

公益財団法人 水産無脊椎動物研究所

うみうし通信

2023.6

No.

119



ウミヒドラの仲間を食べているセスジミノウミウシ

奄美大島 2009.3 撮影/今本 淳

二枚貝類は体表からプラスチック粒子を取り込む 生田 哲朗

侵略的外来種ヨーロッパザラボヤ 紫藤 拓巳

東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所 幸塚 久典・三浦 徹

書評『新種発見物語』 梅田 剛佑

2023年度研究助成課題が決定しました

二枚貝類は体表からプラスチック粒子を取り込む

Bivalves take up plastic particles from the body surface

国立研究開発法人海洋研究開発機構 地球環境部門 海洋生物環境影響研究センター 生田 哲朗 (Ikuta, Tetsuro)

海のプラスチック問題

海洋プラスチック問題というと、レジ袋を啜えたウミガメや、大量のプラスチックごみが胃から見つかったクジラなどが度々紹介される。しかしカメやクジラには大変申し訳ない見方ではあるが、それは単に彼らが可哀想という感情的な問題なのだろうか？

プラスチックは、利便性が高く耐久性があり安く製造できるため、現在、私たちの生活の様々な場面で使用されている。しかし、その大半が使い捨てであり、適切に管理・処理されなかったものは環境中に流出し、最終的には海に流れ着く¹⁾。プラスチックは可塑剤、難燃剤、紫外線安定剤などの添加剤を加えて製造加工され、さらに水環境中のプラスチック表面には疎水性の残留性有機汚染物質 (POPs) が吸着することが知られている。こうした添加剤や吸着物質の一部は強い毒性を持ち、内分泌かく乱作用や発癌性などが認められている。プラスチックは環境中に出ると、波や紫外線などの影響を受け、小さなプラスチック粒子となっていく。また、タイヤの摩耗粉塵や化学繊維くず、スクラビング剤など環境流出時にすでに微細な粒子となっているものもあり、その多くが海に流れ出ている。直径5 mm以下のプラスチック粒子はマイクロプラスチックと呼ばれており、これらは環境からの回収が難しく、分解しにくいので、環境中に長期間残留すると考えられている¹⁾。このようなマイクロプラスチックが生物の体内に入ること、添加剤や吸着物質に起因する化学的影響や、消化管の閉塞、組織構造の劣化などの異物としての物理的影響、さらにはプラスチックにコロニーを作る病原性微生物の感染症などによる生物学的影響をもたらす可能性があり、海洋生態系やヒトの健康への影響が懸念されている²⁾。カメやクジラの話は象徴的ではあるが、海洋プラスチック問題は私たちの未来を左右する、もっと身近に迫った問題である。

二枚貝類のプラスチック汚染

二枚貝類は一般に濾過食であり、鰓によって食物やマイクロプラスチックを含む大量の海水中の粒子を濾過する。また分布域が広く比較的採取が容易である上に、海底の決まった場所にとどまるため、二枚貝類はプラスチック汚染の指標生物として注目されている。実際これまでに、世界中の様々な種類のイガイ類、カキ類、アサリ・ハマグリ類、イタヤガイ (ホタテガイ) 類などの体からマイクロプラスチックが検出されている³⁾。これは養殖・販売されているものも例外ではなく、貝類を食べることによって、現在世界では1年に1人あたり平均751個のマイクロプラスチックを摂取しているとの試算もある³⁾。なかでもアジアは二枚貝から検出されるマイクロプラスチック量が北米やヨーロッパと比べて多い³⁾。二枚貝自身への影響としては、免疫系の機能低下、呼吸機能の不調、エネルギー消費の増加、組織構造の劣化、遺伝子発現変化など、マイクロプラスチックやその添加・吸着物の摂取に起因する

変化が観察されている⁴⁾。

濾過による経口摂取で消化管に入ったマイクロプラスチックの多くはそのまま排出される。消化管内での滞留時間はプラスチックに含まれたあるいは吸着した化学物質の汚染可能性と関係すると考えられる。小さい粒子ほど比較的速やかに体外に排出されるが、一部は消化管上皮を通過して循環系などに入る「トランスロケーション」と呼ばれる現象が報告されており、こうして組織内に入り込んだ粒子は体内で長い時間残留することが予想される⁵⁾。

食べなければ影響は無い？

深海の熱水噴出域や湧水域にはしばしば、地中から供給される硫化水素やメタンなどの還元物質の酸化エネルギーで有機物合成を行う化学合成微生物を生産者とする、化学合成生物群集がみられる。その優占種であるシロウリガイ類やシンカイヒバリガイ類などの二枚貝類は、鰓の上皮細胞に共生する化学合成細菌に栄養を大きく依存しており、鰓の濾過による摂食は無いが、あってもかなり限定的と考えられている。この特異な特徴を持つ二枚貝類は、固有性が高く人為的な環境破壊の影響を受けやすい脆弱な生物群といえ、その生態系保全の重要性は高い。二枚貝を始めとした動物へのマイクロプラスチックの影響を報告したこれまでの研究の多くは、経口摂取によるものを対象としている。二枚貝のプラスチック汚染が、主に濾過食を介した取り込みによるものと仮定すると、共生細菌に栄養依存する二枚貝での汚染はほぼ無いと予想される。しかし、プラスチック粒子が二枚貝の体表から体内に侵入することを示唆する報告もあり⁶⁾、多くのプラスチック粒子は最終的に深海に行き着くとされているため、著者らは、経口摂取以外の経緯による二枚貝類のマイクロプラスチック汚染についても適切に調査する必要があると考えた。

POPs が深海性化学合成二枚貝から検出

POPsとして知られるPCB (ポリ塩化ビフェニル) やPBDE (ポリ臭素化ジフェニルエーテル) は疎水性で水にはわずかにしか溶けず、藻類やプラスチック粒子などの水中の有機物粒子に容易に吸着する。両者共に近年規制が進む一方、世界中で採取された様々な生物から検出されているが、深海生物のPOPsの分布については、魚類を除いて情報は未だ少ない。著者らは、海洋生態系におけるPOPsの汚染の広がりを理解するために、人口の多い地域の近くに位置する相模湾初島沖 (深度857-1205 m) から採取したシロウリガイ類 (*Phreagena* spp., 過去30年間ほぼ10年毎に採取されたサンプル) とシンカイヒバリガイ類 (*Bathymodiolus japonicus*)、および人間活動から比較的離れた伊豆・小笠原海域の明神海丘 (深度1235 m) に生息するシンカイヒバリガイ類 (*B. septemdiarium*) のPCBとPBDEの含有量を測定した (図1)。その結果、PCBは調べた全ての試料から検出され、総PCB (含まれる塩素の数によって10種類に分けられる同族体の合計) 量は脂質重量あたりで18-110 ng/g (平

