

2023 年度
タカラ・ハーモニストファンド
活動・研究報告書

公益信託 タカラ・ハーモニストファンド

公益信託 タカラ・ハーモニストファンド

設定趣意書

当社は、大正14年に会社設立以来、清酒、焼酎、みりん等酒類の製造、販売に努力を傾注してまいりました。また、永年培った醸造技術に、新しい微生物研究の成果を加えて、当社独自の発酵技術を開発し、来るべきニューバイオ社会に対応すべく、バイオテクノロジー分野の拡充を計る等、「総合酒類メーカー」から「総合発酵企業」への発展を期しております。

本年9月、会社創立60周年を迎えることができましたが、これは、当社に寄せられた消費者の皆様をはじめとする国民各層のご愛顧の賜物であると深く感謝しております。

ところで、当社は従来から、企業の社会的存在としての意義を考え、「カムバックサーモン」、「日本の松を守る」、「日本の竹を守る」など自然環境の保全に関わる活動に対し、ささやかながら助成、協力をしてまいりました。

本年60周年を迎えるに当たり、国民各層のご厚情に対する感謝の気持ちを表す方策について種々検討しておりましたが、豊かな自然環境を保全することが時代の要請であり、当社が、緑と木の恵みによって存在していることを踏まえると、我が国の自然を形づくる「豊かな緑ときれいな水」を守ることの大切さをより多くの人々に呼びかけていくことが、当社にとっても極めて意義のあるという結論を得ました。このような事業を中心として自然環境の保全の推進に貢献することができれば、60周年を迎えた当社の記念事業として最もふさわしいと考え、公益信託 タカラ・ハーモニストファンドの設定の申請をする次第であります。

公益信託 タカラ・ハーモニストファンド
委託者 寶酒造株式会社
(昭和60年9月12日作成)

※現在、委託者は宝ホールディングス株式会社となっております。

目次

- ・ タカラ・ハーモニストファンド設定趣意書 ……1
- ・ タカラ・ハーモニストファンドの事業・運営 ……5

2023年度 活動助成報告

- ・ 外来種クリハラリスの分布拡大を防ぎ、里山のムササビを護ろう
クリハラリス情報ネット ……7
- ・ 里山林の再生事業 針葉樹の人工林を広葉樹との混合林化する
NPO法人 森林楽校・森んこ ……22
- ・ 島民と共に自然を知り、島の自然を未来に残したい！
「島まるごと館」の再整備と固有亜種ダイウコノハズクの保全活動
ダイウコノハズク保全研究グループ ……37

2023年度 研究助成報告

- ・ 湧水環境は地域的な種多様性を高めるか？ 溪流生態系における実証研究
植村 洋亮 ……52
- ・ 繁殖期におけるコシアカツバメ(*Hirundo daurica*)の減少要因を探る
苗川 博史 ……67
- ・ 身近な広葉樹ケヤキにおける虫こぶが生み出す生物多様性の解明
山本 悠奨 ……82
- ・ 大戸川の詳細な魚類相調査に基づいた復元目標の設定
藤田 宗也 ……97
- ・ 大型在来種ヤマナメクジが森林の多様性に果たす役割の解明
宇高 寛子 ……113
- ・ フクロウの繁殖状況と遺伝的多様性に関する研究
環境動物昆虫学研究室 上田 昇平 ……127

2022年度 研究助成報告

- ・ 西表島・浦内川における希少魚類のモニタリング
特定非営利活動法人 西表島エコツーリズム協会 ……147
- ・ 鳥類による種子散布の変動と異常気象の関連について
大河原 恭祐 ……155
- ・ 島嶼草原の送粉生態系及び絶滅危惧種ヒメツルアズキの繁殖生態の解明
大阪市立自然史博物館 長谷川 匡弘 ……170
- ・ タカラ・ハーモニストファンド応募要項 ……186

タカラ・ハーモニストファンドの事業

助成事業

1. 豊かな緑ときれいな水を守るための活動助成
豊かな緑ときれいな水を守り・自然とのふれあいを積極的につくり出すための活動を助成する。具体的には、ハーモニストファンドの設定趣旨に沿って一定の地域で実践的な活動をしている方々に対し、今後の活動をさらに発展させるための資金を助成する。
2. 緑の保護、育成、河川等の環境保全創出のための研究助成
日本の緑を構成する森林、木竹等、陸域の自然環境または、湖沼・河川等、水域の自然環境（水生物の生態把握等も含む）に関する実践的な研究に対して、今後の研究をより一層充実させるために研究資金を助成する。

自主的な事業

1. 緑の広場の設定
豊かな緑は、そこに生息する様々な生物を保護すると共に、それらの生物とふれあう私たちに安らぎとうるおいを与えてくれます。
ハーモニストファンドは、森林植生の造成や人口河川の研究等によって、自然と調和した緑の広場の設置を進めていきます。
2. “フィッシュ・サンクチュアリ”づくり
湖沼の河川等の生物資源を守ることを基本に、次の事業を進めていきます。
○淡水魚（イワナ、ヤマメ、アユ、ウグイ、ハヤなど）の生態系の把握
○淡水魚の生息・繁殖に必要な魚道や産卵場所の確保など、淡水魚の生息環境づくり。

タカラ・ハーモニストファンドの運営

概要

委託者 宝ホールディングス株式会社
受託者 みずほ信託銀行株式会社
信託財産 3億円

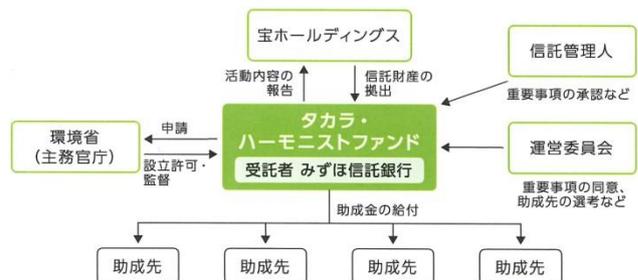
信託管理人と運営委員 (2024年7月1日現在)

信託管理人
花田 真理子 大阪産業大学大学院
人間環境学研究科 教授

運営委員長
八木橋 惇夫 元 環境事務次官

運営委員
布谷 知夫 三重県立総合博物館 特別顧問
沢田 裕一 滋賀県立大学 名誉教授
斎藤 清明 元 総合地球環境学研究所 教授
遊磨 正秀 龍谷大学 名誉教授
中島 慶二 江戸川大学社会学部教授
森 圭助 宝ホールディングス (株) 取締役

運営のしくみ



外来種クリハラリスの分布拡大を防ぎ、里山のムササビを護ろう

クリハラリス情報ネット

神奈川県・東京都

【活動目的】

神奈川県南部で 1950 年代に野生化した外来種クリハラリスが分布を広げ、今では丹沢山塊や多摩丘陵への侵入が危惧されている。本種は生息密度が高くなる生態的特徴をもつため、在来種への様々な影響が予想されている。なかでも、多摩丘陵に残存するムササビ個体群への影響を未然に防ぐことが喫緊の課題である。両種は共にリス科に属し、巣場所や餌をめぐる競争種となる可能性がある。本活動ではクリハラリスの分布拡大の現状を明らかにするとともに、東京都レッドリストで準絶滅危惧種に選定されているムササビの生息実態を明確にする。市民への普及啓発によってクリハラリスの情報を収集し、現場で生息確認を行い、捕獲優先地域を明確にする。その情報を行政による捕獲事業に提供し、分布拡大の抑制に寄与する。

【活動内容】

1. クリハラリスの生息調査

2023 年 6 月～2024 年 5 月までの助成期間に、分布最前線と考えられる神奈川県 19 市区町および東京都町田市において、のべ 241 回の調査が行われた。方法は現地に赴き、目視、聞き取り、痕跡、音声再生のいずれかの方法で行われた（図 1，表 1）。

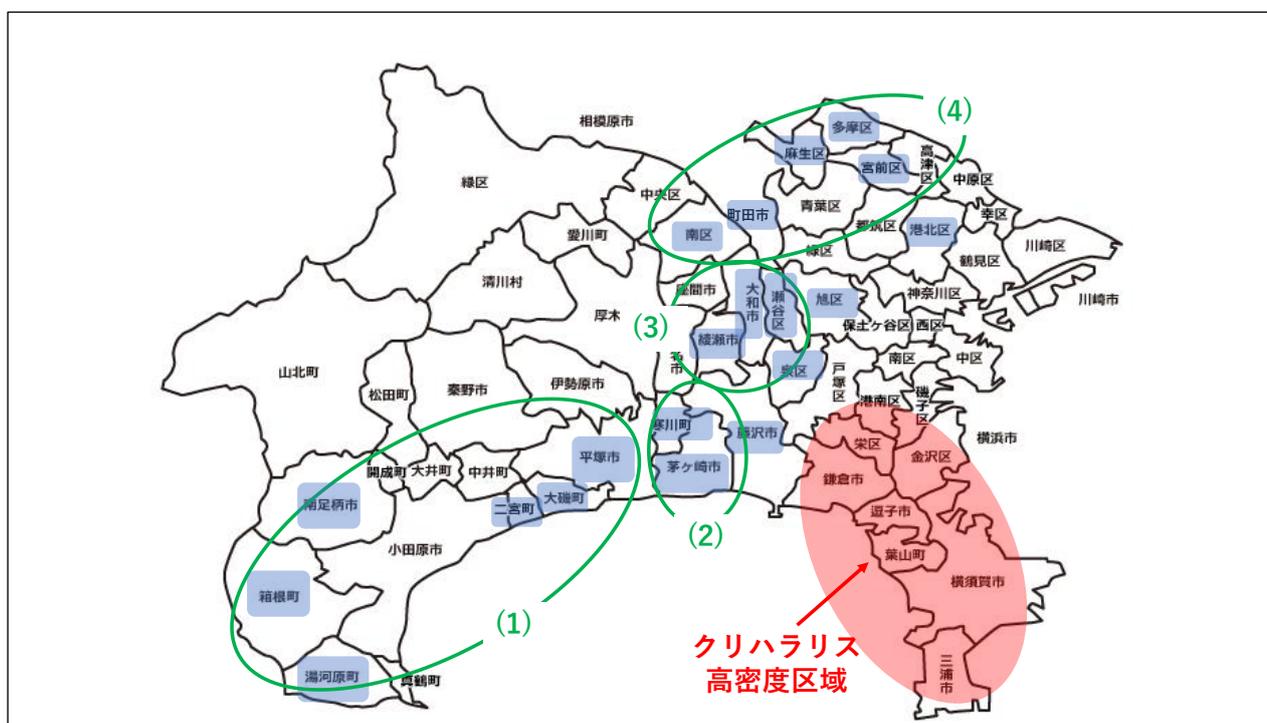


図 1 生息調査を行った 20 市区町（青塗り部分）

表1 市区町ごとに集計した調査回数と生息が確認された回数

市・町	区	町・番地	合計調査回数	目視	聞き取り	痕跡	音声再生
町田市		山崎町	2				0
		薬師台	3				0
		本町田	1				0
		野津田	5		0		0
横浜市	港北区	大倉山記念館	1	1			
	旭区	今宿	3				0
		柏町	3				0
	瀬谷区	阿久和	9				0
		宮沢	6				0
		南瀬谷	3				0
		南台	3				0
		北新	3				0
		二ツ橋	3				0
		中屋敷	3				0
		瀬谷市民の森	2				0
		瀬谷中央公園	3				0
	泉区	上飯田	11				0
		下飯田	3				0
		和泉町	7				0
		和泉が岡	3				0
		岡津町	1				0
		中田町	6				0
川崎市	多摩区	三田	2		0		
	宮前区	神木本町	1		0		
	麻生区	岡上	4		0		0
相模原市	南区	上鶴間	2		1	0	0
平塚市		高浜台	5				0
藤沢市		長後	8				1
		藤沢4	2	5		複数	
		本藤沢	1			1	
		稲荷	1			複数	
		大庭	9		1		1
茅ヶ崎市		南湖	4				0
		赤羽根	4			1	1
		県立里山公園	4		1		0
		芹沢	2	2	1	1	
大和市		上和田	20				7
		福田4	3				0
		渋谷2	3				0
		中央7	3				0
		柳橋1	3				0
		草柳3	3				0
		柳橋4	3				0
		下和田	2				1
		上草柳	6				0
		深見	3				0
		中央林間6	12	2	3	1	2
		下鶴間	3			0	0
南足柄市		矢倉沢	1				0
綾瀬市		上土棚中	3				0
		上土棚南	3				0
		深谷上	3				0
		早川	3				0
		落合南	3				0
高座郡寒川町		岡田	4		2	複数	0
大磯町		城山公園	5				0
二宮町		山西	11				0
箱根町		元箱根	1				0
湯河原町		宮上	3		0		0
		宮下	6				0

(1) 相模川西側区域

平塚市、大磯町、二宮町、湯河原町など、相模川西側において生息情報があつた地点を中心に、主に音声再生法を用いた調査をのべ32回行った。音声再生法とは、クリハラリスが発する求愛音声あるいはモビング音声（集団で天敵のヘビを撃退する際の音声）を録音したものをスピーカーで流すことによりクリハラリスを誘引し、生息の確認を試みる手法である（写真1）。この方法は、通常のセンサスでは目視や痕跡が確認しづらい低密度地域での生息確認に威力を発揮する。



写真1 スピーカーを置きクリハラリスの出現を10分間待つ。スピーカーは助成金により購入した。

今回の調査では、クリハラリスの確認はなかったことから、生息していたとしてもまだ、少数であることが予想される。丹沢や箱根の自然林への侵入を防ぐために、この地域で引き続き調査を強化する必要がある。

(2) 相模川東岸

相模川東岸地域の海岸線や下流域沿いに位置する緑地でクリハラリスが増加すると、今後、相模川を越えて西側区域に侵入する機会が増す。

そこで、藤沢市西部、茅ヶ崎市、寒川町において合計39回の現地調査を行った。目視によって個体の確認や食痕、巣（写真2）などの痕跡があつた茅ヶ崎市里山公園や甘沼・赤羽根地域など比較的大きな緑地では、すでに生息密度が高いことがうかがえた。今後こうした地点での捕獲強化が課題である。



写真2 茅ヶ崎市赤羽根で確認されたクリハラリスの巣。

(3) 相模川中流域

横浜市西部（泉区・瀬谷区）、大和市、綾瀬市などに点在する緑地はクリハラリス北上の最前線である。145回の現地調査を行ったうち、生息確認された緑地は大和市の上和田、下和田、中央林間に局在していることが明らかになった。すでに上和田および下和田の緑地では県による捕獲事業が開始されている。

今後も周囲の緑地における生息調査を継続していくとともに、生息が確認された緑地での根絶を進める必要がある。また、相模原市と大和市の境に位置する

「東林ふれあいの森・つるま自然の森」では個体数は少ないが、クリハラリスが2021年8月から生息していることが明らかになっており（写真3）、北上の危険を回避するために早急の対策が必要である。



写真3 相模原市と大和市の境に位置する緑地に生息するクリハラリス。

(4) 神奈川県北部(相模原市・川崎市)および東京都町田市

神奈川県から東京都につながる多摩丘陵にクリハラリスが侵入すると、ムササビなど従来の動植物への影響が危惧される。これまでに情報があつた地点を中心に、合計20回の現地調査を行った。音声再生法や目視、痕跡調査の傍ら、聞き取り調査も行ったが、助成期間中に生息の確認はなかった。

しかし、町田市にあるクリハラリス飼育施設周辺では、以前の聞き取りにより2013年頃に施設に接する住宅地で目撃されたほか、2020年には施設に隣接する公園で目撃情報があつた。また、2021年に川崎市麻生区岡上地区でクリハラリスの目撃情報があり、3個体が捕獲された（写真4）。今後も施設周辺や、南からの分布拡大に注意する必要がある。



写真4 川崎市麻生区岡上地区で目撃されたクリハラリス。

2. ムササビイベントの開催とムササビの生息調査

(1) ムササビの未来を考えるイベント

多摩丘陵に残存するムササビ個体群は、関東山地から約 11 キロ離れ、すでに孤立した林地に生息する個体群となっている。ここは人が暮らす里山である。この地にムササビが生き続けてこられた理由のひとつに、地域の自然を見守り続けてきた「人」の存在がある。助成をいただいたこの機会にムササビの保全の意義を地域の方々と共有するため、ムササビイベントを 2023 年 9 月 30 日（土）に開催した。

タイトルは「町田市のムササビの未来～地域の担い手のみなさまとともに～」である。身近な自然の守り手として奮闘されてきた方の講演と、ムササビの魅力共有する講演と観察会を企画した（資料 1、写真 5～6）。参加者は 19 名である。地域の方々との対話や交流の機会を持ち、ムササビに関わる関係人口を増やしていくことが保全につながると感じることができるイベントとなった。

資料 1 ムササビイベントのちらし



**町田市の
ムササビの未来**
～地域の担い手のみなさまとともに～

町田のこの地にムササビが生き続けている理由のひとつに、地域の自然を見守り続けてきた「人」の存在があります。身近な自然の守り手として、奮闘されてきた方から、地域の自然や生きものとの関係の歴史を伺います。

日時：**2023年9月30日（土）**

13時半開場 14時～19時くらいまで

会場：町田歴環管理組合 組合事務所

内容：

14：00～「知ってるようで知らない動物 ムササビ」
講師：元中央大学付属中学校高等学校教諭/
ムササビ自然探求学校主宰 岡崎弘幸氏

15：00～「身近な自然の守り手として」
講師：町田歴環管理組合理事長 田極公市氏

17：15～ ムササビ観察会
講師：岡崎弘幸氏

※少雨決行 荒天中止

主催：町田ムササビ保全研究グループ 協力：町田歴環管理組合
申込（若干名）：9月18日締切



写真5 夕方、ムササビが巣穴（樹洞：木の洞）から出巣する様子を観察する参加者たち。



写真6 巣穴から顔を出したムササビ。

(2) ムササビの生息調査

ムササビの孤立個体群については、クリハラリス情報ネットのメンバーである「町田ムササビ保全研究グループ(構成員は一般市民)」が2003年から継続した調査を行い、ムササビがこの地に存続してきた理由や孤立林地の中でもムササビが一様に生息していないことが分かってきている。今回の助成期間の調査では、現時点におけるムササビの生息実態を調べるため、今まで実施してきた調査と同様に、①夜間の出巢調査、②自動撮影カメラによる調査、③糞調査を実施した。

① 夜間の出巢調査

ムササビは夜行性であるため、個体数や行動を調べるためには夜間調査が行われる。夜間の出巢調査は、ムササビの交尾期にあたる2023年12月2日にムササビの中心域で実施した。調査は日没から約1-2時間、巣穴のある木(樹洞木)の前で観察し、ムササビの出巢の有無と個体数、周囲での個体や鳴き声を記録し、全ての調査地点で同時間帯にカウントされた最大確認個体数を出した。調査は8カ所の調査地点で9本の樹洞木を対象に行った。参加者は8名である。

その結果、同時間帯における最大確認個体数は10個体であった。今まで実施した夜間の一斉調査の個体数と比較したところ、中心域に関してはムササビの個体数に大きな減少はないと考えられた。

② 自動撮影カメラによる調査

夜行性であるムササビは昼間樹洞で休息し、子育ても樹洞で行うことが知られている。そのため、ムササビの生息には樹洞の存在が不可欠である。ムササビによる樹洞の利用状況を把握するため、調査地の2-3カ所で、自動撮影カメラを樹洞木に向けて設置し、動画(50秒)撮影を実施した(写真7)。カメラの設置は2023年1月28日から開始しており、2024年3月23日まで継続した。

計7本の樹洞木で自動撮影カメラによる撮影を行ったところ、4本の樹洞木でムササビの利用が確認された



写真7 助成金で購入した自動撮影カメラを4mの釣り竿の先端につけ、木の幹に釣り竿を固定した。



写真8 写真7のカメラで動画撮影したムササビ。12月は交尾期にあたるため、樹洞のある木にやってきた個体は樹洞や幹の匂いをかぎ、尾を振る行動をした。

(写真8)。樹洞木の中には利用頻度の高い樹洞木と低い樹洞木が存在した。今までムササビの利用が確認できなかった樹洞も自動撮影カメラを用いることで利用を確認することができた。

③ 糞調査

ムササビは他種とは区別がつく特有の糞をすることが知られている(写真9)。糞の分布と量に着目し、糞粒数を相対的な密度指標として生息域の濃淡を示し、個体数推定を行った2014年の広域の糞調査から10年が経過した。2014年に実施した広域の糞調査では、調査地全域(231ha)を一辺200mのメッシュに区切り、各メッシュにつき1カ所の調査地点が51地点選定されている。

今回の助成期間の調査では、孤立個体群のモニタリングを長期的

に継続するという視点に立ち、糞調査の調査地点を調査地全域から大幅に減らし、要所となる12地点および隣接林地の新規2地点の計14地点の調査地点で糞粒数をカウントした。各調査地点では半径30mの範囲から胸高直径30cm以上の大径木10本を選び、胸高直径、樹種、樹洞の有無の確認を行い、大径木の根元周囲に落ちた糞粒数をすべてカウントした(写真10)。調査は2024年2月~4月上旬の期間に9日間行い、8名の参加者で実施した。

糞調査の結果を前回調査(2014年と2019年にも一部の調査地点で実施)の結果とともに図2に示した。新規地点および前回同様に糞のなかった地点を除いた9地点のうち、7地点で前回調査より糞粒数が減少し、2地点で増加した。中でも中心域では前回(2019年)は752粒であったが今回は142粒と約2割の糞粒数に留まったほか、前回(2019年)269粒と281粒であった辺縁部の地点ではそれぞれ3粒と8粒に激減した。

一方、今まで6粒しかなかった辺縁部の地点では、新たな巣場所(樹洞)が作られたことによるためか、306粒の糞が見つかるなど、調査地内のムササビの利用場所に大きな変化がみられた。



写真9 ムササビの糞。直径5mmほどの正露丸のような形状をしている。



写真10 大径木1本の根元周囲に落ちていたムササビの糞。134粒あった。

神奈川県で クリハラリスが拡大中



クリハラリスは、神奈川県では1950年代から江ノ島や鎌倉で確認されています。その後、鎌倉を中心に三浦半島などの県東南部に拡大していきました。今後、県の西側や北側に拡大していくと、日本に在来の「ニホンリス」や「ムササビ」と競合するなど、神奈川県に自然に大きな影響を与える可能性があります。

みんなで守ろう！ 神奈川の生物多様性

分布の拡大を防ぐために、みなさまからの情報提供を！

- ・クリハラリスらしき生き物を見た！
- ・かじられているような樹皮がある！
- ・樹上に巣のようなものがある！
- ・聴きなれない鳴き声を聞いた！

クリハラリス情報ネットへ



こんなことに気をつけよう！

クリハラリスにエサをあげない。
見かけても近づいたり触らない。

2024年3月発行

STOP！ クリハラリス



クリハラリスとは？

台湾南部原産のリスで「栗色の腹」をしていることから、クリハラリスと言われます。別名台湾リスと言います。2005年に特定外来生物に指定されました。日本の生き物を守るためにも、一刻も早く拡大を止めないといけません。

クリハラリス情報ネット

クリハラリスによる被害



電線を移動手段に使う。
電線をかじる。



樹皮を剥がして樹液を舐め、木が枯れる。



果物や野菜などの農作物を食べる。



家屋に穴を開けて巣を作る。ダニやノミなどが発生し、衛生的に問題。

ニホンリスとクリハラリスのちがい



ニホンリス

日本の固有種です。県内では、丹沢や箱根の山林に生息していますが、人工林の増加などにより、個体数が減少しています。

<体の特徴>

- ・腹の毛色は白色。
- ・耳の先端部はややとがる。
- 冬には長い毛(房毛)が生える。
- ・尾をS字型に曲げる。



クリハラリス

本来、日本に生息しない外来生物です。県内では、鎌倉や三浦半島を中心に分布を拡大しています。丹沢や箱根の山林に生息するニホンリスとの競合が心配されています。

<体の特徴>

- ・腹の毛色は褐色か栗色。
- ・耳の先端部は丸みを帯びる。
- 長い毛(房毛)は生えていない。
- ・尾はS字型に曲げず、上下にパタパタさせる。

(2) 企画展示

相模原市立博物館の特別展示室において、ミニ企画展「STOP!クリハラリス：特定外来生物の分布拡大を止めるために」を2024年3月23日(土)～2024年5月6日(月)まで行った(資料3)。パネル12枚のほか、剥製、触れる仮剥製、食痕、ビデオなどの資料を展示した(表2、写真11～16)。来場者数は8,979人以上(赤外線カウンタ法)。アンケート結果から、外来リスによって問題が生じることを知らなかった人も多いことが分かり、企画展示の意義が実感できた。

また、この間に、「噂の東京マガジン」(BS-TBS 3月3日放映)および「おはようニッポン」(NHK 横浜 4月23日放映)でクリハラリス情報ネットおよび企画展の取材を受け、普及啓発の機会が増加した。今回のミニ企画展で助成金によって作成した展示セットは、今後「移動展示セット」として、主に神奈川県内の施設などで展示させてもらえるように働きかけをしていくつもりである。

表2 企画展の展示内容

パネル展示	1.	ごあいさつ
	2.	クリハラリスとは
	3.	クリハラリスによる私たちへの影響
	4.	神奈川県内におけるクリハラリス対策
	5.	クリハラリス情報ネットについて
	6.	外来生物とは
写真や実物資料	7.	クリハラリスのビデオ映像(音声つき)
	1.	クリハラリスによる食害・樹皮剥皮被害の実物と写真
	2.	クリハラリスの巣の実物と写真
	3.	クリハラリス、ニホンリス、ムササビの剥製と写真
	4.	クリハラリスを捕獲するはこわな
	5.	クイズコーナー「クリハラリス見分け方クイズ」
	6.	クリハラリスや他の動物の糞と食痕
	7.	クリハラリスのビデオ映像(音声つき)
	8.	触れるクリハラリスの剥製2体
9.	来場者による生息分布地図作り	
調査研究成果のパネル	1.	クリハラリスは何を食べる(光明学園相模原高等学校理科研究部)
	2.	多摩丘陵にすむムササビ孤立個体群に迫りくるクリハラリス(町田ムササビ保全研究グループ)
	3.	クリハラリスにおけるコールバック法の標準化(麻布大学獣医学部野生動物学研究室)
	4.	神奈川県におけるクリハラリスの分布実態と予測(麻布大学獣医学部野生動物学研究室)
	5.	クリハラリス研究の現場!どんな繁殖をされていて、どんな寄生虫を持っている(日本獣医生命科学大学、麻布大学、東洋大学)

(3) その他

ミニ企画展「STOP!クリハラリス：特定外来生物の分布拡大を止めるために」での活動を通じ、情報ネットのメンバーである「町田ムササビ保全研究グループ」でも、ムササビを知ってもらうための広報活動の必要性を認識し、今後の展示活動に向けた準備作業を開始した。具体的には、ムササビがどんな食べ物を食べているのかを伝えるためのツールとして、様々な食痕標本を作成するための材料(エキシポ樹脂など)を助成金から購入させていただいた。

SDG5 未来都市 さがみはら

14

15

樹皮剥き被害

クリハラリスの巣

食痕(相橘類)

ミニ企画展

STOP! クリハラリス

特定外来生物の分布拡大を止めるために

2024年
3月23日(土) ~ 5月6日(月・祝)

休館日 毎週月曜日(4月29日、5月6日は閉館)
4月30日

時間 午前9時30分~午後5時

会場 特別展示室

協力 クリハラリス情報ネットワーク

同時開催
第9回 わお! な生きものフォトコンテスト写真展

QRコード

QRコード

相模原市立博物館
SAGAMIHARA CITY MUSEUM
神奈川県相模原市中央区高根 3-1-15
TEL 042-750-8030 FAX 042-750-8061



写真11 企画展タイトル、ごあいさつパネル。

2024/03/31



写真12 タカラ・ハーモニストファンドからの助成についての説明。



写真13 リス類の本剥製。クリハラリスの剥製1個体は助成金で作成した。

2024/03/31



写真14 高校生が作成したクイズコーナー。

2024/03/31



写真15 企画展に訪れた市民。

2024/03/31



写真16 研究成果のパネルを熱心に見る。

2024/03/31

4. 情報収集

2022年1月から市民からのクリハラリス生息情報を収集するために、クリハラリス情報ネットのHPからスプレッドシートに記入するシステムを運用している（図3）。市民からHPに寄せられる情報件数の推移を図4に示した。2023年3月に一時的に増加したのは東京新聞に情報ネットの活動が紹介されたためと考えられる。それ以降は情報件数が横ばいであった。本助成により、企画展を開催し、それをマスコミで取り上げられたことで、2024年3月以降に再び情報数が増加した。情報を多く集めるためには、何らかの普及啓発活動が必要であることが見て取れる。今後も引き続きクリハラリスの問題を市民が理解し、情報提供を行ってもらえるような普及啓発の機会を積極的に作っていく必要があることが明らかになった。



図3 HPで市民からの情報を呼び掛けている

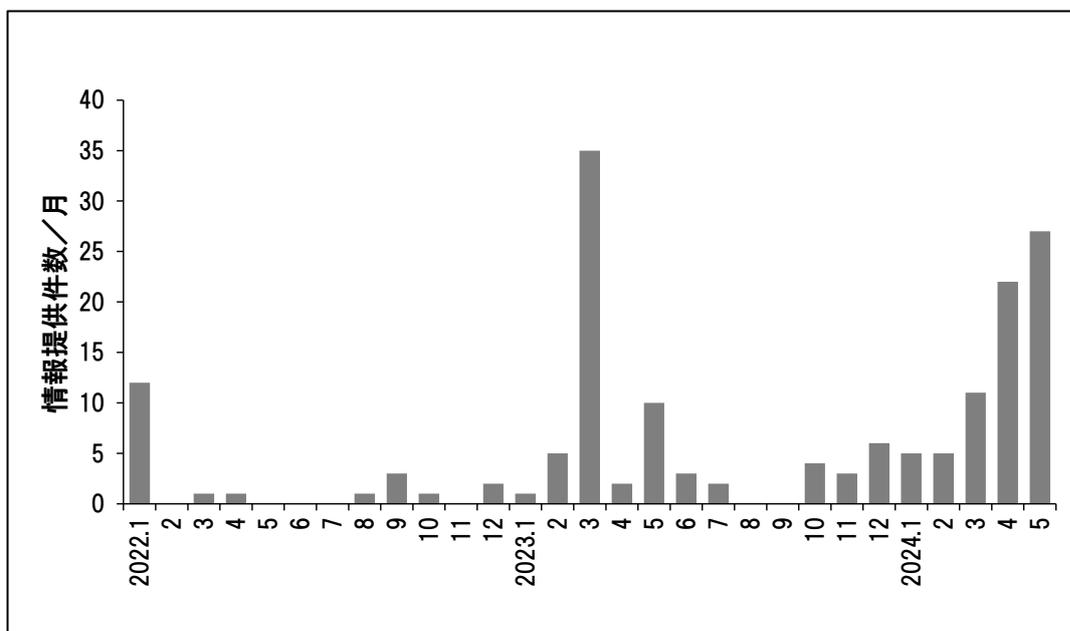


図4 市民からの情報数の変化

5. データとりまとめと解析

2023年6月、2023年12月、2024年5月の3回、メンバーが集まって打ち合わせ会議を行い、互いの生息調査の結果や研究成果を報告しあった（写真17）。また、HPを通して得られた市民からの情報についても議論し、今後の調査予定についても話し合った。

全ての生息情報はArc GISソフトを用いて地図上に落とした。年毎に色分けしてみると、年々分布地点が広がっていることが視覚的に見て取れた（図5）。



写真17 相模原市立博物館における打ち合わせ会議の様子。

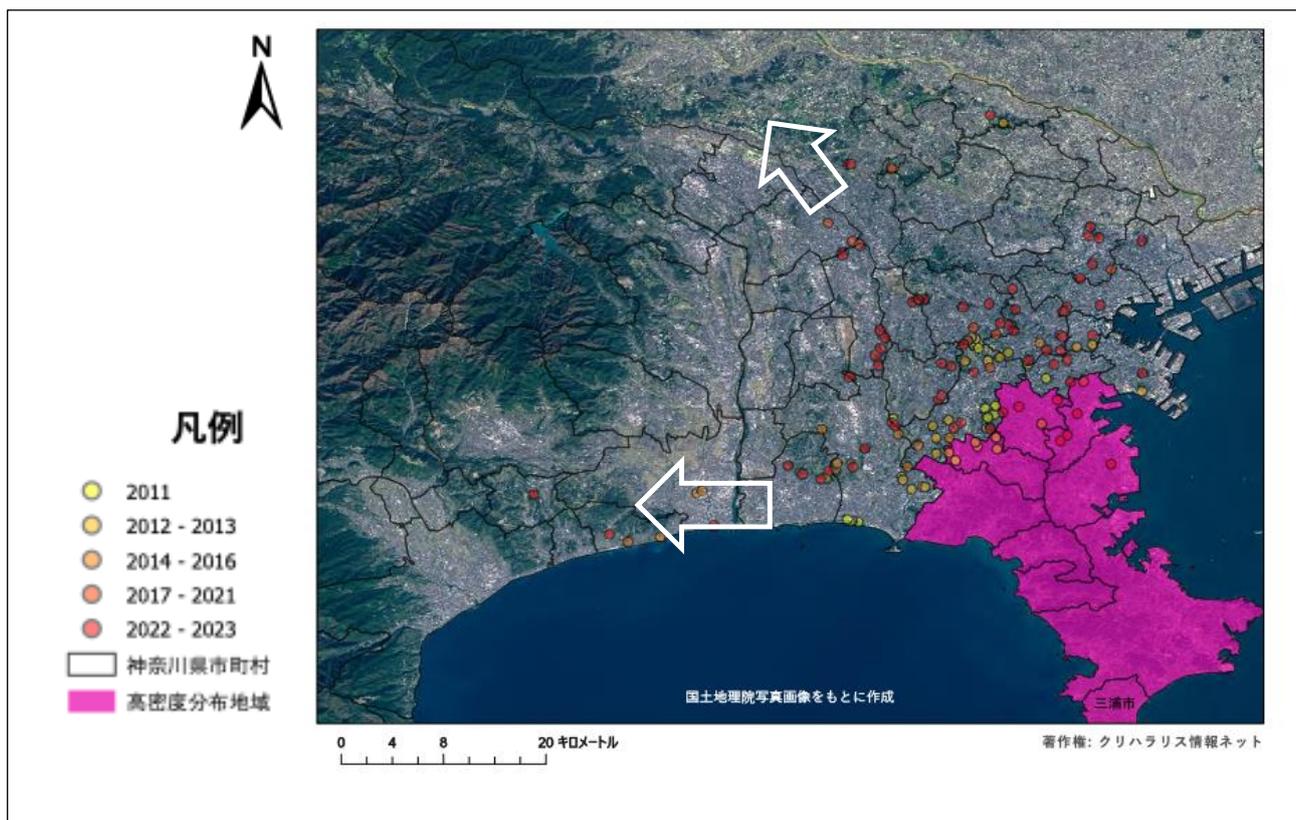


図5 クリハラリスの生息地点の年変化

これらの生息地点情報から経験ベイズクリギング法による補間を行い、分布拡大の危険地域を抽出した（図6）。図の赤色が濃い地域ほど生息確率が高い地域を示す。神奈川県相模湾沿いに東から西への分布拡大が危惧されるが、同時に北側の川崎市や町田市など多摩丘陵沿いに分布拡大が進む危険性が予測された。

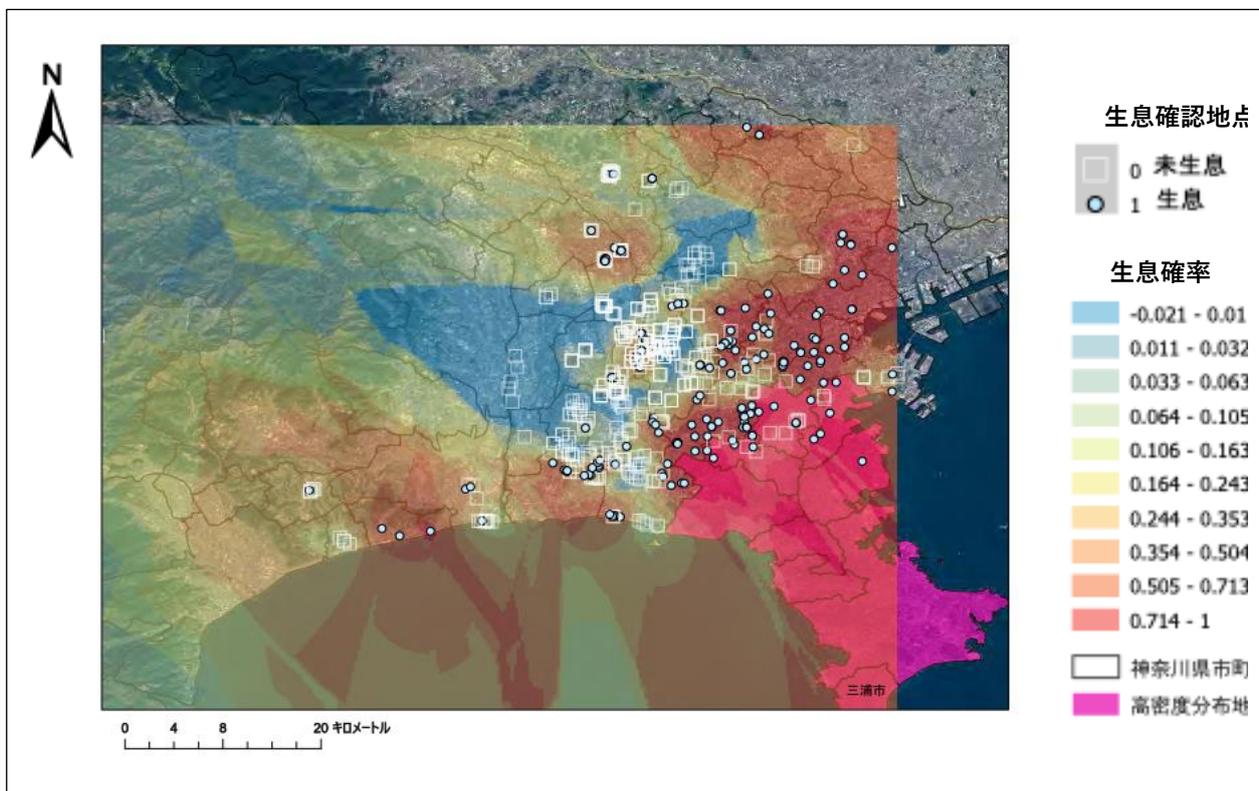


図6 経験ベイズクリギングによる分布補間図

【まとめ】

本助成事業の結果より、クリハラリスの生息状況がかなり明らかになり、生息拡大の危険地域の抽出が可能になった。一方、ムササビ孤立個体群の生息状況は厳しいことが確認された。今回の助成による活動をきっかけに、新たな情報として2023年に川崎市麻生区岡上や川崎市多摩区柘形から目撃情報が寄せられた。多摩丘陵のムササビ個体群とクリハラリスの生息地が5kmに迫っている実態から、分布北側での対策強化が重要であることが明らかになった。

また、助成をいただいたことにより、市民への普及啓発のためのリーフレット作成や企画展を行うことができた。これらの活動は、今後の情報収集に繋がる重要な試みであった。タカラ・ハーモニストファンドの助成によって得られた成果を生かし、今後も外来種クリハラリスの分布拡大抑制対策を進め、ムササビなど地域の希少在来種を保全する活動を進めていきたいと考えている。

里山の再生事業

針葉樹の人工林を広葉樹との混合林化する

NPO 法人森林楽校・森んこ

福井県

活動の背景と目的:

当法人は暮らしのある里山の再生を主要な活動としている。里山林は里山の暮らしを支えるために、薪炭の生産や畑や田んぼの肥料(堆肥)として、また山菜や筍といった食材を確保する重要な森であり、広葉樹と針葉樹などの多様な植生のある森であった。しかし、里山での暮らしが消滅して里山林の機能は必要となくなり、木材生産のためにスギやヒノキが植樹され、多様な植生は失われた。さらに、木材価格の低迷から間伐が遅れ、下層植生も見られない林となっている。再び多様な植生を取り戻し、里山の暮らしを支える里山林に再生するのが、この事業の目的である。そのために、スギ・ヒノキの間伐を適切に行い、この地にあった広葉樹を植樹する。

また、里山林や森林の現状を知ってもらうために、より多くの人々に当事業の現場に来てもらい、体験的に知ってもらえる環境を整える。さらに、林業への理解を深めてもらうために、人工林の整備作業や方法を見学してもらう。そのために、作業路を高密度に整備して、一般の人(子どもたちも)が安全に山林に入ってくるようにする。そして、間伐材の有効利用に関心を持ってもらうために、直接間伐材(丸太材)に触れてもらえるようなワークショップを企画する。

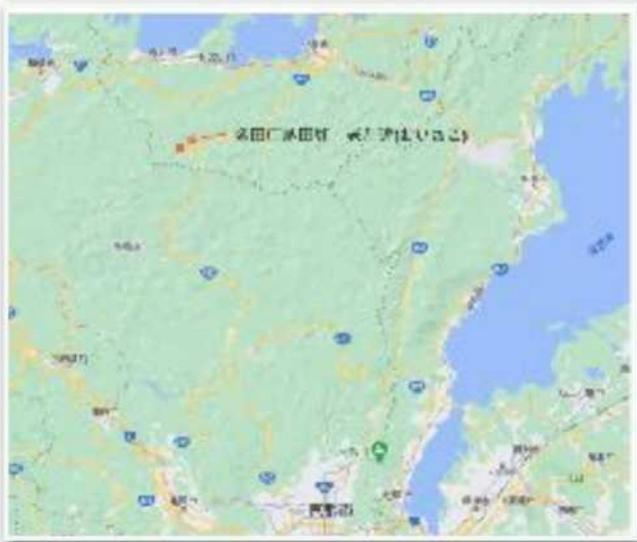
事業内容:

- 1、適切な施行や林内環境の調査や見学が安全に行えるために、林内に作業路を開設する。
- 2、混合林を作るために、林内環境の調査を行う。
- 3、環境調査の結果を検討してその地域の環境にあった混合林を作るために、スギ・ヒノキの間伐や広葉樹の樹種を選定して植樹を行う。
- 4、より多くの人々にこの事業の意義と内容を知ってもらうために、随時ワークショップや現地見学会や広報活動を行う。

作業現場:

福井県大飯郡おおい町名田庄納田終(老左近)

老左近は無住集落であったが,2008年より NPO 法人森林楽校・森んこが体験活動の拠点として整備を始めた。



ヒノキ林

畑隆和氏所有山

作業路の開設

現場は、約 20 度ほどの急傾斜であるため、約 30~50cm 幅の作業路を開設する。ツルハシ・スコップなどの人力で行った。



全て人力で行った。

ツルハシで斜面を削り作業路を少しずつ開設していく。

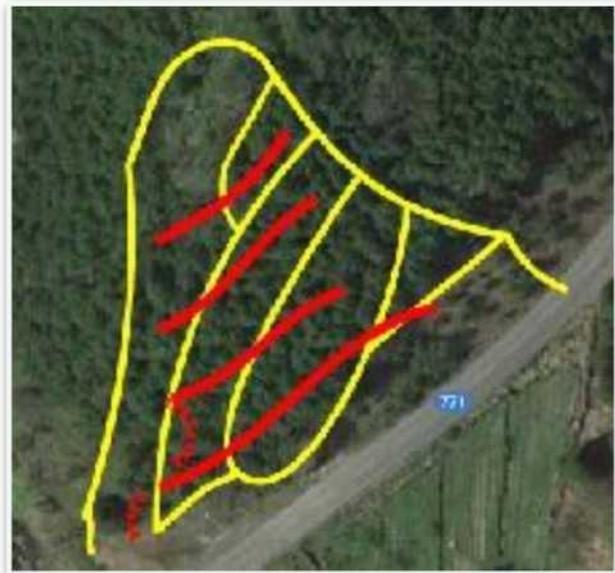


福井県立大学の学生たちの協力を得て、目標としていた約 70 パーセントの作業路を開設することができた。しかし、さらに高密度の作業路の開設の必要性を感じた。

赤線が今回開設した作業路。さらに黄線の作業路が必要と思われる。



大学生が応援に来てくれる。



また、急峻な箇所には、階段の設置が必要と思われる。



日頃、山地の作業路を歩き慣れていない人にとっては、開設した 30cm 幅の作業路ではまだ歩 行に難儀 しているようである。また、より安全に歩行してもらえるように今後は、50cm に拡幅する必要であるよう だ。危険な箇所には、注意看板やロープなどの設置も必要と思われる。



林内に入る安くするために階段を設置する。



作業路を広げる必要がある。

2、林内環境の調査

林内の現状:約 20 度の急峻な地形。すべてヒノキの人工林。植樹面積は 0.47 ヘクタール。土 壤の堆積は少ない。尾根筋は岩石が目立つ。

植栽から概ね 40 年であると思われる。十数年前に間伐施行がされている。一部は巻き枯らし が行われていたようだ。



ほとんどの場所で間伐が遅れているために、樹冠が塞がれていて、南向きの斜面にも関わらず 林内は薄暗い。



調査のため伐倒する。年輪を見ると、ここ 10 年分の年輪が極めて、密になっていることから約 10 年間間伐が遅れていると思われる。



熊はぎや鹿の獣害防止策として PP テープが巻かれているが、風雪のため劣化している。

毎木調査を行う。

林内にある全てのヒノキの胸高直径・樹高・枝打ち高・被害状況などを調べ、ナンバーリングする。



この作業にも、福井県立大学の学生が協力してくれる。日頃、滅多に経験しない斜面の横移動には予想以上に困難なようだ。3人1組で行ってもらったが、調査にはずいぶんと苦勞したようだ。



毎木調査の結果

ヒノキの人工林は、312本であった。樹齢は35年。胸高直径は平均24、75cm、樹高平均は15、5m、ほぼ全て木は4メートルまで枝打ちが施されていた。

幸いなことに熊八ギの被害は1本も確認できなかった。予防テープの効果はあったと思われる。（今回も施行が一段落した時点で、PPテープによる防止策をすることにする。）やや曲がりの木もあるが、全体としては良好である。

従来の間伐率ならば、3割であり、最低でも約100本のヒノキの間伐施行をする必要がある。しかし、混合林化するためには、一部の箇所ではそれ以上の間伐が必要になると思われる。選木を行った後、間伐施行を行いながら、その都度間伐度合いを検討していくのが、良いと思われる。

予想した以上に林内調査に時間がかかったが、林内の調査をしっかりと行うことにより、今後の計画の見通しができた。また、ヒノキが予想以上に獣害などの被害を受けていなく、良質であることも試験的な伐採でわかった。間伐材の有効な利用を検討していくことになる。

3、間伐作業と広葉樹の選定・植樹

間伐作業

林内に光を取り入れるための間伐作業は、きわめて困難で危険を伴うものであった。樹冠あたりで全ての枝が隣のヒノキと絡み合い、一本一本の伐倒・倒木に労力と時間がかかった。ほとんどの木が懸木となりその処理は極めて危険な作業となった。

また、一般的な林業としての間伐とは違い、広葉樹の植栽を目的とした間伐なので、日差しがどれくらい入ってくるかを見定めて行うために、従来の伐倒よりも苦戦を強いられた。



枝が重なり合ったヒノキ



間伐すると空が見えて、気に光が入ってくる



伐倒作業



懸木になってしまったヒノキ



伐倒したヒノキは枝を払う



玉切りをして年輪などを調べる

〈間伐施行の今後〉

約 10 年遅れのヒノキの間伐作業は、極めて困難で危険を伴う作業となるので、慎重に進めないといけない。また、当法人のスタッフにも、間伐経験者がいるが部外の協力者を頼むことにする。今回の混合林化は実験的な要素と、この事業の意義を地域社会に問うことが目的でもあるので、数年の時間をかけて行うことにする。

また、約 100 本の間伐材の搬出方法を工夫する必要がある。今回の里山林には鹿や熊などが里に近づかない対策のために、柵が施されている。その柵のために急峻な地形を利用して間伐材を道まで引き摺り出すことができない。また、重機などで搬出路を開設するほどの面積でもないのに、それもできない。今回は、一本一本担いで搬出したが現実的ではない。今後森林組合とも相談しながら、安全で簡易な搬出方法を考案する必要がある。



広葉樹の選定と植樹

間伐した場所で特に日がよく入る箇所を選び、植樹を行った。植樹の選定には専門家(中嶋造 園)の意見を参考に、ヤマザクラ・ミズキ・カエデなどの樹種を植えることにした。間伐した面積も考慮して 30 本の植樹を行った。植樹の際は、鹿などの食害を防止するために、ヘキサチューブを一本一歩に施した。また、専門家の助言から若干の腐葉土を混ぜることにした。



広葉樹を植樹する



獣害防止のチユ
ブをつける



やや強めの間伐を行い、光が林床までしっかり届く場所に広葉樹を植樹する



この活動を facebook で知り、大阪から見学に来てくれた方に植樹の体験をしてもらう。

4、広報活動

より多くの人々にこの事業の意義と内容を知ってもらうために、随時ワークショップや現地見学会や広報活動を行う。



第一回目の広報活動として、8月13日と27日に見学会を企画した。広報チラシを制作し公民館や公共施設に配布をお願いした。facebookなどに投稿をし参加を呼びかけた。

しかし、13日はスタッフのみ(3名)のだけの参加で、27日は福井県立大学の学生1名のみとスタッフ3名だけの参加に終わってしまう。

後日、この活動を知って数件の問い合わせなどがあつたのみの反応であった。

広報期間も短く、範囲が限定されていたかもしれないが、あまりこのような活動に興味がないまたは、魅力を感じないのかと思った。

その後、徐々に問い合わせが増え始め、個人的に見学に来る人も出てきた。その他の主な視察や見学会・ワークショップ

8月30日龍谷大学(政策科)の学生3名・おおい町職員1名見学案内

9月13日東北大学学生・講師6名見学案内 10月13日名田庄小学校児童15名 教諭1名 見学案内

10月14日福井県立大学学生7名准教授1名現地調査と作業路開設ワークショップ

10月26日龍谷大学(前回見学者)の学生3名・おおい町職員2名(里山林の間伐材の有効利用についての相談と現地での間伐材の視察)

10月29日自然環境団体ツアー(全国各地から参加)11名視察と勉強会



12月3日福井県立大学学生 10名准教授 1名 見学案内

12月9日自然環境団体ツアー(大阪)6名 視察

4月24日福井県内から歴史研究のグループ 7名 見学案内

5月3日大阪より 2名(Facebook で混合林化事業を知り来訪) 見学案内植樹の体験

5月25日おおい町職員 2名(間伐材の有効利用)ワークショップのための下見



第二弾のワークショップとして、「森の土を探る」と銘打って、森の土壌についての現地調査をお願いした。京都大学の柴田誠先生から土壌学の基本をご教授いただいた。あいにく 両日とも雨の中での調査と解説になってしまったが、

22日は8名の参加(学生7名・一般1名)、23日は7名(学生7名)の参加があった。

土壌学という学問に接するのは初めてのことであり、講師の先生がどのような調査をし、どのようなお話をしていただけなのか、全く予備知識もないワークショップで不安もあった。

しかし、雨にも関わらずにとっても熱心にまた興味ある現地調査と解説をしていただき、参加した人たちも土壌学に興味を持ってもらった。



林内2ヶ所を60cmの深さに掘って、土壌の状態を観察をする。





試薬を使い土壌のアルカリ濃度などを測る。



熱心に解説を聞く参加者。
現場で聞く解説は説得力がある。

土壌調査の結果

今回混合林化をしようとしている土壌は、少々浸食をされているヒノキ林で、下層の植生が少ないために十分な土壌をつくる腐食物が少ないとの現状である。しかし、広葉樹が残っている場所では十分に土壌形成がなされている。今後、間伐を適正に行い広葉樹を導入していけば、良好な土壌のある森再生することは十分可能であるとの評価をいただいた。

