

公益財団法人 水産無脊椎動物研究所

うみうし通信

2024.9
No.
124



ヨセナミウミウシ

奄美大島宇天ビーチ 2024.5 撮影/今本 淳

磯の栗餅？ イソのアワビ？ 琉球列島の珍味，イソアワモチ——水上 伊織

深海で輝くナマコの発光現象とその生態・進化を探る——別所-上原 学

深海調査の裏話——宮崎 淳一

財団からのお知らせ

2025年度個別および育成研究助成課題を募集します

磯の栗餅？ イソのアワビ？

琉球列島の珍味，イソアワモチ

琉球大学理工学研究科 博士3年 水上 伊織 (Mizukami, Iori)

はじめに

海の潮がくるぶし程度までひく大潮の日、磯の上を歩いていると何やら黒くて柔らかいウミウシのような、ナメクジのような生き物を見たことはないだろうか。もしその生き物が、完全に潮がひいて少し湿った岩礁の上で太陽の光を浴びながら、のんびり海藻を食べていたのなら、それはおそらくイソアワモチと呼ばれる生き物である(図1)。今回、筆者の研究対象であるイソアワモチについて、その生態および多様性や、食用利用としての文化について執筆させていただきたい。

イソアワモチの生態

イソアワモチ属 (*Peronia*) は、腹足綱有肺上目収眼目、ドロアワモチ科に属す殻を持たない軟体動物である。イソアワモチはカタツムリ類と近縁であり肺呼吸ながら、満潮の際には完

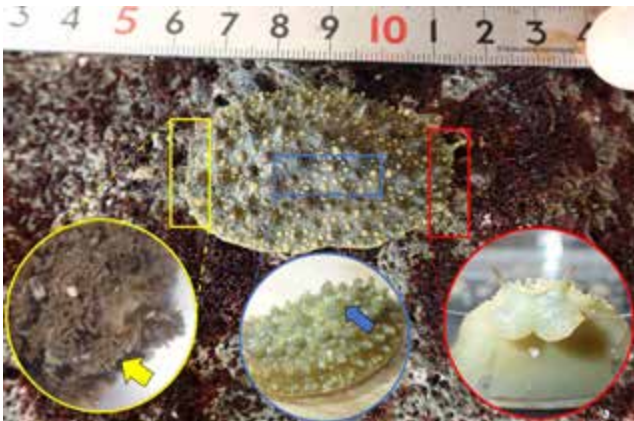


図1 イソアワモチの特徴。(赤)正面の顔・柄眼、(青)背眼(矢印で示した黒い点)、(黄)鰓(枝分かれている器官)。



図2 潮が大きくひいて完全に干出した潮間帯にイソアワモチが多く現れる。(a) 伊平屋島・野甫島、(b) 伊江島・ニヤティヤ洞、(c) 赤崎海岸・与論島、(d) 小野津漁港・喜界島。

全に海の中へと沈んでしまう潮間帯に生息している(図2)。イソアワモチは鰓を体の後方に持っており(図1)、満潮時の海の中でも呼吸することができる不思議な生き物である。

イソアワモチの多様性

イソアワモチは世界中の温帯から熱帯の海に広く生息している。種ごとの外見は酷似しているため、見た目のみの種判別は困難であるが、現在9種のイソアワモチ属が記載されている(Dayratら, 2019)。日本におけるイソアワモチは本州以南の潮間帯にて頻繁に観察することができる普通種であり、昔より様々な地域にて観察報告がなされてきた(馬場, 1958; 西村, 1992; 奥谷, 2000・2017等)。近年では、DNA バーコーディングを用いたイソアワモチ属の多様性の研究が進み始めており、筆者のこれまでの研究で、琉球列島より4種(*Peronia verruculata*, *P. setoensis*, *P. peronii*, *P. okinawensis*)のイソアワモチ属を確認した(Mizukamiら, 2022)(図3)。現在までに記録されている中でも、*P. setoensis*は日本固有種、*P. okinawensis*は琉球列島固有種であり、さらにイソアワモチ属4種が同じ潮間帯に同所的に存在する地域は世界でも琉球列島のみであるなど、琉球列島の潮間帯がイソアワモチ属の多様性に重要な地域であることは間違いないだろう。

