

(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

生物・生態系環境研究センター

高村 典子・小熊 宏之・松崎 慎一郎

<研究協力者>

神戸大学大学院

理学研究科

角野 康郎

広島大学大学院

工学研究院

作野 裕司

常葉大学

社会環境学部

下田 路子

東京農工大学大学院

農学研究院

赤坂 宗光・岩井 紀子

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

角谷 拓・今井 葉子・石田 真也（平成23～24年度）

福森 香代子（平成24～27年度）・木寺 法子（平成25～27年度）

地方独立行政法人北海道立総合研究機構

環境・地質研究本部環境科学研究センター

木塚 俊和

平成23～27年度累計予算額：90,949千円（うち平成27年度：17,164千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

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、水生植物の長期消長データ、GISデータ、および水生生物分布と環境データを整備した。整備したデータを活用し、生物種の絶滅リスクの推定ならびに絶滅リスクを最小にする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が有効であることを示し、これを活用した地域全体での効果的な外来魚対策を提案した。兵庫県南部のデータを活用して、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提案すると同時に、クロロフィルa量の増加が生物多様性を低下させる重要な駆動因であることを示した。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域の分布が強く関係することを示し、ため池等の小規模水域の重要性を明らかにした。

[キーワード]

ため池、データベース、相補性解析、駆動因解析、広域評価

1. はじめに

ため池や水田等の農業に関わる淡水の生態系は、河川・湖沼等の氾濫原湿地が損失・劣化しているなか、今や、多くの絶滅危惧種の貴重な避難場所となっている。しかし、近年では都市化に

よる埋め立て、コンクリート護岸による築堤、富栄養化、外来種の侵入などの影響を受け、ため池の生物多様性も危機的な状況になっている¹⁾。このため、生物多様性の現状を把握し、損失の程度と原因を評価する手法を開発することが急務である。本研究では、ため池が多く存在するモデル地域を対象に、優先的に保全するため池の選定ならびに駆動因解析を行い、リモートセンシングやGISなどのツールを用いて広域で多数のため池の生物多様性評価を行うための技術開発を実施した。

2. 研究開発目的

本研究では、(1)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、生物と環境の調査データを整備すること、(2)モデル地域のため池を対象にして優先的に保全する場所を選定すること、(3)生物多様性の低下を引き起こす駆動因を解明すること、(4)全国スケールにおける生物分布情報と各種水域との関係性を調べ、ため池等の小規模水域の重要性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) 生物と環境情報の収集とデータベース化

兵庫県南部を対象に国立環境研究所で2000年、2001～2002年、2006～2008年に調査されたのべ128箇所のため池の生物・環境調査データを整備し、データベース化を行った。さらに、東広島市で1974～2011年（全415池）、兵庫県南部で1980～1999年（全109池）に研究者により実施された水生植物相の現地調査の結果（紙媒体）を整備した。

ため池の広域での生物多様性評価に向けた基盤情報として、野生生物の生育・生息場所として期待できる、ため池などの小規模止水域の分布を推定し、GISデータを整備した²⁾。本研究では面積が1 ha未満の天然の止水域もしくは堤高が15 m未満の人工的な貯水池を小規模止水域と定義した。ArcGISデータコレクションスタンダードパック Ver. 12R1（2012年刊行、ESRIジャパン株式会社）のWATER_SUIBU_ALL（フィーチャ数：187,598）を元データとして使用し、水面ポリゴンから天然湖、ダム湖、河川・入り江を除外した。さらに、下水処理場、工業用地、ゴルフ場などに含まれる、野生生物の生育・生息があまり期待できない水域を除外した。抽出した小規模止水域の空間分布を把握するために、国土の標準地域メッシュの二次メッシュ（約10 km四方の区画）毎に集計し地図化した。

(2) 保護区の選定

1) モデル地域における水生植物の長期観測記録に基づいた絶滅リスク評価

東広島市（全415池）で1974～2011年にかけて記録された62種の水生植物（維管束植物及び車軸藻類）について、種ごとに時系列消長推移行列を作成した（図(3)-1）。それをもとに、各種の池ごとの消失確率（前年「在」の状態から翌年「不在」になる確率）と再生確率（前年「不在」の状態から翌年「在」になる確率）を算出し、各種の池ごとの絶滅確率を500年先までシミュレーション推定した（個体群存続可能性分析）。シミュレーション中では、62種の埋土種子の寿命を一律で40年と設定した³⁾。シミュレーションは種ごと、池ごとに1000回ずつ繰り返した。こうして推定された各種の池ごとの絶滅確率をもとに、S-9-1統合班が開発した「地域内の全ての種の絶滅

確率の総和を最も効果的に最小化するように保全地を選択するツール（SPERS: Spatial Prioritizer based on Extinction Risks）」⁴⁾を用いて、当該地の各ため池の保全優先順位を決定し、結果を地図化した。

例：ジュンサイ

○ : 在 × : 不在

池ID	1980	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
AK82006	—	—	○	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
AK82007	—	—	○	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
AK82021	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×	×	○	×	○
SM75003	×	○	○	×	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
SM78007	○	○	—	—	—	—	○	○	○	○	○	○	○	—	○	×	—	—
SM80030	○	○	—	—	○	○	×	○	—	○	—	—	○	×	○	—	—	○

図(3)-1 時系列消長推移行列の例

また、兵庫県南部のデータベース（全104池）を用いて、1980年、1990年、1999年にかけて記録された58種の水生植物（維管束植物及び車軸藻類）について、種ごとに時系列被度推移行列を作成し、これを広島県のデータのように「在」「不在」データに変換した。広島県と同様の方法で、絶滅リスクに基づくため池の保全優先順位付けを行った。

2) 外来魚の侵入指標活用の検討

兵庫県南部の64箇所のため池を対象に、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）の有効性を検証した⁵⁾。道路からの視認性は空中写真から作成した水平空間解像度1 mの数値地形モデルに基づき、GISソフトウェア（ArcGIS 10.0）の可視領域計算によって評価した。その際、観測点は道路上に100 m間隔で発生させたポイントとし、オフセット（人の目線の高さとして観測点の標高値に加算する垂直距離）を1.5 m、最長視認距離を500 mに設定した。1 m²の各区画に与えられた視認地点数をため池の開放水面内で合計した。ダム水の供給形態をダム水源の受益地図、水路系統図、水利施設台帳を用いて調べた。視認地点数とダム水の供給形態を用いてブルーギルの在・不在を説明する二値の分類木モデルを作成した。クロスバリデーションを50回試行し、最も頻度の高かったひとつの最適化モデルを選択した。すべてのデータセットに対する最適化モデルの総誤判別率、感度（ブルーギルが在の地点を正しく在と予測する割合）、および特異度（ブルーギルが不在の地点を正しく不在と予測する割合）を計算した。

(3) 駆動因解析

1) 生物多様性を評価する統合指標の作成と駆動因の解明

生物多様性の広域評価のために、様々な分類群の生物の状態指標を、駆動因から一括して推定することができる統合指標を作成した⁶⁾。まず、兵庫県の64箇所のため池における調査結果から、水生植物・トンボ成虫・底生生物の各種数、水生植物・トンボの絶滅危惧種数、水生植物・トンボ幼虫・底生生物の機能的多様性を算出し、各ため池の生物多様性の8つの個別指標とした。個別指標に影響を与える駆動因として、富栄養化、生息地劣化、外来生物の3つのカテゴリーの最適指標を求めた。ベイズ統計の枠組みを用いて、これら生物多様性の個別指標と複数の駆動因との相

互の関係を定量化することにより8つの個別指標の値を一括して推定可能な統合指標を算出した。また、兵庫県南部の別の35箇所のため池でも本手法の有効性を検証した⁷⁾。

2) 気候と土地利用の変数を用いた評価

将来変化が予想される気候と土地利用に対するため池の生物多様性の応答を明らかにするために、水生植物とトンボ類の種数と、気候および土地利用を含む環境要因との関係を一般化線形モデル (GLM) で解析した。兵庫県の64箇所のため池の調査データを用い、生物多様性の指標として、在来の水生植物の種数 (全種、生育形ごと) とトンボ成虫と幼虫の種数 (全種、トンボ亜目、イトトンボ亜目) を目的変数とした。気候変数としては気温と降水量を用いた。ただし、本解析範囲では、気温と降水量が強い負の相関を示したため、降水量はGLMの説明変数から除外した。土地利用変数は、ため池の集水域面積に対する農地と市街地の面積率を用いた。水生植物の解析においては、気候と土地利用に加えて、護岸率とアメリカザリガニ個体数を局所要因として説明変数に含めた。また、トンボの解析においては、ため池周囲の森林率 (250 mバッファ内)、ブルーギル個体数、抽水植物被覆率、浮葉植物被覆率を説明変数に加えた。GLM解析にあたり、すべての説明変数は標準化し、説明変数のすべての組み合わせのモデルのうち、 $\Delta AIC < 2$ を満たすモデルの平均化を行った。

3) 水田棲両生類の個体群衰退をもたらす駆動因の解明

日本の水田は農業の機械化に伴い圃場整備が進み、また1980年代以降は耕作放棄地が増え続けている。本研究では、非耕作期水田に形成される一時的水域を主要な繁殖地とするニホンアカガエルを対象種とし、その個体群衰退をもたらす農地の土地利用変化に関する要因を検討した。千葉県の谷津田 (27箇所) で長期モニタリングされた卵塊数変動データを目的変数に、冬季水田の湛水面積率、耕作放棄率、圃場整備の有無、また、水田周辺の森林面積率及び市街地面積率の5つの環境変数を説明変数として一般化線形混合モデル (GLMM) で解析した。冬季水田における湛水面積を定量評価するため、衛星画像 (Landsat) を利用し一時的水域の面積推定に関する手法開発をおこなった。

(4) 全国スケールにおける生物分布情報と各種水域との関係性解析

(1) で整備した淡水域の分布データを用いて、水生植物の絶滅危惧種数と各種水域との関係性を統計的に調べた。日本植物分類学会絶滅危惧植物専門第一委員会の許可を得て、環境省2012年度版維管束植物レッドリストにおける全国の分布メッシュ情報を活用し、水生植物の絶滅危惧種数 (CR [絶滅危惧 I A類]、EN [絶滅危惧 I B類]、VU [絶滅危惧 II類] の合計値) を2次メッシュ単位で集計した。また、全国の小規模止水域、天然湖、ダム湖、河川・入り江のGISデータを用いて、水域数、面積、周囲長を2次メッシュ単位で集計した。水生植物に対する各種水域の相対的な関係の強さを評価するために、固定効果として4種類すべての水域を含む、空間自己相関を考慮した条件付き自己回帰モデルを作成した。解析は全国レベルとエコリージョンレベルの2つの空間スケールで実施した。エコリージョンとして、環境省の「生物多様性保全のための国土区分」

(<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=2908>) の10区分を用いた。ただし、瀬戸内地域と薩南・琉球諸島には天然湖を含むメッシュが1つしか存在しなかったため、これらのエコリージョンでは

固定効果から天然湖を除外した。また、小笠原諸島には天然湖を含むメッシュが存在せず、また、ダム湖および河川・入り江を含むメッシュもそれぞれ1つおよび2つしか存在しなかったため、このエコリージョンは解析から除外した。

4. 結果及び考察

(1) 生物と環境情報の収集とデータベース化

兵庫県南部と埼玉県比企郡について、ため池の生物と環境のデータを整備しメタデータ集としてまとめた。野生生物の生育・生息場所として期待できる小規模止水域はいくつかの地域にまとまって分布する傾向を示し、瀬戸内海沿岸では、1メッシュ（10 km×10 km）あたり442～903箇所と高密度に分布していた²⁾。

(2) 保護区の選定

1) モデル地域における水生植物の長期観測記録に基づいた絶滅リスク評価

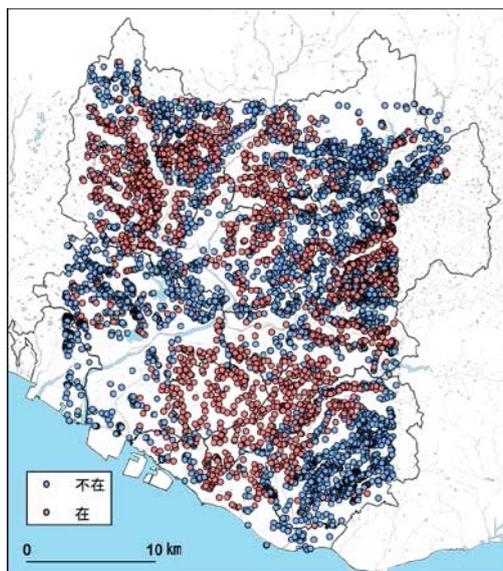
東広島市のため池に生育する水生植物を用いた個体群存続可能性分析の結果、今後100年以内に期待絶滅確率が80%を超えると推定された種が20種に達した。また、絶滅確率が高いと推定された種群には、現行では普通種とされている種も多く含まれた。これらの結果は、1970年代以降の本モデル地域でのため池群における水生植物の減少の程度が大きかったことを反映していると共に、その保全の緊急性が高いことを示唆している。水生植物62種の池ごとの絶滅確率をもとに、SPERSを用いて当該地のため池の保全優先順位付けを行った。保全成功率が50%以下の場合には、保全対象とする池を増やしても目標に対する効果は向上しないと推定された。一方、保全成功率が100%の場合には、13箇所の池を保全しただけですべての種の保全を達成するとされた。

兵庫県についても同様に解析したところ、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42種にも達した。これらの種の絶滅確率を元に、ため池の保全優先順位付けを行った。保全優先度の高いため池は、水生植物各種の生育場所の違いを反映し、山間部から市街地にまで広くみられた。

2) 外来魚の侵入指標活用 of 検討

生物調査を行った64箇所のため池の道路からの視認地点数は0～472,752地点（中央値26,239地点）となり、池間で大きく異なっていた⁵⁾。ため池の水源タイプを調べた結果、ダム水が供給されない池は31箇所、ダム水が直接・間接的に供給される池は33箇所と、調査した池のおよそ半数でダム水が流入していた。ブルーギルの在・不在を説明する分類木モデルを作成した結果、ダム水の補給形態がブルーギルの在・不在に最も強く影響しており、ダム水が直接的または間接的に補給されるため池の82%（27箇所）の池でブルーギルが生息していた。ダム水が補給されていない池（31箇所）では、道路からの視認性が高い（42,669地点以上）池でブルーギルが生息する傾向が見られた。モデルの誤分類率、感度、特異度はそれぞれ17%、0.93、0.67となり、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することができた。作成した分類木モデルを兵庫県南部の全ため池に適用した結果、6003箇所中2057箇所（34%）のため池でブルーギルが侵入していると推定された（図(3)-2；表(3)-1）。推定結果は外来魚の侵入に対する予防や、分布拡大の抑制に活用することができる。ブルーギルが不在と推定された池では、外

来魚の侵入を重点的に予防する施策が有効である。



図(3)-2 兵庫県南部のため池における分類木モデルで推定したブルーギルの在・不在

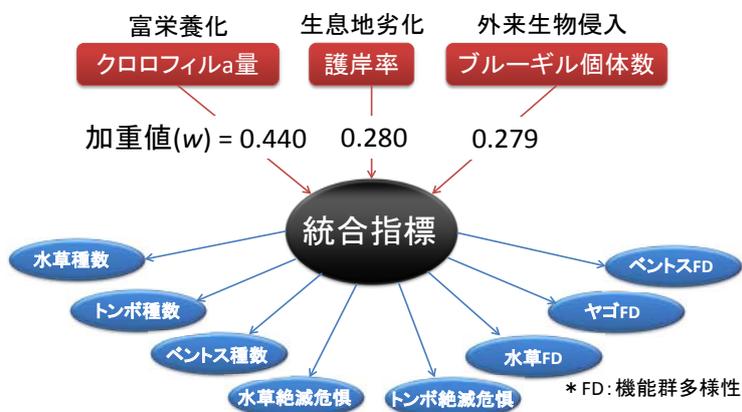
表(3)-1 視認地点数とダム水の供給の各組合せにおけるため池数の集計値
括弧内は評価した全ため池数（6003箇所）に対する割合（%）を示す。

		ダム水の供給	
		有	無
視認地点数	≥ 42,669	448 (7.5)	216 (3.6)
	< 42,669	1,393 (23.2)	3,946 (65.7)

(3) 駆動因解析

1) 生物多様性を評価する統合指標の作成と駆動因の解明

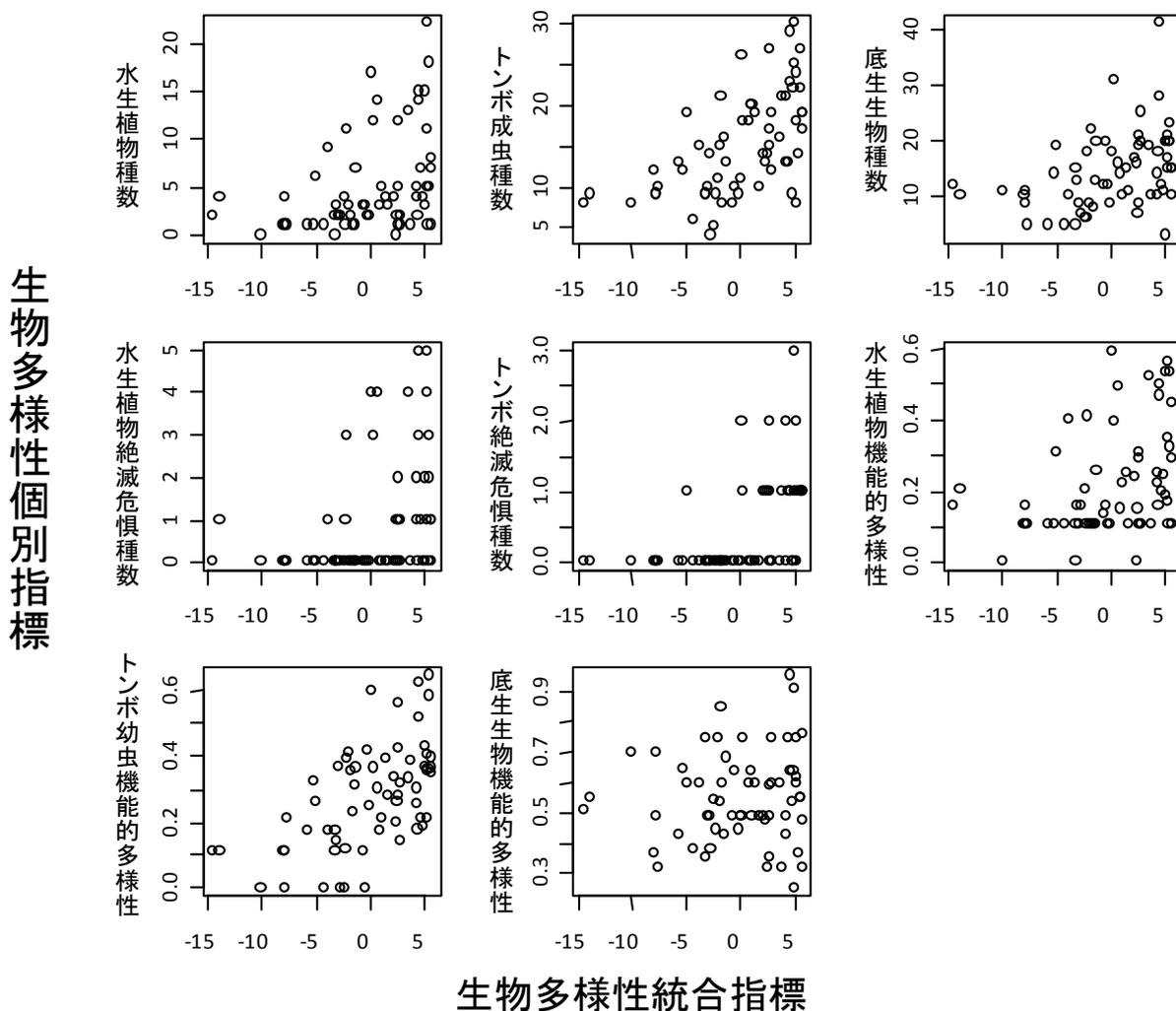
富栄養化、生息地劣化、外来種の駆動因を説明する最適変数として、おのおのクロロフィルa量、コンクリート護岸率、ブルーギルの個体数が選ばれた。さらに、すべての変数の中ではクロロフィルa量の影響が最も大きかった（図(3)-3）⁶⁾。



図(3)-3 統合指標の枠組み

加重値（w）は各駆動因の統合指標への影響度を示す。Kadoya et al. (2011)⁶⁾ をもとに作成。

この3つの駆動因から算出した統合指標は、生物多様性の個別指標の挙動を良く説明した（図(3)-4）。また、兵庫県南部の別の35箇所のため池でも本手法の有効性が確認された⁷⁾。



図(3)-4 統合指標モデルから算出された生物多様性統合指標と各ため池で観察された生物多様性個別指標との関係

Kadoya et al. (2011))⁶⁾を改変

2) 気候と土地利用の変数を用いた評価

気温は在来水生植物の全種数および沈水・浮葉・抽水植物種数に対して、また、集水域の農地・市街地率は沈水植物種数に対して負に影響していた（表(3)-2）。また、局所要因では、アメリカザリガニ個体数が浮遊植物以外の各種数に、護岸率は抽水植物種数にそれぞれ負に影響していた。回帰係数によれば、局所要因に比べて気候・土地利用要因の影響度は小さかった。次に、トンボについては、イトトンボ亜目の幼虫を除く各種数に対してため池周囲のバッファ森林率が正に影響していた（表(3)-3）。気温はトンボ亜目の種数に対して負に影響していたが、回帰係数によれば、その影響度はバッファ森林率に比べて小さかった。以上の結果から、ため池の生物多様性の維持においては、気候変動への対応よりも、土地利用の変化や外来生物および生息地の劣化など

の局所要因による影響の対策が重要と考えられた。なお、本解析範囲では年平均気温が 14.7～15.1℃の範囲でしか解析できていないため、温暖化の影響については更なる検討が必要と考えられる。

表(3)-2 水生植物種数を応答変数としたGLMによる、モデル平均化後の回帰係数
有意な説明変数のみ表示している。

応答変数	気候要因	土地利用要因		局所要因	
	気温	集水域 農地率	集水域 市街地率	護岸率	アメリカザリガニ 個体数
全種	-0.26***				-0.44***
沈水	-0.39*	-0.32*	-0.67*		-2.47*
浮葉	-0.35*				-2.17*
浮遊					
抽水	-0.20*			-0.27**	-0.27*

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

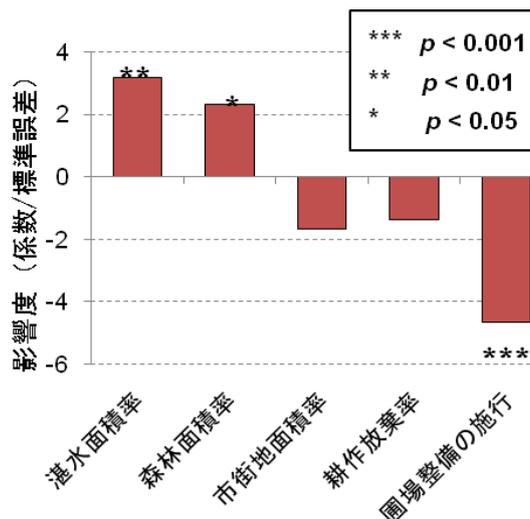
表(3)-3 トンボ種数を応答変数としたGLMによる、モデル平均化後の回帰係数
有意な説明変数のみ表示している。

応答変数	気候要因	土地利用要因			局所要因		
	気温	集水域 農地率	集水域 市街地率	バッファ 森林率	ブルキル 個体数	抽水植物 被覆率	浮葉植物 被覆率
全種(成)	-0.12**	+0.10*		+0.27***			
全種(幼)				+0.24**	-0.33***		
トンボ(成)	-0.12**			+0.26***			
トンボ(幼)	-0.18*			+0.34***	-0.21*		
イトトンボ(成)				+0.30**			
イトトンボ(幼)			-0.32*		-0.60**		+0.21*

*** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

3) 水田棲両生類の個体群衰退をもたらす駆動因の解明

衛星画像解析により、冬季水田に形成される浅い水域抽出に必要な閾値（中間赤外領域）を特定した。その閾値を用いて湛水面積率を算出し、耕作放棄率及び圃場整備との関連性について解析した結果、まず、耕作放棄率の増加及び圃場整備の施行は湛水面積率を減少させることが確認された。GLMM解析の結果、卵塊数に対し冬季水田の湛水面積率と水田周辺の森林面積率が正に、圃場整備の施行は負に影響することが明らかとなった（図(3)-5）。最近の20年で調査地周辺の森林面積率にはほぼ変化がないことも確認されたことから、圃場整備の施行及び耕作放棄の増加によって繁殖に適した水域が減少したこと、また圃場整備の施行による水域減少以外の環境変化（例えば餌場となるあぜ道の減少やコンクリート側溝の設置）がニホンアカガエルの個体群衰退に強く寄与していることが明らかとなった。



図(3)-5 ニホンアカガエルの卵塊数に対して5つの環境要因が及ぼす影響度の比較

(4) 全国スケールにおける生物分布情報と各種水域との関係性解析

全国スケールの条件付き自己回帰モデルでは、すべての水域の回帰係数が有意な正の値を示し、その絶対値は小規模止水域（周囲長）で最も大きかった。また、本州、四国、九州を含む多くのエコリージョンで、小規模止水域の回帰係数が他の水域より大きかった。このことは、水生植物の絶滅危惧種の維持において、小規模止水域の重要性を示唆している。周囲長を用いたモデルの記述力が最も大きかったことから、水生植物の生育場所として沿岸帯の重要性が示唆された。小規模止水域以外では、天然湖（数）は北海道から北陸・山陰地方にかけて、河川・入り江（周囲長）は北陸・山陰地方を除く本州、四国、九州および薩南・琉球諸島で、それぞれ有意な正の回帰係数を示した。以上のように、水生植物の絶滅危惧種の分布に対する各水域の関係性の強さは地域によって異なることから、絶滅危惧種の保全においてはこれらの地域性を考慮することが重要と考えられた。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

ため池に生育する水生植物の長期消長データ、水生生物の分布と環境データ、ため池を含む小規模止水域のGISデータを整備した。小規模止水域の分布データは、ため池の生物多様性を広域評価するための基盤情報として意義は大きい。生育状況の時間的変化が比較的大きいという水生植物の特性を考慮し、長期消長データに基づいた絶滅確率の推定と、保護区選択手法を構築した。兵庫県南部のデータを活用して、様々な分類群の生物の状態指標を一括して推定する統合指標を提案し、ため池の生物多様性をより簡易に評価することが可能となった。また、環境変動の大きい一時的水域の時空間分布を広域で評価する手法を構築した。また、湿地性生物の個体群維持における冬季湛水水田の重要性が定量的に評価された。さらに、国内の陸水生物多様性に対するため池などの小規模止水域の重要性について、全国やエコリージョンなどの広域スケールで初めて検証された。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

兵庫県加西市の生物多様性地域戦略策定に向けて、国立環境研究所が調査したため池の生物データを提供するとともに、本研究成果である統合指標による生物多様性の評価と視認性によるブルーギルの分布推定の結果を提示し、市内ため池の生物多様性の保全戦略について、市関係部局、自然保護団体役員と協議した（2013年1月23日、加西市役所、担当：木塚俊和、福森香代子）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

特に記載すべき事項はない

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) N. IWAI, T. KAGAYA and R. A. ALFORD: *Oikos*, 121, 313-320 (2012)
“Feeding by omnivores increases food available to consumers”
- 2) 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”
- 3) M. TAO, Y. SAKUNO, H. OGUMA, M. AKASAKA and N. TAKAMURA: *Proceedings of The 33rd Asian Conference on Remote Sensing* (2012)
“Feasibility study on automatic extraction of water quality in storage reservoir using ALOS AVNIR-2 data”
- 4) N. TAKAMURA: *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”
- 5) S. ISHIDA, T. KADOYA and N. TAKAMURA: *Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Integrative Observations and Assessments* (eds. S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA), Springer Japan, 295-310 (2013)
“An integrated indicator of biodiversity in agricultural ponds: definition and validation”
- 6) 今井葉子、角谷拓、上市秀雄、高村典子：保全生態学研究, 19, 15-26 (2014)
「市民の生態系サービスへの認知が保全行動意図に及ぼす影響：全国アンケートを用いた社会心理学的分析」
- 7) 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”
- 8) 石田真也、高野瀬洋一郎、紙谷智彦：保全生態学研究, 19, 119-138 (2014)

「新潟県越後平野の水田地帯に出現する水湿生植物：土地利用タイプ間における種数と種組成の相違」

- 9) 秋山吉寛、木塚俊和、松本修二：Molluscan Diversity, 4, 24-28 (2015)
「兵庫県内における淡水二枚貝フネドブガイ（二枚貝綱：イシガイ目）の生息状況」
- 10) 秋山吉寛、木塚俊和、池澤広美：茨城県自然博物館研究報告, 18, 11-18 (2015)
「今村泰二コレクションに収蔵されたウチダカイダニとカイダニ（ダニ目，カイダニ科）の形態比較」
- 11) K. FUKUMORI, E. YOSHIZAKI, N. TAKAMURA and T. KADOYA: Ecosphere, 7, e01211 (2016)
“Detritivore diversity promotes a relative contribution rate of detritus to the diet of predators in ponds”
- 12) 木塚俊和、中村雅子、牛山克巳、山田浩之：湿地研究（印刷中）
「収支の計算残差を用いた渡り性水鳥による過栄養湖への栄養塩負荷量の推定」
- 13) 今井葉子、野波寛、高村典子：保全生態学研究,21,1-14 (2016)
「ため池保全の環境行動意図を規定する要因の分析：農家と非農家の間でのコモンズ評価の差異に着目した検討」

<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」

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない

（２）口頭発表（学会等）

- 1) N. TAKAMURA: The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Assessment of biodiversity in the freshwaters of Eastern Asia”
- 2) N. IWAI, T. KADOYA, M. AKASAKA, S. ISHIDA and N. TAKAMURA: The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Biomass or Diversity? - How aquatic plants affect Odonata”
- 3) T. AKASAKA, Y. YAMAURA, F. NAKAMURA: The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Graph-theoretic approaches for the forest network management in agro-ecosystems at multi-resolution: the significance of riparian forest patch”
- 4) 田尾真、作野裕司、小熊宏之、赤坂宗光、高村典子：第52回日本リモートセンシング学会学術講演論文集（2012）
「ALOSデータを使った東広島市周辺ため池のクロロフィルa分布特性」
- 5) N. TAKAMURA, T. KIZUKA, Y. SAKUNO, S. ISHIDA, T. KADOYA, and M. AKASAKA: International Workshop on Freshwater Biodiversity Conservation in Asia, Fukuoka, Japan, 2012
“Assessment of biodiversity in irrigation ponds as refugia for aquatic life”
- 6) 木塚俊和、赤坂宗光、角谷拓、高村典子：ため池の自然研究会第22回研究発表会（2012）

