

【琵琶湖環境研究推進機構】

在来魚介類のにぎわい復活に向けた研究

第3期研究成果報告書

研究期間 令和2年度～令和4年度

目次

| | |
|--|----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. 研究概要 | 2 |
| 3. 第3期における各研究の内容と成果..... | 3 |
| 3.1 二枚貝等を指標とした湖辺環境改善手法の検討・実装に関する研究（沿岸環境） | 3 |
| 3.2 在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究（流域環境） | 4 |
| 3.3 湖沼の円滑な物質循環につながる要件と指標に関する研究（物質循環） | 5 |
| 3.4 湖底耕耘による漁場生産力向上実証研究（生産力回復技術の実証） | 6 |
| 4. 第3期研究の総括..... | 7 |
| 5. 今後の展開..... | 9 |
| 【参考資料】 各研究テーマの成果概要 | 10 |
| ＜琵琶湖環境科学研究センター 第6期研究提言・成果集から抜粋＞ | |
| 政策課題研究1「二枚貝等を評価指標とした湖辺環境改善手法の検討・実装に関する研究」 | 11 |
| 政策課題研究2「在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究」 | 14 |
| 政策課題研究3「湖沼の円滑な物質循環につながる要件と指標に関する研究」..... | 18 |
| ＜琵琶湖環境科学研究センター 第6期研究成果概要書から抜粋＞ | |
| 政策課題研究1「二枚貝等を評価指標とした湖辺環境改善手法の検討・実装に関する研究」 | 23 |
| 政策課題研究2「在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究」..... | 28 |
| 政策課題研究3「湖沼の円滑な物質循環につながる要件と指標に関する研究」..... | 32 |
| ＜水産試験場 令和2年度事業報告書から抜粋＞ | |
| 湖底底泥中に蓄積した栄養塩に着目した漁場生産力改善手法の開発Ⅰ | 38 |
| 湖底底泥中に蓄積した栄養塩に着目した漁場生産力改善手法の開発Ⅱ | 40 |
| ＜水産試験場 令和3年度事業報告書から抜粋＞ | |
| 湖底底泥中に蓄積した栄養塩に着目した漁場生産力改善手法の開発Ⅰ | 42 |
| 湖底底泥中に蓄積した栄養塩に着目した漁場生産力改善手法の開発Ⅱ | 44 |
| ＜水産試験場 令和4年度事業報告書から抜粋＞ | |
| 餌料環境改善のための土壌改良剤施用による底泥からのリン溶出の試み..... | 46 |
| 湖底底泥中に蓄積した栄養塩に着目した漁場生産力改善手法の開発Ⅰ | 47 |
| 湖底底泥中に蓄積した栄養塩に着目した漁場生産力改善手法の開発Ⅱ | 49 |

1. はじめに

琵琶湖流域では、水質悪化により 1977 年（昭和 52 年）に大規模な淡水赤潮が発生したが、以来「せっけん運動」を始めとする県民活動や各種施策等の実施により、水質は改善傾向にある。しかし、一方で、水草の大量繁茂やプランクトン種組成の変化など、生態系においても新たな課題が顕在化している。特に在来魚介類については、種苗放流やヨシ帯造成、外来魚駆除などを行っているにもかかわらず、琵琶湖漁業全体の漁獲量は減少傾向にあり（図 1-1）、大きな課題となっている。また、在来魚介類の減少を含むこれらの課題は、その要因が互いに影響し合い、一方の課題解決が必ずしも全ての課題解決につながらないなど、複雑・多様化している。

このような状況に対して、琵琶湖環境研究推進機構では、在来魚介類の減少に対する総合的視点からの改善に向けた研究として、「在来魚介類のにぎわい復活に向けた研究」を平成 26 年度より 3 期 9 年にわたり実施してきた。

