

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

湿地の多面的価値評価軸の開発と広域評価に向けた情報基盤形成
(4-1705)

平成29年度～令和元年度

Development of Multifaceted Evaluation Axis and Construction of Information Base
for Conservation of Wetland Ecosystems

<研究代表機関>

国立研究開発法人 国立環境研究所

<研究分担機関>

東邦大学

北海道大学

新潟大学

<研究協力機関>

日本国際湿地保全連合

首都大学東京

令和2年5月

目次

I. 成果の概要	
1. はじめに（研究背景等）	1
2. 研究開発目的	1
3. 研究開発の方法	2
4. 結果及び考察	5
5. 本研究により得られた主な成果	10
6. 研究成果の主な発表状況	11
7. 研究者略歴	12
II. 成果の詳細	
II-1 湿地保全・再生のための多面的評価軸の開発（国立環境研究所，東邦大学）	
要旨	14
1. はじめに	14
2. 研究開発目的	15
3. 研究開発方法	15
4. 結果及び考察	18
5. 本研究により得られた成果	26
6. 国際共同研究等の状況	27
7. 研究成果の発表状況	27
8. 引用文献	33
II-2 モデル流域における湿地の生態系機能・サービス評価（国立環境研究所）	
要旨	34
1. はじめに	34
2. 研究開発目的	35
3. 研究開発方法	35
4. 結果及び考察	39
5. 本研究により得られた成果	50
6. 国際共同研究等の状況	52
7. 研究成果の発表状況	53
8. 引用文献	57
II-3 全国規模の湿地・植生データベースの作成（北海道大学）	
要旨	58
1. はじめに	58
2. 研究開発目的	59
3. 研究開発方法	50
4. 結果及び考察	63

5. 本研究により得られた成果	70
6. 国際共同研究等の状況	71
7. 研究成果の発表状況	71
8. 引用文献	71
II-4 効果的な湿地モニタリング手法の開発 (新潟大学)	
要旨	73
1. はじめに	74
2. 研究開発目的	75
3. 研究開発方法	75
4. 結果及び考察	78
5. 本研究により得られた成果	85
6. 国際共同研究等の状況	86
7. 研究成果の発表状況	87
8. 引用文献	89
III. 英文Abstract	91

I. 成果の概要

課題名 4-1705 湿地の多面的価値評価軸の開発と広域評価に向けた情報基盤形成
 課題代表者名 西廣 淳 (国立研究開発法人国立環境研究所気候変動適応センター主任研究員)
 ※令和2年3月時点の所属で記載してください。なお、役職の記載まで必須です。
 研究実施期間 平成29～令和元年度
 ※全期間を記載してください。令和元年度単年度の場合、「令和元年度」と記載してください。
 研究経費(累計額) 135,744千円(間接経費を含む)
 (平成29年度:45,248千円、平成30年度45,248千円、令和元年度:45,248千円)

本研究のキーワード 生物多様性、生態系サービス、流域管理、
 EcoDRR、EbA、重要湿地、
 生物多様性データベース、生物多様性モニタリング、水生植物、湿地植生、
 自然再生、市民協働、グリーンインフラ

研究体制

- (1) 湿地保全・再生のための多面的価値評価軸の開発(国立研究開発法人国立環境研究所/東邦大学)
- (2) モデル流域における湿地の生態系機能・サービス(国立研究開発法人国立環境研究所)
- (3) 全国規模の湿地・植生データベースの作成(北海道大学)
- (4) 効果的な湿地モニタリング手法の開発(新潟大学)

研究協力機関

日本国際湿地保全連合、首都大学東京

1. はじめに(研究背景等)

開発や気候変動等の影響により、湿地の喪失・劣化が全国的に進行している。これに対し、釧路湿原など国立公園において大規模な自然再生が実施されるとともに、小河川や放棄水田における小規模な湿地再生の取り組みが各地で着手されている。これら湿地再生への動きを確実なものとし、湿地の生物多様性と生態系サービスを将来に引き継ぐためには、生物多様性条約等における国際目標の達成に向けた努力と達成度評価、新たな生物多様性保全戦略目標の設定、重要湿地の選定、モニタリングサイト1000の推進といった政策を効果的に進めることが重要であり、それをサポートする科学が不可欠である。また湿地の生物多様性と生態系サービスの評価は、IPBESの地域アセスメントにおいても重要である。

実際に湿地の保全・再生を進める上では、利害関係が異なる多様な主体の合意形成が欠かせない。そのような合意形成では、湿地の価値を多面的・定量的に評価し、わかりやすく提示することが有効である。学術的には、生態系サービス評価の手法やツールの開発が進んでいる。しかし異なる機能の相互関係の分析は不足しているため、合意形成を容易にする機能間のシナジーが生じる条件は明らかにされていない。さらに日本においては、機能やサービスの評価や広域的な保全・再生計画の立案に不可欠な湿地の分布やその生物多様性の基礎情報の整備が不足している。

2. 研究開発目的

本研究は日本における湿地の保全・再生を進展させつつ、国際的な生物多様性保全目標達成に寄与す

るため、以下の目的での研究を行う。

(1) 関東平野において、指標種の分布モデルを活用して重要湿地域を抽出する手法を確立する。さらに、休耕田や小河川の氾濫原など、開発の対象にされやすく、かつ保全策が講じられにくい低湿地を、生物多様性と生態系サービスの両面から評価するとともに、多様な主体の協働により保全・再生するモデルケースを示し、標準的な評価軸を提案する。

(2) 流域スケールでの湿地の保全・活用計画の立案に向けた基礎として、多数の生態系サービスおよび生物多様性間のトレードオフやシナジーの関係を明らかにする。これらの評価手法の一般化に向け、環境DNAを活用した生物分布調査などの新手法を開発・改良する。

(3) 日本の湿地の現状を横断的に把握し、重要湿地選定等の根拠として活用できるデータベースを作成する。データベースには、湿地の名称や位置などの基本情報に加え、湿地の植物分布情報、湿地に関する文献情報も含めることで、今後の情報蓄積の基盤となるものとする。

(4) 各地の湿地の生物多様性の現状把握に資するため、水生植物を対象とした標準的な調査手法を提案し、有効性を検証する。また植物相の記録を生態系の評価に活用するため、植物和名の統一化ツールと日本の維管束植物の湿地依存性を数量化したリストを作成する。

3. 研究開発の方法

(1) 湿地保全・再生のための多面的価値評価軸の開発（サブテーマ1）

1) 指標種による広域調査

千葉県北部をモデル地域とし、湿地性の絶滅危惧種の生息場所の特徴を地形と土地被覆の視点から明らかにした。また環境指標性の高い湿地性生物（カエル類・カメ類）について、広域で分布調査を行い、重要湿地域の地図化手法を検討した。

千葉県レッドリストから選定した魚類、両生類、甲殻類、植物を含む7種について、各種の1kmメッシュあたりの生息の有無に対して、地形タイプと土地被覆割合から算出した主成分得点を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った。また、このうち4種について2010年代のデータをもとに構築したハビタットモデルを1970～2000年代の各年代の環境に外挿し、土地被覆の変化に対して生息適地の時間的変化を推定した。

関東平野に調査地点を200地点設置し、水田に生息するカエル類の鳴き声を録音し、出現した各種の鳴き声の回数を記録した。これらに対して、気候、水田の状態や周辺の土地利用割合との関係を、生息確率を推定するモデルと鳴き声の回数を生息量とみなしたモデルによって解析した。構築したモデルを関東平野全域に外挿し、分布状況をマップ化した。これらの結果と各種の生息環境の選好性を比較し、水田環境の指標種を選定した。

千葉県・茨城県・埼玉県・栃木県において、河川環境を利用する在来種であるニホンイシガメの誘因と目視による生息状況調査を行った。千葉県を対象に、パス解析を用いて生物的要因（捕食者、外来種）と非生物的要因（河川改修、地形、土地利用面積）がカメの個体数に与える影響を評価した。

2) 谷津の土地利用の変化と機能評価

絶滅危惧種の分布から重要性が示された谷津（台地辺縁部の小規模な谷地形）の湿地について、生物多様性と生態系機能を評価した。

千葉県北総部の印旛沼流入河川である神崎川・桑納川流域および高崎川流域について、1946年の航空写真を元にすべての谷津の谷頭の位置を記録し、現在に至るまでの谷津谷底部の土地利用変化を把握した。現在の土地利用が水田もしくは放棄水田となっている34か所において植生調査を行った。谷津奥谷底湿地に設置したコドラート内に出現した種を日本産水生・湿生植物チェックリスト（サブテーマ4成果：首藤ほか2019）に基づいて湿生植物の分類を行い、各地点の在来湿生植物の相対優占度を計算した。谷底の植生に影響を与える可能性のある要因を解析するため、湧水の有無、水の流れ方、圃場整備で設置された暗渠排水などの排水設備の有無を記録し、地形的な水の集まりやすさの指標であるTopographic Wetness Index（TWI）を計算した。

谷津の水質浄化機能の評価として、富栄養な湧水の水質が谷津から排出されるまでに改善されているか明らかにするため、植生調査を行った地点のうち18か所で窒素濃度を分析した。各調査地において湧水が湧出している地点（湧水地点）と谷津から排出される地点（谷津の出口）の2か所で水質のサンプリングを実施し各種イオン濃度等の分析と、水温、pH、DO、電気伝導率の測定を行なった。

谷津の治水浄化機能の評価として、谷津とその周辺が都市化されずに樹林や草原が残っている谷津（自然型谷津）と、都市化され土地被覆が都市化されている谷津（都市型谷津）を対象に、降雨に対する流出の特性を調査した。各谷津に水位データロガーを設置して水位を観測し、流量を算出した。降雨のデータは近隣の観測所および気象庁のアメダスで観測された10分間の降雨量データを用いた。

生物多様性保全・水質・治水以外の機能として、谷津の耕作放棄水田を湿地として維持することによる復田コスト（再び水田に戻す場合にかかる費用）の抑制効果を定量化した。15か所の谷津を対象に、1960年代から2015年までの空中写真から植生を判読して低茎草本群落、高茎草本群落、低密度樹林、高密度樹林に分類し、それぞれを水田耕作ができる状態にもどすためのコストを、各作業工程について建設単価表を用いた歩掛計算を行うことで算出した。

湿地の復元の効果として、耕作放棄水田において簡便な自然再生を行った場合の水生昆虫相の変化を、富里市内の谷津で調査した。2018年6月に地域のNPOとの協力のもとに自然再生の作業を行い、その後、半年間にわたり水生昆虫相を調査した。

これらの研究成果を共有するとともに、印旛沼流域の湿地保全活動に関する情報交換を行うため、「里山グリーンインフラ勉強会」と称する集会を開催した。谷津の耕作放棄水田を多様な機能を有する湿地として維持することの意義や手法、行政計画等における位置づけを解説した手引書を作成した。

（2）モデル流域における湿地の生態系機能・サービス評価（サブテーマ2）

流域の生態系サービス・生物多様性を評価する手法を開発し、霞ヶ浦（西浦）全流域を50の小流域に分割したモデル流域において、小流域ごとに生態系サービスと生物多様性の評価を行った。手法開発については、ドローンと熱赤外線カメラを用いた湿地内の地下水探索技術の開発、環境DNAを用いた湿地の生物多様性評価手法の高度化を行った。また、霞ヶ浦の生態系サービス評価では、10の生態系サービスを評価し、生態系サービス間で生じるシナジーとトレードオフの分析を行った。具体的な方法は以下の通りである。

1) 環境DNAを用いた流域の生物多様性評価手法の開発

霞ヶ浦流域の50小流域を対象に、環境DNAを用いた淡水魚類の多様性評価手法を検討するとともに、生環境DNA試料の劣化防止と環境DNAメタバーコーディングの偽陰性の改善を通じて多様性評価手法の高度化を行った。各小流域の環境DNAについて、魚類のミトコンドリア遺伝子12S rRNAをMiFishプライマーでPCR増幅し、MiSeq (Illumina) によるアンプリコン解析を行った。得られた塩基配列について、メタバーコーディングにより魚種を判定した。得られたデータから、各小流域の在来魚、国外外来魚、国内外来魚の種数をそれぞれ算出した。

環境DNAメタバーコーディングによる種の検出では、野外におけるDNA濃度の低さやアンプリコン解析に固有の検出過程に由来する偽陰性（種の検出誤差）が生じ得る。そこで、偽陰性を踏まえた統計モデルである「サイト占有モデル」に着目し、これを拡張して環境DNAメタバーコーディングに適合するような統計モデルを構築した。開発した統計モデルを、霞ヶ浦50小流域で得られた淡水魚のメタバーコーディングデータに適用し、偽陰性を考慮した結果、検出種数がどの程度増加するかを解析した。

2) 霞ヶ浦流域の生態系サービス評価と生態系サービス間のトレードオフ・シナジーの抽出

霞ヶ浦全流域を50の小流域に分割し、10の生態系サービス（農作物生産・米生産・豚生産・河川水質・気候調整・炭素蓄積・洪水調整・純一次生産・ハビタットの多様性・神社数）を評価した。上述の環境DNA手法を用いて、各小流域の在来淡水魚類種数を生物多様性指標として用いた。計11指標を用いて因子分析を行い、生態系サービス間あるいは生態系サービスと生物多様性の間に生じるシナジー・トレードオフ関係について分析した。また、農業生産と水質のトレードオフに注目し、農業生産が高いにも関わらず水質が良好なWin-Win流域を特定し、それらの流域の特徴を詳細に解析した。

(3) 全国規模の湿地・植生データベースの作成 (サブテーマ3)

日本国内の湿地の植物に関する既存文献の探索と収集を行い、それらを基に文献情報を収録した湿地文献データベース、湿地の名称や位置情報からなる湿地データベース、湿地における植物の出現記録を収録した湿地植物データベースを作成した。本データベースで取り扱う湿地は、湿った土地に自然植生が成立している場所とし、泥炭地湿原、沼沢地・湿地、湿地林、湧水湿地、塩性湿地、マングローブ林が含まれる。原則として陸域湿地部分の面積が1ha以上のものを対象とした。

収集する文献は、湿地の植物相や植生に関するものに限定し、入手順に6桁の文献IDをふった。湿地文献データベースは、文献ID、著者、発行年、文献名、掲載誌、発行者、巻、号、頁、湿地ID (1-50列) から構成される。収集文献の内容を検討し、入力価値の高いものから湿地植物データベースに入力する部位を抽出し、入力、一次確認作業後、GIS上で湿地の位置を探索し、湿地IDと湿地の名称を決定した。湿地データベースは、湿地ID、レベル、湿地の名称、よみがな、備考、緯度、経度から構成される。湿地の位置の特定は、ArcGIS上で電子国土基本図 (地図情報)、国土地理院公開の複数の空中写真、NTT空間情報株式会社のGEOSPACE CDS、林野庁の空中写真、MicrosoftのBing Maps、GoogleのGoogle Earthを用いて行い、ポイントデータを作成した。ポイントは湿地中央部付近、あるいは良好な湿地環境の場所にポイントを打った。湿地植物データベースは、レコードID、湿地ID、出典文献ID、調査方法、湿地の内外、調査開始年、調査終了年、文献に登場した和名、文献に登場した学名、変換後の分類群のID、変換時の備考、変換後の和名、変換後の学名から構成される。文献には様々な和名・学名の異名が登場するが、これらは一般的な植物リストに準拠したものに変換し、出典時の和名・学名とともに併記した。

(4) 効果的な湿地モニタリング手法の開発 (サブテーマ4)

1) 水生植物の調査手法の開発

湖沼における水生植物相の標準的な調査手法の開発と調査マニュアルの作成を目的とし、水生植物相調査において国内でよく採用される調査手法 (定点調査と踏査) で得られる成果およびその精度について、現地調査による評価を試みた。現地調査は、小型～中型湖沼として新潟県上越市と青森県つがる市の計6湖沼、大型湖沼として山梨県河口湖を対象に実施した。水生植物相の標準的な調査方法を提案するために、定点調査と踏査で記録できる種数や生育形の違い、定点での採集試行回数や踏査距離の違いによって採集できる種数の変化、1つの湖内における踏査区域間の類似度、それぞれの調査に費やした努力量 (定点数および踏査区域数、調査時間) を評価した。

2) 市民参加型調査の評価および水生植物の同定支援ツールの作成

市民参加型調査の実地検証を行う湖沼を、大阪府と新潟県よりそれぞれ2池沼 (合計4池沼) を選定した。調査の開始前には、市民参加者の水生植物に関する知識を評価するためのペーパーテストを行った。4池沼において合計7区画を設置し、採集時間を一区画あたり20分間として、市民参加者および水生植物の専門家数名 (分担研究者ら) が独立に調査を行った。調査結果をまとめ、参加者と専門家の間での採集種数の比較、採集種数と調査方法 (踏査と採集器調査) の比較、参加者が持つ知識 (テストの得点) と調査能力の比較を行った。また、調査人数の増加によって十分な採集種数が得られるかを検討するため、市民参加者の人数増加による累積採集種数の増加曲線は無作為抽出シミュレーションにより描き、専門家の採集種数と比較した。これと並行して、水生植物の普及啓発と市民参加型調査のための同定支援ツールの作成を行った。

3) 国内の水生・湿生植物チェックリストの作成

国内の植物を水生・湿生植物に分類したチェックリスト、ならびに維管束植物の標準的な和名および異名を整理したチェックリストの2種類のデータベースを構築することとした。水生・湿生植物の分類は、文献情報 (日本における主要な植物図鑑の記載) に基づいた。文献の記載より抽出した情報を類型化・統合し、掲載種の生育環境と生育形を判定した行列を作成し、国内に生育する維管束植物 (外来植物含む) および一部の大型淡水藻類を水生1 (沈水・浮葉・浮遊植物)、水生2 (湿生植物)、湿生植

物、非湿生植物、未評価の5群に分類した。これに加え、国産水生・湿生植物リストを実用する際の種名の異物同名や同物異名による誤判定を防ぐため、これらを標準的な種名に変換するための和名チェックリストを作成した。

4. 結果及び考察

(1) 湿地の多面的価値評価軸の開発 (サブテーマ1)

1) 指標種による広域湿地評価

解析対象とした湿地性の絶滅危惧種すべてにおいて、谷津環境を示す主成分のオッズ比のみが1より大きくなったことから、これらの種は谷津環境へ依存して生息していることが示された(図0.1)。さらに、このうち絶滅危惧種4種(ホトケドジョウ、スナヤツメ、アカハライモリ、サワガニ)の生息適地の割合は、1970年代から2010年代にかけて谷津の都市化が進むとともに減少していた。これらの絶滅危惧種にとって生息環境の悪化が進行しており、谷津地形を保全していくことの必要性を示している。

関東平野での全域での調査から、水田域では5種のカエル(うち外来種2種)が確認された。作成された生息確率を示す分布モデルと生息量を示すモデルから、トウキョウダルマガエルは関東平野の東側で多く、シュレーゲルアオガエルは丘陵地や森林の周辺に分布する傾向が見られたことから、シュレーゲルアオガエルは谷津の環境を、トウキョウダルマガエルは氾濫原的環境を示す指標種といえる。また、鳴き声の録音という簡便な調査方法の有用性が示された。

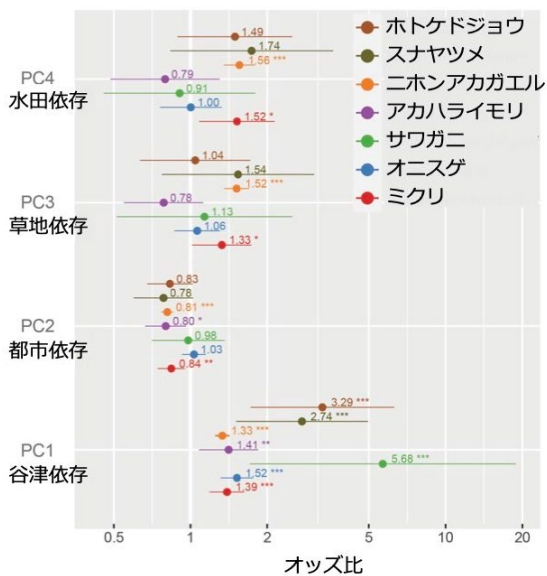


図0.1 湿地性の絶滅危惧種の分布における各地形・土地被覆への結びつきの強さ。

関東地方のニホンイシガメの生息地は千葉県房総半島に局所的に分布していた。パス解析の結果から、イシガメの個体数は、河川改修と捕食者であるアライグマ及び競争者となる外来カメ類から負の影響を受けることが示唆された。現地調査からアライグマに捕食されたと思われる個体が増加しており、河川環境の改善に加え侵略的な外来種への対策も重要である現状が明らかになった。

2) 谷津の土地利用の変化

神崎川・桑納川流域と高崎川流域の谷津奥部の土地利用・土地被覆を判別した結果、1940年代には各流域120地点と237地点のすべての地点が水田であった。水田は年代を経るほど減少し、2000年代にはそれぞれ3地点と14地点となっていた。全流域をあわせると、2000年代には地形自体が改変された場所が50.4%を占め、またそれ以外の場所のうち88.6%が耕作放棄地となっていた。

3) 谷津の機能評価

植生調査の結果、全体で76科283種の植物が確認された。全国あるいは千葉県・茨城県版のレッドリ

スト種は7種が確認され、全調査地点で平均して8.9種の湿生植物が確認された。湿生植物の相対優占度を目的変数とした一般化線形モデル（GLM）による解析とモデル選択の結果、TWIの正の効果と排水設備（コンクリート水路など）の存在の負の効果がみられた。これらのことは、地形的に水が集まりやすくまた排水設備の設置などの圃場整備事業が行われていない場所で、湿生植物が優占する植生が成立しやすいことを示している。

全窒素濃度と硝酸イオン濃度の間には強い正の相関が見られたことから、本研究の対象地における窒素負荷のほとんどが硝酸イオンに起因することが示唆されたため、硝酸イオンに着目した。湧水の硝酸イオン濃度を目的変数としたモデル選択を行った結果、集水域内の畑地の割合による正の効果と市街地割合による負の効果がみられた。台地上に畑地が多い場所では窒素栄養塩負荷が大きいことが確認された。湧水と出口で水質を調査した18地点のうち11地点で硝酸イオン濃度の低下が確認されたことから、硝酸イオン除去率を目的変数としたGLMによるモデル選択を行なった結果、谷津出口の水温が正の効果を持っていた。窒素除去のメカニズムとして脱窒が重要であると考えられ、水温が高まりやすい湿地構造とすることで、高い脱窒効果が得られることが推測された。また、湿生植物の相対優占度が高い上位6地点では、除去率がマイナスとなることはなかった（図0.2）。湿生植物の相対優占度が高いような特徴を持つ谷津の耕作放棄水田は高い水質浄化機能を持つことが示唆された。

降雨量のピークが生じてから流出量のピークが生じるまでの時間の遅れ（ピークの遅れ）は、都市型谷津で 28 ± 28.6 分（mean \pm SD, n = 26）、自然型谷津で 284 ± 89.5 分（n = 15）と自然型谷津でより大きく遅れていた。最大降雨強度が高くなると自然型谷津のピークの遅れは減少していたが、都市型谷津よりも小さくなることはなかった。1回の降雨イベントあたりの総流出高と総流量の関係より、流出率は都市型谷津では0.73、自然型谷津では0.24であった。ピークの遅れ時間と流出率のそれぞれを目的変数としたGLMによるモデル選択を行った結果、谷津が自然型であることが正の効果を示し、周辺に樹林や草原などが多く残されている谷津は雨水流出を制御する機能を持つことが検証された。また最大降雨強度はピークの遅れに、総降雨量は流出率に負の効果を持っていた。これらのことから、谷津は雨水が河川に流出する量を低減させるとともに遅延させ、下流の河川の急激な水位上昇を抑制する効果をもつことが示唆された。

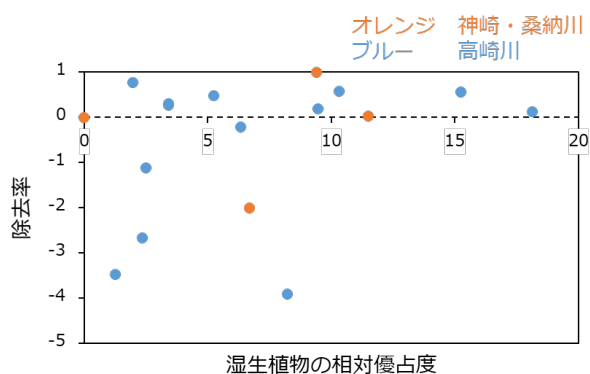


図0.2 谷津谷底面における湿生植物の相対優占度と硝酸イオン濃度除去率の関係。硝酸イオン濃度除去率は $[(\text{湧水濃度} - \text{出口濃度}) / (\text{湧水濃度})]$ として計算した。

4) その他の機能評価と提言書のとりまとめ

圃場整備の行われた放棄水田では、圃場整備の行われていない放棄水田に比べ早期に復田コストが上昇し、また最終的な復田コストも上回った。これは、樹林化する速度が圃場整備されていない放棄水田よりも速く、短い年数で復田コストが高まることが主な要因であると考えられる。

富里市内の谷津（約0.2ha）において、地域のNPOとの協力のもとに水深20～30 cmの止水域を複数個造成した結果、造成の時点で確認された水生昆虫は5種だったが、4か月後には22種に増加した。

市民・行政との情報交換の場である「里山グリーンインフラ勉強会」での議論を経て、谷津の湿地が発揮しうる生態系サービスとそれを高めるための管理のあり方を「自然とかわり豊かに暮らす 里山グリーンインフラの手引き【谷津編】」としてまとめ、ウェブサイト (<http://wetlands.info/library/>) でCC-BYとして公開した。

(2) モデル流域における湿地の生態系機能・サービス評価 (サブテーマ2)

1) 環境DNAを用いた流域の生物多様性評価手法の開発

全50小流域における計6回の調査から、夏季に59種群、冬季に62種群、合計で70種群の魚類が検出された。霞ヶ浦流域の在来魚は夏季31種群、冬季29種群、合計34種群が検出された。検出された在来魚には、アカヒレタビラ、ニホンウナギ、ホトケドジョウ、タナゴ等の絶滅危惧種が含まれており、環境DNAの検出力が高いことが示唆された。また、ベンザルコニウム溶液を添加した試料の方が、添加しなかった試料よりも有意に多い種群数が検出され、小流域あたりの検出種数が最大で13種増加した。ベンザルコニウム溶液を添加することにより、魚類の環境DNAの保存性が高くなることが示唆された。

また、サイト占有モデルを用いて、メタバーコーディングデータから偽陰性を踏まえた種分布や種多様性の評価が可能となった。つまり、ある地点で不検出となった種について、検出率やシーケンス深度などの情報に基づき、その種がそこに生息している確率（事後占有確率）を評価できるようになった。開発した統計モデルを、霞ヶ浦50小流域で収集された魚類の環境DNAメタバーコーディングデータに適用した結果、小流域あたりの推定種数が最大で5種増加した。また、本統計モデルの分析から、環境DNA試料の採水時に反復を多く取ることによって種検出の効率が向上することがわかり、環境DNAを用いたモニタリングデザインについても重要な示唆が得られた。

2) 霞ヶ浦流域の生態系サービス評価と生態系サービス間のトレードオフ・シナジーの抽出

因子分析の結果、気候調整機能、洪水調整機能、炭素蓄積量、純一次生産量、ハビタットの多様性の5つの生態系サービスのシナジーが抽出された。この因子スコアと森林面積率の間に正の相関が認められたことから、これらのシナジーを促進するためには森林が重要な役割を果たすことが明らかとなった。また、農業生産の増加に対して、河川水質サービスが減少するトレードオフが抽出された。在来淡水魚類の多様性も、農業生産の増加に対し、減少する傾向が見られた。

一方で、農業生産と河川水質の関係を詳細にみると、農業生産が高いにも関わらず水質が良い（ここでは硝酸態窒素濃度が低い）「Win-Win流域」が存在する可能性が示唆された。畑地率と硝酸態窒素濃度の回帰直線に直交する残差を「Win-Win度合い」と定義し、小流域ごとのWin-Win度合いと土地利用の関係を分析した（図0.3）。解析の結果、湿地面積がWin-Win度合いのばらつきを説明する最も重要な要因であること、湿地数よりも湿地面積率が重要な要因であること、湿地面積率が増加するとWin-Win度合いが有意に高まることが明らかとなった。また、最もWin-Win度合いが高かった31番流域は、複数のため池が点在していた。ため池のようなある程度大きな面積をもつ湿地が流域内に存在することにより、農業生産と水質のトレードオフを緩和できることが示唆された。

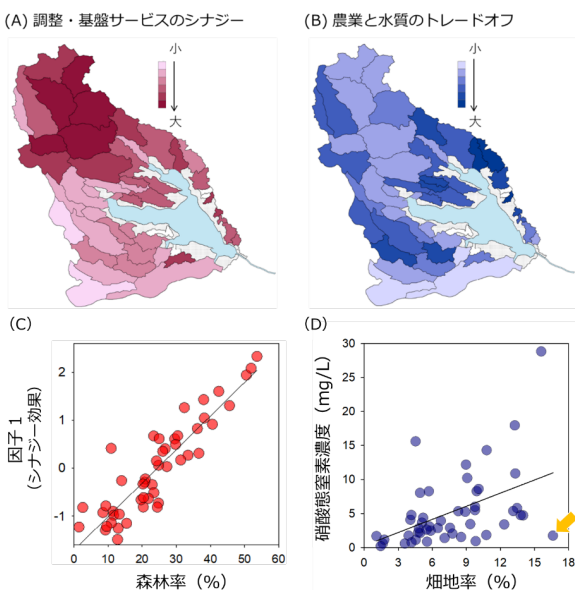


図0.3 (A) 因子分析によって特定された調整・基盤サービスのシナジー（因子1を地図化）の空間分布。(B) 因子分析によって特定されたトレードオフ（因子2を地図化）の空間分布。(C) 森林率と因子1スコアの関係。(D) 畑地率と硝酸態窒素濃度（オレンジ色の矢印は、畑地率が高いにも関わらず硝酸態窒素濃度が低いWin-Win流域の一つを指す）。

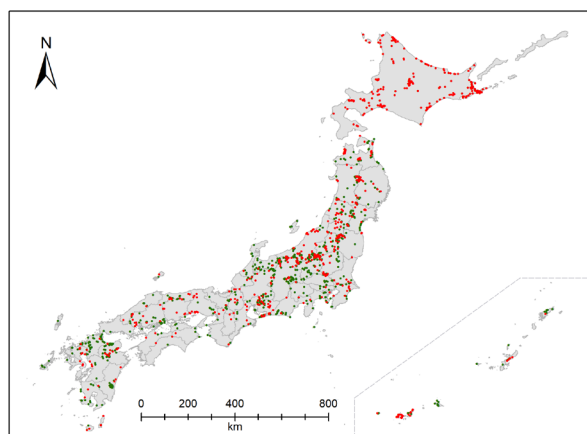
(3) 全国規模の湿地・植生データベースの作成 (サブテーマ3)

収集した文献のうち湿地文献データベースに掲載した総文献数は2,058となった。調査年代別の文献数は1970年代が最大で、それ以前の約2倍に増加していた。その後、徐々に文献数が減少し、特に2000年以降の調査が激減していた。これは、湿地の保全に不可欠な、近年の湿地に関する科学的データが不足していることを示している。

一連の作業によって湿地IDを作成した湿地は804カ所で、陸域湿地面積や本研究の湿地の定義に該当するかを検討した後、692カ所を湿地データベースに掲載した(図0.4)。泥炭地湿原は、山岳地域や北海道に集中して分布するが、中部地方以南にも点在しており、最も南は屋久島であった。沼沢地や淡水性の湿地は、北海道から南西諸島まで広く分布していた。湿地林は、泥炭地湿原や湧水湿地と分類したものが多く、その結果、数が少なかった。湧水湿地は、特に東海地方から中国地方に多数分布していた。塩性湿地は、河川の河口付近に残存していたが、開発による河口や海岸の改変で消失し、過去には現在よりも多くの場所に成立していたと推測された。マングローブ林は、主に南西諸島に分布していた。

本課題で作成したデータベースは、既存の論文や報告の情報を基に、湿地の存在と位置確認をGIS上で様々な画像ソースを用い、同一人物(湿地の専門家)が一定の基準で行った。従って、都道府県担当者の情報を集約した既存の湿地目録よりも、信頼度が高いものができたと言えよう。一方で、まだ多くの湿地が全国には分布しており、今後の作業の継続(湿地の探索とIDの付与)とデータベースの更新が大きな課題となった。

湿地植物データベースのレコード数は、99,794件に及び、それぞれに湿地ID、文献ID、サブテーマ4の成果物である『維管束植物和名チェックリストver. 1.00』における分類群IDが付与されている。このリストにより、国内の湿地における植物の分布情報を直ちに得ることができ、湿地の保全や、湿生植物の分布に関する研究への利用が期待される。多くの希少種情報が含まれことから現在は公開に至っておらず、今後の利活用については、希少種の盗掘防止を徹底するなど検討が必要である。



- 収集文献に出現した湿地の未確定仮ポイント 1104カ所
- 本プロジェクトで位置を確定したポイント 692カ所
(不採用も含む確定ポイントは 804)

図0.4 湿地ポイント(湿地ID)の確定状況(2020年3月27日現在)

(4) 効果的な湿地モニタリング手法の開発 (サブテーマ4)

1) 水生植物の調査手法の開発

2種類の調査方法(定点調査と踏査)について、それぞれによる確認種数の比較、シミュレーション解析による累積確認種数の比較を行った結果、水生植物相の把握能力は定点調査よりも踏査の方が優れていると結論した。また、人的・時間的コストや安全性を考慮した場合でも、踏査を中心として調査を設計する方が効率がよいと考えられた。踏査区域間の出現種組成の類似度(Jaccard法)を調べた結果、踏査区域間の距離が離れるほど類似度は低くなることが示された。このことから、湖岸距離の離れた区域を優先的に選択して調査することが、湖岸の全長を調査できない場合の指針として提案できると

考えられた。踏査の所要時間は、湖沼の面積および踏査区画数（≒湖岸延長線）のいずれとも相関することを確認し、所要時間を湖沼面積および踏査区画数で割ると、面積1haあたりでは5～23分、1区画（約100m）あたりでは、9～17分であった。また、定点調査においては、1定点あたりに要した調査時間は平均12分であった。なお、各踏査区域または各定点で確認された種数が多いほど所要時間が増える傾向も確認した。本研究で得られた上記の結果に基づいて、水生植物相調査を実施するための包括的なマニュアル『水生植物相調査のガイドライン ver.1.00』を作成し、公開した（図0.5）。

2) 市民参加型調査の評価および水生植物の同定支援ツールの作成

4池沼に計7区画を設定して市民参加型調査の実地検証を行った結果、最も多くの種を採集した市民参加者でも専門家の成績に達することはなく、いずれの区画でも参加者一人あたりの採集種数は専門家のもとの間に明らかな差がみられた。このことから、市民が一人で調査を行った場合、専門家と同じ努力量では確認できる種数が十分でないことが確かめられた。

市民参加者全員の採集種数を合計した場合、専門家の採集種数と同等か、それ以上に達した。このことから、水生植物調査において、複数人による市民参加型調査を行うことで専門家の調査に近い結果を得ることができることが示された。また、調査地に生育する種数に応じた人数が必要であることが示された。市民参加者の水生植物に関する知識と探索能力との間に、単純な正の関係は見られなかった。市民調査を行う際、現場での種同定のための人員として専門家もしくは水生植物に詳しい市民の参加が望ましいが、単純な探索だけであれば様々な知識レベルの市民が調査員として参加しても成果が得られると思われる。

水生植物の同定支援ツールとして、水辺でよく見られる水生植物を一覧で掲載した『さがそう！日本の水草47種』、ならびに初心者向けの図鑑である『水草ハンドブック』を作成し、クリエイティブ・コモンズ・ライセンスCC BY 4.0としてオープンデータ化してWeb上で公開した。

3) 国内の水生・湿生植物チェックリストの作成

合計8,358分類群について水域および湿地への依存度の分類を試みた結果、4,531分類群（約54.2%）を4群（水生1、水生2、湿生、非湿生）へ分類することができた。一方で、45.8%にあたるおよそ3,827分類群が未評価となった。これらの判定が掲載されたリストを、プロジェクトのHP上で『国産水生・湿生植物チェックリスト ver.1.00』として公開した。

和名チェックリストについては、整理を対象とした文献またはリストから合計53,222件のレコードを収集し、統合を行った結果、それぞれの文献・リストに収録された和名・学名にリンクした30,430件の和名異名と標準的な和名のセットが得られた。完成したリストは『維管束植物和名チェックリスト ver.1.00』として公開した。



図0.5 作成したガイドライン・ガイドブックの例

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

生態系サービスの相互関係とシナジー生成条件の理解

生態系サービスに関する先行研究の多くが、サービスの定量化と地図化にとどまっており、相互の関係の分析が十分ではなかった。本研究では複数の生態系サービスを同時に評価し、相互のトレードオフやシナジーの関係を明らかにすることを目標に挙げて研究を進めた結果、単に相互関係のパターンを明らかにするだけでなく、生態系サービスのシナジーが生じやすい条件を明らかにする成果を得た。すなわち、流域内の小規模湿地の存在が農業生産と水質のトレードオフを緩和し、win-winの関係を生みやすいことを示した。

気候変動適応に資する湿地の生態系機能評価と機能向上策の実現

生態系を活用した気候変動適応 (EbA) はその重要性は10年ほど以前から指摘されていたが、定量的な機能評価が行われた事例は限られていた。本研究では印旛沼流域における解析で、治水と水質浄化という気候変動に伴うリスクの緩和にとって特に重要な機能を、水源地の放棄水田に由来する湿地やそれを取りまく自然が発揮していることを示し、同時にその湿地が生物多様性保全においても重要であることを示した。さらにそれらの機能を高める湿地の管理を市民との協働により実践し、科学的根拠を踏まえたEbAの好例を示すことができた。

環境DNAを活用した生物相調査手法の改善

魚類相の調査手法としての環境DNAの活用の実践は急速に進んでいるが、本研究では観測・解析手法を大きく改善することができた。ベンザルコニウム溶液を添加することで環境DNAの保全性が高まり、検出される種数が増加することを明らかにした。また、偽陰性を考慮した統計モデルを開発したことで、推定される種数が増加した。本統計モデルは、DNAメタバーコーディングに固有の種検出誤差を修正する新しい枠組みであり、急速に発展している環境DNA研究に一石を投じる研究である。

湿地生態系に関する情報基盤の構築

既存の湿地目録には、精度など様々な課題が残された上、調査からすでに25年が経過し、日本における最新の湿地の状況を反映したデータベースは存在しなかった。本研究では、全国を視野に入れた信頼性の高い湿地データベースを作成することを目標に掲げて進めた結果、湿地の分布、湿地植物の存在、根拠文献の情報がリンクした総合的なデータベースを構築し、今後の湿地研究の基盤を構築することができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究の成果として、過去の植物相・植生調査関連の文献に依拠して全国の湿地の存在と植物相を収録した「**全国湿地データベース**」、本研究で開発した成果に基づき水生植物調査の標準的な調査手法を解説した「**水生植物相調査のガイドライン**」および「**水草ハンドブック**」、植物相調査の結果を効果的に解析するためのツールである「**維管束植物和名チェックリスト**」および「**日本産水生・湿生植物チェックリスト**」を作成した。またこれらを含む湿地調査・評価に役立つ情報やツールを掲載したウェブページ、**Wetlands Information** (<http://wetlands.info/>) を構築した。これらは重要湿地選定、日本の生物多様性概況 (JBO) のとりまとめ、モニタリングサイト1000事業の推進などの根拠となるものである。また市民にも活用しやすい資料の提供は、地域における保全計画等の立案の際にも活用できるものである。

<行政が既に活用した成果>

- ・環境省モニタリングサイト1000事業（陸水域調査）に関する諸委員会に参加し、湿地の生物多様性調査・評価について本研究の成果を踏まえた助言を行った（西廣・富士田・高村・松崎・志賀）。
- ・環境省「絶滅危惧種分布重要地域抽出のための環境DNA分析技術を用いた淡水魚類調査手法の標準化・一般化に関する検討会」において、本研究の成果（環境DNAメタバーコーディングにおける検出誤差を踏まえた多様性評価手法など）を提供した。
- ・自然再生推進法に基づく自然再生協議会（「霞ヶ浦田村・沖宿・戸崎地区自然再生協議会」「三方五湖自然再生協議会」ほか）に委員・部会長として参加し、本研究の成果還元を努めた（西廣）。
- ・環境省・国土交通省・農林水産省の共同事業として実施された気候変動適応コンソーシアム事業の一環として設置された「印旛沼流域適応策検討推進協議会」の座長（西廣）および委員（長谷川・高村）として、本研究の生態系サービス評価の結果を還元した。
- ・関東エコロジカルネットワーク（事務局・国土交通省関東地方整備局）の専門部会長（長谷川）、河川水辺の国勢調査（霞ヶ浦および利根川下流域）のアドバイザー（西廣）として参加し、本研究の成果を踏まえ、新たな調査手法の提案等を行った。
- ・利根川下流・霞ヶ浦における河川水辺の国勢調査の調査結果の解析で「国産水生・湿生植物チェックリスト」の活用を提案し、実現した（西廣）。
- ・印旛沼水循環健全化会議（事務局・千葉県）に座長（長谷川）および委員（西廣）として参加し、本研究の成果の社会実装に向けた提言や現場での活動を進めた。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

- 1) JY. KIM, Y. HIRANO, Kato H, A. NODA, RY. IM and J. NISHIHIRO: Wetlands Ecology and Management, <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09707-2>, (2020), Land-cover changes and distribution of wetland species in small valley habitats that developed in a Late Pleistocene middle terrace region.
- 2) Y. HIRANO, N. KIDERA, IN. KONDO and J. NISHIHIRO: Ichthyological Research, (2020), Habitat characteristics and size structure in a population of an endangered lamprey, *Lethenteron sp. N*, in an urbanized area of Japan. (in press)
- 3) SS. MATSUZAKI, K. SUZUKI, T. KADOYA, M. NAKAGAWA and N. TAKAMURA: Ecology, 99, 2025-2036 (2018), Bottom-up linkages between primary production, zooplankton, and fish in a shallow, hypereutrophic lake.
- 4) SS. MATSUZAKI, A. KOHZU, T. KADOYA, M. WATANABE, T. OSAWA, K. FUKAYA, K. KOMATSU, N. KONDO, H. YAMAGUCHI, H. ANDO, K. SHIMOTORI, M. NAKAGAWA, T. KIZUKA, A. YOSHIOKA, T. SASAI, N. SAIGUSA, B. MATSUSHITA and N. TAKAMURA: Ecosphere, 10,11, e02918 (2019) Role of wetlands in mitigating the tradeoff between crop production and water quality in agricultural landscapes.
- 5) K. SHUTOH, M. USUBA, H. YAMAGISHI, Y. FUJITA, S. HIRAMATSU, O. TSUJIMURA, Y. ISHIDOYA, M. KASAI, N. KASAI, A. MATSUMOTO, T. NORITA, A. YOKOYAMA, S. KANEKO and T. SHIGA: Journal of Japanese Botany, 93, 4, 240–252 (2018), A New Record of the Critically Endangered Pondweed, *Potamogeton lucens* from Aomori Prefecture, Japan.
- 6) K. SHUTOH, T. YAMANOUCHI, S. KATO, H. YAMAGISHI, Y. UENO, S. HIRAMATSU, J. NISHIHIRO and T. SHIGA: Journal of Asia-Pacific Biodiversity, 12, 3, 448-458 (2019), The Aquatic Macrophyte Flora of a Small Pond Revealing High Species Richness in the Aomori Prefecture, Japan.
- 7) K. SHUTOH, M. USUBA, H. YAMAGISHI, Y. FUJITA and T. SHIGA: Acta Phytotaxonomica et Geobotanica, 71, 1, 33-44 (2020), A New Record of *Potamogeton ×angustifolius* J.Presl (Potamogetonaceae) in Japan.

