

在来魚の保全・再生に向けた流域管理に関する研究

水野敏明・東 善広・井関明子¹⁾・北井 剛²⁾・小島永裕・三井香代子・大久保卓也³⁾・永田貴丸・佐藤祐一

要約

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・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ることにより、課題を俯瞰的に捉え、全体的な視野から生態系への影響要因を把握・評価するとともに、対応策の検討を進めることが必要となっている。そこで、在来魚の保全・再生に向けて、その分布・移動に影響を及ぼす「森—川—湖（河口域）の水系のつながり」に焦点を当てて、現況や問題点を明らかにすることを第一の目的として研究を行った。さらに、実際に再生回復事業を行う際の手法や手続きを検討するために、在来魚等の生息環境に配慮した流域管理のあり方の考え方を共有しつつ、多様な主体との協働による保全再生活動を行うための方法論を探ることを第二の目的として研究を行った。その結果、例えば、林床に下草のある森林からの土砂流出パターンはアユの好適産卵床の形成を促す可能性があることや、地域の多様な主体の協働によりビワマス産卵床を回復できることが示せるなど、総じて、魚介類のにぎわい回復を目標とした森—川—湖の水系のつながり回復のための施策に資する有用な研究成果を得ることができた。

1. はじめに

1.1. 研究の背景・必要性

琵琶湖流域では、各種施策の実施により、水質は改善傾向にある一方、在来魚介類の減少やプランクトンの変化など、生態系において新たな課題が顕在化している。これらの課題は、その要因が互いに影響し合い、一方の課題解決が必ずしも全ての課題解決につながらないなど、複雑化・多様化している。特に「在来魚介類の減少」は喫緊の課題であるが、生息環境の悪化や餌環境の変化など、様々な要因が複雑に絡み合っており、いまだ減少要因は明らかになっていない。そのため課題解決に向けて、個別の場合や要因に限らない全体的視点から、減少要因を科学的に明らかにするとともに、「在来魚介類のにぎわい復活」に向けた一体的施策の推進が求められている。特に在来魚の保全・再生に向けた流域管理を考える際には、森—川—海（湖）の水系のつながりを考慮して施策を実施することが重要であることが、生物多様性国家戦略の中で言及されている（環境省 2012）。

現在、琵琶湖流域の森林では、シカ食害や人工林の手入れ不足による林床の裸地化とそれに伴う土砂流出の問題が顕在化してきている。また、河川においては河川構造物への土砂堆積や、河床の硬化（アーモークート化）の問題が顕在化し、河口部の湖辺においては浜欠などの問題が顕

在化してきている。総じて、森—川—湖の水や土のつながりが途切れて劣化している可能性が考えられる。このことは、川と湖を往来して河床の礫を好適産卵場所とする魚類に大きな影響を与えている可能性がある。しかしながら、その現況はほとんど明らかになっていない。

そこで本研究では「森—川—湖（河口）の水系のつながり」に関係する在来魚介類の生息環境、特に土砂移動動態に関する現況や問題点を明らかにすることを、第一の研究目的として研究を行った。さらに、実際の魚介類の再生回復事業を行う際の手法を検討するために、在来魚等の生息環境に配慮した流域管理のあり方の考え方を共有しつつ、多様な主体との協働による保全再生活動を行うための方法論を探ることを第二の目的として研究を行った。総じて、魚介類のにぎわい回復を目標とした森—川—湖の水系のつながり回復のための施策に資する研究を行った。

1.2. 研究の方法

本研究では在来魚類の研究対象魚類として、降下遡上し琵琶湖と河川を往来するシンボリックな魚類であり、さらに、水産重要種でもあるアユ(*Plecoglossus altivelis altivelis*)とビワマス(*Oncorhynchus masou subsp*)を選定した。河床に産卵するアユの好適な産卵環境の礫粒径は 2-16mm である（西田 1978）。また同様に河床に産卵するビワマスの好適な産卵環境の礫粒径は 17-64mm である（尾田 2013）。

1) 現・滋賀県甲賀土木事務所 2) 現・滋賀県立琵琶湖博物館（流域政策局） 3) 現・滋賀県立大学

アユやビワマスの選択的に好まれる産卵環境の礫粒径サイズは知られているものの、その礫の供給源や土砂移動動態は、未だわからないことが多い。また、魚類の分布は産卵環境だけではなく、流量や水質などの生息環境や移動経路環境など、複数の環境要因が絡んでいるため、現場の知見の集積が必要とされている。こうした研究の背景から下記の a) b) c) d) の4つの研究アプローチの視点から研究を構成して琵琶湖環境科学研究センター政策課題2では a) c) d) の研究を実施した(図1)。

a) 上流からのアプローチ

→土砂のつながりに着目した研究:

a-1) 河川の土砂移動動態の研究(2章)

a-2) 森からの土砂流出動態の研究(3章)

b) 下流からのアプローチ

→水田・内湖のつながりに着目した研究

(ホンモロコ・ニゴロブナ対象 水産試験場)

c) 河川環境からのアプローチ

→河川環境と魚類分布に着目した研究(4章)

d) 再生回復からのアプローチ

→多様な主体の協働による保全活動のあり方研究(5章)

また、最後に研究成果をアユ・ビワマスの視点で共通する a) c) d) の3つの研究アプローチの視点別にまとめを行い、研究総括を記述した(6章)。

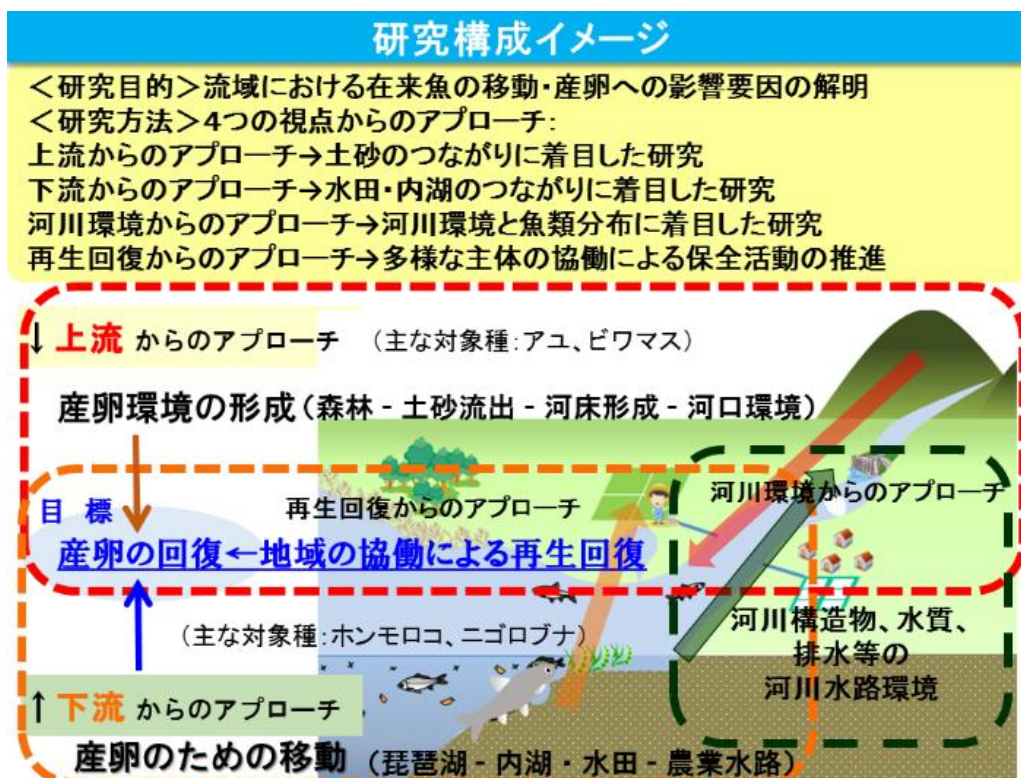


図1 研究構成のイメージ図

2. 土砂のつながりに着目した研究: 河川の土砂移動動態の研究

2.1. 研究の背景と目的

琵琶湖のアユは、浮石状態の粒径 2-16mm 程度の礫が豊富にあることが好適産卵環境である(西田 1978)。同様にビワマスは 17-64mm の中礫が豊富にあることが好適産卵環境である(尾田 2014)。しかしながら、近年、琵琶湖に流入する多くの河川では、河川構造物や流況変化などにより、森一川一湖の土砂のつながりが途切れて、好適産卵環境を形成するような、移動する礫による河床面積が減少し

ている可能性がある。河川における好適産卵環境を形成し移動する礫の減少は、アユの産卵面積減少のリスク要因となっている可能性がある。しかしながら、土砂移動動態の特性変化によるアユ産卵環境への影響については、兵藤ら(2014)が指摘しているものの、ほとんど定量的な研究は行われていない。そこで、本研究ではアユの産卵環境形成に重要な「粒径 2-16mm 程度の礫」に焦点を当てて、「川一湖の土砂のつながり」が現在どのようになっているのか、土砂移動動態の特徴や問題点の把握を研究目的として研究を実施した。

2.2. 研究方法

2.2.1. 研究手順

研究は下記の(ア)～(エ)手順で行った。

(ア)掃流力理論式によるアユとビワマスの産卵可能区間予測地図（ポテンシャルマップ）の作成

(イ)愛知川の地形測量と河床材現地調査

(ウ)1次元河床変動シミュレーション粒径分布予測

(エ)河口堆積土砂のGIS（地理情報システム）解析による土砂移動動態の特徴把握

2.2.2. 掃流力理論式によるポテンシャルマップの作成の方法

河川工学などの理論においては、浮石状の河床材としてどのような粒径の礫環境の形成が生じやすいのかは、河川勾配や流量など物理的な要因によって決まる。特に浮石帯においては限界掃流力と移動する礫との力学的なバランスが拮抗していることが特徴である。そこで、本研究では岩垣の限界掃流力の理論式(岩垣 1956)と摩擦速度式に、粒径 2-16mm などのアユの好適な産卵環境条件を代入して、アユにとって好適な浮石帯の礫ができる河川勾配条件の理論値を導出した。同様に、粒径 17-64mm などのビワマスの好適な産卵環境条件を代入して、好適な浮石帯ができる河川勾配条件の理論値を導出した。最後に、各河川の河川勾配分布を国土地理院の基盤地図情報（数値標高モデル 5m）を用いて算出して、理論値にあわせて色分けをした主題図を作成した。