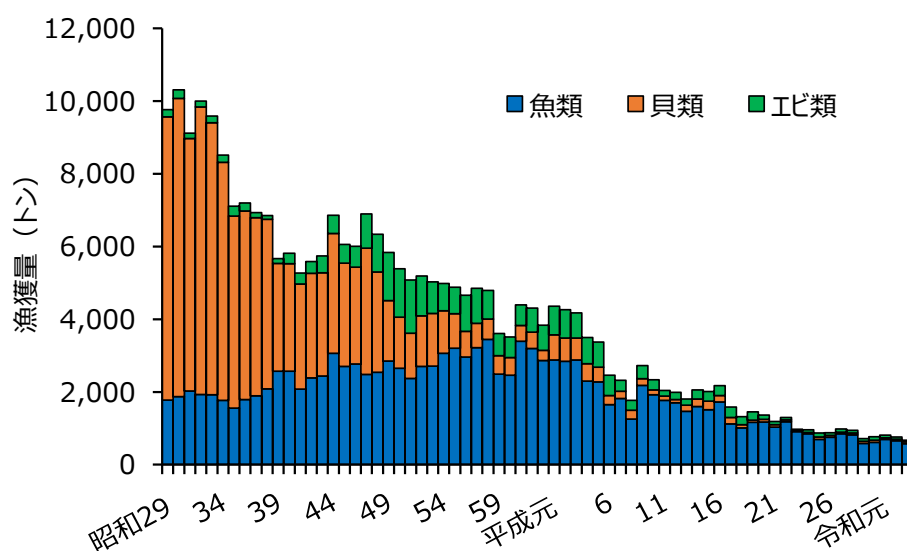


図 1-1 琵琶湖漁業の漁獲量の推移

2. 研究概要

本研究では、在来魚介類のにぎわい復活に対して「生息環境」と「餌環境」に着目し、「水系のつながり（森－川－里－湖）」と「生物のつながり（栄養塩－植物プランクトン－動物プランクトン－魚介類）」の視点から、それぞれの研究に取り組んできた。

第1期（平成26年度～平成28年度）では、「湖辺域における底質環境の評価に関する研究」（底質・湖岸環境）、「水系のつながりと在来魚の分布・移動との関係把握」（流域環境）、「餌環境のつながりからみた在来魚介類資源量の影響評価」（餌環境）を実施し、在来魚介類を育むための底質条件や餌資源の現況評価や、在来魚介類にとって望ましい生息条件の把握などを行った。

第2期（平成29年度～令和元年度）では、第1期の研究で得た知見をもとに、生息環境（水系のつながり）について、「琵琶湖沿岸域における湖底環境・生物再生に向けた研究」（沿岸環境）および「在来魚の保全に向けた水系のつながり再生に関する研究」（流域環境）を実施し、二枚貝の生残・成長と生息環境・餌環境との関係の把握や、アユの産卵に適切な河床の粒径の把握などを行った。また餌環境（生物のつながり）について、国立環境研究所や京都大学等の外部研究機関とも連携して「生態系保全につながる物質循環のあり方に関する研究」（物質循環）を実施し、湖内の食物連鎖の状況把握や琵琶湖の物質循環の円滑さを評価する指標の構築などを行った。

第3期（令和2年度～令和4年度）となる今回の研究では、第2期まで実施してきた「沿岸環境」「流域環境」「物質循環」を発展させた「二枚貝を指標とした湖辺環境改善手法の検討・実装に関する研究」「在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究」「湖沼の円滑な物質循環につながる要件と指標に関する研究」に加え、物質循環の研究で得た知見を踏まえた「湖底耕耘による漁場生産力向上実証研究」（生産力回復技術の実証）を実施した。

