

斐伊川中流域における内水面漁業の現状とその展望

吉岡秀和¹, 吉井 傳², 八重樫優太³

Current States and Issues on Inland Fisheries in Middle Reaches of Hii River

Hidekazu YOSHIOKA¹, Tsutae YOSHII² and Yuta YAEGASHI³

Abstract The objective of this paper is to discuss current status and issues on inland fisheries carried out in middle reaches of Hii River, San-in area, Japan where the total fish catch of *Plecoglossus altivelis* has significantly been decreasing. There exist three main issues to be resolved for achieving sustainable inland fisheries in middle reaches of Hii River; transverse hydraulic structures that would prevent aquatic species from migrating toward upstream, hydrologically-driven regime shifts of the status of rock-attached algae: a staple food of *P. altivelis*, and excessive predation pressure from *Phalacrocorax carbo*. This paper reviews the three issues, and presents current challenges and future perspectives for their resolution from the viewpoint of modern mathematical modelling.

Keywords : Hii River, inland fishery cooperatives, *Plecoglossus altivelis*, river environment,

はじめに

人類の文明は河川周辺において発達し、水生生物の生活史を巧みに利用する内水面漁業経営や地方経済が成立してきた。本論文では、アユ (*Plecoglossus altivelis*) やサケ (*Oncorhynchus keta*) など、いくつかの水域を往来する生活史を持つ魚類を回遊魚と称する。回遊魚は、古くより人類にとって貴重なタンパク源を供する内水面水産資源であり、世界の様々な地域における文化・社会・経済の形成に多大な影響を及ぼしてきた。我が国では、回遊魚が内水面漁業における漁獲量の約半数を占めている (農林水産省, 2015)。南米の大河である Amazon 川では、雨季と乾季における様々な河川回遊魚の行動特性

を熟知した漁業が営まれている (Fernandes, 1998)。我が国では、アユが流れに沿って遡上する生物物理学的な性質を逆手に取り、“築 (やな)” と呼ばれる河川横断型の竹製の堰を用いた漁具により、回遊魚を網へと誘導して捕獲する漁法がなされてきた。Nakamichi et al. (2016) は、滋賀県琵琶湖周辺に見られる築が持つ形状の最適性について、魚類行動に関する独自の生物物理学的な理論を用いて詳細な検討を与えている。アユを例に挙げれば、塩焼き、甘露煮、アユ飯など、体を一部も余すことなく食す文化が現代もなお色あせずに輝き続けている。生態学的な見地からは、回遊魚は河川や海洋などの異なる水域間に生じる物質循環の一端を担い、水圏生態系でみられる生物達が織りなす食物連鎖を根強く支えている (帰山, 2005; 岩井, 2014)。また、釣りや景観保全を含む、内水面漁業が有する多様なレクリエーション効果も決して見過ごすことは出来ない (棧敷, 2012)。

現在、我が国の内水面漁業は、漁獲量の減少や漁業者の高齢化など、様々な要因により経営難の危機に追い込まれつつある (小畑・渡邊, 2008; 谷川, 2009; 山本・沖野, 2001)。近年では、ブラックバス (*Micropterus*

¹ 生物資源科学部地域環境科学科 Department of Regional and Environmental Science, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

² 斐伊川漁業協同組合 Hii River Fishery Cooperatives

³ 京都大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Kyoto University

sp.) やブルーギル (*Lepomis macrochirus*) などの魚食性の外来魚や水鳥カワウ (*Phalacrocorax carbo*) の個体数急増が、漁獲量の減少に拍車をかけている。各河川の内水面漁業協同組合は、水産資源の管理に加え、漁場である河川的环境や生態系を保全する義務を有する(水産庁, 2014)。内水面漁業協同組合が疲弊すれば、河川的环境や生態系の荒廃はさらに進行し、漁獲量が減少することでさらなる疲弊が生じる、深刻な負の螺旋に突入する可能性がある。

本稿では、著者らが研究を進めるうえで深く関わってきた内水面漁業協同組合である島根県斐伊川漁業協同組合(以下では、斐伊川漁協と呼ぶ。)に焦点を当て、斐伊川中流域の内水面漁業や河川環境が現在直面している問題を概観する。また、現状打開に向けた著者らの取り組みの一端を紹介し、その将来的な展望を考究する。