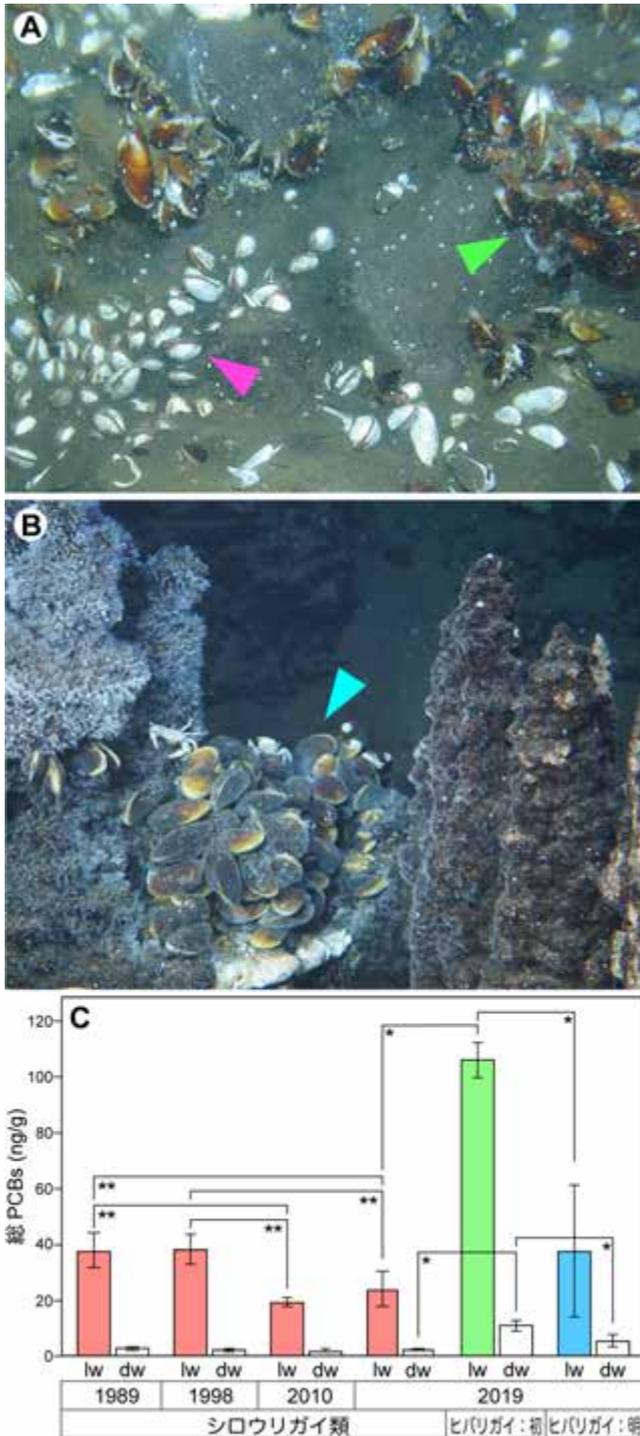


図1 (A) 相模湾初島沖のシロウリガイ類(紫矢頭)とシンカイヒバリガイ類(緑矢頭)。(B) 明神海丘のシンカイヒバリガイ類(青矢頭)。(C) 各採集年代の試料から検出された総PCB濃度。初:初島沖, 明:明神海丘, lw:脂肪重量あたりの濃度, dw:乾燥重量あたりの濃度。*, **:統計的有意差(p < 0.05)。エラーバーは標準偏差(n = 3)。文献7)から改変。

均 = 44 ng/g, 標準偏差 = 32)であった(図1C)⁷⁾。この値は、東京湾(3000 ng/g)や大阪湾(2000 ng/g)など、日本の人口密集域付近で採取された浅海性のイガイ類から検出されたPCB濃度を大きく下回るが、他のアジアや欧米諸国のいくつかの地点のイガイ類で検出されたレベルと同程度である⁷⁾。この結果は、PCBが摂食によることなく体表から完全あるいは大部分取り込まれたことを示している。わずかに水に溶けたPCBが溶解物として生体の中に取り込まれたというのが一つ

の可能性として挙げられるが、PCBを吸着したプラスチックなどの有機物粒子が細胞内へ取り込まれた可能性もある。

一方PBDEについては、脂質重量あたりの総PBDE量(含まれる臭素の数によって10種類に分けられる同族体のうち、調べた7種の合計)はどの試料でも検出限界以下か一部検出されてもごく僅か(脂質重量あたり1.4 ng/g以下)であった⁷⁾。しかし、僅かであってもプラスチックの添加剤として広く利用されているPBDEが非摂食性の化学合成二枚貝から検出されたことは、体表からのプラスチック粒子の取り込みの可能性を示唆するものとして注目される。

二枚貝類が体表からマイクロプラスチックを取り込む仕組み

エンドサイトーシスは、細胞膜の形態変化によって細胞が細胞外の物質を取り込む過程の一つであり、なかでも貪食(ファゴサイトーシス)と呼ばれる現象は、細胞が直径約0.5 μm以上の粒子状物質を取り込むエンドサイトーシスの一形態である。過去に二枚貝におけるマイクロプラスチックの取り込みを調べた研究では、消化管で起こる取り込み過程の前の最初の段階として、濾過過程における鰓上皮細胞のエンドサイトーシスによる細胞内への取り込みを推定している⁸⁾。しかし、鰓の細胞における貪食によるマイクロプラスチックの取り込みに関する生理学および組織学的な細胞レベルでの証拠は示されていなかった。そこで著者らは、摂食が限定的な深海性二枚貝でも、鰓の細胞が貪食によってマイクロプラスチックを取り込み汚染する、という仮説を立て、これを検証するため、蛍光標識した人工ポリスチレンビーズ(直径1 μm)をシンカイヒバリガイ(*B. japonicus*)の鰓に24時間曝露し、ビーズ取り込みの現象を確認する実験を行った⁹⁾。その結果、ビーズは鰓の表面側に位置する細胞に多く取り込まれ、ワートマニンとラトランクリンAという2種の貪食の阻害剤が共に、ビーズの取り込みに対して抑制効果があることが分かった(図2A-D)。また、蛍光顕微鏡と電子顕微鏡の連続的の相関観察を行ったところ、ビーズは生体膜からなる小胞に包まれていることが分かった(図2E,F)。さらに同様の観察を浅海性のミドリイガイ(*Perna viridis*)の鰓で行ったところ、シンカイヒバリガイと同じように、ビーズが細胞内の膜小胞に包まれていることが確認された(図2G)。こうして深海性および浅海性二枚貝類は、貪食によって鰓の表面からマイクロプラスチックを細胞内に取り込むことがはっきりと示されたことになる⁹⁾。

