

2. 政策課題研究 2 (5-PS2)

在来魚の保全に向けた水系のつながり再生に関する研究

水野敏明・小島永裕・東 善広・佐藤祐一・北井 剛¹⁾・浅野悟史²⁾・小倉拓郎³⁾・山中大輔⁴⁾

要約

アユなどの減少が問題となる中で、在来魚介類のにぎわい復活をはじめとする琵琶湖流域生態系の保全および再生に向けて、水系や生物のつながりなど、要素間のつながりや関係性に着目した総合型の研究を進め、生息環境の保全・再生手法の提示をすることが重要な課題となっている。第四期中期計画（平成 26-28 年度）の政策課題研究 2 の研究成果から水系のつながりにおける土砂の動きは、魚介類の生息・産卵環境の形成に影響があること明らかとなった。そのため、第五期中期計画（平成 29-令和元年度）の政策課題研究 2 では、実際に課題解決の糸口になる可能性がある「森-川-河口」の土砂移動メカニズムを解明するとともに、地域主体の自然再生活動の継続性に焦点を当て研究を行った。本研究成果により、上流域の森林では 60% の下層植生を目指し河畔に広葉樹を植え、河川中下流域では多様な主体が河床耕耘など河道に小礫を流す工夫をしつつ、粒径等を新たな画像解析技術で監視し、さらに小さな自然再生活動の継続のための 3 つの要点「人々を巻き込む場づくり」、「わかりやすい目標」、「小さな成果の積み重ね」を基に活動を継続することで、流域環境において水と土のつながりが再生され、在来魚のにぎわいが回復する可能性があることが明らかとなった。

1. 研究の背景と目的

琵琶湖流域のアユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*) は、漁業資源として地域にとって大変貴重な魚種である。しかし、琵琶湖流入河川の 2018 年の有効産着卵数は 12.8 億粒であり平年値の約 100 億粒の 12.7% と非常に少なかつた(滋賀県水産試験場, 2019)。そのため、アユの保全再生のためにアユの産卵場や生息環境を改善することは、滋賀県の喫緊の課題となっている。

琵琶湖流入河川におけるアユの良好な生息環境に悪影響を及ぼしている原因の一つとして、森-川-湖の土砂移動が円滑に行われていないことが指摘されている(藤岡, 2017)。そのため、土砂移動とアユの生息環境や産卵環境の回復について詳細に研究する必要性が指摘されている(遊磨ら, 2017)。

こうした背景をもとに、在来魚の保全・再生に向けて、平成 26-28 年度には、水系や土砂のつながりと魚類の関係に焦点を当てて研究が行われてきた(水野ら, 2017)。その結果、森-川-河口(湖)における水系のつながりの有無が魚介類の生息環境に影響があることが明らかになってきた(石崎ら, 2016)。加えて、在来魚の保全に向けた自然再生では、「多様な主体の協働による小さな自然再生」の事例が全国で増えつつあり、その有用性が認識されてきている(「小さな自然再生」事例集編集委員会, 2015)。

こうした背景から、平成 29-令和元年度における政策課題研究 2 では、「森-川-河口の土砂移動メカニズムの解明」および「多様な主体の協働による自然再生活動の継続性」に焦点をあてて、流域環境の課題解決を研究目的とした。

2. 研究の方法

政策課題研究 2 では、河川の上流域における森から川の土砂のつながりに関する研究をサブテーマ①とした。また、河川の中下流域から河口までの土砂のつながりに関する研究をサブテーマ②とした。さらに、河川の土砂モニタリングなどの環境変遷のモニタリング技術の開発研究をサブテーマ③とした。加えて、多様な主体による小さな自然再生に関する研究をサブテーマ④とした。

各サブテーマの研究内容は下記の視点から研究を進め、具体的な課題解決を目的として研究を展開した。さらに、サブテーマごとに研究成果をとりまとめて、関係機関の施策への応用の視点から、在来魚の保全・再生に向けた重要なポイントや課題解決策について政策提言を行った。最後に、流域環境の視点から流域で一貫した施策の方向性について提言を行った。

1)琵琶湖博物館/流域政策局(現:北部流域下水道事務所), 2)現:京都大学大学院地球環境学堂, 3)東京大学大学院新領域創成科学研究科,
4)琵琶湖博物館/流域政策局

在来魚の保全に向けた水系のつながり再生に関する研究

サブテーマ①森-川の土砂のつながり研究(小島)

- ・森林流出土砂の質と量のフィールド調査等

森

サブテーマ②河川中流域から河口までの土砂のつながり研究(水野)

- ・河川におけるアユや粒径等のフィールド調査等

(東京大学空間情報科学研究センターと共同研究、環境省事業と連携)

川

サブテーマ③森林、河川等の環境変遷の把握(東)

- ・環境変遷データの集約と解析法の開発等

湖

サブテーマ④多様な主体の協働による在来魚保全・再生活動の進行管理(佐藤)

- ・家棟川のビワマスの小さな自然再生の取り組みの継続方法の検討等

図1 研究全体概要のイメージ図

サブテーマ①(研究リーダー: 小島 永裕)

「森-川の土砂のつながり研究」

研究内容：森林からの土砂流出動態に関するフィールド調査に基づく研究。

サブテーマ②(研究リーダー: 水野 敏明)

「河川中流域から河口までの土砂のつながり研究」

研究内容：河川におけるアユや土砂移動に関するフィールド調査に基づく研究。

共同研究：東京大学空間情報科学研究センター

(CSIS)No.814 「高頻度・高精細地形情報を用いた河床における地形変化解析方法および地域住民への空間情報発信方法についての研究（研究代表：早川裕式）」と共同研究。

連携研究：琵琶湖の保全及び再生に関する法律に基づく環境省事業「湖辺における環境修復実証事業（滋賀県琵琶湖）委託業務（2）河川からの良好な土砂供給による底質及び水質改善に関する業務」と連携した研究。

サブテーマ③(研究リーダー: 東 善広)

「森林、河川等の環境変遷の把握」

研究内容：環境変遷データの集約方法や解析方法の研究。

共同研究：東京大学空間情報科学研究センター

(CSIS)No.814 「高頻度・高精細地形情報を用いた河床における地形変化解析方法および地域住民への空間情報発信方法についての研究（研究代表：早川裕式）」と共同研究。

サブテーマ④(研究リーダー: 佐藤 祐一)

「多様な主体の協働による在来魚保全・再生活動の進行管理」

研究内容：小さな自然再生の取り組みの継続の要点に関する研究。

本報告書では、サブテーマごとに研究の背景と目的、方法、結果、考察を記述し、最後に政策課題研究2全体をまとめた結果と考察・提言を入れ子構造の形式で記述した。

3. サブテーマ①「森-川の土砂のつながり研究」：森からの土砂流出動態の研究

3.1. はじめに

森林からの土砂流出については、これまで多くの研究が行われておらず、本県南部の「山肌がむき出しの山」を中心に県内の研究事例は多い（例えば鈴木・福島、1989）。一方、琵琶湖の在来魚が産卵場所として利用する礫の大きさはある程度把握されている（例えば西田、1976）。しかし、産卵に適した大きさの礫がどのようなタイミングで森林から供給され、河川を流下するかは明らかになっていない。

これまでの研究（水野ら、2018）においては、森林からの土砂は、アユの産卵時期にタイミングよく流出し、また、産卵床に好適な粒径のものが供給されており、アユはこれを利用できる可能性が高いことが明らかになってきた。

しかしながら、間伐の手遅れ等による森林の手入れ不足や、近年、多くなっているシカの採食に伴って生じる林床植生の衰退によって、在来魚の産卵床として適さない粒径の土砂が森林から流出している可能性が考えられる。今回の報告では、森林の林床の被覆が森林域からの土砂流出に及ぼす影響を把握することとする。

3.2. 森林斜面における土砂移動

3.2.1. 調査地および調査方法

調査地および調査手法は前報（水野ら、2018）に詳しいが、ここでは概略を記す。

調査地は、大宮川の最上流部に位置する滋賀県南西部の大津市坂本町の森林（北緯 35 度 5 分 29 秒、東経 135 度 50 分 10 秒）に設定した。基岩は中生代の堆積岩（産業技術総合研究所地質調査総合センター、2015）で、土壤は褐色森林土である。標高は約 760m、斜面の傾斜方向は東、斜面の勾配は 32~35° である。植生は約 100 年生のヒノキ

の人工林で、適度に間伐が行われ、林床は比較的明るい。また、調査地および付近の森林の林床には、2005 年頃まではネザサが繁茂していた（杉元ら、2010）が、シカの食害により下層植生の消失している部分が多くみられ、一部では林床表面の裸地化も生じている。

下層植生の消失した森林斜面において、5.0m×5.0m の調査区を 2 箇所設け、そのうち 1 箇所についてはシカの食害を防止するため高さ約 2.0m の防護柵で周囲を囲んだ。それぞれの調査区（以下、裸地区および防護区という）の下端には、間口幅 25cm、高さ 15 cm の土砂受け箱（塙本 1989）を等高線に沿って約 1m 間隔で 5 基設置した。さらに、この近傍で林床がシカ不嗜好性植物のコバノイシカグマやイワヒメワラビで被覆された箇所にも同様の調査区（以下、シダ区という）を設けた（三井ら、2018）。

調査は 2015 年 6 月に開始し、土砂受け箱で捕捉した試料を概ね 2~4 週間に 1 回、大雨の後については適宜、回収した。回収した試料は風乾後、70°C で 24 時間以上乾燥し、土砂およびリターに分画後、それぞれの重量を測定した。

また、植生の被覆状況は、毎年秋季にそれぞれの土砂受け箱の上方で、50cm×50cm の範囲においてポイントカウンティング法（三浦、2000）により植生、リター、土砂、礫別の被覆率を求めた。さらに、その周辺の植生の繁茂状況も目視で調査した。

解析で用いる雨量データは、国土交通省の水質水文データベースから調査地直近の観測データ（観測所名：比叡）を利用した。

3.2.2. 結果および考察

図 3-1 には各調査区の植生被覆の変化を、図 3-2 にはこの様子を植生、リター、土砂、礫別の被覆率で示した。

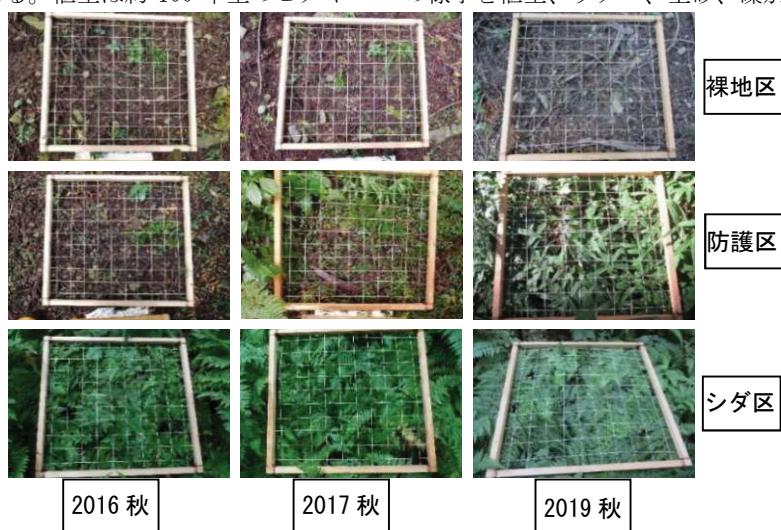


図 3-1 森林斜面の植生被覆の変化

シダ区では、調査開始時から2019年秋季までコバノイシカグマとイワヒメワラビで大部分が被覆されており(図3-1)、植生による被覆率(以下、植被率という)は、変動はあるものの約73~93%の高い値を示した(図3-2)。次に、裸地区と防護区は、2015年の調査開始時には両区とも土壤が露出しており、植被率はそれぞれ約3%、約4%であった。裸地区は調査期間中、植生が回復することはなく(図3-1)、植被率は約2~8%と小さかった(図3-2)。一方、防護区では時間の経過とともに植生が回復してきている

ことがわかる(図3-1、3-2)。この間、防護区の植被率は調査開始時の約4%から、2019年秋季には約75%まで上昇した。防護柵の設置から約4.5年(植物の成長過程でみると約5成長期)でシダ区と同等の植被率まで回復したといえる。また、被覆している植物の種も、コバノイシカグマのようなシカ不嗜好性植物ばかりではなく、食害を受ける以前に生育していたネザサ(杉元ら、2010)や試験地周辺の植生から食害以前に生育していたと推察されるイチゴ類等が回復していることが認められた。