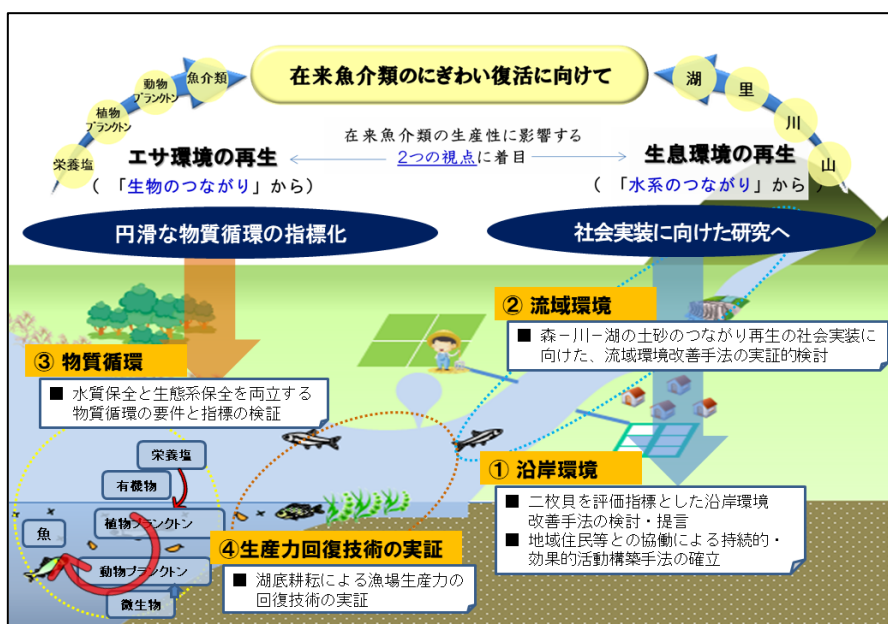


図 2-1 研究の全体像

3. 第3期における各研究の内容と成果

3.1 二枚貝等を指標とした湖辺環境改善手法の検討・実装に関する研究（沿岸環境）

<内容>

二枚貝をはじめとする底生動物は、大きくは移動せず、沿岸環境を形成する多くの因子の影響を受けるため、沿岸域の生態系改善に向けた評価指標として適する。なかでも二枚貝は、地域の保全活動を担う住民にも目的を共有しやすいことから、象徴的な指標として取り上げ、二枚貝のすみやすい環境づくりを通じた生態系改善手法を提示することを目指し調査研究を実施した。



図 3-1 二枚貝等を指標とした湖辺環境改善手法の検討・実装に関する研究概要

具体的には、湖辺の生息環境・餌環境形成因子の評価、住民、漁業者との協働による湖辺環境改善・維持手法の検証、工作物設置による湖辺環境改善手法の検証、砂地環境改善対策（養浜）における生物への長期影響評価などを行った。さらに、これらの取組みを「湖辺環境改善に向けた考え方と実践」事例集にまとめた。また、事例集の内容に則した湖辺環境改善の実装に向け、湖辺環境改善活動における住民の主体性醸成を図った。

<成果>

底生動物の再生について、シジミ類をはじめとした二枚貝を指標として検討した結果、水質、底質、流動等の良好な生息環境を構成する条件や、「良好な餌となる珪藻類の増加」「アオコ原因種である藍藻類の減少」「大型緑藻類の減少」という良好な餌環境に関わる条件が重要であることが分かった。二枚貝の増減条件を記述した数理モデルによる解析の結果では、湖辺環境改善手法として、①流動改善による止水域の解消、②底質改善（砂質化）による底質酸素消費の抑制、③湖沼の一次生産量（餌供給量）に見合った二枚貝の資源量管理、が有効と考えられた。良好な生息環境となる浅い砂地の確保に向けては、住民活動や工作物設置による、場所の特性に応じた手法の有効性を確認するとともに、積極的な住民活動の継続につながる共通認識の形成が重要な要素の一つであることが分かった。

また、養浜実施場所における底質と底生動物の状況を把握した結果、第2期の研究では、短期的にはライフサイクルの長いシジミ類の定着には工事後数年を要することが明らかとなった。第3期の研究では、長期的にみれば、工事後10年程度が経過しても砂地の侵食や泥質の堆積が顕著でない場所では、底生生物の組成は近距離の養浜されていない砂地と類似したことから、底生動物の生息状況は波浪による湖底攪乱の大小を反映すると考えられた。砂地の造成により湖辺環境改善を図る場合、過度な波浪が生じない場所で実施し、長期的に過度な砂地の侵食や泥質の堆積が抑制されれば効果が大きいと考えられた。

3.2 在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究（流域環境）

<内容>

森—川—湖の水や土砂のつながりが途切れてしまったことが、琵琶湖流域の在来魚など淡水生態系に影響を与えている。そのため、特に水系における土砂移動メカニズムを明らかにし、森—川—湖を行き来する在来魚のにぎわい再生に資する方法を提示することを目指し調査研究を実施した。

