

**【参考資料】**  
各研究テーマの成果概要

## 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」

### (試験研究の背景・目的)

在来魚介類の減少は喫緊の課題であり、中でも二枚貝（シジミ類等）の減少が著しい。その生息場所となる沿岸域の生態系改善に向けた評価指標として、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底生動物が適している。二枚貝（シジミ等）は、地域の保全活動を担う住民等にも目的を共有しやすいこと等から、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の提言を目的とした。

第四期（2014～2016年度）では、底質と底生動物の現状比較から、沿岸域の生態系改善に向け、良好な湖底環境（浅い砂地）の確保が必要であることを明らかにした。

第五期（2017～2019年度）では、沿岸域の生態系改善に向けた持続的・効果的な対策の提言に必要な知見を得るため、二枚貝を含む底生動物を評価指標として、環境条件との関係評価や住民参加による改善手法の検証を進めた。

第六期（2020～2022年度）では、生息環境、餌環境に係る研究を進めるとともに、湖辺の生態系改善に向けた考え方や、その実践事例として第五期～第六期における琵琶湖での取組を「湖辺環境改善に向けた考え方と実践」事例集（旧仮称：湖辺環境改善技術資料）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て、住民等による活動の支援とともに主体性の醸成を図った。

### 政策課題研究1（PS1）の提言・成果の要点

底生動物の再生について、シジミ類等の二枚貝を指標として検討した結果、良好な生息環境を構成する水質、底質、流動等の条件、良好な餌環境として「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わかった。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わかった。

また、養浜実施場所における底質と底生動物等の状況を把握した結果、短期的にはライフサイクルの長いシジミ類等の定着には工事後数年を要することがわかった。長期的には、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、養浜されていない砂地と同様に、底生動物の生息状況は波浪による湖底攪乱の大小等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。

上記の成果に基づき作成した「湖辺環境改善に向けた考え方と実践」事例集を活用し、行政、住民等の協働により、湖辺の生態系改善に向けた取組を推進する必要がある。

### 提言・成果 PS1「二枚貝等を評価指標とした湖辺環境改善手法とその実装に向けた方向性」

#### (試験研究を通してわかったこと)

- ・底生動物とその生息環境の対応関係の解析結果から、底生動物組成を規定する主な環境因子は、餌環境と関連する水質・底質中の有機物・栄養塩、生息環境としての底質粒径、湖水の流動・波浪と関連する湖岸傾斜であることがわかった。シジミ類の生息環境としては遠浅の砂地が最も適してお

- り、甲殻類の琵琶湖固有種ビワカマカも同様の生息環境が適していることから、ビワカマカもシジミ類と同様な環境指標となりうることがわかった。
- ・南湖における水草繁茂状況と底生動物の生息状況を把握した結果、近年は水草が減少し、底生動物が増加していることがわかった。
  - ・シジミ類稚貝に1種または2種の植物プランクトンのみを給餌した飼育実験の結果、良好な餌環境の条件として「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」の重要性が示唆された。
  - ・湖辺で環境改善活動を実施した場所におけるシジミ類の生息状況を把握した結果、住民参加による継続的な湖底耕耘や水草除去により、生後1~2年程度の稚貝が増加した。
  - ・シジミ類の増加に向けては、生後2年程度までの稚貝の生残率が低いことが課題と考えられる。
  - ・過度な波浪を緩衝し砂地の攪乱を抑制する、簡易な工作物を設置した場所における底生動物の生息状況を把握した結果、工作物内ではミズ類等が増加し、シジミ類も増加傾向が認められた。
  - ・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、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。
  - ・養浜実施場所における底生動物の生息状況と湖底環境（底質、湖底断面地形）についての関係性から、砂地の造成により底生動物の生息環境改善を図る場合、短期的な視点からは、湖底の侵食・堆積状況により、ライフサイクルの長いシジミ類等の定着に要する期間を数年見込む必要があることがわかった。長期的には、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、養浜されていない砂地と同様に、底生動物の生息状況は波浪による湖底攪乱の大小等を反映すると考えられたことから、過度な波浪が生じない場所で砂地造成を実施し、長期的に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。

### （センターとしての提言）

- ・湖辺の健全な生態的機能を回復させる手順を確立するため、琵琶湖での検証事例を基に、二枚貝を指標とした現状・課題把握の調査方法、目標の設定・達成に向けた施策の効果予測方法を、2021年度に「湖辺環境改善に向けた考え方と実践」事例集としてまとめた。この「事例集」の内容を保全活動の担い手に提供し、効果的に環境改善活動を広げる必要がある。また、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。
- ・住民等による自発的な活動の推進においては、シジミ類等のわかりやすい評価指標を設定した上で、活動による環境改善効果の検証結果を共有し、環境改善の目標や手法等の共通認識を形成することにより、積極的・持続的な活動につなげることが出来る可能性がある。
- ・砂地造成により湖辺環境改善を図る場合、シジミ類等の定着に数年を見込んだ上で、過度な波浪が生じない場所で実施し、能動的、受動的にかかわらず、長期的に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る。
- ・南湖の水草根こそぎ刈り取り等は、これまで水草の減少を図る目的で実施されてきたが、水草の減少が続く間は湖底耕耘として実施すれば、湖底環境の改善を図ることができると考えられる。
- ・シジミ類の増加に向けた課題として、生後2年程度までの稚貝の生残率の向上、人の手で制御する

ことが困難な餌環境等の改善手法があげられ、今後の研究が望まれる。



住民との協働による湖辺環境改善活動（左）、調査活動（中央）、活動周知に向けた体験イベント（右）

### **（今後の試験研究の方向性）**

湖辺における生態系の改善に向け、上記「事例集」に則した湖辺環境改善手法の実装段階として、第七期（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。

## 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」

### （試験研究の背景・目的）

森一川一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等を明らかにして、在来魚のにぎわい再生に資する方法を提案する。

第四期（H26-28）では、主に土砂と魚類の関係に焦点を当てて研究を行い、森一川一河口における土砂の移動がアユの産卵環境の形成に大きく影響していることを明らかにした。

第五期（H29-R1）では、「森一川一河口の土砂移動メカニズムの解明」および「地域主体の自然再生活動の継続性」に焦点をあてて研究を行った。

第六期（R2-R4）では、在来魚のにぎわい再生を目標として、ビワマスの魚道づくりなど「小さな自然再生」による「社会実装」をテーマとして研究を行った。

### 政策課題研究2（PS2）の提言・成果の要点

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、以下の事項について取り組んでいくことが有効である。

- ・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。
- ・「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、森一川一湖の土砂移動、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る。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て、流域環境管理の合意形成時に活用できる。
- ・大河川では多自然川づくりを推進し、中小河川では「小さな自然再生」により、多様な主体が関わって、アユやビワマスなどの在来魚が「降下遡上」や「産卵」できるような川づくりが重要である。

### 提言・成果 PS2-1「森林域から川への土砂のつながりに関する提言」

#### （試験研究を通してわかったこと）

- ・琵琶湖流域全域の森林表層からの泥の土砂流出の増加が、森一川一湖の土砂のつながりにより、琵琶湖の湖岸や水質環境に影響を及ぼしている可能性があることがわかった。
- ・アユやビワマスの産卵床の小中礫への強い選択性などから、森一川一湖の泥分と小中礫のつながりの変化が在来魚のにぎわいに大きな影響を与えている可能性があることがわかった。
- ・森林の下草が砂泥分の多い森林表層の土砂流出を抑制する効果があることが定量的にわかった。
- ・森から川へ流入する泥分が多いとアユ、ビワマス、イワナなどの生息面積や産卵面積が減少する可能性があることが示唆された。

- ・アユ、ビワマス、イワナなどの在来魚は、森一川一湖を 10mm 前後の礫が容易に移動できて、フレッシュな礫がふんわりと堆積するような河床環境があれば、産卵床が再生創出されて生息量が増加する可能性があることがわかった。

#### **(センターとしての提言)**

- ・「森の下草」の土砂流出抑制効果を維持できるような、例えば、シカ食害管理、適切な間伐、広葉樹の植樹などのように、森林斜面からの泥の流出を適度に抑制するために被覆率 60% 以上の明るい林床になるように森林管理を促進するのが良いと考えられる。そうすると、泥分の流出が抑制されてアユ、ビワマス、イワナ等の在来魚の生息環境の改善につながると考えられる。

#### **(今後の試験研究の方向性)**

- ・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を行う。
- ・森林表層の泥などの土砂流出特性について、樹種別の成長パターンや林相区分との関係性を精査する。

### **提言・成果 PS2-2「在来魚の保全に向けた河床の礫管理方法に関する提言」**

#### **(試験研究を通してわかったこと)**

- ・水中写真測量技術を開発し、これまで測定がかなり困難であった水中の河床状況（表面粒径分布、3次元表面形状、表面色）を把握することができるようになった。
- ・愛知川におけるアユ産卵床は、上流からの土砂供給が少ないため、緩やかな瀬の周辺等の動きやすい小中礫（2-16mm）が礫間にやわらかく堆積している河床においてのみ確認できた。その結果、アユが産卵場の小礫に関して強い選択性があることがわかった。
- ・渇水による瀬切れにより、上流域にある本来の産卵区間まで遡上できないときのビワマス産卵床は、下流域区間で臨時的に産卵可能であることが確認できた。さらに、小礫が多い下流区間でありながらも、産卵床には中礫（17-64mm）を使っており、中礫に強い選好性があることが確認できた。

#### **(センターとしての提言)**

- ・「ドローン測量」や「写真による河床材粒径測量」などにより、例えばアユの産卵床に好適な 2-16mm の小中礫やビワマスの産卵床に好適な 17-64mm の中礫の分布など、河床の粒径分布を河床環境モニタリングの指標として、在来魚が産卵しやすい河川環境を再生創出することが望ましい。
- ・上流からの土砂供給が少なく移動する小中礫が足りない場合には、短期的に産卵環境を改善する対策方法の一つとして、固定化した河床の砂礫堆（砂洲）を耕耘等で強制的に変化させ、土砂の供給と移動を局所的に促進させる方法もある。
- ・産卵環境の改善には土砂移動の促進が重要ではあるが、例えばビワマスやアユなど遡上降下する魚種には「瀬切れを防ぐ川づくり」や「魚道により遡上経路の阻害解消」も重要である。
- ・アユやビワマスの産卵床に必要な小中礫が上流域から河口まで滞りなく流下していること

が確認できるように、ドローン測量などにより、河道内の土砂堆積量の体積変化をモニタリングして、河川管理事業等において活用していくことが望ましい。

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

#### （今後の試験研究の方向性）

- ・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保全に資する技術開発を行う。

### 提言・成果 PS2-3「滋賀県における小さな自然再生の拡大・推進について」

#### （試験研究を通してわかったこと）

- ・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」は、小規模河川における保全・再生活動に有効であること。
- ・河川管理者が主導する従来の自然再生と比べた小さな自然再生の優位性は、大きく以下の3点が挙げられる。①費用が小さく、結果に応じてやり直せること。②持続的な維持管理につながる。③地域内外に広がり、様々な波及効果をもたらすこと。

#### （センターとしての提言）

- ・中小河川において「小さな自然再生」の技法や既存知見を活かして在来魚の保全を促進していく必要がある。また、大河川での自然再生は河川管理者主導で実施することが望ましい。
- ・小さな自然再生の最も大きな課題は、体制づくりにある。河川管理者や行政部局などが住民らに声をかけて体制を構築すると、必然的に行政主導の場になってしまい、適切な役割分担を行うことが難しくなる。住民らが問題に気づいて声を上げ、そこに河川管理者や研究者らが協力するという順序で進めることが、対等な関係を構築する上で重要となる。
- ・これらの特徴を踏まえた上で、小さな自然再生を滋賀県各地で推進していくことが必要である。

#### （今後の試験研究の方向性）

「小さな自然再生」が、グリーンインフラとしての機能を果たしていくため、第七期（R5-R7）の「グリーンインフラの推進に向けた河川流域が有する多様な機能の把握とその保全再生に関する研究（政策課題研究2）」において、以下の研究を実施予定。

- ・第五、六期の家棟川や新大宮川、愛知川で積み上げてきた、多様な主体の協働による「小さな自然再生」の好適事例(Better Case Study)の知見やノウハウを活かして、例えば「河川における小さな自然再生のマニュアル（仮）」など、河川管理者や新たに取り組もうとする人々が、事例情報・マニュアル・ノウハウなどを利用しやすい形で提言することを目指す。
- ・グリーンインフラ機能の回復に向けて、家棟川や新大宮川、愛知川での保全活動の継続。
- ・「小さな自然再生」の他地域への展開に必要な社会的・行政的要件の整理とアウトリーチ。
- ・魚道や河床改善、生物モニタリングなど、小さな自然再生の主流化に役立つ環境改善や

<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>

社会評価の手法の検討。

- ・民間による生物多様性保全区域（OECM）に関する知見の整理や社会調査が国レベルで進められており、これからも検討が進められる。国で進められた整理や社会調査を踏まえ、滋賀県における認証に向けた助言など地域版の促進に役立つ研究をする。



### 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」

#### (試験研究の背景・目的)

琵琶湖では流入負荷の削減により、水質が1970～80年代と比較して改善する一方で、漁獲量の減少や水草の大量繁茂、大型緑藻の増加などの新たな課題が顕在化している。この要因の1つとして、植物プランクトン（以下「植プラ」という。）から動物プランクトン（以下「動プラ」という。）、魚介類につながる物質循環が滞ってきたことが指摘されている。そのため、流入負荷を抑制して湖内の物質量を削減するだけでなく、魚介類等につながる物質循環を円滑にして、良好な水質と魚介類の資源量の改善の両立を図ること（＝琵琶湖が「健全」な姿になること）が求められている。

第四期（H26-H28）では、プランクトン食魚と餌資源の関係解析を実施するとともに、流域社会や琵琶湖内における物質循環の状況について簡易なモデル解析を行った。

第五期（H29-R1）では、湖内の有機物収支に着目し、植プラによる生産や食物連鎖を通じた物質循環の状況を詳細に把握した。その結果、現在の琵琶湖では生食食物連鎖を通じた魚への物質伝達が重要であること、また小さな植プラの方が動プラに捕食されやすく、魚類生産にもつながることを明らかにした。

第六期（R2-R4）では、動プラに捕食されやすい小型植プラの増殖に着目し、湖内における有機物および栄養塩の円滑な循環につながる要件を明らかにするとともに、物質循環の円滑さを評価する指標を検討した。併せて、ポストML21計画の新たな枠組み検討・推進支援を行った。

#### 政策課題研究3（PS3）の提言・成果の要点

動プラとその餌となる小型セストン（ $45\mu\text{m}$ 未満の粒子）の関係に着目すると、小型セストンの量が動プラの量や生産量に、また小型セストンの質（C:N比・C:P比）が動プラ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（ $45\mu\text{m}$ 以上の粒子）に比べて質がよく（C:N比やC:P比が小さく）、また動プラ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。過去調査と比較して、小型セストンの量、動プラの量や生産量が近年減少しているという傾向は見られておらず、小型セストンの質で見ても、動プラの成長の律速となっている状況は確認されていない。したがって、現在の環境では、小型植プラや動プラ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。

## 提言・成果 PS3-1「物質循環の円滑さを評価する指標の体系および気象・気候との関係について」

### （試験研究を通してわかったこと）

- ・琵琶湖流域水物質循環モデルを用いた解析の結果から、近年の気候の変化は流入負荷を増加させる一因となっていること、猛暑や暖冬が全層循環未完了に影響することが明らかになった。また、大型植プラの増加等の水質変化にも影響している可能性が示唆された。

### （センターとしての提言）

- ・これまで、湖内で生産された有機物ができるだけ無駄なく活用され上位の消費者等にも回っていくこと、すなわち物質循環が円滑であることが、水質保全と生態系保全の両立に直結することを提示し、それを測る指標として「生物バランス」「呼吸効率」「転換効率」を提案してきた。本研究ではさらに、物質循環の円滑さの要因となる指標として、「大型（小型）植プラの割合」「サイズ別植プラ（セストン）のC:N:P（炭素：窒素：リン）比」「溶存有機物（DOM）の分解により供給される栄養塩量」を提案する。これらの指標は比較的容易に測定することが可能であり、物質循環の状況や対策効果を知る上で有用な情報となり得る。
- ・ただし、これら要因となる指標と物質循環の円滑さの関係は単純ではなく、その他の環境因子とあわせて複合的に影響するため、物質循環の円滑さの状況を理解する一手段と捉えるとともに、調査を継続して指標間の関係を把握していく必要がある。
- ・気候変動は全層循環未完了や底層DOの低下だけでなく、複雑なメカニズムによって水質や生態系に影響を与える可能性があり、その影響について調査を進めるとともに、対策について早急に検討を進める必要がある。

### （今後の試験研究の方向性）

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ため、第七期（R5-R7）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、以下の研究を実施予定。