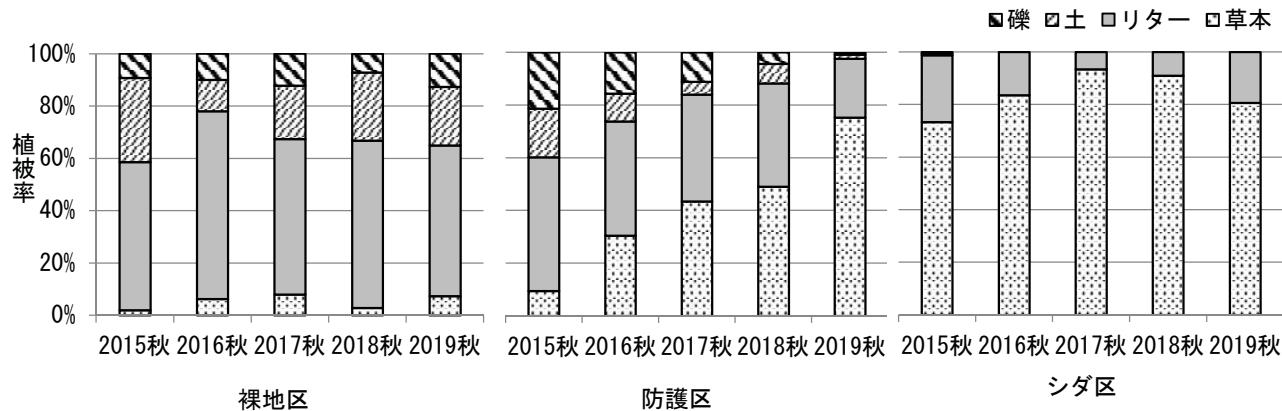


図3-2 森林斜面の被覆割合の経年変化

図3-3には、土砂受け箱により採取された土砂量から求めた等高線1mを移動する、調査日1日あたりの土砂移動量(g/m·d)の季節変化を示した。

裸地区的土砂移動量は、降雨の多い春期から秋期にかけて多くなり、梅雨期や秋の長雨期の集中豪雨が発生しやすい時期にとくに多くなった。また、降雨量が少なくなる晩秋から冬期には、土砂移動量も少なくなった。一方、シダ区の土砂移動量は、春期から秋期にかけての多雨期にはわずかに多くなるものの、全般的に裸地区に比べて非常に少ないことが確認された。

防護区の土砂移動量は、調査開始から2016年初春頃までは、裸地区と同様に多雨期に多くなり、裸地区と防護区の土砂移動量の差はあまり見られなかった。しかし、それ以降、とくに梅雨期から秋期にかけては、防護区の土砂移動量が裸地区のそれよりも継続的に小さくなり、2018年頃からはシダ区と同程度の土砂移動量となった。

春期から秋期の降雨期とシダ等の植生の展葉期(6月中旬から11月中旬)は概ね一致することから、この時期における防護区またはシダ区の土砂移動量の裸地区(対照区)のそれに対する比を算出した。シダ区の裸地区に対する土

砂移動量の比は2015年の調査開始以来、期間を通じて約1~8%と小さかった。この間のシダ区の植被率は前述通り80%前後の高い植被率を維持しており(図3-2)、コバノイシカグマ等のシダ類によって林床が被覆されていることで、土砂移動が抑制されているものと推察された。

一方、防護区の裸地区に対する土砂移動量の比は2015年には0.98と、防護区の土砂移動量が裸地区のそれとほぼ同等であった。その後、時間経過とともに土砂移動量の比は小さくなり、2018年には0.13、2019年には0.08とシダ区の値と同程度まで減少した。この時、防護区の植被率は2018年には49%、2019年には75%まで上昇しており(図3-2)、植生の回復に伴う林床の被覆によって、土砂移動の抑制効果が大きくなっているものといえる。

前報(水野ら、2018)においても防護区では細土の移動が抑制されることが報告されており、今回の報告と合わせ、林床植生の繁茂が土砂全体およびその中の細土成分の移動を抑制しているといえる。間伐等の森林施業による林床の光環境を改善や防護柵等によるシカの食害防除が、林床植生の回復を通じて、森林の土砂移動を抑制する効果が高いことが示された。

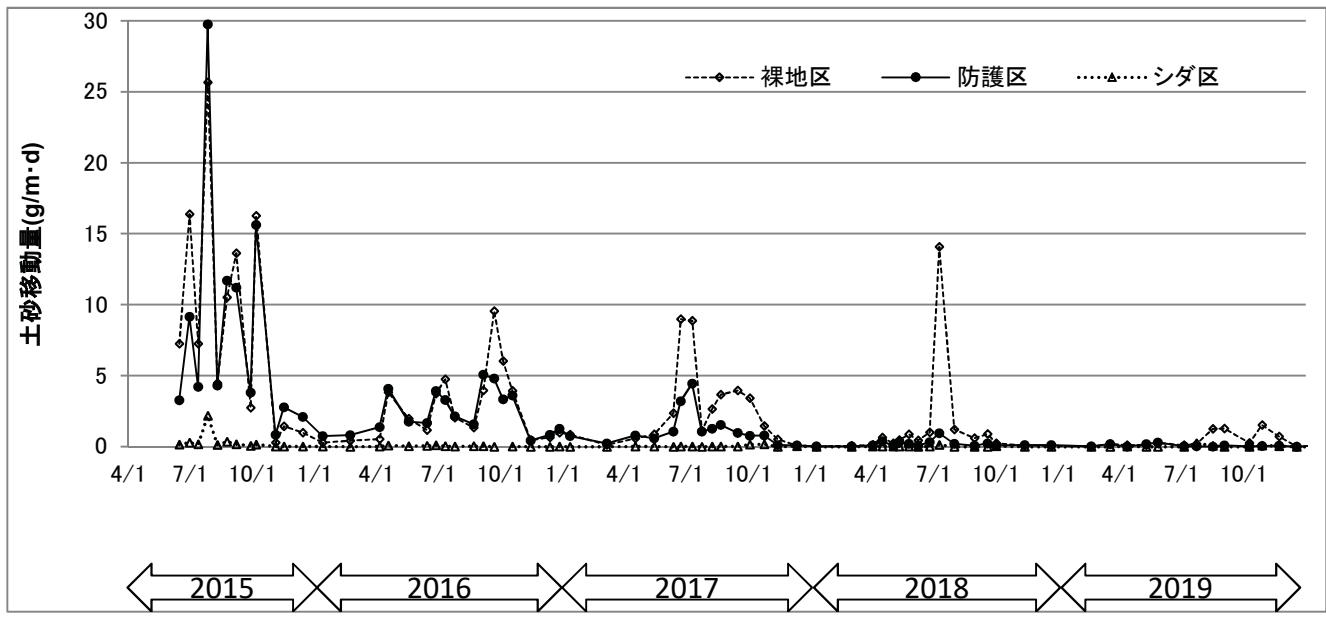


図 3-3 森林斜面における土砂移動量の季節変化

3.3. 森林渓流からの土砂流出

3.3.1. 調査地および調査方法

森林からの土砂流出の調査は、日野川流域光善寺川の最上流部に位置する野洲市大篠原の森林渓流（北緯 35 度 4 分 2 秒、東経 136 度 4 分 3 秒、水野ら、2018）で継続して行った。

基岩は中生代後期の花崗岩（産業技術総合研究所地質調査総合センター、2015）で、土壤は褐色森林土である。調査地の集水面積は 20.0 ha、標高は約 150–280m、渓流の傾斜方向は北、渓流の勾配は約 11° である。

植生はヒノキの人工林とコナラ等の落葉広葉樹が大半を占めている。調査地および付近の森林では、シカによる成林木および下層植生の食害は認められない。また、調査地付近は、現在は森林化しているものの、1950 年頃までは山肌がむき出しの山であったことから、土壤層は比較的

薄いが、下層植生は適度に生育している。

森林からの流出した土砂やリターは、調査地の下流端に設けたコンクリート堰（図 3-4）上部に堆積したものを利用した。

調査は 2014 年 6 月に開始し、概ね 2~4 週間に 1 回、大雨の後については適宜、回収した。回収した試料は約 1 週間風乾した後、70°C で 24 時間以上乾燥し、土砂およびリターの重量を測定した。さらに、土砂は円孔ふるいを用いて、径 1mm 未満、1–2mm、2–4mm、4–8mm、8–16mm、16mm 以上の 6 つに分画して、それぞれの重量を測定した。

解析で用いる雨量データは、国土交通省の水質水文データベース：<http://www1.river.go.jp/> (URL2020/11/02 確認) から調査地直近の観測データ（観測所名：野洲川）を利用した。



図 3-4 森林渓流に設けた量水堰（左：通常の流量の時、右：2017 年台風 21 号通過直後）



3.3.2. 結果および考察

図3-5には、1日あたりの土砂流出量の季節変化を示した。この図から、夏から秋にかけて1年に1回程度、土砂が多く流出していることがわかった。さらに、梅雨期よりも台風等の集中豪雨があつて雨量強度が大きくなる時期に土砂の流出が大きくなっていた。とくに、2017年台風21号の通過に伴う大雨の時は、約6.2t(乾重、日換算で280kg/d)の土砂が一気に流出した(図3-4、3-5)が、2014年の調査開始以来最大であった。

また、図3-5には粒径2mm未満の土砂と2mm以上の礫に区分し、それぞれの流出土砂全体に占める割合を示した。台風時等の大きな降雨時には流出する土砂の全体量も多くなるが、その中の2mm以上の礫の流出割合がいずれの場合も約50%以上と大きく増加することが確認された。

このことは、前報(水野ら, 2018)と同様の傾向を示しており、この中で報告されたように、これらの流出した礫をアユが産卵に利用できる可能性が高いといえる。

今回の土砂の流出状況を鈴木ら(1989)の報告と比較してみる。ここでは、森林の状態が裸地から植栽された山腹、森林と変化するに伴って、土砂流出量はそれぞれ5,000~10,000、15、3m³/km²·yと大きく減少していることが示されている。報告と同様の花崗岩質の土砂が流下する本調査地の値は1.3~18m³/km²·y(比重1.8で換算)であった。2017年等大雨に伴う大きな土砂流出があった年は上記の森林の値よりも大きいが、それでも裸地の値と比べると300分の1以下であり、集水域が森林で覆われていることで、渓流を通じた土砂の流出が抑えられているといえる。

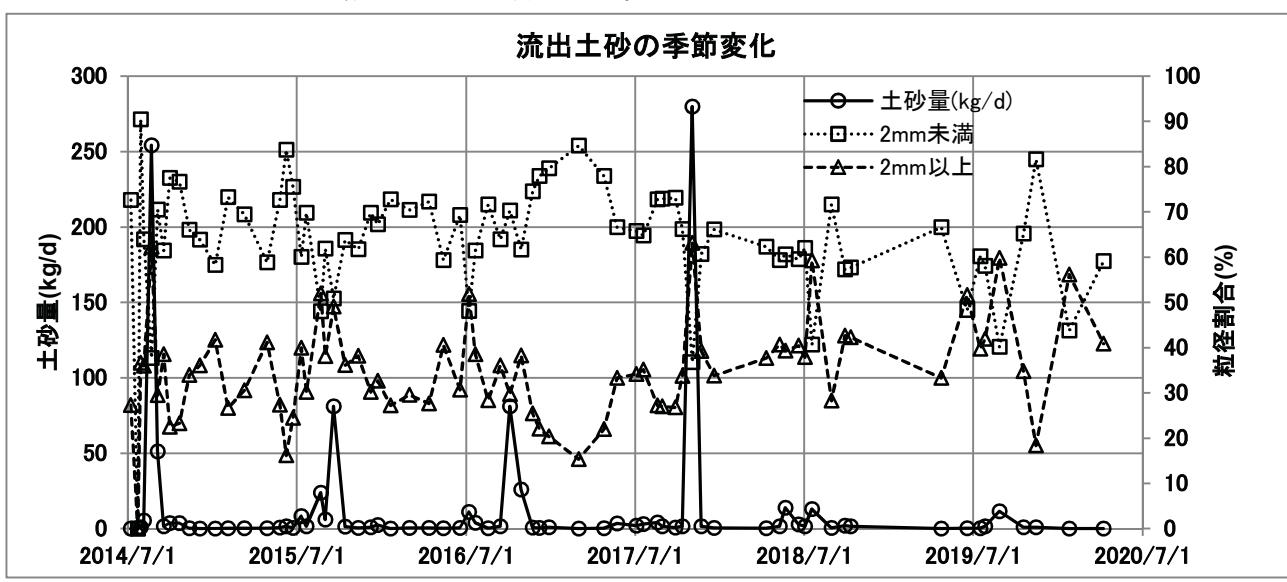


図3-5 森林渓流における土砂流出量の季節変化とその粒径割合

3.4. まとめ

森林からの土砂流出量を森林の植生被覆との関係から調査した結果を踏まえると、森林が植生で被覆されることで、森林からの土砂流出が抑制されていることが示された。

集水域全体では、森林が樹木で覆われていることで、渓流から流出する土砂が少なくなっていることが確認された。また、山腹斜面の土砂移動の結果からは、林床が下層植生で被覆されることで土砂移動が抑制される結果が得られ、このことは森林全体からの土砂流出の減少にも影響していると示唆される。さらに、流出する土砂の粒径については前報(水野ら, 2018)と同様の結果が継続して得られ、現在のところ、在来魚類の産卵環境に適した土砂流出が維持されているものと考えられた。

森林からの土砂流出は、一般的に渓岸の浸食が主たる要因と言われており、樹木でこの部分を被覆することが土砂流出の抑制には効果があると考えられている。しかし、こ

の研究課題の背景ともなっている森林の手入れ不足やシカの食害等から渓畔林といわれる渓流に沿った森林域の劣化も危惧されている。渓畔林は、以前から多様な樹種で構成されていることが多い、上記の土砂流出防備とともに、森林のみならず渓流の生物多様性の維持の観点からも注目されているところである(例えば、林野庁, 2018)。在来魚類の産卵環境の確保を検討するためには、今後は、森林全体の植生状況とともに渓畔林の植生と土砂流出の関係にも着目して調査していく必要があると考えられる。

謝辞

第3章の研究に関しましては、比叡山延暦寺および大篠原生産森林組合の皆様には、調査地を快くご提供いただきました。この場をお借りし、厚くお礼申し上げます。

4. サブテーマ②「河川中流域から河口までの土砂のつながり研究」

4.1. 研究の背景と目的

近年の気候変動による、今までの想定以上の豪雨が発生する中で、「川の土砂移動メカニズム」を解明し、どのように総合的に管理するかについては、ダムや河川管理の視点から関心が非常に高まっている。そのため、2019年3月には「総合土砂管理計画策定の手引き 1.0 版」が一般財団法人国土技術研究センターより発行された（総合土砂管理計画策定の手引き検討委員会、2019）。

