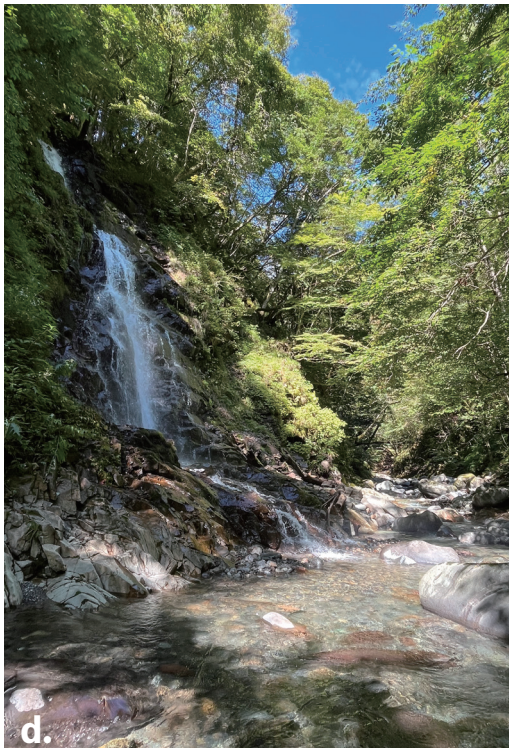
生態学研究センターニュース
Center for Ecological Research News

2025 January
No. 155

a.

b.

c.


d.

センター員の紹介

2 雪氷環境に生息する生物の繁殖条件と雪氷生態系における窒素循環解明 小野 誠仁
3 安定同位体比と脂肪分析を用いた食性解析の世界 目戸 綾乃
4 陸生植物が潮汐サイクルに適応するしくみを探る 横溝 匠
5 寄生虫ハリガネムシの生物学 谷 聖太郎

2024年度共同利用・共同研究事業の活動報告

6 「安定同位体生態学測定支援ワークショップ2024」 木庭 啓介
7 「脱窒菌同位体比測定法ワークショップ2024」 木庭 啓介
8 「若手研究者のための夏季観測プログラムin木曽川」 佐藤 拓哉
9 「安定同位体生態学ワークショップ2024」 木庭 啓介
10 「活火山を有する福島県の自然環境の生物地球化学的特徴に関する現地研究集会」 福島 慶太郎
11 共同利用・共同研究拠点　中間評価結果 中野 伸一
2025年度共同利用・共同研究拠点事業に関するお知らせ

研究ハイライト

12 世界自然遺産小笠原樹木の光合成酵素ルビスコのCO_2固定特性の種多様性と進化的制約 石田 厚
13 機械学習を用いた野外環境下における植物のフェノタイピング 工藤 洋
14 シカの森林被害は土壌微生物にも波及する ―大規模生態系操作実験と環境DNA分析の融合― 門脇 浩明
15 「湖」へ回遊したサケ科魚類における回遊パターンの多様化と大型化 中西 勇太
16 富栄養化と気候変動の琵琶湖生態系への影響 ―湖底に住む生き物は何を物語るか― 成田 哲也
17 自然変動環境下における植物の概日時計と環境シグナルの統合メカニズム 西尾 治幾
18 毎週調査で明らかになった常緑植物の葉群動態と老化制御の季節的な切り替えについて 湯本 原樹
19 寄生虫ハリガネムシの「延長された表現型」に対する進化的トラップの可能性 澤田 侑那

その他のお知らせ

20 大規模系統解析から樹木の進化パターンが明らかに ―送粉共生、種子散布共生、菌根共生の相関進化― 山尾 僚
21 一般公開「学校で習わない生き物の不思議」開催報告 山尾 僚
寄生虫が生態系において果たす役割 佐藤 拓哉
22 受賞のお知らせ
24 センターニュースメール配信登録のお願い
表紙について
オープンキャンパス2025のお知らせ
センター員の異動
招へい研究員・外国人共同研究者の紹介
生物多様性・生態系研究基金へのご寄付
編集後記 山尾 僚

京都大学 KYOTO UNIVERSITY

雪氷環境に生息する生物の繁殖条件と雪氷生態系における窒素循環解明

小野（お の）　誠仁（まさと）
京都大学生態学研究センター・特定研究員（学振PD）
専門は雪氷生態学

その過酷さからこれまで見逃されてきた雪氷環境に生息する生物について、これまで個体数の時空間変動を明らかにしました。生態学研究センターでは、雪氷環境における生物繁殖条件を明らかにし、安定同位体比を用いて窒素栄養の起原および窒素循環解明を目指します。

寒いところにいる、小さな生き物たち

地球には、積雪や氷河といった寒冷な環境が存在します。これらの環境は、気温が低いだけでなく、紫外線が強いなど、人間が生活するにはあまりにも過酷です。一方で、この過酷な環境に適応した生物―雪氷生物―が生息しており、融雪が進む夏に大繁殖する雪氷藻類、雪氷藻類を餌とするクマムシやワムシなどが含まれます。特に雪氷藻類は、大繁殖により雪氷表面を色付け、光の反射率（アルベド）を低下させます。この結果、雪氷がより多くの光を吸収し、融解が促進されます。したがって、気候変動に伴う雪氷の拡大や縮小を予測する上で、雪氷生物がどのように繁殖するのかを解明することが重要な課題となっています。

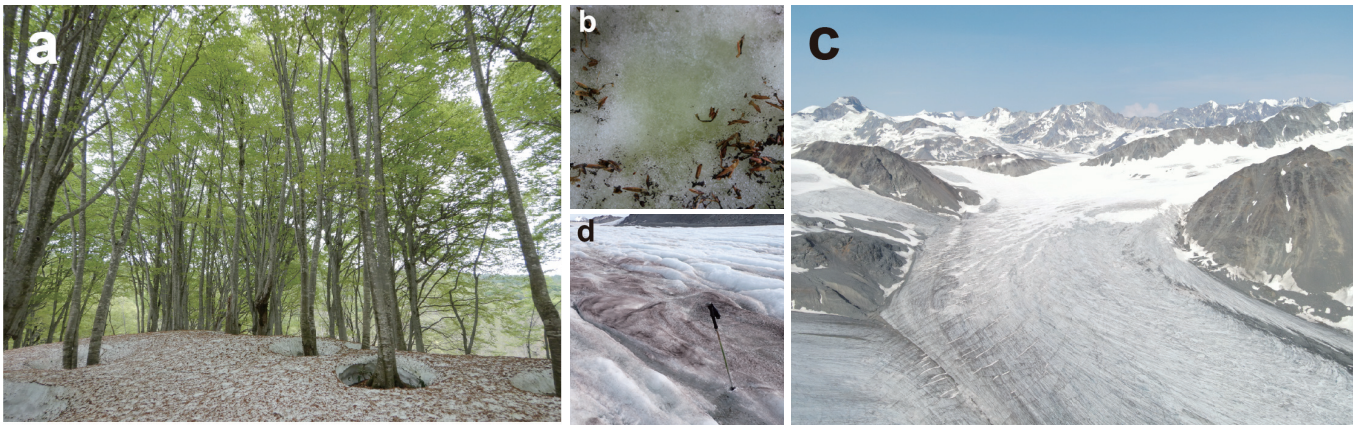
また、これまでは単に水のリーザーバーとして捉えられていた雪氷ですが、生物活動の結果として、様々な物質循環において重要な役割を果たしている可能性もあります。雪氷生物の活動を通じて、雪氷とその周辺環境（森林、土壌, 河川など）との間で、どの程度物質の交換が行われているかについても、まだ十分に明らかになっていません。

過酷な環境での挑戦

雪氷生物がいつ、何がきっかけで個体数を増やしているのかを明らかにするために、私は日本国内の積雪や海外の氷河といった異なる環境で調査を行ってきました。固体である雪や氷を融かして液体にしないことには始まらないサンプル処理に加え、現地で実験を行おうとしても、設置した機材が発生させる熱で雪氷がどんどん融けてしまい、実験環境がすぐに崩壊するなど、通常の環境では想像できない難　も、融雪期を通して試料採取を行った結果、日本国内の樹林帯の積雪に生息する雪氷生物は、周辺樹木の開葉の際に積雪表面に供給される栄養塩の増加によってその数が急増すること、氷河上の生物は、氷河上を不均一に分布し、その時空間変動が種によって異なることが明らかになりました。しかしながら、樹木の葉が開く前の積雪中の雪氷生物や、貧栄養環境下である氷河上の雪氷生物は、どのような栄養源を利用して個体数を増加させているのかは、依然として謎のままです。

栄養比と安定同位体を用いた雪氷生態系のプロセス解明

これらの課題解決に向けて、現在所属している木庭啓介教授の研究室では、雪氷試料に含まれる、藻類が繁殖に利用する栄養（炭素、窒素、リン）の比を分析し、藻類の繁殖条件を明らかにすることを目指しています。また、窒素に関しては、硝酸イオンの窒素・酸素安定同位体比分析を通じてその起源を解明することを目的として研究活動を行っています。将来的には、アンモニウムイオンなど他の窒素化合物の窒素安定同位体比の測定にも着手し、雪氷生態系の窒素循環を総合的に解明することを目指しています。



▲図 1. 雪氷と生物が作る景色。
(a) 日本の樹林帯にみられる積雪。ブナの展葉後もまだ雪が残る地域は、世界でも限られている。
(b) 積雪表面で藻類が繁殖することで見られる緑色の雪。
(c) アラスカの氷河。雪の白色（写真上部）とは異なり、氷表面（写真下部）は暗色化している。
(d) 氷河の暗色化は、藻類の繁殖によって氷表面が褐色に色づくことで起こる。

安定同位体比と脂肪酸分析を用いた食性解析の世界

目戸（めど） 綾乃（あやの）
京都大学生態学研究センター・研究員
専門は水圏生態学

どのような餌を食べるかは、個体の成長速度や繁殖スケジュールと密に関係します。さらに、食性は他個体や他種との関係を理解するための基礎的な情報となります。
安定同位体比や脂肪酸分析を用いた食性研究に関して、私のこれまでの成果とこれからの展望を紹介します。

東南アジアの巨大ナマズは何を食べているのか

私はこれまで、東南アジア・タイに生息するメコンオオナマズ（*Pangasianodon gigas*）とカイヤン（*Pangasianodon hypophthalmus*）の食性解析をおこなってきました。メコンオオナマズとカイヤンはそれぞれ最大体長3mと1.3mにも及ぶ巨大淡水魚で、タイでは食用魚として古くから利用されてきました（図）。タイでは資源量を増やすために種苗放流がおこなわれていますが、二種は何を食べているかすらあまりわかっていないため、どこに放流すれば大きく育つのか、在来種にどのような影響を及ぼすのかを評価できていませんでした。私たちがおこなった炭素・窒素・硫黄安定同位体比と脂肪酸分析の結果から、体長2mほどのメコンオオナマズは動物プランクトンなどを食べる2次消費者、体長1mほどのカイヤンは藻類などを食べる1次消費者と推定されました。どちらも、肉食性を示す魚種（ライギョなど）ほど栄養段階は高くありませんでした。オオクチバスのように、捕食によって二種が在来魚に直接的な影響を及ぼす懸念は小さいと考えられますが、一方で、藻類や動物プランクトンのような小さな餌であそこまで大きく成長できるとは非常に驚きました。

河川を利用する海生まれのスズキ：採餌から見た河川回遊の意義と維持機構

コロナ禍でタイに渡航できない間、日本でスズキの研究に参加する機会をいただきました。スズキは日本の沿岸域に広く生息する大型の海産魚で、個体群のなかには一生を海で過ごすグループと海から河川へ回遊するグループが含まれます。海生まれのスズキはなぜ海よりも生産性の低い河川を利用するのかを、食性の観点から探りました。硫黄安定同位体比と耳石Sr/Ca分析の結果から、河川へ回遊した成魚の多くが河川で餌を食べていたことが示唆されました。また、海で採餌したグループと河川で採餌したグループの間で栄養状態に差はありませんでした。複数組織の安定同位体比分析の結果からは、河川へ回遊したグループで食性の特殊化が生じていることが示されました。つまり、グループ内での「食いわけ」が生産性の低い河川での栄養状態の維持、ひいては河川回遊グループの維持に貢献している可能性があると考えています。

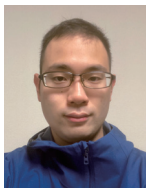
なぜその餌を食べるのか？脂肪酸で餌の質と消費者の栄養状態を評価する

これまでは、大きな魚の食性にこだわって研究を展開してきました。ただし、巨大ナマズもスズキもかなり特異な生物で、大型魚類の採餌や回遊というテーマにおいては他種との共通点よりも相違点を拾いあげることが多かったと感じています。これからは、何を食べているかに加えて、餌の栄養価を評価することで、野生動物の生活史や種間・生態系間の相互作用の理解に迫るような研究を展開したいと考えています。たとえば、サケ科魚類における移動や繁殖は、動物の成長率や繁殖力に影響すると言われている脂肪酸（DHAやEPA）の環境中での増減スケジュールと対応しているのではないかと予想しています。どんな"小さな"仕事も精力的に取り組む構えですので、ぜひ生態学研究センターのみなさんのフィールドにご案内いただけると嬉しいです。

▲図． タイの調査地で捕獲されたメコンオオナマズ（左）とカイヤン（右）

陸生植物が潮汐サイクルに適応するしくみを探る

横溝（よこみぞ）　匠（たくみ）
京都大学生態学研究センター・研究員
専門は分子生態学・時間生物学



オオバタネツケバナは陸生植物でありながら、一部の集団は潮汐環境に自生し、12時間周期で水没と干出を繰り返します。私は非潮汐環境の集団と比較解析をすることで、陸生植物における潮汐サイクルへの分子応答と局所適応のしくみを解明することを目指しています。

生物はあらゆる方法で環境変化に対応して生きています。夏の動物園では、日陰で暑さをしのぐ動物たちをよく見かけます。過ごしやすい場所に移動して身を守ることは私たちにとってはごく自然なことですが、芽吹いた場所で一生を過ごす植物は、どのように環境変化に対応しているのでしょうか。私は、短い時間スケールで変動する環境に対して、植物がどのような適応機構をもっているのかを明らかにしたいと考えています。

