課題名　D-0910 福井県三方湖の自然再生に向けたウナギとコイ科魚類を指標とした総合的環境
研究

課題代表者名　吉田丈人（東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系）

研究実施期間　平成 21～23 年度

累計予算額　79,895 千円（うち 23 年度 24,795 千円）
予算額は、間接経費を含む。

研究体制
（1）　シンボル種魚類の再生に必要な生息環境の検討
・生産構造と食物網構造の評価（福井県立大学）
・ヒシ帯の分布と年次変動（東京大学、福井県）
・生息環境としてのヒシ帯の評価（東京大学、福井県）
・シンボル種魚類ヤリタナゴの生息環境（東京大学）
・シンボル種魚類ウナギの生態に関する研究（東京大学）
（2）シンボル種魚類の再生に必要な水系連結の再構築研究（福井県、福井県立大学）
（3）水系連結の改変とシンボル種魚類への影響の長期的変遷：人文社会科学的復元（東京大学、若狭町）
（4）協働参加型調査による環境変化と水系連結喪失の影響評価（東京大学）
（5）研究総括（東京大学、福井県立大学）

研究協力機関
国立環境研究所、静岡大学、筑波大学、アジア工科大学院、福井県、福井県海浜自然センター、若狭三方縄文博物館、鳥浜漁業協同組合、ハスプロジェクト推進協議会（NGO）

## 研究概要

### 1．はじめに（研究背景等）

自然共生型社会の実現は重要な社会的目標であり、自然再生は、劣化した自然を再生することはもとより、人と自然との新たな共生関係を地域に築くためのアプローチとして期待される。本課題は、湖沼とその周辺環境を含む水辺生態系の自然再生に寄与する総合的な環境研究を、福井県三方湖とその周辺流域を対象にして実施した。

三方湖は、ラムサール条約登録湿地三方五湖の最上流に位置する湖である。天然ウナギや地域固有のコイ科魚類を含む多様な魚類相は、三方五湖の生物多様性を特徴づける生物群である。しかし近年、魚類をはじめとした生物多様性が顕著に低下しつつあり、富栄養化などの「水環境の劣化」や、湖と水路や水田の間の「水系のつながりの分断化」が、主要な要因として疑われている。ほかの湖沼生態系と同様、人間による自然再生の介在なしには、豊かな生物多様性や健全な生態系の回復が難しいほどに環境改変が進行している。

地域の多様な主体が積極的に参加することで実現される自然再生においては、具体的な再生目標となり、かつ生態系全体の健全性を指標とするようなシンボル種が欠かせない。三方湖では、生物多様性と生態系の視点からも、縄文以来の伝統を継承する地元漁業にとっての重要性からも、ウナギおよび地域固有のコイ科魚類がそのような役割を果たすシンボル種（指標）としてふさわしい。これらの魚種を指標とした自然再生の具体的な計画立案をささえる科学的情報を整備するため、本課題では、自然環境や生物多様性の現状をさまざまな側面から評価し、その成果は、地域住民に現状を正確に認識してもらうよう情報公開した。また、地域住民と協働して自然再生の具体的方策を試験的に実施し、科学的評価を取り込んだ順応的管理のきっかけを提供した。

本課題のような具体的な自然再生を支援する環境研究は、自然科学・人文社会科学の異なる分野の研究者が参加するだけでなく、県や町の自治体・NGO・地域住民などの主体的な参加がのぞまれる。本研究は、その立場や関心に応じて多様な関わり方が可能なように、科学の最新技法をつかう専門性の高い

調査・分析・評価と参加型の協働調査・分析・評価を、適切なバランスで組み合わせて有機的に連関させることで、科学と参加を旨とする自然再生の立ち上げにふさわしい研究プログラムを目指した。下記に述べるようなさまざまな方策で、基礎的な環境研究と自然再生への住民参加がうまく連携するように促した。

## 2. 研究開発目的

本課題では、環境の異なる5つの湖からなる三方五湖の最上流にあり、環境改変がもっとも顕著であって五湖全体の環境を改善する要になるとされる、三方湖を対象とした。具体的なサブテーマは、以下の通りである。

(1)シンボル種魚類の再生に必要な生息環境の検討

魚類の生息場所としての三方湖の水環境を評価し、どのような環境を優先的に再生する必要があるかを明らかにした。魚類が利用する餌資源や生息環境を評価すると共に、湖内の物質生産の構造を明らかにした。また、近年になって水生植物のヒシが湖表面を覆い尽くすようになっているが、その分布を規定する要因やヒシ帯が改変する水環境を評価した。さらに、三方湖におけるシンボル種魚類の生態についても調査した。

(2)シンボル種魚類の再生に必要な水系連結の再構築研究

湖とつながる水路や水田は産卵場所や初期生育場所としてコイ科などの魚類に利用されるが、河川改修や圃場整備により水田や水路への産卵遡上が妨げられていることが、三方湖におけるコイ科魚類の減少の大きな原因と考えられる。失われた湖と水路や水田のつながりを再構築するため、水田魚道やシュロ採卵法の再生技術を、地域住民と協働して開発して地域に定着させた。

(3)水系連結の改変とシンボル種魚類への影響の長期的変遷:人文社会科学的復元

自然再生の起点となる湖の長期的変遷を人文社会科学的に復元するために、湖と人とのかかわりや湖をめぐる人と人のかかわりを明らかにした。また、調査結果を地域住民に公開するため、三方湖における湖の歴史と湖の物語が地図上に可視化される情報プラットホームを構築した。

(4)協働参加型調査による環境変化と水系連結喪失の影響評価

地域による自然再生を進めるため、地域住民自らが継続的な生物多様性モニタリングを行い、自然再生の課題が広く情報共有される協働参加型調査を、地域の関係者と共同で開発した。

(5)研究総括

本課題で得られた研究成果を統合して三方湖水辺生態系の総合的な解析を行うとともに、自然再生の方策を地域住民や地域行政に提案して、科学と地域社会の連携を促進した。地域全体が自然再生に向かうような機運の上昇にも努め、自然再生協議会が現地で立ち上がるよう、情報交換や相互理解の場を整備して提供した。さらに、本課題で得られた研究成果を国内外に広く発信し、湖沼における自然再生のモデルになることを目指した。

## 3. 研究開発の方法

(1)シンボル種魚類の再生に必要な生息環境の検討

- 魚類が利用する餌資源を評価するため、安定同位体比(炭素・窒素)を用いた食物網解析を行った。また、湖内の物質生産の構造も安定同位体比を用いて調査した。
- ヒシ帯の分布やその年変動についてリモートセンシングを用いて評価したほか、土壌シードバンクの形成や発芽・実生定着段階における制限要因も検討した。また、ヒシ帯が改変する水環境やその生物群集への影響を、ヒシ帯の内外を比較する野外調査によって検討した。
- シンボル種魚類であるヤリタナゴとウナギについて、生息環境・餌利用・成長様式など、魚類の再生に必要な情報である基礎生態を調査した。

(2)シンボル種魚類の再生に必要な水系連結の再構築研究

- 地域固有フナ系統の保全や減少傾向にある魚類の再生に有効な対策(水田魚道の効果向上法・シュロ採卵法)を開発した。フナの産卵ポテンシャルの評価・適切な場所への水田魚道の設置・魚類の魚道利用の評価・魚道の管理方法の改善というPDCAサイクルを実施し、順応的管理による再生方法を開発した。

(3)水系連結の改変とシンボル種魚類への影響の長期的変遷:人文社会科学的復元

- 水辺生態系と地域住民とのかかわりを人文科学的手法(史料・統計・写真などの収集、インタビュー、昔の水辺の絵画募集など)により解明し、自然再生における社会的課題を提示した。
- 調査結果は写真や言語など異質な情報の集合となるが、それらを集約する情報プラットホーム「みんな

の三方五湖マップ」を、ITを用いて開発した。

（4）協働参加型調査による環境変化と水系連結喪失の影響評価

・ 生物多様性モニタリングと地域住民の情報共有を同時に実現する協働参加型調査を、地域の関係者と共同で開発して、定期的イベントとして地域に定着させた。春には、フナやコイの産卵調査を実施し、秋には、伝統漁法ヌクミ漁により、在来魚種や外来魚種の生息状況を調べた。

（5）研究総括

・ 研究成果の統合と総合的な環境評価を行うため、外部識者などからの意見も得るような成果報告会を開催し、プロジェクト内部での情報共有を行った。また、自然再生に関係するさまざまな地域関係者（地域住民・地域NGO・行政など）に向けて、本課題の成果を広く発信した。

・ 三方五湖自然再生協議会を地域の関係者とともに設立し、その自然再生全体構想を取りまとめるにあたって、本課題の研究成果を活用した。

## 4. 結果及び考察

（1）シンボル種魚類の再生に必要な生息環境の検討

1）生産構造と食物網構造の評価

植物プランクトン量は低水温期に多く高水温期に少ない傾向を示し、ヒシの繁茂が植物プランクトンの動態に大きな影響を及ぼしていた。このような一次生産の季節変化は、食物網の高次栄養段階にも安定同位体比の変化として表れ、その変化パターンから、一年を通して植物プランクトンが高次栄養段階の主要な餌源であることがわかった。また、三方湖における食物網構造の季節変化を評価した結果、近年侵入した外来魚ブルーギルが在来魚種（コイ科やハゼ科）と餌をめぐる競争関係にあることが判明した（図 1）。

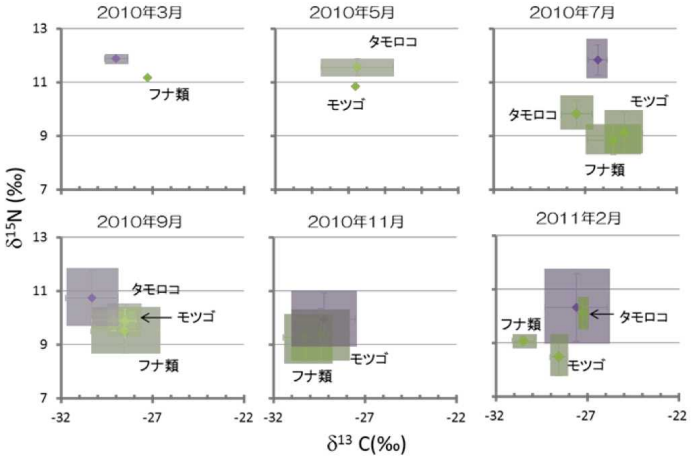



図 1 魚類の安定同位体比マップ。緑はコイ科魚類を、紫はブルーギルを示す。

2）ヒシ帯の分布と年次変動

三方湖内のヒシは、2003 年から 2005 年までは沿岸部に限定して生育していたが、2006 年からは湖中央付近にまで生育するようになり、2008 年以降は上流部と下流部を除くほぼ全域で繁茂するようになったことがわかった（図 2）。湖底におけるヒシ種子の分布は前年の繁茂範囲と対応しており、ヒシ種子が主に群落直下に散布され、あまり広い範囲には拡散しないことがわかった。上流部においてヒシが繁茂しないのは、流入河川の水流による種子分散の抑制が主要な制限要因であることがわかった。また、下流部においては、隣の水月湖からの汽水流入により、ヒシ実生の死亡が高いことが原因であることがわかった。

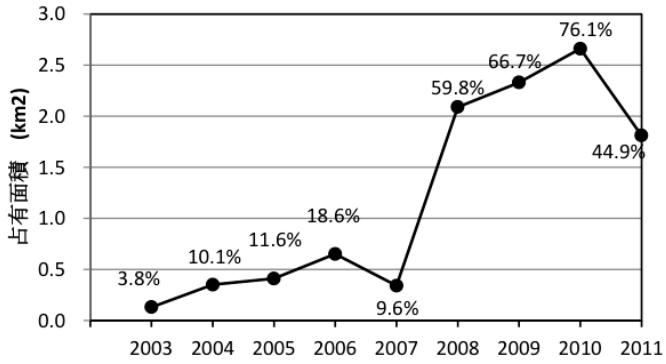


図 2　三方湖におけるヒシ分布の年次変動。数字は湖面積に占める割合を示す。

3）生息環境としてのヒシ帯の評価

夏季にヒシが繁茂することにより、溶存酸素量の極端な低下が起こり、その結果、ユスリカ幼虫や貧毛類といったベントス個体数が減少した。ユスリカ幼虫や貧毛類は、比較的バイオマスの大きなベントスであったことから、ヒシ繁茂はコイやウナギのような底生魚の餌資源量を減少させると考えられる。一方で、ヒシが繁茂することにより、センチュウやヒシ帯を生息場所とする枝角類、カイムシといった動物の個体数を増加させる正の効果も明らかになった。ヒシの繁茂が、湖内生態系に与える影響が季節に応じて大きく変化することが明らかになった（図 3）。

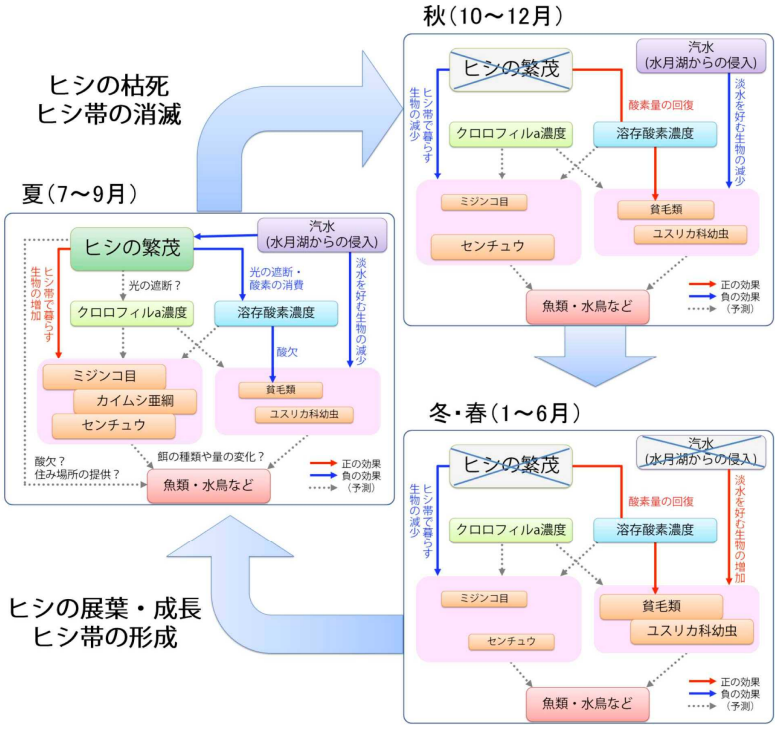



図 3　ヒシ繁茂が三方湖生態系に及ぼす影響の季節変化。

4）シンボル種魚類ヤリタナゴの生息環境

ヤリタナゴの生息環境として重要な要因を調べた結果、産卵母貝となるイシガイ類の存在・底生藻類の生産が高いと期待される浅い水深・貧酸素環境をつくる浮葉植物が少ないことが、特に重要であることがわかった（図 4）。

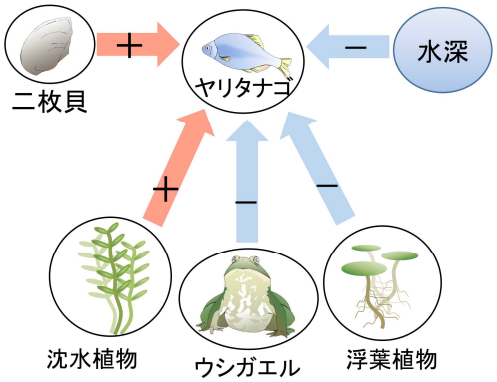



図 4　ヤリタナゴの生息に重要な環境要因。

5）シンボル種魚類ウナギの生態に関する研究

シラスウナギの海からの天然加入を分野横断型アプローチにより検討した結果、縄文時代（16000～3000 年前）にはほとんど加入がなく、江戸時代にはある程度の加入があり、現在はほとんど加入していないことがわかった。耳石の微量元素比（Sr/Ca 比）を分析した結果、成長に応じて淡水域から汽水域へと

生息場所を移動していることが明らかになった（図 5）。また、成長速度が国内の他の水域に比べて遅いことや、多毛類・甲殻類・魚類・水生昆虫を餌とすることも判明した。

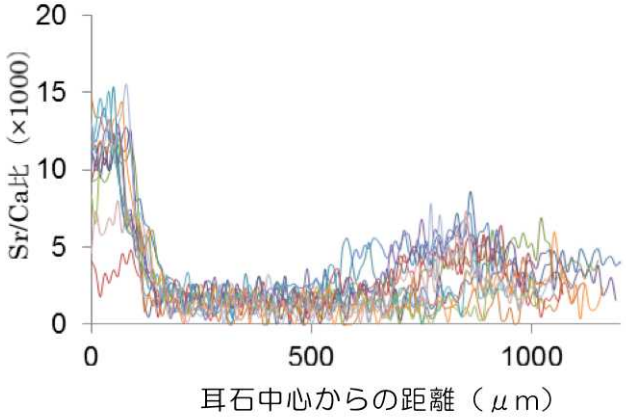



図 5　ウナギの成長に合わせて変化する耳石 Sr/Ca 比。高い値は海洋生活、低い値は淡水生活を示す。

（2）シンボル種魚類の再生に必要な水系連結の再構築研究

効果的な魚道設置場所を検討するために、フナの産卵数・仔稚魚数に影響する要因を明らかにし、産卵ポテンシャルの高い場所を推定した（図 6）。湖に近く、沈水植物が多く、ウシガエルが侵入していない場所の産卵ポテンシャルが高いことが判明した。この結果に基づき、再生効果の見込める場所に水田魚道を設置した（図 6）。再生効果を確認するため遡上魚、降下魚確認調査を行い、遡上魚調査では 6 科 11 種 10,617 尾を確認した。遡上数の多い魚道では、降雨量が多いほど個体数が多い傾向がみられた。降下魚調査では 7 科 9 種 41,236 尾を確認し、特にフナ類の水田での再生産が数多く確認された。魚道としての機能を発揮するには、中干しまでの水田の水管理が重要であり、耕作者の協力と理解が不可欠であることも判明した。

さらに、水田魚道以外の水系連結の再生方法としてシュロ採卵を試み、魚道がない水田でもフナ類やコイの卵が付着したシュロを入れると、稚魚が数多く再生産することが確認できた。水路等で容易にフナ類やコイの卵をシュロ採卵できる三方湖周辺においては、水田魚道以外の再生方法になると期待される。

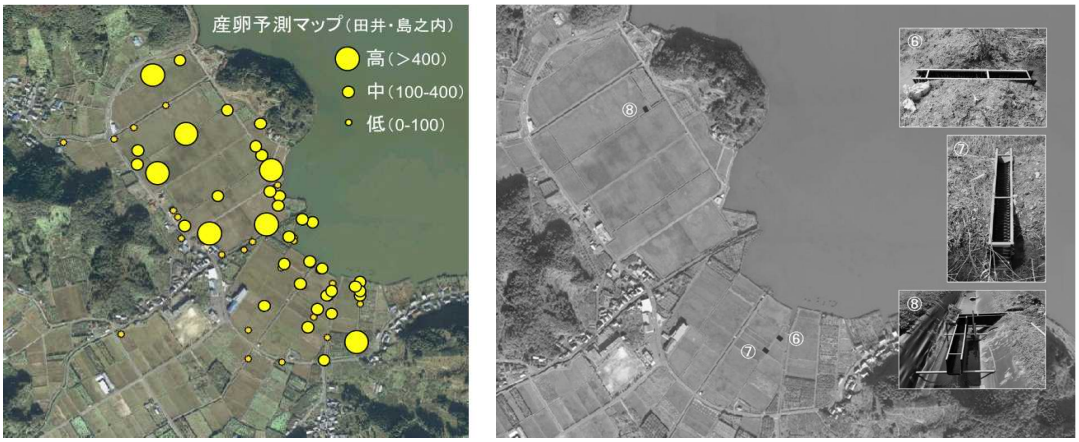



図 6　産卵ポテンシャルマップ（左）と、その評価に基づいて設置された水田魚道（右）。

（3）水系連結の改変とシンボル種魚類への影響の長期的変遷：人文社会科学的復元

1）人文社会科学的調査による湖と人の関わりの検討

三方湖畔の魚類の再生産に大きく寄与していたと思われる低湿地帯や、より身近な「水辺」として重要だった流入小河川の景観復元と、そこでの生活様式の復元に資する情報を収集した。また、地元 NGO と共同で「昔の水辺の絵画募集」およびそれに関するワークショップを実施し、過去の水辺の様子や場所の思い出・楽しみ・世界観などを検討した（図 7）。これらの結果、三方湖の自然環境が改変される以前は、緊密で多様な湖と人の関係性があったことが明らかになった。生活の中での湖の利用が近代化の過程で変化し、湖と人のつながりが弱化してきたことによって湖への関心が低下し、ひいては三方湖の自然再生の障害となっていることが明らかになった。このような詳細な人文社会科学的知見は、地域に適合した実効性の高い自然再生に寄与すると期待される。また、専門家に閉じがちな地域の自然・社会・文化に関する知見の蓄積プロセスを「社会化」して、新しい知識生産の可能性を指摘した。さらに、市民参加型の手法で

ある絵画募集自体が、小学生と大人の世代間のコミュニケーションツールとしての役割を果たすことも判明した。

図 7 「昔の水辺の絵画募集」の成果のうち湖に関係するもの（左）と、それらを基にしたワークショップ（右）。

2）情報プラットホームの構築

本課題で得られた多種多様な情報をプラットホームに収集管理し、地図上への視覚化を通して、空間的に解析する基盤として情報プラットホームを構築した。共通タグを埋め込んだ Semantic MediaWiki で情報を統合的に管理し、包括的に表示・検索・出力するためのユーザインタフェースを Google Map を基に構築した。情報プラットホームは、「みんなの三方五湖マップ」としてウェブ上に公開した（図 8）。GIS の知識を有しない一般利用者でも操作が可能で、直感的な利用が出来るシステムは、今後他の地域でも利用しやすいモデルになると期待される。

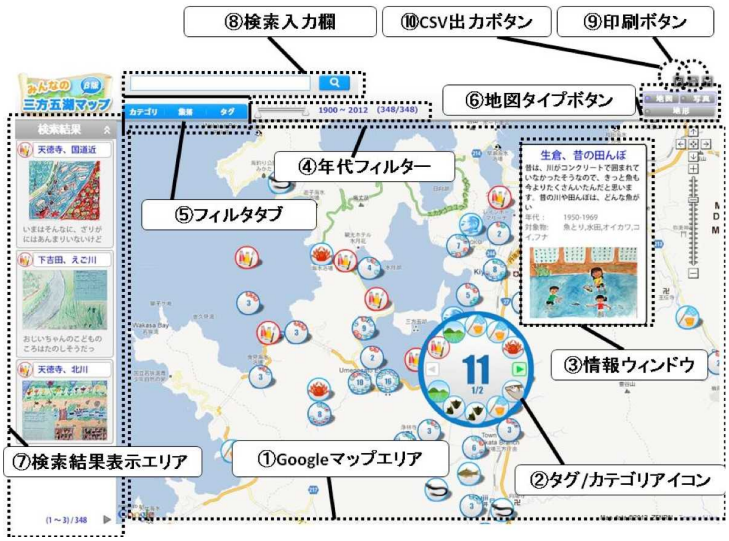



図 8 みんなの三方五湖マップ。

（4）協働参加型調査による環境変化と水系連結喪失の影響評価

漁業者と農業者の生産活動空間である湖と水田において、協働参加型による「魚類モニタリング」を実施した。春季には、水田につながる水路でシュロを用いたフナの産卵調査や魚道の利用状況の観察を行い、水路と水田のつながりが失われている現在の状況を参加者間で共有することができた。秋季には、湖において伝統的漁法ヌクミ漁による魚類相調査を行い、外来種であるブルーギルの侵入が新たに確認され参加者間で共有することができた（図 9）。

これらの調査体験は、参加者全体の実感を伴う情報共有につながり、自然再生事業の必要性と優先すべき対策についての共通認識を醸成することを通じて、三方五湖自然再生協議会における円滑な合意形成に大きく寄与したといえる。また、これらの行事を中心的に担った漁業協同組合と農業者団体（農地・水・環境保全向上対策の活動団体）は、自然再生協議会において、モニタリングプログラムの実施で得られた経験をふまえ、水田魚道部会および外来魚等対策部会の議論を牽引する役割を果たしている。また、モニタリングで得られた知見は、三方五湖の自然再生全体構想を起草する上でも重要な情報として活用されている。

図 9　協働参加型調査における関係者の連携：協働の輪（左）とその一例（右）

（5）研究総括

三方湖とその周辺環境の自然再生に貢献する科学的情報を統合して整備するとともに、地元地域への十分な情報公開を行い、地域住民との活発な協働を展開することによって、地域が主体となって進める自然再生を促した。本課題で得られた研究成果を統合して、三方湖とその周辺環境の自然再生の課題をとりまとめ、公開シンポジウムや広報誌などを利用して地元地域に公開した（図　10）。地域住民と十分な議論をする機会を重ねた結果、「三方五湖自然再生協議会」を設立することができた。これは、全国で 23 番目、中部地方では初めての自然再生協議会である。さらに、自然再生全体構想を地元地域との協働によって策定できた（図　10）。これらの成果は、地元地域の積極的な参加によって実現されたものであるが、本課題からの科学的な貢献は大きく、科学と地域の協働の成果であるといえる。一連の科学と地域の協働については、国内外において先進的な事例として認められ評価されている。

図 10　研究成果を地域に発信した報告書（左）と、その成果が貢献した自然再生全体構想（右）

## 5. 本研究により得られた主な成果

### （1）科学的意義

自然再生を支援する環境研究には、自然科学と人文社会科学の両面から、自然環境とそれを取り巻く社会環境を総合的に評価することが必要である。しかし、国内外において、その標準的な方法論は未だ確立されていない。本課題は、湖沼生態系を対象に自然再生を支援する総合的な環境評価を実施し、基礎的な研究の成果を地域住民が主体的に参加する自然再生の取組みに活用することに成功した。この科学と地域の協働は、「三方五湖方式」として、他の地域にも適用される実践モデルを提示した意義は大き

い。

自然環境の変化を自然科学的に理解し対策を講じるだけでは、地域社会と密接に関連する自然環境の再生を成功に導くことが難しい。人文社会学調査により、湖と人の緊密で多様な関わりの弱化が環境の劣化と同時に進行してきたことが示された。また、地域のさまざまな住民が、知の蓄積の段階から自然再生に主体的に参加する仕組みとして、協働参加型調査が有効であることも示された。

さらに、湖と水田のつながりを再構築する水田魚道は、PDCA サイクルによる順応的管理が進められ、耕作者の協力こそが、再生効果を決定する重要な要因であることを見いだした点は新しい。

ヒシの分布を規定するメカニズム、ヒシ帯がつくりだす環境や生物群集への影響、物質生産構造のダイナミックな変化、ヤリタナゴの生息環境、ウナギが淡水に遡上した後の基礎生態など、これまでにない新しい科学的知見が得られたことは、陸水生態学的・保全生態学的な意義がある。

また、環境と地域社会に関わる多種類の情報を一元的に管理・表示する地理情報システムを新たに開発した。この GIS は、地域住民など一般利用者が簡便に使用することが可能な点、本課題の情報基盤はもとより様々な分野への導入や応用が可能である点において、他の同様のシステムより優れている。

**(2)環境政策への貢献**

三方湖を含む三方五湖においては、水質悪化や生物多様性の衰退に伴って自然再生への関心が高まり、これまでにも様々な対症療法的な環境対策が実施されてきた。しかし、生態系の現状を調査した上で、それに基づいた対策を実施し検証するという、本来の自然再生の進め方に則った事業の実施はこれまで困難であった。本課題による総合的な環境研究への地元地域の期待は大きかったが、十分にその期待に応えることができたと考える。本課題は、三方湖とその周辺生態系の現状を自然科学と人文社会科学の両面から評価し、自然再生の具体的方策を試験検討し、地域が主体的に実施するモニタリングを協働参加によって開発するなど、この地域における自然再生の取組みを総合的に支援した。

三方湖水辺生態系においては、地域のさまざまな関係者が、それぞれの意見を交換する機会がこれまでほとんどなかった。地域住民への成果報告会や自然再生協議会の設立準備会などを通して、多様な関係者が相互に理解しあう機会を提供した意義は大きい。その結果、当初目標としていた自然再生協議会が 2011 年 5 月 1 日に設立された(全国では 23 番目、中部地方では初めて)。さらに、本課題でえられた研究成果は、自然再生全体構想の策定に大きく貢献した。今後の自然再生事業実施計画の策定にも、本課題の成果が活用される予定である。

科学と地域社会が密接に連携することにより、自然再生の科学的根拠を提示し順応的管理を支援することで、地域が主体となって自然再生協議会を設立し推進するという方式は、いわば「三方五湖方式」として、他の地域における自然再生のモデルとなる問題解決方法論として、国内外で注目されている。

**6. 研究成果の主な発表状況**

**(1)主な誌上発表**

<査読付き論文>

1) 松崎慎一郎、児玉晃治、武島弘彦、照井慧、増井増一、吉田丈人、鷲谷いづみ:魚類学雑誌, 57, 87-89 (2010)
「ラムサール条約登録湿地におけるブルーギルの侵入・定着」

2) 松崎慎一郎、児玉晃治、照井 慧、武島弘彦、佐藤専寿、富永 修、前田英章、多田雅充、鷲谷いづみ、吉田丈人:保全生態学研究, 16(2), 205-212 (2011)
「モニタリングデータと生態的特性から探る福井県三方湖流域の純淡水魚類相の変化とその要因」

3) S.S. Matsuzaki, A. Terui, K. Kodama, M. Tada, T. Yoshida and I. Washitani: Biological Conservation, 144, 2081-2087 (2011)
"Influence of connectivity, habitat quality and invasive species on egg and larval distributions and local abundance of crucian carp in Japanese agricultural landscapes."

4) A. Terui, S.S. Matsuzaki, K. Kodama, M. Tada and I. Washitani: Hydrobiologia, 675, 1, 19-28 (2011)
"Factors affecting the local occurrence of the near-threatened bitterling (*Tanakia lanceolata*) in agricultural canal networks: strong attachment to its potential host mussels"

5) 小島秀彰、海部健三、横内一樹、須藤竜介、吉田丈人、塚本勝巳、鷲谷いづみ:動物考古学(印刷中)
「福井県三方五湖−早瀬川水系におけるニホンウナギ *Anguilla japonica* 生息状況の歴史的変遷について」

6) K. Kaifu, S. Miyazaki, J. Aoyama, S. Kimura and K. Tsukamoto : Environmental Biology of Fishes (in press)
"Diet of Japanese eels *Anguilla japonica* in the Kojima Bay-Asahi River system, Japan."

7) 菅豊:環境の日本史, 吉川弘文館, 第 5 巻 (印刷中)

「自然世界と民族世界―自然と人間との「不完全」な関係性の再評価―」

**(2)主な口頭発表(学会等)**

1) 照井慧、松崎慎一郎、児玉晃治、多田雅充、鷲谷いづみ:第 57 回日本生態学会(2010)
「生物多様性指標種候補ヤリタナゴの分布を規定する要因」
2) 松崎慎一郎、照井慧、児玉晃治、多田雅充、吉田丈人、鷲谷いづみ:第 57 回日本生態学会(2010)
「フナ・コイの産卵場所・仔稚魚成育場所の空間分布:湖ー川ー水路の連続性と侵略的外来種の影響」
3) I. Washitani :ドイツ・オーストリア・スイス生態学会(GFO)(2010)
"Biodiversity assessment and participatory biodiversity monitoring in Japan."(招待講演)
4) J. Nishihiro and I. Washitani : Seed Ecology III An International Meeting on Seeds and the Environment, Salt Lake City, Utah, U.S.A., 2010
"Factors affecting the germination and seedling emergence of a floating leaved plant, Trapa japonica."
5) 西廣淳、加藤義和、吉田丈人、鷲谷いづみ:第 75 回日本陸水学会大会(2010)
「近年の三方湖におけるヒシの繁茂とその機構:種子発芽特性からの検討」
6) 加藤義和、西廣淳、吉田丈人:第 75 回日本陸水学会大会(2010)
「ヒシの繁茂が三方湖のベントス・プランクトン群集に及ぼす影響
7) 熊谷潤、長井正彦、柴崎亮介、松原剛:地理情報システム学会(2010)
「三方湖自然再生に向けた情報プラットホームの開発」
8) J. Kumagai, M. Nagai, R. Shibasaki, G. Matsubara and T. Hino: Asian Conference on Remote Sensing (2010)
"Development of G eographical Information System for Investigations of Long-term change in Lake Mikata."
9) R. Sugimoto, et al.: International Symposium on Isotope Ecology : Relationship between biodiversity and ecosystem function, Kyoto, Japan, 2010
"Factors controlling seasonal variations in ・13C and ・15N of phytoplankton in Lake Mikata."
10) 杉本亮、佐藤専寿、吉田丈人、小北智之、富永修、青海忠久:2010 年度水産海洋学会(2010)
「三方湖における基礎生産構造の季節変化と栄養源の推定」
11) 西廣淳、加藤義和、吉田丈人、鷲谷いづみ:第 58 回日本生態学会(2011)
「三方湖(福井県)におけるヒシの分布に影響する要因」
12) 吉田丈人:日本生態学会第 58 回大会(2011)
「福井県三方湖の自然再生を支援する総合的環境研究」
13) 加藤義和、西廣淳、吉田丈人:第 58 回日本生態学会(2011)
「三方湖(福井県)におけるヒシの繁茂が生態系の季節動態に及ぼす影響」
14) 吉田丈人:日本水環境学会中部支部講演会(2011)
「福井県三方湖の自然再生を支援する総合的環境研究」
15) T. Yoshida:Japanese-German Frontiers of Science symposium, Tokyo, Japan, 2011
"Integrative research supporting ecological restoration of a lake ecosystem"
16) 富田涼都:環境社会学会(2011)
「自然再生の現場からみる環境社会学」
17) 富田涼都:環境社会学会(2011)
「自然と向き合うための科学技術コミュニケーション―自然再生事業を例に」
18) A. Terui, S.S. Matsuzaki, K. Kodama, M. Tada and I. Washitani:25th International congress for conservation biology, Auckland, New Zealand, 2011
"Factors affecting the local occurrence of the near-threatened bitterling (Tanakia lanceolata): strong attachment to its potential host mussels."
19) K. Kaifu:EASEC, Tsingtao, 2011
"Histrical change of eel distribution in Japan."
20) K. Kaifu, A. Terui, S.S. Matsuzaki and I. Washitani : Estuary and Lagoon Ecosystem Trajectories, Bordeaux, 2011
"Participatory biodiversity monitoring for information sharing in restoration and conservation programs: a case in Mikata-goko Lake system, Japan."

21) Y. Kato, J. Nishihiro and T. Yoshida：The 59th Annual Meeting of Ecological Society of Japan, Shiga, Japan, 2012
"The effects of dense beds of a floating-leaved macrophyte on seasonal dynamics of a lake ecosystem."
22) 富田涼都：第 59 回日本生態学会（2012）
「環境倫理学から見た滋賀県水田地帯の環境保全政策の位置づけ―『誰が』生態系サービスを享受するのか？」
23) K. Kaifu, H. Kojima, K. Yokouchi, R. Sudo, M.J. Miller, T. Yoshida, T. Katsumi and I. Washitani： The 6th World Fisheries Congress, Edinburg, Scotland, 2012
"Historical changes of Japanese eel distribution in japan revealed by multidisciplinary approach."
24) T. Yoshida: ASLO 2012 meeting, Otsu, Japan, 2012
"Integrative research for ecological restoration: a case study in Lake Mikata (Fukui, Japan)"

## 7. 研究者略歴

課題代表者：吉田丈人
1972 年生まれ、京都大学大学院理学研究科修了、博士（理学）、
現在 東京大学大学院総合文化研究科准教授

研究参画者
（1）：吉田丈人（同上）
（2）：多田雅充
1954 年生まれ、金沢大学教育学部卒業、現在 福井県海浜自然センター所長
（3）：菅豊
1963 年生まれ、筑波大学大学院歴史・人類学研究科中退、博士（文学）、
現在 東京大学東洋文化研究所教授
（4）：鷲谷いづみ
1950 年生まれ、東京大学大学院理学系研究科修了、理学博士、
現在 東京大学大学院農学生命科学研究科教授
（5）：青海忠久
1949 年生まれ、京都大学農学部水産学科卒業、農学博士、
現在 福井県立大学海洋生物資源学部教授

# D-0910　福井県三方湖の自然再生に向けたウナギとコイ科魚類を指標とした総合的環境研究

## (1) シンボル種魚類の再生に必要な生息環境の検討

東京大学大学院総合文化研究科　吉田丈人
福井県立大学海洋生物資源学部　青海忠久・富永修
福井県　坊栄二・久保光
＜研究協力者＞
国立環境研究所　松崎慎一郎
東京大学　西廣淳・加藤義和・照井慧・鷲谷いづみ・海部健三・塚本勝巳
福井県立大学　杉本亮・草野充・佐藤専寿・小北智之
福井県　多田雅充・児玉晃治
福井県海浜自然センター
若狭三方縄文博物館
鳥浜漁業協同組合

平成21～23年度累計予算額：51,375千円（うち、平成23年度予算額：16,241千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］三方湖における自然再生を計画立案するためには、その拠り所となる科学的情報が不可欠である。従来の水質調査などでは不足していた科学的情報を得るため、本サブテーマでは、シンボル種魚類の再生に必要な湖内の環境要因を評価し、自然再生が必要な具体的な課題を明らかにすることを目的とした。近年、三方湖での急増が問題視されているヒシについて、リモートセンシング画像を解析した結果、2006年から急増し2010年には湖面の76.1%に達したことがわかった。また、きわめて低濃度の塩水による成長阻害や水流による種子分散の制限が、ヒシ分布を規定している要因であることが判明した。さらに、ヒシ分布の季節消長に応じて、湖内の物理化学環境および生物群集がどのように変化するのかを調べ、貧酸素水塊の形成や底生生物やプランクトンへの影響等、ヒシ繁茂が生態系に及ぼす影響が季節に応じて大きく変化することが明らかになった。また、三方湖の一次生産と食物網のエネルギーフローを安定同位体比により追跡した。その結果、一年を通して植物プランクトンが主要な餌源として機能しており、ヒシと植物プランクトンの競争関係が湖内の生物生産に影響すること、近年侵入した外来魚ブルーギルは在来魚種と安定同位体比が重複しており、餌をめぐる競争関係にあることが判明した。シンボル種魚類であるヤリタナゴの空間分布に影響する要因を調べた結果、産卵母貝となるイシガイ類が存在し、水深が浅く、浮葉植物が少ない場所が重要な生息環境であることがわかった。また、シンボル種魚類であるウナギについて、縄文時代～江戸時代～現代にかけての天然加入や、成長に応じた生息場所利用の変化、成長の特性や食性が明らかとなった。これらの研究成果は、三方五湖自然再生協議会における自然再生全体構想に反映されたほか、今後の自然再生事業実施計画の策定にも利用される。

［キーワード］ヒシ、栄養塩動態、食物網構造、ヤリタナゴ、ウナギ

## １．はじめに

### （１）ヒシの分布規定要因と生息環境としてのヒシ帯の評価

三方湖では近年、浮葉植物であるヒシ（*Trapa japonica* Florov.）が湖面の広範囲を覆い、航行障害や景観上の問題が生じている。また広範囲・高密度なヒシの繁茂は、生物的・非生物的環境変化を通して、シンボル種を含む魚類の生息にも影響する可能性がある。このため、三方湖における自然再生事業では、ヒシの生態学的特性を踏まえた適切な管理手法の検討が必要になる。ヒシの管理に寄与する基礎的知見を得るための研究を行った。

近年、浮葉植物であるヒシ属（*Trapa* spp.）が密生してマット状の巨大な植生帯（ヒシ帯）を形成することにより、陸水生態系が劇的に改変される例が相次いで報告されている[1) 2)]。植物体全体が水中にある沈水植物では、有機物の循環が水域内で完結するが、ヒシ属のような浮葉植物では、光合成は大気中の二酸化炭素を使って行われるため、大量の有機炭素が水域へともたらされる。その結果、ヒシ帯の中では溶存酸素がきわめて少なくなり（例：アメリカのハドソン川では2.5mg/L以下）、ほとんどの魚種が負の影響を受けている。条件が合えば、ヒシの浮葉は水面のほぼ100%を覆い、光をめぐってヒシと競争している沈水植物を駆逐してしまう。また、植物体を利用する大型無脊椎動物（水生昆虫、貧毛類等）の密度は、沈水植物の一種（*Vallisneria americana*）よりもヒシの方でずっと少ない、というハドソン川上流での研究結果も報告されている。植物体表面を利用する動物の減少や溶存酸素の減少が起これば、ヒシ帯の中に生息する魚類群集の多様性も低下する。いくつかの先行研究では、ハドソン川のヒシ帯における魚類の種構成や個体数が調べられているが、最も多くみられたのは、水の汚染や濁りが進んだ環境や酸素の少ない環境でも耐えられるような種であった。さらに、ヒシ帯によって漁業やボート、釣り、遊泳などの商業・娯楽活動が制限されてしまうといった影響もある。このように、ヒシ帯の発達が水域生態系にもたらす影響は多面的であるが、こうした影響の季節変化についてはほとんど分かっていない。ヒシ属は一年生の浮葉植物なので、そのフェノロジーに応じてこれらの影響は劇的に変化すると考えられる。例えば、ヒシが枯れた後の季節には、ヒシ帯で起きていた酸欠状態は緩和されるかもしれない。日本国内においても、ヒシ（*Trapa japonica*）が形成する植生帯によって生態系が大きく変化してしまった事例が近年になって報告され始めている。三方湖においても、2008年ごろからヒシの繁茂が始まり、2010年夏には湖面の80%近くがヒシで覆われるまでになった。これにより、貴重な三方湖生態系が大幅に改変されてしまうことが懸念される。

### （２）生産構造と食物網構造の評価

本研究が対象とする三方湖は、三方五湖で唯一の淡水湖であり、本水系の生物多様性を特徴付ける生物であるコイ科魚類の生息域として特に重要な場所である。しかしながら、近年、三方湖ではアオコの減少に伴う浮葉植物ヒシ*Trapa japonica*の異常繁茂の問題が生じている。夏季に三方湖の水面を覆うヒシの占有面積は、2007年までは湖全体の2割に満たなかったが、2008年以降6割を超えるようになり、2010年には約8割を占有するようになった。また、本事業における調査により、ほぼ同時期に三方湖のクロロフィルa濃度は夏季よりも冬季で高く、他の温帯の湖と季節性

が逆転していることが示唆された。このことから、ヒシと植物プランクトンが競合関係にあり、ヒシが繁茂することで植物プランクトンが受ける光制限や栄養塩の争奪の影響が大きいことが予想される。一般に、水圏生態系の食物網構造は、植物プランクトン、付着藻類、水生植物などの一次生産者を起点として成立していると考えられている。したがって、湖内の生産構造も大きく変化し、植物プランクトンを餌料にすると考えられる魚類などの高次捕食者にも影響を及ぼしている可能性がある。さらに、ヒシの最盛期には湖内に貧酸素水塊が形成され、高次捕食者の生息地が制限される影響も考えられる。

他方、2009年の秋に三方湖において国外外来魚であるブルーギル*Lepomis macrochirus*が初めて確認され、その後急激に増加の傾向を示している。ブルーギルは旺盛な繁殖力を持ち、卵の捕食や資源競争により在来種に甚大な被害をもたらすことが全国各地で報告されており、水域の環境条件によっては在来種の激減や消滅を引き起こした例もある(例えば東,1998[3]; 遊磨ら,1997[4])。しかし、三方湖は本種が侵入してまだ間もないため、在来種が受ける直接的、間接的影響は明らかとなっていない。

### （３）シンボル種魚類ヤリタナゴの生息環境の評価

淡水生態系は、人為的影響による生物多様性の衰退が最も著しい生態系の一つである。日本においても、淡水域を利用する魚種のうち、約半数におよぶ191種が絶滅危惧種あるいは準絶滅危惧種として環境省レッドリストに記載されており、危機の深刻さを如実に表わしている。

生息地の喪失、分断化、外来種の侵入、水質汚染が淡水生態系を脅かす主要な要因として知られている。これらの人為的影響に対する脆弱性は種間で異なる。例えば、特定のハビタットや餌資源に特殊化した種群（生態的スペシャリスト）は、より広いニッチをもつ種群に比べ、絶滅の危険性が高いと考えられている。

氾濫原を主な生息地とするタナゴ類は、イシガイ類を産卵基質として利用する特殊な繁殖生態をもつ。繁殖期になると、雄個体は美しい婚姻色を呈し、産卵母貝となるイシガイ類の周りに縄張りを形成する。雌個体は、イシガイ類に産卵するための長い産卵管をもち、これを用いて二枚貝の出水管から鰓に産卵する。孵化した仔魚は、十分な遊泳能力を獲得するまで二枚貝の鰓上で生活する。このように、特定の他種に対する依存性の高いタナゴ類は、人為的影響に対して特に脆弱な種群であると考えられる。

近年、日本の在来タナゴ類は急速に減少しており、14種中13種が2007年度版環境省レッドリストに記載されている。イシガイ類の減少や侵略的外来種の侵入などがタナゴ類減少の要因として挙げられているが、これらの解釈を支える証拠は欠落している。

### （４）シンボル種魚類ウナギの生態に関する研究

ニホンウナギ（*Anguilla japonica*、以下「ウナギ」）は、古くから日本人と強い関わりを持っている。ウナギの骨は縄文・弥生時代の貝塚からも多数出土しており、古来より日本に住む人々の食料として利用されてきた。また、ウナギは安産の神として祀られ（三島神社）、ことわざや慣用句、和歌の題材にされるなど、食以外の日本文化とも深いつながりを持っている。本研究を行う三方湖が存在する若狭地方においては、江戸時代にはウナギ漁が盛んに行われた形跡が、当時の出荷記録などに残されている。1844年（弘化元年）に刊行された重修本草綱目啓蒙（梯南洋[5]）

には、「若州（著者注：若狭地方）ノ産ハ首小ニシテ身大ナリ。焼トキハ油尤多クシテ、自ラ皮ヲ脱シ。味尤マサレリ」との記述があり、当地で漁獲されたウナギの評価が高かったことが示唆される。当地周辺には現在も三方湖で捕獲されたウナギを提供する鰻屋が複数存在しており、三方湖に生息するウナギと地域住民との関係が現在も続いていることを示している。

河川源流域から河口・沿岸域まで幅広い生息域を持ち、高次捕食者であるウナギは、水辺の生態系の健全性を評価する際の重要な指標として注目されている（鷲谷 2008[6]）。地域住民と古くから強い関わりを持ち、生態系の健全性の指標として注目されるウナギは、三方湖における自然再生のシンボルとして最適な種の1つである。

## ２．研究開発目的

### （１）ヒシの分布規定要因と生息環境としてのヒシ帯の評価

１）ヒシ分布範囲の経年変化の把握

リモートセンシング技術を活用し、比較的容易に過去および現在のヒシの分布を把握する手法を開発する。その技術を活用し、三方湖における過去およそ10年間におけるヒシ占有面積の変化を整理する。

２）ヒシ分布範囲に影響する要因の解明

ヒシの分布規定要因の解明に向け、三方湖内におけるヒシ分布の空間的不均一性を生じさせている主要な要因を明らかにする。

３）生息環境としてのヒシ帯の評価

ヒシの繁茂が三方湖の生態系に及ぼす多面的な影響を明らかにすることを目的とする。特に、物理化学環境や底生動物、動物プランクトン群集に及ぼす季節的な影響を明らかにする。

### （２）生産構造と食物網構造の評価

本研究では、三方湖の一次生産と食物網のエネルギーフローを安定同位体比により追跡し、湖内のシンボル魚種（コイ科魚類ならびにウナギ）の餌環境を解明することをめざした。その中で、現在、三方湖が直面している2つの課題、1）ヒシの大繁茂により湖内の基礎生産構造が受ける影響と2）ブルーギルの侵入が在来魚種の個体群動態に与える影響の可能性についても検討した。

### （３）シンボル種魚類ヤリタナゴの生息環境の評価

本研究では、三方湖周辺の水田水路におけるヤリタナゴの空間分布に影響する要因を明らかとすることを目的とした。特に本研究では、産卵母貝となるイシガイ類との連結性、侵略的外来種の影響、局所環境要因の影響について検討した。