複雑な取り込み経路を踏まえた理解が必要

ここで紹介した著者らの研究ではビーズ取り込みの現象を定量的に捉えるため、暴露実験は自然環境で想定されるプラスチック粒子濃度よりはるかに高い条件で行った。この実験条件では、生息地での実際のプラスチック粒子の汚染状況を直接推察することはできなかったが、今後の研究の基礎となる知見を提供することができた。また、熱水や湧水域のような場所に生息する固有性が高く脆弱な生物は、たとえ非摂食性であっても、あるいは摂食が限定的であっても、プラスチック汚染の影響を受けている可能性に警鐘を鳴らすものとなった。さらに、浅海性イガイにおいても鰓の細胞表面を介してマイクロプラスチックが貪食されることを示した。同じく海洋性の濾過摂食生物であり、日本をはじめいくつかの国で食用とされているホヤ類でも、実験的に与えたプラスチックビーズの循環系へのトランスロケーションが報告されている¹⁰⁾。こうした二枚貝類以外の生物も、鰓などの体表からプラスチック粒子を取り込む可能性がある。水生生物の体表を介した汚染によってマイクロプラスチ

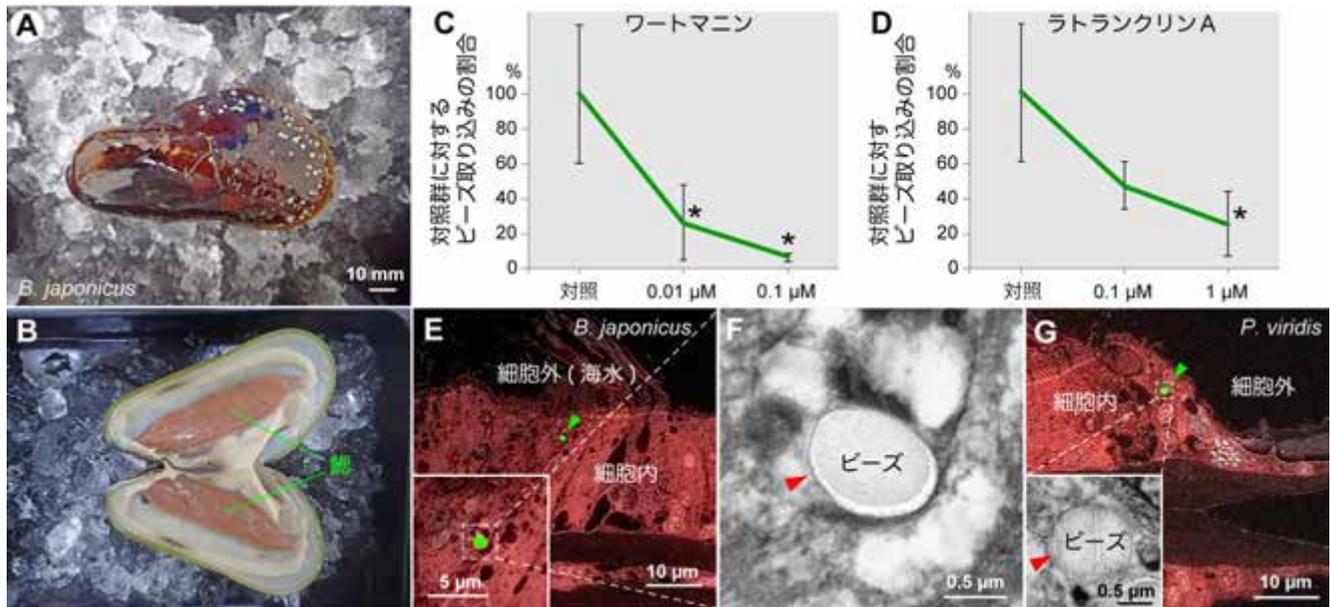


図2 (A・B) ビーズ暴露実験に用いたシンカイヒバリガイ (*B. japonicus*)。 (C・D) 鰓の細胞によるビーズ取り込みに対する2種の食害阻害剤の効果。
 * : 対照群に対する有意差 ($p < 0.05$)。 エラーバーは標準偏差 ($n = 3$)。 (E-G) 蛍光顕微鏡と走査型電子顕微鏡による、鰓細胞内に取り込まれたビーズ (緑矢頭) の連続観察。 赤矢頭: 膜小胞。 文献9) から改変。

ックがヒトに媒介される可能性については、今後より詳しく検討する必要があるだろう。

海洋中の微小プラスチックは今後も増え続けると予想される¹⁾。今回紹介した研究では、直径1 μm のプラスチック粒子が鰓から貪食によって取り込まれることが示されたが、さらに小さな粒子では拡散によって細胞膜を通過することが示唆された例もあり、粒子径によっては他の仕組みで組織内に運ばれる可能性もある⁶⁾。いずれにしても、海洋生物におけるプラスチックの汚染 (とそれに由来する可能性のある化学汚染) の経路は複雑であることが分かってきた。体表から細胞に取り込まれたプラスチック粒子の運命は今のところ不明であるが、取り込んだ生物に化学的、物理的、生理的な影響を与える可能性がある。二枚貝のプラスチック汚染の影響をより深く理解するためには、今後このような複雑な取り込み経路を踏まえた研究が必要と考えている。

引用文献

- Wayman C. and Niemann H. (2021) The fate of plastic in the ocean environment - a minireview. *Environ. Sci. Process. Impacts* 23: 198-212.
- Wright S. L., Thompson R. C. and Galloway T. S. (2013) The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environ. Pollut.* 178: 483-492.
- Ding J., Sun C., Li J., Shi H., Xu X., Ju P., Jiang F. and Li F. (2022) Microplastics in global bivalve mollusks: A call for protocol standardization. *J. Hazard. Mater.* 438: 129490.
- Mkuye R., Gong S., Zhao L., Masanja F., Ndandala C., Bubelwa E., Yang C. and Deng Y. (2022) Effects of microplastics on physiological performance of marine bivalves, potential impacts, and enlightening the future based on a comparative study. *Sci. Total Environ.* 838: 155933.
- Kinjo A., Mizukawa K., Takada H. and Inoue K. (2019) Size-dependent elimination of ingested microplastics in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Pollut. Bull.* 149: 110512.
- Al-Sid-Cheikh M., Rowland S. J., Stevenson K., Rouleau C., Henry T. B. and Thompson R. C. (2018) Uptake, whole-body distribution, and depuration of nanoplastics by the scallop *Pecten maximus* at environmentally realistic concentrations. *Environ. Sci. Technol.* 52: 14480-14486.
- Ikuta T., Nakajima R., Tsuchiya M., Chiba S. and Fujikura K. (2021) Interdecadal distribution of persistent organic pollutants in deep-sea chemosynthetic bivalves. *Front. Mar. Sci.* 8: 1735.
- von Moos N., Burkhardt-Holm P. and Kohler A. (2012) Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. *Environ. Sci. Technol.* 46: 11327-11335.
- Ikuta T., Tame A., Takahashi T., Nomaki H. and Nakajima R. (2022) Microplastic particles are phagocytosed in gill cells of deep-sea and coastal mussels. *Front. Mar. Sci.* 9: 1034950.
- Messinetti S., Mercurio S., Scari G., Pennati A. and Pennati R. (2019) Ingested microscopic plastics translocate from the gut cavity of juveniles of the ascidian *Ciona intestinalis*. *Eur. Zool. J.* 86: 189-195.