- 8) 西廣淳、大槻順朗、高津文人、加藤大輝、小笠原奨悟、佐竹康孝、東海林太郎、長谷川雅美、近藤昭彦：応用生態工学、22, 175-185 (2020)
「里山グリーンイフラ」による気候変動適応：印旛沼 流域における谷津の耕作放棄田多面的活用の可能性.
- 9) 富士田裕子：植生情報、24, 10-14 (2019)
「我が国の湿地目録の作成と今後の課題」
(誌上発表合計 38 件)

(2) 主な口頭発表 (学会等)

- 1) Y. HIRANO, N. KIDERA, N. KONDO and J. NISHIHIRO: Annual meeting of Ecological Society of America, Kentucky International Convention Center, USA, (2019)
“Influence of channel fragmentation in agricultural ecosystem on threatened lamprey, *Lethenteron* sp”
- 2) SS. MATSUZAKI: Marine/Freshwater Biodiversity and Ecosystem Services Workshop organized by Kanto Branch of Ecological Society of Japan, Tokyo, Japan, (2018)
“Relationships among multiple ecosystem services in an agricultural watershed: finding a win-win management strategy”
- 3) 李娥英、富士田裕子：植生学会第23回大会 (2018)
「湿地に関する既存情報の集約と再検討による全国湿地データベースの作成」
- 4) 首藤光太郎、山ノ内崇志、志賀隆：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」 (2019)
「和名異名の整理からはじめる日本産水生・湿生植物チェックリストの構築」
(口頭発表合計 96件)

7. 研究者略歴

研究代表者 西廣 淳

筑波大学大学院生物科学研究科修了、博士 (理学)、建設省土木研究所研究員、国土交通省国土技術政策総合研究所研究員、東京大学大学院農学生命科学研究科助教、東邦大学理学部准教授、2019年度現在、国立環境研究所気候変動適応センター主任研究員

研究分担者

1) 長谷川 雅美

東京都立大学大学院理学研究科博士課程修了、理学博士、千葉県立博物館上席研究員、現在、東邦大学理学部 教授

2) 松崎 慎一郎

東京大学大学院農学生命科学研究科修了、博士 (農学)、現在、国立環境研究所 主任研究員

3) 今藤 夏子

東京大学総合文化研究科修了、博士 (学術)、現在、国立環境研究所 主任研究員

4) 角谷 拓

東京大学大学院農学生命科学研究科修了、博士 (農学)、2019年度現在、国立環境研究所主任研究員

5) 高津 文人

京都大学大学院理学研究科修了、博士 (理学)、現在、国立環境研究所 室長

6) 高村 典子

奈良女子大学理学研究科修了、博士 (学術)、現在、国立環境研究所 フェロー

7) 富士田 裕子

東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了、理学博士、現在、北海道大学北方生物圏フィールド科

学センター教授、同植物園 園長

8) 首藤 光太郎

福島大学共生システム理工学研究科修了、博士（理工学）、新潟大学教育学部産学官連携研究員、現在、北海道大学総合博物館 助教

9) 志賀 隆

神戸大学大学院自然科学研究科博士後期課程単位取得退学、大阪市立自然史博物館学芸員、現在、新潟大学教育学部 准教授

19) 加藤 将

東京大学大学院理学系研究科生物科学専攻博士課程修了、博士（理学）、現在、新潟大学教育学部 特任助教

II. 成果の詳細

II-1 湿地保全・再生のための多面的価値評価軸の開発

国立環境研究所 気候変動適応センター 西廣 淳
東邦大学 理学部 長谷川 雅美

<研究協力者>

東邦大学理学部（現・岡山理科大学） 木寺 法子（平成29年度）

東邦大学理学部 杉島 野枝（平成29年度～令和元年度）

国立環境研究所 気候変動適応センター KIM JiYoon（平成29年度～令和元年度）

平成29～令和元年度研究経費（累計額）：35,904千円（研究経費は間接経費を含む）
（平成29年度：11,968千円、平成30年度：11,968千円、令和元年度：11,968千円）

[要旨]

生物多様性保全と生態系サービスの観点から、湿地の環境指標、機能や効果の評価を行った。特に関東地方に特徴的な湿地である谷津谷頭部の湿地に注目し、生物多様性、治水、水質浄化サービスの評価を行った。現地調査の結果、谷津とその周辺の土地利用は浄化機能や治水機能に影響することが示された。谷津の台地上に畑地が多い場所では、窒素栄養塩負荷が大きいことが確認された。しかし、谷津の谷底面が湿地として維持されていれば、硝酸イオン濃度が50%近く低下することが示された。硝酸イオン濃度の低下は、湿地植物の優占度が高い湿地ほど顕著であることが確認された。治水については、谷津とその周辺が都市化されずに樹林や草原が残っている谷津は、都市化されている谷津に比べて、降雨時のピークから流出量のピークに至るまでの時間差が大きく、降雨時の流出率も大幅に低下していた。自然型の谷津は雨水が河川に流出する量を低減させるとともに遅延させ、下流の河川の急激な水位上昇を抑制するという治水効果をもつことが示唆された。このほか、谷津谷底部の湿地化は、水生昆虫の多様性の維持や、復田にかかるコストの抑制にも寄与することが確認された。このような谷津の湿地が発揮する生態系サービスと、それを高めるための管理のあり方を市民向けのパンフレットとしてまとめ、ウェブサイトで公開した。

生物の分布に基づく重要湿地の地図化のため、関東平野をモデル地域とした解析を行った。湿地性の絶滅危惧生物の分布パターンの解析から、谷津環境に依存して生息あるいはよく出現する種群（サワガニ、ホトケドジョウ、スナヤツメ、アカハライモリ）が明らかになり、これらの種は湿地の生物多様性や谷津環境の環境を示す指標種となることが示された。水田域に生息するカエル類の鳴き声による広域調査と解析からとシュレーゲルアオガエルは谷津環境に、トウキョウダルマガエルが氾濫原的環境を示す指標種となることが示され、地域的な分布傾向も明らかになった。また、河川域を利用する在来種であるニホンイシガメは関東地方においては局所的に分布していることが明らかになり、その個体数は河川改修や外来種によって負の影響を受けることが示唆された。

[キーワード]

絶滅危惧種、谷津、ハビタットモデル、水質浄化機能、治水機能

1. はじめに

低湿地を構成する重要な要素である放棄水田や小規模河川は、その機能が十分に評価されないまま、開発や治水優先の改修のため、改変・喪失が進んでいる。本研究ではそのような価値が認識されにくい

小規模な低湿地を評価するための基本的な軸について、関東平野をモデル地域とする研究で検討した。

関東平野の沖積平野はマクロな視点で見れば、ほぼ全域が「湿地」である。その中でも湿地の生物多様性を保全するうえで特に重要な地域を把握するため、環境変化に敏感な湿地性生物の分布評価と地図化を行った。地図化では、まず千葉県を対象に絶滅危惧種の分布と地形的特徴の結びつきを分析した。次に、多様な低湿地環境の指標としてカエル類、河川・流水環境の指標としてカメ類に着目し関東平野スケールでの分布推定地図を作製した。カエル類の調査については、鳴き声の録音による分布調査の有効性を検証し、アマチュア研究者を含めた複数名による広域調査を行い、市民参加型生物調査の技術開発もあわせて行った。

湿地の生態系機能評価の研究では、印旛沼流域を対象に、絶滅危惧種の分布解析で特に重要性が示唆された「谷津」（台地の辺縁部に発達する小規模な谷）の湿地に着目した。谷津の湿地は斜面下部からの湧水によって涵養されている。千葉県北部では、過去にはほぼすべての谷津の谷底部は水田として利用されていたが、現在では放棄水田となっている。本研究ではまず航空写真の読み取りから谷津谷底部の土地利用の変化を把握した。また主要な生態系機能として、水質浄化機能と治水機能に着目した評価を行った。これらに注目したのは、今後の気候変動に伴い水質悪化や湖沼におけるアオコ発生リスクが高まること、また集中豪雨の増加により水害リスクが高まることから、水質と治水は特に重要な生態系機能となるからである。またこれらに加え、耕作放棄水田の状態変化による復田ポテンシャルの変化の評価も行った。復田ポテンシャルとは、耕作放棄水田を再び水田に戻せる可能性を意味する。本研究では復田にかかるコストを経済評価することにより、復田ポテンシャルの程度の定量化した。復田ポテンシャルに着目したのは、耕作放棄水田は農家の私有地であり、農地としての価値を維持することも重要であるからである。

2. 研究開発目的

生物多様性の保全と生態系サービスの維持の両面を考慮した湿地の保全・活用のあり方の提案を目的とし、関東平野をモデル地域とした解析を行った。具体的には次の課題に応えることを目的とした。

- ・ 湿地に生息する複数の生物群（湿地性絶滅危惧種、カエル類、カメ類）を対象に生息適地地図を作成し、保全上重要な湿地域を地図化する。あわせて市民参加型調査を視野に入れた簡便な分布調査手法を検討する。
- ・ 谷津の湿地に着目し、過去からの土地利用の変化を明らかにするとともに、生物多様性と複数の生態系サービスの両面から価値を評価する。さらに、生物多様性保全と生態系サービスの維持に効果のある管理のあり方を実践的に検討する。

3. 研究開発方法

3.1 指標種による広域湿評価

3.1.1 絶滅危惧種の分布パターン解析

千葉県北総部を調査範囲として、湿地に生息する絶滅危惧種が利用する谷津環境の特徴を分析した。対象種として千葉県レッドリスト（千葉県生物多様性センター 2011）から谷地形に生息するとされる魚類2種（ホトケドジョウ、スナヤツメ）、両生類2種（ニホンアカガエル、アカハライモリ）、サワガニ、植物2種（オニスゲ、ミクリ）を選び、千葉県生物多様性センターから提供された分布データから調査範囲における各種の在データを取得した。調査範囲において1kmメッシュあたりの地形タイプと土地被覆割合を求め、主成分得点として算出した。各種のメッシュあたりの生息の有無に対してこれら主成分得点を説明変数としたロジスティック回帰分析を行い、各種の生息地環境に対する反応をオッズ比として求めた。

また、2010年代の生息地点のデータをもとに4種の絶滅危惧種（ホトケドジョウ、スナヤツメ、アカ

ハライモリ、サワガニ)の生息適地について一般化線形モデル及び機械学習の1つであるサポートベクターマシンを元にしたアンサンブルモデルを作り、これを調査範囲の1970年代、1980年代、1990年代、2000年代に外挿し、年代ごとの土地被覆の変化に対して生息適地の時間的変化を推定した。

3.1.2 カエル類を指標とした湿地評価

谷津や氾濫原に形成された水田は代替的な湿地環境とされる。関東平野全域を調査範囲とし、水田を含む200地点で2018年5月・6月にカエル類の鳴き声をそれぞれ録音し、出現した種の判定し、その種の鳴き声の回数を各種の生息量として求めた。各地点のカエル類の有無および鳴き声回数に対して、気候、水田の状態や周辺の土地利用割合との関係を、それぞれ生息確率を推定する種分布モデル(ロジスティック回帰モデル、MaxEnt (Phillips et al. 2006) と生息量を推定するモデル (N-mixture model (Royle 2004)) によって解析した。解析結果を関東平野全域に外挿し、関東平野での分布状況をマップ化した。これらの結果と各種の生息環境の選好性を比較し、水田環境の指標種を選定した。加えて、非専門家の調査参加を想定し、複数の調査協力者によって各地点でカエル類の鳴き声を録音するという簡便な調査方法を取り、この手法の有効性について検討した。

3.1.3 カメ類を指標とした湿地評価

カメ類は、アンブレラ種や湿地の健全性を示す環境指標種としての有効性が指摘されており、年齢推定や個体識別による生息数の変化のモニタリングもできることから湿地保全を行う際のモデル生物として適していると考えられる。2018-2019年にかけて、在来種であるニホンイシガメと外来カメ類(クサガメ、ミシシippiacamimigame)を対象に、千葉県、茨城県・埼玉県・栃木県において、誘因罟と目視による生息状況調査を行った。次に、千葉県を対象に、2011-2018年にかけて収集されたカメ類の個体数データを使用し、パス解析を用いて生物的要因(アライグマ(特定外来生物)、クサガメ、アカミミガメ)と非生物的要因(河川改修、地形、水田面積、農地面積、森林面積)が各カメ類の個体数に与える影響を評価した。

3.2 谷津の土地利用の変化

印旛沼流入河川である神崎川・桑納川流域および高崎川流域について、1946年の航空写真を元に、すべての谷津の谷頭の位置を記録した。記録された谷津について、水田1~2枚程度に相当する範囲である谷頭から約100mの範囲を谷津奥部と定義し、1940年代から2000年代まで5時期(1946年、1962年、1979年、1984年、2008年)の航空写真を用いて谷津奥部の土地利用・土地被覆の読み取りを行った。

土地利用・土地被覆は、「水田」、「耕作放棄」、「谷底のみ開発」、「地形の改変を伴う開発」の4つに分類した(地形の改変を伴う開発:谷を埋め立ててその上を利用している、谷底のみの開発:谷底が駐車場や工場として利用されている、耕作放棄:樹木やイネ以外の植物が繁茂しており水田ではない、水田:畔などの構造や湛水した様子が認められるなど水田として利用されている)。

3.3 谷津湿地の機能評価

3.3.1 谷津奥部の植生

3.2の土地被覆の読み取りの結果から現在の土地利用が水田もしくは放棄水田となっている場所の中からランダムに40地点を選び、そのうち調査のために立ち入ることができた地点34か所を調査地とし、植生調査を行った。植生調査は、それぞれの調査地で夏(6月~7月)と秋(9月~10月)に行った。谷津奥部湿地の中心に1m×1mのコドラートを、上流から下流にかけて10個直線的に並べて設置し、各コドラート内に出現した植物の種名を記録した。谷底の植生に影響を与える可能性のある要因として、湧水の有無、水の流れ方(線的or面的)、圃場整備で設置された暗渠排水などの排水設備の有無を記録した。

記録された植物が湿生植物であるかの分類は、日本産水生・湿生植物チェックリスト（サブテーマ4 成果：首藤ほか2019）において水生1、水生2、湿生のいずれかに該当していれば湿生植物とした。各地点の植生データから在来湿生植物の相対優占度〔各コドラートで確認された在来湿生種数の合計 / 各コドラートで確認された全種数の合計〕を計算した。

植生に影響する可能性のある要因として、集水域の面積と斜面の傾斜角から計算される地形的な水の集まりやすさの指標であるTopographic Wetness Index (TWI) を計算した。TWIの計算には、Topography Tools for ArcGISを使用し、標高データは国土地理院より公開されている5mメッシュのDEMデータを用いた。

3.3.2 水質浄化機能の評価

富栄養な湧水の水質が谷津から排出されるまでに改善されているか明らかにするため、植生調査を行った地点のうち18か所で窒素濃度を分析するためのサンプリングを行った（表2、図1）。各調査地において湧水が湧出している場所あるいは限りなく近づいた地点（湧水地点）と谷津奥の湿地を通過し谷津から排出される地点（谷津の出口）の2か所で水質のサンプリングを行った。水質の測定は、シリジフィルターでろ過したろ液200mlを持ち帰り、Auto analyzer（ビーエルテック社 QuAAtro）を用いてDTN、DTP濃度を、イオンクロマトグラフィーシステム（DIONEX社 ICS 2100）を用いて各種陽イオン（NH₄, K, Na, Ca, Mg）・陰イオン（NO₂, NO₃, PO₄, Br, Cl, SO₄）の濃度を、それぞれ分析した。採水と並行して、ポータブル水質計で水温、pH、DO、電気伝導率を測定した。これらの観測は24時間降雨がないことを確認して行った。

本研究においては、硝酸イオン濃度の除去率を〔（湧水ー出口）/湧水〕と定義し、水質浄化機能の指標として用いた。また、谷津の湧水の硝酸イオン濃度に影響すると考えられる谷津周辺の土地利用を集計するため、2015年の印旛沼流域における土地利用（千葉県提供）をもとに谷頭部から半径200mの円形バッファ内の土地利用を集計した。このとき、谷底面の土地利用の影響を除外するためTopographic Position Index (TPI) に基づいて判断した谷底を集計範囲から除外した。TPIは各セルの標高と近傍セルの標高の平均値との差で与えられる数値で、「0」より大きな地点は周辺より標高が高いことを意味している。本研究では、谷津奥の小さな谷からも谷底を抽出するため、半径を500mに設定して計算を行った。航空写真から読み取れる谷底の範囲をよく再現していたため、計算されたTPIが「-5」より低い地点を谷底部とした。集計された7つの土地利用は、畑地、山林、市街地（市街地、道路、公園等）、その他（水面、田）の4つに再分類し、それぞれの割合を解析に利用した。なお、集計は水平投影面積に基づいており、斜面の土地利用による影響は実際よりも小さく見積もられている可能性がある。

3.3.3 治水機能の評価

谷津とその周辺が都市化されずに樹林や草原が残っている谷津と、谷津やその周辺が都市化され土地被覆が都市化されている谷津を対象に、降雨に対する流出の特性を調査した。便宜上、前者を自然型谷津、後者を都市型谷津と呼ぶ。自然型谷津として遠谷津（35°47'30"N 140°05'56"E、千葉県白井市）、都市型谷津としては船橋市にある駒込川（35°43'51"N 140°03'03"E、千葉県船橋市）において観測を行った。自然型谷津では、谷津の水路の最下流部に全幅堰を設置し、水位を観測することで全幅堰の公式から流量を算出した（日本産業規格JIS B 8302：2002）。都市型谷津では谷底の中心を流れる水路に水位計を設置し、水位を観測した。これらの水位の観測には水位データロガー（Onset社 HOBO U20 ウォーターレベルロガー）を用いた。水位データからマンニングの公式（粗度係数：0.04）を用いて流速を計算し、流量を算出した。降雨量データは千葉県土木事務所の降雨量計（観測所：白井）および気象庁のアメダス（観測所：船橋）で観測された10分間の降雨量データを用いた。

いずれの谷津においても観測は2019年度に実施した。しかし2018年度には同じ地点で別のプロジェクト（地域適応コンソーシアム事業「気候変動による印旛沼とその流域への影響と流域管理方法の検討」）での観測が行われていたため、そのデータを引用し、あわせて解析した。

3.4 その他の機能評価と提言書のとりまとめ

生物多様性保全・水質・治水以外の機能として、谷津の耕作放棄水田を湿地として維持することによる復田コスト（再び水田に戻す場合にかかる費用）の抑制効果を定量化した。復田コストの算出では、1960年代から2015年までの国土地理院撮影空中写真およびGoogle Earth画像を用いて、植生の遷移を判読できる15か所の谷津を対象に、植生を低茎草本群落、高茎草本群落、低密度樹林、高密度樹林に分類し、それぞれを水田耕作ができる状態にもどすためのコストを、樹木の伐採・搬出、草刈り、耕起といった工程について建設単価表を用いた歩掛計算を行うことで算出した。

また耕作放棄水田において畔の補修とスコップによる池の造成といった簡便な自然再生を行った場合の水生昆虫相の変化を、富里市内の谷津で調査した。2018年6月に地域のNPOとの協力のもとに自然再生の作業を行い、その後、半年間にわたりタモ網を用いた調査で水生昆虫相を調査した。

これらの研究成果を共有するとともに、印旛沼流域の湿地保全活動に関する情報交換を行うため、「里山グリーンインフラ勉強会」と称する集会を2018年5月から毎月開催した。勉強会での議論を通して、谷津の耕作放棄水田を多様な機能を有する湿地として維持することの意義や手法、行政計画等における位置づけを解説した手引書を作成した。

4. 結果及び考察

4.1 指標種による広域湿地評価

4.1.1 絶滅危惧種の分布パターン解析

地形と土地被覆割合の主成分分析の結果、第1～4主成分は、それぞれ谷津、都市、草地、水田環境の存在を反映していた。解析対象とした全ての種のオッズ比と95%信頼区間が1より大きくなったものは谷津環境を示す第1主成分のみであった（図4.1.1）。これらの湿地性の絶滅危惧種は谷津環境へ依存して生息していることが示された。

また、4種の生息適地モデルの分析の結果、1970年代から2010年代にかけて谷津の都市化が進み、絶滅危惧種4種の生息適地の割合は減少していた（図4.1.2）。また急速な都市化だけでなく、谷津地形の改変もともなっていた（図4.1.3）。この結果は、これらの絶滅危惧種にとって谷津地形を保全していくことの必要性を示している。

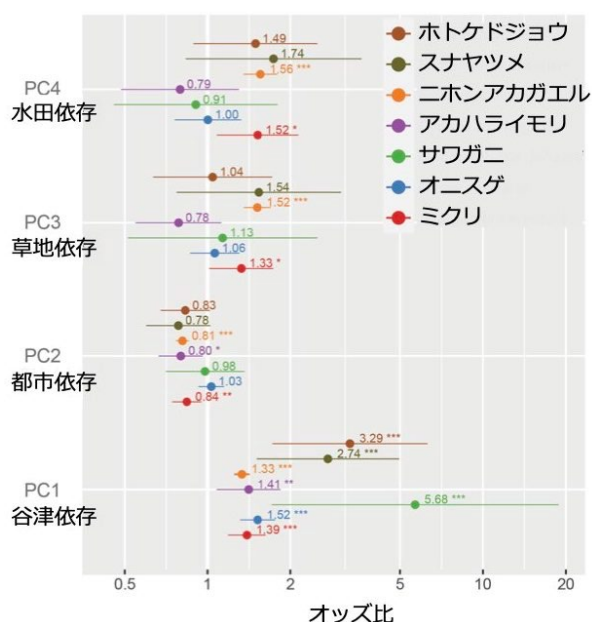


図4.1.1 湿地性の絶滅危惧種の生息について地形と土地被覆が与える影響。

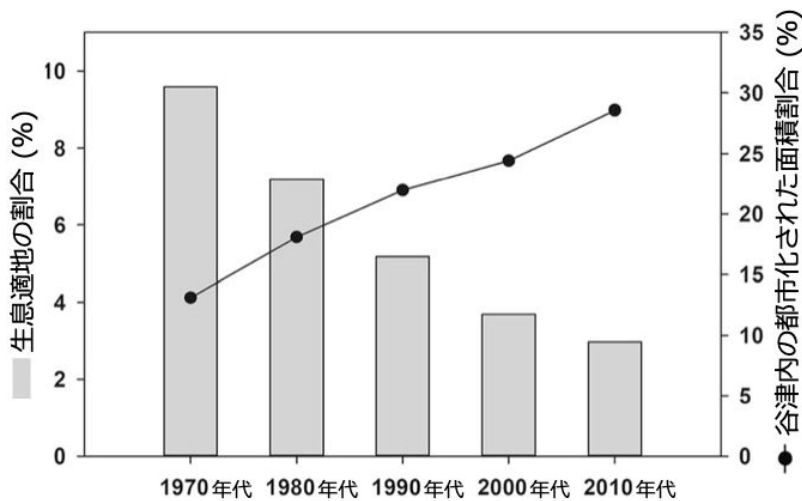


図4.1.2 谷津に残された湿地性の絶滅危惧種（サワガニ、ホトケドジョウ、スナヤツメ、アカハライモリ）の生息適地割合の時間的変化（棒グラフ）。折線は谷津における都市化された面積割合の変化を示す

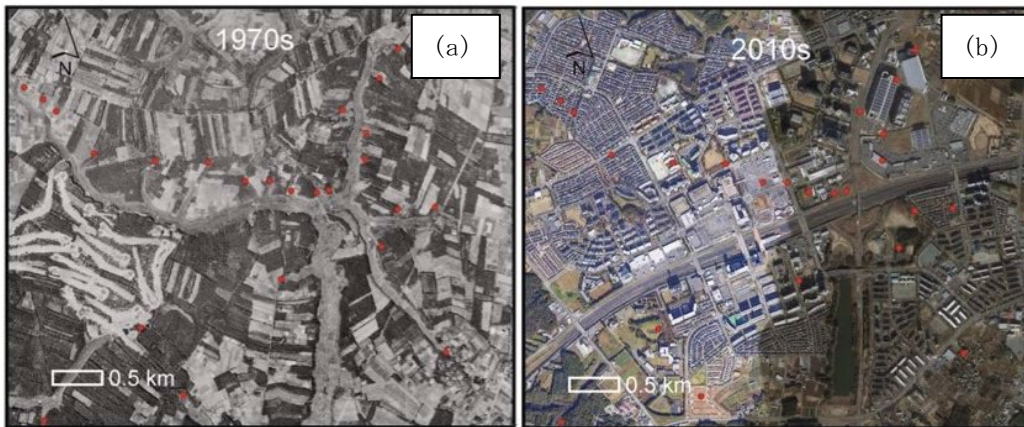


図4.1.3 1970年代(a)と2010年代(b)の谷津と周辺環境の変化。赤い点は1975年の谷津頭の位置を示す。（航空写真は国土地理院より引用）

4.1.2 カエル類を指標とした湿地評価

関東平野での全域での調査から、水田域では5種のカエル（トウキョウダルマガエル、ニホンアマガエル、シュレーゲルアオガエル、ヌマガエル（国内外来種）、ウシガエル（特定外来生物））が確認された。確認地点数が少なかったウシガエルを除く4種で解析を行った。確認地点の周辺の土地被覆割合の主成分分析の結果は、シュレーゲルアオガエルが他の3種とは異なる傾向を示した（図4.1.4）。

作成された生息確率を示す分布モデルと生息量を示すモデルはほとんど同じ傾向を示したが、分布パターンは種ごとに異なっていた。ニホンアマガエルはほぼ全域に分布していたが、トウキョウダルマガエルは関東平野の東側で多く、シュレーゲルアオガエルは丘陵地や森林の周辺に分布する傾向が見られた（図4.1.5）。生息確率を示すロジスティック回帰モデルのモデル選択の結果から、トウキョウダルマガエルは森林と水田の隣接長、6月期の水田の開放水面の程度の指標（MNDWI）、低位置帯の割合が正の効果、都市化率が負の効果を持ち、シュレーゲルアオガエルでは森林率、水田率、農地率が正の効果をもつモデルが選ばれた。

これらのことから、関東平野においてシュレーゲルアオガエルは谷津的環境を、トウキョウダルマガエルは氾濫原的環境を示す指標種といえるだろう。また、トウキョウダルマガエルは繁殖期に相当する初夏の水田の水環境すなわち田植えの時期という農業活動にも影響されていることが示唆された。

調査協力者が現地 で判別した確認した種と録音から聞き取った結果の一致率は0.8（中央値）となった。録音の聞き取りを基準とした場合に、5月の調査でヌマガエルを聞き逃した割合は、他の種に比べ

て高い傾向がみられた。ヌマガエルは1990年代に千葉県で発見された後、関東地方で分布を急速に拡大した国内移入種であり、ニホンアマガエルと鳴き声がやや似ている。鳴き声で種判別が難しい場合においても録音データを収集して解析するという方法は、市民が参加しやすい野外調査となるだろう。解析では、谷津を選好するカエルとしてニホンアカガエル選択された。この種は鳴き声が聞き取りにくいのが個体の観察は比較的容易である。一方シュレーゲルアオガエルは成体を観察しにくいものの鳴き声は簡単に聞くことができる。調査時期や目的によって適した谷津環境の指標種を選ぶことができるだろう。

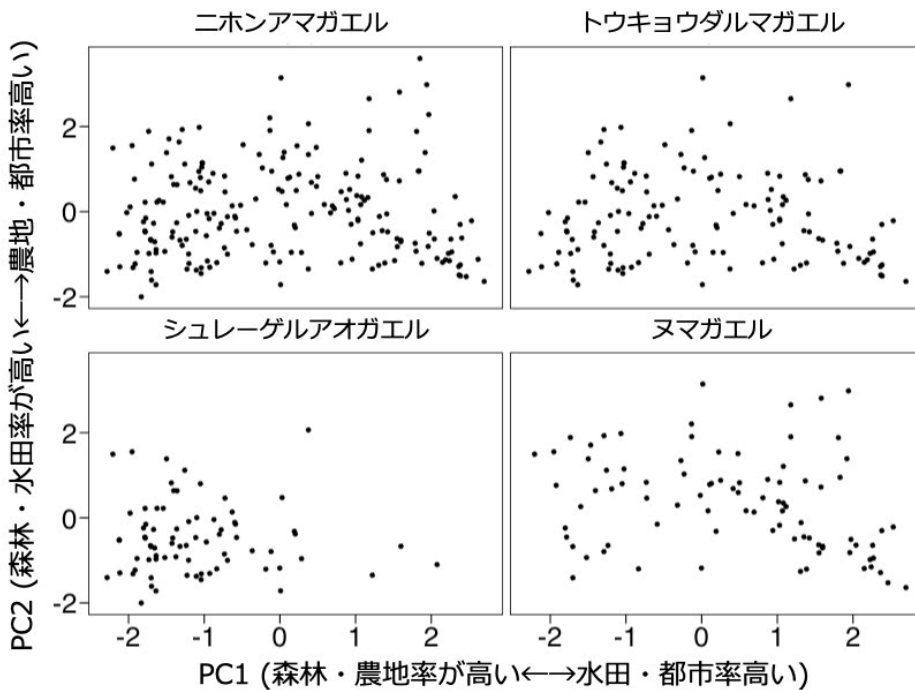


図4.1.4 各種の確認地点の土地被覆による生息環境の主成分得点。

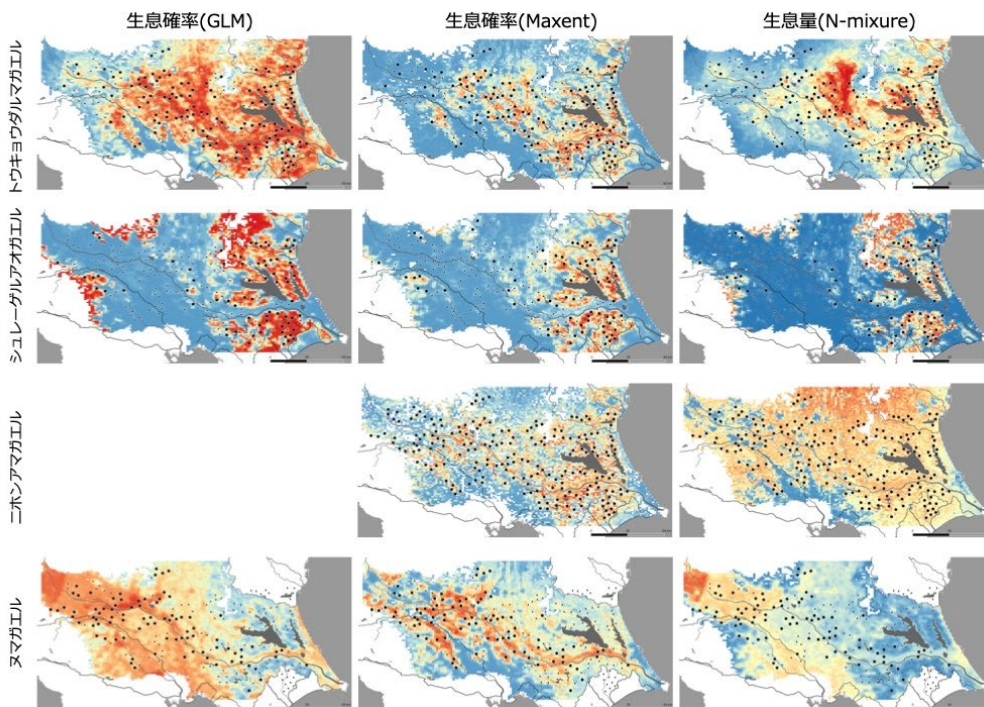


図4.1.5 関東平野におけるカエル類各種の生息確率の（ロジスティック回帰モデル(GLM)とMaXent)と生息量の分布予測地図。セルの色は生息確率または生息量が0に近いほど青く、生息確率が1または生息量が多いほど赤を示す。

4.1.3 カメ類を指標とした湿地評価

関東地方の分布調査から、在来種であるニホンイシガメの生息地は千葉県房総半島の局所的な地域に限定的である一方で、外来カメ類の生息地は関東地方の平野部広域に広がるのが初めて示された(図4.1.6)。

パス解析の結果から、イシガメの個体数は、河川改修と捕食者であるアライグマ及び競争者となるアカミミガメによる有意な負の影響を受けることが示唆された。イシガメが生息する環境では、産卵や休憩場所となる川岸や陸域への移動が重要であり、これが可能になるように河川改修を控える、または部分的に改修を行わない環境を残すことが個体数の維持や回復に重要といえるだろう。また、同時に行われた標識再捕獲の調査から、アライグマの侵入に伴い、アライグマに捕食されたと思われるイシガメの四肢欠損個体が増加し、イシガメの成体及び幼体の減少が見られた。河川環境の改善だけでなく、侵略的な外来種への対策も急務である現状が分かった。

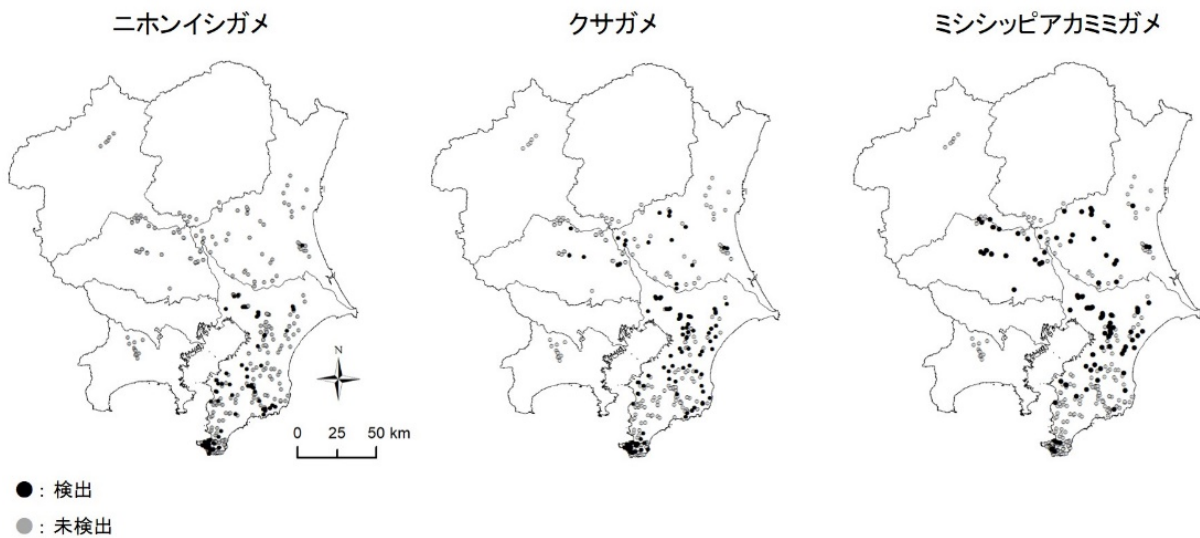


図4.1.6 ニホンイシガメ（在来種）と外来カメ（クサガメ・ミシシippiaアカミミガメ）の関東地方における分布。

4.2 谷津の土地利用の変化

神崎川・桑納川流域における空中写真の読み取りから、1940年代には120地点のすべてが水田であったことがわかった。しかし1960年代には半分以下の54地点に減少し2000年代には3地点のみとなっていた。1940年代から1960年代にかけて最も増加していたのが耕作放棄であり、約半分の地点である64地点が耕作放棄されていた(図4.1.7)。1970年代以降は地形の改変を伴う開発が年代を経るごとに増加し、2000年代には全体のおよそ半分が地形の改変を伴う開発になっていた。