### （４）シンボル種魚類ウナギの生態に関する研究

三方湖における人間とウナギの関わりの歴史を明らかにすることによって、当地における自然再生のシンボル種としてのウナギの地位を明確にする。また、三方湖に現在生息するニホンウナギの生態（特に成長、移動、食性）を明らかにすることによって、三方湖の環境の現状評価と、自然再生活動の方向性を検討する。

## ３．研究開発方法

### （１）ヒシの分布規定要因と生息環境としてのヒシ帯の評価

１）ヒシ分布範囲の経年変化の把握

過去から現在までのヒシ展葉面積の年次変化を、人工衛星によるリモートセンシング画像を活用して検討した。検討では、まず2009年から2011年までの各年における航空機撮影写真（分解能約0.34m）と現地調査で把握したヒシの被度と、同年における人工衛星データから算出した標準化植生指数（NDVI）との関係を分析した。その結果を用いて、人工衛星データが利用可能な2003年以降を対象に、三方湖におけるヒシの占有面積の変化を把握した。解析に用いた人工衛星と撮影日を表(1)-1に示す。

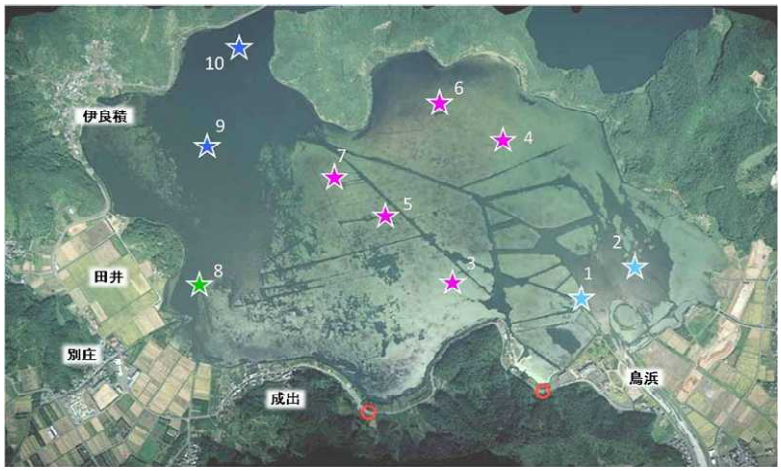
表(1)-1 解析に用いた人工衛星画像の撮影日

| 撮影年 | 撮影月日 | 使用データ |
|---|---|---|
| 2003年 | 8月20日 | SPOT-5 |
| 2004年 | 8月12日 | SPOT-5 |
| 2005年 | 7月21日 | SPOT-5 |
| 2006年 | 8月10日 | ALOS |
| 2007年 | 8月13日 | ALOS |
| 2008年 | 8月15日 | ALOS |
| 2009年 | 8月18日 | ALOS |
| 2010年 | 8月21日 | ALOS |
| 2011年 | 8月4日 | THEOS-1 |

２）ヒシ分布範囲に影響する要因の解明

三方湖内のヒシの分布解析により、ヒシが大量に繁茂した近年においても、汽水湖である水月湖と接続している湖の下流部および最大の流入河川である鰯川河口部のある上流部には、ヒシがほとんど繁茂しないことが認められた。その原因を明らかにするため、下流部と上流部のそれぞれにおいて、ヒシの生活史を考慮し、種子分散段階と種子発芽・実生段階のそれぞれについて、制限要因の調査・実験を行った。

三方湖の上流部および下流部においてヒシの繁茂が認められない原因として、これらの場所への種子分散が制限されている可能性を検討するため、ヒシ発芽期前にあたる2010年3月2日に、三方湖内の10箇所の調査地点において底質中の種子密度の調査を行った（図(1)-1）。それぞれの調査地点では、4mの長さの鋤簾（直径約1cm以上のものを捕捉）を用いて、底質の0.3m×1.5m（土の深さ約0.2m）を掻き取り、含まれる種子を採集し、含まれる生存ヒシ種子数を計数した。採集・計数は各調査地点について4反復行った。生存種子数は、採集された種子のうち、20℃・14日間の培養で発芽した種子、および低温処理（水中・暗条件・4℃で3週間保管）後の20℃・14日間の培養を経て発芽した種子の合計とした。




図(1)-1　三方湖内の調査地点の位置。背景の写真は2009年撮影の空中写真である。

三方湖の上流部および下流部では発芽・実生定着に必要な環境条件が満たされていない可能性を検討するため、種子を導入して挙動を調べる「シードバッグ実験」を行った。実験では、2009年10月に三方湖内で採集したヒシの種子を用いた。種子は3ヶ月間水中で4℃の条件におき、休眠を解除した後、メッシュバッグ（目合い1cm）に15個ずつ入れた。メッシュバッグは、ヒシの発芽期前にあたる2010年3月2日に、ヒシの繁茂が認められない三方湖上流部と下流部およびヒシが繁茂する湖心部の3箇所に、それぞれ３袋ずつ設置した（それぞれ、図(1)-1の10，1，5 の位置に該当）。

設置したバッグはヒシの展葉開始期にあたる2010年6月7日に回収し、計数した。計数では、種子の内容が腐敗していたり内容物が失われていたりするものを「死亡」、発芽し幼茎を伸長させているものを「生存」、現地での発芽は認められなかったものの、実験室に持ち帰り、2週間の低温処理（水中で4℃）の後に20℃で14日間培養する処理により発芽したものを「休眠」とした。低温処理後の培養を経ても発芽しなかった種子は「死亡」に含めた。

シードバッグを設置した3箇所には塩分濃度記録計（JFEアドバンテック（株）社製、Compact-CT）を設置し、2010年3月2日から2011年1月31日まで10分間隔で塩分濃度を計測した。記録計は錘と浮きを用いて底質から約50cmの高さの場所に維持した。

水の塩分濃度が、発芽率と幼茎出現段階の実生の生存率に与える影響を明らかにするための発芽実験を行った。実験には、2010年10月に三方湖内で採取したヒシ種子を活用し、福井県海浜自然センター構内の野外（日陰）に設置したタンク内に約4ヵ月間保管し、果柄や外果皮を自然に脱落させた後に実験処理に供した。

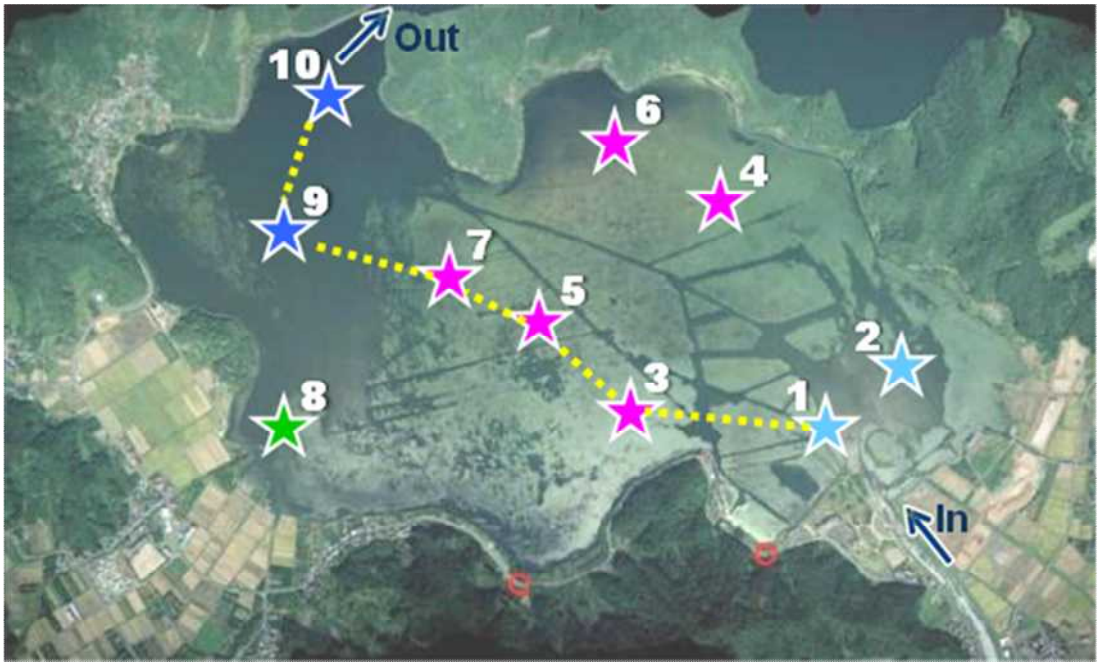
塩水が発芽に及ぼす影響を検討する実験では、低温処理（水中・暗条件・4℃で3週間保管）を施した種子を、0，1，2，3，4，5，10，20，30‰の9通りの塩分濃度条件に移し、20℃・弱光条件で14日間培養し、発芽率を評価した。幼根が出現した種子を発芽とみなした。それぞれの処理について、25種子ずつ4反復を設けた。

塩水が幼茎出現段階の実生の生存率に及ぼす影響を検討する実験では、上記と同様の低温処理後、塩分0‰・20℃の水中で発芽させた種子を、そのまま1週間育成し、幼根が2-3cmまで伸長した

段階の実生を用いた。この段階の実生を、0，1，2，3，4，5，10，20，30‰の9通りの塩分濃度条件に移し、20℃弱光条件で2週間培養した後に生死を評価した。幼茎を出現させた実生を生存、幼根が溶解した実生を死亡と判定した。それぞれの処理について、25種子ずつ4反復設けた。

３）生息環境としてのヒシ帯の評価

ヒシ帯の特徴を明らかにするため、湖内に10地点の調査地点を設けた（図(1)-2）。調査地点の選定には、2008年夏に撮影された航空写真を用いた。2008年の夏、地点3～7はヒシ帯に覆われていた（ヒシ密生地点）。一方、地点1，2，9，10は、夏でもヒシの浮葉が確認されなかった。地点8では、ヒシのコロニーがまばらに形成されていた。三方湖は淡水湖であるが、汽水湖である水月湖と下流で連結している。水月湖からの汽水の侵入は三方湖の生態系に影響を及ぼしていると考えられるため、ヒシのない地点については上流（地点1，2）と下流（地点9，10）に分類した。




図(1)-2　三方湖内の調査地点。右下の矢印（In）は、主要な流入河川である鰯川の河口を示し、三方湖の最上流部に当たる。左上の矢印（Out）は水月湖との境界を示し、三方湖の最下流部に当たる。★は年間を通じてヒシのない地点（上流部）、★は夏季にヒシの密生する地点、★は夏季にヒシのまばらな地点、★は年間を通じてヒシのない地点（下流部）をそれぞれ表す。星印横の数字は調査地点名を表す。

各調査地点において、位置情報、水深、セッキ深度およびヒシ被度を測定し、溶存酸素濃度、塩分、クロロフィルa濃度、pH、濁度、水温、電気伝導度の鉛直測定を行った。また、底泥中の無脊椎動物（≧0.5mm）および動物プランクトン（≧100μm）を採集し、各分類群の密度を求めた。三方湖生態系の季節的な変化を知るために、2009年8月30日、11月29日、2010年3月2日、5月10日、7月7日、9月9日、11月15日、2011年8月10日に上記のすべての項目を調査した。ヒシ被度の測定および水質の鉛直測定については、2010年4月3日、6月7日、8月10日、9月30日、2011年2月8日、7月31日にも行った。

三方湖における物理化学環境の季節変動を示すために、各地点での鉛直測定結果に基づいた等値線図を季節ごとに作成した。また、ヒシ被度と物理化学環境あるいは各分類群の密度とのピアソン相関分析を行い、ヒシ被度と各要因の対応を明らかにした。水月湖から侵入する汽水と各要因の対応を明らかにするために、最下流の調査地点（地点10）から各調査地点までの距離を「上流度」と定義し、上流度と各要因とのピアソン相関分析を行った。地点10と他の調査地点とを結ぶ直線の間に陸地がある場合には、陸地を迂回しての最短距離を上流度とした。

三方湖においては、物理化学環境や動物相の季節変動に影響を及ぼす要因として、ヒシ被度以外にも、水月湖から侵入する汽水の影響が考えられる。また、気温や降水量、各分類群が持つ生物季節といった季節的に変化する要因によっても影響を受けると考えられる。そこで、物理化学環境や動物相の分布パターンがヒシ被度の違いによって説明できるかどうかを検証するために、各物理化学環境の値あるいは各分類群の個体数を反応変数、ヒシ被度、上流度および季節を説明変数とする一般化線形モデル（GLM）による解析を行った。この解析では、ヒシのフェノロジーに合わせ、季節を4つのカテゴリーに分類した：1～3月を”冬”、4～6月を”春”、7～9月を”夏”、10～12月を”秋”とした。物理化学環境を説明するモデルには、逆数およびガンマ分布を用い、3つの説明変数（ヒシ被度、上流度、季節）の少なくとも1つを含む組合せのモデル（計7つ）を作成した。フルモデルは以下の通り：

$$1/V = \beta_0(\text{ヒシ被度}) + \beta_1(\text{上流度}) + \beta_2(\text{季節}) + \alpha + \varepsilon$$

$V$、$\alpha$、$\varepsilon$はそれぞれ、物理化学環境の値、切片、残差をそれぞれ表す。$\beta_m$は変数mの係数を表す。底生動物および動物プランクトンの個体数を説明するモデルには、対数変換した値と負の二項分布を用い、3つの説明変数（ヒシ被度、上流度、季節）の少なくとも1つを含む組合せのモデル（計7つ）を作成した。フルモデルは以下の通り：

$$\mathrm{Log}(N) = \beta_0(\text{ヒシ被度}) + \beta_1(\text{上流度}) + \beta_2(\text{季節}) + \alpha + \varepsilon$$

$N$は底生動物および動物プランクトンの各分類群の個体数を表す。モデルの順位付けには赤池情報基準（AIC）を用い、AICが最も小さなモデルをベストモデルとして採用した。

### （２）生産構造と食物網構造の評価

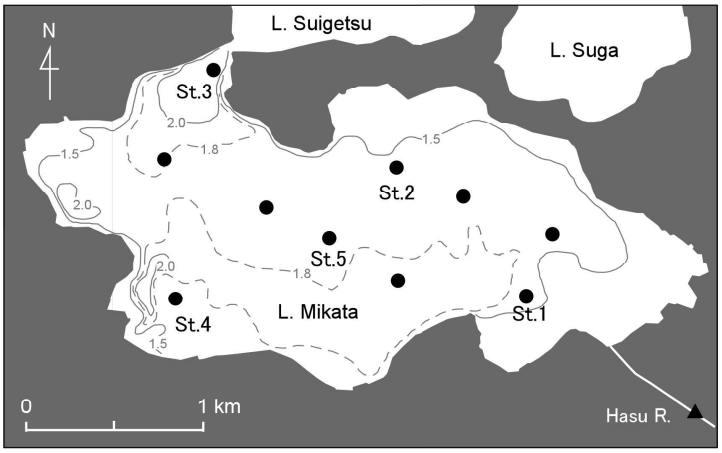
１）環境調査

環境調査は、湖内に設けた10測点において2009年に2回（8月、11月）、2010年に5回（3月、5月、7月、9月、11月）実施した（図(1)-3）。各測点において、多項目水質計による物理・化学パラメータ（水温、塩分、溶存酸素濃度、濁度、酸化還元電位、pH）の鉛直測定を行った。バンドーン採水器により表層、中層、底層の3層から得られた水を100Lバケツ内で混合したものを試水とし、5L褐色ポリ瓶に分取して実験室に持ち帰った。ただし、St.3については他の地点より水深が深いため4層の水を混合した。残った試水はプランクトンネットで濾過し、濃縮された20-63μm分画を植物プランクトン試料とした。付着藻類は、定置網固定用に湖に設置してある竹の表面を歯ブラシでこすりとり、蒸留水で洗い流して得た懸濁液を試料とした。また、エクマンバージ採泥器により得られた堆積物の表面1cmから堆積有機物を採集し、堆積物中のベントスは同時に得られた泥を袋に入れて持ち帰り、試料とした。動物プランクトンは、プランクトンネット(φ100μm)の鉛

直引きにより採集したものを試料とした。ヒシの繁茂する時期、地点においてはタモ網によってヒシを採集し、それを篩にかけることによってヒシに付着する葉上生物を得た。ヒシと葉上動物は500mlポリ容器に入れて持ち帰った。また、環境調査終了後、ハス川の表層水の採水も行った。

２）魚類採集

鳥浜漁協の胴船を用いて、2009年8月(ヒシ繁茂期)と11月(ヒシ非繁茂期)、2010年3月から2011年2月の期間に隔月で、さらに2011年5月(ヒシ繁茂前)、8月(ヒシ繁茂中)、12月(ヒシ繁茂後)に合計11回の野外調査を実施した。調査地点は三方湖を網羅するようにハス川河口(St.1)、池の浦周辺(St.2)、水月湖との連結部である瀬戸(St.3)、別所川河口(St.4)、中央(St.5)の5地点で行った(図(1)-3)。ただし、2011年5月、8月、12月は、St.1、St.3、St.5の3地点で行った。定置網は2 日間に分けて実施し、初日の午前中に定置網の設置、翌日の午前中に定置網の回収ならびに採集魚類の選別作業を行った。採取された魚類サンプルは、分析時まで冷凍保存した。




図(1)-3　調査測点図。St.1(ハス川河口)、St.2（池の浦周辺）、St.3（水月湖との連結部)、St.4（別所川河口）、St.5（中央部)においては、魚類採集を実施。

３）栄養塩濃度、溶存無機炭素の濃度分析試料の処理

採水試料は研究室へ持ち帰った後すぐに、あらかじめ焼いておいたWhatman GF/Fフィルター（450℃、2時間）で濾過し、濾紙上に残った物を懸濁態試料、濾液を溶存態試料とした。懸濁態試料を用いてクロロフィルa濃度、懸濁態有機物の炭素濃度（POC）、窒素濃度（PON）ならびに安定同位体比分析に供した。さらに、溶存態試料は栄養塩の濃度（$NH_4^+$、$NO_2^-$、$NO_3^-$、$PO_4^{3-}$）と窒素同位体比（$\delta^{15}N_{NO3}$，$\delta^{15}N_{NH4}$）、溶存態無機炭素（DIC）の濃度と炭素同位体比（$\delta^{13}C_{DIC}$）分析に供した。安定同位体比分析の詳細は以下の通りである。

４）安定同位体比分析用試料の処理

a　魚類、ベントス、葉上動物およびヒシ

採集したベントスは、その日のうちに泥ごと篩(1mm目)にかけ、500mlポリ容器に入れ替え、その他の動物については凍結保存した。後日解凍し、魚類、大型甲殻類、両生類については筋肉組織を、小型動物については一個体丸ごと、ヒシは葉の部分のみを、60℃の恒温乾燥器(DX-400,ヤ

マト科学(株))で48時間以上乾燥させた。その後、乳鉢と乳棒を用いて粉末状に磨り潰して均質化したものを約0.5mg秤取り、スズ箔に包埋して安定同位体比分析に供した。$\delta^{13}$Cおよび$\delta^{15}$Nは京都大学生態学研究センターの元素分析計(EA-1108,Carlo Erba)に接続した質量分析計(Delta-S,Finnigan Mat)および元素分析計(EA Conflo IV,Thermo Scientific)に接続した質量分析計(Delta V,Thermo Scientific)を用いて測定した。$\delta^{13}$C値および$\delta^{15}$N値は以下の式で求めた。

$$\delta^{13}\text{C}\text{および}\delta^{15}\text{N}(‰)=(R_{Sample}/R_{Standard}-1)\times 1000$$
$$R={}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}、{}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$$

炭素のStandardは炭酸カルシウム(PDB)、窒素のStandardは大気中の窒素である。なお、ユスリカ幼虫や多毛類については、消化管に残った内容を取り除くため、乾燥前に検鏡下で消化管を取り除いた。また、本研究ではほとんどの動物標本に脱脂処理を施さなかった。脂質が含まれる試料を安定同位体比分析に供する際、脂質の含有量(栄養状態)によって$\delta^{13}$C値が変動することを防ぐために、分析試料をクロロホルム・メタノール(1:1　v:v)に浸漬して、脂質を除去することがある。しかし脱脂処理を行うことにより、$\delta^{15}$N値が高くなることが報告されており、このことについては原因がよく分かっていない。さらに生物の種類や測定器官によって脱脂後の$\delta^{15}$Nの変動について共通した結果を得られていない。そのため本研究ではウナギ(*Anguilla japonica*)のみ$\delta^{13}$C値測定用に脱脂処理を施したものと$\delta^{15}$N値測定用に脱脂処理を施さなかったものの2種類を準備した。

b　懸濁態有機物（POM）

持ち帰った試水はその日のうちに処理を行った。まず100μm目合いのナイロン網で濾過して大きな懸濁物を取り除いた。そして予め430℃で2時間燃焼して有機物を取り除いたグラスファイバー濾紙(GF/F)を用いて吸引濾過を行い、フィルター上に集められた粒子をPOM試料として用いた。フィルターは、一時冷凍保存した。後日解凍後、炭酸カルシウムを除去するために12N塩酸を入れたビーカーをデシケーター内に設置し、フィルターを濃塩酸の蒸気に1晩さらした。

c　植物プランクトン

持ち帰った試料はその日のうちに処理を行った。まず、50ml遠沈管に70%Ludoxを30ml作成した。環境調査の際にメッシュで濾して濃縮しておいた試料をピペットで5mlはかりとり、遠沈管内のLudoxの上に静かに添加し、その後1000rpmで10分間遠心処理をした。上層に残った軽い粒子をピペットで採取して、三角フラスコに移した後、冷蔵庫に入れて暗所、冷蔵保存した。この作業を十分量得られるまで繰り返した。十分量得られた後、試料をGF/Fフィルター上に吸引濾過し、フィルター上のLudoxを洗い流すために蒸留水をかけて洗浄して冷凍保存した。後日解凍後はPOMのフィルターと同様の作業を行い、$\delta^{13}$C値および$\delta^{15}$N値分析に供した。

d　付着藻類

持ち帰った試料はその日のうちに処理を行った。植物プランクトンと同様に夾雑物を取り除くために70%Ludoxによる分注を試みたが、困難であったため、GF/Fフィルター上に採取した試料にPOM、植物プランクトンと同様の処理を施し、$\delta^{13}$C値および$\delta^{15}$N値分析に供した。

e　堆積有機物（SOM）

持ち帰った各地点の試料のうち、約10gを60℃恒温乾燥機で1晩乾燥させた。次に炭酸カルシウ

ムを除去するために1N塩酸を10ml加え、1晩振騰した。

f　動物プランクトン

持ち帰った試料は一度凍結保存し、後日解凍したものを用いた。夾雑物が少ないと判断したものについてはできる限り上澄みを捨ててから60℃恒温乾燥機で1晩乾燥した。夾雑物が含まれていると判断した場合は、顕鏡下で夾雑物を吸い込まないように注意しながらパスツールピペットを用いて試料を採取してから恒温乾燥機で乾燥した。

g　溶存無機態窒素（DIN）

予め450℃で2時間以上燃焼して有機物を取り除いたGF/Fを用いてその日のうちに吸引濾過を行い、十分量の濾液を凍結保存した。後日、アンモニア拡散法によりアンモニア態窒素ならびに硝酸態窒素試料をGF/Dフィルター上に捕集し、上述の$\delta^{15}N$分析に供した。分析精度の問題上、$NH_4^+$および$NO_3^-$の同位体比分析に関しては、1.0μM以上のサンプルのみ測定を行った。

h　溶存無機態炭素（DIC）

予め450℃で2時間以上燃焼して有機物を取り除いたGF/Fを用いてその日のうちに吸引濾過を行い、濾液30mlをブチルゴム付きのガスクロバイアルに入れ、飽和塩化水銀（Ⅱ）溶液を最終濃度が0.01%になるように添加した後、暗条件・室温で保存した。DICの$\delta^{13}C$は、SIサイエンス株式会社に分析依頼をし、dual inlet法による測定を行った。

### （３）シンボル種魚類ヤリタナゴの生息環境の評価

１）調査地

調査は、三方湖周辺の水田水路および小河川で行い、任意の68地点を設定した。調査時期は、ヤリタナゴの活動がもっとも活発となる夏季（2009年8月～9月）とした。本研究で調査対象とした範囲では、三方湖を介さずに連結している13の水路および小河川のまとまりが存在し、以下、このまとまりを水路システムと呼ぶこととする。

２）魚類の採集方法

各地点において長さ20mの調査区を設定し、調査区内において以下の手順でヤリタナゴの在不在を確かめた。まず、それぞれの調査区において餌入りモンドリを4つ設置し、1時間後に回収した。次に投網による採集を行い、各地点最低3回は投網による採集を行った。最後に、電気ショッカー（model LR24; Smith-Root Inc., Vancouver, WA, USA）による採集を行った。採集したヤリタナゴおよびその他魚種は、標準体長を計測した後、採集した地点に再放流した。

３）局所環境要因の計測

各調査地点において、水深、川幅、溶存酸素（DO）、底質タイプ、植生の被度（沈水植物、抽水植物、浮葉植物）、侵略的外来種の在不在（アメリカザリガニ、ウシガエル、オオクチバス）を計測した。

水深、川幅、DOについては、各調査地点の上流、中流、下流で計測し、その平均値をその調査地点の代表値とした。水深、川幅についてはメジャーを用いて計測し、DOについてはDOメーターを用いて計測した。底質については、各地点で優先している底質タイプ（泥＜0.063mm、砂0.063-2.0mm、小礫＞2.0mm）を記録した。植生の被度（%）は目視によって推定し、以下のカテ

ゴリーに則して分類した：1（0-5%）、2（6-25%）、3（26-50%）、4（51-75%）、5（76-100%）。

４）イシガイ類の採集

イシガイ類の採集は、ヤリタナゴの調査地点から500m以内の範囲で行った。徒手および鋤簾を用いて採集した。

５）統計解析

統計解析は、13の水路システムをランダム効果とした一般化線形混合モデル（GLMMs）を用いて行った。ヤリタナゴの在不在を目的変数とし、誤差分布は二項分布に従うと仮定した。説明変数として局所環境要因［水深、川幅、DO,底質タイプ（泥vs.砂、泥vs.小礫）］、植生の被度（沈水、抽水、浮葉）、侵略的外来種の在不在（アメリカザリガニ、ウシガエル、オオクチバス）、複数の空間スケールにおけるイシガイ類の在不在（100m、150m、200m、250m、300m、350m、400m、500m、水路システムスケール）とした。

もっとも当てはまりのよい統計モデルを選択するため、赤池情報量基準（AIC）に基づいた総当たりモデル選択を行った。⊿AIC＜2となるモデルを候補モデルとして選定し、それぞれのモデルについてAkaike weightを算出した。

もっとも重要な説明変数を明らかにするため、モデル平均を行った。モデル平均は特に突出して当てはまりのよいモデルが存在しないときに有効な解析手法である。本研究では、候補モデルが多数存在していたため、モデル平均を採用した。また、ヤリタナゴの在不在に対する各説明変数の重要性を明らかにするため、相対重要度（Relative Importance；RI）を算出した。RIは候補モデルのうち、任意の変数が含まれるモデルのAkaike weightを合計したものである。

統計モデルの残差について空間自己相関が認められる場合、統計モデルの前提である各データの独立性が満たされていない可能性が高い。このため、各候補モデルについて、Moran’s *I*による空間自己相関の評価を行った。任意の空間スケールにおいて正の空間自己相関が認められる場合、正の値が算出され、逆に負の空間自己相関が認められる場合は負の値が算出される。Moran’s *I*の有意性については、Permutation testによって検定を行った。なお、すべての統計解析はR2.12.1を用いて行った。

**（４）シンボル種魚類ウナギの生態に関する研究**

１）天然加入個体の確認

三方湖が位置する福井県は、日本海側のウナギ天然加入域の北限付近であると考えられるが、対馬海流に輸送されてきたシラスウナギが三方湖に加入している確証はない。三方湖にウナギが天然加入していない場合、三方湖に生息するウナギは、全て地元漁業協同組合の放流事業によって放流された個体であるといえる。このため、ウナギの天然加入の有無を確認した。

また、ある地域に存在しない動植物を移入することは、その地域の生態系に負の影響を与えかねない。三方湖におけるウナギの場合、現在における天然加入が確認できない場合、過去の天然加入を確認することによってはじめて、自然再生という文脈においてもウナギ放流が正当化される。過去の天然加入個体を確認するため、縄文・弥生時代の遺跡から出土したウナギ遺骨のデータベース精査および、江戸時代の文献調査を、若狭三方縄文博物館の協力のもとに行った。

a　貝塚遺跡調査

縄文時代・弥生時代のウナギの分布を再構築するために、全国の貝塚遺跡におけるウナギ遺骨の出土状況を精査した。総合研究大学院大学の貝塚遺跡データベース（運用責任者　及川昭文）、山崎（1998)[7] および個別の発掘調査報告書等を参照して2010年までに報告された約2,661件の縄文遺跡の動物遺体出土状況を利用した。

b　文献調査

弥生時代以降中世までは、日本海側の遺跡における動物考古学的な情報が少ないため、文献資料が豊富な近世および近代について、三方五湖周辺におけるウナギの漁獲に関する文献史料を精査した。

c　定量的シラスウナギ採集調査

2011年現在、三方五湖- 早瀬川水系にはニホンウナギが生息している。しかしながら、近年は本水系の内水面漁業協同組合によって、毎年ニホンウナギの放流が行われているため、日本海からニホンウナギが新規に加入しているかどうか、不明である。このため、ウナギの新規加入の有無を調べることを目的として、久々子湖と日本海とを結ぶ早瀬川において、シラスウナギの捕獲調査を行った。シラスウナギの陸水域への加入は早春の新月の夜、上げ潮に多く見られるため（福田 2010)[8]、2010年の1月から7月の新月の夜間の上げ潮時に、毎月、灯火採集を行った。採集人数は2人以上、採集時間は2時間以上とし、計7回の調査を行った。

２）三方五湖に生息するウナギの生態

ウナギ筒および電気ショッカーを用いて、三方湖およびその流入河川でウナギの採集を行った。ウナギ筒は地元漁業者の操業に同行する形で行い、電気ショッカーは2名以上のチームで行った。採集したウナギは計測後に解剖し、生殖腺の形状より性を識別した。解剖時には胃内容物を計量、同定した。解剖したウナギからは耳石を取り出し、研磨することによって耳石輪紋を明瞭にした。耳石輪紋より読み取った年齢と捕獲時の体長より、年間の成長速度を算出した。三方湖に生息するニホンウナギは、漁業協同組合によって放流された個体であると考えられたため（「結果」参照）、以下の式を用いて成長速度を求めた。

$$成長速度＝（捕獲時の体長-放流時の体長）/（年齢-1）$$

なお、放流時の体長は、漁業協同組合によって放流されるウナギからサンプルを取って計測した。このほか、淡水・汽水間の移動履歴を再現するために、電子線マイクロプローブアナライザー（EPMA）を用いて耳石の微量元素比（Sr/Ca比）を測定した。

## ４．結果及び考察

### （１）ヒシの分布規定要因と生息環境としてのヒシ帯の評価

１）ヒシ分布範囲の経年変化の把握

人工衛星画像の解析の結果、三方湖内のヒシは、2003年から2005年までは湖内の湾部に限定して生育していたが、2006年からは湖の中央付近にまで生育するようになり、2008年以降は上流部

と下流部を除くほぼ全域で繁茂するようになったことがわかった（図(1)-4）。占有面積の推移をみると、2010年に湖面の76.1%を埋めるまでに繁茂したのをピークに、2011年には減少していた（図(1)-5）。

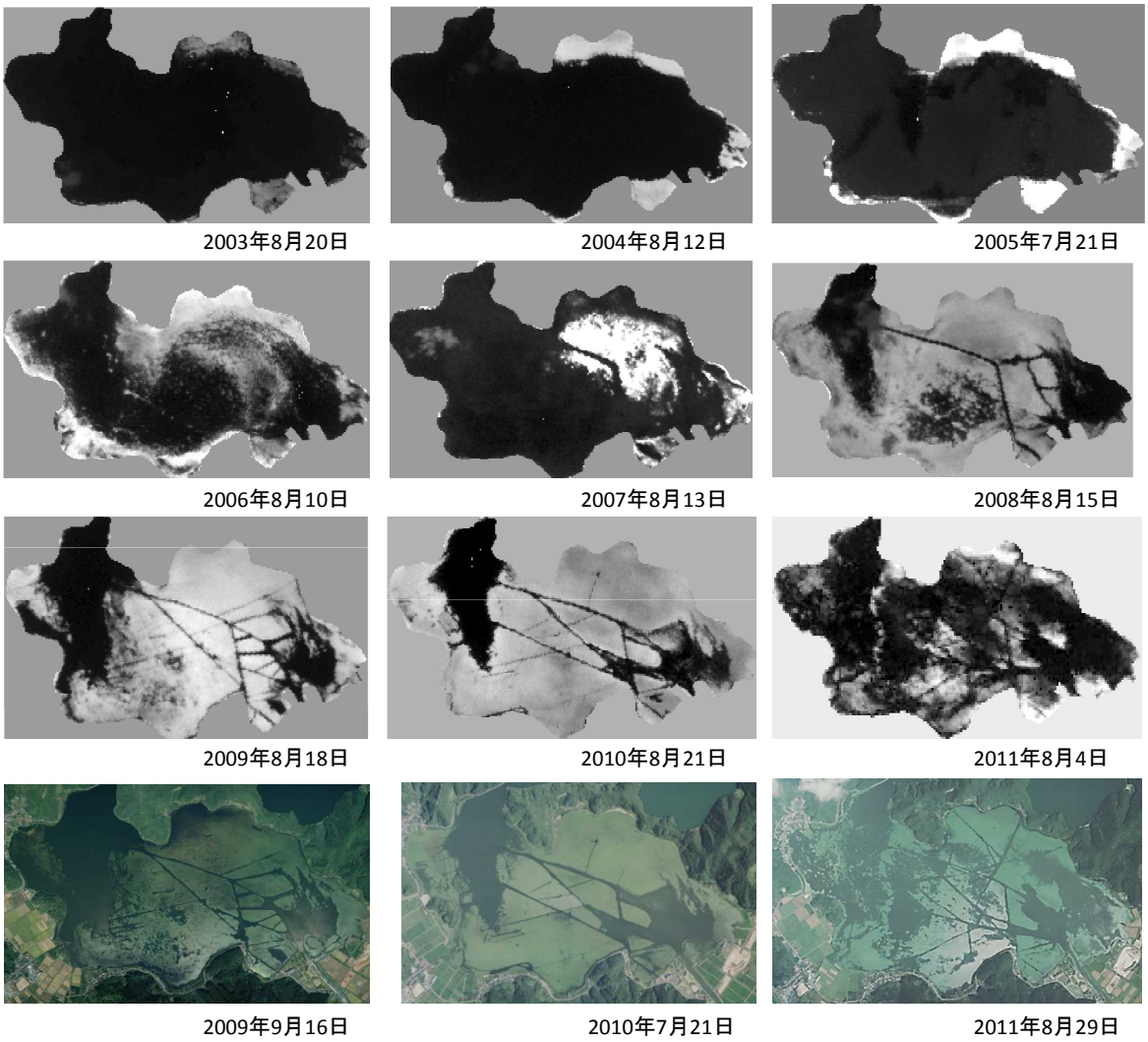
２）ヒシ分布範囲に影響する要因の解明

発芽開始前において、湖底質中のヒシの種子は、前年にヒシの繁茂が認められなかった調査地点1，2，9，10ではまったく検出されず、また前年においてヒシが低密度だった調査地点8では低密度でしか認められなかった（表(1)-2)。前年に高密度なヒシの繁茂が認められた調査地点3～7では、平均16.4個/$m^2$の種子が確認された（表(1)-2)。

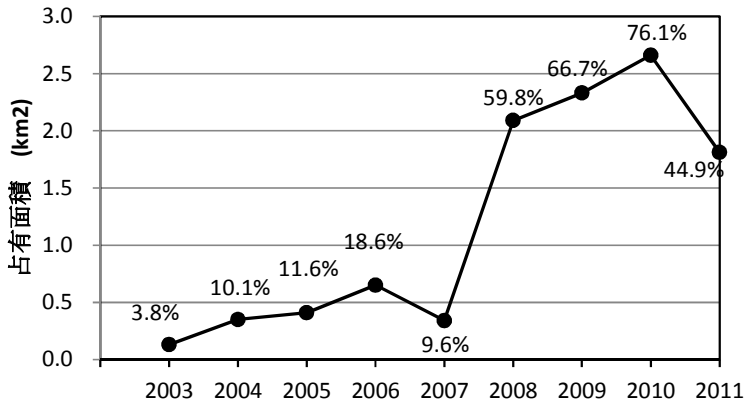
このことは、ヒシの種子は主に群落直下に散布され、あまり広い範囲には、多くの種子は拡散しないことを示唆している。三方湖内の上流部・下流部では、ともに種子分散段階での制限が生じていたことが示唆された。

表(1)-2　発芽開始前における調査地点ごとのヒシ種子密度（平均±標準偏差，n=4）。調査地点の名称は図(1)-1に対応する。調査前年（2009年）における各地点のヒシの繁茂状況についても併せて示した。

| 調査地点 | 種子密度（$1m^{-2}$） | 前年の繁茂状況 |
|---|---|---|
| ① | 0±0 | 繁茂なし（上流部） |
| ② | 0±0 | 繁茂なし（上流部） |
| ③ | 23.9±5.7 | 高密度に繁茂 |
| ④ | 15.6±7.9 | 高密度に繁茂 |
| ⑤ | 16.1±3.3 | 高密度に繁茂 |
| ⑥ | 13.3±3.5 | 高密度に繁茂 |
| ⑦ | 13.3±5.7 | 高密度に繁茂 |
| ⑧ | 6.1±2.8 | 低密度に繁茂 |
| ⑨ | 0±0 | 繁茂なし（下流部） |
| ⑩ | 0±0 | 繁茂なし（下流部） |




図(1)-4　リモートセンシングで把握されたヒシの展葉範囲（2003～2011年）。上から3段目までの9パネルは標準化植生指数（NDVI）の値に基づくヒシの展葉分布推定図で、NDVIの値が大きく、ヒシが高密度で存在するほど明るい白色で示されている。最下段の3パネルは航空機撮影のカラー空中写真（2009～2011年）。




図(1)-5　標準化植生指数（NDVI）の値に基づくヒシの展葉面積の年次変動。カッコ内の数字は湖面積（解析対象とした2.3822km$^2$）に占める展葉面積の割合を示す。

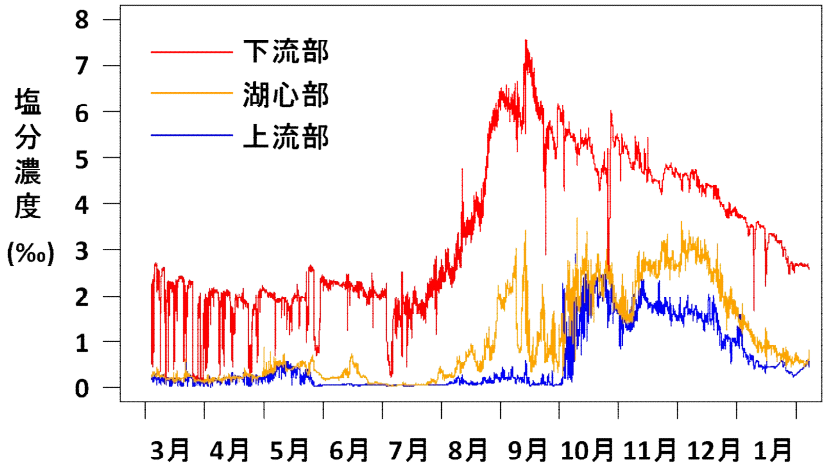
ヒシの繁茂が認められる場所である湖心部では、シードバッグにいれて湖底に設置した種子のうち約半数が発芽・成長していた（表(1)-3）。上流部では、ヒシの繁茂は認められない場所であるにもかかわらず、湖心部よりも高い割合（$P < 0.001$, Chi-square test）での発芽・生存が確認された。

上流部においては、種子分散の抑制が主要な繁茂制限要因であることが示唆された。上流部では三方湖への最大の流入河川である鰣川の河口付近にあたるため、ときに高い流速が生じることが考えられる。このことは、上流部付近の底質の粒径が粗いことからも推測される。この流速条件のため、ヒシの種子が下流側に押し流されやすく、上流部には種子が分散・維持されにくかった可能性が考えられる。なおシードバッグ実験で、ヒシの高密度な繁茂が認められる湖心部において、上流部よりも生存率が低かった原因としては、生育初期段階における種内競争の影響が考えられる。

一方、同様にヒシの繁茂が認められない下流部では、約80%と高い率での種子の死亡が確認された（表(1)-3）。休眠種子も13%認められた。湖水中の塩分濃度には、夏から秋にかけて濃度が高まる明瞭な季節変動が認められた（図(1)-6）。ヒシの発芽から初期成長期にあたる4月から6月については、汽水湖である水月湖に近い下流部では2-3‰の値が頻繁に計測されたものの、湖心部および上流部では塩分濃度の変動はほとんど確認されなかった。これらの結果は、下流部における発芽・定着段階での制限要因としては、水月湖からの汽水の流入が影響していることを示唆する。

表(1)-3　シードバッグ実験における生存種子・休眠種子・死亡種子の割合（%）。平均±標準偏差（設置地点ごとに n=3）。

| 設置地点 | 生存（展葉） | 休眠 | 死亡 |
|---|---|---|---|
| 上流部（①） | 75.6±7.7 | 0.0±0.0 | 24.4±7.7 |
| 湖心部（⑤） | 51.1±10.2 | 0.0±0.0 | 48.9±10.2 |
| 下流部（⑩） | 6.7±11.5 | 13.0±0.0 | 80.0±11.5 |

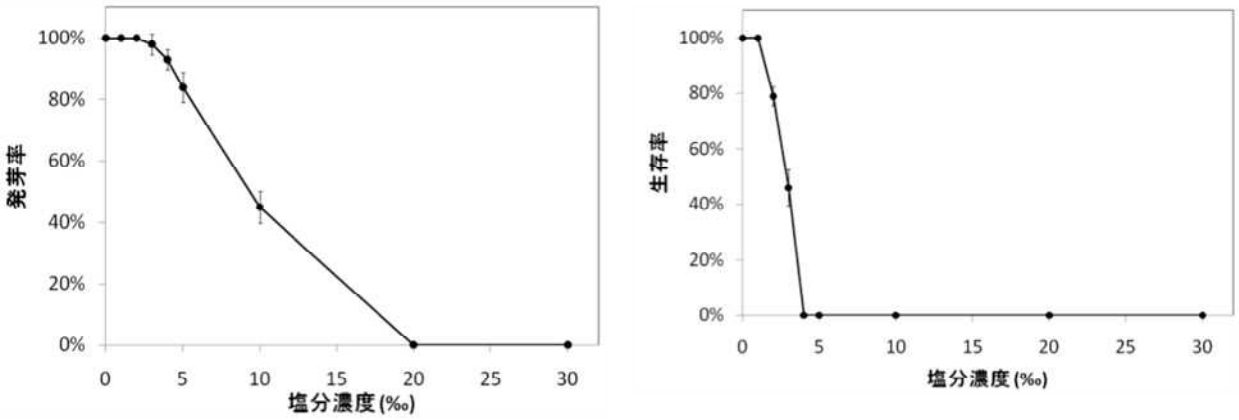



図(1)-6　塩分濃度の経時変化。2010年3月から2011年1月までの期間、湖底から約50cmの高さにおける測定値を観測地点ごとに示した。

塩分濃度が0-2‰での発芽率は100%であり、20‰以上での発芽率は0%だった（図(1)-7）。Bonferroniの方法による多重比較の結果、5‰以上の塩分濃度では0‰の場合と比べて有意な発率の低下が認められた（P<0.0001）。幼茎出現段階の実生の生存率は、4‰以上の塩分濃度では0%だった（図(1)-7）。Bonferroniの方法による多重比較の結果、2‰以上の塩分濃度では0‰の場合と比べて生存率の有意な低下が認められた（P<0.0001）。

三方湖下流部では、2‰以上の塩分濃度が春においても頻繁に観測されている（図(1)-6）。このような条件では、仮に種子が分散されたとしても、発生した実生が初期段階で死亡するものと考えられる。

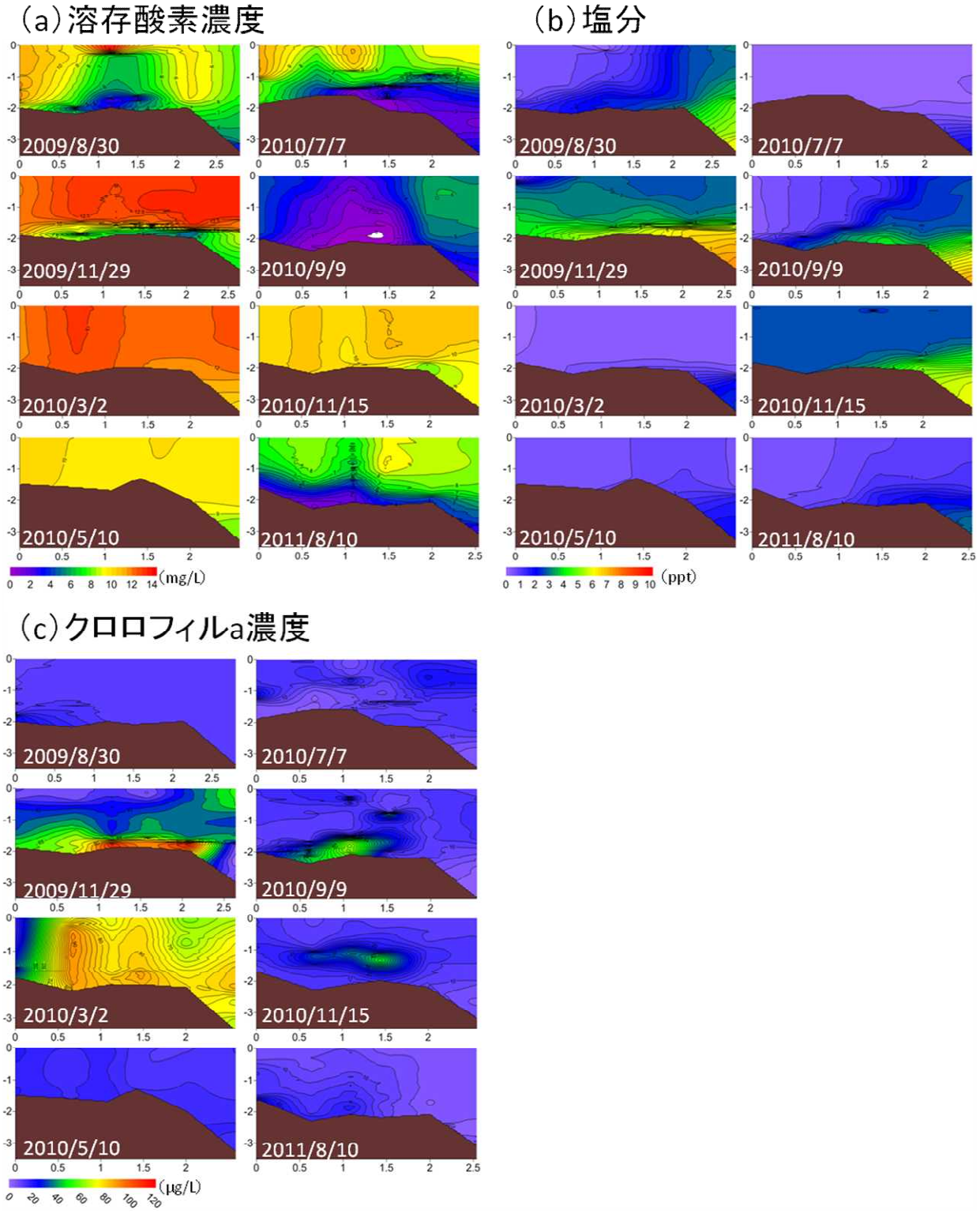
本研究の結果は、三方湖におけるヒシの動態を理解するうえでは、種子分散にかかわる水流の影響や、汽水の流入の影響を含めて検討する必要があることを示唆している。




