



a.



b.



c.



d.

センター員の紹介

- | | | |
|---|---|------------|
| 2 | Exploring the gut microbiome of Japanese macaques | Wan Yi Lee |
| 3 | 琵琶湖集水域のリン循環・メタン循環と微生物の機能群解明 | 池谷 透 |

2022年度共同利用・共同研究事業の活動報告

- | | | |
|---|-------------------------|-------|
| 4 | 「脱窒菌同位体比測定法ワークショップ2022」 | 木庭 啓介 |
| 5 | 「安定同位体生態学ワークショップ2022」 | 木庭 啓介 |

研究ハイライト

- | | | |
|---|---|-------|
| 6 | 植物プランクトンの増殖に必要な窒素とリン、どちらがより重要か?—相対的要求量と環境中の栄養塩の絶対量の関係を明らかに— | 蔣 夢琦 |
| 7 | 環境微生物のゲノム多様性を高解像度に検出—「似て非なるゲノム」から生物多様性の源泉に迫る— | 岡崎 友輔 |
| 8 | ハリガネムシに感染したカマキリはなぜ水に飛び込む?—水平偏光への正の走性が鍵! | 佐藤 拓哉 |

DIWPA だより

- | | | |
|---|--|------|
| 9 | 世界自然遺産小笠原諸島にてDIWPA Field Biology Courseを開催しました | 石田 厚 |
|---|--|------|

その他のお知らせ

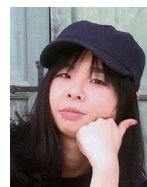
- | | | |
|----|-----------------------------|-------|
| 10 | 一般公開「学校で習わない生き物の不思議」開催報告 | 谷内 茂雄 |
| | 受賞のお知らせ | |
| 11 | 2023年度共同利用・共同研究拠点事業に関するお知らせ | |
| 12 | センターニュースメール配信登録のお願い | |
| | 第14回公開講演会のお知らせ | |
| | 生物多様性・生態系研究基金へのご寄付 | |
| | センター員の異動 | |
| | オープンキャンパス2023のお知らせ | |
| | 表紙について | 佐藤 拓哉 |
| | 編集後記 | |

Exploring the gut microbiome of Japanese macaques

Wan Yi Lee

日本学術振興会・特別研究員
(京都大学生態学研究センター)

専門は霊長類の摂食生態および腸内微生物叢



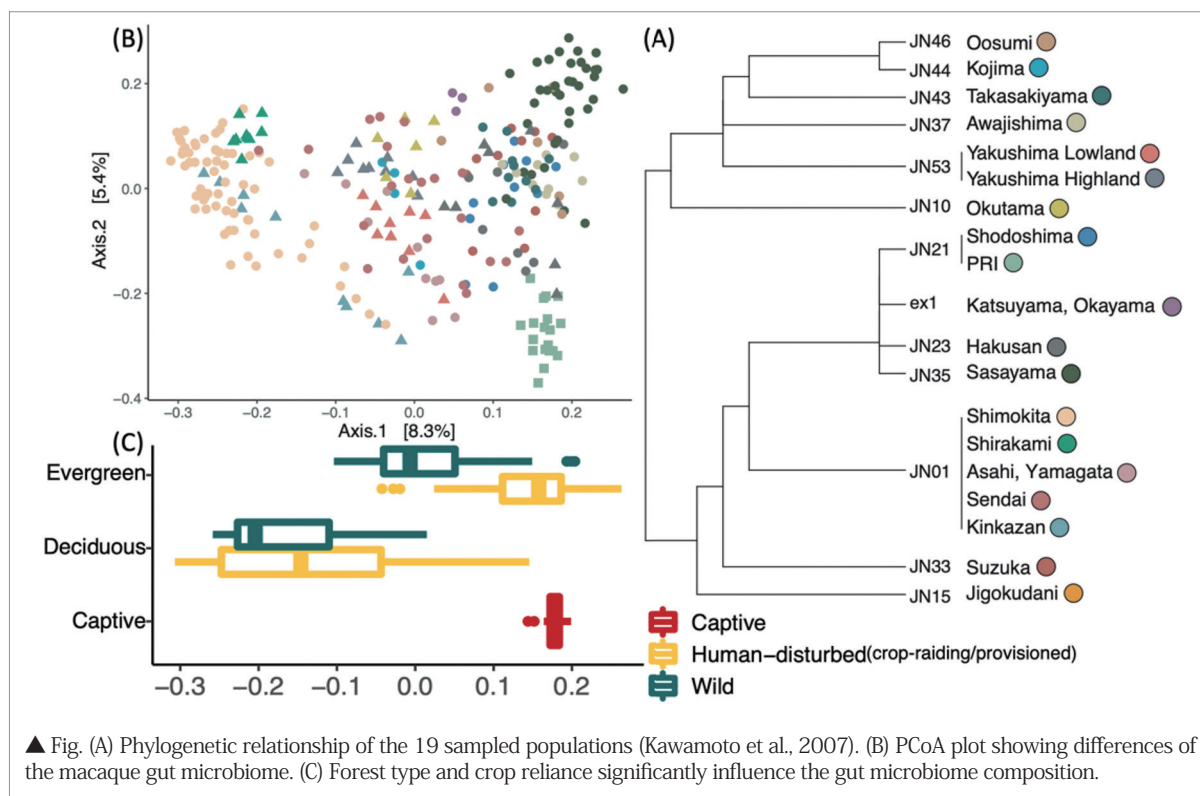
Providing insights into the dietary flexibility of the primates, much attention has been devoted to understanding how primates meet nutritional demand with low-quality foods. In contrast to high-quality foods that are easily digestible and of high calorie, low-quality foods typically contain much fiber which mammals cannot digest by their own. Instead, mammals rely on the gut microbiome to transform fiber into the absorbable nutrients through fermentation. Despite the contributions of gut microbiome, mechanism shaping primate gut microbiome remains obscure. Such knowledge on primate gut microbiome can offer critical perspective in understanding primate feeding ecology.

As a member of Hanya lab, I investigate the factors shaping gut microbiome of Japanese macaques. Living at the northern limits of the primate global range, Japanese macaques *Macaca fuscata* inhabit the marginal habitat for the primates. Due to the seasonality and low fruit production in the temperate forests, Japanese macaques rely considerably on the low-quality foods. In some areas, fiber-rich foods could make up as much as 45% of annual feeding time of Japanese macaques. Considering their dependence on fibrous foods relative to the tropical primates, Japanese macaques and their gut microbiome may have co-evolved along with the macaques' expansion across the Japanese archipelago.

With supports from more than 20 researchers, I examined and compared the gut microbiome of 19 macaque populations (Fig A), aiming to clarify the relative role of host genetics, geography, and diet (forest type, season and reliance on anthropogenic foods) in shaping the macaque gut microbiome. While we found

the macaque gut microbiome are generally population-specific (Fig B), forest type, season, and crop reliance significantly influence the composition, implying a close link between diet and gut microbiome (Fig C). With a flexible gut microbiome, Japanese macaques may sustain using more fibrous diet, thus able to expand from tropics to temperate forests throughout the Japanese archipelago. Firmicutes/Bacteroidetes ratio (indicator for fermentative ability) as well as the relative abundance of Cyanobacteria and chloroplast (indicator for fiber intake) are found significantly higher in wild macaque populations that do not rely on crops, suggesting that the macaque gut microbiome adapt to high fiber intake by becoming more efficient in fermentation.

