

訪問としました。MARUM は海洋底地質や古環境解析の研究室が多い研究所ですが、Kucera 教授の研究室ではプランクトンネット、セディメントトラップ、さらに深海堆積物を使って、海洋の生物圏（biosphere）と地圏（geosphere）をつなぐような研究を展開しています。研究室のメンバーは非常に国際色豊かで、各国から Kucera 教授と共同研究を求めてやってきているのだという印象を受けました。ここではメンバーの誰もが、何らかの形で有孔虫を扱った研究を行っています。それは殻であったり遺伝子であったり、はたまた有孔虫フラックスの変動モデルであったりと様々ですが、生きた浮遊性有孔虫そのものを扱ってきた私のような人は稀でした。そのためか、有孔虫がどのように生きているかという話は大変興味を持って聞いていただけました。

訪問数日目に行われた Kucera 研究室のグループミーティングでは、私が博士課程で行った研究内容について、「Photosymbiosis in planktic foraminifers: Photophysiology and stable isotopic signatures」というタイトルでセミナー発表を行いました。小一時間にわたってじっくりと話をする機会をいただき、非常に有意義な議論をすることができました。また滞在期間の前半には、以前から知り合いであった Christiane に PAM 蛍光装置による底生性の有孔虫のアクティブ蛍光測定を教えていただき、後半には分子実験のラボを任されている Raphael から、遺伝子解析に関わる手法を、実験をやらせてもらいながら懇切丁寧に教えていただきました。今後の自分の研究に応用していける新たな技術を身につけることができたのは大変よい機会となりました。貴重な時間を割いて実験に付き合っただいた二人には、本当に感謝しています。

また、週末を利用して、オランダのユトレヒト大学で開催された有孔虫に関する国際ワークショップ（IFA workshop）にも参加しました（隣国で開催されるワークショップに電車移動で気軽に参加できるというのもヨーロッパならではで、逆に日本が島国であることを痛感させられます）。各国の研究者らの最先端の研究発表を聞いたことはよい刺激となりましたし、中でも、光共生生物内の栄養動態についてや、光共生が亜熱帯海域の物質循環に果たす役割についての議論を深めることができたことは非常に大きな収穫でした。ここでディスカッションしたことは、現在執筆中の論文の中で早速活かすことができそうです。



今回の派遣は、私にとっては初めての海外研究室での滞在でしたが、ドイツでの生活、研究室での日々、どれをとっても非常に楽しく、刺激的で、充実した 3 週間を過ごすことができました。また、同世代のポスドク研究者や博士課程の学生と交流でき、お互いの研究の話や、これからやりたいと、どんな研究をしていくべきか、また研究を続けていく上での悩みなど、いろんなことを話し、共有できたと感じています。今回このような貴重な機会を与えてくださった NEOPS およびその関係者のみなさま、また滞在を快く受け入れてくださった Kucera 教授とラボメンバーには心より感謝申し上げます。ここで得た経験と、人とのつながりを活かし、今後とも益々研究に励んでいきたいと思ひます。



Contents

領域代表あいさつ	1
イルカ・クジラー海の頂点捕食者から明らかにする生態系の構造と機能	2
若手研究者海外派遣報告	3

領域代表あいさつ

生態系サービスという言葉や概念は社会にどの程度定着したのだろうか。自然からの恵みがなければ人間が生きていけないことは古代から様々に語られてきたが、自然環境や生物多様性が劣化しつつある状況の中で恵みをどのように捉えるか、という観点では Wilson and Matthews (1970) にある「environmental services」が、現代的な概念を表す最初の言葉だとされている。1980 年代に主体が環境から生物に変わって「ecosystem services」と呼ばれるようになり、Costanza ら (1997) やミレニアム生態系評価 (2005) などが契機となって、生態学や環境学に関わる分野の研究者間にこの言葉が広がってきた。新聞でも見かけようになったのは生物多様性条約 COP10 が名古屋で開催された 2010 年頃からだろうか。毎年、学部 2、3 年生の講義において学生に「生態系サービス」を知っているか聞いてきたが、2010 年以前は知っている者は皆無だったが、この頃から、ちらほら散見されるようになってきた。

私がこの言葉を知ったのは Costanza ら (1997) からで、面白い考え方だとは思ったものの、言葉使いには違和感を覚えた。日常用語ではサービスとは「人が人に」するものなので、生態系サービスとなると、自然を行為者に行っていることになる。人間は、自然にはお構いなく恵みを受け (利用し) ているので^{注)}、それをサービスとしてしまうのは、人間の都合のみで生態系を見ている状況をぼやかしてしまう、この考え方を敷衍すると利益追求で生態系を改変する動きを進めることになり、結果として生態系リスクを招くことになりかねない、ということである。数年前頃までは、こうした懸念を耳にしたが、最近ではあまり聞かない。今、これに関する議論はどうなっているのだろうか。