侵略的外来種ヨーロッパザラボヤ —透明ホヤの研究活用への道—

Invasive tunicate *Ascidella aspersa*; the road to a new model animal with its transparent eggs.

慶應義塾大学大学院 理工学研究科 紫藤 拓巳 (Shito, Takumi)

ホヤを求めて三千里

ホヤは知名度のない海洋生物である。一般的な人間はホヤを知らない。海に慣れ親しんでいるダイバーや、自然科学の徒である大学生の間でも認知度は低い。筆者の大学院の友人などは、何度説明しようと「ゴカイの研究まだやってんの？」などと訊いてくる。ホヤは誤解されやすい動物である。ホヤを知っている珍しい人間は大抵、酒のつまみね、あのホヤ“貝”ね？、と言う。貝ではない、むしろヒトに近い脊椎動物の親類だと伝えれば不可解な顔をされる。「ホヤ研究者あるある」である。

一方、ホヤは海の中で極めて一般的に見られる動物でもある。もしあなたにダイビングの心得があり、幾ばくかのお金と時間があり、そして無駄を愛する心があれば、綺麗な魚や不思議な地形を見る絶好の機会を投げ出し、岩場に留まってジッと一角を眺め回してみることをおすすめする。岩やりに付着して剥がれそうもない、体に二つの穴が空いた謎の物体。それは大抵ホヤである。この二つの穴は入水孔と出水孔といって、栄養を摂取するために水を出し入れしている。この特徴を除けば、ホヤの姿は極めて多様である(図1)。無骨で大柄な種も多いのだが、南国の鮮やかなホヤ達は一部のマクロ党ダイバーに愛されており、「カールおじさんホヤ」、「ガイコツパンダボヤ」など面白い外見のホヤは人気を博し、何度かTwitter

でバズっている。

ダイビングが必要な深いところにしかホヤは居ないのか、そんなことは全くない。ホヤは入り組んだ港湾などに住み着き、岩場ではなく船底やロープ、コンクリートの壁面などの人工物にも付着する。そのため、漁港で垂れ下がっているロープを引き揚げたり、ヨットハーバーで壁面沿いを泳ぎ回れば、浅瀬からも簡単に見出すことができるのだ(図2)。もちろん部外者が勝手に行うのは危険かつ違法行為である。筆者らは特別な許可を取って遂行している。

日本各地に棲息するホヤだが、特に東北地方の一部の人々はホヤへ並々ならぬ愛着を寄せている。このホヤとは「マボヤ」のことを指し、岩手や宮城、北海道などで養殖され食用に流通している。食材としてのホヤの認知度も低い、その独特な味には熱狂的なファンがついている。新鮮な刺し身なども美味しいが、「ほやの唐揚げ」や、全国通販で購入できる「蒸しホヤ」、女川市の郷土料理「ほやたまご」等はクセも少ない絶品でぜひオススメしたい。赤くゴツゴツした特徴的な見た目も人気がある。仙台うみの杜水族館では養殖ホヤを展示しており、また宮城県気仙沼市のマスコットキャラクター「ホヤほーや」のグッズは県内で広く販売されている。他にもホヤの情報を日夜発信している「ほやほや学会」、宮城げんき市「ほや祭り」など、ホヤにちなんだ活動は意外にも多い。



