

2024 年度「藻類談話会」参加記

星野 雅和

2024 年 11 月 2 日（土）に神戸大学において開催された藻類談話会に参加しました。主に関西圏で藻類を研究材料とする研究者が集まる本会は、今回で 28 回目となりました。あいにくの大雨でしたが、北海道から九州までの日本各地から 27 名（うち、学生 5 名）の方々が参加しました。演者（敬称略）と演題は次の通りでした。

- ・森本 冬海, 本多 大輔（甲南大・院・自然科学, 甲南大・理工）：
原生物ラビリンチュラ類の海洋生態系における役割の解明に向けて—魚類の DHA はどこから来るのか—
- ・松崎 令（大阪工大・工）：
雪氷環境に適応した微細緑藻の種分類学
- ・山野 隆志（京都大・院・生命）：
藻類の非膜オルガネラ「ピレノイド」のダイナミクスと形成機構
- ・熊谷 直喜（国立環境研・気候変動適応セ）：
気候変動に伴う大型褐藻類の地理的分布変化

最初は森本さんによる、魚類に含まれるドコサヘキサエン酸（DHA）とラビリンチュラ類の関係に関する研究報告でした。DHA やエイコサペンタエン酸（EPA）は健康に極めて重要な必須脂肪酸で、健康サプリメントなどで見かける人も多いかと思えます。DHA・EPA がイワシなどの青魚に多く含まれるのは周知のとおりですが、実は魚類はこれらの脂肪酸を十分に合成できず、食物連鎖を通じて得ているそうです。これまでの研究では DHA・EPA の起源は珪藻や渦鞭毛藻などの植物プランクトンとされ、ラビリンチュラ類の役割は無視されることもあったそうです。しかし、森本さんによると、ラビリンチュラ類のアプラノキトリウムが珪藻を盛んに捕食し、珪藻類の EPA を DHA に変換して蓄積することや、ラビリンチュラ類を甲殻類（アルテミア）が捕食することで、DHA が甲殻類に転送されることが培養下で確認されたそうです。また、海洋調査を行い、アプラノキトリウム類の現存量を定量 PCR 法により推定した結果、春夏秋の藻類ブルームが生じる時期にちょうどアプラノキトリウムが増加することも分かったそうです。これは、アプラノキトリウムが実際に野外でも珪藻類などの一次生産者を捕食していることを示唆するものです。更に、アプラノキトリウムの現存量をもとに算出した DHA 量は渦鞭毛藻のそれと同程度であったことや、魚類のえさとなるカイアシ類が積極的にアプラノキトリウムを捕食している事実なども紹介され、藻類から魚類への DHA の物質転送においてアプラノキトリウムが無視できない重要な仲介者である可能性が示されました。これまで無視されていたラビリンチュラが、じつは海洋生態系に大きな影響力を持っているか

もしれないと考えると、今後の続報が非常に楽しみです。

松崎先生からは氷雪藻の種分類についてご講演いただきました。春から初夏に雪の残る高山を歩いていると、赤～緑色に色づいた雪、いわゆる彩雪を見かけることがあります。これらの正体は、寒冷環境に適応した微細藻類である氷雪藻のブルームです（黄色いものは、動物の尿の可能性もあるとのことでした）。氷雪藻は雪氷生態系を支える一次生産者であることや、ブルームによる雪の着色が雪の太陽光反射率を減少させることで雪解けや氷河の融解に大きな影響を与えることが知られています。このような生態的重要性から、氷雪藻に対する注目が集まっているのですが、その分類は進んでいないのが現状だそうです。その理由のひとつは、氷雪藻の生活環を実験的に再現できないことだそうです。氷雪藻は接合子やシストの状態で見られることが多いけれど、それらを発芽させて栄養細胞を得ることが難しいし、栄養細胞を発見できても、有性生殖を誘導して接合子を得ることも難しい。そのため、接合子と栄養細胞の対応関係が分からない、とのことでした。そこで、DNA 情報を基に接合子と栄養細胞の対応関係を検証し、そのうえで両者に対する詳細な形態観察を行い、氷雪藻の実態解明と種分類を行っているそうです。こうした DNA 情報に基づくアプローチと並行して培養研究も行われており、2 種の氷雪藻において栄養細胞から有性生殖を誘導し、接合子を形成させることにも成功しているそうです。私は難培養性のものや培養下で生活環を完結させられない分類群は避け続けてきたため、松崎先生の氷雪藻の実態解明にかかる情熱に大変感服しました。最近取り組まれている氷雪サンプルのアンプリコン解析のお話では、未知の系統がたくさん発見されていることや、氷床コアサンプルから 8000 年前の藻類配列を得ることに成功しているといひ、今後の展開が非常に楽しみです。