- ・物質循環の円滑さの要因となる指標について、気候変動による影響という観点から引き続き調査を行い、物質循環の円滑さへの影響についても考察していく。
- ・気候変動と物質循環の円滑さの関係についてより詳細に評価できるよう、琵琶湖流域水物質循環モデルを改良する。
- ・モデルを用いて、全層循環未完了後に生じる水質等への複合的な影響を、複数の気象条件から明らかにする。底層への酸素供給や流入負荷の削減等による気候変動適応策の効果について感度分析を行う。全層循環未完了の水質への影響として、底層DOの低下と各種物質の溶出等だけでなく、その後複合的にもたらされる可能性のある湖内事象を明らかにする。
- ・底層への酸素供給や流入負荷の削減等の気候変動適応策により、上記影響が緩和される可能性を把握する。

## 提言・成果 PS3-2「マザーレイクゴールズ（MLGs）の推進体制について」

### （試験研究を通してわかったこと）

- ・2021年7月策定された琵琶湖版SDGs「マザーレイクゴールズ（MLGs）」は、多様な市民が関わりまた活動を起こす契機となった。この理由として、主に以下3点の理由が考えられる。①共有し

やすいローカルな目標を掲げた。②活動の生態系を育むことを目指した。③環境分野にこだわらずに活動を広げた。

### （センターとしての提言）

・MLGsは「活動の生態系を築き、創発を促す」ことを目標に掲げ、多様な主体の参画を容易にしたことから、これまでにない活動の展開を見ることができた。一方で、推進委員会事務局を中心とする関係者への負担が増大し、正常な運営に困難を来す事態も生じている。そこで今後、推進体制をより強化し、また持続可能としていくために、以下3点を提案する。

①MLGs 案内人コミュニティを育み、更なる充実を図る：案内人の数を増やすとともに、MLGsについて理解を深めて幹事・事務局と連携して一層MLGsの活動を推進していけるよう、研修制度（MLGs案内人養成講座）を設ける。その上で、事務局に寄せられる依頼や相談の一部については、案内人から希望者を募って担当してもらうことなども検討する。

②新しい分野や人々との連携を強化する：市民らの創発を促すため、新しい分野・人々との連携はこれまで以上に積極的に取り組む。「環境」という枠を超えて、活動の生態系をつくる。

③資金循環の仕組みの更なる検討や実践を進める：寄附金を積極的に受領し、また活用できる体制を整える。国内外の資金循環の事例も参考に、志のあるお金が地域内で循環する仕組みをつくる。

### （今後の試験研究の方向性）

引き続きMLGsの推進に寄与するとともに、活動の生態系がどのように広がっていくのかを明らかにするため、MLGs案内人幹事として関与していく。

## 提言・成果 PS3-3 『水のきれいさ』と『魚の豊かさ』の両立に向けた施策等の方向性について

### （試験研究を通してわかったこと）

- ・沖帯では、動プラの餌となる小型セストンの量はアンモニア態窒素濃度と正の相関を示したが、それ以外の栄養塩濃度についてはそうした関係は見られなかった。沿岸帯の小型セストンは、全ての栄養塩濃度と関係性はみられなかった。琵琶湖において、アンモニア態窒素は硝酸態窒素等と比較して非常に少ないため、植プラはアンモニア態以外の形態の窒素も利用しないと増殖できないが、本研究では硝酸態窒素等とは相関はみられていない。また植プラが少量の無機栄養塩を積極的に利用するならば、むしろ両者は負の相関を示す場合もある。したがって、栄養塩濃度と小型セストン量の関係は必ずしも明確でないと考えられた。
- ・沿岸帯では、沖帯よりも動プラの餌の小型セストンが多く、特に夏季では、動プラの現存量や生産量も高まった。同化速度の実験結果から、夏季の沿岸帯における動プラの高い生産量を支えている餌は、植物プランクトンに加えて、微生物の鞭毛虫であることがわかった。夏季の沿岸帯では、生食食物連鎖だけでなく、微生物食物連鎖からのエネルギー（鞭毛虫等の微生物の餌）が、動プラの生産量を支えていることがわかった。
- ・沖帯および沿岸帯の小型植プラの生産量は、季節的な水温や栄養塩濃度の変化とは明瞭な関係性はみられなかった。今後は、小型植プラの生産量が高まる要件を明らかにするため、日射量や降水量等の気象条件の影響等も含めて解析する必要があると考えられる。
- ・動プラの餌となる小型セストンの質（C:P比、C:N比）については、動プラの生産が制限される閾値を下回ることは限定的で、小型セストンの質で見た場合、動プラの成長の律速となっている

状況は確認されなかった。

- ・魚の餌となる動プラの体の質（C:P比、C:N比）については、一時的にC:P比が100を超える時期もみられ、魚類の成長速度が制限される可能性が示唆された。稚仔魚期についてはリン要求量が高いため、アユ等のプランクトン食魚の成長段階ごとのリン要求量を求め、動プラのC:P比によって成長が制限されていないかを評価することが今後の課題である。

#### **（センターとしての提言）**

- ・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から、小型植プラや動プラ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い。
- ・夏季の沿岸帯で動プラの生産量を支える鞭毛虫は、有機物消費者の細菌を食べて増える。よって、沿岸帯において、湖岸の緩傾斜化等では有機物の沈降速度を緩やかにできれば、細菌による有機物の効率的な利用と細菌生産の増加を促し、植プラから動プラへの生食食物連鎖だけでなく、細菌－鞭毛虫－動プラの微生物食物連鎖の両面から動プラの生産量を上げることが可能と考える。これにより、動プラ－プランクトン食性魚（夏季に沿岸帯で生息するホンモロコ等）の転換効率が上がる可能性がある。ただし水質への影響が懸念されるため、その具体的な方法とともに慎重な検討が必要である。

#### **（今後の試験研究の方向性）**

琵琶湖の魚類の餌となる動プラの量と質を評価するため、第七期（R5-R7）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、以下の調査研究を行う。

- ・琵琶湖北湖の2地点（今津沖中央と南比良沖中央）、南湖の1地点（唐崎沖中央）で実施してきた動プラのモニタリングを、今後も動プラの量を評価するために継続する。
- ・琵琶湖北湖の1地点（南比良沖中央）において、動プラの質（C:P比、C:N比）を評価する調査・分析を今後も継続する。

### **提言・成果 PS3-4「湖水有機物の物質循環における役割とその指標について」**

#### **（試験研究を通してわかったこと）**

- ・従来、水質の指標として、富栄養化度には全窒素（TN）等、有機汚濁には化学的酸素要求量（COD）や全有機炭素（TOC）等の水中バルク濃度情報が用いられてきたが、これらは、反応性・分解性が大きく異なる様々な成分が混合した結果の値である。汚濁削減と貧栄養化が一定進んできた現在の琵琶湖では、これらの指標は、生態系内では反応しない難分解性の溶存有機物（DOM）を多くの割合として含むため、物質循環を測る指標としては適切とは言えない。そのため、DOMの分解特性（易分解性画分の割合、分解速度等）を把握できる手法の開発が、生物利用可能な有機炭素や栄養塩の量を高精度に把握できる水質指標開発に必要となる。
- ・湖水有機物の生分解性を評価するために従来実施されてきた100日間の有機物生分解試験は、調査・分析の迅速性や簡便性に課題があった。DOMの蛍光・吸光特性の指標性を評価したところ、易分解性DOC濃度、難分解性DOC濃度などの情報を、高精度に予測可能であることがわかった。DOMの蛍光・吸光分析は、湖水採取後すぐに多数の試料に適用可能であるため、湖水有機物の生分解

性の高頻度・多地点でのモニタリングに活用できる。

- DOMの分解特性は、分子サイズに着目して3画分（①高分子DOM、②低分子易分解性DOM、③低分子難分解性DOM）に分けて考えることで、2画分（①易分解性DOM、②難分解性DOM）に分ける従来法よりも高精度に把握できる。さらに、湖水DOMの分子サイズ分布情報からDOM分解特性を予測することで、湖水中におけるDOMの生産フラックスと分解フラックスの変動を、分子サイズ別に推定できる。湖内物質循環における重要なプロセスのフローを比較的簡便に把握できる手法として、DOM分子サイズ分布が活用できる。
- 栄養塩濃度が低い貧栄養環境となっている夏季成層期の湖沖帯表層では、DOMの分解に伴い放出される窒素栄養塩が、生態系にとって重要な栄養塩供給源となっている。夏季成層期の湖沖帯表層では、大型植プラの割合が比較的低いため、DOMの栄養塩供給機能は、小型植プラの生産量の維持に重要な可能性がある。今後、水温等の環境条件や、DOMの生成源および化学組成が、DOMの栄養塩供給機能におよぼす影響について、知見を得ることが重要になる。
- 動プラの生産につながる可能性がある細菌生産量については、酸素消費量が少なすぎて評価できないBOD<sub>5</sub>に変わり、28日間培養して分析するBOD<sub>28</sub>を測定することで、間接的にその影響を把握できることがわかった。

#### **（今後の試験研究の方向性）**

湖水有機物の分解特性が気候変動から受ける影響には、未解明の点が多く、将来の琵琶湖の物質循環（表層の栄養状態、深水層の貧酸素化等）を予測する際の不確実性の原因の一つとなっている。このため、第七期（R5-R7）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、以下の研究を実施する。

- 第六期で開発した、DOMの蛍光・吸光特性を用いた有機物生分解性指標について、各月水深別に採取する湖水試料に適用し、湖水有機物の生分解性の時空間分布を高解像度に明らかにする。
- DOM等の湖水有機物の分解特性に、将来の水温上昇がもたらす影響を評価するため、第六期で実施した有機物生分解実験を拡張し、様々な温度条件における実験を実施する。
- DOMの分解特性に、DOMの生成源および化学組成がもたらす影響を評価するため、第六期で開発した分画濃縮法を活用して、湖水中DOMについて分子サイズ別の化学組成分析を実施する。
- 深水層の貧酸素化が進行しやすい条件を明らかにするため、深水層における有機物の分解・循環に着目して、貧酸素化のメカニズム解明を進める。大学、国立環境研究所等との共同研究により、様々な項目（細菌群集組成、細菌生産速度、水柱酸素消費速度等）との関連性も評価する。
- 琵琶湖水質モニタリング長期データ（1979年～）の解析から、酸素消費速度等の物質循環指標の変動を明らかにし、貧酸素化等の事象への気候変動影響を評価する。

成果概要書

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」

<p><b>中期目標</b></p>	<p>琵琶湖をとりまく環境の保全再生と自然の恵みの活用</p>
<p>森林から湖までのつながり、沿岸帯と沖帯とのつながり、プランクトンから魚介類までのつながりに着目する総合型研究を推進し、対応策を検討・提案する。</p>	
<p><b>中期計画</b></p>	<p>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</p>
<p>二枚貝を指標とした湖辺環境評価・改善の実践結果に基づき、その手法をまとめた「湖辺環境改善に向けた考え方と実践」事例集（旧仮称：湖辺環境改善技術資料）を作成し、「事例集」に則して琵琶湖湖辺の複数地点で現状の評価・解析を行い、湖辺環境の改善目標と対策について提言する。また、住民等による持続的・効果的な活動の構築手法を確立・実装する。</p>	
<p><b>研究成果の概要</b></p>	<p>関連する提言・成果等の番号 ↓</p>
<p>■ 沿岸域の生息環境・餌環境形成因子の評価（環境省「琵琶湖保全再生等推進費」事業）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>湖辺の生態系改善を進める上での評価指標として、大きくは移動せず、生息環境、餌環境、それらの形成基盤となる流動・波浪等、多くの環境因子の影響を受ける底生動物に着目した。その中でも二枚貝（シジミ類等）は、地域の保全活動を担う住民等にも目的を共有しやすいこと等から、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の構築とその実装を目的とした。</li> <li>琵琶湖沿岸において、底生動物とその生息環境・餌環境等の分布概況を把握し、それらの対応関係を解析した。その結果、底生動物組成を規定する主な環境因子は、餌環境と関連する水質・底質中の有機物・栄養塩、生息環境としての底質粒径、湖水の流動・波浪と関連する湖岸傾斜と考えられた。また、シジミ類の好適な生息環境条件は遠浅の砂地で、ピワカマカ（琵琶湖固有種の甲殻類）と類似した（図1）ことから、専門的にはピワカマカも砂地環境の指標となることがわかった。</li> </ul>	<p>PS 1</p>
<p>図1 琵琶湖湖辺6地点、のべ19地点（2018年8月：5地点；2019年7月：5地点；2020年7月：6地点；2021年7月：3地点）における、底生動物組成と環境条件の正準対応分析（CCA）に基づく、第1軸、第2軸による底生動物分類群（△）と環境項目（ベクトル）の座標化結果とその解釈。環境項目のラベルは、W-：水質；S-：底質；Psize：平均粒径；Moist：含水率；IL：強熱減量；Slope：湖岸から50m沖までの湖底勾配。第1軸・第2軸の数値は各軸の分散説明率。</p>	

- 南湖の湖底環境に影響を及ぼす要因の1つとして、夏季の沈水植物（水草）繁茂と、底生動物の生息密度の現状と年変動を把握した。水草は、2014～2015年に最も増加した後、減少が続くとともに種構成の変化が認められた（図3）。また、水草が多いほど、底生動物の生息密度で優占する水生貧毛類（ミミス類）が少なく、生息環境の悪化につながることを再確認した（図4）ほか、近年は底生動物が増加しつつあることがわかった。

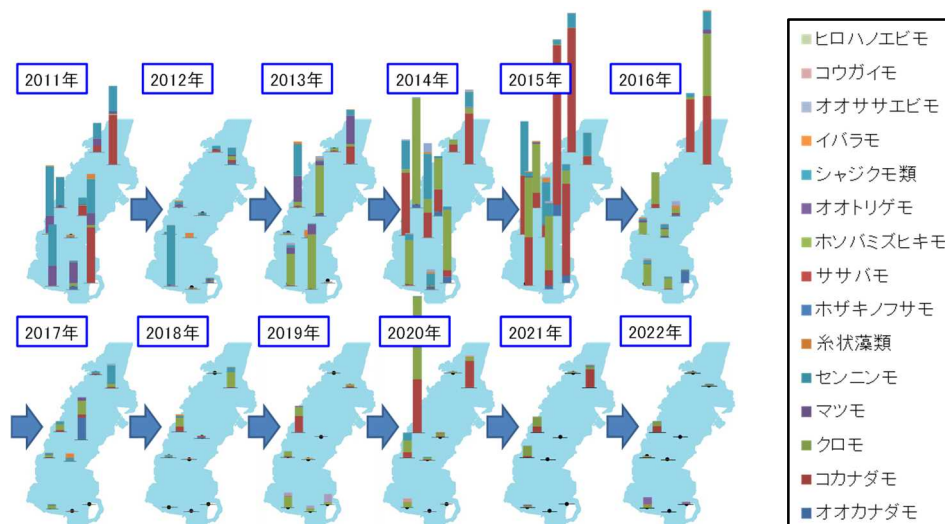


図3 南湖9定点における8月の水草種構成と乾燥重量相対値（2011～2022年）。

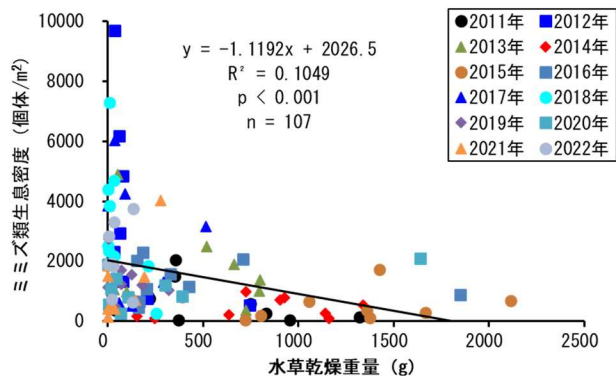


図4 南湖9定点における8月の水草乾燥重量相対値とミミス類生息密度の関係（2011～2022年）。

- 単離培養した植物プランクトンを餌としたシジミ稚貝の飼育実験結果から、シジミ稚貝の生残率や肥満度は、餌別では大半の藍藻類や大型緑藻 *Microcystis hardyi* (MH) で低かった（図2左）。また、アオコ原因種の藍藻 *Microcystis aeruginosa* (MAE) は、良好な餌となる珪藻 *Skeletonema potamos* (SK)（第五期：2017～2019年度の成果）と混合して給餌してもシジミ稚貝の肥満度が低下した（図2右）ことから、餌として適さないだけでなく、MAEの存在により稚貝の生育が阻害されることがわかった。