1日の半分は水中生活

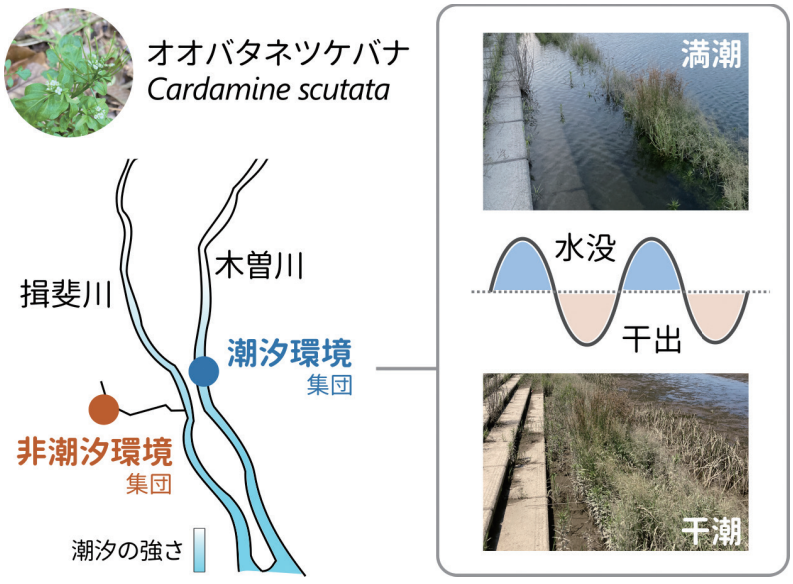
私が研究対象としているオオバタネツケバナ（*Cardamine scutata*）は、湿った環境を好む植物です。本種は木曽川本流や支流の周辺域に自生し、下流の淡水潮汐環境にも進出しています。淡水潮汐環境は、淡水域でありながら潮汐サイクルの影響によって水位が周期的に増減するのが特徴です。このような潮汐環境に生育する個体は、およそ6時間おきに水没と干出を繰り返します（図1）。すなわち、1日のおよそ半分は水中での生活を送っています。潮汐環境の集団は、このような周期的な水位変動のストレスにどのように対応しているのでしょうか。私は、野外集団を対象に、3時間おきに葉を採取する調査を48時間にわたって行ないました。これらのサンプルの遺伝子発現データを読み取ることで、周期的な水没に対してどのような分子応答メカニズムが働いているのかを探っています。さらに、形態形質や適応度を非潮汐環境の集団と比較することで、潮汐環境に対する局所適応を明らかにしたいと考えています。

異種由来の2つのゲノム

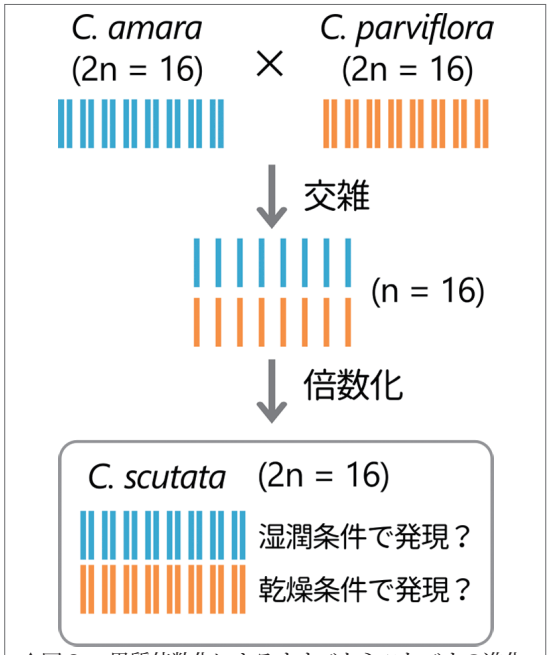
異種間の交雑とゲノムの倍数化によって、まれに複数種類のサブゲノムをもつ種が生じることがあります。このような種を異質倍数体と呼び、オオバタネツケバナもそのひとつです。オオバタネツケバナは、*C. amara* と *C. parviflora* の交雑によって生じた異質4倍体であり、それぞれに由来するサブゲノムを持っています。そのため、ある遺伝子がそれぞれの親種に由来して2コピー存在する場合が多く、それらの発現パターンは微妙な環境条件の違いによって異なる可能性があります。私は、オオバタネツケバナが、よく湿った場所を好む *C. amara* と比較的乾いた場所を好む *C. parviflora* に由来するサブゲノムを1セットずつ獲得したことが、水没と干出への適応につながったのではないかと考えています（図2）。

潮の満ち干を予期できるか？

多くの生物は、概日時計とよばれる24時間周期の体内時計を備えており、1日の明暗サイクルに適応しています。潮の満ち干も12時間周期で変動する環境サイクルのひとつであり、概潮汐時計と呼ばれる機構によって潮汐サイクルに同調する生物が知られています。しかし、概潮汐時計のメカニズムはほとんど明らかになっておらず、陸上植物においては概潮汐時計の存在もはっきりとしていません。私はオオバタネツケバナの潮汐集団が、潮汐サイクルによる水位変化を概潮汐時計によって予期するしくみをもつのかを含めて、検証したいと考えています。



▲図 1.　潮汐環境に進出したオオバタネツケバナ



▲図 2.　異質倍数化によるオオバタネツケバナの進化

寄生虫ハリガネムシの生物学

たに　しょうた　ろう
谷 聖太郎
京都大学生態学研究センター・研究員
専門は河川生態学・寄生虫生態学・生物系統地理学

宿主操作という「延長された表現型」が注目され、身近な昆虫に寄生するにもかかわらず未だ謎の多いハリガネムシについて、分子系統・集団遺伝学的手法などを駆使し、その基礎的かつ正確な生物学的知見の蓄積と、その寄生生態の解明を目的に研究を行っています。

「寄生」とは共生の一種であり、一方が他方を搾取する生物間の関係のことです。寄生者はウイルス・細菌・高等生物など多様な系統分類上の種において普遍的に存在しており、地球上の生物種の半数を占めるという試算もあるなど、その種数・多様性は膨大であると考えられています。しかしながら、寄生生物の自然史に関する研究は乏しく、その生態に関する知見はあまり多くありません。それはハリガネムシ（類線形動物門ハリガネムシ綱）についても同様です。

ハリガネムシは節足動物の内寄生生物であり、最大グループであるハリガネムシ目Gordioidaは世界中の淡水域に棲息し、約300種が記載されています。彼らは自らの繁殖のために陸生宿主を操作して入水行動をとらせることが知られ、この宿主操作は「延長された表現型」研究の好例として近年注目を集めています。しかしながら、多くの未記載種が存在し、宿主種の全容が不明な種が多いことから、ハリガネムシ目の生物学的な情報基盤は脆弱であると言わざるを得ません。私は、今後のハリガネムシの生態研究の発展には、その生物学的知見の蓄積による情報基盤の整備が必要であると考え、彼らの基礎的な生態に関する研究を行ってきました。

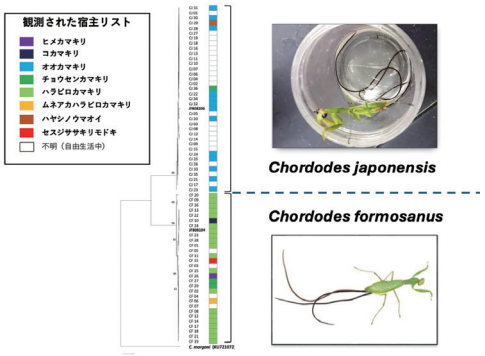
身近なハリガネムシの寄生生態

一般に、ハリガネムシはカマキリに寄生することで認知されていますが、それらはザラハリガネムシ属*Chordodes*という特定の分類群に属するもので、現在、日本において4種が記録されています。この中でも特に、ニホンザラハリガネムシ*C. japonensis*および*C. formosanus*（和名なし）の両種は互いに形態形質が類似しており、従来の形態学的な分類法での識別は容易ではありません。したがって、過去には同種として扱われるなど、両種の生態的情報は混同され、曖昧な状態にありました。

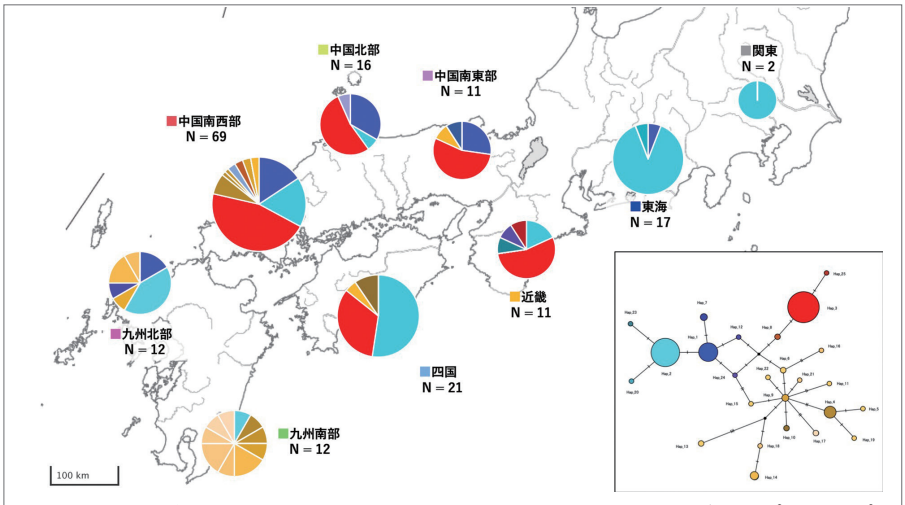
そこで、野外調査によって採集した2種をミトコンドリアDNAに基づいて分子系統学的に分類した上で、それぞれの宿主範囲（寄生者が利用する宿主の種数）を明らかにし、両種の寄生生態に関する情報を再整理しました（図１）。さらに、2種をそれぞれカマキリに人工的に寄生させる実験によって、両種の宿主範囲は明確に異なり、さらにその違いは宿主－寄生虫間にはたらく生理的要因によって決定づけられることが示唆されました。

研究の展望：宿主－寄生虫間の遺伝的構造比較

宿主範囲の調査に並行して、日本のさまざまな地域からハリガネムシを採集し、その遺伝子系統を解析したところ、ハリガネムシ*C. formosanus*の系統には日本の地理に沿った遺伝的構造（遺伝子型の分布パターン）が存在することがわかりました（図２）。ハリガネムシのような寄生虫は、自由生活期には限られた分散能力しか有しておらず、その遺伝子流動は主に宿主の移動分散によって引き起こされると考えられます。よって、ハリガネムシの遺伝的構造は、宿主の過去の移動分散パターンを反映していると推測され、宿主側の遺伝子系統における相似な遺伝的構造、あるいは部分的に類似する構造の存在を示すことでこれを裏付けることができます。現在、全国各地から宿主と共にハリガネムシを採集しており、これら試料の遺伝子解析を実施することで、宿主と寄生虫の遺伝的構造の類似性を検証したいと考えています。



▲図１．２種のハリガネムシの分子系統と宿主種。写真はそれぞれの代表的な宿主（上：オオカマキリ；下：ハラビロカマキリ）から脱出する様子。



▲図２．ハリガネムシ*C. formosanus*のミトコンドリアDNAに基づくハプロタイプ分布。九州・本州西日本（近畿および中四国）・本州東日本（東海・関東）で遺伝子型の出現頻度に差がある。

「安定同位体生態学測定支援ワークショップ2024」

今年度初開催したオンラインのみのワークショップです。「安定同位体測定」に興味をもった未経験の方を対象に行いました。

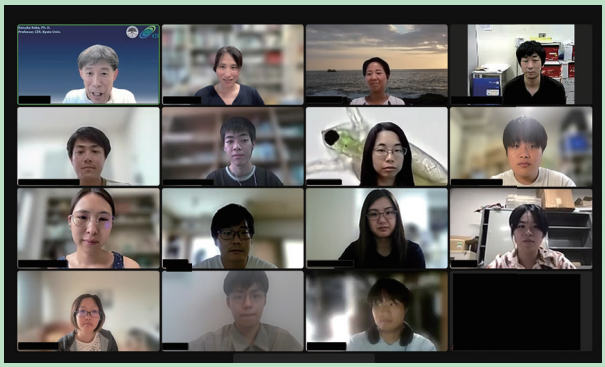
木庭 啓介（こば けいすけ）
京都大学生態学研究センター・教授
専門は同位体生態学・生態系生態学

開催日時 2024年4月22日（月）～7月8日（月）

開催場所 京都大学生態学研究センター

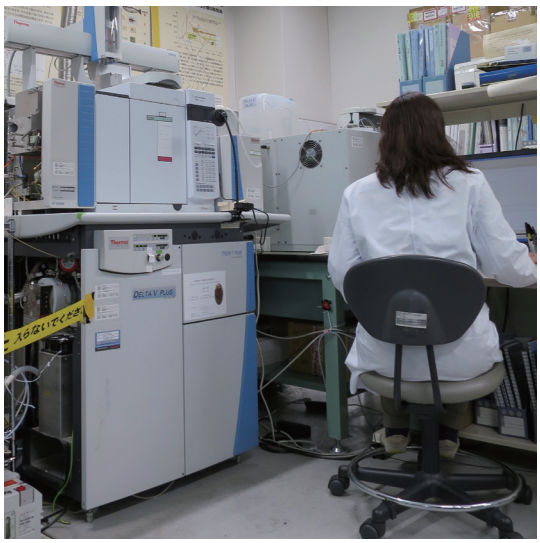
スタッフ 木庭啓介、目戸綾乃、平澤理世（京大生態研　3名）

参加者 京都大学学内からは生態学研究センター助教1名、情報学研究科院生1名（計2名）
学外からは、森林総合研究所研究員1名、北海道立総合研究機構研究職員1名、名城大学研究員1名、日本大学院生1名、兵庫県立大学院生1名、早稲田大学学部生1名、関西学院大学学部生1名、近畿大学学部生1名、京都府立大学学部生2名（計10名）の合計12名



本研究センターでは長きにわたり、安定同位体測定の共同利用・共同研究をすすめています。今回さらに門戸を広げる意味合いで「論文で名前は聞いたことがあり、興味があり、やってみたい」と思う方が実際に測定を行うことを支援する試みとして初めて開催しました。

まず、4月22日にzoomにて参加者に安定同位体比測定の概要、試料の準備について等を講義。その後、個別に分析に必要な試料の量、事前準備方法、郵送方法などの相談に応じました。各参加者とはその後もメール等で対応しながら各自が試料を準備して各6-10点郵送してもらいました。



▲郵送で送られてきた乾燥粉末試料をスタッフが秤量、測定を行いました。

担当スタッフが受け取った乾燥試料から必要量を秤量して錫箔に梱包、6月中に測定して再計算、CNマップを作成してそれぞれ参加者にデータを返送しました。各参加者はその結果をもとに考察を行い、7月8日にzoomにて一人5分程度で今回分析した試料の研究の背景と結果および考察を発表していただき、お互いに意見交換を行いました。サンプルの準備が難しかった方、仮説通りの結果が出た方、差が不明瞭な結果となった方、お互いにさまざまな結果を見ることができ、今後安定同位体測定を進めるか、やめておくのかの目安になったのではないかと思います。

▲測定後、残りの試料を参加者に返送しました。

ワークショップ終了後に下記のご意見等をいただきました。「初心者にとって勉強になるワークショップだった」「試料の準備の仕方を相談できたのがよかった」「実際に試すことができてよかった」「課題点や想定の甘かった点が明らかになった」「他の参加者による発表は、異なる視点で興味深く聴講した」などの感想をいただきました。また、「最後の発表時間が短く、特にデータの解釈や見方についてもっと長くとって議論したかった」等の改善点の提案があったので、来年以降も開催する場合にはその点注意したいと思います。今回御参加の皆様には今後の研究活動にこのワークショップでの経験を活かしていただければと思います。なお、本ワークショップ参加者のうち4名が8,9月に実施した安定同位体生態学ワークショップに参加しました。