具体的には、主に愛知川を対象として、アユやビワマスなどの生息環

境、産卵環境の再生を目標とし、上流域での土砂流出パターンや中下流域での河床の土砂環境の把握し、多様な主体の合意形成に必要な科学情報を調査・集約・提供を行った。また、在来魚の生息環境を把握するため、河川の環境変遷モニタリング手法を開発した。さらに、多様な主体の協働による在来魚の保全・再生活動の要件や課題を明らかにした。

<成果>

在来魚のにぎわい復活を図るためには、上流から下流までの水と土砂のつながりを捉え、多様な主体が協働し一貫した考えのもと取組を行うことが重要である。各区域において、それぞれ有効な取組は以下のとおりであると分かった。

- ・森林では、林床が明るく森の下草が被覆するような森林管理により、河川に流入する土砂を適度な質と量に調整するのが、在来魚のにぎわい再生にとって重要であることが分かった。

- ・河川では、「ドローン測量」や「写真による河床材粒径測量」など、河川の土砂環境の変遷を定量的にモニタリングする技術の活用により、森—川—湖の土砂移動、堆積変動、河床の小中礫の分布状況など、在来魚のにぎわい再生に効果的な対策に寄与できる情報が得られた。また、地元住民等のステークホルダーと河床の土砂環境に関する情報を共有でき、流域環境管理の合意形成時に活用できると考えられた。

- ・大河川では、河川管理者主導で多自然川づくりが望ましいが、中小河川では多様な主体による在来魚の保全に資する、産卵床造成、バープ工設置、魚道設置などの「小さな自然再生」による川づくりが重要であることが分かった。

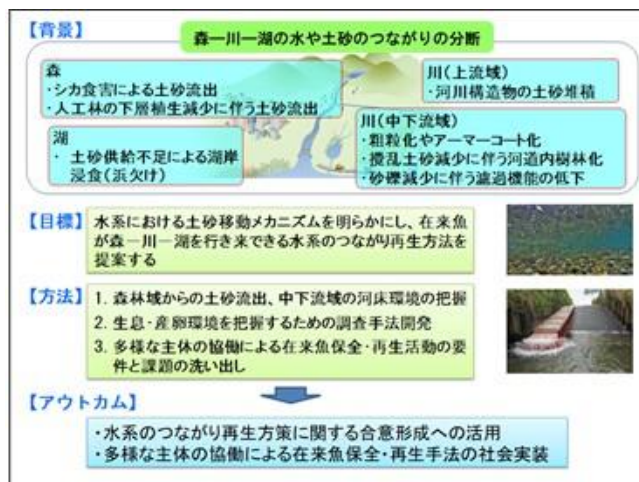


図 3-2 在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究概要

3.3 湖沼の円滑な物質循環につながる要件と指標に関する研究（物質循環）

<内容>

良好な水質と魚介類の資源量の改善を両立するためには、流入負荷の抑制による湖内物質量の削減だけではなく、魚介類等につながる物質循環を円滑にすることが重要である。そのため湖内の円滑な物質循環につながる要件に着目し、栄養塩動態や有機物生産・捕食状況の把握、および円滑さを表す指標の検討などを実施した。

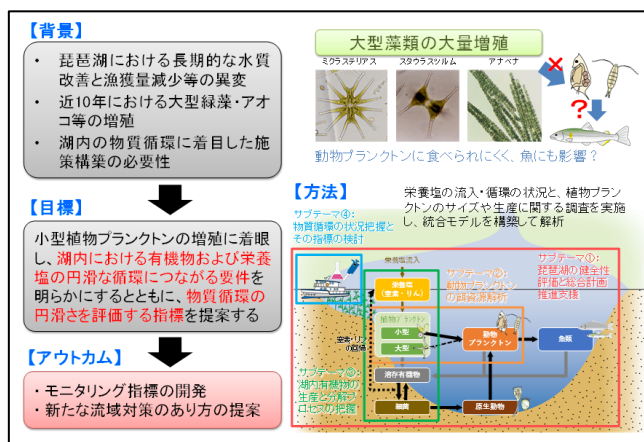


図 3-3 湖沼の円滑な物質循環につながる要件と指標に関する研究概要

具体的には、動物プランクトンおよびその餌となるセストン（植物プランクトン、微生物などに由来する懸濁粒子）の炭素と窒素、リンの比（以下「C:P比」「C:N比」と表記）等の把握、溶存有機物（DOM）の分子サイズ別の分解特性の把握、琵琶湖流域水物質循環モデルを用いた気象・気候と琵琶湖流域水環境との関係解析、物質循環の円滑さを評価する指標の体系化および有機物の生分解性の迅速把握のための指標開発を実施した。

