

公益財団法人 水産無脊椎動物研究所

うみうし通信

2025.3
No.
126



レンゲウミウシ

奄美大島宇天ビーチ 2024.7 撮影/今本 淳

湧水棲貝形虫の多様性研究——宗像 みずほ

海のオアシスを作るサンゴ!ミドリイシはどのように浅瀬の王者となったのか?——古川 真央

ウミウシの色彩保存標本の作製と意義——北詰 美加・柏尾 翔

きしわだ自然資料館の紹介——柏尾 翔

財団からのお知らせ

湧水棲貝形虫の多様性研究

Biodiversity of spring ostracoda

北海道大学理学院 宗像 みずほ (Munakata, Mizuho)

貝形虫（かいけいちゅう）ってどんな生き物？

まずは貝形虫（Ostracoda, 介形虫, カイミジンコとも呼ばれる）という耳馴染みのない生物について紹介させてほしい。貝形虫は体長数 mm, 多くは 1 mm 以下の小型水生甲殻類, つまりエビやカニの仲間の一群である。二枚貝のような殻を左右に持ち, それにエビのような（だが体節を欠いた）軟体部が覆われる体制を示す（図 1）。最も有名なのは生物発光が知られる, また, 東京湾のパーキングエリアの名前として知られるウミホタルであろう。ほとんどの種は自由に動き回りながら水中の有機物を食べて生きているが, 一部のグループでは寄生性の生活様式が知られている。また, 浮遊幼生期を欠き, つまり卵からかえったときから成体に似た形態をしており, 系統ごとに定まった回数の脱皮を行い成長していく。貝形虫は海から汽水, 淡水, さらに陸上の湿った落ち葉の隙間まで, 水があればどこでも見られるありふれた生物である。これまでに深海から田んぼのような一時水域, 高山の河川まであらゆる水環境から報告されている。しかし, その小ささ, 形態観察と文献調査の困難さから生物学の基礎となる分類学的研究, つまりどんな種がいるのかについての研究すらその途上にある。

エビ・カニの仲間と大きく括ったが, もう少し具体的には鰓尾類（ウオジラミの仲間）, 舌形類（シタムシの仲間）, ヒゲエビ類というやはり耳馴染みがないであろう生物と近縁とされ, 貧甲殻上綱（Oligostraca）というグループを形成する（Bernot et al. 2023）。サイズや外見の類似性からカイ「ミジンコ」と呼ばれるが, おなじみのミジンコ（鰓脚類）とは分類学上遠縁にあたる。また, 貝形虫のうち, 炭酸カルシウム含量が多い殻を持つ種は化石化しやすいという特徴があることから, 甲殻類の中でも最も化石記録が豊富なグループの一つであり, 最古の化石記録はなんと古生代オルドビス紀（約 5 億年前）にさかのぼる（Williams et al. 2008）。

一度貝形虫が見てみたい！という方には各水族館や博物館が実施している「ウミホタル観察会」への参加がおすすめである。青色の美しい生物発光が楽しめる。もしくは最寄りの田んぼで水底を金魚網でさらい, 集めた泥をルーペで覗いてみる。すると何やら丸い, または細長い, 表面に光沢のある殻を持った生物を多数観察できるだろう。これが貝形虫である。

淡水, 特に湧水に棲む貝形虫

私が専門にしているのは, 淡水に棲息する貝形虫である。これまでに 2,300 種ほどが世界から報告され, 日本国内からは約 120 種が知られている。淡水にはキブリス上科（Cypridoidea）, シセレ上科（Cytheroidea）, ムカシカイミジンコ上科（Darwinuloidea）, Terrestrial cytheroidea の 4 上科に含まれる種が棲息している。それぞれの起源は海域にあり, 独立に淡水環境に適応したと考えられているが, 詳しい年代や適応機構などは未だ研究途上にある。淡水棲貝形虫は, オスとメスが交配し子孫を残す有性生殖かメスのみで子孫を残す単為生殖により増える。興味深いことに, 地域集団（あるいは系統）によって生殖様式が異なる, つまり有性生殖と単為生殖のどちらも知られる地理的単為生殖種も存在する。有性生殖から単為生殖が生じた仕組みについてはほとんどわかっていないが, *Cardinium* と呼ばれる共生細菌の作用であるというのが現在主流の仮説である（Schön et al. 2019）。また, 淡水棲貝形虫では, 複数の生物地理区に跨るような汎世界的な分布を持つ種が知られている。これらは乾燥耐性の高い卵を持ち, 卵が風で飛ばされたり, 水鳥にくっついて運ばれることで, 広い分布を達成しているのではないかとされている（Martens et al. 2008）。

湧水は田畑を潤し, 飲料水の源となることで我々の生活を支えている。この湧水の恩恵を受けているのはヒトだけではない。数多くの生物も安定した水温・流量によって特徴づけられる湧き出し口やその下流を棲息地として利用している。貝形虫が湧

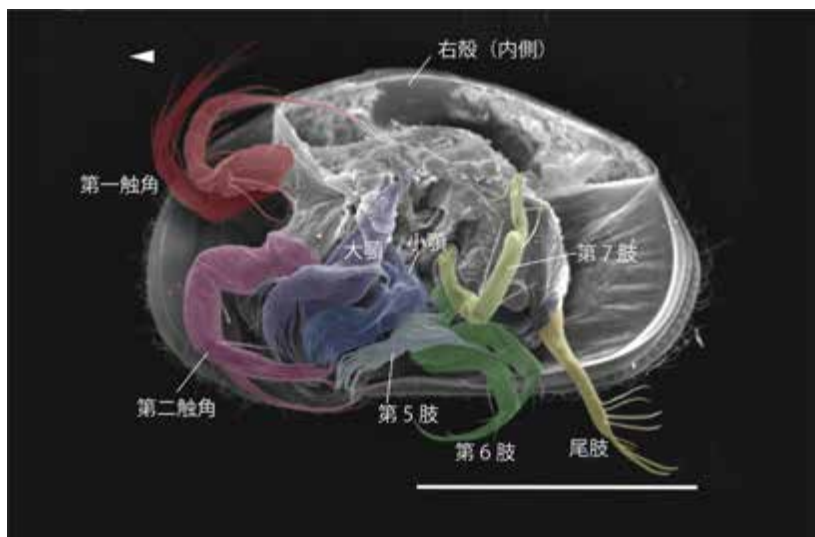


図1 左側から撮影した左殻を取除いた *Heterocypris spadix* (メス) の SEM 画像, キブリス上科貝形虫の一般的な体制を示している。矢頭は前方を示す。スケールは 0.5 mm。