To link the exact diet intake, gut microbiome composition and fermentative ability, we are currently analyzing for the seasonality in the macaque gut microbiome. In addition to the year-round behavioral observation and meta-16s rRNA analysis, we directly measured the fermentative ability by conducting in vitro fermentation assay: fresh feces of Japanese macaques were collected monthly, then fermented with leaf powder (representative of high fiber food) or monkey pellet (representative of low fiber food) for 24 hours. We will compare the microbiome before and after fermentation to understand the vital microbes for fermentative ability, while also understand how gut microbiome help macaques to buffer against food-scarce season. Understanding of macaques' gut microbiome will not only offer basic information to the feeding ecology of Japanese macaques but also provide insights to primate's radiation from tropical to temperate regions.



琵琶湖集水域のリン循環・メタン循環と微生物の機能群解明

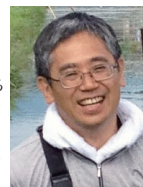
水域への栄養物質の流入と近年の温暖化が物質循環を担う微生物に及ぼす影響を明らかにするために琵琶湖および流入河川・内湖のリン循環やメタン循環について研究を行っています。細菌のメタゲノム解析と同位体アブローチから集水域の物質循環や微生物のつながりを紐解いていきます。

いけ や とおる

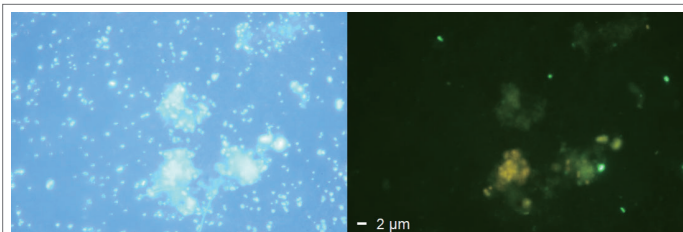
池谷 透

京大大学生態学研究センター・研究員

専門は水圏生態学・環境学



嫌気環境では微生物による有機物の分解過程でメタンが生成される。一方で、メタンを利用する様々な代謝系を有する多様な細菌群が存在する。琵琶湖の経年調査によって、表層と深層の二つのメタン濃度極大やメタン代謝関連細菌群と環境因子との関係が明らかになってきた。温暖化や底層の貧酸素化によってメタン濃度や細菌群の分布と代謝発現がどのような影響を受けているのか検討する。



▲図1 左: DAPIによる全細菌の蛍光染色像
右: Type Iメタン酸化細菌に特異的な蛍光プローブによるCARD-FISH染色像(左図と同じ視野: 緑色がメタン酸化細菌; 赤色はクロロフィル自家蛍光)。

琵琶湖の集水域研究から微生物代謝まで

富栄養化によって過剰な有機物が蓄積すると、水域の再曝気(reoxygenation)や呼吸に対して酸素が供給不足になります。貧酸素下では、酸素の代わりに様々な電子受容体を利用する微生物の代謝(酸化還元反応)によって有機物が利用されます。有機物の分解過程で、メタン生成古細菌は水素や二酸化炭素とともに低分子化合物を分解してメタンを生成します。メタンは化石燃料の燃焼で大気中の濃度が増加していて、温室効果が大きいために関心を集めています。地球上の光合成による年炭素固定量の70ギガトンに対してメタン生成古細菌によるメタン生成は年間1ギガトンと見積もられています。メタンを利用する細菌はメタン酸化細菌と呼ばれます(図1)。リボゾーム遺伝子の塩基配列による細菌分類の研究から、こうした細菌の存在が明らかになってきました。メタン循環に関わる細菌群と代謝の動態は複雑で十分に理解されているとは言えません。

微生物の存在を肉眼で直接確認する機会は多くありませんが、人間の暮らしにも深く関わりのある生きものと言えます。2015年から実施された総合地球環境学研究所のプロジェクト研究ではリン循環とメタン循環を調べることになり、野洲川・内湖・琵琶湖の物質循環に関わる微生物の機能と多様性、土地利用の影響や地域の保全について共同研究を進めてきました。そのため、2016年から「はす」に乗船して北湖の今津沖定点で調査を続けてきました。生態学研究センターでは、琵琶湖のメタン代謝と貧酸素化の関係を明らかにするため、底層付近のメタン酸化細菌を中心とする微生物群組成や関連する代謝酵素の機能発現について研究を進めています。

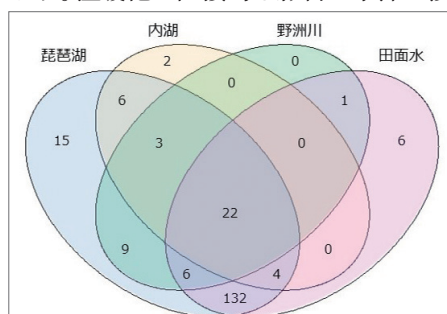
琵琶湖底層の貧酸素化とメタン代謝

琵琶湖底層の溶存酸素は2010年代半ば以降から減少傾向で、2020年秋には0.1 mg/Lを下回るほどでした。調査結果によると、2019年以降、北湖の水深90m付近の湖底に近づくほどメタン炭素同位体比が上昇し、堆積物直上でのメタン酸化が示唆されています。一方、メタン濃度はそれ以前よりも低

なっていました。このことから、堆積物中でメタン生成が貧酸素化によって促進され、水中に拡散したメタンが底層付近で細菌群によって速やかに利用されていることが示唆されます。2019年までの解析途中ですが、2019年には底層水のメタン酸化細菌が湖底に向かって増加する分布が16S rRNA遺伝子配列のアンプリコン解析から分かりました。また、微好気環境のメタン酸化細菌としてよく知られるガンマプロテオバクテリアに対し、嫌氣的メタン酸化古細菌の割合も硫酸還元菌と共に増加していました。したがって、メタン酸化細菌のメタンモノオキシゲナーゼによるメタン酸化だけでなく、古細菌のメチル補酵素M還元酵素による嫌氣的メタン酸化も湖底付近の貧酸素化によって促進された可能性が考えられます。細菌に特徴的な脂肪酸の分析から、捕食者がこれらの細菌群の密度に影響を与えていることも示唆されています。

表層と底層で見られる温暖化の影響

上述のように底層の貧酸素化によるメタン代謝への影響が示唆されるものの、メタン濃度やメタン酸化極大層の鉛直分布から河川水や沿岸のメタン生成も深層にまで影響を及ぼしている可能性が考えられます。細菌についても、そうした可能性を検討するため、琵琶湖集水域の野洲川の上流から下流までの多地点調査(30試料)や内湖のリン循環調査(30試料)、谷津田の田面水調査(25試料)で検出した細菌のOTU(operational taxonomic unit)リストと琵琶湖の4年間の調査で季節躍層以深で検出されたもの(31試料)とを比較しました(図2)。その結果、琵琶湖集水域の調査地点で検出した191のうち95%が琵琶湖の底層でも検出され、その多くが田面水で検出した細菌と共通していました。そうした細菌叢の共通性や浅い水域の影響についても検討を進めていく予定です。底層の貧酸素化には、季節躍層の強化、冬季冷却の弱化、台風の攪乱、深層水温の上昇などの複数の要因が関係していると考えられます。これらは、近年の気温上昇が要因として考えられています。温暖化の直接的な影響は水深の浅い沿岸や河川水に早く表れるはずで、集水域のつながりにも留意して細菌の分布や代謝の発現の解析を進め、水域生態系の保全に環境ゲノミクスの知見を役立てられたらと考えています。



