

【5B-1102】湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその影響因子の評価

(H23~H25; 累計予算額 41,543 千円)

一瀬 諭 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

1. 研究実施体制

- (1) プランクトン動態および水質解析 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)
- (2) 琵琶湖の沿岸帯のシードバンク機能評価 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)
- (3) 浅い富栄養化池沼の好気、嫌気条件におけるシードバンクのポテンシャルの把握 (埼玉県環境科学国際センター)
- (4) 沖帯および沿岸帯の底質環境の分析と評価 (東レテクノ (株))
- (5) 水塊に回帰してきたプランクトンの増殖、生産とそれに伴う水質影響評価 (龍谷大学)
- (6) 総合解析 (滋賀県琵琶湖環境科学研究センター、龍谷大学)

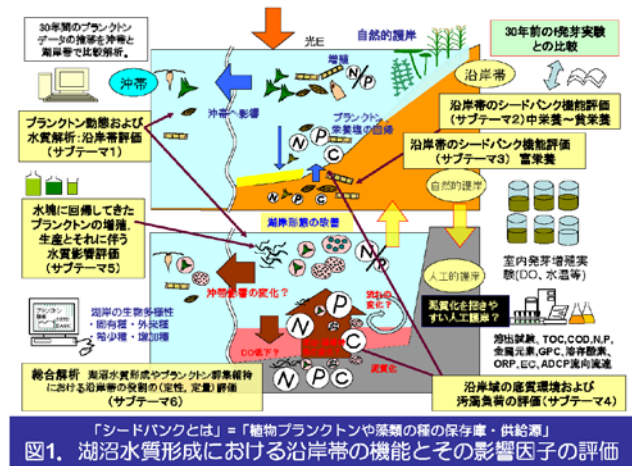


図1. 湖沼水質形成における沿岸帯の機能とその影響因子の評価

2. 研究開発目的

琵琶湖のような水深の深い湖沼では、一旦沖帯の底層に沈降した植物プランクトンが有光層に回帰し、再増殖することは考えにくい。そのため、植物プランクトン種の維持には水深の浅い沿岸帯が重要な役割を果たしている可能性が示唆される。さらに、沿岸帯は生物生産や底質における有機物分解も活発であることから、沖帯への有機物や N、P の供給源としても重要である。本研究では、沖帯への植物プランクトン種の供給源としての沿岸帯の評価を行うことを目的とする。また、底質環境が湖沼水質および付着藻類やプランクトン群集構造に与える影響について下記の5つのサブテーマに分け研究を推進し、湖岸の底質環境が湖沼水質および付着藻類やプランクトン群集維持における役割を評価する。さらに、平成25年度には、龍谷大学と共同し、底質環境が湖沼の水質や藻類およびプランクトン群集構造に与える影響を明らかにし、その影響因子の評価を行う。この評価結果をふまえて、今後の湖沼水質保全やプランクトン生態系機能の維持を考慮した底質環境のあり方や適切な底質環境を創造する手段についての提言をおこなう。

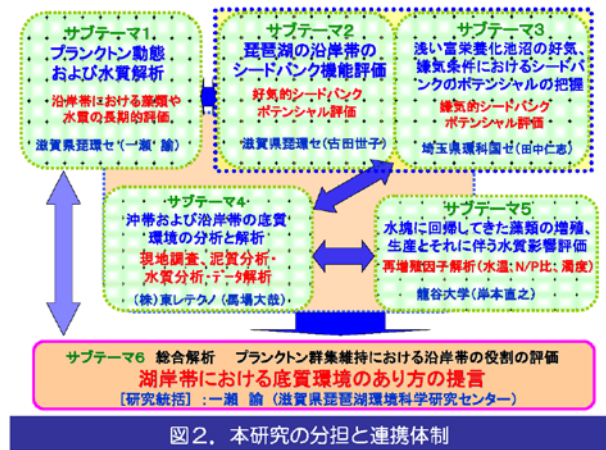


図2. 本研究の分担と連携体制

3. 本研究により得られた主な成果 (研究者による記載)

