

## 2. 政策課題研究 2 (6-PS2)

# 在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究

水野敏明<sup>1)</sup>・小島永裕・東 善広・佐藤祐一・小倉拓郎<sup>2)</sup>・片山大輔<sup>3)</sup>・山中大輔<sup>4)</sup>・法理樹里<sup>5)</sup>・浅野悟史<sup>6)</sup>

## 要約

森一川一里一湖の水と土のつながりに課題が生じて、アユなどの在来魚介類の良い生息環境が減少している。そこで、在来魚介類を含む琵琶湖流域生態系の生息環境の保全および再生を目的として、「土砂のつながり」、「河川環境評価技術」、「小さな自然再生」の3つの視点に着目して研究を実施した。第四期中期計画(2014-2016年度)の政策課題研究2の研究結果からは、河床の礫環境がアユやビワマスなどの生息・産卵環境の形成に影響があることが明らかとなった。次に、第五期中期計画(2017-2019年度)の政策課題研究2の研究結果からは、森から河川への土砂供給の概況、河床モニタリング技術の概況、小さな自然再生の要点の概況が明らかとなってきた。第六期中期計画(2020-2022年度)では、第四期と第五期の成果を取りまとめて社会実装に応用することを目的として研究を実施した。その結果、「森一川の土砂のつながり」の特徴の解明、UAV(ドローン)測量や地理情報システム(GIS)を活かした河川環境技術開発、小さな自然再生の横展開と要点の一般化、などの研究成果が得られた。最後に「森一川一里一湖の水と土のつながり」の課題解決に向けた政策提言を示し、在来魚のにぎわいが回復する可能性があることを示した。

## 1. はじめに

琵琶湖水系の在来魚類であるビワマス(*Oncorhynchus* sp.)は、50万年ほど琵琶湖で独自に進化した固有種といわれている(Tabata et al 2016, Iwatsuki et al 2019, 岩槻ら 2020)。ビワマスは、トローリングによる釣りで人気があり、2021年には20トンを超える漁獲があった。ビワマスは10-11月頃に琵琶湖から流域の流入河川に遡上して産卵する(図1-1参照)。尾田・淀(2017)によれば、ビワマスの増加は人工採卵による放流種苗によるところも多いものの、自然産卵主体で個体群が維持されているという。そのため、ビワマスが自然環境の中で産卵できる生息環境を増やしていくことが、ビワマスが個体群を維持するうえで大変重要である。

琵琶湖水系の在来魚類である琵琶湖流域のアユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)は、約10万年前に琵琶湖で独自に進化したと考えられている(Takeshima et al. 2016)。アユは琵琶湖の漁業資源の基盤として非常に重要な魚種であり、平年は100億粒ほどの産卵があり、豊かな漁業資源として活用できる生息量がある。しかし、2018年のアユ産卵量は、琵琶湖流入河川の有効産着卵数が12.8億粒であり平年値の約13%にとどまった(久米ら 2021)。このようにアユの産卵数は変動が激しいために、アユの生息環境をできるかぎり改善して、持続的なアユの産卵場や生息環境を保全再生することは、滋賀県の喫緊の課題となっている。ところが、石崎ら(2016)によれば、琵琶湖流入河川では堰堤などの河川構造物がアユやビワマスの遡上を妨げており、これが影響を与えている可能性が指摘されている。さらに、藤岡(2017)や遊磨・太田(2017)によれば、森一川一湖の土砂移動が円滑に行われていないことが、琵琶湖流入河川におけるアユやビワマスの良好な産卵環境に悪影響を及ぼしている原因の一つとされている。例えば、湖から川へ産卵遡上する魚種にとっては、土砂で川への遡上経路が分断されることは、産卵区間全体を失うことになる。たとえ遡上ができたとしても、産卵床に必要な土砂が十分に無いと、産卵がうまくできない。

以上により、森一川一湖の水や土砂のつながりが途切れてしまうと、ビワマスやアユの産卵生息環境が劣化することになり、琵琶湖流域の在来魚など淡水生態系大きな影響を与えてしまうことになる。そのため、在来魚保全のための水系のつながりを再生することが喫緊の課題となっている。

以上により、森一川一湖の水や土砂のつながりが途切れてしまうと、ビワマスやアユの産卵生息環境が劣化することになり、琵琶湖流域の在来魚など淡水生態系大きな影響を与えてしまうことになる。そのため、在来魚保全のための水系のつながりを再生することが喫緊の課題となっている。

1)琵琶湖環境科学研究センター/総合地球環境学研究所 2)兵庫教育大学 3)琵琶湖博物館/流域政策局 4)企業庁 5)現・農林水産政策研究所  
6)京都大学大学院地球環境学堂



図 1-1 愛知川の支川（渋川）に産卵のために遡上してきたビワマス

そうした課題に対応するために、琵琶湖環境科学研究センターでは、第四期（2014-2016 年度）では、主に土砂と魚類の関係に焦点を当てて研究を行った。その結果、森一川—河口における 10mm 前後の土砂（礫）の移動がアユの良好な産卵環境の形成に大きく影響していることを明らかにした（水野ら 2017）。第五期（2017-2019 年度）では、「森一川—河口の土砂移動メカニズムの解明」および「地域主体の自然再生活動の継続性」に焦点をあてて、アユやビワマスの産卵回復に必要な土砂移動のモニタリング技術や「小さな自然再生」の方法論の研究を行ってきた（水野ら 2020）。

本報告書の第六期（2020-2022 年度）では、第四期と第五期の研究成果を土台として、在来魚保全のための森一川—湖の水系のつながり再生に必要な科学的情報やモニタリング結果を集約して可視化する技術を通じて、多様な主体による科学的情報の情報共有（社会実装）を目的として研究を行った。さらに、ビワマスやアユの魚道づくりなどの「小さな自然再生」による現場の経験事例を含む方法論を用いて、複数の河川において地域の多様な主体と共に「小さな自然再生」を社会実装することを目的として研究を行った。

## 2. 研究の方法

### 2.1. 研究アプローチの 3 つの視点

政策課題研究2では、次の3つの視点から研究を実施した（図2-1参照）。また得られた研究成果については、「研究成果のまとめ：考察と政策提言」の章でまとめて考察し、政策提言につなげた。

#### 2.1.1. サブテーマ①「森林域から河口までの土砂のつながり研究（研究リーダー：小島 永裕）」

森一川—河口までの土砂のつながりを考えて管理するためには、例えば森から川にどのようなタイミングでどの程度の土砂が移動するのか目安となる数値が必要である。

サブテーマ①では、土砂のつながりを考える際の参考となる科学的数値を提示することを目標として研究を実施した。さらに、土砂移動とアユやビワマスの産卵生息環境との関連性についても明らかにすることを目的として研究を実施した。特に河床の土砂移動に関する UAV（ドローン）による 3 次元測量など、高度な地形把握の手法や可視化技術に関しては、東京大学空間情報科学研究センター（CSIS）の共同研究 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：早川裕弐）」として研究を実施した。

#### 2.1.2. サブテーマ②「環境変遷モニタリング手法の開発（研究リーダー：東 善広）」

第四期や第五期の研究で、アユやビワマスの産卵環境においては、河床の礫環境の重要性が明らかになった。第六期では、河川管理の実務上応用可能な河川の河床の土砂モニタリング技術など、環境変遷のモニタリング技術の手法開発を目的として研究を実施した。

#### 2.1.3. サブテーマ③「多様な主体の協働による在来魚保全・再生活動の展開に関する研究（研究リーダー：佐藤 祐一）」

既存の研究において、多様な主体が協力し合って、家棟川のビワマスの産卵環境を「小さな自然再生」で改善した結果、ビワマスが遡上して産卵するようになった。第六期では、家棟川の多様な主体による成功事例を土台として、他の河川に拡張して「小さな自然再生」を実施することを目的として研究を実施した。さらに、多自然型川づくりと短所や長所を比較分析することにより、「小さな自然再生」を適用しやすい河川の条件を提示した。

### 2.2. 森一川—湖のつながりの総合解析（総合解析担当：水野 敏明）

【第六期 政策課題研究2（琵琶湖環境研究推進機構サブテーマ2流域環境研究）】  
在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究

■ 背景、目的

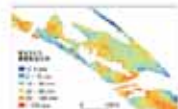


■ 方法

①既存研究成果の現場活用  
「森林域から河口までの土砂のつながり研究」



②将来のための技術開発  
「環境変遷モニタリング手法の開発」



③保全・再生活動の比較分析  
「多様な主体の協働による在来魚保全・再生活動の展開に関する研究」



■ アウトカム

- 土砂移動や河床状態を簡易に精度よくモニタリングする技術開発をすすめる。
- 森-川-湖の土砂移動（流砂系）の特徴を可視化して、流域環境改善の合意形成に役立てる。
- 在来魚の保全再生の取組みが、地域の多様な主体の協働により実装される

合意形成による生態系や防災等のバランスの取れた持続可能な流域環境の保全再生



図 2-1 第六期政策課題研究2の研究方法の概要

2.2.1. 森から川への土砂流出の原単位の推定

森から川への土砂生産の原単位量はどの程度なのか、雨量や表層の被覆特性が土砂流出に関わるのか、基礎的事項でありながらもデータを取得することが困難であるため、世界的にも未知なことが多い。そのため、本研究では、サブテーマ①で得られた森林のフィールドデータに加えて、滋賀県の耕地課から提供していただいた、永源寺ダムの土砂堆積量のデータを組み合わせ、森から川への土砂流出に関するフィールドデータのメタ解析による総合解析を行った。それにより、森から川への土砂生産について雨量や植生被覆を踏まえた原単位、すなわち1年あたりの1haあたりの土砂生産量（ $m^3$ ）の推定をした。

2.2.2. 森—川—湖のつながりを示す琵琶湖への土砂流入量のシミュレーションによる推定値

森から川への土砂生産量の原単位量を基に、琵琶湖に流入する森林表層からの土砂総量の年次変動についてシミュレーションにより推定値を求めた。推定の仮定として、森—川—湖のつながりが十分にある、森の表層から川に入った土砂は数時間～2日程度で湖に流入する、シカの食害は森林の林床の被植率に影響を及ぼすとした。

2.3. 研究成果のまとめ：考察と政策提言

第四期と第五期の研究成果および第六期の各サブテーマの研究成果と総合解析の研究成果を組み合わせ下記の3つの視点から考察と政策提言を行った。

森林域から川への土砂のつながりに関するまとめと提言は、第四期および第五期の研究成果を土台に第六期の主にサブテーマ1の研究成果および総合解析の結果を加味して政策提言を行った。

在来魚の保全に向けた河床の礫管理方法に関する提言は、第四期および第五期の研究成果を土台に第六期の主にサブテーマ2の研究成果を活かして政策提言を行った。

滋賀県における小さな自然再生の拡大・推進についての提言は、第四期および第五期の家棟川の実際の保全活動を通じた水系のつながり保全回復に向けた知見や経験を土台に、第六期に新たに得られた家棟川の知見に加えて、新大宮川と愛知川におけるアユとビワマスの保全活動で得られた新たな知見と経験を加味して、「小さな自然再生」の長所と短所を明らかにして実際の河川管理に応用することを視野に入れて政策提言を行った。



### 3. 森林域から河口までの土砂のつながり研究

#### 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り、とくに本県南部の森林での事例をはじめとして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きた（例えば西田 1976）が、産卵に適した大きさの礫が、いつ森林から供給され、河川を流下するかは明らかでなかった。

これまでの研究（水野ら 2018）では、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、産卵床に好適な粒径のものが供給されることが明らかになり、アユはこれを利用できる可能性が高いことが示唆された。

しかし、間伐の手遅れ等による人工林の手入れ不足や、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、前報（水野ら 2021）に引き続き、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中長期的に把握した。