斐伊川中流域の概要

本章では、国土交通省中国地方整備局(2016)に依拠して斐伊川水系の概要を記述する。斐伊川は島根県仁多郡奥出雲町の船通山を源流とする一級河川であり、複数の支流と合流しつつ北流し、出雲市大津町上来原において斐伊川放水路を通じて神戸川へ洪水を分派した後、出雲平野を東流する。その後、斐伊川は宍道湖、大橋川、中海、境水道を経て日本海に注ぐ。斐伊川の流路延長は153(km)、流域面積は2,540(km²)である。なお、神戸川は島根県飯石郡飯南町の女亀山を源流として、支流と合流しつつ北流し、出雲市上塩冶町半分で斐伊川放水路と合流した後、日本海(大社湾)に流入する。神戸川の流路延長は82.4(km)である。神戸川は斐伊川放水路事業による斐伊川との連結により、平成18年8月1日に斐伊川水系に編入され、その際に2級河川から1級河川に区分が変更された。斐伊川流域では年間を通じて曇天が多いといわれており、年間降水量は平地部で1,800(mm)から2,000(mm)、山間部で2,000(mm)から2,200(mm)であり、梅雨期に降雨の大部分が集中している。本論文における記述の便宜上、以下でいう斐伊川水系に神戸川は含めないものとする。

斐伊川中流域における内水面漁業の概要

斐伊川水系では、アユが宍道湖への流入部より上流側における主要な内水面水産資源としての位置を確立してきた。斐伊川水系では毎年5月頃に斐伊川漁協の主導に

よりアユの稚魚が放流され、7月にアユ漁が解禁され、10月から11月頃にアユの産卵がみられる。毎年4月末頃には天然アユの遡上も確認されており、とりわけ、斐伊川の支流である三刀屋川に設置されている天神頭首工(農林水産省, 2016)が、堰の高さや規模の点から天然アユ稚魚の遡上の観察に適しているようである。斐伊川漁協が実施している各年の放流事業の概要は、漁協の広報誌「瀬音」により、電子媒体と紙媒体で発信されている(斐伊川漁業協同組合, 2016)。放流される稚魚の大部分は島根県内の江の川産や高津川産であり、その他は琵琶湖産である。アユ稚魚の買い付けやその放流個所は、各地域のアユが持つ生物学的な特性を鑑みつつ行われてきた。例えば、琵琶湖産のアユは「追い」が強く友釣りに向いているが、秋季の降下が著しく早く翌年の再生産には資さないと考え、ダムの上流側に放流している。佐藤ら(2012)によれば、斐伊川流域は、大津地点を境に上流側を水源山地(上流域)、下流側を宍道湖・中海を含む平野部(以下斐伊川下流域)に二分でき、さらに神戸川流域を合わせ、降水および河川流出形態が異なると考えられる3流域に大別される。この観点からは、斐伊川水系におけるアユの放流事業は全て上流域で行われていることになる。なお、斐伊川漁協の管轄は斐伊川と支流である赤川の合流点より上流側であり、下流側は宍道湖漁協の管轄とされている。現在、宍道湖漁業協同組合はアユの放流を行っていない(宍道湖漁業協同組合, 2016)。

斐伊川中流域における内水面漁業が直面する課題

斐伊川漁協も、水産資源の漁獲量減少により経営に苦慮している内水面漁業協同組合のひとつである。以下では、斐伊川漁協が直面している、斐伊川中流域における内水面漁業の課題について概観する。ここではとくに、河川横断型の水利構造物、河床付着藻類、カワウによる食害という、とりわけ重大な問題として考えられている3項目を対象とする。斐伊川水系では近年、アユの漁獲量の顕著な減少が指摘されている。斐伊川漁協の構成員や組合員、周辺の自治体や地域住民は、斐伊川的环境や生態系、アユの漁獲、それらが地域社会経済に与える影響を深く懸念しており、斐伊川水系が直面している現状の解明を切望している。

1. 河川横断型の水利構造物

斐伊川本流では、平成23年より、現在は島根県東部

の利・治水の要として機能している尾原ダムが竣工している。また、宍道湖流入部からダムに至る斐伊川本流には、河川横断型の水利構造物が少なくとも9基存在している（吉岡，2016）。その中でも、宍道湖流入部から約32（km）地点にある吉井堰堤，ならびに約34（km）地点にある日登堰堤はそれぞれ堰高が3（m）以上ならびに10（m）以上あり，魚道無くして回遊魚の遡上は困難であると考えられる。実際，吉井堰堤の左岸側には階段式魚道と粗石付き斜路（水辺の小わざ）式魚道，日登堰堤の右岸側には観察窓付きのヴァーティカルスロット式魚道が併設されている（吉岡，2016）。斐伊川に限る話ではないが，堰堤への魚道の付帯がある一方，その集魚や遡上に関わる機能性の評価は依然として十分であるとは言い難い現状にある。なお，2016年4，5月に著者らが実施した魚類捕獲調査により，吉井堰堤に併設の粗石付き斜路式魚道におけるカジカ中卵型（島根県レッドデータブック準絶滅危惧種）の遡上が示唆されている。

