

南湖生態系の順応的管理方法に関する研究

井上栄壮・金子有子・七里将一・永田貴丸・西野麻知子¹⁾・石川可奈子・廣田大輔・
山中直・奥村陽子・一瀬諭・田中稔・藤原直樹・廣瀬佳則・東善広・宮永健太郎・水野敏明・大久保卓也

1. 目的

南湖は、水産振興や水質保全、生態圏保全、景観・レジャー利用など多面的な要件を満たすことに加え、それらがバランスよく成立することが求められている。特に南湖を生物多様性や生態系保全の観点から管理していくためには、沈水植物（水草）の大量繁茂や自然的湖岸・水辺エコトーンの減少、特定外来生物の分布拡大など個々の課題への対応ではなく、南湖全体を見据えた総合的な対策が必要である。

そこで本研究では、長期的な視点から南湖生態系の全体像を把握し、今後の南湖の管理方法を総合的に検討することを目的とした。その検討結果をもとに、水草管理、生物多様性保全、水質保全、湖岸管理、水位操作のあり方など、多面的な保全の方向性を「南湖管理のガイドライン」として提示する（本ガイドラインは、後日ホームページで公開予定）。

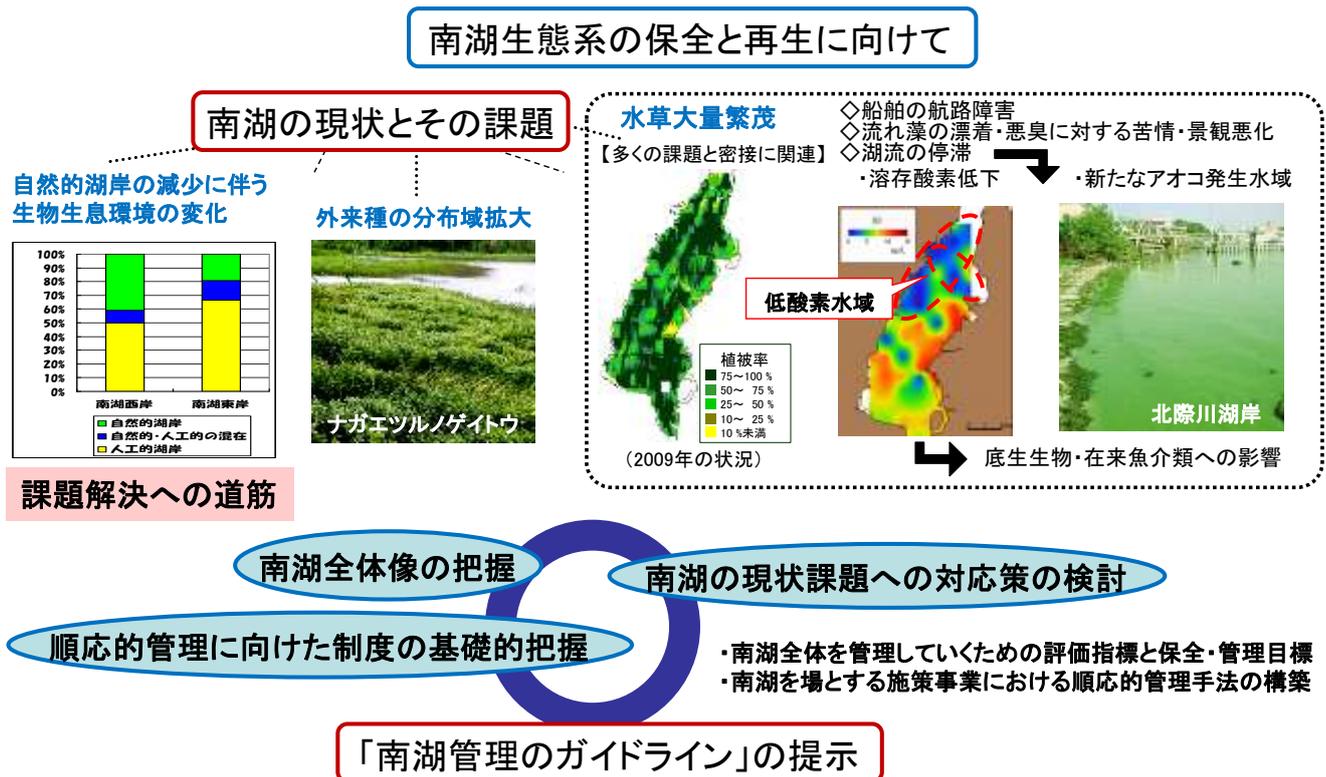


図1 研究全体のイメージ

2. 研究内容と結果

【サブテーマ(1)南湖全体像の把握と水草管理に関する研究】

(1) 南湖湖岸域および湖内の現況把握調査

①湖岸微地形解析

1) 現・びわ湖成蹊スポーツ大学

湖岸域の干出・冠水状況の過去と現在の違いを明らかにするため、航空写真判読により、湖岸域における地形の凹凸状況・冠水頻度・規模等を推定した（図 1-1-1）。

○現在は湖岸堤が存在し、後背地の冠水域が減少した。琵琶湖の水位変動によって水中に沈んだり、陸になったりする場所を「水陸移行帯」（エコトーン）と呼ぶが、多様な生物の生息場所となっているなど、生態系保全にとって重要な役割を果たしている。そのため、適度な水位変化のもと、浅水域の保全により干出・冠水域を少しでも増やすことが望まれる。

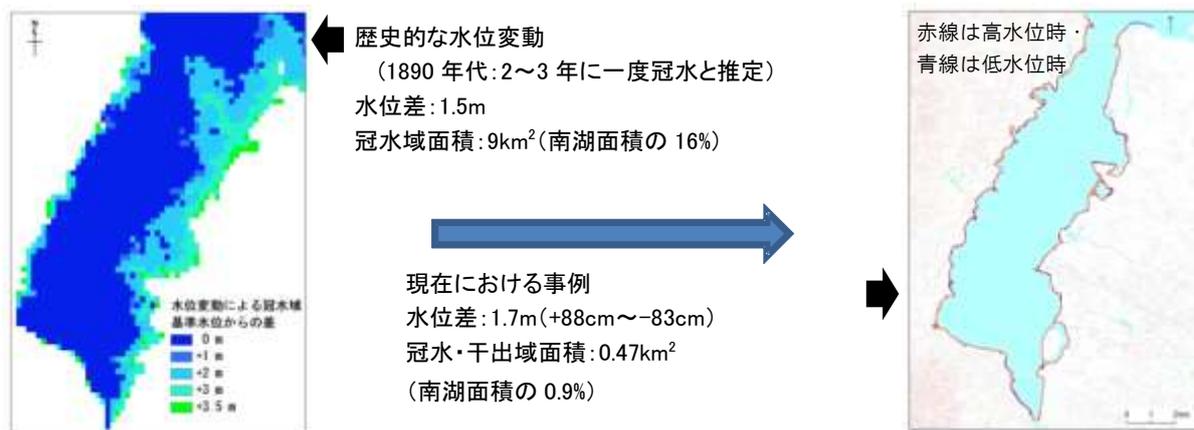


図 1-1-1 湖岸堤築堤以前と現在の冠水頻度・規模の推定分布図。

②漂着流れ藻の分布把握

2011年の県政世論調査により、多くの県民にとって湖岸に漂着した流れ藻は目につきやすく印象が良くない実態が浮き彫りとなった。これを受け、湖岸における流れ藻漂着量および種構成の現況について、特に台風の接近・通過後に現地調査を実施した。