イソアワモチの食用利用

イソアワモチは主にインド太平洋に面する沿岸域や島国において、重要なタンパク源であることが知られている(Solankiら, 2017)。琉球列島では干潮時の潮間帯にて、アオサの上にイソアワモチが多く生息し、採集も容易であることから昔から食用とされてきた(久保・黒住, 1995)(図3&4)。沖縄島ではイソアワモチを「ホーミ」と呼ぶなど、イソアワモチが古くから食用資源として地元の人々に親しまれてきたことがわかるが、現在ではほとんど見かけない文化である。さらに、琉球列島にお

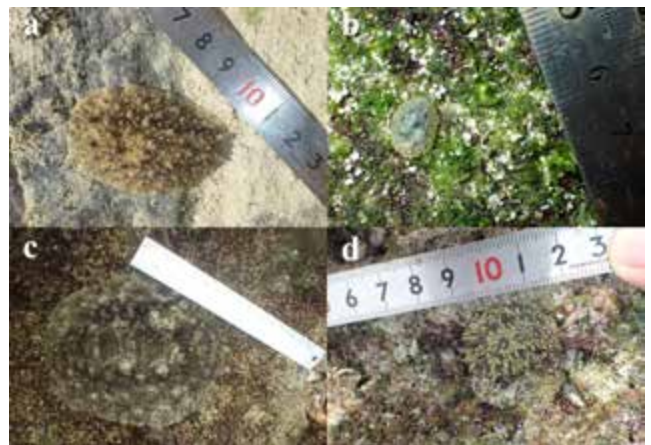


図3 琉球列島に生息するイソアワモチ属4種。(a) *P. verruculata* (赤崎海岸・与論島)、(b) *P. setoensis* (ワンジョビーチ・沖永良部島)、(c) *P. peronii* (湧出・伊江島)、(d) *P. okinawensis* (宇勝・与論島)。

けるイソアワモチ食用文化についての記録は数少ない（政岡・真柄, 2021）。そこで今回は、公益財団法人水産無脊椎動物研究所の研究助成をいただき実施した、沖縄島以外の中琉球における食用イソアワモチ文化の聞き取り調査、および琉球列島の各島で得られたイソアワモチ属の多様性の結果について記したい。

本研究について

今回の調査では琉球列島8島（南より：伊江島、伊平屋島、伊是名島、与論島、沖永良部島、徳之島、奄美大島、喜界島）にて、インタビュー形式による聞き取り調査を行った。聞き取り調査は、事前にインタビューの許可を取り、イソアワモチを知っているか、何と呼ぶか、いつから食べているか、どのような調理方法をするかなど、食用イソアワモチについての基礎的な情報を集め、昔と今で文化がどのように変化したかを調査した。インタビューはイソアワモチを知っている可能性の高い、漁協や魚屋で働く方々や、釣り人を始めとし、島の民宿、居酒屋やレストランで働く方々、博物館学芸員の方々、そして島で出会った地元の方々を対象に行った。

聞き取り調査と同時に、各島におけるイソアワモチ属の多様性の調査のため、大潮の干潮時に磯歩き・標本採集を行った（図5）。潮間帯にてイソアワモチ個体を発見後、定規と共に撮影し、分子系統解析用に腹足の一部を切り取りエタノールに保存した後、大学へと持ち帰った。今回調査を行った8島においてイソアワモチは共同漁業権対象外であることを事前に確認し、奄美大島列島国立公園海域の採集許可（指令大島林水第28-2006-7号）を得て標本採集を行った。



