

自然共生研究プログラム

(課題解決型研究プログラム)

Harmonization with Nature Research Program

平成28～令和2年度
FY2016～2020

NIES



国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<https://www.nies.go.jp/>

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第143号

NIES Research Project Report, No.143

SR - 143 - 2024

自然共生研究プログラム

(課題解決型研究プログラム)

Harmonization with Nature Research Program

平成28～令和2年度

FY2016～2020

国立研究開発法人 国立環境研究所

NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

<https://www.nies.go.jp/>

課題解決型研究プログラム「自然共生研究プログラム」

(期間：平成 28～令和 2 年度)

課題代表者：山野博哉

執筆 者：角谷 拓・深澤圭太・五箇公一・大沼 学・井上智美・竹中明夫・石濱史子・
松崎慎一郎・矢部 徹・吉田勝彦・山野博哉

編 者：戸津久美子・山野博哉

序

本報告書は、平成28～令和2年度の5年間にわたって実施した課題解決型研究プログラム「自然共生研究プログラム」の研究成果をとりまとめたものです。

本研究プログラムは、生物多様性国家戦略に記された生物多様性4つの危機に対処するよう構成されています。プロジェクト1が第1の危機：開発など人間活動による危機（破壊、乱獲）及び第2の危機：自然に対する働きかけの縮小による危機（耕作放棄、里山の減少）に、プロジェクト2が第3の危機：人間により持ち込まれたものによる危機（侵入種、汚染）に、プロジェクト3が第4の危機：気候変動による危機）に対応しており、それらを統合的に解析するプロジェクト4が設置され、これらによる生物多様性の保全に基づき、プロジェクト5においては、森里川海のつながりの保全を含む生態系機能・サービスの評価と持続的利用に取り組みました。

これらの取り組みにより、生物多様性の保全においては生物多様性4つの危機への対処、持続的利用においては生態系サービスの評価に基づく生物多様性の主流化に貢献することができました。また、両者を統合する保全優先度を検討するツールを開発し、人口減少等の課題に対応した保護区候補地の選定を行うとともに、生態系サービスと生物多様性を可視化し、トレードオフやシナジーに基づく生態系の活用策を提案いたしました。これらの成果は、第5期中長期計画における新しい自然共生研究プログラムに引き継がれ、生物多様性の保全と持続的利用の両立を推進するとともに、両立に向けた行動変容など社会変革へと発展を遂げています。

本研究を行う上で、研究所内外の多くの方々にご協力・ご助言を頂きました。ここに深謝いたします。

令和6年3月

国立研究開発法人 国立環境研究所

理事長 木本 昌秀

目 次

1 プログラムの概要.....	1
1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等	1
1.2 研究の概要.....	1
2 研究の成果	7
2.1 人間活動と生物多様性・生態系の相互作用に基づく保全戦略（プロジェクト1）	7
2.1.1 資源利用による生物多様性影響（サブテーマ1）	7
2.1.1.1 目的と経緯.....	7
2.1.1.2 方法.....	8
2.1.1.3 結果と考察.....	9
2.1.1.4 まとめ.....	12
2.1.2 人口減少下での生態系管理戦略（サブテーマ2）	13
2.1.2.1 目的と経緯.....	13
2.1.2.2 方法.....	13
2.1.2.3 結果と考察.....	15
2.1.2.4 まとめ.....	17
2.2 生物多様性に対する人為的環境攪乱要因の影響と管理戦略（プロジェクト2）	17
2.2.1 外来生物による影響評価と管理戦略（サブテーマ1）	17
2.2.1.1 目的と経緯.....	17
2.2.1.2 方法.....	17
2.2.1.3 結果と考察.....	18
2.2.1.4 まとめ.....	23
2.2.2 農薬による影響評価と管理戦略（サブテーマ2）	24
2.2.2.1 目的と経緯.....	24
2.2.2.2 方法.....	24
2.2.2.3 結果と考察.....	25
2.2.2.4 まとめ.....	31
2.2.3 野生動物感染症による影響評価と管理戦略（サブテーマ3）	32
2.2.3.1 目的と経緯.....	32
2.2.3.2 方法.....	32
2.2.3.3 結果と考察.....	33
2.2.3.4 まとめ.....	39
2.3 広域環境変動に対する生物・生態系応答機構解明と適応戦略（プロジェクト3）	40
2.3.1 生物データ収集と整備	40
2.3.1.1 目的と経緯.....	40
2.3.1.2 方法.....	40
2.3.1.3 結果と考察.....	42
2.3.1.4 まとめ.....	44
2.3.2 生物・生態系機能と広域環境変動.....	45
2.3.2.1 目的と経緯.....	45
2.3.2.2 方法.....	46

2.3.2.3 結果と考察.....	47
2.3.2.4 まとめ.....	53
2.4 生物多様性の保全及び生態系サービスの持続可能な利用に向けた多面的な評価指標の総合的な評価に基づく保全 策実施対象地の適切な空間配置を支援するツールの開発（プロジェクト4）.....	54
2.4.1 多面的な評価指標を考慮した保全デザイン支援ツール SecSel の開発.....	54
2.4.1.1 目的と経緯.....	54
2.4.1.2 方法.....	54
2.4.1.3 結果と考察.....	55
2.4.1.4 まとめ.....	56
2.4.2 国立公園内の高山植生保全と生態系サービスの利用に関する気候変動適応策の検討.....	56
2.4.2.1 目的と経緯.....	56
2.4.2.2 方法.....	56
2.4.2.3 結果と考察.....	57
2.4.2.4 まとめ.....	58
2.4.3 人口減少下での管理放棄に脆弱な種の保全.....	59
2.4.3.1 目的と経緯.....	59
2.4.3.2 方法.....	59
2.4.3.3 結果と考察.....	59
2.4.3.4 まとめ.....	60
2.4.4 再生可能エネルギーの導入拡大と絶滅危惧植物の保全の両立.....	60
2.4.4.1 目的と経緯.....	60
2.4.4.2 方法.....	61
2.4.4.3 結果と考察.....	61
2.4.4.4 まとめ.....	62
2.4.5 獣害対策最適化統計モデル.....	62
2.4.5.1 目的と経緯.....	62
2.4.5.2 方法.....	62
2.4.5.3 結果と考察.....	62
2.4.6 保護区選択における分布推定モデルの利用が有益となる条件の特定.....	63
2.4.6.1 目的と経緯.....	63
2.4.6.2 方法.....	63
2.4.6.3 結果と考察.....	63
2.4.6.4 まとめ.....	64
2.4.7 遺伝的多様性を考慮した保護区選択のための指標の検討.....	64
2.4.7.1 目的と経緯.....	64
2.4.7.2 方法.....	65
2.4.7.3 結果と考察.....	65
2.4.7.4 まとめ.....	66
2.4.8 生物多様性と生態系サービスにかかる統合解析のための基盤データベース整備.....	66
2.4.8.1 目的と経緯.....	66
2.4.8.2 方法.....	66
2.4.8.3 結果と考察.....	66

2.4.8.4 まとめ.....	66
2.5 生態系機能・サービスの評価と持続的利用（プロジェクト5）	67
2.5.1 霞ヶ浦流域における時空間の生態系サービス評価及びサービス間の関係に関する研究（サブテーマ1）	67
2.5.1.1 目的と経緯.....	67
2.5.1.2 方法.....	67
2.5.1.3 結果と考察.....	69
2.5.1.4 まとめ.....	76
2.5.2 小笠原諸島の生態系の持続性に関する研究（サブテーマ2）	77
2.5.2.1 目的と経緯.....	77
2.5.2.2 方法.....	78
2.5.2.3 結果と考察.....	79
2.5.2.4 まとめ.....	84
2.5.3 河川と海のつながりを重視した流域生態系研究（サブテーマ3）	85
2.5.3.1 目的と経緯.....	85
2.5.3.2 方法.....	86
2.5.3.3 結果と考察.....	87
2.5.3.4 まとめ.....	91

[資 料]

1 研究の組織と研究課題の構成	96
1.1 研究の組織	96
1.2 研究課題と担当者	97
2 研究成果発表一覧.....	98
2.1 誌上発表.....	98
2.2 口頭発表.....	118

1 プログラムの概要

1.1 研究プログラム全体の目的、目標、構成等

本研究プログラムは、生物多様性国家戦略に記された生物多様性4つの危機に対処するよう構成されている（図1）。プロジェクト1が第1の危機：開発など人間活動による危機（破壊、乱獲）及び第2の危機：自然に対する働きかけの縮小による危機（耕作放棄、里山の減少）に、プロジェクト2が第3の危機：人間により持ち込まれたものによる危機（侵入種、汚染）に、プロジェクト3が第4の危機：気候変動による危機）に対応しており、それらを統合的に解析するプロジェクト4が設置され、これらによる生物多様性の保全に基づき、プロジェクト5においては、森里川海のつながりの保全を含む生態系機能・サービスの評価と持続的利用に取り組んだ。本プログラムは、モニタリングや試料保存などの基盤整備、大型施設の活用、生物・生態系分野の基礎研究、さらに他センターと連携して推進した。

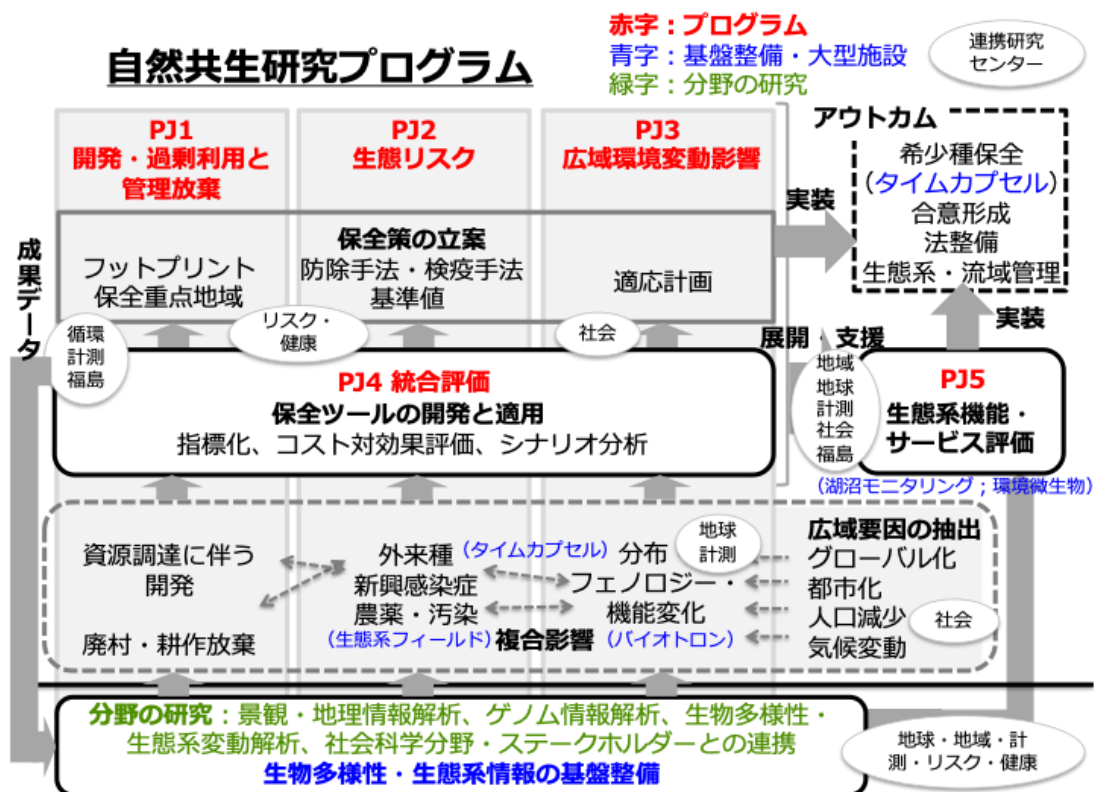


図1 自然共生研究プログラムの構成

1.2 研究の概要

プロジェクト1では、国際的なスケールと国内スケールの異なるスケールで生じる生物多様性・生態系の利用と管理の問題を統合的にとらえて戦略的な解決策を提示するための基盤となる指標や手法の開発を実施する（図2）。サブプロジェクト1では、鳥類を対象とした生物多様性フットプリント指標を算出するとともに、指標の精度や包括性を向上させるために必要なデータ基盤整備・解析を実施した。すなわち、地球規模での高解像度の森林分布データを解析し、絶滅危惧種の分布及び保護地域の空間情報と統合することで、森林減少による絶滅危惧種の影響を評価すると同時に、保護区等の土地利用規制による介入の効果の定量化を実施した。各生物種の分布域内での保護区内外での森林減少率に基づいた手法と、IUCNによる絶滅リスク評価カテゴリーの時系列変化を用いた指標（レッドリストインデックス）を用いることで、信頼性の高い影響評価手法の検討を行った。森林減少が、ほ乳類、鳥類、は虫類、両生類いずれの陸生脊椎動物分類群においても、絶滅リスクの上昇に強く影響していることを明らかにするとともに、保護区がどの程度絶滅リスク低減に貢献できるかを国レベルで定量化した。さらに、地球規模の国・地域別の地理空間情報をデータベース

としてまとめ、広域評価のための汎用的な基盤を構築した。サブプロジェクト2では、無居住化集落において数十年スケールの人口減少が生物多様性に与える影響が明らかとなり、それに基づく影響の広域評価や人口減少に対応した生物多様性シナリオを構築した。また、無居住化の影響を最小化する保護区の最適配置を検討した。それらにより、将来の人口減少が生物多様性に与える負の影響を最小化する人口分布の誘導策の検討が可能になった。また、人口減少に対応した土地利用シナリオを Web 上で公開及び可視化し、人口減少下での生物多様性や生態系サービス評価に必要な基盤情報を社会に提供した。研究成果をもとに、国土交通省国土政策局総合計画課国土管理企画室に人口減少下の土地利用について情報提供を行った。

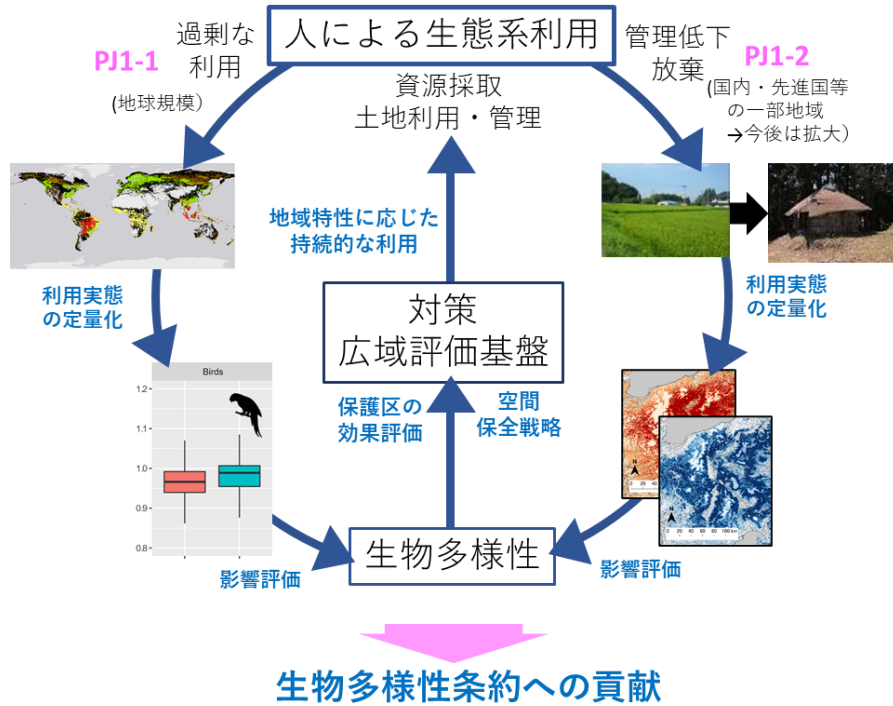


図2 プロジェクト1の概要

プロジェクト2では、外来生物及び化学物質の影響評価と、近年問題となっている野生生物感染症の感染拡大プロセス及び生態リスクの解明、及びこれらの要因による影響の管理手法の開発を行う(図3)。外来生物対策として特定外来生物の新規防除手法を開発して防除マニュアルを策定し、侵入地域における防除システム運用試験を実施した。次に農薬リスク対策としてハナバチ類に対する農薬の生態影響評価手法を開発するとともに、水生生物に対する農薬の生態リスク評価手法の高度化を図った。またメソコズム試験法のマニュアル化及び地方レベルの試験運用を推進するとともに野外環境における農薬残留分析を進め、生物多様性への影響を評価した。感染症対策として野生渡り鳥の鳥インフルエンザ、野生イノシシの豚熱ウイルス、マダニが媒介するSFTS(重症熱性血小板減少症候群)、ニホンミツバチのアカリンダニ、及び両生類ツボカビ菌の感染・寄生状況の調査、宿主特異性のメカニズム分析を進めるとともに、サーベイランス体制を強化し、リスク管理手法の開発を行った。

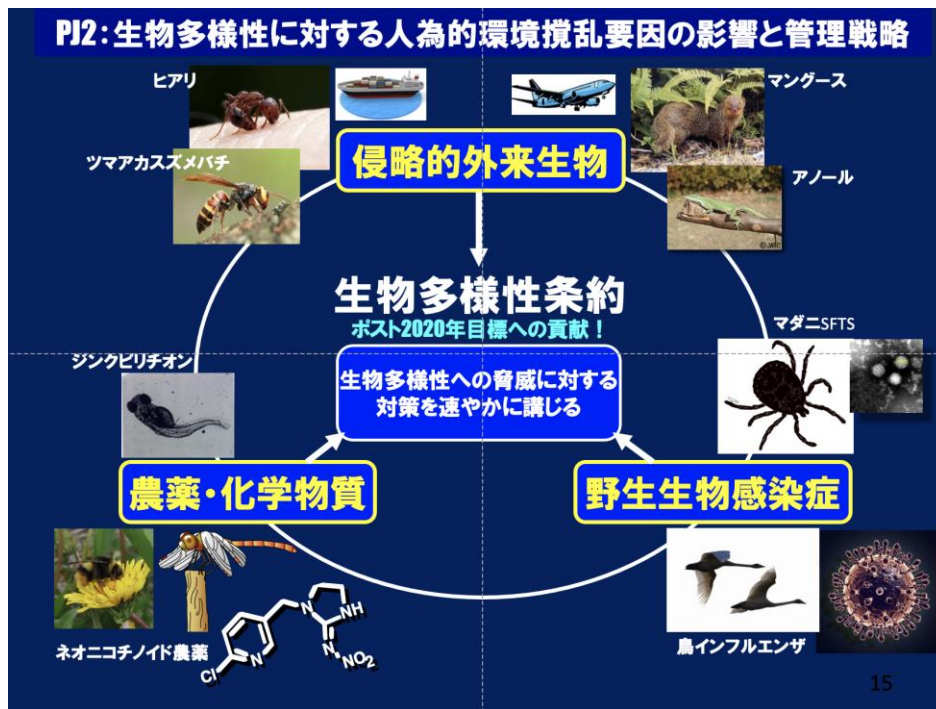


図3 プロジェクト2の概要

プロジェクト3では、気候変動・大気汚染などの広域環境変動に対する適応戦略に科学的根拠を与えるための生物応答メカニズムの解明を行う（図4）。広域環境変動に対する生物応答に関する基礎情報として、高山生態系の植物の形質データ及び、沿岸生態系の生物（マングローブ・サンゴ礁・大型海藻）の分布情報整備を行った。また、大気汚染や気温上昇が植物の生残や生育に及ぼす影響に関する基礎情報を既報データから収集し、データベースとして整理した。さらに、温暖化や大気汚染といった環境変動が生物生態系に及ぼす影響のメカニズムを解明するための調査・計測を行った。本プロジェクトでこれまでに収集した知見を広域評価へ展開するための手法の検討を行った。

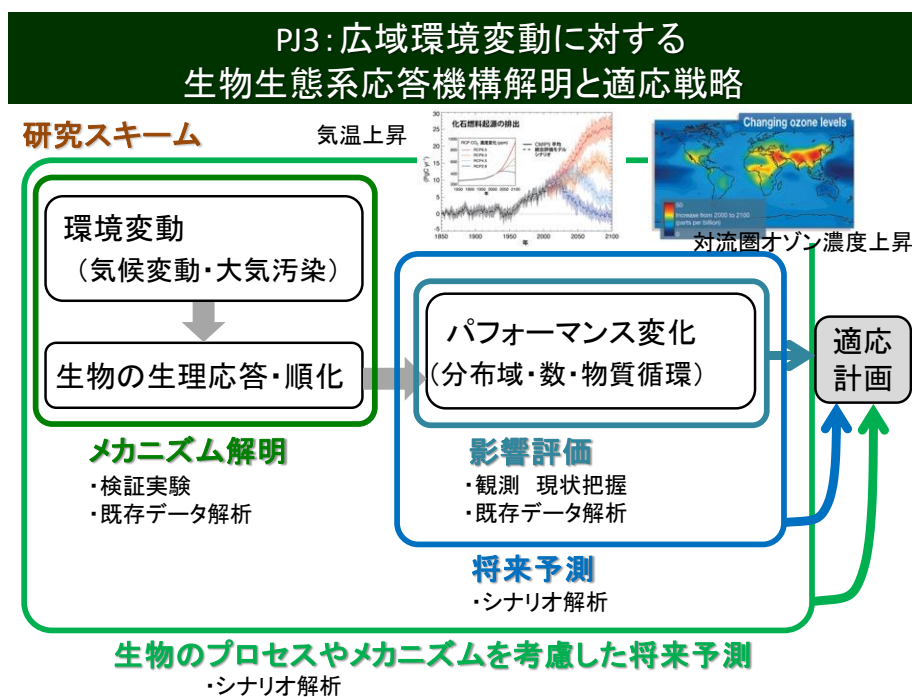


図4 プロジェクト3の概要

プロジェクト4では、生物多様性の保全及び生態系サービスの持続可能な利用に向けた多面的な評価指標の総合的な評価に基づく保全策実施対象地の適切な空間配置を支援するツールの開発を行う（図5）。

多面的な評価指標と保全対策の効果・コストを考慮した保全エフォートの配分・配置デザインを支援するツールとして、SecSelを開発し、ウェブからのパッケージ提供を開始した。SecSelは生物多様性・生態系の多様な要素それぞれの半定量的な評価データから解析可能であり、コストや保護区の空間的なまとまり、同じ場所で両立しない要素について考慮することができる。

SecSelを応用して、他プロジェクト・プログラムと連携しながら、国立公園内の高山植生保全と生態系サービスの利用に関する気候変動適応策、人口減少下での管理放棄に脆弱な種の保全、再生可能エネルギーの導入拡大と絶滅危惧植物の保全、海洋保護区EBSAに関する統合的解析を実施した。また、獣害対策のための捕獲努力量の空間配置を最適化する統計モデルを開発して千葉県に適用した。これらの解析では、本プロジェクトで整備した絶滅危惧生物の生態特性のデータベース及び全国スケールの土地利用図を活用した。

絶滅危惧生物の生態特性のデータベースについては、絶滅危惧維管束植物2,238種について、光条件や土地利用などの生息環境など、特に脅威要因の特定や分布推定に役立つ特性を整備した。また、植物の遺伝構造に関するデータの収集と電子データとしての整備を行い、整備したデータに基づいて、気候・地理変数による遺伝的多様性の代替指標の検討を行った。また、全国スケールでの土地利用図について、最新の第6～7回の植生調査に基づく土地利用図凡例を整備した。

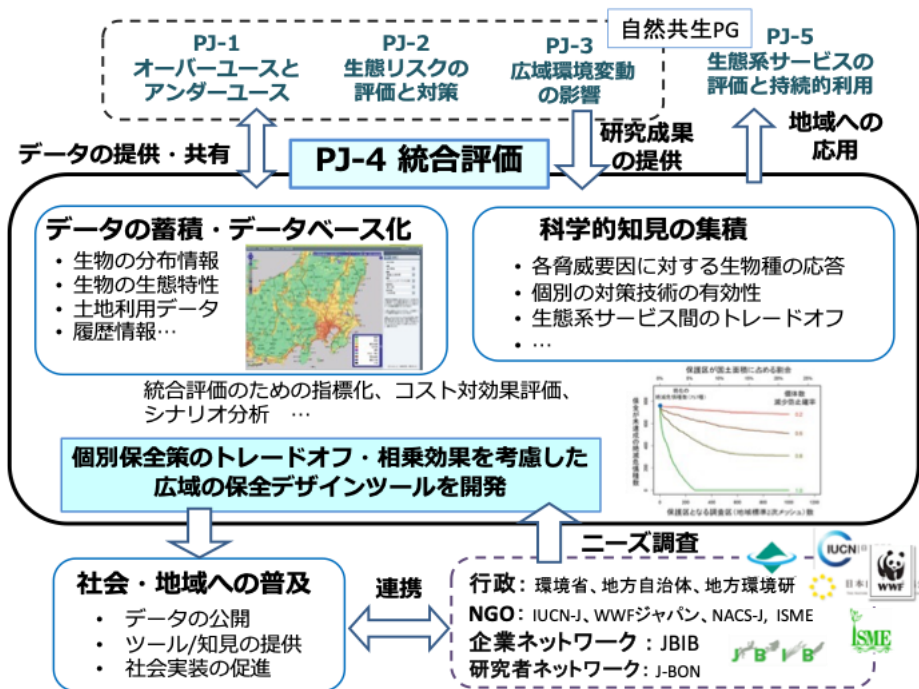


図5 プロジェクト4の概要

プロジェクト5では、生態系間のつながりや持続性と地域で生じる時空間的な生態系サービス間の関係の分析、及び多様な生態系サービスの持続的利用を目指した自然共生型流域及び地域管理策の提案を行う（図6）。

サブテーマ1「霞ヶ浦流域における時空間の生態系サービス評価及びサービス間の関係に関する研究」では、環境DNAメタバーコーディングによって取得された魚類の多様性に影響する要因について分析する。また、絶滅危惧種IB種であるアカヒレタビラ (*Acheilognathus tabira erythropterus*) の詳細な分布を環境DNAによって特定するために、種特異的のマーカの開発を行う。さらに、茨城県霞ヶ浦環境科学研究センターと共同で実施してきた霞ヶ浦の生態系サービス評価について、論文として成果を取りまとめた。

サブテーマ2「小笠原諸島の生態系の持続性に関する研究」では、小笠原諸島において引き続き現地調査を行ってサンプルの収集・希少種の遺伝資源保存を行うとともに、小笠原諸島の水域生態系における生態系変化の特徴を明らかにした。環境DNA分析を用いた水域生態系モニタリング方法についての提言を行った。複数の生態系構成種について、ソースシンク個体群構造を推定し、保全単位の設定に貢献した。アンケート調査やヒアリング、行政文書の解析等を通して、自然共生社会の基盤となる小笠原生態系へのニーズ、生物種の保全方法に関する意識を明らかにした。小笠原諸島の生態系の形成過程を考慮した数理モデルを用いて複数の島の状態を再現し、それぞれの島の状態に応じた生態系管理法についての提言を行った。また、今中期中に作成した2種類の生態系モデル、生態系の成立過程を考慮したモデルと考慮しないモデルの挙動を比較し、数理モデルを用いた生態系変化予測法を明らかにした。これまでの成果を統合し、小笠原諸島における自然共生社会の維持について提言を行った。

サブテーマ3「河川と海のつながりを重視した流域生態系研究」では、上流、中流、下流の各地で開発が進み人為的改変がなされた現在の流域生態系において特に河川と海のつながりに着目し、回遊魚類や汽水域生物の個体群維持と生態系機能への影響を評価し、生物多様性保全と生態系サービスの持続的利用を目指す。具体的には、上流域でのダム設置、中流域での土地改変、下流域での水門設置が個体群維持、生物多様性、生態系サービスへ影響する実態解明とGISを用いての影響評価を行った。

上流域では魚道の無いダム湖に陸封された絶滅危惧種イトウが、ダム下流へ、また海へと分布を広げ、河川流域のメタ個体群を維持するための供給源となっているかどうかの仮説検証のため、北海道・狩別川上流においてマイクロチップを内蔵したPITタグをイトウに装着し、産卵行動・回遊行動を記録し、耳石の分析結果の裏付けを取った。下流域の防災を目的とした水門運用によって平常時は放水路と市内派川に約1:9で分派している広島県太田川水系では水質構造の特徴である塩分環境の違いと底質構造の特徴である泥質域の分布の違いに着目し、潮汐変動が水質構造と底質構造の形成に及ぼす影響を評価した。併せて全域で生物調査を実施して河口堰の存在が生物多様性に及ぼす影響を確認した。絶滅危惧種を対象とした回遊環境の保全と再生の指標生物としてウナギに着目し、全国を対象とした生息環境の保全の検討を行った。特に瀬戸内海流入流域圏における生息適地の実態把握として環境DNA分析とGIS解析を統合し、流域圏環境に影響するビッグデータ（水質変化・移動阻害要因・生息適地の減少等）を一元的に管理して具体的な生息地変容に関する時空間解析を行った。



図6 プロジェクト5の概要

これらの成果に関して、生物多様性の保全と持続的利用の観点で図7に示すようにとりまとめを行った。

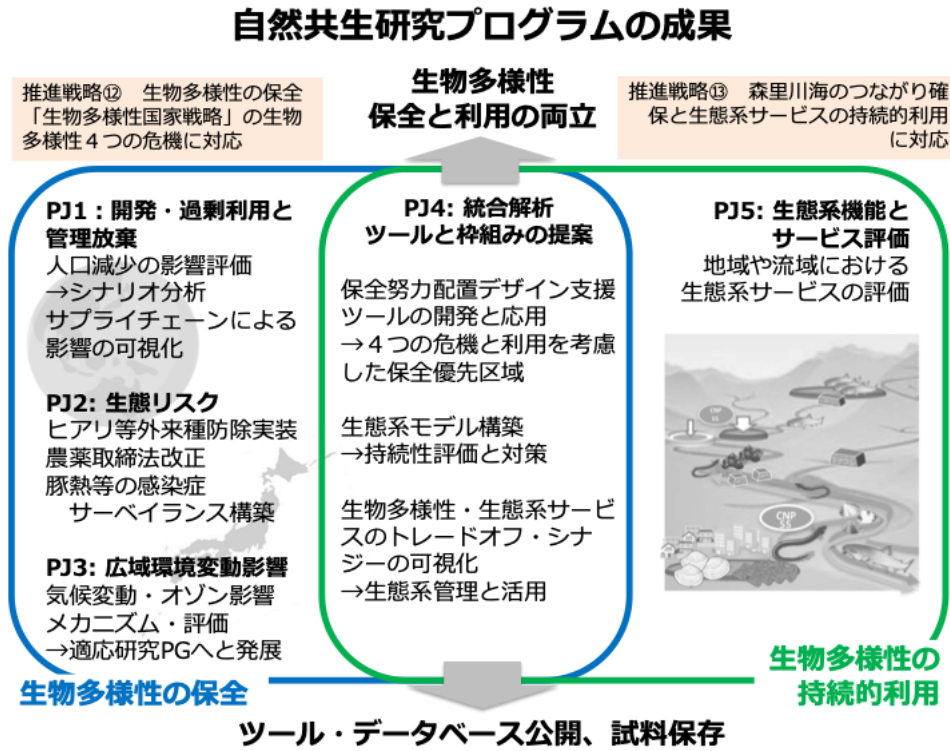


図7 自然共生研究プログラムの成果の概要

2 研究の成果

2.1 人間活動と生物多様性・生態系の相互作用に基づく保全戦略（プロジェクト1）

2.1.1 資源利用による生物多様性影響（サブテーマ1）

2.1.1.1 目的と経緯

2010年に名古屋で生物多様性条約の締約国会議（COP）が開催されて以来、生物多様性の危機とその保全の重要性は、国内においても広く認識されるようになってきた。「生物多様性」は、生物が長い進化の歴史を通じて形成してきた状態:それぞれの生物の特徴や同じ場所・環境に生育・生息する生物の組み合わせ、また生物が中心となって形成される複雑なシステムである生態系の特徴などを包括的に指す概念であるため、単一の指標で生物多様性の全体像や変化の傾向を知ることは容易ではない。しかし、古くからヒトが生物界の多様性を認識する単位として用いられてきた「種」を単位として、生物多様性の現状を知ることは現在でも最も有効な方法の一つである。国際自然保護連合（以降、IUCN）では、世界中の生物種がおかれた現状を継続的に調査・評価し、特に絶滅の危険性が高い生物種を、絶滅危惧種として指定しレッドリストとよばれる生物種のリストに掲載する活動を実施している。2017年9月時点のレッドリストをみると、ほ乳類では、世界の推定種数5,644種のうち25%が、鳥類では、11,121種のうち13%が、また両生類にいたっては、世界の推定総種数約7,696種のうち、実に42%もの種が絶滅のおそれがある生物種として掲載されている。レッドリスト全体では、25,062種が掲載されているが、魚類や虫類、無脊椎動物や植物などでは、まだ評価自体がされておらず現状が不明な種が多数存在するため、実際に絶滅の危機に瀕している生物種の数はこれよりもずっと大きくなるはずである。このような世界規模での生物多様性の危機を引き起こしているのは、そのほとんどが人間活動によるものである。特に、開発や農業などの土地利用の改変をともなう人間活動に影響を受ける種（12,709種）や、狩猟や漁業など直接的な生物利用をともなう人間活動に影響を受ける種（9,958種）は、非常に大きな割合を占めている。また、近年では侵略的な外来生物や気候変動による影響も深刻さを増している。

我々は日々の生活において、多くの製品を利用する。その製品の原料は多くが自然界から採取された資源に基づいている。したがって、国内での製品利用や消費の影響は、必ずしも国内にとどまらず、国際的な物流を通じて国境をこえて波及する可能性があるといえる。たとえば、図8には、パームヤシからとれるパーム油の利用の例を示した。パーム油は植物油やせっけんなど、日常生活に広く用いられている。しかし、その生産のほとんどは東南アジアなどの海外で行われている。パームヤシの栽培のために広大な熱帯雨林が伐採される。そのような土地利用変化は、そこに暮らす生物に大きな影響を与える。したがって、生物多様性の保全を考える上では、国内に生育・生息する生物だけでなく、国境を越えて波及する影響の下にある生物の保全も同時に考える必要があるといえる。本研究プロジェクトでは、このような、資源消費が地球規模でひきおこす生物多様性影響を生物多様性フットプリントという指標を用いて評価することを目指す。「フットプリント」とは直訳すれば「足跡（あしあと）」のことであるが、ここでは人間活動の影響を面積に換算することによって測られる環境負荷を意味する。

本研究では、利用可能な既存データを用いて、木材資源の利用量をそのために必要な森林面積に換算することで、鳥類を対象として生物多様性への影響を定量化することを目的とする。さらに、指標をより高度化するために必要となる地球規模の生物多様性データ基盤の整備及び解析を実施することを目的とする。

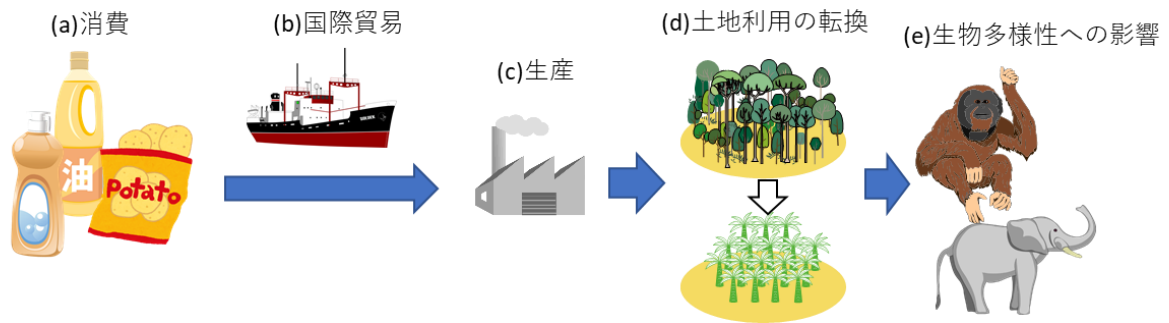


図8 生物多様性フットプリントの概念図。矢印は資源消費によって生じる影響が連鎖的に波及する方向を示す。ある国における資源消費が、貿易と資源生産にともなう土地利用改変を通じて、最終的には資源生産国の生物多様性に影響を及ぼす。

2.1.1.2 方法

鳥類を対象とした木材利用フットプリントの定量化

この研究では、世界規模での鳥類の分布や個体数のデータ、森林消失マップ、また世界の国の2国間の木材貿易データから生物多様性フットプリントを計算した。具体的には、まず、(1) 木材資源の生産量あたりに失われる森林面積を推計する(図8の例では(c)→(d)に相当)。次に、(2) 森林面積の減少による鳥類の種ごとの絶滅確率の上昇を計算する(図8d→e)。(1)、(2)の計算を木材生産国ごとにおこない、木材生産国が生み出している生物多様性フットプリント(生産フットプリント:図8c→d)を計算する。生産フットプリントは、自家消費と輸出の両方の木材生産の影響を示す指標である。次に、(3) 二国間の木材貿易量において生産国から消費国への生産フットプリントの再配分を行う(図8b)。最後に(4) 消費国ごとに、木材資源の輸入量に応じて生産国から配分されたフットプリントを集計する(消費フットプリント;図8a)。この計算により、木材資源消費(図8a)から生産現場における生物多様性(図8e)にいたる影響の連鎖が定量化されることになる。この研究では、鳥類の種の絶滅確率をどれだけ上昇させるかで生物多様性への影響の大きさを測定しているため、集計された生物多様性フットプリントは「何種を絶滅させるのに相当する影響があったか(種数)」が単位となる。

指標高度化のための基盤構築

前述のフットプリント指標をより高精度・包括的なものにすべく、森林資源のみならず、農業及び鉱業に関連する資源利用の影響評価も行うため、これらの資源利用に起因する地球規模の土地利用改変の影響を定量化するための、衛星画像の収集を行い、一部分析を開始した。具体的には、Terra衛星に搭載された中分解能撮像分光放射計(MODIS)の観測データから作成された2002年及び2012年の全球土地被覆分類図を分析し、当該期間内に、森林が減少した場所、森林から農地に変化した場所等を特定し、国ごとにその総面積を集計を行った。さらに、米国メリーランド大学が提供しているLandsat画像に基づいた複数年の森林衛星データ、MODIS Terraによる全球土地被覆分類、PALSAR-2/PALSAR森林・非森林マップ等、複数の全球森林分布情報の収集を行い、FAOの国別森林面積値との比較等による精度検証を行った。最終的には、比較的良好な森林面積の推定値を与える米国メリーランド大学が提供している複数年の森林衛星データを用いることに決定した。

また、生物多様性情報については、国際保護連合(IUCN)の提供する情報をもとに、影響評価対象種(脊椎動物、植物)の地球規模での分布情報の収集と空間基盤情報化の作業を行った。具体的には、IUCNによるRed List of Threatened Speciesの最新版に掲載されたすべての生物種(亜種等の分類群も含む)について、分布国名、IUCNの分類基準(過去の分類基準の履歴を含む)に基づいたHabitats及びThreats(危惧の要因、timing、scope、severityを含む)の情報を付加し、IUCNの提供する約15000種の絶滅危惧種の空間基盤情報と統合し、データベース化を行った。そのう

えで、土地利用変化（主として森林）と生物分布情報を地理情報システム（GIS）上で統合し、高い空間解像度（50~100m程度）で土地利用変化が生物多様性に与える影響の定量化を行う基盤を整備した。

2.1.1.3 結果と考察

鳥類を対象とした木材利用フットプリントの定量化

全世界を対象とした計算の結果、現状の森林減少が2100年まで継続した場合、対象とした525種の鳥類の12%にあたる62種が絶滅し、そのうちの31%（19種）が木材貿易の影響であると算出された。図9は、国別に消費フットプリントから生産フットプリントの差を引いた値を示している。この値は、自国内での木材生産によるフットプリントに対して、木材資源の輸入・消費によるフットプリントがどのくらい大きいかを示す。中国、日本、米国、韓国、メキシコは生産フットプリントに比して、大きな消費フットプリントを持つことが明らかになった。これらの国は、木材輸入を通じて他国の生物多様性に大きな影響を及ぼしている国であるといえる。逆に、ブラジル、インドネシア、マレーシア、エクアドル、ミャンマーは、消費フットプリントに比べて、大きな生産フットプリントを持つことがわかった。これらの国は、輸出のために多くの木材を生産することで他国の消費に由来する大きな生物多様性の影響を受けている国といえる。

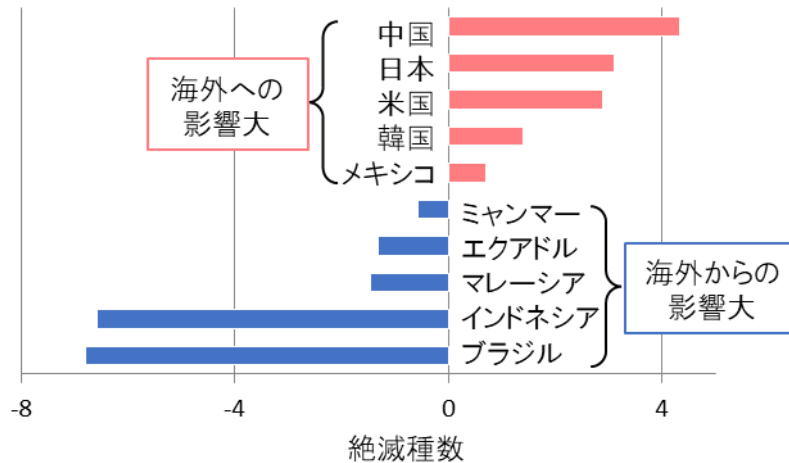


図9 木材輸入により他国に与える影響と木材輸出により他国から受ける影響の差が大きい国。

赤：他国への影響大きい上位5か国、青：他国から大きな影響を被る上位5か国を示す。¹⁾を改変

海外への影響が中国に次いで大きかった日本の影響をより詳しく見てみると、上記の熱帯諸国の鳥類の絶滅の確率を高める一方で、自国の鳥類への影響は全体に対して4%と非常に小さいことが明らかになった（図10）。

日本が影響を与えている国

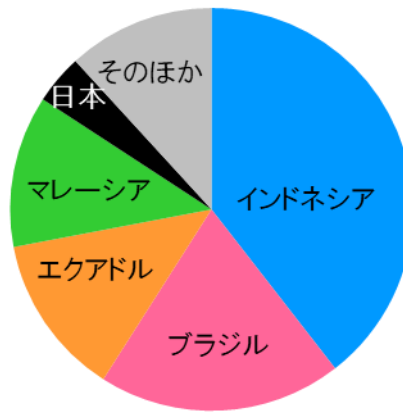


図 10 日本の木材消費・輸入による将来的な絶滅種数が大きい上位5か国。¹⁾を改変。

この結果は、日本の木材自給率が低いことが主要な起因であると考えられる。一方で、ここで得られた結果は、対象とする生物が鳥類に限られること、また木材資源のみに注目したものであることなどの制約がある。現在わかっているだけでも世界には2万種を超える絶滅危惧種があり、それらの生物種の存続を脅かす人為影響は、木材資源の生産だけでなく、農業による土地利用改変や鉱物資源の採取にともなう森林破壊など多岐にわたる。すなわち、より多くの生物種や資源タイプを対象とした、より包括的な生物多様性フットプリントの測定を目指して研究を展開することが今後必要である。さらに、必要な資源利用は維持しつつもどのように生物多様性フットプリントを世界全体として減少させることができるかという問いに答えるための研究も展開も欠かせない。たとえば、前節で紹介した木材資源の場合には、伐採面積あたりの生物多様性への影響が大きい熱帯林での伐採を減らし、代替的な場所で資源生産をするという選択肢を考えることもできる。本プロジェクトは、日本のような資源輸入・消費国は、自国内での生物多様性保全のみならず、資源消費によって負荷をかけている海外の生物多様性の保全に対してどのように責任を負っていく必要があるか、また、生物多様性に配慮した資源調達や、資源消費はどのようにあるべきかといった社会的な議論に、科学的な根拠を提供することに貢献するものである。

高精度化のための基盤構築

地球規模での高解像度の森林分布データを解析し、森林減少の実態を明らかにする地図化を行った。その上で、各国が設置する保護地域の内外での森林減少の違いを比較するとともに、収集・統合した生物分布データを解析し、森林減少にともなう絶滅リスクの評価手法の検討及び試行的な適用を行った。その結果、世界的にみて3割以上の保護区

(PA)では、2000年から2010年にかけて森林面積が減少していることが明らかになった。一方で、保護区外での森林面積は60%以上の国で減少が生じていた。

保護区(PA)は、人為的な攪乱や森林伐採を防ぐため、生物多様性の保全に不可欠である。2010年の生物多様性条約の愛知目標11では、2020年までに世界の陸地の17%を保護することが求められており、保護区ネットワークは世界的に徐々に拡大している。また、目標12では、種の絶滅リスクの低減、特に既知の絶滅危惧種の絶滅リスクの低減が掲げられている。これらの目標は、陸域の生物多様性と生態系の保全と持続可能な利用を目指すSDGs15にも合致したものである。目標11は、面積的にはほとんどの国で達成されることが確実であるものの、生物多様性保全に対する「効果」の評価はまだ不十分な状態である。実際、UCNによる絶滅リスク評価カテゴリーの時系列変化を用いた指標(レッドリストインデックス)を用いて集計したところ、多くの種について絶滅リスクの状況が悪化していることが示された(図11)。

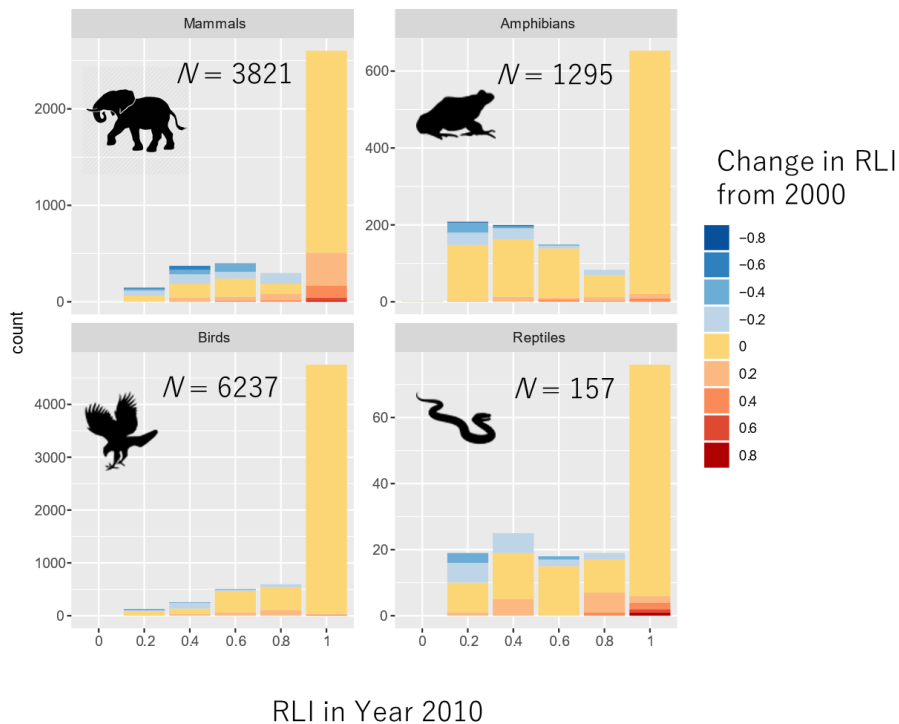


図 11 分類群ごとのレッドリストインデックスの変化。値の減少は、絶滅リスクの状態が悪化したことを示す。

さらに、保護区が森林の生息地の損失を抑制するかどうかを評価することで、世界の保護区が種の生息地の保全に与える効果を調べた。特に、1) 森林の変化と保護区を含む人間活動が森林の種の絶滅リスクに与える影響、2) 森林の生息地の転換を阻止するための保護区の有効性、について検討を行った。国際自然保護連合 (IUCN) が提供する 10,000 種以上の陸域森林種の範囲マップ、2001 年から 2010 年間の 30m 解像度の森林減少マップ、IUCN World Database on Protected Areas から提供される PA マップのグローバルデータを統合し、レッドリストインデックス (RLI) を用いて評価した種の絶滅リスクの時間的変化に対して、森林減少が影響を与えているかどうかを検討した。ここでは、IUCN のレッドリストインデックスの経年変化を「絶滅リスクの変化」として扱った。絶滅リスクに影響を与える要因としては、人間活動に関連するもの、すなわち、種の分布上の森林カバー率と森林面積の変化及び保護区の有無、種の特性に関連するもの、すなわち、種の分布面積、森林以外の種の生息地の数、種の分布範囲の緯度を対象とした。階層ベイズモデルを用いて、これらの要因が森林種の絶滅リスクに与える影響を定量化し、森林生息地の減少防止に対する保護区の効果を定量化した。

その結果、1) 哺乳類と鳥類では、森林被覆の増加と森林破壊の減少が絶滅リスクの増加を防ぐために不可欠であるが、両生類とは虫類ではそうではないことが示された (図 12a, b)。一方で、種の特性も種の絶滅リスクに影響を与えており (図 12c, d)、これらの特性を考慮して保全を行う必要があることが示された。また、森林生息地の減少を阻止するための保護区の有効性については、保護区は商業的農地への土地利用転換を阻止するには有効である一方で、林業や焼き畑などの地域の自給のための農業から生じる脅威を阻止するには有効ではない可能性があることが示された。全体としては、生物多様性の損失を抑制するために、保護区は効果的な役割を果たすと考えられた。一方で、今回の結果は、森林保護区の効果が空間的・分類的に変化することも示唆している。したがって、効果的かつ効率的な森林管理を実現し、種の絶滅のリスクを軽減するための計画を立てるためには、影響の種類を考慮し、生物多様性の時空間的な影響を評価することが重要であることが示された。

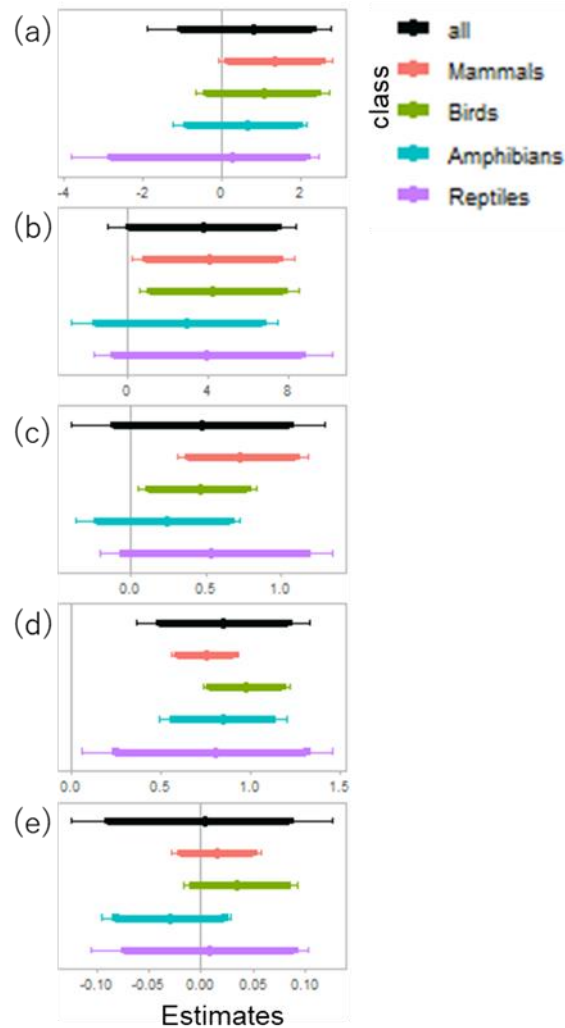


図 12 階層的ベイズモデルで推定した回帰係数。各分類群への (a) 保護区カバー率 (b) 森林変化率 (c) 種の生息地の数 (d) 種の分布域 (e) 緯度の A 効果を示している。色は全体及び各分類群 (クラス) を示す。外側のバーは 95%CI、内側バーは 90%CI を示す。

2.1.1.4 まとめ

本サブプロジェクトでは、鳥類を対象とした生物多様性フットプリント指標を算出するとともに、指標の精度や包括性を向上させるために必要なデータ基盤整備・解析を実施した。すなわち、地球規模での高解像度の森林分布データを解析し、絶滅危惧種の分布及び保護地域の空間情報と統合することで、森林減少による絶滅危惧種の影響を評価すると同時に、保護区等の土地利用規制による介入の効果の定量化を実施した。各生物種の分布域内での保護区内外での森林減少率に基づいた手法と、IUCNによる絶滅リスク評価カテゴリーの時系列変化を用いた指標 (レッドリストインデックス) を用いることで、信頼性の高い影響評価手法の検討を行った。森林減少が、ほ乳類、鳥類、は虫類、両生類いずれの陸生脊椎動物分類群においても、絶滅リスクの上昇に強く影響していることを明らかにするとともに、保護区がどの程度絶滅リスク低減に貢献できるかを国レベルで定量化した。さらに、地球規模の国・地域別の地理空間情報をデータベースとしてまとめ広域評価のための汎用的な基盤を構築した。

2.1.2 人口減少下での生態系管理戦略（サブテーマ2）

2.1.2.1 目的と経緯

今後進行する人口減少下において、耕作放棄や草刈りの停止などの人為的働きかけの不足による生物多様性の劣化（生物多様性第2の危機）がより進むと考えられる。一方で、利用圧の低下が再自然化（Rewilding）の機会になりうることも指摘されている。また、管理放棄の進行は放棄地と農地のモザイク化を促進し、鳥獣害の激化につながる懸念されている。管理放棄をもたらす人間社会への負のインパクトを軽減し、地域ごとの保全策の方向づけや空間的な優先順位付けを行うためには、人口減少に伴う生物相の変化の解明と広域評価、管理放棄による景観変化の実態解明、指標開発及び将来予測、そして農業生産に関する正負の生態系サービス評価を進める必要がある。

そこで、本サブテーマにおいては、全国の無居住化地域における生物相の無居住化影響評価と広域評価、管理放棄に伴う土地被覆タイプの異質性を考慮した農地景観多様度指数の開発、複雑な農業景観が送粉や農業被害軽減に与える効果の評価を実施した。

2.1.2.2 方法

無居住化が生物相にもたらす影響の解明と広域評価に向けて、国内における無居住化地域の現状を整理し、全国規模で廃村後の生物多様性応答を把握するための調査設計を行った。全国各地から無居住化集落を含む調査エリアを選定し（図13）、チョウ類・植物類等の予備的な定量調査を実施した。

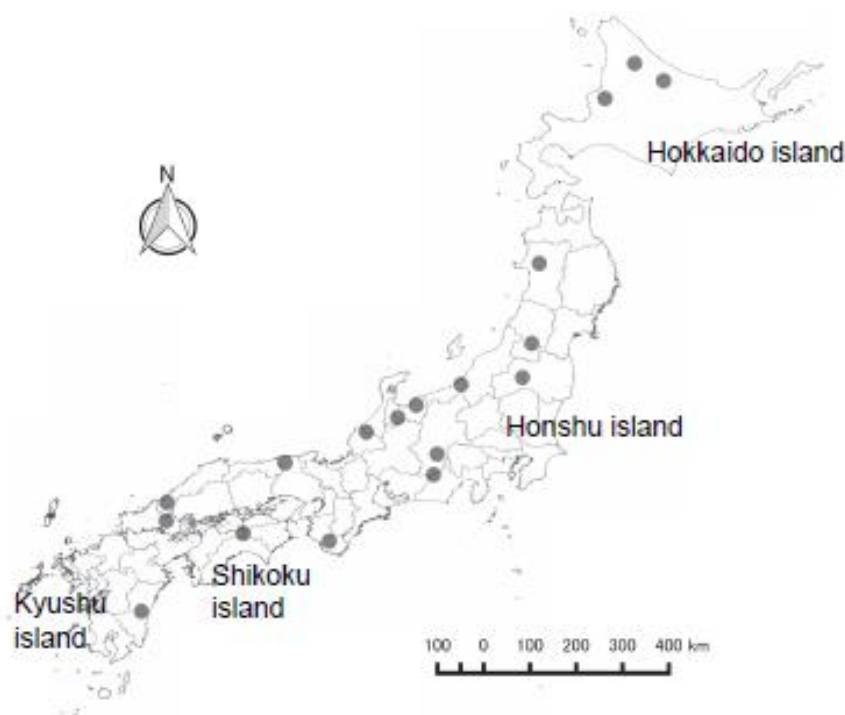


図13 チョウ類の調査エリアの分布²⁾

そして、全国規模で廃村後の生物多様性応答を把握するための調査を実施し、各生物分類群への影響の定量化を行った。また、チョウを対象とした無居住化影響評価モデルから、種のハビタット特性をキーに無居住化した場合に失われる種多様性の大きさを地図化した。そのうえで、人の居住がなくなった地域での生物多様性・生態系の応答を把握するために、国内における廃村地域の研究により明らかにした各生物分類群への無居住化影響の情報と人口シナリオを統合し、将来の人口分布に対応した無居住化影響のシナリオ分析を行った。全国の人口減少の速度を固定し、地域内人口分布を偏在化・均一化した2つの人口シナリオの下で無居住化がチョウ類の種多様性に与える影響を計算した。

無居住化地域における植生変化の実態解明のため、福島県会津地域をモデルケースとして放棄年代及び放棄直前の利用形態の異なる放棄水田における成木及び幼齢木を対象とした植生調査、及びシードトラップ調査を実施した。無人化による生態系規模での変化を定量化・予測可能にするために、広域的な植生高を定量化するための画像解析技術の開発を実施した。また、管理放棄による里山の変化を広域で検出するため、衛星画像などから得られる広域の土地被覆データから異質な土地タイプがバランスよく含まれている里山景観を検出するための農地景観多様度指数を開発した。また、農林業センサスの個票データを用いて、水田を放棄する土地所有者の放棄決定要因を統計分析により明らかにした。人口減少を考慮した土地利用シナリオを構築するために、国内の土地利用及び人口動態・気候シナリオに関連する空間データを収集整理した。国交省の公開する土地利用数値地図をもとに、過去（1976年、1987年、1991年、1997年、2006年）の土地利用の変化を全国規模で定量化し、機械学習統計モデルを用いて、社会・環境条件からその変化を説明するモデルを構築した。要因としては、標高・傾斜などの地質・地形条件及び人口を用いた。構築された統計モデル及び、人口の将来変化シナリオによる予測値を用いて、2050年までの全国規模での土地利用の変化予測地図を作成した（図14）。