2. 河床附着藻類

尾原ダム下流の河川中流域は，春から秋にかけてアユ成魚の生息域として機能してきた。尾原ダムの竣工後より，その下流域ではアユが主食とするケイ藻類やの被覆面積が徐々に減少し，緑色のカワシオグサ（*Cladophora glomerata*）やラン藻類などが見られる糸状藻類の大規模な繁茂が確認されている。写真1および2は，尾原ダム直下流の直線水路で撮影された糸状藻類の写真である。両写真の糸状藻類は明らかに質的に異なることが見て取れる。また，いずれの藻類についても，粘土やシルトと見られる微小な土粒子の付着が著しい。ダム下流におけるカワシオグサの繁茂は，ダムが有する河川流況の平滑化作用により，小規模の擾乱が河道を伝達しなくなり河床が安定化した河川に見られる普遍の現象であるとされている（福島・皆川，2008）。とりわけ，カワシオグサは河川景観を劣化させるのみに留まらず，餌的資源の質的变化によるアユ成長の阻害要因とされている（内田，2002）。

以上のように，尾原ダム下流には大規模な糸状藻類の繁茂がみられるが，斐伊川についてはアユ漁獲量との因果関係は必ずしも明確化されていない。例えば平成26年度は糸状藻類のかつてない規模の繁茂がみられたが，同時にアユも例年と比較して豊漁であったといい，既往の知見と全く逆行している。斐伊川水系では河床附着藻類とアユ漁獲の因果関係が明確でないためか，現在のところ，糸状藻類の繁茂に関わるアユ漁獲の補償制度は無い。



写真1：カワシオグサと見られる糸状藻類



写真2：ラン藻類と見られる糸状藻類

3. カワウによる食害

カワウは太古より日本に生息するウ科の魚食性鳥類であり，水辺周辺の人気が無く木々が生き茂る場所に集団営巣する。国内のカワウ個体数は，昭和50年代にはわずか3,000羽程度の個体数であった。しかしながら，不適切な保護施策に起因して現在は増加の一途にあり，ついには数万羽を超過している（山本，2008）。カワウは1個体1日あたり500（g）の魚類を食し，驚異的に高い遊泳・捕食能力を有する。駆除を目的にコロニー（営巣地）を攪乱すると個体が周辺地域に分散し，各個体が新たな営巣地を形成する。国内の大規模営巣地としては，琵琶湖の竹生島や中海の萱島があり，周辺の漁業協同組合はカワウによる産資源への食害の防除に多忙を極めている（廣瀬漁業協同組合，2016）。各地の国や地方自治体，漁業協同組合は，現在，必死の食害防除に取り組んでいる。これまで，エアライフルを用いた捕獲，ドライアイスによる卵の孵化阻害，テグス張りによる捕食防止など，様々な食害防除手法が講じられてきた（山本，

2010). しかしながら、現場では経験や勘に頼った根拠が希薄な防除計画が依然として脈々と継続されており、防除成果は決して芳しいとは言いがたい。斐伊川流域でも、カワウによる水産資源の食害が危惧されている。これに対して、斐伊川漁協は食害によるアユ資源の被害額の算出、狩猟者に依頼しての銃火器によるカワウ駆除(狩猟者は、カワウ1羽を駆除するごとに斐伊川漁協から5,000円のインセンティブを受領できる。)、アユ漁場へのテグス張りや花火での追い払いなど、独自の試みを進めている。