特に、生態系や景観の保全等を踏まえた土砂移動メカニズムに関しては未知のことが多く、その解明と河川管理への応用方法の構築は喫緊の課題となっている。

4.1.1. 琵琶湖のアユの産卵生態に関する研究の背景と目的

琵琶湖のアユは、日本の滋賀県以外に生息するアユとは10万年程度遺伝的に異なっていると言われている

（井口ら、2006）。琵琶湖の湖内で育つ期間の長い、体サイズが7-10cm程度と比較的小さいアユは通称コアユと呼ばれている。3月から6月頃に琵琶湖から河川の中上流域まで遡上して、16cm以上と比較的体サイズの大きくなるアユは通称オオアユと呼ばれている。さらに、河川にいながらも群れを作る11-15cmの中程度の大きさのアユは通称あそびアユなどと呼ばれている。

産卵のための移動は、コアユは秋の産卵期に琵琶湖から河川の下流域に遡上して産卵する性質がある。オオアユやあそびアユは、秋の産卵期に森林域近くの上流域や中流域から河川を降下して下流域で産卵する性質があると考えられている。しかし詳しい生態は未解明な部分も多い。

アユは生息環境として自ら珪藻を食むことで、ビロウドランソウ(*Homoeothrix janthina*)などが生えるフレッシュな浮き石状の礫底を創出していると言われている（阿部信一郎、2002）。また、琵琶湖のアユの産卵環境は軟らかな礫底であるため、森林状態、ダム等の河川構造物、洪水出水パターンなどの変化により、砂礫供給に変化が起きた場合には、アユの生息環境や産卵環境に影響を及ぼす可能性がある。しかしながら、琵琶湖流入河川のアユの産卵環境の指標として重要である河床硬度や粒径構成比は定量的にはほとんど知られていないかった。

そこで本研究では琵琶湖流入河川におけるアユの産卵環境の河床硬度と粒径構成比について、基礎生態学的な知見の充実を図ることを目的として研究を実施した。

4.1.2. 琵琶湖のアユの産卵床と人力による河床耕耘効果に関する研究

琵琶湖流入河川の1つである愛知川の地元漁協の方の話によれば、1972年に永源寺ダムが作られその後数十年は良い河床環境が残りアユもたくさん生息していたものの、およそ50年近く経た近年においては、砂礫の供給不足の問題が顕在化してアーマーコート化が進むなど、アユの生息環境が1960年代より劣化し、アユがかなり少なくなってしまったと言われている。アーマーコート化して河床が硬くなってしまったアユの産卵生息環境の改善のための対策方法の1つとして「河床耕耘」がある

（近藤ら、2011）。本研究では、琵琶湖のアユの産卵床の河床硬度を測定する手法を考案した。さらに、実証実験として愛知川のアーマーコート化したアユの産卵床近くの河床を対象に人力による河床耕耘を実施して、河床耕耘の効果を明らかにすることを目的として研究を行った。

4.1.3. UAVによる河床地形変化の測量に関する研究の背景と目的

本研究では、河床耕耘の効果を知るために、河道内の砂礫堆の数十センチレベルの高精度な地形変化の測量を出水に合わせて逐次的に高頻度に20,000m²の広範囲で調査する必要があった。さらに、数十センチレベルの超細密な河床変動2次元シミュレーションを実施するために立体的なデジタル地形データを作成する必要があった。しかしながら、従来の測量機器による測量では、広範囲な河道において数センチレベルの誤差精度で、高頻度で測量図を作成することは困難であるという問題があった。また、有人航空機によるレーザープロファイルによる測量では、誤差が1m近くになるため本研究で求める精度で把握することができなかった。そこで、無人航空機UAV(Unmanned Aerial Vehicle、通称：ドローン)を用いて高精度高頻度に河床地形変化を測量できる高度な技術研究開発能力を持つ、東京大学空間情報科学研究センターと「高頻度・高精細地形情報を用いた河床における地形変化解析方法および地域住民への空間情報発信方法についての研究(No.814、研究代表：早川裕式、事務局担当：小倉拓郎)」という共同研究プロジェクトを立ち上げて、河床耕耘による河床地形変化を高精度高頻度に測量することを目的として共同研究を行った。さらに、測量した地形データを応用した、河床変動2次元シミュレーションにより土砂移動メカニズムの物理的な要因を明らかにすることを目的として研究を行った。

4.1.4. 地域住民への空間情報発信方法の研究の背景と目的

近年では、学術的に得られた最先端の科学情報などを基に社会に役立てることの重要性が指摘されている。しかしながら、愛知川でアユの生息環境の研究を行っていることを地元の人々に紹介する機会が限られており周知は難しかった。また、GIS や UAV の発展に伴い空間情報科学技術は急速に発展しているものの、専門家以外には取扱いが難しく、わかり易い情報発信方法の構築が課題となっている。そこで、東京大学空間情報科学研究センターとの共同研究プロジェクトでは、地域住民への研究成果のアウトリーチと空間情報の発信方法をテーマとして研究を実施した。

アウトリーチの内容は、愛知川で行われているアユの生息環境の研究や UAV による測量の研究の科学的知見をベースとした。最終的には、愛知川流域の東近江市の博物館である「西堀榮三郎記念探検の殿堂」の学芸員とスタッフが展示作成に利用可能な資料を提供することを目的として研究を行った。実際のアウトリーチとなる展示においては、東近江市の博物館である「西堀榮三郎記念探検の殿堂」を展示に関する中核として、空間情報の展示物に関しては「地形鮮明化プロジェクト」および「GIS 実習オープン教材の開発プロジェクト」の両プロジェクトの研究成果を活用して展示を実施した。

4.1.5. 現在と過去の魚介類の生息環境情報の情報集約の研究の背景と目的

研究対象とした愛知川においては永源寺ダム建設前の魚介類の生息環境についての情報が欠乏していた。そこで、本研究では、東近江市市民環境部森と水政策課の協力を得て、琵琶湖の保全及び再生に関する法律に基づく環境省事業「湖辺における環境修復実証事業（滋賀県琵琶湖）委託業務（2）河川からの良好な土砂供給による底質及び水質改善に関する業務」の一環として、過去の愛知川の魚介類の生息環境情報をワークショップ形式のヒヤリングによる社会調査法により把握することを目的として研究を実施した。

4.2. 研究の方法

4.2.1. 琵琶湖のアユの産卵床と人力による河床耕耘効果に関する研究方法

琵琶湖のアユの産卵床に関する研究では、山中式硬度計を用いて産卵床の河床硬度を測定する技術を考案した。測定の手順は、手順 1:アユの産卵しそうな砂礫堆の選定、手順 2:測定地点（5 地点）の選定、手順 3:山中式硬度計で測定、手順 4:5 つの測定値の平均値の算

出、という方法で行った。2019 年には愛知川において、人力による河床耕耘として鍬を用いて実施した。アユの産卵床近くのアーマーコート化した河床を天地返しの要領で小礫を表に出す方法で産卵期の 9-10 月に調査を実施した。

4.2.2. 河床耕耘によるアユの産卵環境を改善する土砂の移動メカニズムの解明研究の方法

河床耕耘は湖東土木事務所の協力で 1m のリッパーを大型ブルドーザーにつけて、固定化砂礫堆 50m × 400m を縦横に耕耘した。耕耘後の地形変化は、UAV (Unmanned Aerial Vehicle ; ドローン; DJI Phantom4) により空中撮影写真から観察した。河床耕耘地周辺のアユの生息の有無と生息環境状態については、4K の静止画のタイムラプス機能がある Sony AS50 を用いて、水中で 1 秒間隔で 10 分間 600 枚の撮影を 1set として、合計 2set 撮影して、そこにアユが写るかどうかを生息の有無の指標とした。また補完調査として目視やタモ網、投網も用いた。魚類調査は滋賀県の特別採捕許可を得て行った。河床材の粒径は円筒ステンレス土砂採取コア（大起理化工業株式会社 DIK-1801 ステンレス試料円筒 100ml、 $\phi 50 \times 51 \text{ mm}$ ）を用いた。採取は、瀬頭の礫間堆積物を 5 地点採取した。ふるい分けは KRUMBEIN のファイスケールで 2mm 未満、2-4mm, 4-8mm, 8-16mm, 16mm 以上の 5 段階で行った。礫間粒径は 5 地点の平均値を用いた。河床状態は、フィールドでの目視と静止画に写っている河床の様子から、紐状に伸びる付着藻類の有無、紐状ではない付着藻類の有無、礫間の小礫の有無などによって河床状態を定性的に評価した。また付着藻類の種類の同定の際には、倒立顕微鏡でカワシオグサやアオミドロなど形状が紐状になる種に着目して判定した。

4.2.3. UAV による河床地形変化の測量に関する研究方法

耕耘後の地形変化は、UAV (Unmanned Aerial Vehicle ; ドローン; DJI Phantom4) により空中撮影写真から観察した。さらに、空中撮影データから作成した。高分解能の数値表層モデル (DSM : Digital surface model) への変換は、早川(2016)および内山ら(2018)の論文で示されている SfM 多視点ステレオ写真測量の手順を行った。SfM ソフトウェアは、Metashape Professional (Agisoft)を使用した。さらに、作成された 3 次元の高精度地形データを用いて、土砂移動メカニズムの要因となるせん断力と河床高の変動を、ソフトウェア iRIC (ver2.0)を用いて河床変動 2 次元シミュレーションで推

定した。計算範囲は、耕耘場所とアユの定点調査地点とその上流域を含む 200m×1,000m とした。計算格子は 5m×5m とした。

4.2.4. 地域住民への空間情報発信の研究方法

2019年2月22日（金）～3月24日（日）の会期で『西堀榮三郎記念探検の殿堂 特別展示「ドローンが活躍！？夢はアユが楽しめる川！愛知川最新研究をさわってみよう！！」』の展示を西堀榮三郎記念探検の殿堂の学芸員やスタッフに協力して作り上げる過程を通じて、空間情報発信方法の研究を行った。展示企画原案を水野敏明・小倉拓郎・淺野悟史らが担当し、ハンズオンコーナーを淺野悟史・小倉拓郎・早川裕式・山内啓之らが企画した。さらに、小倉拓郎・淺野悟史らは共同で、展示会期中に、直接来場者に展示解説を行うギャラリートークや、UAV を実際に飛ばしてその場で測量して立体的な高精度の地形図を合成して見せるイベントを地域住民に向けて実施した。

4.3. 研究の結果と考察

4.3.1. 琵琶湖のアユの産卵床と人力による河床耕耘効果に関する研究の結果と考察

琵琶湖のアユの好適な産卵場の表面は、 1kgf/cm^2 以下の軟らかな小礫でできていることがフィールド調査結果から明らかとなった（水野ほら、2019）。また、琵琶湖のアユの好適な産卵場は、粒径 2-16mm の礫が 50%以上の構成割合であることがフィールド調査結果から明らかとなった（水野ら、2020）。総じて、粒径 2-16mm の礫が土砂移動でやわらかく堆積する場所があることが、琵琶湖流入河川のアユの産卵環境にとって重要であることが明らかとなった。2019年に愛知川において人力による河床耕耘を行った結果、およそアユが産卵可能な硬度まで河床を軟らかくすることができる効果が明らかとなった。また、その効果はおよそ 1 週間程度であることも明らかとなった（図 4-1）。

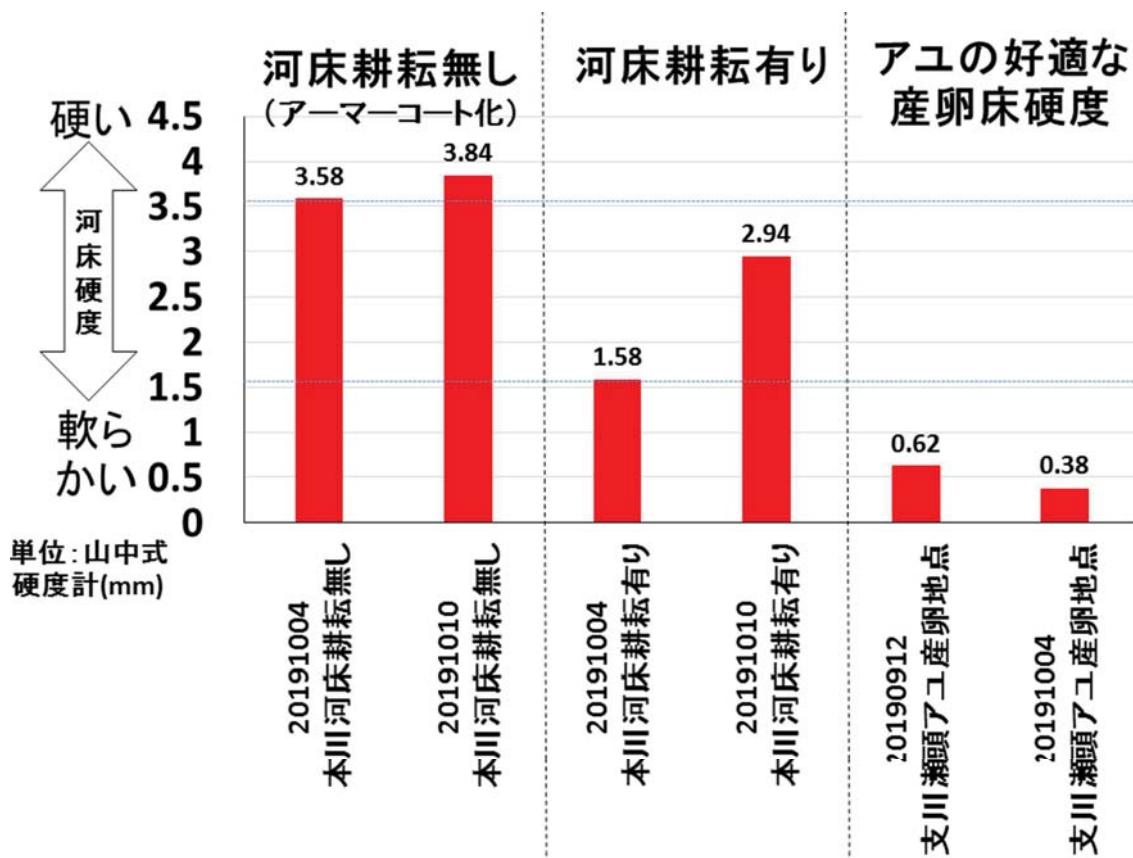


図 4-1 2019 年愛知川のアユ産卵床の河床硬度と人力による河床耕耘効果

4.3.2. 河床耕耘によるアユの産卵環境を改善する土砂の移動メカニズムの解明研究の結果と考察

平成 29 年（2017 年）に河床耕耘を行った翌年の平成 30 年（2018 年）には $300\text{m}^3/\text{s}$ を超える出水がなく、耕耘前の状態では地形変化が起こりにくい年であった。しかし、河床耕耘により表層に小礫が増えて、さらに、河床の締まりが緩くなつたため、比較的弱いせん断力（土砂