- 2012年は6月・10月に台風が接近・通過したが、大量漂着はみられなかった。これは、2012年は流れ藻の供給源である水草が減少していた（図 1-2-4③）ことが一因と考えられた。
- 2013年9月の台風18号接近・通過後は、多量の流れ藻が湖岸に漂着した（写真 1-2-2）。



写真 1-2-2 2013年台風18号による漂着流れ藻の除去作業（2013年9月17日）

③侵略的外来植物の分布把握

2012年～2013年に継続して侵略性の高い外来水生植物の分布を調査し、各年の分布確認地点図を作成した。

- オオバナミズキンバイは2010年に南湖で（赤野井湾）で初確認されて以来、短期間で急速に生育面積を増加させ続けている（図1-1-3）。またナガエツルノゲイトウは現在の県駆除事業では根絶に至っていない。これらのことから、侵略的外来植物の防除をより強化する必要があると言える。

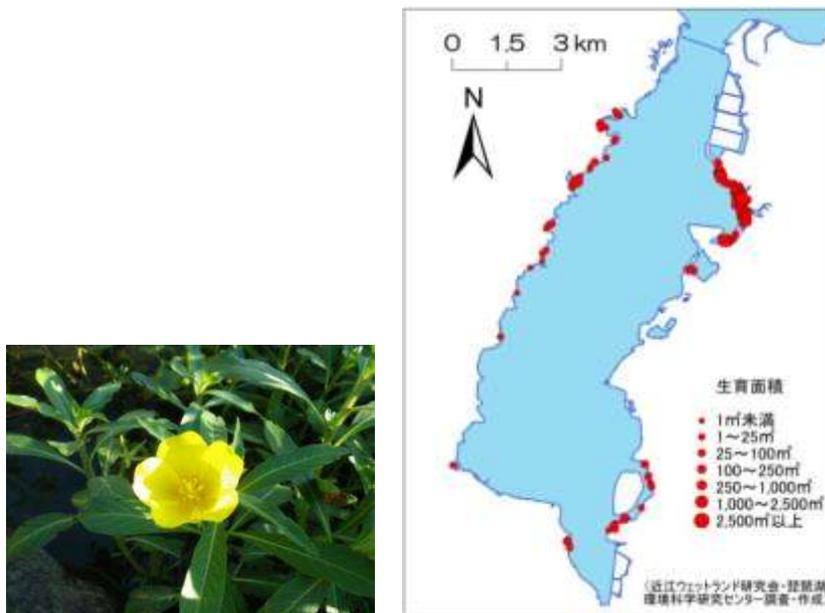


図1-1-3 オオバナミズキンバイ（左）の2012年の分布（右）

④水位変動とホンモロコ漁獲量の関係解析

水位変動が生物に及ぼす影響を把握するため、かつて南湖でも多く漁獲されていたホンモロコに着目し単位努力量あたりの漁獲量（CPUE）の変遷を解析した。

- その結果、現行規則による水位操作開始後（1992年～）のホンモロコ CPUE は開始前（～1991年）より有意に低かった（図1-1-4）。同規則の制定によって、6月16日を境に琵琶湖の水位を常時満水位（基準水位+30cm）から制限水位（基準水位-20cm）に低下させる運用（梅雨期における洪水防止のため）がなされるようになった。1992年以降は、特に夏～秋に1991年以前より比較的低い水位で変動しており、近年の水草の大量繁茂、産卵場所となるエコトーン的环境変化等、複合的な生態系の変化の一因として、水位変動の変化がホンモロコ現存量の減少に表れたことが示唆された。
- 1992年以前のホンモロコ CPUE および水位データから統計数理モデル式を構築した結果、ホンモロコが増加するためには6月の平均水位が基準水位-3.3cm以上となる必要があると推定された。

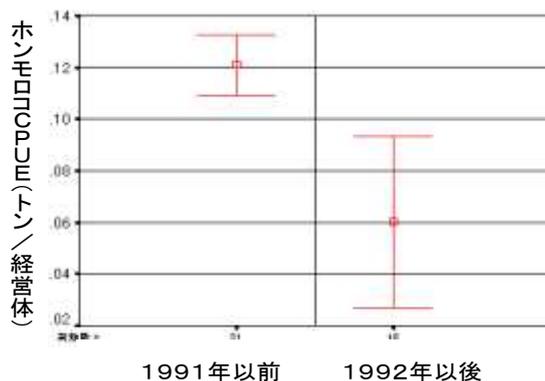


図 1-1-4 1991 年以前・以後のホンモロコの単位努力量あたり漁獲量 (CPUE) の比較

(2) 水草繁茂に対する対応策の検討

① 水草の除去区と非除去区の比較対照実験

南湖の現状課題への対応策を検討する一例として、大量繁茂した水草（沈水植物）の効率的な管理を目指すため、雄琴沖に設定した試験区画において、水草の除去時期と省力化を検討するための野外実験を行った（図 1-2-1①）。

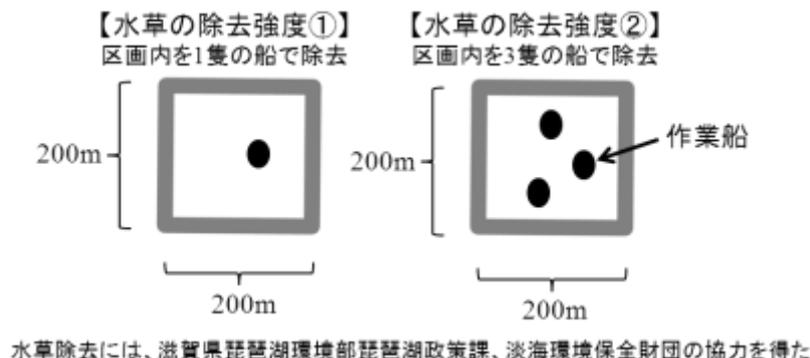


図 1-2-1a 水草除去の比較対照実験における水草除去強度

- 実験の結果、冬季には図 1-2-1a の除去強度①でも、水草の除去効果が得られた（図 1-2-1c）。一方、夏季には除去強度①では不十分であり、除去効果が得られるためには少なくとも除去強度②以上が必要であることが分かった。県の除去事業では、通常、除去強度②で実施しており、十分な除去効果が得られていると考えられる。
- このことから、水草除去における経済的、労力的なコスト削減のためには、1 年のうち水草の現存量が最大になる夏季までの冬季から春季に、除去強度を上げて実施することが望ましいと考えられた。



