

課題名 S-9-4 陸水生態系における生物多様性損失の定量的評価に関する研究

課題代表者名 高村 典子(国立研究開発法人国立環境研究所 生物・生態系環境研究センターフェロー)

研究実施期間 平成23～27年度

累計予算額 316,122千円(うち平成27年度:57,869千円)
予算額は、間接経費を含む。

本研究のキーワード 陸水、河川、湖沼、湿地、ため池、生物多様性評価、優先保護区、ギャップ分析、駆動因、メコン川

研究体制

- (1)リモートセンシングを活用した湖沼の流域特性ならびに湖内生態系情報の推定手法の開発(筑波大学)
- (2)湖沼における生物多様性損失・生態系劣化の評価(東邦大学)
- (3)ため池の生物多様性損失の評価とプロジェクト総括(国立研究開発法人国立環境研究所)
- (4)湿地における生物多様性損失・生態系劣化の評価(北海道大学)
- (5)河川における生物多様性損失・生態系劣化の評価(北海道大学)
- (6)空間的異質性と長期変動からみた大規模湖沼・琵琶湖の生物多様性評価(京都大学)
- (7)アジアの淡水域における環境劣化と生物多様性損失の評価(九州大学)

研究概要

1. はじめに(研究背景等)

陸水域は地球の表面積の1%に満たないが、この小面積に多種多様な生物が生育・生息しており、その種多様性は極めて高い。例えば、既存の動物種数の9.5%、全脊椎動物種数の35%が陸水域を生活の場としており固有種も多い。陸水域の生物種の分布は、湖沼や水域などの地質学的な成因、地理的要因、上流から下流といった河川のヒエラルキー構造などと深く関係しており、多くの生物種は移動分散能力が低い。淡水生物種のこうした特徴は、それらが気候変動や人為的なインパクトに極めて脆弱であることを意味している。

一方で、陸水域は多様な生態系機能を通して、単位面積当たりには換算すると人々への恩恵が最も高いとされる生態系である。安定した良質の水の供給は、人々の安全面や災害防止という観点から社会経済の成長期には特に重要視されたが、水は偏在するという特質を持つため、陸水域はすでに大きな人為的な改変を受け、地球規模で生態系への負の影響が極めて大きい。さらに、気候変動による今後の利用や攪乱の増加等も想定されるため、陸水域の持続的な利用とバランスのとれた保全・保護の効果的な実施は喫緊で重要な課題である。

愛知目標においても、戦略目標B「生物多様性への直接的な圧力を減少させ、持続可能な利用を促進する」や戦略目標C「生態系、種及び遺伝子の多様性を保護することにより、生物多様性の状況を改善する」の元に、目標6「2020年までに水生生物資源の持続可能な管理が実現される。」や目標11「2020年までに少なくとも内陸水域の17%が適切に保全・管理される。」というように、特に淡水域に言及した条文が設けられている。

テーマ4では、こうした愛知目標の達成に貢献し、陸水域の生物多様性の減少を緩和する施策に科学的知見を提供するため、日本とアジアにおける河川、湖沼、湿地、ため池等の小規模水域を対象として、陸水域の生物多様性評価や保護を優先すべき場所の選定、ならびに生物多様性を減少させる駆動因の解析を実施した。

2. 研究開発目的

日本とアジアにおける陸水域の生物多様性の減少をいとめるための施策に科学的知見を提供することを目的とし、日本とアジアにおける陸水域の生物多様性の現状評価、保護を優先すべき場所の選定、生物多様性を減少させる駆動因の解明を行う。そして愛知目標に謳われている「生物多様性への直接的な圧力の低下、持続的な利用の促進、生物多様性の保護と状況の改善」に科学の面から貢献する。

具体的には、日本では河川、湖沼、琵琶湖、湿地、ため池などを対象とし、おのおのの水域の特性に適した情報量の多い生物種を指標として選び、生物多様性の広域評価を実施する。次に、そうした広域評価に基づき、優先的に保全すべき場所を選定し、現在の保護区とのギャップ分析を実施する。そして、現在の生物多様性の

低下を引き起こしている駆動因を特定する。また、湖沼では重要な生態系サービスである漁業資源量の長期変動評価とその要因解析を行う。アジアについては、既存の生物や環境の情報が極めて乏しいため、経済発展の著しい東アジア・東南アジアの複数地域を対象に、淡水魚の種多様性とその生息環境を調べることで、その現状評価、劣化の程度、駆動因の特定、シナリオによる将来予測を行う。

そのために必要とされる1) 新たな調査の実施やアジア諸国との研究ネットワークの構築、2) 河川水辺の国勢調査(国土交通省)や自然環境保全基礎調査(環境省)等の公的データ、既存文献、博物館情報、研究者手持ちデータなど、評価や解析に必要な生物種分布とその環境に関する基盤情報の収集整備とそのデータベース化、3) 生物多様性の評価手法やリモートセンシングによる生物多様性損失を指標する流域・湖内の生態系情報(流域の不浸透面面積や農地面積、水生植物の被度やアオコ量)の推定手法の開発、をあわせて実施する。

3. 研究開発の方法

(1) リモートセンシングを活用した湖沼の流域特性ならびに湖内生態系情報の推定手法の開発

1) 流域特性の推定手法の開発: 流域の不浸透面面積や農地面積を衛星画像解析により広域的に推定する手法(STMAP法)を開発した。解析には1シーンの撮影範囲が広いTerra/MODISの植生指数(NDVI)画像を利用し、時系列NDVIを端成分としたミクセル分解法により、まず常緑樹・落葉樹・農地・不浸透面の4種類に分類した。次に、MODISの地表面温度画像とDMSP/OLSの夜光画像を利用し、土地被覆を森林・農地・不浸透面・裸地の4種類に再分類することで、誤分類を減らす手法を確立した。この手法を日本全域のMODIS画像に適用するとともに、高解像度画像から検証用データを作成し、不浸透面面積・農地面積の推定精度について検証した。また、STMAP法をインドネシア全域およびメコン川下流域に適用し、後者では高解像度画像を利用した推定精度の検証を実施した。最後に、このアジアの2地域から10湖沼流域を抽出し、不浸透面面積・農地面積の変化傾向について評価した。

2) 湖内生態系情報の推定手法の開発: 衛星画像解析により、湖沼におけるアオコと浮葉・抽水植物の分布を推定する手法を開発した。Landsat画像による推定に関しては、霞ヶ浦・印旛沼・手賀沼の画像からFloating Algal Index (FAI) と Normalized Difference Water Index (NDWI) を算出し、アオコと浮葉・抽水植物を分離可能な閾値の特定に利用した。ただし、アオコと浮葉・抽水植物の抽出地点は、画像撮影日と同日の現地調査結果に基づいている。構築した解析フローを日本とインドネシアの合計6湖沼に適用し、手法の頑健性を検証した。また、広域かつ高頻度な推定を可能とするために、MODIS画像に対してもFAIとNDWIを算出し、アオコと浮葉・抽水植物を分離可能な閾値を特定した。

Landsat画像から見た目アオコ指標に基づくアオコレベルを推定する手法を開発した。霞ヶ浦で反射スペクトルの観測および目視によるアオコレベル(1~6)の同定を実施し、アオコレベルの判定に有効なFAIの閾値を特定した。構築した解析フローを霞ヶ浦・八郎湖のLandsat画像に適用し、現地調査結果により検証した。

水生植物の分布を、生活形タイプ(浮葉・抽水・沈水)ごとに分離して推定する手法について検討した。浮葉植物と抽水植物の分離手法に関しては、猪苗代湖を対象とし、ALOS/PALSAR(合成開口レーダ)画像と航空写真による各植物の判読結果を取得した。一方、沈水植物に関しては、阿寒湖のWorldView-2画像を取得して各バンドの放射強度を抽出し、閾値を設けることで、現地ソナー観測による沈水植物分布を再現可能か調べた。

(2) 湖沼における生物多様性損失・生態系劣化の評価

1) データの収集・整備: 文献や標本の記録を活用し、日本の湖沼における淡水魚類相および水生植物相のデータベースおよび機能形質のデータベースを作成した。

2) 多様性変化の特徴の把握: 作成したデータベースを活用し、2000年以前と2001年以降の間で種多様性を比較するとともに、消失しやすい生物の機能形質の特徴を分析した。

3) 優先保全湖沼の選定: 作成したデータベースを活用し、淡水魚類および水生植物のそれぞれを対象に、「種の相補性」および「種多様性・種組成から見た健全性」の2つの視点から優先的に保全すべき湖沼の選定を行った。「種多様性・種組成から見た健全性」については、「多様性」(在来種がどの程度存在しているかを示す指標)、「希少性」(絶滅危惧種がどの程度存在しているかを示す指標)、「残存性」(過去の種組成がどの程度保存されているかについて評価する指標)を用いて評価した。

4) 多様性に影響する駆動因の解明: 純淡水魚の種数および機能的多様性に対する、富栄養化、護岸の改変、魚食性外来魚の侵入の影響を解析した。水生植物については、種多様性の低下に対する湖沼の特性、水質、ソウギョの存在、集水域の土地被覆に関する要因の効果を解析した。

5) 漁獲資源量の長期的変化の解明と駆動因の解明: 相対資源量を、漁獲量、漁獲努力量、漁獲効率に関するデータを統計資料から収集した。また経年的な資源量データから変化率と安定性を算出し、それらに対する湖沼の特性、コンクリート護岸率、全リン濃度、魚食性外来魚の機能群数の影響を検討した。

6) 散布体バンクからの再生可能性の時間的低下: 水生植物種が地上植生で消失してからの経過時間と散

布体バンクからの再生との関係について、霞ヶ浦と印旛沼における過去の植物相および散布体バンクを活用した植生再生事業のデータを用いて解析した。

(3) ため池の生物多様性損失の評価とプロジェクト総括

兵庫県南部や東広島市のため池の多い地域をモデルとして、既存の水生植物の長期消長データ、GISデータ、および既存の水生生物分布と環境データを整備した。

1970・80年代から記録された水生植物相の長期消長データについては、それぞれの種の絶滅確率を推定するとともに、地域内の全ての種の絶滅確率の総和を最小化するための保護区選択を行った。また、外来魚の侵入指標として、ため池の道路からの視認性(人為的な外来魚の放流の指標)とダム水のため池への供給の有無(ダムからの分散の指標)の有効性を統計モデルで検証し、外来魚の侵入予測を行った。

駆動因解析では、兵庫県南部のデータを活用して、ベイズ推定を用い複数の生物多様性個別指標を駆動因から一括して推定する統合指標を作成した。あわせて生物多様性を低下させる駆動因を明らかにした。また、水生植物とトンボ類の種数に及ぼす気候と土地利用の影響を一般化線形モデルで解析した。衛星画像を用いて非耕作期の水田における一時的水域の時空間分布を推定する手法を開発し、水田の代表的な生物である両生類の個体群衰退をもたらす駆動因を示した。

全国スケールまたは地域スケールで、水生植物の絶滅危惧種数の空間分布と小規模止水域、天然湖、ダム湖、河川・入り江を含む各種水域の分布との関係性を評価した。

(4) 湿地における生物多様性損失・生態系劣化の評価

北海道の湿地に関する既存調査情報から湿地性植物のデータベースを作成し、スコア法による湿地性植物、希少種の種数に関するホットスポット解析と相補性解析により保全優先湿地を選定した。環境庁第5回自然環境保全基礎調査(1995)の湿地調査データを活用し、植物と鳥類情報を用いた相補性解析により全国の保全優先湿地を選定した。得られた結果と現在の湿地の保護状況との隔たりを分析した。

立地や開発状況の異なる4つのモデル湿地(いずれも北海道)を設定し、空中写真等を使用した植生や土地改変の時系列変化と地下水位、地盤沈下等の調査を行い、劣化要因の特定と劣化プロセスを解明した。

(5) 河川における生物多様性損失・生態系劣化の評価

河川水辺の国勢調査(国交省:水国)や自然環境保全基礎調査(環境省)、各地域の研究者所管の生物分布情報をとりまとめ魚類・底生動物のデータベースを構築した。次に、効果的な保全地を選定するため、作成したデータベースを利用し、相補性解析および温暖化に脆弱な種の分布域変化の推定を行った。そして、我が国の河川生態系の生物多様性劣化に特に影響を及ぼしている要因を特定するため、流域・地域・全国と複数の空間スケールで駆動因解析を行い、各解析結果に共通する駆動因を明らかにした。特定した駆動因については、その影響を緩和・解消するための再生手法について現状を整理し、我が国の河川生態系の再生における今後の課題について明確化した。また本研究では、国土スケールでの多様性モニタリングの学術研究へのさらなる活用を目的とし、水国の課題の整理と改定案の提示を行った。

(6) 空間的異質性と長期変動からみた大規模湖沼・琵琶湖の生物多様性評価

既存の底生動物・魚類・沈水植物などの生物分布データ、湖内環境データ、さらに集水域の土地利用データを収集・データベース化し、沿岸域、内湖、沖帯おのおのについて、時間的・面的な解析が可能なデータセットを作成した。沿岸域では、底生動物・魚類・沈水植物の分布データを用いて相補性解析を行い、優先的な保護地区を選定した。次に、底生動物の分布および環境データによる共分散構造分析を行い、生物多様性損失を導く人為的な駆動因の特定を行なった。内湖については、底生動物および魚類群集の出現種数を目的変数に、環境データを説明変数として一般化線形モデルによる解析を行い、底生動物と在来魚類の多様性を低下させる駆動因を抽出した。沖帯深層の底生動物群集については冗長性解析を行い、温暖化と貧酸素化が底生動物群集に与える影響について解析した。

(7) アジアの淡水域における環境劣化と生物多様性損失の評価

1) 研究者ネットワークの構築: 各国の研究機関、行政機関、研究者を訪問し、情報交換や共同研究のできる研究ネットワークを構築した。

2) 各調査地域における淡水生物多様性の現状評価と駆動因解析: 中国上海近郊、半島マレーシア、サラワク・マレーシアなどで、淡水魚を対象生物として現地調査を実施し、一般化線形モデルなどの統計手法を用い、多様性の現状評価と駆動因解析を実施した。

3) データ整備・データベース: 主に東南アジアにおける魚類分布データを収集し、データベースを構築すると

もにそのデータベースを公開・オンライン化した。

4) 優先保全地域の選定・将来予測: インドビルマ地域(≡インドシナ・東南アジア本土地域)における魚類多様性の地図化を行い、優先保全地域の選定し、水力発電ダムや温暖化の影響について評価した。

4. 結果及び考察

(1) リモートセンシングを活用した湖沼の流域特性ならびに湖内生態系情報の推定手法の開発

1) 流域特性: 開発したSTMAP法を日本全域のMODIS画像に適用したところ、不浸透面率が高い地域は大都市に集中し、農地率が高い地域は東北および北陸に集中していた。推定精度の検証の結果、2乗平均平方根誤差(RMSE)は不浸透面率で6.3%、農地率で9.8%となり、STMAP法の精度の高さが立証された。一方、STMAP法をメコン川下流域に適用した結果、RMSEは不浸透面率で7.7%となり、アジアにおける本手法の有効性が示された。過去10年間の変化傾向としては、メコン川下流域の7湖沼流域では、不浸透面面積の増加が確認された。インドネシアの3湖沼流域では、不浸透面面積に一定の傾向がみられないのに対し、農地率の増加が明らかとなった。

2) 湖内生態系情報: Landsat画像を利用したアオコと浮葉・抽水植物の分布推定に関して、まずFAIの閾値0.05により湖水とそれ以外(アオコと浮葉・抽水植物)を分離し、さらにNDWIの閾値0.63によりアオコと浮葉・抽水植物を分離する手法を構築した。日本とインドネシアにおける手法検証の結果、アオコ優占湖沼ではアオコが、水生植物優占湖沼では水生植物が抽出され、手法の頑健性が示された。一方、MODIS画像を利用した推定に関しては、FAIの閾値0.035とNDWIの閾値0により、アオコと浮葉・抽水植物を分離して推定する手法を構築した。MODIS画像による推定結果はLandsat画像とよく一致したが、沿岸対象物等の混合ピクセルを対象から除く必要性が示唆された。

Landsat画像を利用したアオコレベルの推定に関して、FAIに閾値を設けることでアオコレベル2~5を、赤バンドの反射率に閾値を設けることでレベル5と6を、分離する手法を構築した。この手法を霞ヶ浦・八郎湖のLandsat画像に適用して推定されたアオコレベルは、現地調査結果とよく一致しており、手法の有効性が示された。水生植物の分布を生活形タイプ(浮葉・抽水・沈水)ごとに推定する手法について検討した結果、猪苗代湖ではALOS/PALSAR画像の後方散乱強度の閾値100 dBにより、浮葉植物と抽水植物を良好に分離できた。一方、阿寒湖ではWorldView-2画像のバンド3の放射強度に閾値を設けることで、沈水植物の分布を再現できた。

(2) 湖沼における生物多様性損失・生態系劣化の評価

1) データの収集・整備: 淡水魚は45湖沼、水生植物は362湖沼を対象とした、生物相のデータベースを作成した。一部の湖沼については過去と現在のデータが完備され、比較が可能になった。

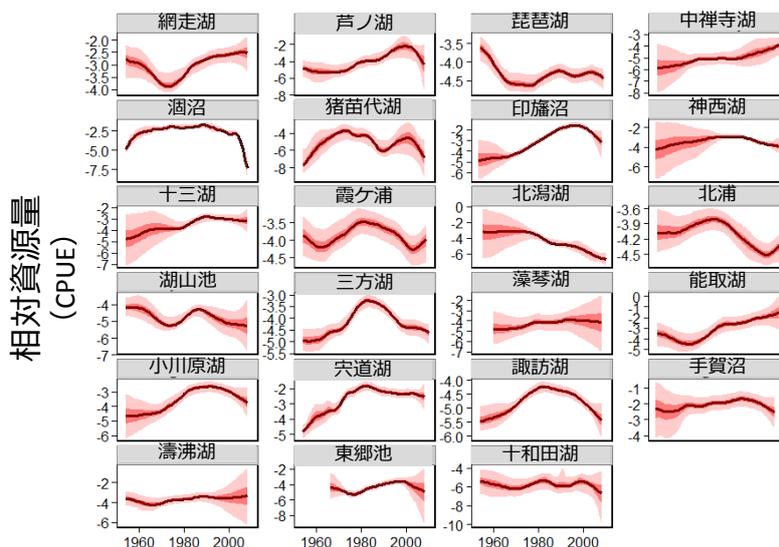
2) 多様性変化の特徴の把握: 2000年以前と2001年以降で比較したところ、淡水魚類では平均約28%の種が、水生植物では平均約57.1%の種が消失していることが示された。これらの変化に対する駆動因を分析したところ、淡水魚類については魚食性外来魚の種数の重要性が、水生植物については集水域の不浸透面積率や水質に加えソウギョの導入の有無の重要性が示された。

3) 優先保全湖沼の選定: 全国を対象とした種の相補性解析を行うとともに、複数の多様性指標を開発し、保全上の優先順位付けを行った。

4) 多様性に影響する駆動因の解明: 淡水魚類の種数と機能的多様性のいずれの残存性にも、魚食性外来魚種数が強く影響していた。在来純淡水魚類の保全には、魚食性外来魚の侵入の防止ならびに駆除・低密度管理が効果的な対策であると考えられた。水生植物種の存続性に負の影響を与える要因として、CODの高さ、ソウギョの存在、集水域の不浸透面積率の高さが抽出された。水生植物の保全対策では、流域全体を視野に入れた水質対策と、ソウギョ駆除などの湖沼での生態系管理の両方が必要であることが示唆された。

5) 漁獲資源量の長期的変化の解明と駆動因の解明: 過去50年にわたる23湖沼の相対資源量の長期的なトレンドを明らかにできた(図(2)-1)。過去10年間では17湖沼、過去20年間では19湖沼、過去30年間では15湖沼で相対資源量の減少が認められ、それらの湖沼の平均減少率は、各期間でそれぞれ48.7%、42.2%、45.1%であった。相対資源量の変化量に影響する駆動因解析の結果、魚食性外来魚の侵入が相対資源量の減少に大きく寄与しており、内水面の資源量を回復するためには、魚食性外来魚の対策や管理(新たな侵入の防止、駆除や低密度管理、効果的な駆除手法の開発など)を優先的に講じる必要があることが示唆された。

6) 散布体バンクからの再生可能性の時間的低下: 再生が確認できる確率は消失からの時間経過が増大すると指数関数的に低下するパターンが確認され、地上植生からの消失後、約20年が経過すると再生できる確率は約50%に低下するという、大まかな目安が得られた。植生再生は早期に着手するほど大きな効果が期待できることが示唆された。



図(2)-1 全国23湖沼における相対資源量(CPUE)の50年間の変化
太線は中央値、薄い赤色区域は95%信用区間、濃い赤色区域は50%信用区間を示す。

(3)ため池の生物多様性損失の評価とプロジェクト総括

兵庫県南部と東広島市のため池に生育する水生植物の長期観察データを用いた個体群存続可能性分析の結果、今後100年以内に期待絶滅確率が80%を超えると推定された種が2地域でそれぞれ42種と20種に達した。このことは、1970・80年代以降の本モデル地域のため池群における水生植物種の消失の程度が大きかったことを反映していると共に、その保全の緊急性が高いことを示唆していた。これらの期待絶滅確率を用いて、保全優先度の高いため池を提示した。次に、兵庫県南部地域を対象に、ため池への外来魚の侵入指標を検討し、ダム水の供給の有無と道路からの視認性の2つの変数でブルーギルの在・不在を概ね正しく推定できることを示した。作成した統計モデルを兵庫県南部のすべてのため池に適用し、外来魚の侵入状況を推定、地図化した。