#### 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

調査地および調査方法は前2報（水野ら 2018、水野ら 2021）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 2018）で、土壌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、一部では林床表面が裸地化している。

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 箇所については一方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（塚本 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、大雨の後は適宜、回収した。回収した試料は風乾後、70℃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。

次に、2020 年 12 月には防護区の防護柵を撤去し（この期日以降は撤去区とよぶ）、それまでと同様に土砂およびリターを回収、計測した。

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

本報告では、2020 年 12 月の防護柵撤去後の結果を中心に示し、それ以前の結果については、前報（水野ら 2021）を参照されたい。

図 3-1 には各調査区の植生被覆の変化を示した。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。

シダ区では、2015 年の調査開始時から 2022 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、変動はあるが 71~93% と高い値を示した（図 3-2）。

次に、裸地区と防護区は、2015 年の調査開始時には両

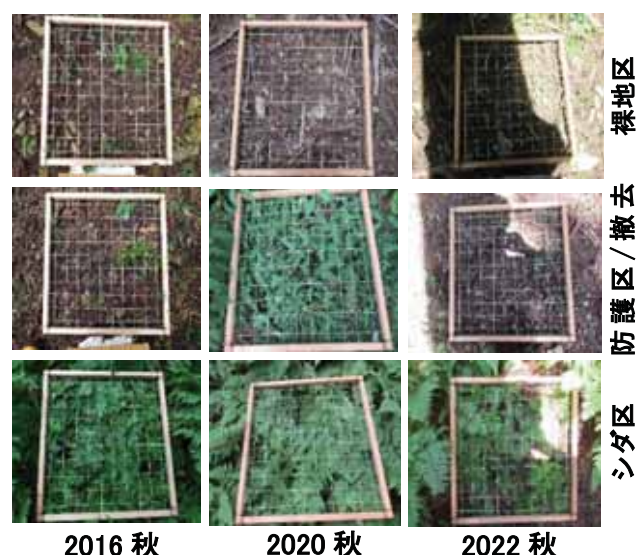


図 3-1 各調査区の植生被覆の変化の写真

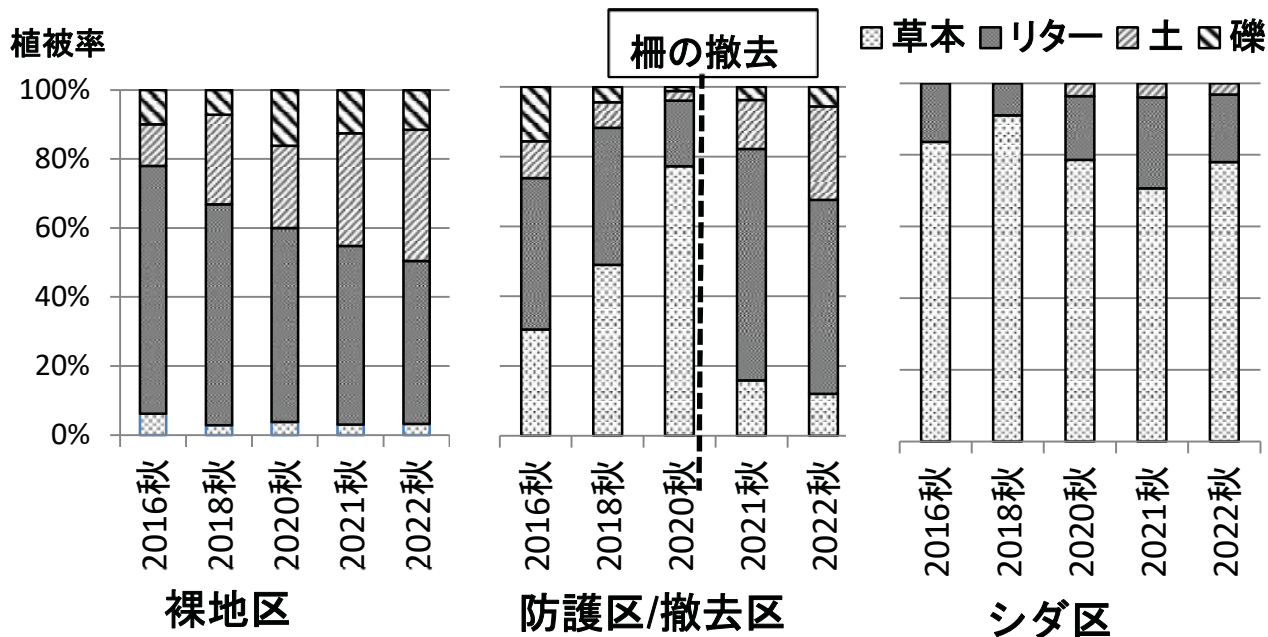


図 3-2 各調査区の植生被覆割合の変化のグラフ

区とも土壌が露出しており、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い(図 3-1)、植被率は2~8%と小さかった(図 3-2)。一方、防護区では2020年までに植生が回復してきたことが確認できる(図 3-1)。この間、防護区の植被率は調査開始時の4%から、2020年秋季には77%まで上昇した。被覆している植物種は、コパノイシカグマのようなシカ不嗜好性植物が相対的に減少し、それにかわって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繁茂してきていることが確認できた。

しかし、2020年12月に防護柵を撤去すると、その直後

からシカの食害が始まり、2022年9月には下層植生はほとんど見られなくなり(図 3-1)、植被率も12%にまで急減した(図 3-2)。生残した植物種はコパノイシカグマやシキミといったシカ不嗜好性植物が主体となった。

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。

裸地区の土砂移動量は、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。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が、全般的に裸地区に比べて非常に少なかった。これらの傾向

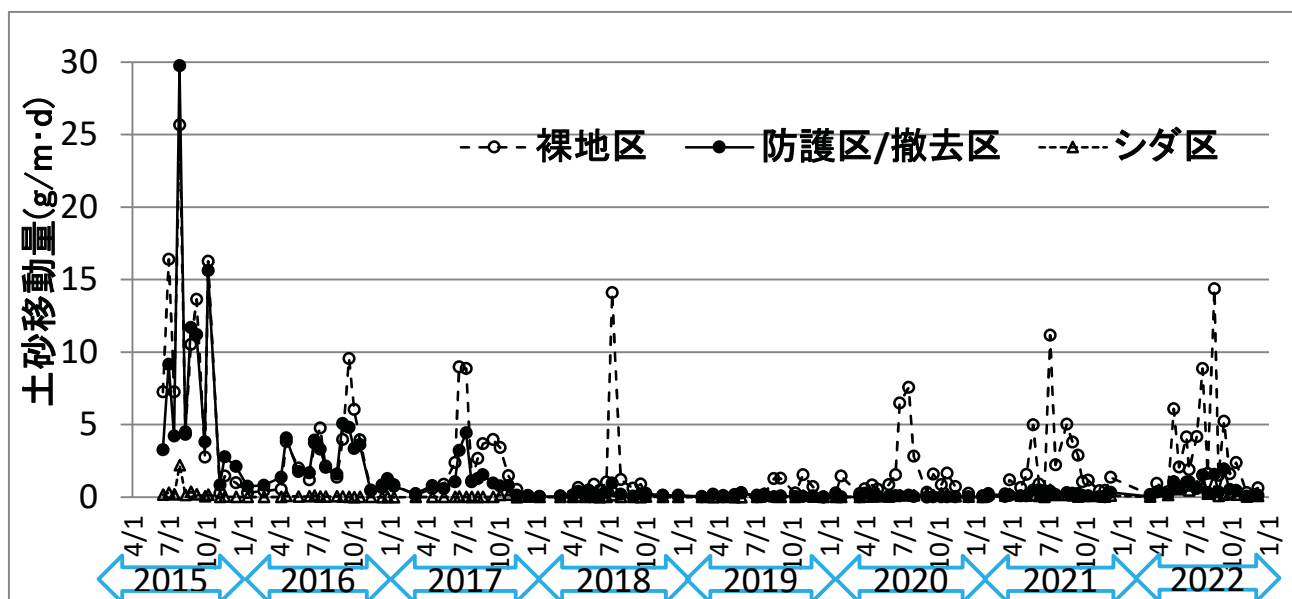


図 3-3 調査日1日あたりの土砂移動量(g/m・d)の季節変化



図 3-4 量水堰土砂堆積と回収時の写真

は全調査期間を通じて認められた。

防護区の土砂移動量は、調査開始から 2016 年初春頃までは、裸地区のそれと同程度に多かったが、その後、防護区の土砂移動量は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。次に、2020 年 12 月に柵を撤去した後については、2021 年はほとんど土砂移動量の増加はなかったが、2022 年は増加が認められた。

春期から秋期の降雨期とシダ等の植生の展葉期が概ね一致することから、この時期における防護区(または撤去区)、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 年の調査開始以降、期間を通じて 0.01~0.08 と小さかった。この間のシダ区の植被率は 80%前後を維持しており(図 3-2)、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 であったが、時間経過とともにこの比は小さくなり、2020 年には 0.01 とシダ区の値と同程度まで減少した。防護区の植被率は 2020 年には 77%まで上昇しており(図 3-2)、下層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といえる。柵の撤去(2020 年 12 月)後、撤去区の裸地区に対する土砂移動量の比は、2021 年には 0.06 とシダ区の値と同程度であったが、2022 年には 0.18 と増加しており、下層植生による被覆が減少したことで、土砂移動量が増加してきていると推察された。

水野ら(2018)は、防護区で細土の移動が抑制されることを報告しており、前報(水野ら 2021)および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、このことは、下流域に生息する在来魚が産卵床として土砂を利用する際には有利に働くと考えられる。

下層植生で森林斜面が被覆されるように保持していくには、間伐等の森林施業による林床の光環境の改善や防護柵等によるシカの食害防除が必要であるといえる。

### 3.3. 森林溪流からの土砂流出

#### 3.3.1. 調査地および調査方法

調査地および調査方法は前 2 報(水野ら 2018、水野ら 2021)に詳しいが、ここでは概略を記す。

調査地は、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溪流(北緯 35 度 4 分 2 秒、東経 136 度 4 分 3 秒、水野ら 2018)に設定した。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 2018)で、土壌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 150-280 m、溪流の傾斜方向は北、溪流の勾配は約 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 年頃までははげ山であったことから、土壌層は比較的薄い。

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量水堰の上流側に堆積したものを回収した(図 3-4 参照)。

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(図 3-4 参照)。回収した試料は約 1 週間の風乾後、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。



### 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るが、2021年と2022年には1年に2回、大量の土砂流出があった。とくに、2022年7月19日の大雨の時は、約9.2tの土砂が一気に流出し（図3-4参照）、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(重量%)を示した。降雨量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大きく増加することが確認された。このことは、前2報（水野ら 2018、水野ら 2021）と同様の傾向を示しており、この中で報告されたように、これらの礫を下流域でアユが産卵に利用できる可能性が高いと考えられる。

本流域の森林表層の被覆状況は、前報（水野ら 2021）以降、大きく変化しておらず、この中で示したように、集水域が森林で覆われていることで、溪流を通じた土砂の流出は継続して抑制されているといえる。

### 3.4. まとめ

これまでの9年弱にわたる現地調査の結果から、森林の表層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ることが示された。さらに、流出する土砂の粒径については前報（水野ら 2021）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

出状況が維持されているものと考えられた。

とくに、森林斜面における土砂移動の調査では、シカの食害で下層植生が減少する過程での観測データを得ることができた。この過程での調査は、設定した調査地にシカが継続して侵入し、植生を摂食し続ける確実性がないことから、この目的に沿った現地調査は容易ではない。本調査地のように、裸地区が常にシカの食害を受けている状況下で隣接の防護区の柵を撤去することで、シカの侵入、摂食を継続的にみることができ、筆者らは貴重な観測データが得られたものと考えている。