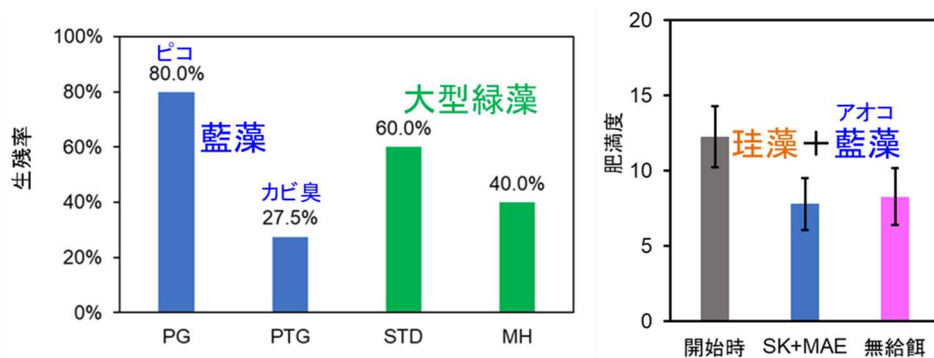


図2 各植物プランクトン種を給餌したシジミ類稚貝の生残率（左：90日間）、肥満度（右：62日間）。

■ 住民等との協働による湖辺環境改善・維持手法の検証（環境省「琵琶湖保全再生等推進費」事業）

- 琵琶湖南湖湖辺の試験地（耕耘区）において、住民・漁業者との協働による環境改善活動として、2017年7月から2022年3月まで毎月、人力・船舶による湖底耕耘・水草除去を実施した。耕耘区および隣接する対照区において底質粒径等を比較した結果、耕耘区の底質は、対照区より粒径が粗く、有機物が少なかったことから、本活動により泥質の堆積が抑制されたことを再確認した（図5）。

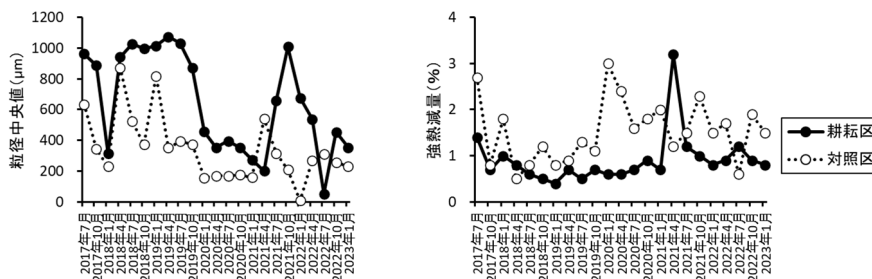


図5 耕耘区・対照区の底質表層1cmにおける粒径中央値（左）、強熱減量（右）（2017年7月～2023年1月）。

- 耕耘区および対照区においてシジミ類の生息状況を比較した結果、シジミ類は耕耘区では推定生後1～2年の稚貝が多かったが、対照区では推定生後1年以下の微小な稚貝が多かった（図6）。シジミ類大型個体の定着・成長阻害要因の1つとして生後2年までの生残率が低いことが考えられるが、本活動により生後1～2年のシジミ類が増加したと考えられた。

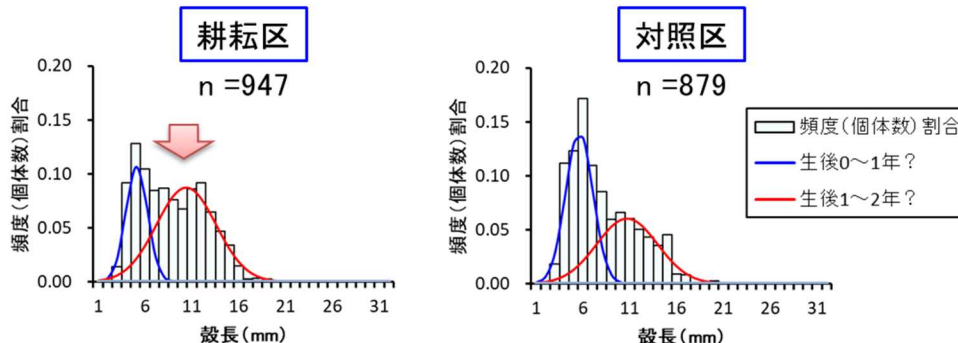


図6 耕耘区（左）・対照区（右）においてコドラート（方形枠：50cm×50cm、ふるい目合2mm）で採取されたシジミ類の殻長分布（2017年7月～2023年1月累計）。nは採集個体数。

- 記述式アンケートによる活動参加住民の意識調査の結果、活動継続とともに琵琶湖環境への関心の拡大と共通認識の形成が認められ（図7）、積極的な参加につながったことを再確認した。

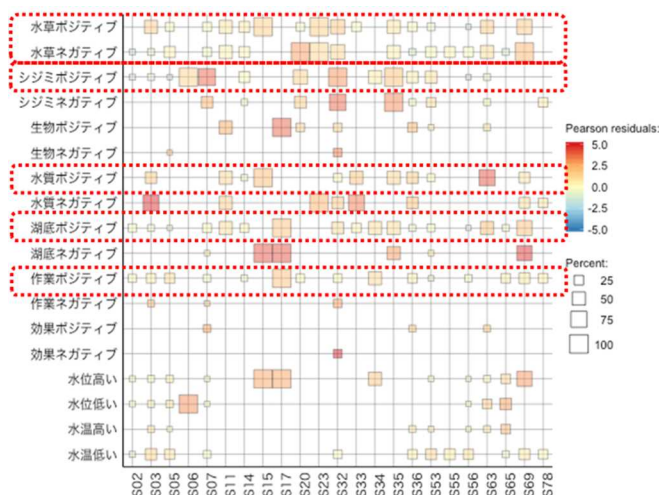


図7 湖辺環境改善活動および湖辺環境調査活動後の自由記述式アンケートにおける「琵琶湖の様子」記述内容に基づくトピックスの参加者間共通認識形成状況（2022年度）。横軸：参加者個人；縦軸：トピックス。



■ 工作物の設置による湖辺環境改善手法の検証（環境省「琵琶湖保全再生等推進費」事業）

- 琵琶湖北湖湖辺の試験地（杭打区）において、底生動物の生息環境改善手法の1つとして、過度な波浪を緩衝し、砂地の攪乱を抑制するための簡易な工作物を2021年7月から2023年1月まで設置した。杭打区および隣接する対照区において底生動物の生息状況を比較した結果、杭打区ではミズ類等が対照区より増加し、シジミ類も増加傾向が認められた（図8）。

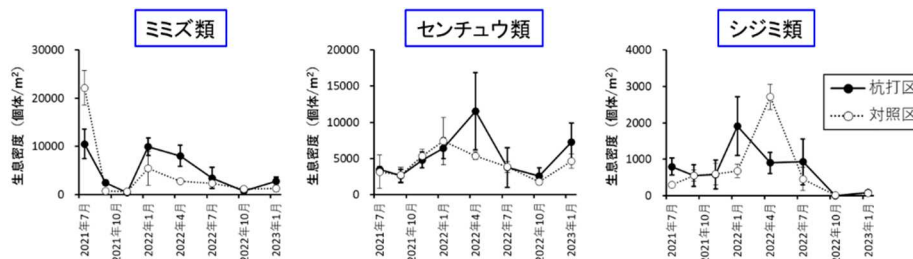


図8 杭打区・対照区におけるミズ類（左）、センチウ類（中央）、シジミ類（右）の生息密度（2021年7月～2023年1月）。

■ 湖辺環境の改善・保全手法の提示（環境省「琵琶湖保全再生等推進費」事業、龍谷大学等）

- 上記の成果等に基づき、湖辺環境の改善・保全対策の目標設定・手法検討のためのツールとして、二枚貝の増減条件を記述する数理モデルを構築した（図9）。モデル解析の結果、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。

**個体成長モデルの物質収支式**

$$\text{個体重量} \frac{dW_d}{dt} = \eta R_F C_P W_d - R_R W_d - R_O W_d$$

摂餌・同化
呼吸
産卵

**個体群挙動モデルの物質収支式**

$$\text{個体数} \frac{dN}{dt} = \varepsilon_E \varepsilon_N R_{NO} N - R_{ND} N - R_{NF} N$$

加入
死亡
搬出(漁獲)

$W_d$ : セタシジミ軟体部乾燥重量 [g/個体]       $N$ : セタシジミ生息密度 [個/m<sup>2</sup>]  
 $R_F$ : ろ水速度 [L/(g・d)]       $R_{NO}$ : 単位時間あたりの産卵個体の割合 [d<sup>-1</sup>]  
 $C_P$ : 餌(植物プランクトン + デトリタス)濃度 [mg/L]       $\varepsilon_E$ : 幼生の定着率 [-]  
 $\eta$ : 同化効率 [-]       $\varepsilon_N$ : 産卵数 [個・幼生/個・母貝]  
 $R_R$ : 呼吸速度 [mg/(g・d)]       $R_{ND}$ : 死亡速度定数 [d<sup>-1</sup>]  
 $R_O$ : 産卵による重量減少率 [-]       $R_{NF}$ : 漁獲による搬出速度定数 [d<sup>-1</sup>]

図9 二枚貝の増減条件を記述する数理モデルの物質収支式。

- 湖辺の健全な生態的機能を回復させる手順を確立するため、現状・課題把握の調査方法、目標の設定・達成に向けた施策の効果予測方法を「湖辺環境改善に向けた考え方と実践」事例集として2021年度にまとめた。また、事例集の内容に則した湖辺環境改善の実装に向けて、住民等による活動の支援とともに主体性の醸成を図った。

■ 砂地環境改善に向けた現状比較（内閣府「地方創生推進交付金」事業）

- 琵琶湖北湖湖辺で5～20年程度前に養浜施工された3地点および施工されていない3地点において、底質、底生動物の生息状況等の現状を比較した結果、各地点の底生動物組成は、おおむね過去の養浜施工の有無より東岸/西岸で異なる傾向を示した（図10）。琵琶湖では西風が卓越し、東岸で強い波浪が生じやすいことから、底質攪乱の大小との関連が示唆された。養浜施工後、1年間程度の短期的にはシジミ類等が減少する（第五期：2017～2019年度の成果）が、10年程度の長期的には、底生動物の生息状況は波浪による湖底攪乱の大小等を反映すると考えられた。

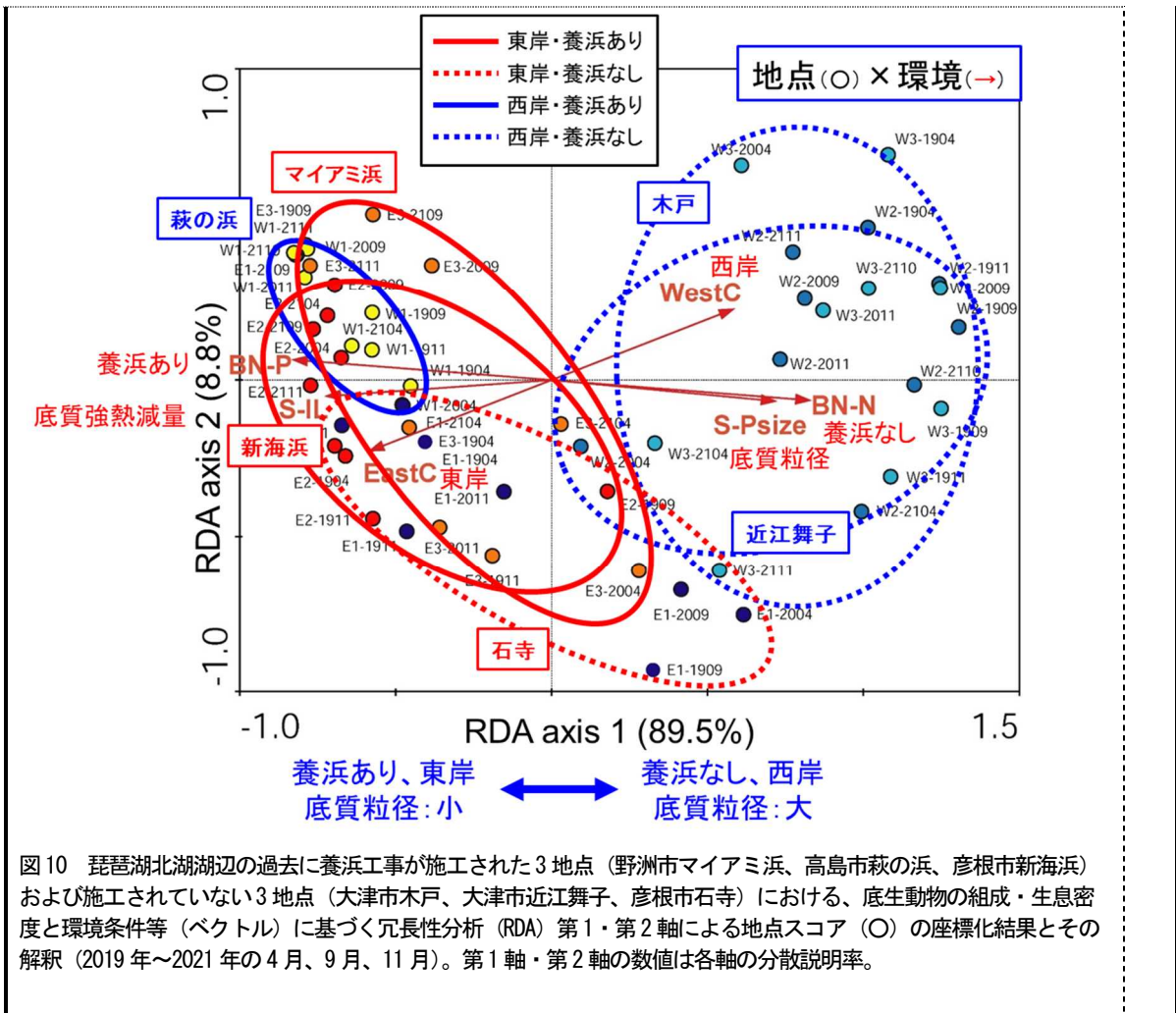


図10 琵琶湖北湖湖辺の過去に養浜工事が施工された3地点（野洲市マイアミ浜、高島市萩の浜、彦根市新海浜）および施工されていない3地点（大津市木戸、大津市近江舞子、彦根市石寺）における、底生動物の組成・生息密度と環境条件等（ベクトル）に基づく冗長性分析（RDA）第1・第2軸による地点スコア（○）の座標化結果とその解釈（2019年～2021年の4月、9月、11月）。第1軸・第2軸の数値は各軸の分散説明率。

成果概要書

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」

<b>中期目標</b>	琵琶湖をとりまく環境の保全再生と自然の恵みの活用
	森林から湖までのつながり、沿岸帯と沖帯とのつながり、プランクトンから魚介類までのつながりに着目する総合型研究を推進し、対応策を検討・提案する。
<b>中期計画</b>	在来魚保全のための水系のつながり再生に向けた研究
	森—川—湖のつながりの再生を目指して、愛知川流域でアユ・イワナ・ビワマスなどの在来魚を保全するため、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あり方など、多様な主体の合意形成に必要な科学情報を調査・集約・提供する。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する。併せて、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する。
<b>研究成果の概要</b>	関連する提言・成果等の番号 ↓
<p><b>提言・成果 PS2-1(1):「森林域から川への土砂のつながりに関する提言」</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・下層植生の繁茂状況と土砂流出について現地調査を行った。</li> <li>・下層植生の面積被覆率が 60% 以上ある場所では、これが 30% 未満しかない場所と比較して、単位面積あたりの年間土砂流出率が 97% 減少することが明らかになった。(図 1)。</li> <li>・この減少効果は、72 時間の総雨量が 400mm を超えるような豪雨でも有効である可能性を示した。</li> <li>・間伐等で林床に日光を入れることや植生防護柵等でシカの食害を防ぐことなどの下層植生の繁茂を促す森林管理によって、土砂流出リスクを減少させる効果がもたらされることが、定量的に明らかになった。</li> </ul>	<p>↓ P S 2 - 1</p>
	<p>図 1 下層植生の植被率と年間土砂生産量の関係</p>
<p>PS2-1(2):「森林域から川への土砂のつながりに関する提言」</p>	

- ・森林表層から琵琶湖への土砂フラックスの流出量変化を通じて、琵琶湖の湖岸や水質やプラクトンに大きな影響を与えている可能性を見出すことができた。
- ・森林表層から琵琶湖への土砂フラックスの流出量の変化はほとんど未知であった。

そこで今までの森林表層の土砂流出の原単位の研究成果に基づき、シカによる

Figure 6. Mean of before and after 1999: Yearly total sediment flux from the forest of Lake Biwa Basin.