<成果>

動物プランクトンとその餌となる小型セストン（45 μ m未満の粒子）の関係に着目すると、小型セストンの量が動物プランクトンの量や生産量に、また小型セストンの質（C:N比・C:P比）が動物プランクトンの質につながっていることが示唆された。小型セストンは沿岸帯に多く、大型（45 μ m以上の粒子）に比べて質がよく（C:N比やC:P比が小さく）、また動物プランクトンの量や生産量も沿岸帯で多いので、生物生産の場として沿岸帯が重要であることが明らかになった。

一方で小型セストンの量や質、生産量と栄養塩濃度の間には明瞭な関係は見られなかった。魚類資源が比較的豊富にあった1980～90年代と比較しても、近年の小型セストンの量、動物プランクトンの量や生産量は少ないとは言えず、小型セストンの質で見ても、動物プランクトンの成長を制限しているような状況は確認されていない。したがって、現在の環境では、小型植物プランクトンや動物プランクトンを増やすために栄養塩を入れるなどの対策を行うことの積極的な理由は見いだせなかった。

数理モデルを用いた感度分析では、暖冬や豪雨に代表される近年の気象が物質循環の円滑さに影響している可能性が示唆された。今後、気候変動により水質・生態系に様々な影響が出たときに、現在の状況が続くという保証はない。本研究で提案した物質循環の円滑さやその要因に関わる様々な指標を定期的にモニタリングして状況の変化を把握するとともに、気候変動の進展が物質循環にどのような影響をもたらすか明らかにし、適応策を検討する必要がある。

3.4 湖底耕耘による漁場生産力向上実証研究（生産力回復技術の実証）

<内容>

近年の流入負荷削減の取組によって水質が改善した（図 3-4）一方で、琵琶湖の漁獲量は依然として低位にあり、また、セタシジミの肥満度が極端に低くなる事例（図 3-5）やアユやニゴロブナの体長が縮小傾向にあることが確認されるなど漁場生産力が低下していることをうかがわせる事象が頻発している。そこで湖底耕耘により湖底に蓄積した栄養塩を湖水中へ回帰させる可能性について検討した。

具体的には、水産試験場内素掘り試験池にて、直上水ごと採泥したアクリルパイプを転倒攪拌する場合と耕耘する場合のアンモニア態窒素等の底泥間隙水と直上水濃度の測定や直上水での植物プランクトンの増殖について検討した。また、現場水域で漁船による湖底耕耘後に同様の測定を行った。リンについては、好気条件下での溶出は期待できないことからキレート剤を用いた溶出試験を行った。

<成果>

湖底耕耘による漁場生産力の改善を目的に、栄養塩の湖水中への回帰を検討した。

場内試験では、閉鎖条件下においてアンモニア態窒素（以下、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の底泥間隙水から直上水への回帰が確認され、同時に植物プランクトンの増殖も確認された。また耕耘後ただちに採水・採泥した場内試験においても、耕耘によって底泥間隙水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に変化が生じ、水温によっては耕耘した直上水中で植物プランクトンの増殖が見られた。リン酸態リンについては、好气的条件での溶出は期待できないことから、キレート剤（フルボ酸）添加による効果を調べたが、その効果は添加直後に限定的であり持続性があるものではなかった。

現場試験での濁度の測定結果や場内試験の結果から、耕耘によって底泥表層部が攪拌されて $\text{NH}_4\text{-N}$ がより高濃度な深層部が露出すること、加えて複数回の耕耘によって露出した深層部が攪拌される、という行程による $\text{NH}_4\text{-N}$ の回帰が推測された。しかし、回帰しても希釈されていると思われ、直上水での濃度上昇は見られず、現場水域では植物プランクトンの増殖は確認されなかった。