高崎川流域においても2000年代までに水田は大きく減少しており、1946年に237地点あった水田耕作地は、2000年代には14地点になっていた(図4.1.7)。地形の改変を伴う開発は1960年代以降増加しており、2000年代には114地点がこれに該当した。耕作放棄は、1960年代に30か所に増え、1970年代に89地点まで増加するが、その後大きな数の変化はなかった。神崎川・桑納川、高崎川をあわせると、2000年代には地形自体が改変された場所が50.4%を占め、またそれ以外の場所のうち88.6%が耕作放棄地となっていた。

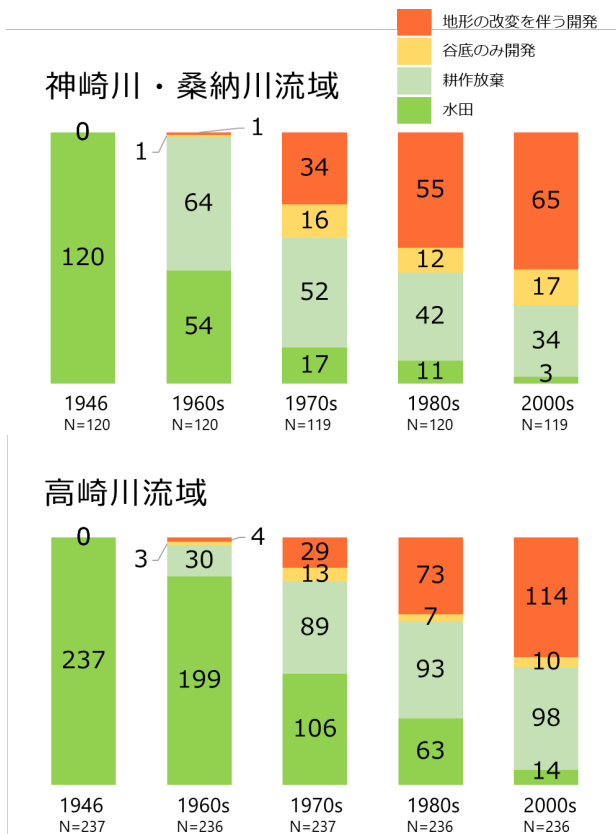


図4.1.7 航空写真から読み取った神崎川・桑納川流域（上）と高崎川流域（下）の土地利用・土地被覆の変遷 100%積み上げ棒グラフ、数字は地点数。

4.3 谷津の機能評価

4.3.1 谷津奥部の植生

植生調査の結果、全体で76科283種の植物が確認された。全国あるいは千葉県・茨城県版のレッドリスト種は7種（ミズニラ、ムツオレグサ、タコノアシ、ゴキヅル、ノウルシ、ヒメナエ、シャジクモ）が確認された。全調査地点で平均して8.9種の湿生植物が確認された。なかでも特に多くのコドラートで確認された湿生植物はセリとミゾソバであり、これらの種が確認された地点（セリ27地点、ミゾソバ17地点）における平均出現コドラート数は、セリで8.3コドラート、ミゾソバは9.6コドラートと一地点あたり調査したうちのおおよそ半分のコドラートで確認されていた。調査を行った34地点のうち12地点で出現頻度が最も高い種は湿生植物だった。

湿生植物の相対優占度の高さと同種数、外来種数の間に相関関係は見られなかった。しかし、湿生植物の相対優占度が高いところでは外来種数が少なく、相対優占度が低いところで外来種数が高いところが多くあることがわかった。

湿生植物の相対優占度に影響する要因を検討するため湿生植物の相対優占度を目的変数としたGLMによるモデル選択を行った。デルタAICが2未満となる上位モデルのすべてにおいてTWIの正の効果が選択された。排水設備（コンクリート水路など）の存在は2つのモデルで負の効果が認められていた。これらの結果は、地形的に水が集まりやすくまた排水設備の設置などの圃場整備事業が行われていない場所で、湿生植物が優占する植生が成立しやすいことを示している。

4.3.2 水質浄化機能の評価

全調査地点のデータより、全窒素濃度と硝酸イオン濃度の間には強い正の相関が見られた。これより、本研究の対象地における窒素負荷のほとんどが硝酸イオンに起因することが示唆された。そのため以下では硝酸イオンに着目して述べる。

湧水の硝酸イオン濃度は地点によってばらつきがあり、硝酸イオン濃度が20 mg/Lを超える地点は7点確認された。一方で、5 mg/Lを下回る地点は6地点確認された。湧水の硝酸イオン濃度と関係の強い集水域の土地利用について検討するため、湧水の硝酸イオン濃度を目的変数としたモデル選択を行った。デルタAICが2未満となる上位2つのモデルで畑地の割合による正の効果を選択され、第2位のモデルにおいて市街地割合による負の効果を選択された。台地上に畑地が多い場所では窒素栄養塩負荷が大きいことが確認された。

湧水と出口で水質を調査した18地点のうち11地点で硝酸イオン濃度の低下が確認された（図4.1.8）。硝酸イオン除去率を目的変数とし、谷津出口の水温、TWI、湿生植物の相対優占度、耕作放棄年数を説明変数としたGLMによるモデル選択の結果において、デルタAICが2未満の4つのモデルのうち、すべてのモデルにおいて谷津出口の水温が選択され、すべてで正の効果を持っていた。窒素除去のメカニズムとして脱窒が重要であると考えられ、水温が高まりやすい湿地構造とすることで、高い脱窒効果が得られることが推測された。

湿生植物の相対優占度が高い上位6地点では、除去率がマイナスとなることはなかった（図4.1.9）。湿生植物の相対優占度が高いような特徴を持つ谷津の耕作放棄水田は高い水質浄化機能を持つことが示唆された。

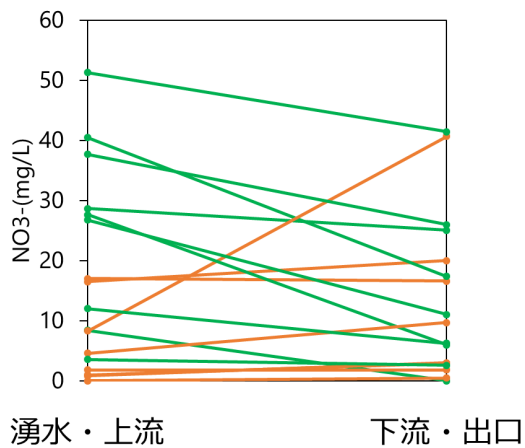


図4.1.8 谷津奥部の湧水と谷津の出口における硝酸イオン濃度の比較。濃度が低下していた地点は緑色の線で、上昇していた地点はオレンジ色の線で示した。

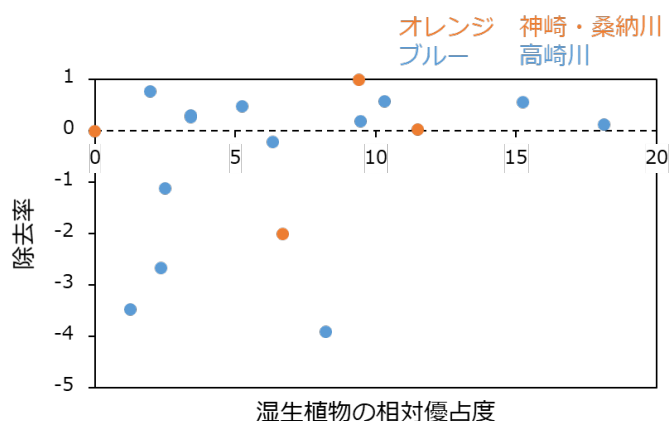


図4.1.9 谷津谷底面における湿生植物の相対優占度と硝酸イオン濃度除去率の関係。硝酸イオン濃度除去率は $\left[\frac{\text{湧水濃度} - \text{出口濃度}}{\text{湧水濃度}} \right]$ として計算した。

4.3.3 治水機能の評価

2019年9月までの期間において、都市型谷津では26回、自然型谷津では16回の降雨イベントを抽出できた。降雨量のピークが生じてから流出量のピークが生じるまでの時間の遅れ（以下、ピークの遅れとする）は、都市型谷津で 28 ± 28.6 分（mean \pm SD, $n = 26$ ）、自然型谷津で 284 ± 89.5 分（ $n = 15$ ）と自然型谷津でより大きく遅れていた（図4.1.10）。最大降雨強度が高くなると自然型谷津のピークの遅れは減少していたが、都市型谷津よりも小さくなることはなかった。

1回の降雨イベントあたりの総流出高（測定点における一定期間の流量を流域面積で除した値）と総流量の関係より、流出率は都市型谷津では0.73、自然型谷津では0.24であった（図4.1.11）。

ピークの遅れ時間と流出率のそれぞれを目的変数とし、説明変数に自然型か都市型か、最大降雨強度、総降雨量を取ったGLMによるモデル選択を行った。その結果、選択されたモデルすべてにおいて自然型であることが正の効果を示し、周辺に樹林や草原などが多く残されている谷津は雨水流出を制御する機能を持つことが検証された。また最大降雨強度はピークの遅れに、総降雨量は流出率に負の効果を持っていた。

以上のことから、谷津は雨水が河川に流出する量を低減させるとともに遅延させ、下流の河川の急激な水位上昇を抑制する効果をもつこと示唆された。

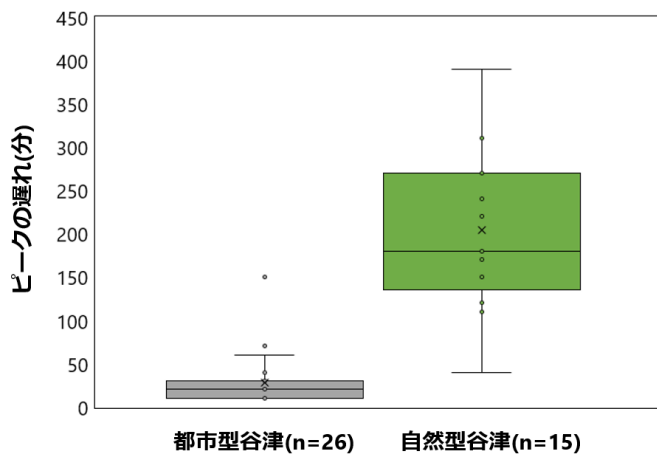


図4.1.10 都市型谷津と自然型谷津における降雨のピークから流出のピークまでの時間的遅れ。「×」が平均値、「—」が中央値を表す。都市型谷津で平均28分、自然型谷津で平均284分の遅れが見られた。

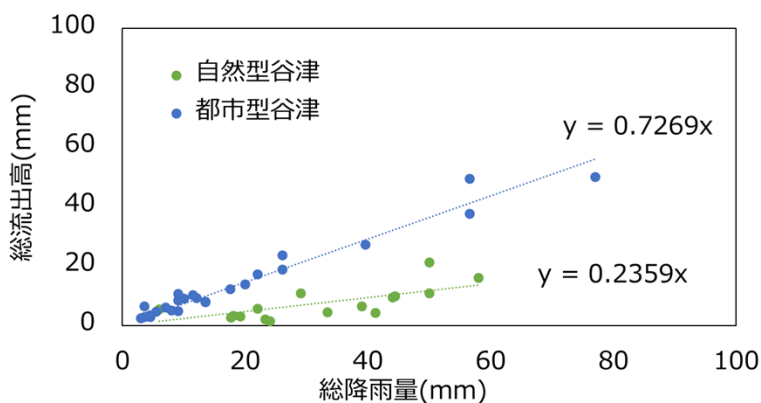


図4.1.11 総流出高と総雨量の関係

4.4 その他の機能評価と提言書のとりまとめ

耕作放棄からの時間経過に伴う復田コストの変化は、圃場整備の行われていない放棄水田と、排水施設の設置など圃場整備が行われた水田（空中写真の読み取りで判断）では大きく異なっていた（図4.1.12）。圃場整備が行われた放棄水田では、圃場整備の行われていない放棄水田に比べ早期に復田コストが上昇し、また最終的な復田コストも上回った。これは、樹林化する速度が圃場整備されていない放棄水田よりも早く、短い年数で復田コストが多くかかることが主な要因であると考えられる。

富里市内の現地で「地蔵谷津」と呼ばれている谷津（約0.2ha）において、地権者の許可の下、水深20～30 cmの止水域を複数個造成し、水生昆虫相を調査した。造成の時点で確認された種は5種だったが、4か月後には22種に増加した（図4.1.13）。

市民・行政との情報交換の場である「里山グリーンインフラ勉強会」での議論を経て、谷津の湿地が発揮する生態系サービスとそれを高めるための管理のあり方を「自然とかがわり豊かに暮らす 里山グリーンインフラの手引き【谷津編】」としてまとめ、ウェブサイト（<http://wetlands.info/library/>）でCC-BYとして公開した。

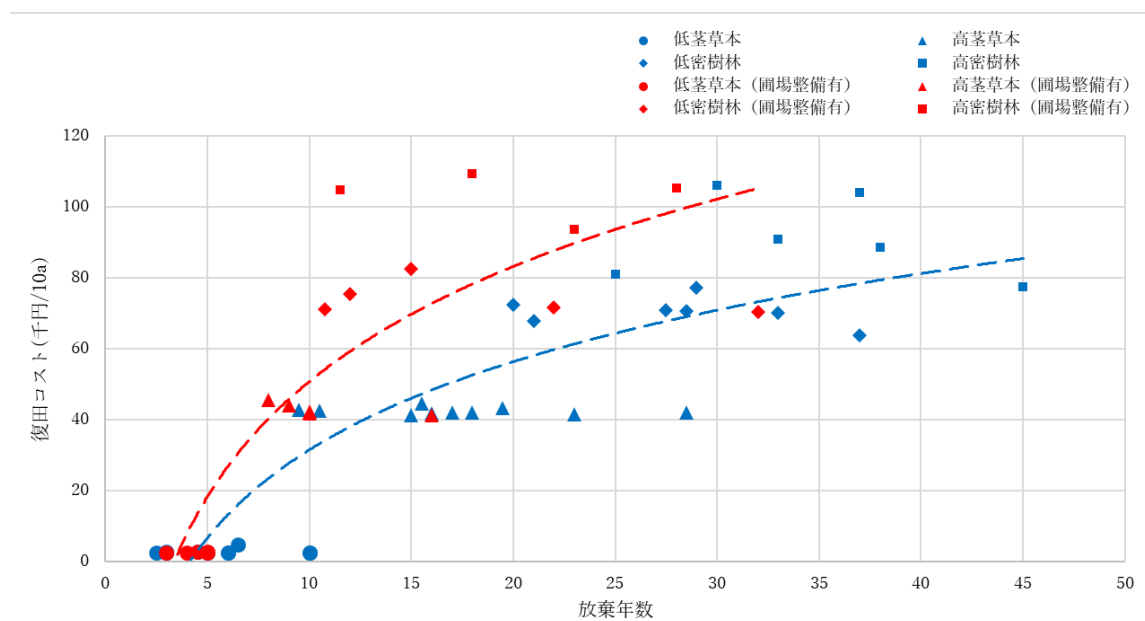


図4.1.12. 累計放棄年数に対する復田コストの変化。曲線は対数回帰曲線であり、圃場整備無では $Y=35.884\ln(x)-51.106$ 、圃場整備有では $Y=46.869\ln(x)-57.149$ であった。

綱	目	科	種名
甲殻綱	十脚目	アメリカザリガニ科	アメリカザリガニ
		サワガニ科	サワガニ
	ワラジムシ目	ミズムシ科	ミズムシ
昆虫綱	コウチュウ目	ガムシ科	コガムシ
			スジヒメガムシ
			ヒメガムシ
	ゲンゴロウ科	マメガムシ	
		コシマゲンゴロウ	
		ハイロゲンゴロウ	
		ヒメゲンゴロウ	
	双翅目	アブ科	アブ科幼虫
		ミスアブ科	ミスアブ科幼虫
	トンボ目	アオイトトンボ科	アオイトトンボ
オニヤンマ科		オニヤンマ	
トンボ科		オオシオカラトンボ	
		シオカラトンボ	
		シオヤトンボ	
半翅目	アメンボ科	アメンボの一種	
	マツモムシ科	コマツモムシ	
		マツモムシ	
	ミズムシ科	コミスムシ類	
双翅目	カ科	オニボウフラ (カ科の蛹)	
	ユスリカ科	アカムシ (ユスリカ科の幼虫)	



図4.1.13 谷津の耕作放棄水田における市民との共同による止水域の造成。左側のリストにおいて、ピンク色の網掛けをした種は、止水域造成時には確認されなかったものの造成後4か月以内に確認された種を示す。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

・関東地方のモデル地域を含む研究では、動植物を含む湿性の絶滅危惧種は谷津環境に依存して生息していることや、圃場整備や河川改修といった水田や河川域に対する改変が在来種の生息に影響することが明らかになった。谷津環境の指標種と広域での分布を明らかにし、市民参加を想定した簡便な調査法を提案できた。その一方で、谷津の都市化や地形改変が急速に進んでいることも明らかになった。湿地の生物多様性保全には谷津環境の維持が重要であり、また谷津環境の保全が急務であることを明らかにした。

・谷津は、台地から流入する水から窒素を除去する水質浄化と、降雨の流出を抑えるといった治水機能を持つことが明らかになった。これらの機能は谷津周辺の土地利用や谷津内の植生環境に影響された。水温が高まりやすい湿地構造が高い脱窒効果が得られることが示唆され、谷津とその周辺で都市化が進んでいない谷津では降雨の流出ピークが遅れたり流出量が低下したりするなど治水効果が高いことが分かった。谷津の湿地環境を維持することは、水質浄化や治水といったグリーンインフラとして役立つことが明らかになった。開発の対象とされやすい低湿地の環境を保全する意義を生物多様性および生態系サービスの両面から示すことができた。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・環境省モニタリングサイト1000事業を（陸水域調査）に関する諸委員会に参加し、湿地の生物多様性調査・評価について本研究の成果を踏まえた助言を行った（西廣）。
- ・自然再生推進法に基づく自然再生協議会（「霞ヶ浦田村・沖宿・戸崎地区自然再生協議会」「三方五湖自然再生協議会」ほか）に委員・部会長として参加し、本研究の成果還元に向けた（西廣）。
- ・環境省・国土交通省・農林水産省の共同事業として実施された気候変動適応コンソーシアム事業の一

環として設置された「印旛沼流域適応策検討推進協議会」の座長（西廣）および委員（長谷川）として、本研究の生態系サービス評価の結果を還元した。

- ・関東エコロジカルネットワーク（事務局・国土交通省関東地方整備局）の専門部会長（長谷川）、河川水辺の国勢調査（霞ヶ浦および利根川下流域）のアドバイザー（西廣）として参加し、本研究の成果を踏まえ、新たな調査手法の提案等を行った。
- ・印旛沼水循環健全化会議（事務局・千葉県）に座長（長谷川）および委員（西廣）として参加し、本研究の成果の社会実装に向けた提言や現場での活動を進めた。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・特に谷津環境において、湿地環境を保全する意義を生物多様性と生態系サービスの両面から示すことができた。
- ・谷津環境では水田が耕作放棄や都市化によって減少しているが、放棄水田を再び水田工作ができる状態に戻すための費用（復田コスト）を作業工程に基づいて算出した。復田コストは耕作放棄からの時間経過に伴って変化し、圃場整備の行われた放棄水田では、圃場整備の行われていない放棄水田に比べ早期に復田コストが上昇し、また最終的な復田コストも上回った。このことは耕作放棄地を湿地として再生する際の具体的な計画として活用できると期待される。
- ・谷津の湿地が発揮しうる生態系サービスとそれを高めるための管理のあり方を「自然とかかわり豊かに暮らす 里山グリーンインフラの手引き【谷津編】」としてまとめ、ウェブサイト (<http://wetlands.info/library/>) でCC-BYとして公開した。

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) JY. KIM, A. NODA, RY. IM and J. NISHIHIRO: Ecosystem Health and Sustainability, 4, 289-298 (2018), Web search volume as a surrogate of public interest in biodiversity: a case study of Japanese Red List species.
- 2) JY. KIM, T. YANO, R. NAKANISHI, H. TAGAMI and J. NISHIHIRO: Biological Invasions, 21, 1545-1556 (2019), Artificial wave breakers promote the establishment of alien aquatic plants in a shallow lake.
- 3) A. NODA, A. KONDO and J. NISHIHIRO: One Ecosystem, 4, e37669 (2019), Changes in land cover and grassland area over the past 120 years in a rapidly urbanized area in Japan.
- 4) K. FUKUMORI, S. ISHIDA, M. SHIMODA, A. TAKENAKA, M. AKASAKA, J. NISHIHIRO, N. TAKAMURA and T. KADOYA: Journal of Applied Ecology, 56, 450-458 (2019), Incorporating species population dynamics into static prioritization: targeting species undergoing rapid change.
- 5) O. SAITO, T. KOBAYASHI, M. HIROI, M. KAWATSU, S. TAKAGI, J. NISHIHIRO and M. KAGAMI: Japan. Limnology, 20, 21-28 (2019), Seasonal changes in the biomass of floating leaved plant, *Trapa spp.*, and its relation with a leaf beetle, *Galerucella nipponensis*, in Lake Inba.
- 6) JY. KIM, Y. HIRANO, Kato H, A. NODA, RY. IM and J. NISHIHIRO: Wetlands Ecology and Management, <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09707-2>, (2020), Land-cover changes and distribution of wetland species in small valley habitats that developed in a Late Pleistocene middle terrace region.
- 7) RY. IM, JY. KIM J. NISHIHIRO and GJ. JOO: Ecological Engineering, (2020), Large weir construction causes the loss of seasonal habitat in riverine wetlands: a case study of the Four Large River Projects in South

Korea. (in press)

- 8) Y. HIRANO, N. KIDERA, IN. KONDO and J. NISHIHIRO: Ichthyological Research, (2020), Habitat characteristics and size structure in a population of an endangered lamprey, *Lethenteron sp. N*, in an urbanized area of Japan. (in press)

<総説・解説>

- 1) 西廣淳、大槻順朗、高津文人、加藤大輝、小笠原奨悟、佐竹康孝、東海林太郎、長谷川雅美、近藤昭彦：応用生態工学、22, 175-185 (2020)
「里山グリーンインフラ」による気候変動適応：印旛沼 流域における谷津の耕作放棄田多面的活用の可能性。
- 2) 西廣淳：土木学会誌、104, 24-25 (2019)
「気候変動・人口減少時代の賢明な土地利用を目指して 印旛沼流域における「里山グリーンインフラ」の取り組み」

<その他誌上発表（査読なし）>

- 1) 西廣淳、白土智子：都市公園、216, 36-39 (2017)
「絶滅危惧種イノカシラフラスコモの復活が示すこと」
- 2) 西廣淳：応用生態工学、20, 137-142 (2017)
「生態系のレジリエンスと生物多様性：「変動の時代」の応用生態工学に向けて」
- 3) 伊藤彩乃、小幡和男、吉川宣治、内山治男、西廣淳：茨城県自然博物館研究報告 20, 39-41 (2018)
「霞ヶ浦における特定外来生物オオバナミズキンバイ（アカバナ科）の記録」
- 4) 西廣淳：国立公園、763, 16-19 (2018)
「静岡市麻機遊水地における利活用と生物多様性保全の両立を目指した取り組み」
- 5) 伊東樹明、加藤将、佐野郷美、西廣淳：水草研究会誌、108, 39-42 (2019)
「千葉県内におけるクサシャジクモの再発見」

<図書>

- 1) グリーンインフラ研究会・三菱UFJリサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション編：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、(2017)
「グリーンインフラとは（吉田丈人、西廣淳、西田貴明、岩浅有記）」
- 2) グリーンインフラ研究会・三菱UFJリサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション編：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、(2017)
「グリーンインフラとしての海岸湿地・干潟（河口洋一、西廣淳）」
- 3) グリーンインフラ研究会・三菱UFJリサーチ&コンサルティング・日経コンストラクション編：決定版！グリーンインフラ、日経BP社、(2017)
「グリーンインフラとしての遊水地（西廣淳）」
- 4) 弥益恭・中尾啓子・野口航編：新しい生物科学、培風館、(2018)
「環境保全と生物科学（西廣淳）」
- 5) 宮下直、西廣淳：人と生態系のダイナミクス1 農地・草原の歴史と未来、朝倉書店、(2019)
- 6) 応用生態工学会（編）：河道内氾濫原の保全と再生、技報堂出版、(2019)
「氾濫原と植物（西廣淳）」
- 7) 鈴木牧、齋藤暖生、西廣淳、宮下直：人と生態系のダイナミクス2 森林の歴史と未来、朝倉書店、(2019)

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 加賀山翔一、宍倉慎一郎、宮崎未来良、長谷川雅美：第5回淡水ガメ情報交換会（2017）
「千葉県における淡水性カメ類の分布予測」
- 2) 甲斐由香里、西山悠平、西廣淳：ELR2017 日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会合同大会（2017）
「水田型湿地におけるアメリカザリガニの潜在的捕食者」
- 3) 平野佑奈、木寺法子、西廣淳：ELR2017 日本緑化工学会・日本景観生態学会・応用生態工学会合同大会（2017）
「千葉県北部の小河川におけるスナヤツメの生息環境」
- 4) 西廣淳：日本生態学会第65回大会シンポジウム「進化を考慮した応用生態学の展開：理論と実践」（2018）
「水生植物の保全・管理における適応進化の視点」
- 5) 加賀山翔一、栗山武夫、谷口真理、三根佳奈子、上野真太郎、藤林真、亀崎直樹、長谷川雅美：日本生態学会第65回大会（2018）
「生物・非生物的要因を考慮した広域分布種の個体数分布推定：カメ類を用いて保護管理上重要な地域を把握する」
- 6) 石川みくり、石井潤、西廣淳、瀧本岳、宇野文貴、吉田丈人：第65回日本生態学会（2018）
「福井県三方湖におけるヒシ分布の時空間動態と塩分濃度の関係：温暖化による海面水位上昇が淡水生植物に与える影響」
- 7) 鈴木広美、長谷川雅美：第65回日本生態学会（2018）
「千葉県印旛沼流域における特定外来生物ナガエツルノゲイトウの群落流出のメカニズムの解明」
- 8) J. KIM, T. YANO and J. NISHIHIRO: 65th Annual Meeting of the Ecological Society of Japan, (2018)
“Evaluation of habitat characteristic of alien aquatic plants in Kasumigaura.”
- 9) 平野佑奈、木寺法子、今藤夏子、西廣淳：第67回魚類自然史研究会（2018）
「スナヤツメ孤立個体群の生息環境と存続可能性の検討」
- 10) 平野祐奈、木寺法子、今藤夏子、西廣淳：応用生態工学会第22回東京大会（2018）
「谷津の小河川におけるスナヤツメ孤立個体群の生息環境と存続可能性の検討」
- 11) 加賀山翔一、大竹海也、下藤章、宍倉慎一郎、長谷川雅美：日本爬虫両棲類学会第57回大会（2018）
「アライグマ侵入域におけるニホンイシガメの生息状況」
- 12) Y. HIRANO, N. KIDERA, N. KONDO and J. NISHIHIRO: the 8th EAFES (East Asian Federation of Ecological Societies) International Congress, 2018
“Habitat characteristics and size structure of an endangered lamprey, *Lethenteron reissneri*, in an urbanized area.”
- 13) 井上綾佳、西廣淳：応用生態工学会第22回研究発表会（2018）
「中小河川における外来植物の影響評価と除去の効果：船橋市木戸川での検討」
- 14) 安藤果純、Im Ra-Young、KIM Ji Yoon、矢野徳也、西廣淳：応用生態工学会第22回研究発表会（2018）
「霞ヶ浦における土壌シードバンクの種多様性および種子密度の変化」
- 15) 平野佑奈、木寺法子、今藤夏子、西廣淳：応用生態工学会第22回研究発表会（2018）
「谷津の小河川におけるスナヤツメ孤立個体群の生息環境と存続可能性の検討」
- 16) 加藤大輝、佐藤慶季、高津文人、大槻順朗、西廣淳：応用生態工学会第22回研究発表会（2018）
「谷津湿地の放棄や改良に伴う生物多様性、水質、雨水流失への効果に関する調査～谷津の Green Infracter としての評価を念頭に」
- 17) 諏訪夢人、柴田裕希、西廣淳：応用生態工学会第22回研究発表会（2018）
「遊水地のグリーンインフラ化に向けた課題把握と地域住民の価値認識」
- 18) 齋藤大河、工藤陽介、井上祐子、西廣淳：日本爬虫両棲類学会第57回大会（2018）
「孤立した谷津に生息するアカハライモリ (*Cynops phyllorhaster*) の生態」
- 19) 松島野枝、西廣淳、長谷川雅美：日本爬虫両棲類学会第57回大会（2018）

- 「鳴き声調査による関東平野の田んぼのカエルの分布マップ」
- 20) 加賀山翔一、大竹海也、下藤章、宍倉慎一郎、長谷川雅美：第6回淡水ガメ情報交換会（2019）
「特定外来生物アライグマの侵入域におけるニホンイシガメの個体群動態」
- 21) 加賀山翔一：第66回日本生態学会自由集会「外来種アライグマによる在来生態系への影響とその対策」（2019）
「アライグマが在来カメ類に与える影響評価：河川改修と外来カメ類による影響を考慮して」
- 22) 加藤大輝、藤本夏来、佐藤慶季、西廣淳：第66回日本生態学会（2019）
「都市化と耕作放棄に伴う印旛沼水源湿地の変遷」
- 23) 平野佑奈、木寺法子、今藤夏子、西廣淳：第66回日本生態学会（2019）
「スナヤツメ孤立個体群の生息環境とサイズ構造：個体群間比較による持続性評価」
- 24) JY. KIM and J. NISHIHIRO：第66回日本生態学会（2019）
“A historical meta-analysis of aquatic plant community in Japanese archipelago during the last 110-years.”
- 25) RY. IM, JY. KIM, Ando K, A. INOUE and J. NISHIHIRO：第66回日本生態学会（2019）
“Seed transport pattern during the typhoon-induced flood in channelized and restored urban streams.”
- 26) 松島野枝、長谷川雅美：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「カエルの鳴き声を用いた湿地の生息地評価：関東平野の田んぼのカエルマップ」
- 27) 西廣淳、KIM Ji Yoon、加藤大輝、大槻順朗、高津文人：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「グリーンインフラとしての谷津奥部の湧水湿地」
- 28) 井上祐子、工藤陽介、齋藤大河、西廣淳：第66回日本生態学会（2019）
「都市化で分断化されたアカハライモリ個体群の生態学的特徴」
- 29) 小林美保、加藤大輝、平野佑奈、西廣淳：第66回日本生態学会（2019）
「千葉県北部・印旛沼流域の谷津におけるオニヤンマの分布に影響する要因」
- 30) 安藤果純、Im Ran-Young、KIM Ji Yoon、西廣美穂、西廣淳：第66回日本生態学会（2019）
「植生回復ポテンシャルを維持するための「シードバンクマネジメント」」
- 31) 松島野枝、西廣淳、長谷川雅美：第58回日本爬虫両棲類学会（2019）
「23年後の印旛沼流域の普通のカエルの分布パターン」
- 32) 勢井慎太郎、井上裕子、西廣淳、長谷川雅美：第58回日本爬虫両棲類学会（2019）
「都市近郊緑地に残されたアカハライモリ個体群の特徴」
- 33) Y. HIRANO, N. KIDERA, N. KONDO and J. NISHIHIRO: Annual meeting of Ecological Society of America, Kentucky International Convention Center, USA, 2019
“Influence of channel fragmentation in agricultural ecosystem on threatened lamprey, *Lethenteron* sp.”
- 34) 安藤果純、矢野徳也、IM Ran-Young、KIM Ji Yoon、西廣美穂、西廣淳：第67回日本生態学会（2020）
「土壌シードバンクの動態を考慮した水生植物保全管理」
- 35) 松島野枝、長谷川雅美、西廣淳：第67回日本生態学会（2020）
「鳴き声調査による関東平野の田んぼのカエルの生息分布」
- 36) 伊東樹明、加藤将、西廣淳：第67回日本生態学会（2020）
「複数の温度条件の組み合わせがケナガシジクモ卵胞子の発芽に及ぼす影響」
- 37) 井上綾佳、西廣淳：第67回日本生態学会（2020）
「人工護岸を撤去した河川における外来植物の効果的な管理：千葉県船橋市木戸川での検討」
- 38) 辻本翔平、平塚優輝、野田顕、西廣淳：第67回日本生態学会（2020）
「草原周辺の土地利用の違いは、異なる送粉者組成を生み出すか？」
- 39) 野田顕、山ノ内崇志、小林翔、西廣淳：第67回日本生態学会（2020）
「半自然草原の植物種多様性に対する歴史的な土地利用の影響」
- 40) 勢井慎太郎、井上祐子、西廣淳、長谷川雅美：第67回日本生態学会（2020）

「都市近郊湿地に残されたアカハライモリ個体群の特徴」

41) 西廣淳：第 67 回日本生態学会（2020）

「プロジェクト「湿地の多面的価値評価軸の開発と情報基盤形成」の成果と今後」

42) 平野佑奈、小林美保、橋本柚花、加藤大輝、西廣淳：第 67 回日本生態学会（2020）

「印旛沼流域の谷津における湧水依存生物の分布に影響する環境要因」

43) 加藤大輝、高津文人、大槻順朗、西廣淳、小池祥平、小野厚、西廣淳：第 67 回日本生態学会（2020）

「放棄水田の持つポテンシャル：湿地植生と生態系機能の観点からの評価」

44) 小池祥平、小野厚、西廣淳：第 67 回日本生態学会（2020）

「麻機遊水地における利活用による植生への影響」

（3）知的財産権

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) 第 20 回ふなばし環境フェア生物多様性シンポジウム「生物多様性とは何か」（主催：船橋市環境フェア実行委員会、2017 年 6 月 11 日、船橋市中央公民館、参加者約 200 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 2) ふれあい塾あびこ公開講座「消えた植物を復活させる～種子からよみがえる過去の植生」（主催：ふれあい塾あびこ、2017 年 6 月 19 日、我孫子市生涯学習センターホール、参加者約 100 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 3) 麻機遊水地の利活用を考える市民フォーラム「国内外の遊水地施設とその利活用の紹介」（主催：「人口減少、気候変動下におけるグリーンインフラ：生物多様性・防災・社会的価値評価」研究チーム、2017 年 7 月 1 日、スマイルあさはた・静岡県産業経済会館、参加者約 200 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 4) Cafe 自愉時間 vol.28（サイエンスカフェ）「すてきな水溜り」（主催：自愉企画、2017 年 9 月 3 日、North Lake Cafe & Books、参加者 16 名）にて話題提供（発表者：西廣淳）
- 5) 日本植物学会公開講演会「植物の生き方・人との共生」、講演タイトル「人と植物の新しい共存：各地で進む自然再生の取り組み」（主催：日本植物学会、2017 年 9 月 10 日、東京理科大学野田キャンパス、参加者約 250 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 6) 筑波大学大学院自然保護寄附講座公開講座「生態系の保全と復元」、講演タイトル「里山生態系：谷津システムの変遷と未来」（主催：筑波大学大学院自然保護寄附講座、2017 年 10 月 8 日、筑波大学、参加者約 50 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 7) 渡良瀬遊水地ラムサール条約湿地登録 5 周年記念講演会「渡良瀬遊水地の湿地植生のゆくえ」（主催：渡良瀬遊水地を守る利根川流域住民協議会、2017 年 10 月 29 日、栃木市藤岡公民館、参加者約 80 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 8) アーバンみらい東三番街自治会勉強会「多目的遊水地と地域の魅力を高めるために」（主催：アーバンみらい東三番街自治会環境専門員会、2017 年 11 月 11 日、アーバンみらい東三番街管理事務所、参加者約 20 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 9) 市民フォーラム「里山グリーンインフラの可能性」（主催：東邦大学理学部 野生生物保全研究センター・環境研究総合推進費「湿地の多面的価値評価軸の開発と広域評価に向けた情報基盤形成」共同研究者チーム、2017 年 12 月 17 日、東邦大学薬学部 C 館 101、参加者約 200 名）にて講演（趣旨説明とコーディネーター：西廣淳、発表者：長谷川雅美、高津文人）
- 10) 建設コンサルタンツ協会東北支部講演会「グリーンインフラの活用と今後の動向について」、講演タイトル「グリーンインフラの社会実装に向けて」（主催：（一社）建設コンサルタンツ協会東北支部、2018 年 1 月 18 日、仙台市、参加者約 100 名）にて講演（発表者：西廣淳）
- 11) 麻機遊水地の植物活用に関する座談会「湿地の生物と共生するための利用」（主催：麻機遊水地保

- 全活用推進協議会・生態系の保全・活用検討会、2018年1月28日、静岡市、参加者約50名)にて講演・司会(発表者:西廣淳)
- 12) 国立科学博物館附属自然教育園「やさしい生態学講座」、講演タイトル「湿地の保全と利活用」(主催:国立科学博物館、2018年2月15日、東京都港区、参加者約60名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 13) 市川緑の市民フォーラム第169回例会「『江戸川らしい』植生を蘇らせるために」(主催:市川緑の市民フォーラム、2018年2月18日、千葉県市川市市川中央公民館、参加者約30名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 14) 佐渡市主催生物多様性保全研究会「生物多様性:目的としての保全から結果としての保全へ」(主催:佐渡市、2018年3月8日、新潟県佐渡市、参加者約50名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 15) 震災×未来ダイアログカフェ「みんなで守り育てる地域の自然～協働型管理によるグリーンインフラの展望」(主催:北の里浜花のかけはしネットワーク、2018年3月16日、札幌市、参加者約20名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 16) 国土技術政策総合研究所所内勉強会「グリーンインフラの推進に向けて」(国土技術政策総合研究所所内勉強会、2018年3月20日、茨城県つくば市、参加者約50名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 17) 水元公園生物多様性講演会「生物多様性とは何か?」(主催:東京都東部公園緑地事務所、2018年3月24日、東京都葛飾区、参加者約90名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 18) 花のサロン「種子から考える植物の保全」(主催:日本植物友の会、2018年7月14日、東京都千代田区、参加者約50名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 19) 丸の内朝大学「都心の自然を資源として活かす」(主催:丸の内朝大学企画委員会、2018年7月20日、東京都千代田区、参加者約20名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 20) 丸の内朝大学「水辺再生の意義」(主催:丸の内朝大学企画委員会、2018年7月27日、東京都千代田区、参加者約30名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 21) 「湿地の保全と自然再生」(筑波大学大学院自然保護寄附講座公開講座「生態系の保全と復元」、2018年11月18日、筑波大学、参加者約50名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 22) 「イマドキの里山」(カフェ自愉時間、2019年1月6日、参加者15名)にて話題提供。(発表者:西廣淳)
 - 23) 「湿地の保全と利活用～水元公園の魅力～」(イネ科植物花粉症を学習するグループ勉強会、2019年2月23日、参加者約40名)にて講演(発表者:西廣淳)
 - 24) 第4回東邦大学理学部野生生物保全研究センター研究発表会・交流会(2019年3月10日、東邦大学理学部、参加者約60名)にて「里山の自然を活かしながら守る:グリーンインフラ研究の現状と課題」を講演(発表者:西廣淳)
 - 25) 多面的機能支払実践活動農地維持活動「地域資源の適切な保全管理に資する研修」(主催:押付環境保全会・岩戸環境保全会・岩戸西環境保全会・エコロジカルネットワーク白井台干拓、北総花の丘公園講義室、2019年3月21日、参加者約20名)にて「水田・休耕地がもつ多面的環境保全機能」を講演(発表者:西廣淳)
 - 26) 2019年度茅採取文化財保存技術(伝承)研修(主催:一般社団法人日本茅葺き文化協会、2019年7月12日、つくば市筑波)にて「茅場の生態系と維持管理」を講演(発表者:西廣淳)
 - 27) 第2回自然環境共生技術研究会(特別講演)(主催:自然環境共生技術研究会NECTA、2019年7月18日、環境省)にて「気候変動適応策としてのグリーンインフラ活用」を講演(発表者:西廣淳)
 - 28) 濠プロジェクト2019(主催:三菱地所株式会社、2019年7月19日、3×3 Lab Future 三菱地所)にて「都市の自然を守り、活かす」を講演(発表者:西廣淳)
 - 29) 草加市令和元年度生物多様性講演会(主催:草加市、2019年10月20日、草加市勤労福祉会館)にて「湿地における生物多様性の保全」を講演(発表者:西廣淳)
 - 30) 利根川下流部自然再生シンポジウム(主催:国土交通省利根川下流河川事務所、2019年11月12