さらに、コナラ林で調査してもらったところ、柴田先生も驚くほど典型的な土壌形成があることがわかった。今後、土壌学の演習として申し分のない森林なので、次は土壌学の演習として学生を連れて調査に来るとの感想をいただいた。

森林や里山を通じて、より幅広い交流ができることを嬉しく思い、期待も膨らんだ。

間伐材の利用

偶然地元公民館から、町内の森林に興味を持ってもらうために、丸太を使ってワークショップができないかとの問い合わせがあった。当事業でヒノキの間伐材の利用を考えていたところなので、広報の一環にもなると思い公民館の企画と当法人が連携して講座をすることになる。ちょうど 当法人が試作していた丸太クラフトを提案して「まる太 de ファニチャー」(6月9日開催)という体験教室を開催することになる。

定員以上の12名の参加者が集まり、賑やかに体験講座を開催した。



当法人が試作していた丸太クラフト



体験風景



体験風景



体験でできた丸太クラフト

ヒノキの間伐材や森林への興味を持ってもらえた講座となる。混合林化の事業のPRにもなった。

看板の制作と設置

現場となるヒノキ林へと登る入り口に、事業の趣旨を伝える看板を設置する。今後、多くの人がこの里山を訪れて混合林化事業を知ってもらえることを願う。



今後の展開

今回の混合林化の事業は、試行錯誤・模索の連続であった。林況確認の踏査(プロット調査)を行いおおよその計画を立ててみたが、多くの誤算があった。

土地所有者の交渉からいろいろな予測できないことが次々を起こった。その都度、反省し工夫し相談をし、一步一步進めていった。作業路の開設には予想以上の時間がかかった。急峻な地形は随所に階段の設置が必要となった。一般人(子どもたちを含めて)が、安全に林内を移動するためには、幅に余裕が必要であり、いろいろな安全措置が必要となってくる。

毎木調査も時間がかかり、その必要性に疑問を持つ時もあった。しかし、この調査を行なってから、具体的なイメージを持つことができ、その後の選木や間伐作業に大いに役立ったと思う。改めて、基礎調査の重要性を痛感した。

広報活動も、思うようには進まなかった。しかし、ほんの少しづつでも当活動が周知し始めていることは実感できている。コツコツと続けることしか方法はないと思う。

名田庄公民館との連携や地元小学校などの総合学習に取り上げてもらえることなど、思いもよらない展開とうれしく思う。土壌学との出会いも今後の活動に広がりを見られる予感が持てる。

今後の展開としては、今までの作業の継続(特に作業路の整備を充実させる)しつつ、広報活動により力を注ぎ、混合林化事業の普及を進めていきたい。そのためにも、以下の事業展開を考えている。

- 1、 広報活動(ワークショップ的なイベントも含めて)の拡大と充実
- 2、 間伐材の有用利用(構造材ではない使い方を重点に置く)
- 3、 土壌と森林の関連を学ぶ
- 4、 学校の授業に山・川・海の連携学習を取り入れてもらう
- 5、 森林所有者に混合林化の意識を持ってもらう

この事業に理解いただき使用をお許い、ただいた山地所有者の畑隆和様(ヒノキ林)・小松輝治様(広葉樹林)に、こころより感謝いたします。

またその都度に、ご支援・ご協力いただきました。

れいなん森林組合・環境ふくい推進協議会(環境ふくい未来創造事業)

納田終地区・福井県立大学(海洋生物資源学部)京都大学(柴田誠・小林広英研究室)・おおい町(町づくり課)・名田庄公民館・中嶋造園・合同会社おおい町地域電力 各事業所・団体様に、心より感謝いたします。

その他、多くの方々に応援をいただきました。

最後になりましたが、宝ホールディングス株式会社様(タカラ・ハーモニストファンド活動助成)より多くの支援をいただき、この事業を進めることができました。深く感謝いたします。

NPO 法人森林楽校・森んこ代表萩原茂男

島民と共に自然を知り、島の自然を未来に残したい！
「島まるごと館」の再整備と固有亜種ダイトウコノハズクの保全活動

ダイトウコノハズク保全研究グループ

沖縄県

はじめに

沖縄県の離島、南大東島は海洋島であり、世界でもここだけにしか生息しない固有種が数多く生息している。特別天然記念物に指定されているダイトウオオコウモリ、絶滅危惧種に指定されている固有亜種ダイトウコノハズク、固有種のオオアガリマイマイなどである。その一方で、開発による環境破壊や外来種の侵入が進んでおり、島の自然を保全する活動が必要とされている。

ダイトウコノハズク保全研究グループは 2002 年から南大東島でダイトウコノハズクの保全活動を行ってきた。繁殖場所を提供するために島内に巣箱の設置し、繁殖状況のモニタリング調査を継続的に行っている。しかし、継続的な保全活動を続けて行くためには、地域住民との協力体制を築くことが必要不可欠である。そのために、地域住民を対象にダイトウコノハズクについての教育普及活動を行い、協力して調査を行う必要がある。

2001 年に南大東島には島の自然環境を発信する場として「島まるごと館」が建設された。この施設の古くなった展示を刷新することで、資料館としての価値向上が期待される。本活動では、ダイトウコノハズクの保全のための繁殖調査を島民とともに行った。さらに、「島まるごと館」の展示の刷新を行うとともに、島民に対する教育普及活動を行い島での継続的な保全活動につなげることを目的とした。

A. ダイトウコノハズクの繁殖調査

方法

2023年2月~8月と2024年2月~7月にかけて南大東島に長期滞在を行い、ダイトウコノハズクの繁殖調査を行った。2023年は金杉尚紀・佐々木瑠太・細江隼平・澤田明の計4名、2024年は金杉尚紀・堀内晴・中田知伸・坂井充・澤田明の計5名で調査を行った。

産卵前である2月~3月に巣箱の設置、整備を行った。2023年は191個、2024年は186個の巣箱と自然の洞をモニタリング対象とした。3月から、モニタリング対象の巣箱と洞を3~4日に一度訪問して、カメラで撮影を行った。ダイトウコノハズクのメスは産卵の数日前から巣内に座り込みを行う。そして、基本的には座り込みをしているが、日没後1~2時間程度は巣から離れることが知られている。そのため、巣内への座り込みを発見した日からは、日没後1~2時間以内に巣箱を毎日訪問し産卵状況を記録した。多くのダイトウコノハズクは3月下旬から4月下旬にかけて産卵を行うため、5月中旬までに産卵が見られなかった巣箱と洞はモニタリングを中断した。

産卵は多くの場合は2~5日に1卵ずつ行われるため、同じ卵数が6日間継続して確認されるまで訪問を行った。最初の1卵を産んだと推定される日を産卵日と定義した。産卵日から25日以上過ぎた日に孵化することが知られている。そのため、産卵日から25日後から、再び日没後1~2時間以内に巣箱に訪問し孵化状況を記録した。ヒナが視認される、あるいは、ヒナの声や割れた殻が確認された日を孵化日とした。ダイトウコノハズクは非同時孵化の生態を持つ種であり、同一の巣内から孵化するヒナがばらばらの日に孵化する場合がある。この孵化日はその巣で最初に孵化したヒナの孵化日で推定されている。

孵化日から20日齢の時にヒナの形態計測と個体識別のための標識を行った。ヒナの多くは30日齢程度で巣立つため、25日齢から毎日、日中に巣箱を訪問し巣立ち日と巣立ちヒナ数を明らかにした。



図 1. 巣箱での産卵



図 2. 孵化直後のヒナ



図 3. 20 日齢時での計測と標識

結果

2023年では125巣でメスの座り込みが確認され、118巣で産卵が確認された。そのうち、95巣で1卵以上の卵が孵化した。74巣で1羽以上のヒナが巣立ちをし、146羽のヒナが巣立ったことが分かった。

2024年では108巣でメスの座り込みが確認され、107巣で産卵が確認された。そのうち、76巣で1卵以上の卵が孵化した。66巣で1羽以上のヒナが巣立ちをし、141羽のヒナが巣立ったことが分かった。

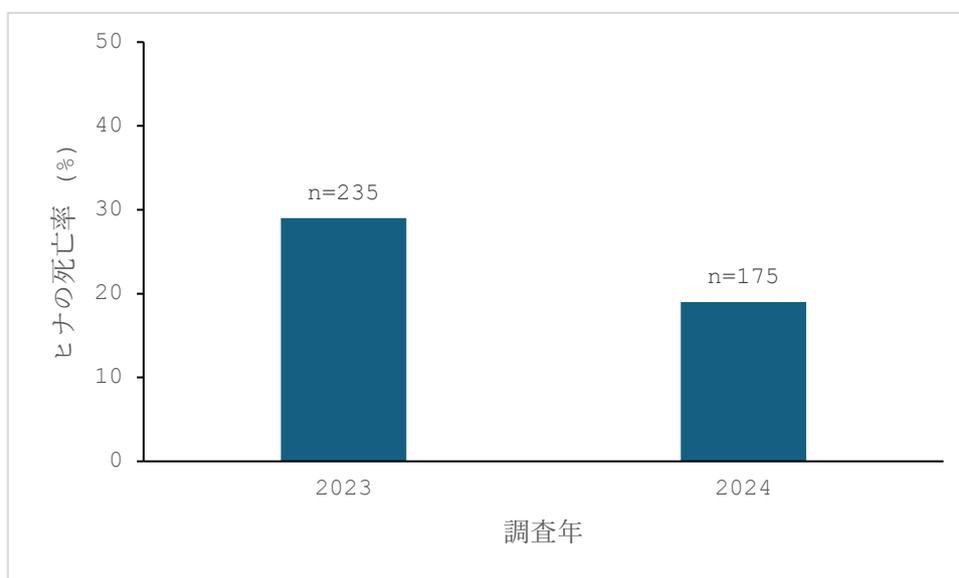


図 4. ダイトウコノハズクの繁殖成功率

島民との調査

ダイトウコノハズクへの理解を深める機会を創出するために、島民とともに繁殖調査を行った。2023年7月に1回、2024年3月、5月、6月に4回行った。内容は巣箱の整備活動と外来哺乳類対策、繁殖調査の見学会である。繁殖調査の見学会では、実際に調査を見学してもらいながら少人数を対象にダイトウコノハズクの生態、生息状況の現状を話した。



図 5. 2024 年 3 月巣箱の整備活動



図 6. 2023 年 7 月の繁殖調査見学

繁殖状況のリアルタイム展示

「島まるごと館」が南大東村教育委員会の方針により、リニューアルに向けて休館となってしまった。そのため、繁殖状況の展示を南大東村教育支援センターで行った。後述する、巣箱作りイベントで島の子供たちが作成した巣箱についてのダイトウコノハズクの利用状況を中心に展示を行った。また、センターの連絡網を活用して子供たちの家族にも繁殖状況の発信を行った。

こっぽろの巣箱をかけたよ



巣箱はバーナーであぶって、
くさりにくくしています



図 7. 4 月 9 日の掲示

注:希少種保護の観点から、本報告書に掲載しているポスターは実際に掲示した
ものから設置場所情報を削除したもの

コッポロが卵を産んだ！



お母さんがいないときは、タマゴが見えるよ



皆と作った巣箱にダイトウコノハズクが入って、産卵しました!!!
皆のおかげです。ありがとう(*'▽')>

*産卵・・・サンラン/タマゴをうむこと。

図 8. 4月24日の掲示

コッポロ新聞

南大東島ではたくさんのコノハズクの赤ちゃんが

生まれているよ！

今年（ことし）は101巣で産卵をしたコノハズクがいました！

そのうち75巣がふ化して、今は4巣のヒナが巣立っていますよ。

ただ、残念ながらみんなで作った巣箱の卵からヒナは生まれませ

なりました。若いコノハズクだったから卵を温めるのが下手だった

のかも？

※ふ化：卵から鳥のヒナが生まれること。

○巣箱の中のコノハズクのヒナ

最初は白っぽい毛が生えているよ。

巣立つ頃には茶色っぽい大人の羽に生

え変わります。



図 9.6 月 4 日の掲示

B. 「島まるごと館」の展示の再整備

「島まるごと館」の展示となるポスターの作成を行った。2023年7月に仮のポスター展示を作成した。加えて、2024年7月にポスター展示を完成させた。南大東村教育委員会で「島まるごと館」の展示の刷新が検討され始めたため、自分たちの研究グループの研究成果を中心としたダイトウコノハズクについてのポスター展示を作成した。



1



2



3



4



5



6

図10. 仮ポスター

ダイトウコノハズク

(*Otus elegans interpositus*)



南大東島の幕林(防風林)に
生息するフクロウの仲間

その鳴き声から島民からは
「こっぽろ」と呼ばれる

○研究

この亜種は2002年から「ダイトウコノハズク保全研究グループ」により調査研究がなされている。多くの個体が研究者の手によって足環が装着され、個体識別がなされている。日本国内では有数の長期モニタリング個体群であり、その特徴を活かした様々な研究が行われている。



○分布・形態

リュウキュウコノハズクはフィリピン北部から南西諸島、福岡県沖ノ島に分布する小型のフクロウの仲間である。リュウキュウコノハズク(*Otus elegans*)は4つの亜種に分類されている。ダイトウコノハズクはその一つで南大東島にのみ生息している。北大東島にも過去には生息していたが、1970年代に絶滅したと考えられている。

亜種ダイトウコノハズクは琉球列島に生息する亜種リュウキュウコノハズクと比べて体が小さいことが知られている。



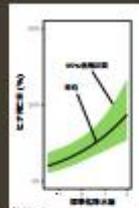
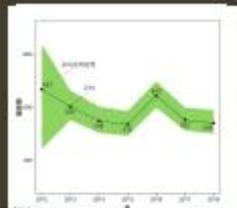
○食べ物

小さな虫(ゴキブリ、クモなど)やヤモリを中心に食べる。稀にメジロを食べることもある。林縁から出て畑や道路の上で採餌を行うこともある。



○未来

ダイトウコノハズクの個体数は約570個体であり、近年では若干の減少傾向である。また、降水量が多いとヒナの死亡率が上昇することも分かっている。気象変動により繁殖期に豪雨や台風が増加すると個体数に悪影響がでる可能性がある。外来哺乳類による捕食、生息地である森林環境の劣化、交通事故などダイトウコノハズクをとりまく問題は多い。未来の南大東島も、彼らの声が聞ける島であって欲しい。



このポスターはダイトウコノハズク保全研究グループにより、2018年にタカフアーマー・エコ・フンドの支援を受けて作成されました。

図 11. ポスター展示

C.小学生への授業

2023年7月21日に南大東村学習支援センターで小学生を対象とした授業を行った。19時~19時半にダイトウコノハズクの生態についての授業を行った。その後、大東神社に移動し、20時~21時まで野生のダイトウコノハズクの観察会を行った。



図 12. 2023 年 7 月の授業の様子①



図 13. 2023 年 7 月の授業の様子②

○授業後のアンケート結果

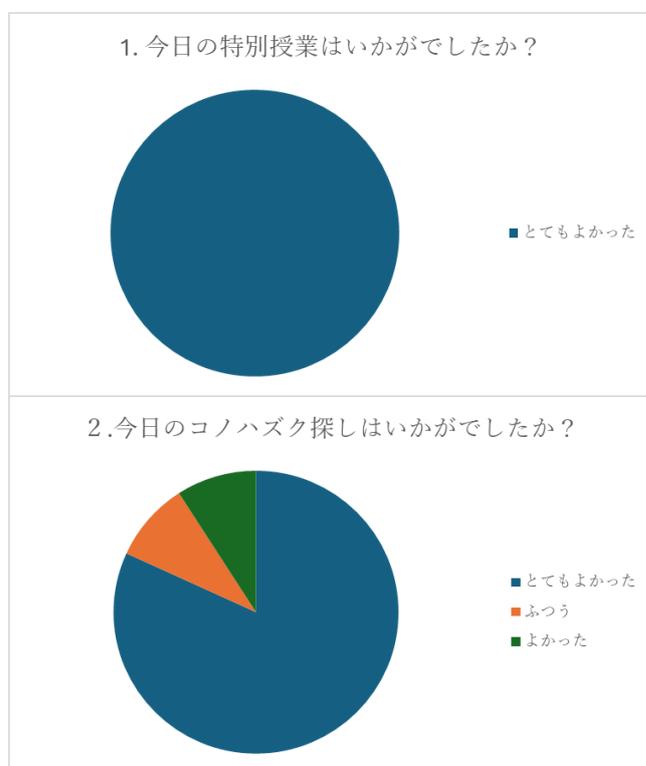


図 14. 授業後アンケート

感想(一部抜粋)

- ・このはずくがはじめてで**3**びきもみれてうれしかった。
- ・この目で一度もみたことがないの今日みれてうれしかったです。
- ・コノハズクを初めて見られてうれしかったです。
- ・なんで、コノハズクのメスの方がおおきいのかを知りたい。
- ・いろんなコノハズクがみれて楽しかった。
- ・コノハズクを次にさがしに行くときは静かにするのと大声を出さないようにしたいです
- ・暑かったけど、ダイトウコノハズクをみれてたのしかった。
- ・楽しかったから来年もあるならさんかしたいです。

2024年7月21日に南大東村教育委員会の協力のもと「島まるごと館」で小学生を対象とした授業を行った。17名の小学生とその保護者が参加した。19時~19時半にダイトウコノハズクの生態についての授業を行った。その後、「島まるごと館」の復元の森に設置した巣箱(後述する巣箱作成イベントで子供たちが作成したもの)の見学を行った。そして、20時~21時まで大東神社で野生のダイトウコノハズクの観察会を行った。



図 15. 2024 年 7 月の授業の様子①



図 16. 2024 年 7 月の授業の様子②

D. 巣箱作成イベント

2024年3月27日に南大東村学習支援センターで巣箱作成イベントを行った。14人の小学生が参加した。15時~17時までダイトウコノハズクの生態についての授業を行った。授業の後、巣箱の作り方の説明を行った。子供たちを数名のグループに分けて、4個の巣箱の作成を行った。作成した巣箱は後日、島内の森に設置した。そして、ダイトウコノハズクの利用状況を適宜、掲示した。



図 17. 授業時の様子



図 18. 巣箱作成時の様子



図 19. 完成した巣箱

E. 島の行事でのパネル展示

2024年7月の小学生への授業の際にパネル展示も行った。パネル展示の際には研究グループで所有しているダイトウコノハズクの剥製も活用した。他の行事でのパネル展示については今後、調整を行って実現させたい。



図 20. パネル展示の様子

湧水環境は地域的な種多様性を高めるか？ 溪流生態系における実証研究

植村洋亮

北海道

1. 背景

河川、湖沼、河川、湿地帯を含む淡水生態系は、地球上で最も生物多様性と生産性の高い生態系のひとつと言える（Ward and Tockner 2001; Geist 2011）。しかし、近年、気候変動にともなう淡水生態系の生物多様性へのネガティブなインパクトは顕著である（Woodward et al. 2010）。中でも、温暖化は隔離された系である淡水生態系で水温の上昇につながり（Isaak et al. 2012）、種の分布や代謝速度にインパクトを与えている（Comte and Grenouillet 2013）。また、それらは特定の分類群に直接的なパスをつくりだすのみならず、栄養段階間のプロセスをへて間接的にも波及する（Kratina et al. 2012）。したがって、淡水生態系において温暖化に対する生物多様性の維持力や回復力、及びそれらのメカニズムの解明は喫緊の課題である（Reid et al. 2019 Biol Rev）。

このような背景の中、湧水由来の生息環境は、その安定性（Barquín and Death 2006; Kløve et al., 2011）と普遍性（Taylor et al. 2013）から温暖化のレフュジアとなるなど主に種多様性の維持に寄与すると考えられ（McLaughlin et al. 2017）、その重要性が認識されつつある。生態学一般において、生息環境の異質性は地域的な種多様性を決める大きな要因の1つである（Amarasekare 2003; Stein et al. 2014）。河川生態系においても例外ではなく、例えば湧水がある、といった流域における環境のバリエーションが高いほど地域的な種多様性は高くなる（Heino 2013）。これらの実証として、湧水環境での種多様性などを記載、比較した研究は多く存在する一方で（e.g., Death and Barquín 2012; Sakai et al. 2021; Tolod et al. 2022; Ishiyama et al. 2023）、それらが地域的な種多様性に対してどれほど貢献しているかについては不明な点が多い。さらに、湧水環境がどのような生態系機能をもつかについては、ほとんどわかっていない（Cantonati et al. 2012; Stevens et al. 2021）。

本研究では湧水由来の支流（以下、湧水支流）とそうではない支流（以下、非湧水支流）がモザイク状に本流へと流れ出す火山性渓流域に着目した。そして、これらの生息環境において、物理条件（水温、流速など）、異なる栄養段階の生物（無脊椎動物類・河川性サケ科魚類）をサンプリングし、種または目レベルの多様性パターンを比較した。さらに、湧水支流及び非湧水支流において、物理条件や無脊椎動物の多様性とアバンダンスが高次消費者の魚類の成長へどのように寄与するか、複数の季節を追って調べることで、そのプロセスを解明することを目的とした。

2. 材料と方法

2-1. 調査地

調査は北海道空知郡南富良野町にある石狩川水系シーソラブチ川で行った（43°3'N–43°19'N, 142°37'E–142°43'E；図 1）。この地域の年平均気温は 5.2 °C、年間降水量は 1031.4 mm である（1981–2020 年の平均値、気象庁 2021）。空知川では、同一流域内に湧水支流と非湧水支流が混在している（e.g., Koizumi and Maekawa 2004）。その中から本研究では湧水支流 6 地点、非湧水支流 7 地点を選定した（表 1）。

2-2. フィールド調査

2023 年 7 月 30 日から 8 月 3 日（夏季）、同年 10 月 23 日から 10 月 28 日（秋季）、2024 年 4 月 26 日から 4 月 29 日（春季）にかけて、各支流内においてソースに近い 100m 区間を設置し、下流から上流にかけて電気ショッカー（2 pass; 300 V ; Model 12-B, Smith-Root Inc., Vancouver, WA, USA）とタモ網（目の大きさ: 2 mm）を用いて、魚類個体を採捕し、麻酔（物産アニマルヘルス株式会社、大阪、日本）を用いて痛みを軽減させたのち、尾叉長（mm）または全長（mm）を 1 mm 単位で、70 mm 以上の個体に関しては湿重量（g）も 0.1 g 単位で計測した。なお、当初予定していた胃内容物調査は小型魚類への負荷を考え今回は省略した。また、各支流の調査区間を 20 m ごとに 5 セクションに区切り、それぞれで 25 cm × 25 cm × 60 cm のサーバネットを用いて 2 分間底質をかき混ぜたり擦ったりした際に流下した水性昆虫を採集した。なお、個体採捕に関しては、北海道知事による特別採捕許可を得ておこなった（許可番号：上内水面特別採第 1 号）。また、一部の支流にアクセスする際に国有林内林道を通行する必要があったため、林野庁上川南部森林管理署による入林許可を得た（許可番号：R5-R6-227）。

上記のサンプリングと並行して、物理環境を計測した。トランセクションの間隔：川幅の約 0.5–2.0 倍に設定し（Grant and Wolman 1990 ; Simonson and Kanehl, 1994）、トランセクション上で川幅（cm）、そして任意の 5 点において水深（cm）、底質（点数式：bedrock, sand, gravel, pebble, cobble, boulder ; cf. Wentworth 1922、Coarseness として平均および Heterogeneity として標準偏差を使用）、流速（cm/s ; 3 秒間に 1 回表示を 3 回計測し平均 ; CR-11）を計測した（1 秒ごとに表示する数値を各点で 3 回記録 ; CR-11 型、（旧）コスモ理研、大阪、日本）。そして、調査区間内のカバー（20 cm × 20 cm 以上）を計測した。加えて、調査区間の中央にあたる本流から 50 m あたりに水温ロガー（1 時間に 1 度記録、HOBO MX2201, Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA）を直射日光の影響を受けないようにして設置し、調査期間中継続して水温を計測した。

2-3. 無脊椎動物類の分類群（目レベル）同定およびカウント

フィールドで採集した無脊椎動物類は、その場で 90% エタノールによって固定し、大学に持ち帰ったのち、川合・谷田（2018）に従って同定し、主な分類群（ハエ目 Diptera, カゲロウ目 Ephemeroptera, カワゲラ目 Plecoptera, トビケラ目 Trichoptera）ごとにカウントし、その上で、各分類群の平均個体数からの逸脱度（Residual index）を点数式で算出した。

2-4. 統計解析

まず、計測した水温について距離：ユークリッド距離、併合方法：ウォード法を採用し、時系列クラスタリングを実施した。解析は R package ‘TSclust’ (ver. 1.3.1; Montero and Vilar 2014) を利用した。

次に、魚類について、水温タイプ（湧水支流・非湧水支流）間で群集組成が異なるかを検定するために多変量分散分析（PERMANOVA）を R package ‘vegan’ (ver. 2.6.6; Oksanen et al. 2015) を用いておこなった。この手法で群集組成の差異を検定し有意な結果が得られた場合、群集の平均的組成に差異がある場合とばらつき（ β 多様性；分散）の値に差異がある場合、そしてその両方で差異がある場合、の3通りの可能性がある。今回は、非計量多次元尺度法（Non-metric Multi-Dimensional Scaling；nMDS）を用いたプロットによりサイト間の群集組成の差異を可視化した。この際、類似度指数には Bray-Curtis dissimilarity を用いた。そして、群集組成と物理環境要因の間の相関を確かめるために envfit 関数による物理環境要因との直接傾度分析（Distance-based Redundancy Analysis；db-RDA）を nMDS 上にベクタープロットをした。その際、物理環境要因（変数）はすべて、scale 関数によって z 変換した上でモデリングした。また、湧水支流・非湧水支流による魚類（優占種であるオショロコマおよびイワナ）体サイズヒストグラムを季節別に示すことで、水温タイプによる個体群としての成長をしらべた。

そして、無脊椎動物類に関しては、主な分類群につてアバンダンスの指標をまず水温タイプで比較し、その後、魚類と同様に、PERMNOVA による水温タイプによる群集構造の違いの検定、nMDS プロット、db-RDA プロットをおこなった。

最後に、湧水環境をふくむ河川生態系における生態系機能として物理環境-無脊椎動物類-魚類におけるボトムアップ効果をみるため、構造方程式モデリング（Structural equation modeling；SEM）によって、3者における各変数どうしの直接および間接的な因果関係の推定をこころみた。物理環境の変数は、上記の解析でも相関がみられた、平均水温、平均流速、底質粒度（階級の平均点数）とした。ここを起点とし、無脊椎動物類の種数、魚類（オショロコマ、イワナ）アバンダンス、魚類サイズ（オショロコマ）の間の因果パスを考え、モデルとした。これらの SEM の構築には R package ‘piecewiseSEM’ (ver. 2.3.0; Lefcheck 2016) を用いた。なお、全ての解析は R ver. 4.4.0 (R core team 2024) 上でおこなった。

3. 結果

3-1. 水温の時系列クラスタリング

今回実施した水温の時系列クラスタリングによって、季節によって各支流のクラスターが変化することがわかった（図 2a, b）。一方、サイト ID によっては季節が変化しても同じクラスターに属するものがあつた（T11 and 50.5、KS and T49）。

3-2. 湧水・非湧水支流における魚類群集（各季節）と物理環境との関係

3 季節で合計 6 種の魚類が採捕された（ $n=3,202$ ）夏季の魚類群集は、湧水支流・非湧水支流によって、有意ではないが異なるという傾向がみられた（ P -value = 0.094；図 3a）。一方、秋季や春季に関しては、どちらも魚類群集が異なるという証拠は得られなかった（秋季： P -value = 0.222；図 3b、春季： P -value = 0.400；図 3c）。これらの魚類群集と物理環境との関係を見ると、夏季に物理環境として平均水温と有意ではないが相関するという傾向がみられた（ANOVA, P -value = 0.063；図 4a）。一方で、秋季や春季に関しては、強く相関する物理環境はみられなかった（図 4b, c）。

3-3. 湧水・非湧水支流における魚類の成長

夏季から春季にかけて、個体群におけるオショロコマ当歳魚（図中の略称：DV0）、1 歳以上（DV12）、イワナ当歳魚（WSC0）のサイズヒストグラムを描いたところ、オショロコマに関しては、年級群によって傾向が異なることがわかった（図 5）。まず、オショロコマ当歳魚に関しては、夏季から秋季にかけて平均体サイズは常に非湧水支流の方が湧水支流よりも大きく、その関係性は一定であつた。この関係性はイワナの当歳魚でも同様であつたが、イワナの場合は、秋から冬にかけて特に水温タイプ間での平均体サイズ差が大きくなった。一方、オショロコマ 1 歳以上では、夏季および秋季は非湧水支流の方が湧水支流よりも平均体サイズが大きいという関係は変わらなかつたが、徐々に差は小さくなり、春季になると逆転し、湧水支流の方が大きくなった（図 5）。

3-4. 湧水・非湧水支流における無脊椎動物類の群集、物理環境との関係

夏季における各分類群のアバダンスを比較すると、いずれの分類群でも湧水・非湧水支流によって差はみられなかつた（Mann-Whitney U test, いずれも P -value > 0.05；図 6a-d）。夏季の無脊椎動物類群集は、湧水支流・非湧水支流によって、異なるという証拠はみられなかつた（ P -value = 0.197；図 7a）。これらの無脊椎動物類群集と物理環境との関係を見ると平均水温（ANOVA, P -value = 0.046）、底質 Coarseness（ANOVA, P -value = 0.001）、カバー率（ANOVA, P -value = 0.039）と有意な相関がみられた（図 7b）。

3-5. 物理環境-無脊椎動物類-魚類の関係

夏季における 3 者の関係を見ると、オショロコマの体サイズに対しては、物理環境およびイワナのアバダンスが直接的に有意な関係があつた。オショロコマおよびイワナのアバダンスに物理環境は有意な関係がみられた。一方、無脊椎動物類の多様性指標（ α 多様性）に対して物理環境は有意な関係なかつた（図 8、表 2）。

4. 考察

本研究から、まず、湧水支流と非湧水支流では、水温の時系列変化が大きく異なり、季節によってそのクラスタリングが異なることがわかった（図 2a, b）。具体的には、夏季のクラスターと支流ソースは対応していたが、秋季では、3つに分かれ、対応していなかった。この理由として、本調査流域において秋季は湧水支流と非湧水支流の温度変化が非常に似ることが挙げられる（Yamada et al. 2023；植村、未発表データ）。また、調査区間のソースからの距離にはばらつきがあるため、表面流の気温暴露時間の差も影響していたのかもしれない。

魚類の群集に関しては、先行研究である Ishiyama et al (2023) と同様に、夏季の群集構造に差異が認められた。一方、秋季について差異が認められなかった理由として、魚類特にサケ科魚類の繁殖期が重なり、本流から遡上したそれら特定の種およびアバンドランスが多くなったことが考えられる。また、理由は不明だが本水系では秋になるとイワナの当歳魚が本流へと戻る（Yamada et al. 2023；植村、未発表データ）。春季に関しては秋季から冬を経て特に群集組成に変化がなかったため、秋季と同様の結界になったと考えられる。また、これらと物理環境との関係については、夏季は水温および群集の Heterogeneity が高かったため、傾向がみられたと考えられた。

魚類の成長に関して、オショロコマ当歳魚は夏季の高水温により非湧水で体サイズが大きくなった。冬季にはその水温関係は逆転し湧水の方が高水温になるため、水温タイプでサイズ差がなくなるか逆転するかと考えられたが、関係性は変わらず、サイズ成長における夏季の高水温（非湧水）の貢献度が高いことがわかった。一方、オショロコマ 1 歳以上では、上記の水温予測通り、冬季の水温タイプによる水温の逆転によりサイズ差がほとんど無くなっていたことから、サイズ成長への各季節の水温の貢献があることがわかった。しかし、先述した通り、秋季に関しては本流から支流内へ産卵遡上した大型個体も含むため、それらを区別した場合により正確な傾向がわかると考えられる。イワナ当歳魚に関しては、一貫して非湧水の方で体サイズが大きかったものの、支流-本流間の移動性が高く、支流環境と成長との関係が見えにくい。今後、個体識別による標識採捕をすることで支流内残存個体、本流からの移入個体を区別できるため（cf. Tsuboi et al. 2020）、成長に対する支流の貢献度を推定できるだろう。

無脊椎動物類群集に関しては、いくつかの先行研究（Sakai et al. 2021; Tolod et al. 2022; Ishiyama et al. 2023）とは異なり、支流の水温タイプによって群集組成に差異がなかった。その理由として、まずは、地点の空間スケールである。多くの研究では各タイプで 10 km 以上離れた地点でサンプリングしており、それらの空間的自己相関の影響を無視できない。今回は、より狭い空間スケールでサンプリングされたため、空間的自己相関は小さいが、群集も類似したのかもしれない。もう一点は手法の限界である。本研究では、主な分類群のみを目レベルで同定しカウントしており、群集構造を反映できていない可能性もある。今後、属レベル以下で詳細に同定する必要がある。

無脊椎動物類群集と物理環境との相関では、平均水温、底質の *Coarseness*、カバー率と有意な相関がみられた（図 6b）。これは、先行研究の *Ishiyama et al. (2023)* と同様であった。また、水温タイプでは群集組成に差異がなかったことから、水温タイプではなく、調査支流（地点）の水温が重要であることが示唆された。また、河畔植生などのカバーは無脊椎動物類にとって生息場所の *Heterogeneity* を高めることなどで共存を促すため種多様性を高める（*Death and Collier 2010*）。また、植生は枯れて水中に沈むことでリターとなるため、一部の分類群には餌資源にもなる。カバー率に関しては、これまでの研究ではあまり考慮されてこなかったが、本研究結果から水温や底質などこれまで重要とされてきた物理環境に加えて重要性があきらかになった。

物理環境-無脊椎動物類-魚類の関係について述べる。本研究では、物理環境要因を起点とする栄養段階の階層的なプロセスを経たオショロコマ当歳魚における成長（体サイズ）へのパスの有効性（有意な関係）をみた。まずは、物理環境と無脊椎動物類群集（ α 多様性）との有意な関係は見られなかった。これは、上記の群集パターンとの関係とは異なっていた。一方、オショロコマ当歳魚のアバンダンスやイワナ当歳魚のアバンダンス、オショロコマ当歳魚の体サイズに対しては有意な関係があり、これは先行研究（*Yamada et al. 2023*；植村、未発表データ）と一致していた。無脊椎動物類を起点とするパスに関しては、オショロコマ当歳魚のアバンダンスやイワナ当歳魚のアバンダンスに対しては有意であったが、体サイズに対しては有意な関係はみられなかった。最後に、魚類両種のアバンダンスはイワナのみオショロコマ当歳魚の体サイズに有意な関係が認められた。これらをまとめると、物理環境を起点とした場合は、魚類の成長に対して直接的また異種のアバンダンスを介して間接的に影響していることがわかった。一方、無脊椎動物類を起点とした場合、まずは魚類アバンダンスに影響し、それが密度依存性に伴う競争などを経て間接的に当歳魚のサイズに影響する（e.g., *Hasegawa et al. 2024*）、つまり、間接的なボトムアップ効果があると予想できる。今後、異なる季節間で比較したり（e.g., *Tolod et al. 2022*）、前の季節の効果をみたりする（e.g. *Hasegawa et al. 2023*）ことで、そのボトムアップ効果のプロセスを詳細に捉えることができる。

5. 本研究のまとめ

本研究によって、湧水支流と非湧水支流で物理環境の特徴が異なること、またその特徴が季節変化することがわかった。魚類群集に関しては、物理環境との関係性が強く示唆され、同様にその関係性も季節変化することがわかった。加えて、体サイズの成長については種および年級群によって水温による影響（季節別の貢献度）が異なることが初めてわかった。無脊椎動物類については、河畔植生を含むカバー率の重要性が明らかになった。そして、湧水支流を含む本調査水系の生態系機能として、物理環境または無脊椎動物類を起点に、魚類（オショロコマ当歳魚）への体サイズへの直接および間接的なパスを介したボトムアップ効果があることが示唆された。

6. 謝辞

本研究をおこなうにあたり、ご支援いただいた公益託タカラ・ハーモニストファンド（2023年度）に厚く御礼を申し上げます。また、本研究に対して調査同行としてサポートいただいた北海道大学大学院環境科学院生物圏科学専攻動物生態学コース小泉研究室の学生の皆さまへ感謝申し上げます。

7. 研究報告状況

第71回日本生態学会にて（特に発表の考察部分において）本研究の成果の一部を発表した。2025年度に、申請者の所属機関が変わる予定であるため本調査地での研究は終了する。今後、本研究の成果を含めて投稿論文としてまとめる予定である。

8. 引用文献

- Amarasekare, P. (2003). Competitive coexistence in spatially structured environments: a synthesis. *Ecology Letters*, 6, 1109–1122
- Barquín, J., and Scarsbrook, M. (2008). Management and conservation strategies for coldwater springs. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18, 580–591.
- Cantonati, M., Füreder, L., Gerecke, R., Jüttner, I., and Cox, E. J. (2012). Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science*, 31, 463–480.
- Comte, L., and Grenouillet, G. (2013). Do stream fish track climate change? Assessing distribution shifts in recent decades. *Ecography*, 36, 1236–1246.
- Death, R. G., and Barquín, J. (2012). Geographic location alters the diversity–disturbance response. *Freshwater Science*, 31, 636–646.
- Death, R. G., and Collier, K. J. (2010). Measuring stream macroinvertebrate responses to gradients of vegetation cover: when is enough enough?. *Freshwater Biology*, 55, 1447–1464.
- Geist, J. (2011). Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. *Ecological Indicators*, 11, 1507–1516.
- Grant, G. E., Swanson, F. J., and Wolman, M. G. (1990). Pattern and origin of stepped-bed morphology in high-gradient streams, Western Cascades, Oregon. *Geological Society of America Bulletin*, 102, 340–352.
- Hasegawa, K., Okado, J., Sahashi, G., Fukui, S., Ogura, Y., and Ohkuma, K. (2024). The strength of density dependence on body size of young-of-the-year masu salmon, *Oncorhynchus masou*, varies over ontogeny in Horokashubuto stream, Hokkaido, northern Japan. *Ecology of Freshwater Fish*, e12776.

- Hasegawa, R., Otsuki, Y., Uemura, Y., Furusawa, C., Naka, M., and Koizumi, I. (2023). Disentangling the causality between parasite infections and poor host conditions in the wild population. *Authorea Preprints*. DOI: 10.22541/au.167405296.62239093/v1.
- Heino, J. (2013). Environmental heterogeneity, dispersal mode, and co-occurrence in stream macroinvertebrates. *Ecology and Evolution*, 3, 344–355.
- Isaak, D. J., Wollrab, S., Horan, D., and Chandler, G. (2012). Climate change effects on stream and river temperatures across the northwest US from 1980–2009 and implications for salmonid fishes. *Climatic Change*, 113, 499–524.
- Ishiyama, N., Sueyoshi, M., García Molinos, J., Iwasaki, K., Negishi, J. N., Koizumi, I., Nagayama, S., Nagasaka, A., Nagasaka, Y., and Nakamura, F. (2023). Underlying geology and climate interactively shape climate change refugia in mountain streams. *Ecological Monographs*, 93, e1566.
- 川合禎次・谷田一三 (2018) 日本産水生昆虫-科・属・種への検索-, 第二版, 川合禎次・谷田一三 (編), 東海大学出版会, 東京, pp. 1752.
- Kløve, B., Ala-aho, P., Bertrand, G., Boukalova, Z., Ertürk, A., Goldsheider, N., Ilmonen, J., Karakaya, N., Kupfersberger, H., Kværner, J., Lundberg, A., Mileusnic, M., Moszczyńska, A., Muotka, T., Preda, E., Rossi, P., Siergieiev, D., Šimek, J., Wachniew, P., ... Widerlund, A. (2011). Groundwater dependent ecosystems. Part I: Hydroecological status and trends. *Environmental Science and Policy*, 14, 770–781.
- Koizumi, I., and Maekawa, K. (2004). Metapopulation structure of stream-dwelling Dolly Varden charr inferred from patterns of occurrence in the Sorachi River basin, Hokkaido, Japan. *Freshwater Biology*, 49, 973–981.
- Kratina, P., Greig, H. S., Thompson, P. L., Carvalho-Pereira, T. S., and Shurin, J. B. (2012). Warming modifies trophic cascades and eutrophication in experimental freshwater communities. *Ecology*, 93, 1421–1430.
- Lefcheck, J. S. (2016). *piecewiseSEM*: Piecewise structural equation modelling in r for ecology, evolution, and systematics. *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 573–579. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/piecewiseSEM/index.html>.
- McLaughlin, B. C., Ackerly, D. D., Klos, P. Z., Natali, J., Dawson, T. E., and Thompson, S. E. (2017). Hydrologic refugia, plants, and climate change. *Global Change Biology*, 23, 2941–2961.
- Montero, P., and Vilar, J. A. (2015). *TSclust*: An R package for time series clustering. *Journal of Statistical Software*, 62, 1–43. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/TSclust/index.html>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., Mcglinn, D., Minchin, P. R., O'hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Henry, M., Stevens, H., Szoecs, E., and Wagner, H. (2015). *vegan*: Community ecology package. R Package Version 2.3-2. Retrieved from <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>
- R Core Team. (2024). R: A language and environment for statistical computing. Retrieved

from <https://www.R-project.org/>.

- Sakai, M., Iwabuchi, K., and Bauman, D. (2021). Unique habitat and macroinvertebrate assemblage structures in spring-fed stream: a comparison among clastic lowland tributaries and mainstreams in northern Japan. *Community Ecology*, 22, 193–202.
- Simonson, T. D., Lyons, J., and Kanehl, P. D. (1994). Quantifying fish habitat in streams: transect spacing, sample size, and a proposed framework. *North American Journal of Fisheries Management*, 14, 607–615.
- Stein, A., Gerstner, K., and Kreft, H. (2014). Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, 17, 866–880.
- Stevens, L. E., Schenk, E. R., and Springer, A. E. (2021). Springs ecosystem classification. *Ecological Applications*, 31, e2218.
- Taylor, R. G., Scanlon, B., Döll, P., Rodell, M., Van Beek, R., Wada, Y., Longuevergne, L., Leblanc, M., Famiglietti, J. S., Edmunds, M., Konikow, L., Green, T. R., Chen, J., Taniguchi, M., Bierkens, M. F. P., MacDonald, A., Fan, Y., Maxwell, R. M., Yechieli, Y., Gurdak, J. J., Allen, D. M., Shamsudduha, M., Hiscock, K., Yeh, P. J.-F., Holman, I., and Treidel, H. (2013). Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3, 322–329.
- Tolod, J. R., Negishi, J. N., Ishiyama, N., Alam, M. K., Rahman, M. A. T., Pongsivapai, P., Gao, Y., Sueyoshi, M., and Nakamura, F. (2022). Catchment geology preconditions spatio-temporal heterogeneity of ecosystem functioning in forested headwater streams. *Hydrobiologia*, 849, 4307–4324.
- Tsuboi, J. I., Morita, K., Koseki, Y., Endo, S., Sahashi, G., Kishi, D., Kikko, T., Ishizaki, D., Nnunokawa, M. and Kanno, Y. (2020). Spatial covariation of fish population vital rates in a stream network. *Oikos*, 129, 924–937.
- Ward, and Tockner. (2001). Biodiversity: towards a unifying theme for river ecology. *Freshwater Biology*, 46, 807–819.
- Woodward, G., Perkins, D. M., and Brown, L. E. (2010). Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2093–2106.
- Yamada, T., Koizumi, I., and Nakamura, F. (2023). Seasonal changes in the ratio of congeneric charrs in northern Japanese tributaries with different temperature regimes. *Researchsquare* (preprint). DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2465444/v1>

9. 図表（本文での記載順とした）

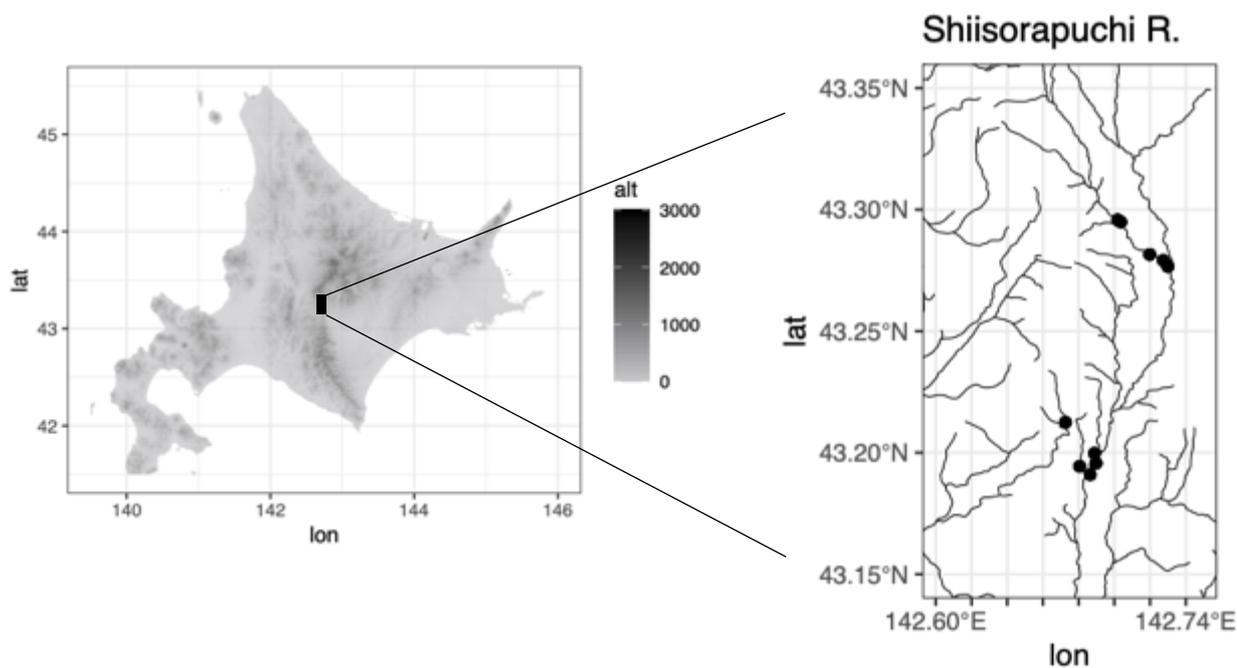


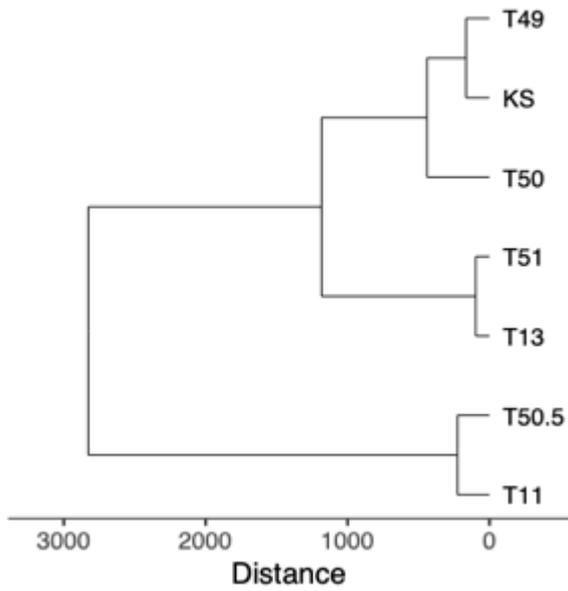
図 1. 調査地域の地図と調査地点（右図中●）

表 1. 調査地点および調査の概要

SiteID	湧水・非湧水	標高 (m)	魚類採捕			水生昆虫採捕			環境計測		
			夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春
IK	湧水 (Spring fed)	587	NA	○	○	NA	○	○	NA	○	○
KS	非湧水 (Non-spring fed)	657	○	○	NA	○	NA	NA	○	○	NA
T11	湧水 (Spring fed)	656	○	○	NA	○	NA	NA	○	○	NA
T13	非湧水 (Non-spring fed)	615	○	○	NA	○	NA	NA	○	○	NA
T45	湧水 (Spring fed)	499	NA	NA	○	NA	NA	○	○	NA	○
T49	非湧水 (Non-spring fed)	489	○	○	○	○	NA	○	○	○	○
T50	非湧水 (Non-spring fed)	487	○	○	NA	○	NA	NA	○	○	NA
T50.5	湧水 (Spring fed)	476	○	○	NA	○	NA	NA	○	○	NA
T51	非湧水 (Non-spring fed)	496	○	○	○	○	NA	○	○	○	○
T54	非湧水 (Non-spring fed)	452	NA	○	○	NA	NA	○	○	NA	○
T61	非湧水 (Non-spring fed)	434	NA	○	○	NA	NA	○	○	NA	○
KU	湧水 (Spring fed)	607	NA	NA	NA	○	NA	NA	○	○	NA
SI	湧水 (Spring fed)	608	NA	NA	NA	○	NA	NA	○	○	NA

NAの箇所は調査地点への立ち入りが危険な状態だったため調査を実施していない

(a) Dynamic time warping 01.Summer



(b) Dynamic time warping 02.Fall

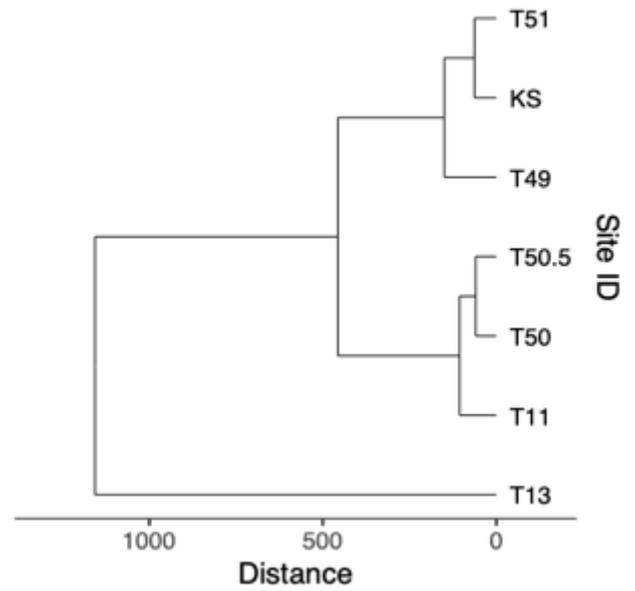


図 2. 夏季 (a) および秋季 (b) における水温の時系列クラスタリングデンドログラム

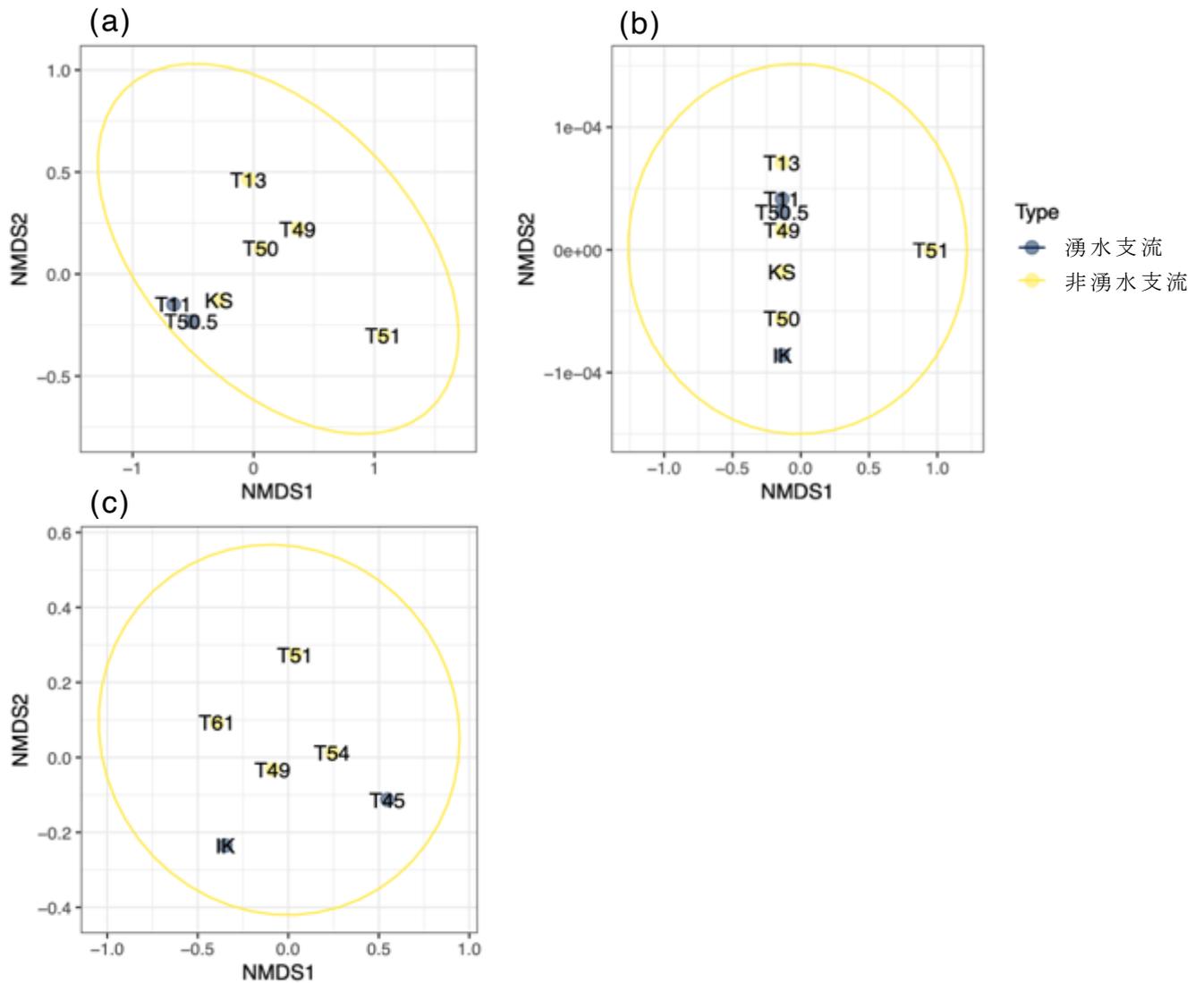


図 3. 魚類群集の水温タイプ比較 nMDS プロット (a: 夏季、b: 秋季、c: 春季)