- 「ため池の視認しやすさと外来魚の分布との関係～兵庫県南部の事例～」
- 7) 石田真也、角谷拓、竹中明夫、赤坂宗光、下田路子、角野康郎、石井禎基、高村典子：第60回日本生態学会全国大会 (2013)
「長期消長データに基づく水生植物の絶滅リスク評価とため池の保全優先順位付け」
 - 8) 木塚俊和、深澤圭太、石田真也、高村典子：第60回日本生態学会全国大会 (2013)
「ため池の栄養塩推定モデルの開発」
 - 9) 秋山吉寛、木塚俊和、高村典子：日本貝類学会平成25年度大会 (2013)
「ドブガイ類の質から評価したカイダニの宿主依存性」
 - 10) 高村健二、上野隆平、大林夏湖、今藤夏子、玉置雅紀、木塚俊和：第24回ユスリカ研究集会 (2013)
「兵庫県南部ため池群におけるユスリカ群集調査－DNAバーコーディングの活用－」
 - 11) 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”
 - 12) N. TAKAMURA, S. ISHIDA, T. KADOYA, A. TAKENAKA, M. AKASAKA, M. SHIMODA, Y. KADONO: The 32nd Congress of the International Society of Limnology, Budapest, Hungary, 2013
“The role of irrigation ponds in freshwater biodiversity and their conservation in Japan”
 - 13) 木塚俊和、石田真也、角谷拓、高村典子、赤坂宗光：日本陸水学会第78回大会 (2013)
「地理空間情報から推定した全国のため池の分布とその環境」
 - 14) 今井葉子、角谷拓、上市秀雄、高村典子：日本社会心理学会第54回大会 (2013)
「生態系サービスへの認知に影響を与える要因の検討：幼少期および現在の居住地の自然環境に着目して」
 - 15) 木塚俊和、早坂大亮、松本修二、伊藤倫之、高村典子：第61回日本生態学会大会 (2014)
「ため池の堤体改修における環境配慮工法は草原性植物多様性の保全に有効か？」
 - 16) 高原輝彦、源利文、土居秀幸、木塚俊和、満尾世志人、角田裕志、高村典子：第61回日本生態学会大会 (2014)
「オオクチバス等の外来魚モニタリングにおける環境DNA技術の有用性の検証－調査手法の違いによる結果の比較を通して－」
 - 17) 木寺法子、角谷拓、高村典子、小賀野大一、長谷川雅美：第61回日本生態学会大会 (2014)
「両生類の分布の規定要因：千葉県为例」
 - 18) 作野裕司、王作敏、川村健介：日本リモートセンシング学会第56回学術講演会 (2014)
「東広島のため池における分光反射率と水質の関係」
 - 19) 作野裕司、王作敏、川村健介：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会 (2014)
「LCI手法を応用したLandsat-8による東広島のため池のクロロフィルa濃度推定」
 - 20) 坂元洋介、作野裕司：日本リモートセンシング学会第57回学術講演会 (2014)
「ため池観測用小型ラジコン調査船に搭載するGPSおよび水深機の精度評価」
 - 21) Z. WANG, K. KAWAMURA, Y. SAKUNO, X. FAN and Z. GONG: The 57th autumn conference of the remote sensing society of Japan, Kyoto, Japan, 2014
“Estimating water chlorophyll-a and TSS content in irrigation pond at Higashi-Hiroshima from field

hyperspectral measurement”

- 22) 今井葉子、上市秀雄、角谷拓、高村典子：野生生物と社会学会第20回大会（2014）
「社会的規範が市民の環境保全行動に及ぼす影響：Webアンケートを用いた分析」
- 23) 福森香代子、吉崎えり奈、高村典子、角谷拓：第62回日本生態学会全国大会（2015）
「リター分解者の種多様性が腐食連鎖の流れを変える：安定同位体比から見た池の食物網」
- 24) 今井葉子、上市秀雄、高川晋一、角谷拓、高村典子：第62回日本生態学会全国大会（2015）
「生物多様性に対する市民意識：保全行動を規定する心理的要因」
- 25) 木寺法子、角谷拓、山野博哉、深澤圭太、高村典子、小賀野大一、若林恭史、竹澤真人、長谷川雅美：第62回日本生態学会全国大会（2015）
「ニホンアカガエルの個体群衰退をもたらす要因の検討—衛星画像データを用いた要因解析—」
- 26) 木寺法子、角谷拓、山野博哉、高村典子、小賀野大一、若林恭史、竹澤真人、長谷川雅美：日本爬虫両棲類学会第54回大会（2015）
「長期データに基づくニホンアカガエル個体群衰退の要因検討—衛星画像を用いた冬季水田の湛水面積評価—」

（3）出願特許

特に記載すべき事項はない

（4）シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

- 1) Biodiversity assessment of freshwater ecosystems: for the new collaboration among Asian countries
（2012年3月19日、The 5th EAFES International Congressにおけるシンポジウム、企画者：中野伸一・高村典子、龍谷大学、観客80名）
- 2) 「ため池の生物多様性の保全」にかかる研究成果報告会～兵庫県東・北播磨のため池に棲む生きものと人との関わり～（2013年7月6日、兵庫県加古川総合庁舎2階会議室、観客90名）

（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

- 1) 誌上発表1)論文に関して、第1著者の「田尾 真」（広島大学大学院工学研究科院生）が国際会議ACRS2012（The 33rd Asian Conference on Remote Sensing）のポスターセッションで発表し、「JSPRS AWARD」を受賞した。

8. 引用文献

- 1) N. TAKAMURA: 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”

- 2) 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」
- 3) 西廣淳、赤坂宗光、山ノ内崇志、高村典子：保全生態学研究（投稿中）
「湖沼底質の土壌シードバンクからの水生植物の再生可能性の時間経過に伴う低下」
- 4) T. KADOYA, A. TAKENAKA, F. ISHIHAMA, T. FUJITA, M. OGAWA, T. KATSUYAMA, Y. KADONO, N. KAWAKUBO, S. SERIZAWA, H. TAKAHASHI, M. TAKAMIYA, S. FUJII, H. MATSUDA, K. MUNEDA, M. YOKOTA, K. YONEKURA and T. YAHARA: PLoS ONE, 9(6), e98954 (2014)
“Crisis of Japanese vascular flora shown by quantifying extinction risks for 1618 taxa”
- 5) T. KIZUKA, M. AKASAKA, T. KADOYA and N. TAKAMURA: PLoS ONE, 9(6), e99709 (2014)
“Visibility from roads predict the distribution of invasive fishes in agricultural ponds”
- 6) T. KADOYA, M. AKASAKA, T. AOKI and N. TAKAMURA: Ecological Indicators, 11, 1396-1402 (2011)
“A proposal of framework to obtain an integrated biodiversity indicator for agricultural ponds incorporating the simultaneous effects of multiple pressures”
- 7) S. ISHIDA, T. KADOYA and N. TAKAMURA: Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Integrative Observations and Assessments (eds. S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA), Springer Japan, 295-310 (2013)
“An integrated indicator of biodiversity in agricultural ponds: definition and validation”

(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

北方生物圏フィールド科学センター

富士田 裕子

<研究協力者>

酪農学園大学

農食環境学群

鈴木 透

法政大学

人間環境学部

高田 雅之

北海道大学

北方生物圏フィールド科学センター

小林 春毅

平成23～27年度累計予算額：39,648千円（うち平成27年度：6,999千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

日本の湿地は、明治・大正時代の面積の61.1%に当たる1289.62km²が既に消失し、残存する湿地においても地下水位低下や湿地の乾燥化、富栄養化などによって湿地生態系の劣化や面積の縮小が続いている。近年、湿地の持つ様々な機能が見直され、湿地の保護や保全が重要な課題となっている。本研究は、湿地の生物多様性の評価法の開発と低下要因の解明、効果的な保全策の提案を目的に「湿地の生物多様性評価と保全優先湿地の選定」と「湿地劣化の駆動因の解明」の2つの課題に取り組んだ。

保全優先湿地を選定する情報源として、北海道では既存の調査情報を利用した湿地性植物のデータベースを作成し、全国では第5回自然環境保全基礎調査の湿地調査データを活用した。その結果、生物分布情報（北海道：湿地性植物、全国：植物・鳥類）を基準に選定した保全優先湿地の多くが、保護地域等に指定されていない現状が明らかになった。本研究で選定した保全優先湿地を今後の湿地の保護政策に活かすことが重要である。また、生物情報を基にしたデータベースを作成し、それを基に複数の解析手法を用いて保全優先湿地を選定することが、湿地の生物多様性の評価に直結し、今後の保護地域の選定や湿地の保全や再生に貢献できることが示された。

北海道の3つの低地湿地について、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。北海道の低地湿地の保全には、排水の影響を緩和する保全・再生事業の推進が求められる。湿地の生物多様性の低下は湿地が位置する地域や周囲の環境要因により異なったプロセスで進行する。従って、個々の湿地の劣化プロセスを解明するには、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を、対象湿地の状況に応じて必要な調査解析法を適切に組み合わせ、劣化プロセスを明らかにした上で保全対策を立案する必要がある。

[キーワード]

保全優先湿地、湿地性植物、データベース、相補性解析、駆動因解析

1. はじめに

日本の湿原の多くは、人の活動域である沖積平野や盆地などに位置し、開発や農地化などの土地開発・土地改良の対象地となってきた。明治・大正時代に存在した湿地面積の61.1%に当たる1289.62km²が既に消失し、現在日本に残存する湿地は820.99km²とされている¹⁾。さらに残存湿地においては地下水位低下や湿地の乾燥化、土砂の流入や富栄養化などによる湿地生態系の劣化²⁾や面積の縮小が続いている³⁾。

湿地は特有の動植物が生息・生育する生物多様性に富むホットスポットであり、水質の浄化や地球温暖化ガスの貯蔵などの機能を有する地球環境にとって重要な生態系の1つで、湿地の保護や保全は国際的にも喫緊の課題となっている。

2. 研究開発目的

本研究は、湿地の生物多様性の評価法の開発と低下要因の解明、効果的な保全策を提案することを目的に「湿地の生物多様性評価と保全優先湿地の選定」と「湿地劣化の駆動因の解明」の2つの課題に取り組んだ。

湿地の生物多様性評価と保全優先湿地の選定は、残存する湿地面積の約86%を占める北海道の湿地と全国の湿地全体とで実施する。保全優先湿地を選定する情報源として、北海道では既存の調査情報を利用した湿地性植物のデータベースを作成し、全国では唯一の広域調査である第5回自然環境保全基礎調査の湿地調査データ⁴⁾を活用する。そして、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モニタリング手法の提言を行う。

湿地の生物多様性劣化は、湿地の立地環境や周囲の開発状況などでその課題や駆動因が異なる可能性があるため、北海道に4つのモデル湿地を設定し、それぞれの湿地で湿地劣化要因の解明を行ない、湿地劣化プロセスに基づく自然再生手法の提案を行う。

3. 研究開発方法

(1) データ整備

1) 北海道

湿地を対象とした研究論文・調査報告書等の文献を可能な限り収集し、湿地に生育する植物を対象とした植物データベース（以下、湿地植物 DB）を構築した。湿地植物 DB は文献に記載された植物種と確認された湿地名などを記載した「データリスト」と、記録された植物に関する情報を入力した「植物リスト」、文献の発行年やタイトルなどを記載した「文献リスト」、湿地の位置情報や面積などの「湿地 GIS データ」から構成される⁵⁾。データリストには、文献に記載された植物の和名、学名、湿地名、調査場所、調査方法等の情報を入力した（表(4)-1）。植物の和名と学名は、米倉・梶田（2003-）⁶⁾に従い異名同種（シノニム）は統合した。また、品種（form）は区別しなかった。植物リストには、米倉・梶田（2003-）⁶⁾に従った和名、学名の他、環境省第3次レッドデータブック⁷⁾の指定の有無とカテゴリー、北海道ブルーリスト⁸⁾の指定の有無とカテゴリー、植物の生育地などを入力した（表(4)-2）。植物の生育地は、地衣類とミズゴケを除くコケ

類は「情報不足」とし、ミズゴケ類は「湿地性」、維管束植物は生育環境で湿地性・非湿地性・情報不足の3つに区分した。維管束植物の生育環境の判定には15種類の図鑑を用い（表(4)-3）、いずれかの図鑑に「低層湿原、中間湿原、高層湿原、塩湿地、池、湖沼、林内や林縁の湿地」など湿地を示す生育地情報が記載されていた場合は「湿地性」と判定し、全ての図鑑で湿地に生育することを示す記載がない場合は「非湿地性」と判定した。全ての図鑑に生育地情報の記載がない植物は複数の専門家が生育場所を判断し、それでも判断できない植物は「情報不足」とした。

湿地植物DBの作成にあたっては、その元となる文献について専門家による調査場所と調査内容の評価を行った。調査場所については、湿地以外での調査や人工湿地、調査場所が不明な場合を区別した。また、専門家が調査精度を判定し、調査努力量が不足する情報などは別途区別した。これらの判定した結果は、必要に応じて解析から除外できるようにした。湿地植物DBに関する詳細については、鈴木ら（印刷中）⁵⁾を参照。

表(4)-1 湿地植物DBのデータリストに入力した情報

項目	説明
湿地名	湿地の名称
調査開始年月日	調査を開始した年月日
調査終了年月日	調査を終了した年月日
調査方法	植生調査、フロラ調査、その他のいずれかを入力
文献ID	文献リストで付与した文献ID
調査内容	調査区設置の有無、被度・常在度データの有無など詳細な調査内容
群落名	植生調査などで、文献に詳細な調査情報が記載されていた場合に入力
調査区名	
層	
和名	植物の和名（米倉・梶田（2003-） ⁶⁾ による）
学名	植物の学名（米倉・梶田（2003-） ⁶⁾ による）

表(4)-2 湿地植物DBの植物リストに入力した情報

項目	説明
和名	植物の和名（米倉・梶田（2003-） ⁶⁾ による）
学名	植物の学名（米倉・梶田（2003-） ⁶⁾ による）
科名	植物の科名
属名	植物の属名
種小名	植物の種小名
植物分類群	地衣類、ミズゴケ類、ミズゴケ以外コケ類、維管束植物のいずれかを入力
環境省RDB	環境省レッドデータブック（2012） ⁷⁾ のカテゴリーを入力
北海道BL	北海道ブルーリスト（2010） ⁸⁾ のカテゴリーを入力

生育状況	植物の生育地区分 地衣類、ミズゴケ以外コケ類：情報不足 ミズゴケ類：湿地性 維管束植物：湿地性・非湿地性・情報不足のいずれかを入力
固有性	加藤・海老原（2011） ⁹⁾ を基準に固有種を区分し入力

表(4)-3 維管束植物の生育地判定に用いた図鑑

	図鑑名	発行年	著者	発行者
1	北海道の湿原と植物	2003	辻井達一、橘ヒサ子編著	北海道大学図書刊行会
2	北海道の花	2007	梅沢 俊	北海道大学図書刊行会
3	新版 北海道の樹	1992	辻井達一、梅沢俊、佐藤孝夫	北海道大学図書刊行会
4	日本の野生植物 シダ	1992	岩槻邦男 編	平凡社
5	日本の野生植物 草本Ⅰ	1982	佐竹義輔、大井次三郎、北村四郎、亘理俊次、富成忠夫 編	平凡社
	日本の野生植物 草本Ⅱ	1982		
	日本の野生植物 草本Ⅲ	1981		
6	日本の野生植物 木本Ⅰ	1989	佐竹義輔、原 寛、亘理俊次、富成忠夫 編	平凡社
	日本の野生植物 木本Ⅱ	1989		
7	日本の帰化植物	2003	清水建美 編	平凡社
8	北海道植物図譜	2001	滝田謙讓	滝田謙讓
9	増補新版 北海道樹木図鑑	2011	佐藤孝夫	亜璃西社
10	日本のスゲ	2005	勝山輝男	文一総合出版
11	日本カヤツリグサ科植物図譜	2011	星野卓二、正木智美、西本眞理子	平凡社
12	日本イネ科植物図譜	2002	長田武正	平凡社
13	日本イネ科植物図譜	2008	桑原義晴	全国農村教育協会
14	日本水草図鑑	1994	角野康郎	文一総合出版
15	日本の水草	2014	角野康郎	文一総合出版

2) 全国

全国における保全優先湿地の選定には、希少種に関する情報も含んだ第5回自然環境保全基礎調査の湿地調査データ⁴⁾を利用した。調査の実施された湿地のうち、干潟、マングローブや人工湿地と考えられる湿地を除外し、淡水の自然湿地のみを選定対象とした。

(2) 優先保全地域の選定

1) 北海道

構築した北海道植物DBを利用し、1990年以降に調査記録のある55箇所の湿地を対象にして北海道における保全優先湿地を選定した。選定対象となった55箇所の湿地は、全てが自然湿地で山地湿地、低地湿地、塩湿地が含まれた。保全優先湿地の選定の基準として、湿地性植物の種数、

環境省第3次レッドデータブックに記載された湿地性植物の種数をそれぞれ湿地ごとに集計し、上位30%の湿地を抽出したホットスポット解析と相補性解析の3つの基準を用いた。相補性解析は、相補性解析プログラム「Marxan」¹⁰⁾を用い、種の30%を保全すると仮定した。

2) 全国

全国における保全優先湿地の選定は、植物と鳥類の2つの分類群の希少種を対象に相補性解析により行った。湿地に生育する植物は湿地生態系の基盤となり、鳥類は湿地を渡りの重要な中継地として利用するため選定の基準とした。選定にあたり、植物と鳥類で1回のみしか出現しない種は解析から除外した。また、鳥類からは猛禽類も除外した。相補性解析は、相補性解析プログラム「Marxan」¹⁰⁾を用い種の30%を保全すると仮定した。

(3) 駆動因解析

湿地の生物多様性劣化は、湿地の位置する地域や周囲の環境によって異なるプロセスで進行する可能性があるため、4つのモデル湿地を設け現状評価と要因説明を行なった。

a 美唄湿原（低地湿地）

1947年から現在までの空中写真を用いて、ササ群落の時系列変化を明らかにした。ササ群落の年次変化と敷設された排水路の距離の関係を解析した。さらに、地下水位など湿地の水文物理環境に着目した調査を行った。

b 月ヶ湖湿原（低地湿地）

1947年から現在までの空中写真を用いて、樹木群落の時系列変化を明らかにした。樹木群落の年次変化と敷設された排水路との関係を解析した。

c 静狩湿原（低地湿地）

2011~2013年に植物相調査を実施し、人為影響以前にあたる1924年の植物相と比較した。1947年から現在までの空中写真を用いて、池塘の開放水面と排水路の敷設状況の時系列変化を明らかにした。さらに、排水路による乾燥化が湿地性植物の多様性にどのような影響をもたらすかを現地の植生調査によって明らかにした。

d 浮島湿原（山地湿地）

山地湿地では、登山者による湿地植生の踏み付けなどによる植生の変化が懸念されたため、2012・2013年に植物相調査および植生調査を実施し、1980年代の植物相、植物群落^{12) 13)}と比較を行った。

(4) 再生手法、モニタリング手法への提言

本研究の成果を元に、湿地の再生やモニタリングについて提言を行った。

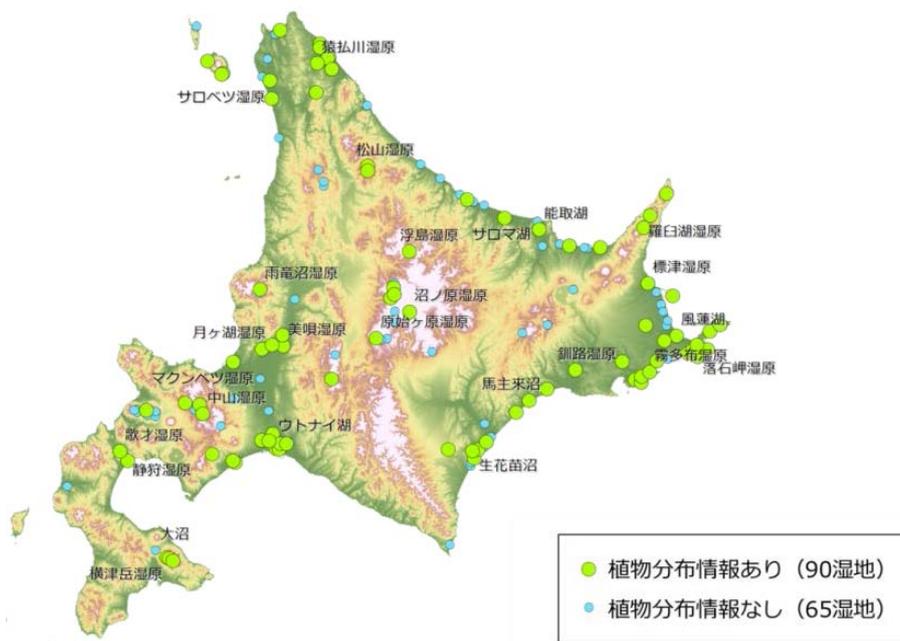
4. 結果及び考察

(1) データ整備

1) 北海道

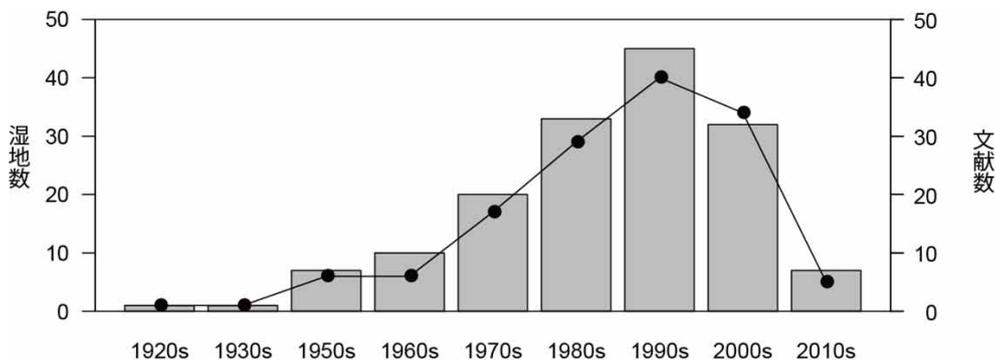
2016年3月現在、構築した湿地植物DBの入力文献は143文献、総データは102,478レコードで、北海道の現存湿原リスト(1997)¹⁴⁾を参照に追加・修正した155箇所の湿地のうち約58%にあたる90湿地の情報を集積することができた(図(4)-1)。また、湿地植物DBに記録された植物は1,689

種で、その内訳は維管束植物 1,517 種、コケ類 170 種、地衣類 2 種だった。541 種の維管束植物が湿地性植物と判定された。これら構築した湿地植物 DB は、北海道大学フィールド科学センター植物園で保管されており、今後データペーパーとして情報公開を予定している。

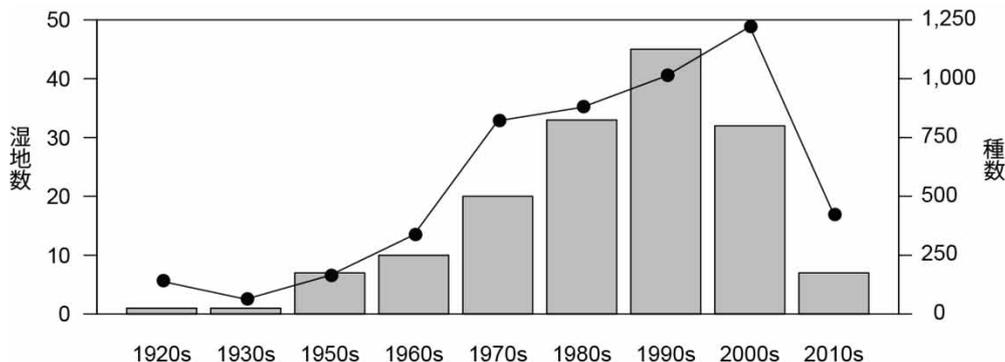


図(4)-1 北海道の湿地植物の分布情報

湿地植物DBに記録された湿地数、文献数、植物種数を10年ごとに集計し、それらの情報量の経年変化を見た。その結果、記録された湿地数、文献数、植物種数は1950年代以降増加傾向を示し1990年代に最大となり、2000年代以降は減少傾向を示した（図(4)-2、図(4)-3）⁵⁾。この記録情報の増減は、1980年に釧路湿原が日本初のラムサール条約登録湿地となる、1989年に北海道が北海道自然環境保全指針¹⁵⁾を作成、1993年に釧路市でラムサール条約第5回締約国会議を開催、1994年に北海道湿原保全マスタープラン¹⁶⁾が策定されるなど、北海道において1980年代から1990年代に湿地の保全に関心が高まり、その後気運が低下したという社会情勢が反映していると考えられた。



図(4)-2 湿地植物DBに記録された年代別の湿地数（棒）と文献数（点）
（鈴木ら（印刷中）⁵⁾を改変）



図(4)-3 湿地植物DBに記録された年代別の湿地数 (棒) と植物種数 (点)
(鈴木ら (印刷中) ⁵⁾を改変)

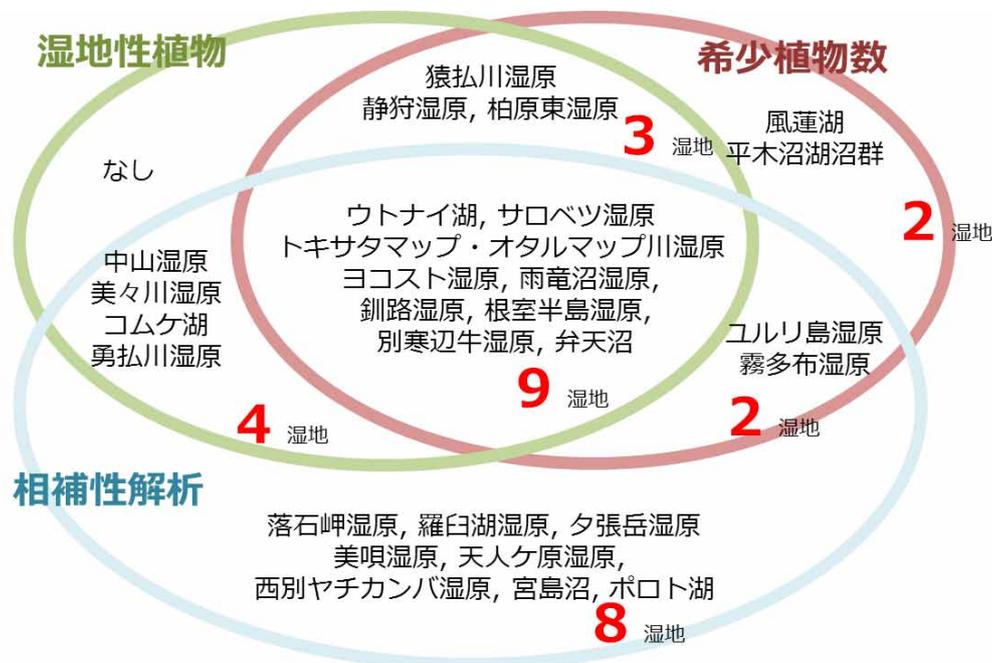
2) 全国

第5回自然環境保全基礎調査に記録のある全国の2,196湿地のうち、解析対象となったのは植物で760湿地・485種、鳥類では246湿地・49種となり、これらの湿地を対象に相補性解析を行った。また、第5回自然環境保全基礎調査の湿地調査データは、湿地ごとに記載される種の件数に偏りがあり、種の記載のない湿地もあるなど注意が必要な情報であることも明らかになった。

(2) 優先保全地域の選定

1) 北海道

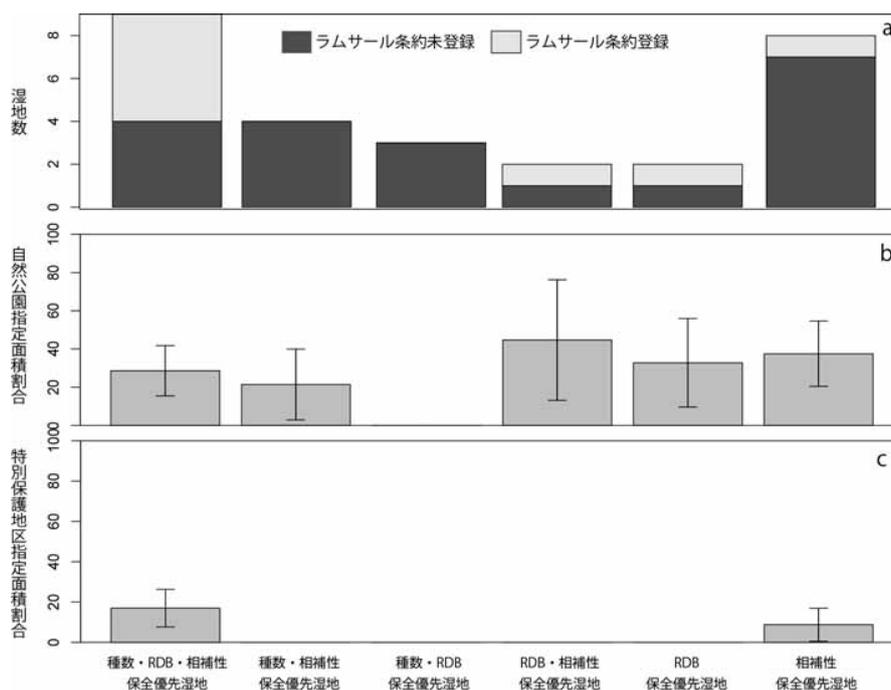
湿地植物DBを利用し1990年以降に調査記録のある55箇所の湿地を対象に湿地性植物の種数と希少植物によるホットスポット解析と相補性解析から北海道の保全優先湿地を選定した。その結果、



図(4)-4 湿地性植物の種数、希少植物数、相補性解析の基準により選定された保全優先湿地
(鈴木ら (印刷中) ⁵⁾を改変)

55箇所の湿地のうち[湿地植物の種数・RDB種数・相補性解析]の3基準すべてで選定された保全優先湿地は9箇所となり、他の基準と重複せずに[相補性解析のみ]で選定された湿地は8箇所、[希少種のみ]で選定された湿地が2箇所、また、[植物種数-希少植物数]の2基準で選定された湿地が3箇所、[植物種数-相補性]の2基準で選定された湿地が4箇所、[希少植物数-相補性]の2基準で選定された湿地が2箇所だった（図4-(4) ⁵⁾。以上より、湿地植物DBをもとにした北海道の保全優先湿地は、用いる基準により異なる湿地が選定される結果となった。これは、北海道の湿地生態系における植物の分布が一律ではなく、特定の湿地や地域のみには生育する植物が存在するなど湿地性植物の地理分布を反映したと考えられた。そのため、効果的な湿地の生物多様性保全のためには、生物の地理分布を反映するデータベースを用意し、それを基に複数の基準と解析方法から保全優先湿地を選定することが有効であることが明らかになった。