2.2.3. 愛知川の地形測量と河床材現地調査の方法

本研究ではアユ等の減少で問題が生じている可能性のある愛知川を研究対象河川として選定した（図 2-1）。

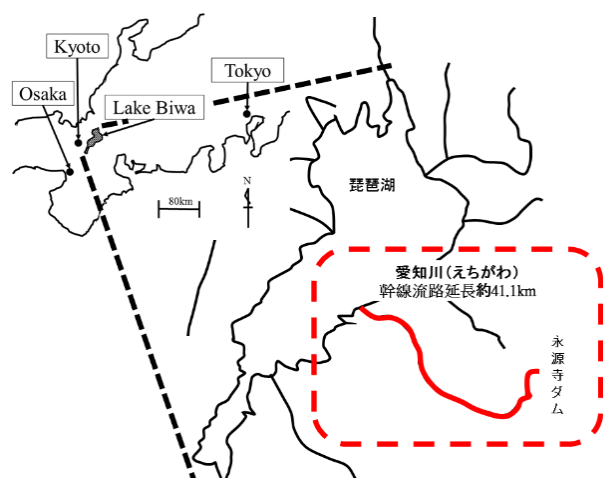


図 2-1 愛知川の位置

滋賀県流域政策局は、2013 年の台風 18 号の豪雨によって新たな河川地形が愛知川で形成された可能性があることから、河道地形のレーザー測量を行った。測量結果は DEM（数値標高モデル）データ化された。さらに、河床材の粒径分布について河口から 1.2km、3.6km、4.8km、6.6km、9.0km、15.0km、20.0km、26.2km の 8 地点で調査を行った（図 2-2）。

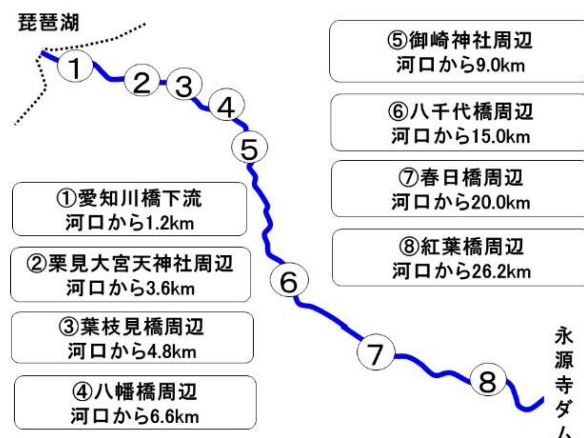


図 2-2 粒径調査の調査地点

2.2.4. 1次元河床変動シミュレーション粒径分布予測の方法

滋賀県流域政策局では、愛知川の永源寺ダムから河口にかけて約 26.3km 区間の土砂移動の特徴を 1次元河床変動シミュレーションで解析した。流入土砂量は掃流力見合いで設定した。土砂分布は河口から 19.2-26.3km の粒度分布調査結果と同じとした。流量は年 1 回程度の確率の豪雨として、過去の実績から 150t^m/s を土砂が移動する流量として設定した。交換層は 10cm で空隙率 0.4、低水路の粗度係数 0.0-2.0km 区間 0.022、2.2-26.3km 区間 0.035 と設定した。また、アユの産卵環境に重要な 2-16mm の粒径の土砂の分布の特徴を見るために、粒径別に土砂移動動態がわかるようにした。

2.2.5. 河口土砂の GIS 解析による土砂移動動態の特徴把握の方法

航空写真画像（1947 年、1961 年、1970 年、1991 年、2007 年）を用いて、愛知川の河口域湖岸線の変化を GIS により解析を行なった。具体的には、各航空写真画像の河口域の湖岸形状を判別してトレースして GIS データ化し、1940～1970 年代と 1980～2000 年代の河口域湖岸線の期間毎の位置の変化を定量的に比較した。

2.3. 結果

2.3.1. 掃流力理論式によるポテンシャルマップの作成の結果

理論式による演算の結果、好適産卵環境となる河川勾配の理論推定値が、アユについては 1/600~1/150、ビワマスについては 1/140~1/60 となった。

これらの河川勾配の理論推定値を用いて、アユやビワマスの主要産卵河川を対象として、河川区間を色分けして、好適産卵環境となる浮石の礫環境が形成されやすい可能性の高い(ポテンシャルの高い)区間を明示した(図 2-3)。

黄色がアユの好適産卵床のポテンシャルの高い区間、青色がビワマスの好適産卵床のポテンシャルの高い区間である。アユの好適産卵床のポテンシャルの高い区間は主に中下流域が多かった。一方、ビワマスの好適産卵床のポテンシャルの高い区間は、上流域に多い傾向が見られた。しかし、比較的勾配がきつい河川では、中下流域にも推定区間が見られた。

2.3.2. 愛知川の地形測量と河床材現地調査の結果

河床材の調査結果を過去の調査結果と比較したところ、現在は粗粒化が進んでいる傾向が明らかとなった。また、アユの産卵床に好適な粒径の 16mm 以下の礫が減ってきていることが明らかとなった(図 2-4)。

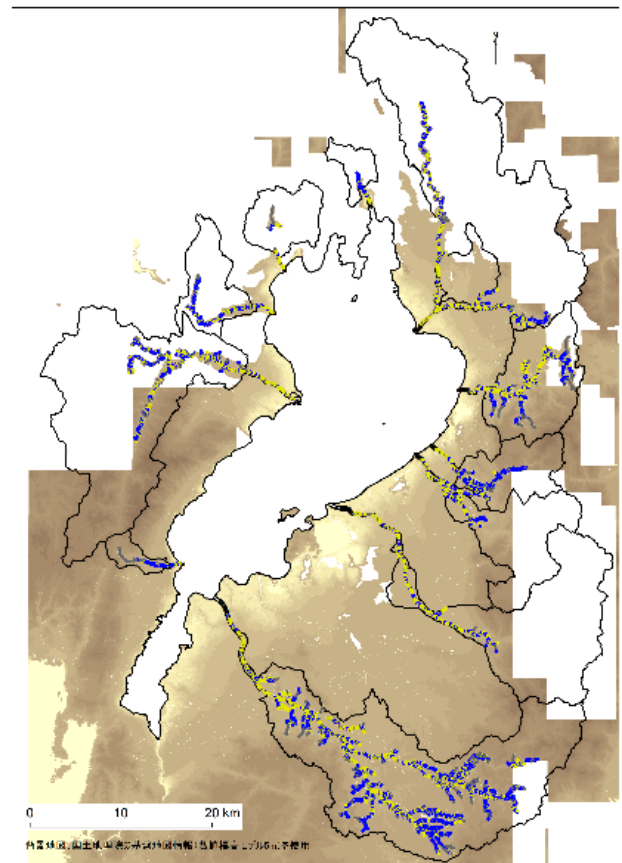


図 2-3 アユとビワマスの好適産卵床のポテンシャルマップ (黄色:アユ 青色:ビワマス)

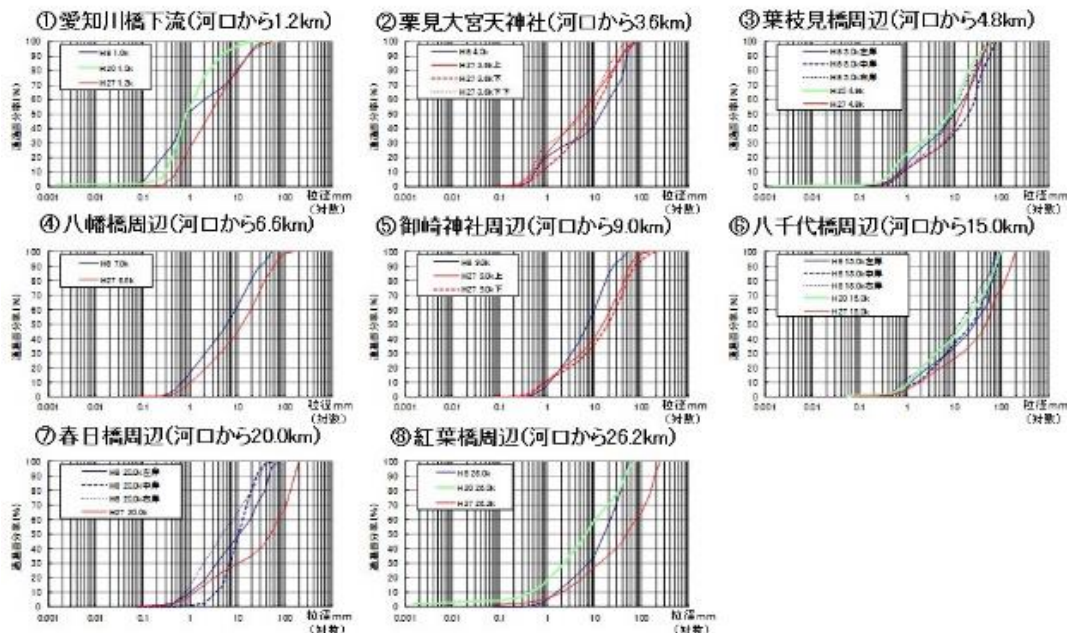


図 2-4 愛知川の各調査地点における粒径加積曲線

2.3.3. 愛知川における 1 次元河床変動シミュレーション粒径分布予測の結果

愛知川の永源寺付近の紅葉橋 (26.2km) 付近から御幸橋 (11km 付近) の区間は河床低下が著しいという結果となった。また、11-12km の河川区間にアユに好適な 2-16mm

程度の土砂を中心として土砂が溜まり、下流にうまく流れていかないことが予測された。しかし、葉枝見橋付近 (4.8km) から栗見橋付近 (2.0km) ぐらいまでの区間は、河床の上下変動が少なく平衡がたもたれて良好な産卵床が維持する可能性が示された (図 2-5、2-6)。