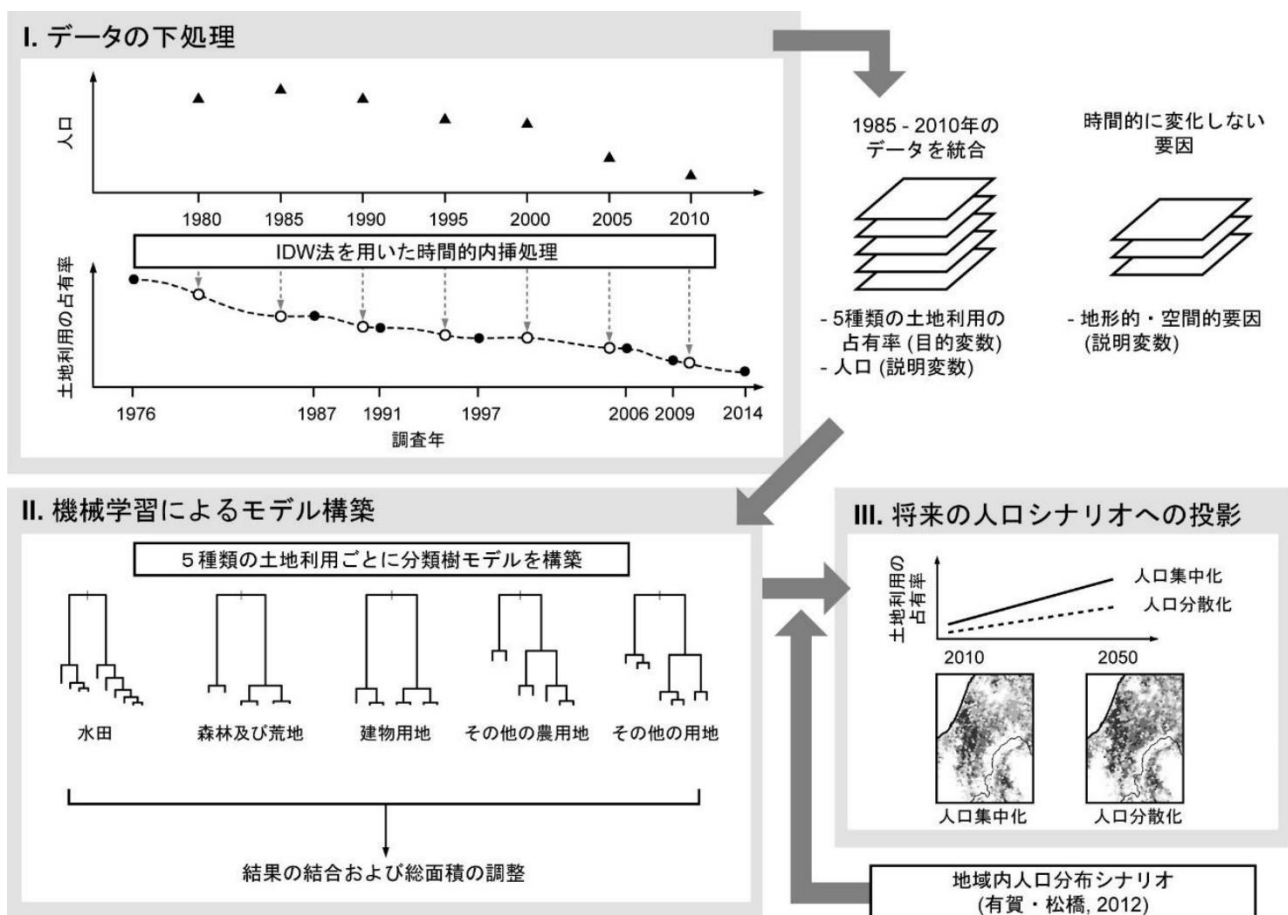


図14 土地利用シナリオの構築手順⁽³⁾を改変

人口減少に加えて気候変動の影響を考慮したモデルを構築した。国内の土地利用及び人口動態・気候シナリオに関連する空間データを収集・統合し、これらの諸要因を考慮した土地利用変化シナリオを出力した。人口減少に対応した土地利用変化シナリオのWebGIS構築と出力データの一般への提供を開始した。

人口減少が進む中山間地における生態系サービスの評価として、世界的な農業生態系における生態系機能に関する多数の研究データのメタ解析から、里山のような景観の複雑さが送粉・害虫制御、さらに農業生産量の向上に寄与するか

明らかにした。人口減少を考慮した土地利用シナリオ及びニホンジカの分布拡大予測を組み合わせ、人口分布に対応した農業被害の発生リスクの増加を予測し、人口の偏在化シナリオと均一化シナリオを比較した。また、人口減少が進む北海道白糠丘陵において、トウモロコシを利用するヒグマ個体の空間分布を体毛の安定同位体比に基づき明らかにし、農地との位置関係を明らかにした。

2.1.2.3 結果と考察

予備調査において記録した無居住化集落と近傍の有人集落における出現種と比較した結果、鳥類ではツバメやスズメ、チョウ類では、モンキチョウ、モンシロチョウ、ツバメシジミ、ベニシジミなど、いわゆる身近な種が、無人化集落では出現頻度が下がる傾向が示唆された。そして、本調査の結果、チョウ類については、無居住化の負の影響を受ける種は正の影響を受ける種よりも多いことが明らかとなった。さらに、負の影響を受けやすい種のハビタット特性は草原や農地などに偏っていた。維管束植物についても、無居住化によって出現頻度が減少する種と増加する種の両方が存在しており、特に、水田を主な生育地とする湿地性植物は、無居住化によってほぼ消失することが明らかとなった。種のハビタット特性をキーに無居住化した場合の種多様性の損失・利得を、全種の出現確率変化の対数オッズ比の和と定義して地図化した。その結果、中部地方、東北地方、北海道の都市周辺や郊外の中山間地において負の影響が大きいことが明らかとなった。一方、関東地方など大都市圏については、もともとの種多様性の低さから影響は比較的小さいことが明らかとなった（図15）。

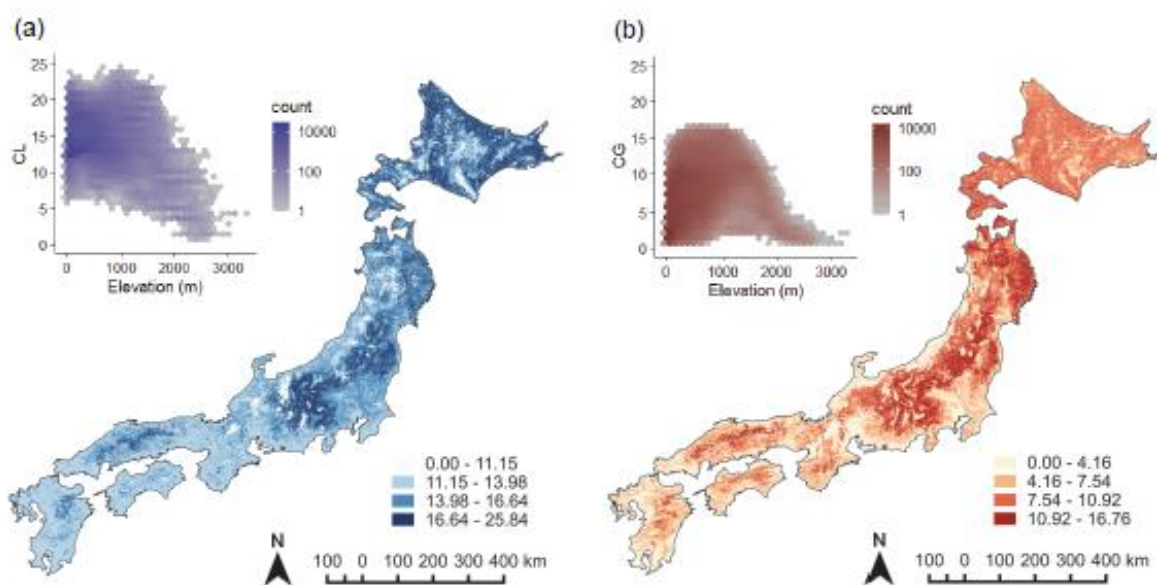


図15 無居住化による (a) 種多様性の損失 (Cumulative Loss, CL) と (b) 利得 (Cumulative Gain, CG) ²⁾

全国の人口減少の速度を固定し、地域内人口分布を偏在化・均一化した2つの人口シナリオの下で無居住化がチョウ類の種多様性に与える影響を計算したところ、均一化シナリオに比べて偏在化シナリオの方が無居住化の負の影響が大きくなることが明らかとなった。このことから、無居住化が生物多様性に与える負の影響を緩和する上で、人口分布を均一に誘導することが有効であることが示された。

放棄水田における成木及び幼齢木を対象とした植生調査を実施した結果、放棄年代が古い放棄水田では成木の生育が顕著となる一方、成木の生育には放棄直前の利用形態の違いが影響を及ぼしていることが示唆された。また、成木が生育している放棄水田では成木が生育していない放棄水田に比較し、幼齢木の種数が多いことが明らかになった。種子散布量調査の結果、成木が生育している放棄水田では特に動物散布種の種子散布量が多い傾向にあった。その理由として

は止まり木効果（鳥類などが樹木に滞在し、その際、種子を含んだフンなどを排泄することで樹木下では種子堆積量が多くなること）が考えられた。生態学的に異質な土地タイプがバランスよく含まれている農地景観ほど高い数値を示す農地景観多様性指数 Dissimilarity-based Satoyama Index (DSI) を考案し、英文誌⁴⁾上に公表した。この指数を用いて、水田が失われた農地景観の景観多様性の評価を、水域と陸域の両方を用いる生物の視点から、より適切に行うことが可能となった。農業センサスデータを分析した結果、農業から得ている収入が少なければ少ないほど、土地所有者が水田を放棄する傾向にあることが示された。一方、生産的に不利な農業地域では水田が放棄されない傾向にあったことから、直接的な利益が少ない地域においては日本型直接支払制度の効果が耕作放棄の抑制に有効である可能性が示唆された。土地利用シナリオに基づく人口減少下の土地被覆面積の変化を予測した結果、人口減少の影響はすでに進行している水田や畑地の減少の継続、それに引き続き 2020 年代後半から住宅地の減少として顕在化し始めることが示された（図 16）。

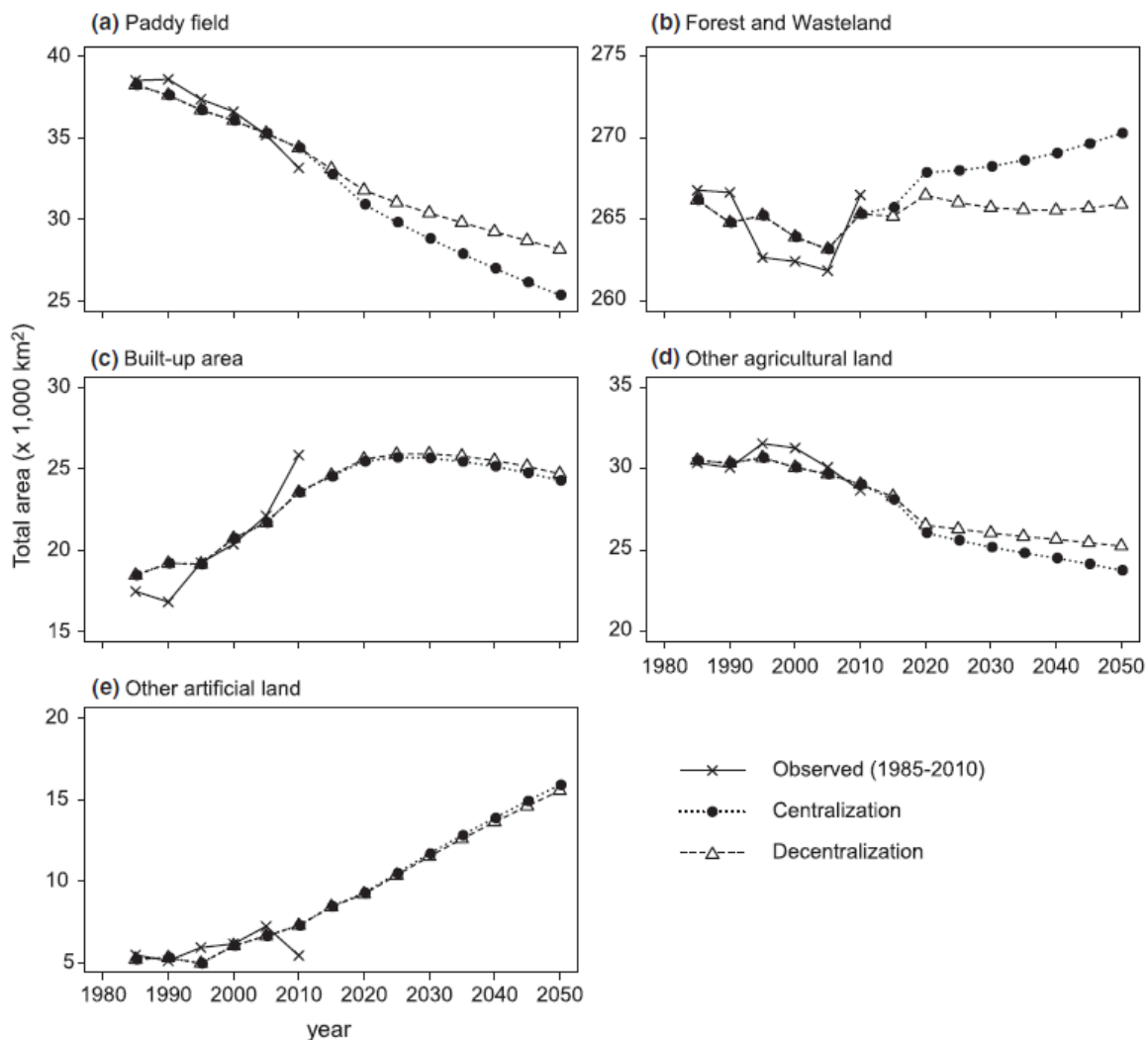


図 16 土地利用シナリオに基づく将来の土地被覆変化³⁾

人口偏在化・均一化シナリオに対応した土地利用シナリオを国立環境研究所の WebGIS システム「環境 GIS」で公開し、その数値データもオンラインで公開した (<https://osf.io/a9qvy>)。これにより、人口減少が土地被覆の変化を介して生物多様性・生態系サービスに与える影響を評価し、将来の地域の人口分布デザインを検討するための情報基盤をだれでも広く利用することができるようになった。

さらに、人口減少に加え、気候変動の影響を考慮したモデルを開発し、2100年まで土地利用を予測した。その結果、気候変動の影響は水田以外の農地、森林、荒地で顕著であることが明らかになった。一方、その他の土地利用タイプ（水田・建物・その他人工用地）は気候変動の影響は小さく、人口減少がより強い影響を与えていた⁵⁾。

世界スケールのメタ解析の結果、農地景観の複雑さが送粉昆虫や捕食性節足動物の種の豊富さを増加させ、送粉機能や害虫制御機能が向上し、さらに農産物収量が向上することが明らかとなり、複雑な景観をもつ里山生態系を維持することが農業における生態系サービスを向上することにつながることを示された⁶⁾。また、土地利用シナリオに対応したニホンジカによる獣害リスク評価においては、両シナリオともにニホンジカの予測分布面積はほぼ同じであったが、ニホンジカの分布域と重複する農地面積は均一化シナリオの方が3395.2km²大きいことが明らかとなった⁷⁾。トウモロコシを利用したメスは農地から5km未満の範囲を利用する個体であったが、オスは農地から遠く離れた丘陵全域に広がっていた。獣害対策が不十分な場合、人為由来の資源に依存するクマ個体が個体群全体に広がりうることを示された⁸⁾。

2.1.2.4 まとめ

本サブプロジェクトでは、無居住化集落において数十年スケールの人口減少が生物多様性に与える影響が明らかとなり、それに基づく影響の広域評価や人口減少に対応した生物多様性シナリオを構築した。また、無居住化の影響を最小化する保護区の最適配置を検討した。それらにより、将来の人口減少が生物多様性に与える負の影響を最小化する人口分布の誘導策の検討が可能になった。また、人口減少に対応した土地利用シナリオをWeb上で公開及び可視化し、人口減少下での生物多様性や生態系サービス評価に必要な基盤情報を社会に提供した。研究成果をもとに、国土交通省国土政策局総合計画課国土管理企画室に人口減少下の土地利用について情報提供を行った。

2.2 生物多様性に対する人為的環境攪乱要因の影響と管理戦略（プロジェクト2）

2.2.1 外来生物による影響評価と管理戦略（サブテーマ1）

2.2.1.1 目的と経緯

外来生物による生物多様性の劣化は世界的な問題となっており、生物多様性条約第8条h項に、外来生物に対する加盟各国の対策推進と国際連携の必要性が謳われている⁹⁾。さらに2010年に愛知県名古屋で開催された生物多様性条約第10回締約国会議COP10においてポスト2010年目標（愛知ターゲット）が採択され、そのターゲット9には、2020年までに外来生物の制御・根絶、生息地の劣化の抑制が掲げられた¹⁰⁾。2005年から施行されている環境省・外来生物法も2013年に改正法が成立（2014年施行）し、必要な対応を行っているが、2019年に施行後5年を経過することから、施行状況について検討を加え、必要に応じて2023年の法改正に向けて検討を重ねる予定となっている。国際的にも国家としても外来生物対策が生物多様性保全の重点課題と認知される中、すでに国内に侵入し定着している外来生物集団の駆除、及びグローバル経済の振興に伴う非意図的外来生物の侵入増加に対する水際対策の強化が求められている。本課題では、すでに国内に定着し分布を拡大しているアルゼンチンアリ、セイヨウオオマルハナバチ、ツマアカスズメバチなどの外来節足動物集団の有効な駆除手法を開発し、地方自治体が主体となって防除を進めるシステムの構築を目指した。また、ヒアリ・アカカミアリなど、海外からの輸送資材に紛れて国内に持ち込まれる非意図的外来昆虫類の早期発見・早期防除手法を開発して、水際対策の強化に貢献することを目指した。

2.2.1.2 方法

2016年度には特定外来生物アルゼンチンアリ・セイヨウオオマルハナバチの防除マニュアルを策定し、侵入地域において普及啓発を進めるとともに地方自治体と連携して防除システム運用試験を実施した。また、ツマアカスズメバチの新規防除手法として、巣に薬剤を持ち帰らせて巣内の女王及び幼虫類を駆除するためのベイト剤を開発した。

2017年度にはアルゼンチンアリ・セイヨウオオマルハナバチの防除システム運用試験を継続した。また、対馬においてツマアカスズメバチの新規防除手法「蜂の巣コロリ」の実用化試験を行った。さらに、ヒアリ類に対する早期発見技術の開発及び防除計画を構築した。

2018年度は特定外来生物アルゼンチンアリ・セイヨウオオマルハナバチの侵入地域における防除システムの実装を図った。ツマアカスズメバチに関しては新規防除手法の実用化試験を地域連携で行った。さらに、ヒアリ類に対する早期発見技術の開発・普及及び環境省・自治体・企業と連携して防除計画を立て、実行に移行した。

2019年度は特定外来生物ヒアリ・アカカミアリの早期発見技術、港湾における水際防除手法、及び営巣ステージにおける防除手法の開発を進め、環境省及び自治体に技術提供を行った。ツマアカスズメバチに関しては薬剤防除手法の改良を進め実用化試験を地域と連携して行った。さらに、関東地方及び中部地方の環境省・環境研・自治体の連携によるアルゼンチンアリ防除協議会を運営して、定着地域における計画的防除を進め、根絶事例の創出を目指した。

2020年度は特定外来生物ヒアリ・アカカミアリ、ハヤトゲフシアリなど外来アリ類の早期発見技術、港湾における水際防除手法、及び営巣ステージにおける防除手法の開発を進めながら、環境省及び自治体と共同で、日本各地の侵入個体群の駆除事業を実施した。ツマアカスズメバチに関しては薬剤防除手法の実用化試験を地域連携で行い、効力を評価した。さらに、関東地方及び中部地方の環境省・自治体との連携によるアルゼンチンアリ防除協議会を運営して、定着地域における計画的防除を進めた。国際的な活動として、IPBES 侵略的外来種アセスメントに参加して、国内外の外来生物情報の整備を行い、情報提供を行った。

2.2.1.3 結果と考察

2016年度は、アルゼンチンアリ定着個体群に対して東京都、神奈川県、静岡県、大阪府、京都府、兵庫県及び岡山県において環境省・自治体の協働防除体制を構築して、防除マニュアルに準じて防除事業を展開した。その結果、すべての都道府県において、個体群減少に導くことができた。それらの防除データを集計して、来年度の防除計画を各防除事業主体にフィードバックした。セイヨウオオマルハナバチの暫定版防除マニュアルを策定して北海道庁に提示し、北海道立環境研究センターが主体となって石狩浜での防除試験が開始された。ツマアカスズメバチの化学的防除手法開発のための基礎データとして、在来スズメバチの幼虫を使った昆虫成長制御（IGR）剤急性成長阻害効果の試験を行い、エトキサゾールの有効薬量を計算した（図17）。また対馬における野外試験によって、薬剤入りの餌（ベイト剤）としてキャットフードが有効であることが判明した（図18）。2017年度より、IGR ベイト剤の実用化試験を行うべく、対馬市及び環境省九州事務所との協働体制を構築した。

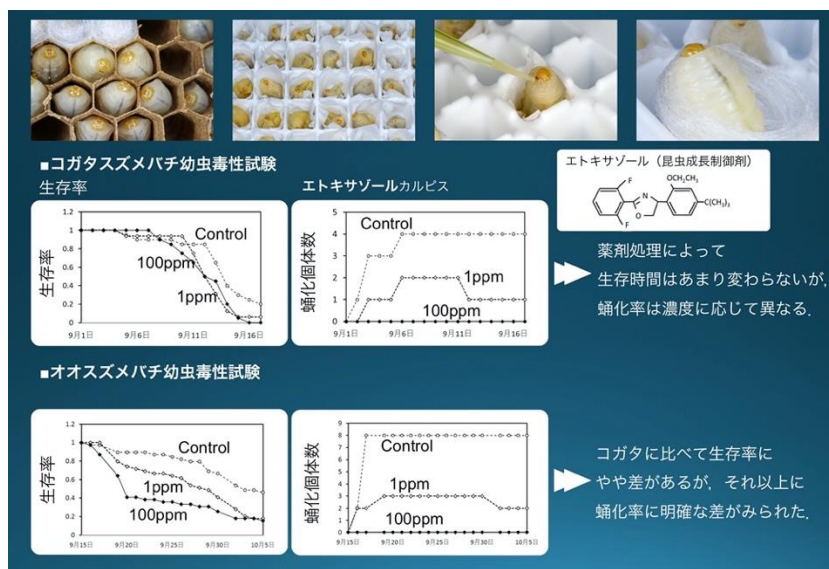


図17 在来種スズメバチ幼虫を用いたエトキサゾール薬効試験



図 18 対馬におけるツマアカスズメバチのベイト剤基質選択試験

2017年度はアルゼンチンアリ定着個体群の根絶確認モデルを構築して（図 19）、本モデルを基に東京都の侵入個体群について世界初の根絶確認を果たし、論文発表及びプレスリリースを実施した。さらに神奈川県、静岡県、大阪府、京都府、兵庫県及び岡山県において環境省・自治体との協働防除体制のもとで、防除マニュアルに準じて防除事業を展開し、すべての都道府県において、個体群減少に導くことができた。神奈川県については根絶が間近となった。セイヨウオオマルハナバチの暫定版防除マニュアルに準じて、北海道立環境研究センター主体での石狩浜での防除試験を推進、随時データを収集し、試験方針にフィードバックした。ツマアカスズメバチの化学的防除手法の実用化試験を行うべく、対馬市において現地説明会を開催し、地域レベルでの防除試験に着手した。6月にヒアリが神戸港にて中国からの輸入コンテナ内にて確認されたことを受けて、DNA 技術を活用した早期発見技術の開発を行い、実験室レベルでの検出を可能とした。定着した場合の防除手法開発のため、薬剤データを収集するとともに、ヒアリの生態情報に準じた防除計画を構築し、環境省に提出した。

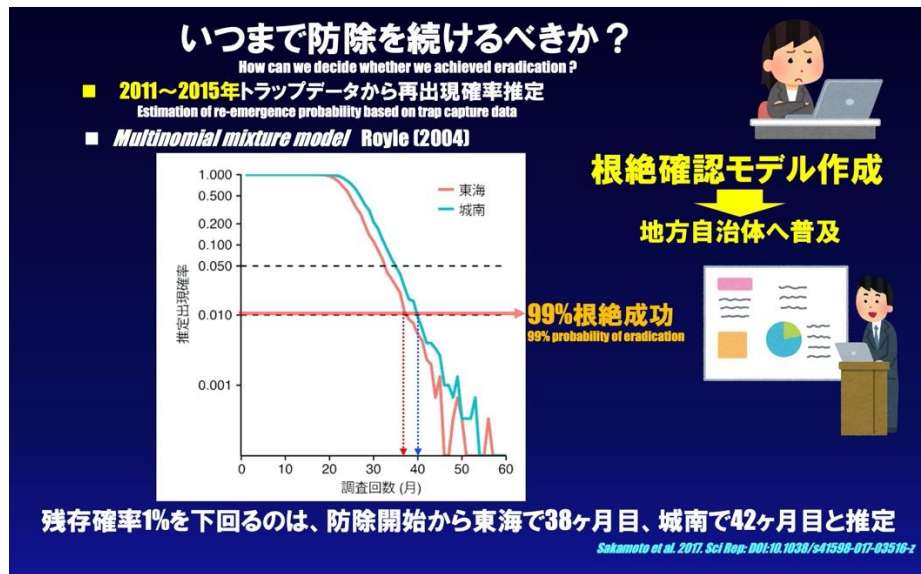


図 19 東京都大田区における 2011～2015 年トラップデータから導かれた根絶確認モデル

2018年度はヒアリ対策として神戸市、愛知県、沖縄県の対策検討会に委員として参加し、マニュアル作成に協力した。薬剤メーカー連絡協議会を開催し、適用薬剤情報の整備及び有効薬剤の選定を行った。早期発見技術としてLAMP法によるヒアリDNA検出キットを作成し、全国11機関で試験運用を行い、データを収集、キットの改良・高度化を行った。完成品をプレスリリースして、全国の希望機関に配布した。中国・韓国のヒアリ対策部門と協議し、被害実態及び防除技術の情報共有を進めた。アルゼンチンアリについては中部地方（愛知県・岐阜県）防除連絡協議会開催、環境省・自治体連携の防除を開始した。ツマアカスズメバチ対策として、対馬市にて地域連携の化学的防除体制を構築した。セイヨウオオマルハナバチ対策として北海道自然研センターにて野外レベル薬剤防除試験を継続した。

2019年度は早期発見技術としてLAMP法によるヒアリDNA検出キットを改良し、小学生でも実施可能とした。全国のテスト希望機関に無料配布を開始した。アリ類に対する個体レベルの薬剤効力試験手法を開発し、防除剤選定のためのスクリーニング試験システムを導入した（図20）。コンテナ内に市販のピレスロイド剤エアロゾルを噴霧することでコンテナ内のアリ集団を駆除できることを試験的に確認して、環境省にシステム導入を進言した（図21）。アルゼンチンアリについては2012年に発見されて以降、地域連携で防除を進めてきた静岡県静岡市の定着個体群の根絶に成功。東京都大田区の根絶事例に次ぐ、世界で第2の根絶成功事例となった（図22）。また、東京都大田区における防除データに基づき、ベイト剤フィプロニルによる環境影響評価として、非標的節足動物群集の動態を解析した結果、アルゼンチンアリ根絶後にベイト剤散布を中止すれば速やかに在来種群集が回復することを明らかにした（図23）。本結果により、今後の外来アリ類防除における環境影響評価の指標が導かれるものと期待される。ツマアカスズメバチ対策として、対馬市にてIGR剤防除手法の野外試験を実施。コロニー防除の高い効果を再現できた（図24）。

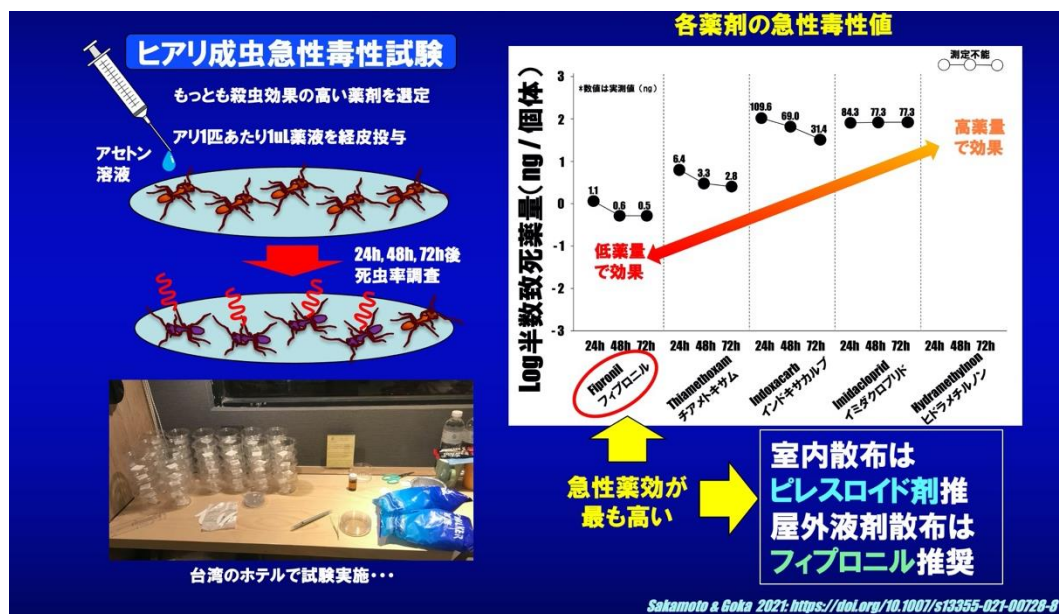


図20 ヒアリ急性毒性試験による各薬剤の薬効評価

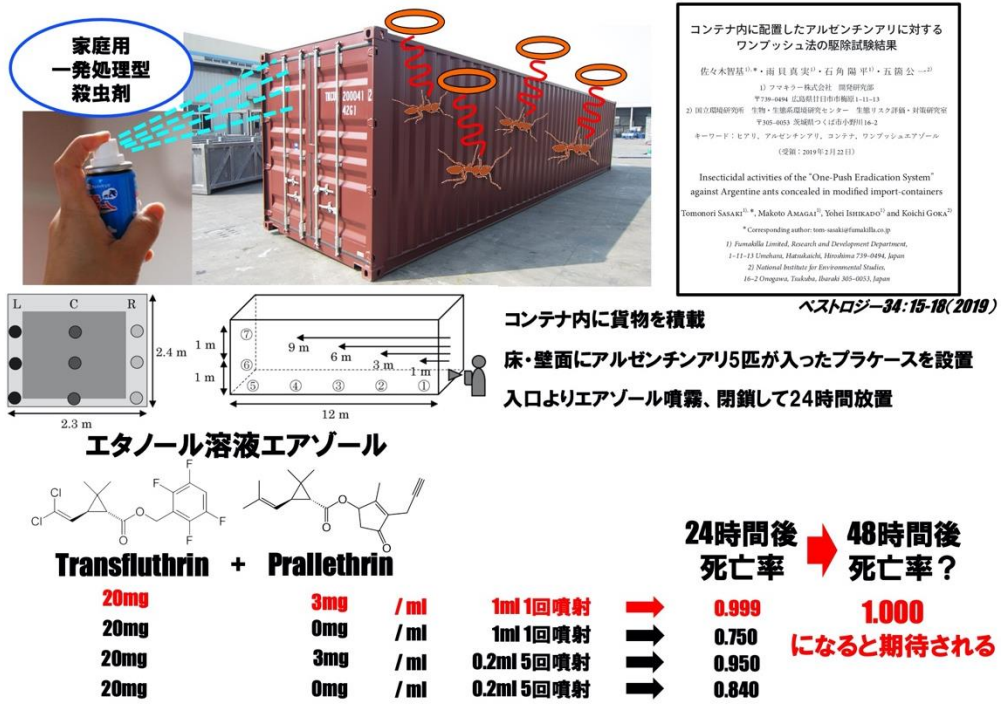


図 21 市販ピレスロイド剤によるコンテナ内の外来アリ殺虫試験



図 22 日本国内の地域別アルゼンチンアリ防除体制及び防除成果

■ 東海 区画 I

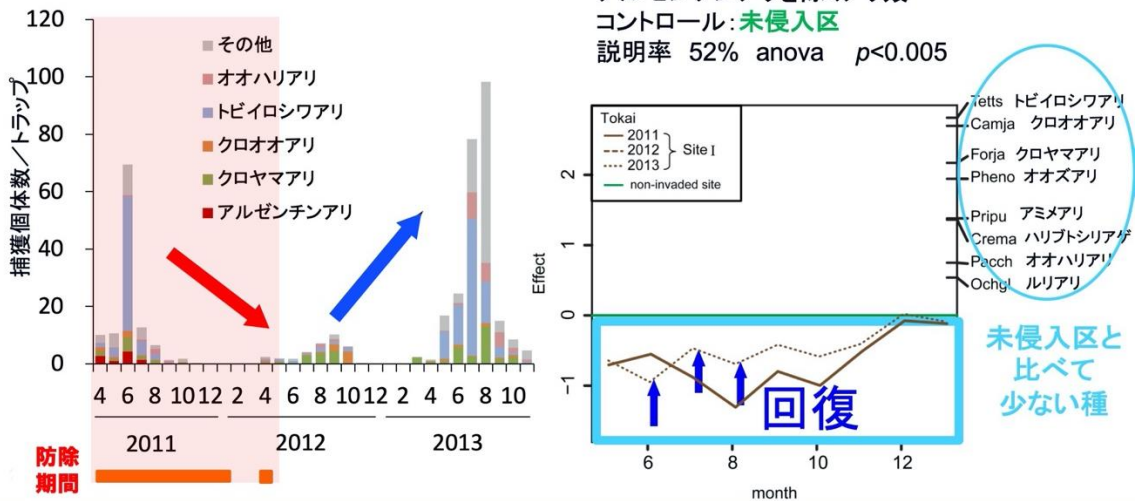


図 23 アルゼンチンアリ防除区における群集動態解析: 薬剤によって在来アリ類が一時的に減少しても、防除終了後には速やかに元の群集へと回復する

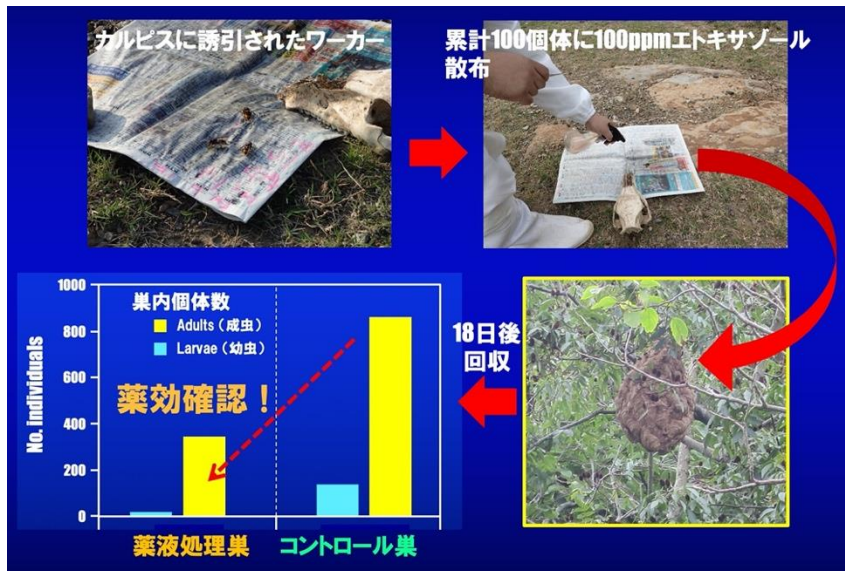


図 24 対馬におけるツマアカスズメバチ野生巣の薬剤防除試験

2020年度は、早期発見技術として開発・改良した LAMP 法によるヒアリ DNA 検出キットを (株) ダスキンと共同で、同社の港湾付近の全国 100 支社に無料配布し、港湾地での調査を実施するとともに、実務レベルで利用する際の課題抽出に取り組んだ (図 25)。在来アリを利用して、アリのコロニーレベルの薬剤効力試験手法を開発し、防除剤選定のためのスクリーニング試験システムに導入した (図 26)。民間メーカーと共同で、ヒアリ同定用 AI の開発を開始した。東京都青海ふ頭、愛知県飛島ふ頭などで発見された野外営巣に対し、リモートを利用した遠隔指導による初期対応を行った。ハヤトグフシアリでは、福岡市においてフィプロニル液剤を利用した防除を指導し、6月以降個体数 0 を保った。アルゼンチンアリについては横浜地区の定着個体群がほぼ根絶状態となり、その他の地域についても、分布エリアの縮小に成功した。一方、新規の侵入個体群も発見されており、引き続き現地での防除指導を行った。ツマアカスズメバチ対策として、対馬市にて IGR 剤防除野外試験を対馬市主体で実施したが、台風の影響で十分な試験用野生巣の確保が困難であった。民間メーカーと共同で有効なベイト剤開発も開始した。日中韓生物多様性合同会議に出席し、

ヒアリ・アルゼンチンアリ・ツマアカスズメバチの早期発見・防除技術の情報共有を行った。IPBES や CBD などが主催する国際会議に参加し、侵略的外来種の情報提供と国際的な外来種管理への提言を行った。



図 25 ヒアリ早期発見のための LAMP キット開発及び全国検査体制の確立



図 26 アリ類のコロニーレベル室内毒性試験システムの確立

2.2.1.4 まとめ

アルゼンチンアリの地域連携防除システムは順調に実装され、関東地域における定着集団の防除はほぼ完了しつつある。今後、防除システムを全国で強化することで全国レベルでの根絶も可能と考えられる。これは世界的にみても貴重な成功事例となる。ヒアリやハヤトゲフシアリなどの侵入初期段階の外来アリについても、有効な検出技術及び防除技術を早期に確立し、全港湾に実装配備できたことや、中国・韓国に対して情報共有が果たせたことは、大きな成果と考える。一方で、セイヨウオオマルハナバチ定着個体群の薬剤防除については地域の NPO や市民レベルでの薬剤防除に

に対する合意形成が滞り、市町村レベルの小規模での野外試験に留まっており、今後、薬剤リスクに関するリテラシー向上及び製造者・販売者といった製造者責任にかかるステークホルダーも巻き込んだ防除体制の強化が望まれる。

2.2.2 農業による影響評価と管理戦略（サブテーマ2）

2.2.2.1 目的と経緯

近年、世界的にネオニコチノイド農薬による生態影響が議論されている。本系統剤は、植物体の根から吸収されて植物体内に移行・蓄積することで、吸汁性害虫の加害を抑制するという特性を持ち、様々な農作物で広く適用されている¹¹⁾。一方、本系統剤の広域使用が害虫以外の生物相に悪影響を及ぼしている可能性が2010年頃より世界各地で指摘されている。欧米では、ハナバチ類の減少要因として本系統剤が疑われており、EUは2013年よりネオニコチノイド系農薬薬剤の使用禁止措置を継続している¹²⁾。国内においては、本系統剤はイネの苗箱に粒剤処理をして、処理苗を水田に植えることで害虫を防除する「箱苗施用剤」として多用されており、水田及び周辺水系における水生生物に対する生態影響が懸念されている。特にトンボ類が2000年代以降急速に減少しているとされ、ネオニコチノイド農薬の普及率と相関があると指摘されている¹³⁾。里山生態系の象徴的生物でもあるトンボ類の減少は研究者・政策関係者のみならず、一般の関心も高く、EUを促してネオニコチノイド農薬の使用停止を政策に求める声が高まっている。一方、野生のトンボ類減少には農薬以外の環境要因も多数関与していると考えられ、また実際の圃場においては殺虫剤のみならず、殺菌剤・除草剤など様々な薬剤が使用されている。そのため、トンボ類の個体群動態とネオニコチノイド農薬の普及率の相関関係のみから、ネオニコチノイド農薬による影響を判断することは難しい。同様に野生ハナバチ類の急速な減少についても本剤との関連性が議論されているものの、これまでの研究は、比較的高い濃度での急性毒性、亜急性毒性試験がほとんどであり、野外環境における低濃度曝露の影響評価は進んでいない¹⁴⁾。さらに野生個体群減少と農薬との関係を相関的に示した事例は多いものの、統計的な因果関係を示した事例は少ない。ネオニコチノイド農薬の規制にあたっては、定量的データに基づく生態リスクの科学的な分析が強く求められる。本課題では野外におけるトンボ類及びハナバチ類に対する農薬の整体リスクを農薬科学のみならず、群集生態学・景観生態学の観点からも科学的に検証し、個体群減少要因の解明を図った。さらに、農薬の生態リスク低減のための管理手法を開発し、新しい時代の農業管理システムを行政に提言することを目標とした。

2.2.2.2 方法

2016年度は、マルハナバチ類に対する農薬のコロニー繁殖毒性試験法を確立し、ネオニコチノイド農薬の生態影響を評価した。メソコズム試験法をマニュアル化して地方レベルの試験運用を推進した。野外環境における農薬残留分析及びトンボ類の多様性評価を行った。水生生物に対する農薬の生態リスク評価手法の高度化を進めた。

2017年度は、マルハナバチ類に対する農薬のコロニー繁殖毒性試験を推進するとともに野外における花粉中・花蜜中の農薬濃度を測定し、ネオニコチノイド農薬の曝露影響評価のための基礎データを蓄積した。トンボ類の急性毒性試験の高度化を図った。農薬の使用量と野生昆虫類の分布動態に関する地図情報を収集し、時空間的相関を分析した。

2018年度は、野生ハナバチ類に対する農薬の曝露実態を定量的に評価して、ネオニコチノイド農薬の生態リスク評価システム構築を図った。室内試験・野外調査・既存データ分析に基づきトンボ類に対する農薬の生態影響について因果推論手法を活用して評価した。

2019年度は、野生ハナバチ類に対する農薬の毒性評価及び曝露評価データの収集を行い、農薬取締法・生活環境動植物登録基準設定におけるハナバチ類生態リスク評価システム実装に資する科学的根拠を収集した。トンボ幼虫を試験生物とした長期曝露評価手法の開発を進め、農薬取締法における生態リスク評価手法の高度化を試行した。

2020年度は、ミツバチの生理及び免疫に密接に関わるとされる腸内細菌に着目して、農薬の長期経口曝露がミツバチの腸内細菌に与える影響を調査するために、「腸内細菌をミツバチ個体間において均質化するための手法開発」「長期飼育のための環境条件の整理」「農薬の選定と濃度設定」を行った。

2.2.2.3 結果と考察

2016年度は、ネオニコチノイド農薬の生態リスク評価として、ハウス内コロニー毒性試験を実施した。市販のクロマルハナバチを女王1匹、ワーカー30匹に調整して、ハウス内で放飼し、イミダクロプリド200ppbもしくは20ppb含有する花粉を採餌させ、4週間飛翔個体数をカウントするとともに最終週に巣内のカースト成長状態を確認した。その結果、200ppbで新女王生産・オス生産が阻害され、20ppbでも巣の成長に影響が出ることが明らかとなった（図27）。

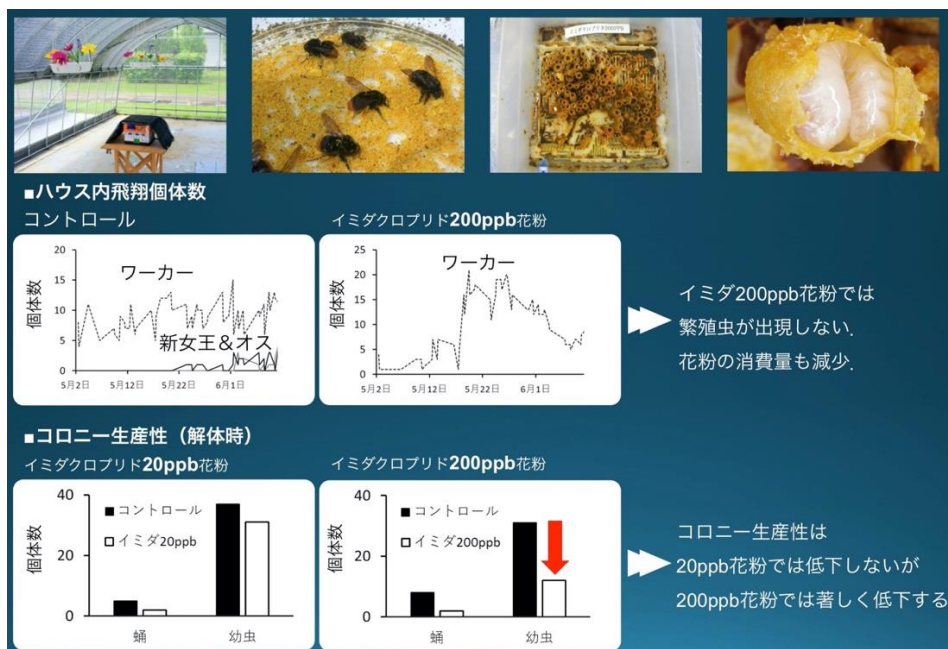


図27 ハウス内マルハナバチコロニーに対する花粉を介した農薬曝露試験

農薬による水田生物多様性影響評価手法として、タンク式メソコズム試験法のマニュアルを策定して（図28）、宮城大学、新潟大学、福井県農業試験場、広島県総合技術研究所、及び佐賀大学においてマニュアルに準じた農薬試験を実施し、得られたデータを回収して、統計解析を行い、地域別の生物多様性影響評価を行った結果、いずれの地域においてもフィプロニルが水生生物相の種数・個体数の両方に大きな負の影響を及ぼすことが示された（図29）。野外における農薬のトンボ類に対する影響評価として、北海道、茨城、石川、福井、奈良、兵庫、佐賀の各都道府県における水田周辺のトンボ類多様性調査及び農薬の環境中濃度の測定を行った結果、相対として北東地方ほどトンボ多様性が高く、残留農薬濃度が低いのに対して、西南地方ほどトンボ多様性が低下して、残留農薬濃度が高い傾向が示された（図30）。ただし、統計的には有意な相関関係は認められなかった。今後、農薬の影響を単離するためにはトンボ類の自然分布情報及び調査地における環境パラメータ分析も行い、交絡因子を明らかにする必要があると考えられた。

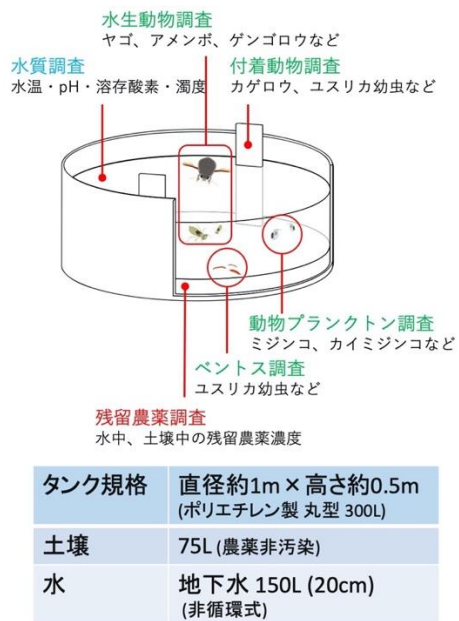


図 28 タンク式メソコズム試験法



図 29 タンク式メソコズム試験地。いずれの試験地においてもフィプロニル投与区で生物群集に負の影響が示された。

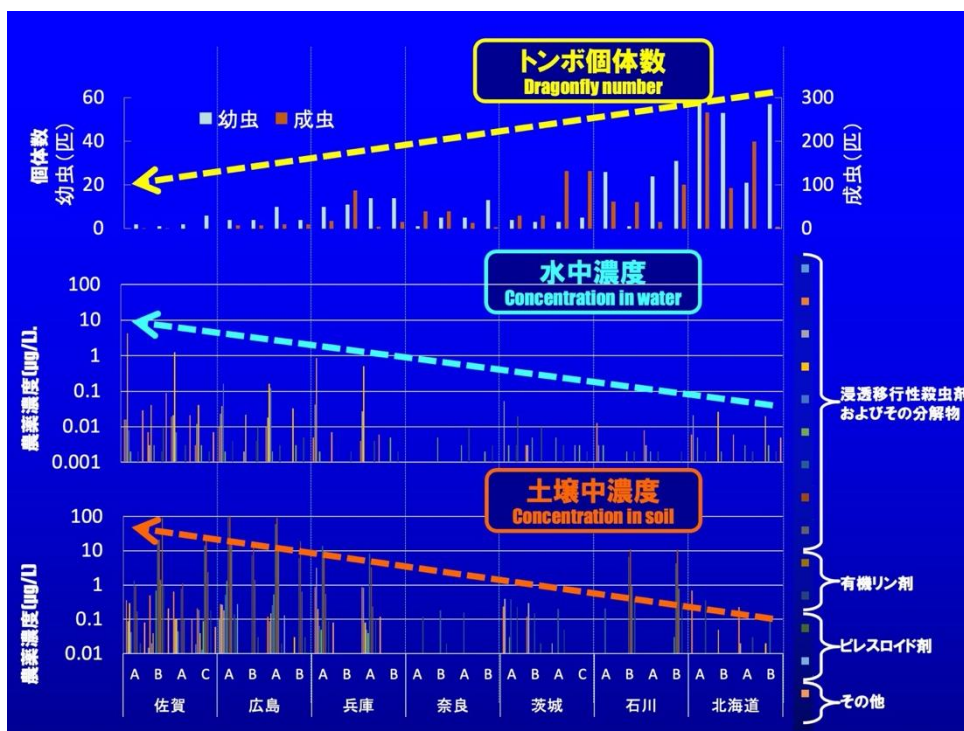


図 30 日本各地のトンボ个体数及び農薬残留濃度の定点調査結果

2017年度は、ネオニコチノイド農薬の生態リスク評価として、2016年度に引き続き、ハウス内コロニー毒性試験を実施、薬剤を混入した花粉をワーカーに持ち帰らせることで、コロニー内生産に及ぼす影響評価を行なった結果、フィプロニルはイミダクロプリドよりも一桁低い濃度で生産に影響が出ることが明らかとなった。また、野外圃場に人工コロニーを設置し、周辺植物花粉中及びコロニー内に集められた花粉中の農薬濃度及びコロニー内生産状態を調査し、花粉を介した農薬の曝露影響評価を実施した結果、巣内の花粉塊から使用農薬の残留が確認された(図31)。農薬による水田生物多様性影響評価手法として、トンボのヤゴを対象とした急性毒性試験を実施し、OECD推奨試験生物オオミジンコ及びユスリカ幼虫の感受性データを比較した結果、トンボ類の浸透移行性殺虫剤に対する感受性はオオミジンコよりも高いが、ユスリカよりも低いことが示され、急性毒性試験ではユスリカが最も高感度の試験生物と考えられた。得られたデータを環境省中央環境審議会農薬小委員会に提出し、今後の農薬取締法改正の方針検討材料とした。

ナスの株の近くにクロマルハナバチコロニーを設置し、2週間後に回収。内部の花粉ポット、巣材を分析。



[前処理]
女王は翅を切り、ワーカーはマーキングして戻した。
蛹はすべて取り除いた。



図31 野外ナス圃場におけるクロマルハナバチ人工コロニーの農薬曝露試験。
農薬処理をしたナスから花粉や花蜜を採餌した結果、巣内から残留農薬が検出されることが示された。

2018年度は、茨城県内において、周辺環境（土地利用）が異なる地点にクロマルハナバチ人工コロニーを2週間設置し、回収後、巣内の巣材、花蜜、花粉における残留農薬量を分析した結果（図32）、水田周辺の環境に設置したコロニーから高濃度の残留農薬が検出された。そのほかの地点についても低濃度で残留農薬が検出され、マルハナバチが農地及びその周辺の花資源を広く利用していることが示唆された。2017年度開始トンボ影響評価事業（推進費4-1701:代表・五箇公一）として、北陸におけるトンボ個体群動態解析及び農薬使用量データとの相関関係を分析した結果、フイプロニルによる野生トンボ類の減少リスクが強く示唆された（図33）。これらの成果に基づく推進費プロジェクトの中間評価結果はA+であった。環境省・中央環境審議会・農薬小委員会、同・水産動植物登録保留基準値設定検討会、同・水産動植物登録保留基準設定の高度化検討会、同・農薬による昆虫類影響評価検討会に出席し、研究調査成果に基づき、農薬取締法の改正に向けて生態リスク評価ガイドライン作成に貢献した。



図 32 クロマルハナバチ人工コロニーの野外環境別農薬曝露実態調査

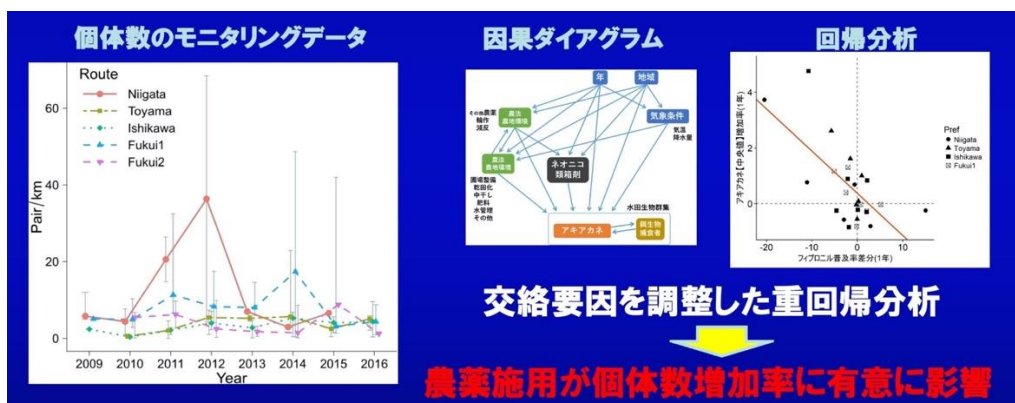


図 33 北陸 4 県におけるアキアカネの個体群動態と農薬使用量の因果推論分析

2019 年度はハナバチ類全国分布データよりハナバチ類各種の分布規定要因特に農地依存度を推定し、種別の農薬曝露リスクを評価した結果、ニセハイイロマルハナバチやクロマルハナバチは相対的に曝露リスクが高いことが示唆された(図 34)。急性毒性試験を拡大し、野性ハナバチ 8 種類に対する急性毒性試験を行い、薬剤感受性の種間差データを収集した。その結果、薬剤ごとに感受性の種間差に変異があることが示された。イトトンボの試験生物化を目指して室内累代飼育の自動化を確率した(図 35)。アキアカネ及びイトトンボのヤゴを試験生物とした 4 週間半止水式曝露による慢性毒性試験を行った結果、イミダクロプリド及びフィプロニルともに、慢性影響 EC50 値は、急性毒性 EC50 値よりもワンオーダー低いことが示された。さらに行動異常、脱皮異常などの非致死的影响指標の抽出ができた(図 36)。成長時間がミジンコやユスリカより長いトンボ類の場合、慢性影響によって個体群が減少することが示唆され、野外環境におけるトンボ類の農薬影響の実態と一致すると考えられた。気象庁生物季節観測を用いた全国レベルのトンボ分布消長データ解析より野生トンボ類の減少実態を明らかにし、農薬使用量データとの相関解析を通じて、ネオニコチノイド農薬が減少要因であることが示唆された。環境省・中央環境審議会・農薬小委員会、同・水産動植物登録保留基準値設定検討会、同・水産動植物登録保留基準設定の高度化検討会、同・農薬による野生ハナバチ類影響評価検討会に出席し、研究調査成果に基づき、農薬取締法の改正に向けて生態リスク評価ガイドライン作成に貢献した。

2020年度は、ミツバチ腸内細菌の均質化について実験法を検討し、羽化直後の個体に育児蜂を同居させる、あるいは育児蜂から抽出した腸内細菌を投与することで達成されることが見込まれた。長期飼育の環境条件においては、適切な個体数、温度、湿度、餌を絞ることができた。農薬の選定では、ネオニコチノイドをはじめとする殺虫剤7種に加え、殺菌剤1種と除草剤1種の計9種を候補として挙げ、2週間の曝露で死亡するに至らない濃度の設定を行った（基盤A: 坂本佳子代表）。