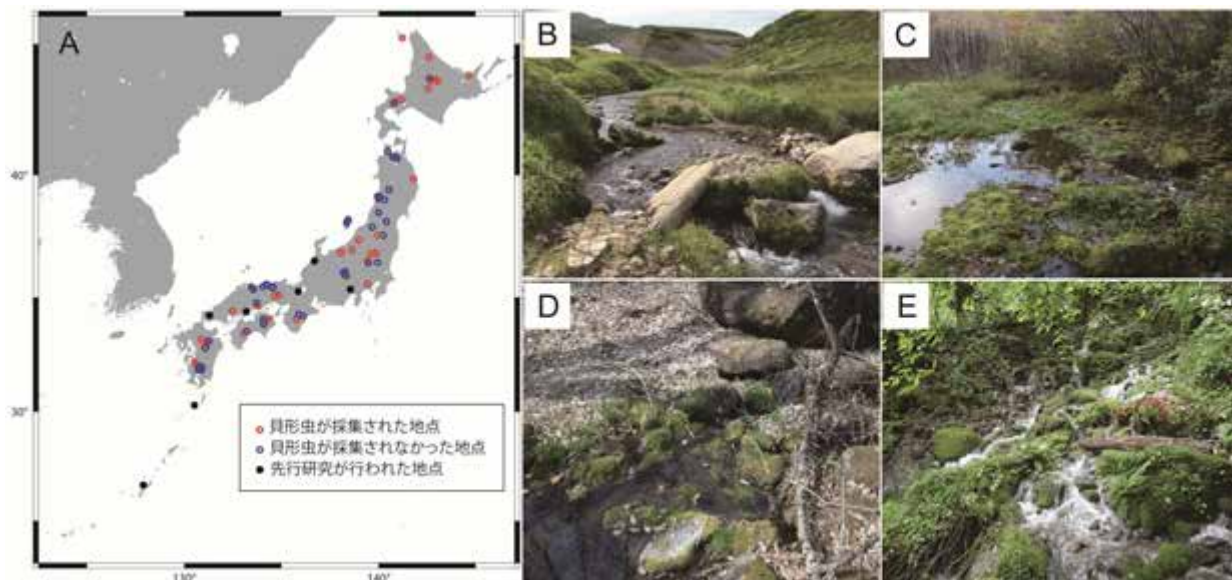


図2 採集地点と調査を行った湧水の一部。A, 採集地点；B, 北海沢（北海道）；C, グダリ沼（青森県）；D, 女取湧水（山梨県）；E, 御前岳湧水（大分県）。

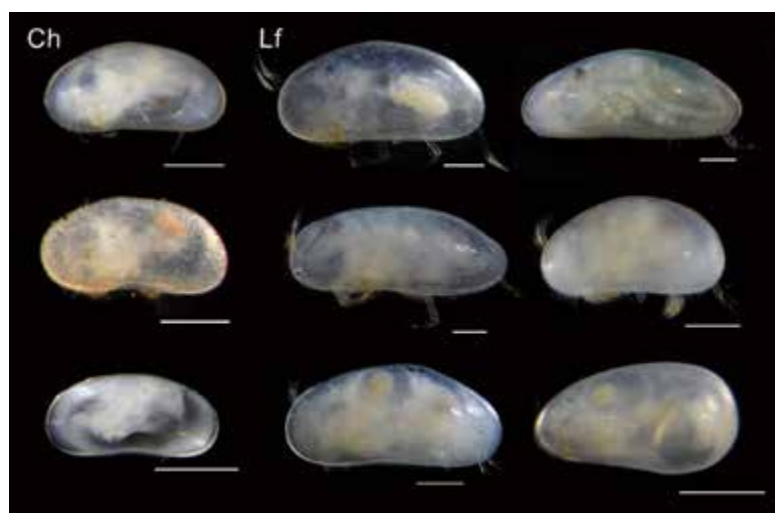


図3 湧水から得られた貝形虫の種多様性（一部抜粋）。エタノール固定後左側から撮影。Ch, シバレドウツカイミジンコ (*Cavernocypris hokkaiensis*)；Lf, シミズヒラマルワカイミジンコ (*Lissostrandesia fonticola*)。スケールは0.2 mm。

水に産するらしい、と聞いたのは学部4年生の研究室配属直後、貝形虫研究が盛んである静岡大学に伺った帰りの車内だったと記憶している。のちの文献調査で明らかになったことだが、この「らしい」というのはその言葉通りだった。つまり、それまでの日本国内での淡水棲貝形虫研究は田やため池に産する種を扱ったものが主であり、湧水環境での調査は非常に限られていた。誰も知らない湧水の貝形虫か、面白そう。ここから私の湧水に棲む貝形虫の多様性研究が始まった。

驚くべき種多様性

学部4年生から博士3年までの6年間、コロナ禍による予期せぬ中断・延期もはさみつつ、日本国内約130か所の湧水の湧き出し口やその下流、湧水が溜まった池において採集調査を行った（図2）。そのうち約半数にあたる67か所から3科11属29種もの多様な貝形虫を採集することが出来た（図3）。

湧水から小さな貝形虫をどうやって採るのか。その流れは次のとおりである。（1）水底の砂をバケツに集める、（2）水を注ぎ混ぜる、（3）上澄みを目の細かい網で漉しとる。（1）～（3）を何度も繰り返す（洗い出し法）。まるで古の砂金採りである。これを研究室に持ち帰り、顕微鏡下で残渣の中から貝形

虫をピペットで拾い出し、エタノール固定して標本とする。この標本を解剖して殻と軟体部の形態の観察をしたり、DNAを抽出したりする。解剖、というのは顕微鏡下で柄付き針を使って貝形虫の脚一本一本を外す、気が遠くなりそうな作業である。こんなことができるはずがないと研究開始当初は思っていたが、6年間の修練の結果、全く抵抗が無くなってしまった。その後は形態を近縁種と比較したり、DNAサンプルから特定の遺伝子の部分配列を決定したりして研究を進めていく。

今回は一連の湧水での調査で得られた多数の貝形虫のうち、私たちのグループが新種として記載報告した2種（シバレドウツカイミジンコ *Cavernocypris hokkaiensis* Munakata et al., 2022；シミズヒラマルワカイミジンコ *Lissostrandesia fonticola* Munakata et al., 2024）について紹介しよう。

（1）シバレドウツカイミジンコ（Munakata et al. 2022）

元々山歩きが好きである。貝形虫の多様性研究を始めてからは登山の際に山中の沢や水溜まりで採集を試みるようになっていた。その中で北海道大雪山系北海岳周辺の標高1,800 m付近を流れる、湧水と雪解け水に由来する沢で採集したのが本種である（図2 B, 3Ch）。

ドウツツカイミジンコ属 (*Cavernocypris*) は世界から8種が知られるグループで、いずれも洞窟や湧水環境などから報告されていた。本種は(1)殻が細長い、(2)殻表面が平滑、(3)第一触角が7節からなる、(4)第5肢の剛毛b, d、振動版を欠く、といった形態の特徴から他種と区別されたため、新種として報告した。本種は日本国内の高山帯から報告された初めての貝形虫である。また、水温2~4度と採集を行った沢の水があまりに冷たかったが故に、北海道弁で「痺れるほど冷たい」を意味する「しばれる」を和名に付けた。メスのみが採集されたこと、共生細菌 *Cardinium* に感染していたことから、本種は単為生殖種であると考えられる。

北海岳周辺にしか棲息しないかと思われた本種であったが、のちの調査によって北海道利尻島から本州中部まで広範囲に分布していることが明らかになった。採集されたのはいずれも低温の湧水で、水温が本種の分布を規定していると予想している。

(2) シミズヒラマルワカイミジンコ (Munakata et al. 2024)

私の故郷山梨は湧水が豊富だ。某飲料メーカーの「白州の天然水」の採水地にほど近い、「女取湧水」(山梨県北杜市)で本種は最初に採集された(図2D, 3Lf)。

マルワカイミジンコ亜科 (Cypricerinae) は尾肢骨末端に Triebel's loop と呼ばれる三角形の輪状の構造を持つことで特徴づけられる。本種は Triebel's loop の形状と殻内縁に溝や張り出しがないことから既存の種とは大きく形態が異なっていたため、新族・新属・新種として報告することとなった。本種の棲息はどうやら湧き出し口周辺に限定されていて、少し下流で採集を試みると全く採れなくなってしまう。湧水固有の種であろうと結論付け、「泉の住人」を意味する *fonticola* の種小名を付けた。本種もメスのみが採集されたこと、共生細菌 *Cardinium* の感染が確認されたことから、単為生殖種である可能性が高い。