図(1)-7　塩分濃度と発芽率（左）および幼茎出現段階の実生の生存率（右）との関係。各濃度における平均値と標準偏差（n=4）を示す。

３）生息環境としてのヒシ帯の評価

ヒシ密生地点では、初夏からヒシ被度が上がり始め、盛夏までにはヒシ帯が形成された。これらのヒシ帯は、秋には枯れ始め、速やかに消失した。しかし、2011年の夏には、ヒシ密生地点においてもヒシ被度は比較的低かった（0～0.75）。いずれの調査でも、地点1，2，9，10にはヒシ帯は形成されていなかった。湖の大部分がヒシに覆われる夏には、特に湖底付近で深刻な酸欠が起きていた（図(1)-8）。特に2010年夏には、湖底付近の溶存酸素濃度は1mg/Lを下回った。しかし、秋になってヒシ帯が消失すると、溶存酸素濃度は湖内全域で8mg/L程度まで回復した。このような酸素の豊富な状態は、次年度のヒシの展葉期まで続いた。盛夏から秋にかけて、水月湖からの汽水が三方湖の湖央付近まで侵入していた(図(1)-8)。塩水くさびの塩分は6ppt程度であった。クロロフィルa濃度は2009年冬から2010年早春にかけて湖内全域で高かったが、夏季になると、水面付近でも非常に低い値（＜40μg/L）を示した（図(1)-8）。



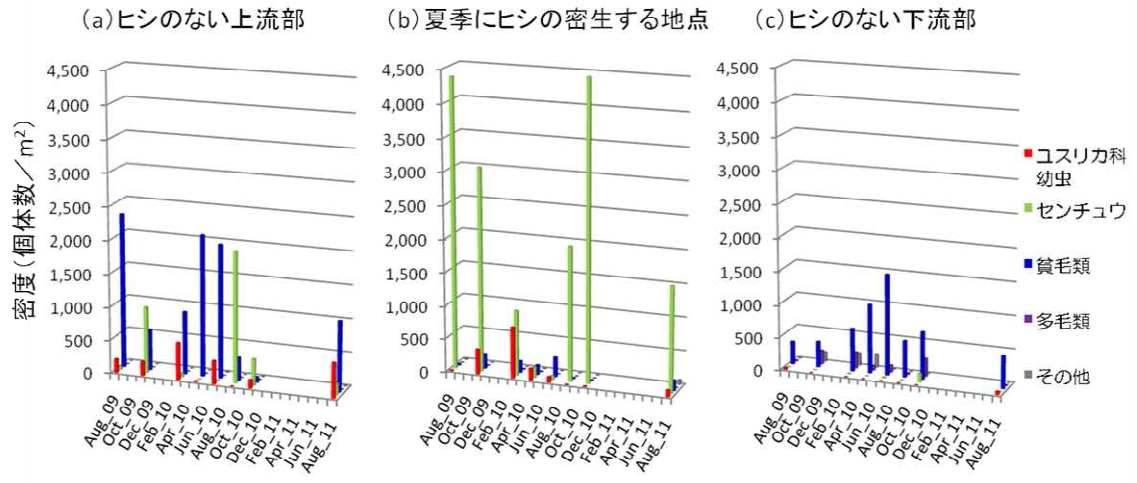

図(1)-8　三方湖における溶存酸素濃度（a）、塩分（b）、クロロフィルa濃度（c）の季節変動。縦軸は水深（m）を、横軸は上流部からの距離（km）をそれぞれ表す。図(1)-2中の黄色い点線に沿った断面で作成した。

溶存酸素濃度はヒシ被度と有意な負の相関があった（$r$ = -0.70, $P$ < 0.001）。湖底付近の溶

存酸素濃度もまた、ヒシ被度と有意な負の相関があった（$r$ = -0.62, $P$ < 0.001）。一方、塩分は上流度と有意な負の相関があった（水柱平均：$r$ = -0.30, $P$ < 0.001；湖底直上：$r$ = -0.24, $P$ < 0.01）。また、pHとヒシ被度は有意な負の相関があった（$r$ = -0.56, $P$ < 0.001）。クロロフィルa濃度および濁度では、ヒシ被度や上流度との有意な相関は見られなかった。

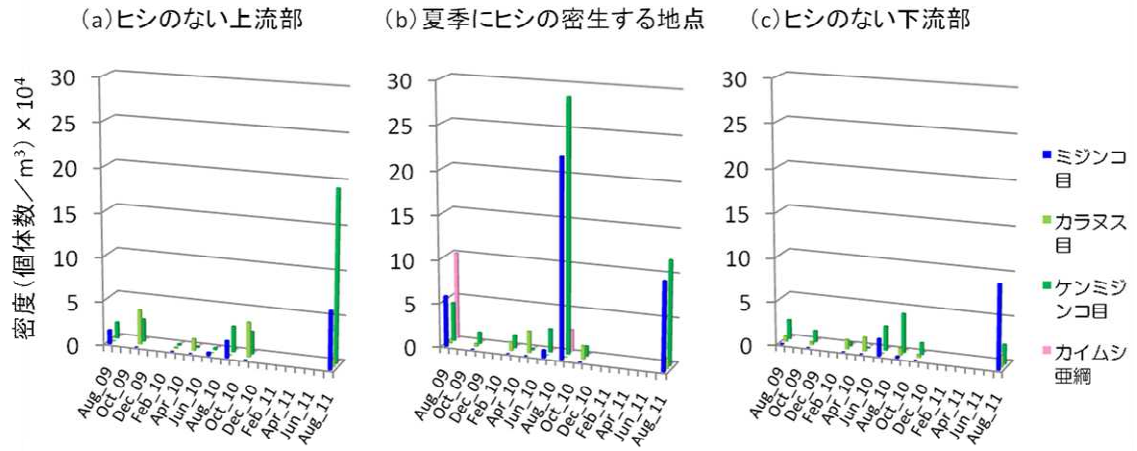
GLMにおけるモデル選択の結果、溶存酸素濃度については、ヒシ被度と季節を含むモデルがベストモデルとして選択され、ヒシ被度は溶存酸素濃度に負の影響を及ぼすことが示唆された（鉛直平均値、湖底直上値ともに）。塩分の湖底直上値については、上流度と季節を含むモデルがベストモデルとして選択され、上流に行くほど塩分濃度は低くなることが示唆された。クロロフィルa濃度については、季節のみを含むモデルがベストモデルとして選択された。pHについてはヒシ被度と季節を含むモデルがベストモデルとして選択され、ヒシ被度はpHに負の影響を及ぼすことが示唆された。

採集した底生動物は、ユスリカ科幼虫、センチュウ、貧毛類、多毛類とそれ以外の分類群に分類し、解析を行った（図(1)-9）。ユスリカ科幼虫の個体数はヒシ被度と有意な負の相関があったが（$r$ = -0.24, $P$ < 0.05）、上流度とは有意な正の相関があった（$r$ = 0.28, $P$ < 0.001）。多毛類の個体数と上流度には有意な負の相関があった（$r$ = -0.54, $P$ < 0.001）。センチュウや貧毛類の個体数には、ヒシ被度や上流度との有意な相関はなかった。GLMにおけるモデル選択の結果、ユスリカ科幼虫および多毛類については、上流度と季節を含むモデルがベストモデルとして選択され、ユスリカは上流に行くほど多く、多毛類は上流に行くほど少なくなることが示唆された。センチュウについては、すべての説明変数を含むフルモデルがベストモデルとして選択され、ヒシ被度が高く、上流にある地点ほどセンチュウが多くなることが示唆された。貧毛類については、ヒシ被度と上流度を含むモデルがベストモデルとして選択され、ヒシ被度が貧毛類の密度に負の影響を及ぼすことが示唆された。




図(1)-9　ヒシのない上流部（a）、夏季にヒシの密生する地点（b）、ヒシのない下流部（c）におけるベントスの密度（平均値）。

採集した動物プランクトンは、ミジンコ目、カラヌス目、ケンミジンコ目、カイムシ亜綱とそれ以外の分類群に分類し、解析を行った（図(1)-10）。ミジンコ目、ケンミジンコ目およびカイムシ亜綱の個体数はヒシ被度と有意な正の相関があった（ミジンコ目：$r$ = 0.56, $P$ < 0.001；ケンミジンコ目：$r$ = 0.49, $P$ < 0.001；カイムシ亜綱：$r$ = 0.53, $P$ < 0.001）。一方、カラヌス目の個体数はヒシ被度と有意な負の相関があった（$r$ = -0.40, $P$ < 0.001）。どの動物プランクトンの個体数も、上流度との有意な相関は見られなかった。GLMにおけるモデル選択の結果、いずれの動物プランクトンにおいても、ベストモデルにはヒシ被度が含まれていた。すなわち、ミジンコ目、ケンミジンコ目、カイムシ亜綱はヒシ被度の高い地点で多く、カラヌス目はヒシ被度の高い地点で少なくなることが示唆された。




図(1)-10　ヒシのない上流部（a）、夏季にヒシの密生する地点（b）、ヒシのない下流部（c）における動物プランクトンの密度（平均値）。

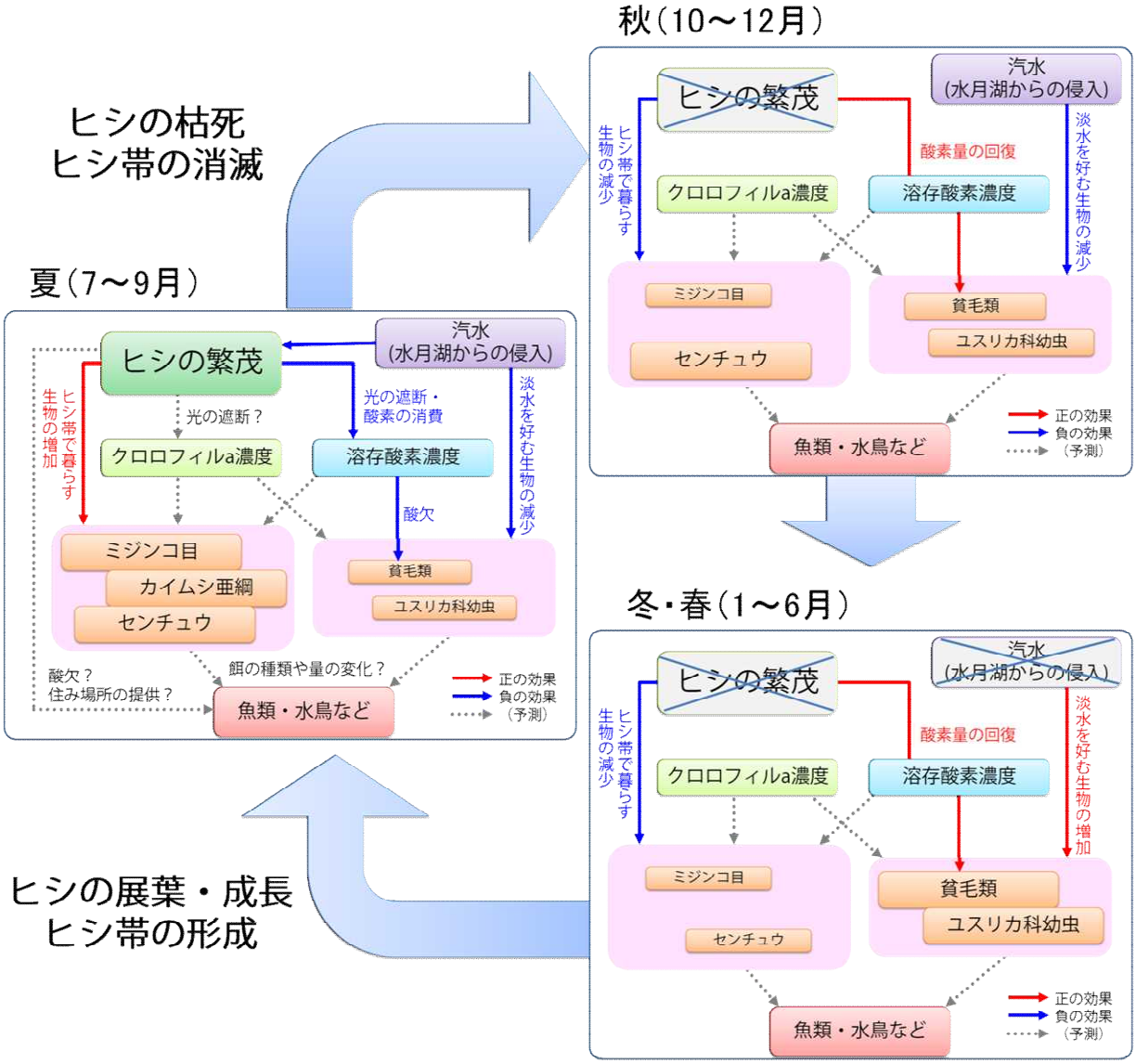
本研究により、三方湖生態系におけるヒシの繁茂の影響は、季節的に大きく変化することが明らかになった（図(1)-11）。相関分析およびGLMにおけるモデル選択の結果から、夏季に形成されるヒシ帯が原因となって湖内の溶存酸素濃度が大きく低下することが示唆された。貧毛類はヒシの繁茂によって負の影響を受けていたが、これは、湖底付近の低酸素化が原因だと考えられる。一方で、センチュウはヒシ被度が上がることで個体数を増やしていたことから、ヒシ帯の発達による正の影響を受けていると考えられる。一部のセンチュウは低酸素状態でも生活することができることが知られており、今回採集されたセンチュウは溶存酸素濃度の低いヒシ帯を生息場所として利用できるのかもしれない。ミジンコ目、ケンミジンコ目、カイムシ亜綱もまた、ヒシ帯の発達による正の影響を受けていることが示唆された。動物プランクトンは底生動物に比べて湖底付近の酸欠の影響を受けにくいことに加え、密生したヒシ帯に生息することで魚類などから受ける捕食圧が低く抑えられている可能性がある。カイムシ亜綱はヒシ帯の発達する夏季にしか採集されず、ヒシ帯の発達しなかった2011年の夏には湖内全域で採集されなかった。カイムシ亜綱には、遊泳性が低く、底質や水生植物に付着して生活する種が多く知られている。本研究で採集さ

れたカイムシ亜綱は、ヒシの植物体表面を主な生息場所としていたため、ヒシの繁茂しているときにしか採集されなかったのだと考えられる。ヒシの植物体表面を生息場所として利用する動物にとって、ヒシの繁茂がどのような影響を与えるかについては、今後詳細に検討する必要がある。

三方湖では、水月湖から間欠的に侵入する汽水により、湖底の下流から上流にかけて塩分の勾配が形成されていたが、この塩分勾配により、ユスリカ科幼虫、センチュウ、貧毛類、多毛類の分布は影響を受けていることが明らかになった。汽水の侵入はヒシ帯とは独立に生物の分布に影響を及ぼしていたため、三方湖におけるヒシ帯の影響を考察するうえでは注意が必要である。

今回の調査では、物理化学環境および動物相に対するヒシ帯の影響は、ヒシ帯の発達する夏季に特に顕著であることが示唆された。しかし、ヒシの成長期に行われる生産や秋に起こる枯死によってもたらされる大量の有機物は湖底に堆積し、長期間にわたり、湖底付近の物理化学環境の改変や底生動物をはじめとする生物の分布の変化を引き起こすと考えられる。このように、履歴効果として生態系に影響を及ぼす要因については、長期間のモニタリング調査が必要である。

三方湖に生息する魚類、特に、コイやウナギなどの底生魚にとっては、ヒシの繁茂する時期に湖底付近を中心に起こる酸欠により、生息場所が限定されてしまうおそれがある。また、底生動物および動物プランクトンの密度の変化は、これらの生物を餌資源として利用する魚類や水鳥などの高次捕食者の個体数にも影響を及ぼすと考えられる。一方、ヒシ帯の表層付近では溶存酸素濃度が比較的高いこと、および、ヒシ帯ではミジンコ目やケンミジンコ目、カイムシ亜綱といった動物プランクトンが比較的多く生息していることを考え合わせると、小型の魚類や仔稚魚などは、ヒシ帯の表層付近を好適な生息場所として利用している可能性がある。これらの高次捕食者に対するヒシの繁茂の影響を明らかにすることもまた、今後の重要な課題である。




図(1)-11　ヒシの繁茂が三方湖生態系に及ぼす影響の季節動態。赤い矢印は正の効果、青い矢印は負の効果、灰色・破線の矢印は本研究では示されなかったが、存在すると予測される効果をそれぞれ表す。各分類群を示す枠の大小は、個体密度の大小を表す。

### （２）生産構造と食物網構造の評価

１）環境データ

クロロフィルa濃度はヒシが繁茂していない低水温期に低く、ヒシが湖面を覆う高水温期には高い傾向を示した（2010年9月は台風直後のため除く）。ヒシが繁茂し始める春季（4-5月）には、水中の栄養塩濃度はほぼすべて枯渇していた。また、$NH_4^+$に関しては、湖内の塩分が高くなる秋季から冬季にかけて増加する傾向にあり、DINに占める$NH_4^+$の割合も増加した。DIC濃度は夏季から秋季に高く、春季に低いという明瞭な季節変化を示した。この変化は塩分とよく対応していた。また、理論的に計算される$CO_2(aq)$と$HCO_3^-$も季節変化するものの、その傾向は大きく異なる。観測期

間を通して、DICのほとんどは$HCO_3^-$であり、およそ85%以上を占める。一方、$CO_2$(aq)の濃度は極めて少なく、溶存酸素濃度の低下する夏季に高くなる傾向が認められた（図(1)-12）。

２）$NH_4^+$、$NO_3^-$、DICの安定同位体比

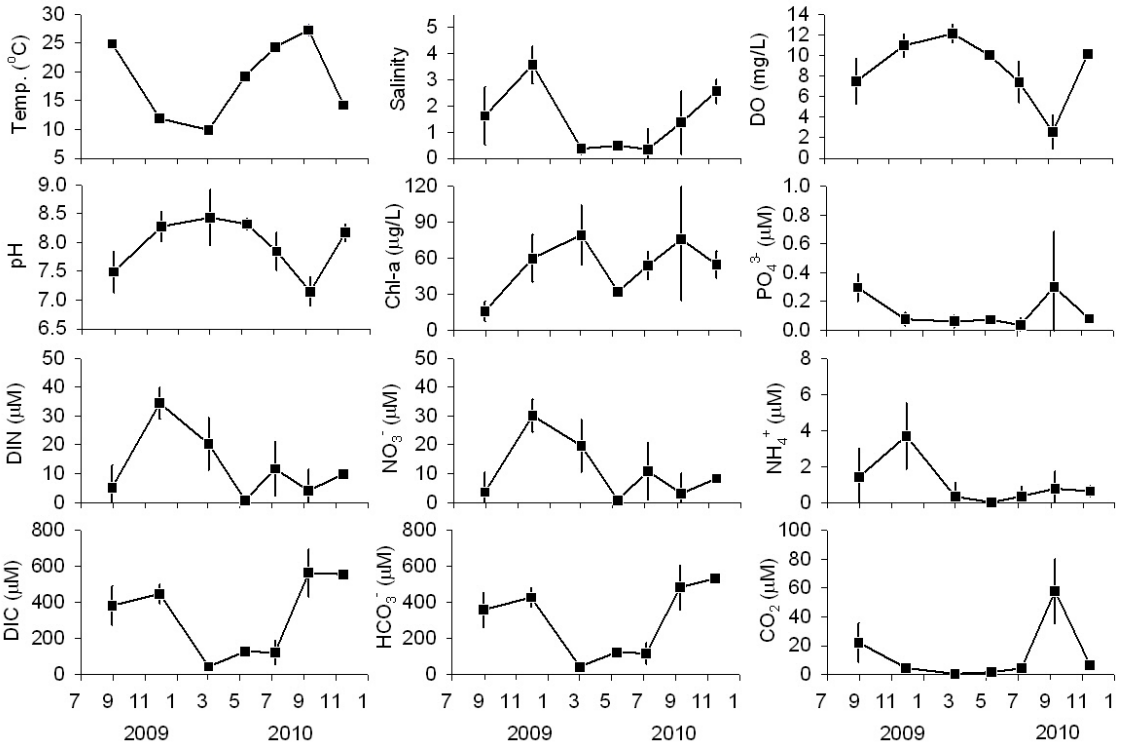
$NH_4^+$の$\delta^{15}N$は、7.1±3.6‰から23.6±8.6‰の間で大きく変化した。$NO_3^-$の$\delta^{15}N$は、$NH_4^+$よりも著しく低かった（図(1)-13）。特に、水中のDOが低下し始める春季から$\delta^{15}N$が低下し始め、2010年7月には年間を通して最も低くなった（1.0±2.0‰）。一方、DICの$\delta^{13}C$は明瞭な季節変化をし、夏季に最も低く（-8‰程度）、春季に最も高かった（-2‰程度）（図(1)-13）。この傾向は、pHおよびDOとよく対応していた。

３）ハス川のDIN濃度と安定同位体比

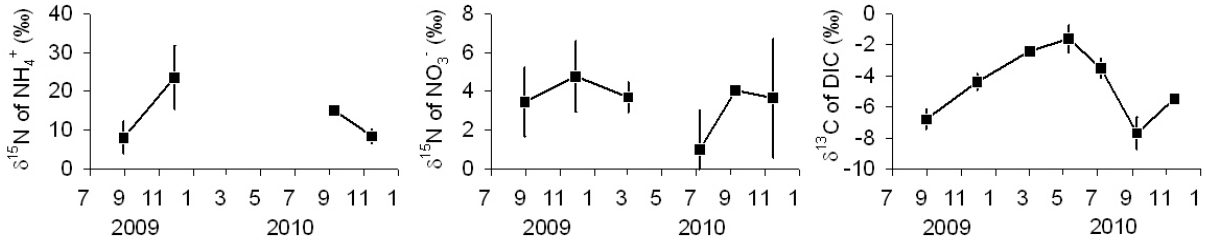
ハス川のDINのほとんどは$NO_3^-$であり、明瞭な季節変化は認められなかった（表(1)-4）。しかしながら、夏から秋にかけては、$NH_4^+$の濃度が上昇し、DINに占める割合が高くなった。$NO_3^-$と$NH_4^+$の$\delta^{15}N$は、それぞれ1.6～5.3‰、7.4～14.8‰の範囲で変化した。また、フラックスで重み付け平均したDIN（$NO_3^-$ + $NH_4^+$）の$\delta^{15}N$は、2.6～6.6・‰（4.4±1.1‰）であった。

４）POM、一次生産者(植物プランクトン、付着藻類、ヒシ)およびSOMの$\delta^{13}C$および$\delta^{15}N$値

懸濁態有機物（POM）の$\delta^{13}C$値と$\delta^{15}N$値は、それぞれ-34.5～-23.3‰および0.6～6.0‰の範囲で変動し、$\delta^{13}C$値は夏季に低下して冬季に上昇する傾向が、$\delta^{15}N$値は冬季には高くなる傾向がみられた。また、植物プランクトンの$\delta^{13}C$値は-33.0～-25.1‰、$\delta^{15}N$値0.8～8.2‰まで大きく変動し、POMと同様に植物プランクトンの$\delta^{13}C$および$\delta^{15}N$‰値にも季節変動が認められた。一方、付着藻類の$\delta^{13}C$値は-32.0～-17.0‰、$\delta^{15}N$値は-0.8～7.6‰まで広い範囲であった（表(1)-5、図(1)-14）。堆積有機物（SOM）の$\delta^{13}C$値は-28.8～-24.3‰で変動し、春季に高い傾向が得られた。一方$\delta^{15}N$値は1.3～5.1‰となり、St.1とSt.4では低い傾向がみられた。また、ヒシは夏季の標本のみの分析となったが、$\delta^{13}C$値は-30.7～-24.6‰であり、そのほとんどが-26.4～24.6‰の範囲内にあり、比較的ばらつきは小さかった。$\delta^{15}N$値は4.1～7.2‰であった（表(1)-5）。



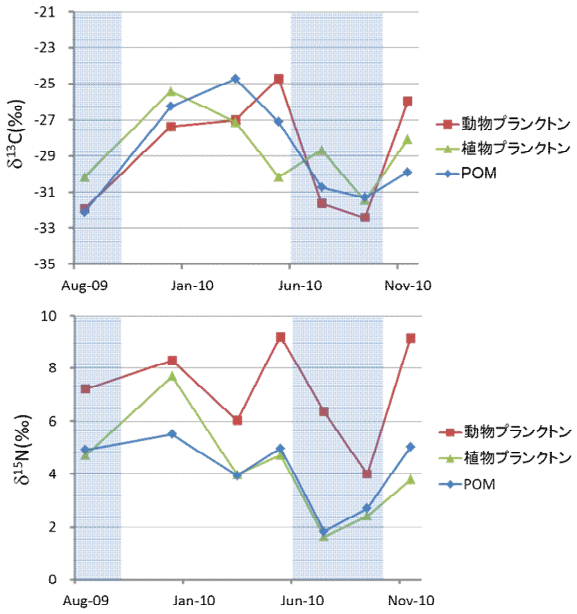

図(1)-12　水温、塩分、溶存酸素（DO）、pH、クロロフィルa（Chl-a）、リン酸イオン（$PO_4^{3-}$）、溶存無機態窒素（DIN）、硝酸イオン（$NO_3^-$）、アンモニウムイオン（$NH_4^+$）、溶存無機態炭素（DIC）、炭酸水素イオン（$HCO_3^-$）、$CO_2$(aq)の季節変化。プロットは湖内10測点の平均値、エラーバーは標準偏差を表す。$CO_2$(aq)と$HCO_3^-$濃度は、DIC濃度、pH、水温、塩分の関係から理論的に計算した値。




図(1)-13　$NH_4^+$、$NO_3^-$の$\delta^{15}$Nと DICの$\delta^{13}$Cの季節変化。プロットは平均値、エラーバーは標準偏差を表す。

表(1)-4　ハス川の河川流量、$NO_3^-$濃度、$NH_4^+$濃度、$NO_3^-$の$\delta^{15}N$、$NH_4^+$の$\delta^{15}N$

| Date | Discharge ($m^3\ s^{-1}$) | $NO_3^-$ (μM) | $NH_4^+$ (μM) | $\delta^{15}N_{NO3}$ (‰) | $\delta^{15}N_{NH4}$ (‰) | $\delta^{15}N_{DIN}$ (‰) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30-Aug-2009 | 2.67 | 62.0 | 63.0 | 1.6 | 7.4 | 4.5 |
| 29-Nov-2009 | 1.34 | 73.1 | 11.4 | 4.1 | 5.4 | 4.3 |
| 3-Mar-2010 | 0.33 | 60.8 | 2.2 | 2.4 | 7.3 | 2.6 |
| 11-May-2010 | 0.01 | 84.0 | 4.7 | 4.0 | 14.2 | 4.5 |
| 7-Jul-2010 | 4.26 | 51.6 | 4.2 | 3.4 | 10.6 | 3.9 |
| 9-Sep-2010 | 4.53 | 67.6 | 17.6 | 5.3 | 11.5 | 6.6 |
| 15-Nov-2010 | 0.48 | 53.7 | 2.7 | 4.0 | 14.8 | 4.5 |




図(1)-14　POM、植物プランクトン、動物プランクトンの$\delta^{13}C$値および$\delta^{15}N$値の季節変化。灰色枠はヒシの繁茂期を示す。

５）動物プランクトン、水生昆虫、ベントス、両生類の$\delta^{13}C$および$\delta^{15}N$値

動物プランクトンの$\delta^{13}C$値は-31.9～-24.7‰を示し、植物プランクトンやPOMの季節変化とよく対応していた(表(1)-5、図(1)-14)。一方、$\delta^{15}N$値は6.0～9.2‰を示し、植物プランクトンやPOMよりも2～4‰高い傾向を示した(表(1)-5、図(1)-14)。ヒシ帯で採集された葉上動物(ユスリカ幼虫、イトトンボ幼虫(ヤゴ)、ハムシ、ハムシ幼虫、コツブムシ)の$\delta^{13}C$値については、ユスリカ幼虫やイトトンボ幼虫が-35.6～-25.1‰と低い値、コツブムシでは-30.3～-18.8‰と高い値で幅広く変化した。それに対し、ハムシとその幼虫の$\delta^{13}C$値は-27.4～-23.8‰で、他の葉上動物と比べて値の範囲が狭かった。$\delta^{15}N$値についてはユスリカ幼虫やコツブムシが2.1～9.1‰、ハムシとその幼虫は5.7～9.9‰であった。ヤゴについては$\delta^{15}N$値の幅が極めて大きく、0.5～9.1‰まで変動した。なお、ハムシとその幼虫の$\delta^{13}C$値はヒシによく対応し、$\delta^{15}N$値はヒシより高かった(表(1)-5)。ベントス(ユスリカ幼虫、多毛類(St.3のみ))については、ユスリカ幼虫の$\delta^{13}C$および$\delta^{15}N$値は夏季に極端に低くなる傾向がみられたが、それ以外の時期では概ね$\delta^{13}C$値が-30～-25‰、$\delta^{15}N$値が6～9‰の間であった。多毛類の$\delta^{13}C$値は-28.6～-25.0‰、$\delta^{15}N$値は6.6～11.1‰であった。両生類(ウ

シガエル*Rana catesbeiana*の幼生)の$\delta^{13}$C値は-36.4～-27.6‰、$\delta^{15}$N値は1.9～9.2‰であった(表(1)-5)。

表(1)-5　甲殻類、水生昆虫、両生類、爬虫類、低次生産者、POM、泥の$\delta^{13}$C、$\delta^{15}$Nの測定数、平均値、標準偏差および測定値範囲

| 生物 | 学名 | δ13C (‰) Mean | Range | SD | n | δ15N (‰) Mean | Range | SD | n |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **甲殻類** | *Crustacea* | | | | | | | | |
| モクズガニ | *Eriocheir japonica* | -24.6 | -29.7 - -20.2 | 1.9 | 32 | 9.6 | 6.7 - 13.2 | 1.5 | 33 |
| テナガエビ | *Macrobrachium nipponense* | -27.1 | -31.7 - -24.7 | 1.5 | 59 | 10.0 | 5.9 - 12.9 | 1.5 | 59 |
| アミ | *Mysida* | -25.9 | -30.8 - -24.5 | 1.8 | 22 | 10.1 | 8.4 - 11.1 | 0.7 | 22 |
| **水生昆虫** | | | | | | | | | |
| ヨコエビ | | -28.3 | -30.7 - -25.8 | 2.1 | 5 | 6.6 | 5.6 - 7.9 | 0.8 | 5 |
| ユスリカ幼虫 | | -29.0 | -40.1 - -25.2 | 2.5 | 116 | 6.7 | -0.9 - 8.9 | 1.8 | 116 |
| ヤゴ | | -28.6 | -33.6 - -24.1 | 2.3 | 43 | 5.2 | 0.3 - 9.4 | 2.5 | 43 |
| ハムシ | | -26.3 | -35.0 - -23.7 | 1.5 | 77 | 7.7 | 1.9 - 9.9 | 1.5 | 77 |
| コツブムシ | | -23.8 | -30.3 - -18.8 | 2.3 | 56 | 4.8 | -1.5 - 9.3 | 2.5 | 38 |
| アメンボ | | -27.4 | -27.7 - -27.2 | | 2 | 8.6 | 8.4 - 8.7 | | 2 |
| **両生類** | *Amphibia* | | | | | | | | |
| オタマジャクシ | *Rana catesbeiana* | -31.6 | -36.4 - -27.6 | 2.3 | 44 | 7.1 | 1.9 - 9.2 | 1.5 | 44 |
| **爬虫類** | *Reptilia* | | | | | | | | |
| ミシシッピアカミミガ | *Trachemys scripta* | -25.4 | | | 1 | 13.0 | | | 1 |
| **ベントス** | | | | | | | | | |
| ゴカイ | | -26.5 | -28.0 - -25.0 | 0.9 | 30 | 7.9 | 6.6 - 8.9 | 0.6 | 30 |
| イトミミズ | | -28.2 | -29.6 - -27.8 | 0.5 | 12 | 8.7 | 7.0 - 10.3 | 0.8 | 12 |
| イトゴカイ | | -27.3 | -28.6 - -26.3 | 0.7 | 11 | 8.5 | 6.9 - 11.1 | 1.5 | 11 |
| **貝類** | | | | | | | | | |
| マキガイ | | -28.3 | -34.0 - -23.1 | 2.2 | 40 | 4.2 | -2.0 - 7.3 | 2.0 | 38 |
| **低次** | | | | | | | | | |
| 付着藻類 | | -28.2 | -32.1 - -17.0 | 4.0 | | 3.8 | -0.8 - 7.6 | 2.7 | |
| ヒシ | | -26.3 | -30.7 - -24.6 | 1.7 | | 5.9 | 4.1 - 7.2 | 1.0 | |
| 泥 | | -26.8 | -28.8 - -24.3 | 1.0 | | 3.9 | 1.3 - 5.1 | 1.0 | |
| 動物プランクトン | | -28.6 | -36.0 - -24.4 | 3.4 | | 7.3 | 3.2 - 9.7 | 1.9 | |
| 植物プランクトン | | -28.7 | -33.0 - -25.1 | 2.3 | | 4.1 | 0.8 - 8.2 | 2.2 | |
| POM | | -28.9 | -34.5 - -23.3 | 2.9 | | 4.1 | 0.6 - 6.0 | 1.5 | |

６）高次消費者(魚類、大型甲殻類)の$\delta^{13}$Cおよび$\delta^{15}$N値　(表(1)-6)

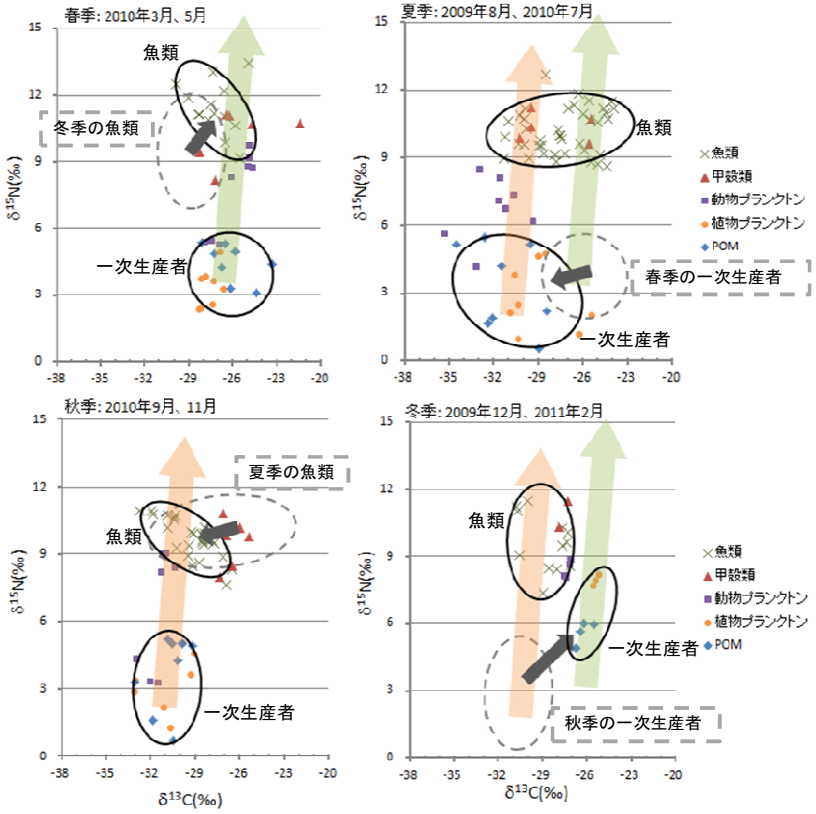
三方湖で採集された魚類を、海と川を回遊する魚類(以下、通し回遊魚)、コイ科魚類、ハゼ科魚類、国外外来魚(以下、外来魚)に大きく分けて結果を示す。コイ科魚類の$\delta^{13}$C値は、ソウギョ*Ctenopharyngodon idellus* の-18.6‰などまれに高い値のものもあったが、多くのコイ科魚類は-33.1～-23.4‰(平均:-28.0‰)であった。一方、$\delta^{15}$N値は6.6～12.5‰(平均:9.6‰)であった。ハゼ科魚類の$\delta^{13}$C値は-34.9～-23.6‰(平均:-27.5‰)、$\delta^{15}$N値は4.5～12.7(平均:9.8‰)であった。外来魚の$\delta^{13}$C値は-32.3～-24.8‰(平均:-28.7‰)、$\delta^{15}$N値は8.0～13.4‰(平均:10.4‰)であった。一方、通し回遊魚の$\delta^{13}$C値は-32.4～-16‰(平均-24.9‰)と範囲が幅広く、コイ科魚類、ハゼ科魚類、外来魚に比べて高い傾向が認められた。$\delta^{15}$N値は6.0～14.5‰(平均11.7‰)であった。通し回遊魚は季節を通して捕獲された魚種が少なかったものの、スズキ*Lateolabrax japonicus*は冬季以外を除いて標本を得ることができた。スズキ(体長(BL):2.2～23.0cm)の$\delta^{13}$C値は、春季(5月:-22.8‰)から秋季(9月:-25.8‰)にかけて減少する傾向がみられた。大型甲殻類については、汽水性と淡水性のものに分けられ、汽水性の$\delta^{13}$C値は-30.8～-20.2(平均:-25.2)、$\delta^{15}$N値は6.7～13.2(平均:9.8)であった。一方淡水性の$\delta^{13}$C値は-31.7～-24.7(平均:-27.1)、$\delta^{15}$N値は2.9～12.9(平均:9.9)であった。$\delta^{13}$C値については、淡水性よりも汽水性で高い傾向がみられた。

表(1)-6　魚類のδ$^{13}$C、δ$^{15}$Nの測定数、平均値、標準偏差および測定値範囲

| 生物 | 学名 | δ13C (‰) Mean | Range | SD | n | δ15N (‰) Mean | Range | SD | n |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **魚類** | *Teleostomi* | | | | | | | | |
| **コイ科魚類** | | | | | | | | | |
| ヤリタナゴ | *Tamakia lanceollate* | −25.0 | −26.6 − −24.0 | 0.8 | 8 | 8.7 | 7.3 − 9.8 | 0.8 | 8 |
| タモロコ | *Gnathopogon elongatus elongatus* | −27.8 | −31.2 − −25.8 | 1.2 | 54 | 10.1 | 6.6 − 11.9 | 0.8 | 54 |
| モツゴ | *Pseudorasbora parva* | −28.1 | −33.1 − −23.6 | 1.9 | 72 | 9.5 | 7.4 − 12.5 | 1.1 | 72 |
| オイカワ | *Zacco platypus* | −32.0 | −32.8 − −31.2 | 0.5 | 12 | 10.9 | 10.6 − 11.5 | 0.3 | 12 |
| フナ | *Carassius auratus spp.* | −27.9 | −32.9 − −19.2 | 2.1 | 96 | 9.3 | 7.3 − 11.4 | 0.8 | 96 |
| コイ | *Cyprinus carpio* | −24.6 | −27.5 − −19.1 | 3.8 | 4 | 10.9 | 10.4 − 11.2 | 0.3 | 4 |
| **通し回遊魚** | | | | | | | | | |
| サッパ | *Sardinella zunasi* | −25.4 | −26.8 − −23.0 | 0.9 | 15 | 11.0 | 10.1 − 12.5 | 0.7 | 15 |
| コノシロ | *Konosirus punctatus* | −27.6 | −29.2 − −24.3 | 2.0 | 5 | 10.9 | 10.3 − 11.4 | 0.4 | 5 |
| ウナギ | *Auguilla japonica* | −26.8 | −27.5 − −25.4 | 0.8 | 5 | 12.8 | 12.0 − 13.8 | 0.7 | 5 |
| ウナギ脱脂 | *Auguilla japonica* | −23.8 | −24.4 − −22.1 | 0.9 | 5 | 13.2 | 12.4 − 14.2 | 0.7 | 5 |
| ワカサギ | *Hypomesus nipponensis* | −25.3 | −31.7 − −23.3 | 1.7 | 28 | 11.5 | 10.6 − 12.9 | 0.7 | 28 |
| アユ | *Plecoglossus altivelis altivelis* | −20.1 | −22.6 − −16.0 | 2.8 | 8 | 10.5 | 10.3 − 10.9 | 0.2 | 8 |
| シラウオ | *Salangichthys microdon* | −26.4 | −32.4 − −19.3 | 2.3 | 59 | 11.6 | 9.8 − 13.4 | 0.7 | 59 |
| サケ | *Salmo (Oncorhynchus) keta* | −21.5 | −26.5 − −18.1 | 1.9 | 36 | 12.7 | 9.1 − 14.5 | 1.3 | 36 |
| ウグイ | *Tribolodon hakonensis* | −21.7 | −26.9 − −19.8 | 2.2 | 8 | 10.4 | 7.3 − 11.4 | 1.3 | 8 |
| クルメサヨリ | *Hyporhamphus intermedius* | −27.4 | −31.1 − −18.9 | 2.4 | 27 | 10.9 | 9.4 − 12.4 | 1.0 | 27 |
| ボラ | *Mugil cephalus cephalus* | −23.1 | −23.9 − −22.4 | | 2 | 8.8 | 8.5 − 9.0 | | 2 |
| スズキ | *Lateolabrax japonicus* | −24.6 | −30.3 − −18.9 | 2.8 | 91 | 12.2 | 9.7 − 14.3 | 1.0 | 91 |
| シマイサキ | *Rhyncopelates oxyrhynchus* | −28.0 | −28.4 − −27.5 | | 2 | 9.0 | 8.8 − 9.2 | | 2 |
| **ハゼ科魚類** | | | | | | | | | |
| ゴクラクハゼ | *Rhinogobius giurinus* | −26.0 | −29.8 − −23.8 | 2.8 | 6 | 10.4 | 9.0 − 11.2 | 0.8 | 6 |
| トウヨシノボリ | *Rhinogobius* sp. OR | −27.7 | −32.5 − −24.9 | 1.8 | 43 | 9.5 | 7.3 − 10.9 | 0.8 | 43 |
| ヌマチチブ | *Tridentiger brevispinis* | −28.1 | −31.2 − −23.9 | 1.9 | 39 | 9.7 | 7.4 − 11.7 | 0.9 | 39 |
| チチブ | *Tridentiger obscurus* | −28.3 | −29.2 − −24.0 | 1.5 | 11 | 9.0 | 8.1 − 12.7 | 1.3 | 11 |
| ウロハゼ | *Glossogobius olivaceus* | −26.6 | −30.4 − −24.0 | 3.3 | 3 | 10.9 | 10.6 − 11.5 | 0.5 | 3 |
| ウキゴリ | *Gymnogobius urotaenia* | −25.8 | −34.9 − −23.6 | 2.3 | 29 | 10.8 | 4.5 − 12.0 | 1.5 | 29 |
| スミウキゴリ | *Gymnogobius petschiliensis* | −26.8 | −30.1 − −23.9 | 2.3 | 20 | 10.2 | 8.6 − 11.5 | 1.1 | 20 |
| **外来魚** | | | | | | | | | |
| オオクチバス | *Micropterus salmoides* | −28.5 | −30.7 − −24.8 | 2.1 | 16 | 11.1 | 10.3 − 13.4 | 0.9 | 16 |
| ブルーギル | *Lepomis macrochirus* | −28.7 | −32.3 − −25.9 | 1.6 | 49 | 10.1 | 8.0 − 13.1 | 1.1 | 49 |

7）食物網構造の季節変化

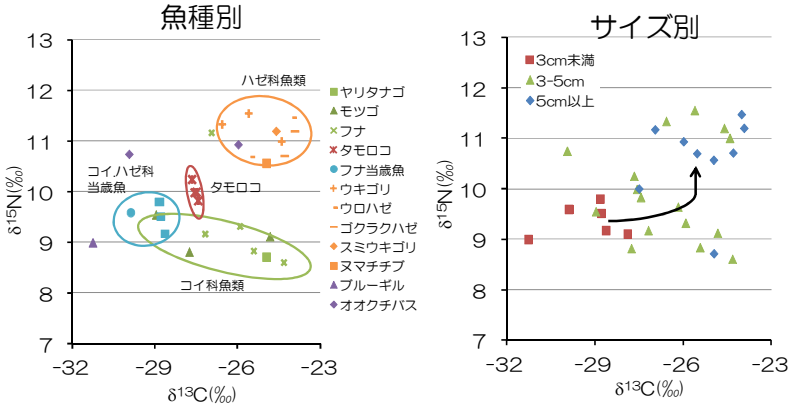
植物プランクトン、POMと動物プランクトン、エビ類、魚類の間の季節的な食物関係を検討するために、季節別にC-Nマップに示した(図(1)-15)。なお、魚類については海域と湖内の栄養を利用する可能性のある通し回遊魚は除外した。植物プランクトンとPOMの安定同位体比は顕著な季節的変化がみられた。すなわち、δ$^{13}$Cは春季で高い値を示したが、夏季にはおよそ4‰低下し、その後秋季から冬季にかけて再び4‰程度高くなった。また、δ$^{15}$N値は春季から秋季は3‰前後で推移するが、冬季に1栄養段階分にあたる約3‰上昇した。一方、一次および二次消費者の甲殻類と魚類もδ$^{13}$C値およびδ$^{15}$N値に季節変化がみられた。変化傾向は植物プランクトンと同様であったが、時間的にラグが生じており、植物プランクトンの変化を追いかけるように遅れて変化した。魚類分類群別にみると、夏季には多くのコイ科魚類で季節的な変動が認められ、春季(2010年3月、5月)に平均:-27.3‰と高く、秋季(2010年9月、11月)に平均:-29.0‰と低かった。また、δ$^{15}$N値についても若干ではあるが春季(平均:10.9‰)に高く、秋季(平均:9.6‰)で低い傾向がみられた。ハゼ科魚類でも季節変動がみられ、春季(平均:-26.2‰)に高く、秋季(平均:-29.0‰)に低い傾向がコイ科魚類よりも顕著であった。δ$^{15}$N値についても春季(平均:10.4‰)に高くから秋季(平均:9.1‰)に低い傾向がみられた。




図(1)-15　三方湖の季節別CNマップ。魚類と一次生産者を実線の楕円で示した。また、破線の楕円は1つ前の季節の魚類か一次生産者を示す。赤矢印と緑矢印は経験的に知られている一栄養段階増加した時のδ$^{13}$C値（1‰）およびδ$^{15}$N値（3.4‰）の変化を示した。黒矢印は季節間のCNマップ上の位置の変化を示す。

