いた流域スケールの河川水温管理指標の提案. 河川技術論文集, 27, 289-294 (2021)
- 2) 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: ランダムフォレストと変数重要度分析を用いた河川流域での水温変化特性の支配要因の検出. 土木学会論文集B1(水工学), 77(2), I_997-I_1002 (2021)
- 3) M. Harada, S. Nagayama: Impacts of flood disturbance on the dynamics of basin-scale

- swimming fish migration in mountainous streams. *Water*, 14, 538 (2022)
- 4) J. García Molinos, N. Ishiyama, M. Sueyoshi, F. Nakamura: Timescale mediates the effects of environmental controls on water temperature in mid-to low-order streams. *Scientific Reports*, 12(1), 12248 (2022)
 - 5) S. Nagayama, M. Sueyoshi, R. Fujii, M. Harada: Basin-scale spatiotemporal distribution of ayu *Plecoglossus altivelis* and its relationship with water temperature from summer growth to autumn spawning periods. *Landscape and Ecological Engineering*, 19, 21-31 (2023)
 - 6) N. Ishiyama, M. Sueyoshi, J. García Molinos, K. Iwasaki, J.N. Negishi, I. Koizumi, S. Nagayama, A. Nagasaka, Y. Nagasaka, F. Nakamura: Underlying geology and climate interactively shape climate change refugia in mountain streams. *Ecological Monographs*, e1566(2023), <https://doi.org/10.1002/ecm.1566>
 - 7) S. Nagayama, R. Fujii, M. Harada, M. Sueyoshi: Low water temperature and increased discharge trigger downstream spawning migration of ayu *Plecoglossus altivelis*. *Fisheries Science* (in press)

<その他誌上発表（査読なし）>

【サブテーマ1】

特に記載すべき事項はない。

【サブテーマ2】

- 1) 岸大弼, 藤井亮吏: アマゴ卵の発眼期およびふ化期の上限水温の推定. 岐阜県水産研究所研究報告, 67, 7-12 (2022)
- 2) N. Ishiyama, M. Sueyoshi, J. García Molinos, K. Iwasaki, J.N. Negishi, I. Koizumi, S. Nagayama, A. Nagasaka, Y. Nagasaka, F. Nakamura: Geology-climate interactions are key determinants of climate-change refugia in Japanese mountain streams. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 104(2), e02062(2023)
- 3) 岸大弼: イワナ卵の発眼期およびふ化期の上限水温の推定. 岐阜県水産研究所研究報告, 68, 1-5 (2023)
- 4) 岸大弼・山本兼雄・下本英津子・山口晋一: 岐阜県山県市の檜原谷で再確認されたカワノリ. ニッチェ・ライフ, 11, (印刷中)

(2) 口頭発表（学会等）

【サブテーマ1】

- 1) 大塚健太郎, 乃田啓吾: 農業農村工学会 (2021) 「木曾川水系流域における水利用システムの整理と再構築」
- 2) 原田守啓, 瀧健太郎: 第66回水工学講演会 (2021) 「d4PDF領域気候モデルと洪水流出解析による流域を俯瞰した洪水規模・頻度の分布特性の分析」
- 3) 原田守啓: 第24回応用生態工学会札幌大会 (2021) 「洪水流出解析モデルによる流域スケールの洪水攪乱特性分析の試行」
- 4) 東川航, 末吉正尚, 森照貴, 米倉竜次, 中村圭吾: 第24回応用生態工学会札幌大会 (2021) 「水生生物の生息環境を指標する「さとがわ指数」の開発とその応用—魚類の分布解析を例に一」
- 5) 森照貴, 末吉正尚, 米倉竜次, 石山信雄, 永山滋也, 中川光: ELR2022 3学会合同大会 (2022) 「河川と農業用水路の淡水魚類群集を対象とした潜在的な生息マップ」
- 6) 東川航, 末吉正尚, 森照貴, 米倉竜次, 中村圭吾: 第69回日本生態学会大会 (2022) 「水生