北海道で選定された28箇所の保全優先湿地と現状の自然公園、特別保護地区、ラムサール条約登録湿地による保護状況との隔たりを分析した結果、厳格に保護されている自然公園の特別保護地区に指定されている湿地は4箇所のみで、ラムサール条約登録湿地が8箇所のみであった。このことから、保全対策を優先すべき湿地においても対策がされていない現状が明らかになった（図4-(5) ⁵⁾。



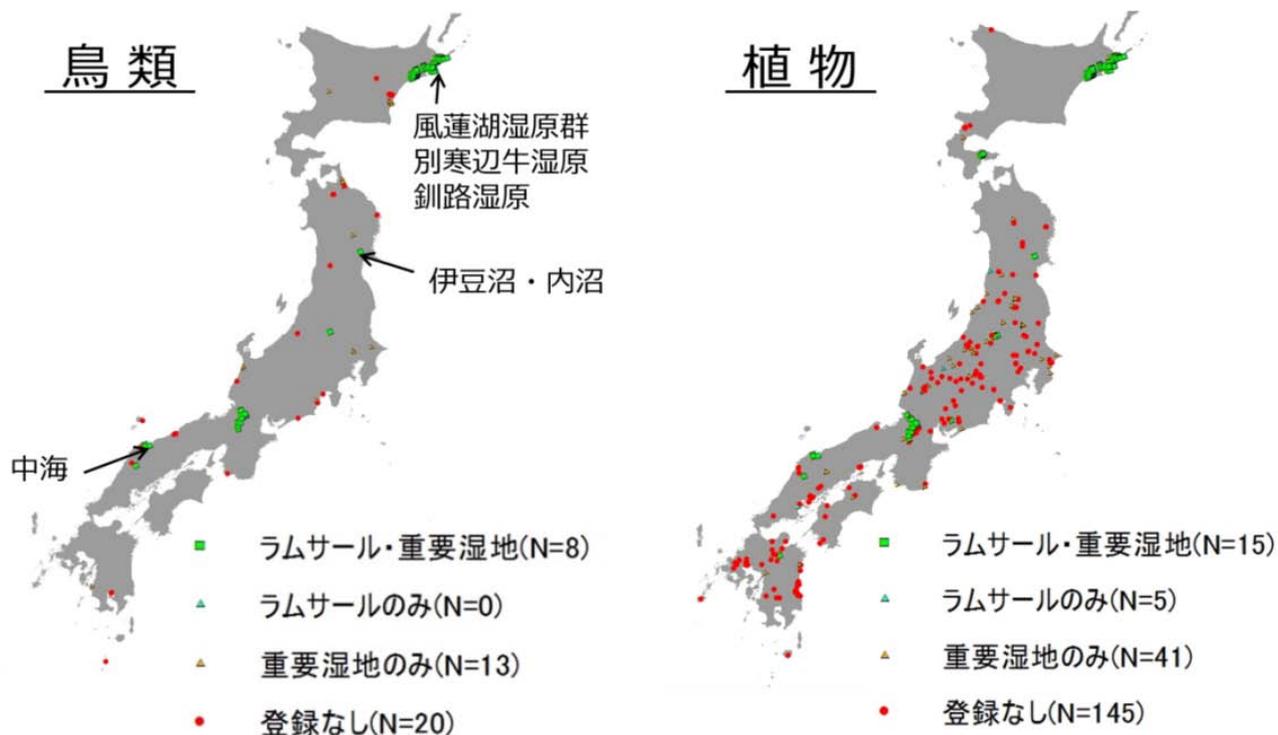
図(4)-5 保全優先湿地のGAP分析の結果

(鈴木ら (印刷中) ⁵⁾を引用)

2) 全国

第5回自然環境保全基礎調査の湿地調査データを利用し、全国の保全優先湿地の検討を行った。その結果、植物と鳥類の両方で保全を優先すべき湿地として選択されたのは、風蓮湖湿原群、別寒辺牛湿原、釧路湿原、伊豆沼・内沼、中海の5箇所で、全ての湿地はラムサール条約と環境省が選定する「日本の重要湿地 500」の両方で登録された湿地だった。しかし、植物で選択された

206 箇所のうち 186 箇所の湿地がラムサール条約に登録されておらず、150 箇所が日本の重要湿地 500 に登録されていなかった。また、鳥類で選択された 41 箇所のうち 34 箇所の湿地がラムサール条約に登録されておらず、20 箇所が日本の重要湿地 500 に登録されていなかった(図 4-(6))。



図(4)-6 植物と植物の相補性解析の基準にした保全優先湿地

以上より、北海道と全国でデータに基づく保全優先湿地を選定した結果、北海道では用いた基準によって異なる湿地が選択され、全国では対象とする生物で違う選定結果になるなど、北海道と全国ともに設定する対象と基準によって異なる結果になった。このことから、湿地の効果的な保全には、多面的な基準を用いた保全優先湿地の選定が有効かつ必要と考えられた。また、選択された保全優先湿地と現状の保護状況との隔たりを分析した結果、現状の保護区では十分な対策が行われていないことも明らかになった。今後、本プロジェクトの成果を環境省の「日本の重要湿地 500」の選定などに積極的に活かすことが重要である。

(3) 駆動因解析

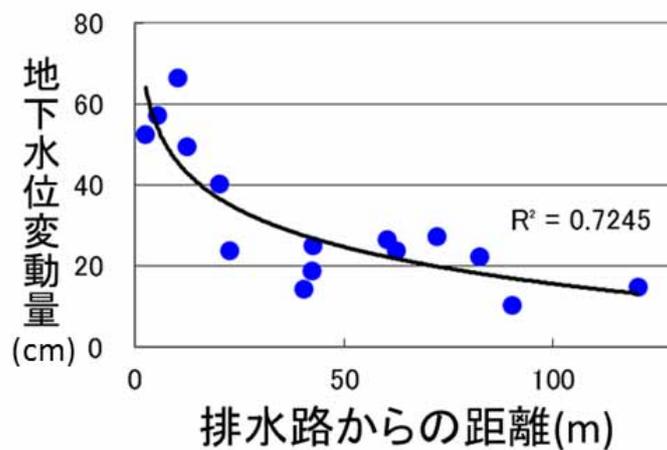
a 美唄湿原(低地湿地)

空中写真から植生を判読した結果、1947年から現在に至るまでササ植生が継続して拡大し、その拡大は排水路の近傍から徐々に起こったことが明らかになった(図(4)-7)。

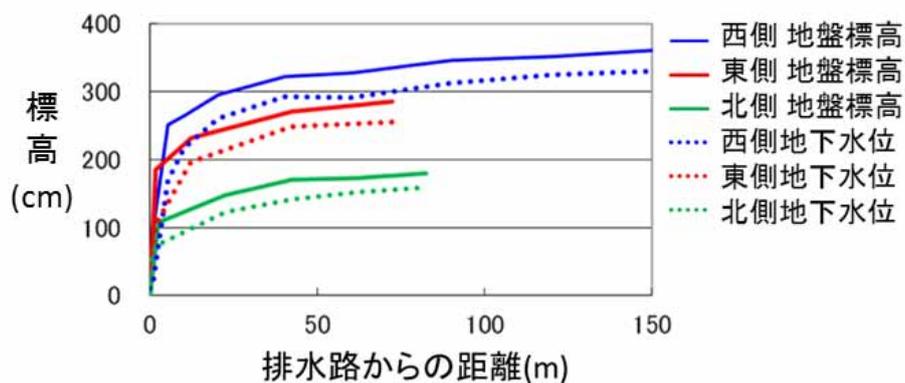
美唄湿原の水文物理環境は、排水路までの距離が近い地点ほど地下水位の変動が大きく(図(4)-8)、地盤沈下が進んでいることが明らかになった(図(4)-9)。このことから、排水路は地下水位の変動と地盤沈下に影響をもたらしたことが示唆され、その影響は排水路から概ね20~30mまで及ぶことが明らかになった。



図(4)-7 美唄湿原において湿原植生がササ植生に変化した時期と排水路からの距離



図(4)-8 美唄湿原における排水路からの距離と地下水位変動量の関係



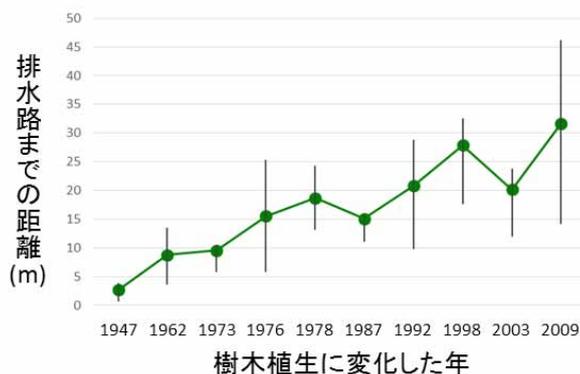
図(4)-9 美唄湿原における排水路からの距離と標高（地盤沈下）の関係

b 月ヶ湖湿原（低地湿地）

空中写真から植生の分布を判読した結果、1947年から現在まで継続して樹木群落が拡大している（図(4)-10）。湿地の劣化を示す樹木群落の拡大は、排水路の近傍から徐々に進行したことが明らかになった（図(4)-11）。



図(4)-10 月ヶ湖湿原における 10 時期の空中写真から判読した樹木植生の変化

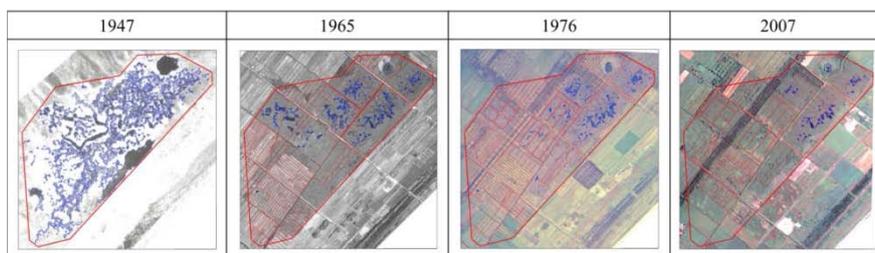


図(4)-11 月ヶ湖湿原における樹林化した時期と排水路からの距離

c 静狩湿原（低地湿地）

Tatewaki (1924)¹¹⁾による植物相と現在の植物相を比較すると、出現する植物は 1924 年の 50 科 137 種から 82 科 261 種に増加していることが明らかになった。一方、湿地植物 DB を用いて判定した湿地性植物は、開発前の 126 種から 96 種に減少しており外来植物の侵入も確認された。科レベルではキク科植物とイネ科植物が増加し、カヤツリグサ科の植物が減少していた。この植物相の変化は、人為開発に伴う湿地の乾燥化に由来すると考えられた。

池塘の開放水面の面積と排水路の総延長の時系列変化を抽出したところ、池塘は排水路の敷設直後にその近傍から急激に減少したことが明らかになった（図(4)-12）。

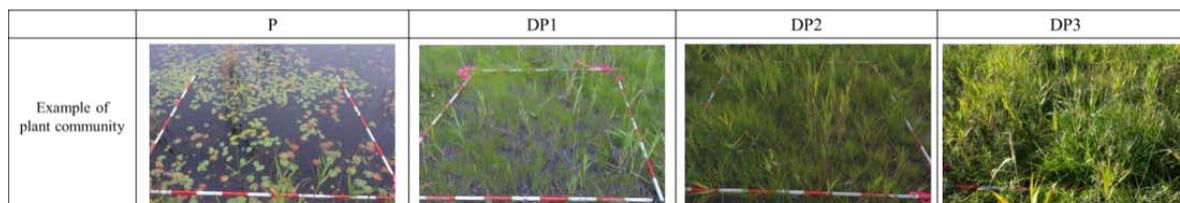


図(4)-12 静狩湿原における 1947・1965・1976・2007年の池塘（青）と排水路（赤）

植生調査をクラスター解析した結果、かつて池塘だった場所の植生は 4 つの群落タイプに類型化された（図(4)-13）。排水路の近傍ほど乾燥を示す植物群落（DP3 群落）であり、排水路から離

れるほど良好な湿地性の植物群落（P 群落、DP1 群落）が多く残存していた。また、植物群落の組成から、湿地の乾燥化は全体の植物種数を増加させ、水生植物は減少し木本が増加することが明らかになった。

これらから排水路の敷設は排水路の近傍から池塘を消失させ、その結果、水生植物の減少・消滅などが生じ、池塘消滅後は乾燥を示す植物群落に変化していく劣化プロセスが明らかになった。

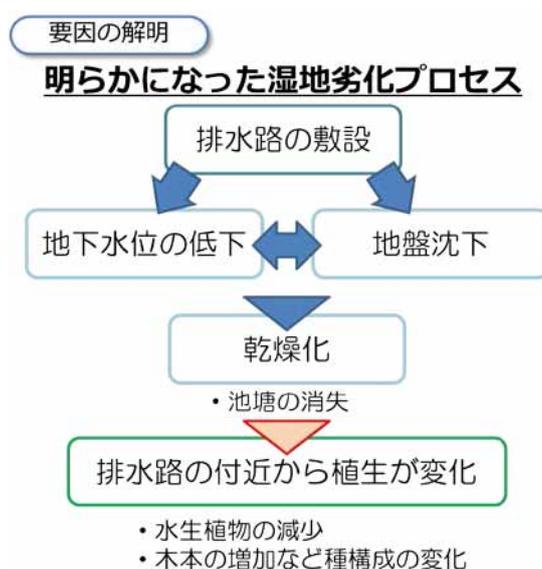


図(4)-13 クラスター解析で類型化した静狩湿原の植物群落

d 浮島湿原（山地湿地）

山地湿地である浮島湿原の植物相は、1970年代に実施された調査と2013・2014年の現地調査の比較から、山地湿地の生物多様性低下と判断されるような植物相の大幅な変化は認められなかった。また、植物群落の構成にも大きな変化は認められなかった。一方、1985年に確認された路上や路傍の雑草群落に出現するオオバコ (*Plantago asiatica*)¹³⁾が今回の調査では見つからなかった。これは、登山者による踏み付けの影響を緩和する目的で木道が設置された効果と考えられた。

以上の4箇所の北海道のモデル湿地の結果から、北海道の湿地植生は山地湿地では大きな変化が認められず、低地の湿地は敷設された排水路の影響によって大きく変化したことが明らかになった。これらをとらまとめ、北海道の低地モデル湿地における排水路から植生の変化に至る劣化プロセスを図(4)-14に示した。



図(4)-14 北海道の低地モデル湿地における湿地劣化プロセス

このように、北海道の低地湿地では、排水路が湿地の植物の種多様性低下の主要な駆動因だと考えられた。湿地劣化プロセスは、排水路の敷設が周囲の地下水水位低下や地盤沈下をもたし、その結果、湿地が乾燥化し排水路近傍から植生が変化したことが明らかになった。

しかし、他の湿地では排水路以外の要因が湿地劣化の駆動因となる可能性もある。そのため、本研究で実施した複数の現状評価法から評価対象湿地にあった手法を適切に組み合わせ、湿地の劣化プロセスを把握した上で湿地に応じた保全対策を立案する必要があると考えられた。

(4) 再生手法、モニタリング手法への提言

北海道で可能なかぎり情報を収集したものの、約 42%の湿地で植物調査記録がなく、2000 年代以降は調査件数が減少傾向を示し、全国では第 5 回自然環境保全基礎調査に続く湿地の基礎調査が実施されていないなど、湿地の生物多様性を評価するための情報は極めて不十分であった。

湿地の効率的かつ効果的な保全を実施するためには、湿地インベントリの作成や動植物の分布情報の整備などを全国レベルで進めることが急務である。本研究で実施したデータベースに基づく保全優先湿地の選定を全国規模で行ない、選定された保全優先湿地を環境省が選定する「日本の重要湿地 500」に加える、また、モニタリングサイト 1000 に組み入れて詳細な調査を定期的実施するなど、現在有する既存の取り組みとも上手く連携していくことが必要である。

北海道の 3 つの低地湿地で、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。北海道の低地湿地の保全には、排水の影響を緩和する保全・再生事業の推進が求められる。

湿地の生物多様性の低下は湿地が位置する地域や周囲の環境要因により異なったプロセスで進行する。従って、個々の湿地の劣化プロセスを解明するには、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を、対象湿地の状況に応じて必要な調査解析法を適切に組み合わせ、劣化プロセスを明らかにした上で保全対策を立案する必要がある。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

生物情報を基にしたデータベースを作成し、それらを基に複数の解析手法を用いて保全優先湿地を選定することが、湿地の生物多様性の評価に直結し、今後の保護地域の選定や湿地の保全や再生に貢献できることが示された。一方で、生物分布情報（北海道：湿地性植物、全国：植物・鳥類）を基準に選定した保全優先湿地の多くが、保護地域等に指定されていない現状が明らかになった。本研究で選定した保全優先湿地を環境省「日本の重要湿地500」へ追加を提案するなど、本成果を今後の湿地の保護政策に活かすことが必要である。

北海道の幾つかの低地湿地の劣化プロセスを解明することで、排水路が湿地の多様性低下の駆動因であることを明らかにした。北海道の湿地を保全するためには、排水の影響を緩和する保全・再生事業の推進が求められることを示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省のモニタリングサイト1000検討委員会の湿原分科会で、本研究成果である湿地植物データベースを活用し、山地湿地の新たなモニタリングサイトの選定について意見を提出した。環境省「日本の重要湿地500」の見直し検討会において、本研究の保全優先湿地の選定結果にもとづき、新たに登録が必要な湿地について意見を提出しその選定に貢献した。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究で科学的に選定した保全優先湿地に対して適切な保全政策を実施することで、日本の湿地の生物多様性保全に大きく貢献できる。また、北海道では、劣化駆動因である排水路の影響を緩和する施策を実行することで、低地湿地の保全が可能となる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 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”
- 2) 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」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 鈴木透、高田雅之：第20回地理情報システム学会（2011）
「北海道における湿原の時空間的変化」
- 2) 小野理、三島啓雄、北川理恵、高田雅之：日本景観生態学会第21回大会（2011）
「明治期開拓以降の石狩低地帯における景観構造の変遷」
- 3) 高田雅之、井上京：水文・水資源学会2011年度研究発表会（2011）
「高層湿原における地下水位低下の評価方法」
- 4) 高田雅之、齋藤健一、三島啓雄、井上京：日本写真測量学会平成23年度秋季学術講演会（2011）
「多バンド高分解能衛星画像World View-2の湿原環境評価への適用可能性」
- 5) M. TAKADA, R. KITAGAWA, Y. MISHIMA, T. SUSUKI and S. ONO: Biodiversity Asia 2012, Bangalore, India, 2012
“Biodiversity mapping on a landscape-scale by using recorded species data”
- 6) Y. MISHIMA and M. TAKADA: Biodiversity Asia 2012, Bangalore, India, 2012
“Development of a Wetland Vegetation Monitoring Method Using Satellite SAR Images”
- 7) イ・アヨン、富士田裕子：植生学会第17回大会（2012）
「池塘の植生変化から見る静狩湿原の変遷」

- 8) H. FUJITA: Japanese Delegation visiting to Fujian Academy of Agricultural Sciences -Academic reports, Fujian, China, 2013
“Biodiversity and conservation of mire ecosystems in Hokkaido, Japan.”
- 9) H. FUJITA, H. KOBAYASHI, A. LEE and E. NIIMI: International Workshop on Peatland Management ‘Future aspect of management in tropical and cool temperate peatlands’ Harmonious and Sustainable Relationship with Nature, Sapporo, Japan, 2013
“Biodiversity and conservation of mire ecosystems in Hokkaido, Japan.”
- 10) イ・アヨン、富士田裕子：植生学会第18回大会（2013）
「元国指定天然記念物静狩湿原のフロラ変化」
- 11) 新美恵理子、富士田裕子、小林春毅：植生学会第18回大会（2013）
「湿地植物データベースを用いた北海道の湿地における植物の分布特性」
- 12) イ・アヨン、富士田裕子、井上京：日本湿地学会第6回大会（2014）
「排水効果による静狩湿原での水文・土壌・地形・植生の変化」
- 13) イ・アヨン、富士田裕子：植生学会第19回大会（2014）
「静狩湿原における池塘植生の変遷と排水路の関係」
- 14) 船本麻奈未、富士田裕子：植生学会第19回大会（2014）
「浮島湿原の植物相及び植生の現状把握」
- 15) イ・アヨン、富士田裕子、小林春毅：第62回日本生態学会全国大会（2015）
「Indicator valuesを用いた湿原健全性の評価」
- 16) 小林春毅、富士田裕子、鈴木透、イ・アヨン、新美恵理子、高田雅之：第62回日本生態学会全国大会（2015）
「北海道をモデルとした湿地植物データベースの構築と生物多様性評価への利用」
- 17) A. LEE, H. FUJITA, H. KOBAYASHI and 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”
- 18) 高田雅之、三島啓雄、島村崇志：第7回日本湿地学会大会（2015）
「排水路敷設による高層湿原の劣化評価」
- 19) イ・アヨン、富士田裕子、小林春毅、井上京：第63回日本生態学会大会（2016）
「排水の影響を受けた歌才湿原の植物群落の分布」

（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) 社会人の学びの場「ホイスコーレ札幌」の第10期第6回ホイスコーレ札幌にて講義「湿原生態系の特徴と保全」（2013年4月24日、聴講者約50名）
- 2) 平成25年度ほっかいどう学（自然環境）を学ぶ会講演会（主催：ほっかいどう学（自然環境）を学ぶ会、2013年5月26日、北海道立道民活動センターかでの2・7、聴講者約80名）にて講演「北海道の湿原の現状と問題点」

- 3) 東海丘陵湧水湿地群のラムサール条約登録一周年記念「湿地保全講演会」（主催：豊田自然観察の森、2013年9月28日、豊田自然観察の森、聴講者約50名）にて講演「湿原と科学」
- 4) 三番瀬市民調査報告会（主催：三番瀬市民調査の会、2013年11月30日、船橋男女共同参画センター、聴講者約30名）にて講演「日本の湿地を考える」
- 5) 利尻礼文サロベツ国立公園パークボランティア研修会（主催：環境省、2014年3月23日、稚内地方合同庁舎、聴講者約30名）にて講演「湿原を取り巻く科学と政策」
- 6) 自然と環境を守る交流会（主催：自然と環境を守る交流会実行委員会・法政大学人間環境学部、2015年12月5日、法政大学、聴講者約200名）にて講演「湿地保全への多面的アプローチ」

（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

特に記載すべき事項はない。

８．引用文献

- 1) 国土地理院：<http://www1.gsi.go.jp/geowww/lake/shicchimenseki2.html>，日本全国の湿地面積の変化（調査結果）
- 2) 富士田裕子：地球環境，12(1)，7-20 (2007)，北海道の湿原生態系とその保全・再生
- 3) 富士田裕子：（財）自然保護助成基金 1994・1995年度研究助成報告書，北海道の湿原の変遷と現状の解析－湿原の保護を進めるために－，自然保護助成基金，東京，231-237 (1997)，北海道の湿原の現状と問題点
- 4) 環境省生物多様性センター(1993)，第5回自然環境保全基礎調査植生調査報告書 湿地調査報告書
- 5) 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
- 6) 米倉浩司、梶田忠：<http://ylist.info> (2003-)，BG Plants 和名－学名インデックス (YList)
- 7) 環境省：http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html (2012)，環境省 第3次レッドデータブック
- 8) 北海道：<http://bluelist.ies.hro.or.jp/> (2010)，北海道ブルーリスト 北海道外来種データベース
- 9) 加藤雅啓、海老原淳：東海大学出版会、秦野 (2011)，日本の固有植物
- 10) I.R. BALL, H.P. POSSINGHAM and M. WATTS: Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools, Oxford University Press, Oxford, UK., 185-195 (2009), Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritization.
- 11) M. TATEWAKI: 北海道帝国大学農学部卒業論文 (1924), An Oecological Study of the Shizukari-moor.
- 12) K. ITO and H.TACHIBANA: Environ. Sci. Hokkaido, 10(1), 81-93 (1987), Flora and vegetation of Ukijima Mire: Conservation flora of Hokkaido 2.
- 13) 橘ヒサ子、高梨智之、尾崎雄一：北海道教育大学大雪山自然教育研究施設研究報告, 23, 37-55 (1988)，登山者の踏みつけによる浮島湿原の植生と土壤環境の変化

- 14) 富士田裕子：(財)自然保護助成基金 1994・1995年度研究助成報告書，北海道の湿原の変遷と現状の解析－湿原の保護を進めるために－，自然保護助成基金，東京，3-14 (1997)，北海道の現存湿原リスト
- 15) 北海道：http://www.ies.hro.or.jp/seisakuka/gyosei_shiryu/pdf/06shizen/index.htm (1989)，北海道自然環境保全指針
- 16) 北海道：http://www.hokkaido-ies.go.jp/seisakuka/gyosei_shiryu/html/08master.html (1994)，北海道湿原保全マスタープラン

(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

大学院農学研究院

中村 太士

<研究協力者>

北海道大学

石山 信雄 (平成26～27年度)

中島 夕里 (平成27年度のみ)

藪原 佑樹 (平成27年度のみ)

山中 聡 (平成27年度のみ)

山形 知実 (平成24年度のみ)

下村 晃平 (平成27年度のみ)

大山 亜起 (平成23年度のみ)

帯広畜産大学

赤坂 卓美

東京大学

森 照貴 (平成23～25, 27年度)

徳島大学

河口 洋一 (平成23～25, 27年度)

竹川 有哉 (平成23～25, 27年度)

NPO法人地域自然情報ネットワーク

奥秋 恵子 (平成24年度のみ)

愛媛大学

井上 幹生

三宅 洋

河口 拓紀 (平成24年度のみ)

松葉 成生 (平成25年度のみ)

兵庫県立大学

三橋 弘宗

片野 泉 (平成23年度のみ)

九州大学

鬼倉 徳雄 (平成24～26年度)

川本 朋慶 (平成24, 26年度)

小山 彰彦 (平成24年度のみ)

国立開発研究法人国立環境研究所

三島 啓雄 (平成23年度のみ)

株式会社ネイチャースケイプ

中川 功 (平成23年度のみ)

国立開発研究法人土木研究所

末吉 正尚 (平成26～27年度)

平成 23～27 年度累計予算額：40,918 千円（うち平成 27 年度：7,369 千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

河川生態系は治水・利水に起因する様々な人為的影響を受けており、早急な生物多様性の保全・再生策の立案が求められている。本研究ではまず、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取りまとめ、データベース構築を行った。また、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。次に、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い、効果的な保全地選定の方法について提示した。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。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。駆動因解析では、モデル精度向上を図りつつ流域・地域・全国と多様な空間スケールで駆動因解析を行い、各解析結果に基づいて

共通の駆動因を把握することで、我が国の河川生態系の生物多様性劣化に特に影響していると考えられる要因の特定を行った。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。最後に、水域の連結性に関する再生手法について整理することで、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提示した。

【キーワード】 保全候補地の選定、温暖化への適応策、減災と多様性保全、連結性の再生

1. はじめに

現在、河川生態系を含む陸水域は、生物多様性が急速に低下しており、その消失速度は陸域や海域を凌ぐと言われている。中でも河川生態系は、農業や生活用の利水供給、電力供給のための開発、土地利用開発・保全のための治水事業（築堤・捷水路化）といった様々な人為的インパクトを受けており、早急な保全・再生策の立案が世界的な課題となっている。我が国においても1990年頃から河川における生物多様性の情報の収集・蓄積が国レベルでも行なわれている。また、各地域の河川においては、研究者による現地調査も日々行なわれており、こうした多様な空間スケールで蓄積されたデータを統合・活用することで、我が国の河川生態系の保全・再生策の立案に資する知見が得られるだろう。

2. 研究開発目的

本研究では、(1)全国の河川生態系における生物多様性の現状を評価するためのデータベースを構築すること、(2)その情報に基づき優先的に保全すべき場所を選定する手法を提示すること、(3)生物多様性の低下を引き起こす駆動因を解明すること、そして(4)特定した駆動因解析の結果に基づき既存の再生手法を整理し、河川生態系の再生上の課題を明確化することを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) データ整備

生物の分布情報の収集とそれらのデータの電子化・GIS化を進めた。対象は、国の実施したモニタリング結果(河川水辺の国勢調査(国交省)、自然環境保全基礎調査(環境省))、既存学術文献、各地域の研究者所管の情報等である。北海道地域の魚類に関しては、国立環境研究所の福島路氏が所有するHFishをベースに新たな情報を加えた。収集項目は、GBIFのダーウィンコアを基本とし、種名、在来/外来、分布位置情報、水系・河川名、確認年とした。これらのデータを用いて、種名の統一や対象種の選定などのスクリーニングを行い、データベースを作成した。また、効果的な生態系評価や保全策を行っていくためには、継続的に広域スケールで生物多様性の分布情報を蓄積し、それらの成果を学術研究へと活用していくことが重要となる。そこで本研究では、現在国土スケールで実施されている唯一の河川の生物多様性モニタリングである水国について、学術研究への活用上の課題の整理と改定案の提示を行った。

(2) 優先保全地域の選定

1) 全種を対象とした選定

全国スケールで整備した魚類データ（表(5)-1）の内全6306地点の魚類データを用い、相補性解析を行うことで保全優先箇所を選定した。相補性解析を実施する際に必要となる各地点の保全コストおよび保全目標に関する条件は、以下のように設定した。人為利用が高い場所ほど保全コストが高いことを前提とし、各地点の保全コストは人為的活動の強度指標であるHuman Influence Index¹⁾で重みづけした。保全目標は、出現地点の内、広域分布種は10%、狭域分布種は100%、それ以外の種は出現地点数に応じ設定した。試行100回中で保全候補地として選択された回数を非代替性の指標として用い、各地点の相対的重要性を求めた。また、保全候補地の特徴を把握するため、現状の保護区、浸水想定区域とのギャップ分析を実施した。

2) 気候変動に脆弱な種を対象とした選定

生物種の分布域は気候変動等により変化する可能性があり、動的環境下での長期的な生物多様性の保全を考えた際は、将来的な分布域の変化を考慮した保全候補地の選定も重要である。本研究では、温暖化に特に脆弱と考えられる冷水性のサケ科魚類を対象に、温暖化による分布域の変化推定と現状の保護区との関係を全国スケールで検証した。本州では陸封性のイワナ、北海道ではオシロコマを対象とした。まず、全国スケールで整備した魚類データ（表(5)-1）の内全3081地点の分布データを用い、MaxEntにより対象魚種の在・不在分布域の推定を行った。分布域推定に使用した変数は、平均標高、傾斜、火山岩面積率および推定地下水温である。次に、年平均気温を1～3度上昇した際の分布域の変化を推定し、現状の保護区とのギャップを分析した。尚、気温の上昇に伴う推定地下水温の変化は、Nakano et al (1996)²⁾に従い以下の式で算出した。