兵庫県南部のため池を対象とした駆動因解析の結果、富栄養化、生息地劣化、および外来生物についての変数では、おのおのクロロフィルa量、護岸率、ブルーギル個体数が選択された。さらに、この中ではクロロフィルa量の影響が最も大きかったことから、富栄養化がため池の生物多様性を低下させる重要な駆動因であると考えられた。気候要因を含む変数が水生植物とトンボ類の種数に及ぼす影響を調べた結果、気温よりも外来生物の個体数や護岸率、周囲の森林率などの影響が大きかったことがわかった。また、冬季水田に形成された浅い水域の有無を推定する閾値を衛星画像解析により特定し、その有効性を示した。冬季水田を主要な産卵場とする両生類の個体群サイズの長期変動と環境要因との関係を解析した結果、圃場整備や耕作放棄による繁殖水域減少さらに、圃場整備による水域減少以外の環境変化によって個体群が衰退していることが明らかとなった。

全国スケールでの水生植物の絶滅危惧種数の空間分布に対して、湖や河川を含む各種水域の中で小規模止水水域の分布が最も強く関係していたため、ため池等の小規模水域の重要性を明らかにした。

(4)湿地における生物多様性損失・生態系劣化の評価

北海道を対象に作成したデータベースの解析から28ヶ所が、全国については植物について206ヶ所、鳥類で41ヶ所の湿地が保護優先湿地として選定され、それらの多くが保護指定からもれている現状が明らかになった。また、生物情報を基にしたデータベースを用い、スコア法による湿地性植物や希少種の種数に関するホットスポット解析や相補性解析を行った。複数の解析手法を組み合わせることにより、様々な角度から保全優先湿地が選択され、湿地の生物多様性の評価と保全に極めて有効であることが示された。

北海道のモデル低地湿地で、湿地劣化のプロセスを解明したところ、排水路が湿地の植物の種多様性低下の駆動因であることが明らかになった。北海道に残存する低地湿地では、排水の影響を緩和する保全・再生事業の推進が不可欠である。具体的な保全・再生計画の立案には、湿地が位置する地理的な相違や流域の状況などを考慮しながら、時系列の空中写真を用いた植物群落の比較、植生調査、地下水位の連続測定、測量による微地形の把握などにより、劣化プロセスを把握する必要である。

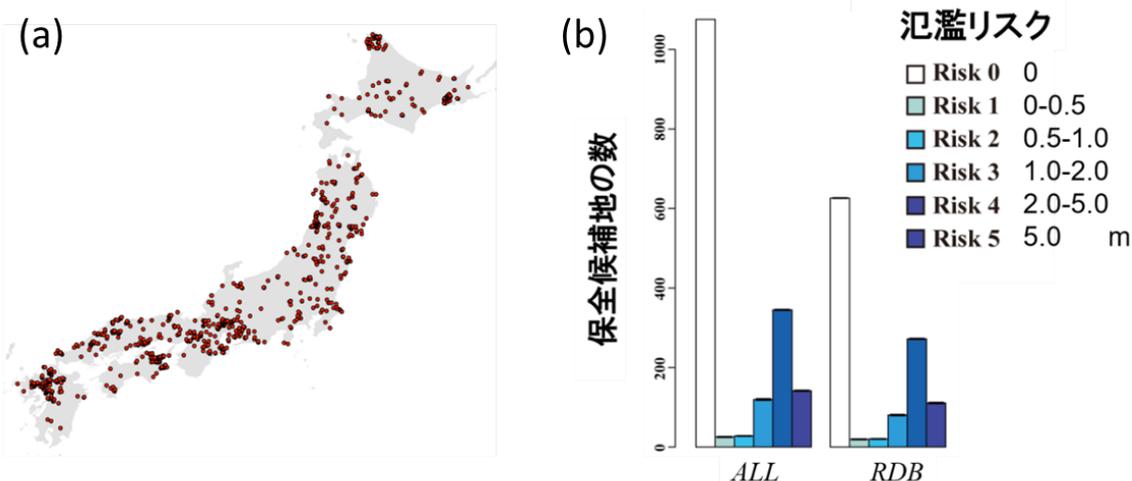
(5)河川における生物多様性損失・生態系劣化の評価

全国スケールでのモニタリング結果に加え、魚類については北海道、中部地方、兵庫県、四国地方、九州地方、水生昆虫については北海道および四国地方においてより詳細な分布情報を得た。相補性解析からは、保全候補地の約1/3が氾濫リスクの比較的高いエリアに存在することが明らかとなり、氾濫リスクの高いエリアを遊水

地等のグリーンインフラに活用することで、多様性と減災を両立した保護区の設定を行える可能性があることが示された(図(5)-1)。また温暖化によるイワナ属の生息域の消失パターンは地域により異なっており、現状の保護区の配置をベースに、地域ごとに適切な保護区設定を行っていく必要性も示唆された。

駆動因解析の結果、生物多様性劣化の駆動因として、連結性の低下、水質の悪化、河床環境の改変、周辺の土地利用の変化の4タイプがあることが明らかとなった。中でも「連結性の低下」は、上下流方向の分断化(縦断的)と河川-氾濫原間の分断化(横断的)の2つのプロセスを介し源流～下流域まで広範囲で進行しており、河川生態系の劣化を引き起こす主な駆動因と考えられた。

駆動因解析に基づき、連結性の再生手法について整理した結果、縦断的な連結性に関して3タイプ、横断的な連結性に関しては7タイプの再生手法が認められた。人口減少や社会基盤の老朽化が生じうる今後は、大規模な自然再生事業をより積極的に行える機会も増えてくる。横断工作物の撤去や再蛇行化といった生態系プロセスの復元を取り入れた理想的な連結性再生の推進が期待できる。また、河川水辺の国勢調査は、極めて有効な知見を提供している一方で、調査地・時期の選定基準等の明確化や、種の同定レベルの統一等の課題も残されており、それらの改善点を示した。



図(5)-1 相補性解析の結果

(a)非代替性の特に高い地点、(b)保全候補地と氾濫リスクとの関係。

(6)空間的異質性と長期変動からみた大規模湖沼・琵琶湖の生物多様性評価

沿岸域を対象とし底生動物と魚類、沈水植物を用いた相補性解析の結果、保護地点として、おのおの13、8、7地点が選択された。このうち、4、3、1地点が既存の保護区に含まれていないことを示した。

沿岸域における底生動物の出現種数は、湖岸底泥の粒径が小さくなるほど減少した。その粒径は隣接集水域の水田面積割合によって最もよく説明できたことから、水田から流入する農業廃水に含まれる微細な懸濁物が堆積し、湖底の微生物環境の多様性が低下、それにより底生動物の出現種数が低下する、と推測された。

内湖における底生動物の出現種数は内湖の濁度増加に伴い低下していた。また、濁度は、集水域の人口密度や内湖の全窒素量、そして琵琶湖と内湖との接続水門の有無との間で正の、接続水路の流速と負の有意な相関関係が認められたことから、集水域からの窒素負荷と内湖水の滞留による濁度の上昇により出現種数が低下していると示唆された。在来魚類の出現種数は、ブルーギルの個体数密度によって負の、琵琶湖-内湖の接続水路の幅から正の影響を受けていた。内湖の在来魚の保全には、水路幅の広い内湖から優先的に、外来魚の駆除を行うことが効果的だろう。

沖帯深層の底生動物群集の時間変動は、温暖化指標である湖底の年最高水温と、貧酸素化指標である湖底の5月の溶存酸素によって有意に説明された。1985年以降には中～富栄養湖に多く出現するミズミズの1種が優占するようになったこと、2000年以降にはさらに富栄養湖に出現する貧酸素耐性の高い種が出現していることから、温暖化とそれに伴う貧酸素化が底生動物群集を低水温種から温水種、あるいは、貧栄養種から富栄養種へと変化させていることが示唆された。

(7)アジアの淡水域における環境劣化と生物多様性損失の評価

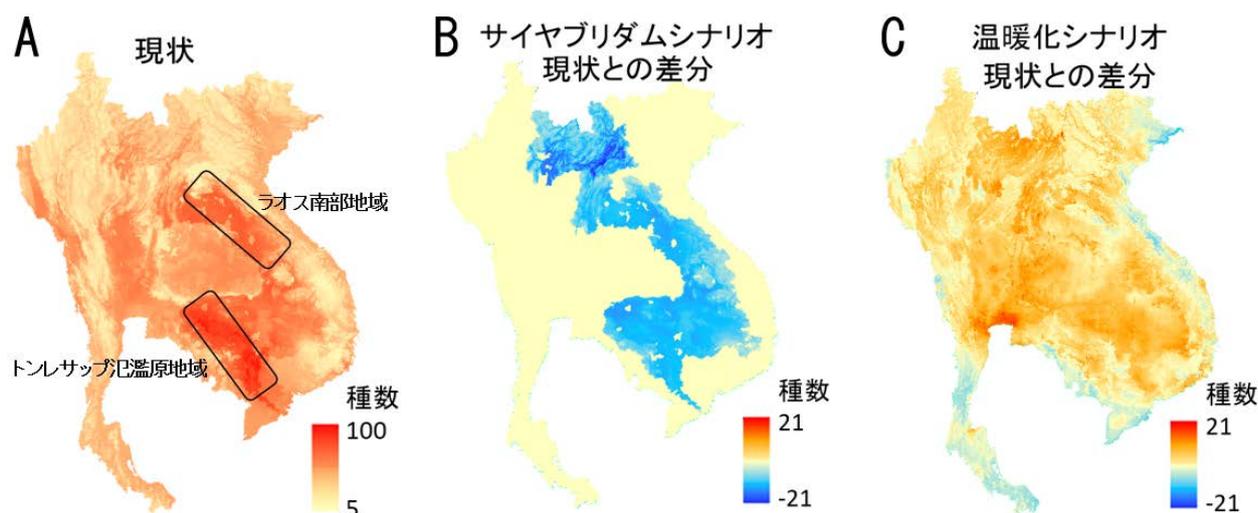
1) 研究者ネットワークの構築: 中国、カンボジア、マレーシア、ミャンマーなど、9ヶ国21の機関と共同研究、情報交換を行なった。そのうち、カンボジア内水面水産局など、5つの機関とは研究協力協定を結んだ。

2) 各地域における現状評価・駆動因解析: 中国上海近郊では水質汚染や運搬船が、魚類の種数や個体数

を減少させていた。マレーシアでは、半島部・サラワク州いずれにおいてものアブラヤシ・プランテーションが目立った駆動因であった。

3) データ整備・データベース: 現地調査や他機関からのデータの貸与により、約2300地点・50000件の魚類分布データを得た。このうちインドビルマ地域を中心に約30000件のデータについてオンライン・データベース化し、<http://ffish.asia> に標本写真とともに公開した。

4) 優先保全地域の選定・将来予測: インドビルマ地域における淡水魚類の期待種数を図(7)-1Aに示す。種数はトンレサップ氾濫原地域とラオス南部地域で特に高かった。しかし、現在メコン川本流に建設中のサイヤブリダムが稼働するシナリオでは、これらの地域を含めメコン流域全体が影響を受けることが明らかになった(図(7)-1B)。この2地域は世界的にも優先保全地域であると考えられる。また、温暖化はむしろ全体の期待種数を押し上げる効果があることが示された(図(7)-1C)。



図(7)-1 インドビルマ地域の魚類多様性地図(A)、サイヤブリダムが建設された場合のインパクト(B)、および温暖化の影響(C)

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

全国あるいは地域といった広域スケールで、河川、湖沼、湿地、ため池等の陸水域の生物多様性の現状評価を初めて実施した。また、既存の生物多様性情報とそれに関連する水域環境情報を整備したことにより、今後の生物多様性の科学的評価に向けての基盤を整えた。既存の生物分布データを統合した結果、湖沼や湿地では2001年以降の調査が過去に比して大幅に減少していることが明らかになり、今後の系統的調査の重要性が示された。

生物分布データを保全・管理に役立てるため、1) 生物多様性や資源量の変化を把握するために現実的に活用できる指標を開発した。2) これまで、 α 多様性を基準とすることが多かった保全優先度の評価については、相補性解析を用いることで効率的に γ 多様性を保全する(地域スケールの生物多様性を保全する)手法を提示した。また、実際の保護区とのギャップ分析や温暖化に脆弱な種の分布域の変化を考慮した効果的な保全地選定に対しても寄与した。3) 全国あるいは地域スケールで生物多様性の低下を引き起こす駆動因の定量的評価を可能とした。様々な分類群の生物多様性の状態を一括して推定する統合指標を開発し、駆動因から生物多様性をより簡易に評価する提案をした。4) 衛星画像の活用では、これまで困難であった広域の不浸透面・農地面積の推定や湖沼の浮葉・抽水植物とアオコの分布を分離して推定するなど、従来の現地観測法に比べて少ない労力で広域的な分布推定が可能となった。

また、アジア淡水域のホットスポットであるインドビルマ地域において、約30000件の淡水魚種分布データについてオンライン・データベース化し、<http://ffish.asia> に標本写真とともに公開し、これを基盤に、水力発電ダムと温暖化の影響評価ができたことは科学的にも極めて意義が高い。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省「生物多様性評価の地図化に関する検討会」の生物多様性評価地図「16-2 地球温暖化による生態系・種への影響が懸念される地域」に成果を提供した。環境省「生物多様性及び生態系サービスに関する総合評価報告書(JBO2)」の第2章第2節(4)陸水生態系の評価を中心に、「図Ⅱ-14 魚類の保護候補地」「図

Ⅱ-48 湿地面積の変化」「図Ⅱ-49 琵琶湖周囲の土地利用変遷」「図Ⅱ-50 河川の連続性(流域の分断と通し回遊魚の分布)」「図Ⅱ-54 国内40湖沼における在来淡水魚類の種多様性の変化」「図Ⅱ-55 国内20湖沼における過去50年間のCPUEの推移」「図Ⅱ-57 湖沼の水草変化」等の成果を提供した。

環境省「生態系を活用した防災・減災に関する検討会」、国土交通省「河川砂防技術基準検討委員会」「生態系を活用した防災・減災の推進に関する検討会」「人口減少時代における新たな国土利用管理(国土と自然環境)に関する有識者意見交換会」では、成果に基づき、河川環境の改善策、河川周辺の保護区が果たし得る防災機能や、グリーンインフラを用いた土地の選択的有効利用、複合利用について意見・助言を行った。

環境省「モニタリングサイト1000湖沼・湿原分科会」では、サイトの選定、調査デザインや手法の見直しに成果が活用された。環境省「日本の重要湿地500」の見直しについても保全優先湿地の選定結果が採用された。

また地方環境研究所、水産試験場、博物館など全国21の機関と湖沼の生物多様性情報ネットワークを構築し、モニタリング体制の構築・強化が実現した。研究成果を、霞ヶ浦や三方湖など自然再生推進法に基づく事業が進められている地域をはじめ、全国各地の湖沼・湿地での管理に、委員としての参加や文献出版等を通して還元した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

全国湖沼の生物多様性評価、内水面漁業資源量の評価、湖沼・ため池等の生物多様性を減少させる駆動因解析の成果は、IPBES地域アセスメントのゼロ・ドラフトに盛り込まれる予定である。

河川、湖沼、湿地、ため池などで実施した具体的な優先保護区の選択やギャップ分析、駆動因解析の結果は、国あるいは地域の生物多様性戦略、琵琶湖保全再生法等を通して、陸水域の保護区の設定や生物多様性低下の緩和策に活用できる。また、各地で実施されている劣化した陸水生態系の自然再生事業の現場やモニタリング手法の立案にも活用が期待できる。

東南アジアの魚類を対象に構築したオンライン・データベースは、図鑑としての活用や調査のスキルアップ、人材育成、環境教育にも活かされることに加え、当該地域の魚類生物多様性の現状や保全の重要性の理解に一層役立つことが期待される。

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) M. AKASAKA and N. TAKAMURA: Ecology, 93, 967-973 (2012)
“Hydrologic connection between ponds positively affects macrophyte α and γ diversity but negatively affects β diversity”
- 2) M. TAKADA, T. INOUE, Y. MISHIMA, H. FUJITA, T. HIRANO and Y. FUJIMURA: Journal of Landscape Ecology, 5, 58-71 (2012)
“Geographical assessment of factors for Sasa expansion in the Sarobetsu Mire, Japan”
- 3) N. TAKAMURA: The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring (eds. S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA), Springer Japan, 133-148 (2012)
“Status of biodiversity loss in lakes and ponds in Japan”
- 4) F. YANG, B. MATSUSHITA, T. FUKUSHIMA and W. YANG: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 72, 90-98 (2012)
“Temporal mixture analysis for estimating impervious surface area from multi-temporal MODIS NDVI data in Japan”
- 5) S.S. MATSUZAKI, T. SASAKI and M. AKASAKA: Global Ecology and Biogeography, 22, 1071-1082 (2013)
“Consequences of the introduction of exotic and translocated species and future extirpations on the functional diversity of freshwater fish assemblages”
- 6) N. OKUDA, K. WATANABE, K. FUKUMORI, S. NAKANO & T. NAKAZAWA: Lake Biwa, Springer Japan, Tokyo, pp91 (2013)
“Biodiversity in aquatic systems and environments”
- 7) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO, N. OKUDA: In The Biodiversity Observation Network in Asia-Pacific Region: Integrative Observations and Assessments, S. NAKAON, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (eds). Springer, Tokyo, Japan, 151-166 (2013)
“Long-term and spatial variation in the diversity of littoral benthic macroinvertebrate fauna in Lake Biwa”

- 8) Y. KANO, Y. MIYAZAKI, Y. TOMIYAMA, C. MITSUYUKI, S. NISHIDA and Z. A. RASHID: *Zoological Science*, 20, 178–184 (2013)
“Linking Mesohabitat Selection and Ecological Traits of a Fish Assemblage in a Small Tropical Stream (Tinggi River, Pahang Basin) of the Malay Peninsula”
- 9) Y. KANO, M. S. ADNAN, C. GRUDPAN, J. GRUDPAN, W. MAGTOON, P. MUSIKASINTHORN, Y. NATORI, S. OTTOMANSKI, B. PRAXAYSONBATH, K. PHONGSA, A. RANGSIRUJI, K. SHIBUKAWA, Y. SHIMATANI, N. SO, A. SUVARNARAKSHA, P. THACH, P. N. THANH, D. D. TRAN, K. UTSUGI, T. YAMASHITA: *Ichthyological Research*, 60, 293–295 (2013)
“An Online Database on Freshwater Fish Diversity and Distribution in Mainland Southeast Asia”
- 10) J. NAKAJIMA, T. SATO, Y. KANO, L. HUANG, J. KITAMURA, J. LI AND Y. SHIMATANI: *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, 23, 327–343 (2013)
“Fishes of the East Tiaoxi River in Zhejiang Province, China”
- 11) Y. KANO, T. SATO, L. HUANG, C. WOOD, K. BESSHO, T. MATSUMOTO, Y. SHIMATANI: *Landscape and Ecological Engineering*, 9, 289–298 (2013)
“Navigation Disturbance and Its Impact on Fish Assemblage in the East Tiaoxi River, China”
- 12) F. YANG, B. MATSUSHITA, W. YANG and T. FUKUSHIMA: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 88, 80–90 (2014)
“Mapping the human footprint from satellite measurements in Japan”
- 13) J. NISHIHIRO, M. AKASAKA, M. OGAWA, N. TAKAMURA: *Ecological Research (Data paper)*, 29, 369 (2014)
Aquatic vascular plants in Japanese lakes
- 14) T. KIZUKA, M. AKASAKA, T. KADOYA and N. TAKAMURA: *PLoS ONE*, 9, e99709 (2014)
“Visibility from roads predict the distribution of invasive fishes in agricultural ponds”
- 15) F. NAKAMURA, N. ISHIYAMA, M. SUEYOSHI, T. AKASAKA and J. NEGISHI: *Restoration Ecology*, 22, 544–554 (2014)
“The significance of meander restoration for the hydrogeomorphology and recovery of wetland organisms in the Kushiro River, a lowland river in Japan”
- 16) Y. OYAMA, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA: *Remote Sensing of Environment*, 157, 35–47 (2015)
“Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands”
- 17) Y. OYAMA, T. FUKUSHIMA, B. MATSUSHITA, H. MATSUZAKI, K. KAMIYA and H. KOBINATA: *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 38, 335–348 (2015)
“Monitoring levels of cyanobacterial blooms using the visual cyanobacteria index (VCI) and floating algae index (FAI)”
- 18) S.S. MATSUZAKI and T. KADOYA: *Ecological Applications*, 25, 1420–1432 (2015)
“Trends and stability of inland fishery resources in Japanese lakes: introduction of exotic piscivores as a driver”
- 19) J. XU, G. SU, Y. XIONG, M. AKASAKA, J. GARCIA-MOLINOS, S.S. MATSUZAKI and M. ZHANG: *Global Ecology and Conservation*, 3, 288–296 (2015)
“Complimentary analysis of metacommunity nestedness and diversity partitioning highlights the need for a holistic conservation strategy for highland lake fish assemblages”
- 20) 鈴木透、富士田裕子、小林春毅、李娥英、新美恵理子、小野理：保全生態学研究（印刷中）
「北海道の湿地における植物データベースの構築と保全優先湿地の選定」
- 21) 松崎慎一郎、西廣淳、山ノ内崇志、森明寛、蛭名政仁、榎本昌宏、福田照美、福井利憲、福本一彦、後藤裕康、萩原彩華、長谷川裕弥、五十嵐聖貴、井上栄壮、神谷宏、金子有子、小日向寿夫、紺野香織、松村俊幸、三上英敏、森山充、永田貴丸、中川圭太、大内孝雄、尾辻裕一、小山信、榊原靖、佐藤晋一、佐藤利幸、清水美登里、清水稔、勢村均、下中邦俊、戸井田伸一、吉澤一家、湯田達也、渡部正弘、中川恵、高村典子：保全生態学研究（印刷中）
「純淡水魚と水生植物を指標とした湖沼の生物多様性広域評価の試み」
- 22) S.S. MATSUZAKI, T. SASAKI and M. AKASAKA: *Freshwater Biology*, 61, 1128–1142 (2016)
“Invasion of exotic piscivores causes losses of functional diversity and functionally unique species in Japanese lakes”
- 23) Y. KANO, D. DUDGEON, S. NAM, H. SAMEJIMA, K. WATANABE, C. GRUDPAN, J. GRUDPAN, W