一方で、増え続ける人類の生存を支えるためには生態系サービスの最大化、最適化を図らなければならないとの議論が進んでいる。SDGs に関わる諸活動においてもその目的からすると人間ファーストのこうした考えを単純に排除するのは難しいだろう。今、リスクを避けるために急がれるのは、様々な恵みを生み出すメカニズムの自然科学的理解を前に進めることだ。スール海で計画された (試行された?) 尿素散布や鉄撒き実験に関する議論の例を引くまでもなく、一面的な生態系サービスの最適化は、落とし穴にはまることになる。社会に対して責任のある情報を提供し、最善の策を提案することが研究者コミュニティの使命である。

日本が豊かな自然に恵まれているためであろうか、私たちはその「恵み」を当たり前のように「頂いて」きたが、これから環境や生態系に関連する国内外の政策決定の機会が増すにつれて、人間ファーストの生態系サービスという考え方や、それに基づいた議論や政策決定に社会の関心が向けられていくだろう。恵みの利用に関する様々な議論において NEOPS の成果が役立つものと期待している。

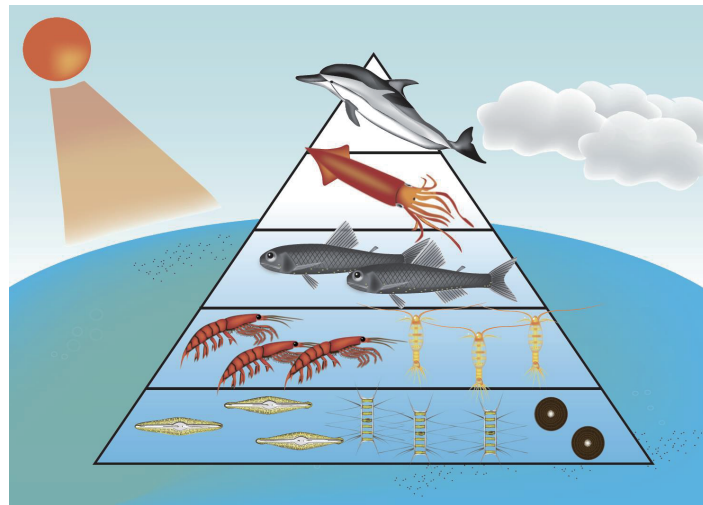
^{注)}ただし、日本には、八百万の神から持続的に「恵みを頂く」ために自然へ働きかける民族行事がある。

金治 佑（水産研究・教育機構）

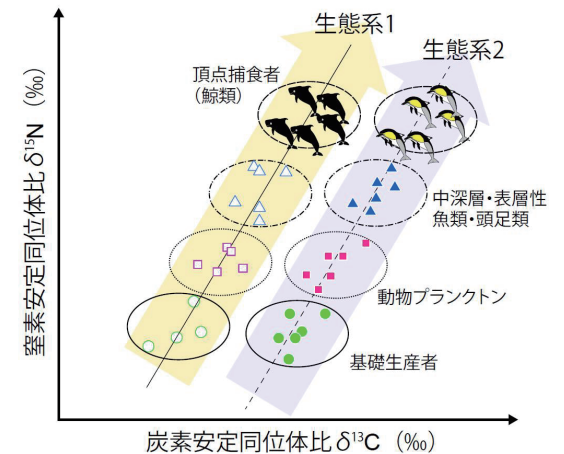
「百獣の王」といえばライオン。シマウマなど大型の動物を単独で襲う姿から地上最強の動物とされ、動物園でも一・二を争う人気者です。では、海の「百獣の王」は、どんな動物なのでしょう？たとえばシャチは、集団でアザラシやクジラを襲うことが知られていて、まさに「百獣の王」のイメージにぴったりです。他には、時に海水浴中の人間をも襲うことで恐れられるホホジロザメやイタチザメ、鋭い歯で大型魚類を捕食するオキゴンドウなども「百獣の王」の有力候補かもしれません。こうした生き物たちは、生態系のなかの頂点捕食者あるいは高次捕食者と呼ばれています。生態系は、植物や植物プランクトンが太陽光からエネルギーを取り込み、さらに小型の動物から、中型、大型の動物へと食う一食われるの関係を通してエネルギーが伝えられる、その構成生物すべてから成り立っています。生態系の中で、植物や植物プランクトンは第一栄養段階と呼ばれ、それを食べる小型の動物は第二栄養段階、さらにそれを食べる動物は第三栄養段階…とされ、栄養段階が高くなるほど生物の数が少なくなることから、こうした生態系の構造はピラミッドに例えることができます（図1）。ライオンやシャチは比較的大型の動物を捕食する一方で、ほかのどんな動物からも食べられることがなく、このピラミッドの頂点に位置しているために「頂点捕食者」などと呼ばれるわけです。