- 日、東庄町公民館)にて「水郷・利根川の魅力 自然と活用」を講演(発表者:西廣淳)
- 31) 大学生のための自然史講座(主催:国立科学博物館、2019年11月29日、国立科学博物館本館)にて「人と自然のかかわり:草原と湿地の過去・現在・未来」を講演(発表者:西廣淳)
- 32) にじゅうまるプロジェクト第4回パートナーズ会合分科会:生物多様性の保全 主流化の新たな展開(主催:国際自然保護連合日本委員会、2020年1月12日、名古屋国際会議場)にて「結果のとしての保全という考え方」を講演(発表者:西廣淳)
- 33) 市川市協働事業:大柏川第一調節池緑地の保全と活用をはかる講演会とワークショップ(2020年1月19日、市川市北方小学校)にて「湿地の保全と地域の魅力:国内外の事例から」を講演(発表者:西廣淳)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 読売新聞(2018年11月28日、千葉版)「クサシヤジクモ自生地確認 東邦大生佐倉で群落発見」
- 2) 朝日中高生新聞(2019年1月13日)「田んぼとそこにすむ生き物を守る」
- 3) 読売新聞(2019年2月28日、千葉版)「自然の力 街づくりに活用を 防災や水質浄化 土木と生態系つなぐ」

(6) その他

- 1) 日本生態学会優秀ポスター発表賞:安藤果純、Im Ran-Young、KIM Ji Yoon、西廣美穂、西廣淳:第66回日本生態学会(2019)「植生回復ポテンシャルを維持するための「シードバンクマネジメント」」
- 2) 応用生態工学会優秀ポスター研究発表賞:加藤大輝、佐藤慶季、高津文人、大槻順朗、西廣淳:応用生態工学会第22回研究発表会(2018)「谷津湿地の放棄や改良に伴う生物多様性、水質、雨水流失への効果に関する調査~谷津の Green Infracter としての評価を念頭に」

8. 引用文献

- 1) 千葉県生物多様性センター:千葉県レッドデータブック(2011年改訂版)
(http://www.bdcchiba.jp/endangered/endang_index.html)
- 2) Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*. 2006; 190(3-4):231-59.
- 3) Royle, J. A. (2004) N-Mixture Models for Estimating Population Size from Spatially Replicated Counts. *Biometrics* 60, pp. 108--105.
- 4) 首藤光太郎、山ノ内崇志、山口昌子、加藤将、志賀隆:「日本産水生・湿生植物チェックリスト」
(<http://wetlands.info/tools/plantsdb/wetlandplants-checklist/>、公開日2019年3月31日)

+

II-2 モデル流域における湿地の生態系機能・サービス評価

研究分担者

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 生物多様性保全資源研究推進室 松崎 慎一郎

生物・生態系環境研究センター 環境ゲノム科学研究推進室 今藤 夏子

生物・生態系環境研究センター 生物多様性評価予測研究室 角谷 拓

生物・生態系環境研究センター 生物多様性評価予測研究室 深谷 肇一

地域環境研究センター 湖沼河川環境研究室 高津 文人

琵琶湖分室 高村 典子

研究協力者

首都大学東京 都市環境学部 大澤 剛士（平成29年度～令和1年度）

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）：33,612千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：8,202千円、平成30年度：13,963千円、令和元年度：11,446千円）

[要旨]

流域の生態系サービスを評価する手法を開発するため、小流域単位での供給・調整・基盤・文化的サービスを評価する手法を確立した。また、ドローンと熱赤外カメラを用いた湧水探索技術の開発、環境DNAを活用した生物多様性（主に魚類）評価手法の高度化をおこなった

霞ヶ浦をモデル流域とし、全流域を50の小流域に分け、小流域ごとに10の生態系サービスと在来淡水魚類種数の計11項目について評価を行い、空間的に生じる生態系サービス間あるいは生態系サービスと生物多様性間のシナジーとトレードオフ関係を分析した。その結果、気候調整機能、洪水調整機能、炭素蓄積量、純一次生産量、里山指標間のシナジーが抽出され、それらのシナジーは森林面積と正の相関が見られた。また、農業生産と水質、農業生産と在来淡水魚種数の間にトレードオフが生じていることが明らかになった。

農業生産と水質のトレードオフ関係に注目すると、畑地面積率が高いにも関わらず水質が良好な（硝酸態窒素濃度が低い）小流域（Win-Win流域）が見つかった。そこで、畑地面積率と水質の回帰直線の残差に注目し、小流域ごとにWin-Win度合いを数値化する手法を開発した。この手法により、流域内にため池などの湿地を多く含む小流域ほど、Win-Win度合いが高くなることを示した。湿地の保全や再生が、農業生産と水質のトレードオフを緩和する可能性が示唆された。

生態系サービスや生物多様性を評価する手法を開発することに加え、シナジーを促進する要因とトレードオフの緩和する要因を特定することで、流域全体で多様な生態系サービス・生物多様性を維持することにつながる。こうした観点を今後の流域管理に活かして行く必要がある。

[キーワード]

生態系サービス、環境DNA、トレードオフ、シナジー、Win-Win

1. はじめに

われわれは皆、どこかの流域で暮らしている。流域には、森林・農地・市街地・水辺等の様々な土地利用形態が含まれ、そこで供給される農作物・水・遊びの場など実に多様な生態系サービスを活用して

いる。それゆえに、生態系サービスを利用する人々の間で利害の対立が生じやすい。したがって、流域の多様な生態系サービスを持続的に利用するためには、複数の生態系サービス間の相互関係を包括的に解明する必要がある。2つの生態系サービスで見た場合、双方のサービスがともに向上あるいは両立する場合（シナジー）、一方のサービスの向上が他のサービスを低下させる場合（トレードオフ）の関係が知られている。これまでの生態系サービスに関する先行研究の多くが、生態系サービス間のシナジーやトレードオフの検出に注力してきた。しかし、最近では、シナジーを促進する要因の特定に加えて、トレードオフをどのように緩和し、Win-Winの関係を生み出すかについて、特に自然生態系を活用した解決策（Nature-based solution）の検討とそれを支える手法やツールの開発の必要性が高まっている。

流域には、様々な生物も暮らしている。分類群やスケールにもよるが、生物多様性の高い場所と生態系サービスの高い場所は一致しないことはしばしば指摘されている。生物多様性の保全と生態系サービスの両方を適切に管理するためには、生物多様性と生態系サービスの関係も同時に明らかにする必要がある。陸上生物に比べて、水生生物の分布や多様性について十分に把握されていないことが多い。しかし、最近、環境DNA(environmental DNA; eDNA)の急速な技術発展に伴って、川の水を採水するだけで、淡水魚等の水生生物の分布を把握できるようになってきた。環境DNAは流域の生物多様性を評価する上で強力なツールであるが、生息しているにも関わらず検出されない「偽陰性」の問題が生じることが、希少生物の分布や種多様性を評価する上で重要な課題となっている。

生態系サービスの評価・解析ツールや生物多様性を評価する環境DNAの分析・解析手法の高度化は学術的な課題である一方、流域の管理・保全・再生を進める上で、多様な主体の合意形成が欠かせない。そのような合意形成を支援するためには、生物多様性と生態系サービスを多面的・定量的に評価し、それらの相互関係のパターン（もしくはバランス）を可視化し、シナジーあるいはWin-winを生み出す条件を明らかにすることが重要である。

2. 研究開発目的

本研究では、流域の生態系サービス・生物多様性を評価する手法を開発する。同時に、霞ヶ浦（西浦）全流域をモデル流域とし、小流域単位での生態系サービスと生物多様性の評価を行い、生態系サービス間あるいは生物多様性と生態系サービスの関係について明らかにする。具体的には、以下の課題に答えること目的とする。

- 1) 環境DNAを用いた淡水魚類の種多様性評価について、環境DNA試料の劣化防止方法の検討と、DNAメタバーコーディングの偽陰性を改善する統計モデルの構築を行う。
- 2) ドローンを用いた生態系サービス評価手法開発として、熱赤外撮影による湿地内の地下水探索技術を開発する。
- 3) 小流域ごとに生態系サービスと生物多様性を評価し、それらの間に生じる空間的なシナジー・トレードオフ関係について明らかにする。
- 4) Win-win流域の抽出とトレードオフを緩和する管理手法の検討を行う。

3. 研究開発方法

3.1 環境DNAを用いた流域の生物多様性評価手法の開発

国土地理院が提供する霞ヶ浦流域の流域界GISデータをもとに、西浦流域を50の小流域に分割し、これを本研究の空間的な評価ユニットとした。小流域ごとの魚類多様性情報を、河川水の環境DNA解析によって得るための手法と、環境DNAから得られた生物多様性情報を統計モデルによってさらに高度に推定する手法を検討・開発した。

環境DNA抽出のための採水は、各小流域の最下流部において2016年7月、2017年1月と7月、2018年1

月と7月、2019年1月の計6回にわたり行った。各地点において、コンタミネーションに配慮しながらバケツやひしゃく等によって、流心、右岸、左岸の3ヶ所からそれぞれ1Lを採水し、冷蔵保存して実験室に持ち帰った。2018年1月以降は、河川水1Lにつきベンザルコニウム塩化物液（商品名・オスバンS、日本薬局方、塩化ベンザルコニウム10w/v%水溶液）を採水直後に添加した。ただし、ベンザルコニウム塩化物液の添加が検出される魚類多様性に与える影響について検証するため、2018年1月と2018年7月の2回については、流心からさらに1Lを採水し、ベンザルコニウム塩化物液を加えずに持ち帰った。河川水は冷蔵保存して実験室に持ち帰り、ガラス繊維ろ紙（GF/F、ワットマン、粒子保持能0.7 μ m）で吸引濾過した。ろ紙はアルミ箔に包んで冷凍庫で-28°Cで保管し、後日、DNeasy Blood and Tissue kit (QIAGEN)を用いて環境DNAを抽出した。

各地点の環境DNAについて、魚類のミトコンドリア遺伝子12S rRNAをMiFishプライマー（Miya et al. 2015）でPCR増幅し、MiSeq（Illumina）によるアンプリコン解析を行った。得られた塩基配列について、MiFish pipeline（Sato et al. 2018）や、Claident（Tanabe and Toju 2013）等を用いたメタバーコーディングにより魚種を判定した。得られたデータから、各小流域の在来魚、国外外来魚、国内外来魚の種数をそれぞれ算出した。なお、同定に用いた12S rRNAの部分塩基配列は約180bpであったが、別途行った系統解析等により情報量が種判別に不十分と判断された場合は、生態情報なども加味して種群としてまとめた。

環境DNAメタバーコーディングによる種検出は従来の調査法に比べて効率的だが、それでもなお、野外におけるDNA濃度の低さやアンプリコン解析に固有の検出過程に由来する偽陰性（種の検出誤差）が生じ得る。偽陰性が存在する場合は一般的に、種多様性の評価や環境要因の抽出、動的過程を特徴付けるパラメータの正確な推定が困難となる。そのため、偽陰性の修正を可能とするサンプリングデザインとデータ解析手法を確立することが、環境DNA解析による種多様性評価のさらなる高度化につながるものと考えられる。そこで、種分布調査データの解析において偽陰性を踏まえた統計推測を可能とする統計モデルである「サイト占有モデル」に着目し、これを環境DNAメタバーコーディングの文脈に適合するような枠組みの拡張を検討した。また、霞ヶ浦流域で収集された淡水魚のメタバーコーディングデータに提案手法を適用した。

3.2 ドローンを用いた熱赤外撮影による湿地内の地下水探索技術の開発

近年、ドローン撮影は多様な分野で検査や収穫時期を適切に判断するための、最も信頼でき、大幅なコスト削減にもなるツールとして多用され始めている。ドローンの安定した飛行技術に加えて、ドローンに搭載できる撮影機材の進歩が多様なニーズに答えられる性能を支えている。効率よく的確に橋げたや建造物の劣化診断が可能手法として、ドローン搭載型の熱赤外撮影システムが用いられている。熱赤外撮影は空気中の水蒸気量や対象物の反射率、撮影当日の日射等の気象条件など多くの条件に影響されるが、同時刻にほぼ同じような撮影条件で撮影した対象物からの熱赤外量の違いは、対象物の熱量の違いを反映していると判断されることから、湿地の水面を撮影することで、表層水温の違いを原理的に検出できると考えられる。

比較的小型のドローンに搭載できる熱赤外カメラをつかった湿地の評価ができれば、足場の悪い多様な湿地にも適応でき、今後新たな評価手法として発展の期待できる手法となりうる。湿地にはさまざまな水温特性を持った水が流入し、滞留する。特に夏場は、水路や地表面で温められた各種排水、森林等被陰されたエリアを流下する比較的低温の渓流水、年平均気温に近い低温の地下水、開水面で温められた表層水、などが湿地水を構成し、結果として湿地内に多様な表面水温が存在すると考えられる。こうした表層水温の分布特性を観測することで、湿地内の水循環に関する貴重な情報を、短時間に大面積で知ることができる。

今回の研究では、冬季に小型のドローンの熱赤外撮影システムにより表面水温を測定することで、比較的温暖な水塊として湿地に湧出する地下水を表層水温の違いとして検出できると考え、湿地内の地下水探索技術の開発の一環として、本研究を実施した。

小型ドローンとしてはInspire (DJI, v2.01)を用い、それに搭載可能な熱赤外カメラ (DJI, Zenmuse XT) を使用し、湿地表面の温度を測定した。使用した熱赤外カメラの感度としてはf/1.0の時に50 mK以下の表面温度の違いを識別できるが、正確な温度を知るには現場での測定値による補正が必要である。今回は相対的な表面水温の違いにより地下水の湧水帯の識別が可能かどうか検証するもので、そうした補正は行っていない。また、現場で人の目線ぐらいの高さからの熱赤外画像を得るため、携帯電話に取り付けて撮影する熱赤外カメラ (FLIR, FLIRONE PRO) での撮影も一か所の谷津で行った。この熱赤外画像に関しても今回補正を行っていない。

測定を実施した湿地は、全部で3か所。一つ目は2018年3月9日に実施した、茨城県行方市の新池、二つ目と三つ目は2019年2月7日に実施した、千葉県富里市の地蔵谷津と天神谷津である。新池はいわゆる農業用ため池としてつくられたもので、現在は周辺が公園として整備されている。一方、地蔵谷津と天神谷津は、千葉県北部に広がる谷津地形の奥に形成された湧水帯を伴う湿地である。

3.3 霞ヶ浦流域の生態系サービス評価と生態系サービス間のトレードオフ・シナジーの抽出

国土地理院が提供する霞ヶ浦流域の流域界GISデータをもとに、西浦流域を50の小流域に分割し、これを本研究の空間的な評価ユニットとした。小流域ごとに、生態系サービス、生物多様性の評価を行った。

生態系サービスについては、代表的かつ霞ヶ浦流域において重要と考えられる計10のサービス (3つの供給サービス、4つの調整サービス、2つの基盤サービス、1つの文化的サービス) について定量的な評価を行った (表3.2.1)。各サービスの評価に用いた指標、単位、対象年、データソースについて表3.2.1に示したが、以下、算出方法について簡単に述べる。

表3.2.1 評価を行った10の生態系サービスと用いた指標

サービス	指標/単位	対象年	データソース
Provisioning			
農作物	畑面積 (%)	2005	農林業センサス
米	水田面積 (%)	2005	農林業センサス
豚	頭数/km ²	2010	農林業センサス
Regulating			
河川水質	NO ₃ ⁻ (mg/L)	2016	本研究
気候調整	年間夏日 (>25°C) 数	2000-2013	気象庁データ
炭素蓄積	gC/m ²	2010-2014	Sasai et al. 2011
洪水調整	不浸透面積 (%)	2007	Yang et al. 2011
Supporting			
純一次生産量	gC/m ² /year	2010-2014	Sasai et al. 2011
ハビタット多様性	里山指標 (unitless)	2000-2002	Yoshioka et al. 2013
Cultural			
神社	数/Km ²	2017	神社データベース

河川水質については、霞ヶ浦流域では畑地からの窒素負荷が顕著であることから、硝酸態窒素濃度 (NO₃-N) を指標として用いた。2016年から2018年にかけて、夏季と冬季に、各小流域の最下流部で計5回採水調査を行い、硝酸態窒素濃度を測定し、その平均値を解析に使用した。下記の通り、河川水質以外の指標は、GISを用いて解析・集計したものである。

農作物と米の生産量については、畑地面積と水田面積をそれぞれの指標として用いた。また、家畜の代表として豚に注目し、単位面積当たりの豚頭数を指標として用いた。農業センサスから市町村別の畑

地面積・水田面積・飼育豚頭数のデータを入力し、小流域単位で再集計を行い、これらの指標値を算出した。

気候調整機能として、夏日（最高気温が25度以上である日）の年間日数を指標と用いた。気候調整サービスが大きい流域では、夏日の日数は少なくなると考えられる。農研機構が提供する1kmメッシュ農業気象データのうち、2000年から2013年のデータを使用し、小流域区分に含まれる全メッシュの年間夏日数の平均値を算出した。

洪水調整機能として、不浸透面積率を指標として用いた。都市域など不浸透面積が大きくなると、浸透をおこさないことから、表面流出量や流出負荷量が増大する（洪水リスクが増大する）。1kmメッシュで霞ヶ浦流域の不浸透面積を推定した先行研究のプロダクト(Yang et al. 2011)を活用した。1kmメッシュの不浸透面積率データから、小流域ごとに再集計し、不浸透面積率を算出した。

純一次生産量と炭素蓄積量について、全国1kmメッシュで推定した先行研究のプロダクトを活用した(Sasai et al. 2011)。純一次生産量には、小流域に含まれる全メッシュの平均値を算出した。炭素蓄積量は、植物バイオマス量を指標として用い、小流域ごとに再集計し、単位面積当たりの植物バイオマス量を指標値とした。

ハビタットの多様性として、里山指標を用いた。里山指標は、農地とそれ以外の土地利用のモザイク性を評価する指標で、生物多様性の指標としても用いられる。全国1kmメッシュで里山指標を計算した先行研究のプロダクト(Yoshioka et al. 2013)を活用した。小流域に含まれる全メッシュの平均値を指標として用いた。

文化的サービスの指標として、神社の数をを用いた。神社データベースに記載されている神社を地図化した。小流域に含まれる神社数を流域面積で除して、神社密度を指標として用いた。

また、生物多様性については、在来魚の多様性（種数）を指標として用いた。3-(1)の環境DNAの分析結果に基づき、2016年7月、2017年1月、2017年7月の計3回の平均在来魚種数を算出した。

50流域における上記11項目の指標値（10の生態系サービス指標と在来魚種数）を用いて、因子分析(factor analysis)を行い、霞ヶ浦流域で生じている生態系サービス間のシナジーとトレードオフを抽出した。また因子分析の結果に基づいて、シナジーとトレードオフの地図化をおこなった。

3.4 Win-Win流域の特定と特徴

2つの生態系サービス間でトレードオフ（負の直線関係）関係がみられる場合でも、両サービスが高くなる、つまりWin-Winとなる流域（以後、「Win-Win流域」と呼ぶ）も含まれる可能性がある。本研究では、直線関係の残差に注目し、Win-Win流域を特定できる手法を開発した。

2つの生態系サービスの指標値（値が大きくなるほど便益が大きくなるように符号を調整）を標準化した後、その両方の誤差を扱うデミング回帰を行い、その回帰直線に直交する残差を算出した（図3.2.1）。この残差は、トレードオフ関係からどれくらい逸脱しているかをあらわしており、正の大きい値をとるほど両サービスがWin-Winとなることから、「Win-Win度合い」と定義した。

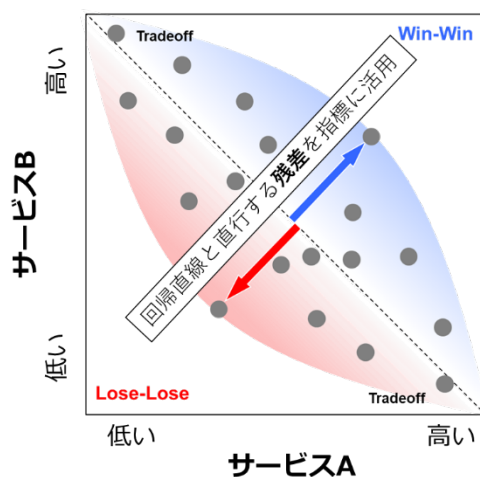


図3.2.1 生態系サービスのトレードオフ関係からWin-Win流域を特定する手法のアイデア。

霞ヶ浦流域における農業生産と水質のトレードオフ関係に着目し、本手法を適用し、各小流域のWin-Win度合いを算出した。農業生産については、畑地率を指標として用い、水質については、50流域において、2016年7月、2017年1月と7月、2018年1月と7月に測定された計5回の硝酸態窒素濃度をを用い、硝酸態窒素濃度に-1を掛けた値を水質指標として用いた。季節ごとに、上述の手法を用いてWin-Win度合いを算出した。さらに、Win-Win度合いの高い小流域の特徴を明らかにするために、湿地面積率、水田率、放棄水田率、溶存有機炭素（DOC）、流域面積を説明変数とする要因解析を行った。AICを用いたmodel averaging法を用いて、各説明変数の相対的重要度を算出した。

4. 結果及び考察

4.1 環境DNAを用いた流域の生物多様性評価手法の開発

全50小流域における各季3回ずつの調査の結果、明らかな海産の食用魚を除き、夏季に59種群、冬季に62種群、合計で70種群の魚類が検出された。各小流域の平均検出種数は、夏季24.7種群、冬季21.34種群であった。このうち、霞ヶ浦流域の在来魚は夏季31種群、冬季29種群、合計34種群が検出された（図4.2.1）。このほか、外来や国内移入の種群もそれぞれ検出された。検出された在来魚には、アカヒレタビラ、ニホンウナギ、ホトケドジョウ、タナゴ（絶滅危惧IB類（EN）、環境省レッドリスト2020）等の絶滅危惧種が含まれており、環境DNAの検出力が高いことが示唆された。また、釣り堀や養殖場の下流域ではチョウザメ類やニジマス等も検出されたが、これらは冬季のみに検出された。各小流域の在来魚の種多様性は、夏と冬で概ね傾向が一致していた。

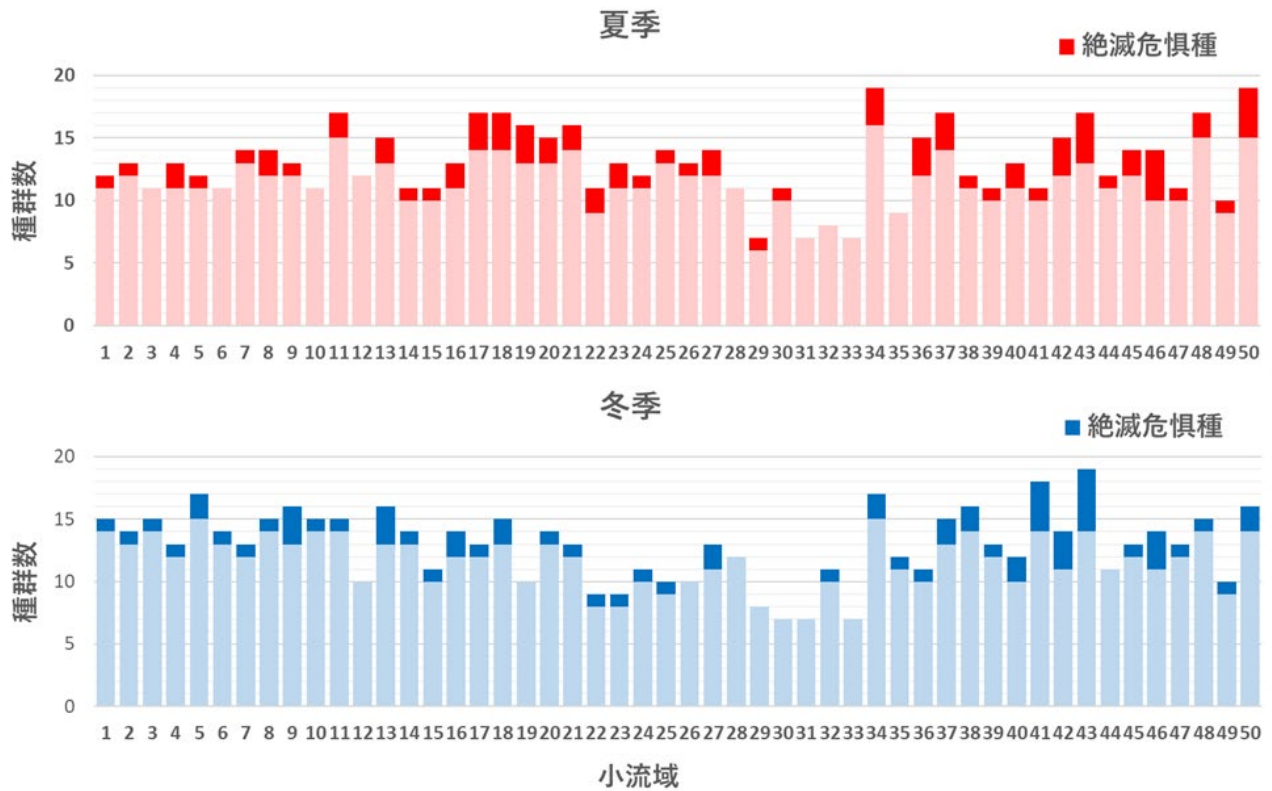


図4.2.1 50小流域において環境DNAから検出された在来魚種群数

2018年1月と2018年7月の2回の調査では、全50小流域について流心で1Lの採水を2回ずつ行い、一方にベンザルコニウム溶液を1 ml添加し、他方には添加せずに実験室に持ち帰ってろ過した。ろ紙から得られた環境DNAのメタバーコーディング解析結果について、明らかな海産の食用魚種を除いた全魚種群について比較したところ（図4.2.2）、ベンザルコニウム溶液を添加した試料の方が、添加しなかった試料よりも有意に多い種群数が検出された（対応のあるt検定：1月、7月共に $P < 0.01$ ）。小流域あたりの検出種数が最大で7種増加した。

ベンザルコニウム溶液を添加することにより、魚類の環境DNAの保存性が高くなり、これまで報告されているqPCRによる種特異的手法だけでなく、メタバーコーディング解析においてもより高い多様性を検出できることが示唆された。ただし、ベンザルコニウム溶液を添加した試料の方が、添加していない試料よりも種群数が少ない流域も見られた。ベンザルコニウム溶液は水試料中のDNAの保存性を高めるものの、検出可能な多様性情報には、以下に詳述、検討するような採水やPCR増幅などの調査や実験における操作上の不均一性も大きく影響していると考えられた。

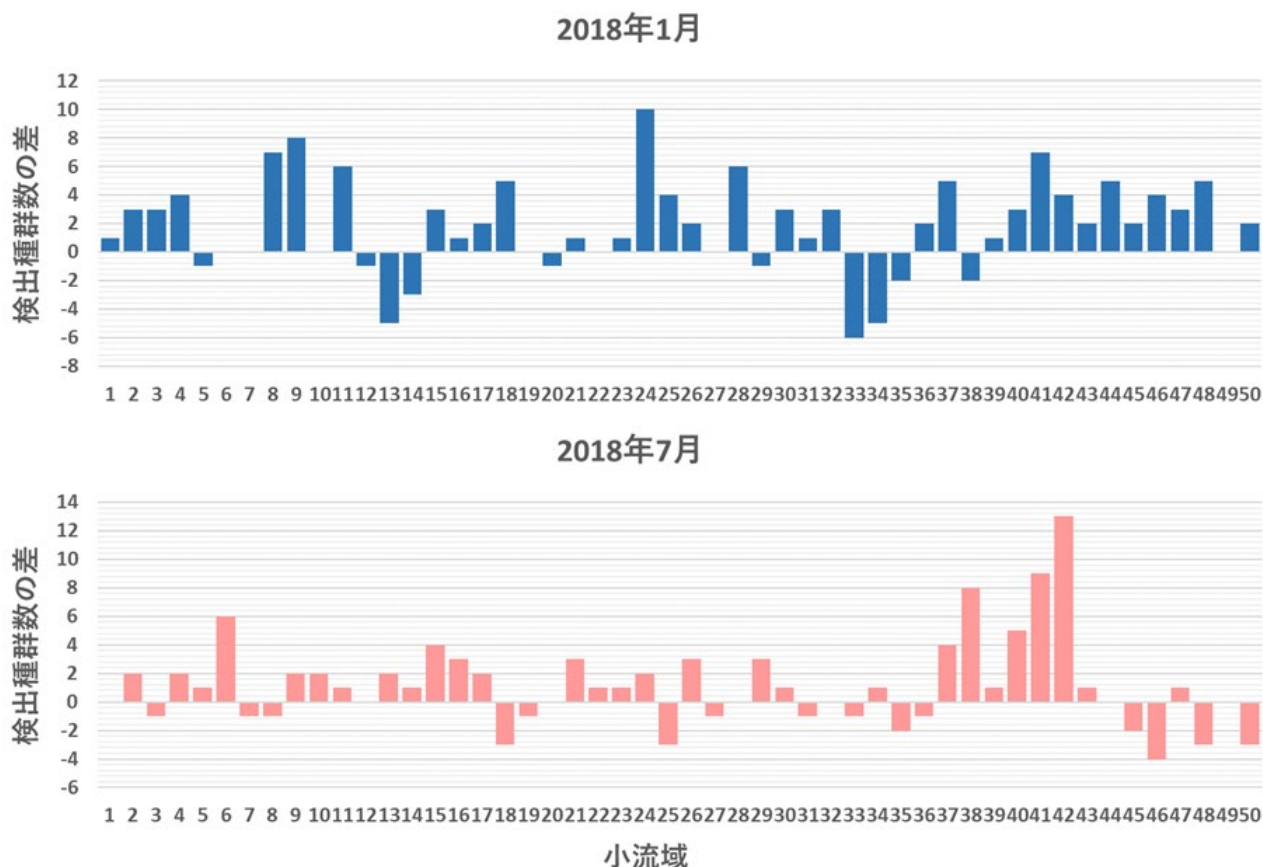


図4.2.2 ベンザルコニウム塩化物の添加の有無による検出魚種数の違い（添加した場合から添加しなかった場合の魚種群数を引いた差で示した）。

環境DNAメタバーコーディングは、野外での水試料の採集から、濾過、DNA抽出、PCR、ライブラリ調整、次世代シーケンサによる配列解析、バイオインフォマティクスによる情報処理など、最終的に種の検出・不検出データを得るまでに多くの工程を経る必要がある。これらの工程を種検出誤差の観点から整理すると、野外でのサンプリングや、実験の過程で繰り返し行われるリサンプリング、PCR増幅効率の種間差、DNA濃度の変動など、偽陰性の潜在的な要因となり得る一般的な過程が複数特定される。つまり、環境DNAメタバーコーディングでは、データを得るまでの複数の段階で繰り返し生じるDNAの「取りこぼし」が、生息種の不検出につながり得るものと考えられる。また、次世代シーケンサにおける種検出は、リードと呼ばれるシーケンサ内部で読み取られた配列の計数値に基づいている。従って、種検出の網羅性は一般的に、リードの総数（シーケンス深度）と個々の配列の相対濃度分布に依存すると考えられる。

こうした環境DNAメタバーコーディングに固有の種検出過程を説明する新しい統計モデルを構築するために、従来生態学で用いられてきたサイト占有モデルの拡張を検討した。具体的には、逐次的な種検出過程を表す複数の階層性と、次世代シーケンサから出力される多変量リード計数データに適合する多項分布の拡張を導入したモデルを定式化した。このモデルを用いることで、野外でのサンプリングやライブラリ調整のための室内実験など、データを得るまでの複数の段階における種の検出率を個別に定量できるようになるとともに、偽陰性を踏まえた種分布や種多様性の評価が可能となった。具体的には、メタバーコーディングの結果、ある地点で不検出となった種について、検出率やシーケンス深度などの情報に基づき、その種がそこに生息している確率（事後占有確率）を評価できるようになった。また、こうした情報に基づき、地点ごとの生息種数について偽陰性を考慮して見積もることができるようになった。実際のデータにこのモデルを当てはめる方法として、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたベイズ推定法を提案した。なお、こうした評価を行うためのサンプリングデザインとして、複数の段階

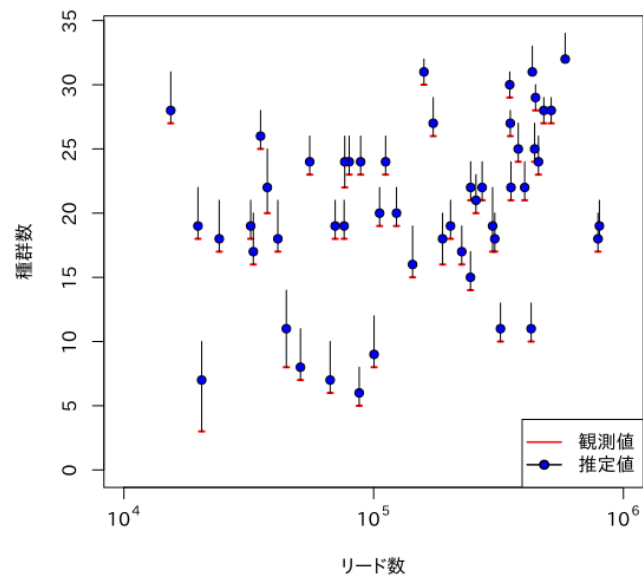


図4.2.4 環境DNAメタバーコーディングで検出された各サイトの種群数（観測値）と、提案モデルの下で推定された各サイトの占有種群数（推定値）。モデルの推定値は事後中央値と95%信用区間を示す。サイト当たりのリード総数が少ないサイトほど、検出率の低さを反映して占有種群数がより大きく補正される傾向がある。

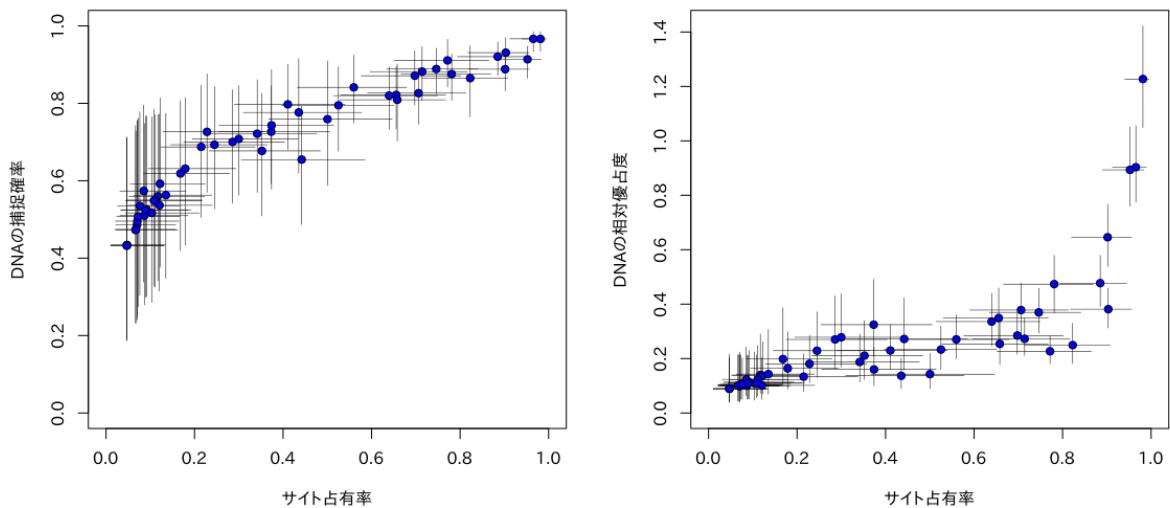


図4.2.5 提案モデルの下で推定された各種群のサイト占有率（横軸）、DNAの捕捉確率（種群がサイトを占有している場合に水試料にDNAが含まれる確率、左図縦軸）、およびDNAの相対優占度（標本の総リード数に対して種群が占めるリード数の期待割合に比例する量、右図縦軸）。事後中央値と95%信用区間を示す。

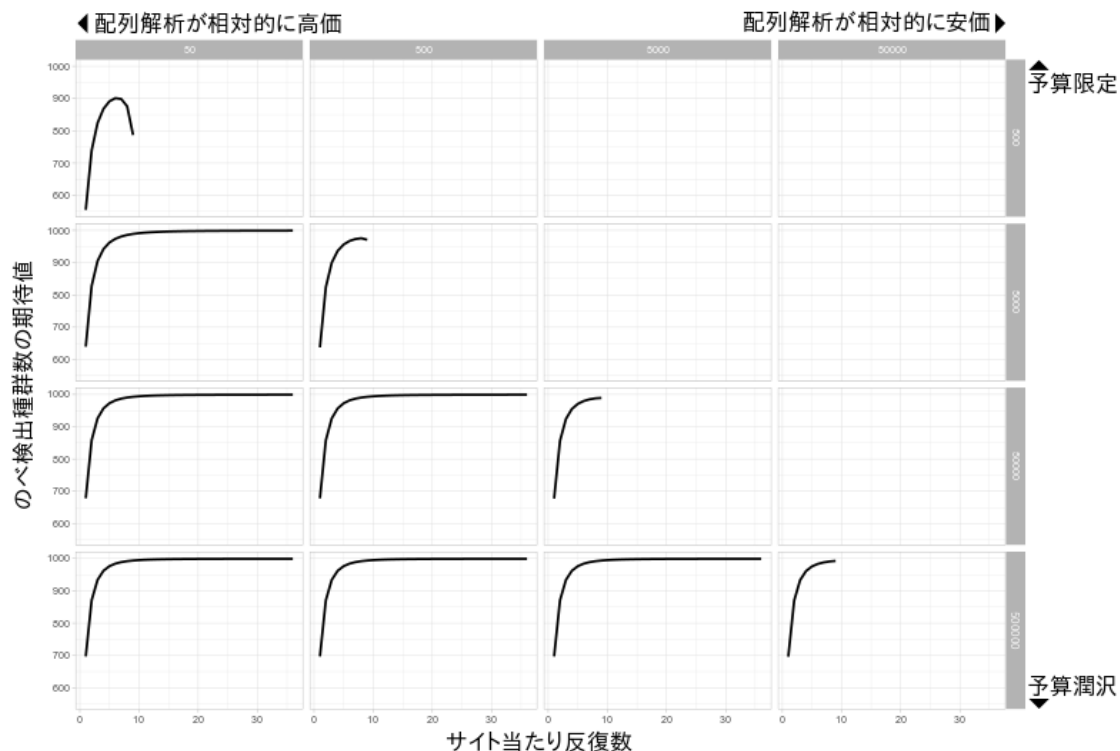


図4.2.6 提案モデルの下で推定された多様性評価の有効性（のべ検出種群数の期待値）とサイト当たりの水試料の反復数の関係。配列解析にかかる費用と配列解析以外にかかる費用の比と予算の大きさについて、それぞれいくつかの水準を設定して比較している。試算の結果、2019年時点における費用比は概ね図の中央2列の範囲に相当する。