さて、森林からの土砂流出については、一般的に溪岸の浸食が主たる要因と言われている。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、溪流に沿った森林である溪畔林の劣化も危惧されている。溪畔林は多様な樹種で構成されていることが多く、土砂流出の防備とともに、森林や溪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）。このことから、第七期研究では溪畔林の植生について、上層木および下層木の樹種やこれらの繁茂状況を調べるとともに、土砂流出との関係についても調査する。

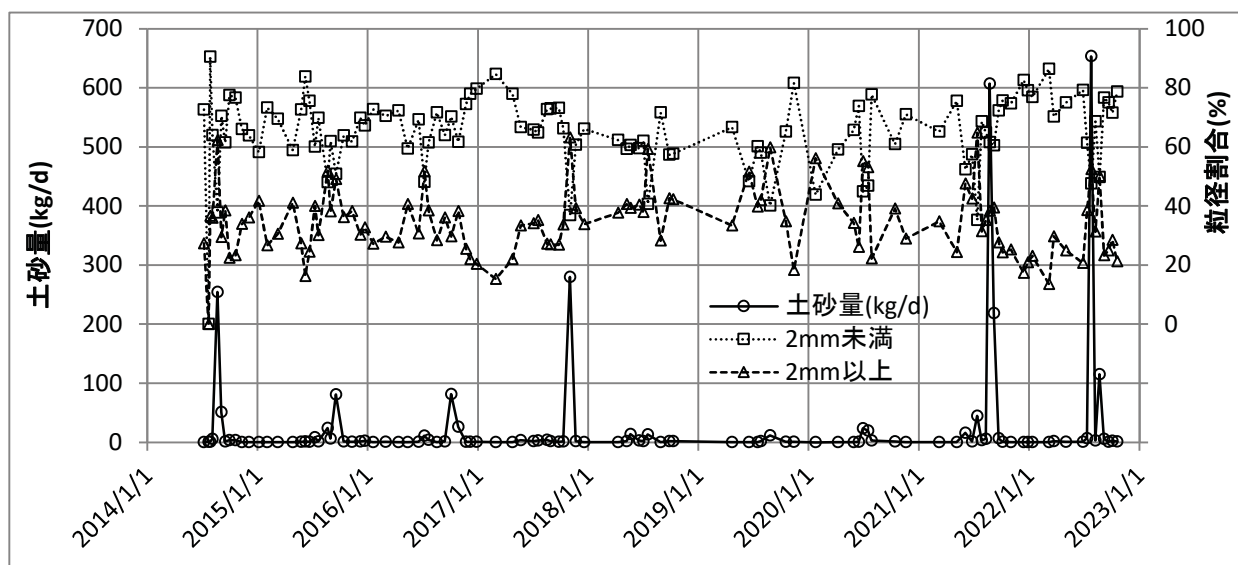


図3-5 森林溪流における土砂流出量の季節変化とその粒径割合

## 4. 環境変遷モニタリング手法の開発

### 4.1. はじめに

琵琶湖のアユは、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）。河川横断構造物等により土砂移動が阻害化されると、好適な産卵床が形成されにくい状況になる。こうした問題は、琵琶湖流域に限らず、全国各地で河床のアーマコート化として問題となっている（総合土砂管理計画策定の手引き検討委員会 2019）。好適な産卵環境の保全・改善のために、瀬淵などの地形変化にともなう水中の河床材粒径の変化を把握する必要がある。

一方、琵琶湖固有種であるビワマスは、本来は流入河川の上流域まで遡上して産卵するが、近年は河川横断構造物や瀬切れによる遡上阻害の発生により、河川によっては下流域で産卵するようになったことが報告されている（尾田 2010）。そのため、ビワマスの産卵環境改善のためには、上流まで遡上できるようにすることがまずは重要だと考えられる。また、下流域で産卵する場合でも、本来は上流域に多く存在しやすい好適な河床環境を選好していると考えられるため、上流域における産卵環境改善のためにも産卵床分布と水中の河床材粒径の関係を把握することは重要である。

このように、アユやビワマスの産卵に影響する重要な環境要因の一つとして、水中の河床材の粒径や堆積状況を把握することは重要だと考えられる。しかしながら、従来のふるい分け法による粒度構成の把握では、河床表層の粒径分布に着眼していないために、アユやビワマスが産卵に利用する河床表層における粒度構成、堆積状況に関する情報が失われるという欠点がある。さらに、従来の手法では粒径分布の測定精度を得るためには分布する礫の粒径が大きくなるほど大量の土砂資料を採取して計測しなければならず、多大な時間と労力を要することになる。アユやビワマスの産卵環境改善のためには、測定精度をあげつつも省力化を図り高頻度に生息環境モニタリングをする必要があるため、まずは表層河床材について簡易に粒径や堆積状況を把握する手法を検討することも重要である。

表層河床状況の把握には、写真撮影を利用する方法が考えられる。一方、近年は、ドローンの呼び名で親しまれている無人航空機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)などを用いた 3 次元計測技術が発達してきた（早川ら 2016）。その代表的手法が、連続写真画像から対象物の 3 次元情報を取得する技術である SfM(Structure from Motion) である。さらに、多視点のステレオ撮影によっ

て高密度に 3 次元計測をする MVS(Multi View Stereo) 技術がある。近年ではこれら 2 つの技術を組み合わせた SfM-MVS 解析の技術が急速に進歩している。このような SfM-MVS 技術を水中撮影に応用すれば、河床状況の概要の把握のみならず河床材粒径の定量的な計測にも応用できる可能性がある。また、資料を採取する必要がないため、調査が省力化され、多地点での調査が容易になると期待される。

そこで、ここでは、1)アユやビワマスの産卵床分布と表層河床材の粒度の地理的分布の関係把握に関連した水中写真による表層河床材粒度構成の地理的分布調査手法の開発、2)水中 SfM-MVS 解析による河床表面の粒径測定手法の開発について報告する（以下では便宜的に SfM-MVS 解析を SfM 解析と表記する）。

### 4.2. 方法

#### 4.2.1. 水中写真による表層河床材粒径の地理的分布調査手法の開発

琵琶湖流入河川の愛知川では、2021 年 10 月下旬から 11 月中旬にかけて、瀬切れによりビワマスが上流まで遡上できず、下流域で産卵する事象が見られた。また、筆者らは、それ以前の 9 月中旬から 10 月下旬にアユ産卵床の分布調査を実施していた。アユとビワマスが下流域という同一区間で産卵することに注目し、以下のように、水中写真撮影により概略的に表層河床材の粒度構成の地理的分布マップを作成する調査手法を開発した。

2021 年 9 月 16 日から 10 月 26 日の期間に、愛知川下流区間（河口からの距離：2800～11400m）の瀬周辺の小礫主体の河床について、アユの卵の有無を調査した（図



図 4-1 調査地



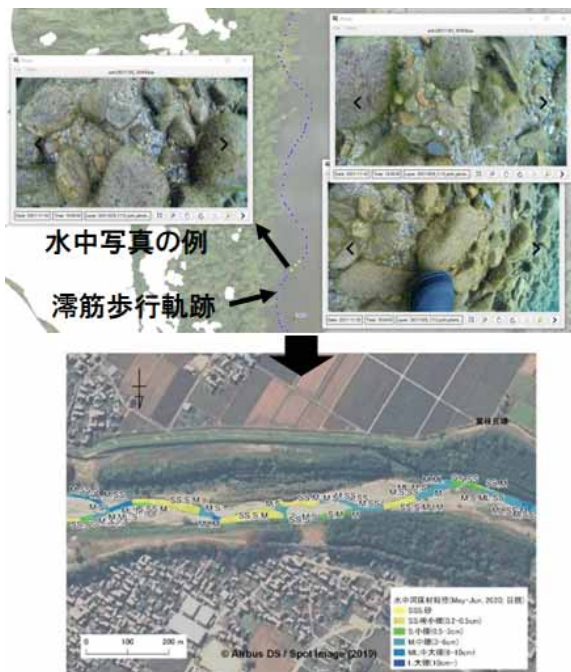


図 4-2 水中カメラ撮影とポータブル GNSS 測定より得られた概略的な表層河床材粒径の地理的分布の例

4-1)。2021 年 10 月 29 日から 11 月 12 日の期間には、滞筋を踏査し、まずは目視で概略的に粒径等の河床状況、瀬淵地形、ピワマス産卵床の分布を把握した。さらに、水面上からの目視だけでなく、ポータブル GNSS 装置による位置情報の記録および水中カメラによるインターバル撮影を行い、調査後に各地点写真を確認し、河床状況の把握精度を高めるようにした(図 4-2)。利用したカメラは Sony HDR-AS50 である。なお、水中写真撮影時にカメラと河床面との距離が大きく変わる時には、できるだけ河床面にスケールを置いて撮影するようにした。これらから、アユとピワマスの産卵床、粒径、瀬淵地形の地理的分布を GIS で解析した。また、人工衛星画像等を用いて、出水イベントにともなう滞筋の位置変化と産卵床分布との関係を把握した。

#### 4.2.2. 水中 SfM 解析による河床表面の粒径測定手法の開発

水中において河床表面の河床材粒径を計測するために、水中カメラを移動させながら、1m × 1m 四方の河床表面を連続撮影し、写真画像の SfM 解析により河床表面の 3 次元データを取得した(図 4-3)。利用したカメラは Sony HDR-AS50、SfM 解析に用いたソフトウェアは Agisoft MetaShape Pro である。また、3 次元データにスケールを与えるために、L 型定規を設置し、これを含めて撮影した。河床材粒径分布の計測は、SfM 解析から得られる河床表面のオルソモザイク画像を用いて面積

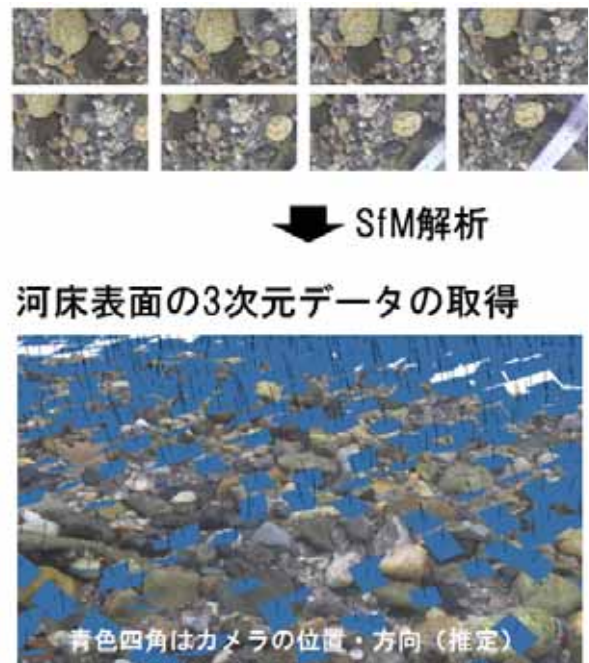


図 4-3 水中 SfM 解析の模式的説明

格子法(村上 2019)に準じた方法(以下、画像計測法という)で行った。しかしながら、これは画像上で見えている範囲を 2 軸計測したものであるため、本来の面積格子法との特性の違いを検証するほうが好ましい。そこで、画像計測法および面積格子法による同時計測を 5 地点で行った。両者の計測は、ほぼ同位置で、1 辺が 1m または 50cm の方形内をそれぞれ間隔 10cm または 5cm の格子点直下でサンプリング計測した。粒径約 20mm 以上の礫が多い場合は 1m 方形内、それ以下の礫が多い場合は 50cm 方形内をサンプリング計測した。

