

公益財団法人 水産無脊椎動物研究所

うみうし通信

2026.9
No.
132



キホシウロコウミウシ

奄美大島 2026.7 撮影/今本 淳

日本の鉤頭虫の多様性—津々浦々，蟲めぐり— ——北 悠樹

ヒザラガイの「鉄の歯」はどうつくられる?—酸化鉄の形成を導くタンパク質の発見— ——根本 理子

京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所——下村 通誉

財団からのお知らせ

2027年度個別および育成研究助成課題を募集します

日本の鉤頭虫の多様性 — 津々浦々，蟲めぐり —

Biodiversity of Acanthocephala from Japanese Fishes

北海道大学理学院（現所属：北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場） 北 悠樹（Kita, Yuki）

そもそも鉤頭虫って？

うみうし通信の読者の皆さんの中で、「鉤頭虫（こうとうちゅう）」という名前を聞いたことがある方は、おそらくごく少数だろう。名前から「頭に鉤（かぎ）がついた無脊椎動物なのだろう」と想像できればよい方で、その姿を思い浮かべるのは難しいという方がほとんどではないだろうか。それもそのはず、鉤頭虫はいわゆる寄生虫であり、主に脊椎動物の消化管の中で暮らしている。そのため、普段の生活で目にする機会はまずない。しかし、積極的に探してみると、案外簡単に見つけられる生き物でもある。というのも、鉤頭虫の多くは魚類に寄生しており、近所のスーパーや鮮魚店で売られている魚から見つかることも少なくない。そう考えると、実はとても身近な生き物なのである。本稿では、鉤頭虫とはどのような生き物なのか、日本にはどのような種類がいるのかについて、筆者自身の研究も交えながら紹介したい。なお、本誌は「水産無脊椎動物」に着目した刊行物であるため、本稿では主に魚類から見つかる鉤頭虫を取り上げる。

鉤頭虫の体のつくりは非常に単純である（図1）。外観は、厚いクチクラに覆われた体幹（trunk）、鉤（hook）が並び、反転・突出できる吻（proboscis）、そして吻と体幹の間にある頸（くび）（neck）からなる。鉤頭虫はこの吻を宿主の腸壁に突き刺し、体を固定して生活している。雌雄は別々で、一般に雌のほうが大型である。体長は種によってさまざまだが、およそ数 mm から数十 cm に及ぶ。体内には吻を収納する吻鞘（receptacle）や生殖器官がある一方で、消化管はもたない。宿主が消化した食物は、腸壁から栄養分や水分が吸収されるのを待つだけの状態になっている。鉤頭虫は、その栄養分を少しだけ「頂戴」して、体表から直接吸収している。同じような特徴は、条虫（いわゆるサナダムシ）の仲間にも見られる。なお、鉤頭虫は腸壁に深く刺さっているように見えるため、「血液などを吸っているのではないか」と誤解されることがあるが、実際にはそのようなことはできない。鉤頭虫は雌雄異体である。成熟した雌の体内は紡錘形の卵で満たされており、卵は子宮（uterus）と呼ばれる器官に集められた後、体後端近くの生殖孔から体外へ放出される。一方、雄には2つの大きな精巣（testis）があるほか、特徴的な器官としてセメント腺（cement gland）が備わっている。この器官では粘着性の物質が分泌され、交尾後に雌の生殖孔を塞ぐ「栓」として利用される。これにより、ほかの雄との交尾を防ぐことができる。

鉤頭虫は「脊椎動物に寄生する」と表現されることが多いが、より正確には「終宿主として脊椎動物

を利用する」生物である（図2）。鉤頭虫の卵は、宿主の糞とともに環境中へ放出される。この卵（50～100 μm ほどのサイズ）を、中間宿主である小型の節足動物（水中ではヨコエビ類やミズムシ類、陸上ではワラジムシ類や小型昆虫など）が食べると、卵はその体内でシスタカンス幼生へと成長する。この中間宿主を魚類・両生類・爬虫類・鳥類・哺乳類などの脊椎動物が食べると、幼生は消化に伴って腸内へ移動し、成熟して成虫となる。終宿主の腸内で交尾・産卵した卵は再び糞とともに外界へ放出され、このようにして鉤頭虫の生活環が一巡する。

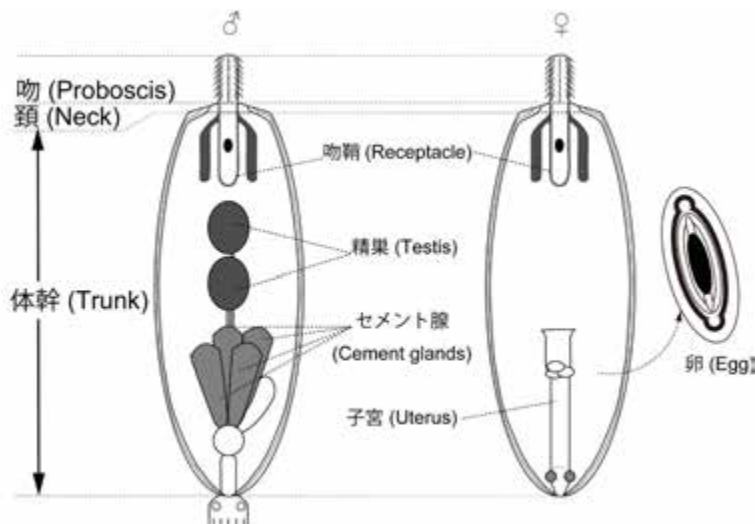


図1 鉤頭虫の体の構造の概略図。

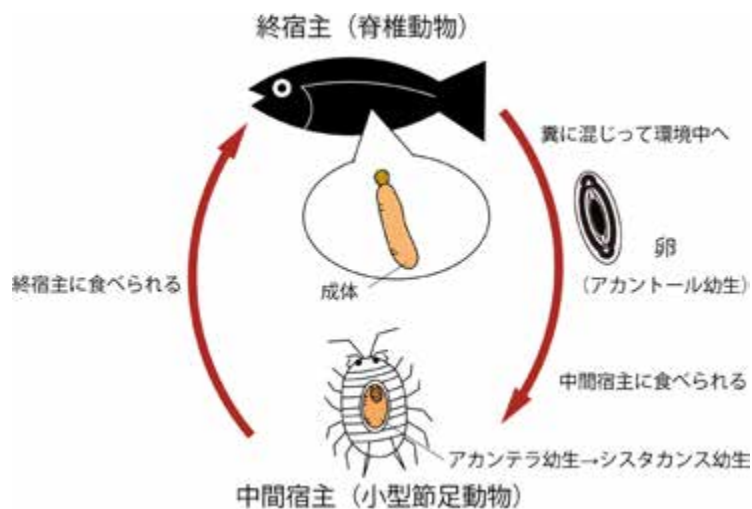


図2 鉤頭虫の基本的な生活環。卵の中にはアcantヘル幼生が含まれる。中間宿主の体内で孵化するとアcantヘル幼生と呼ばれる状態になり、やがて成長してシスタカンス幼生と呼ばれる状態になる。このときにはほぼ成体と同様の形態になっていることが多い。成体になると生殖器官の発達や体サイズの増大が起きる。