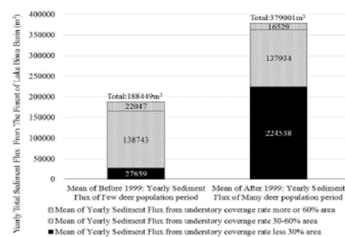


図 7 1999 年前後の森林表層由来土砂の流入量

森林下層植生食害が少なかった 1999 年前後について、森林表層からの琵琶湖流入土砂フラックス量を推定した。その結果、1999 年以前の琵琶湖への土砂フラックス流入量は年間約 19 万立法メートル、1999 年以後では年間約 38 万立法メートルという結果が得られた (図 7)。

- ・総じて「1999 年を境に森林表層から琵琶湖に流入する年間の土砂フラックス量は、およそ 2 倍ほど多くなり、森一川一水のつながりに大きな影響を与え、湖岸や南湖の泥質化や大型緑藻等繁茂の一要因になった可能性が示唆された。」この土砂フラックス量の推定結果は、第 18 回世界湖沼会議の査読付き科学論文集 (書籍) に掲載された。

<引用論文>

Toshiaki Mizuno (2022) Improving the sediment environment in the lake basin by conservation of the understory of the forest area in the basin of Lake Biwa, Japan. CHAPTER2. ENVIRONMENT AND HEALTH, 18th World Lake Conference. Governance, Resilience and Sustainability of Lakes for a Better Society (Sergio Antonio Silva Muñoz academic editor), Universidad de Guanajuato; Ediciones Comunicación Científica: Colección Ciencia e Investigación, ISBN: 978-607-59425-2-0 (Total pages.574): pp.147-158

## 提言・成果 PS2-2:「在来魚の保全に向けた河床の礫管理方法に関する提言」

### 土砂移動ポテンシャルと粒径等の河床環境評価技術の開発

- ・これまで測定がかなり困難であった水中の河床情報 (表面粒径分布、3次元表面形状、表面色) を水中写真測量技術により比較的容易に取得する技術を開発した (図 2、図 3)。さらに、同技術や愛知川下流域 (全長約 8 km) における現地調査により以下の結果を得た。
- ・愛知川における現地調査によりアユ産卵床の分布は、第五期研究において着目した河道の滯筋 (主に水が流れている場所) の位置変化が大きい区間に分布する傾向にあったことから、それを土砂移動の活発な河川区間を表す指標の一つとすることができるとともに、強制的に位置変化を誘発すれば産卵環境が改善する可能性がある。
- ・瀬切れによりピワマスが上流まで遡上できず、アユと同一の下流区間で産卵する事例調査 (2021 年秋季) より、ピワマス産卵床は、比較的小さい粒径の礫河床が卓越する下流区間においても中礫 (17-64mm 程度) の河床を選好して比較的広い範囲に形成されていたのに対し、アユ産卵床は、小中礫 (2-16mm 程度) 主体の河床の中でも緩やかな瀬周辺等の動きやすい小礫河床にのみ偏在していたことがわかった。このことは、魚種により優先すべき産卵環境の改善策が異なることを示唆している (図 4)。

P  
S  
2  
-  
2

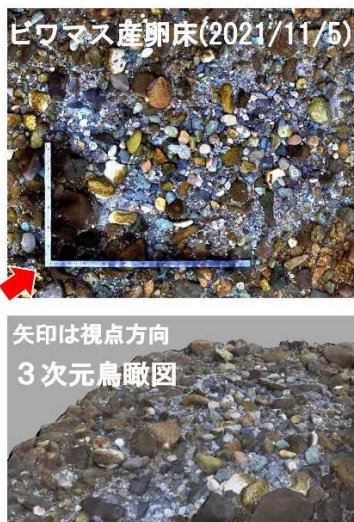


図2(上段):瀬切れ時のビワマスの産卵床

図3(下段):水中写真測量によるビワマスの産卵床の3次元測量結果

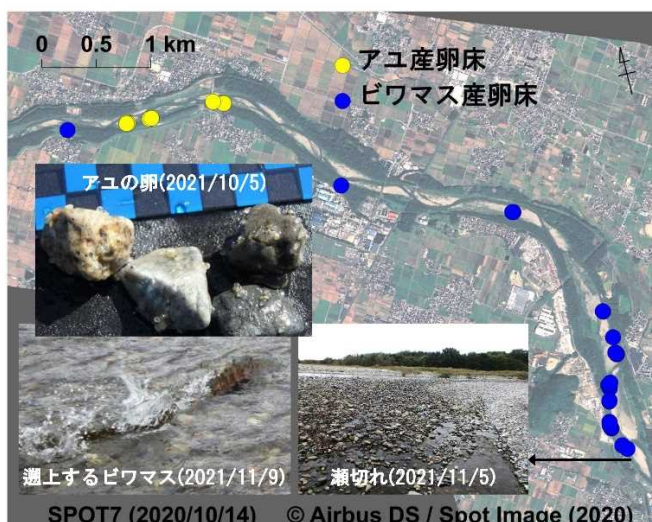


図4:アユの産卵床分布場所(黄丸)と瀬切れ時のビワマスの産卵床分布場所(青丸)

**提言・成果 PS2-3 「滋賀県における小さな自然再生の拡大・推進について」**

- ・ 2015 年度に始まった「家棟川・童子川・中ノ池川にビワマスに戻すプロジェクト」を対象として、引き続き小さな自然再生による在来魚保全・再生活動を実施した。本研究（2020～2022 年度）において新たに実施・協力して得られた成果は主に以下の通りである。活動を継続し、創意工夫を重ねていくことで、より多様な効果が得られることが明らかになった。
  - ① 落差工に設置した魚道をビワマスが遡上し、2020 年度には上流側での産卵を初確認した（図5）。
  - ② 中ノ池川の浚渫工事にあわせてバープ工（上向き水制）を設置したところ、周辺で瀬淵の形成が進み、河床材が泥から砂地に変化する効果が見られた。また 2021 年度にはバープ工でビワマス稚魚が確認され、生物の生息・避難場所になることがわかった。
  - ③ 地元住民による連日の調査・監視により活動の周知が図られ、密漁被害がほぼなくなった。
  - ④ 仮設魚道の本設化に向けた地元および土木部局との協議が進展した。
- ・ 家棟川において得られた市民との協働や魚道構造、モニタリング手法等の経験を他流域に横展開するため、大津市を流れる新大宮川、および東近江市を流れる愛知川の支流である渋川においても小さな自然再生活動を実施した。新大宮川では、魚道に堆積した土砂を市民や行政、研究者らが除去してアユの遡上経路を確保し、実際にアユが遡上していることを確認できた。また、アユの産卵床造成を実施した。渋川では、地元漁協や事業者、行政、研究者らの協働により、約 2.5m の砂防堰堤にビワマス魚道を設置する検討を行った。2021 年度に予備的な作業「見直し」を行い、また 2022 年度に仮設魚道の設置を行ったところ、多数のビワマスが遡上して上流側で産卵するのが確認された（図5）。
- ・ 以上で得られた知見を元に、小さな自然再生を進めるためのプロセス構成要素とステイクホルダーの役割を体系的に整理した（図6）。提案した体系は、新たに小さな自然再生を開始する際や、取組の課題を抽出し改善方策を検討する際に活用することが可能である。

P  
S  
2  
-  
3

- 愛知川の取り組みについては、小さな自然再生への継続的な参加に影響をおよぼす心理的要因を検討するため、活動参加者に対してアンケート調査および統計解析を行った。その結果、現役世代、高年世代の両者において、活動参加を通じて「自分なりの新しい発見があった」ことは、「参加した活動を誰かに話したくなった」という行動評価への規定要因となる可能性が示唆された。



図5 設置したピワマス魚道  
(上：家棟川、下：渋川)

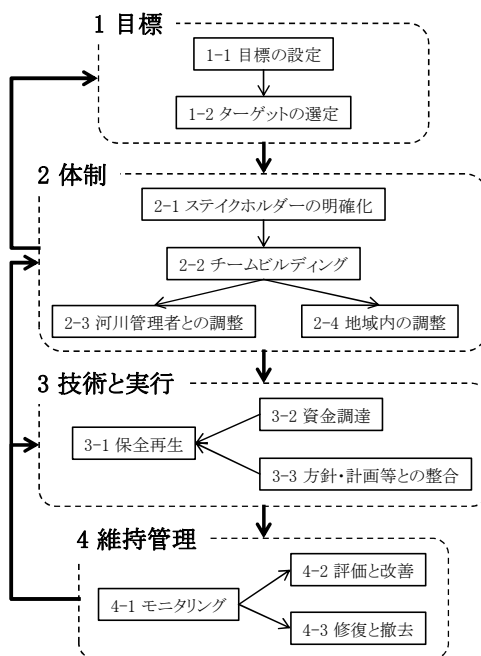


図6 小さな自然再生のプロセス構成要素

成果概要書

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」

<p><b>中期目標</b></p>	<p><b>琵琶湖をとりまく環境の保全再生と自然の恵みの活用</b></p>
<p>森林から湖までのつながり、沿岸帯と沖帯とのつながり、プランクトンから魚介類までのつながりに着目する総合型研究を推進し、対応策を検討・提案する。</p>	
<p><b>中期計画</b></p>	<p><b>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</b></p>
<p>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の重要性が指摘され始めている。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する。</p>	
<p><b>研究成果の概要</b></p>	<p>関連する提言・成果等の番号 ↓</p>
<p>■ 物質循環の円滑さを評価する指標の体系</p>	<p>PS3-1</p>
<p>・ 物質循環の円滑さ、およびその結果としての水質保全と生態系保全の両立を表す指標として、「生物バランス」「呼吸効率」「転換効率」があるが、これらは直接測定することが難しく、対策を検討する上で課題が残されていた。そこで本研究では、物質循環の円滑さの要因となる指標として、「大型(小型)植プラの割合」「サイズ別植プラ(セストン)のC:N:P(炭素:窒素:リン)比」「溶存有機物(DOM)分解により供給される栄養塩量」を検討し、図1に示すような物質循環の円滑さを評価する指標体系として整理した。</p> <p>・ 一方で、琵琶湖流域水物質循環モデルを大型植プラの特性を考慮してその消長を計算できるように改良して再現計算を行ったところ、物質循環の円滑さを評価する各種指標値は時間経過に伴い複雑に変化し、円滑さの要因となる指標値がよい状態にあることが必ずしも円滑さや水質・生態系保全の両立に直結するわけではないことがわかった。</p>	
<p>図1 物質循環の円滑さを評価する指標の体系</p>	
<p>■ 気象・気候と琵琶湖流域水環境との関係</p>	<p>PS3-1</p>
<p>・ 琵琶湖に係る第8期湖沼水質保全計画において、琵琶湖流域水物質循環モデルを用いて2018～2020年度の現況再現を行い、2025年度までの琵琶湖水質の将来予測を行った。現況再現の結果、有機物、窒素、リン濃度の地点別の差異や、代表地点における時系列変化については、良好な再現結果が得られた。将来予測を行った結果について、北湖はいずれの水質項目も2020年度からほぼ横ばいであり、対策の有無による水質への影響は極めて軽微であった。一方で南湖については、対策の有無にかかわらずTOCがやや減少傾向となり、またTN、TPで対策なしの場合に濃度上昇が見込まれた。将来予測の気象として用いた2020年度は降水量が多く南湖で植物プランクトン(以下「植プラ」という。)が増殖しにくい環境にあったこと、対策なしのシナリオで主に</p>	

増加する合併浄化槽からの栄養塩負荷が影響したことなどが要因として考えられた。

- 琵琶湖流域水物質循環モデルを用いて2000年以降約20年間の流入負荷量を計算した結果、TOC、TN、TPのいずれにおいても、2000年代以降は流入負荷が減少する傾向は見られなかった。原単位法（単位あたり負荷量にフレーム値をかけて積み上げ計算を行う方法）では負荷量は減少傾向にあると考えられていたが、モデルによる計算では、点源負荷は減少してきたものの、それと同程度に面源負荷が増加していることが明らかになった。面源負荷増加の要因としては気候変動の影響が考えられる。ただし、2000年以降は流域の総降水量が経年的に増加傾向にあったことから、面源負荷の増加が総量としての降水量の増加によるものなのか、または降り方の変化によるものなのかは明らかではなかった。
- 全層循環未完了は表層と深層の水温に乖離があることで生じる。その主な原因としては、①暖冬で表層水温が下がらない、②猛暑で夏季に蓄えられた熱量が大きい、③前年度が寒冬で循環期の底層水温が低い、という3つが考えられる。気候変動の影響により頻度が増加すると考えられる①と②の要因に着目し、2018年度末の全層循環未完了がどちらの要因にどの程度起因していたのかについて、琵琶湖流域水物質循環モデルを用いた感度分析を行った。その結果、2018年度末の全層循環未完了は、暖冬だけ、あるいは猛暑だけがなかったとしても、全層循環は完全に完了していなかった可能性が示唆された。暖冬による影響がより大きい、夏季の猛暑による影響も一部影響していることがわかった。
- 琵琶湖流域水物質循環モデルを用いて気象条件に関する感度分析を行ったところ、2018～2021年度の気象が過去20ヶ年における平年的な気象条件（2013年度）だった場合には、大型植プラの割合やTOCが平均的に減少する結果となった（図2）。暖冬や豪雨等に代表される近年の気象が水質や物質循環の円滑さに影響している可能性が示唆された。

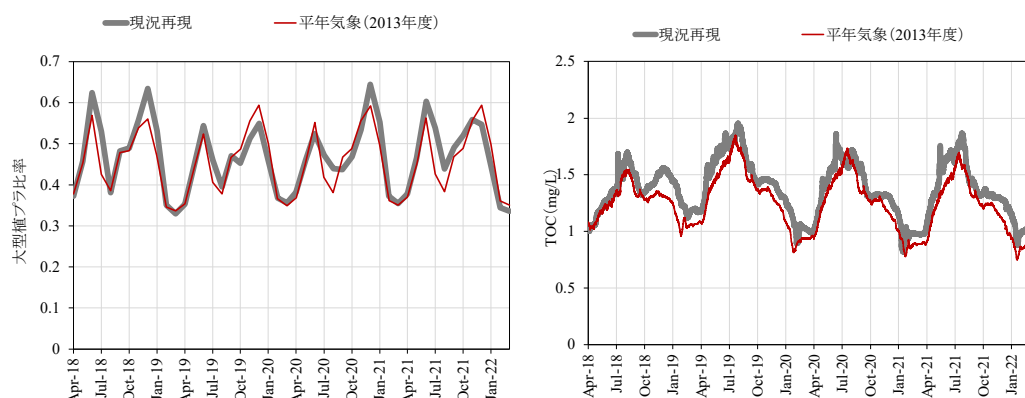


図2 琵琶湖流域水物質循環モデルを用いた感度分析（現況再現と平年気象）

左図：北湖平均、右図：今津沖中央（17B）

### ■ マザーレイクゴールズ（MLGs）の新たな仕組みの成果と課題

- 2020年度に終期を迎えたマザーレイク21計画（第2期）について、計画に代わる新たな仕組みが検討され、2021年7月に琵琶湖版SDGs「マザーレイクゴールズ（MLGs）」が策定された。以降約2年が経過したが、これまでになく多様な市民が関わりまた活動を起こす契機となっている。MLGsやそれに関わる個人・組織等の固有性による部分も大いにあるが（例えば優れたロゴデザインなど）、他の地域でも応用可能な部分に着目すれば、成果が得られた主なポイントとして以下3点が挙げられる。

① 共有しやすいローカルな目標を掲げること。SDGsは重要な目標であるが、国際的な目標であるために身近さに欠ける部分があり、MLGsのようなローカルな目標はSDGsと市民の活動をつなぐものとして機能した。計画などで行動を縛るのではなく、共通のゴールを目指して自由な発想で市民が活動を起こすことを可能にした。多様な主体が対話するコミュニケーションツールとし

PS3-2



での役割を果たした。

② 活動の生態系を育むこと。MLGsの目標は「活動の生態系を築き、創発を促す」ことであり、これを推進委員会関係者が常に強く意識し、また共有した。多様な活動が生まれたが故に、ときに想定外の事態や問題も生じたが、「これも生態系の一部である」と認識することで乗り越えることができた側面も大きい。

③ 環境分野にこだわらないこと。マザーレイク21計画は基本的に環境保全の枠組みで推進されてきたが、MLGsではオリジナルの体操や歌の制作、アーティストとの連携、漫画やボードゲームの開発、スポーツ団体や金融機関との連携など、従来なかった発想で活動が生まれた。多様な市民や団体が、琵琶湖との接点を探していたことが明らかになった。

- 一方で課題としては、①ワークショップ等の実施に関係者が忙殺されている、②事務局（県庁）へ依頼が集中し、その多くを事務局でさばいてしまっている、③MLGs案内人（MLGsを推進するコアメンバー、2023年3月時点で15名）という資源を十分に活かしていない、といったことが挙げられる。

### ■ 動物プランクトンの餌となるセストンの量（炭素C量）と質（C：リンP比、C：窒素N比）

PS3-3

- 琵琶湖の沖帯と沿岸帯において、サイズ別セストンのC量、C:P比、C:N比を調べたところ、動物プランクトン（以下「動プラ」という。）が食べる小型セストン（ $<45\mu\text{m}$ ）のC量は、沖帯より沿岸帯の方が多かった（図3）。一方、質を示すC:N比は地点間で差がなかったが、C:P比は沿岸帯の方が高かった。この結果から、小型セストンの量は、沖帯より沿岸帯の方が多いが、質は沿岸帯の方が低いと考えられた。ただし、沿岸帯のC:P比も、動プラの成長速度等を制限する300を超えないため、動プラの成長速度等には影響はないと思われる。（科学研究費助成事業 基盤研究(C)「魚の餌量の評価に関わるミジンコの摂餌機能の応答性」）