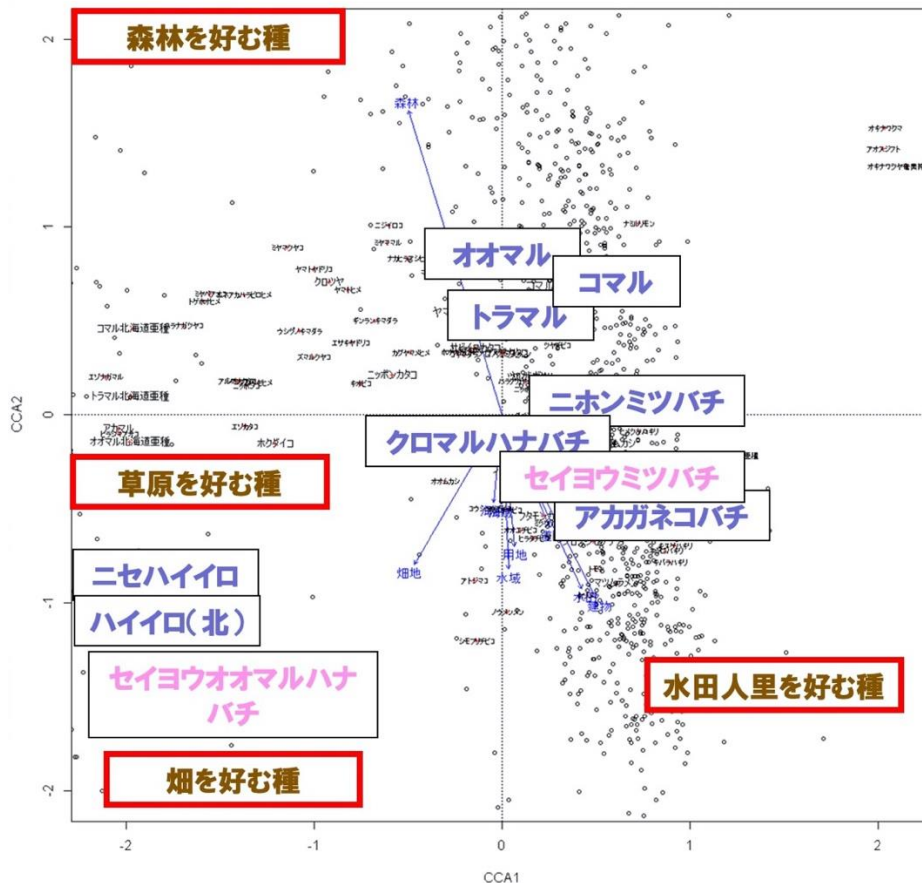


図34 正準対応分析によるハナバチ類各種の土地利用分析

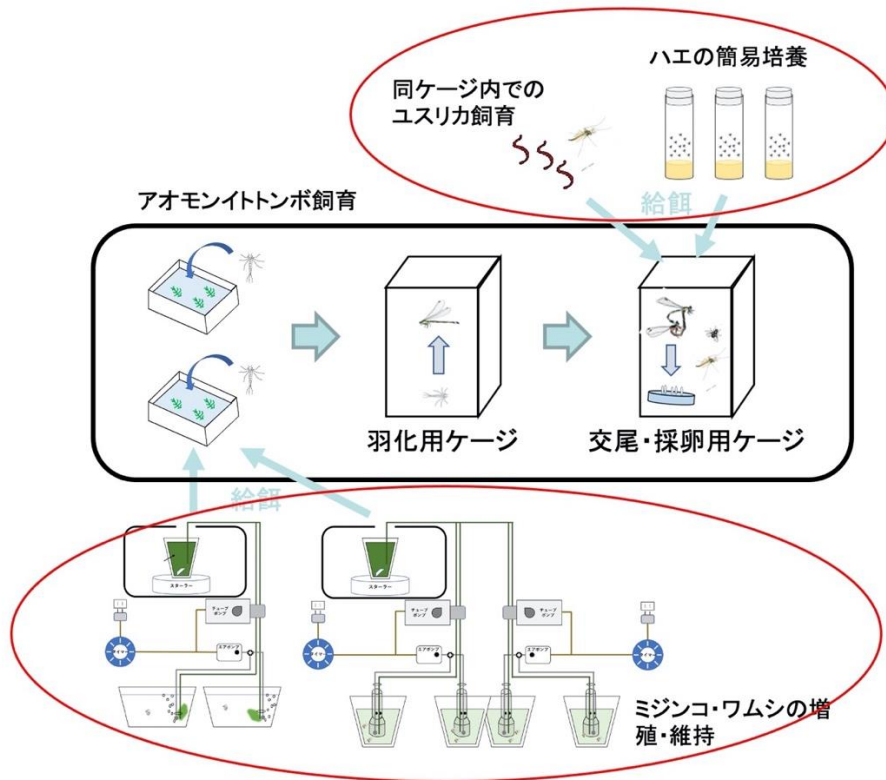


図 35 イトトンボの簡易累代飼育システム概要（詳細マニュアルは個別に希望配布）

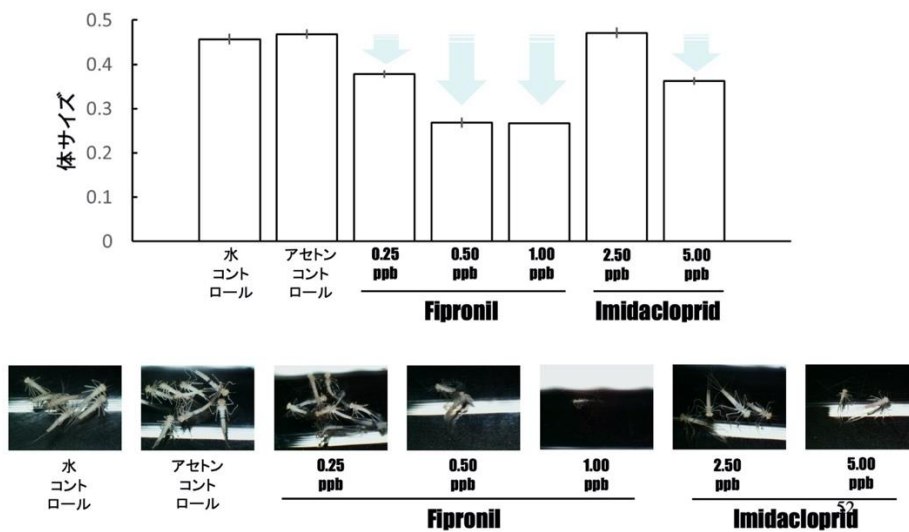


図 36 イミダクロプリド及びフィプロニルの低濃度慢性曝露によるトンボヤゴの成長抑制。二剤とも、4 週間曝露によってヤゴの大きさ (mm) が無処理区と比較して、小さくなっている。

2.2.2.4 まとめ

ネオニコチノイド農薬によるトンボ類に対する生態影響評価について、急性毒性試験では検出できない実環境レベルでの影響を検出することができた。特にトンボ類は卵、幼体（ヤゴ）、成虫という生活史ステージを経て一年間かけて世代がサイクルしている昆虫であり、環境中の低濃度農薬の長期間曝露や、土壌中に残留する農薬の分解物などの曝露によっても成長過程で影響を受けて、羽化に至らず、結果的に個体群の減少につながるリスクが試験データから明らか

にされた。ハチ類に対する影響評価では、環境中における花粉や花蜜を介した曝露の実態を定量評価して、陸域における農業生態リスク評価の必要性を提言することができた。

2.2.3 野生動物感染症による影響評価と管理戦略（サブテーマ3）

2.2.3.1 目的と経緯

病原体とされる微生物やウイルスも生態系の構成要素であり、地域ごとに、病原体-宿主生物間には共進化の歴史があり、固有の相互関係が構築されていることが示唆される¹⁵⁾。病原体を本来の生息域から持ち出すことは、免疫や抵抗性を進化させていない新たな宿主との遭遇をもたらし、急速な感染拡大を引き起こすおそれがある¹⁶⁾。グローバル化が進む現代において、まさに人間及びその社会そのものが自然界から持ち出された感染症の新たな標的となり、感染拡大の脅威に晒されている。折しもこの原稿を書いている現在、新型コロナウイルス SARS-CoV-2が、全世界に蔓延して、深刻な疾病被害と経済被害をもたらしている。このように近年、人間社会に突然出現する感染症＝「新興感染症」のパンデミック・リスクに対する社会的関心が高まっているが、問題の背景に、生物多様性の破壊や外来種の持ち込みなど、環境問題が深く関わっていることが議論され始めている^{17,18)}。本サブテーマでは、毎年、養鶏業に甚大な被害をもたらしている高病原性鳥インフルエンザ、養豚産業に大きな被害をもたらしている豚熱、ヒト健康に重大な被害をもたらしているダニ媒介性の新興感染症 SFTS、ミツバチコロニーの世界的な減少要因とされる寄生生物・感染症をテーマとして、感染拡大メカニズムの解明及び、有効なモニタリング手法及びリスク管理手法の開発をめざした。

2.2.3.2 方法

2016年度は、野生渡り鳥の鳥インフルエンザ感染状況サーベイランスを行った。鳥類の抗ウイルスタンパク質の発現量調査を実施し、ウイルス感受性の評価を行った。ミツバチのアカリンダニの宿主特異性に関する生態的メカニズムの解明を目指して感染実験・野外調査を行った。Nested-PCR法により、国立環境研究所でストックしている国内両生類の Swap サンプル 1000 検体について両生類感染症イモリツボカビ菌の感染調査を行った。野生動物感染症データベースの構築を開始した。

2017年度は、LAMP法に基づき野生渡り鳥の鳥インフルエンザ感染状況サーベイランスを実施した。鳥類の抗ウイルスタンパク質の発現量を測定する手法で、希少鳥類のウイルス感受性の評価を実施した。室内飼育実験によりミツバチのアカリンダニ寄生率におよぼす農業曝露の影響評価を行った。Nested-PCR法により、新たに採集した国内有尾両生類の Swap サンプルについて両生類感染症イモリツボカビ菌の感染調査を行った。マダニ SFTS（急性熱性血小板減少症候群）の国内分布動態に関する情報収集を行い、地図化を図った。野生動物感染症データベースの構築を進めた。

2018年度は、鳥インフルエンザ感染ルートのサーベイランスを継続するとともにリスクマップの高度化を図った。世界各地の感染確認情報を収集し、GIS データを活用してイモリツボカビの分布予測を行った。マダニが媒介する SFTS の希少野生動物に対するリスク評価システムの構築及び普及啓発を進めた。ミツバチに寄生するアカリンダニの宿主特異性について行動生態学的手法を用いて解析を行った。

2019年度は、鳥インフルエンザ感染ルートのサーベイランスを継続するとともにリスクマップの高度化を図った。野外採集によりマダニ類の分布調査を進めるとともにダニ媒介性病原体のリスクに関する普及啓発を展開した。ミツバチに寄生するアカリンダニの宿主特異性機構を行動生態学・分子遺伝学的手法により解析した。ワンヘルスの概念に関する文献情報を収集し、生物多様性劣化と感染症リスクの増大について普及啓発を図った。

2020年度は、培養細胞を用いて、希少鳥類の鳥インフルエンザ感受性評価を実施した。鳥インフルエンザ感染ルートのサーベイランスを継続するとともに、温暖化による渡り鳥の越冬地北上を考慮した高病原性鳥インフルエンザリスクマップを作製した。また、分子遺伝学的手法によるイノシシの豚熱ウイルス保有状況調査を進めるとともに、環境試料（河川水、ヌタ場の溜水等）からの効率的なウイルス検出方法を開発した。マダニ媒介感染症予防のための薬剤選定を行うために、フタトゲチマダニ室内飼育システムを試験生物として Topical 法による急性毒性試験を行い、各薬剤の半数影響濃度 EC50 を求めた。マダニ類と感染症病原体の共進化を探るための基礎データ構築を目指して、日本全国からマ

ダニを採集し、形態分析を行った上で DNA 分析を行い、分子系統解析を行った。飼養ミツバチ及び野生ハナバチにおける病原体の網羅的解析を行うために、病原体検出法にかかる情報収集を行った。外来生物及び化学物質の影響評価と、近年問題となっている新型コロナをはじめとする人獣共通感染症と生物多様性の関係について科学情報を収集して生態学的分析を行い、普及啓発を行った。

2.2.3.3 結果と考察

2016年度は、鳥インフルエンザの調査について遡及調査として2006～2010年に北海道で捕獲したシギ・チドリ類より採取した総排泄腔ぬぐい液（1,332検体）を対象に鳥インフルエンザウイルスの遺伝子検出を試みた。その結果2010年に北海道コムケ湖で捕獲されたメダイチドリ（*Charadrius mongolus*）の検体がA型インフルエンザウイルス遺伝子陽性となった（図37）。また、H5亜型についても遺伝子検査を行ったところ陽性を示した。鳥類の抗ウィルスタンパク質の発現量に関する研究については、新たに高病原性鳥インフルエンザウイルスの感染が確認されたナベヅルとマナヅルについて初代培養細胞を確保し、発現量解析の準備が完了した。もともとセイヨウミツバチに寄生していたアカリンドダニが、近年ニホンミツバチにおいて蔓延し重症化している問題について、室内試験の結果、アカリンドダニに対する感受性が、セイヨウミツバチと比較してニホンミツバチで高いことが原因であるとの結論が得られた（図38）。国立環境研究所がストックしている全国1,000地点の両生類皮膚スワブサンプルについて、イモリツボカビ菌のDNAサーベイランスを実施し、イモリツボカビ菌の陽性反応は認められなかった。野生生物感染症データベースについては、日本野生動物医学会感染症対策委員会と連携して全国から関連情報の収集を行うことで合意が成された。

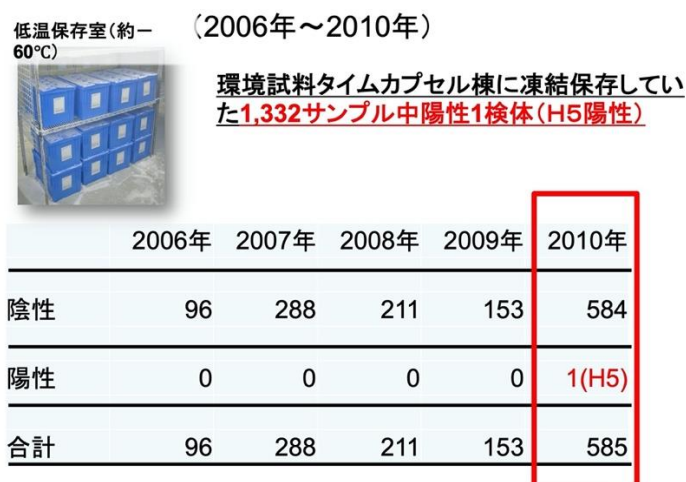


図37 2006年から2010年に採集されたシギ・チドリ類のスワブサンプルに対する鳥インフルエンザ検査結果

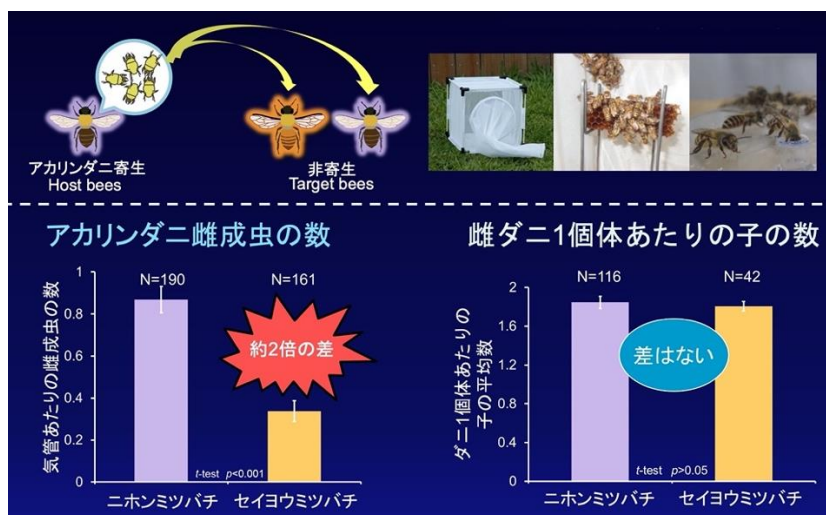


図 38 室内レベルのアカリダニ寄生実験

2017年度は、8月から9月に北海道の道東地域において、シギ・チドリ類を約280個体捕獲し、A型インフルエンザウイルス遺伝子検査用サンプルとして分析を行ったが陽性個体は検出されなかった。昨年度実施した遡及調査で、A型インフルエンザウイルス遺伝子陽性となった、メダイチドリ（2010年に北海道コムケ湖で捕獲）の検体を対象に詳細な遺伝子配列の解析を実施した。その結果、すでに報告されているH10N7に類似したA型インフルエンザウイルスであることが明らかになった（図39）。鳥類の抗ウイルスタンパク質に関する研究については、昨年度培養に成功したナベヅルとマナヅルの初代培養細胞を活用し、両種のMx遺伝子のクローニング、遺伝子配列の決定及び三次元構造解析に成功した。これらの情報は、ナベヅルとマナヅルの鳥インフルエンザウイルスに対する感受性評価に活用可能と考えられた。ミツバチの気管に寄生するアカリダニに対してセイヨウミツバチとニホンミツバチの間でグルーミング行動による寄生回避率に差があり、ニホンミツバチの方が、回避率が低いことが寄生率を高めていることが判明した（図40）。低濃度のネオニコチノイド農薬を経口曝露させることで、この回避（グルーミング）行動が活性化することが示された。国内有尾両生類の皮膚スワブサンプルをPCR分析した結果、感染個体は確認されなかった。マダニ媒介性新興感染症SFTSの流行メカニズムの解明のために、野生シカ及びアライグマの抗体陽性個体の時空間分布動態を解析するとともに、NHKと共同で各地の飼い猫・ノネコにおけるマダニ寄生状況の情報収集を行い、地図情報として公開を進めた（図41）。野生動物感染症データベースについては、日本野生動物医学会感染症対策委員会と連携して全国から関連情報の収集を行う体制の構築が完了した。具体的には全国を6区分し、各区分に情報収集責任者を任命した。



図 39 シギ・チドリ類の鳥インフルエンザ検査結果

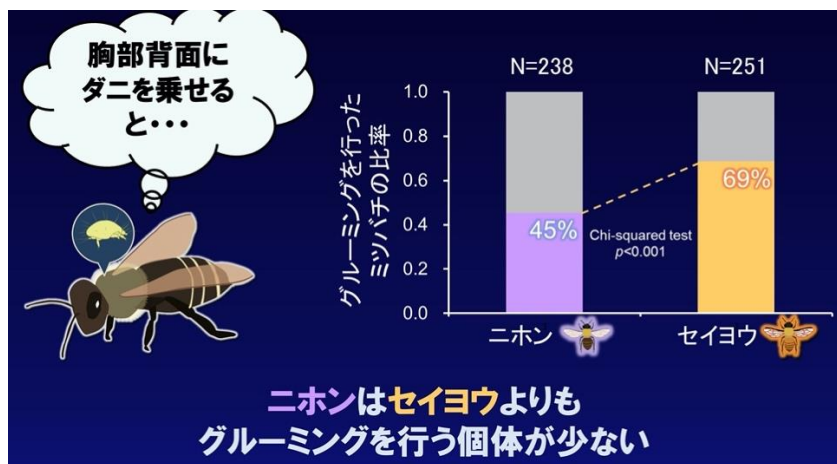


図 40 ニホンミツバチ及びセイヨウミツバチ二種におけるアカリダニ接種時のグルーミング行動の差



図 41 全国獣医師に対する飼い猫のマダニ寄生状況に関するアンケート結果

2018年度は、推進費戦略課題（鳥インフルエンザ及び猛禽類の鉛中毒:代表・大沼学）について、環境情報及び生態情報を統合して高病原性インフルエンザの野生鳥類に対するリスクマップを作成した（図42）。日本国内の有尾両生類スワブサンプルからはイモリツボカビの感染個体は確認されなかった。ベルギー・ゲント大学との共同研究でイモリツボカビ分布予測マップを作成し、論文発表した。マダニ科研費事業（基盤A:森林総研代表）として、対馬獺友会と共同でサンプル収集を開始し、野外マダニ薬剤防除試験の準備を進めた。またメディアを通じてマダニ媒介感染症リスクの普及啓発を進めた。ミツバチのアカリンダニ寄生影響評価にかかる科研費事業（基盤B延長:坂本佳子代表）において、ミツバチ種間におけるアカリンダニへの感受性の違いにミツバチの形態的差異が関与している可能性が示唆され、その構造の違いを数値化した。

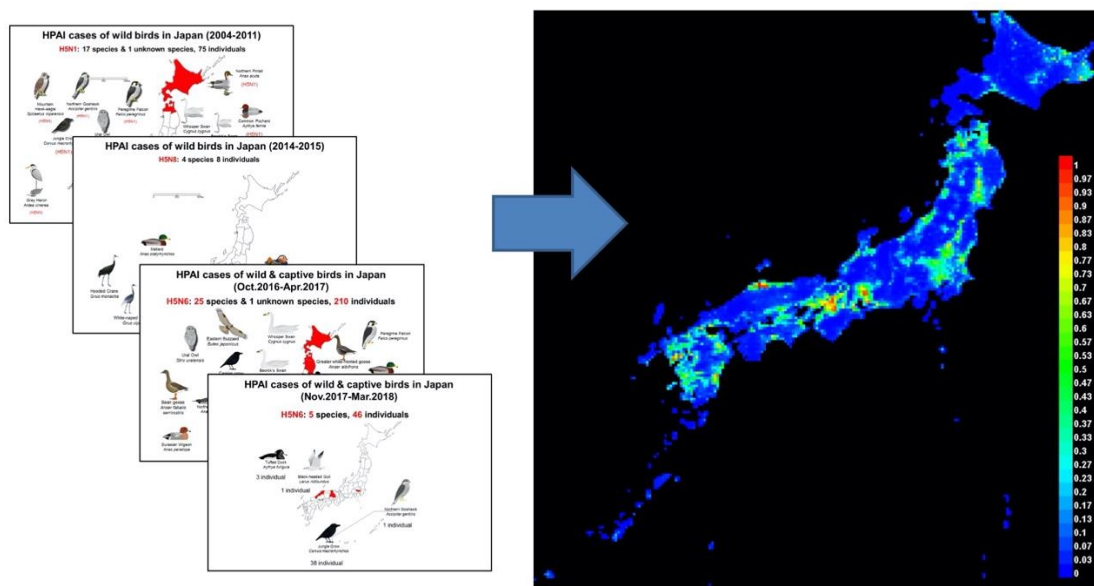


図42 鳥インフルエンザによる野生鳥類感染リスクマップ。赤系の色が強いエリアほどリスクが高い

2019年度は、推進費戦略課題（鳥インフルエンザ及び猛禽類の鉛中毒:代表・大沼学）については、オオタカ、ハヤブサ、クマタカ等の培養細胞を活用して、高病原性鳥インフルエンザウイルスの感染実験を開始した（図43）。また、メダイチドリから検出した鳥インフルエンザウイルス H10N7 亜型について系統解析を行った。メダイチドリからの鳥インフルエンザウイルスの検出は初報告となった。マダニ科研費事業（基盤A:森林総研代表）として、全国のマダニサンプルを収集し、DNA分析によるマダニ集団の地理的構造の調査を開始した。またメディアを通じてマダニ媒介感染症リスクの普及啓発を進めた。ミツバチのアカリンダニ寄生影響評価にかかる科研費事業（基盤B延長:坂本佳子代表）において、ミツバチの輸入プロセスに基づくアカリンダニの侵入・拡大経路の推定を行い、論文を投稿した。

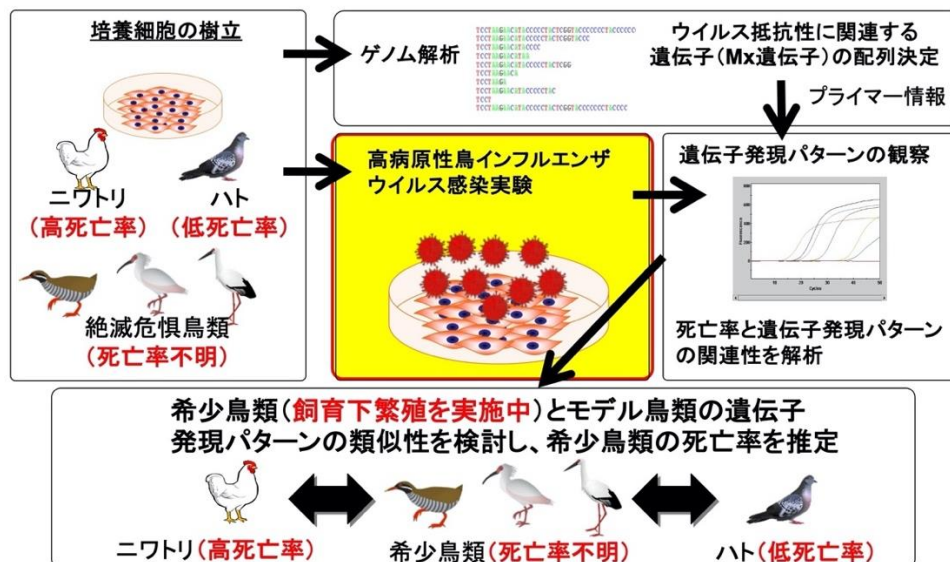


図 43 培養細胞における Mx 遺伝子発現量を指標とした鳥インフルエンザ感染症検査法

2020年度は、推進費戦略課題（JPMEERF18S20105:代表・大沼学）の成果として、オオタカ、ハヤブサ、クマタカ等の培養細胞を活用して、高病原性鳥インフルエンザウイルスの感染実験を行い、インターフェロン誘導遺伝子の発現パターンに種差があることを確認した（図 44）。また、CSF 推進費課題（JPMEERF20204G01:兵庫県立大学代表）の成果として、河川水中で少なくとも 1 週間はウイルス遺伝子が断片化しないことを確認した（図 45）。生物多様性センターよりガンカモ類の生息調査データを入手し、種分布モデルを用いて現在及び温暖化が進行した気候条件下でのガンカモ類の越冬適地推定を行った。マダニ科研費事業（基盤 A: 森林総研代表）として、DNA 分析によるマダニ集団の地理的構造の調査を開始した。これまでのところ、種ごとに地理的な変異が存在すること、一部の種は人為的要因による分布拡大が示唆されること、形態分類では同定が困難な隠蔽種の存在が示唆されることなどが示された。マダニ推進費事業（4-2005: 森林総研代表）として、殺虫剤 12 剤についてマダニの急性経皮毒性試験の 48 時間後死亡率から LD50 値を計算した結果、ピレスロイド系殺虫剤 1 剤が薬効及び環境安全性の観点から有効な防除剤として選定された（図 46）。ハナバチ感染症網羅調査（基盤 A: 坂本佳子代表）として、飼養及び野生ハナバチが保持する病原体の網羅的解析を開始し、国内で未確認のウイルスの検出を認めた。新型コロナと生物多様性劣化の関係について YouTube 動画で解説を配信し、16 万回以上の再生回数を得た。小泉環境大臣直轄でポストコロナ社会のあり方に関する勉強会（五箇勉強会）を開催し、環境省における人獣共通感染症対策強化を課題の一つとして提言した（図 47）。

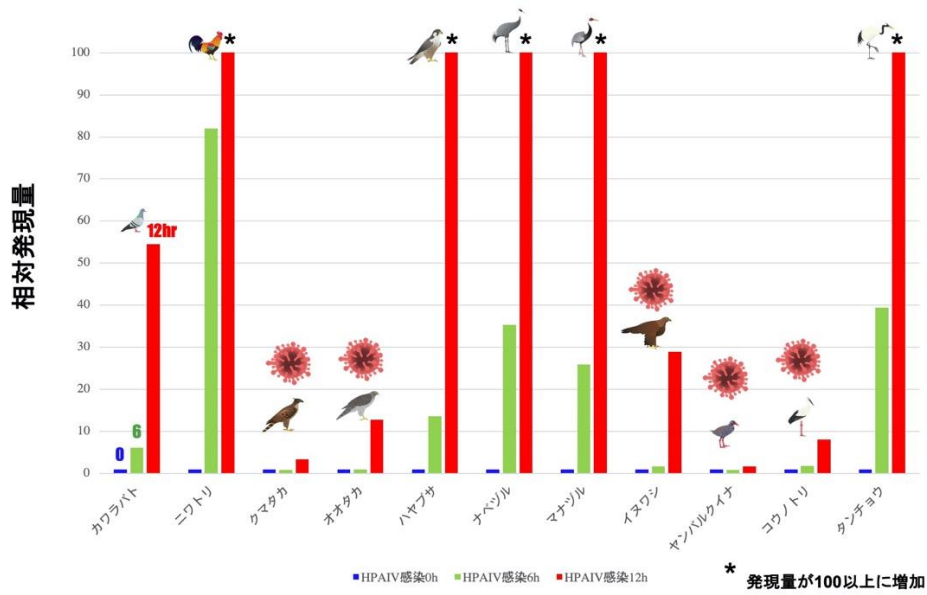
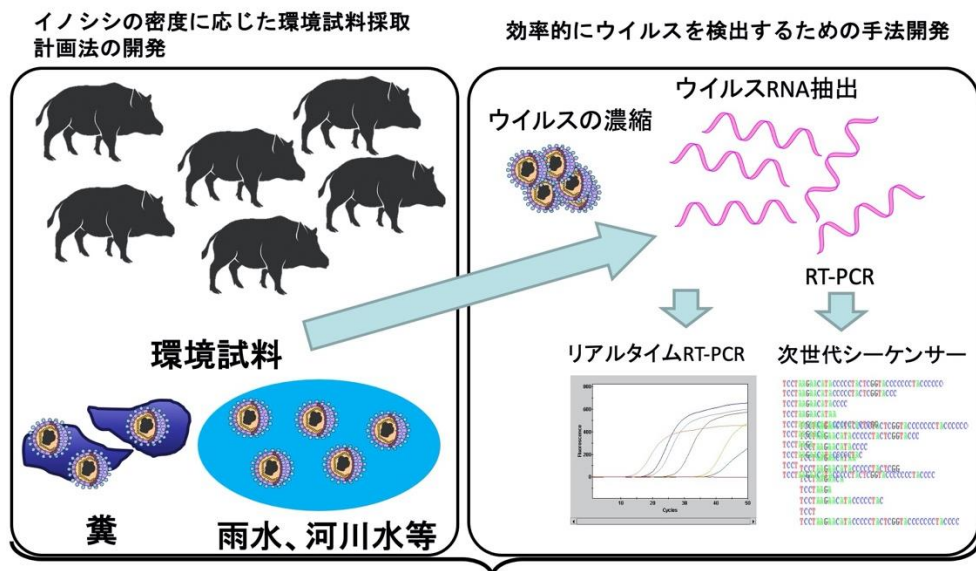


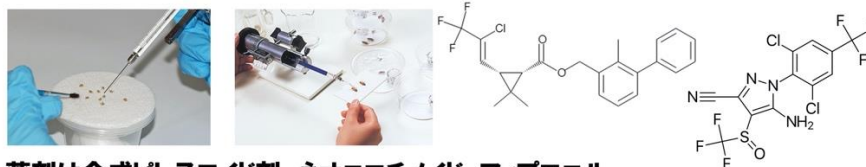
図 44 培養細胞を用いた鳥インフルエンザウイルス感染実験における各種鳥類の Mx 遺伝子発現量の差



環境試料を活用した豚コレラサーベイランスシステムの構築と社会実装

図 45 環境試料中からの豚熱ウイルス検出法コンセプト。本技術により、豚熱ウイルスの DNA 断片を高確度で検出できることが明らかになったことからプロトコル化して全国レベルの調査に活用することを目指す

→アース製薬(株)と共同研究実施、室内レベルのマダニトピカル(急性経皮)試験



→薬剤は合成ピレスロイド剤、ネオニコチノイド、フィプロニル

→国立環境研究所・森林総合研究所敷地内においてマダニ多発エリア確保



図 46 マダニ急性経皮毒性試験の概要及び、国立環境研究所及び森林総合研究所内の野外試験用に確保されたフィールド

(環境省事業)生物・生態系環境研究センター主催
コロナ後の日本の未来と希望を考える会(五箇勉強会)



五箇公一
国立環境研究所





進めよう。
次の世代のために、ともに新しい道をつくる。
小泉 進次郎
環境大臣



石井菜穂子
地球環境ファンリティ
CEO



落合 剛一
筑波大学
准教授



千葉知世
大阪府立大学
准教授



二宮 雅也
経団連
自然保護協議会
会長



畑谷 雄一
慶應義塾大学
教授



キャシー松井
ゴールドマンサックス
証券株式会社
副会長



山徳 寿一
京都大学
総長

環境省全職員に生配信

図 47 2020年8月に3回にわたって開催された環境大臣主催の勉強会メンバー

2.2.3.4 まとめ

鳥インフルエンザの侵入リスク予測の地図化も進み、サーベイランス体制が一層強化できた。また希少鳥類に対する感染リスク評価を培養細胞で可能とするシステムが構築できたことは、保全生態学上の意義が大きい。また豚熱の流行に対しても迅速に対応して、環境試料(土壌や水)からウイルスRNAを検出可能としたことは、今後のサーベイランス及びリスク制御に対して大きな技術貢献となる。マダニ媒介感染症 SFTS の分布拡大は、深刻な問題となっており、生活環境におけるマダニ発生例が増加する中で、緊急防除として化学的防除(薬剤防除)技術の開発は、重要な成果となると考えられる。次期中期計画においては野外環境における薬効評価及び環境影響評価も実施して、防除技術の実装を目指したい。ミツバチの感染症は、世界的なミツバチコロニー不足の原因の一つとして注目されており、外来寄生物や農薬による生理学的影響に関して詳細かつ広域に分析していくことは、ポリネーターの保全を進める上で、重要な

課題となる。この研究課題を通して、生物多様性劣化とグローバリズムが新たなるパンデミックをもたらすことは我々も警告と普及啓発を進めてきていた中で、奇しくも2020年1月に新型コロナのパンデミックが始まり、感染症の生態学という医学・獣医学・生態学・進化学という領域横断型の研究の展開が喫緊の課題とされている。当研究所においてもさらなる研究の強化が求められる。

2.3 広域環境変動に対する生物・生態系応答機構解明と適応戦略（プロジェクト3）

2.3.1 生物データ収集と整備

2.3.1.1 目的と経緯

長期観測により、気候変動や大気汚染といった広域にわたる環境変化が報告される中、これらが生物・生態系へ及ぼす影響を明らかにして科学的根拠に基づいた適応策を構築することが求められている。本プロジェクト「広域環境変動に対する生物生態系応答機構解明と適応戦略」では、生物多様性と気候変動の観点において特に影響が懸念されている高山生態系、熱帯・亜熱帯沿岸生態系、及び維管束植物全般を研究対象とした。

低温・低気圧・高紫外線という極地環境に適応した生物で構成される高山生態系は、氷河期の遺存・固有種の生育生息地として生物多様性の面から重要視されている。低温環境に適応した生物・生態系であるため、気候変動に伴う気温上昇に対して比較的大きな応答を示すことが懸念されている。マングローブやサンゴ礁を含む熱帯沿岸生態系は、干潟沿岸というエコトーンに適応した生物で構成されており多様な希少生物の生息域として重要視されている。また、マングローブには高い炭素貯留機能があるとともに沿岸保護機能があることが明らかになりつつあり、気候変動緩和と適応の双方から重要視されている。サンゴ礁にも高い沿岸保護機能があることが示されているが、気候変動に伴う水温上昇による白化現象や、高CO₂による海洋酸性化の影響が緊急課題として懸念されている。維管束植物は、生態系の一次生産者としての役割を担っているが、多くは固着性で移動することがないため、生育地に起きる環境変化の影響を受け続ける。環境変化が植物の代謝機能（光合成や呼吸）や生存に及ぼす影響を明らかにすることは、生態系全体の生産性への影響評価を行う上で必須である。本課題では、広域環境変動が上記対象生物と生態系に及ぼす影響を評価するために不可欠な基盤データの収集と整備を行うことを目的とした。

2.3.1.2 方法

(A) 高山生態系

青海チベット高原を対象に、草本植物（93科1,042属5,116種、134県）及び木本植物（111科1,957種、134県）の形態データ（生育様式・形態・色・繁殖フェノロジー）を分布位置情報とともに収集整理した。また、青海チベット高原における環境情報として、標高・気温・日照・降水を収集整備し、繁殖器官の色と環境因子との関係を解析した。

(B) 沿岸生態系

沿岸生態系の基盤情報を整備するため、入手可能な地形データを精査し、ESRI標高データ（空間解像度90m）を選定した。同データを基に、標高0mを海岸線として全球海岸線ポリゴンデータを作成した。重点地域として解析を進めた熱帯亜熱帯地域（40°S-40°N）については、より詳細な解像度を持つSRTM Water Body Dataset（空間解像度30m）を基に海岸線ポリゴンデータを作成した。全球マングローブ・藻場・サンゴ礁生態系分布GISデータを収集整理し、上記で作成した海岸線に合わせて成型した。

(C) サンゴと大型海藻

サンゴと大型海藻（国内温帯域の代表的なコンブ類・ホンダワラ類）に関して、種の在不在及び現存量（重量または被度等）に関する文献を収集し、Darwin Core形式でデータ整備を行った。種名に関しては最新の分類体系を用いてシノニムを整理した。図48にデータベース構築フローチャートの例を示す。また、市民参加型の「日本全国みんなでつくるサンゴマップ」（<https://www.sangomap.jp/>）を運営し、サンゴの白化に関するデータ収集を行った。

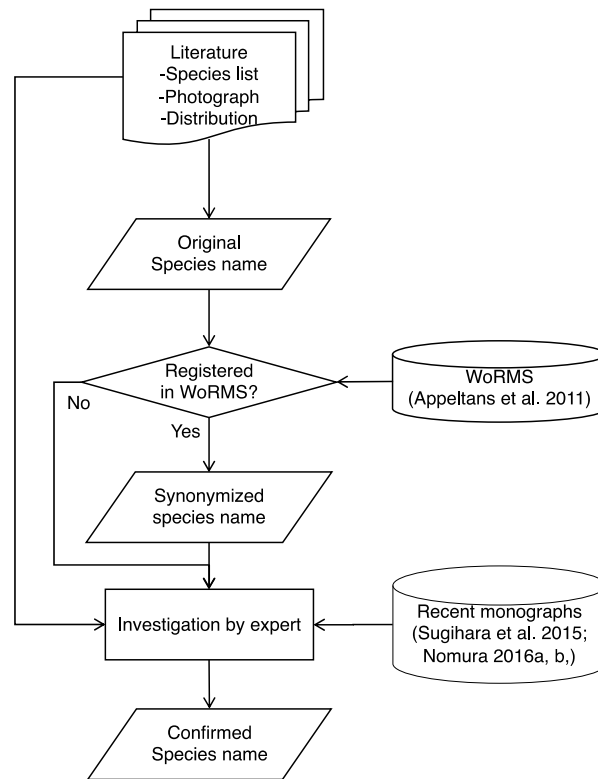


図 48 文献からのサンゴ種の出現データの整理に関するフローチャート

(D) マングローブ

マングローブが存在する 111 の国とテリトリ別に、それぞれの国・テリトリに存在する主要 74 樹種を、文献（学術論文・報告書・書籍）・ウェブサイト情報・調査データから網羅的に収集整理した。作成したデータを基に、標高と沿岸傾斜角・生態系の組み合わせ・構成生物類似度指数（Jaccard）による生態系の類型化を行った。また、マングローブ生態系の炭素貯留機能を統合評価するためのデータフォームを作成し、既存文献の整理を行った。既存文献から抽出したマングローブ生態系炭素貯留データに位置情報（緯度経度）を付与し、全球マングローブ炭素貯留機能の実測データマップを作成した。さらに、マングローブ炭素貯留量の推定モデルを地上部バイオマス・地下部ネクロマス別に検証した。各パラメータ値は、全球マングローブ分布 GIS データを 10km メッシュで区切り、各メッシュの中心点における値を抽出した。なお、気象データには WorldCLIM を用い、地形データには本研究で作成したデータを用いた。また、推定の不確実性を評価するため、実測データ集から 7 割のデータをランダムに選択して推定を行うプロセスを 100 回繰り返し、説明変数の選択頻度、推定値の変動、各変数の外挿の程度を算出した。

(E) 維管束植物

大気汚染の光化学オキシダントの主成分であるオゾンが植物の生育へ及ぼす影響を評価するために選出したオゾンと植物生長・代謝機能との関係に関する既報約 900 報のうち、野外曝露実験の結果を中心に 116 報から 321 件のデータをとりまとめた。その際、結果の把握や相互比較を効率的に行えるように、以下の項目等についてのデータを抽出し、データベース化した。

- 1) 情報源（論文誌名・巻号・著者等）
- 2) 調査・実験場所（国・地名、緯度・経度）
- 3) 調査・実験方法（野外観察（抗オゾン薬（EDU）処理等）、野外曝露実験（フリーエア・オゾン曝露（FAO）、オープントップチャンバー（OTC）等）
- 4) 植物種・型（学名、系統名、広葉樹、針葉樹、C3 草本、C4 草本等）
- 5) オゾン濃度（計測値、曝露濃度・時間等）

- 6) CO₂濃度（計測値、曝露濃度・時間等）
- 7) 影響評価（可視障害の有無、成長速度・光合成活性への影響等）

なお、影響評価については、実験方法の違いにより、無処理（オゾン非添加）区やフィルターによるオゾン除去区等を対象とし、それらの区における値との比較により得られた相対値を主に記載した。

2.3.1.3 結果と考察

(A) 高山生態系

チベット高原に分布する植物の花色と環境因子との関係を解析したところ、標高の上昇に伴い、紫花の割合が高く、白花の割合が低下することが明らかとなった。また、花色の変化は年平均気温と日照量と高い相関を示していた。温暖化に伴う気温上昇が、高山生態系の植生や花色の変化に影響を及ぼす可能性があり、繁殖器官の色の変化を通じて、植物と繁殖を媒介する生物（ポリネーター）との相互作用にも変化が生じる可能性を示唆した。

(B) 沿岸生態系

収集・整理した地形・生態系分布データを基に、全球沿岸域標高データの作成と低標高・低傾斜地域の抽出、全球河川流域データ解析と河川影響指数による類型化及び沿岸生態系分布図（マングローブ・藻場・サンゴ礁）の作成と生態系の組み合わせの類型化を行った（図 49）。台風や高潮・高波の襲来といった災害時に広範囲に被害を受けやすい緩地形にはマングローブ林が分布しており、生態系を用いた適応策（グリーンインフラ）は効率的であることが示された。

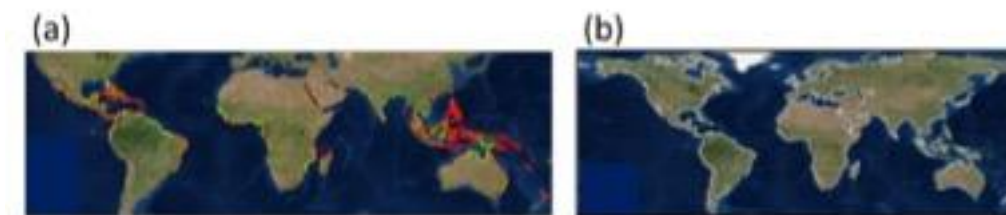


図 49 地形データ整備と類型化の例。

(a) : 低標高 (<10m) の拡がり指数。暖色箇所は急峻、寒色箇所は緩地を示す

(b) : 河川影響指数。赤い箇所は河川影響指数が高い

(C) サンゴと大型海藻

サンゴ、大型海藻の分布、在・不在データ及び現存量データの収集状況を図 50 に示す。サンゴに関しては 1929 年以降、大型海藻に関しては 1887 年以降のデータを収集することができた。整備したデータに関してデータペーパーを出版し、データを公開した。白化に関しては、2004 年 7 月から 2016 年 10 月にかけて 668 データを収集することができた。

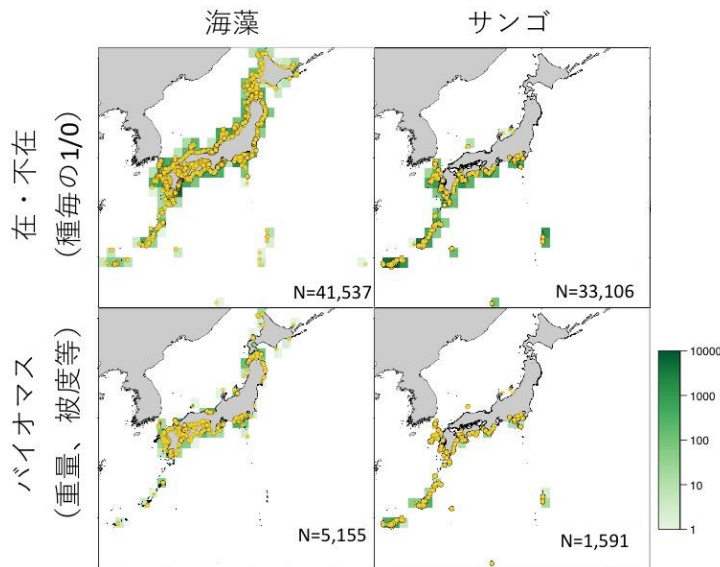


図 50 サンゴ及び大型海藻の存在及び現存量データの位置と数。N はデータ数を示す。

(D) マングローブ生態系

マングローブ植物 74 種の国別存在情報について、5162 の文献情報を網羅的に整理し、Jaccard 類似度解析を行ったところ、(1) Western indo-pacific・Central Indo-pacific・Eastern Indo-Pacific と (2) The Americas・West and Central Africa の 2 つに類型化できることが明らかとなった (図 51)。この 2 グループ間では樹種の重なりが全く見られない。また、MDS チャートの左上部 (3) Central Indo-Pacific・Eastern Indo-Pacific・Western Indo-Pacific の一部と MDS チャートの左下部 (4) Western Indo-Pacific の一部でも類型化が可能となった。 (3) と (4) のグループでは、構成樹種は共通のものがあるが、(3) から (4) に移動するにつれて樹種数が減少することが示された。

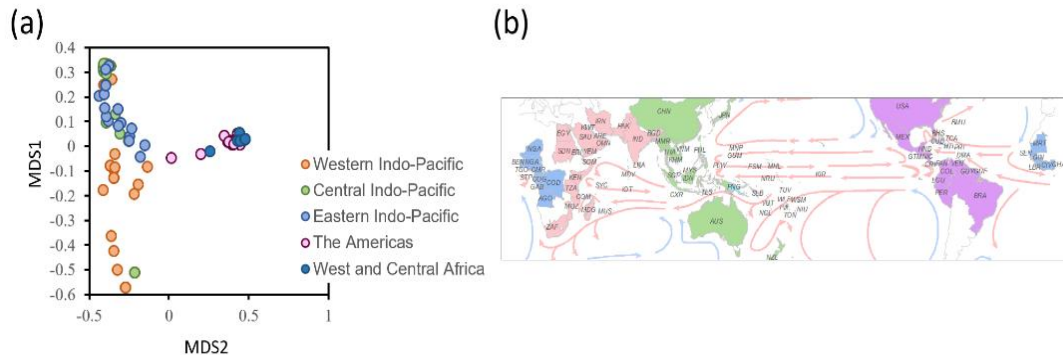


図 51 マングローブ生態系の構成樹種による類型化。

(a) : Jaccard の類似度指数による多次元尺度解析 (b) : 類型化された色分けと海流の向き (矢印)

マングローブ生態系の炭素貯留量について既報データの整理を行い、実測値データベースを作成した。これにより、計測値の地域が東南アジアと中南米に偏っていること、中東地域やオセアニア地域での計測値が少ないことが明らかとなった (図 52)。マングローブ生態系のバイオマスとネクロマスを含む全炭素貯留量平均値は $887.2 \text{ MgC ha}^{-1}$ であった。また、マングローブ生態系の貯留炭素の大部分は地下部にあり、その量は地上部のバイオマスや地下部表層の炭素貯留量からは推定できないことが明らかとなった。本実測データを基に、計測値のない地域を含む全球の炭素貯留量を推定するためのパラメータ解析を行ったところ、気温・降水・日照・風・潮位差・低標高地域の拡がり指数が規定因子となっていることが明らかとなった。地上部バイオマスの推定モデルの変数では、年平均気温が高頻度で選択された。

平均気温が高いほど、地上部バイオマスが高くなっていることから、植物の光合成能力や土壌養分を左右する微生物活動といった、温度に依存するプロセスが関係していることが示唆される。地下部ネクロマスの推定モデルの変数では、年平均気温と年平均日射量が高頻度で選択された。年平均気温が高く、年平均日射量が高いほど、地下部ネクロマスが高くなっていることから、植物の一次生産（光合成）ポテンシャルと地下部の炭素貯留量に関係があることが窺える。

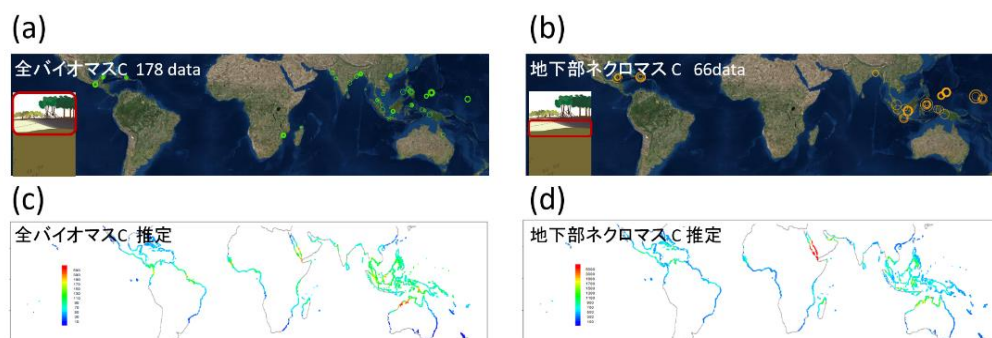


図 52 (a, b) ; マングローブ生態系炭素貯留実測マップ。
(c, d) ; 推定モデルによるマングローブ生態系炭素貯留推定マップ

(E) 維管束植物

アジア諸国や欧米において実施された野外曝露実験の結果を中心に、重要と思われる論文 116 報から 321 件のデータを抽出し、データベース化した。調査・実験方法については、野外観察と OTC による野外曝露実験では、現時点でのオゾンの影響を主に調べているのに対し、FAO による野外曝露実験では、将来オゾン濃度が上昇した場合の影響を予測するための実験が行われていた。調査・実験の規模、期間、方法は様々であり、結果の相互比較には困難が伴うが、現時点でも特に中国やインド等のアジア諸国において、オゾンによる障害が様々な植物種ではっきりと認められていた（成長速度や光合成活性が 0～50% 減少）。また、将来オゾン濃度が上昇した場合の影響予測についてはまだ一定の結論を得るには至っていないが、オゾン FAO 等の実験結果により、やはり大きな影響が現れることを示唆する結果が報告されていることが明らかとなった。

2.3.1.4 まとめ

(A) 高山生態系

本研究で収集整備した高山植物の形質データにより、分布位置情報から推定される環境因子と植物の形質との関係を解析することが可能となった。気候変動に伴う気温の変化や、植生の標高移動によって、植物の繁殖器官の色が変化する可能性があることが示された。

(B) 沿岸生態系

世界の沿岸生態系を統一データで扱うことが可能となり、生態系の特徴を加味したカテゴリーごとに生態系機能を評価し、将来影響予測が可能となった。

(C) サンゴと大型海藻

日本は南北に長く、気候変動にともなう分布シフトが観察しやすい地域である。本研究で構築・運用したデータベースは公開されており、サンゴと大型海藻の現在の分布に加え、過去からの気候変動等の環境変化に伴う変化の解明に活用することが可能となった。

(D) マングローブ生態系

本研究で収集整備したデータを用いて、マングローブ生態系の炭素貯留機能と環境因子との関係を明らかにした。整備したデータは、多くの活用が可能となるように国立環境研究所配信の website (Tropical Coastal Ecosystems Portal; <https://www.nies.go.jp/TroCEP/index.html>) から公開した。

(E) 維管束植物

アジア諸国や欧米において実施された野外曝露実験の結果を中心に、重要と思われる論文 116 報から 321 件のデータを抽出し、データベース化した。本研究で収集整備したデータにより、影響予測モデルへの応用が可能となった。調査・実験の規模、期間、方法は様々であるが、現時点でも特に中国やインド等のアジア諸国において、オゾンによる障害が様々な植物種ではっきりと認められており、将来オゾン濃度が上昇した場合に大きな影響が現れることを示唆する結果が報告されていることが明らかとなった。

2.3.2 生物・生態系機能と広域環境変動

2.3.2.1 目的と経緯

生物多様性と気候変動の観点において特に影響が懸念されている高山生態系、熱帯・亜熱帯沿岸生態系、及び維管束植物全般を対象に、下記の野外調査、操作実験及び理論研究を行った。

(A) 高山草原植物の地下部成長に及ぼす放牧と温暖化の影響

チベット高原は周辺地域と比べて地球温暖化に伴う気温の上昇幅が大きいことが報告されている。この高原の 60% 以上の地域は草原性の植物に占められており、急激な温暖化がこれらの草原生態系に及ぼす影響が注目されている。これまでの研究によって、チベット高原は植物の地下部が発達しており、土壌中に多くの炭素が蓄積されていることが示されている。一方で、人口と経済活動の増加によって、家畜の放牧インパクトが、当該生態系全体の炭素収支や生物多様性に及ぼす影響が懸念されている。高山生態系は寒冷であるため、植物の生長速度は他の生態系に比べて比較的遅い。温暖化による気温上昇によって、植物の成長速度が増加する可能性がある一方で、放牧インパクトの増加によって植物の生長速度が抑制されている可能性もある。本研究では、温暖化と放牧がチベット高山の炭素収支に及ぼす影響を明らかにするため、長期模擬操作実験を行った。

(B) サンゴと大型海藻に対する水温上昇の影響の検出と予測

気候変動は水温上昇、海面上昇をもたらして沿岸生態系に影響を与える。水温上昇にともなうサンゴや大型海藻の分布シフトは生物多様性の変化のみならず、漁業や観光に影響を与える。また、海面上昇は、サンゴ礁やマングローブ林の防波機能に影響を与える。本研究においては、(1) サンゴと大型海藻に対する水温上昇の影響の検出と予測、(2) サンゴ礁とマングローブ林に対する海面上昇影響の評価を行った。

(C) マングローブ植物が熱帯・亜熱帯干潟生態系の窒素固定機能に及ぼす影響

高い炭素貯留機能と沿岸保護機能を有することから、気候変動緩和機能と適応の双方の観点から注目を浴びているマングローブ生態系であるが、マングローブ植物が生育地とする干潟域は、頻繁に繰り返される潮汐変動によって有機物とともに窒素が海域へ流出するため、低窒素に陥りやすい特徴を持っている。窒素は植物の生育に欠かすことのできない必須元素であるため、生態系の一次生産機能（植物の成長）を支える重要因子である。低窒素な干潟で旺盛な生育を示すマングローブ植物の窒素獲得機構の詳細については、これまで明らかにされてこなかった。本研究では、マングローブ植物の窒素獲得において、植物と土中の窒素固定細菌との相利共生関係を検証することを目的とした。

(D) 植物呼吸速度の温度依存性キネティックモデルの開発

植物は生態系の一次生産機能の主要な担い手であり、その生育は代謝機構（光合成と呼吸）で制御されている。また、多くの植物は固着性であるため、気温といった生育環境の変化に应答・順化しながら生命活動を維持する機構を備えている。植物の呼吸速度は温度が上昇すると早くなることが多いが、その温度依存性を調べてみると、いわゆる化学反応に見られるアレニウス直線プロットから逸脱した曲線を描くことが多い。本研究では、植物の呼吸において ATP 合成と共役するシトクロム経路 CP 末端の複合体 IV (COX) と ATP 合成と共役しないバイパス経路 AP 末端酸化酵素

alternative oxidase (AOX) の双方で同時に酸素が消費されている過程に着目し、植物呼吸による酸素消費反応のキネティックモデルを用いて温度依存性のシミュレーションを行うことを目的とした。なお、ATP 合成と共役しないバイパス経路 AP は一見エネルギーの無駄遣いをしているように見えるが、多くの植物で活性酸素 (ROS) を発生させるようなストレス環境下 (強光・極端気温・高塩分など) で AOX の発現が見られることから、固着性植物の適応的な形質であることが示されている。

(E) 大気汚染が植物に及ぼす影響の機構解明

生態系の中で一次生産者としての役割を担っている植物について、気候変動と大気汚染がその生産活動に及ぼす影響とその機構を特に重要な課題として設定し、モデル植物であるシロイヌナズナを用いた分子遺伝学的研究を行った。これまでの研究において単離した複数系統のオゾン感受性変異体の一つに、光呼吸系酵素のグリコール酸オキシダーゼ (GOX) 遺伝子の破壊が原因となっている系統があり、オゾン耐性への GOX または光呼吸の関与が示唆された。そこで、その変異体について種々の解析を行い、オゾン耐性への GOX の関与を確認するとともに、その関わり方についての知見を得るための研究を行った。さらに、シロイヌナズナの完全長 cDNA 高発現 (FOX) 系統群から、オゾン耐性を示すものを 1 系統単離し、その植物系統に導入された遺伝子を解明するとともに、その機能とオゾン応答との関係についても解析した。

2.3.2.2 方法

(A) 高山草原植物の地下部成長に及ぼす放牧と温暖化の影響

実験は、チベット高原海北地区の高山メドウ (meadows) 草原 (37°37'N, 101°12'E) で行った。実験草地は 40m × 40m で比較的均質な草原を選んだ。赤外線擬似温暖化実験区 (W)、放牧実験区 (G)、赤外線擬似温暖化と放牧の複合実験区 (W×G)、及び温暖化と放牧ともに行わないコントロール実験区 (CK) の 4 理区 (直径 3m 円形プロット) を 4 反復ずつ設けた。放牧実験区において、初期 4 年間は羊の放牧を行い、続く 4 年間は人為による刈取り処理を行った。各処理区において、土壌温度・湿度の観測を行うとともに、細根成長観測システム (BTC-100X and BTCI-CAP, Bartz Technology Corp. A) を使って、地下部の根の現存量・伸長速度・枯死速度の測定を行った。

(B) サンゴと大型海藻に対する水温上昇の影響の検出と予測

2.1.3.1 のデータベースから、日本の温帯に出現する主要な海藻 (コンブ類 8 種、ホンダワラ類 22 種) と造礁サンゴ (12 種) を対象とし、さらに魚類による藻場食害 (3 種) のデータを収集した。海水温上昇と海流輸送による分布変化速度を説明するモデルを開発し、構築したモデルを用いて海藻、サンゴ、食害魚類の分布変化速度の大小関係を推定し、海藻藻場からサンゴ群集への潜在的な移行確率を求めた。サンゴ白化に関しては、前節のサンゴ白化データベースと、水温、光量、濁度など各種環境要因を対応するモデル構築を行い広域での白化予測を行った。また、サンゴ白化が産卵に与える影響を明らかにするために、サンゴ卵に特有な反射率スペクトルを明らかにし、それに基づいて最近運用が実現された衛星コンステレーション (多数の小型衛星の同時運用) による高頻度観測データを解析した。

(C) サンゴ礁とマングローブ林に対する海面上昇影響の評価

将来の海面上昇にサンゴ礁とマングローブ林が追従可能か、過去からの上方堆積速度と海面上昇速度を比較することにより評価することができる。沖縄県西表島及びツバル国フォンガファレ島においてコアを掘削し、試料の年代測定を行って過去からの上方堆積速度を求めた。