MAGTOON, P. MUSIKASINTHORN, P. T. NGUYEN, B. PRAXAYSONBATH, T. SATO, K. SHIBUKAWA, Y. SHIMATANI, A. SUVARNARAKSHA, W. TANAKA, P. THACH, D. D. TRAN, T. YAMASHITA, and K. UTSUGI: PLOS ONE (in press)

“Impacts of dams and global warming on fish biodiversity in the Indo-Burma hotspot”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 木塚俊和、石田真也、角谷拓、赤坂宗光、高村典子: 保全生態学研究(印刷中)
「地理空間情報から推定した野生生物の生育・生息場所としての小規模止水域の空間分布」

(2) 主な口頭発表(学会等)

- 1) J. NISHIHIRO: The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2011
“Long-term change in Japanese lake biodiversity: a preliminary analysis of aquatic macrophyte flora”
- 2) N.TAKAMURA: The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, March, 2012
“Assessment of biodiversity in the freshwaters of Eastern Asia”
- 3) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SATOH, S. YACHI, S. NAKANO, N. OKUDA : Planet Under Pressure 2012, London, United Kingdom, 2012
“The ancient Lake Biwa as a biodiversity hot spot: how to detect drivers of biodiversity loss?”
- 4) T. KIZUKA, M. AKASAKA, T. KADOYA, N. TAKAMURA: The 32nd Congress of the International Society of Limnology, Budapest, Hungary, 2013
“Visibility as a predictor of distribution patterns of invasive fish species in agricultural ponds”
- 5) S.S. MATSUZAKI and T. KADOYA: Ecological Society of America 99th Annual Meeting, Sacramento, USA, 2014
“Trends and stability of inland fishery resources in Japanese lakes: introductions of exotic piscivores as a driver”
- 6) Y. SAKAI, Z. KARUBE, J. SHIBATA, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO, N. OKUDA : Association for the Science of Limnology and Oceanography 2015 Aquatic Sciences Meeting, Granada, Spain, 2015
“The impact of land use patterns on the benthic macroinvertebrate diversity in the coastal ecosystem of Lake Biwa, Japan”
- 7) A. LEE, H. FUJITA, H. KOBAYASHI, T. SUZUKI: 58th International Association for Vegetation Science Symposium, Brno, Czech Republic, 2015
“Long-term effects of drainage on the vegetation in Shizukari mire, Japan”

7. 研究者略歴

課題代表者: 高村 典子

奈良女子大学大学院理学研究科修士課程修了、博士(学術)、現在、国立環境研究所フェロー

研究分担者

- 1) 福島 武彦

東京大学大学院工学系研究科博士課程退学、工学博士、現在、筑波大学生命環境系教授

- 2) 西廣 淳

筑波大学大学院生物科学研究科修了、博士(理学)、現在、東邦大学理学部准教授

- 3) 高村 典子

上記の通り

- 4) 富士田 裕子

東北大学大学院理学研究科博士後期過程修了、博士(理学)、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター教授

- 5) 中村 太士

北海道大学大学院農学研究科修了、農学博士、現在、北海道大学大学院農学研究院教授

- 6) 中野 伸一

京都大学理学研究科修了、博士(理学)、現在、京都大学生態学研究センター教授

- 7) 島谷 幸宏

九州大学卒業、工学博士、現在、九州大学工学部教授

4. 陸水生態系における生物多様性損失の定量的評価に関する研究

(1) リモートセンシングを活用した湖沼の流域特性ならびに湖内生態系情報の推定手法の開発

筑波大学生命環境系

福島 武彦・松下 文経

〈研究協力者〉

釧路市教育委員会マリモ研究室

尾山 洋一（平成23～26年度）

筑波大学生命環境系

荒居 博之（平成26～27年度）

平成23～27年度累計予算額：39,335千円（うち平成27年度：7,326千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

湖沼の生物多様性損失を指標する流域・湖内の生態系情報をリモートセンシングにより推定する手法を開発した。流域特性に関しては、生物多様性変化の駆動因となりうる不浸透面や農地の分布について、MODIS画像を利用した新しい推定手法（STMAP法）を開発した。これにより、従来よりも広範囲かつ低コストでの流域の被覆状態の推定が可能となった。STMAP法を日本・インドネシア・メコン川下流域に適用し、高い精度で推定可能であることを検証するとともに、不浸透面面積および農地面積の変化を定量化した。一方、湖内生態系情報に関しては、Landsat画像ないしMODIS画像を利用し、アオコと浮葉・抽水植物の分布をそれぞれ分離して推定する新規な手法を開発した。これにより、従来の現地観測法に比べて少ない労力で広域的な分布推定が可能となった。開発した手法を日本・インドネシア・メコン川下流域の湖沼に適用し、手法の頑健性について検証するとともに、アオコと浮葉・抽水植物の発生状況を定量化した。水生植物の分布に関しては、WorldView-2等の高解像度画像や、ALOS/PALSAR等の合成開口レーダ画像を組み合わせた解析によって、その生活形タイプ（浮葉・抽水・沈水植物）ごとに分離して、推定できる可能性を示した。一方、生態系に負の影響をもたらす有害アオコについては、Landsat画像からアオコ量（見た目アオコ指標）を推定する手法を確立した。開発した画像解析手法を利用することで、流域の被覆状態ならびに湖沼のアオコ量・分布や水生植物分布の推定が可能となり、日本やアジアにおける今後の生物多様性評価への活用が期待できる。

[キーワード]

リモートセンシング、流域不浸透面、アオコ、水生植物、湖沼

1. はじめに

リモートセンシングによる流域の不浸透面面積の推定手法に関しては、Landsat画像を用いたものは既に開発済みであるが¹⁾、それを日本全国、アジアスケールに適用するにはデータ量の膨大さ、推定原理の適用性、検証方法等の課題が残されている。特に広範囲の推定を可能とするためには、空間解像度は低いながら1シーンの撮影範囲が広く、時間解像度が高いMODIS画像等の活用が有効と考えられる。一方、リモートセンシングによる湖内生態系情報の推定手法に関しては、既に植物プ

ランクトン、NPSS（植物プランクトン以外の懸濁態粒子）、CDOM（色の付いた溶存有機物）それぞれの分布を推定する方式を開発しているが^{2),3)}、湖沼生態系の重要な構成要素である水生植物（浮葉、抽水、沈水）による植生とアオコの分布範囲を分離して推定する方式は開発されていない。また、水利用等の生態系サービスに負の影響を及ぼすアオコの識別は、フィコシアニンによる光吸収を計測できれば理論的に可能と考えられるが、定量的にアオコ量として推定することはなされていない。これらの推定手法の開発に成功すれば、従来よりも簡易に広範囲の生態系情報を取得できるだけでなく、衛星の打ち上げ日以降であれば、過去に遡って情報を得ることも可能となるだろう。

2. 研究開発目的

湖沼の生物多様性損失を指標する流域・湖内の生態系情報をリモートセンシングにより推定する手法を開発した。すなわち、湖沼等での生物多様性評価に際して、その駆動因である流域の不浸透面面積や農地面積、および目的変数となる水生植物の生活形タイプやその被度、アオコ量を、衛星画像データを解析することから推定する手法を確立し、日本やアジアの水域に適用してそれらの長期変化を定量化することを目的とした。

3. 研究開発方法

（1）流域特性の推定手法の開発

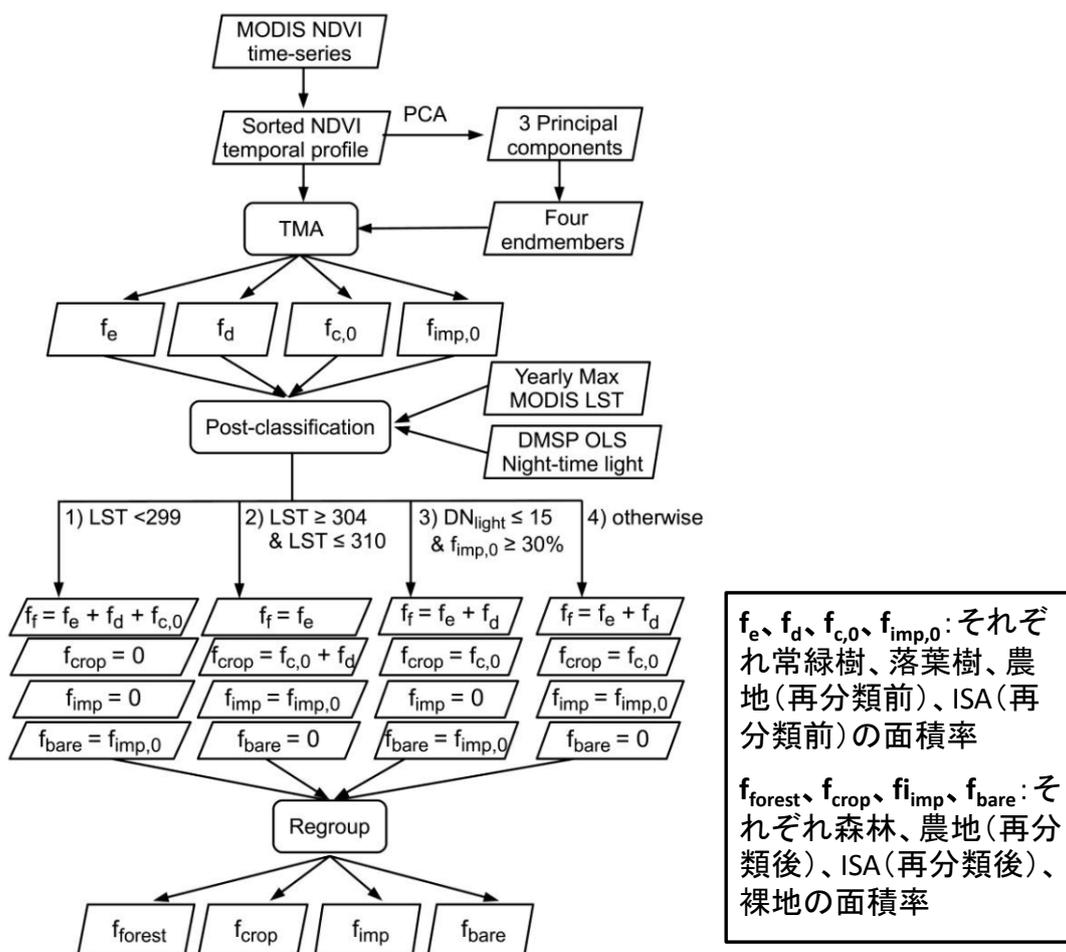
1) TMA法を利用した広域的な流域不浸透面の推定手法の開発

NASAから提供されているTerra/MODIS画像のMOD13Q1プロダクト（空間解像度250 m、再帰日数1日）を利用し、流域の不浸透面面積（Impervious Surface Area：ISA）推定手法の開発を行った。このプロダクトは、従来使用されている中分解能衛星画像（空間解像度30 mのLandsat画像等）と比較して空間解像度が低いという欠点はあるが、①1シーンの観測範囲が広いこと広域の推定に向いている、②16日分の画像のコンポジットによって雲の影響が除去されている、③植生指数のデータ（Normalized Difference Vegetation Index：NDVI）が収録されている、等の利点を持つ。手法の開発にあたり、森林・農地・ISAの時系列NDVIを端成分（エンドメンバー）としたミクセル分解法（Temporal Mixture Analysis：TMA法）を採用した。ミクセル分解法とは、衛星画像の1つのピクセルの情報（この場合はNDVI）を、そのピクセル内に存在する複数のエンドメンバーの情報（この場合は森林・農地・ISAのNDVI）の混合と考え、混合された情報を分解し各エンドメンバーの比率を逆算するというものである。本手法では、純粋なエンドメンバーの情報（すなわち森林・農地・ISAの時系列NDVI）を事前に取得しておく必要がある。しかし、森林・農地では植生によってNDVIの変化パターンが異なると予想されるため、既存の植生図を参照することで様々な植生の時系列NDVIを抽出し、森林・農地のエンドメンバーとして利用可能か検討した。最後に、開発した手法を2001年の日本全域のMODIS画像に適用し、3地域（札幌市、関東平野、鹿児島市）で精度検証を実施した。検証は、観測範囲は狭いが空間解像度が高いLandsat画像を3地域において取得し、既存のISA推定手法の適用結果と比較することにより行った。

2) 再分類法を併用した流域不浸透面および農地の推定手法（STMAP法）の開発

前述のTMA法では、①推定したISAに裸地が含まれる、②農地と森林（落葉樹）の区別が難しい、

といった問題がある。そこでTMA法を改良し、より推定精度が高い手法（Sorted Temporal Mixture Analysis with Post-classification：STMAP法）を開発した。本手法を開発するにあたり、3種類の衛星画像を使用した。1つ目はMOD13Q1であり、解析にはNDVIを使用した。2つ目は地表面温度のMODIS高次プロダクトMOD11A2（空間解像度1000 m）であり、年間の最大地表面温度（Land Surface Temperature：LST）を使用した。3つ目はDMSP/OLS（空間解像度1000 m）によって得られた夜光画像であり、その放射強度（Digital Number： DN_{light} ）を利用した。これらの画像を用いた解析フローチャートを図(1)-1に示す。STMAP法は大きく2つのステップに分けられる。まずMODISのNDVI画像を利用し、TMA法により土地被覆を常緑樹・落葉樹・農地・ISAの4種類に分類した。次に、落葉樹と農地、およびISAと裸地の誤分類を避けるために、LSTと DN_{light} に閾値を設け、土地被覆を森林・農地・ISA・裸地の4種類に再分類した。この閾値は対象地域ごとに決定する必要があるため、環境庁第5回自然環境保全基礎調査の植生図を10種類の植生タイプ（常緑針葉樹、落葉広葉樹、農地等）に再区分し、植生ごとにLSTと DN_{light} を抽出して特徴を解析した。最後に、開発した手法を2001、2006、20011年の日本全域のMODIS画像に適用し、3地域（札幌市・関東平野・鹿児島市）でISAと農地の推定精度を検証した。検証用データとして、Landsat画像から得られたISA率、およびGoogle Earthの高解像度画像から判読した農地率を使用した。



図(1)-1 STMAP法の解析フローチャート

3) STMAP法のアジアへの適用

STMAP法をインドネシア全域に適用し、2001、2011年のISA率・農地率の分布を推定した。また、同手法をメコン川下流域に適用し、2001、2012年のISA率の分布を推定した。メコン川下流域の2001年の結果に関しては、Google Earthの高解像度画像から判読したISA率と比較し、推定精度の検証を行った。最後に、インドネシア3湖沼（Tempe湖、Rawa Pening湖、Limboto湖）ならびにメコン川下流域7湖沼（Tonle Sap湖、Ubolratana貯水池、Nam Ngum貯水池、Sirinthorn貯水池、Lam Pao貯水池、Nong Han貯水池、Nam Un貯水池）の流域範囲を抽出し、ISA率の地域的特徴および経年変化傾向を明らかにした。

(2) 湖内生態系情報の推定手法の開発

1) アオコと浮葉・抽水植物の分布推定手法の開発

a Landsat画像を利用した推定手法

NASAから提供されているLandsat画像（空間解像度30 m、再帰日数16日）を利用し、アオコと浮葉・抽水植物の分布を推定する手法を開発した。2011年8月に霞ヶ浦・印旛沼・手賀沼でアオコと浮葉・抽水植物の観測を実施し、同日撮影されたLandsat画像をトレーニングデータとして使用した。まず、浮遊している藻類の指標であるFloating Algal Index (FAI) に閾値を設けることにより、湖水とそれ以外（アオコと浮葉・抽水植物）を分離した。次に、植物の水分含量の指標であるNormalized Difference Water Index (NDWI_{NIR,SWIR}) に閾値を設けることにより、アオコと浮葉・抽水植物を分離した。FAIとNDWIの式はそれぞれ

$$FAI = R_{NIR} - [R_{RED} + (R_{SWIR} - R_{RED}) (\lambda_{NIR} - \lambda_{RED}) / (\lambda_{SWIR} - \lambda_{RED})] \quad (式(1)-1)$$

$$NDWI_{NIR,SWIR} = (R_{NIR} - R_{SWIR}) / (R_{NIR} + R_{SWIR}) \quad (式(1)-2)$$

である。ここで R_{NIR} 、 R_{RED} 、 R_{SWIR} はそれぞれ衛星センサーの近赤外、赤、中間赤外バンドの反射率であり、 λ_{NIR} 、 λ_{RED} 、 λ_{SWIR} はそれぞれのバンドの中間波長の値である。構築した手法を検証するために、日本またはインドネシアの6湖沼（アオコ優占湖沼：諏訪湖・Sutami湖・Manunjau湖、水草優占湖沼：シラルトロ湖・三方湖・Limboto湖）のLandsat画像を取得した。なお、これら6湖沼におけるアオコおよび水生植物の優占状況については、既往の文献（例えばアオコ発生状況のデータベースであるCYANONET⁴⁾等）を参照した。

b MODIS画像を利用した推定手法

より高頻度なアオコ発生状況の観測を可能とするために、前述の手法をMODIS画像用に改良した。水生植物優占湖沼としてインドネシアのTempe湖（2003年3月）、アオコ優占湖沼として八郎湖（2011年8月）のLandsat画像およびMODIS画像を取得した。まず、各湖沼のLandsat画像を用いて、湖面を湖水、浮葉・抽水植物、アオコに分離した。次に、同日のMODIS画像より各湖沼のFAI、NDWI_{NIR,SWIR}、NDWI_{GREEN,SWIR}を計算し、Landsat画像から得られた同座標の情報にしたがって湖水、浮葉・抽水植物、アオコに分類した。これにより、MODIS画像をもとに湖水、浮葉・抽水植物、アオコの各成分に分離可能な各指標の閾値を特定した。なお、NDWI_{GREEN,SWIR}の式は

$$NDWI_{GREEN,SWIR} = (R_{GREEN} - R_{SWIR}) / (R_{GREEN} + R_{SWIR}) \quad (\text{式(1)-3})$$

である。ここで R_{GREEN} は衛星センサーの緑バンドの反射率である。

c 開発した手法のアジアへの適用

Landsat画像を利用した手法をインドネシアの3つの水生植物優占湖沼（Tempe湖、Rawa Pening湖、Limboto湖）に適用し、2時期の水生植物分布を求め、10年程度の変化傾向を評価した。また、MODIS画像を利用した手法をメコン川下流域の7湖沼（Tonle Sap湖、Ubolratana貯水池、Nam Ngum貯水池、Sirinthorn貯水池、Lam Pao貯水池、Nong Han貯水池、Nam Un貯水池）に適用し、2000～2014年の毎年5月のアオコと水生植物の分布を推定した。ただし、Tonle Sap湖の推定結果に関しては、高濃度NPSS（植物プランクトン以外の懸濁態粒子）の影響が示唆されたため、光学的モデル³⁾を利用した影響評価を実施した。

2) アオコの集積レベルの推定手法の開発

アオコの集積レベルを表す「見た目アオコ指標」を、Landsat画像から推定する新しい手法を開発した。見た目アオコ指標は、現地目視によりアオコの集積状況を判断するための指標であり、レベル1～6に分かれている。手法開発に必要なデータを得るために、2012年7～8月に霞ヶ浦でアオコの反射スペクトルを測定し、同時に見た目アオコ指標によるアオコレベルの同定を実施した。また、湖水のChl-a濃度およびフィコシアニン濃度を測定した。次に、現地の反射スペクトルをLandsat画像の各バンドの波長帯に変換してFAIを算出し、各波長帯の反射率やFAIとアオコレベルの関係を解析することで、アオコレベルの検出に有効な閾値を特定した。最後に、アオコ発生時期の霞ヶ浦および八郎湖のLandsat画像を取得して開発した手法を適用し、現地調査に基づくアオコレベルと比較することにより、手法の検証を行った。

3) 浮葉植物と抽水植物の分布推定手法の開発

中解像度衛星画像から浮葉植物と抽水植物の分布を分離して推定する手法の検討を行った。この検討にあたり、JAXAから提供されている2種類のALOS画像を使用した。1つはALOS/AVNIR-2（高性能可視近赤外放射計2型、空間解像度10 m）の画像であり、これは太陽光が対象物に当たって反射される光を観測したものである（光学衛星画像）。もう1つはALOS/PALSAR（フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ、空間解像度7 m）の画像であり、これは衛星から地上にマイクロ波を照射してその反射波（後方散乱強度）を観測したものである（合成開口レーダ衛星画像）。後方散乱強度は観測対象物の形状によって異なることから、浮葉植物と抽水植物の分離に応用できると考えた。対象地域は猪苗代湖とし、2009年9月14日に撮影されたALOS/PALSAR画像と同年9月20日に撮影されたALOS/AVNIR-2画像をそれぞれ1枚ずつ取得した。解析手順は2つのステップに分けられ、まず、湖水のNDVIが負の値となることを利用し、ALOS/AVNIR-2画像からNDVIを計算し、閾値0により湖水と水生植物（浮葉・抽水植物）を分離した。その後、ALOS/PALSAR画像から浮葉植物と抽水植物の後方散乱強度をそれぞれ抽出し、その強度の閾値によって両者が分離可能であるかを検討した。なお、浮葉植物と抽水植物の後方散乱係数の抽出地点は、2009年8月28日に福島大学のグループによって撮影された猪苗代湖北岸の航空写真⁵⁾から目視判読によって決定