- 推定地下水温 = 1.083 + 0.939*年平均気温

(3) 駆動因解析

1) 流域スケール

北海道地方の多くの流域では、1960年代以降の高度経済成長に伴い農地整備が急激に進み、河川の捷水路化が生じている。本研究では、十勝川（計80地点）で収集したデータ（表(5)-1）を用い、典型性・希少性に影響を与える要因を調べた。典型性は、本来各調査地点に出現すると思われる種構成と実際の種構成の乖離度で評価した。尚、本来の種構成については人為環境が影響しない地理的条件で決定すると仮定し、本業務で作成した魚類分布データベースに基づく各魚種の分布情報と標高、勾配などの自然環境要因のみを用いたモデルで推定した。希少性は、各種の確認総地点数の逆数を種のスコアとし、その合計を出現種数で割った値を採用した。以上により算出した典型性および希少性と説明変数間の関係について、一般化線形モデルを用いて解析を行った。使用した説明変数は、護岸率、電気伝導度、溶存酸素濃度、各水質指標の二乗項、河川次数および外来種の計7つである。

四国地方の特徴として挙げられるのが人里と隣接する急峻な地形であり、土砂流出の制御等を目的とした砂防・治山堰堤が多く建設されている。そこで本研究では、愛媛県・重信川において収集されたデータ（表(5)-1）を用いて、堰堤による分断化が魚類に与える影響を検証した。69の調査区間を設け、アマゴの生息密度、流程上の位置（調査区間上流側の集水域面積）、生息域サ

イズ（隔離集水面積：調査区間の下流側に存在する移動障害構造物より上流側の集水域面積）および標高や淵面積といった環境要素を計測した。解析は、アマゴの有無を応答変数、環境要素を説明変数とした分類木分析を行った。

2) 地域スケール

a. 九州地方 九州地方は、古くからクリークと呼ばれる用排水路網が発達しており、氾濫原の代替地として機能していたものの、近年の農地整備によって多くのクリーク網が単純化されている地域である。本研究では、九州の氾濫原において特に優占する魚類（タナゴ類）を対象とし、九州地域北部の複数流域（計710地点）における分布データ（表(5)-1）を用いて、各種の分布と環境要因との関係を一般化線形モデルにより明らかにした。駆動因には、半径1km内の河川-水路の連結数、水路の複雑性（水路の合流点数）を用い、それ以外に各土地利用面積、および河川勾配など自然環境も用いた。また、同調査地域における47地点において、用水路の護岸形状と魚類の分布の関係を検証した。

b. 四国地方 四国地方のもう一つの特徴は、平野から傾斜地まで広がる果樹園などの土地利用であり、それに伴う水環境の悪化が懸念されている。本研究では、底生動物を対象とし、四国地域西部（計157地点）で収集されたデータ（表(5)-1）を用いて解析を行った。まず、説明変数を水質および物理環境、目的変数を分類群数としたモデルを構築した。次に、選ばれた環境要因を目的変数とし、影響を及ぼす土地利用（集水域内水田率、果樹園率、都市域率等）との関係について一般化線形モデルを用いて解析した。また同様に、四国地域西部（計139地点）の底生動物調査データ（表(5)-1）を用いて、分類群数と、水深、堆積粒状有機物量、埋込度、電気伝導度、底質粗度、および河畔林の鬱閉割合の関係についても解析を行った。

c. 中部地方 中部地方では、近隣地域への電力供給を目的としたダム建設が古くから行われてきた。本研究では魚類を対象とし、木曾三川（計781地点）において収集されたデータ（表(5)-1）を用いて解析を行った。各種の在・不在情報に基づき、自然環境要因（集水域面積、標高等）と人為的要因（上流のダムの有無、水質等）を説明変数とするモデルを一般化線形モデルにより構築した。またこれらモデルから、人為的要因が改善された時の群集全体の存在確率の合計値を自然状態での期待値として算出し、現状の観察値との多様性乖離度を各地点でもとめ、駆動因の分布との関連を検証した。

3) 全国スケール

整備した全国スケールでの魚類データ（表(5)-1）を用い、種数の低下を引き起こす駆動因の解明と劣化度の地図化を行った。目的変数は水国データを用いて流域ごとに算出した。通し回遊魚は、2巡目および3巡目を基準とし、4巡目の確認種の率を目的変数とした。ただし、多くのダムは水国が実施される前に設置されており、分布情報がダムの影響を既に受けている可能性がある。純淡水魚については、Watanabe (2012)³⁾により各種の潜在分布が把握可能であるため、本グループについてはダム設置前の潜在種数を基準とし、4巡目の確認種の率を目的変数とした。解析には一般化線形モデルを用い、オフセット項に調査地点数を設定した。説明変数は、自然環境要因（平均勾配）、駆動因（護岸率、BOD、氾濫原面積割合）、分断化指標（純淡水魚：Free-flowing distance⁴⁾、通し回遊魚：河口から魚類が遡上できる河川区間の総流路長）とした。

(4) 再生手法・モニタリング手法への提言

各空間スケールでの駆動因解析の結果を整理し、各解析結果に共通して認められる駆動因を抽出することで、河川生態系の生物多様性低下に対して特に深刻な影響を与えている駆動因を特定した。さらに、我が国の河川生態系の効果的な回復手法と今後の課題について明らかにするため、特定した駆動因の影響を緩和・解消する再生手法について整理した。

4. 結果及び考察

(1) データ整備

全国スケールでのモニタリング結果以外に、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、各地域の研究協力者が中心となり収集した(表(5)-1)。また全国スケールの公開済データについても、解析に用いるために魚類および底生動物の分布データのスクリーニングを行った。スクリーニングの過程において、水国データを学術研究に活用する際の様々な課題が明らかとなり、それら課題は「調査手法」と「データ整備」の大きく2タイプに分けることができた。以下に課題の概要と改定案について整理した。

1) 調査手法

- a. 調査地の選定基準:** 調査が行われる場所は「河川環境縦断区分(上・中流など)における代表的な場所」となっており、選定基準が不明瞭である。選定基準の情報公開が望ましい。調査地区の設定では、「改変が行われる場所には調査地区を設定しない」とされており、局所的改変の影響が避けられている。補助地点の設定など、局所的改変の影響を評価できる仕組みが望ましい。
- b. 調査地区数:** 調査地区は河川環境縦断区分に1地区以上となっており、各水系で地区の数や地区間の距離が異なる。地区間距離の制限など規則的な地区設定基準の追記が望ましい。5年周期の巡目間で同水系内の地区数が異なる場合がある。ある巡目で調査が行われなかった場所も10年に一度補足的な調査を行うなど、過去データを活用できることが望ましい。
- c. 調査時期:** 2006年度以降は、10年で全調査が一巡することになっており、調査実施年は明確に制限されていない。そのため、巡目間で1~18年間の空白期間のばらつきが生じる可能性がある。調査実施年の間隔に関する基準の記載が望ましい。

2) データ整備

- a. 調査地区番号:** 地点名である調査地区番号が、巡間で異なる、別水系で同じ番号が付けられる場合があり、広域解析の際に誤って判別する可能性がある。巡間での地区番号表記の統一や水系間での地区番号を差別化する仕組みが望ましい。
- b. 種名:** 巡間で種名が変更される種や新たな記載種が存在し、時系列解析の際に間違いを引き起こす可能性がある。1巡目から通した種名変更履歴の公開が望ましい。同定レベルに違いが見受けられる。同定レベルの統一や同定根拠の文献情報の公開が望ましい。亜種や、同種異名、生活型名、カタカナ英語表記の混在など異なった種名表記が見受けられる。表記の統一が望ましい。
- c. データ表記:** 未記入欄が多く見受けられる。値が0、欠損値(NA)、計測項目の不在(NULL)などの区別が望ましい。全角と半角、大文字と小文字が混在している。統一的な基準が望ましい。

d. **データ公開**: 公開データは年、河川別で分けられており、複数のデータの取得に時間を要する。一括データを手に入れる仕組みが望ましい。位置情報がGISデータのみでしか公開されておらず、別ファイルで緯度経度情報を公開することが望ましい。集約された二次情報のみが公開されており、一次情報は公開されていない。公開又は申請によって入手できる仕組みが望ましい。

表(5)-1 整備したデータベースと担当者

スケール	地域	対象生物	対象年	担当者
全国	日本	魚類	1902-2010年	帯広畜産大学・赤坂卓美 (国土交通省・環境省の公開データを整理)
	日本	底生動物	2001-2005年	東京大学・森照貴 (国土交通省の公開データを整理)
地域	北海道	魚類	1858-2011年	国立環境研究所・福島路生氏 帯広畜産大学・赤坂卓美
	兵庫県	魚類	1970-2008年	兵庫県立大学・三橋弘宗
	四国	魚類	1957-2013年	徳島大学・河口洋一 (徳島県立博物館・佐藤陽一氏、 愛媛大学・井上幹生の所有データを整理)
	九州	魚類	1994-2013年	九州大学・鬼倉徳雄
	北海道	底生動物	1961-2005年	北海道立総合研究所
	四国西部	底生動物	2007-2013年	愛媛大学・三宅洋
	流域	十勝川	魚類	2012年
	木曾三川	魚類	2001-2013年	東京大学・森照貴 (国土交通省の公開データを含む)
	重信川	魚類	1999-2013年	愛媛大学・井上幹生

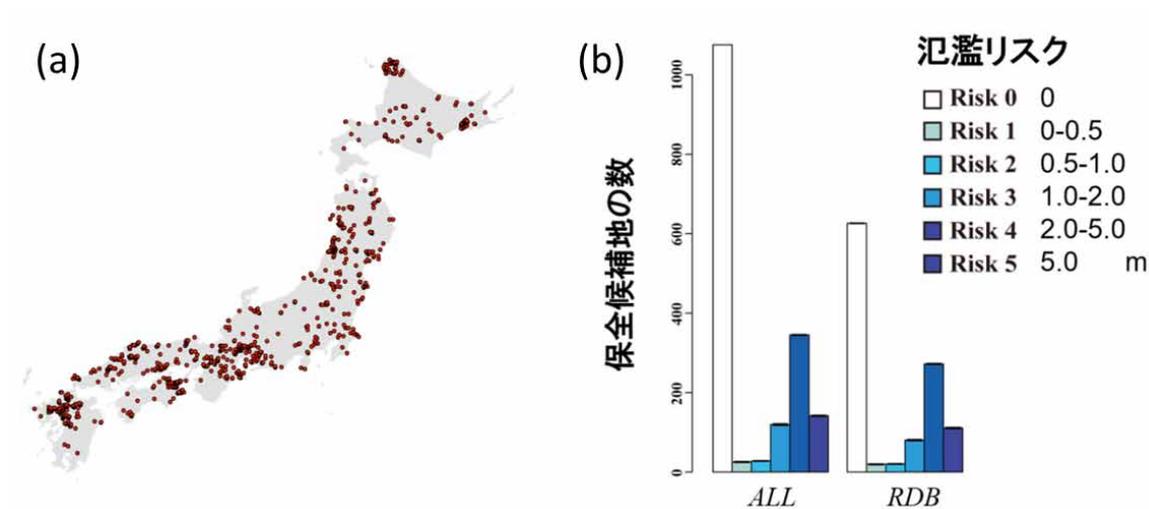
(2) 優先保全地域の選定

1) 全種を対象とした選定

整備した全国を対象としたデータベースから131魚種(レッドリスト種:57種)が確認された。相補性解析の結果、全種を対象にした解析では、全候補地中の約3割の地点、レッドリスト種に絞ると約2割の地点が保全候補地として選定された。相補性解析の結果にもとづき、非代替性の特に高い地点を地図化した(図(5)-1a: 選択回数90回以上/試行100回中)。保全候補地と現状の保護区との重なりを解析した結果、選定された保全箇所の大部分は現在の保護区外にあることが明らかとなった。またこの傾向は地域スケールで解析を実施した場合も同様であった。また、洪水ハザードマップを用いて氾濫リスクとの関係性を解析したところ、候補地の約1/3がRisk3~5の氾濫リスクが高いエリアに存在することが明らかとなった(図(5)-1b)。尚、Risk0に多くの候補地が含まれる理由の1つは、「現状の保護区に含まれる地点は必ず選定する」という条件で解析を行っており、こうした保護区の多くが上流域(氾濫リスクが少ない地域)に位置するためである。これらの結果から、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、多様性保全と減災を両立した保護区の設定を行えることが示された。

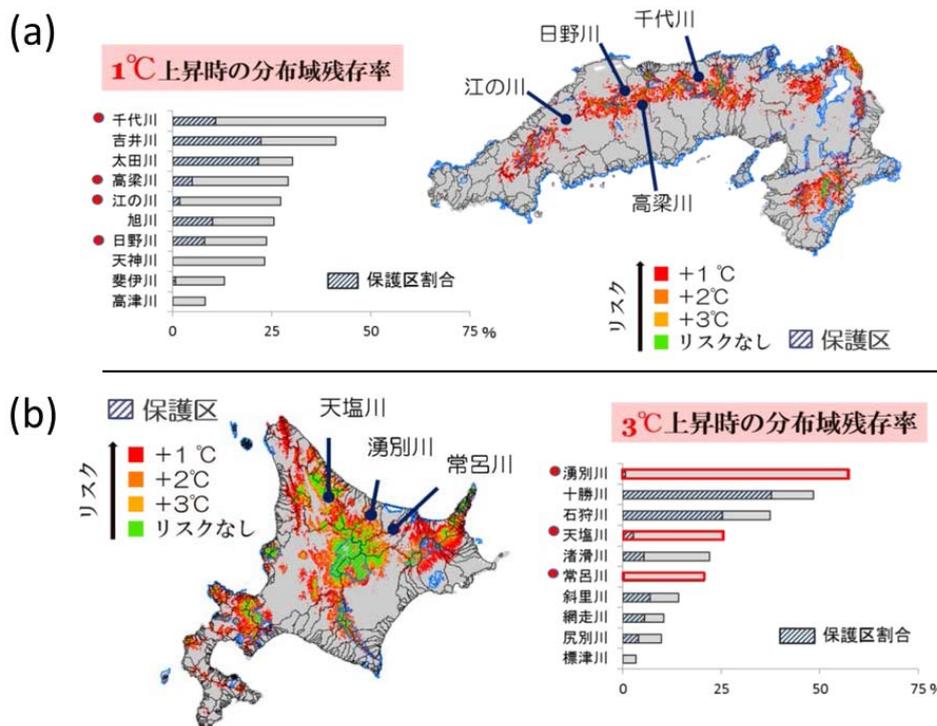
2) 気候変動に脆弱な種を対象とした選定

特に温暖化によるリスクが深刻なのは中国・近畿地方で、気温1度上昇時で約7割の分布域の消失が予測された(図(5)-2a)。流域ごとに分布域の残存率と保護区カバー率の関係を解析したところ、保護区のカバー率は高くなかった。おそらくこれは、特に中国地方は海浜の保護区が多い一方で、残存分布域のほとんどが高標高域に位置するためだと考えられた。一方、北海道は冷涼な



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。



図(5)-2 温暖化に伴うイワナ属の推定分布域の変化と現状の保護区との関係

(a)近畿・中国地域の結果、 (b)北海道地域の結果。

地域ということもあり、気温1度上昇時の生息適地の消失率は3～4割程度だが、3度上昇時には中国地方同様に7割以上が消失すると推定された（図(5)-2b）。特に道北の流域(赤枠)は、他の流域に比べて比較的多くの分布域が残存することから、適応策として生息地の保護を行うことが今後の保全策として有効であると考えられるが、現状の保護区ではほぼカバーできていないことが明らかとなった。おそらくこれは、道北流域は水温が低く低標高までイワナの生息域が残存する一方で、近隣の自然公園の多くが内陸の標高の高いエリアにのみ設定されているためであると考えられる。これらの結果は、イワナ属に対する温暖化影響の緩和策として、生息域の消失パターンに応じて、地域ごとに適切な保護区設定を行っていく必要があることを示唆している。

(3) 駆動因解析

1) 流域スケール

北海道十勝川流域では、希少性は溶存酸素の単項が正に、典型性に対しては護岸率が負、外来種が正に関係していた。また大河川において典型性が高い傾向があり、小河川で特に人為的影響による多様性の低下が生じている可能性が示唆された。各多様性指標に対して護岸が負、溶存酸素濃度が正の関係があったことから、護岸建設による河岸構造の複雑性や河川-氾濫原間の連結性の低下、水質悪化が駆動因として考えられる。尚、護岸率と護床率間には強い正の相関があったことから、護床率も河床環境の単調化等を介して典型性に負の影響を与えている可能性が高い。

愛媛県重信川流域には 57の横断工作物が確認された。解析の結果、アマゴの有無は流程上の位置と隔離集水域面積で説明され、アマゴの分布上限が集水域面積0.49 km²付近に位置すること、横断工作物の負の影響は特に集水域面積0.49～0.89 km² 程度の源流域で強いことが示唆された。

2) 地域スケール

a. 九州地方 多くのタナゴ類の存在確率は、流路長が長く緩勾配で、周囲の水路網の複雑な河川で高かった。また、局所的な護岸形状に着目すると、護岸高が高い場所ほど存在しなくなる種が増加する傾向があり、タナゴ類にとって水草などによって作られる産卵環境へのアクセスが重要であることも示唆された。これらを踏まえると、まず、代替氾濫原である複雑な水路網を保全する事が重要と言える。しかし、農地の集約化や都市化が進む場所では、水路網の複雑性を復元することは困難であり、護岸高などの局所環境改善が氾濫原依存種の保全に重要であるといえる。

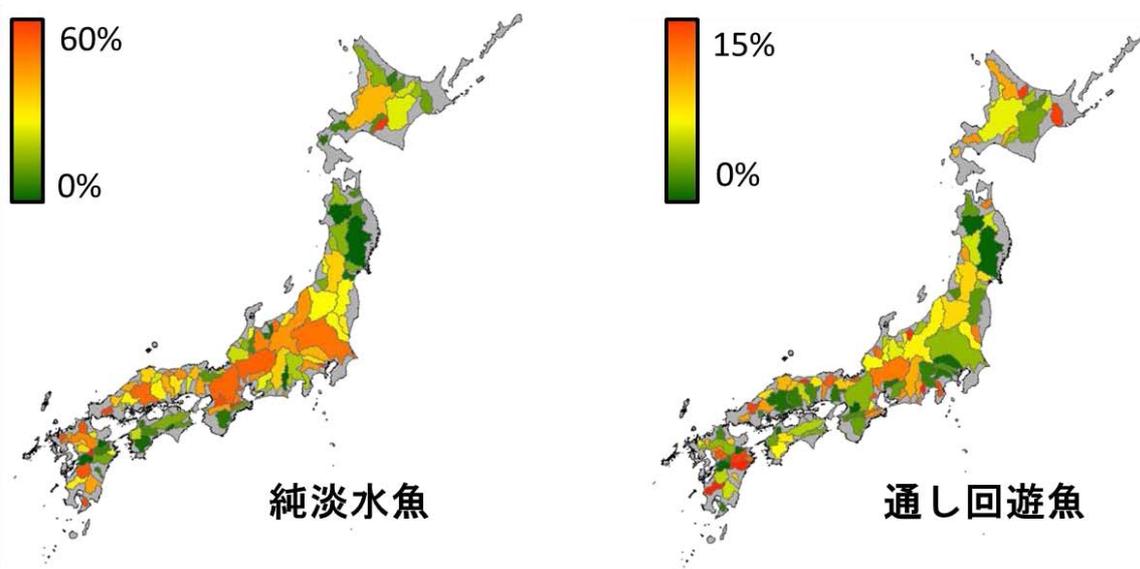
b. 四国地方 分類群数低下の駆動因として、電気伝導度とリン酸態リン濃度が選ばれた。これら水質の悪化を引き起こす土地利用を検証した結果、電気伝導度は水田割合と果樹園割合、リン酸態リン濃度は水田割合と都市域割合が選ばれた。これらの結果から、四国地方における河川底生動物の分類群数の低下を引き起こす主な駆動因は、土地利用に起因する水質の悪化であることが示された。また底生動物の分類群数は、底質粗度および河畔林の鬱閉割合が正に影響しており、農地利用からの土砂流出等による河床材料の細粒化も分類群数の低下につながる可能性が示唆された。

c. 中部地方 全調査地点の10%以上で観察された33種を解析対象とした。モデル化の結果、ダムおよび水質が各魚種の存在確率に大きく影響する傾向にあった。期待値の算出結果に基づき、木曾三川での魚類多様性の乖離度を評価した結果、特に、上流のダムの有無は底生性魚類の乖離度に対して負の影響を与えている傾向があった。おそらくこれは、生息地の分断化に加え、河床材

料への依存度が強い底生性魚類は、ダム建設による河床材料の改変の影響を受けているためだと推測された。また、中下流域では両魚類とも乖離度が大きく、これは水質悪化に起因すると考えられた。

3) 全国スケール

データベースより魚類の種数の低下度を評価し（図(5)-3）、駆動因を解析した。純淡水魚の種の減少率は、堤外の氾濫原面積が負に、BODと平均勾配が正に関係していた。通し回遊魚については、魚類が遡上できる河川区間の総流路距離とBODが負に影響していた。これらより、流域・地域スケールでの駆動因として示された「分断化による生物多様性の低下」が、全国スケールでも生じていることが明らかとなった。同時に、水質の悪化も駆動因として示唆された。



図(5)-3 全国スケールでの魚類種数の減少率

(4) 再生手法への提言

駆動因解析の結果を整理したところ（表(5)-2）、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り、連結性と水質に関する要因は全空間スケールで影響が確認された。特に「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。そこで本節では、連結性の再生手法に関してとりまとめを行った（表(5)-3）。

表(5)-3で示したように、連結性再生には多様な手法が存在するものの、現状では日本での普及が進んでいないもの、実施が困難なものも多い。河川の攪乱体制や人間による淡水環境や周辺の土地への依存度は刻々と変化しており、より効果的な連結性の再生を実現するためには、管理者がその変化に応じて適切な再生手法を検討していく必要があるだろう。特に、河川構造物や土地利用の影響を長年受け、現状では本来の自然プロセスを復元することが難しい現状では、代替的な連結性に着目し、「創出」や「部分的な自然プロセスの復元」といった再生タイプが主流の対

表(5)-2 各空間スケールの駆動因解析の結果のまとめ

対象地	対象分類群	多様性指標	駆動因				
			連結性		水質	河床環境	土地利用
			縦断的	横断的			
日本	魚類 -純淡水魚 -通し回遊魚	種数	・河口からの 遡上可能距離 (通し回遊魚)	・氾濫原面積 (純淡水魚)	・BOD		
四国地方 -西部	底生動物	分類群数			・電気伝導度 ・リン酸態リン	・細粒土砂	・農地 ・都市
中部地方 -木曾三川	魚類	在・不在	・ダム		・生活環境の保全に 関する環境基準		
九州地方 -北部	魚類 -タナゴ類	在・不在		・水路網の複雑性 ・護岸形状			
北海道 -十勝川	魚類	典型性 希少性		・護岸率	・溶存酸素濃度	・護床率	
愛媛県 -重信川	魚類 -サケ科	在・不在	・堰堤				

表(5)-3 各連結性の再生手法の特徴

タイプ	再生手法	主な効果	(a)課題 / (b)実施上の留意点
縦断的な連結性			
Creation	魚道の設置	・代替的な移動経路の創出	a: 幅広い魚種・生活史段階に効果的な手法の開発. b: 土砂・流木の堆積による魚道機能の低下.
Partial	堰堤のスリット化	・移動経路の改善 ・物質(土砂や有機物)輸送の改善	a: 幅広い魚種・生活史段階に効果的な手法の開発. b: 本来の堰堤の機能(砂防、治山等)の大幅な低下.
Full	横断工作物の撤去	・移動経路の回復 ・物質(土砂や有機物)輸送の回復	a: 本流の連結性改善に向けた大型横断工作物の撤去. b: 堆砂土砂の流出による下流域の河川環境の悪化.
横断的な連結性			
(河道内氾濫原を対象)			
Creation	工学的技術による人為的氾濫	・代替的な氾濫源の創出	b: 水生生物の河川-氾濫原間の移動の再生には不適.
Partial	試験放流	・氾濫プロセスの改善	a: 最適な流況(規模、頻度、タイミング等)把握に向けた 順応的管理の実施. b: 堆砂土砂の流出による下流域の河川環境の悪化.
Partial	高水敷掘削/河畔林伐採	・氾濫源面積の拡大	a: 効率的な掘削(伐採)の回帰年の設定. b: 作用外力と堆積速度の増加による掘削跡地の不安定化.
Partial	遊水地の造成/引き堤	・氾濫源面積の拡大	a: 土地利用の制約が強く、現状では広域での実施は困難.
Full	河川の再蛇行化	・氾濫プロセスの改善/回復 ・河岸からの倒木供給の改善	a: 土地利用の制約が強く、現状では広域での実施は困難. b: 河床低下による旧川-河川間の比高の増大.
Full	ダムの撤去	・氾濫プロセスの回復	a: 将来的なダム撤去の推進に向けた 荒瀬ダム撤去事業の影響評価. b: 堆砂土砂の流出による下流域の河川環境の悪化.
(河道外氾濫原を対象)			
Partial	河川-水路-池沼 ネットワークの管理	・代替的な移動経路の創出 ・代替的な氾濫原の創出	a: 多様な管理主体間の連携に基づくネットワーク管理.

* Creation: 創出(Habitat creation), Partial: 部分的な自然プロセスの復元(Partial restoration), Full: 根本的な自然プロセスの復元(Full restoration)

策となる。一方、人口減少や放棄農地の増加、横断工作物の老朽化といった今後予想される変化に伴い、これまで治水・利水上の面から実施が限られてきた大規模な連結性再生がより広範な地域で実施できる可能性が生まれてきた。そのため今後は、「根本的な自然プロセスの復元」も取り入れた再生の推進が期待される。水域ネットワーク再生の広域化が予想される中で、以前にも増して必要とされるのが、水域・土地の管理者や所有者間での連携に基づく再生事業の推進である。生態系保全は、土地利用や経済的制約といった実務的な問題を常に抱えており、限られた資

源内で、日々技術的に向上しつつある保全策の効果を最大化するには、再生箇所の優先順位付けが重要だろう。例えば本研究の全国スケールでの駆動因解析では、全国の1級河川における水域の分断化およびそれに起因する多様性低下の現状を評価した。こうした各河川の現状に基づき、優先的に連結性の再生を行う流域を選定することも、今後の河川管理にとって有効な手段となる。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究ではまず、解析用に未整理であったデータや、所在が散在し収集が困難であったデータを統合することで、広域スケールでの生物多様性評価に欠かせない情報を得た。また、既存の保全地選定は、 α 多様性を基準とすることが多く γ 多様性に着目してこなかったが、相補性解析を用いることで効率的に γ 多様性を保全する手法を提示した。温暖化に脆弱な種の分布域の変化を考慮した保全の必要性も明らかにしており、今後の気候変動下における効果的な保全地選定に対しても寄与したと言える。これまで駆動因解析を実施した研究の多くは、比較的小さな空間スケールを対象として、河川生態系の劣化に関する駆動因の特定を個別に実施してきた。しかし本研究では、モデルの精度向上を図りつつ多様な空間スケールで駆動因解析を行うことで結果の一般性を高め、河川生態系劣化を引き起こす主要な駆動因を特定した。また、特定した駆動因に関する再生手法、国土スケールの河川生態系のモニタリングである河川水辺の国勢調査の現状を整理することで、日本の河川生態系の保全・再生における課題について明確化した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

環境省が主催した「生物多様性評価の地図化に関する検討会」に座長として参画し、本研究成果に基づく提案ならびに地図の提示を行った。生物多様性評価地図のうち「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（イワナの生育適地の変化予測）」は本研究の成果を基に作成された。国土交通省の「河川砂防技術基準検討委員会」には委員として参画し、生物多様性劣化の駆動因の抽出結果に基づき、河川環境の改善策について意見を述べた。さらに、環境省の「生物多様性及び生態系サービスの総合評価に関する検討会」の検討会委員として参画し、河川の生物多様性評価に関して助言を行った。本研究の成果は、生物多様性及び生態系サービスの総合評価報告書において「図Ⅱ-13 魚類の保護候補地」や「図Ⅱ-50 河川の連続性（流域の分断と通し回遊魚の分布）」として活用される予定である。「生態系を活用した防災・減災の推進に関する検討会」や、国土交通省国土政策局の「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、相補性を考慮した保護区候補地の選定結果に基づき、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、複合利用について助言を行った。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究で作成した相補性解析の結果は、日本全国の中で保全優先度が高い地域、河川を抽出する際の重要な知見となりうる。また、温暖化に脆弱な種の分布域変化を予測することで、今後の気候変動下における各保護区の効果を推定し、見直しする際に重要な知見を提供する。このため

今後の保護区選定においては、限られた保護区面積の中で最大限効果を発揮させることができる場所や、将来にわたってその効果が持続されるような場所を選ぶことが可能になる。保全候補地として選定された地域や河川では、生物多様性劣化をもたらす駆動因の有無や、その影響を緩和するための保全措置が重要となる。本研究結果を活用することで、生物多様性に対する潜在的な脅威が各地域や河川にどの程度存在するか、今後どのような影響が生じるかをあらかじめ把握できると考えられる。さらに、本研究で整理した水域の連結性再生の現状と課題に関する知見は、連結性低下の影響を強く受けている日本の多くの河川において、劣化した河川生態系の再生や生物多様性の保全を行っていく上で大いに役立つと考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

- 1) N. ONIKURA, J. NAKAJIMA, M. MIYAKE, K. KAWAMURA and S. FUKUDA: Ichthyological Research 59, 2, 124-133 (2012)
“Predicting distributions of seven bitterling fishes in northern Kyushu, Japan”
- 2) J. I. SEO, F. NAKAMURA, T. AKASAKA, H. ICHIYANAGI and K. W. CHUN: Water Resources Research 48, 3, W03510 (2012)
“Large wood export regulated by the pattern and intensity of precipitation along the latitudinal gradient of the Japanese archipelago”
- 3) N. ISHIYAMA, S. NAGAYAMA, T. AKASAKA and F. NAKAMURA: Hydrobiologia 686, 1, 257-266 (2012)
“Habitat use by endangered Japanese crayfish (*Cambaroides japonicus*) in low-gradient streams of southern Hokkaido, Japan: reach and microhabitat-scale analysis”
- 4) T. AKASAKA, M. AKASAKA and F. NAKAMURA: Biological Conservation 145, 1, 15-23 (2012)
“Scale-independent significance of river and riparian zones on three sympatric *Myotis* species in an agricultural landscape”
- 5) Y. MIYAKE and T. AKIYAMA: Journal of Hydro-environment Research 6, 2, 137-144 (2012)
“Impacts of water storage dams on substrate characteristics and stream invertebrate assemblages”
- 6) F. NAKAMURA: Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring (eds. S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA), Springer, Tokyo (2012)
“Current status and nationwide Database of the River and Floodplain Ecosystem in Japan”
- 7) K. HAYASHI, E. J. KIM and N. ONIKURA: Ichthyological Research 60, 3, 218-226 (2013),
“Growth and habitat use of the Chinese false gudgeon, *Abbottina rivularis*, in and irrigation channel near the Ushizu River, northern Kyushu Island, Japan”
- 8) M. INOUE, S. SAKAMOTO and S. KIKUCHI: Ecology of Freshwater Fish 22, 3, 335-347 (2013)
“Terrestrial prey inputs to streams bordered by deciduous broadleaved forests, conifer plantations and