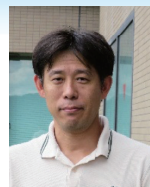
▲図2 琵琶湖(水深50m以深)と集水域の調査地で検出されたメタン代謝関連細菌群の出現パターン

「脱窒菌同位体比測定法ワークショップ2022」

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2022をオンラインと実働のハイブリッドで開催しました。

こば けいすけ
木庭 啓介

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 2022年5月12日(木)～5月18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、大西雄二、平澤理世(京大生態研)
福島慶太郎(福島大学) 合計4名

参加者 京都大学学内からは理学研究科 院生1名、
フィールド科学教育研究センター 研究員1名(計2名)、
学外からは、東北大学 学術研究員1名、
東京農工大 院生1名、信州大学 助手1名、
東京大学 学振研究員1名、温州大学 特聘教授1名(計5名)の合計7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が、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様々な点で一般的になるには難しい点があります。実際の測定は通常1週間で1サイクルですが、本ワークショップでは、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いました。同時に脱窒菌法の利用において散見される問題点についての講義を行いました。本年は希望者のみ来所のハイブリッド形式で行いました。

5月12日(木)1日目は全員オンライン参加で、zoomを介して始めに自己紹介を英語で行いました。その後、脱窒菌法の基礎講義、日常行う特別な脱窒菌の維持管理、実際の操作を事前に撮影・編集した映像を流し、質問を受け付けました。原則日英併記で講義を行いました。また、講義の録画を行い、終了後に閲覧可能としました。

翌週16日(月)～18日(水)は実際に来所した4名にはグルコース培地の作成、脱窒菌の濃縮、サンプル注入作業をしていただき、オンライン参加の4名は実験室においた複数のPCに接続したカメラとマイク&スピーカーでその作業の様子をみていただきました。最終日の18日には実験室で水酸化ナトリウム水溶液を添加して反応を停止させて、測定できる状態にしました。作業終了後、zoomをつなげつつ、対面にて福島慶太郎准教授(福島大学)に実際の研究事例を紹介していただき、質疑応答も含めて大変盛り上がりしました。午後は実際のデータの扱い方(検量線、ブランク、量

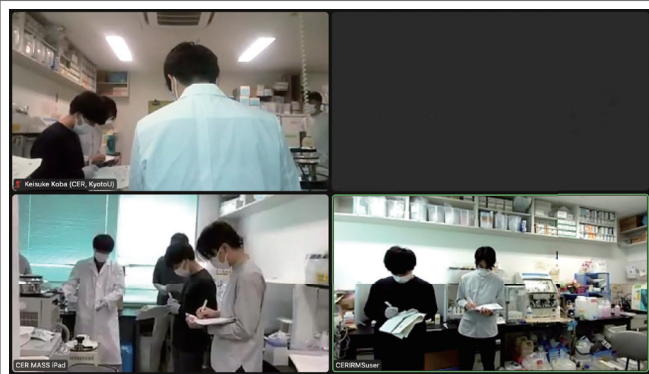
依存性など)、脱窒菌の応用について(硝酸イオン以外の測定など)の講義と質疑応答を行いました。

ワークショップ終了後、参加者からは様々な感想と改善点の指摘をいただきました。その一部を抜粋します。「装置導入までの一通りの流れを実際に体験できたのがよかった」「質問しやすい環境で実際に作業を体験でき、今後利用するモチベーションが高まった」「想像していたよりも気軽に利用できる気がした」「過去の事例や参加者の実際のサンプルに合わせた説明で、様々なシーンを具体的に想像できた」「英語と日本語の両方の資料があったので、1スライドごとに2回解説がきけてわかりやすかった」「予習する時間が欲しいので、マニュアルや講義資料を1週間以上前に配ってほしい」「編集された動画とスライドはあったが、オンラインでは詳しい手法がわからないところがあった。次回はオフラインで参加したい」「マニュアルのビデオがわかりやすい。しかし、実験室からの実況中継の際の音声聞き取りにくかった。」

このワークショップは6回目の開催となります。昨年の完全オンライン開催の反省を踏まえ、実際の作業動画を作業前にみてもらってから作業するなど、オンライン、オフラインの長所を今後も取り入れて開催したいと思います。



▲サンプル注入作業をする参加者



▲3台のカメラを用いたオンライン動画配信の画面



▲来所した参加者4名とスタッフ4名

「安定同位体生態学ワークショップ2022」

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および発表会2日間と実際に来所しての作業4日間を行いました。

こ ば けい すけ
木庭 啓介

京大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 2022年8月5日（月）～9月26日（月）

開催場所 京大大学生態学研究センター

スタッフ 木庭啓介、大西雄二、後藤晶子、新井宏受、平澤理世、舟川一穂（京大生態研 6名）

参加者 京都大学学内からは理学部生2名、農学研究科院生1名（計3名）、学外からは、筑波大学（准教授1名 院生2名）、新潟大学（准教授1名 院生1名、学部生1名）、広島大学（院生1名）、三重大学（院生1名）、神戸大学（学部生1名）、近畿大学（学部生1名）、インドネシア国立研究革新庁（BRIN、若手研究員2名）（計12名）の合計15名



本年は事前講義と最終発表はオンライン、作業4日間は実際に滋賀県大津市まで来ていただきワークショップを開催しました。

7月末に資料を配布、8月5日（月）にzoomを介して自己紹介および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2名が各研究室で試料の準備を行い、秤量までしていただきました。9月12日（月）には11名が来所しました。自己紹介後、機械の立ち上げを開始し、安定同位体生態学の基礎の第1回の講義を行いました。翌日は試料を提供していただいたリーダー2名に研究目的やサンプルの説明をしていただき、その後、ナメクジ班と蛇班に全員が分かれしました。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講義を行いました。14日は参加者全員に10-30分程度、各自の研究紹介をしてもらいました。第3回目の講義では安定同位体を用いた研究の事例を参加者の興味と絡めて、紹介しました。14日、15日とサンプルを測定しつつ、でてきたデータの解析をすすめました。

対面ではありませんが、Petari（付箋を使ったリモート会議ツール）やメーリングリストの活用を積極的に行い、情報の共有と双方向の理解に努めました。15日以降は班別に日程調整を行い、zoom、メーリングリスト、Dropbox、Google スプレッドシートの共有、LINEなど班毎に工夫しながらオンラインで発表の準備を行いました。9月26日に最終発表会をオンラインで行いました。