また、調査を続けていくと山梨以北の複数の湧水(北海道利尻島、北海道本島、青森県)からも形態的に同種と判断される個体が採集された。「形態が同一だとしても、それぞれが孤立した環境である湧水ごとに遺伝的に分化しているのでは？」と疑問を持ったため、COI 遺伝子の部分配列に基づくハプロタイプネットワーク解析を行った。その結果、2つのメインハプロタイプを利尻島、北海道本島、青森県、山梨県の4つの集団に由来する個体が共有することが明らかになった(図4)。つまり、本種は遺伝的交流を保ったまま東日本一帯に分布している湧水固有種である可能性が高い、という予想外の結果が得られた。

そして研究はつづく

シミズヒラマルワカイミジンコの例を考えると、どのように遺伝的交流を保っているのか、具体的にはある湧水から隣の湧水へどのように移動しているのか(短距離の移動)、どうやって海を越えて移動しているのか(長距離の移動)、疑問は尽きない。最も検討すべき要素は本種の乾燥耐性卵の有無であろう。先述の通り、乾燥耐性卵を産する種であれば風や鳥の助けを借りた長距離の移動が容易に可能となる。今後、本種の飼育実験を通じて乾燥耐性卵の有無を明らかにしたいと考えている。また、短距離の移動に関しては地下水系を介した移動の可能性も考えられる。地下水の結びつきを観測し、さらにそこでの生物の移動を推定するのは非常に難しい。しかし、例えばある程度水の移動経路が明らかになっている洞窟で採集調査を行ったり、飼育環境下で成体がどの程度砂利を掘って移動可能か測定したりすることで少しずつ答えに近づけるだろう。

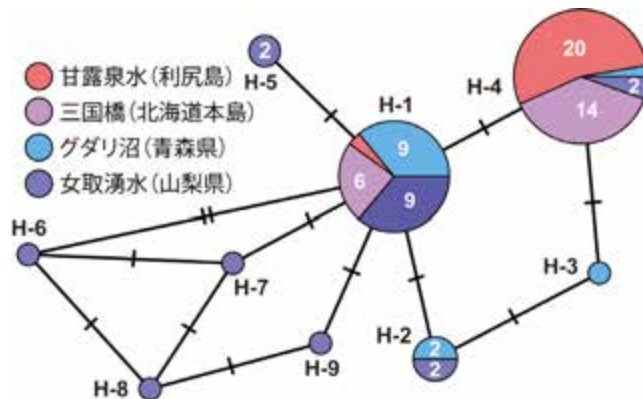


図4 COI 遺伝子の部分配列 (608 bp) に基づくシミズヒラマルワカイミジンコ (*Lissostrande fonticola*) のハプロタイプネットワーク図 (Munakata et al. 2022)。

詳細な形態観察の結果、一連の湧水調査で得られた貝形虫標本の中には、既存のいずれの種にも属さない未記載種がさらに複数含まれていることが判明した。残念ながら現時点では標本数が足りないケースが多いが、これらについても再度採集調査を行い、将来的には種名を確定させたいと考えている。日本国内の湧水だけでも貝形虫の真の多様性理解にはまだまだ時間がかかりそうだ。日々標本と、文献と、向き合いながら研究はつづいていく。

謝辞

本研究の一部は水産無脊椎動物研究所2020年度個別研究助成により実施されました。また、多くの方に野外調査にご同行いただいたり、標本を送っていただいたりしました。大雪山系での採集調査は申請(第1910241号、第2104201号)によって野生生物の採集許可を得て実施しました。このような執筆の機会を与えてくださった公益財団法人水産無脊椎動物研究所の片山英里氏に感謝いたします。本原稿は北海道大学角井敬知博士に目を通していただきました。最後にこれまでの研究にご助力いただいた皆様に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

引用文献

- Bernot, J. P., Owen, C. L., Wolfe, J. M., Meland, K., Olesen, J., & Crandall, K. A. (2023). Major revisions in pancrustacean phylogeny and evidence of sensitivity to taxon sampling. *Molecular biology and evolution*, 40(8), msad175.B
- Martens, K., Schön, I., Meisch, C., & Horne, D. J. (2008). Global diversity of ostracods (Ostracoda, Crustacea) in freshwater. *Hydrobiologia* 595, 185–193.
- Munakata, M., Tanaka, H., & Kakui, K. (2022). Taxonomy and natural history of *Cavernocypris hokkaiensis* sp. nov., the first ostracod reported from alpine streams in Japan. *Zoosystematics and Evolution*, 98(1), 117–127.
- Munakata, M., Tanaka, H., & Kakui, K. (2024) A new genus and species of the spring-endemic Ostracoda (Cypricerinae, Cyprididae) and its genetic population structure among rheocrenic springs in Japan. *Zoological Studies* 63, 51.
- Schön, I., Kamiya, T., Van den Berghe, T., Van den Broecke, L., & Martens, K. (2019). Novel *Cardinium* strains in non-marine ostracod (Crustacea) hosts from natural populations. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 130, 406–415.
- Williams, M., Siveter, D. J., Salas, M. J., Vannier, J., Popov, L. E., & Ghobadi Pour, M. (2008). The earliest ostracods: the geological evidence. *Senckenbergiana lethaea*, 88, 11–21.

海のオアシスを作るサンゴ！ ミドリイシはどのように浅瀬の王者となったのか？

Integrative taxonomic analyses reveal that rapid genetic divergence drives *Acropora* speciation

琉球大学 古川 真央 (Furukawa, Mao)

サンゴの基礎知識

サンゴ礁は「海のオアシス」や「海の熱帯雨林」とも呼ばれる、海洋生物にとって重要な生態系です。サンゴ礁を形成する主役であるサンゴは、動かず、鳴かず、海底で静かに佇んでいるため、しばしば岩や植物と誤解されます。しかし、実際には多くの生物の命を支え、海洋生態系の「縁の下の力持ち」として欠かせない動物です。

サンゴには多様な種類が存在し、世界では約800種類以上が確認されています。そのうち約半分が日本に生息しており、日本の海がいかにサンゴにとって重要な環境であるかを示しています。その中でも、サンゴ礁を形成する硬い骨格を持つ種類は「造礁サンゴ」と総称されます。造礁サンゴのほとんどは花虫綱六方サンゴ亜綱の仲間ですが、八方サンゴ亜綱に属するアオサンゴや、ヒドロ虫綱ヒドロサンゴ目に分類されるアナサンゴモドキも造礁サンゴに含まれます。

特に、造礁サンゴの中で代表的な存在が「ミドリイシ属サンゴ」（以下、ミドリイシ）です。造礁サンゴの中でも最も多くの種を持ち、インド-太平洋海域の水深10 m 以浅の場所に最

も広く分布しています（図1）。ミドリイシにはとても面白い生態があります。それが、「夏の一斉産卵」です。ミドリイシの仲間たちは、初夏の満月付近の夜に、様々な種類が一斉に産卵をするのです。ミドリイシは「同時的雌雄同体」であり、1つの群体がオスとしての役割とメスとしての役割を果たします。この為、産卵の時には、精子と卵をバンドルという袋にまとめて入れて、放出します。ミドリイシが一斉に産卵すると、夜の暗い海中に無数のバンドルが漂い、その光景はまるで宇宙にいるかのようにたとえられます（図2）。