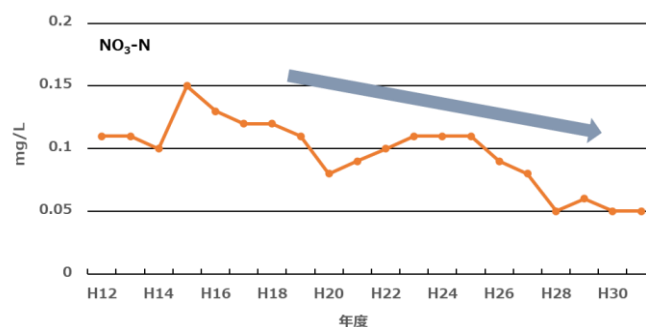


図 3-4 琵琶湖北湖 3 定点の表層における硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 濃度 (年平均値) の経年変化

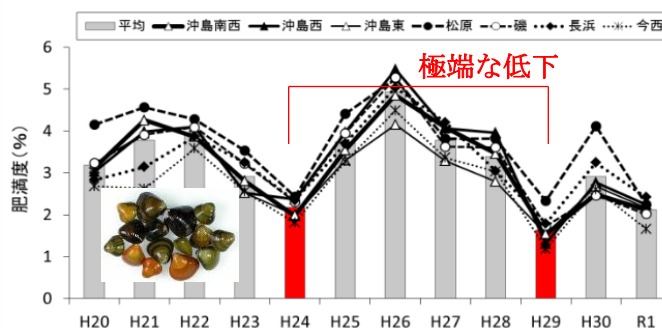


図 3-5 産卵期前のセタシジミの肥満度の低下

4. 第3期研究の総括

「在来魚介類のにぎわい復活に向けた研究」については、第1期より「水系のつながり」と「生物のつながり」の2つの視点から検討を行ってきた。第3期における研究全体の成果としては、水系のつながり改善のために、より施策につながる、あるいは現場で実践できる手法等についての具体例を示したことと、生物のつながりについて、単に流入負荷を削減するだけではない物質循環の円滑さに着目した管理の方向性を示したことである。

<水系のつながり ～生息環境の再生～>

沿岸域の生息環境の再生については、シジミ類等の二枚貝を指標として検討した結果、止水域の解消、底質の砂質化による底質酸素消費の抑制、餌供給量に見合った二枚貝の資源量管理が重要であり、好適な餌環境としては良好な餌となる珪藻類の増加、アオコ原因種等の藍藻類の減少、大型緑藻類の減少が重要であることが分かった。このためには良好な生息環境となる浅い砂地の確保に向けて、工作物設置による、湖底攪乱の違いなど場所の特性に応じた手法が有効である。また、湖辺環境改善を他地域へ拡大していくためには、こういった行政、住民、漁業者とともに効果の検証結果を共有しつつ取組んだ具体的事例を取りまとめた。

河川における生息環境の再生においては、流域住民や河川管理者等のステークホルダーと合意形成を進めながら対策を講じる必要があるが、河川の規模により望ましい再生方法が異なり、中小河川では、多様な主体による産卵床造成、バープ工設置、魚道設置などの「小さな自然再生」による川づくりが重要であると分かった。また、土砂の移動、堆積、河床粒径分布などの現況や変動に関する情報を得るには、ドローン測量や水中写真測量等のモニタリング技術の活用も有用である。さらに、河川に流入する土砂の質と量に影響を与える森林に目を向ける必要があり、森の下の草が被覆するような森林管理が重要であることも確認できた。

<生物のつながり ～餌環境の再生～>

餌環境（生物のつながり）では、小型セストン（45 μ m未満の植物プランクトン、微生物等の粒子）の量と質（C:N比・C:P比）が動物プランクトンの量と質につながっていることが示唆された。小型セストンは沿岸帯に多く、大型（45 μ m以上の粒子）に比べて質がよく（C:N比やC:P比が小さく）、また動物プランクトンの量や生産量も沿岸帯で多いので、生物生産の場として沿岸帯が重要であることが分かった。一方、小型セストンの量や質、生産量と栄養塩濃度の間には明瞭な関係は見られなかったことなどから、餌環境改善のために栄養塩を付加する対策をとることの積極的な理由は見いだせなかった。数理モデルを用いた分析では、暖冬や豪雨に代表される近年の気象が物質循環の円滑さに影響している可能性が示唆されたことから、今後、気候変動の進展が物質