生物の多様性を指標する「さとがわ指数」の開発とその全国マッピング」

- 7) 末吉正尚, 米倉竜次, 森照貴, 石山信雄, 中村圭吾: ELR2022 3学会合同大会 (2022) 「河川-農水路ネットワークと水路内環境が氾濫原性魚類に与える影響」

【サブテーマ2】

- 1) 溝口裕太, 赤松良久, 宮本仁志, 中村圭吾: 令和2年度環境水理部会研究集会2020 (2021) 「高津川水系における河川水温の空間分布に関する基礎的な検討」
- 2) 永山滋也, 末吉正尚, 藤井亮吏, 原田守啓: 第24回応用生態工学会札幌大会 (2021) 「長良川流域におけるアユの時空間動態と水温の関係～温暖化影響の予測に向けて～」
- 3) 末吉正尚, 石山信雄, Jorge Garcia Molinos, 中村圭吾: 第24回応用生態工学会札幌大会 (2021) 「木曾三川流域における水温レジームと魚類の分布パターン」
- 4) 永山滋也: 京都大学防災研究所一般研究集会 (2021) 「環境DNAで見る魚類の時空間動態」
- 5) 石山信雄, 末吉正尚, J. Garcia Molinos, 鈴木開士, 小泉逸郎, 中村太士: 第68回日本生態学会大会 (2021) 「流域地質が冷水性種のClimate-change refugia形成に果たす役割」
- 6) 末吉正尚, 石山信雄, J. Garcia MOLINOS, 中村圭吾: 第24回応用生態工学会札幌大会 (2021) 「木曾三川流域における水温レジームと魚類の分布パターン」
- 7) 永山滋也, 原田守啓, 藤井亮吏, 末吉正尚: ELR2022 3学会合同大会 (2022) 「長良川流域におけるアユの時空間動態～成長期から産卵期の分布を決める水文トリガー～」

(3) 「国民との科学・技術対話」の実施

【共通】

- 1) 岐阜大学地域環境変動適応研究センターWEBサイト (岐阜大学) にて継続的に成果紹介
- 2) 水資源機構中部ブロック技術研究発表会 (主催: 水資源機構中部支社, 2020年9月17日) にて講演
- 3) 岐阜県地球温暖化防止・気候変動適応計画 (仮称) 素案 (主催: 岐阜県, 2020年11月16日) にて成果紹介
- 4) 第1回ぎふ気候変動適応セミナー (主催: 岐阜県気候変動適応センター, 共催: 環境研究総合推進費『水防災・農地・河川生態系・産業への複合的な気候変動影響の評価手法の開発と適応策の共創』, 2021年3月24日, オンラインウェビナー形式+YouTube配信, 視聴者約50名, 動画再生回数約300回) にて講演.
- 5) WACCA～水分野の学官民連携の実践に向けたネットワークの展開～ (主催: 水文・水資源学会, 2021年7月16日, オンライン開催+YouTube配信※7/26～8/1オンデマンド配信, 動画再生回数約60回) にて講演.
- 6) 愛知県環境調査センター 気候変動影響・適応研究会 (主催: 愛知県, 2021年8月19日) にて講演
- 7) 岐阜大学自然科学技術研究科インフラマネジメントリーダー育成プログラム特別講義「気候変動の緩和・適応地域での取り組みの現状」 (2021年10月8日)
- 8) 第4回岐阜大学土木展に出展「現場知・経験値・科学知の総力戦で挑む持続可能な地域の実現」 (2021年11月17日)
- 9) 第3回ぎふ気候変動適応セミナー (主催: 岐阜県気候変動適応センター, 共催: 環境研究総合推進費『水防災・農地・河川生態系・産業への複合的な気候変動影響の評価手法の開発と適応策の共創』, テーマ「長良川のアユへの温暖化影響と適応策」, 2021年11月25日, オンラインウェビナー形式+YouTube配信, 視聴者約40名, 動画再生回数約320回) にて講演
- 10) 気候変動に係るステークホルダー会議 (茅ヶ崎・平塚・大磯エリア, 2022年3月14日) にて講演
- 11) 第38回岐阜シンポジウム「木曾・長良・揖斐歴史、自然、地域づくりを考える」 (2022年3月