ミドリイシ属サンゴの不思議な種分化

動物の進化と聞いて、皆さんはどのようなイメージを持つでしょうか？伝統的には、動物は一つの種から異なる種が枝分かれするように分化してきた、と考えられてきました（図3）。この種分化を引き起こす主要因の一つが遺伝子の突然変異です。突然変異は、生物の遺伝子に微小な変化をもたらし、その変化が累積することで新たな種が形成される仕組みです。同じ種の中でも、突然変異によって遺伝子に違いが生じることで、外見や行動が変化し、環境に適応した個体が生存競争を有利に進める結果、新しい種が生まれる場合があります。しかし、近年の遺伝子解析技術の進歩により、遺伝子の突然変異以外にも、新しい種を誕生させる仕組みがあることが分かってきました。その一例が、近縁の種同士の交雑による「遺伝子浸透」です。交雑によって一方の種の遺伝子が他方の種に組み込まれ、新しい遺伝的特徴を生むことで、種分化が促進される場合があります（図3）。この現象は植物では一般的であり、種分化の重要な原動力として知られています。一方で、動物では長らく遺伝子浸透は例外的な現象とされ、種分化に大きな役割を果たすとは考えられていませんでした。ところが、遺伝子解析の進展に伴い、多くの動物でも遺伝子浸透が確認されるようになり、種分化において重要な役割を果たしていることが明らかになりつつあります。陸上動物では、例えば鳥類や爬虫類において遺伝子浸透が観察されており、それが種分化や環境適応の推進力となることが示されています（長谷川、2012）。また、海洋生物において



図1 沖縄県本部町瀬底島周辺のサンゴ礁。テーブル状や枝状のミドリイシが海底を埋め尽くしている。



図2 ウスエダミドリイシの産卵の様子。ピンク色の小さな粒がバンドルで、その中に卵と精子がパッケージされている。

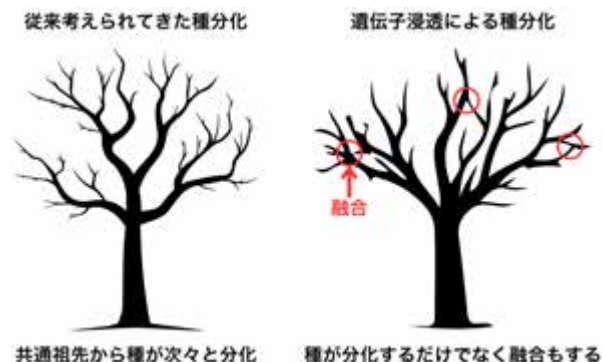


図3 従来考えられてきた進化と遺伝子浸透による網状進化のイメージ図。

も交雑が知られており、これが種分化や適応にどのように影響を及ぼすのかについて、さらなる研究が求められています。

ミドリイシも、交雑と遺伝子浸透が進化と種多様性の重要な要因と考えられる生物の一例です。過去の研究では、ミドリイシの異なる種間で人工的に受精を行うと交雑が起きることが確認されています (Hatta et al. 1999)。さらに、ミドリイシは一斉産卵を行うため、海中で異なる種の配偶子（精子や卵）が混ざり合う可能性があります。このような状況は、遺伝子浸透が起きる環境として非常に適していると考えられます。また、遺伝子解析を行なったいくつかの研究から、過去にミドリイシの異なる種間で遺伝子浸透が起きていた証拠が示されているのです (Mao et al. 2018)。このように、ミドリイシは複数の種の遺伝子が入り子状に混ざりながら進化してきた可能性があります。これは網状進化仮説と呼ばれており、ミドリイシの種多様性を理解する上で重要な仮説とされています。

しかし、不思議なことに自然界におけるミドリイシの雑種の存在は非常に稀です。これまでに確認された例は、カリブ海で見つかった1種のみという状況です (Vollmer et al. 2002)。このため、ミドリイシにおいて実際に交雑や遺伝子浸透がどの程度進行しているのか、またその影響が種分化や環境適応にどう寄与しているのかを明らかにする必要があります。

サンゴの分類と種概念

サンゴの研究において、最も重要かつ難しい課題の一つが「種同定」です。正確に種を特定できなければ、得られた研究結果をもとに進化や種分化の過程を正確に考察することができません。ここで、「種概念」という言葉を聞いたことがあるでしょうか？種概念とは、生物学において「種」をどのように定義するかについての考え方を指します。現在、20種類以上の異なる種概念が提唱されており、生物の特性や研究目的に応じて使い分けられています。最も古典的な種概念が、形態学的種概念です。この概念は、形態的に似ている個体を同じ種とする考え方であり、サンゴの分類の出発点ともなっています。しかし、サンゴには生息環境に応じて形態を変える「可塑性」という性質があるため、形態だけでは安定して種を区別するのが難しいのです。その結果、形態に基づく分類では、実際には異なる種であるにもかかわらず、同じ種と見なされるケースが多く発生しました。この課題を克服するため、遺伝子解析技術がサンゴ研究に導入されるようになり、DNA配列を利用して分類を行う系統学的種概念が広く活用されています。系統学的種概念は、形態的に区別が困難な生物の分類に非常に有効であり、形態に

基づく分類群の中から実際には別種とされるべき隠蔽種を特定することが可能です。しかし、系統学的種概念だけに重きを置いてしまうと、究極的にはたった一つの突然変異を共有しているグループに対して種名を与えることになり、種の細分化が進んでしまうという懸念もあります。一方で、広く知られ、教科書にも掲載されている種概念が生物学的種概念です。この考え方では、自然条件下で交配し、子孫を残すことができる個体群を同じ種とみなします。しかし、この概念も万能ではありません。例えば、無性生殖で繁殖する生物では、個体ごとに別種として扱わざるを得ないという欠点があります。このように、すべての生物に適用可能な単一の種概念は存在せず、複数の種概念を組み合わせることで活用することが重要です。特にミドリイシの場合は、交雑を伴いながら進化を遂げてきたとされるため、形態や遺伝子情報だけでなく、交雑の可否も含めて議論を進めることが求められます。

クシハダミドリイシを用いた研究の紹介

テーブル状ミドリイシの代表種、クシハダミドリイシ *Acropora* aff. *hyacinthus* とハナバチミドリイシ *A.* cf. *cytherea* は、交雑率が非常に高いことで知られ、長年にわたり遺伝子が混ざり合いながら進化してきたと考えられていました (Márquez et al. 2002) (図4)。この為、遺伝子浸透と種分化の関係を調査する上で理想的な研究対象です。本研究では、沖縄県の瀬底島周辺に生息するクシハダミドリイシとハナバチミドリイシを対象に、遺伝子浸透が起きているかどうかを検証しました。その過程で、既に産卵を終えている時期にもかかわらず卵を抱えているテーブル状ミドリイシを発見。この個体を調査した結果、図鑑などを参照し、正体が *A.* cf. *subulata* であると判明しました (図4)。形態が似ており、交雑の可能性があるこれらの種の種分化を明らかにするため、形態学的種概念、生物学的種概念、系統学的種概念を組み合わせたアプローチで正確な種同定を行い、交雑の有無や過去の遺伝子浸透を調査する計画を立てました。

まず、サンゴの骨格を用いた形態分類を実施しました。枝の側面に並ぶポリプの形態をよく見ると、しっかりと種を見分けることができると分かりました。クシハダミドリイシは、ポリプの縁が丸く、隙間がないほど密に並んでいます。一方、ハナバチミドリイシと *A.* cf. *subulata* は、ポリプの先が縦に細長く伸び、ポリプ間に隙間があることが特徴です。主成分分析を用いて形態の類似性に基づくグループ分けを行った結果、クシハダミドリイシ内で2つの形態グループが確認され、ハナバチミドリイシと *A.* cf. *subulata* もそれぞれ異なる形態グループを形成しました。