後日、参加者の方々に感想を送っていただきました。実際に現地にいくことで、他大学、異分野の方と意見交換、交流できたことをメリットに挙げている方が多かったです。「実際に参加者が現在進行中のサンプルを解析したことがおもしろく、仮説と真逆だったことが面白かった」「文献等のみでしか知らなかったが、参加することで実際の試料の処理方法の注意点や、自分の研究内容にあった解析方法・注意点などを学ぶこと

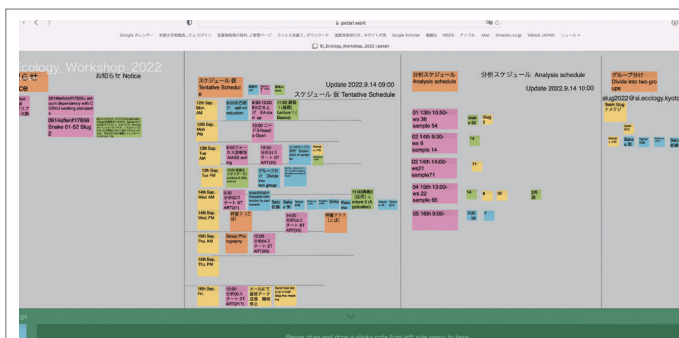
ができた。」などの感想が聞かれました。また全体の講義を通じて「対面で質問しやすかった」「安定同位体分析に頼りすぎず、他の手法も取り入れながら慎重に結果を考察したい」「安定同位体の知識や分析法だけでなく、新たな考え方や課題がみつかった」という声もきかれました。

一方、実際に現地に行くので、交通費や宿泊費が負担だったという声もあがりました。

御参加の皆様には今後の研究活動に本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小林幸平氏（新潟大学）、小松航氏（筑波大学）に感謝致します。



▲分析する試料を機械に並べる参加者



▲Petari（付箋を使ったリモート会議ツール）の実際のキャプチャ

植物プランクトンの増殖に必要な窒素とリン、どちらがより重要か？ —相対的要求量と環境中の栄養塩の絶対量の関係を明らかに—

Jiang M, Nakano S (2022) The crucial influence of trophic status on the relative requirement of nitrogen to phosphorus for phytoplankton growth, *Water Research* 222:118868. DOI:10.1016/j.watres.2022.118868.

しょう む き
蔣 夢 琦

京都大学生態学研究センター(理学研究科)
博士後期課程
専門は植物プランクトン・化学量論



窒素 (N) とリン (P) は、植物プランクトンの生化学的機能に利用される2つの重要な栄養元素であり、これらの元素を持つ栄養塩類は水圏生態系における植物プランクトンの成長を制限します。植物プランクトンの成長におけるNとPの相対的供給量 (N:P比) は、富栄養水域でのアオコの抑制や、貧栄養水域での一次生産の増加に関する研究など、さまざまな栄養レベルの水域に関する研究で重要な課題となっています。今までの先行研究のほとんどは、様々なN:P供給比に対して植物プランクトンがどのように増殖するかのみについて検討してきました。しかし、NやPの栄養塩類がどれくらいあるのか、つまり栄養塩類の絶対量の重要性は、NあるいはPの濃度を固定した単一の供給N:P比の実験系では解明できません。本研究では、NとPの栄養塩類の絶対濃度とN:P供給比の影響を組み合わせて、異なる栄養レベルにおける植物プランクトンのN:P供給比についての増殖を評価しました。さらに、本研究では、こうして得られた実験のデータと、先行研究で得られた文献データを用いて、異なる栄養レベルにおける植物プランクトンのN:P相対的要求量を評価しました。

本研究は、8種の植物プランクトンについて、3種についての実験データ (*Chlorella vulgaris*, *Anabaena variabilis*, *Microcystis aeruginosa*) と5種についての文献データ (*Ankistrodesmus* sp., *Chlamydomonas reinhardtii*, *Scenedesmus obliquus*, *Staurastrum* sp., *Scenedesmus dimorphus*; Frank et al. [2020] と Kunikane et al. [1984]) を用いて、NとPが異なる濃度 (栄養レベル) においてさまざまなN:P供給比を設定し、それぞれの系における植物プランクトンの増殖を評価しました。その結果、窒素固定シアノバクテリア (*Anabaena variabilis*) を含むほとんどの植物プランクトン種で、「栄養レベルが高い系 (富栄養環境) では、植物プランクトンの増殖に最適なN:P比が有意に低くなる」という結果が得られました。

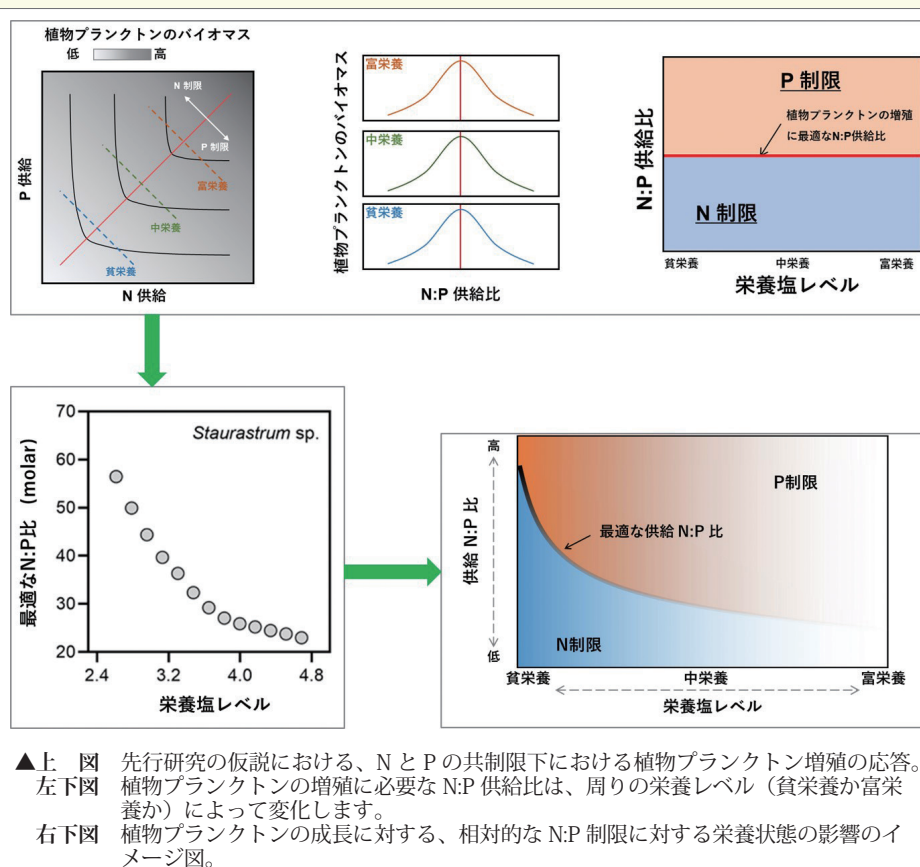
本研究から、N:P供給比に対する植物プランクトンの増殖にはN制限からP制限への移行には明確な境界がなく、植物プランクトンの増殖に必要なN:P供給比は周りの栄養レベル (貧栄養か富栄養か) によって変化し、栄養レベルが低い (貧栄養環境である) とN要求量がP要求量よりも高くなるこ