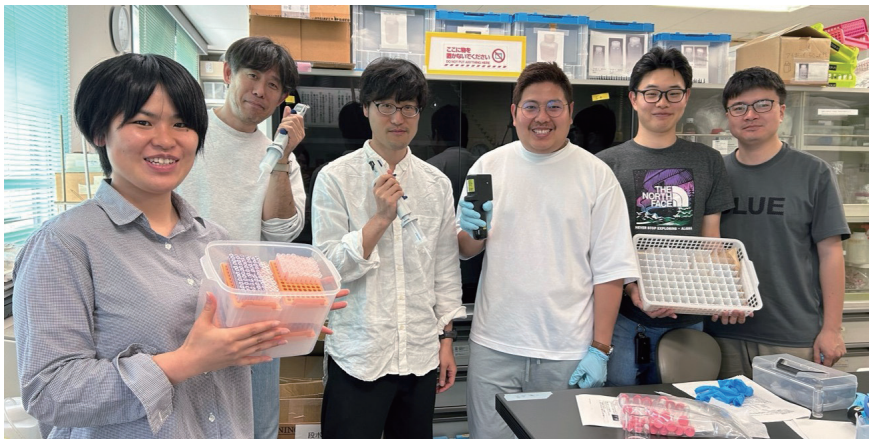
「脱窒菌同位体比測定法ワークショップ2024」

硝酸イオンの窒素、酸素の同位体比を測定する「脱窒菌法」を実践する
脱窒菌同位体比測定法ワークショップ 2024 を開催しました。

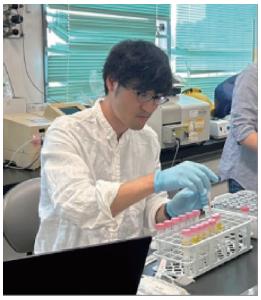
木庭（こば） 啓介（けいすけ）
京都大学生態学研究センター・教授
専門は同位体生態学・生態系生態学

開催日時　2024 年 5 月 13 日（月）～ 15 日（水）
開催場所　京都大学生態学研究センター
スタッフ　木庭 啓介、小野誠仁、蒋梦琦、目戸綾乃（京大生態研）合計 4 名
参 加 者　広島大学　助教　1 名　合計 1 名

硝酸イオンの窒素、そして酸素同位体比を測定することができる「脱窒菌法」が開発されてすでに約20年近く経っています。しかし、この方法は脱窒菌の取り扱い、硝酸イオンから一酸化二窒素（N_2O）ガスへ変換するサンプルの処理法、そして生データの補正など普及するには難しい点があります。本ワークショップでは、サンプルの前処理から実測定までの1サイクルの中で、最も重要な硝酸イオンのN_2Oガスへの変換に特化して行うものですが、今回は特に参加者のサンプルの性質に即した前処理での注意点について議論を行いつつ、対面で5月13 ～15日にワークショップを実施しました。尚、このワークショップは8回目の開催となります。



▲参加者とスタッフ



▲サンプルの注入

共同利用・共同研究での利用者1名も加わり、初日の5月13日には脱窒菌の前処理（グルコース培地の作成、脱窒菌の濃縮）、14日にはサンプルN_2O変換処理、15日にはサンプルN_2O変換終了（水酸化ナトリウム水溶液を添加）作業を行いました。同時に、脱窒菌法での同位体比測定における注意点などについてレクチャーを実施しました。参加者が実際に持ち込んだ硝酸アンモニウムのサンプルについては、ワークショップ終了後、マシンタイムを調整した上で測定を実施し、5月31日には参加者にデータをお送りし、その内容についてもメイルにて解説などを行いました。

ワークショップ終了後、参加者から感想をいただきました。その一部を抜粋します。「希望により硝酸アンモニウムの窒素安定同位体比分析のための前処理法についてもご教示いただいた。実験操作自体は難しいものではなかったが、その操作と実験器具にはこれまでの経験と知識が凝縮されていた」「この分析システムを整備し、それを一切の隠し事なしにワークショップ参加者や装置利用者に共有していることに感動を覚えた」本ワークショップで学んだことを取り入れ、今後の研究を発展させていただきたいと思います。

▲最終日 水酸化ナトリウムを添加する参加者

「若手研究者のための夏季観測プログラムin木曽川」

佐藤（さとう） 拓哉（たくや）
京都大学生態学研究センター・准教授
専門は個体群生態学・群集生態学・寄生虫学

開催日時	2024年8月19日（月）～8月23日（金）
開催場所	京都大学木曽生物学研究所
スタッフ	佐藤拓哉・大竹裕里恵（京大生態研） 志田岳弥・朝倉日向子（京大理学）合計4名
参加者	京都大学理学部生1名　合計1名

本プログラムは、地球規模の気候変動、森林伐採、河川改修などの人為撹乱に伴う森林渓流生態系の物理・化学的環境の改変が河川生物群集に及ぼす影響を把握することを目的とした長期生態系観測およびデータベース作成を行う若手研究者のためのワークショップです。京都大学理学部木曽生物学研究所をフィールド拠点として、木曽川中流域支流河川における河川生態系のモニタリングを実施しています。2024年度は、新型コロナで現地開催を見合わせて以降、数年ぶりの開催となりましたが、本ワークショップと京都大学理学部・陸水生態学実習IIとの合同で実施しました。今回は、理学部の学部生の参加を得ました。

参加者は、木曽川中流域支流河川の調査定点において、水温・流量計測、礫付着藻類・底生無脊椎動物群集の定量採集、魚類（サケ科魚類 イワナ）の標識採捕調査を実施し（写真1、2、3）、それらサンプルを分析するとともに、データベースになる資料作成にも取り組みました。また、河川のみでなく、近隣のダム湖のプランクトン採集、同定も実施しました。

さらに、参加者はそれぞれ、これらの調査経験をもとに、興味のある研究課題を見つけ出し、データ解析をすることで（写真4）、自らが取得したデータに基づく検証をしました。そして、最終日前日に、個別に研究発表を行いました（写真5）。日本の河川生態学の基礎が築かれてきたといっても過言ではない木曽において、とても有意義な野外実習を実施することができました。

▲写真1．電気漁具を使用したイワナの捕獲調査の様子

▲写真2．サーバーネットを用いた底生動物の定量採集の様子

▲写真3．捕獲されたイワナ

▲写真4．TAとデータ解析を行っている様子

▲写真5．研究発表会の様子

「安定同位体生態学ワークショップ2024」

共同利用・共同研究拠点の活動として、本年度も「安定同位体生態学ワークショップ」を開催しました。オンラインでのガイダンス1日と実際に来所しての作業と発表会5日間を行いました。

木庭 啓介（こば けいすけ）

京都大学生態学研究センター・教授

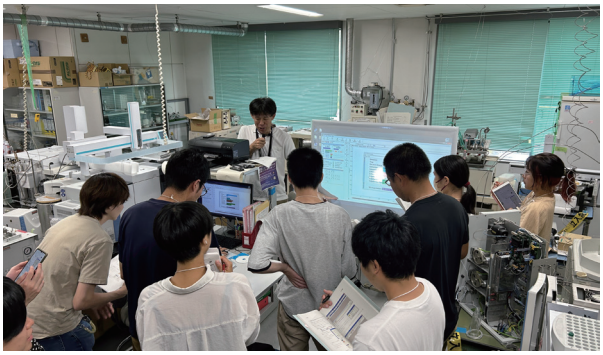
専門は同位体生態学・生態系生態学

開催日時 2024年8月5日（月）～9月13日（金）

開催場所 京都大学生態学研究センター

スタッフ 木庭 啓介、後藤晶子、小野誠仁、蒋梦琦、目戸綾乃、平澤理世（京大生態研　6名）

参 加 者 京都大学学内からはフィールド科学教育研究センター助教1名、農学研究科院生1名、理学研究科院生1名、情報学研究科院生1名（計4名）
学外からは、土木研究所専門研究員1名、森林総合研究所研究員1名、摂南大学講師1名、神戸大学（院生1名　学部生1名）、早稲田大学（院生1名　学部生1名）、酪農学園大学（院生1名）、関西学院大学（学部生1名）、総合研究大学院大学（院生1名）、信州大学（院生1名）、近畿大学(院生1名)（計12名）の合計16名



▲実験室で機器の操作の説明を聞く参加者

まず8月5日（月）にzoomにて測定試料の準備方法の説明を行いました。その後、事前に選定したチームリーダー3名には各研究室にて試料の前処理、秤量をしていただきました。また、参加者全員にはデータの扱いに慣れるために、実際の測定結果を用いて各自で補正計算の練習を行ってもらいました。

9月9日（月）には16名が来所しました。当日朝にJRのダイヤが大幅に乱れたため、開始時間を繰り下げ、機械の立ち上げ操作を2回にわけて行うなどの対応をとりました。午後に全員がそろったので自己紹介後、安定同位体生態学の基礎の第1回の講義を行いました。翌日は機器の調整後、測定を開始しました。試料を提供いただいたリーダー3名に研究目的やサンプルの説明をしていただき、参加者は3班に分かれました。また、第2回目の講義ではワーキングスタンダードの考え方の説明を行いました。11日（水）は参加者全員に5分程度、自身の研究紹介をしてもらい、その後グループごとにケーキを食べながら班内での交流を深めました。12日（木）の第3回目の講義では安定同位体を用いた研究の事例を紹介しました。この他にも当初予定にはありませんでしたが、昼食時間等に実際に安定同位体を用いた研究を行っている研究者達にスペシャルセミナーをお願いしました。

3日目以降は測定結果の補正計算、結果のまとめ、考察、プレゼン資料の作成を班別で行いました。最終日13日（金）午後には「赤トンボ類の食性に関する研究」（トンボ班）、「浅海の共生系をとりまく食物網」（ウニ班）、「渇水撹乱が河川生態系動態に与える影響の検討」（渇水班）の発表を行いました。その後お茶とお菓子を囲みながら個人で持参して分析した6名の方のサンプルの測定結果を聴き、議論がはずみました。

後日、参加者の皆様に感想を送っていただきました。実際に機器を操作することにより概念および実際の操作を理解できたこと、他大学、異分野、違う世代の方との意見交換、交流ができたことをメリットに挙げている方が多かったです。今年度は夜の懇親会は行いませんでしたが、グループ分け直後の会食でグループ内での交流をはかり、最終日の発表後のお茶会では気を緩めてお互いの研究、将来についても話ができたなど、有意義な時間であったようです。

▲お茶会をしながら、測定結果の発表を聴く参加者

今回御参加の皆様には今後の研究活動にこのワークショップでの経験を活かしていただければと思います。最後になりましたが、今回のワークショップに関するテーマと試料をご提供いただいた森林総合研究所 東川航博士、土木研究所 中川光博士、京都大学 山守瑠奈博士に感謝致します。

「活火山を有する福島県の自然環境の生物地球化学的特徴に関する現地研究集会」

ふくしま　けいたろう
福島　慶太郎
福島大学・農学群食農学類・准教授
専門は森林生態系生態学

開催日時	2024 年 9 月 21 日 (土) ～ 22 日 (日)
開催場所	福島大学食農学類・浄土平ビジターセンター・猪苗代湖ほか
スタッフ	福島慶太郎（福島大）ほか
参 加 者	京都大学，福島大学，名古屋大学，北海道大学，滋賀県立大学，福井県立大学，北里大学，森林総合研究所，国立環境研究所，福島県環境創造センターなど，計 25 名

▲ 1 日目　口頭発表の様子

2024年度生物地球化学研究会・現地セッション：「活火山を有する福島県の自然環境の生物地球化学的特徴に関する現地研究集会」を，9月21日から22日に開催しました。福島県は都道府県別面積が第3位と広く，東から西に向かって浜通り・中通り・会津の3地域から構成されています。それぞれ気候，自然環境，文化が異なり，どこも非常に魅力あふれる場所なのですが，今回は中通りと会津の北部に舞台を絞って実施することにしました。当該地域には活火山が多く存在しており，火山の影響を強く受けた雄大で複雑な自然環境が形成されています。硫化水素などの有毒ガスが常時発生している吾妻連峰，火山性の強酸性地下水が湧出する酸性河川，1990年半ばまで酸性湖でしたが近年急速に中性化した猪苗代湖など，独特な生態系が成立しています。コロナ禍以降初めての完全対面での実施として，参加者計25名とともに当該地域を巡検しながら，生物地球化学に関する活発な議論を行うことができました。

1日目は，福島大学食農学類みらいホールにて2件の基調講演と5件の研究発表を行いました。本研究会会員で福島大学特任教授の金子信博氏による基調講演「農地システムを再考する「不耕起草生」化で変わる農地の物質循環」では，金子氏の30年以上にわたる活動の集大成ともいえる壮大かつ緻密な研究成果をご紹介いただきました。続いて，福島県環境創造センターの篠崎真希氏から，福島県の自然環境の概要や福島第一原子力発電所の事故による放射能汚染の現状，また今回の舞台の1つである猪苗代湖における調査活動について説明いただきました。その後，5名の方から最新の研究成果について口頭発表をしていただきました。降雨時の水質変化や，琵琶湖深水層の酸素消費，ササ除去による森林土壌の窒素動態，河川に形成されたワンド・タマリの栄養塩動態，リター分解における樹種混交の効果など，多岐に渡る分野から最新の研究成果が紹介され，時間が足りなくなるほど熱い議論が交わされました。

研究発表の後，バスに乗って昼食をとりながら，磐梯朝日国立公園内の浄土平ビジターセンターに向かいました。途中，火山ガスが漂う道を走っていると，バスの中にも硫黄臭が感じられ，歓声が上がりました。目的地ではあいにくの悪天候でしたが，ビジターセンター内の展示を見たり，現在も噴煙を上げる一切経山の写真を撮ったり，傘とカッパを持って吾妻小富士の噴火口を見に行ったりと，各自充実した時間を過ごしました。体もすっかり冷え切った後，土湯温泉峠の一角にある赤湯温泉に向かいました。温泉旅館で宿泊をする参加者がバスを降り，残りの参加者は福島駅に向かって駅周辺で宿泊をし，初日の疲れと冷えを癒しました。