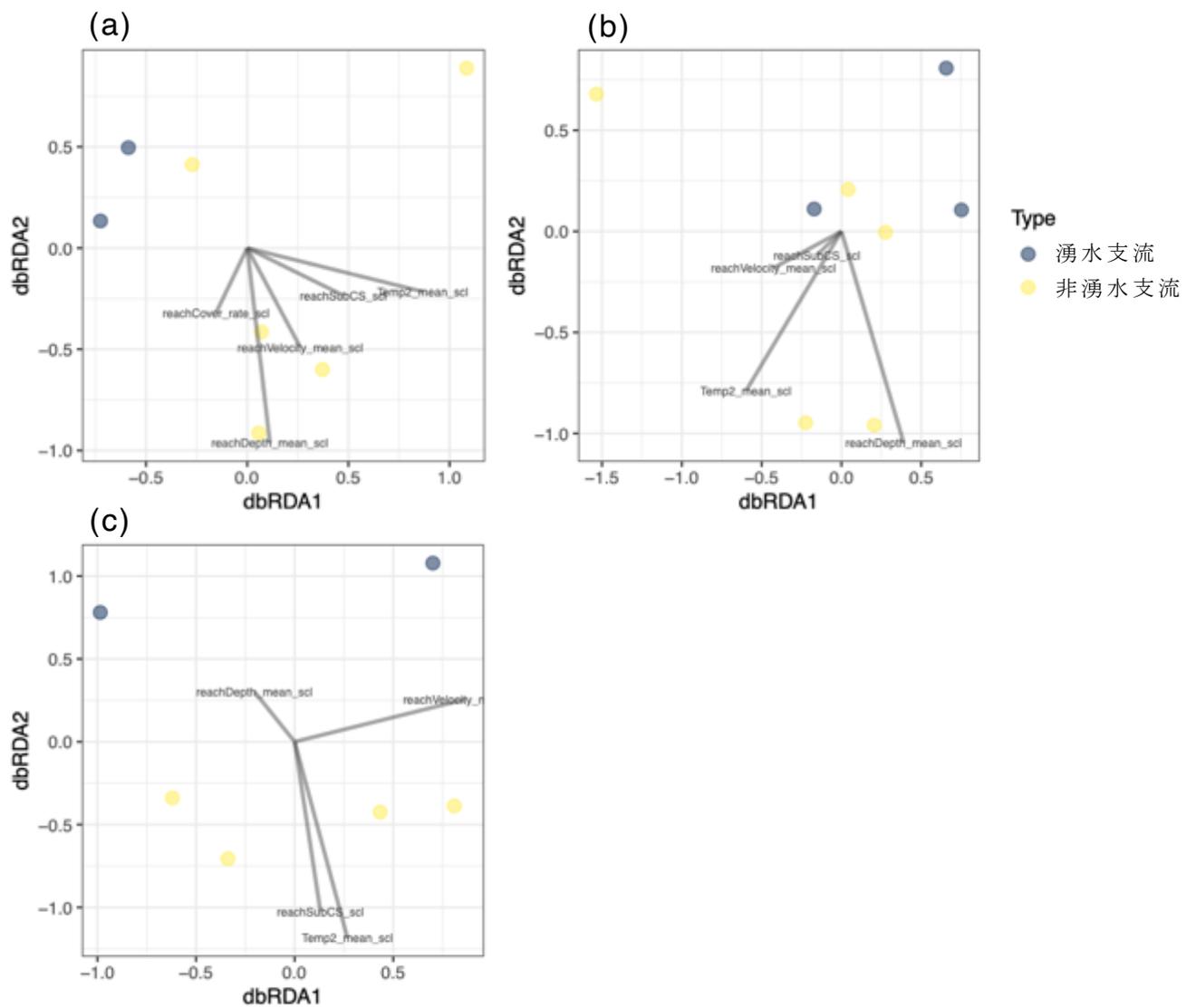


図 4. 魚類群集の水溫タイプ比較 db-RDA プロット (a: 夏季、b: 秋季、c: 春季)

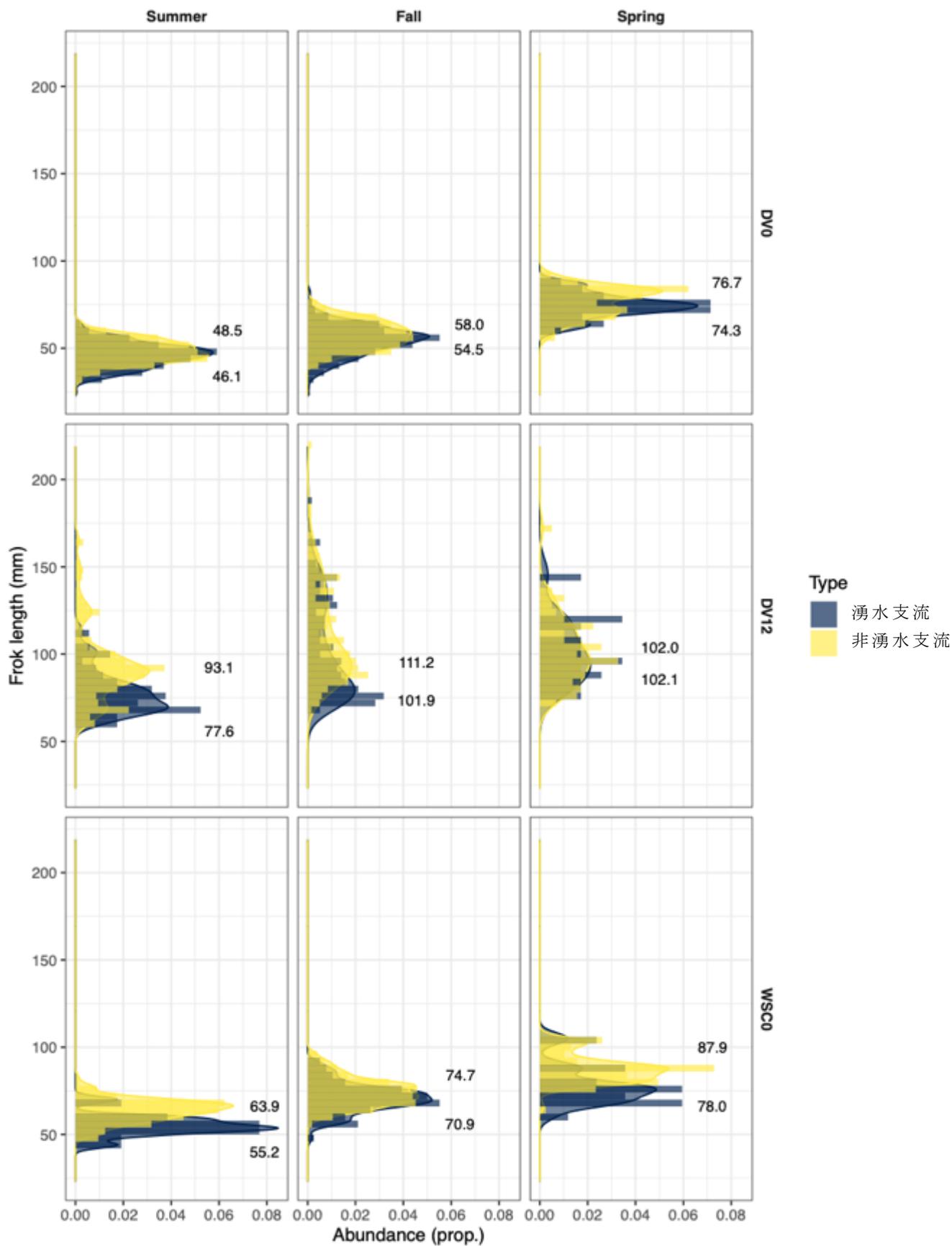


図 5. オショロコマ当歳魚 (DV1)、オショロコマ 1 歳以上 (DV12)、イワナ当歳魚 (WSC0) の水温タイプ別サイズヒストグラム (各季節: 左から夏季、秋季、春季)

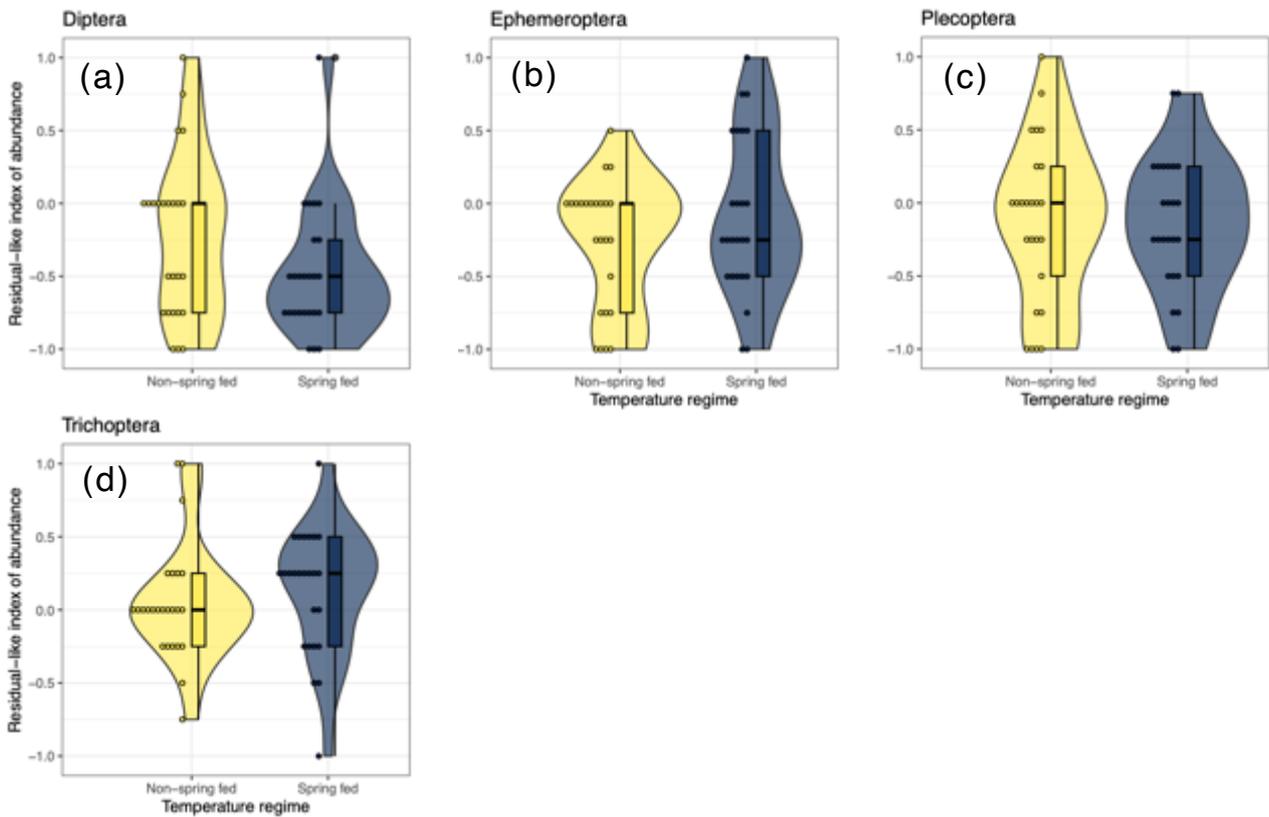


図 6. ハエ目 Diptera (a)、カゲロウ目 Ephemeroptera (b)、カワゲラ目 Plecoptera (c)、トビケラ目 Trichoptera (d) の水温タイプ別のアバダンス (residual index) 比較

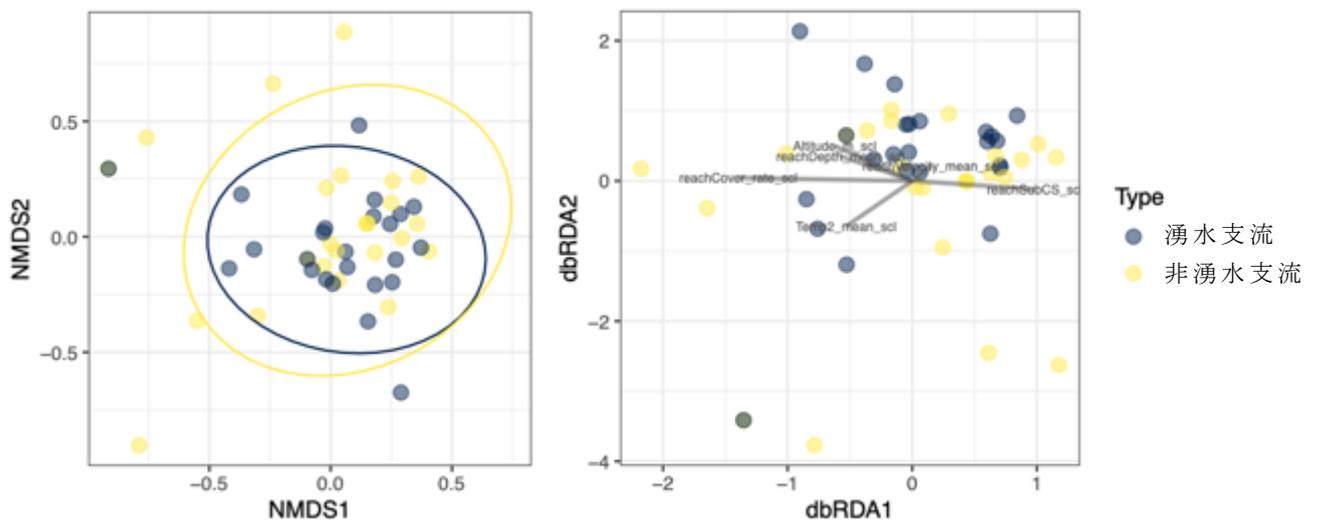


図 7. 無脊椎動物類群集の水温タイプ比較 nMDS (a) および db-RDA プロット (b)

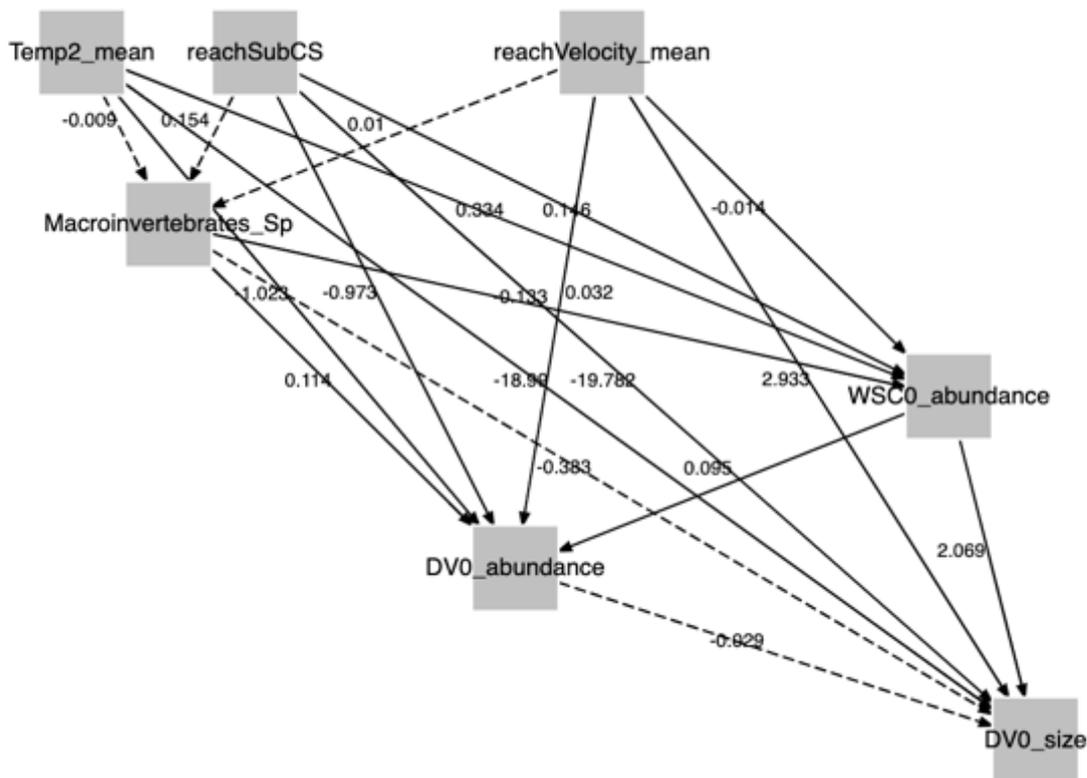


図 8. piecewiseSEM による構造方程式モデリングの因果推論グラフ。実線は有意なパスを破線は有意ではないパスを示す。

表 2. piecewiseSEM による構造方程式モデリングの結果概要

Response	Predictor	Estimate	Std.Error	DF	Crit.Value	P.Value	Std.Estimate
DV0_size	DV0_abundance	-0.0293	0.0231	27	-1.2667	0.2161	-0.1371
DV0_size	WSC0_abundance	2.069	0.1476	27	14.014	0	2.1097 ***
DV0_size	Macroinvertebrates_Sp	-0.3827	1.1938	27	-0.3206	0.751	-0.0158
DV0_size	Temp2_mean	-18.9902	1.7224	27	-11.0252	0	-2.1258 ***
DV0_size	reachSubCS	-19.7823	2.0868	27	-9.4796	0	-0.6614 ***
DV0_size	reachVelocity_mean	2.9326	0.1701	27	17.2424	0	0.7676 ***
DV0_abundance	WSC0_abundance	0.0949	0.0043	28	22.0341	0 -	***
DV0_abundance	Macroinvertebrates_Sp	0.1142	0.0219	28	5.2156	0 -	***
DV0_abundance	Temp2_mean	-1.0232	0.0388	28	-26.3943	0 -	***
DV0_abundance	reachSubCS	-0.9725	0.051	28	-19.0553	0 -	***
DV0_abundance	reachVelocity_mean	0.0322	0.0057	28	5.6771	0 -	***
WSC0_abundance	Macroinvertebrates_Sp	-0.1329	0.0552	29	-2.4064	0.0161 -	*
WSC0_abundance	Temp2_mean	0.3337	0.0248	29	13.4697	0 -	***
WSC0_abundance	reachSubCS	0.1461	0.0582	29	2.5114	0.012 -	*
WSC0_abundance	reachVelocity_mean	-0.0136	0.0067	29	-2.0182	0.0436 -	*
Macroinvertebrates_Sp	Temp2_mean	-0.0086	0.0517	30	-0.1669	0.8674 -	
Macroinvertebrates_Sp	reachSubCS	0.1541	0.1695	30	0.9092	0.3632 -	
Macroinvertebrates_Sp	reachVelocity_mean	0.0095	0.0202	30	0.4693	0.6389 -	

繁殖期におけるコシアカツバメ (*Hirundo daurica*) の減少要因を探る

苗川博史

神奈川県

1. はじめに

コシアカツバメ (*Hirundo daurica*) は東南アジアなどから飛来する夏鳥で、ツバメよりも一回り大きく(図 1, 2)、飛来も 1 カ月ほど遅い。神奈川県内にコシアカツバメが初めて進出したのは、1940 年以前の小田原市であることが記録されている(横須賀高校 1996)。戦後には県西部から相模湾沿いに分布が拡大され、県央などの内陸部にも進出している。1970 年代以降の傾向として、神奈川県内で繁殖するコシアカツバメの分布は、市街地での減少の一方、中高層住宅の営巣が増加してきた(浜口・端山 1984)。

近年のコシアカツバメの神奈川県内における分布や分散化の動向は、都市化に伴う中高層住宅の増加と農耕地の減少に伴い、巣材の泥や餌となる昆虫類が確保できる環境を求めて、限られた営巣地を選択して生息・分散している現状にあるといってもよい(苗川 2022)。コシアカツバメは、神奈川県下において 3~11 月頃まで観察されているが、1・2 月の冬季も大きな河川や海岸で記録されている。上記の期間には、多摩川流域の川崎市多摩区、高津区、中原区、川崎区において通年を通して観察されており、河川や河原上空で羽化した水生昆虫やバッタ、アキアカネ等の飛翔昆虫を採ることや、泥や枯れ草でとっくり型の巣を作り、近くのマンションや学校等の建造物に営巣することが記録されている(日本野鳥の会神奈川支部 1986, 1992, 1998, 2002, 2007, 2013, 2020)。

日本野鳥の会神奈川支部の記録(2020)によれば、コシアカツバメは、ツバメ、ヒメアマツバメ、イワツバメなどと一緒に川や自然林の上空を飛ぶ姿が報告され、営巣環境や食物の供給地の悪化事情、人とのかかわり方の変化はツバメ同様に繁殖期には減少種の一つに挙げられている。

本研究者は、1992 年にコシアカツバメの調査を開始してから、これまで神奈川県内の中層住宅団地を中心に飛来・営巣していることを確かめ、県内における繁殖動向と分布に関心を向け調査を継続してきた(苗川 1992, 1997, 2020, 2022)。

2020~2021 年の現地調査においては、秦野市・茅ヶ崎市・平塚市および川崎市北部など限られた地域のみで分布していることが確かめられ、またスズメによる巣の乗取りとカラスおよび住人による巣の破壊が行われていることを観察した(苗川 2022)。

これまで明らかにできたことは、神奈川県内におけるコシアカツバメの繁殖動向が、巣材の確保や餌資源の昆虫は確保されているものの、都市化に伴う中層住宅の新規建て替えに伴う影響を受け、限られた営巣地を選択して生息・繁殖していること、結果としてコシアカツバメの目撃個体数が年ごとに激減している現状であった。

コシアカツバメの減少要因を検証するには、どのような環境で減少しているのか、飛来数と幼鳥の存在およびそれぞれの個体数の減少を把握する調査が重要になってくる。

本調査では、現地調査と過去に生息分布していた資料をもとに、神奈川県下におけるコシアカツバメの繁殖が、どの地域(環境)で見られなくなっているのか、見られなくなった年度と移り変わり、繁殖場所である中層住宅の環境改変などを検討した。また、成鳥個体に対して巣立ちした幼鳥個体がどれくらい存在するか、巣立ち後に1つがいあたり何羽の幼鳥が成長とともに行動しているかについて考察した。

巣立ち後の幼鳥が少なければ、コシアカツバメの増殖率が低いことが示唆でき、減少している現状を把握することにつながると考えたからである。

本研究は、これまでの調査を踏まえ、過去に記録された地域の中層住宅地域をリストアップし、共同研究者の濱端一苑氏、バードウォッチャーの西山宏氏および柏木敦士氏の協力を得てコシアカツバメをとりまく減少要因を調べるため繁殖動向の解析を行った。

2. 方法

現地調査は、2023年5月～2024年3月にかけて神奈川県下におけるコシアカツバメの初認から終認に至るまで、先ず本研究者の苗川らがこれまで観察記録できた秦野市下大槻団地・県営団地、茅ヶ崎市浜見平団地、平塚市田村7丁目周辺と金目公民館、川崎市宿河原と中の島周辺で行った。次に、日本野鳥の会神奈川県支部の鳥類目録編集データベースから、これまでコシアカツバメが記録された場所をもとに、築年数が50年前後で1970年代に建てられた以下の中層住宅を抽出して現地調査を行った。この目録は、支部会員が観察記録したカードによるデータを集成した形で編集され、神奈川県鳥類相のデータベースとすることを目指したものであった。

築年数が50年前後の中層住宅は、平塚市田村団地、藤沢市西部団地・湘南台団地・円行団地・四辻団地・上土棚団地、横浜市洋光台団地・南永田団地・公田団地・西菅田団地・くぬぎ台団地・上郷台団地・東本郷団地・竹山団地・上郷西ヶ谷団地・上白根団地、小田原市立花団地・酒匂団地、伊勢原市伊勢原団地、大和市深見団地、厚木市春日台団地・中津桜台団地・緑が丘団地、横須賀市不入斗団地・浦賀第1団地、相模原市相模田名団地・下九沢団地、川崎市南平台団地・虹が丘団地・下麻生団地・上作延団地であった。

これらの中層住宅は、いずれも4階建てのコンクリート中層住宅であり、コシアカツバメがかつて一時的に観察されたものの記録が途絶え、現在目撃できるかを把握するためでもあり、営巣の有無およびその要因を探ることにあつた。

現地調査は、これまでの目撃記録をもとにライセンス法による踏査をしながら、目視とデジタルカメラ(Canon, 300mm望遠レンズ付き)を併用しながら、目撃できた個体の行動と羽数、場所、日時などをノートに記録を重ねた。

調査では、コシアカツバメの初認日、繁殖期における成鳥および幼鳥の観察数、非繁殖期の渡りの時期と場所その羽数、終認日などについて、周辺環境を併せて記入した。

3. 結果

今回、コシアカツバメの初認は平塚市の田村 7 丁目における 5 月上旬が最も早く確認できた(図 3)。繁殖期においてコシアカツバメを視認、営巣が確認できたのは、秦野市の下大槻団地における営巣中に巣材の泥粒を運ぶなどの 18 羽(図 4,5)、営巣中の秦野市県営団地における 2 羽(図 6)、横須賀市の不入斗第一団地における電線上に休息中の♂♀ペア 2 羽(図 7)、小田原市の酒匂団地における営巣中の 2 羽、平塚市の金目公民館(図 8)における営巣中の巣入り口で見られた 4 羽であった。また、営巣は確認できなかったものの繁殖期の 5 月から渡りの 10 月まで継続して観察できたのは、平塚市田村 7 丁目付近であった(図 3)。ここでは、8 月から 9 月に集中して飛来しており、約 20~150 羽見られた。2022 年度には 8 月から 10 月に最大 60~120 羽を記録した。

下大槻団地と金目公民館では、昨年度までとは異なり、新たに外壁・塗装工事が行われていた。繁殖期における秦野市下大槻団地では、2023 年 6 月 11 日~9 月 23 日にかけて、成鳥 18 羽が営巣場所に入出入りしていたが、その後幼鳥が確認できたのは 2 羽であった。また、横須賀市の不入斗団地と小田原市の酒匂団地においては各 2 羽の成鳥が確認されたものの、その後の幼鳥の存在は確認できなかった。さらには、金目公民館においても 4 羽の成鳥が確認されたが、幼鳥の存在は確認できなかった。また、昨年まで営巣し繁殖が見られた茅ヶ崎市浜見平団地は、新規建て替え工事のため古い建物が解体され、1 羽の飛来が上空で見られたのみで、残された古い中層住宅の建物には営巣が見られなかった。

現地調査を行った築年数約 50 年の他の中層住宅ではいずれにおいても外壁塗装が行われた痕跡が見られたが、コシアカツバメは確認できなかった。その中では、藤沢市西部団地、平塚市田村団地、伊勢原市伊勢原団地、同市緑が丘団地、川崎市上作延団地、すすきの団地、東本郷団地、神白根団地、大和深見団地においては、コシアカツバメの目撃はできなかったものの、建物に鳥防御用のネットがみられた(図 9)。

これまで目録で記録された繁殖期におけるコシアカツバメの目撃は、美しが丘団地 1982 年、上和田団地 1988 年、鶴が台団地 1995 年、辻堂団地 1996 年、横須賀市鶴が丘団地 1984 年をそれぞれ最終年度に、その後の記録が見られなかった。

1979 年~2016 年の目録に記載された繁殖期の動向は、県内を 5 地域に分けたどの地域にも見られ、市街地、街路、都市公園、林、海岸、集落で記録されていた。

また、繁殖場所は県内を 5 地域に分けたいずれの地域においても見られ、環境選択では市街地が最も多く、しかも中層住宅で多く記録されていた。

繁殖期における行動は、巣材の泥などの運び、造巣、営巣に伴う成鳥の入出入り、卵のかけら、雛の声、幼鳥の存在、成鳥から幼鳥への給餌、巣立ちなどが記録されていた。

さらに 1986~1991 年の繁殖期と越冬期におけるコシアカツバメの分布(図 10)、2011~2015 年の観察カードの月別件数(図 11)、1986~2015 年の 5 年ごとの記録件数(図 12)、2011 年~2015 年の月別観察状況(図 13)などを調べることができた。

非繁殖期におけるコシアカツバメの動向は、9 月~10 月頃まで渡りの準備を始めており、平塚市田村 7 丁目と川崎市中野島周辺において観察できた。いずれも電線上にツバメと混ざり、20~180 羽観察できた(図 14)。終認は 10 月中旬の平塚市田村 7 丁目周辺であった(図 3)。2024 年 1 月には酒匂川流域で越冬していると思われる個体を

地元の住人からの記録で知ることができ、越冬個体の存在を示唆した。

4. 考察

浜口・端山（1984）は、神奈川県内のツバメ類の巣について合計 3008 件の情報が収集された中で、コシアカツバメの繁殖分布について営巣が認められたのは、調査域 344 メッシュの 15%にあたる 52 メッシュであり、ツバメと比べると、その分布は局地的であり、湯河原から逗子にいたる相模湾沿いの沿岸部に集中していることを報告した。

また、営巣場所についてみると、中高層住宅に営巣するものが多く、コシアカツバメの営巣例全体の 48%を占めていた。これは 3~5 階建の集合住宅を利用するもので、階段室の最上階の天井に営巣する場合が多いことを報告した。

さらには、1 か所に営巣する数は、単独営巣がもっとも多かったが、2~10 数個の小コロニーをつくっている割合は、ツバメより高かったものの、50 巣を超すコロニーをつくっている例は見られなかったことも報告した。

繁殖分布の変化は、1960 年代は 11、1977 年代は 26、1983 年は 34 であり、約 20 年間に分布を拡大してきたことを、この記録から読み取れることができた（図 15）。

浜口・端山は、1960 年代から 1983 年にかけて営巣場所が変化してきたことを報告しており、減少原因は建物の建て直しが進んで営巣条件が変わったこと、巣を横取りするスズメやヒメアマツバメとの競合の影響などを挙げていた。

1960 年代までのコシアカツバメの営巣は、木造建築からモルタル建築への変化に関連したものと考えられ、その後 1970 年代から 1980 年代へのコンクリート中高層住宅への営巣開始へと、地理的分布を拡大していったことが考えられる。1990 年代以降から 2020 年代の現在に至るまでは、中高層住宅の壁面塗装の変化や新たな建物への変化に伴いコシアカツバメの営巣が減ってきたことが、今回の現地調査及び日本野鳥の会神奈川支部によるデータから目撃数が年を追うごとに少なくなっていることから確かめることができた。

仲真（1984）は、関東地方およびその周辺部における 1976~1977 年に行ったコシアカツバメの繁殖分布と営巣場所の選択について、海岸沿いに営巣することが多いことを報告した。特に神奈川県内では、小田原市で 1940 年以前から繁殖していたという記録が最も古く、松田町での 1945 年の記録がこれに次いでいる。1950 年代には、鎌倉市街に営巣が記録されており、その後、平塚市、茅ヶ崎市、藤沢市、三浦半島へと海岸沿いに、また秦野市、横浜市戸塚区・保土ヶ谷区など内陸部に向けて分布が拡大した。1969 年には川崎市登戸に営巣し、その後、多摩川流域で営巣が見られるようになった。

1980 年代以降の中層住宅のコンクリート建造物の壁面には、合成樹皮エマルジョン系やゴムタイルシーラ、ゴムテックス系の塗装法に変わってきており（苗川 2020）、塗装法の変化が営巣に影響を及ぼしていることが考えられる。近年の塗装（図 16）には、弾性塗装やコンクリート描写工法、カラークリヤー工法などが導入され、住人の衛生志向により、中層住宅の新規建設や建て替え時には、これらの組み合わせにより壁面にコシアカツバメの巣材である泥粒がつきにくい状態が反映されたものになってきている現状がある。住人の衛生・鳥忌避志向は、鳥の糞や羽根の掃除（図 17）、巣の撤去、建物に防御ネット（図 9）や防御紐・針（図 18, 19）の存在に現れていた。

日本野鳥の会神奈川支部による1979年～2015年までのデータベースからは、コシアカツバメの目撃数が142例であり、地域別に見ると西部がやや少ないものの、県内どの地域でもほぼ同じ割合（20%）で記録されていた。繁殖期に限ってみると、5月初旬から9月初旬まで観察されており、142例中53例（37.3%）が記録されていた。この時期に目撃されるコシアカツバメが多いのは造巢から営巢、そして子育ての時期に重なるからであろう。

1979年～2016年の約40年間におけるコシアカツバメのカードによる観察記録数の報告142件（0.1%）は、全体の報告数101457件の中では他種と比べて非常に少ない。特に1996年以降2015年までのデジタル情報になってからは合計200061件のうち、わずか7件（0.003%）の報告しか見られない。これは、実際に観察はしていてもノートなどに記載する人が少ないことに加えて、カメラで鳥を記録することに留まっていることが考えられる。また、コシアカツバメはツバメやスズメ、カラスなどと比べると知名度も低く、見かけることや記録することが少ないこともあるのだろう。

このようにコシアカツバメが減少している原因を探ってみると、営巢環境の環境改変が最も重要な要因であると考えられた。繁殖場所となる中層住宅の新築改装工事に伴う改変である。神奈川県下におけるコシアカツバメの壱や営巢場所となる建造物で観察されたコシアカツバメの推移を見ると、かつて観察記録されていた場所が、この50年間に中層住宅の建て替えや外壁工事などによる改変が各地で行われており、コシアカツバメたちの行き場所がなくなっていることが減少の1つの大きな原因となっているものと考えられた。

環境の改変は、宅地造成などによる里地・里山地域の減少、巢材となる土壌や餌となる昆虫類などを確保することが難しくなり、個体数の減少を招いているものとも見られる。

生きもののニッチは、生き物と天敵の相互作用により、天敵からの被害を少しでも軽減できる空間、すなわち「天敵不在空間」として占められる（大崎 2024）。この「天敵不在空間」ということを、コシアカツバメのニッチとなる営巢場所に置き換えて考えてみると、これまでコシアカツバメが営巢場所を選択してきたのは天敵の少ない中層住宅などヒトに依存した住居であった。

近年、日本各地においてツバメ類の個体数が減少していることが指摘され、減少した要因には巢材である泥を確保できる環境（農地など）の減少、それに伴う餌資源の食物不足、営巢場所となってきた中層住宅の建て替えや塗装工事に伴い造巢できにくくなってきたこと、スズメによる巢の乗っ取り（図 20）やカラスによる捕食圧などが考えられた（図 21, 22 2022 苗川）。これまで人家の中層住宅階段踊り場の壁面のコシアカツバメの巢は、カラスなどの天敵から人間の目にかくまわれた天敵不在の空間であった。コシアカツバメは、この「天敵不在空間」が脅かされ続けてきていることも個体数減少の要因とも考えられる。

今回の調査で目撃できたコシアカツバメの成鳥28羽中に巣立ち幼鳥がわずか2羽と少なく、増殖率が低いことを示した。繁殖期における観察の見落としや継続した定点調査を行っていないこともあるが、営巢中にスズメによる巢の乗っ取りや育雛中のカラスの襲撃による捕食圧、住人による巢の破壊行動も背景にあるものと考えられた。

三上(2009)は、スズメが減少した要因の代表的なものとして食物不足を挙げており、その他、水田、空地、草原などスズメにとっての採食場所が減少したこと、営巣場所である木造建築の減少、カラス類などによる捕食圧などを挙げていた。

コシアカツバメの営巣場所には、ハシブトガラスなどの天敵も多く、渡りに際しても旅の途中で天敵に襲われたり、過酷な旅の途中で力尽きてしまうことや数多くの困難に遭遇していることが予想される。生まれた雛がすべて巣立ちが出来るまで成長する可能性は非常に低く、中には卵から孵化する前に死んでしまうこともあり、コシアカツバメツバメの一生はかなり過酷なことが推測される。

山階鳥類研究所(2023)が行った鳥類標識調査データから、日本で生まれたツバメがどこに渡っていくかを調べた記録がある(図 23)。これによると、繁殖期に放鳥されてから6ヶ月以内に見つかった例は、台湾、フィリピン、ベトナム、マレーシア、インドネシアであった。中でも大阪市の淀川河川敷きで標識をつけて放鳥されたツバメが、16日間で2708 km飛んだことが記録されている。

コシアカツバメが、何千kmもの時間と労力をかけて日本に飛来するメリットは、子育ての時期に東南アジアで繁殖するより、子育てするのに豊富な餌資源と巣材の泥粒、安全な住居が日本国内に確保されているからであろう。しかもコシアカツバメの繁殖期は5~8月の夏の間、1~2回の産卵をし、1回に4~5個を産卵、抱卵日数11日~16日といわれている(世界の鳥の生態図鑑 2021)。鳥が1回に産卵する卵数は、雛に対する給餌能力に対応するといわれる。夜明けから日没までの日長が長い地域では親鳥の給餌時間が長く、1回に産卵する卵の数は多くなる(大崎 2009)。コシアカツバメは、繁殖期において日長時間が長く、子育てに必要な餌も豊富である日本への渡りを選択していることも考えられる。

コシアカツバメの渡りのルートや飛来数および国内各地域の分布と繁殖状況などについての詳細は明らかではないが、神奈川県内には古くは1940年代に飛来記録があるほか、県内各地での目撃情報と記録が積み重ねられてきた。

調査の中では、営巣中のコシアカツバメの巣を破壊するカラスや巣を乗っ取りするスズメの存在も目撃し、さらには住人による巣の破壊があることも確かめられた。県内中層住宅の中で築年数が50年を経過する建造物は、新しい建物に建て替えが進んでおり、これまでコシアカツバメの営巣場所になっていた建造物がなくなっている。餌である昆虫や巣材の泥の確保ができて居住環境が失われてくると、国内のコシアカツバメは今後ますます減少していくに違いないと考えられる。ツバメは、成鳥になってからの平均寿命が1.6年で、年平均生存率は50%未満といわれている。とくに、前年に繁殖が失敗した場合には、その場所を捨て、新たな縄張りで繁殖することが多い(長谷川 2020)。おそらくコシアカツバメもツバメと同じ傾向にあるものと考えられる。

これまでの調査結果から、秦野市、平塚市、茅ヶ崎市で営巣および繁殖が確認され、多摩川中流域の川崎市宿河原・中野島周辺と平塚市田村周辺においては、渡りの集結地になっていることが確認され、コシアカツバメの生息環境と移動ルートを考える上でこれらの地域は重要な場所(環境)となっている。

コシアカツバメは、神奈川県西部から県央部の秦野盆地を経て多摩川中流域に向かって飛来していくこと、また神奈川県西部から相模湾沿いに平塚市東部および茅ヶ崎

市の砂丘地帯を経て三浦半島の葉山方向への飛来ルートが推測でき、三浦半島の先の東京湾沿いや横浜市を経て多摩川下流域のルートには飛来していないことが調査結果から推測された（苗川 2022）。

コシアカツバメが営巣・繁殖または飛来が確認できた場所は、低地・平野部・盆地の違いはあるものの、いずれも巣材の泥が確保できる環境にあった。また、川崎市宿河原・中野島周辺と平塚市田村付近の環境は、多摩川と相模川の河川に近く、河川の水分を含む土壌を巣材として利用していることが考えられた。さらには、秦野市と茅ヶ崎市における営巣場所では古くからある中層住宅の最上階の踊り場に営巣しており、巣材である泥も近くの農耕地から確保できる環境にあったことは興味深い（苗川 2022）。

コシアカツバメの視点から考えるならば、東南アジアから日本国内に渡りをする中で、神奈川県西部から東部へ移動していく過程において、営巣環境の選択には、緑と農地があり、人が住んでいる建物の 3 条件が必要であることが、現地調査およびこれまでの記録を通して裏付けられた。コシアカツバメの子育ての必要十分条件としては、餌・巣材・住居環境が挙げられる。

コシアカツバメが繁殖期に減少種とされているのは、餌である昆虫の確保と巣材の泥粒の確保は必要条件であるものの、建造物である住居が年々新しい工法に変化していけば、十分条件である住居への確保が難しくなり、日本国内への飛来を諦める個体が今後増加し、国内への飛来がこれから減少していくことが十分に予測される。コシアカツバメのようにヒトの生活圏で営巣・繁殖する生き物たちは、営巣・繁殖する環境が変わることで、直接的な影響を受けることがあると考えられる。コシアカツバメが見られた秦野市と茅ヶ崎市の中層住宅には、スズメとカラスが共存し、ヒトの居住空間におけるヒトとスズメ・カラスがコシアカツバメの繁殖生活を圧迫している現実を見てきた（2022）。繁殖が妨害され続けていけば、コシアカツバメの子孫も途絶えてしまうことになりかねない。また、コシアカツバメが営巣する建物の多くは老朽化し、新しい建物に建て替えられ、住人のクリーンで清潔な生活のライフスタイルが定着していく中では、建物の工法上、壁面には巣材の泥粒や糞がつきにくく、昆虫除けの塗料などの使用に拍車がかかっていくことは間違いない。コシアカツバメにとっては、このような建物の都市化に伴い大きな受難を迎えている。

本調査結果からは、繁殖期に減少種とされているコシアカツバメが神奈川県下において分散・生息している現状を突き止めることで、コシアカツバメの営巣環境ならびに都市化に伴う中層住宅の変遷、スズメ・カラスおよび住人がコシアカツバメの生息・営巣数に及ぼしていると考えられる要因を考察することが出来た。

1つ目は、コシアカツバメの繁殖動向、分布、増減の推移、営巣環境、都市化と農耕地の減少に伴う建造物の特徴などが明らかになり、コシアカツバメの減少要因が解明され、今後の環境保全に向けた成果が期待できる。

2つ目は、これまでのコシアカツバメに関する記録と今回のスズメ・カラスおよび住人がコシアカツバメに及ぼす影響調査とを併せて、今後のコシアカツバメが生息できる環境保全に役立てられる。

今後、繁殖期におけるコシアカツバメが減少していく要因を詳細に探るには、営巣場所における成鳥および幼鳥の個体数の確認を通じた繁殖成功度を調べる必要がある。

あり、それに伴う個体識別を通じた追跡調査、定点観察を通じた継続調査が研究課題として残されている。

謝辞

バードウォッチャーの西山宏氏と柏木敦士氏からは、コシアカツバメの生息情報や記録を得ながら調査を進めることができた。また、コシアカツバメの現地調査に何度か同行した東京農業大学農学部大学院生の濱端一苑君にお礼申し上げる。

引用文献

- 長谷川克．森本元監修．2020 ツバメのひみつ．pp294．緑書房．
- 浜口哲一・端山昇 1984．神奈川県内におけるツバメ類の繁殖分布．神奈川県自然誌資料，5，33-43．
- 三上修 2009．スズメはなぜ減少しているのか？ 都市部における幼鳥個体数の少なさからの考察．Bird Research，5，1-8．
- 苗川博史 1992．藤沢市辻堂団地におけるコシアカツバメの営巣調査．URBAN BIRDS，9，12-19．
- 苗川博史 1997．藤沢市辻堂団地におけるコシアカツバメの営巣とスズメによるコシアカツバメの古巣利用．BINOS，4，17-22．
- 苗川博史．2020．地域の自然・生き物に学ぶ．コシアカツバメの調査を通して．東京農業大学教職研究集録．5：47－58．
- 苗川博史 2022．コシアカツバメが多摩川河川敷に分散・拡大した動向と現状を通して多摩川中・下流の環境および都市化と農耕地の変遷を探る．東急財団 多摩川およびその流域の環境浄化に関する調査・試験研究 一般研究助成．67PP．
- 仲真晶子 1984．関東地方およびその周辺におけるコシアカツバメの繁殖分布と営巣場所の選択．Strix，3，55-65．
- 日本野鳥の会神奈川支部編 1986 神奈川の鳥 1977-86．神奈川県鳥類目録Ⅰ．143．
- 日本野鳥の会神奈川支部編 1992 神奈川の鳥 1986-91．神奈川県鳥類目録Ⅱ．215－217．
- 日本野鳥の会神奈川支部編 1998 神奈川の鳥 1991—96．神奈川県鳥類目録Ⅲ．157－159．
- 日本野鳥の会神奈川支部編 2002 神奈川の鳥 20世紀．神奈川県鳥類目録Ⅳ．190－191．
- 日本野鳥の会神奈川支部編 2007 神奈川の鳥 2001－05．神奈川県鳥類目録Ⅴ．110．
- 日本野鳥の会神奈川支部編 2013 神奈川の鳥 2006－10．神奈川県鳥類目録Ⅵ．156．
- 大崎直太 2024 生き物の「居場所」はどう決まるか 攻める、逃げる、生き残るためのすごい知恵．中公新書．pp282．
- 世界の鳥生態図鑑 2021 コシアカツバメ <https://sekainotori.com>
- 山階鳥類研究所 2023 山階鳥類研究所のおもしろくてためになる鳥の教科書．山と溪谷社．286-293．
- 横須賀高校定時制生物班 1996 神奈川県下におけるコシアカツバメについて（復刻）．BINOS，3，69-80．



図1 飛翔中の成鳥



図2 空中滑空する成鳥

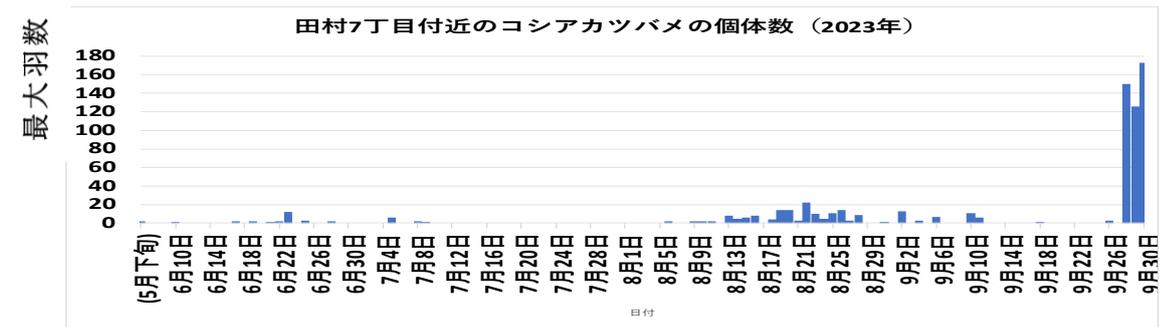
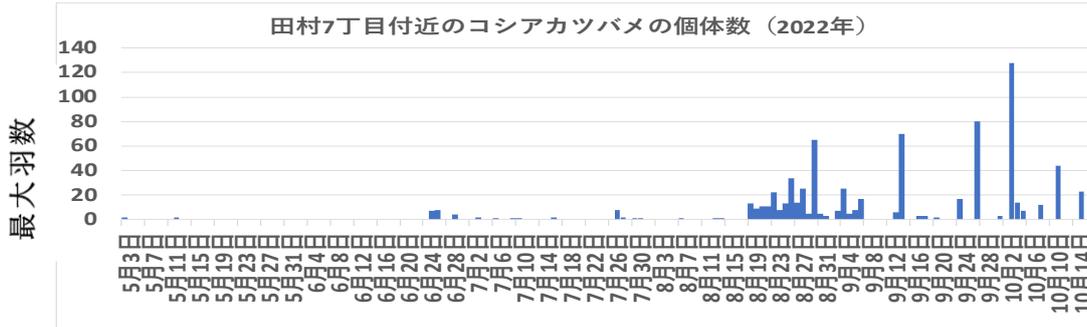


図3. 平塚市田村7丁目付近で目撃されたコシアカツバメの個体数
（上図：2022年 下図：2023年）



図4 グラウンドに降りる成鳥



図5 巣材の泥を嘴に入れる成鳥



図6 コシアカツバメの巣



図7 電線に止まる成鳥♂♀



図8 巣入り口の成鳥



図9 ベランダ側に防御用ネット

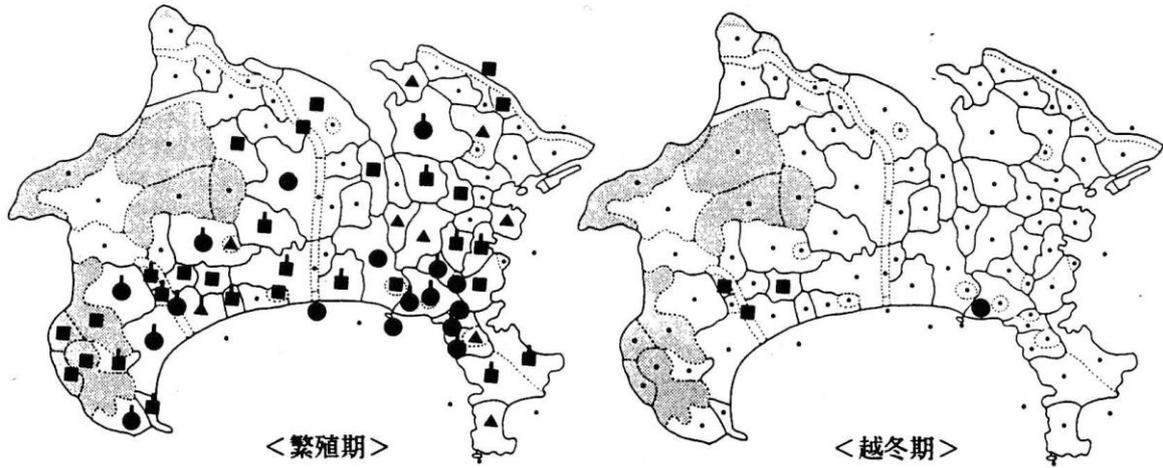


図10 繁殖期と越冬期におけるコシアカツバメの分布(1992)