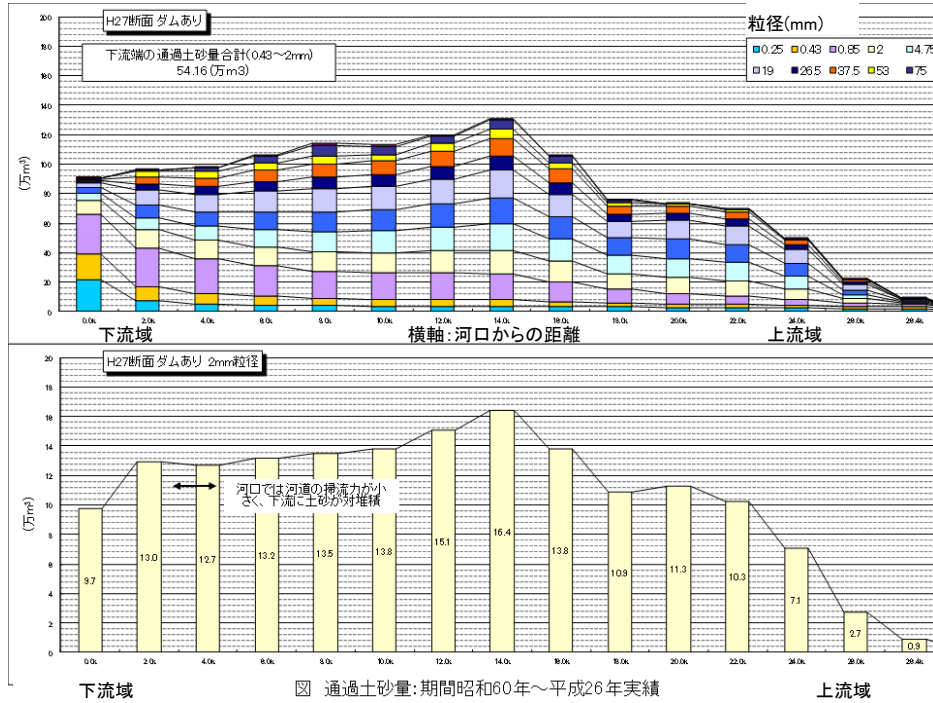


図 2-5 河口からの距離別の通過土砂量の特徴

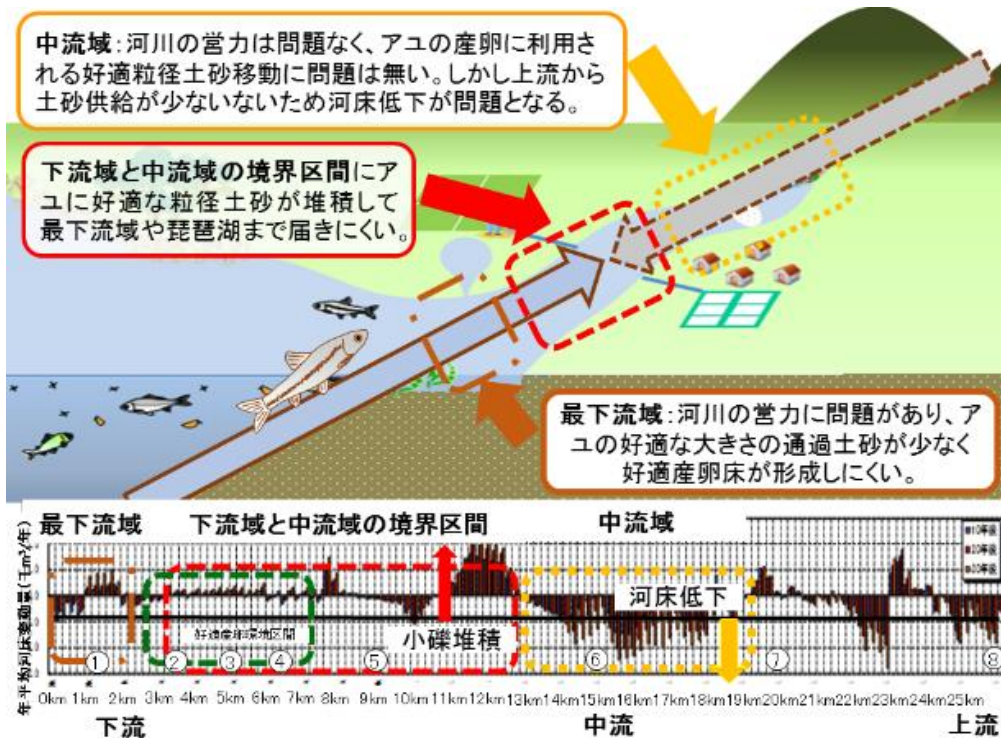


図 2-6 土砂移動動態のシミュレーションによる推定

2.3.4. 河口土砂の GIS 解析による土砂移動動態の特徴把握の結果

川から湖に向けての土砂輸送の特性については、川と湖の結節点である河口域での土砂の動きを把握することが重要であると考えられる（山田 2008）。そこで、航空写真を用いた GIS 解析により期間あたりの河口形状の変動特性について分析を行った結果、1980 年代以降は 1970 年代以前と比べて河口の湖岸線の変化が乏しくなったことが明らかになった。そのため、近年の河口域は 1970 年代以前にくらべると土砂移動による攪乱が少なく固定化している可能性があることが明らかとなった（図 2-7）。

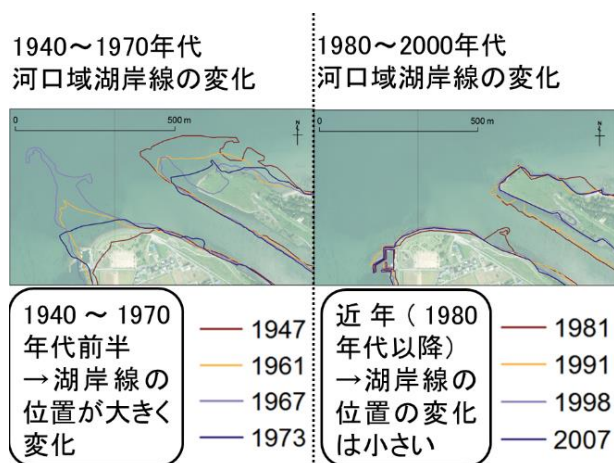


図 2-7 航空写真から求めた愛知川河口域における湖岸線変化*

*背景の航空写真は独立行政法人水資源機構琵琶湖開発総合管理所が 2007 年に撮影したものの。

2.4. 考察

理論的には琵琶湖の流入河川の河川勾配は、上流域から琵琶湖へ流出する河口域付近までアユやビワマスの好適な粒径の礫帯が形成されやすいことが明らかとなった。河川工学においては、こうした沖積河道区間について、似たような特徴を持つ区間ごとに河道を縦断的に区分する河道特性把握のための分類方法は「セグメント区分」と言われている（国土交通省 2014）。なぜ琵琶湖流域の河川のほぼ全流程でアユやビワマスの好適産卵床が生じやすくなっているのか、その原因を河道特性把握分類の視点で考察すると次の 2 点が重要である可能性が考えられた。

（理由 1）琵琶湖流域の河川はなだらかな平野部の河川勾配に相当するセグメント 3 に相当する部分がほとんど無い。（理由 2）少し勾配が大きいセグメント 1 からセグメント 2-1 の河床勾配の河道特性区間が多い。

上記の 2 点の河道特性があることからアユやビワマスの好適産卵床が生じやすくなっていると考えられる。

琵琶湖の魚類は琵琶湖の流域環境に合わせて数十万年

から数百万年かけて進化して固有性を持つようになってきたことが明らかにされた（Tabata et al 2015）。そのため、アユやビワマスの好適産卵環境の粒径と、琵琶湖流入河川の河川勾配の河道特性が合致するのは、流域環境に合わせて進化した結果の生態である可能性がある。

愛知川の 1 次元河床変動シミュレーションにより、現在の土砂移動動態は、過去とはかなり異なっている特性のある土砂移動動態となっていることが示された。その結果、現在の土砂移動動態の特性は、結果的にアユやビワマスなどの好適産卵環境面積を減少させてしまう可能性があることが示唆された。

河口の砂州の堆積面積の期間毎の変動を定量的に調べた結果、河口付近の土砂移動動態の固定化が進み、土砂移動動態そのものが少なくなっている可能性があることが見いだされた。そのため、河口域や河川周辺での好適産卵環境面積も減少している可能性もあることが示唆された。

3. 土砂のつながりに着目した研究：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きた。とくに、滋賀県南部地域には田上山があり、古くから「はげ山」であったことから、ここを中心として県内の研究事例は多い（例えば鈴木・福島、1899）。

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、アユは粒径 2-16mm（西田 1976）、ビワマスは粒径 17-64mm の中礫といわれている（尾田 2014）。さらにこれらの礫も長く河床に堆積して砂泥で目詰まりしたものではなく、上流から流下してきたような新しく堆積した通水性のあるものを好むとされる（角ら 2011）。しかし、これらの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。

今回は、在来魚の一つであるアユに着目して、アユが産床として好む大きさの礫が、琵琶湖流域の最上流部に位置する森林域から、どのようなタイミングで流出するか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

調査地は、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。調査地は大宮川の最上流部に位置しており、基岩は中生代後

期ジュラ紀の堆積岩(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015)で、土壌は褐色森林土である。なお、調査地近傍の溪流には花崗岩質の砂礫が比較的多く含まれることから、調査地斜面の堆積岩の厚さは薄く、その下部には花崗岩があるものと考えられる。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90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では、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(図3-1)。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15cm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。

調査は2015年6月に開始し、土砂受け箱で補足した試料を概ね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℃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。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、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:比叡)を利用した。

3.2.2. 結果および考察

図3-2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。土砂移動量は、裸地区と防護区とも、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り、土砂移動量が降雨の多寡に影響を受けていることが確認された。

調査開始から2016年の初春ごろまでは、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った。

これら2区の植生調査によると、調査開始時には裸地区、防護区とも林床の植生被覆率は約4%と小さく、調査開始約1年後の2016年6月の植生被覆率は裸地区、防護区でそれぞれ6%、14%、同年10月には、それぞれ6%、30%と被覆率の差が大きくなった。防護区において下層植



図3-1 土砂移動調査地(大津市坂本本町)
上:裸地区、下:防護区

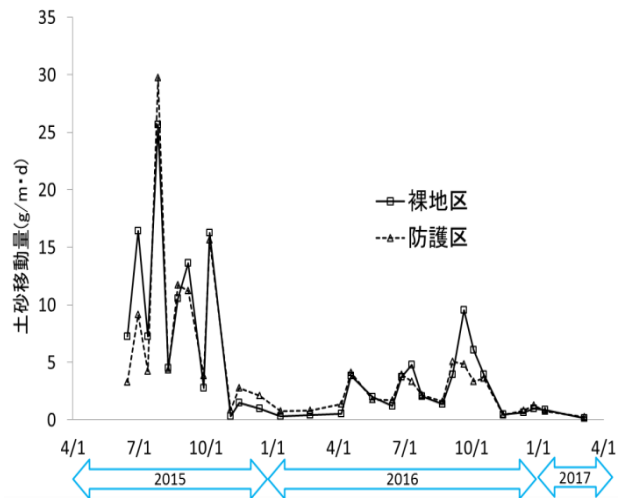


図3-2 土砂移動量の季節変化

生の回復が著しく、林床の被覆が進行したことが確認された。このことによって、防護区の土砂移動量が小さくなったものと推察された。

この結果を、アユの産卵周期別に示した(図3-3)。ここで産卵期、産卵準備期、非産卵期をそれぞれ11月下旬から4月、5月から8月、9月から11月中旬の3つに区分した。11月下旬から4月までの非産卵期は降水量の少ない