カワウからの食害を軽減する取り組みが進んでいるが、実は、斐伊川周辺におけるカワウの生息実態は十分に解明されていない。斐伊川周辺でみられるカワウは、元来は中海の萱嶋にある集団営巣地に生息していた個体群、またはその子孫であると考えられている。しかしながら、斐伊川周辺におけるカワウの個体数や生息密度は不明である。ただし、宍道湖周辺に限り、個体数や営巣地の場所や規模が集中的に調査されている(環境省中国四国地方環境事務所, 2015)。図1は、斐伊川流域における2015年4月から12月を対象とした、狩猟者によるカワウ駆除数の空間分布を示す。図1では、上述のインセンティブを斐伊川漁協から受け取った狩猟者からの申告のみを対象としている。尾原ダム周辺に駆除数が集中しているが、これはダム付近にしかカワウが見られないことを意味するわけではない。住居や交通量が多い道路付近では銃火器の使用が禁止されているためである。例えば、木次町などの市街地を流下する河川区間にある堰堤付近では、堰堤下流に滞留する魚類を捕食する目的で飛来したとみられるカワウ個体が頻繁に確認されている。しかし、その場での銃火器使用はできない。

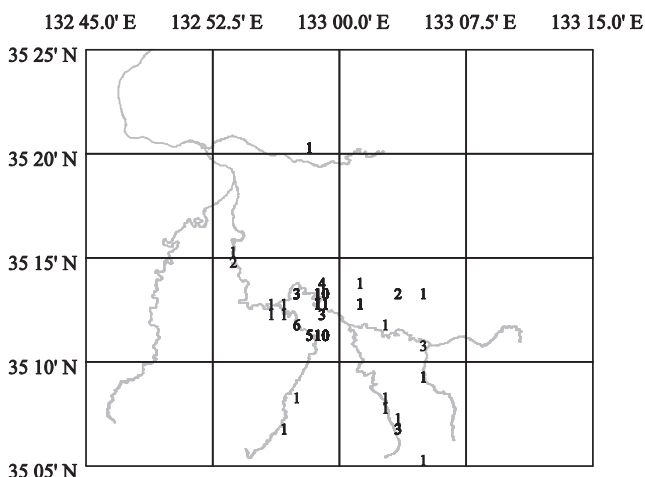


図1：2015年4月から12月を対象とした、狩猟者によるカワウの駆除位置と駆除数の空間分布図

斐伊川中流域における内水面漁業の展望

前章で概観したように、斐伊川中流域における現在の内水面漁業は多様なリスクのもとで営まれている。本章では、この状況下で、斐伊川の環境や生態系、内水面漁業をどのような観点で保全すべきか、前章の項目ごとに著者らの展望を示していく。いずれの項目に対しても、現代数学の強力な道具のひとつである、現象を数式で書き下す“数理モデリング”が根幹を担うと考えられる。

1. 河川横断型の水利構造物

理想的には、現在斐伊川に設置されている各堰堤やダムを対象に、回遊魚の遡上・降下効率を現地観測に基づいて評価し、その改修を進めるべきである。しかしながら、その金銭的および人的コストは膨大であるため、実現性は極めて希薄である。一方、様々な河川流況や実験条件のもとで、回遊魚の遊泳特性が着実に解明されてきている(鬼束ら, 2009; 2012)。著者らはこうした生物物理学的な知見に立脚し、遡上行動と体力消費の間に潜在する最適性の原理を見出すことで、堰堤周辺における魚類遡上の解析に資する汎用的な数理モデルを導いている(Yoshioka et al., 2015)。例えば、アユ稚魚を対象とした魚類遡上の数値シミュレーションによれば、吉井堰堤左岸側に付帯する各魚道は流量が20 (m³/s)程度までであれば高い確率で遡上可能である一方、右岸側を遡上する個体は魚道を発見できず堰堤直下流で長時間滞留する可能性も見出されている(吉岡, 2016)。本モデルを活用すれば、斐伊川水系、ひいては他水系に存在する河川横断型の水利構造物が有する魚類遡上・降下効率を評価できると期待される。

2. 河床付着藻類

尾原ダム直下流における河床付着藻類の動態については、未だに十分な知見の蓄積がない。加えて、前章で指摘したように、糸状藻類の大規模な繁茂とアユの漁獲量は必ずしも負の相関関係にない可能性がある。糸状藻類は、洪水時やダムのフラッシュ放流時など、河床に作用するせん断応力が大きい時に剥離すると報告されている(赤松ら, 2009)。実際、著者らは、2016年の3月になされた尾原ダムの試験放流後、ダム直下流の糸状藻類が一掃されたこと確認している。糸状藻類の物理学的特性がある程度解明されている反面、その成長特性やアユなどの魚類との関わりについては依然として不明な部分