した。最後に、ALOS画像から得られた浮葉・抽水植物分布の推定結果と航空写真の目視判読結果とを比較し、手法の妥当性を検証した。

4) 沈水植物の分布推定手法の開発

高解像度衛星画像から沈水植物の分布を簡易に推定する手法を開発した。対象地域は阿寒湖とし、2010年8月18日のWorldView-2画像（アメリカのDigital Globe社提供、空間解像度2 m）を取得した。浅水域から深水域にかけて、3本の観測ラインを設定し、画像のバンド1～8のDN値（放射強度）を抽出した。さらに検証用データとして、同年8月25日に、阿寒湖右岸にてソナーによる沈水植物分布の観測を行った。なお、ライン1は浅水域に沈水植物が繁茂しており、ライン2、3は沈水植物が繁茂していないことが確認されている。まず、阿寒湖の透明度が4 m程度であることから、その2.5倍（10 m）以上の水深の地域を国土地理院発行の湖沼図から読み取り、光学的に深い場所と定義した。次に、10 m以深の地点におけるDN値の最小値を求めて閾値とし、この閾値以下のDN値が観測された地点を抽出して沈水植物分布を推定した。最後に現地観測結果と比較し、コーエンの κ 係数を求めて推定精度の評価に利用した。

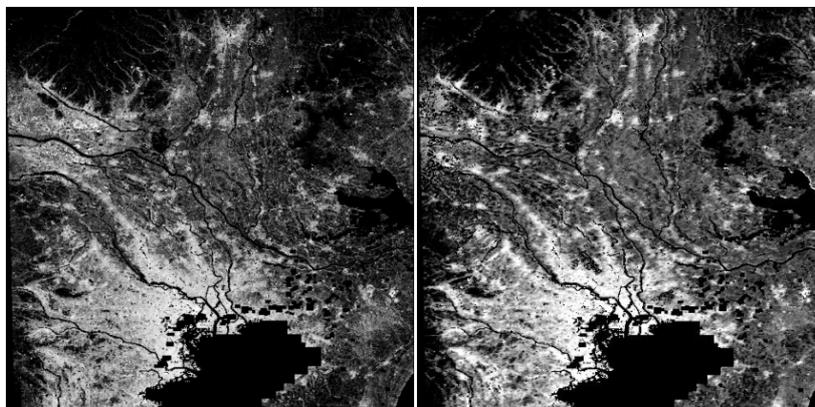
4. 結果及び考察

(1) 流域特性

1) TMA法を利用した広域的な手法による国内の不浸透面分布

本手法に必要な森林・農地のエンドメンバーを得るために、様々な植生の時系列NDVIを解析した。その結果、1年間のNDVI画像23枚の変化パターンは樹種の違い等によりばらつきを有したが、このうちNDVIが高い順に6枚（主に夏季のNDVI）を選び昇順に再配列することで、NDVIが常に高いパターンを森林、NDVIが常に低いパターンをISA、NDVIが大きく変化するパターンを農地に分類することができ、植生によらず安定したエンドメンバーを得ることに成功した。

開発した手法を利用し、日本全域のISA分布を推定した。例として、関東平野のISA分布を図(1)-2に示す。Landsat画像から求めたISA分布による検証の結果、2乗平均平方根誤差（Root Mean Squared Error : RMSE）は8.7%、 $R^2 = 0.86$ であった。したがって、開発した手法は従来法に近い精度で、広域のISAを推定できることが示された。



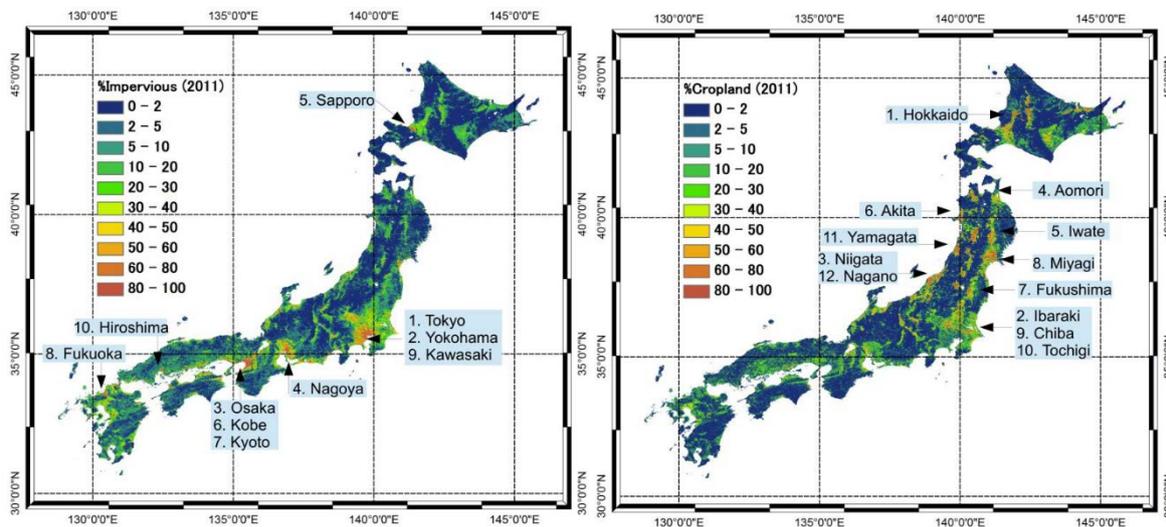
図(1)-2 TMA法によって推定された2001年における関東地域の不透透面の分布

明るいほど不透透面の割合が大きい。左：Landsat画像を用いた従来法、右：MODIS画像を用いた本手法

2) STMAP法による国内の不浸透面・農地分布

STMAP法に必要なLST（年最大地表温度）と DN_{light} （夜光画像の放射強度）の閾値を決定するために、既存の植生図を利用し、土地被覆ごとにこれらの特徴を解析した。その結果、TMA法で分類されたISA率が30%以上かつ DN_{light} が15以下のとき、ISAは裸地に再分類されることが明らかとなった。また、落葉樹と農地におけるLSTを比較した結果、TMA法で分類された農地の画分のLSTが299 K以下であれば森林に、TMA法で分類された落葉樹の画分のLSTが304~310 Kであれば農地に再分類されることが明らかとなった。

開発した手法を利用し、2001、2006、2011年の日本全域のISA率および農地率を推定した。2011年の推定例を図(1)-3に示す。ISA率の高い地域は札幌・東京・名古屋・大阪・福岡等の大都市に集中しており、農地率の高い地域は青森・秋田・岩手・福島・新潟等の東北および北陸に集中していることが見てとれる。Landsat画像から推定したISA率、およびGoogle Earthの高解像度画像から判読した農地率を用いてSTMAP法の精度を検証した結果、RMSEはISA率で6.3%、農地率で9.8%と低く、精度の高さが立証された。

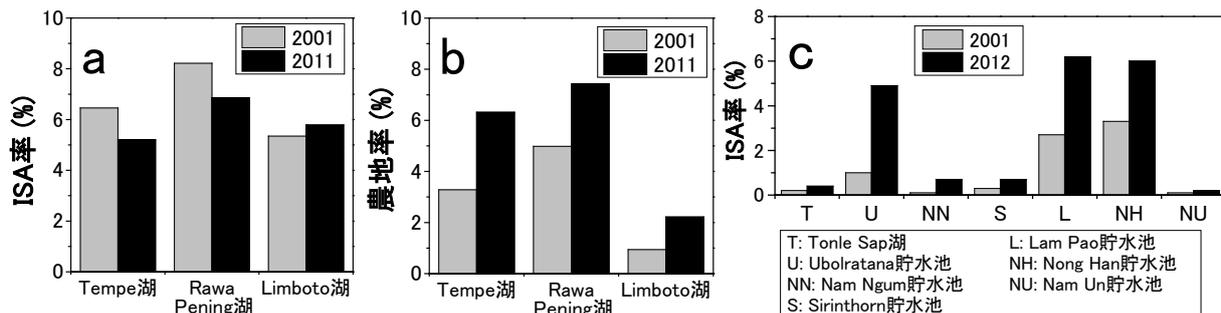


図(1)-3 STMAP法によって推定された2011年の日本全域のISA率（左）および農地率（右）

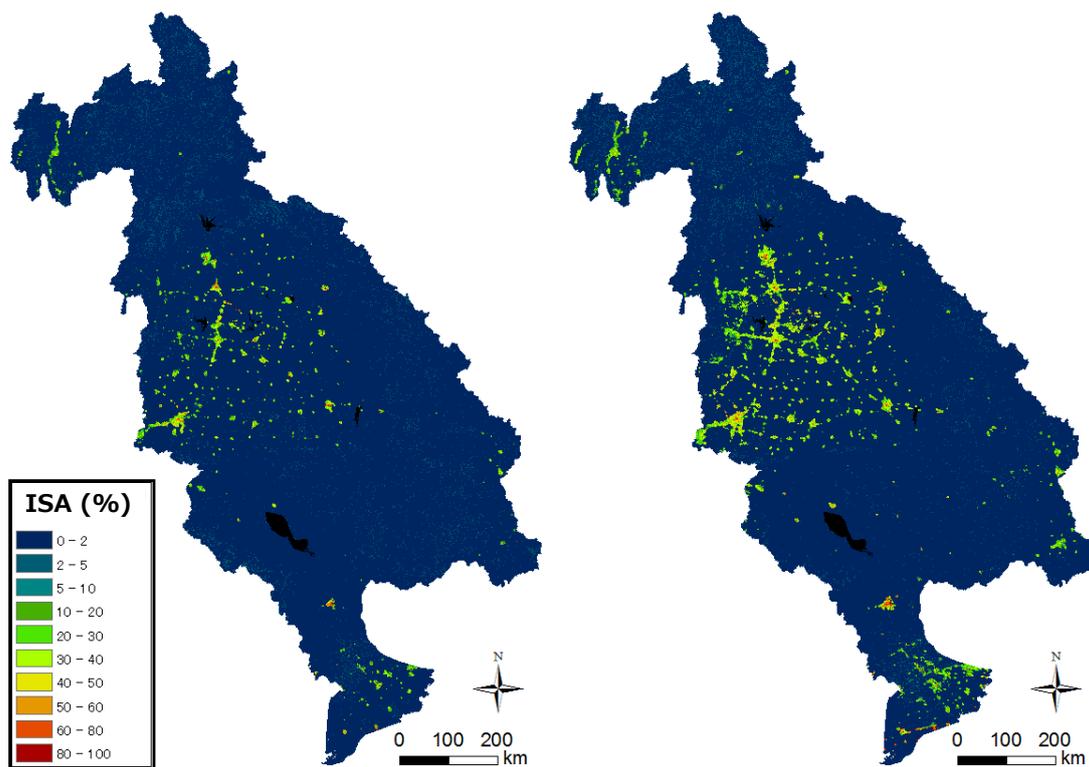
3) STMAP法によるアジアの不浸透面分布

STMAP法をインドネシアの3湖沼流域に適用した結果、2001年から2011年にかけて、ISA率に一定の変化傾向はみられなかった（図(1)-4a）。一方、農地率はいずれの流域も増加傾向にあり（図(1)-4b）、湖を中心に農地率の高い地域の拡大が確認された。

メコン川下流域における2001、2012年のISA率分布の推定結果を図(1)-5に示す。プノンペン（カンボジア）やヴィエンチャン（ラオス）といった都市の周辺において、ISA率が高くなっていることがわかる。Google Earthの高解像度画像から判読したISA率を用いて推定精度を検証した結果、 $R^2 = 0.84$ 、RMSEは7.7%と高精度なことが確認された。図(1)-5から7湖沼流域を抽出したところ、いずれの流域でもISA率は増加傾向にあり（図(1)-4c）、特に都市周辺でISAの拡大が確認された。



図(1)-4 STMAP 法によって推定したインドネシア 3 湖沼流域の ISA 率 (a) と農地率 (b) およびメコン川 7 湖沼流域の ISA 率 (c) の変化



図(1)-5 STMAP法によって推定したメコン川下流域のISA率
左：2001年、右：2012年

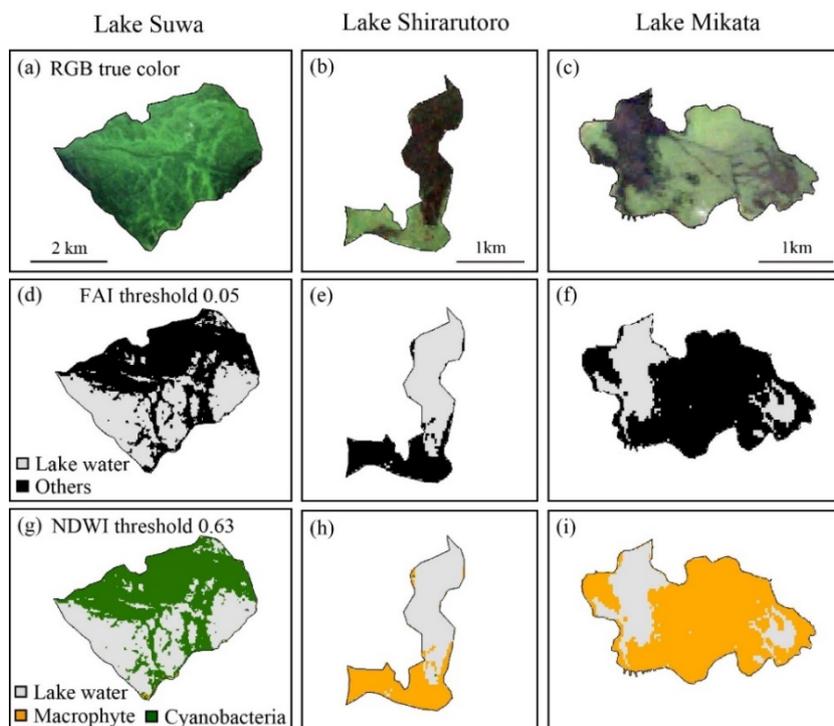
(2) 湖内生態系情報

1) アオコと浮葉・抽水植物の分布

a Landsat画像を利用した推定

まず、 $NDWI_{NIR,SWIR}$ によりアオコと浮葉・抽水植物を区別するため、霞ヶ浦・印旛沼・手賀沼のLandsat画像からアオコと浮葉・抽水植物の $NDWI$ 値を150地点ずつ抽出した。その結果、アオコと浮葉・抽水植物の差は有意と判定され、 $NDWI_{NIR,SWIR}$ が0.63以上であればアオコ、それより小さければ浮葉・抽水植物に分類可能であることが明らかとなった。また、湖水、アオコ、浮葉・抽水植物を分離するため、FAI値を0から0.1まで0.01間隔で変化させた結果、FAIの閾値を0.05とすることで、 $NDWI_{NIR,SWIR}$ によるアオコと浮葉・抽水植物の分離に影響を与えずに湖水を分離できることが明らかとなった。これにより、まずFAIの閾値0.05により湖水とそれ以外（アオコと浮葉・抽水

植物)を分離し、さらに $NDWI_{NIR,SWIR}$ の閾値0.63によりアオコと浮葉・抽水植物を分離する手法を構築した。この手法をアオコ・水生植物の優占状況が既知な日本・インドネシアの6湖沼に適用し、検証を行った結果、アオコ優占湖沼ではアオコが、水生植物優占湖沼では水生植物が主に抽出されており、手法の頑健性が立証された(図(1)-6)。

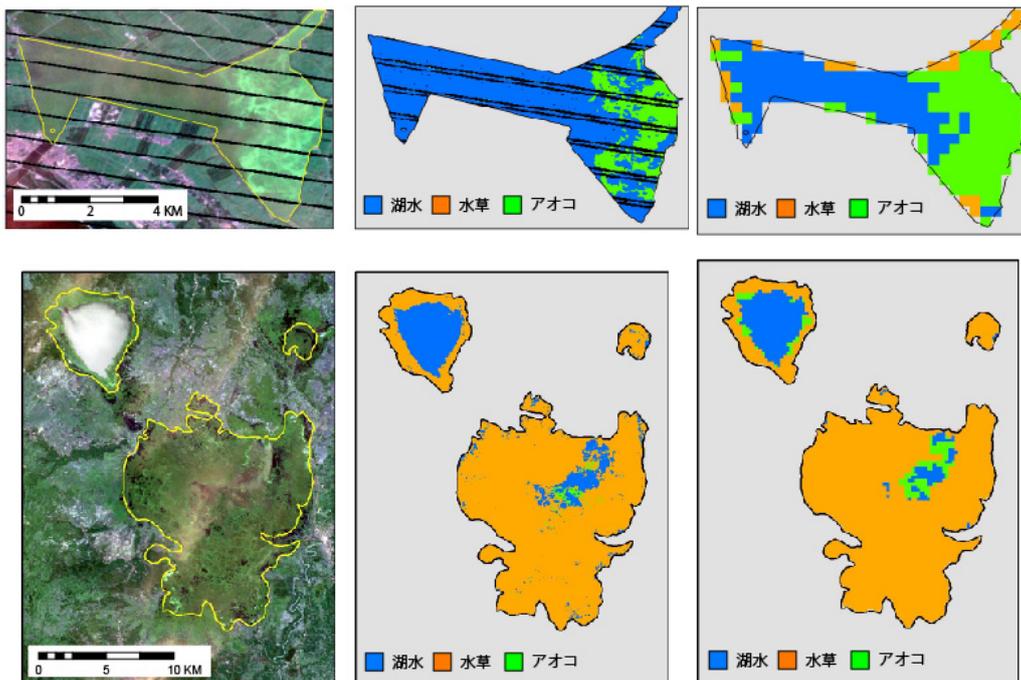


図(1)-6 Landsat画像によるアオコ優占湖沼（諏訪湖）および水生植物優占湖沼（シラルトロ湖、三方湖）のアオコと水生植物の分離結果

a~c: RGBカラー画像、d~f: FAIの閾値0.05による湖水とそれ以外の分離結果、g~i: $NDWI_{NIR,SWIR}$ の閾値0.63によるアオコと水生植物の分離結果

b MODIS画像を利用した推定

Landsat画像を利用したアオコと浮葉・抽水植物の分離結果から、八郎湖ではアオコが、Tempe湖では水生植物（ホテイアオイ）が優占的に発生していることがわかる(図(1)-7)。この結果を検証用データとしてMODIS画像によるFAI、 $NDWI_{NIR,SWIR}$ 、 $NDWI_{GREEN,SWIR}$ を解析し、まずFAIの閾値0.035により湖水とそれ以外（アオコと浮葉・抽水植物）を分離し、更に $NDWI_{GREEN,SWIR}$ の閾値0によりアオコと浮葉・抽水植物を分離する手法を構築した。MODIS画像による推定結果は、Landsat画像による結果と概ね一致しているが、八郎湖の場合は一部の沿岸域が浮葉・抽水植物に誤分類されており、Tempe湖の場合は北西部でアオコに誤分類される結果となった(図(1)-7)。この原因としては、MODIS画像はLandsat画像と比較して空間解像度が粗いため、八郎湖では湖水と沿岸対象物の混合ピクセル（ミクセル）が水生植物に誤分類され、またTempe湖では湖水と水生植物のミクセルがアオコに誤分類された可能性が考えられた。したがって、MODIS画像から広域的にアオコの発生を観測する際には、①沿岸を観測範囲から除外すること、そして②水生植物が発生している湖沼（あるいは地域）を除外することが誤分類を避けるために有効であろう。

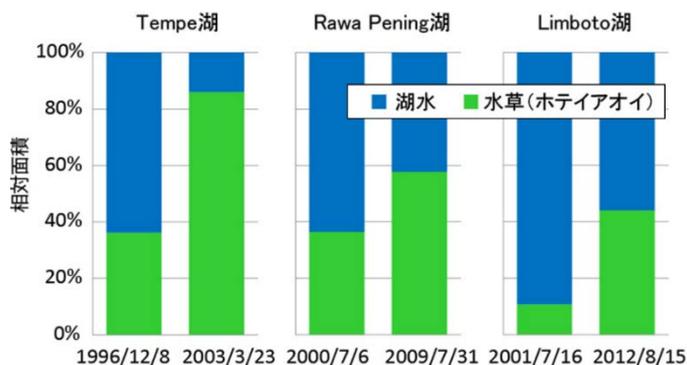


図(1)-7 アオコ優占湖沼（八郎湖、上）と水生植物優占湖沼（Tempe湖、下）におけるアオコと水生植物（浮葉・抽水植物）の分離結果

左：LandsatのRGBカラー画像、中央：Landsat画像による分離結果、右：MODIS画像による分離結果

c 開発した手法によるアジア湖沼のアオコと浮葉・抽水植物の分布

Landsat画像を利用した手法をインドネシアの3湖沼（水生植物優占）に適用した結果、湖面に占める水生植物面積の増加傾向が明らかとなった（図(1)-8）。一方、MODIS画像を利用した手法をメコン川下流域の7湖沼に適用した結果、2000～2014年の平均値として、5月にTonle Sap湖の湖面に占めるアオコの面積割合（40%）は他の6湖沼（1～5%）より大きいと推定された。ただし、Tonle Sap湖では5月のNPSS濃度が非常に高く、推定結果に影響している可能性がある。そこで光学的モデル計算による影響評価を実施したところ、①通常検出されないレベルのアオコを含むピクセルが、高濃度NPSSの影響でアオコとして検出される可能性があること、②アオコが全く発生していないピクセルをアオコに誤分類する可能性は低いこと、が明らかとなった。したがって、Tonle Sap湖における推定結果は、アオコの発生とNPSSの増加の双方に起因していると考えられる。



図(1)-8 インドネシア3湖沼の湖水とホテイアオイの相対面積変化

2) アオコの集積レベル

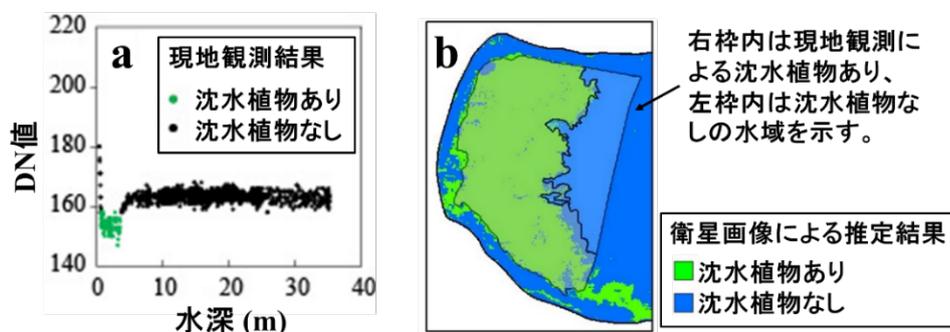
現地で判定した見た目アオコ指標によるアオコレベルは、Chl-aおよびフィコシアニン濃度と高い相関を有することを確認した。現地の反射スペクトルから算出したFAIとアオコレベルの関係を解析したところ、FAIはアオコレベル1・2 (-0.016~-0.005)、レベル3 (0.009~0.28)、レベル4 (0.057~0.081)、レベル5・6 (0.131~0.577) で異なることが明らかとなった。また、Landsatの赤バンドの波長帯に相当する反射率は、レベル5 (0.039~0.057) とレベル6 (0.079~0.180) で異なっていた。この結果を利用し、FAIと赤バンドの反射率に閾値を設けることにより、Landsat画像からアオコレベルを検出する手法を開発した。本手法を霞ヶ浦・八郎湖のLandsat画像に適用した結果、推定されたアオコレベルは現地調査の結果とよく一致しており、開発した手法の有効性が示された。