時期に該当し、土砂移動量は防護区の方が裸地区よりも若干大きくなった。一方、5月から11月中旬の産卵準備期および産卵期は降雨量が多くなる時期におおよそ該当する。産卵準備期および産卵期ともに裸地区の方が防護区よりも土砂移動量は大きくなる傾向が認められた。

次に、この傾向を粒径別に検討することとした。図3-4には調査期間1日あたりの平均降水量と径1mm未満の土砂移動量の関係を示した。平均降水量が小さいときは、裸地区、防護区とも土砂移動量は小さいが、降水量が大きくなると、土砂移動量は急速に大きくなる傾向が認められた。平均降水量と土砂移動量との関係は、図3-4に示されるとおり、裸地区、防護区とも指数関数で表されることがわかったが、その係数は裸地区の方が大きかった。径1mm以上2mm未満の土砂の場合も同様の傾向が認められた。このことから、径2mm未満の土砂移動は、裸地区の方が防護区よりも容易であるといえる。

粒径2mm未満の土砂はアユの産卵環境として適さないといわれており(石田 1961)、山腹斜面の移動土砂が、すぐに、溪流を通じて流下するわけではないが、これが流出した場合には、アユの産卵場所に負の影響を及ぼす危険性があると考えられる。したがって、アユのような在来魚類を維持していくためにも、山腹斜面を裸地化させず植生等で被覆し、細土の移動を抑制する必要があるといえる。このためには、間伐等の森林施業によって林床の光環境を改善し下層植生の繁茂を促進する必要があるし、また、本調査地のようにシカによる下層植生の食害がある場合には、防護柵等によってシカを排除することによって植生を回復する必要があるといえる。

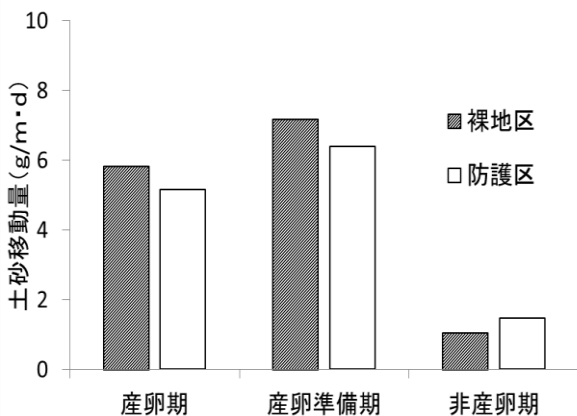


図3-3 土砂移動量とアユの産卵周期の関係

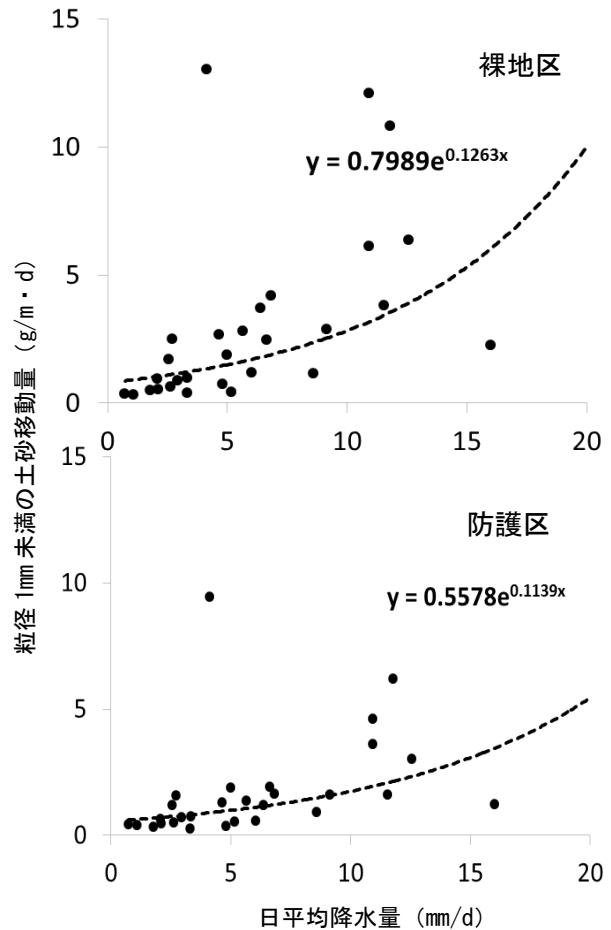


図3-4 日平均降水量と粒径1mm未満の土砂移動量の関係(上:裸地区、下:防護区)

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

森林からの土砂流出を調査する調査地は、滋賀県南部の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)に設定した。調査地は日野川流域光善寺川の最上流部に位置している。

基岩は中生代後期白亜紀の花崗岩(産業技術総合研究所地質調査総合センター 2015)で、土壌は褐色森林土である。調査地の集水面積は20.0ha、標高は約150-280m、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が大半を占めるが、コナラ等の落葉広葉樹も生育している。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。

調査地の下流端にはコンクリート堰があり(図3-5)、この上部に堆積した土砂およびリターを回収した。

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℃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/> (URL2017/09/22確認) から調査地直近の観測データ(観測所名:野洲)を利用した。



図 3-5 土砂流出調査地(野洲市大篠原)

3.3.2. 結果および考察

図 3-6 には、アユの産卵床として好適な径 2mm 以上 16mm 未満の礫(以下、本節では礫という)について、1日あたりの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、礫が流出することがわかった。梅雨期よりも台風等の集中豪雨があって雨量強度が大きくなる時期に礫の流出があるといえる。アユの産卵周期と比較すると、礫は産卵準備期から産卵期にかけて流出があるのがわかる。

図 3-7 には、礫が流出土砂全体に占める割合をアユの産卵周期別に示した。非産卵期に比べ産卵準備期および産卵期の礫の割合が多くなっているといえる。土砂流出の全体量もこれらの時期には多くなっているが、とくにその中でも礫の流出割合が増えている。礫の流下は河川の掃流力によるといえるが、琵琶湖流入河川の延長は比較的短いことから、図 3-6 で示されるような集中豪雨の際には、1~数日程度で森林から河口付近まで礫は運搬されるものと考えられ、アユがその産卵床としてこれを利用できる可能性は大きいと推察される。

3.4. まとめ

森林からの土砂流出量を季節別および粒径別に調査した結果を踏まえると、アユの産卵時期にタイミングよく産卵床に好適な粒径の土砂供給があり、アユはこれを利用して

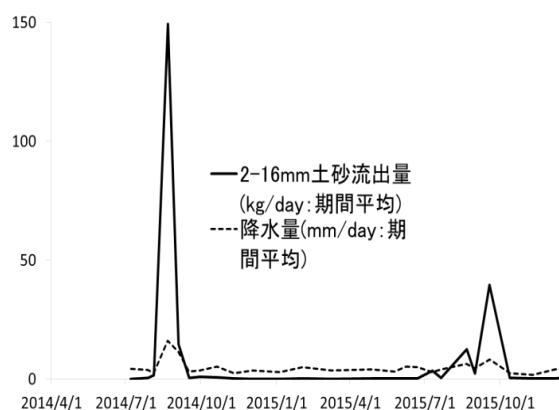


図 3-6 粒径 2-16mm の土砂流出量の季節変化

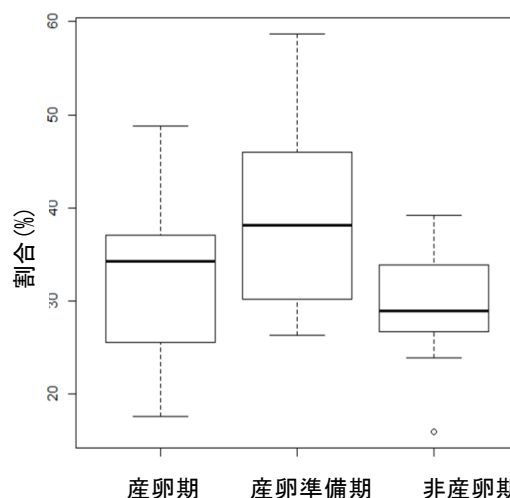


図 3-7 粒径 2-16mm の礫が流出土砂全体に占める割合(左:産卵期、中:産卵準備期、右:非産卵期)

きる可能性が高いといえる。

また、山腹斜面の土砂移動の結果からは、裸地化した斜面では粒径の小さな土の移動が多くなっていた。この細土は溪流を通じて流下することで、アユの産卵や生息に悪影響を及ぼすことも考えられる。このため、森林内の光環境の改善やシカの食害防止等を通じて、林床を植生で被覆し細土を中心とした土砂の移動を抑制する必要があるといえる。

今回の研究を通じて、森林からの土砂流出とアユの産卵時期や産卵に利用する礫の大きさとの関連を把握することができた。将来にわたるアユやビワマスなど将来魚類の持続的な利用のためには、これらに適した産卵環境の確保を目指す必要がある。森林域においては小礫を中心とした供給可能性を検証するために、土砂流出のメカニズムを明らかにしていく必要がある。

4. 琵琶湖流入河川・水路における魚類分布と環境因子の関係把握

4.1. はじめに

琵琶湖における貝類を含めた漁獲量は、1970 年前後には 6000~8000 トン/年であったものが、2010 年前後には 1600~1800 トン/年となり激減している。魚類では、アユ、ビワマス、コイ、フナ属、ホンモロコなどほとんどの魚種で減少傾向にある。この原因としては、湖岸の人工護岸化、河川改修、堰堤による魚類の移動の分断、水位の人為的管理、ブラックバス等の外来魚の侵入の影響などが指摘されている。我々は、魚類生息環境の改善方法を検討するための基礎研究として、魚類分布と環境因子の関係を把握することとした。