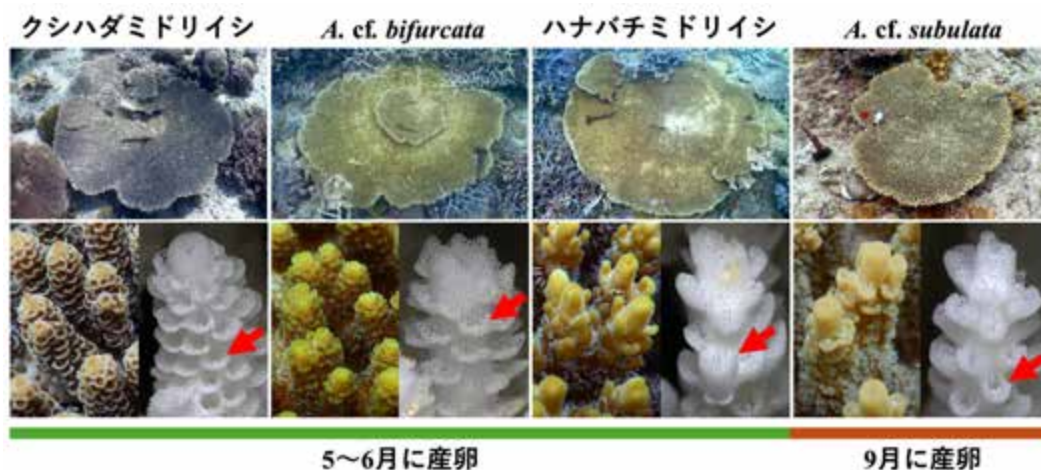


図4 本研究で使用した4種類のテーブル状ミドリイシ。全てテーブル状に成長し、群体形から見分けることは難しいが、枝の骨格を見れば違いが分かる。赤い矢印で示されているのが、特に違いが分かりやすい放射サンゴ個体（ポリプ）。

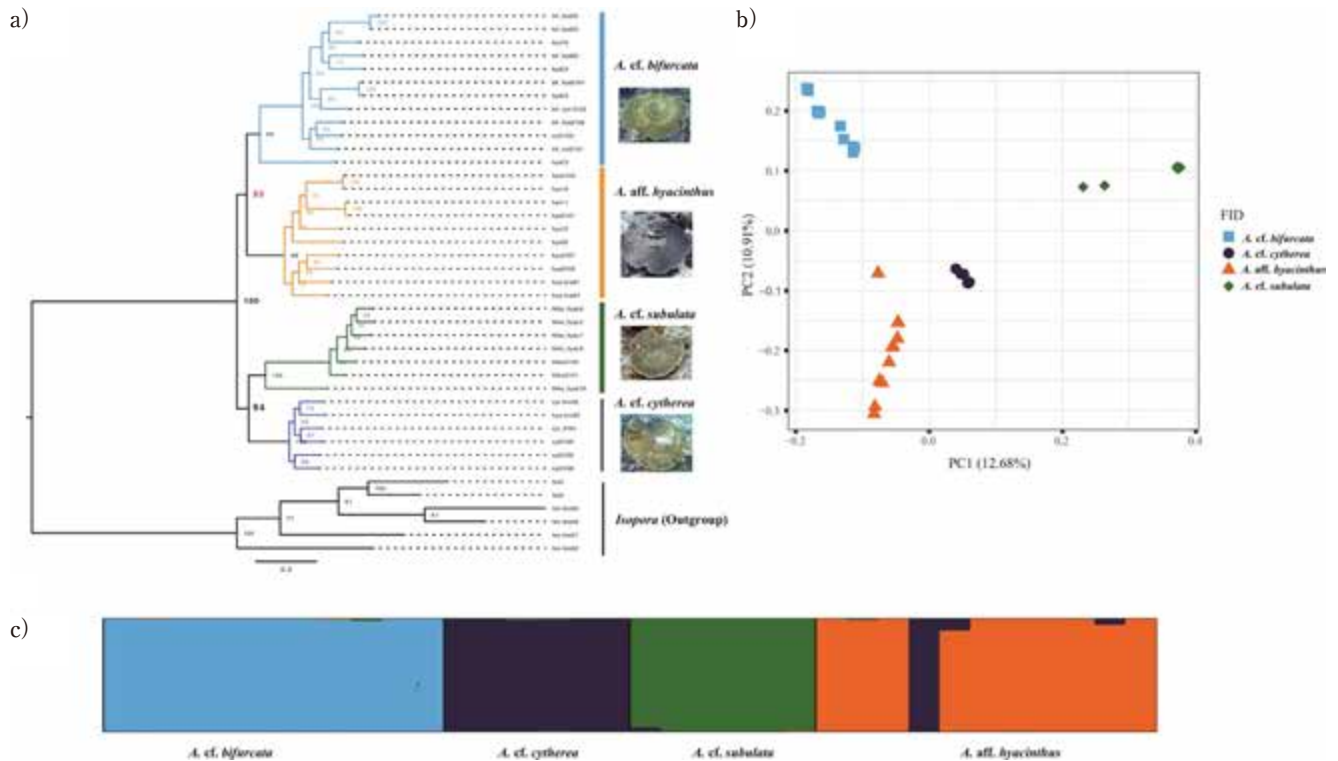


図5 本研究で利用した4種類のテーブル状ミドリイシの遺伝子解析の結果。a) 系統解析の結果。b) SNPsを用いた主成分分析の結果。c) 集団遺伝解析の結果。

次に、交雑するのかを調べるため、受精実験を行いました。5月～6月には、クシハダミドリイシとハナバチミドリイシの卵と精子を用いて実験を実施。結果として、両種間での交雑はほとんど確認されませんでした。9月には、事前に凍結保存したクシハダミドリイシとハナバチミドリイシの精子を用い、*A. cf. subulata* の卵との交配を試みたところ、ハナバチミドリイシの精子のみが交雑しました。また、クシハダミドリイシ同士の交配実験では、同一種であるにもかかわらず受精しない群体が存在しました。この群体を形態解析と照らし合わせた結果、実は *A. cf. bifurcata* という別種が混ざっていたことが判明しました(図4)。現在、*A. cf. bifurcata* はクシハダミドリイシのシノニムとされていますが、形態や繁殖生態(交雑の可否など)から独立した種である可能性が示唆されました。このため、*A. cf. bifurcata* を別種として扱い、遺伝子解析を行いました。

遺伝子解析では、まず、野外(海)で対象4種が交雑をしていないかを調べるために、集団遺伝解析を行いました。その結果、4種がそれぞれ異なる遺伝的構造を持っていた為、野外でも交雑は起きていないことが示唆されたのです。次に、4種類の系統類縁関係を調べました。4種類は共通祖先から派生しており、クシハダミドリイシと *A. cf. bifurcata*、ハナバチミドリイシと *A. cf. subulata* がそれぞれより近縁であることが分かったのです。また、過去にそれぞれの種間で遺伝子浸透があったかを調べる ABBA-BABA 解析を行いました。いずれの種間でも遺伝子浸透が起きていたということは支持されませんでした。さらに、それぞれの種間で遺伝的に異なっている箇所の探索を行ったところ、種間で形質を変化させ得るような変異が多く入っていることが分かったのです。その中には、配偶子を構成するタンパク質の遺伝子も多くあり、これは受精実験で異なる種間で交雑しないことに直結する可能性がありました。

ミドリイシ属サンゴの種分化

テーブル状のミドリイシにおいて、種分化の過程に遺伝子浸透は関与していないことが明らかとなり、むしろ遺伝的な変異

が種を分けた要因であることが分かりました(Furukawa et al. 2024)。これまで、ミドリイシの種多様性の原動力は遺伝子浸透によるものだと考えられてきましたが、それに加えて遺伝子進化による種分化も重要なプロセスであることが判明しました。ミドリイシでは遺伝子浸透が完全に起きていないわけではなく(本研究室で準備中のデータ)、属の中で複数の種分化プロセスが同時に作用していると考えられます。