図4 (a) 適切な加熱処理後、冷凍保存され販売されているイソアワモチ（伊是名島）、(b) 解凍されたイソアワモチ（伊平屋島）（非売品）。

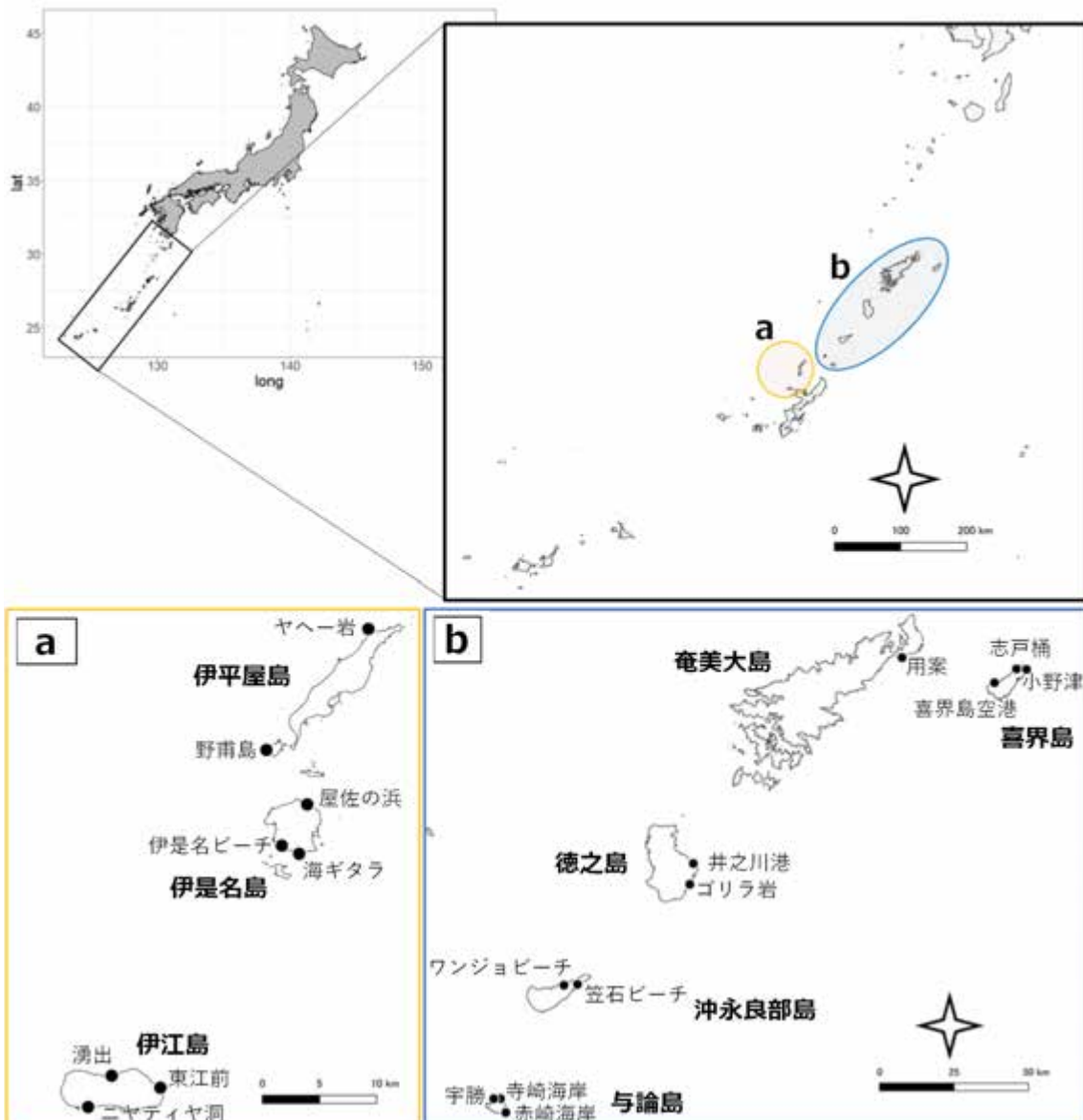


図5 今回調査を行った琉球列島8島，19潮間帯。

表1 各島のイソアワモチの島言葉（しまくとぅば）。

島	島言葉
沖繩島	ホーミ
伊江島	ポーミ
伊平屋島	ホーミ
伊是名島	ホーミ
与論島	ポーミ
沖永良部島	ホーミ
徳之島	ホーム・ホーマ・シーホーヤ
奄美大島	コウム
喜界島	ホーミ