3) 浮葉植物と抽水植物の分布

猪苗代湖のALOS/AVNIR-2画像(光学衛星画像)からNDVIの閾値0によって抽出した水生植物(浮葉・抽水植物)の分布範囲について、ALOS/PALSAR画像(合成開口レーダ衛星画像)から浮葉植物と抽水植物の後方散乱強度をそれぞれ抽出して比較した。その結果、両者は後方散乱強度の閾値100 dBにより分離が可能であることを確認した。また、この閾値を用いて推定した猪苗代湖北岸における浮葉植物と抽水植物の分布は、航空写真による目視判読結果(浮葉:ヒシ・アサザ・コウホネ、抽水:ヨシ)とよく一致していた。これらの結果から、光学衛星画像と合成開口レーダ衛星画像を併用することにより、湖沼の浮葉植物と抽水植物の分布を分離して推定できる可能性が示された。

4) 沈水植物の分布

阿寒湖におけるWorldView-2画像の各バンドのDN値を解析した結果、バンド3のDN値は、沈水植物が繁茂している地点で特異的に減少していた(図(1)-9a)。バンド3のDN値を用いた沈水植物分布の抽出結果は、ソナーを使った現地観測結果と概ね一致し(図(1)-9b)、 κ 係数は0.81と非常に高い値を示した。以上の結果から、WorldView-2画像のバンド3の情報を用いることにより、湖沼の沈水植物を簡易に抽出できる可能性が示された。



図(1)-9 阿寒湖のライン1における水深とWorldView-2画像のバンド3のDN値の関係 (a) および、バンド3のDN値によって抽出した阿寒湖の西湾における沈水植物の分布図 (b)

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで困難であった広域（日本全国、アジアスケール）のISAの推定に関し、1シーンの撮影範囲が広いMODIS画像にミクセル分解法を適用することにより、低コストでの推定が可能となった。さらに、地表面温度と夜光画像を用いて再分類する手法を開発し、推定精度を向上させることにより、広域のISAと農地の同時推定が可能となった。一方、衛星画像データから湖沼に繁茂する浮葉・抽水植物とアオコを分離して識別することはこれまで困難であったが、反射率から算出される指数に閾値を設けることにより、これらの分布を簡易に推定する手法を確立した。また、水生植物の生活形タイプ型（浮葉・抽水・沈水）を、中～高解像度画像の解析によって推定できる可能性が示された。生態系に負の影響を及ぼすアオコの存在量に関しては、Landsat画像を利用した解析フローを開発することにより、見た目アオコ指標に基づくアオコレベルの推定が可能となった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

生物多様性評価では、適切な指標を用いたモニタリング事業の実施が不可欠である。湖沼の生物多様性の駆動因である流域の被覆状態に関しては、新しく開発した衛星画像解析手法を利用することにより、ISA・農地の広域的な推定が可能となった。湖内生態系情報に関しては、湖沼のアオコ量の分布や水生植物（浮葉・抽水・沈水）の植生分布を衛星画像から推定する手法を確立し、従来の現地観測法に比べて少ない労力で広域的な推定が可能となった。これらの手法を組み合わせることにより、日本や土地利用図が整備されていない多くのアジア地域において、湖沼の生物多様性に対する流域の土地被覆変化の影響評価が期待される。

6. 国際共同研究等の状況

インドネシア科学院陸水研究センターと研究協定を締結し、共同でインドネシア湖沼の定期観測体制を構築すると共に、Maninjau湖等の8湖沼において水生植物の調査を行った。また、リモートセンシングによるインドネシア全域のISA、農地率の推定のため、ジャワ島の高解像度衛星から検証データを作成する体制を構築した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) B. MATSUSHITA, W. YANG, P. CHANG, F. YANG and T. FUKUSHIMA: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 69, 74-87 (2012)
 “A simple method for distinguishing global Case-1 and Case-2 waters using SeaWiFS measurements”
- 2) F. YANG, B. MATSUSHITA, T. FUKUSHIMA and W. YANG: ISPRS Journal of Photogrammetry

- and Remote Sensing, 72, 90-98 (2012)
 “Temporal mixture analysis for estimating impervious surface area from multi-temporal MODIS NDVI data in Japan”
- 3) W. YANG, B. MATSUSHITA, J. CHEN, K. YOSHIMURA and T. FUKUSHIMA: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 51, 3761-3773 (2013)
 “Retrieval of inherent optical properties for turbid inland waters from remote-sensing reflectance”
 - 4) L. M. JAELANI, B. MATSUSHITA, W. YANG and T. FUKUSHIMA: International Journal of Remote Sensing, 34, 8967-8985 (2013)
 “Evaluation of four MERIS atmospheric correction algorithms in Lake Kasumigaura, Japan”
 - 5) F. YANG, B. MATSUSHITA, W. YANG and T. FUKUSHIMA: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 88, 80-90 (2014)
 “Mapping the human footprint from satellite measurements in Japan”
 - 6) W. YANG, B. MATSUSHITA, J. CHEN, K. YOSHIMURA and T. FUKUSHIMA, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 11, 1046-1050 (2014)
 “Application of a semi-analytical algorithm to remotely estimate diffuse attenuation coefficient in turbid inland waters”
 - 7) G. YU, W. YANG., B. MATSUSHITA, R. LI, Y. OYAMA and T. FUKUSHIMA: Remote Sensing, 6, 3492-3510 (2014)
 “Remote estimation of chlorophyll-a in inland waters by a NIR-red-based algorithm: Validation in Asian lakes”
 - 8) B. MATSUSHITA, F. YANG and T. FUKUSHIMA, In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (Eds.); Asia-Pacific Biodiversity Observation Network: Integrative Observations and Assessment, Springer Japan, 239-252 (2014)
 “Impervious surface area as an indicator for evaluation drainage basins”
 - 9) Y. OYAMA, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA: Remote Sensing of Environment, 157, 35-47 (2015)
 “Distinguishing surface cyanobacterial blooms and aquatic macrophytes using Landsat/TM and ETM+ shortwave infrared bands”
 - 10) 尾山洋一、山田浩之、高橋正明、若菜勇：陸水学雑誌、76, 45-50 (2015)
 「酸性湖沼オンネトーの中性化について」
 - 11) B. MATSUSHITA, W. YANG., G. YU, Y. OYAMA, K. YOSHIMURA and T. FUKUSHIMA: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 102, 28-37 (2015)
 “A hybrid algorithm for estimating the chlorophyll-a concentration across different trophic states in Asian inland waters”
 - 12) Y. OYAMA, T. FUKUSHIMA, B. MATSUSHITA, H. MATSUZAKI, K. KAMIYA and H. KOBINATA: International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, 38, 335-348 (2015)
 “Monitoring levels of cyanobacterial blooms using the visual cyanobacteria index (VCI) and floating algae index (FAI)”

- 13) T. FUKUSHIMA and H. ARAI: Lakes & Reservoirs: Research and Management, 20, 54-68 (2015)
“Regime shifts observed in a large shallow lakes: analysis of a 40-year limnological record”
- 14) L. M. JAELANI, B. MATSUSHITA, W. YANG and T. FUKUSHIMA: International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 39, 128-141 (2015)
“An improved atmospheric correction algorithm for applying MERIS data to very turbid inland waters”
- 15) W. YANG, B. MATSUSHITA, K. YOSHIMURA, J. CHEN and T. FUKUSHIMA: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8, 4, 1545-1554 (2015)
“A modified semi-analytical algorithm for remotely estimating euphotic zone depth in turbid inland waters”
- 16) 松下文経、ラルー ムハメド シャエラニ、楊偉、尾山洋一、福島武彦：日本リモートセンシング学会誌、35, 3, 129-139 (2015)
「MERISデータによる霞ヶ浦のクロロフィルa濃度の長期モニタリング」
- 17) T. FUKUSHIMA, B. MATSUSHITA, Y. OYAMA, K. YOSHIMURA, W. YANG, M. TERREL, S. KAWAMURA and A. TAKEGAHARA: Hydrobiologia, DOI: 10.1007/s10750-015-2584-7
“Semi-analytical prediction of Secchi depth using remote-sensing reflectance for lakes with a wide range of turbidity” (in press)
- 18) Y. OYAMA, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA, In: S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (Eds.); Asia-Pacific Biodiversity Observation Network: Aquatic Biodiversity Conservation and Ecosystem Services, Springer Singapore, DOI: 10.1007/978-981-10-0780-4
“Cyanobacterial blooms as an indicator of environmental degradation in waters and their monitoring using satellite remote sensing”(in press)

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 福島武彦、松下文経：水環境学会誌、35, 2, 43-47 (2012)
「東アジア湖沼水質モニタリング」
- 2) 福島武彦：用水と廃水、58, 1, 35-43 (2016)
「海外の湖沼環境問題とわが国の湖沼管理の課題」

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) F. YANG, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA: AGU Fall Meeting 2011, California, USA, 2011
“Impact of impervious surface on river discharge in Lake Kasumigaura basin, Japan”
- 2) F. YANG, B. MATSUSHITA, T. FUKUSHIMA：第59回日本生態学会全国大会（2012）
「Monitoring impervious surface area and its role as a driver on ecosystem change by remote sensing」
- 3) Y. OYAMA, F. YANG, B. MATSUSHITA, T. FUKUSHIMA, J. NISHIHIRO and N. TAKAMURA:
The 5th GEOSS Asia Pacific Symposium, Tokyo, Japan, 2012
“Biodiversity monitoring in inland waters from satellite remote sensing -mapping impervious surface areas and macrophyte distribution”
- 4) F. YANG, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA: The Second International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA 2012), Shanghai, China, 2012

- “Testing temporal mixture analysis for quantification of land cover at sub-pixel level”
- 5) Y. OYAMA, B. MATSUSHITA, T. FUKUSHIMA, J. NISHIHIRO and N. TAKAMURA: 2012 ASLO Aquatic Science Meeting, Ohtsu, Shiga, Japan, 2012
- “Use of vegetation indices to detect aquatic macrophytes from multispectral satellite data”
- 6) W. YANG, B. MATSUSHITA, K. YOSHIMURA and T. FUKUSHIMA: 2012 ASLO Aquatic Science Meeting, Ohtsu, Shiga, Japan, 2012
- “An enhanced quasi-analytical algorithm for retrieving inherent optical properties of turbid inland waters”
- 7) 楊帆、松下文経、福島武彦：日本リモートセンシング学会第53回大会（2012）
「日本における不浸透面のマッピング」
- 8) 楊偉、松下文経、福島武彦：日本リモートセンシング学会第53回大会（2012）
「Remote estimation of water quality parameters for turbid inland waters using MERIS data」
- 9) Y. OYAMA, F. YANG, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA: 1st International workshop on freshwater biodiversity conservation, Fukuoka, Japan, 2012
- “Satellite remote sensing of inland waters and their watersheds by monitoring aquatic macrophytes, cyanobacterial bloom and impervious surfaces”
- 10) 尾山洋一、松下文経、福島武彦：日本陸水学会第78回大会（2013）
「衛星画像から見た日本の湖沼の浮葉・抽水植物の分布変化」
- 11) Y. OYAMA, B. MATSUSHITA, L. SUBEHI and T. FUKUSHIMA: 34th Asian Conference on Remote Sensing, Bali, Indonesia, 2013
- “Monitoring the distribution of floating macrophytes in Lake Limboto using Landsat images”
- 12) M. JAELANI, B. MATSUSHITA, W. YANG and T. FUKUSHIMA: 34th Asian Conference on Remote Sensing, Bali, Indonesia, 2013
- “Evaluation of four MERIS atmospheric correction algorithms in Lake Kasumigaura, Japan”
- 13) B. MATSUSHITA, W. YANG, Y. OYAMA, T. FUKUSHIMA, L. SUBEHI and F. SETIAWAN: 34th Asian Conference on Remote Sensing, Bali, Indonesia, 2013
- “Validation of a NIR-red-based algorithm for estimating chlorophyll-a concentration in several Asian lakes”
- 14) 尾山洋一、吉峯順平、松下文経、福島武彦：日本リモートセンシング学会第55回大会（2013）
「Bottom Index法を利用したWorldView-2画像による猪苗代湖の沈水植物の検出」
- 15) T. FUKUSHIMA, B. MATSUSHITA and Y. OYAMA: The 15th World Lake Conference, Perugia, Italy, 2014
- “Critical review on monitoring of lake water quality and ecosystem information using satellite image: Towards a new era of water color remote sensing”
- 16) 尾山洋一、松下文経、福島武彦：日本陸水学会第79回大会（2014）
「リモートセンシングによるアオコの観測」
- 17) 川村志満子、松下文経、福島武彦、尾山洋一：日本陸水学会第79回大会（2014）
「リモートセンシング反射率による湖沼の透明度推定」
- 18) S. POK、福島武彦、松下文経：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会（2014）

「Sub-pixel mapping of land cover in the Lower Mekong Basin using MODIS NDVI data」

- 19) T. FUKUSHIMA, B. MATSUSHITA, Y. OYAMA, K. YOSHIMURA, W. YANG, M. TERREL, S. KAWAMURA and A. TAKEGAHARA: 4th European Large Lakes Symposium, Yoensuu, Finland, 2015

“Semi-analytical prediction of Secchi depth using remote-sensing reflectance for lake with a wide range of turbidity”

- 20) 荒居博之、尾山洋一、松下文経、福島武彦：日本陸水学会第80回大会（2015）

「衛星画像を用いたアジア湖沼のアオコモニタリング」

- 21) A. VUNDO, T. FUKUSHIMA and B. MATSUSHITA：日本リモートセンシング学会第59回学術講演会（2015）

「Land use/cover change detection in Lake Malawi basin (2001-2010)」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない。

（4）「国民との科学・技術対話」の実施

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

特に記載すべき事項はない。

（6）その他

<受賞>

- 1) 荒居博之、尾山洋一、松下文経、福島武彦：日本陸水学会第80回大会（2015）

「日本陸水学会第80回大会最優秀ポスター賞」

8. 引用文献

- 1) F. YANG, B. MATSUSHITA and T. FUKUSHIMA: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65, 479-490 (2010)

“A pre-screened and normalized multiple endmember spectral mixture analysis for mapping impervious surface area in Lake Kasumigaura Basin, Japan”

- 2) Y. OYAMA, B. MATSUSHITA, T. FUKUSHIMA, K. MATSUSHIGE and A. IMAI: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, 73-85 (2009)

“Application of spectral decomposition algorithm for mapping water quality in a turbid lake (Lake Kasumigaura, Japan) from Landsat TM data”

- 3) W. YANG, B. MATSUSHITA, J. CHEN and T. FUKUSHIMA: Remote Sensing of Environment, 115, 1247-1259 (2011)

“Estimating constituent concentrations in case II waters from MERIS satellite data by semi-analytical model optimizing and look-up tables”

- 4) G. A. CODD, S. M. F. O. AZEVEDO, S. N. BAGCHI, M. D. BURCH, W. W. CARMICHAEL, W. R. HARDING, K. KAYA and H. C. UTKILEN, In: UNESCO/IHP (Eds.), IHP-VI Technical Document in Hydrology, No.76, UNESCO (2005)
“CYANONET: A global network for cyanobacterial bloom and toxin risk management”
- 5) 黒沢高秀、荒井浩平、野沢沙樹、高瀬智恵子、笹原（小林）星、薄葉満、難波謙二：福島大学地域創造、24, 1, 97-113 (2012)
「猪苗代湖北岸の水生植物相・植生と水環境保全事業への提言」

(2) 湖沼における生物多様性損失・生態系劣化の評価

東邦大学

理学部生命圏環境科学科

西廣 淳

<研究協力者>

神戸大学

大学院理学研究科生物学専攻

角野 康郎

新潟大学

教育学部自然情報講座

志賀 隆

東京農工大学

農学研究院自然環境保全学部門

赤坂 宗光

国立開発法人国立環境研究所

生物・生態系環境研究センター

高村 典子・松崎 慎一郎

東邦大学

理学部生命圏環境科学科

山ノ内 崇志（平成26～27年度）

平成23～27年度累計予算額：24,192 千円（うち平成27年度：4,640 千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

湖沼における生態系管理の科学的基盤を構築することを目的とし、湖沼の生物多様性の変化の実態を把握するとともに、そこに影響する主要な要因を検討した。淡水魚類と水生植物を対象として、国内の湖沼（淡水魚は45湖沼、水生植物は362湖沼）における生物相を収録したデータベースを構築した。2000年以前と2001年以降で比較したところ、淡水魚類では平均約28%の種が、水生植物では平均約57.1%の種が消失していることが示された。これらの変化に対する駆動因を分析したところ、淡水魚類については魚食性外来魚の種数の重要性が、水生植物については集水域の非浸透面積率や水質に加えソウギョの導入の有無の重要性が示された。また淡水魚類については、過去50年にわたる資源量の推移を明らかにし、多くの湖沼で資源量が減少していること、魚食性外来魚の侵入によって資源量が減少していることを明らかにした。また、最新の生物相データを用いて、全国を対象とした種の相補性解析を行うとともに、複数の多様性指標を開発し、保全上の優先順位付けを行った。水生植物については、地上植生から消失した種の再生可能性について検討し、消失後の時間が経過すると再生が困難になるため、早期の自然再生への着手が有効であることが示された。

[キーワード]

淡水魚類、水生植物、保全優先度評価、内水面漁業、自然再生

1. はじめに

湖沼生態系は流域における様々な人間活動の影響を受けるため、近代化に伴う生物多様性損失が特に顕著である。同時にその状態は、水資源や漁業資源の提供を始め、さまざまな生態系サービスに影響する。このため湖沼生態系の状態把握、保全、再生は、持続可能な社会構築にとって重要な課題である。しかし、生態系管理の基盤となる生物多様性の現状や変化でさえ十分に把握されておらず、湖沼管理はもっぱら水質に関する少数の指標のみを活用して実施されているのが実情である。本研究は、湖沼の生物多様性の変化の実態を把握するとともに、そこに影響する主要な要因を検討し、湖沼における生態系管理の科学的基盤を構築することを目的とする。

2. 研究開発目的

淡水魚類と水生植物を対象として、種数や種組成の変化と現状を把握するとともに、優先的に保全すべき湖沼の選定を行い、さらに種数や機能群数に影響する主要な駆動因を検討する。また、湖沼における主要な生態系サービスである漁業の基盤となる魚類資源量の変化とその駆動因を検討する。さらに、水生植物の再生に関する研究として、植物が地上植生から消失してからの時間経過に伴う再生ポテンシャルの変化を検討する。

3. 研究開発方法

(1) データの収集・整備

1) 淡水魚類のデータ収集・整備

a 湖沼の純淡水魚類相データの収集

在来純淡水魚類（一生を淡水で過ごす種）の種数と種組成の現状・変化を把握するため、湖沼の魚類相に関する文献と標本情報を収集した。これをもとに、過去（1999年以前の潜在的魚類相）と現在（2000年以降の魚類相）の2時期の魚類相データセットを国内45湖沼について整備した。また、湖内の魚類相に加えて、流入河川や用水路などの周辺水域の魚類相についても調べた。

b 純淡水魚形質データベースの構築

機能的多様性の評価を可能にするため、日本に生息する在来・外来の純淡水魚の全種（110種）について、形質データベースを作成した。図鑑や論文の情報をもとに、形態・生態に関する16形質について整備した。

2) 水生植物のデータ収集・整備

a 湖沼の水生植物相のデータベース構築

在来水生植物（沈水・浮葉・浮遊および一部の両生植物）の種数と種組成の変化を把握するため、文献収集を行い、在来水生植物相の経年データを含むデータベースを作成した。

b 水生植物の形質データベース構築

湖沼において消失しやすい水生植物の機能形質を解析するため、図鑑等の文献からの情報を統合し、形態・生態に関する9形質の情報を含む形質データベースを構築した。

（２）多様性変化の特徴の把握

１）純淡水魚の多様性変化の特徴の把握

全国的な多様性の現状と変化を把握するため、45湖沼過去と現在の魚類相データセットを比較し、純淡水魚の種数および機能的多様性（デンドログラム法で算出）の平均減少率を算出した

２）水生植物の多様性変化の特徴の把握

湖沼での消失リスクが高い水生植物の形質を明らかにするため、1970年代前半以前と2000年以降の両方の年代についての植物相調査結果が存在する27湖沼を対象とし、潜在的植物相（過去に一度でも記録のある種の集合）の2000年以降の存否を目的変数とし、各植物種の形質を説明変数とする一般化線形モデルを構築した。

（３）優先保全湖沼の選定

１）保全優先湖沼の選定

純淡水魚および水生植物のそれぞれを対象に、「種の相補性」および「種多様性・種組成から見た健全性」の2つの視点から優先的に保全すべき湖沼（保全優先湖沼）の選定を行った。種の相補性については、解析プログラムMarxanを用い、目標設定は「各種を1湖沼で保護」とし、保全にかかるコストは各湖沼で等しいものと仮定した。