鉤頭虫大国？ニッポン

鉤頭虫は1771年に初めて記載され、現在では世界でおおよそ1,300種が知られている (Amin 2013)。一方、日本における分類学的研究が本格的に始まったのは1920年頃である。当初は海外の著名な研究者の協力を得ながら進められていたようだが、日本が世界に誇る寄生虫分類学者である山口左伸博士の活躍により、日本産鉤頭虫の多様性は飛躍的に明らかになった (Yamaguti 1963など)。現在、日本では約70種の鉤頭虫が知られており、その多くは魚類を終宿主あるいは待機宿主として利用する。しかし、調査が十分に行われていない地域や海域は今なお多く残されており、実際にはさらに多くの種が生息していると筆者は考えている。海産種では、北海道から東北太平洋岸、北陸、瀬戸内海沿岸などでは比較的多くの記録がある一方、それ以外の地域では記録が極めて少ない。淡水性や陸生の鉤頭虫についても、本州中西部や四国での記録が中心である。日本は南北に長く、生物相が北海道と南西諸島で大きく異なることはよく知られている。しかし、そのような地域差を考えると、現在の調査状況は決して十分とはいえない。とくに関東、山陰、九州、南西諸島では先行研究が少なく、「調査空白地帯」といえる地域が数多く残されている。

筆者は鉤頭虫の多様性研究を遂行するにあたり、こうした調査空白地帯へ積極的に足を運び、各地の鉤頭虫相の解明に取り組んできた。調査では、全国各地の臨海実験所などを拠点に魚を解剖し、寄生している鉤頭虫を採集する。魚は釣りや調査船で採集することもあるが、最も効率がよいのは直売所や鮮魚店で購入したり、漁師さんから未利用魚を分けていただいたりする方法である。調査期間中は、午前中に大量の魚を集め、深夜までひたすら魚をさばき続ける毎日を、一週間近く繰り返すことばかりだった。そうした調査の積み重ねによって、「調査空白地帯」を含む全国各地でさまざまな鉤頭虫を見つけることができた。ここからは、その中でも特に印象深かった鉤頭虫たちを紹介したい。

初記録に次ぐ初記録、南西諸島の鉤頭虫

南西諸島では、これまで奄美大島で記載された1種 (Machida 1992) と、沖縄本島で「鉤頭虫の1種」として報告された記録 (Williams et al. 1996) しか知られていなかった。筆者は、この地域を日本における鉤頭虫研究の「調査空白地帯」の中でも特に重要な場所と考え、何度も足を運んだ。初めて調査に訪れたときは、北海道ではまず目にする事のない色鮮やかな魚たちを前に、大いに戸惑ったことを覚えている。そして期待どおり、そこから見つかった鉤頭虫も、本州や北海道で見られるものとは大きく異なっていた。既知種では、ベトナムやフィリピンなど東南アジアで知られている種がいくつか見つかった。例えば、宮古島ではハナアイゴから *Sclerocollum neorubrimaris* Amin, Heckmann, & Ha, 2018を発見した (図3A) (Kita et al. 2026)。この種はベトナムで記載された鉤頭虫で、生きているときは鮮やかな黄色の太い体をしている。アイゴ類の腸内はたいい藻類で満たされている (とても臭い!) が、その中でもひときわ目立ち、大きさも5cmほどあるため見つけやすい。また、フィリピンなどから報告されている *Cavisoma magnum* (Southwell, 1925) が、沖縄本島のキツネウオから発見された (Kita & Kajihara 2025)。このとき得られたのは1個体だけだったが、フィリピンやベトナムではサバヒー類の腸内から多数見つかることが知られている。同様の宿主を調べれば、さらに多くの個体が見つかる可能性があるだろう。これらはいずれも日本初記録属であり、南西諸島では本土とは異なる鉤頭虫相が形成され、そ

の顔ぶれは東南アジアのものによく似ていることを実感した。このほかにも、沖縄周辺では日本初記録種や未記載種をいくつか得ており、今後順次論文として報告していきたいと考えている。

新種続々

日本各地で鉤頭虫を調査していると、先行研究が比較的充実している地域であっても、未記載種に出会うことがある。例えば北海道厚岸では、ウサギアイナメから *Echinorhynchus* 属の未知種を発見し、*Echinorhynchus sasakiae* Kita & Kajihara, 2023として記載した (図3B)。この種は鉤の配列や吻の形状が非常に特徴的で、新種であることは比較的容易に判断することができた (Kita & Kajihara 2023)。しかし、このようにわかりやすい例ばかりではない。瀬戸内海ではスズメダイから *Pseudocavisoma* 属の未記載種を発見し、*Pseudocavisoma setoense* Kita, Nitta & Kajihara, 2024として記載した (図3C)。この属は、それまで日本から遠く離れたプエルトリコのスズメダイ類に寄生する1種、*Pseudocavisoma chromitidis* (Cable & Quick, 1954) のみが正確な記録として知られていた。当時、この属の特徴の一つは「体幹に棘がないこと」とされていた。しかし、瀬戸内海産の標本には、油浸レンズや電子顕微鏡でなければ見つけられないほど微小ではあるものの、体表に棘が生えており、その一方それ以外の特徴はプエルトリコ産の *Pseudocavisoma* と非常によく一致していた。そこで、米国スミソニアン博物館からプエルトリコ産の標本を借用して詳しく観察したところ、先人が見逃していた微小な棘が体表に存在することが判明した。つまり、*Pseudocavisoma* 属は本来「体幹に棘がない属」ではなく、「体幹に微小な棘をもつ属」だったのである。そして両者では、その棘の大きさや配列などに違いが認められたため、それらを主な根拠として瀬戸内海産のものを新種として記載した (Kita et al. 2024)。

鉤頭虫は、種を見分けるための外見上の特徴が少なく、参考となる文献も限られている。そのため、細部まで観察しなければならないこともあれば、過去の記載に誤りが見つかることもある。場合によってはDNAの情報が不可欠になることもあり、種の同定や新種記載までの道のりは決して平坦ではない。それこそが鉤頭虫分類学の難しさであり、同時に大きな醍醐味でもある。

もっと身近に鉤頭虫を！

本稿をきっかけに、鉤頭虫という生き物を知る人が一人でも増えてくれたら、筆者としてこれほどうれしいことはない。初対面の人に「鉤頭虫を研究しています」と話すと、高い確率で聞かれるのが「それって何の仲間なんですか？」という質問である。しかし、これに答えるのが実はなかなか難しい。ベントスやプランクトンに詳しい方、水産や養殖の現場に携わる方であれば、「ワムシに近い生き物です」と説明できる。実際、分子系統学的には鉤頭虫はワムシ (輪形動物) の系統に完全に含まれ、両者をまとめて一つの動物門 (Syndermata) として扱おうという考え方もある。ところが、ワムシ自体も決して知名度の高い生き物ではない。そのため、相手がワムシを知らない場合は、「いやあ、何に近いと言われると難しいのですが……」と言葉に詰まってしまう。そして十分に説明できないまま相手の興味も薄れてしまうのである。毎回ちょっぴり切ない気持ちになるので、「こう説明すると伝わりやすい」という妙案をご存じの方がいたら、ぜひ教えていただきたい。