- clear-cut sites in southwestern Japan: effects on the abundance of red-spotted masu salmon.”
- 9) R. KAWANISHI, M. INOUE, R. DOHI, A. FUJII and Y. MIYAKE: *Aquatic Sciences* 75, 3, 425-431 (2013)
 “The role of hyporheic zone for a benthic fish in an intermittent river: a refuge, not a graveyard”
- 10) 鬼倉徳雄、川本朋慶：水環境学会誌 36, 3, 99-106 (2013)
 「九州北部の一級水系における水質と純淡水魚類の出現との関係」
- 11) H. KAWAI, N. ISHIYAMA, K. HASEGAWA and F. NAKAMURA: *Ecology of Freshwater Fish* 22, 4, 645-653 (2013)
 ”The relationship between the snowmelt flood and the establishment of non - native brown trout (*Salmo trutta*) in streams of the Chitose River, Hokkaido, northern Japan”
- 12) N. ONIKURA, T. MIYAKE, J. NAKAJIMA, S. FUKUDA, T. KAWAMOTO and K. KAWAMURA: *Aquatic Invasions* 8, 219-229 (2013)
 “Predicting potential hybridization between native and non-native *Rhodeus ocellatus* subspecies: The implications for conservation of a pure native population in northern Kyushu, Japan”
- 13) 林浩介、小山彰彦、鬼倉徳雄：魚類学雑誌 60, 141-147 (2013)
 「牛津川近隣の農業用水路におけるツチフキの産卵環境」
- 14) 高木基裕、柴川涼平、清水孝昭、大森浩二、井上幹生：応用生態工学 16, 13-22 (2013)
 「吉野川におけるオオヨシノボリ個体群の遺伝的分化および陸封化」
- 15) N. ISHIYAMA, T. AKASAKA and F. NAKAMURA: *Aquatic sciences* 76, 3, 437-449 (2014)
 “Mobility-dependent response of aquatic animal species richness to a wetland network in an agricultural landscape”
- 16) H. KAWAI, S. NAGAYAMA, K. URABE, T. AKASAKA and F. NAKAMURA: *Environmental Biology of Fishes* 97, 5, 575-586 (2014)
 “Combining energetic profitability and cover effects to evaluate salmonid habitat quality”
- 17) F. NAKAMURA, N. ISHIYAMA, M. SUEYOSHI, T. AKASAKA and J. NEGISHI: *Restoration Ecology* 22, 4, 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”
- 18) 藤原結花、内田有紀、川西亮太、井上幹生：応用生態工学 16, 2, 91-105 (2014)
 「灌漑用湧水池における魚類群集の変化 - 護岸改修と外来魚に着目した10年前との比較 -」
- 19) R. KAWANISHI, R. DOHI, A. FUJII and M. INOUE: *Ecology of Freshwater Fish* 24, 4, 584-590 (2014)
 “Effects of sedimentation on an endangered benthic fish, *Cobitis shikokuensis*: Is sediment-free habitat a requirement or a preference?”
- 20) N. ONIKURA: *Ichthyological Research* 62, 2, 197-206 (2015)
 “Site selection for habitat conservation/restoration of threatened freshwater fishes in artificial channels of northern Kyushu Island, Japan”
- 21) 松葉成生、吉見翔太郎、井上幹生、畑啓生：魚類学雑誌 61, 89-96 (2014)
 「分子系統地理が示す愛媛県松山平野におけるアブラボテの人為移入起源」

- 22) 菊地修吾、井上幹生：応用生態工学 17, 17-28 (2014)
「人工構造物による溪流魚個体群の分断化 -源頭から波及する絶滅-」
- 23) N. ISHIYAMA, I. KOIZUMI, T. YUTA and F. NAKAMURA: Freshwater Biology 60, 4, 733-744 (2015)
“Differential effects of spatial network structure and scale on population size and genetic diversity of the ninespine stickleback in a remnant wetland system”
- 24) 藤原結花、内田有紀、川西亮太、井上幹生：応用生態工学 18, 127-137 (2015)
「愛媛県重信川に造成された氾濫原生息場所における魚類群集」
- 25) N. ISHIYAMA, M. SUEYOSHI and F. NAKAMURA: Royal Society Open Science 2, 150033 (2015)
“To what extent do human-altered landscapes retain population connectivity? : historical changes in gene flow of wetland fish *Pungitius pungitius*”
- 26) 鬼倉徳雄：低平地研究 24, 15-18 (2015)
「有明海北部沿岸域のクリーク網：希少な淡水魚類が多く残される理由」
- 27) 八重樫咲子、不破直人、山崎久美子、三宅洋、渡辺幸三：土木学会論文集G(環境) 71, 7, 115-121 (2015)
「ダムおよび瀬切れによる河川分断化がエルモンヒラタカゲロウの地域間交流に及ぼす影響の遺伝的評価」
- 28) N. ISHIYAMA, M. SUEYOSHI, N. WATANABE and F. NAKAMURA: Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 26, 3, 416-428 (2016),
“Biodiversity and rarity distributions of native freshwater fish in an agricultural landscape: the importance of β diversity between and within waterbody types”
- 29) N. ONIKURA, J. NAKAJIMA, R. INUI and J. KANETO: Ichthyological Research 63, 3, 347-355 (2016)
“Priority maps for protecting the habitats of threatened freshwater fishes in urban areas: a case study of five rivers in the Fukuoka Plain, northern Kyushu Island, Japan”
- 30) M. SUEYOSHI, N. ISHIYAMA and F. NAKAMURA: Landscape and Ecological Engineering 12, 2, 187-196 (2016)
“ β diversity decline of aquatic insects at the microhabitat scale associated with agricultural land use”
- 31) 末吉正尚、赤坂卓美、森照貴、石山信雄、川本朋慶、竹川有哉、井上幹生、三橋 弘宗、河口 洋一、鬼倉 徳雄、三宅 洋、片野 泉、中村 太士：保全生態学研究 (印刷中)
「河川水辺の国勢調査を保全に活かすーデータがもつ課題と研究例」

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) 今田慎太郎、守口祥平、三宅洋、井上幹生：第41回環境システム研究論文発表会講演集、329-336 (2013)
「河道掘削工事が河川性底生動物に及ぼす影響」
- 2) 三宅洋、荻原啓司、金沢康史：土木学会論文集G(環境)、69, 2, 74-83 (2013)
「集水域の土地利用および河畔林伐採が山地河川の刈取食者に及ぼす影響」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 井上幹生：月刊愛媛ジャーナル、6月号, 76-79 (2014) 河川生態系における人為的インパクト
- 2) 川那部浩哉、水野信彦 監修／中村太士編著：「河川生態学」講談社（2013）

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 森照貴、上野公彦、佐川志朗、萱場祐一：第15回応用生態工学会（2011）
「木曾三川における魚類群集の特徴 ～流域および区間スケールにおける人為的影響」
- 2) 潮見礼也、三宅洋、上田竜士、井上幹生：第15回応用生態工学会（2011）
「集水域特性が河川生物の群集構造および相互作用に及ぼす影響」
- 3) 竹川有哉、三橋弘宗、河口洋一：第59回日本生態学会全国大会（2012）
「日本列島におけるイワナ属の生息適地モデルとその保全計画への活用」
- 4) T. MORI, K. UENO, H. TAKAOKA, S. SAGAWA and Y. KAYABA：The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Longitudinal patterns in fish assemblages of the Kiso, Nagara, and Ibi rivers”
- 5) N. ISHIYAMA, T. AKASAKA and F. NAKAMURA：The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“A test of graph theoretical approach in freshwater ecosystem: relationship between pond connectivity and fish diversity”
- 6) T. AKASAKA, Y. YAMAURA and F. NAKAMURA：The 5th EAFES International Congress, Otsu, Japan, 2012
“Graph-theoretic approaches for the forest network management in agro-ecosystems at multi-resolution: the significance of riparian forest patch”
- 7) 潮見礼也、仁子明英、三宅 洋：土木学会四国支部第18回技術研究発表（2012）
「出水攪乱が底生動物に及ぼす影響の河川間比較」
- 8) Y. MIYAKE and T. SUGIHARA：ASLO Aquatic Science Meeting, Otsu, Japan, 2012
“Effects of light intensity and periphyton biomass on colonization pattern of stream invertebrates”
- 9) R. KAWANISHI, R. DOHI, A. FUJII, M. INOUE and Y. MIYAKE：2012 Ecological Society of America, Portland, USA, 2012
“Seasonal use of the hyporheic zone by spinous loach, *Cobitis shikokuensis*, in an intermittent river, southwestern Japan”
- 10) 河口拓紀、井上幹生：ELR 2012（緑化学・景観生態学・応用生態工学 3学会合同大会）（2012）
「四国北西部における河川性魚類群集の種多様性およびその階層的特性」
- 11) 潮見礼也、三宅 洋：ELR 2012（緑化学・景観生態学・応用生態工学 3学会合同大会）（2012）
「底生動物データを用いた愛媛県50河川の評価」
- 12) 末國仙理、井上幹生：ELR 2012（緑化学・景観生態学・応用生態工学 3学会合同大会）（2012）
「倒流木が溪流性サケ科魚類アマゴの生息環境に及ぼす影響 一定住性を用いた評価」
- 13) 竹林佑記、井上幹生、三宅洋：ELR 2012（緑化学・景観生態学・応用生態工学 3学会合同大会）（2012）

「河川生物に対する溪畔林の餌供給機能 一天然林と人工林とでの比較」

- 14) 富士見佳門、井上幹生、内田有紀：ELR 2012（緑化学・景観生態学・応用生態工学 3学会合同大会）（2012）
「網状流路河川・重信川における魚類群集の現状 -13年前との比較-
- 15) T. AKASAKA, Y. YAMAURA and F. NAKAMURA：42nd Annual Meeting Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland, Germany, 2012
“Graph-theoretic approaches for the forest network management at multi-resolution in Japan.”
- 16) N. ISHIYAMA, T. AKASAKA and F. NAKAMURA：42nd Annual Meeting Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland, Germany, 2012
“Pond connectivity and aquatic biodiversity in an agricultural landscape, northern Japan”
- 17) 土肥竜太、松田太樹、川西亮太、井上幹生、藤井明日香：第45回日本魚類学会（2012）
「間欠流河川における流量変動に対するヒナイシドジョウの反応」
- 18) 藤井明日香、川西亮太、土肥竜太、井上幹生、清水孝昭：第45回日本魚類学会（2012）
「愛媛県肱川流域におけるヒナイシドジョウの形態学的変異」
- 19) 赤坂卓美、森 照貴、竹川有哉、石山信雄、井上幹生、三橋弘宗、河口洋一、鬼倉徳雄、三宅洋、片野 泉、一柳英隆、中村太士：第60回日本生態学会大会（2013）
「水生動物を用いた" 川の健康診断"：全国および地域スケールでの試み」
- 20) 加藤康充、小野田幸生、森照貴、一柳英隆、萱場祐一：第60回日本生態学会大会（2013）
「魚類群集に対するダムの影響：広域スケールにおけるダム上下流比較」
- 21) 坂東伸哉、河口洋一、大串浩一郎、野崎健太郎、野口剛志、手塚公裕、濱岡秀樹、関島恒夫：第60回日本生態学会大会（2013）
「貯水ダムの出現が河川内有機物に与える影響の評価」
- 22) 竹川有哉、河口洋一、谷口義則：第60回日本生態学会大会（2013）
「世界遺産・知床の冷水性サケ科魚類を脅かす水温上昇の現状 ダムは水温上昇を加速させるのか」
- 23) 西廣淳、河口洋一、角野康郎：第60回日本生態学会大会（2013）
「河川・湖沼・湿地の自然再生 地域がはぐくむ氾濫原再生」
- 24) 三橋弘宗、浅見佳世：第60回日本生態学会大会（2013）
「河川整備計画の策定を支援する生態系評価手法の開発」
- 25) 山本逸生、赤坂卓美、石山信雄、伊藤弘樹、中村太士：第60回日本生態学会大会（2013）
「北海道十勝川流域における河川魚類群集の典型性評価」
- 26) 赤坂卓美、森照貴、竹川有哉、石山信雄、井上幹生、三橋弘宗、河口洋一、鬼倉徳雄、三宅洋、片野泉、一柳英隆、中村太士：2013年度日本魚類学会年会（2013）
「魚類の保全と保護区設定：相補性を考慮して」
- 27) 鬼倉徳雄、川本朋慶、中島淳、三宅琢也、河村功一、福田信二：2013年度日本魚類学会年会（2013）
「ニッポンバラタナゴ・タイリクバラタナゴ間の交雑を予測する」
- 28) 福田信二、山口真理恵、鬼倉徳雄、原田昌佳、平松和昭、中島淳：2013年度日本魚類学会年会（2013）

- 「ランダムフォレストを用いた九州北部のタナゴ類の生息環境評価」
- 29) 三橋弘宗：2013年度日本魚類学会年会（2013）
「河川生態系の広域評価と実践をつなぐ方法論」
- 30) 森照貴、上野公彦、小野田幸生、高岡広樹、萱場祐一：2013年度日本魚類学会年会（2013）
「典型種の分布パターンから河川生態系の現状を評価する：木曾三川を例にして」
- 31) 今田慎太郎、守口祥平、三宅洋、井上幹生：第41回環境システム研究論文発表会（2013）
「河道掘削工事が河川性底生動物に及ぼす影響」
- 32) 赤坂卓美、森照貴、竹川有哉、石山信雄、井上幹生、三橋弘宗、河口洋一、鬼倉徳雄、三宅洋、片野泉、一柳英隆、中村太士：第61回日本生態学会大会（2014）
「河川生態系における保全重要地の検討」
- 33) Y. MIYAKE, S. IMADA and M. INOUE : Joint Aquatic Science Meeting, Portland, USA, 2014
“Channel incision mediates the effect of flood disturbance on fish and invertebrates”
- 34) 吉村研人、三宅洋、中西哲、今田慎太郎：土木学会四国支部第20回技術研究発表会（2014）
「大規模流量データ解析による河川攪乱レジーム特性の広域的把握」
- 35) 山崎久美子、不破直人、三宅洋、渡辺幸三：土木学会四国支部第20回技術研究発表会（2014）
「河川分断化が底生動物3種の遺伝的分化へ及ぼす影響の評価」
- 36) 井上幹生、川西亮太、菊地修吾、角崎嘉史、田頭亮臣：応用生態工学会第18回大会（2014）
「様々な魚類の分布解析で検出されるダムの影響」
- 37) 石山信雄、小泉逸郎、油田照秋、中村太士：応用生態工学会第18回大会（2014）
「湿地ネットワークの構造と空間スケールがイバラトミヨ個体群に与える影響：個体数と遺伝的多様性間での比較検証」
- 38) 三宅洋：応用生態工学会第18回大会（2014）
「河道内氾濫原の保全再生－諸外国における事例－」
- 39) 吉村研人、三宅洋、中西哲：応用生態工学会第18回大会（2014）
「大規模流量データ解析による河川攪乱レジーム特性の広域的把握」
- 40) 山崎久美子、不破直人、三宅洋、渡辺幸三：応用生態工学会第18回大会（2014）
「河川分断化が底生動物3種の遺伝的分化へ及ぼす影響評価」
- 41) 三宅洋：応用生態工学会第18回大会（2014）
「河川生態系における攪乱研究の現状と課題」
- 42) 末吉正尚、東城幸治、中村太士：応用生態工学会第18回大会（2014）
「森林・農地景観における河川水生昆虫の個体群維持機構－トビケラの遺伝的構造が解き明かすソースシンクの関係性」
- 43) 山本逸生、赤坂卓美、石山信雄、中村太士：応用生態工学会第18回大会（2014）
「RIVPACS方式を用いた河川生態系の典型性評価と駆動要因の解明：魚類群集を対象として」
- 44) 山崎久美子、不破直人、三宅洋、渡辺幸三：第42回環境システム研究論文発表会（2014）
「河川分断化が底生動物3種の遺伝的分化へ及ぼす影響評価」
- 45) 竹川有哉、香川祥大、赤坂卓美、佐藤陽一、井上幹生、河口洋一：第8回四国GISシンポジウム（2015）
「GISを用いた生物情報の地図化と政策活用の提案－河川性魚類の保全適地と災害リスクの

関係から土地利用を評価するー」

- 46) 三宅洋、吉村研人、岡田裕成、赤坂卓美：第62回日本生態学会大会（2015）
「日本全国の河川を対象とした流況－樹林化関係の解析」
- 47) 吉村研人、岡田裕成、赤坂卓美、三宅洋：土木学会四国支部第21回技術研究発表会（2015）
「攪乱レジームに基づく国内河川の分類」
- 48) 阿部博文、市守大介、井上幹生：日本魚類学会2015年度年会（2015）
「仁淀川水系黒川源流域における在来アマゴに対する移入イワナの影響－食性解析からの推測」
- 49) 市守大介、阿部博文、井上幹生、水野信彦：日本魚類学会2015年度年会（2015）
「仁淀川水系黒川源流域における移入イワナの分布域拡大および在来アマゴに対するその影響」
- 50) 三宅洋：第18回河川生態学術研究発表会（2015）
「長期流量データ解析による国内河川の攪乱レジームの評価」
- 51) 森照貴、内田圭、萱場祐一：第63回日本生態学会（2016）
「河川における人為的な影響は生物群集の均質化をもたらすか？」

（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

- 1) 釧路新聞（2014年5月28日、1頁「釧路川蛇行復元 北大論文 世界的学術誌に」）
- 2) 北海道新聞（2014年6月2日、7頁「蛇行復元 戻る「湿原」」）
- 3) 読売新聞（2014年6月6日「蛇行化効果 数値で確認」）

（6）その他

- 1) 石山信雄、小泉逸郎、油田照秋、中村太士：応用生態工学会第18回大会優秀口頭研究発表賞（2014）
- 2) 末吉正尚、東城幸治、中村太士：応用生態工学会第18回大会優秀口頭研究発表賞（2014）
- 3) 山崎久美子、不破直人、三宅洋、渡辺幸三：応用生態工学会第18回大会優秀ポスター研究発表賞（2014）
- 4) 山本逸生、赤坂卓美、石山信雄、中村太士：応用生態工学会第18回大会優秀ポスター研究発表賞（2014）
- 5) 吉村研人、赤坂卓美、三宅洋：応用生態工学会第18回大会優秀ポスター研究発表賞（2015）

8. 引用文献

- 1) E. W. SANDERSON: Bioscience 56, 911-922 (2006), How many animals do we want to save? The many ways of setting population target levels for conservation

- 2) S. Nakano, F. Kitano and K. Maekawa: *Freshwater Biology* 36, 711-722 (1996), Potential fragmentation and loss of thermal habitats for charrs in the Japanese archipelago due to climatic warming
- 3) K. WATANABE: *Environmental Biology of Fishes* 94, 533-547 (2012), Faunal structure of Japanese freshwater fishes and its artificial disturbance
- 4) C. R. LIERMANN, C. NILSSON, J. ROBERTSON and R. Y. NG: *Bioscience* 62, 539-548 (2012), Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity

(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

生態学研究センター

中野 伸一・谷内 茂雄

<研究協力者>

大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所 奥田 昇

広島大学生物圏化学研究科

水産生物生産学講座

柴田 淳也（平成23～25年度）

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

総合解析部門 琵琶湖環境担当

酒井 陽一郎（平成25～27年度）

京都大学

京都大学生態学研究センター

岡野 淳一（平成27年度）

平成24～27年度累計予算額：41,029千円（うち平成27年度：6,999千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

琵琶湖は400万年という長い歴史を有し、数多くの固有種を擁しているため、世界的にも優先して保全すべき淡水生態系の一つである。本研究では、既存の生物分布データ、湖内環境データ、さらに集水域の土地利用データをデータベース化し、1) 琵琶湖沿岸域の優先的保護区の選定と現有の保護区とのギャップ分析、2) 沿岸域や内湖を対象とした生物多様性低下の要因解析、3) 沖帯深層の底生動物群集の長期変動解析を実施した。1) 底生動物、魚類そして沈水植物を対象とした相補性解析により、優先保護地を選択し、既存の保護区ではない数地点を特定した。2) 沿岸域の底生動物種数は、湖岸底質の粒径と強い負の関係を示した。底質の粒径は隣接する集水域の水田の面積割合によって最もよく説明できたことから、水田から流出する懸濁物が湖底に堆積し、湖底の微生息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推測された。内湖の底生動物種数は、内湖の濁度増加に伴い低下した。濁度は、集水域の人口密度や内湖水の全窒素量、琵琶湖-内湖の接続水門の有無、そして接続水路の流速と有意な相関関係が認められたことから、窒素負荷と湖水の滞留によって濁度が上昇し、それにより底生動物種数が低下していることが示唆された。内湖の在来魚類種数では、ブルーギルの個体密度が負の、接続水路の幅が正の駆動因として抽出された。3) 沖帯深層の底生動物群集の長期変動は、1985年以降には中～富栄養湖に多く出現するミズミミズの1種が優占したこと、また2000年以降には貧酸素耐性の高い種が出現していることから、温暖化と貧酸素化によって説明された。得られた成果は、琵琶湖再生法などによって進められる琵琶湖生態系の保全に対し、科学的知見に基づいた情報を提供する。

[キーワード]

琵琶湖、時空間変動、共分散構造分析、底生動物、魚類

1. はじめに

琵琶湖は400万年という長い歴史を有し、数多くの固有種を擁しているため、世界的にも優先して保全すべき淡水生態系の一つである。しかしながら、1960年代以降の富栄養化、1972-1997年にかけて行われた琵琶湖総合開発による湖岸の改変や集水域の土地利用の変化、そして、1990年代に顕著化する温暖化による影響など、様々な要因によって生物多様性の低下が懸念されている。

琵琶湖では、過去に多くの研究機関によって生物群集と環境要因に関する研究やモニタリングが行われてきた。本研究では、まず、これらのデータを集約し、産卵・生育地として重要な沿岸域、周辺湿地である内湖、および沖合深層の3つの生態系に焦点を当て、琵琶湖の生物多様性を保全し回復させるために有効な保全施策の提案ができるよう、時空間変化に着目した解析を実施した。

2. 研究開発目的

本研究では、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、1) 琵琶湖沿岸域の優先的保護区の選定と現有の保護区とのギャップ分析、2) 沿岸域や内湖を対象とした生物多様性低下の要因解析、3) 沖合深層の底生動物群集の長期変動解析を行うことを目的とした。

3. 研究開発方法

(1) データベースの構築

1) 沿岸生態系：底生動物・魚類・水草の分布と環境データ

琵琶湖沿岸域における生物群集の多様性評価と優先保護地選定、および、多様性低下駆動因を抽出するため、以下のデータ整備を実施した。2005年11月から2006年7月に京都大学生態学研究センターにより実施された集水域の土地利用様式が異なる琵琶湖沿岸33地点(図(6)-1 ●地点)での底生動物および魚類の分布と環境データ(京都大学生態学研究センター琵琶湖沿岸一斉調査2005-2006観測データ公開ホームページ

<http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/~nokuda/JaLTER/LTER%20data/Biwa/lake/coastal%20survey%202005-2006.htm>)、および沈水植物の分布情報として2004-2005年度に調査された琵琶湖沿岸帯調査報告書(滋賀県水産試験場2005)¹⁾の整理と電子化である。さらに、各調査地点の物理環境として、砂浜面積や波の強さなどの湖岸環境データを「琵琶湖環境情報図」(琵琶湖河川事務所2002)より収集・整理した。また、人為的駆動因として、調査地点近傍の集水域における土地利用様式のデータを、国土交通省の「国土数値情報2006年土地利用細分」よりArcGIS(ESRI)を用いて抽出した。ギャップ解析で用いる既存の保護地域として滋賀県ヨシ群落保全条例保護地域および国定公園第一種特別地域のGISマップ化を行い、電子データとして整備した。

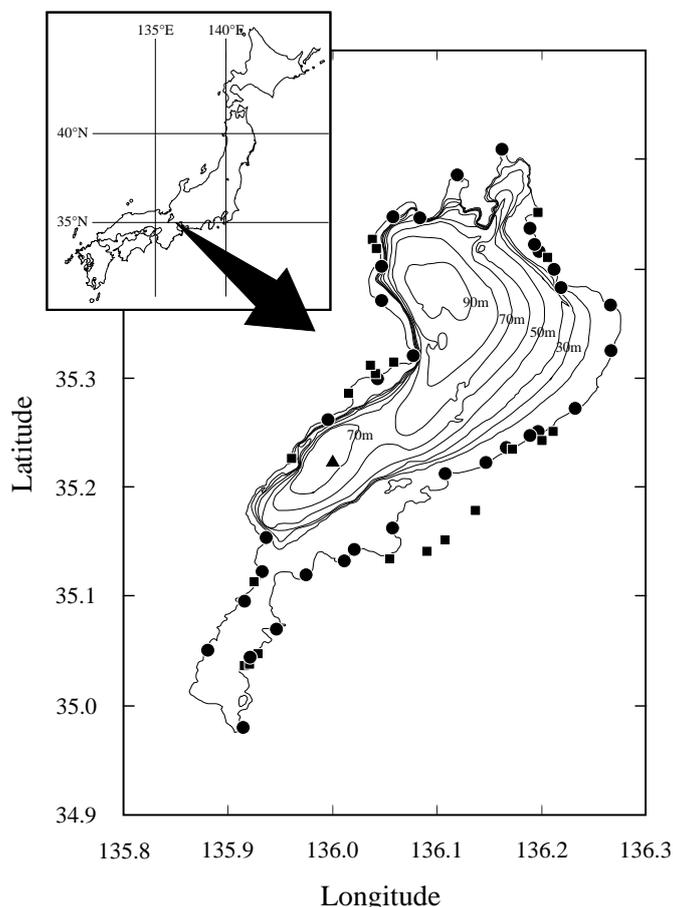
2) 内湖生態系：底生動物・魚類の分布と環境データ

2) 内湖生態系：底生動物・魚類の分布と環境データ

琵琶湖周囲に残存する19内湖(図(6)-1 ■地点)において2006年5月~7月に採集された底生動物サンプルおよび環境に関するデータ(京都大学生態学研究センター内湖一斉調査2006-2007観測データ公開ホームページ

<http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/~nokuda/JaLTER/LTER%20data/Biwa/lagoon/lagoon%20survey%2020>

07.htm) を整備した。また、底生動物試料については、新たに同定・計数を行った。魚類群集の分布データについては、滋賀県が 2000 年に採取した「水辺環境創世計画策定調査報告書」(滋賀県 2001)²⁾の電子化を行った。人為的駆動因として、内湖集水域の土地利用様式データ(国土交通省「国土数値情報 2006 年土地利用細分」)を ArcGIS を用いて抽出した。



図(6)-1 本研究で集めた調査地点の図

● : 沿岸生態系 (33地点、京大生態研・奥田研)、■ : 内湖生態系 (19内湖)、▲ : 沖帯底生動物定点

3) 沖帯深水層生態系 : 底生動物群集と環境要因の時系列データ

大規模湖沼の沖帯生態系は、広域的かつ長期的なスケールで変動する環境要因の影響を受けると考えられる。特に、地球温暖化は湖沼の成層構造といった物理環境の変化を通じ、生物群集に大きな影響を与える。琵琶湖沖帯深水層の生物群集と環境の時系列データは、京大大学生態学研究センターが 1965 年から現在まで毎月行っている定点定期観測調査(図(6)-1 ▲地点; 京大大学生態学研究センター琵琶湖定期観測データ公開ホームページ

<http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/biwako/Routine.html>)で採集された底生動物試料および湖底の水温・溶存酸素濃度のデータを用いた。底生動物試料は双眼実体顕微鏡下で同定・計数し、各種の年間出現個体数を算出した。公開されていた溶存酸素濃度は、多項目水質プロファイラーで測定された補正前の値だったため、ウィンクラー法によって求められていた溶存酸素濃度データを用

いて補正・修正を行った。

(2) 優先保全地域の選定

優先保護区の選定には、沿岸生態系の底生動物・魚類・沈水植物の分布データを用い、相補性解析を行った。解析では、Marxan (Ball and Possingham, 2000)³⁾を用いて3分類群それぞれで選択頻度 (Selection frequency) が95%以上の地点を保護地区とした。さらに、既存の保護地域情報をGIS上にプロットし、ギャップ分析を行うことで、新たに保全が必要な場所を選定した。

(3) 多様性を低下させる駆動因の解析

1) 沿岸生態系：底生動物を対象とした駆動因解析

解析は、社会要因も含めた因果論的分析に有用な枠組みであるDPSIRモデル(European Environment Agency 2007)⁴⁾に基づき、共分散構造分析を行った。対象生物として、移動能力が低く局所的な環境変化の影響を受けやすい底生動物を用い、各地点において年間で一度でも出現した種の数を変数として解析した。説明変数は、人為的駆動因として集水域の土地利用様式と護岸の程度、生息地の環境要因として波高、底質の粒度、水生植物被度、溶存酸素濃度、付着藻類のChl.a、外来魚個体数などの物理・化学・生物パラメータを用いた。共分散構造解析は以下の3ステップに従って基本モデルを構築し、解析した。まず、底生動物の種数と生息地の環境要因間の相関分析を行い、 $p < 0.1$ の変数を底生動物の種数に影響する説明変数とし、選択された説明変数から底生動物の種数に対してパスを引いた。次に、これらの選択された変数に対して影響する人為的な駆動因として、農業による影響と人間が住む事による排出を仮定し、それぞれ近傍集水域の水田割合と建物面積割合をそれぞれのパラメータとした。最後に、これらの人為的駆動因から環境要因に対してパスを引いた。以上のようにして作成したモデルを使って、共分散構造解析と赤池の情報基準 (Akaike's Information Criteria: AICによるモデル選択により、各地点の底生動物種数を最も説明するモデルを選択した。

2) 内湖生態系：底生動物と魚類を対象とした駆動因解析

各内湖に出現した底生動物および魚類群集の種数を目的変数とした一般化線形モデル (Generalized Linear Model: GLM) による解析を行った。説明変数は、事前スクリーニングとして各生物種群の変動を論理的に説明できない変数を削除したのち、各生物種群と内湖の物理・化学・生物要因 (ヨシ帯面積、湖岸傾斜、全リン、全窒素、Chl.a、濁度、外来魚個体数など)、および、琵琶湖-内湖の接続構造要因 (接続水路の幅、水門の有無など) との相関分析を行い、 $p < 0.1$ の変数のみをGLMに用いた。さらに、AICにより選択された最適モデルの説明変数について、集水域の土地利用データ (水田面積割合、人口密度など) との相関分析を行うことで、底生動物と在来魚類多様性を低下させる人為的駆動因を抽出した。

3) 沖帯深水層生態系：底生動物群集の変動要因解析

種多様性の時系列変動を記載するため、各年に採集された底生動物の個体数データを合算し、個体数密度、出現種数、そしてShannon-Winnerの多様性指数を算出した。次に、各年の個体数密度を用いて非計量多次元尺度法 (Non-metric Multi-Dimensional Scaling: NMDS) による群集解析を