「種多様性・種組成から見た健全性」については、魚類・水生植物とも、以下に述べる3つの指標を用いて評価した。

多様性：現在（2001年以降）、在来種がどの程度残存しているかを示す指標。現在の在来種の総種数を用いた。

希少性：現在（2001年以降）、絶滅危惧種がどの程度残存しているかを示す指標。最新の環境省レッドリストに基づき、現在の種数を重み付けした。重み付けは、絶滅危惧IA類を4点、絶滅危惧IB類を3点、絶滅危惧II類を2点、準絶滅危惧を1点、それ以外を0点とした。

残存性：過去の種組成がどの程度保存されているかについて評価する指標。2001年以降に記録された種数から過去に一度でも記録がある種数への線形回帰における残差を指標として用いた。

２）水生植物の多様性に基づく調査優先湖沼の選定

優先的に調査すべき湖沼の選定のため、過去に植物相調査が行われ、近年の調査が行われていない282湖沼を対象とし、過去の多様性指標（2000年以前に一度以上確認された種の数）、過去の希少性指標（2000年以前に一度以上確認された種を全国版レッドリストのランクで重みづけした値）、現状不明種数（産地の多寡を考慮した指標で評価）により、優先的に植物相調査を行うべき湖沼を選定した。

（４）多様性に影響する駆動因の解明

１）純淡水魚類の多様性に影響する駆動因

純淡水魚の種数および機能的多様性に影響すると考えられる人為的要因として、富栄養化（2000年公共用水域調査における全リン濃度）、護岸の改変（第4回自然環境基礎調査より）、魚食性外来魚の侵入（文献・標本情報）の3つを検討した。解析では、各湖沼における種数あるいは機能的

多様性の残存率を従属変数に、上記3要因と湖沼の特性（湖面積、平均深度、標高、湖沼面積に対する流域面積、汽水性）を説明変数に含めた一般化線形モデルを構築した。

2) 水生植物の多様性に影響する駆動因

過去（2000年以前）と現在（2001年以降）のデータ、および水質などの駆動因データがそろっている45湖沼を対象として、種多様性の低下に影響する駆動因の解析を行った。解析は、対象種群を水生植物全体（沈水植物・浮葉植物・浮遊植物）とする解析と、沈水植物（もっぱら沈水型をとる植物で抽水型を取りうる種を除く）のみを対象とする解析とにわけて行った。目的変数は種の残存/消失の二値とし、説明変数には、湖沼の特性（湖面積、平均水深、標高、緯度、汽水か否か）、水質に関する要因（COD、pH：2001年以降の平均値、公共用水域水質調査データを活用）、ソウギョの導入または捕獲記録の有無、湖面の埋め立て地の割合、集水域の土地被覆に関する要因（不浸透面積の割合）を用いて一般化線形モデル構築した。

（5）漁獲資源量の長期的変化と駆動因の解明

相対資源量の指標の一つであるCPUE（単位漁獲努力量当たりの漁獲量）を推定するため、漁獲量、漁獲努力量、漁獲効率に関するデータを統計資料（漁業養殖業生産統計年報）から整理した。また、5年毎に行われている農林水産省の「漁業センサス」から、出漁日数、従事者数、動力船数、非動力船数のデータを整理した。これらのデータがそろった23湖沼を対象として、約50年にわたる全漁獲物の相対資源量の変化を推定した。

推定された相対資源量の値を用いて、2008年を基準として、過去10年（1998-2008年）、20年（1988-2008年）、30年（1978-2008年）の3区間における相対資源量の変化率とそれらの区間における安定性を各湖沼で算出した。変化率は、1998、1988、1978年の相対資源量をそれぞれ100としたときの2008年の相対資源量を算出し、標準化した変化率を算出し、安定性は、対象期間における変動係数の逆数（ CV^{-1} ）および対象期間における毎年の相対資源量の変化率の標準偏差で評価した。一般化線形混合モデル（GLMM）を用いて、相対資源量の変化率と安定性に対する湖沼の特性（湖面積、平均深度、湖沼面積に対する流域面積、汽水性）、コンクリート護岸率、全リン濃度、魚食性外来魚の機能群数の影響を解析した。

（6）散布体バンクからの再生可能性の時間的低下

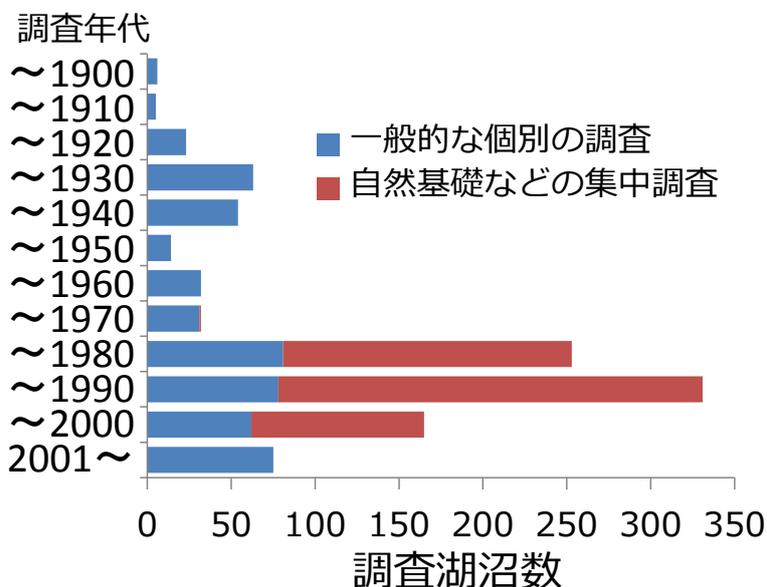
霞ヶ浦と印旛沼を対象に、在来維管束植物のうち「過去には分布記録があるが、現在の地上植生からは消失している水生植物種について、底質からの再生の確認の有無を目的変数、消失してからの経過時間を説明変数とし、一般化線形混合モデルにより分析した。

4. 結果及び考察

（1）データの収集・整備

淡水魚類については、後述する解析を行うために必要な情報を得ることができた。水生植物については、今後の植物相データ蓄積の基礎となるデータベースを構築し、公開した。本研究期間では、過去の植物相の記録を含む文献として397文献を収集し、362湖沼についての情報を得た。この結果、沈水、浮遊、浮葉および一部の両生植物として163種が記録された。各年における調査

湖沼数を集計した結果、環境省自然環境保全基礎調査が行われた年代以外では、調査記録が顕著に少なく、現状把握のデータが不足している実態が明らかとなった（図(2)-1）。また、過去（2000年以前）と現在（2001年以降）の種数を比較した結果、在来水生植物種では平均57.1%が消失したことが確認された。



図(2)-1 水生植物相の報告が確認された湖沼数
10年ごとにまとめて示す。

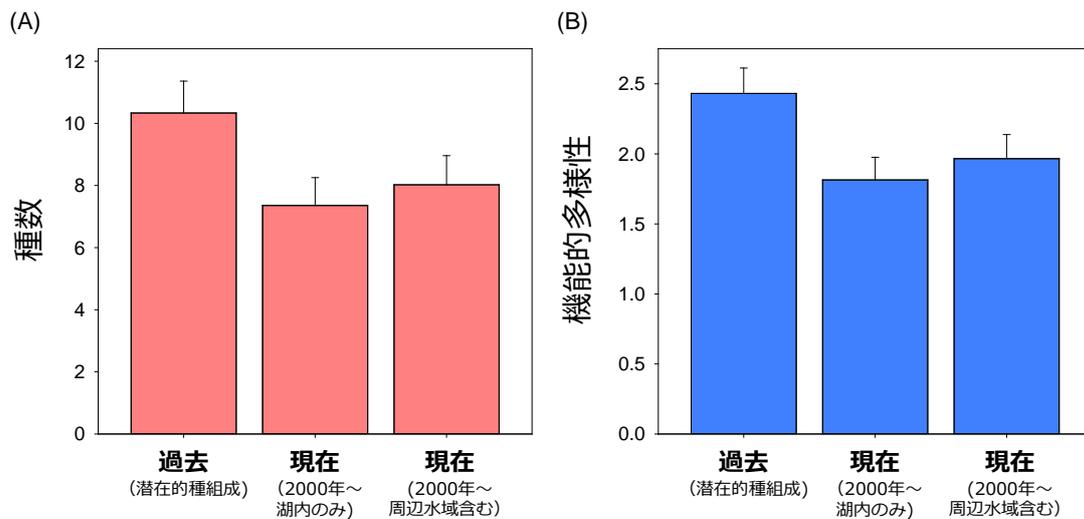
（2）多様性変化の特徴の把握

1) 純淡水魚の多様性変化の特徴の把握

湖内における過去と現在の種数を比較した結果、平均（±標準誤差）27.9±3.1%の種が消失していることが明らかとなった（図(2)-2）。また機能的多様性についても、平均減少率は24.5±2.9%であった。この結果は、機能的冗長性が低いことを示しており、数種の消失が機能的多様性の減少を引き起こす可能性があることが示唆された。一方、周辺水域の魚類相も含めて同様の分析を行った結果、種数と機能的多様性の平均減少率（±標準誤差）は、それぞれ22.9±3.1%、19.4±2.8%であった。湖沼の魚類相の保全には、周辺水域を含めた氾濫原あるいは流域スケールでの保全が重要であることが明らかとなった。

2) 水生植物の多様性変化の特徴の把握

消失リスクの高さに影響する形質を分析したモデル選択の結果として選ばれた上位モデルを表(2)-1に示す。上位モデルのすべてで選択された形質として、生育型、貧栄養依存性、クローナル成長能、最大草丈が挙げられる。生育型では沈水植物が浮葉植物や浮遊植物と比べて減少が顕著であることが認められた（図(2)-3）。また、貧栄養環境への依存性がある種、クローナル成長能を持たない種、最大草丈が小さい種では、絶滅リスクが高いことが示唆された。

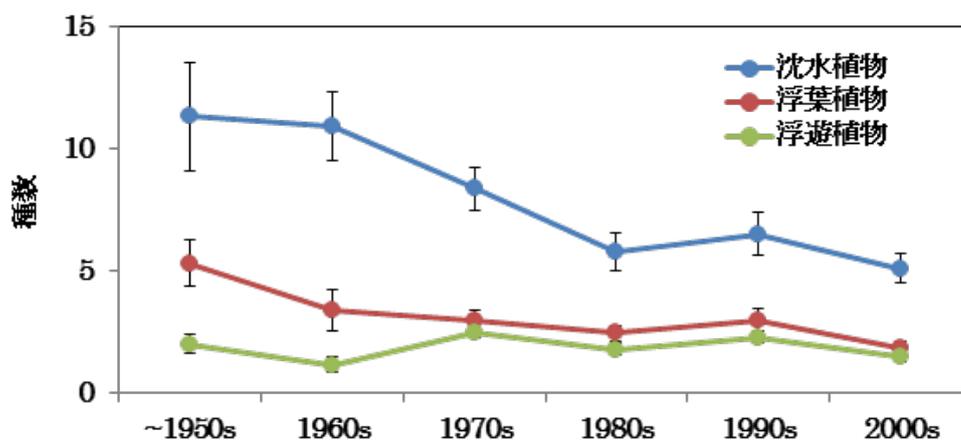


図(2)-2 45湖沼における在来純淡水魚類の種数 (A) および機能的多様性 (B) の変化

表(2)-1 湖沼における消失リスクの高さに関わる形質

表中の「○」はカテゴリカルな説明変数の効果が採用された場合を示す。

生育型	貧栄養依存性	クローナル成長能	最大草丈	汽水性	性型	送粉タイプ	AIC
○	-1.37	0.681	0.00508	-0.821			945.2
○	-1.32	0.648	0.00617	-0.808	○		945.2
○	-1.26	0.604	0.00593		○		947.5
○	-1.3	0.637	0.00481				947.7
○	-1.39	0.75	0.00601	-0.695	○	○	947.8
○	-1.44	0.882	0.00535	-0.791		○	947.8
○	-1.34	0.697	0.00576		○	○	948.8



図(2)-3 1970年代以前からの調査結果が確認されている27湖沼における沈水植物・浮葉植物・浮遊植物の種数変化

湖沼あたりの平均と標準誤差を示す。

(3) 保全優先湖沼の選定

1) 保全優先湖沼の選定

a 純淡水魚類に基づく選定

純淡水魚類を対象にした相補性解析の結果、ウトナイ湖、伊豆沼・内沼、霞ヶ浦、福島潟、油ヶ淵、柴山潟、北潟湖、琵琶湖、江津湖の9湖沼が選定された。

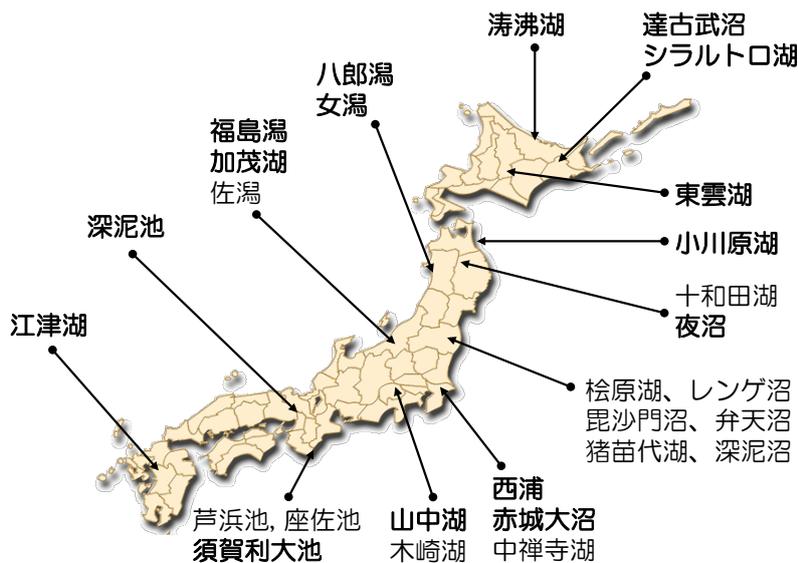
純淡水魚類の種数、希少性、残存性の3つの指標において、スコアが高かった湖沼をそれぞれ表(2)-2に示す。固有種の多い琵琶湖は、種数指標においても、希少性指標においても非常に重要な湖沼であることが再確認された。江津湖について、3つの指標の全てにおいて高いスコアであった。相補性解析で選択されなかったが、東郷池・湖山池・宍道湖などは、高いスコアを示すことがわかった。

表(2)-2 純淡水魚類の種数・希少性・残存性指標によって選定された保全上重要な湖沼

順位	現存種指標	希少性指標	残存性指標
1	琵琶湖 35	琵琶湖 41	江津湖 1.65
2	江津湖 20	江津湖 14	東郷池 1.61
3	湖山池 15	柴山潟 10	湖山池 1.42
4	東郷池 14	西浦・北浦 9	北潟湖 1.35
4	福島潟 13	福島潟、北潟湖 8	柴山潟 1.24
6	佐鳴湖、柴山潟 12	伊豆沼・内沼、北潟湖 7	宍道湖 1.11
7	西浦・北浦、北潟湖、宍道湖 11	八郎潟、猪苗代湖、中池見湿地、湖山池 6	神西湖 1.06
8	諏訪湖、油ヶ淵 10	東郷池、佐鳴湖 5	中池見湿地 0.89

b 水生植物に基づく選定

Marxanを用いた相補性解析の結果を図(2)-4に示す。1000回の試行のいずれにおいても、20湖沼の選択で保全対象種全85種を1湖沼以上で保全する保全目標を達成し、試行全体では28湖沼が選択



図(2)-4 相補性解析により選択された全湖沼

太字は1000回の試行において選択率が100%であった湖沼を示す。

された。琵琶湖を除く日本の自然湖沼の総面積を1758.9 km²とすると、これら28湖沼が占める割合はおよそ27%となった。

多様性指標、希少性指標、残存性指標で評価された保全上重要な湖沼を表(2)-3に示す。ただし八郎潟はすべてのスコアにおいて上位に位置したが、現地の状況確認や聞き取りの結果、流入河川の河口部付近に辛うじて残存している状況であった。同様に上位に入っている福島潟についても、デンジソウ、ヒツジグサ、アサザ、ガガブタ、ヒシモドキなど、保護、再導入または近隣の他湖沼からの移植などの保全活動の影響でスコアが上昇している可能性が否定できなかった。

表(2)-3 3つの指標により抽出された保全上重要な湖沼

順位	現存種指標 (n = 65)	順位	希少性指標 (n = 65)	順位	残存性指標 (n = 51)
1	八郎潟 31	1	福島潟 14	1	八郎潟 15.6
2	福島潟 29	2	達古武湖 13	2	ウトナイ湖 15.2
3	ウトナイ湖 27	2	ウトナイ湖 13	3	シラルトロ沼 11.0
4	シラルトロ沼 24	4	八郎潟 12	4	福島潟 10.9
4	小川原湖 24	5	シラルトロ沼 11	5	山中湖 8.2
6	達古武湖 20	5	小川原湖 11	6	達古武湖 7.6
7	伊豆沼 17	7	江津湖 10	7	小川原湖 6.2
7	北浦 17	8	西浦 8	8	伊豆沼 5.8
7	山中湖 17	9	然別湖 7	9	レンゲ沼 4.7
10	西浦 16	9	伊豆沼 7	10	河口湖 3.4
11	江津湖 15	11	鷹架沼 6	11	北浦 3.4
12	佐潟 13	12	赤城大沼 5	12	北潟湖 3.1
12	河北潟 13	12	佐潟 5	13	十和田湖 2.9
14	猪苗代湖 12	14	尾駁沼 4	14	河北潟 2.1
14	レンゲ沼 12	14	北浦 4	15	佐潟 1.8
16	宮城内沼 11	14	山中湖 4	16	江津湖 1.7
16	河口湖 11	17	十和田湖 3	17	菅湖 1.4
18	湖山池 10	17	レンゲ沼 3	18	三方湖 1.4
19	十和田湖 9	17	中禅寺湖 3	19	深泥沼 1.1
19	鳥屋野潟 9	17	河北潟 3	20	御手洗潟 1.1
		17	座佐池 3		
		17	芦浜池 3		
		17	藪牟田池 3		

2) 水生植物の多様性に基づく調査優先湖沼の選定

優先的に植物相調査を行う価値の高い湖沼として、過去の種多様性指標と過去の希少性指標により抽出された上位20位以内の湖沼を表(2)-4に示す。また、現状不明種が過去に記録された湖沼は52湖沼あり、このうち上位15湖沼を抽出された(表(2)-5)。

表(2)-4 過去の記録種数および過去のレッドリストスコアに基づいて抽出された優先的に調査すべき湖沼

順位	過去の記録種指標 (n=282)	順位	過去の希少性指標 (n=282)	
1	新潟朝日池	1	阿寒湖	19
2	田面木沼	2	新潟朝日池	18
3	阿寒湖	3	東郷池	15
3	新潟鶉ノ池	4	渡島大沼	13
5	市柳沼	4	新潟鶉ノ池	13
5	長峰池	4	十二町潟	13
7	渡島大沼	7	田面木沼	12
8	女潟	7	相野沼	12
8	東郷池	9	胆振弁天沼	11
10	左京沼	10	左京沼	9
11	胆振弁天沼	10	市柳沼	9
11	中綱湖	10	千波湖	9
13	尾瀬沼	10	蜘蛛ヶ池	9
13	十二町潟	14	芦ノ湖	8
15	相野沼	14	長峰池	8
15	蜘蛛ヶ池	14	蟠竜湖	8
15	神西湖	17	キモマ沼	6
18	浅内沼	17	クッチャロ湖	6
18	与田浦	17	朝日沼	6
18	天ヶ池	17	渡島小沼	6
		17	夜沼	6
		17	女潟	6
		17	近藤沼	6
		17	天ヶ池	6
		17	多鯨ヶ池	6
		17	神西湖	6

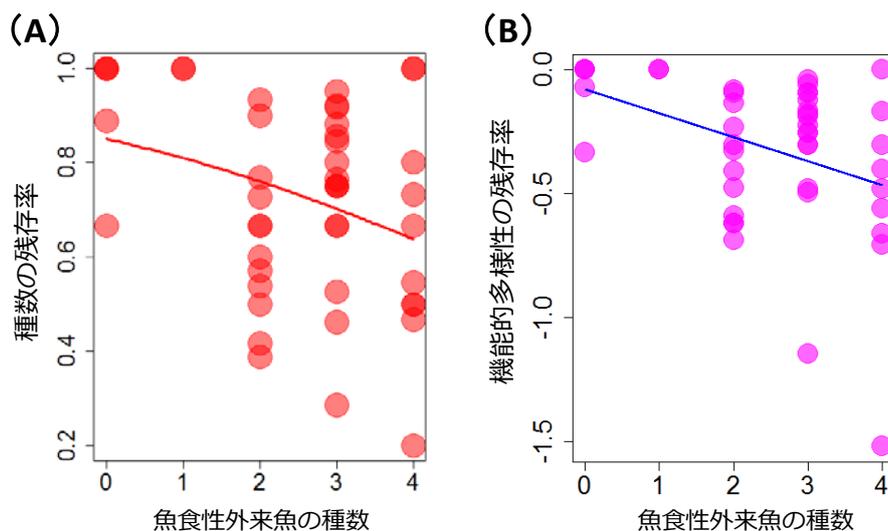
表(2)-5 現状不明種指標に基づき抽出された上位15位までの調査優先湖沼

順位	湖沼名	現状不明種数	スコア
1	東郷池	5	1.56
2	新潟朝日池	5	1.39
3	阿寒湖	1	1.00
3	宮城長沼	1	1.00
3	近藤沼	1	1.00
3	小海の池	1	1.00
3	白駒池	1	1.00
3	海老ヶ池	1	1.00
3	水前寺湖	1	1.00
10	蟠竜湖	3	0.87
11	キモマ沼	2	0.83
12	鰻池	3	0.68
13	芦ノ湖	3	0.64
13	蜘蛛ヶ池	2	0.64
15	田面木沼	4	0.62