手軽に鉤頭虫と出会うのにオススメの魚があるのでいくつか紹介する。本州以南にお住まいの方はマダイやカワハギ、メイトガレイなどあらゆる魚種でクビナガコウトウチュウ

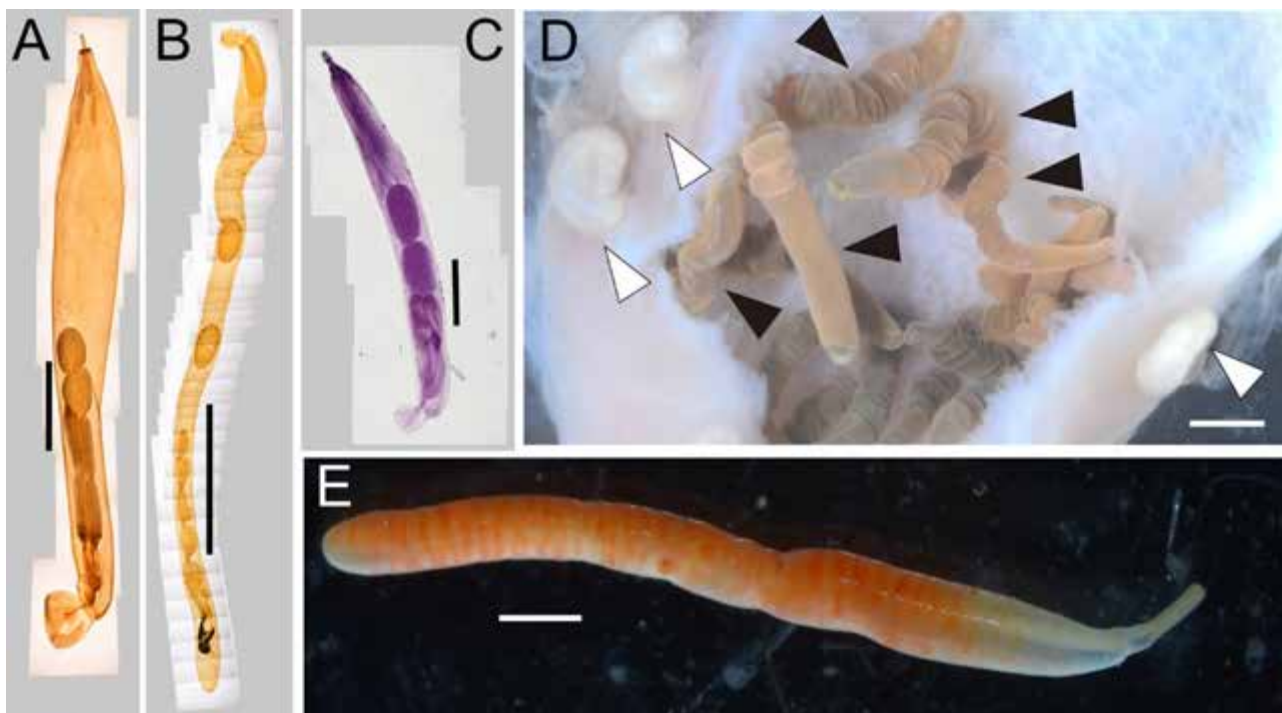


図3 様々な鉤頭虫。A：宮古島のハナアイゴから得られた *Sclerocollum neorubrimaris* Amin, Heckmann, & Ha, 2018 (スケールバー：3 mm)。B：厚岸湾のウサギアイナメから得られた *Echinorhynchus sasakiae* Kita & Kajihara, 2023 (スケールバー：5 mm)。C：瀬戸内海のスズメダイから得られた *Pseudocavisoma setoense* Kita, Nitta, & Kajihara, 2024 (スケールバー：1 mm)。D：佐渡島のマダイの腸管を切開して見いだされた *Pomphorhynchus pagrosomi* (Yamaguti, 1935) (スケールバー：1 mm)。黒矢頭が虫体を、白矢頭が腸管に陥入した鉤頭虫の頸を示している。E：北海道の鮮魚店で販売されていたサンマから得られた *Rhadinorhynchus* 属の未同定種 (スケールバー：1 mm)。A～C は圧平染色プレパラート標本を光学顕微鏡下で分割撮影し繋げたもの。D および E は実体顕微鏡下で撮影された生鮮時の像。

Pomphorhynchus pagrosomi (Yamaguti, 1935) を見ることができる。この鉤頭虫は名前の通りの長い頸を腸管にめり込ませる特徴があり、頸の形が浮き出ているので腸管を切り開かずともその存在に気づける (図3 D)。色という観点で最もわかりやすいのはサンマの鉤頭虫である。SNS を眺めていると、サンマの塩焼きや缶詰から鮮やかな朱色のニョロニョロした虫が出てきたという投稿をしばしば見かける。これは *Rhadinorhynchus* 属の鉤頭虫で、サンマでは一定の割合で見ることができる (図3 E)。北海道や東北にお住まいの方にはチゴダラ (「どんこ」という名称で売られていることが多い) を、北陸の方にはスケトウダラをオススメする。いずれも *Echinorhynchus* 属の鉤頭虫が高い割合で、しかも多量に見られる。ただし、色は褐色で分かりづらい上、市販の魚から得られたものでは吻を腸から外して小さく縮こまっていることが多いので一見して気づきにくい。腸の内容物ごと真水に入れておくと、浸透圧で伸びてきてわかりやすくなる (思っているより伸びる)。これらの魚はいずれもお近くの小売店・鮮魚店でお買い求めいただけるので、鉤頭虫ははじめ寄生虫の世界への扉を開きたい方や、お子様の自由研究のテーマに困っている方は是非お試しあれ。

おわりに

本稿を執筆する機会をいただけたことに、心より感謝申し上げます。また、本稿で紹介した研究の多くは、水産無脊椎動物研究所育成研究助成 (IKU2023-01) の支援を受けて実施したものである。ここに深く感謝申し上げます。このほか、多くのご指導・ご助言・ご協力をいただいた共同研究者、研究室のメンバー、各大学附属臨海実験所のスタッフの皆様、地元の漁師の皆様にも厚く御礼申し上げます。最後に、ここまでお読みいただいた読者の皆様にも心より感謝申し上げます。本稿をきっかけに、記憶のどこかに鉤頭虫のことを留め置いていただけることを淡く期待したい。

引用文献

- Amin OM (2013) Classification of the Acanthocephala. *Folia Parasitologica* 60: 273–305.
- Kita Y, Hiruta SF, & Kajihara H (2026) Improving the Resolution of Inter-Familial Relationships Within Palaeacanthocephala by Mitophylogenomics Including Isthmosacanthidae (Polymorphida) and Transvenidae (Echinorhynchida). *Zoological Science* 43: 300–311.
- Kita Y & Kajihara H (2023) Morphological and molecular characterization of a new species of the genus *Echinorhynchus* Zoega in Müller, 1776 (Acanthocephala: Echinorhynchidae) parasitizing the rock greenling *Hexagrammos lagocephalus* (Pallas) (Scorpaeniformes: Hexagrammidae) from eastern Hokkaido, Japan. *Systematic Parasitology* 100: 1–9.
- Kita Y & Kajihara H (2025) First Record of *Cavisoma magnum* (Acanthocephala: Echinorhynchida) from Japanese Waters, With Systematic Revision on Cavisomatidae. *Species Diversity* 30: 241–248.
- Kita Y, Nitta M, & Kajihara H (2024) Systematics of *Pseudocavisoma* (Acanthocephala: Echinorhynchida): assessment of familial affiliation, establishment of a new species, and complementary redescription of the type species based on syntypes. *Systematic Parasitology* 101: 73.
- Machida M (1992) A new species of the genus *Diplosentis* (Acanthocephala, Diplosentidae) from a wrasse of southern Japan. *Japanese Journal of Parasitology* 41: 37–39.
- Williams EH, Bunkley-Williams L, & Dyer WG (1996) Metazoan parasites of some Okinawan coral reef fishes with a general comparison to the parasites of Caribbean coral reef fishes. *Galaxea: Publication of Sesoko Marine Science Center, University of the Ryukyus* 13: 1–13.
- Yamaguti S. (1963) *Systema helminthum, Vol. V, Acanthocephala*. Interscience Publisher, New York, 423 pp.