2日目は，バスにて猪苗代方面へと向かいました。この日もあいにく雨天で磐梯山にはしっかりと雲がかかって十分に見えませんでした。午前中は，道の駅猪苗代の会議室にて7件のポスター発表を行いました。河川や湖における放射性セシウム動態，火山性酸性河川の水質，湖底堆積有機物から見た沼の環境変遷，湖の水質改善，シカによる採食が森林の窒素循環に与える影響，大気沈着と河川水質の長期変化等，大変興味深い研究成果の発表が行われ，あっという間に時間が過ぎていきました。道の駅内で昼食をとった後，奇跡的に雨がやみ，雲も薄くなったため，当初予定していた通りに猪苗代湖の遊覧船に乗り，猪苗代湖の自然に触れることができました。湖上では酸性から中性になった原因を考えたり，透明度の高さを実感したり，大いに盛り上がりました。下船後，猪苗代湖水を郡山市の農業用水に用いるために明治時代につくられた日本三大疏水の1つ，安積疏水の上戸頭首工を見学し，当時の最新技術と自然環境に対する深い洞察に感心しました。以上で全行程を終え，福島駅にて解散となりました。

本研究集会を通して，まだまだごく一部でありますが福島の自然が織りなす生態系を肴に，生物地球化学に関する議論を活発に行うことができました。また，参加者それぞれが自身の研究の更なる展開につながるヒントも得たように思います。普段は全く違うフィールドで活躍されている様々な分野の研究者・学生たちが一堂に会し，昼夜を問わず研究のこと，また“うんちく”や“しょーもない”研究以外のことを，ざっくばらんに楽しく語れる場は，そうそうないと思います。このような貴重な場を，今後も引き続き盛り上げていきたいと思いますし，まだ見せていないアナザー福島も将来の開催場所の候補としていけたらと思います。

生物地球化学研究会HP：https://sites.google.com/site/biogeochemnet/

▲ 2 日目　猪苗代湖遊覧船を前に記念撮影

共同利用・共同研究拠点　中間評価結果

平素は大変お世話になっております。今般、第４期中期計画期間における共同利用・共同研究拠点の中間評価が行われ、弊センターの拠点の評価は以下の通りでした。

拠点名：生態学・生物多様性科学の先端的共同利用・共同研究拠点

評価区分：A－

評価コメント：

生態学・生物多様性科学分野の中核的研究拠点として、安定同位体をツールとして活用し、琵琶湖を対象とした湖沼研究により特徴ある研究を展開し、研究成果を挙げるとともに、大型の研究費を獲得するとともに、関連コミュニティへの一定の貢献を果たしていることは評価できる。

一方で、期末評価の際に指摘をした調査船や安定同位体の分析施設等共同利用施設・設備の外部利用比率が未だ十分ではなく、琵琶湖以外の湖沼研究へのインパクト（あるいは波及効果）が不明瞭である。

今後は、関連コミュニティである生態学・生物多様性科学分野全体への波及効果があるような拠点としての方向性を具体的に検討するとともに、センター構成員が主導的な役割を担う共同研究の成果としての論文が数多く発表されることが望まれる。

上記の結果について、私は拠点長として大変残念かつ遺憾に思い、弊センターのメンバーの献身的な努力、および研究者コミュニティの皆さまからのご支援とご協力を考えると、極めて重い責任を感じております。私どもは、期末評価に向けて上記コメントを十分に検討しつつ、引き続き生態学・生物多様性科学の発展のために努力と精進を怠りません。今後共、引き続き皆さまからのご支援とご協力を賜りますよう、何卒よろしくお願い申し上げます。

中野伸一　拠点長

共同利用事業

毎年度、生態学の基礎研究の推進と生態学関連の共同研究の推進を目的として、共同研究と研究集会・ワークショップを公募しております。

◉予算措置のあるもの

共同研究a、研究集会・ワークショップ

※2025年度の公募は終了いたしました。例年11月頃に公募を開始いたします。

◉予算措置のないもの

共同研究b、資料利用

※申請は随時受け付けております。申請方法は下記URLをご参照ください。

http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/contents.html

2025年度共同利用・共同研究拠点事業に関するお知らせ

申請書の提出先・問い合わせ先

京都大学生態学研究センター　共同利用・共同研究拠点担当　E-mail: kyodo-riyo@ecology.kyoto-u.ac.jp

〒520-2113　滋賀県大津市平野２丁目509-3　Tel: 077-549-8200 / Fax: 077-549-8201

協力研究員

協力研究員は担当教員とご相談のうえ、施設の一部をセンター員に準じて利用できます。ただし、共同利用施設の利用にあたっては、別途、上記の共同利用の申請手続が必要です。

任期は2年度末までとなります。申請は随時受け付けております。

申請書の様式は下記URLからダウンロードできますので、必要事項を入力のうえ電子メールでお送りください。

http://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/fellow.html

※協力研究員は、本センターの協議員会の議に基づきセンター長が委嘱します。

なお、協力研究員は生態学研究センターの研究活動の協力者であり、生態学研究センターに在籍する身分として認められるものではありません。

世界自然遺産小笠原樹木の光合成酵素ルビスコのCO_2固定特性の種多様性と進化的制約

Sakata T, Matsuyama S, Kawai K, Yasumoto K, Sekikawa S, Ishida A (2024) Interspecific variation in Rubisco CO_2/O_2 specificity along the leaf economic spectrum across 23 woody angiosperm plants in the Pacific islands. *New Phytologist* 243: 951-965. DOI: 10.1111/nph.19820.

石田 厚（いしだ あつし）
京都大学生態学研究センター・教授
専門は植物生理生態学・樹木生理学

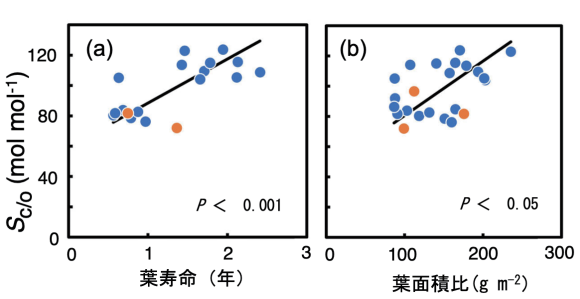
植物が葉内で光合成する際、最初にCO_2を有機物に固定する酵素をルビスコと呼びます。ルビスコはCO_2ともO_2とも引っ付いてしまう、いわゆる競争阻害型の酵素です。すなわちカルボキシラーゼ活性とオキシゲナーゼ活性の両方を持ち、O_2分子はCO_2分子とルビスコの同一触媒部位に拮抗的に反応するため、両活性の比率は葉緑体ストロマ内でのCO_2とO_2の分圧の比で決まってきます。ルビスコがCO_2を基質にすればブドウ糖を生産する光合成回路（C_3回路/カルビン-ベンソン-バッシャム回路）が動きますが、O_2を基質にした場合は光呼吸回路が働きCO_2を放出してしまいます。そのため以前は、光呼吸回路は無駄なエネルギー浪費型の代謝と考えられた時代もありました。しかし最近は、植物にとって有益な役割があると考えられています。例えば植物が乾燥などにより気孔を閉じたとき、葉内CO_2濃度の低下によりC_3回路が働かなくなると、強光下で葉緑体が過剰に吸収してしまった光エネルギーは活性酸素を生み出し、細胞を損傷させてしまいます。これを光阻害と言います。しかし光呼吸経路は、過剰な光エネルギーを消費して光阻害を避け、またC_3回路へCO_2の供給もしていきます。地球上で光合成生物が誕生した頃は大気のCO_2濃度は高くO_2はごくわずかだったのですが、約700万年前ごろ大気中のCO_2濃度の低下などの要因により、CO_2濃縮機構を持つC_4植物の爆発的増加が起きています。C_4植物はC_3植物よりも、そのCO_2濃縮機構により葉内のCO_2/O_2比を高くできるため、ルビスコのCO_2/O_2比親和性（$S_{C/O}$）は低くなっています。逆にC_3植物は、$S_{C/O}$が高く、CO_2の選別能力が優れていることがわかっています。しかし今まで、C_3植物内での$S_{C/O}$値の種間差について多くの知見はありませんでした。

我々は小笠原諸島父島の乾燥尾根部に生育する23樹種（18科、12目）のC_3植物を対象に、野外で生育する野生植物の陽葉を用いて、そのルビスコの$S_{C/O}$値とさまざまな葉の形質を測定しました（図１）。その結果、彼らの間でルビスコの$S_{C/O}$値には1.7倍もの種間差があることがわかりました。またさらに葉が厚く硬く、また葉寿命が長い樹種ほど、$S_{C/O}$が高い、すなわちCO_2と反応し易いルビスコを持っていました（図２）。一般に葉が厚く硬い樹種は、その葉の寿命も長くなります。このような傾向はLeaf Economic Spectrum(LES)と呼ばれ、植物の葉の経済効率に基づいてそれぞれの植物が進化してきた結果だと考えられています。我々の小笠原での研究で、葉寿命の長い樹種は、気孔開度や葉内のCO_2濃度も低く、葉面積当たりのタンパク質量が多いなどの特徴を合わせ持つこともわかりました。すなわち葉寿命の長い樹種は、葉内のCO_2濃度の低下とともに、葉面積当たりのタンパク質量を上げ、またCO_2との親和性が高い（高$S_{C/O}$値）、CO_2の選別が正確なルビスコを持っていました。すなわち葉寿命の長さの違いに応じ、葉の様々な形や生理機能の間に連結が見られました。

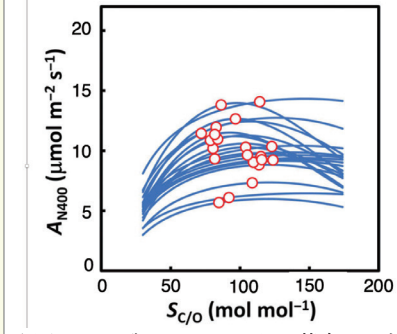
▲図１　調査地風景。様々な樹種が共存する小笠原の乾燥尾根部。

では、どのC_3植物でも高$S_{C/O}$値を持ったルビスコを持った方が良いのでしょうか？ルビスコには、$S_{C/O}$値が高いほど反応速度が低くなる傾向があります。そのため葉が薄く葉寿命が短く、葉面積あたりのタンパク質量の少ない種では、葉面積あたりのルビスコの量が少なくなるため、$S_{C/O}$値は低いけれど反応速度の高いルビスコの方が有利になると予測されました。そこで、葉のCO_2拡散コンダクタンスと葉のタンパク質量を説明変数にして、光合成の生理特性に基づいたモデルシミュレーションを行いました。その結果、野外植物で測定されたルビスコの$S_{C/O}$値は、葉面積あたりの光合成を最大化する最適値とほぼ一致（95%以上）していました（図３）。

このように野外測定と生理モデルシミュレーションより、ルビスコの$S_{C/O}$値もLESに基づいた、種分化と自然選択を通じた進化的な結果であることを明らかにしてきました。ルビスコ特性の樹種間差は、樹木種の多様性や光合成戦略の多様性を支える重要な要素の１つでした。近年我々の研究室では、旱ばつや大型台風による塩害などによる樹木衰退は、でんぷんなどの形で樹木体内に貯蔵された糖の不足によって引き起こされることがわかってきました。すなわち樹木が様々なストレスを受けた時、貯蔵糖不足が枯死への最後の引き金になっていました。今後、気候変動にともなう気温の上昇や大気CO_2濃度の増加などは、ルビスコの性質を最適値から逸脱させ、光合成ひいては貯蔵糖を低下させる要因につながるかも知れません。近年世界各地で樹木枯死や森林衰退が頻発しています。その将来予測や森林回復技術の開発のためにも、樹木衰退・枯死の生理メカニズムの解明は、世界的にも重要な研究課題の一つになっています。



▲図２　小笠原で共存する各樹木種の（a）葉寿命とルビスコの$S_{C/O}$（CO_2/O_2比親和性）、（b）葉面積比（葉乾重/葉面積比）と$S_{C/O}$との関係。青丸は在来樹種、赤丸は外来樹種を示す。葉面積比が大きくなるほど、葉は厚く硬くなります。



▲図３　ルビスコの$S_{C/O}$と、葉内CO_2濃度400ppm時の光合成速度（A_{N400}）のシミュレーション結果。青線は各樹種で$S_{C/O}$を変えた時に予測されるA_{N400}値と、赤丸は野外で生育する各樹種が持つ$S_{C/O}$値。赤丸の位置は光合成最適値の95%の範囲内にありました。

機械学習を用いた野外環境下における植物のフェノタイピング

Akiyama R, Goto T, Tameshige T, Sugisaka J, Kuroki K, Sun J, Akita J, Hatakeyama M, Kudoh H, Kenta T, Tonouchi A, Shimahara Y, Sese J, Kutsuna N, Shimizu-Inatsugi R, Shimizu KK (2023) Seasonal pigment fluctuation in diploid and polyploid *Arabidopsis* revealed by machine learning-based phenotyping method PlantServation. *Nature Communications* 14: 5792.

工藤 洋（くどう ひろし）
京都大学生態学研究センター・教授
専門は植物生態学・分子生態学

生物の表現型形質を測定することをフェノタイピングと呼びます。多くの個体について、時間を追って、しかも変動する自然環境でフェノタイピングを行うにはどうすれば良いかについて注目が集まっています。それは、最近、トランスクリプトーム（遺伝子の網羅的発現）やエピゲノミクス（ゲノム全体におけるDNAメチル化やヒストン修飾）のデータが多検体から精度よく収集可能となったことと関係します。「生物がどのように変動する環境に応答して表現型を変えるのか」という疑問に答えるために、分子生物学的な大規模データに対応するフェノタイピング技術を開発する必要がありました。

▲図1　生態研の圃場に設置されたフェノタイピング装置（撮影：杉阪次郎氏）

そこで、チューリヒ大学の清水健太郎博士・清水（稲継）理恵博士は、植物の色素蓄積という表現型に着目しました。植物は発芽した後に移動しないため、固定したカメラを使って、同じ個体を継続して観察をすることができます。この大量の画像データから植物の性質に関する情報をうまく取り出すことができれば、フェノタイピングに使うことができます。「時系列画像データを、刻々と変化する自然環境下での植物の応答の研究に使えないだろうか？」という疑問で始まった国際共同研究に、京都大学生態学研究センターも参加しました。データの収集は、スイスと日本の2か所で行われ、生態学研究センターの圃場で実施された日本側の実験では杉阪次郎研究員（生態研）が活躍しました。

▲図2　植物の栽培区画（撮影：杉阪次郎氏）

アブラナ科シロイヌナズナ属の草本、ミヤマハタザオ（4倍体）、タチスズシロソウ（4倍体）とそれらの2倍体両親種と人工倍数体を屋外の自然条件で生育させ、時系列自動撮影画像をもとに、アントシアニン蓄積の環境応答を解析しました。農業用パイプに固定したデジタルカメラについては、屋外の様々な天候の下における安定したデータ品質と長期間の撮影を両立するため、給電ケーブルや雨よけに工夫を凝らしました。野外に植えた複数の系統を時系列撮影し、のべ400万枚以上に及ぶ画像を取得しました。しかし大規模な画像データから植物の表現型情報を取得することは単純ではありません。チューリッヒ大学の秋山玲子研究員を中心に横浜市立大学、エルピクセル社など複数研究機関から研究者が参画した産学共同の研究チームがこれにあたりました。深層学習によるセグメンテーションというAI技術を利用することで植物の自動認識を行い、さらに機械学習の手法を用いて植物の色情報からアントシアニン色素量を推定し、最終的に画像データセットから色素の時系列変動を捉えることができました。その結果、近縁の種間や系統間でも差異が見られ、気温・日射量・降水量といった環境要因に応じて系統ごとに異なる応答パターンで色素量を調節していることがわかりました。また、種間交雑起源の異質倍数体種が、両親の性質を潜在的に受け継ぎながら、環境に応じて一方の形質を強く示すという柔軟性を示すことを明らかにしました。今回開発した画像解析ソフトウェアPlantServationを用いることで、気温が何度変わると、何日後に色素量がどの程度変化するのかといった詳細で定量的な環境応答パターンを自然環境下で解析することが可能となりました。