また、テーブル状のミドリイシの中に隠蔽種が存在することも明らかになり、ミドリイシの種多様性が形態的な類似性によって過小評価されている可能性が示唆されました。本研究で採用した形態、繁殖生態、遺伝子解析の複合的なアプローチが、ミドリイシの種多様性を形成した原動力を解明するための鍵となるでしょう。

参考文献

- Furukawa M., Kitanobo, S., Ohki M., Teramoto M., Hanahara N. and Morita M. (2024) Integrative taxonomic analyses reveal that rapid genetic divergence drives *Acropora* speciation, *Mol. Phyl. Evol.*, Volume 195.
- 長谷川 理 (2012) 鳥類における種間交雑と遺伝子浸透. 日本鳥学会誌. 61(2): 238-255.
- Hatta M., Fukami H., Wang W., Omori M., Shimoike K., Hayashibara T., Ina Y. and Sugiyama T. (1999) Reproductive and genetic evidence for a reticulate evolutionary history of mass-spawning corals., *Mol. Biol. Evol.*, Volume 16, Issue 11, 1607-1613.
- Mao Y., Economo E.P. and Satoh N. (2018) The Role of Introgression and Climate Change in the Rise to Dominance of *Acropora* Corals., *Curr. Biol.*, Volume 28, Issue 21, 3373-3382.e5.
- Márquez, L.M., Van Oppen, M.J.H., Willis, B.L., Reyes, A. and Miller, D.J. (2002) The highly cross-fertile coral species, *Acropora hyacinthus* and *Acropora cytherea*, constitute statistically distinguishable lineages. *Mol. Ecol.*, 11: 1339-1349.
- Vollmer S.V. and Palumbi S.R. (2002) Hybridization and the Evolution of Reef Coral Diversity. *Science*, Volume 296, Issue 5575: 2023-2025.

ウミウシの色彩保存標本の作製と意義

大阪湾ウミウシ観察会、きしわだ自然資料館 北詰 美加 (Kitazume, Mika)

きしわだ自然資料館 柏尾 翔 (Kashio, Sho)

標本作製のきっかけ

軟体動物門腹足綱に属するウミウシ類は巻貝の仲間ですが、貝殻を持たない種類も多く、その美しい色や姿は「海の宝石」と呼ばれています。写真集も多く出版されていますが、様々な種類のウミウシをいつも海や水族館で実際に見られるわけではありません。博物館でのウミウシの標本であれば実物に近いものが見られるのではないかと国内外の博物館に足を運びましたが、ウミウシの標本は数点展示されていたものの、残念ながら生時の色彩を復元した標本はありませんでした。

ウミウシの標本は「博物館の茶色」と記されるように(水木, 1984), その色彩を保持した標本作製することは難しく、色彩情報が種同定の際の重要な分類形質にもかかわらず色彩を残した標本はありません。そのためウミウシ研究者の濱谷巖氏は、ウミウシが生きているうちに詳細なスケッチを残すことで色についての情報を記載していました(図1)。

色彩が保存されたウミウシの標本を諦めていたとき、神奈川県立海洋科学高校の藤岡高昌教諭が、グリセリンを用いることでウミウシの色彩を残した標本作製していることを知りました。これはグリセリン浸透法という、試料生物の体液をグリセリンに置換することで、生時の質感を保ちながら標本化する手

法を用いており、海産無脊椎動物のうち扁形動物や多毛類、棘皮動物などでの有効性が示されているもの(小野, 2004)を応用した手法です。

標本作製方法の検討

通常の貝類の軟体部の標本は、1. 麻酔、2. 固定、3. 保存の順で作製されます(齋藤・長谷川, 2014)。標本作製する際に麻酔を使用し、固定液の刺激により触角や鰓が収縮することを防ぎます。また、ホルマリン液などで体内のタンパク質などの組織を固定することで、標本にしたのちの劣化を防ぎます。保存液は通常70%のエタノール、もしくはホルマリン液を用います。しかし、これらを用いて保存することにより、生時の色を失います。

ウミウシの色彩保存標本の作製方法は、基本は通常の貝類の軟体部の標本作製方法と同様に行います。藤岡教諭の標本作製法を参考に、さらに色彩保存の標本の作製に効果的な固定方法について研究を行いました。固定には通常の標本の作製と同様にホルマリンを用いましたが、固定時間が長時間になると脱色する様子が見られました。そのため、まず脱色がおこるホルマリンの濃度と時間を検討し、脱色がおこりにくい固定濃度と時間を算出しました。保存には、エタノールではなくグリセリン溶液を使用しました。通常の方法で作製された標本は、生時の色を保つことはできませんが、グリセリンで作製した標本は、生体の色がそのまま残っています(図2)。その詳細は、きしわだ自然資料館の研究報告で発表いたしました(北詰ら, 2020)。

固定液として、ホルマリン以外にもグルタルアルデヒドも検討してみました。グルタルアルデヒドは組織標本の固定にも使われる少し弱めの固定液です。また、保存液としてはグリセリンの他にポリエチレングリコールを用いてみました。結果は、グルタルアルデヒドの固定では生体の変色が見られ、ポリエチレングリコールの保存では、標本の硬化を招きました。このことから、強めのホルマリンで短時間で固定を行い、軟体部分の柔らかさを伝えるためにはグリセリンで保存することが適していることがわかりました(図3)。

標本の展示方法と今後の課題

ウミウシの色彩保存標本で使用されるグリセリンは、保湿剤として利用されています。万が一、液が漏れて手についても問題ははありません。博物館の展示では、標本瓶を実際に手にすることはできませんが、教育現場などでは、実際に手に取っていろいろな方向から標本を眺めることができるという利点があります。さらに体のつくりの詳細な観察の際には、標本瓶を左右に回転して観察してもウミウシが移動しない方法を考える必要となります。

作製した標本は、標本瓶の中で沈んでしまいます。ウミウシは小型のものも多く、瓶の中に沈んだ標本は見づらいため、一液加熱冷却型ゲル封入材(エーノール)といったゼリーの中に浮かべたり(図4-a)、標本瓶の大きさを標本サイズに合った小さめのものを使用し、全体を見ることができるようにしまし



図1 濱谷巖氏によるカサノリタマナウミウシのスケッチ

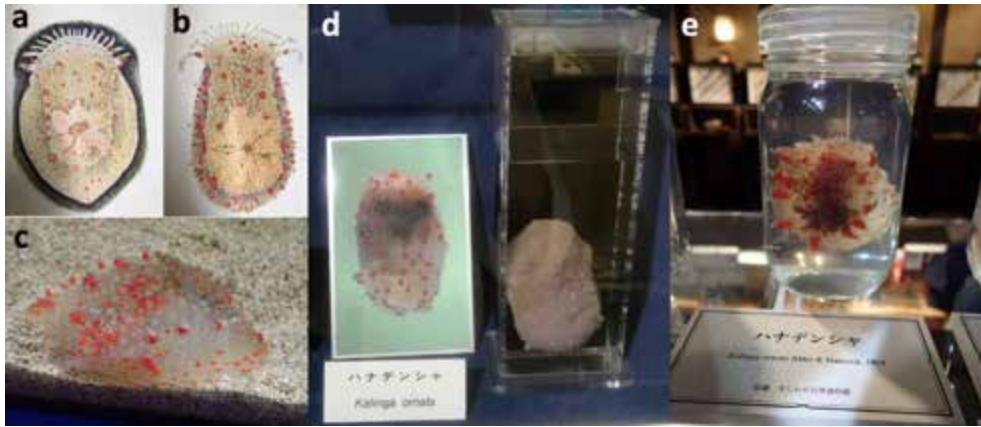


図2 ハナデンシャの色彩保存標本
a, b: ハナデンシャの図譜 (相模湾産後鰓類図譜 補遺 生物学御研究所編より), c: ハナデンシャ生体, d: ハナデンシャの標本 (葉山しおさい博物館所蔵), e: ハナデンシャの色彩保存標本