出典：日本野鳥の会神奈川支部

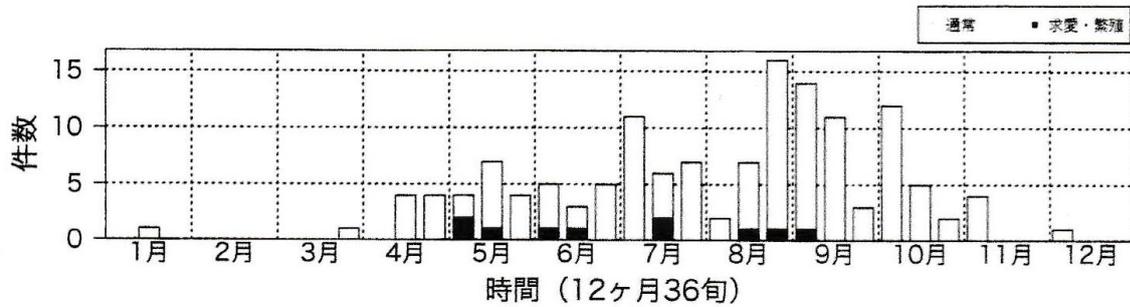


図11 観察カードの月別件数2011年-2015年)

黒棒グラフは繁殖期を示す 出典：日本野鳥の会神奈川支部

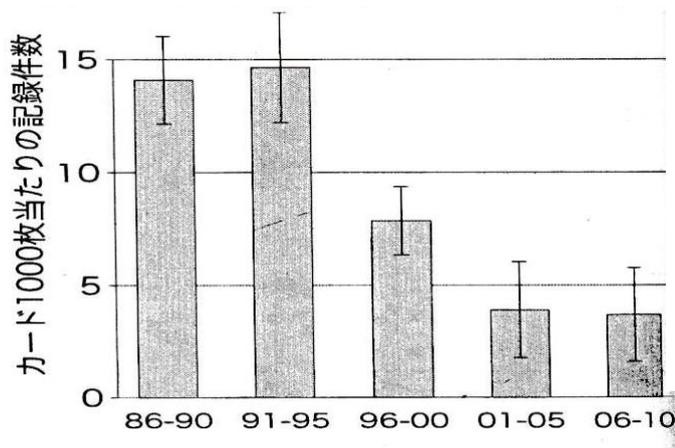


図12 5年ごとの記録件数 (1986-2010)

出典：日本野鳥の会神奈川支部

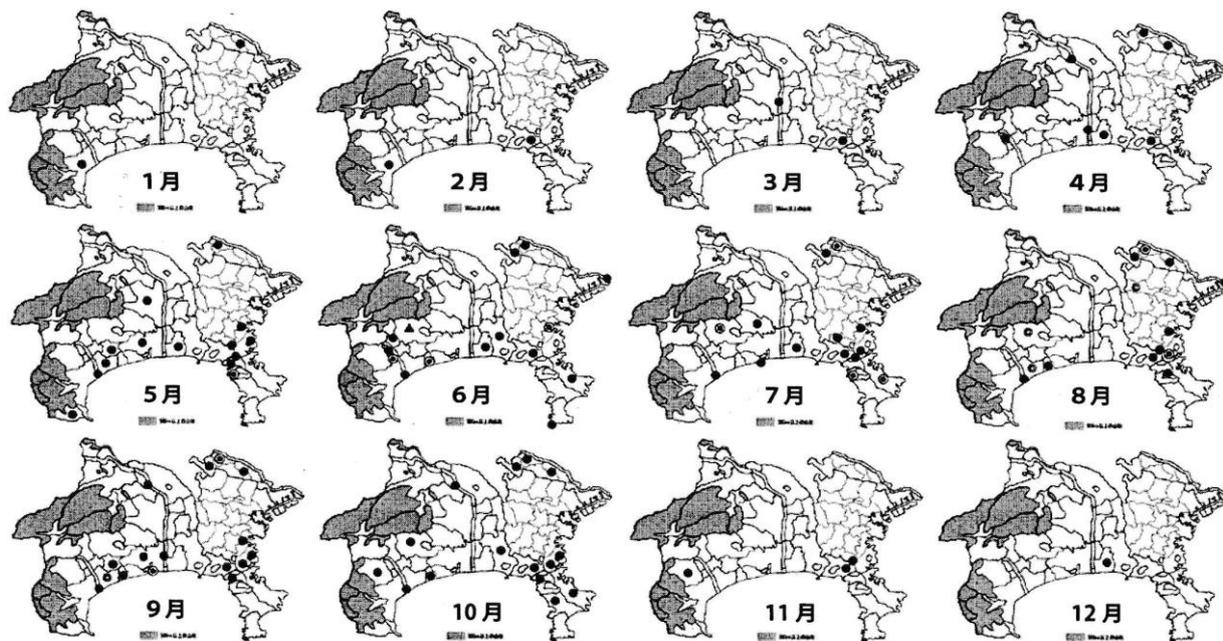


図13 月別の観察状況（2013）
 出展：日本野鳥の会神奈川支部

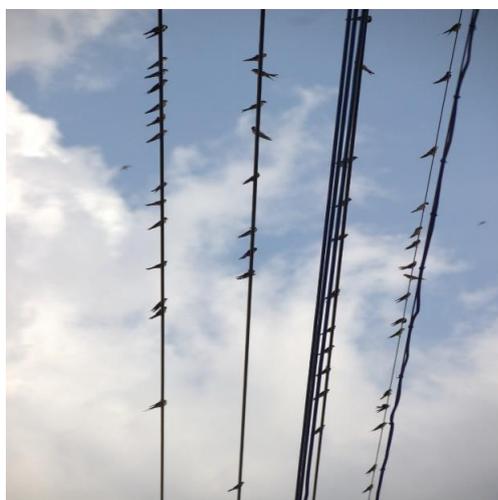


図14 渡りのため休息中

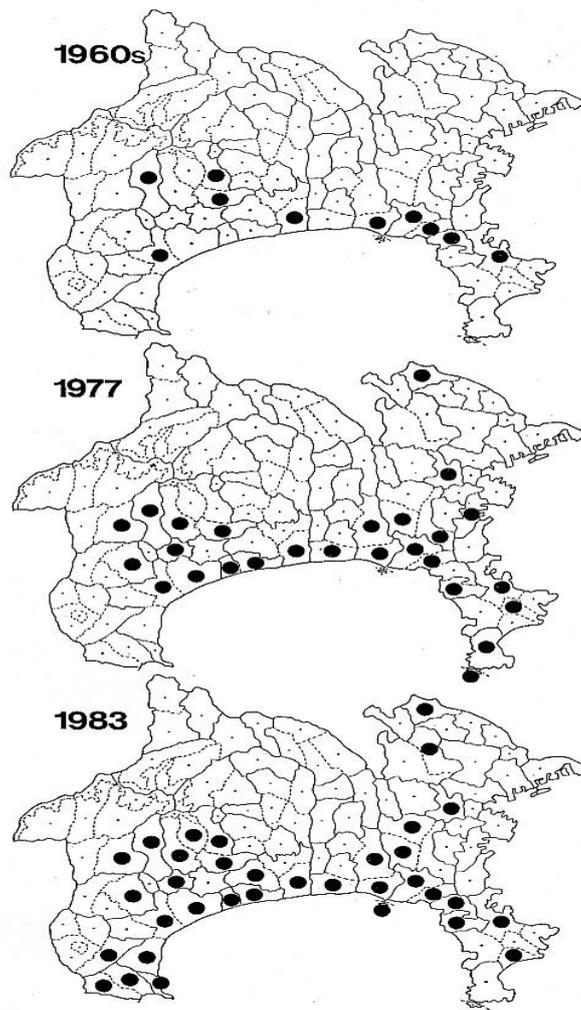


図15 コシアカツバメの繁殖分布とその変化 (1984)
(原図：浜口・端山)



図16 巣材が壁面につきにくい塗料が使用されている



図17 巣の下に古新聞紙

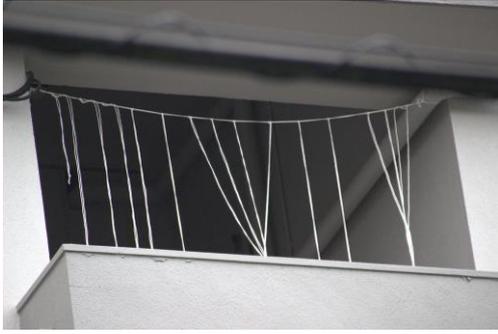


図18 住宅への営巣を拒む
住人による入り口ガード



図19 営巣場所近くに見られた
住人による防御用の針



図21 スズメに破壊されたコシア
カツバメの巣



図21 襲撃されたコシアカツバメ
成鳥の羽根残がい



図22 破壊された巣の下に乾燥し
た泥

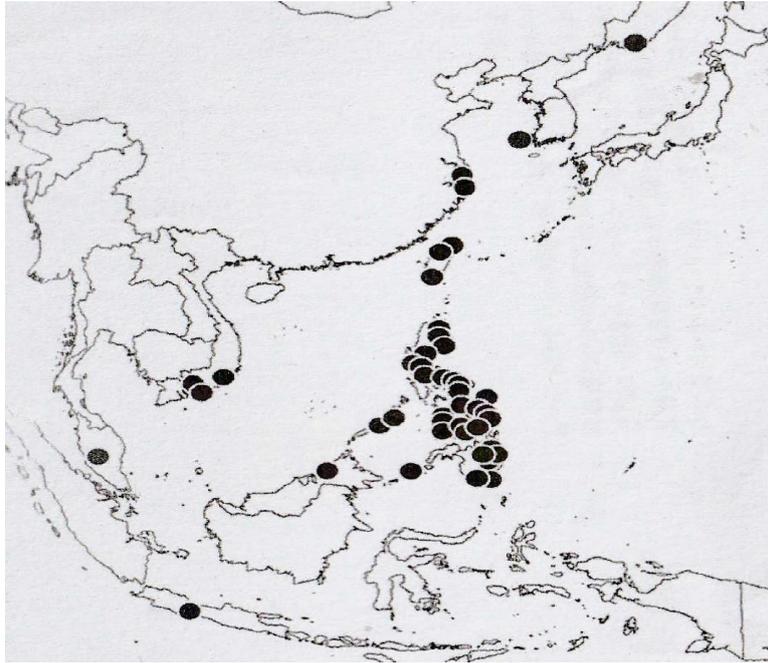


図23 繁殖期に標識したツバメの回収地(2022)
(出展：山階鳥類研究所)

身近な広葉樹ケヤキにおける 虫こぶが生み出す生物多様性の解明（中間報告）

山本 悠奨

滋賀県

1. はじめに

生態系における生物多様性の維持・創出機構において、生物間の相互作用が重要な役割を持つと考えられている。たとえば、公園の草むらを覗いてみると、さまざまな雑草や草花が生い茂っている。これらの草本は互いに光や土壌などの資源を奪い合う競争関係にある。一方そうした植物がいることで、葉を食べにバッタが現れたり、花の蜜を吸いにチョウやハチが飛び回っていたりする。このように生態系内では、様々な生物が互いに関わり合いながら暮らしている。

ある生物は少なからず他の生物に影響を及ぼすが、その影響力は生物種によって異なる。中でも、生態系エンジニアと呼ばれる種は、周囲の環境を改変することによって他の生物の生息環境を創出するため、生態系において重要な役割を持つと考えられている(Jones et al. 1994)。生態系エンジニアの代表例であるビーバーは木を切り倒しダムを造る過程で、森林や河川の環境を大きく変化させ、様々な動植物に影響を与えることが知られる(Naiman et al. 1988)。

私たちの身の回りにも生態系エンジニアはいる。街路樹としてよく利用されるケヤキ *Zelkova serrata* には、葉にこぶ状の突起物ができている様子が見られる(図 1)。これは虫こぶ(ゴール、虫えい)とよばれ、ケヤキフシアブラムシ *Paracolopha morrisoni* (Baker, 1919) という昆虫によって形成されたもので、内部でアブラムシが暮らしている。この虫こぶはアブラムシだけでなく、他の生物にも餌や棲み処として利用されることがある。

中でも、ヤドリノミゾウムシ *Orchestes (Orchestes) hustachei* (Klima, 1935) (ヤドリ) はケヤキの虫こぶのみを利用する虫えい食者である(Yamazaki and Sugiura 2001)。ノミゾウムシ類の仲間は、ほとんどが葉に潜り葉肉を摂食する潜葉者である中、ヤドリは唯一の虫えい食者である。ヤドリの虫えい食の適応的意義や進化的背景を明らかにすることは、虫こぶが生み出す生物多様性を理解するうえで重要であるだろう。

ヤドリの虫えい食の適応的意義の一つとして考えられるものに、同じくケヤキに生息する同属近縁種アカアシノミゾウムシ *Orchestes (Orchestes) sanguinipes* Roelofs, 1874 (以下、アカアシ) からの繁殖干渉の回避が挙げられる。繁殖干渉とは、繁殖プロセスにおいて雌の適応度の低下を招く種間相互作用であり、近縁種同士の共存を妨げる要因として注目されている(Gröning et al. 2007)。異種のオスからの求愛や交尾、雑種の形成といった性的な種間相互作用は、メスの時間やエネルギー、配偶子を消費させる恐れがある。繁殖干渉の生じる種間では、2種の頻度が異なるほど、一方の種に繁殖干渉が強く働くため、容易に種の排除が引き起こされることが理論的に明らかとなっている(Kuno 1992)。しかし、2種間に繁殖干渉を回避できるようなメカニズムが存在すれば、共存できる可能性がある。ア

カアシはヤドリと異なりケヤキの葉を利用する潜葉者であることが知られる(山家 1990)。そのため、2種の資源利用の違いが繁殖干渉の回避に役立っているかもしれない。具体的なメカニズムとして、2種の資源利用の違いが時間的なすみ分けとして機能している可能性が考えられる。ヤドリの産卵するゴールは新葉が芽吹いた後に形成されるので、2種の資源の発生タイミングは異なると想定される。ヤドリとアカアシがそれぞれの資源の発生に伴ってケヤキ上に現れるならば、2種の繁殖時期は隔離されることで共存できるかもしれない。

ヤドリの進化的背景については、Morimoto (1984)の形態情報に基づく系統樹が存在する。しかし、形態情報に基づく比較だけでは、似たような形質が独立に進化する収斂進化によって、必ずしも正しい系統樹が得られるとは限らない。実際、私たちが mt DNA の一部を用いて系統解析を行ったところ、従来の系統樹とは異なる結果が得られている(山本 未発表データ)。そのため、mt DNA や核 DNA を用いた分子系統解析も行う必要がある。

そこで本研究では、ヤドリの虫食い食の適応的意義と進化的背景を解明するために、ケヤキ上に共存するヤドリ-アカアシ間の繁殖干渉と野外における繁殖干渉回避メカニズムの検証並びに、ノミゾウムシ属の分子系統解析を行った。前者については、室内実験により繁殖干渉の方向性を調べ、野外調査によって2種の発生消長を調べた。後者については、ヤドリを含む *Orchestes* 亜属に絞って系統関係を明らかにする予定である。これらに加え、本年度はノミゾウムシにおける葉と虫こぶという資源利用の違いが、捕食者相に及ぼす影響についても調査した。

2. 材料と方法

2.1. 対象生物

2.1.1. ヤドリノミゾウムシ *Orchestes (Orchestes) hustachei* (Klima, 1935)

ヤドリノミゾウムシはコウチュウ目ゾウムシ科ノミゾウムシ属の年1化性の昆虫である(図2)。日本全国に分布している(ゾウムシデータベース, 2017)。本種を含むノミゾウムシ属の中でも本種のみが、幼虫期にアブラムシの形成するゴールに寄生する。本州では、幼虫は春期にケヤキフシアブラムシがケヤキの新葉に形成するゴールの内壁を摂食する(Yamazaki and Sugiura 2001)。

2.1.2. アカアシノミゾウムシ *Orchestes (Orchestes) sanguinipes* Roelofs, 1874

アカアシノミゾウムシはヤドリノミゾウムシの同属近縁種である(図3)。本州、四国、九州に分布している(ゾウムシネットワーク 2017)。本種の越冬成虫は春期にケヤキの開葉と同時にケヤキの葉の主脈に産卵する(山家 1990)。孵化した幼虫は、ケヤキの葉の内部に潜り、内部組織を摂食する潜葉者として知られる。成虫は網目状にケヤキの葉を食害する。本種の食害により、ケヤキは退色・落葉するため、景観を大きく損なう(神永 et al. 1973; 岸 1978)。

2.1.3. ケヤキフシアブラムシ *Paracolopha morrisoni* (Baker, 1919)

ケヤキフシアブラムシはカメムシ目アブラムシ科 *Paracolopha* 属の昆虫である。日本全国に分布している(Akimoto 1985)。本種はケヤキを一次寄主として、ササ・タケ類を二次寄主として利用する。本種は、春先にケヤキの開葉と同調して孵化し、展開して間もない新葉の裏から吸汁して葉表に閉鎖型のゴールを形成する(Akimoto and Narita 2002)。6月に

なると、ゴールから脱出し、ササ・タケ類に移動する。

2.2. 調査地

本研究の野外調査は、滋賀県大津市木戸の清林パーク (N35° 11' 47", E135° 55' 06") と県営都市公園木戸湖岸緑地 (N35° 11' 51", E135° 55' 24") にて行った(図 4)。清林パークにはケヤキが 50 本、木戸湖岸緑地にはケヤキが 1 本植栽されている。供試虫の採集は上記の 2 か所に加えて、滋賀県大津市瀬田南大萱町のびわこ文化公園 (N34° 58' 20", E135° 56' 34") と滋賀県彦根市南三ツ谷町の南三ツ谷公園 (N35° 13' 33", E136° 09' 14") でも行った。

2.3. ノミゾウムシ 2 種の種内・種間の配偶行動の観察

2023 年 4~5 月に調査地にて捕虫網を用いてケヤキの樹冠をスウィーピングして、ヤドリとアカアシを採集した。採集個体は、目視による種判別と採集時の吸虫管内や飼育時に見られた種内交尾による雌雄判別を行い、種・雌雄別に飼育した。

配偶行動の観察は 4~6 月の 14~19 時に行った。いずれかの種のオス 1 個体と同種のメスまたは異種のメス 1 個体を小シャーレ (直径 35 mm、高さ 10 mm) に入れて、30 分間以内のマウント・交尾の有無とマウント時間と交尾時間を記録した。ただし後述するが、アカアシオスはヤドリメスと交尾しても、すぐに交尾器を取り出すため、交尾時間の記録はできなかった。飼育・観察時の日長条件は明期 13 時間/暗期 11 時間、温度は 25°C 一定にした。

2.4. アカアシオスからヤドリメスへの繁殖干渉の検証

実験は 2023 年 5 月に行われた。ヤドリメス 4 個体と同種オス 4 個体または異種オス 4 個体をケヤキの新葉とともに大シャーレ (直径 56 mm、高さ 16 mm) に入れて、4 日間飼育した (以下、同種オス共存区と異種オス共存区)。これを 4 反復行った。ヤドリオスとヤドリメスを見分けるのは困難であったので、反復ごとに雌雄のいずれかに油性ペンでマーキングした。反復ごとのヤドリメスの採集場所と採集日は異なる。アカアシとヤドリは実験中しばしば死亡することがあった。繁殖干渉は頻度依存性を持つため、オスとメスの比率が実験区によって異なれば、結果の解釈が困難になる。そのため、シャーレ内のアカアシオスまたはヤドリメスの個体数を常にヤドリメスの個体数と等しくなるように、オスを適時追加または除去した。この操作は毎日の餌交換とともに行った。4 日間の飼育後、ヤドリメスを 1 個体ずつ小シャーレ (直径 35 mm、高さ 10 mm) に分け、2~3 日間個別に飼育した。その後、ヤドリメスが入ったシャーレにゴールが 1 つ付いた葉を入れ、2 日後にヤドリメスがゴールに産卵しているか記録した。実験を通して、日長条件は明期 13 時間/暗期 11 時間、温度は 25°C 一定にした。

2.5. ノミゾウムシ 2 種の個体数の時間的変化の調査

ヤドリとアカアシの時間的動態を定量的に把握するため、調査地のケヤキが芽吹きはじめた日から、ケヤキの樹冠を定期的に捕虫網 (直径 42 cm) でスウィーピング (振り幅約 2 m) を 10 回行い、2 種の捕獲個体数と調査した樹木を記録した。調査は、2023 年 3 月 25 日、4 月 6 日、4 月 21 日にそれぞれ芽吹きはじめたケヤキ樹冠にて 10~14 か所で行われた。調査開始日から 3、4 日ごとに調査し、計 13 回行った。ただし 4 月 15 日の調査のみ雨天であったため、1 日ずらして 4 月 16 日に調査した。

2.6. ノミゾウムシ 2 種の系統解析

2023 年 4 から 2024 年 6 月にかけて、滋賀県内で *Orchestes* 亜属の採集調査を行った。

2024年5月末から6月にかけては、北海道にいる *Orchestes* 亜属の採集を行った。得られたサンプルは、90%エタノールの液浸標本で保存した。

2.7. ノミゾウムシ2種の捕食者相の調査

ノミゾウムシの寄生蜂相を調べるため、2023年5～6月に、清林パークのケヤキからノミゾウムシが寄生している虫こぶと葉を採集した。採集したサンプルはユニパックに入れてノミゾウムシか寄生蜂が羽化するまで保管し、羽化した寄生蜂については乾燥標本または液浸標本で保存した。また、下記のノミゾウムシの死亡要因調査のため、ノミゾウムシと寄生蜂の羽化痕の最大直径も記録した。

ノミゾウムシの捕食者相を調べるため、2023年7月に清林パークのケヤキからノミゾウムシが寄生していた虫こぶと葉を採集し、死亡要因を調べた。

ヤドリの死亡要因の項目は、1:卵寄生蜂や捕食者による卵の死亡、2:ゴール壁内での幼虫の死亡、3:幼虫・蛹寄生蜂による死亡、4:その他の要因による死亡の4つに分類し、ヤドリの羽化が確認された場合、5:羽化の成功とした。それぞれの死亡段階の判断については、1ではヤドリの産卵痕(図5-a)に卵寄生蜂の羽化痕か捕食者による捕食の痕跡(図5-b)があるとき、2ではヤドリの卵の表面に損傷が見られないにもかかわらず、ゴール内壁をヤドリの幼虫が食い破った跡がないとき、3ではゴールから寄生蜂が羽化したとき、4ではヤドリの産卵痕があるが、上記の痕跡のどれも見当たらないときとした。ヤドリと寄生蜂の羽化の判断については、羽化痕の最大直径の分布に基づき(図6)、潜葉の穴が1.45 mm以上の場合はヤドリの羽化痕、それ未満の場合は寄生蜂の羽化痕とした。

アカアシの場合は、1:卵から潜葉をつくるまでの死亡、2:潜葉を作ってから蛹室ができるまでの死亡、3:蛹室内での幼虫の死亡、4:幼虫・蛹寄生蜂による死亡、5:生死不明の5つに分類し、アカアシの羽化痕が確認された場合、6:羽化の成功とした。それぞれの死亡段階の判断については、1ではアカアシの産卵痕(図7)があるが、潜葉が作られていないとき、2ではアカアシの潜葉があるものの蛹室が作られていないとき、3では蛹室内に干からびたようなアカアシの幼虫がいるとき、4では寄生蜂の蛹殻と寄生蜂の羽化痕があるとき、5では産卵痕はあるものの雨風により潜葉が欠落して死亡したかどうか不明であるときとした。アカアシと寄生蜂の羽化の判断については、羽化痕の最大直径の分布に基づき(図8)、潜葉の穴が0.95 mm以上の場合はアカアシの羽化痕、それ未満の場合は寄生蜂の羽化痕とした。

3. 結果

3.1. ノミゾウムシ2種の種内・種間の配偶行動の観察

アカアシオス×アカアシメスでは、求愛をしたペアは9/15、交尾をしたペアは5/15となり、アカアシオス×ヤドリメスでは、求愛をしたペアは10/15、交尾をしたペアは5/15であった。一方、ヤドリオス×ヤドリメスでは、求愛をしたペアは11/15、交尾をしたペアは9/15となり、ヤドリオス×アカアシメスでは、求愛をしたペアは0/15であった(図9)。

アカアシオスの求愛時間は、アカアシメスで17.3分(平均)、異種メスで23.5分となり、ヤドリオスとヤドリメスの求愛時間は、26.5分となった(図10)。さらにアカアシオスとアカアシメスの交尾時間は21.9分(平均)、ヤドリオスとヤドリメスの交尾時間は23.5分となった(図11)。アカアシオスとヤドリメスには、種間交尾がしばしば生じるが、十数秒

程度で交尾器を引き抜く。この短時間の種間交尾はマウント中に何回か生じるので、交尾時間を記録するのは困難であった。

3.2. アカアシオスからヤドリメスへの繁殖干渉の検証

ヤドリメスは実験中に同種オス共存区と異種オス共存区のどちらでも4個体ずつ死亡したため、ゴールへ産卵させるまでに、両方の実験区で12個体ずつ得られた。このうち、同種オス共存区では8個体が産卵し、異種オス共存区では2個体が産卵した(図12)。この結果は統計的に有意であった(フィッシャーの正確確率検定、 $p = 0.036$)。

3.3. ノミゾウムシ2種の個体数の時間的変化の調査

いずれの調査開始日の調査でも、アカアシの平均捕獲個体数の推移は、調査開始日または2回目の調査日にピークに達し、その後は減少傾向にあった(図13)。一方、ヤドリの平均捕獲個体数はアカアシのピークが過ぎたのちに増加し、明確なピークが見えないまま増減を繰り返した(図13)。2種の個体数の時間的変化は、芽吹き始めた日に関わらず、統計的に異なるパターンであった(コルモゴロフ=スミルノフ検定、 $p < 0.001$)。

3.4. ノミゾウムシ2種の系統解析

現時点で得られた *Orchestes* 亜属の種類は、アカアシノミゾウムシ、エゾノミゾウムシ、エノキノミゾウムシ、カシワノミゾウムシ、ニレノミゾウムシ、ヤドリノミゾウムシの6種類である。mt DNAによる解析については、現時点でプライマーの探索まで完了している。核DNAによる解析は、今後プライマーを探索していく予定である。

3.5. ノミゾウムシ2種の捕食者相

ヤドリについては、寄生蜂との羽化痕の直径頻度分布は重なっていないものの、隣接していた(図6)。アカアシでは、ノミゾウムシと寄生蜂の羽化痕の直径には明確に差があった(図8)。

採集した虫こぶ119個中97個にヤドリの産卵痕があった(産卵率 $\approx 82\%$)。ヤドリの卵から羽化までの生存率は約5.7%であり、最も多かった死亡段階は1:卵寄生蜂や捕食者による卵の死亡で約36%を占めていた(図14)。採集した葉589枚中にアカアシの産卵痕があった葉は138枚あった(産卵率 $\approx 23\%$)。アカアシの卵から羽化までの生存率は約5.1%であり、最も多かった死亡段階は1:卵から潜葉をつくるまでの死亡で約54%を占めていた(図15)。今後、得られた寄生蜂標本の同定を行っていく予定である。

4. 考察

本研究では、アカアシのオスはヤドリのメスと同種メスと同程度の割合で求愛した。さらにアカアシの求愛時間は同種と異種でほとんど変わらなかった。一方、ヤドリのオスは異種であるアカアシのメスに対して、一切反応しなかった。種間配偶は、一般にオスよりメスの方がコストは高い。よって2種間では、ヤドリよりアカアシの方が繁殖干渉に強いと考えられる。

この観察を踏まえ、アカアシのオスによるヤドリのメスへの繁殖干渉の検証を行ったところ、同種と比べて異種の同居していたヤドリのメスの産卵率は大きく低下していた。この結果はヤドリのメスにとってアカアシオスとの種間配偶はその後の産卵行動に悪影響を及ぼしていることが推察される。

以上の結果から、ヤドリ-アカアシ間には潜在的な繁殖干渉が存在し、その繁殖干渉に

よりヤドリが一方的に不利益を被ることが明らかになった。

一方、こうした繁殖干渉が存在するにもかかわらず、野外ではヤドリとアカアシはケヤキ上で共存している。この説明として、本研究では野外調査によって2種の細かな発生活消長の違いを調べた。調査の結果、野外ではアカアシの発生ピークに遅れてヤドリが発生していることが明らかとなった。この2種の発生活消長の違いは、それぞれが利用する資源である新葉と虫こぶの発生時期の違いに同調した結果だと考えられる。

室内実験による繁殖干渉の検証と野外における発生活消長の結果をまとめると、ヤドリーアカアシ間には繁殖干渉が存在するが、野外では資源利用の違いに基づき発生活消長をずらすことで繁殖干渉を回避していることが明らかとなった。今後は、この発生活消長の違いをもたらす至近要因について明らかにしていきたいと考えている。

5. 引用文献

- Bargielowski IE, Lounibos LP, Carrasquilla MC (2013) Evolution of resistance to satyrization through reproductive character displacement in populations of invasive dengue vectors. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:2888–2892. <https://doi.org/10.1073/pnas.1219599110>
- Gröning J, Lücke N, Finger A, Hochkirch A (2007) Reproductive interference in two ground-hopper species: testing hypotheses of coexistence in the field. *Oikos* 116:1449–1460
- Jones CG, Lawton JH, Shachak M (1994) Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos* 69:373–386. <https://doi.org/10.2307/3545850>
- Kawano K (2002) Character Displacement in Giant Rhinoceros Beetles. *The American naturalist* 159:255–71. <https://doi.org/10.1086/338512>
- Kuno E (1992) Competitive exclusion through reproductive interference. *Population Ecology* 34:275–284. <https://doi.org/10.1007/BF02514797>
- Milbrath LR, Tauber MJ, Tauber CA (1993) Prey Specificity in *Chrysopa*: An Interspecific Comparison of Larval Feeding and Defensive Behavior. *Ecology* 74:1384–1393. <https://doi.org/10.2307/1940068>
- Morimoto K (1984) The family Curculionidae of Japan. IV. Subfamily Rhynchaeninae. *Esakia* 22:5–76. <https://doi.org/10.5109/2490>
- Naiman RJ, Johnston CA, Kelley JC (1988) Alteration of North American Streams by Beaver. *BioScience* 38:753–762. <https://doi.org/10.2307/1310784>
- Noriyuki S, Osawa N, Nishida T (2012) Asymmetric reproductive interference between specialist and generalist predatory ladybirds: Reproductive interference in predatory

ladybirds. *Journal of Animal Ecology* 81:1077–1085.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2012.01984.x>

Ohsaki N, Ohata M, Sato Y, Rausher MD (2020) Host Plant Choice Determined by Reproductive Interference between Closely Related Butterflies. *The American Naturalist* 196:512–523. <https://doi.org/10.1086/710211>

Okuzaki Y, Takami Y, Sota T (2010) Resource partitioning or reproductive isolation: the ecological role of body size differences among closely related species in sympatry. *Journal of Animal Ecology* 79:383–392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2009.01645.x>

Yamazaki K, Sugiura S (2001) Bionomics of the gall-parasitic flea weevil *Rhynchaenus hustachei* (Coleoptera: Curculionidae). *Entomological Science* 4:239–242

ゾウムシネットワーク (2017) 日本産ゾウムシデータベース.
<http://de05.digitalasia.chubu.ac.jp>. Accessed 1 Jun 2023

山家敏雄 (1990) 盛岡市におけるアカアシノミゾウムシの生活史. *森林防疫* 39:8–14



図 1. ケヤキフシアブラムシの虫こぶ



図 2. 虫こぶの上で交尾しているヤドリノミゾウムシ.



図 3. 主脈に穿孔しているアカアシノミゾウムシ



図 4. 野外調査における調査地. 国土地理院地図をもとに作成.

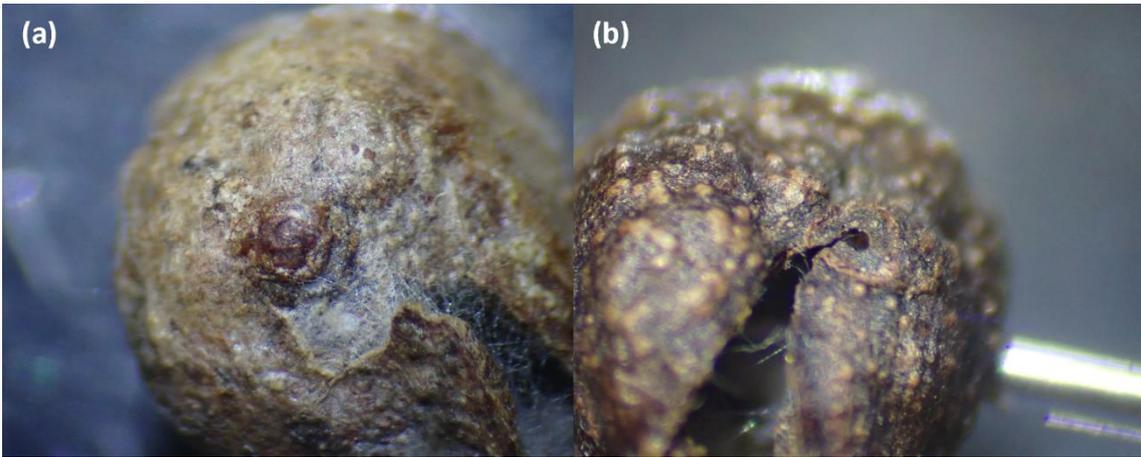


図 5. ヤドリノミゾウムシの産卵痕(a)とヤドリの卵に寄生する卵寄生蜂の羽化痕と思われる脱出痕(b).

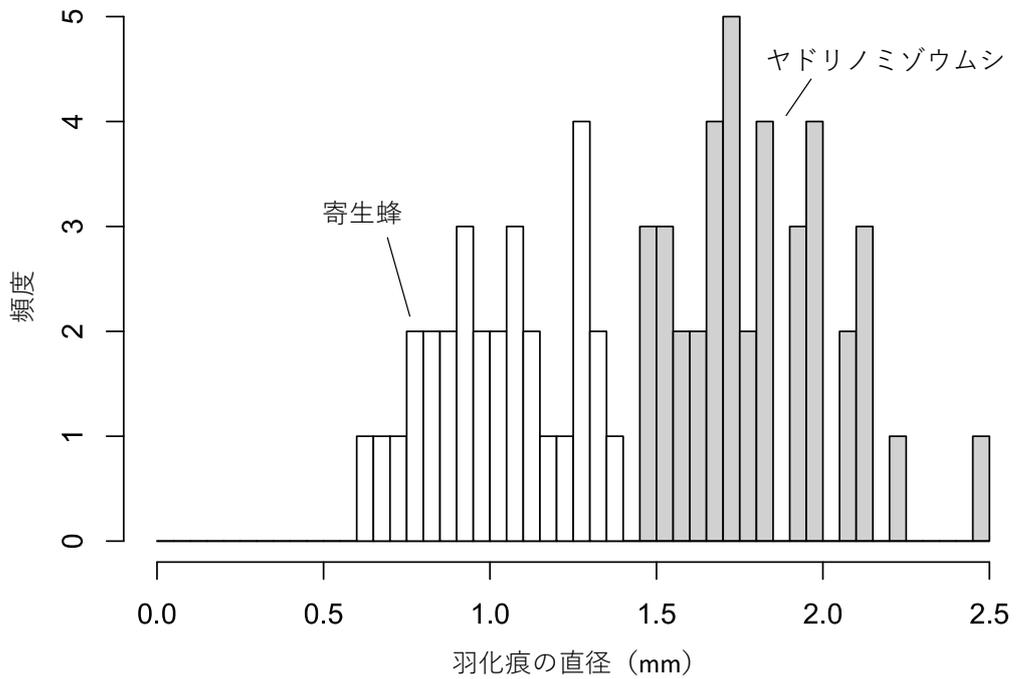


図 6. ヤドリノミゾウムシとその寄生蜂の羽化痕の直径頻度分布



図 7. アカアシノミゾウムシの産卵痕.

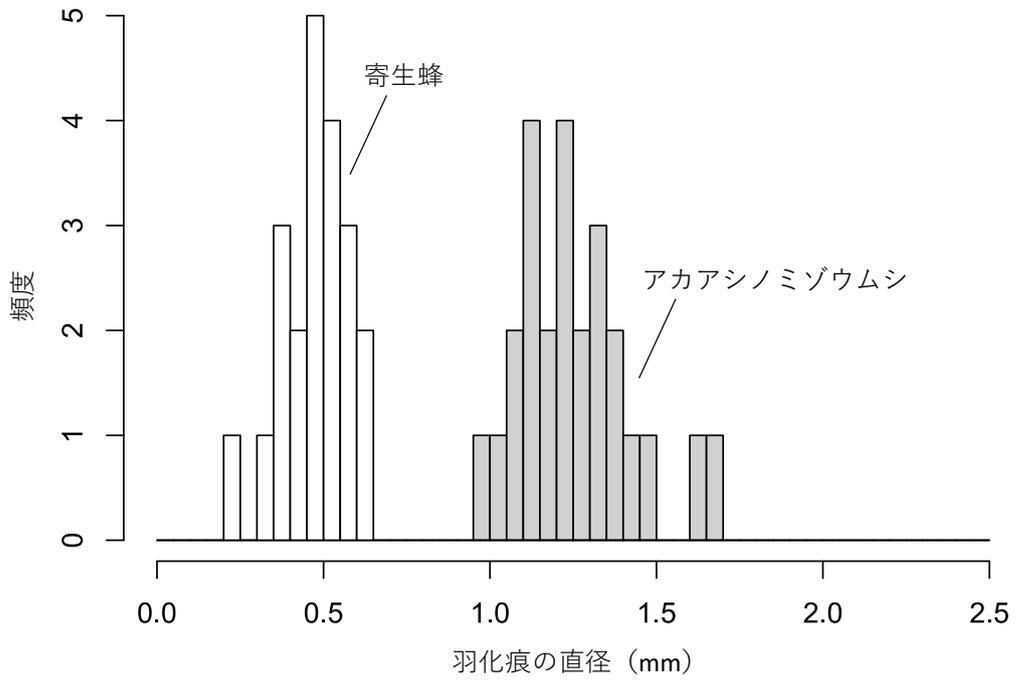


図 8. アカアシノミゾウムシとその寄生蜂の羽化痕の直径頻度分布

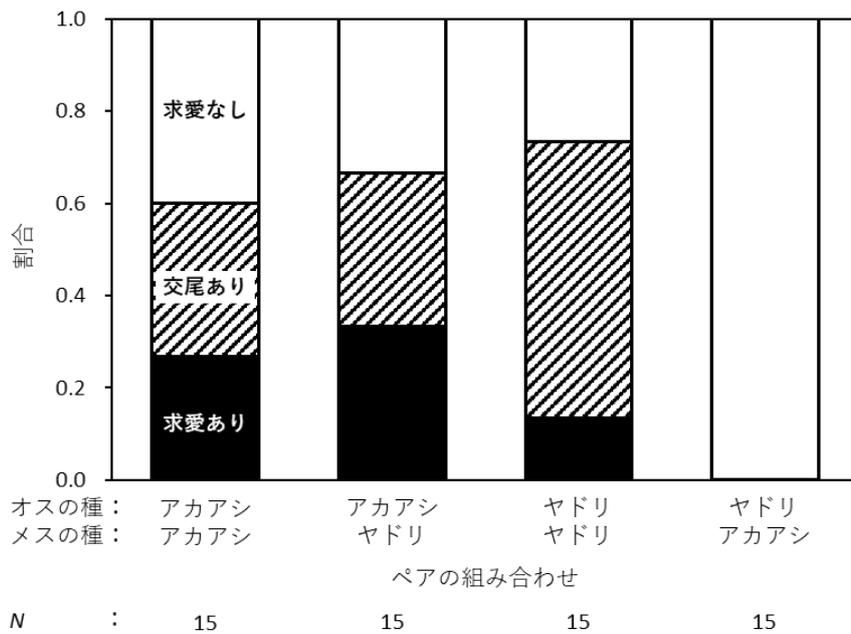


図 9. アカアシノミゾウムシとヤドリノミゾウムシのオスによる同種メスまたは異種メスへの求愛・交尾行動の割合. 黒色部は、求愛したが交尾はしなかったオスの割合、斜線部は、交尾をしたオスの割合、白色部は、求愛をしなかったオスの割合を示す.

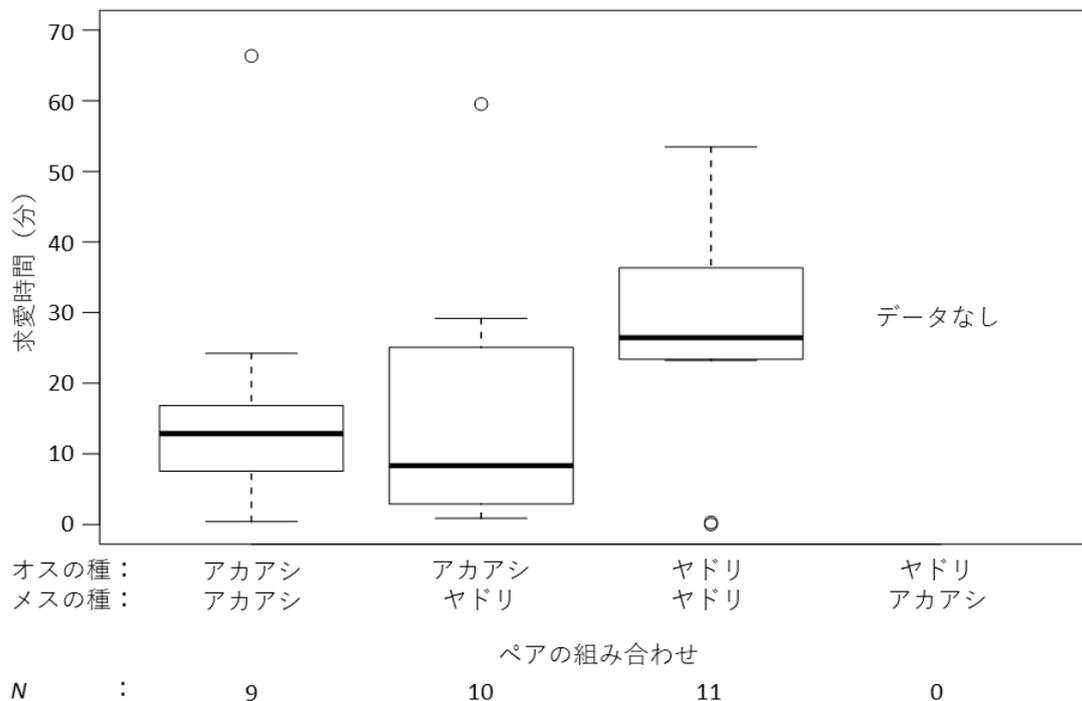


図 10. アカアシノミゾウムシとヤドリノミゾウムシの種内・種間求愛時間の比較. 図中のバーは、上下それぞれ第三四分位数から四分位範囲の 1.5 倍を足した範囲にある最大値、第一四分位数から四分位範囲の 1.5 倍を引いた範囲にある最小値を示す.

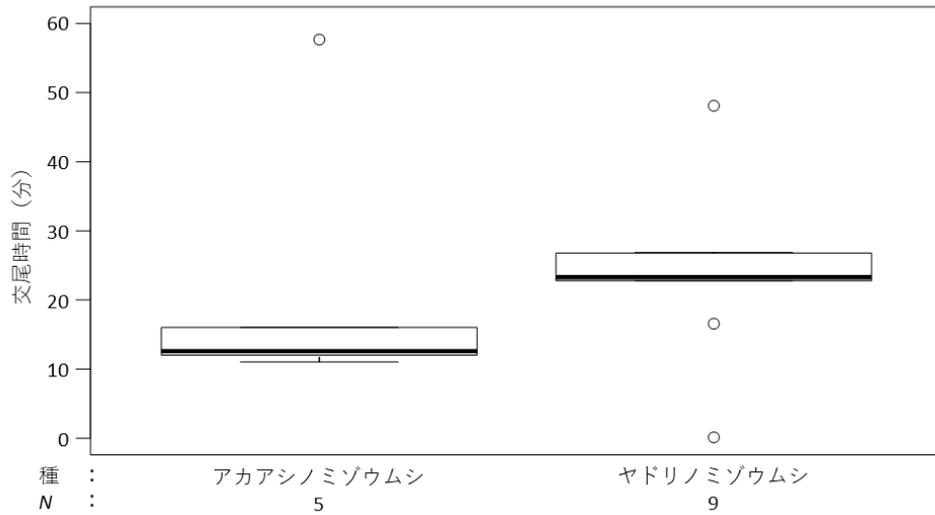


図 11. ノミゾウムシ 2 種の種内交尾時間の比較. 図中のバーは、上下それぞれ第三四分位数から四分位範囲の 1.5 倍を足した範囲にある最大値、第一四分位数から四分位範囲の 1.5 倍を引いた範囲にある最小値を示す.

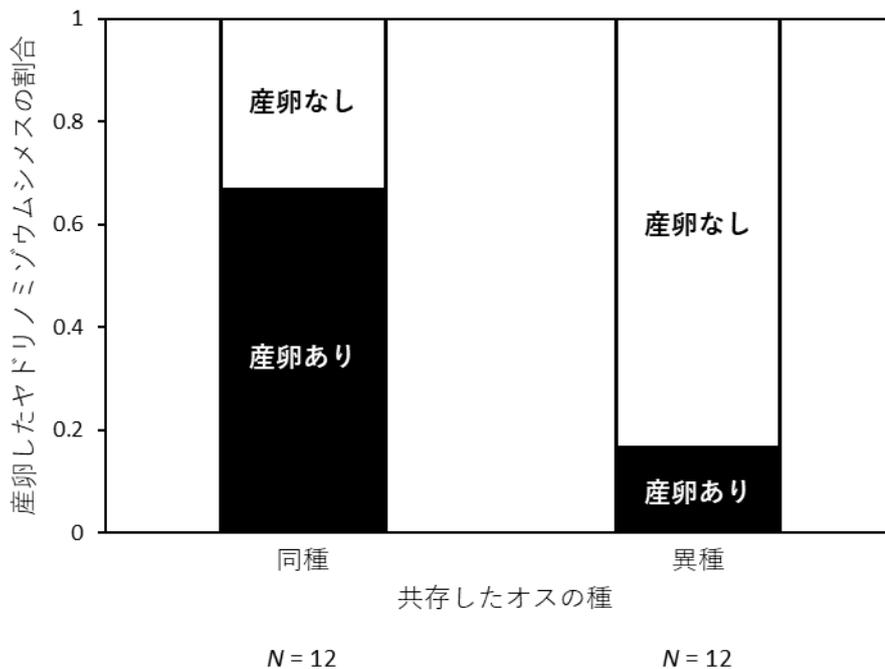


図 12. 同種オス共存区と異種オス共存区の産卵したヤドリノミゾウムシのメスの割合.

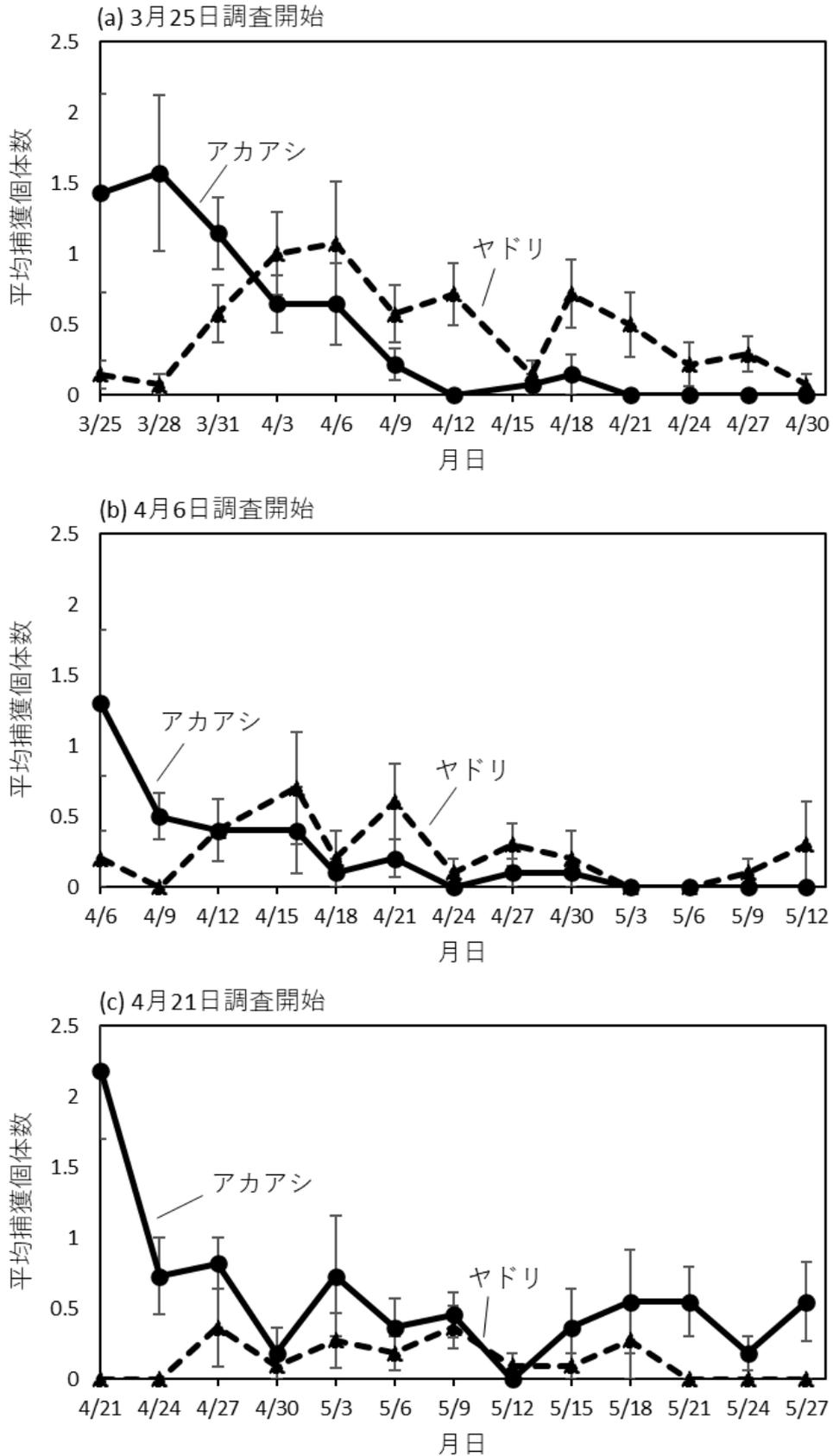


図 13. ノミゾウムシ 2 種の捕獲個体数の時間的变化. (a)3月 25 日に調査開始した箇所 ($N = 14$). (b) 4月 6 日に調査開始した箇所 ($N = 10$). (c) 4月 21 日に調査開始した箇所 ($N = 11$). 図中のバーは、標準誤差を示す.