4.2 ドローンを用いた熱赤外撮影による湿地内の地下水探索技術の開発

新池での湧水帯探索として湖岸の熱赤外撮影を行った結果、周辺の湖岸に比べて水温の高い箇所が複数あることが分かった（図4.2.7a, b）。温泉や下水処理水のような人為的な熱源がほかにある湖沼ではないことから、冬場に見られた周辺より水温の高い湖岸は、湖岸付近から湧出する地下水の影響によるものであると考えられる。冬季、地下水温は湖水温より高いことから、表層に湧き出た地下水を表面水温の差として検出できたと考えられた。湧出量等を測定することはできなかったが、図4.2.7のように識別可能な湧水箇所を特定できた地点を湖岸に沿ってプロットしたところ、ため池の堤体に近い下流部ではなく、上流部から中流部に集中していた（図4.2.8）。また、最上流部以外は東側の湖岸に偏って分布していた。新池の集水域は東側が広く、西側は狭い特徴を有している。そのため東岸から湧出しやすいものと考えられた。また新池は典型的な谷津地形の谷頭に位置しており、谷頭には湧水が集中することから、新池の上流部から中流部に湧水箇所が集中する結果になったと考えられた。

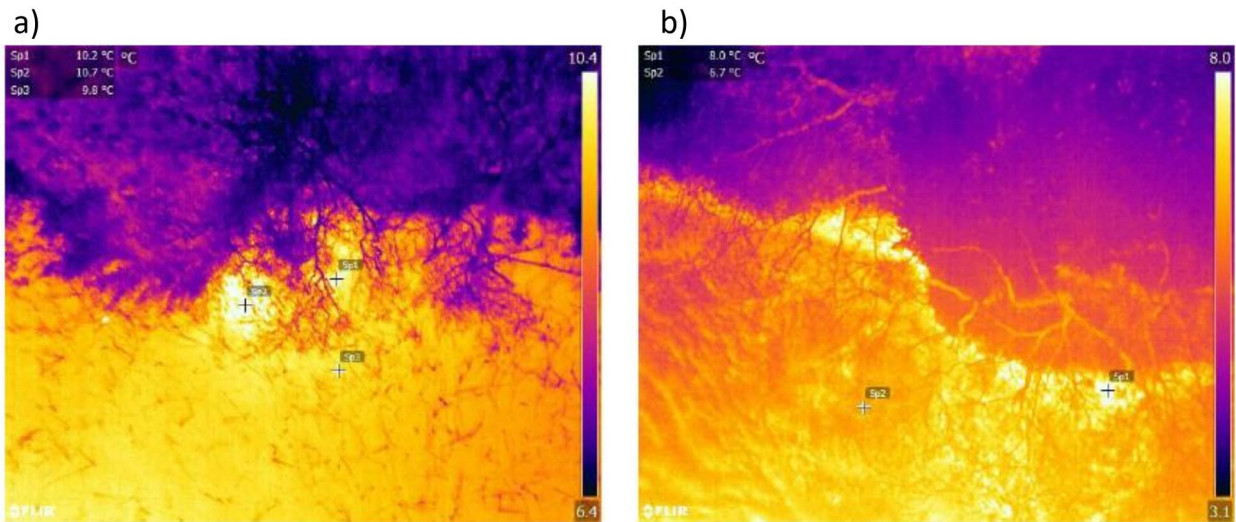


図4.2.7 新池東岸の湧水箇所2か所における熱赤外面像。(a)の湧水帯では中央の2か所(+)から湧出していた。(b)の湧水帯では湖岸に沿って広い範囲で湧出していた。画像右端に色と表面温度の対応関係を示した。また図中左上の水温は画像中の(+)地点の水温(補正前)と対応している。



2018/3/9 激しい雨の翌日に湧水のホットスポットを探索した

図4.2.8 新池で熱赤外面像により検出された湧水箇所(黄色丸印)。

地蔵谷津の谷頭では図4.2.9の空撮画像に示す通り、左上と真上からの二方向から湧水が流れ込んでいる。また、空撮画像では樹木の陰になり見えないが、右側からも湧水量の少ない湧水帯を目視で確認することができた。以上3か所の谷頭の湧水箇所が熱赤外面像でも水温の高い水の流れもしくは水域として識別できることが分かった(図4.2.9b)。また興味深いことに、目視では発見することの難しい、湧水量の少ない湧水帯が、左下や左上と真上の湧水の間にもあることが明らかとなった。一方、水温の高い湧水帯であっても、この谷津の調査時には湧水量が少なく、その湧水は流下するに従い急速に低温になっていることが分かった。

天神谷津においても谷頭に近いところで何か所か顕著に湧出している箇所を熱赤外面像から見つけることができた。目視でも湧水箇所と認識可能なものとしては、流入していないのに流出水の認められる畦脇の小川の最上流部などがあった(図4.2.10aの左下隅)。一方、目視では認識の難しい湧水箇所としては最も上流に位置する水田の中から湧水している現場を見つけることができた(図4.2.10a真ん中やや左上矢印先)。現場付近からの通常撮影写真(図4.2.10b)では何ら特徴的なものが写っていないが、地上からの熱赤外面像(図4.2.10c)でも、明らかに水田の中から湧水していることが分かった。

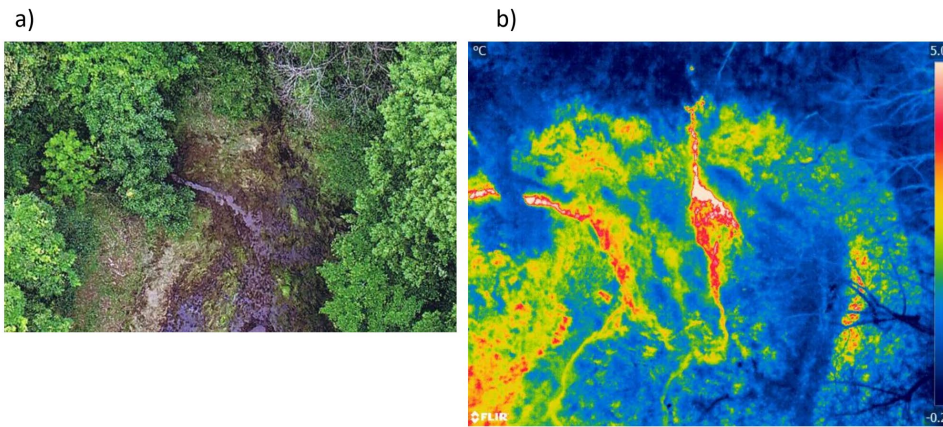


図4.2.9 地蔵谷津の谷頭の空撮画像 (a) と熱赤外面像 (b)。空撮画像は夏季に撮影したもの。

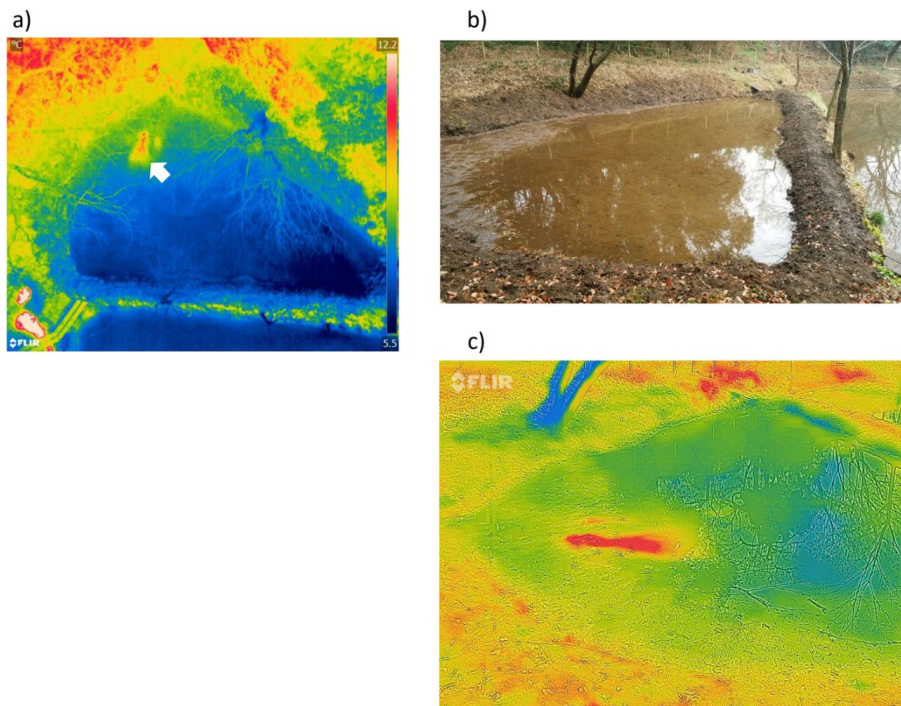


図4.2.10 天神谷津の谷頭のドローンによる熱赤外面像 (a)、地上からの通常撮影 (b)、地上からの熱赤外面像 (c)。bとcは同じ視点から撮影したものではないが、根元から二本に分かれた木と畔の位置関係から、対応関係の類推が可能。

4.3 霞ヶ浦流域の生態系サービス評価と生態系サービス間のトレードオフ・シナジーの抽出

50流域における生態系サービス10項目および在来魚の多様性の状態を、レーダーチャートによって可視化した(図4.2.11)。これにより、小流域単位で、サービスや生物多様性の状態を把握することができる。次に、これらの指標値のパターンから、トレードオフとシナジーを抽出するため、因子分析を行った。

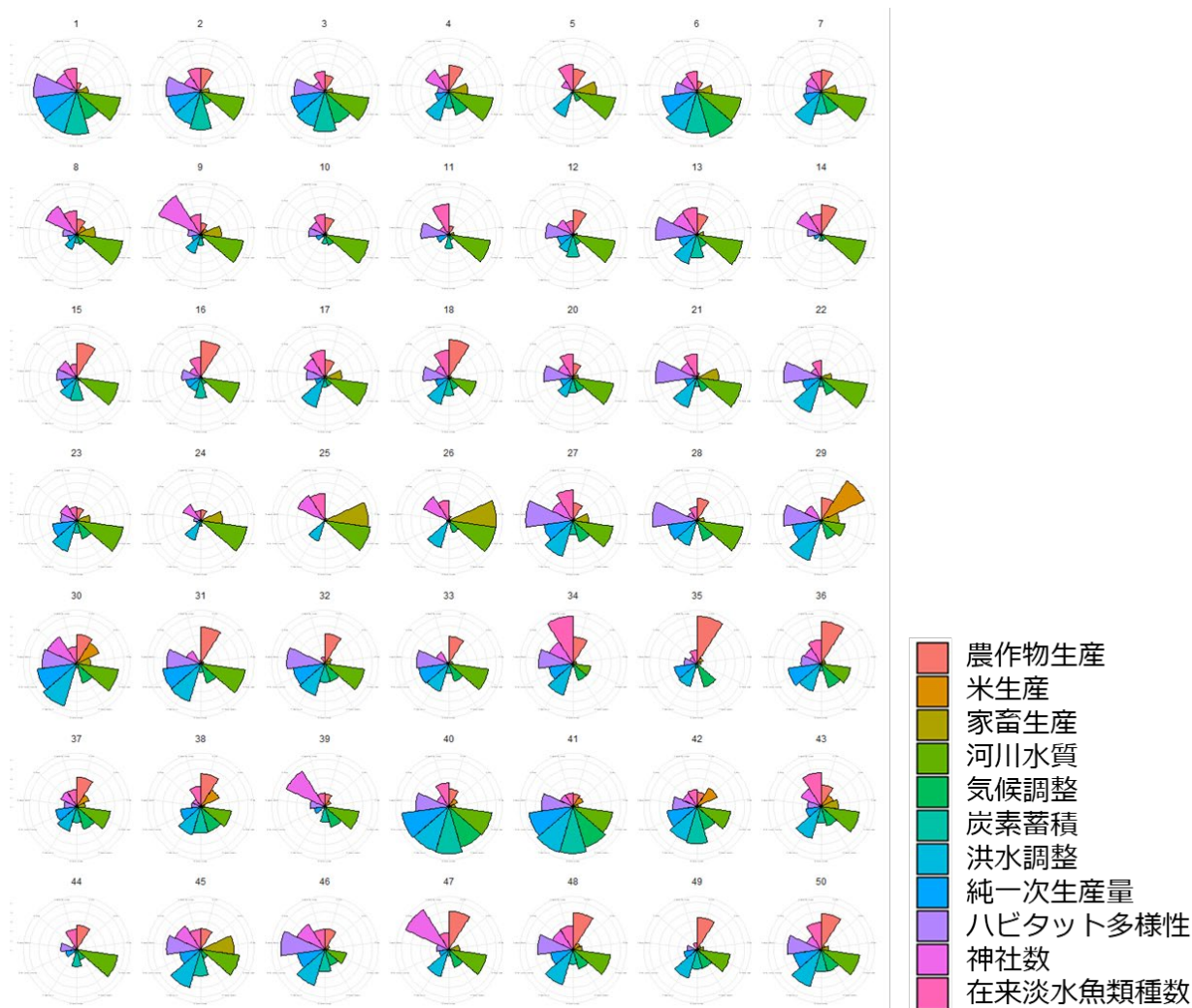


図4.2.11 霞ヶ浦50小流域の生態系サービス指標値のパターン。レーダーチャート上の番号は各小流域のID。各指標値は標準化している。

因子分析を行った結果、第1因子では、気候調整機能、洪水調整機能、炭素蓄積量、純一次生産量、ハビタットの多様性の5つのサービスのシナジーが抽出された（表4.2.1）。この因子1スコアを地図化した結果、このシナジー効果は主に筑波山域に分布していた（図4.2.12）。因子1スコアと森林面積率の間に正の相関が認められた（図4.2.12）。このシナジー効果を維持・促進するためには森林が重要な役割を果たすことが明らかとなった。気候調整機能や洪水調整機能が含まれることから、気候変動に対する適応の観点からも、森林域の保全・管理の必要性が示唆された。

第2因子では、農業生産の増加に対して、河川水質サービスが減少するトレードオフが抽出された。在来淡水魚類の多様性も、農業生産の増加に対し、減少する傾向が見られた。因子2スコアを地図化すると、空間的な偏りはなかったが、畑地率の高い流域に主に分布していた（図4.2.12）。また、農業生産と河川水質の関係を詳細にみると、農業生産が高いにも関わらず、水質が良い（ここでは硝酸態窒素濃度が低い）小流域も見つかったことから（図4.2.12のオレンジの矢印）、「Win-Win流域」が存在する可能性が示唆された。

最後に、因子3では、米生産のみ抽出され、他の生態系サービスとの関係は見られなかった。また、畜産サービスである豚頭数、文化的サービスである神社数も他とのサービスと強い関係性は見られなかった。

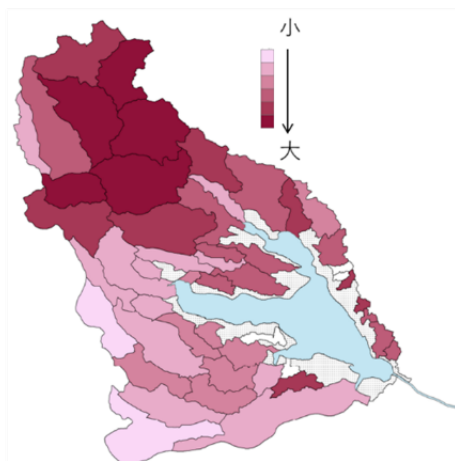
因子分析の結果、霞ヶ浦流域で生じているトレードオフやシナジーのパターンを地図化・可視化することができた。しかし、文化的サービスについては、レクリエーションや景観などそのほとんどが本研究では評価できていない。今後、こうしたサービスを定量する手法を開発するとともに、シナジーや

トレードオフの詳細なメカニズムの解明が不可欠ある。

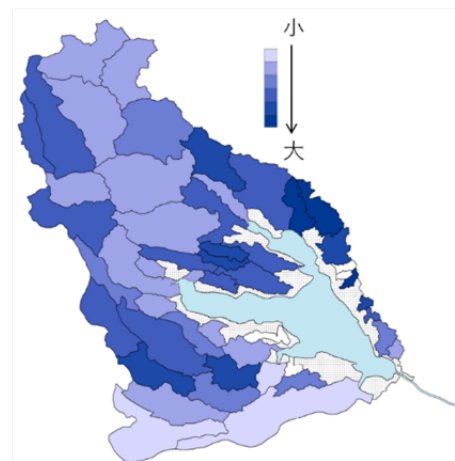
表4.2.1 生態系サービス・生物多様性の指標値を用いた因子分析の結果。0.45以上のスコアを太字で示した。

生態系サービス・多様性	因子1	因子2	因子3
農作物生産（畑面積）	0.06	0.73	0.19
米生産（水田面積）	-0.02	-0.21	-0.98
畜産（豚頭数）	0.22	0.43	0.04
河川水質（硝酸態窒素濃度）	-0.01	0.62	0.19
気候調整（年間夏日数）	-0.73	-0.36	-0.17
炭素蓄積量	0.65	-0.43	0.34
洪水調整（不浸透面積）	-0.81	-0.16	0.27
純一次生産量	0.91	0.24	0.27
ハビタットの多様性（里山指標）	0.62	0.11	0.19
神社数	-0.18	-0.06	-0.31
在来魚類の多様性	-0.16	-0.49	0.05

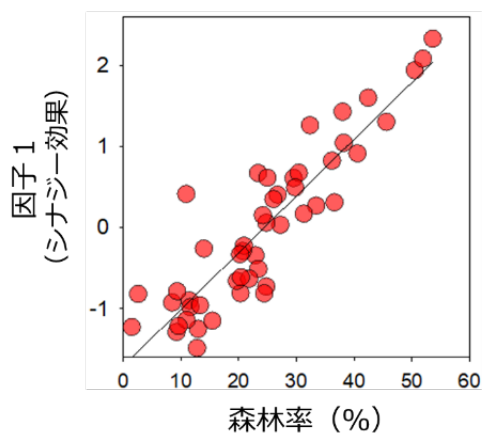
(A) 調整・基盤サービスのシナジー



(B) 農業と水質のトレードオフ



(C)



(D)

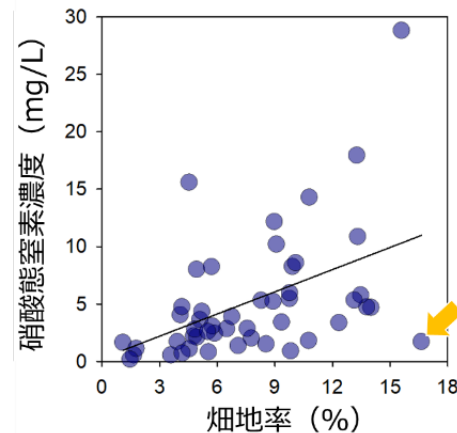


図4.2.12 (A) 因子分析によって特定された調整・基盤サービスのシナジー（因子1を地図化）の空間分布。(B) 因子分析によって特定されたトレードオフ（因子2を地図化）の空間分布。(C) 森林率と因子1スコアの関係。(D) 畑地率と硝酸態窒素濃度（オレンジ色の矢印は、畑地率が高いにも関わらず硝酸態窒素濃度が低いWin-Win流域の一つを指す）。

4.4 Win-Win流域の特定と特徴

上記4.3の解析から、農業生産が高いにも関わらず硝酸態窒素濃度が低い「Win-Win流域」も含まれたことから、各流域の「Win-Win度合い」を算出し、「Win-Win度合い」小流域の特徴を調べた。Model averaging法を用いた解析の結果、調査年や季節にかかわらず、湿地面積がWin-Win度合いのばらつきを説明する最も重要な要因であった（表4.2.2）。その他の要因の貢献度は相対的に小さかった。

表4.2.2 Win-Win度合のばらつきを説明する要因の特定。Model averagingによる各変数の相対的重要性を示しており、1に近いほど変数の重要性が高い（0.9以上の値を太字で示した）。

説明変数	2016年 7月	2017年 1月	2017年 7月	2018年 1月	2018年 7月
湿地面積 (%)	1.00	1.00	0.92	1.00	0.97
水田面積 (%)	0.30	0.45	0.28	0.69	0.26
放棄水田 (%)	0.44	0.33	0.23	0.26	0.38
溶存有機炭素 (mgC/L)	0.33	0.45	0.63	0.58	0.35
流域面積 (km ²)	0.32	0.29	0.27	0.27	0.38

湿地面積が増えると、Win-Win度合いが有意に高まることがわかった（図4.2.13）。つまり、農業生産が高い小流域でも、湿地面積が高い場合には、硝酸態窒素濃度が低くなることがわかった。また、湿地数よりも湿地面積率のほうがよりWin-Win度合いのばらつきを説明できていたことから、ある程度の大きさをもつ湿地が重要な役割を果たすことも明らかとなった。

いずれの調査時期でも、湿地面積の大きい2つの小流域がWin-Win度合いに影響している可能性が考えられたため、この2つの小流域を除外して解析も行った。その結果、この2つの小流域を除外しても、2018年1月以外は、湿地面積とWin-Win度合いの関係は統計的に有意であった。流域スケールにおいて、ため池などの湿地の水質浄化機能を高めるには、流域内にある程度の面積（2～7%）が必要であると先行研究でも指摘されている。このことから、上記2つ小流域は、外れ値というよりは、むしろ、高い湿地面積を含むこれらの小流域では、流域スケールで高い水質浄化機能が発揮された結果と考えられる。本研究からは、流域内に湿地が2～3%以上含まれることにより、農業生産と水質のトレードオフを緩和できる可能性が示唆された。

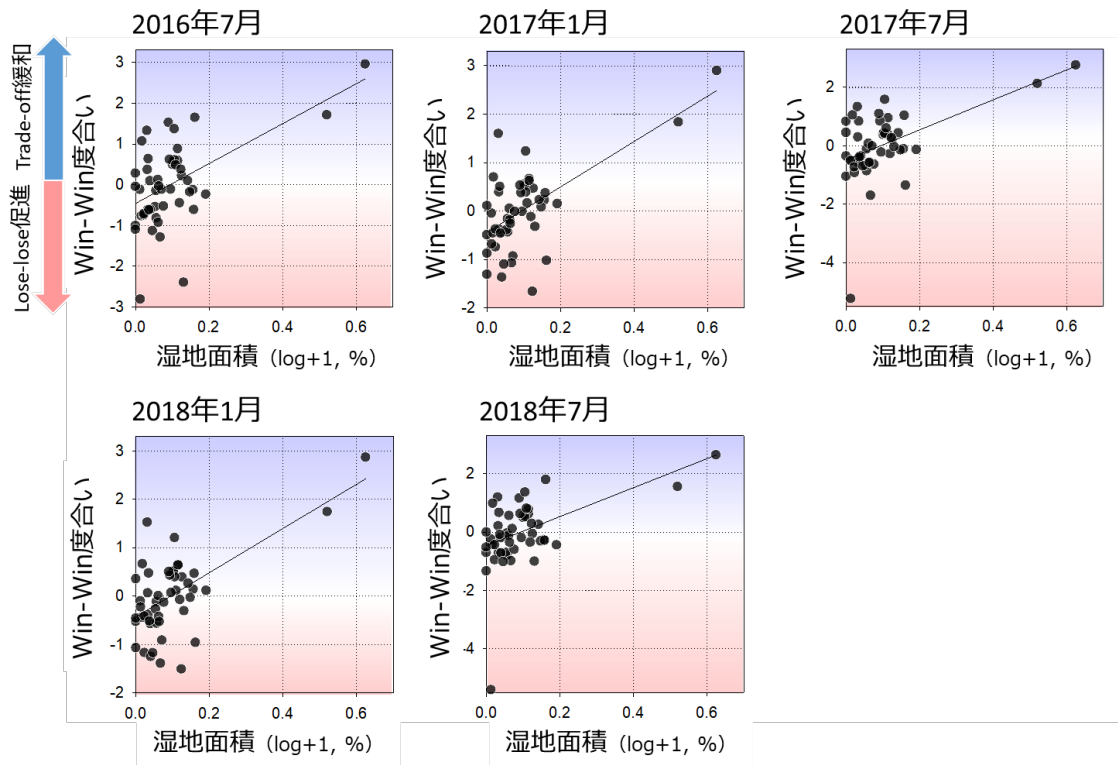


図4.2.13 各小流域のWin-Win度合いと湿地面積率（log+1変換）の関係。

夏・冬ともに最もWin-Win度合いが高かった31番流域は、3つ連なるため池を含み湿地面積率が最も高いという特徴を持っていた（図4.2.14）。この小流域における湿地の水質浄化機能を詳細に調べるため、2017年8月に、農地の台地面の地下水、ため池に流入する湧水、ため池からの流出水を採水し、それらの硝酸態窒素濃度を測定し、比較した。その結果、地下水と湧水では高濃度の硝酸態窒素濃度が検出されたに対し、ため池の流出水の硝酸態窒素濃度は非常に低かった（図4.2.14）。ため池では、水の滞留時間が長くなり、脱窒や栄養塩吸収等のプロセスを通じて硝酸態窒素濃度が減少していることが示唆された。

ため池の水質浄化機能が農業生産と水質のトレードオフを緩和する可能性が示唆されたが、霞ヶ浦流域では、ため池は多くないことに加え、新たにため池を建造することは難しい。近年、谷津奥に放棄された水田が広がっていることから、これらを積極的に活用することで、湿地の代替機能を果たすことが期待できる。今後、放棄水田をどのように活用していくか、研究を進める必要がある。

また、湿地は、水質浄化だけではなく、気候緩和、生物の生息場所、治水等の様々な機能を有する。平成28年度行方市環境基本計画によれば、上述した31番流域に含まれるため池の一つは、生物多様性保全の場また自然観察の場として重要であるとされている。湿地の多面的機能を定量的に評価し、流域の持続的な生態系サービス管理につなげていく必要がある。

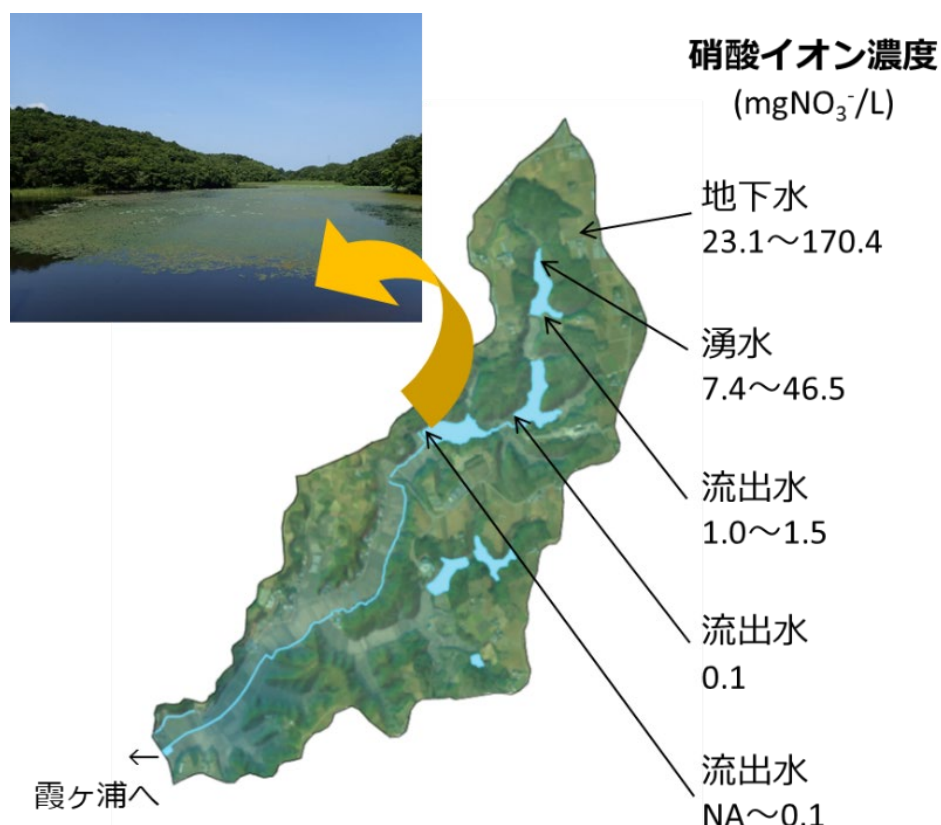


図4.2.14 Win-Win度合いが最も高かった31番流域における地下水、湧水、ため池流出水の硝酸態窒素濃度。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

環境DNAを用いた流域の生物多様性評価手法の開発

流域の魚類相調査の手法として環境DNAを導入し、多様性の把握を実現しただけでなく、絶滅危惧IB種であるアカヒレタビラなどの保全上重要な種の分布を新たに把握できた。また、環境DNAの採集を時空間的に繰り返して行うことで、より高い精度で魚類相を把握できることを明らかにした。

ベンザルコニウム塩化物が環境DNAの保存に与える影響について、単一魚種を検出するqPCRではなく、魚種多様性を検出するメタバーコーディングにおいて有効であることが明示的に示された。また、一般に市販されている商品でもベンザルコニウム塩化物の効果が確認されたことで、誰でも入手しやすい商品を用いてより精度の高い多様性調査結果が得られることを示すことができた。

本研究の成果により、推定された種の事後占有確率に基づき偽陰性による種多様性評価のバイアスを補正できるようになっただけでなく、DNAメタバーコーディングによる種検出の過程そのものを検出確率の観点から特徴付け、適切なサンプリングデザインを検討することが可能となった。これらの成果は、湿地を含む水域一般における、環境DNA解析に基づく生物多様性の定量評価を厳密かつ効率的に行う上で有効な解析基盤を提供するだろう。また、環境DNAメタバーコーディングにおいては偽陰性のみならず、コンタミネーションやシーケンスエラーなどに由来する偽陽性も生じ得るが、本研究で提案したモデルをさらに拡張することで、偽陰性に加えて偽陽性を調整するための枠組みを構築できる可能性がある。このように、本研究の成果は、観測誤差に頑健な環境DNAメタバーコーディングの実現につながることを期待される。

ドローンを用いた熱赤外撮影による湿地内の地下水探索技術の開発

調査したどの谷津の谷頭からも複数の湧水箇所のあることが分かった。湧水はたとえ隣接していたとしても、周辺地質や土地利用の多様性を反映して、その水質が大きく異なることは珍しいことではない。今後、谷津からの湧出水の水質の変化をモニタリングし、気候変動下での予測を議論する上で、谷頭の多様な湧水を網羅的に検出し、その水質を評価するための湧水探索技術の向上は必要不可欠である。今回紹介したドローンの熱赤外撮影はそうした点に大きな貢献が可能な技術になりうることが確認できた。

霞ヶ浦流域の生態系サービス評価と生態系サービス間のトレードオフ・シナジーの抽出

モデル流域として霞ヶ浦流域の生態系サービス評価を行ったが、一部の小流域ではなく「全域」を対象としたことで、生態系サービス指標間で生じるシナジーやトレードオフの関係を明らかにした成果は、流域管理の根拠となる知見といえる。

これまでの先行研究の多くが、生態系サービス間で生じるトレードオフの検出にとどまっていたのに対し、本研究では、トレードオフの緩和、Win-Win関係の創出という点で、新しい知見を提供したといえる。特に、トレードオフ関係の残差に注目しWin-Win度合いを評価したアプローチは、農業生産と水質の関係にとどまらず、様々な生態系サービス間の関係分析に汎用可能であり一般性の高い手法である。

湿地の水質浄化機能はよく知られているが、流域スケールでのその効果を検証した研究は多くない。本研究では、Win-Win度合いと湿地率の関係を調べることで、畑地面積の傾度にそって流域スケールの湿地の水質浄化機能を評価した。その結果、湿地が2~3%あれば、農業生産と水質のトレードオフを緩和できる可能性が示唆された。目標となる数値を定量的に示した点は、今後、湿地の保全・再生や放棄水田の湿地化などを行う上で、非常に有効である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・環境省モニタリングサイト1000事業を（陸水域調査）に関する諸委員会に参加し、湖沼の生物多様性調査・評価について本研究の成果を踏まえた助言を行った（松崎・高村）。
- ・環境省「絶滅危惧種分布重要地域抽出のための環境DNA分析技術を用いた淡水魚類調査手法の標準化・一般化に関する検討会」に出席し、本研究の成果を提供した（今藤・松崎・深谷）。
- ・第17回世界湖沼会議（2018年10月つくば市）の開催にあたり、茨城県が霞ヶ浦の生態系サービス経済評価を実施。その経済評価の基盤となるデータを提供した（松崎・高津）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・霞ヶ浦50流域の生態系サービス評価に関する成果は、茨城県が開催する勉強会や講演会で発表している。また茨城県環境科学研究センターと生態系サービスに関する共同研究を継続して実施していることから、今後、茨城県の施策等を議論する際に活用されることが期待される。
- ・環境省「絶滅危惧種分布重要地域抽出のための環境DNA分析技術を用いた淡水魚類調査手法の標準化・一般化に関する検討会」の開催と合わせて、環境省生物多様性センター、農林水産省農村振興局、農研機構、水産研究・教育機構、国交省水局河川環境課、土木研究所、国立環境研究所、環境DNA学会等が集まるラウンドテーブルに参加していることから、今後、環境DNA手法の標準化、照合データベースの共有、データのオープン化などについて議論を進める際に、本研究の成果が活用されることが見込まれる。

6. 国際共同研究等の状況

松崎は、2018年8月から2019年8月まで米国ウィスコンシン大学マディソン校の陸水学センター

(Center for Limnology, University of Wisconsin-Madison) に滞在し、本研究課題の成果について発表を行った。また、農地景観を含む流域の生態系サービス評価や管理について議論を行い、研究ネットワークを構築した。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) SS. MATSUZAKI, K. SUZUKI, T. KADOYA, M. NAKAGAWA and N. TAKAMURA: Ecology 99, 2025-2036 (2018) Bottom up linkages between primary production, zooplankton, and fish in a shallow, hypereutrophic lake.
- 2) SS. MATSUZAKI, R. SHINOHARA, K. UCHIDA and T. SASAKI : Journal of Applied Ecology 56, 843-854 (2019) Catch diversification provides multiple benefits in inland fisheries.
- 3) SS. MATSUZAKI, A. KOHZU, T. KADOYA, M. WATANABE, T. OSAWA, K. FUKAYA, K. KOMATSU, N. KONDO, H. YAMAGUCHI, H. ANDO, K. SHIMOTORI, M. NAKAGAWA, T. KIZUKA, A. YOSHIOKA, T. SASAI, N. SAIGUSA, B. MATSUSHITA and N. TAKAMURA: Ecosphere 10,11, e02918 (2019) Role of wetlands in mitigating the tradeoff between crop production and water quality in agricultural landscapes.
- 4) Y. HIRANO, N. KIDERA, NI. KONDO and J. NISHIHIRO: Ichthyological Research (in press) Habitat characteristics and size structure in a population of an endangered lamprey, Lethenteron sp., in an urbanized area of Japan.

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 今藤夏子、松崎慎一郎：水環境学会誌、41, 137-140 (2018)
「霞ヶ浦における定置網と環境DNAを用いた魚類調査と種多様性の比較(特集「水環境における環境DNAを用いた生物モニタリング)」」
- 2) 今藤夏子：国立環境研究所ニュース、38, 3-5 (2019)
「環境DNAが広げる生物多様性モニタリングの時空間」
- 3) 松崎慎一郎：地球環境研究センターニュース、第349号, 202001_349006 (2020)
「湿地による農業生産と水質のトレードオフの緩和」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) SS. MATSUZAKI, K. KOMATSU, A. KOHZU, N. TOMIOKA, R. SHINOHARA, K. SHIMOTORI, R. UENO, N.KONDO, H. YAMAGUCHI, T. KADOYA, H. ANDO, M. NAKAGAWA, K. TOTSU, A. IMAI and N. TAKAMURA: Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON) 19, New Paltz, New York, USA, 2017
“Long-term monitoring of Lake Kasumigaura, Japan: a 40 year legacy and looking to the future.”
- 2) J. STOCKWELL, O. ANNEVILLE, V. PATIL, R. ADRIAN, L. CARVALHO, C.W. CHANG, G. DUR, CH. HSIEH, M. LAJEUNESSE, A. LEWANDOWSKA, S. JACQUET, SS. MATSUZAKI, J.A. RUSAK, N. SALMASO, F. SCHMITT, T. SELTMANN, S. SOUISSI, D. STRAILE, S. THACKERAY and P. VENAIL: Global Lake Ecological Observatory Network (GLEON) 19, New Paltz, New York, USA, 2017
“GLEON Storm-Blitz: An update from the GEISHA group on the links among storms, lake physics, and phytoplankton community dynamics.”