８）体サイズおよび魚種別の同位体比

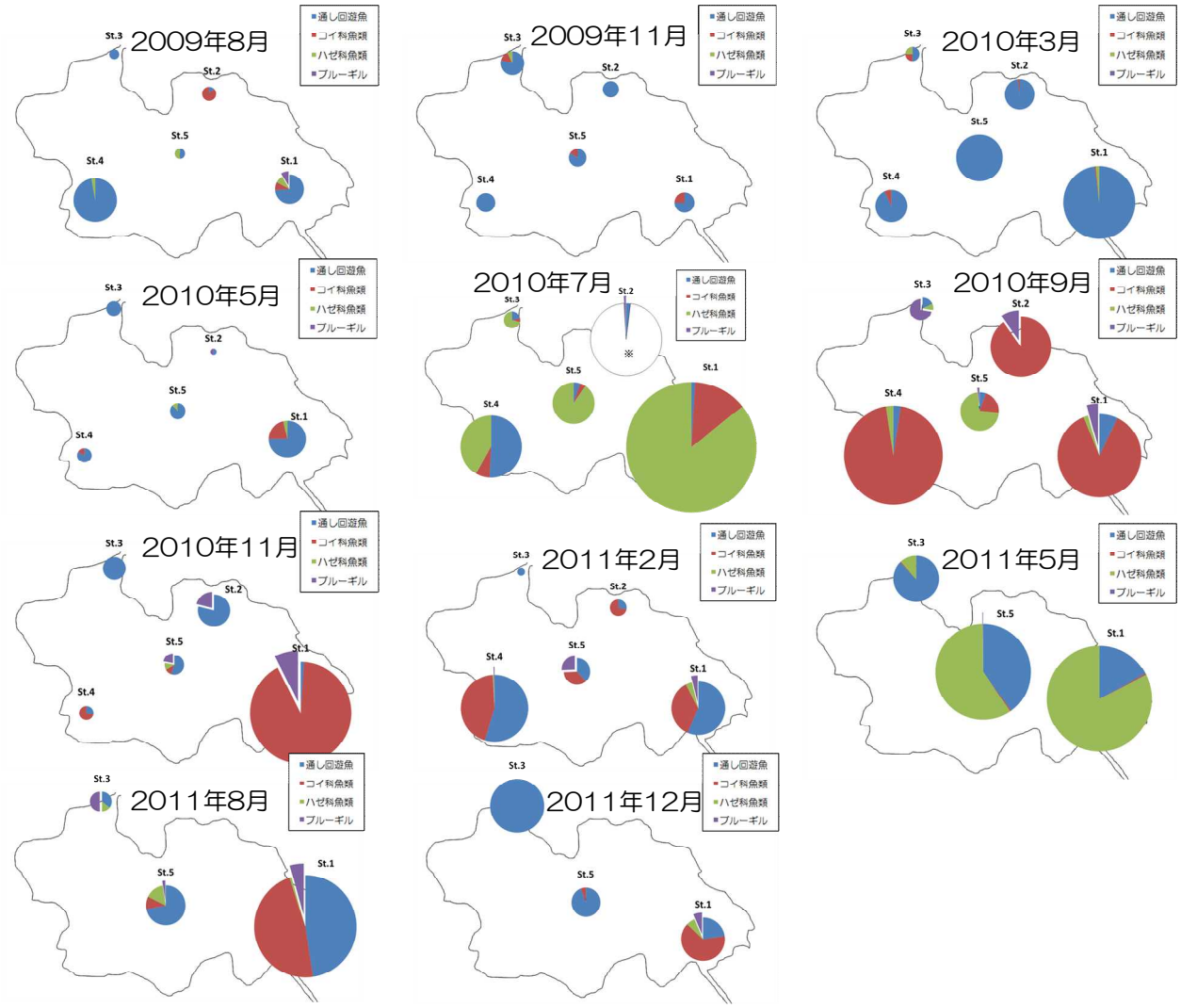
三方湖では植物プランクトンのδ$^{13}$C値の季節変化にやや遅れるような形で、魚類や大型甲殻類などのδ$^{13}$C値も変化したため、一年を通して植物プランクトンを餌料源とすることが考えられた。しかし、魚類については種によってその生活史や餌源が異なることの他に、体サイズによっても利用する餌源が異なることが考えられた。そこでそれぞれの季節ごとに魚種や体サイズを分けて比較してみると、春(2010年3月、5月)、秋(2010年9月、11月)、冬(2009年12月)には魚種や体サイズによる同位体比の違いがみられなかったのに対し、夏(2010年7月、2009年8月)には魚種と体サイズによって同位体比が集中する傾向がみられた（図(1)-16）。魚種別には、ウキゴリやトウヨシノボリなどのハゼ科魚類は他の魚類よりもδ$^{13}$C値、δ15Nが高い位置にまとまっていた。フナやモツゴなどのコイ科魚類についてはδ$^{13}$Cの変化が幅広く、δ$^{15}$Nがハゼ科魚類よりも低い位置にあらわれた。体サイズの小さいハゼ科、コイ科魚類の当歳魚ではδ13Cはハゼ科魚類、コイ科魚類よりも低く、δ$^{15}$Nはコイ科魚類と同程度であった。また、タモロコについては、他のコイ科魚類と異なって同位体比がC-Nマップ上の一カ所に偏り、当歳魚と同程度の位置にあらわれた。



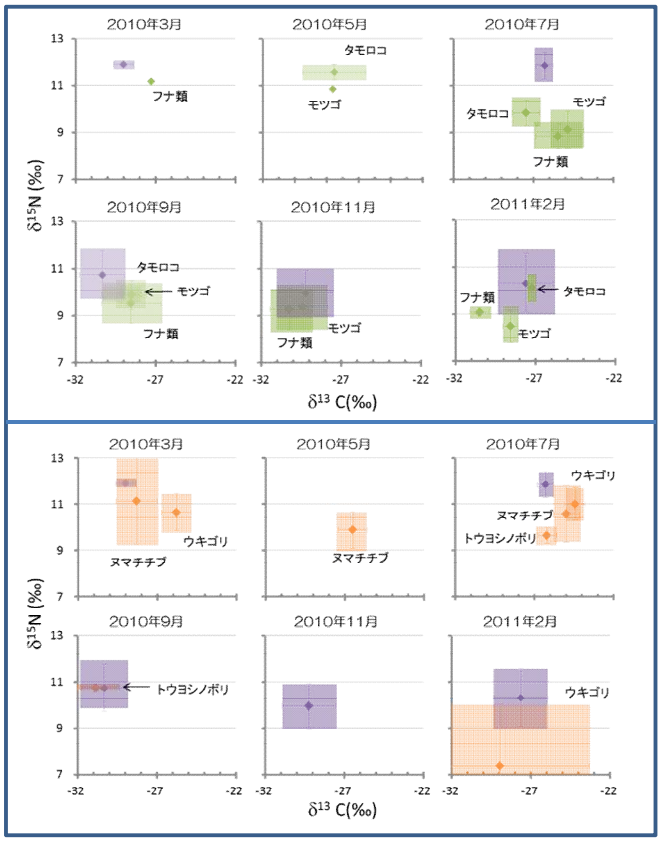

図(1)-16　2010年7月に採集された魚類の種類別・サイズ別のC-Nマップ

９）δ$^{13}$C値およびδ$^{15}$N値の重複からみたブルーギルと優占在来種の競合

ハス川河口のSt.1は他の地点に比べ、季節を通して個体数、種数ともに多かった（図(1)-17)。特に夏季には他の地点での採集個体が少なくなるのに対し、St.1は著しく増加し、コイ科、ハゼ科魚類に加えてブルーギルの当歳魚が捕獲された。このようにSt.1ではコイ科、ハゼ科魚類とブルーギルが同所的に生息していた。このようにSt.1ではコイ科、ハゼ科魚類とブルーギルが同所的に生息していた。そこで、St.1においてコイ科魚類の優占種であったフナ類*Carassius auratus spp.*、モツゴ*Pseudorasbora parva*、タモロコの3種と、ハゼ科魚類中で優占種であったヌマチチブ*Tridentiger brevispinis*、ウキゴリ*Gymnogobius urotaenia*、トウヨシノボリ*Rhinogobius kurodai*の3種とブルーギルの安定同位体比分析の結果を月別に示した(図(1)-18)。これらによると、時期によってはブルーギルとこれらの魚類の安定同位体比が重なることが示された。今回得たブルーギルの標本はいずれの個体も小さく、平均体長は4.7cmであったことから、当歳魚と1歳魚が中心で2歳魚以上との関係は今後の課題である。




図(1)-17　2011年2月、5月、8月および12月に各地点で定置網により採集された魚種組成。円の大きさは採集個体数を示す。




図(1)-18　コイ科魚類（上）、ハゼ科魚類（下）とブルーギルの月別CNマップ。緑枠はコイ科魚類、朱枠はハゼ科魚類、紫枠はブルーギルのδ$^{13}$C値およびδ$^{15}$N値の標準偏差範囲を示す四角枠。

１０）三方湖における一次生産者と高次消費者の関係

一般的に温帯の湖における植物プランクトンのδ$^{13}$C値は光合成速度の変化による同位体分別効果により、冬季に低く、夏季に高くなることが知られているが、三方湖では、植物プランクトンのδ$^{13}$C値は夏季に低下して冬季に上昇する傾向がみられた。このことには植物プランクトンの炭素源であるDIC濃度の季節変化が関係していると考えられる。三方湖のDICは季節を通してδ$^{13}$C値の高い$HCO_3^-$であるが、水温が上昇し、微生物による有機物分解が活性化することでδ$^{13}$C値の低い$CO_2$が多く生成されるようになる（図(1)-13）。その後、それまで$HCO_3^-$を利用していた植物プランクトンは$CO_2$を積極的に取り込むようになる結果、夏季にδ$^{13}$C値が低下すると考えられる。一方、δ$^{15}$N値は平均的にはハス川起源のDINとほぼ同じ値を示すが、冬季に高く、夏季に低いという季節変化も認められた。秋季から冬季にかけては、水月湖水が三方湖内へ進入する。その際に供給される永年躍層由来のδ$^{15}$N値の高い$NH_4^+$を植物プランクトンが利用するため、δ$^{15}$N値が顕著に上昇する。一方、夏季には$NO_3^-$のδ$^{15}$N値の低下に伴って、植物プランクトンのδ$^{15}$N値も低下する。一般に硝化の際に生じる同位体効果は大きく、$NH_4^+$を基質として新たに生成される$NO_3^-$のδ$^{15}$Nは著しく低下することが知られている（Sugimoto et al.2008[9]）。つまり、湖内で再生産されたδ$^{15}$N値の低い$NO_3^-$を植物プランクトンが主に利用しているため、δ$^{15}$N値が低くなると考えられる。植物プランクトンのδ$^{13}$Cおよびδ$^{15}$N値の季節変動はPOMとよく対応していた。また、動物プランクトンのδ$^{13}$C値は植物プランクトンとPOMのδ$^{13}$Cによく対応していたことに加え、δ$^{15}$N値は3‰程高かったこ

とから、動物プランクトンは植物プランクトンとPOMを主な餌料源にしていると考えられた。さらに高いTLに位置する高次消費者のδ$^{13}$C値は、通し回遊魚や汽水性の甲殻類を除外すると春季に高く、秋季に低い傾向がみられた。春季と秋季における高次捕食者のδ$^{13}$C値は同時期の植物プランクトン、POM、動物プランクトンとよく対応していた。さらにδ$^{15}$N値は季節を通して植物プランクトン、POMより6‰程高い傾向がみられた。このことから、春季と秋季における高次消費者の餌料源は、植物プランクトンやPOMに依存していると考えられた。しかし、夏季には高次捕食者のδ$^{13}$C値が植物プランクトンやPOMよりも高く、反対に冬季には低い傾向がみられた。生物が餌の同位体比を反映する速度(回転率)は成長率と強く関連しており(例えばTominaga et al.2003[10]、Watanabe et al.2005[11])、成長率の低い魚類などの高次消費者は低くなる。そのため餌料源の同位体比を反映するまでに時間がかかる。Guelinckx(2007)[12]らは、餌料を変えてハゼを飼育し、古い餌料のδ$^{15}$N値と、新しい餌料のδ$^{15}$N値のちょうど中間の値になるまでに要する時間(半更新時間)が筋肉では28日であることを明らかにした。したがって、三方湖の高次消費者は餌料源のδ$^{13}$C値の変化を反映するまでに時間を要し、それにより夏季、冬季における高次消費者と植物プランクトン、POMのδ$^{13}$C値に時間的なずれが生じた可能性がある。実際に、夏季においては、魚類のなかでも回転率が大きいと考えられるコイ科、ハゼ科魚類の当歳魚(平均体長：1.9cm)のδ$^{13}$C値(平均:-29.7‰)が他の成魚よりも低い傾向を示した。また、冬季の動物プランクトンの減少により、高次消費者の餌料源が植物プランクトンやPOMだけでなく、より高いδ$^{13}$C値を持つと考えられる付着藻類や泥、ヒシを餌料源とする生物を利用したことも考えられるため、今後胃内容物分析による解析が必要である。植物プランクトンとPOM、動物プランクトンにみられたδ$^{15}$N値の季節変動が高次消費者に反映されなかった理由についても同様に説明ができ、高次消費者の回転率が低いことと、餌料源の多様性の変化も考えられる。

以上のことより、三方湖では高次捕食者のδ$^{13}$C値は、植物プランクトンやPOMにやや遅れるかたちで、春季の高い値から夏季にかけてやや低下し、秋季には低い値となり、冬季にかけて再び上昇したことから、一年を通して主に植物プランクトンやPOMが主要な餌料源として機能していることが考えられた。

１１）体サイズおよび魚種別の同位体比

春、秋、冬は魚種や体サイズ別に明瞭な傾向はみられなかったため、これらの時期において魚類は主に植物プランクトンを餌料源としていることが考えられた。一方で夏には魚種や体サイズによって同位体比が変化していたため、この時期の魚類は餌を食い分けている可能性がある。三方湖では5月の下旬にはヒシの葉が水面にあらわれるようになり、6月には水面の葉が水平方向に増殖し、7月には葉が水面を覆うようになる。それと同時にヒシに付着するヤゴやコツブムシ、ハムシの仲間もあらわれるようになり、魚類が利用可能な餌が多様化したことが考えられる。7月においてこれらの葉上昆虫のδ$^{13}$C値は植物プランクトンよりも高く、δ$^{15}$N値は魚類よりも低かったため、夏にδ$^{13}$C値が高かったハゼ科魚類やコイ科魚類は、植物プランクトン由来の餌源から、葉上昆虫へと餌源をシフトさせた可能性がある。しかし、当歳魚のδ$^{13}$C値はハゼ科、コイ科魚類に比べて低かったため、植物プランクトンを餌料源とする餌源(動物プランクトン)に依存していたと考えられる。C-Nマップ上で当歳魚と同程度の位置にあらわれたタモロコについても、動物プランクトンを餌源としていたと考えられる。タモロコは湖の環境によって形質置換を起こし、他の

コイ科魚類と同様に雑食性である場合と、動物プランクトンを偏食する性質を持つ場合があり、三方湖に生息するタモロコは後者のスペシャリスト的な性質をもつことが知られている。$\delta^{13}C$値が他のコイ科魚類に比べて低いことと、同位体比が集中した理由にはこのような特異的な食性によるものと考えられる。また、西廣ほか(未発表)によると、2010年はヒシの占有面積が三方湖全域の8割を占めるほどの異常繁茂をした年であった。このことにより植物プランクトンが受ける光制限や、ヒシとの間で起こる栄養塩の争奪は大きく、ヒシが水面にみられ始める5月にはクロロフィルa濃度が急激に減少しており（図(1)-12）、植物プランクトンの絶対量が少なかった可能性がある。このようなボトムアップ効果により魚類の餌源が枯渇したために餌源をシフトさせる魚類があらわれたと仮定すると、スペシャリスト的性質を持つタモロコや、初期餌料として動物プランクトンに依存する当歳魚に影響を与える可能性がある。このことについては今後ヒシの占有面積が小さかった2011年度の魚類と比較することで評価が可能となる。

１２）ブルーギルと在来種のニッチ争奪の可能性

ブルーギルは成長するにしたがって餌を多様に変化させ、季節によって最も利用しやすい餌を利用することが報告されている。今回分析を行ったブルーギルはほとんどが当歳魚であることが考えられた。この時期のブルーギルは動物プランクトンやユスリカ幼虫を摂餌することが報告されている(例えば横山1986[13]、M.Azuma 1992[14])。これらの餌料はコイ科、ハゼ科魚類も利用することから、ブルーギルの当歳魚との間で餌競合がおこっている可能性が示唆された。

外来種が侵入したことによって在来種との間でニッチ争奪が起こり、本来の在来種のニッチを外来種が奪うという例もあり(Vander Zanden et al.1999[15])、その要因としては捕食によって在来種の個体数を減らす直接的要因と、餌や生息地の競合により在来種が淘汰圧を受ける間接的要因が挙げられる。ブルーギルの場合、直接的な要因としては在来のコイ科魚類などが水草や障害物に産み付けた卵を捕食することが問題となっている。間接的要因としては、在来魚との間で餌競合についていくつか報告もあるが、本種の侵入前と定着後でもともと生息していた在来生物が形質置換を引き起こしたという報告は未だなされていない。ブルーギルとともに世界各地に移入されて分布を拡大しているオオクチバスの仲間が生態系に侵入した場合、その大型な体サイズのために直接的要因が生態系攪乱の原因の多くを占めていることが考えられるが、ブルーギルのような小中型の魚類が侵入し、個体数を増やした場合の生態系への影響は間接的要因も大きいことが考えられる。今回得られた結果はその可能性を示すものであった。

本研究により、三方湖における食物網の季節変化を網羅的に把握することができた。また、三方湖に生息する魚類のうち、コイ科魚類やハゼ科魚類はブルーギルとのニッチ争奪が起こる可能性がある。今後ブルーギルの個体数が急激に増え始めた2011年以降についてもより詳細な分析を行うことで、ブルーギルの増加が在来種集団に与える直接的、間接的要因を評価することが可能となる。

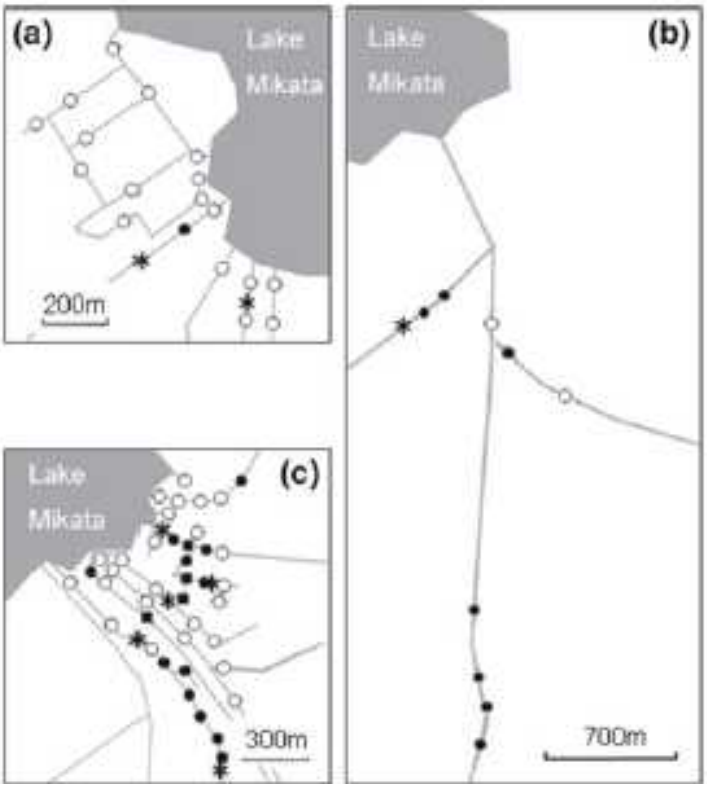
**（３）シンボル種魚類ヤリタナゴの生息環境の評価**

１）魚類相とヤリタナゴの空間分布

魚類調査の結果、26種の魚種が確認され、そのうち25種は在来種であった。オオクチバスのみが外来魚種として記録された。また、記録された魚種のうち、4種（カジカ中卵型、スナヤツメ、

メダカ、ヤリタナゴ）が絶滅危惧種あるいは準絶滅危惧種として環境省レッドリストに記載されている魚種であった。

本調査地では、タナゴ類としてはヤリタナゴのみが記載された（68地点中24地点において出現）。平均標準体長±標準偏差は38.5±3.4mmであった。婚姻色を呈した個体は採集されず、ほぼすべての個体が未成熟であった。ヤリタナゴの出現した地点は地域的に大きく異なっていた。田井地区では出現した地点は非常に限られていたが、ハス地区および鳥浜地区では比較的高い頻度で出現していた（図(1)-19）。




図(1)-19　(a) 田井地区、(b) ハス地区、(c) 鳥浜地区。調査地点の概要。黒丸はヤリタナゴが出現した地点、白丸は出現しなかった地点を示す。アスタリスクは産卵母貝となるイシガイ類の出現した地点を示す。黒四角はヤリタナゴ、イシガイ類がともに出現した地点を示す。

２）ヤリタナゴの空間分布に影響する要因

GLMMによる解析の結果、イシガイ類の在不在の空間スケールを水路システムとした場合に、最もAICが低くなっていた（図(1)-20）。この空間スケールにおいて、すべての候補モデル（⊿AIC＜2）がイシガイ類の在不在、水深、浮葉植物の被度を含んでいた。

モデル平均の結果、イシガイ類の在不在、水深、浮葉植物の被度、ウシガエルの在不在、沈水植物の被度は、他の変数と比べ、明瞭に相対重要度（RI）が高かった（表(1)-7）。イシガイ類の存在する水路システムにおいては、そうでない水路システムにくらべ、明瞭にヤリタナゴの出現確率が高かった（図(1)-21）。物理環境要因のうち、水深のみが強い負の効果をもっていた。浮葉植物の被度およびウシガエルの存在が強い負の効果をもち、沈水植物は正の効果をもっていた。

候補モデルの残差のMoran’s *I*は、0.006-0.026であり、すべての係数は有意ではなかった（P

値：0.09-0.21）。よって、空間自己相関による影響は小さいと考えられる。

ヤリタナゴは、産卵母貝となるイシガイ類が存在する水路において、水深が浅く、浮葉植物が少ない場所において存在確率が高いことが明らかとなった。イシガイ類の正の効果については、ヤリタナゴの移動分散スケールを反映したものである可能性が高い。Solomon et al.(1982)[16]によれば、近縁種であるタイリクバラタナゴの移動分散スケールは200-700mと報告されている。二枚貝の体内から泳ぎだした稚魚は、しばらくの間同じ水路システムにとどまっているものと考えられる。一方、繁殖過程以外のメカニズムとして、イシガイ類がヤリタナゴにとってより好適な餌環境を提供していたことも考えられる。Vaughn and Spooner (2006)[17]はイシガイ類が高密度で生息する場所では、ユスリカなどのベントスが豊富であることを報告している。これらのベントスは、ヤリタナゴがよく摂餌する種群であることが知られている。

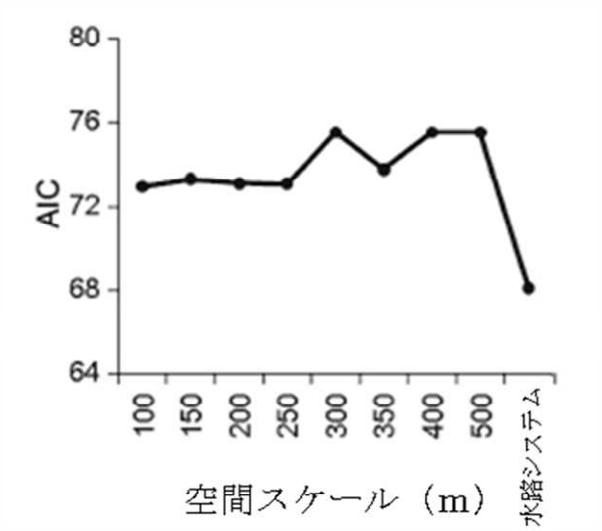
本研究では、物理環境のうち、水深だけが明瞭な負の効果をもっていた。水深は水底の生産性を規定する重要な要因である。ヤリタナゴは、光が水底までよく届き、生産性の高い比較的浅い場所を好んでいた可能性が高い。したがって、水面に葉を広げ、光を遮断する浮葉植物がヤリタナゴの在不在に対して負の効果を与えていたことは理解できる。加えて、浮葉植物が密に繁茂している場所では、夜間の貧酸素環境を導くためヤリタナゴの生息には不適であったと考えられる。

ウシガエルは様々な生物を捕食することが知られている。幼生でさえも仔魚期の魚類を捕食することが知られており、ヤリタナゴについても捕食を通して負の影響を受けていた可能性が高い。また、ウシガエルの幼生は、ヤリタナゴの主要な餌資源の1つである付着藻類をよく利用することが知られており、競争を通して負の効果を及ぼしていた可能性も考えられる。ウシガエルは日本各地に侵入し、在来種への影響が最も懸念されている侵略的外来種の一つである。しかし、そのような現状にも関わらず、科学的データに基づいた影響の評価は極めて少ない。本研究は、在来魚種への負の影響をフィールドデータから示した国内で初めての事例である。今後、他の魚種についてもどのような影響を及ぼしているのか、詳細に検討する必要があるだろう。

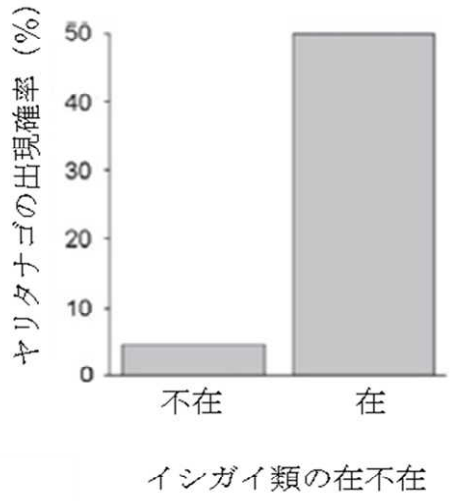
沈水植物は正の効果をもっていた。一般に、沈水植物は小型の魚類に対して捕食者から避難場所や多様な餌資源を提供する場所として機能することが知られている。ヤリタナゴについても、同様のメカニズムを通して正の効果を与えていたと考えられる。

表(1)-7　モデル平均の結果。SEは標準誤差、RIは各変数の相対重要度を示す。

| 変数 | 係数 | SE | RI |
|---|---|---|---|
| 水深 | −0.03 | 0.02 | 1.00 |
| 川幅 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| DO | −0.01 | 0.08 | 0.13 |
| 底質タイプ | | | |
| 泥vs.砂 | − | | |
| 泥vs.小礫 | − | | |
| 沈水植物 | 0.28 | 0.35 | 0.60 |
| 抽水被度 | 0.00 | 0.09 | 0.06 |
| 浮葉被度 | −2.32 | 1.46 | 1.00 |
| ウシガエル | −1.01 | 0.90 | 0.77 |
| オオクチバス | 0.07 | 0.39 | 0.13 |
| アメリカザリガニ | −0.01 | 0.27 | 0.06 |
| イシガイ類 | 3.95 | 1.44 | 1.00 |




図(1)-20　ヤリタナゴの在不在を目的変数としたGLMMのAICの値。X軸はイシガイ類の在不在を評価した空間スケールを示す。




図(1)-21　イシガイ類の存在する水路システムと存在しない水路システムのヤリタナゴの出現確率の違い。

**（４）シンボル種魚類ウナギの生態に関する研究**

１）天然加入個体の確認

a　貝塚遺跡調査

129の遺跡（地点）で縄文時代早期から晩期に属するウナギ遺体の出土が確認された。ウナギ遺体が確認された遺跡は太平洋側に偏り、日本海側は福岡県（125 新延貝塚）の1遺跡のみである。2011年現在ウナギが漁獲されている島根県宍道湖付近、福井県三方五湖付近の遺跡でも出土は確認できなかった（図(1)-22）。比較のため、淡水域に生息するコイ・フナ属の遺体についても、上記のウナギ遺体と同様の方法で出土遺跡を精査したところ、112の遺跡（地点）で縄文時代早期

から晩期に属する遺体の出土が確認された。ウナギ遺体の出土が確認されていない日本海側の秋田県・新潟県・富山県・石川県・福井県・京都府・島根県の縄文遺跡でも、コイ・フナ属遺体の出土が確認された（図(1)-23）。

日本海側と太平洋側において、ともにコイ・フナ属遺体が出土していたことは、両地域において、同程度に淡水魚が利用されていたことを示唆している。その一方で、縄文時代早期以降の九州を除く日本海側の縄文遺跡において、淡水域にも生息するウナギ遺体の出土例は一切確認できなかった。これらの結果は、日本海側の全域において、長期間にわたり文化的な理由からウナギが利用されなかったのではなく、ウナギが漁獲できなかった、もしくは漁獲量が著しく少なかったことを示唆している。コイ・フナ属が多く出土しているにも関わらず、ウナギ遺体が出土しない理由は、漁具や漁法、骨を残さない利用法といった人為的な要因ではない可能性が高い。すなわち、本水系へシラスウナギの遡上がなかった、または著しく少なかったという、自然環境的な要因によって貝層中に堆積しなかったと考えるのが妥当であろう。

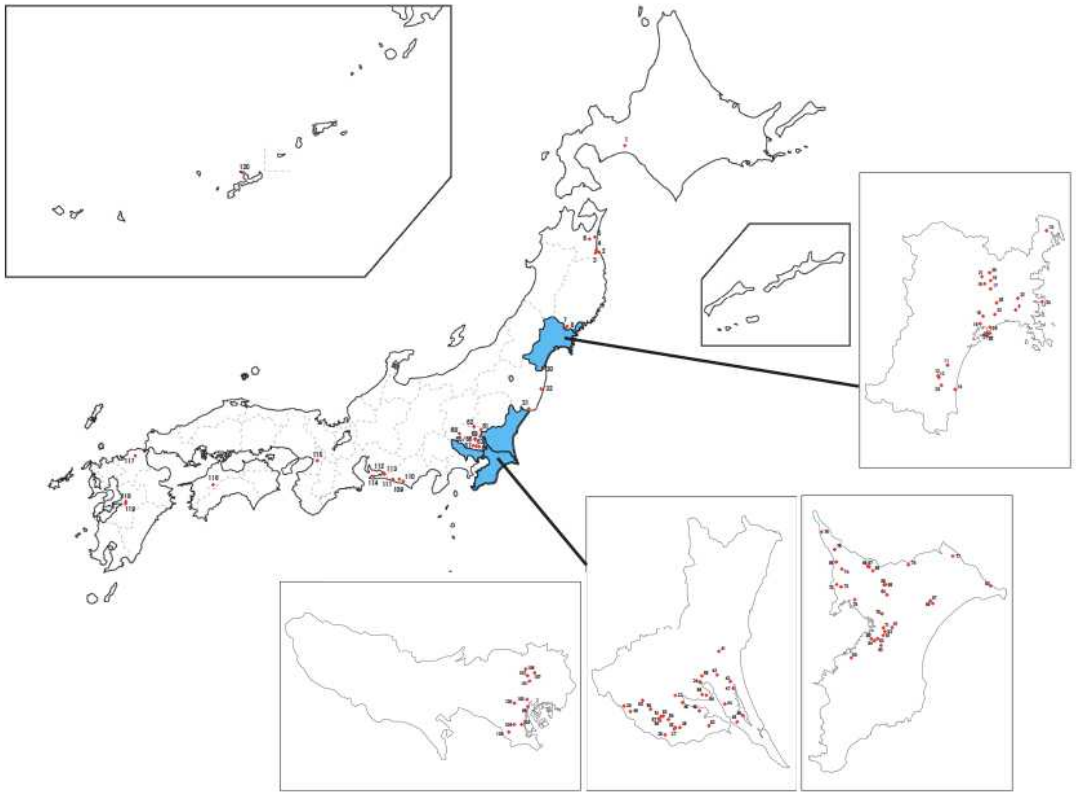
b　文献調査

文献精査の結果、23件の文献にウナギの漁獲に関する記録が認められた。これらのうち最古のものは、『吉田吉兵衛家文書』に含まれる「佐々加賀守・龍崎図書連署下知状」（慶長14（1609）年12月9日付け）である。万延元（1860）年の『宇野徳助家文書』によれば、ウナギは地元小浜藩の「御産物」にも指定されていた（三方古文書を読む会編 1990[18]）。外部への輸送という点から見ると、三方五湖及び周辺のウナギは、遅くとも近世後期には、京都・滋賀方面に鮮魚の状態で運ばれていた（川渡 1995[19]）。少なくとも17世紀末から19世紀後半にかけては、特産品として評価を受けるために充分な漁獲量があったことがうかがえる。

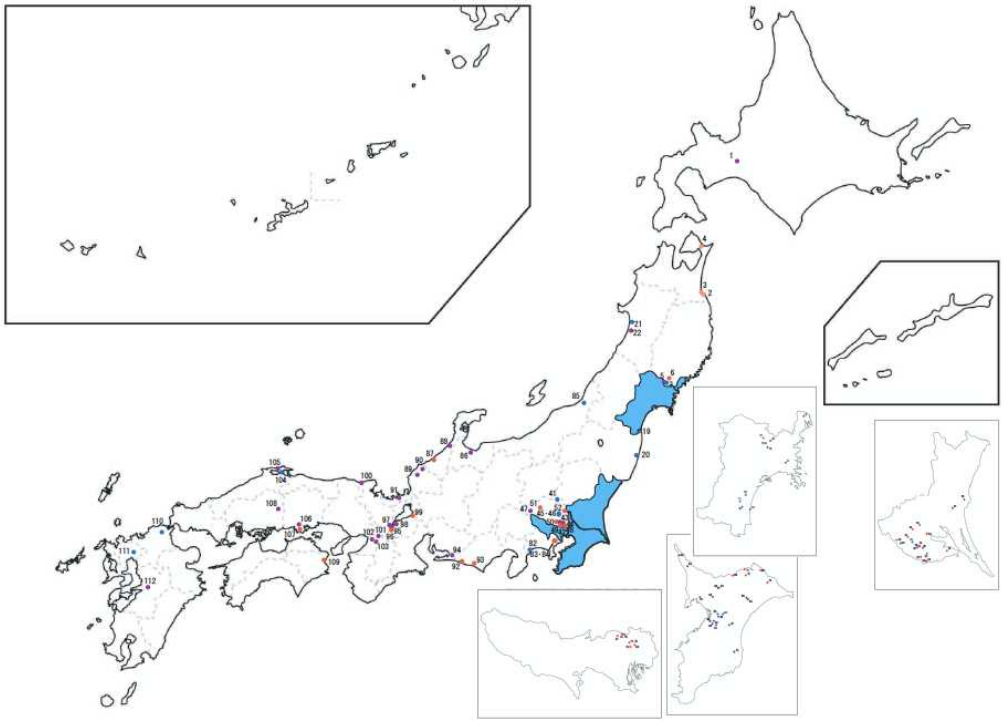
三方湖に初めてウナギの放流が行われたのは明治30（1897）年で（福井県 1956・1957[20]）、その後大正14（1925）年に、鳥浜漁業組合がウナギ・コイ・フナ他の養殖試験に着手したとの記録がある（三方町史編集委員会編 1990[21]）。これらの時期以前に三方五湖水系においてウナギ漁がおこなわれていたという事実は、少なくとも近世から近代初頭にかけて、日本海から本水系にウナギが加入していたことを示している。

c　定量的シラスウナギ採集調査

シラスウナギの遡上は全く確認されなかった。太平洋に面している岡山県児島湾・旭川水系で2007年に同様の調査を行ったところ、ピークの4月には、2時間で186個体のシラスウナギが同様な漁法で採集されている（海部 未公開データ）。これらのことから、2011年現在の三方五湖- 早瀬川水系には、日本海からのニホンウナギの新規加入は行われていないか、または非常に少ないと考えられた。



図(1)-22　ウナギ遺体が出土した遺跡



図(1)-23　コイ・フナ属遺体が出土した遺跡

２）三方五湖に生息するウナギの生態

a　移動

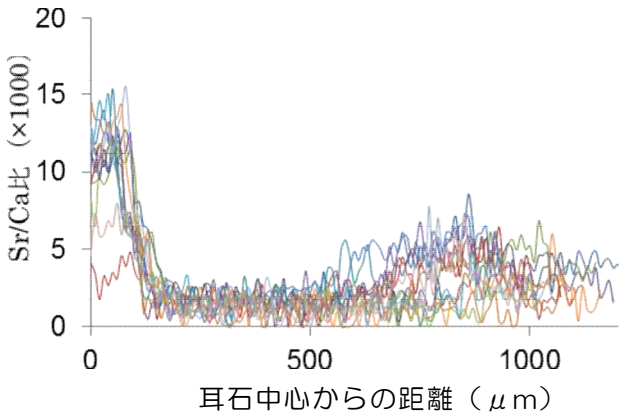
三方湖汽水域で採集された43個体について、Sr/Ca比より、汽水・淡水の生息域利用履歴を推測した（図(1)-24）。その結果、すべてのウナギに、淡水経験があることが判明した。この結果より、三方湖に生息するウナギは、淡水から汽水、上流から下流へと、一定の方向へ移動していることが示された。全ての個体が下流方向へ移動していることから、三方湖におけるニホンウナギ密度が飽和状態に達している可能性が考えられる。

b　成長

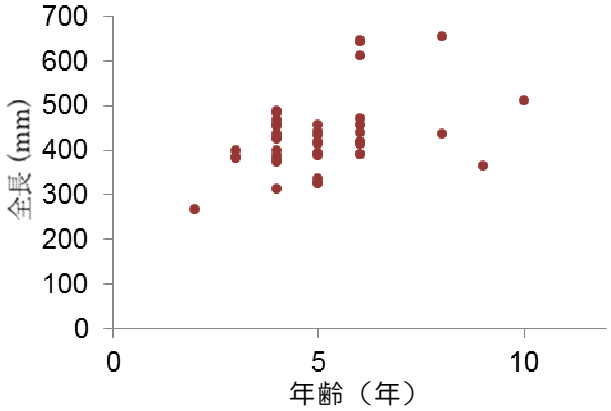
三方湖で2010年に採集されたニホンウナギ43個体について、年齢、全長、成長速度を求めた（図(1)-25）。これらの個体が一年程度養殖されたのちに放流されたと仮定すると、成長速度の最大値は79mm、最小値は14mm、平均は46mmであった。岡山県、静岡県など、太平洋側の水系で行われた先行研究によると、ニホンウナギの成長速度は100mm/年程度であった。三方湖におけるニホンウナギの成長速度（平均46mm）は、その半分程度であるが、この理由については、岡山県、静岡県と比較して、三方湖の水温が低いために年間の活動期間が限定されるためであること、および、三方湖におけるウナギ生物量に対する餌資源量が少ないこと、の二つが考えられる。

c　食性

三方湖で採集されたウナギの胃内容物として、多毛類（ゴカイ）、甲殻類（テナガエビ）、魚類（ブルーギル稚魚）、水生昆虫が記録された。ウナギは、基本的に底生動物を補食するが、底生生物の密度が低下している場合、または水柱や水面に餌生物が豊富に存在する場合は、遊泳性の生物などを多く補食することが知られている。三方湖で採集されたウナギの胃からブルーギルの稚魚が見いだされたことは、三方湖において、ウナギ生物量に対する底生生物の生物量が低いこと、またはブルーギルが優占種になっていることを示している可能性がある。




図(1)-24　三方湖で採集されたニホンウナギ耳石のSr/Ca比。0-200μmの高い値は海洋生活期、200-500μmの低い値は淡水生活期、500μm以遠の中程度の値は汽水生活期を表す。




図(1)-25　三方湖で採集されたニホンウナギの年齢と全長の関係。

## ５．本研究により得られた成果

### （１）科学的意義

湖沼全体を対象にし、生態系プロセスに大きな影響を与える水生植物の分布を把握する、リモートセンシング技術を開発した。ヒシ属植物の繁茂は日本各地の湖沼や米国においても湖沼管理上の問題となっており、本研究で明らかにされた生態学的知見は、その原因解明につながるものといえる。

ヒシが水域生態系に及ぼす多面的な影響についてはこれまで、ヒシの繁茂する一時期についてのみ知られていたが、本研究により、これらの影響が季節に応じて大きく変化することが明らかになった。このことは、ヒシの繁茂の影響が長期的に及ぼす効果を正しく評価する上で重要な意義を持つ。

植物プランクトンが利用する栄養塩の起源により植物プランクトンの同位体比が変化し、その結果、魚類の同位体比にも変化が及ぶことが明らかになった。このように、三方湖の多くの魚類が植物プランクトンを起源とする生食食物連鎖上に構築されており、栄養塩の動態が生産構造に影響することが示された。また、ブルーギルが急激に増加しており、安定同位体比の重複から判断して湖内の固有種への間接的な影響（ニッチ争奪）も大きいことが示された。

タナゴ類の減少は世界各地で進行しており、日本も例外ではない。しかし、これまでのタナゴ類の研究は、多くが行動・進化生態学の観点から行われており、保全のための基礎的知見は不足していた。本研究では、産卵母貝となるイシガイ類の生息する水路システムが優先的に保全すべき場所であることが明らかとなった。イシガイ類にとって好適な生息環境の保全・再生に加え、現状でイシガイ類の生息している水路システムにおいては、外来種の排除などを積極的に行っていくべきである。

1万年以上前の先史時代から現在にいたるまでの、日本におけるウナギの分布の変遷が明らかになった。考古学、歴史学、生物学など、多様な領域の手法を複合的に用いることによって、世界で初めて長期にわたるウナギの分布変遷を明らかにした。減少を続けるニホンウナギ資源の適切な管理方策を策定するうえでは、その減少の理由を明らかにする必要がある。これまで、ニホンウナギの資源量動態に関する研究は、過去数十年の漁獲量データに基づいて行われてきた。しか

しながら、河川および沿岸生態系への人間の影響が顕著になった近代以降の漁獲量には、人為的な要因と非人為的な要因が複合的に関与している可能性が高く、ここからウナギ資源減少の理由を明らかにすることは難しい。本課題によって明らかにされたウナギ分布の長期的変動は、人為的な影響がなくとも、ウナギの加入量が変化しうることを示した。本研究によって得られた成果は、三方湖のみならず、東アジア共通の資源であるニホンウナギの保全に対して、大きく貢献するものである。

また、本課題では、おもに放流された個体が生息している水系を調査地とした。このことによって、移動・成長・食性から、放流量と餌資源量のバランスを考察できる可能性を示した。現在、水産資源の放流について、資源回復に対する効果、および、生態系に対する影響を検証する必要性が指摘されている。本研究によって得られた成果は、今後、ウナギ放流の及ぼす影響を調査するうえで、重要な基礎的知見になる。

### （２）環境政策への貢献

本サブテーマで得られた研究成果は、三方五湖自然再生協議会の設立およびその自然再生全体構想の策定に重要な貢献をしており、本課題の目標の1つであった自然再生を支援する環境研究としての役割を果たすことができた。具体的には、ヒシの管理は、三方五湖自然再生協議会において重要な議題として取り上げられており、本課題で得られた科学的知見が今後の順応的管理の計画立案に寄与することが見込まれる。ヒシの季節動態とその影響を考慮することで、低酸素状態を緩和するために必要な作業期間の設定や動物群集の長期的な動態予測が可能となり、より効果的な管理手法を導き出すことができると期待されている。また、栄養塩動態や光争奪による植物プランクトンとヒシの関係は、湖内の生物生産を考える上で重要であり、今後も慎重に経過を観察し影響評価が必要である。さらに、近年侵入したブルーギルの影響を受けやすい魚種としてタモロコが考えられることから、タモロコの個体群動態を指標にして、影響評価を続ける必要がある。さらに、タナゴ類などのコイ科魚類を保全再生するために必要な、水系の連続性の回復や外来種対策のための基礎的知見をもたらした。

また、東アジア全体が1つの同一個体群とされるウナギの保全再生については、東アジア鰻資源協議会（EASEC）を通じ、本課題で得られた研究成果の貢献が期待される。

## ６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## ７．研究成果の発表状況

### （１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

1） A. Terui, S.S. Matsuzaki, K. Kodama, M. Tada and I. Washitani: Hydrobiologia, 675, 1, 19-28 (2011)
“Factors affecting the local occurrence of the near-threatened bitterling (Tanakia lanceolata) in agricultural canal networks: strong attachment to its potential host mussels”

2) 小島秀彰、海部健三、横内一樹、須藤竜介、吉田丈人、塚本勝巳、鷲谷いづみ：動物考古学（印刷中）
「福井県三方五湖- 早瀬川水系におけるニホンウナギ *Anguilla japonica* 生息状況の歴史的変遷について」

3) K. Kaifu, S. Miyazaki, J. Aoyama, S. Kimura and K. Tsukamoto：Environmental Biology of Fishes（In press）
"Diet of Japanese eels *Anguilla japonica* in the Kojima Bay-Asahi River system, Japan."

＜査読付論文に準ずる成果発表＞
特に記載すべき事項はない

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 海部健三：小島秀彰編「平成 23 年度冬季企画展　三方五湖と周辺の生物多様性 2　ニョロっと回遊 3000 カイリー三方五湖のウナギ展－展示図録」，若狭三方縄文博物館，pp16（2012）
「5. ウナギがとれたら大喜び－現代－　三方五湖水系におけるウナギ調査－ウナギの耳石からわかること－」

**（２）口頭発表（学会等）**

1) 照井慧、松崎慎一郎、児玉晃治、多田雅充、鷲谷いづみ：第57回日本生態学会（2009）
「生物多様性指標種候補ヤリタナゴの分布を規定する要因」

2) 横内一樹：第一回九大東大合同シンポジウム（2010）
「ウナギの保全生態学的研究Ⅰ：耳石微量元素分析を利用した生息水域の推定」

3) 海部健三：第一回九大東大合同シンポジウム（2010）
「ウナギの保全生態学的研究II：三方五湖における調査の現状と展望」

4) J. Nishihiro and I. Washitani：Seed Ecology III An International Meeting on Seeds and the Environment, Salt Lake City, Utah, U.S.A., 2010
"Factors affecting the germination and seedling emergence of a floating leaved plant, Trapa japonica."

5) 西廣淳、加藤義和、吉田丈人、鷲谷いづみ：第75回日本陸水学会大会（2010）9月
「近年の三方湖におけるヒシの繁茂とその機構：種子発芽特性からの検討」

6) 加藤義和、西廣淳、吉田丈人：第75回日本陸水学会大会（2010）
「ヒシの繁茂が三方湖のベントス・プランクトン群集に及ぼす影響

7) 杉本亮：安定同位体生態学ワークショップ（2010）9月
「安定同位体比を用いた水圏生態系における低次生産機構の研究」

8) R. Sugimoto, et al.：International Symposium on Isotope Ecology：Relationship between biodiversity and ecosystem function, Kyoto, Japan, 2010
"Factors controlling seasonal variations in $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ of phytoplankton in Lake

Mikata.”

9) 杉本亮、佐藤専寿、吉田丈人、小北智之、富永修、青海忠久：2010年度水産海洋学会（2010）
「三方湖における基礎生産構造の季節変化と栄養源の推定」

10) 草野充、前田英章、吉田丈人、佐藤専寿、杉本亮、富永修：2010年度稚魚研究会（2010）
「福井県三方湖におけるブルーギルの急増」

11) 西廣淳 :福井県自然保護関係機関連絡会議、平成22年度調査研究事例発表会 基調講演(2011)
「湖沼・湿地の自然再生」

12) K. Kaihu：The second joint symposium between Kyushu University and University of Tokyo GCOE Asian conservation ecology, Fukuoka, Japan, 2011
“Ecology of Japanese eels Anguilla japonica in the Kojima Bay-Asahi River system, Japan.”

13) 西廣淳、加藤義和、吉田丈人、鷲谷いづみ：第58回日本生態学会（2011）
「三方湖（福井県）におけるヒシの分布に影響する要因」

14) 加藤義和、西廣淳、吉田丈人：第58回日本生態学会（2011）
「三方湖（福井県）におけるヒシの繁茂が生態系の季節動態に及ぼす影響」

15) 杉本亮：2011年度水環境学会中部支部会（2011）
「三方湖再生 - 基礎生産構造と食物網構造」

16) 加藤義和、西廣淳、吉田丈人：第76回日本陸水学会（2011）
「三方湖（福井県）におけるヒシの繁茂が生態系の季節動態に及ぼす影響」

17) 海部健三、青山潤、塚本勝巳: 2011年度日本水産学会秋季大会（2011）
「ニホンウナギとマアナゴの資源分割」

18) A. Terui, S.S. Matsuzaki, K. Kodama, M. Tada and I. Washitani：25th International congress for conservation biology, Auckland, New Zealand, 2011
“Factors affecting the local occurrence of the near-threatened bitterling (*Tanakia lanceolata*): strong attachment to its potential host mussels.”

19) K. Kaifu：EASEC, Tsingtao, 2011
“Histrical change of eel distribution in Japan.”

20) K. Kaifu：The 3rd Joint Symposium between Kyushu University and University of Tokyo, Fukuoka, Japan, 2012
“Multidisciplinary approach revealed historical changes of Japanese eel distribution in the Mikata-Goko Lake-Hayase River system.”

21) Y. Kato, J. Nishihiro and T. Yoshida：The 59th Annual Meeting of Ecological Society of Japan, Shiga, Japan, 2012
“The effects of dense beds of a floating-leaved macrophyte on seasonal dynamics of a lake ecosystem.”

22) 海部健三、横内一樹、青山潤、Miller MJ、鷲谷いづみ、塚本勝巳：平成24年度日本水産学会春季大会（2012）
「ニホンウナギ頭部形態多型の分化機構」

23) K. Kaifu, H. Kojima, K. Yokouchi, R. Sudo, M.J. Miller, T. Yoshida, T. Katsumi and

I. Washitani： The 6th World Fisheries Congress, Edinburg, Scotland, 2012 “Historical changes of Japanese eel distribution in japan revealed by multidisciplinary approach.”