(D) マングローブ植物が熱帯・亜熱帯干潟生態系の窒素固定機能に及ぼす影響

マングローブ生態系を構成する代表的な植物であるヤエヤマヒルギ (*Rhizophora stylosa*) について、樹木近傍の土壌窒素固定活性を調査した。沖縄県西表島船浦湾にて、3 段階の生育ステージ (樹高約 1m・2m・34m) にある孤立木を無作為に 3 本ずつ選定し、調査木とした。各調査木の中心から 3 方向へラインを引き、ライン上の土壌を 30cm 間隔で採取して土壌窒素固定活性を測定した。また、広域での検証を行うため、沖縄県西表島船浦湾のマングローブ林内から海域へ全長 500m のトランセクトを引き、25m 間隔に土壌窒素固定活性を測定した。また、各調査木の根近傍 (根 5cm 圏内) 及び非近傍 (根近傍から 500cm 地点) の土壌を採取し、*nifH* 遺伝子を指標としてメタゲノム解析を行った。

(E) 植物呼吸速度の温度依存性キネティックモデルの開発

光合成産物の解糖により上流から流れてくる電子が、ミトコンドリア呼吸鎖電子伝達系の2つの経路（CPとAP）で同時に消費される過程（酸素の還元により水が生成する反応）を考慮した植物の呼吸速度（酸素消費速度）キネティックモデルを作成した。作成したキネティックモデルに基づく酸素消費速度の温度依存性モデル（アレニウスモデル）を解き、ミトコンドリア呼吸鎖の2経路への電子分配と、各経路の酸素消費反応における活性化エネルギーを説明変数としたモデル式を得た。ミトコンドリア呼吸鎖の2経路への電子分配 α と、2経路の酸素消費反応の活性化エネルギー差 ΔE を変化させながら、実測される呼吸速度の温度依存性（アレニウスプロット）のシミュレーションを行った。さらに、モデル植物シロイヌナズナ（*Arabidopsis thaliana*, Fei-0）を2段階の気温下で生育させ、呼吸速度の温度依存性を計測し、上記で作成したキネティックモデルでフィッティングを行うことで、検証を行った。

(F) 大気汚染が植物に及ぼす影響の機構解明

オゾン感受性変異体は、シロイヌナズナのT-DNAタギング系統（Jack系統）群より、0.2ppmオゾン処理により葉の可視障害が野生型（Col-6, *gll-1*）よりも顕著に現れる系統をスクリーニングすることにより得た。分子生物学的解析により、本変異体では2つのGOXアイソザイムに対応する遺伝子（*GOX1*と*GOX2*）が破壊されていることがわかり、この変異体を*gox1&2*と名付けた。さらに、GOX以外の光呼吸系突然変異体として、グルタミン酸:グリオキシル酸アミノトランスフェラーゼの破壊株（*ggat1-1*）とヒドロキシピルビン酸レダクターゼの破壊株（*hpr1*）の種子を、それぞれ味の素（株）とドイツのロストック大学より入手した。また、シロイヌナズナ遺伝子強制発現系統（FOX系統）群の種子を（国研）理化学研究所より入手し、野生型（Col-0）で可視障害の現れる0.3ppmオゾン処理によるスクリーニングを行い、可視障害の見られないオゾン耐性の変異体を得た。種々の生理学的解析には、主に播種後2週間、人工光キャビネット（光強度100 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、25°C、湿度60%、14時間日長）で育てた実生を用いた。遺伝子発現解析は葉から調整したRNAを用い、定量的RT-PCRで行った。光合成電子伝達系へのストレス解析にはクロロフィル蛍光計（Junior-PAM、Heinz Walz GmbH）を用い、葉の気孔コンダクタンスはリーフポロメーター（Decagon Devices Inc., USA）により測定した。脂質酸化ストレスの指標である葉のマロンジアルデヒド（MDA）含量は、BIOXYTECH MDA-586 ASSAY（OXIS International Inc., U.S.A.）により、またGOXの基質と代謝産物であるグリコール酸、グリオキシル酸の含量は、LC-MS/MS（島津製作所）により測定した。

2.3.2.3 結果と考察

(A) 高山草原植物の地下部成長に及ぼす放牧と温暖化の影響

観測期間中、根の推定現存量、成長速度と枯死速度は年変動及び季節変動を示した。処理区による根の成長・枯死速度の違いは小さかったが、コントロール処理区に比べて放牧処理区の方が高い傾向を示す場合も見受けられた。また根の推定現存量は、温暖化処理区（W）でもっとも低く、温暖化と放牧の複合処理区でもっとも高かった。温暖化と放牧の複合影響を評価するため、ANOVA解析を行ったところ、温暖化による根の現存量・成長速度と回転率への影響は小さいが、枯死率に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。一方で、放牧及び温暖化と放牧の複合処理は上記の全てに影響を及ぼすことが明らかとなった。共分散構造モデルによる解析により、温暖化と放牧は土壤温度を上昇させることで土壤湿度を低下させることが示された（図53）。土壤温度の上昇は、根の成長と枯死速度を低下させていた。また、放牧は直接的に根の成長と枯死速度を増加させることも明らかとなった。以上のことから、温暖化と放牧の植物地下部への影響は、従来の想定より複雑であることが明らかとなった。チベット高原において、気温の上昇は地下部の成長を増加させず、むしろ低下させることが示唆された。一方で、放牧の程度によっては、地上部の成長を促進し、地下部の枯死速度を低下させることも明らかとなった。本研究で示された温暖化と放牧の複合影響は、高山生態系だけではなく、他の生態系にも適用する可能性があり、より詳細な実験データの収集の必要性を提起した。

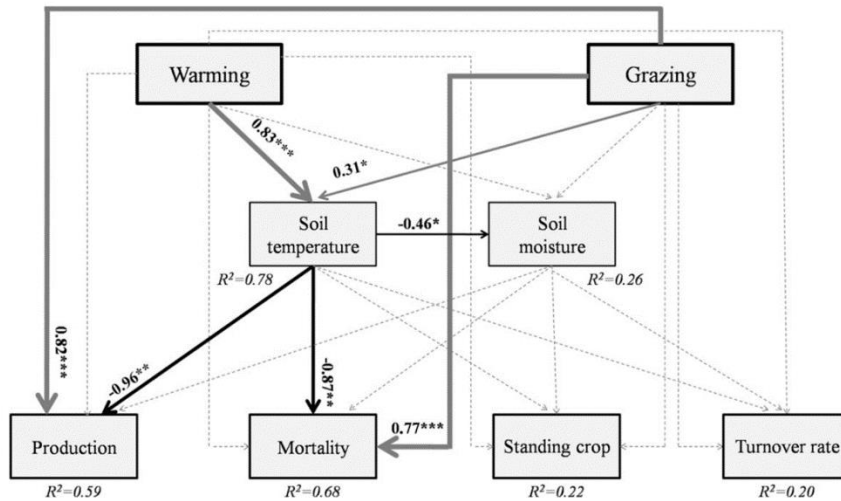


図 53 温暖化と放牧がチベット高原における根の年間平均現存量 (mean standing crop)、根の成長速度 (production)、枯死速度 (mortality) 及び根の回転率 (turnover rate) に及ぼす影響

(B) サンゴと大型海藻に対する水温上昇の影響の検出と予測

開発したモデルによる気候変化速度と海藻、サンゴ、魚類の分布変化速度との関係を用いた推定では、海藻藻場がサンゴ群集へ置き換わる潜在的な確率は平均 0.58 となった (図 54A)。確率は九州や四国、紀伊半島など、実際にサンゴ群集が拡大している海域で高い値を示した。また、サンゴ群集への移行メカニズムとしては、海藻藻場内でサンゴが増加する直接的な競合 (確率 0.12) よりも、海藻藻場が魚の食害を受けることでサンゴが増加しやすくなる間接的な移行メカニズムが大きく上回っている (確率 0.71) ことがわかった (図 54B、C)。なお、海藻藻場からサンゴ群集へ置き換わる確率は将来にかけて上昇 (平均 0.80) する予測結果が得られており、サンゴとの直接競合による置き換わりも増える (確率 0.35) と予測された。サンゴの白化に関しては、白化予測精度を向上するとともに、各要因の寄与を求め、例えば遮光による光量減少が白化低減に効果的であることを示した (図 55)。また、2016 年の白化によるサンゴ被度減少にともなって、サンゴの産卵が減少していることを示した。

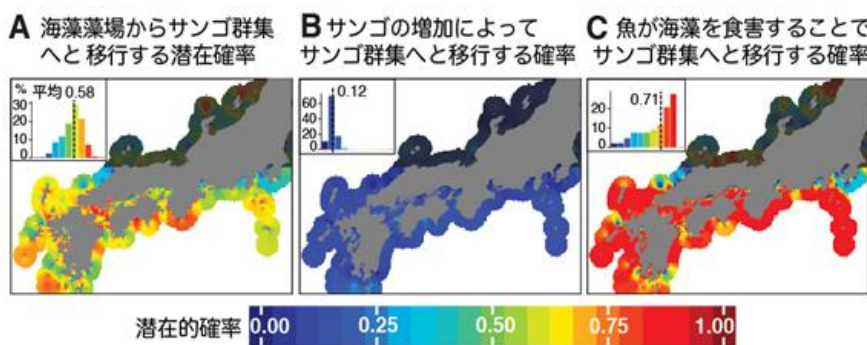


図 54 (A)；海藻藻場からサンゴ群集へ移行する潜在的な確率の分布
(B)；サンゴとの直接的な競合によって移行する相対確率
(C)；魚が海藻藻場を食害することでサンゴ群集へと移行する相対確率

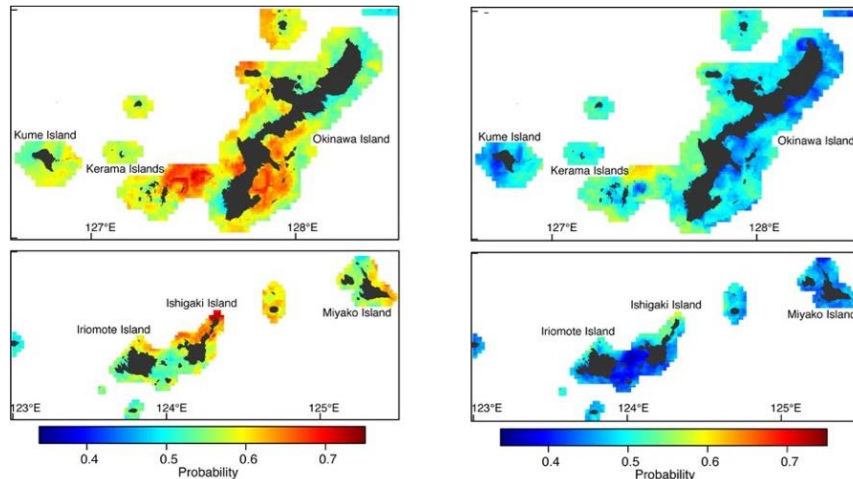


図 55 沖縄県におけるサンゴの白化確率（左）と遮光を行った場合の白化確率（右）

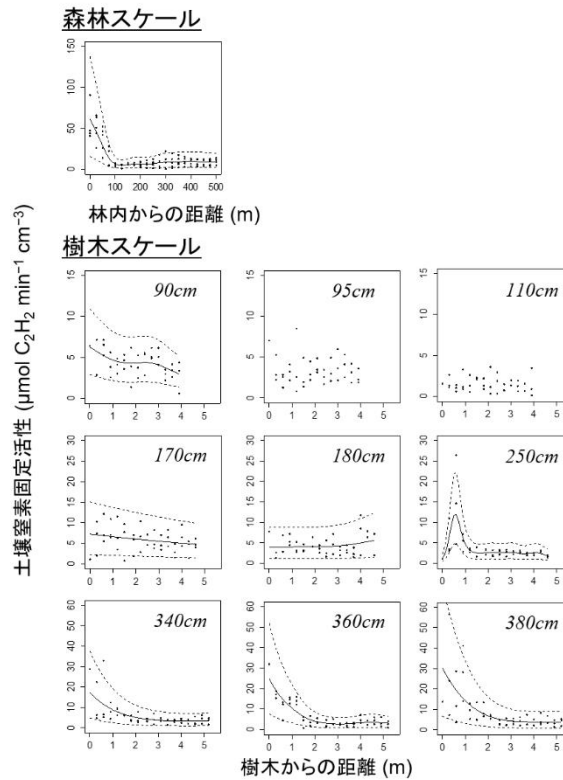
(C) サンゴ礁とマングローブ林に対する海面上昇影響の評価

西表島においては、サンゴ礁及びマングローブ林の上方堆積速度がそれぞれ最大 6.9mm 及び 7.6mm/年であった。今世紀末の海面上昇の高さは、2000 年と比較して RCP2.6 シナリオでは 0.43 m、RCP8.5 シナリオでは 0.84 m（いずれも中央値）であり、年間当たりに換算すると、将来の海面上昇速度は年間 4.3 mm、8.4 mm となる。従って、西表島のサンゴ礁とマングローブ林は将来の海面上昇に追従できる可能性があることが明らかとなった。一方、フォンガファレ島のマングローブ林の上方堆積速度は最大で 3.9mm/年であり、将来の海面上昇に追従できない可能性が高い。マングローブは炭素蓄積を行っているが、フォンガファレ島においては上方堆積速度が将来の海面上昇より小さく脆弱であることが明らかとなった。

(D) マングローブ植物が熱帯・亜熱帯干潟生態系の窒素固定機能に及ぼす影響

樹木スケールにおける土壌窒素固定活性の計測では、樹高が高くなるにつれて、樹木近傍の土壌窒素固定活性が高くなっていった（図 56）。調査地における成木サイズに属する樹高 380cm では、樹木中心から 1m 圏内の土壌窒素固定活性が高くなっていることが明瞭に示された。森林スケールでは、林内で土壌窒素固定活性が非常に高く、無植生の干潟に移動するにつれて急激に低下していた。土壌窒素固定活性の空間プロファイルは、マングローブ植物の生根量と枯死有機物含有量を説明変数としたモデルで表現することが可能であった。土壌窒素固定細菌の *nifH* 遺伝子によるメタゲノム解析から、土壌窒素固定細菌は、ヤエヤマヒルギの根近傍土壌で多様性・アバンダンスともに、無植生の干潟土壌よりも高かった。また、窒素固定細菌の種構成は、干潟土壌、孤立木根近傍土壌、森林土壌で異なっており、植生の遷移に伴って窒素固定細菌の種構成が変化していることが示唆された。これらのことから、マングローブ植物の生育に伴って植物の根近傍の土壌窒素固定活性が高まっており、マングローブ生態系全体として大気中の窒素を固定する機能があることが明らかとなった。

(a)



(b)



図 56 マングローブ植物近傍の土壌窒素固定機能。

(a) ; 森林スケールと樹木スケールでの土壌窒素固定活性と距離との関係。

樹木スケールの図中の数値は樹高を示す。

実線は GAM モデルフィッティングによる回帰線、破線は 95%信頼区間を示す。

(b) ; 樹高別の計測個体の代表例

(E) 植物呼吸速度の温度依存性キネティックモデルの開発

ミトコンドリア呼吸鎖の2経路への電子分配 α と、2経路の酸素消費反応の活性化エネルギー差 ΔE が測定温度で変化しないという仮定の下でシミュレーションを行ったところ、観測される呼吸速度のアレニウスプロットはほぼ直線を描くことが示された。また、低い活性化エネルギーを有する経路への電子分配が増加すると呼吸速度の絶対値が上昇することが示された(図57)。一方で、ミトコンドリア呼吸鎖の2経路への電子分配 α と、2経路の酸素消費反応の活性化エネルギー差 ΔE が測定温度で変化するという仮定では、実際の植物で報告されているような直線から逸脱したアレニウスプロットが得られることが示された。2経路の酸素消費反応の活性化エネルギー差 ΔE の変化については、複数のタンパクで構成されているCPの律速段階が変化することが報告されており、これに起因している可能性がある。アレニウスプロットの曲率は α と ΔE の挙動によって自在に変動することから、この2つのパラメータの環境応答動態が呼吸速度の温度依存性を制御していることが窺える。

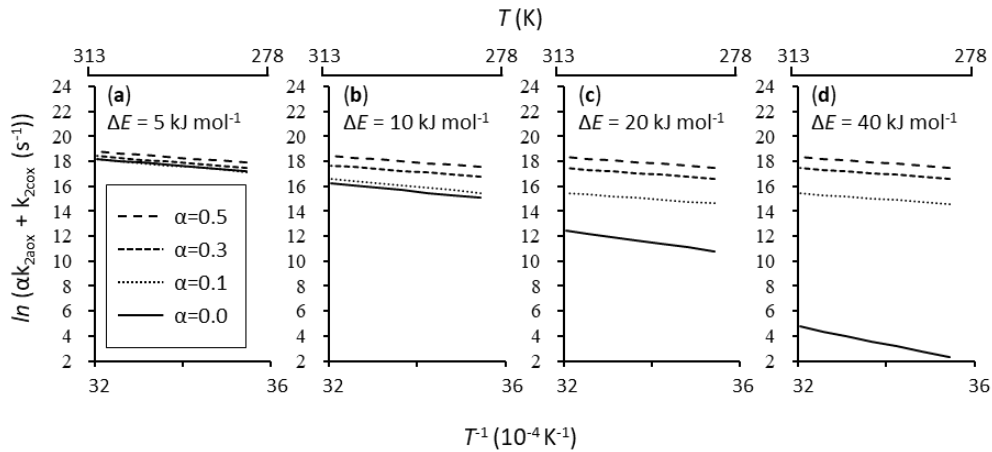


図 57 CP と AP の電子分配 α と活性化エネルギー差 ΔE ((a) 5 kJ mol^{-1} 、(b) 10 kJ mol^{-1} 、(c) 20 kJ mol^{-1} 、(d) 40 kJ mol^{-1}) が測定温度で変化しないと仮定した場合のアレニウスプロット

実測したモデル植物の呼吸速度のアレニウスプロットは、低温順化 (15°C 栽培) では凹カーブを描き、高温順化個体 (25°C 栽培) では凸カーブを描いた (図 58)。また、低温順化個体の方が高温順化個体に比べて高い呼吸速度を示し、低温環境に対する呼吸の恒常性が見られた (Homeostasis of respiration)。 α と ΔE が測定温度で変化することを仮定したモデルで、観測されたアレニウスカーブを再現することができた。また、本研究により、これまで妥当な解釈が得られていなかった凹カーブの再現も可能となった。

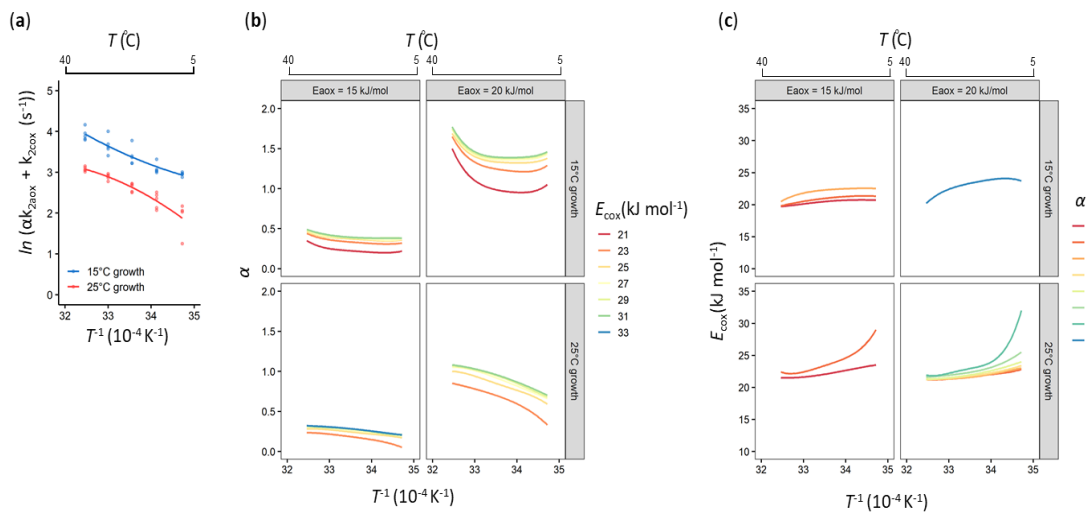


図 58 モデル植物シロイヌナズナ *fei-0* の酸素呼吸アレニウスプロットとモデルフィッティングで得られたパラメータ値。(a) 計測されたアレニウスプロット。青色：低温順化個体、赤色：高温順化個体
(b) 再現計算に用いられた CP と AP の電子分配 α
(c) 再現計算に用いられた CP 経路の活性化エネルギー E_{cox}

(F) 大気汚染が植物に及ぼす影響の機構解明

(1) オゾン感受性変異体の解析

gox1&2 変異体では、*GOX1* と *GOX2* 遺伝子の発現がともに検出限界以下に、また葉の *GOX* 活性は野生型の約 60% のレベルに低下していた。この変異体に、生育時と同じ弱光下 (方法参照) で 0.2 ppm のオゾン処理を行っても可視障害が現れなかったが、強光下 ($350 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) でオゾン処理を行うと葉に顕著な白色病斑が生じた。クロロフィ

ル蛍光計により光化学系 II の量子収率を測定した結果、*gox1&2* 変異体では、弱光下から強光下に移されることにより、光合成電子伝達に何らかのストレスが生じることが示唆され、さらにその状態でオゾンと接触すると強いストレスを生じ、組織破壊に至ることがわかった。葉の酸化的ストレスマーカーの一つである MDA 含量を測定した結果、*gox1&2* 変異体を弱光下から強光下に移すだけでは、MDA 含量に変化は見られないが、オゾンが加わると急激に増加することがわかり、可視障害の結果と一致した。

gox1&2 変異体では、GOX の基質であるグリコール酸の増加とグリオキシル酸等の代謝産物の減少が予想されることから、それらの含量を測定したところ、葉におけるグリコール酸及びグリオキシル酸の含量は、ともに処理開始時点ですでに野生型よりも高く、強光下に移すことにより急激に増加した。これらの物質の増加はオゾンの有無にあまり影響されなかったことから、これらの代謝産物の蓄積のみが障害の原因になっているわけではないと考えられる。また、GOX 以外の光呼吸系突然変異体を 0.2 ppm のオゾンで処理した結果、*hpr1* の葉には顕著なクロロシスが、また *ggat1-1* では葉の一部にクロロシスが観察され、オゾン耐性においても光呼吸が重要な役割を果たすことが強く示唆された。光呼吸は、何らかの原因で炭酸固定（カルビン回路）が阻害されたり、細胞内の二酸化炭素濃度が低下したりした場合に、炭酸固定の鍵酵素であるリブロース 1,5-ビスリン酸カルボキシラーゼ/オキシゲナーゼ（RuBisCO）が酸素と反応することにより、ATP や NADPH を消費しつつカルビン回路の基質を再生する反応であり、細胞内に過剰な還元力やエネルギーが蓄積されるのを緩和してストレスを軽減する役割を担うと考えられている。本研究で光呼吸系の突然変異体が強光化でオゾンに高い感受性を示したことから、オゾンによる細胞外（アポプラスト）における ROS 生成と強光下の葉緑体内における ROS 生成が同時に起こると細胞死が強く誘導され、葉の可視障害が生じることが示唆される（図 59）。一般にオゾンによる障害は、強光下で生じやすく、高濃度の二酸化炭素により軽減されることが知られており、光呼吸活性が前者の条件下で増加し、後者の条件下で低下することと関係する可能性が考えられる。

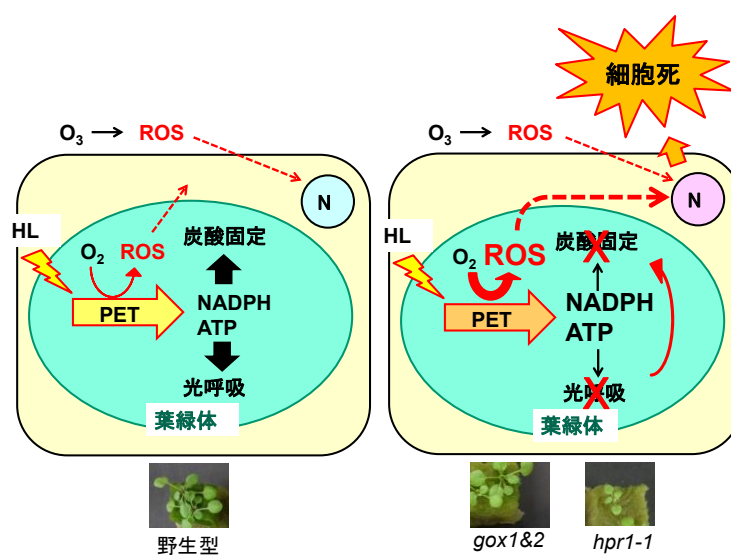


図 59 光呼吸系酵素の突然変異体がオゾン感受性になるメカニズム（仮説）。野生型の植物では（左図）、強光下において光合成の電子伝達系により生成するエネルギー物質（NADPH と ATP）が炭酸固定や光呼吸により消費され、過剰に蓄積されることはない。ところが、光呼吸系変異体 (*gox1&2*, *hpr1-1*) では（右図）、光呼吸や炭酸固定（カルビン回路の基質枯渇による）が阻害されるため、これらのエネルギー物質が十分消費されずに過剰蓄積する。その結果、電子伝達の流れが悪くなり、電子が酸素に受け渡されて活性酸素が多く発生する。この葉緑体における活性酸素生成とオゾンによる細胞外での活性酸素生成が同時に起こると、遺伝的プログラムにより細胞死が誘導される。したがって、光呼吸は、強光下において、オゾン等のストレス因子に対する植物の耐性に非常に重要な役割を担っていると考えられる。

HL: 強光、N: 核、O₃: オゾン、PET: 光合成電子伝達系、ROS: 活性酸素

(2) オゾン耐性変異体の解析

単離したオゾン耐性 FOX 系統に導入された cDNA の塩基配列を決定したところ、原形質膜に存在するフィトシアニングループに属するタンパク質 (X) をコードすることがわかった。さらに、X の cDNA を植物遺伝子導入用ベクターに組み込んで野生型植物に導入した結果、得られた遺伝子組換え植物のなかにオゾン耐性を示すものが高頻度で出現することが分かり、X の (高) 発現が植物にオゾン耐性を付与することが示された。したがって、X が本研究で得られたオゾン耐性 FOX 系統の原因遺伝子である可能性が高いことが確認された。また、気孔反応を測定するために短日条件下で大きく育てた FOX 系統と野生型植物の間で可視障害におけるオゾン感受性の差がはっきりと見られることを確認した後、それらの植物におけるオゾン処理または非処理下における葉の気孔コンダクタンスを測定した結果、オゾン非処理下では FOX 系統と野生型植物の間で差が見られなかったのに対し、オゾン処理下では気孔コンダクタンスの低下が野生型植物のみで観察され、FOX 系統では見られなかった。したがって FOX 系統ではオゾンにより生じる葉の可視障害 (細胞死) と気孔閉鎖といった 2 つの異なる反応がともに阻害されていて、X はオゾンによる比較的初期の反応 (シグナル伝達等) に関わっている可能性が示唆される。

以上の (1) 及び (2) の研究により、植物のオゾンに対する応答機構の理解 (光呼吸やアポプラストにおけるオゾン応答制御機構の重要性の示唆など) が進み、分子的なメカニズムに基づいた大気汚染の植物影響評価の高度化が期待される。

2.3.2.4 まとめ

(A) 高山草原植物の地下部成長に及ぼす放牧と温暖化の影響

チベット高原において、温暖化と放牧が植物の地下部の成長ダイナミクスに及ぼす影響を、長期模擬操作実験により評価したところ、温暖化と放牧は複合効果をもたらす可能性があることが示唆された。温暖化による土壌温度の上昇は高山植物の根の成長速度を低下させていた。一方で、放牧による地上部の除去インパクトは地上部の成長を促進し、地下部の枯死速度を低下させていた。本研究により、高山生態系における温暖化影響の評価と適応策の立案には人為インパクトとの複合影響を考慮することが重要であることが示された。

(B) サンゴと大型海藻に対する水温上昇の影響の検出と予測

日本においては、気候変動にともなう水温上昇によって生物の分布シフトが起こっており、南ではサンゴの白化、北では大型海藻からサンゴへの分布変化が起こっている。本研究では、過去からのデータに基づき、モデル解析によって、分布変化メカニズムの解明と予測を行った。変化予測の高度化を行うとともに、水温上昇以外の各要因の寄与を明らかにすることにより、適応策の検討 (植食魚の除去、遮光の実施等) が可能となった。

(C) サンゴ礁とマングローブ林に対する海面上昇影響の評価

海面上昇に関しては、サンゴ礁が海面上昇に追従できる可能性が示されたが、この予測はサンゴが健全であることが前提となっている。サンゴ白化などにより、サンゴが死んでしまうと、漁業資源や観光資源が失われるだけでなく、サンゴが生きている状態と比較して海底面の摩擦が小さくなり、結果として防波機能が劣化する。礁嶺での防波機能が劣化すると、その陸側にある海草藻場やマングローブ林も波にさらされて劣化する恐れがある。さらに、サンゴ礁の衰退によって、砂浜や州島は、波による浸食だけでなく、砂浜や州島を構成するサンゴなどの石灰化生物の減少による浸食が加速する可能性が高い。分布変化予測の高度化とそれに基づく保全策・適応策の立案と実装が急務である。

(D) マングローブ植物が熱帯・亜熱帯干潟生態系の窒素固定機能に及ぼす影響

低窒素な干潟土壌で旺盛な生育を見せるマングローブ植物の窒素獲得機構に焦点をあて、植物と窒素固定細菌との相利共生関係を検証した。アジア・太平洋地域マングローブ生態系の優占樹種であるヤエヤマギの根近傍では窒素固定細菌の活性が高くなっており、生態系全体として窒素固定機能を有していることが明らかとなった。低窒素に陥りがちな干潟におけるマングローブ生態系の一次生産機能を維持することは、マングローブ生態系が有する気候変動緩和・適応機能の維持に直結する。本研究により、マングローブ生態系を活用した気候変動緩和と適応策の検討において、環境変動が当該生態系の窒素固定機能へ及ぼす影響を考慮する必要性が示された。

(E) 植物呼吸速度の温度依存性キネティックモデルの開発

植物の呼吸速度の温度依存性について、植物の呼吸において ATP 合成と共役するシトクロム経路 CP 末端の複合体 IV (COX) と ATP 合成と共役しないバイパス経路 AP 末端酸化酵素 alternative oxidase (AOX) の双方で酸素が消費されている過程に着目し、植物呼吸による酸素消費反応のキネティックモデルを用いて温度依存性のシミュレーションを行った。実測で観察されるような呼吸速度温度依存性の曲線は、(1) ATP 合成と共役する CP の律速段階や (2) AP への電子配分が温度に応じて柔軟に変化していることによる可能性があることが明らかとなった。気温や、植物体内で ROS を生成させるような環境変動によって AP への電子配分が変わると呼吸速度が変化することが示唆された。本研究で開発されたモデルにより、様々な環境変化が植物の呼吸速度に及ぼす影響をより詳細に再現することが可能となった。

(F) 大気汚染が植物に及ぼす影響の機構解明

大気汚染が植物の生産活動に及ぼす影響とその機構を解明するため、モデル植物シロイヌナズナのオゾン感受性変異体とオゾン耐性変異体を用いた分子遺伝学的研究を行い、それらの原因遺伝子が、光呼吸系酵素とフィトシアニングループに属するタンパク質をコードすることを明らかにした。前者の研究により、オゾン感受性に光強度や二酸化炭素濃度が影響する機構が示唆され、後者の研究により、これまで知見の少なかった、オゾンの初期反応の制御に関与し得る因子の存在が明らかになった。これらの成果により、分子的なメカニズムに基づいた大気汚染の植物影響評価の高度化が期待される。

2.4 生物多様性の保全及び生態系サービスの持続可能な利用に向けた多面的な評価指標の総合的な評価に基づく保全策実施対象地の適切な空間配置を支援するツールの開発 (プロジェクト4)

2.4.1 多面的な評価指標を考慮した保全デザイン支援ツール SecSel の開発

2.4.1.1 目的と経緯

自然共生研究プログラムの各プロジェクトからは、生物多様性とそれに対する多岐にわたる脅威要因の影響、応答、及び生態系サービスに関する多面的な成果が期待される。これらを総合的に考慮しながら、保全と利用のバランスに配慮した広域的な対策の立案に寄与することが本課題の目的である。そのために、多面的な評価指標と保全対策の効果・コストを考慮した保全エフォートの配分・配置デザインを支援するツールを開発する。また、統合的解析の基盤となるデータの整備を行う。開発したツールと整備したデータベースを活用して、他課題と連携した統合的な解析を実施するとともに、これらのツール・データ・解析成果の提供・普及を行う。

2.4.1.2 方法

多面的な評価指標と保全対策の効果・コストを考慮した保全エフォートの配分・配置デザインを支援するツールについては、多様な評価指標に対して適用可能とするためには入力データの簡素化が重要である。そこで、生物多様性・生態系の多様な要素それぞれの半定量的な評価データ (順序尺度以上のデータ) から解析可能なツールの開発を行うこととした。基本的なアイデアは、なるべく少ない面積で、どの生物多様性・生態系要素についても保全優先度上位の場所を一定数以上カバーするような保護区を選択することである。そのための計算アルゴリズムを開発し、これを実装するプログラムを作成した。一般に公開し普及をはかるといふ観点から、地理情報システム (GIS) 分野で特に使用頻度が高いプログラミング言語である Python により実装した。さらに、広く現場での利用に供するため、Python のパッケージ化を行うこととした。

基本的なアルゴリズムの実装後、保全や対策にかかるコストを考慮するアルゴリズム、保護区の空間的なまとまりを考慮するアルゴリズムを開発・実装した。その上で、以下の 2.4.2~2.4.5 に挙げる具体的事例の統合的解析に適用し、これらの事例における課題解決に用いるツールに必要な条件を把握した。その結果、保全対象項目により、必要な保護区面積が異なるなど保全目標が異なる場合への対応、複数の要素の保全が同じ場所で両立しない場合への対応などが必要であることが明らかになり、これらを組み込むためのアルゴリズム開発を行った。特に、同じ場所では対策が両立で

きない、排他的な要素の保全に関しては、既存の保護区選択ツールにはない解消方法として、それぞれの要素について、広域的な保全の観点からの重要度を地点ごとに評価し、各地点で、より重要度が高い要素の保全を優先するという方法を考案し、実装した。この排他的な要素に対処する機能拡張により、生態系サービスを利用する場所と生物多様性を保全する場所の適切な配置などにも本ツールの応用が可能となる。

2.4.1.3 結果と考察

生物多様性・生態系の多様な要素それぞれの半定量的な評価データに基づいて効率的・効果的な保護区の設計や保全努力の配置をデザインする計算ツール **SecSel** を開発し、挙動が妥当であることを確認した上で、他課題と連携した統合的な解析を実施した。挙動は、出力結果と入力データの照合により、結果が妥当な解釈が可能であること、コストや保護区のコンパクトさを考慮する設定の場合には、これらの設定をしない場合よりもコストが低減・保護区のコンパクトさに関する指標値が改善しているかを評価することで、確認した。また、既存の保護区選択ツールである、**Marxan** を同じ事例に適用した場合との結果比較も行った。挙動確認の詳細は、後述の事例 2.4.2 において詳述する。

このツールは、入力値が半定量的（順序尺度）でよいため、幅広いデータへの適用が可能である。単位の異なる評価データを同時に入力することが可能なため、保全対象は必ずしも種である必要はなく、群落、生態系タイプ、生態系が提供する生態系サービスなど、多様な保全対象が空間的に不均一に分布している場合であればいずれにも応用可能である。また、生物多様性の保全と生態系サービスの利用が同じ場所で両立しない場合など、排他的な要素がある場合は、これらのバランスを取った区間配置の探索にも対応しており、それぞれの場所でどの要素に対応した保全や利用を行うと効率的なのかも出力する。これは現実に対策を実装する際にたいへん有用な出力と考えられる。さらに保全・管理にかかるコスト、保護区の空間的なまとまり（コンパクトさ）も考慮可能である。このことにより、より効率的な管理や、連結性の高い保護区の設計を可能とする。広く現場での利用に供するため、**Python** のパッケージ化を行い、利用インターフェースを整備するとともに、テストデータファイルやマニュアルを用意し、ウェブページ

(<https://www.nies.go.jp/biology/en/data/tool/secsel/index.html>) からの提供を開始した（図 60）。

さらに、具体事例への適用として、以下の 2.4.2～2.4.4 に挙げる、気候変動適応策、管理放棄、再生可能エネルギーの利用拡大に関する解析、及び、海洋保護区のデザインについて、**SecSel** の応用を行った。海洋保護区のデザインでは、日本沿岸域のサンゴ保全のための優先順位付けを、生物多様性条約で提示された海洋の保全優先地域

(**EBSA, Ecologically and Biologically Significant marine Area**) の 7 つの評価基準それぞれに基づいて行った。これらを統合して保護区を選択する方針については生物多様性条約では示されていない。本ツールを利用することで、どの評価基準に照らしても優先的に保護されるべき地域がそれぞれ含まれた保護区を提示することができた。これらの応用例から、本課題で開発した保護区デザイン支援ツール **SecSel** は、単位が異なる順序尺度を入力値とできるという特性により、多岐にわたる生物多様性の保全とそれを取り巻く社会的問題の解決との両立や効率的な対策実施に関する統合的な解析に適用可能であり、保護区等の効果的な空間設計を通じて、問題解決に寄与するものであることが示された。

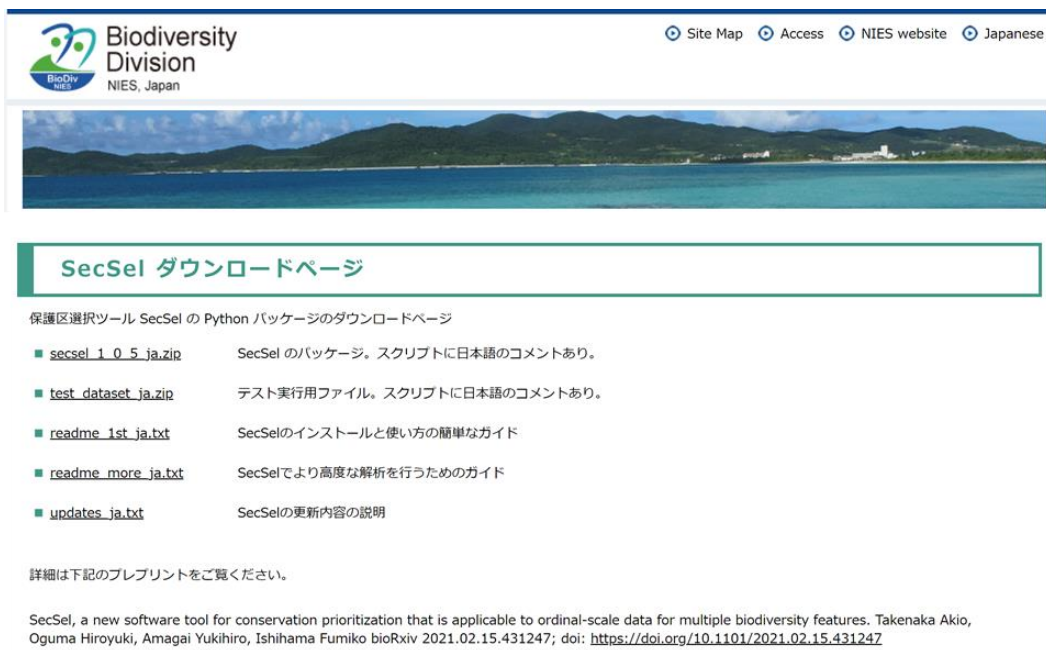


図 60 保全エフォートの配分・配置デザインを支援するツール、SecSel の提供ウェブページ
(<http://www.nies.go.jp/biology/en/data/tool/secsel/index.html>)

2.4.1.4 まとめ

多面的な評価指標と保全対策の効果・コストを考慮した保全エフォートの配分・配置デザインを支援するツールとして、SecSelを開発し、ウェブからのパッケージ提供を開始した。SecSelは生物多様性・生態系の多様な要素それぞれの半定量的な評価データから解析可能であり、コストや保護区の空間的なまとまり、同じ場所で両立しない要素について考慮することができる。具体事例への適用として、以下の2.4.2～2.4.4に挙げる、気候変動適応策、管理放棄、再生可能エネルギーの利用拡大に関する解析、及び、海洋保護区のデザインについて、SecSelを活用し、その柔軟性の高さにより、生物多様性保全と生態系サービスの活用に関する多様な統合的解析に有用であることが示された。

2.4.2 国立公園内の高山植生保全と生態系サービスの利用に関する気候変動適応策の検討

2.4.2.1 目的と経緯

自然生態系においても、気候変動下での適応策の検討が必要とされており、特に優れた自然環境が存在する国立公園における適応策の検討は急務である。効率的に対策を実施するためには、保全対象等の空間分布を考慮して、管理等を実施する場所を適切に配する必要がある、このような空間配置の効率化には、保護区選択ツールが有用である。適応プログラムと連携した統合解析として、国立公園内の高山植生保全と生態系サービスの利用に関する気候変動適応策を効果的に実施するための対策実施場所の空間配置を、SecSelを応用することで検討することとした。

2.4.2.2 方法

気候変動下における大雪山国立公園の高山植生の保全のための適応策実施場所の効率的な配置を、気候変動適応プログラムと連携した研究として、SecSelを用いて解析を行った。大雪山国立公園は、国内最大の国立公園であり、亜種や変種を含めて365種もの高山植物が生息している。このうち27種は日本固有種である。高山植生として、雪田群落・風衝草原・高山荒原植生・高山低木群落の分布を考慮した。高山植生は、保全対象としてだけでなく、観光資源という生態系サービスとしても重要である。そこで、特に観光資源としての価値が高い“お花畑”を形成する種を含む植生として、雪田群落・風衝草原・高山荒原植生の合計面積を生態系サービスの量とした。それぞれの植生タイプの面積は、環

境省の自然環境保全基礎調査の第6-7回植生調査のデータに基づき、三次メッシュ（約1km×1km）ごとに面積を集計して解析の入力値とした。

保全のための気候変動適応策としては、気候変動に伴い侵入してくるササや低木を刈るという管理が考えられる。しかし、観光資源として利用する際には、踏圧が保全の阻害要因となる可能性があるため、保全を優先する場所と観光利用を行う場所は分けることが望ましい。また、高山低木群落とそのほかの高山植生の保全は同じ場所では行えない。そこで、同じ場所で両立しない要素間の調整を行うという本ツールの機能を活かし、高山植生の保全と観光利用、及び高山低木群落とその他の高山植生の保全は場所を分けて行うと設定して解析を行った。これにより、保全と利用を両立しつつ、コストを抑えながら効率よく管理を実施できるサイトの空間配置を解析した。高山植生の観光利用と保全のための管理、双方にかかるコストとして、登山口からの移動にかかる時間を考慮した。移動時間は、まず登山口からの距離を算出したのち、登山道沿いの場合は1kmあたり54分、登山道がない場合は1kmあたり120分として算出した。

さらに、管理を効率的に行うためにも、生息地の連結性という観点でも、保護区は空間的にまとまりがあることが望ましい場合がある。そこで、優先順位付けの際に、保全対象や生態系サービスの評価値が同じ場合は、より保護区の周辺長を短くなる、もしくは保護区に含まれる最近接サイトまでの距離が短いサイトを優先的に保護区に含むようにするという設定を行った解析も実施した（図61）。

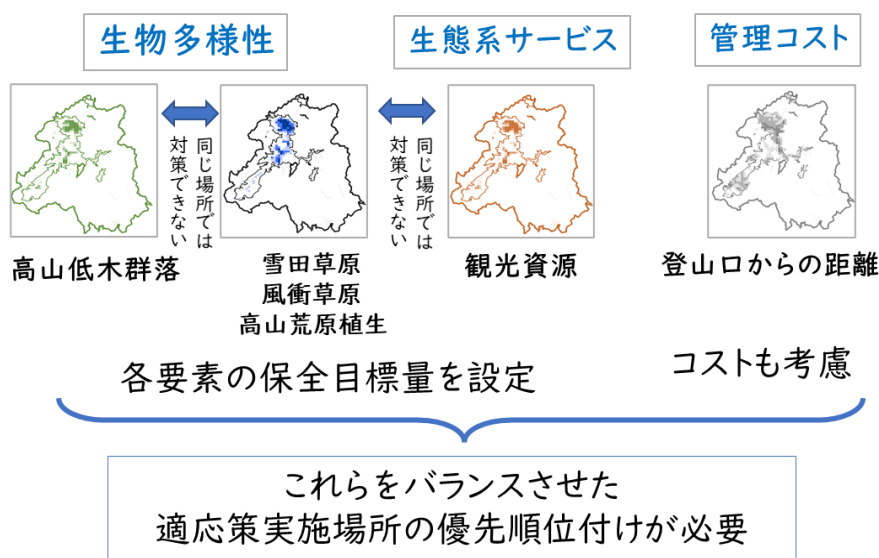


図61 大雪山国立公園の高山植生に関する気候変動適応策の実施場所の優先順位付けにおいて考慮する要素

2.4.2.3 結果と考察

大雪山国立公園の高山植生の保全のための適応策実施場所と観光資源として利用する場所の効率的な配置を解析した。解析は100回反復し、それぞれの場所について、対策実施場所として選ばれた回数を集計した。その結果、移動コストを考慮しない場合は、国立公園北部と南部の高標高域が高い頻度で選ばれた（図62）。これは、限られた面積しか存在しない、雪田、風衝、荒原植生がこれらの場所に多いためと解釈された。移動コストを考慮した場合、選ばれた場所はより登山口近くに集中するようになった。さらに、対策実施場所の空間的なまとまりを考慮した解析では、周辺長もしくは最近接サイトまでの距離を考慮したが、それぞれ、周辺長・最近接距離が、これらを考慮しない場合に比べて顕著に減少することを確認した。これらの結果から、SecSelの各機能の挙動が妥当であることが確認できた。

また、同じデータセットを用い、既存の保護区選択ツール（Marxan）により保全優先度付けを行ってSecSelの結果との比較を行った。Marxanは生物多様性の評価データとして比例尺度変数を必要とするが、本解析では現在及び将来の植物群落の面積という連続変数であり、Marxanの要求を満たす。そのサイト選択の結果をSecSelの結果と比較した

ところ、両ツールの選択結果に大きな違いはなく、これによっても SecSel の挙動が妥当であると確認された。ただし、SecSel では連続変数から順序尺度の変数へと変換する際のクラス分けのしかたによる選択の調整が可能である。現実のさまざまな制約のなかでの管理実施の場面では、こうした柔軟性を持つことは、対策実施に際してのその他の条件を考慮するための選択の余地があるということであり、積極的な意味があると考えられる。

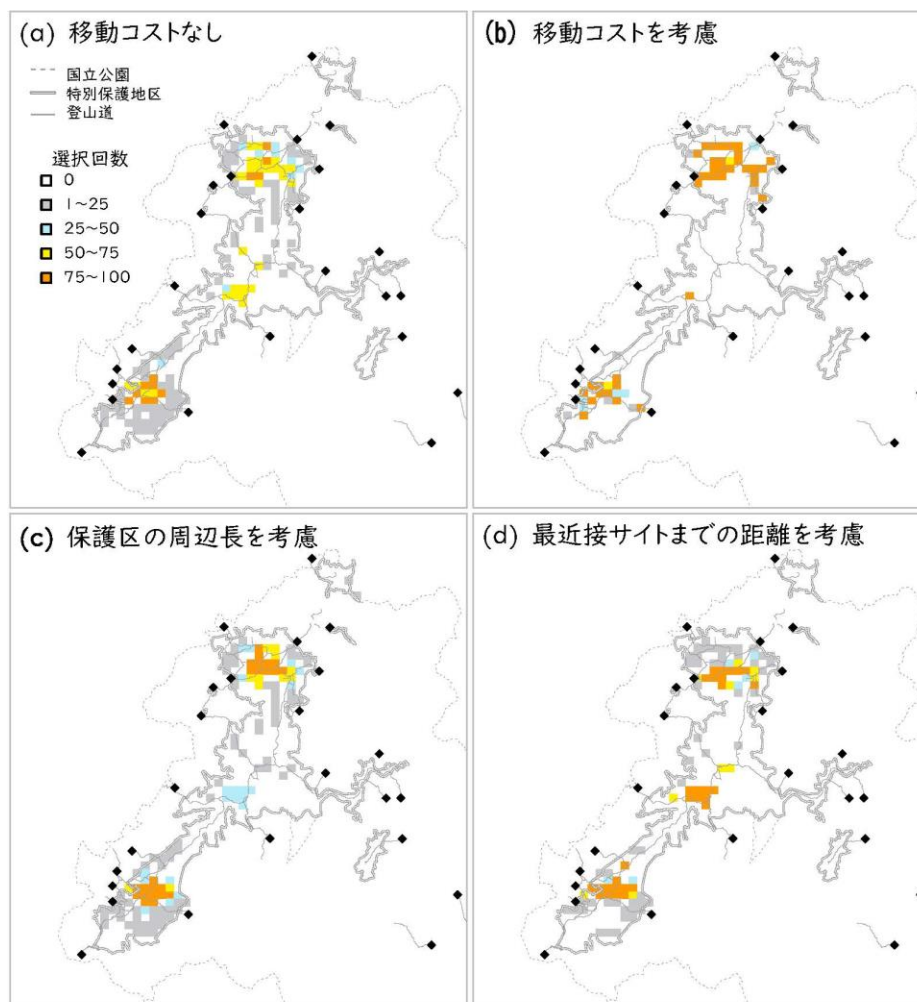


図 62 大雪山国立公園での高山植生の保全と観光利用のための適応策実施場所の優先順位付けの結果。移動コストを (a) 考慮しない場合と (b) 考慮する場合、及び空間的にまとまりのある実施場所を選ぶように設定し、(c) 選択した場所全体の周辺長及び (d) 最寄りの対策実施場所までの距離の短さに基づいて空間的なまとまりの度合いを考慮した場合。色は、複数回、保護区選択を行った際の、合計選択回数を表しており、選択頻度が高いほど、対策実施の優先順位が高いことを示す。

2.4.2.4 まとめ

気候変動下における大雪山国立公園の高山植生の保全のための適応策実施場所の効率的な配置を、気候変動適応プログラムと連携した研究として、SecSel を用いて解析を行った。SecSel の、同じ場所で対策が両立できない要素間のバランスを取るという機能を活かし、生物多様性の保全のみならず、生態系サービス（観光資源）としての高山植生の利用も考慮した解析を実施した。さらに、管理や利用にかかる移動コスト、管理実施地の空間的なまとまりに配慮した優先順位付けを行い、SecSel が管理実施場所の選定に際して必要となる多様な条件を考慮しながら、効率的な優先順位付けを提案するツールとして有効であることを確認した。

2.4.3 人口減少下での管理放棄に脆弱な種の保全

2.4.3.1 目的と経緯

本研究プログラムのPJ1-2においては、生物多様性国家戦略に記された生物多様性の第2の危機である、自然に対する働きかけの縮小による危機（人口減少による耕作放棄、里山の減少）の問題に取り組んでいる。里地・里山等の管理の放棄は、里地特有の生態系に依存している生物の減少・絶滅を招くことが指摘されている。対策としては、管理放棄に脆弱な種の保全のため、地域を絞って管理を維持することが考えられるが、そのためには管理放棄脆弱種の分布に基づきつつ、管理を維持するためのコストにも配慮しながら、効率的な管理実施場所の配置をデザインする必要がある。このような管理実施場所の配置デザインに SecSel を適用することを検討した。

2.4.3.2 方法

積極的に里地の管理維持を図る地域を選択・地図化するために、保全優先度の指標として、里地に依存した絶滅危惧植物の分布情報を利用することとした。里地に依存する絶滅危惧植物は、人口減少に伴って減少することがプロジェクト1-2で示されている。絶滅危惧植物の分布は、日本植物分類学会から提供を受けた。この分布情報は、二次メッシュ（約10km×10km）で整備されている。また、里地の維持管理コストに関しては、将来の人口が少ない地域ほど管理・維持のコストがかかると想定し、全国の人口分布の将来予測データを利用して各地域の里地維持コストを定性的に評価することとした。これらを入力値として、SecSelを用い、できるだけ少ない管理コストで、里地に依存した絶滅危惧植物を保全するための効率的な管理実施場所の配置を解析した。さらに、この解析により選択された管理実施場所が、既存の保護区（国立公園・国定公園）及び、OECM（その他の地域的な生物多様性の保全手段）とどのような位置関係にあるかを解析した。OECMの情報は、適応プログラムで整備されたデータを利用した。

2.4.3.3 結果と考察

SecSelを用いて、できるだけ少ない管理コストで、里地に依存した絶滅危惧植物を保全するための効率的な管理実施場所の配置を解析し、里地の維持管理実施の優先度の高い場所と地図化することができた。複数回の選択を実施し、そのうち、高頻度で選択された場所が、維持管理実施の優先度の高い場所と考えられる。管理実施の優先度が高い場所（二次メッシュ）と、既存の国立公園・国定公園等の保護区との位置関係を分析した結果、このような場所は、二次メッシュ内の既存の保護区の面積が少ない傾向があることが明らかになった（図63）。OECMは、既存の保護区外での保全の手段として、有効であると期待されている。そこで、管理優先度の高い二次メッシュとOECMの空間分布との重なりを解析した結果、OECMは1つ1つの面積は狭いものの、数が多く広い地域をカバーしており、OECMがある二次メッシュは、既存保護区がある二次メッシュに比べ、生息している管理放棄脆弱種の種数が多かった。このことから、OECMを拠点として近隣地域の対策を行うことで、既存の保護区と相補的に管理放棄に脆弱な絶滅危惧種の保全対策に貢献すると考えられた。

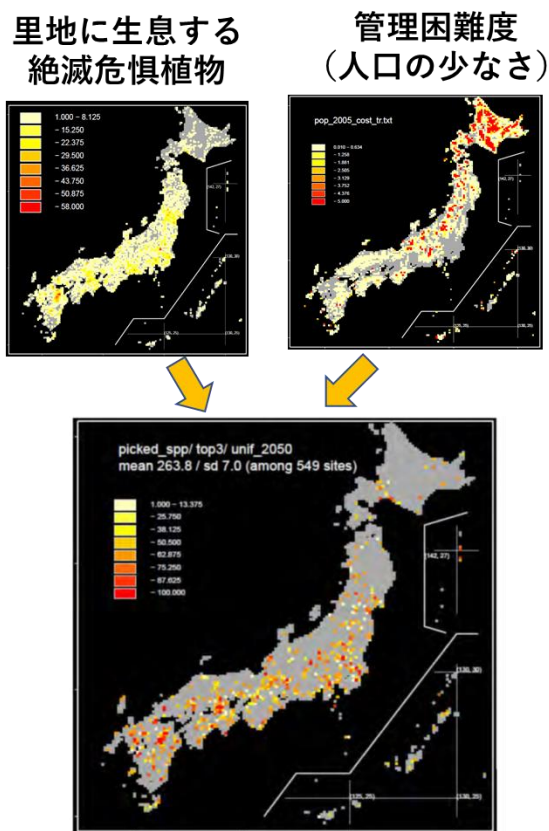


図 63 管理放棄に脆弱な絶滅危惧植物を効率的に保全するために維持管理を行う優先度が高いサイトの配置。
赤いほど優先度が高い。

2.4.3.4 まとめ

里地・里山等の管理の放棄の問題に関して、積極的に里地の管理維持を図る地域を選択・地図化するために、SecSelを用いて保全優先順位付けを行った。保全優先度の指標として、里地に依存した絶滅危惧植物の分布情報を利用することとした。管理コストとして、人口の少なさを考慮した。その結果、既存の国立・国定公園等の保護区に加え、OECMを拠点とした対策を行うことで、既存の保護区と相補的に管理放棄に脆弱な絶滅危惧種の保全対策に貢献すると考えられた。

2.4.4 再生可能エネルギーの導入拡大と絶滅危惧植物の保全の両立

2.4.4.1 目的と経緯

今後、気候変動緩和策として、再生可能エネルギーの導入拡大、特に太陽光パネルが大規模に導入されることが見込まれる。再生可能エネルギーは、従来の火力発電所に比べ、単位発電量あたり必要とする施設面積が大きいため、パネル建設に伴う土地開発が、生物多様性に負の影響を及ぼすことが懸念される。生物多様性の保全と再生可能エネルギー導入拡大を両立できるような、土地利用配置の検討が急務である。SecSelを用いて、太陽光発電パネルの建設好適地をできるだけ残しつつ、生物多様性を保全するための保護区の配置を検討する。

2.4.4.2 方法

適応プログラム・統合プログラムとの連携により、気候変動緩和のための再生可能エネルギー利用拡大と生物多様性保全を両立できるような、それぞれの土地利用形態の空間配置の解析を実施した。まず、実際の太陽光発電パネル分布に基づき、パネルの建設好適面積（生物にとっては開発リスク）の分布推定モデルを構築した。発電容量が0.9MW以上の太陽光発電パネルの位置・発電容量等の情報を国立情報学研究所の北本教授から提供を受け、適応プログラムで0.5~0.9MWのパネルの情報を追加した上でポリゴンとして整備された。このパネルの実分布と、土地利用や地形との関係を統計的に分析し、パネル建設好適地の分布推定を行った。土地利用情報は、本プロジェクトで整備した、植生図に基づく詳細な区分の土地利用図を活用した。得られたパネル建設好適面積の推定値を利用して、SecSelで絶滅危惧維管束植物の保護区の候補地を分析した。保護区内ではパネルを建設できないこととし、建設好適面積の推定値を機会喪失コストとして扱った。