図 1-2-1b 試験区画面図

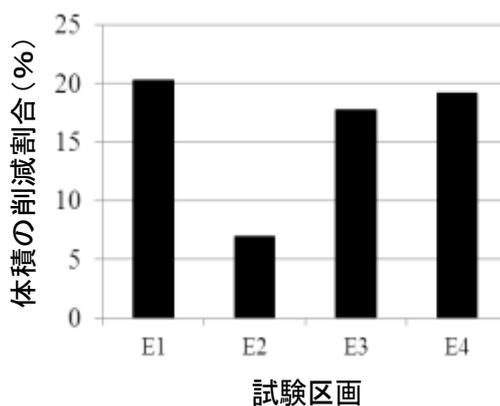


図 1-2-1c 冬季に水草除去(強度①)を実施した後の水草の体積削減割合
(4つの試験区画において、水草除去の前後で比較)

② 水草除去による湖流、溶存酸素濃度、水質、植物プランクトンへの影響把握調査

琵琶湖南湖西岸に位置する際川沖地点(図 1-2-2a)においては、2002年に初めてアオコが確認され、その後もたびたびアオコが発生している。その原因のひとつとして、異常繁茂した沈水植物が物理的障害となって湖水の循環が妨げられて湖流が停滞することで、閉鎖性水域が発生することが考えられている。この湖流を回復させることを目的のひとつとして、水草の除去事業が当地点を含めて実施されている。

- この際川沖地点において、県琵琶湖政策課の事業として周辺の水草を根こそぎ除去(図 1-2-2b)することにより湖流を回復させた結果、湖底直上の溶存酸素濃度が回復した(図 1-2-2c)。