- 3) 松崎慎一郎：日本長期生態学研究ネットワーク (JaLTER) Open Science Meeting (2017)
「霞ヶ浦の生態系機能・サービス研究—モニタリングデータのフル活用」
- 4) SS. MATSUZAKI: Marine/Freshwater Biodiversity and Ecosystem Services Workshop organized by Kanto Branch of Ecological Society of Japan, Tokyo, Japan, (2018)
“Relationships among multiple ecosystem services in an agricultural watershed: finding a win-win management strategy.”
- 5) 松崎慎一郎、高津文人、今藤夏子、渡邊未来、角谷拓、大澤剛士、山口晴代、安藤温子、小松一弘、霜鳥孝一、中川恵、中嶋信美、吉岡明良、佐々井崇博、三枝信子、松下文経、高村典子：第65回日本生態学会 (2018)
「霞ヶ浦流域で生じる生態系サービス間のトレードオフとそれを緩和する保全策の検討」
- 6) 小関右介、松崎慎一郎：第65回日本生態学会 (2018)
「安定同位体比を用いた米魚同時栽培水田の物質フロー解析」
- 7) 今藤夏子、松崎慎一郎、角谷拓、山口晴代、安藤温子、中嶋信美、高津文人、渡邊未来、小松一弘、霜鳥孝一、中川恵、伊藤洋、大澤剛士、三枝信子、高村典子：第65回日本生態学会 (2018)
「霞ヶ浦流域河川における環境 DNA を用いた魚類の種多様性評価」
- 8) 高津文人、渡邊未来、小松一弘、松崎慎一郎、角谷拓、今藤夏子、山口晴代、安藤温子、中川恵、霜鳥孝一、今井章雄、大澤剛士：第52回日本水環境学会年会 (2018)
「台地浸透水起源の湧水で涵養されたため池での栄養塩類濃度の低減効果について」
- 9) 高村典子、松崎慎一郎：日本陸水学会第83回大会 (2018)
「霞ヶ浦長期生物モニタリングの今後を考える」
- 10) 角谷拓、鈴木健大、山口晴代、松崎慎一郎：日本陸水学会第83回大会 (2018)
「次世代型生態系観測の展開と活用？ 群集生態学から気候変動モニタリングまで」
- 11) 今藤夏子、松崎慎一郎、角谷拓、山口晴代、安藤温子、中川恵、伊藤洋、牧野渡、高村典子：日本陸水学会第83回大会 (2018)
「メタゲノム解析を用いたワカサギの食性に関わる要因の解析」
- 12) 高村健二、今藤夏子：日本陸水学会第83回大会 (2018)
「水草帯と底生ラン藻帯のベントス相がくっきりと分れる」
- 13) 今藤夏子、上野隆平、佐竹潔、吉田勝彦：第1回環境 DNA 学会東京大会 (2018)
「小笠原父島における環境 DNA を用いた河川の魚類相調査」
- 14) K. KOMATSU, A. KOHZU, SS. MATSUZAKI, M. NAKAGAWA, N. TOMIOKA, R. UENO, R. SHINOHARA and K. TSUCHIYA: the 17th World Lake Conference, (2018)
“What the monitoring data tell us in Lake Kasumigaura.”
- 15) A. KOHZU, SS. MATSUZAKI, K. KOMURO, S. MATSUMOTO, K. KOMATSU, N. TAKAMURA, M. NAKAGAWA, A. IMAI and T. FUKUSHIMA: the 17th World Lake Conference, Tsukuba, Ibaraki, 2018
“Regime shift analysis for understanding the water quality dynamics in Lake Kasumigaura.”
- 16) N. TAKAMURA and SS. MATSUZAKI: the 17th World Lake Conference, Tsukuba, Ibaraki, 2018
“Current status of and future research on biodiversity assessment and ecosystem conservation in Japanese lakes.”
- 17) T. KITAMURA, SS. MATSUZAKI, T. KUBO, H. YAMANO, K. NISHI, S. KOUFUKU, K. KIKUCHI, N. YOSHIMURA, S. MATSUMOTO and T. FUKUSHIMA: the 17th World Lake Conference, Tsukuba, Ibaraki, 2018
“Economic Evaluation of Ecosystem Services of Lake Kasumigaura and Issues with the Evaluation Method.”
- 18) 高村健二、今藤夏子：第29回ユスリカ研究集会 (2018)
「琵琶湖南湖湖底の水草帯と糸状ラン藻帯のベントス比較」
- 19) 平野佑奈、木寺法子、今藤夏子、西廣 淳：第67回魚類自然史研究会 (2018)
「スナヤツメ孤立個体群の生息環境と存続可能性の検討」

- 20) 平野祐奈、木寺法子、今藤夏子、西廣淳：応用生態工学会第22回東京大会（2018）
「谷津の小河川におけるスナヤツメ孤立個体群の生息環境と存続可能性の検討」
- 21) 深谷肇一：第34回個体群生態学会大会（2018）
「マルコフモデルによる群集動態の推測：推移確率・状態の不確実性・密度依存性」
- 22) K. TSUCHIYA, K. KOMATSU, R. SHINOHARA, A. IMAI, S. MATSUZAKI and K. Kohzu: The Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO) 2019 Aquatic Science Meeting, Pueruto Rico, 2019
“Spatial variations in contributions of Methane-derived carbon to Chironomid larva and Oligochaeta in shallow, eutrophic Lake Kasumiguara, Japan.”
- 23) S. MATSUZAKI, R. SHINOHARA, K. UCHIDA and T. SASAKI: The Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (ASLO) 2019 Aquatic Science Meeting, Pueruto Rico, 2019
“Catch diversification provides multiple benefits in inland fisheries.”
- 24) 深谷肇一、今藤夏子、角谷拓：中央水研・国環研交流シンポジウム 数理・統計モデルを用いて環境保全・資源管理の問題を検討する（2019）
「環境 DNA メタバーコーディングのための多種サイト占有モデルとサンプリングデザインの最適化」
- 25) K. FUKAYA: ISM Symposium on Environmental Statistics 2019, Tokyo, Japan, 2019
“Integrating multiple sources of ecological data to estimate abundance of a number of species at geographic scales.”
- 26) 平野祐奈、木寺法子、今藤夏子、西廣淳：第66回日本生態学会大会（2019）
「スナヤツメ孤立個体群の生息環境とサイズ構造：個体群間比較による持続性評価」
- 27) 西廣淳、KimJi Yoon、加藤大輝、大槻順朗、高津文人：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「グリーンインフラとしての谷津奥部の湧水湿地」
- 28) 今藤夏子、平野祐奈、木寺法子、深谷肇一、角谷拓、松崎慎一郎：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「湿地調査における環境 DNA の活用と課題」
- 29) 角谷拓、松崎慎一郎、今藤夏子、高津文人：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「流域生態系サービスのトレードオフとその緩和」
- 30) 深谷肇一、今藤夏子、角谷拓：第66回日本生態学会大会（2019）
「多変量計数データの多種サイト占有モデリングと環境 DNA メタバーコーディングへの応用」
- 31) 小関右介、松崎慎一郎：第66回日本生態学会（2019）
「米魚同時栽培水田における水界食物網構造と物質フロー」
- 32) 小松一弘、富岡典子、松崎慎一郎、高津文人、土屋健司、今井章雄、珠坪一晃、中川恵、早川和秀、永田貴丸：第53回日本水環境学会年会（2019）
「琵琶湖と霞ヶ浦における一次生産の分布と時系列変化」
- 33) 三浦真吾、高津文人、小松一弘、土屋健司、今井章雄：第53回日本水環境学会年会（2019）
「ドローン採水時のダウンウォッシュと機体直下の水塊構造の関係」
- 34) 北村立実、福島武彦、松崎慎一郎、西浩司、久保雄広、山野博哉、幸福智、菊池心、吉村奈緒子：第53回日本水環境学会年会（2019）
「選択型実験による生態系サービスの経済価値の検討」
- 35) 菊池哲郎、高津文人、松本俊一、福島武彦：第53回日本水環境学会年会（2019）
「安定同位体比及び土地利用データに基づく北浦北部流域における面源系窒素排出負荷原単位の推定」
- 36) 深谷肇一：統計数理研究所共同利用研究集会 生態データ統計モデルの包括的推進：個体群・群集・

行動 (2019)

「環境 DNA メタバーコーディングにおける検出誤差を踏まえた種分布・多様性評価」

- 37) NI. KONDO, SS. MATSUZAKI, T. KADOYA, H. YAMAGUCHI, H. ANDO, M. NAKAGAWA, HI. ITO, W. MAKINO and N. TAKAMURA: International Barcode of Life (iBOL) 2019 Conference, Trondheim, Norway, 2019

“Measuring quantitative preferences to diet species by comparing gut contents and environments in numbers of DNA sequence reads from metabarcoding.”

- 38) Y. HIRANO, N. KIDERA, N. KONDO and J. NISHIHIRO: 2019 Annual Meeting, Ecological Society of America, Kentucky, USA, 2019

“Influence of channel fragmentation in agricultural ecosystem on threatened lamprey, *Lethenteron* sp.”

- 39) 深谷肇一：第2回環境DNA学会神戸大会 (2019)

「環境DNAの基礎的情報の必要性と展望：定量的アプローチの視点から」

- 40) 松崎慎一郎、高津文人、角谷拓、大澤剛士、渡邊未来、今藤夏子、深谷肇一、山口晴代、小松一弘、安藤温子、霜鳥孝一、中川恵、吉岡明良、佐々井崇博、三枝信子、松下文経、高村典子：第67回日本生態学会大会 (2020)

「霞ヶ浦流域の生態系サービス・生物多様性間の関係：シナジー促進とトレードオフ緩和」

- 41) 今藤夏子、亀山哲、松崎慎一郎、上野隆平、佐竹潔、吉田勝彦：第67回日本生態学会大会 (2020)

「小笠原父島河川における環境DNAを利用したウナギ属種の検出。第67回日本生態学会大会」

- 42) 深谷肇一：第67回日本生態学会大会 (2020)

「生態過程と観測過程のモデル化：応用生態学のための階層モデル」

(3) 知的財産権

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) 国立環境研究所一般公開シンポジウム 春の環境講座「湖の生物と環境を調べる～湖の生態系保全に向けて～」(主催：国立環境研究所、平成29年4月22日、国立環境研究所大山ホール、総入場者数597名)にて研究の紹介等(発表者：松崎慎一郎)
- 2) 国立環境研究所一般公開シンポジウム 夏の大公開「来てみて触ってエコチャレンジ！」(主催：国立環境研究所、平成29年7月22日、国立環境研究所大山ホール、聴講者約100名)にて研究成果の紹介等(発表者：今藤夏子)
- 3) 市民フォーラム「里山グリーンインフラの可能性」(主催：東邦大学理学部 野生生物保全研究センター、平成29年12月17日、東邦大学薬学部C101、聴講者約200名)にて、研究成果に関する講演(発表者：高津文人)
- 4) Cafe 自愉時間 vol. 33 (サイエンスカフェ)にて研究成果の紹介(講演タイトル「汲んだ水で生き物探し」)(主催：自愉企画、平成30年2月4日、North Lake Cafe & Books、聴講者約15名)(発表者：今藤夏子)
- 5) 国立環境研究所第33回全国環境研究所交流シンポジウム「平時/緊急時モニタリング」(主催：国立環境研究所、平成30年2月15日、国立環境研究所大山ホール、総入場者数5486名)にて研究成果の紹介等(発表者：今藤夏子、松崎慎一郎)
- 6) 日本技術士会茨城県支部・霞ヶ浦研究会共催「生態系サービスを学ぶ～第17回世界湖沼会議に向けて～」にて研究成果の紹介等(主催：日本技術士会茨城県支部・霞ヶ浦研究会、平成30年3月10日、土浦市国民宿舎水郷 霞浦の湯、聴講者約100名)(発表者：松崎慎一郎)
- 7) 第21回自然系調査研究機関連絡会議(NORNAC21)(平成30年11月29日、ミュージアムパーク茨城県自然博物館)にて基調講演「湖沼・流域の生態系の評価と保全」(発表者：角谷拓)
- 8) 第34回全環研交流シンポジウム「気候変動影響とその適応へのアプローチ」(2019年2月、つく

ば、参加者150名程度)において、「陸域・陸水生態系への気候変動影響と適応」(発表者:角谷拓)と題し研究成果を紹介。

- 9) 第22回自然系調査研究機関連絡会議(NORNAC22)(2019年11月7日、福井県立三方青年の家)において「DNAバーコードを利用した霞ヶ浦におけるワカサギの食性解析」(発表者:今藤夏子)と題し研究成果を紹介。
- 10) 猿払イトウ保全協議会 設立10周年記念講演in東京(2019年11月1日)において、「見えないけれどそこにいる～環境DNAで生きものを探す」(発表者:今藤夏子)と題し研究成果を紹介。
- 11) Cafe 自愉時間 vol. 57(サイエンスカフェ)にて研究成果の紹介(講演タイトル「湖を横から見る」)(主催:自愉企画、令和2年2月1日、North Lake Cafe & Books、聴講者18名)(発表者:松崎慎一郎)
- 12) 第35回全環研交流シンポジウム「変わりゆく環境・生態系・人の関わりを考える」(2020年2月、つくば、参加者150名程度)において、「複数の浅い湖沼での底層の貧酸素化—高頻度 DO ロガーデータから読み取れること」(発表者:高津文人)と題し研究成果を紹介。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞(2019年12月5日、夕刊)「生態系の変化 長期観測で究明(茨城・霞ヶ浦 ワムシ類の量 漁獲に影響)」

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) Miya, M., Sato Y., Fukunaga T., Sado T., Poulsen J., Sato K., Minamoto T., Yamamoto S., Yamanaka H., and Araki H. (2015) MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society open science* 2: 150088.
- 2) Sasai, T., Saigusa N., Nasahara K. N., Ito A., Hashimoto H., Nemani R., Hirata R., Ichii K., Takagi K., and Saitoh T. M. (2011) Satellite-driven estimation of terrestrial carbon flux over Far East Asia with 1-km grid resolution. *Remote sensing of environment* 115: 1758-1771.
- 3) Sato, Y., Miya M., Fukunaga T., Sado T., and Iwasaki W. (2018) MitoFish and MiFish pipeline: a mitochondrial genome database of fish with an analysis pipeline for environmental DNA metabarcoding. *Molecular biology and evolution* 35: 1553-1555.
- 4) Tanabe, A. S., and Toju H. (2013) Two new computational methods for universal DNA barcoding: a benchmark using barcode sequences of bacteria, archaea, animals, fungi, and land plants. *PloS one* 8.
- 5) Yang, F., Matsushita, B. and Fukushima, T. (2010) A pre-screened and normalized multiple endmember spectral mixture analysis for mapping impervious surface area in Lake Kasumigaura Basin, Japan. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65: 479-490.
- 6) Yoshioka, A., Fukasawa K., Mishima Y., Sasaki K., and Kadoya, T. (2017) Ecological dissimilarity among land-use/land-cover types improves a heterogeneity index for predicting biodiversity in agricultural landscapes. *Ambio* 46: 894-906.

II-3 全国規模の湿地・植生データベースの作成

北海道大学北方生物圏フィールド科学センター植物園 富士田 裕子
 北海道大学総合博物館 首藤 光太郎（令和元年度）
 <研究協力者>

大韓民国 国立樹木園、DMZ自生植物園 李 娥英（平成29年度～平成30年度）
 北海道オホーツク総合振興局西部森林室 小林 春毅
 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 倉 博子（平成30年度～令和元年度）
 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター 孫 仲益（令和元年度）

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額）： 31,200千円（研究経費は間接経費を含む）
 （平成29年度：10,400千円、平成30年度：10,400千円、令和元年度：10,400千円）

[要旨]

湿地の生物多様性の損失は21世紀に入ってもなお進行しており、大きな社会的損失を招いている。湿地を緊急かつ効果的に保全・再生するためには、湿地に関する情報の整備は必須である。全国規模での湿地目録は、1995年に環境省が作成したが、調査精度などに様々な課題が残され、調査からすでに25年が経過し現状を反映しているとは言えない。

そこで本課題は、日本における湿地の保全・再生の科学的基盤となる全国規模での湿地のデータベースを作成することを目的とした。具体的には、日本国内の湿地について、湿地の植物相、植生など植物に関する既存文献を収集し、これらを基に、泥炭地湿原、沼沢地・湿地、湿地林、湧水湿地、塩性湿地、マングローブ林を対象としたデータベースを作成する。湿地に関する専門家が一定の基準を設定して作業を進めることで、より現実を反映した利用価値の高いデータベースにすることを目標とした。作成したデータベースは、湿地文献データベース、湿地データベース（位置情報を付与した湿地目録）、湿地植物データベース（収集文献による湿地の植物の分布記録）の3つサブデータベースから構成される。収集した文献の内容を検討し、入力価値の高いものから湿地植物データベースに入力した。入力完了後、ArcGIS上で各種空中写真や地形図を利用して湿地の探索と特定を行い、ポイントデータを作成し、湿地IDと湿地の名称を決定した。3つのデータベースは、利用者の利便性や多様な活用を念頭に、湿地IDや文献IDによって連動する形で設計した。

収集した文献のうち湿地文献データベースに掲載した総文献数は2,058となった。調査年代別の文献数は1970年代が最大、その後、徐々に文献数が減少し、2000年以降の調査が激減していた。これは、湿地の保全に不可欠な近年の科学的データが不足していることを示している。湿地IDを作成した湿地は804カ所で、陸域湿地面積や本研究の湿地の定義に該当するかを検討した後、湿地データベースに掲載したのは692カ所となった。湿地植物データベースのレコード数は約10万件となった。このデータベースを用い、保全上重要な植物種の分布情報の抽出、保全優先湿地の絞り込み、さらには湿地の保全や再生の立案への活用などが可能となり、今後の湿地に関する環境行政への貢献が期待される。なお、作成したデータベースは、保全上、支障のないものについては2020年3月に公開した。

[キーワード]

湿地目録、GISポイントデータ、湿地文献データベース、湿地植物データベース

1. はじめに

21世紀に入ってもなお、開発や気候変動等の影響により、湿地の喪失と湿地生態系の劣化、生物多様性の損失が世界的に進行し、大きな社会的損失を招いている。Mitsch & Gosselink (2015)によれば、地球上の全湿地面積の約50%がすでに失われたとされる。日本においても同様で、国土地理院の解

析によれば明治・大正時代に存在していた湿地面積の61.1%が1999年（平成11年）には消失した（<https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/shicchimenseki1.html>）。このような湿地生態系の急速な荒廃・消失に対して、各国では近年、保護・保全の基盤データとなる湿地目録が整備され、さらにGISを利用したデータベース化が進んでいる。アメリカではUS Fish and Wildlife ServiceがNational Wetlands Inventoryを作成・公開し、湿地への理解と保全・再生の促進に貢献している（<https://www.fws.gov/wetlands/>）。Web上で湿地目録と地理空間データセット、湿地の特徴や分布、公的に利用可能なリソースの提示などといった湿地に関する様々なデータが提供され、湿地の保全や再生、生物種の生息地の評価とインフラやレクリエーションの計画、その他の意思決定支援などに利用されている。さらに、National Wetland Plant List（http://wetland-plants.usace.army.mil/nwpl_static/v33/home/home.html）にリンクでき、湿地に出現した植物種のリスト、州別の分布リストなどをダウンロードすることもできる。湿地における出現頻度から個々の植物種の湿地への依存度も段階的に評価され、様々な湿地や再生に対する評価に活用されている。この様にアメリカでは、長年にわたって多くの研究機関や環境保護に関係する行政機関、大学等が協力することで、データの収集と解析、利用にむけたデータ整備が開発され、これらが誰にでも利用できる形で公開され、さらにバージョンアップに関しても門戸が開かれている。

これに対し我が国では、全国を対象とした湿地目録が、1993年に第5回自然環境保全基礎調査の一環として実施された「湿地分布調査と湿地概要調査」に基づいて環境庁により作成された（環境庁自然保護局 1995）。全国から2,196カ所の湿地が記録され、GISデータも作成・公開されている。ただし、この調査は都道府県に委託して実施されたため、調査精度が一定ではなく、データ不足の地点が多く残されたことに加え、GISデータにはポイント（地点）データとポリゴン（範囲）データが混在し一括した利用が難しい、県をまたぐ湿地は県界で分割されズレが生じているなど、様々な課題が残された。さらに環境省は、生物多様性の観点から重要度の高い湿地〔重要湿地〕として、633ヶ所をリストアップした（<https://www.env.go.jp/nature/wetland/index.html>, 2019年12月現在）。加えて、ラムサール条約登録湿地は2018年12月現在で52ヶ所となっている。

一方、我が国で湿地面積が最大である北海道では、研究者が主体となり、既存の資料、文献、報告書、聞き取り調査などから面積1ha以上の現存湿地をリストアップした目録が1997年に公開された。面積、標高、湿地植生といった湿地の基礎情報に加え、保護・保全に必要な湿地の保護状況などの情報も付与されていたが、周辺の土地開発により面積が減少した湿地があることや、乾燥化によってもはや湿地ではない場所もその面積に含まれるなど、湿地の範囲については問題があった。そこで、最新の複数の空中写真等を用い、GIS上でポリゴンを作成し見直しをしたものが北海道湿地目録2016として発表された（小林・富士田 2019）。また、このデータベースを用いて保全優先湿地の選定と湿地の評価が行われた（鈴木ほか 2016）。この様に、保全・再生計画の立案に不可欠な湿地の分布や生物多様性に関する基礎情報の整備が、全国レベルでは十分とは言えないのが現状である。

2. 研究開発目的

本研究は、日本における湿地の保全・再生の科学的基盤となる全国規模での湿地のデータベースを作成することを目的とした。具体的には、湿地の植物相、植生など植物に関する既存文献をできる限り収集し、それらを基に文献情報を収録した湿地文献データベース、湿地の名称や位置情報からなる湿地データベース、湿地における植物の出現記録を収録した湿地植物データベースを作成した。作成に必要な情報収集は文献が中心となるが、現地調査も必要に応じて実施した。データベースは、日本の生物多様性の現況把握の基盤として広く活用できるものと期待されるほか、サブテーマ4で作成した日本産維管束植物を水生・湿生植物に分類したチェックリストと連動することで、各地の湿地の植生調査やフロラデータから湿地の健全性を評価したり、湿地再生事業の評定に広く活用されることなどが期待できる。

3. 研究開発方法

全国湿地データベースの作成にあたっては、全国を対象に湿地の植物相や植生等の植物に関する既存文献を収集し、これらを基に湿地文献データベース、湿地データベース、湿地植物データベースを作成した。このデータベースには、すでに「環境研究総合推進費 平成23年度～27年度 S9アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究」で作成した北海道湿地植物データベースのデータも活用したほか、既存の湿地目録である環境省による「保全上重要な湿地」

(<https://www.env.go.jp/nature/wetland/index.html>, 2019年12月現在 633カ所) や、第5回自然環境保全基礎調査 湿地調査 (環境庁自然保護局 1995、2,196カ所) の結果も、湿地名の決定や湿地の位置の確認などの際に、参考として利用した。

3.1 湿地の定義

環境省による第5回自然環境保全基礎調査 湿地調査 (1993年度調査実施) においては、湿地のタイプについて各都道府県の担当者に、以下のどのタイプに該当するか回答を求めている。

第5回自然環境保全基礎調査 湿地調査における湿地のタイプ

- a : 湿原
- a1 : 高層湿原 a2 : 中間湿原 a3 : 低層湿原
- b : 湧水湿地
- c : 雪田草原
- d : 沼沢地
- e : 河畔
- f : 湿地林
- g : 淡水湖沼
- h : 塩性湿地
- i : マングローブ林
- j : 河口域
- j1 : 河口干潟有 j2 : 河口干潟無
- k : 汽水湖沼
- k1 : 潟湖干潟有 k2 : 潟湖干潟無
- l : 休耕田、放棄水田
- m : 水田
- n : 廃塩田
- o : 湿性牧野
- p : ため池
- q : その他

第5回自然環境保全基礎調査湿地調査における湿地の範疇は、ラムサール条約における湿地の定義に近いもので、広義の湿地を対象としている。さらに環境省は、取りまとめの際、上記の湿地区分を下記のように集約している。

湿原	(湿原・高層湿原・中層湿原・低層湿原)
陸域性湿地	(湧水湿地・雪田草原・沼沢地・河畔・湿地林・淡水湖沼)
沿岸性湿地	(塩性湿地・マングローブ林・河口域・汽水湖沼)
人工湿地	(休耕田、放棄水田・水田・廃塩田・湿性牧野・ため池)
その他	(その他・未記入・不明)

一方、本データベースで取り扱う湿地は、湿った土地に自然植生が成立している場所が存在すること（＝陸域の湿地が存在すること）とし、以下のものを対象とした。さらに原則として、陸域湿地部分の面積が1ha以上のものを対象とした。

- 1 **泥炭地湿原 mire**：山岳地域や北海道など、低温・過湿な場所で植物遺体から形成される有機質土壌の泥炭が堆積している泥炭地上に、湿原植生が発達している湿原。
- 2 **沼沢地・湿地 marsh、swamp**：泥炭地湿原を除いた陸域の淡水性湿地。湿性の草本群落为主体で、河口付近のヨシ原（read marsh）や、河畔や湖沼周辺、氾濫原の湿性草原などを含む。
- 3 **湿地林 swamp forest**：耐水性の高い樹木が形成する湿性の林（泥炭地湿原や湧水湿地の場合あり）。
- 4 **湧水湿地 spring fen、seepage marsh**：主に地質や地形的な背景が原因で、鉱物質土壌上に地下水が湧き出たり、しみ出したりして過湿な状態が保たれている湿地。東海地方以南に多数分布する。
- 5 **塩性湿地 salt marsh**：汽水湖の周辺や河口域などに見られる、塩分濃度が高い場所に成立する特異的な湿地。主に耐塩性のある小型の草本植物が群落を形成する。
- 6 **マングローブ林 mangrove**：南西域の沿岸の海水が浸入する場所で見られる、耐塩性の高い樹木で形成される林。

以下、環境省による第5回自然環境保全基礎調査湿地調査の対象湿地と本データベースで取り扱う湿地の違いについて説明する。

- ・本データベースでは、環境省の取りまとめ湿地タイプのうち、「人工湿地」と「その他」は取り扱わない。

- ・特に「ため池」については、その数は全国で20万以上ともいわれ把握が困難であること、陸域の湿地を伴うことが少なく、多くのが人工であることから、本データベースでは取り扱わないこととした。ただし、収集した文献の中には、結果としてため池の論文も含まれた。これらについては、湿地植物データベースへの入力の実施しないが、湿地文献データベースには湿地IDが付与されない状態で残すこととした。

- ・「湖沼」については、湖沼の周辺に本データベースにおける湿地の定義を満たす陸域湿地が1ha以上存在する場合に対象とした（ただし、収集した文献のうち湖沼については、陸域湿地面積が1haより小さい場合でも、湿地IDを付与するように努めた）。陸域湿地を伴わない場合は、文献データベースに対象文献を残すが、湿地IDは付与しなかった。

- ・山岳地域の「雪田草原」については、特に山岳湿原と隣接するケースなどで、湿原なのか雪田なのか判断が困難な場合が多い。その場合、「改訂新版 日本植生便覧」（宮脇ほか 1994）の植物社会学の体系でアオノツガザクラージムカデクラス（雪田草原）の中のチングルマオーダー、イワイチョウ群団に含まれる群集や群落は湿地として扱うことにした。環境省生物多様性センターのサイトの1/2.5万植生図の統一凡例では、「I高山帯自然植生域」の中の「03雪田草原」の中区分のうち03、04の群落は湿原に相当すると考えられる（植生図の凡例の中区分のアオノツガザクラ群団や雪田荒原などは湿地タイプの雪田ではない）。ただし、収集した文献内では、植物社会学にのっとった群落名で記載されているとは限らない（むしろ、別の名前で書かれていることの方が多い）ことから、植物社会学の体系内で使用している群集名だけで判断できない場合は、種組成等から湿原とみなされるものを入力対象とした。また、山岳地域の湿原では、雪田と湿原がモザイク状に入り組んでいることが多く、両者の区別が難しいケースが存在することから、この場合も文献内の種組成から湿地かどうかを判断した。

3.2 全国湿地データベースの作成方法

3.2.1 湿地文献データベース

全国を対象に湿地に関する文献を収集した。ただし、対象の文献は湿地の植物相や植生に関するものに限定した。文献探索は、サブテーマ3代表者が入手済みの文献、各種論文検索サービスの利用、入

手文献の引用文献を中心とした。論文検索サービスにヒットしない地方の植物愛好会誌等に掲載された文献については、現段階では網羅が難しいため積極的に収集しないこととした。入手した文献には、入手順に6桁のID（文献ID）をふった。

データベースは、文献ID、著者、発行年、文献名、掲載誌、発行者、巻、号、頁、湿地ID（1-50列）の59列から構成される。文献IDは、3つのデータベースが連動するように湿地植物データベースにも掲載した。

湿地ID列が空欄の文献については、今後の作業の進行によってIDが付与される予定である。また、文献内容から湿地の特定ができないものは、湿地IDは付与されていない。なお、収集した文献のうち、本データベースで原則として取り扱わない湖沼やため池などの文献については、湿地IDを付与しないが、湿地文献データベースには残した。

3.2.2 湿地データベース

湿地データベースは、湿地ID、レベル、湿地名、よみがな、備考、緯度、経度から構成される。

位置の特定：湿地の位置の特定については、二段階の作業を実施した。第一段階は、収集した文献に掲載されている湿地について、ArcGIS上で位置の特定を行い、仮の位置ポイントデータを作成した。湿地の確認は、電子国土基本図（地図情報）、国土地理院公開の複数年の空中写真、NTT空間情報株式会社のGEOSPACE CDS、林野庁の空中写真、MicrosoftのBing Maps、GoogleのGoogle Earthを用いた。まず文献に掲載されている地図や位置に関する記述をもとに湿地を探索し、文献の位置情報があいまいな場合は、同名の湿地に関する他の報告の記述などを参考に湿地を探索した。湿地が見つかった場合は、現況の湿地の状態を確認し、湿地の中央部付近、あるいは良好な湿地環境の場所にポイントを落とした。湖沼の場合は、陸域湿地面積が広ければ湿地の部分に、湿地面積が狭く開水面がほとんどの場合は湖沼の中央部に、ポイントを落とした。

第二段階では、湿地植物データベースへの入力と、入力内容の一次確認作業が終了したものから、仮に作成したポイントが正しいかどうか、GIS上で湿地の存在と位置を前述の手順で検討し、湿地のポイントデータ、湿地IDと湿地の名称を決定した。ほとんどの文献については、これらの作業により湿地を発見できたが、一部の湿地では湿地の位置等に確証がもてず、作成者が推定した場所にポイントを落とし、不確実であることを備考に明記した。さらに、どうしても発見できない場合は湿地IDの作成を断念した。また、文献には湿地の位置に関する情報が記載されていても、上記の確認作業により現在は消滅したと判断された場合は、ポイントを決定した上で備考に「消滅」と明記した。

湿地の名称：湿地の名称は、基本は対象文献に書かれている名称を採用した。ただし、論文内の名称とは異なる通称が存在し、すでに多くの人を使用している、現地に看板等が設置され名称が書かれている場合などは、通称を湿地名として用いた。また、国土地理院の地形図に名称が書かれており、それが文献と異なる場合は、地形図の名称、あるいはそれに近い名称を採用した。

湿地IDとレベル：本データベースでは、湿地によっては、湿地の名称について階層構造を作成した。文献によっては、広い湿地の一部について名称を付与（場合によっては、一般にもオーソライズされているものあり）して、その地域に限定して調査しているものがある。文献と湿地IDは連動するようにデータベースを設計したので、この様な特定地域の名称にもIDを付与した。そして「レベル」の列に上位の湿地IDを明記した。

湿地の面積：原則、陸域湿地の面積が1ha以上のものを対象とした。ただし、収集した文献については、面積が1haより小さくても湿地IDを付与するように努めた。

3.2.3 湿地植物データベース

湿地植物データベースには、収集した文献の湿地に関する記述部分に出現した植物の和名・学名が格納されている。レコードID、湿地ID、出典文献ID、調査方法、内外、調査開始年、調査終了年、文献に登場した和名、文献に登場した学名、変換後の分類群のID、変換時の備考、変換後の和名、変換後の学名から構成される。

調査方法：文献による植物の記録には、主に植物相調査によるもの(0)、植生調査によるもの(1)がある。加えて、本文中に書かれた観察記録や、これら以外の調査方法によって記載されたもの(2)もある。本データベースでは、植物相調査およびその他に該当するもの(0および2)については掲載された分類群名を網羅的に入力した。植生調査(1)については、文献内の組成表等に掲載された分類群名を入力した後、植生区分間で重複する分類群を削除した上で掲載した。それぞれの調査手法によって得られるデータの特性に違いがあるため、解析に用いる際には注意が必要である。

内外：文献によって、該当する記録が得られた地点が湿地内と推定できるもの(0)、湿地の周辺部などの湿地外と推定できるもの(1)、調査場所が不明で湿地の内外の区別ができないもの(2)がある。文献内での記述に加え、種組成や調査地点の地形から判断し入力した。

調査年：文献に明記された調査開始年および調査終了年とする。開始年および終了年が同一の場合、その調査が1年未満で行われたことを示す。調査日が明記されていない場合は、該当文献の出版年以前とした。

文献に登場した和名および学名：収集した文献に登場した植物の和名・学名を示す。「イバラモ属(*Najas* sp.)」や、「イトイヌノヒゲ?」のような、未同定あるいは同定の信頼性が乏しいレコードは掲載対象としなかった。また混乱を避けるため、学名の記載者については省略した。"NA"は、和名または学名のいずれかが掲載されていなかったレコードを示す。なおこの列に掲載されている和名・学名は、誤字脱字、「クサ」や「ノ」の有無などの表記のゆれ、学名におけるラテン語の活用に適宜修正が施されており、必ずしも元文献に記載されているものと同一でない場合がある。

和名・学名の変換：文献に登場した和名・学名を、『GreenList ver. 1.01 (Ebihara et al. 2016、 Ito et al. 2016)』に準拠したものに変換した。一部のGreenListに収録されていない外来種や栽培植物については『Ylist (米倉・梶田 2003-)』に準拠した和名・学名に変換した。変換は、サブテーマ4の成果物の一つである『維管束植物和名チェックリストver. 1.00 (山ノ内ほか 2019)』を利用し、研究の進展や見解の相違により変わることが多い学名よりも安定的な和名に基づいて行った。変換後の分類群のIDには、山ノ内ほか(2019)のJN_datasetシートにおいて各分類群に付されたIDを用いた。

植物の和名・学名は分類学的研究の進展や見解の相違により変化する。文献に記された変換前の和名・学名と、リスト上に示された変換後の和名・学名では、示す範囲が必ずしも一致しない場合があり、注意して利用する必要がある。特に、多くの種内分類群を掲載したGreenListの仕様上、広義・狭義を伴う和名には変換前と変換後で範囲が異なっていることが多い。一部の分類群については、山ノ内ほか(2019)に和名が収録されていないものや該当する分類群が複数あるものがあり、他文献、Web検索、学名等に基づいて著者らの判断により上記リストに掲載された分類群を選択したものがある。また、山ノ内ほか(2019)が対象としていない維管束植物以外の分類群や、上記のリストに収録されていない分類群については、変換が不可能であったためにIDを"NA"とし、変換前の和名・学名がそのまま示されている。これらの詳細については、チェックリスト内の変換時の備考を参照のこと。

4. 結果及び考察

4.1 湿地文献データベース

収集した文献は2020年3月26日現在で、2,085であった。収集した文献のうち、本研究における湿地の定義から外れている文献、探索によって図書館などを通じて入手してみたものの、湿地文献データベースに掲載する内容ではない文献なども存在したことから、最終的に掲載した総文献数は2,058となった。ただしこの中には、本研究で対象としなかった湖沼やため池などの文献も含まれていた。ため池は本研究の湿地の定義から外れるが、湿地文献データベースのユーザーによっては水草やため池について検索する場合もあると考え、湿地IDを付与せず文献データベースに残すことにした。また、文献によっては、文献内で複数の湿地を取り扱っており、そのような場合は一つの文献IDに複数の湿地IDを付与した。

図4.3.1は全国を8地区に分けた場合の、各地区別の文献数を示している。ただし、湿地が県境に存在し地区をまたぐことは珍しくなく、その場合は、最も広い面積が属する地区に含めた。また一つの文献が複数の湿地を対象としている文献も多数あることなどから、収集文献数と図内の数値の合計値は一致しない。あくまでも、図中の数字は傾向として参照されたい。この図から、中部地区以北で湿地の植物に関する報告が多いことが示された。

集めた文献のうち一つの湿地あるいは一つの湿地域に関して文献数が多かったのは、「尾瀬地域」で、あった。図4.3.1の関東地区の文献のうち半数以上が尾瀬に関するものであった。



図4.3.1 収集した文献の地区別総数

図4.3.2は調査年代別文献数である（文献発行年ではなく調査年）。1970年代に最も調査件数が多く、1960年代から約2倍に数が増えたことが示された。その後、徐々に件数が減少し、2000年代には205、2010年代はその半分以下の82となった。1970年代から1990年代の調査数が多いのは、植物生態学において植生の把握と群落分類の研究が盛んな時代であったこと、地域の植物愛好会などにより地域の植物相がよく把握された時代であったこと、レッドデータプランツなどを評価するための調査が実施されていたことなどが理由として推測された。また、特に2000年以降の調査が激減していることが判明した。2010年代の調査結果が今後出版される可能性はあるものの、湿地の現状把握が近年なされていないことは、その保全にとって必要不可欠な科学的根拠が乏しいことを示している。定期的な調査の実施が、湿地の保全に関する重要な課題であることが明らかになった。

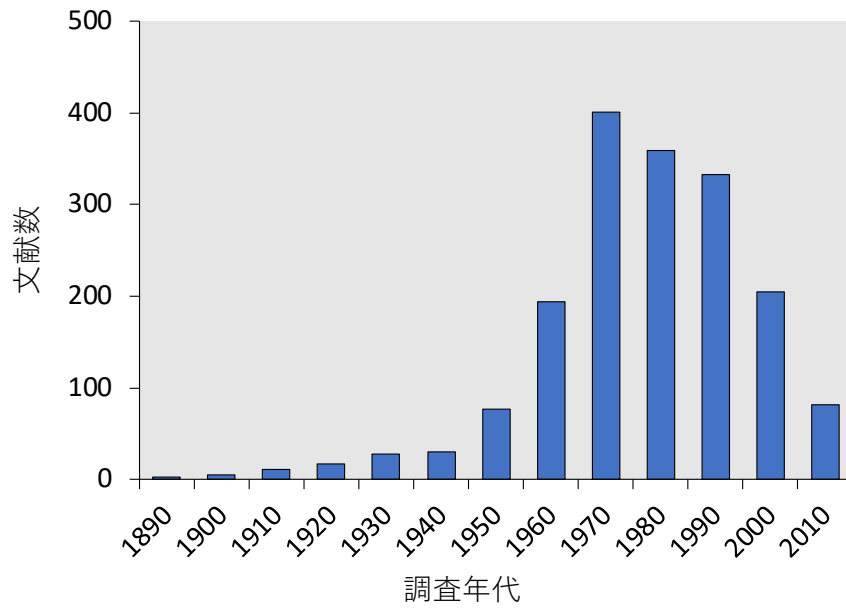
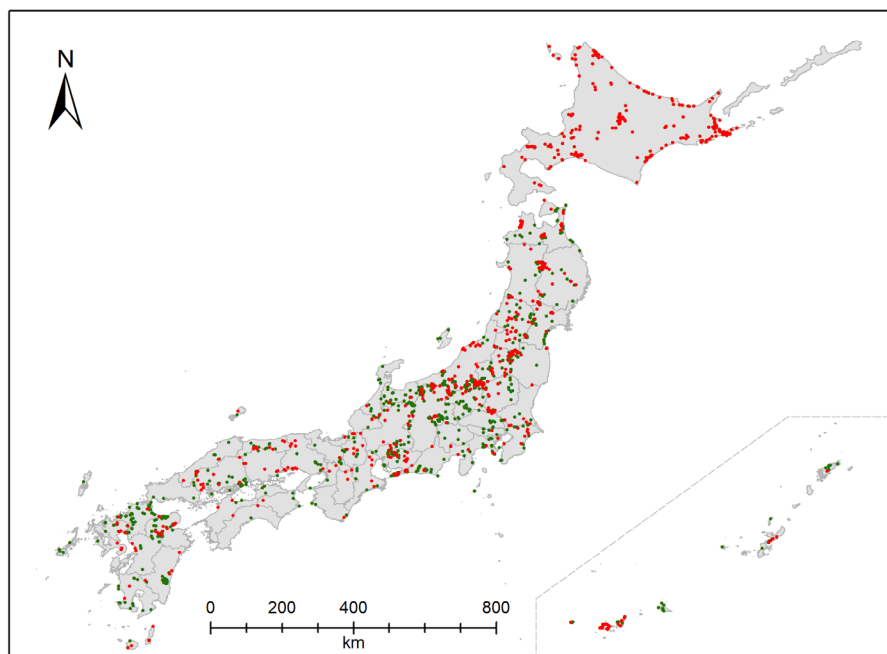


図4.3.2 調査年代別収集文献数

4.2 湿地データベースについて

本研究で作成した湿地データベースは、収集した文献を基としており、湿地文献データベース、湿地植物データベースと連動して使用できるのが特徴となる。合計で804の湿地IDを決定し、陸域湿地面積等の検討から本研究における湿地定義に当てはまらないものを削除した結果、湿地データベースに収録された湿地IDと名称が付与された湿地は、全国で692となった（図4.3.3）。



- 収集文献に出現した湿地の未確定仮ポイント 1104カ所
- 本プロジェクトで位置を確定したポイント 692カ所
(不採用も含む確定ポイントは 804)

図4.3.3 湿地ポイント（湿地ID）の確定状況（2020年3月27日現在）

目録に掲載した湿地について、「3.1.湿地の定義」の6つの湿地区分に基づき、作成者の判断もしくは推定により湿地タイプを決めた。目録に掲載した湿地についてタイプ別に湿地の位置を図示した（図4.3.4）。

泥炭地湿原は、泥炭が形成・堆積する低温・過湿な場所である山岳地域や北海道などに集中して分布していた。しかし中部地方以南にも点在しており、最も南は屋久島であった。

氾濫原や河口付近のヨシ原、河畔や湖沼周辺の湿性草原などを含む、沼沢地や淡水性の湿地は、北海道から九州まで広く分布していた。

耐水性の高い樹木が形成する湿性の林である湿地林は、ポイントが少ない。その理由として、そもそも湿地林の論文が多くないこと、釧路湿原のハンノキ林のように泥炭地上に成立しているものは、泥炭地湿原としてカウントしていること、同様に東海丘陵要素であるシデコブシの湿地林などは、湧水湿地としてカウントしていることなどが考えられる。

地質や地形的な背景が原因で、主に鉱物質土壤上に地下水が湧き出たり、しみ出したりして過湿な状態が保たれている湧水湿地は、特に東海地方から中国地方に多く分布していた。