**（３）出願特許**

特に記載すべき事項はない

**（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）**

特に記載すべき事項はない

**（５）マスコミ等への公表・報道等**

1) 若狭三方縄文博物館特別展(2011年2月4日～3月20日、若狭三方縄文博物館、「平成23年度冬季企画展　三方五湖と周辺の生物多様性②　ニョロっと回遊3000カイリー 三方五湖のウナギ展」)
2) 福井放送（FBCラジオ）(2012年2月2日、特別展の紹介「若狭ほっと直送便」)
3) 福井新聞（2012年2月4日、特別展の紹介）
4) 株式会社ケーブルテレビ若狭小浜チャンネル0（2012年2月14日、特別展の紹介）
5) 美方ケーブルネットワーク株式会社（2012年2月14日、特別展の紹介「ウナギ生態、歴史詳しく　若狭町・縄文博企画展　三方五湖中心に紹介　きょう開幕」)
6) 朝日新聞(2012年2月15日、福井版、共同研究の紹介「縄文時代　ウナギはいなかった…　今は産地の三方五湖　海流が原因」)
7) 福井新聞（2012年2月20日、共同研究および特別展の紹介「縄文時代にウナギいた？　日本海側に骨なし」)
8) 中日新聞（2012年2月25日、福井版、特別展の紹介「日本最大級の標本も　若狭　三方五湖のウナギ展　」)
9) 中日新聞（2012年2月25日、福井版、講演紹介「東大助教がきょう「生態と食味」講演　若狭三方縄文博物館」)
10) 福井テレビ（2012年2月27日、特別展紹介「三方五湖のウナギ生態紹介～若狭町で企画展」)
11) 毎日新聞（2012年3月2日、北陸版、特別展紹介「ウナギ：研究成果展示　科学、社会両面で紹介－福井・若狭三方縄文博物館／北陸」)
12) NHK福井放送局（2012年3月7日、特別展紹介「昼前情報番組『ほやほや気分　PHONEでNOW』若狭三方縄文博物館」)
13) 福井新聞（2012年3月9日、特別展紹介「三方ウナギの歴史追う　若狭町　縄文博物館で企画展　分布や生態紹介　標本、漁具も」)
14) 福井テレビ（2012年3月14日、特別展紹介「刻の風」)
15) 若狭町広報誌（2012年3月23日、特別展紹介「ニョロっと回遊3000カイリー三方五湖のウナギ展－」)

**（６）その他**

特に記載すべき事項はない

## ８．引用文献


1) M. Hummel and E. Kiviat：Journal of Aquatic Plant Management, 42, 17-28 (2004)
"Review of world literature on water chestnut with implications for management in North America"

2) N. Caraco, J. Cole, S. Findlay and C. Wigand ：BioScience, 56, 219-225 (2006)
"Vascular plants as engineers of oxygen in aquatic systems."

3) 東幹夫：遺伝, 52, 28-32 (1998)
「移入された淡水魚による生態系の攪乱」

4) 遊磨正秀他 ： Bull. Shiga Univ. Med. Sci.(General Education ), 8, 19-36 (1997)
「瀬田月輪大池における魚類群集の変遷-12年間の生物学実習の結果より-」

5) 梯南洋： (1844)
「重修本草綱目啓蒙」

6) 鷲谷いづみ：月刊海洋, 号外48, 140-146 (2008)
「ウナギ資源の現状と保全　生態系ネットワークの再生と生物多様性指標としてのウナギ」

7) 山崎京美：平成7～9年度 科学研究費補助金（基礎研究(C)(2)）研究成果報告書 (1998)
「遺跡出土の動物遺存体に関する基礎的研究」（課題番号：07610409）

8) 福田野歩人：東京大学博士論文 (2010)
「浜名湖水系におけるニホンウナギの接岸遡河回遊生態に関する研究」

9) R. Sugimoto, A. Kasai, T. Miyajima and K. Fujita ： J. Oceanogr., 64, 39-48 (2008)
"Nitrogen isotopic discrimination by water column nitrification in a shallow coastal environment."

10) O. Tominaga, N. Uno and T. Seikai：Aquaculture, 218, 265-276 (2003)
"Influence of diet shift from formula feed to live mysids on the carbon and nitrogen stable isotope ratio ($\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$) in dorsal muscles of juvenile Japanese flounders, *Paralichthys olivaceus.*"

11) Y. Watanabe, T. Seikai and O. Tominaga ：J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 326, 187-197 (2005)
"Estimation of growth and food consumption in juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* using carbon stable isotope ratio $\delta^{13}C$ under laboratory conditions."

12) J. Guelinckx.,J. Maes, P.V. Den Driessche, B. Geysen, F. Dehairs and F. Ollevier：Mar. Ecol. Prog. Ser., 341, 205-215 (2007)
"Changes in $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ in different tissues of juvenile sand goby Pomatoschistus minutus: a laboratory diet-switch experiment"

13) 横山浩治：香川水試研究報告, 2, 47-74 (1986)
「香川県の湖沼におけるブルーギルの生態」

14) M. Azuma： Hydrobiologia, 243/244,269-276 (1992)
"Ecological release in feeding behaviour; the case of bluegills in Japan."

15) Vander Znaden, J. M. Casselman and J. B. Rasmussen：Nature, 401, 464-469 (1999)
“Stable isotope evidence for food web shifts following species invasions of lakes.”
16) G. Solomon, K. Matsushita, M. Shimizu and Y. Nose：Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 48, 1, 1-9 (1982)
“The fluctuation and distribution of the population density and fish movement of rose bitterling in Shin Tone River.”
17) C. C. Vaughn and D. E. Spooner：J. N. Am. Benthol. Soc., 25, 3, 691-700 (2006)
“Unionid mussels influence macroinvertebrate assemblage structure in streams.”
18) 三方古文書を読む会編：三方古文書を読む会・三方町立図書館 (1990)
「三方歴史ブックレット③　三方五湖の漁業（中）-三方・水月両湖とはす川-」
19) 川渡甚太夫著、師岡佑行編注、師岡笑子訳：平凡社 (1995)
「川渡甚太夫一代記－北前船頭の幕末自叙伝」
20) 福井県編：福井県 (1956・1957)
「大正昭和福井県史（上）（下）」
21) 三方町史編集委員会編：三方町 (1990)
「三方町史」

## (2) シンボル種魚類の再生に必要な水系連結の再構築研究

福井県海浜自然センター　多田雅充
福井県立大学海洋生物資源学部　小北智之
＜研究協力者＞
国立環境研究所　松崎慎一郎
福井県海浜自然センター　前田英章
福井県
若狭町

平成21～23年度累計予算額：17,248千円（うち、平成23年度予算額：3,958千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］三方湖におけるコイ科魚類は個体数が減少しており、河川改修や圃場整備などにより産卵場所である水田や水路への遡上が妨げられていることが1つの大きな原因と考えられる。本サブテーマでは、湖と水田を移動する代表的な魚であるフナに注目し、水田魚道等を用いた湖―川―水路－水田の水系連結の再生を試みた。効果的な魚道設置場所を検討するために、フナの産卵数・仔稚魚数にあたえる局所環境要因とランドスケープ要因を明らかにし、産卵ポテンシャルの高い場所を推定した。フナの広域産卵調査を実施した結果、湖に近い水域、沈水植物が多い水域、ウシガエルが侵入していない水域では、産卵数と仔稚魚数ともに多いことがわかった。さらに、それらの要因を含めた一般化線形混合モデルから推定された産卵数をもとに、産卵ポテンシャルマップを作成した。この結果に基づき、産卵ポテンシャルの高い場所に水田魚道を新たに8基設置し、三方湖周辺には計16基の水田魚道が設置された。効果を確認するため遡上魚、降下魚確認調査を行い、遡上魚調査では6科11種10,617尾を確認することができた。遡上数の多い魚道と少ない魚道を降雨量の推移から比較すると、遡上数の多い魚道では降雨量が多いほど個体数が多い傾向がみられた。降下魚調査では7科9種41,236尾を確認することができ、特にフナ類については水田内で再生産が確認された。魚道としての機能を発揮するには、中干しまでの間の水田の水管理が重要であり、耕作者の協力と理解が不可欠である。さらに、水田魚道以外の水系連結の再生方法としてシュロ採卵を試み、魚道がない水田でもフナ類やコイの卵の付着したシュロを入れると、孵化し稚魚が成長することが確認できた。水路等で容易にフナ類やコイの卵をシュロ採卵できる三方湖周辺においては、水田魚道以外の水系連結の再生方法になると思われる。

［キーワード］フナ、水系連結、産卵ポテンシャルマップ、水田魚道、シュロ採卵

### １．はじめに

三方五湖では、コイ科のハス*Opsariichthys uncirostris uncirostris*、タモロコ*Gnathopogon elongates elongatus*、ナガブナ*Carassius buergeri* subsp.2、イチモンジタナゴ*Acheilognathus*

*cyanostigma*など、国内での自然分布が限られ、かつ固有性の高い分布上重要な魚類の生息が確認されている。また湖によって塩分濃度が異なることから、海水、汽水、淡水を生息環境とする多様な魚種や回遊魚の繁殖・生育の場となっている。これらのことが評価され、2001年に国の「日本の重要湿地500」に選定され、さらに2005年には湿地の保全と賢明な利用を目指すラムサール条約の登録湿地となった。この登録を契機として地元では湖の保全・活用への気運が高まっている。三方五湖と鰣川の魚類相については、加藤（1998）[1)]によって総括されている。また、福井県内水面総合センター（1997-2005）が三方湖での継続的な魚類調査を実施しており、油谷・松田（2006）[2)]は、鰣川を除く三方湖流入河川の魚類相について報告している。これらの報告によれば、タモロコはどの調査でも確認され、ナガブナは1995年に久々子湖で確認されている。しかしハスとイチモンジタナゴは、加藤（1985）[3)]による1980年から1983年の調査では確認されているが、他の調査では確認されていない。イチモンジタナゴは、その後の確認例がなく、ハスについては、1993年に漁業者の吉田良三氏が三方湖で採捕し（標本は福井県自然保護センターが保有）、加藤（2003）[4)]が1998年に鰣川支流の高瀬川で確認している。最近では福井県海浜自然センターが、2006年1月から2007年12月までの期間[5) 6)]、各月1回の頻度で三方湖、水月湖、菅湖、久々子湖および三方湖と久々子湖の流入河川において魚類の採捕調査を実施している。その結果、ナガブナは15尾、タモロコは4,567尾が採捕されたが、ハスとイチモンジタナゴは確認されなかった。ハスは鰣川（はすがわ）の名の由来ともなったほど、かつては湖と周辺河川の普通種であったが、今ではイチモンジタナゴとともに絶滅が危ぶまれる状況になったといえる。漁業者や住民からの聞き取りでは、三方五湖では、このように特定の種が見られなくなっただけでなく、様々な魚類の個体数が大きく減少したことも多く指摘されている。魚類相の衰退や個体数減少の原因として、まず、流入河川や周辺農地からの栄養塩類流入による富栄養化等の水質汚濁、人工護岸による湖岸植生帯の消失など湖内環境が大きく変化したことが考えられる。次に、湖に生息するコイ科魚類の中でも特にフナ類（以下、フナ）は、繁殖期に湖から河川、さらに河川から水路や水田へと移動し産卵を行うことが知られていることから、近年の河川改修や圃場整備により湖から水田までの連続性が喪失していることも大きな原因としてあげられる。また、最近では外来種の侵入によって卵や仔稚魚の生残率が低下することが懸念されている。

最近、農業水路と水田の落差を解消するために、水路と水田の間に、小さな階段状の魚道（以下、水田魚道）の設置が全国で始まっている。三方湖流域でも、福井県や農業団体などによる魚道の試行的設置が進んでいるが、魚道の効果的な設置場所の検討は十分行われていない。

そこで本サブテーマでは、特にコイ科魚類の生息環境を改善することを目的に、水田魚道等をツールとして湖と水田の水系連結を再生する技術を開発することを試みた。

## ２．研究開発目的

最初に、三方湖とその流域において、フナの産卵場所や仔稚魚の成育場所として、どのような環境が適しているかを明らかにする。次に好適な環境の条件と実際の環境要因の分布に基づいて、フナの産卵が期待される場所を示した、「産卵ポテンシャルマップ」を作成する。この産卵ポテンシャルマップは、失われた水系連結を再生させる水田魚道の効果的な設置場所を抽出するために使用する。効果が期待される場所への実際の水田魚道の設置には、水田の地権者あるいは地権者から耕作を委託されている個人・団体（以下、耕作者）との調整が必要である。その調整を経

た後に、水田魚道を設置する。また、設置した水田魚道の効果を検証するために、水田魚道を実際に利用する魚類を採捕して調べる。さらに水田魚道以外の水系連結の再生方法について試みる。これら一連の研究を通して、水系連結の喪失を補う水田魚道等の効果を検討し、三方湖における自然再生を具体的に計画立案するために必要な再生技術の提案を行う。

## ３．研究開発方法

（１）産卵ポテンシャルマップ

産卵ポテンシャルマップを作成するために、2009年5月末～6月初めに、三方湖の湖岸植生帯および湖と連結する全ての河川・水路を対象に、フナの広域産卵調査を実施した。産卵が期待される区域を広くカバーするように合計154の調査地点を設けた。なお、明らかに遡上が不可能な落差高によって湖と連結していない水域は調査に含めなかった。

調査地点においては、コドラート法を用いてフナの産卵数と仔稚魚数を計数した。その後、局所環境要因として優占する底質、抽水・浮葉・沈水植物の被度、侵略的外来種であるアメリカザリガニ（以下、ザリガニ）とウシガエルの在・不在を調べた。三方湖流域では、湖がフナ個体群のソースと仮定できるため、湖岸から各調査地点までの総延長距離を連結性の指標（ランドスケープ要因）として用いた。総延長距離については、MapSource(Garmin社製)を用いて計測した。

フナの産卵数と仔稚魚数それぞれを決める局所環境要因とランドスケープ要因を明らかにするために、各小流域をランダム変数に加えた一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて解析した。総当たりモデル選択を行い、AICcの最も低いモデルをベストモデルとした。

魚道の設置および設置後の維持管理については、当該水田の地権者および耕作者の理解と協力が必要不可欠であり、地権者、耕作者との合意形成は、本調査において非常に重要な位置を占める。そこで設置場所の決定にあたり、まず当該地区の水路管理者である鰣川土地改良区理事4名を対象に研究趣旨と調査結果の説明を行い、本研究についての理解と同意を得た。その後、魚道を設置する水田の地権者と耕作者に対して協力を要請し、設置場所、魚道の形状、大きさ、管理方法などについて同意を得た上で設置した。

（２）遡上魚採捕調査

魚道を利用して水路から水田に遡上する魚類（以下「遡上魚」）を採捕するため、魚道上部（水田側）に小型定置網（ひと目約6mmまたはネット：ひと目約3mm）を設置した（写真(2)-1）。小型定置網の設置は、水が張られた水田から順に行った。小型定置網は1日1回回収し、採捕された遡上魚の種の同定および全長測定を行った。本調査は、2010年5月7日から同年7月18日までの期間中計73回行った。この調査により、水路側から魚道内に侵入した魚類を採捕し遡上を確認することができたが、小型定置網内でのフナ類親魚の衰弱や斃死が見られ、水田内での再生産を確認することはできなかった。そこで、翌年度遡上魚調査は、魚類の視認、魚道の流水量、田の水深を1日1回測定した。

写真(2)-1　遡上魚採捕調査

本調査は、2011年5月10日から同年6月21日までの期間中計43回行った。

（３）降下魚採捕調査

水田から水路へ降下する魚類（以下「降下魚」）を採捕するため、各水田の排水パイプ出口を包み込むようにネットを設置した。ネットは1日1回回収し、採捕された降下魚の種の同定および全長測定を行った。本調査は2010年6月13日から7月18日までの期間中計22回と2011年6月22日から同年7月20日までの期間中計29回行った。

写真(2)-2　降下魚採捕調査

各水田の地権者と耕作者に調査への協力を依頼したが、水田③、水田⑬、水田⑯については、魚道を排水口としてしか利用しない、魚道の設置に不具合があり水が漏れる、調査によって稲の作付面積が減少する、魚類の遡上や降下を子供達と観察するので採捕してほしくないなどの事情により、調査を途中で中断した。

（４）水路の魚類相調査

三方湖周辺水路の各地係に生息する魚類相を把握するため、25カ所において電撃捕魚器、タモ網による採捕調査を行った。採捕された魚は種の同定および体長測定を行った。本調査は、2011年6月6日から8日、6月28日、29日に行った。

写真(2)-3　水路の魚類相調査

（５）シュロ採卵

シュロ（採卵床）は、アユの種苗生産時に採卵に用いられている。コイやフナが沈水植物に産卵する性質を利用し、フナの産卵が確認されている水路にシュロ（採卵床）を設置することにより、採卵を行った。産卵されたシュロは、人の手により水田に設置した。成長した稚魚は、中干し時、排水口にサデ網を設置して捕獲した。

写真(2)-4　シュロ採卵

## ４．結果及び考察

（１）産卵ポテンシャルマップ

産卵場所、仔稚魚の成育場所は、空間的に不均一に分布していた。モデル選択の結果、産卵数を説明するベストモデルには、すべての変数が含まれたフルモデルが選択された（表(2)-1）。しかし、ベストモデルに含まれた変数のうち、底質、抽水植物量、ザリガニについては95%信頼区間に0（ゼロ）を含んでいたため、重要な要因ではないと考えられた（表(2)-2）。湖との総延長距離、沈水植物量、ウシガエルについては95%信頼区間に0（ゼロ）が含まれず、湖に近いほど、沈水植物量が多いほど、またウシガエルが侵入していない場所では、産卵数が有意に多くなることが明らかになった（表(2)-2）。

また、仔稚魚数に関しても、産卵数のベストモデルと同様の傾向がえられた。湖との総延長距離、沈水植物量、ウシガエルの効果に加えて、浮葉植物量も正の効果をもたらしていた。

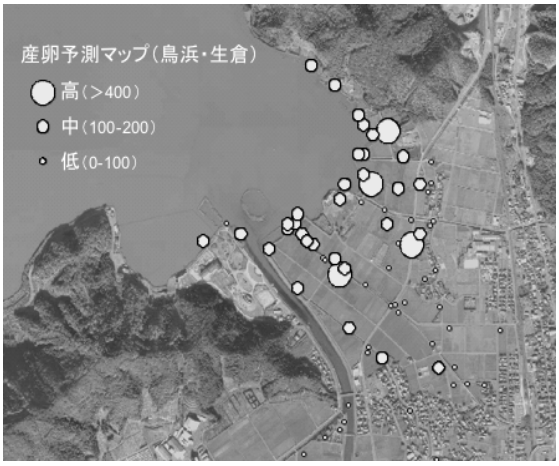
表(2)-1：産卵数を説明する上位5位モデル。ΔAICc（ベストモデルのAICcとの差）が2以内のモデルには色づけした。Kは各モデルのパラメーター数。

| ランク | 候補モデル | *K* | AICc | ΔAICc |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 湖との距離 + 底質 + 沈水植物 + 浮葉植物 + 抽水植物 + ウシガエル + ザリガニ | 9 | 1388.2 | 0.00 |
| 2 | 湖との距離 + 底質 + 沈水植物 + 浮葉植物 + ウシガエル + ザリガニ | 8 | 1389.5 | 1.28 |
| 3 | 湖との距離 + 底質 + 沈水植物 + 抽水植物 + ウシガエル + ザリガニ | 8 | 1389.9 | 1.65 |
| 4 | 湖との距離 + 底質 + 沈水植物 + ウシガエル + ザリガニ | 7 | 1391.1 | 2.85 |
| 5 | 湖との距離 + 底質 + 沈水植物 + ウシガエル | 6 | 1392.1 | 3.87 |

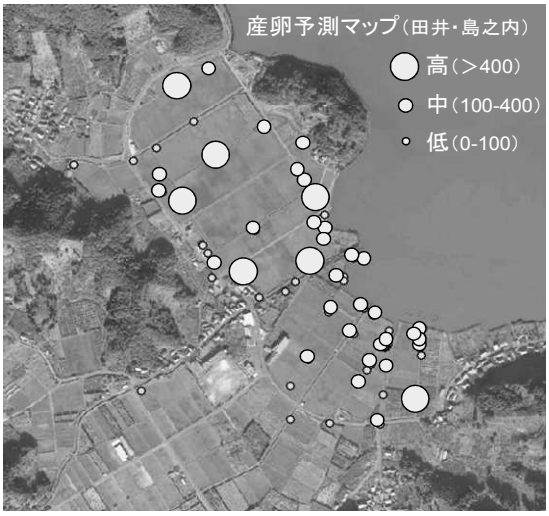
表(2)-2：産卵数を説明するベストモデルにおける各パラメーターの推定値、標準誤差および95%信頼区間。95%信頼区間に0（ゼロ）を含まない変数には色づけした。

| パラメーター | 推定値 | 標準誤差 | 上位 95%CI | 下位 95%CI |
|---|---|---|---|---|
| 切片 | 15.04 | 2.69 | 9.77 | 20.31 |
| 湖からの距離 | -4.51 | 2.24 | -8.89 | -0.12 |
| 底質 (泥 vs 砂) | 3.46 | 6.82 | -9.90 | 16.82 |
| (泥 vs 小石･岩) | -6.02 | 6.59 | -18.93 | 6.89 |
| 沈水植物 | 6.35 | 2.34 | 1.76 | 10.94 |
| 浮葉植物 | 1.51 | 2.25 | -2.90 | 5.91 |
| 抽水植物 | 0.26 | 2.34 | -4.32 | 4.84 |
| ウシガエル | -12.30 | 5.79 | -23.64 | -0.96 |
| ザリガニ | -4.70 | 6.66 | -17.75 | 8.34 |

産卵数を説明するベストモデルの推定値を用いて（表(2)-2）、地域別にフナの産卵ポテンシャルマップを作成した（図(2)-1、2）。



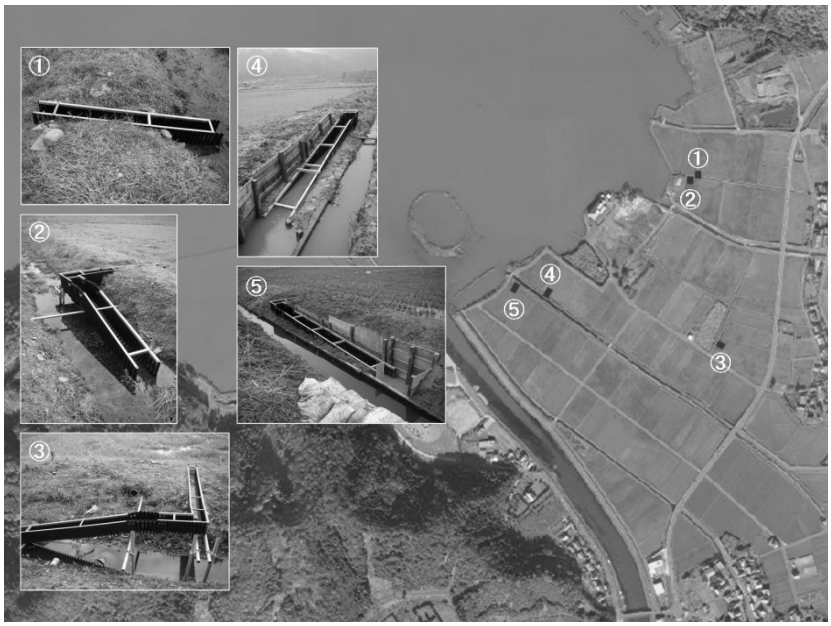

図(2)-1　産卵ポテンシャルマップ（鳥浜・生倉地区）
数値は、ベストモデルから推定された産卵数（個数）



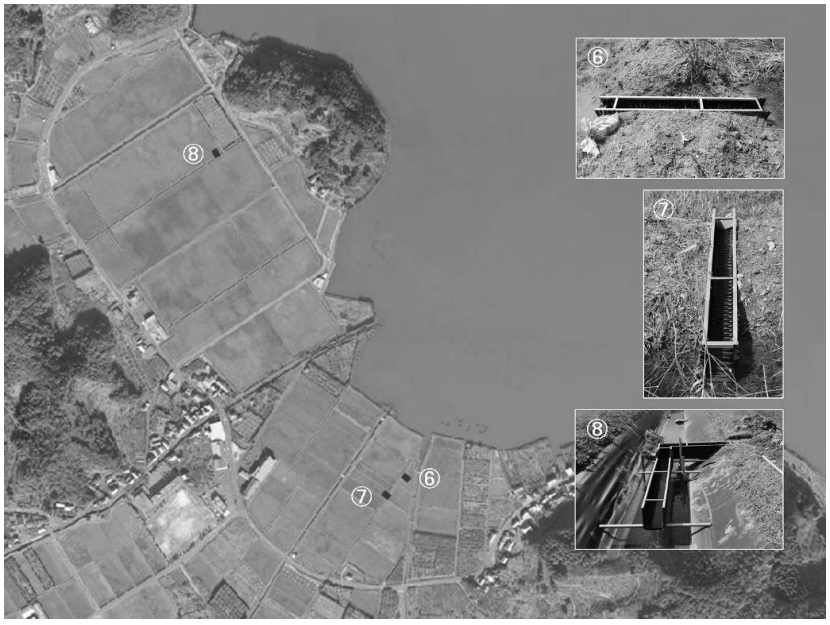

図(2)-2　産卵ポテンシャルマップ（田井・島之内地区）
数値は、ベストモデルから推定された産卵数（個数）

本研究から推定された産卵ポテンシャルの高い場所に、水田魚道を設置することにより、より高い効果が期待できると考えられた。また、ウシガエルの排除を実施することで、産卵ポテンシャルを回復できる可能性が示唆された。今回の調査からは、ザリガニによる負の影響は検出されなかった。ザリガニは沈水植物を直接切断、捕食することが知られていることから、今後個体数が増加すれば、間接的に産卵数や仔稚魚数に負の影響をおよぼす可能性が考えられた。

産卵ポテンシャルマップをもとに魚道の設置位置を決定した。魚道の形状および大きさは、設置に伴って水路の通水阻害が発生しないよう地権者および耕作者と現地で協議した上で、できるだけ大型のフナの遡上にも対応できるよう30cm幅を上限に水路幅の 1/2を超えない最大幅の魚道を計8基設置した。設置場所および各魚道は図(2)-3、4のとおりである。

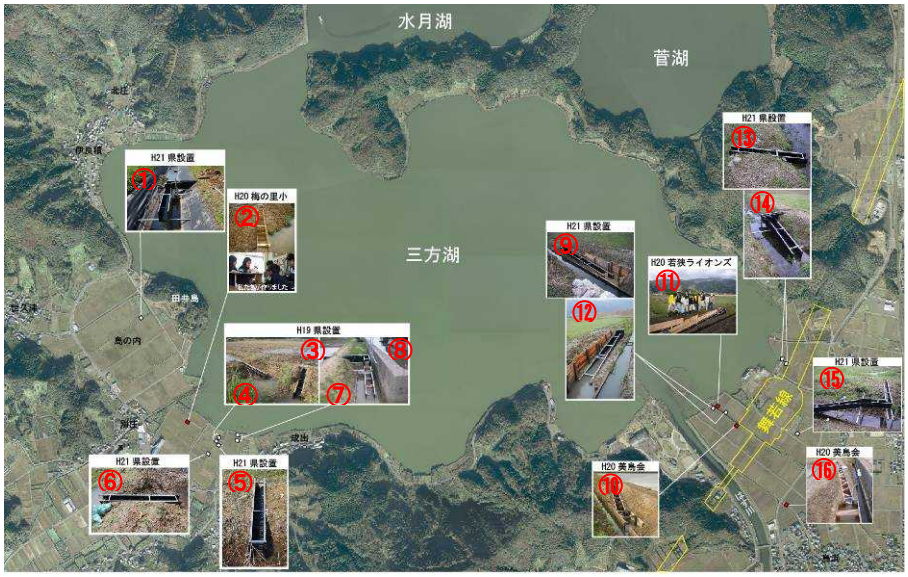



図(2)-3　水田魚道設置位置図（鳥浜・生倉地区）




図(2)-4　水田魚道設置位置図（田井・島之内地区）

三方湖周辺の水田魚道は、2007年に県が4基、2008年に農林水産省の農地・水・環境保全向上対策に取り組む農業団体が2基、小学校が1基、ライオンズクラブが1基設置しており、今回新たに8基設置することで計16基が設置されている（図(2)-5）




図(2)-5　三方湖周辺の水田魚道

（２）遡上魚採捕調査

2010年遡上魚の種および個体数は、フナ類767尾、モツゴ18尾、アブラハヤ2尾、ドジョウ5,532尾、ホトケドジョウ1尾、ナマズ13尾、メダカ2尾、ゴクラクハゼ2尾、ヨシノボリ1尾、ウキゴリ4,214尾、オオクチバス65尾の6科11種10,617尾であった（表(2)-3）。設置した魚道において遡上した個体で全長が最も大きかったのは、水田⑨に遡上した全長440mmフナ類や520mmのナマズであり、大型のフナ類などの遡上にも対応できるよう設置した効果がみられた（表(2)-4）。

表(2)-3　水田魚道を遡上した魚類の尾数

| 科名 | 種名 | 遡上個体数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 水田① | 水田② | 水田③ | 水田④ | 水田⑤ | 水田⑥ | 水田⑦ | 水田⑧ | 水田⑨ | 水田⑩ | 水田⑪ | 水田⑫ | 水田⑬ | 水田⑭ | 水田⑮ | 水田⑯ | 合計 |
| コイ | フナ類 | 284 | 7 | 1 | 23 | 37 | 8 | | 4 | 270 | 39 | 6 | 1 | | | 86 | 1 | 767 |
| | モツゴ | | | | | | | | | | | | | | | 18 | | 18 |
| | アブラハヤ | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 2 |
| ドジョウ | ドジョウ | 90 | 390 | | 449 | 1012 | 352 | 1493 | 688 | 381 | 54 | 72 | 111 | 146 | 117 | 177 | | 5532 |
| | ホトケドジョウ | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 |
| ナマズ | ナマズ | | | | | | 4 | | 1 | 3 | 3 | | | | | 2 | | 13 |
| メダカ | メダカ | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | 2 |
| ハゼ | ゴクラクハゼ | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | 2 |
| | ヨシノボリ | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 |
| | ウキゴリ | 1502 | 7 | | 264 | 75 | 67 | 186 | | 20 | 26 | 45 | 12 | | 48 | 1962 | | 4214 |
| サンフィッシュ | オオクチバス | 6 | | | | | | | | 22 | | 6 | | | | 31 | | 65 |
| 6科 | 11種 | 1882 | 404 | 1 | 739 | 1125 | 431 | 1679 | 693 | 698 | 122 | 129 | 124 | 146 | 165 | 2277 | 2 | 10617 |

表(2)-4　水田魚道を遡上した魚類の全長

| 科名 | 種名 | 全長（mm） | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 平均 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
| コイ | フナ類 | 67.5 | 81.3 | 460 | 15 |
| | モツゴ | 42.2 | 5.3 | 50 | 30 |
| | アブラハヤ | 40.0 | － | － | － |
| ドジョウ | ドジョウ | 59.7 | 18.1 | 190 | 5 |
| | ホトケドジョウ | 60.0 | － | － | － |
| ナマズ | ナマズ | 433.2 | 67.8 | 570 | 350 |
| メダカ | メダカ | 32.5 | 2.5 | 35 | 30 |
| ハゼ | ゴクラクハゼ | 81.5 | 18.5 | 100 | 63 |
| | ヨシノボリ | 93.0 | － | － | － |
| | ウキゴリ | 45.3 | 5.6 | 85 | 25 |
| サンフィッシュ | オオクチバス | 50.2 | 8.8 | 80 | 32 |
| 6科 | 11種 | | | | |

2011年視認による遡上魚の種および個体数は、フナ類63尾、コイ数尾、ドジョウ11尾であった（表(2)-5）。フナ類の全長は平均326mmあり、遡上した個体は全て産卵可能であったと考えられる（表(2)-6）。

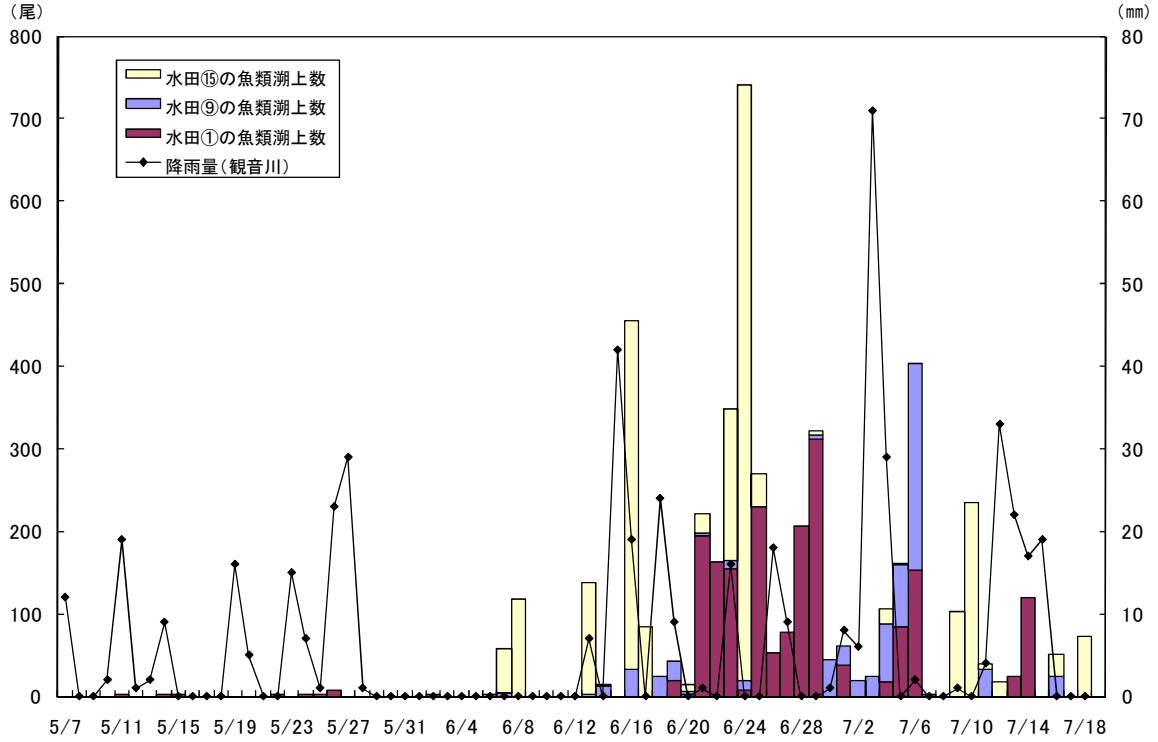
表(2)-5　水田魚道を遡上した魚類の尾数(視認)

| 科名 | 種名 | 遡上個体数 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 水田① | 水田② | 水田③ | 水田④ | 水田⑤ | 水田⑥ | 水田⑦ | 水田⑧ | 水田⑨ | 水田⑩ | 水田⑪ | 水田⑫ | 水田⑬ | 水田⑭ | 水田⑮ | 合計 |
| コイ | フナ類 | 4 | | 11 | | 1 | | 1 | 1 | 16 | 18 | 6 | 4 | | | | 63 |
| | コイ | | | | | | | | | 数尾 | 数尾 | 数尾 | 数尾 | | | | 数尾 |
| ドジョウ | ドジョウ | | 1 | 10 | | | | | | | | | | | | | 11 |
| 2科 | 3種 | 4 | 1 | 21 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 16 | 18 | 6 | 4 | 0 | 0 | 0 | 74 |

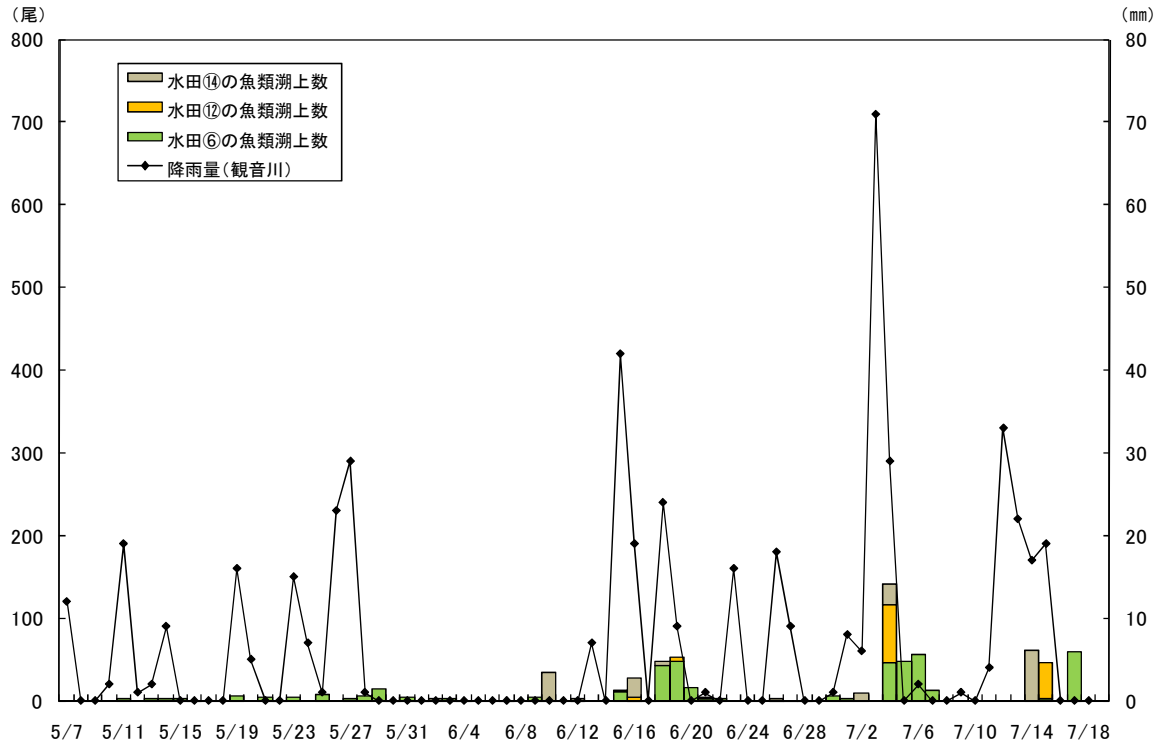
表(2)-6　水田魚道を遡上した魚類の全長(視認)

| 科名 | 種名 | 全長（mm） | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 平均 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
| コイ | フナ類 | 326.6 | 84.6 | 443 | 200 |
| | コイ | － | － | － | － |
| ドジョウ | ドジョウ | 80.0 | － | － | － |
| 2科 | 3種 | | | | |

遡上魚の個体数は日によって変動があり、特に個体数が多かったのは、2010年6月16日、24日、7月4日であった。全体的に降雨量※が多いほど個体数が多い傾向がみられた（図(2)-6）。※調査地に最も近い観音（若狭町三方）のデータ（Webサイト「福井県河川・砂防総合情報（福井県）」より）を使用した。

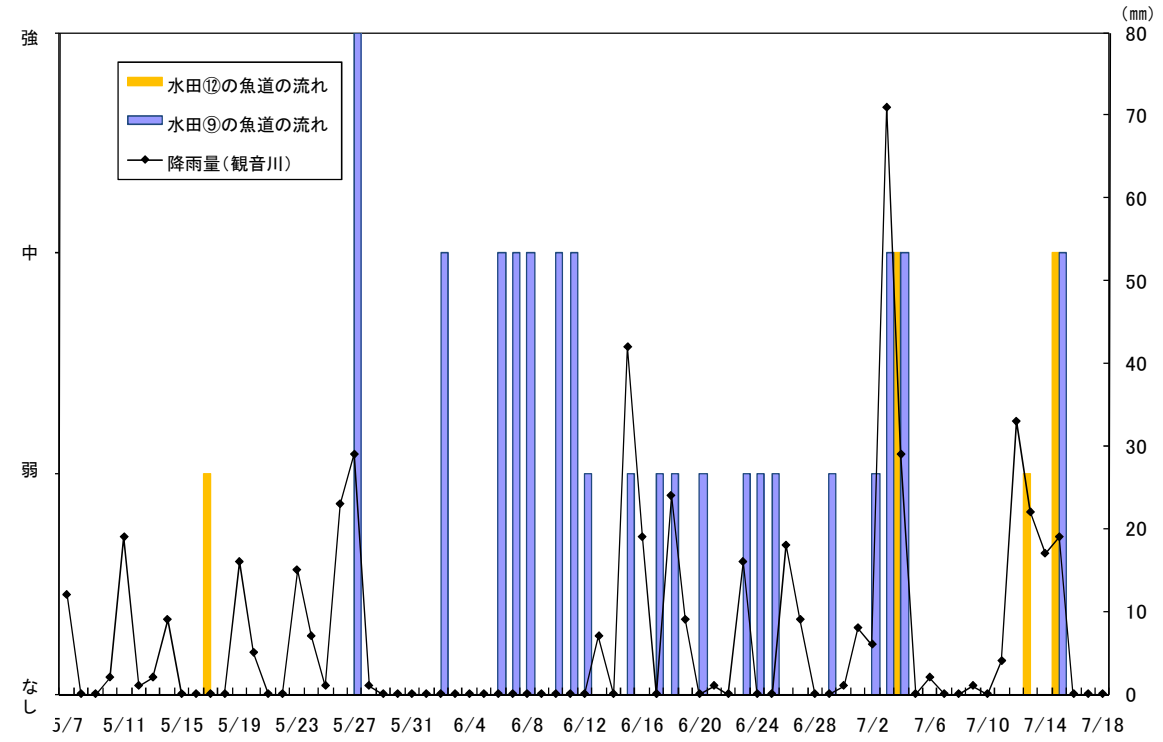



図(2)-6　遡上数と降雨量の推移（遡上数の多い魚道）




図(2)-7　遡上数と降雨量の推移（遡上数の少ない魚道）

遡上数の多い魚道と少ない魚道を降雨量の推移から比較すると、遡上数の多い魚道では降雨量が多いほど個体数が多い傾向にあるが、遡上数の少ない魚道についてはその傾向が乏しかった（図(2)-6、7）。




図(2)-8　魚道内の流量と降雨量の推移

（３）降下魚採捕調査

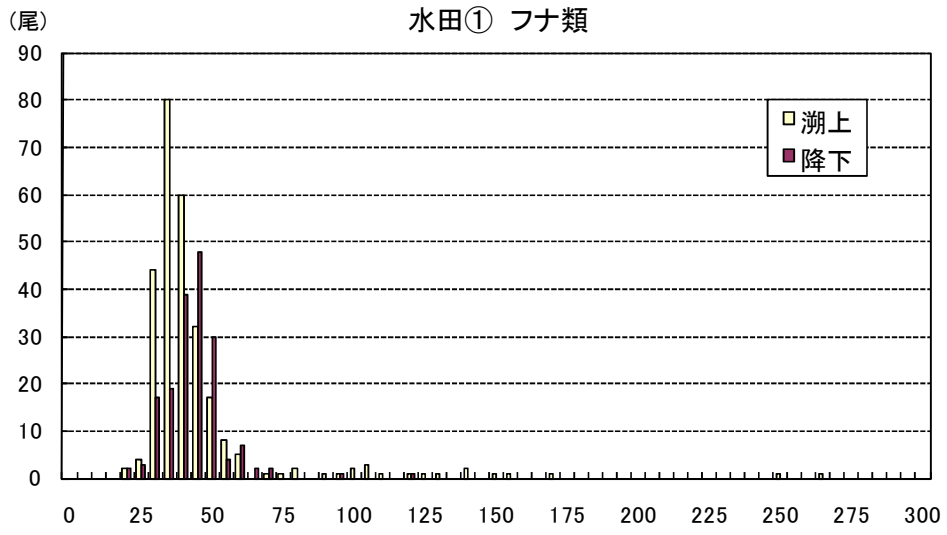
2010年降下魚の種および個体数は、フナ類396尾、アブラハヤ1尾、ドジョウ8,225尾、ヨシノボリ1尾、ヌマチチブ1尾、ウキゴリ597尾、オオクチバス58尾の4科7種9,279尾であった（表(2)-7）。魚道に水が流れていない状態の魚道については、魚類の降下はなかった。またフナ類については、遡上個体と降下個体のサイズに大きな違いはなく、水田内で繁殖したものはいなかった（表(2)-8、図(2)-9）。

表(2)-7　水田魚道を降下した魚類の尾数

| 科名 | 種名 | 降下個体数 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 水田① | 水田② | 水田③ | 水田④ | 水田⑤ | 水田⑥ | 水田⑦ | 水田⑧ | 水田⑨ | 水田⑩ | 水田⑪ | 水田⑫ | 水田⑬ | 水田⑭ | 水田⑮ | 水田⑯ | 合計 |
| コイ | フナ類 | 179 | | | | | | | | 59 | 25 | 53 | | 7 | 3 | 70 | | 396 |
| | アブラハヤ | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| ドジョウ | ドジョウ | 570 | | | | | 4 | | | 147 | 747 | 656 | | 5401 | 92 | 608 | | 8225 |
| ハゼ | ヨシノボリ | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| | ヌマチチブ | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | ウキゴリ | 144 | | | | | | | | 25 | 11 | 11 | | 5 | | 401 | | 597 |
| サンフィッシュ | オオクチバス | | | | | | | | | 4 | | 3 | | | | 51 | | 58 |
| 4科 | 7種 | 893 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 235 | 784 | 724 | 0 | 5413 | 95 | 1131 | 0 | 9279 |

表(2)-8　水田魚道を降下した魚類の全長

| 科名 | 種名 | 全長（mm） | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 平均 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
| コイ | フナ類 | 52.6 | 60.3 | 500 | 4 |
| | アブラハヤ | 40.0 | － | － | － |
| ドジョウ | ドジョウ | 46.7 | 14.4 | 140 | 3 |
| ハゼ | ヨシノボリ | 25.0 | － | － | － |
| | ヌマチチブ | 22.0 | － | － | － |
| | ウキゴリ | 35.3 | 12.7 | 60 | 20 |
| サンフィッシュ | オオクチバス | 35.3 | 13.6 | 60 | 20 |
| 4科 | 7種 | | | | |




図(2)-9　水田①のフナ類の全長

2010年遡上魚調査において、水路側から魚道内に侵入した魚類を採捕し確認することはできた。しかし、小型定置網内でのフナ類親魚の衰弱や斃死が見られ、水田内での再生産を確認することはできなかった。

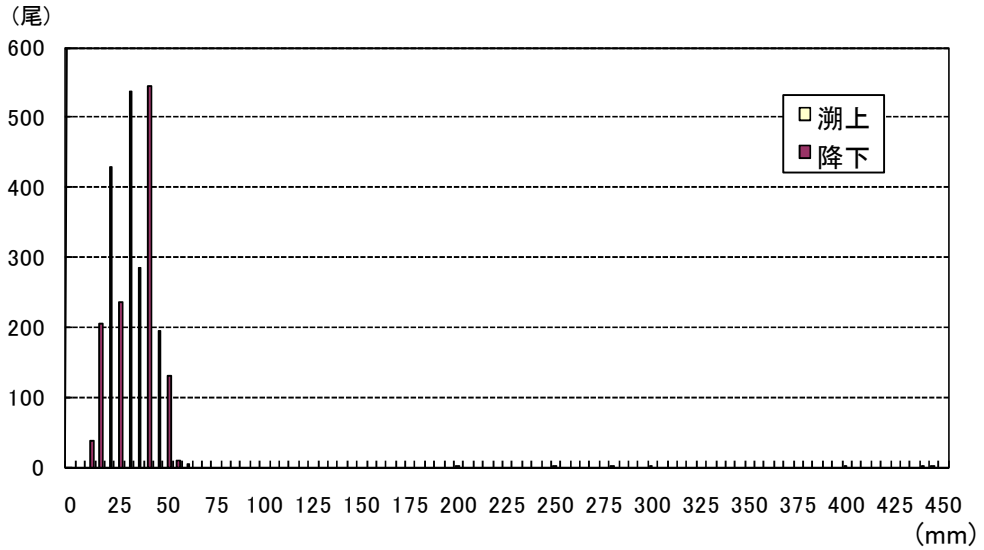
2011年降下魚の種および個体数は、フナ類32,444尾、コイ27尾、ドジョウ6,651尾、ナマズ208尾、ウキゴリ1,854尾、ウナギ2尾、ボラ40尾、オオクチバス9尾、ブルーギル1尾の7科9種41,236尾であった（表(2)-9）。魚道に水が流れていない状態の魚道については、魚類の降下はなかった。またフナ類については、遡上個体と降下個体の全長に大きな違いがあり、水田内で再生産したと考えられる（表(2)-10、図(2)-10）。