魚類分布に影響を及ぼす因子としては、流速、水深、河床材質、隠れ場所となる水草の繁茂状況などの物理的因子、水温、有機物濃度、栄養塩濃度、溶存酸素濃度などの水質因子（化学的因子）、えさとなる付着藻類やベントスの存在状況、産卵に適した環境の有無などの生物学的因子がある。本研究では、このような魚類分布に影響を及ぼす因子のうち、まず、漁業者から懸念されている下水処理排水の魚類等への影響について調査を行った（一部、河川財団河川整備基金研究助成 26-1211-011 により実施した。）。次に、琵琶湖流入河川・水路において、在来魚の分布と環境因子との関係を把握するための調査を行った。

4.2. 調査内容・方法

(1) 低濃度残留塩素の測定方法の開発

近年の琵琶湖における漁獲量減少の原因の一つとして、生活排水等の処理水に含まれる残留塩素が関係しているのではないかと懸念の声が漁業者から聞かれる。残留塩素の魚類毒性について青井ら（1999）は、アユの 24 時間暴露実験時における半数致死遊離残留塩素濃度 LC50 は 0.07 mg/L であったとしている。一方、魚類は遊泳能力があるため、それより低濃度で忌避行動をとる可能性があるが、その濃度についてはまだわかっていない。一方、EPA（アメリカ合衆国環境保護庁）は、水生生物を保護するための排水域の全残留塩素濃度の基準として、淡水域で 0.01 mg/L（暖水性種）および 0.002 mg/L（冷水性種）を設定している（藤田 1988）。冷水性淡水魚としては、マス類、アユが挙げられ、それらの魚に対する残留塩素の影響をみるためには、0.002mg/L 付近の濃度まで測定できる分析技術の開発が望まれる。そこで、本研究では、従来の測定法である DPD 法（定量限界値はおおよそ 0.05mg/L と言われている）を基本に、さらに低濃度の定量が可能な測定方法を検討した。

連続流れ分析装置のビーエルテック社製 SYNCA を改造し、吸光セルを 10cm に交換し、DPD 法および SBT 法（Sakamoto et al. 2003）で測定した。試薬とサンプルの注入量は、試行錯誤を行い最適の条件を検討した。測定に用いた吸光波長は、DPD 法が 505nm、SBT 法が 660nm である。温度は室温（約 20~25℃）で行った。

(2) ミジンコを用いた下水処理水のバイオアッセイ試験

水中に溶存する化学物質の生物への毒性影響を評価する一手法として、ミジンコを用いた影響試験（バイオアッセイ）がある。本研究では、このミジンコを用いたバイオアッセイにより流域下水道の下水処理水の生物影響を調べた。

試験水には 2 つの流域下水道の終末処理場 N と S の放流水を用いた。それぞれの放流水は、すべての水処理工程が終了し、琵琶湖へ放流する直前の水である。採取した放流水を実験室に直ちに持ち帰り、20℃で約 2 時間程度静置し水温を試験条件に合わせた。その後、それぞれの放流水とミジンコ飼育水（活性炭処理水）を用い、放流水の濃度が 0%、20%、40%、80%、100% になるように 30 ml ガラス瓶に加えた（最終液量 30 ml）。濃度区 0% はミジンコ飼育水のみ、100% は放流水のみである。各濃度区ガラス瓶は、それぞれ 5 つずつ設けた。

0%、20%、40%、80%、100%濃度区ガラス瓶に、生後 24 時間未満の *Daphnia pulicaria* の仔虫をそれぞれ 3 個体ずつ入れた。その 24 時間後に仔虫の生死および遊泳行動を確認し、生存していた仔虫を新しい各濃度区の試験水に移し変えた。各濃度区の新しい試験水は、仔虫の観察を行った当日に採取したもので作成した。仔虫を移し変えてから 24 時間後、再び仔虫の生死および遊泳行動を確認し、試験を終了した（試験期間 48 時間）。試験期間中、*D. pulicaria* には餌を与えないようにした。本試験は、繰り返し数（連数）や濃度区数が一部 OECD テストガイドライン（TG202）に満たないものの、ほぼ同様の試験方法で行った（連数：本試験 3~5 連、OECD 5 連以上を推奨；濃度区数：本試験 4 あるいは 5 濃度区、OECD 5 濃度区以上を推奨）。

(3) 農業集落排水処理施設放流先における魚類調査

滋賀県内の農村集落排水処理施設（農村下水道）7 か所の処理水放流先水路およびその周辺水路で 2014 年 8 月に魚類・水質調査を行い、処理水放流の影響を調べた。また、参考として老人ホームの合併処理浄化槽（H 浄化槽）の放流先、および、下水道整備率が低く、合併および単独処理

浄化槽排水が流入する大津市の鎌田川とその周辺河川下流部においても調査を実施した。

採取した水サンプルをガラス繊維フィルター（Whatman GF/F、孔径約 0.7 μm）でろ過し、ろ液を用いて溶存態全窒素（D-N）、アンモニア態窒素（NH₄-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、溶存態全リン（D-P）、リン酸態リン（PO₄-P）、溶存態ケイ酸（D-Si）を測定した。各物質は下水試験方法等に基づき測定した。溶存態有機炭素（DOC）は、島津製作所製 TOC-V、電気伝導度（EC）は、CyberScan 社製ラコムテスター導電率計 ECTest11+、カチオン（Na⁺、Mg²⁺、Ca²⁺）とアニオン（Cl⁻、SO₄²⁻）はダイオネクス社製イオンクロマトグラフ ISC-90 を用いて測定した。遊離残留塩素は、ハンナインストルメンツ製ポータブルデジタル残留塩素計 HI 96762 を用い、現場で濃度を測定した。

魚類の捕獲は、Smith-Root 社製エレクトロカルショッカー model-12 を用いて行った。捕獲した魚類は冷蔵して実験室に持ち帰り、魚種を同定し、個体数、体長、湿重を測定した。なお、ナマズ等の体長が 30cm を超える魚類については、現場で体長を測定した後、放流した。また、現場水路の流速、水深を横断方向の 5 地点で計測し、流量を計算した。

（4）琵琶湖流入河川・水路の魚類相と生息環境条件の関係把握

琵琶湖に流入する多地点の河川・水路において魚類と環境の同時調査を行い、在来魚の個体数と河川水質、流速、水深、河床材、水草の繁茂状況、水質等の河川環境との関連性の把握調査を行った。

2015 年 8 月 13 日～9 月 11 日に琵琶湖に流入する河川・水路 68 地点（図 4-1）で魚類・環境調査を行った。河川については、基本的に河口部から一番目の瀬付近で調査を行い、水路（主に農業排水路）については、琵琶湖から上流に向かって踏査し、水が停滞せず流れていて魚類調査が可能な水深（約 50cm 以下）の地点で調査を行った。河川については、瀬と淵で別々に調査を行ったが、水路では瀬と淵の区別が付かないため、1 地点で調査を行った。各調査地点において、水温、流速、水深、流量、河床粒径、河畔林の有無、沈水植物の有無等の環境条件を同時に測定した。魚類の採捕は、Smith-Root 社製エレクトロカルショッカーを用いて行った。また、水質は、サンプルを冷蔵して研究室に持ち帰り、SS、EC、D-N、D-P、DOC、P-N、P-P、POC、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、D-Si を測定した。各調査地点の琵琶湖からの距離を地図で計測し、それも環境因子の一つとした。統計計算は Windows 版 SPSS を用いた。

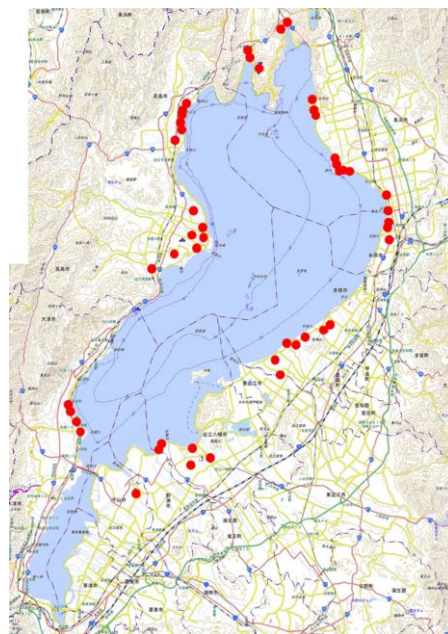


図 4-1 調査地点

4.3. 結果

（1）低濃度残留塩素の測定方法の開発

DPD 法による測定では、ベースラインが時間とともに上昇したため、ピークの高さからベースラインの高さを差し引いた値を相対的な吸光度値とした。DPD 法と SBT 法を比較した結果、DPD 法の方が SBT 法よりも再現性が良いことがわかった。残留塩素濃度が 0.006mg/L と 0.015mg/L の時の変動係数（標準偏差／平均値）は、DPD 法がそれぞれ 0.11、0.033、SBT 法がそれぞれ 0.18、0.079 であった。

開発した連続流式の DPD 法で下水処理水が流入する河川水と琵琶湖湖水を測定したところ、発色試薬を入れない状態での 505nm における吸光度が採水地点によってかなり異なること、残留塩素が含まれない地点（例えば琵琶湖の沖合地点）でも DPD 試薬によって発色する成分があることがわかり、測定精度を上げるためには、それらの問題を解決する必要があることがわかった。今後は、残留塩素を直接測定するのではなく、LC-MS/MS 法などを用いて塩素処理副生成物を測定することによって魚類への毒性を評価していく方法が有効ではないかと考えられる（例えば中井ら 2015）。

（2）ミジンコを用いた下水処理水のバイオアッセイ試験

ミジンコ *D. pulicaria* を用いて終末処理場 N と S 放流水の影響を調べた結果、*D. pulicaria* の仔虫は、試験 24 時間後、48 時間後ともに全ての濃度区において生存し、遊泳行動にも異常がみられなかった。ミジンコは、塩素濃度 30-150 ppb（μg/L）が半数致死濃度（LC₅₀）と報告さ

れていることから、NとS放流水の塩素含有濃度は、それ以下であったと考えられる(AIRGAS INC. 2010)。一方、水生生物の化学物質への耐性は、体長が大きな種ほど強くなり、一般的にミジンコより魚介類の方が強い耐性を持っている(永井 2013)。従って、NとS放流水は、ミジンコなどの動物プランクトンや、より大型生物の魚介類へは短期的な影響をほとんど及ぼさないと考えられる。

(3) 農業集落排水処理施設放流先における魚類調査

水質に関しては、調査した複数の農業排水路の中で農業集落排水処理施設の放流先下流で栄養塩濃度等が特に高い傾向はみられなかった。河川では、浄化槽排水の流入が多い鎌田川が他の河川よりも栄養塩濃度が高い傾向がみられた。遊離残留塩素は、調査地点全地点で定量限界未満であった。