汽水湖の周辺や河口域などに見られる、塩分濃度が高い場所に成立する塩性湿地は、河川の河口付近に残存していることが明らかになった。ただし、日本においては、海岸の護岸化、河口域の改変、河川の直線化などの人為の影響で自然状態が保たれている海岸や河口が激減してしまったことから、過去には現在よりも多くの場所に塩性湿地が成立していたと推測される。

マングローブ林は、沿岸の海水が浸入する場所で見られ、主に、南西諸島で確認することができた。

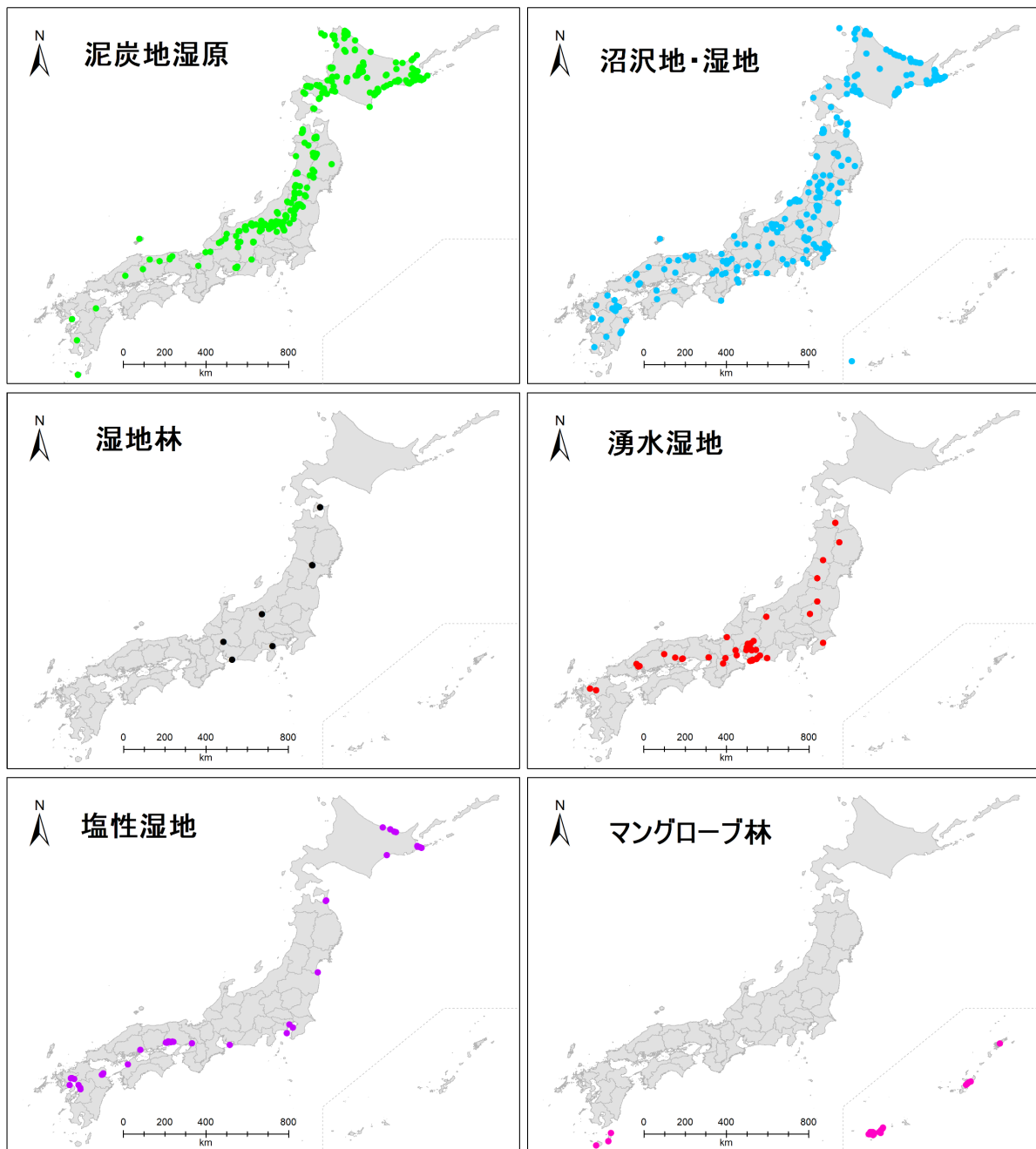


図4.3.4 湿地タイプ別の湿地の分布状況

4.3 湿地植物データベースについて

本研究において、657文献の植物データを湿地植物データベースに入力した。その結果、99,794件のレコードが植物の分布情報として得られた。これらのレコードは、湿地内で確認されたもの、湿地外（湿地周辺の森林で得られたデータなど）で確認されたもの、内外が不明であるものが区別されており、本データベースの利用者は目的に応じて使用するレコードを取捨選択することができる。

本データベースに列記された植物は、山ノ内ほか（2019）によってGreenListまたはYlistに登録された維管束植物に変換された和名に基づき、3,767分類群となった（この他に車軸藻類や蘚苔類などが含まれる）。和名の変換例として、図4.3.5にトマリスゲの例を示した。トマリスゲ *Carex middendorffii* F.Schmidtには、ホロムイシゲ、クロスゲといった異名が存在する。左図は変換前の和名「トマリスゲ」のレコードにのみ基づいて作成した分布図で、右図はこれらの異名を変換・統合した後のレコードに基づいて作成した分布図である。また、右図では元文献で和名が記載されていないレコードも追加されている。和名の変換により、青森県や北海道十勝地方の分布が追加され、より正確な生物学的実

体を反映した分布図を作成することができた。なお、トマリスゲの場合は該当しないが、学名において多くの同物異名（シノニム）をもつ植物も存在する。このような分類群であっても、多くのシノニムがGreenListまたはYlistに準拠したひとつの学名に変換されたため、トマリスゲの分布図と同様に、より正確な分布図を作成することが可能である。一方で、蘚苔類、藻類、菌類などの維管束植物以外の生物群については、山ノ内ほか（2019）のようなデータベースが存在しないため、和名・学名の変換が課題として残っている。なお、変換後の維管束植物の和名に基づいて環境省レッドリスト2020

（<http://www.env.go.jp/press/107905.html>）を対象に検索を行ったところ、登場した3,767分類群中、423分類群がレッドリストで絶滅危惧IA, IB, II類または準絶滅危惧種に指定されていた。これらの種に関するレコード数は5.7%にのぼった。

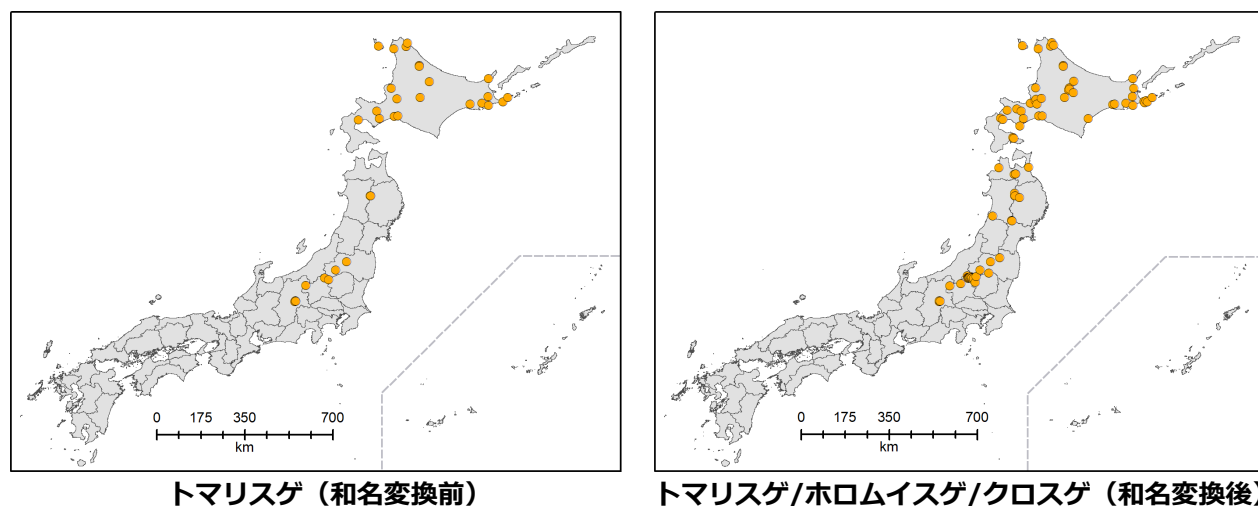


図4.3.5 湿地植物データベースにおける和名変換前と和名変換後の差

図4.3.6に湿地植物データベースを使い、典型的な湿生植物4種の全国での分布状況を図示した。クロバナロウゲは北海道・東北地方北部と中部地方に隔離分布し、サギソウは秋田県を北限に西日本を中心に分布していた。また、サワギキョウ・ミカヅキグサはともに国内で広く分布していたが、ミカヅキグサはサワギキョウに比べ、東海地方を除いた本州の低地帯でより分布がまれになる傾向が見られた。

このように、湿地植物データベースによって、湿地に生育する植物の分布の傾向を手軽に確認することができる。これらの分布情報に基づき、希少性や多様性の高い湿地の抽出、レッドリストでは見逃されている希少性が高い分類群の発見、湿生植物の分布のパターン化や系統地理学的研究などが可能になる。

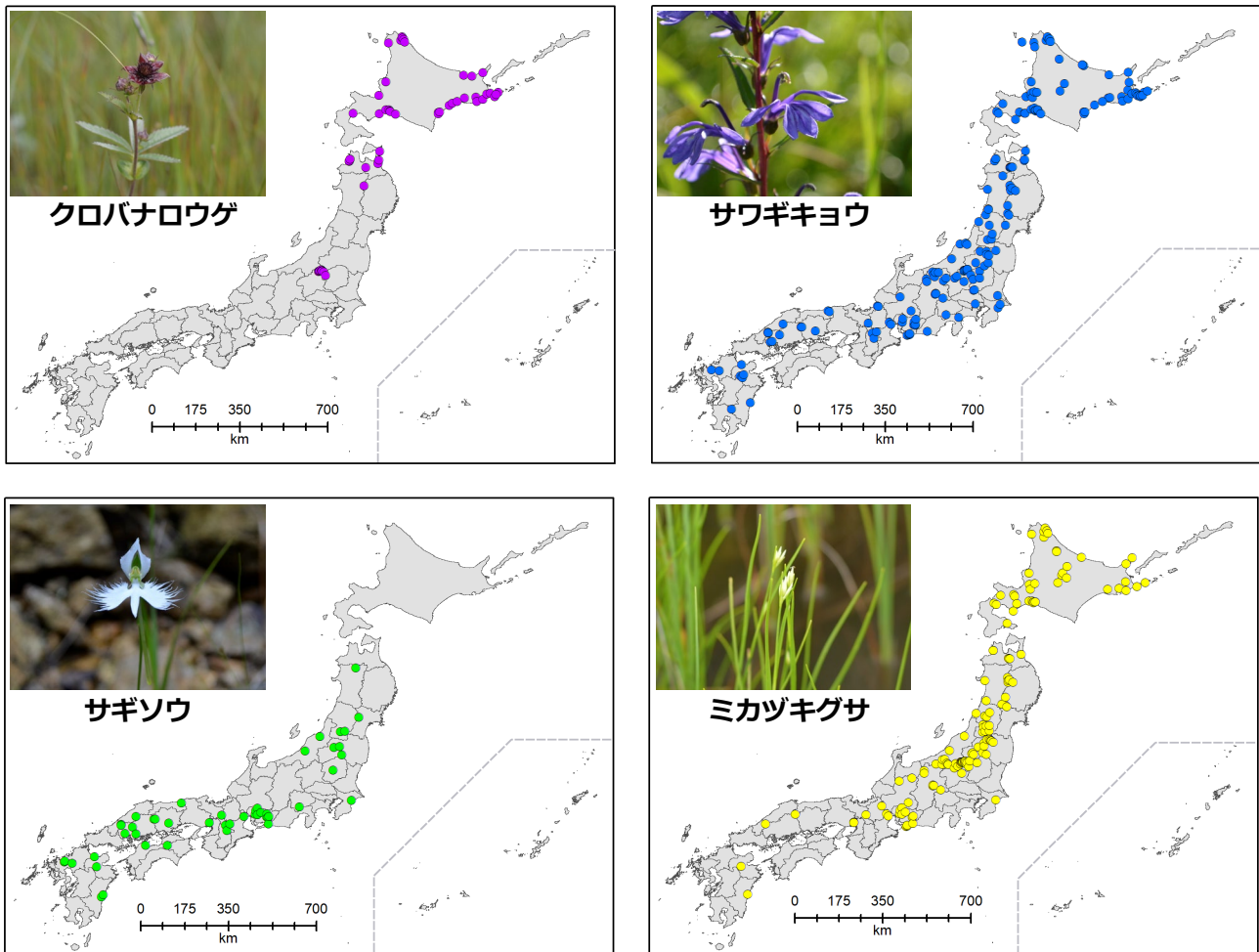


図4.3.6 湿地植物データベースを利用した湿地植物の分布図の例

4.4 今後の課題

全国を網羅した湿地目録は、1993年に第5回自然環境保全基礎調査の一環として実施された「湿地分布調査と湿地概要調査」から環境省が作成し、2,196ヶ所の湿地が記録されている（環境庁自然保護局1995）。しかしながら、都道府県にデータの提出を依頼したことから、担当者によるバラツキが大きく、重要な湿地が抜けていたり、湿地かどうか検討が必要な場所が入っていたり、ポリゴンデータが実際の湿地の位置と一致しないなど、様々な問題が残った。本課題で作成したデータベースは、専門家の一貫した確認作業により構築されたデータベースであり、その元となったのは既存の論文や報告などである。湿地の存在と位置確認をGIS上で様々な画像ソースを利用し、同一人物（湿地の専門家）によって行われたため、位置情報の信頼度はこれまでのデータベースよりも高まったと言えよう。

一方で、湿地IDを付与した以外にも、まだ多くの湿地が全国には分布しており、本データベースは今後も作業の継続（湿地の探索とIDの付与）とデータベースの更新作業が必要である（図4.3.3）。これは大きな課題であるが、本課題終了後に大学に籍を置く2名のみで、この作業を継続するのは困難である。加えて、全国の湿地研究者数は大学教員の退官等により減少が続いており、湿地研究者がリクルートできていない点も、今後の湿地研究と保全には不安材料である。湿地情報に関する全国規模でのネットワークの構築も、本データベースの更新や湿地の保全には重要な課題と考えられる。

湿地データベースでは、今回、各種保護状況に関するデータの付加は行っていない。今後は、国立公園、国定公園、地方自治体指定の自然公園内に湿地が位置しているのか、どのような指定ランク地区にあたるのか、鳥獣保護区などそのほかの保護指定区域になっているか、といった情報も掲載できるよ

うに更新がなされることが期待される。

北海道湿地目録2016（小林・富士田 2019）では、北海道の湿地のポリゴンデータを作成したことから（未発表）、湿地周辺の土地利用形態とその割合などを算出することができ、保護状況の判定などができた。全国湿地データベースにおいても、ポリゴンデータが作成できれば、湿地の面積、周辺域の土地利用状況との関係などを解析することが可能となる。ただし、全国の湿地はタイプも分布地も現状も多様で、GIS上の写真データのみではポリゴンデータの作成は困難であった。また、湿地はいまだに外圧による減少や劣化が続いており、ポリゴンデータを作成しても定期的な見直しを行わないと、有用なツールではなくなってしまう。国立公園内の湿地だけでも、信頼に足るポリゴンデータの作成と定期的な更新が必要である。時系列データが存在すれば、公園内の湿地の変化の予兆などもとらえることができ、保全に有用と考えられる。

本研究では、湿地文献データベース、湿地データベースとともに、この2つのデータベースのIDと連動する湿地植物データベースも構築した。湿地植物データベースは既存文献の植物相や植生のデータが元となっており、多くの希少種に関する情報が含まれる。そのため、今後も公開は難しいと考える。一方で、作成した我々や環境省がこのデータベースを用いて、優先的に保護が必要な湿地を選出したり、希少種の分布情報やレッドリストのランク付けなどに利用したりすることは可能である。今回のように多数の文献を収集し湿地植物のデータベースを作成したのは初めてであることから、今後の利活用については、希少種の盗掘防止を徹底する方策なども考慮しながら、十分な検討が必要であろう。

5. 本研究により得られた成果

（1）科学的意義

全国規模の湿地データベースとしては、1993年に第5回自然環境保全基礎調査で実施された「湿地分布調査と湿地概要調査」により、2,196箇所の湿地が記録された（環境庁自然保護局 1995）。しかし、調査精度などに様々な課題が残された上、調査からすでに25年が経過しており、現状を反映しているとはいえない。今回作成したデータベースは、専門家による確認作業がなされたものであり、その元となったのは、既存の論文や報告である。湿地の存在確認と位置情報などの信頼度は高く、湿地研究の基盤データとして科学的価値は高い。

また、湿地文献データベース、湿地データベース、湿地植物データベースが連動する形で設計されていることから、様々な活用が期待され、今後の湿地研究への寄与が期待される。

（2）環境政策への貢献

3つのサブデータベースから構成される本データベースは、環境省における湿地保全の施策決定等への貢献が大いに期待される。たとえば、湿地の位置情報から、GIS上の様々な画像ソースを使ってリアルタイムに湿地の現状を確認することができる。また、湿地植物データベースを使い、保全優先湿地の選出のほか、希少種の全国の分布状況、年代別の植物の出現状況の推移、希少種の評価への利用などが可能となる。

<行政が既に活用した成果>

- ・環境省モニタリングサイト1000事業を（陸水域調査）に関する諸委員会に参加し、湿地の生物多様性調査・評価について本研究の成果を踏まえた助言を行った（富士田）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・本研究で作成した全国湿地データベースは、重要湿地選定、日本の生物多様性概況（JBO）のとりまとめ、モニタリングサイト1000事業の推進などの根拠となるものである。

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）>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

1) 富士田裕子：植生情報、24, 10-14 (2019)

「我が国の湿地目録の作成と今後の課題」

(2) 口頭発表（学会等）

1) 李娥英、富士田裕子、小林春毅：植生学会第22回大会（2017）

「全国規模の湿地目録と湿地植物データベースの構築にむけて」

2) 李娥英、富士田裕子：植生学会第23回大会（2018）

「湿地に関する既存情報の集約と再検討による全国湿地データベースの作成」

3) 富士田裕子：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）

「全国湿地データベースの必要性とその利活用」

(3) 知的財産権

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) 苫小牧市美術博物館大学講座（第2回）「湿原と植物をめぐる1万2千年の物語」（主催：苫小牧市美術博物館、2018年7月7日、苫小牧市美術博物館ホール、観客約130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

植生学会奨励賞、植生学会、2018年10月21日、李 娥英

8. 引用文献

- 1) Mitsch, W. J. & Gosselink, J. G. (2015) , Wetlands fifth edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- 2) 環境庁自然保護局：環境庁自然保護局，東京（1995），第5回自然環境保全基礎調査 湿地調査報告書
- 3) 小林春毅、富士田裕子：保全生態学研究，24，11-30（2019），北海道湿地目録2016：湿地の概要と保全状況
- 4) 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，21，125-134（2016），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
- 5) 宮脇 昭、奥田重俊、藤原陸夫：至文堂，東京（1994），改訂新版 日本植生便覧

- 6) Ebihara, A., Ito, M., Nagamasu, H., Fujii, S., Katsuyama, T., Yonekura, K., Yahara, T: Fern GreenList ver. 1.01 (<http://www.rdplants.org/gl/>) (2016).
- 7) Ito, M., Nagamasu, H., Fujii, S., Katsuyama, T., Yonekura, K., Ebihara, A., Yahara, T: GreenList ver. 1.01 (<http://www.rdplants.org/gl/>) (2016).
- 8) 米倉浩司、梶田忠: BG Plants 和名ー学名インデックス (YList) (<http://ylist.info>) (2003-)
- 9) 山ノ内崇志、首藤光太郎、大澤剛士、米倉浩司、加藤 将、志賀 隆: 維管束植物和名チェックリスト ver. 1.00 (https://www.gbif.jp/v2/activities/wamei_checklist.html) (2019)

II-4 効果的な湿地モニタリング手法の開発

志賀 隆（サブテーマ代表者、新潟大学教育学部）

<研究協力者>

首藤光太郎（北海道大学総合博物館）

加藤 将（新潟大学教育学部）

山ノ内崇志（福島大学共生システム理工学類）

上野裕介（石川県立大学生物資源環境学部）

大澤剛士（東京都立大学都市環境学部）

風間美穂（きしわだ自然資料館）

芹澤如比古（山梨大学教育学部）

山岸洋貴（弘前大学白神自然環境研究センター）

米倉浩司（沖縄美ら島財団総合研究センター）

横井謙一（日本国際湿地保全連合）

横川昌史（大阪市立自然史博物館）

平成29～令和元年度研究経費（累計額）：33,748千円（研究経費は間接経費を含む）

（平成29年度：11,440千円、平成30年度：10,868千円、令和元年度：11,440千円）

【要旨】

湿地の生物多様性や生態系の健全性を把握するための指標の一つとして、水生植物相の多様性やその経年変化が挙げられる。本研究では、各地の湿地の生物多様性の現状把握に資するため、湖沼における水生植物を対象とした標準的な調査手法を開発するとともに、その有効性を市民参加型調査への利用可能性を含めて検討を行った。また、植物相の記録を生態系の評価に活用するため、植物和名の統一化ツールと日本の水生・湿生植物のチェックリストを作成した。

2種類の調査方法（定点調査と踏査）について、それぞれの確認種数の比較、シミュレーション解析による累積確認種数の比較を行った結果、水生植物相の把握能力は定点調査よりも踏査の方が優れていると結論した。また、人的・時間的コストや安全性を考慮した場合でも、踏査を中心として調査を設計する方が効率がよいと考えられた。踏査区域間の出現種組成の類似度を調べた結果、踏査区域間の距離が離れるほど類似度は低くなることが示された。このことから、湖岸距離の離れた区域を優先的に選択して調査することを、湖岸の全長を調査できない場合の指針として提案した。

4湖沼に計7区画を設定して市民参加型調査の実地検証を行った結果、最も多くの種を採集した市民参加者でも専門家の成績に達することはなく、いずれの区画でも参加者一人あたりの採集種数は専門家のもとの間に明らかな差がみられた。しかし、参加市民全員の採集種数を合計した場合、専門家の採集種数と同等か、それ以上に達した。このことから、水生植物調査において、複数人による市民参加型調査を行うことで専門家の調査に近い結果を得ることができること、調査地に生育する種数に応じた人数が必要であることが示された。本研究で得られた上記の結果に基づいて、水生植物相調査を実施するための包括的なマニュアル『水生植物相調査のガイドライン』を作成し、公開した。また、水生植物の同定支援ツールとして、水辺でよく見られる水生植物を一覧で掲載した『さがそう！日本の水草47種』、ならびに初心者向けの図鑑である『水草ハンドブック』を作成し、クリエイティブ・コモンズ・ライセンスCC BY 4.0としてオープンデータ化してWeb上で公開した。

合計8,358分類群について水生、湿生、非湿生植物への分類を試みた結果、4,531分類群（約54.2%）をいずれかへ分類することができた。一方で、45.8%にあたるおよそ3,827分類群が未評価となった。これらの判定が掲載されたリストを、プロジェクトのHP上で『国産水生・湿生植物チェックリスト』と

して公開した。また、和名チェックリストについては、整理を対象とした文献またはリストから合計53,222件のレコードを収集し、統合を行った結果、それぞれの文献・リストに収録された和名・学名にリンクした30,430件の和名異名と標準的な和名のセットが得られた。完成したリストは『維管束植物和名チェックリスト』として公開した。

[キーワード]

湿生植物、市民調査、水生植物、モニタリング手法、和名チェックリスト

1. はじめに

開発や気候変動等の影響により、日本国内および世界中で湿地環境の喪失・劣化が著しく進行している。これらの保全・再生への動きを確実なものとし、生物多様性と生態系サービスを将来に引き継ぐためには、生物多様性保全戦略目標の設定、重要湿地の選定、重要生態系監視地域モニタリング推進事業（モニタリングサイト1000）の推進といった政策を効果的に進めることが重要である。そしてこれらの政策は、明確な科学的根拠、手法に基づいていなければならない。

湿地の生物多様性や生態系の健全性を把握するための指標の一つとして、水生植物相の多様性やその経年変化が挙げられる。水生植物は複数系統にわたる多様な種を含む生物群で、湿地において水質の維持や動物の生息場所として重要な生態的役割を果たしている。また、日本国内に生育する約300種の水生植物のうちおよそ40%が絶滅危惧種または準絶滅危惧種とされ、保護上重要な植物群であることが知られている。更に外来の水生植物の中には、爆発的に増殖して生態系や環境に対して破滅的な影響を与えるものもある。このように、水生植物の生育状況や経年変化を明らかにすることで、日本の湿地の生物多様性や生態系の健全性をモニタリングできるであろう。しかし、そのためには、科学的根拠のある標準的な調査手法を確立し普及するとともに、モニタリング対象となる湿生・水生植物の評価とリストの作成が必要となる。

湿地や湖沼において水生植物の調査を行う場合、湖沼の透明度の低さや水深の深さ、立ち入ることが困難な地形があることなどが障害となり、水中に生育する水生植物を直接観察することが難しい。そのため、特に海外では湖沼や河川などの特定の環境や地域を対象としたさまざまな調査マニュアルが作成されてきた。しかし、日本ではこれまで専門家あるいは植物愛好家が独自に考案した道具や手法による調査が行われており、標準となりうる体系的な調査手法は提示されてこなかった。異なる調査手法によって得られたデータは各研究の比較を困難にし、より広域的・総合的な研究を行う上で障害となっている。

このような中、環境省のモニタリングサイト1000事業の陸水域調査では、広域・長期にわたる水生植物相のモニタリングに資するため、『水生植物調査マニュアル』が作成された。このマニュアルでは、現地調査の努力量を人数×日数により見積もった上で、湖沼内の複数地点に設けた定点から採集器を投擲することにより植物相データと出現頻度を取得する定点調査と、植物相を補完するための湖岸での踏査が設定されている。しかし、このマニュアルで得られるデータの信頼性や努力量の見積もりが、湖沼の水生植物相を把握するうえで十分かどうかは検証されていない。

水生植物は様々な水辺環境に生育しており、調査すべき生育環境はモニタリングサイト1000事業で対象とされている大型の湖沼以外にも国内に膨大な数がある。水生植物の主要な生育環境であるため池のような小規模止水域は、国内に20万箇所以上あるとされており、このような国内に無数に存在する水辺環境の全てを専門家や一部の熟達した愛好家のみで網羅的に調査・モニタリングすることは不可能である。国内に生育する水生植物のモニタリングや、小規模止水域の水生植物相の網羅のための調査の新たな担い手としては、非専門家である市民が有効な調査者となりうるかもしれない。幾つかの生物群では、すでに市民による生物相調査やモニタリング調査の有効性が確認されている。市民参加型の水生植物相調査を実現させるためには、実際に市民参加型の調査を行い、調査の精度を評価する必要がある。また、水生植物調査の経験がない市民でも参加でき、かつ再現性のある調査手法を開発する必要がある

だろう。

そして、モニタリング対象となる湿生・水生植物は分類群ごとに水環境への適応の程度が異なり、明確に湿生植物と水生植物との境界を設定することはできない。米国や韓国では、湿地の現状を把握する一つの軸として維管束植物相に着目し、各分類群の水環境への適応の程度をランク分けした「湿地依存度」リストが構築され実用に至っている。このようなリストの作成は、日本においても湿地の植物相の質的な評価手段の一つとして必要である。

2. 研究開発目的

各地の湿地の生物多様性の現状把握に資するため、水生植物を対象とした標準的な調査手法を提案し、その有効性を検証する。また、開発した調査手法の市民参加型調査への利用可能性の検討を行う。さらに、植物相の記録を生態系の評価に活用するため、植物和名の変換ツールおよび国内の水生・湿生植物のチェックリストを作成する。

3. 研究開発方法

3.1 水生植物の調査手法の開発

湖沼における水生植物相の標準的な調査手法の開発と調査マニュアルの作成を目的とし、水生植物の調査における一般的な調査手法で得られる成果およびその精度について、現地調査による評価を試みた。

現地調査は、小型～中型湖沼として新潟県上越市と青森県つがる市の計6湖沼、大型湖沼として山梨県河口湖を対象に実施した。上越市においては5月から約2月おきに各湖沼で4回の調査を行った。調査した湖沼および実施年月は表3.4.1の通りである。

現地調査では、国内において水生植物相調査で用いられることが多い手法である「定点調査」および「湖岸の踏査（以下、踏査）」の2つを検討した。定点調査は、湖内あるいは湖岸の定点において手製の水生植物採集器（図3.4.1）を湖面に投げ込み、湖底を曳くことで水生植物の採集し、出現種の記録を行う手法である。一方、踏査は、湖岸を歩きながら直接観察による徒手採集と水生植物採集器による採集を行い、出現種を記録するものである。これらの調査手法は、本研究課題の研究分担者（志賀隆）が調査設計の監修に加わった環境省モニタリングサイト1000陸水域調査の『湖沼：水生植物調査マニュアル第1版（環境省自然環境局生物多様性センター 2017）』においても採用された手法である。

定点調査では、各湖沼で任意の数の定点を設定した（表3.4.1、図3.4.1）。各定点では採集器による採集（投げ込み）を10回試行し、出現した種をそれぞれの試行ごとに記録した。踏査では、各湖沼の湖岸をおよそ100 mの区域に区切り（図3.4.1）、湖岸全周（1湖沼のみ半周）を踏査する中で出現した種をそれぞれの区域ごとに記録した。また、各定点または各踏査区域において要した時間を記録した。これらの調査では、努力量と結果を段階的に評価できる設計とした。得られた植物はその場で種同定を行ったが、困難なものは持ち帰り後日同定した。各湖沼における定点数および区域数は表3.4.1に示した。

また、水生植物相の標準的な調査方法を提案するために、定点調査と踏査で記録できる種数や生育形の違い、定点での採集試行回数や踏査距離の違いによって採集できる種数の変化、1つの湖内における踏査区域間の類似度、それぞれの調査に費やした努力量（定点数および踏査区域数、調査時間）を評価した。

表3.4.1 現地調査を実施した湖沼および調査の実施内容.

調査実施湖沼	面積	湖岸延長線	実施年月	定点数	踏査区画数
長峰池（新潟県）	20 ha	2.1 km	2017年5、7、9、11月	27地点	23区（湖岸全周）
坂田池（新潟県）	5 ha	0.9 km	2017年5、7、9、11月	9地点	11区（湖岸全周）
天ヶ池（新潟県）	10 ha	1.1 km	2017年5、7、9、11月	7地点	13区（湖岸全周）
タテコ沼（青森県）	7 ha	n.d.	2017年9月	12地点	9区（湖岸全周）
無名湖沼（青森県）	13 ha	1.8 km	2017年9月	8地点	17区（湖岸全周）
冷水沼（青森県）	15 ha	2.8 km	2017年9月	10地点	11区（湖岸半周）
河口湖（山梨県）	570 ha	18.4 km	2018年9月	-	172区（湖岸ほぼ全周*）

* 安全性を考慮し一部の区画で未踏査.

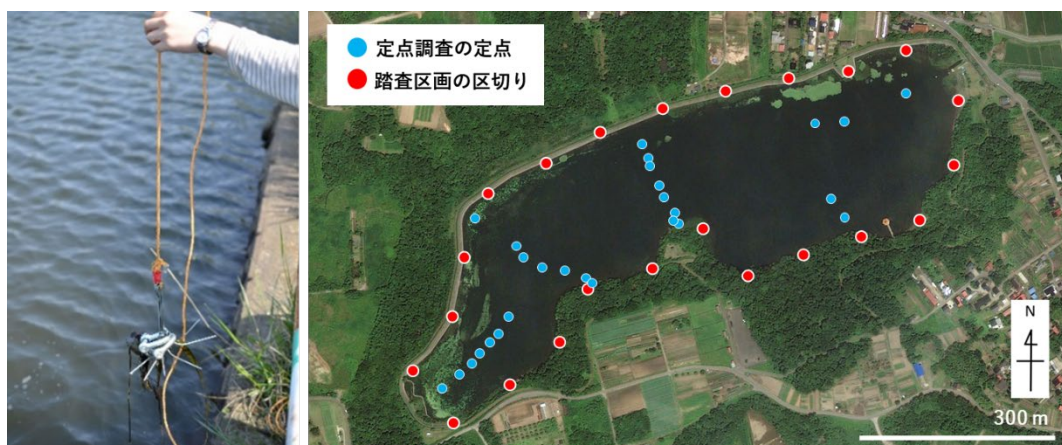


図3.4.1 左：水生植物採集器を用いた水生植物採集の様子。右：定点および踏査区域の設定の例（上越市長峰池）。湖沼図は Google earth に掲載されている衛星写真（2017年5月2日撮影）を引用。

3.2 市民参加型調査の評価および水生植物の同定支援ツールの作成

国内の様々な生物相を網羅的に把握するためには、専門家だけでなく、非専門家である市民または団体が行う調査（市民参加型調査）による情報提供も有効な手段の一つである。市民参加型の水生植物相調査の有効性を検証するためには、市民が持つ水生植物に関する知識量を評価した上で、実地検証（現地調査）によって調査能力（採集・識別能力）を評価する必要がある。そこで本研究では実際に市民参加型調査を実施して、これら进行评估した。

市民参加型調査の実施候補地の選定のため、大阪府南部（岸和田市・泉南郡岬町）および新潟県上越市のため池・湖沼において現地予備調査を行い、水生植物相のデータを得るとともに、調査の安全性や水生植物相の多様さに基づき、実施に適した場所や日程を検討した。

市民参加型調査の実地検証を行う湖沼として、大阪府と新潟県よりそれぞれ2池沼（合計4池沼）を選定した。大阪府では、大阪市立自然史博物館の協力により参加者を公募した。岸和田市のため池では19名、岬町のため池では16名の方々とともに市民参加型調査を行った。新潟県では、2018年10月に上越市の2湖沼で行い、それぞれ10名の参加があった。調査の開始前には、市民参加者の水生植物に関する知識を評価するためのペーパーテストを行った。テストは、水生植物の生態・形態・分類などに関する正誤問題および選択問題を本研究内で作成し、難易度を統一した計20問の問題集を3パターン用意したものである。

調査を実施した4池沼において合計7区画を設置した。7区画のうち5区画は湖岸を歩いて水生植物を探索・採集する踏査を行う区画とし、直線距離で50 mまたは100 mの範囲で設定した。その他の2区画ではアンカー型水生植物採集器のみを使用して採集を行う調査（採集器調査）を行う区画とし、水深が

深く採集器を投げ込みやすい場所に設定した。採集時間を一区画あたり20分間とし、市民参加者および水生植物の専門家数名（研究分担者や研究協力者等）が独立に調査を行った。調査後、それぞれの参加者が採集した水生植物の種名および種数について、専門家が同定・記録した。

参加者の採集能力を評価するため、採集種数を市民参加者と専門家間で比較した。採集種数は、踏査と採集器調査を行った区画間においても比較した。また、参加者がもつ知識と調査能力との関係を確認するため、試験の得点と採集種数の関係を調べた。さらに、調査人数の増加によって十分な採集種数が得られるかを検討するため、市民参加者の人数増加による累積採集種数の増加曲線は無作為抽出シミュレーションにより描き、専門家の採集種数と比較した。各区画における累積採集種数が専門家による採集種数の75%に達したときを十分な採集種数とし、必要な市民参加者の人数を調べた。

市民参加型調査においては参加者が異なる種の水生植物を認識し、同定する必要があるため、上記の市民参加型調査と並行して、同定支援ツールの作成を行った。

3.3 植物和名の変換ツールおよび国内の水生・湿生植物チェックリストの作成

文献情報に基づいて植物を水生、湿生、非湿生植物に分類したリストに、維管束植物の標準和名および異名を整理したチェックリストを加えた2種類のリストを作成した。

日本産の水生・湿生植物を分類したチェックリスト

水生・湿生植物は、各種図鑑の記載などの文献情報に基づいて評価した。評価に用いた文献は、下記の通りである。まず、これらの文献の生育環境や生育形の記載を入力した。

- ・『日本の野生植物 I, II, III, 木本I, 木本II』（佐竹ほか 1981-1989）
- ・『日本の帰化植物』（清水 2003）
- ・『改訂新版 日本の野生植物 1～5』（大橋ほか 2015-2017）
- ・『ネイチャーガイド 日本の水草』（角野 2014）
- ・『日本産シダ植物標準図鑑I, II』（海老原 2016a, 2016b）
- ・『日本淡水藻図鑑』（廣瀬・山岸 1977）

続いて入力した情報を類型化・統合し、掲載種がもつ生育環境と生育形を判定したマトリックスを作成した。この行列に基づき、国内に生育する維管束植物（外来植物含む）および一部の大型淡水藻類の分類群を以下の5群に分類した（表3.4.2）。なお、先行して同様の評価を行った米国や韓国は、湿地での出現頻度に従い依存度を5段階に分類しているが（US Fish & Wildlife Service 1997、Choung et al. 2012）、本研究ではこれと同様の基準での5段階評価は採用しなかった。国内の湿地環境における出現頻度データを網羅的に得るのが現時点では困難であること、文献の記載に基づいて5段階に分類することが不可能であることが主な理由である。

表3.4.2 植物（維管束植物および大型淡水藻類）の分類内容と手段。

群	該当する主な生育環境・生育形	主な分類方法と引用
水生1	沈水（大型淡水藻類を含む）・浮遊・浮葉植物（水生植物）	生育形により分類：沈水・浮遊・浮葉形をもつ（廣瀬・山岸 1977、角野 2014）
水生2	抽水植物（水生植物）	生育形により分類：抽水状態で生育し、通常は沈水・浮遊・浮葉形とならない（角野 2014）
湿生	湿生植物	生育環境の記載から分類：湿地環境に生育しうる植物のうち、水生1・水生2のカテゴリに該当しないもの（※図鑑では「湿地」「湿原」「水辺」等の生育環境をもつ種類が該当する）
非湿生	中生・乾生植物	生育環境の記載から分類：生育環境の情報が得られたが、湿地環境を主な生育環境としていなかったもの
未評価	未評価・記述なし	生育形および生育環境に関する十分な情報が得られなかった

維管束植物の標準和名および異名を整理したチェックリスト

上記の国産水生・湿生植物リストを実際に利用する際、植物相あるいは植物群落などのインプットデータには、現在国内で用いられている標準的な和名・学名のみならず、様々な学名・和名の異物同名や同物異名が少なからず含まれていることが予想される。今回作成したチェックリストを、これらを含むデータセットに対してそのまま利用すると、正しい判定ができない恐れがある。そこで、様々な異名を含みうる植物相や群落データを何らかの標準的な和名に変換するための、主な文献で使用される標準的な和名および和名異名のチェックリストを構築した。チェックリストの対象を学名ではなく和名とした理由は、分類学の発展によりある植物に対して採用される学名が変わりやすい一方で、和名は使用される名称が比較的安定しているためである。

以下の文献・リストに収録された維管束植物の標準的な和名、和名の異名、標準的な学名、広義・狭義などの分類学上の情報を入力し、データベース化した。

- ・ Green List ver.1.01 (Ebihara et al. 2016, Ito et al. 2016)
- ・ 『Ylist』 (米倉・梶田 2003-) を更新するためのコケ植物を除く未公開データ (米倉 未発表; 以下、Ylist更新データ)
- ・ 『改訂新版 日本の野生植物 1~5』 (大橋ほか 2015-2017)
- ・ 『日本産シダ植物標準図鑑I, II』 (海老原 2016a, 2016b)