表(2)-9　水田魚道を降下した魚類の尾数

| 科名 | 種名 | 降下個体数 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 水田① | 水田② | 水田③ | 水田④ | 水田⑤ | 水田⑥ | 水田⑦ | 水田⑧ | 水田⑨ | 水田⑩ | 水田⑪ | 水田⑫ | 水田⑬ | 水田⑭ | 水田⑮ | 合計 |
| コイ | フナ類 | 3066 | 614 | 819 | 21 | 24 | 488 | 10 | 9 | 13 | 1612 | 18087 | | 712 | 2259 | 4710 | 32444 |
| | コイ | | | 6 | | | | | | | | 16 | | | 5 | | 27 |
| ドジョウ | ドジョウ | 7 | 105 | 368 | 42 | 768 | 399 | 50 | 650 | 2 | 1126 | 140 | | 366 | 61 | 2567 | 6651 |
| ナマズ | ナマズ | | 2 | 21 | 3 | 1 | | | | | 5 | 34 | | 2 | 6 | 134 | 208 |
| ハゼ | ウキゴリ | 5 | 2 | 5 | | 1 | | | 1 | | 104 | 2 | | 1193 | 505 | 36 | 1854 |
| ウナギ | ウナギ | | | | | | | | | | | | | 2 | | | 2 |
| ボラ | ボラ | | | | | | | | | | | 18 | | | 22 | | 40 |
| サンフィッシュ | オオクチバス | | | | | | | | | | 2 | 6 | | | 1 | | 9 |
| | ブルーギル | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| 7科 | 9種 | 3078 | 723 | 1219 | 66 | 794 | 887 | 60 | 660 | 15 | 2849 | 18304 | 0 | 2275 | 2859 | 7447 | 41236 |

表(2)-10　水田魚道を降下した魚類の全長

| 科名 | 種名 | 全長（mm） | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 平均 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
| コイ | フナ類 | 31.3 | 10.3 | 60 | 10 |
| | コイ | 62.6 | 14.1 | 100 | 25 |
| ドジョウ | ドジョウ | 50.8 | 18.3 | 160 | 9 |
| ナマズ | ナマズ | 66.7 | 48.4 | 500 | 30 |
| ハゼ | ウキゴリ | 40.9 | 13.8 | 100 | 6 |
| ウナギ | ウナギ | 280.0 | 20.0 | 300 | 260 |
| ボラ | ボラ | 71.4 | 12.3 | 100 | 50 |
| サンフィッシュ | オオクチバス | 31.3 | 7.3 | 45 | 25 |
| | ブルーギル | 40.0 | － | － | － |
| 7科 | 9種 | | | | |

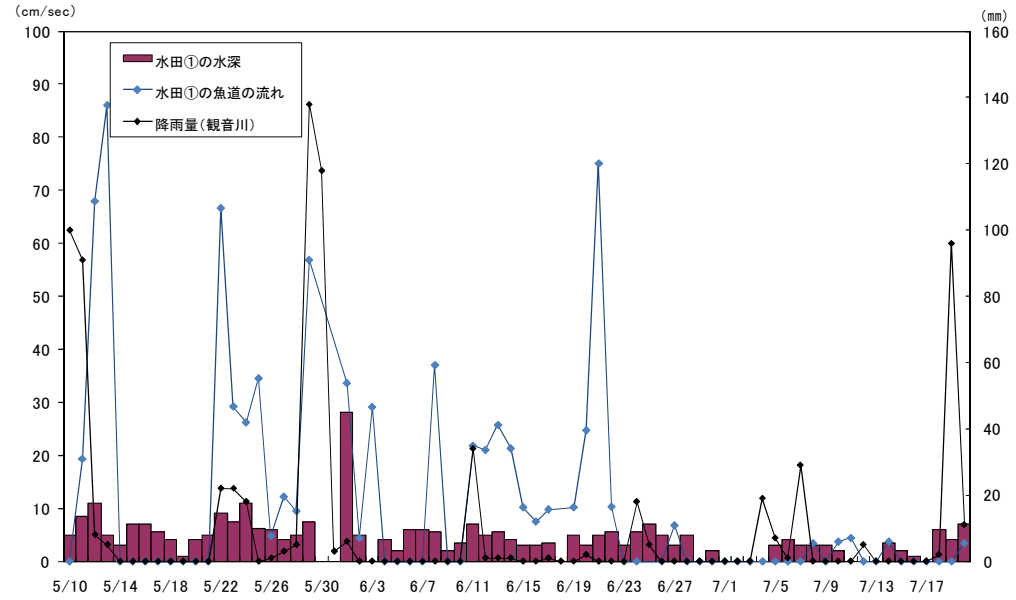



図(2)-10　水田①を利用したフナ類の全長

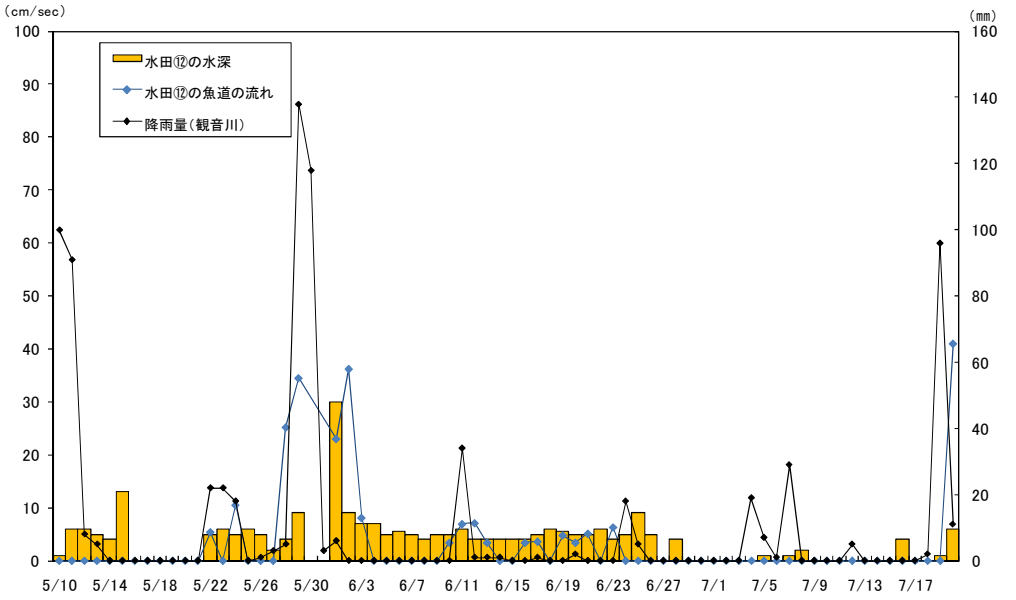
フナ類の再生産の確認された水田と確認されなかった水田について、田の状況と降雨量の推移から比較すると、再生産の確認された水田では、産卵親魚が遡上する5月に降雨量の増減に併せて

遡上可能な流れがある。また田の水深は、6月下旬の中干しまで降雨量が少なくても5cm程度に保たれ、再生産した稚魚が成育できる状況であった（図(2)-11）。しかし再生産の確認されなかった水田では、その傾向が乏しく、田が乾く時期もあり、産卵しても稚魚が成育できない状況であった（図(2)-12）。

これらの結果から、魚道としての機能が発揮できるかとともに、中干しまでの間、魚の育つ環境がいかに保たれるかが重要である。水田の水管理は、稲の生育に合わせて適宜行われる。魚道を設置してある水田においても同様であり、耕作者による判断により大きく左右される。耕作者の協力と理解が不可欠である。




図(2)-11　田の水深と魚道の流量および降雨量の推移（再生産の確認された水田）




図(2)-12　田の水深と魚道の流量および降雨量の推移（再生産の確認されなかった水田）

（４）水路の魚類相調査

鳥浜、成出、島の内の各地係の農業用排水路調査の結果，採捕された魚種はアユ、オイカワ、タモロコ、モツゴ、コイ、フナ類、ドジョウ、シマドジョウ、ナマズ、メダカ、ウキゴリの合計6科11種で、総採捕尾数は628尾であった。これらのうち、採捕尾数が多かった魚種はフナ類で515尾が採捕された（表(2)-11）。採捕魚体長組成をみると、最大体長、最小体長ともにフナ類であり、当歳魚と思われる体サイズの小さな個体が多く確認された（表(2)-12）。

表(2)-11　水路で採捕した魚類の尾数

| 科名 | 和名 | 調査区間(St.) | | | | | | 魚種毎の総採捕尾数総計(尾) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | |
| アユ | アユ | | | | 1 | | | 1 |
| コイ | オイカワ | | | | 2 | | | 2 |
| | タモロコ | | | | 4 | | | 4 |
| | モツゴ | | 1 | | | | | 1 |
| | コイ | | | | 1 | | | 1 |
| | フナ類 | 24 | 26 | 116 | 73 | 45 | 231 | 515 |
| ドジョウ | ドジョウ | | | 35 | | 4 | | 39 |
| | シマドジョウ | | | | 1 | | | 1 |
| ナマズ | ナマズ | | | | | 3 | 2 | 5 |
| メダカ | メダカ | | 2 | | | | | 2 |
| ハゼ | ウキゴリ | 5 | 2 | | 40 | 1 | 9 | 57 |
| 6 | 11 | 29 | 31 | 151 | 122 | 53 | 242 | 628 |

表(2)-12　水路で採捕した魚類の全長

| 科名 | 和名 | 尾数(尾) | 標準体長(mm) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 平均 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 |
| アユ | アユ | 1 | 93 | | 93 | 93 |
| コイ | オイカワ | 2 | 73 | 28.2 | 93 | 53 |
| | タモロコ | 4 | 53 | 25.9 | 77 | 25 |
| | モツゴ | 1 | 25 | | 25 | 25 |
| | コイ | 1 | 113 | | 113 | 113 |
| | フナ類 | 515 | 23.7 | 12.9 | 169 | 11 |
| ドジョウ | ドジョウ | 39 | 50.2 | 19.9 | 78 | 20 |
| | シマドジョウ | 1 | 34 | | 34 | 34 |
| ナマズ | ナマズ | 5 | 66.8 | 16.4 | 95 | 54 |
| メダカ | メダカ | 2 | 27.5 | 3.5 | 30 | 25 |
| ハゼ | ウキゴリ | 57 | 41.3 | 4.9 | 49 | 21 |
| 6 | 11 | 628 | | | | |

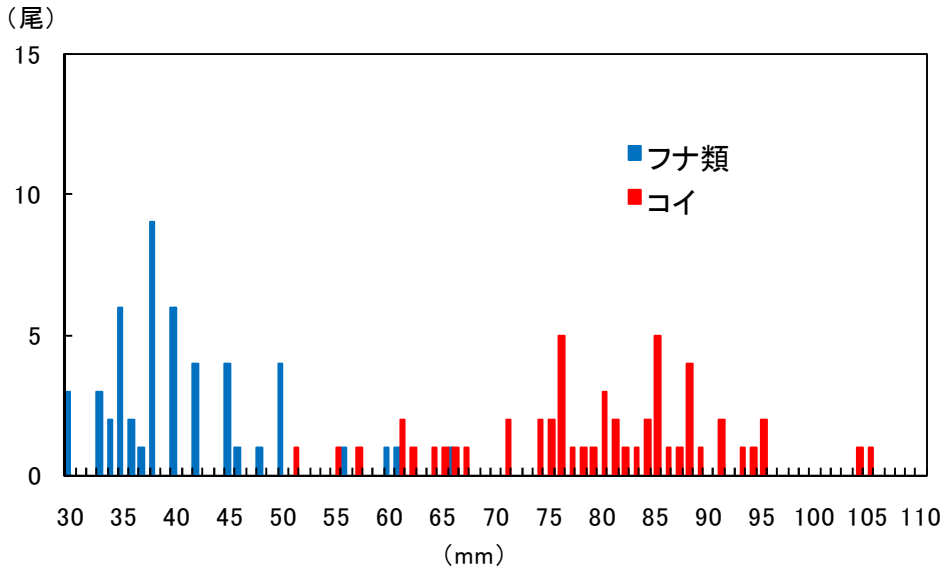
最も多く魚類が採捕された地区は、水路のコンクリート化による恒久的水域、水深、緩やかな流速、沈水植物の繁茂、さらには魚類の移動を阻害するような構造物が無い。すなわち、三方湖と水路の水域ネットワーク（三方湖－河川・幹線排水路－小排水路）が確立されていると考えられる。

また、水路で採捕された魚類は稚魚が多く成魚が少ないことより、成魚は産卵のために三方湖から水路に産卵遡上し、稚魚は捕食などを避けるため流れの緩やかな水路を生息場としていることが示唆され、三方湖と水路を目的に応じて利用していると考えられる。

（５）シュロ採卵

水路に前日夕方シュロ（採卵床）を設置し、翌朝には1シュロあたり約7,000～10,000個の卵を

採ることができた。2011年5月11日にシュロ7個を水田へ移した。7月8日、10日には、フナ類28,069尾（平均全長40.9mm）、コイ129尾（平均全長79.3mm）を捕獲した。




表(2)-13　捕獲したフナ類、コイの全長

水田魚道は、水路と田んぼの段差をなくすものであり、様々な魚たちが田んぼを利用する最も効果的な手法であるが、水路に魚がいない場合や、水田魚道に水がうまく流れない場合には、魚が利用できない。また、設置に費用がかかり、維持管理していく必要がある。

シュロ採卵は、コイやフナなどシュロに産卵する魚種に限られるが、簡単、低コストに採卵でき、魚道がない水田でも卵の付着したシュロを入れると、孵化し稚魚の成育場にできる。三方湖周辺においては、水田魚道以外の水系連結の再生方法になるのではないかと考えている。

今後も、現状に合わせた様々な方法が考えられるので、地域の人達と協力しながら取り組むことが重要である。

## ５．本研究により得られた成果

### （１）科学的意義

水田魚道をもちいた水系連結の再構築は、琵琶湖のゆりかご水田をはじめ全国で取り組みが始まっている。しかし、水田魚道の効果的な設置場所の検討は行われていない。産卵ポテンシャルマップをもとに水田魚道を設置した実践的な取り組みは初めてであり、水田魚道を利用した魚類の遡上や降下を確認することができた。また、水田魚道以外の水系連結の再生方法としてシュロ採卵の有効性を確認することができた。併せて継続していく必要がある。

フナの個体群再生は、種苗放流に頼ることが多い。しかし、放流の生態的・遺伝的な影響は十分評価されていないのが現状である。本成果から、フナの個体数を回復するためには、水田魚道やシュロ採卵による水系連結の再構築により、できるだけ種苗放流に頼らない新しい個体群再生方法を提案することは、保全生態学の学術分野にも大きく貢献できるものである。

### （２）環境政策への貢献

福井県は2008年11月に福井県環境基本計画を策定し、「自然環境」、「生活環境」、「環境を想い行動する人づくり」を中心テーマとした環境施策を掲げた。その中で三方五湖の水辺生態系の再生を目指す本研究は、全国に先駆けて取り組む重点施策として位置づけられている。また、特に魚道設置については、三方五湖周辺での事例をモデルとして県内各地に拡大していくこととしていることから、本研究が同計画の中で果たす役割は大きい。

また、魚道設置やシュロ採卵の効果は魚類の生息環境の改善につながるだけではなく、住民の湖への関心と環境意識を高めることにも貢献している。たとえば福井県海浜自然センターでは2007年から三方湖周辺に4基の魚道を設置し、毎年、魚道とその周辺をフィールドとした観察会を実施している。魚道設置の意義についての地元への普及効果も徐々に表れ、農林水産省の農地・水・環境保全向上対策に取り組む農業団体、小学校、ライオンズクラブが計4基の魚道を設置し、それぞれ環境学習等に活用している。また、シュロ採卵についてもその効果が地元住民に認知され、地元の団体や漁業協同組合が休耕田などを利用して独自に取組んでいる。これらの活動そのものが三方五湖の自然再生への取組みのシンボルとなっていくことが期待できる。

## ６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## ７．研究成果の発表状況

### （１）誌上発表

特に記載すべき事項はない

### （２）口頭発表（学会等）

1) 松崎慎一郎、照井慧、児玉晃治、多田雅充、吉田丈人、鷲谷いづみ：第57回日本生態学会（2010）
「フナ・コイの産卵場所・仔稚魚成育場所の空間分布：湖－川－水路の連続性と侵略的外来種の影響」

### （３）出願特許

特に記載すべき事項はない

### （４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

1) 三方湖自然再生研究プロジェクト中間成果報告会（2010年2月21日、福井県立三方青年の家多目的ホール、住民参加約100名）
2) 福井県自然保護関係機関事例発表会（2011年2月6日、原子力機構アクアトム、一般参加者約20名）
3) 福井県自然保護関係機関事例発表会（2012年2月25日、福井県総合グリーンセンター、一般参加者約30名）

### （５）マスコミ等への公表・報道等

1) 朝日新聞（2010年2月26日、「ヒシ繁茂　魚生息脅かす」）
2) 朝日新聞（2010年7月15日、「湖⇔田　魚スイスイ　水辺の生態系再生へ」）
3) 福井新聞（2012年3月5日、「田んぼに稚魚増成果」）

### （６）その他

特に記載すべき事項はない

## ８．引用文献

1) 加藤文男：福井県の陸水生物（みどりのデータバンク付属資料），125-202（1998）
「福井県の淡水魚類」
2) 油谷誠、松田隆喜：福井陸水生物会報，第13号，15-17（2006）
「三方五湖に注ぐ小河川に生息する淡水魚」
3) 加藤文男： 福井県の陸水生物（みどりのデータバンク付属資料），67-140（1985）
「福井県の淡水魚類」
4) 加藤文男：福井陸水生物会報，第10号，56-58（2003）
「福井県で採集されたハス」
5) 福井県海浜自然センター：福井県海浜自然センター事業報告，第7号，20-26（2007）
「水田魚道を利用した水域ネットワークの復元（三方五湖再生整備事業）」
6) 福井県海浜自然センター：福井県海浜自然センター事業報告（2008）
「水田魚道を利用した水域ネットワークの復元_第2報（三方五湖再生整備事業）」

## (3) 水系連結の改変とシンボル種魚類への影響の長期的変遷：社会科学的復元

東京大学東洋文化研究所　菅　豊
東京大学空間情報科学研究センター　柴崎亮介
福井県若狭町　辻靖明
＜研究協力者＞
静岡大学農学部　富田涼都
東京大学生産技術研究所　熊谷潤
筑波大学人文社会科学研究科　塚原伸治
アジア工科大学院地理情報センター　長井正彦
福井県海浜自然センター
福井県若狭町若狭三方縄文博物館
ハスプロジェクト推進協議会（NGO）

平成21～23年度累計予算額：6,183千円（うち、平成23年度予算額：1,740千円）
予算額は、間接経費を含む。

［**要旨**］本研究では、自然再生の起点となる湖の長期的変遷を人文社会科学的に復元するために、社会調査による湖の長期的変遷の調査と、それらの成果である写真や言語、絵画など様々な情報をwikiを使用して一つの形式で整理統合し、それらの情報を地図上に視覚化する情報プラットホームの開発を行った。具体的には、三方湖畔の魚類の再生産に大きく寄与していたと思われる低湿地帯や、より身近な「水辺」として重要だった流入小河川の景観復元と、そこでの生活様式の復元に資する情報を収集した。また、市民参加型の協働調査の手法を用い地元NGOの「ハスプロジェクト推進協議会」が2007年度から若狭町内の小学生を対象に実施していた「昔の水辺の絵画募集」とタイアップし、2009年～2011年の三か年にわたって募集を継続し、延べ474枚の絵画とアンケートの回答を得た。その成果を利用して過去の水辺の様子や場所の思い出、楽しみ、世界観などを知る可能性とその情報の活用方法について検討した。また得られた情報をプラットホームに一括登録し、エリアや対象物や年代などのタグで管理することで、情報の絞り込みと地図上への視覚化を通して、空間的に解析する上での基盤を構築し、ウェブ上で「みんなの三方五湖マップ」を公開した。これらの結果、三方湖流域の「水辺」の多様性と歴史的変遷が明らかになった。また、その成果を活用したワークショップでは、調査を補完するさまざまな情報が得られるほか、自然再生事業に向けた社会的なコミュニケーションツールとして有効であることが明らかにされ、方法論についても確立しつつある。さらに市民参加型の手法である絵画募集自体が、小学生と大人の世代間のコミュニケーションツールとしての役割を持っていることも判明した。

［**キーワード**］社会調査、地理情報システム、MediaWiki、協働参加型調査、みんなの三方五湖マップ

## １．はじめに

三方湖の自然再生のためには、今後、三方湖とともに生きてきた人びと―生活者―自身が、未来へ向けての「Lake Story（湖の物語）」を描き、新たな「Lake History（湖の歴史）」を紡いでいく必要がある。ここでいうLake Historyとは、湖に起こったイベントの客観的な時系列的配置を指し、Lake Storyとは、触れることが出来ない（intangible）・数えることが出来ない（uncountable）・置き換えることが出来ない（irreplaceable）という特徴をもつ湖を取り巻く思い・感情・世界観などの人と湖の関わりの総体を指す。そのためには、これまでの生活者と三方湖などの自然環境とのかかわりを明らかにし、その成果を共有するための新たなプラットホームが必要となる。また、過去の「思い・価値」だけでなく、未来にどのような価値を見出すかを共有するプロセス、あるいは人間関係の構築の契機としての協働参加型の手法を、ここで応用することが自然再生を進めるうえで大きな意義をもつ。

このような人文社会科学的復元によって、今後の望ましい三方湖の手がかりや起点を得ること―未来へ向けてのLake Storyを描き、新たなLake Historyを紡ぐこと―が出来る。

## ２．研究開発目的

本サブテーマでは、三方湖の「歴史」や地域の生活者による三方湖の「語り」を、協働参加型調査を含むさまざまな人文社会科学的手法を用いて調査し、この歴史と語りの両者から、湖と人とのかかわりや湖をめぐる人と人とのかかわりを明らかにする。また、調査結果を多様な主体間で共有するため、一つのデータベース上に異種情報をとりまとめる方法を開発する。さらに、その情報を地図上に可視化する方法なども開発し、三方湖における湖の歴史（Lake History）と湖の物語（Lake Story）が統一的に整理できる情報プラットホームを構築する。

## ３．研究開発方法

本研究は、社会調査によって湖と人のかかわりを明らかにすることと、その成果を共有するためのプラットホームの開発の2つに大別される。

### （１）人文社会科学的調査による湖と人の関わりの検討

湖と人の関わりの変遷を明らかにするために、実体的なデータ・史資料、統計、写真などの収集・分析を行う文献・資料調査、語りなどの主観的資料を収集するためのインタビュー調査、また、市民参加型協働調査（昔の絵画募集）を行った。

インタビュー調査は、サブテーマの調査対象が三方湖水系と広範囲にわたることから、2009年度は主に田井地区に限定し、2010年度は主に鳥浜・生倉地区に限定して行った。調査期間は、2009年6月2日～6月8日、7月19日～7月22日、9月17日～9月21日、10月3日～10月5日、10月23日～10月26日、2010年2月13日～2月16日、6月19日～6月20日、7月22日～7月25日、11月12日～11月14日、12月22日～12月24日、2011年1月21日～1月22日、3月5日～3月7日に行った。

昔の水辺の絵画募集に関しては、2009年度～2011年度の三年間においてその手法の開発を行いながら行った。絵画のほか場所や時代、そこでのエピソードなどを書き込むアンケート用紙を添付し（図(3)-1）、より多くの情報収集が行えるようにして、若狭町内の小学校を通じて募集を行

った。

図(3)-1　絵画募集チラシ（左）と応募用紙（右）

集まった絵やアンケート結果などは、電子情報化し、分析を行うほか情報プラットホームへの実装を行った。毎年5月～6月に募集に関する打ち合わせを行い、若狭町内の小学校の協力体制を構築する。7月に募集を開始し、9月に応募された絵画とアンケートを回収。それを10月ごろに縄文博物館にて絵画およびアンケート回答票についてデジタルスチルカメラおよびスキャナーを用いて電子情報化し、情報プラットホームに実装して2011年7月に「みんなの三方五湖マップ」として公開を行った（情報プラットホーム構築の項目を参照）。

図(3)-2　展示会の様子と展示会に用いたパネルの一枚

この分析結果や「みんなの三方五湖マップ」をもとにして、2010年12月23日に若狭町内の「梅の里保育園」、2011年1月22日に「パレア若狭」、3月5日に縄文博物館、4月8日に向笠地区、10月7日にみそみ小学校および三十三公民館、2012年3月10日には三十三公民館において、いずれも公開のワークショップおよび講演会を開催した。また、「みんなの三方五湖マップ」一般公開に合わせて、みそみ小学校の2年生および5年生において授業の題材として用いた。

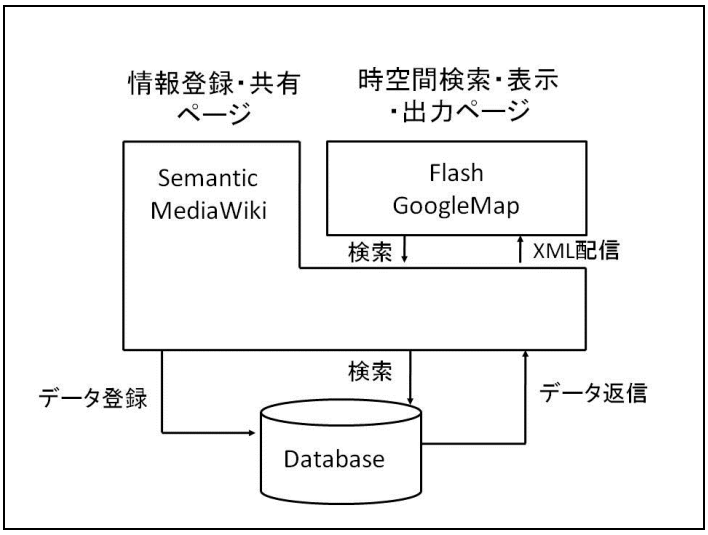
（２）情報プラットホーム

１）概要

本プロジェクトで得られた情報をプラットホームに収集管理し、地図上への視覚化を通して、空間的に解析する基盤として情報プラットホームを構築する必要がある。本プロジェクトにおいては、研究者だけでなく、地元住民との交流が重要な要素であることから、情報プラットホームの開発にあたり、GISの知識を有しない一般利用者でも操作が可能な仕組みを作成するには，可能な限り簡素で、直感的な利用が出来るシステム，利用者の視点に立ったシステムの設計が必要である（岩崎ほか 2009 [1)]）。そこで、世間一般的に広く使用され、利用者が比較的日常的に使用し使い慣れている既存技術を組み合わせて構築することが望ましいと考えられる。

情報の共有や管理する仕組みに関しては、ブログやXoops、Wiki、有料アプリケーションなど多く存在する。本研究では、Wikipediaなどで情報共有において広く一般的に使用されており、災害情報の共有化手法（池見ほか 2009 [2)]）などでも用いられていることやXMLやRDFを通じて外部からデータを利用することができる点などからWikiを利用する。

また登録された情報を時空間で表示・検索を可能にするために、地図を使用する必要がある。本研究では、一般的な地図を使用したサイトで広く利用されているGoogle Mapを利用することにする。情報プラットホームのシステム概要図を図(3)-3に示す。




図(3)-3　システム概要図

２）Wikiによる情報登録と管理

本研究で扱うデータは、絵画データ、科学的調査などデータ対象の種類が多岐にわたるため、これらのデータを同様の形式で統合して管理する必要がある。本研究で使用するSemantic MediaWikiは，MediaWikiのデータの中に特定の意味付けを持ったタグを埋め込むことができる。そこで、時空間やコンテンツの対象別に整理するための共通タグを用意した。特に地図上に表示するために必要な位置情報に関しては、タグとして、「緯度・経度」、「集落」を用意した。「集落」の場合は、集落の代表位置座標を使用することとした。今回用意した共通タグ、プラットホームへデータを一括登録するために策定したフォーマットとその入力例を図(3)-4に示す。

| # | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TAG | | Category | Page | Label | Settlement | Lat | Lng | StartTime | EndTime | CreateDate |
| # | 整理番号 | カテゴリー | タイトル | ラベル | 集落 | 緯度 | 経度 | 開始年 | 終了年 | 作成日 |
| | 501 | 水辺の絵画 | 水辺の絵画501 | 水辺の風景 | 倉見 | 35.46939953 | 135.8358192 | 1940 | 1949 | 2011/10/10 |
| | 101 | 科学的調査 | 科学的調査101 | 農業の目、漁業の目、市民の目、科学の目で水辺を調査する 第1回 | 三方湖 | 35.5889 | 135.8919833 | 2009 | 2009 | 2009/7/21 |
| | 1 | インタビュー | インタビュー1 | 戦後すぐの農業 | 成出 | | | 1940 | 1949 | |

| CreateDate | Body | Description | Subject | Subject | Subject | Subject | Subject | Subject | File | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 作成日 | 本文 | 噴出し概要 | 表示アイコンタグ | 地形 | 対象 | 行為 | 自由タグ1 | 自由タグ2 | 画像ファイル名 | 備考 |
| 2011/10/10 | おかあさんのふるさとの川にについて、「むかしとかわらないきれいな川だね」といっていました。川でおよいだことや魚をつかまえたお話をしてくれました。 | 川でおよいだ | フナ | 川 | 魚 | 魚とり | | | 501_a.jpg | |
| 2009/7/21 | 協働参加型調査 | ブルーギル | | ブラックバス | ヌクミ | 柴漬け | | | | |
| | 農林学校出たというのは、何も勉強もできへん。しょせん戦後のどさくさまぎれでな、勉強どころじゃない、もう食糧増産でもうどうかしとったんで、大変でした。毎日、イモ作りやら、勉強もせんと。 | | | 畑 | イモ | 農業 | 農林学校 | 戦後 | | |

図(3)-4　策定したデータ項目と各データサンプル

３）　Google Mapによる情報の可視化・検索・出力

a　地図による可視化

Wikiに登録した情報を包括的に表示・検索・出力するためのユーザインタフェースの開発を行う。具体的には、このユーザインタフェースを通じて、利用者からのリクエストをWikiの APIを使用して問い合わせ、配信されるXMLを読み込み地図上に可視化を行う。

背景画像としてGoogle Map APIを使用し、三方湖周辺の地図や衛星画像、地形を表示する。記事に付加した位置情報タグをもとに、地図上にマッピングを行う。その際、対象オブジェクトに関しては、対象タグについてあらかじめ作成したアイコンを地図上に配置し、アイコンから詳細記事についてのページへとリンクする。既存のWeb GISなどでは、集積されるデータ量が多くなるに従い、地図上での表示において同じ場所に重畳してしまい選択できないという問題が挙げられるため、この点を考慮した視覚化手法を作成する。

b　検索

蓄積された情報から必要な情報を得られるようにするために、データ管理のために策定したタグを使用し、カテゴリ、集落、対象物、年代別に表示したい情報を時空間やコンテンツによって条件検索を可能にする仕組みを作成する。またタグによる検索に加え、Wikiに登録された内容の全文テキスト検索ができる仕組みを作成する。

c　出力

プラットホーム上に蓄積されたデータについて、研究者による二次データ利活用や地域住民をはじめインターネットを使用しない世代に集約された情報をいかに提供するかといった課題が挙げられた。そこで、研究者および地域住民らをはじめデータを必要とする人が二次利用できるように、検索結果をデータ出力する仕組みを作成する。

## ４．結果及び考察

（１）人文社会科学的調査による湖と人の関わりの検討

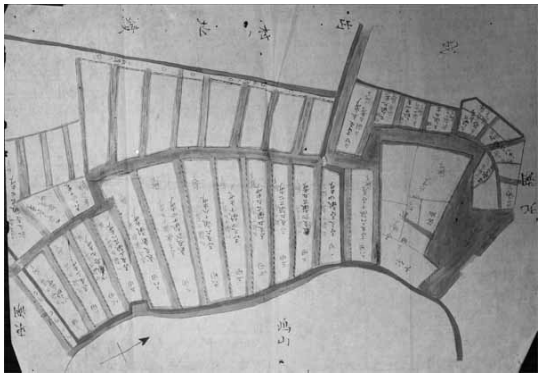
１）資料調査およびインタビュー調査

結果の概要として、文献・資料調査によって三方湖に関する文献・資料を収集したほか、約200点の若狭町所蔵写真、古文書（デジタルスチルカメラによる複写）、統計類、旧版地形図、三方湖に漁業権を持つ鳥浜漁業協同組合関係資料の収集などを行った。インタビュー調査については、田井地区を中心にインフォーマント19名、鳥浜・生倉地区を中心にインフォーマント17名、総インタビュー時間は述べ約66時間となった。こうして得られた資料そのものは、不定形かつ膨大なため、特に湖と人の関わりについてのインタビュー結果の一部を抜粋して紹介する（原文ママ）。

■ 島ノ内地区のドブ田の魚捕り

> *「…ドブ田は、櫛みたいになってるんです。ドブ川の方はやっぱり舟が通るんで、整備をする。鋤簾持っていって、みんな上げとりました。泥を上げる。そうすると、流れた泥も還元されますし。あれやると、稲がようできましたね。ほとんど無肥料でも作れるぐらいでした。田植え後とか、6月とかその頃、雨降りますと、植えた田んぼにみんな水がどぼっとつきますから、そうすると産卵のためのフナがたくさん上がってきて、雨が降ると、みんなタモ持って、フナ捕りが仕事でした。それはおもしろかったですわ。そんなもの、10キロや20キロも見とる間に捕れましたね。…」*（世久津、1925年生まれ、男性）

なお、資料調査によって、島ノ内地区は、少なくとも文化年間には低湿地の水田（学術的にはカキアゲタと呼ばれる）が開発され（図(3)-5）、昭和40年ごろまでは基本的に近世と同様の景観を有していたことが明らかになった。そして、その空間が稲作だけではなく、小規模漁業の展開地として重要であったこと、さらにその水田としての不完全性は、むしろビオトープとしての性格を保持し、コイやフナなどの三方湖魚類の再生産に寄与していたことが確認された。また、単に経済的価値や生物学的価値を有するばかりではなく、楽しみや思い出といった精神的価値を生み出す空間としても重要な意味をもっていたことが確認された。



図(3)-5　島ノ内地区の水田の図面
（武長家文書・1876年）

図(3)-6　島ノ内地区の洪水
（若狭町提供・1982年）

■成出集落の葦地（アシチ）

*「…成出の葦地、こんな感じで刈り取っていた。向こうに見えるのは田井島やな。今でもこれは残っとります。うちの畑の下に。別所川の右っ側。これは昔成出は観音堂というのがありました。今でも遺ってますけど、公会堂代わりになってますけど。観音堂の観音さんの葦場やったんです。成出です。成出の区の所有というふうになってると思うんです。観音堂の葦場いうふうに聞いとります。それを刈って来ては観音さんの屋根引きするときに、それを充当したということを聞いていますね。今は建て替えて、今は公会堂になってますけど、観音さんは祀っております。こういう葦地を区で持ってるというのは成出だけですね。…」*（世久津、1925年生まれ、男性）

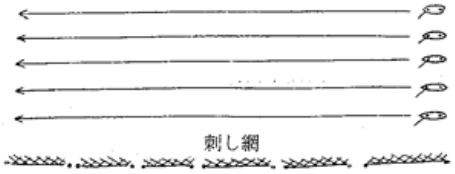
図(3)-7　成出の葦地の様子
（1975年・若狭町提供）

図(3)-8　現在の葦地の様子
（2009年・現地調査）

■鳥浜における漁撈（たたき網）

*「…みんなはなん月なん日からカチ網やでえて、て。この水面をたたくようになったのは、割と新しいです。私らの子供時分からでしょうな。昔はね、船のここ、コンコンコンコンたたいとったんや。それも、船が響くでしょ。それはかわいそう、魚には堪えるでえ。ま、こんだけの、水シバウケあげるねえ、10メーターのとこでねえ、ご主人、あんた、つるーんとおって、なんにもいわんと鼓膜破られるぐらいの音。竹は中まで、空気やろ。ペーンちゅうもん。そりゃ魚もかわいそう。コンコンコンコン。あれもね、水の中潜っとるとよ*

*うわかる。ビュー、コンコンちゅ。*
*一番多い時は、四十五杯。これが。四十五杯ちゅとね、うちの一番のそこの入り口から、一番その端まで、しまいしまいやわ。そうでしょ、あれ、長い竿でやったら、ここ届くぐらい。相当な面積でね、ほんと今度は、いい時はいいけども、ずらーっと並ぶ、いくわね、一番ええのは真ん中ええと、こうになうでしょ。けんど、魚あんた、あんたんとこおるやら、ここにおるやらわからへんがな。で、みな、今日はかかりますように、拝み倒しやったわ。しらぬこた、ほって、うちだけ、とれて、な、ほして向こういけ、やないけども、それが人情です。だから、平等な生き方をしてる。（中略）そら、生き物とる仕事はね、腹黒なるね。魚が命とられるやろ。ほんで、櫓でも、ごとんごとん、櫓は絶対つかうなよ、ちゅうこと。網置く時だけですよ。音はさせない。そんだけ、魚もかわいそうに、命とられるんやで。魚の供養は絶対欠かしちゃならん。神さんに供えるのと、お寺の供養や。神仏に感謝せなんだら。というのはね、魚ほしいばかりやねん。事故のないように動かんと。」*
（鳥浜地区・男性・1926年生）



図(3)-9　たたき網漁の模式図（高橋 1995 [3)]）と現在のたたき網漁の様子

■鳥浜から見た他集落の魚とり

*「ほんでほら漁業権ちゅうのは、規約で行くと、三方湖に流れる全部の川の流域は鳥浜の漁業権やった。どの川でも。鰣川であろうと別所川であろうと。鳥浜に流入する川のすべてが漁業権はあったに、昔は。今はどないなっとん知らんけど。でもほかの魚とりも認めとったんやな。黙認やな。公然と認めなしに。あの人らも日常の生活のおかずぐらいは獲ってもええわいっちゅうような。魚もよけいおったでな。（中略）伊良積の人は、年寄りの人は日暮れになると、米ぬかを土と練ってな、だんごをこしらえて、ポッと何箇所かほっとくやけ。帰りしなに、印して、そこで投網して。ほんで持って帰って晩のおかずにするとか、そんなのしょっちゅうあったで。そやけどようけようけおったもんで、そんだけ細かいこと言わなんだよな。（中略）漁業権については。あれ24年に制度改革っちゅうのがあって。ほんで海は、昔はみんなのものやったんや。それが24年に制度改革で働く者だけの権利になったんや。昔は鳥浜でも、実行組合っちゅうのがあって、みんなが組合員やったんやけど。それが24年に漁業穂料金で、手切れ金やな。手切れ金で、制度改革で働く者だけの海、働く者に海の権利をやるっちゅう制度改革があったんやな。あれ24年やわ。90日以上、正組合員はな。鳥浜では、昔はみんなが組合員やったんけんど、働く人は正組*

*合員で、区民のものの人は準組合員や。手切れ金は360万ほどな。ほいでその当時、あの時分は利息がよかったもんで、学校のな、建築の負担金に、その中から出そうかちゅうて出したりしてな。区名でもろうたんやけど。」*（鳥浜地区・男性・1932年生）

■鳥浜のカナタ（水場）について

*「今、道になってますけど、その、山水を、ここ流れてきてバケツでくんでやね。なんか、ね、飲みもんやとか、おかず炊いたり、ご飯炊いたりしてやわね。こんなツボありまして、そこへいっぺえ溜めて、入れて、一日に朝、一回あそこまでくみいってやね。したわね。井戸じゃない。前川から降りてくる。今でも、降りとるけどね。裏に降りてますけど、もうほんなもう、水はきれいなんにゃろけどね。川の、川自体が、くさぁてね。（昔は）もう、風呂のくんだり、洗濯もしたり、米洗いもしたし、そこまでいってやね。今ではもう残ってませんな。道になって。そういうところはカナタちて、カナタへくみいくちて、その、洗い場のところをカナタ、カナタちゅて、昔は。このぐれえな、降りる階段なって、そこでなえからあろうたり、水くんだりしたとこをカナタ、カナタちゅ、呼んでたね。どういう字かちょっとわからん。どういう意味かわからんけど、よう、カナタで水くんでくるわーて、おばあちゃん、よういうて…うん。カナタまでいくとさけな、ちゅてや、よういうてなった。みんな、もう全部の人がつこうとった。どんどん水が流れとったからね。もう、ここら、水道のない時分やわね。もう、ここらの人はほとんど、ま、いっとったと思うわね。そうやな、もう、57、8年経つね。と思う。ここらはちょっとないけど、もうちょっと、坂から下は、たくさんありましたな。もうずーっと一緒の、その水がつかえなんだと思いますわ。こっちの今の、あの川はもういろいろ混じった水やったもんで、どっか、向こうから流れてくるのと、この水と、この水が一番きれいやったんやわね。」*（鳥浜地区・女性・1929年生）

以上のように、田井地区および鳥浜・生倉地区を中心として、三方湖沿岸域の聞き取りを行ってきたが、これらの聞き取り結果からわかることは、多様な水辺とのかかわりの存在である。

この「かかわり」のパターンは集落ごと・個人ごとに、相当の多様性が認められる。特に、法的な権利としては明示的ではなかったり、文字資料などに残りにくかったりするような田んぼにおける「魚とり」や、集落の葦地（コモンズ）などが豊かに存在していた。こうした多様な関わりは、湖に対する多様な価値観を生み、「価値の多様性」とでもいうような状況を作り上げていることが明らかになった。こうした多様なかかわりは、集落間や同じ集落内においても地理的・政治的・経済的・文化的条件によって生み出されていることが示唆される。

すなわち、「多様な水辺とのかかわり」は、三方湖沿岸域だけを見ても、平板に、あるいは均質に存在しているのではなく、むしろ異質で不均質なものが重層的に存在しているのである。例えば、同じ水辺とのかかわりを見ても、集落によって漁業権の有無（漁業権は鳥浜地区が占有しており、田井地区などは持っていない）や湖に直接面しているかどうかで差があり、三方湖に対する認識は一様ではない。

さらに、漁業権を持つ鳥浜でも、船を持ち湖で漁撈活動を行う「正組合員」とそうでない住民が存在し三方湖という湖へのかかわりには大きな差が存在する。他の集落でも、魚とりの頻度は

人によって異なり、そもそも「あまり川魚は食べない」（生倉地区・男性・1928年生まれ）というひともいた。また、かかわりの濃淡とその結果は、時代によっても変化する。他の漁業権のない集落もかつてはおかず取り程度であれば、漁撈活動はある程度黙認されていたが、現在では「おかずとり」自体がなくなったこともあり、また、釣り客からの入漁料徴収が厳しくなったことなどもあり、かつてのようには「魚とり」が黙認できなくなっていることをうかがえる

さらに、かかわりの場である「水辺」と言っても、湖に直接面した集落では湖本体の話が多く聞かれたが、それ以外の集落では「水辺」とのかかわりが最も濃いのは流入河川、田んぼとその水路であった。そのため、自然再生事業においては、大きく目立ちやすい「湖」本体の水界のみならず、「かかわり」の濃厚な周辺の水界領域をも視野に収めなければならない。よりありふれた小川や田んぼのほうがむしろ自然再生における「ホットスポット」であり、そこに生息・生育する生物の評価もかかわりの濃淡などを含めておこなうというのも選択肢としてあり得るべきであろう。

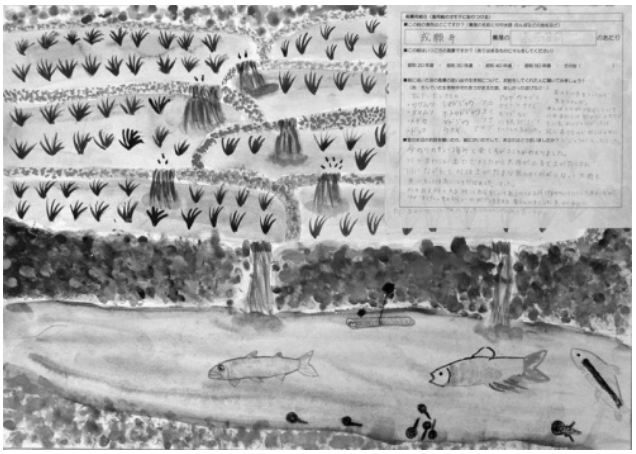
２）昔の水辺の絵画募集による協働参加型調査

2009年度から2011年度までの3年間の応募枚数は2009年度が152枚、2010年度が142枚、2011年度が180枚、延べ合計474枚となった。中には非常に過去の様子を詳細に伝える絵画などもあり、以下に数点を具体的に紹介する（原文ママ）。

■成願寺集落の小羽日川（おばにちがわ）のあたり（昭和40年ごろ）

内容：すんでいいたいきもの：カワムツ、ヌマムツ、メダカ、ドンコ、シマドジョウ、ホトケドジョウ、マドジョウ、ウナギ、アユ、コイ、フナ、アマゴ、アカザ、タモロコ、モツゴ、ウキゴリ、ナマズなど、川を見るだけでもたくさんの魚がいた。石の下に手を突っ込んで魚をつかんだ、田んぼと川がつながっていて川のまわりはぜんぶ土でできている。田んぼと川がほぼ同じ高さなので田んぼの中はドジョウが入ったりしていた。

感想：今の川の形、場所と全くちがうことがわかりました。川の廻りが土でできてたから大雨がふると土がたくさん川にながれて川は土がたまり魚のかくれがになって大雨も魚にとっては良いことだなぁと思いました。水の出るところと入る所にわらをしいてあるのは土がけずれないようにしてあるのがわかりました。そのわらで水が少したまると産卵にきていた魚がわらにたまごをうみつけるというしくみになっていたのではないかと思いました。



図(3)-10　絵画その１

■生倉集落の下の田んぼのあたり（昭和30年ごろ）

内容：オイカワやエビをすくいに行ったりした。6月になると、フナやコイが産らんのために上がってくるのをつかまえに行った。ヒシを採りに、湖岸からロープに木の枝をくくりつけて投げてはたぐり寄せてヒシを採った。

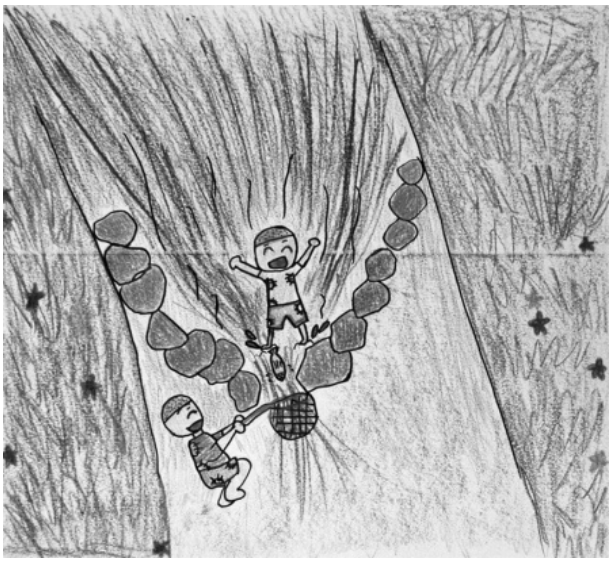
感想：昔は、川がコンクリートで囲まれていなかったそうなので、きっと魚も今よりたくさんいたんだと思います。昔の川や田んぼは、どんな魚がいたりしたのか、見てみたいです。

図(3)-11　絵画その２

■梅ヶ原集落の大橋のあたり（昭和10年～20年ごろ）

内容：えびやふなやもろこやあゆがいた。よくした遊びは魚つりや魚とりだ。とくにあゆすくいは、とてもおもしろかった。石をならべて川の流れを１ヵ所に集中させて、出口にたもをうけてあゆをすくった。二人一組で一人はたもをあげる役。もう一人はあゆをおいまわす役。おばあちゃんが、そのあゆを塩やきにしてくれたのが思い出だ。

感想：自分で取った魚を食べれるなんて、いいなぁと思いました。このお話を聞いて、むかしの人はあたまがいいと思いました。あゆがいるようなきれいな川にもどってほしいです！！



図(3)-12　絵画その３

個別の絵のエピソードには、個人に固有な「かかわり」のストーリーが書かれており、「あゆをとっておばあちゃんが焼いてくれた」というような「教科書的」ではない豊かな個別の体験からのエピソードの断片となっている。また、場所についても今回はアンケート要旨などの制約上、地図への直接書き込みなどは実現しなかったものの、細かい地名などの記載が行われたため、追跡調査をすることでかなり詳しく分かる可能性や、現時点でも地図を使わなくても地点が特定しやすいものがある（「上口橋」など）。また、「かかわり」が集中していた場所の特定など GIS による情報の集積効果も期待できる。

そして、これらの絵は子どもたちには「知らない世界」の絵であり、端々に「不正確」な表現も存在している。それは、語り手の大人と子どもとの「世代間ギャップ」とも表現できる。客観的資料としての絵画は、写真などに比べて正確さに欠けるきらいがあるものの、それがあらわになることは、子どもにも大人にも「発見」になることを意味する。その上で、「ギャップ」を今後どうすべきか？という追加企画を行うことで、それが未来の三方五湖の目標やアイデアを多くの人と作り上げていく一歩になる可能性を持っている。