2.4.4.3 結果と考察

効率よく絶滅危惧植物を保全する場所の配置について、SecSelを用いて分析した。太陽光パネルの建設に適した場所をできるだけ残すようにした場合と、そうでない場合を比較すると、保全に必要な場所の数は変わらず、建設好適地を回避することによる保全コストの増大はなかった。しかし、建設好適地をできるだけ回避する設定で分析した場合にも、建設好適度が高くても保全対象として高い頻度で選択される場所があることが明らかになった。このような場所は、絶滅危惧植物の重要な生息地であるにも関わらずパネルが建設されやすい、高リスク地であると考えられる。高リスク地の分布と既存の保護区（国立・国定公園）の位置関係を重ね合わせると、保護区外に多くの高リスク地が存在した（図64）。このような既存の保護区外の高リスク地でのパネル建設を回避するための効果的な施策の検討が重要と考えられ、再生可能エネルギー建設の促進区域の適切な配置や、OECMの活用が有効と考えられる。

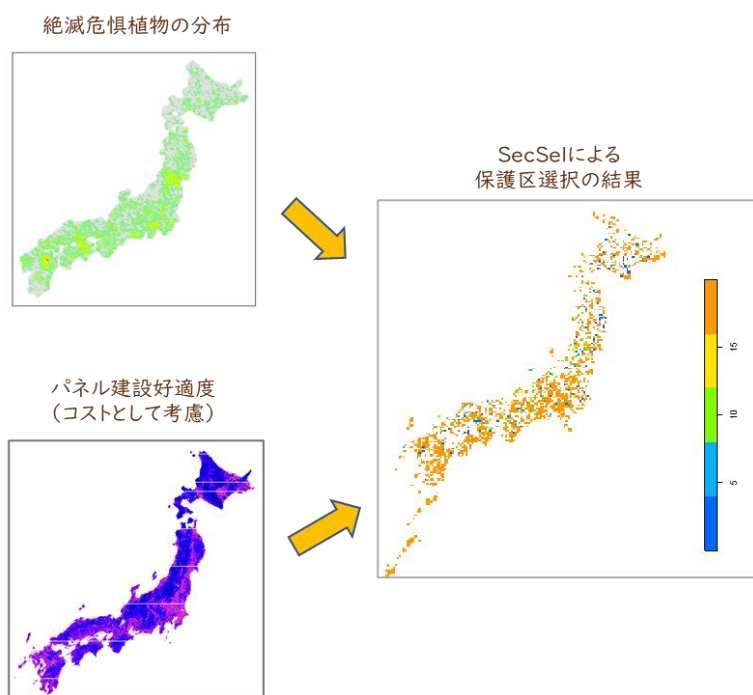


図64 絶滅危惧植物の保全と太陽光パネルの導入拡大を両立するための保護区配置解析の結果（b）。

できる限り太陽光パネル建設に好適な場所は保護区外とるように選択を行ったが、保護区として選択頻度が高い保全重要地であり、かつ、パネル建設好適度が高い“生物多様性の高リスク地”が存在することが明らかになった。これらの高リスク地は既存の保護区の外に多い。

2.4.4.4 まとめ

気候変動緩和のための再生可能エネルギー利用拡大と生物多様性保全を両立できるような、それぞれの土地利用形態の空間配置の解析を実施した。再生可能エネルギーの主力となることが想定される太陽光パネルについて、パネルの建設好適地をできるだけ回避するように保全実施場所の優先順位付けを行ったが、建設好適度が高くても保全優先度の高い、高リスク地が存在することが明らかになった。高リスク地は既存の保護区外にも多く存在するため、このような既存の保護区外の高リスク地でのパネル建設を回避するための効果的な施策の検討が重要と考えられた。

2.4.5 獣害対策最適化統計モデル

2.4.5.1 目的と経緯

大型哺乳類の増加により農業被害が深刻化しており、被害軽減のための対策の検討が必要とされている。人口減少により狩猟者数が減少していることから、限られた捕獲努力量で、より多くの個体数を捕獲することが重要である。最適な捕獲努力量の空間配分を導出するモデルの構築を目的として研究を実施した。

2.4.5.2 方法

大型哺乳類の増加により深刻化している農業被害の低減に必要な対策を検討することを目的として、農業被害面積の割合と個体数密度や景観要因との関係を推定する統計モデルを構築した。千葉県のエノシシを例として、個体数密度の推定値と、農家を対象に行われたアンケート結果を用いて、千葉県南部における農業被害面積の割合を推定した。個体数密度と農業被害面積の推定値には不確実性が伴うが、その不確実性を考慮した捕獲努力量の最適な空間配分を求めるための数理モデルを構築し、さらに、エノシシやシカなどの大型哺乳類による農業被害や生態系影響を効率的に軽減するための、捕獲努力量の最適な空間配分を検討した。また、シカやエノシシなど複数種に対して、別々に管理が行われていることが多いが、農業被害や生態系への影響の低減を考えた場合には一括して管理すべきであることから、複数種を一括して分析を行った。

2.4.5.3 結果と考察

千葉県におけるエノシシとシカなど複数種を一括管理して、総個体数を最小化する捕獲努力量の最適配置を焼きなまし法を用いて求めた。その結果、捕獲努力量が現状のままでも、捕獲努力を最適に配置することにより、個体数が約1割低減でき、各市町村で捕獲努力量を2割増加させることとほぼ同じ効果があることを明らかにした（図65）。

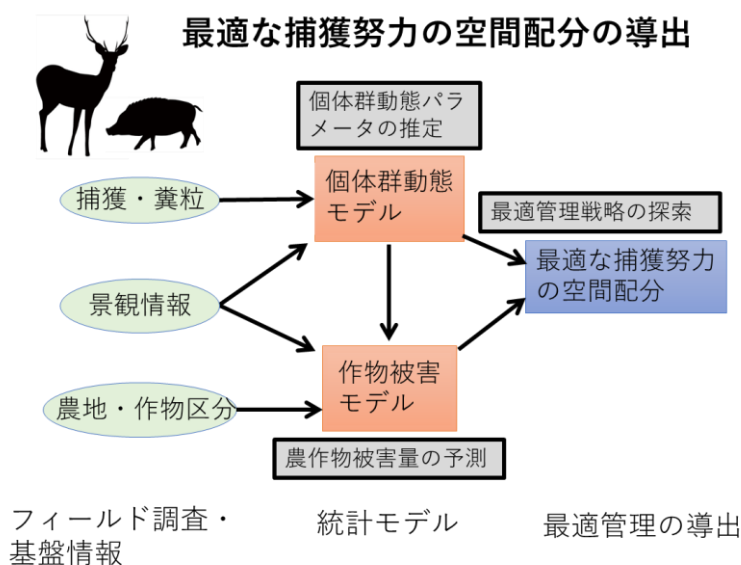


図65 獣害対策のための最適な捕獲努力量の空間配分導出のフロー

2.4.6 保護区選択における分布推定モデルの利用が有益となる条件の特定

2.4.6.1 目的と経緯

保護区選択の基本情報となる生物の分布データは十分ではなく、調査範囲が限られている、調査地域が偏っている、などの課題があることが一般的である。このような分布データの不完全さを補うため、分布推定モデルを用いて、広範囲で得られている環境情報と既知の分布地点の関係に基づいて、生物が生息する確率を広域で推定し、データを補完・補正することが推奨されてきた。しかし、分布推定モデル自体も推定結果に誤差があるため、分布推定モデルによるデータ処理が、保護区選択結果の改善につながらないこともあり得る。そこで、保護区選択において、分布推定モデルによるデータ処理が推奨される条件を明らかにすることを目的として分析を行った。

2.4.6.2 方法

分析の対象とする条件として、分布データの調査範囲の広さ、調査地域の偏り、保護区の広さに注目した。様々な調査範囲や保護区の広さにおいて、保護区選定の前にデータ処理をした場合としない場合、それぞれで選ばれた保護区に含まれている生物種の数を比較し、より多くの種が含まれているほうがよい保護区を選定できたと評価した。

しかし、現実の調査データは完全ではないため、保護区の中に含まれている生物種の数を正確に知ることができず、このような評価が困難である。そこで、コンピュータシミュレーションにより生成した仮想の生物の分布データを用いることで、生物種の正確な数を評価できるようにした。現実に近い分布データを生成できるよう、現実の群集構造（サイトあたりの種数や、種ごとの出現頻度の分布）を考慮したシミュレーション方法を考案した。

この仮想の分布データを用いて、調査範囲の広さ、調査地域の偏りの大きさ、保護区の広さの3つの条件を様々に変えながら、どのような条件で分布推定モデルによるデータ処理を行ったほうがよりよい保護区が選定できるのかを評価した。分布推定モデルのアルゴリズムは多数あるが、よく用いられる一般化線形モデル、一般化加法モデル、ランダムフォレストの3つの種類のモデルを用いた。

2.4.6.3 結果と考察

分布推定モデルによるデータ処理を行ったほうが、調査データをそのまま用いるよりよい保護区が選べたのは、(1) 保護区が広くない、(2) 調査地域の空間的な偏りが大きい、(3) 調査範囲が狭い～中程度、の3つの条件が全て満たされる場合であった。データ処理に用いる分布推定モデルの種類が違っても、これらの傾向は共通しており、3つの条件は一般性の高い結果であると考えられた。ただし、分布推定の精度が高いモデルほど、データ処理で改善が見られる条件が広がる傾向があった（図66）。

これらの結果は、保護区選定において、分布推定モデルによるデータ処理が推奨される条件を具体的に示すものであり、利用が拡大しつつある分布推定モデルの適正な活用につながると期待される。また、調査データに偏りが無い場合には、データ処理が有益でないことも注目に値する結果である。本研究では、同じ広さの調査範囲であれば、偏りのない調査を実施するほうが、より多くの種を含む保護区を選定できることも明らかになった。この結果は、調査を実施する場合には、調査地域の偏りが小さい調査設計とすることが、よい保護区を選定するための基本情報として非常に重要であることも示している。

本研究では、より多くの種が含まれているほうがよい保護区であるという設定で分析を行った。これは、1種あたり1か所でも生息地が保護区に含まれていればよいとする、という単純化した設定である。今後、ある生物種の生息域のうち一定割合以上が保護区に含まれているかどうかなど、より効果的な保全ができる条件設定での分析を行うことで、保護区の選定技術の更なる向上につながると期待される。

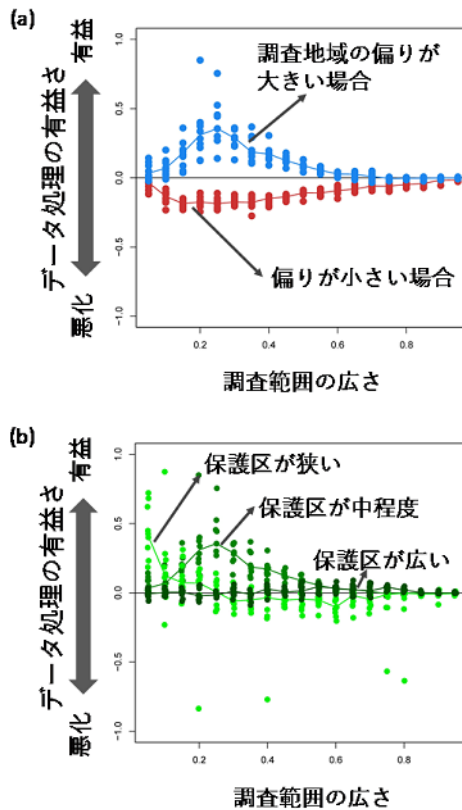


図 66 調査地域の偏り割合 (a) と、保護区の広さ (b) によるデータ処理の有益さの違い。

(a) は、調査地域の偏りが大きい場合にデータ処理が有益であり、(b) は保護区が広くないときにデータ処理が最も有益になることを示している。また、データ処理の有益さは、調査範囲の広さによっても変わり、調査範囲が狭い～中程度のときにデータ処理が有益であることがわかる。なお、(a) は保護区の広さは中程度（全域の5%の面積）、(b) は調査範囲の偏りが大きい場合の結果を示している。

2.4.6.4 まとめ

分布推定モデルによる、環境情報を利用した分布データの補完・補正処理は、これまで十分な検討がされないまま、よりよい保護区の選定に有益として用いられてきた。しかし本解析により、「データの偏りが大きい」、「保護区が広くない」などの条件を満たす場合にのみ、本データ処理が有益であることが明らかになった。この研究結果により、利用が拡大しつつある分布推定モデルの適正な活用につながると期待される。

2.4.7 遺伝的多様性を考慮した保護区選択のための指標の検討

2.4.7.1 目的と経緯

種内の遺伝的多様性は、生物多様性の構成要素の1つであり、生物多様性条約愛知目標においても戦略目標Cとして、遺伝子の多様性の保全が掲げられているが、保護区選択においてはほとんど考慮されていないのが現実である。その理由として、種内の遺伝的変異の空間分布情報は実測データが著しく不足していることが挙げられ、約6000種の日本の維管束植物のうち、全国スケールで遺伝構造が研究されている種は100種程度（約1.7%）に留まる。遺伝構造の実測には、遺伝解析の手間の他、広域でのサンプル収集のコストが多いため、全ての種で遺伝構造を調べることは非常に困難である。一方、生物の遺伝構造は、環境に対する適応や、地理的な距離による隔離、歴史的移動分散プロセスによって形成されるため、環境変数や地理的な位置を、遺伝的多様性の代替指標とできる可能性が指摘されている。そこで、環境変数・地理的位置情報による、遺伝的多様性の指標としての代替性の評価を行うこととした。

2.4.7.2 方法

本プロジェクトで整備を行った維管束植物に関する遺伝的多様性データベースのデータを利用して、遺伝的多様性を保全する保護区を選択するための指標の検討を行った。これまでに整備した遺伝的多様性データベースの情報を用いて、種内の遺伝変異幅をできるだけカバーするように保護区選択を行うとともに、種内の気候レンジ、地理的レンジそれぞれをカバーするような保護区選択を行った。保護区選択には、統計ソフトウェア R のパッケージ raptr を用いた。それぞれの指標に基づいて選ばれた保護区内の遺伝的多様性の大きさを比較することにより、気候・地理変数が十分に高い遺伝的多様性をカバーするような保護区選択の指標となりうるか評価した。

2.4.7.3 結果と考察

遺伝的多様性を保全するための代替指標として、気候・地理変数が、十分に高い遺伝的多様性をカバーするような保護区選択の指標となりうるか評価した結果、比較的広い保護区を設定可能かつ保全目標が高くない場合には、いずれの指標に基づいた場合でも、十分な遺伝的多様性がカバーされ、地理的レンジ及び気候レンジが遺伝的多様性のよい代替指標となり得ることが示唆された（図 67）。一方で、狭い保護区で高い目標を達成しなければならない場合には、代替指標に基づいた保護区の効率が大きく低下する種が生じた。今後、このような環境・地理的指標による遺伝情報の代替性の種ごとの違いを説明できるような生態特性を、本課題で整備を継続している生態特性データベースに基づいて特定することが、代替指標の適用可能な種の絞り込みを行うために有効と考えられる。

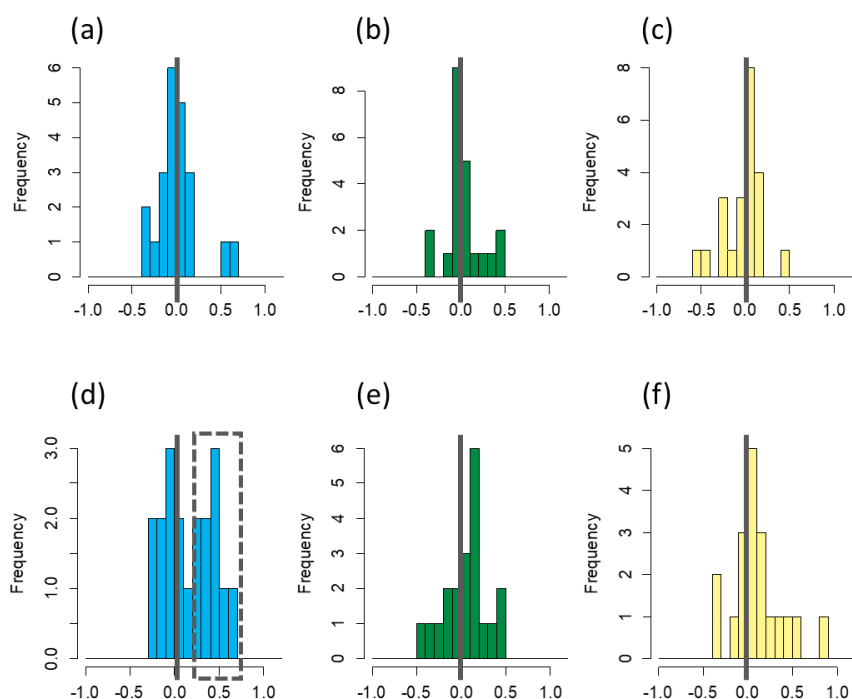


図 67 遺伝的データに基づいて保護区選択した場合と、気候・地理変数で代替して保護区を選んだ場合の、遺伝的多様性の比較。差が 0 に近いほど、代替指標がよく機能していることを示す。差が正である場合は代替指標が劣っていることを示す。上段 (a, b, c) は全体の 2 割のサイトで遺伝的多様性の 70% を保全するというゆるやかな目標、下段 (d, e, f) は全体の 1 割のサイトで 80% を保全するという厳しい目標の場合。a, d は遺伝的データに基づく場合と気候変数に基づいた場合の、保護区内に含まれた遺伝的な多様性の差。b, e は遺伝的データと地理変数に基づく場合の差、c, f は地理変数と気候変数に基づく場合の差。厳しい目標の場合、気候変数の代替性が低下している (d の破線で示した箇所)。

2.4.7.4 まとめ

情報不足により保護区選択においてほとんど考慮されていない、種内の遺伝的多様性について環境情報等による代替指標の検討を行った。本プロジェクトで整備を行った維管束植物に関する遺伝的多様性データベースのデータを利用して、保全する保護区を選択する際に、遺伝的データを直接用いた場合と代替指標を用いた場合を比較し、ゆるやかな保全目標の場合は代替性が高いと考えられた。

2.4.8 生物多様性と生態系サービスにかかる統合解析のための基盤データベース整備

2.4.8.1 目的と経緯

生物多様性・生態系サービスに関連する統合評価の基盤となる情報として、生物の分布情報・生態特性・土地利用等のデータの整備・データベース化・生物多様性に関する指標の検討を行う。

2.4.8.2 方法

絶滅が危惧される維管束植物について、整備すべき生態特性データを検討し、生息条件や生活タイプなど、特に脅威要因の特定や分布推定に役立つ項目を選定した。これらの項目について、図鑑などで得られる情報をもとにデータの整備を実施した。また、これまでデータの整備がほとんど行われていなかった、維管束植物の遺伝的多様性に関する文献を収集し、オルガネラ DNA の配列情報及び核 DNA のマイクロサテライト遺伝子型について整理するとともに、情報を精査し、当該種の分布域をカバーするのに十分な地点とサンプル数がある種の選別を行った。

また、自然環境保全基礎調査植生調査の植生図情報を用いた全国スケールでの土地利用図については、前中期より第4～5回の植生調査に基づいたものをウェブページで公開しており116件の利用実績があるが、最新の第6～7回の植生調査に基づく土地利用図凡例についても要望が寄せられていた。そこで、第6～7回自然環境保全基礎調査植生調査の植生図情報に基づいて、植生凡例と土地利用凡例の対応関係の整理を行うこととした。

2.4.8.3 結果と考察

絶滅危惧生物の生態特性のデータベースについては、絶滅危惧維管束植物2,238種について、光条件や土地利用などの生息環境など、特に脅威要因の特定や分布推定に役立つ項目について、レッドデータブック・図鑑・植物誌などで得られる情報をもとにデータを整備することができた。このうち生息環境及び脅威要因の情報は、人口減少に伴う里地管理放棄に脆弱な種の絞り込みに活用した。また、維管束植物の遺伝的多様性に関するデータの整備については、2020年までに出版された文献537件を収集するとともに、保全優先度等の解析に活用しやすいデータ形式の整理と、データの電子化フローを確立し、これに沿って、データ整備を行った。収集した文献のうち、当該種の分布域を十分にカバーする調査範囲とサンプル数を有するものを対象に、データの電子化を進めた。このデータを用いて、遺伝的多様性保全に関する代替指標の検討を行った。

第6～7回自然環境保全基礎調査植生調査の植生図情報を用いた全国スケールでの土地利用図整備のための植生凡例と土地利用凡例の対応関係を整理し、シカ食害草原、外来種草原など、近年の保全上の問題に対応する凡例の追加を行った。その成果は環境研究総合推進費S-15における土地利用シナリオ構築、環境省のGHGインベントリの土地利用データの改善、次期保全基礎調査植生調査の検討に活用されている。

2.4.8.4 まとめ

絶滅危惧維管束植物2,238種について、光条件や土地利用などの生息環境など、特に脅威要因の特定や分布推定に役立つ特性を整備した。また、植物の遺伝構造に関するデータの収集と電子データとしての整備、全国スケールでの土地利用図について、最新の第6～7回の植生調査に基づく土地利用図凡例の整備を行った。これらの整備したデータは、本課題における遺伝的多様性保全のための指標の検討、人口減少に伴う管理放棄の問題の検討に活用するとともに、環

境研究総合推進費 S-15 における土地利用シナリオ構築、環境省の GHG インベントリの土地利用データの改善、次期保全基礎調査植生調査の検討に活用された。

2.5 生態系機能・サービスの評価と持続的利用（プロジェクト5）

2.5.1 霞ヶ浦流域における時空間の生態系サービス評価及びサービス間に関する研究（サブテーマ1）

2.5.1.1 目的と経緯

ミレニアム生態系アセスメント以降、生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）や生態系と生物多様性の経済学（The Economics of Ecosystems and Biodiversity、TEEB）が始動し、生態系サービスの自然的・社会経済的価値の評価と、生態系サービスの包括的な管理の重要性が高まっている。

われわれは、どこかの流域で暮らし、水、農作物、漁獲物、気候調整、洪水調整、生物の生息場所やリクリエーションの場など多様な生態系サービスを享受している。一方、多様なステークホルダーがそれらの生態系サービスを利用するため、生態系サービス間でトレードオフが生じる。生態系サービスを持続的に活用するためには、相互に関係しあう生態系サービス間の関係を分析する必要がある。また生物多様性も様々な人間活動の影響を受けるため、生態系サービスと生物多様性の間にもトレードオフが生じ得るため、それらの関係も同時に明らかにする必要がある。

本研究では、霞ヶ浦流域をモデル流域に設定し、小流域ごとに生態系サービス・生物多様性の評価・地図化を行い、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中で生じる空間的なシナジー（複数のサービスが正の相乗効果によって向上する場合）とトレードオフ（あるサービスの向上が他のサービスを低下させる場合）を明らかにすること、シナジー促進・トレードオフ緩和を考慮した流域管理手法の提案を行うことを目的とした。生物多様性の指標として、淡水魚類に注目し、環境 DNA を用いてその多様性を評価した。また、茨城県霞ヶ浦環境科学研究センターと協働し、複数の経済評価手法を相補的に用いて、霞ヶ浦の生態系サービスの経済価値評価を行った。これらの結果をもとに、霞ヶ浦流域の多様な生態系サービスを持続的に利用するための管理方法の提案を目指した。

2.5.1.2 方法

霞ヶ浦（西浦）流域の全域を対象とした。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、西浦全流域を 50 の小流域に分割した。この小流域を空間的な評価ユニットとし、小流域ごとに生態系サービス、生物多様性評価の評価を行った。

代表的かつ霞ヶ浦流域で重要と考えられる 10 項目の生態系サービス（農業生産・米生産・家畜生産・河川水質・気候調整・炭素蓄積量・洪水調整・一次生産量・生息場所の多様性・神社数）について評価を行った。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 1 に示したが、河川水質以外は、既存の統計データや既存研究のプロダクツを活用し、GIS を用いて小流域ごとに集計した。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、硝酸態窒素濃度を指標として用いた。また、生物多様性については、淡水魚類を対象とし、在来魚の多様性を指標として用いた。

表1 評価を行った生態系サービス・生物多様性の指標・対象年及びデータソース。

サービス	指標/単位	対象年	データソース
供給サービス			
農業生産	畑面積率(%)	2000-2002	自然環境基礎調査
米生産	水田面積率(%)	2000-2002	自然環境基礎調査
家畜生産	豚頭数/km ²	2010	農林業センサス
供給サービス			
河川水質	硝酸濃度 (mg/L)	2016-2019	本研究による調査
気候調整	年間真夏日日数	2000-2013	気象庁データ
炭素蓄積	炭素蓄積量 (gC/m ²)	2010-2014	Sasai et al. (2011)
洪水調整	不浸透面積率 (%)	2007	Yang et al. (2011)
基盤サービス			
一次生産量	純一時生産量 (gC/m ² /年)	2010-2014	Sasai et al. (2011)
生息場所の多様性	里山指標	2000-2002	Yoshioka et al. (2013)
文化サービス			
神社	神社数/Km ²	2017	神社データベース
生物多様性			
在来魚の多様性	環境DNAによる検出種数	2016-2019	本研究による調査

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。生物多様性については、環境 DNA を用いて、在来魚の多様性を評価した。2016～2019年の夏季と冬季の2回 (計8回)、各小流域の最下流部において、硝酸態窒素濃度測定用の水試料と環境 DNA 分析用の水試料を採水した。硝酸態窒素濃度測定用の水試料は、流心で採水した。環境 DNA 試料については、次亜塩素酸ナトリウム処理済みのバケツもしくは柄杓にビニール袋をかけて、流心・右岸・左岸の3ヶ所からそれぞれ 1L 河川水を採水し、冷蔵保存して実験室に持ち帰った。その後、採水した水試料をガラス繊維ろ紙 (ワットマン GF/F、粒子保持能 0.7 μm) で濾過し、濾過フィルターはアルミ箔に包んで冷凍庫で -28°C で保管した。後日、DNeasy Blood and Tissue kit (キアゲン社) を用いて、濾過フィルターから環境 DNA を抽出した。MiFish プライマー¹⁹⁾ を用いた PCR によって魚類のミトコンドリア遺伝子 12S rRNA を増幅し、増幅産物について次世代シーケンサー MiSeq (イルミナ社) で塩基配列を解析した。得られた塩基配列は MiFISH pipeline¹⁹⁾ ならびに Claident²⁰⁾ 等を用いてメタバーコーディング解析を行って魚種を判定した。

霞ヶ浦流域の 50 地点における一斉調査において、限られた人員と時間のエフォートにおいて魚類多様性をより網羅できるよう手法を検討した。検討した項目は、各地点でのサンプルの数、そして環境 DNA が分解されにくくなるというベンザルコニウム塩酸塩 (BAC) の添加の有無である。各地点におけるサンプル数については、河川の流心と右岸・左岸の3カ所からそれぞれ 1L を採水して DNA を抽出し、MiFish プライマーを用いたメタバーコーディング解析の結果について検出される魚種を比較した。また、環境 DNA は、採水してから時間が経つにつれて分解されることが明らかにされており、速やかな濾過が求められる。Yamanaka²¹⁾ は、種特異的プライマーを用いた環境 DNA からのリアルタイム PCR による魚種検出において、水試料に BAC を添加することで、無添加時に比べて環境 DNA が分解されにくくなることを示した。そこで我々は、メタバーコーディング解析による多種検出においても BAC の添加によって環境 DNA による魚種検出数が向上するか、霞ヶ浦 50 地点で採水した試料について検証した。

環境 DNA メタバーコーディングデータの統計解析手法を高度化するために、種の検出過程を明示的に説明する新しい統計モデルを構築した。具体的には、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として知られる「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枠組みを拡張した。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、環境 DNA メタバーコーディングによる種の検出確率を定量した。

タナゴ類は、産卵に二枚貝を必要とするなどハビタット要求性が高いと考えられており、霞ヶ浦流域にも在来・外来の数種が生息している。本プロジェクトの成果により、タナゴ類の1種である絶滅危惧IB類のアカヒレタビラが、霞ヶ浦流域において在来種の多様性の指標種となり得ることが示された。また、タナゴ類は釣りや鑑賞用としても人気があり、生態系サービスの担い手でもある。そこで、アカヒレタビラの分布情報をより簡便に得るため、アカヒレタビラの種特異的プライマーを用いたリアルタイム定量PCRによる検出手法を開発した。霞ヶ浦においてタナゴ類は希少で入手が難しいことから、プライマーの設計は国際データベースに登録済みのミトコンドリア *cytb* 遺伝子の配列を用い、プライマーの動作確認はアカヒレタビラのゲノムDNAの他、ネガティブコントロールとして近縁種の人工合成DNAを用いて行った。また、霞ヶ浦流域に生息する魚類の飼育水槽からも採水し、環境DNAによる検出の動作確認も行った。2020年9月に霞ヶ浦の一河川を等間隔で区分した地点とその支流、湖岸沿いの水路の合計35地点、2020年12月に別の小河川と霞ヶ浦沿岸の合計地点で採水し、アカヒレタビラの分布を環境DNAにより調査した。

次に、10項目の生態系サービス指標及び1項目の生物多様性指標、あわせて計11項目の指標値を標準化した。標準化したスコアをもとに、小流域ごとの生態系サービスと生物多様性の状態を可視化した。また、因子分析 (Factor analysis) によって、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の空間的なトレードオフ・シナジーを特定した。因子数については、平行分析法によって決定した。また因子負荷量を用いて、シナジー効果、トレードオフ効果の地図化を行い、シナジー効果を高める要因、トレードオフを緩和する要因について分析した。

飲料水や漁獲高のように市場価格が存在する場合は、その価値を市場価格に置き換えて生態系サービスの貨幣価値を求めることが可能だが、希少生物や絶滅危惧種のように市場価値を持たないものはアンケート調査等で人々に価値を直接尋ねることで価値を求める必要がある。そのため、人々が享受している生態系サービスの価値を網羅的に把握するためには、複数の経済学的なアプローチを組み合わせる必要がある。

最後に、霞ヶ浦 (湖内) の生態系サービスの項目を整理し、享受量の変遷を把握することで特徴を明らかにするとともに、代替法を用いて生態系サービスの経済評価を試みた。代替法は環境のような非市場財がもたらす便益を、その財と同等な便益をもたらす他の市場財で代替し、それを供給した場合に必要な費用によって計測する手法である。次に、全国の一般市民及び霞ヶ浦流域の住民を対象にウェブアンケート調査を実施し、霞ヶ浦が有する生態系サービスについて、選択型実験 (コンジョイント分析) を用いて経済価値評価を実施した。被験者に、水浴等レクリエーションとしての水質 (文化的サービス)、希少魚類の生息 (基盤サービス)、漁獲量 (供給サービス)、湖岸植生帯 (調整サービス) の4つの属性からなる選択セットを提示し、望ましい状況を選択してもらった。調査の結果から、現状及び2040年の将来の値 (改善した状態) の水準の値を設定し、値の変化に対する支払意思額を参集し、これに人口を乗じて生態系サービスの経済価値を求めた。

2.5.1.3 結果と考察

霞ヶ浦流域の50地点において、各地点3カ所で採水して得られた魚種数について比較したところ、それぞれから検出された魚種や種数は必ずしも一致しなかった。このことから、1つの地点において複数回のサンプリングが重要であることが示された。また、採水後の水試料へのBACの添加の有無については、50地点で比較したところ、魚種数はBACを添加する方が有意に多かった (図68)。

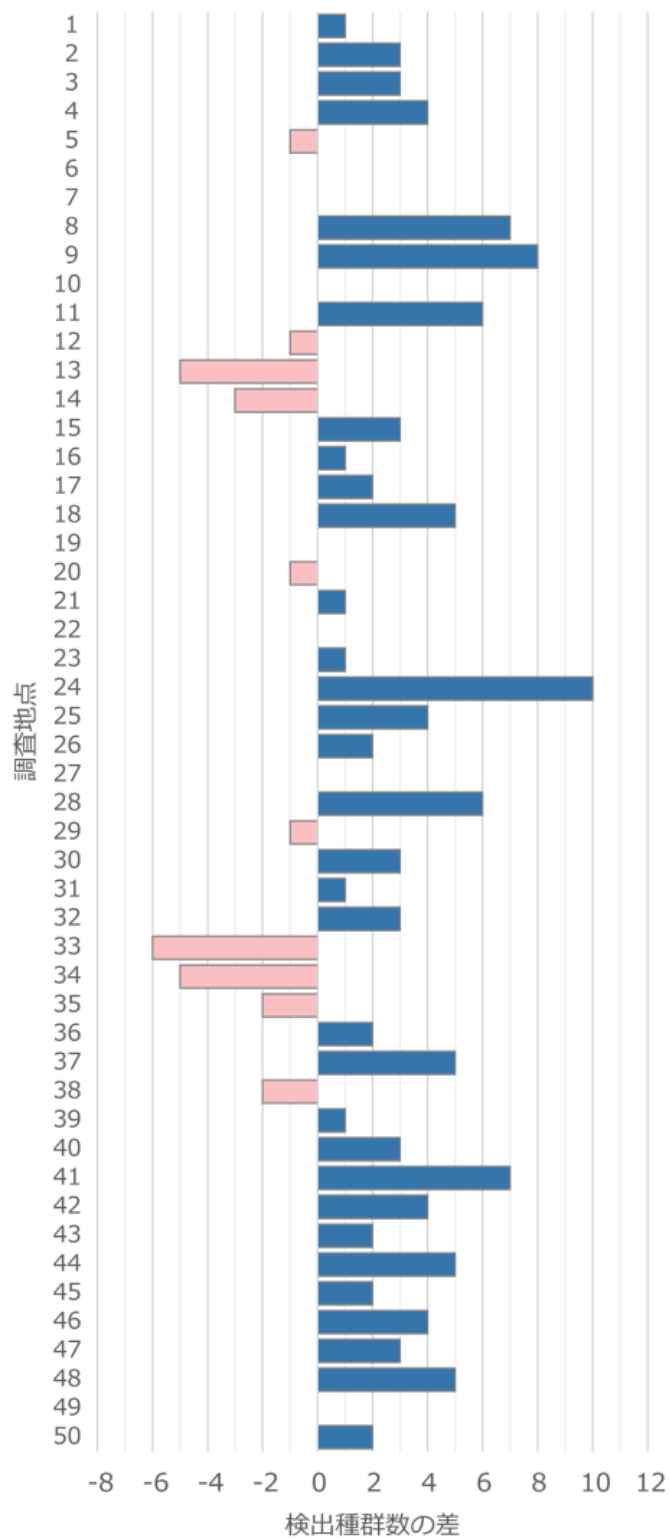


図 68 2018 年 1 月における震ヶ浦 50 小流域の淡水魚種数。BAC 添加後に検出種数が増加した流域（青）と BAC 添加後に検出種数が減少した流域（ピンク）を示す。

本研究で構築した統計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確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。また、所与の予算の下で種の検出効率を最大化するサンプリングデザインの特定が可能となった。

このモデルを霞ヶ浦流域での環境 DNA メタバーコーディングデータに適用したところ、淡水魚種の検出確率には顕著な不均一性が見られ、特定の種が偏って検出されやすい傾向が示された。モデルの結果から、各小流域には DNA が検出された種の数より平均約 1.2 種多くの淡水魚が生息すると推定された (図 69)。また、様々な種を効率的に検出するためには、各採水地点において複数の水試料を反復して取得することが望ましいことが示唆された。

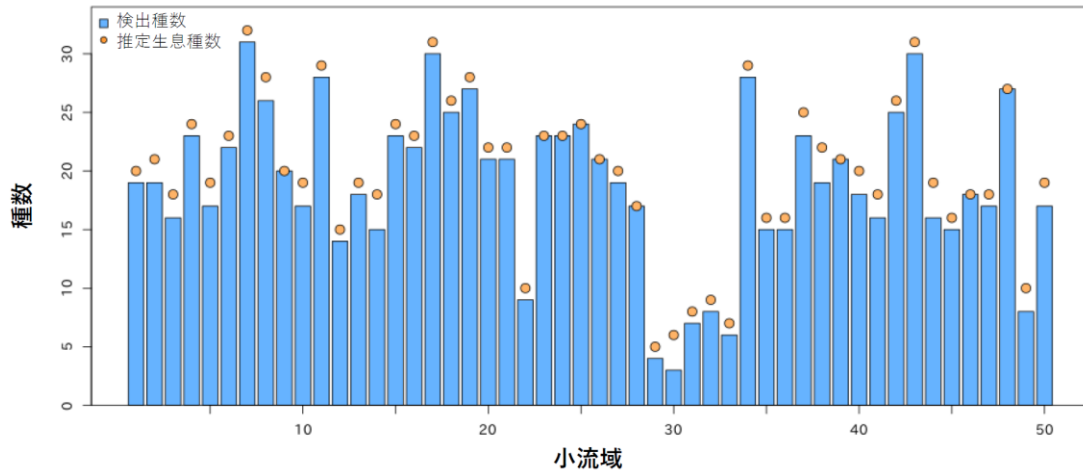


図 69 2017 年夏季における霞ヶ浦 50 小流域の淡水魚種数。DNA が検出された種の数 (青) と サイト占有モデルによって推定された生息種数 (橙) を示す。

アカヒレタビラの種特異的プライマーによる検出手法については、霞ヶ浦流域に生息する在来・外来のタナゴ亜科近縁種 5 種の DNA を増幅しないこと、アカヒレタビラを含む複数魚種を飼育する水槽から得られた環境 DNA については DNA が増幅されたことを確認した。霞ヶ浦流域の河川及び水路の合計 41 地点における環境 DNA 調査では、アカヒレタビラが検出されたのは互いに隣接する 2 地点と小河川 1 地点のみから検出された。調査した河川数や地点数の網羅性は十分とは言えないものの、過去にアカヒレタビラが採集された地点を多く含んでいたこともあり、本研究からアカヒレタビラの分布はかなり限定的であることが示唆された。今後、市民参加型の調査などに活用することで、より広域で本種の生息状況が明らかにできる可能性がある。本手法はメタバーコーディングよりも簡易的であることから、アカヒレタビラを指標とすることで、在来魚の多様性が高い場所の評価にも用いることが期待される。

また、霞ヶ浦流域における生態系サービス 10 項目及び在来魚の多様性の状態を、レーダーチャートによって、小流域ごとに可視化した (図 70)。流域ごとに生態系サービスのバンドルが異なることが示唆された。次に、これらの指標値のパターンから、空間的に生じている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。

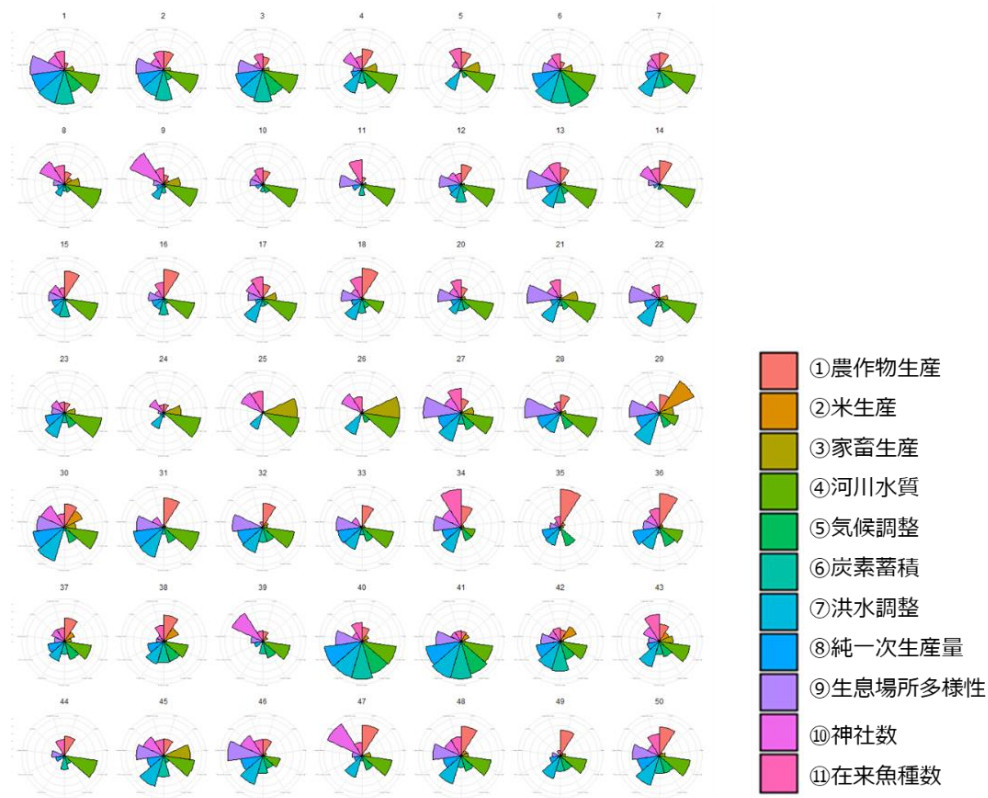


図 70 霞ヶ浦 50 小流域の生態系サービス指標値のパターン。レーダーチャート上の番号は各小流域の ID。
各指標値は標準化している。

因子分析の結果、3つの因子が抽出された。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、生息場所の多様性の5つのサービスのシナジーが抽出された。この第1因子のスコアを地図化し、土地利用との結果を分析した結果、森林面積率が高いほどスコアが高く（つまりシナジー効果が大きく）なり、また市街化率が高いほど、スコアが低く（つまりシナジー効果が小さく）なることが明らかになった（図 71）。このことから、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。また、在来淡水魚類の多様性も、農業生産の増加に対して、減少する傾向が見られた。第3因子では、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。

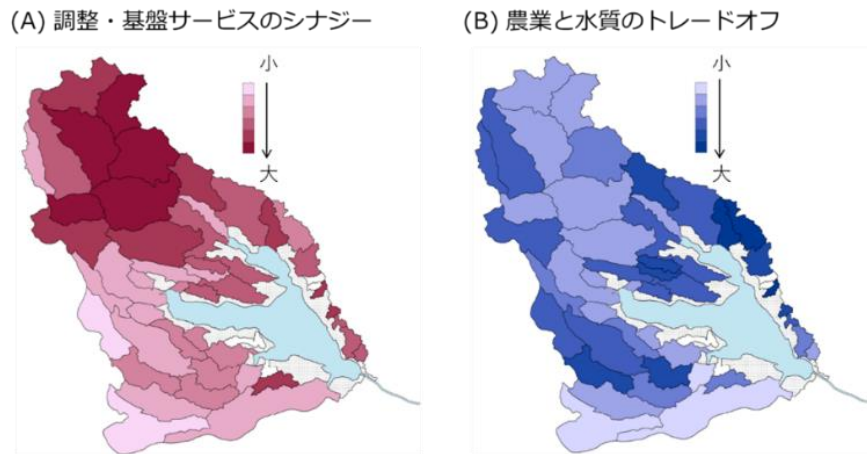


図 71 (A) 因子分析によって特定された調整・基盤サービスのシナジーの空間分布（因子 1 のスコアを地図化）。
 (B) 因子分析によって特定されたトレードオフの空間分布（因子 2 のスコアを地図化）。

上述の因子分析では、農業生産と水質にトレードオフが見られた。しかし、畑地率と河川水の硝酸態窒素濃度の関係を詳細にみると、畑地率が高いにも関わらず、水質がよい小流域が見つかった。このことから、農業生産と水質保全を両立する「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を標準化した後、その両方の誤差を考慮するデミング回帰を行い、その回帰直線に直交する残差を「トレードオフの緩和スコア」と定義し、緩和スコアを決める要因を分析した。その結果、湿地面積率が緩和スコアのバラツキを最も説明する要因であること明らかとなった（図 71）。このことから、湿地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。また、湿地数よりも湿地面積率のほうがより緩和スコア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。

湿地面積率の高かった 2 つの流域では、特に高い緩和スコアを示した。しかし、この 2 つの小流域を除外しても、湿地面積率と緩和スコアの間に関連が認められた。流域スケールにおいて湿地の水質浄化機能を高めるには、流域内に 2~7%の湿地が必要であることが示されていることから²²⁾、この 2 つ小流域は、外れ値というよりは、むしろ、湿地面積率の高い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であると考えられた。本研究の対象流域においては、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。

また、緩和スコアが最も高かった流域には、2~3 つの連なるため池が含まれる特徴を持っていた（図 72）。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、台地の地下水、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 72）。ため池が連なったシステムでは、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。

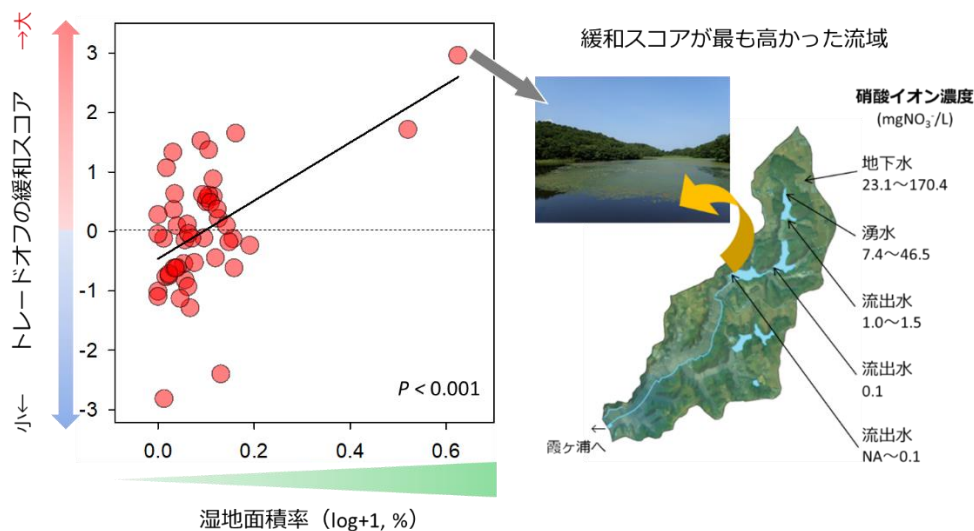


図 72 農業生産と水質のトレードオフの緩和スコアと湿地面積率の関係。
緩和スコアが最も高かった流域における地下水、湧水、ため池流出水の硝酸態窒素濃度の変化。

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、こうした湿地の維持・保全が重要になる。しかし、霞ヶ浦流域には、すでにため池が減っており、現存するため池や湿地は多くない。一方、谷津奥には、放棄された水田が近年広がっている。こうした放棄水田を積極的に活用し、湿地の代替機能を果たすことが期待できる。今後、放棄水田の利用を流域管理に組み込んでいく必要がある。

経済評価については、まず霞ヶ浦の生態系サービスを供給・調整・文化的・基盤の4つに分類し、計25項目及びその指標を整理した(表2)。生態系サービスの指標の推移(享受量の変化)の特徴として、魚種や植物などの生物多様性や人々が霞ヶ浦と触れ合うような項目の指標が減少したことが明らかとなった。減少した項目の多くは自然資本から直接得られるサービスだった一方、増加した項目の多く(特に利水や治水)が、人工資本を介すことによって得られるサービスであった。

市場価格等の情報が得られた14項目について、代替法を用いて経済価値評価を行った結果、霞ヶ浦は年間1,217億円の生態系サービスを生み出していることが明らかとなった(表2)。

表2 霞ヶ浦の生態系サービスの指標の推移（1945年から2018年）と経済価値。

大項目	中項目	小項目	指標	指標の増減	経済価値 (億円/年)
供給サービス	食糧・原材料	水産物	内水面漁業生産量	↓	5.0
		水産物（養殖）	淡水真珠生産量	↓	3.1
			コイ、その他魚類生産量	↓	
	農産物	レンコン生産量	↑	141.0	
	水供給	取水	農業用水量	↑	195.4
			工業用水量	↑	82.3
水道用水量			↑	36.6	
調整サービス	水の調整	地下水涵養	地下水涵養量	→	37.7
		水質浄化	底泥の脱窒量	—	41.5
	ヨシによる浄化量		—	1.7	
	気候の調整	潜熱効果	蒸発散量	→	—
	自然災害の防護	洪水調節	治水容量	↑	670.0
文化的サービス	宗教・祭り	水神	水神の社数	—	—
	教育	環境学習	霞ヶ浦環境科学センター主催参加者数	↑	0.7
			観光帆引き船利用者数	↑	0.04
	景観、観光・レクリエーション	レクリエーション利用者	釣り利用者数	↓	—
			水遊び人数	↓	—
	伝統芸能・伝統工芸	つくば霞ヶ浦りんりんロード	利用者数	↑	—
			伝統的建造物（茅葺屋根の原材料）	妙岐の鼻地区ヨシ・カモノハシ群落面積（茅葺に利用される群落）	↓
伝統的水産加工品			佃煮・煮干し・焼き物生産量	↓	2.2
基盤サービス	生物多様性	魚類	純淡水魚類種	↓	—
			抽水植物面積	↓	—
		水生植物	浮葉植物面積	↓	—
			沈水植物面積	↓	—
		鳥類	カモの種数	↓	—

選択型実験では、全国及び霞ヶ浦流域の市民、いずれにおいても水浴等レクリエーションとしての水質の改善、生息する希少魚類の回復に対して、特に高い支払い意思額を示した。具体的には、水質を現在の状態からややよい状態に改善することに対して全国の人々は5,829円、流域の人々は5,616円支払い意思額を示した（図73）。また、生息する希少魚類を3種から6種に回復させることに対して、それぞれ3,457円、2,767円の支払い意思額となった。人々にとって市場価格で評価できない霞ヶ浦の生態系サービスが重要な役割を有していることが示唆された。また、得られた支払い意思額に人口を乗じて生態系サービスの経済価値を求めた。霞ヶ浦の生態系サービスに対する経済価値は、現状は全国では1兆302億円、茨城県では253億円、流域では70億円、2040年の将来（望ましい状態への改善）の場合は、全国では1兆4,264億円、県では324億円、流域では89億円と算出された。

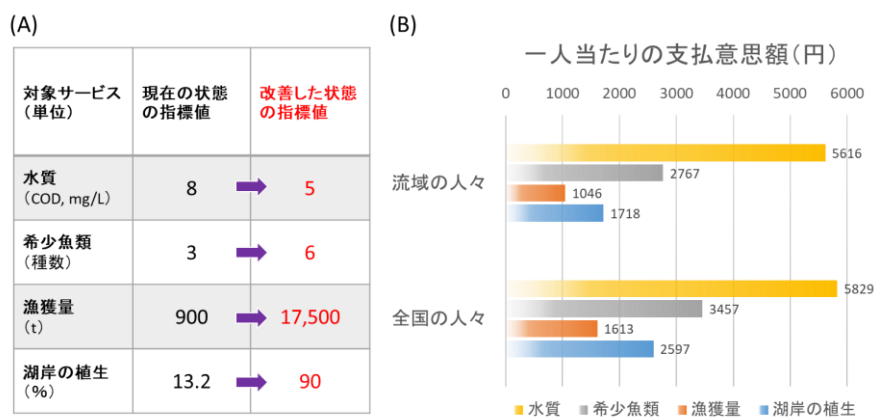


図 73 (A) アンケート調査のシナリオに用いた現在の状態及び改善した状態を示す各生態系サービスの値と単位。
(B) アンケート調査から算出した各生態系サービスの改善に対する支払意思額。アンケート調査は流域及び全国の人々を対象にそれぞれ実施している。

代替法と選択型実験の両方を用いることにより、霞ヶ浦は、少なくとも1年当たり供給サービス463億円、調整サービス751億円、基盤サービス166億円、文化的サービス3億円と、多様な生態系サービスを提供していることが明らかになった。世界の湖沼・河川の平均的な経済価値は147万円/ha/年 (Constanzaら²³⁾ 換算) と比較すると、代替法による評価額だけでも、霞ヶ浦の生態系サービスの価値は、その約4倍であった。霞ヶ浦から得られる全ての生態系サービス価値を網羅できていないため、今後さらなる研究が必要であるが、霞ヶ浦の多様な価値を、改めて認識し、生態系サービスの活用と保全を両輪で推進していく施策が必要である。特に、水質の改善と生物の保全に関する支払意思額や意識が特に高かったことから、それらに答えるような施策の検討が必要である。

2.5.1.4 まとめ

本サブテーマでは、霞ヶ浦流域(西浦の全流域)をモデル流域として、生態系サービス、生物多様性の評価を行い、それらの相互関係を明らかにした。また、複数の経済評価手法を用いて、霞ヶ浦から生み出される生態系サービスについて経済評価を行った。

流域の魚類多様性の調査手法に環境DNAを導入した。環境DNAの反復採水、環境DNAの劣化を防止する工夫、環境DNAメタバーコーディングの偽陰性を考慮する統計モデルの開発を通じて、高精度かつ頑健な種検出が可能となった。今後、これらのスキームは、環境DNAを用いた長期モニタリングに活用されることが期待される。

生態系サービス間で生じるシナジーやトレードオフを解析するこれまでの生態系サービス研究と異なり、本研究では、一步踏みこんで、シナジーを促進する要因、トレードオフを緩和する要因を特定した。特に、湿地が、農業生産と水質のトレードオフを緩和する可能性を示した。湿地は、水質浄化以外に、洪水調整や生物多様性保全など多様な機能をもつことから、湿地の保全・再生は、自然を活用した問題の解決(Nature-based solution)といえる。

経済評価によって、霞ヶ浦は、多様な生態系サービスを提供していること、特に水質の改善、生物多様性の回復について支払い意思額が高いことが明らかになった。流域と湖は密接に関係しており、湖内の生態系サービスは、流域の土地利用の変化や負荷の影響を受ける。流域と湖のつながりを考慮し、流域全体で多様な生態系サービスを持続的に利用できる生態系管理を進めていく必要がある。

2.5.2 小笠原諸島の生態系の持続性に関する研究（サブテーマ2）

2.5.2.1 目的と経緯

小笠原の主要産業は世界自然遺産（2011年6月登録）の生態系に依存した観光産業であり、他の産業に比べて桁違いに大きな経済的な規模を持つ。小笠原はエコツーリズムの先進地であり、また、小笠原諸島の大部分が国立公園に指定されていることもあり、保護区の設定や法制度の整備、ツアーガイドなどの関係者同士の申し合わせ等もなされており、既に生態系に悪影響を与えない観光業が発達している。その意味では既に自然共生社会が実現しているともいえる。そのため、今後は現在実現している自然共生社会をいかに持続させていくか、が課題となる。

小笠原における自然共生社会を持続させるためには、観光需要を喚起している世界自然遺産の生態系が持続的でなければならない。小笠原の生態系は厳重に保護されているが、それでも気候変動の影響はすでに指摘されているし（小笠原諸島は乾燥化しつつある。²⁴⁻²⁶）、外来種（既存、新規）の問題はまだ小笠原において中心的な環境問題であるし、様々な事業など、生態系への変質圧は常にかかり続けている。そこで本研究では、野外調査、環境DNA解析、コンピュータシミュレーションとアンケート調査等を用いた社会科学研究を行い、現在の小笠原諸島生態系の維持メカニズムを明らかにするとともに、世界自然遺産の生態系を持続させるための生態系管理手法の提案を行うことを目指す。また、域外保全の枠組みで、調査の過程で得られた小笠原固有種や絶滅危惧種などの貴重なサンプルについてはタイムカプセル事業と連携して遺伝子資源の保存を行う（図74）。

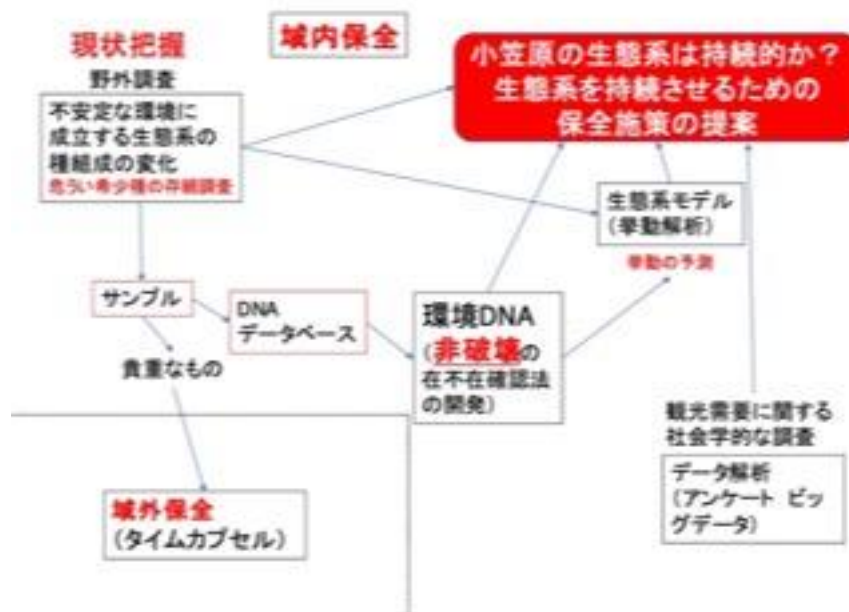


図74 プロジェクトを構成する各サブテーマとそれらの関連性

野外調査は小笠原諸島父島の小規模な陸上淡水生態系を対象とする。小規模な陸上淡水生態系を対象とした理由の一つは、環境DNA分析（水サンプルを採集し、その中に含まれている遺伝子を解析する）をあわせて行うことを目的としているためである。また、もう一つの理由は、小規模陸上淡水域は元々不安定な環境であるため、環境の変化に鋭敏に反応すると期待されるからである。この調査によって生態系構成種の組成の変化を追跡し、小笠原諸島の小規模な陸上淡水生態系の現状把握を行うとともに、維持メカニズムに関する解析を行う。

小規模陸上淡水生態系を対象として、技術開発も含めて環境DNA分析を行う。環境DNA分析を理想的に行えるようになれば、水を汲んできてその中に含まれるDNAを分析するだけで、生物種の存在、さらに、個体数の変化まで追跡できるようになることが期待されるため、生物の生体を採集する必要がなくなるだけでなく、生物の存在調査のために保護区内に立ち入る必要もなくなり、調査が生態系に与える影響を極限まで少なくすることができる。この技術

開発のためには、基盤となる遺伝子データベースの作成が必要不可欠である。そのため、小規模な陸上淡水生態系の野外調査の過程で得られたサンプルの DNA 情報をデータベースに登録していく作業を行う。この際、まずは普通種を対象として研究を進めていく。サンプルの得やすさや、サンプリングによる個体群への影響が小さいことに加えて、生態系の物質循環の大部分は普通種が担っているため、将来的に行う生態系の中心的なプロセスのモニタリングには普通種が適しているからである。分析技術が確立されれば、希少種の在不在判定にも挑戦することを検討する。