が多く残されている。また、例え成長特性や魚類との関わりがある程度解明されても、その動態には様々な非線型相互作用に起因した大きな不確実性が伴うことが想定される。したがって、人間の制御下にある実験環境ではなく現実河川を対象に既存の決定論的な数理モデル (Boulétreau et al., 2008) を適用する意義は小さい。この代替案として、糸状藻類の動態を取り巻く不確実性の存在を受け入れる数理モデリングを提案できる。例えば、確率微分方程式 (Øksendal, 2007) と付随する偏微分方程式系を活用することで、糸状藻類の成長、剥離、再生産の過程を不確実性まで考慮して予測するための活路を見出すことが出来よう。

3. カワウによる食害

カワウと向き合いつつ持続的な内水面漁業を営むためには、斐伊川周辺におけるカワウの生態を解明し、実際に生じている水産資源の食害を定量的に評価する必要がある。Yaegashi et al. (2016a-b) が構築したアユ個体群動態モデルによる数値シミュレーションの結果によれば、現在想定しうる漁獲圧のもとでは、カワウによる食害の防除策に依存せず漁獲を行うことが合理的である。したがって、カワウの食害を如何に軽減するかが内水面漁業の持続性を実現する鍵となろう。ただし、カワウは外来生物種ではなく、我が国の水圏生態系を構成する生物種であることは決して忘却すべきではない。上述の個体群動態モデルに基づき、「駆除」のみではなく「防除」も含めた観点から内水面漁業と生態系の双方の持続性を担保できる接近手法を検討するとともに、その堅牢性や実現可能性を議論していく必要がある。

おわりに

本論文では、斐伊川漁協に焦点を当て、斐伊川中流域における河川の環境や生態系、内水面漁業が抱える諸問題を概観した。また、それらの解決策について現代の数理モデリングの見地から議論した。数理モデリングを行い現実問題の解決策を探求すること自体には、極めて大きい学術的意義がある。しかしながら、その知見が実務において全く生かされなければ、如何に精緻な検討の結果であろうとも実学上の意味は希薄である。産官、産学、または産官学の強固な連携により、理論と現実の著しい乖離を防ぐ研究体制の確立が有効策となろう。また、数理モデリング自体の限界も問われなければならない。例えば、斐伊川でみられた“糸状藻類が繁茂すると

アユの漁獲量が増加する”という事象は、既存の理論的枠組みの想定外である。さらに、ごく最近、石川県手取川では上流域で発生した斜面崩壊による大量の土砂が河道を塞ぎ、下流側の浮遊砂濃度を大幅に上昇させている。結果として、地元漁協が毎年行うアユの放流事業に多大な負の影響を与えている (石川県, 2016)。

著者らが所属する地域環境科学分野は、実学と数理科学が交錯する、ごく自然に分野横断型の融合研究がなされる学問領域である。この大きな強みを駆使すれば、斐伊川中流域が直面する様々な問題に対して有効な解決策を提示できるようになると期待される。

謝 辞

本論文を執筆するにあたり、科学研究費 (研究活動スタート支援: 課題番号 15H06417)、河川 (整備) 基金 (課題番号 271263020 および 285311020)、WEC 応用生態研究助成 (課題番号 2016-02) の援助を受けた。また、京都大学水資源利用工学研究室、島根県土木部砂防課、島根県松江水産事務所、斐伊川漁業協同組合、株式会社大隆設計、環境省米子自然環境事務所、米子水鳥公園ネイチャーセンター、滋賀県立琵琶湖博物館、廣瀬漁業協同組合からは、貴重な助言やデータ提供を受けた。

引用文献

- 赤松良久, 池田駿介, 浅野誠一郎, 大澤和敏 (2009) ダム下流における糸状藻類の強制剥離に関する研究. 土木学会論文集 B, 65 (4) : 285-295.
- Boulétreau, S., Izagirre, O., Garabétian, F., Sauvage, S., Elosegi, A., and Sánchez-Pérez, J. M. (2008) Identification of a minimal adequate model to describe the biomass dynamics of river epilithon. *River Research and Applications*, 24: 36-53.
- Fernandes, C.C. (1997) Lateral migration of fishes in Amazon floodplains, *Ecology of Freshwater Fish*. 6 (1) : 36-44.
- 福嶋悟, 皆川朋子 (2008) 大気暴露による河川の不快糸状緑藻類コントロール. *応用生態工学*, 11 (2) : 123-132.
- 斐伊川漁業協同組合 (2016) 広報誌【瀬音】. <http://www.hiikawafish.jp/archives/category/seoto>
- 廣瀬漁業協同組合 (2016) 私信. 2016年4月19日.
- 石川県 (2016) 手取川の濁水に関する情報.