魚類に関しては、農業集落排水処理施設の放流先下流で特定の種の魚類が少なくなる傾向はみられなかった。一方、農業排水路と河川と比較すると、河川ではアユが多く捕獲されたが、農業排水路ではアユの捕獲数は少なかった。これは、この時期(8月末~9月上旬)の農業排水路は、灌漑用水の供給が少なくなり、水路の流量、水深が低下し、アユが遡上しにくくなっていたためと考えられた。

魚類の個体数と流速や水質等の環境因子の相関をみた結果、水質との関係では、トウヨシノボリ、ウキゴリは、D-P濃度が高い水路に多い傾向がみられた。また、トウヨシノボリは、電気伝導度やD-N濃度が高い水路で個体数が少ない傾向がみられた。アユは、DOC濃度が高い水路で個体数が少ない傾向がみられた。ヌマムツ、フナ類はD-N濃度が高い水路で多い傾向がみられた。このように窒素とリンでは、魚類の種によって相関が異なる傾向がみられた。流速との関係では、アユは流速が速い水路で多く、ヌマムツ、フナ類は、逆に流速が遅い水路で多い傾向がみられた。有意な相関はみられなかったが、魚類個体数とNH₄-N濃度の関係では、各魚種ともにNH₄-N濃度が高くなると個体数が減少する傾向がみられた。アンモニアは魚類に対して毒性があることがわかっている(菊池ら 1987)が、本調査結果はこれを裏付ける結果となった。

(4) 琵琶湖流入河川・水路の魚類相と生息環境条件の関係把握

各地点で採捕された魚種別個体数をエレクトリックショックによる採捕時間で割った値をCPUE(採捕個体数/分)として、それを従属変数、各種環境因子を説明変数として重回帰分析(ステップワイズ法)を行った結果を表4-1に示した。オウミヨシノボリでは、プラス因子として、

総流量、Na、POCが選択され、マイナス因子としては、平均水深とPONが選択された。アユでは、プラス因子として、河床粒径、D-Siが、マイナス因子としてMg、D-Pが選択された。2012年10月に琵琶湖流入17河川で行った調査(大久保ら 未発表)では、栄養塩濃度が高い場所にオウミヨシノボリやアユが多い傾向がみられたが、今回はそのような傾向はみられなかった。ウツセミカジカでは、プラス因子として平均流速、マイナス因子としてPO₄-Pが選択された。オイカワでは、プラス因子としてPO₄-Pが選択され、栄養塩濃度が高い場所に個体数が多い傾向にあることを示唆していた。カネヒラでは、プラス因子としてNO₂-Nが選択され、やや還元的な溶存酸素が少ない場所で個体数が多いことを示唆していた。フナ属は、プラス因子としてP-Nが選択され、懸濁態有機物が多い場所で個体数が多いことを示唆していた。アブラハヤは、プラス因子として、川幅と石埋没度が選択され、川幅が広く、石が埋まっている場所で個体数が多い傾向を示していた。

このように、流速、栄養塩濃度、底質などの環境条件は、魚種によって適した条件が異なり、一概にどの条件がよいということとはできないことがわかった。

これまでの調査結果をまとめて、各魚種と環境条件の関係を示すと次の通りである。

①アユのCPUEは河床が泥質の地点では低く、小砂利から礫の地点で高い傾向がみられた。また、流量、流速が大きく、水温が低く、水際植物が多く、沈水植物が少ない地点でCPUEが高い傾向がみられた。

②オウミヨシノボリ、ウツセミカジカのCPUEについても、河床が泥質の地点では低い傾向がみられ、流速が速い地点で高い傾向がみられた。

③一方、オオクチバスのCPUEは、河床が泥質の地点で高い傾向がみられた。

④フナ属、カネヒラのCPUEは、水温が高く、流速が遅く、河床が泥質の地点で多い傾向があった。また、カネヒラのCPUEは、沈水植物が多い地点で高かった。

⑤CPUEと水質との関係では、アユ、アブラハヤ、ウグイ、ウツセミカジカは、水質のきれいな地点に多い傾向がみられ、オイカワ、メダカ、フナ属、ホンモロコ、カネヒラ、ヌマチチブ、ナマズ、ドジョウは、栄養塩や有機物の濃度が比較的高い地点で多い傾向がみられた。

⑥アユ、ハス、ウツセミカジカ、スナヤツメのCPUEは、水際植物の多いところで高い傾向があり、水際植物の存在も重要であることが示された。

このような各魚種と環境条件の関係を考慮し、各地域の河川、水路において保全したい魚種に適した環境条件を整備していく必要がある。

4.4. 調査結果のまとめ

本研究で得られた研究成果の要点は次の通りである。

・遊離残留塩素の測定では、従来法よりも一桁高い精度で測定する技術を開発したが、河川水や湖水では、測定に用いる波長（510nm 付近）で吸光する物質があり、その対策が必要であることがわかった。

・ミジンコを用いて、下水処理場の処理水の急性毒性評価を行った結果、急性毒性は確認できなかった。

・農業集落排水処理施設の処理水が流入する農業排水路とその周辺の農業排水路の水質・魚類調査を行った結果、処理水が流入する水路で特定の魚類が少ない傾向は見られなかった。ただし、アンモニア濃度が高い水路では、魚種に関係なく全般的に魚類が少ない傾向がみられた。

・在来魚の分布と環境条件の関係把握結果および既往の知見から、在来魚を保全していくためには、次のようなことが必要と考えられる。

- ①河川における流量の確保
- ②山からの適度な土砂供給
- ③在来魚の行動範囲、産卵場、生育場を広げるための移動

障害物の除去・改良

④河川、農業排水路の垂直護岸の緩斜面化、水辺植生回復による産卵場、生息場の拡大

⑤集水域からの適度な栄養塩供給（ただし、魚種によって適した栄養塩濃度が異なる）

⑥下水処理水の生態系影響のモニタリング（今回の調査だけでは不十分なので、さらに継続的調査が必要である。）

表 4-1 各魚種の CPUE（捕獲個体数／捕獲作業時間）を従属変数、各種環境条件を説明変数として重回帰分析（ステップワイズ法）を行い選定された説明変数（主要魚種について例示）

従属変数 (CPUE)	オウミヨシノボリ	アユ	ウキゴリ	ヌマチチブ	ウツセミカジカ	オイカワ	カネヒラ	ドジョウ	フナ属	アブラハヤ
第 1 説明変数	総流量	河床粒径	D-N	D-Si	平均流速	PO4-P	NO2-N	川幅	P-N	川幅
標準化係数	0.510	0.281	-0.308	0.488	0.632	0.304	0.437	-0.274	0.496	0.312
有意確率	0.000	0.013	0.011	0.000	0.000	0.010	0.000	0.027	0.000	0.009
第 2 説明変数	平均水深	Mg	D-Si	Mg	PO4-P		調査長			石埋没度
標準化係数	-0.244	-0.410	0.302	-0.573	-0.202		0.234			0.296
有意確率	0.006	0.001	0.013	0.000	0.040		0.037			0.012
第 3 説明変数	Na	D-Si		K						
標準化係数	0.256	0.308		0.425						
有意確率	0.003	0.010		0.001						
第 4 説明変数	POC	D-P								
標準化係数	0.400	-0.255								
有意確率	0.001	0.016								
第 5 説明変数	PON									
標準化係数	-0.341									
有意確率	0.003									
重相関係数	0.787	0.639	0.399	0.578	0.654	0.304	0.501	0.274	0.496	0.423
有意確率	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.010	0.000	0.027	0.000	0.002

5. 多様な主体の協働による保全活動のあり方

5.1. はじめに

(1) 背景と目的

1997年に改定された河川法では、治水・利水に加えて環境の整備と保全が目的に明記された他、河川整備計画の検討段階における関係住民の意見反映についても記載されている。また2003年に施行された自然再生推進法では、自然環境の保全や再生等の活動を、行政のみならず、地域住民やNPO、専門家等の多様な主体の連携により実施していくことが述べられている。

このように、地域住民らと連携した環境保全・再生活動の推進に対する理解は進みつつあるものの、一方で実践段階では様々なことが壁になり、結果として（あるいは意図的に）Arnstein (1969) が提唱した「住民参加の梯子」のうち、「住民参加とはいえない」（段階1：操り、段階2：セラピー）、または「印としての住民参加」（段階3：お知らせ、段階4：意見聴取、段階5：懐柔）にとどまっている事例も多い。自然再生推進法の理念で述べられている自主的かつ積極的な取り組みの推進のためには、「住民の力が生かされる住民参加」（段階6：パートナーシップ、7：委任されたパワー、8：住民によるコントロール）の段階にまで高めていく必要がある。

本研究は、前章までに検討したような自然再生の手法を将来的に社会実装することを見据え、実際に同様の課題を抱える現場において多様な主体の協働により自然再生に取り組むとともに、同様の取り組みを進める上での要件や課題を抽出することを目的とする。具体的には、琵琶湖に流入する河川の1つである家棟川流域を対象として、琵琶湖固有種のビワマスが遡上、産卵、繁殖する環境を再生するプロジェクトを設立して取り組みを進めたので、以下その方法や成果等について述べる。

なお本章の筆者（佐藤）は本プロジェクトのメンバーであるとともに、実質的なコーディネーターとして参画していたため、客観的な観察による記録ではなく、アクションリサーチとしての実践報告となることを付記しておく。

(2) プロジェクト結成に至る経緯

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%が市内に位置する（図5-1）。近年、市街化の進展や農地からの濁水、ゴミ投棄、外来生物の侵入等により、水や自然環境に関する多くの課題を抱えるようになってきた。

そうした中、2007年に「野洲市環境基本計画」（野洲市2007）が徹底した住民参加のもと策定され、24項目の

リーディングプロジェクトの1つとして「おらが川」プロジェクトと、それを推進する「NPO法人家棟川流域観光船」が設立された。散在・不法投棄されたごみや、川の豊かな自然環境を地域の人々に知ってもらうため、観光船を運航するところから始められた。