図1 多様なホヤ成体(沖縄、北海道等の海)。



図2 ホヤの採集風景（新潟，沖縄，神奈川の海）。落石の裏，コンクリートの壁面，柱，ロープなどに付着する。



図3 ホタテ連に大量に付着するヨーロッパザラボヤ（(地独)北海道立総合研究機構函館水産試験場提供）。

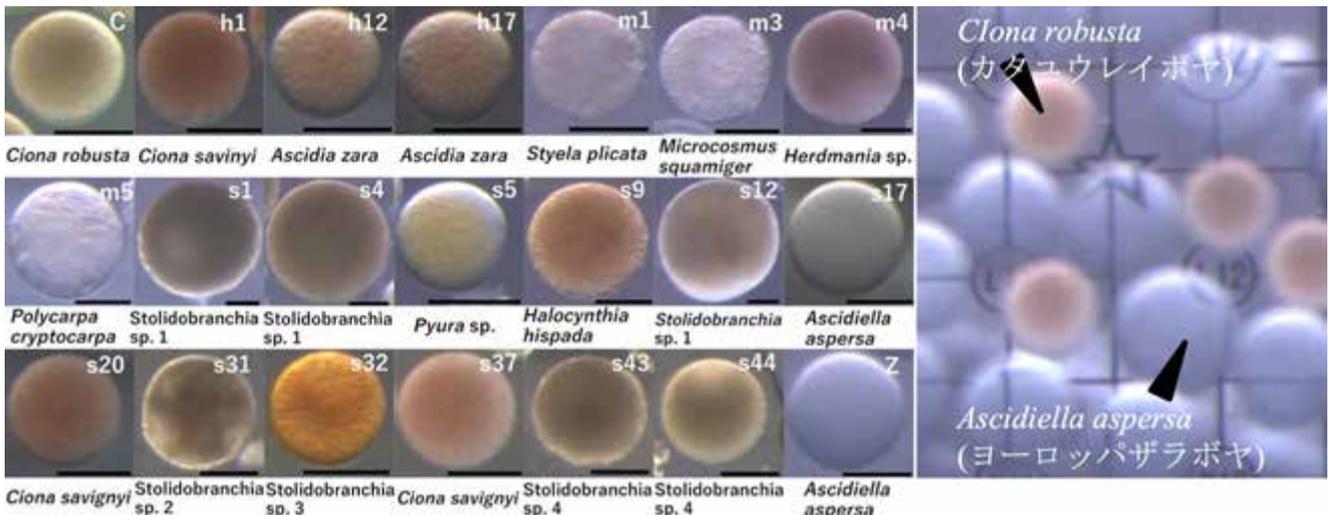


図4 研究で採取された21個体由来のホヤ卵。色付きのカタユウレイボヤの卵に対して，ヨーロッパザラボヤ卵は裏地が透けるほど透明。

このようなホヤの愛好家たちがいる一方で，ホヤなんて絶滅しやがれと頭を抱える方々もいる。右上の写真に映っているのは耳吊りホタテガイの養殖連である（図3）。といっても，この写真からホタテガイを見つけるのは難しいだろう。確かにホタテを養殖してはいるのだが，大量の邪魔者が付着してそれを覆い尽くしている。ホヤである。このエイリアンじみた相貌のホヤはヨーロッパザラボヤと呼ばれており，その名の通りヨーロッパから持ち込まれた外来種。ご覧の通りにわさわさと大量発生して，ひどく労力を要する除去作業やホタテ稚貝の大量死を引き起こし，ホタテ養殖業に著しい被害を与える。この種は2008年に初めて北海道の噴火湾で観測されて以来，主に北方の海に大量発生し続け，実に十五年間におよぶ継続的な漁業問題になっているのだ。

外国からもたらされた侵略的外来種。大量発生する害獣。ここまでは単純で，よくある図式である。しかし極めて面白いことに，ヨーロッパザラボヤは「超透明な卵」を持っていた。

透明なホヤの卵

ホヤが知られていないのだから，ホヤの卵について知っている人間がいる筈もない。ホヤは雌雄同体で，一個体が卵と精子の両方を持つ。つまり一匹がオスでもあり，メスでもある。卵と精子は出水孔を通して海水中に放出され，海水中で受精し，細胞分裂を繰り返してオタマジャクシ型の幼生（赤ちゃん）になる。このオタマジャクシ型幼生になる以前の仕組みが，実は

ホヤーヒト間において驚くほど共通しているのだ。というのもホヤはヒトと同じ脊索動物門というグループに属し，進化的に近縁なのである。つまりホヤを研究すれば，ヒトが一つの受精卵から大人になるまでの複雑怪奇なプロセス（生物発生）を明らかにできる。こういった発想の学問を発生生物学といい，発生生物学においてホヤはメジャーなモデル生物である。

直接ヒトの受精卵を研究するのは倫理的に許されないため，他の生物が用いられる。それらの生物の中でも，ホヤは細胞数が少ない，発生が極めて早い，個体サイズが小さい，細胞系譜が決まっている，脊椎動物に近縁など様々な研究上の利点がある。これらの利点がある一方で，現在メインで研究に使われているホヤの一種（カタユウレイボヤ）は色がついて比較的の不透明な卵を持つため，大人になるまでの過程で生じる現象を体の奥深くまでは見通せない弱点があった。

筆者らはカタユウレイボヤに代わる透明なモデル生物を探すべく，日本近海のホヤを探索した。その過程で見いだされたのが，侵略的外来種ヨーロッパザラボヤなのである。当時，筆者は日本の6地点から99個体のホヤを採集し，解剖して卵を採集した。結果的に得られた卵を見ると，卵の色や透明度は種間で極めて異なっているのが分かる（図4）。筆者はハイパースペクトルカメラ（エバ・ジャパン社）という特殊な光学装置を用いてこの卵が「どれくらい透明か？」を計測した。結果として，不透明なカタユウレイボヤ卵は10%程度しか光を通さない一方，ヨーロッパザラボヤの卵は90%の光を素通しする，窓ガラスに



図5 ヨーロッパザラボヤ各発生段階の実体顕微鏡写真。一つの卵がオタマジャクシになるまで様々な形をたどり、常に透明である。

匹敵する極めて特殊な構造をしていることが判明した。また系統解析の結果、ホヤ卵の透明度はナツメボヤ科において特に進化してきたことが示唆された (Shito *et al.*, 2020)。

透明モデル生物への道

外来種ヨーロッパザラボヤは超透明生物であった。ホヤであり、かつ透明であるという実験上の利点を余すことなく備えた生物。これを使わない手はない。しかし、新たな動物を発生生物学の研究で使うためには、この動物がどういった過程をたどって大人になり、その時々でどのような体構造をしているのか、といった連続的な形態情報を記載して公開する必要がある。そこで筆者らは、ホヤ成体から採取した精子と卵を人工的に受精させ、受精卵から孵化したオタマジャクシ型幼生までの発生過程を、26種類の発生段階（ステージ1~26）に分類した（図5）。次に、各発生段階のホヤを共焦点レーザー走査型顕微鏡で撮影した。3,000枚以上の断面画像が記録され、あらゆる角度から胚の詳細な構造を観察することができる3D情報に基づいた、オンライン上のデータベースRAMNe (Resources of *Ascidella aspersa* Morphology Network-based) を公開した。このデータベースは全世界のホヤ研究者コミュニティのみならず、一般公開もしている。興味を持たれた方は、ぜひQRコードからホヤ達の発生の様子を覗いてみていただきたい（図6）。

おわりに

水産無脊椎動物研究所には二年間の研究助成を受けました。右も左も分からぬ学生であった私に、とても得難い研究の機会をいただいたことを心より感謝しております。ここでは私が行っている研究の一部をご紹介させていただきました。

お忙しい中、お手間を掛けてヨーロッパザラボヤをご提供いただいた東北大学大学院農学研究科附属女川フィールドセンターの池田実氏・平塚豊一氏、北海道立総合研究機構水産研究本部函館水産試験場の金森誠氏・夏池真史氏・水上卓哉氏、北海道立総合研究機構水産研究本部中央水産試験場の瀧谷明朗氏・森立成氏・萱場隆昭氏・山口幹人氏へ、この場を借りて厚く感謝申し上げます。また他のホヤ採集等にご協力いただいた、新潟大学佐渡自然共生科学センター臨海実験所の大森紹仁氏、東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所の幸塚久典氏、佐渡

ヶ島ダイビングショップ F.WAVE の本間光雄氏、渡嘉敷島ダイビングショップ Prism Dive の前野文郎氏、京都大学大学院理学研究科の佐藤ゆたか氏、東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所の吉田学氏、東北大学生命科学研究科の熊野岳氏、研究への仔細なアドバイスを頂いた琉球大学の広瀬裕一氏・泉水奏氏、採集と系統解析のいろはをご教示いただいたホヤ系統分類学者の長谷川尚弘氏へ同様に感謝申し上げます。

最後に、私達はヨーロッパザラボヤが大量発生する原因や駆除方法についても調査を始めております。もし当種の日撃情報があれば、ぜひ当研究室へご連絡いただけますと幸いです。

Mail: t-shito[@]keio.jp Tel: 045-566-1700 (研究室)

参考文献

- Takumi T. Shito, Naohiro Hasegawa, Kotaro Oka, and Kohji Hotta. (2020). "Phylogenetic Comparison of Egg Transparency in Ascidiaceans by Hyperspectral Imaging." *Scientific Reports* 10 (1): 20829.
- Haruka M. Funakoshi, Takumi T. Shito, Kotaro Oka, and Kohji Hotta. (2021). "Developmental Table and Three-Dimensional Embryological Image Resource of the Ascidian *Ascidella Aspersa*." *Frontiers in Cell and Developmental Biology* 9. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.789046>.