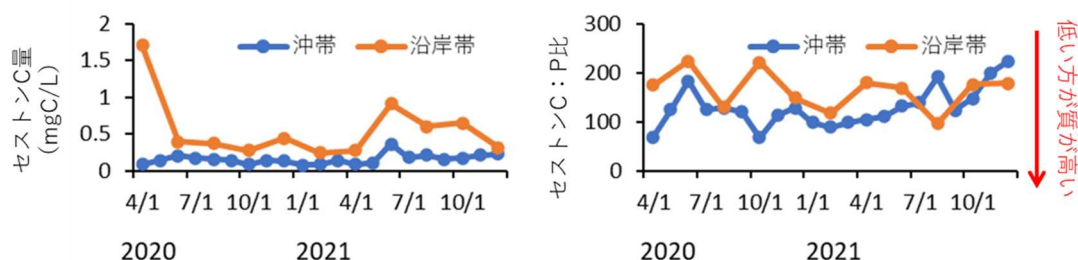


図3 沖帯と沿岸帯における動プラの可食サイズ（ $<45\mu\text{m}$ ）のセストン量（C量）とその質（C:P比）

- 沖帯と沿岸帯において、セストンの主成分であるサイズ別の植プラの生産量、微生物の細菌数と鞭毛虫数（混合栄養性の鞭毛藻を含む）を調べたところ、小型植プラ（2020年= $<30\mu\text{m}$ 、2021年= $<45\mu\text{m}$ ）の生産量は、2020年は地点間で差がなかったが、2021年は沖帯より沿岸帯の方が高い傾向があった。一方、細菌数と鞭毛虫数は、2020年、2021年ともに沖帯より沿岸帯の方が多く、沿岸帯では微生物食物連鎖が卓越している可能性が示された。（微生物の一部の結果：クリタ水・環境科学振興財団国内研究助成「貧栄養化湖沼での魚の餌量の回復につながる食物連鎖構造の把握」）
- 動プラの餌となる小型セストンの量が高まる条件を調べるため、小型セストンのC量と、水温や栄養塩濃度との関係を解析した。その結果、沖帯の小型セストンのC量は、 $\text{NH}_4$ の栄養塩濃度と正の相関を示した。一方、沿岸帯の小型セストンの量は、水温や栄養塩濃度とは関係性がみられなかった。この結果には、沿岸帯で多かった細菌（有機物消費者）やそれを食べる鞭毛虫の存在が影響していると考えられる。
- 動プラの餌となる小型植プラの生産量が高まる条件を調べるため、小型植プラの生産量と、水温や栄養塩濃度との関係を解析した。その結果、沖帯と沿岸帯の小型植プラの生産量は、水温や栄

養塩濃度とは、顕著な関係性はみられなかった。この結果から、小型植プラの生産量は、水温や栄養塩濃度よりも他の環境条件（日射量といった気象条件等）の影響を強く受けている可能性があると考えられた。

- ・ 動プラの餌となる小型セストンの質が高まる条件を調べるため、小型セストンのC:P等の質と、水温や栄養塩濃度との関係を解析した。その結果、沖帯、沿岸帯ともに、小型セストンの質は、水温や栄養塩濃度とは明瞭な関係性がみられなかった。この結果にも、前述と同様に、小型セストンに含まれる有機物消費者の細菌や、それを食べる鞭毛虫の存在が影響していると考えられる。従って、小型セストンの質が高まる要件を調べるため、今後は、細菌が消費する有機物の質を調べる必要があると考えられた。しかしながら、小型セストンの質が動プラの生産が制限される閾値を下回することは限定的で、小型セストンの質で見た場合、動プラの成長の律速となっている状況は確認されなかった。

### ■ 動物プランクトンの量（現存量、生産量）と質（C:P比、C:N比）

PS3-3

- ・ 琵琶湖の沖帯と沿岸帯において、動プラの現存量と優占種ヤマトヒゲナガケンミジンコ（以下、ヒゲナガ）の生産量を調べたところ、現存量と生産量は、夏に沖帯より沿岸帯の方が高かった。
- ・ 沖帯と沿岸帯において、植プラと微生物に対する動プラの同化速度（生産量に相当）を調べたところ、動プラの同化速度は沖帯より沿岸帯の方が高く、夏の沿岸帯を除き、動プラは微生物より植プラを多く同化した（図4）。夏には、沿岸帯の動プラは、微生物を多く同化し、その同化速度は最も高かった。夏の沿岸帯では、鞭毛虫が多かったことから、鞭毛虫から動プラへ繋がる微生物食物連鎖が卓越しており、動プラの同化速度が高まったと考えられた。（クリタ水・環境科学振興財団国内研究助成「貧栄養化湖沼での魚の餌量の回復につながる食物連鎖構造の把握」）

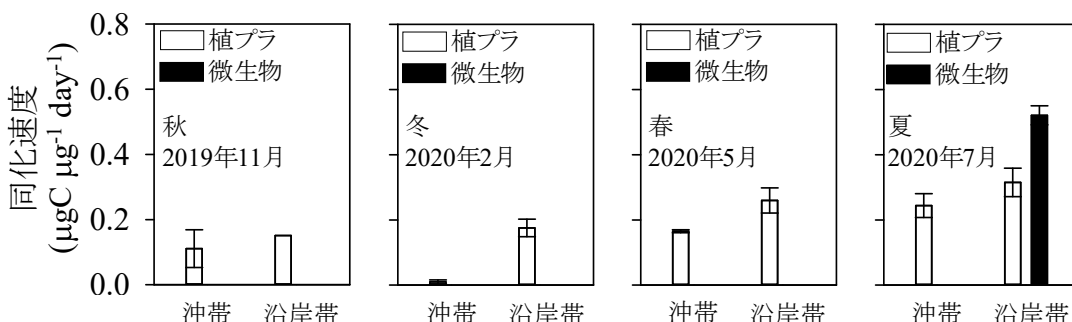


図4 各季節における植プラと微生物に対する動プラの同化速度。平均±SD

- ・ 沖帯と沿岸帯において、優占種のヒゲナガやカプトミジンコ（以下、カプト）の体の質（C:P比、C:N比）を調べたところ、各種のC:P比とC:N比は、地点間でほとんど差がなかった。
- ・ 動プラの量が高まる条件を調べるため、沖帯、あるいは沿岸帯のヒゲナガの生産量や総動プラの密度と、水温や餌環境（小型セストンのC量、C:P比等）との関係を解析した。その結果、両地点のヒゲナガの生産量と総動プラの密度は、水温、細菌数や鞭毛虫数（混合栄養性の鞭毛藻を含む）と正の相関を示した（沿岸では小型セストン量も正の相関を示す）。この結果から、ヒゲナガの生産量や総動プラの密度を高めるためには、小型セストンの量や、そこに含まれる細菌や鞭毛虫といった微生物の量が重要であることが示唆された。図4の実験結果も、この結果を支持している。
- ・ 動プラの質が高まる条件を調べるため、沖帯、あるいは沿岸帯のヒゲナガやカプトのC:P比等の質と、餌となる小型セストンのC:P比等の質との関係を解析した。解析の結果、カプトのC:P比は小型セストンのC:P比と正の相関を示し、ヒゲナガやカプトのC:N比は小型セストンのC:N比と正の相関を示した。よって、餌の質が高まると、動プラの質も高まると考えられた。
- ・ 魚の餌となる動プラの体の質（C:P比、C:N比）は、沖帯と沿岸帯で、ほとんど差がなかった。

しかし、時には、C:P比が100を超える時期もみられた。餌の質、特にC:P比は、従属栄養生物（魚類を含む）の成長速度等に強く影響する。一般的に魚類は、C:P比が125~250の範囲を超えると、成長速度が制限される。稚仔魚期については、リン要求量が高いため、その範囲内でも成長速度が制限される可能性がある。よって、アユ等のプランクトン食魚の成長段階ごとのリン要求量を求め、動プラのC:P比によって成長が制限されていないかを評価することが今後の課題である。

### ■ 溶存有機物 (DOM) の分子サイズ別の生産・分解プロセス

PS3-4

- ・ 円滑な湖内物質循環に寄与するプロセスとして、溶存有機物 (DOM) の分解に着目した研究を実施した。DOM の分子サイズ別の分解特性 (易分解性画分の分解速度と濃度) を、様々な季節・地点の湖水・河川水を用いた長期生分解実験から調べた。その結果、湖水や河川水の DOM を、3画分 (①高分子 DOM、②低分子易分解性 DOM、③低分子難分解性 DOM) の混合として近似することで、2画分 (①易分解性 DOM、②難分解性 DOM) に分ける従来法よりも、DOM の分解特性について高精度に把握できることがわかった。
- ・ 琵琶湖湖水の高分子 DOM の分解速度は、高分子 DOM/低分子 DOM 比率 (%HMWDOC) と有意な正相関を示した (図5左)。琵琶湖湖水の低分子易分解性 DOM の分解速度は、腐植様蛍光の相対強度と有意な負の相関を示した (図5右)。これらの結果に基づき、湖水 DOM の分子サイズ分布情報から、湖水中における DOM の生産フラックスと分解フラックスの変動を分子サイズ別に推定する手法を考案した。
- ・ 琵琶湖沖帯表層では、高分子 DOM と低分子易分解性 DOM の分解フラックスは同程度の値で、夏季成層期 (8-10月) に両者ともピークを示した。夏季成層期に DOM 分解で放出される窒素栄養塩は、表層生態系の窒素同化フラックスの30~70%程度に寄与していると推定された。つまり、貧栄養環境となっている夏季成層期表層において、湖水中 DOM が重要な栄養塩供給源として機能している。(科学研究費助成事業・基盤研究 (B) 「微生物窒素ポンプ：貧栄養水域への未知の栄養塩供給経路を実証する」)
- ・ 高分子 DOM は、湖沖帯の表層だけでなく深水層でも、活発に生産と分解を繰り返していることが見出された。成層期における深水層の高分子 DOM の生産フラックスの変動は、深水層の溶存酸素消費速度、および表層の植プラブルームとの相関を示した。深水層の生態系・物質循環において、高分子 DOM が関与するプロセスが重要である可能性が示唆された。(科学研究費助成事業・基盤研究 (B) 「湖沼深水層に卓越する微生物の世界」)

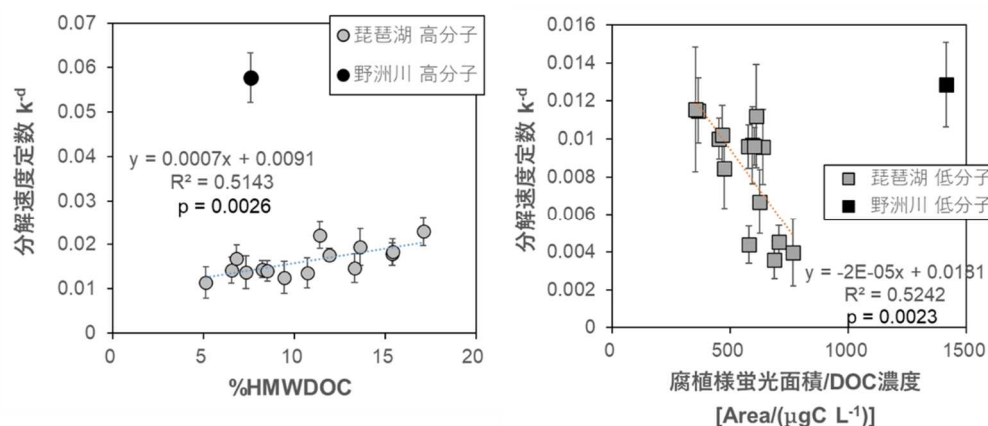


図5 分子サイズ別 DOM の分解速度と DOM 組成との相関関係

### ■ DOM の分子サイズ別分画濃縮法の開発

PS3-4

- ・ 湖内物質循環における DOM の分子サイズ別の役割解明に向けて、DOM の分子サイズ別分画濃縮法の開発を進めた。数十 L スケールの限外濾過システムを2台、数 L スケールの限外濾過シス

テムを2台、数百 mL～1L スケールの固相抽出システムを1台、それぞれ独自設計でセンター内に整備した。(科学研究費助成事業・若手研究「高精度窒素同位体比分析による水圏溶存有機物の生成源の新指標確立」、基盤研究(C)「ナノ濾過による分子量別分画で開拓する、水圏溶存有機窒素の動態解析の新展開」)

- ・ 高分子 DOM と低分子 DOM を高純度に分離して濃縮回収する手法として、2段階の分画濃縮法(1段階目: 30kDa の限外濾過膜、2段階目: 0.6kDa のナノ濾過膜または PPL 樹脂固相抽出)を開発した。高分子 DOM が 40%程度、低分子 DOM が 60～70%程度の回収率で、それぞれほぼ純粋に濃縮回収できた。これにより、C:N:P 比、DOM 分子組成など、詳細な化学組成分析を分子サイズ別に実施できるようになった。

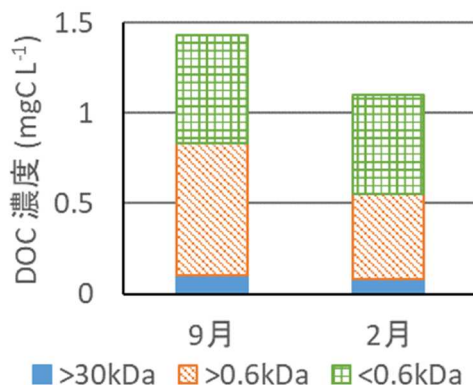


図6 2段階濃縮法による琵琶湖水の分子サイズ別 DOM 濃度

■ 有機物の生分解性の迅速把握のための指標開発

PS3-4

- ・ 従来実施されてきた 100 日間の有機物生分解試験は、調査・分析の迅速性や簡便性に課題があることから、代替的に有機物生分解性を評価できる指標として、迅速・簡便な分析法である DOM の蛍光・吸光分析の有用性を評価した。DOM の蛍光・吸光の各種指標を組み合わせることで、易分解性の溶存有機炭素 (DOC) の濃度を ±0.07 mgC/L の精度で予測可能になった (図7右)。DOC 全体の濃度情報も組み入れると、より高精度 (±0.04 mgC/L) に予測可能になり (図7左)、同時に難分解性 DOC 濃度も算出できるようになった。

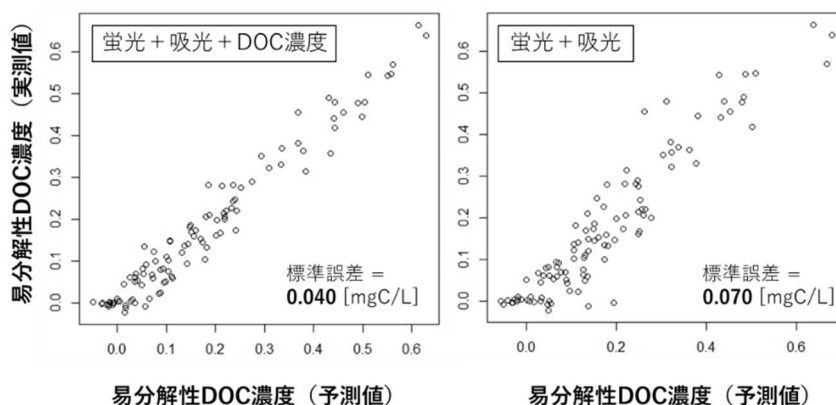


図7 DOM 蛍光・吸光指標を用いた易分解性 DOC 濃度の予測

# 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

大山明彦

## 1. 目的

近年、琵琶湖の水質は流入負荷の削減対策等によって一定改善したが、依然として漁獲量は改善せず、漁場生産力の低下を示唆する事象が頻発している。本研究では、漁場生産力の改善を目的として、湖底に蓄積した栄養塩を湖水中に回帰させる手法を開発する。

## 2. 方法

令和2年6月と9月、令和3年3月に、琵琶湖水を注水した水産試験場内の素掘りの試験池で、内径42mmのアクリルパイプを底泥に挿入して、池の水ごと約16cmの厚さにとった試料9本を準備し、底泥の上半分を攪拌するようパイプを傾倒した試験区(弱)、底泥すべてを攪拌した試験区(強)、対照区を3本ずつ設けて、攪拌後、試験池内で48時間静置した。

攪拌直後から攪拌48時間後の実験終了まで試験池の水温を自記水温計にて記録した。また攪拌0.5時間後と実験終了時にパイプ内と試験池の湖水を採取し、栄養塩濃度を測定した。

実験終了時に別途パイプ内の湖水を植物プランクトン検鏡用に採水するとともに、パイプ内の底泥を上層と下層に分取して、それぞれ遠心分離で間隙水を抽出し、その栄養塩濃度を測定した。

植物プランクトンは5%中性ホルマリンで固定したのち、光学顕微鏡下(100倍)で計数した。なお9月のプランクトンについては、試験池に藍藻が表層で膜状に増殖しており、底泥へのパイプ挿入時、それがパイプ内へ大量に入り込んだため、検鏡しなかった。

## 3. 結果

水温は、6月の実験時には23.6~28.5℃、3月には11.0~15.7℃であった(9月は機器故

障により欠測)。

アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)について見ると、攪拌0.5時間後におけるパイプ内の湖水中の平均濃度は、対照区と比較していずれの月も両試験区で高く、試験区(強)でより高かった。また攪拌48時間後でのパイプ内の湖水中の平均濃度は、攪拌後0.5時間での値と比較して、いずれの月も両試験区ともに減少した。一方、間隙水中の平均濃度は、対照区と比較して、底泥上部では3月の試験区(強)を除き、両試験区とも低く、底泥下部ではいずれの月でも試験区(強)で低かった。