(1) 科学的意義

- 1) これまで底泥から回帰する植物プランクトンの研究は、ある特定の種類のみについて行われており、回帰する植物プランクトン種全てについての研究は行われてこなかった。このため、緑藻、藍藻、珪藻等網別の回帰数を求めることで、植物プランクトンのシードバンク機能とし

て底泥を評価する新しい手法となる。

- 2) 底泥中の藻類シード量を直接顕微鏡で観察を行った結果、シルト分が多く、水分率の高い底質で保存され、砂質分の多い底質では、藻類シード量が少ないことが明らかとなった。この手法により、底泥の評価に活用できる。
- 3) 湖岸底泥から回帰してくる緑藻や藍藻、珪藻等の綱別の回帰数を求めることで、植物プランクトンのシードバンク機能として底泥を評価する新しい手法が確立できた。また、底泥の評価法として、2年間の嫌気暴露底質によるシードバンク機能劣化評価を行うため2年間嫌気条件に暴露させ、好氣的条件で保存した底泥との比較実験を行うことで、嫌気化が藻類の回帰に与える影響についての評価が可能となった。
- 4) 採取した底泥を用い、シードバンク機能維持必須 DO 量の定量的評価として底泥保存直上水の DO を変えることで、微好気条件保存し底泥の比較実験を行った。この結果、底層部の貧酸素化が藻類の回帰に与える影響について評価を行い、微好氣的な条件下で保存された底泥から藍藻が回帰し易いことが明らかとなり、沿岸帯の機能を考える上で重要な知見となった。
- 5) 微好気条件で保存した *Anabaena macrospora* の休眠細胞が、好気条件で保存した休眠細胞の発芽率を2倍以上も上回った結果が得られたことから、これを用いた底泥の評価が可能となる。
- 6) 本研究の研究開発により湖岸底泥から回帰してくる緑藻や藍藻、珪藻等の綱別の回帰数を求めることで、植物プランクトンのシードバンク機能として底泥を評価する新しい手法が確立できた。また、底泥の評価法として、貧酸素条件で1年間暴露させ、好氣的条件で保存した底泥との比較実験を行うことで、貧酸素化が藻類の回帰に与える影響についての評価が可能となった。さらに、光の強度が底質中の植物プランクトンの再活性化に重要な環境因子であることが確認でき、湖岸帯の光条件の環境改善（浅場化）が貧酸素状態の解消に貢献することを裏付けている。今回の研究結果から、深い水深で貧酸素が強くなるとシード機能が低下し、緑藻が減少し藍藻が増加するなど、種によって耐性が異なっている可能性が示唆された。従来では、環境分析分野では使われていなかった分析手法である X 線吸収端近傍構造(XANES)測定によって、底質中の硫黄の元素存在状態を測定したところ、本法により酸化還元状態を反映したスペクトルが取得できることが確認され、硫黄は、底質環境を評価するよい指標となり得ることが確認された。植物プランクトンの生分解試験において、これまで微小原生動物の影響は具体的に検討されてこなかったが、本研究において、少なくとも顕著な影響を持たないことが明らかとなり、従来の生分解試験の評価結果を用いることの妥当性が示唆された。また、沿岸域での底質巻上げや植物プラクトンの繁殖による透明度低下によって、アオコなどの浮上性植物プランクトンの優占化が進む可能性が示唆された。
- 7) 富栄養化の進行した山ノ神沼では夏季及び冬季に関わりなく、底層では一時的に貧酸素状態になっている実態が明らかとなった。しかし、水深の浅いことが幸いし、底層の貧酸素化が解消されやすい状態にあるものと考察された。底質からのプランクトン回帰実験において、山ノ神沼のような高有機底質を用いた場合においては、特別な処理を必要とせず、水とよく攪拌混合するだけで嫌気状態を再現できることが分かった。
- 8) 富栄養湖沼の山ノ神沼は最深部で約 2m と浅いため風等によって容易に攪拌され酸素供給が行われることから、泥質化は琵琶湖以上に進行しているにも拘わらず底層・底質環境は極端な還元状態にはならないことが実証された。さらに、貧酸素状態は藍藻のシードにとって保存される上で有利であると考えられ、藻類シードバンク機能を維持するためには、貧酸素状態が解消されるべきである。したがって、沿岸帯整備の際には、なだらかな湖岸形状に復活させることにより、水の滞留域の解消及び藻類の光合成を可能とする光環境の改善が有効であることが推察された。
- 9) 人工的湖岸の底層部の嫌気化の進行が藍藻シードの保存に繋がることから、湖辺域を好氣的な環境に整備することで藍藻類が減少することを明らかにした。また、琵琶湖以上に富栄養化