(4) 多様性に影響する駆動因の解明

1) 純淡水魚類の多様性に影響する駆動因

駆動因解析の結果、種数の残存性と機能的多様性の残存率のいずれの場合も、魚食性外来魚種数を含むモデルがベストモデルとして選択され、魚食性外来魚種数と種数と機能的多様性の残存率の間に有意な負の相関が認められた(図(2)-5)。一方、他の人為的要因(全リン濃度、コンクリート護岸率)の相対的重要性は低かった。このことから、在来純淡水魚類の保全には、魚食性外来魚の侵入の防止ならびに駆除・低密度管理が効果的な対策であると考えられた。



図(2)-5 45湖沼における在来純淡水魚類の種数 (A) および機能的多様性 (B) の残存性と魚食性外来魚種数と関係

2) 水生植物の多様性に影響する駆動因

一般化線形モデルによる解析とAICによるモデル選択の結果、水生植物種の存続性に負の影響を与える要因として、CODの高さ、ソウギョの存在、不浸透面積率の高さが抽出された(表(2)-6)。沈水植物の存続性についても、同様の要因の影響が抽出された(表(2)-7)。集水域が都市化した湖沼では、栄養塩の過剰流入が透明度への影響等を介して水生植物に影響している可能性がある。水生植物の保全対策では、流域全体を視野に入れた水質対策と、ソウギョ駆除などの湖沼での生態系管理の両方が必要であることが示唆された。

表(2)-6 水生植物種の存続性についての解析結果

上位モデルの各パラメータの推定値。

切片	標高	平均水深	COD	ソウギョ	非浸透率	緯度	pH	水面積	AIC	AW
0.615			-0.0503	-0.749	-0.0192				324.7	0.285
0.676		-0.00296	-0.0553	-0.750	-0.0196				326.2	0.136
0.596			-0.0480	-0.768	-0.0192			0.000269	326.4	0.127
0.0357			-0.0543	-0.727	-0.0175	0.015			326.4	0.124
1.00			-0.0525	-0.742	-0.0187		-0.0508		326.6	0.111
0.647	-8.46e-5		-0.0525	-0.758	-0.0194				326.6	0.110
0.605			-0.0498	-0.748	-0.0191				326.7	0.100

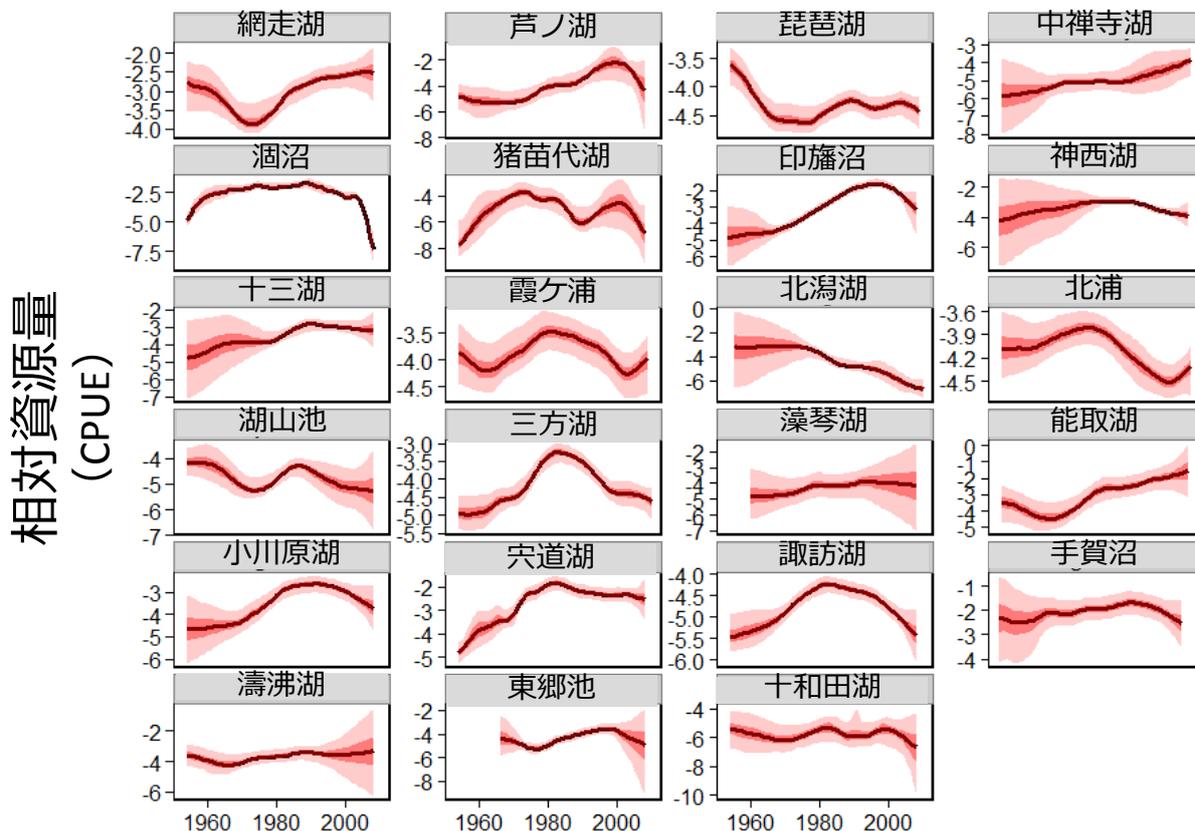
表(2)-7 沈水植物種の存続性についての解析結果

上位モデルの各パラメータの推定値

切片	標高	平均水深	COD	ソウギョ	非浸透率	緯度	pH	水面積	AIC	AW
0.795			-0.0783	-0.963	-0.0206			7.54e-4	263.4	0.210
0.850			-0.0855	-0.903	-0.0205				263.6	0.195
-0.196			-0.0863	-0.930	-0.0177	0.0258		7.88 e-4	264.7	0.109
-0.002			-0.0927	-0.872	-0.0179	0.0222			265.1	0.093
0.763	7.23e-5		-0.0760	-0.955	-0.0204			7.71 e-4	265.4	0.079
1.057			-0.0774	-0.961	-0.0203		-0.0344	7.73 e-4	265.4	0.079
0.803		0.00192	-0.0813	-0.903	-0.0201				265.4	0.079
0.803		-0.000377	-0.0790	-0.964	-0.0207			7.69 e-4	265.4	0.078

(5) 漁獲資源量の長期的変化と駆動因の解明

50年以上にわたる23湖沼の相対資源量の長期的なトレンドを明らかにできた(図(2)-6)。過去10年間は17湖沼、過去20年間は19湖沼、過去30年間は15湖沼で相対資源量の減少が認められた。

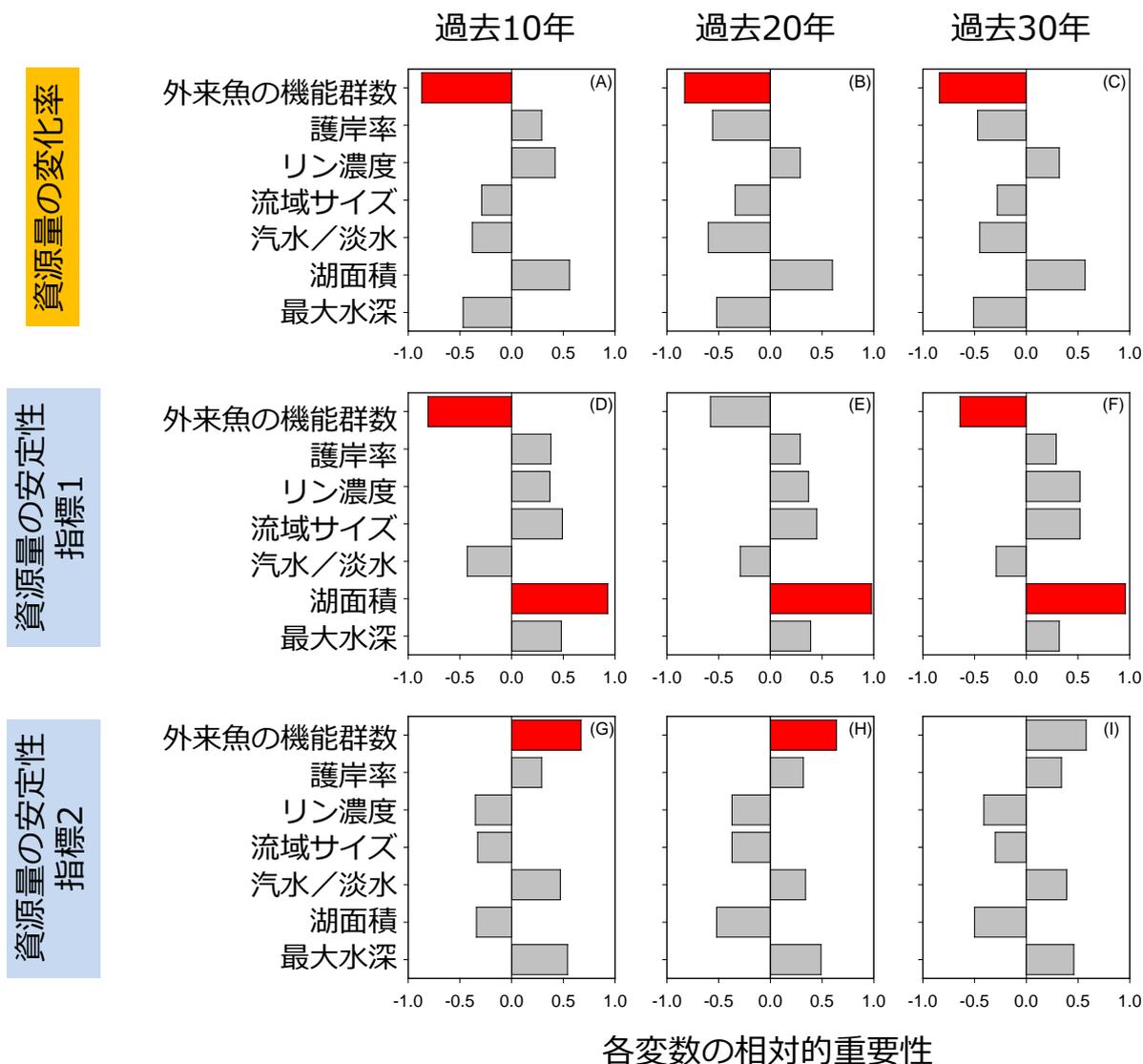


図(2)-6 全国23湖沼における相対資源量 (CPUE) の50年間の変化

過去50年間にわたる全漁獲物の相対資源量の変化。相対資源量の値は、自然対数で変換した値を図示している。太線は中央値、薄い灰色区域は95%信用区間、濃い灰色区域は50%信用区間を示す。曲線は、相対資源量の増減傾向を表しており、右肩下がりの場合は減少傾向を、右上がりの場合増加傾向を示している。

相対資源量の変化量に影響する駆動因解析の結果、魚食性外来魚の侵入が相対資源量の減少に大きく寄与しており(図(2)-7)、魚食性外来魚の機能群数が増加するほど相対資源量がより減少

することが明らかになった。また、湖面積が資源量の安定性に寄与しており（図(2)-7）、大きい湖沼ほど安定性が高く、小さい湖沼ほど不安定になることが明らかとなった。魚食性外来魚の侵入とそれらの機能群数の増加は、資源量そのものを減少させるだけでなく、資源量の安定性にも影響を及ぼす可能性が示唆された。



図(2)-7 モデルアベレージングから得られた過去10、20、30年の相対資源量の変化率および安定性に影響する各変数の相対的重要性

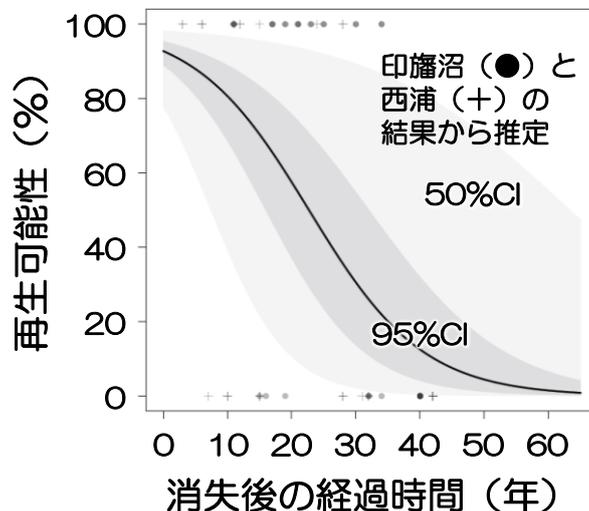
影響は-1 から+1 の値で示され、値が+1 に近いほど強い正の影響、-1に近いほど強い負の影響を示している。

安定性指標 1 では値が高いほうが、安定性指標 2 では値が低いほうが、安定性が高いことに注意。

(6) 散布体バンクからの再生可能性の時間的低下

一般化線形混合モデルによる解析結果からは、ばらつきは大きいものの、再生が確認できる確率は消失からの時間経過が増大すると指数関数的に低下するパターンが確認された（図(2)-8）。地上植生からの消失後、約20年が経過すると再生できる確率は約50%に、約40年が経過すると約

10%に低下するという、大まかな目安が得られた。水生植物の効果的な再生のためには、再生事業への早期の着手が重要であることが示唆された。



図(2)-8 地上植生からの消失後の時間経過に伴う散布体バンクを含む底質からの再生可能性の低下プロットは各植物種を示し、湖沼によりシンボルを変えている。実線は再生の成功率（中央値）と消失してからの経過時間の関係を示し、濃い灰色、薄い灰色はそれぞれ、50%、95%信用区間を示す（西廣ほか印刷中より改図）。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまでの湖沼管理では主に水質に関する指標が規準に用いられており、生物多様性の観点からの評価が不足していた。その主な原因の一つは、適切な指標が不足していたことにある。本研究では、多様性、希少性、残存性についての指標を提案するとともに、相補性解析と野結果とあわせて保全優先度を評価するスキームを示した。この成果は、湖沼のみならずさまざまな生態系・生物群に適用できるものである。

また豊富なデータをもとに資源量評価が行われている海面漁業に対して、内水面漁業では、データが不足・欠損している場合が多く、定量的な資源量評価は行われてこなかった。本研究では、状態空間モデルを用いて、欠損値の多い統計データから、相対資源量を推定し、全国23湖沼における過去50年間の資源量の変化を明らかにした。また、資源量の評価にとどまらず、資源量の安定性に関する知見を得た。世界的に見ても、内水面漁業資源の現状と傾向を明らかにした初めての研究と言える。

散布体バンクからの植生再生については、その有効性に関する研究は数多く行われてきたが、地上植生から消失してからの時間経過にともなう再生可能性の低下を定量的に示した前例はなかった。この成果は、土壌中の散布体密度の動態についての基礎研究および散布体バンクを活用した植生再生の可能性といった応用研究の両方に寄与するものといえる。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

本研究成果である湖沼の水生植物および淡水魚類の種多様性評価結果や、優先的に保全・モニタリングすべき湖沼の選定結果は、環境省のモニタリングサイト1000の陸水域湖沼分科会に提出し、モニタリングサイトの再選定、調査デザインや手法の見直しなどに活用された。

また、地方環境研究所、水産試験場、博物館など全国21の機関と湖沼の生物多様性情報ネットワークを構築するとともに、水生植物等の野外調査手法、標本作成方法、生物多様性の指標による評価手法等の普及を進めた。モニタリング実践を通じて、鳥取県東郷池においては、過去30年間採集記録がなかったセキショウモが発見され、保全対策が検討されるなど地域の環境行政にも貢献した。

本研究で得られた、湖沼の生物多様性に関する全国的な傾向や変化の特長についての知見を踏まえ、さまざまな地域での保全や自然再生の活動に寄与した。具体的には、霞ヶ浦（田村・沖宿・戸崎地区自然再生協議会、国土交通省：河川水辺の国勢調査アドバイザー委員会）、三方湖（三方五湖自然再生協議会）、麻機遊水地（麻機遊水地自然再生協議会）、印旛沼（千葉県：印旛沼水質改善技術検討会）、皇居外苑濠（環境省：千鳥ヶ淵等環境再生事業ワーキンググループ）、井の頭池（東京都西部公園緑地事務所）、三宝寺池・小合溜（東京都西部公園緑地事務所）に委員として参加し、知見を活用した提言等を行った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

全国湖沼の生物多様性評価および内水面漁業資源量の評価に関する成果が、生物多様性及び生態系サービスに関する総合評価報告書（JBO2）ならびにIPBES地域アセスメント（陸水分野）のゼロ・ドラフトに盛り込まれた。

6. 国際共同研究等の状況

①中国湖沼水生植物・淡水魚統一データベースの作成と多様性評価解析

【カウンターパート】

中国：中国科学院水生生物研究所のJun Xu博士の研究グループ

【連携状況】

中国湖沼を対象に、日本と共通フォーマットによる「湖沼データベース」「水生植物・淡水魚データベース」、「水生植物・淡水魚形質データベース」を作成した。日本で2回、中国での1回のミーティング等を通して、2本の研究論文を作成した（Xu et al. 2015, Su et al. 2015）。

②グローバルスケールにおける湖沼の淡水魚多様性の減少要因の解明

【カウンターパート】

カナダのケルソン大学：Andrew MacDougall博士、カールトン大学のJoseph Bennett博士

スウェーデン：ウメオ大学のKarin Anna Nilsson博士

【連携状況】

カナダ、スウェーデン、日本の湖沼の魚類相データと湖沼環境情報を統合し、淡水魚の多様性の減少要因を解明するプロジェクトを開始している。

③世界の湖沼における水生植物のβ多様性解析

【カウンターパート】

フィンランドのオウル大学：Janne Alahuhta博士

【連携状況】

本研究で作成した水生植物のデータベースを他国の湖沼におけるデータと統合・比較し、世界的な水生植物多様性パターンを解析し、成果を論文として投稿した（審査中）。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 西廣淳：保全生態学研究, 16, 139-148 (2011)
「湖の水位操作が湖岸の植物の更新に及ぼす影響」
- 2) S.S. MATSUZAKI, M. SAKAMOTO, K. KAWABE and N. TAKAMURA: *Freshwater Biology*, 57, 874-882 (2012)
“A laboratory study of the effects of shelter availability and invasive crayfish on the growth of native stream fish”
- 3) O. KATANO and S.S. MATSUZAKI: *The Biodiversity Observation Network in Asia-Pacific Region: Towards Further Development of Monitoring* (eds. Nakano S, Yahara T and Nakashizuka T), Springer, Tokyo, 431-444 (2012)
“Biodiversity of freshwater fishes in Japan in relation to inland fisheries”
- 4) J. NISHIHIRO: *Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring* (eds. S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA), Springer, Tokyo (2012)
“Conservation and restoration of lakeshore vegetation in Lake Kasumigaura”
- 5) Z. WANG, J. NISHIHIRO, and I. WASHITANI: *Ecological Research*, 27, 239-244 (2011)
“Regeneration of native vascular plants facilitated by *Ischaemum aristatum* var. *glaucum* tussocks: an experimental demonstration”
- 6) N. TAKAMURA and M. NAKAGAWA, M: *Ecological Research (Data paper)*, 27, 839 (2012)
“The densities of bacteria, picophytoplankton, heterotrophic nanoflagellates and ciliates in Lake Kasumigaura (Japan) monitored monthly since 1996”
- 7) N. TAKAMURA and M. NAKAGAWA, M: *Ecological Research (Data paper)*, 27, 837 (2012)
“Phytoplankton species abundance in Lake Kasumigaura (Japan) monitored monthly or biweekly since 1978”
- 8) 西廣淳：保全生態学研究, 17, 141-146 (2012)
「霞ヶ浦における水位操作開始後の抽水植物帯面積の減少」
- 9) S. S. MATSUZAKI, T. SASAKI and M. AKASAKA: *Global Ecology and Biogeography*, 22, 1071-1082 (2013)
“Consequences of the introduction of exotic and translocated species and future extirpations on the functional diversity of freshwater fish assemblages”

- 10) M. AIBA, M. KATABUCHI, H. TAKAFUMI, S.S. MATSUZAKI, T. SASAKI and T. HIURA: Ecology 94, 2873-2885 (2013)
 “Robustness of trait distribution metrics for community assembly studies under the uncertainties of assembly processes”
- 11) Z. WANG, J. NISHIHIRO and I. WASHITANI: Landscape and Ecological Engineering 11, 101-109 (2013)
 “Effects of traditional vegetation usage and management on the growth of facilitator keystone species in a moist tall grassland”
- 12) J. NISHIHIRO, M. AKASAKA, M. OGAWAN and TAKAMURA: Ecological Research (Data paper) 29, 369 (2014)
 “Aquatic vascular plants in Japanese lakes.”
- 13) J. NISHIHIRO, Y. KATO, T. YOSHIDA and I. WASHITANI: Ecological Research, 29, 981-989 (2014)
 “Heterogeneous distribution of a floating-leaved plant, *Trapa japonica*, in Lake Mikata, Japan, is determined by limitations on seed dispersal and harmful salinity levels.”
- 14) J. XU, G. SU, Y. XIONG, M. AKASAKA, J. GARCIA-MOLINOS, S.S. MATSUZAKI and M. ZHANG: Global Ecology and Conservation, 3, 288-296 (2015)
 “Complimentary analysis of metacommunity nestedness and diversity partitioning highlights the need for a holistic conservation strategy for highland lake fish assemblages”
- 15) S.S. MATSUZAKI and T. KADOYA: Ecological Applications, 25, 1420-1432 (2015)
 “Trends and stability of inland fishery resources in Japanese lakes: introduction of exotic piscivores as a driver”
- 16) Z. WANG, J. NISHIHIRO and I. WASHITANI: Landscape and Ecological Engineering, 11, 101-109 (2015)
 “Effects of traditional vegetation usage and management on the growth of facilitator keystone species in a moist tall grassland.”
- 17) G. SU, J. XU, M. AKASAKA, J. GARCIA-MOLINOS and S.S. MATSUZAKI: Global Ecology and Conservation, 4, 470-478 (2015)
 “Human impacts on functional and taxonomic homogenization of plateau fish assemblages in Yunnan, China”
- 18) 富田和宏・山ノ内崇志・西廣淳: 千葉生物誌, 65, 3-14 (2015)
 「湿地再生の可能性評価に向けた印旛沼低地排水路および休耕田における水生生物の分布調査」
- 19) 松崎慎一郎、西廣淳、山ノ内崇志、森明寛、蛭名政仁、榎本昌宏、福田照美、福井利憲、福本一彦、後藤裕康、萩原彩華、長谷川裕弥、五十嵐聖貴、井上栄壮、神谷宏、金子有子、小日向寿夫、紺野香織、松村俊幸、三上英敏、森山充、永田貴丸、中川圭太、大内孝雄、尾辻裕一、小山信、榊原靖、佐藤晋一、佐藤利幸、清水美登里、清水稔、勢村均、下中邦俊、戸井田伸一、吉澤一家、湯田達也、渡部正弘、中川恵、高村典子：保全生態学研究（印刷中）
 「純淡水魚と水生植物を指標とした湖沼の生物多様性広域評価の試み」