リン酸態リン(P<sub>04</sub>-P)について見ると、攪拌0.5時間後におけるパイプ内の湖水中の平均濃度は、対照区と比較して、6月には試験区(弱)、9月には両試験区、3月には試験区(強)で高かった。また攪拌48時間後でのパイプ内湖水中の平均濃度は、攪拌0.5時間後での値と比較して、3月の試験区(弱)以外、両試験区で減少した。一方、間隙水中の平均濃度は、対照区と比較して、底泥上部ではいずれの月も差は明瞭ではなく、底泥下部では9月には両試験区で低く、3月には試験区(強)で低かった。

したがって、攪拌前後の底泥間隙水や湖水の濃度変化から、NH<sub>4</sub>-Nについては回帰が確認されたものの、P<sub>04</sub>-Pについては攪拌の影響がうかがえるものの、回帰は不明瞭であった。

パイプ内の湖水中の植物プランクトンについては、両試験区とも6月には緑藻のセネデスムス(イカダモ)が、3月には珪藻のマルケイソウが優占しており、対照区と比較して、両試験区とも多く、とりわけ試験区(強)で顕著に増殖していた。

<水産試験場 令和2年度事業報告書から抜粋>

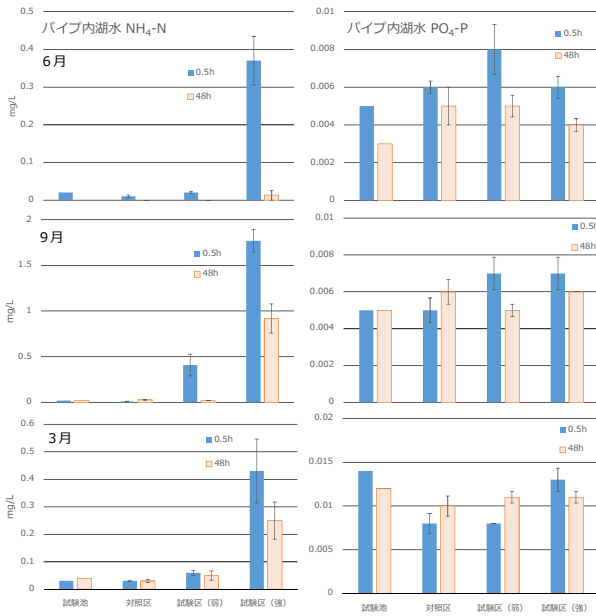


図1 攪拌0.5時間後、48時間後での試験池、対照区と試験区における湖水中のアンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )濃度

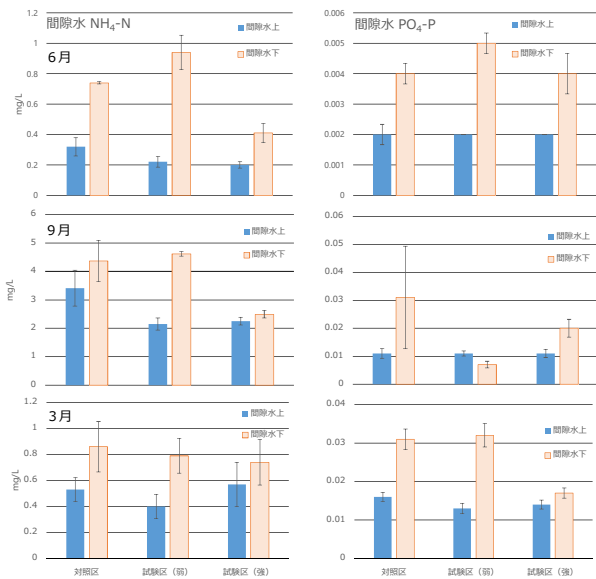


図2 攪拌48時間後での底泥間隙水中におけるアンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )濃度

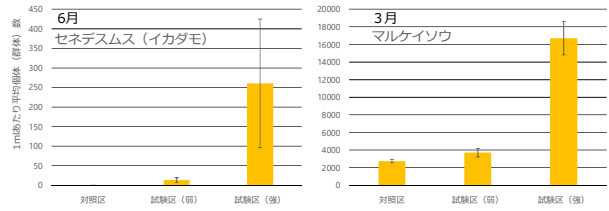


図3 対照区と試験区における湖水中のセネデスムス(6月)およびマルケイソウ(3月)の計数結果

※いずれの図中もエラーバーは標準誤差を表す。

## 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

大山明彦・孝橋賢一・森田 尚

### 1. 目的

近年、琵琶湖の水質は流入負荷の削減対策等によって一定改善したが、依然として漁獲量は改善せず、漁場生産力の低下を示唆する事象が頻発している。本研究では、漁場生産力の改善を目的として、湖底に蓄積した栄養塩を湖水中に回帰させる手法を開発する。

### 2. 方法

令和2年12月7日と9日に、彦根市宇曾川河口沖の琵琶湖(水深約10m)において、75m四方の範囲を漁船2隻によりマンガン(幅1.5m、爪の高さ約15cm)を用いて約2時間耕耘した。

耕耘の直前直後に、耕耘範囲の内外で多項目水質計を用いて、濁度とクロロフィル蛍光強度の鉛直分布を測定するとともに、表層、中層(深度5m)、底層で採水した。

また、耕耘前の12月2日に耕耘範囲内でコアサンプラーによる採泥を行い、7日と9日の耕耘直後には、耕耘範囲の内外でコアサンプラーによる採泥を行った。採取した底泥は、その表層から10cm部分を分取したのち間隙水を抽出し、採水した湖水と同様にアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、硝酸態および亜硝酸態窒素、リン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)の分析に供した。

耕耘後の12月10日と11日には、耕耘範囲の内外で多項目水質計による測定と採水を行った。

### 3. 結果

耕耘直後における多項目水質計の測定結果から、耕耘による底泥の攪拌により、中層以深で濁度が上昇しているのが確認された。また耕耘直後に同付近でクロロフィル蛍光強度が上昇したが、これは底泥表面に沈降していた植物プランクトンや底泥表面に生息してい

る微小な付着藻類が耕耘により巻き上げられたためと考えられ、これらの状況は耕耘1日後の12月10日には収束した(図1)。

耕耘範囲内での底泥間隙水中のNH<sub>4</sub>-N濃度は耕耘2日目に減少したことから、底泥から湖水への回帰が示唆されたが、湖水各層のNH<sub>4</sub>-N濃度はいずれも定量下限(0.01mg/L)未満であった。また耕耘範囲内での底泥間隙水中のPO<sub>4</sub>-P濃度は、耕耘実施前後でほとんど変動が見られず、底泥から湖水への回帰は確認できなかった(図2)。

範囲内での湖水底層のPO<sub>4</sub>-P濃度は、耕耘直前直後と比較すると、範囲外のそれとは異なり耕耘直後に低下した(図3)。

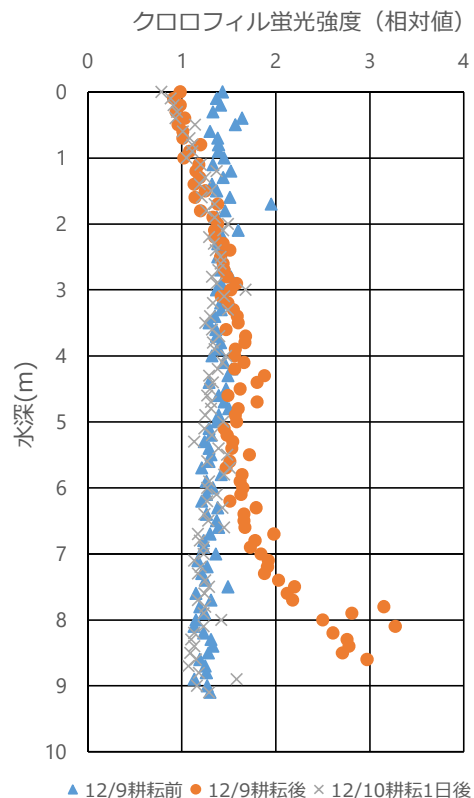


図1 耕耘2日目(12月9日)の耕耘直前直後、耕耘1日後(12月10日)における耕耘範囲内のクロロフィル蛍光強度の鉛直組成

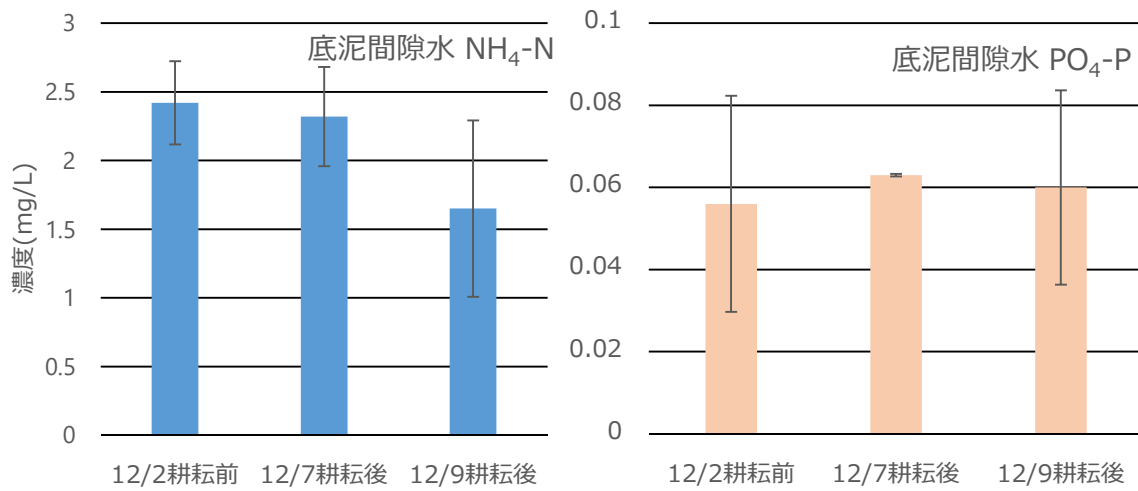


図2 耕耘範囲内における底泥間隙水中のアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) 濃度とリン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P) 濃度の変化

※エラーバーは標準誤差を示す。

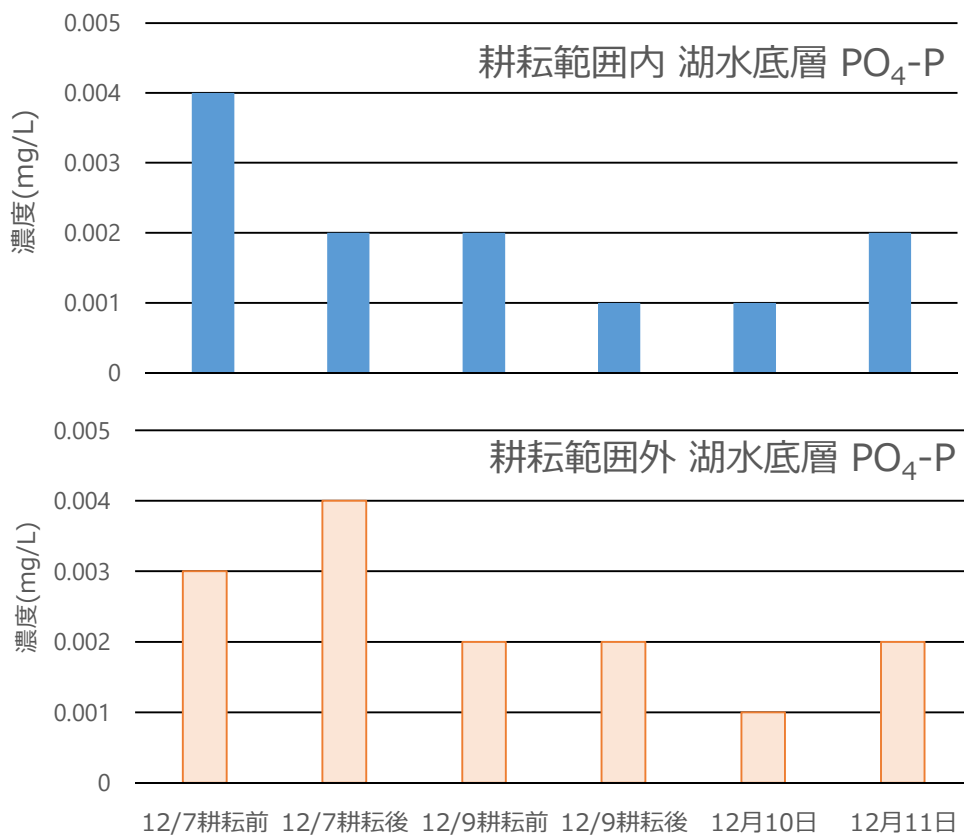


図3 耕耘範囲内外での湖水底層におけるリン酸態リン (PO<sub>4</sub>-P) 濃度の変化



# 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

大山明彦

## 1. 目的

近年、琵琶湖の水質は流入負荷の削減対策等によって一定改善したが、依然として漁獲量は改善せず、漁場生産力の低下を示唆する事象が頻発している。本研究では、漁場生産力の改善を目的に、湖底に蓄積した栄養塩を湖水中に回帰させる手法を開発するため、場内試験池で耕耘を再現し、耕耘による栄養塩回帰効果および植物プランクトンの増殖効果を検証した。

## 2. 方法

令和4年1月、2月と3月に、琵琶湖水を注水した水産試験場内の素掘りの試験池で、湖底耕耘に用いる漁具(マンガン)を模したアクリル製の器具を用いて、1m×0.5mの範囲を深さ5cmで底泥を1回もしくは2回耕耘した。耕耘後ただちに内径42mmのアクリルパイプを耕耘範囲内(1回耕耘区、2回耕耘区)および耕耘範囲外(対照区)のそれぞれ2か所に挿入して、池の水ごと底泥を採取した。採取後アクリルパイプを試験池内で72時間(3月は96時間)静置した。

耕耘後から実験終了まで試験池の水温を自記水温計にて記録した。実験終了時にパイプ内と試験池の湖水を採取し、栄養塩濃度の測定と植物プランクトンの計数に供した。またパイプ内の底泥の表層から5cm部分を分取して、遠心分離で間隙水を抽出し、その栄養塩濃度を測定した。植物プランクトンの計数は5%中性ホルマリンで固定したのち、光学顕微鏡下(100倍)で行った。

## 3. 結果

水温は、1月4.7℃~7.8℃(平均6.1℃)、2月2.5℃~7.7℃(同5.7℃)、3月5.8℃~9.6℃(同7.6℃)であった。

底泥間隙水中のアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)およびリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)の平均濃度は、両試験区ともに、対照区より高い場合や逆に低い場合もあり、一定の傾向は認められなかった。また両試験区間で比較しても同様であり、耕耘強度の違いによる差は見られなかった。また亜硝酸態および硝酸態窒素(NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N)の平均濃度は、耕耘の有無にかかわらず差は見られなかった(表)。

また底泥間隙水の場合と同様に、耕耘後のパイプ内湖水中の各栄養塩の平均濃度も、対照区より高い場合や低い場合があり、一定の傾向は見られなかった。両試験区間の比較でも同様であり、耕耘強度による違いは見られなかった(図1)。

パイプ内の湖水中の植物プランクトンについては、全ての月、全ての区において珪藻のシネドラ属(ハリケイソウ)が優占種であった。シネドラ属のパイプ内湖水1mlあたりの平均細胞数は、1月には対照区56.0個、1回耕耘区60.8個、2回耕耘区49.0個、同様に2月には42.6個、67.2個、30.0個、3月には47.7個、47.6個、45.6個であった。試験区の平均細胞数を対照区と比較すると、1回耕耘区では2月に多かったが、それ以外の月では差は見られず、2回耕耘区ではどの月も対照区を上回ることにはなかった。1回耕耘区と2回耕耘区の両試験区間で比較すると、平均細胞数は1月と2月には1回耕耘区のほうが多く、3月には差が見られなかった(図2)。

したがって、耕耘の有無や耕耘強度の強弱による底泥間隙水中および耕耘後のパイプ内湖水中の栄養塩濃度の違いや植物プランクトンの増殖状況について、一定の傾向は認められなかった。

表 試験終了時における底泥間隙水中の各栄養塩平均濃度

	NH <sub>4</sub> -N			NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> -N			PO <sub>4</sub> -P		
	1月27日	2月10日	3月11日	1月27日	2月10日	3月11日	1月27日	2月10日	3月11日
対照区	0.14	0.12	0.19	ND	0.04	0.06	0.011	0.009	0.017
1回耕耘	0.16	0.17	0.15	ND	0.04	0.07	0.016	0.008	0.011
2回耕耘	0.21	0.13	0.14	ND	0.04	0.06	0.014	0.010	0.018