とが明らかとなりました。すなわち、貧栄養ではNが成長を促進し、富栄養ではPが成長を制限する傾向 (勾配) を初めて図示し、説明することに成功しました。本研究は、植物プランクトンの増殖に必要なN:P供給比に、NとPの栄養塩類の絶対量 (栄養レベル) が与える影響について検討した初めての研究です。今後、より複雑な水環境と、より多様な植物プランクトン群集に対しても、今回の結果が正しいのか、さらなる研究が必要です。

植物プランクトンが利用する窒素とリンの栄養塩類の影響については、従来の栄養塩類の比率 (N:P比など) に着目した研究では、栄養塩類の濃度の絶対値の重要性が見落とされるケースが先行研究に多々見られました。私たちは、植物プランクトンに関わるN:P問題に取り組む際、栄養塩類の絶対量の影響を重要視するよう、研究者に呼びかけています。

引用文献：

- i) Frank, F., Danger, M., Hillebrand, H. & Striebel, M. (2020). Stoichiometric constraints on phytoplankton resource use efficiency in monocultures and mixtures. *Limnology and Oceanography*, 65, 1734-1746.
- ii) Kunikane, S., Kaneko, M. & Maehara, R. (1984). Growth and nutrient uptake of green alga, *Scenedesmus dimorphus*, under a wide range of nitrogen/phosphorus ratio—I. Experimental study. *Water Research*, 18, 1299-1311.



環境微生物のゲノム多様性を高解像度に検出 —「似て非なるゲノム」から生物多様性の源泉に迫る—

Okazaki Y, Nakano S, Toyoda A, Tamaki H (2022) Long-read-resolved, ecosystem-wide exploration of nucleotide and structural microdiversity of lake bacterioplankton genomes. *mSystems* 7(4). DOI:10.1128/msystems.00433-22

おかざき ゆうすけ

岡崎 友輔

京都大学化学研究所・助教
専門は湖の微生物生態学



湖や海の水コップ1杯の中には、日本の人口に匹敵する1億を超える数の細菌が存在しています。その生き様を明らかにすることは、生態系や物質循環の基盤をなす微生物の働きを理解するうえで不可欠です。近年のDNAシーケンス技術の急速な発展に伴って登場した「メタゲノム解析」は、環境中の微生物の全ゲノム情報を、培養を経ることなく直接的に取得することを可能にし、微生物の多様性をとりまく我々の理解を飛躍に導きました。一方でメタゲノム解析には、ゲノムの塩基配列が似た極めて近縁な「似て非なる」系統が共存する場合に両者を見分けることが難しく、環境微生物の真の多様性を明らかにするには解像度が足りないという問題がありました。そこで本研究では、琵琶湖水中の微生物群集を対象に、従来よりも高い系統解像度での解析が可能なメタゲノム解析法を確立することで、共存する「似て非なる」細菌ゲノム間の比較を可能にし、環境微生物のゲノム多様化の背景にある生態学的・進化的要因の解明に挑戦しました。

対象とする微生物サンプルは、生態学研究センターの調査船「はす」を用いて、2018年5月から2019年4月の12か月の毎月、琵琶湖沖の表層(水深5m)および深層(水深65m)から採集しました(写真1, 2)。メタゲノム解析の結果、琵琶湖に生息する主要な系統を網羅した、21の門を含む、575種の細菌および古細菌のゲノム情報が得られました。しかしこの段階では、575個のゲノムは、種内でわずかに異なった複数のゲノムを代表する塩基配列として得られているため、「似て非なる」ゲノムを見分けるには至っていません。そこで、得られたゲノムに対しリードマッピング解析を行い、575個のそれぞれのゲノムの中に存在する微小な多様性を検出しました。本研究の特色として、ゲノム上に存在する塩基多型と構造多型の両者を、環境微生物群集を対象に網羅的に決定した点が挙げられます。このうち構造多型はゲノムの生理・生態的特性を変化させる重要な変異を含みますが、従来法(ショートリードシーケンス)で検出できるのは塩基多型のみであり、構造多型の検出は原理的に困難でした。本研究では、ロングリードシーケンスとマッピング解析の二つの先端的手法を相乗することで、環境中の難培養微生物のゲノムの塩基・構造多型の全容を明らかにすることに成功しました。その結果、得られた575個のゲノムそれぞれについて多くの多型が検出され、塩基配列や遺伝子組成がわずかに異なる多数の「似て非なる」ゲノムが環境中に共存している実態を明らかにしました。

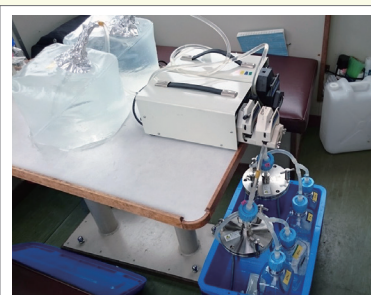
さらにこれらの「似て非なる」ゲノム間のわずかな違いを、系統間・遺伝子間で横断的に比較し、その多様性の背景にある要因を探りました。その結果、塩基多型、構造多型とも、ウイルス感染からの逃避に関

わる遺伝子領域で起こりやすいことが明らかとなり、ウイルス感染が環境中の細菌ゲノムの多様化を駆動する主要因であることを示しました(図1)。一方で、季節・水深間の横断的な比較からは、細菌の集団サイズの減少(ボトルネック)が、ゲノム多様化の大きな制約となっている実態を明らかにしました。また逆方向からのアプローチとして、ゲノムの微小多様性の程度を知ることで、過去に集団サイズのボトルネックが存在したかどうかを推測できる可能性を示しました。

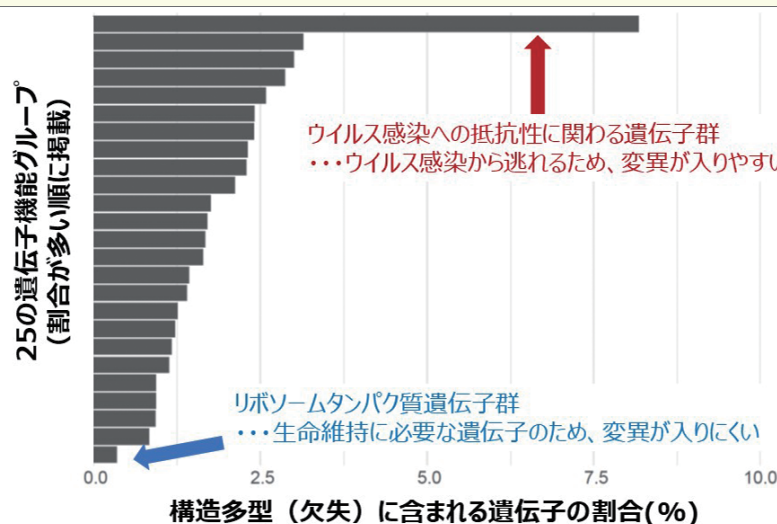
「似て非なる」ゲノムの比較解析から生物多様性の源泉に迫った本研究は、環境微生物のゲノム多様性を高解像度に捉える研究の必要性を示し、知見と手法の両側面からその可能性を拓く成果といえます。今後は、琵琶湖以外の湖でも同様の研究を展開し、湖間で「似て非なる」ゲノムの多様性を比較することで、「異なる湖の微生物にはどの程度の遺伝的な差異があるのか?」「異なる湖でゲノム多様化の方向性はどの程度共通/相違しているのか?」といった問いの答えを追求していきます。それにより、本研究で得られた仮説を複数の湖で検証するとともに、それぞれの湖で起こった異なる進化の道筋を炙り出し、その背景にある微生物ゲノムの普遍的な多様化メカニズムに迫りたいと考えています。