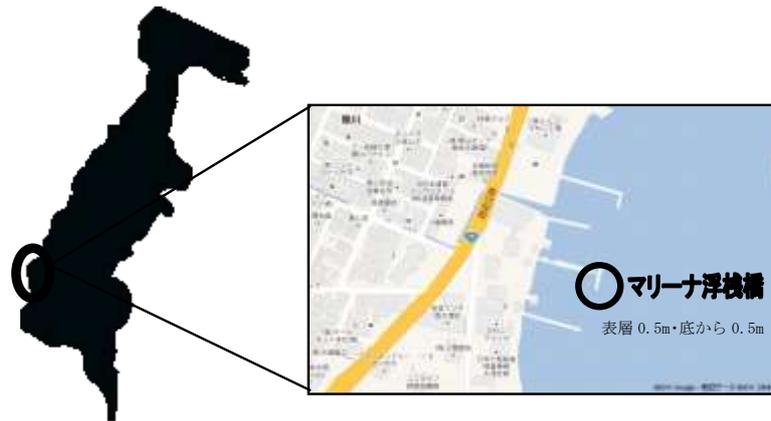


図 1-2-2a 際川沖の調査地点。水草によって閉鎖性水域が形成されやすい。

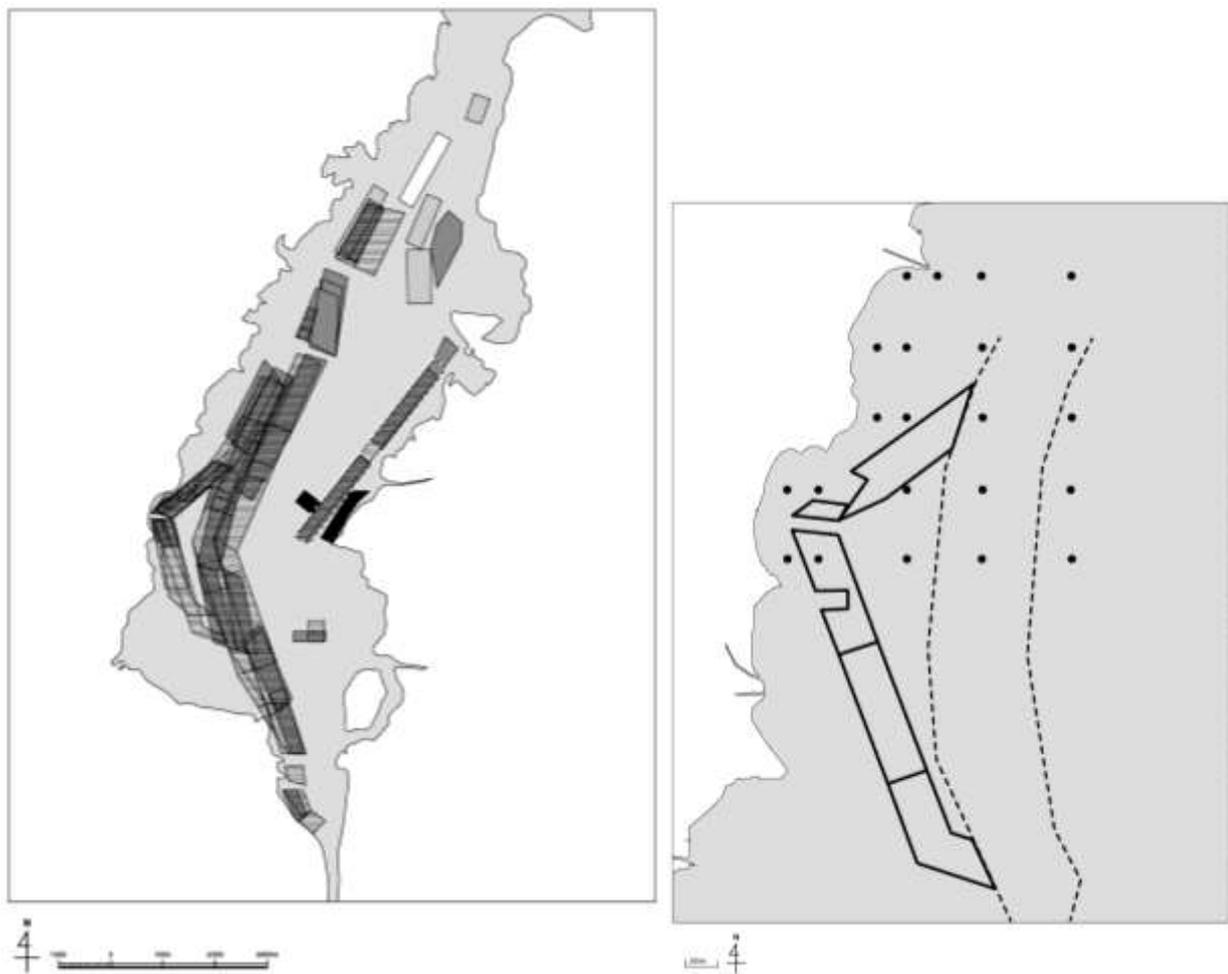


図 1-2-2b 南湖全域（左）、際川沖（左）における水草根こそぎ除去範囲

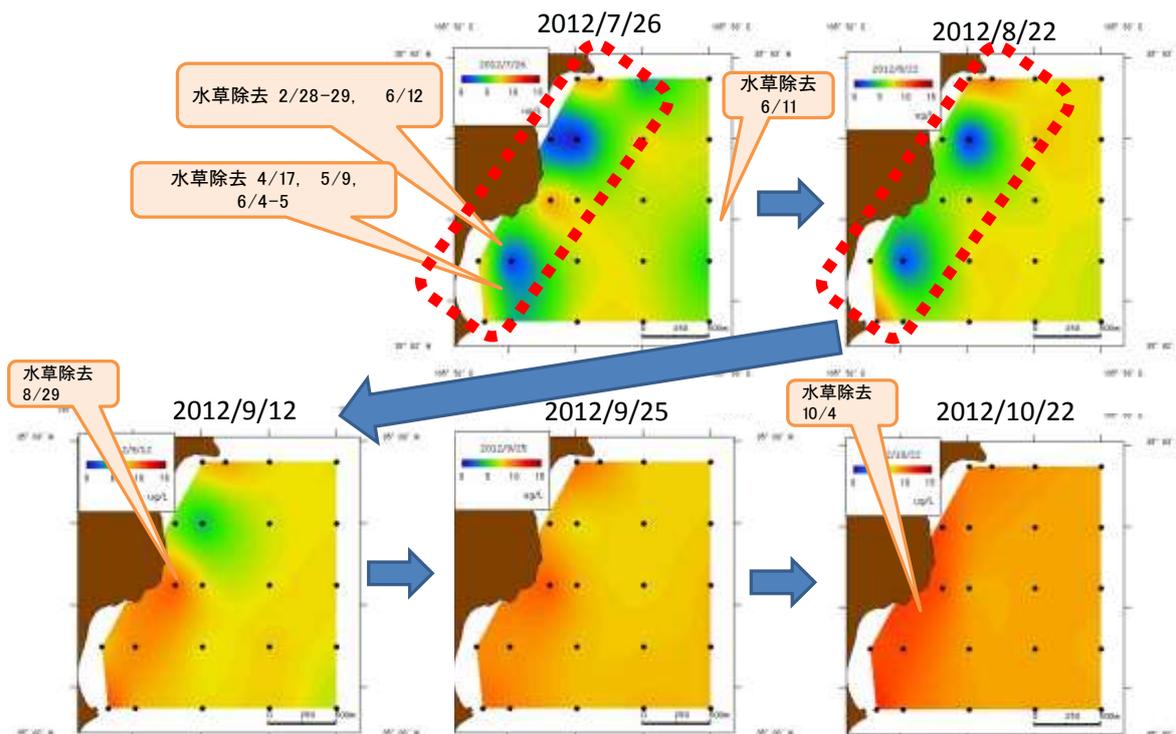


図 1-2-2c 際川沖における 2012 年の水草除去前後の湖底直上（30cm）の溶存酸素濃度
（水草除去地点では、除去後に溶存酸素濃度が回復）

- 際川沖地点においては、2012 年は 8 月上旬まで水質悪化やアオコ形成種が確認されなかった（図 1-2-2d, e）。これは同年 2 月～5 月の水草除去効果および南湖全域における水草の減少により、沖帯から湖水が流入したため、流入河川から供給される栄養塩が調査地点に蓄積しなかったことが原因と考えられた。
- 8 月中旬以降は栄養塩濃度およびアオコ形成種の増加が確認された。これは放流量の減少により南湖全域で湖水が滞留したことが原因のひとつと考えられた。
- 2013 年の際川沖地点では栄養塩濃度が比較的高かったにもかかわらず、アオコ形成種の大幅な増加は認められなかった（図 1-2-2d, e）。これは、同年 2 月および 7 月 25 日～8 月 1 日の水草除去により本水域の閉鎖性が解消され、沖帯から湖水が継続的に流入していたことによるものと示唆された。こうしたことから、水草除去による湖流の回復は、水質改善およびアオコの発生抑制に有効であると考えられた。
- なお同年 9 月中旬の栄養塩濃度の急激な低下およびプランクトン相の変化は、台風 18 号による豪雨の影響と考えられた。