21日)にて講演

- 12) 第5回ぎふ気候変動適応セミナー(主催:岐阜県気候変動適応センター, 共催:環境研究総合推進費『水防災・農地・河川生態系・産業への複合的な気候変動影響の評価手法の開発と適応策の共創』, テーマ「温暖化と岐阜の暮らし～岐阜の人に聞いてみました～」, 2023年3月23日, YouTube録画配信, 動画再生回数約190回)にて講演
- 13) 建設コンサルタンツ協会(中部支部)河川検討グループ総会(2022年6月22日)にて講演
- 14) 令和4年度岐阜県気候変動適応に関する庁内連絡会議(主催:岐阜県, 2022年7月11日)にて講演
- 15) 環境研究総合推進費シンポジウム「長良川流域が直面する温暖化にどう適応するか?～生態系の恵みと流域文化・産業を持続可能なものとするには～」(主催:岐阜大学, 2022年10月29日, 長良川国際会議場+zoomウェビナーによるハイブリッド開催, 会場参加40名/Zoom視聴者数83名, 動画再生回数約160回)にて講演
- 16) 第42回地域産学官と技術士合同セミナー2022 in Gifu(主催:日本技術士会中部支部, 2022年11月11日)にて講演
- 17) 第10回清流の国ぎふづくり『自然共生』事例発表会(主催:岐阜県自然共生工法研究会, 2022年11月16日, ぎふ清流文化プラザ長良川ホール, 定員40名)にて講演

【サブテーマ1】

- 1) 令和2年度岐阜県地球温暖化防止活動推進員研修会(主催:岐阜県, 2020年9月12日, 岐阜県地球温暖化防止活動推進員26名)にて講演
- 2) おとなの夜学(主催:岐阜市図書館, 2020年10月29日)にて講演
- 3) 令和2年度 第1回気候変動適応分野別会議(自然災害分野)(主催:岐阜県, 2020年11月27日)にて話題提供
- 4) 岐阜県自然工法管理士講習会(主催:岐阜県, 2022年7月21日, 8月25日)にて講演
- 5) 流域の生態系ネットワークの形成に向けたWebセミナー(主催:公益財団法人リバーフロント研究所, 2021年12月9日)にて講演
- 6) 令和3年度岐阜県地球温暖化防止活動推進員研修会(主催:岐阜県, 2021年12月18日, 岐阜県地球温暖化防止活動推進員約26名)にて講演
- 7) 令和4年度岐阜県地球温暖化防止活動推進員研修会(主催:岐阜県, 2022年12月17日, 岐阜県地球温暖化防止活動推進員約26名)にて講演
- 8) 天竜川水系流域治水シンポジウム～激甚化・頻発化する水害に「備える」～(主催:国土交通省・長野県天竜川上流流域治水協議会, 2022年12月22日, 岡谷市カノラホール+YouTube同時配信, 動画再生回数約300回)にて講演
- 9) 2022年度 名古屋工業大学高度防災工学研究センターシンポジウム(主催:名古屋工業大学高度防災工学センター, 2023年3月23日)にて講演

【サブテーマ2】

- 1) 第1回ぎふ長良川水辺空間活用協議会(主催:岐阜市, 2020年8月6日, シンキングチーム12名+庁内関係課)にて講演
- 2) 岐阜商工会議所 産業・文化委員会(主催:岐阜商工会議所, 2020年11月20日, 参加者約20名)にて講演
- 3) 郡上漁業協同組合増殖委員会(主催:郡上漁業協同組合, 2022年1月26日)にて成果紹介
- 4) 長良川漁業協同組合 調査結果報告・意見交換会(主催:長良川漁業協同組合, 2022年2月16日)にて成果紹介
- 5) 長良川鵜飼かわまちづくり関係者との意見交換会(2022年8月30日)にて研究紹介
- 6) 長良川うかいミュージアム市民講座(主催:長良川鵜飼ミュージアム, 2022年10月29日)にて