▲写真1 生態学研究センター調査船「はす」



▲写真2 船上で湖水をろ過し、微生物サンプルを捕集する様子



▲図1 遺伝子機能グループごとの構造多型(欠失)に含まれる遺伝子の割合。

解析した全ゲノムの全遺伝子を主要な25の機能グループに分類して比較した。ウイルス感染への抵抗性に関わる遺伝子群で、突出して構造多型が多く見られた。

ハリガネムシに感染したカマキリはなぜ水に飛び込む？ —水平偏光への正の走性が鍵！

Obayashi N, Iwatani Y, Sakura M, Tamotsu S, Chiu M-C, Sato T (2021)
Enhanced polarotaxis can explain water-entry behaviour of mantids infected with
nematode parasites. *Current Biology* 31: R777-R778.

さとう たくや
佐藤 拓哉

京大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



通常、動物の形態や行動は、その個体の生存や繁殖に有利になるように制御されていると考えられています。しかし、今日地球上に生息する生物種の約40%は寄生生物であり、すべての野生動物は少なくとも一種の寄生生物に寄生されていると言われています。すなわち、野生動物にみられる多様な形態や行動は、実は寄生生物の影響を強く受けて制御されている可能性があります。この顕著な例として、寄生生物の中には、自らの利益（感染率向上）のために、宿主である野生動物の形態や行動を改変（宿主操作）する種が多くいます。これは、延長された表現型の好例として、多くの生物学者を魅了してきました。

この宿主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（以下、宿主）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（図1）。先行研究では、宿主は水面からの反射光の明るさ（光強度）に引き寄せられて入水すると指摘されていました。しかし、川や池以外にも、河原の礫帯や光沢のある葉など、光を反射する環境は多くあります。宿主がそうした明るい場所にいちいち誘引されているのは、ハリガネムシの宿主操作は失敗に終わります。そのため、単純な明るさへの誘引だけでは、入水行動がなぜ生じるのかをうまく説明できませんでした。

光の性質の一つに、電磁波の振動方向に偏りのある「偏光」があります。中でも、水面の反射光は、水平偏光を多く含んでいます。近年、多くの節足動物が、水平偏光を手掛かりに水辺を探索・忌避していることが明らかになってきています。そこで私たちの研究グループでは、ハリガネムシに操作されている宿主は、水平偏光に誘引されて入水しているのではないかと仮説を立てました。

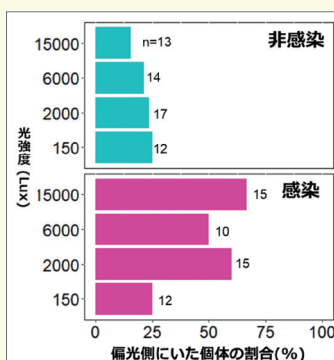
仮説を検証するために、まず室内実験によって、ハリガネムシ (*Chordodes* sp.) に寄生されたハラビロカマキリ (*Hierodula patellifera*) (以下感染カマキリ) と非感染カマキリがそれぞれ、水平偏光に誘引されるかを調べました（図2）。その結果、感染カマキリは、非感染カマキリに比べて、水平偏光側を選択する確率が高まっていた（図3）。

次に、実際の野外環境下で、感染カマキリが水平偏光を強く反射する池に入水するのかを調べました。神戸大学大学院農学研究科附属 食資源教育研究センターの圃場に、ビニールハウスを設置して、明るくない（光強度が弱い）が、水平偏光を強く反射する池（図4 A・Bの左）と、明るいが水平偏光をほとんど反射しない池（図4 A・Bの右）を造成して（図4）、感染カマキリを放逐しました。その結果、入水行動が確認された16個体の感染カマキリのうち、14個体が水平偏光を強く反射する左の池に入水していました（図4）。

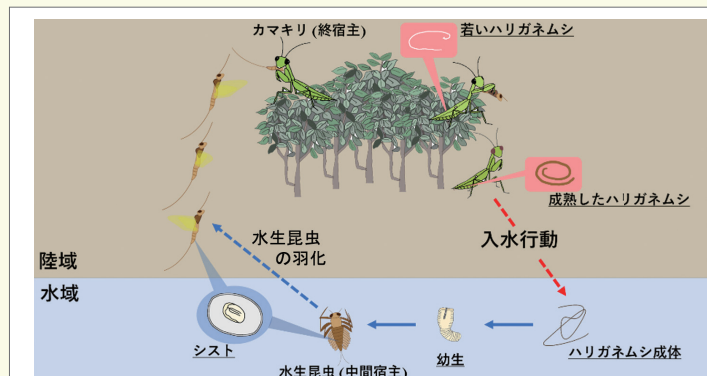
これらの室内実験と野外実験の結果に基づき、感染カマキリは、水平偏光に誘引されて、自ら入水していると結論しました。

自然界に生きる動物は、光の強度や色、明暗、そして偏光など、多様な光を見る能力を進化させています。本研究は、動物たちのそうした能力を、寄生生物が巧みに操作し、自らの利益になる宿主の行動を引き出していることを示唆する世界でも初めての研究です。

生態研センターにおいて、私たちは現在、そもそも非感染カマキリは偏光を検出するといった仕組みをもっているのか？ハリガネムシはその仕組みをどのように操作しているのか？を調べています。それらを明らかにすることは、寄生生物による行動操作の解明はもちろん、動物行動を制御する新たな仕組みの発見に繋がる可能性があります。

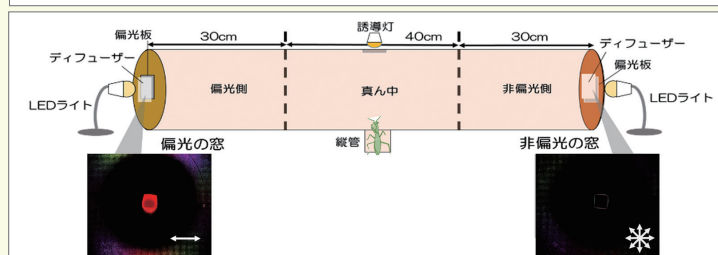


▲図3 水平偏光に対する選択実験の結果



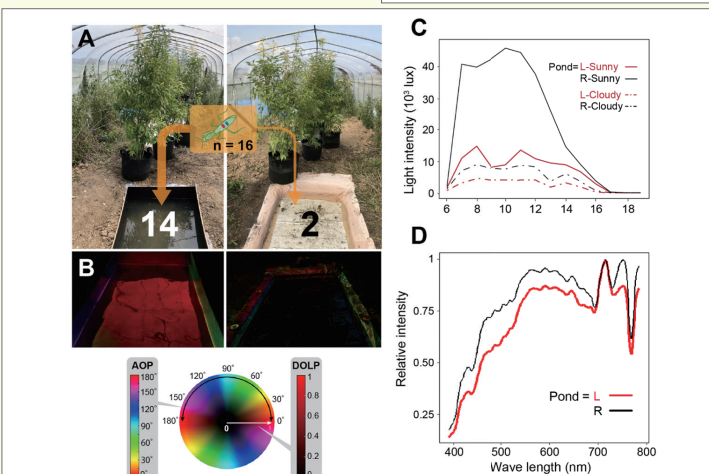
▲図1 ハリガネムシの生活史

水中で孵化したハリガネムシは、水生昆虫に寄生してシストになる。水生昆虫の羽化とともに水域から陸域に移動する。水生昆虫がカマキリに捕食されると、その体内で成長する。カマキリの体内で成虫になると、操作して入水させる。カマキリが入水すると、脱出して水域に戻り、繁殖して一生を終える。