を移動させる力）で砂礫堆の上流端付近で土砂流出（約 200m^3 ）が起きたことを、UAV の撮影画像から確認できた。また、土砂流出が確認できた近傍の河床では、2017 年の同時期と比較して付着藻類が少くなり、アユの群れが産卵期まで定着していることを確認できた（図 4-2）。総じて、河床耕耘事業がアユの生息環境の改善に貢献した可能性があることが明らかとなつた。



図 4-2 耕耘前（2017 年 5 月 15 日）愛知川で繁茂していたシオグサ *Cladophora sp.* および耕耘前（2017 年 9 月 15 日）と耕耘後（2018 年 9 月 13 日）の河床の遷移

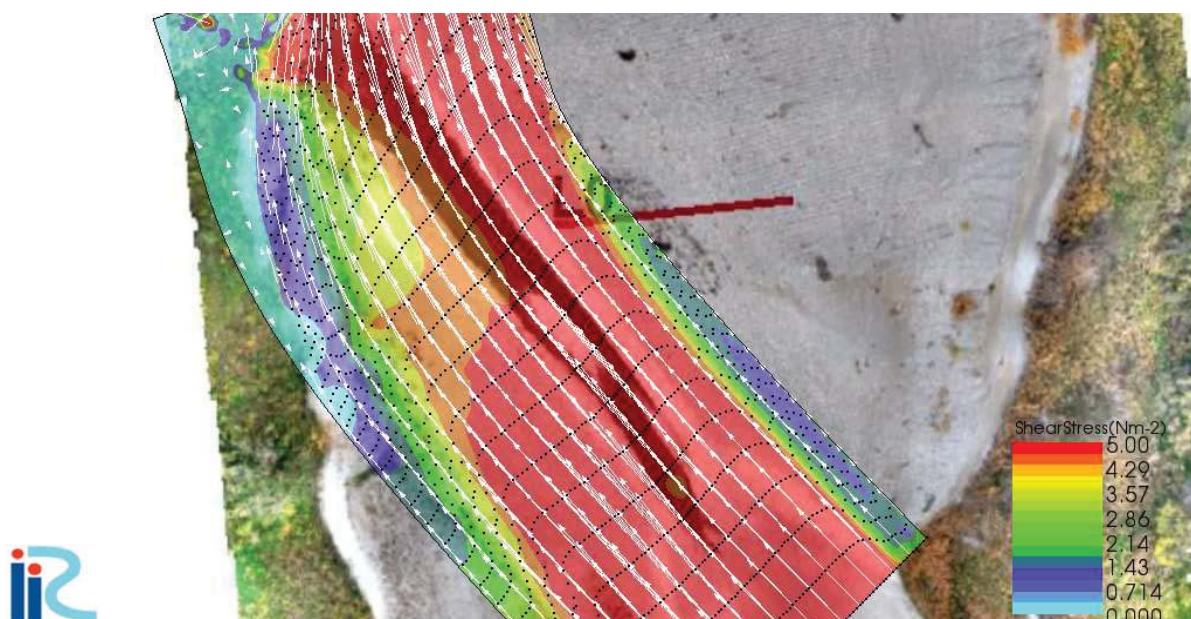


図 4-3 ドローンで測量した高精細 3 次元地形図を用いた河床せん断力の 2 次元シミュレーション
(1m メッシュ $230\text{m}^3/\text{s}$ の流量の場合の演算例)

4.3.3. UAVによる河床地形変化の測量に関する研究の結果と考察

UAV(通称:ドローン)による空撮画像を用いて、SfM多視点ステレオ写真測量の手順で高精細3次元地形図を作ることに成功した。さらに、高精細3次元地形図を用いて河床変動2次元シミュレーションを実施することに成功した。その結果、アユの生息環境を改善したと推定される16mm以下の礫が、20~50N/m²のせん断力で河床耕耘場所から移動してきたという土砂移動メカニズムが明らかとなった(図4-3)。

瀬頭の堆積土砂の粒径については、特にアユの産卵に適した粒径8~16mmの礫が、大水により土砂移動が起こり、瀬頭に一時的に堆積してから、さらに流出するという土砂移動メカニズムの特徴が明らかとなった(図4-4)。さらに粒径8~16mmの土砂移動があった時の愛知川下流の河床では、河床に長く伸びたカワシオグサを確認できなかった。また中土井ら(2012)の既存研究の知見から、10mm前後の動く砂礫によりカワシオグサが効率良く剥離された可能性があることがわかった。

総じて、粒径8~16mmの礫の「耕耘による砂礫堆の内部から表面への移動→大水による河床への移動→動く砂礫がカワシオグサを剥離することによるアユの生息河床環境改善→瀬頭への一時的な堆積によるアユの産卵環境改善」という一連の土砂移動メカニズムがアユの生息産卵環境改善に重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

4.3.4. 地域住民への空間情報発信の研究の結果と考察

2019年2月22日(金)~3月24日(日)の会期で『西堀榮三郎記念探検の殿堂 特別展示「ドローンが活躍!?夢はアユが楽しめる川!愛知川最新研究をさわってみよう!!」』として博物館で展示を行った(図4-5-(a))。アユの産卵環境の研究成果展示では、水野敏明が透明なプラスチックボウルに、アユの好適な粒径の小礫と、非好適な粗粒化した大きな粒径の礫をそれぞれ入れて、アユの好適な粒径の小礫に博物館の来客が手を入れるとザクザク音が鳴り、粗粒化した大きな礫では音が鳴らないことを体感できるように展示を工夫した(図4-5-(b))。アユと愛知川の関係性を示す展示として、愛知川でよくあそびでおこなわれていた伝統的漁法である「しゃくり」を、淺野悟史が過去の体験をもとに模型で再現して、実際に来場者がアユの模型をひっかけて「しゃくり」漁法を体験できる展示を作成した(図4-5-(c))。小倉拓郎・早川裕式・山内啓之らは、東京大学で研究に使われたUAV本体とUAVによる高精度度の3Dプリントされた立体地形模型やさらに地形を段ボールで表現したものを見せて展示了した。その結果、地元の新聞等で報道されて「愛知川でこのような最先端の研究が行われていることを知ることができて良かった。」との感想が多く聞かれた。さらに、ハンズオン展示に関しては「視覚が弱くても地形が理解しやすくとても良かった。」との感想があった。展示が好評

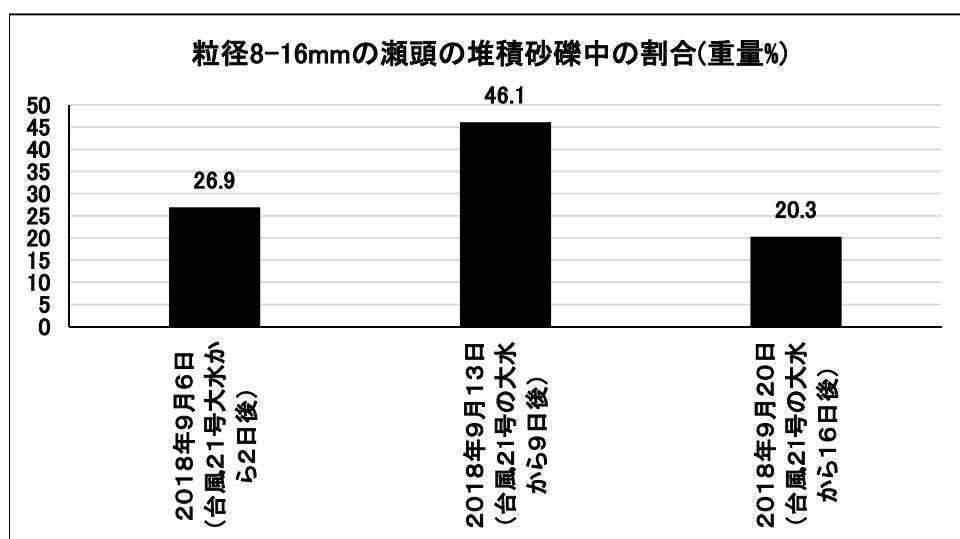


図4-4 河床耕耘後(2018年)の9月のアユ観察地点の瀬頭

であったため翌年度の夏には、愛知川の研究を実施している淺野悟史と小倉拓郎の二人の若手研究者に焦点を当てた『2019年6月26日 - 2019年9月1日 西堀榮三郎記念探検の殿堂 夏季特別展「好きを仕事に～小さいことの積み重ね」』が開催されるに至った。

これら研究成果を博物館において一般市民へ紹介する取り組みが可能になったのは、西堀榮三郎記念探検の殿堂の角川咲江学芸員、武藤恭子氏、小林亜美氏ら展示制作スタッフの研究者への丁寧な聞き取りに基づく高度な展示制作技能が背景にある。そのため、通常の博物館等において汎用的に研究成果を展示に結び付けることは難しい。しかしながら、こうした取り組みが成功すれば、研究を実施している地域の市役所など公的機関での報道や、地域のメディア報道が多くなり、地域の人々から研究に対しての理解を得ることができるようになることが明らかとなった。

4.3.5. 現在と過去の魚介類の生息環境情報の情報集約の研究の結果と考察

愛知川における現在と過去の魚介類の生息環境情報の情報集約のためのワークショップ形式のヒヤリングアンケート調査を行った（滋賀県、2019）。その結果、現在よりも小礫が豊富で土砂移動が頻繁にあり瀬淵が多く、河道内に植物が生えてなく、湧水等の冷たい水が流れていて、ワンドなどが形成されるという、現在では失われてしまっている愛知川の過去のアユの生息環境の特色が明らかとなった。こうしたアンケート結果は、将来的な研究成果に基づく社会実装を考える上で、どのような自然再生を目指すのかという目標を考える上で、重要な情報が集約できたと考えられる。

4.4.まとめ

本研究では、工学や科学的な視点の研究を展開するだけではなく、地元の方々へのアンケート調査にも連携し、博物館で研究成果を展示するなど、多様な侧面から地域の方々と共に研究を展開してきた。こうした一連の過程を通じて、研究者の存在や UAV による地形測量の研究への理解や、愛知川のアユの生息環境に関する研究について、愛知川の周辺地域での理解を大きく促進できたものと考えられる。そのため、将来的に研究成果を地域に社会実装して地域創生に資する際の足掛かりとして大きな貢献があったものと考えられる。

(a) 入口大看板と展示趣旨解説



(b) 「アユが好む河床って？」
の展示



(c) 「アユのシャクリ釣りを体験してみよう」
の展示



図 4-5 『西堀榮三郎記念探検の殿堂 特別展示
「ドローンが活躍！？夢はアユが楽しめる川！愛
知川最新研究をさわってみよう！！』展示の様子

5. サブテーマ③「森林、河川等の環境変遷の把握」

5.1. はじめに

わが国の河川の一部では、河川横断構造物等の影響により顕著な河道内の環境変化が見られる。特に、河川横断構造物等による土砂移動の阻害が下流側の河床の粗粒化と固化を引き起こし、それによる魚類等の生息・産卵環境への悪影響が懸念されている。琵琶湖流入河川においても同様な問題が発生しており、河川横断構造物等による土砂移動の阻害が、産卵遡上するコアユ等の在来魚の産卵環境を悪化させている可能性がある。コアユは、秋季に琵琶湖流入河川を遡上し、主に下流において、適度な流速がある瀬付近の浮石状態にある小礫の軟底に好んで産卵することが知られている（西田ら、1974；西田、1978など）。土砂移動が阻害化されると、浮石状態の小礫が堆積する河床が減少し、産卵場が減少すると考えられる。

滋賀県は、在来魚の減少といった琵琶湖の生態系の変化を喫緊の問題ととらえ、その解決に向け、研究機関と行政機関が連携した実証的な研究を進めている。その一環として、滋賀県は、試験的に、土砂が動きにくくなつた愛知川下流域において固定化した砂礫堆（砂州）表層を人為的に攪乱するという河床耕耘により、出水による土砂の流下を促進させる対策事業を2017年12月に実施した。固定化した砂礫堆上の耕耘は、河川の流下方向に約500m、横断方向に約50m、面積約20,000m²の範囲を対象に、鉛直方向は約50cmの表層を重機でかき混ぜるようにして実施された。