### 4.3. 結果と考察

#### 4.3.1. 水中写真による表層河床材粒径の地理的分布調査手法の開発

ここでは、本調査手法より得られた概略的な河床材粒径の地理的分布とアユとピワマス産卵床の地理的分布の関係の結果を示しその特徴を考察することにする。

ピワマス産卵床は中～中大礫(3-10cm 程度)主体の河床に比較的広く分布していた(図 4-4)。その空間密度は、瀬切れ地点近傍の下流部で高かったが、そこから約 7km 下流にも産卵床が存在していた。ピワマスが上流まで遡上できない場合において、河川勾配が小さい下流域においても産卵を可能にしているのは、河床礫の大きさに変化を与える瀬淵地形等の存在、つまり、流れに変化を与える地形の存在だと言える。

一方、アユ産卵床は、緩やかな瀬周辺にある小礫(0.5-

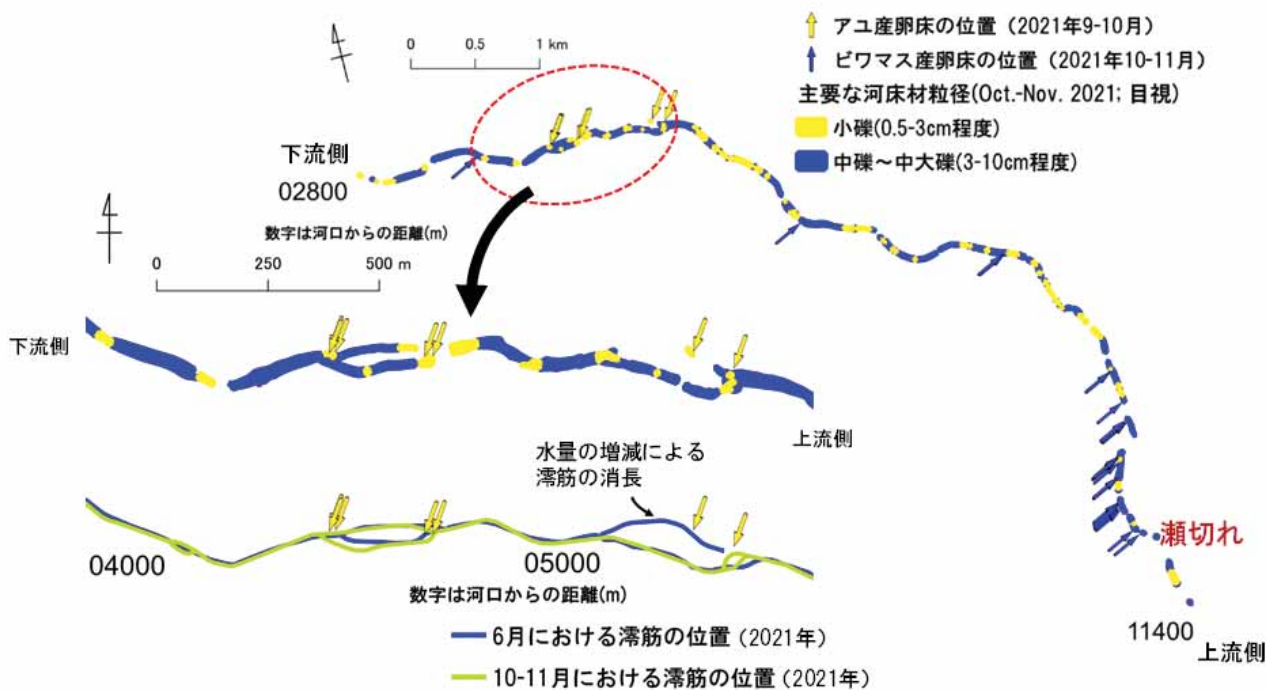


図 4-4 概略的な表層河床材粒径、アユ、ビワマス産卵床の地理的分布および滞筋の位置変化

3cm 程度)主体の河床の一部でしか確認できなかった(図 4-4)。さらに、アユ産卵床は、出水による滞筋位置の変化が大きかった地域や水量変化による流況変動が大きかった地域に存在していた。このことから、アユの産卵環境にとっては、河床攪乱が大きい環境下での小礫の存在が重要だと考えられた。

#### 4.3.2. 水中 SfM 解析による河床表面の粒径測定手法の開発

様々な河床材粒径構成をもつ約 90 地点で水中 SfM による計測を行ったところ、約 30%の地点で十分な品質を

もつオルソモザイク画像を作成することができなかった(図 4-5)。SfM 解析に悪影響を与える要因をさぐったところ、カメラの防水ハウジングによる屈折変化の影響、水面、水中での光のゆらぎの影響、超近接撮影による写真の重なり不足などの要因があると考えられたため、それらの阻害要因の軽減方策を検討した。

防水ハウジングによる屈折歪みは、実際に水中でレンズ特性のキャリブレーションを行うことで軽減を試みた。ランダムに発生する揺れ動く水面の影の影響は、SfM 解析の成否に大きく影響したため、直射日光を遮蔽しながら撮影することによって影の影響の軽減を試みた。水



図 4-5 低品質のオルソモザイク画像の例

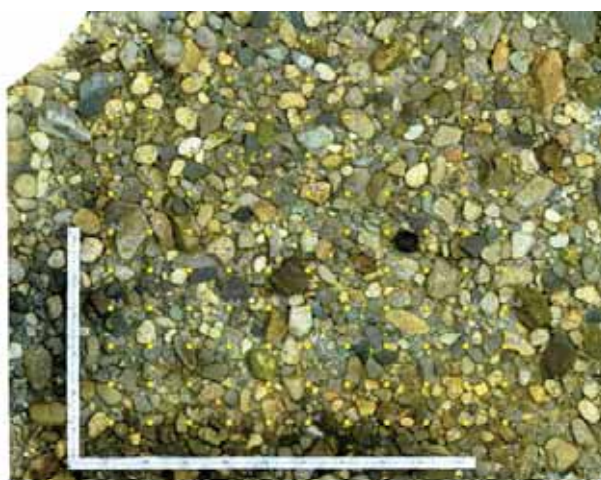


図 4-6 高品質のオルソモザイク画像の例



深が極めて浅い場合は、十分に重なり合った連続写真にすることが難しいため、動画で撮影し、ビデオフレームを静止面に変換する方法を試みた。その結果、約 100 地点における計測のうち約 90%の地点で粒径計測可能と考えられる十分な品質をもつオルソモザイク画像を得ることができた (図 4-6)。

次に、水中 SfM による画像計測法 (2 軸計測) と面積格子法 (3 軸計測) の同時計測によって得た平均粒径 (表 4-1) を比較したところ、概ねよく一致していた。ただし、画像計測法による粒径構成は、細粒成分が多めに計測される傾向が見られた。これは、2 軸計測である画像計測法では、礫と礫の重なりにより隠れる部分が生じることが影響している可能性がある。特に、大きな礫の隙間を埋める砂や細礫が多い場合に影響が顕著である可能性があった。

さらに、本手法では、河床表面の 3 次元形状と礫の着色状況に関する情報を得ることができる。例えば、図 4-7 で示した例では、アユの産卵床のあった河床では、礫の着色の程度が小さく、立体的な河床であるのに対し、卵がなかった河床の例では、礫の着色の程度が大きく、比較的平坦な河床であることがわかる。つまり、本手法では、粒径情報だけでなく、産卵環境の検討に有益な礫の着色と浮石と沈み石といった堆積状況に関する情報が得られる利点があり、産卵環境の改善対策の効果を評価するためのモニタリングの一つとして期待できる。

#### 4.4. まとめ

アユやビワマスの産卵環境改善に向けた活動や対策の効果を評価するためのモニタリング手法の一つとして、表層河床材について簡易に粒径や堆積状況を把握する 2 つの調査手法を開発した。

一つ目は、河床表層の概略的な粒径構成の地理的分布を水中写真撮影に簡易に求める調査手法であり、その応用として、それとアユとビワマス産卵床の地理的分布との関係を調べることによって、両者が産卵に利用する河床状況の違いを見出すことができた。

二つ目は、水中写真測量技術 (水中 SfM) により、これまで測定がかなり困難であった水中の河床表層の粒径構成、3 次元形状、礫の着色状況を把握できるようになったことである。

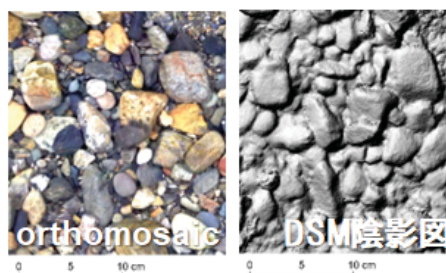
改善活動や対策への応用としては、対象地周辺を含めて、一つ目の調査手法で河床表層の粒径構成についての地理的分布を概略的に把握しながら、代表地点において

二つ目の調査手法で効果を評価するといった使い方が考えられる。

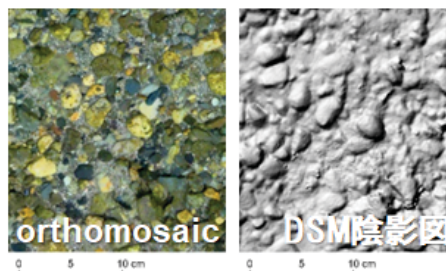
表 4-1 画像計測法と面積格子法で求めた平均粒径

| 地点 | (mm) |      |
|----|------|------|
|    | 面積格子 | 画像計測 |
| A  | 18.8 | 16.5 |
| B  | 10.7 | 10.1 |
| C  | 22.6 | 23.7 |
| D  | 24.5 | 25.4 |
| E  | 40.1 | 40.1 |

#### アユ産卵床の例 (2021/9/27)



#### その他の河床例 (2021/8/5)



※DSM ((Digital Surface Model)) は表面の高さを表す 3 次元データ

図 4-7 オルソモザイクおよび DSM 画像の例



## 5. 多様な主体の協働による在来魚保全・再生活動の展開に関する研究

### 5.1. はじめに

近年、中小河川での洪水氾濫が頻発しており、災害復旧事業によって大々的に改修する機会が増している。一方で、中小河川では技術者・維持管理費が慢性的に不足しており、また都市部では空間的余裕も少ないことから、「多自然川づくり」の理念に則り河川改修を行うことは容易ではない。こうした背景から、地域住民らが多様な主体と連携し身近な環境を再生する「小さな自然再生」が注目されている（小さな自然再生事例集編集委員会、2015；小さな自然再生研究会、2020）。小さな自然再生とは、①自己調達できる資金規模であること、②多様な主体による参画と協働が可能であること、③修復と撤去が容易であること、の3点を満たす自然再生のことを指す。

第四期および第五期中期計画では、小さな自然再生を社会実装することを目的として、主に野洲市を流れる家棟川を対象とした研究・実践を進めてきた。具体的には、琵琶湖の固有亜種であるビワマスの保全に向けて、多様な主体の協働により産卵床の造成や仮設魚道の設置等を行い、稚魚の生息や魚道を遡上する親魚が確認されるなどの成果が得られた（水野ら 2018；水野ら 2021）。一方でこうした地域における環境保全・再生活動を継続していくためには、組織に応じた無理のない役割分担や定期的な進行管理の仕組みの構築、次世代の育成等の課題を解決していく必要がある。そこで第六期中期計画で

は、家棟川の活動を継続していくとともに、流域規模や課題の異なる他流域への展開に関する実践を行う。またこれらの事例について、目標の設定や体制構築、維持管理手法などを比較し、多様な主体の協働により小さな自然再生を進める上での在来魚保全・再生活動の要件や課題を明らかにすることを目的とする。