山野先生からはモデル緑藻クラミドモナス *Chlamydomonas reinhardtii* のピレノイドについてご講演いただきました。ピレノイドは多くの藻類の葉緑体に存在する Rubisco を密に充填した顆粒状の構造物で、ここでは CO₂ が濃縮され、CO₂ の乏しい水圏環境でも効率的な光合成が行われています。ご講演では、この光合成ターボエンジンとも例えられるピレノイドを構成する部品をひとつずつ調べることで、クラミドモナスの CO₂ 濃縮機構（CO₂-concentrating mechanism: CCM）のしくみがだんだんと明らかになっていく過程をご紹介いただきました。多くの動画を見せていただきましたが、ピレノイドマトリックスがダイナミックに形状を変える様子が非常に印象的でした。私はピレノイドを Rubisco の結晶体で静的な構造だと思込んでいたのですが、実は動的な性質をもつ液—液相分離する非膜オルガネラであることが実感でき



講演風景（写真提供：幡野恭子先生）

ました。もうひとつ印象的だったのが、最先端の技術を積極的に取り入れた研究手法です。例えばピレノイドに異常のある変異体をスクリーニングするために開発された Intelligent Image-Activated Cell Sorter (iIACS) です。これは、大量の細胞集団から一つ一つの細胞を蛍光顕微鏡で撮影し、deep learning を用いた画像処理ユニットでそれらの画像をリアルタイムで分析し、細胞集団の中から特定の細胞（例えばピレノイドに異常がある細胞）を回収する技術だそうです。これにより、手作業の数千倍の効率で変異体を得ることができるそうで、手作業で変異体スクリーニングを行っている私にとってはうらやましく思うと同時に、最先端の技術を取り入れることの重要性を痛感しました。クラミドモナスの CCM の全体像が徐々に明らかになっていく中で、陸上植物にもピレノイドを導入することで光合成を促進し、作物の収量を上げる試みもあるらしく、夢のある研究分野だと思いました。

熊谷先生には、気候変動に伴う海洋生物の分布変化、その駆動要因、そして未来の分布域を統計モデリング手法でどのように予測するのかについて解説していただきました。まず、生物分布を予測する方法として種分布推定モデル (Species distribution modeling: SDM) から紹介いただきました。この枠組みでは、生物の現在の分布域とその温度環境を基に推定した分布モデル (SDM) に将来の予測温度を適用することで、将来の分布域を推定するのが一般的だそうです。しかし、この基本的な SDM の枠組みでは、分布変化速度が生物間で異なることを表現できず、例えば、固着性の海藻と分散能力の高い魚類が環境変化に対して同じように移動するという非現実的な予測が行われることになる、とのことでした。そこで、代替手法として、各生物の過去～現在の無数の出現記録



懇親会風景（写真提供：幡野恭子先生）

を地理情報システム (GIS) 上でつなぎ合わせ、統計モデリングを用いて気候変動に伴う分布範囲の変化を種ごとに推定する方法をご説明いただきました。熊谷先生の実際の研究例では日本列島におけるコンブ類 8 種、ホンダワラ類 22 種の膨大な出現記録を徹底的に調査されていました。このようにして推定された海藻の分布範囲の変化は、藻場の衰退に影響すると考えられるサンゴや魚類食害の記録、年代ごとの海水温の地理的データ、そして海流を考慮したモデルにより、よく再現できるとのことでした。分布変化速度が種ごとに異なるという当たり前の事実を考慮するのはこんなにも大変なのかと感じた一方で、なんとなく感じていた藻場の衰退や、その原因と疑っていた水温上昇、魚類の植食圧、サンゴの進出などが、統計モデリングによって定量的に検証されていく点に胸のすく思いがしました。最近の研究では、コンブ類・ホンダワラ類の分布衰退域に残る局所的な生育可能地の成立条件を探るため、四国南西部の沿岸を潜水調査しておられるとのこと、講演の冒頭に紹介されたご自身の研究アプローチ、「Diver Data Modeler (海に潜り、データを扱い、モデリングする)」を地で行くその姿勢に深く感銘を受けました。

今回は 2019 年以来 5 年ぶりに懇親会が行われ、豪華な料理とすごい量のお酒をお供に、夜 9 時まで楽しく、積極的な交流が行われました。2025 年度の藻類談話会は奈良女子大学で開催される予定です。最後に、会場・懇親会を準備していただいた上井進也先生、世話人の幡野恭子先生にこの場を借りて御礼申し上げます。

(神戸大学内海域環境教育研究センター)