地球環境の変動による植物への影響が危惧される中、本研究で開発したAIを活用した手法は様々な野生植物や作物への適用が可能で、生態学、進化学、農学などへの貢献が期待されます。また、この研究は生態学研究センターの共同研究aのサポートを受けており、共同利用・共同研究拠点活動の大きな成果です。今後もさらに国際共同研究を推進することで、多くの学術的成果を発信することを計画しています。

シカの森林被害は土壌微生物にも波及する
―大規模生態系操作実験と環境DNA分析の融合―

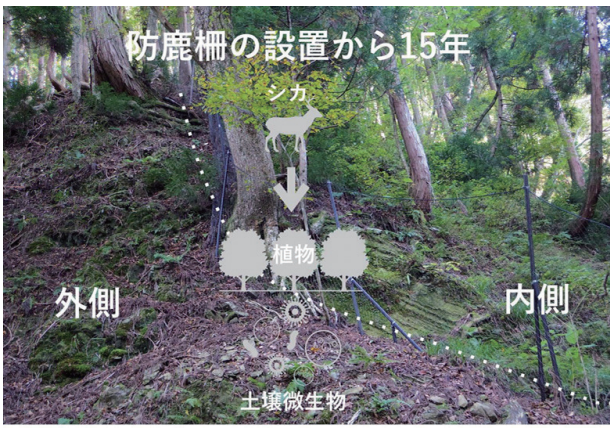
Kadowaki K, Honjo MN, et al (2023) eDNA metabarcoding analysis reveals the consequence of creating ecosystem-scale refugia from deer grazing for the soil microbial communities. *Environmental DNA* 5(6): 1732-1742.

門脇（かどわき） 浩明（こうめい）
京都大学白眉センター・農学研究科
・特定准教授
専門は群集生態学

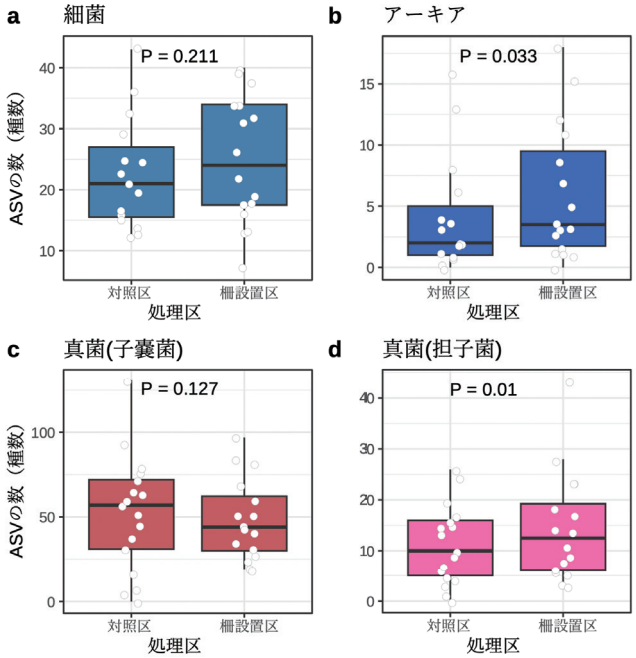
現在、日本の森林では、多くの地域において、ニホンジカ（以下、シカ）の食害による植生の荒廃が深刻化しています。その被害は、植物種の多様性とバイオマスを減少させる直接的影響だけでなく、昆虫相などに間接的に影響するなど、生態系の波及効果を引き起こしています。このような間接的影響のひとつに、シカの食害が土壌微生物群集に対して与える影響が挙げられます。植物が減ると土壌の性質や土壌微生物に影響を与え、その影響が植物自体に跳ね返ってくるため、土壌微生物の多様性が低下し、さらなる生態系の変化の引き金となる可能性があるからです。最近の研究では、土壌微生物が植生の多様性を維持し、遷移を促進することが示されており、シカによる食害が土壌微生物にどのような影響を与えるのかを理解することは重要です。

本研究の柱となっているのは、芦生生物相保全プロジェクト（略してABC Project）です。芦生研究林では、2000年前後より、過剰な密度で生息するニホンジカによって、森林下層植生が衰退しました。こうした森の危機に対し、植生を保全しつつ、生物相や生態系プロセスへの影響を明らかにすべく、ABCプロジェクトが設立されました。2006年に、16haの区域を防鹿柵で囲ってシカを排除する大規模生態系操作実験が開始され、これまで京都大学の高柳敦准教授らのグループが主体となって進めてきました。私たちは、この大規模防鹿柵サイト（図1）を活用し、シカによる食害の有無が土壌微生物にどのような影響を与えるのかを解明することを目指しました。シカが排除され豊かな植生が回復・維持されている区域（シカ排除区）と、それに隣接し、シカの食害が続いている区域（対照区）において、土壌を採取し、環境DNAメタバーコーディング解析によって土壌微生物群集（細菌やアーキア（古細菌）などの原核生物、ならびに担子菌類や子嚢菌類などの真菌類）の構造と組成を比較しました。その結果、アーキアと担子菌類の種数はシカ排除区の方が対照区よりも多く、細菌と子嚢菌類についてはそのようなパターンは見られないことがわかりました（図2）。また、多様性の違いに加えて、土壌真菌群集を動物病原菌や菌根菌、腐生菌といった生態系での機能の観点で分類したグループに分けて調べると、シカ排除区よりも対照区において動物病原菌グループの存在量が多くなることが発見されました。このように、防鹿柵が土壌微生物群集に及ぼす影響は、微生物のグループごとに複雑な反応によって特徴づけられますが、シカの食害を防ぐことで土壌微生物群の多様性を守ることができる可能性を示唆しています。

シカの食害を防ぐ大規模防鹿柵による生態系操作実験と、環境DNA分析のアプローチを組み合わせることで、防鹿柵による長期的な植生の回復・維持が土壌細菌・真菌の多様性を守ることにつながり、とくに、アーキアや担子菌類などの一部の微生物群の多様性を維持する効果があることを示しました。今後は、こうした土壌微生物群集の変化が植生の回復や維持にどのような影響を与えるのかを解明することで、シカの食害が生態系に与える影響の全貌に迫り、より効果的な生態系回復策の立案などに資する研究を展開していきたいと思います。



▲図1. 芦生研究林の防鹿柵の内部ではその外部と比べて豊かな植生が維持されており、その効果は土壌微生物にまで波及しうる。

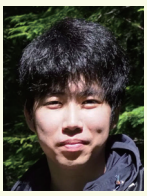


▲図2. 防鹿柵設置区と対照区における微生物の多様性の違い。多様性の指標としてASV（アンプリコンシーケンス変異型）の数を比較している。

「湖」へ回遊したサケ科魚類における回遊パターンの多様化と大型化

責任著者

佐藤 拓哉（さとう たくや）
京都大学生態学研究センター・准教授
専門は個体群生態学・群集生態学・寄生虫学

第１著者

中西 勇太（なかにし ゆうた）
京都大学大学院理学研究科
・修士課程（研究当時）
専門は生態学

Nakanishi Y, Ohta T, Iizuka T, Kishi D, Noda S, Shida T, Ueda R, Sato T (2024) Divergence and shift in the migratory life history of a salmonid fish during the transition to a new environment. *Oikos*. DOI: 10.1111/oik.10981.

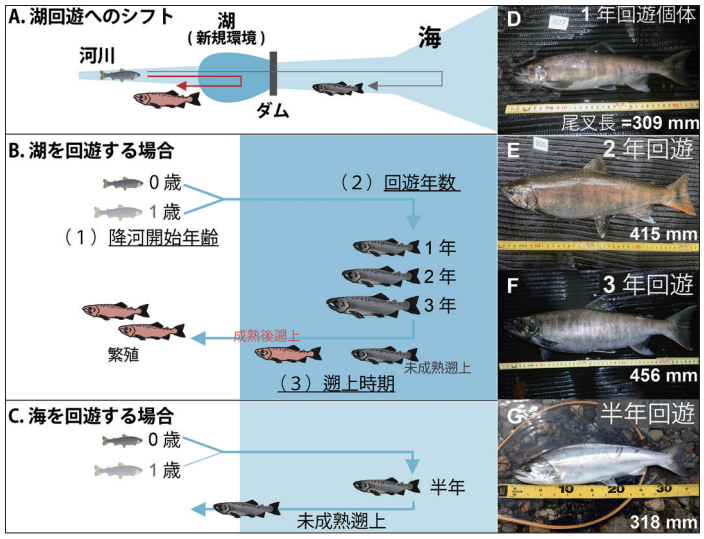
本研究は、京都大学大学院理学研究科の中西勇太 修士課程学生（研究当時）、野田祥平 博士後期課程学生、志田岳弥 修士課程学生、富山大学の太田民久 講師、東京大学の飯塚毅 准教授、岐阜県水産研究所の岸大弼 研究員、京都大学生態学研究センターの上田るい 研究員と、佐藤拓哉 准教授からなる共同研究グループで得られた成果です。以下に概要を紹介します。

西日本に広く生息するサケ科魚類のアマゴでは、河川で一生を過ごす河川残留型のアマゴに加えて、秋から翌年の春まで海で回遊して返ってくる降海型のサツキマスがいます。このサツキマスは、降海性を維持する世界南限のサケ科魚類です。冷水性のサケ科魚類にとって、夏が暑い西日本で海に行くことは容易ではなく、すべてのサツキマスは、海で約半年しか過ごせず、夏前に未成熟のまま、産まれた河川へ戻るための遡上を開始します。この回遊パターンの多様性の低さは、北半球に広く生息する降海性サケ科魚類の中でも特異的です。

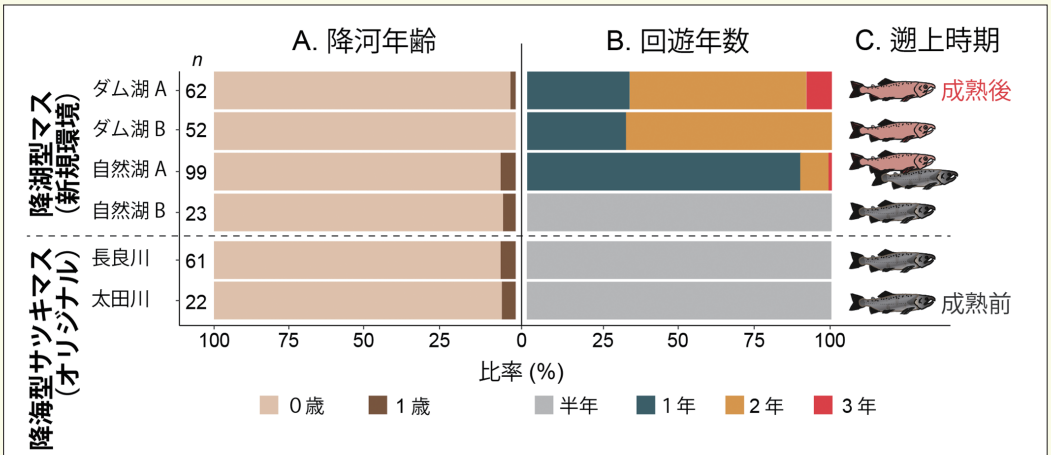
一方、アマゴ・サツキマスでは、河川に自然の湖やダム湖（＝新規環境）が形成されると、湖を回遊する個体が速やかに出現します。本研究では、それら降湖型マスの大規模なサンプリングを行い、鱗の輪紋解析や耳石のストロンチウム同位体分析に基づく回遊履歴の推定を実施することで、（１）降湖開始年齢、（２）回遊年数、および（３）遡上タイミングを調べ、湖間やオリジナルの降海型と比較しました。

その結果、降湖開始年齢については、すべての湖でほとんどの個体が０歳に降湖しており（94 - 100%）、これは降海型でみられたパターンと同様でした（**図２Ａ**）。しかし、回遊年数については、降海型が半年しか海で回遊しないのに対して、冷水帯のある湖では、降湖型マスは、１－３年間の回遊をしていました（**図２Ｂ**）。一方、冷水帯のない湖では、降海型と同様に、すべての個体が半年で回遊を終えていると判定されました（**図２Ｂ**）。さらに、冷水帯のある湖では、降湖型マスは、その多くが繁殖期直前の秋に、成熟後に河川へ遡上してきていることが明らかになりました。一方、冷水帯のない湖では、降海型と同様に、夏までに、未成熟のまま、河川へ遡上してきていました（**図２Ｃ**）。降湖型マスの特筆すべき生態特性として、降海型のサツキマスでは見たことがないほどに巨大な個体が頻繁にみられました。こうした大型個体の出現は、冷水帯のある湖で回遊年数が１年を超え、最大で３年に及ぶことと強く関係していました（**図１Ｅ，Ｆ**）。冷水帯のない湖では、こうした大型個体は見られませんでした。

これらは、湖という新規環境が形成された際に、移住を行う動物が非常に柔軟に、移住の仕方を変化・多様化しており、そのことが多様な生き方の創出につながっていることを定量的に示した、世界的にも例の少ない研究成果です。「サツキマス」の名前の由来は、海へ降った魚たちが皐月の花の咲く頃に、未成熟のまま、生まれた川へ向けて遡上を始めることに由来します。湖で秋まで回遊し、成熟してから遡上してくる鱒は、サツキマスとは大きく生態が異なり、かつ名前の由来にもあわない、もみじ鱒などと呼ぶべき存在です。私たちは今後、降湖型マスの回遊パターン・生き方の多様性の創出・維持メカニズムを明らかにしたいと考えています。その上で、降湖型マスを進化的・生態的・経済的にどのように捉え、見つめていくのかを考えたいと思っています。



▲図１　降湖型と降海型にみられる回遊パターンの概要



▲図２　降湖マスと降海型サツキマスにみられた回遊パターン
ダム湖 A とダム湖 B、および自然湖 A には冷水帯があるが、自然湖 B には冷水帯が無かった。
資源保全の観点から、湖の固有名称は示さない。

富栄養化と地球温暖化の琵琶湖生態系への影響 ―湖底に住む生き物は何を物語るか―

成田 哲也（なりた てつや）
元京都大学生態学研究センター・教員
専門は陸生生態学

池谷 透（いけや とおる）
立命館大学理工学部・講師
専門は水圏生態学・環境学

中野 伸一（なかの しんいち）
京都大学生態学研究センター・教授
専門は水域生態学

Narita T, Ueda Taka'aki, Ikeya T, Nakano S (2024) Long-term changes in the density and composition of profundal macrobenthos in Lake Biwa from 1966 to 2000. *Inland Waters*. DOI: 10.1080/20442041.2024.2388338.