ヒザラガイの「鉄の歯」はどうつくられる？ —酸化鉄の形成を導くタンパク質の発見—

How Do Chitons Make Their “Iron Teeth”?
— Discovery of a Protein That Directs Iron Oxide Deposition —

岡山大学 学術研究院 環境生命自然科学学域 根本 理子 (Nemoto, Michiko)

「鉄の歯」をもつヒザラガイ

「バイオミネラライゼーション」という言葉をご存じだろうか。「生体鉱物形成」とも呼ばれ、生物が鉱物をつくる現象を意味する。私たちの骨や歯、貝殻、サンゴの骨格などは、いずれも生物が鉱物を利用してつくり出した構造である。「鉱物」と聞くと、生物とは無縁の、自然界に存在する硬い岩石や結晶を思い浮かべるかもしれない。しかし、生物は体内という穏和な環境の中で、形や種類が精密に制御された鉱物をつくることができる。さらに、形成された骨や歯、殻などは、鉱物と有機物が精巧に組み合わせられることで、鉱物単体にはない強さや壊れにくさ、耐摩耗性を示す。このような優れた性質は、新たな材料開発の手本として注目され、多くの材料科学者によって生体鉱物形成機構の解明が進められてきた。

生物が鉱物をつくる際によく利用する元素が、ケイ素 (Si) とカルシウム (Ca) である。例えば、海綿の骨格や珪藻のガラス質の細胞壁には、ケイ素を含むシリカが使われている。また、私たちの骨や歯にはリン酸カルシウムが、貝殻には炭酸カルシウムが使われている。これらのバイオミネラルについては多くの生物で研究が進められ、その形成に関わるタンパク質も数多く見つかっている。

これに対し、鉄 (Fe) を主成分とするバイオミネラルを形成する生物は多くない。その代表例が、磁性細菌とヒザラガイ類である。磁性細菌は、マグネトソームと呼ばれる膜で囲まれた細胞内小器官の中に、磁鉄鉱 (Fe_3O_4) のナノ粒子を形成する。磁性細菌では、マグネトソーム膜の形成や鉄の輸送、磁鉄鉱結晶の形成、粒子の鎖状配置などを制御する多くのタンパク質が明らかにされている (Arakaki, Webb *et al.* 2003, Uebe and Schüler 2016)。

ヒザラガイは、海岸の岩場に張りついて暮らす軟体動物であ

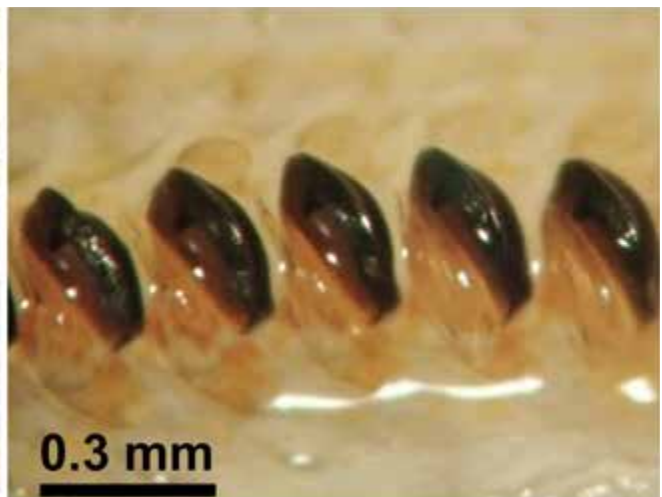
る。口には、小さな歯が数十列にわたって並ぶ「歯舌」というリボン状の摂餌器官があり、個々の歯の歯冠部には磁鉄鉱が沈着している (図1)。ヒザラガイの歯に磁鉄鉱が含まれることは、1962年に、生物がつくる磁鉄鉱の最初の例として報告された (Lowenstam 1962)。近年の研究から、磁鉄鉱が沈着した歯は高耐久性セラミックスであるジルコニアよりも高い耐摩耗性を示すことが明らかになった (Weaver, Wang *et al.* 2010)。ヒザラガイは、この頑丈な歯を使って岩の表面に付着した藻類やその他の生物を削り取り、餌としている。しかし、磁性細菌とは対照的に、ヒザラガイがどのようにして多量の鉄を歯に運び、歯の決まった場所にだけ磁鉄鉱を形成するのか、その分子機構は長い間分かっていなかった。

「鉄の歯」ができるまで

ヒザラガイの摂餌に使われるのは歯舌の前方にある数列の歯だけであり、これらの歯は使われることで次第に摩耗し、やがて脱落する。その一方で、歯舌の後方では新しい歯が絶えず形成され、成熟しながらベルトコンベアのように前方へと送られていく。そのため、一つの歯舌を観察するだけで、形成されたばかりの歯から摂餌に使われる成熟した歯まで、異なる成長段階の歯を一度に見ることができる (図2)。形成途中の歯は上皮細胞に覆われており、歯の形成に必要な鉄やタンパク質は、これらの細胞から供給されると考えられる。歯形成の最初の段階では、主にキチン繊維からなる透明な骨組みが形成される。次にキチン繊維上に結晶性の低い酸化鉄であるフェリハイドライトが沈着し、歯は赤茶色へと変化する。歯がさらに成熟すると、フェリハイドライトが磁鉄鉱へと変換し、最終的に黒色の歯が完成する (Wang, Nemoto *et al.* 2013)。



図1 瀬戸内海のヒザラガイ *Acanthopleura japonica* (左) とその歯 (右)。



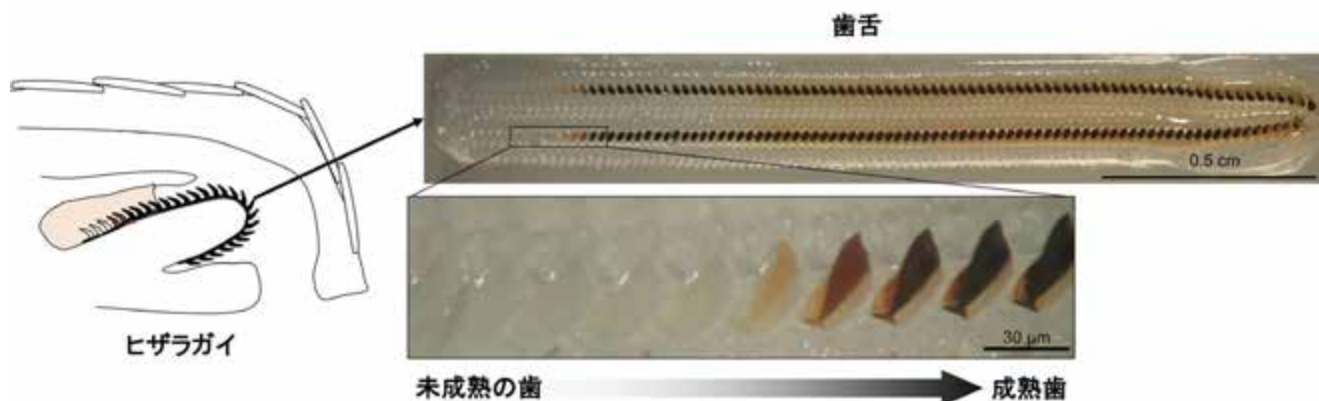


図2 ヒザラガイの歯舌。歯舌では常に歯の形成が行われており、歯の一連の形成過程を一つの歯舌上に観察することができる (Nemoto, Okada *et al.* 2025より改変)。