- 20) N. TAKAMURA and M. NAKAGAWA, M: Ecological Research (Data paper), 31, 287 (2016)
 “Photosynthesis and primary production in Lake Kasumigaura (Japan) monitored monthly since 1981”
- 21) 山ノ内崇志、赤坂宗光、西廣淳、角野康郎、高村典子：保全生態学研究（印刷中）
 「水生植物保全の視点に基づく保全上重要な湖沼選定の試み」
- 22) 西廣淳、赤坂宗光、山ノ内崇志、高村典子：保全生態学研究（印刷中）
 「散布体バンクを含む湖沼底質からの水生植物再生可能性の時間的低下」
- 23) S.S. MATSUZAKI, T. SASAKI and M. AKASAKA: Freshwater Biology, 61,1128-1142 (2016)
 “Invasion of exotic piscivores causes losses of functional diversity and functionally unique species in Japanese lakes”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 西廣淳：淡水生態学のフロンティア．吉田丈人、鏡味麻衣子、加藤元海編、共立出版[分担執筆] (2011)
 「湖沼における沈水植物の再生」
- 2) 西廣淳：ワイルドライフフォーラム 野生生物保護学会、2011秋/冬号, 9-11
 「霞ヶ浦の水位管理と湖岸湿地植生」
- 3) 西廣淳：保全生態学研究 17: 279-282 (2012)
 「霞ヶ浦における国土交通省による「水位運用試験」への意見」
- 4) 西廣淳、吉田丈人：Fukui Nature Guide ナチュラリスト. 23(2): 2 (2012)
 「三方湖におけるヒシの繁茂と管理」
- 5) 西廣淳：水環境学会誌 37: 88-91 (2014)
 「湖岸湿地の生物多様性の評価と保全」
- 6) 西廣淳：八郎潟流域研究 3:17-26 (2014)
 「関東平野の湖沼における水生植物の衰退と再生」
- 7) 西廣淳：水環境学会誌 37, 88-91(2014)
 「湖岸湿地の生物多様性の評価と保全」
- 8) 西廣淳：ダムと環境の科学IIIエコトーンと環境創出．谷田一三・江崎保男・一柳英隆（編）、京都大学学術出版会 [分担執筆] (2014)
 「霞ヶ浦の水位操作と湖岸植生」
- 9) 山ノ内崇志・西廣淳：水草研究会誌 102: 1-9. (2015)
 「十和田湖の水生植物相とコカナダモの侵入」
- 10) 西廣淳：湖沼近過去調査法 より良い湖沼環境と保全目標設定のために．占部城太郎（編）．共立出版 [分担執筆] (2014)
 「植生の再生に向けた土壌シードバンク調査」
- 11) 西廣淳：保全生態学の挑戦 空間と時間のとらえ方．宮下直・西廣淳（編）．東京大学出版会 [編集・分担執筆] (2015)
 「湖沼生態系回復と時間—タイムラグと不可逆性」

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) 松崎慎一郎、角谷拓：第59回日本生態学会全国大会 (2012年)
「全国24湖沼における50年の漁獲量トレンドの推定」
- 2) 松崎慎一郎、佐々木雄大、赤坂宗光：第59回日本生態学会全国大会 (2012年)
「全国スケールにおける人為的放流と絶滅をもたらす淡水魚類群集の機能的多様性の変化」
- 3) 松崎慎一郎、赤坂宗光：第45回日本魚類学会(2012年)
「全国37湖沼の純淡水魚類相の変化：マクロエコロジーからの視点」
- 4) S.S. MATSUZAKI, T. SASAKI and M. AKASAKA: International workshop on freshwater biodiversity conservation, 2012
“Temporal changes in taxonomic and functional diversity of native freshwater fish assemblages in Japanese lakes”
- 5) 松崎慎一郎、佐々木雄大、赤坂宗光：第60回日本生態学会 (2013年)
「全国37湖沼における純淡水魚類の種多様性と機能的多様性の時空間的变化」
- 6) 西廣淳：水草研究会第33回全国集会，群馬県富岡市，2011年8月
「日本の湖沼植生の変遷の把握に向けて」
- 7) J. NISHIHIRO: The 5th EAFES International Congress, 2011
“Long-term change in Japanese lake biodiversity: a preliminary analysis of aquatic macrophyte flora”
- 8) J. NISHIHIRO: ASLO Aquatic Science Meeting, 2012
“Toward the restoration of aquatic macrophytes: researches and practices in two Japanese lakes.”
- 9) 赤堀由佳、鏡味麻衣子、西廣淳：日本陸水学会第77回大会 (2012年)
「印旛沼においてオニビシ帯及びその刈り取りが水質に与える影響」.
- 10) 西廣淳. 日本陸水学会第77回大会 (2012年)
「湖沼生態系の中の浮葉植物」
- 11) 吉田丈人、西廣淳、加藤義和：日本陸水学会第77回大会 (2012年)
「福井県三方湖におけるヒシの急増とその湖内生態系への影響」.
- 12) 鏡味麻衣子、西廣淳：日本陸水学会第77回大会 (2012年)
「印旛沼におけるオニビシ群落の機能評価：適正な植生管理に向けて」.
- 13) S. S. MATSUZAKI, T. SASAKI and M. AKASAKA: The 11th INTECOL Congress, Ecology: Into the next 100 years, London, 2013
“Temporal changes in taxonomic and functional diversity of native freshwater fish assemblages in 40 Japanese lakes”
- 14) 松崎慎一郎、佐々木雄大、赤坂宗光：日本魚類学会シンポジウム「生物多様性解析のフロンティア：魚類の保全管理に活かす」 (2013)
「国内・国外移入と絶滅をもたらす純淡水魚類群集の機能的多様性の変化～全国スケールの評価」
- 15) 赤堀由佳、鏡味麻衣子、西廣淳、高木俊：日本陸水学会第78回大会 (2013)
「印旛沼におけるオニビシの縞状刈り取りが水質にもたらす効果」
- 16) 赤坂宗光、西廣淳、高村典子：日本生態学会第61回大会 (2014)
「保全優先湖沼・モニタリング優先湖沼の選定手順の検討と適用：水生植物を例に」

- 17) 中里恵理奈、西廣淳、鏡味麻衣子、吉田丈人：日本生態学会第61回大会（2014）
「ヒシの繁茂が湖沼の水質および水生生物に及ぼす影響：福井県三方湖でのトランセクト調査」
- 18) 赤堀由佳、鏡味麻衣子、高木、瀧本岳、吉田丈人・西廣淳：日本生態学会第61回大会（2014）
「印旛沼において浮葉植物オニビシが水質および底質に与える影響」
- 19) 西廣淳、赤坂宗光、高村典子：日本生態学会第61回大会（2014）
「日本の富栄養化湖沼における水生植物相の変化の特徴」
- 20) 峯岸竜也、中西諒、矢野徳也、西廣淳：日本生態学会第61回大会（2014）
「霞ヶ浦における特定外来種ミズヒマワリの分布の現状と拡散リスク」
- 21) S.S. MATSUZAKI and T. KADOYA: Ecological Society of America 99th Annual Meeting, Sacramento, USA, 2014
“Trends and stability of inland fishery resources in Japanese lakes: introductions of exotic piscivores as a drive”
- 22) 萩原富司、松崎慎一郎：日本陸水学会第79回大会（2014）
「霞ヶ浦における沿岸性魚類の変化と保全 主にタナゴ類について」
- 23) 松崎慎一郎：日本魚類学会47回大会 一般シンポジウム「日本の外来魚問題の現状を考える：外来生物法制定から10年で何が変わったのか？」（2014）
「全国スケールでみた外来魚の侵入が在来魚の多様性に与える影響」
- 24) 中西奈津美、高木俊、鏡味麻衣子、西廣淳：日本陸水学会第79回大会（2014）
「湖岸移行帯における昆虫・クモ類の抽水浮葉植物利用季節変化 湖岸移行帯における昆虫・クモ類の抽水浮葉植物利用季節変化」
- 25) 松崎慎一郎、角谷拓、中川恵、高村典子：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「過去30年間に霞ヶ浦で生じた一次生産者の構造と機能の急激な変化とその要因-レジームシフトパターンの分析-」
- 26) 西廣淳、赤坂宗光、山ノ内崇志、赤坂卓美、尾山洋一、松崎慎一郎、高村典子：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「広域データを活用した湖沼の水生植物多様性に影響する環境要因の検討」
- 27) 山ノ内崇志、西廣淳：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「過去の文献を自然再生に生かすー本州平野部の水辺植生の事例ー」
- 28) 望月通人、宮脇成生、萱場祐一、西廣淳：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「河川水辺の国勢調査のデータを用いた河川環境問題の検出：利根川下流域の植生を対象に」
- 29) 白土智子、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「自然再生の可能性評価に向けた井の頭池の散布体バンクの把握」
- 30) 中里恵理奈、西廣淳、鏡麻衣子、吉田丈人：日本生態学会第62回全国大会（2015）
「ヒシの分布状態が湖沼の水質および水生生物に及ぼす影響：福井県三方湖でのトランセクト調査」
- 31) A. TERUI, Y. MIAYZAKI, A. YOSHIOKA and S. S. MATSUZAKI：日本生態学会第62回全国大会（2015）
“A cryptic Allee effect: spatial contexts mask an existing fitness-density relationship”
- 32) 宮脇成生・西廣淳：日本生態学会第62回全国大会（2015）

- 「河川域における外来植物群落の変遷と河道特性の関係」
- 33) 宮脇成生、西廣淳：応用生態工学会第19回研究発表会 (2015)
「河川域における樹林の拡大と地形の関係」
- 34) 白土智子、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：応用生態工学会第19回研究発表会 (2015)
「湿地再生の可能性評価に向けた東京都内の散布体バンクの把握」
- 35) 舘野太一、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：応用生態工学会第19回研究発表会 (2015)
「印旛沼の水草再生に向けて～発芽に対するヘドロの影響～」
- 36) 富田和宏、山ノ内崇志、西廣淳：応用生態工学会第19回研究発表会 (2015)
「湿地再生の可能性評価に向けた印旛沼低地排水路および休耕田における水生生物の分布の把握」
- 37) 望月通人、宮脇成生、萱場祐一、西廣淳：応用生態工学会第19回研究発表会 (2015)
「河川における農地・草地利用と外来植物群落の関係性～利根川下流域における検討～」
- 38) 松崎慎一郎：日本生態学会第63回全国大会 (2016)
「観測からわかること、蓄積されたデータを広域で集めてわかること～長期生態学研究の果たす役割と課題～」
- 39) 白土智子、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：日本生態学会第63回全国大会 (2016)
「都市公園における湿地再生の可能性～東京都での検討～」
- 40) 舘野太一、林紀男、山ノ内崇志、西廣淳：日本生態学会第63回全国大会 (2016)
「干拓された湖沼における水生植物再生の可能性の検討 – 印旛沼での事例 –」
- 41) 山ノ内崇志、西廣淳：日本生態学会第63回全国大会 (2016)
「日本の湖沼における水生植物相データの現状とモニタリングの課題」

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

- 1) 西廣淳：「明るい湿地の価値と管理」、兵庫県豊岡市ビオトープ水田管理者勉強会, 2011年5月, 豊岡市コウノトリ文化館
- 2) 西廣淳：「霞ヶ浦（茨城県）の例」、日本生態学会第三回自然再生講習会「科学的知見は自然再生実施計画にどのように盛り込まれるのかーいくつかの湖沼や湿原を例にして」、2011年8月, 島根県松江市テルサ大会議室
- 3) 西廣淳：「茅葺屋根が守る絶滅危惧植物」、茨城県立自然博物館シンポジウム「植物からのSOS」、2012年3月, 茨城県立自然博物館
- 4) 西廣淳：「日本の湖沼における水生植物多様性と再生可能性の評価」、地域自然情報研究会（主催 NPO法人地域自然情報ネットワーク）、2012年4月21日, 新宿区環境学習センター
- 5) 西廣淳、松崎慎一郎：「日本の湖沼の生物多様性：過去50年の変化と再生の展望」、生物多様性観測・評価・予測研究の最前線2～愛知目標達成に向けての第一歩～（主催：環境省環境研究総合推進費新規戦略型課題S-9）、2013年1月6日, 東京大学弥生講堂
- 6) 西廣淳：「攪乱が好きな植物の暮らし」、勉強会（主催：うじいえ自然に親しむ会）、2013年4

月21日、さくら市ミュージアム荒井寛方記念館講座室

- 7) 西廣淳：「絶滅危惧植物保全の取り組み～「愛知目標」の達成に向けて」、筑波実験植物園開園30周年記念シンポジウム（主催：国立科学博物館），2013年6月1日，国立科学博物館総合研究棟
- 8) 西廣淳：「湖沼の生物多様性を守る研究」千葉県立我孫子高等学校，2013年6月17日。
- 9) 西廣淳：「生き物のつながりを取り戻す：保全生態学のはなし」，東京都立石神井高等学校，2013年7月17日
- 10) 西廣淳：「湿地の自然再生と土壌シードバンク」，特別講演会（主催：茅ヶ崎野外自然史博物館），2013年8月11日，茅ヶ崎里山公園パークセンター会議室
- 11) 西廣淳：「植物『再生』の資源としての埋土種子の可能性」，生物多様性地域連携を考える学習会（主催：NPO法人アースコンマツド），2013年9月14日，松戸市民会館
- 12) 西廣淳：「明るい湿地再生」，講演会（主催：NPO法人コウノトリ湿地ネット），2013年10月4日，兵庫県豊岡市田結地区公民館
- 13) 西廣淳：「生態系とその保全」，千葉県立船橋高等学校（SSH出張授業），2013年12月3日
- 14) 西廣淳：「湖沼の自然再生」，千葉県立佐原高等学校（特別講義），2013年10月10日
- 15) 西廣淳：「埋土種子の特性と植生再生での活用事例研究」，神代植物公園植物多様性センター公園管理者連絡会，2014年2月7日，神代植物公園植物多様性センター情報館
- 16) 西廣淳：「利根川の生き物を守る人のかかわり」，森林塾青水セミナー，2014年4月19日，国連大学
- 17) 西廣淳：「霞ヶ浦湖岸浮島湿原（妙岐の鼻）における萱利用と生物多様性」，日本茅葺き文化協会第5回茅葺きフォーラム，2014年6月14日，慶雲館（滋賀県長浜市）
- 18) 西廣淳：「保全生態学の視点」，東京学館高校（特別講義），2014年6月26日
- 19) 西廣淳：「印旛沼での水草の消失と復活」，東邦大学理学部公開講座「生き物の目からみた湖沼～印旛沼は健全か？～」，2014年7月21日，東邦大学薬学部
- 20) 西廣淳：「湖をとらえる多様な視点の共有と研究者の役割」，日本陸水学会公開シンポジウム，2014年9月13日，つくば国際会議場（茨城県つくば市）
- 21) 西廣淳：「里山生態系：人と自然のかかわりの過去・現在・未来」，平成26年度筑波大学自然保護寄付講座公開講座，2014年11月16日，筑波大学春日プラザ（茨城県つくば市）
- 22) 西廣淳：「湖沼の生態系管理と植生再生について」，湖山池の環境を考えるための勉強会，2014年12月8日，鳥取県庁（鳥取市）
- 23) 西廣淳：「21世紀を自然再生の時代に～保全生態学とはどのような科学か～」，佐高OB夢授業，2014年12月13日，千葉県立佐原高等学校（千葉県香取市）
- 24) 松崎慎一郎：「全国44湖沼における純淡水魚類の種多様性の変化」，第1回にじゅうまるプロジェクトパートナーズ会合『にじゅうまるCOP1』愛知目標19 分科会「つなぐ！活かす！地域の活動&生物多様性の広域情報」（2014）
- 25) 松崎慎一郎：「日本の湖沼漁業資源の現状と減少要因～持続的な利用と再生へ向けた課題と展望～」，2015年1月7日，推進費S9公開講演会「生物多様性観測・評価・予測研究の最前線4～生物多様性と第一次産業～」
- 26) 西廣淳：「水草の生態と保全」，平成26年度井の頭かいぼり隊スキルアップ研修，2015年1月

- 25日．東京都西部公園緑地事務所（東京都）
- 27) 西廣淳：「湖沼・湿地の植物の保全生態学」，国立科学博物館附属自然教育園「やさしい生態学講座」，2015年2月17日，国立科学博物館附属自然教育園（東京都港区）
 - 28) 西廣淳：「霞ヶ浦流域における外来植物の分布と対策の考え方」，（独）水資源機構霞ヶ浦用水管理所平成26年度環境学習会，2015年2月26日，（独）水資源機構霞ヶ浦用水管理所（茨城県かすみがうら市）
 - 29) 松崎慎一郎：「過去30年間に霞ヶ浦で生じた生態系の急激な変化とその要因ーレジームシフトパターンの分析」，2015年2月，公開シンポジウム「霞ヶ浦流域研究2015」
 - 30) 西廣淳：「かいぼりによる水草と環境の再生」，井の頭かいぼり隊講習会，2015年8月7日，東京都西部公園緑地事務所（東京都）
 - 31) 西廣淳：「刈り取って守る湿地の自然」，コウノトリ湿地ネット講演会，2015年11月7日，豊岡市立ハチゴロウの豊島湿地管理棟
 - 32) 西廣淳：「生物多様性を考慮した湖沼植生管理手法」，東京都葛飾区公園課プロデュース研修，2015年11月9日，葛飾区職員研修所
 - 33) 西廣淳：「湿地の利用と自然再生」，筑波大学自然保護寄附講座公開講座，2015年12月6日，筑波大学キャンパス春日プラザ

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) プレスリリース「日本全国の湖沼における水生植物“100年”の変遷を知る～データベースを作成：市民データも国際的な研究に活用～」（2014年4月28日、於東邦大学）
- 2) ICT教育ニュース（2014年5月1日）「湖沼の水生植物相の変遷を示すデータベースを公開」
- 3) Yahooニュース（2014年5月6日）「日本全国の湖沼の水生植物100年の変遷 東邦大がデータ公開」
- 4) 朝日新聞（2014年5月27日、千葉版）「水草分布データベース 水郷育ち、再生研究に奔走」
- 5) マイナビニュース（2014年10月8日）「井の頭池『かいぼり』で休眠から絶滅種復活」
- 6) ハザードラボ(web)（2014年10月8日）「池の「かいぼり」で絶滅種の水生植物が復活 井の頭公園」
- 7) 日本の研究.com（2014年10月8日）「井の頭池の「かいぼり」で絶滅種が復活 土壌シードバンクを活用」
- 8) サイエンスポータル（2014年10月8日）「井の頭池『かいぼり』で休眠から絶滅種復活」
- 9) 読売新聞（2014年10月11日、都民版、33面）「よみがえる井の頭池 「かいぼり」絶滅危惧の水草戻る」
- 10) 朝日小学生新聞（2014年10月30日、1面）「「かいぼり」で干した東京・井の頭池 種が目覚めた「絶滅」水草実は眠っていた11種類復活 「今ならまだ戻せる」」
- 11) 記者発表 プレスリリース「過去50年間にわたる全国湖沼の漁業資源量の変化を解明：魚食性外来魚の侵入により資源量が減少」（2015年1月22日、於国立環境研究所）。
- 12) 共同通信（2015年1月22日、ウェブ版掲載）「湖沼の魚介類減少、外来種原因 ワカサギ、コイ、シジミなど」（その他、東奥日報、岩手日報、福島民報、神戸新聞が共同通信社の記事を掲載）

- 13) 毎日新聞（2015年1月23日、全国版、26面）「外来種が原因 食用魚介半減 国立環境研調査 17湖沼、水質悪化よりダメージ」
- 14) 茨城新聞（2015年1月23日、地域版、21面）「全国の湖沼 魚介類減少 国立環境研 外来魚侵入が原因」
- 15) 常陽新聞（2015年1月23日、地域版、2面）「外来魚侵入で資源量減少」
- 16) 読売新聞（2015年1月25日、全国版、31面）「湖沼の漁業資源30年で45%減」
- 17) 日本経済新聞（2015年1月26日、全国版、14面）「湖沼の魚介類減る 国立環境研 原因は外来魚」
- 18) サイエンスポータル（2015年1月26日）「全国の湖沼で魚介類減少、外来魚が脅威」
- 19) 環境新聞（2015年1月28日、全国版、3面）「湖沼の天然魚介、過去10年で半減—国環研調査、外来種が影響」
- 20) 朝日新聞（2015年1月28日、全国版、6面）「外来魚で湖沼の資源量激減」
- 21) 科学新聞（2015年2月6日、全国版、4面）「外来魚の侵入で資源量が減少」
- 22) 読売新聞（2015年7月31日、地方版）「北潟湖 環境研試算 10年間で漁業資源7割減」
- 23) グローバルネット（2015年8月、297号）「魚食性外来魚の侵入により、全国湖沼の漁業資源が減少」

（6）その他

- 1) 松崎慎一郎：日本陸水学会 吉村賞（2015）

8. 引用文献

特に記載すべき事項はない。