▲図2 偏光選択実験の装置

偏光板の方向を変えることで、水平偏光と垂直偏光それぞれに対する選択性を検証した。



▲図4 入水行動実験の結果

14個体が左の池に入水した（A）；左の池の水面からの反射光は、右の池に比べて、水平偏光が強く（B）、光の強度は弱い（C）；光の分光スペクトルは2つの池で大きな差はなかった（D）。パネルBは水面の偏光画像である。赤みが強いことは偏光の角度が水平に近いことを示す。彩度が高いことは反射光に偏光が多く含まれることを示す。

世界自然遺産小笠原諸島にてDIWPA Field Biology Courseを開催しました

いしだ あつし
石田 厚
京都大学
生態学研究センター
教授



2022年11月18日から23日にかけて、世界自然遺産サイトである小笠原の父島でDIWPA Field Biology Courseを開催してきました。コロナ禍で2年間中止していましたが、今年度はなんとか開催までたどり着けました。ただ今年度も公募時点で、コロナ感染の先が見えない、来日ビザの取得の不安などもあり、すでに日本国内にいるもしくは日本に滞在してすでに1か月以上経つ予定の若手研究者を対象に募集をしました。そのためか応募者は多くありませんでしたが、神戸大学農学研究科の博士課程に在籍する内山クリスマスさん1名をField Biology Courseに迎えることができました。のちニックネームのクリスマスさんと呼ばさせていただきます。11月23日の後も私は当研究室の学生らと父島に残り、自分達の調査も行ってきました。クリスマスさんのおられた特に前半は雨がちな天気だったのが残念でしたが、最終日近くになってきて晴れてきて、小笠原の青い空や海も見せることができたのは良かったです。

特にクリスマスさんの博士課程での研究で、宮崎県でスギの品種ごとの幹肥大成長の季節変化測定を行っているということでした。偶然にも、当研究室の学生1名の研究テーマも小笠原樹木の幹肥大成長の季節変化の研究でし

た。雨がちでいつも小笠原でのField Biology Courseで行ってきた光合成測定のレクチャーなどはしづらい状態だったのもあり、当研究室では小笠原にて幹肥大成長に関してどんな目的でどんな実験設定で研究を行っているか、またお互いの方法の違いなど、クリスマスさんに特化した話題でField Biology Courseを組んでいくことができました。他、特に外来の野ネコ対策などについて、そういった事業に長く携わってきた地元NPOの方からお話を聞くなど、島独特の保全対策、世界自然遺産管理についての時間も取ることができました。小笠原では、野ネコを捕獲した後、写真2にある小屋（ねこ待合所）でしばらく飼って、東京都獣医会を通じて、飼い主を探して引き取ってもらっています。なので小笠原では、野ネコを殺すことなく保全活動ができています。こういった事業の最初の頃からの苦労話や、最近はどう引き取り手として手を挙げて下さっている方の方が多いなど、私の知らない話も聞かせてもらうことが出来ました。

特にクリスマスさんは私と同じ樹木生理学の研究に携わっており、また彼女の神戸大での先生も私がよく存じ上げる方なので、今後ともお互いに研究交流していこうと盛り上がりました。



▲写真1 竹芝桟橋にておがさわら丸乗船前の集合写真。一番左側端がクリスマスさん。



▲写真2 父島にある「ねこ待合所」の（左）全景写真と（右）看板。



▲写真3 クリスさんが父島を去る乗船前。（左）地元のNPO、先生や学生さんら、環境省の方などとの集合写真。左から5番目がクリスマスさん。（右）父島を出港するおがさわら丸。



「学校で習わない生き物の不思議」を開催しました

「学校で習わない生き物の不思議」と銘打って毎年行っている生態研の一般公開（京大ウィークスの一環）を、今年は11月5日（土）に行いました。昨年度、一昨年度は、主に小学生と保護者の方を対象に、生き物に触れたり、手を動かす体験型のプログラムが中心でした。今年度は少し趣向を変えて、中学生以上の方を対象に、2つの講義を軸にしたプログラムをこころみました。さいわい会場の収容人数ぎりぎりの、幅広い年齢層にわたる40名の方に来ていただきました。

当日は、センター長（中野）による生態研の紹介のあと、生態研のキャンパスで見つけた生き物を入り口にして、ベーツ擬態とミューラー擬態を中心とした警告色や擬態の進化の講義をおこないました（谷内）。次に、小笠原諸島の成り立ちとそこに生息する植物の生態、島の生物と人間の共存の取り組みについてお話ししました（石田）。講義のあとは、外に出て3つのグループに分かれて、キャンパスにあるCERの森（林園）（石田）、植物栽培棚・圃場（酒井）、カマキリ実験棟（佐藤研研究生）を見学し、担当者が研究や施設について説明しました。終了後のアンケートに、いろんなご意見をいただきましたが、皆さんの生き物への熱い思い、生態研での研究や研究者の生態への溢れる関心には圧倒されました。次回もぜひおいでください！

◆佐藤拓哉准教授が、公益財団法人河川財団 令和4年度河川基金優秀成果賞（研究者・研究機関部門）を受賞しました。

「河畔林整備がサツキマスになる稚魚の個体数増大に及ぼす効果の検証：河川管理と森林管理の融合に向けて」

【受賞内容】

西日本に生息するサケ科魚類のアマゴでは、1歳になる秋に、ある体長（閾値サイズ）よりも大きく成長できた個体がスモルト化して降海型のサツキマスになります。一方、あまり成長できなかった個体は河川で一生を過ごす残留型になります。サツキマスは、かつては西日本の河川の水産重要魚種でしたが、近年分布域の全域で激減しています。その理由は、ダムや堰堤による海洋と河川の分断、および海洋環境の変化にあるとされています。

一方、本受賞研究では、針葉樹人工林に囲まれた河川では、陸生無脊椎動物の供給量が低いことで、アマゴの成長率が低く、秋に閾値サイズを超えられないために、スモルト化する個体がほとんど出ないことを実験的に明らかにしました。この研究成果は、河川管理において、河川内の環境整備だけでなく、河川と森林のつながりの回復が、アマゴ・サツキマスをはじめとする回遊性生物の自由な生き方を維持・回復する可能性を示すものです。

【受賞コメント】

サツキマスは、実は世界で最も南で降海性をもつサケ科魚類です。サツキマスを失わないためには、どのような森―川―海のつながりを維持・回復すればよいのでしょうか？立場や専門分野の垣根を超えた議論・活動が必要です。



◆程木義邦准教授（中部大学応用生物学部、前・生態学研究センター特定准教授）と小坂橋忠俊（前・生態学研究センター技術専門職員）、合田幸子技術職員、赤塚徹志研究員、中野伸一教授による共著論文が、日本陸水学会英文誌 "Limnology" 最優秀論文 (Limnology Excellent Paper Award 2022) に選ばれました。

Hodoki Y, Koitabashi T, Goda Y, Akatsuka T, Nakano S (2020) Long-term variation in abundance of the non-native phytoplankton *Micrasterias hardyi* (Zygnematophyceae, Streptophyta) in Lake Biwa, Japan. *Limnology* 21 (1): 67-72.