行い、群集構造の時系列変動を検討した。さらに、各年に採集された環境データのうち、温暖化の指標として湖底の年最高水温を、貧酸素化の指標として成層開始直前である5月の湖底溶存酸素濃度を各年の底生動物群集を説明する変数として整理し、温暖化と貧酸素化が深水層の底生動物群集に与える影響について、冗長性解析（Redundancy Analysis：RDA）を用いて解析した。

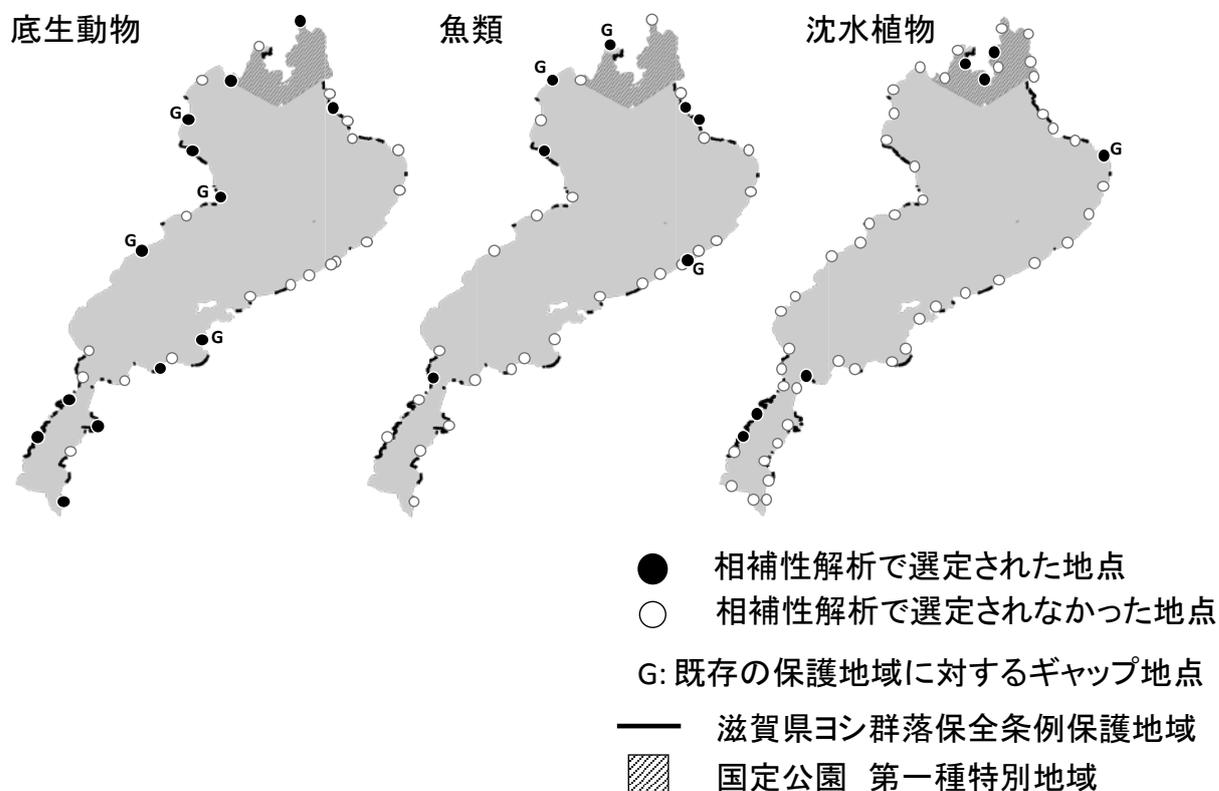
4. 結果及び考察

（1）データベースの構築

相補性解析の結果、沿岸生態系については底生動物、魚類、水草の分布データおよび環境データを、内湖生態系については底生動物、魚類の分布データおよび環境データを、沖帯深水層生態系については底生動物群集と環境要因の時系列データを、それぞれ用いて、電子化されたデータベースとして整備した。

（2）優先保全地域の選定

相補性解析の結果、全在来種の保全に必要な保護地として、底生動物、魚類および沈水植物で、それぞれ13地点、8地点、7地点が選択された(図(6)-2)。このうち、琵琶湖沿岸帯における既存の保護区である国定公園の第一種特別地域と滋賀県ヨシ群落保全条例保護地域を用いてギャップ解析を行ったところ、底生動物で4地点、魚類で3地点、沈水植物で1地点が既存の保護区に含まれていなかった。これらの地点を新たに保護区として設定することで、各生物分類群の生物多様性の保全効果の向上が見込まれる。

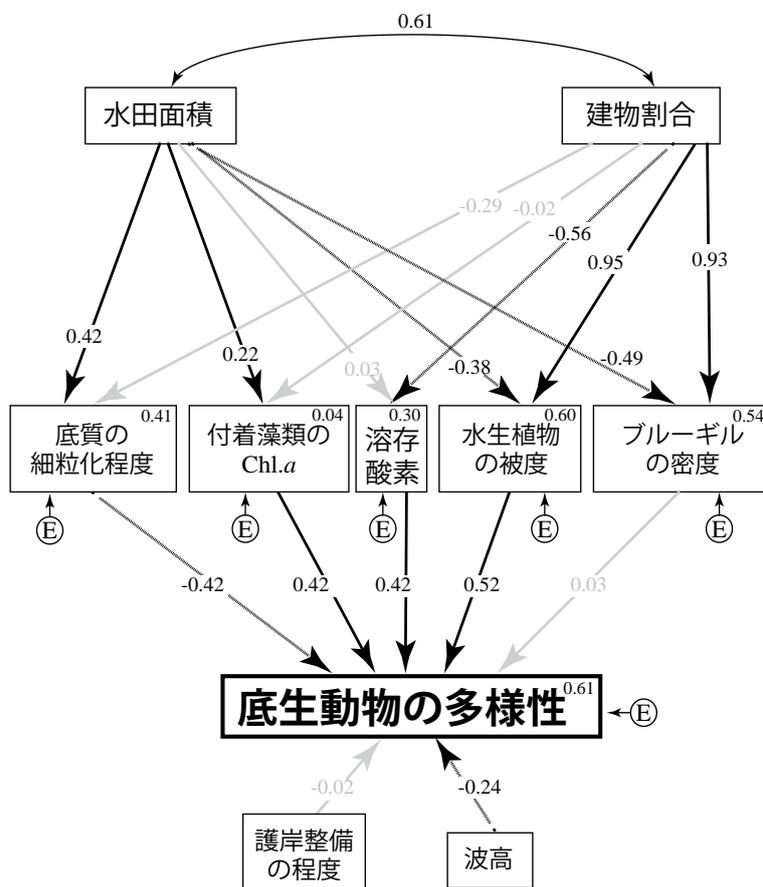


図(6)-2 相補性解析およびギャップ解析による優先保護地区の選定結果

(3) 多様性を低下させる駆動因の解析

1) 沿岸生態系：底生動物を対象とした駆動因解析

底生動物の種数を低下させる直接的な環境要因として、波による攪乱や湖岸底質の粒径などがモデルに取り込まれた（図(6)-3）。特に、底質の粒径は強い負の効果を示したため、湖底の底質粒の低下に伴う微生物環境の均質化が底生動物の多様性低下をもたらすと示唆された。底質の粒径は隣接する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、水田からの農業排水の流入が底質の細粒化を引き起こすことが示唆された。圃場整備率と兼業農家率の高い琵琶湖集水域下流部では、5月の連休時に行われる集中的な農作業により多量の水田濁水が流入し、濁水に含まれる陸起源有機物粒子が琵琶湖沿岸域に堆積することが報告されている。これらの結果から、水田から流出する微細な懸濁物が湖底に堆積し、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、というメカニズムが推測された。琵琶湖沿岸域における底生動物の多様性の低下を防ぐためには、濁水流出が少ない農法の選択や、水田からの漏水の防止といった対策が必要だろう。

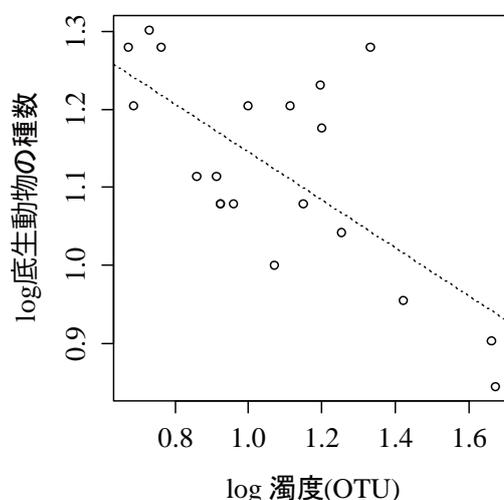


図(6)-3 共分散構造分析を用いた沿岸底生動物多様性の駆動因解析の結果

実線の黒矢印は有意な正のパスを、点線の矢印は有意な負のパスを、灰色の矢印は有意でないパスを示す。パス上に示された数値は標準化されたパス計数 (-1~1)、変数の右肩に表示された変数は統合効果を示す。Eは誤差項を示す。

2) 内湖生態系：底生動物と魚類を対象とした駆動因解析

内湖の底生動物種数は濁度との間にのみ有意な負の関係が認められた（図(6)-4）。濁度はクロロフィル a 量ではなく、集水域の人口密度、全窒素量（TN）、琵琶湖-内湖の接続水門の有無、そして接続水路の流速と有意な相関関係が認められた（表(6)-1）ことから、生活排水による窒素負荷の増加および内湖からの水の流出の阻害に伴う滞留や堆積の増加が内湖の濁度を増加させることで、底生動物の種数を減少させていることが示唆された。このため、内湖の底生動物の多様性の低下を防ぐためには、人為起源の窒素負荷を低下させると共に、接続水路における水門の開放など、内湖における滞留時間を減少させる対策が有効だが、後者については琵琶湖の汚濁防止の観点から慎重な対応が求められる。



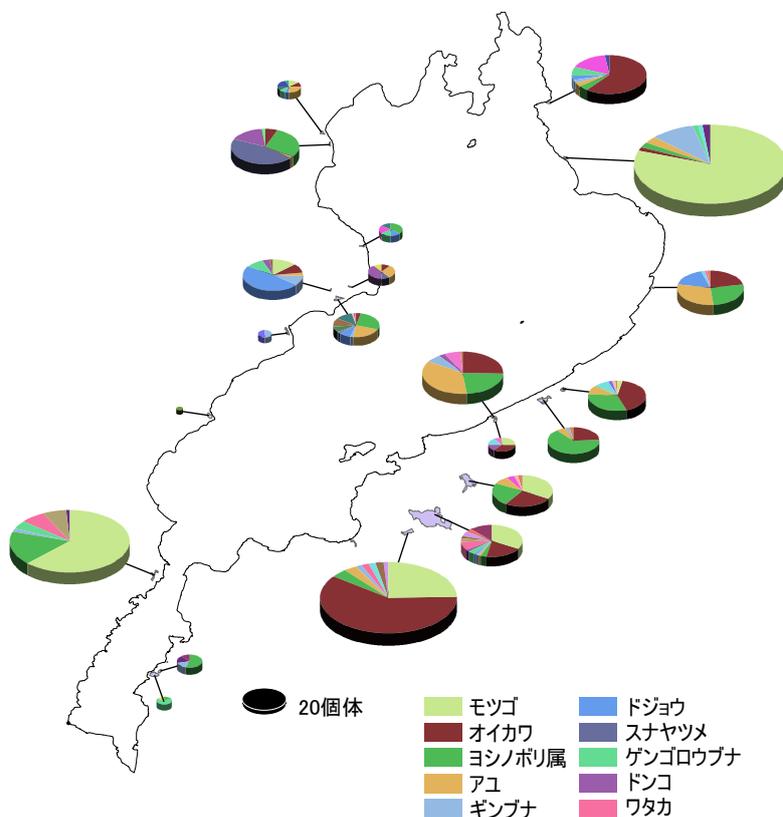
図(6)-4 各内湖で採集された底生動物種数と濁度の相関関係
スピアマンの順位相関、df=18、rs = -0.58、p < 0.001。

表(6)-1 各内湖の濁度と環境要因の相関分析結果
相関分析はスピアマンの順位相関分析による。

環境変数	r	p 値
人口密度 (人/km ²)	0.586	0.008
水門の有無 (1 or 0)	0.496	0.026
接続水路の流速 (cm/sec)	-0.491	0.028
内湖の TN (μmol/L)	0.487	0.031
Chl.a 量 (μg/L)	0.188	0.440

一方、在来魚類については内湖で 33 分類群が確認され、最も種数が多かった湖北野田沼では 16 種だった（図(6)-5）。しかし、全ての内湖で外来魚が採集された。各内湖で採集された在来魚の種数は、ブルーギルの個体数密度と琵琶湖-内湖の接続水路の幅により強い影響を受けていた（表(6)-2）。GLM の結果、ブルーギルの個体数密度が負の、接続水路の幅が正の影響を与える要因として検出された（表(6)-3）。Shibata et al. (2011)⁵⁾ は、接続水路の幅が広いほど琵琶湖から移入し

てきたフナの割合が高いとを報告しており、特に夏期に水路を覆う水生植物の存否がフナの移動に重要であると示している。本研究の結果は、フナ属だけでなく他の在来魚の移動可能性に関しても、接続水路の水路幅が重要であることを示唆する。琵琶湖内湖における在来魚類の保全は、接続水路の幅が広い内湖から優先的に、外来魚駆除などの対策を行うことが効果的かもしれない。



図(6)-5 各内湖で採集された在来魚類群集の組成と個体数
種名のキャプションは優占種のみを示した。

表(6)-2 各内湖で採集された在来魚類の種数と環境要因との相関分析表
相関分析はスピアマンの順位相関分析による。

環境変数	rs	p
ブルーギル個体数 (ind./m ²)	-0.437	0.042
接続水路の幅 (m)	0.418	0.075
内湖の広さ (km ²)	0.354	0.106
内湖の水深 (m)	0.366	0.123
pH	-0.272	0.220
Chl. a (μg/L)	-0.269	0.226
DO (mg/L)	-0.262	0.239
オオクチバス個体数 (ind./m ²)	-0.228	0.307
接続水路の長さ (m)	0.221	0.364
接続水路の流速 (cm/sec)	-0.020	0.930

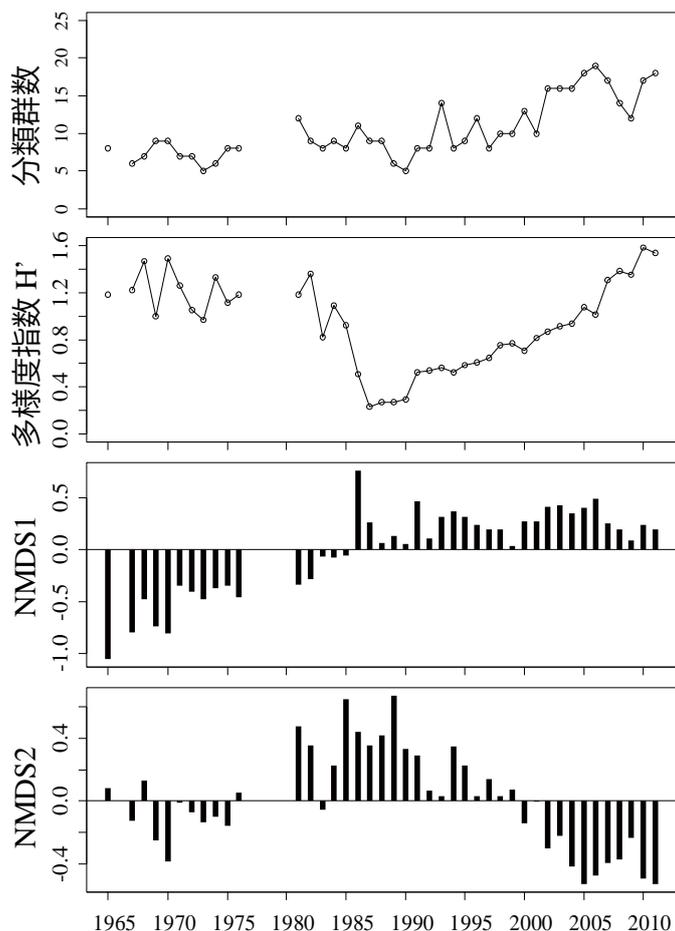
表(6)-3 GLMによる内湖の在来魚類種数の決定要因の解析

Family=poisson、link=log。Best model と Null model の推定値および標準偏差を示す。

	ブルーギルの 個体数密度	接続水路の幅	切片	AIC
Best Model	-0.003 ± 0.001**	0.006 ± 0.003*	2.134 ± 0.122***	117.4
Null Model			1.990 ± 0.079***	140.6

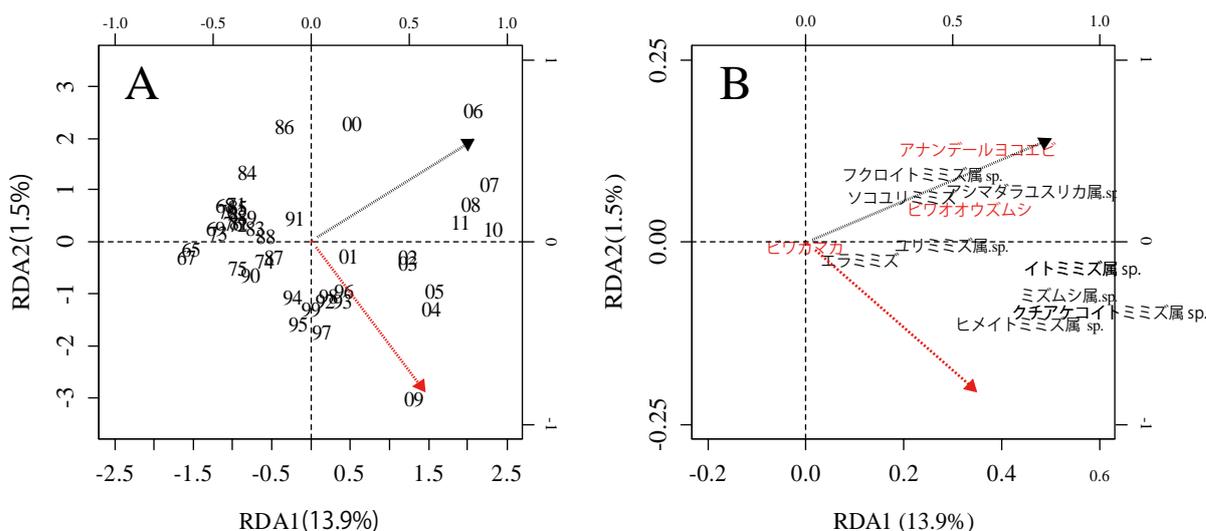
3) 沖帯深水層生態系：底生動物群集の変動要因解析

サンプリング期間を通じて 38 分類群の底生動物が出現し、ビワオオウズムシなど 3 種の琵琶湖固有種が含まれた。底生動物の分類群数は、調査を開始した 1965 年から一貫して漸増したが、Shannon-Wiener の多様度指数は、1980 年代の中盤に大きく変動した（図(6)-6）。また、NMDS による群集解析においても、1985 年および 2000 年前後を境に群集組成が大きく変化していた（図(6)-6）。この変動は、1985 年以降の *Tubifex* sp. の優占と、2000 年代以降に新たに出現する種によって説明できる。



図(6)-6 深水層における底生動物群集の分類群数とShannon-Wienerの多様度指数、NMDSを用いた群集構造の時系列変動

RDAの結果、琵琶湖深水層の底生動物群集は、温暖化と、貧酸素化によって有意に説明された(図(6)-7、A、B)。1985年以降に優占した *Tubifex* sp.は、深い水深を持つ温帯域の中～富栄養湖に多く出現することが知られている(Ohtaka 2013)⁶⁾。また、2000年以降に出現した生物群は、過栄養湖沼に生息する種や、底泥上や湖底上の水柱に生息する種が数多く含まれ、より貧酸素耐性が高い生態的特徴を有すると考えられた。これらのことから、琵琶湖深水層の湖底では、温暖化に起因すると考えられる環境変化が、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換させていることが示唆された。



図(6)-7 RDAによる温暖化と貧酸素化が深水層底生動物群集に与える影響の解析結果

A: 各年における群集組成と環境要因の関係。数字は西暦の下二桁を示す。B: 各年における群集を代表する生物種と環境要因の関係。生物種は個体数が多い代表的な種のみ示した。赤字は固有種を示す。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、まず、散在していた紙媒体の生物群集・環境データを統一したフォーマットでデータベース化したことにより、琵琶湖の生物多様性評価にむけた基盤情報を整備した。さらに、地点間の空間構造に着目した解析を行うことで、効果的な保護区の設定や、生物多様性の低下をもたらす駆動因を推定することができた。本研究で得られた知見は、琵琶湖再生保全法などによって進められる琵琶湖生態系の保全に対し、科学的知見に基づいた保全優先地、および施策の提案をすることができる。

(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>

滋賀県では、2015年3月に「生物多様性しが戦略」（以下戦略）を策定して滋賀県における生物多様性の保全を推進している。琵琶湖では、水質や環境、景観の保全を目的とした「マザーレイク21計画」（以下計画）の第二期にあたり、さらには2015年10月に琵琶湖保全再生法（以下再生法）が可決・制定され、琵琶湖の水質、生態系や環境の保全に向けての計画が策定中である。

本研究成果のうち、相補性解析とギャップ解析では、「生息地の保全・復元と連続性の回復（戦略p.21）」や「琵琶湖流域生態系の保全・再生（計画p.30-35）」、「湖辺の自然環境の保全・再生（再生法12条）」に対し、科学的な知見を提供する。駆動因解析は、「生物との適切な環境の構築（戦略p.16）」や「生息・生育環境に対する影響の提言（戦略p.24）」、「琵琶湖の生き物にぎわい再生プロジェクト（計画p.42）」、「森・川・里・湖のつながり再生プロジェクト（計画p.46）」、「湖辺の自然環境の保全・再生（再生法12条）」や「外来動植物による被害防止（再生法13条）」に対して、生物多様性の保全優先地の情報や、保全手法の指針を提供する。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) K. S. ARAKI, T. NAKAZAWA, A. KAWAKITA, H. KUDOH and N. OKUDA: International Journal of Molecular Sciences, 13: 5700-5705 (2012)
“Development of nine markers and characterization of the microsatellite loci in the endangered *Gymnogobius isaza* (Gobiidae)”
- 2) S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA: Springer, Tokyo. pp. 479 (2012)
“The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring”
- 3) 奥田昇：日本生態学会誌, 62, 207-215(2012)
「安定同位体を用いた水田生態系の構造と機能の評価手法」
- 4) J. C. BRIONES, C.-H. TSAI, T. NAKAZAWA, Y. SAKAI, R. D. S. PAPA, C.-H. HSIEH and N. OKUDA: PLoS ONE 7, e53167 (2013)
“Long-term changes in the diet of *Gymnogobius isaza* from Lake Biwa, Japan: effects of body size and environmental prey availability”
- 5) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, Y. SATOH, S. YACHI, S. NAKANO and N. OKUDA : The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity, Springer, Tokyo (2013)
“Long-term and spatial variation in the diversity of littoral benthic macroinvertebrate fauna in Lake Biwa, Japan”
- 6) Y. SAKAI, Z. KARUBE, T. TAKEYAMA, A. KOHZU, C. YOSHIMIZU and T. NAGATA, I. TAYASU and N. OKUDA: Limnology, 14:167-177 (2013),

“Seasonal and site-specific variability in terrigenous particulate organic carbon concentration in near-shore waters of Lake Biwa”

- 7) N. OKUDA, K. WATANABE, K. FUKUMORI, S. NAKANO and T. NAKAZAWA: Lake Biwa, Springer Japan, Tokyo, pp91 (2013)

“Biodiversity in aquatic systems and environments”

- 8) N. OKUDA and K. FUKUMORI: Biodiversity in aquatic systems and environments, Lake Biwa (Okuda et al.) Springer Japan, Tokyo, pp21-49 (2013)

“Predator diversity changes the world: from gene to ecosystem”

- 9) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO and 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 (2014)

“Long-term and spatial variation in the diversity of littoral benthic macroinvertebrate fauna in Lake Biwa”

- 10) BRIONES, J. C. A., R. D. S. PAPA, G. A. CAUYAN, N. MENDOZA and N. OKUDA : Tropical Ecology (in press)

“Fish diversity and trophic interactions in Lake Sampaloc (Luzon Is., Philippines)”

- 11) S. NAOE, I. TAYASU, Y. SAKAI, T. MASAKI, K. KOBAYASHI, A. NAKAJIMA, Y. SATO, K. YAMAZAKI, H. KIYOKAWA and S. KOIKE: Current Biology, 26: R315-R316 (2016)

“Mountain climbing bears save cherry species from global warming by their vertical seed dispersal”

<査読付論文に準ずる成果発表>

- 1) S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (Eds): Springer, Tokyo (2014)

“In The Biodiversity Observation Network in Asia-Pacific Region; Integrative Observations and Assessments”

- 2) S. NAKANO, T. YAHARA and T. NAKASHIZUKA (Eds): Springer, Tokyo (2016)

“The Biodiversity Observation Network in Asia-Pacific Region: Aquatic Biodiversity Conservation and Ecosystem Services”

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) グローバルCOE広報委員会編：生き物たちのつづれ織り，第五巻：27-33 (2012)，

「生態-進化フィードバックー生態学という名の舞台で繰り広げられる進化劇

(執筆担当：奥田昇)」

- 2) グローバルCOE広報委員会編：生き物たちのつづれ織り，第五巻：87-88 (2012)

「生命のつぼ「琵琶湖」：温暖化に翻弄される固有種たち(執筆担当：奥田昇)」

- 3) 日本生態学会編：エコロジー講座 生物間相互作用が作り出す生物多様性，文一総合出版 (2012)

「琵琶湖がつなぐ人の暮らしと生きものたち(執筆担当：奥田昇)」

- 4) 吉田丈人、鏡味麻衣子、加藤元海編：淡水生態学のフロンティア，共立出版 (2012)

- 「魚類の表現型多型と生態系の相互作用：生態-進化フィードバック(執筆担当：奥田昇)」
- 5) 永田俊、熊谷道夫、吉山浩平編(奥田昇 分担執筆)：温暖化の湖沼学，京都大学出版会（2012）
 - 6) 阿形清和、森哲 監修／井上敬、高井正成、高林純示、船山典子、村山美穂 編：
生き物たちのつづれ織り・下巻，京都大学出版会（2012）
「生命のるつぼ「琵琶湖」－生息地のつながりが育む生物多様性」
 - 7) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, Y. SATOH, S. YACHI,
S. NAKANO and N. OKUDA : Proceeding - International conference on Indonesian inland
waters III, 2013
“Environmental pressures for littoral benthic macro-invertebrate fauna in the ancient lake Biwa,
Japan.”
 - 8) 奥田昇：連載記事「検証 琵琶湖」第11回，滋賀民報，2192, 4（2013）
「固有魚と水産業」
 - 9) 奥田昇：連載記事「検証 琵琶湖」第11回，滋賀民報，2194, 4（2013）
「外来魚による被害と加害」
 - 10) 奥田昇：連載記事「検証 琵琶湖」第16回，滋賀民報，2202, 4（2014）
「消えた内湖と再生」
 - 11) 仲澤剛史、奥田昇：湖沼近過去調査法（占部城太郎編）、共立出版、pp193-214（2014）
「生物標本を利用した湖沼生態系の復元」
 - 12) 熊谷道夫 浜端悦治 奥田昇：海鳴社（2015）
「琵琶湖は呼吸する」
 - 13) 奥田昇（2015）「外来魚による被害と加害」
In: 琵琶湖は呼吸する（熊谷・浜端・奥田編）、海鳴社、東京、pp109-117
 - 14) 奥田昇（2015）「内湖の消失と再生」
In: 琵琶湖は呼吸する（熊谷・浜端・奥田編）、海鳴社、東京、pp139-147

（2）口頭発表（学会等）

- 1) 奥田昇：第59回日本生態学会（2012）
「水でつながる人の暮らしと琵琶湖の生物多様性」
- 2) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, Y. SATOH, S. YACHI, S.
NAKANO and N. OKUDA : Joint Meeting of the 59th Annual Meeting of ESJ and the 5th EAFES
International Congress, Otsu, Japan, 2012
“The ancient Lake Biwa as a model of Asian lake ecosystems: historical and geographical patterns of
biodiversity.”
- 3) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SATOH, S. YACHI, S. NAKANO and 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) J. A. BRIONES, C. TSAI, T. NAKAZAWA, Y. SAKAI, M. URABE, R. PAPA, C. HSIEH and N.
OKUDA: 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Shiga, Japan, 2012
“Long-term changes in the diet and intestinal parasite fauna of *Gymnogobius isaza* from Lake Biwa,

Japan: Effects of body size and prey availability”

- 5) Y. SAKAI and N. OKUDA: 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Shiga, Japan, 2012
“Intraspecific differences in vertical habitat utilization by crustacean zooplankton: stable isotopic evidence”
- 6) N. OKUDA, Y. KATO, T. KOMIYA, Y. OKUZAKI, M. HORI, I. TAYASU and T. NAGATA: 2012 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Shiga, Japan, 2012
“Biological specimens tell us a centurial history of ecosystem alterations in the ancient Lake Biwa”
- 7) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, Y. SATOH, S. YACHI, S. NAKANO and N. OKUDA : ASLO Aquatic Sciences Meeting, Shiga, Japan, 2012
“Historical and geographical patterns of biodiversity in the ancient Lake Biwa, Japan.”
- 8) 柿岡諒、小北智之、熊田裕喜、渡辺勝敏、奥田昇：日本進化学会第14回大会（2012）
「RADタグマーカーによるタモロコ属魚類の連鎖地図作成と比較ゲノム解析」
- 9) 柿岡諒、小北智之、熊田裕喜、渡辺勝敏、奥田昇：第45回日本魚類学会（2012）
「タモロコ属魚類の生息場所利用の分化に関連した形態変異の遺伝的基盤」
- 10) 加藤義和、石川尚人、富樫博幸、由水千景、奥田昇、陀安一郎：日本陸水学会第77回大会（2012）
「アミノ酸の窒素安定同位体比を用いた琵琶湖流域の食物網解析」
- 11) 柴田淳也、苅部甚一、酒井陽一郎、武山智博、陀安一郎、佐藤祐一、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日本陸水学会第77回大会（2012）
「琵琶湖沿岸生態系の生物多様性に影響を及ぼす駆動因」
- 12) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, Y. SATOH, S. YACHI, S. NAKANO and N. OKUDA : International conference on Indonesian inland waters III, Palembang, Indonesia, 2012
“Environmental pressures for littoral benthic macro-invertebrate fauna in large lake ecosystem.”
- 13) J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. SAKAI, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, Y. SAYOH, S. YACHI, S. NAKANO and N. OKUDA : International workshop on freshwater biodiversity conservation in Asia, Fukuoka, Japan, 2012
“Historical and geographical patterns of biodiversity in the ancient Lake Biwa, Japan.”
- 14) 石川尚人、加藤義和、富樫博幸、吉村真由美、由水千景、奥田昇、陀安一郎：日本生態学会第60回大会（2013）
「河川複雑系食物網の高精度解析 ～アミノ酸窒素安定同位体比からのアプローチ～」
- 15) 内井喜美子、奥田昇、小北智之、馬淵浩司、西田睦、川端善一郎：日本生態学会第60回大会（2013）
「琵琶湖のコイの遺伝子型に応じた生息地利用の違い」
- 16) 加藤義和、石川尚人、富樫博幸、由水千景、陀安一郎、奥田昇：日本生態学会第60回大会（2013）
「アミノ酸の窒素安定同位体比を用いた琵琶湖産魚類の栄養段階推定」
- 17) 柴田淳也、苅部甚一、酒井陽一郎、武山智博、陀安一郎、佐藤祐一、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日本生態学会第60回大会（2013）
「相補性解析による琵琶湖沿岸生態系の非代替性評価と保護地域のギャップ解析」
- 18) 柴田淳也、苅部甚一、酒井陽一郎、武山智博、陀安一郎、佐藤祐一、谷内茂雄、中野伸一、