野外調査などの過程で得られた貴重なサンプル（小笠原固有種や、絶滅危惧種など）はタイムカプセルに保存する。これによってサンプルを再利用できる体制を整え、生きた個体を新たに採集することなく、遺伝情報などの研究を行うことができるようにする。

研究の過程で得られたデータや文献情報を参考にし、小笠原諸島の生態系を再現する数理モデル開発を行う。このモデルを用いてコンピュータシミュレーションを行い、小笠原の生態系が持続的な状態にあるかどうか、もし変化するのなら、生態系内のどの部分が影響を受けやすいのかを明らかにする。また、複数の管理シナリオのシミュレーションを行い、なるべく生態系を変化させなくて済むような生態系管理手法を探索する。

さらにビッグデータ解析やアンケート調査などを用いて、小笠原諸島を初めとする島嶼地域に関する社会学的研究を行う。国立公園としての小笠原諸島の観光需要調査、経済的な利益の定量評価を含めて有効なエコツーリズムの方法などを明らかにする。

これらの結果を合わせて、小笠原の生態系が持続的な状態にあるかどうかを明らかにした上で、生態系を持続させるための生態系保全施策を提案することを目指す。

2.5.2.2 方法

本サブテーマでは、小笠原諸島の現地調査、得られたサンプルのタイムカプセル保存、環境 DNA 解析、生態系の数理モデルを利用したコンピュータシミュレーション、アンケート調査等を用いた社会学的研究を行う。

小笠原諸島父島の小規模な陸上淡水生態系（13カ所）を対象として野外調査を行う。現地調査は年2回、夏季（6月下旬～7月上旬）と冬季（11月下旬～1月）に行う。D フレームネットを用いて、およそ1平方メートルの範囲の水中堆積物をすくって生物サンプルを採集する。採集されたサンプルは可能な限り種レベルまでの同定を行い、生態系構成種の組成の変化を解析した。

小笠原諸島に分布する絶滅危惧種を対象に遺伝資源（臓器、細胞、DNA 等）の保存を実施した。遺伝資源の中で臓器は5ミリ角程度に細切し、凍結保存用チューブにいれた。血液は血球と血漿を分離し、それぞれを凍結保存用チューブにいれた。DNA についても 50 μ l 程ずつ凍結保存用チューブに分注した。

新鮮な皮膚組織が入手できた際は、細胞培養を試みた。細胞培養用培地は 10%FBS 添加 DMEM を使用した。温度条件を 37°C とし、5%CO₂ 下で培養を実施した。

小笠原父島における小規模陸上生態系として、河川やダムにおいて、D フレームネットを用いて無脊椎動物を採集した。採取した動物は拾い出して同定し、可能な限り非破壊のまま DNA 抽出を抽出したのち動物の同定用の標準遺伝子 COI の塩基配列（DNA バーコード）を得た。標本は、形態による再同定が可能な液浸標本として保管した。

標本採集に先立ち、父島の河川やダムにおいて採水し、採水日当日中にガラス繊維ろ紙（Whatman、GF/F）もしくはステリベクス（ミリポア、0.45 mm）にて濾過した。濾過済フィルターから抽出した環境 DNA について、魚類 12S rRNA 遺伝子と無脊椎動物 COI 遺伝子をターゲットとした2セットのユニバーサルプライマー（MiFish primers¹⁹⁾、mlCOIintF & HCO2198^{27,28)}）を用いてメタバーコーディング解析を行った。また、特にウナギ属については MiFish プライマーでは種判別ができないことから、12S rRNA 及び 16S rRNA 領域を増幅するウナギ属用のユニバーサルプライマーを設計して解析した。

数理モデル研究では、現在の小笠原諸島生態系の物質循環過程を再現するモデルと、海洋島生態系の進化過程を再現するモデルの2種類の生態系数理モデルを作成する。前者のモデル（物質循環モデル）では、海鳥によって島に持ち込まれた栄養塩を植物が吸収して生長し、それを草食動物が利用し、草食動物を肉食動物が捕食し、これらの動植物の

遺骸や糞が分解されて栄養塩に戻る、という物質循環プロセスを再現した。後者のモデルでは（進化モデル）、前者のモデルを元にして、海洋島の特徴的な進化過程、つまりごくまれに外部から移入してきた種が島内で種分化を繰り返す、という過程を再現した。これらのモデルを用いて、外来種を含む種の除去の影響とその後の生態系の変化を解析した。

社会学的研究では、島嶼地域における観光需要の定量評価及び関連理論の発展を目的として以下の3つの研究を行った。1つ目の研究では、環境評価手法（ベスト・ワースト・スケーリング）を用いて、全国の一般市民を対象に、国立公園の相対的な選好を明らかにした。2つ目の研究では環境評価手法（選択型実験）にシミュレーションを組み合わせることで、エコツアー中において希少種との遭遇確率が上昇することで創出される経済的な利益の定量評価を行い、地域経済に希少種の保全がもたらす経済的便益を可視化した。最後に、希少種の観察を目的とするエコツアーにおいて、ツアー事業者の特性がツーリズム市場の平衡状態に与える影響をゲーム理論を用いて明らかにした。

2.5.2.3 結果と考察

2016年から継続して小笠原諸島父島の小規模な陸上淡水生態系の構成種の変化を調査した。その期間中、2016年末から2017年6月まで、小笠原諸島は史上2番目の規模と言われる非常に厳しい渇水に見舞われた^{29,30}。本研究で対象としている調査地のいくつかが干上がるほどの厳しいものであった。渇水は水域に生息する生物にとって致命的な攪乱となる。そこで本研究では渇水前後で多様性がどのように変化したのかを、渇水前から全調査期間にわたって継続的に調査ができた5つの調査地を対象とし、生態系構成種の組成の変化を解析した（図75）。渇水前（2016年7月）の調査では計23種が確認された。渇水のさなかの2017年1月の調査では、総種数が約20%減少したことが確認された。2018年3月の調査では総種数は26種に増加した。その後も確認された種数は20種以上を維持しており、総種数については渇水前の水準を素早く取り戻して維持し続けている。しかし種構成はなかなか元には戻らなかった。渇水前に見られた23種のうち、12種が2017年1月の渇水の時に姿を消した。その後わずかに回復していく傾向が見られるが、渇水から約1年半経過した2018年11月の段階でも約3分の2が回復したに止まっていた（図75）。

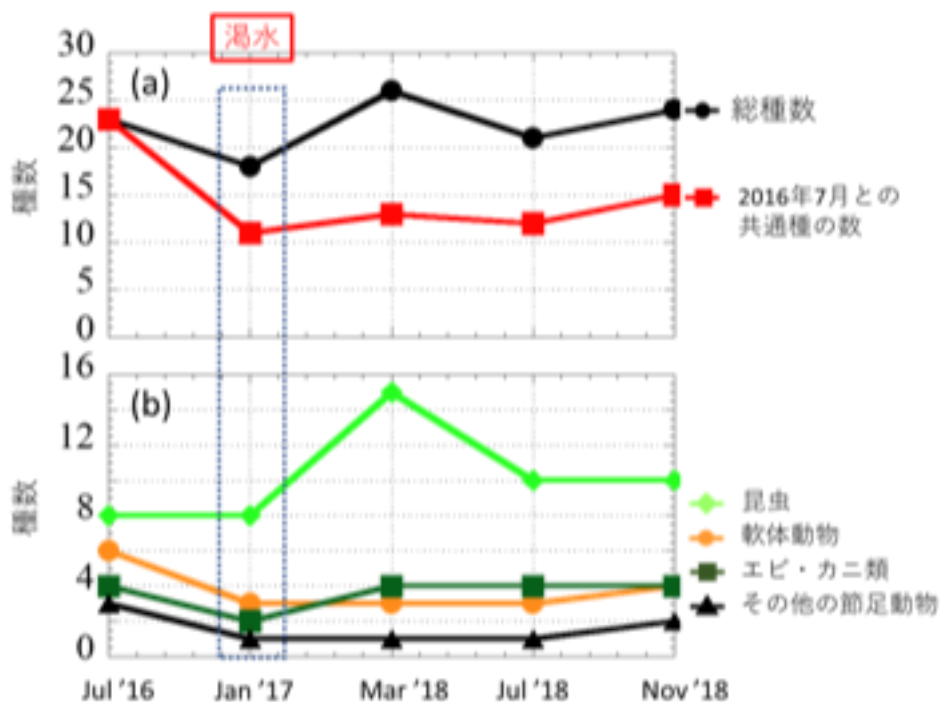


図75 野外調査で観察された種数の時間変化。aの黒線は総種数、赤線は2016年7月との共通種の数を表している。bは昆虫類、軟体動物類、エビ・カニ類、昆虫以外の節足動物それぞれの多様性の変化を表している。

攪乱に対する反応は分類群による違いも見られた。軟体動物、エビ・カニ類、昆虫以外の節足動物は濁水の際に種数が減少した。エビ・カニ類の種数はすぐに回復したが、軟体動物、昆虫以外の節足動物の種数はなかなか回復しなかった。特に軟体動物の1種、淡水二枚貝のマメシジミは濁水時に父島最大の個体群が地域絶滅し、その後回復が見られなかった。昆虫類は濁水時に4種見られなくなったが新たに4種が出現し、種数は変わらなかった。2018年3月の調査時に種数は倍増したが、その後はほぼ元のレベルに戻った。2018年11月の調査で確認された10種の昆虫類のうち、6種は濁水前の2016年7月との共通種であるが、4種は濁水後に見られるようになってそのまま調査地に定着した種である。そのため、2018年3月の調査で確認された昆虫類の種数の増加は“攪乱依存種の一次的な出現”とは言えず、複雑な群集動態を示している可能性がある。濁水の半年後の調査において、小笠原固有種かつ希少種でこれまでは個体数が少ないと報告されていたオガサワラヌマエビ（図76）、オガサワラヨシノボリの局地的な大発生が観察された。オガサワラヌマエビの大発生は一時的なものであり、その後の調査で個体数は元のレベルに戻っていった。このことから、これらの種は攪乱依存で個体群を維持している可能性が考えられる。



図 76 小笠原固有種オガサワラヌマエビ

濁水という攪乱を受けた後、総種数の回復は早いですが、元通りの生態系にはなかなか戻らないことが明らかとなった。また、回復が遅い軟体動物類と昆虫以外の節足動物については重点的な保全対策が必要である。しかし、保全策として安定な環境を用意することは必ずしも適切ではない。明らかな攪乱依存種も確認されたこともあり、適度な強度の攪乱が加わるようにしておくことが淡水生態系の生態系の維持に必要である可能性がある。また、絶滅が危惧される個々の種の保全は継続的に行うべきであり、本プロジェクトでも小笠原固有種で絶滅危惧種のオガサワラヌマエビを種の保存法の対象種に推薦し、2019年2月に対象種に指定された。

第4期中長期計画期間中に、オガサワラオオコウモリ（*Pteropus pselaphon*、絶滅危惧IB類）3個体、アカガシラカラスバト（*Columba janthina nitens*、絶滅危惧IA類）2個体、オガサワラヌマエビ（*Paratya boninensis*、絶滅危惧I類）2個体を対象に遺伝資源保存を行った。それぞれの個体から採取し、凍結保存した遺伝資源を表3に示した。

表3 凍結保存を実施した絶滅危惧種由来の遺伝資源

種名	NIES ID	保存した遺伝資源
オガサワラオオコウモリ	4369M	血球、血漿、骨、皮膚組織、DNA、培養細胞（皮膚組織由来）
	4418M	筋組織、DNA
	4457M	腱組織、骨、DNA、培養細胞（皮膚組織由来）
アカガシラカラスバト	5773A	筋組織、心臓、肺、肝臓、脾臓、腎臓
	6062A	筋組織、心臓、肺、肝臓、脾臓、腎臓、卵巣
オガサワラヌマエビ	5011Inv	個体全体（エタノール固定）
	5012Inv	個体全体（エタノール固定）
	5013Inv	個体全体（エタノール固定）

この中でオガサワラオオコウモリ（4369M）の皮膚組織に由来する培養細胞（図77）からは、不死化細胞の樹立に成功した³¹⁾。今後、この不死化細胞が、新型コロナウイルス SARS-CoV-2に関連する研究に活用されることが期待される。

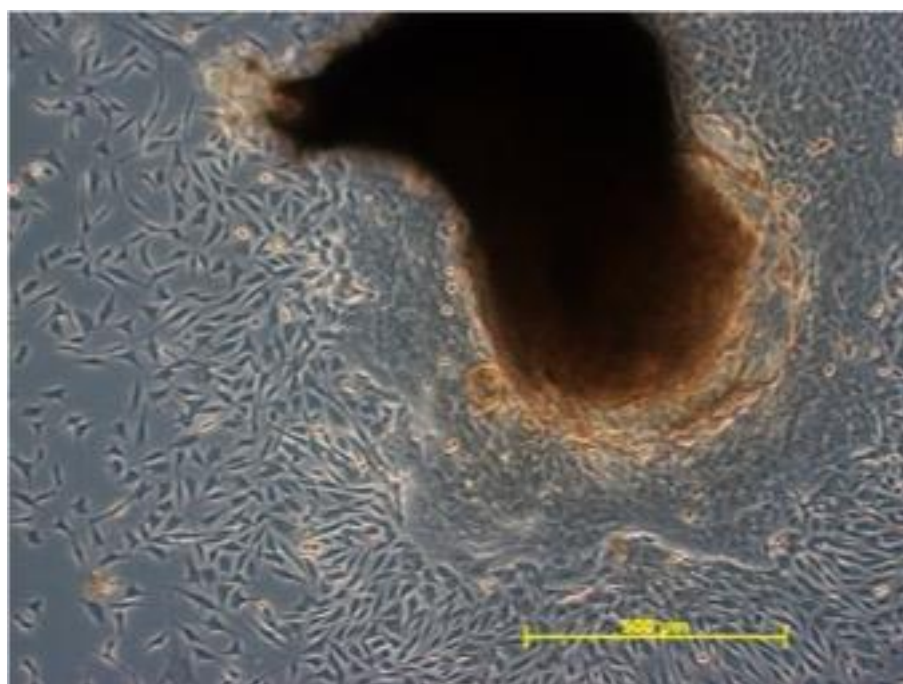


図77 オガサワラオオコウモリ (*Pteropus pselaphon*) の皮膚組織から増殖した細胞

収集したDNAバーコード18分類群50個体について国際塩基配列データベースに登録し、プロジェクトで構築した「小笠原標本DNAデータベース」においても写真とともに公開した（図78）。絶滅危惧I類オガサワラヌマエビなどのエビ類については引き続き分類上の再検討を要することから非公開とした。得られたバーコード配列に基づく分子系統解析により、広汎分布種として知られている種であっても、小笠原個体群は他地域の個体に比べて遺伝的にかなり分化している場合が見られた。この結果は、小笠原の生態系はこれまで考えられていたよりもさらに固有性が高いことを

示唆している。小笠原の陸水生態系に生息する無脊椎動物の分類学上の固有性や希少性、個体群の絶滅リスクは一部を除きほとんど明らかにされていない。本研究で得られた標本には科や属等の上位分類までの同定にとどまるものもあったが、国際的に形態や DNA 情報を公開しておくことで、今後の分類学的研究や生物多様性調査に活用されることが期待される。

淡水生態系における動物の多様性を調べるために環境 DNA 解析を行った結果、魚類については絶滅危惧種のオガサワラヨシノボリや、外来種であるグッピーやカダヤシが検出された。これらの河川分布の結果は過去の捕獲や目視による調査記録ともおおむね一致した。また、ウナギ属プライマーによる環境 DNA 解析の結果、オオウナギがダムの上流にまで生息していることが示唆される結果が得られ、オオウナギの遡上能力の高さがうかがわれた。採水無脊椎動物の環境 DNA 解析では、ヒメハマトビムシ類やユスリカ類などの節足動物が主に検出された。ただし、魚類、無脊椎動物ともに、環境 DNA 検出における定量性については今後も検証が必要である。



図 78 小笠原標本 DNA データベース

以上のことから、小笠原の様な小規模淡水生態系においても環境 DNA による生物多様性調査が有効であることが示された。環境 DNA による生物調査は、現地での作業は基本的に採水のみと簡便である。加えて小笠原は、調査による外来種の持ち込みや環境変化が特に懸念される地域でもある。今後の調査では、環境 DNA 解析も併用することで、調査による環境負荷を低減し、少ない労力で高頻度・多地点モニタリングを実現できると考えられた。

現在の小笠原諸島生態系の物質循環を再現する数理モデルを用いて生態系から構成種を除去して生態系の脆弱性を解析するシミュレーションを行った。その結果、広食性で活動性の高いヤギ、ネズミを駆除した場合に最も連鎖的な絶滅が起きる可能性が高く、そのとき絶滅しやすいのは、木本植物、草本植物、草食性昆虫であった。肉食性昆虫は、ヤギを駆除した場合は連鎖的に絶滅する確率が高かったが、ネズミを駆除した場合はその確率が低かった。

小笠原諸島のような海洋島生態系の特徴的な進化過程、つまりごくまれに外部から移入してきた種が島内で種分化を繰り返す、という過程を再現した数理モデルを用いてシミュレーションを行った結果、人が入植する前の原始的な状態の海洋島生態系（全島が森林に覆われた状態）を約 80%の確率で効率よく再現することができた。この状態の島に外来ヤギ・ネズミを侵入させると約 3分の1の確率で裸地が生じたが、これは実際の小笠原諸島で裸地が生じた島の割合と一致していた。これはモデルの予測能力の高さを示している。また、外来ヤギ・ネズミを駆除するシミュレーション

を行った結果、6割程度の隔離で駆除後に原始的な状態（全島森林化した状態）に回復したが（図79）、3割程度は駆除後の森林面積が50%未満に止まった。駆除後に森林が回復しなかったケースに注目し、これらの駆除前の状態を解析した結果、実際の媒島の植生比とほぼ一致していることが明らかとなった。実際に媒島ではヤギ駆除後の森林回復の遅れが指摘されているが、このまま放置しては媒島では森林が回復しない可能性が示唆された。駆除後に森林が回復しなかったケースに注目し、これらの駆除前の状態を解析した結果、実際の媒島の植生比とほぼ一致していることが明らかとなった。実際に媒島ではヤギ駆除後の森林回復の遅れが指摘されているが、このまま放置しては媒島では森林が回復しない可能性が示唆された。

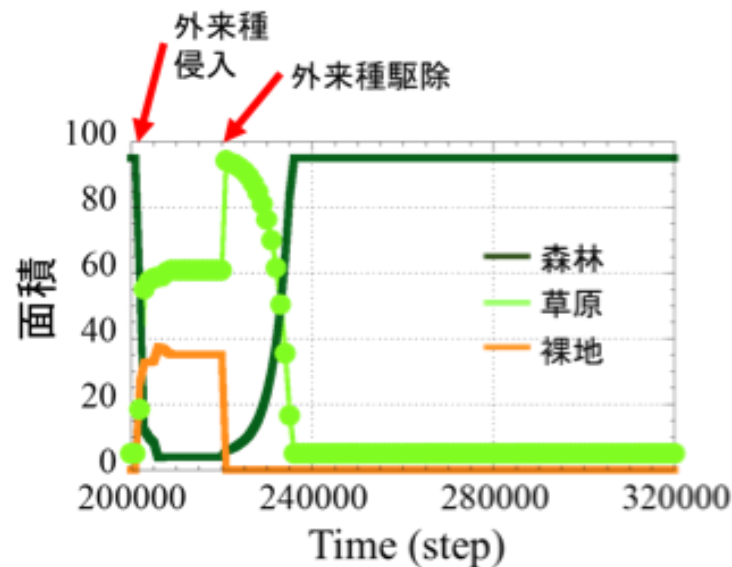


図79 モデル生態系における植生変化。シミュレーション開始後、20万ステップかけて生態系を進化させると約80%の確率で全島森林化した状態になる。外来種が侵入すると森林が大きく衰退し、草原と裸地が広がる。一定期間後に外来種を駆除すると、裸地が減少し、一度草原が急拡大するが、次第に森林に置き換わって行き、約60%の確率で全島森林に覆われた状態に回復する。

また、侵入してから外来ヤギ、ネズミを駆除するタイミングを変えてシミュレーションした結果、侵入から駆除までの時間が短いほど元々の状態（全島森林に覆われた状態）に戻る確率が高いこと、最終的な多様性が高くなることが明らかとなった。全島森林に戻った生態系に注目して解析したところ、特に動物種は外来生物駆除後も多様性が減少することが明らかとなった。また、その減少率は侵入してから駆除までの時間が短いほど大きくなることが明らかとなった。これらの結果は、外来種駆除は早い方が望ましいが、外来種駆除後もその影響が残って多様性が減少すること、外来生物を駆除するだけでは元々の状態に戻すことは難しいことを示しており、駆除後もモニタリングと適切な管理を行わないとせっかく生き残っていた在来種が絶滅してしまう可能性を示唆している。

これらの結果から、外来種駆除などの自然再生事業は、いわゆるやりっ放しでは悪影響をもたらす可能性があり、事業が終了した後も継続的にモニタリングを行い、何か望まない事態が起こった時は適切な管理を行う必要があることを示している。

小笠原諸島を初めとする島嶼地域を対象とした社会学的研究では、まず、環境評価手法（ベスト・ワースト・スケールリング）を用いて、全国の一般市民を対象に、国立公園の相対的な選好を明らかにした。小笠原諸島は観光客の事前人気（まだ訪問したことはないが、これから訪問したい観光地）も比較的高く、さらにリピーターの割合も高いことが明らかとなった（図80）。また、リピーターは小笠原独特の風景、生態系に魅力を感じていることも明らかとなった。選択型実験を用いた研究³²では、希少種との遭遇確率が上がるにつれて、観光客のツアー参加率及びガイド収入が増

加することが示された。特に、シミュレーションによれば、希少種との遭遇確率が10%の場合は、ツアー1回あたりに期待される最大収入は223円に過ぎないものの、90%の場合にはその約20倍、4,545円の収入が期待されることが明らかになった。最後に、ゲーム理論を用いた研究³⁹⁾では、市場が社会的ジレンマに陥るのは2人の事業者がともに競争的なタイプである場合に限られることが明らかになった。少なくとも1人の事業者が非競争的、つまり個人主義的もしくは協力的であれば、ナッシュ均衡がもたらす収益配分はパレート効率を満たすことを示した。本結果は、自然体験型ツーリズムを対象とする社会的ジレンマの分析において、伝統的な市場観の限界と個人の性格特性を考慮することの重要性を示唆している。

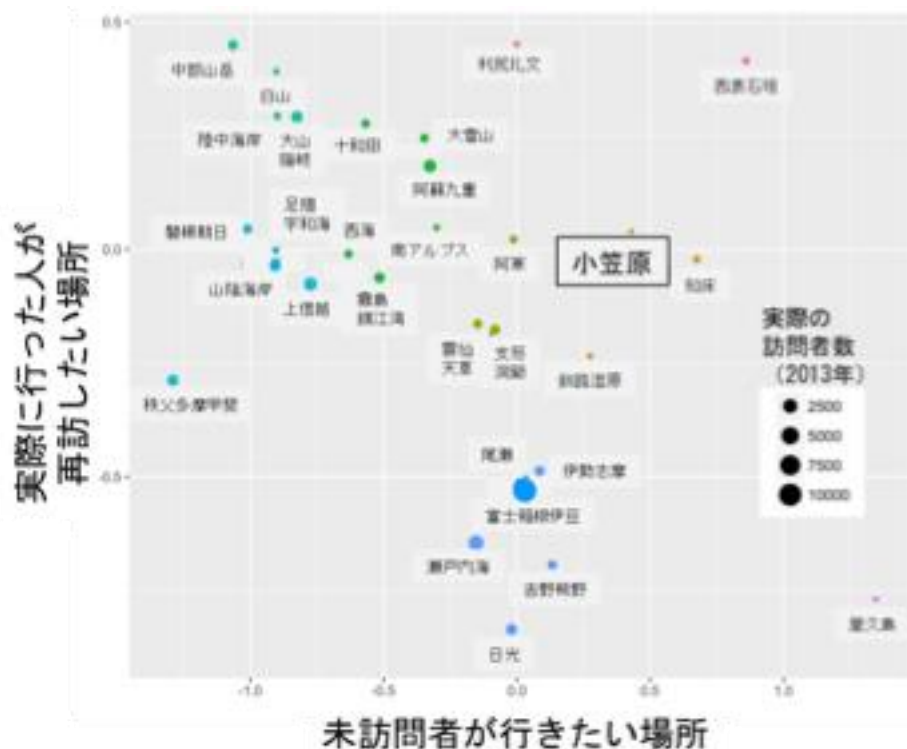


図 80 観光需要のアンケート調査（国立公園）。横軸は未訪問者がこれから行きたい場所の事前人気の高さ、縦軸は実際に行った人の再訪希望の高さを表す。

2.5.2.4 まとめ

小笠原諸島の小規模淡水生態系を対象として継続的に野外調査を行い、特に期間中に発生した観測史上2番目の規模と言われる渇水後の多様性の回復過程に注目して生態系変化を解析した。その結果、飛翔能力を持つ水生昆虫類は多様性が早く回復すること、それに対して軟体動物は回復が遅いことが明らかとなった。この回復の遅い種の保全に特に重点を置く必要があることを示している。また、水生昆虫類については、広い範囲で複数の生息地を移動している可能性が示唆される。乾燥前後で種構成が大きく異なっていること、渇水後に一部地域で絶滅危惧固有種の一時的な大発生が確認された。この結果は、この絶滅危惧種が攪乱依存種（生息地が攪乱を受けて一時的にできたニッチの空白を利用して繁殖する特徴を持つ種）である可能性を示唆しており、単に攪乱の影響を軽減して安定した生息地を用意すれば生態系が保全できる、と短絡しない方がよい可能性を示唆している。また、小笠原固有種オガサワラヌマエビを種の保存法の対象種に指定することに貢献した。調査の過程で得られた多数の希少種の標本について液体窒素タンクに凍結保存することで域外保全を進めた。また、小笠原固有種で絶滅危惧種であるオガサワラオオコウモリの細胞の不死化にも成功した。これによって、これら希少種の成体を新たに棄損することなく、サンプルの再利用が可能な体制を整えられるとともに、不死化した細胞を用いた曝露実験や病原体の感染実験などを行うことが可能になった。また、アンケート調査

の結果、現地での保全が難しい生物種については、域外保全の枠組みを整備することが支持されていることが明らかとなった。環境 DNA 分析を用いて、非破壊で陸水生態系の多様性をモニタリングする技術開発を行った。そのためにまず小笠原の水域生態系を構成する種の DNA データベースを整備し、18 種 50 個体の遺伝子情報を公開した

(<https://www.nies.go.jp/ogasawara>)。得られたバーコード配列に基づく分子系統解析により、広汎分布種として知られている種であっても、小笠原個体群は他地域の個体に比べて遺伝的にかなり分化している場合が見られた。この結果は、小笠原の生態系はこれまで考えられていたよりもさらに固有性が高いことを示唆している。ウナギ類を対象とした環境 DNA 分析方法を改良し、従来法よりも遙かに精度の高い手法の開発に成功した。環境 DNA 分析による種の検出テストの結果、野外調査記録ともおおむね一致する結果が得られたことから、小笠原の様な小規模淡水生態系においても環境 DNA による生物多様性調査が有効であることが示された。小笠原諸島のような世界遺産地域では調査そのものによる環境負荷も低減することが必要であるが、本研究で開発された環境 DNA 解析も併用することで、調査による環境負荷を低減し、少ない労力で高頻度・多地点モニタリングを実現できると考えられた。小笠原村は主に観光産業に依存する社会となっている。そこで、小笠原諸島における観光需要調査を行った。その結果、小笠原諸島は観光客の事前人気（まだ訪問したことはないが、これから訪問したい観光地）も比較的高く、さらにリピーターの割合も高いことが明らかとなった。また、リピーターは小笠原独特の風景、生態系に魅力を感じていることも明らかとなった。自然観察を伴うツーリズムにおける観光客の行動を分析した研究の結果から、ツーリズムの対象となる生物を観察できる確率が高くなると、ツアーの主催者の収入が大きく増加することが示された。これらの結果は、島嶼地域固有の生態系が観光という生態系サービスを生み出しており、自然共生社会を持続させるためには、小笠原をはじめとする島嶼地域本来の生態系を持続させる必要があることを示唆している。海洋島の生態系を再現する 2 タイプの数理モデル（現在の状態を再現することを重視して小笠原諸島生態系の物質循環を再現したモデル、生態系の成立過程（進化過程）を重視したモデル）を開発し、それぞれに基づいて外来種駆除のシミュレーションを行った。その結果、どちらのタイプのモデルでも、外来種駆除後に大きく生態系が変化し、駆除後にも在来種の絶滅が起こる可能性が示唆された。この結果は、外来種駆除後もモニタリングを継続し、生態系を適切に管理することが必要であることを示している。また、進化モデルは、島の生態系がどのように変化しうるのかを予測する能力が高く、保全策の選択肢を考慮する上で有効であると考えられる。小笠原固有の生態系を保全することが観光需要を維持して小笠原村の経済を維持することにつながる。小笠原村における自然共生社会実現のためには、域外保全の枠組みも合わせて、小笠原諸島本来の生態系を維持することが必要である。そのためには、一時的に自然再生事業を行うだけでなく、継続的にモニタリングを行い、不安定な環境条件を考慮に入れながら、必要に応じて適切な管理をすることが重要である。

2.5.3 河川と海のつながりを重視した流域生態系研究（サブテーマ 3）

2.5.3.1 目的と経緯

本課題では、河川上流、中流、下流の各地域で開発が進み、過度に人為的改変を受けた現在の流域生態系を全国からいくつか選び、河川と海との間の物質や生物の移動、そしてそれを支える生息環境のつながりに着目し、改変による回遊性魚類や汽水域生物への影響を評価しつつ、生物多様性保全と水資源・水産資源・防災・観光等各種生態系サービスとの相乗効果を含む共便益性やトレードオフ効果による背反性を整理し、その影響を回避あるいは緩和するための提言を行う。またそれにより流域生態系における生物多様性の保全と生態系サービスの持続的利用を目指す。

河川を分断するダムや堰などの河川横断工作物が森里川海とのつながりを奪い、サケ科魚類などの回遊魚へ与えた影響はきわめて大きい。ところが、ダム湖に閉じ込められ陸封された後も、ダム湖とその流入河川のみで生活史を完結し、降海せずとも世代交代できるよう適応したサケ科魚類の個体群が北海道や北半球の高緯度地域に見られる。日本最北の都市、稚内市を流れる声間川上流に 1980 年代に造られた北辰ダムには、ダム建設後に降海性を失い、ダム湖の中で世代交代を続ける陸封型のサケ科魚類イトウが生息する。イトウはサケと異なり産卵後も死ぬことがなく生涯に複数回産卵を繰り返すため、その寿命も長く (>20 年)、結果として日本最大の淡水魚と呼ばれるほど大型に成長する (>1.2メートル)。北海道には現在 11 河川水系に本種が生息するが、北辰ダムとさらにもう 2 つのダム湖（朱鞠内湖と金山ダ

ム湖)に陸封されたイトウ個体群は比較的生息数も多く、国内に残された数少ない安定個体群である。それゆえ、絶滅危惧 IB 類に指定された希少種イトウの保全を考えるうえで、ダム湖に陸封された個体群の存在は無視できない。北辰ダムでは毎春、イトウの産卵期に大型の成熟したイトウが数十尾、時には 100 尾を超える群をなして下流から遡上し、ダム放水口に集結するという不可解な現象が観察されている。ダムには魚道がなく高低差も大きい (32 m) ため、下流からダム貯水池に遡上し、産卵することは不可能である。これらのイトウは産卵期の約 2 週間をこの導流堤で過ごした後、5 月中旬には声間川下流、さらには海に下ってゆくものと推察される。ダム下流から河口に至る経路にはイトウの良好な産卵環境はほとんど存在しない。本項の目的は、北辰ダムに陸封されたイトウの生活史、特にその産卵回遊の実態を解明すること、また彼らの母川回帰性を定量的に評価すること、そしてダム放水口に集結するイトウが、実は稚魚のころにダムから海に下り、成熟したタイミングで産卵回帰した個体であるという仮説、すなわちダム建設後 40 年近く経過した今もイトウが降海性と母川回帰性の本能を失っていないとする仮説を検証することである。

河川の下流域では、淡水水資源の水質確保のため塩分遡上の防止、淡水水資源の水量確保、降水時における洪水防止等の防災効果等を目的とした河口堰が国内各所に設置されている。河口堰は河川最下流に位置する河川横断工作物であり、水質構造、底質構造、生物相の各分野で流域の森里川と海とのつながりを分断しかねない側面を備えている。瀬戸内海にそそぐ太田川は広島県最西端を最上流とし、広島県西部の複数の河川と合流しつつ政令市広島市の市街地を通過して広島湾に注ぐ、幹川流路 103km、流域面積 1,710km²の一級河川である。16 世紀に三角州の上に広島城が築城されて以降、当地では市街地の防災対策が懸案であり、20 世紀に入って第二次大戦を挟みながらも 30 年の年月をかけ 1968 年に市街地西端に沿った二本の派川を基に直線的に河道整備された太田川放水路が完成した。残された市内派川、西から天満川、本川 (旧太田川)、元安川、京橋川、猿猴川の 5 河川は分流したまま市街地を蛇行しながら流下している。太田川放水路と本川 (旧太田川) の分派点直下には洪水調整を目的とした 2 つの河口堰、大芝水門及び祇園水門が設置され淡水流量が制御されている。平常時、市内派川側の太田水門は全開とし、市内派川に約 9 割、放水路に約 1 割が分派されている。洪水時 (分派点直上の流量が約 400m³/s 以上) は、放水路側の祇園水門が開放され全流量の半分強を放水路に流下させる運用となっている。本項では水質構造の特徴としての塩分環境、底質構造の特徴として泥質域の分布状況に着目し潮汐変動が水質及び底質構造の形成に及ぼす影響を検討する。併せて生物相調査を実施して河口堰の存在が下流域における生物多様性に及ぼす影響を確認する。放水路の建設や河口堰の運用が流域と海における連結性へ及ぼす影響、地域の生物多様性と水資源、防災、水産といった生態系サービス間の相互関係を評価する。

陸域と海域の生態系を繋ぎ、我々日本人にとって伝統的にも非常に馴染みが深い魚種であるニホンウナギ。しかし現在、乱獲や生息域の劣化に加え森里川海とのつながりの脆弱化等がニホンウナギを絶滅の危機に追い込んでいる。本項の目的は、ニホンウナギの資源量の回復に加え、流域圏における生息適地と移動環境を保全・復元する事である。そして一連の活動の先には、ウナギ類を含む多くの絶滅危惧種の存在と人間の社会活動とがしなやかに調和した「自然共生社会」の実現を目指している。

2.5.3.2 方法

河川横断工作物がサケ科魚類などの回遊魚へ与えた影響探索に関する研究方法は以下の通りである。イトウの個体レベルの回遊履歴の再構築のため、耳石に蓄積したストロンチウムの安定同位体比 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) を解析した。そして個体群レベルの回遊行動の解明のため、受動無線周波標識 (passive integrated transponder、通称 PIT タグ) を用いた行動追跡を実施した。耳石サンプルは、北辰ダム流入河川、声間川支流、隣接する猿払川支流など 11 地点から採集したイトウ稚魚 (25 個体、年齢 1+、2+)、また河口周辺の海域で漁師が捕獲したイトウ成魚 (声間川 3 個体、猿払川 2 個体、年齢 9+から 25+) から摘出し、切断、研磨した試料をレーザーアブレーションの接続されたマルチコレクター型 ICP 質量分析計により分析し、成長に応じて変化する Sr 同位体比プロファイルを取得した。稚魚の耳石から計測した同位体比を基に線形判別関数を求め、稚魚の採集地点を逆推定し、その精度をジャックナイフ法により評価した。また得られた判別関数をイトウ成魚 (の同位体比) に適用し、これら海で捕獲された個体が誕生した河川、地域を推定した。バックグラウンド情報として声間川と猿払川流域の 30 地点から河川水を採取し、同じく Sr 同位体比を測定した。猿払川上流

に 2016～2018 年の期間に産卵遡上したイトウ親魚 123 尾を捕獲し、PIT タグを装着後、再放流した。2018～2019 年の 2 年間の繰り返し産卵率や同一支流への回帰率を推定した。合わせて、釣り人などからの情報提供を期待して、捕獲したすべてのイトウに外部標識（固有番号のついたプラスチック製のタグ）を装着し、ポスターを貼るなどして一般市民に協力を求めた。

河川下流域における流域と海との関係探索のための研究方法は以下の通りである。河口堰管理によって平時に淡水供給が制限されている広島県太田川放水路と淡水供給が豊富な太田川の市内派川の一つである京橋川の比較を行うため、水質構造が潮汐によって大きく変化する大潮時と影響が小さい小潮時に水質変動調査を行った。上流から下流にかけての 8 地点で多項目水質計を用いて塩分、濁度、水温等の鉛直分布を調査した。併せて 1970 年以降毎月 2 回、高潮時と低潮時に広島県によって監視されている塩素イオン濃度の時系列解析を行った。太田川放水路での観測地点は河口堰から約 5.3km 下流で海への接続地点からは約 3.7km 上流の旭橋、京橋川における観測地点は海への接続地点から同じく約 3.7km 上流の御幸橋を選んだ。底質構造の調査も太田川放水路と京橋川で実施した。太田川放水路の調査地点は分流点の祇園水門から河口までの 4 地点、京橋川では上流の分流点から下流の元安川との合流点までの 6 地点とした。干出中の干潟汀線付近の表層（約 5cm 層）を採取し混合試料とした。クロロフィル量の試料は別途表層 1cm 層を採取した。試料採取は 1 地点 3 か所で実施した。泥温、酸化還元電位等は現地で干潟表面から 5cm 程度の深度で測定した。採取試料は実験室にて含水率、強熱減量（IL）、粒度分布、硫化物、全有機炭素（TOC）、全窒素（TN）及びクロロフィルを測定した。含水率、IL、TOC 及び TN は底質調査方法に従い測定した。クロロフィルは Lorenzen の方法によりクロロフィル a とその分解生成物であるフェオフィチンをそれぞれ測定した。底生生物相調査は太田川放水路 4 地点と京橋川 4 地点に加えて、分流地点の河口堰に隣接する上流側においても実施した。調査は夏季の大潮最干潮時の汀線付近で行い、25cm 四方のハンドマッキン採泥器（採集面積：0.125m²）で 1 地点 2 回採集した。

流域圏におけるニホンウナギ資源回復のための研究方法は主に次の 3 点である。1) ニホンウナギの生息状況に関する最新の実態把握と有効なモニタリング技術の確立。2) 資源量の減少要因の分析と具体的な適応策の検討。3) 先の二つの知見を基礎とした流域生態系の保全・復元のための具体的な施策提言。1) の生息実態把握においては、既存の魚類調査データ（自然環境基礎調査（環境省）、河川環境データベース（旧；水辺の国勢調査、国土交通省））に加え、新たに環境 DNA 分析の結果を統合化し GIS データベースを拡充した。これらのオリジナルデータには位置情報の他、調査年月日が記録されており、その情報を基にウナギ生息状況の時空間的な変化を解析した。具体的には GIS を用いて全捕獲データを 2 次元的に地図化し、捕獲年別に生息の有無を分離した（1910～1990 年 vs 1991～2002 年）。この結果、日本全体のウナギがいつからどの地域で捕獲されなくなったのか、時空間的に解明する事が可能となった。2) の資源量の減少要因の解明では、環境 DNA 分析による調査結果を順次追加する事で淡水魚類データベースを拡充し、ニホンウナギのみならず他の水生生物に関しても存在（又は不在）確率の高い地点を検出した。更に既存の魚類調査結果（1991～2001 年）と環境 DNA 分析結果（2017～2019）を比較し、この期間内で生息情報が消滅した地点を特定し、これらの地点を 2 次元的に GIS 上で可視化し、生息地の劣化地点として対応策を検討した。

2.5.3.3 結果と考察

北海道の声間川と猿払川から採集したイトウ稚魚は、ストロンチウム同位体比を基に 88% の個体が採集地域に正しく判別され、推定した判別関数の精度が十分に高いことが示された。北辰ダム流入河川で捕獲したイトウ稚魚はすべてがダム湖に陸封されたイトウの親から生まれたこと、一方で声間川の支流と猿払川で捕獲した稚魚は海で成熟した親から生まれたことが、同位体比プロファイルから明確に示された。そして声間川河口付近で捕獲された 3 尾のイトウのうち 2 尾（年齢 9+、11+）が、判別関数分析により北辰ダム上流で生まれた個体であると判断された。つまりダム湖のイトウ個体群は従来考えられていたように完全に陸封されておらず、一部が海に下り成長していると考えられる。2018 年に PIT タグを装着したイトウは 105 尾であり、そのうち 73 尾が翌 2019 年に産卵遡上を繰り返した。この繰り返し回帰率（69.5%）は他のサケ科魚類にも例がないほど高い値であった。支流ごとの回帰率も 50～87% となり（図 81）、イトウが極めて高い精度の母川回帰性を持つサケ科魚類であることが示唆された。繰り返し回帰率は、大型のメス、また

前年の春により多くの支流で産卵した親魚（産卵河川をよく知る親魚）で高かった。この事実は、サケ科魚類の母川回帰が稚魚期のみの「嗅覚による刷り込み」によって説明されるとする定説に一石を投じるものである。一方、支流ごとの母川回帰率は、より多くの個体が遡上した支流で高かったことから、もうひとつの有力仮説であるフェロモン仮説を支持した。全123尾の標識魚のうち16尾がその後、河口付近で再捕獲されたとの釣り人による情報提供があった。多くの個体が産卵後間もない5～6月に釣獲されたこと、また半数の8尾は釣獲された翌年あるいは翌々年に再び産卵を行ったことがわかった。

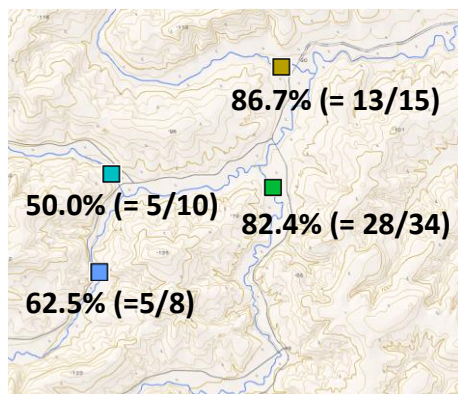


図 81 イトウによる支流ごとの母川回帰率（繰返し産卵率）。

カッコの中は 2018 年に遡上したイトウの個体（分母）のうち 2019 年に再び遡上した個体数（分子）

以上、北辰ダム湖に生息するイトウの一部が降海すること（耳石の Sr 同位体比分析）、そしてイトウにきわめて高い母川回帰性のあること（PIT タグ）を合わせて考えると、北辰ダム下流の放水口に毎年集結するイトウは、産卵のため海から母川回帰した親魚が、魚道の無いダムに行く手を阻まれ立ち往生している個体であると結論できる（図 82）。強い降海性と母川回帰性を有する個体（遺伝子）が何世代にもわたり選択的にダム湖から失われてゆくことは、北海道の数少ない安定個体群である北辰ダムのイトウの将来を考える上できわめて憂慮すべき事象である。

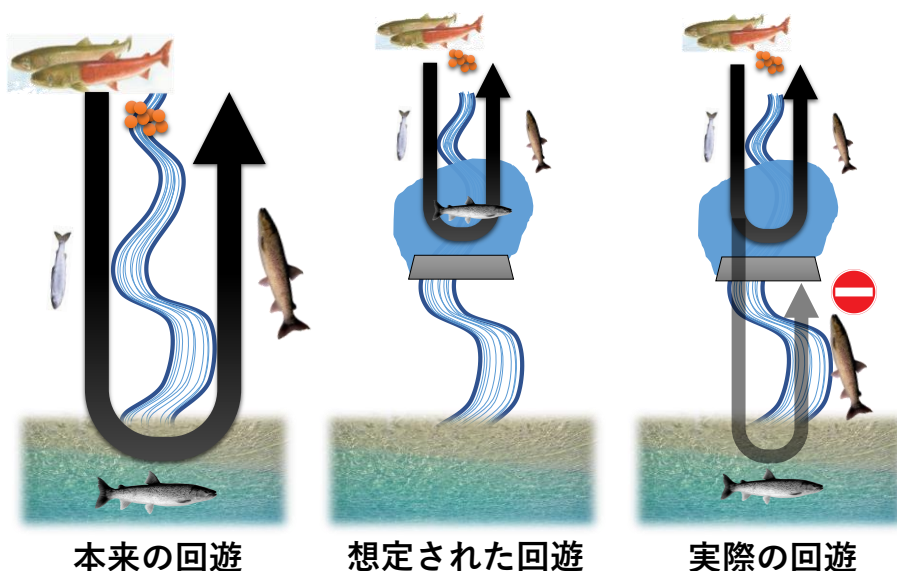
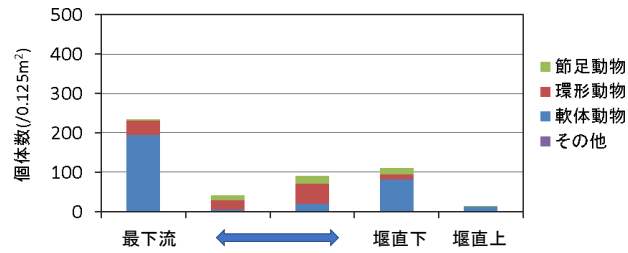
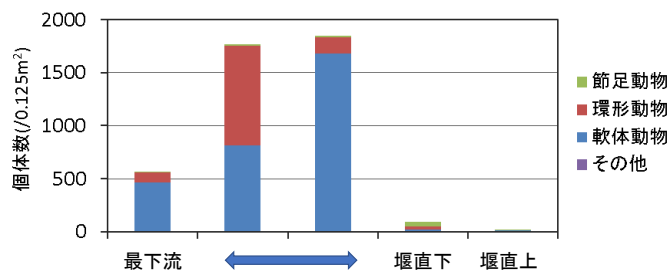


図 82 ダム建設前の本来の回遊（左）、ダムによる陸封で想定された回遊（中）、本研究から分かった実際の回遊（右）

広島県の京橋川では河口から塩水楔が観測され、底層を高塩分水が遡上する縦断分布が確認された。河口干潟の塩分は潮位と河川流量によって制御されており、平常時には潮汐の干満に応じて海水と淡水が流出入し、出水時には潮汐に関わらず常時淡水で満たされた。塩分変動は上流と下流のいずれも 0 から約 30psu まで大きく変化したが、堰直下の干潟は低塩分水に、河口に近い干潟は高塩分水に覆われる頻度が相対的に高かった。対して太田川放水路の河口干潟では、平常時の堰直下では京橋川と同様に潮汐と河川流量の影響を受け干潟直上水の塩分濃度は大きく変動したが、河口干潟はほぼ海水で満たされ、干潮時にのみ断続的に流入淡水の影響が検出される程度であった。出水時には祇園水門が全開となり、放水路から塩水は海に放出され流下した淡水で満たされていた。濁度については水柱の深浅に関わらず塩水楔の先端部が高く、海水淡水の混合に伴う懸濁物のフロック化が認められた。干潮時には淡水流下が卓越し、河口側を中心に高濁度水の集積が検出された。小潮時は干潮であっても河道に海水が残留するため河口側での高濁度水集積は検出されなかった。太田川放水路と京橋川における底質構造は、こういった粒径の小さい泥分の挙動と物理的攪乱の影響を反映したものになっていた。放水路では陸域からの有機物供給が少ない上に出水時の開門による物理的攪乱で堰直下から河口まで底質の有機物や栄養塩濃度は一様に低く、全域で酸化的な砂質干潟が形成されていた。一方、京橋川では平常時に感潮域が形成され、上流から下流に砂質から泥質へと底質が順に変化し、下流域には有機物や栄養塩類が極大となる集積場が存在し還元的な泥質干潟が形成されていた。底質の C/N 比分析結果から、放水路では全域に新鮮な有機物が堆積していること、市内派川では上流で主として新鮮な有機物、中～下流域では C/N 比が大きい陸域起源あるいは植物プランクトン起源でも十分に分解の進んだ底質が泥質となって堆積していることが推測され、炭素貯留ポテンシャルが高いことが明らかになった。底生生物相については、感潮域が形成される京橋川では海水種・汽水種が共存したものの全体に個体数密度が低かった（図 81）。最下流のやや手前でヤマトオサガニ、ニホンドロソコエビといった泥場を好む種が、堰直下ではヤマトシジミが優占した。一方、平時に淡水供給が少なく砂地が広がる太田川放水路の干潟には広域でホトギスガイ、マテガイ、アサリ、コケゴカイなどの主に海水種が優占し個体数も極めて多かった。一方、堰の直上直下では個体数も極めて少なく汽水種ヤマトシジミについてもごくわずかに出現が確認されたのみであった（図 83）。



	最下流	堰直下	堰直上
1	マテガイ (99)	イトゴカイ (11)	ケヤリムシ (28)
2	ホトトギスガイ (71)	ヤマトオサガニ (4)	ムロミスナウミ ナナフシ(19)
3	コケゴカイ (18)	ニホンドロソコエビ(4)	イトゴカイ (16)



	最下流	堰直下	堰直上
1	ホトトギスガイ (184)	コケゴカイ (864)	ホトトギスガイ (1452)
2	マテガイ (152)	ホトトギスガイ (642)	オチバガイ (173)
3	コケゴカイ (82)	マテガイ (73)	コケゴカイ (145)

図 83 上は京橋川、下は太田川放水路で確認された底生生物。

グラフは個体数密度、表は優占3種、カッコ内は個体数密度。調査地点はグラフ及び表の右から河口堰直上、河口堰直下、市内を流下する二点を経て左が河川最下流に位置する干潟。

以上のように河口堰の有無が潮汐変動に伴う水質構造、底質構造、生物分布の特性に大きく影響していることを明らかにした。さらに、太田川放水路と京橋川における塩分濃度の長期変動を検討したところ、年平均値には明瞭な変動傾向が得られなかったが、京橋川の御幸橋では低潮時の年平均値が大幅に上昇していた。このことは低潮時に市内派川から海水が吐出しきれずに河道に滞留していることを示しており河床高の上昇現象ともよく一致した。他方、攪乱によって河床高が維持されていると推測される放水路では市内派川ほど変化は大きくなかった。市内派川では当該期間の7～9月に、放水路では8～9月に塩素イオン濃度が長期的に明瞭に低下し、気候変動等に伴う降雨出水増加の影響と市内派川への影響がより大きいことを明らかにした。

図 84 は全国のニホンウナギ生息地の時空間変化であり、淡水魚類調査地点の中からニホンウナギが捕獲された地点を選択し地図化したものである。ニホンウナギが捕獲された全地点を黄色の丸印で示し、次に 1991～2001 年までに生息が確認された地点については緑の丸印を重ねて表示した。淡い緑は自然環境保全基礎調査のニホンウナギの生息地点、濃い緑は河川環境データベースの生息地点である。つまり地図中の黄色のポイントで示した場所がニホンウナギ生息地の主な減少地域である。これらの場所は何らかの理由で生息環境が変化し、特に 1991 年以降ニホンウナギの生息適地（環境条件）が喪失したと考えられる。ここで二つのデータの境界の年を 1990 年とした根拠は IUCN カテゴリー決定におけるニホンウナギの 3 世代時間を約 30 年と想定した為である。

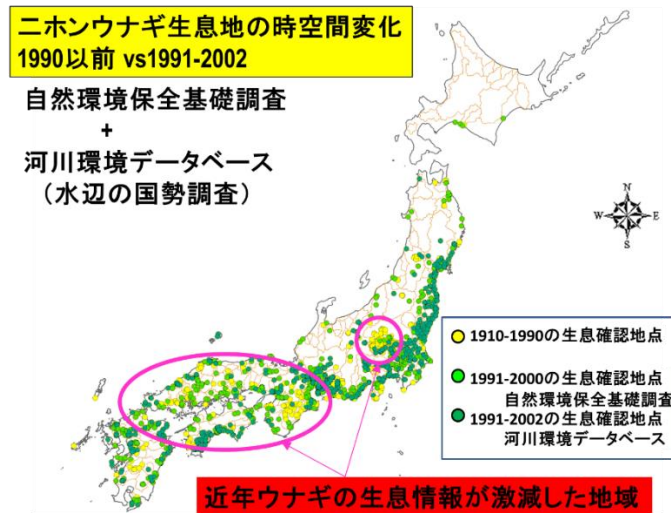


図 84 全国を対象としたニホンウナギ生息地の時空間変化。1990 年以前と 1991～2002 年の生息地情報の比較

図 85 に本サブプロジェクトの結果として作成された、瀬戸内海地域におけるニホンウナギの生息地点の地評価地図を示す。同様に淡い緑と濃い緑の地点は自然環境保全基礎調査（1991～2000 年）と河川水辺の国勢調査（1991～2002 年）におけるニホンウナギの生息地点である。

更にこの地図では、環境 DNA による解析結果（在/不在）を、上記の実際の野外調査結果に重ねている。赤い地点は環境 DNA 分析の結果において「陽性=在」を示した地点である。つまりそれらの地点では、2017～2019 年の調査期間にニホンウナギが生息していた可能性が高い。一方逆に、赤枠のみの地点は、環境 DNA 分析において陰性（=不在の可能性が非常に高い）であった場所である。これらの結果から、我々は赤い枠で囲まれた緑（淡い緑と濃い緑）の地点が何らかの要因で近年ニホンウナギの生息地環境が劣化した場所であると判断した。

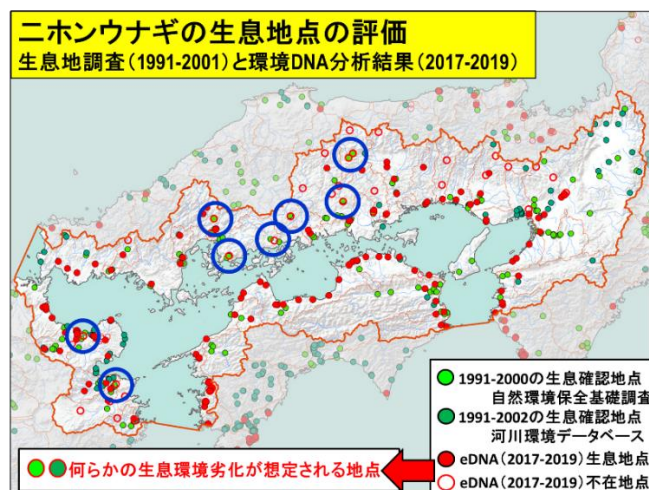


図 85 瀬戸内海流入流域圏を対象としたニホンウナギの生息地点の評価。生息地調査（1991～2001 年）と環境 DNA 分析結果（2017～2019 年）の比較

2.5.3.4 まとめ

本課題では、河川上流、中流、下流の各地域で河川横断工作物等の設置による人為的改変を受けた流域生態系として、北辰ダムが設置された北海道声間川流域、放水路整備と河口堰管理が行われている広島県太田川流域、そしてニホンウナギの生息適地と移動環境となる国内各所の流域圏を選び、河川と海との間の物質や生物の移動、そしてそれを支える生息環境のつながりに着目し、改変による回遊性魚類や汽水域生物への影響を評価した。

絶滅危惧種イトウの行動に関する研究を通じて、ほとんど知られてこなかった回遊生態の一部が解明された。また市内市民の飲料水源で、これまでイトウの聖域として知られていた北辰ダムが、本種の供給源となり声間川流域のメタ個体群構造を下支えしている可能性が示された。しかし、魚道のない北辰ダムからはこれまで40年近くにわたり本種が、中でも降海性を司る遺伝子を持つ個体が選択的に淘汰され続けてきたことが研究から示唆されている。飲料水源という生態系サービスの持続的利用と、北海道を代表する希少種イトウの保全とを両立させるダム湖管理、河川管理を関係機関とともに模索する必要があることを明らかにした。

太田川放水路と市内派川における水質構造、底質構造と生物種分布に関する調査、研究を通じて、水害防止のために作成された放水路が、埋立で失われて続けてきた砂質沿岸を河岸に再形成したことで太田川河口域全体における生物多様性の保全と回復に貢献していること、併せて市内中心部を流下するにもかかわらず蛇行河川が市内派川として現在でも保持される一因となっていることを明らかにした。その結果、広島市の太田川デルタを対象とした「水の都整備構想」による社会基盤整備がなされており、こうした効果は社会に広く周知する必要がある。一方で改変度の低い市内派川は、気候変動に伴う海面上昇や出水増加の影響をその水質構造に顕著に現しており、汽水性生物であるシジミ等有用種から得られる生態系サービスは大きな負の影響を受ける。今後は河口堰の運用方法や新たな水産資源の開発も必要となることが予想された。

ニホンウナギが海洋生態系と陸域生態系の2つの異なる系を利用する以上、その両生態系の健全性がニホンウナギの生活史全体の保全に必要であることは明白である。今回我々は魚類の生息データや流域圏の環境要因を用いた時空間的な生息地評価を行い、ウナギ生息地の広域的な時空間的変容の把握を行った。環境DNA分析は特に夜行性生物を対象としたモニタリング等に非常に有効なツールであり、ニホンウナギのみならず過去に捕獲困難であった絶滅危惧種についても生息環境を検出することが可能となった。この結果、淡水魚類全体の種多様性の評価が高度化された。環境DNA分析という高感度の現地調査技術を応用した結果、複数の地点で絶滅危惧種の在/不在情報が得られたが、個々の生息地の劣化要因は複合的であり、現時点で、要因を一般化する事は非常に困難である。しかし、河川横断構造物等による移動障害に加え、水質の汚染、河畔林や隠れ家等の生息地の消滅、餌生物の資源枯渇等の要因は無視できない状況にあると考えられる。ここで我々が再認識すべきは、「個々のケーススタディにおいて因果関係が完全に証明されるまで対応策を講じない（行動を先延ばしする）」という判断は、将来的に不可逆的な過ちを招く可能性が非常に高い。」という事である。これらを踏まえ、生息地劣化地点において継続的にモニタリングを行い、要因の解明と生息地復元策の検討を継続的に行うことが必要である。