図5-1 家棟川流域と野洲市の関係

つづいて2011年には、本NPO理事らを含む市民と専門家が両輪となって検討、提案したビジョンがベースとなって、「マザーレイク21計画（第2期改定版）」（滋賀県2011）が策定された。生態系保全と暮らし再生の2本柱による目標設定がなされ、重点プロジェクトの1つに「森・川・里・湖のつながり再生プロジェクト」が位置付けられた。これを契機として、2011年以降に本NPOや地元住民、野洲市、専門家が協働して水生生物調査（主に魚類）が実施されている。上流から下流の合計8地点で、四季ごとに主に投網（1地点につき3～5回）や刺網（下流域で利用）による調査を行ってきた。2011～2016年度までに述べ122回の調査を実施してきており、その結果、ビワマスやタナゴ類など22種類の在来魚介類が生息、利用していることが分かった（図5-2；ビワマスは統計には入っていない）。

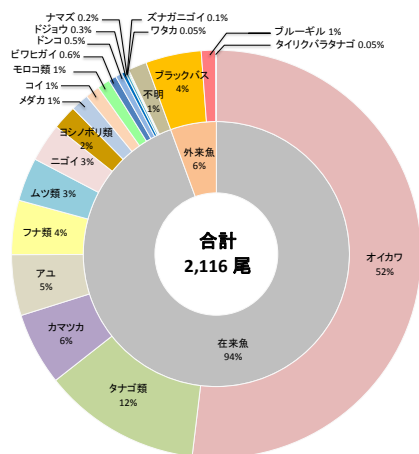


図5-2 家棟川流域魚類調査の結果（2011～15年度）

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
 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」が結成された。

本プロジェクトの規約には、目的が以下のように述べら
 れている。

「プロジェクトは、秋期に琵琶湖から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
 る環境を整えることなどを通じて、家棟川およびその支流
 河川（童子川・中ノ池川等）の自然環境を再生し、ひいて
 は野洲市のまちづくりや活性化につなげていくことを目
 的とする。」

すなわち、ビワマスの保全・再生が目的ではなく、ビワマ
 スは流域の自然環境再生のための「環境アイコン」（佐藤
 2016）であること、また自然環境再生は地域の創生の手段
 であることが本プロジェクトの特徴であるといえる。

次節以降では、本プロジェクトがビワマスが遡上、産卵、
 繁殖できる環境の再生を目的として、2015～16年度に実
 施した活動について述べる。

5.2. 方法

(1) 家棟川流域の課題

ビワマスの生活史を図5-3に示す。これによれば、ビワ
 マスが河川を再生産の場として利用するためには、主に以
 下4つの要件が必要となる。

- ① 河川を遡上できること
- ② 産卵に適した場があること
- ③ 受精から稚魚浮上までの水温が適正であること
- ④ 仔稚魚の餌があること

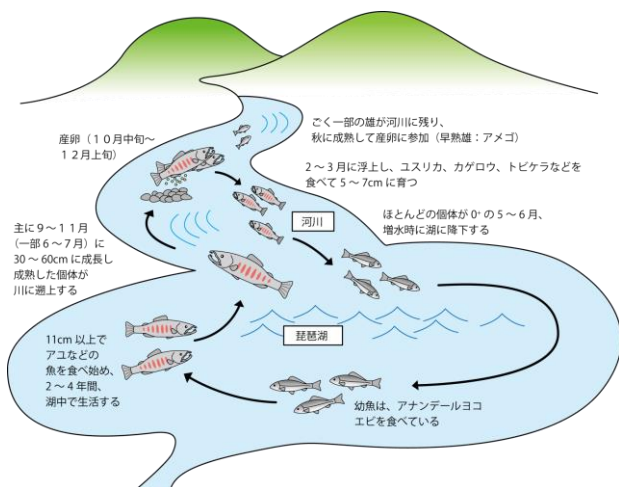


図5-3 ビワマスの生活史（藤岡 2009）

滋賀県水産課・水産試験場の専門家らと流域を踏査し、
 また多地点における水温の連続調査を行った結果、家棟川
 がビワマスの再生産に寄与するためには以下3点の問題
 があることが明らかになった。すなわち、第一に産卵適地
 が少ないこと（適度なサイズの砂利が少ない）、第二に遡
 上を阻む落差工があること、第三に違法採捕により産卵に
 至るまでに捕獲されてしまうことである（水温条件は、や
 や時期が限定されるものの孵化等が可能な範囲にあった）。

そこで本プロジェクトでは、以下にのべる主に3つの活
 動を実施した。

(2) 活動①：産卵床の造成

河床に礫を入れ、ビワマスが産卵できる環境を整えた
 （2015・2016年）。2015年は4ヶ所、2016年は5ヶ所に
 造成した。礫を入れる場所、礫のサイズ、施行方法につ
 いては、滋賀県水産課・水産試験場の指導を得て検討し、図
 5-4に示す方法により実施した。

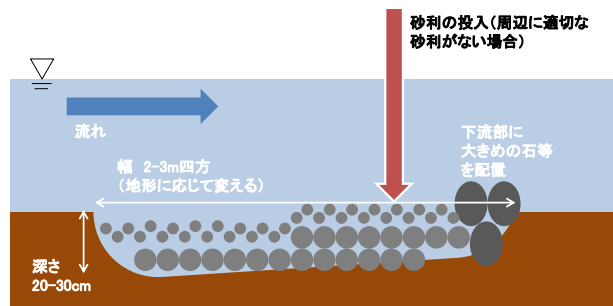


図5-4 産卵床の造成方法

(3) 活動②：魚道の設置

家棟川の支流（中ノ池川）にある高低差3.2mの落差工
 に、単管パイプをつかった魚道の設置を行った（2016年）。
 魚道の構造および施行方法については、「水辺の小わざ魚
 道」を提唱している複数の専門家の指導を得て検討し、最
 最終的に図5-5に示すはしご型の魚道を設置することとし
 た。

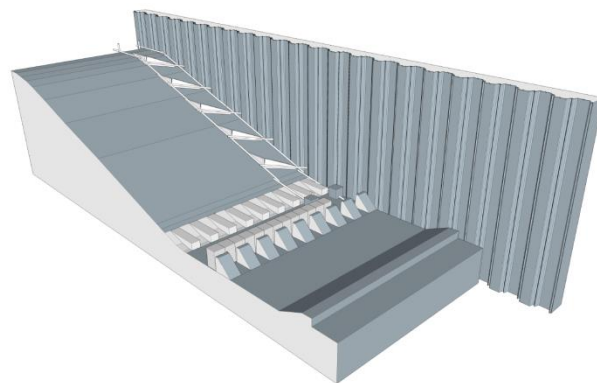


図5-5 落差工および設置魚道の全体像

設置にあたっては、野洲市から滋賀県南部土木事務所に
 対し、非出水期となる 10 月 16 日以降に一時的な河川専用
 として簡易魚道を設置する旨の河川占用許可申請を提出
 し、承認された。

(4) 活動③：遡上調査および周辺住民への周知

産卵床や魚道の周辺にビデオカメラを設置し、ビワマス
 の遡上および利用状況を把握した。また市民により、遡上
 状況を毎日目視で確認し、調査票に気象条件や場所、発見
 個体数、状況などを記載するとともに、周辺を散歩等する
 住民らに活動内容について周知を行った（2016 年）。

5.3. 結果

2015 年、2016 年ともに、10 月中旬～11 月下旬にかけて、
 遡上してきたビワマスが造成した産卵床を使う姿が何度
 も観察された（図 5-6）。



図 5-6 産卵準備行動を行うビワマス（2015 年 11 月撮影）

2016 年に遡上調査を行った結果について図 5-7 に示す。
 とくに、降雨のあった 1～数日後にかけて活発に遡上、産
 卵する姿が見られた。

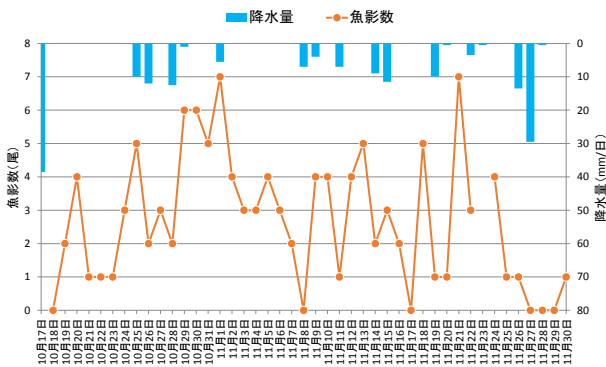


図 5-7 遡上調査の結果

※同一日以内での重複カウントはないが、複数日をかけて調査区間を往來する
 ビワマス個体が存在するため、魚影数の積分值が合計遡上数とはならない。

産卵された卵が孵化し、稚魚が生残できているかを確認
 するため、産卵床を造成した翌年の春季に稚魚の調査を行
 った。10～15 人程度により、タモ網を用いて、産卵床を
 造成した周辺部分を中心に 1 ヶ所あたり 20 分程度の探索
 を行った。産卵床を造成しなかった 2012 年、2015 年に同
 様の調査を行ったときには見つからなかったが、造成した
 翌年の 2016 年には 3 尾、2017 年には 21 尾の稚魚が発見
 された（図 5-8）。



図 5-8 発見されたビワマス稚魚（2016 年 3 月撮影）

魚道については、設置期間中に複数回の降雨出水が生じ
 たが、ほとんど破損等することなく構造的な安定性が一定
 確認された（図 5-9）。一方で、落差工で魚道のない部分
 を遡上しようとする個体が多くみられ、また魚道中段部よ
 り上流側を跳躍するビワマスは確認されなかった。また、
 遡上調査の結果でも、落差工上流側でのビワマスの確認に
 は至らなかった。以上より、2016 年に設置した魚道を用
 いて上流側に移動したビワマスはいなかったものと推察
 された。



図 5-9 設置された魚道（2016 年 10 月撮影）

5.4. 考察

2017 年にビワマス稚魚の発見数が大幅に増加した要因
 として、ビワマスの違法採捕が減少した可能性が考えられ
 た。市民による毎日の遡上調査の折、違法採捕が疑われる

住民に対して声をかけたこと、また毎日のように調査員が現場付近を周回していることから、違法採捕の抑止につながったと推察された。根拠として、同様の調査を行わなかった 2015 年には産卵後のビワマス個体（死骸）が全く発見されなかった一方で、2016 年には多く確認されたことが挙げられる。

魚道を使った遡上がうまくいかなかった原因としては、ビデオカメラの画像を解析した結果、設置したプールの水深が浅く、より上流側に移動できなかつたためと推察された。魚道の勾配を緩やかにするとともに、跳躍するのに十分な水深を確保するよう改良することが必要と考えられる。