こうして集積した絵画の内容を分析すると以下のことが考察される。まず、描かれた場所として最も多いのがはす川、北川、別所川やその支流などの「川」の絵であり、これはほかの年度とも変化しなかった。このことから、流域全体として見たときにこの地域では「川」がもっとも身近な水辺であり、人々にとって身近で、多様な生態系サービスの享受の場となっていた場所、自然再生においてフォーカスすべき場所は、こうした川などの水辺であることは十分に考えられる。

また、絵において最も多く登場した生き物は「フナ」だが、描かれる生物にも地域性があり、川では淡水の魚をとった話が多く、田んぼでは淡水魚が多いものの、ホタルやゲンゴロウ、ヤゴなどの昆虫の名前が多く出てくるのが特徴的である。また、湖の絵では「川」や「田んぼ」と違い、テナガエビの話が多く出てくるのが特徴である。

また、時代的な変遷についても昭和50年代までは魚とりの話は見られるものの、川で泳いだという話はほとんどが昭和30年ごろまでの話で、それ以降はみられていない。一連の取り組みによ

って三方湖流域の「水辺」の多様性と変遷が面的に明らかになった。さらに、これらの内容の分析から、ズカニなど「カニ」が若狭町全体でまんべんなく描かれていることが判明したため、のちに紹介する地域へのフィードバック用の冊子においても「カニ」を中心とした構成とすることとした。

また、ワークショップに関しては、例えば2011年4月に向笠地区で行われたワークショップでは、4年間に向笠区の子ども達が描いてくれた20枚の昔の水辺の風景画を見ながら、実際に描いてくれた子どもが何人も参加してくれていたので、一人一人に誰にどのように話を聞いたのか、場所はどこか、また感想など、詳しく聞かせてもらったほか、お話をしてくださった大人の方も来ていたためより詳しく当時の水辺の様子を伺うことができた。

一方、2011年10月のみそみ小学校と三十三公民館のワークショップでは、みそみ小学校の2年生については、6人の祖父母世代の方に水辺の様子を話していただき、班ごとに分かれて絵を制作した。5年生に関しては三十三公民館の館長さんがお話をされ、同様に絵画の制作を行った。絵の制作においては、1グループ2～4人で、お手本の絵を描いてもらったり、直接手を入れてもらったり、かなりきめ細やかな指導があった。子どもたちは「杭」などの細かな事物を知らないため、絵にする作業は非常に時間がかかり、午前中をすべて使ったものの絵画の完成にはいたらなかった。この絵は後日完成させて、「みんなの三方五湖マップ」においても公開されている。また、話していただいた6人の祖父母世代からも、話しているうちに昔を思い出した、また、当時の模様を再現してみたい、などの趣旨の感想があった。

図(3)-13　みそみ小学校でのワークショップの模様

続く2012年3月には、10月のワークショップで書かれた絵画も「みんなの三方五湖マップ」に掲載し、それをコミュニケーションツールとして活用しながら参加者の大人から水辺に関する話を聞いたりした。大人も子どもの反応が良いのを確認し、過去のことについて積極的に語ってくれるようになったほか、来年度以降の公民館行事として水辺に関するワークショップを行いたいという申し出があった。

以上のような成果から、この昔の水辺の絵画募集自体が、小学生が相当詳しい情報を祖父母あるいは父母世代の大人から「聞き取り」をしないといけないために、コミュニケーションツールとしての役割を持っていることも判明した。一連のこうしたワークショップの開催によって未来へ向けてのLake Storyを描いていく一歩となることが明らかになったと言えるだろう。参加者か

らも、今度は、絵画の書かれた場所において現在どのような環境になっているのかなどを確認したいという声もあり、流域の自然環境保全に関する関心を高め、そこから流域管理の青写真を描くことができる可能性があることがわかった。また、そのための「みんなの三方五湖マップ」や「絵画」などのコミュニケーションツールが有効であり、そのための技術的な方法論も外形的にはほぼ確立したと言える。

一方、3年間の締めくくりとして、これらの知見やワークショップのフィードバックとして若狭町内の全小中学生に対して配布を行う「昔の水辺の絵画ニュース」を制作した。「みんなの三方五湖マップ」と併せて、この冊子も今後の湖の新たなLake Historyを紡いでいくためのコミュニケーションツールとなることが期待できる。

図(3)-14　「昔の水辺絵画ニュース」（一部抜粋）

以上のような人文社会科学的調査による湖と人の関わりの検討結果から、我々がこのプロジェクトにおいてこれまで「水辺」として考えるもの、自然再生事業のターゲットとして想定すべき「水辺」は地理的にも社会的にもきわめて多様であることが解る。地理的に言えば、自然再生に関しての「水辺」は「湖」本体の姿だけではなくその流域をも広く取り込む必要があることがわかる。少なくとも、これまで流域の多くの人にとっての水辺や自然環境とのかかわりの記憶は小さな「Lake」だけの Storyではないのである。また、水辺をめぐる個別の記憶、集合的な記憶、そしてその経済的・文化的・政治的な意義は、集落間でも、また個人間でも「多様」であることも判明しているため、自然再生事業で描かれる「青写真」の姿、またその意味も「多様」なものでなければならないということが示されたと言えるだろう。

（２）情報プラットホーム

１）みんなの三方五湖マップ

開発した情報プラットホームについて，以下のタイトルとURLで2011年7月20日からインターネットサイトとして、一般公開した。

- サイト名：みんなの三方五湖マップ
- URL：http://mikatagoko.jp/

a　公開データ

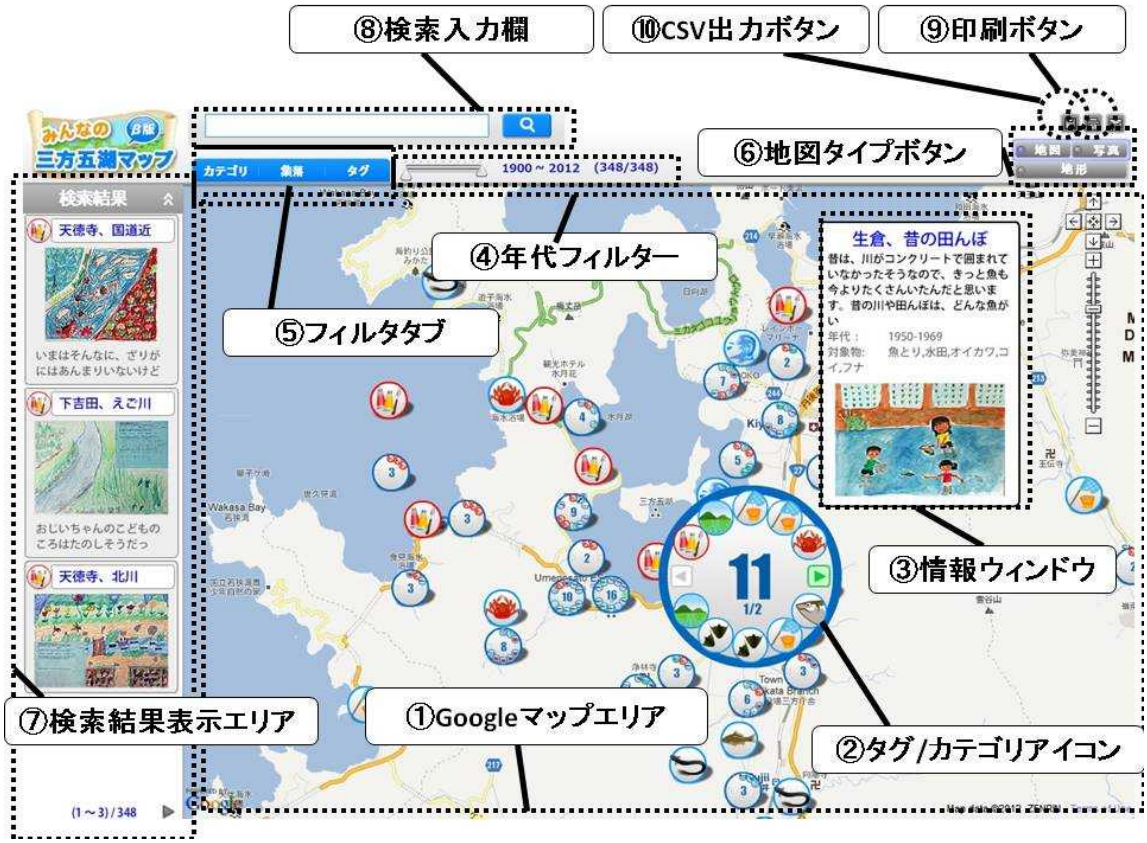
2012年4月1日現在、「みんなの三方五湖マップ」上で公開されているデータは、以下の348件のデータが登録され、サイト上で確認することが可能である。

- 2009 年度「昔の水辺の絵画」：152 件
- 2010 年度「昔の水辺の絵画」：142 件
- GCOE 自然再生事業モニタリング実習データ：17 件
- みそみ小学校総合学習データ：37 件

今後、三方湖総合研究プロジェクトで得られた研究成果を掲載していく予定である。

b　表示

「みんなの三方五湖マップ」について、地図ページを図(3)-15 に示す。




図(3)-15　みんなの三方五湖マップ

プラットホームで管理するデータが増えれば増えるほど、地図上での表示において同じ場所に存在するデータが重なり一番上のデータ1つのみ表示されて他のデータがわかりにくいという課題が存在した。

そこで、同じ場所に存在するデータ群を地図上でわかりやすく表示するユーザインタフェースの開発を行った。

具体的には、以下のようなユーザインタフェースを開発した。

1.　地図上で同じ位置やアイコンに重なる範囲に存在するデータを取得する。

2. 取得したデータを集約し、円環状に 10 件ずつ配置する。中心に円環に集約したデータ数を表示する。
3. 利用者がアイコンにマウスオーバーすることで、円環が拡大表示される。
4. 円環に含まれるアイコンについては、通常のアイコンの動作と同様に、マウスオーバーすることにより、情報ウィンドウが開き、サムネイル画像や記事の概要などの情報が確認できる。
5. 集約されるアイコンが 10 件以上の場合は、右矢印をクリックすることにより、次の 10 件が表示される。

図(3)-16　重畳データのユーザインタフェース

次に、地図ページでアイコンをクリックした場合に遷移する記事情報ページについては、以下の情報が表示される。

・タイトル：記事のタイトル
・画像：記事についての画像ファイル
・概要：記事についての概要・地図ページにおいてもサムネイル画像ともに表示される。
・詳細：記事についての詳細な内容
・地図：該当の記事の位置
・タグ：対象物やエリア、年代などのタグ

科学的調査データ記事の表示例を図(3)-17に、絵画データ記事の表示例を図(3)-18に示す。

図(3)-17 調査データ記事の表示画面

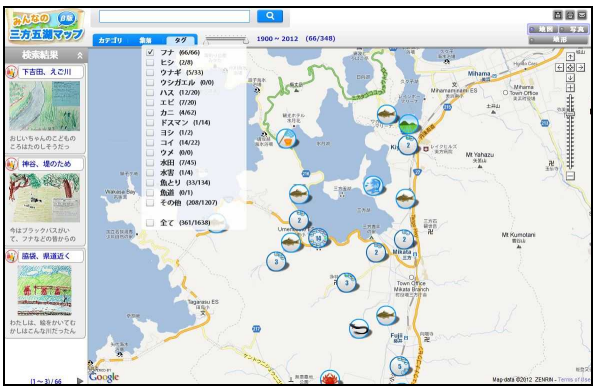
図(3)-18 絵画データ記事の表示画面

c 検索

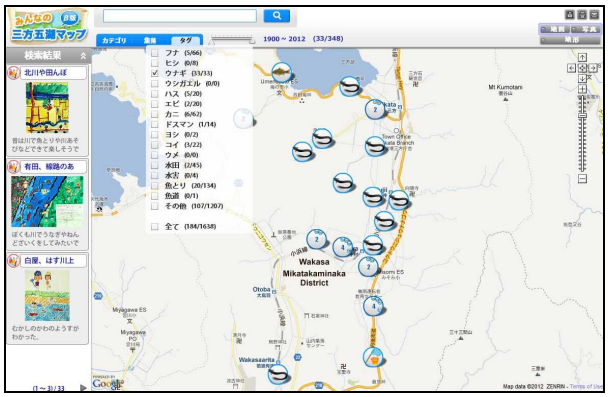
地図上の画面より、④年代フィルタ、⑤フィルタタブ、⑧検索入力欄を操作することによって、以下の項目による複数の条件検索が可能である。

・絵画データや科学的調査データなどの「カテゴリ」
・集落
・フナ、カニ、魚獲りなどの「タグ」
・対象の「年代」
・記事内容の「テキスト」

ここでは例として、フナとウナギに関する絵画データの分布図を図(3)-19、20に示す。




図(3)-19 フナに関する絵画データ分布図



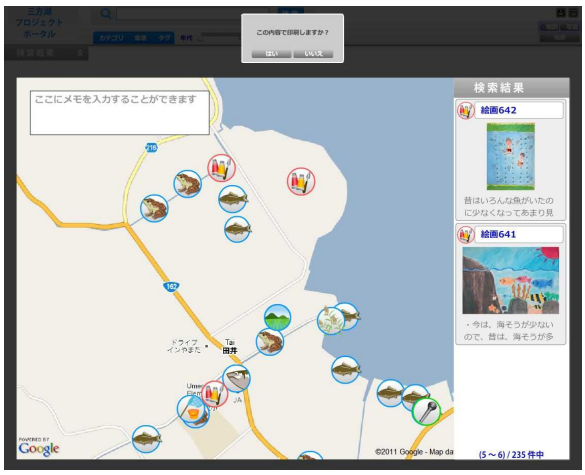

図(3)-20 ウナギに関する絵画データ分布図

d　出力

「みんなの三方五湖マップ」に集積されたデータを二次利用できるように，検索結果をCSVデータとして出力する機能を追加した（図(3)-21）。これにより、集約されたデータの中から必要なデータを検索しCSVデータで取り出し、その他の専用アプリケーションなどで詳細な分析することが可能になった。またネットを使用しない地域住民への説明資料や教育の現場で使用しやすいようにするために、検索した結果表示画面をそのまま印刷出力できる機能を作成した（図(3)-22）。

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 調査001 | 科学的調査 | 鳥浜 | ヤリタナゴ,ベッタン,絶滅危惧種 | 2009 | 2009 | 35.55294 | 135.9062 | 広域魚類調査 | |
| 2 | 船小屋 | インタビュー | | ハス | | | 35.57219 | 135.87 | 地元の吉田/tokyo01/ | |
| 3 | 絵画644 | 水辺の絵画 | 小川 | 川,ウナギ,ウナギつり,アユ,エビ,モクズ | 1970 | 1979 | 35.60644 | 135.8453 | 今も、こんな/tokyo01/ | |
| 4 | 絵画643 | 水辺の絵画 | 田井野 | 神社,カブト ムシ,ムシとり,クワガタ | 1970 | 1979 | 35.55637 | 135.8737 | カブト虫など/tokyo01/ | |
| 5 | 絵画642 | 水辺の絵画 | 別所 | 水田,フナ,魚とり,産卵 | 1960 | 1969 | 35.5619 | 135.8711 | 昔はいろんな/tokyo01/ | |
| 6 | 絵画641 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 海,海藻,魚 | 1970 | 1979 | 35.57782 | 135.8382 | ・今は、海そ/tokyo01/ | |
| 7 | 絵画640 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 海,鳥辺島 | 1950 | 1959 | 35.57102 | 135.8492 | ぼくとにてい/tokyo01/ | |
| 8 | 絵画639 | 水辺の絵画 | 別庄 | 川,魚,魚つり | 1960 | 1969 | 35.55992 | 135.8691 | 昔も今もモ/tokyo01/ | |
| 9 | 絵画638 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 海,タコ,タコとり,カサゴ | 1970 | 1979 | 35.57095 | 135.8493 | 昔は 今とち/tokyo01/ | |
| 10 | 絵画637 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 川 | 1940 | 1949 | 35.57124 | 135.8501 | 昔はこんな/tokyo01/ | |
| 11 | 絵画636 | 水辺の絵画 | 田井野と別庄 | 川,アユ,魚とり,オイカワ,ハヤ,虫 | 1970 | 1979 | 35.55951 | 135.8684 | /tokyo01/ | |
| 12 | 絵画635 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 海,魚,漁 | 1960 | 1969 | 35.58878 | 135.8359 | いまとちが/tokyo01/ | |
| 13 | 絵画634 | 水辺の絵画 | 別所・梅ヶ原 | 川,ウナギ,ウナギつり,ホンドジョウ,シベ | 1940 | 1949 | 35.55318 | 135.8619 | ウナギをつ/tokyo01/ | |
| 14 | 絵画633 | 水辺の絵画 | 田井野 | 湖,ヨシ | 1940 | 1949 | 35.55677 | 135.8702 | どうこうして/tokyo01/ | |
| 15 | 絵画632 | 水辺の絵画 | 田井野 | 川,魚,魚つり | 1970 | 1979 | 35.5562 | 135.8736 | ぼくは、川/tokyo01/ | |
| 16 | 絵画631 | 水辺の絵画 | 海山(海山・北 | 湖,手長エビ,エビとり,クロダイ,イシガレ | 1930 | 1939 | 35.57901 | 135.8731 | ぼくもおじ/tokyo01/ | |
| 17 | 絵画630 | 水辺の絵画 | 伊良積 | 湖,エビ,エビすず,魚とり,セミ,カブトムシ | 1940 | 1949 | 35.57234 | 135.8697 | /tokyo01/ | |
| 18 | 絵画629 | 水辺の絵画 | 三方湖 | 水路はす,小魚 | 1930 | 1939 | 35.56575 | 135.8693 | はすもあっ/tokyo01/ | |
| 19 | 絵画628 | 水辺の絵画 | 伊良積 | 湖,魚つり | 1940 | 1949 | 35.57004 | 135.8683 | /tokyo01/ | |
| 20 | 絵画627 | 水辺の絵画 | 別庄 | 川,フナ,魚とり,ハス,ドジョウ,モロコ | 1970 | 1979 | 35.55873 | 135.867 | 昔はコンクリ/tokyo01/ | |
| 21 | 絵画626 | 水辺の絵画 | 倉見 | 川,ドスマン,水泳,カニ | 1950 | 1959 | 35.49219 | 135.9042 | 昔は、石も/tokyo01/ | |
| 22 | 絵画625 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 海,鳥辺島 | | | 35.57807 | 135.8363 | まつりがあ/tokyo01/ | |
| 23 | 絵画624 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 海,魚,魚つり,サザエ,鳥辺島 | 1940 | 1949 | 35.57807 | 135.8363 | 昔の、船エ/tokyo01/ | |
| 24 | 絵画623 | 水辺の絵画 | 伊良積 | 湖 | 1950 | 1959 | 35.56945 | 135.8679 | すごいきた/tokyo01/ | |
| 25 | 絵画622 | 水辺の絵画 | 別庄 | 川,ハス,魚とり,タナゴ,ドジョウ,フナ,別庄 | 1960 | 1969 | 35.5603 | 135.8698 | いまの川はく/tokyo01/ | |
| 26 | 絵画621 | 水辺の絵画 | 伊良積 | 湖,魚,魚とり,水泳,三方湖 | 1950 | 1959 | 35.57219 | 135.8698 | 昔は、水が/tokyo01/ | |
| 27 | 絵画620 | 水辺の絵画 | その他 | 湖,フナ,魚つり,三方湖,水路,クリーク, | 1940 | 1949 | 35.56418 | 135.8698 | ひしとりかご/tokyo01/ | |
| 28 | 絵画619 | 水辺の絵画 | 世久見(世久見 | 池,ザリガニ,カメ,フナ | 1970 | 1979 | 35.56414 | 135.8414 | むかしはニ/tokyo01/ | |
| 29 | 絵画618 | 水辺の絵画 | 気山(気山・中 | 村,集落 | 1970 | 1979 | 35.588 | 135.8642 | すごいなあ/tokyo01/ | |
| 30 | 絵画617 | 水辺の絵画 | 海山(海山・北 | 湖,フナ,魚とり,コイ,エビ,ハゼ,ドジョウ,ヨ | 1940 | 1949 | 35.57224 | 135.8698 | ぼくは、ふ/tokyo01/ | |
| 31 | 絵画616 | 水辺の絵画 | 海山(海山・北 | 湖,ハゼ,水泳,魚とり,カニ,水月湖 | 1950 | 1959 | 35.58788 | 135.8647 | おばあちゃ/tokyo01/ | |
| 32 | 絵画615 | 水辺の絵画 | 塩坂越 | 海,カニ,カニとり,親,テトラポット | 1970 | 1979 | 35.58959 | 135.8574 | とうちゃんに/tokyo01/ | |
| 33 | 絵画614 | 水辺の絵画 | 世久津 | 川,フナ,魚とり,ウナギ,モロコ,エビ,コイ, | 1940 | 1949 | 35.56494 | 135.8697 | ぼくもふな/tokyo01/ | |
| 34 | 絵画613 | 水辺の絵画 | 稲田 | 川,ドジョウ,魚とり,カニ,フナ | 1950 | 1959 | 35.52618 | 135.9098 | むかしはき/tokyo01/ | |
| 35 | 絵画612 | 水辺の絵画 | 別庄 | 湖,ボラ,魚つり,ゴリ,フナ,テナガエビ,ハ | 1960 | 1969 | 35.56191 | 135.8732 | やりたくない/tokyo01/ | |
| 36 | 絵画611 | 水辺の絵画 | 別庄 | 川,釈迦ずき,水月湖 | 1960 | 1969 | 35.5654 | 135.8718 | みずみず/tokyo01/ | |
| 37 | 絵画610 | 水辺の絵画 | 鳥浜 | 川,はす川 | | | 35.55571 | 135.901 | ・上手にか/tokyo01/ | |
| 38 | 絵画609 | 水辺の絵画 | 海山(海山・北 | 湖,ワカサギ,魚とり,フナ,コイ,ハゼ,カニ | 1950 | 1959 | 35.58772 | 135.8653 | あみのかわ/tokyo01/ | |
| 39 | 絵画608 | 水辺の絵画 | 気山(気山・中 | 川,カニ,魚つり,カニとり,アユ,宇波西川 | 1940 | 1949 | 35.58097 | 135.9098 | 昔の 川のカ/tokyo01/ | |
| 40 | 絵画607 | 水辺の絵画 | 気山(気山・中 | 小川,ほさん,踊,チョウトンボ | | | 35.58277 | 135.9141 | ちょうちょぞ/tokyo01/ | |

図(3)-21　CSV出力例

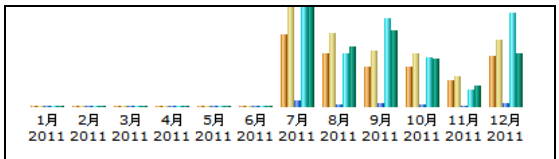



図(3)-22　印刷出力例

3）サイトアクセス状況

「みんなの三方五湖マップ」サイトへのアクセス状況をまとめたのが図(3)-23である。

これによると、7月のオープン時にアクセスが伸びた後末にかけて減少していたが，12月に新規データ登録を行ったところ，アクセス数が徐々に増え3月には326人と順調に増えていることがわかる。しかしながら，アクセス数がまだ少ないことから，今後は三方湖総合研究プロジェクトのデータを登録しデータ拡充を行うとともに，データリンク先などを増やすことで，アクセス数を増やすことが課題としてあげられる。




| 月 | 訪問者 | 訪問数 | ページ | 件数 | バイト |
|---|---|---|---|---|---|
| 1月 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2月 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3月 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4月 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5月 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6月 2011 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7月 2011 | 199 | 278 | 3,373 | 43,826 | 1.09 Gb |
| 8月 2011 | 150 | 204 | 1,405 | 23,405 | 677.43 Mb |
| 9月 2011 | 111 | 155 | 1,726 | 38,940 | 852.96 Mb |
| 10月 2011 | 113 | 147 | 1,007 | 21,584 | 537.48 Mb |
| 11月 2011 | 72 | 85 | 263 | 7,428 | 242.30 Mb |
| 12月 2011 | 142 | 183 | 1,617 | 41,192 | 604.91 Mb |
| 合計 | 787 | 1,052 | 9,391 | 176,375 | 3.94 Gb |

| 月 | 訪問者 | 訪問数 | ページ | 件数 | バイト |
|---|---|---|---|---|---|
| 1月 2012 | 169 | 227 | 977 | 40,921 | 638.37 Mb |
| 2月 2012 | 184 | 249 | 1,020 | 44,023 | 763.26 Mb |
| 3月 2012 | 326 | 571 | 2,108 | 91,479 | 1.41 Gb |
| **4月 2012** | 306 | 448 | 1,074 | 61,967 | 1.06 Gb |
| 5月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12月 2012 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 合計 | 985 | 1,495 | 5,179 | 238,390 | 3.84 Gb |

図(3)-23　サイトアクセス状況

## ５．本研究により得られた成果

### （１）科学的意義

まず人文社会科学的調査により、三方湖における自然環境への多様なかかわりと、そこで生じる価値をもとに、多様なLake HistoryとLake Storyを詳細に明らかにし、将来の自然再生へのビジョンを構築するための社会的・在地的な価値を明らかにした。具体的には、三方湖の自然が悪化する前には、三方湖と三方湖畔住民の利用を前提とした緊密、かつ多様で重層的な関係性が明らかになった。その利用が近代化の過程で変化し、そのつながりが弱化してきたことによって湖畔住民の湖への関心の低下を生み出し、ひいては三方湖の自然再生の障害となっていることが明らかになった。このような、詳細な人文社会科学的知見を自然再生事業に加味することにより、外部視点からの再生プランではなく、地域により適合し、さらに実効性を高めるプランを検討できた。

また、『昔の水辺の絵画募集』やその成果を利用したワークショップを行う協働参加型の手法を用いることによって、過去からどのように湖の生態系や人間社会との関係性が変化し、現状がどうなっているのかという点に関する知見を得られることが実証された。しかし、最大の成果はこの協働調査という行為が、専門家に閉じがちな地域の自然および社会や文化の知見の蓄積プロセスを「社会化」したという点で、新しい社会における科学的な知識生産の可能性の第一歩になったことである。すなわち「水辺の絵画募集」からもわかるように、流域単位での面的な情報収集としてだけでなく、それ自体が有効なコミュニケーションツールであることが実証された点は大きい。

特に、「みんなの三方五湖マップ」などの本プロジェクトにおいて開発されたコミュニケーションツールを用いた具体的な方法論の検討や、ワークショップを通じて実際の絵画が祖父母世代と子どものどのようなコミュニケーションによって描かれるのかについても観察が行われた点もきわめて大きな成果である。従来のワークショップの「ノウハウ論」を超えて、より細かく絵画募集からワークショップのプロセスにおいて、未来にどのような価値を見出すか、あるいはそれをどう共有し人間関係の構築の契機とするかなどを具体的な実践活動と結びつけることに成功した点での科学的意義は大きく、そうした方法論も技術的に確立しつつある。

協働参加型調査は、次項でも述べる政策遂行への貢献を、知見の蓄積の段階から意識して行うための新しいあり方である。科学技術社会論（STS）や環境社会学などで議論されている、政策における科学的合理性と社会的合理性の相克を、専門家と市民の相互的な対話や実践によって乗り越えるための具体的なプロセスを見出していくことに他ならない。また、これは資源管理などで議論されているCBM（community based management）の日本社会における新たな試みとしても学術的価値は高い。したがって、このような、コミュニティレベルでの協働行為による知識生産や青写真の討論の成果を自然再生事業に加味することにより、外部視点からの再生プランではなく、地域により適合し、さらに実効性を高めるプランの作成を具体的なプロセスにおいて検討した点において本研究は新規性がある。

**（２）環境政策への貢献**

自然再生事業の公論形成において、まずは歴史的、制度的、文化的にも多様な地域アクターの立場性（漁業者、農業者、一般住民、行政、自然保護団体など）を理解し、それぞれの多様な価値の存在と相互間の対立や軋轢を理解することが肝要である。本研究では、そのような地域に根ざした情報とその状況分析に基づいた所見を、面的な収集と、コミュニティレベルでの取り組みを蓄積し、また、取得した様々な分野のデータを本研究で開発した情報プラットホーム上で統合することによって、三方湖の歴史や現在の状況の多角的な視覚化を通じて、得られた成果の共有・普及だけでな2011年度に三方五湖自然再生協議会における協議会の設立そのものやその合意形成や実践活動の基盤を構築することができた。

## ６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

## ７．研究成果の発表状況

**（１）誌上発表**

特に記載すべき事項はない。

**（２）口頭発表（学会等）**

1) 富田涼都：日本生態学会（2010）
「研究者は「なぜ」・「どうやって」地域に入るのか？　～「関わり」からみる保全研究・活動～」

2) 富田涼都：野生生物保護学会・日本哺乳類学会合同大会（2010）
「保全現場においてインタープリテーションに求められることは何か？」

3) 熊谷潤、長井正彦、柴崎亮介、松原剛：地理情報システム学会（2010）
「三方湖自然再生に向けた情報プラットホームの開発」

4) J. Kumagai, M. Nagai, R. Shibasaki, G. Matsubara and T. Hino: Asian Conference on Remote Sensing, 2010
“Development of Geographical Information System for Investigations of Long-term change

in Lake Mikata.”

5) 富田涼都：野生動物管理システムフォーラム「自然再生と野生動物管理」（2011）
「順応的管理における自然の『リスク』は受け容れられるのか？―自然再生事業を例に」

6) 富田涼都：環境社会学会（2011）
「自然再生の現場からみる環境社会学」

7) 富田涼都：環境社会学会（2011）
「自然と向き合うための科学技術コミュニケーション―自然再生事業を例に」

8) 富田涼都：日本生態学会（2012）
「環境倫理学から見た滋賀県水田地帯の環境保全政策の位置づけ―『誰が』生態系サービスを享受するのか？」

**（３）出願特許**

特に記載すべき事項はない。

**（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）**

1) 三方湖自然再生研究プロジェクト中間成果報告会（2010年2月21日、福井県立三方青年の家多目的ホール、住民参加約100名）
2) 昔の水辺の絵画が物語るもの―ひとと自然のかかわりを＜再生＞するために（2010年3月7日、若狭三方縄文博物館、観客約30名）
3) 若狭町・田井地区の水辺とのふれあいについてのワークショップ（2010年12月23日、梅の里保育園、観客約30名）
4) 水辺の絵画募集と水辺のふれあいの調査についてのワークショップ（2011年1月22日、パレア若狭、観客約30名）
5) 「昔の水辺の絵画」から見えるもの（2011年3月5日、縄文博物館、観客約30名）
6) 夜桜鑑賞と水辺の絵画についてのワークショップ（2011年4月8日、向笠地区、約30名）
7) みそみ小学校における出前授業（2011年10月7日、みそみ小学校、2年生5年生合計39名）
8) ねはん団子づくりと水辺の絵画のお話（2012年3月9日、三十三公民館、約30名）

**（５）マスコミ等への公表・報道等**

1) 朝日新聞（2009年10月29日、福井県版、「三方五湖の絵　電子化」）
2) 朝日新聞（2011年1月26日、福井県版、「昔の水辺の風景　小学生が再現」）
3) 日刊県民福井（2011年1月26日、「昔の水辺のイメージ描く」）
4) 福井新聞（2011年1月29日、「昔の水辺児童描く」）
5) MMネット（ケーブルテレビ）（2011年3月18日-21日放映、「若狭町　ハスプロ勉強会　自然再生協議会設立に向け」）
6) MMネット（2011年4月19日放映、ハスプロ「夜桜・生き物教室」）
7) FBCラジオ（2011年12月20日放送、水辺の絵画講演会紹介）
8) MMネット（2012年3月16日、三十三公民館、涅槃団子＆風景画）

### （６）その他

特に記載すべき事項はない。

## ８．引用文献

1) 岩崎亘典、デイビッド S. スプレイグ、小柳知代、古橋大地、山本勝利： GIS-理論と応用, Vol.17, No.1, 83-92 (2009)
「FOSS 4 G を用いた歴史的農業環境閲覧システムの構築」

2) 池見洋明、江崎哲郎、三谷泰浩： GIS－理論と応用, Vol. 17, No.1, 93-99 (2009)
「WikiおよびGIS技術による持続可能な災害情報の共有化手法の検討」

3) 高橋龍三郎：民族文化 近畿大学民俗学研究所, 7, 223-245 (1995)
「若狭三方湖の漁撈民俗」

## (4) 協働参加型調査による環境変化と水系連結喪失の影響評価

東京大学農学生命科学研究科　鷲谷いづみ
＜研究協力者＞
東京大学農学生命科学研究科　照井慧・海部健三
福井県海浜自然センター
若狭町
ハスプロジェクト推進協議会（NGO）
鳥浜漁業協同組合

平成21～23年度累計予算額：956千円（うち、平成23年度予算額：366千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］自然再生における順応的な取り組みには、継続的なモニタリングにより、生物多様性・生態系の現状と事業による効果の把握が必要である。一方で、参加主体間での情報共有は、連携による事業の成功の鍵となる。これらの条件を同時に満たす参加型モニタリングプログラムを開発し、実践を通じて改善する試みを通じて自然再生事業における参加型モニタリングのプロトタイプを構築した。具体的には、三方五湖とその周辺地域の漁業者・農業者、地域住民、市民NPO、行政とこの研究プロジェクトに参画する研究者が協働して調査を行う行事型の協働参加型調査「魚類モニタリング」を実践しつつその望ましい形態・方式を検討した。

湖と流域の水田は、魚類などの生物の季節的移動や物質循環を通じて連結している。そのつながりは漁業者と農業者、それぞれの一次生産の活動空間をつなぐものでもある。そこで、これらのそれぞれの空間において魚類の生態にもとづいた調査行事を企画した。すなわち、「魚類モニタリング」は春季・秋季に実施することとし、春季には、農業者の活動空間である水田につながる水路でシュロ（産卵基材）を用いたフナの産卵調査や魚道の利用状況の観察、秋季には湖において、伝統的漁法ヌクミ漁による魚類相調査を行った。

年2回の行事における体験は、参加者全体の実感を伴う情報共有につながり、自然再生事業の必要性と優先すべき対策についての共通認識を醸成することを通じて、2011年5月に設立された三方五湖自然再生協議会における円滑な合意形成に大きく寄与したといえる。また、これらの行事を中心的に担った漁業協同組合と農業者団体（農地・水・環境保全向上対策の活動団体）は、自然再生協議会において、モニタリングプログラムの実施で得られた経験をふまえ、水田魚道部会および外来魚等対策部会の議論を牽引する役割を果たしている。また、モニタリングで得られた知見は、三方五湖の自然再生全体構想を起草する上でも重要な情報として活用されている。

［キーワード］協働参加型調査、モニタリング、情報共有、生物多様性、水系連結

## １．はじめに

地域の生物多様性保全、自然再生を進めるためには、地域の多様な主体と連携しておこなう協働参加型調査が科学的なデータを取得すると共に情報共有の手段として重要な意義をもつ。参加型モニタリングは、その目的と参加者に応じてさまざまな形態が考えられるが、経験と知見の共有を促す効果は、連携した取り組みによって生物多様性の保全および自然再生の事業の実施するうえで欠くべからざるものである。モニタリングにおける協働活動は、連帯感や相互理解を深める効果も大きく、自然再生の推進に社会的な側面からも大きな意義をもつと考えられる(図(4)-1)。

協働調査を進めるにあたっては、調査前からのプロセスのデザインと地域社会における協働調査の位置づけを明確にすることが求められる。三方湖のプロジェクトにおいては、本格的なモニタリングプログラムの実施に先だって、2009年度にはNGOであるハスプロジェクト推進協議会（以下、ハスプロ）や農地水環境保全向上対策関係の各団体（以下、農地水環境保全向上対策活動団体）などとの予備的な協働調査を行い、その実施方法や効果を綿密に検討した。

準備段階を経て、2010年度には、「農業の目、漁業の目、市民の目、科学の目で調査する」をテーマとして、春と秋の湖および水田の相互的な魚類モニタリングを実施した。最終年度である2011年度は、よりいっそう効果的に情報と経験を共有できるようにプログラムを改善するとともに、自然再生協議会の活動としての継続性を担保するための組織化をおこなった。

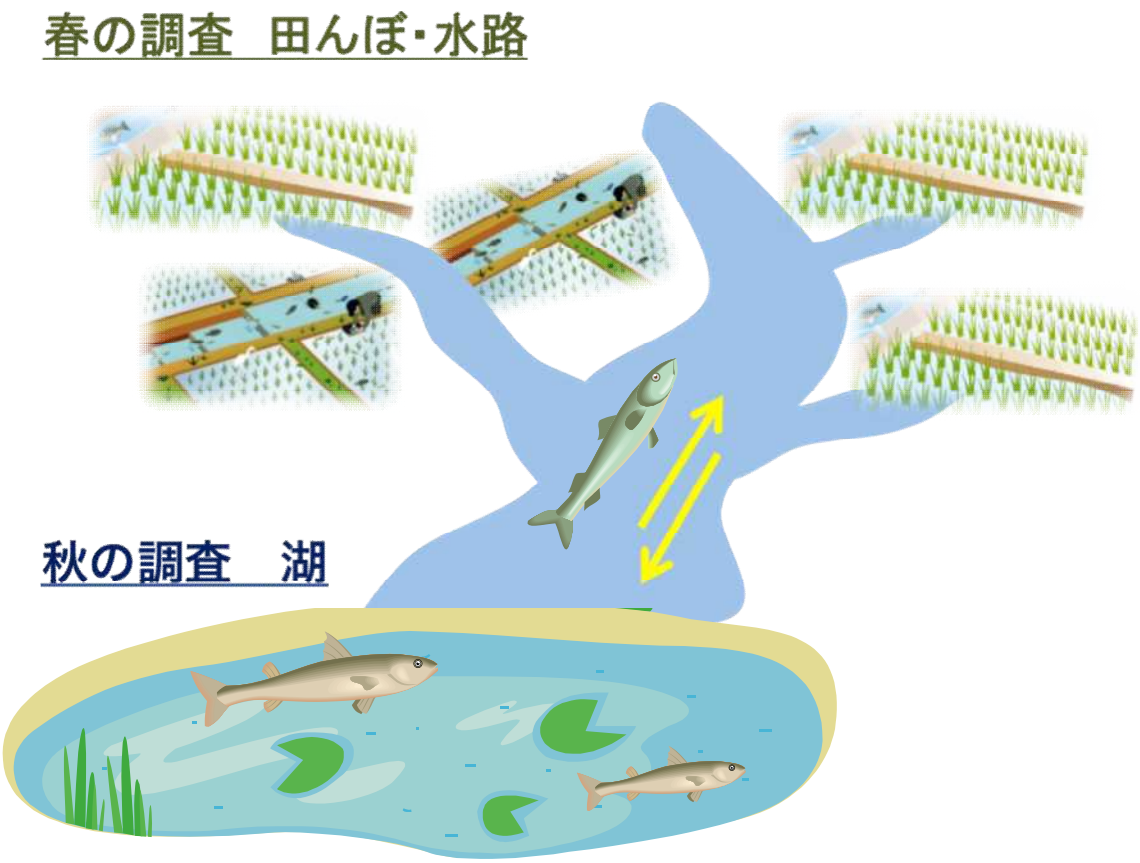
図(4)-1　協働の概念図

## ２．研究開発目的

生物多様性の現状把握、生態系の変化を早期に検出するためには、時系列に沿った生物多様性モニタリング（監視）が必要不可欠である。湖に生息する魚類は、産卵期に水田水域を利用する。現在では、そのようなハビタット連結性が圃場整備などで損なわれており、湖と水田水域の連結性を高めて、コイ科魚類の繁殖の条件を向上させることが課題となっている。そこで、魚類移動の季節性と生態を考慮して、湖と流域水田域の両方で異なる季節に行事を行うモニタリングプログラムの有効性を検討した。

協働参加型モニタリングは、自然再生事業の前提となる多様な主体間での情報共有や連帯感の情勢にとっても大きな意義を有するものと考えられる。とくに、それぞれの空間を活動場所として一次生産にたずさわる漁業者と農業者との間の情報共有と相互理解は、自然再生事業における合意形成を円滑にすすめるにあたっての前提ともいえる。このため本サブテーマでは、漁業者、農業者、市民・NGO、研究者など多様な主体が協働しながら、漁業の現場である湖と、農業の現場

である水田水域の生物多様性（特に魚類）を、季節を変えて相互に行事を実施することでモニタリングする、モニタリングプログラムを開発した。プログラムは、誰もが参加しやすい行事として、秋季に湖で、春季に水田と農業水路で実施した（図(4)-2）。




図(4)-2　春の調査と秋の調査の概念図

（１）　春の調査

近年、排水の効率を上げるために、農業用水路のコンクリート化と、水田と水路の高低差が拡大している。このため、氾濫原湿地の代替として水田を産卵場所として利用していたフナやコイは、水田に進入することが難しくなっている。三方五湖の周辺のうちでは現在、県や漁協、NPOなどが協力し、水田魚道を設置し、フナやコイの水田への進入を助けている。しかし、水田魚道は高コストなうえ、捕食者の進入も許容する問題をもつ。このため、低コストで、保全対象魚種を選択的に水田に導入できる方法として、シュロを用いてフナやコイの卵を田んぼに導入する方法（シュロ法）の開発を、春の調査の目的とした。シュロ法の開発を行うことによって、参加者は三方五湖と周辺の水田との連結が分断されている現状と、その現状に対する効果的な対策を確認することができる。

（２）　秋の調査

三方五湖のうち、三方湖では1999年以降、侵略的外来種であるオオクチバスやブルーギルが確

認されるようになった。特にブルーギルは2006年に初めて記録されて以来、爆発的にその数を増やしており、適切な管理を行うために、その個体群動態を把握することが求められている。このため、魚類を中心とする三方湖の動物相のモニタリングをすることを、秋の調査の目的とした。

## ３．研究開発方法

生物多様性の現状に関する知見を集積するため、調査計画は研究者が作成した。湖の魚類のハビタットとその連結性を考慮して、農業者と漁業者および本研究プロジェクトを実施する研究者が協働の中核を担う主体となり、さらに、地域住民、行政の実務担当者、市民・NGO、子どもたちと協働で調査に携われるような行事を企画し、中核的なメンバーに加えて、地域による広報により参加者を募った。

### （１）シュロを用いたフナの産卵調査

春季調査では、2010年5月23日および2011年5月29日に、水田水路においてシュロを用いたフナの産卵調査を実施した。シュロは、フナの産卵基質（水草など）の代替として機能するものである。2010年は、水田水路にシュロを設置し、そのシュロに産卵したフナの卵数調査を行う予定であったが、荒天のために室内（三方湖青年の家）での実施となった。当日は、事前に設置していたシュロを回収し、室内でフナの卵数を計数した。また、ミニ講座も開催し、「侵略的外来種」「水田魚道」「ヒシ」などの説明に加え、研究成果を一部紹介した。調査には、鳥浜漁業協同組合、美しい鳥浜を創る会（農地水環境団体）、田井野区地域活性化促進会（農地水環境団体）、島の内農村環境保全隊（農地水環境団体）、ハスプロ、若狭町、福井県自然環境課、福井県海浜自然センター、および一般市民の計54名が参加した。

2011年は、2010年と同様に現場での調査を予定していたが、荒天のために室内（三方湖青年の家）での実施となった。当日は、フナ・コイの産卵魚道の整備を進めている美しい鳥浜を創る会（農地水環境団体）が、その取り組みについて解説をおこなった他、前日に採集した水辺の生き物の観察を行った。調査には、鳥浜漁業協同組合、美しい鳥浜を創る会（農地水環境団体）、田井野区地域活性化促進会（農地水環境団体）、島の内農村環境保全隊（農地水環境団体）、ハスプロ、若狭町、福井県自然環境課、福井県海浜自然センター、および一般市民の計40名が参加した。

### （２）伝統的漁法ヌクミ漁を用いた三方湖の魚類相調査

秋季調査は、2010年10月23日および2011年11月26日に行い、伝統漁法ヌクミ漁(※)の捕獲物を調べるモニタリング調査を実施した。調査では、湖の南東を流れる鰣川の河口近くの湖岸（深さ1.2-1.5 m）に設置してある約10 $m^2$のヌクミ1カ所を地元漁師が回収する様子を船から見学し、その捕獲物を詳細に調べた。捕獲された特定外来生物の一部は調査研究用のサンプルとし、残りは食用または殺処分とした。

2010年の調査には、鳥浜漁業協同組合、美しい鳥浜を創る会（農地水環境団体）、田井野区地域活性化促進会（農地水環境団体）、島の内農村環境保全隊（農地水環境団体）、ハスプロ、若狭町、福井県自然環境課、福井県海浜自然センター、一般市民から計47名が参加した。また、調査前には、紙芝居をもちいたミニ講座も開催した。「侵略的外来種」「絶滅危惧種」「ヤリタナ

ゴ」「ヒシ」などの説明に加え、研究成果を一部紹介した。

2011年の調査には、鳥浜漁業協同組合、美しい鳥浜を創る会（農地水環境団体）、田井野区地域活性化促進会（農地水環境団体）、島の内農村環境保全隊（農地水環境団体）、ハスプロ、福井県立大学、若狭町、福井県自然環境課、福井県海浜自然センター、福井県内水面総合センター、一般市民から計27名が参加した。調査前には、福井県立大学からブルーギルの生態を、鳥浜漁業協同組合と福井県内水面総合センターから外来魚管理の取り組みを、現地NPOであるハスプロと美しい鳥浜を創る会（農地水環境団体）から自然再生への取り組みを紹介した。また、調査後は漁獲されたテナガエビを唐揚げにして食べることによって、三方湖の生態系サービスを体感する機会を設けた。

(※) ヌクミ漁とは、魚類が冬期には湖岸や石垣の穴や遮蔽物に潜り込み、比較的水温の高い所で過ごすという習性を利用したもので、1965年頃まで盛んに行われてきた漁法である。湖岸近くの湖底に、マツやヒノキの枝を束ねて縛った柴束を複数沈め（これをヌクミという）、時機をみて周囲を網などで囲み、中の柴束を外に出し、網の中の魚を引き上げる漁法である。地元の漁業協同組合では、2008年からヌクミ漁を再開し、年に数回の漁を行っている。

## ４．結果及び考察

人数の変動はあったものの、開催した全ての回で、当初に想定した全ての要素（農業者、漁業者、地域住民、子どもたち、行政、研究者）が参加し、多様な主体による協働を果たすことができた。湖での調査では伝統的な漁法の実践において漁業者が、水田域での調査では農業者が中核的な役割を担った。

これらの協働参加型調査（魚類モニタリング）を通じて、参加した多様な主体間で、湖の現状と問題、特に外来魚の生息状況に関しての情報を共有することができた。また、調査終了後に行った座談会では、放流に頼らない魚類の増殖法や、外来魚対策について議論を深めることもできた。今後、三方湖の自然再生を目標とした順応的管理を進めていく上で、このような協働参加型のモニタリングが果たす役割はきわめて大きい。

今後、本研究でプログラムを開発した行事型の協働参加型調査は、その時々のニーズに応じた改変を行いながら自然再生協議会の活動においても重要な役割をはたすことが期待される。

### （１）春の協働参加型調査

2010年春季に実施したシュロによるフナの産卵調査では、水田水路に設置したシュロ3個を参加者全員で数えたところ、シュロ1個あたりに平均9,000個ものフナなどの卵が産卵されていた。計数後の卵の付着したシュロは、農業者に協力していただき、水田に導入した。これらの結果は、シュロを用いた手法が産卵調査のみならず、フナの個体群再生にも有効であることを示している。また、シュロを用いてフナの卵を水路から水田に移す作業に関わることによって、水路と水田が分離されている現在の状況を、参加者が直接確認し、共有することができた。一方で、簡単な技術によって問題の一部を解決する可能性も示された。

図(4)-3　春の協働参加型調査
左上：産卵基質のシュロ、右上：卵とともに水田に移されたシュロ、
左下：魚卵の計数、右下：後日行われた、水田の稚魚の見学会

（２）秋の協働参加型調査

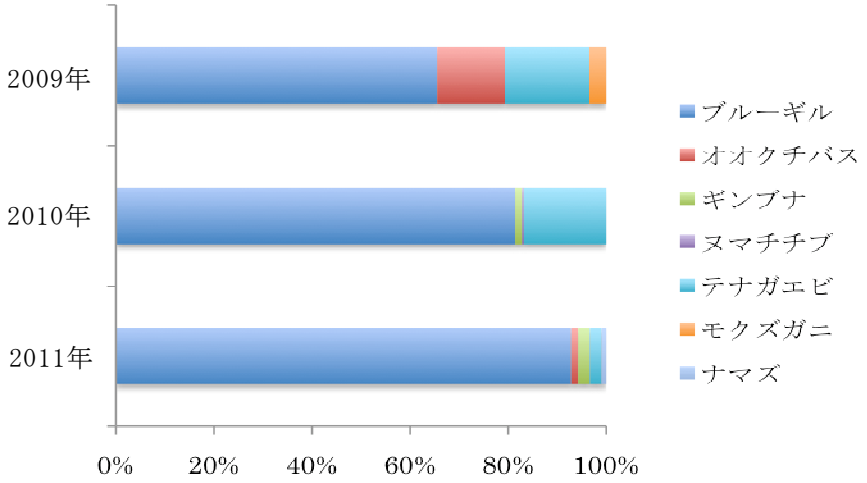
2010年秋季に実施したヌクミ漁（図(4)-4）において捕獲された動物は、ブルーギル596個体（81.4%）、テナガエビ123個体（16.8%）、ギンブナ10個体（1.4%）、ヌマチチブ3個体（0.4%）であり、侵略的外来魚ブルーギルが捕獲物の8割以上を占めた。予備調査として同様の調査を行った2009年の結果と比較して、ブルーギルの個体数が37個体から596個体と大幅に増加し、全体に占める割合も顕著に増加していた。テナガエビは、全体に占める割合はほとんど変わらないが、個体数は増加していた。一方、侵略的外来種であるブラックバスは、捕獲されなかった。在来種は、ギンブナとヌマチチブが捕獲されたのみで、個体数も全体の1.8%にとどまった。23年秋に実施した調査では、ブルーギルの個体数は194個体と前年よりも減少したものの、採集された動物に占める割合は増大していた（92.8%）。秋の調査によって、爆発的に増加しつつあるブルーギルの動態を把握できたのみならず、調査に参加した主体の間で、外来種の進入が三方湖における非常に重要な問題であることが確認・共有された。

三方湖とその流域におけるブルーギルの定着状況や侵入経路に関する情報は少ないが、2006年に福井県海浜自然センターが定置網を用いて行った湖内魚類調査、および2009年と同様の努力量で行われた2008年のヌクミ漁では、ブルーギルは捕獲されていない。また、三方湖への流入河川で2006年と2007年に行われた電気ショッカーを用いた広域魚類調査においても、ブルーギルは確

認されていない。本種が三方湖ではじめて確認されたのは、2009年7月24日に小学生の課外体験授業の一環として行われた釣りである。そこでは、全長17 cmのブルーギル1個体が釣りあげられた。また、2009年10月には、全長30-50 mmのブルーギル10数個体が漁業者によって捕獲された。なお、流域に数ヵ所ある農業用ため池については魚類調査が行われていないため、ブルーギルの生息状況などは不明である。以上のことから、三方湖のブルーギルは、ここ数年のうちに、はじめて侵入したと考えられる。

今後、ブルーギルの個体数が増加した場合、魚類、ベントスや動物プランクトンなどの捕食を通じ、湖の生態系機能や漁業などの生態系サービスに甚大かつ不可逆的な影響を及ぼすおそれがあり、ブルーギルの排除を早急かつ慎重に実践し、三方湖における効果的な排除手法の開発とその効果の検証を行うことが急務である。

図(4)-4　秋の協働参加型調査
左上：ミニ講座、右上：漁業者からの解説、
左下：ヌクミ漁の見学、右下：採集した動物の計数




図(4)-5　ヌクミ漁で採集された動物の割合
2009年の結果は、同様の方法を用いた予備調査のもの

**５．本研究により得られた成果**

（１）科学的意義

本研究によって、課題に応じて適切に計画された行事型の協働調査は、対象地域の生物多様性の現状と改善方向に関するモニタリングに効果を発揮しうることが実証された。しかし、最大の成果は協働調査が、情報共有のために大きな効果を持ち、科学的な事項に関する情報をその場でただちに共有するための手法としてきわめて有効であることが明らかにされた。従来の情報伝達は、知識を持つ専門家から、知識を持たない非専門家への一方的な知識の移譲として行われてきた。本研究では、専門家と非専門家がともに協力しながら現場で調査を行い、自ら体験と実感を通じて得られた情報を理解できるようなプログラムが開発されたことは、今後、円滑に自然再生事業を進めるうえで大きな意義をもつものである。

本研究によって農業者、漁業者を含む地域住民、NPO、行政、研究者らの間で共有された情報に基づいて、それぞれの主体が独自に、または協働により対策や管理を開始または強化している。シュロ法については、地域の子供会、美しい鳥浜を作る会、鳥浜漁業協同組合、福井県海浜自然センターが協働して、シュロ法の実践と効果の検証を行っている他、水田魚道の設置を進めている（図(4)-6）。また、ブルーギル対策については、鳥浜漁業協同組合、福井県立大学、福井県内水面総合センターによって、管理方法の検討が行われている。さらに、2011年に設立された三方五湖自然再生協議会では、本研究において得られ、様々な主体間で共有された情報は、全体構想や実施計画を策定するうえで、有用な情報源となっている。

本研究により、協働参加型調査は、次項でも述べる政策遂行への貢献を、知見の蓄積の段階から科学と参加を旨として実践する上で有効な手法であることが確認された。

図(4)-6　三方湖周辺の水田に設置された水田魚道(左)と、稲刈り期の待避場所を備えた水田(右)

（２）環境政策への貢献

本研究で開発された協働参加型調査によって、生物多様性に関する知見を得るだけでなく、その知見を地域住民、行政、研究者などを含む多くの人々と、共有し、また活用して実践につなげることができることが明らかにされた。本研究で開発された協働参加型調査によって、環境政策にかかわる、新たな社会的にも公正な合意形成プロセスの一つとして他の自然再生事業などの実践の現場に活用することができるであろう。

## ６．国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない

## ７．研究成果の発表状況

（１）誌上発表

〈論文（査読あり）〉

1)　松崎慎一郎、児玉晃治、武島弘彦、照井慧、増井増一、吉田丈人、鷲谷いづみ：魚類学雑誌，57，87-89（2010）
「ラムサール条約登録湿地におけるブルーギルの侵入・定着」

2)　S.S. Matsuzaki, A. Terui, K. Kodama, M. Tada, T. Yoshida and I. Washitani： Biological Conservation, 144, 2081-2087 (2011)
“Influence of connectivity, habitat quality and invasive species on egg and larval distributions and local abundance of crucian carp in Japanese agricultural landscapes.”