引用文献

- 1) Nishijima S., Furukawa T., Kadoya T., Ishihama F., Kastner T., Matsuda H., Kaneko N. (2016) Evaluating the impacts of wood production and trade on bird extinction risks. *Ecological Indicators*, 71, 368-376.
- 2) Sugimoto N., Fukasawa K., Asahara A., Kasada M., Matsuba M., Miyashita T. (2021) Hierarchical trait-based model reveals positive and negative effects of land abandonment on butterfly communities across climatic regions in Japan. *BioRxiv*. doi: <https://doi.org/10.1101/2021.05.16.444370>
- 3) Ohashi H., Fukasawa K., Ariga T., Matsui T., Hijioka Y. (2019) High-resolution national land use scenarios under a shrinking population in Japan. *Transactions in GIS*, 23, 786-804
- 4) Yoshioka A., Fukasawa K., Mishima Y., Sasaki K., Kadoya T. (2017) Ecological dissimilarity among land-use/land-cover types improves a heterogeneity index for predicting biodiversity in agricultural landscapes. *Ambio*, 46(8), 894-906
- 5) Fujita T., Ariga T., Ohashi H., Hijioka Y., Fukasawa K. (2019) Assessing the potential impacts of climate and population change on land-use changes projected to 2100 in Japan. *Climate Research*, 79(2), 139-149

- 6) Dainese M., Martin E.A., Aizen M.A., Albrecht M., Bartomeus I., Bommarco R., Carvalheiro L.G., Kramer R.C., Gagic V., Garibaldi L.A., Ghazoul J., Grab H., Jonsson M., Karp D.S., Kennedy C.M., Kleijn D., Kremen C., Landis D.A., Letourneau D.K., Marini L., Poveda K., Rader R., Smith H.G., Tschamtk T., Andersson G.S., Badenhausser I., Baensch S., Bezerra A.D.M., Bianchi F.J.J.A., Boreux V., Bretagnolle V., Lopez B.C., Cavigliasso P., Cetkovic A., Chacoff N.P., Classen A., Cusser S., Silva F.D.da.S., Groot G.A.de., Dudenhoffer J.H., Ekroos J., Fijen T., Franck P., Freitas F.D.da.S., Garratt M.P.D., Gratton C., Hipolito J., Holzschuh A., Hunt L., Iverson A.L., Jha S., Keasar T., Kim T.N., Kishinevsky M., Klatt B.K., Klein A.M., Krishnan S., Larsen A.E., Lavigne C., Liere H., Maas B., Mallinger R.E., Pachon E.M., Salinas A.M., Meehan T.D., Mitchell M.G.E., Molina G.A.R., Nesper M., Nilsson L., O'Rourke M.B., Peters M.K., Plecas M., Potts S.G., Ramos D.de.L., Rosenheim J.A., Rundlof M., Rusch A., Saez A., Scheper J., Schleunig M., Schmack J.M., Sciligo A.R., Seymour C., Stanley D.A., Stewart R., Stout J.C., Sutter L., Takada M.B., Taki H., Tamburini G., Tschumi M., Viana B.F., Westphal C., Willcox B.K., Wratten S.D., Yoshioka A., Trello C.Z., Zhang W., Zou Y., Dewenter I.S. (2019) A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5 (10)
- 7) 大橋春香, 深澤圭太, 有賀敏典, 松井哲哉, 脇岡靖明 (2017) 人口減少社会に向けたシナリオアプローチ: ニホンジカの分布拡大問題を事例として. *野生生物と社会*, 5(1), 41-46
- 8) Hata A., Takada M. B., Nakashita R., Fukasawa K., Oshida T., Ishibashi Y., Sato Y. (2017) Stable isotope and DNA analyses reveal the spatial distribution of crop-foraging brown bears. *Journal of Zoology*, 303(3), 207-217
- 9) Goka K. (2010) How to prevent invasion, bio-security measures, and mitigation of impact. *OIE Scientific and Technical Review*, 29, 299-310
- 10) Mizutani T., K. Goka (2010) Japan's Invasive Alien Species Act. *Applied Entomology and Zoology*, 45, 65-69
- 11) Tomizawa M, Casida JE (2003) Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. *Annu Rev Entomol.*, 48, 339-64
- 12) European Court of Auditors (2020) Specila report: Protection of wild pollinators in the EU - Commission initiatives have not borne fruit. <https://www.eca.europa.eu/en/Pages/DocItem.aspx?did=54200>
- 13) 上田哲行, 神宮宇寛 (2013) アキアカネに何が起こったのか: 育苗箱施用浸透性殺虫剤のインパクト. *TOMBO*, 55, 1-12
- 14) Sánchez-Bayo F, Goka K (2006) Ecological effects of the insecticide imidacloprid and a pollutant from antidandruff shampoo in experimental rice fields. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25, 1677-1687
- 15) Cleaveland S., Laurenson M. K., Taylor L. H. (2001) Diseases of humans and their domestic mammals: pathogen characteristics, host range and the risk of emergence. *Phil. Trans. R Soc. Lond. B.*, 356, 991-999
- 16) Vourc'h G., Plantard O., Morand S. (2012) Chapter 13: How does biodiversity influence the ecology of infectious disease? In: *New Frontiers of Molecular Epidemiology of Infectious Diseases* (ed. S. Morand et al.), pp. 291-309, Springer Science+Business Media, Berlin
- 17) Allen T., Murray K. A., Zambrana-Torrel C., Morse S. S., Rondinini C., Marco M. D., Breit N., Olival K. J., Daszak P. (2017) Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. *Nat. Comm.*, 8, 1124, DOI: 10.1038/s41467-017-00923-8
- 18) 五箇公一 (2020) 人獣共通感染症の生態学的アプローチ～生物多様性の観点から感染症リスクを考える. *Med. Entomol. Zool.*, 71, 161-170
- 19) Miya M., Sato Y., Fukunaga T., Sado T., Poulsen J. Y., Sato K., Minamoto T., Yamamoto S., Yamanaka H., Araki H., Kondoh M., Iwasaki W. (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(7), 150088
- 20) Tanabe A. S., 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(10), e76910
- 21) Yamanaka H., Minamoto T., Matsuura J., Sakurai S., Tsuji S., Motozawa H., Hongo M., Sogo Y., Nakimi N., Teramura I., Sugita M., Baba M., Kondo A. (2017) A simple method for preserving environmental DNA in water samples at ambient temperature by addition of cationic surfactant. *Limnology*, 18(2), 233-241

- 22) Verhoeven J. T., Arheimer B., Yin C., Hefting M. M. (2006) Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends in ecology & evolution*, 21(2), 96-103
- 23) Costanza R., De Groot R., Sutton P., Van der Ploeg S., Anderson S. J., Kubiszewski I., Farber S., Turner R. K. (2014) Changes in the global value of ecosystem services. *Global environmental change*, 26, 152-158
- 24) 吉田圭一郎, 飯島慈裕, 岩下広和, 岡秀一. (2002) 水文気候条件からみた小笠原諸島父島における乾性低木林の立地環境. *地学雑誌*, 111, 711-725
- 25) 吉田圭一郎, 岩下広和, 飯島慈裕, 岡秀一. (2006) 小笠原諸島父島における 20 世紀中の水文気候環境の変化. *地理学評論*, 79, 516-526
- 26) 吉田圭一郎, 飯島慈裕. (2009) 小笠原諸島における最近 10 年間の水文気候環境. *陸水学雑誌*, 70, 13-20
- 27) Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek R. (1994) DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3, 294-299
- 28) Leray M., Yang J. Y., Meyer C. P., Mills S. C., Agudelo N., Ranwez V., Boehm J., Machida R. J. (2013) A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. *Frontiers in Zoology*, 10, 34
- 29) 松山洋 (2018) 37 年ぶりの大渇水 -小笠原諸島父島における 2016~2017 年の少雨について-. *地学雑誌*, 127, 1-19
- 30) 荻部治紀, 武田俊介, 筒井浩俊, 永野裕, 小山田佑輔, 戸田光彦 (2019) 小笠原諸島における 2016-2017 年の大干ばつが固有昆虫にもたらした影響 —固有トンボ類、固有甲虫類、固有半翅類のモニタリングデータから—. *小笠原研究年報*, 42, 31-43
- 31) Tani T., Eitsuka T., Katayama M., Nagamine T., Nakaya Y., Suzuki H., Kiyono T., Nakagawa K., Inoue-Murayama M., Onuma M., Fukuda T. (2020) Establishment of immortalized primary cell from the critically endangered Bonin flying fox (*Pteropus pselaphon*). *PLoS ONE*, 14, 8, e0221364
- 32) Kubo T., Mieno T., Kuriyama K. (2019) Wildlife viewing: the impact of money-back guarantees. *Tourism Management*, 70, 49-55
- 33) Honjo K., Kubo T. (2020) Social Dilemmas in Nature-Based Tourism Depend on Social Value Orientations. *Scientific Reports* 10, 3730

[資 料]

1 研究の組織と研究課題の構成

1.1 研究の組織

[A 研究担当者]

生物・生態系環境研究センター	山野博哉 佐竹 潔 廣木幹也 多田 満 戸津久美子 二宮英美 角 真耶
生物多様性評価・予測研究室	竹中明夫*) 角谷 拓 石濱史子 竹内やよい 深澤圭太 小林慶子*) 深谷肇一
生態リスク評価・対策研究室	五箇公一 大沼学 坂本佳子 坂本洋典 池上真木彦 片山雅史
環境ストレス機構研究室	青野光子 井上智美 赤路康朗 佐治 光 唐 艶鴻*) 佐治章子
生態系機能評価研究室	趙 学群 福島路生 亀山 哲 矢部 徹 野原精一 シンキラト
生物多様性保全計画研究室	小熊宏之 吉田勝彦 久保雄広
生物多様性資源保全研究推進室	上野隆平 松崎慎一郎 山口晴代

環境ゲノム科学研究推進室	今藤夏子 安藤温子
琵琶湖分室	高村典子 ^{*)}
資源循環・廃棄物研究センター	南齋規介 中島謙一
環境リスク・健康研究センター	林 岳彦 横溝裕行
地球環境研究センター	三枝信子 伊藤昭彦
地域環境研究センター	高津文人 小松一弘
社会環境システム研究センター	渡邊未来 岡川 梓
福島支部	須賀伸介 林 誠二
	玉置雅紀 吉岡明良
気候変動適応センター	熊谷直喜 藤田知弘

(注) 所属・役職は年度終了時点のもの。また、^{*)}印は過去に所属していた職員等を示す。

1.2 研究課題と担当者

プロジェクト1 人間活動と生物多様性・生態系の相互作用に基づく保全戦略

角谷 拓、深澤圭太、竹内やよい、小林慶子、深谷肇一、南齋規介、中島謙一、吉岡明良、藤田知弘

プロジェクト2 生物多様性に対する人為的環境攪乱要因の影響と管理戦略

五箇公一、大沼 学、坂本佳子、坂本洋典、池上真木彦、片山雅史、林 岳彦

プロジェクト3 広域環境変動に対する生物・生態系応答機構解明と適応戦略

井上智美、青野光子、赤路康朗、佐治 光、唐 艶鴻、佐治章子、趙 学群、山野博哉、熊谷直喜、伊藤昭彦、玉置雅紀

プロジェクト4 生物多様性の統合評価および保全ツール開発

石濱史子、竹中明夫、小熊宏之、横溝裕行

プロジェクト5 生態系機能・サービスの評価と持続的利用

山野博哉、亀山 哲、矢部徹、野原精一、シンキラト、吉田勝彦、久保雄広、上野隆平、松崎慎一郎、山口晴代、今藤夏子、安藤温子、三枝信子、高津文人、小松一弘、渡邊未来、岡川 梓、林 誠二

2 研究成果発表一覧

2.1 誌上発表

<雑誌>

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

- Abe H., Suzuki H., Kumagai N., Yamano H. (2020) Distribution gradient of fucoid algae (Sargassaceae, Phaeophyta) along the coastline of Okinawa Island, southern Japan: relationship to environmental factors. *Regional Studies in Marine Science*, 40 (10)526
- Ahn H., Kume M., Terashima Y., Feng Y., Kameyama S., Miya M., Yamashita Y., Kasai A. (2020) Evaluation of fish biodiversity in estuaries using environmental DNA metabarcoding. *PLOS ONE*, 15 (10), e0231127
- Ahn H., Kume M., Terashima Y., Ye F., Kameyama S., Miya M., Yamashita Y., Kasai A. (2020) Evaluation of biodiversity in estuaries using environmental DNA metabarcoding. *bioRxiv*, 1-31
- Akaji Y., Fujiyoshi K., Wu C., Hattori I., Hirobe M., Sakamoto K. (2019) Survival and recruitment of *Sasa kurilensis* culms in response to local light conditions in a cool temperate forest. *Journal of Forest Research*, 24 (6), 365-370
- Akaji Y., Inoue T., Tomimatsu H., Kawanishi A. (2019) Photosynthesis, respiration, and growth patterns of *Rhizophora stylosa* seedlings in relation to growth temperature. *Trees - Structure and Function*, 33 (4), 1041-1049
- Akasaka M., Kadoya T., Ishihama F., Fujita T., Fuller R.A. (2017) Smart protected area placement decelerates biodiversity loss: a representation-extinction feedback leads rare species to extinction. *Conservation Letters*, 10 (5), 539-546
- 雨谷教弘, 金子正美 (2018) 大雪山五色ヶ原におけるチシマザサ拡大域の地形的特徴の解析と潜在的に拡大しやすい立地の抽出. *日本リモートセンシング学会誌*, 38 (4), 337-343
- Amagai Y., Kudo G. (2019) Responses of photochemical efficiency and shoot growth of alpine dwarf-pine *Pinus pumila* to experimental warming, shading, and defoliation in Japan. *Alpine Botany*, 129 (1), 43-52
- Amagai Y., Kudo G., Sato K. (2018) Changes in alpine plant communities under climate change: Dynamics of snow-meadow vegetation in northern Japan over the last 40 years. *Applied Vegetation Science*, 1-11
- An S., Zhu X., Shen M., Wang Y., Cao R., Chen X., Yang W., Chen J., Tang Y. (2018) Mismatch in elevational shifts between satellite observed vegetation greenness and temperature isolines during 2000–2016 on the Tibetan Plateau. *Global Change Biology*, 24, 5411-5425.
- Ando H., Tsuda Y., Kaneko S., Kubo T. (2018) Historical and Recent Impacts on Genetic Structure of an Island Rabbit. *Journal of Wildlife Management*,
- Andréfouët S., Payri C., Van Wynsberge S., Lauret O., Alefaio S., Preston G., Yamano H., Baudel S. (2017) The timing and the scale of the proliferation of *Sargassum polycystum* in Funafuti Atoll, Tuvalu. *Journal of Applied Phycology*, 29, 3097-3108
- 青野光子 (2017) For your lifework 「生物」「生命」を研究・育成する施設から読者の皆さんへのメッセージ: 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター[Vol.2]. *生物の科学遺産*, 71(4), 388
- Chaiyapa W., Esteban M., Kameyama Y. (2018) Why go green? Discourse analysis of motivations for Thailand's oil and gas companies to invest in renewable energy. *Energy Policy*, 120, 448-459
- Chan E.W.C., Baba S., Chan H.T., Kainuma M., Inoue T., Wong S.K. (2017) Ulam herbs: A review on the medicinal properties of *Anacardium occidentale* and *Barringtonia racemosa*. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7 (2), 241-247
- Chan E.W.C., Tangah J., Baba S., Chan H.T., Kainuma M., Inoue T. (2018) *Caesalpinia crista*: A coastal woody climber with promising therapeutic values. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 8 (3), 133-140
- Chan E.W.C., Tangah J., Inoue T., Kainuma M., baba K., Oshiro N., Kezuka M., Kimura N. (2017) Botany, Uses, Chemistry and Pharmacology of *Ficus microcarpa*: A Short Review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8 (1), 103-111
- Chen J., Rao Y., Shen M., Wang C., Zhou Y., Ma L., Tang Y., Yang X. (2016) A Simple Method for Detecting Phenological Change

From Time Series of Vegetation Index. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54, 3436-3449.

Chen R., Shimono A., Aono M., Nakajima N., Osawa R., Yoshioka Y. (2020) Genetic diversity and population structure of feral rapeseed (*Brassica napus* L.) in Japan. *PLOS ONE*, 15 (1), e0227990

Chen Z., Zhang X., Liu X., Zhang L., Tang Y., Du M., Gu S. (2018) Responses of net ecosystem carbon exchange to diffuse radiation in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Ying yong sheng tai xue bao = The journal of applied ecology / Zhongguo sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban*, 29, 1829-1838.

Dainese M., Martin E.A., Aizen M.A., Albrecht M., Bartomeus I., Bommarco R., Carvalheiro L.G., Kramer R.C., Gagic V., Garibaldi L.A., Ghazoul J., Grab H., Jonsson M., Karp D.S., Kennedy C.M., Kleijn D., Kremen C., Landis D.A., Letourneau D.K., Marini L., Poveda K., Rader R., Smith H.G., Tschamtker T., Andersson G.S., Badenhauer I., Baensch S., Bezerra A.D.M., Bianchi F.J.J.A., Boreux V., Bretagnolle V., Lopez B.C., Cavigliasso P., Cetkovic A., Chacoff N.P., Classen A., Cusser S., Silva F.D.da.S., Groot G.A.de., Dudenhofer J.H., Ekroos J., Fijen T., Franck P., Freitas F.D.da.S., Garratt M.P.D., Gratton C., Hipolito J., Holzschuh A., Hunt L., Iverson A.L., Jha S., Keasar T., Kim T.N., Kishinevsky M., Klatt B.K., Klein A.M., Krishnan S., Larsen A.E., Lavigne C., Liere H., Maas B., Mallinger R.E., Pachon E.M., Salinas A.M., Meehan T.D., Mitchell M.G.E., Molina G.A.R., Nesper M., Nilsson L., O'Rourke M.B., Peters M.K., Plecas M., Potts S.G., Ramos D.de.L., Rosenheim J.A., Rundlof M., Rusch A., Saez A., Scheper J., Schleuning M., Schmack J.M., Sciligo A.R., Seymour C., Stanley D.A., Stewart R., Stout J.C., Sutter L., Takada M.B., Taki H., Tamburini G., Tschumi M., Viana B.F., Westphal C., Willcox B.K., Wratten S.D., Yoshioka A., Trello C.Z., Zhang W., Zou Y., Dewenter I.S. (2019) A global synthesis reveals biodiversity-mediated benefits for crop production. *Science Advances*, 5 (10)

Dinh T.T., Kajikawa C., Akaji Y., Yamada K., Matsumoto T.K., Makimoto T., Miki N.H., Hirobe M., Sakamoto K. (2019) Stump sprout dynamics of *Quercus serrata* Thunb. and *Q. acutissima* Carruth. four years after cutting in an abandoned coppice forest in western Japan. *Forest Ecology and Management*, 435, 45-56

Du M., Li Y., Zhang F., Zhao L., Li H., Gu S., Yonemura S., Tang Y. (2021) Characteristics and scenarios projection of NEE change in an alpine meadow on the Tibetan Plateau. *International Journal of Global Warming*, 24, 307-325.

Du M., Li Y., Zhang F., Zhao L., Li H., Niu B., He Y., Zhang X., Liu J., Yonemura S., et al. (2018) Recent changes of climate and livestock productions on the Tibetan Plateau and in situ observations of NEE. *沙漠研究*, 28, 139-142.

Du M., Liu J., Li Y., Zhang F., Zhao L., Niu B., He Y., Zhang X., Yonemura S., Tang Y. (2019) Are high altitudinal regions warming faster than lower elevations on the Tibetan Plateau? *International Journal of Global Warming*, 18, 363-384.

Du M., Liu J., Zhang X., Li Y., Tang Y. (2017) Spatial distributions of surface-air-temperature on the Tibetan Plateau and its recent changes. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY and ENVIRONMENT*, 11, 88-93.

Duvat V.K.E., Magnan, A.K., Wise R.M., Hay J.E., Fazey I., Hinkel J., Stojanovic T., Yamano H., Ballu V. (2017) Trajectories of exposure and vulnerability of small islands to climate change. *WIREs Climate Change*, e478

Estoque R., Oba M., Seposo X., Togawa T., Hijioka Y., Takahashi K., Nakamura N. (2020) Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators. *Nature Communications*, 11, 1581

Fujita T., Ariga T., Hijioka Y., Fukasawa K., Ohashi H. (2019) Assessing the potential impacts of climate and population change on land-use changes projected to 2100 in Japan. *Climate Research*, 79, 139-149

Fukami H., Iwao K., Kumagai N., Morita M., Isomura N. (2019) Maternal inheritance of F1 hybrid morphology and colony shape in the coral genus *Acropora*. *PeerJ*, 7, e6429

深澤圭太 (2017) For your lifework 「生物」「生命」を研究・育成する施設から読者の皆さんへのメッセージ：国立環境研究所生物・生態系環境研究センター[Vol.3]. *生物の科学 遺伝*, 71 (5), 492

Fukasawa K., Akasaka T. (2019) Long-lasting effects of historical land use on the current distribution of mammals revealed by ecological and archaeological patterns. *Scientific Reports*, 9, 10697

深澤圭太, 三島啓雄, 熊田那央, 竹中明夫, 吉岡明良, 勝又聖乃, 羽賀淳, 久保雄広, 玉置雅紀 (2017) バードデータチャレンジ：録音音声の種判別における野鳥愛好家・研究者協働の試みとその課題. *Bird Research*, 13, A15-A28

- Fukasawa K., Mishima Y., Yoshioka A., Kumada N., Totsu K. (2017) Acoustic monitoring data of avian species inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi power plant accident. *Ecological Research*, 32 (6), 769
- Fukasawa K., Mishima Y., Yoshioka A., Kumada N., Totsu K., Osawa T. (2016) Mammal assemblages recorded by camera traps inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Ecological Research*, 31 (4), 493-493
- Fukumori K., Ishida S., Shimoda M., Takenaka A., Akasaka M., Nishihiro J., Takamura N., Kadoya T. (2019) Incorporating species population dynamics into static prioritization: targeting species undergoing rapid change. *Journal of Applied Ecology*, 56, 450-458
- Fukumori K., Yoshizaki E., Takamura N., Kadoya T. (2016) Detritivore diversity promotes a relative contribution rate of detritus to the diets of predators in ponds. *Ecosphere*, 7 (e01211)
- 福島路生 (2018) 猿払イトウ保全協議会で取り組むカルバートの問題. *北方林業*, 69 (4), 141-145
- Fukushima M., Harada C., Yamakawa A., Iizuka T. (2019) Anadromy sustained in the artificially land-locked population of Sakhalin taimen in northern Japan. *Environmental Biology of Fishes*,
- Fukushima M., Tomioka N., Jutagate T., Hiroki M., Murata T., Preecha C., Avakul P., Phomikong P., Imai A. (2017) The dynamics of pico-sized and bloom-forming cyanobacteria in large water bodies in the Mekong River Basin. *PLOS ONE*,
- Furihata S., Kasai A., Hidaka K., Ikegami M., Ohnishi H., Goka K. (2019) Ecological risks of insecticide contamination in water and sediment around off-farm irrigated rice paddy fields. *Environmental Pollution*, 251, 628-638
- Garcia Molinos J., Takao S, Kumagai N., Poloczanska ES, Burrows MT, Fujii M, Yamano H. (2017) Improving the interpretability of climate landscape metrics: An ecological risk analysis of Japan's Marine Protected Areas. *Global Change Biology*, 23 (10), 4440-4452
- Han B., Kitamura K., Hirota M., Shen H., Tang Y., Suzuki T., Fujitake N. (2019) Humus composition and humification degree of humic acids of alpine meadow soils in the northeastern part of the Qinghai-Tibet Plateau. *Soil Science and Plant Nutrition*, 65, 11-19.
- Hanioka M., Yamaura Y., Senzaki M., Yamanaka S., Kawamura K., Nakamura F. (2018) Assessing the landscape-dependent restoration potential of abandoned farmland using a hierarchical model of bird communities. *Agriculture, Ecosystems and Environment.*, 265, 217-225
- Hanioka M., Yamaura Y., Yamanaka S., Senzaki M., Kawamura K., Terui A., Nakamura F. (2018) How much abandoned farmland is required to harbor comparable species richness and abundance of bird communities in wetland? Hierarchical community model suggests the importance of habitat and landscape variables. *Biodiversity and Conservation*, 27 (8), 1831-1848
- Hashimoto K., Kasai A., Hayasaka D., Goka K., Hayashi T.I. (2020) Long-term monitoring reveals among-year consistency in the ecological impacts of insecticides on animal communities in paddies. *Ecological Indicators*, 113 (106227)
- Hashimoto Y., Sakamoto H., Asai H., Yasoshima M., Lin H.M., Goka K. (2020) The effect of fumigation with microencapsulated allyl isothiocyanate in a gas-barrier bag against *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). *Applied Entomology and Zoology*,
- Hata A., Takada M.B., Nakashita R., Fukasawa K., Oshida T., Ishibashi Y., Sato Y. (2017) Stable isotope and DNA analyses reveal the spatial distribution of crop-foraging brown bears. *Journal of Zoology*, 303 (3), 207-217
- 東正剛, 坂本洋典 (2020) ヒアリの襲来. *じっきょう理科資料*, (87), 6-13
- Hiono T., Okamatsu M., Matsuno K., Haga A., Iwata R., Nguyen L.T., Suzuki M., Kikutani Y., Kida H., Onuma M., Sakoda Y. (2017) Characterization of H5N6 highly pathogenic avian influenza viruses isolated from wild and captive birds in the winter season of 2016-2017 in Northern Japan. *Microbiology and immunology*, 61 (9), 387-397
- Hirano Y., Kidera N., Kondo N., Nishihiro J. (2020) Habitat characteristics and size structure in a population of an endangered lamprey, *Lethenteron sp. N*, in an urbanized area of Japan. *Ichthyological Research*,
- Hiroki M., Tomioka N., Murata T., Imai A., Jutagate T., Preecha C., Avakul P., Phomikong P., Fukushima M. (2020) Primary production estimated for large lakes and reservoirs in the Mekong River Basin. *Science of the Total Environment*, 747
- Honjo.K, Kubo T. (2020) Social Dilemmas in Nature-Based Tourism Depend on Social Value Orientations. *Scientific Reports*, 10 (3730)

- Hou X., Zhan X., Zhou F., Yan X., Gu B., Reis S., Wu Y., Liu H., Piao S., Tang Y. (2018) Detection and attribution of nitrogen runoff trend in China's croplands. *Environmental Pollution*, 234, 270-278.
- Ikeda T., Kuninaga N., Suzuki T., Ikushima S., Suzuki M. (2019) Tourist-wild boar (*Sus scrofa*) interactions in urban wildlife management. *Global Ecology and Conservation*, 18
- Ikegami M., Tsujii K., Ishizuka A., Nakagawa N., Kishi S., Sakamoto Y., Sakamoto H., Goka K. (2020) Environments, spatial structures, and species competitions: determining the impact of yellow-legged hornets, *Vespa velutina*, on native wasps and bees on Tsushima Island, Japan. *Biological Invasions*,
- 今井葉子, 野波寛, 高村典子 (2016) コモンズの重層的価値が環境配慮行動に及ぼす影響: 農家と非農家によるため池の農業価値と環境価値に対する評価. *保全生態学研究*, 21, 1-14
- Inoue T., Kainuma M., Baba K., Oshiro N., Kimura N., Chan E.W.C. (2017) *Garcinia subelliptica* Merr. (Fukugi): A multipurpose coastal tree with promising medicinal properties. *Journal of Intercultural Ethnopharmacology*, 6, 121-127
- Inoue T., Kohzu A., Shimono A. (2019) Tracking the route of atmospheric nitrogen to diazotrophs colonizing buried mangrove roots. *Tree Physiology*,
- Inoue T., Noguchi K. (2020) Theoretical analysis of temperature - dependent model of respiratory O₂ consumption using the kinetics of the cytochrome and alternative pathways. *New Phytologist*,
- Inoue T., Shimono A., Akaji Y., Baba S., Takenaka A., Chan HT. (2019) Mangrove diazotroph relation on root, tree and forest scales Mangrove plants create high soil nitrogenase activity with unique diazotrophic communities. *Annals of Botany*, 125(1), 131-144
- Ishi C., Ikenaka Y., Nakayama M.M.S., Kuritani T., Nakagawa M., Saito K., Watanabe Y., Ogasawara K., Onuma M., Haga A., Ishizuka M. (2020) Current situation regarding lead exposure in birds in Japan (2015-2018); lead exposure is still occurring. *Journal of Veterinary Medical Science*, 82 (8), 1118-1123
- 石濱史子 (2017) 標本情報等の分布推定への活用とその実際: バイアスの除去から精度評価まで. *保全生態学研究*, 22 (1), 21-40
- Ishihama F., Takenaka A., Yokomizo H., Kadoya T. (2019) Evaluation of the ecological niche model approach in spatial conservation prioritization. *PLOS ONE*,
- 石河正寛, 松橋啓介, 有賀敏典 (2016) 建物ポイントデータの床面積補正を通じた民生部門エネルギー消費量の推計. *土木学会論文集 G (環境)*, 72 (6), II_87-II_94 <環境システム優秀論文賞受賞>
- 石河正寛, 松橋啓介, 有賀敏典, 金森有子, 栗島英明 (2016) 空家の地域内分布に関する現況および将来推計一世帯数と住宅数の差分に着目して. *都市計画論文集*, 51 (3), 833-838
- 伊東樹明, 加藤将, 佐野郷美, 西廣 淳 (2019) 千葉県内におけるクサシヤジクモの再発見. *水草研究会誌*, 108, 39-42
- Iwatsuki Y., Nakajima K., Yamano H., Otsuki A., Murakami S. (2018) Variation and changes in land-use intensities behind nickel mining: Coupling operational and satellite data. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 361-366
- 神宮翔真, 小川結衣 (2019) 市民による通報をベースとした自治体の収集するロードキル記録における種同定の特徴. *環境情報科学学術研究論文集*, 33
- JO Jaeick, 吉岡明良, 大内博文 (2020) 福島県南相馬市におけるキゴシジガバチの記録. *月刊むし*, 598, 49-50
- JO Jaeick, 吉岡明良, 大内博文 (2020) 田村市船引町で採集されたマルガタゲンゴロウの記録. *InsectTOHOKU*, 52, 23
- Kadokaru S., Tamukai K., Tominaga A., Goka K., Une Y. (2016) Spontaneous oral chytridiomycosis in wild bullfrog tadpoles in Japan. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 78 (4), 573-577
- 門脇浩明, 山道真人, 深野拓也, 石塚航, 三村真紀子, 西廣淳, 横溝裕行, 内海俊介 (2020) 進化を考慮した保全生態学の確立と生態系管理に向けて. *保全生態学研究*, 25 (2)
- 角谷拓, 赤坂宗光, 藤田卓, 伊藤俊哉, 勝又聖乃, 三輪隆, 竹内やよい, 山野博哉 (2017) 民間で維持される保護地域の評価と拡充の重要性. *保全生態学研究*, 22, 241-249

- Kadoya T., Gellner G., McCann K.S. (2018) Potential oscillators and keystone modules in food webs. *Ecology Letters*, 21 (9), 1330-1340
- 亀山哲 (2016) 未来の掟を担う UAV 利用者の皆様へ. *リモートセンシング学会誌*, 36 (2)
- 亀山哲 (2017) For your lifework 「生物」「生命」を研究・育成する施設から読者の皆さんへのメッセージ: 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター[Vol.4]. *生物の科学遺伝*, 71(6), 594
- 亀山哲 (2017) ウナギを育む豊かな森里川海と人の暮らしの絆. *生物の科学遺伝*, 71 (6), 594
- 亀山哲 (2018) ウナギ類の生息地ポテンシャルの時空間変化～瀬戸内海流入流域圏における森里川海の絆の再生～. *瀬戸内海*, (75), 54-56
- 亀山哲, 宮本千晴, 須田清治, 浅野哲美 (2019) ベトナムの放棄エビ養殖池を対象としたマングローブ湿地の復元におけるリモートセンシング技術の応用. *日本リモートセンシング学会誌*, 39 (5), 399-404
- 亀山康子 (2017) 国際政治から見た気候変動問題の行方. *季刊環境技術会誌*, (168), 14-15
- 亀山康子 (2017) パリ協定で目指される長期ビジョンと政策パッケージ. *エネルギー・資源*, 38 (5), 12-15
- Kameyama Y. (2018) Changing climate policy in Asia. *East Asia Forum*,
- 亀山康子 (2018) 国際政治に重要性を増す「気候変動」の射程. *外交*, 52 (Nov./Dec.2018), 114-119
- 亀山康子 (2018) SDGs—気候変動分野からのインプット. *環境情報科学*, 47 (1), 12-16
- 亀山康子 (2018) 低炭素社会実現に向けたロードマップ開発—パリ協定の下での社会変革. *化学と工業*, 71 (5), 394-396
- 亀山康子 (2019) 日本の気候変動対策と生態系保全策との間のトレードオフ・シナジーに関する包括的分析. *環境情報科学*, 48 (4), 74-79
- 亀山康子 (2019) 低炭素社会実現に向けて. *ケミカルエンジニアリング*, 64 (7), 1-5
- Kang H.-X., Zhu X.-G., Yamori W., Tang Y.-H. (2020) Concurrent Increases in Leaf Temperature With Light Accelerate Photosynthetic Induction in Tropical Tree Seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1216.
- Karp D.S., Chaplin-Kramer R., Meehan T.D., Martin E.A., DeClerck F., Grab H., Gratton C., Hunt L., Larsen A.E., Martinez-Salinas A., O'Rourke M.E., Rusch A., Poveda K., Jonsson M., Rosenheim J.A., Schellhorn N.A., Tschamtk T., Wratten S.D., Zhang W., L.Iverson A., Adler L.S., Albrecht M., Alignier A., Angelella G.M., Anjum M.Z., Avelino J., Batary P., Baveco J.M., Bianchi F.J.J.A., Birkhofer K., Bohnenblust E.W., Bommarco R., Brewer M.J., Caballero-Lopez B., Carriere Y., Carvalheiro L.G., Cayuela L., Centrella M., Cetkovic A., Henri D.C., Chabert A., Costamagna A.C., Aldo De la Mora., Joop de Kraker., Desneux N., Diehl E., Dikotter T., Dormann C.F., Eckberg J.O., Entling M.H., Fiedler D., Franck P., Frank van Veen F.J., Frank T., Gagic V., Garratt M.P.D., Getachew A., Gonthier D.J., Goodell P.B., Graziosi I., Groves R.L., Gurr G.M., Hajian-Forooshani Z., Heimpel G.E., Herrmann J.D., Huseth A.S., Inclan D.J., Ingrao A.J., Iv P., Jacot K., Johnson G.A., Jones L., Kaiser M., Kaser J.M., Keasar T., Kim T.N., Kishnevsky M., Landis D.A., Lavandero B., Lavigne C., Ralec A.L., Lemessa D., Letourneau D.K., Liere H., Lu Y., Lubin Y., Luttermoser T., Maas B., Mace K., Madeira F., Mader V., Cortesero A.M., Marini L., Martinez E., Martinson H.M., Menozzi P., Mitchell M.G.E., Miyashita T., Molina G.A.R., Molina-Montenegro M.A., O'Neal M.E., Opatovsky I., Ortiz-Martinez S., Nash M., Ostman O., Ouin A., Pak D. (2018) Crop pests and predators exhibit inconsistent responses to surrounding landscape composition. *PNAS*, 115 (33), E7863-E7870
- Kasai A., Hayashi T.I., Onishi H., Suzuki K., Hayasaka D., Goka K. (2016) Fipronil application on rice paddy fields reduces densities of common skimmer and scarlet skimmer. *Scientific Reports*, 6, 23055
- Kasai A., Yamazaki A., Ahn H., Yamanaka H., Kameyama S., Masuda R., Azuma H., Kimura S., Karaki T., Kurokawa Y., Yamashita Y. (2021) Distribution of Japanese eel *Anguilla japonica* revealed by environmental DNA. *Frontiers in Ecology and Evolution*,
- Katayama M., Hirayama M., Tani T., Nishimori K., Onuma M., Fukuda T. (2017) Chick derived induced pluripotent stem cells by the poly-cistronic transposon with enhanced transcriptional activity. *Journal of Cellular Physiology*,
- Katoh K., Yoshikawa T., Kamijo T., Higuchi H. (2020) Relationship between vegetation structure and avian communities on Miyakejima Island, Japan, 13 years after a major volcanic eruption. *Pacific Science*, 74 (1)

- Kawatsu K., Kishi S. (2017) Identifying critical interactions in complex competition dynamics between bean beetles. *Oikos*,
- Kayanne H., Aoki K., Suzuki T., Hongo C., Yamano H., Ide Y., Iwatsuka Y., Takahashi K., Sekimoto T., Isobe M. (2016) Eco-geomorphic processes that maintain a small coral reef island: Ballast Island in the Ryukyu Islands, Japan. *Geomorphology*, 271, 84-93
- Kidera N., Kadoya T., Yamano H., Takamura N., Ogano D., Wakabayashi T., Takezawa M., Hasegawa M. (2018) Hydrological effects of paddy improvement and abandonment on amphibian populations; long-term trends of the Japanese brown frog, *Rana japonica*. *Biological Conservation*, 219, 96-104
- Kim J., Hirano Y., Kato H., Noda A., Im R.Y., Nishihiro J. (*1Toho University) (2020) Land-cover changes and distribution of wetland species in small valley habitats that developed in a Late Pleistocene middle terrace region. *Wetlands Ecology and Management*, 28, 217-228
- Kim J.Y., Noda A., Im R.Y., Nishihiro J. (2018) Web search volume as a surrogate of public interest in biodiversity: a case study of Japanese red list species. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4, 289-298
- Kim J.Y., Yano T., Nakanishi R., Tagami H., Nishihiro J. (2019) Artificial wave breakers promote the establishment of alien aquatic plants in a shallow lake. *Biological Invasions*, 21, 1545-1556
- 木村悟朗, 上野隆平, 小林貞 (2017) ユスリカの和名の由来. *まくなぎ*, (28), 1-6
- Kimura N., Kainuma M., Inoue T., Chan E.W.C., Tangah J., Baba K., Oshiro N., Okamoto C. (2017) Botany, uses, chemistry and bioactivities of mangrove plants V: *Acrostichum aureum* and *A. speciosum*. *ISME/GLOMIS Electronic Journal*, 15 (1), 1-6
- 岸茂樹 (2017) 愛知県豊田市の農作物に対する送粉昆虫の経済価値. *矢作川研究*, 21
- 岸茂樹, 五箇公一 (2017) 外来昆虫研究の現状と今後の展開. *昆虫と自然*, 52 (13), 15-19
- Kishi S., Goka K. (2017) Review of the invasive yellow-legged hornet, *Vespa velutina nigrithorax* (Hymenoptera: Vespidae), in Japan and its possible chemical control. *Applied Entomology and Zoology*,
- Kishi S., Sakura S., Yoshikawa T., Hiraiwa M., Katoh K. (2017) Interaction between insects and insect-pollinated plants on Miyake Island after a recent volcanic eruption: A comparison between vegetation types. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20, 964-970
- Kitazawa M., Yamaura Y., Senzaki M., Kawamura K., Hanioka M., Nakamura F. (2018) An evaluation of five agricultural habitat types for openland birds: abandoned farmland can have comparative values to undisturbed wetland. *Ornithological Science*,
- 木塚俊和, 石田真也, 角谷拓, 赤坂宗光, 高村典子 (2016) 地理空間情報から推定した野生生物の生育・生息場所としての小規模止水域の空間分布. *保全生態学研究*, 21, 181-192
- Kobayashi S., Kinjo T., Kuroda Y., Kinjo M., Okawara Y., Izawa M., Onuma M., Haga A., Nakaya Y., Nagamine T. (2019) Predation on endangered species by cats in the northern forests of Okinawa-jima Island. *Japan. Mammal Study*, 45, 63-70
- Koide D., Ide R., Oguma H. (2019) Detection of autumn leaf phenology and color brightness from repeat photography: Accurate, robust, and sensitive indexes and modeling under unstable field observations. *Ecological Indicators*, 106
- Koide D., Ito A. (2018) Temporal changes in the relationship between tree-ring growth and net primary production in northern Japan: a novel approach to the estimation of seasonal photosynthate allocation to the stem. *Ecological Research*, 33 (6), 1275-1287
- Koide D., Kadoya T. (2019) Resource amount and cultural legacy affect spatially unbalanced human use of Japan's non-timber forest products. *Ecological Indicators*, 97, 204-210
- Koide D., Yoshida K., Daehler C.C., Mueller-Dombois D. (*1Yokohama National University, *2University of Hawaii, *3University of Hawaii) (2017) An upward elevation shift of native and non-native vascular plants over 40 years on the island of Hawai'i. *Journal of Vegetation Science*, 28 (5), 939-950
- 古賀和子, 岩崎寛(*1 東邦大学理学部, *2 千葉大学大学院園芸学研究所), 西廣淳 (2019) 都市近郊湿地の健康増進を目的とした利用可能性の検討. *日本緑化学会誌*, 45 (1), 224-227
- Komine H., Fukasawa K., Akasaka M., Watari Y., Iwai N., Kaji K. (2020) Rapid behavioural responses of native frogs caused by past predation pressure from invasive mongooses. *Journal of Zoology*, 310 (2), 126-134

- 今藤夏子, 松崎慎一郎 (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. 水環境学会誌, 41(A) (4), 137-140
- Kohzu A., Shimotori K., Imai A. (2018) Effects of macrophyte harvesting on the water quality and bottom environment of Lake Biwa, Japan. *Limnology*,
- Kohzu A., Watanabe H., Imai A., Takaya N., Miura S., Shimotori K., Komatsu K. (2020) Magnetic Resonance Imaging as a Novel Method for Elucidating Sediment Burrow Structures and Functions. *ACS OMEGA*, 5 (25), 14933-14941
- 久保雄広 (2020) 自然の恵みに値段をつける-ICT 技術で切り開く環境価値評価手法の新たな展開-. 統計, 2, 26-32
- Kubo T., Mieno T., Kuriyama K. (2019) Wildlife viewing: The impact of money-back guarantees. *Tourism Management*, 70, 49-55
- Kubo T., Shoji Y. (2016) Demand for bear viewing hikes: Implications for balancing visitor satisfaction with safety in protected areas. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*,
- Kubo T., Shoji Y. (2016) Public segmentation based on the risk perception of brown bear attacks and management preferences. *European Journal of Wildlife Research*,
- 久保雄広, 庄子康 (2018) 知床半島ヒグマ保護管理方針は住民の意向に沿うものになっているか?. 北方林業, 68 (4), 29-32
- Kubo T., Shoji Y., Tsuge T., Kuriyama K. (2018) Voluntary Contributions to Hiking Trail Maintenance: Evidence From a Field Experiment in a National Park, Japan. *Ecological Economics*, 144 (February), 124-128
- Kubo T., Tsuge T., Abe H., Yamano H. (2018) Understanding island residents' anxiety about impacts caused by climate change using Best-Worst Scaling: a case study of Amami islands, Japan. *Sustainability Science*,
- Kubo T., Uryu S., Yamano H., Tsuge T., Yamakita T., Shirayama Y. (2020) Mobile phone network data reveal nationwide economic value of coastal tourism under climate change. *Tourism Management*, 77
- Kubo T., Verissimo D., Uryu S., Mieno T., MacMillan D. (2021) What determines the success and failure of environmental crowdfunding? *Ambio*,
- 工藤岳, 雨谷教弘 (2018) 高山帯におけるササの分布拡大メカニズムと生態系への影響. 地球環境, 23 (1 & 2), 17-26
- 熊谷直喜 (2020) 気候変動に伴う藻場群集の地理的分布変化. 藻類, 68 (1), 91-97
- 熊谷直喜 (2020) 気候変動と生物分布. 自然保護, 578, 12
- Kumagai N., García Molinos J., Yamano H., Takao S., Fujii M., Yamanaka Y. (2018) Ocean currents and herbivory drive macroalgae-to-coral community shift under climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115 (36), 8990-8995
- Kumagai N., Yamano H., Fujii M., Yamanaka Y. (2016) Habitat-forming seaweeds in Japan (fucoids and temperate kelps). *Ecological Research*, 31 (6), 759
- Kumagai N., Yamano H., Sango-Map-Project C. (2018) High-resolution modeling of thermal thresholds and environmental influences on coral bleaching for local and regional reef management. *PeerJ*, 6, e4382
- 熊谷直喜, 山野博哉, サングマップ実行委員会 (2018) オープンデータを利用した地域・広域的なサンゴ白化の推定. 日本リモートセンシング学会誌, 38 (2), 95-98
- 熊野直子, 田村誠, 井上智美, 横木裕宗 (2018) フィリピン・ベトナムにおけるグリーンインフラの海面上昇への適応評価と費用効果. 土木学会論文集 G (環境), 74 (5), 395-404
- Kume M., Lavergne E., Ahn H., Terashima Y., Kadowaki K., Ye F., Kameyama S., Kai Y., Henmi Y., Yamashita Y., Kasai A. (2021) Factors structuring estuarine and coastal fish communities across Japan using environmental DNA metabarcoding. *Ecological Indicators*, 121 (107216)
- 栗山武夫, 小井土美香, 長田穰, 浅田正彦, 横溝裕行, 宮下直 (2018) 密度推定に基づいたタヌキに対する外来哺乳類(ア

ライグマ・ハクビシンの影響. 保全生態学研究, 23 (1), 9-17

Li R., Luo T., Mölg T., Zhao J., Li X., Cui X., Du M., Tang Y. (2016) Leaf unfolding of Tibetan alpine meadows captures the arrival of monsoon rainfall. *Scientific Reports*, 6, 20985.

Li X., He Y., Zeng Z., Lian X., Wang X., Du M., Jia G., Li Y., Ma Y., Tang Y., et al. (2018) Spatiotemporal pattern of terrestrial evapotranspiration in China during the past thirty years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 259, 131-140.

Li X., Ke X., Zhou H., Tang Y. (2019) Contrasting altitudinal patterns of leaf UV reflectance and absorbance in four herbaceous species on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Plant Ecology*, 12, 245-254.

Liu S., Tang Y., Zhang F., Du Y., Lin L., Li Y., Guo X., Li Q., Cao G. (2017) Changes of soil organic and inorganic carbon in relation to grassland degradation in Northern Tibet. *Ecological Research*, 32, 395-404.

Liu Y., Piao S., Gasser T., Ciais P., Yang H., Wang H., Keenan T.F., Huang M., Wan S., Song J., Wang K., Janssens I.A., Penuelas J., Huntingford C., Wang X., Arain M.A., Fang Y., Fisher J.B., Huang M., Huntzinger D.N., Ito A., Jain A.K., Mao J., Michalak A., Peng C., Poulter B., Schwalm C., Shi X., Tian H., Wei Y., Zeng N., Zhu Q., Wang T. (2019) Field-experiment constraints on the enhancement of the terrestrial carbon sink by CO₂ fertilization. *Nature Geoscience*, 12, 809-814

Livingston G., Fukumori K., Provete B.D., Kawachi M., Takamura N., Leibold A.M. (2017) Predators regulate prey species sorting and spatial distribution in microbial landscapes. *Journal of Animal Ecology*, 86 (3), 501-510

Lu X., Ono E., Lu S., Zhang Y., Teng P., Aono M., Shimizu Y., Hosoi F., Omasa K. (2020) Reconstruction method and optimum range of camera-shooting angle for 3D plant modeling using a multi-camera photography system. *Plant Methods*, 16, 118

Lwin K.K., Hayashi K., Ooba M. (2016) Spatial assessment of ecosystem services by new city development: Case study in Nay Pyi Taw, Myanmar. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 7 (1), 55-61

馬淵浩司, 松崎慎一郎 (2017) 日本の自然水域のコイ : 在来コイの現状と導入コイの脅威. *魚類学雑誌*, 64 (2), 213-218

MacDougall A.S., Harvey E., McCune J.L., Nilsson K.A., Bennett J., Firm J., Bartley T., Grace J.B., Kelly J., Tunney T.D., McMeans B., Matsuzaki K., Kadoya T., Esch E., Cazelles K., Lester N., McCann K.S. (2018) Context-dependent interactions and the regulation of species richness in freshwater fish. *Nature Communications*, 9 (973)

Maebara Y., Tamaoki M., Iguchi Y., Nakahama N., Hanai T., Nishino A., Hayasaka D. (2020) Genetic diversity of invasive *Spartina alterniflora* Loisel. (Poaceae) introduced unintentionally into Japan and its invasion pathway. *Frontier in Plant Science*, 11, 556039

Maeda T., Sakamoto Y. (2016) Field application of menthol for Japanese honey bees, *Apis cerana japonica* (Hymenoptera: Apidae), to control tracheal mites, *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae). *Experimental and Applied Acarology*,

Maeda T., Sakamoto Y. (2016) Tracheal mites, *Acarapis woodi*, greatly increase overwinter mortality in colonies of the Japanese honeybee, *Apis cerana japonica*. *Apidologie*, 1-9

Maeda T., Sakamoto Y. (2020) Range expansion of the tracheal mite *Acarapis woodi* (Acari: Tarsonemidae) among Japanese honey bee, *Apis cerana japonica*, in Japan. *Experimental and Applied Acarology*,

Makino W., Maruoka N., Nakagawa M., Takamura N. (2017) DNA barcoding of freshwater zooplankton in Lake Kasumigaura, Japan. *Ecological Research*, 32 (4), 481-493

Makundi I., Koshida Y., Kuse K., Hiratsuka T., Ito J., Baba T., Watanabe S., Kawamura M., Odahara Y., Miyake A., Yamamoto H., Kuniyoshi S., Onuma M., Nishigaki K. (2017) Epidemiologic survey of feline leukemia virus in domestic cats on Tsushima Island, Japan: Management strategy for Tsushima leopard cats. *Journal of veterinary diagnostic investigation*,

Mameno K., Kubo T. (2020) Tourist intentions to donate to non-lethal feral cat management at a potential natural World Heritage site in Japan. *Human Dimensions of Wildlife*,

豆野皓太, 久保雄広, 庄子康 (2020) 生物多様性分野におけるエビデンスに基づく政策評価の確立に向けて. *環境経済・政策研究*, 13 (1), 46-50

Mameno K., Kubo T., Shoji Y. (2021) Price premiums for wildlife-friendly rice: Insights from Japanese retail data. *Conservation Science and Practice*,

- Mameno K., Kubo T., Suzuki M. (2017) Social challenges of spatial planning for outdoor cat management in Amami Oshima Island, Japan. *Global Ecology and Conservation*, 184-193
- Okamatsu M., Ozawa M., Soda K., Takakuwa H., Haga A., Hiono T., Matsuo A., Uchida Y., Iwata R., Matsuno K., Kuwahara M., Yabuta T., Usui T., Ito H., Onuma M., Sakoda Y., Saito T., Otsuki K., Ito T., Kida H. (2017) Characterization of Highly Pathogenic Avian Influenza Virus A(H5N6), Japan, November 2016. *Emerging infectious diseases*, 23 (4), 691-695
- Matsui T., Nakao K., Higa M., Tsuyama I., Kominami Y., Yagihashi T., Koide D., Tanaka N. (2018) Potential impact of climate change on canopy tree species composition of cool-temperate forests in Japan using a multivariate classification tree model. *Ecological Research*, 33, 289-302
- Matsumoto T.K., Hirobe M., Akaji Y., Miyazaki Y. (2020) Population structures and spatial patterns of two unpalatable *Arisaema* species (Araceae) with and without clonal reproduction in a riparian forest intensively grazed by Sika deer. *Journal of Forestry Research*, 31 (1), 155-162
- Matsuzaki S., Kohzu A., Kadoya T., Watanabe Mirai., Osawa T., Komatsu K., Kondo N., Yamaguchi H., Ando H., Shimotori K., Fukaya K., Nakagawa M., Kizuka T., Yoshioka A., Sasai T., Saigusa N., Matsushita B., Takamura N. (2019) Role of wetlands in mitigating the tradeoff between crop production and water quality in agricultural landscapes. *Ecosphere*, 10 (11), e02918
- 松崎慎一郎, 西廣淳, 山之内崇志, 森明寛, 蛭名政仁, 榎本昌宏, 福田照美, 福井利憲, 福本一彦, 後藤裕康, 萩原彩華, 長谷川裕弥, 五十嵐聖貴, 井上栄壮, 神谷宏, 金子有子, 小日向寿夫, 紺野香織, 松村俊幸, 三上英敏, 森山充, 永田貴丸, 中川圭太, 大内孝雄, 尾辻裕一, 小山信, 榊原靖, 佐藤晋一, 佐藤利幸, 清水美登里, 清水稔, 勢村均, 下中邦俊, 戸井田伸一, 吉澤一家, 湯田達也, 渡部正弘, 中川惠, 高村典子 (2016) 純淡水魚と水生植物を指標とした湖沼の生物多様性広域評価の試み. *保全生態学研究*, 21, 155-165
- Matsuzaki S.S., Sasaki T., Akasaka M. (2016) Invasion of exotic piscivores causes losses of functional diversity and functionally unique species in Japanese lakes. *Freshwater Biology*, 61, 1128-1142
- Matsuzaki S., Shinohara R., Uchida K., Sasaki T. (2019) Catch diversification provides multiple benefits in inland fisheries. *Journal of Applied Ecology*, 56 (4), 843-854
- Matsuzaki S., Suzuki K., Kadoya T., Nakagawa M., Takamura N. (2018) Bottom-up linkages between primary production, zooplankton, and fish in a shallow, hypereutrophic lake. *Ecology*, 99 (9), 2025-2036
- Mitsuguchi T., Hirota M., Paleo Labo AMS Dating Group, Yamazaki A., Watanabe T., Yamano H. (2016) Post-bomb coral $\Delta 14C$ record from Iki Island, Japan: possible evidence of oceanographic conditions on the northern East China Sea shelf. *Geo-Marine Letters*, 36, 371-377
- 三ツ井聡美, 久保雄広 (2018) 奄美大島「金作原原生林」における利用ルールに関する訪問者の評価: ベスト・ワースト・スケーリングの適用. *林業経済研究*, 64 (3)
- 三ツ井聡美, 久保雄広, 豆野皓太, 庄子康 (2018) 野生動物を見る、見せる一体験がもたらす観光客の意識変化一. *環境教育*, 27 (3), 50-50
- Mitsui S., Kubo T., Shoji Y. (2020) Understanding residents' perceptions of nature and local economic activities using an open-ended question before protected area designation in Amami Islands, Japan. *Journal for Nature Conservation*, 56, 125857
- Mitsui S., Kubo T., Yoshida M. (2018) Analyzing the change in long-term information provision on cat management around a world natural heritage site. *European Journal of Wildlife Research*,
- 三浦真吾, 高津文人 (2020) ドローンが変える湖沼環境研究. *地球環境*, 25 (1), 95-100
- Miura S., Kohzu A. (2020) Effects of downwash during unmanned aircraft system-assisted water sampling on water mass structure directly below the UAS. *Limnology and Oceanography: Methods*,
- 三浦真吾, 高津文人, 今井章雄, 小松一弘 (2017) 10年間の月例水質調査における栄養塩等流出特性の降雨時出水を中心とした短期変動要因の解析. *水環境学会誌*, 40 (1), 1-9
- 宮崎勝己, 良永知義, 山下桂司, 中木舞, 神谷亨子, 恩地啓実, 山田勝雅, 望月佑一, 玉置雅紀 (2019) 技法の開発: カイヤドリウミグモの早期発見と基礎生態. *生物科学*, 70 (2), 95-102

- Mizumoto H., Urabe H., Kanbe T., Fukushima M., Araki H. (2017) Establishing an environmental DNA method to detect and estimate the biomass of Sakhalin taimen, a critically endangered Asian salmonid. *Limnology*,
- Mizuta T., Takashi M., Torikai H., Watanabe T., Fukasawa K. (2017) Song-count surveys and population estimates reveal the recovery of the endangered Amami Thrush *Zosterornis dauma major*, which is endemic to Amami-Oshima Island in south-western Japan. *Bird Conservation International*, 27 (4), 470-482
- Moriguchi S., Onuma M., Goka K. (2016) Spatial assessment of the potential risk of avian influenza A virus infection in three raptor species in Japan. *The Journal of Veterinary Medical Science*, 78 (7), 1107-1115
- 長濱祐美, 中川圭太, 菅谷和寿, 富岡典子, 相崎守弘 (2017) 霞ヶ浦底泥における *Microcystis* rDNA の分布と季節変動. *水環境学会誌*, 40 (4), 183-188
- Nakabayashi A., Yamakita T., Nakamura T., Aizawa H., Kitano Y., Iguchi A., Yamano H., Nagai S., Agostini S., Teshima K.M., Yasuda N. (2019) The potential role of temperate Japanese regions as refugia for the coral *Acropora hyacinthus* in the face of climate change. *Scientific Reports*, 9 (1892), 1-12
- Nakaji T., Oguma H., Nakamura M., Kachina P., Asanok L., Marod D., Aiba M., Kurokawa H., Kosugi Y., Kassim A.R., Hiura T. (2019) Estimation of six leaf traits of East Asian forest tree species by leaf spectroscopy and partial least square regression. *Remote Sensing of Environment*, 233 (111381)
- Nakajima N., Sakamoto Y., Goka K. (2019) Rapid detection of the red fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) by loop-mediated isothermal amplification. *Applied Entomology and Zoology*, 54, 319-322
- Nakamura M., Higa Y., Kumagai N., Okaji K. (2016) Using long-term removal data to manage a Crown-of-Thorns Starfish population. *Diversity*, 8 (4), 24
- Nakamura M., Kumagai N., Tamaoki M., Arita K., Ishii Y., Nakajima H., Yabe T. (2019) Photosynthesis and growth of *Ulva ohnoi* and *Ulva pertusa* (Ulvophyceae) under high light and high temperature conditions, and implications for green tide in Japan. *Phycological Research*,
- Nakano Y., Senzaki M., Ishinaya N., Yamanaka S., Miura K., Nakamura F. (2018) Noise pollution alters matrix permeability for dispersing anurans: differential effects among land covers. *Global Ecology and Conservation*,
- Nakaoka M., Sudo K., Namba M., Shibata H., Nakamura F., Ishikawa S., Makino M., Yamano H., Matsuzaki S.S., Yamakita T., Yu X., Hou X., Li X., Brodie J., Kanemoto K., Moran D., Verones F. (2018). TSUNAGARI: A new interdisciplinary and transdisciplinary study toward conservation and sustainable use of biodiversity and ecosystem services. *Ecological Research*, 33 (1), 35-49
- Nakashima Y., Fukasawa K., Samejima H. (2018) Estimating animal density without individual recognition using information derivable exclusively from camera traps. *Journal of Applied Ecology*, 55 (2), 735-744
- 西廣淳 (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—. *土木学会誌*, 104 (10), 24-25
- 西廣淳 (2019) 麻機遊水地における福祉と健康を含む多目的活用と生物多様性保全. *ランドスケープ研究*, 83 (3), 286-287
- 西廣淳, 赤坂宗光, 山ノ内崇志, 高村典子(2016) 散布体バンクを含む湖沼底質からの水生植物再生可能性の時間的低下. *保全生態研究*, 21, 147-154
- 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 (2019) 「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の多面的活用の可能性. *応用生態工学*, 22 (2), 175-185
- Nishijima S., Furukawa T., Kadoya T., Ishihama F., Kastner T., Matsuda H., Kaneko N. (2016) Evaluating the impacts of wood production and trade on bird extinction risks. *Ecological Indicators*, 71, 368-376
- Nishina K., Watanabe Mirai., Koshikawa-K.M., Takamatsu T., Morino Y., Nagashima T., Soma K., Hayashi S. (2017) Varying sensitivity of mountainous streamwater base-flow NO₃⁻ concentrations to N deposition in the northern suburbs of Tokyo. *Scientific Reports*, 7, 7701