「鉄の歯」をつくるタンパク質の探索

歯舌の歯冠部、歯の基部、歯舌膜はいずれもキチン繊維を主成分とする骨組みからつくられている。それにもかかわらず、磁鉄鉱が沈着するのは歯冠部だけである。なぜ磁鉄鉱は、歯冠部にだけ形成されるのだろうか。私たちは、酸化鉄の形成を制御するタンパク質が歯の内部に存在するのではないかと考えた。そこでまず、世界最大のヒザラガイであるオオバンヒザラガイを用いて、歯舌でつくられているタンパク質を網羅的に調べた。歯舌組織のRNA配列を解析してタンパク質の候補リストを作成し、さらに、磁鉄鉱が沈着した歯冠部と、それを支える歯の基部・歯舌膜に含まれるタンパク質を質量分析によって比較した。その結果、歯冠部だけから検出される22個のタンパク質が見つかった。このうち一つは、既知のタンパク質と類似しない新規タンパク質であった。私たちは、このタンパク質を歯舌マトリックスタンパク質1 (radular teeth matrix protein 1: RTMP1) と名付けた。RTMP1には、細胞外へ分泌されるタンパク質に特徴的なシグナル配列があり、セリン、グリシンを多く含むユニークな繰り返し配列や、キチンへの結合に関わる可能性のある配列も見つかった (Nemoto, Wang *et al.* 2012, Nemoto, Ren *et al.* 2019)。

次に、RTMP1がオオバンヒザラガイだけに存在するのか、それともヒザラガイ類に共通して存在するのかを調べた。瀬戸内海で採集したヒザラガイ、ヒメケハダヒザラガイ、ババガセについて歯舌組織のRNA配列を解析し、オオバンヒザラガイと比較した。その結果、これら3種からも、先に同定した22個のタンパク質に類似するタンパク質が見つかった。特に、RTMP1に類似するタンパク質は、調べたすべてのヒザラガイ類から見つかった一方、既存のデータベース検索では、ヒザラガイ類以外の生物に明確な相同タンパク質は見つからなかった。このことから、RTMP1はヒザラガイ類に特有のタンパク質であると考えられた (Nemoto, Okada *et al.* 2025)。

RTMP1は歯の酸化鉄形成を導く

私たちは、ヒザラガイ特有のタンパク質であるRTMP1の機能をさらに詳しく調べることにした。まず、RTMP1に結合する抗体を作製し、免疫蛍光法を用いて、歯舌組織のどこにRTMP1が存在するのかを調べた。その結果、RTMP1は、フェリハイドライトの沈着が始まる直前の歯を覆う上皮細胞で最も多く検出された。なかでも、酸化鉄の沈着が最初に確認される歯の一つ手前の歯で、RTMP1が最も多く存在していた。共焦点レーザー顕微鏡でさらに詳しく観察すると、RTMP1は、酸

化鉄が沈着する前から、将来酸化鉄が沈着する歯の内部に存在していた。これらの観察から、上皮細胞でつくられたRTMP1は、細胞末端の微絨毛を介して歯の内部へ分泌され、歯の骨組みであるキチン繊維に結合すると考えられた。

次に、パン酵母を用いて人工的につくったRTMP1の性質を調べた。その結果、RTMP1はキチンと鉄イオンの両方に結合した。さらに、RTMP1を結合させたキチン繊維を鉄溶液に浸すと、キチン繊維上に非晶質の酸化鉄粒子が形成された (図3)。

さらに、生きたヒザラガイでRTMP1の遺伝子発現を抑える実験を行ったところ、RTMP1の発現量は約69%低下し、歯の色が赤茶色から黒色へ変化する鉱化の進行が妨げられた。これらの結果から、RTMP1は、あらかじめ歯のキチン繊維に結合して後から運ばれてくる鉄を集め、初期の酸化鉄形成を促す重要なタンパク質であることが明らかになった (図4) (Nemoto, Okada *et al.* 2025)。

一方、RTMP1のどの部分がキチンや鉄を認識するのか、RTMP1が促す初期の酸化鉄形成が、生体内でのフェリハイドライトの沈着や磁鉄鉱への変化にどのようにつながるのかは、まだ分かっていない。これらは今後明らかにしたい課題である。

海の生き物から学ぶ材料づくり

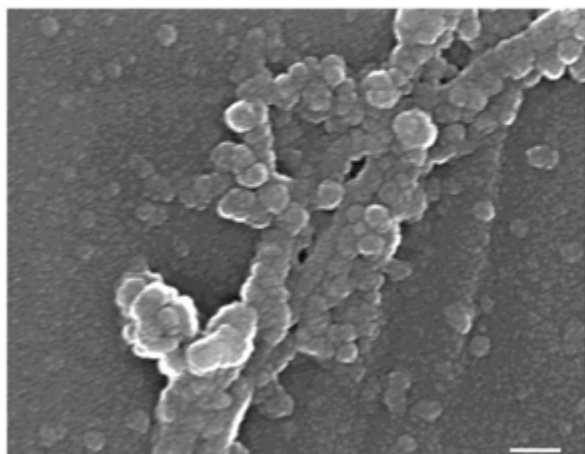
磁鉄鉱を含む酸化鉄材料は、磁気記録材料、MRI造影剤、細胞分離やDNA抽出に用いる磁性材料など、さまざまな分野で利用されている。磁鉄鉱の合成法の中には、高温処理や有害な薬品を必要とするものもある。RTMP1の働きを応用できれば、将来、穏和な条件で酸化鉄を形成する新しい技術につながる可能性がある。また、RTMP1を狙った場所に配置することができれば、必要な場所にだけ金属酸化物を形成するパターンニング技術への応用も期待できる。さらに、体内に過剰に蓄積した鉄は、がんや神経変性疾患など、さまざまな疾患と関係することが知られている。RTMP1が鉄を結合し、酸化鉄として沈着させる仕組みを理解することは、過剰な鉄を制御する新たな研究の手掛かりになるかもしれない。

海辺の岩礁に暮らすヒザラガイは、体の中に精密な「鉄の歯の製造ライン」をもっている。その仕組みをさらに読み解くことで、生物が鉱物をつくる原理だけでなく、私たちが新しい材料をつくるためのヒントも見えてくるかもしれない。

謝辞

本稿で紹介した研究は、岡田航輝氏、赤嶺晴香氏、小田垣祐生氏、橋原優佳氏、小布施祈織氏、守屋史朗氏、佐藤伸氏 (以

+RTMP1



+GFP

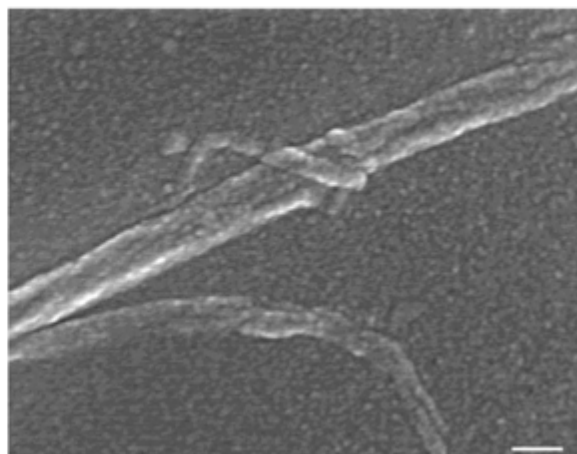


図3 組換え RTMP1の存在下では、キチン繊維上に酸化鉄粒子が形成された（左）。対照として酸化鉄形成に関係しないタンパク質（緑色蛍光タンパク質：GFP）を加えた場合には、粒子は形成されなかった（右）。