### 5.2. 方法

本研究では、家棟川において活動を継続するほか、そこで得られた知見・経験について、大津市を流れる大宮川、主に東近江市を流れる愛知川に横展開した（図 5-1）。その上で、小さな自然再生を進めるためのプロセス構成要素とステイクホルダーの役割を体系的に整理した。以下、各河川の概要と実践方法等について述べる。

#### 5.2.1. 家棟川

家棟川は流域の約 96%が野洲市内に位置している。秋季（主に 10 月～11 月）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、自然環境の再生や地域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、家棟川ビワマスプロジェクトという）が結成された。家棟川ビワマス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、



図 5-1 対象河川の概要

という3つの活動を行っている。

①産卵床の造成としては、ビワマスが産卵できる環境を整えるため、毎年9～10月に河床を攪拌したり、産卵に適したサイズの礫を投入したりしている。②魚道の設置としては、家棟川の支流（中ノ池川）にある高低差約2.9mの落差工に毎年魚道を設置している。③遡上調査および監視としては、プロジェクトメンバーの市民らがビワマスの遡上状況を毎日目視で確認し、発見個体数などを記載するほか、密漁者の監視を行っている。プロジェクト開始以降、毎年ビワマスの稚魚が確認されており、また2020年には魚道を遡上したビワマスによる産卵が確認された。以上の取り組みの結果を市民らに報告し、次年度の改善点について話し合うため、公開の「ビワマスフォーラム」を毎年開催している（佐藤ら2022）。

本研究では上記活動を継続し、ビワマスの遡上・産卵状況等の変化を確認した。また新たな取り組みとして、中ノ池川（家棟川支流）の浚渫工事に合わせてバープ工を設置した（図5-2）。

バープ工とは、河岸から上流側に向かって突き出した水制状の構造物（角度20～30°の上向き水制）である。河川を浚渫すると、通水断面が広がるため治水上は効果的であるが、植生帯などの生物の生息場が失われるほか、出水により中長期的には再び元のように土砂が堆積することになる。浚渫後にバープ工を設置することで、生物の生息場の回復に変化が見られるかどうかについて、河床変動について事前および事後に調査をすることで確認した。事前調査としては、河川の流れ・河床変動解析ソフトウェアiRIC（International River Interface Cooperative）を用いて河床変動の予測を行った。事後調査としては、バープ工設置直後および約1年後に河床高の測量調査を行い、河床変動について実測し、事前予測と比較した。



図5-2 中ノ池川におけるバープ工の設置作業

## 5.2.2. 大宮川

大津市を流れる大宮川は河川改修が行われ、出水時に北側に隣接する足洗川に導水する放水路が整備された（2016年度工事完了）。この放水路は通称「新大宮川」と呼ばれている。新大宮川は落差工が連続するが、全ての落差に1基または2基の魚道が設置されている。しかし、堆砂が著しく、ほとんどの魚道が閉塞し、回遊魚であるアユの遡上などに影響のあることが明らかになった。

そこで、地元の河川愛護団体（新大宮川を美しくする会）が中心となり、地元住民、環境保全に関心のある市民、大津市、滋賀県、研究者らが協働して、魚道の堆砂を除去する活動を2019年度より実施した（図5-3）。その際、魚道上流側の滞筋を土嚢などを使ってコントロールすることにより、少しでも堆砂しにくい形状となるよう工夫した。活動の前後でアユ等の魚類分布状況がどのように変化するか、落差工ごとに調査することで明らかにした（図5-4）。



図5-3 魚道に堆積した土砂の除去作業



図5-4 魚類分布調査



また、多様な主体を活動に巻き込んでゆくための方策を探索的に検討することを目的として、新大宮川を美しくする会が主催する連続講座の参加者にアンケートを実施した（法理ら 2021）。小さな自然再生活動への参加に期待される要因の抽出を試みるため、活動に参加可能な頻度や時間、参加した連続講座に対する満足度等について分析を行った。併せて、多様な主体を活動に巻き込んでゆくための方策を検討するために、自由記述の回答の内容を共同研究者間で協議し、「強み（strengths）・弱み（weaknesses）・機会（理想）（opportunities）・脅威（threats）」の4カテゴリーに分類し、テキストマニング分析によりカテゴリーごとにキーワードの抽出を行い、クロス SWOT 分析を行った。

### 5.2.3. 愛知川

主に東近江市を流れる愛知川は、秋季にビワマスが遡上するが、河口から 30km 程度遡上して上流域に産卵することが知られている県内でも珍しい河川である。愛知川の支流である渋川にもそのようなビワマスが遡上しているが、本流から約 500m 上ったところで落差約 2.5m の堰堤があり、ビワマスが遡上できないことが明らかになった。

そこで 2021 年度より、地元漁業組合（愛知川漁業協同組合）が中心となり、地元住民、環境保全に関心のある市民、事業者、東近江市、公益財団法人、滋賀県、研究者らが協働して、堰堤に仮設魚道を設置する検討を開始した。県土木事務所などとも協議を行い、また河川の流れシミュレーションも実施して、洪水時にも河川水の流下に支障がないように、折り返し構造を持つ U 字溝を使った魚道を設置することとした。2021 年度は試行的な設置を行い、課題を確認した上で、2022 年度には実際に設置してビワマスの遡上状況を確認した（図 5-5）。



図 5-5 堰堤への仮設魚道設置作業

また、地域の小さな自然再生活動への継続的な参加に影響をおよぼす心理的要因を検討することを目的として、活動の参加者へアンケートを行った（法理ら 2022）。愛知川への訪問頻度、および本活動への参加後に愛知川を再度訪れたいと感じたかどうかについて回答を求めた。また、本活動への参加後の気持ち（10 種類：「愛知川」の好きな部分が見つかった気がする、川に触れ合うことでワクワクした等）について、「そう思う：5」から「そう思わない：1」までの 5 段階で回答を求めた。アンケート結果は重回帰分析により定量評価データの分析を行った。

### 5.2.4. 小さな自然再生のプロセス構成要素

小さな自然再生を進めていく上では、住民との協働や河川管理者との調整、資金の調達、科学的知見の活用、継続的な維持管理など多くの課題がある。そのうえ、小さな自然再生がどのように始まり展開していくのかのプロセスや、プロセスに応じてステイクホルダーに求められる対応が体系的に整理されていない。個別の技術や知見はあるが、どの段階で誰がどのように活用すれば効果的なのか、多くの場合明らかにはされていない。事例集は存在するが、取り組み内容が多様で固有性を持つため、ある場所でうまくいった方法が他にそのまま適用できるとは限らない。

そこで、中小河川における小さな自然再生を全国でさらに広めることを目的に、実施する上でのプロセス構成要素を明らかにした（佐藤ら 2022）。このように整理した体系に基づき各事例を評価することで、現状を理解し、今後必要となる事項を把握することが可能となる。小さな自然再生の生起・展開プロセスをできるだけ一般化し、具体的な事例に適用することは、中小河川における小さな自然再生の拡大を加速化させることにつながり、今後の河川整備・管理に資するといえる。

## 5.3. 結果

### 5.3.1. 家棟川

ビワマスの遡上状況については、プロジェクトメンバーの調査員が 2016 年度より毎年ほぼ同じ区間を、10 月中旬～11 月末まで調査している。その結果を図 5-6 に示す。2017～19 年度は確認魚影数は少ない状況が続いたが、2020 年度以降は増加傾向が見られた。



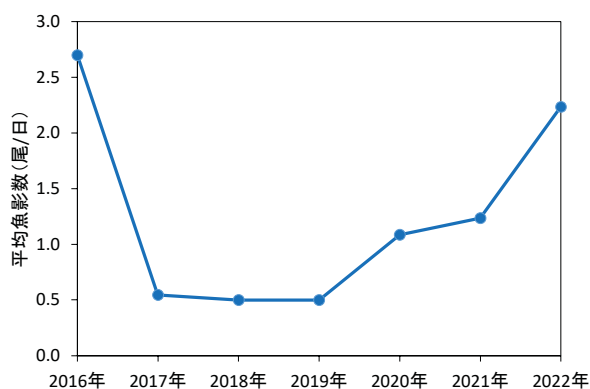


図 5-6 家棟川におけるピワマス遡上調査結果

仮設魚道については 2016～2021 年度にかけて毎年非出水期（10 月 16 日～6 月 15 日）に設置してきた。2018 年度には魚道を遡上するピワマスが初めて確認されたが（水野ら 2021）、2020 年度（2021 年 3 月）には初めて魚道上流側での産卵（稚魚）が確認された（図 5-7）。これにより、当該落差工に魚道を設置することで産卵可能範囲が広がり、ピワマスの再生産に好影響をもたらすことが実証された。



図 5-7 魚道上流側で初確認されたピワマス稚魚

中ノ池川に設置したバープ工は、iRIC による事前予測の結果を踏まえ、より河床変動が大きくなると考えられたハの字型で 2021 年 7 月 16 日に設置した（図 5-8）。2021 年 8 月 5 日および 2022 年 10 月 6 日にバープ工周辺を測量し、河床変動の状況を確認したところ、事前予測と同様に、ハの字の間で河床が低下する傾向が見られた（図 5-9）。また浚渫後は粘土層が露出して粒径の非常に小さな土砂が堆積していたが、河床低下した箇所ではより粒径の大きな砂地に変化していることが確認された。

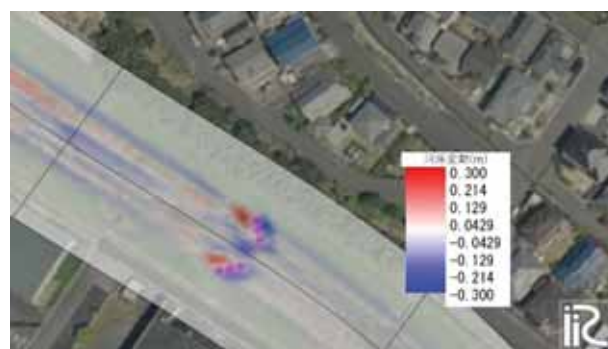


図 5-8 バープ工設置時の河床変動予測

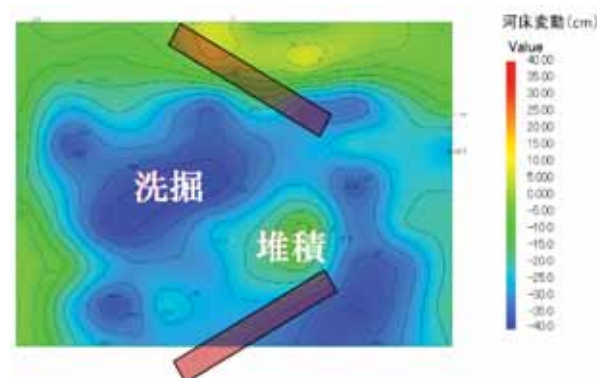


図 5-9 バープ工設置前後の河床変動調査結果

さらに 2021 年度（2022 年 3 月）のピワマス稚魚調査においては、設置したバープ工に隠れるような形で存在する稚魚を複数確認できた。出水時に上流から流されてきた稚魚が、流速の緩まるバープ工でとどまったと考えられ、レフュージアとしても機能することが確認された。

### 5.3.2. 大宮川

新大宮川において落差工のある区間ごとに魚類調査を行った。まず魚道の堆砂を除去する前（2019 年 5 月 27 日）に調査した結果は図 5-10 に示す通りであり、アユは最初の落差工①で遡上を阻まれていた。また同区間はオオクチバス等も多く確認されたため、被食リスクがあると考えられた。そこで、2019～20 年度にかけて、魚道の堆砂を除去する活動を合計 3 回実施したところ、2021 年度（2021 年 5 月 25 日）には調査対象区間の最上流までアユが遡上していることが確認できた（図 5-11）。