が進行した湖沼であっても、水深が浅いことによってアオコを形成する藍藻以外の緑藻や珪藻が季節的に出現することから、なだらかな湖岸形状の沿岸帯整備を行う等、今後の沿岸帯対策の方向性を提示することができた。

- 10) 貧酸素 (DO 0mg/L) 状態で保存した底質からは藍藻が優占して観察された一方、好気 (同 >6mg/L) 状態で保存した底質からは緑藻、珪藻、藍藻がバランスよく観察できた。また、微好気 (同 2~3mg/L) 状態で保存した底質から珪藻が最も多く観察された。これらのことから、底質の藻類シードバンク機能を健全に維持するために必要な DO 量を定量的に評価すると、貧酸素状態は藍藻の優占化を引き起こす恐れがあるため、微好気の状態が最低限維持されることが望ましいと考察された。
- 11) 琵琶湖沿岸帯 (長浜沖、愛知川沖、長命寺沖の3地点) の水質データと沖帯の水質を比較したところ、琵琶湖沿岸帯では、沖帯より浮遊物質量、粒子状有機物、クロロフィル量が多い傾向がみられることが判明し、湖岸帯水質の特徴の一部を明らかにすることが出来た。
- 12) 底質の泥質化が進むと、底質表面の酸化層の厚さが薄くなり、泥質化が進んでいない地点 (愛知川沖) では 4~6mm の厚さであるが、泥質化が進んだ地点 (長浜沖) では 2mm 程度であることをマイクロセンサーによる測定により、初めて明らかにした。
- 13) X線吸収端近傍構造測定(XANES)法により、底質中の硫黄の存在状態を測定することが可能であることを示し、さらに、還元的硫黄は、鉱物以外の堆積物由来であることを明らかにした。
- 14) 底泥間隙水の分析により、琵琶湖沿岸帯における間隙水中の窒素の存在形態が、ほとんどがアンモニア態窒素 (還元的) であることを明らかにした。
- 15) ドップラー流速プロファイラー (ADCP) を用いて流向流速の連続測定を行った結果、底泥の泥質化には流向流速が関与している可能性があることを明らかにした。
- 16) 沿岸帯においては、沖帯と比べて多い傾向がある粒子状物質が、その供給量や地形、流向・流速等に影響を受けながら沈降し堆積する量により底質の基礎的な特性を決定し、その結果、泥質化が進んだ場合には、溶存酸素が低下し、還元的環境が形成されると考えられた。
- 17) 植物プランクトンの細胞容積や粘質鞘容積の環境因子依存性を明らかにするとともに、植物プランクトンの増殖特性から野外での植物プランクトンの挙動が特に水温とそれに伴う水温成層状況に強く影響されていることを明らかにした。有機物の難分解性を判断する生分解試験における微小原生動物の影響を評価した結果、微小原生動物は試験結果に有意な影響を与えておらず、従来の試験法の妥当性が示された。また、沿岸帯における透明度低下 (濁度上昇) が *Microcystis* などの浮上性藍藻の優占化に寄与している可能性を明らかにした。
- 18) 沿岸帯底泥を用いた底泥酸素消費速度評価実験を通じて、底泥酸素消費速度が温度、含泥率、窒素含有率に強く影響を受けていることを明らかにした。鉛直一次元の溶存酸素収支モデルを構築し、底層溶存酸素濃度に影響する因子を検討した結果、含泥率が底層貧酸素化に強く影響することが示唆された。琵琶湖北湖湖岸帯湖底泥質化実態調査データを再解析した結果、湖底勾配変化量 3%以上の勾配急変部より沖側で泥質化が進行する傾向があったことから、勾配急変部を解消するような沿岸帯整備を行うなどの対策の有効性を指摘した。また、本研究で構築した沿岸帯プランクトン量予測モデルを用いて人工的湖岸の自然化を想定したシナリオ計算を実施することにより、湖岸形態が植物プランクトン種ごとの現存量に与える影響を半定量的に評価することが可能となった。