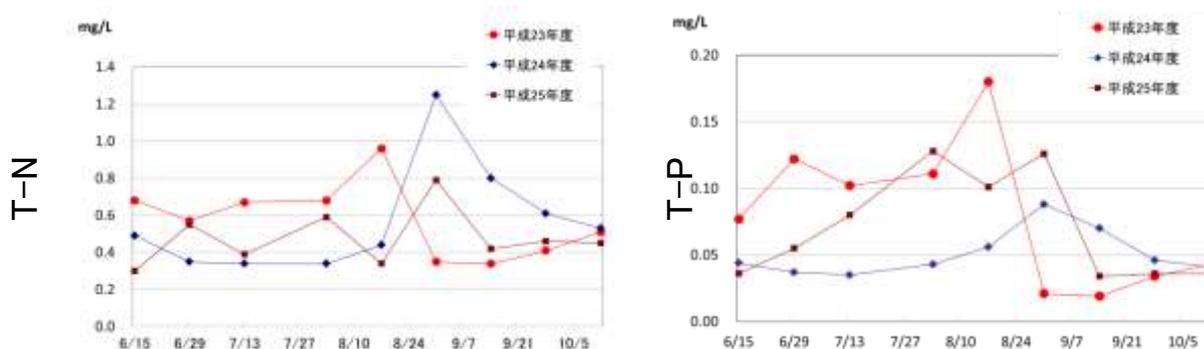


図 1-2-2d 際川沖地点における総窒素 (T-N) (左)、総リン (T-P) (右) の濃度変化

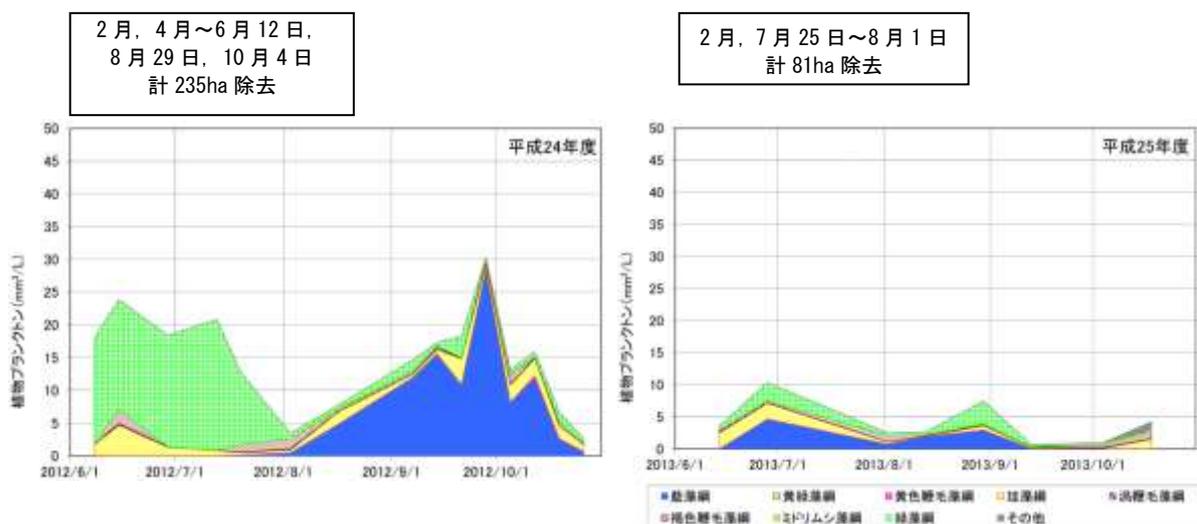


図 1-2-2e 際川沖における 2012 年 (左)・2013 年 (右) の植物プランクトン総細胞容積量の変化

③糸状藻類の機能評価

近年湖底で増加した糸状藻類の種構成および繁茂状況を把握するため、南湖の湖底撮影 (水中有索ロボット (ROV) に搭載したビデオを使用) および現地採集による調査を実施した。

- 近年増加した糸状藻類は、藍藻類 *Lyngbya wollei* であり、南湖全域の調査から糸状藻類の分布状況が明らかになった (図 1-2-3)。

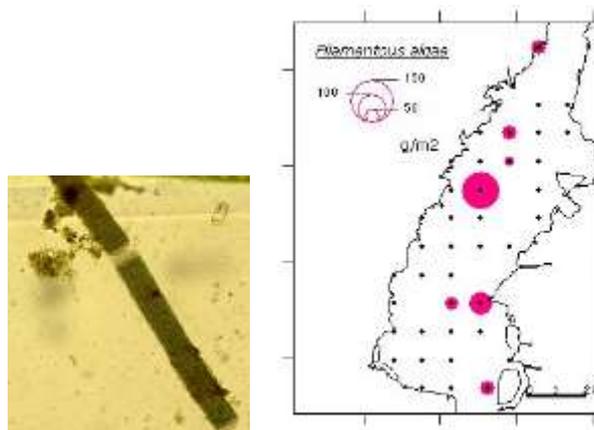


図 1-2-3 2012 年 9 月の糸状藍藻類 *Lyngbya wollei* の分布。

④ 3機関連携による南湖一斉調査

琵琶湖博物館による5年に1回の南湖全域水草分布調査にあわせ、3機関連携（滋賀県立大学・琵琶湖博物館との連携）により、2012年9月に南湖生態系の機能解明に向けた一斉調査を実施した。

- 2012年に特異的に生じた透明度の低下、植物プランクトンの増加、広範囲のアオコ原因藻類（藍藻類）発生、水草の大幅な減少などの現象について詳細に把握できた（図1-2-4a, b, c, d）。

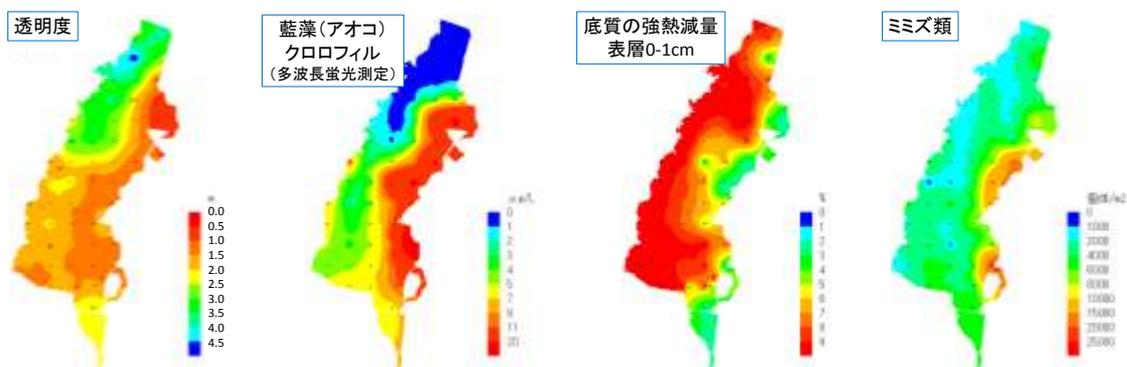


図1-2-4a 2012年9月の透明度、藍藻クロロフィル濃度、底質の強熱減量（有機物量の指標）、ミミズ類の生息密度の分布

- 南湖全域で湖底の溶存酸素濃度を測定した結果、大規模な水草除去が開始される前の2007年には一部で溶存酸素濃度2mg/L以下の貧酸素水域が形成されていたが、放流量や水草繁茂量の変動はあるものの、水草除去が開始された後の2011年・2012年には貧酸素水域がほぼ解消されたことが分かった（図1-2-4b）。

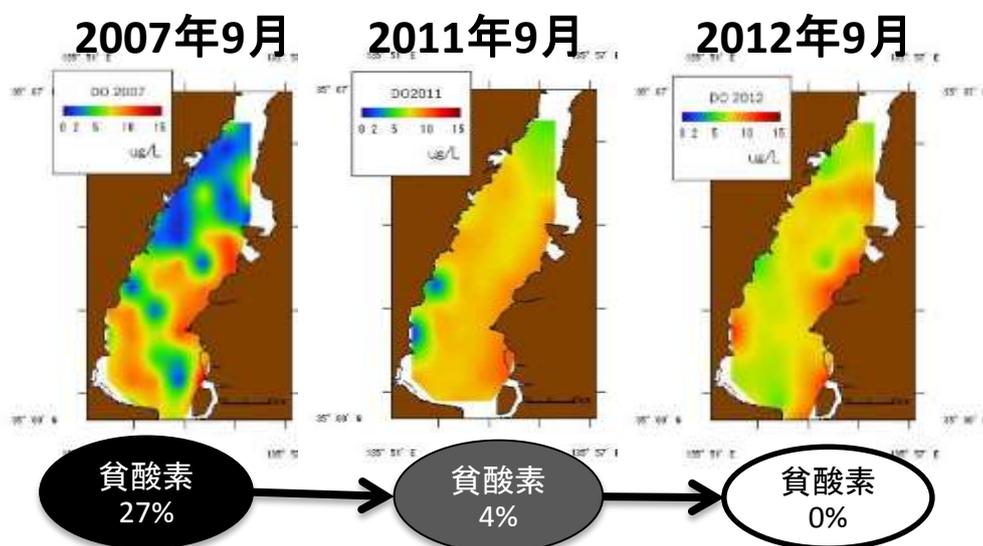


図1-2-4b 湖底直上（30cm）の溶存酸素濃度の分布（上段）と貧酸素（2mg/L以下）の地点の割合（下段）

- 水草繁茂と底生動物の分布現況との関係を把握するため、現地調査を実施した。夏季の水草は2011年～2012年はセンニンモが優占したが、2013年はクロモ、マツモが増加し、センニンモは減少した