その後、一部区間では再度魚道の閉塞（堆砂）が確認されたため、さらに 2 回の活動を実施した。2022 年度の調査においてもアユが最上流まで遡上していることが確認された。

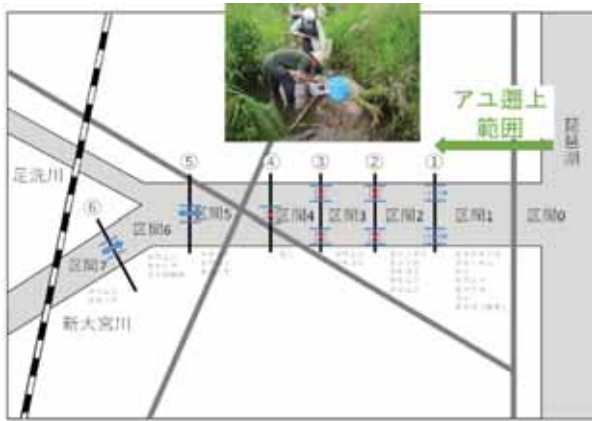


図 5-10 新大宮川における魚類調査結果（2019 年度）

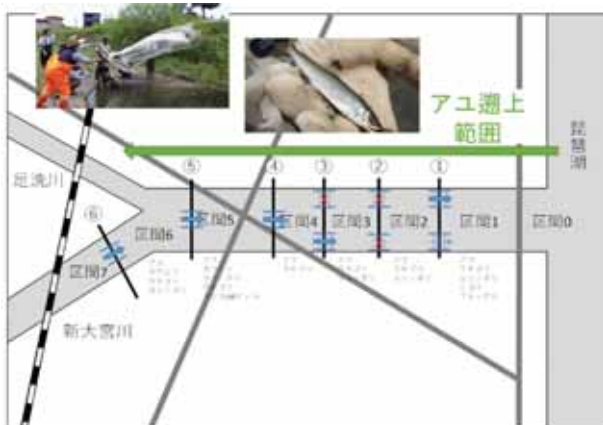


図 5-11 新大宮川における魚類調査結果（2021 年度）

アンケートの対象とした連続講座は 2020 年 8 月から 2021 年 2 月までに全 9 回開催され、のべ 99 名より回答を得た。クロス SWOT 分析の結果、機会（理想）と強みを活かす対策（積極戦略）：SO として、『新大宮川は、地元・地域内にある＝生活（暮らし）の中にある、自然環境を色々と学べる“場”、楽しめる“場”として機能することを発信する。子どもを含めた多世代へ伝えることによって、新たな楽しみの創発が期待される。』ことが導かれた。一方で弱みに与える脅威を回避する対策（致命傷回避対策）：WT として、『新大宮川への関心や、活動への参加者を遠い存在にしないように情報発信（若年層・中堅層へは SNS や口コミ、中堅層へは自治会回覧も有効。高年層へは広報誌・ポスティング・メールが有効）を行い脅威をヘッジする。』ことが導かれた（法理ら 2021）。

### 5.3.3. 愛知川

2022 年 10 月 16 日に渋川の堰堤に設置した魚道の全体像を図 5-12 に示す。魚道設置にあたっては、家棟川における経験を踏まえ、勾配が 1/5 以下になるように配慮した。また、魚道内には約 1m～1.5m おきに隔壁を設

置し、ビワマスがジャンプできるプールができるようにした。

その結果、10 月 18 日にはビワマスの遡上が確認された（図 5-13）。また堰堤の上下流側の産卵床を調査したところ、渋川における産卵区間が約 2 倍の長さになったことが確認された。



図 5-12 渋川の堰堤に設置した魚道



図 5-13 魚道を遡上するビワマス（愛知川漁協提供）

2021 年 11 月 7 日に実施された活動の初回参加者へアンケートへの回答を求め、合計 43 名より回答を得た。本活動への参加後の「気持ち（10 種）」のなかの「参加したことを誰かに話したくなった」に対する評価を本活動に対する口コミ行動ととらえ従属変数に置き、その他 9 種の「気持ち」への評価を独立変数として、重回帰分析（強制投入法）を行った。図 5-14 に現役世代の結果を示す（図中の  $R^2$  は決定係数、 $\beta$  は標準偏回帰係数を指す）。活動参加を通じて「自分なりの新しい発見があった」ことは、「参加した活動を誰かに話したくなった」という行動評価への規定要因となる可能性が示唆された（ $\beta=0.375$  ( $p<0.10$ ))（法理ら 2022）。

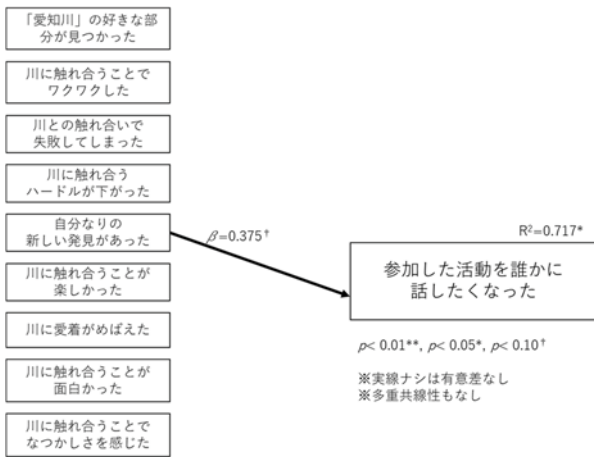


図 5-14 重回帰分析の結果（現役世代）  
（引用：法理ら 2022）

### 5.3.4. 小さな自然再生のプロセス構成要素

以上の実践研究で得られた知見から、小さな自然再生のプロセスを、4段階12要素に分割して整理した（佐藤ら 2022）。すなわち、①目標（目標の設定、ターゲットの選定）、②体制（ステイクホルダーの明確化、チームビルディング、河川管理者との調整、地域内の調整）、③技術と実行（保全再生、資金調達、方針・計画等との整合）、④維持管理（モニタリング、評価と改善、修復と撤去）である。各段階・要素の関係を図 5-15 に示す。

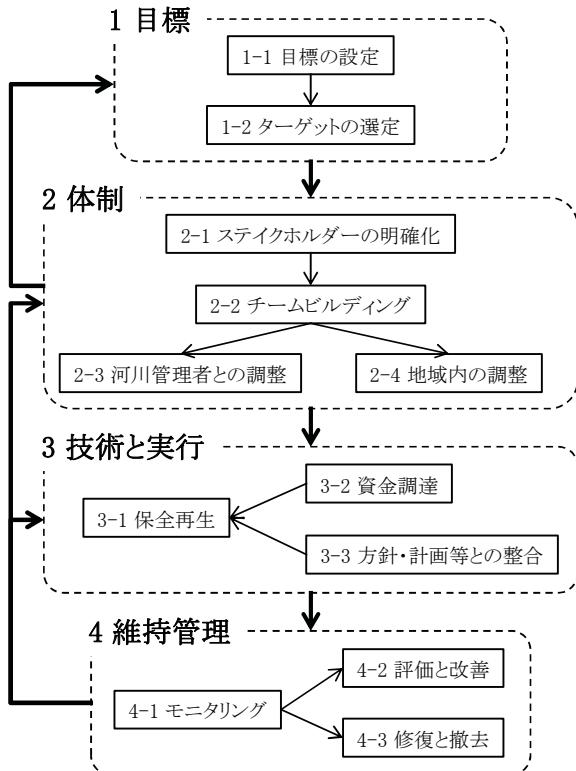


図 5-15 小さな自然再生のプロセス構成要素の関係  
（引用：佐藤ら 2022）

「目標」の段階では、多様な主体の理解と協力を得るために広い目標を立てること、また「地域の環境ものさし」（浅野ら 2018）による効果の測定と把握がやりやすいターゲットを選ぶことが重要である。「体制」の段階では、役割を持つ対等な立場のチームづくりをすることが必要であり、河川管理者もチームメンバーにすることが必要であり、キーパーソンへの早期の説明が重要であることなどがポイントとして挙げられる。「技術と実行」の段階では、市民が関われる技術による保全再生を進めることが重要であり、費用については行政予算だけでなく、助成金、寄附、クラウドファンディング等の活用などが考えられる。「維持管理」の段階では、ターゲットと工作物のモニタリングを継続的に行うことになるが、住民等がモニタリングを担うと効果的であり、またすぐに成果がでなくて当然と考へ、地道に取り組む姿勢が必要である。

同じ取り組みを複数年に渡り続けることは、労力的にも資金的にも負担が生じる。そのときに、新しいメンバーを体制に入れたり、展開に応じて活動内容を見直したりといった、柔軟な対応を取れることが鍵となる。

### 5.4. 考察

以上の結果を踏まえて、河川管理者が主導する従来の自然再生と比べた小さな自然再生の特徴について考察する（佐藤ら 2022）。

小さな自然再生が優位であると考えられる点は、大きく以下の3つである。

1 点目は、費用が小さく、結果に応じてやり直せることである。自然再生は結果の不確実性が高いが、小さな自然再生であれば、修復と撤去を前提とした工作物の設置等を行うので、改善を繰り返して成果につなげることが可能となる。生態系保全において必要とされる順応的管理との相性がよいのが特徴といえる。

2 点目は、持続的な維持管理につながることである。小さな自然再生は多様な主体の協働関係に大きな特徴がある。多様な主体が関わることで維持管理のリソースも多様となり、リスクヘッジのように機能する。また住民が維持管理の一端を担うことができれば、日々の散歩がモニタリングとして活かされることもあり、問題点が迅速に共有され、人力でほとんど資金を使わずに修復できることもある。

3 点目は、地域内外に広がり、様々な波及効果をもたらすことである。小さな自然再生は関わる人が多様であるがゆえに多様なチャンネルで活動が広まりやすい。他地域の市民から「自分のいる地域でもやってみたい」といった声が上がリ、取り組みを拡大するきっかけにもなっている。一つ一つは「小さな」自然再生でも、拡大す



ることで「大きな」自然再生につながる。

一方で小さな自然再生の最も大きな課題は、体制づくりにある。河川管理者や行政部局などが住民らに声をかけて体制を構築すると、必然的に行政主導の場になってしまい、適切な役割分担を行うことが難しくなる。住民らが問題に気づいて声を上げ、そこに河川管理者や研究者らが協力するという順序で進めることが、対等な関係を構築する上で重要となる。逆に言えば、住民らが気づいていない問題を、小さな自然再生で取り組むことは難しい。中小河川の中でも、人の目に触れやすい都市内河川での適用事例が多いのは、そうした背景もあると考えられる。

また小さな自然再生が対象とする規模は様々であるが、川幅が数m～数十m程度の規模の河川で行われることがほとんどであり、100mを超える河川での適用事例は数少ない。そうした比較的大きな河川での自然再生は、やはり河川管理者主導で実施する必要がある。それぞれの特徴を活かした事業・活動の展開が求められる(表5-1)。

表5-1 従来の自然再生と小さな自然再生の比較  
(引用:佐藤ら 2022)

| 項目          | 従来の自然再生 | 小さな自然再生 |
|-------------|---------|---------|
| 自然再生にかかる費用  | △       | ○       |
| 修繕のしやすさ     | ×       | ○       |
| 順応的管理との相性   | ×       | ○       |
| 維持管理の継続性    | △       | ○       |
| 住民・市民の理解と協力 | △       | ○       |
| 体制づくりの容易さ   | ○       | ×       |
| 責任の所在の明確性   | ○       | △       |
| 中小河川への適用    | ○       | ○       |
| 大河川への適用     | ○       | ×       |

## 5.5. まとめ

2015年度に始まった「家棟川・童子川・中ノ池川にビワマスを戻すプロジェクト」を対象として、引き続き小さな自然再生による在来魚保全・再生活動を実施した。本研究(2020～2022年度)において新たに実施・協力して得られた成果は主に以下の通りである。活動を継続し、