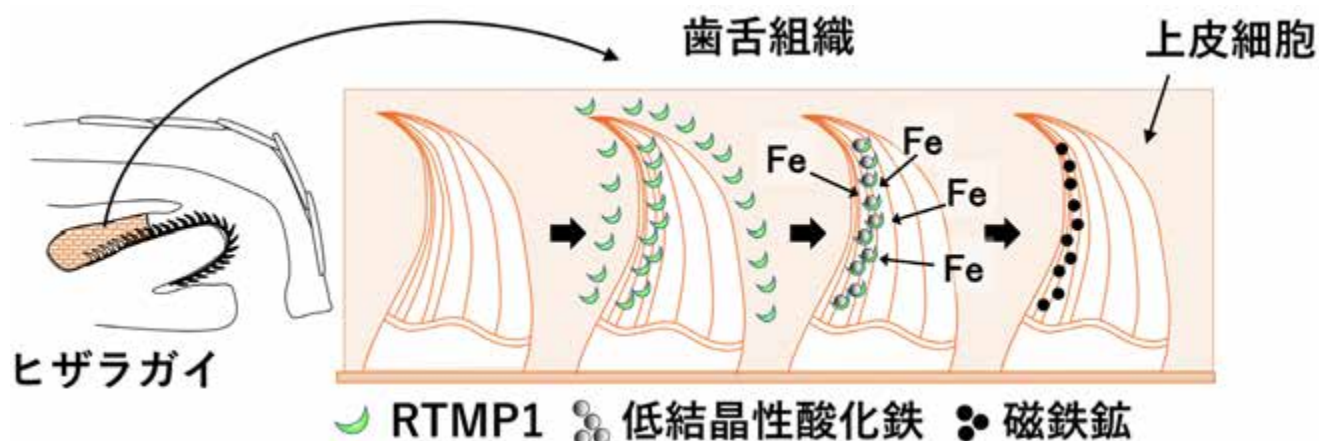


図4 歯舌上皮細胞から分泌された RTMP1は、歯の骨格となるキチン繊維に結合する。その後、歯の内部へ運ばれた鉄と相互作用し、初期の酸化鉄形成を促す。

上、岡山大学）、大越健嗣氏（東邦大学）、David Kisailus 氏（カリフォルニア大学アーバイン校）、との共同研究によるものである。各氏の多大な貢献と有益な議論に心より感謝申し上げます。本研究を進めるにあたり、ヒザラガイ類の生体試料の採集に協力いただいた濱野章一氏（北海道大学厚岸臨海実験所）、牛堂和一郎氏および齊藤和裕氏（岡山大学牛窓臨海実験所）、種同定について助言いただいた大和田正人氏（神奈川大学）に感謝申し上げます。また、試料調製および各種分析に協力いただいた物部美佳氏、塚野萌美氏、塩川つぐみ氏、多田宏子氏、中村育美氏、中野知佑氏、竹元嘉利氏（以上、岡山大学）、研究材料を提供いただいた伊福伸介氏（京都大学）および仁戸田照彦氏（岡山大学）に感謝申し上げます。本稿で扱った研究は、文部科学省科学研究費助成事業（21K05781, 22H04812）、科学技術振興機構（JST）創発的研究支援事業（JPMJFR210E）、公益財団法人日揮・実吉奨学会および公益財団法人加藤記念バイオサイエンス振興財団の支援を受けたものである。

引用文献

Arakaki, A., J. Webb and T. Matsunaga (2003) A novel protein tightly bound to bacterial magnetic particles in *Magnetospirillum magneticum* strain AMB-1. J. Biol. Chem. 278(10): 8745-8750.

Lowenstam, H. A. (1962) Magnetite in Denticle Capping in Recent

Chitons. Geol. Soc. Am. Bull. 73: 435-438.

Nemoto, M., K. Okada, H. Akamine, Y. Odagaki, Y. Narahara, K. Okoshi, K. Obuse, D. Kisailus, H. Moriya and A. Satoh (2025) Radular teeth matrix protein 1 directs iron oxide deposition in chiton teeth. Science 389(6760): 637-643.

Nemoto, M., D. N. Ren, S. Herrera, S. Q. Pan, T. Tamura, K. Inagaki and D. Kisailus (2019) Integrated transcriptomic and proteomic analyses of a molecular mechanism of radular teeth biomineralization in *Cryptochiton stelleri*. Sci. Rep. 9: 856

Nemoto, M., Q. Wang, D. Li, S. Pan, T. Matsunaga and D. Kisailus (2012) Proteomic analysis from the mineralized radular teeth of the giant Pacific chiton, *Cryptochiton stelleri* (Mollusca). Proteomics 12(18): 2890-2894.

Uebe, R. and D. Schüler (2016) Magnetosome biogenesis in magnetotactic bacteria. Nat. Rev. Microbiol. 14(10): 621-637.

Wang, Q. Q., M. Nemoto, D. S. Li, J. C. Weaver, B. Weden, J. Stegemeier, K. N. Bozhilov, L. R. Wood, G. W. Milliron, C. S. Kim, E. DiMasi and D. Kisailus (2013) Phase Transformations and Structural Developments in the Radular Teeth of *Cryptochiton Stelleri*. Adv. Funct. Mater. 23(23): 2908-2917.

Weaver, J. C., Q. Wang, A. Miserez, A. Tantuccio, R. Stromberg, K. N. Bozhilov, P. Maxwell, R. Nay, S. T. Heier, E. DiMasi and D. Kisailus (2010) Analysis of an ultra hard magnetic biomineral in chiton radular teeth. Mater. Today. 13(1): 42-52.

京都大学フィールド科学教育研究センター 瀬戸臨海実験所

Seto Marine Biological Laboratory, Field Science Education and Research Center, Kyoto University

京都大学フィールド科学教育研究センター 瀬戸臨海実験所 下村 通誉 (Shimomura, Michitaka)

はじめに

京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所(以下、実験所)は、和歌山県西牟婁郡白浜町の西北端に位置する教育研究施設です。実験所は大正11年(1922年)7月28日に池田岩治教授を中心に当時の瀬戸鉛山村から敷地を無償提供され、番所崎の桔梗平と呼ばれた地に京都帝国大学理学部の附属研究施設として「瀬戸臨海研究所」という名称で設立されました(図1A)。理学部系では東京大学三崎臨海実験所に次いで2番目に古い臨海実験所です。平成15年(2003年)にフィールド科学教育研究センター所属に改組され、令和4年(2022年)には創立100周年を迎えました。

白浜町の周辺海域は黒潮分枝流の影響を強く受けて一年中温暖で、番所崎沿岸の表面海水は、年平均で20℃、冬季でも12℃

程度です。田辺湾周辺の底質は、岩盤、転石、礫、砂泥と多様で、湾中央部の水深は約30 mです。湾口付近の岩礁には大小のタイドプールが多数あり、外洋性の生物群集がみられます。実験所の北側には砂礫底がひろがっており、湾奥には干潟があります。田辺湾内には実験所が管理する畠島実験地があり、湾内一帯の海岸生物相を一通り観察できます。

現在、実験所には教員7名、研究員1名、事務職員6名、技術職員4名、学生17名が在籍しており、教職員と研究員は実験所と併設する水族館の管理・運営・研究教育活動に従事し、学生は日々、研究を行っています。本稿では、当実験所で行われている研究教育と水族館の活動を紹介します。