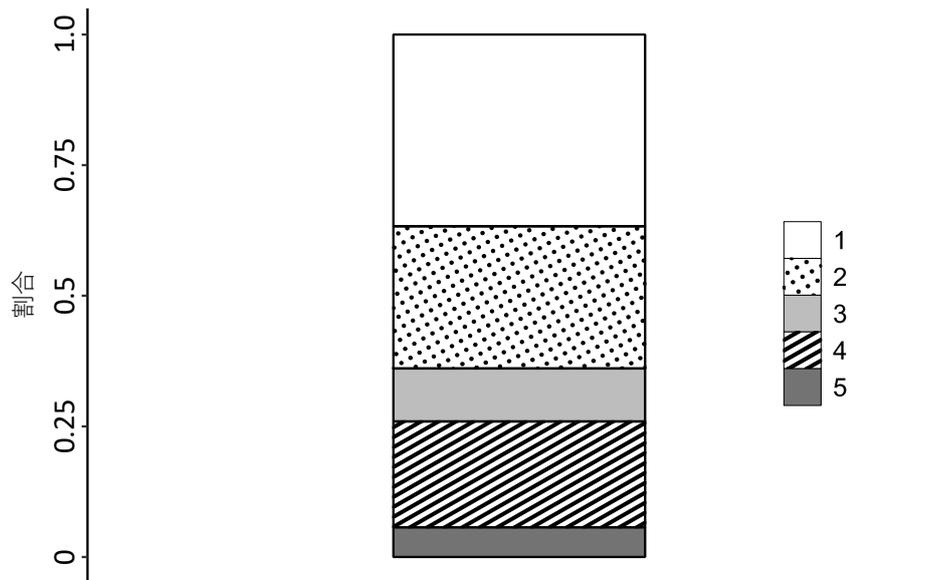


図 14. ヤドリノミゾウムシの死亡段階. ヤドリの死亡段階は、1:卵寄生蜂や捕食者による卵の死亡、2:ゴール壁内での幼虫の死亡、3:幼虫・蛹寄生蜂による死亡、4:その他の要因による死亡の4つに分類し、ヤドリの羽化痕が確認された場合、5:羽化の成功とした。

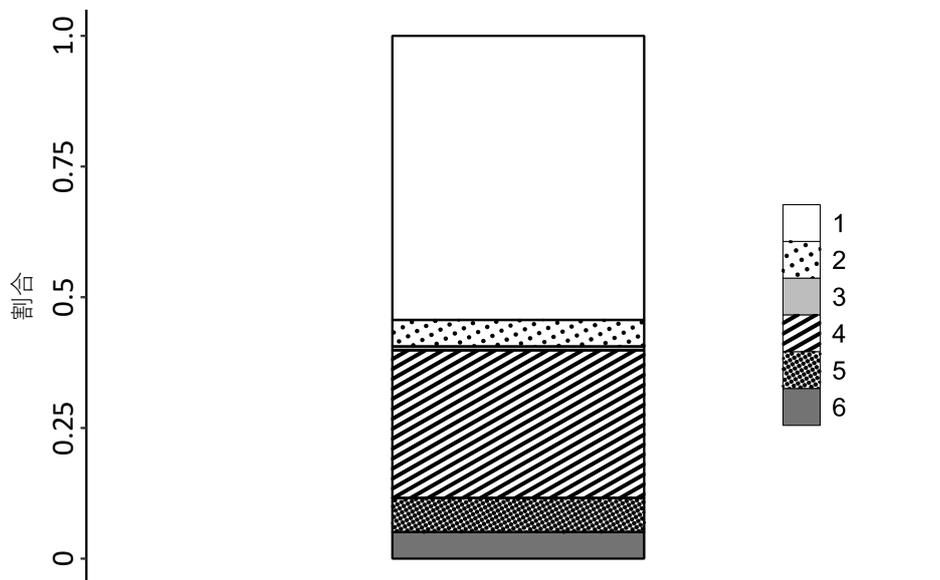


図 15. アカアシノミゾウムシの死亡段階. アカアシの死亡段階は、1:卵から潜葉をつくるまでの死亡、2:潜葉を作ってから蛹室ができるまでの死亡、3:蛹室内での幼虫の死亡、4:幼虫・蛹寄生蜂による死亡、5:生死不明の5つに分類し、アカアシの羽化痕が確認された場合、6:羽化の成

大戸川の詳細な魚類相調査に基づいた復元目標の設定

藤田宗也

滋賀県

1. はじめに

大戸川は滋賀県南部を流れる一級河川である。魚類は滋賀県レッドデータブック掲載の約 15 種や、県内で分布が限られる種、大戸川にのみ生息する種が確認されている。そのため、その希少性と特異性が専門家によって注目されており、包括的な魚類の分布調査が期待されている。しかし、中流域のダム建設や下流域の圃場整備が計画されており、大きな環境変化に伴う魚類相の劣化が予想される。大戸川における魚類相の記録は散発的な標本や暗黙知に留まっており、大きく環境改変された場合、保全に必要な基盤情報が存在しない。本研究では、標本採集と環境 DNA 分析を用いて大戸川流域内の詳細な魚類相を明らかにし、保全案を提案する。

2. 方法**2. 1. 調査地**

大戸川本流の大戸川および支流の天神川、萱尾川、吉祥寺川、田代川、馬門川、隼人川、信楽川、中手川、小山川、滝川、周辺の農業用水路網を含む大戸川流域 98 地点を対象に野外調査および環境 DNA 分析に供する水サンプルの採水を行った。以下に調査の詳細を記す。

2. 2. 野外標本採集

2023 年 4 月 2 日から 11 月 26 日の期間に、本流の大戸川および支流の天神川、萱尾川、吉祥寺川、田代川、馬門川、隼人川、信楽川、中手川、小山川、滝川、周辺の農業用水路網を含む大戸川流域 61 地点を対象に魚類の採集を行った。採集は 2 名から 4 名の調査員によって行われ、たも網を中心に適宜投網を併用して原則として 1 地点 1 時間以上の採集を行い、一部の調査は夜間に行われた。そのほか、採集されなかったものの目視にて確認された種は種名を記録した。また、一部の地点においては複数回調査を行った。

採集された魚類はオイゲノールを用いて麻酔し、同定後に個体数を記録した。また、現地で同定不可能だった個体については可能な限り下位の分類群まで同定し、記録した。さらに、右腹鰭の一部を切除し、99%エタノールに液浸して DNA サンプルとした。

その他、各地点、各魚種 3 個体程度を 10%ホルマリン溶液に液浸して固定し、標本として持ち帰った。標本はその後 70%エタノールに置換し、滋賀県立琵琶湖博物館に移管する予定である。

2. 3 環境 DNA 分析**2. 3. 1 採水・濾過**

2023 年 11 月 19、27、28 日の 3 日間に、本流の大戸川および支流の天神川、萱尾川、吉祥寺川、田代川、馬門川、隼人川、信楽川、中手川、小山川、滝川、周辺の農業用水路網を含む大戸川流域 72 地点を対象に環境 DNA 分析に供する水試料の採水を行った。各地点使い捨ての採水カップを用いて、各地点の岸際の表流水 500ml を採水し、採水ボトルに

保管した。その後、現地にて速やかに採水ボトルの水を 47 μ m 孔径のガラスファイバーフィルター(1825-047,GE,Healthcare,Buckinghamshire,UK)を用いて全量濾過した。濾過を行ったフィルターは残渣面を内側として半分に折り、アルミホイルで包んだのち保冷材で氷冷し実験室に持ち帰り、 -20°C の冷凍庫で保管した。また、採水時の汚染を確認するため、各採水日、10 地点ごとにネガティブコントロールとして超純水 500ml を環境水と同様の手順で濾過し、保管した。

2. 3. 2. DNA 抽出

DNA 抽出は濾過後 1 か月以内に行った。次にあげる試薬のうち、超純水、TE Buffer を除き DNeasy Blood&Tissue Kit (QIAGEN, Hiden, Germany) に付属している試薬を用いた。

シリカゲル膜を除去したスピнкаラム (SD5005, Bio basic inc, Markham Ontario, Canada) に残渣面が内側になるように筒状に丸めたフィルターを挿入し、フィルター内の余分な水分を除去するため $6000 \times g$ で 1 分間遠心分離を行った。1 サンプル当たり Buffer ATL 270 μ l、ProteinaseK 30 μ l を混合した試薬をカラム中のフィルターにまんべんなく浸透するように添加し、 56°C で 30 分間インキュベートを行った。インキュベート後、 $6000 \times g$ で 1 分間遠心分離を行った。遠心分離後、フィルターに残った DNA を抽出するため各サンプルに TE buffer を 200 μ l ずつ添加し、1 分間静置した後 $6000 \times g$ で 1 分間の遠心分離を行った。その後、スピнкаラム上部を除去し、スピнкаラム下部のコレクションチューブにそれぞれ Buffer AL および 100%エタノールをそれぞれ 500 μ l 添加した。各サンプルを混和後に DNeasy のカラムへ全量を移し、 $6000 \times g$ で 1 分間の遠心を行った。カラムを新しいコレクションチューブに寄せ換え、Buffer AW1 を 500 μ l 添加し $6000 \times g$ で 1 分間の遠心を行った。上部のカラムを新しいコレクションチューブに寄せ換え、Buffer AW2 を 500 μ l 添加し、 $20300 \times g$ で 2 分間の遠心を行った。上部のカラムを DNA LoBind チューブへ寄せ換え、Buffer AE を 200 μ l 添加し、1 分間静置した後 $6000 \times g$ で 1 分間の遠心を行った。上部のカラムを廃棄し、DNA LoBind チューブ中に溜まった抽出物を -20°C で保管した。

2. 3. 3. ライブラリ調整

ライブラリ調整では 2 段階の PCR によって行った。

第一段階では、ミトコンドリア 12SrRNA 遺伝子の断片を Mifish-U-6N-F および Mifish-U-6N-R (Miya et al. 2015) を用いて増幅させた。PCR 試薬として Platinum SuperFi II Polymerase (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) を用いた。1stPCR は $5 \times$ SuperFi II Buffer を 2.4 μ l、dNTP を 0.24 μ l、 $2 \times$ Platinum SuperFi II DNA Polymerase を 0.24 μ l、Mifish-U-6N-F,R (どちらも 5 μ M) をそれぞれ 1.2 μ l、10 倍に希釈した各地点の DNA テンプレート 2 μ l、および超純水を含む反応総量 12 μ l で行った。なお、予備実験段階で原液においては増幅の確認できなかった地点が確認された。これは PCR 阻害物質によるものと考え、本実験では抽出物を 10 倍希釈したものを用了。また、PCR

時の汚染を確認するため、DNA テンプレートの代わりに超純水 2 μ l を添加した PCR ネガティブコントロールを PCR 実験ごとに作成した。PCR の温度条件は 98°C30 秒 (初期変性) を行い、98°C10 秒 (変性)、60°C10 秒 (アニーリング)、72°C30 秒 (伸長) を 40 サイクル行い、最後に 72°C で 5 分 (最終伸長) を行った。反応には SimpliAmp Thermal Cycler (Applied Biosystems, CA, USA) を用いた。それぞれのサンプルを 8 反復で増幅し、各プレートには DNA テンプレートの代わりに超純水を加えたネガティブコントロールを同様に 8 反復加えた。その後、プライマーダイマーおよび dNTP を除去するため、1stPCR 産物の精製を行った。各 PCR 複製物を 8 繰り返しから 5 μ l ずつ集約し、超純水 3.6 μ l、Exosap-IT (Affymetrix, Santa Clara, CA, USA) 0.4 μ l を添加し、SimpliAmp Thermal Cycler を用いて 37°C15 分、80°C15 分の温度条件で反応した。

第 2 段階では、1stPCR 産物を鋳型とし、末端に各サンプルを識別するためのインデックス配列 (Hamady et al.2008) を付加した。2ndPCR は 5 \times SuperFi II Buffer を 2.4 μ l、dNTP を 0.24 μ l、2 \times Platinum SuperFi II DNA Polymerase を 0.24 μ l、超純水 4.72 μ l からなる Mix3.8 μ l および DNA テンプレートを 1 μ l、インデックスプライマーをそれぞれ 1.2 μ l を含む反応総量 11 μ l で行った。PCR の温度条件は 95°C3 分 (初期変性) を行い、98°C10 秒 (変性)、60°C10 秒 (アニーリング)、72°C30 秒 (伸長) を 10 サイクル行い、最後に 72°C で 5 分 (最終伸長) を行った。最後に、各 2ndPCR 産物の増幅確認を電気泳動で行った。

シーケンスを行う前に、2ndPCR 産物の増幅が乏しかった 8,48,50 地点を 4 μ l、ネガティブコントロールを 8 μ l その他の地点を 2 μ l の量で混合した。混合したサンプルを Agencourt AMPure XP (Beckman Coulter, Brea, CA, USA) を用いて精製した。サンプル 1 μ l あたり AMPureXP 0.8 μ l を混合し、その後キットの説明書に従って作業を行った。その後、精製したサンプル 27 μ l を E-Gel SizeSelect (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) にアプライし、標的のバンド (370 bp) を回収した。次いで、Qubit dsDNA HS assay kit and a Qubit fluorometer (Thermo Fisher Scientific) を用いて、DNA 濃度を測定した。最後に、精製した DNA の質を確認するために Qsep1 (Bioptic) を用いた。分析機器の 8-well Sample Tray に 200 μ l 蓋無しチューブを入れ、トレーの奥のチューブから順にそれぞれ Separation Buffer 200 μ l、超純水 50 μ l、超純水 200 μ l、Alignment Marker 20 μ l、残りのチューブに DNA サンプル 2 μ l と Dilution Buffer 18 μ l を添加した。カートリッジを付属のピンを突き刺し、キャピラリー部分をキムワイプでふき取った後、機器に挿入した。ソフト内の設定を操作し分析を実行した後、結果から励起した部分が対象の DNA の増幅長であるか、対象の増幅長以外に励起している部分がないかを確認し、DNA 濃度の結果と総合的に判断し、最終的なシーケンシングに用いるサンプルを決定した。

2. 3. 4. シーケンシング

シーケンシングは Illumina Miseq を用いて行った。カートリッジは Miseq 試薬マイクロキット v2、300 サイクルを使用した。DNA を編成するため、終濃度 0.2 M の NaOH を調整し、pH 試験紙を用いて pH > 13 であることを確認した。その後、DNA ライブラリ 20

μl 、0.2 M NaOH 20 μl を添加し攪拌後、遠心分離を行った。その後、室温で5分間静置し、200 mM Tris-HCl を 20 μl 、HyB Buffer を 940 μl 添加した。次に、シーケンシング時の蛍光にばらつきを与えるため、PhiX を追加した。10 mM PhiX 2 μl に超純水 3 μl を加え、0.2 M NaOH 5 μl を添加した。その後、攪拌、遠心分離を行い、5分間室温で静置した。静置後、HyB Buffer を 990 μl 添加し、終濃度 20 pM に調整した。ライブラリの最終調整として、20 pM PhiX 24 μl 、20 pM DNA ライブラリ 216 μl 、HyB Buffer 360 μl で調整し、10% PhiX、終濃度 6 pM ライブラリになるように調整した。その後、Miseq の設定を操作し、フローセルを洗浄した。カートリッジの17番ポートに穴をあけ、採集ライブラリを全量加え Miseq にセットし、シーケンシングを行った。

2. 3. 5. バイオインフォマティクス解析

バイオインフォマティクス解析は MitoFishPipeline(Zhu et al. 2023 ; Sato et al. 2018 ; Iwasaki et al.2013)を使用した。パイプラインでは、シーケンシングで得られた FASTQ ファイルのクオリティチェックおよび Tail trimming は fastp(Chen et al. 2018)を用いて行い、FLASH(Magoc et al. 2011)を用いてペアエンド配列をマージした。プライマー配列の除去は Cutadapt(Martin 2011)を用いて行った。また、配列のデノイズングおよびキメラ配列の除去、OTU の決定は USERCH(Edger 2010)を用いて行った。得られた OTU 配列を閾値 0.98 で BLAST を行い、類似配列をまとめ、近隣結合法を用いて query 配列を含めた系統樹を作成した。

2. 3. 5. 同定精度の精査

得られた系統樹から、query 配列と同一クラスターに存在する配列名を手動で確認し、学名が統一されているか確認し、種判別を行った。

以下の種は系統樹の同一クラスター内に複数の学名が存在していたため、種レベルでの同定が困難であると判断し、属レベルに同定し、データを統合した。

キンギョ *Carassius auratus*、ギンブナ *C. langsdorfii*、フナ属の一種 *Carassius sp.* はフナ属 *Carassius sp.* に統合した。コイ *Cyprinus carpio*、コイ属の一種 *Cyprinus carpio haematopterus*、コイ属の一種 *Cyprinus megalophthalmus* はコイ属の一種 *Cyprinus sp.* に統合した。タモロコ *Gnathopogon elongatus elongatus* はタモロコ属の一種 *Gnathopogon sp.* に同定した。ニゴイ *Hemibarbus barbus*、ニゴイ属の一種 *Hemibarbus umbrifer* はニゴイ属の一種 *Hemibarbus sp.* として統合した。クロヨシノボリ *Rhinogobius brunneus*、シマヨシノボリ *Rhinogobius nagoyae*、オウミヨシノボリ *Rhinogobius sp.* OM はヨシノボリ属 *Rhinogobius sp.* に統合した。

以下の種は同一クラスター内に複数の学名が存在していたため、樹形図から妥当性を判断した。

モツゴ *Pseudorasbora parva* およびモツゴ属の一種 *Pseudorasbora interrupta* は同一クラスター内に確認された。モツゴ属の一種である *Pseudorasbora interrupta* は中国原産であり、日本における定着記録はない。そのため、両種はモツゴ *Pseudorasbora parva* として統合し

た。カマツカ属の一種 *Pseudogobio guilinensis* はスゴモロコ種群 *Squalidus* spp. と同一クラスターから確認されたことから、誤同定であるとしてスゴモロコ属の一種 *Squalidus* sp. として扱った。タイワンマス *Oncorhynchus masou formosanus* はタイヘイヨウサケ属種群 *Oncorhynchus* spp. と同一クラスターに確認された。タイワンマスが確認された地点では同所的にアマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* が採捕されていることから、この配列はアマゴとして扱った。オオクチバス *Micropterus salmoides* およびフロリダバス *Micropterus floridanus* は、琵琶湖水系において両種は交雑していることが知られており (Yokogawa et al. 2005)、ミトコンドリア領域において両種の区別は困難であることからオオクチバス類 *Micropterus* sp. として扱った。

また、そのほかコウライカワムツ *Nipponocypris koreanus* およびハス *Opsariichthys uncirostris* はリード数が 100 未満であったため、内藤ほか (2020) を参考に解析から除外した。

3. 結果

3. 1. 標本採集の結果

野外調査による採集の結果、62 地点において 33 種の魚類が採集され、それぞれの地点において採集された魚種は 1 から 13 種であった。

3. 2. 環境 DNA 分析の結果

環境 DNA 分析の結果、72 サンプル、8 採水 NC、4PCR-NC を含む計 84 ライブラリのシーケンスより、合計 3026764 のリード数が得られた。計 72 地点において、同定結果を精査した結果、31 分類群が検出され、それぞれの地点で検出された分類群は 3 から 17 分類群であった。

3. 2. 両手法による結果

野外調査および環境 DNA 分析の結果を集計すると、計 98 地点において 38 分類群が確認された。それぞれの地点において確認された魚種は 2 から 20 種であった。確認された種の中には環境省レッドデータブック (環境省 2014) における絶滅危惧 I A 類 (CR) 1 種 (ホンモロコ)、絶滅危惧 I B 類 (EN) 1 種 (オオガタスジシマドジョウ)、絶滅危惧 II 類 (VU) 3 種 (ミナミメダカ、アカザ、スナヤツメ)、準絶滅危惧 (NT) 4 種 (ヤリタナゴ、アブラボテ、シマヒレヨシノボリ、アマゴ)、滋賀県レッドデータブック (滋賀県生き物総合調査委員会 2021) における絶滅危惧種 2 種 (ギギ、オオガタスジシマドジョウ)、絶滅危惧増大種 6 種 (ホンモロコ、ナガレカマツカ、アブラボテ、ヤリタナゴ、ミナミメダカ、スナヤツメ属)、希少種 3 種 (モツゴ、ムギツク、アカザ)、要注目種 7 種 (タカハヤ、ドジョウ、オオシマドジョウ、ニシシマドジョウ、カワヨシノボリ、マナマズ、アマゴ)、分布上重要種 2 種 (ヌمامツ、アユ)、その他重要種 1 種 (ドンコ) が含まれていた。また、国外外来種は 4 種 (オオクチバス類、ブルーギル、カムルチー、ニジマス) が確認された。なお、ヤリタナゴ、アブラボテ、ニシシマドジョウを除くシマドジョウ種群およびシマヒレヨシノボリについては保全上の観点から確認地点の公表はしない (Table.1)。

4. 考察

4. 1. 大戸川水系における保全に留意すべき種および保全策の提言

本調査で確認された 38 分類群のうち、環境省レッドデータブック（環境省 2014）における絶滅危惧 I A 類(CR) 1 種、絶滅危惧 I B 類(EN)1 種、絶滅危惧 II 類(VU)3 種、準絶滅危惧(NT)4 種、滋賀県レッドデータブック（滋賀県生き物総合調査委員会 2021）における絶滅危惧種 2 種、絶滅危惧増大種 6 種、希少種 3 種、要注目種 7 種、分布上重要種 2 種、その他重要種 1 種が含まれていた。その中でも、保全に留意すべき種として、シマドジョウ種群、ヤリタナゴ、アブラボテ、シマヒレヨシノボリ、ミナミメダカ、ギギ、スナヤツメが挙げられる。

シマドジョウ種群は本調査においてオオシマドジョウ、ニシシマドジョウ、オオガタスジシマドジョウの 3 種が確認された。シマドジョウ種群は生活史において、産卵時に河川や水路からの恒久的水域から氾濫後に形成される一時的水域の泥底で産卵する氾濫原依存の生活史を持つことが知られている。そのため、産卵においては、一時的水域の形成および恒久的水域と一時的水域の連続性が重要な要素となってくる。そのため、ダムによる高度な水位管理や河道の直線化により、水位の変動が小さくなることで一時的水域の形成が妨げられた場合、産卵環境が消失することが指摘されている（中島 2017）。一方で、農業用水路や水田は一時的水域の代償的な湿地として機能していることが知られており（守山 1997, 遊磨 2013, 金尾 2020）、河川本流と農業用水路、水田との連続性を維持することによって本種群をはじめとした氾濫原依存性の魚類の保全につながる可能性が大きく期待される。

ヤリタナゴは大戸川流域の農業用水路、アブラボテは大戸川流域の農業用水路および河川本流において確認された。両種はイシガイ類に卵を産み付ける習性があり、その生活史においてイシガイ類の生息が必須である（中村 1969）。大戸川流域におけるイシガイ類の分布は局限しており、両種の稚魚の個体数が多く見られた 2 地点のうち、イシガイ類の一種であるササノハガイの生貝が確認された地点は 1 地点のみであり、そのほかの地点においてはイシガイ類の生貝は確認されなかった。また、ササノハガイの生貝が見られた地点においても、死貝の割合が多く、生貝は数個体のみの確認にとどまった。また、同地点においては過去にカネヒラが採取されたという聞き取りがあったものの、今回の調査においては野外調査および環境 DNA 分析のいずれの手法においても確認することはできなかった。また、大戸川流域の過去の調査においては、生活史において同様にイシガイ類を利用するビワヒガイが確認されている（大津市市民部住みよい環境課 1994）ものの、今回の調査においてはカネヒラと同様に確認されなかった。これらの種の生活史に関わるイシガイ類の生息環境の保全は急務であるといえる。

シマヒレヨシノボリは大戸川流域の農業用水路から採取された。本種は滋賀県内の分布は局地的とされているものの、大戸川周辺地域のため池で採集された記録があり、琵琶湖・淀川水系における他のヨシノボリ属魚類との種間関係を明らかにする上でも興味深い

集団であるとされている。そのため、保全に向けた本種の分布の実態把握が望まれている（尾崎ほか 2021）。本調査において、ため池以外の農業用水路においても新たに生息が確認され、本種の生息場所として農業用水路が利用されている可能性が示唆された。

ミナミメダカは農業用水路および河川本流に一時的に形成されたたまりにおいて、下流から中流の広い範囲に比較的個体数が多く確認された。生息個体数は危機的である水準ではないといえる。一方で、近年本種は野外に放流された人工改良品種との交雑による遺伝的多様性の低下が懸念されている（北川 2018）。筆者は本調査中、大戸川本流において人工改良品種と思われる個体を目視で確認しており、大戸川においても人工改良品種との交雑が起こっている可能性が考えられる。交雑による遺伝子浸透は不可逆的であり、その対策は急務であるといえる。人工改良品種の野外への意図的、非意図的放流を防止するための普及啓発が必要である。

スナヤツメは下流域の河川本流 1 地点のみで採集された。本種は湧水のある河川の砂泥中に潜って生息することが知られている。大戸川下流域周辺には天井川が多く存在し、湧水が豊富に存在する。大戸川本流における湧水の分布は不明であるが、本種の保全を考えると湧水の存在に留意する必要がある。

また、大戸川流域の検出種数を可視化すると、下流域の田上地域から瀬田川流入部における河川本流および農業用水路は特に種数が多く、多様な魚類相が形成されているといえる（Fig.2）。その魚類相の形成要因として、周辺水路には素掘りの形状を持った水路が多く現存しており、一部は霞提などを通じて河川本流との連続性も保たれていることが考えられる。素掘りの水路は底質や流速、水深の多様度が高く、両際には抽水植物が形成される。このような変化に富んだ水路では魚類の生息種数が多いことが知られている（e.g. Ohira et al. 2015 ; Katano et al.2003）。また、上述のとおり、大戸川には生活史段階によって、河川本流のような恒久的水域と水路・水田のような一時的水域の両方を利用する魚類が生息しており、水路ネットワークと本流の連続性は個々の魚類が生活史を全うするうえで重要である（中野 2017）。これらのことから大戸川下流域における農業用水路は魚類にとって好適な生息場所として機能しているといえる。一方で、一部の水路では冬季に通水が無くなる一時的水路となっていることや、3 面コンクリートに改修される水路が確認された。一時的水路においては、水路中に一部存在した深みにおいて魚類の越冬を確認しており、置き石などを使って鳥類の捕食の効果を低減できる 30cm 以上の深み（皆川ほか 2010）を形成することで干出による生息地の消失リスクを低減できることが期待できる。3 面コンクリート工法の場合、水路構造の単調化が問題点としてあげられる。生物多様性を保つための水路改修工法として、鬼倉ほか（2020）は木柵や空石積を用いた多孔質構造の護岸を提案している。また、3 面コンクリートの水路においては、木板やコンクリート縁石を水路内に設置することにより下流からの土砂を捕捉し、堆積させることにより、イシガイなどの底生生物や水生植物の生息を可能にする小さな自然再生を提案している。いずれにおいても、地域住民の理解を得たうえで、上記のような手法を提案することが必要

8. 図表

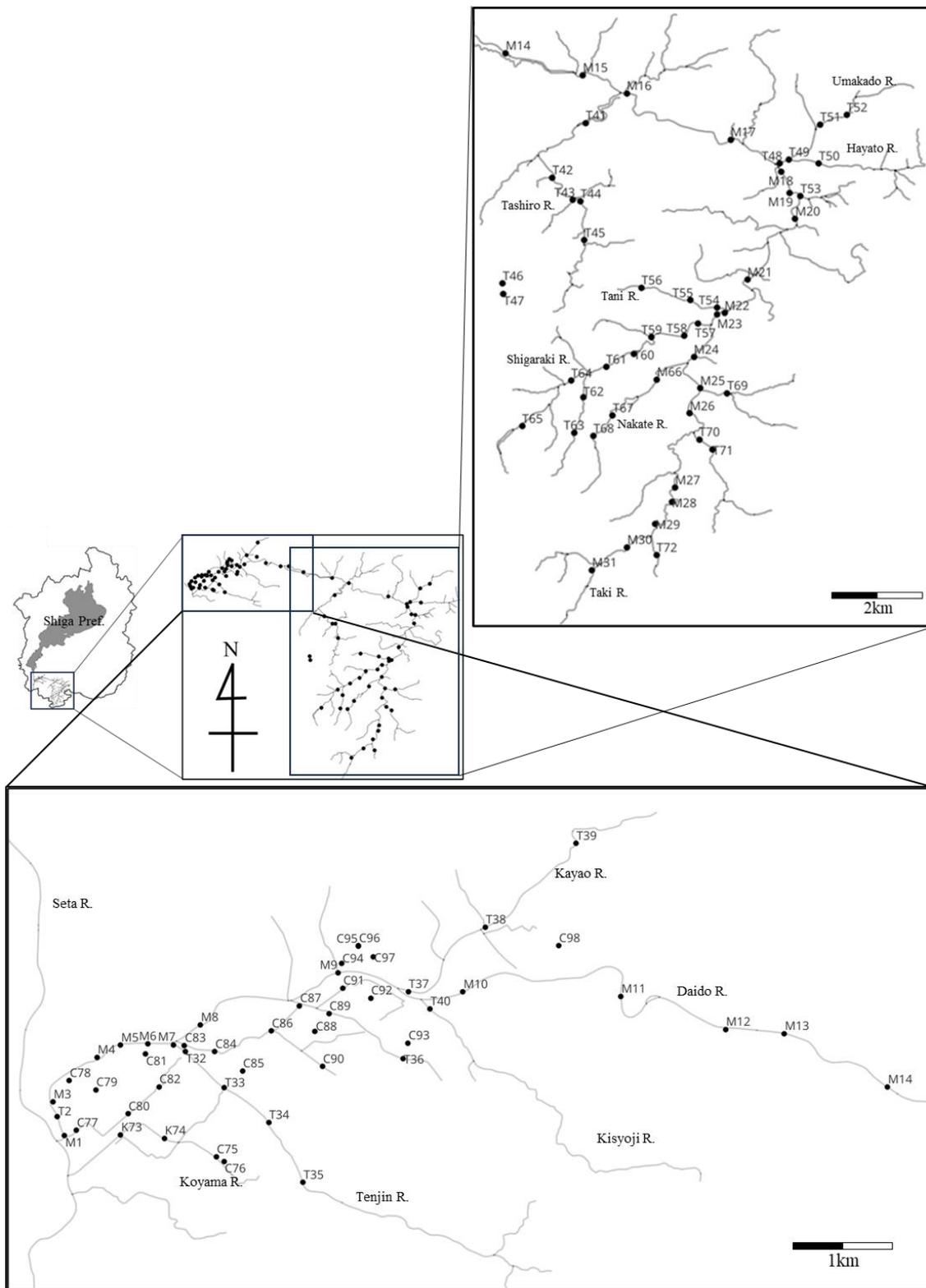


図. 1. A-B 大戸川水系の位置および調査地点 地点名の頭文字は M は大戸川本流 (Main stream)、T は支流 (Tributary)、C は農業用水路 (Canal) を表す。

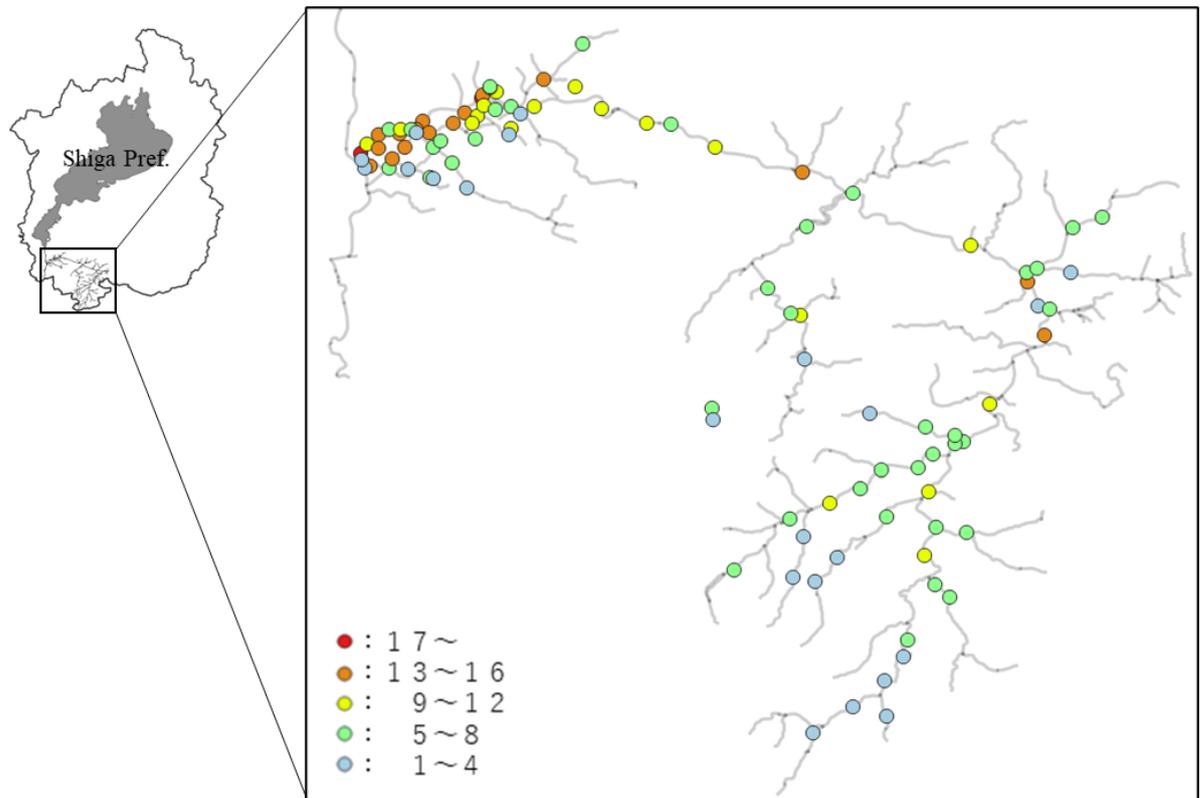


図.2. 各調査地点において環境 DNA および野外調査において確認された魚類の種数
 円の色は各地点の種数を示す(水色：1から4種、黄緑：5～8種、黄色：9から12種、
 オレンジ：13から16種、赤：17種以上)

表. 1 続き

Japanese name	Scientific name	環境省RDB	Site method	Number of Species	St.T51	St.T52	St.T53	St.T54	St.T55	St.T56	St.T57	St.T58	St.T59	St.T60	St.T61	St.T62	St.T63	St.T64	St.T65	St.T66	St.T67	St.T68	St.T69	St.T70	St.T71	St.T72	St.K73	St.K74	St.C75		
					Both	TFS	TFS	TFS	eDNA	eDNA	TFS	eDNA	Both	eDNA	Both	TFS	eDNA	Both	TFS												
フナ属	<i>Cerassius</i> sp.			0																											
コイ属	<i>Cyprinus</i> sp.			0																											
ニゴイ属	<i>Hemibarbus</i> sp.			0																											
オイカワ	<i>Opsarichthys platypus</i>			●																											
カワムツ属雑魚	<i>Candidia</i> sp.				●																										
ヌマムツ	<i>Candidia sieboldii</i>				●																										
カワムツ	<i>Candidia terminickii</i>				●																										
ホンモロコ	<i>Gnathopogon caeruleus</i>	OR			●																										
タモロコ	<i>Gnathopogon elongatus</i>				●																										
タモロコ属	<i>Gnathopogon</i> sp.				●																										
カマツカ属	<i>Pseudogobio</i> sp.				●																										
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>				●																										
ナガレハマツカ	<i>Pseudogobio agathoneciris</i>				●																										
モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>				●																										
タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus</i>				●																										
ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>				●																										
ヤリタナゴ	<i>Tanakia lanceolata</i>	NT			●																										
アブラボ子	<i>Tanakia limbata</i>	NT			●																										
オオシマトドジョウ	<i>Cobitis</i> sp. B/WAE type A	EN																													
オオガタスジシマトドジョウ	<i>Cobitis magnostriata</i>																														
シマトドジョウ属	<i>Cobitis</i> sp.																														
シマトドジョウ	<i>Cobitis</i> sp. B/WAE type B																														
マドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>																														
キゴリ	<i>Gymnogobius urotaenia</i>																														
シニコ	<i>Odonobutis obscura</i>																														
カワヨシノボリ	<i>Rhinogobius flumineus</i>																														
トウヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. OR																														
シマヒレヨシノボリ	<i>Rhinogobius tyoni</i>	NT																													
オウミヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. OM																														
ヨシノボリ属	<i>Rhinogobius</i> sp.																														
ミナミメダカ	<i>Oryzias latipes</i>	VU																													
マナマス	<i>Silurus asotus</i>																														
ギギ	<i>Tachysurus nudiceps</i>																														
アカザ	<i>Liobagrus reinii</i>	VU																													
アユ	<i>Plecoglossus altivelis</i>																														
アマゴ	<i>Oncorhynchus masou ishikawae</i>	NT																													
スナヤツメ	<i>Lethenteron reissneri</i>	VU																													
オオクチバス類	<i>Micropterus</i> sp.																														
ブルーギル	<i>Lepomis macrochirus</i>																														
カムルチー	<i>Channa argus kimurai</i>																														
ニジマス	<i>Oncorhynchus mykiss</i>																														

表, 1 続き

Japanese name	Scientific name	環境省RDB	Site method	Number of Species	St.C76	St.C77	St.C78	St.C79	St.C80	St.C81	St.C82	St.C83	St.C84	St.C85	St.C86	St.C87	St.C88	St.C89	St.C90	St.C91	St.C92	St.C93	St.C94	St.C95	St.C96	St.C97	St.C98	ALL
					TFS	eDNA	eDNA	eDNA	eDNA	Both	Both	Both	eDNA	Both	Both	Both	eDNA	TFS	Both	Both	eDNA	Both	eDNA	eDNA	Both	Both	TFS	Both
フナ属	<i>Carassius</i> sp.																											
コイ属	<i>Cyprinus</i> sp.																											
ニゴイ属	<i>Hemibarbus</i> sp.																											
オイカワ	<i>Opsariichthys platypus</i>																											
カワムツ属稚魚	<i>Candidia</i> sp.																											
ヌマムツ	<i>Candidia sieboldii</i>																											
カワムツ	<i>Candidia temminckii</i>																											
ホンモロコ	<i>Gnathopogon caeruleus</i>	OR																										
タモロコ	<i>Gnathopogon elongatus</i>																											
タモロコ属	<i>Gnathopogon</i> sp.																											
カマツカ属	<i>Pseudogobio</i> sp.																											
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus</i>																											
ナガレカマツカ	<i>Pseudogobio agathonectris</i>																											
モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>																											
タカハヤ	<i>Phoxinus oxycephalus</i>																											
ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>																											
ヤリタナゴ	<i>Tanakia lanceolata</i>	NT																										
アブラボテ	<i>Tanakia limbata</i>	NT																										
オオシマドジョウ	<i>Cobitis</i> sp. BIWAE type A																											
オオガタスジシマドジョウ	<i>Cobitis magnostriata</i>	EN																										
シマドジョウ属	<i>Cobitis</i> sp.																											
ニシマドジョウ	<i>Cobitis</i> sp. BIWAE type B																											
ドジョウ	<i>Missurnus anguillicaudatus</i>																											
キゴリ	<i>Gymnogobius urotaenia</i>																											
シマドジョウ	<i>Odontobutis obscura</i>																											
カワヨシノボリ	<i>Rhinogobius flumineus</i>																											
トウヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. OR																											
シマヒレシノボリ	<i>Rhinogobius tyoni</i>	NT																										
オウミヨシノボリ	<i>Rhinogobius</i> sp. OM																											
ヨシノボリ属	<i>Rhinogobius</i> sp.																											
ミナミメダカ	<i>Oryzias latipes</i>																											
マナマス	<i>Silurus asotus</i>																											
キギ	<i>Tachysurus nudiceps</i>																											
アカザ	<i>Liobagrus reinii</i>																											
アマゴ	<i>Plecoglossus altivelis</i>																											
スナヤツメ	<i>Oncorhynchus masou ishikawae</i>																											
オオクチハス類	<i>Lethenteron reissneri</i>	NT																										
ブルーギル	<i>Micropterus</i> sp.																											
カムルチー	<i>Lepomis macrochirus</i>																											
ニジマス	<i>Channa argus kimurui</i>																											
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>																											

9. 参考文献

- Shifu Chen, Yanqing Zhou, Yaru Chen, Jia Gu, (2018). fastp: an ultra-fast all-in-one FASTQ preprocessor, *Bioinformatics*, Volume 34, Issue 17, Pages i884–i890, <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty560>
- Robert C. Edgar, (2010). Search and clustering orders of magnitude faster than BLAST, *Bioinformatics*, Volume 26, Issue 19, Pages 2460–2461, <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq461>
- Hamady, M., Walker, J., Harris, J., Nicholas J Gold & Rob Knight . (2008). Error-correcting barcoded primers for pyrosequencing hundreds of samples in multiplex. *Nat Methods* 5, 235–237 <https://doi.org/10.1038/nmeth.1184>
- Iwasaki W, Fukunaga T, Isagozawa R, Yamada K, Maeda Y, Satoh TP, Sado T, Mabuchi K, Takeshima H, Miya M, et al. (2013) . MitoFish and MitoAnnotator: a mitochondrial genome database of fish with an accurate and automatic annotation pipeline. *Mol Biol Evol* 30:2531-2540.
- 環境省 (編), 2014. レッドデータブック 2014 -日本の絶滅のおそれのある野生生物
金尾 滋史 (2020) 魚たちの様々な水田利用法.大塚 泰介・嶺田 拓也編.なぜ田んぼには多様な生き物がすむのか,104-126.京都大学学術出版会,京都.
- Katano O, Hosoya K, Iguchi K, Yamaguchi M, Aonuma Y, Kitano S (2003) Species diversity and abundance of freshwater fishes in irrigation ditches around rice fields. *Environmental Biology of Fishes*, 66:107-121
- 北川忠生. (2018). 第3の外来魚. 日本魚類学会 (編). 魚類額の百科事典, p.526–527. 丸善出版, 東京.
- Tanja Magoč, Steven L. Salzberg, (2011). FLASH: fast length adjustment of short reads to improve genome assemblies, *Bioinformatics*, Volume 27, Issue 21,Pages 2957–2963, <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btr507>
- MARTIN, Marcel. (2011) Cutadapt removes adapter sequences from high-throughput sequencing reads. *EMBnet.journal*, [S.l.], v. 17, n. 1, p. pp. 10-12, [doi:https://doi.org/10.14806/ej.17.1.200](https://doi.org/10.14806/ej.17.1.200).
- 皆川 明子, 高木 強治, 樽屋 啓之, 後藤 眞広 (2010) 非灌漑期の農業水路における魚類の移動と越冬. *農業農村工学会論文集*, 78:369-376
- Miya M, Sato Y, Fukunaga T, Sado T, Poulsen JY, Sato K, Minamoto T, Yamamoto S, Yamanaka H, Araki H, et al. (2015) . MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *R Soc Open Sci* 2:150088.
- 守山 弘 (1997) 水田を守るとはどういうことか. 農山漁村文化協会, 東京

- 中島淳. (2017). 日本産スジシマドジョウ類の現状とその保全の展望, 魚類学雑誌, 64(1) ; 69-76
- 中村 守純 (1969) 日本のコイ科魚類. 資源科学研究所, 東京
- 中野 光議 (2017) 農業用水路における魚類の保全生態学的研究 : 現状と課題. 保全生態学研究. 22:135-149
- Ohira M, Tsunoda H, Nishida K, Mitsuo Y, Senga Y (2015) Niche processes and conservation implications of fish community assembly in a rice irrigation system. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 25:322335
- 鬼倉徳雄、中島淳、林博徳、西山穩. (2020). 『水田・水路でつなぐ生物多様性ポイントブック』. 公益財団法人世界自然保護基金ジャパン (編). 公益財団法人世界自然保護基金ジャパン, 東京.
- 大津市市民部住みよい環境課. (1994). 大津市『さかな』生息地図. URL : <https://www5.city.otsu.shiga.jp/kankyoku/files/FILE/0120030100/0/%E3%81%95%E3%81%8B%E3%81%AA%E7%94%9F%E6%81%AF%E5%9C%B0%E5%9B%B3.pdf> (オンライン, 参照 : 2024 年 6 月 29 日)
- 尾崎 友輔, 川瀬 成吾, 中山 耕至, (2021). 滋賀県琵琶湖水系から初記録のシマヒレヨシノボリ, *Ichthy, Natural History of Fishes of Japan*, 15 巻, p. 5-9
- Sato Y, Miya M, Fukunaga T, Sado T, Iwasaki W. (2018) . MitoFish and MiFish Pipeline: A Mitochondrial Genome Database of Fish with an Analysis Pipeline for Environmental DNA Metabarcoding. *Mol Biol Evol* 35:1553-1555.
- 滋賀県生きもの総合調査委員会 (2021) 滋賀県で大切にすべき野生生物-滋賀県レッドデータブック 2020 年版-. 滋賀県自然環境保全課, 大津
- 横川 浩治、中井 克樹、藤田 建太郎. (2005). 近年の劇的遺伝子変動から推定される, 琵琶湖におけるフロリダバスの大規模な侵入. *水産増殖*, 53(2) ; pp.145-155.
- 遊磨正秀 (2013) 農業地帯の水系ネットワーク. (中村 太士 編) *河川生態学*, 206-215. 講談社, 東京
- Zhu T, Sato Y, Sado T, Miya M, and Iwasaki W. (2023) . MitoFish, MitoAnnotator, and MiFish Pipeline: Updates in ten years. *Mol Biol Evol*, 40:msad035. <https://doi.org/10.1093/molbev/msad035>

大型在来種ヤマナメクジが森林の多様性に果たす役割の解明

宇高 寛子

京都府

1. はじめに

日本はその国土の 67%を森林に覆われており、さらにその森林の成り立ちは多様である（日本森林学会，2024）。近年は森林における動物や昆虫による加害も、森林を健全に保つための大きな課題となっている。しかし、森林の生態系を解き明かすうえで注目されていない分類群も多く存在し、そのひとつがナメクジ類である。

「ナメクジ」は陸に生息する貝（陸貝）のうち、殻を退化させたもののことである。同一個体がオスとメス両方の器官をもつ、雌雄同体である。一部肉食のものがいるが、基本的には昆虫や動物の死骸、落ち葉などを食べる雑食性である。園芸や農業の場では、果実や葉、種子を食害する害虫として駆除の対象とされることも多い。特に農業害虫としてその対策を目的とした研究は、ヨーロッパで盛んに行われている（Barker, 2002）。これは、同じ陸貝であるカタツムリが、特にフランスにおける食用のために飼育条件を改善する研究が盛んであることと対比的である。生態系の中でのナメクジ類の立ち位置については不明な点が多いが、植物とナメクジ類との関係は農作物を含む種子植物において、多くの研究がある。ナメクジ類が種子や花粉の散布に貢献しているとする例もあれば、ナメクジ類が植物の上を這うことで、その植物の生育が阻害されるという負の影響をおよぼす例も報告されている。また、農地ではあるが、ナメクジ類が特定の植物種を食べることで植物種の多様性に影響をおよぼす可能性も示されている（Buschamann et al., 2005）。このように、ナメクジ類と植物との関係は多面的であることが窺える。一方で、森林や山地のような複雑な生態系をもつ自然環境において、ナメクジ類と植物の関係は十分研究されていないとは言えない。

日本国内でよく見られるナメクジ類は、コウラナメクジ科のチャコウラナメクジ *Ambigolimax valentianus*、ナメクジ科のナメクジ *Meghimatium bilineatum*、同じくナメクジ科のヤマナメクジ *Meghimatium fruhstorferi* の 3 種が挙げられる。これらに加え、北海道や関東の一部地域では、コウラナメクジ科のマダラコウラナメクジ *Limax maximus* もよく見られるナメクジの一種である（図 1）。これら 4 種のうち、チャコウラナメクジとマダラコウラナメクジはヨーロッパを原産とする外来種である。マダラコウラナメクジは成長すると体長 15 cmほどになる大型の種で、日本では 2000 年代に茨城県で最初に移入が報告され（長谷川ら，2009）、その分布域は現在のところ限定的である。同じく外来種のチャコウラナメクジは体長 5-7 cm 程度の中型のナメクジ類で、1950 年代に移入したと推測されており、現在では北海道から沖縄まで広く分布している。チャコウラナメクジとマダラコウラナメクジは民家の周辺（庭）や公園、農地といった人為的な環境で多くみられる。ナメクジとヤマナメクジは在来種であると考えられているが、両者とも、生活史や生態は未解明な部分が多い。ナメクジは人家の周りや農地でも見られることもあるが、ヤマナメクジは主に本州と九州、四国に分布し、森林や山地を主な生息環境としていると考え

られている（武田・西，2015）。ナメクジ科は外見や遺伝的に多様性であることから（Ito et al. 2023）、実際にはヤマナメクジ以外にも森林に生息するナメクジ類はいると考えられるが、その実態は不明である。

Kitabayashi et al. (2022) ではヤマナメクジがキノコ類を好むこと、それらを食べて排せつすることでキノコ類の胞子の散布に貢献していることが示されている。

本研究では、ナメクジ類が自然環境、特に森林でどのような役割を果たしているのかを明らかにするため、大型在来種ヤマナメクジに注目した。また、ナメクジ類の食性が種や生息環境によってどの程度異なるのかについて、市街地に生息するチャコウラナメクジでの比較も行った。また、ナメクジ科は外見や遺伝的に多様性であることから（Ito et al. 2023）、芦生演習林で採集されたヤマナメクジの遺伝的多様性についても検討した。

2. 方法

調査地

本研究では、2023年8月から2024年11月まで、京都府南丹市美山町にある京都大学フィールド科学教育センター芦生研究林（図2）を主な森林の野外調査地とし、ナメクジ類やコケ類の採集などを行った。ただし、芦生研究林は広大であるため、これまでヤマナメクジが多く目撃・採集されている研究林事務所周辺を特に重点的な探索地とした。

食性解析

ヤマナメクジおよびチャコウラナメクジの食性を明らかにするために、1) フンにふくまれるDNAによる食性解析、2) コケ植物の給餌実験を行った。

1) フンにふくまれるDNAによる食性解析

野外から採集したナメクジ類を1または2個体ずつ滅菌済みのファルコンチューブに入れ、明期12時間：暗期12時間・15℃に設定したインキュベータで維持した（図3）。解析に十分な量のフンが回収できるまで約12時間ごとにサンプルを回収した。回収後サンプルは冷凍し、DNA抽出や配列取得に供した。ナメクジ類が食べる対象として想定されるのはキノコ類、植物、動物であるため、それらを特定するため配列取得の対象遺伝子領域はITS、*rbcL*(gPlant)、COIとした。フンを排泄したナメクジ類自身の配列が増幅されるのを防ぐため、それぞれの種に対するブロッキングプライマーが用いられた。DNA抽出からブロッキングプライマーの作製、配列取得、BLASTNによる種同定は（株）生物技研に依頼した。

2) 給餌実験

コケ植物を採取は 2023 年と 2024 年に芦生研究林および京都市内で行った。代表的なコケ植物を図 4 に示す。採取後は明期 12 時間：暗期 12 時間・15°C の恒温室で実験まで維持した。直径約 20 cm のプラスチック容器に、コケ植物とナメクジ類 1 個体、湿度を維持するために濡らしたペーパータオルを入れた (図 5)。明期 12 時間：暗期 12 時間・15°C で 48 時間維持し、実験の開始時、24 時間後、48 時間後にコケ植物の写真を撮影し摂食の有無を確認した。また、ビデオやタイムラプスカメラによる行動記録も試みた。

ヤマナメクジの遺伝的多様性の解明

2023 年とそれ以前に採集されたヤマナメクジサンプルを用いた。腹足の一部から DNA を抽出した。抽出には DNeasy Blood & Tissue (QIAGEN) を用いた。COI と 16SrRNA を解析対象とし、それぞれ PCR による増幅、配列取得を行った。得られた配列は MEGA X (Kumar et al., 2018) を用いて解析を行った。系統樹の作成には、Tsai et al. (2011) においてヤマナメクジとされている台湾、福岡、沖縄・奄美大島産の個体データも併せて解析に用いた。

3. 結果と今後の予定

給餌実験において、提示したいずれのコケ植物に対してもヤマナメクジが積極的にコケ植物を食べている、という証拠は得られなかった。今回実験に用いた個体は、いずれも芦生で採集されたものではあるが、成長がすすんだ個体であった。成長過程によって好む餌が異なることも考えられる。現在解析中のDNAによる食性データと併せてさらに検討する予定である。

チャコウラナメクジについては、春に京都市内で採集した個体は多様な植物を餌資源としており、コケ植物も摂食していることがフン中に含まれるDNAから読み取れる(表1)。COIでの結果にチャコウラナメクジが含まれていた。チャコウラナメクジを共食いしたというよりは、食性解析の弱点である宿主のDNAがもっとも多く含まれる、という現象を反映したものであると考える。フトミミズ類も餌資源としているようであるが、死骸を食べたと考えられる。また、給餌実験では同じく京都市内で採取したコケ植物を食べる様子が観察された。これらのことから、市街地にいるチャコウラナメクジがコケ類を野外で食べていることが明らかになった。また、2024年の野外採集において、芦生研究林の敷地内でチャコウラナメクジを見つけた。チャコウラナメクジは主な生息地を市街地とする。資材や宿舍などの周辺であるが、森林にほぼ近い環境に本種がいることは驚きである。芦生のチャコウラナメクジの食性解析を現在継続している。

チャコウラナメクジとヤマナメクジでデータを得ることができれば、ナメクジ類の食性をもともと好む生息環境(森林、または市街地)にどの程度左右されるのか、それぞれの環境でどのように食性が異なるのか、といった知見を得ることができる。

COI配列によるヤマナメクジの系統樹作成を行った(図6)。現在、データ取得が完了している4個体は全て同じクレードに収まっており、芦生研究林の低地にいるヤマナメクジ個体群の遺伝的多様性は低いと言える。一方で、異なる地域で採集された個体とは遺伝的に異なっており、形態やCOI以外の領域でのデータを加え再検討する必要がある。

芦生研究林でヤマナメクジを探す過程で、キセルガイ科の一種も見つかった(図7)。3個体とも同一種のように見えるがキセルガイ科は種数が多く、同一種であっても変異が見られるため、現在のところ同定には至っていない。キセルガイ類の生息環境は、森林から人家の周辺や農地といった人工的な環境まで、種によって多様である。ナメクジ類に比べると体サイズは小さいが、群生することもある。今後、専門家によるサポートを得て種同定を行い、将来的にはナメクジ類だけでなく、キセルガイなど多様な陸貝が森林でどのような役割を果たしているのかを解明していきたい。

4. 引用文献

長谷川和範, 福田宏, 石川旬 2009 マダラコウラナメクジの日本国内への定着. *ちりばたん*. 39(2), 101-105

日本森林学会 (編) . 2024 図説日本の森林 森・人・生き物の多様なかかわり. 朝倉書店

武田, 西 2015 カタツムリハンドブック. 文一総合出版

Barker GM. 2002 Molluscs as crop pests. *CABI Publishing*

Buschamnn H., Keller M., Porret N., Dietz H., Edwards P.J. 2005 The effect of slug grazing on vegetation development and plant species diversity in an experimental grassland. *Functional Ecology*, 19, 291-298.