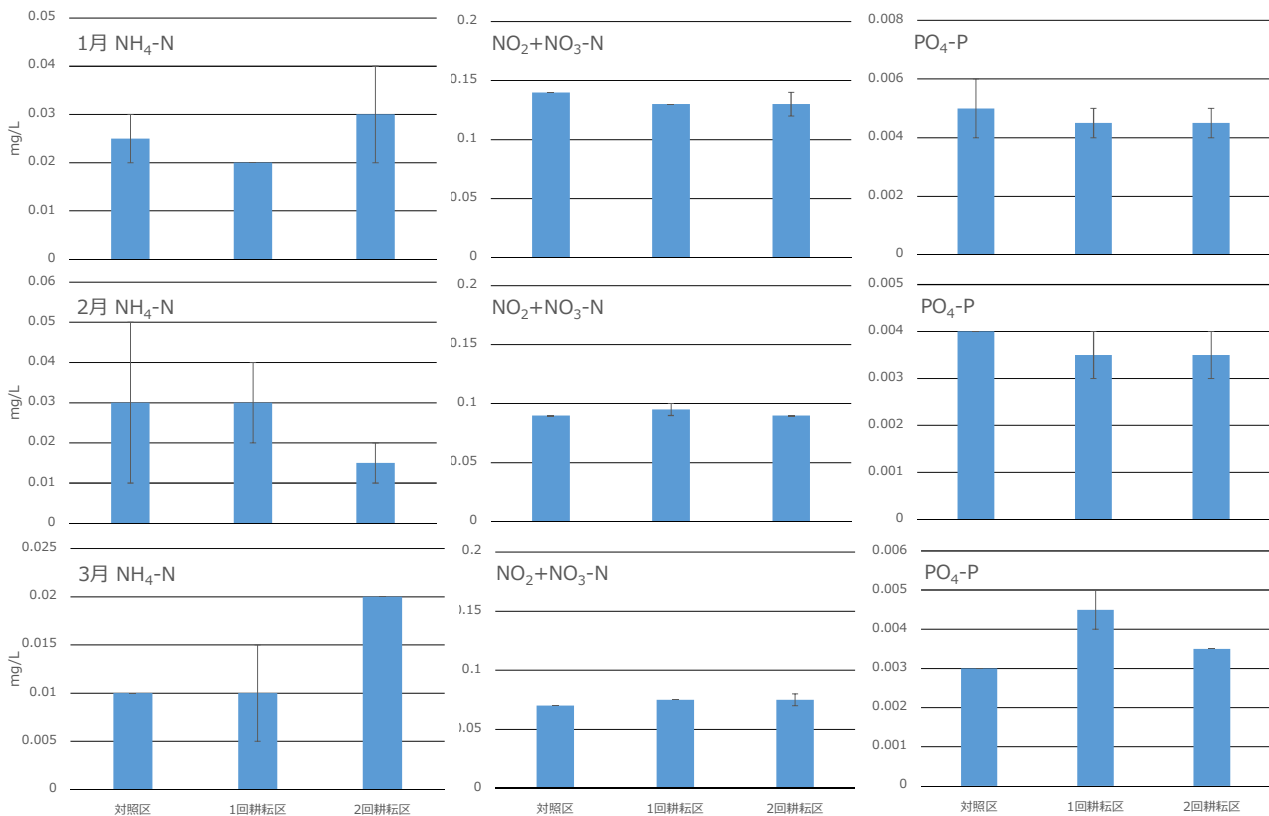


図1 試験終了時におけるパイプ内湖水中における各栄養塩平均濃度

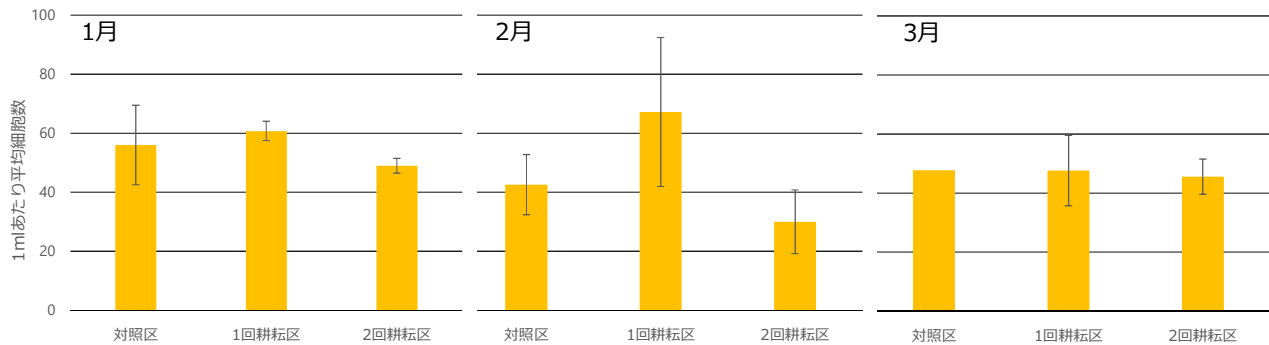


図2 試験終了時でのパイプ内湖水中の植物プランクトン(シネドラ)の1mlあたり平均細胞数  
※いずれの図中もエラーバーは標準誤差を表す。

## 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

大山明彦・孝橋賢一・森田 尚

### 1. 目的

近年、琵琶湖の水質は流入負荷の削減対策等によって一定改善したが、依然として漁獲量は改善せず、漁場生産力の低下を示唆する事象が頻発している。本研究では、漁場生産力の改善を目的に、湖底に蓄積した栄養塩を湖水中に回帰させる手法を検討した。

### 2. 方法

令和3年12月20日21日と令和4年1月25日に、彦根市宇曾川河口沖の琵琶湖（水深約10m）において、75m四方の範囲（図1）を漁船2隻によりマンガン（幅1.5m、爪の高さ約15cm）を用いて約2時間耕耘した。

耕耘の直前直後に、耕耘範囲の内外で多項目水質計を用いて、濁度とクロロフィル蛍光強度の鉛直分布を測定するとともに、表層、中層（水深5m）、底層（同9m）で採水した。加えて、耕耘直後に耕耘範囲内でコアサンプラーによる採泥を3回行った。採取した底泥は、その表層から5cmまでと、5cm～10cm部分を分取したのち間隙水を抽出し、採水した湖水と同様にアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、硝酸態および亜硝酸態窒素、リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）の分析に供した。また耕耘後の12月23日、24日と1月26日、28日には耕耘範囲の内外で多項目水質計による測定と採水を行った。

### 3. 結果

耕耘前後における耕耘範囲内の底泥間隙水中の栄養塩濃度平均値の変化をみると、耕耘後に上昇する場合や減少する場合も見られ、一様の傾向は認められなかった。少なからず耕耘の影響を受けるとみられる0-5cm層では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は12月20日、 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は1月25日の耕耘後に減少した。また濃度の変動状況から、耕耘は5-10cm層の底泥にも作用す

るものと推測された（図2）。

耕耘前後における耕耘範囲内での湖水底層の各栄養塩濃度の変化についてみると、12月の試験では、 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ は2回の耕耘直後に上昇したものの、その他は明瞭な傾向を示さなかった。1月の試験では各栄養塩とも耕耘直後に上昇は見られず、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は耕耘3日後に上昇した。 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ とは耕耘1日後と3日後に、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は1日後に低下した。また耕耘範囲内外での各栄養塩濃度の変動傾向に大きな違いはなかったが、範囲外で $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ は12月、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は12月と1月の耕耘直後に上昇した（図3）。

耕耘前後における湖水中のクロロフィル蛍光強度の鉛直分布の変化をみると、12月の試験においては、耕耘後2日目と3日目に耕耘範囲内外とも水深3mから6m付近で増加した。1月の試験においては、耕耘後3日目に耕耘範囲内のごく表層で大きく増加したところがある一方、全体としては耕耘後1日目には耕耘範囲内外ともに全層で、3日目には水深1.5m以深で増加しており、範囲外のほうが増加の度合いが大きかった（図4）。

耕耘により底泥間隙水中の栄養塩濃度に変化を与えることが分かったが、耕耘後にその濃度が低下するとは限らず、上昇する場合も見られた。耕耘により底泥の表層部が攪拌・除去され、深層部が表面に露出するとすれば、一般的に深層部の方が高濃度である $\text{NH}_4\text{-N}$ の場合はこの推測と矛盾しないが、深層部の方が低濃度である $\text{PO}_4\text{-P}$ の場合は矛盾が生じるため、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の上昇原因は不明である。

また、12月と1月両月とも耕耘後に耕耘範囲内外で湖水中のクロロフィル蛍光強度が上昇したが、この上昇が耕耘に起因するものかどうかは不明である。

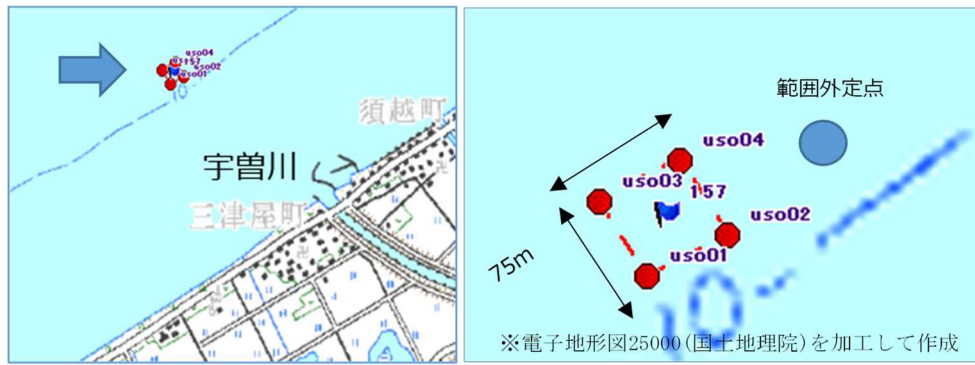


図1 試験水域

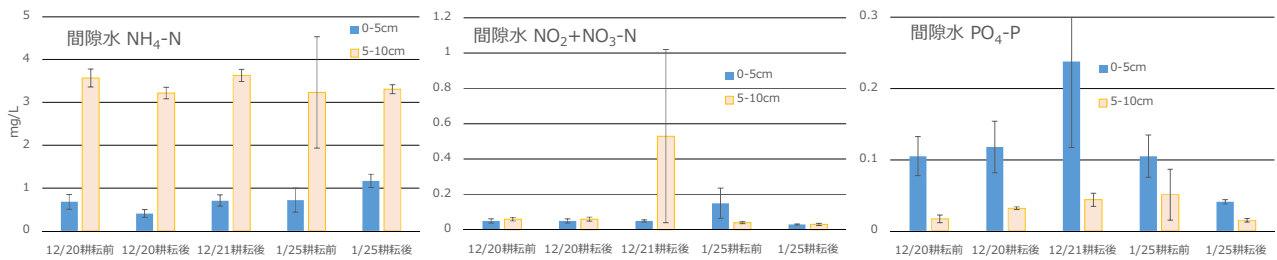


図2 耕耘範囲内における底泥間隙水中のアンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、亜硝酸態+硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ )、リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の濃度変化 ※いずれの図中もエラーバーは標準誤差を表す。

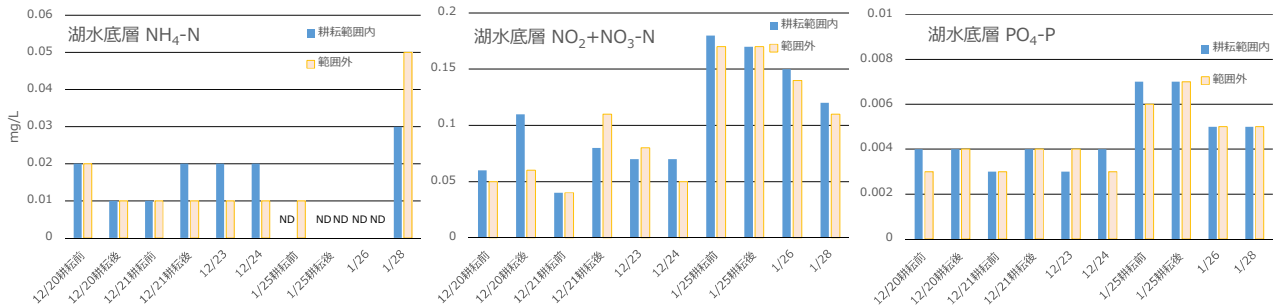


図3 耕耘範囲内外での湖水底層におけるアンモニア態窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、亜硝酸態+硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ )、リン酸態リン ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) の濃度変化

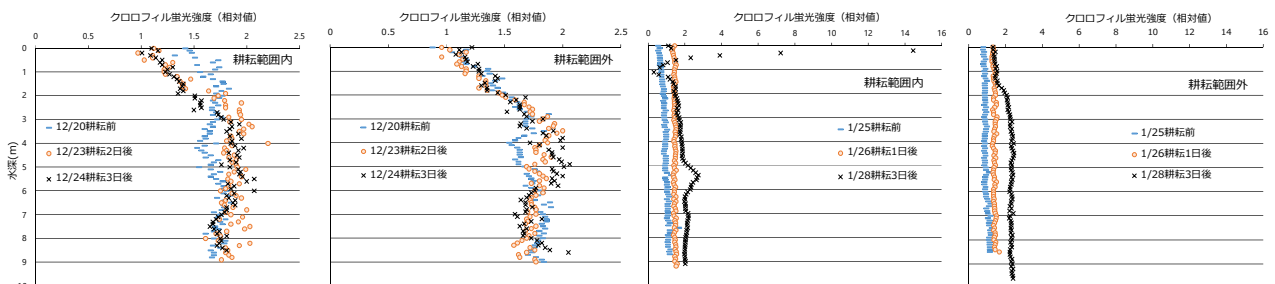


図4 耕耘前後における耕耘範囲内外でのクロロフィル蛍光強度の鉛直分布

# 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

孝橋 賢一

## 1. 目的

近年、琵琶湖ではシジミの肥満度が産卵期前になっても上昇しない現象やアユ資源の不安定化など漁場の生産力低下をうかがわせる事象がしばしば見られるようになってきた。これら現象については琵琶湖の貧栄養化との関連性が指摘され、湖底耕耘による生産力の向上が検討されている。

しかし湖底耕耘は湖底環境の改善による二枚貝などの増殖効果は認められている<sup>(1)</sup>ものの、底泥からの溶出による栄養塩添加効果は小さく、とくに琵琶湖の基礎生産を制限しているリンでは、ほとんど溶出しないことが分かってきた<sup>(2)</sup>。そこで底泥からリンを回帰させることを目的に、腐食物質を主に含む土壌改良剤2種のキレート作用によるリンの溶出効果を検討した。

## 2. 方法

約8000lの湖水を入れた1トン水槽2台の底に水試港湾の底泥(40l)を入れたコンテナを各々1個設置したものを準備した。底泥は、1mmの篩で分別し、弱いキレート作用を持つとされる植物残渣等をできるだけ除去したものをを用いた。実験区には、フルボ酸を含む土壌改良剤を面積当たりの施用量の2倍量を添加して実験区とした。土壌改良剤を添加しない対照区とともにその後湖水中の約1か月間の全窒素、溶存態のリン酸態リン等のモニタリングを行った。使用した土壌改良剤は、窒素分を含まない施用効果の持続を狙った固形(以下S)と即効性を狙った液体(以下L)の2種を用い、それぞれ実験を行った。

## 3. 結果

土壌改良剤の添加効果は、実験区から対照

区の栄養塩の濃度を減じた濃度差が経時的に濃くなる方向に拡大しているか否かとして評価した(=対照区より底泥からの溶出速度が高い状態が続いている)。

(S)、(L)ともに添加10日以降は、両区とも植物プランクトンの増加による栄養塩の消費により添加の効果が判断できないものの、全窒素は両実験区で添加2日から9日目までで対照区に対し実験区(S)で約1.8mg/L、(L)で約1.3mg/Lの濃度が上昇しており、リン酸態リンでは(S)で1日から6日で約0.1mg/L、(L)では2日から9日後までで約0.14mg/L対照区よりも濃度が上昇しており、この間、底泥からの溶出速度が高まっているとも考えられたが、(S)、(L)の違いは確認できなかった(図)。

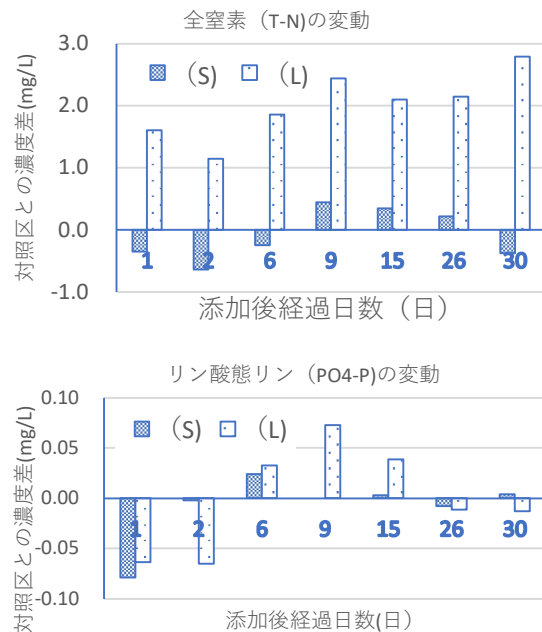


図 添加区と対照区の栄養塩濃度差の変動 (上:全窒素、下:溶存態リン)

引用文献 1)湖底耕耘によるシジミ漁場の底質改善(平成20年度島根県水産試験場成果情報)、2)大山他(2022):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(令和2年度滋賀県水産試験場事業報告)

# 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

大山明彦

## 1. 目的

近年、琵琶湖の水質は流入負荷の削減対策等によって一定改善したが、依然として漁獲量は改善せず、漁場生産力の低下を示唆する事象が頻発している。本研究では、漁場生産力の改善を目的に、湖底に蓄積した栄養塩を湖水中に回帰させる手法を開発するため、場内試験池で耕耘を行い、栄養塩回帰効果および植物プランクトンの増殖効果を検証した。