(図 1-2-4c)。底生動物は、2011 年～2013 年ともミミズ類が優占し、シジミ類等の二枚貝類は成員が少なかった (図 1-2-4d)。

- 夏季の水草重量と底生動物の生息密度との間に負の相関が認められたことから、水草除去によってある程度夏季の底生動物相が回復する可能性がある。しかし、現状ではミミズ類以外の底生動物は生息密度が低いため、底生動物の生産性・多様性を高めるためには、水草管理とともに湖底環境の根本的な改善が必要と考えられた。

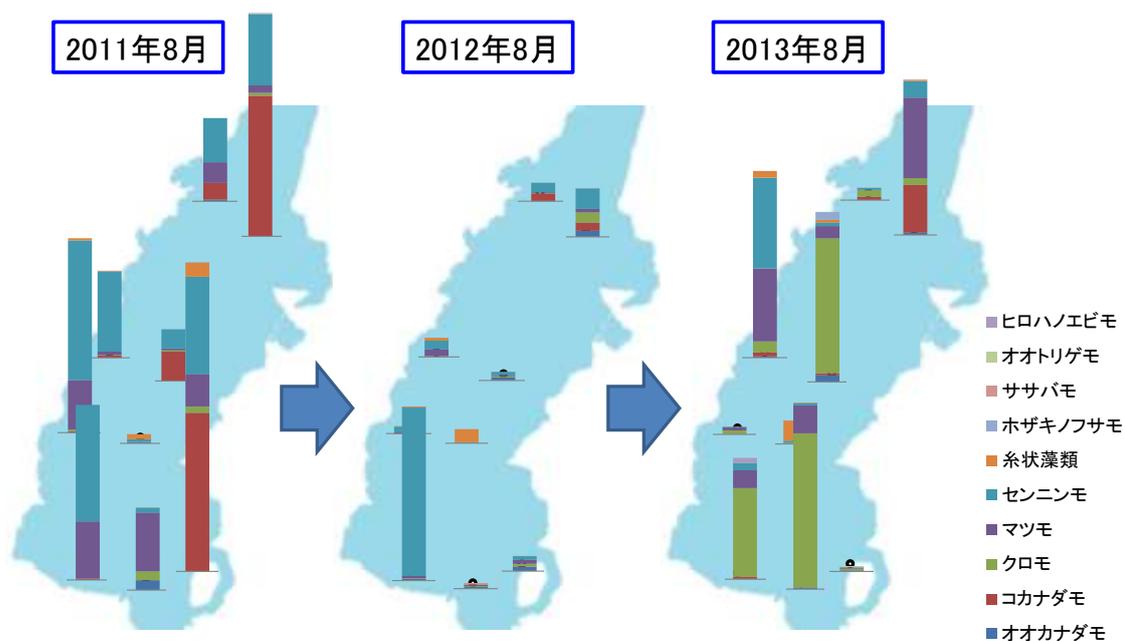


図 1-2-4c 2011 年～2013 年の 8 月の水草の分布

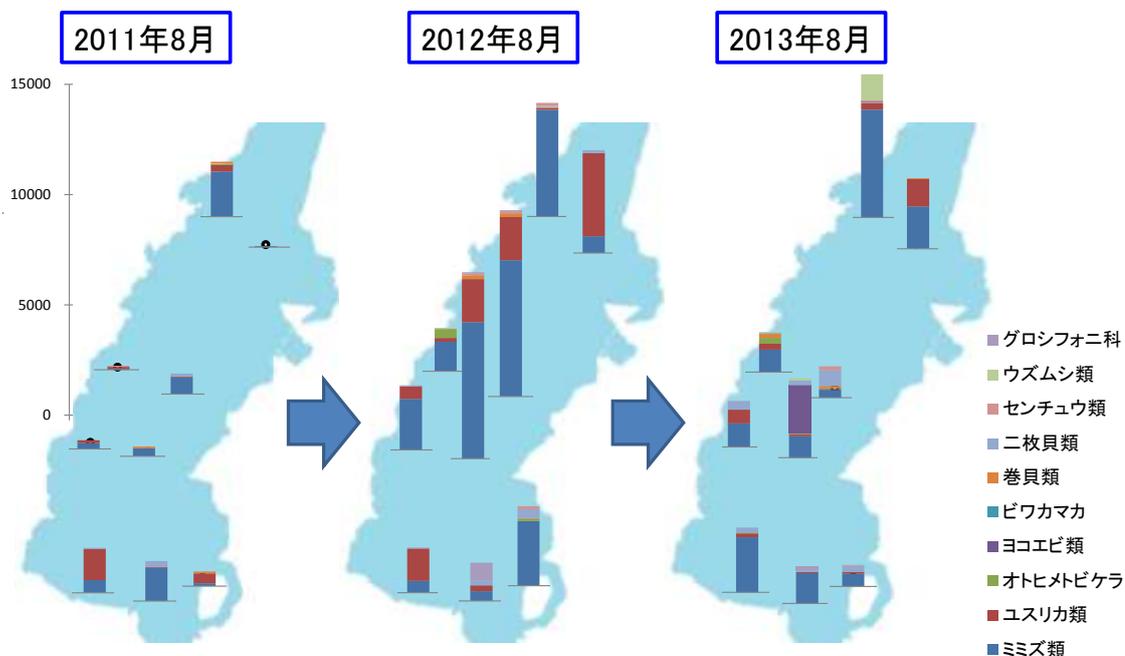


図 1-2-4d 2011 年～2013 年の 8 月の底生動物の分布

- 2012年度に水草が南湖全域で少なかった要因を調べるため、過去5年間の水質、植物プランクトン、透明度などのデータを用い、水草とこれらの環境因子との関係を解析した(図1-2-4e)。この結果、植物プランクトンの大増殖(ブルーム)が透明度を低下させ、水草の光合成を阻害したことが主要要因のひとつと考えられた。