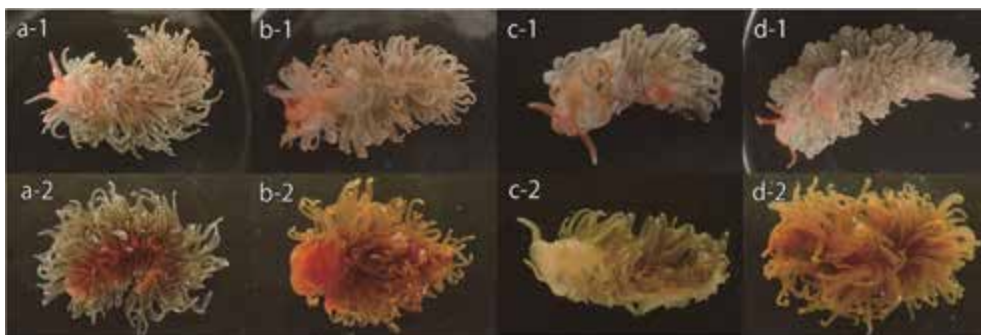


図3 イズミミノウミウシを用いた固定液保存液の検討
a: ホルマリン固定グリセリン保存, b: グルタルアルデヒド固定グリセリン保存, c: ホルマリン固定ポリエチレングリコール保存, d: グルタルアルデヒド固定ポリエチレングリコール保存
1: 生時の様子, 2: 標本作製後

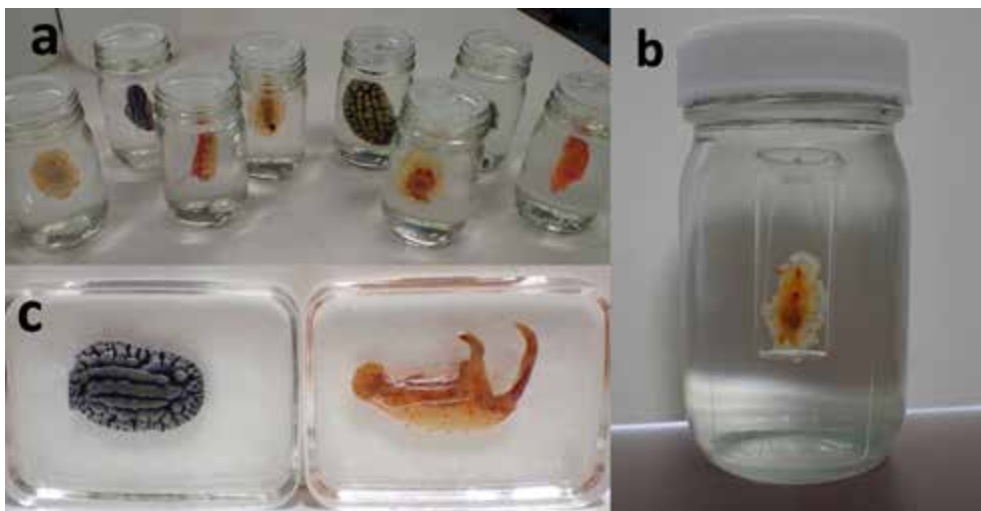


図4 標本の展示方法
a: エーノール封入標本, b: 試験管とスライドガラスを使った展示, c: プラスチック封入標本

た。また、国立科学博物館の展示を参考に、小さな試験管をスライドガラスにつけて、試験管に入れた標本が標本瓶の中央に位置するように、グリセリン液の中に立てかける展示も行いました (図4-b)。

グリセリンを使用した生物本来の色彩を残すウミウシ標本は、ウミウシを見たことのない方々に実際の色や大きさ、質感を伝えるという目的に適していると考えられます。しかし、薬品によって染色する透明骨格標本とは異なり、時間と共に脱色、退色の傾向が見られるため、通常の長期に保存して記録に残すための標本としては不適です。

ウミウシの体色は餌生物由来であると考えられています (James, 1972)。そのため長期的に色が保持されるかどうかは、種類や個体によって異なることがわかりました。赤色、橙色系は比較的長く色が保持されますが、葉緑体由来の体色を保持する嚢舌類や、青色系統のウミウシは退色が早い傾向が見られま

す。また、紫外線によって退色が進むので、蛍光灯を直接当てた展示などは避けた方が賢明です。

近年甲虫や花、甲殻類などの標本にプラスチック樹脂標本が用いられています。グリセリンで作製したウミウシの標本をプラスチックで包埋することで、退色を防ぐ効果があるのではないかと考え、現在試行を続けています (図4-c)。 [北詰]

博物館での展示について

標本と一口にいってもその作り方は多岐にわたります。海洋生物では、そのままの状態に形態を保つことができるものは乾燥標本、魚類など皮だけの状態にしたのはく製や骨のみを残した骨格標本、それ以外はエタノールやホルマリンに浸漬する液浸標本が一般的です。ほかにも手にとって実際にさわられるアクリル樹脂標本や体組織を樹脂に置換したプラスチック標本など展示に重きをおいた手法もあります。標本の展示は、写



図5 きしわだ自然資料館 常設展示



図6 自然史レガシー継承・発信事業による企画展
「Where Culture Meets Nature ~日本文化を育んだ自然～」



図7 北九州市立いのちのたび博物館「カラズ～自然の色の不思議展～」
(写真撮影 奥塚恭子氏)



図8 国立科学博物館「貝類展」

真や映像とは異なり、質感や形態などその生き物がもつ情報をより正確に来館者に伝えられるというメリットがあります。もちろん、近年はウミウシ類の基礎生態に関する調査・研究もさかんに行われており、生体を展示している施設も増えつつあります。とはいえ、依然として多くの自然史系博物館では標本による展示が主体であり、伝えられる情報には限りがあります。今回紹介したグリセリンを用いた標本作製手法は、その問題を解決する新たな展示手法といえます。

本手法の強みは、①一般的な液浸標本では表現が難しい色彩の保存が可能である点、②工程が単純である点、④保存に用いるグリセリンは容易に入手でき、安全性も高い点、③ウミウシ類以外の海産無脊椎においても応用が可能な点が挙げられます。もちろん、長期的な保存の問題や種（あるいは分類群）により出来映えが異なるなどの課題はありますが、博物館での展示に限らず、学校等で活用する教材など今後広く普及教育の場で応用できる手法です。

ウミウシ類の色彩保存標本は、きしわだ自然資料館（図5）で常設展示をしているほか、過去には自然史レガシー継承・発信事業による企画展（図6）、北九州市立いのちのたび博物館（図7）、宮崎県立総合博物館での特別展の一つのテーマとして展示を行いました。そのなかで、来館者からは「綺麗だった」、「カラフルで興味をもった」、「色彩を残せることに驚いた」という意見が聞かれ、従来の展示にはない形でウミウシがもつ魅力を伝えることができたと考えています。また、国立科学博物館で開催された「貝類展」において、軟体動物門全上科の展示の一部として紹介されるなど、学術的な標本としての役割も担っています（図8）。2024年時点で、ウミウシの色彩保存標本の常設展示を行っているのは1館のみですが、今後さらに増えることを期待しています。

実物による標本の展示は、来館者が形態の緻密さや多様さを直感的に理解する助けとなり、地域の自然への関心を促すことにもつながります。海洋生物の魅力を語るうえで、「色」の多様性はとても重要な要素です。現状はまだ改善の余地がありますが、今後ウミウシ類をはじめ、さまざまな海産無脊椎でこの技術が応用されることで、身近な海の生物多様性に興味をもつ方が少しでも増えてくれると嬉しい限りです。 [柏尾]