入力したデータベースから、標準的な和名を基準として、文献・リスト間で標準的な和名が一致する和名、単一の文献・リストにしか登場しない和名、標準的な和名が一致しないなどの問題により文献間でスムーズに統合できない和名を整理・計数した。スムーズに結合できない一部の和名については、学名等を考慮して、可能な限り統合を進めた。

4. 結果及び考察

4.1 水生植物の調査手法の開発

2種類の調査方法（定点調査と踏査）の違いによる確認種数を評価した結果、定点調査と踏査の両方を行った全ての湖沼（上越市およびつがる市の湖沼）において、定点調査よりも踏査で多くの種が確認された（図4.4.1）。特に踏査では、定点調査に比べて多くの抽水植物（オモダカ科、カヤツリグサ科、ガマ科、イネ科などを多く含む）を確認した。一方、沈水・浮葉・浮遊植物は、調査方法による大きな差は見られなかった（図4.4.1）。これは、採集器の投擲で中～大型の抽水植物が採集されにくいことに加え、踏査でも本来深い場所に生育することが多い沈水植物を確認することができたことによる。ただし、水深が深い場所を好む種（一部の車軸藻類など）は、踏査では確認されない場合もあった。これは、維管束植物は植物体が水面に浮かぶため湖岸に漂着した切れ藻が踏査時に記録されるが、車軸藻類の切れ藻は水に浮かばないことに起因すると考えられる。

これらの結果から、湖沼の水生植物相を網羅するという点においては、定点調査よりも踏査の方がより多くの種数を把握でき優れていると結論した。また、人的・時間的コストや安全性を考慮した場合でも、踏査を中心として調査を設計する方が効率がよいと考えられた。定点調査は、必要に応じて併用するとよいと思われる。モニタリングサイト1000陸水域調査における調査設計では、水生植物相の把握を主目的に掲げているが、踏査は定点調査の補完調査として位置づけられている（環境省自然環境局生物多様性センター 2017）。今後、本研究の成果に基づいた調査マニュアルの修正が行われることを期待する。

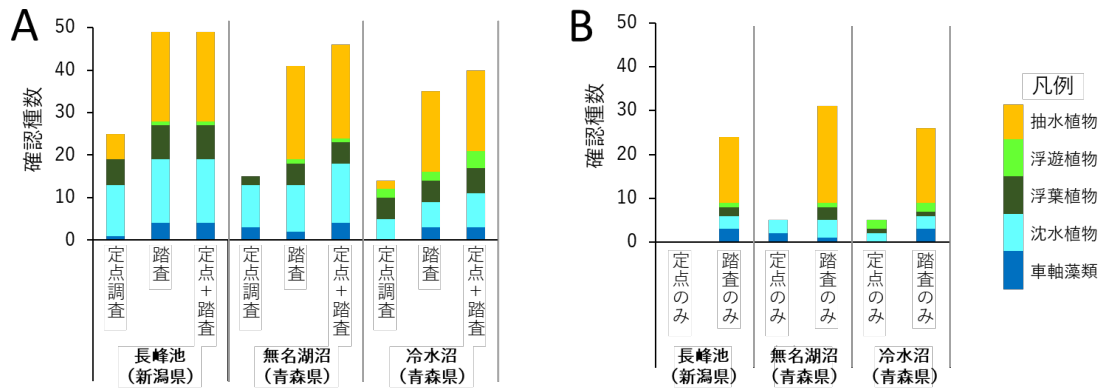


図4.4.1 定点調査と踏査で確認された種数の比較（3湖沼を例示）。A. それぞれの調査による確認種数と両方の調査（定点調査+踏査）の結果を合わせたときの確認種数。B. いずれか片方の調査でのみ確認された種数。

定点調査の定点数および踏査の区域数と累積確認種数の関係を調べるため、定点または踏査区域のランダム抽出（100反復）によるシミュレーション解析を行った。その結果、それぞれの湖沼における定点調査の確認種数は、定点調査と踏査の結果を合わせた全体の確認種数（以下、「全体種数」）の約35～70%に留まった（図4.4.2）。定点調査では記録されにくい抽水植物を除外して解析した場合、約60～90%となった（図4.4.2）。一方、踏査のみで確認できる種数は、湖辺を全周した時点で、全体種数の80～100%に達した。これらのことから、水生植物相を網羅するためには踏査の方が有効であることが示された。

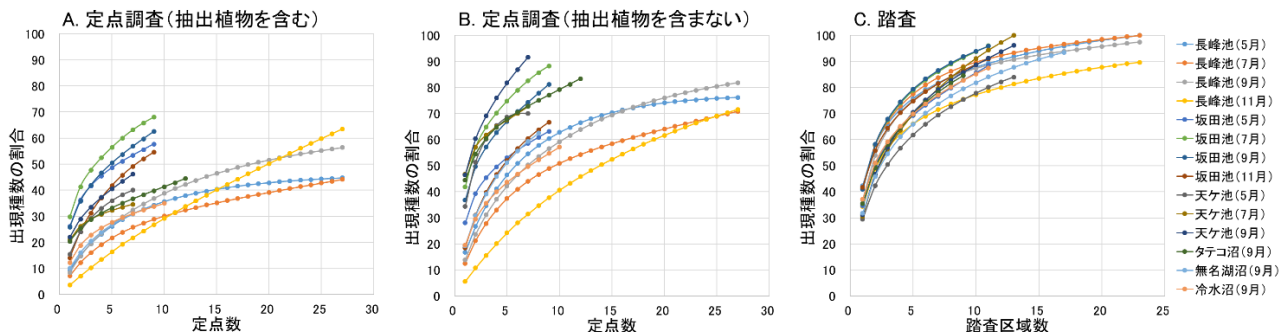


図4.4.2 定点数または踏査区域数と累積出現種数の割合の変化（100回反復のランダム抽出シミュレーションによる）。累積出現種数の割合は、各調査の全体の確認種数（定点調査と踏査の両結果を合わせて得た確認種数）を、各定点数または各踏査区域数における累積出現種数で割った値。A. 定点調査。全ての水生植物（沈水・浮葉・浮遊・抽水植物）を含めたときの結果。B. 定点調査。抽出植物を除外したときの結果。C. 踏査。

湖沼の大きさや地形によっては、湖岸全周の踏査が現実的でない場合もあるため、調査する湖岸を選択するための指針があることが望ましい。そこで、踏査区域間の出現種組成の類似度（Jaccard法）を調べ、クラスター解析（Ward法）を行った。その結果、踏査区域間の距離が離れるほど類似度は低くなり（図4.4.3）、近くの区域の出現種は類似していることが確認された（図4.4.4）。このことから、湖岸距離の離れた区域を優先的に選択して調査することが、湖岸の全長を調査できない場合の指針として提案可能と考えられた。

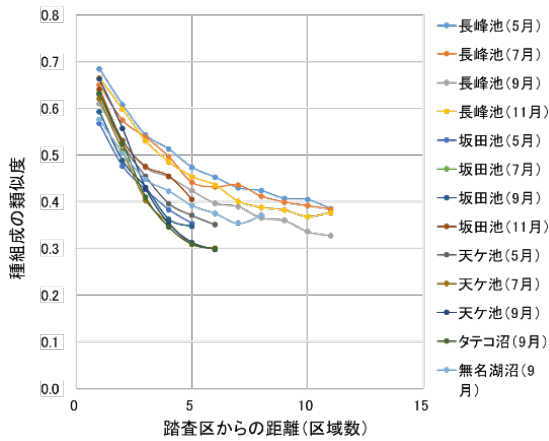


図4.4.3 踏査区域間の距離と種組成の類似度.

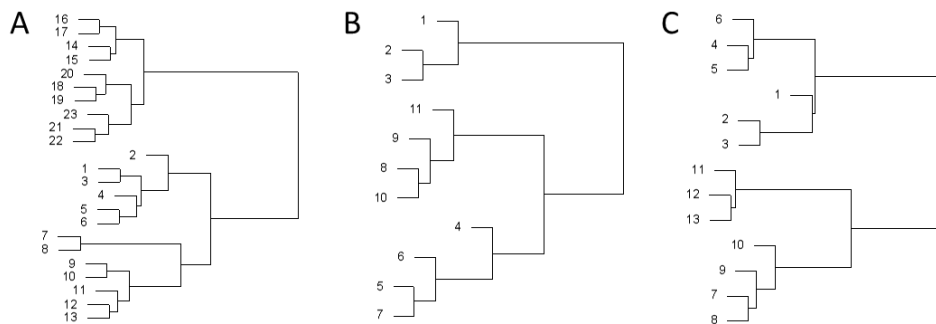


図4.4.4 踏査区域の種組成に基づいたクラスター解析 (3湖沼を例示). A. 長峰池 (9月). B. 坂田池 (9月). C. 天ヶ池 (9月). 数字は踏査区域の番号を示す.

定点調査で用いる水生植物採集器の採集能力を把握するため、各定点での採集試行回数（採集器投げ込みの回数）を変化（2、4、6、8、10回）させたときの確認種数を比較したところ、試行回数の増加とともに確認種数も増加するが、多くの湖沼において6回から10回の間での確認種数に有意な差が見られないことを確認した。したがって、水生植物採集器による採集を6回以上試行すれば、各定点に生育する種を十分に把握可能であることが示された。

踏査の所要時間は、湖沼の面積および踏査区画数（≒湖岸延長線）のいずれとも相関することを確認し、所要時間を湖沼面積および踏査区画数で割ると、面積 1haあたりでは5～23分、1区画（約 100m）あたりでは、9～17分であった。また、定点調査においては、1定点あたりに要した調査時間は平均12分であった。なお、各踏査区域または各定点で確認された種数が多いほど所要時間が増える傾向も確認した。

本研究で得られた上記の結果に基づいて、水生植物相調査を実施するための包括的なマニュアル『水生植物相調査のガイドライン ver.1.00』を作成し、CC BY 4.0として公開した (<http://wetlands.info/tools/guidebook/guideline4survey/>) (図4.4.5)。この資料は、水生植物の分類学・生態学を専門としないプロの研究者だけでなく、環境行政や環境コンサルタント業務の従事者、アマチュアの研究者や市民調査の指導者・参加者、学校教員および学生・生徒などをターゲットとした、全5章（計70ページ）からなる包括的なマニュアルである。マニュアルでは、国内の水生植物の専門家が用いることが多い手法（探索手段、採集手段など）を一通り紹介した後、これらの手法を組み合わせた具体的な調査方法を複数パターンにわたり解説した。本研究の現地調査で得られた調査結果も、マニュアル内で解説している調査方法により得られる成果の例として示した。また、植物相調査における証拠標本の重要性と水生植物の標本作製方法を解説した。さらに、水生植物調査に際しての安全管理や注意点、事前に知っておくべき法令や必要な許認可などについても解説した。

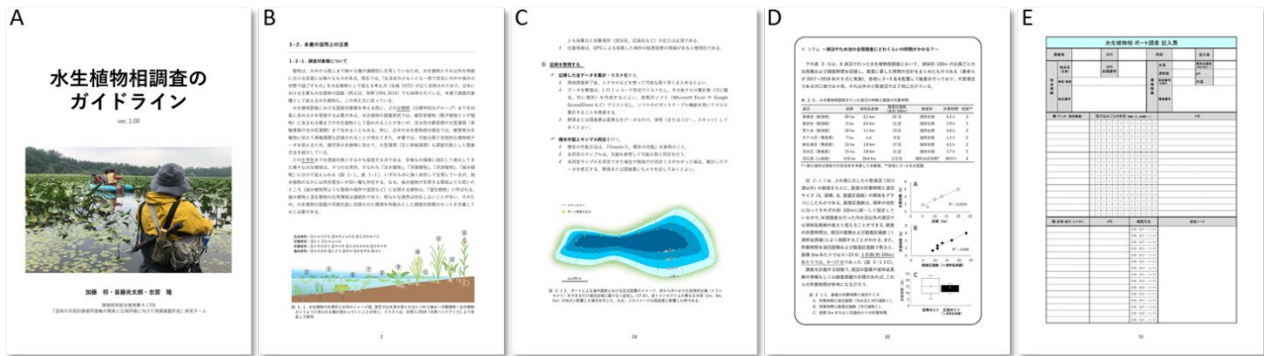


図4.4.5 水生植物相調査のガイドライン. A. 表紙ページ. B. 水生植物の一般論を紹介したページの例. C. 調査方法を解説したページの例. D. 本研究の現地調査で得られたデータに基づく調査成果を紹介したページの例. E. 現地調査の記入票.

2018年に行った青森県つがる市での調査では、希少種であるガシャモク *Potamogeton lucens* L. および日本新産であるヒルムシロ属の交雑種ツガルモク（新称）*P. ×angustifolius* J. Presl（ともにヒルムシロ科）を発見した（図4.4.6）。ガシャモクは福岡県の1地点のみに現存自然集団が知られていた種であり、環境省レッドリスト2017では絶滅危惧IA類に指定されている。また、ツガルモクは、ガシャモクとその近縁種であるエゾヒルムシロの交雑種である。これら2分類群については詳細な形態観察とDNA解析を実施し、分類学的・保全生物学な意義を報告した（Shutoh et al. 2018, 2020）。さらに、同湖沼と国内の他の湖沼との間で水生植物の種多様性を比較した結果、国内屈指の種多様性をもつことが明らかになった。そこで、種多様性の詳細な記述に加え、日本の水生植物の保全を行う上で重要な湖沼であることを報告した（Shutoh et al. 2019）。



図4.4.6 本研究で発見された希少種ガシャモク（左）（絶滅危惧IA類、Shutoh et al. 2018）および日本新産分類群ツガルモク（中）（Shutoh et al. 2020）。これらが発見された青森県つがる市の湖沼（Shutoh et al. 2019）。

4.2 市民参加型調査の評価および水生植物の同定支援ツールの作成

4湖沼に計7区画を設定して市民参加型調査の現地検証を行った結果、どの区画においても、市民参加者が採集できた種数は、専門家の採集種数と比べて少なかった。専門家の種数に対する市民参加者の採集種数の割合の平均は、踏査した5区画では $53.2 \pm 17.1\%$ （平均 \pm 標準偏差）、採集器調査を行った2区画では $59.0 \pm 16.4\%$ であった（図4.4.7）最も多くの種を採集した市民参加者でも専門家の成績に達することはなく、いずれの区画でも参加者一人あたりの採集種数は専門家のもとの間に明らかな差がみられた。このことから、市民が一人で調査を行った場合、専門家と同じ努力量では確認できる種数が十分でないことが確かめられた。

市民参加者全員の採集種数を合計した場合、3つの区画（踏査1区画、採集器2区画）で専門家の採集種数と同等か、それ以上に達した。残りの4区画でも専門家の種数に対し87%以上に達した。これら

の結果は、調査方法の違い（踏査と採集器調査）とは関連しなかった。市民参加者の累積採集種数がその区画の合計確認種数の75%に達するときの人数は区画ごとに異なった。このときの累積採集種数と市民参加者の人数には有意な関係がみられ（図4.4.8）、区画における総確認種数が多いほど、その75%に到達するために必要な市民参加者数は多くなった。このことから、水生植物調査において、複数人による市民参加型調査を行うことで専門家の調査に近い結果を得ることができること、調査地に生育する種数に応じた人数が必要であることが示された。種数が10～20種程度の場合では約5～6名、20～40種程度では約9～10名の市民が参加することで、生育する水生植物の十分な調査結果が得られることが示唆された。

また、市民参加者に対して調査前に行った水生植物の知識に関するペーパーテストの得点数は、2区画で採集種数の多さとの有意な相関が見られたが、その他の5区画では関連しなかった（図4.4.9）。これは、市民の水生植物に関する知識と探索能力との間に単純な正の関係が見られないことを示している。市民調査を行う際、現場での種同定のための人員として水生植物に詳しい市民の参加が望ましいが、単純な探索だけであれば様々な知識レベルの市民が調査員として参加しても成果が得られると思われる。

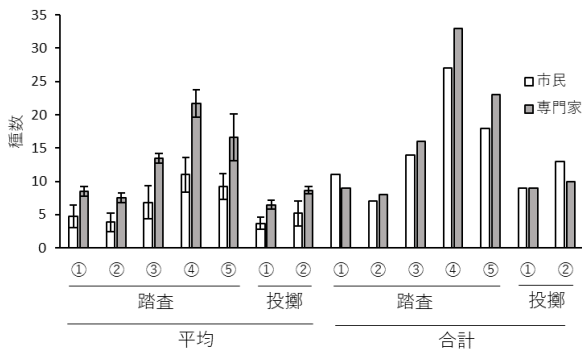


図4.4.7 各区画における市民と専門家の採集種数の平均と合計種数.

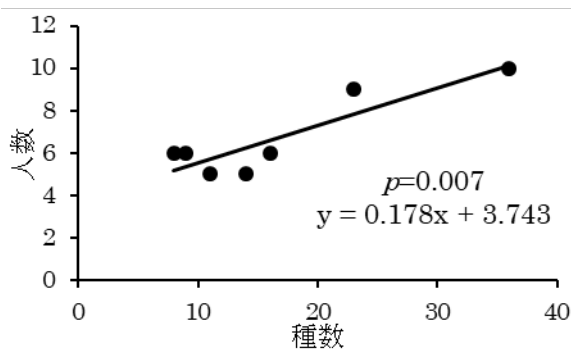


図4.4.8 各区画で確認された合計種数と合計種数の75%に達するときの市民の人数の関係。プロットはそれぞれの区画を示す。

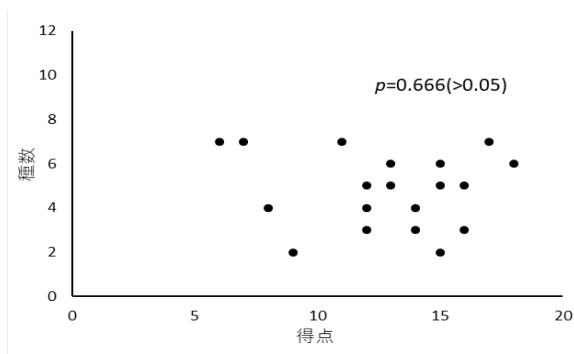


図4.4.9 市民参加者のペーパーテストの得点と採集種数の関係（岸和田市久米田池の区画を例示）。

水生植物の同定支援ツールとして、水辺でよく見られる水生植物を一覧で掲載した『さがそう！日本の水草47種（図4.4.10）』、ならびに初心者向けの図鑑である『水草ハンドブック（図4.4.11）』を作成し、クリエイティブ・コモンズ・ライセンス CC BY 4.0としてオープンデータ化してWeb上で公開した（<http://wetlands.info/tools/guidebook/>）。これらはこれまで水生植物を知らない方々から興味を持ち始めた初心者にまで対応した一般向けの入門書である。水草ハンドブックでは、国内でよくみられる133種についてそれぞれの写真と同定のポイントを説明した（図4.4.11）。また、水生植物の概説とともに、各種の識別形質のイラストによる絵解き検索表（図4.4.11）を掲載した。現在（令和2年4月14日）までに、『さがそう！日本の水草47種』は1,610回、『水草ハンドブック』は9,294回ダウンロードされている。

水草ハンドブックは、滋賀県立大学環境科学部において、水生動植物の調査実習を行う際の事前学習および種同定の教材資料として既に活用されている事例がある（科目名：フィールドワークII、吉山浩平 准教授）。また、CC BY 4.0としてオープンデータ化したことにより、植物・野鳥・菌類・昆虫・魚類ほか51冊の生物図鑑を横断検索できるウェブサービス『図鑑.jp（山と溪谷社）』の中に組み込まれ、日本における主要な水生植物の図鑑である『日本水草図鑑（角野1994）』、『ネイチャーガイド日本の水草（角野 2014）』と並び掲載されている（山と溪谷社「水草初心者必読！身近な133種類を解説した『水草ハンドブック』が追加！ 生物専門図鑑の読み放題サイト「図鑑.jp」」<https://www.yamakei.co.jp/news/release/20181024.html> 2020年4月14日確認）。



図4.4.10 水生植物の同定支援ツール『さがそう！日本の水草47種』。



図4.4.11 水生植物の同定支援ツール『水草ハンドブック』。表紙（左）、各種の解説ページ（中）、絵解き検索表の一部（右）。

市民参加型調査の実地検証の中で、大阪府新産となるリュウノヒゲモ（ヒルムシロ科）を岸和田市の久米田池で発見し、また、特定外来生物であるオオバナミズキンバイ（広義）の大阪府における分布の現状を確認した（図4.4.12）。これらについては論文として発表した（首藤ら 2018, 横川ら 2018a, 2018b, 2020）。



図4.4.12 リュウノヒゲモ（左）と広義オオバナミズキンバイ（右）

4.3 植物和名の変換ツールおよび国内の水生・湿生植物チェックリストの作成

4.3.1 日本産の水生・湿生植物を分類したチェックリスト

平成30年度までに、主に在来の維管束植物を優先して合計8,358分類群の生活史や生育環境を入力し、水生・湿生植物への分類を試みた。このうち、生育環境の記載により、水生、湿生、非湿生のいずれかのカテゴリに分類できたものは4,531分類群（約54.2%）であった（図4.4.13）。水生・湿生植物（水生1、水生2、湿生）と判定された種は1,120分類群で、全体の13.4%であった。一方で、45.8%にあ

2020年4月に微修正を施したver.1.10にアップデートした。公開されたチェックリストは、サブテーマ3「全国規模の湿地・植生データベースの作成」で作成された湿地植物データベースのレコードを整理する際にも活用された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

- ・非専門家でも実施可能な水生植物調査手法を提案し、専門家による調査との比較により有効性を検証した。本調査手法は、保全を目的とした事業に扱われるだけでなく、水生植物群落を含む環境を扱うあらゆる研究活動に利用することが可能であり、水生植物を扱う研究活動、モニタリング活動の裾野を広げることにつながると期待される。
- ・日本の維管束植物を水生植物（浮遊・沈水・浮葉植物と抽水植物）、湿生、非湿生に分類したリストを作成した。今後の研究により湿地植物の定義や湿地への依存度が段階的に評価できれば、湿地環境を対象とした生態学的な研究や、湿生植物の進化を明らかにする進化的研究など様々な研究活動に活用されることが期待される。
- ・維管束植物の異名と標準和名の対応を示した和名チェックリストを作成し、和名の変換ツールを作成した。これにより、異なる文献で用いられている植物名を統一し、比較研究が容易に行えるようになった。
- ・本研究を進める過程で、絶滅危惧水生植物ガシャモクの新産地や日本新産の水生植物ツガルモクを見出すなど、希少な水生植物の新産地や、生物多様性の保全を考えるうえで価値の高いため池や湖沼の存在を明らかにした。これらは、我が国における希少植物や環境の保全、およびこれらを対象とした研究を行う上で基礎的かつ重要な科学的知見である。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

- ・環境省モニタリングサイト1000事業を（陸水域調査）に関する諸委員会に参加し、湿地の生物多様性調査・評価について本研究の成果を踏まえた助言を行った（志賀）。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- ・環境省モニタリングサイト1000事業を（陸水域調査）に関する諸委員会に参加し、湿地の生物多様性調査・評価について本研究の成果を踏まえた助言を行った（志賀）。
- ・滋賀県生きものデータバンク事業（滋賀県）の検討委員会に参加し、植物データベース構築の際の植物種名の枠組みについて、本研究の成果（「和名チェックリスト」）の利用を推薦した（加藤）。
- ・河川水辺の国勢調査（阿賀野川）におけるヒアリングにおいて、調査手法について本研究成果に踏まえた助言を行うとともに、既往文献に基づく種リストの作成について『和名チェックリスト』や『国産水生・湿生植物チェックリスト』の利用を推薦した（志賀）。

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. SHUTOH, M. USUBA, H. YAMAGISHI, Y. FUJITA, S. HIRAMATSU, O. TSUJIMURA, Y. ISHIDOYA, M. KASAI, N. KASAI, A. MATSUMOTO, T. NORITA, A. YOKOYAMA, S. KANEKO and T. SHIGA: *Journal of Japanese Botany*, 93, 4, 240–252 (2018), A New Record of the Critically Endangered Pondweed, *Potamogeton lucens* from Aomori Prefecture, Japan.
- 2) 首藤光太郎、横川昌史、志賀隆：大阪市立自然史博物館研究報告、72, 47–51 (2018), 岸和田市久米田池で大阪府新産となるリュウノヒゲモ *Stuckenia pectinata* を確認
- 3) K. SHUTOH, T. YAMANOUCHI, S. KATO, H. YAMAGISHI, Y. UENO, S. HIRAMATSU, J. NISHIHIRO and T. SHIGA: *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 12, 3, 448-458 (2019), The Aquatic Macrophyte Flora of a Small Pond Revealing High Species Richness in the Aomori Prefecture, Japan.
- 4) S. MIDORIKAWA, K. SHUTOH and T. SHIGA: *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, 71, 1, 55-63 (2020), An Easy Method of Identifying Herbarium Specimens of *Najas minor* and *N. oguraensis*.
- 5) K. SHUTOH, M. USUBA, H. YAMAGISHI, Y. FUJITA and T. SHIGA: *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, 71, 1, 33-44 (2020), A New Record of *Potamogeton ×angustifolius* J.Presl (*Potamogetonaceae*) in Japan.

<その他誌上発表(査読なし)>

- 1) 横川昌史、首藤光太郎、風間美穂、志賀隆：きしわだ自然資料館研究報告、5, 1-9 (2018)
「久米田池(大阪府岸和田市)における水生植物相の現状と変遷」
- 2) 横川昌史、首藤光太郎、志賀隆：Nature Study(大阪市立自然史博物館友の会)、64, 4, 6 (2018)
「岸和田市の久米田池でオオバナミズキンバイ(広義)を確認」
- 3) 横川昌史、首藤光太郎、西村静代、風間美穂：Melange(きしわだ自然友の会誌)、18, 1, 2–3 (2019)
「道の池のオニバス」
- 4) 伊東樹明、加藤将、佐野郷美、西廣淳：水草研究会誌、108, 39-42 (2019)
「千葉県内におけるクサシヤジクモの再発見」

(2) 口頭発表(学会等)

- 1) 首藤光太郎、加藤将、横井謙一、山ノ内崇志、平松栞、西廣淳、志賀隆：日本植物学会第81回大会関連集会「拡がる水生植物の植物学 ～分野横断的研究のすすめと利活用の可能性～」(2017)
「水生植物相の標準調査法の開発とその評価に向けて」
- 2) 首藤光太郎、薄葉満、山岸洋貴、藤田優志、平松栞、兼子伸吾、津軽植物の会、志賀隆：水草研究会第40回全国集会(2018)
「青森県つがる市でガシヤモクの新産地を発見」
- 3) 加藤将、平松栞、首藤光太郎、藤原陽一郎、志賀隆：水草研究会第40回全国集会(2018)
「水生植物相調査の一般化・効率化に向けた手法構築とその実践的評価」
- 4) 横川昌史、首藤光太郎、志賀隆：水草研究会第40回全国集会(2018)
「大阪市立自然史博物館のミニガイド「関西の水草」の紹介」
- 5) 高岡遼、首藤光太郎、横川昌史、志賀隆：日本陸水学会甲信越支部会第44回研究発表会(2018)
「水生植物相調査において市民参加型調査はどこまで有効か」

- 6) 首藤光太郎、山ノ内崇志、加藤将、山岸洋貴、志賀隆：日本陸水学会甲信越支部会第44回研究発表会（2018）
「希少水草ガシャモクが発見された池（青森県つがる市）の水生植物相とその特徴」
- 7) 首藤光太郎、山岸洋貴、志賀隆：日本植物分類学会第18回大会（2019）
「青森県つがる市で新たに見つかった水草の楽園～希少水草ガシャモクの発見からはじまった水生植物相研究～」
- 8) 志賀隆、首藤光太郎、高岡遼、平松栞、加藤将：第66回日本生態学会大会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「みんなで水草相を調べよう：調査手法の一般化・効率化に向けた実践的評価」
- 9) 首藤光太郎、山ノ内崇志、志賀隆：第66回日本生態学会シンポジウム「環境変動下での湿地の保全と活用：広域かつ多面的な評価を目指して」（2019）
「和名異名の整理からはじめる日本産水生・湿生植物チェックリストの構築」
- 10) 緑川昭太郎、加藤将、志賀隆：水草研究会第41回全国集会（2019）
「大きい“トリゲモ”はオオトリゲモか？～両種における形態的特徴と国内分布の再検討～」
- 11) 首藤光太郎、薄葉満、山岸洋貴、志賀隆：水草研究会第41回全国集会（2019）
「青森県つがる市から発見された日本新産のヒルムシロ属雑種*Potamogeton ×angustifolius*（ツガルモク）」

（3）知的財産権

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) 一般公開シンポジウム「未来へつなぐ ～津軽半島の豊かな自然～」（主催：弘前大学白神自然環境研究所、新潟大学教育学部、環境研究総合推進費 4-1705「湿地の多面的価値評価軸の開発と広域評価に向けた情報基盤形成」研究チーム）、2017年12月11日、つがる市生涯学習交流センター「松の館」交流ホール、観客約80名）にて講演（発表者：志賀隆、首藤光太郎）
- 2) 大阪市立自然史博物館における室内実習「水草の調べ方」（主催：大阪市立自然史博物館、2018年7月8日、参加者約43名）にて講演（講師：首藤光太郎、担当学芸員：横川昌史）
- 3) 「さがそう！日本の水草44種（水草ハンドブックの普及版）（制作・監修：首藤光太郎、志賀隆）」をWeb公開（http://wetlands.info/tools/guidebook/hydrophyte_abridgement/ 公開日2018年7月3日）
- 4) 「水草ハンドブック（著者：志賀隆、首藤光太郎、横川昌史、加藤将、稗田真也、倉園知広、山ノ内崇志）」をweb公開（http://wetlands.info/tools/guidebook/hydrophyte_handbook, 2018年7月31日初版発行）
- 5) 大阪府岸和田市における観察会・野外実習「水草の調べ方 1. 久米田池」（主催：大阪市立自然史博物館、2018年9月23日、参加者約26名）にて講演（講師：志賀隆、首藤光太郎、高岡遼、担当学芸員：横川昌史）
- 6) 大阪府岬町における観察会・野外実習「水草の調べ方 3. 岬町深日」（主催：大阪市立自然史博物館、2018年9月23日、参加者約18名）にて講演（講師：志賀隆、首藤光太郎、高岡遼、担当学芸員：横川昌史）
- 7) 大阪市立自然史博物館自然史オープンセミナー「市民参加型調査による水草の調べ方：野外調査行事からわかったこと」（主催：大阪市立自然史博物館、2019年3月2日、参加者約22名）にて講演（講師：高岡遼、担当学芸員：横川昌史）
- 8) 「維管束植物和名チェックリストver. 1.00（作成者：山ノ内崇志、首藤光太郎、大澤剛士、米倉浩司、加藤将、志賀隆）」をWeb公開（https://www.gbif.jp/v2/activities/wamei_checklist.html, 公開日2019年3月18日）。

- 9) 「日本産水生・湿生植物チェックリスト（作成者：首藤光太郎、山ノ内崇志、山口昌子、加藤将、志賀隆）」をWeb公開（<http://wetlands.info/tools/plantsdb/wetlandplants-checklist/>，公開日2019年3月31日）
- 10) 公開講演会「津軽半島の水辺から美しい水生植物の世界へ：『みんなでのぞいてみよう、水草の世界』」（主催：第41回水草研究会全国集会、2019年8月24日、弘前大学創立50周年記念会館・岩木ホール、参加者約60名）にて講演（講師：志賀隆）
- 11) 公開講演会「津軽半島の水辺から美しい水生植物の世界へ：『もう一つの水草の仲間？車軸藻類について』」（主催：第41回水草研究会全国集会、2019年8月24日、弘前大学創立50周年記念会館・岩木ホール、参加者約60名）にて講演（講師：加藤将）
- 12) 一般公開セミナー「第1回土曜市民セミナー『水草を探して、集めて、調べて、守る。』」（主催：北海道大学総合博物館、2019年4月13日、北海道大学総合博物館 1階「知の交流」、参加者約100名）にて講演（講師：首藤光太郎）
- 13) 「水生植物相調査のガイドライン ver1.00（著者：加藤将、首藤光太郎、志賀隆）」をWeb公開（<http://wetlands.info/tools/guidebook/guideline4survey/>，公開日2020年3月31日）

（5）マスコミ等への公表・報道等

- 1) 東奥日報（2017年10月17日、21面、『幻の水草「ガシヤモク」つがるに』）
- 2) 読売新聞（2017年10月17日、地方版、31面、『つがる 湖沼群に「ガシヤモク」』）
- 3) 陸奥新報（2017年10月17日、1面、『絶滅危惧の水草発見 現存2カ所目「ガシヤモク」つがるに個体群』）
- 4) 日経新聞（2017年10月21日、地方版、35面、『「幻の水草」青森で発見』）
- 5) 新潟日報（2017年10月28日、34面、『幻の水草 青森県で確認』）
- 6) 東奥日報（2017年12月12日、『「ガシヤモク」どう保全 シンポで福岡の事例学ぶ』）
- 7) 東奥日報（2020年3月25日、22面、『つがる市で国内初確認の水草 命名ツガルモク』）
- 8) 陸奥新報（2020年3月25日、3面、『つがるの池で国内初確認の水草 「ツガルモク」と命名』）

（6）その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 海老原淳:「日本産シダ植物標準図鑑I」, 学研プラス (2016a) .
- 2) 海老原淳:「日本産シダ植物標準図鑑II」, 学研プラス (2016b) .
- 3) A. Ebihara, M. Ito, H. Nagamasu, S. Fujii, T. Katsuyama, K. Yonekura, T. Yahara: Fern GreenList ver. 1.01 (<http://www.rdplants.org/gl/>) (2016) .
- 4) Y. Choung, W.T. Lee, K.-H. Cho, K.Y. Joo, B.M. Min, J.-O. Hyun, K. S. Lee: Categorizing vascular plant species occurring in wetland ecosystems of the Korean Peninsula. Center for Aquatic Ecosystem Restoration (2012) .
- 5) 廣瀬弘幸、山岸高旺（編）:「日本淡水藻図鑑」, 内田老鶴圃 (1977) .
- 6) M. Ito, H. Nagamasu, S. Fujii, T. Katsuyama, K. Yonekura, A. Ebihara, T. Yahara: GreenList ver. 1.01 (<http://www.rdplants.org/gl/>) (2016) .
- 7) 角野康郎:「日本水草図鑑」, 文一総合出版 (1994).
- 8) 角野康郎:「ネイチャーガイド 日本の水草」, 文一総合出版 (2014) .
- 9) 環境省自然環境局生物多様性センター: モニタリングサイト1000 陸水域調査 湖沼: 水生植物調査マニュアル 第1版. モニタリングサイト1000 陸水域調査 湖沼: 水生植物調査マニュアル 第1版 (http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/lakeAquaticPlants_manual_ver1.pdf) (2017) .
- 10) 大橋広好、門田裕一、木原浩、邑田仁、米倉浩司（編）:「改訂新版 日本の野生植物 1 ソテツ

- 科～カヤツリグサ科」, 平凡社 (2015) .
- 11) 大橋広好、門田裕一、木原浩、邑田仁、米倉浩司 (編) : 「改訂新版 日本の野生植物 2 イネ科～イラクサ科」, 平凡社 (2016a) .
 - 12) 大橋広好、門田裕一、木原浩、邑田仁、米倉浩司 (編) : 「改訂新版 日本の野生植物 3 バラ科～センダン科」, 平凡社 (2016b) .
 - 13) 大橋広好、門田裕一、木原浩、邑田仁、米倉浩司 (編) : 「改訂新版 日本の野生植物 4 アオイ科～キョウチクトウ科」, 平凡社 (2017a) .
 - 14) 大橋広好、門田裕一、木原浩、邑田仁、米倉浩司 (編) : 「改訂新版 日本の野生植物 5 ヒルガオ科～スイカズラ科」, 平凡社 (2017b) .
 - 15) 佐竹義輔、大井次三郎、北村四郎、亙理俊次、富成忠夫 (編) : 「日本の野生植物 草本I 単子葉類」, 平凡社 (1982a) .
 - 16) 佐竹義輔、大井次三郎、北村四郎、亙理俊次、富成忠夫 (編) : 「日本の野生植物 草本II 離弁花類」, 平凡社 (1982b) .
 - 17) 佐竹義輔、大井次三郎、北村四郎、亙理俊次、富成忠夫 (編) : 「日本の野生植物 草本III 合弁花類」, 平凡社 (1981) .
 - 18) 佐竹義輔、原寛、亙理俊次、富成忠夫 (編) : 「日本の野生植物 木本I」, 平凡社 (1989a) .
 - 19) 佐竹義輔、原寛、亙理俊次、富成忠夫 (編) : 「日本の野生植物 木本II」, 平凡社 (1989b) .
 - 20) 清水建美 (編) : 「日本の帰化植物」, 平凡社 (2003) .
 - 21) US Fish and Wildlife Service: National list of vascular plant species that occur in wetlands. United States Fish and Wildlife Service, Department of the Interior (1997) .
 - 22) 米倉浩司、梶田忠: BG Plants 和名ー学名インデックス (YList) (<http://ylist.info>) (2003-) .

III. 英文Abstract

Development of Multifaceted Evaluation Axis and Construction of Information Base for Conservation of Wetland Ecosystems

Principal Investigator: Jun NISHIHIRO

Institution:

National Institute for

Environmental Studies (NIES)

16-2 Onogawa, Tsukuba-City,

Ibaraki 305-8506, JAPAN

Tel: +81-29-850-2366

E-mail: nishihiro.jun@nies.go.jp

Cooperated by: Toho University, Hokkaido University, Niigata University

[Abstract]

Key Words: Biodiversity, Ecosystem services, Watershed management, Ecosystem based disaster-risk reduction (Eco-DRR), Ecosystem based approach for climate change adaptation (EbA), Key biodiversity wetlands, Biodiversity database, Biodiversity monitoring, Aquatic plants, Wetland vegetation, Nature restoration, Citizen cooperation, Green infrastructure

In order to contribute to the conservation of biodiversity of Japanese wetlands and achievement of international biodiversity conservation goals, conceptual, literature-based, and practical researches were carried out. (1) In the Kanto Plain, we mapped important wetland-areas by using distribution models of indicator species (frogs and turtles). The taxa were shown to be evenly distributed across different types of wetlands. The analysis on the relationship between the topographic features and distribution of endangered species showed the importance of a head-water wetlands in small valleys ('yatsu') on conserving these populations. We analyzed the relationship among the vegetation property and functions of water-purification and flood control of the yatsu wetland. Then we clarified the ecosystem functions are high in the wetlands with high coverage of wetland plants. These findings suggest the conservation of these small wetlands in a watershed can contribute to maintain biodiversity and ecosystem functions, which are important also for the adaptation on climate change. (2) We identified trade-offs and synergies between numerous ecosystem services and biodiversity as a basis for planning the conservation and utilization of wetlands at the watershed scale. The results showed that water quality of rivers and agricultural production in watersheds often showed trade-off relationship. At the same time, it was shown that this trade-off could be mitigated by the presence of small wetlands in the upper part of the basin. In this analysis, environmental DNA was used to reveal the species composition of fish in the watersheds. In addition, methodological improvements in environmental DNA analysis were achieved. (3) We compiled the results of previous vegetation and flora surveys conducted in Japanese wetlands to construct a comprehensive database.

This database contains three sub-datasets; 'wetland database(=wetlands inventory)', 'wetland-flora database', and 'literature database'. The database can be used for a nation-wide biodiversity outlook. (4) Standard methods for surveying the aquatic flora of wetlands and lakes have been established through field trials and compiled into a manual. We also developed some tools to analyze the flora characteristics obtained from the surveys. These manuals and tools were made available on the website to help the biodiversity monitoring of wetlands.