【受賞内容】

近年、琵琶湖で優占するようになった大型緑藻 *Micrasterias hardyi* の長期および季節変動に関する研究で論文賞を頂きました。これまで、本種はオーストラリアの固有種と考えられていましたが、2016年以降、琵琶湖で定期的に増加し優占するようになりました。大型植物プランクトンは動物プランクトンなどに捕食されにくいと、本種の様な植物プランクトンの増加により、水界の食物連鎖が駆動しなくなることや、更なる有機汚濁と環境悪化の原因となることが懸念されています。この様な「やっかい」な外来性の植物プランクトンの研究に、京都大学大津臨湖実験所（当初）を経た現在の京大生態学研究センターでの50年以上にわたる琵琶湖定期調査サンプルを活用し、世界的にも研究事例が少ない本種の増殖動態の一端を解明したことが評価されました。

【受賞コメント】

これまで琵琶湖の定期観測に関わってこられた教員の皆様、技官の皆様に御礼申し上げます。またこのような研究が評価され、大変光栄に存じます。



程木 義邦



小坂橋 忠俊
(2015年に逝去)



合田 幸子



赤塚 徹志



中野 伸一



▲琵琶湖定期調査サンプルの棚と
賞状・楯

受賞のお知らせ



やちしげお
谷内 茂雄
京都大学
生態学研究センター
准教授



京大ウィークス 2022 一般公開

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

国際共同研究、共同研究a、研究集会、ワークショップ

※2023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。

<https://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/contents.html>

共同利用事業

共同研究bは 2023 年度から
Google フォームでの申請に変わります

2023 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

京大大学生態学研究センター 共同利用・共同研究拠点担当

〒520-2113 滋賀県大津市平野2丁目509-3

E-mail: kyodo-riyo@ecology.kyoto-u.ac.jp

Tel: 077-549-8200 / Fax: 077-549-8201

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、

<https://www.ecology.kyoto-u.ac.jp/fellow.html>

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。

※協力研究員は、本センターの協議委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。

協力研究員

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。



第14回公開講演会のお知らせ

生態学研究センターでは、広く一般の方に向けた公開講演会を開催しています。今回は「花咲き実結ぶ東南アジア熱帯雨林ー斉開花結実をめぐる植物と動物の謎に迫るー」をテーマに開催いたします。皆さまのご参加を心よりお待ちしております。

- ・日時 2023年2月5日(日)13:30-16:00
- ・場所 大学コンソーシアム京都
キャンパスプラザ京都第3講義室
- ・参加無料
- ・定員170名
- ・事前予約は受け付けていません。
当日受付のみ

詳細は
生態学研究センター
ホームページを
ご確認ください。



花咲き実結ぶ東南アジア熱帯雨林 ー斉開花結実をめぐる植物と動物の謎に迫るー

01 竹内 卓也 | 東北大学大学院 生物資源学専攻 准教授
熱帯雨林のイベントー斉開花と動物の行動
熱帯雨林は生物多様性の宝庫であり、地球上で最も多様な生物が暮らす場所です。その中でも、植物と動物の相互作用は生態系の機能を支えています。本講演では、東南アジアの熱帯雨林に生息する植物と動物の相互作用について、最新の研究成果を基に、その謎に迫ります。

02 佐藤 寛樹 | 京都大学 先端理工学系 准教授
東南アジアの熱帯雨林と昆虫
アタリガキ科植物と種子食昆虫の相互作用
熱帯雨林は生物多様性の宝庫であり、地球上で最も多様な生物が暮らす場所です。その中でも、植物と動物の相互作用は生態系の機能を支えています。本講演では、東南アジアの熱帯雨林に生息する植物と動物の相互作用について、最新の研究成果を基に、その謎に迫ります。

03 平山 智樹 | 京都大学 生態学系 准教授
東南アジア熱帯雨林での一斉結実に対する
大動物の反応
熱帯雨林は生物多様性の宝庫であり、地球上で最も多様な生物が暮らす場所です。その中でも、植物と動物の相互作用は生態系の機能を支えています。本講演では、東南アジアの熱帯雨林に生息する植物と動物の相互作用について、最新の研究成果を基に、その謎に迫ります。

オープンキャンパス2023のお知らせ

将来、京都市立理学院の大学院生(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 2023年3月30日(木)9:30-13:30
- ・現地開催(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。氏名・所属・学年・住所・電話番号・メールアドレス・面談希望教員名(複数可)を記入の上、①~③いずれかの方法でお申し込みください。

- ① E-mail: opencampus@ecology.kyoto-u.ac.jp
- ② Fax: 077-549-8201
- ③ はがき: 〒520-2113 滋賀県大津市平野2丁目509-3
京都大学生態学研究センター オープンキャンパス係



詳細は
生態学研究センター
ホームページを
ご確認ください。



申込締切
2023
3/27

表紙について

佐藤 拓哉

- a) 調査で訪れた奥飛騨の山並み
- b) 湖を回遊して巨大化した降湖型サツキマス
- c) 稲刈りから逃げてきたチョウセンカマキリ
- d) ハリガネムシ類に操作されて入水したハラビロカマキリ

編集後記

自分が学生だった頃になると、最近の学生たちは、純粋に「性格がいいなあ」と感心することがよくあります。「最近の若者は〜」という言葉をよく耳にしますが、ひとりひとりの個性と向き合っていると、私が学生の頃よりも遥かに精度高く世の中を捉え、物事を工夫し、他の人と協調するスキルを持っているな、と感じることがあります(単純に私がだめな学生だっただけかもしれませんが)。世界はハチャメチャになってきたように見えるけど、実は人類は地道に進歩しているのかも、と、近頃感じます(東樹宏和)。

生態学研究センターニュース No.151
Center for Ecological Research News ~2023 January~

発行日: 2023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: 東樹宏和・谷内茂雄・石田厚・酒井章子
編集事務: 佐伯あゆみ

◆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。

生物多様性・生態系研究基金へのご寄付

2022年10月、鳳凰敦様より生物多様性・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

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」を牽引してできる人材を育成します。

センター員の異動

- 白眉センター特定准教授の潮雅之が8月31日付で退職しました。
- 森健介が9月1日付で研究員として採用されました。
- 学振特別研究員の大西雄二が9月30日付で転出しました。
- 外国人特別研究員のAlberto Canariniが10月24日付で転出しました。