Ito S., Yamazaki D., Kameda Y., Kagawa O., Ye B., Saito T., Kimura K., Do VT., Chiba S., Hirano T. 2023 Taxonomic insights and evolutionary history in East Asian terrestrial slugs of the genus *Meghimatium*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 182, 107730

Kitabayashi K., Kitamura S., Tuno N. 2022 Fungal spore transport by omnivorous mycophagous slug in temperate forest. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8565

Kumar S., Stecher G., Li M., Knyaz C., Tamura K. 2018 MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across Computing Platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), 1547-1549

Tsai CL., Lu CC., Kao HW. 2011 Morphology and Molecular Phylogeny of the East and Southeast Asian *Meghimatium* slugs (Gastropoda: Pulmonata: Philomycidae) and description of a new species. *Zootaxa*, 2890(1), 1-19

表 1 市街地で採集したチャコウラナメクジの食性

遺伝子領域	分類群*
COI	フトミミズ類の一種
COI	チャコウラナメクジ
COI	扁形動物
ITS	子囊菌
ITS	担子菌
ITS	糸状菌
rbcL	カタバミ属の一種
rbcL	ヘクソカズラ属の一種
rbcL	イヌタデ属の一種
rbcL	ハリガネゴケ属の一種
rbcL	キク属の一種
rbcL	トレボウクシア藻綱の一種
rbcL	シャジク藻綱の一種

※本表では BLASTN にて相同性が 97%以上を示した配列のうち、各遺伝子領域で特定が期待された分類群を抜粋した。また、一部配列は種名まで特定しているが、本表ではチャコウラナメクジ以外は属レベルまでの表記とした。



図1 日本でよく見られるナメクジ類の代表的な外見

A：チャコウラナメクジ、B：マダラコウラナメクジ、C：ナメクジ、D：ヤマナメクジ



図2 主な調査地である芦生研究林事務所周辺の様子 左7月、右11月



図3 ナメクジ類のフンサンプルを採取の様子（左）とヤマナメクジのフン（右）
フンは野外個体ではなく、飼育個体（ニンジン摂食）の物。



図4 給餌実験に用いたコケ類の例



図5 給餌実験の様子
ただし、写真の個体はナメクジ。

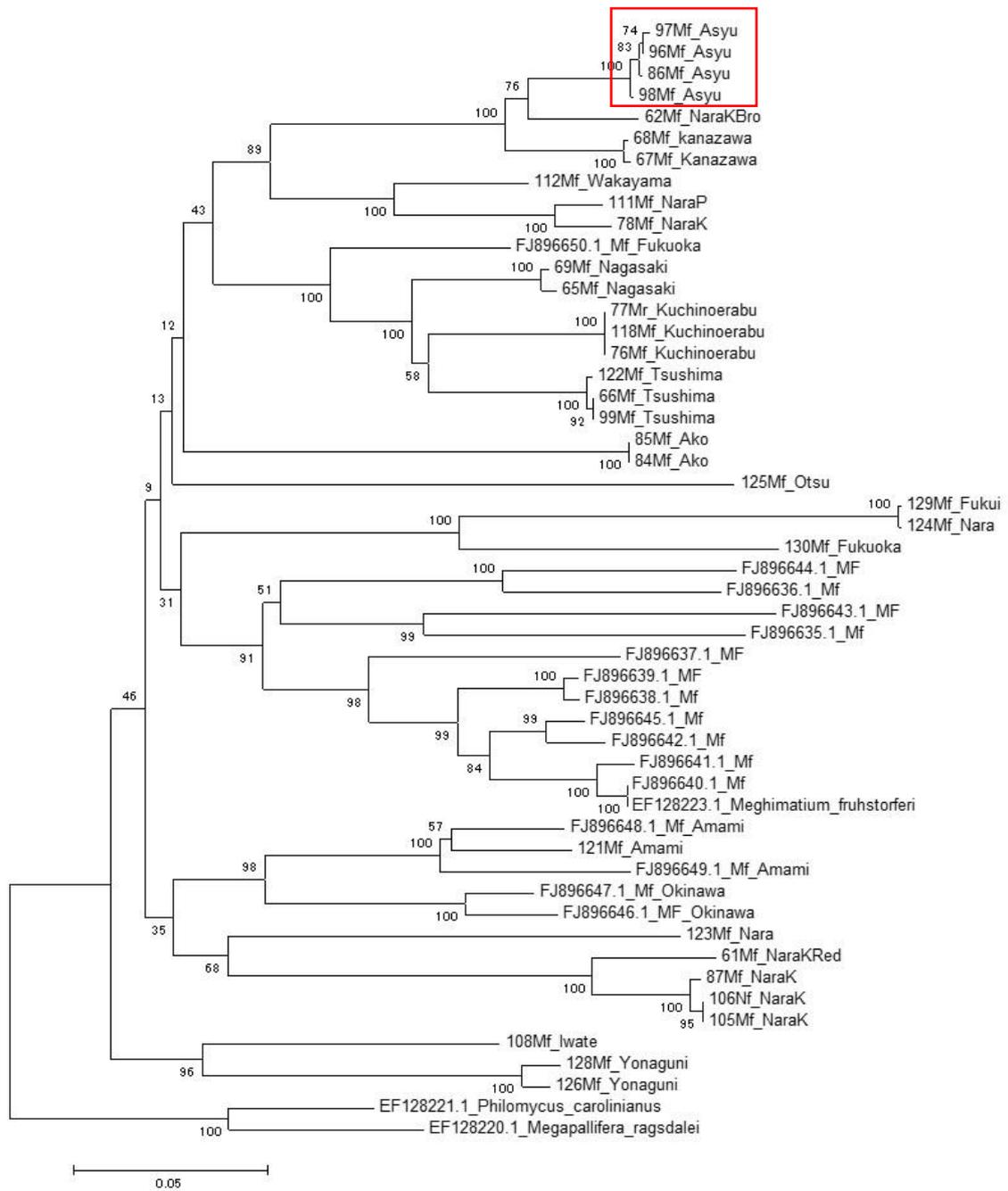


図6 近隣結合法によるヤマナメクジ類の系統樹
 芦生で採集された個体データを赤枠で示す。



図7 芦生研究林におけるチャコウラナメクジの発見とその生息周辺環境



図8 芦生研究林で見られたキセルガイ類

フクロウの繁殖状況と遺伝的多様性に関する研究

環境動物昆虫学研究室 上田昇平

大阪府

1. 緒 言

鳥類の衰退

人間活動による生息地の分断化や消失によって、地球規模で消失の危機にさらされており、多くの生物が絶滅の危機に瀕している。特に鳥類では、過去 400 年間に 108 種が絶滅し、現存している鳥類種の約 11%にあたる 1107 種が絶滅危惧種に、約 9%にあたる 952 種が絶滅危惧種の予備軍にあたる保全依存種または準絶滅危惧種に選定されている（IUCN, 2016）。国内においても 15 種がすでに絶滅し、98 種の鳥類が絶滅危惧種に選定されている（環境省, 2020）。

フクロウの分布と生態

フクロウ *Strix uralensis*（フクロウ目フクロウ科；以下、本種；図 1）は、スカンジナビア半島から日本にかけてユーラシア大陸北部の森林地帯に広く分布し（König and Weick, 2008）、日本では九州以北の低地から山地の森林、農耕地、草原、里山に生息する樹洞営巣性の夜行性鳥類である（樋口・阿部, 2001）。小型哺乳類や鳥類を主食とする中型猛禽類であり（König and Weick, 2008）、高次消費者であることから、その生息は餌動物となる生物相の豊かさを意味し、生物多様性を示す指標種とされている（Furness and Greenwood, 1993）。本種は、生態系ピラミッドの頂点に位置することから、広大な生息地を必要とするアンブレラ種としても知られており（Roberge and Angelstam, 2004）、本種の保全は他の多くの種の保全に繋がると考えられる。



図 1. フクロウの成鳥

フクロウの衰退と保全

しかし、近年では主要な生息地である里山の衰退や営巣に必要な大径木の枯死や伐採により生息環境が劣悪化し (Löhmus, 2003; 樋口・伊野, 2004), 本種の個体数は各地で減少しており, 都道府県ごとのレッドリストにおいて 3 都県で絶滅危惧I類 (東京都, 2023; 千葉県, 2020, 山形県, 2015), 2 県で絶滅危惧II類 (岡山県, 2020; 和歌山県, 2022), 大阪府を含む 18 府県で準絶滅危惧に選定 (青森県, 2020; 大阪府, 2014 など) されている。それを受けて, 各地で巣箱を用いた本種の保全が行われている (風間, 1974; 白石・北原, 2007; 植田, 2014)。大阪府南部でも巣箱を用いた本種の保全が実施されており, その保全効果を検証するためには, 個体群の遺伝的多様性やその年次変化を把握することが必要となるが (Frankham *et al.* 2002), 巣箱を利用した本種個体の繁殖状況と遺伝的多様性を経年的に調査した例は少ない。

希少種保全における DNA 解析の有用性

近年の生化学的手法の急速な発達によって, 分子生物学的手法を集団生物学や野生生物の保全へ利用することが可能になった。形態的特徴に基づく雛の性判定はほとんどの種で不可能か, また特殊な技術が必要であることから (長井, 2008), 近年では Chromo Helicase DNA binding 遺伝子 (以下, CHD) が広く用いられている (Fridolfsson and Ellegren, 1999; 西野, 1999)。また, 希少種の保全においては, 遺伝的多様性の維持が重要であることが認識され, さまざまな手法で遺伝子解析が行われている (Funk *et al.*, 2010; Hull *et al.*, 2010; Omote *et al.*, 2012; Graciá *et al.*, 2015; Horníček *et al.*, 2017)。個体群内の遺伝的多様性や有効集団サイズの解析を行う方法としては, マイクロサテライトマーカーが利用されており, 本種やその近縁種でも解析例がある (Fujito *et al.*, 2021)。

本研究では, 本種の保全に必要な基礎資料を得ることを目的とし, 野外調査から大阪府南部における本種の繁殖状況を明らかにするとともに, 性決定遺伝子の解析によって巣箱で産まれた雛の性比を判定し, 既存のマイクロサテライトマーカーを用いて個体群内の遺伝的多様性を評価した。

1. 方法

調査地点

2016～2023年の2～6月に大阪府堺市、河内長野市、岸和田市、富田林市、泉佐野市、和歌山県橋本市の32地点に設置した巣箱および営巣の記録がある自然樹洞を、原則と

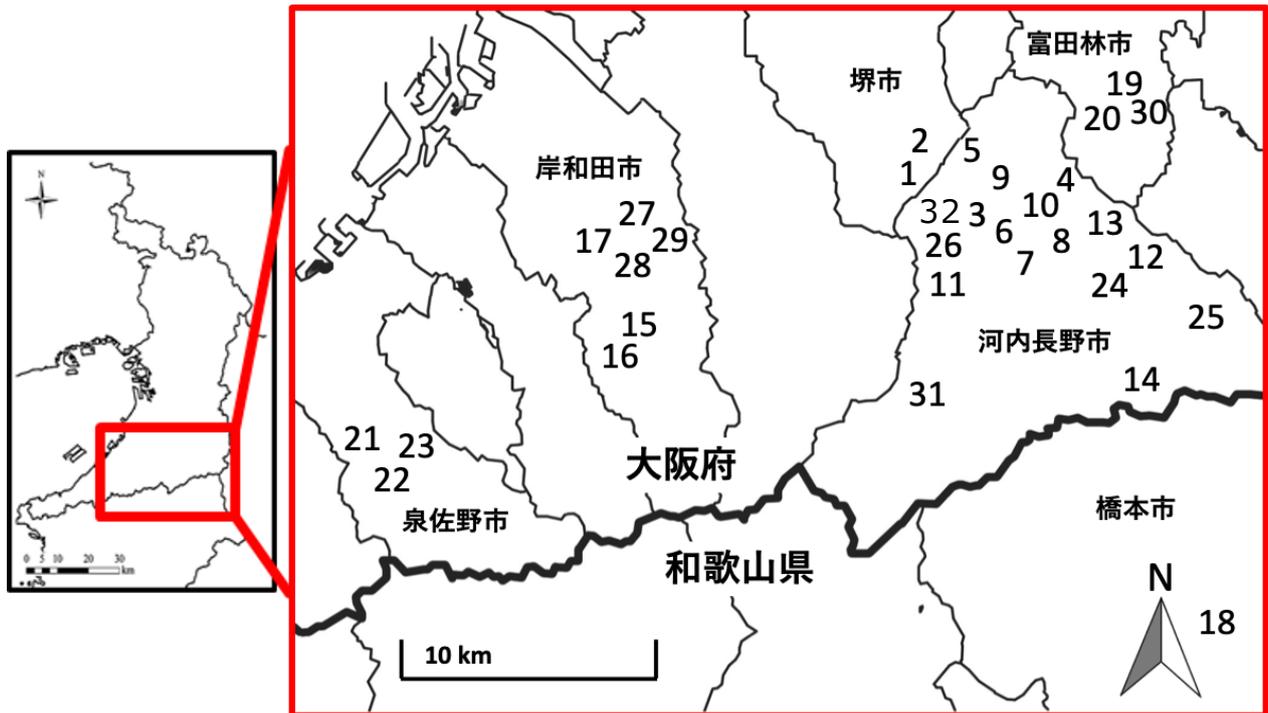


図 2. 本研究においてフクロウ用の巣箱を設置した地点。保全の観点から詳細な場所については示さない。

して週1回巡回した（図2）。各調査地には1地点あたり1個の巣箱（幅450 mm，奥行450 mm，高さ500 mm）が地上から5～6 mの高さに設置されていた（図3）。

巡回調査とDNA検体の採集

長竿に取り付けたカメラを用いて巣箱内を観察し（図3）、営巣の有無や雛の状態を確認した。繁殖への影響や親鳥の抵抗による調査者の負傷などのおそれがあるため（Eriksson *et al.*, 1984）、特に抱卵期間における調査は極力控えた。

調査結果から、営巣の有無や産卵数、雛の状態などの繁殖状況を記録し、繁殖成功率

と平均巣立ち雛数を計算した。巣立ちが近い本種の雛を確認した場合は雛を巣から取り出し、個体識別のための足輪を取り付けて巣に戻した（図 4）。この際に、DNA 解析に使用するサンプルとして雛の胸部から羽根を採取し、DNA 解析に供した。

2016 年 23 個体，2017 年 19 個体，2018 年 18 個体，2019 年 20 個体，2020 年 29 個体，2021 年 24 個体，2022 年 14 個体，2023 年 9 個体，計個体から DNA 検体を採集した。



図 3. 木に設置したフクロウ用巣箱. 長竿に取り付けたカメラで巣箱内を観察している.



図 4. 巣箱の中で孵化したフクロウの雛. 大阪府南部では 1 巣あたり 1-3 個体の雛が確認された.

DNA 抽出

DNeasy Blood & Tissue Kit（株式会社キアゲン製）を用いて、採集した羽根の羽軸基部から全 DNA を抽出した。以下、試薬の調製は製品に付属のプロトコルに準拠した。

CHD を用いた性判定

Takara Ex Taq（Takara 社製）を用いて CHD を PCR 反応によって増幅した。プライマーには、2550F（5'-GTTACTGATTCGTCTACGAGA-3'）と 2710R（5'-ATTGAAATGATCCAGTGCTTG-3'）を用いた（Fridolfsson and Ellegren, 1999）。PCR 反応にはサーマルサイクラー（Thermal Cycler GeneAtlas）を用いた。温度条件、サイクル数を以下に示す。

98.0°C : 300 秒

98.0°C : 10 秒, 40.0°C : 30 秒, 72.0°C : 60 秒 35 サイクル

72.0°C : 420 秒

1×TAE buffer (ナカライテスク株式会社製) 40ml にアガロース LE (ナカライテスク株式会社製) 0.6g と Gel Red (富士フイルム和光純薬株式会社製) 1.0μl を加えて作成したアガロースゲルを 1×TAE buffer で満たされた泳動槽 (Mupid-exu, タカラバイオ株式会社製) に設置し, PCR 産物 3μl, Loading dye (ナカライテスク株式会社製) 1μl の

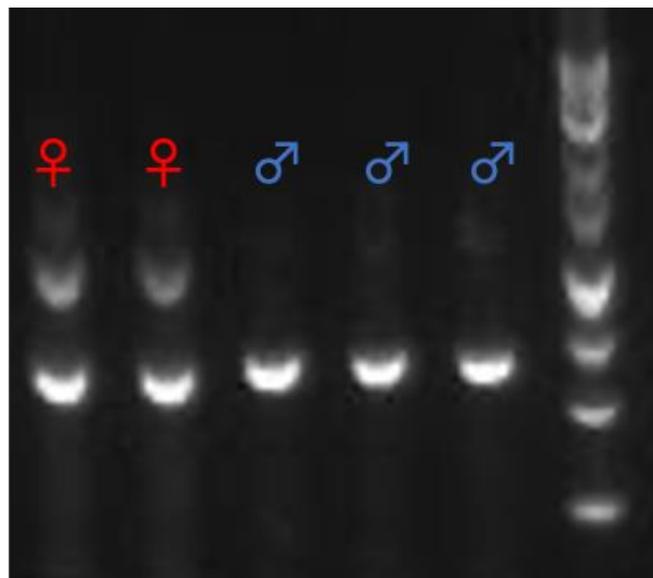


図 5. CHD 遺伝子の電気泳動結果の例. バンドが二本出た場合はメス. 一本出た場合はオスと判定した.

混合液をゲルのウェルに入れ, 50V で 50 分間電気泳動をおこなった. アガロースゲルに紫外光を照射してバンドの有無を確認した.

本種は雌ヘテロ型の性決定であるため, つまり, 雌の染色体構成が ZW (ヘテロ), 雄が ZZ (ホモ) であり, W 染色体上の CHD-W 遺伝子と Z 染色体上の CHD-Z 遺伝子とではイントロンの長さが異なる (Fridolfsson and Ellegren, 1999; 西海, 1999). バンドが 1 本 (650 bp 付近のみ; ホモ) であれば雄, 2 本 (650 bp 付近と 1,100 bp 付近; ヘテロ) であれば雌と判定した (図 5). 得られた結果から性比を算出し, 雄の比率が 50% と有意に異なるかを, 両側二項検定を用いて検討した.

マイクロサテライト解析

解析には Hausknecht *et al.* (2014) がヨーロッパの本種個体群の解析のために使用した 8 組の SSR プライマーを用いた。フォワードプライマーの 5'側に 4 種類のユニバーサル配列 (tail A-D) を付加し (Blacket *et al.*, 2012), リバースプライマーの 5'側にも PIG-tailing 配列を付加した (表 1)。これらのプライマーを用いて, Two-step Multiplex PCR 法により, SSR 断片を増幅した。1 回目の PCR では, 上記のプライマーペアを使用し, SSR 断片を増幅し, 2 回目の PCR では, 1 回目の PCR で増幅された SSR 断片の 5'側に蛍光色素付きアダプター配列を添加した。温度条件, サイクル数を以下に示す。

(first PCR)

95.0°C : 300 秒

95.0°C : 30 秒, 60.0°C : 90 秒, 72.0°C : 30 秒 25 サイクル

(second PCR)

95.0°C : 30 秒, 60.0°C : 90 秒, 72.0°C : 30 秒 10 サイクル

60.0°C : 30 秒

ABI Prism 3130 Analyzer (Applied Biosystems, Foster, CA) を用いて, PCR 反応物の電気泳動を行い, GeneMapper 4.1 (Applied Biosystems, Foster, CA) を用いて, 得られた PCR 産物の DNA フラグメントサイズを決定した。遺伝子座ごとの対立遺伝子から遺伝子型を特定し, GenAlEx 6.5 ソフトウェア (Peakall and Smouse, 2006) を用いて, アレル数 (A), ヘテロ接合度の観察値 (H_O), ヘテロ接合度の期待値 (H_E) を求めた。また,

遺伝距離による主座標分析 (PCoA) を行った。また, Fstat 2.9.4 ソフトウェア (Goudet, 1995) を用いて遺伝的多様性の指標としてアレル多様度 (A_R), Nei の遺伝的多様度 (H_S) を各年について計算し比較した。

表 1. フクロウのマイクロサテライト解析に用いた各遺伝子座の蛍光色素とプライマー, tail, PIGtailing の各配列.

遺伝子座 蛍光色素	配列(5'-3')	tail(A-D) PIGtailing
13D8 (FAM)	F : CTATATCATATCGTTGCTTCCA R : CATCTGCGGTACATCATATAA	A : GCCTCCCTCGCGCCA GTTTCTT
Oe128 (FAM)	F : CGTTGTAAATGATGAATCGCCTAGTGC R : ATGCATGTATACATACAAACCTGG	A : GCCTCCCTCGCGCCA GTTTCTT
Bb111 (VIC)	F : CTTTGTCAAGTTTTCCCTGTAG R : ATCAGTCAAGTCATCACCAATA	B : GCCTTGCCAGCCCGC GTTTCTT
15A6 (VIC)	F : ACCTCAGAAGCAGACAGAACC R : CCTTTGCGATTGCTGTAAC	B : GCCTTGCCAGCCCGC GTTTCTT
BooW18 (NED)	F : TTCTGCCTTACAGTCTAGT R : AAAAACCTATCTTTGTGAGT	C : CAGGACCAGGCTACCGTG GTTTCTT
BooW7 (NED)	F : ACATCAAAGATAGATAGATAG R : TCATAGCATAAAGTCCTA	C : CAGGACCAGGCTACCGTG GTTTCTT
Bb126 (PET)	F : TCTCCAGAAGGGTTGTCATC R : TGCTAAAACCTTACAGAATAACAG	D : CGGAGAGCCGAGAGGTG GTTTCTT
Oe045 (PET)	F : GTATGTTCTACGTTGGATTTCCA R : AAACCTGGCAAGTGCTGTT	D : CGGAGAGCCGAGAGGTG GTTTCTT

3. 結果と考察

大阪府南部におけるフクロウの繁殖状況

2016～2023年の繁殖確認地点数は11～17、巣立ち確認地点数は8～13、繁殖成功率は65～86%、平均巣立ち雛数は1.9～2.4であった（表2）。

繁殖状況の調査の結果、本調査地における本種の繁殖成功率（73%）はスロベニアにおける報告（80%、Vrezec, 2016）と同程度であった。また、平均巣立ち雛数（2.0）はフィンランドにおける報告（1.17～3.21、Pietiainen, 1989）の範囲内に収まっていた。このことから、2023年の繁殖状況はヨーロッパを含む他地域と同程度であったと考えられる。

表2. 2016～2022年の、フクロウの繁殖確認地点数、巣立ち確認地点数、繁殖成功率および平均巣立ち雛数。繁殖成功率は巣立ち確認地点数を繁殖確認地点数で除して百分率で表したものであり、平均巣立ち雛数は巣立ち雛数を巣立ち確認地点数で除したものである。

年	繁殖を確認した地点	巣立ちを確認した地点	繁殖成功率	標識雛数	平均巣立ち雛数
2023	11	8	73%	16	2.0
2022	15	12	80%	28	2.3
2021	17	11	65%	22	2.0
2020	17	13	76%	29	2.2
2019	14	12	86%	21	1.8
2018	13	11	85%	17	1.5
2017	11	8	73%	15	1.9
2016	12	9	75%	22	2.4

遺伝子解析による雛の性判定

CHD 遺伝子による性判定の結果、雄の割合は2016年43%、2017年59%、2018年43%、2019年60%、2020年50%、2021年62%、2022年34%、2023年53%で、どの年

の雛でも有意な性の偏りは認められなかった（表 3, 4）.

本種やその近縁種では餌条件が悪いときに雛の性比が雄に偏ることが確認されていることから（Brommer *et al.*, 2003; Appleby *et al.*, 1997），この 8 年間において，本調査地における親鳥の栄養状態に問題はなかったと考えられた.

表 3. CHD 遺伝子を用いたフクロウの性判定の結果. 2016~2023 年の間に各調査地点の巣箱および自然樹洞において巣立った雛について, 雄を青色, 雌を赤色, 判別できなかった雛を灰色 (「?」で表記) で色分けした.

巣箱No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
2016	♂	♂	♀	♀	?	♀	♀								♀	♂
2017	♂	♂	♀			♂	♂			♂	♂	♀			♀	♂
2018	♂	♂		♀	♀		♂					♀			♀	♂
2019	♂	♀	♀		♂			♂	?						♂	♀
2020	♂		♂	♂	♂				?		♂					♂
2021	♂	♂			♂			♂			♀	♂			♂	♀
2022	♂	♀	♀	♂	♀			♂	♀		♂				♀	♀
2023	♂	♂	♀							♂					♀	♂

巣箱No.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
2016		♂	♀													
2017		♂														
2018		♂	♀													
2019		♂	♂	♀		♂	♀	♂	♂							
2020	♂			♂	♀		♂	♀	♀	♀						
2021	♂	♀		♂	♂	?									♂	♀
2022	♂	♂						♀	♀							
2023	♀	♂			?			♀							♀	♂

表 4. 2016~2023 年におけるフクロウの性判別に利用した個体数, 雄の比率および両側二項検定の結果.

Year	<i>N</i>	% male	<i>P</i>
2016	21	42.9	0.66
2017	17	58.8	0.63
2018	14	42.9	0.79
2019	20	0.60	0.50
2020	26	0.50	1.00
2021	21	0.62	0.38
2022	28	0.34	0.14
2023	16	0.53	1.00
total	163	48.1	0.89

マイクロサテライト解析による遺伝的多様性

SSR では 7 遺伝子座で有効な増幅が見られ、それぞれで複数のアリルを確認したため、これらを多型遺伝子座とした (表 5)。遺伝子型は全ての個体で異なり、個体識別が可能であった。平均のヘテロ接合度の観察値 (H_o) は 0.53, 平均のヘテロ接合度の期待値 (H_E) は 0.54 であり、全ての多型遺伝子座でハーディーワインベルグ平衡からの逸脱は見られなかった ($p > 0.05$)。これらの結果から、これらの遺伝子座が本個体群の集団遺伝解析に適切な遺伝子マーカーであると判断した。

表 5. 2019~2021 年 4~6 月に大阪府南部と和歌山県北部で採集したフクロウのマイクロサテライト解析に用いた各遺伝子座の対立遺伝子数 (A), 配列の長さ (bp), ヘテロ接合度の期待値 (H_E), ヘテロ接合度の観察値 (H_o)。

遺伝子座	対立遺伝子数(N_A)	配列の長さ(bp)	ヘテロ接合度	
			期待値 (H_E)	観察値(H_o)
13D8	9	141-167	0.636	0.568
Bb111	2	222-224	0.125	0.139
BooW7	7	113-130	0.687	0.739
Bb126	2	167-195	0.146	0.076
Oe128	7	328-344	0.768	0.696
15A6	5	154-170	0.709	0.718
Oe045	9	208-212	0.725	0.754

2016 から 2023 年にかけての A_R は 4.7-5.4, H_S は 0.52-0.62 であった (図 6)。同じ遺伝子マーカーを使用した Hausknecht *et al.* (2014) におけるヨーロッパ全域の個体群の A_R は 4.5-7.7, H_S は 0.55-0.74 であった。本研究の A_R と H_S の値はヨーロッパ個体群の範囲に収まっており、大阪府南部における本種個体群の遺伝的多様性はヨーロッパと同

程度の高い値で推移していると考えられた。一方、2016-2020年まで見られていた2つのレアアレルが2021年以降には見られず、個体群からの消失が疑われた。

主座標分析では雛のプロットが地域ごとに集まらず、近縁な個体が別地域でも確認された(図7)。以上のことから、本種は大阪府南部を広く移動し、遺伝的交流が行われていると考えられた。また、雛の対立遺伝子の組み合わせから、2016~2023年の間に2回以上繁殖が行われ、各年の雛の遺伝子型の比較ができた17地点の巣箱の内、少なくとも10地点では年によって繁殖する親鳥ペアの一方または両方が1回以上置き換わっていると考えられた(図8)。

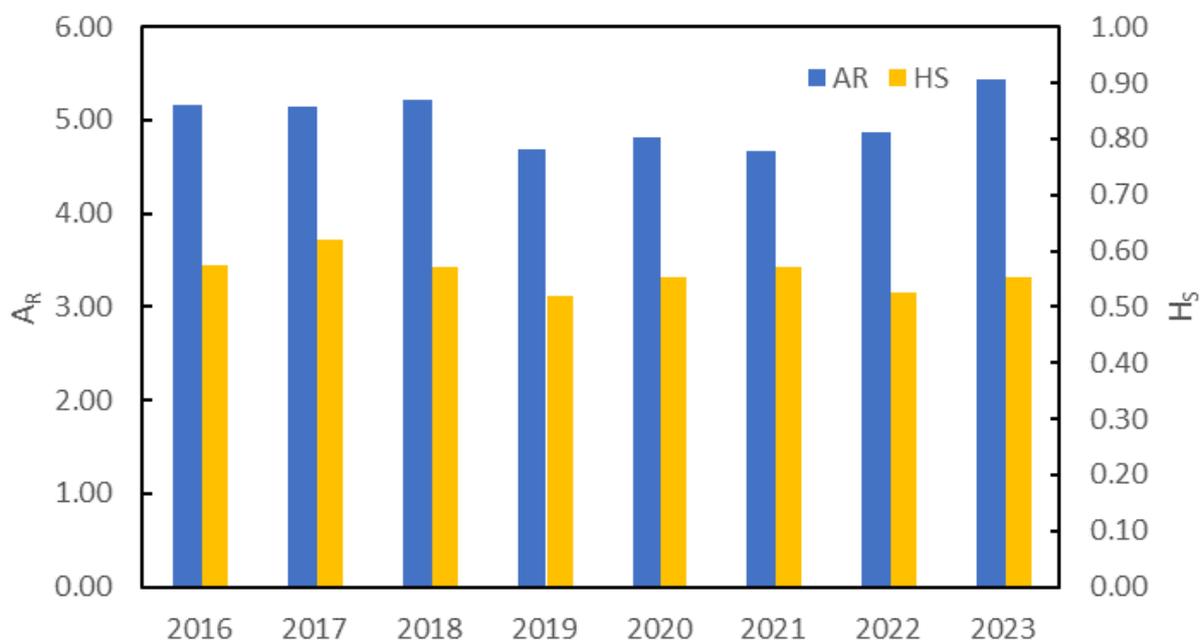


図6. 大阪府南部におけるフクロウ雛のアレル多様度(A_R)とNeiの遺伝的多様度(H_S)。

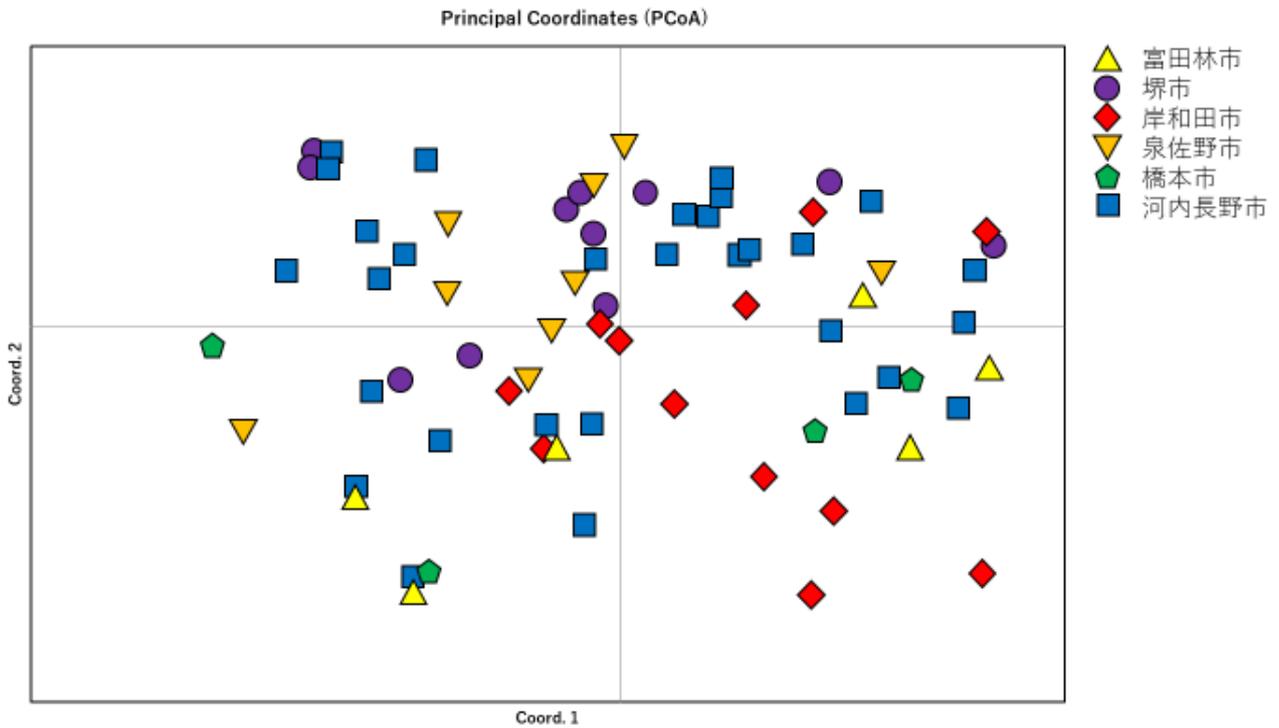


図 7. PCoA の結果. プロットは各個体を表し, プロット間の距離は個体間の遺伝距離を示す. 色はその個体が巣立った巣箱のある市町村を示す.

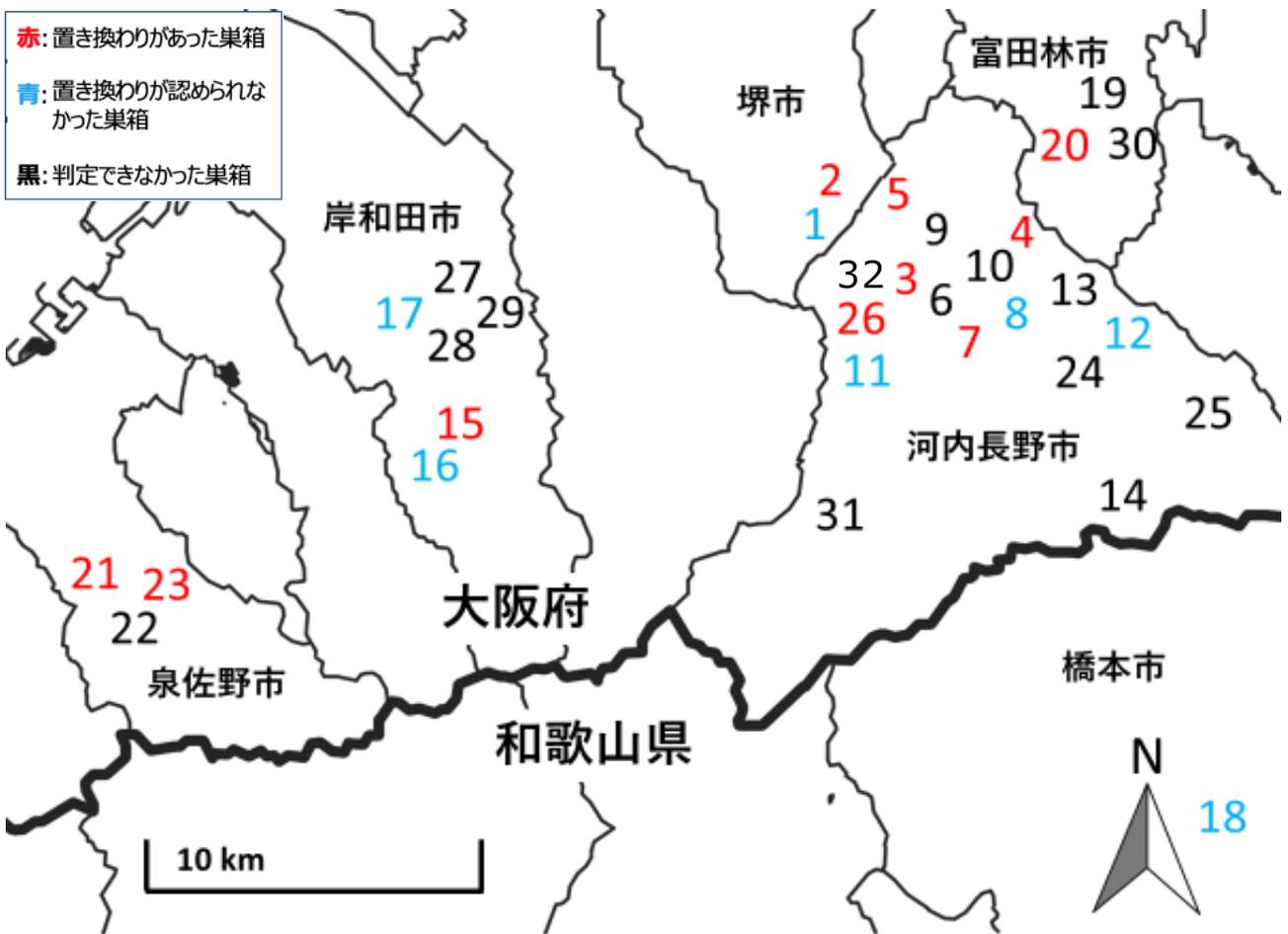


図 8. 2016~2023 年の間に, 営巣した親鳥ペアの少なくとも片親が一回以上置き換わっ

た地点(赤色). 青色は営巣した親鳥ペアの置き換わりが認められなかった地点(ただし置き換わりがないとは言い切れない).

本研究では, 大阪府南部における本種の繁殖状況と遺伝的多様性を調査した結果, 本種が巣箱を利用することで安定して繁殖しており, 地域間で遺伝的交流が頻繁に行われることで, 高い遺伝的多様性が保たれていることが明らかとなった.

4. 謝 辞

調査に御協力いただいた大阪公立大学の那須義次博士, きしわだ自然資料館の風間美穂氏, 岸和田丘陵地区整備課, 岸和田市都市整備課, 岸和田市水とみどり課, 環境ボランティア団体「シャープグリーンクラブ (SGC)」, 富田林の自然を守る会, 堺自然ふれあいの森, 堺市環境共生課, 大阪府営泉佐野丘陵緑地, 都市公園長野公園管理共同体の関係各位に深く感謝申し上げます.

5. 引用文献

- Appleby, B. M., S. J. Petty, J. K. Blakey, P. Rainey and D. W. MacDonald (1997). Does variation of sex ratio enhance reproductive success of offspring in tawny owls (*Strix aluco*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 264: 1111–1116.
- 青森県 (2022) 青森県レッドデータブック (2020年版). https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/kankyo/shizen/reddatabook_2020.html (2023年12月29日アクセス).
- Blackett, M. J., C. Robin, R. T. Good, S. F. Lee and A. D. Miller (2012) Universal primers for fluorescent labelling of PCR fragments—an efficient and cost-effective approach to genotyping by fluorescence. *Mol. Ecol. Resour.* 12: 456-463.
- Brommer, J. E., H. Pietiäinen and H. Kolunen (2002) Reproduction and survival in a variable environment: Ural owls (*Strix uralensis*) and the three-year vole cycle. *The Auk* 119: 544-550.
- Brommer, J. E., P. Karell, J. N. Painter, T. Pihlaja C. R. Primmer and H. Pietiäinen (2003) Ural owl sex allocation and parental investment under poor food conditions. *Oecologia* 137: 140-147.
- 千葉県 (2019) 千葉県レッドリスト動物編 (2019年改訂版). https://www.bdcchiba.jp/redlist_animal_2019 (2024年6月23日アクセス).
- Eriksson, D., A. Lundberg and B. Westman (1984) Estimating age of Ural owl nestlings from body part measurements. *Ann. Zool. Fennici* 21: 313-316.
- Frankham, R., J. D. Ballou and D. A. Briscoe (2002) Introduction to conservation genetics. Cambridge University Press, Cambridge.
- Fridolfsson, A. K. and H. Ellegren (1999) A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *J. Avian Biol.* 30: 116-121.
- Fujito, N. T., Z. R. Hanna, M. Levy-Sakin, R. C. Bowie, P. Y. Kwok, J. P. Dumbacher and J. D. Wall (2021) Genomic Variation and Recent Population Histories of Spotted (*Strix occidentalis*) and Barred (*Strix varia*) Owls. *GBE* 13. evab066.
- Funk, W. C., E. D. Forsman, M. Johnson, T. D. Mullins and S. M. Haig (2010) Evidence for recent population bottlenecks in northern spotted owls (*Strix occidentalis caurina*). *Conserv. Genet.* 11: 1013 - 1021.
- Furness, R. W. and J. J. D Greenwood (1993) Birds as a monitors of environmental change. Chapman and Hall, London.
- Goudet J (1995) FSTAT: A computer program to calculate F -statistics, version 1.2. *Journal of Heredity* 86, 485–486.
- Graciá, E., J. Ortego, J. A. Godoy, J. M. Pérez-García, G. Blanco, M. d. M. Delgado, V. Penteriani, I. Almodóvar, F. Botella and J. A. Sánchez-Zapata (2015) Genetic signatures of demographic changes in an avian top predator during the last century: Bottlenecks

- and expansions of the Eurasian Eagle Owl in the Iberian Peninsula. *PloS one* 10: e0133954.
- Hausknecht, R., S. Jacobs, J. Müller, R. Zink, H. Frey, R. Solheim, A. Vrezec, A. Kristin, J. Mihok, I. Kergalve, P. Saurola and R. Kuehn (2014) Phylogeographic analysis and genetic cluster recognition for the conservation of Ural owls (*Strix uralensis*) in Europe. *J. Ornithol.* 155: 121-134.
- 樋口垂紀・阿部 學 (2001) 飼育下のフクロウ *Strix uralensis* のエネルギー収支. 日本鳥学会誌, 50(1), 25-30.
- Horníček, J., P. Menclová, A. Popelková, D. Rymešová, M. Zárybnická, J. Bryja and J. Svobodová (2017) Microsatellite analysis detects low rate of extra-pair paternity in Tengmalm's owl, *Aegolius funereus*. *J. Vertebrate Biol.* 66: 22-28.
- Hull, J. M., J. J. Keane, W. K. Savage, S. A. Godwin, J. A. Shafer, E. P. Jepsen, R. Gerhardt, C. Stermer and H. B. Ernest (2010) Range-wide genetic differentiation among North American great gray owls (*Strix nebulosa*) reveals a distinct lineage restricted to the Sierra Nevada, California. *Mol. Phylogenet. Evol.* 56: 212-221.
- IUCN (2016) The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/species/22689108/199908915> (2024年6月23日アクセス).
- 環境省 (2020) 環境省レッドリスト 2020. <http://www.env.go.jp/press/107905.html> (2024年6月23日アクセス).
- 風間辰男 (1974) フクロウの生態に関する知見と人工飼育による孵化について. 山階鳥類研究所 7: 333-349.
- König, C. and R. Weick (2008) *Owls of the world* (2nd ed.). Christopher Helm Publishers, London, UK.
- Lõhmus, A. (2003) Do Ural owls (*Strix uralensis*) suffer from the lack of nest sites in managed forests?. *Biol. Conserv.* 110: 1-9.
- 長井和哉 (2008) 希少猛禽類サシバにおける分子生態学的研究 (博士学位論文). 東京大学, 東京.
- 西海 功 (1999) 鳥類の性配分に関する研究と DNA による性判定. 日鳥学誌 48: 83-100.
- 岡山県 (2020) 岡山県版レッドデータブック 2020. <https://www.pref.okayama.jp/page/656841.html> (2024年6月23日アクセス).
- Omote, K., C. Nishida, T. Takenaka and R. Masuda (2012) Temporal Changes of Genetic Population Structure and Diversity in the Endangered Blakiston's Fish Owl (*Bubo blakistoni*) on Hokkaido Island, Japan, Revealed by Microsatellite Analysis. *Zool. Sci.* 29: 299-304.
- 大阪府 (2014) 大阪府における保護上重要な野生生物レッドリスト. <http://www.pref.osaka.lg.jp/midori/tayouseipartner/redlist.html> (2024年6月23日アクセス).
- Peakall, R. and P. E. Smouse (2006) GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population

- genetic software for teaching and research. *Mol. Ecol. Notes* 6: 288-295.
- Pietiainen, H. (1989) Seasonal and individual variation in the production of offspring in the Ural owl *Strix uralensis*. *The Journal of Animal Ecology*, 58(3), 905-920.
- Roberge, J. M. and P. E. R. Angelstam (2004). Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conserv. biol.* 18: 76–85.
- Saladin, V., M. Ritschard, A. Roulin, P. Bize and H. Richner (2007) Analysis of genetic parentage in the tawny owl (*Strix aluco*) reveals extra-pair paternity is low. *J. Ornithol.* 148: 113-116.
- 白石浩隆・北原正彦 (2007) 富士山北麓における人工巣を利用したフクロウの繁殖生態と給餌食物の調査. *富士山研究* 1: 17-23.
- 東京都 (2023) 東京都レッドデータブック (本土部) 2023 .
https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/nature/animals_plants/red_data_book/400100a20230424184941875.html (2024年6月23日アクセス)
- 植田睦之 (2014) 温度ロガーをもちいたヤマガラ繁殖時期のモニタリング. *Bird Research* 10: F21-F25.
- Vrezec, A. (2016) The ecology of the Ural Owl at south-western border of its distribution (Slovenia). *Raptors Conserv.* 32, 455-459.
- 和歌山県 (2022) 和歌山県レッドデータブック「2022年改訂版」.
<https://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/032000/032500/yasei/reddata.html> (2024年6月23日アクセス).
- 山形県 (2015) 山形県第2次レッドリスト (鳥類, 昆虫類) について (2015年度改訂版) . https://www.pref.yamagata.jp/050011/kurashi/shizen/seibutsu/yamagata_red_list2013/yamagata_red_list2015.html (2024年6月23日アクセス).