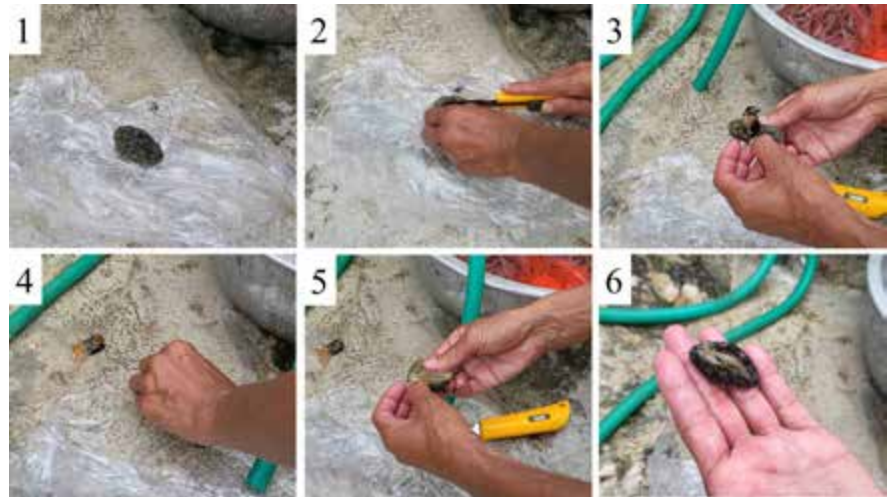


図6 イソアワモチの処理方法。1. 採集後冷凍していたイソアワモチを解凍し、2. 切込みを入れ、3. 内臓を全て取り出す。4. 背面の汚れを岩場などでこすり落とし、5. 綺麗に洗浄したら、6. 煮る準備が完了する。（この処理の順番は人によって前後する。）

琉球列島の伝統的な食用イソアワモチ文化

今回の聞き取り調査では、8島合計135人のご協力をいただき、イソアワモチ食用文化についての情報を集めることができた。始めに、各島におけるイソアワモチの主な島言葉（しまくとぅば）を表1に示す。伊平屋島・伊是名島・沖永良部島・喜界島では沖縄島と同じく「ホーミ（口語ではホーミーに近い発音）」と呼び、伊江島・与論島では、は行に半濁点がつき「ポーミ（ポーミヤ）」と呼ぶ。徳之島では地域により異なる島言葉で知られており、今回の調査では3つの呼び名「ホーム・ホーム・シーホーヤ（シーホーニヤ）」が同数程度上げられた。そして、奄美大島でイソアワモチは、島の北東の地域、笠利・大笠利・竜串の海沿いの集落のみで「コウム」という名前でも知られていた。イソアワモチは各島の島言葉辞典にも記載があり、特に沖永良部島の島言葉辞典には「ホーミス・クレサガリ（ホーミの位下がり）」という諺が残されており、色彩は派手だが臭いため値打ちが下がる、見掛け倒しという意味で使われていたとされる。

現在も地元の人々が食用イソアワモチを知っているかどうかは、年齢層が大きく関連していた。全体を通して、「若い世代を通して知っている島（伊是名島・伊平屋島・奄美大島北東の地域（笠利の集落）」、「主に40～50代以降の人々が知っている島（伊江島・沖永良部島・徳之島）」、「主に60～70代以降の人々が知っている島（与論島・喜界島）」と分けられた。さらに、陸地面積が大きい島（徳之島や奄美大島）では、イソアワモチの認知度は海沿いの集落では高いが、山沿いの集落では低い傾向がみられ、また、20～30代の人々の間では、島や集落に関係なくほとんど知られていないことが多かった。

イソアワモチの収穫時期について、梅雨時期から夏（5月から9月頃）にかけ、潮間帯に生えるアオサが増えると同時にイソアワモチの数が増えるという証言が、どの島でも一番多くあった。特に、湿度の高い晴れの日の干潮が狙い時であるとされている。しかし、場所によっては干潮時であれば年中イソアワモチが見つかるという証言も見受けられた。

採集するイソアワモチ個体はいずれの島でも、「手のひらやスリッパぐらいのサイズの個体」であることが判明した。琉球列島に生息するイソアワモチ4種の内、10 cmを超えるのは*P. peronii*のみであり、潮間帯で見かける姿は確かに、手のひら

を大きく広げたような様子に少し似ている（図3, c）。

採集したイソアワモチの処理方法は個人によって異なるが、一個体ずつ切込みを入れ内臓を全て取り出し、おろし金や洗濯ネット、岩場などを用いて粘液と背面の汚れをこすり落としきれいに洗浄する（図6）。その後、圧力鍋または普通の鍋に、水を入れずにイソアワモチを入れ、イソアワモチより出てきた水分で複数回に分けて柔らかくなるまで煮込む。そのため大きいイソアワモチの個体は、手作業で処理を行いやすく、加熱して大きさが元の半分程度まで縮んでしまっても、身が多く残るため、どの島でも好まれているとされる。小さい個体は処理が大変だが、柔らかく一口で食べやすいとの意見もあった。丁寧に処理されたイソアワモチは冷凍保存で長期保存ができ、解凍しても柔らかさが残るため、イソアワモチを一度の採集で大量にとる家庭が多い。