創意工夫を重ねていくことで、より多様な効果が得られることが明らかになった。

①落差工に設置した仮設魚道をビワマスが遡上し、2020年度には上流側での産卵を初確認した。

②中ノ池川の浚渫工事にあわせてバープ工を設置したところ、周辺で瀬淵の形成が進み、河床材が泥から砂地に変化する効果が見られた。また2021年度にはバープ工でビワマス稚魚が確認され、生物の生息・避難場所になることがわかった。

③地元住民による連日の調査・監視により活動の周知が図られ、密漁被害がほぼなくなった。

④仮設魚道の本設化に向けた地元および土木部局との協議が進展した。

家棟川において得られた市民との協働や魚道構造、モニタリング手法等の経験を他流域に横展開するため新大宮川、および渋川においても小さな自然再生活動を実施した。新大宮川では、魚道に堆積した土砂を除去してアユの遡上経路を確保し、実際にアユが遡上していることを確認できた。渋川では、約2.5mの砂防堰堤にビワマス魚道を設置する検討を行った。2021年度に予備的な作業を行い、また2022年度に仮設魚道の設置を行ったところ、多数のビワマスが遡上して上流側で産卵するのが確認された。また、小さな自然再生活動に参加する市民らの認識等を把握するために、新大宮川および愛知川ではアンケート調査を実施した。愛知川における調査の結果、活動参加を通じて「自分なりの新しい発見があった」ことは、「参加した活動を誰かに話したくなった」という行動評価への規定要因となる可能性が示唆された。

以上で得られた知見を元に、小さな自然再生を進めるためのプロセス構成要素とステイクホルダーの役割を体系的に整理した。提案した体系は、新たに小さな自然再生を開始する際や、取組の課題を抽出し改善方策を検討する際に活用することが可能である。

## 6. 森—川—湖のつながりの総合解析

### 6.1. 森から川への土砂流出の原単位の推定

森から川への土砂生産の原単位数はどの程度なのか、雨量や表層の被覆特性が土砂流出に関わるのか、基礎的事項でありながらもデータを得ることが困難である。そのため、エビデンスデータと呼ばれる信頼性の高いフィールド調査データだけで、森の表層から川への単位時間あたりの単位面積あたりの土砂生産量が推定されることはほとんどできなかった。しかし、本研究ではサブテーマ1の研究により、森林表層からの土砂流出に関して、比叡山と大篠原の竜王山のフィールドデータを得ることができた。さらに、滋賀県の耕地課の協力で、愛知川の森林域にある永源寺ダムの毎年の森から流入してきた土砂堆積量のデータを得ることができた。これら比叡山、竜王山、永源寺の3か所で得られたデータを集計した結果、以下のようになった (Mizuno et al 2021)。

#### <パターン1 下層被覆率 0 ~ 30% の集計結果>

年間最大72時間降雨量の範囲は133~540 (mm)、平均値は322 (mm)、中央値は343 (mm)であった。年間の土砂生産量の範囲は60.1~3779.5 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )で、平均は1247.2 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )であった。

#### <パターン2 下層被覆率 30 ~ 60% の集計結果>

年間最大72時間降雨量の範囲は129~455 (mm)、平均は271 (mm)、中央値は256 (mm)、年間土砂生産量の範囲は76~11924 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ ) 平均値は2463 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )。

#### <パターン3 下層被覆率 60 ~ 100% の集計結果>

年間最大72時間降雨量の範囲は91~200 (mm)、平均は137 (mm)、中央値は133 (mm)、年間土砂生産量の範囲は1.3~18.5 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )、平均値は7.3 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )。

上記の、3地点のエビデンスデータに基づき72時間年間最大雨量による土砂生産量を一般化線形回帰モデルのポアソン混合効果回帰モデルで分析を行った。その結果、森から川への土砂生産について雨量や植生被覆を踏まえた原単位、すなわち1年あたりの1平方キロメートル ( $\text{km}^2$ ) 当たりの土砂生産量 (立法メートル:  $\text{m}^3$ ) を推定することができた (図6-1 参照)。

#### <パターン1 下層被覆率 0 ~ 30% の場合の土砂流出の原単位>

595.9 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )

#### <パターン2 下層被覆率 30 ~ 60% の場合の土砂流出の原単位>

219.2 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )

#### <パターン3 下層被覆率 60 ~ 100% の場合の土砂流

出の原単位>

16.3 ( $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ )

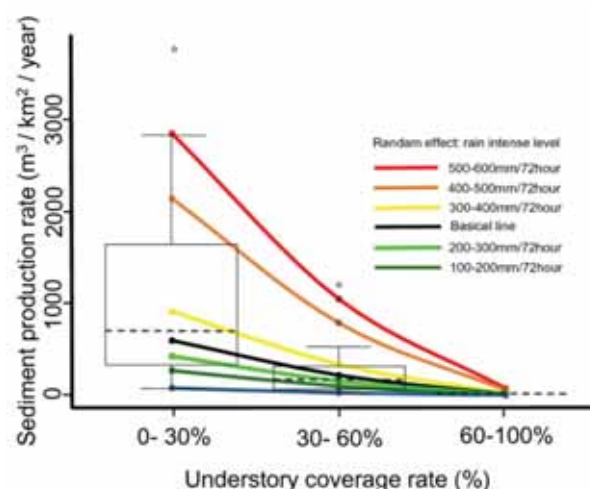


図6-1 森林の下草の植生被覆割合別の年間最大72時間連続降雨量別の1年間あたりの1 $\text{km}^2$ 当たりの推定土砂生産量 ( $\text{m}^3$ ) (引用: Mizuno et al. 2021)

### 6.2. 森—川—湖のつながりを示す森林表層から琵琶湖への土砂流入量のシミュレーションによる推定値

琵琶湖流域の森林表層からの土砂フラックス量の変化を推定した研究はなかった。そこで、土砂流出に関する原単位の研究成果を応用し、仮説に基づくシナリオ評価として、1999年前後で年間土砂フラックスがどの程度変化するかをシミュレーション解析により解析した。

滋賀県の森林統計ハンドブックには、シカによる林業被害の実態が統計として記載されている。滋賀県では、1999年以前はおよそ50ha以下であった。しかし、2003年には224haとなり、2012年においては281haと最大面積となった。林業におけるシカ被害面積は、シカの生息数に比例すると考えられる。また、滋賀県の森林域の実際の林床被覆0-30%の面積も、シカの生息数に比例すると仮定した。

2012年のシカによる林業被害281haの時に、滋賀県全域における林床被覆率0-30%の面積は39,590haであった。同じシカの生息数が要因であるため、比例式281:39590が成立すると仮定した。この比例式に基づきシカの林業被害面積から、琵琶湖流域全域の林床被覆0-30%の面積を推定した。その結果に、年間土砂生産量の原単位 (Mizuno et al 2021) を適用して、シミュレーション計算により各年の年間土砂生産量を求めた。さらに、1999年以前(1992年から1999年)と1999年より後(2000年から2020年)の平均土砂生産量を求めグラフで示した (Mizuno 2022) (図6-2 参照)。

**<パターン1:1992年から1999年までの森林表層から琵琶湖に流入する平均土砂量の推定値>**

全体量：188,449m<sup>3</sup>

(内訳)

下層植生60%以上被覆率の森林域から： 22,047m<sup>3</sup>

下層植生30-60%の被覆率の森林域から：138,743m<sup>3</sup>

下層植生30%未満の森林域から： 27,659m<sup>3</sup>

**<パターン2:2000年から2020年までの森林表層から琵琶湖に流入する平均土砂量推定値>**

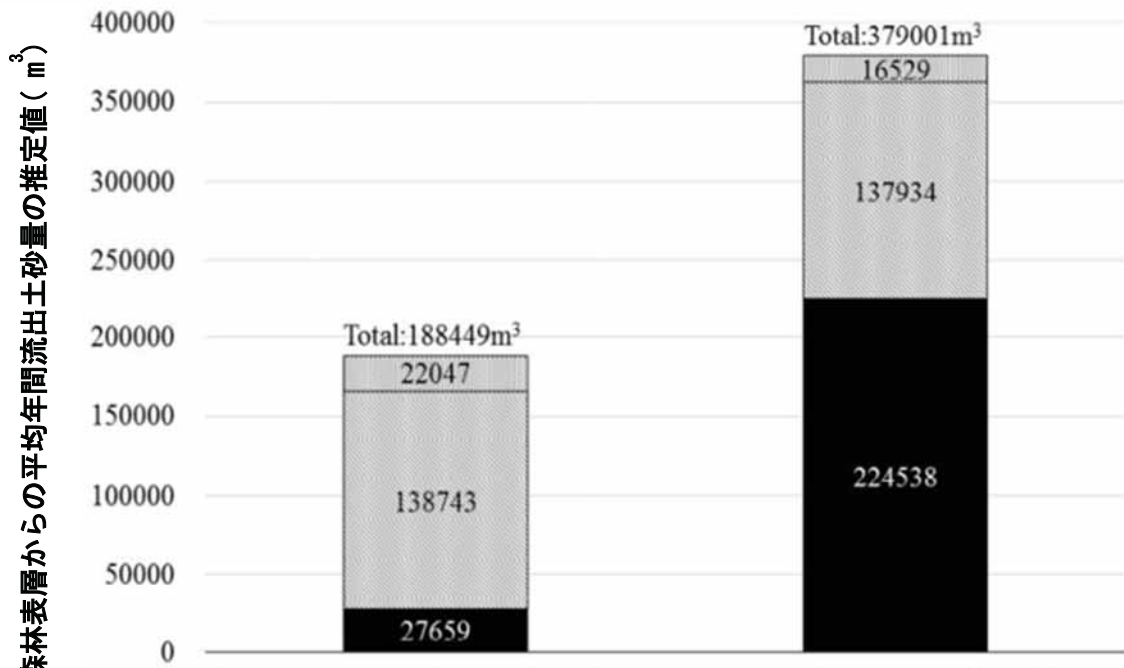
全体量：379,001m<sup>3</sup>

(内訳)

下層植生60%以上被覆率の森林域から： 16,529m<sup>3</sup>

下層植生30-60%の被覆率の森林域から：137,934m<sup>3</sup>

下層植生30%未満の森林域から： 224,538m<sup>3</sup>



1992年から1999年までの琵琶湖流域の森林表層からの年間土砂生産量の推定値

2000年から2020年までの琵琶湖流域の森林表層からの年間土砂生産量の推定値

図 6-2 シミュレーションによって求められた琵琶湖流域における「1992年から1999年まで」および「2000年から2020年」までの森林表層からの平均年間流出土砂量(m<sup>3</sup>)の推定値 (引用: Mizuno 2022)



## 7. 考察と政策提言

### 7.1. 考察

河川に流れてきた土砂の堆積した体積変動を動的に測定することは、従来はとても手間のかかることであった。さらに、河床の表層の粒径分布状態などを測定することも手間がかかり、河川管理に簡易に応用することは難しかった。しかし、在来魚の保全に向けた河床の礫管理方法に関する研究成果から、連続画像データを用いた SfM 解析など環境遷移を測定する技術を応用すれば簡便に森一川一湖の土砂や水のつながりの変化によるアユやビワマスの生息環境への影響の評価が可能になるものと考えられる。

生態系を保全するためには、現場における「参考となる良い事例: Better case study」の経験的な知見が重要となる。本研究では滋賀県における小さな自然再生の拡大・推進についての家棟川の研究成果から、多様な主体による保全活動の知見や経験を良い事例として参照することができた。さらに、新大宮川や愛知川にそれらの知見や経験を応用することができて、それが森一川一湖の水系のつながりの回復に効果を上げて、実際にアユやビワマスの遡上数を増加させ保全回復に至ることができた要因と考えられる。