3)　松崎慎一郎、児玉晃治、照井 慧、武島弘彦、佐藤専寿、富永 修、前田英章、多田雅充、鷲谷いづみ、吉田丈人:保全生態学研究，16(2)，205-212，(2011)
「モニタリングデータと生態的特性から探る福井県三方湖流域の純淡水魚類相の変化とその要因」

〈査読付論文に準ずる成果発表〉

1) 鷲谷いづみ：季刊誌「CEL」, 92, 34-37 (2010)
「湿地再生と生物多様性に富む地域づくり-ロンドン市の場合-」
2) 鷲谷いづみ：Consultant, 10月号, 249 (2010)
「生物多様性の保全と外来種問題」
3) 鷲谷いづみ：学術の動向 日本学術協力財団, 12月号, 79-81 (2011)
「自然の回復と再生の視点から」

<その他誌上発表（査読なし）>
特に記載すべき事項はない

（３） 口頭発表（学会等）
1) 富田涼都：第16回野生生物保護学会・日本哺乳類学会合同大会（2010）
「保全現場においてインタープリテーションに求められることは何か？」
2) I. Washitani ：ドイツ・オーストリア・スイス生態学会（GFO）(2010)
“Biodiversity assessment and participatory biodiversity monitoring in Japan.”（招待講演）
3) K. Kaifu, A. Terui, S.S. Matsuzaki and I. Washitani：Estuary and lagoon ecosystem trajectories, 2011
“Participatory biodiversity monitoring for information sharing in restoration and conservation programs: a case in Mikata-goko Lake system, Japan.”(Bordeaux)

**（３）出願特許**
特に記載すべき事項はない

**（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）**
1) 若狭町・田井地区の水辺とのふれあいについてのワークショップ（2010年12月23日、梅の里保育園、参加者約30名）
2) 水辺の絵画募集と水辺のふれあいの調査についてのワークショップ（2011年1月22日、パレア若狭、参加者約30名）
3) 「昔の水辺の絵画」から見えるもの（2011年3月5日、縄文博物館、参加者約30名）

**（５）マスコミ等への公表・報道等**
1) 朝日新聞（2011年1月26日、福井県版、「昔の水辺の風景　小学生が再現」）
2) 日刊県民福井（2011年1月26日、「昔の水辺のイメージ描く」）
3) 福井新聞（2011年1月29日、「昔の水辺児童描く」）
4) MMネット（ケーブルテレビ）（2011年3月18日-21日放映、「若狭町　ハスプロ勉強会　自然再生協議会設立に向け」）

**（６）その他**

特に記載すべき事項はない

## ８．引用文献

特に記載すべき事項はない

## (5) 研究総括

東京大学大学院総合文化研究科　吉田丈人
東京大学　鷲谷いづみ・菅豊・柴崎亮介
福井県立大学　青海忠久・富永修・小北智之
＜研究協力機関＞
福井県
若狭町

平成21～23年度累計予算額：4,133千円（うち、平成23年度予算額：2,490千円）
予算額は、間接経費を含む。

［要旨］三方湖とその周辺環境の自然再生に貢献する科学的情報を整備するとともに、地元地域への十分な情報公開を行い、地域住民との活発な協働を展開することによって、地域が主体となって進める自然再生を促すことを本サブテーマの目的とした。本課題の推進に関わる関係者内部で研究成果を共有する研究会を頻繁に開催したほか、アドバイザーや推進費POなど外部識者から意見を受けながら、本課題で得られた研究成果を統合して、三方湖とその周辺環境の自然再生の課題をとりまとめた。これらの研究成果は、公開シンポジウムで地元地域に発信するとともに、地域の広報誌や独自に編集した報告書なども通して研究成果を地元地域に公開した。座談会などで地域住民と十分な議論をする機会を重ね、自然再生協議会を設立する準備会合を重ねた結果、「三方五湖自然再生協議会」を課題開始から約2年で設立することができた。これは、全国で23番目、中部地方では初めての自然再生協議会である。さらに、課題3年目には、自然再生全体構想を地元地域との協働によって策定できた。これらの成果は、地元地域の積極的な参加によって実現されたものであるが、本課題からの科学的な貢献は大きく、科学と地域の協働の成果であるといえる。また、自然再生全体構想には、本課題の研究成果が、統合的にも個別的にも活用されている。これら一連の科学と地域の協働については、日本生態学会のシンポジウムにおける国内の研究交流やドイツの研究者との国際的な研究交流において、「三方五湖方式」が先進的な事例として認められ評価されている。

［キーワード］研究成果統合、自然再生、自然再生協議会、情報公開、地域貢献

### １．はじめに

自然再生は、地域において失われつつある生物多様性や生態系の健全性を、地域の多様な主体が科学的データに基づく順応的な方法によって取り戻すアプローチである[1)]。したがって、自然再生の取組みにおける科学の役割は大きく、生態学などの自然科学のみならず、人文社会科学も含めた幅広い分野からの貢献が求められている。本課題でも、3つのサブテーマが三方湖とその周辺生態系の自然再生の取組みを科学的見地から支援することを目指している。しかし、地域の多様な主体がまさに主体的に自然再生に取り組むことを支援するためには、科学的な評価や提案だけ

では不十分である。そのため本課題では、地域と協働しながら自然再生の対象となる生物や生態系の調査を行う協働参加型調査を1つのサブテーマとし、地域の多様な主体と科学や行政の間でさまざまな情報や意見を交換する仕組みの形成をもう1つのサブテーマとし、後者についてここでは報告する。生物多様性や自然環境の現状を多様な主体間で共有するための情報交換や、自然再生の方針や具体的方策を多様な主体間で議論することは、自然再生において順応的かつ多様な主体による共同管理を実現するためには重要な過程である[2)]。さまざまな機会を通して、多様な地域住民（農業者、漁業者、NGO、住民など）・県と町の行政関係者・プロジェクトに参加する科学者の間で、研究成果についての情報共有だけでなく、地域での自然再生を共に考える機会を提供するよう努めた。

## ２．研究開発目的

（１）研究成果の統合と総合的な環境評価

本課題に参加する関係者間で、課題を通した全体の研究目標・研究成果・研究課題などを共有し、三方湖水辺生態系の総合的な評価を行うことを目的とした。また、環境情報を統合化するなかから、自然再生の具体的な課題やその解決方法について提案することも目的とした。

（２）地元地域への情報公開

地元地域における住民などさまざまな関係者が、三方湖水辺生態系の現状と課題を認識する機会はこれまでほとんどなかった。サブテーマ4の協働参加型調査と連動しながら、本サブテーマでは、地元地域への研究成果の公開を通して、地域での自然再生に対する意識が向上するように努めることを目的とした。

（３）自然再生協議会の設立

地元地域の多様な関係者の参加をえて、本課題により整備された科学的な情報基盤に立つ、自然再生推進法に基づく自然再生協議会を設立することを目的とした。また、自然再生全体構想をとりまとめ、地域における自然再生の課題やその対策をとりまとめることも目的とした。

## ３．研究開発方法

（１）研究成果の統合と総合的な環境評価

本課題に参加する関係者間で、研究進捗状況の確認や研究成果を共有するため、成果報告会やアドバイザリーボード会合を開催した。成果報告会とアドバイザリーボード会合は、内容が重複する場合は2つの会を兼ねて開催した。アドバイザリーボード会合は、2010年7月、2011年6月、2012年3月に開催した。アドバイザーは、下記の専門家に委嘱した。

高村典子氏（国立環境研究所、専門：陸水学）
丸山康司氏（名古屋大学、専門：環境社会学）
宮内泰介氏（北海道大学、専門：環境社会学）
鏡味麻衣子氏（東邦大学、専門：陸水学）
馬奈木俊介氏（東北大学、専門：環境経済学）

また、下記の環境省推進費のプログラムオフィサー（PO）にも、アドバイザリーボード会合に出席いただいた。

原口紘烋氏（国際環境研究協会）

志水俊夫氏（国際環境研究協会）
河合崇欣氏（国際環境研究協会）
そのほか、環境省中部地方環境事務所からも複数の方に出席いただいた。

2012年3月の成果報告会・アドバイザリーボード会合では、本課題の3年間の総括を行い、自然再生全体構想への研究者からのインプットをまとめた。

さらに、2011年3月には、日本生態学会札幌大会において、湖沼や湿地の自然再生にかかわる科学者の役割についてのシンポジウムを開催した。また、ドイツにおいて同様に地域と科学との協働を模索する研究者との交流を実施し、「三方五湖方式」による自然再生の推進について発信する機会をえた。

（２）地元地域への情報公開

本課題で得られた研究成果を地元地域に公開・発信し、自然再生の課題やその解決策について議論するため、「三方五湖自然再生シンポジウム」を、地元地域で研究期間の毎年度に開催した。このシンポジウムでは、本課題に参加している研究者が研究成果を一般の方にもわかりやすいように解説したほか、パネルディスカッションや自由議論をとおして、自然再生の課題やその対策についてより深く理解していただくことにつとめた。

また、地域自治体が発行する広報誌に研究成果（とくにヒシの近年の増加やその影響に関するもの）をとりあげてもらい、その編集に協力した。さらに、上記の三方五湖自然再生シンポジウムの内容を小冊子にまとめ、地域住民の全戸に配布することでシンポジウムに参加しなかった方へも情報発信を行った。本課題の研究活動は、新聞やテレビなどの報道でも数多く紹介されており、これも情報発信に役立つものであり、取材には積極的に協力した。

（３）自然再生協議会の設立

本課題が対象とする三方湖は、三方五湖のうち最も上流に位置し、環境改変が最も進行している湖である。しかし、自然再生の取組みは、三方湖だけでなくその下流の湖も含めた三方五湖全体およびその流域を対象とすることが、自然再生の課題の把握のためにも生態系管理のためにも望ましい。また、三方五湖は、若狭町と美浜町の両町にまたがる形で位置している。さらに、三方五湖は二級河川であり、福井県がその管理にあたっている。このため、福井県・若狭町・美浜町の自治体から協力をえることが、自然再生の推進には重要である。

最初に、本課題に参加・協力している福井県と若狭町に加えて、上記の美浜町が参加し、自然再生協議会を設立する準備事務局が設けられた。地域のさまざまな住民の参加を得て、自然再生協議会の設立準備会を、大小さまざまな規模で複数回開催した。このような設立準備会を経て、平成2011年5月に三方五湖自然再生協議会を設立した。さらには、2012年3月に、自然再生全体構想をまとめた。これらの運営には、福井県・若狭町・美浜町の事務局が重要な役割をはたし、本課題に参加する研究者もさまざまな形で貢献した。

## ４．結果及び考察

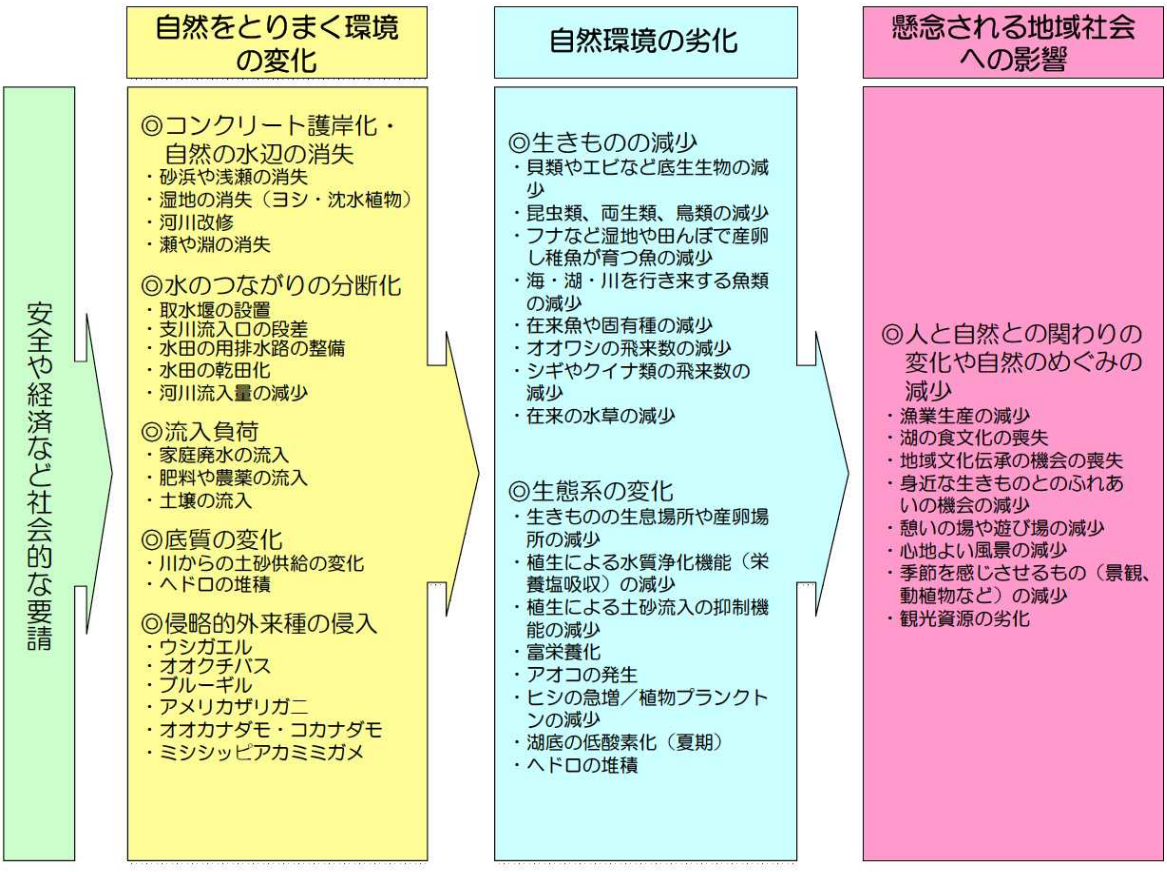
（１）研究成果の統合と総合的な環境評価

本課題に参加する関係者には、自然科学と人文社会科学の異分野の研究者が含まれるほか、行

政関係者や地域NGOも含まれる。このような多様なバックグラウンドをもつ関係者が、本課題が取り組む問題や目標を共有することは、本課題の成否にとって重要である。また、アドバイザーや環境省POの外部識者から本課題に対する意見をいただくことは、本課題の重要性を相対化して考え直す良い機会となる。これらの理由から、本課題に参加する関係者内部の成果報告会およびアドバイザリーホード会合を、原則として研究期間の毎年度末に開催してきた。

内部の研究報告会を重ねるにつれて、異なる学問分野の相互理解が深まり、共通した全体の目標に向かうことが実感としてより強く認識されるようになった。また、本課題を進行する課題として、各サブテーマの研究方向性について活発な議論がなされたばかりでなく、サブテーマ間をどのように有機的に連携させて自然再生につなげていくかについても議論がなされた。さらに、アドバイザリーボード会合では、地域と科学の協働のあり方についても根本的な議論からなされ、地域における自然再生を支える環境研究を進める上で、建設的なアドバイスをもらうことができた。

研究期間を通した総括を行った2012年3月の研究報告会およびアドバイザリーボード会合では、本課題の対象である三方湖を含めた三方五湖全体について、その自然環境の問題点や地域社会への影響について議論がなされ、下記のような総括がなされた。




図(5)-1　自然再生全体構想への1つのインプットとして、三方五湖流域とその周辺地域における自然環境変化の状況と地域社会との関連をまとめた。他にも、個別の課題については、より具体的な内容が自然再生全体構想に反映されている。

日本国内の湖沼や湿地において取り組まれている自然再生を支援する環境研究がいくつかあるが、それらの研究間での研究交流は必ずしも多くはない。本課題の2年目が終了する直前の2011年3月に、日本生態学会札幌大会において、自然再生を支援する環境研究を紹介するシンポジウムを企画し、研究交流を行った。プログラムは、下記の通りである。

シンポジウム「湖沼と湿地の自然再生：生態学が果たす役割と他分野との協働」
・「趣旨説明」吉田丈人（東京大・総合文化）
・「琵琶湖の農業濁水問題をときほぐす一文理連携による流域診断」谷内茂雄（京大・生態研）
・「宍道湖・中海における自然再生の現状と課題」國井秀伸（島根大・汽水域研究センター）
・「地域社会とのかかわりを繋ぐ湖沼の自然再生－釧路湿原湖沼と霞ヶ浦を例に」高村典子（国立環境研究所）
・「福井県三方湖の自然再生を支援する総合的環境研究」吉田丈人（東京大・総合文化）
・「サロベツ湿原における湿原生態系解明研究の成果と自然再生」冨士田裕子（北大・FSC・植物園）
・「コメント」三橋弘宗（兵庫県立大・自然研）、宮内泰介（北海道大・文学）、鷲谷いづみ（東京大・農学生命科学）

このシンポジウムでは、自然再生の課題をどのような研究アプローチで理解すれば良いか、地域と協働しながら課題をどのように解決すれば良いか、科学者が地域とどのように関われば良いかなどが主な議論のテーマであった。本課題の取り組みが、全国的に見ても先進的であり、「三方五湖方式」として国内の他の地域にも適用されるモデルとなるという評価をうけた。

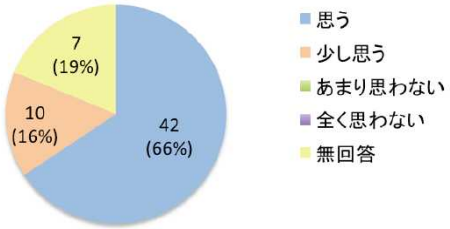
さらに、ドイツにおける自然再生を支援する地域と科学の協働を実践しているドイツ人研究者から研究交流の申し込みがあり、日本における1つの先進的事例として本課題の成果を紹介し、ドイツにおける同様の取り組みと比較することで、共通の問題や相違をもたらす背景について議論することが予定されている。

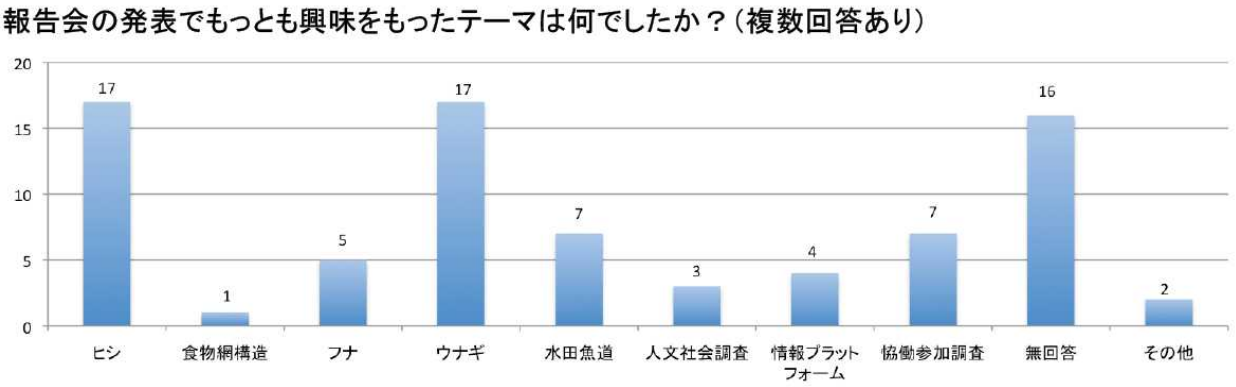
（２）地元地域への情報公開

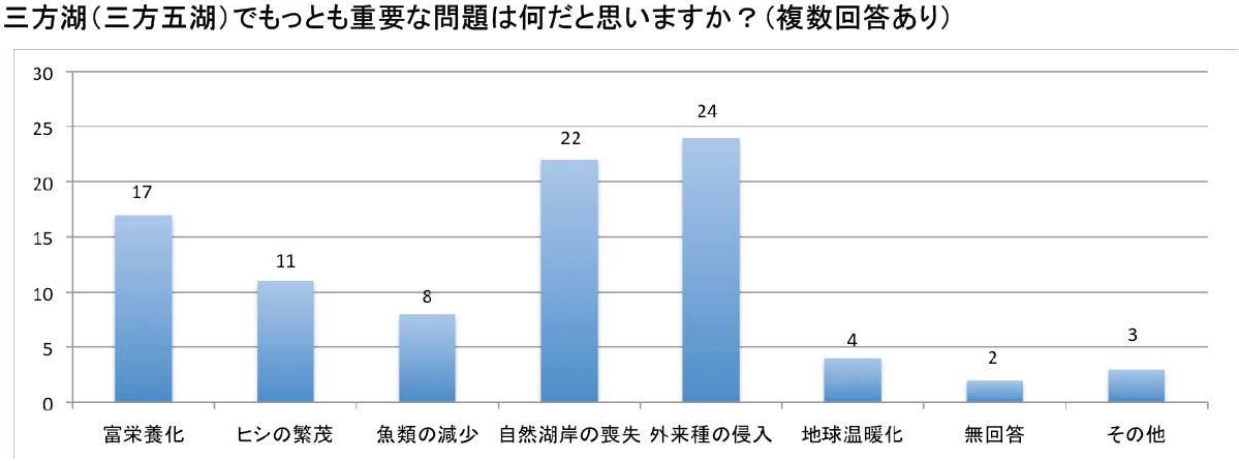
本課題で得られた研究成果を地元地域に広く発信し、地域の関係者に自然再生の課題を認識してもらい、自然再生の取り組みを促進することを目的として、原則として毎年度に地域向けの成果報告会「三方五湖自然再生シンポジウム」を開催した。2010年2月、2011年5月、2012年3月の3回開催し、毎回約100名余りの参加者をえた。地域のさまざまな関係者に、三方五湖とその流域における自然再生の必要性を改めて認識してもらう機会となった。

研究者による研究成果の報告は、地域の方にわかりやすいように丁寧に解説され、概ね「わかりやすかった」という評価を得た。全体の内容についても「満足した」という感想が多く、「次回も参加したい」という声が多かった。さらに、これまで深く認識されてこなかった自然環境の問題が、研究報告会での発表を通して、地域住民に新しく理解されることもあった。

図(5)-2　2012年3月に開催した成果報告会の内容に関するアンケート結果。左：内容はわかりやすかったですか？という質問への返答。右：内容はいかがでしたか？という質問への返答。



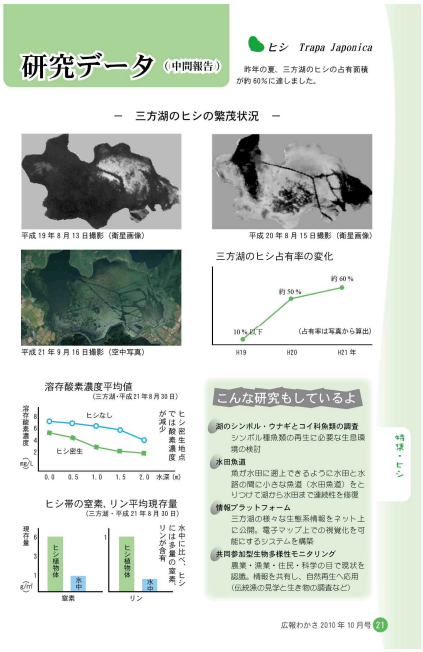



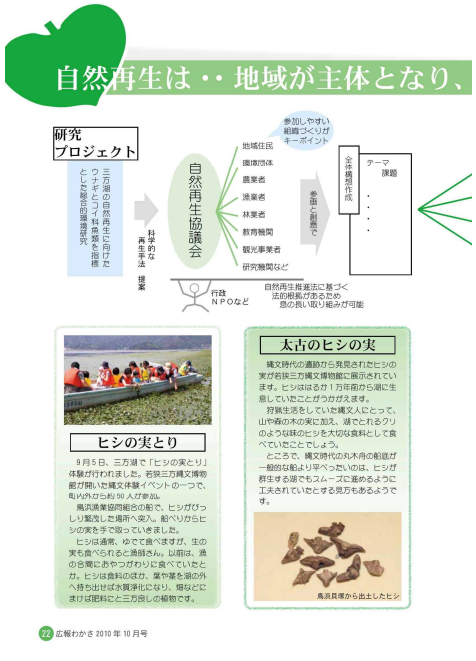

図(5)-3　2011年5月に開催した成果報告会の内容に関するアンケート結果。上：自然再生に関わる議論に今後も参加したいと思いますか？という質問への返答。中：もっとも興味をもった報告のテーマは何でしたか？という質問への返答。下：もっとも重要な問題は何だと思いますか？という質問への返答。

2012年3月に開催した成果報告会では、研究期間3年間のまとめとして、これまでの研究成果をより詳しく解説し、地域の関係者との密な議論の時間を持つこともできた。さらに、公開した研究成果は、小冊子にまとめられ、地域の住民に広く発信することもできた。

図(5)-4　2012年3月に開催した成果報告会での発表内容をまとめた小冊子。

他にも、地域の広報誌に研究成果を公表し、新聞やテレビなどの報道を通しても、研究成果の公開や自然再生の重要性の解説などを行った。




図(5)-5　地域の広報誌（広報わかさ）に掲載された研究成果。主に、ヒシの分布とその生態系への影響について解説が掲載された。

（３）自然再生協議会の設立

本課題の一つの目的は、本課題による研究成果の科学的基盤に立ちながら、地域のさまざまな関係者の主体的な参加を得て、自然再生推進法に基づく自然再生協議会をつくることである。地域における自然再生のこれまでの取り組みは、地域の関係者が認識する個別の課題について、個別に実施されてきた。さまざまな関係者が一同に会する自然再生協議会は、そのような個別的な取り組みを地域が一体となって全体として実施することを可能にするものであり、地域全体での

問題意識の共有や相互理解を通して自然再生の取り組みをさらに促進することが期待される。しかし、そもそも「自然再生協議会」がどのような装置なのかについて、最初から地域の理解があるわけではない。自然再生協議会の仕組みの理解、この地域の実情に適合した規約、地域のさまざまな関係者を含むような参加者の構成、実質的な運営業務を行う体制など、自然再生協議会を設立し運営していくには多くの課題が存在する。本課題では約1年の時間をかけて設立準備を行い、「三方五湖自然再生協議会」を設立した。具体的には、下記のようなものであった。

１）2010年2月　自然再生協議会住民説明会

自然再生推進法にもとづく自然再生協議会について、その制度や協議会の仕組みについて、地域のさまざまな関係者を対象に解説がなされた。さらに、二級河川三方五湖の管理者である福井県において、関係する複数の部署が行ってきた自然再生や環境保全に関係する事業が紹介された。これらの事業について、より統合的な視点に基づいて、地域と協力しながら実施していくことが重要との意見が出された。今後、自然再生協議会を設立する方向で作業を進めることが確認された。

２）2010年10月　若狭町設立準備会、2010年12月　美浜町設立準備会

自然再生協議会の設立準備会が、三方五湖の流域を含む若狭町と美浜町にて行われた。地域住民、農業者、漁業者、NGO、各種団体、若狭町、美浜町、福井県、環境省、研究者などの参加があった。これらの参加者は自然再生協議会の設立メンバーとなることが期待された。本課題の研究成果やこれまでの別の研究結果などに基づき、自然再生の個別の課題について議論を深めながら、自然再生協議会の設立に向けて各方面から努力することが確認された。今後は、個別のテーマに関係した部会を開催して、自然再生への議論を進めることが確認された。

３）2010年12月　環境に優しい農業部会、2011年1月　水田魚道部会、外来魚部会

環境に優しい農業、水田と水路をつないで魚類の再生を目指す水田魚道、ブラックバスやブルーギルといった侵入が進行しつつある外来魚の個別テーマについて、地域住民、自治体の関係者、行政、研究者などの参加を得て、現状認識などの情報共有や問題解決のための具体的対策について議論がなされた。

４）2011年5月　三方五湖自然再生協議会 設立

自然再生協議会の規約と参加者名簿を定めて、三方五湖自然再生協議会が設立された。これまでの設立準備会や部会の参加者の参加が得られた。協議会の規約は、国内の他の自然再生協議会の規約を参考に、三方五湖の地域に適合した内容に整備された。本協議会は、全国では23番目、中部地方では初となる自然再生協議会の設立であった。2011年度内を目標に、自然再生全体構想をまとめることが承認され、その作業には福井県・若狭町・美浜町の協議会事務局が主導することが確認された。

図(5)-6　三方五湖自然再生協議会の組織・体制。本課題に参加している研究者や行政関係者などの多くも参加している。

５）2012年3月　三方五湖自然再生協議会 自然再生全体構想の策定

三方五湖自然再生協議会の自然再生全体構想の策定については、第1案が事務局から提示され、2011年8月～9月にかけて意見募集が行われた。本プロジェクトからも、研究成果に基づく多くの提案がなされた。その後、2011年9月には、専門家委員会が福井県で開催され、湖岸のあり方に関する議論などが活発に行われ、全体構想へ貢献するような多くの提案がなされた。さらに、2011年11月には、三方五湖自然再生協議会の第2回全体会が開催され、全体構想の第2案に関する議論が活発に行われた。その議論をもとに、全体構想の第3案が準備され、2011年12月から2012年1月にかけて、再度の意見募集が行われた。また、2012年1月には、三方五湖自然再生協議会のうち、湖と水田のつながり再生に関する部会が開かれ、本プロジェクトの研究成果から議論の科学的基盤を提供することができた。その後、2012年3月には、自然再生全体構想が第3回全体会において承認され策定された。これらの一連の取りまとめ作業において、本プロジェクトからは絶えず研究成果の発信を行っており、全体構想の内容に大きく貢献することができた。

図(5)-7　三方五湖自然再生協議会で策定された自然再生全体構想。本課題の研究成果からも多くの貢献がなされた。

## ５．本研究により得られた成果

### （１）科学的意義

湖沼や流域がかかえる環境問題の解決には、自然科学による環境そのものの評価だけでなく、人文社会科学による人と環境の関わりの分析も合わせた、総合的な環境評価が必要である。しかし、自然科学と人文社会科学の両面から生態系を評価する試みは未だ少なく、標準的な方法論は定まっていない。本研究は、三方湖水辺生態系という比較的小さな生態系とそれを取り巻く小さな地域（1つの自治体からなる）を対象に、自然再生を計画立案するのに必要な総合的な情報基盤の整備を目指しており、自然科学と人文社会科学を統合したアプローチをとっている。このアプローチそのものが自然再生を支援する環境評価の新しい方法論を提案することになると期待される。

### （２）環境政策への貢献

三方湖を含む三方五湖においては、水質悪化や生物多様性の衰退に伴って自然再生への関心が高まり、これまでにも様々な対処療法的な環境対策が実施されてきた。しかし、生態系の現状を調査した上で、それに基づいた対策を実施し検証するという、本来の自然再生の進め方に則った

事業の実施は、地域内の限られた研究者と行政の連携だけでは実施が困難であった。本課題のような自然科学と人文社会科学の多様な研究者が参画した総合的な研究は、三方五湖では初めてであり、自然再生を進めて行く上での必要性と地元地域からの期待は大きい。福井県は2008年に福井県環境基本計画を策定しており、三方五湖の水辺生態系の再生は重点施策として位置づけられている。本サブテーマでは、地域における多様な関係者が協働して自然再生を実施するための、合意形成や実践活動の基盤を構築することができた。

三方湖水辺生態系においては、地域の多様な主体がそれぞれの意見を交換する機会がこれまでほとんどなかった。地域住民への成果報告会や自然再生協議会の設立準備会などを通して、多様な主体が相互に理解しあう機会を提供した意義は大きい。その結果、本課題からの科学的貢献がきっかけとなり、当初目標としていた自然再生協議会が、2011年5月1日に設立された。自然再生協議会では、本研究の成果が大きく貢献するようなかたちで、自然再生全体構想がまとめられた。今後は、自然再生全体構想にもとづいて個別の再生目標を実現させていくため、自然再生事業実施計画の策定が予定されている。この作業にも、本課題の研究成果が貢献することが期待されており、地域と科学の協働を進めて行く予定である。

## ６．国際共同研究等の状況

JAGUAR (Sustainable futures for cultural landscape of Japan and Germany – biodiversity and ecosystem services as unifying concepts for the management of agricultural regions)

カウンターパート：Volkmar Wolters, Stefen Hotes & Ernst-August Nuppenau at Justus-Leibig-University（ドイツ）

連携状況・位置づけ：日独の研究者が連携して、里山環境の持続的利用に向けた比較環境研究を実施することが、2012年度より開始される。福井県三方五湖は1つの研究サイトに選ばれ、本課題の研究成果を活用することが予定されている。

## ７．研究成果の発表状況

### （１）誌上発表

＜論文（査読あり）＞

特に記載すべき事項はない

＜査読付論文に準ずる成果発表＞（「持続可能な社会・政策研究分野」の課題のみ記載可。）

特に記載すべき事項はない

＜その他誌上発表（査読なし）＞

1) 対象地域に向けた成果報告書（若狭町の全戸に配布），1-17（2012）
「三方湖総合研究プロジェクト 3年間のまとめ」

### （２）口頭発表（学会等）

1) 吉田丈人：日本生態学会第58回大会（2010）
「福井県三方湖の自然再生を支援する総合的環境研究」

2) 吉田丈人：日本水環境学会中部支部講演会（2011）
「福井県三方湖の自然再生を支援する総合的環境研究」
3) T. Yoshida：Japanese-German Frontiers of Science symposium, Tokyo, Japan, 2011
“Integrative research supporting ecological restoration of a lake ecosystem”
4) T. Yoshida: ASLO 2012 meeting, Otsu, Japan, 2012
“Integrative research for ecological restoration: a case study in Lake Mikata (Fukui, Japan)”

**（３）出願特許**

特に記載すべき事項はない

**（４）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）**

1) 三方湖自然再生研究プロジェクト中間成果報告会（2010年2月21日、福井県立三方青年の家、観客約100名）
2) 湖沼と湿地の自然再生：生態学が果たす役割と他分野との協働（2011年3月10日、日本生態学会第58回大会、札幌コンベンションセンター、観客約100名）
3) 三方五湖総合研究プロジェクト中間成果報告会（2011 年 5 月 1 日、福井県三方青年の家、観客約 100 名、アンケート実施（結果は本文に一部記載））
4) 三方五湖自然再生シンポジウム（2012 年 3 月 4 日、福井県三方青年の家、観客約 80 名、アンケート実施（結果は本文に一部記載））

**（５）マスコミ等への公表・報道等**

1) 中日新聞（2010年1月27日、「三方五湖の自然再生　県と地元2町協議会設立へ　外来魚対策など」）
2) 中日新聞（2010年2月22日、「地域あげ自然再生　若狭町で住民説明会」）
3) 福井新聞（2010年2月23日、「三方五湖再生に力結集」）
4) 朝日新聞（2010年2月26日、「ヒシ繁茂　魚生息脅かす」）
5) 福井新聞（2010年2月28日、「生態系保全　官民が本腰」）
6) 広報わかさ「ヒシのキモチ」（平成22年10月号、福井県若狭町）
7) 福井新聞（2011年4月29日、23面、「自然推進法基づき1日設立　三方五湖再生へ新組織」）
8) 福井新聞（2011年5月2日、18面、「三方五湖再生協が発足」）
9) 朝日新聞（2011年5月2日、福井版、23面、「三方五湖再生へ協議会」）
10) 日刊県民福井（2011年5月2日、5面、「三方五湖自然再生へ協議会設立」）
11) 中日新聞（2011年5月2日、福井版、17面、「三方五湖の自然再生へ」）
12) 福井新聞（2011年8月13日、「三方湖の生態危機指摘」）
13) 福井新聞（2011年11月21日、「三方五湖再生へ13目標」）
14) 日刊県民福井（2011年11月21日、「外来魚の少ない水辺など目標に　三方五湖自然再生協」）
15) 福井新聞（2012年3月5日、「三方五湖再生決意新た　若狭町でシンポ　生物、環境など研

究報告」）

### （６）その他

特に記載すべき事項はない

## ８．引用文献

1） 日本生態学会：地人書館（2010）
「自然再生ハンドブック」

2） D. Armitage, F. Berkes and N. Doubleday：UBC Press（2007）
“Adaptive co-management: collaboration, learning, and multi-level governance.”

# Integrated Study of the Lake Mikata Ecosystem toward the Restoration Using Japanese Eel and Cyprinid Fish as Icon Species

Principal Investigator: Takehito YOSHIDA
Institution: University of Tokyo
Department of General Systems Studies
3-8-1 Komaba, Meguro, Tokyo 153-8902 Japan
tel/fax: +81-3-5454-6645
email: cty@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

Cooperated by: Fukui Prefectural University, Fukui Prefectural Government, Wakasa Town

[Abstract]

Key Words: Nature restoration, Lake ecosystem, Icon species, Public participation Cooperative survey, Ecological network

We conducted an integrated, multifaceted study of a lake ecosystem using ecological, humanity and sociological approaches in order to provide a scientific basis for “nature restoration”, a legal framework for biodiversity conservation in Japan. The studied system was Lake Mikata located in Fukui Prefecture, which harbored distinguished biodiversity. The recent status of biodiversity of this lake, however, was declining and thus the nature restoration was highly in demand in the local community. We examined what environmental conditions need to be restored primarily in this system. We also tested some restoration measures and evaluated the effectiveness.

A floating-leave water plant (water chestnut) has massively covered the most part of the lake surface since 2008, although other part of the lake was not covered due to the limited seed dispersal and the increased mortality caused by intruded salinity from the adjacent lake. The water chestnut cover caused the changes in water quality and consequently altered plankton and benthos communities in the lake. The energy and material flow of the lake food web was also altered significantly by the dominance of water chestnut over phytoplankton in the primary production.

Small-scale fish ladder is promising measures for restoring the connection between paddy fields (where cyprinid fish spawn) and the lake (where the fish grow). We identified the environmental conditions at which *Carassius* species (the major cyprinid fish) spawn. Then, we selected locations where the successful spawning was highly expected, and then installed fish ladders. We measured the number of fish that used the fish ladders and found the significant difference among fish ladders, which was caused by

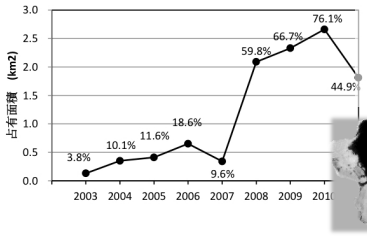
the irrigation treatment of the paddy. For the effective usage of the fish ladders, close collaboration with paddy farmers was found to be necessary.

We also studied the long-term changes of the relations between the lake and the local community. Our sociological study found that the pre-existing diverse relations have been gradually eroded in recent years. We also developed a GIS platform that shared, managed and visualized the information we collected.

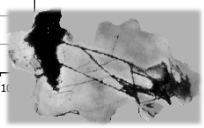
We also conducted public participation cooperative surveys in order to effectively monitor and share the current situation of the lake ecosystem with the local community.

The above results were openly shared with the local community, and we were able to help the local community develop the “Mikatagoko Nature Restoration Committee”. Also, our results contributed significantly to the overall plan of the restoration program.

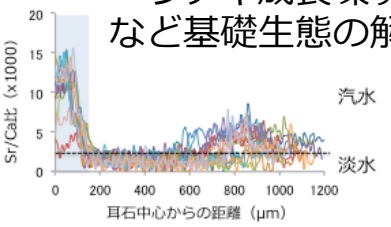
## 自然再生の根拠となる科学的知見→優先的な保全・再生課題を提示



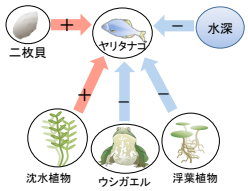

### ヒシ帯の急激な増加



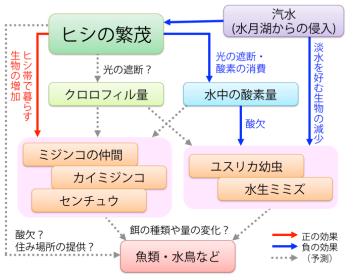
### ウナギ成長環境など基礎生態の解明



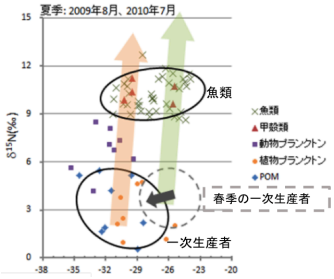

### タナゴ生息環境の特定



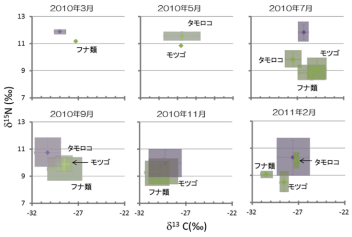

### ヒシによる著しい環境・食物網改変の解明



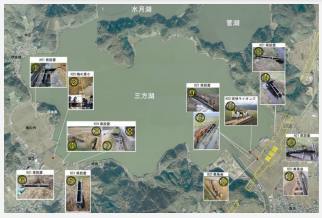

### 生産構造の解明




### ブルーギルと在来魚の競合関係の解明



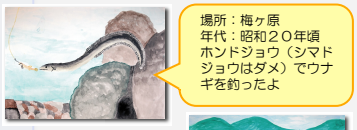

## 自然再生の具体的方策を開発→順応的管理による再生事業



### シュロ採卵法を新規開発

水田魚道の効率化

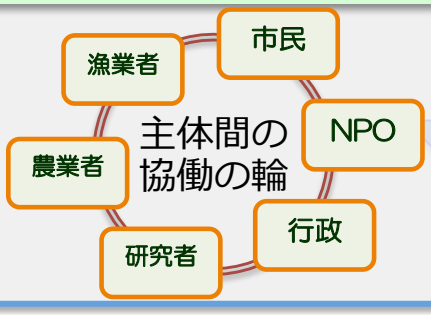
## 人と自然のかかわりの解明→自然再生の視点を提供



多様なかかわりの存在とその弱化

## 基礎研究から住民参加へ（科学と地域の協働）

## 協働参加型調査の定着→多様な主体の協働を促進




## 新しいGISの開発→情報の統合・共有の促進

みんなの三方五湖マップ

## 三方五湖自然再生協議会を設立：全国で23番目・中部地方で初
## 自然再生を支援する科学のモデル：「三方五湖方式」を提示

全体構想に研究成果を反映