5.5. 結論

家棟川を対象として、ビワマスの保全・再生や地域の創生を目指すプロジェクトを結成し、多様な主体の協働により、産卵床の造成、魚道の設置、遡上調査などの活動を実施してきた。その結果、産卵床における再生産の確認、安価で市民が関与できる魚道づくり、市民主体の調査による違法採捕の抑止効果といった成果が得られた。一方で、ビワマスが遡上できる魚道への改良、事業資金の継続的な確保、活動推進体制の充実・拡大、野洲市のまちづくり・地域活性化への展開といったことが今後の課題として挙げられる。

流域ガバナンスの観点からいえば、最も重要なことは、課題発見のプロセスを共有してきたからこそ、多様な主体による協働体制が継続されているという点にある。2007 年の野洲市基本計画策定に始まり、2011 年のマザーレイク 21 計画（第 2 期）改定、2011 年度から継続している水生生物調査が活動を進める上での土壌となり、関係者の心に根ざしている。プロジェクトが結成されたから活動が行われたのではなく、それまでの長い時間をかけた関係者間の信頼関係の構築が、主体的かつ積極的な活動推進にあたり何よりも重要であった。またそのためには、2、3 年で異動となる行政職員が中心となるのではなく、市民や研究者のような継続して関わる人物がコーディネートを担うことが必要である。他地域への展開を検討する際は、最初から多主体の連携組織をつくるのではなく、少人数でもよいから課題発見のプロセスを共有するところから始め、そのメンバーが中心となって次第に仲間を増やしていくような過程を経ることが望ましい。

6. まとめ

6.1. 研究アプローチの各視点からのまとめ

a) 土砂のつながりに着目した研究

琵琶湖流域の河川は理論的には中上流域まで好適産卵床が自然に形成される可能性があることが示された。一方で、1 次元河床変動シミュレーションモデル計算による現状再現では、好適な粒径の土砂堆積は、河川の一部区間に限られることが判明した。

琵琶湖流域の森林からの土砂流出は、林床に植生があればアユ産卵時期にタイミングよく好適な粒径の土砂供給がある可能性が明らかとなった。しかし、その一方で、シカの食害等により林床植生が衰退することで、粒径の細かな土砂の流出が増えることで、アユ等の産卵や生息に悪影響を及ぼす可能性があることも明らかとなった。

土砂移動のつながり研究成果を総括すると、水系のつながりに付随する土砂移動のつながりは、現在では劣化している可能性があり、アユやビワマスなどに影響を与えている可能性があることが見いだされた。そのため、今後の課題としては、河川における小礫等の土砂移動メカニズムの解明や森林からの土砂流出メカニズムの解明を通じて、土砂移動動態改善のための具体的な対応施策を考える必要があることが明らかとなった。

b) 河川環境と魚類分布に着目した研究

2014 年度の河川整備基金助成事業による成果（大久保 2014）や 2014 年度の滋賀県水産試験場の事業報告（鈴木 2014）による既存研究からは、農業水路等や下水処理水については、魚類への影響が少ない可能性もあることが示唆された。さらに、本研究成果や石崎ら（2016）による既存研究から、例えばアユの生息に適した河川環境は適度な流速があり、堰などが少ないことが明らかとなった。

河川環境と魚類分布の研究成果を総括すると、河川にある程度の流量の水を流したり、堰など河川構造物について、魚道等の障害障壁を減らすなど「水系のつながり」に留意した視点からの工夫改善が保全再生のために重要である可能性が示唆された。また、水質に関しては、例えば残留塩素濃度などの影響の心配があるものについては、現状のように低減努力を引き続き実施していくことが保全再生に有効となる可能性が見いだされた。

c) 多様な主体の協働による保全活動のあり方研究

家棟川流域において、地域の人々を中心に行政や専門家、企業など多様な主体が協働して産卵床造成や魚道設置、調査監視を行うことにより、ビワマスの産卵・遡上環境回復が可能であることが確認できた。

多様な主体の協働による保全活動のあり方研究を総括すると、協働による保全活動を推進するためには、行政や研究者など一部の主体が他の主体に課題を提示し、市民ら

に取り組みに関わってもらおうという一方的な関係ではなく、課題発見のプロセスを関係者で共有した上で活動につなげていくことが何よりも重要であることが示唆された。

しかし、地域における保全活動は、立ち上がった当初は盛り上がりを見せていても、その後人的、資金的要因等により継続できなくなるケースが相次いでいる。そのため、今後の課題として「継続性」を得るための地域における進捗管理の仕組み等を検討する必要があることが明らかとなった。

6.2. 全体総括

研究成果から、森一川一湖の水や土のつながりが過去と同様な場合、琵琶湖流域の多くの河川は理論的にはアユやビワマスの好適産卵環境が形成されやすい河川であることが見いだされた。ところが、現在のように、土砂供給源の森林環境、河川構造物、流量など種々の要因により、森一川一湖の水や土のつながりが劣化した場合においては、土砂移動動態の特徴が過去と変わってしまい、結果的にアユやビワマスの好適産卵環境面積は増加しにくくなっている可能性があることが明らかとなった。しかしながら、多様な主体の協働があれば、劣化した環境であっても、保全再生を進めていくことが可能であることも見出された。総じて、魚介類のにぎわい回復を目標とした森一川一湖の水系のつながり回復のための施策に資する有用な研究成果を得ることができたと考えられる。

6.3. 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。

第4章の研究に関しましては、低濃度残留塩素の測定方法の開発およびアユの忌避行動に関する研究は、(公益財団法人)河川財団の平成26年度河川整備基金助成事業(26-1211-011)により実施した。また、連続流れ分析装置SYNCAをビーエルテック社から借用させていただいた。現地調査では滋賀県職員の中村亮一氏、喜多星也氏および滋賀県立大学の学生諸君の協力を得た。また、化学分析、魚類測定では、非常勤職員の西村剛史氏、高木秀史氏の協力を得た。ここに記して関係の皆様へ感謝いたします。

6.4. 引用文献

第1章

環境省(2012)生物多様性国家戦略2010-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～, pp. 86-87.
(https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives/files/2012-2020/01_honbun.pdf, 2017年9

月5日確認)

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.

尾田昌記、原田泰志 (2013) 琵琶湖流入河川石田川におけるビワマスの産卵場選択性について, 魚類学雑誌 60(2), pp. 149-155.

第2章

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.

尾田昌記、原田泰志 (2013) 琵琶湖流入河川石田川におけるビワマスの産卵場選択性について, 魚類学雑誌 60(2), pp. 149-155.

兵藤誠、竹門康弘、角哲也 (2014) 天竜川におけるアユ産卵床の河床地形特性と変動履歴の関係, 河川技術論文集, 第20巻, pp. 67-72.

岩垣 雄一 (1956) 限界掃流力に関する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集 Vol. 1956 No. 41, pp. 1-21.

山田浩次(2008)特集:水系一貫した土砂輸送に向けて 河口域における海浜変形評価手法, 土木技術資料 50-10, pp. 22-25.

国土交通省 水管理・国土保全局 (2014) 第4章 河道特性調査, 国土交通省 河川砂防技術基準 調査編, pp. 9-10.

Ryoichi Tabata, Ryo Kakioka, Koji Tominaga, Takefumi Komiya, Katsutoshi Watanabe (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, *Ecol Evol.* 2016 Apr; 6(8): 2601-2623. doi: 10.1002/ece3.2070.

第3章

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.

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.

尾田昌記、原田泰志 (2013) 琵琶湖流入河川石田川におけるビワマスの産卵場選択性について, 魚類学雑誌 60(2), pp. 149-155.

角 哲也・中島佳奈・竹門康弘・鈴木崇正 (2011) アユの産卵に適した河床形態に関する研究, 京都大学防災研究所年報 第54号B, pp. 719-725.

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.

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.

石田 力三(1961)アユの産卵生態 - II.産卵魚の体型と産卵床の砂礫の大きさ, 日本水産学会誌 Vol. 27 (1961) No. 12, pp. 1052-1057.

国土交通省: 水文水質データベース.
<http://www1.river.go.jp/>

第4章

青井透(1998) 淡水魚に対する残留塩素の連続通水による毒性試験, 衛生工学シンポジウム論文集, 6, 71-76.

藤田直二(1988) 塩素処理排水の水生生物に与える影響, 用水と廃水, 30(6), 529-537.

Sakamoto, R., Horiguchi, D., Ikegami, T., ISHIYAMA, M., SHIGA, M., SASAMOTO, K., & KATAYAMA, Y. (2003) A new water-soluble chromogenic indicator: an application to the determination of chlorine in aqueous solutions, *Analytical sciences*, 19(10), 1445-1447.

AIRGAS INC. (2010)Material safety data sheet chlorine.

永井孝志(2013) 農薬生態毒性データベースの構築とその活用, 農業環境技術研究所インベントリー, 11, pp. 58-69.

菊池幹夫・若林明子(1987) アンモニア汚染の環境リスク評価, 東京都環境科学研究所年報, 143-148.

中井喬彦, 小坂浩司, 浅見真理, & 秋葉道宏(2015) LC-MS/MS 法による水道水中の 2, 6-ジクロロ-1, 4-ベンゾキノンの測定法検討と実態調査, 水環境学会誌, 38(3), 67-73.

第5章

Arnstein, S. R. (1969) A Ladder Of Citizen Participation, *Journal of the American Planning Association*, 35: 4, 216 - 224.

藤岡康弘(2009) 川と湖の回遊魚ピワマスの謎を探る、サンライズ出版.

佐藤哲(2016) フィールドサイエンティスト: 地域環境学という発想、東京大学出版会.

滋賀県(2011) 琵琶湖総合保全整備計画(マザーレイク 21計画)(第2期).

野洲市(2007) 野洲市環境保全整備計画.

第6章

大久保卓也(2014) 下水処理水の放流が河川・湖沼の生物に及ぼす影響把握, 平成26年度 河川整備基金助成事業「調査・研究」部門 成果報告書, 公益財団法人河川財団.

鈴木隆夫(2014) 残留塩素に対するアユの忌避濃度, 平成26年度 滋賀県水産試験場事業報告, pp. 68-69.

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. 日本魚類学会 魚類学雑誌 63巻2号. pp. 89-106.

7. 執筆担当

全体総括にあたる第1章と6章の主著は水野敏明が担当した。第2章は河川の土砂移動動態の研究の主著は水野敏明・東善広が担当した。森からの土砂流出動態の研究の主著は小島永裕が担当した。河川環境と魚類分布の研究の主著は滋賀県立大学大久保卓也教授が担当した。多様な主体の協働による保全活動のあり方研究の主著は佐藤裕一が担当した。