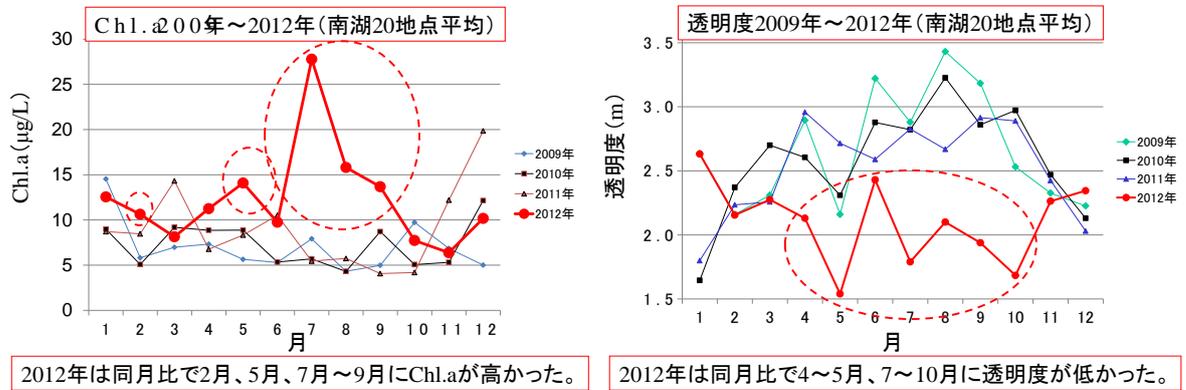


図1-2-4e 南湖20定点における2009年~2012年のクロロフィルa濃度(左)、透明度(右)の月別平均値。

⑤水草の遺伝子解析

- 2012年に琵琶湖水系固有水草のネジレモについて遺伝子解析を行った結果、各地のネジレモ集団は遺伝的に近い南湖南部グループと琵琶湖南部東岸グループに分けられることが分かった(図1-2-5)。各集団の遺伝的多様性等から各地域の相対的な保全重要度と保全の指針を提示した。
- 2013年はヨシ集団のクローン構造と倍数性構成を明らかにし、ヨシ植栽を行う上で配慮すべき事項として、小規模な遊水池を配置するなどして有性繁殖の機会を増やす、地理的距離を遺伝的距離の指標としない、異なる倍数体を導入しない、実生苗によって遺伝的多様性を維持することなどを提示した。



図1-2-5 南湖のネジレモ採取地点

(緑(縦線)、赤(横線)の集団はそれぞれ南湖南部グループ、琵琶湖南部東岸グループ)

【サブテーマ2:生物多様性保全のための制度的手法に関する研究】

(1) 順応的管理に向けた制度の基礎的把握および検討

① 生物多様性の保全および持続可能な利用に関する制度的手法の調査

長期的・総合的・戦略的視野に立って滋賀や琵琶湖の生物多様性問題に取り組み、南湖生態系の保全を図るための制度のあり方を考えるべく、他都道府県の条例や計画の現状のほか、生物多様性基本法成立やCOP10開催といった近年の動きによる影響などを調査し、南湖生態系保全の実効性を高めることのできる制度的手法について分析した。

- その結果、これまでの“自然保護行政”から“生物多様性行政”への移行を図るとともに（表2-1-1）、生物多様性行政の推進に必要となるガバナンスシステム（制度的基盤）を構築するのが有用であることが分かった。

表 2-1-1 自然保護行政と生物多様性行政

	自然保護行政	生物多様性行政
コンセプト	自然環境の保護・保全 > 開発圧への対応	生態系サービスマネジメント > 人類の究極的生存基盤・社会経済の発展基盤の維持 > 人間の福祉(well-being)の増大 > 生物多様性の“保全”と“持続可能な利用”
政策の対象	> 特定の構成要素(例: 魚、絶滅危惧種) > 特定のエリア(例: 自然環境保全条例、自然公園条例)	> 生態系(システム)全体の健全性(例: レジリエンス) > 市街地・里山・民有地などでの取り組み > テーマの広がり(農林水産業、獣害、観光、文化的景観、防災、再生可能エネルギー...)
政策手段の力点や特質	> 規制・要綱 > 事業(公的支出) > 補助金 > 啓発 > その他個別具体的事案ごとの対応(例: 環境影響評価条例)	> 長期的・計画的・戦略的取り組み > ビジョン・ミッション・推進体制・進行管理システム > 分野横断と政策統合 > モニタリングと科学的知見の活用 > 市民・事業者の参加と連携 > グローバル・ナショナルレベルの制度との接続 > 地域間ネットワークやNPO・NGOネットワークとの接続

出典：『南湖生態系の順応的管理ガイドライン サイエンスレポート』

- この点をふまえるならば、2013年度策定予定の『滋賀県生物多様性地域戦略（仮称）』を県の最も基幹的な生物多様性ガバナンスシステムと位置づけるとともに、以下のような点に留意しながら策定（改訂）をすすめることが望ましい。
 - > 生物多様性条約や生物多様性基本法に則った、なおかつ新戦略計画（愛知目標）や国家戦略との間でも整合性がとれた、ビジョン（展望）とミッション（使命）の構築
 - > ビジョン・ミッションの実現を確かなものとする、地域戦略の推進体制や進行管理システムの整備
 - > 生物多様性に関連するさまざまな政策分野を包括的に扱う、分野横断的発想の導入
 - > 政策テーマごと（例：自然再生・地域活性化・環境学習）にばらばらに取り組むのではなく、統合的な実現を目指す、政策統合的発想の導入
 - > 順応的管理実施の前提となる、体系的な科学モニタリングの実施および科学的知見の活用
 - > 市民や事業者による参加・連携の促進、ならびに行政・市民・事業者が地域戦略推進の担い手としてともに成長するための場やプロセスの確保

②貴重植物データベースの構築

- ・希少種分布情報の行政利用を推進するため、希少植物の分布情報を地理情報システム（GIS）でデータ化した。希少植物の分布情報については行政部局からの提供依頼が多く、調査地全域を現地踏査する形の継続的な調査が必要と言える。

3. まとめ

(1) 増えすぎた水草による課題の解決と期待される効果について

○沈水植物（水草）をめぐる南湖生態系の現状と課題の要点は、図3-1のように整理できる。

- ・増えすぎた水草によって①湖流が停滞し、②湖底が低酸素化する。
- ・枯死した水草が湖底に堆積するなどして③底質中の腐植質が増加する
- ・上記により湖底の生息環境が悪化し、④二枚貝類等の底生動物が減少する。
- ・時折、大型台風によって湖岸に多量の流れ藻が漂着し、⑤景観悪化や腐敗臭の原因となる。

○増えすぎた水草を除去し、適正な量に管理できれば、図2のような効果が期待できる。

- ・水草の減少により①湖流が回復し、②湖底の低酸素化が解消する。
- ・枯死体の減少により③新たな腐植質の堆積が減少する。
- ・上記により、湖底の生息環境が改善し、④二枚貝類等の底生動物が増加する。
- ・流れ藻の供給量が減少し、⑤景観が維持され臭気の発生が解消する。