それに対応して、筆者らは、今後の在来魚の生息・産卵環境の改善手法の方向性を提示するために、事業地における土砂動態等について実証的に研究してきた。しかしながら、出水イベントに対応した土砂動態をどのような方法で評価するのか、さらには産卵環境にとって重要な要素である粒径分布の変化をどうやって評価するかが課題であった。

近年、UAV等で撮影した多数の写真画像から対象物の3次元形状データを比較的容易に得ることができる写真測量技術が発達し、地形学的応用が進みつつある（早川ら、2016）。

そこで在来魚の生息・産卵に適した河床地形の形成を検討するため、まずは過去から現在までの愛知川の濁筋変動を解析し、事業地周辺におけるマクロな視点での土砂動態特性を示す。さらに、対策効果を評価するための手法開発のために、出水前後における砂礫堆表層粒径の変化をUAVによって把握した結果を示す。

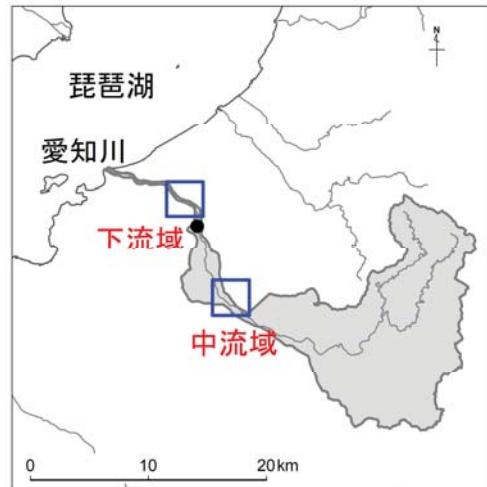


図5-1 濁筋変動の解析領域

（解析領域は枠で囲んだ領域。黒丸は河床耕耘事業地の位置。）

5.2. 方法

事業地が位置する愛知川中下流において（図5-1）、マクロな視点での濁筋の変動を把握するために、1960年代から2010年代を3時期（1960-1970年代、1980-1990年代、2000-2010年代）に分け、それぞれの期間中に撮影された多時期の航空写真のオルソモザイク画像を作成した。オルソモザイク画像の作成に用いたソフトウェアは、Leica Photogrammetry Suit (LPS) 9.2である。それらのオルソモザイク画像を用いて、GISにより各期間の濁筋の位置の分布パターンを調べ、事業地における土砂動態の特性を類推した。

一方、事業地における出水前後の固定化した砂礫堆の地形変化等を把握するために、1ヶ月から2ヶ月間隔でUAVによる空撮を行った。河床耕耘後の顕著な出水は2018年夏季から秋季にかけて4回発生し、そのうち、少なくとも2回の出水時に、ほぼ砂礫堆全体の冠水を目視確認した。したがって、これら出水による砂礫堆表層の土砂移動にともない河床材粒径分布が変化した可能性がある。

そこで、出水前の2018年6月および出水後の2018年12月の2時期のUAV空撮画像データを用いて、粒径分布の変化を推定することとした。筆者らは、以前、空撮画像の明暗差（輝度値）を用いて表層粒径分布を推定する方法について報告した（東ら、2018）。ここでは、それより高い精度での評価が期待できるUAV空撮画像のSfM多視点ステレオ測量技術による解析からえられる高細密DSM（Digital Surface Model）データを用いる方法を試みた。UAV空撮画像からオルソモザイク画像およびDSMの作成には、Agisoft

Metashape Pro 1.5 を用いた。

DSM 値から礫スケールの凹凸情報を抽出するため、15cm 解像度の DSM データについて、各グリッドの DSM 値とそれに隣接するグリッドの DSM 値の平均との差 (DH) を求めた後、さらに隣接するグリッドにおける DH の標準偏差 SDDH を計算した。SDDH と平均粒径との関係をみるため、グランドトゥルースデータとして 11 地点で面積格子法に準じた写真撮影法により 1m x 1m 枠での粒径組成を計測した（東ら、2018）。また、UAV 空撮のほか、出水前後に、砂礫堆上の 5 測線において線格子法により粒径を測定した。

5.3. 結果と考察

図 5-1 の枠で囲んだ下流域および中流域について、3 時期（1960-1970 年代、1980-1990 年代、2000-2010 年代）における濁筋の位置の分布パターンを求めた（図 5-2）。その結果、下流域、中流域ともに濁筋の固定化傾向が見いだされた。ただし、両者を比較する

と、河道の濁筋の位置は、近年は、中流域より下流域において変化が大きかった。

愛知川では、上流からの土砂供給が小さく、総じて土砂が移動しにくくなっているにもかかわらず、下流域では、砂礫堆の浸食と再堆積による局所的な土砂移動が繰り返し、起こっていることを示唆している。したがって、下流域に位置する事業地では、出水があれば、砂礫堆の浸食と再堆積により、耕耘による土砂の流下促進効果が現れやすく、流速等の条件によっては産卵に適した粒径の礫が柔らかく堆積する河床が形成される可能性がある。

次に耕耘事業を実施した砂礫堆は、左岸側に濁筋がある大きな固定化した砂礫堆である（図 5-3）。耕耘後の 2018 年、図 5-4 に示すように顕著な出水が 4 回あつたため、出水前の 2018 年 6 月および出水後の 2018 年 12 月の 2 時期の UAV 空撮画像から SfM 多視点ステレオ測量解析によって事業地における DSM を求めた。

これら DSM データを用いて、それぞれの SDDH を求め、UAV 観測時に 11 地点で計測した平均粒径の値と比較したところ、よい相関関係がえられたため、出水による粒径分布の変化を推定するために、

「SDDH(12 月) - SDDH(6 月)」の分布を求めた（図 5-5）。

図 5-5 を見ると、出水により L1 付近を中心とした領域および L0 の上流側での顕著な粗粒化域の出現が特徴的な変化であることがわかる。ここで、L0 から L4 は、線格子法で粒径調査を行った測線である（写真 5-1）。

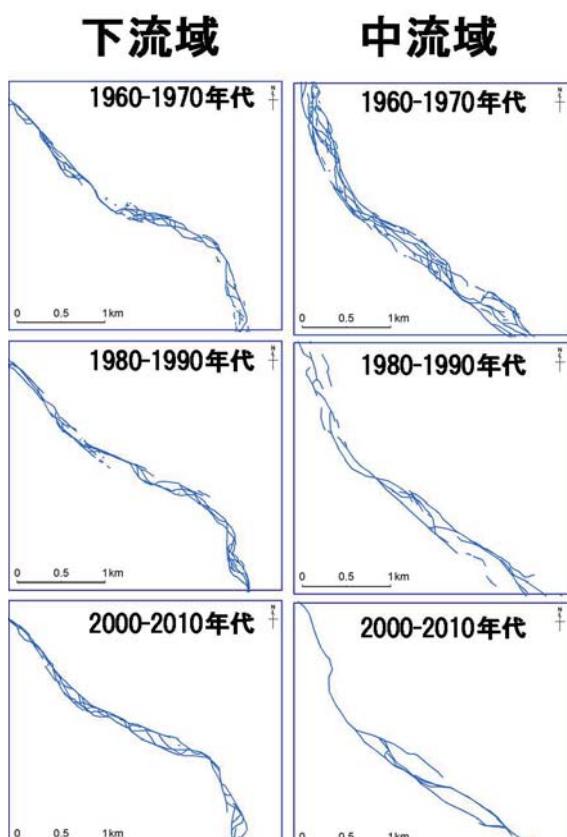


図 5-2 愛知川における濁筋変動

（各図は、各時代の複数の航空写真（オルソモザイク画像）から判読した河道ラインを 3 例ずつ重ね合わせたもの。）



写真 5-1 測線における線格子法による粒径測定の様子

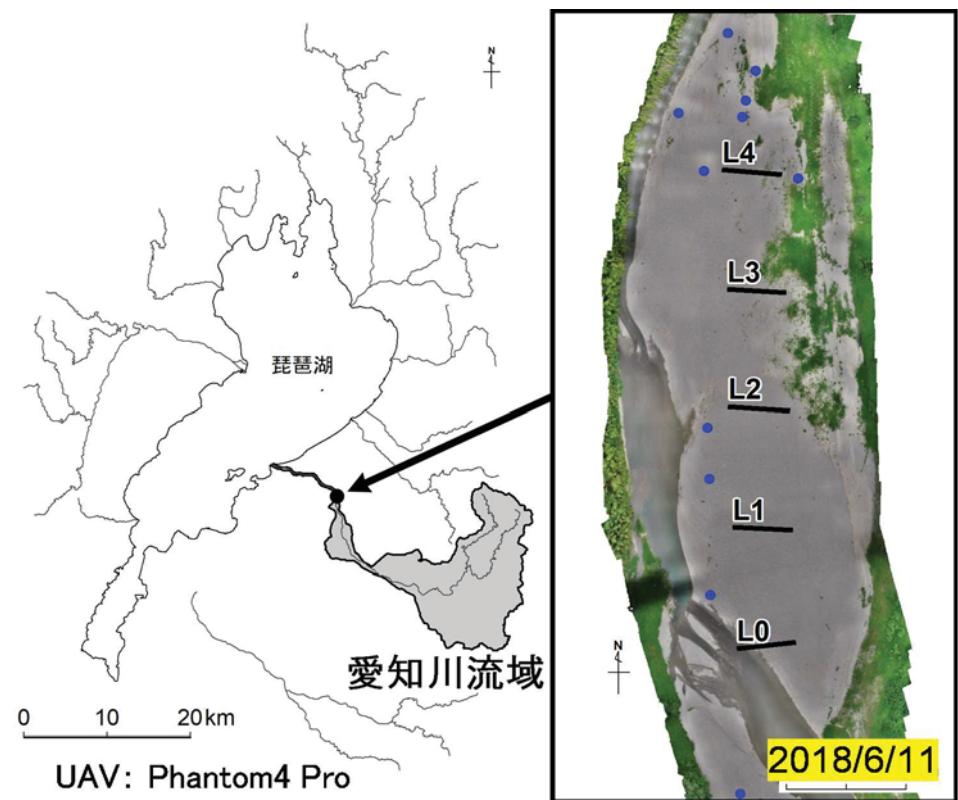


図 5-3 事業地の位置と UAV によるオルソモザイク画像
(L0 から L4 は、線格子法による粒径調査を行った測線。)

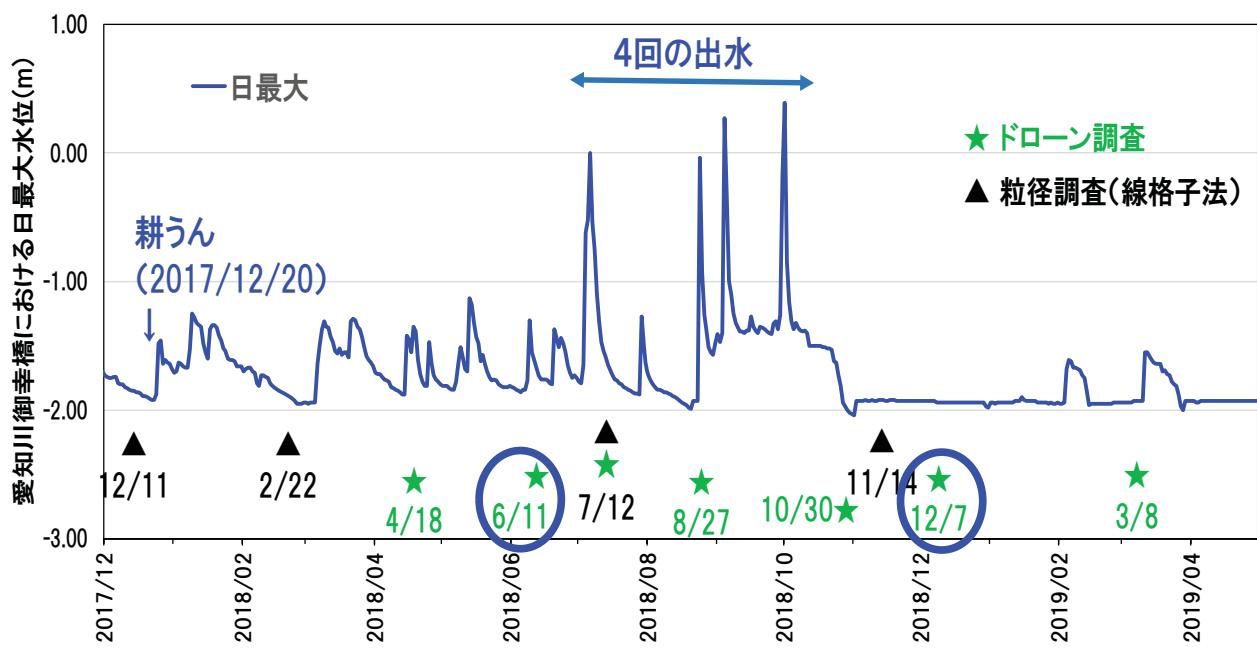


図 5-4 愛知川御幸橋における水位変化

(御幸橋は事業地の約 1km 上流に位置する。図中には、UAV 観測（ドローン調査）、粒径調査等の時期を示している。
水位観測は滋賀県土木交通部による。)