図6 RAMNe データベース。3,000を越えるホヤ発生画像が閲覧できる。

東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所

Misaki Marine Biological Station, School of Science, the University of Tokyo

東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所 幸塚 久典 (Kohtsuka, Hisanori) 三浦 徹 (Miura, Toru)

東京大学大学院理学系研究科附属臨海実験所（以下、三崎臨海実験所）は、神奈川県三浦半島の西南端に位置する研究教育施設です（図1）。三崎臨海実験所は、わが国最初の大学附属の臨海実験所であり、1886年（明治19年）の創立から数えて今年（2023年）で137周年となります。当実験所の歴史的背景についての記録によると（実験所の歴史についての参考図書：磯野，1988；毛利，2011など），その長い歴史の中で上げられた研究成果は枚挙にいとまがありません。また，歴代の所長には著名な生物学者が多く，彼らの名前を冠したミツクリザメ（初代所長の箕作佳吉先生）やイジマフクロウニ（2代目所長の飯島魁先生）などが知られています。現在では，教員4名，ポ

ストク1名，職員13名，学生10名の30名弱が在籍しており，豊かな生物相を有する相模湾を舞台に，多種多様な海洋生物を対象とした精力的な研究・教育活動を日々行っています。本稿では主に，当実験所が行っている研究活動や教育活動などについて紹介します。

施設の概要

現在の三崎臨海実験所は，敷地面積は約69,000 m²であり，活動の拠点を研究棟と教育棟に置き，その他には，寄宿舎や海辺にある採集作業棟などの施設を備えています。

1936年（昭和11年）に建設された旧本館は，長年研究教育の



図1 東京大学三崎臨海実験所の施設。A：明治時代の初代の臨海実験所。B：東京大学附属の水族館。C：旧本館と実習船の臨海丸。D：研究棟。E：採集作業棟。F：2020年に竣工した教育棟。



図2 教育棟。A：展示室「海のショーケース」入り口。ドア上にはMMBSの箱文字が嵌め込まれている。B：展示室内。C：水槽室全景。D：水槽室の小型集合水槽。

場として役割を果たしてきましたが、1993年（平成7年）に竣工した研究棟に、専任の教員・学生の研究の場が移りました。研究棟には、遺伝子科学、発生・細胞生物学などの生物学研究に必要な設備や機器を数多く備えており、外来の研究者や実習生の利用も可能となっています。旧本館はその後、日本海洋生物学百周年記念館（記念館）と名称を変え、学生実習、外来研究者の研究、一般者向けの自然観察会など、共同利用の場として活発に利用されてきましたが、老朽化が進んでいたため、2019年（令和元年）に惜しまれつつも取り壊されることとなりました。2020年（令和2年）には、実験所の伝統を引継ぎ、発展させることを目指して、教育棟が新たに竣工しました。この教育棟には、実習室、展示室、水槽室、会議室などが設置され日頃の教育活動や共同利用研究に活用されています。また、「海のショーケース」と名づけられた教育棟1階の展示室（図2 A, B）では、旧本館で利用・保存されていた標本や物品、新たに作成した海洋生物の剥製や標本が陳列され、モニターにより様々な画像資料も展示されています。展示室入口には、MMBS（Misaki Marine Biological Stationの略称）の文字が記された金属製の箱文字が記念館より移設されています。また、生きた海洋生物を間近に見ることもできる水槽コーナーも併設されています。この展示室は、毎月1回程度の一般公開を予定していましたが、新型コロナウイルスの影響で一般公開が制限され、現在までに一度しか公開されていません。今後は定期的に一般公開を行えることを期待しています。

教育棟には、展示室の他にも相模湾から採集された様々な海洋生物の飼育を行うことができる水槽室（図2 C, D）も完備しています。水槽室は、研究や実習などで使用する生物を維持することを目的としているため一般公開はしていませんが、小型のものも含めて約200台以上の水槽で100種を超える海洋生物が飼育されています。中でも、小型の生物を観察することができる水槽は他に見られない特徴的なものとなっています。当実験

所の実習では、船舶によるドレッジ採集や磯採集などにより様々な生物種を得ることができ、それらの観察を精力的に行っています。海洋の環境からは体長10 mmほどの生物や体が柔らかく脆い生物も多数採集されるため、これらの飼育が難しい生物をいかに良い状態で維持できるかが課題となっていました。水槽室設置の際には、水槽設計業者と入念な打ち合わせを繰り返し、研究用の小型魚類集合水槽システム飼育装置をモデルとした小型集合水槽システム装置を作成し、利用しています。このシステムを導入することにより微小または脆弱な動物でも容易に飼育および観察することが可能となりました。これらの水槽は、集中濾過管理、自然海水の半開放式循環システムを取り入れており、すべての水槽が取り外し可能で水槽サイズを変更することができるなどの利点を備えています。

研究活動

三崎臨海実験所では創立当初より数多くの研究成果が世に輩出されてきました。特に、棘皮動物の基礎発生や、受精機構、精子活性化にかかわる研究は有名です。現在でも、その流れを継承したホヤや哺乳類の精子を用いた細胞生物学的研究が展開されています。また、魚類の頭部形成に関する発生学的研究やクダクラゲ類の群体形成機構の研究も精力的に行われています。

近年になり、所属する大学院生が飛躍的に増え、多岐にわたる動物門を用いた進化発生学的研究が大きく進展しています。具体的には、環形動物のシリス類や無腸動物の繁殖様式、甲殻類の陸上進出機構、魚類の性転換、群体動物の個虫分化、棘皮動物における五放射相称体制の発生機構、頭足類の吸盤形成機構など、多岐にわたる研究テーマが進展しており、ワレカラや多足類などについても進化発生学的研究が行われています。また、学内外の研究者との共同研究も精力的に行われており、三崎周辺で採集される様々な生物相の調査や分類学的研究も進められています（図3）。