- 奥田昇：日本陸水学会第78回（2013）
「相補性解析による琵琶湖沿岸態における多様性保全地域の優先度評価」
- 19) 奥田昇：In:セッション「日本の古代湖・琵琶湖における魚類進化と生態研究の現在とこれから」第46回日本魚類学会（2013）
「標本が拓く魚類学の無限の可能性：琵琶湖の過去・現在・未来」
- 20) 酒井陽一郎、武山智博、苅部甚一、陀安一郎、奥田昇：In:セッション「日本の古代湖・琵琶湖における魚類進化と生態研究の現在とこれから」第46回日本魚類学会（2013）
「安定同位体比から見た琵琶湖産アユの回遊行動多型」
- 21) S. NAKANO : Pacific Neighborhood Consortium (PNC) Annual Conference and Joint Meetings, Kyoto, Japan, 2013
“Biodiversity Activities by Japanese Researchers to Facilitate Biodiversity Researches in Asia”
- 22) 中野伸一：第4回マリンバイオ共同推進機構（JAMBIO）フォーラム（2014）
「琵琶湖深水層における微生物ループ：深水層の食物連鎖研究は、実は面白い」
- 23) 谷内茂雄、奥田昇、酒井陽一郎、北澤大輔、中野伸一：日本生態学会第61会大会（2014）
「温暖化と富栄養化に伴う湖底貧酸素化に対する底生種の絶滅リスク評価」
- 24) 酒井陽一郎、柴田淳也、苅部甚一、武山智博、陀安一郎、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日本生態学会第61会大会（2014）
「集水域の土地利用様式が琵琶湖沿岸域の環境および生物多様性に与える影響の評価」
- 25) S. YACHI, D. KITAZAWA, S. NAKANO, Y. SAKAI and N. OKUDA: JSMB/SMB meeting 2014, Osaka, Japan, 2014
“Toward the evaluation of distinction risk of Lake Biwa benthic species due to global warming”
- 26) Y. SAKAI, Z. KARUBE, J. SHIBATA, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO and N. OKUDA: The 16th international symposium on river and lake environments, Chuncheon, Korea, 2014
“The impact of land uses on benthic macroinvertebrate diversity in the coastal ecosystem of Lake Biwa”
- 27) 奥田昇：フィリピン大学ディリマン校生物学研究所、平成26年2月18日
「Special seminar: Stable isotopes as a proxy for biodiversity and ecosystem functioning」
- 28) 酒井陽一郎、苅部甚一、柴田淳也、武山智博、陀安一郎、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日本陸水学会第79回大会(2014)
「集水域の土地利用様式が琵琶湖沿岸域のベントス群集の多様性に与える影響」
- 29) Y. SAKAI, Z. KARUBE, J. SHIBATA, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO and 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”
- 30) 谷内茂雄、奥田昇、酒井陽一郎、北澤大輔、中野伸一：日本生態学会第61回大会（2015）
「温暖化に伴う琵琶湖湖底種の絶滅リスク評価モデルの解析」
- 31) 酒井陽一郎、苅部甚一、柴田淳也、武山智博、陀安一郎、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日

- 本生態学会第61回大会(2015)
「琵琶湖内湖における生物多様性とその地理的変異の要因」
- 32) 酒井陽一郎、小板橋忠俊、柴田淳也、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日本陸水学会第80回大会（2015）
「富栄養化と温暖化が琵琶湖沖帯深水層のベントス群集に与える影響の評価」
- 33) 奥田昇、岩田智也、林拓矢、村上綾、陀安一郎、石川直人、岡野淳一、富樫博幸、中野伸一、酒井陽一郎、U. Song、尾坂兼一、Cid, A.P.：日本陸水学会第80回大会（2015）
「河川生態系の生物多様性と栄養循環機能：流域スケールからのアプローチ」
- 34) S. YACHI: 2015 Joint Meeting of The 5th China-Japan-Korea Colloquium on Mathematical Biology and The Japanese Society for Mathematical Biology, 2015
“Population viability analysis of Lake Biwa benthic fish, *Chaenogobius Isaza* under the progress of global warming”
- 35) 浦部美佐子、神谷英里、奥田昇：東北大学東北アジア研究センター創設20周年記念式典・国際シンポジウム「東北アジア：地域研究の新たなパラダイム」、2015年12月5～6日、仙台国際センター（2015）
「寄生虫の安定同位体比の特異性」
- 36) 酒井陽一郎、小板橋忠俊、柴田淳也、谷内茂雄、中野伸一、奥田昇：日本生態学会第63回大会（2016）
「温暖化が琵琶湖沖帯深水層のベントス群集に与える影響の評価」（アブストラクト提出済み）
- 37) 中野伸一、工藤洋：日本生態学会第63回大会（2016）
「京大生態研が歩んできた道とこれから歩む道」（アブストラクト提出済み）
- 38) 奥田昇、岩田智也、林拓矢、村上綾、陀安一郎、石川尚人、岡野淳一、富樫博幸、中野伸一、酒井陽一郎、Uhran Song、尾坂兼一、Cid Abigail：日本地球惑星科学連合2016年大会（2016）
「流域の栄養循環を駆動する河床微生物群集の生態系機能評価」（アブストラクト提出済み）
- 39) N. OKUDA, Y. SAKAI, J. SHIBATA, Z. KARUBE, Y. KATO, T. KOMIYA, Y. OKUZAKI, M. HORI, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO and T. NAGATA: The 33rd Congress of the International Society of Limnology, Trino, Italy, 2016
"Spatio-temporal dynamics of food webs in the ancient Lake Biwa: Causes and consequences of changing biodiversity"（アブストラクト提出済み）

（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) 奥田昇 In: 公開シンポジウム「湖沼の長期モニタリングを考える：京大・大津臨湖創設から100年を経て」第78回日本陸水学会、2013年9月12日、大津、
「大津臨湖実験所の遺産：生物標本が語る琵琶湖100年史」
- 2) 奥田昇 In: 京大大学生態学研究センター一般公開、平成25年11月2日
「びわ湖がつなぐ生き物と文化の多様性」

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) FM京都α-station (2013年1月30日、番組コーナー「Kyoto University Academic Talk」にて「琵琶湖の生物多様性」について紹介)

(6) その他

- 1) ASLO 2015 ASM - Early Career Travel Award
Y. SAKAI, Z. KARUBE, J. SHIBATA, T. TAKEYAMA, I. TAYASU, S. YACHI, S. NAKANO and 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”

8. 引用文献

- 1) 滋賀県水産試験場 2005. 平成14～15年度 琵琶湖沿岸帯調査報告書: 滋賀県
- 2) 滋賀県 2001. 水辺環境創世計画策定調査報告書
- 3) I. BALL and H. POSSINGHAM : 2000 MARXAN (V1. 8.2). Marine Reserve Design Using Spatially Explicit Annealing, a Manual.
- 4) EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2007. The DPSIR framework used by the EEA:
http://ia2dec.pbe.eea.europa.eu/knowledge_base/Frameworks/doc101182
- 5) J. SHIBATA, Z. KARUBE, M. OISHI, M. YAMAGUCHI, Y. GODA, and N. OKUDA : Population Ecology 53:143-153, (2011)
“Physical structure of habitat network differently affects migration patterns of native and invasive fishes in Lake Biwa and its tributary lagoons: stable isotope approach”
- 6) A. OHTAKA : Zoosymposia 9:24-35, (2014)
“ Profundal oligochaete faunas (Annelida, Clitellata) in Japanese lakes”

(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

九州大学大学院工学研究院 島谷 幸宏
九州大学持続可能な社会のための決断科学センター 鹿野 雄一

<研究協力者>

熊本大学大学院自然科学研究科 一柳 英隆
九州大学持続可能な社会のための決断科学センター 山下 奉海

平成23～27年度累計予算額：40,051千円（うち平成27年度：7,372千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨]

東アジア・東南アジアにおいて陸水域の象徴的な生物である淡水魚類を対象とし、生息環境と生物多様性損失の評価を行なった。広域で評価するために、日本、中国、台湾、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナム、マレーシアの9ヶ国21の研究・行政機関と連携し、情報交換や生息環境と魚類多様性の関係を明らかにする現地共同研究を行なった。これらの活動を通じ、約2300地点・50,000件の魚類分布データを得た。このうち世界的な生物多様性ホットスポットであるインドビルマ地域を中心に、約30,000件のデータをデータベースとして整備して、標本写真とともにオンライン上で公開した。さらに、各種の分布データを複数の環境データに対して機械学習させることにより、期待される種数を面的に算出・視覚化した。その結果、魚類の種多様性はメコン川流域であるトンレサップ氾濫原地域とラオス南部地域で1km²あたり80～100種と特に高いことがわかった。しかし、現在メコン川本流にサイヤブリダムが建設中でありこの影響を考慮した分布推定予測シナリオでは、これらの2地域を含めメコン流域全体が大きく影響を受けることが示唆された。世界的にも淡水魚類の種多様性が高いメコン川流域の中でも、この2地域は特に優先的に保全が必要な地域であると考えられた。また、温暖化は逆に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。

[キーワード]

淡水魚類多様性、中国、東南アジア、データベース、水力発電ダム、地球温暖化

1. はじめに

アジア、特に東アジアと東南アジアは、近年経済発展する一方で生態系や自然環境の悪化が急速に進んでいる。開発を受けやすく流域の影響が集約する陸水生態系は、特に劣化が著しい。アジアでは淡水魚類が重要な食料源となっており主要な生態系サービスでもあるため、このような陸水生態系の劣化は大きな社会的損失となる。しかしアジアの魚類多様性やその生息環境の現状はほとんど把握されておらず、保全の基礎となる情報も少ない。アジアの魚類多様性とその生息環境を保全・再生するためには、具体的なデータに基づく現状評価、劣化を促す要因（駆動因）の究明、シナリオに基づく将来予想などが必要である。本サブテーマではこれらの課題を達成す

るために、研究ネットワークの確立、現地調査、駆動因解析、データベースの構築、魚類多様性の地図化、将来予想を行なった。

2. 研究開発目的

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。また、国際的な研究ネットワークを築き、共有のデータベースを有することで持続的なモニタリングを図ることを目指す。

3. 研究開発方法

(1) 研究者ネットワークの構築

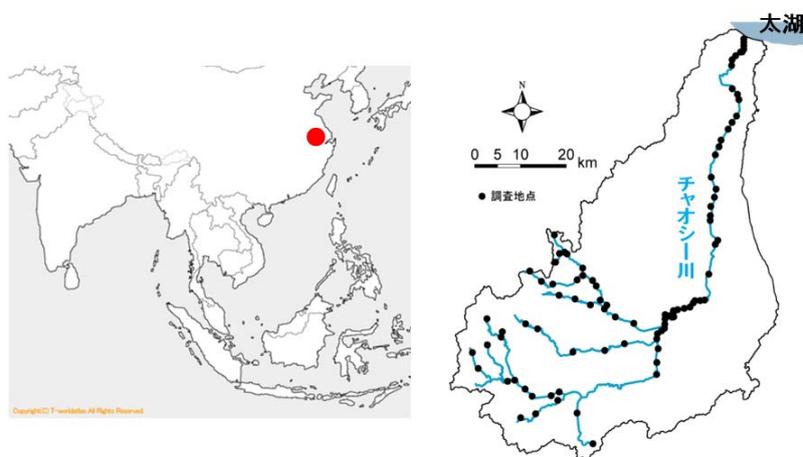
東アジア・東南アジアの広域において、各国の研究機関や行政機関、研究者を訪問・コンタクトを取り、魚類生物多様性について情報交換や共同研究のできる研究ネットワークを構築した。中国、台湾、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナム、マレーシアを訪問し、本サブテーマの趣旨を説明するとともに、情報交換や下記で示す共同の現地調査を繰り返すことで信頼関係を築いた。

(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

上記(1)の研究ネットワークを用いて、各地域で淡水魚多様性や駆動因を明らかにする調査を現地の機関と共同で行なった。主たる現地調査は以下の5地域で行なった。

1) 中国上海近郊

上海の水瓶である太湖の主要な流域であるチャオシー川において、同済大学の研究者らとともに流域85地点における魚類多様性および生息環境の現地調査を行った(図(7)-1)。各調査地点では、定量的な捕獲により淡水魚類の生息状況の評価を行い、魚類種数が高い場所や、希少な魚種が多い場所を各流程で特定した。また、水質や物理環境の計測を行い、濁度などの水質、標高な



図(7)-1 中国上海近郊のチャオシー川の位置と調査地点

どの地理的要因および人工護岸などの物理的要因などが淡水魚類へ与える影響を評価した。駆動因解析では、目的変数を出現種数と採捕个体数、説明変数を各種環境要因（濁度などの水質、標高などの地理的要因および人工護岸など）とし、一般化線形モデル（GLM）の構築を行い、AIC（赤池情報量規準）により魚類多様性を劣化させる駆動因を抽出した。

2) ミャンマー・インレー湖周辺

ミャンマーの東部に位置するインレー湖図（図(7)-2）は東南アジアを代表する古代湖であり、ミャンマーの水上集落や「足漕ぎ」文化に代表される主要な観光地でもあるが、生息する魚類の詳細については、約100年前の報告以来存在しない。本調査では、インレー湖の現在の魚類の生息状況について網羅的な調査を行い、固有種と外来種に注目して、過去の調査との比較を行った。



図(7)-2 ミャンマー・インレー湖の位置図と代表的な固有種 *Sawbwa resplendens*（左）、および観光の大きな目玉である水上集落（中）と世界的にも珍しい足漕ぎ文化（右）

3) カンボジア・カルダモン地域

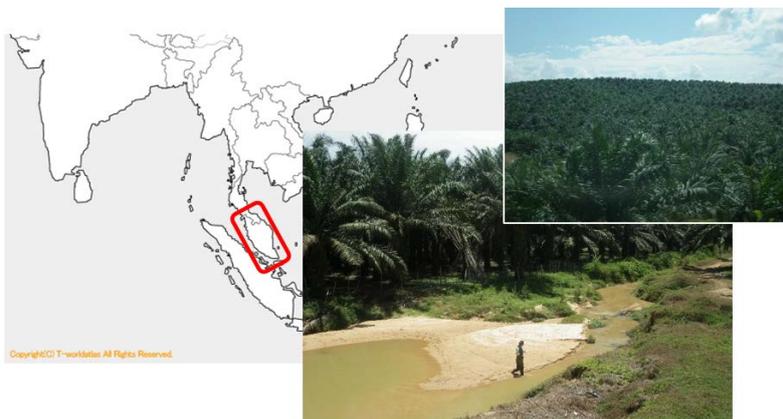
アジアアロワナ (*Scleropages formosus*) は、一般にもっとも知られる観賞魚の一種であり、アジア淡水魚類の代表的なフラッグシップ種でもあるが、生息環境の悪化や乱獲などにより野生の個体群は減少している。カンボジアの南西部、カルダモン地域は、数少ないアジアアロワナの生息地であり、その生息状況について調査を行った（図(7)-3）。



図(7)-3 カルダモンの位置図と野生のアジアアロワナの幼魚（中）、および生息地の景観（右）

4) 半島マレーシア

半島マレーシアでは近年になって都市化だけではなく、アブラヤシのプランテーションが拡大している。そこで半島マレーシアの64地点において、魚類種数と生息環境を評価する定量調査を行い（図(7)-4）、都市化・アブラヤシ・森林などの土地利用、および、外来種の有無、電気伝導率、水温、河床の石サイズ、流速、水深、川幅、海からの距離、標高、勾配、集水面積などの環境変数が種数に与える影響をGLMとAICによるモデル選択によって調べた。



図(7)-4 半島マレーシアの位置図と、アブラヤシ・プランテーションを流れる河川（中）および地平線まで広がる一様な景観（右）

5) サラワク・マレーシア

アブラヤシやアカシアのプランテーション問題が深刻化するマレーシア・サラワク（図(7)-5）の110地点においても現地調査を実施し、アブラヤシやアカシアのプランテーションが魚類種数の低下など魚類多様性の劣化に及ぼす影響を評価した。これらのデータを用い、出現種の組み合わせを用いてクラスター解析を行い、各土地利用で魚類相に相違が出るかどうかを確認した。さらに、土地利用（プランテーションか否か）、集水面積、海からの距離、標高、傾斜などのそれぞれの環境変数が、種数・個体数・シャノンの多様性指数にどう影響を与えているかをGLMおよびAICによるモデル選択で明らかにした。



図(7)-5 サラワク・マレーシアの位置図と、アブラヤシに打ち付けられた「国立公園」の看板（中）、およびアカシア・プランテーションの景観（右）

(3) データ整備・データベース構築

上記(1)～(2)の活動を通して魚類分布データを収集し、データベースを構築するとともにそのデータベースを公開した。公開はウェブ上のオンラインベースとし、標本写真も一部付け加え、多様な検索機能とともに地図上での分布情報を表示できるようにした。

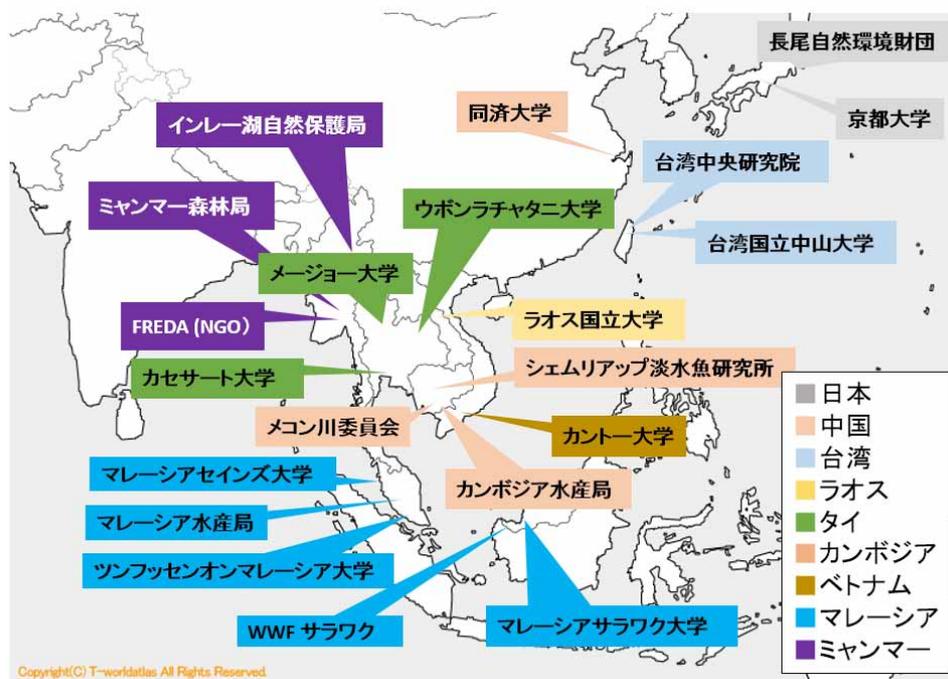
(4) 優先保全地域の選定・将来予測

収集したデータの一部を用いてインドビルマ地域（≒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った。解析にはMAXENT（機械学習により存在確率を地図上で示す解析法）を用い、種類ごとに複数の環境レイヤーと対応させ分布推定をした。そして、全種を重ねあわせることで魚類の種多様性を視覚化し、この地図を用いて優先保全地域の選定をおこなった。また、当該地域では水力発電のためのサイヤブリダム（メコン川本流、ラオス）の建設が顕在化しているため、サイヤブリダムが建設された場合に予想される環境レイヤーを作成し、その環境レイヤーをMAXENTに当てはめることで、その魚類多様性へのインパクトについても視覚的に予想した。同様に温暖化の影響についても、WorldClim (<http://www.worldclim.org>) にて公開されている温暖化モデルのうちHadGEM2-ES (RCP85の2070年を仮定)を用いて将来予測を行った。

4. 結果及び考察

(1) 研究者ネットワークの構築

図(7)-6で示すように、日本、中国、台湾、ミャンマー、ラオス、タイ、カンボジア、ベトナム、マレーシアの9ヶ国21の機関と連携し、情報交換や現地での共同研究を行なった。そのうち5つの機関とは研究協力協定を結んだ。

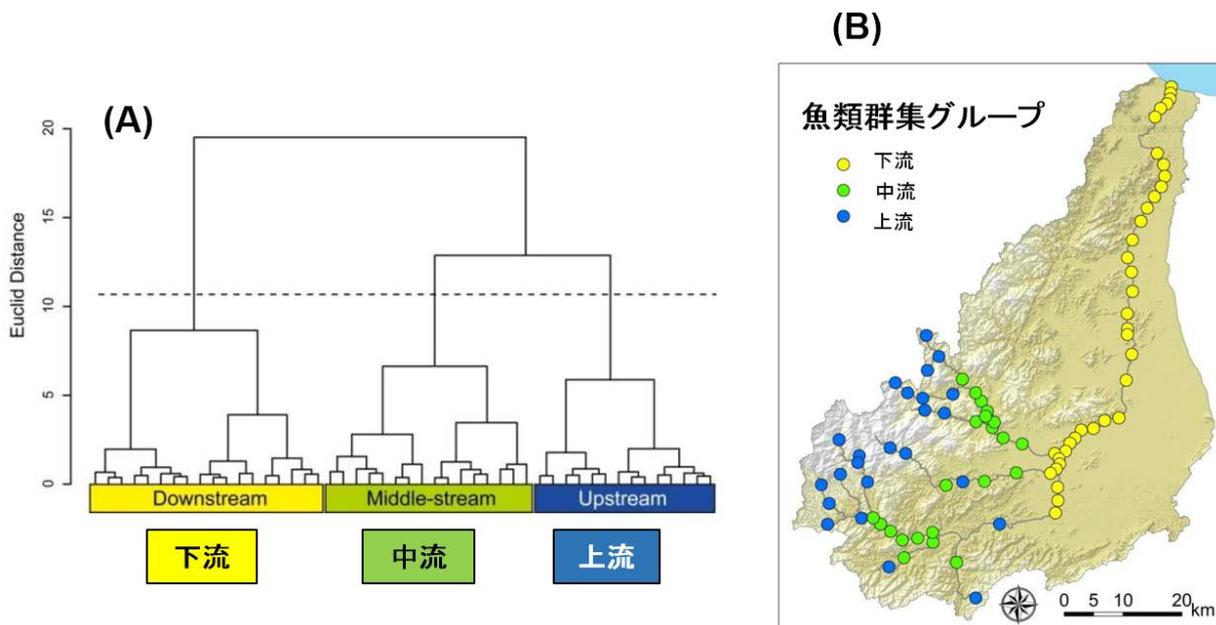


図(7)-6 共同研究や情報交換を行なった東アジア・東南アジア各国の機関

(2) 各調査地域における生物多様性の現状評価と・駆動因解析

1) 中国上海近郊

チャオシー川流域全体で82種の魚類を記録した。得られた魚類群集の分布情報をもとにクラスター解析を行ったところ、調査地点は上流、中流、下流の流程に類型化されたため、ホットスポットの特定や駆動因抽出などの解析は、この流程（＝類型）を単位として行った（図(7)-7）。

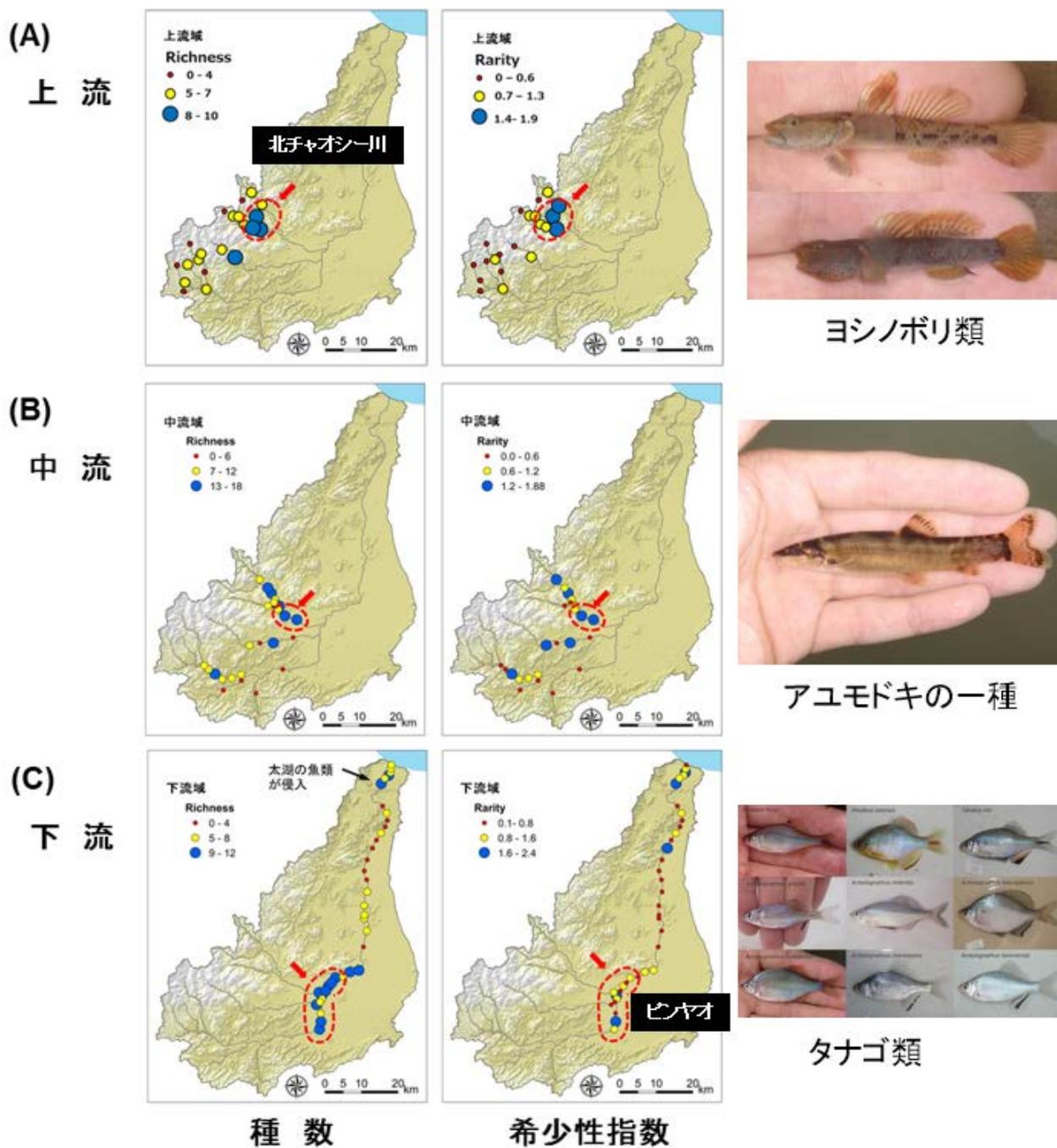


図(7)-7 (A)魚類の分布情報から得られたクラスター解析による調査地点の類型化と、(B)上流、中流、下流に類型化された調査地点

まず、チャオシー川流域で魚類種数が高い場所や、希少な魚種が多い場所を各流程で特定した（図(7)-8）。上流では、支流である北チャオシー川の上流地域で種数や希少性が高く（図(7)-8(A)、このような場所では複数のヨシノボリ属が同所的に生息していた。中流においてもやはり北チャオシー川で種数や希少性が高かった（図(7)-8(B)）。特にこの北チャオシー中流域は、日本では絶滅の危機に瀕しているアユモドキの近縁種(*Leptobdia tchangii*)が比較的高密度で生息しているが、周囲で土地開発が目立ったため保全すべき地域として注目される。下流では、ピンヤオ付近で魚類の種数や希少性が高かった。特にタナゴ亜科の種数が高く、たとえば1地点で9種を確認した地点もあった。この周辺はコンクリートによる護岸がなく、また水草類も目立つため、これらの自然環境がこのように高い魚類多様性を支えていると考えられる（図(7)-8(C)）。

各流程の出現種数と個体数に影響を及ぼす環境要因を図(7)-9に示す。上流と中流では、電気伝導度が有意に種数や個体数に負の影響を与えていた。上・中流では工場排水などにより汚染され電気伝導率が著しく高い場所があり、そのような場所では種数が減少していたり、カダヤシなど汚染に強い特定の種が極端に増えていたりした。中流では、瀬淵構造のモザイク性が出現種数と採捕個体数双方に正の影響を与えていたが、各地で河川工事がなされ河床や護岸が平坦化しており、それらが種数や個体数低下の駆動因となっていることが示唆された。下流では人工護岸と濁度が種数や個体数に負の影響を与えており、護岸による物理構造の均質化と水の濁りが駆動因で

あると考えられた。水の濁りについては、川を往来する貨物船が引き起こしており、これが間接的な駆動因になっていると考えられる。



図(7)-8 (A)上流、(B)中流、(C)下流の出現種数と希少性指数をもとにした魚類生物多様性の重要地域

それぞれの流程の赤の破線で示した地域は、各指数が高い地域を示す。

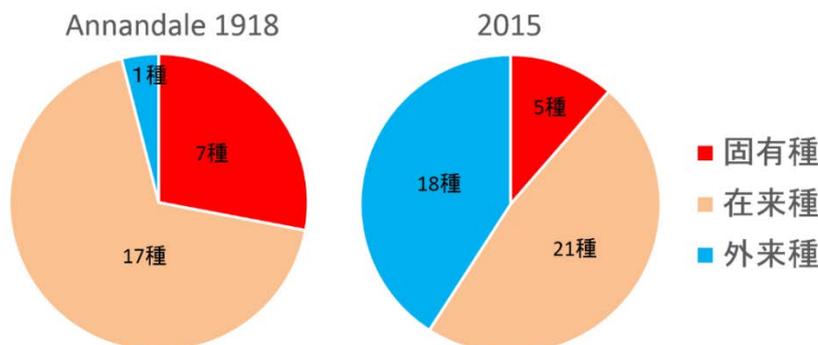


図(7)-9 各流程における出現種数、採捕個体数に影響を与える環境要因

GLMの構築により解析を行った。GLM構築の際には、赤池情報量基準（AIC）が最も低くなるモデルを選択した。

2) ミャンマー・インレー湖周辺

インレー湖周辺の40地点で調査を行い、44種の魚種を確認することができた（図(7)-10）。約100年前のAnnandale (1918)の報告と比較すると、外来魚の割合が40%以上を占め、外来魚がこの一世紀で劇的に増えたことが明らかになった。特にナイルティラピアはバイオマスが多く、市場で取引される魚類の大半を占めていた（図(7)-11）。また、インレー湖には固有の鯉（*Cyprinus intha*）が生息するが、外来で養殖の鯉（*Cyprinus carpio*）が周辺で頻繁に養殖されているため、交雑が懸念される。また、インレー湖に固有であるとされるコイ科の一種*Percocypris compressiformes* と日本のナマズに近い*Silurus burmanensis* については生息を確認できず、既に絶滅したことも懸念される。全体としてナイルティラピアや養殖ゴイなどの外来魚が当該地域における大きな駆動因の一つであると考えられる。