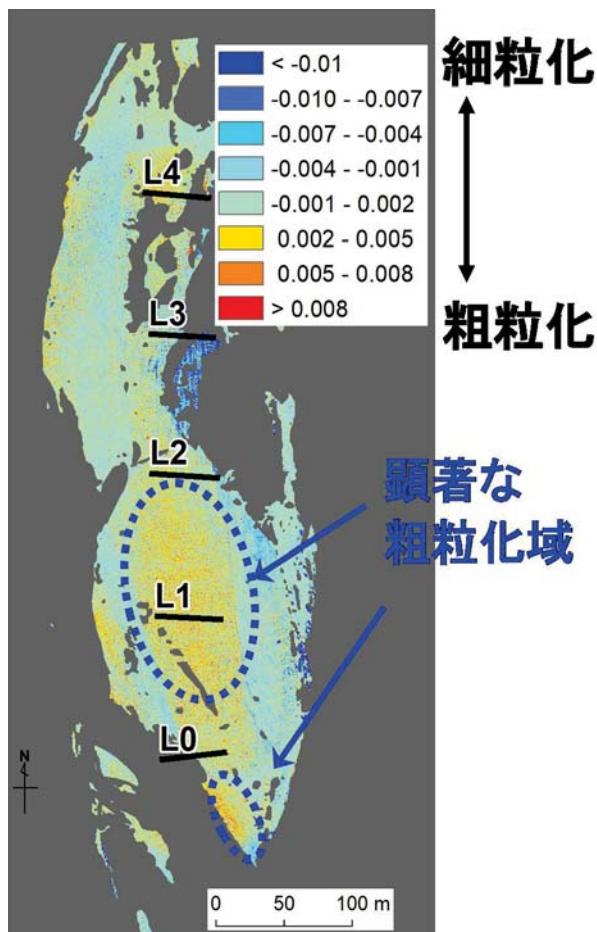


図 5-5 $\{SD_{DH}(12\text{月}) - SD_{DH}(6\text{月})\}$ の分布

測線における粒径の変化と図 5-5 の「SDDH(12月) - SDDH(6月)」の分布とを比較するため、線格子法による側線 L0 から L4 の平均粒径の変化を図 5-6 に示す。河床耕耘事業は、表層の砂礫をかき混ぜることにより、表層下部のより粒径の小さい砂礫が上部に持ち上げられ、出水で流下しやすくなることを期待したものである。しかしながら、結果的には、2017年12月の耕耘直後で平均粒径が顕著に小さくなったのは L1 のみであった。L1 では、出水を経験したのち、著しく平均粒径が大きくなつたが、その他の測線では変化が小さかつた。

図 5-6 の「SDDH(12月) - SDDH(6月)」の分布は、「出水後の粗粒化は 5 測線のうち L1 が最も著しかつた」という線格子法の結果と矛盾しないものである。これは、主に、粗粒化が見られた領域から小さい粒径を含む土砂が流下したことによると考えられる。

以上の結果から、SDDH は砂礫堆の平均粒径分布を

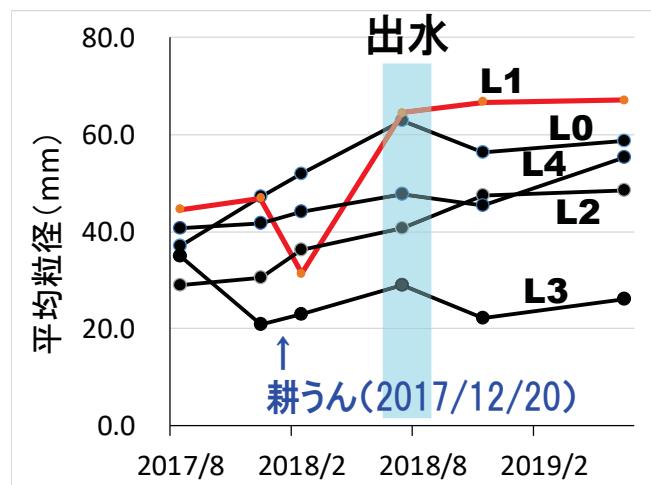


図 5-6 測線 L0-L4 の粒径変化

表す指標として有効だと考えられ、愛知川やその他の河川における砂礫堆の粒径分布の把握に応用できる。さらに、通常の航空機などによる調査に比べると計測コストが小さいため高頻度計測が比較的容易であり、出水イベントに着目した調査を行うことが可能である。そのため、この技術は、他の河川の河床環境の診断や、対策事業、自然再生活動の効果検証を行うための簡易分析ツールとして応用が可能である。

このように事業地では 2018 年の出水イベントにともない粒径が小さい土砂が砂礫堆から流下したことを捉えることができたが、その量は、当然ながら下流全体に影響を及ぼすとは考えられない。強く影響を受けたのはごく近傍の河床のみと考えられるため、このような方法は、ある特定の地域に限定して河床環境の改善が求められる場合に適する。アユやビワマス等の産卵に適した粒径の砂礫が柔らかく堆積するような河床環境を増やしていくためには、砂礫堆の地形変化による砂礫の流下促進といった短期的視点の対策検討と、上流からの砂礫供給を増加させるような長期的視点の対策検討の両方が必要である。

以上とのおり土砂の供給源となる砂礫堆の地形や粒径分布の空間分布を評価できるようになったが、産卵環境に直接的に関係する水中の河床状況の把握が十分にできていない。そのため、こういった水中環境を把握する新たな方法も加えながら、河床環境の把握と改善手法の検討を進めることが必要である。

6. サブテーマ④「多様な主体の協働による在来魚保全・再生活動の進行管理」

6.1. はじめに

2003年(平成15年)に施行された「自然再生推進法」では、過去に損なわれた生態系その他の自然環境を取り戻すための自然再生が、関係行政機関や地域住民、NPO、専門家等の多様な主体の連携のもとで実施されなければならないと謳われている。また、2011年(平成23年)に施行された「生物多様性地域連携促進法」は、地域における多様な主体が連携して行う生物多様性保全活動を促進することによって、豊かな生物多様性を保全することを目的としている。このように、環境保全・再生活動において多様な主体の連携が必要不可欠であることは広く認識されているが、活動主体の固定化や高齢化、資金不足、異なる立場の者同士が連携することの難しさなどから、実践や継続の段階で立ちゆかなくなる活動も少なくない。

このような課題に対応するため、環境省では「地域が連携した活動を持続的に行うためのティップス集」を公開している(環境省, 2020)。仲間を増やすためには目標を明確にすることや、参加者の固定化や高齢化に対応するには若い人たちとの交流の場を広げることなど、一般的な工夫が記載されているが、在来魚保全・再生活動に限定したときに具体的にどのような工夫や配慮が必要なのかは明らかではない。そこで本研究では、第4期中期計画においてビワマス保全にむけたプロジェクトを立ち上げた家棟川流域を対象として、今後活動を維持継続していくために必要な進行管理の仕組み等についての実践・研究を行う。

6.2. 方法

琵琶湖流入河川の一つである家棟川(流域面積約40km²)は、その流域と滋賀県野洲市が大きくオーバーラップし、流域の約96%が市内に位置している。そこで、秋季に琵琶湖から産卵のため遡上するビワマスを家棟川のシンボルとし、ビワマスが遡上、産卵、繁殖できる環境を整えるとともに、自然環境の再生や市の活性化につなげていくことを目的として、2015年8月に市民、行政、企業、専門家により構成される「家棟川・童子川・中ノ池川にビワマスを戻すプロジェクト」(以下「プロジェクト」と呼ぶ。)が結成された。経緯や活動内容の詳細は水野ら(2018)に報告(以下「既報」と呼ぶ。)しており、あわせて参照いただきたい。

プロジェクトでは主に、①産卵床の造成、②魚道の設置、③遡上調査および監視、という3つの活動を行って

いる。

既報では2015~16年度の内容についてまとめたが、本稿ではそれ以降の2017~19年度における取り組みと結果について述べる。

①産卵床の造成については、既報と同様の方法により、落差工の下流で3~4ヶ所、上流で1~2ヶ所実施した。造成した翌年の3月には稚魚調査を行い、産卵の有無を確認した。新たな取り組みとして、2017年に産卵床を造成した箇所の一部で、土嚢を用いて「バーブ工」を設置した(図6-1)。バーブ(BARB)とは「(釣り針の)かかり、戻り」を意味し、バーブ工は川の流れに対して河岸から上流側に20~30°で設置する水制のことである。寄州や瀬・淵を形成する機能を持ち、魚類の生息場に適した環境を創出することが期待され、全国で適用事例がある。プロジェクトでは、造成した産卵床が出水があつてもできるだけ維持されることを目的として設置した。

②魚道の設置については、2017年度より鋼製の仮設魚道を制作し、重機を用いて現場に設置した(ビワマス産卵期が終了次第撤去するため、毎年設置・撤去を繰り返す)。設置後のモニタリングで遡上にあたっての課題が明らかになったため、毎年構造を修正した。

③遡上調査および監視については、既報と同様の方法により、ビワマス産卵期においてプロジェクトメンバーが毎日ビワマスの遡上状況を目視で確認し、記録した。

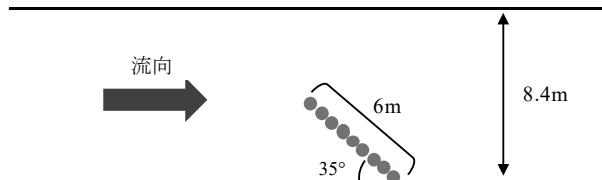


図6-1 設置したバーブ工(中野、2019)

6.3. 結果

産卵床の造成を行った結果、いずれの年においても造成した産卵床周辺でビワマスが回遊する姿が確認された。稚魚調査の結果、造成した翌年の2018年には18尾、2019年には13尾、2020年には2尾の稚魚が発見された。毎年継続して稚魚が発見されたことから、産卵床の造成が有効に機能したと考えられる。2020年に発見された稚魚が少なかった理由としては、暖冬のため体サイズが大きくなり、瀬の方に移動するなどして捕獲しづらかったことが考えられた。

バーブ工設置後、下流の左岸(対岸)側に土砂が堆積し、ヨシが繁茂するようになった。また、バーブ工周辺では流れの緩急や瀬が形成され、造成した砂利がビワマスの産卵に適した状況で長く現場に残された(図6-2)。この変化は、河床変動解析により予測した結果(中野、



2017年10月



2020年10月

図 6-2 バーブ工設置前後の変化

2019) とほぼ一致し、バーブ工設置による変化を事前に予測した上で効果的に設置できることが明らかになった(図 6-3)。2016~19 年度にかけて設置した魚道構造の変遷を図 6-4 に示す。2017 年度より魚道内プールの大きさを拡大し、傾斜を緩和したが、第 1 落差が 50cm 程度となったことから遡上が見られなかった。

そこで 2018 年度は最下端に扇形のアタッチメントを増設し、落差を半分にすることでビワマスが初めて上流側まで遡上することができた(図 6-5)。その様子をプロジェクトメンバーが動画で撮影することに成功し、魚道

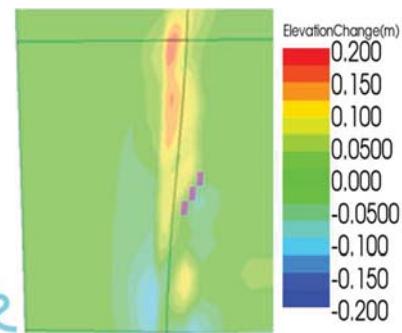


図 6-3 河床変動解析によるバーブ工設置の効果

(中野泰輔 (2019) : バーブ工を用いた小さな自然再生によるビワマスの産卵床維持・形成に関する研究, 滋賀県立大学環境科学部卒業論文より抜粋引用)

最上部の遡上がりや難しいことが分かったので、2019 年度は最上部にアタッチメントを増設した。

遡上中の様子を確認することはできなかったが、落差工より上流部で 1 尾のビワマスの死骸がみつかったことから、2019 年度もビワマスが魚道を遡上できたと考えられた。



図 6-4 魚道構造の変遷

遡上調査の結果、対象地域で観測されたビワマス数の変遷を図 6-6 に示す。遡上が活発になるのは 10 月中旬から 11 月中旬にかけてであり、多いときで 4 尾観測された。調査の途中、密漁に入られた痕跡が何度も見られ、その後魚影数が激減することがあった。