- http://www.pref.ishikawa.lg.jp/nousei/dakusui/dakusui_top.html
- 環境省中国四国地方環境事務所 (2015) 平成26年度グリーンワーカー事業 (国指定宍道湖鳥獣保護区カワウ生息状況調査) 報告書.
- 婦山雅秀 (2005) 水辺生態系の物質輸送に果たす遡河回遊魚の役割. 日本生態学会誌, 55 (1) : 51-59.
- 国土交通省中国地方整備局 (2016) 斐伊川.
<https://www.cgr.mlit.go.jp/cginfo/syokai/busyo/kasen/suikei/hii.htm>
- Nakamichi, T., Unami, K., and Fujihara, M. (2016) Optimal shapes of weirs for trapping migratory fish. *Jurnal Teknologi*, 78 (1-2) : 15-20.
- 農林水産省 (2015) 平成26年漁業・養殖業生産統計.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/pdf/gyogyou_seisan_14.pdf
- 農林水産省 (2016) 疎水名鑑.
http://midori.inakajin.or.jp/sosui_old/shimane/a/474/index.html
- 小畑博貴, 渡邊法美 (2008) 物部川流域の人々の川へのまなざしの変遷に関する基礎的考察. 建設マネジメント研究論文集, 15: 441-452.
- Øksendal, B. (2007) *Stochastic Differential Equations*, Springer-Verlag.
- 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 山本晃義, 渡邊拓也, 脇健樹 (2009) 河川に生息する数魚種の突進速度に関する研究～アユ, オイカワ, カワムツ, ギンブナを対象～. 土木学会論文集 B, 65 (4) : 296-307.
- 鬼束幸樹, 秋山壽一郎, 松田孝一郎, 野口翔平, 竹内光 (2012) 単独で遊泳するアユの挙動に及ぼす側壁の影響. 土木学会論文集 B1 (水工学), 68 (4) : I_661-I_666.
- 栈敷孝浩, 玉置泰司, 高橋義文, 阿部信一郎, 井口恵一朗 (2012) アユ増殖がもたらす川の景観保全効果に対する経済評価. 陸水学雑誌, 73 (2) : 73-80.
- 佐藤裕和, 武田育郎, 宗村広昭 (2012) 斐伊川流域における確率水文量の経年変化. 土木学会論文集 B1 (水工学), 68 (4) : 1387-1392.
- 宍道湖漁業協同組合 (2016) 漁協の取り組み.
<http://shinjiko.jp/publics/index/16/>
- 水産庁 (2014) 内水面漁業の振興に関する法律について.
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/naisuimeninfo.html>
- 谷川尚哉 (2009) 日本の水産業の現状と課題. 中央学院大学人間・自然論叢, 29: 79-89.
- 内田朝子 (2002) 矢作川中流域におけるアユの消化管内容物. 矢作川研究, 6 : 5-20
- 若井郁次郎 (2014) 消えゆく球磨川・荒瀬ダム. 水資源・環境研究, 27 (2) : 51-56.
- 山本 麻希 (2010) カワウに立ち向かう, 全国内水面漁業協同組合連合会.
- Yaegashi, Y., Yoshioka, H., Unami, K., and Fujihara, M. (2016b) Optimal strategies for harvesting and predator extermination to sustain *Plecoglossus altivelis* (Ayu) population in stochastic river environment. *Journal of Rainwater Catchment Systems*. (in press).
- Yaegashi, Y., Yoshioka, H., Takagi, K., Unami, K., and Fujihara, M. (2016c) Finite element solution of a stochastic control model for optimal population management strategy of released *Plecoglossus altivelis*. 第21回計算工学講演会講演論文集. (to appear).
- 山本麻希 (2008) カワウってどんな鳥?. 全国内水面漁業協同組合連合会, 46pp.
- 山本雅道, 沖野外輝夫 (2001) 諏訪湖の生物群集の研究 諏訪湖の魚類群集 漁業統計からみた変遷. 陸水学雑誌, 62 (3) : 249-259.
- 吉岡秀和 (2016) 確率制御理論に基づいた魚類の最適回遊戦略とその河川環境評価への応用, 平成27年度河川整備基金助成事業報告書.
- Yoshioka, H., Unami, K. and Fujihara, M. (2015a) Mathematical and numerical analyses on a Hamilton-Jacobi-Bellman equation governing ascending behaviour of fishes. *RIMS Kôkyûroku*, 1946: 250-260.