- Nishikawa U., Azuma N., Larson E.R., Abbott C.L., Olden J.D., Akanuma H., Takamura K., Takamura N. (2016) Phylogeographic insights into the invasion history and secondary spread of the signal crayfish in Japan. *Ecology and Evolution*, 1-17
- Noda A., Kondo A., Nishihiro J. (2019) Changes in land cover and grassland area over the past 120 years in a rapidly urbanised area in Japan. *One Ecosystem*, 4
- Nomura T., Sakaguchi A., Steier P., Eigl R., Yamakawa A., Watanabe T., Sasaki K., Watanabe T., Golser R., Takahashi Y., Yamano H. (2017) Reconstruction of the temporal distribution of $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ in the Northwest Pacific Ocean using a coral core sample from the Kuroshio Current area. *Marine Chemistry*, 190, 28-34
- 大場真 (2018) 地域資源を活かした地域環境創生－奥会津地域での取り組みを例に－. *環境共生*, 33, 39-43
- 大場真, 戸川卓哉, 渡邊学, 榎原友樹 (2019) 気候変動に対する地域適応策のための脆弱性・リスク評価手法の開発: 地域レベル解像度-可視化システムと気候リスクコミュニケーション. *環境情報科学論文集*, 33, 295-300
- 小川みふゆ, 松崎紗代子, 石濱史子 (2020) 環境省 1/25,000 植生図凡例に対応した日本全国標準土地利用メッシュデータの凡例の作成. *保全生態学研究*, 25, 117-122
- Oguri E., Tagane S., Dang V.S., Yang C.J., Toyama H., Tran H., Murakami N., Yahara T. (2019) A new species of *Gynochthodes* (Rubiaceae), *G. honbaensis* from Hon Ba Nature Reserve, southern Vietnam. *Phytotaxa*, 406 (3), 213-217
- 大橋春香, 深澤圭太, 有賀敏典, 松井哲哉, 脇岡靖明 (2017) 人口減少社会に向けたシナリオアプローチ: ニホンジカの分布拡大問題を事例として. *野生生物と社会*, 5 (1), 41-46
- Ohashi H., Fukasawa K., Ariga T., Matsui T., Hijioka Y. (2019) High - resolution national land use scenarios under a shrinking population in Japan. *Transactions in GIS*, 23 (4), 786-804
- Ohgaki Shun-Ichi, Kato T., Kobayashi N., Tanase H., Kumagai N., Ishida S., Nakano T., Wada Y., Yusa Y. (2019) Effects of temperature and red tides on sea urchin abundance and species richness over 45 years in southern Japan. *Ecological Indicators*, 96, 684-693
- 岡田知也, 井芹絵里奈, 三戸勇吾, 高橋俊之, 高濱繁盛, 秋山吉寛, 渡辺謙太, 棚谷灯子, 杉野弘明, 徳永佳奈恵, 久保雄広, 桑江朝比呂 (2016) 比較順位法を用いた生物多様性と教育に関する干潟の生態系サービスの経済評価の検討. *土木学会論文集 B2(海岸工学)*, 72 (2), 1453-1458
- 岡地賢, 小笠原敬, 山川英治, 北村誠, 熊谷直喜, 中富伸幸, 山本修一, 中嶋亮太, 金城孝一, 中村雅子, 安田仁奈 (2019) 沖縄県の複合的なオニヒトデ対策. *日本サンゴ礁学会誌*, 21, 91-110
- 大沼学 (2017) 鳥インフルエンザウイルスはどのようにして国内へ侵入するのか. *電気評論*, 102 (9), 54-55
- Onuma M., Kakogawa M., Yanagisawa M., Haga A., Okano T., Neagari Y., Okano T., Goka K., Asakawa M. (2017) Characterizing the temporal patterns of avian influenza virus introduction into Japan by migratory birds. *The Journal of veterinary medical science*, 79 (5), 943-951
- 長田穰, 栗山武夫, 浅田正彦, 横溝裕行, 宮下直 (2018) 状態空間モデルへのベイジアンモデル平均の適用: イノシシ個体群の増減要因を探る. *保全生態学研究*, 23 (1), 29-38
- Osada Y., Kuriyama T., Asada M., Yokomizo H., Miyashita T. (2019) Estimating range expansion of wildlife in heterogeneous landscapes: A spatially explicit state - space matrix model coupled with an improved numerical integration technique. *Ecology and Evolution*, 9, 318-327
- Osawa T., Ueno Y., Nihida T., Nishihiro J. (2020) Do both habitat and species diversity provide cultural ecosystem services? A trial using geo-tagged photos. *Nature Conservation*, 38, 61-77
- Osawa T., Yamasaki K., Tabuchi K., Yoshioka A., Ishigooka Y., Sudo S., Takada M. (2018) Climate-mediated population dynamics enhance distribution range expansion in a rice pest insect. *Basic and Applied Ecology*, 30, 41-51
- Osawa T., Yamasaki K., Tabuchi K., Yoshioka A., Takada M. (2018) Detecting crucial dispersal pathways using a virtual ecology approach: A case study of the mirid bug *Stenotus rubrovittatus*. *Ambio*, 47, 806-815
- Phomikong P., Udduang S., Fukushima M., Srichareondham B., Rattanachamngong D., Jutagate T. (2018) Larval fish assemblage patterns in three tributaries of Mekong River in Thailand. *Indian Journal of Fisheries*, 65 (2), 1-15

- Rogers T.L., Munch S.B., Stewart S.D., Palkovacs E.P., Giron-Nava A., Matsuzaki S., Symons C.C. (2020) Trophic control changes with season and nutrient loading in lakes. *Ecology Letters*, 23, 1287-1297
- Saito O., Kamiyama C., Hashimoto S., Matsui T., Shoyama K., Kabaya K., Uetake T., Taki H., Ishikawa Y., Matsushita K., Yamane F., Hori J., Ariga T., Takeuchi K. (2018) Co-design of national-scale future scenarios in Japan to predict and assess natural capital and ecosystem services. *Sustainability Science*,
- 佐治光 (2018) オゾン等の大気汚染物質に対する植物の応答に關与する遺伝子とその機能. *大気環境学会誌*, 53, 36-44
- 佐治光 (2018) 植物のストレス応答機構を解明する意義. *グリーン・エージ*, (533), 2-3
- Saji S., Bathula S., Kubo A., Tamaoki M., Aono M., Sano T., Tobe K., Timm S., Bauwe H., Nakajima N., Saji H. (2017) Ozone-sensitive Arabidopsis mutants with deficiencies in photorespiratory enzymes. *Plant and Cell Physiology*, 58 (5), 914-924
- 坂本洋典 (2018) ～続・ヒアリについて知るべきこと～侵入地と原産地 それぞれの目から見た「ヒアリ」. *教科研究「理科」*, 27, 7-11
- 坂本洋典 (2019) 好蟻性シジミチョウ,ゴマシジミの保全. *昆虫と自然*, 54 (12), 16-19
- Sakamoto H., Tanaka S., Hata T. (2019) Identification of vibrational signals emitted by embryos of the migratory locust *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae) that induce synchronous hatching. *European Journal of Entomology*, 116, 258-268
- 坂本佳子 (2016) 寄生ダニからみる外来種問題. *国立環境研究所ニュース*, 35 (5), 6-8
- 坂本佳子, 五箇公一 (2017) 外来昆虫類の化学的防除. *生物の科学 遺伝*, 71 (1), 16-20
- Sakamoto Y., Hayashi T., Inoue M.N., Ohnishi H., Kishimoto T., Goka K. (2019) Effects of fipronil on non-target ants and other invertebrates in a program for eradication of the Argentine ant, *Linepithema humile*. *Sociobiology*, 66 (2), 227-238
- Sakamoto Y., Kumagai N., Goka K. (2017) Declaration of local chemical eradication of the Argentine ant: Bayesian estimation with a multinomial-mixture model. *Scientific Reports*,
- Sakamoto Y., Maeda T., Yoshiyama M., Konno F., Pettis J.S. (2019) Differential autogrooming response to the tracheal mite *Acarapis woodi* by the honey bees *Apis cerana* and *Apis mellifera*. *Insectes Sociaux*,
- Sakamoto Y., Maeda T., Yoshiyama M., Pettis J.S. (2016) Differential susceptibility to the tracheal mite *Acarapis woodi* between *Apis cerana* and *Apis mellifera*. *Apidologie*,
- Sakamoto Y., Mori H., Onishi H., Imai H., Kishimoto T., Toda M., Kishi S., Goka K. (2016) Surveys of the ant faunas at ports of Tokyo Bay and the Ogasawara Islands. *Applied Entomology and Zoology*,
- 坂本佳子, 岡部貴美子 (2017) *Varroa* 属 (ミツバチヘギイタダニ属: 和名新称) における和名の整理. *日本ダニ学会誌*, 26 (2), 89-90
- Sakamoto Y., Yago M. (2017) Potential for interspecific hybridization between *Zizina emelina* and *Zizina otis* (Lepidoptera: Lycaenidae). *Journal of Insect Conservation*,
- 佐久間東陽, 亀山哲, 小野理, 木塚俊和, 三上英敏 (2017) Landsat 8 OLI 地表面反射率プロダクトを用いた釧路川流域における未利用農地分布図の作成. *日本リモートセンシング学会誌*, 37 (5), 421-433
- Sakuma A., Kameyama S., Ono S., Kizuka T., Mikami H. (2017) The detection and evaluation of unused agricultural land using LANDSAT-8 OLI and DEM in Kushiro River watershed, Japan. *Full Papers ISRS2017*, 456-459
- 佐久間東陽, 亀山哲, 山野博哉 (2018) 森林火災ポテンシャル推定のための MODIS と気象データに基づく指標の有効性評価. *日本リモートセンシング学会 第 65 回学術講演会論文集*, 35-38
- Sakuma A., Yamano H. (2020) Satellite constellation reveals crop growth patterns and improves mapping accuracy of cropping practices for subtropical small-scale fields in Japan. *Remote Sensing*, 12 (2419)
- Salem S.I., Higa H., Kim H., Komatsu K., Kobayashi H., Oki K., Oki T. (2017) Multi-Algorithm Indices and Look-Up Table for Chlorophyll-a Retrieval in Highly Turbid Water Bodies Using Multispectral Data. *REMOTE SENSING*, 9 (6)

- Sanchez-bayo F., Goulson D., Pennacchio F., Nazzi F., Goka K., Desneux N. (2016) Are bee diseases linked to pesticides? — A brief review. *Environment International*, 89-90, 7-11
- Sasaki K., Hotes S., Kadoya T., Yoshioka A., Wolters V. (2020) Landscape associations of farmland bird diversity in Germany and Japan. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00891
- Satake K., Ueno R., Sasaki T. (2020) Freshwater and Brackish-water Macroinvertebrates in the Ogasawara Islands. *Global Environmental Research*, 23, 73-75
- Sato M., Ebihara T., Satake K., Kojima S., Fukumori H., Angsupanich S. (2020) Distributions and variations of two estuarine species of *Compositia* (Annelida: Nereididae) in the Ryukyu Islands, southern Japan, with a new record of *Compositia tokashikiensis* from Thailand. *Species Diversity*, 25, 25-38
- 澤田寛子, 佐治光, 青野光子, 中嶋信美, 玉置雅紀 (2017) 大気環境と植物 -第5講 オゾンストレスに対する分子レベルの応答-. *大気環境学会誌*, 52 (1), A8-A15
- Sekizawa A., Uechi H., Iguchi A., Nakamura T., Kumagai N., Suzuki A., Sakai K., Nojiri Y. (2017) Intraspecific variations in responses to ocean acidification in two branching coral species. *Marine Pollution Bulletin*, 122, 282-287
- 先崎 理之 (2018) 自動車騒音により獲物を見つけにくくなるフクロウ類. *騒音制御*, 42 (4), 173-176
- Senzaki M., Kadoya T., Francis CD, Ishinaya N., Nakamura F. (2018) Suffering in receivers: negative effects of noise persist regardless of experience in female anurans. *Functional Ecology*, 32, 2054-2064
- Senzaki M., Yamaura Y., Shoji Y., Kubo T., Nakamura F. (2017) Citizens promote the conservation of flagship species more than ecosystem services in wetland restoration. *Biological Conservation*, 214, 1-5
- Shen M., Jiang N., Peng D., Rao Y., Huang Y., Fu Y.H., Yang W., Zhu X., Cao R., Chen X., et al. (2020) Can changes in autumn phenology facilitate earlier green-up date of northern vegetation? *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108077.
- Shimizu Y., Lu Y., Aono M., Omasa K. (2019) A novel remote sensing-based method of ozone damage assessment effect on Net Primary Productivity of various vegetation types. *Atmospheric Environment*, 217, 116947
- 篠原隆一郎, 古里栄一 (2017) 湖沼におけるリンの動態研究に関する近年の動向. *地球化学*, 51 (4), 159-170
- Shinohara R., Hiroki M., Kohzu A., Imai A., Inoue T., Furusato E., Komatsu K., Sato T., Tomioka N., Shimotori K., Miura S. (2017) Role of organic phosphorus in sediment in a shallow eutrophic lake. *Water Resources Research*, 53, 7175-7189
- Shoji Y., Kim H., Kubo T., Tsuge T., Aiko T., Kuriyama K. (2021) Understanding preferences for pricing policies in Japan's national parks using the best-worst scaling method. *Journal for Nature Conservation*, 60
- Soga M., Gaston K.J., Kubo T. (2018) Cross-generational decline in childhood experiences of neighborhood flowering plants in Japan. *Landscape and Urban Planning*, 174, 55-62
- 曾我昌史, 今井葉子, 土屋一彬 (2016) 「経験の消失」時代における自然環境保全：人と自然との関係を問い直す. *ワイルドライフフォーラム*, 20 (2), 24-27
- Stockwell J.D., Doubek J.P., Adrian R., Anneville O., Carey C.C., Carvalho L., De Senerpont Domis L.N., Dur G., Frassl M.A., Grossart H.P., Ibelings B.W., Lajeunesse M.J., Lewandowska A.M., Llamas M.E., Matsuzaki S., and 24 authors (2020) Storm impacts on phytoplankton community dynamics in lakes. *Global Change Biology*, 26, 2756-2784
- Sun L.W., Jiang W.J., Zhang J.Y., Wang W.Q., Du Y., Sato H., Kawachi M., Yu R. (2018) Identification and detection sensitivity of *Microcystis aeruginosa* from mixed and field samples using MALDI-TOF MS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (12), 712
- Suzuki T., Ikeda T. (2019) Challenges in managing invasive raccoons in Japan. *Wildlife Research*, 46 (6), 476-483
- Suzuki T., Ikeda T. (2020) Invasive raccoon management systems and challenges in regions with active control. *BMC Ecology*, 20 (68)
- 鈴木嵩彬 (2020) アライグマ：全国の関係者が抱える課題. *ニューカントリー2020 年夏季臨時増刊号 鳥獣害を知って防ごう*, 56-58

- 多田満 (2017) 観察から「畏敬の念」「美しく愛すべきもの」へ. 文学と環境, 20, 13-14
- 多田満 (2018) 社会対話「環境カフェ」の実践—「環境カフェ本郷」の開催を例に—. 環境教育学会関東支部年報, (12), 17-20
- 多田満 (2018) 社会対話の実践 - 「環境カフェ」を例に -. 環境科学会誌, 31 (5), 207-216
- 多田満 (2018) 論文詩—科学コミュニケーションツール. 日本生態学会誌, 68, 59-63
- Tada M. (2019) Combining Poetry and Science to Create Scientific “Thesis Poetry” as a Tool for the Communication of Science. *Science Communication*, 41 (4), 516-524
- 多田満, 石水極子 (2019) 社会対話「環境カフェ」の実践-「環境カフェ駒場」の開催を例に-. 日本環境教育学会関東支部年報, (13), 39-44
- 多田満, 田中迅 (2019) 人と植物の連関——環境人類学からの考察. 環境芸術, (22), 86-91
- 多田満, 田中迅 (2020) 社会対話の実践「環境カフェ」とSDGsのかかわり. 日本環境教育学会関東支部年報, 14, 41-46
- 多田満, 戸祭森彦 (2018) 科学と文学による社会対話「環境カフェ」の実践—『海辺』の生態学』をテーマに—. 環境教育, 28 (1), 30-33
- 高村典子 (2016) 環境研究・技術開発戦略（答申）の背景にある自然共生社会. 環境技術会誌, (162), 30-32
- 高村典子 (2016) 淡水域の保全、その政策を支える生物多様性評価の現状と課題. 保全生態学研究, 21, 117-124
- 高村典子 (2019) 地域の自然資源としてのため池、その価値の再評価と活用. 水環境学会誌, 42 (A) (2), 43-43
- 高村典子 (2019) 日本における外来種・外来魚の状況について. KYOTO EXPERIMENT 2019 京都国際舞台芸術祭, 46-47
- 高村典子 (2019) ため池の生物多様性損失の評価と保全-兵庫県南部の調査研究から-. 農村計画学会誌, 38 (3), 332-335
- Takamura N., Nakagawa M. (2016) Photosynthesis and primary production in Lake Kasumigaura (Japan) monitored monthly since 1981. *Ecological Research*, 31 (3), 287
- Takamura N., Nakagawa M., Hanazato T (2017) Zooplankton abundance in the pelagic region of Lake Kasumigaura (Japan): monthly data since 1980. *Ecological Research*, 32, 1-1
- Takeuchi Y., Diway B. (2021) Long pollen dispersal prevents biparental inbreeding depression in seeds in a natural population of the tropical tree *Shorea laxa*. *Forest Ecology and Management*, 489, 119063
- Takeuchi Y., Kikuchi S., Diway B. (2020) Albinism and inbreeding depression in seedlings of the tropical tree, *Shorea laxa*. *Journal of Forest Research*,
- Takeuchi Y., Muraoka H., Yamakita T., Kano Y., Nagai S., Bunthang T., Costello M.J., Darnaedi D., Diway B., Ganyai T., Grudpan C., Hughes A., Ishii R., Lim P.T., Ma K., Muslim A.M., Nakano S., Nakaoka M., Nakashizuka T., Onuma M., Park C., Pungga R.S., Saito Y., Shakya M.M., Sulaiman M.K., Sumi M., Thach P., Trisurat Y., Xu X., Yao T.L., Kim E., Vergara S., Yahara T. (2021) The Asia-Pacific Biodiversity Observation Network: 10-year achievements and new strategies to 2030. *Ecological Research*, 36, 232-257
- Takeuchi Y., Soda R., Diway B., Kuda T., Nakagawa M., Nagamasu H., Nakashizuka T. (2017) Biodiversity conservation values of fragmented communally reserved forests, managed by indigenous people, in a human-modified landscape in Borneo. *Plos One*, 12 (11)
- 内匠夏奈子, 羽賀淳, 岩田律子, 中村織江, 大沼学, 長嶺隆, 中谷裕美子 (2019) 国立環境研究所における絶滅危惧鳥類遺伝資源保存事業で得られた消化管材料から見出された寄生蠕虫類. 獣医寄生虫学会誌,
- 玉置雅紀, 宮崎勝己, 張成年 (2019) カイヤドリウミグモの系統と分類. 生物科学, 70 (2), 73-77
- Tani T., Eitsuka T., Katayama M., Nagamine T., Nakaya Y., Suzuki H., Kiyono T., Nakagawa K., Inoue-Murayama M., Onuma M., Fukuda T. (2020) Establishment of immortalized primary cell from the critically endangered Bonin flying fox (*Pteropus pselaphon*). *PLoS ONE*, 14 (8): e0221364
- Taninaka H., Bernardo L.P.C., Saito Y., Nagai S., Ueno M., Kitano Y., Nakamura T., Yasuda N. (2019) Limited fine-scale larval

dispersal of the threatened brooding corals *Heliopora* spp. as evidenced by population genetics and numerical simulation. *Conservation Genetics*, 20, 1449-1463

谷中絢貴, 波利井佐紀, 香川浩彦, 上野光弘, 北野 裕子, 齋藤佑太, 長井敏, 安田仁奈 (2018) 石西礁湖周辺における遺伝的に異なる2タイプのアオサンゴ *Heliopora coerulea* (Pallas, 1766) の生殖時期推定. *日本サンゴ礁学会誌*, 20, 1-13

Teng P., Ono E., Zhang Y., Aono M., Shimizu Y. (2019) Estimation of Ground Surface and Accuracy Assessments of Growth Parameters for A Sweet Potato Community in Ridge Cultivation. *Remote Sensing*, 11 (12), 1487-1504

寺田文子, 釣賀 一二三, 長坂晶子, 近藤麻実, 深澤圭太 (2017) ヒグマの体毛の採取効率はヘア・トラップの立地条件から影響を受けるか?—北海道南西部渡島半島での調査結果を用いた検討—. *哺乳類科学*, 57 (2), 297-306

Terashima I., Tang Y., Muraoka H. (2016) Spatio-temporal variations in photosynthesis. *Journal of Plant Research*, 129, 295-298.

Tomimatsu H., Sakata T., Fukayama H., Tang Y. (2019) Short-term effects of high CO₂ accelerate photosynthetic induction in *Populus koreana* × *trichocarpa* with always-open stomata regardless of phenotypic changes in high CO₂ growth conditions. *Tree Physiology*, 39, 474-483

Tomimatsu H., Tang Y. (2016) Effects of high CO₂ levels on dynamic photosynthesis: carbon gain, mechanisms, and environmental interactions. *Journal of Plant Research*, 129, 365-377

遠山弘法 (2020) 種内、種間、群集における植物多様性研究. *植物地理・分類研究*, 68 (1), 19-30

Toyama H., Aung M.M., Tagane S., Naiki A., Suddee S., Nagamasu H., Nagahama A., Win S.S., Tanaka N., Yahara T. (2020) Contributions to the Flora of Myanmar V: a new record of *Mallotus tokia*e (Euphorbiaceae) with the description of flower morphology from Lampi Island. *Thai Forest Bulletin (Botany)*, 48 (1), 1-6

Toyama H., Bessho K., Huang L., Hirota S.K., Kano Y., Mase K., Sato T., Naiki A., Li J., Shimatani Y., Yahara T. (2019) The effects of water pollution on the phylogenetic community structure of aquatic plants in the East Tiaoxi River, China. *Freshwater Biology*,

Tsuchiya K., Komatsu K., Shinohara R., Imai A., Matsuzaki S., Ueno R., Kuwahara V.S., Kohzu A. (2020) Variability of benthic methane-derived carbon along seasonal, biological, and sedimentary gradients in a polymictic lake. *Limnology and Oceanography*,

Tsuchiya K., Sano T., Tomioka N., Kohzu A., Komatsu K., Shinohara R., Takamura N., Nakagawa M., Sugai Y., Kuwahara V. S., Toda T., Fukuda H., Imai A. (2019) Seasonal variability and regulation of bacterial production in a shallow eutrophic lake. *Limnology and Oceanography*,

Tsuchiya K., Sano T., Tomioka N., Kohzu A., Komatsu K., Shinohara R., Shimode S., Toda T., Imai A. (2020) Incorporation characteristics of exogenous ¹⁵N-labeled thymidine, deoxyadenosine, deoxyguanosine and deoxycytidine into bacterial DNA. *PLoS ONE*, 15(2) (e0229740)

Tsuchiya K., Tomioka N., Sano T., Kohzu A., Komatsu K., Imai A., Hayakawa K., Nagata T., Okamoto T., Hirose Y. (2019) Decrease in bacterial production over the past three decades in the north basin of Lake Biwa, Japan. *Limnology*,

Usio N., Nakagawa M., Aoki T., Higuchi S., Kadono Y., Akasaka M., Takamura N. (2017) Effects of land use on trophic states and multi-taxonomic diversity in Japanese farm ponds. *Agricultural Ecosystems & Environment*, 247, 205-215

Wang B., Jin H., Li Q., Chen D., Zhao L., Tang Y., Kato T., Gu S. (2017) Diurnal and Seasonal Variations in the Net Ecosystem CO₂ Exchange of a Pasture in the Three-River Source Region of the Qinghai-Tibetan Plateau. *PloS one*, 12, e0170963-e0170963.

Wang C., Chen J., Tang Y., Black T.A., Zhu K. (2018) A Novel Method for Removing Snow Melting-Induced Fluctuation in GIMMS NDVI3g Data for Vegetation Phenology Monitoring: A Case Study in Deciduous Forests of North America. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11, 800-807.

Wang C., Chen J., Wu J., Tang Y., Shi P., Black T.A., Zhu K. (2017) A snow-free vegetation index for improved monitoring of vegetation spring green-up date in deciduous ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 196, 1-12.

Wang C., Tang Y., Chen J. (2016) Plant phenological synchrony increases under rapid within-spring warming. *Scientific Reports*, 6, 25460.

- Wang H., Yu L., Zhang Z., Liu W., Chen L., Cao G., Yue H., Zhou J., Yang Y., Tang Y., et al. (2017) Molecular mechanisms of water table lowering and nitrogen deposition in affecting greenhouse gas emissions from a Tibetan alpine wetland. *Global Change Biology*, 23, 815-829.
- Watanabe K., Kohzu A., Suda W., Yamamura S., Takamatsu T., Takenaka A., Koshikawa-K.M., Hayashi S., Watanabe Mirai. (2016) Microbial nitrification in throughfall of a Japanese cedar associated with archaea from the tree canopy. *SpringerPlus*, 5 (1596)
- Watanabe Mirai., Miura S., Hasegawa S., Koshikawa-K.M., Takamatsu T., Kohzu A., Imai A. (2018) Coniferous coverage as well as catchment steepness influences local stream nitrate concentrations within a nitrogen-saturated forest in central Japan. *Science of the Total Environment*, 636, 539-546
- Weisler M.I., Qua H., Zhao J.-X., Nguyen A.D., Nothdurft L., Yamano H., Mihaljević M. (2018) Marine reservoir correction for the southern Marshall Islands for the past 2,500 years. *Radiocarbon*, 60 (1), 333-348
- 呉崇洋, 田中凌太, 藤好恭平, 服部一華, 赤路康朗, 廣部宗, 坂本圭児 (2019) ブナ林下層に生育するチシマザサ(*Sasa kurilensis* Makino et Shibata)の群落構造に影響を与える環境要因. *日本緑化工学会誌*, 45 (1), 103-108
- Wu D., Ciais P., Viovy N., Knapp A.K., Wilcox K., Bahn M., Smith M.D., Vicca S., Fatichi S., Zscheischler J., He Y., Li X., Ito A., Arneeth A., Harper A., Ukkola A., Paschalis A., Poulter B., Peng C., Ricciuto D., Reinthaler D., Chen G., Tian H., Genet H., Mao J., Ingrisch J., Nabel J.E.S.M., Pongratz J., Boysen L.R., Kautz M., Schmitt M., Meir P., Zhu Q., Hasibeder R., Sippel S., Dangal S.R.S., Sitch S., Shi X., Wang Y., Luo Y., Liu Y., Piao S. (2018) Asymmetric responses of primary productivity to altered precipitation simulated by ecosystem models across three long-term grassland sites. *Biogeosciences*, 15, 3421-3437
- Wu X.Z., Wu X., Inoue T. (2017) Real-time in-situ Simultaneous Monitoring of Dissolved Oxygen and Materials Movements at a Vicinity of Micrometers from an Aquatic Plant by Combining Deflection of a Probe Beam and Fluorescence Quenching. *Analytical Sciences*, 33, 351-355 <Hot Article Award Analytical Sciencesawarded>
- Wu Y., Zhu B., Eissenstat D.M., Wang S., Tang Y., Cui X. (2021) Warming and grazing interact to affect root dynamics in an alpine meadow. *Plant and Soil*, 459, 109-124.
- Xu J., Molinos J.G., Su G., Matsuzaki S., Akasaka, M., Zhang H., Heino J. (2019) Cross - taxon congruence of multiple diversity facets of freshwater assemblages is determined by large - scale processes across China. *Freshwater Biology*, 64 (8), 1492-1503
- Yamagata Y., Yoda H., Osaki K., Amano Y., Aono M., Seo S., Kuchitsu K., Mitsuhara I. (2016) Mitogen-activated protein kinase 4-like carrying an MEY motif instead of a TXY motif is involved in ozone tolerance and regulation of stomatal closure in tobacco. *Journal of Experimental Botany*, 67 (11), 3471-3479
- 山野博哉 (2016) モニタリングが明らかにするサンゴ礁の現在と未来. *遺伝*, 70, 28-33
- 山野博哉 (2017) For your lifework 「生物」「生命」を研究・育成する施設から読者の皆さんへのメッセージ: 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター[Vol.1]. *生物の科学遺伝*, 71(3), 295
- 山野博哉 (2017) 海洋生態系への影響. *環境情報科学*, 46 (3), 25-29
- 山野博哉 (2017) 研究室紹介 国立環境研究所. *日本リモートセンシング学会誌*, 37 (4), 395-396
- 山野博哉 (2017) サンゴ礁を取巻くさまざまな環境問題. *現代化学*, 2017 (6), 42-45
- 山野博哉 (2017) 世界と日本におけるサンゴ礁の状況, 今後の予測, そして保全に向けた取組. *日本サンゴ礁学会誌*, 19, 41-49
- 山野博哉 (2017) 水生生物に及ぼす気候変動の影響. *用水と廃水*, 59, 68-73
- 山野博哉 (2018) 学術研究に基づいた自然環境分野の気候変動適応. *国立公園*, 761, 13-15
- 山野博哉 (2019) 生態系保全に基づく小島嶼国の国土の維持. *日本サンゴ礁学会誌*, 21, 63-71
- Yamano H., Kayanne H., Yamaguchi T., Inoue T., Mochida Y., Baba S. (2017) Revisiting late Holocene sea-level change from the Gilbert Islands, Kiribati, west-central Pacific Ocean. *Quaternary Research*, 88, 400-408
- 山野博哉, 北野裕子, 阿部博哉, 細川卓, 田中誠士, 小林裕幸, 山本智之 (2019) 高水温が引き起こした白化現象による

- サンゴ礁の衰退：沖縄県石西礁湖と八重干瀬における航空機観測. 日本リモートセンシング学会誌, 39, 393-398
- Yamano H., Inoue Ken-Ichiro, Adachi H., Tsukaya K., Adachi R., Baba S. (2019) Holocene sea-level change and evolution of a mixed coral reef and mangrove system at Iriomote Island, southwest Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 220, 166-175
- Yamano H., Inoue T., Baba S. (2020) Mangrove development and carbon storage on an isolated coral atoll. *Environmental Research Communications*, 2 (065002)
- 山野博哉, 小熊宏之 (2017) 画像を用いたサンゴ礁リモートセンシングの最近の展開. 月刊海洋 号外, 60, 99-106
- Yamano H., Sakuma A., Harii S. (2020) Coral-spawn slicks: Reflectance spectra and detection using optical satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 251 (112058)
- 山ノ内崇志, 赤坂宗光, 西廣淳, 角野康郎, 高村典子 (2016) 水生植物保全の視点に基づく保全上重要な湖沼選定の試み. 保全生態学研究, 21, 135-146
- Yamazaki A., Watanabe T., Tsunogai U., Iwase F., Yamano H. (2016) A 150-year variation of the Kuroshio transport inferred from coral nitrogen isotope signature. *Paleoceanography*, 31, 838-846
- Yang W., Kobayashi H., Wang C., Shen M., Chen J., Matsushita B., Tang Y., Kim Y., Bret-Harte M.S., Zona D., et al. (2019) A semi-analytical snow-free vegetation index for improving estimation of plant phenology in tundra and grassland ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 228, 31-44.
- Yao Y., Li Z., Wang T., Chen A., Wang X., Du M., Jia G., Li Y., Li H., Luo W., et al. (2018) A new estimation of China's net ecosystem productivity based on eddy covariance measurements and a model tree ensemble approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253-254, 84-93.
- Yao Y., Wang X., Li Y., Wang T., Shen M., Du M., He H., Li Y., Luo W., Ma M., et al. (2018) Spatiotemporal pattern of gross primary productivity and its covariation with climate in China over the last thirty years. *Global Change Biology*, 24, 184-196.
- Yasuda M., Sakamoto Y., Goka K., Nagamitsu T., Taki H. (2017) Insecticide susceptibility in Asian honey bees (*Apis cerana* (Hymenoptera: Apidae)) and implications for wild honey bees in Asia. *Journal of Economic Entomology*, 1-6
- Ye F., Kameyama S. (2021) Long-term nationwide spatiotemporal changes of freshwater temperature in Japan during 1982-2016. *Journal of Environmental Management*, 281 (111866)
- Ye L., Chang C.W., Matsuzaki S., Takamura N., Widdicombe C.E., Hsieh C.H. (2019) Functional diversity promotes phytoplankton resource use efficiency. *Journal of Ecology*, 107, 2353-2363
- 横地洋之, 下池和幸, 梶原健次, 野村恵一, 北野裕子, 松本尚, 島田剛, 杉原薫, 鈴木 豪, 立川浩之, 山本広美, 座安佑奈, 木村匡, 河野裕美 (2019) 西表島網取湾の造礁サンゴ類. 西表島研究 2018, 東海大学沖縄地域研究センター所報, 36-69
- 横溝裕行, 鈴木牧 (2018) 巻頭言-不確実性下における効果的な哺乳類管理. 保全生態学研究, 23 (1), 5-7
- Yokomizo H., Takada T., Fukaya K., Lambrinos J.G. (2017) The influence of time since introduction on the population growth of introduced species and the consequences for management. *Population Ecology*, 59 (2), 89-97
- Yoshida K. (2020) Predicting Changes in Ecosystems after Eradication of Invasive Species through Computer Simulations. *Global Environmental Research*, 23, 45-51
- Yoshida K., Hata K., Kawakami K., Hiradate S., Osawa T., Kachi N. (2019) Ecosystem changes following the eradication of invasive species: evaluation of various eradication scenarios by computer simulation. *Ecological Modelling*,
- Yoshikawa T., Kawakami K., Masaki T. (2019) Allometric scaling of seed retention time in seed dispersers and its application to estimation of seed dispersal potentials of theropod dinosaurs. *Oikos*,
- 吉岡明良 (2020) 被災地の飛翔性昆虫はいま. グリーン・パワー, (7), 10-11
- Yoshioka A., Fukasawa K., Mishima Y., Sasaki K., Kadoya T. (2017) Ecological dissimilarity among land-use/land-cover types improves a heterogeneity index for predicting biodiversity in agricultural landscapes. *Ambio*, 46 (8), 894-906

Yoshioka A., Matsushima N., Jingu S., Kumada N., Yokota R., Totsu K., Fukasawa K. (2020) Acoustic monitoring data of anuran species inside and outside the evacuation zone of the Fukushima Daiichi power plant accident. *Ecological Research*, 35, 765-772

Yoshioka A., Mishima Y., Kumada N., Fukasawa K. (2016) Tackling biodiversity monitoring of the Fukushima evacuation zone. IAIA16 Conference Proceedings,

Yoshioka A., Shimizu A., Oguma H., Kumada N., Fukasawa K., Jingu S., Kadoya T. (2020) Development of a camera trap for perching dragonflies: a new tool for freshwater environmental assessment. *PeerJ*, 8, e9681

Zeng J., Matsunaga T., Tan Z.-H., Saigusa N., Shirai T., Tang Y., Peng S., Fukuda Y. (2020) Global terrestrial carbon fluxes of 1999–2019 estimated by upscaling eddy covariance data with a random forest. *Scientific Data*, 7, 313.

Zhang L., Chen Z., Zhang X., Zhao L., Li Q., Chen D., Tang Y., Gu S. (2021) Evapotranspiration and Its Partitioning in Alpine Meadow of Three-River Source Region on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Water*, 13.

Zhao J., Luo T., Li R., Wei H., Li X., Du M., Tang Y. (2018) Precipitation alters temperature effects on ecosystem respiration in Tibetan alpine meadows. *Agricultural and Forest Meteorology*, 252, 121-129.

Zhao J., Luo T., Wei H., Deng Z., Li X., Li R., Tang Y. (2019) Increased precipitation offsets the negative effect of warming on plant biomass and ecosystem respiration in a Tibetan alpine steppe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 279, 107761.

Zhao J., Tian L., Wei H., Zhang T., Bai Y., Li R., Tang Y. (2021) Impact of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) burrowing-induced microtopography on ecosystem respiration of the alpine meadow and steppe on the Tibetan plateau. *Plant and Soil*, 458, 217-230.

Zhou T., Cao R., Wang S., Chen J., Tang Y. (2018) Responses of green-up dates of grasslands in China and woody plants in Europe to air temperature and precipitation: Empirical evidences based on survival analysis. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 42, 526-538.

<書籍等>

発表者・(刊年)・題目・出版社・総頁数

西廣淳, 宮下直著 (2019) 人と生態系のダイナミクス 1 農地・草地の歴史と未来, 朝倉書店, 164p

吉川 徹朗著 (2019) 揺れうごく鳥と樹々のつながりー裏庭と書庫からはじめる生態学ー, 東海大学出版部, 256p

<書籍等 (分担執筆) >

発表者・(刊年)・題目・編著者名・書名・出版社・頁

深澤圭太, 岡田尚 (2017) 無人化地域のグリーンインフラ. 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, 333-342

五箇公一 (2016) 侵入生物としての病原生物. 生態学会編, 感染症の生態学, 共立出版, 115-131

五箇公一, 坂本佳子 (2020) 外来アリ防除の手法と課題. 橋本佳明編, 外来アリのはなし, 朝倉書店, 154-178

橋本琢磨, 諸澤崇裕, 深澤圭太 (2016) 奄美から世界を驚かせよう:奄美大島におけるマングース防除事業, 世界最大規模の根絶へ. 水田拓編著, 奄美群島の自然史学:亜熱帯島嶼の生物多様性, 東海大学出版部, 290-312

Inoue T. (2018) Carbon Sequestration in Mangroves. In: Kuwae T. and Hori M.編, Blue carbon in shallow coastal ecosystems, Springer, Shingapore, 73-99

井上智美 (2018) 熱帯・亜熱帯沿岸の森マングローブ. 日本湿地学会監修, 日本の湿地, 朝倉書店, 84-85

梶原健次, 北野裕子, 木村匡, 座安佑奈, 島田剛, 下池和幸, 杉原薫, 鈴木豪, 立川浩之, 出羽尚子, 野村恵一, 松本尚, 山本広美, 横地洋之 (2020) 宮古諸島造礁サンゴ目録. 宮古島市史編さん委員会編, 宮古島市史 第三巻 自然編 第I部 み

やこの自然 別冊, 宮古島市教育委員会, 73-91

亀山哲 (2017) 流域環境モデルを用いた流域の河川水温推定と気候変動による影響評価, 矢部和夫・山田浩之・牛山克巳監修, 北のウェットランド-湿地の科学と暮らし, 北海道大学出版会, 319-332

亀山哲 (2019) 第2章3 統計学を用いたニホンウナギの生息適地の推定～森里川海の絆の再生による自然共生社会の実現を目指して～. 安田喜憲・岸本吉生・中井徳太郎・鳥居敏男・石田秀輝・吉澤保幸編, 生命文明の時代, インプレス R&D POD 出版サービス, 131-150

亀山康子 (2017) 持続可能な開発目標 (SDGs) . 車谷典男監修, 日本医師会雑誌第 146 巻特別号 (2) 環境による健康リスク, 日本医師会, 36-39

亀山康子 (2018) 実効性. 持続可能な発展. 京都議定書. 気候変動とオゾン層保護. 国際制度決定過程におけるステークホルダー. 環境経済・政策学会編, 環境経済・政策学事典, 丸善出版, 62-63 44-45 170-171 212-213 538-539

亀山康子 (2018) 持続可能な社会づくりをめざしてー地球温暖化と世界の動き. 帝国書院監修, 地理・地図資料, 帝国書院, 4-7

亀山康子 (2018) 気候変動対処に向けた国際的取り組みの経緯とパリ協定について. 国立天文台編, 環境年表 2019-2020, 丸善出版, 496-497

亀山康子 (2019) 地球環境問題の概観と根源にあるもの. 温暖化防止のための国際的取り組み. 大気環境学会編, 大気環境の事典, 朝倉書店, 282-283 308-309

Kobayashi Y., Nakamura F. (2018) The possibility of using abandoned farmlands for habitat restoration in societies with decreasing populations. In: Futoshi Nakamura 編, Biodiversity conservation using umbrella species: Blakiston, Springer, 185-196

久保雄広, 庄子康 (2016) 野生動物管理学からのアプローチ——政策評価・リスク認識. 愛甲哲也・庄子康・栗山浩一・久保雄広・寺崎竜雄・柘植隆宏・岡野隆宏編著, 自然保護と利用のアンケート調査—公園管理・野生動物・観光のための社会調査ハンドブッカー, 築地書館, 204-226

熊谷直喜 (2018) 温暖化による生物・生態系への影響. 国立天文台編, 理科年表 2019, 丸善出版株式会社, 961-962

熊谷直喜 (2019) 地球温暖化による生物の活動への影響. 国立天文台編, 理科年表 2020, 丸善出版株式会社, 1001-1002

熊谷直喜 (2020) コラム 10.1 気候変動: 藻場からサンゴ群集へ. 日本ベントス学会編, 海岸動物の生態学入門, 海文堂出版株式会社, 214-215

MAMENO K., Kubo T., Shoji Y., Tsuge T. (2020) How to Engage Tourists in Invasive Carp Removal: Application of a Discrete Choice Model. In: Saito O., S S.M., Hashimoto S., Takeuchi K.eds., Managing Socio-ecological Production Landscapes and Seascapes for Sustainable Communities in Asia, Springer Singapore, 31-44

西廣淳 (2019) 氾濫原と植物. 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, 20-22

大場真 (2018) 物質循環モデルと森林施業影響. 柴田 英昭編, 森林と物質循環(森林科学シリーズ第 8 巻), 共立出版, 149-197

Ooba M., Hayashi K. (2017) Connection to ecosystem services studies. In: Shimizu H., Takatori C., Kawaguchi N.eds., Labor Forces and Landscape Management, Springer, 441-448

坂本洋典 (2019) アリとチョウの共生. (一社) 生物音響学会編, 生き物と音の事典, 株式会社 朝倉書店, 332-333

坂本洋典 (2020) ヒアリとアカカミアリ. 橋本佳明編, 外来アリのはなし, 朝倉書店, 78-92

坂本佳子 (2016) 外来植物を利用する希少種 II—シルビアシジミ—. 井上大成・石井実編, 環境 Eco 選書 12 チョウの分布拡大, 北隆館/ニューサイエンス社, 393-398

Sanchez-bayo F., Goka K. (2016) Impacts of Pesticides on Honey Bees. In: Emerson Dechechi Chamboed., Beekeeping and Bee Conservation - Advances in Research, InTech, 77-97

鈴木真理子, 豆野皓太, 久保雄広 (2017) 島の人たちにとってのネコ問題. 鹿児島大学生物多様性研究会編, 奄美群島の

外来生物—生態系・健康・農林水産業への脅威, 南方新社, 226-229

Takeuchi Y., Kobayashi A., Diway B. (2020) Transitions in the Utilisation and Trade of Rattan in Sarawak: Past to Present, Local to Global. In: N Ishikawa, R Sodaeds., *Anthropogenic Tropical Forests: Human-Nature Interfaces on the Plantation Frontier*, Springer, 453-477

Takeuchi Y., Soda R., Samejima H., Diway B. (2020) Current Status and Distribution of Communally Reserved Forests in a Human-Modified Landscape in Bintulu, Sarawak. In: N Ishikawa, R Sodaeds., *Anthropogenic Tropical Forests: Human-Nature Interfaces on the Plantation Frontier*, Springer, 439-452

山野博哉 (2017) 地球温暖化に伴う海面上昇、サンゴ礁の島々に迫る危機. 小池 一之, 山下 脩二, 岩田 修二, 漆原 和子, 小泉 武栄, 田瀬 則雄, 松倉 公憲, 松本 淳, 山川 修治編, *自然地理学事典*, 朝倉書店, 404-405

山野博哉 (2019) 環礁州島の成り立ちと地球規模変動. 山口徹編, *アイランドスケープ・ヒストリーズ 島景観が架橋する歴史生態学と歴史人類学*, 風響社, 277-291

山野博哉 (2020) このままではサンゴ礁の防波機能が失われる. グリーンインフラ研究会編, *実践版! グリーンインフラ*, 日経 BP, 396-403

Yamano H., Watanabe T. (2016) Coupling Remote Sensing and Coral Annual Band Data to Investigate the History of Catchment Land Use and Coral Reef Status. In: Kayanne H.ed., *Coral reef science*, Springer, 47-53

Yara Y., Yamano H., Steinacher M., Fujii M., Vogt M., Gruber N., Yamanaka Y. (2016) Potential Future Coral Habitats Around Japan Depend Strongly on Anthropogenic CO2 Emissions. In: Nakano S., Yahara T., Nakashizuka T.ed., *Aquatic Biodiversity Conservation and Ecosystem Services*, Springer, 41-56

鎗目雅, 亀山康子 (2017) エネルギーと気候変動—持続可能な開発に向けたレジリエンスとイノベーション. 蟹江憲史編, 『持続可能な開発目標とは何か』, ミネルヴァ書房, 141-161

安田仁奈, 志村晶史, 中林朗, 山北剛久, 中村隆志, 相澤浩明, 井口亮, 北野裕子, 山野博哉, 長井敏, Sylvain Agostini, 手島康介 (2019) 温暖化で北上・分布拡大している日本の温帯サンゴ域は造礁サンゴの避難所となりえるのか?. *日本 DNA 多型学会編, DNA 多形 vol. 27*, 日本 DNA 多型学会, 37-42

吉岡明良 (2019) コラム 11 日本の河原に生息する陸生昆虫. 応用生態工学会編, *河道内氾濫原の保全と再生*, 技報堂出版株式会社, 189-193

2.2 口頭発表

発表者・(暦年)・題目・学会等名称・予稿集名・頁

赤路康朗, 井上智美 (2019) 日中および夜間の生育温度上昇に対するヤエヤマヒルギ実生の形態的・生理的变化. 第 66 回日本生態学会大会, 同予稿集

赤坂宗光, 石濱史子, 藤田卓, 角谷拓 (2019) 国立公園の保全有効性評価: 複合的な脅威の下での管理を考える. 第 66 回日本生態学会大会, 同予稿集

浅倉真吾, 羽賀淳, 岩田律子, 中村織江, 横山美沙子, 五箇公一, 岩中麻里, 迫田義博, 伊藤啓史, 伊藤壽啓, 小澤真, 西藤岳彦, 大沼学 (2020) 野鳥糞便による全国鳥インフルエンザウイルスの疫学. 日本獣医学会 第 163 回日本獣医学会学術集会, 同予稿集

安積紗羅々, 深澤圭太, 杉本直輝, 宮下直 (2017) 中山間地域の無居住化にともなう鳥類の群集構造の変化. 日本生態学会第 64 回全国大会, なし

藤田剛, 三上修, 深澤圭太 (2016) 広域分布変化からよみとく鳥たちの変化: 都市化と過疎化、日本に迫る 2 つの脅威? 日本鳥学会 2016 年度大会, 同予稿集

藤田卓, 高川晋一, 後藤なな, 石濱史子, 竹中明夫, 朱宮丈晴, 最上祥成, 川越久史 (2018) 市民調査で明らかになった日本の里山の生物多様性の 10 年間の変化~モニタリングサイト 1000 里地調査の成果と今後に向けて~. 日本生態学会第 65 回全国大会, 同予稿集

福島路生, 原田智代, 山川茜, 飯塚毅 (2019) 耳石の Sr 安定同位体比が明らかにした溯河回遊性を失わないダム湖のイトウ. 第 66 回日本生態学会大会, 同予稿集

石濱史子 (2019) 遺伝的多様性と其の代替指標に基づく保護区選択の比較. 第 66 回日本生態学会大会, 同予稿集

石濱史子, 角谷拓, 岩崎貴也 (2017) 遺伝構造の種間共通パターンの抽出と再現モデルの開発. 日本生態学会第 64 回全国大会, 同予稿集

降幡駿介, 笠井敦, 日鷹一雅, 杉田典正, 岸茂樹, 五箇公一 (2016) トンボ類に対するネオニコチノイド系殺虫剤の影響評価: 現状と課題. 日本昆虫学会第 76 回大会・第 60 回日本応用動物昆虫学会合同大会, 同講演要旨集, 75

五箇公一, 坂本佳子, 坂本洋典 (2019) 国立環境研究所におけるヒアリ等の外来アリ類防除手法の開発および社会実装. 日本昆虫学会第 79 回大会, 同予稿集, 60

池上真木彦, 五箇公一 (2018) 自己組織化マップによる外来害虫の侵入リスク分析. 第 62 回日本応用動物昆虫学会大会, 同予稿集

池上真木彦, 岸茂樹, 五箇公一 (2018) 外来種ツマアカスズメバチが対馬在来スズメバチ類に与える空間構造を考慮した影響評価. 第 65 回日本生態学会大会, 同予稿集

Inoue T. (2017) Function of mangrove plants-Roots and soil chemicals. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, Japan.

Inoue T., Baba S., Ohshiro N., Kezuka M., Mochida Y., Chan H.T., Kainuma M., Kimura N., Kuwae T., Matsuda H. (2017) Carbon storage of mangrove ecosystems: estimated models and global maps applied their models. International Conference on Sustainable Mangrove Ecosystems, Abstracts

井上智美, 野口航, 赤路康朗 (2020) マングローブ植物の葉と根の呼吸温度依存特性. 日本生態学会大会第 67 回大会, 同予稿集

角谷拓 (2018) 生物群集データと生物間相互作用. 第 34 回個体群生態学会大会, 同予稿集, 20-21

Kameyama S., Kawaguchi Y., Inoue M., Miyake Y., Kondo N., Nohara S. (2017) The temporal change of Japanese eel distribution and the habitat monitoring using environmental DNA in Japan. The 8th, World Recreational Fishing Conference 2017, Abstracts, 2017(Session 7_I12), P.11, Victoria Canada

笠田実, 横溝裕行, 宮下正 (2019) REST モデル、CPUE、景観構造を統合した個体群モデルの開発. 日本哺乳類学会 2019 年度大会, なし

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 (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. 日本生態学会第 65 回全国大会, 同予稿集

今藤夏子, 上野隆平, 佐竹潔, 吉田勝彦 (2018) 小笠原諸島父島における環境 DNA を用いた魚類多様性調査. 第 1 回環境 DNA 学会東京大会, 同予稿集, 18

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 (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. 第 52 回日本水環境学会年会, 同予稿集, 189

久保雄広 (2018) 集落の持続性を考える: 人口減少下での生物多様性保全と地域福祉の両立. 第 2 4 回「野生生物と社会」学会 九州大会, 同予稿集, 42

久保雄広 (2019) 野生動物ツーリズムの価値を可視化する. 第 66 回日本生態学会大会, 同予稿集

久保雄広, 曾我昌史, 山野博哉 (2017) 自然体験の頻度を決めるのは何か? 周辺環境、自然への関心、幼少期の体験を考慮に入れた実証分析. 日本生態学会第 64 回全国大会, 同予稿集

熊谷直喜 (2017) 地球温暖化と藻場. 応用藻類学会第 16 回大会, 同予稿集

Kumagai N., Garcia Molinos J., Yamano H., Takao S., Fujii M., Yamanaka Y. (2019) Community shifts from macroalgae to corals under climate warming: Underlying processes and adaptation strategies. PICES-2019 Annual Meeting, Abstracts

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 (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. 日本生態学会第 65 回全国大会, 同予稿集

Muraoka H., Takeuchi Y., Yamakita T., Kano Y., Nagai S., Vergara S., Kim E., Yahara T. (2020) Biodiversity and ecosystem observations by Asia Pacific Biodiversity Observation Network (APBON). JpGU-AGU Joint Meeting 2020, Abstract

小川みふゆ, 石濱史子, 深澤圭太 (2017) 古墳時代以降の人間活動が現在の自然林に与えた影響を評価する. 日本生態学会第 64 回全国大会, 同予稿集

Onuma M. (2019) Evaluation of vertebrate species diversity in Pasoh using camera trap and environmental DNA. The 13th Malaysia International Genetics Congress (MiGC13), The 13th Malaysia International Genetics Congress programme book, 52

Onuma M., Kakogawa M., Asakawa M. (2016) Molecular surveillance of avian influenza virus using waterfowl fecal samples collected between 2008 and 2015 in Japan. The 9th International Meeting of Asian Society of Conservation Medicine (ASCM) One Health in Asian-Pacific, Proceedings The 9th International Meeting of Asian Society of Conservation Medicine (ASCM) One Health in Asian-Pacific, 46

Saji S., Aono M., Tamaoki M., Nakajima N., Saji H. (2017) Role of photorespiration in plant tolerance to ozone. Commemorative workshop for Professor Graham Farquhar, Abstracts, 10

Saji S., Saji H., Sage-Ono K., Ono M., Nakajima N., Inoue T., Aono M. (2021) Enhancement of ozone tolerance by overexpression of a gene encoding a phytyocyanin in Arabidopsis. The 62nd Annual Meeting of the Japanese Society of Plant Physiologists, Abstracts, 715

坂本洋典, 鈴木嵩彬, 五箇公一 (2018) 国立環境研究所におけるツマアカスズメバチ化学的防除手法開発. 第 63 回日本応用動物昆虫学会大会, 同予稿集, 6

坂本佳子, 五箇公一, 亘悠哉, 飯島勇人, 岡部貴美子 (2020) ダニ媒介性感染症に関する日本産マダニ類の分布および遺伝的多様性. 第 64 回日本応用動物昆虫学会大会, 同予稿集, 139

Sakamoto Y., Maeda T., Yoshiyama M., Pettis J.S. (2016) Ethological approach to reveal why only *Apis cerana japonica* suffers from the tracheal mite in Japan. The XXV International Congress of Entomology, Abstracts

杉本直輝, 深澤圭太, 宮下直 (2017) 中山間地域の無居住化に伴う蝶類群集の変化. 日本生態学会第 64 回全国大会, なし
竹中明夫, 石井実, 植田睦之, 尾崎煙雄, 高川晋一 (2017) 全国ボランティア調査で見る里地の生き物の多様性 - モニ

タリングサイト 1000 里地調査の成果. 日本生態学会第 64 回全国大会, 同予稿集

竹中明夫, 石濱史子 (2016) コンパクトな保護区の背景にある群集構造. 日本生態学会第 63 回全国大会, 同予稿集

竹中明夫, 石濱史子, 雨谷教弘, 小熊宏之 (2019) 「およその評価指標」を使った柔軟な保護区選択ツール. 第 66 回日本生態学会大会, 同予稿集

竹内やよい (2020) マレーシアの熱帯林断片化景観における生態系サービスマッピング. 日本生態学会第 67 回全国大会, 同予稿集, 1(1)

Takeuchi Y., Kadoya T., Nansai K. (2020) Effectiveness of Protected Areas in Preventing Forest Habitat Loss of Terrestrial Species. 5th NIES International Forum on Sustainable Future in Asia, PROGRAM 5th NIES International Forum on Sustainable Future

Takeuchi Y., Samejima H., Diway B. (2018) Past forest cover affects tree species diversity in fragmented forest landscapes in Borneo. The 103rd Ecological Society of America's Annual Meeting, Abstracts

矢部徹, 石井裕一, 国分秀樹, 宮崎一 (2016) 干潟・藻場における有機物分解に関する研究. 第 50 回日本水環境学会年会 (2015 年度), 同予稿集

Yamano H. (2016) Marginal coral reefs and coral communities in Japan. 13th International Coral Reef Symposium, Abstracts, 379

山野博哉, 井上智美, 馬場繁幸 (2020) 完新世におけるサンゴ礁-マングローブ林共存系の発達過程. 日本地理学会 2020 年春季学術大会, 同予稿集

Yokomizo H., Nakashima Y., Osada Y., Kagawa K., Kuriyama T., Kasada M., Suzuki M., Yajima G., Ishizuka N., Asada M., Yokoyama Y., Miyashita T. (2018) Optimal management strategies to control mammal populations incorporating behaviorally mediated indirect effect. 2018 Annual Meeting of the Society for Mathematical Biology & the Japanese Society for Mathematical Biology, Abstracts, 21

吉田勝彦 (2019) 生態系進化モデルを用いて外来種駆除後の生態系変化を予測する. 第 35 回個体群生態学会大会, 同予稿集, 26

その他 533 件

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第 143 号
NIES Research Project Report, No.143

(SR-143-2024)

自然共生研究プログラム
(課題解決型研究プログラム)
平成 28～令和 2 年度
Harmonization with Nature Research Program
FY2016～2020

令和 6 年 3 月発行

編 集 国立環境研究所 編集分科会
発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所
〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16 番 2
E-mail : pub@nies.go.jp

Published by the National Institute for Environmental Studies
16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan
March 2024

無断転載を禁じます

国立環境研究所の刊行物は以下の URL からご覧いただけます。

<https://www.nies.go.jp/kanko/index.html>