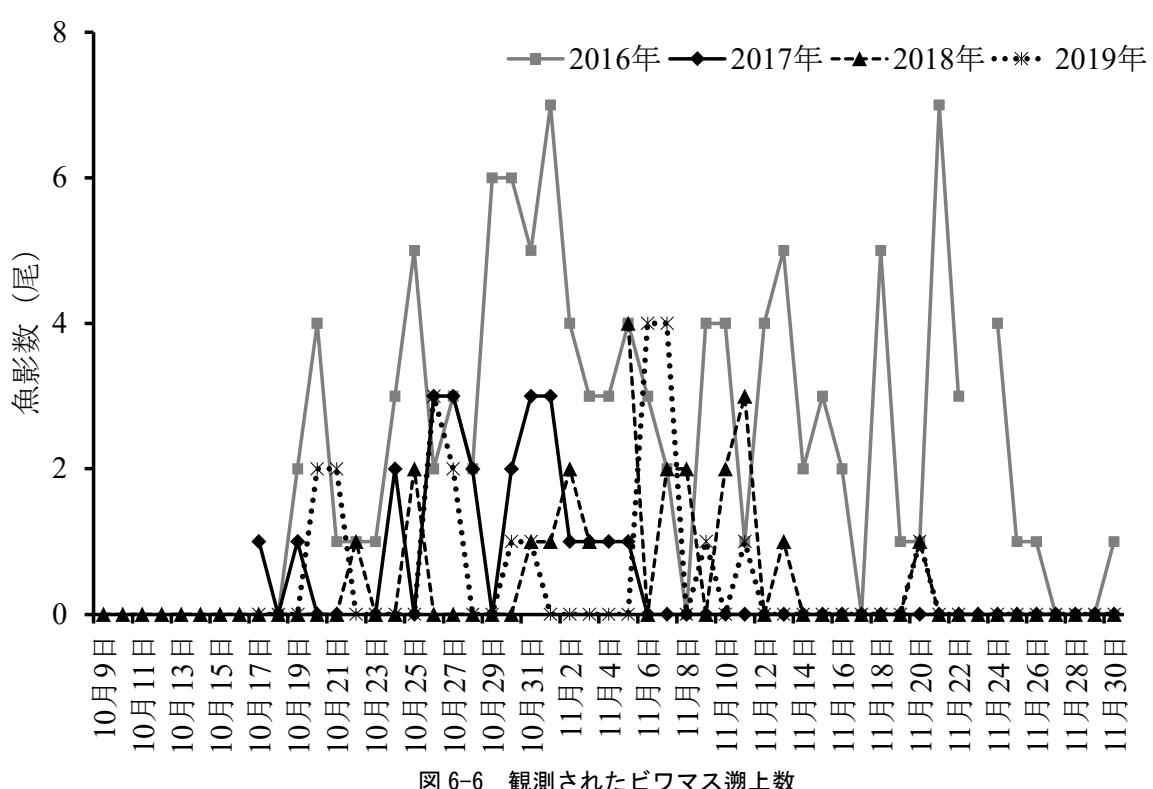
図 6-5 魚道を遡上するビワマス（2018 年度）

6.4. 考察

2017~19 年度は、2015 年度に設立されたプロジェクトが取り組みを進める中で新たな課題を発見し、それへの対応を多様な主体が毎年検討、実施していく形で発展する期間であったといえる。このように、状況に応じて手法や目標などを柔軟に変えていくプロセスを含むす

る環境ガバナンスのあり方は「順応的ガバナンス」と呼ばれる。宮内（2013）はそのポイントとして、①試行錯誤とダイナミズムを保証すること、②多元的な価値を大事にし、複数のゴールを考えること、③多様な市民による調査活動や学びを軸としつつ地域の中での再文脈化を図ること、の 3 つを挙げた。

プロジェクトに照らしてこれらのポイントについて検証する。①については、例えば魚道構造を巡る試行錯誤はまさにこのポイントを押さえているといえる。②については、ビワマスを保全・再生しようという大まかなゴールは共有しているものの、その目的はプロジェクトメンバーでそれぞれ少しずつ異なっていることが分かる。例えば、筆者が個別にヒアリングした中でも、自分の住む上流域までビワマスを上らせたいと考える人もいれば、ビワマスが懸命に遡上する姿に胸を打たれて活動に関わる人、ビワマスを増やして少しでも食卓に上がる機会を増やしたいと考える人、地域の中でビワマスの価値に気づく人が増えることを喜ぶ人などが多い。それぞれに目的意識を持ちながらも、産卵床を造成したり魚道を設置したりといった共通の手段でつながれることができ、プロジェクト活動が地域の中で持続的に支持されている一つの理由であると考えられる。③に関連して、プロジェクト活動の実施体制を図 6-7 に示すが、多様な主体が専門家などの力を借りながら様々な調査・実践を繰り返し、結果として地域の中でビワマスを見守る文化が



根付きつつあることからも満たされているといえよう。プロジェクトの進行管理を進める観点からは、「目標」「場」「成果」という3つの観点から、以下の重要性が明らかになった。

- ・ 地域課題にもとづき分かりやすい目標を立てること。家棟川の場合は、地域に残る湖魚食の文化や子どもの頃の川遊びの記憶、「昔はビワマスがたくさん登った」という記憶や言い伝えがあったからこそ、「ビワマスを守ろう」という目標が地域の人たちに無理なく受け入れられた。
- ・ 多様な人たちを巻き込む場づくりをすること。計画段階から一緒に考える、そういう場づくりすることが重要である。行政が主導して方向性を決め、そこに住民が参加するのではなく、市民の取り組みに行政が参加・協力するという姿勢を持つことが求められる。

- ・ 小さな成果を積み重ねること。家棟川では、自らの調査で貴重な生物が生息していることが分かったこと、産卵床を造成したら初めて稚魚が見つかったこと、地元の夢だった魚道が完成し3度目でついに遡上したことなどが、人々の気持ちを奮い立たせることにつながった。

以上のようにプロジェクトの成果からは、多様な主体が適切に協働し、順応的なプロセスのもとで自然再生を行うことで、在来魚の保全・再生につながるということが実証されたといえる。他の河川でも在来魚保全のための自然再生を展開していくためには、上に記載した事柄を念頭に置きつつも、各河川の自然の営み、そして関わる人たちに私たち行政や研究者らが寄り添いながら、一緒に悩み、考え、試行錯誤しながら実践していくことが何よりも重要である。

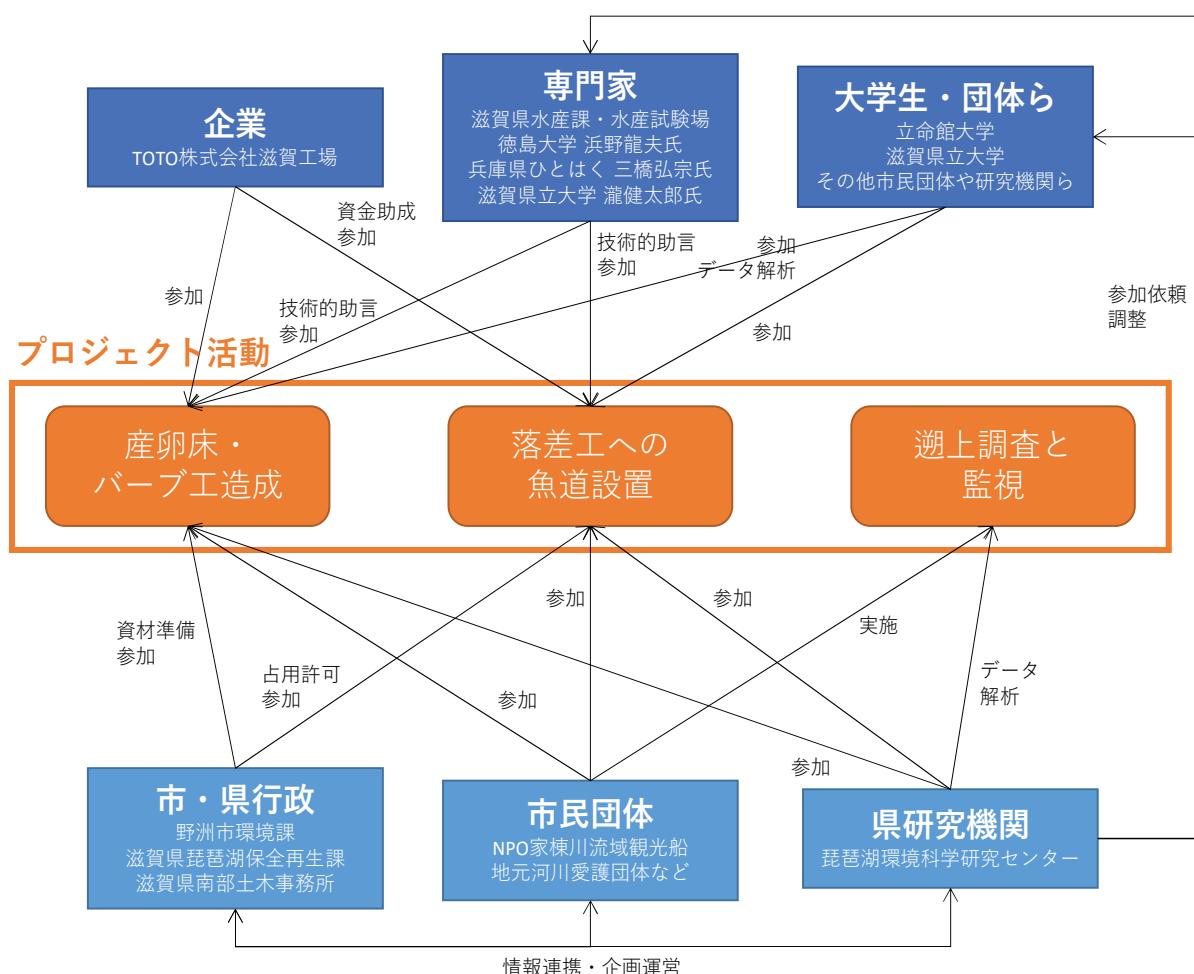


図 6-7 プロジェクト活動の実施体制

7. まとめ

本研究の各サブテーマ別のアプローチでは、主に数10mから数100mの空間範囲について、既存の科学的知見を応用して、ピアレビュー・ジャーナルの学術誌に掲載されるレベル相当を目指して、科学技術的なアプローチをベースとして研究を進めてきた。しかし、藤岡(2017)や遊磨ら(2017)が指摘するように、在来魚介類のにぎわい回復を考える際には、山から川を通じた里・水田や湖との水や土砂のつながりを考える必要性がある。ところが、森一川一湖の流域全域を考えると取り扱うべき空間範囲は数kmから数10kmと広く、科学的に精緻に流域レベルで取りまとめるることは難しい。さらに、全ての科学データが揃っているわけではなく、不確実な要素も多い。そこで、本研究では科学情報や統計学を基にしつつも、ある程度妥当な判断を出すためのアプローチである、リスク学のシナリオ分析のアプローチで、各サブテーマの研究成果を統合した流域一貫の自然保全再生方法について考察した。

7.1. 流域一貫した水と土砂のつながり再生による在来魚のにぎわい回復シナリオの作成方法

シナリオ分析は現状より悪いシナリオと良いシナリオの2種類描いて対比させた。悪いシナリオの内容は研究成果と社会調査に基づいて悪い状態を示す内容を仮想的に記述した。同様に良いシナリオの内容も研究成果と社会調査に基づいて良い状態を示す内容を仮想的に記述した。記述に使われている数値は、各研究成果から計算される数値ではあるが、シナリオ上の仮想的な数値であり現実と対応させているわけではない。

7.2. 愛知川を事例とした課題が解決できていない状態のシナリオ（悪いシナリオイメージ）

上流域の森林域で、シカ食害が著しく、人工林の間伐が行われず、渓畔林管理が行われていない場合は、下層植被率が10%以下程度とほとんど無くなってしまう。その場合には年間131,000m³の大量の土砂が、毎年森から川に流出するようになる。しかも、大量の流出土砂は粒径0.1mmよりも小さな泥シルトの割合が多く、少雨でも泥質分が流出して、森の中の渓流や上流域は常時泥っぽくなる。多量の泥質分の割合の多い土砂により、河床は「はまり石」といわれる河床状態となる。森林斜面の泥質分の流出と渓畔林の未形成により、森林斜面の溪岸崩壊も増えて、土砂が増えて瀬淵も無くなっていく。その結果、イワナ、ビワマス、アユの生息産卵環境に甚

大な悪影響が生じる。また、河道内には泥質分が多く砂礫分が少ないためろ過機能が十分機能せず、濁水はなかなか解消されない。そのため、水質的な側面でも濁りや泥を苦手とするイワナ、ビワマス、アユなどの生息産卵環境に大きな悪影響を与える。

中下流域では河川構造物等で小礫の供給が減少したことが要因で粗粒化が進む。さらに、上流から流入する多量の泥質分による濁り水によって、中下流域にも「はまり石」が形成され、河床は極度のアーマーコート化が進み、河床が非常に硬くなり瀬淵やワンドなどが形成しにくい状態になってしまう。その結果、固定化砂礫堆が増えて、同時に濁筋も固定化されて、河道内に植生や樹木が多くなる。搅乱で移動するはずの粒径8-16mmの小礫供給は激減し、同時にアユやビワマスの産卵床が激減する。そのため、アユやビワマスの産卵生息環境に甚大な悪影響を与えてしまい、産卵数が減ってしまい、生息数が少なくなってしまう。こうした状況になってしまっても、土砂モニタリングができず、多様な主体を巻き込む場もなく、それぞれがそれぞれの問題を抱えて共通の目標が立てられず、どの問題に手を付けてよいかわからず何もしないため、自然再生活動が継続することができない。

7.3. 悪いシナリオの課題を解決するための提言

上記の悪いイメージシナリオは、仮想的な悪いイメージであり、現状とは異なっている。しかしながら、森から川への土砂移動について、もしも上記のような条件がそろってしまえば、悪いイメージシナリオのように在来魚の生息産卵環境に大きな影響を与えることが推察される。

上記の悪いイメージシナリオを避けるためにも、どのような粒径の礫が移動するのかなど、土砂移動メカニズムを把握して流域全体の流砂系を捉えることは、在来魚にぎわいを維持するための適応策を考える上で重要である。そこで、各サブテーマの研究成果を統合して下記のような政策提言が考えられる。

＜流域一貫した水と土のつながり再生の提言＞

森一川一湖の水と土のつながりを再生して、粒径8-16mmの土砂が適宜移動できるようにすることを目標として、流域一貫したイワナ、ビワマス、アユなどの在来魚の自然再生を目指すものとする。上流域の森林では、シカ害を減少させて、人工林を間伐して、渓畔林に広葉樹を植えて、植被率60%の下層植被を目指す。その結果、上流域は泥質分の割合が減り粒径8-16mmの土砂割合が