さて、生態系と一口に言っても、その構成生物は実に多様で、植物プランクトンや動物プランクトン、カタクチイワシなど小型の浮魚、マグロ・カツオなどの大型魚類、イカ類、サメ類などそれら数百、数千種の食う一食われるの関係すべてを網羅的に把握することはとても困難です。しかし、そうした複雑な関係も最後は少数の頂点捕食者に辿り着くと考えれば、頂点捕食者の分布や個体数、食性、行動などを把握することで、その種が属する生態系の特徴をおよそ推定することができることになります。このような考え方から、私たちは、2014–2015年の2年間、公募研究班として「鯨類からみた海洋区系と機能」という課題に取り組みました。この課題では、様々な種の鯨類について、地理的な分布範囲を明らかにし、それらの種間での違いが、海洋環境やそこに生息する餌生物の違いを反映している、つまり属する生態系の違いを表しているとの仮説を提示しました。しかし、本当に鯨類が生態系の構造を代表しているのか、分布の情報だけでは証拠不十分です。また、その種の分布範囲の中でも沿岸と沖合とでは、生態系のなかで果たす役割が異なるかもしれませんし、鯨類が季節的に移動・回遊することで、異なる生態系を使い分けている可能性もあります。

近年、動物組織に含まれる安定同位体と呼ばれる元素の分析から、栄養段階を推定することが可能になりました。安定同位体とは、同じ性質を持ちながら重さ（質量数）の異なる元素のことで、重さの違いからその反応速度には違いがみられます。質量数が高い同位体は生物の体内に残存しやすく、餌として食べられると捕食者の体内で濃縮していくため、その存在比は栄養段階がひとつ上がるごとに、炭素安定同位体比で約1%、窒素安定同位体比で約3.3%上昇するとされています。様々な生き物について、炭素安定同位体比と窒素安定同位体比の値をプロットすると（図2）、C-Nマップと呼ばれるこの図から、両者の関係をひとつの直線状に表すことができ、食う一食われるの関



係を推定することができます。また広い海の中では水温などの環境条件の違いにより、植物プランクトンによる元素の取り込み方に違いが生じます。その結果、生態系のベースとなる第一栄養段階の安定同位体比は海域によって異なると考えられており、海域によって異なる生態系が、複数の直線で表されることになります。私たちは、様々な鯨類について炭素・窒素安定同位体比を分析するとともに、植物プランクトンや魚類、イカ類の安定同位体比を分析している他班との共同研究により、北太平洋に存在する生態系をこの直線式から検出しようと考えています。また、鯨類が季節回遊によって生態系の利用の仕方を変えていることや同じ海域でも鯨類の種によって栄養段階が異なることなども検証していく予定です。



若手研究者海外派遣報告

高木悠花（東京大学大気海洋研究所）

学研究費補助金新学術領域研究「新海洋像：その機能と持続的利用」（NEOPS）若手研究者海外派遣プログラムの援助により、2016年8月中旬から9月にかけての約3週間、ドイツのブレーメン大学に属する海洋環境科学センター（MARUM）に滞在しました。現地では、Michal Kucera 教授の研究室に visiting researcher として受け入れていただき、研究活動を行いました。

これまでの NEOPS プロジェクトの研究により、貧栄養亜熱帯海域では、プランクトンが生元素の貯蔵や供給に重要な役割を果たしていることが明らかとなっていました。その中でも、貧栄養環境に適応した生活史戦略とされる動物プランクトンの光共生（有孔虫や放散虫にみられる藻類との細胞内共生関係）は、何千細胞もの共生藻が活発に光合成を行える場を提供しており、光共生生物そのものが一次生産のホットスポットになっているとも言われています。しかし、どの種が光共生するのか、共生藻はどれほど光合成しているのか、また光共生種の分布と海洋環境条件との関係など、まだ多くは解明されていません。私はこれまで、浮遊性有孔虫という動物プランクトンの光共生を対象に、主に生活史や生理生態に関する研究を行ってきましたが、研究をさらに進展させ、光共生という現象が貧栄養海域の生態系、生物多様性、さらには物質循環にどう貢献しているのかを明らかにしたいと考えています。そこで本滞在では、光合成を測定できるアクティブ蛍光法に習熟すること、浮遊性有孔虫の光共生系の多様性を明らかにするための遺伝子解析法を習得すること、および今後行っていく共同研究について打ち合わせをすることを目的としました。

受け入れ先の Kucera 教授は、主に有孔虫を対象として、生態、分子生物地理、フラックス、それらの気候変動に対する応答まで幅広く研究しており、業界を牽引する研究者です。Kucera 教授とは数年前の国際学会で知り合い、私が口頭発表した研究内容に強く興味を持っていただいたことから、今回の滞在先に選びました。また、ドイツ船の航海と一緒に乗らないかとお誘いをいただいていたという経緯もあり、今後の打ち合わせも兼ねての