西表島・浦内川における希少魚類のモニタリング

特定非営利活動法人西表島エコリズム協会

沖縄県

【活動の背景と目的】

沖縄県・西表島に流れる浦内川は、主流長がわずか 20km でありながら、環境省指定の絶滅危惧種（ⅠA～Ⅱ類まで）に指定されている魚類が 40 種以上確認されている。中には国内では浦内川のみで生息する魚類も何種か含まれ、国内でも屈指の魚類の多様性を誇る川である。源流部から海に流れ出るまでの間、まったく人口の堤防が築かれていない稀に見る豊かな環境を誇る川だが、地球温暖化の影響や観光客の増加等によって、その環境が変化していくことが懸念されている。

西表島エコリズム協会では、2015 年より浦内川の中流域（淡水域）において、希少魚類 6 種のモニタリング（個体数調査）を実施している。本活動では、長期にわたってモニタリングを継続し、環境の変化を察知することで、豊かな浦内川の保全に貢献することを目的とする。

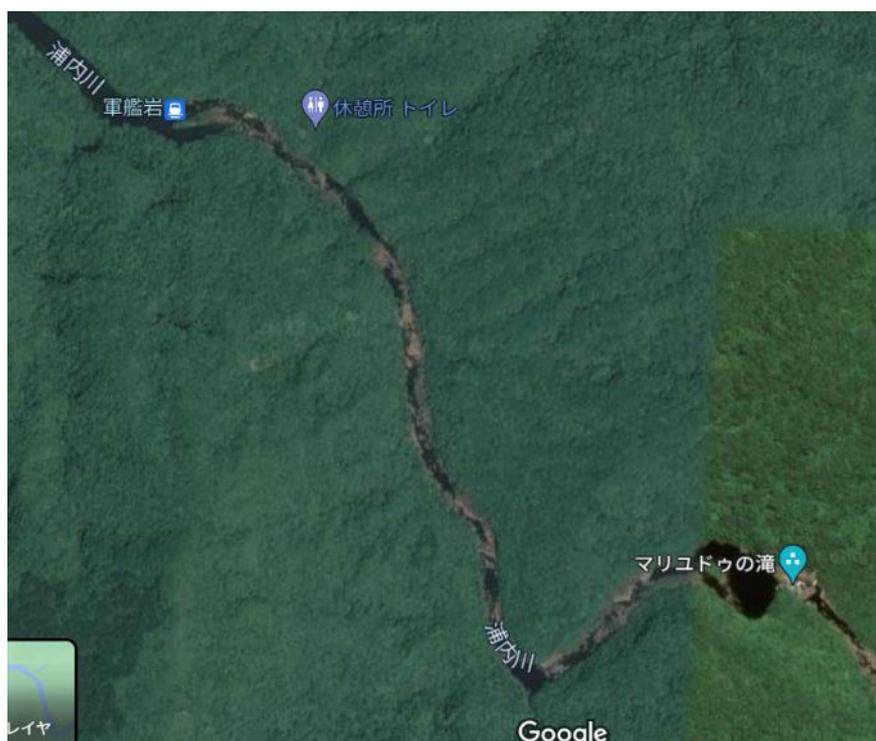
【実施概要】

（1） 調査内容

浦内川における希少魚類 6 種の個体数調査

（2） 調査エリア

浦内川中流域・マリユドゥ滝下から軍艦岩まで
淵ごとに 11 の調査区分を設置





(3) 調査方法

対象魚 6 種の個体数をスキンドайビングによりカウントする。また、可能な限り対象魚の静止画、動画の撮影をし、記録をのこす。調査は水温の変化に合わせて年に 3 回実施する。

(4) 調査対象魚

- ・カワボラ (CR)
- ・ウラウチフエダイ (CR)
- ・ヨコシマイサキ (CR)
- ・ニセシマイサキ (CR)
- ・シミズシマイサキ (CR)
- ・ナガレフウライボラ (EN)

※環境省レッドリストにおいて、CRは絶滅危惧 I A 類、ENは絶滅危惧 I B 類

カワボラ



全長約50cm 鈴木撮影

ウラウチフエダイ



全長約20cm 笠井撮影

ヨコシマイサキ



全長約35cm 笠井撮影

ニセシマイサキ



全長約20cm 笠井撮影

シミズシマイサキ



全長約15cm 笠井撮影

ナガレフウライボラ



全長約45cm 笠井撮影

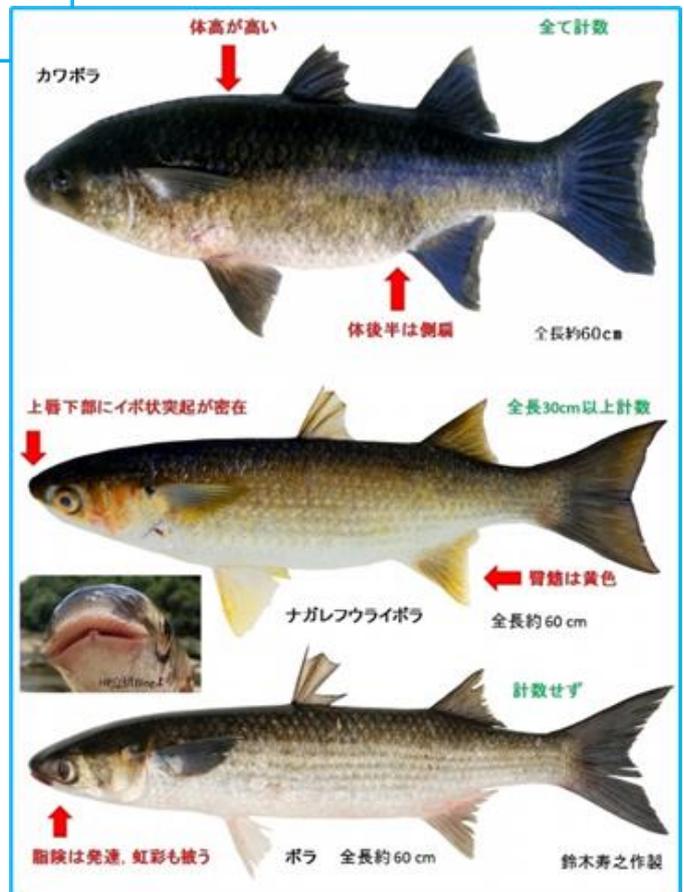
(5) 実施体制

調査員：地域のダイビングガイド、西表島エコツアーリズム協会職員

調査統括：西表島エコツアーリズム協会事務局

アドバイザー：魚類専門家

参考：魚種同定のための資料



【実施結果】

全3回の調査を実施した。（夏季：9月、冬季：2月、春季：4月）

※2022中に3回の調査を予定していたが、2022年は年間を通して降水量が非常に多く（年間平均降水量 2240 mmに対し、2022年の年間降水量 3642mm）、調査に適さないコンディションが続いたため、2023年度以降の実施となった。

（1）第1回調査

実施日時：2023年9月28日 9:30～13:00

天候：晴れ 気温：31℃ 水温：27℃ 水量：ふつう 透明度：良好

調査員：7名

調査結果（確認個体数）※公表不可、取扱注意

- ・カワボラ (■)
- ・ウラウチフエダイ (■)
- ・ヨコシマイサキ (■)
- ・ニセシマイサキ (■)
- ・シミズシマイサキ (■)
- ・ナガレフウライボラ (■)

特記事項等

- カワボラは複数人が確認。9区域内を遊泳。
- ナガレフウライボラ、ウラウチフエダイが少なめ。まだ水温が高いため、調査区域よりさらに下流に移動していると予想。
- ヨコシマイサキ、シミズシマイサキは確認できず。

調査のようす



(2) 第2回調査

実施日時：2024年2月22日 9:00~12:00

天候：晴れ 気温：26℃ 水温：22℃ 水量：やや多め 透明度：良好

調査員：5名

調査結果（確認個体数）※公表不可、取扱注意

- ・カワボラ (■)
- ・ウラウチフエダイ (■)
- ・ヨコシマイサキ (■)
- ・ニセシマイサキ (■)
- ・シミズシマイサキ (■)
- ・ナガレフウライボラ (■)

調査のようす



(3) 第3回調査

実施日時：2024年4月22日 9:30~13:00

天候：晴れ 気温：24℃ 水温：27℃ 水量：やや多め 透明度：やや不良

調査員：5名

調査結果（確認個体数）※公表不可、取扱注意

- ・カワボラ (■)
- ・ウラウチフエダイ (■)
- ・ヨコシマイサキ (■)
- ・ニセシマイサキ (■)
- ・シミズシマイサキ (■)
- ・ナガレフウライボラ (■)

特記事項等

○数日前の降雨の影響か、透明度や予想以上に悪く、全体的に魚も少なかった。

調査のようす



【結果考察】

3回の調査で、6種の対象魚の内、カワボラ、ナガレフウライボラについては、安定的に一定数の個体を確認できたが、ヨコシマイサキ、シミズシマイサキについては、個体が全く確認できない回もあった。

調査区域の周辺環境については、人工物の設置や観光利用の増加などは見られず、特に大きな変化は見られない。気になる点としては、2024年冬季（2月）調査時の水温が22℃と非常に高く、2016年に調査を開始して以来、初めて冬季に20℃を下回らなかった。西表島の周辺海域では、近年、特に夏季の水温が高い状態が続いており、サンゴの白化によるサンゴ礁の減少が進んでいる。今後、そういった要因により海域の生態系が変化していくと、生息する魚類のほとんどが両側回遊魚である浦内川の生態系も変化する可能性がある。

【課題】

西表島は年間を通して降雨量が多く、雨が降るとすぐに大量の雨水が浦内川にも流れ込む。そのため水量や透明度の変化が大きく、調査を実施できるコンディションが限られてくる。現在、この調査は、地元在住のダイビングガイドを調査員としており、本業の傍らで協力いただいているため、コンディションの良いタイミングで、調査員を収集することが難しいことも多々ある。今後、調査を継続していくためには、調査員を育成して増やす必要があると考えている。

【展望】

今後も、年3回程度の調査を継続し、対象魚の個体数の変化を調べることにより、浦内川の環境が良好に保たれているか見守っていきたいと考えている。

調査の開始時から定期的に専門家のアドバイスを受けているが、最近、専門家がカワボラの近似種の存在の可能性について言及をしていた。今後の調査では、その可能性も視野に入れ、これまでのスキンドайビングでの遊泳調査に加え、一部区域でのスクーバダイビングでの調査も行いたいと考えている。また、個体確認の可能性を増やすために、写真での記録に加え、動画での記録も行っていきたい。

また、本調査を始めるきっかけとなった、2015年の竹富町による緊急時水道導水管の敷設については、管理体制等に課題を抱えており、未だ改善が見られない。協会としては、本調査の結果も共有しつつ、環境への負荷を低減する形態への改善を要求していきたいと考えている。

鳥類による種子散布の変動と異常気象の関連について (最終報告)

大河原恭祐

石川県

1. はじめに

果実食性の鳥は液果植物種の果実を捕食し、排泄物や吐き出し物を介してその種子を散布する、被食型種子散布を行う。この鳥による種子散布では複数の鳥種が複数の植物種の果実を捕食するため、鳥群集と植物群集との間に種子散布を通じた共生系ネットワークが構築される。温帯域では秋にツグミ類やヒタキ類などの果実食性の渡り鳥が南下するが、この時期に結実する多くの果実を捕食し、その種子を散布している。日本では主に日本海側の沿岸部がこうした渡り鳥の移動ルートになっており、北陸地方でも秋から初冬にかけて多くの果実食の渡り鳥が飛来する。そのため、その渡り鳥群集と植物群集の間には共生系ネットワークが成立していると考えられる。

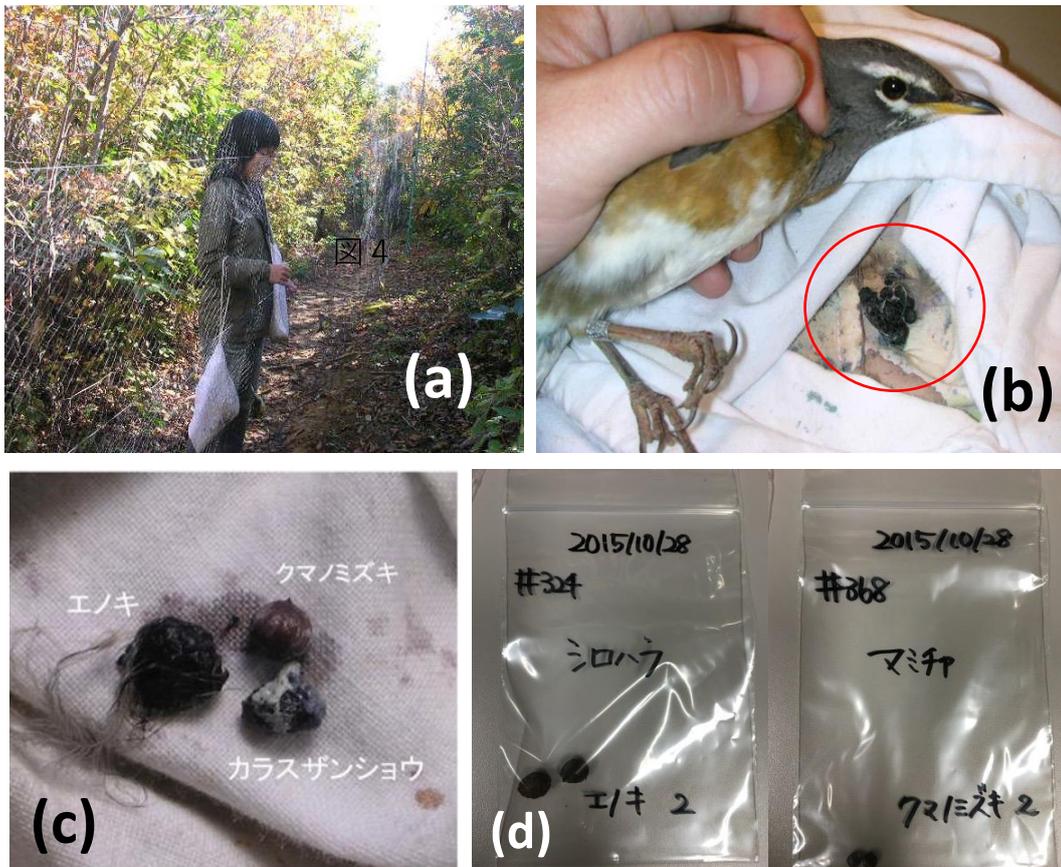


図1 渡り鳥の捕獲と排泄物からの種子採集 (a) かすみ網による鳥の捕獲、(b)捕獲した個体と保管袋中の排泄物、(c) 排泄物に含まれていた種子、(d) 採集された種子サンプル

筆者は 2005 年から福井県越前町の織田山鳥類観測ステーションで秋に行われている渡り鳥の標識調査を利用し、捕獲された果実食性種の排泄物を採集、その種子散布動態を観察してきた（図 1）。またステーション周辺の森林の果実の結実状況も同時に観察し、鳥の飛来状況や成熟果実の密度が鳥散布の動態、特に鳥散布ネットワークにどのような影響を与えるかを調べてきた。2005 年から 2016 年までの長期データから、液果植物種の結実木数や果実の結実量は 1 年周期で増減を繰り返す明確な周期性を示した（図 2）。

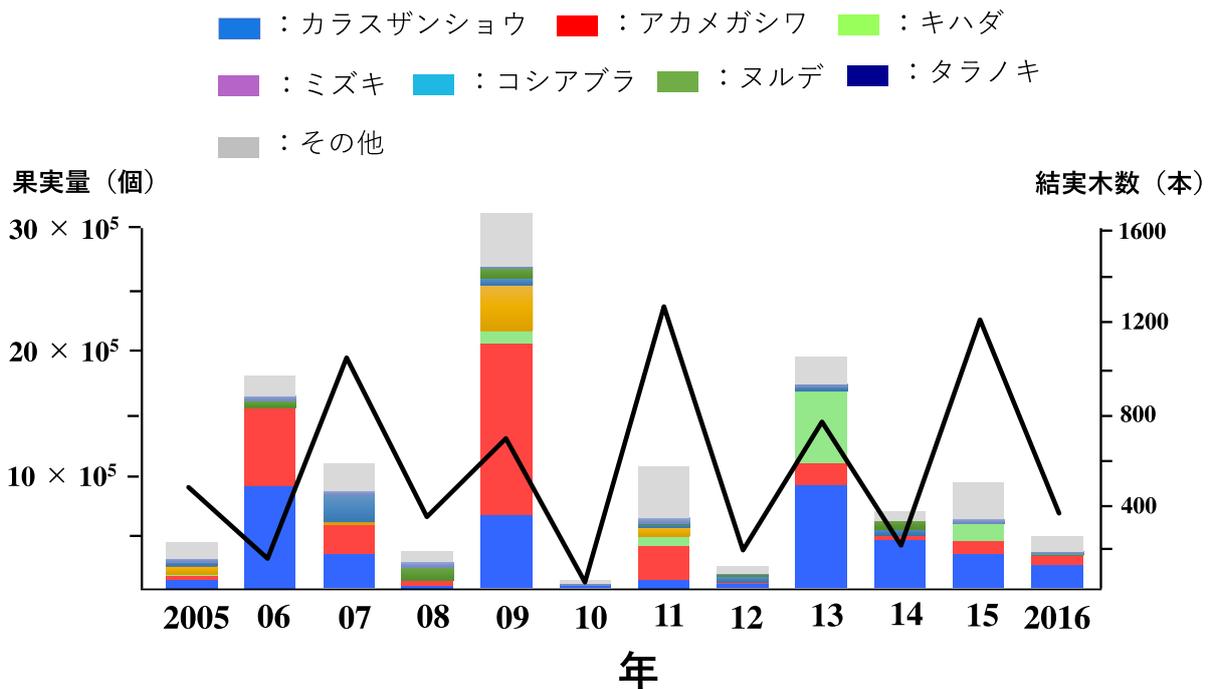


図2 2005年～2016年の織田山ステーション周辺の森林における液果植物の結実木数（折れ線グラフ）と果実量（棒グラフ）。結実状況は1年ごとに増減する周期性を示した。

主な散布種はツグミ属のシロハラ *Turdus pallidus*、 マミチャジナイ *T. obscurus*、 メジロ属のメジロ *Zosterops japonicus* の 3 種であり、飛来する渡り鳥の個体数も年によって変動していたが、果実量と渡り鳥の個体数、種構成によって調査を行った 12 年は 3 つのグループ（FA: 鳥飛来数、果実量とも多い；FP: 鳥飛来数は多いが、果実量が少ない；BP: 鳥の飛来数が少ない）に分類された（図 3）。通年、鳥散布ネットワークの構造は、2 者間のネットワークでは安定的な構造とされる入れ子型構造を呈していたが、3 グループ間で詳細な構造には違いが見られ、FP グループでは高い入れ子型構造を示したが、FA グループでは対照的なモジュラー型構造度が高くなっていた（図 4）。これは果実量が多い年では主要散布種のシロハラ、マミチャジナイの 2 種が果実に対して選好性を示すためと考えられる（Ohkawara et al. 2022a）。またメジロは採餌効率が高い数種の果実、タラノキ *Aralia elata* やカラスザンショウ *Zanthoxylum ailanthoides* に対

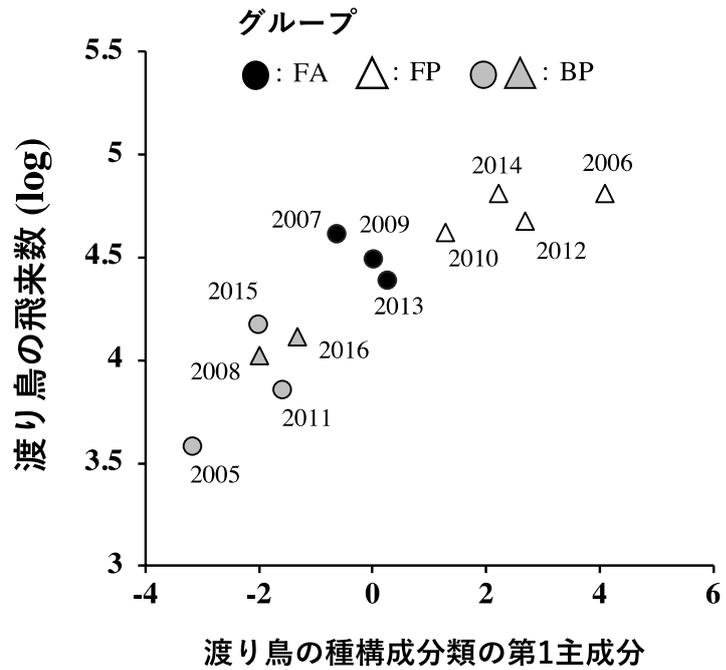


図3 主要種子散布種3種(右図)と、渡り鳥の飛来数と種構成に基づいた各年の分類。種構成は主成分分析によって分類し、その第1主成分を使用した。2005年～2016年の12年は3グループ(FA、FP、BP)に分類された。丸(●)と三角(△)は果実量の多かった年と少なかった年を示す。

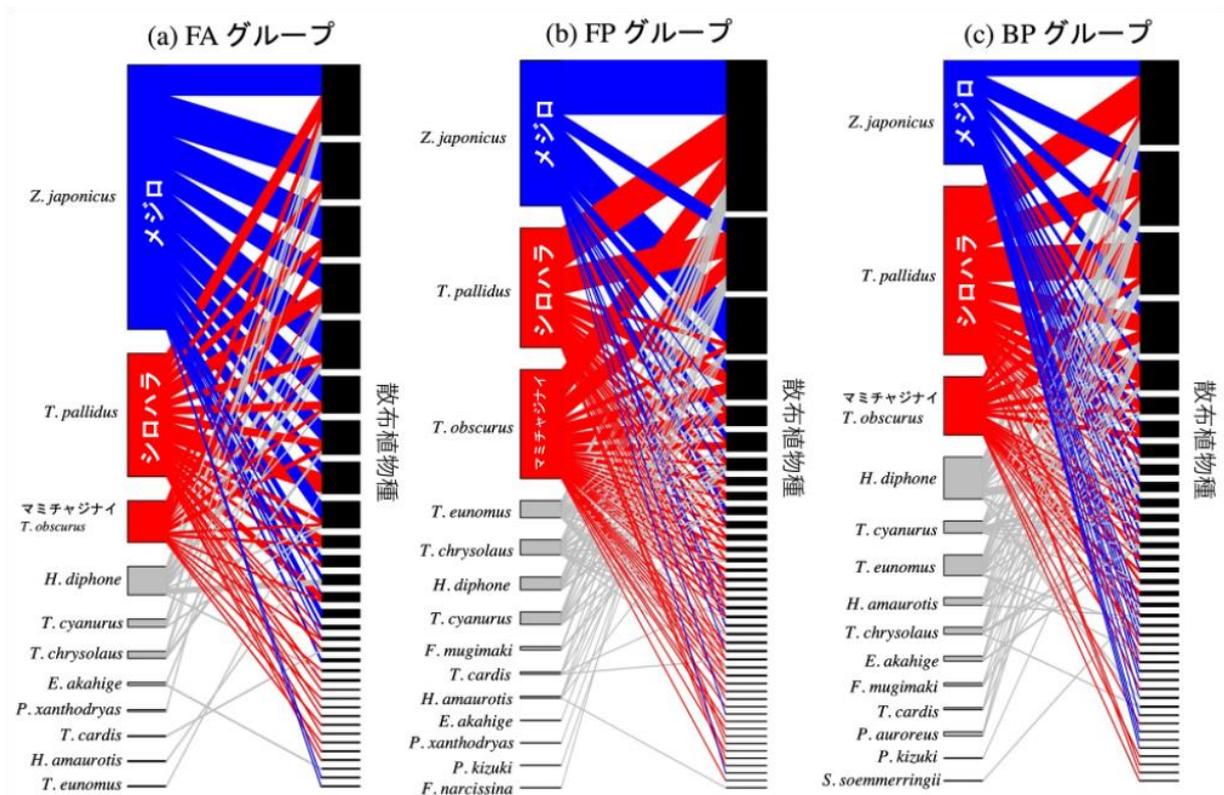


図4 2005年～2016年の12年を分類した3グループ(FA、FP、BP)の鳥散布ネットワーク図。Ohkawara et al. (2022)を改図。FPグループは特に入れ子型構造が発達していた。

して特異異的な捕食と散布を行っていることも示された（Kamei & Ohkawara 2022）。また他にも稀な渡り鳥が種子散布種として機能していることも確認されている（Ohkawara et al. 2022b）。

このように北陸地方の渡り鳥の鳥散布ネットワークの構造や特徴は果実の結実量と各鳥種の捕食行動に依存して変化することが示唆された。しかし2017年以降、日本の気象条件に急激な変化が起きている。織田山ステーションのある福井県でも、夏期の平均気温が極端に上昇し、また台風の増加による秋の降水量も増加している。本来、気象条件は鳥の渡りルートや飛来数と深く関連しており、また果実の結実も気象条件に左右されやすい。そのためこうした極端な気象変化は、北陸地方の渡り鳥の飛来状況や果実の結実状況に大きな影響を与え、それに伴って鳥散布ネットワークの構造や特徴にも本来無かった変化が起きていることが予測される。鳥散布ネットワークが不安定化、あるいはネットワークとしての機能が消失する可能性も考えられる。

本研究は2017年以降実施しているこの鳥散布動態の長期モニタリングを、さらに2022～2023年も継続、異常気象が鳥散布ネットワークの構造や特徴、また生態系に与える影響を解析、明らかにすることを目的としている。

2. 研究方法

調査地

調査は福井県丹生郡越前町笈松の織田山鳥類観測一級ステーション（北緯35度58分、東経136度1分、標高約500m、図5）とその周辺の森林にて行った。織田山は日本海に面して位置する丹生山地の一部で、森林植生は落葉広葉樹林とスギ林から構成されている。山の尾根と林道沿いには広



図5 調査地である福井県越前町の織田山鳥類観測一級ステーション。作業所と捕獲用の網場からなる

葉樹林が、斜面の大部分にはスギ・ヒノキ人工林が分布していた。広葉樹林は主にミズナラ *Quercus crispula*、ヤマモミジ *Acer palmatum var. matsumurae*、ブナ *Fagus crenat*、リョウブ *Clethra barbinervis* などの種が優占していた。

織田山鳥類観測一級ステーションは環境省から指定されている標識調査用の捕獲地で山階鳥類研究所によって管理されている。作業所から 20 m 程度離れた山の尾根部に森や藪を刈り取って作成した林道状の網場があり、標識調査時には列状にかすみ網が設置される（図 5）。

調査方法

気象データについて

調査地の気象条件は気象庁のアメダスデータを使用した。織田山鳥類観測一級ステーションにもっとも近い福井県越廼と福井市の観測地点について（図 6）、2005 年から 2023 年にかけての年間平均気温と平均日照時間のデータを使用した（気象庁 2023）。



図6 調査地である織田山1級ステーションと気象データを使用したアメダス観測地点(越廼、福井)の位置

渡り鳥の動態と排泄物調査

各年の渡り鳥の飛来数と種構成、種子散布の動態を調べるため、鳥個体の捕獲と排泄物採集調査を行った。織田山鳥類観測一級ステーションでは毎年 10 月中旬から 11 月初旬にかけての約 3 週間に標識調査が行われ、2022 年は 10 月 16 日から 11 月 7 日にかけて行われた。調査地に 6 列、約 50 枚の網が設置され、網 1 枚は幅約 12 m、高さ約 1.8 m、網目は ATX (36 メッシュ) と CTX (61 メッシュ) の 2 種類を混在して使用されている。朝 6:00 に開網し、スピーカーと CD プレーヤーで誘引の鳥の囀りの音声を流した。1 時間ごとに全ての網を点検し、捕獲されている鳥個体を網から外し、布製の袋 (40 cm × 30 cm) に保管した。捕獲個体は作業所に持ち帰り、20 分程度保管した後、各個体を袋から取り出し、標識用リングを右脚に装着、種、性別、齢を確認した後、放鳥した。この捕獲は 12:00 まで行った。この標識調査期間中に捕獲された全鳥個体の数と種構成を鳥の飛来数データとした。

捕獲個体が保管されていた袋内を調べ、排泄物や吐き出し物を採取した。採取物はサンプルとして紙袋に入れ常温で保管した。この排泄物採集は特に種子散布種のグループであるツグミ科やヒタキ科、ムシクイ科、メジロ科、ヒヨドリ科、キツツキ科の種を対象とし、標識調査期間中ののべ 5 日間行った。採集サンプルは 3 日以上風乾させた後、実体顕微鏡下で内容物をチェックし、種子をソーティング、各鳥種、各個体の種子運搬の頻度と

運搬植物種の構成を調べた。

果実量のセンサス調査

野外の液果植物の結実状況と果実量を調べるため、ステーション周辺の液果植物種の果実量を調べるセンサス調査を行った。ステーションの網場内（約660 m）とステーション周辺の森林地帯の林道（1450-2500m）にセンサスルートを設定し（図7）、そこを歩行し道から左右5 m以内にあった結実木を双眼鏡で探索、その種類と本数、各木の果実数もカウントする。この調査は結実時期である10～11月にかけて行った。

また果実植物群集の種構成を比較するため、各年の果実植物の種と果実量をもとに主成分分析を行った。果実群集の特徴によって各年を3つのグループに分類した。

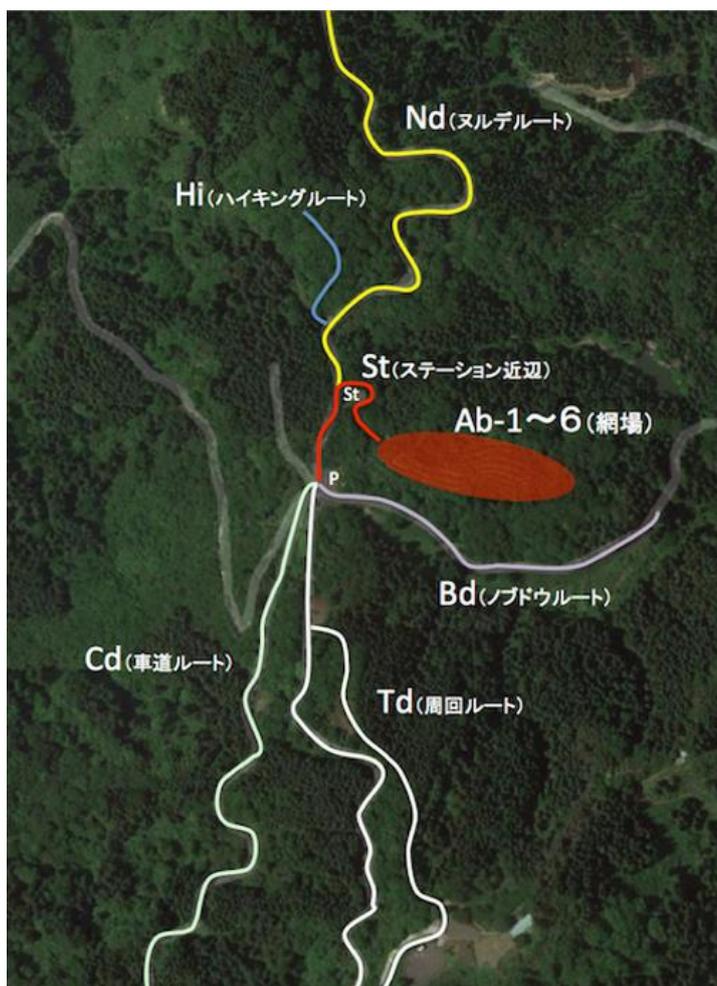


図7 織田山ステーション周辺の森林に設定した果実量センサス用のルート

3. 結果

気象条件について

2005年から2023年までの調査地点近隣の2地点の気象データを検討した。図8に示したように、2005年から年間の平均気温、日照量共に上昇、増加しており、特に2017年以降はそれは顕著であった。また2023年は平均気温と日照時間ともに過去19年で最大の値を示していた。すなわち近年は気温の高い日が増加し、また雨の日が少なく乾燥した日が増加していた。

果実の結実状況について

2023年の秋に行った果実量のセンサスでは33種537本の結実個体を確

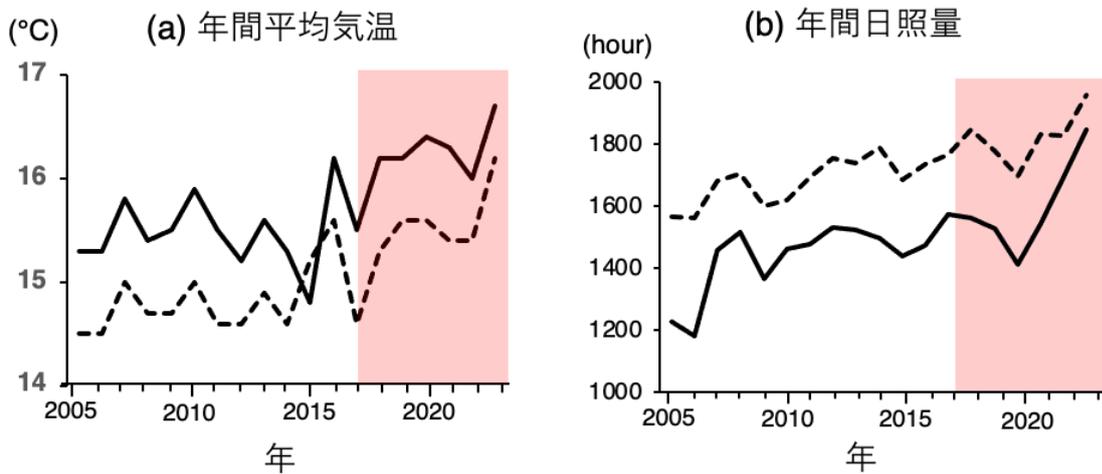


図8 調査地の気象条件の変化。越前町越廼(実線)と福井市(点線)のアメダスデータを使用した

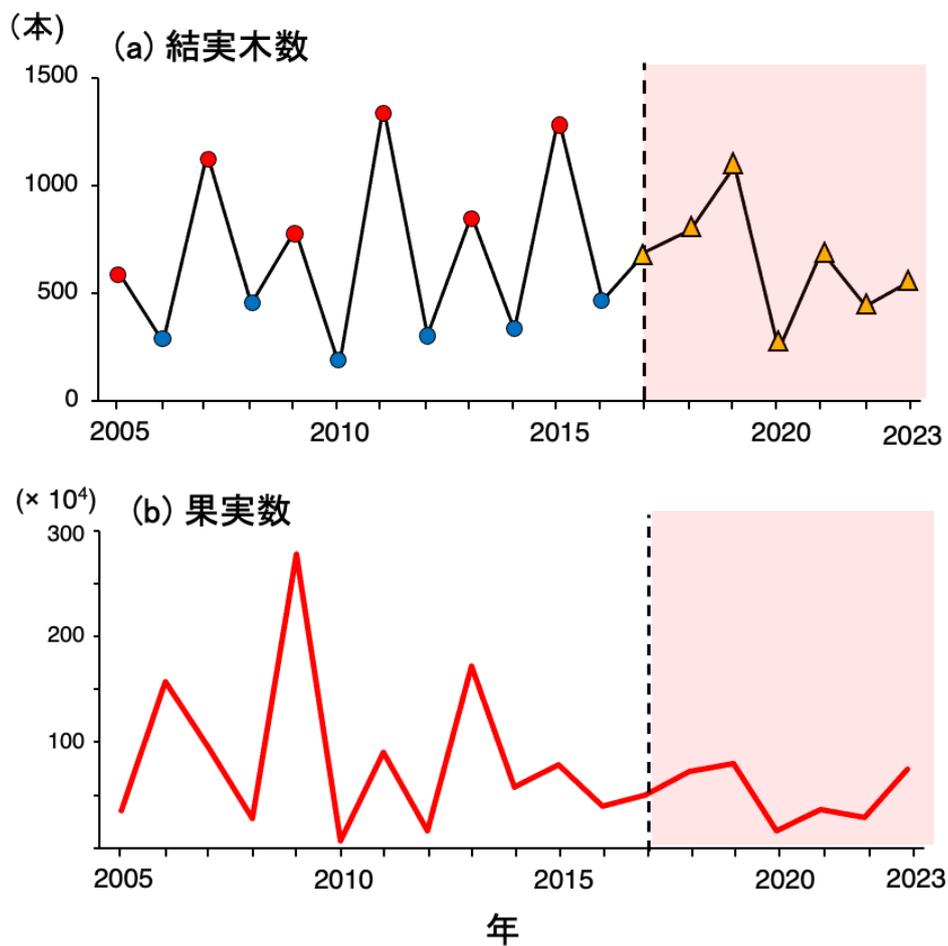


図9 2005年から2023年にかけての結実木数と結実量の年間変化

認し、カウントした果実は総数 741149 個であった。結実木数が多かったのは木本種では、エゾユズリハ *Daphniphyllum macropodum* subsp. *humile* (N=140)、ナツハゼ *Vaccinium oldhamii* (N=85)、タンナサワフタギ *Symplocos coreana* (N=50)、サルトリイバラ *Smilax china* (N=40)であった。また特に果実数が多かった種はアズキナシ *Aria alnifolia* (果実総数:263706)、キハダ

Phellodendron amurense (果実総数:209242)、ヒサカキ *Eurya japonica* var. *japonica* (果実総数:54318) などであり、昨年とは異なる種の結実木数、果実数が増加していた。図9に示したように2017年以降の果実数の周期性は消失したままで、2016年以前のような果実数が極端に多い年や少ない年がなくなり、果実数は少ないまま安定する傾向にあった。また結実状況から2016年以前は結実木数、果実数が多い年(赤丸:豊作年グループ)とそれが少ない年(青丸:不作年グループ)に分かれ、またその周期性が失われた2017年~2023年(黄色三角:2017年以降グループ)に分類された。

さらに植物種の種構成と各種の果実数をもとに各年の植物群集を主成分分析で分類したところ、2016年までの植物群集は第1主成分によって分けられ(図10a)、また2017年~2023年の群集は第2主成分によって分けられ、これら分類は図9の果実量の変動と一致していた。特に2017年以降は木本種に対し、草本種やつる植物種などの個体あたりの結実数が少ない植物種によって特徴づけられていた(図10b)。

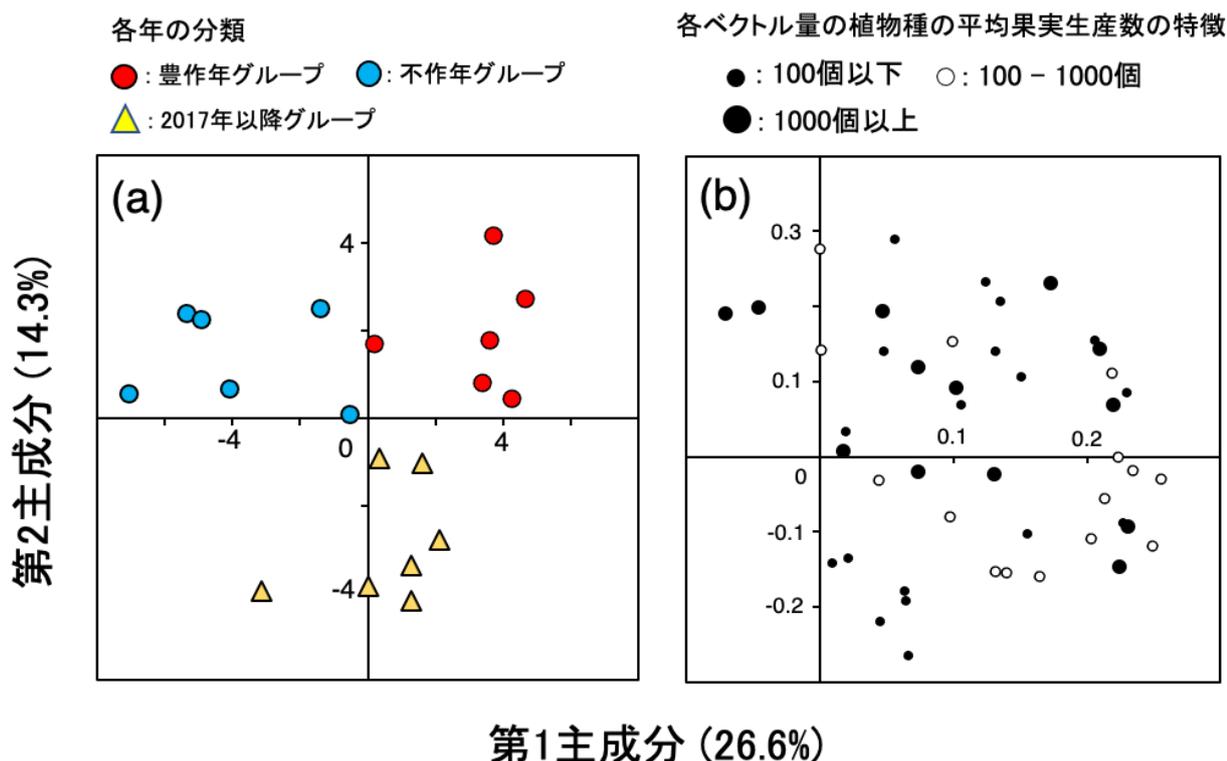


図10 種構成と果実量とに基づいた主成分分析による(a) 植物群集の分類と(b) 主成分ベクトル

図10に示したように2017年~2023年の植物群集構成は主成分分析の第2主成分によって2005年~2016年までの群集構成と明確に分類された。この分類と気象条件との関係を解析したところ、越廼と福井で記録された年間の平均気温と平均日照量は、植物群集の主成分分析の第2主成分といずれも有意な回帰関係がみられた(図11)。

それら気象条件は第2主成分と負の回帰関係を示し、平均気温の上昇と日照量の増加と共に2017年～2023年の植物群集構成それ以前より明確に分類された。これらのことは年間の気温が上昇し、さらに日照量が増加、乾燥したことによって2017年以降に植物群集の構成が変化したことを示唆している。

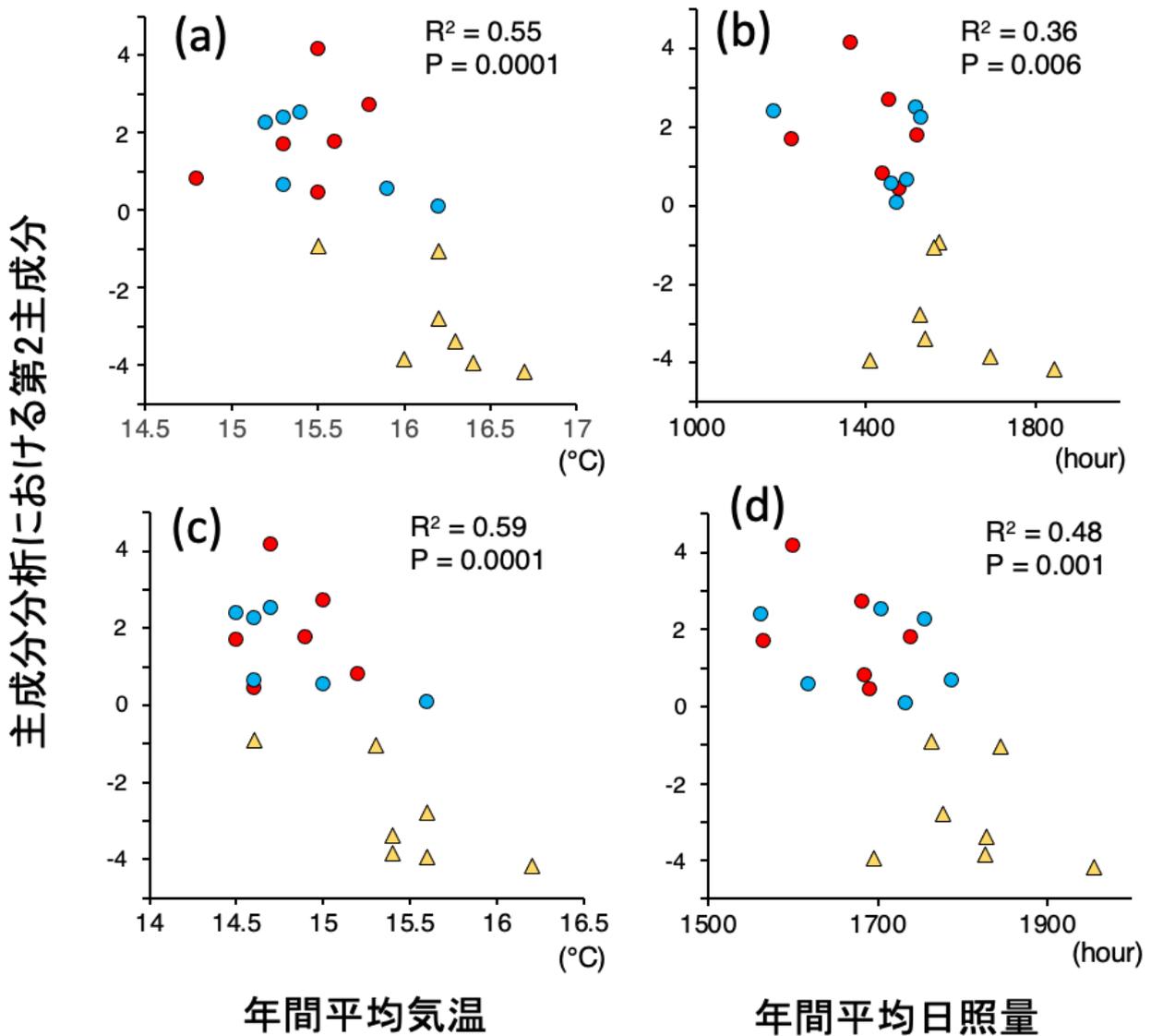


図11 調査地近辺の気象条件と植物群集の主成分分析における第2主成分との回帰関係。調査地近辺の越廼(a, b)と福井(c, d)のアメダスデータを使用した。年間の平均気温と平均日照量は第2主成分と有意な負の関係を示し、気温の上昇と日照量の増加に伴い、2017年以降の植物群集構成が変化していることが示唆された

渡り鳥の飛来状況

19日間の調査の結果、41種 2084個体の鳥種が捕獲、標識後放鳥された。このうち種子散布種であるツグミ科、ヒタキ科、ウグイス科、メジロ科、ヒヨドリ科、キツツキ科の種は19種 1125個体であった。種子散布種のうち多かったのはシロハラ(333個体、29.6%)、マミチャジナイ(252個体、22.4%)、メジロ(246個体、21.8%)、ウグイス *Horornis diphone* (67個体、5.9%)の4種であった。

2005年から2023年までの各年の捕獲された種子散布鳥種の種構成と調査日数当たりの捕獲数を元に、主成分分析によって各年の鳥群集を分類した。また各年は果実量によって分類、比較した。鳥群集は果実群集と比べて明確に分類されることはなかった(図12a)。また日当たり捕獲数は2017年以降は少ない傾向にあったが、各分類グループ間で有意な差はみられなかった(図12b)。

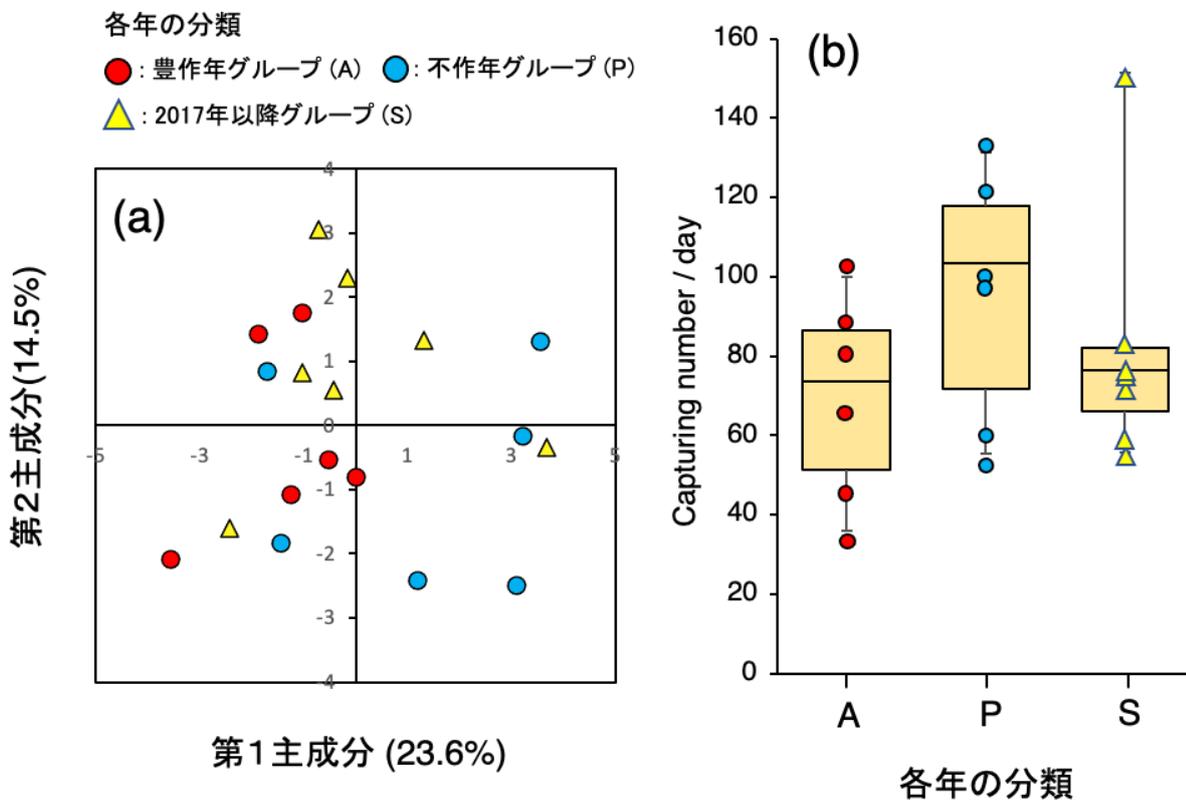


図12 種構成と捕獲数に基づいた主成分分析による(a)渡り鳥群集の分類と(b)捕獲個体数の比較

種子散布の動態と種子散布ネットワークの特徴について

2023年の種子採集では21種 477個体を対象に排泄物採集を行い、このうち種子散布種は11種 312個体であった。それら7種 55個体(17.6%)の排泄物から種子を採集した。散布されていた植物種は20種 66例で、ヒサカキ(17例、21.2%)、タラノキ(8例、12.1%)、アカメガシワ(6例、10.6%)が主に高頻度で運搬されていた。2005年~2023年の種子採集調査

に基づいて鳥散布ネットワークを解析した。この19年間の各年は果実量と種構成によって分類された3グループ間でネットワーク構造を比較した(図13)。全年を通じ、主要な種子散布鳥種はメジロ、シロハラ、マミチャジナイの3種で、散布される植物種は主にタラノキ、ヒサカキ、カラスザンショウなどの5種であった(図13)。

特に2017年以降グループでは、メジロとカラスザンショウ、タラノキの散布頻度が高くなっており、特異的関係が進んでいると考えられる。またシロハラは2016年まではマミチャジナイより多様な植物種の種子を散布していたが、2017年以降はマミチャジナイよりも散布種数が少なくなっており、種子をより選択的に散布していることが示唆された。

また安定的なネットワーク構造(入れ子型構造)の指標であるZ-NODF値を各グループの各年で比較すると、グループ間で差はなかったものの、2017年以降は低い傾向にあった(豊作年: 1.58 - 9.29; 不作年: 6.48 -

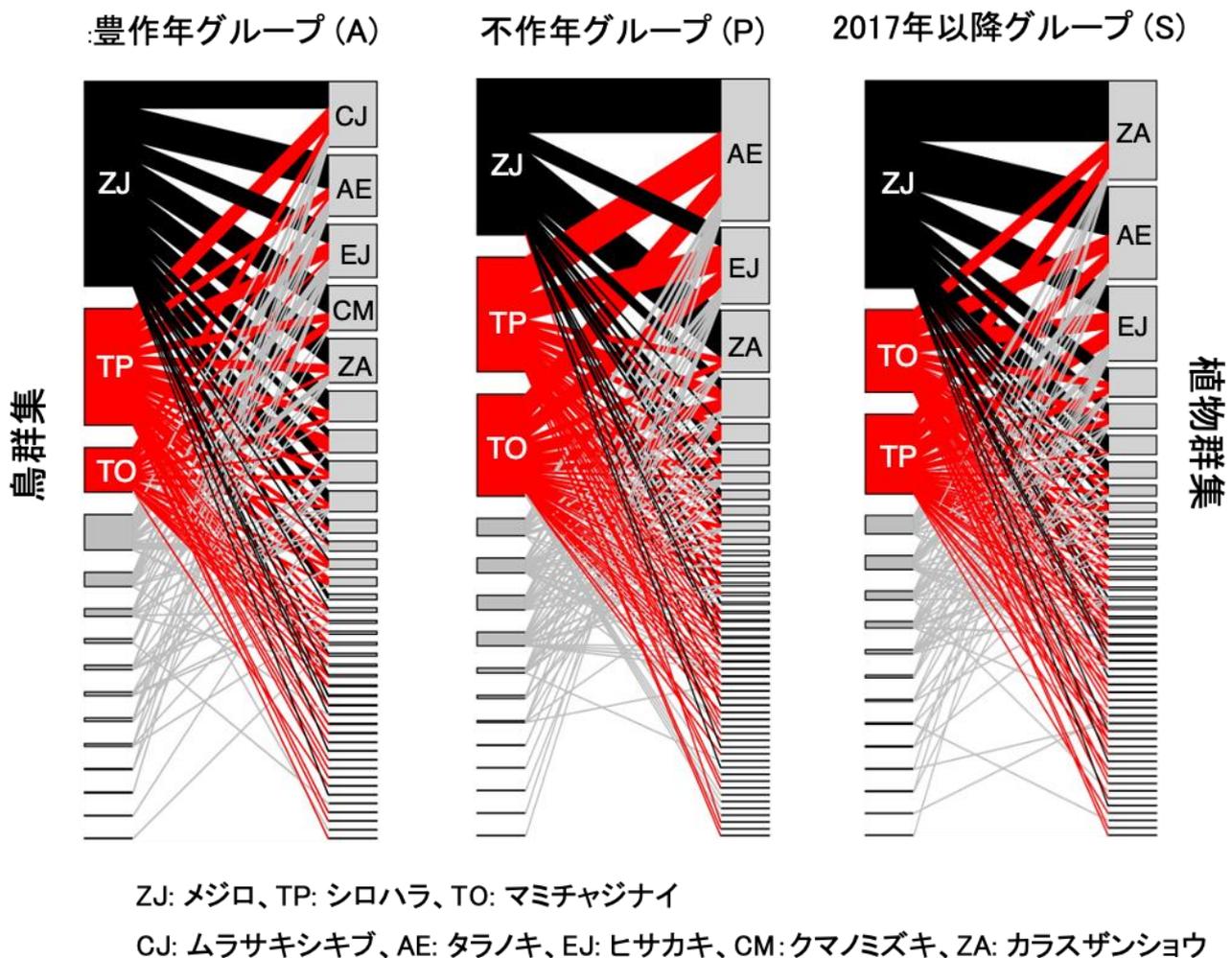


図13 2005年～2023年の19年を分類した3グループの鳥散布ネットワーク図。主要な鳥種、植物種のみ種名を記した

11.5 ; 2017年以降 : 4.97 - 7.42)。また対照的に特異的な関係性に基づくネットワーク構造 (モジュール構造) の指標の1つである ZM 値を比較するとグループ間で顕著な差はみられなかった (豊作年 : -3.1 - -2.34 ; 不作年 : -3.22 - -2.46 ; 2017年以降 : -2.94 - -2.48) 、しかし Z-NODF 値と ZM 値の関係を調べたところ、図 14 に示したように両者の間には負の回帰関係がみられ、2017年以降は2016以前の年に比べ、ZM 値が高い傾向にあることが示唆された。