施設の概要

敷地面積40,630 m²で、この中に研究棟、第2研究棟、水族

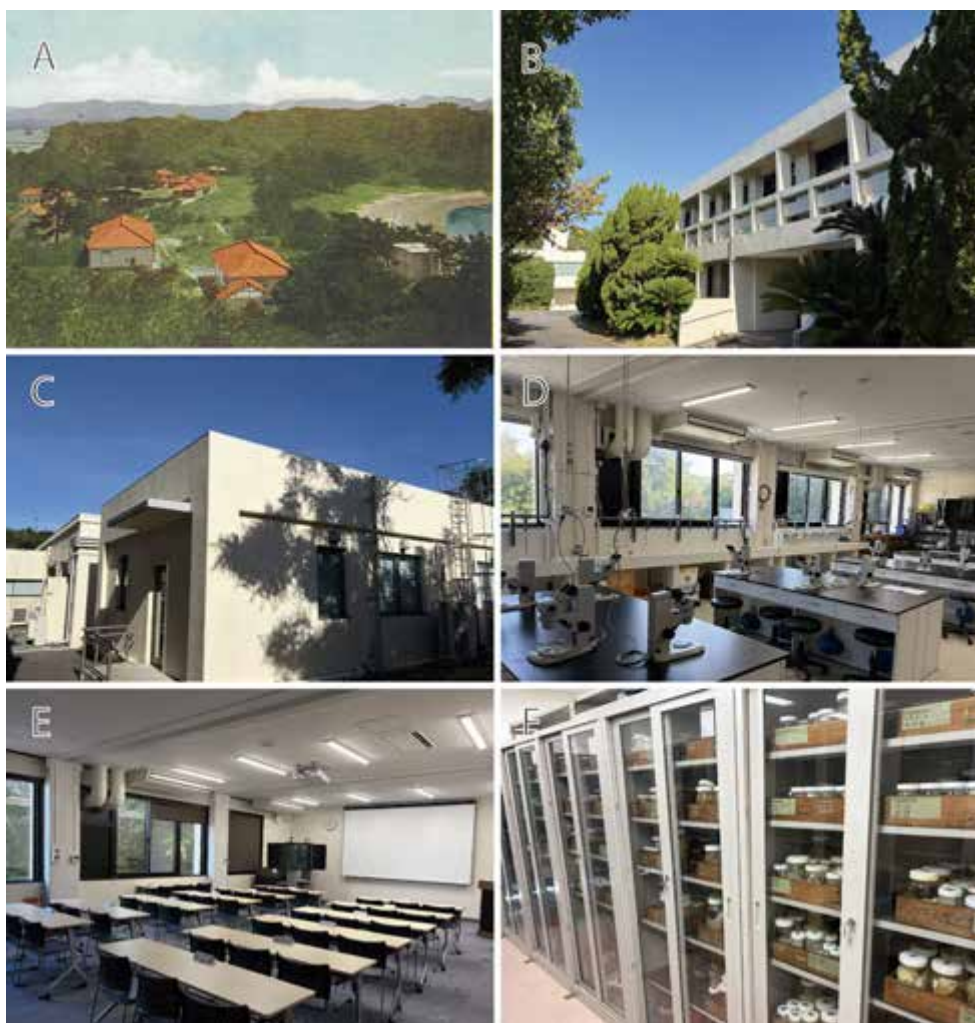


図1 A: 大正時代の「瀬戸臨海研究所」の建物。B: 現在の研究棟。C: 第2研究棟。D: 実習室。E: 講義室。F: 標本室。

館、図書館、宿泊棟、学生寮、職員宿舎が建っています。また、実験所が自然保護を目的として昭和43年（1968年）より管理する島島実験地（島島本島25,981 m²、小丸島548 m²）が田辺湾の南側の中央部にあります。島島本島には分室があります。

実験所は令和2年（2020年）10月から大規模改修を行い、令和3年（2021年）6月に改修を終え、現在の研究棟が完成しました（図1B）。また、同時に急速に技術開発が進んでいる環境DNAの解析に対応するためにP2レベルの実験室を備える第2研究棟を新営しました（図1C）。

研究棟には共同利用のための実習室、講義室、実験室、試料室、外来研究室2室があります（図1D、E）。白浜水族館3Fの標本室（図1F）には研究の基になった生物標本が収蔵されており、新種を記載した際に用いられたタイプ標本の情報は国立科学博物館のサイエンスミュージアムネット（S-Net）で公開されています。

宿泊棟には10室を備え、京都大学内外の学生が臨海実習に参加するために利用します。また、実験所に来訪して研究を行う国内外の研究者の宿泊にも利用されています（図2A）。

研究実習船としてAフレームを備えるヤンチナ（12トン、定員26名）とゾエア（1.3トン、定員12名）があり、実習や研究のための生物採集や海洋観測に利用できます（図2B）。

研究活動

実験所では伝統的に海産無脊椎動物の分類学・系統学・形態学・発生学・生態学・行動学などの自然史（ナチュラリヒスト

リー）分野の研究が行われてきました。現在ではそれらに加えて分子系統学的手法や環境DNAの解析など最新の技術を取り入れた研究も盛んに行われています。実験所は海に近いため採集が容易なこと、海水をふんだんに使えること、飼育設備が充実している上に飼育に詳しい技術職員（飼育スタッフ）が在籍することから飼育実験を行う上で大きなアドバンテージとなっています。

現在、実験所の教員は主に節足動物甲殻類、軟体動物、刺胞動物、環形動物、棘皮動物などの系統分類、生物地理、行動、生態、生活史や生物間の共生関係に関する研究などを行っています。所属する学生も教員の指導の下、様々な無脊椎動物の研究を行っています。研究テーマや内容の詳細は実験所のホームページ（<https://www.seto.kyoto-u.ac.jp/smb/>）をご覧ください。

教育活動

京都大学大学院理学研究科生物科学専攻動物学教室の協力講座（海洋生物学学科）として大学院生の教育を行っています。また、理学部向けの臨海実習、博物館実習、ILASセミナーや一般公開の瀬戸海洋生物学セミナーを実施しています。

実験所は平成23年（2011年）から文部科学省の教育共同利用拠点「黒潮海域における海洋生物の自然史学に関するフィールド教育共同利用拠点」に認定され、3期（1期あたり5年）を終え、現在4期目を実施しているところです。本事業は海洋生物の自然史科学に関わる人材を育成し、高等教育の充実に貢献



図2 A：宿泊棟。B：研究実習船ヤンチナ。C：実習室での分類・同定実習の様子。D：島島分室で島の説明をする様子。E：島島全景。F：島島ビーチクリーンの集合写真。



図3 A: 白浜水族館. B: 入口すぐの大水槽 (左下にロウニンアジ). C: オオカワリギンチャク. D: 企画展「ウニ展」.

することを目的として、実験所が主体となって実施する「公開実習」の提供と他大学の学生が実験所を利用する「共同利用実習」と「共同利用研究」の受け入れを行っています（図2C, D）.

島島のモニタリング調査とビーチクリーン

島島（図2E）では1960年代から長期モニタリング「海岸生物群集一世紀間調査」が行われています。海岸生物の種組成や密度が環境の変化に伴いどのように変わってきたのかを調査しています。モニタリングは「ウニ調査」、「島島南岸調査」、「島島全島調査」の3つの調査からなり、「ウニ調査」は一時中断した年があるものの昭和38年（1963年）から毎年行われており、現在まで続いています。「島島南岸調査」は島島の南西部岩礁帯を16区画に分けて種数と密度を記録するもので昭和44年（1969年）から5年ごとに行われています。「島島全島調査」は全島を43区画に分けて86種の底生生物の最大個体数を記録するもので昭和59年（1984年）に始められました。これらの調査が評価され、島島海岸生物群集一世紀間調査グループは沼田眞賞（2021年：日本自然保護協会）、第22回わかやま環境賞（2023年：和歌山県）、地域環境保全功労者彰（2024年：環境賞）を受賞しました。

令和4年度（2022年度）からは公益財団法人イオン環境財団とフィールド研教育研究センターにより「新しい里山・里海共創プロジェクト」をスタートさせました。その活動の一つとして島島で一般の方々と共に毎年ビーチクリーンを行っています（図2F）.