産卵期前に適宜増加する。河川中下流域では、多様な主体が河床耕耘など小さな自然再生により、粒径 8-16mm の土砂移動による良い河床環境を維持する工夫をする。さらに、UAV 等の画像から新たな解析技術で粒径 8-16mm の土砂移動と堆積と侵食を監視する。加えて、3つの要点「①多様な人たちを巻き込む場づくりすること。」、「②地域課題にもとづき分かりやすい目標を立てること。」、「③小さな成果を積み重ねること。」の3つの要点を守り自然再生活動を継続する。粒径 8-16mm に着目して、流域一貫して上記に取り組むことができれば、粒径 8-16mm の土砂が水系でつながり、流域全域で河床環境が改善し、イワナ、ビワマス、アユなどの在来魚にぎわいが回復する可能性がある。

7.4. 愛知川を事例とした提言通りに課題が解決できた状態のシナリオ（良いシナリオイメージ）

森林域のシカ害を適度に抑制し、人工林を適度に間伐し、溪畔林に広葉樹を植えることにより、森林域の下層植生の植被率が 60%以上保持される。下層植生が 60%以上保持された森林域では年間の土砂生産量はわずか 1,310 m³となる。豊富な下層植生は泥質のフィルターの役割も果たし、泥質分は少雨時には河川に入りにくくなる。また、溪岸崩壊も抑制され瀬淵が形成されやすくなる。ちょうどアユ、ビワマス、イワナの産卵期前の 8-9 月頃に、台風による大雨で搅乱が起こり、粒径 8-16mm の小礫の割合が多く流出して、河道内の土砂移動によって軟らかく堆積する。粒径の大きめの礫が河床を形成するため、浮き石が多く、はまり石は少なく軟らかな砂礫による堆積となる。こうした堆積は、濁水のろ過機能もあり、濁りも少なくなり早く解消されやすくなる。総じて、上流域ではイワナやビワマスに好適な生息産卵環境が形成され、卵の生残率が上がる。

中下流域では、上流域より粒径 8-16mm の礫が適宜供給されて、石が転がって擦れるサルテーション運動によりカワシオグサの繁茂が抑制され、同時に河道内樹林形成が抑制される。石が擦れたフレッシュな礫によるアユが好む河床が形成される。さらに、やわらかな砂礫により数多くの瀬淵やワンドができる、アユにより好適な生息環境やビワマスに好適な産卵環境が形成される。もしも、河道内で堆積が増えすぎたり、アーマーコート化した場所があっても、ドローンによる河床環境のモニタリングで発見され、地域の人々の手による河床耕耘などの小さな自然再生活動により、良い河床環境の状態と土砂移動が維持される。下流域では、台風などの大型の搅

乱時期に、上流から供給された粒径 8-16mm の礫が、瀬頭や瀬尻に一時的にやわらかく堆積することにより、アユの好適な産卵環境が広範囲にたくさん創出される。その結果、イワナ、ビワマス、アユのすべての再生産が増えて、にぎわいの回復したイワナ、ビワマス、アユが釣りなどのレジャー や特産の食品として地域の重要な資源として活用される。

7.5. おわりに

愛知川の過去の魚介類の生息環境についてのヒヤリング調査によれば、40-50 年前では良いシナリオのイメージで記述したような河床環境があたりまえであったとの意見が多くあった（滋賀県 2019）。また、イワナ、ビワマス、アユも近年こそあまり食べなくなってきたものの、40-50 年前の生活の中ではあたり前のように釣り等の楽しみや遊びを兼ねて食品（おかげ）として利用してきた。こうした数十年前まで盛んに活用されていた水産資源は、利用に関する伝統的知見が残っているため、地域活動が再活発化する基盤となり得る。本研究成果を活用して、関係者が協力し合い「粒径 8-16mm」の土砂について良いシナリオの達成に向けて流域一貫した課題対策ができるならば、家棟川におけるビワマスの生息環境の再生事例のように、イワナ、ビワマス、アユなど在来魚に好適な生息環境が再生して、地域創生の基盤となると考えられる。

しかし、本研究で示したシナリオイメージは、イワナ、ビワマス、アユなどの在来魚の生息環境の改善や回復という限定された視点からの研究により描き出されたものであり、農業水利や河川管理上の防災など、その他の流域環境に関わる重要な要因について考慮されたものではない。そのため、本研究成果や描いたシナリオはそのまま現実社会に当てはまるとは限らない。今後の研究課題として、生態系を生かした防災方法（Eco-DRR）など、本研究成果やシナリオと実社会とのギャップを埋めるための研究をさらに展開していく必要があるものと考えられる。

執筆担当

政策課題研究 2 の研究の背景と目的、まとめおよび河川中下流域の研究に関する第 1 章・第 2 章・第 4 章・第 7 章は水野敏明が執筆を担当しました。森林の研究に関する第 3 章は小島永裕が執筆を担当しました。河川の空間画像解析に関する第 5 章は東善広が執筆を担当しました。多様な主体による小さな自然再生に関する第 6 章の研究は佐藤祐一が執筆を担当しました。

謝辞

政策課題研究2は、国立環境研究所の一部機能移転を契機とした地方創生推進交付金を活用したプロジェクト「琵琶湖モデル・水環境ビジネス推進プロジェクト：在来魚介類の回復に関する国立環境研究所琵琶湖分室との共同研究（生態系分野）」の一環として実施しました。

愛知川の過去の魚類相の社会調査法による研究は「琵琶湖の保全及び再生に関する法律」に基づく滋賀県への環境省からの委託業務『湖辺における環境修復実証事業（滋賀県琵琶湖）（2）河川からの良好な土砂の供給による底質及び水質改善に関する業務』の一環として滋賀県琵琶湖環境部環境政策課と共に研究を実施しました。

UAV(通称：ドローン)を利用した測量や地域への最新研究成果の地元へのアウトリーチ方法については、東京大学空間情報科学研究センター（CSIS）No.814「高頻度・高精細地形情報を用いた河床における地形変化解析方法および地域住民への空間情報発信方法についての研究」との共同研究として実施しました。

本研究は、平成26年4月25日訓令第25号琵琶湖環境研究推進機構設置規程に基づく、琵琶湖環境研究推進機構「流域環境研究 在来魚の保全に向けた水系のつながり再生に関する研究」の一環として実施しました。

本研究を実施するにあたり、多くの団体や機関、個人の皆様にたいへんお世話になりました。本研究に関係した全ての皆様に感謝の意を申し上げます。

引用文献

第1、2章

- 石崎大介、亀甲武志、藤岡康弘、水野敏明、永田貴丸、淀太我、大久保卓也(2016)魚類の生息環境からみた琵琶湖と流入河川とのつながりの重要性、魚類学雑誌 /63巻(2016)2号:pp.89-106
- 藤岡康弘(2017)6章魚類と湖岸環境の保全、「琵琶湖岸からのメッセージ保全・再生のための視点」(西野麻知子・秋山道雄・中島拓男[編])、pp. 151-173. サンライズ出版、滋賀県彦根市。
- 鈴木雅一・福嶽義宏(1989)風化花崗岩山地における裸地と森林の土砂生産量—滋賀県南部、田上山地の調査資料からー、水利科学第33巻第05号(No.190), pp.89-100.
- 滋賀県水産試験場(2019)平成30年アユ産卵調査結果、滋賀県水産試験場、滋賀県彦根市。
- 「小さな自然再生」事例集編集委員会[編著](2015)水辺の小さな自然再生事例集、「JRRN できることからはじめようシリーズ 水辺の小さな自然再生事例集(玉

井信行[監修])、日本河川・流域再生ネットワーク(JRRN)、東京都中央区。

- 水野敏明・東善広・井関明子・北井剛・小島永裕・三井香代子・大久保卓也・永田貴丸・佐藤祐一(2017)政策課題研究2 在来魚の保全・再生に向けた流域管理に関する研究、「滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書第13号」, pp. 29-33. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、滋賀県大津市。
- 遊磨正秀・太田真人(2017)愛知川における河床高の変動、「2016年度年次報告書里山学研究『流域のくらしと奥山・里山—愛知川から考えるー』」, pp. 346-355. 龍谷大学里山学研究センター、京都府京都市。

第3章

- 鈴木雅一・福嶽義宏(1989)風化花崗岩山地における裸地と森林の土砂生産量—滋賀県南部、田上山地の調査資料からー、水利科学, 33(5) : 89-100.
- 西田睦(1978)びわ湖のコアユの産卵生態、日本水産学会誌 44(6), pp. 577-585.
- 水野敏明・東善広・井関明子・北井剛・小島永裕・三井香代子・大久保卓也・永田貴丸・佐藤祐一(2018)在来魚の保全・再生に向けた流域管理に関する研究、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 13 : 28-46.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター編(2015)20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版、産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 杉元貴信・石井弘明・千葉幸弘・金澤洋一(2010)90年生ヒノキ高齢林における枝葉現存量および垂直分布、日本林学会誌, 92 : 63-71.
- 塚本次郎(1989)林地斜面における表層物質の移動(I)細土の移動、日本林学会誌, 71 : 469-480.
- 三井香代子・山本克巳・小島永裕・須永哲明(2018)琵琶湖を育む森林の適切な管理方策に関する研究、滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 13: 76-93.
- 三浦 覚(2000)表層土壤における雨滴浸食保護の視点から見た林床被覆率の定義とこれに基づく林床被覆率の実態評価、日本林学会誌, 82 : 132-140.
- 国土交通省：水文水質データベース。
<http://www1.river.go.jp/>
- 林野庁(2018)平成29年度渓畔保全プロジェクト林における調査事業報告書, pp125.

第4章

- 総合土砂管理計画策定の手引き検討委員会(2019)総合土砂管理計画策定の手引き第1.0版、一般財團法人

国土技術研究センター、東京都港区。
井口恵一朗・武島弘彦(2006)アユ個体群の構造解析における進展とその今日的意義.水産総合研究センター研究報告 別冊 5 : 187-195.

阿部信一郎(2002)アユが自ら創る生活空間—アユと付着藻類の相互作用を通して—.中央水研ニュース No.28 :
<http://nrifs.fra.affrc.go.jp/news/news28/abe.htm>
(2020年12月11日確認)

近藤正美・泉川晃一・小坂田堅・大槻清人・笹田直樹 (2011)アユ人工産卵場造成手法の検討. 水産技術 3(2):137-145.

早川裕式・小花和宏之・齋藤仁・内山庄一郎 (2016) SfM 多視点ステレオ写真測量の地形学的応用. 地形 37 (3): 321-343.

内山庄一郎・鈴木比奈子・上石勲・中村一樹 (2018) 雪崩災害調査への UAV-SfM の適用:2017年那須町雪崩災害の事例. 自然災害科学 37 特別号:119 -135.

水野敏明・東善広・北井剛・小島永裕 (2019) 琵琶湖流入河川におけるアユの産卵場の表面硬度の特徴. 応用生態工学 22(1):93-101.

水野敏明・東善広・北井剛 (2020) 琵琶湖流入河川におけるアユ産卵場表面の粒径分布. 応用生態工学 22(2): 149-154.

中土井佑輔・椿涼太・河原能久・石尾将大 (2012) フラッシュ放流における土砂供給が付着藻類の剥離に与える付加効果の推定. 河川技術論文集 18:173-178.

滋賀県(2019)「環境省平成30年度湖辺における環境修復実証事業（滋賀県琵琶湖）委託業務報告書」.pp.77-111.滋賀県,大津.

第5章

東善広・水野敏明・北井剛 (2018) : 写真撮影法による表層河床材料の粒径分布の計測と応用, 日本地理学会発表要旨集, 93, 296.

早川裕式・小花和宏之・齋藤仁・内山庄一郎 (2016) : SfM 多視点ステレオ写真測量の地形学的応用, 地形, 37(3), 321-343.

西田睦 (1978) : びわ湖のコアユの産卵生態, 日本水産学会誌, 44(6), 577-585.

西田睦・伏木省三・中賢治・水谷英志・田沢茂 (1974) : びわ湖のアユの天然産卵場および産卵群について, 滋賀県水産試験場研究報告, 25, 31-45.

第6章

環境省：地域が連携した活動を持続的に行うためのティップス集,
http://www.env.go.jp/nature/biodic/act_promo/attach/tips_collection1.pdf (2020年10月確認)

中野泰輔 (2019) : パーブ工を用いた小さな自然再生によるビワマスの産卵床維持・形成に関する研究, 滋賀県立大学環境科学部卒業論文.

水野敏明・東善広・井関明子・北井剛・小島永裕・三井香代子・大久保卓也・永田貴丸・佐藤祐一 (2018) : 政策課題研究 2 在来魚の保全・再生に向けた流域管理に関する研究, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 13, 28-46.

宮内泰介編 (2013) : なぜ環境保全はうまくいかないのか、新泉社.

第7章

藤岡康弘 (2017) 6章魚類と湖岸環境の保全.「琵琶湖岸からのメッセージ保全・再生のための視点」(西野麻知子・秋山道雄・中島拓男[編]), pp. 151-173. サンライズ出版, 滋賀県彦根市.

遊磨正秀・太田真人(2017)愛知川における河床高の変動. 流域のくらしと奥山・里山—愛知川から考える— 龍谷大学里山学研究センター2016 年次報告書, pp. 346-355.

滋賀県(2019)「環境省平成30年度湖辺における環境修復実証事業（滋賀県琵琶湖）委託業務報告書」.pp.77-111.滋賀県,大津.