講演

- 7) 郡上漁業協同組合増殖委員会（主催：郡上漁業協同組合，2023年1月25日）にて成果紹介
- 8) 長良川鮎資源管理・増殖部会（主催：岐阜県・長良川流域協議会）にて成果紹介
- 9) 矢作川環境技術研究会 令和5年度 公開研究発表会（主催：矢作川環境技術研究会，2023年6月8日）にて講演

(4) マスコミ等への公表・報道等

【共通】

- 1) 岐阜新聞（2021年3月22日，朝刊1面コラム分水嶺にて研究紹介）3/24開催ぎふ気候変動適応セミナーでの紹介内容について事前取材を受けた内容をコラムとして紹介
- 2) 中日新聞（2022年3月9日，朝刊3面「この人」「地域の気候変動問題に住民と取り組む研究者」にて研究紹介）岐阜県気候変動適応センターの取り組みの取材の中で，本プロジェクトについて紹介
- 3) チャンネルCCN「エリアトピックス」（2022年3月17日，「長良川の水量が変化 生態系への影響は」で解説）
- 4) 中部経済新聞（2022年7月5日，オープンカレッジ「川の恵みと災いを科学する 現場知×科学知で取り組む気候変動適応」）

【サブテーマ1】

- 1) 岐阜放送「ぎふサテ！」（2020年8月10日，特集「豪雨から1カ月」で解説）洪水規模頻度の増加に対する長良川のアユの生息環境の劣化について解説するとともに，本プロジェクトについて紹介
- 2) 中日新聞（2022年12月23日，「激甚化・頻発化する水害へ備えを 岡谷で天竜川「流域治水」シンポ」）豪雨災害と気候変動の関係に関する講演内容について紹介

【サブテーマ2】

- 1) 毎日新聞（2020年10月20日，朝刊13面，くらしナビー環境―「長良川に異変 鵜飼に打撃」）岐阜県気候変動適応センターの取り組みの取材の中で，本プロジェクトについて紹介
- 2) NHK岐阜 NEWS WEB（2021年4月1日，「豪雨でアユは上流に移動か 岐阜大学研究センターが調査」）3/24開催のぎふ気候変動適応セミナーで紹介した成果について当日取材の上番組で紹介
- 3) NHK岐阜 まるっと岐阜（2021年4月2日，アユの時空間動態に関する研究成果について10分ほど紹介）3/24開催のぎふ気候変動適応セミナーで紹介した成果について当日取材の上番組で紹介
- 4) 岐阜新聞（2021年11月27日，岐阜県内版12面，「水温や増水、鮎の川下りに影響 気候変動、長良川で考察 岐阜大と県セミナー 研究者や漁協が発表」）11/25開催ぎふ気候変動適応セミナーで紹介した成果について当日取材の上記事で紹介
- 5) 中日新聞（2021年12月30日，朝刊1面，「アユ漁温暖化で異変 長良川水温上昇，増水 産卵に遅れ？」）11/25開催ぎふ気候変動適応セミナーで紹介した成果について取材の上，本プロジェクトについて紹介
- 6) 中日BIZナビ（2022年6月20日，気候変動「適応」と産地 水産⑤「アユはどこへ？長良川で起こっている異変」）温暖化による長良川のアユの行動周期の変化について
- 7) 中日新聞（2022年7月4日，岐阜県版10面<この声政治に届け>「気候変動 アユで察知した異変」選挙の争点（気候変動対策）の文脈でアユの話が取り上げられた
- 8) 岐阜新聞（2022年11月24日，朝刊3面，「川も温暖化 鮎に異変 長良川，産卵・遡上に遅

れ) 気候変動の影響により、長良川での産卵・遡上に遅れが。落ち鮎を秋鮎として売り出す提案

- 9) 岐阜新聞 (2023年1月16日, 県内版10面, 「長良川の鮎資源守れ 推進協が管理・増殖部会新設」) 岐阜大と県水産研究所の研究者による調査研究の結果報告.
- 10) 朝日新聞デジタル (2023年1月16日, 「岐阜・長良川のアユ減少防げ 資源管理で初会合」) 長良川鮎資源管理・増殖部会 (長良川流域協議会) が設置。当センターや県水産研究所などと協力し、アユ資源の減少を防ぐ。