## 2. 方法

令和4年8月、11月と令和5年1月に、琵琶湖水を注水した水産試験場内の素掘りの試験池で、2m×2mを1区画として、ジョレンを用いて1方向から耕耘する1回耕耘区、直交する2方向から耕耘する2回耕耘区と無耕耘の対照区の計3区画を設定した。耕耘後ただちに1L透明広口瓶とポリビンでの採水とアクリルパイプ2本での採泥を行った。採水は中層で行い、透明広口瓶はそのまま密栓して試験池内に48時間静置し、その後5%ホルマリンで固定したのち光学顕微鏡下(100倍)で植物プランクトン細胞数の計数を行った。ポリビン内の水は栄養塩測定に供した。泥は表面から5cmまでを採集し、遠心分離により間隙水を分取したのち、その栄養塩濃度を測定した。また試験開始時および試験終了時に試験池の水温を測定した。

## 3. 結果

試験開始時と終了時の水温はそれぞれ、8月は29.2℃と27.6℃、11月は16.8℃と18.1℃、1月は5.9℃と7.1℃であった。

底泥間隙水中の栄養塩濃度の平均値(図1)は、アンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)では3回の試験とも1回耕耘区>2回耕耘区>対照区の順に

高かったが、ばらつきを考慮すると11月を除き1回耕耘区と2回耕耘区の差はないように見受けられた。またリン酸態リン(P<sub>04</sub>-P)では、8月には対照区>1回耕耘区>2回耕耘区の順に高かったが、それ以外は対照区より両耕耘区のほうが高く、11月は1回耕耘区、1月は2回耕耘区が最も高かった。また、耕耘直後の試験池中の栄養塩濃度(図2)は、NH<sub>4</sub>-Nでは11月には対照区より両耕耘区で高かったが、それ以外差は見られなかった。

透明広口瓶中の植物プランクトン細胞数(図3)は、11月には対照区242個/ml、1回耕耘区372個/ml、2回耕耘区344個/mlと、対照区より両耕耘区のほうが多かったが、1月には84個/ml、44個/ml、46個/mlと対照区より両耕耘区のほうが少なかった。8月は取扱ミスのため欠測とした。また、対照区と比較して両耕耘区では11月には藍藻、緑藻、珪藻の3種とも多かったが1月には3種とも少なかった。

底泥間隙水中のNH<sub>4</sub>-N濃度の平均値が対照区より両耕耘区のほうが高い原因として、耕耘で底泥表層部が攪拌され、NH<sub>4</sub>-Nがより高濃度とされる深層部が表面に露出したためと思われる。池水中の栄養塩濃度の変動は、表層部と2回耕耘区では露出した深層部の攪拌に伴う回帰と池水の希釈によるものと考えられるが、現場水域では希釈効果がより大きくなるため、回帰の確認はより困難と予想される。

植物プランクトン細胞数は水温が15℃以上の11月には対照区より両耕耘区が多く、10℃未満の1月には少なかったが、これは植物プランクトンの増殖活性が弱い低水温時には、耕耘に伴う濁りがその増殖に負の影響を与えているものと考えられた。

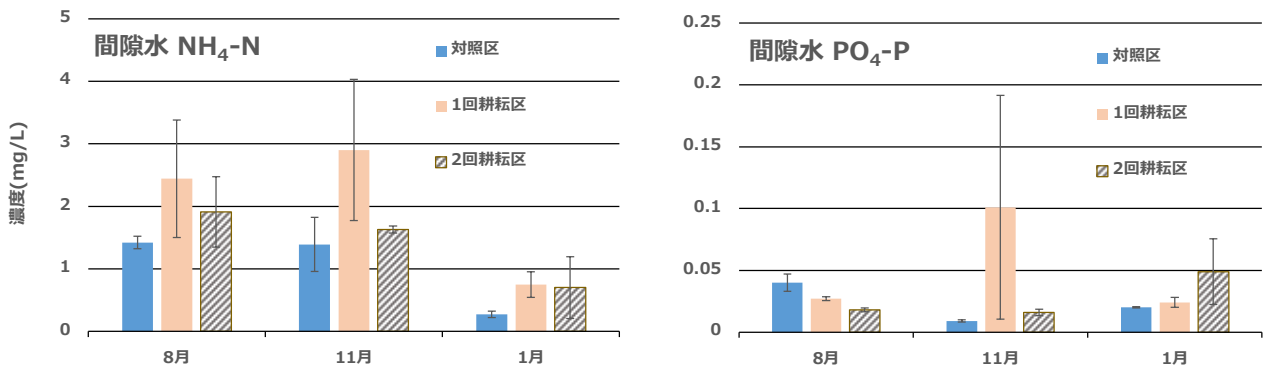


図1 耕耘後における底泥間隙水中のアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)とリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)の平均濃度※エラーバーは標準誤差を表す。

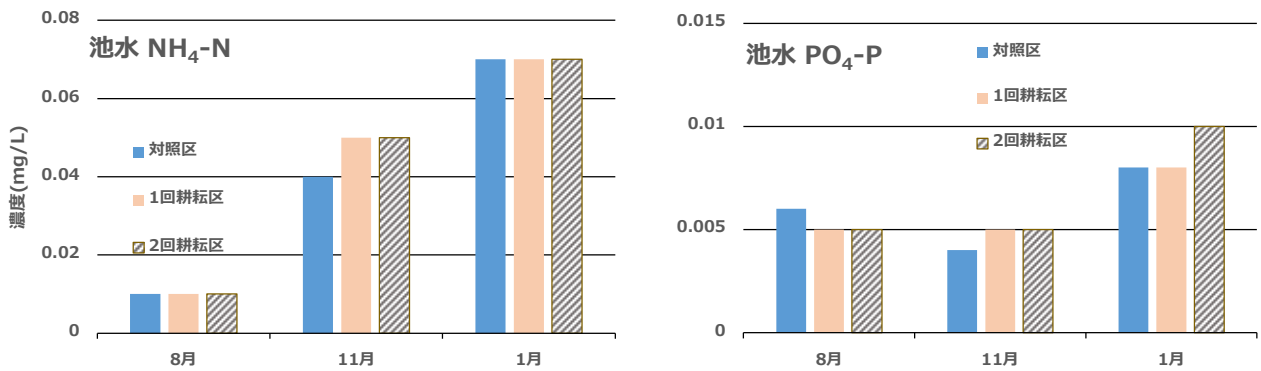


図2 耕耘後における池水中のアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)とリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)濃度

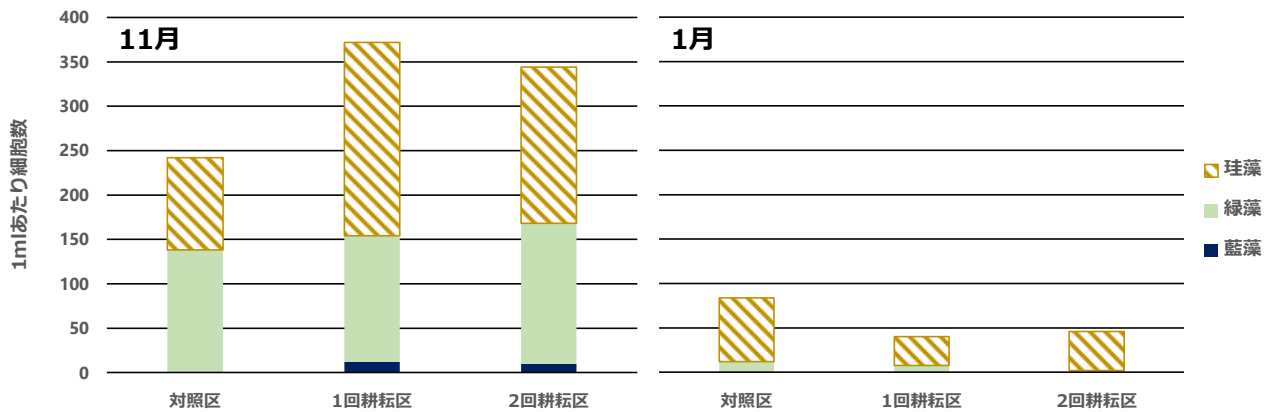


図3 耕耘後2日間静置した透明広口瓶中の植物プランクトンの1mlあたり細胞数

## 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

大山明彦・孝橋賢一・森田 尚

### 1. 目的

近年、琵琶湖の水質は流入負荷の削減対策等によって一定改善したが、依然として漁獲量は改善せず、漁場生産力の低下を示唆する事象が頻発している。本研究では、漁場生産力の改善を目的に、湖底に蓄積した栄養塩を湖水中に回帰させる手法を検討した。

### 2. 方法

令和4年12月5日と同年12月20日に、彦根市宇曾川河口沖の琵琶湖(水深約10m)で図1に示す範囲(5日は3.6ha、20日は3.4ha)を、漁船2隻によりマンガン(幅1.5m、爪の高さ約15cm)を用いて約1.5時間耕耘した。

水質に関しては、耕耘の前後に、耕耘範囲の内外で多項目水質計を用いて、濁度とクロロフィル蛍光強度の鉛直分布を測定するとともに、表層、中層(深度5m)、底層(同9m)で採水した。耕耘後2日目の12月7日と4日目の12月9日には、耕耘範囲の内外で多項目水質計による測定と採水を行った。採集した水は、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、亜硝酸態および硝酸態窒素( $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ )、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )濃度を測定した。底質に関しては、12月5日の耕耘前後と12月20日の耕耘後に、耕耘範囲内でコアサンプラーによる採泥を3回行った。採取した底泥は、表層から5cmまでの間隙水を抽出し、湖水と同様の測定に供した。

### 3. 結果

底泥間隙水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の平均値は、12月5日の耕耘前後でそれぞれ1.72mg/L、2.31mg/L、20日の耕耘後は1.82mg/Lとなり、5日の耕耘後に上昇したが、20日の耕耘後には低下した。同様に $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の平均値は、0.05mg/L、0.04mg/L、0.05mg/Lとなり、

ばらつきを考慮すると20日の耕耘前後の差はないものと思われた。また同様に $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の平均値は0.086mg/L、0.057mg/L、0.069mg/Lとなり、ばらつきを考慮すると、これら平均値に差はないものと思われた(図2)。

耕耘範囲内の湖水底層の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、5日の耕耘前後にはともに定量下限未満であったが、7日には0.01mg/L、9日と20日の耕耘後には0.02mg/Lとなった。 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、5日の耕耘前には0.02mg/L、耕耘後は0.03mg/L、7日には0.02mg/L、9日には0.03mg/L、20日の耕耘後には0.04mg/Lであった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、5日の耕耘前には0.004mg/Lであったが耕耘後と7日には0.003mg/L、9日には0.006mg/L、20日の耕耘後には0.005mg/Lとなった。 $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ では耕耘後に濃度上昇が見られたが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ ともに耕耘直後における濃度上昇は見られなかった。

一方、5日の耕耘後、7日、9日における湖水中のクロロフィル蛍光強度の鉛直分布は、耕耘範囲内では7日から9日にかけて水深1m~6mで上昇したが、範囲外では5日の耕耘後から7日にかけてほぼ全層で上昇した(図3)。

多項目水質計の測定結果より、耕耘後に湖水底層の濁度が上昇していたことから、耕耘により底泥表面が攪拌され、その間隙水中の栄養塩は湖水中に回帰したものと思わわる。また底泥間隙水中の濃度変化から、耕耘によって $\text{NH}_4\text{-N}$ がより高濃度とされる底泥深層部が表面に露出し、それがさらに耕耘されることで、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が湖水中に回帰している可能性が示されたが、回帰と同時に湖水による希釈が作用するため、その実証は困難であり、植物プランクトンの増殖も確認が困難であった。



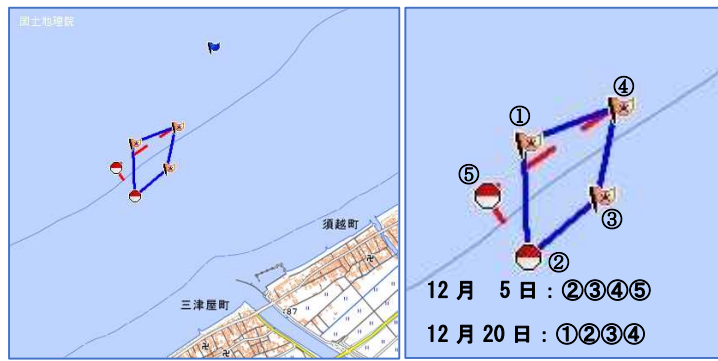


図1 試験水域

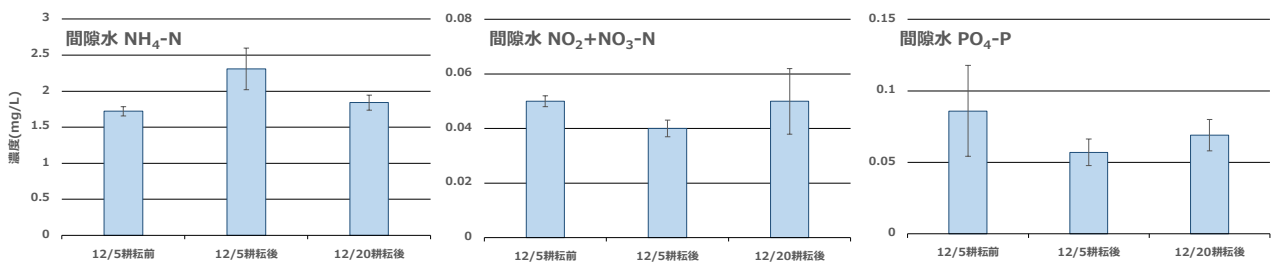


図2 耕耘範囲内における底泥間隙水中のアンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、亜硝酸態+硝酸態窒素( $\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ )、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )の濃度変化 ※いずれの図中もエラーバーは標準誤差を表す。

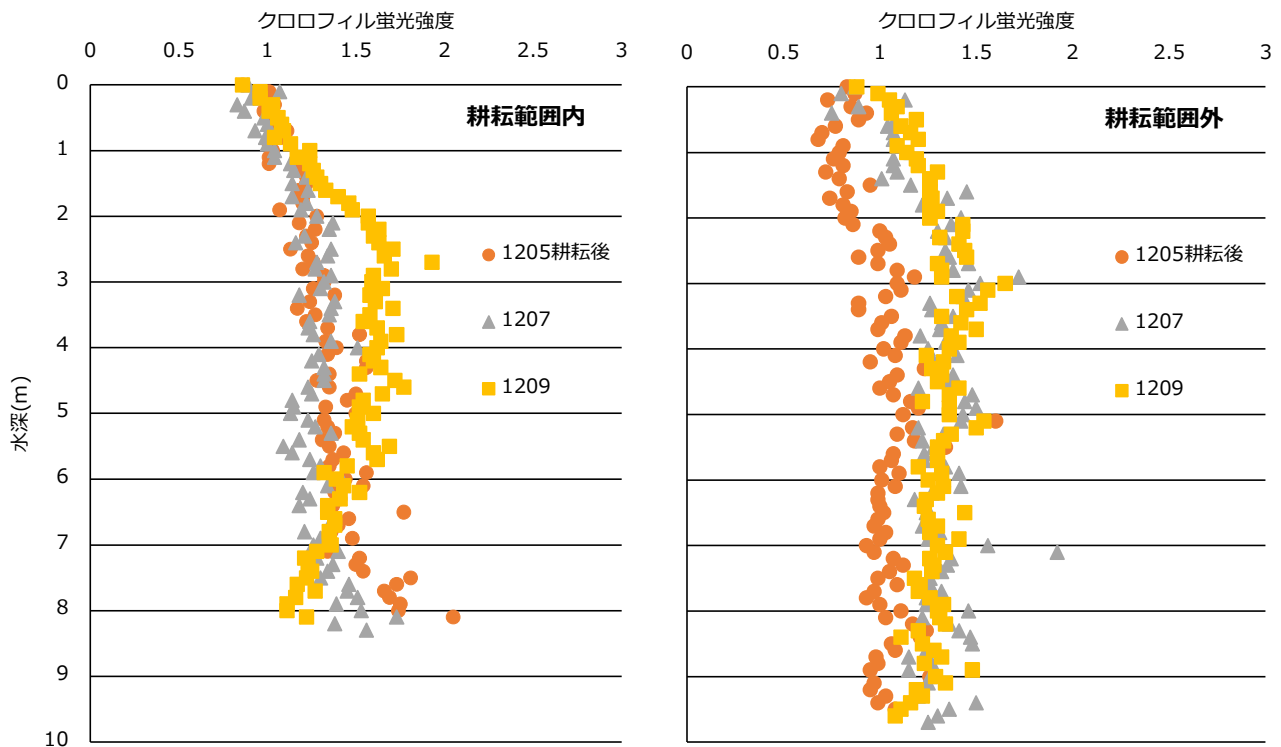


図3 耕耘後における耕耘範囲内外でのクロロフィル蛍光強度の鉛直分布