謝辞

本研究を行うにあたって神奈川県立海洋科学高校の藤岡高昌先生、いおワールドかごしま水族館の西田和記氏、兵庫県立人と自然の博物館の三橋弘宗氏、大阪湾ウミウシ観察会の皆様にご協力いただきました。標本の写真に関しましては奥塚恭子氏にご提供いただき、葉山しおさい博物館の倉持卓司氏には掲載の許可をいただきました。また、公益財団法人水産無脊椎動物研究所の片山英里氏に原稿執筆の機会をいただきました。皆様に深く感謝いたします。

引用文献

- 北詰美加・藤岡高昌・田中広樹・柏尾翔. 2020. ウミウシ類におけるグリセリンを用いた標本作成法の検討. きしわだ自然資料館研究報告, 6: 25-32.
- McBeth, J. W. 1972. Carotenoids from nudibranchs. Comp. Biochem. Physiol., 41B: 55-68.
- 水木桂子. 1984. “海のチョウ”, ウミウシを探る. Newton, 4(5): 94-95.
- 小野榮子. 2004. グリセリン浸透法による生物標本の作成. 東レ科学振興会（編）第36回東レ理科教育賞受賞作品集: 39-41.
- 齋藤寛・長谷川和範. 2014. 貝類. 標本学 第2版（松浦啓一編）. pp. 53-64. 東海大学出版部, 神奈川.

きしわだ自然資料館の紹介

岸和田市立の自然史系博物館で、地域の自然の豊かさを知り、自然を楽しみ、環境保全への理解を深めるための拠点として1995年6月に開館しました（図1）。常設展示では、岸和田市在住だった故蕎原文吉氏から寄贈を受けた約300点にもおよぶ野生動物の剥製標本コレクション（図2）をはじめ、岸和田周辺の自然環境を山地、丘陵地、ため池、平地、海域といった環境別に、標本やジオラマ、映像などを用いて紹介しています。また、1階のオープンスペースでは南大阪の生き物を生体展示しており、その一角にあるのが「大阪湾とその近海にすむウミウシ類」コーナーです（図3）。あまり知られていませんが、大阪湾は300種をこえる多種多様なウミウシ類が生息する豊かな海で、ここでは大阪湾およびその近海で見られる種を20種程度、常設で飼育しています。季節ごとに出現種が異なるウミウシ類を展示するのは容易ではありませんが、自然観察グループの一つである「大阪湾ウミウシ観察会」の協力も得て、身近な海にすむウミウシ類の魅力を日々発信しています。

もう一つ、当館発祥の取り組みとして紹介したいのは「チリメンモンスター実習」です。「チリメンモンスター（略称：チリモン）」は、ちりめんじゃこの中に混じる小さなタコやイカ、カニの幼生などの混獲生物の総称で、これらの生物をちりめんじゃこの中からより分け、形態を観察する過程を「チリメンモンスターさがし」あるいは「チリメンモンスター実習」と呼んでいます（図4）。

様々な見た目をした海洋生物（多くは幼生期のものが見つかります、図5）を探し出す作業は宝さがしのような感覚で取り組むことができ、年齢を問わず人気のワークショップとなっています。2004年に始まったこの取り組みは昨年で二十歳の節目の年を迎え、いまや全国的な知名度を誇る人気イベントにまで成長しました。

常設展示はもちろんのこと、特別展や企画展、チリメンモンスター実習をはじめとしたワークショップも定期的に開催していますので、大阪に来られる機会があれば、ぜひお立ち寄りください。 [柏尾]

○概要

所在地	〒596-0072 大阪府岸和田市堺町6-5
電話	072-423-8100
FAX	072-423-8101
Webサイト	https://www.city.kishiwada.lg.jp/site/shizenshi/
入館料	高校生以上200円（特別展期間中は400円） 中学生以下無料
開館時間	10:00～17:00（入場は16:00まで）
休館日	毎週月曜日（祝日は開館）・土日祝を除く毎月末日（12月は28日）・土日祝を除く祝日の翌日・年末年始（12月29日～1月3日）・敬老の日の前日と前々日（祭礼期間）
アクセス	南海本線「岸和田駅」から徒歩12分



図1 自然資料館の外観



図2 3階にある剥製（蕎原コレクション）

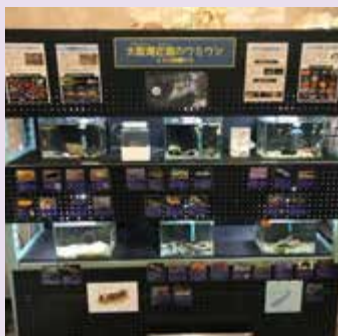


図3 ウミウシ類の生態展示コーナー



図4 チリメンモンスター実習



図5 チリメンモンスターとして見つかる生きもの

財団からのお知らせ

イベント案内

2025年度「親子で楽しむ海の生き物わくわくウォッチング」(神奈川県横須賀市)を開催いたします。お誘い合わせの上、奮ってご参加ください。詳細は財団 Web サイト、会員メーリングリストでもご案内いたします。

■ 第17回「親子で楽しむ海の生き物わくわくウォッチング2025」

観音崎自然博物館にて毎年行っている観察会で、大人から子供まで海の生物を楽しめる観察会です。大人お一人でも参加いただけます。ウミウシやアメフラシをはじめとするその他の貝類、イソギンチャク、などさまざまな生物が観察できます。

【場 所】 観音崎自然博物館 (神奈川県横須賀市鴨居 4-1120)

【日 時】 2025年5月31日(土)
10:00 (9:45受付開始) ~14:30予定
*予定は変更になる場合があります

【対 象】 4歳以上

【参 加 費】 小人(中学生以下) 500円、大人(高校生以上) 1000円
(同伴の3歳以下のお子様は100円)

【定 員】 40名(先着順、定員に達し次第締め切ります)

【申込締切】 5月9日(金) ※要申込

【申込・問合せ方法】 Web サイト、メール、お電話等



■ 共催観察会、その他

茨城県ひたちなか市にて、下記2団体主催(当財団やその他団体との共催)の観察会が開催されます。詳細は各主催者のウェブサイトをご確認ください。

●主催：ミュージアムパーク茨城県自然博物館

「磯の動物を観察しよう」※要申込(抽選、申込期間 4/1~7)

【日 時】 2025年5月17日(土) 11:00~13:00
<https://www.nat.museum.ibk.ed.jp/>

●主催：地球レーベル

「磯の生き物観察会」※要申込(抽選、申込期間 5/1~14)

【日 時】 2025年6月1日(日) 12:00~14:30
<https://chikyulabel126014918.wordpress.com/>

■ その他：見学会・勉強会など(大人向け)

当財団では、施設等の見学会および勉強会を計画中です。
決まり次第ご案内いたします。



編集後記

表紙写真はレンゲウミウシ *Mexichromis multituberculata* です。レンゲウミウシという和名は馬場菊太郎先生により1953年の新種記載の際に提唱されました。大きさが2cmほどで、背面の突起の基部が白色で先端では紫になります。まさにレンゲの花のような色合いです。春にレンゲ畑で遊んでいたのを思い出し、今号の表紙に選びました。

今年前半の当財団主催の観察会は「わくわくウォッチング」のみになります。みなさま、ぜひご参加ください。昨年は初めて貝拾いのプログラムを行いました。海岸に打ち上がっている貝を拾ってきて、図鑑などを使って同定しましたが、いろんな貝が見つかりました。今年はどんな生き物に出会えるか楽しみです。