琵琶湖は、琵琶湖生物資源調査（1963 ～ 1965 年）において富栄養化が懸念されるようになりました。そこで、京都大学理学部附属・旧大津臨湖実験所所長の森主一先生（当時）が琵琶湖の長期的モニタリングを行う必要があると考え、1965 年 10 月から北湖 1 地点、南湖 3 地点で非生物環境項目（水温、溶存酸素量など）と生物項目（プランクトンと底生動物）について、当時の大津臨湖実験所の職員総出で月 1 回の調査を行いました。その成果の一部は、京都大学理学部紀要（生物学）に報告されています。実際の湖上観測は教官（中西正巳又は成田哲也）と船長技官（中島義徳、川端秋夫）、技官（上田孝明）が行ない、著者の一人である成田は 1970 年から底生動物担当として参加しました。

この論文は、成田が1970年に大津臨湖実験所に赴任して以来書き貯めてきた底生動物データを整理解析したものです。底生動物は、分解者または魚類の餌資源としての重要な役割を持ちますが、当時はまだ淡水水生ミミズの分類研究が進んでおらず、琵琶湖に何種のミミズが生息するのすら解っておらず、ミミズの分類同定から始めなければなりませんでした。この分類同定には大高明史さん（弘前大学名誉教授）に手ほどきをいただいたことが、大変ありがたいことでした。

本論文で紹介している琵琶湖北湖のIe-1地点での観測結果では、1985年～1990年にかけて年平均泥温が上昇し、その後は2000年までは変動はするが有意に上昇していません。湖底付近の平均溶存酸素量（DO）は、1980年代中頃までは減少傾向でしたが、それ以降は減少傾向を示しませんでした。泥温が上昇すると生物的・化学的な要因によりDOが減少すると考えていましたが、予想に反してそうはなりませんでした。これら２つの結果の理由は不明です。

底生動物では、1960～1970年代には大型のエラミミズ(*Branchiura sowerbyi*)の密度が増加しましたが、中型のユリミミズ（*Limnodrilus profundicola, L. hoffmeisteri*）やイトミミズ(*Tubifex tubifex*)は増加しませんでした。我々は、エラミミズの現存量増加については、富栄養化の影響が重要であると考えています。

その後、1980年代中頃にエラミミズは減少し、代わって1990年以降イトミミズが著しく増えました。我々の解析では、底生魚のイサザ漁獲量の減少がイトミミズの増加と強く負の相関したことから、イトミミズの増加はイサザの減少による捕食圧の低下によると推論しました。直接的証拠はないのですが、ミミズが魚類によって捕食され、密度に強く影響していることは初めての発見です。一方、エラミミズはイサザの漁獲量と相関しなかったことから、ミミズの種によって魚に捕食されやすい種とされにくい種があることが示唆されました。

各種ミミズの密度は、泥温の上昇には有意に相関しませんでした。また、先述の通り、泥温の上昇は底層水中の溶存酸素の減少に有意に結びつかず、むしろ底生魚イサザの捕食に強く影響されていたことは、生物の現存量を決める要因としての生物間相互作用の重要性を示しています。著者の一人である成田は、大学院生時代にイサザの胃内容物調査をしたことがありますが、ヨコエビばかり目についてその他のものはあまり多く見られず、おそらくデトライタスと考えていたものの中にミミズ類が含まれていたかもしれません。水生ミミズの分類が進んだ現在なら、剛毛の形や大きさで多くは判別できる可能性があります。

私たちの論文は単に長期モニタリングデータを報じただけのものではなく、琵琶湖に起こった２つの重要な環境変化（富栄養化、地球温暖化）について底生動物を通じて解析したユニークかつ重要なものです。地球温暖化については、20世紀には社会的関心がそれほど高くありませんでしたが、21 世紀にはいると国際的に社会的関心が高まり、現在では地球環境問題の筆頭に挙げられています。本研究は、20世紀に得られた研究データを21世紀の視点から解析したものとしても重要です。

琵琶湖は1960年代から富栄養化し、1990年代にかけて水質改善に成功した貴重な経験を持ちます。富栄養化では、大量の植物プランクトンが生産され、これらの植物プランクトンは底泥に蓄積します。堆積した植物プランクトンが分解されると酸素が消費され、場合によっては琵琶湖の深層や底泥が貧酸素化します。地球温暖化でも湖沼深層や底泥の貧酸素化は起こり、2019年と2020年に「琵琶湖の深呼吸」が十分に起こらなかったのはその例であり、これらの年にはイサザやヨコエビ（深底部にはアナンデールヨコエビ一種）が湖底で大量に死んでしまいました。私たちの研究は、このような状況で湖底の生き物がどのように生きているのかを示しているとともに、陸上に住む我々には見えない世界の現実を、半世紀以上前から現代までさかのぼって示すことができた貴重な報告です。さらに、私たちの研究では生物は環境条件の変化に対してある程度の耐性を持ちますが、捕食者との食う―食われる関係が生物の生き残りに大きく影響している可能性も示しました。このことは、温度や酸素、pHなどの物理・化学環境だけでなく、生物についての長期観測も重要であることを示しています。

この研究成果は、京都大学が理学部附属旧大津臨湖実験所から生態学研究センターまでの 100 年以上にわたって船舶を維持管理し、船長や技官・技術職員、教員などのマンパワーも配置し、琵琶湖の長期モニタリングを継続する体制を維持してきたからこそ成し得た成果です。つまり、本研究は、担当した研究者のたゆまぬ努力に加え、それを支える組織の長期にわたる継続的なサポートによる成果としても大変重要です。

自然変動環境下における植物の概日時計と環境シグナルの統合メカニズム

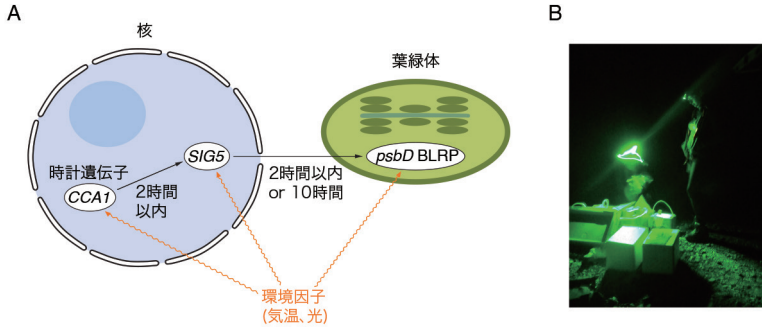
Nishio H, Cano-Ramirez DL, Muranaka T, Dantas LLB, Honjo MN, Sugisaka J, Kudoh H, Dodd AN (2024) Circadian and environmental signal transduction in a natural population of *Arabidopsis*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 121: e2402697121.

にしお　はるき
西尾　治幾
滋賀大学データサイエンス・AIイノベーション研究推進センター講師
京都大学生態学研究センター連携講師
専門は植物分子生態学・バイオインフォマティクス

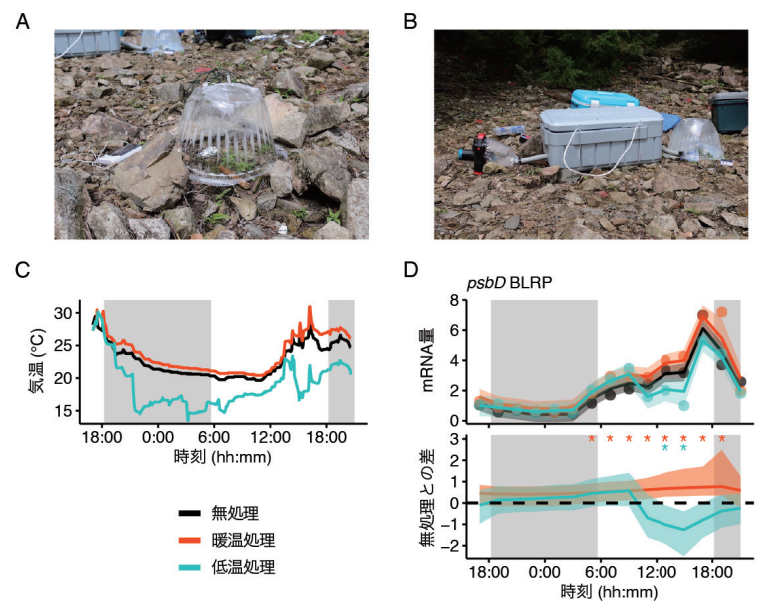
植物は、私たち人間と同じように、地球の昼夜サイクルに合わせて生活しています。この24時間周期のリズムを「概日リズム」と呼びます。植物は、光や温度といった環境の変化を感じ取り、その情報を概日時計と組み合わせて、いつ花を咲かせ、いつ葉を動かすかなどを決めています。しかし、植物の概日時計がどのように機能し、環境シグナルとどのように統合されるのかは、いまだ多くの謎が残されています。植物の概日リズムに関する従来の研究は、主に厳密に制御された実験室環境下で行われてきました。一方、自然環境においては、光や温度だけでなく湿度や風など、様々な要素が複雑に絡み合い絶えず変動しています。そこで本研究は、実験室と自然環境の間のギャップを埋める一助となることを目指し、ハクサンハタザオ（学名：*Arabidopsis halleri*）の兵庫県の自然集団を対象にフィールド研究を行い、概日時計と環境シグナルの統合メカニズムの解明に挑みました。この研究は、滋賀大学データサイエンス・AI イノベーション研究推進センターの西尾治幾 講師（兼：京都大学生態学研究センター 連携講師）、京都大学生態学研究センターの工藤洋 教授、英国 John Innes Centre の Antony Dodd 教授、Sainsbury Laboratory の Dora Cano-Ramirez 博士らの国際共同研究グループによって行われました。

ハクサンハタザオの自然集団において、核から葉緑体へのシグナル伝達経路に着目し、遺伝子発現解析と統計モデリングを行いました。具体的には、核から葉緑体へのシグナル伝達に関わる3つの遺伝子―核ゲノムにコードされている時計遺伝子 *CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED1*（*CCA1*）、核ゲノムにコードされ葉緑体遺伝子の転写を制御する遺伝子 *SIGMA FACTOR 5*（*SIG5*）、葉緑体ゲノムにコードされ光化学系 II の構成因子である *psbD* BLRP―の発現量を定量し、時系列解析やベイズ統計学などの手法を用いて、概日時計と環境因子が遺伝子発現に与える影響を評価しました（図1）。その結果、自然環境下においては温度シグナルが、核から葉緑体へのシグナル伝達経路に影響する主要な環境因子であることが明らかになりました。さらに、気温操作実験によって温度シグナルに対する経路の応答の日周変動を調べた結果、概日時計の温度ゲーティングが自然環境下で働いていることが示唆されました（図2）。また、本研究で用いたモデリング手法は、日周期的な振動を示す他のシグナル伝達経路の解析に汎用的に利用できることが示されたので、様々な環境シグナルに対する植物の応答を解析する新たなツールとなることが期待されます。

本研究の結果、植物が複雑な自然環境の中で、環境変化と概日時計の情報を統合し、柔軟に応答している様子が明らかになりました。この成果は、植物の概日時計研究に新たな視点を提供し、植物の生命現象に対する理解を深める重要な一歩となります。また、本研究の知見および遺伝子発現を精度高く予測する統計モデルの開発は、気候変動下における植物の生育予測や、耐性の高い品種の開発に繋がる可能性を秘めており、将来の農業や生態系保全への貢献が期待されます。



▲図1　A. 本研究で主な対象とした、核から葉緑体へのシグナル伝達に関わる遺伝子の模式図。遺伝子間の情報伝達の時間遅れの程度、および環境因子が各遺伝子の発現に与える影響を、自然環境下で明らかにした。
B. 深夜におけるハクサンハタザオの葉のサンプリングの様子。植物への影響を抑えるため緑色のライトを用いた。



▲図2　A. ハクサンハタザオ自然集団における暖温処理の様子。植物をプラスチックドームで覆い、気温を上昇させている。B. 低温処理の様子。カスタム装置により、冷却した空気をプラスチックドーム内に送り込んでいる。C. 各処理区における気温変化。D. 上のパネルは各処理区における *psbD* BLRP の mRNA 量の変化を示す。下のパネルは無処理との差分を示しており、95% ベイズ信用区間（影）が 0 を含まない時点において有意な差があると判断される（アスタリスクで表示）。*psbD* BLRP の転写は日照時間のみ温度応答することがわかる。Nishio et al., 2024 *PNAS* より改変。

毎週調査で明らかになった常緑植物の葉群動態と老化制御の季節的な切り替えについて

Yumoto G, Nishio H, Muranaka T, Sugisaka J, Honjo MN, Kudoh H (2024) Seasonal switching of integrated leaf senescence controls in an evergreen perennial *Arabidopsis*. *Nature Communications* 15: 4719.