(2) 環境政策への貢献

マザーレイク計画では、2050年春までにセタシジミの復活とホンモロコやニゴロブナが産卵し、湖辺の足元にさらさらとした砂地と水遊びをする人々などの復活をめざしている。

今回の研究成果により、琵琶湖沿岸帯の人工湖岸化が植物プランクトンや動物プランクトンの種組成を左右し、また、泥質化の進んだ底質から発生する動・植物プランクトンの種組成の変化

とその特性についても明らかに出来たことから、滋賀県では、第四期中期計画(平成 26 年～28 年)の中で、琵琶湖南湖の自然的湖岸と人工的湖岸の泥質化状況と人工的な湖岸化が沿岸帯の機能に及ぼす影響評価を実施し、さらに、在来魚介類の生息環境の再生からみた沿岸帯管理の方向性を提示するための実態調査を行うこととなった。沿岸帯の機能に着目した場合、沿岸帯における粒子状物質の供給量や沈降堆積量を管理し、適切な状態を保つことが、底質の泥質化を防止し、健全な水環境を創出する上で重要である可能性についても明らかにした。

<行政が既に活用した成果>

本研究により富栄養化及び底質の有機化が進行した湖沼において、水深が浅いことは底層の貧酸素状態の解消に有利であることが示唆された。湖岸帯の光条件の改善は、底質由来の藻類の光合成の再活性化を促進することが実験的に示唆されたことから、湖岸帯の構造を浅場化することは、生態工学的貧酸素状態の解消に貢献することを裏付けている。さらに、1年間貧酸素状態で保存した後も藻類の再活性が確認できた。しかし、種によって貧酸素耐性が異なる可能性も示唆されたことから、今後の研究により湖沼の底層貧酸素管理政策の基礎データとして貢献できると考えられた。また、人工的湖岸の自然化を想定したシナリオ計算を実施したところ、藍藻の現存量が大きく減少する傾向が見られたことから、自然的な湖岸を復元していくことにより湖内のプランクトン種ごとの現存量にも影響を与えられる可能性が示された。

<行政が活用することが見込まれる成果>

分析技術の確立、今回実施した観測や測定方法を用いることによって、沿岸帯底質の泥質化状況を把握することが出来たことから、本手法により、他の湖沼においても、底質の泥質化状況を把握することができると考えられる。また、沿岸帯の湖岸形状や流況を適切に管理することが、底質の底質の泥質化を防止し、健全な水環境を創出する上で重要であることを明らかにした。一方、沿岸帯における透明度の低下(濁度上昇)が *Microcystis* などのアオコを形成する浮上性藍藻の優占化に寄与していることが明らかになったことから、アオコ制御という観点から沿岸帯の濁水対策の重要性が示唆される。さらに、総合解析においても、沿岸帯の泥質化が底層 DO の貧酸素化に大きな影響を持っていることを示し、沿岸帯の泥質化の要因の一つとして湖底の勾配急変部の存在を指摘したことから、勾配急変部を解消するような沿岸帯整備を行う等、今後の沿岸帯対策への活用が期待される。

本研究の成果により、琵琶湖北湖における自然的湖岸と人工的湖岸の底質の持つ藻類シードバンク機能の違いと、底層部の嫌気化が藍藻シードの保存に繋がることを明らかとしたことから、琵琶湖南湖の自然的湖岸と人工的湖岸の底質について、滋賀県では平成 26 年～28 年にかけて実態調査を行うこととなった。

4. 委員の指摘及び提言概要

沖帯環境との関係も視野に入れながら湖沼水質形成における沿岸帯環境の影響を解析・評価するための多くのデータを着実に集積し、それらを適切に解析・評価した。特に、アオコ形成抑制に対する知見、底泥のシードバンク機能やプランクトン回帰のメカニズムを明らかにした点など、個々に今後の効果的な対策の策定に有用な知見を提供したと評価できる。

5. 評点

総合評点：A