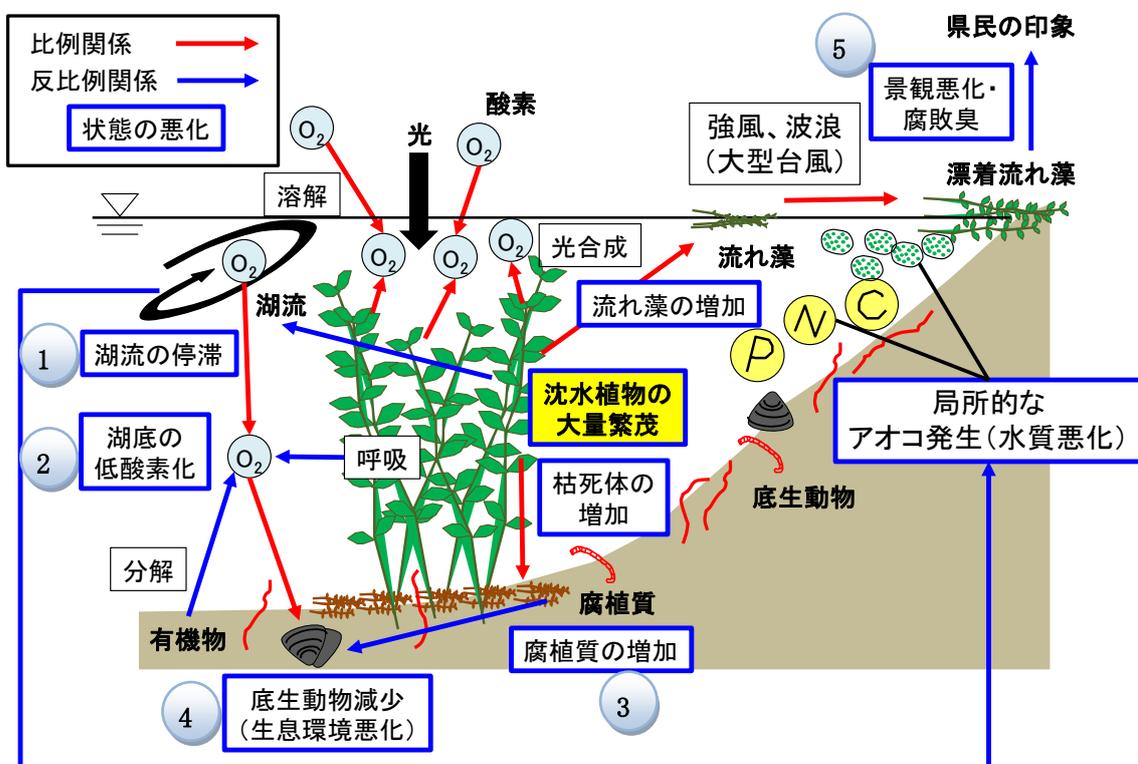


図3-1 増えすぎた水草による課題の模式図。

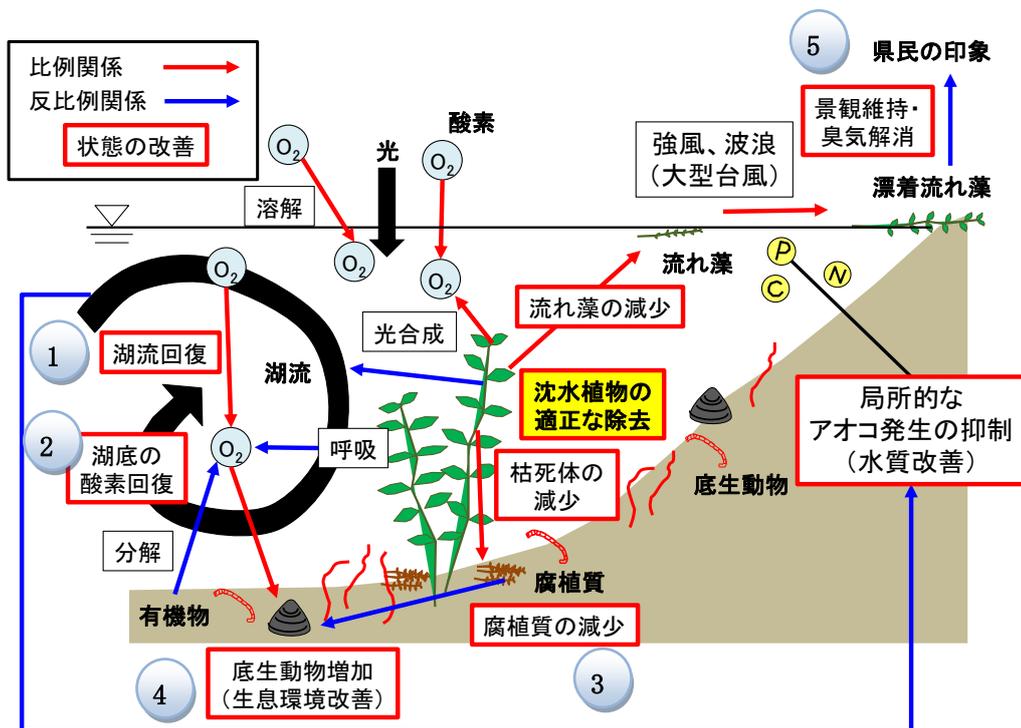


図3-2 増えすぎた水草の適正な管理によって期待される効果の模式図

(2) 生態系・生物多様性保全のあり方について

- ・ネジレモ (固有種の水草) とヨシについて、地域個体群の遺伝的多様性が明らかになったように、生物多様性保全においては「種レベル」だけでなく「遺伝子 (個体) レベル」の多様性に配慮する必要がある。
- ・湖辺域では、①湖岸の人工化・水位操作により減少したエコトーン域の再生②侵略的外来植物の根絶③希少植物の保護等への取り組みを継続する必要がある。
- ・南湖の湖内・湖辺域だけでなく、琵琶湖とその流域および県全域にわたる生態系の順応的管理の実効性を高めるための制度的手法として①「自然保護行政」から「生物多様性行政」への移行②生物多様性行政の推進のための制度的基盤の整備が必要である。

(3) 本研究の成果が施策につながった事例

- ・水草除去は、春～夏の繁茂期よりも、冬～春に行う方が効率的であるという研究結果は、2012 年度から除去事業に反映されている。
- ・本研究による水草等のモニタリング結果は、県水草対策チーム会議において除去事業実施のための基本データとなっている。2013 年 5 月時点で水草が減少した前年同月より水草が減少していることを県水草対策チーム会議において報告し、これを受けて夏季の水草除去事業の実施が見合わせられた。その後、夏季のクロモ等の増加を受け、除去事業が再開された。
- ・本研究による侵略的外来植物ナガエツルノゲイトウ、オオバナミズキンバイ等の具体的な分布地点、生育面積、増加率等の情報提示が国、県、市町、市民団体等による駆除事業、駆除活動につながった。これ

らの分布情報は継続して県（自然環境保全課、水産課等）、市町、市民団体等に提供しており、各年の駆除事業、駆除活動の基本データとなっている。

・2013年は、国交省、県、財団法人等から、事業を実施する箇所における希少植物の分布情報について提供依頼があり、本研究チームから分布図と保全上配慮すべき事項を提示した。これらの情報に基づいて事業の実施範囲、実施方法、実施時期等の見直しが行なわれた。

・『滋賀県生物多様性地域戦略（仮称）』の策定（改訂）が決まったことを受け、今後は地域戦略の策定（改訂）や推進に具体的に協力していくなど、本研究成果の活用と行政施策への反映をより一層本格化させていく。