湯本原樹（ゆもとげんき）
京都大学生態学研究センター・特定研究員
専門は植物分子生態学

落葉性植物では、秋になると葉の色が変わり落葉します。それに対して、常緑性植物は一見落葉していないように見えますが、実際には落葉が非同調的に行われており、絶えず葉が更新されています。このように葉には寿命があり、光環境や個体の光合成効率、繁殖時の転流など状況に応じて老化が制御され、植物の資源配分の最適化に貢献しているとされています。特に野外環境下では生産・越冬・繁殖など季節ごとに適切に葉の老化を制御する必要がありますが、野外での老化制御経路の使い分けについては不明な点が多いです。本研究では、常緑性植物の葉の更新に注目し、アブラナ科の常緑多年草であるハクサンハタザオ（*Arabidopsis halleri subsp. gemmifera*）を対象に、兵庫県多可郡にある思出川にて毎週調査を行いました。その結果、季節を通した葉群動態とその背後にある葉の老化制御の季節変化について明らかにしました。

はじめに葉寿命の基礎データを取得するために２週間に一度、図１のように色付き糸で葉を標識しコホート（同齢葉集団）として、生死の測定を毎週行いました。その結果、11.4時間の日長を境に春から夏の長日環境では短寿命で葉齢に伴い枯死し、秋から冬の短日環境では長寿命（正確に言えば、短日環境で展開した葉は翌年の春まで枯死しないため、秋展開の葉が長寿命で春が近づくにつれ短寿命になる）でした。さらに短寿命葉は寿命が短いにも関わらず、コホート内で枯死タイミングが非同調的である一方、長寿命葉はコホート内のほか異なるコホート間でも繁殖期に同調的に枯死することがわかりました。

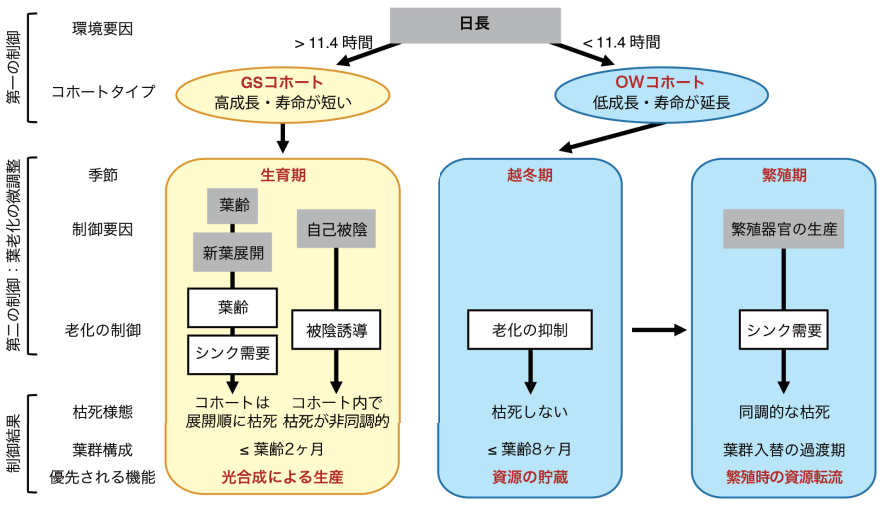
このデータを受けて、非同調的な枯死は、個葉単位の光環境つまり自己被陰の程度のばらつきにより形成され、同調的な枯死は、個体単位つまり繁殖時の転流により形成されることを予想しました。仮説を検証するために個葉の被陰度の操作実験とシンク器官（繁殖器官や新葉など栄養を送る先）の切除操作実験を典型的な夏コホートと越冬コホートに対して行いました。その結果、夏コホートは被陰により葉の老化が促進された一方で、越冬コホートは被陰誘導性の老化が起きませんでした。また、シンク切除操作ではいずれのコホートも切除により老化が抑制されましたが、繁殖器官を切除した越冬コホートの方が新葉を切除した夏コホートよりその効果が大きいことがわかりました。さらに、夏と冬とで老化過程で発現が変化する老化遺伝子を比較すると、夏と越冬コホートではそれぞれ被陰誘導性、全身性免疫応答誘導性の老化遺伝子が多く発現変化していました。つまり老化過程では全ての老化遺伝子の発現が必要なのではなく、季節に応じて使用する老化遺伝子が切り替わることが明らかになりました。

以上から、春から夏は葉寿命が短く、さらに葉齢・個葉単位での光環境に依存して老化が起こり、光環境が良く若い葉が多く、生育を優先する葉群になる一方で、秋から冬は個葉単位の老化は抑制され、翌年の繁殖期まで多様な齢の葉が維持され、繁殖への貯蔵を優先する葉群になることが明らかになりました（図2）。今後はこのような季節性の切り替えの分子機構について明らかにしていきたいと考えております。

この研究を始めたきっかけ

4月に研究室配属され、与えられたテーマのほかに「とりあえず毎週調査に行って」という”生態学らしい指導”を受け、明確な目的もないまま、ハクサンハタザオの自然集団を毎週撮影し、観察していました。半年ほど過ぎた頃に写真を見返していると開花期である5月ごろに常緑であるはずのロゼット葉が一時的に消滅することに気がつきました。この小さな発見を指導教官に報告すると「消滅する葉はいつ展開したの？」という素朴な疑問を投げかけられたことが研究を始めるきっかけになりました。消滅すること自体は繁殖時の転流と予想できましたが、消滅する葉はいつ生まれるかという視点はなく、これぞ研究指導かと衝撃を受けたことを記憶しています。

▲図１．色付き糸をつけたハクサンハタザオ。一眼でいつ展開できるかをわかるように標識する色をコホートごとに変えている。



▲図２．老化制御における季節的スイッチングの概略図

寄生虫ハリガネムシの「延長された表現型」に対する進化的トラップの可能性

▲写真１　アスファルト道路上を歩行中のハリガネムシ感染ハラビロカマキリ。写真２　道路上で餓死した腹びろから脱出して乾燥したハリガネムシ。

責任著者

さ　とう　たく　や
佐藤 拓哉
京都大学生態学研究センター・准教授
専門は個体群生態学・群集生態学・寄生虫学

第１著者

さわ　だ　ゆう　な
澤田 侑那
京都大学大学院理学研究科
・修士課程（研究当時）
専門は生態学

Sawada Y, Sato N, Osawa T, Matsumoto K, Chiu M, Okada R, Sakura MC, Sato T (2024) A potential evolutionary trap for the extended phenotype of a nematomorph parasite. *PNAS Nexus 3*: *464-467*.e2402697121. DOI: 10.1093/pnasnexus/pgae464.

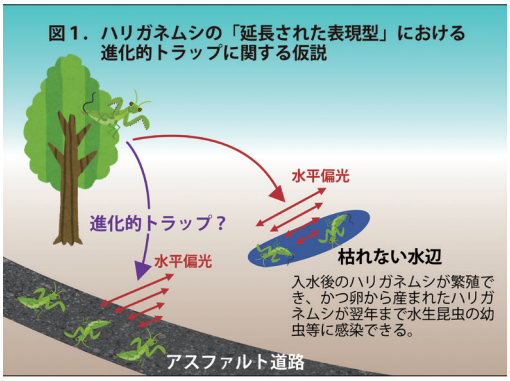
本研究は、京都大学大学院理学研究科の澤田侑那 修士課程学生（研究当時）、京都大学生態学研究センターの佐藤拓哉 准教授、東京都立大学の佐藤臨 特任研究員、大澤剛士 同准教授、元森林総合研究所の（故）松本和馬 博士、国立台湾大学のMing-Chung Chiu 助教、神戸大学大学院理学研究科の岡田龍一 研究員、佐倉 緑 同准教授からなる国際共同研究グループで得られた成果です。以下に概要を紹介します。

野生生物は、光や匂い等の環境キューを感知して、大規模な移住行動をしたり、よりよい生息地や餌、繁殖相手を選択したりしています。人類が起こす急速な環境改変は、本来生物たちに利益をもたらすこうした行動や選択に、しばしば不利益な結末をもたらします。これは「**進化的トラップ**」と呼ばれており、生物多様性消失の原因の一つになっています。自然界には、非常に多様な寄生生物がいます。その中には、自らの利益（感染率や繁殖成功率の向上）のために、宿主の環境応答を変えて行動を操作する種が多くいます。しかし、「進化的トラップ」が宿主を介して寄生生物にまで及んでいるかはわかっていませんでした。

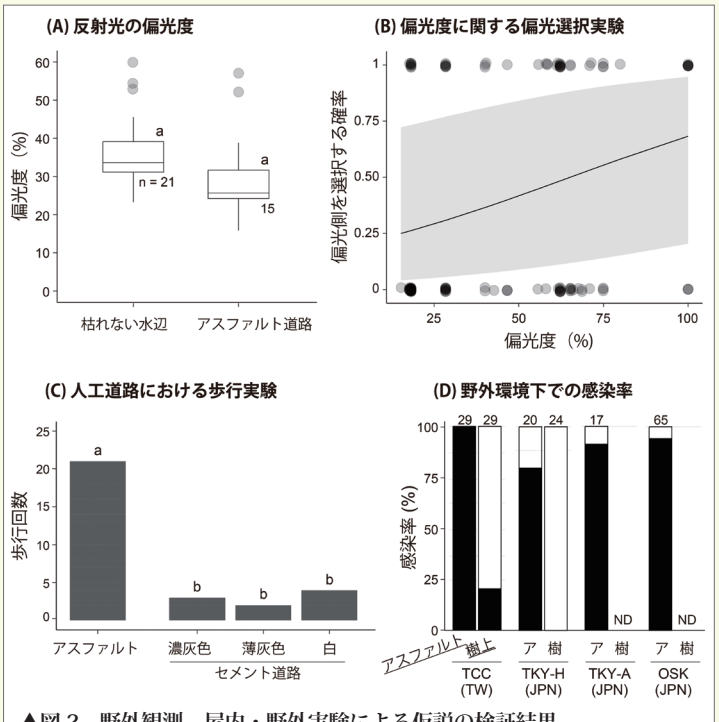
行動操作の代表例として、「寄生生物のハリガネムシが、繁殖場所である川や池に移動するために、寄生相手であるカマキリやカマドウマ等を自ら川や池に入水させる」という現象が知られています。我々は近年、ハリガネムシに操作されたハラビロカマキリが、水辺から反射する**水平偏光**に誘引されて水に飛び込むことを明らかにしました。この行動操作により、ハリガネムシは首尾よく川や池に移動して繁殖をし、一生を終えています。一方、秋になると、川や池周辺のアスファルト道路の上で、ハラビロカマキリが歩いているのをよく見かけます（**写真１**）。こうしたハラビロカマキリはしばしば、車や自転車に轢かれたり、人に踏まれたりして死んでいます。そしてその傍らには、ハリガネムシも乾燥して死んでいます（**写真２**）。なぜこのようなことが起こるのでしょうか？（**図１**）

本研究において、我々は、アスファルト道路からの反射光の偏光度（30.2±10.9%）は、ハリガネムシ感染カマキリがよく入水する、枯れない水辺からの反射光の偏光度（38.1±10.2%）と同様に高く（**図２Ａ**）、両者を偏光度に基づいて見分けることは困難であることを示しました。また、室内実験により、感染カマキリは偏光度が高いほど、水平偏光に引き寄せられる確率が高まることを示した上で（**図２Ｂ**）、野外実験により、感染カマキリが偏光度の高いアスファルト道路上を、偏光度の低い他のセメント道路よりも高い頻度で歩いていることを示しました（**図２Ｃ**）。さらに、台湾と日本の４つの調査サイトにおいて、アスファルト道路上で採集したハラビロカマキリの感染率が80％以上（台湾のサイトでは100％！）であることを示しました（**図２Ｄ**）。

これらの野外観測・行動実験の結果は、「進化的トラップ」が、直接的に環境キューを受容する宿主を介して、寄生生物にまで及んでいることを強く示唆する、世界でも初めての研究成果です。我々は今後、ハリガネムシ類による宿主操作の分子機構やその進化プロセスを深く理解するとともに、人間活動下でそれらが如何に損なわれるリスクがあるのかを、より深く解明していこうと考えています。



▲図１　ハリガネムシの「延長された表現型」における進化的トラップに関する仮説



▲図２　野外観測、屋内・野外実験による仮説の検証結果

Web 植物図鑑サイト TERRARIUM に掲載されました

大規模系統解析から樹木の進化パターンが明らかに―送粉共生、種子散布共生、菌根共生の相関進化―

Yamawo A, Ohno M (2024) Joint evolution of mutualistic interactions, pollination, seed dispersal mutualism, and mycorrhizal symbiosis in trees. *New Phytologist* 243(4): 1586-1599. DOI: 10.1111/nph.19783.

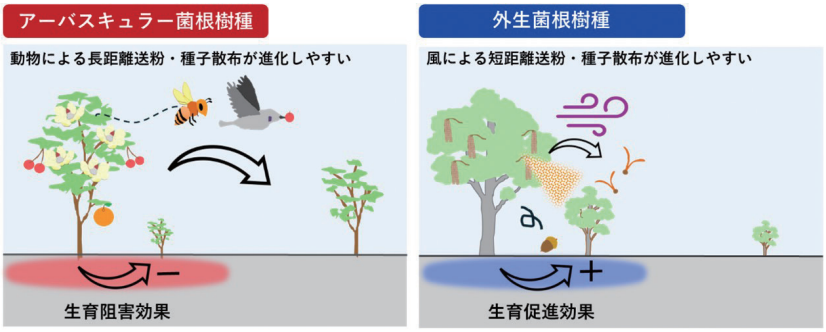
山尾 僚（やまお あきら）
京都大学生態学研究センター・教授
専門は植物生態学

この研究は、弘前大学時代に当時、当研究室の博士課程だった大野美涼さんと一緒に行った学生実習がきっかけで始まりました。送粉共生、種子散布共生、菌根共生は、3大共生関係とも呼ばれ、それぞれの共生関係が植物の多様化や陸上生態系の形成に重要な役割を担ってきたと考えられています。しかし、それら3つの共生関係が植物の進化の過程で互いにどのように関わり合いながら作用してきたのかはわかっていませんでした。私たちは、菌根共生のタイプ（アーバスキュラー菌根菌：以下、AM、外生菌根菌：以下、EcM）間の植物―土壌フィードバック効果の違い、そしてそれがもとになり形成されると考えられている樹木の生育密度の違いから、送粉共生、種子散布共生、菌根共生が互いに影響し合いながら進化していると予測しました（図1）。AMと共生する樹種（以下、AM樹種）では、親株の周辺で病原菌や植食者が蔓延することにより、同種の芽生えの生育が阻害されるため、種子を親株から離れた位置に散布できる動物散布が進化しやすいと考えました。それに伴い、同種個体との距離が遠くなるため、より効率的に花粉を運ぶために、花から花へ着実に花粉を運べるハチやチョウなどの送粉者を介した動物媒の送粉様式が進化しやすいと予測しました。一方で、EcMと共生する樹種（以下、EcM樹種）では、親株の周辺で同種の芽生えの生育が促進される傾向があります。これは、EcMが樹木の芽生えを病原菌から効果的に保護するためと考えられています（正の植物―土壌フィードバック効果）。したがって、EcM樹種では、比較的散布距離が短く、親株周辺に散布される重力や風による種子散布様式が進化しやすいと予測しました。それに伴い、同種が密集するため、風媒の送粉様式が進化しやすいと予測しました。

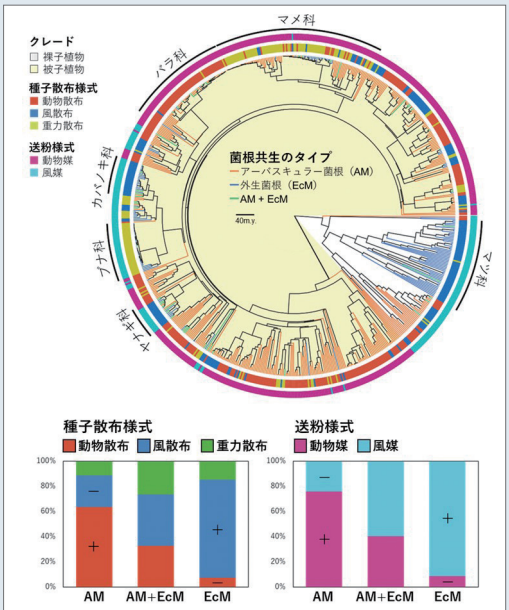
この予測を、菌根共生のタイプ（AMまたは、EcM）が明らかになっている699種（データベースⅠ）と、菌根共生のタイプが推定されている10,475種（データベースⅡ）と、送粉様式（動物媒、風媒）と種子散布様式（動物散布、風・重力散布）の情報を組み合わせたデータベースを構築し、系統解析を実施することで検証しました。