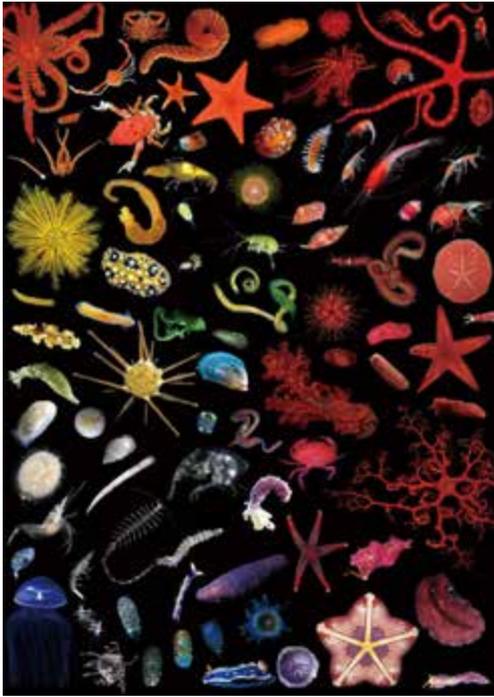


図3 様々な海洋生物。

教育活動およびアウトリーチ活動

東京大学理学部生物科学科および大学院理学系研究科生物科学専攻の学生実習を行うとともに、他大学の学生・院生を交えた公開臨海実習、国外の研究者を招聘して英語で実習を行う国際臨海実習の他、また、小学校から高等学校の児童・生徒（図4A）、さらには教員向けの教育も実施しています。

三崎臨海実験所は、全国共同利用施設としても長らく利用されており、多くの大学や高等学校などが臨海実習の場として訪れ、近年のコロナ禍以前では年間延べ2万人以上の利用者が訪れています。また、例年夏季に2度ほど実施される一般向けの「自然観察会」では、相模湾の豊かな生物相と臨海実験所を一

般市民に啓発する活動として注力しています。その他、三浦市や神奈川県立海洋科学高等学校、横須賀工業高等学校などと連携協定を締結し、地元での海洋教育を推進しています。また近年では、株式会社横浜八景島とも連携協定を締結し、横浜・八景島シーパラダイスを舞台に、「身近な海で暮らしている微小な生物」にスポットを当てた新エリア、「身近な海の生きもの研究所」の常設展示に協力しています（図4B, C）。この展示は、当実験所と横浜・八景島シーパラダイスの共同の取り組みを研究室の装いで見ることができる展示スペースになっており、「身近な海の生物多様性」や「多様な能力」をコンセプトとしており、身近な海の豊かさを知るきっかけを提供することを目的としています。この他にも、昨年は学研の「科学の海の生き物大発見プロジェクト」にも全面的に企画協力をし、オンライン生配信なども共同で実施しました（図4D）。

緑の下の力持ち 技術職員

当実験所は、研究者のフィールド調査や採集の場であるだけでなく、学内外の学生実習を行い、研究材料として海産動物の提供も行っており、通年、数多くの問い合わせや利用者があります。こうした野外での学生実習や海産動物の提供などは、技術職員の活躍が不可欠です。実験所ができた当時から活躍する「採集人」同様、現在の技術職員も施設管理から操船、潜水採集、漁協や水族館施設などとのやりとりなど、多岐にわたる活動をしています。

このように、三崎臨海実験所は海洋基礎生物学および動物進化学のメッカとして、重要な役割を果たしており、これからもその活動と研究成果が期待されています。各方面の方々と良好な連携関係を構築することで、今後益々活気ある臨海施設として海洋生物研究に貢献できるよう、尽力していきたいと思えます。

謝辞

本稿の作成にあたり、写真使用の許可をいただいた株式会社Gakkenの吉野敏弘様、助言を賜った東京大学三崎臨海実験所の川端美千代、小林格の両氏に対し、厚くお礼申し上げます。



図4 三崎臨海実験所における様々な取り組み。A：小学校の見学。B：横浜・八景島シーパラダイスとの連携常設展示。C：横浜・八景島シーパラダイスとの常設展示フロアでの解説。D：学研の科学と共同で実施する海の生き物大発見プロジェクト。

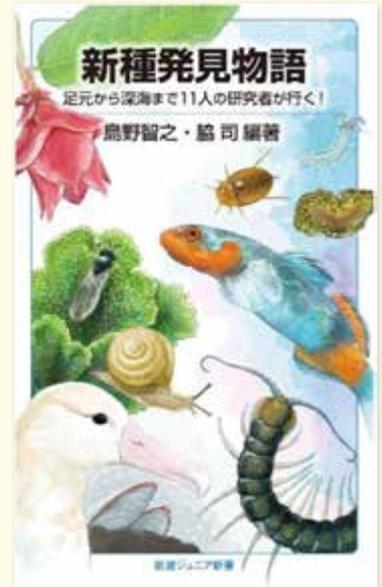
新種発見物語

足元から深海まで11人の研究者が行く！

島野智之・脇司（編著）

岩波書店 2023年3月17日発行 270 pp.

ISBN: 978-4-00500-966-4



本書は、第一線で活躍する研究者11名が各々の「新種発見」の体験について綴った書籍である。「種」は生物を分類する基本単位であるが、地球上に学名の付けられていない未記載種はまだ多い。新種発見とはこのような未記載種を発見・整理し、新たに文献に記載する取り組みと言える。新種の発見が取り上げられることはニュース等でもままあるものの、そこに至る研究過程とそこで得られた感動についてはその分野の研究者以外が知る機会はあまりないように思う。本書はこれらの体験を一般、特に若い世代に向けて伝えようとする一つの試みであり、貴重な存在と言えよう。本書で取り上げられる生物は昆虫、真菌、貝類、魚類、鳥類、植物、甲殻類、寄生虫など非常に多岐にわたっており、森林、土壌、河川、遺跡、海底洞窟、深海など、研究のフィールドもまたバラエティ豊か。生物の多様性とともなう研究者の多様性も示す一冊となっている。

本書は10章と「知識メモ」で構成されている。第1章ではコケに棲む昆虫の共進化と多様性について、第2章ではゲンゴロウの仲間から見つかった隠蔽種について、第3章では冬虫夏草と地下生菌、そして植物の根と共生する菌根菌について、第4章では身近なところで見つかった陸産・海産の貝類について、第5章では沖縄やフィリピンの川に棲む模様鮮やかなハゼについて、第6章では遺跡で出土した骨の分析から見出されたアホウドリの隠蔽種について、第7章では圧倒的に多様な東南アジアの森林植物相の解明について、第8章では暗闇の海底洞窟から続々と見つかる新種について、第9章では深海の調査とそこに棲む多様な深海生物について、それぞれ取り上げている。そして最終章では、日本産トキと共に絶滅した寄生ダニと、絶滅が危惧されるヤンバルのオオムカデを題材に、新種の発見と保全について論じている。各章は独立しているため、特に興味のある生物の章から読み進めても良いだろう。