(5) 本研究費の研究成果による受賞

[土木学会 河川技術シンポジウム ポスターセッション優秀発表者賞]

原田守啓・平野和希 (2021) 幅広い流況下における砂州動態を記述するための流量指標, 河川技術シンポジウム, 2021/6

[応用生態工学会 優秀発表賞]

平野和希, 原田守啓 (2020) 幅広い流況下における砂州動態の簡易な分析手法～長良川における検討事例～, 応用生態工学会2020年度Web研究発表講演集, 0B-1, 2020年12月5日, zoomウェビナー

(6) その他の成果発表

【共通】

- 1) G-NICE 5月号 (岐阜大学) 2020年5月
- 2) 環境研究総合推進費パンフレット 2020
- 3) 岐阜県水産研究所広報誌 水産研だより第44号, 2020年11月18日
- 4) 気候変動適応情報プラットフォーム ウェブサイト. 「インタビュー適応策 Vol.22, 岐阜県 長良川と気候変動 岐阜大学地域環境変動適応研究センター」 2021年5月27日.
https://adaptation-platform.nies.go.jp/articles/case_study/vol22_gifu.html
- 5) 安心な暮らしのヒント BOOK@ぎふ vol.2 (岐阜県気候変動適応センター), 2023年3月24日
https://www1.gifu-u.ac.jp/~gu_rarc/achievement.html

【サブテーマ 1】

- 1) 河川事業における生態系保全に関する評価の手引き (実務者向け) ～生態系ネットワーク形成に向けて～ (国土交通省水管理・国土保全局河川環境課), 2021年6月

【サブテーマ 2】

- 1) 岐阜商工会議所月報, 特集「長良川と気候変動～鵜飼, アユ, 地域の産業への影響は～」 2021年3月

IV. 英文Abstract

Development of Comprehensive Assessment Methods and Adaptation Measures for Climate Change Impacts on Water-related Disaster, Agriculture, Freshwater Ecosystem and Local Economy

Principal Investigator: Morihiro HARADA

Institution: Regional Adaptation Research Center, Gifu University

1-1 Yanagido, Gifu City, Gifu 501-1193, JAPAN

Tel: +81-(0)58-293-2474 / Fax: +81-(0)58-293-2474

E-mail: harada.morihiro.i3@f.gifu-u.ac.jp

Cooperated by: Public Works Research Institute, Gifu Prefectural Research Institute for Fisheries and Aquatic Environments

[Abstract]

Key Words: Climate change, Comprehensive Impact assessment, Freshwater ecosystem, Adaptation, Co-creation

Collaboration among local governments, researchers, and local stakeholders is a proven effective means of promoting adaptation to climate change in the region. In Gifu Prefecture, located in central Honshu, Japan, the increasing risk of water-related disasters and the effects of global warming on rice agriculture and river ecosystems are causing concerns. This project aims to assess these impacts, work with stakeholders to better understand their extent, and co-create adaptation measures to address them.

Remarkable results have been achieved through this project. The changes in water-related disaster risk due to global warming were assessed at the small and medium river level and shared with river managers and local disaster management officials to encourage them to take action. The project also shared with stakeholders the actual situation in the region regarding the various impacts of global warming on rice cultivation. The effects of global warming on sweetfish in the Nagara River, which is recognized as a World Agricultural Heritage site, were identified, and several new scientific findings were generated. By sharing these findings with stakeholders, the project has not only been socially implemented in local policies but also created opportunities to initiate specific adaptation measures. The project has developed several methods for analyzing the impacts of global warming by improving the understanding of river temperature variability in the Asian monsoon.

In summary, this project has demonstrated the potential of collaboration among local governments, researchers, and local stakeholders in promoting climate change adaptation in the region. By assessing the impacts of global warming and co-creating adaptation measures with stakeholders, this project has generated remarkable results, including sharing new scientific findings and initiating specific adaptation measures. The methods developed in this project can be used as a reference for other regions to improve their understanding of climate change impacts and develop effective adaptation measures.