その結果、予測通りに菌根共生のタイプと送粉・種子散布様式は互いに強く結びついていることが分かりました（図2）。具体的には、AM樹種は、動物媒花と動物による種子散布様式を示す種が多く、EcM樹種は、風媒花と風や重力による種子散布様式を示す種が多いことが明らかになりました。また、詳細な解析の結果、AM樹種は、動物による送粉や種子散布を進化させやすく、またその逆に、動物による送粉や種子散布様式を進化させた樹種は、AMとの共生を進化させやすいことが分かりました。一方、EcM樹種は、風媒花と風や重力による種子散布様式を進化させやすく、その逆もまた同様であることが分かりました。

本研究により明らかになった「送粉共生、種子散布共生、菌根共生の相関進化」は、樹木や森林生態系を健全な状態に維持するためには、樹木そのものだけではなく、送粉者、種子散布者、菌根菌を含めた包括的な保全策が必要となることも示唆しています。



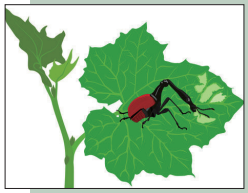
▲図1　植物―土壌フィードバック効果から予測された、菌根共生のタイプごとの送粉・種子散布様式. プレスリリース：世界各地、1万種の解析から見えてきた樹木の進化パターン―送粉共生、種子散布共生、菌根共生の相関進化―より引用。



▲図2　樹木699種における菌根共生のタイプと送粉、種子散布様式の進化的関係. 下図の＋と－はそれぞれ有意に割合が多い、または少ないことを示す. AM＋EcMは、AMとEcMとの共生の両方の記録がある樹種を示す. Yamawo & Ohno (2024) を改変。

京大ウィークス 2024 一般公開

「学校で習わない生き物の不思議」を開催しました



今年も毎年恒例の生態研の一般公開を、京大ウィークスの一環として11月2日（土）に実施しました。小学生から高校生とその保護者の方を対象に、ミジンコとオトシブミの生態を通じて生態学について学んでいただきました。講義2つと実験圃場の見学を合わせて、39名の多くの参加者で賑わいました。

当日は、センター長の中野による生態研の紹介のあと、大竹が「ミジンコはすごい！さまざまな仲間たち」「尖って伸びる」「水を綺麗に」「遠い過去から蘇る」というテーマで講義を行い、続いて樋口が「葉を巻く虫の巧みなワザと植物との関わり」というテーマで講義を行いました。

講義後には、ロビーに設けられた研究展示エリアで、生きたミジンコやオトシブミの観察や多様な昆虫標本を使った生態学の説明などを実施しました。また、講義室では、学生らによるポスターを用いた研究紹介も実施されました。

終了後のアンケートでは多くの好評の声をいただき、来年の開催にも期待が寄せられています。来年もぜひご参加ください！

山尾 僚（やまお あきら）
京都大学生態学研究センター・教授

佐藤准教授がNHK「ヴィランの言い分」に出演しました

寄生虫が生態系において果たす役割

佐藤 拓哉（さとう たくや）
京都大学生態学研究センター
准教授

2024年６月15日放送のNHK ヴィランの言い分「寄生虫」において、佐藤准教授による「寄生虫が生態系において果たす役割」に関する解説がなされました。寄生虫は、一般には嫌われ者と呼ばれることの多い生き物かと思います。しかし、現在地球上で知られている生物種の約４０％は生まれてから死ぬまでに、他の生き物に寄生する生き方をもっているといわれており、地球上でもっとも成功している生き方ともいえます。そんな彼らに言い分はないのでしょうか？

今回のヴィランの言い分「寄生虫」では、佐藤准教授がそんな嫌われ者（？）の寄生虫の立場に立って、彼らの知られざる役割について解説しました。特に、ハリガネムシという寄生虫が、森にすむカマドウマという昆虫に寄生し、秋に川に飛び込ませるという恐怖の行動操作をすることで、森の虫が川に運ばれ、それが魚にとってとても重要な餌になっているという現象を解説しました。寄生虫アニサキスのぬいぐるみを頭に巻いての番組出演は恥ずかしくもありましたが、寄生虫の言い分を少しでも届けられているとうれしいです！

受賞のお知らせ

◆特定研究員の篠原直登が、2024年個体群生態学会において個体群生態学会奨励賞を受賞しました

「時空間的に変化する群集集合のルール」

【受賞内容】自然界において、個体群・群集動態は生物間相互作用や環境による選別、個体の移動分散や偶然的な浮動など、複数の要因によって駆動されます。これまで、群集の決定要因（＝群集集合のルール）は状況依存的に大きく異なることが知られ、一般的なルールなど存在しないのではないかと考えられてきました。私はこれまで、多様な分類群を対象に多様なアプローチを用いて、この集合ルールの状況依存性に取り組んできました。それらの研究を通して、時間・空間スケールという二つの重要な軸に注目することで、その状況依存性という従来の課題が解決できる可能性が見えてきました。

【受賞コメント】
このたび、このような身に余る賞を頂くことができて大変嬉しいです。これまでの自分の研究というよりも、これからの自分の伸びしろを評価して頂いたと思うので、引き続き研究に取り組んでいきたいです。

【推薦理由】
自然界において、個体群・群集動態は生物間相互作用や環境による選別、個体の移動分散や偶然的な浮動など、複数の要因に影響を受け、その要因の特定は生態学において最も基本的な研究課題である。しかし、群集の決定要因（＝群集集合のルール）は状況依存的に大きく異なることが知られ、一般的なルールなど存在しないのではないかと考えられてきた。

応募者は、これまでの研究において一貫して、群集集合ルールの解明に取り組んできた。特に、従来の課題であった状況依存性に注目し、多様な分類群を対象に、野外操作実験やデータベース解析、メタ解析などのアプローチで、集合ルールが時空間的にどのように変化するかを明らかにしてきた。

応募者の研究は、おおまかに以下２つにまとめられる。時間スケールに注目した研究では、従来長期スケールで調べられてきた集合ルールの時間的なシフトが、植食性昆虫や魚類という移動能力の高い分類群では短期的に生じることを示した（Shinohara and Yoshida 2021 *Oikos*, Shinohara et al. 2022 *Ecol. Evol.*）。また、空間的な異質性に着目した研究からは、植物の群集集合のルールが、緯度という地球上で最も大きな環境勾配に沿ってシステマティックに変化することが分かりつつある（Nishizawa † and Shinohara † et al. *Ecol. Lett.*, †: 共同筆頭, Shinohara et al. 2024 *Oikos*）。

応募者の研究者としての特筆すべき特徴は、研究対象と特定の分類群に限定していないことである。観察されるパターンから一般論としての傾向を抽出するという応募者の研究スタイルは、特に一般性の低さが課題である群集生態学において重要な利点である。例えば、Population Ecologyにて発表した総説論文では、多様な系で得られた従来の知見を自身の研究成果と照らし合わせ、時空間的なスケールの考慮が群集集合研究の一般化に不可欠であるという議論を展開した（Shinohara et al. 2023 *Popul. Ecol.*）。

応募者はこれまで研究成果を計10報の国際誌（うち筆頭7）、および国内誌1報として発表している。*Ecology Letters* や *Oikos* といった群集生態学においてインパクトのある国際誌のみならず、*Population Ecology* をはじめとする国内誌にも複数発表している。また、個体群生態学会へは学生の頃から近年までコンスタントに参加し、公募型プレナリー講演やシンポジウムなど、積極的に発表を行ってきた。

また、応募者は近年、生物多様性の維持機構を探る「現代共存理論」（篠原、山道 2021 日本生態学会誌）に関して新たに研究を進めている。将来的には、マクロなパターンに注目してきた群集集合研究と、ミクロスケールで生じる生物間相互作用に注目する共存理論を統合し、互いの長所・短所を補完することで、群集生態学の新たな領域を創造することを目指している。群集集合と共存理論という両分野に精通している応募者ならではの研究展開が期待される。

これら、応募者のこれまでの研究成果、個体群生態学会への貢献度、および将来期待される研究展開から、応募者は奨励賞を受賞するにふさわしいと考えられる。

◆博士課程３年田中良輔が、2024年度日本魚類学会年会において最優秀ポスター発表賞を受賞しました

「両側回遊性魚類の遡上個体が持つ海洋由来資源の割合の種間・種内変異」

【受賞内容】

日本を含む低-中緯度地域の河川では、非常に多様な両側回遊性魚類が小型ながらも膨大な個体数で海から川へ移動し、川の捕食者の重要な餌となる可能性がありますが、その実態はほとんどわかっていません。これらの魚類は海から川への移動中に川の餌を利用するため、移動期間や捕食量の違いによりどの程度個体の体が海の物質でできているか（海らしさ）が種間や種内で異なる可能性があります。

本研究では、海と川の生物で値が異なる硫黄同位体比を用いて和歌山県田原川で捕獲した9種の両側回遊性魚類の海らしさについて種間と種内の違いを計測し、その違いを生む要因を調べました。

種間比較の結果、海水魚と同程度に海らしさが高い種や淡水魚と同等に海らしさが低い種がいることがわかりました。また、種内の違いとして4種で体長が小さいと海らしさが高く、3種で体長が小さく移動する時期が早いほど海らしさが高い傾向がみられました。

本研究は両側回遊性魚類の海の餌としての役割が種間や種内で異なることを示し、この違いを生む移動時の生活の違いを知ることが生態系間の移動中に餌を得る生物がどのように生態系を繋いでいるかを理解する上で重要です。

【受賞コメント】

共著者や生態学研究センターの皆様のおかげでこのような賞をいただくことができました。ありがとうございます。 これからも多様な両側回遊性魚類の生態的役割を解明し、その魅力を伝えていければと思います。

◆修士課程２年佐々木陽依が、『Plant molecular phenology and climate feedbacks mediated by BVOCs』においてポスター賞を受賞しました

「The relationship between habitat climate and leaf vein pattern evolution in angiosperm trees」

【受賞内容】

葉脈は光合成器官である葉において物質輸送と機械的支持を担う重要な組織です。広葉樹の葉脈の分岐パターン（葉脈構造）はループ型、ツリー型、複合型の3タイプに分類され、植物の環境適応に寄与していると考えられています。しかし、葉脈構造の進化を駆動した環境要因について全く検証が進んでいませんでした。本研究では1,958種の広葉樹を対象として、葉脈構造と生育環境との進化的関係性を検証しました。その結果、熱帯と温帯のどちらにおいても、ループ型が適応的であり、ツリー型は温帯の、特に低温に適応的であることが示唆されました。葉脈構造は低温ストレス、またはそれに関連した選択圧に対する適応によって、温帯でループ型から複合型やツリー型に進化した可能性が考えられます。

【受賞コメント】

学部の頃から続けている研究について、国際シンポジウムで評価していただく機会を得て、大変嬉しく思っています。次の展開に向けて、生態研で地道に探究活動を続けたいです。

センターニュース　メール配信登録のお願い

生態学研究センターニュースはバックナンバーを含め、センターホームページの以下のURL からご覧いただけます。
https://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/newsletter.html#ct3

発行のお知らせメール配信の登録、配信先の変更、配信停止等をご希望の場合は、インターネット上の以下のフォームより必要事項のご入力をどうぞお願いいたします。
https://ws.formzu.net/fgen/S75832635/

※図書室を運営される公的機関等へは、これまで通り冊子体版もお届けいたします。

表紙について

a)　宿泊場所から臨むダム湖（佐藤拓哉）
b)　立山での雷鳥（蒋 夢奇）
c)　八甲田山のブナ林の紅葉（山尾僚）
d)　降湖型マスが繁殖のために遡上する河川（佐藤拓哉）

オープンキャンパス2025のお知らせ

将来、京都大学理学研究科の大学院生（修士または博士課程）として、生態学研究センターにおいて生態学の研究に取り組みたいと希望される方を対象にオープンキャンパスを開催しています。当日は研究内容についての紹介を行います。関心のある方はお気軽にご参加ください。

・日時　2025年3月25日（火）9:30-13:30
・現地開催（京都大学生態学研究センター）+オンライン参加併用
・参加無料
・参加には事前のお申し込みが必要です。
以下のQRコードよりアクセスいただき、Google フォームにてお申し込みください。

センターへのアクセス等はこちらからご確認ください。
https://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/opencampus.html

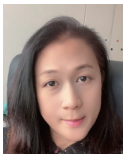
申し込み用Google フォームはこちらから
https://forms.gle/tt7Woh6GTdtVhBoNA

申込締切
2025
3/21

センター員の異動

- LEE, Wanyiが８月1日付で特定助教として採用されました。
- 研究員の池本美都が10月６日付で退職しました。
- 特定研究員の守屋健太が１月３１日付で退職しました。

招へい研究員・外国人共同研究者の紹介



POPRADIT, Ananya
バルヤ アロンコルン ラジャバット大学
期間:2024年12月1日～2025年2月28日
研究テーマ:タイ森林における植生や土壌への人為影響評価
Evaluation of human impact on forest vegetation and soil in Thailand

生物多様性・生態系研究基金へのご寄付

2024年6月と12月にマイルド産業株式会社様より生物多様性・生態系研究基金（※）へご寄付をいただきました。今後、当センターの研究活動に役立ててまいります。

※生物多様性・生態系研究基金は、京都大学基金の中の生態学研究センターが設置したプロジェクト支援基金です。法人税法、所得税法による税制上の優遇措置が受けられます。詳細は
https://www.kikin.kyoto-u.ac.jp/contribution/biodiversity/
をご覧ください。

生物多様性・生態系研究基金を設立しました（2019年10月2日）。生物多様性研究者ネットワークのハブとしての機能を果たし、「豊かな生物多様性とすこやかな地球共生系を未来に残す研究」を牽引できる人材を育成します。

編集後記

生態研センターも創立30年を超え、長年生態学の研究を支えてきた建物や設備に不具合が生じることが多くなってきているようです。しかし、ここ数年で学生や研究員の人数も増え、若手教員も加わり、より一層の活性化を感じています。次の30年で生態学がどの様に発展していくのか楽しみでなりません。（山尾僚）。

生態学研究センターニュース　No.155 Center for Ecological Research News ～2025 January～

発行日:2025年1月31日
発行所:京都大学生態学研究センター
〒520-2113 滋賀県大津市平野2丁目509-3
電話:077-549-8200（代表）　FAX:077-549-8201
URL:https://www.ecology.kyoto-u.ac.jp
E-mail:cernews@ecology.kyoto-u.ac.jp

（センターニュース編集係）
ニュースレター編集委員:山尾僚・石田厚・谷内茂雄
編集事務:田尻有希子
◆当紙面内容は、バックナンバーも含めセンターホームページに掲載されています。