水族館の活動

白浜水族館（図3A）は年間約11万人が訪れる水族館で実験所に併設しています。日本では数少ない国立大学法人付属の水族館です。昭和4年（1929年）6月1日に昭和天皇の行幸があ

り、翌年に行幸1周年を記念し、観覧施設を加えて水槽室を一般公開したのが水族館の始まりです。白浜周辺に生息する魚類約250種と無脊椎動物約250種の約500種を常設展示しており、なかでも無脊椎動物の展示種数は日本有数を誇ります。入口から入ってすぐの大型水槽ではアジの仲間では世界最大のロウニンアジが出迎えます（図3B）。白浜近くに一大生息地のある蛍光黄色のオオカワリギンチャクも必見です（図3C）。様々なテーマで企画展（図3D）が不定期に行われるほか、解説ツアー、大水槽エサやり、磯採集体験などのイベントを定期的に行っています。

謝辞

本稿の作成にあたり、掲載写真を提供いただいた瀬戸臨海実験所所員の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所（編）（2013）瀬戸臨海実験所創立90周年（1922-2012年）記念文集。107 pp., 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所。
- 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所（編）（2018）概要パンフレット（旧版）。2 pp., 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所。
- 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所（編）（2023）京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所創立100周年記念誌（改訂版）。88 pp., 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所。
- 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所（編）（2026）概要パンフレット。2 pp., 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所。
- 京都大学フィールド科学教育研究センター瀬戸臨海実験所創立100周年記念出版編集委員会（2022）海産無脊椎動物多様性学：100年の歴史とフロンティア。697 pp., 京都大学学術出版会。

財団からのお知らせ

新刊紹介

みんなの知らない花虫図鑑

ーハ放サンゴ・スナギンチャク・ツノサンゴ・ハナギンチャク・ホネナシサンゴ

榎田 優花／喜瀬浩 輝／ジェイムズ・ライマー／古井戸 樹／野中正法（共著）
A5判，2026.07，海文堂出版
本体3,000円＋税



この図鑑は、イソギンチャクやサンゴの仲間（花虫類）のうち、これまであまり注目されてこなかったグループにもスポットライトが当てられている。馴染みのあるグループからユニークなものまで、6目70属を収録している。生態写真に加えて顕微鏡写真、骨片や骨軸棘のSEM画像も適宜添えられており、研究コラムも多数収められている。花虫類の属を網羅しており、同定が難しいこれらの仲間の良い味方となる一冊である。

沖縄のウミウシ

DNA 解析による最新の分類図鑑1089種

今川 郁（著）
A5判，2026.07，
誠文堂新光社
本体5,600円＋税



本書は、DNA 解析を用いて同定・分類を行い、沖縄で見られるウミウシ1089種を収録した図鑑である。著者は沖縄在住のダイビングインストラクターで、ウミウシ中心のガイドを行いながら、22年間にわたりウミウシを観察・撮影してきた。ウミウシの研究者との交流もあり、和名の新称も標本に基づいて提唱されている。掲載種は多岐にわたり、沖縄だけでもこれほどの多様性があることがうかがえる一冊となっている。

観察会報告

親子で楽しむ海の生き物「わくわくウォッチング」

2026年5月30日（土）に、神奈川県横須賀市にある観音崎自然博物館で行いました。今年は晴天に恵まれ、予定どおり開催いたしました。遠方からもお集まりいただき、参加者は36名（高校生以上23名，中学生以下13名）でした。

観察会は、観音崎自然博物館の皆さまに実施していただきました。干潮時間が早かったため、集合後すぐにレクチャーを受けて準備を整え、磯に向かいました。今回は危険なアカクラゲが多く流れ着いていましたが、事前に注意すべき生物をしっかりとご指導いただいたので、皆さん無事に磯での観察を行うことができました。お目当ての生き物を尋ねると、ウミウシと答えてくれるお子さんが多かったのが印象的でした。この観察会では、ウミウシだけでなく、岩の表面にいる生き物や、石をひっくり返して裏に付着している動物など、さまざまな生き物を観察しました。

磯から上がった後、海岸に打ち上げられている貝を拾って戻り、午後には貝調べを行いました。図鑑を使って貝を同定し、ラベルを付けて保管するまでの一連の方法を学びました。観音崎では初めてというタカラガイの仲間も見つかり、盛り上がる場面もありました。

今年も無事に終えることができました。参加者の皆さま、観音崎自然博物館の皆さまに心よりお礼申し上げます。



海岸での説明



磯での観察



貝調べ（説明を受けて、図鑑で同定）

2027年度個別および育成研究助成課題を募集します

この研究助成は、水棲の無脊椎動物に関する独創性ある研究の発掘・育成・促進を目的とし、この分野での知識充実や、自然への理解及び人類福祉への利用を視野に研究助成を継続しています。

特に、フィールドでの調査・研究、マイナーな生物群や分野の研究を積極的に支援しています。また、育成研究助成では、研究者を目指す学生を応援することを目的とし、若手への支援を積極的に行っています。

皆様からの活発なご応募をお待ちしております。

助成の内容

水棲の無脊椎動物（単細胞・昆虫類を除く）の形態・発生・生理・分類・系統・生態・行動などに関するフィールドでの生物学的な調査研究に対して、個別研究助成では1課題につき1年間で上限70万、育成研究助成では博士課程の学生またはその課程を目指す学生に対して、2年間で年間上限100万の助成を行います。

助成金の使途

助成金は研究の遂行に直接必要な物品、調査や研究発表等の旅費や採集補助などの人件費などに使うことができます。

詳細は当財団ホームページにて募集要項をご確認ください。

応募締切

2027年1月7日(木) 17:00 必着

(1) 個別研究助成（10件程度）

【助成期間】2027年4月1日～2028年3月31日

【応募資格】日本に居住する方であれば、特に年令や資格の制限はありません。海外に居住し、日本国籍を有する方も対象となります。

大学や研究所に勤務する研究者等については、若手研究者からの活発な応募を期待します。研究機関等に所属していないため、研究上の便宜の少ない立場の研究者も対象となります。

(2) 育成研究助成（3件程度）

【助成期間】2027年4月1日～2029年3月31日

【応募資格】採択される年度に国内の大学院課程に在籍する学生で、大学院研究科の指導教員、またはこれに準ずる方の推薦を受けられる方。

参考 過去5年間の応募数と採択数

	年度	2022	2023	2024	2025	2026
個別	応募数	50	58	58	67	74
	採択数	10	8	9	10	10
育成	応募数	20	26	34	27	38
	採択数	4	4	4	3	3

応募方法

当財団ホームページ（下記URL参照）から申請書ファイルをダウンロードし、記入要領等をよく確認の上、申請書を作成してください。申請書は下記助成担当へ、応募フォームまたはメール添付にて提出してください（推薦書は郵送可）。

申請書ダウンロード <https://www.rimi.or.jp/josei/>

提出・問い合わせ jyosei@rimi.or.jp (研究助成担当)

編集後記

表紙のウミウシは、キホシウロコウミウシ *Mourgona* sp. (*Cyerce* sp. とする書籍もある) です。この種は囊舌目のチドリミドリガイ上科に属しており、体の地色はやや緑色を帯びた半透明で、体全体に黄色と黒色の斑点が散在しています。学名が確定していない種ですが、これまで紹介したウミウシとはまた違った半透明の特徴に惹かれて選びました。こうした体色や模様は目立ちにくいので、見つけるのは難しそうですね。

今年は台風が多く、日本付近に一度に4つ発生したこともありましたが、当財団でも、共催の観察会が残念ながら中止になるなどの影響を受けました。台風の後や風が強く海が荒れた日の後などには、普段見られない生き物が流されてきて、沿岸で見られることがあります（たとえばカツオノエボシやアオミノウミウシなど）。思いがけない出会いは興味深いことなのですが、最近は大きな災害も起きているので、防災にも気をつけながら過ごしています。