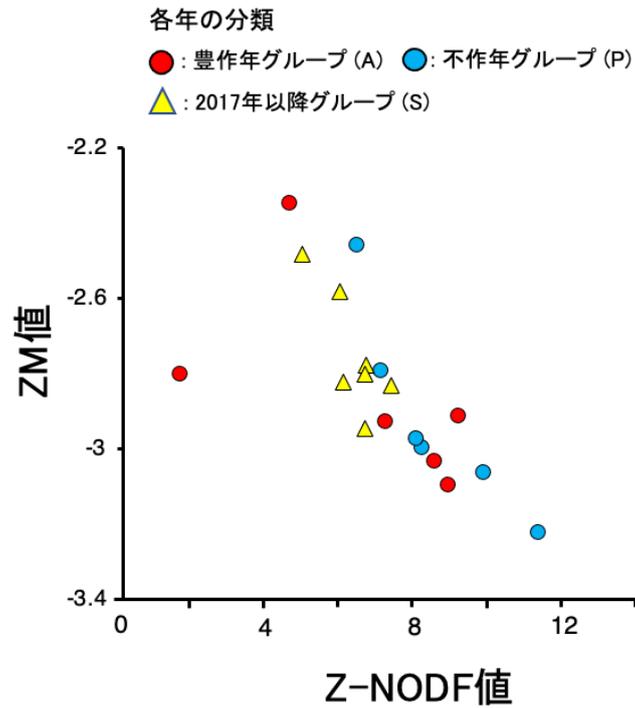


図14 2005年～2023年の19年を分類した3グループの鳥散布ネットワーク図。主要な鳥種、植物種のみ種名を記した

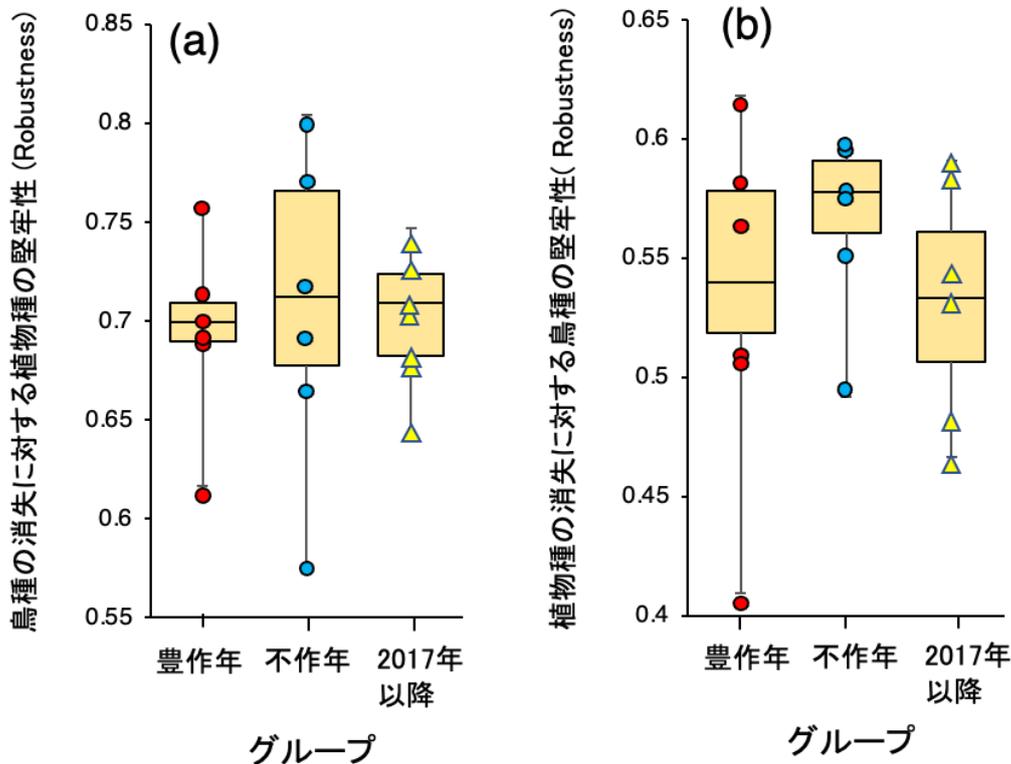


図15 2005年～2023年の19年を分類した3グループの鳥散布ネットワークの堅牢性。鳥種あるいは植物種がランダムに消失した場合に、その種と相互関係を持つ植物種あるいは鳥種に二次的な消失が起きる危険性への強固さを示す。(a)鳥種の消失に対する植物種の堅牢性。(b)植物種の消失に対する鳥種の堅牢性。

またネットワークに関係した各鳥種、各植物種が絶滅、それによってネットワーク構造が崩れる危険性の指標となる堅牢性 (Robustness) を各グループ間で比較した。これはネットワーク中の鳥種あるいは植物種がランダムに消失した場合、その種と相互関係を持つ植物種あるいは鳥種が二次的に消失する可能性を累積し、その危険性に対する強固さを示す指標である。2005年～2023年の19年を分類した3グループの鳥散布ネットワークの堅牢性を、それぞれ植物種と鳥種の消失について算出、比較した(図15)。その結果、グループ間で各堅牢性に大きな差はみられなかったが、2017年以降のグループでは鳥種の堅牢性が低くなる傾向にあった。2017年以降には ZM 値も高くなったことから、鳥種と植物種間の特異的關係が増え、植物種の消失した場合に鳥種が消失する危険性が高くなっていることがわかれる。

4. 考察

2017年以降の気象条件変化は植物群集に大きな影響を与えていた。調査地の液果植物種は、本来1年かけて光合成エネルギーを蓄積し果実を生産、その生産パターンが種内、種間で同調するため1年周期で果実が豊作と不作を繰り返していた(Ohkawara et al. 2022)。しかし、2017年以降は年間気温の上昇と日照量の増加によって1年以内の短期間でエネルギーが蓄積してしまい、結実を開始する個体が増加してしまったと考えられる。またやはり1年以上のエネルギー蓄積期間を経て、1本あたり数千～数万個の果実を生産する種、カラスザンショウ、タラノキ、コシアブラ、クマノミズキ、アズキナシなどでは、2017年以降は木あたりの果実数が減少しており、これも短期間のエネルギー蓄積によって果実生産が開始されたことが原因と思われる。このような植物群集レベルでの果実生産パターン変化の結果、周期性が崩れ、少ない量の果実が毎年生産されるようになったのだろう。さらに果実数の少ない草本種やつる性種などの増加も一因と考えられる。

2016年までの結果では鳥の飛来数が多く、かつ豊作な年では鳥種はより選択的に果実を散布し、鳥散布ネットワークに特異的關係が増加することが示されている(Ohkawara et al. 2022)。特にシロハラやマミチャジナイは、そうした年には特定の果実を選好する散布者として機能していた。しかしその場合、ネットワーク自体は比較的不安定な構造となる。このように果実量は各鳥種の散布者の機能に影響を与えていたが、2017年以降の果実が少ない量でも毎年結実する生産パターンも散布者としての機能に変化をもたらしていた。主要散布種であるメジロは果実の採餌効率に応じて、特にカラスザンショウとタラノキの種子を特異的に散布していたが(Kamei & Ohkawara 2022)、2017年以降、その特殊化の傾向がより強

くなっていた。また 2016 年以前はメジロに次いで主要散布者であったシロハラはマミチャジナイより散布例や散布種数が少なくなっており、特定種を選好する傾向が強くなっていた。この 2 種の機能の変化には恐らく各種の採餌行動が関係している。主に樹上で採餌するマミチャジナイは増加した低木や、草本種、つる性の種の果実も捕食することができたが、地上採餌も行うシロハラは地表の昆虫や節足動物類の捕食も頻繁に行い、果実は特定種を選好するようになったのだろう。気候変化に伴う果実群集と生産パターンの変化は、主要種の散布者の機能に変化を与えていたが、他の鳥種の機能にも変化を与えていることも考えられる。

特にシロハラ、マミチャジナイなどの主要散布種が特異的な散布を行い、ネットワーク内での機能が変化すると安定的であったネットワークの入れ子型構造が失われる可能性もある。また果実植物群集の変化は野外で主に捕食される果実のサイズの変化も招き(Ohkawara et al. 2023)、それも各鳥種のネットワーク内での機能を変化させることも考えられる。ネットワークの堅牢性には大きな変化はないものの、ネットワークが崩れる危険性はあると推測される。しかし、各鳥種、植物種の絶滅という極端な事案よりは、これまでとは異なる種間での関係性が構築され、ネットワークが再編される可能性は十分考えられる。今後はこうしたモニタリングをさらに継続し、これら現象の検証を進め、異常気象が生態系の共生系ネットワークに与える影響を明らかにしていく予定である。

引用文献

Kamei, Y., Ohkawara, K., 2022. Specific interactions in seed dispersal by the Japanese White-eye *Zosterops japonicus*: factors influencing its preference for two plant species, *Aralia elata* and *Zanthoxylum ailanthoides*. *Ecological Research* 37(5), 623–634. <https://doi.org/10.1111/1440-1703.12333>

気象庁(国土交通省)Japan meteorological Agency (2023)
<https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>

Ohkawara, K., Kimura, K., Satoh, F., 2022a. Long-term dynamics of the network structures in seed dispersal associated with fluctuations in bird migration and fruit abundance patterns. *Oecologia* 198(2), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05102-7>

Ohkawara, K., Kimura, K., Satoh, F., 2022b. Seed dispersal by Mugimaki flycatcher *Ficedula mugimaki* and Narcissus flycatcher *F. narcissina* on the migration in Hokuriku area of central Japan. *Journal of the*

Yamashina Institute for Ornithology 54, 210–206.

Ohkawara, K., Kimura, K., Satoh, F., 2023. How many seeds can birds disperse?: Determining the pattern of seed deposition by frugivorous birds. *Acta Oecologia* 121, 103958.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2023.103958>

島嶼草原の送粉生態系及び絶滅危惧種ヒメツルアズキの
繁殖生態の解明(最終報告)

大阪市立自然史博物館 長谷川匡弘

長崎県

【はじめに】

花と、花粉を運ぶ動物（送粉者）が作る送粉生態ネットワークは、人との関わりも深い重要な生物間ネットワークであるが、近年世界各地で劣化していると考えられている。日本でも例外ではなく、温暖化や、都市化による送粉者の生息地の減少、開花植物の減少、農薬の使用、外来生物による悪影響等の原因で、多くの環境で送粉生態ネットワークが劣化しているのは間違いない。しかし日本では、花を訪れる動物全分類群にわたる網羅的な調査は、ほとんど実施されておらず、過去と比べて、何が減少したのか、どのくらい減少したのかについてはよく分かっていない。すでにネットワークが崩壊しており、多くの開花植物にほとんど昆虫類が訪れないという場所もあり、このような場所では過去の情報が無いため、どのようなネットワークが開花植物と訪花昆虫の間に形成されていたか全く不明である。

また、訪花昆虫に着目すると、マルハナバチ属、ミツバチ属など、分かりやすく、分類が確定している訪花昆虫類はよく調査されており、記録も多い。しかし、花を訪れ、送粉を担うのはこれらの限られた昆虫だけではなく、ハチ目では、ムカシハナバチ科、コハナバチ科、ハキリバチ科、ドロバチ科、クモバチ科、スズメバチ科などいくつもの科に渡る多くの種が花を訪れる事が知られている。ハエ目についてもハナアブ科をはじめとし、クロバエ科、イエバエ科など多くの科が訪花することが知られているが、これらの訪花性昆虫類の訪花記録はほとんど蓄積されていない。これらの昆虫類も含めて送粉生態ネットワークを明らかにしていくには、訪花した植物種を確認した上で採集し、標本にして名前を決めていくという同定作業を行う必要がある。ハエ目、ハチ目の同定ができる専門家も限られており、これまでの送粉生態ネットワークは、目や科にとどまることがほとんどであった。さらに、これらの研究で標本まで残されていることは稀で、遑って標本を確認できる状況にはない。

訪花「量」の記録もない。これまで実施されてきた送粉生態ネットワークの調査では、調査する植物の調査面積はどのくらいか、調査時間はどのくらいか、記録がない事がほとんどである。このため、訪花したかしていないかの 1, 0 データとしてしか扱えず、将来の環境の変化に伴うネットワークの変化を考えるにはデータが不十分である。

送粉生態ネットワークの研究自体は、少ないながら実施されているものの、上記のような問題点がある。本研究ではこのような問題点を解決するために、1) 訪花した全ての昆虫類を記録する、2) 訪花した昆虫類を採集し標本にして保管し、詳細な同定も行う、3) 調査面積、訪花昆虫の調査時間、植物の被度などを記録し、量的なデータを得る、という 3 点に注意して、送粉生態ネットワークの調査を行う。

本研究では、島嶼部の草原環境に着目して、その送粉生態ネットワークを明らかにしよう

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告

というものである。島嶼部の草原環境に着目したのは次のような理由がある。1) 日本では特に草原環境の劣化・減少が著しく、多くの草原性植物が絶滅の危機にある。2) しかし、草原環境での送粉生態ネットワーク調査はほとんど実施されていない。島嶼部での調査も皆無である。3) また、島嶼部では同種とされる植物でも生態的特徴が変化している事が多く、訪花動物も本土とは異なり、特殊な送粉生態ネットワークがある可能性がある。このような理由のため、本研究では、良好な草原環境が残っている長崎県宇久島（五島列島）において送粉生態ネットワーク調査を実施することとした。

本研究の調査地とした宇久島は、海岸に広く風衝草原が形成されており、ヒメツルアズキ、ヒゴタイのように分布が極限される草原性植物がある事が知られている。ところが、このような草原を含む環境に大規模なメガソーラー発電所の建設計画があり、実行されれば島内の環境が大きく変貌する。しかも、宇久島ではこれまでまとまった動植物調査が実施されておらず、生態学的調査の必要性・緊急性が非常に高い。特にヒメツルアズキは、日本では福岡県、長崎県のみ分布する植物だが、福岡県では近年確認されておらず、長崎県の西部で確認されるのみとなっており、環境省のレッドデータブックでは絶滅危惧 IB 類と評価され、絶滅の危険性が非常に高い植物である。宇久島では現在の所、島内の草原周辺の路傍等で見ることが出来るが、メガソーラー発電所の建設計画がある場所と生育地が重なっており、メガソーラー発電所の建設により大幅に減少し、生育環境が悪化する可能性がある。このため、宇久島の草原環境での送粉生態ネットワーク調査に加え、ヒメツルアズキについて、より詳細に送粉生態の調査を行うこととした。

本研究では、1) 消滅の危機にある島嶼草原の開花植物と送粉動物のネットワークを明らかにし、2) その中で特に絶滅の危険性が高いヒメツルアズキの生育状況、繁殖生態を解明する。花とそれを訪れる動物が形作る送粉生態系は世界中で劣化していると考えられ、その解明が急務である。特に島嶼部の草原環境では、特異な送粉動物や植物が知られているにも関わらず、生態学的調査はほとんど実施されていない。本研究では、現状では良好な草原環境が残っているが、メガソーラー発電所建設で大きく環境が変わる長崎県宇久島で、開花植物と訪花昆虫が作るネットワークの網羅的調査を行う。またその中で、特に希少な草原性植物ヒメツルアズキに着目する。

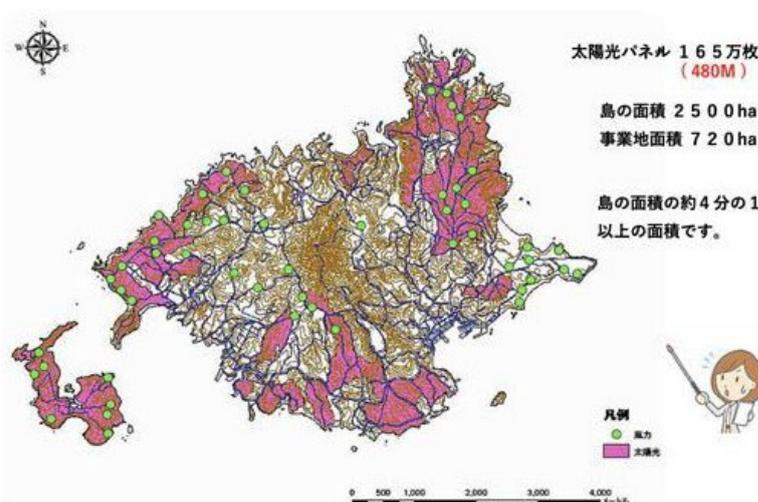


図1 宇久島におけるソーラーパネル等の開発予定地（ピンクの場所）。重要な草原のある島の北部の開発が特に問題である。全国再エネ問題連絡会 HP より <https://saiene-news.com/?p=269>

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告

本研究の実施に当たり、ヒメツルアズキ等重要な草原性植物の生息地情報は 2022 年に既に入手しており、また、調査地に含まれる西海国立公園の特別地域について採取許可を申請済みである（研究開始時に採取許可取得済み）。送粉生態ネットワークの調査は、ハエ・ハチ類の同定が研究を進めるうえで大きな壁となる。しかし、筆者の勤務する大阪市立自然史博物館には、ハチ目の専門家である松本吏樹郎氏が在籍しており、協力を得ることが可能である。専門の同定資料・書籍についても博物館に所蔵されており、また、同定の際に参考にできる多くの標本類が所蔵されている。また、ハエ目に関しても、双翅目談話会が収集・整理した標本類が博物館に蓄積されており、来館する専門家への同定依頼も可能である。

【調査地】

長崎県佐世保市宇久島とする（図 1 の赤矢印）。



図 2 宇久島の位置。

【調査方法】

本研究では、ヒメツルアズキ等の分布が限られる草原性植物が分布し、今後開発の危機に瀕している長崎県宇久島の特に草原環境に着目して 1) 草原環境を中心として開花植物－訪花動物ネットワーク（送粉生態ネットワーク）を明らかにし、その中でも 2) 最も絶滅の危険性が高いヒメツルアズキの分布・繁殖生態の調査を行う。

調査準備・調査ルートの設定 調査地域は長崎鼻～大浜海岸（国立公園内でメガソーラー発電所の開発に関しては限定的）、城ヶ岳周辺（国立公園内でメガソーラー発電所の開発に関しては限定的）、野方草原（メガソーラー発電所の開発により大きく変貌すると考えられる）、平原草原～大久保草原（メガソーラー発電所の開発により大きく変貌すると考えられる）の

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告

4カ所とした。メガソーラー発電所の開発が限定的な場所は2カ所、メガソーラー発電所の開発により大きく環境が変化すると考えられる場所も2カ所となる。長崎鼻～大浜海岸、野方草原、平原草原は海岸近くで、放牧地やその周辺に草原環境が広がっている場所である（図3）。また、城ヶ岳はスダジイ、タブノキ、キンショクダモ、ハクサンボク等を含む照葉樹の二次林が広がっており、他の3カ所の環境とは異なっている（図4）。この4カ所に図5～8のとおり、選定した調査地に調査ルートを設定した。



図3 左：野方草原、右：平原草原周辺



図4 城ヶ岳周辺。山頂までの道路沿いは照葉樹二次林。ふもとは空き地、田畑が広がるが、このような人為的環境も調査ルートに加えた。



図5 長崎鼻～大浜海岸の調査ルート図



図6 野方草原の調査ルート図

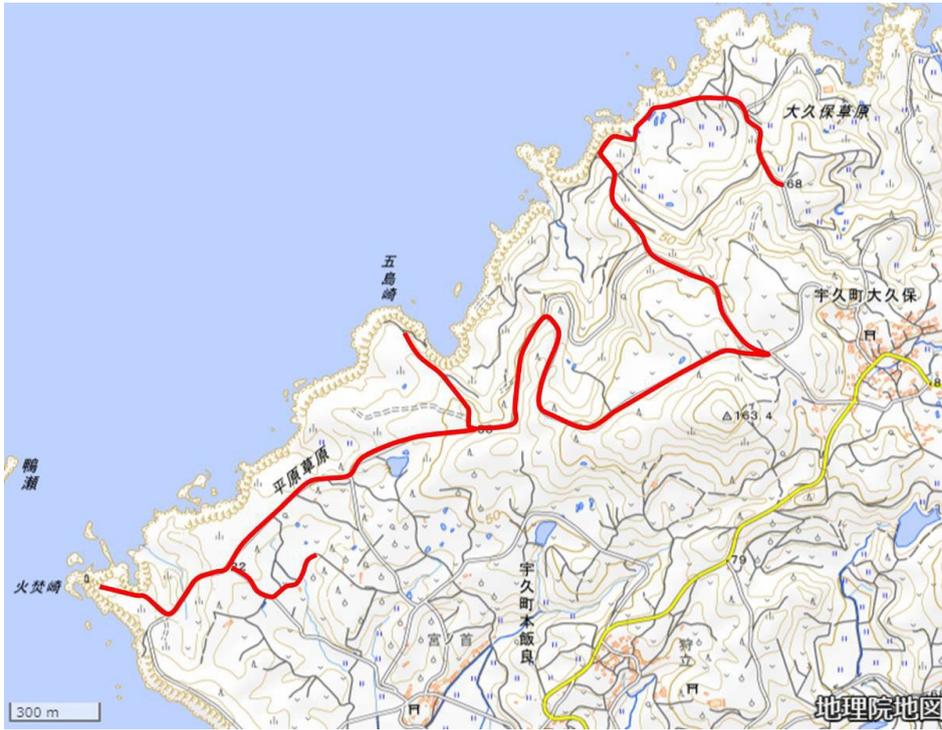


図7 平原草原～大久保草原の調査ルート図



図8 城ヶ岳周辺の調査ルート図

A 送粉生態ネットワーク調査方法 調査時期は1年目に2回（2022年10月11日～14日、2023年5月23～25日）実施した。秋期及び春期調査に該当する。2年目にさらに4回（2023年7月12日～17日、8月26日～30日、9月28日～10月2日、10月23日～27日）の計6回を実施し、春から秋までの季節を網羅できるようにした。なお当初の計画では、2年目は2回の調査で終了の予定であったが、レンタカーを調査に用いておらず、この分の予算を用いて、開花する植物が多い秋期により綿密に調査を実施することとした。設定した調査ルート（図5～8）沿い及びその周辺で調査を実施した。調査時に開花している1m×1m以上の植物群落の前で10分間待ち、花に訪れた動物（主に昆虫類）を記録、採集した。この際に、開花植物側では、開花植物名、調査面積、開花状況、観察開始時刻、終了時刻等を記録した。また、種によっては雄株、雌株、花数等の記録も行った。可能な限り調査した植物種の標本を採集し、さく葉標本とした。動物が訪花した際には、その行動や雄しべ・雌しべに体が触れたか、などについても記録し、送粉者として機能しているかどうかの評価に用いた。1日当たり25～30か所の様々な植物群落で送粉者を記録した。

B ヒメツルアズキの分布・繁殖生態調査 2022年は島内の海岸・草原環境で、ヒメツルアズキの生育状況を把握するために踏査を行った。事前に分布状況の情報を得ていたが、この情報が2008年のものであり、踏査の際には多くが確認できなかった。このため、2022年10月11日～14日の期間に改めて、生育に適した環境を再調査した。また予備的にカメラのビデオ機能を用いて、訪花昆虫調査を実施した。確認できたヒメツルアズキの群落（2集団）から果実を採集し、大阪市立自然史博物館の圃場で栽培を行った。現地では、ウシが放牧されていること、草刈りも頻繁に実施されていることから、ヒメツルアズキの繁殖生態調査を長期にわたり実施するのが困難と判断した。このため、繁殖生態を調査するための袋がけの処理については、この栽培個体を用いて実施する事とした。

2023年には、確認した生育地の中から最も良好な環境を選定し、訪花昆虫調査を実施した。ヒメツルアズキではこれまでどのような動物が花粉を運んでいるか調査されたことがない。1×1m以上の群落の前で訪れる昆虫類を待ち（ビデオカメラも併用）、訪花した昆虫類、訪花行動を記録した。訪花した昆虫類については一部を採集し、同定に用いるとともに体表についた花粉を確認するとともに付着部位も記録し、適切に送粉がおこなわれているか確認した。繁殖生態調査は次の処理を圃場で栽培をしている株で実施した。1) 強制自家受粉処理（自身の花粉を人為的に柱頭につける）、2) 強制他花受粉処理（他の株の花粉を人為的に柱頭につける）、3) 袋掛け処理（昆虫が全く来ない状態にする）、4) 除雄処理+袋がけの4つの処理である。また、宇久島における自然状態での結果率、結実率も記録した。

C 標本整理・調査結果とりまとめ 採集した植物、昆虫・その他動物の標本を作製し、種名を確定するとともに、Aについては、統計ソフトRを用いて、ネットワーク図を作成して、調査地点間での多様性、ネットワークの安定性の比較を行った。Bのヒメツルアズキについては、生育地および個体数について、地図上で整理し、重要な生育地・生育環境を明らかにした。また、各処理を行った花からできた果実を持ち帰り、形成された種子数を計測し、繁

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告
 殖に送粉者が必要となるかどうか、主要な送粉者は何かを明らかにした。ヒメツルアズキの分布状況の整理に関しても、事前に得られたデータに加え、1年目、2年目のデータを追加して、島内の分布状況の整理を行うため、2年目に実施した。

【調査結果及び考察】

A 送粉生態ネットワーク調査

本調査は 2022 年 10 月 11 日～14 日、2023 年 5 月 23～25 日、7 月 12 日～17 日、8 月 26 日～30 日、9 月 28 日～10 月 2 日、10 月 23 日～27 日に実施した。天候の状況を確認しながら調査日を設定したものの、条件の良い日が続かず、調査期間を短縮した調査回もあった。2022 年 10 月の調査では、城ヶ岳周辺、野方草原、平原草原～大久保草原の 3 カ所を実施した。また、2023 年 5 月の調査では、長崎鼻～大浜海岸、野方草原、平原草原～大久保草原の 3 カ所を実施した。調査した開花植物は表 1～3 の通りである。

表 1 秋期（2022 年 10 月 11 日～14 日、2023 年 9 月 28 日～10 月 2 日、10 月 23 日～27 日）

調査地名	調査を実施した開花植物
長崎鼻～大浜海岸	ハマベノギク、ツルソバ、ホソバワダン、ヤマヒヨドリバナ、ナワシログミ、オオユウガギク、セイタカアワダチソウ、ダルマギク、ツユクサ、アカネ、オシロイバナ、ヒガンバナ、クズ、アキノノゲシ、カタバミ、ママコノシリヌグイ、マルバツユクサ、ノアズキ、メドハギ、キツタ、ハマビワ <p style="text-align: right;">以上 21 種 59 カ所</p>
野方草原	ホソバワダン、オオユウガギク、ハマベノギク、コセンダングサ、ナワシログミ、ツルソバ、イヌタデ、ダルマギク、ハマビワ、タンキリマメ、ハイメドハギ、ツユクサ、ママコノシリヌグイ、メドハギ、クサギ、アキノノゲシ、ヒナタイノコヅチ、クズ、セイタカアワダチソウ <p style="text-align: right;">以上 19 種 92 カ所</p> <p>※特にホソバワダン、ハマベノギク、ダルマギクは開花量も多く、繰り返し調査を行った。</p>
城ヶ岳周辺	アキノノゲシ、コセンダングサ、ツルソバ、ヌマダイコン、ヤマハッカ、シラヤマギク、ナンテンハギ、アカネ、ヤマヒヨドリバナ、オカダイコン、ヤブマメ、ツユクサ、イヌタデ、ママコノシリヌグイ、オオユウガギク、キンゴジカ、クサギ、アキノノゲシ、ヤマハッカ、セイタカアワダチソウ、ミゾソバ、ヒヨドリバナ、ナワシログミ、ヤクシソウ、 <p style="text-align: right;">以上 24 種 59 カ所</p>
平原草原～大久保草原	ツルソバ、ナワシログミ、ホソバワダン、ハマベノギク、オオユウガギク、ハマゼリ、ナンテンハギ、ヒメツルアズキ、イヌタデ、シ

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告

	<p>ロバナサクラタデ、タンキリマメ、ハイメドハギ、アキノノゲシ、マルバヤハズソウ、ツユクサ、ムジナノカミソリ、ヌマダイコン、コセンダングサ、ヤクシソウ、ヒヨドリバナ、ダルマガク</p> <p style="text-align: right;">以上 21 種 96 カ所</p> <p>※特にホソバワダン、ハマベノギクは開花量も多く、繰り返し調査を行った。</p>
--	--

表2 春期（2023年5月23～25日）

調査地名	調査を実施した開花植物
長崎鼻～大浜海岸	<p>セイヨウタンポポ、ノアザミ、シロツメクサ、ハマヒルガオ、ハマウド、ツクシケマン、ハマダイコン、スイカズラ、ネズミモチ、ミヤコグサ、ボタンボウフウ、テリハノイバラ、ハマボウフウ</p> <p style="text-align: right;">以上 13 種 30 カ所</p>
野方草原	<p>ハマナデシコ、ボタンボウフウ、ノアザミ、ネズミモチ、ハゼノキ、スイカズラ</p> <p style="text-align: right;">以上 6 種 8 カ所</p> <p>※荒天となり十分な調査はできなかった。</p>
平原草原～大久保草原	<p>テリハノイバラ、ミヤコグサ、ノアザミ、ハマナデシコ、ツクシケマン、スイカズラ、シロツメクサ、ハゼノキ、ハマダイコン、ネズミモチ</p> <p style="text-align: right;">以上 10 種 30 カ所</p> <p>※特にテリハノイバラ、ノアザミは開花量も多く、繰り返し調査を行った。</p>

表3 夏期（2023年7月12日～17日、8月26日～30日）

調査地名	調査を実施した開花植物
長崎鼻～大浜海岸	<p>ツユクサ、ノラニンジン、ノヒメユリ、ネコノシタ、ヤブカラシ、ヒメヒオウギズイセン、ママコノシリヌグイ、ヤブジラミ、ハマナタマメ、ハマゴウ、クルマバナ、ノアズキ、ハマゼリ、エビヅル、ヒメツルアズキ、ツルマメ</p> <p style="text-align: right;">以上 16 種 61 カ所</p>
野方草原	<p>ハマナタマメ、カワラナデシコ、ヤブジラミ、ノブドウ、ツクシケマン、ハマオモト、ノラニンジン、ノヒメユリ、クズ、ヒメヒオウギズイセン、ハマゴウ、マサキ、ヒゴタイ、ノアズキ、ママコノシリヌグイ、ツユクサ、ヘクソカズラ、センニンソウ、クサギ、ヒメツルアズキ、アキノノゲシ、ツルマメ、サイヨウシャジン、シロバナサクラタデ</p> <p style="text-align: right;">以上 24 種 61 カ所</p>
城ヶ岳周辺	<p>ネムノキ、ヒメヒオウギズイセン、オオムラサキシキブ、ノブドウ、</p>

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告

	アキノタムラソウ、タラノキ、ヤブジラミ、ヨウシュヤマゴボウ、ママコノシリヌグイ、ノラニンジン、クサギ、ツユクサ、カエデドコロ、ゲンノショウコ、センニンソウ、カラスザンショウ、ノアズキ、アキノノゲシ、カワラケツメイ、ヤブハギ 以上 20 種 44 カ所
平原草原～大久保草原	ハマナタマメ、ノラニンジン、ノヒメユリ、ヒメヒオウギズイセン、カワラナデシコ、ノブドウ、ヤブカラシ、アキノタムラソウ、ミヤコグサ、テリハノイバラ、シロツメクサ、ハマゴウ、ノアズキ、クサギ、ママコノシリヌグイ、ツユクサ、クサネム、シロバナサクラタデ、キツネノマゴ、アキノノゲシ、ヒメツルアズキ、センニンソウ、エビヅル 以上 23 種 56 カ所

秋期はホソバワダン、ハマベノギク、ダルマガクが海岸草原に多く、これら 3 種に確認されたほとんどの訪花昆虫が見られた。海岸草原ではこれら 3 種が訪花昆虫-開花植物のネットワークの中で重要な役割を果たしていると考えられる。

春期はテリハノイバラ、ノアザミ、ミヤコグサ、ハマウドが特に海岸草原に多く見られ、これらの植物種での訪花昆虫調査が多くなった。このうち、ハマダイコンは赤紫色が強く、株の上部で細かく枝を分ける個体が多く見られ、特徴的な集団である。また、海岸草原のノアザミは極めて丈が低く、葉に光沢の強い株が多かった。これらの植物は本土とはやや形態的に異なっており、より詳細に調査を行う必要がある。

夏期は、8 月中下旬よりノアズキ、ヒメツルアズキの開花量が多くなり、これらを訪れる訪花昆虫も増加した。

採集した昆虫類は同定中のものも多いが、現時点で同定できているもので、ネットワーク図を作成し、ネットワークの構造上、安定的とされる入れ子型構造の指標である NODF 値を 4 地点において比較した。その結果、今後開発により環境が大きく変化する平原～大久保地区が 4 地点の中で最も高く、安定的なネットワーク構造をしていることが明らかとなった。しかし、未同定の昆虫類も含まれることから、今後も同定を進め、再解析を行う必要がある。

訪花昆虫の面からみると、秋期にはムカシハナバチ科の昆虫が特にキク科に多く訪花しており、特に個体数の多いアシブトムカシハナバチが海岸草原の開花植物-訪花昆虫のネットワークの中心的な存在になりうると考えられる。また野方草原において、オウカンヒゲナガハナバチ *Eucera (Tetralonia) yoshihiroii* (ミツバチ科) のハマベノギクへの訪花を確認することができた (図 11)。本種は 2022 年に記載された種であり、これまで京都府、福岡県、熊本県、鹿児島県で確認されている。長崎県からは記録が無かったが、今回の調査における記録が初めてのものとなる。オウカンヒゲナガハナバチはこれまで、同様に秋に出現するヒゲナガハナバチの仲間であるミツクリヒゲナガハナバチと混同されていたが、2022 年に公表された論文において新種とされた。このため分布情報も少なく、生態的情報もほとんど無い。ただ、これまで記録されている場所は良好な海岸環境が残されていることが多く、キク科植物に好んで訪花することが知られている。今回の調査では、本種は今後開発が進む、

2023年度（第38回）タカラ・ハーモニストファンド研究助成報告

野方草原、平原～大久保草原、比較的開発の少ない、長崎鼻草原のいずれの調査地でも確認された。特に、野方草原、平原～大久保草原は確認個体数も多く、良好な海岸環境が残されており、ハマベノギク、ホソバワダンなどのキク科植物も非常に豊富である。現在、この種の生息状況や生態情報がほとんど無い中では、このような環境を広く保全していくことが重要だと考えている。

春期調査では、海岸の開花植物の多くにニッポンヒゲナガハナバチが訪れていた（図 12）。本土では、海岸にはシロスジヒゲナガハナバチが多く生息しており、里山でニッポンヒゲナガハナバチが多くなるが、宇久島ではシロスジヒゲナガハナバチは確認されず、全域にニッポンヒゲナガハナバチが生息しているようだ。春期に開花する主要な花上で確認されており、個体数も非常に多く、ネットワークの中心的な存在であると考えられる。この他、ニホンミツバチ、コマルハナバチも確認されたが、海岸草原での確認数は少なかった。

ハナアブ類、その他のハエ目は多くの種が秋期、春期ともに確認されたが、現在同定作業中である。特に個体数が多いのはホソヒラタアブ、ツマグロキンバエ、クロバエ科の一種であった。これらは本土でも普通に確認される種であるが、海岸草原の植物の送粉に大きく寄与している可能性がある。今後、同定作業を進めていき、ネットワーク図を修正すると共に、再解析を行う予定である。



図 9 秋期の海岸草原における主要な訪花昆虫。A：ハマベノギクに来たアシブトムシハナバチ（ムカシハナバチ科）、B：ハマベノギクで花粉を集めるオウカンヒゲナガハナバチ（ミツバチ科）の雌。2022 年に記載されたばかりの種で、詳しい分布状況、生態等は明らかになっていない。これまでのところ、野方草原でのみ確認されている。C：オウカンヒゲナガハナバチの生息環境。良好な海岸環境が保たれている。

B ヒメツルアズキの分布・繁殖生態調査

2022 年はまず、宇久島内においてヒメツルアズキ（図 14）の分布調査を行った。事前に得た佐世保市のレッドデータブック作成の際の調査では、属島の寺島を含め 8 カ所で確認されていた。10 月に再調査を行った結果、このうち確認できたのは 3 カ所のみであった。確認できなかった 5 カ所では、周囲の草丈が非常に高くなっており、ヒメツルアズキの生育に適さない状況となっていた。確認できた 3 カ所でもヒメツルアズキの個体数は多くなかった。

新たに確認できた生育地は 12 カ所あった。これらの生育地では多くの個体が確認でき、10 月では結実・種子散布をしている個体も見られた。ヒメツルアズキは分布が限られる貴重な植物であり、生育位置図は掲載しないが、現在生育が確認されている 15 所のうち、その半分近くの 7 カ所は、メガソーラー施設の事業地内もしくはそれに隣接する場所であった。草原環境の悪化とともにヒメツルアズキの生育状況も悪化しているものの、現在はまだ島内の各草原で確認することは可能である。ただし、1) 1 年性草本のため、生育地に関しても年変動は大きく、島内での個体群を維持するにはいくつもの生育環境が必要であると考えられること、2) 佐世保市レッドデータブックに係る調査（2006～2009 年頃実施）のときよりも草原環境は明らかに悪化しているとの情報も得ていること、3) 現在の生育地の多くがソーラーパネルの設置予定場所となっていること等から、島内集団の健全な個体群の維持を考えた場合、楽観できる状況ではないと考えられる。適切な保全対策が強く望まれる。



図 10 ヒメツルアズキ。左：花、右：葉

訪花昆虫調査の結果、ヒメツルアズキに訪花した昆虫として、キヌゲハキリバチ、バラハキリバチ、ツチバチ科、ヤマトシジミ、シルビアシジミが確認された（図 11）。同様の形態・花色を持つノアズキも同所的に見られ、同時期に開花する。このため、この 2 種は送粉昆虫を奪い合う競合関係にある事も考えられたが、ノアズキの訪花昆虫は、ヒメツルアズキと大きく異なり、アオスジハナバチ（コハナバチ科）が中心であった（図 11）。この違いがどうして生じるのか、現段階では不明である。今後、さらなる訪花昆虫調査に加えて、蜜量、花粉量等の比較をして行く予定である。

生育を確認した個体数の大きい集団より、いくつか果実を回収し、大阪市立自然史博物館の圃場において栽培を行った（図 12）。生育は良好で、6 月下旬には小さい花芽もついでい

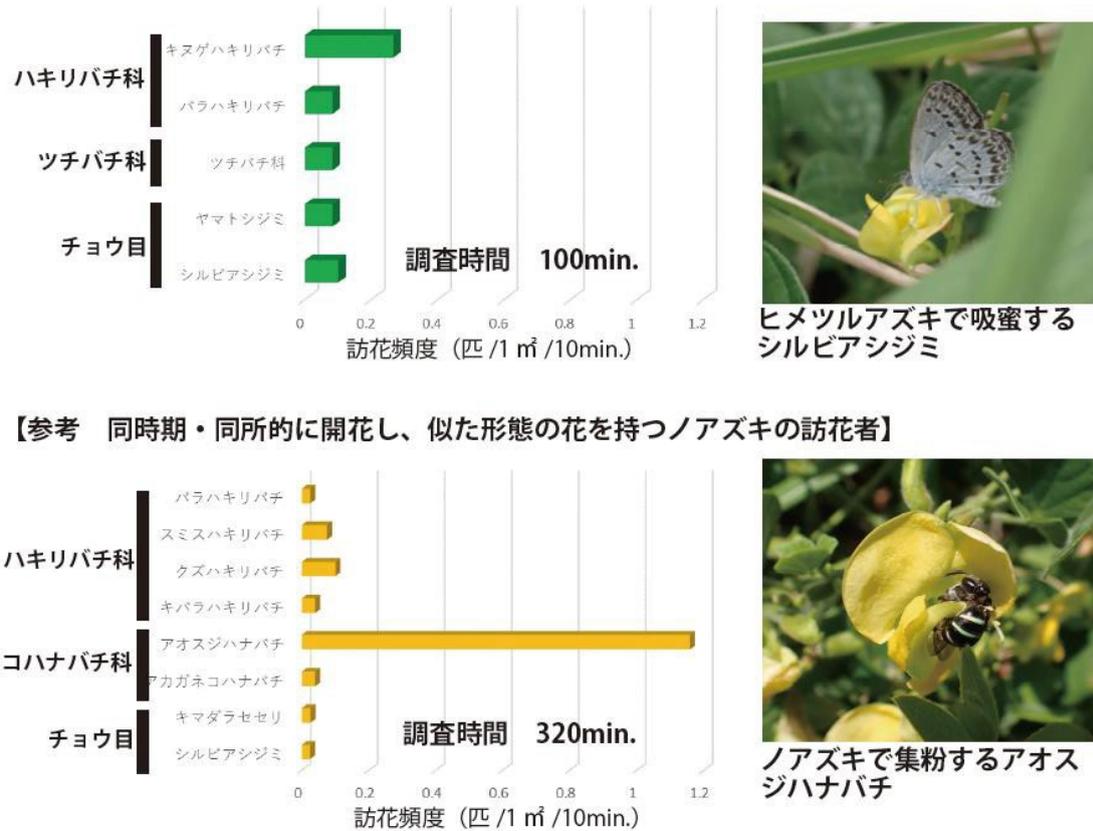


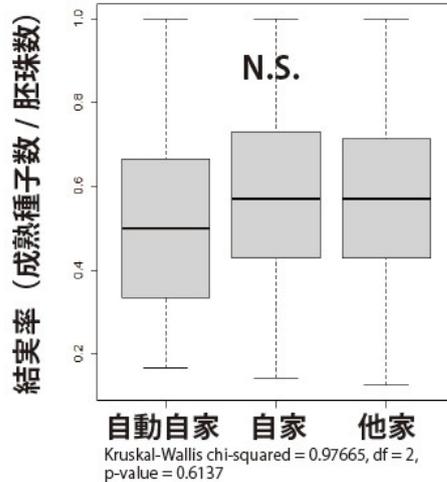
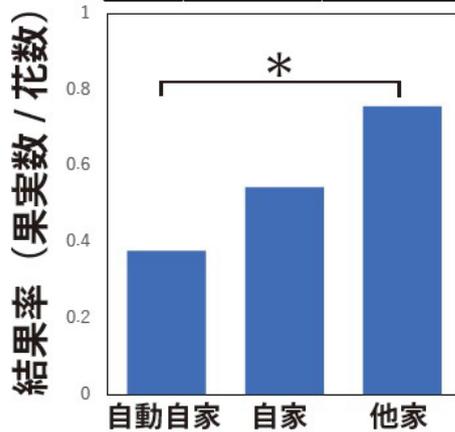
図 11 ヒメツルアズキおよびノアズキの訪花昆虫

るのを確認した。8月から9月にかけて開花した花に対して、強制自家受粉処理（自身の花粉を人為的に柱頭につける）、強制他家受粉処理（他の株の花粉を人為的に柱頭につける）、袋掛け処理（昆虫が全く来ない状態にする）、除雄処理+袋がけ（葯が裂開する前に雄しべを除き、さらに袋がけをしておく）を行い、結実の有無、結実率を確認した。袋がけをしたのみでも4割弱の果実が実り、自動自家受粉が可能であること、自家受粉をした場合には、結果率がやや上昇し、他家受粉をした場合には有意に上昇することが明らかになった。このことから、ヒメツルアズキは訪花昆虫が極めて乏しい環境でも果実を一定程度作ることは可能だが、十分な果実を作るためには、訪花昆虫が花粉を運搬する事が必要であることが分かる。自然集団での結果率は場所により大きく異なったが、いずれの地点でも4~50%程度であり、比較的lowだった。ただし、結実率は実験区の自動自家受粉、自家受粉処理よりも高く、頻度は低いながらも訪花昆虫により適切な受粉が行われていることが伺える。なお、除雄処理+袋がけ処理をした花では果実は実らなかった。

以上の結果より、ヒメツルアズキは自動自家受粉を行うことはできるものの、十分な果実・種子を生産するためには、送粉者が必要であることが明らかとなった。有効な送粉者はハキリバチ科の可能性が高い。その中でも訪花量の多かったキヌゲハキリバチは、海岸性のハキリバチと考えられており、現段階では、海岸草原で多くの個体が見られ、ハマゴウ、ミヤコグサ等によく訪花しているが、海岸付近が開発されることにより、個体数を大きく減らす可能性が考えられる。宇久島での営巣環境はどのような場所なのか、主要な訪花植物は現存している量がどのくらいあり、ソーラーパネルの開発によりどの程度が影響を受けるのか

交配実験

	果実○	果実×
自動自家	32	53
自家	19	16
他家	34	11



自然集団

	果実○	果実×
長崎鼻	49	59
野方	17	89
木場	66	59
城ヶ岳	33	65

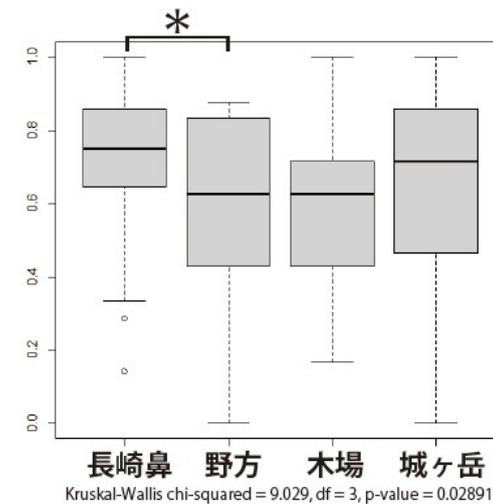
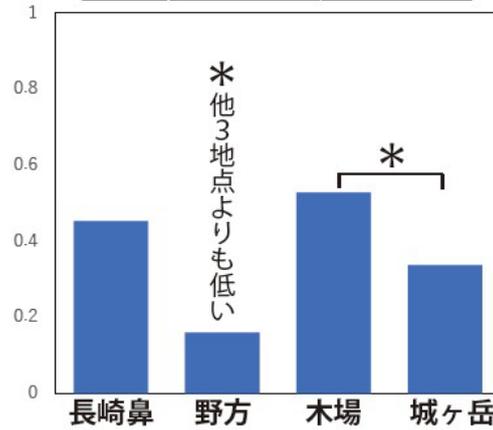


図 12 交配実験における結果率、結実率及び、自然集団での結果率、結実率。

など、これまでの調査では全く分かっていない。ヒメツルアズキが直接的な改変の影響を受ける場所ではなくても、開発に伴って、訪花者の減少による間接的な影響を受ける可能性も十分に考えられる。現在の良好な海岸草原環境を残すことはもちろん重要だが、その周囲の環境も考慮し、ソーラーパネルによる改変面積を減少させる必要があると考える。

<公表論文・学会発表>

- ・長谷川匡弘 2023. 五島列島・宇久島からのオウカンヒゲナガハナバチの記録. 長崎生物学会誌 93: 30-31.
- ・長谷川匡弘 2023. 五島列島・宇久島からのアオハナムグリ五島列島亜種の記録. 長崎生物学会誌 93: 29.
- ・長谷川匡弘 2024. 絶滅危惧種ヒメツルアズキの繁殖生態及び宇久島における分布状況. 日本植物分類学会第 23 回大会, 2023 年 3 月 8 日～12 日 (東北大学 片平キャンパス「片平さくらホール」, 3 月 11 日, PB36)

応募要項

1. 助成事業

- (1) 活動助成
- (2) 研究助成

2. 目的

日本の緑を構成する森林・草原、木竹等の陸域、または海、湖沼、河川等の水域の自然環境（生物の生態把握等も含む）に関する実践的な活動・研究に対して、助成を行います。

3. 対象

次の条件を満たす活動・研究とします。

- (1) 具体的に着手の段階にある活動・研究
- (2) 営利を目的としない活動・研究
- (3) 活動主体の資格は問わないが、次の条件を満たすもの

〈個人の場合〉

助成金の使途が、助成の趣旨に沿って適確であり、当該事業に係わる施設の利用や助成金の使途等の面で、本人あるいは親族など特別な関係のある者に、特別の利益を与えない者。

〈任意団体の場合〉

代表者または管理者の定めのある団体で、役員その他機関の構成、選任方法、その他事業の運営に重要な事項が、特定の者、あるいは特別の関係者等の意志に従わず、運営されている団体。また、特定の者等に特別の利益を与えていない団体。

4. 助成金の金額と期間

助成金額は、それぞれの活動・研究の所要額ですが、総額等はつぎのとおりです。

- (1) 年間助成金総額は、活動・研究を合わせて500万円程度とします。
- (2) 助成期間は、原則として助成金贈呈日より1年間とするが、助成金を2年間にわたって利用することも認めます。

5. 助成金の使途と報告

- (1) 活動・研究に関した費用であれば、機材費、消耗品費、旅費、謝礼金等を含め、その内容を問いません。ただし、人件費・管理費等は認めません。

- (2) 助成金の受領者には、申請にもとづく助成期間終了後、活動の経過および結果ならびに会計について報告していただきます。また、助成期間終了後3年間は助成対象の活動・研究、もしくはは団体、個人の活動・研究の簡単な現状報告をしていただきます。

6. 応募方法

- (1) 応募要項（詳細）、申請書様式を宝ホールディングス（株）タカラ・ハーモニストファンドホームページよりダウンロードいただくか、事務局に請求いただき、申請書に記入、捺印のうえ事務局宛 簡易書留で郵送ください。パソコンで申請書を作成された場合は郵送分とは別にEメールでも電子ファイルをお送りください。

宝ホールディングス株式会社
タカラ・ハーモニストファンドホームページ
<https://www.takara.co.jp/environment/fund/>
Eメール送付先
kouekishintaku.kyotoshiten@mizuhotb.co.jp

- (2) 応募受付期間は、毎年3月末を締切日とします。

7. 助成先の選考

- (1) 選考時期 毎年5月
- (2) 選考方法 運営委員会により厳正に審査・選考します。

8. 助成金の贈呈

毎年 6月

9. その他

- (1) 提出いただいた申請書等は、返却いたしません。
- (2) 選考結果は、申請者全員に書面で通知します。

お問合せ先

公益信託
タカラ・ハーモニストファンド事務局
〒600-8008
京都市下京区四条通烏丸東入長刀鉾町20
みずほ信託銀行株式会社 京都支店
TEL 075-211-5525 FAX 075-212-4915

2023 年度

タカラ・ハーモニストファンド活動・研究報告書

発行 2025 年 4 月

発行者 宝ホールディングス株式会社

〒600-8688 京都市下京区四条通烏丸東入

TEL 075-241-5186 FAX 075-241-5127

<http://www.takara.co.jp/>

※本報告書の無断転載を禁ず