循環にどのような影響をもたらすかを明らかにしていく予定である。

漁場生産力の改善においては、沿岸での湖底耕耘による栄養塩の湖水中への回帰を検討したところ、当初目的とした栄養塩回帰は期待した結果を得られなかった。水産試験場内試験池と現場水域で湖底耕耘を行った結果、耕耘により表層泥が攪乱されて懸濁状況が確認され、底泥間隙中のアンモニア態窒素濃度が高くなる現象も認められたが、希釈の影響か水中の濃度の高まりまでは認められなかった。またリン酸態リンについてキレート剤(フルボ酸)添加による効果を調べたが、その効果は添加直後に限定的であり持続性があるものではなかった。一方で湖底には、シジミなどに優良な餌料プランクトンである珪藻の休眠細胞があると考えられることから、湖底耕耘によりそれを直上水中に巻き上げ、発芽、増殖させることの可能性について、今後検討していく必要がある。

琵琶湖漁業では漁場環境の悪化や漁業者の高齢化と減少、湖魚の需要低下等の様々な要因から漁獲量の減少傾向が続いているが、一方でビワマスやホンモロコなどの一部の魚種では資源量が近年回復の傾向にある。引き続き在来魚介類のさらなるにぎわい復活に向けて、本庁の部課および試験研究機関、さらには市民や事業者等とも連携して課題の解決に努めていく。

5. 今後の展開

3期9年にわたり研究を進めてきた「在来魚介類のにぎわい復活に向けた研究」については、一定の知見と成果を得ることができた。今後も各所属においてこれまでの研究成果を踏まえながらそれぞれ研究を進めていくこととし、分野横断的な連携が必要となる課題が生まれた場合には、琵琶湖環境研究推進機構のつながりを活用して連携・共有を進めていくこととする。

なお、各テーマにおいて令和5年度以降に検討している内容は以下のとおり。

<水系のつながり ～生息環境の再生～>

沿岸域の生息環境の再生においては、「事例集」に則した湖辺の生態系改善に向けた取組を継続する必要がある、琵琶湖環境科学研究センター第七期中期計画（2023～2025年度）の「琵琶湖沿岸の自然再生と生態系の現状評価（調査解析1）」において、住民が主体となって湖辺の環境改善活動を進めるための支援・促進手法を検討し、その実践事例を提示する。また、本事例集は、今後の水産取組への科学的基礎情報としても活用できる。

河川における生息環境の再生においては、河川流域における森や河畔林などの減災機能等のグリーンインフラ機能の効果評価の研究ならびに関連する技術手法開発を行う。また、グリーンインフラ機能の回復方策の一つとして、「小さな自然再生」の他地域への展開や主流化などの検討と実践を行うほか、グリーンインフラ機能を有する場所がOECMに資する場所か検討する。

<生物のつながり ～餌環境の再生～>

餌環境（生物のつながり）においては、琵琶湖環境科学研究センター第七期中期計画（2023～2025年度）の「気候変動が琵琶湖の水質・生態系にもたらす影響と適応策に関する研究（政策課題研究1）」において、物質循環の円滑さが今後の気候変動によりどのように推移していくのかを明らかにする予定。また、同研究において、琵琶湖の魚類の餌となる動物プランクトンの量と質を評価するほか、湖水有機物の分解特性が気候変動から受ける影響を評価する予定。

漁場生産力の改善においては、耕耘による栄養塩回帰は困難であったことから、それに代わる漁場生産力改善の手法を検討する必要がある。そこで、シジミなどに優良な餌料プランクトンである珪藻を増殖させることを目的として、耕耘によって底泥中の珪藻休眠細胞を直上水中に巻き上げ、発芽させることの可能性について検討する予定。