### 7.2. 森林域から川への土砂のつながりに関する政策提言

森の下草の被覆率が土砂流出と関係することを明らかにした研究成果から下記のような政策提言が考えられる。

**提言 1.1)** 林床植生の被覆率 60%以上を目標として、森の下草が生育できる明るい林床になるように森林管理を促進する。

**提言 1.2)** 森の下草の生育を促進するために、シカ食害管理、人工林の適切な間伐、広葉樹の植樹などの森林管理を積極的に行う。

**提言 1.3)** 泥分の土砂流出を抑制して、アユ、ビワマス、イワナ等の在来魚の生息環境の改善につなげる。

### 7.3. 在来魚の保全に向けた河床の礫管理方法に関する政策提言

UAV（ドローン）測量や水中写真による河床の粒径分布評価法など、魚類の産卵床に重要な河床の環境変遷を明らかにする解析技術の研究成果から下記のような政策提言が考えられる。

**提言 2.1)** 「UAV（ドローン）測量」や「写真による河床材粒径測量」などにより、例えばアユの産卵床に好適な 2-16mm の小中礫やビワマスの産卵床に好適な 17-64mm

の中礫の分布など、河床の粒径分布を河床環境モニタリングの指標として、在来魚が産卵しやすい河川環境を再生創出することが望ましい。

**提言 2.2)** 上流からの土砂供給が少なく移動する小中礫が足りない場合には、短期的に産卵環境を改善する対策方法の一つとして、固定化した河床の砂礫堆（砂洲）を耕耘等で強制的に変化させ、土砂の供給と移動を局所的に促進させる方法もある。

**提言 2.3)** 産卵環境の改善には土砂移動の促進が重要ではあるが、例えばビワマスやアユなど遡上降下する魚種には「瀬切れを防ぐ川づくり」や「魚道により遡上経路の阻害解消」も重要である。

**提言 2.4)** アユやビワマスの産卵床に必要な小中礫が上流域から河口まで滞りなく流下していることが確認できるように、UAV（ドローン）測量などにより、河道内の土砂堆積量の体積変化をモニタリングして、河川管理事業等において活用していくことが望ましい。

**提言 2.5)** 河川管理者や地元住民、企業など多様な主体が河川の土砂環境の情報や生物多様性の情報を共有し、望ましい河床環境の在り方についての合意形成の過程で、土砂環境情報を利用できるようすることが望ましい。

### 7.4. 滋賀県における小さな自然再生の拡大・推進についての政策提言

多様な主体による小さな自然再生が継続するための要点の研究や、取り扱う規模の特性などについての研究成果から下記のような政策提言が考えられる。

**提言 3.1)** 中小河川において「小さな自然再生」の技法や既存知見を活かして在来魚の保全を促進していく必要がある。また、大河川での自然再生は河川管理者主導で実施することが望ましい。

**提言 3.2)** 小さな自然再生の最も大きな課題は、体制づくりにある。河川管理者や行政部局などが住民らに声をかけて体制を構築すると、必然的に行政主導の場になってしまい、適切な役割分担を行うことが難しくなる。住民らが問題に気づいて声を上げ、そこに河川管理者や研究者らが協力するという順序で進めることが、対等な関係を構築する上で重要となる。

**提言 3.3)** これらの特徴を踏まえた上で、小さな自然再生を滋賀県各地で推進していくことが必要である。

## 8. 今後の課題と研究の方向性

第四期、第五期、第六期までの研究成果により生態系をうまく活かせば減災などに役立つつつ、アユやビワマスの生息環境を守れることが明らかとなった。しかし、滋賀県の生態系による減災効果 Eco-DRR 機能は未だ明らか

かになっていないという課題がある。そこで、これまでの知見を活かして、次世代の気候変動適応策として重要な生態系のグリーンインフラ機能に着眼して、その効果評価をしていく必要があるものと考えられる。UAV（ドローン）や水中カメラなどによる河川環境変遷評価技術の有用性は、本研究で明らかとなった。しかしながら、グリーンインフラやEco-DRRの機能評価に使える評価技術の開発については今後の課題である。そこで、これまでの知見を活かして、グリーンインフラやEco-DRRの評価に有用な技術手法の開発をしていく必要があるものと考えられる。本研究結果から「小さな自然再生」は、特に中小河川の生態系の再生回復に有用であることが明らかとなった。しかし、「小さな自然再生」が、グリーンインフラとしての機能を果たしていくためには、指針がまとまっていないという課題が残っている。そこで、グリーンインフラ機能の回復に向けた、「小さな自然再生」の他地域への展開に必要な社会的・行政的な指針作りをする必要があると考えられる。

## 9. 謝辞

政策課題研究2は、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」および「環境と経済・社会活動を両立する地域循環経済創生プロジェクト」の一環として実施しました。また、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。

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。

第3章および第4章におけるUAV（通称：ドローン）による写真測量やSfMに関する技術研究および地域への研究成果のアウトリーチに関しては、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。

第5章「小さな自然再生」の実践に関する研究は、京都大学防災研究所地域防災実践型共同研究「地域特性に応じた小技術を用いた治水・環境調和型の河道維持手法の開発」の一環で実施されました。

第6章の総合解析に関する研究は、総合地球環境学研究所「RIHN14200103 人口減少時代における気候変動適応としての生態系を活用した防災減災（Eco-DRR）の評価

と社会実装（代表 吉田丈人）」の滋賀グループ（代表 深町加津枝）の汎濫原チーム（代表 瀧健太郎）の研究の一環として実施されました。

本研究を実施するにあたり、滋賀県の環境政策課および流域政策局など多くの部局の皆様にご協力いただきました。また、研究成果の社会実装に際しては地域のNGO・NPO、市や町などの自治体、法人、組合、有志の個人等、多様な主体の皆様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。

## 10. 引用文献

### 第1章

藤岡康弘（2017）第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）：152-173. サンライズ出版, 滋賀県.

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(2)：89-106.

岩槻幸雄・田中文也・稲野俊直・関伸吾・川嶋尚正（2020）サクラマス類似種群4亜種におけるCytochrome b全領域（1141bp）解析による6つの遺伝グループの生物学的特性と地理的遺伝系統（Iwatsuki et al., 2019の解説）. Nature of Kagoshima Vol.47:5-16.

Iwatsuki, Y., T. Inoue, F. Tanaka and K. Tanahara. (2019) The southernmost population of *Onchorhynchus masou masou* from Kyusshu Island, Japan and gross genetic structure of the *O. masou* complex from the northwestern Pacific. The Proceedings of the International Symposium on the 100th Anniversary of the Discovery of Formosa Landlocked Salmon (Gwo, J.-C., Shieh, Y.-T., Burrige, C. P. Eds.). Taiwan Ocean University Press: 101-118.

久米弘人・西森克浩・大山明彦・亀甲武志・田中秀具（2021）資料コア資源予測調査データ（平成30年度）. 滋賀県水産試験場研報 57:119-134.

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. 琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 第13号：28-46.

水野敏明・小島永裕・東善広・佐藤祐一・北井剛・浅野悟史・小倉拓郎・山中大輔（2020）政策課題研究2 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. 琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 第 16 号: 31-54.

尾田昌紀・淀太我(2017)産卵床の増減からみたビワマス資源への遊漁の影響評価. 魚類学雑誌 64(1):19-2  
滋賀県(2023)ビワマス. <https://pref.shiga.lg.jp>, 滋賀県ホームページ (2023年11月28日確認)  
Tabara, R., Kakioka, R., Tominaga, K., Komiya, T., Katsutoshi Watanabe, K. (2016) Phylogeny and historical demography of endemic fishes in Lake Biwa: the ancient lake as a promoter of evolution and diversification of freshwater fishes in western Japan. *Ecology and Evolution*. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.2070>  
Takeshima, H., Iguchi, K., Hashiguchi, Y., Nishida, M. (2016) Using dense locality sampling resolves the subtle genetic population structure of the dispersive fish species *Plecoglossus altivelis*. *Molecular Ecology* 25(13): 3048-3064.  
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.

### 第3章

国土交通省(2023)水文水質データベース. <http://www1.river.go.jp/>, 2023年10月30日確認.  
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 寛(2000)表層土壌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.  
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.  
水野敏明・小島永裕・東 善広・佐藤祐一・北井 剛・浅野悟史・小倉拓郎・山中大輔(2021)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. 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター研究報告書, 16:31-54.  
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.  
林野庁(2018)平成29年度溪畔保全プロジェクト林における調査事業報告書, pp125.

産業技術総合研究所地質調査総合センター(2018)20万分の1日本シームレス地質図 2023年5月10日更新版. 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.  
鈴木雅一・福嶋義宏(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-. 水利科学, 33(5):89-100.  
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 卷 12 号: 469-480.

### 第4章

早川裕弐・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.  
村上正人(2019):河床材料調査, 砂防学会誌, 71(6), 59-63.  
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.  
尾田昌紀(2010)琵琶湖流入河川におけるビワマスの産卵床分布. 日本水産学会誌 76 卷 2 号: 213-215.  
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. 一般財団法人国土技術研究センター:1-2.

### 第5章

浅野悟史, 脇田健一, 西前出, 石田卓也, 奥田昇(2018): 「地域の環境ものさし」による生物多様性保全活動の推進, 農村計画学会誌, 37(2).  
法理樹里・西村俊昭・山口美知子・佐藤祐一・水野敏明(2022):地域の小さな自然再生活動の継続に影響を与える参加者の主観的評価とは? -滋賀県東近江市版 SIB 「愛知川の小さな自然再生事業」を事例として-, 第 34 回日本沿岸域学会研究討論会.  
法理樹里・山本克也・佐藤祐一(2021):多様な主体の協働による地域の小さな自然再生活動に期待される要因の検討-河川愛護団体「新大宮川を美しくする会」主催連続講座を事例として-, 日本沿岸域学会令和 3 年度全国大会要旨集.  
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.

水野敏明・小島永裕・東善広・佐藤祐一・北井剛・浅野悟史・小倉拓郎・山中大輔 (2021) : 政策課題研究 2 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, 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター 研究報告書, 16 : 31-54.

佐藤祐一・瀧健太郎・藤岡康弘・水野敏明 (2022) : 中小河川における「小さな自然再生」推進に向けたプロセス構成要素の把握と適用, 河川技術論文集, 28 : 145-150.

小さな自然再生事例集編集委員会 (2015) : 水辺の小さな自然再生事例集, 日本河川・流域再生ネットワーク (JRRN) .

小さな自然再生研究会 (2020) : 水辺の小さな自然再生事例集第 2 集, 日本河川・流域再生ネットワーク (JRRN) .

## 第 6 章

Mizuno, T. (2022) Improving the sediment environment in the lake basin by conservation of the understory of the forest area in the basin of Lake Biwa, Japan. CHAPTER2. ENVIRONMENT AND HEALTH, 18th World Lake Conference. Governance, Resilience and Sustainability of Lakes for a Better Society (Sergio Antonio Silva Muñoz academic editor), Universidad de Guanajuato; Ediciones Comunicación Científica: Colección Ciencia e Investigación, ISBN: 978-607-59425-2-0: 147-158

Mizuno, T., Kojima, N., & Asano, S. (2021) The risk reduction effect of sediment production rate by understory coverage rate in granite area mountain forest. Scientific Reports 11, 14415. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93906-1>

## 11. 執筆担当

政策課題研究 2 の研究の背景と目的、総合解析に関する第 1 章・第 2 章・第 6 章・第 7 章・第 8 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。河川の環境変遷解析に関する第 4 章は東善広が執筆を担当しました。小さな自然再生に関する第 5 章の研究は佐藤祐一が執筆を担当しました。