図(7)-10 インレー湖周辺における1918年前後（左）、および本調査で確認した魚類（右）の内訳

インレー湖では外来魚の影響のみならず、今後リゾート開発や野菜類の湖上栽培が活発化するため、魚類多様性はますます危機にさらされることが予想される。一方、インレー湖はミャンマーの中でも生物多様性や文化の固有性がきわめて高い観光地であるため、象徴的な淡水魚類を保全していくことは民主化が進み開発が急激に進みつつある当該地域において喫緊の課題になると考えられる。



図(7)-11 インレー湖周辺の魚市場の様子（左）と売り物の大半を占めるナイルティラピア（右）

3) カンボジア・カルダモン地域

16地点で調査を行い、そのうち2つの地点でアジアアロワナの生息を確認できた。アジアアロワナが生息していた場所は、標高200-300mほどでありながら平坦で、川は水深があり淀みが広範囲に続く特異な場所に限定されていた。また、この個体群が生息地の5kmほど上流ではダム建設が始まっており、航空写真で確認したところ、調査当時（図(7)-3）には見られなかった著しい濁りが確認できた。今後本個体群は絶滅する可能性が高い。このような事態は当時に想定されていたため、20個体ほどを確保して現在カンボジア内で系統飼育を行っている。

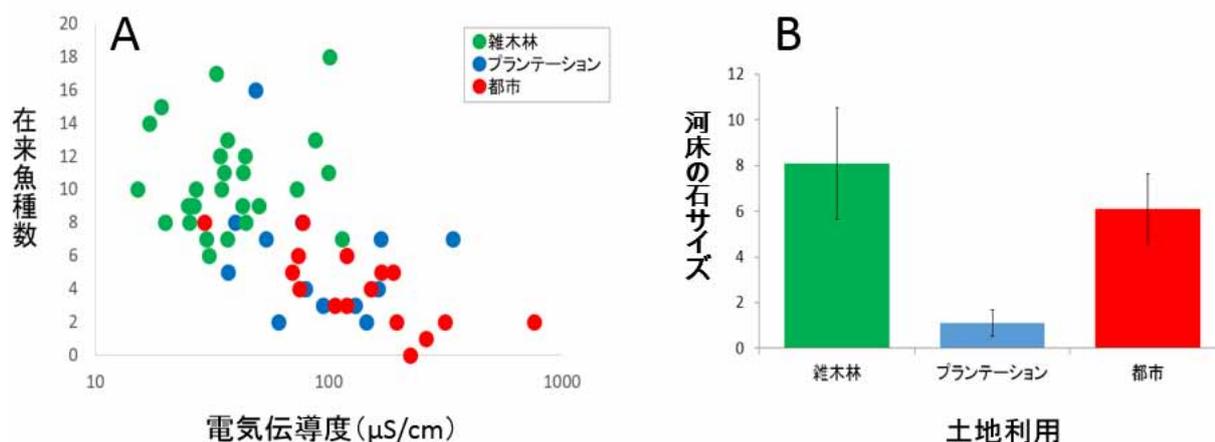


図(7)-12 地域住民のアロワナ捕獲キャンプ（左）と売りに出されるアロワナの幼魚（右）

一方でカルダモンの地域住民は、アロワナの採取と取引により、貴重な現金収入を得ていることが聞き取りで分かった。地域住民は1年のうち数ヶ月は山中にキャンプを設けてアロワナを捕獲している（図(7)-12）。ただし捕獲についてはコミュニティ内でコントロールされており、対象も幼魚に限られた。アロワナの生息できる環境を保持することにより、アロワナの保全と地域経済の活性化が両立できるものと考えられる。

4) 半島マレーシア

調査では、120種の在来魚と11種の外来魚を確認した。水質・物理環境・外来魚の影響について解析を行ったところ、電気伝導率で表される水質汚染が、魚類の種数や個体数の低下に寄与していることが示唆された（図(7)-13(A)）。電気伝導率は雑木林の土地利用では低いが、プランテーションや都市の土地利用では高くなっており、このような場所では在来魚の種数が低くなっていた。要因解析では、勾配、電気伝導率、河床の石サイズの平均が魚類種数を決定する要因として選択され、外来魚は直接の要因ではなかった。このうち勾配は人為的な影響を受けないので自然の環境要因である。一方、電気伝導率はプランテーションや都市で高く、人為的な影響を受けて



図(7)-13 電気伝導度と魚類種数の関係 (A) と各土地利用における河床の石サイズ (B)

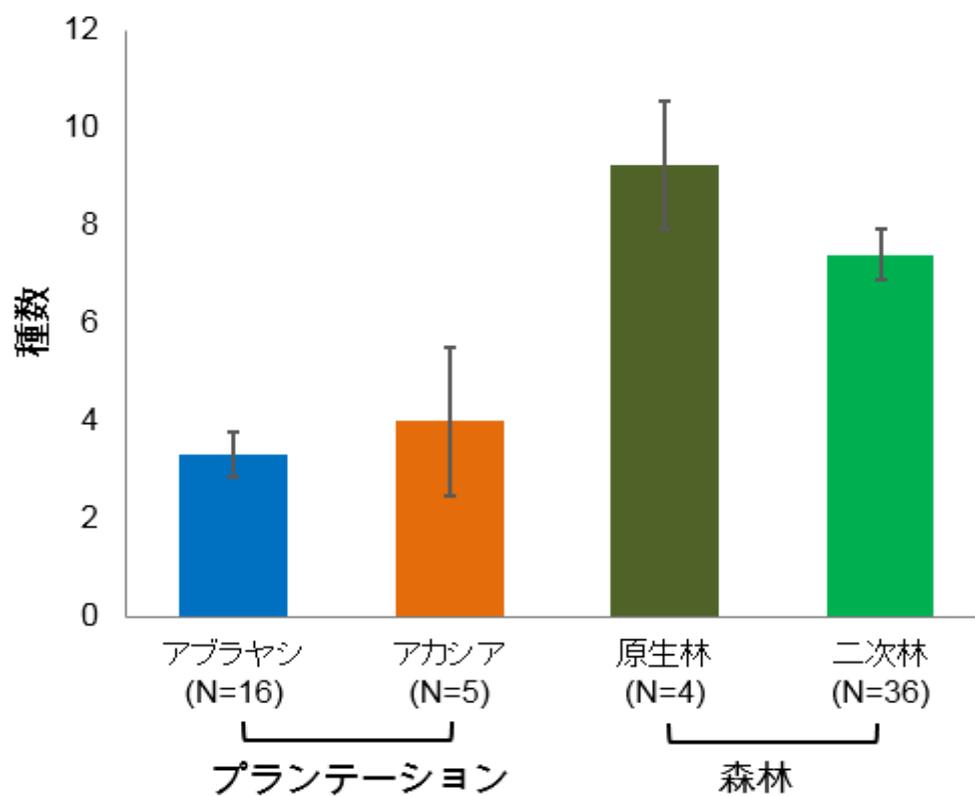


図(7)-14 著しく濁り汚染されたプランテーションの河川 (左) とその近影 (右)

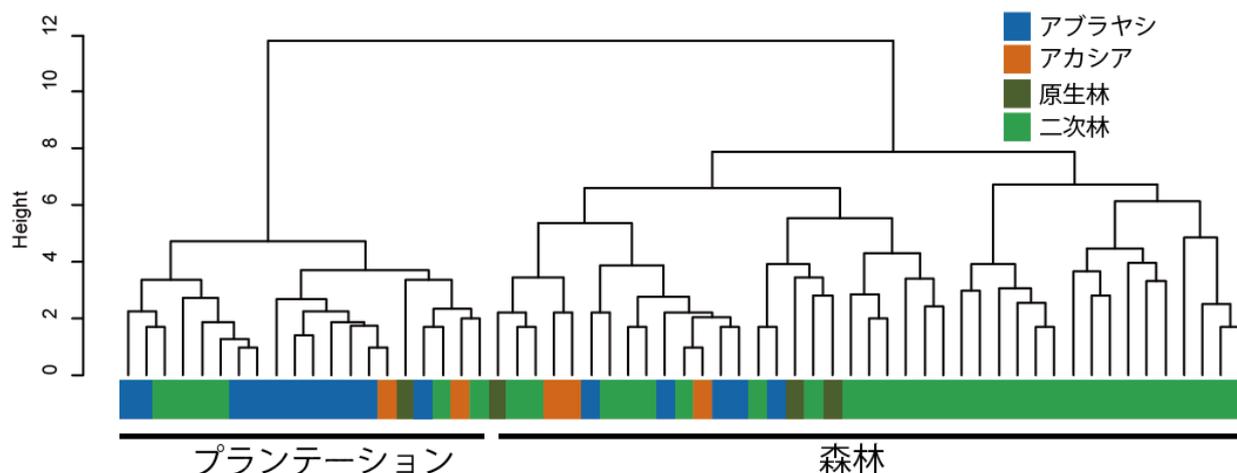
いると考えられる。また、河床の石サイズの平均は、プランテーションで著しく小さく(図(7)-13(B))、土砂やシルトが大量に流出して河床に堆積している状態を示唆するものである。また、アブラヤシ・プランテーションでは一般に農薬が大量に使われるため、一見して汚染されたと思われる河川も散見された(図(7)-14)。このように半島マレーシアではアブラヤシ・プランテーションが一つの主要な駆動因であることが示唆された。

5) サラワク・マレーシア

調査の結果、112種の淡水魚を確認した。各土地利用における出現種数を図(7)-15に示す。種数は原生林でもっとも高く確認された。この原生林の多くは、地域住民が「プラウ」と称して水源林として積極的に保全しているものである。しかし近年のプランテーション拡大により、企業や行政が地域住民の合意を得ずに破壊してプランテーション化する事例が著しく増えており、生物多様性保全以上の視点から対策が望まれる。原生林に次いで二次林で魚類種数が高かった。原生林との違いは顕著ではなく、二次林でも十分に魚類多様性は確保できることが示された。これらに対して、アブラヤシやアカシアのプランテーションでは約半分にまで種数が減じていた。くわえて、クラスター解析の結果(図(7)-16)、プランテーションでと森林ではその種の構成に違いが見られた。プランテーションでは種の減少のみならず魚類相が変性することが示唆された。さらに要因解析の結果、種数、個体数、シャノンの多様性指数すべてについて、プランテーションが最も重大な負の要因として示された(表(7)-1)。



図(7)-15：各土地利用における淡水魚の種数（エラーバーは標準誤差）



図(7)-16 出現魚種からクラス分類された各調査地

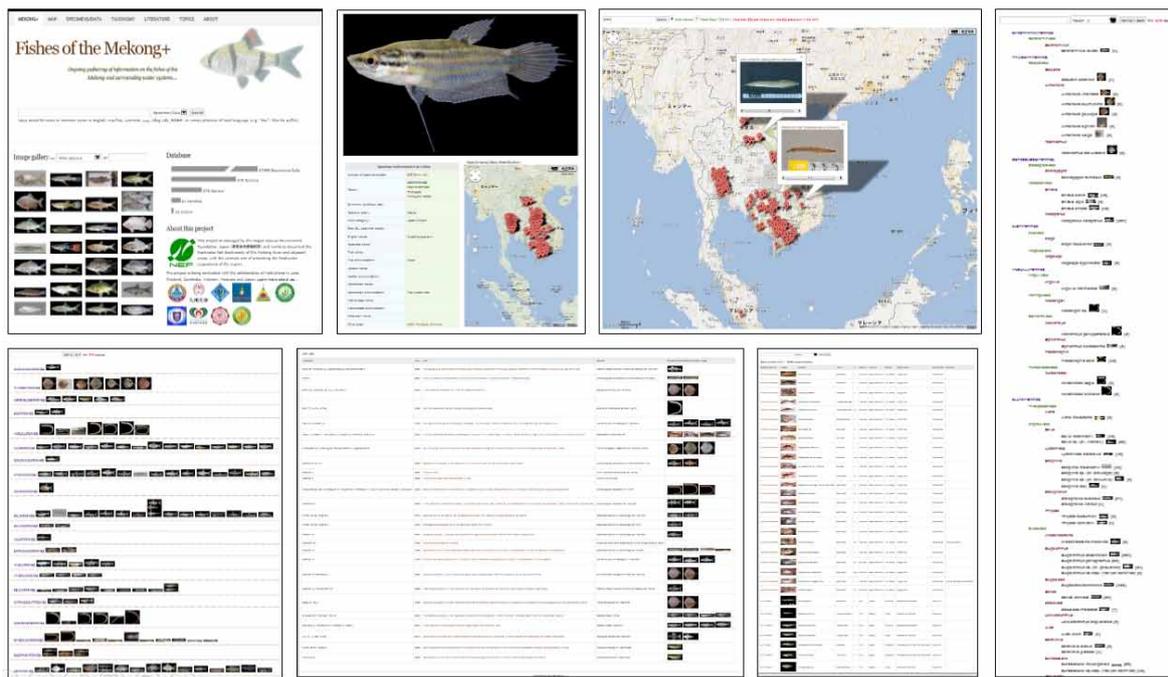
表(7)-1 種数・個体数・多様性指数を決定する最適モデル（最小AIC）とその環境要因の係数

対象	プランテーション (0/1)	集水面積 (km ² /1000)	海からの距離 (km/100)	標高 (km)	傾斜 (度/10)
種数	-0.61 ***		0.39 ***		-0.40 *
個体数	-0.79 ***		0.43 *		-0.72 *
シャノンの多様性指数	-0.64 ***			3.54	

***: $P < 0.001$; **: $P < 0.01$; *: $P < 0.05$

(3) データ整備・データベース構築

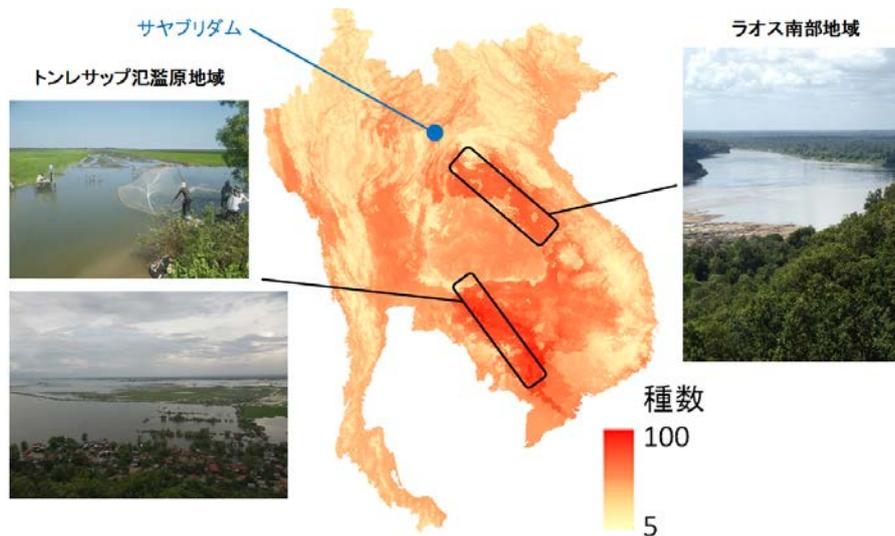
本研究で約2300地点・50,000件の魚類分布データを得た。そのうちインドビルマ地域を中心に、そのうち約30,000件のデータについて、分布情報を集約したデータベースを作成し、オンラインで公開した（図(7)-17）（<http://ffish.asia>）。データベースは種名、シノニム、現地語、現地語アルファベット読み、文献名など様々なキーワードで検索可能であり、検索結果は標本情報、写真、分布マップなど様々なインターフェースで表示される。デザインにあたっては必要な情報が視覚的に理解できるように工夫した。標本写真はクリエイティブコモンズのライセンスに設定したため、IUCNや他データベースでも頻繁に利用されている。また網羅的な図鑑が少ない当該地域において、図鑑としての役割も果たしている。今後はさらなる魚類分布情報の更新、インターフェースの改善、他データベースとの連携を目指す。



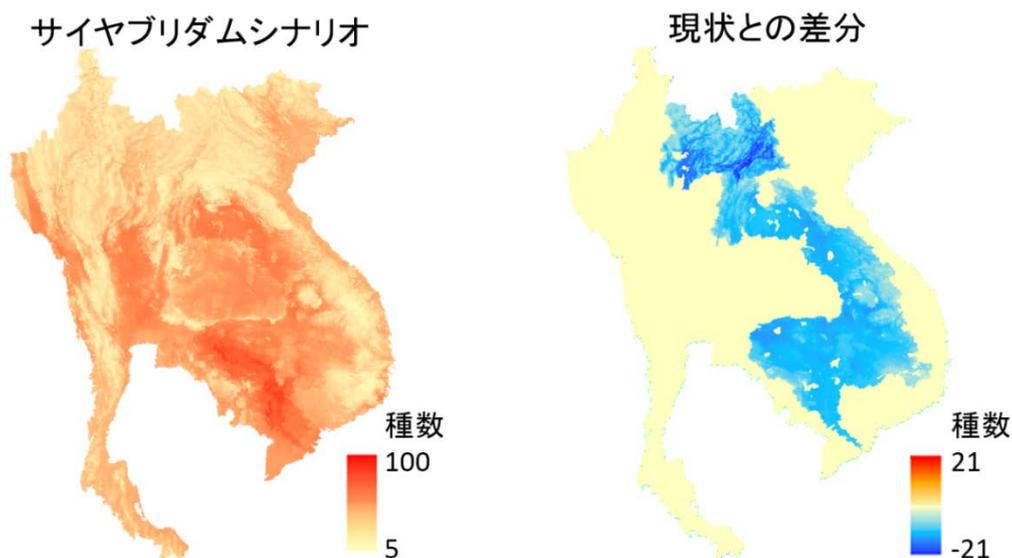
図(7)-17 公開されたオンラインデータベースと、その様々な表示インターフェース

(4) 優先保全地域の選定・将来予測

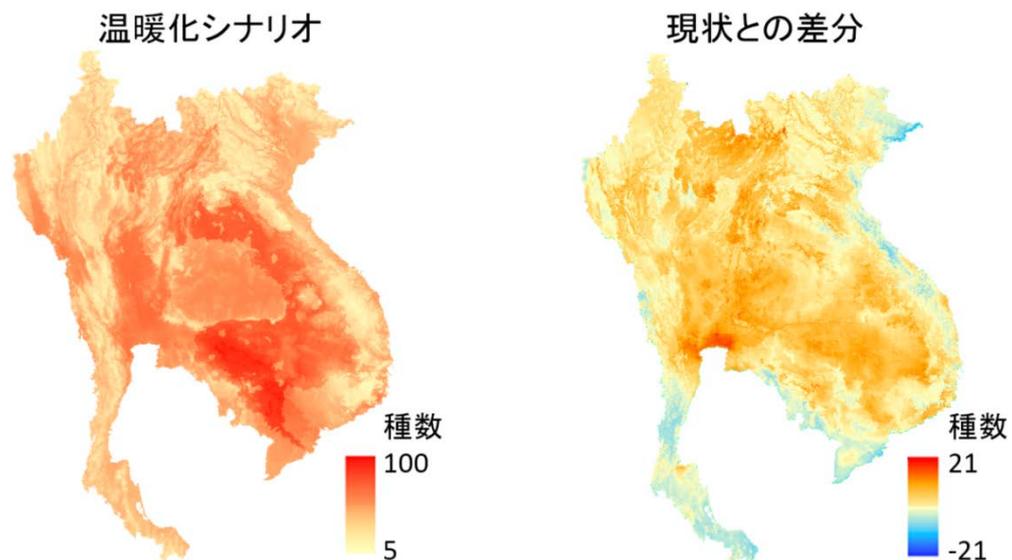
MAXENT解析による魚類多様性マップを図(7)-18に示す。トンレサップからプノンペンにかけての地域とラオス南部において、魚類種数が特に高い。しかしサイヤブリダムが建設されると、メコン川流域全体が影響を受け、最大で21種ほどの種数を減ずる地域も見られる(図(7)-19)。一方、温暖化シナリオでは、ほとんどの地域で種数の増加が見込まれた(図(7)-20)。水力発電ダムは二酸化炭素を排出しないため温暖化緩和に貢献すると考えられるが、魚類種数に対する影響のみを考慮した場合、水力発電ダムは望ましくないことが定量的かつ視覚的に示された。



図(7)-18 インドビルマ地域における現状の魚類の期待種数と、特に多様性の高いトンレサップ氾濫原地域とラオス南部の景観



図(7)-19 インドビルマ地域においてサイヤブリダム建設が魚類に与える影響



図(7)-20 インドビルマ地域において温暖化が魚類に与える影響

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

これまで生態学的な淡水魚研究の少ない東アジア・東南アジアにおいて、淡水魚生息環境を劣化させる駆動因について、いくつかの事例的な研究を示すことができた。特にマレーシアのアブラヤシ・プランテーションについては問題の大きさに対して研究例が少なく、重要な知見になると考えられる。また、メコン川流域で現在もっとも大きな社会問題になっているダム問題について、その具体的な影響を示せたことは科学的に意義が高い。さらに世界的な問題である地球温暖化についても、種数が増加するという意外な結果を示唆できたことも学術的価値があると考えられる。

(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>

成果の一つである標本写真付きのオンラインデータベースは、情報の少ない東南アジア地域において、キャパシティビルディングや環境教育などにおいて十分に活用できる。また、サヤブリダムの影響を視覚的に示すことができたため、ダム建設後の対応を行う上で行政的に重要な情報となると考えられる。

6. 国際共同研究等の状況

本プロジェクトでは、アジアの多くの研究機関・行政機関と国際共同研究を行った。特に、中国・同済大学、台湾国立中山大学、ミャンマー森林局、タイ・メージョー大学、タイ・カセサート大学、カンボジア・シェムリアップ淡水魚研究所、カンボジア水産局、ツンフッセンオンマレーシア大学、マレーシアサラワク大学とは緊密な関係が構築できたため、今後も共同研究が続く予定である。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 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”
- 2) 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 and T. YAMASHITA: Ichthyological Research, 60, 293-295 (2013)
“An Online Database on Freshwater Fish Diversity and Distribution in Mainland Southeast Asia”
- 3) Y. MIYAZAKI, Y. KANO, Y. TOMIYAMA, C. MITSUYUKI and Z. A. RASHID: Check List, 9, 1035-1042 (2013)
“Ichthyofaunal Assessment of the Gelami and Tinggi Rivers, Pahang River System, Eastern Malay Peninsula, Following Construction of An Adjacent Building Complex”
- 4) 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”
- 5) Y. KANO, T. SATO, L. HUANG, C. WOOD, K. BESSHO, T. MATSUMOTO and Y. SHIMATANI: Landscape Ecological Engineering, 9, 289-298 (2013)
“Navigation Disturbance and Its Impact on Fish Assemblage in The East Tiaoxi River, China”

- 6) W. TANAKA, R. WATTANASIRISEREKUL, Y. TOMIYAMA, T. YAMASITA, W. PHINRUB, T. CHAMNIVIKAIPONG, A. SUVARNARAKSHA and Y. SHIMATANI: *Open Journal of Ecology*, 5, 434-451 (2015)
“Influence of Floodplain Area on Fish Species Richness in Waterbodies of the Chao Phraya River Basin, Thailand”
- 7) 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”

(2) 口頭発表 (学会等)

- 1) Y. KANO, T. YAMASHITA, T. SATO and Y. SHIMATANI Y : EAFES5 (第5回東アジア生態学会連合大会), 静岡 (2012)
“Potential threats for inland water ecosystem in East and Southeast Asia”
- 2) Y. KANO, T. SATO, T. YAMASHITA and H. TOYAMA : 2012 ALSO Aquatic Science Meeting, 大津 (2012)
“Fish diversity and fluvial environment, and their recent transition in mainstream of the East Tiaoxi River, China”
- 3) Y. KANO and Y. SHIMATANI : International Workshop on Freshwater Biodiversity Conservation in Asia, Fukuoka (2012)
“Online cloud database of Mekong fishes: a method to integrate and publicize a large amount of data”
- 4) Y. SHIMATANI : The 4th International Symposium on Aquatic Environment and Biodiversity Conservation in the Lake Taihu Basin, Shanghai (2012)
“Nature Friendly River Works in Japan”
- 5) Y. KANO, T. SATO, L. HUANG, T. YAMASHITA and J. LI : The 4th International Symposium on Aquatic Environment and Biodiversity Conservation in the Lake Taihu Basin, Shanghai (2012)
“River/stream fish biodiversity and its threats in East and South-East Asia”
- 6) Y. KANO and Y. SHIMATANI : International Workshop on Freshwater Biodiversity Conservation in Asia, Fukuoka (2012)
“Online cloud database of Mekong fishes: a method to integrate and publicize a large amount of data”
- 7) 鹿野雄一、渋川浩一、打木研三、山下奉海、佐藤辰郎、富山雄太、島谷幸宏 : 2013年度日本魚類学会年会、宮崎 (2013)
「東南アジア広域における淡水魚類データベース・ニッチモデル構築への試み」
- 8) Y. KANO : The International Symposium on the East Tiaoxi River, Shanghai (2013)
“The fish biodiversity and environment in the East Tiaoxi River Basin, China”
- 9) 鹿野雄一、山下奉海、佐藤辰郎、島谷幸宏 : 日本生態学会第61回全国大会、静岡(2013)
「外来種は侵略的なのか? -半島マレーシア中小河川における事例-」
- 10) Y. KANO : Asian Fish Biodiversity Conference 2014, Penang (2014)

“A database for Southeast and East Asian freshwater fishes”

- 11) 鹿野雄一：公開講演会「生物多様性観測・評価・予測研究の最前線3～アジアでの展開～」、
神奈川 (2014)
「東・東南アジアにおける淡水魚類の多様性保全研究とその拠点形成」
- 12) 鹿野雄一：日本生態学会第61回全国大会、広島 (2014)
「太湖流域の水環境と生物多様性の概要」
- 13) 鹿野雄一：日本生態学会第61回全国大会、広島 (2014)
「中国のアユモドキ類の生態から日本のアユモドキ保全を考える」
- 14) 山下奉海：日本生態学会第61回全国大会、広島 (2014)
「チャオシー川流域の水田環境と生物多様性」
- 15) 佐藤達郎：日本生態学会第61回全国大会、広島 (2014)
「魚類の多様性を保全する河川管理に向けて」
- 16) 鹿野雄一：日本生態学会第61回全国大会、広島 (2014)
「東南・東アジア広域における淡水生物多様性保全のための基盤情報整備と拠点形成」
- 17) Y. KANO, T. YAMASHITA, K. UTSUGI and K. SHIBUKAWA : Pacific Neighborhood Consortium
(PNC) Annual Conference and Joint Meetings, Taipei (2014)
“Database for freshwater fishes of Southeast and East Asia”
- 18) 鹿野雄一：2014年度日本魚類学会年会、神奈川 (2014)
「東・東南アジアの淡水魚類多様性とその生息環境」
- 19) 鹿野雄一、鮫島弘光、福島慶太郎、徳地直子：日本生態学会第62回全国大会、鹿児島(2015)
「サラワクの淡水魚多様性とその生息環境」

(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

- 1) 鹿野雄一：日本魚類学会 奨励賞 (2014)

8. 引用文献

- 1) N. Annandale: Records of The Indian Museum, 14, 33-64 (1918)
“Fish and fisheries in Inle Lake”

Study on Biodiversity Assessments of Freshwaters in Asia Region

Principal Investigator: Noriko TAKAMURA

Institution: National Institute for Environmental Studies (NIES)

16-2 Onogawa, Tsukuba-City, Ibaraki 305-8506, JAPAN

Tel: +81-29-850-2471 / Fax: +81-29-850-2116

E-mail: noriko-t@nies.go.jp

Cooperated by: University of Tsukuba, Toho University, Hokkaido University, Kyoto University, Kyushu University

[Abstract]

Key Words: Freshwater, River, Lake, Wetland, Irrigation pond, Assessment on biodiversity, Prioritizing protection area, Gap analysis, Driver to decrease biodiversity, Mekong River

This project aimed at assessing the state of freshwater biodiversity in East and Southeast Asia, selecting priority sites for conservation, and determining anthropogenic drivers of biodiversity loss in freshwaters.

First, we constructed a database on the distribution of aquatic organisms and their environments, and also developed remote sensing methods to detect changes of freshwater ecosystems at a regional scale. Our assessment revealed that species richness of freshwater fish and aquatic plants in Japanese lakes showed 28% and 57% decrease after 2001, respectively, compared with the states before 2000. While species richness of exotic piscivores was a primary driver of the native fish loss, eutrophication and the introduction of exotic grass carp drove the loss of aquatic plants.

Second, we compiled long-term data on the annual catch, fishing effort, and fishing efficiency in 23 Japanese lakes, using two sets of government statistics dating back to the 1950s. The catch per unit effort (CPUE) of inland fishery resources, estimated by a Bayesian state-space model, declined in 15 of the 23 lakes over past 30 years. The functional group richness of exotic piscivores was the primary driver of the CPUE decline.

Priority sites for conservation were selected for lakes, rivers, wetlands and irrigation ponds with an algorithm considering complementarities. For lakes, 2/3 of selected sites were located in the areas already protected, but there were larger gaps between selected sites and protected areas for rivers and wetlands. For rivers, about 1/3 of selected sites overlap with high flood-risk areas, suggesting that conserving those areas also contributes to decrease risk of flood on human life. For irrigation ponds, the number

of small ponds per area was associated with the species richness of threatened aquatic plants, demonstrating the importance of small ponds for biodiversity conservation in Japanese freshwaters.

In addition to studies in Japan summarized above, the states and trends of freshwater fishes and their habitats were studied in Southeast Asia. In particular, we assessed the impacts of hydropower dams and global warming in the Indo-Burma Hotspot including the Lower Mekong Basin. Our model-based projection showed that future construction of hydropower dams in the Mekong Basin will result in about 20–30% decrease of the fish species richness in Lao PDR and Cambodia, while the global warming will increase the richness about 5–10% in the region.