生物学の研究者である私自身としては各々の体験に共感できる場所もあり、最先端の知見に触れることもでき、最後まで面白く楽しく読むことができた。本書は岩波ジュニア新書から刊行されており、まえがきでも若い世代に向けたメッセージが記されている。巻末の「知識メモ」では専門的な用語・概念などを平易な言葉で解説しており、生物学・分類学に興味を持つ初学者が手に取りやすいよう配慮がなされている。一方で、研究者がそれぞれの専門について語っているため、入門書として

見ると多少内容が高度な部分もあるかもしれない。特に、遺伝情報の解析は現代では新種の記載に避けて通れない部分で、各章でも話題が上がっているが、「知識メモ」では解説にあまり紙幅を割いておらず、初学者の理解が追いつくか不安に感じた。とは言え、細かい点で理解しきれない部分があったとしても、いずれのエピソードも新種発見に至るまでの研究者の興奮や感動が確かに伝わってくる文章となっている。本書と似たコンセプトの書籍としては『新種発見！見つけて、調べて、名付ける方法』（馬場ら、2022）が3カ月ほど先行して出版されている。著者も一部重複しているこちらの書籍は、21名による新種発見にまつわるエピソード19編からなり、1エピソードあたり8ページ前後。新たに出版された本書は1章あたり20数ページとなっている。どちらも新種の発見をテーマにした書籍ではあるが、前者がその一つの種の発見に焦点を当てて取り上げているのに対し、本書はページ数も多い分、各研究者の人生における新種発見の位置付けを見ることができ、より一人一人の研究者にスポットライトが当たる内容という印象を受けた。もちろん新種の発見自体についても語られているが、その発見に至る道のり、ある研究対象から別の研究対象へ興味が広がっていく過程、さらに発見の先に何かがあるのか、といった広い視点でも研究を知ることができる。両書を読み比べてみるのも一興だろう。

まえがき、そして最終章で編者らが述べているのは「新種発見」を通じて生物と生態系の保全に貢献したいという情熱と使命感である。本書を通じてより多くの人が、研究者が研究対象に傾ける情熱を知り、新種発見の興奮と感動を追体験することは、生物の保全という、研究者だけでは決して達成し得ない取り組みにも良い影響を及ぼすことだろう。うみうし通信の読者を含め、いきもの好きであればきっと楽しむことができる本と思う。手に取ってみることをおすすめする。

梅田剛佑
(水産研究・教育機構 水産技術研究所)

文献

馬場友希・福田宏（編）2022. 新種発見！見つけて、調べて、名付ける方法. 224 pp. 山と溪谷社, 東京.

2023年度研究助成課題が決定しました

2023年度の研究助成は、個別研究助成58件・育成研究助成26件の応募があり、理事会で審議の結果、次の通り個別8課題、育成4課題が決定しましたのでお知らせします（応募順、申請時の所属）。2022年度に続き、育成研究助成は高い評価を得た課題が多かったため、予定より1件多く採択されました。

個別研究助成（1年間）

氏名	所属	課題	助成金額 (万円)
上坂 将弘	東北大学大学院生命科学研究所 助教	棘皮動物バフンウニの後期発生における遺伝子発現制御の反復傾向検証	70
水上 伊織 共同研究者：Chloé Lois Julie Fourreau	琉球大学大学院理工学研究科 博士課程1年	琉球列島における伝統的な食用イソアワモチについての聞き取り調査	70
阿波 望 共同研究者：團 重樹	東京海洋大学大学院海洋科学技術研究所 修士1年	イイダコの生活史初期における索餌・捕食能力の発達過程	70
山崎 大志	高知大学日本学術振興会 特別研究員PD	未記載種の複合体であるホリカワタマキビの系統分類：五島列島周辺における実態の解明	70
小林 格 共同研究者：日比野 麻衣	国立科学博物館 技術補佐員	知床半島産ヒトデ相に関する研究	70
金谷 啓之	東京大学大学院医学系研究所 博士課程1年	水棲無脊椎動物の睡眠フィールド調査を可能にする行動解析基盤の構築	70
和田 智竹	総合研究大学院大学複合科学研究科 5年一貫博士課程5年	日本国内のヒルガタワムシ類の多様性および生活史特性の解明	70
上地 健琉 共同研究者：八嶋 勇氣, 岡 隼斗, 北川 忠生	近畿大学大学院農学研究科 博士前期課程1年	雄型・雌型mtDNAの比較系統地理による日本産イシガイ属の進化史	70

育成研究助成（2年間、金額は1年目交付額）

氏名	所属	課題	助成金額 (万円)
北 悠樹	北海道大学大学院理学院 修士2年	日本沿岸魚類に寄生する鉤頭虫の系統分類学的研究	100
中野 昂星	東北大学農学部 学部4年	コミナトワレカラにおける特異な繁殖行動の意義について—雌による子の保護行動と雄による子殺し行動の解明—	98.5
前田 友花	北里大学海洋生命科 学部4年	ミズクラゲ <i>Aurelia coerulea</i> における直達発生は母体依存か	100
川野 歩	横浜国立大学大学院環境情報学府 博士課程後期1年	浮遊性カイアシ類 <i>Paracalanus orientalis</i> を含むパラカラヌス科の産卵生態：卵生産速度と産卵行動の種間および地域間比較	98.8

編集後記

今号の表紙写真は、とてもカラフルなセスジミノウミウシ *Coryphellina* sp. というミノウミウシの仲間です。なかなか見ることのできない食事シーンの正面からの写真です。横に長いのが口触手、その上の多数の突起があるのが触覚です。真ん中の口付近に刺胞動物であるヒドロ虫の仲間の一部（赤い部分）が見えています。何を食べているのか分からないウミウシもたくさんいますので、こうした写真は大変貴重ですね。

今回、臨海実験所紹介シリーズ第一弾として、東京大学三崎臨海実験所をご紹介いただきました。先日、初めて実験所にお邪魔させていただく機会があり、歴史ある旧本館が取り壊されたことを知りました。見てみたかったと少し残念でしたが、現在の施設をいろいろと見学させていただき、ここで、また新しい歴史が刻まれていくのだなと感じました。