最も一般的に知られているイソアワモチの調理方法は、島味噌や、酢味噌和えであった（図7）。イソアワモチ料理はお酒と共に食べる珍味という声が多く、居酒屋ではイソアワモチが多く獲れる時期のみの提供となっている。次点で、バターや砂糖醤油炒めがあげられ、ピーマン、ニラやニガウリなど苦いものと一緒に和えるのが人気である。

しかし、イソアワモチを食べたことがある、または調理したことがある人たちの中でも、イソアワモチを自分で採集したことがある人たちの数はその3分の1程度であり、実際に採集を行っている人は数少ないことが明らかになった。戦後から昭和40・50年代頃と比べ、現在では島での物資の流通が盛んになり自給自足を行う必要がない上に、潮間帯における海産資源保護のための漁協の取り締まりも強化されたため、昔と比べ潮干狩り（イザリ）を行わなくなったという人が多く見受けられた。



図7 イソアワモチの酢味噌和え。(a) 沖永良部島・居酒屋“草”, (b) 徳之島・天城民家, (c) 伊是名島・民宿“美島”。

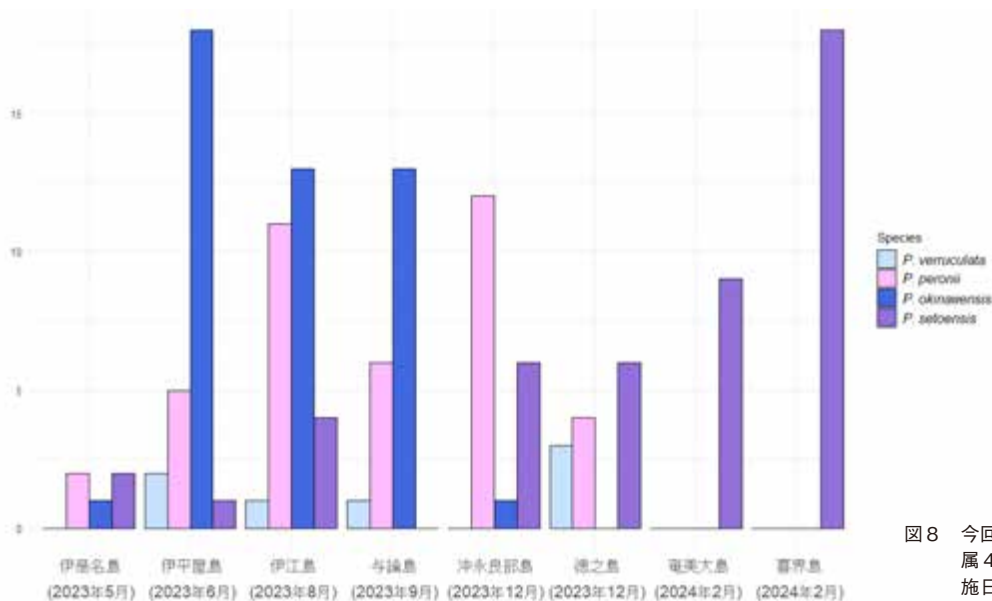


図8 今回の調査における各島のイソアワモチ属4種の標本採集数。下の日付は調査実施日を記している。

さらに、居酒屋へイソアワモチの仕入れを行う人々の高齢化も進んでいるため、イザリへ行く人がこのままいなくなればイソアワモチがメニューからなくなるとの声もあった。

次に、多様性調査の結果を記す。今回の調査では19の潮間帯よりイソアワモチ切片159標本を採集し、DNA バーコーディングを用いることにより145標本の種同定に成功した。

筆者が2020年から2022年にかけて行った研究 (Mizukamiら, 2022) および、2023年から2024年に行った研究 (Mizukamiら, in review) では、沖縄島の潮間帯における優占種は *P. verruculata* であることが判明している。しかし、今回の調査を行った琉球列島離島8島では *P. verruculata* の採集数は極端に少ない、または採集数0という結果となった(図8)。8島中3島(伊平屋島・伊江島・与論島)では *P. okinawensis* が一番多く採集され、沖永良部島では *P. peronii* が一番多く採集された。

P. setoensis の採集数は5月から9月にかけて調査を行った4島(伊江島、伊平屋島、伊是名島、与論島)と比べ、12月から2月にかけて調査を行った4島(沖永良部島・徳之島・奄美大島・喜界島)にて大幅に増加し、特に2月に調査した奄美大島・喜界島では *P. setoensis* 以外の3種がいないという結果になった。*P. setoensis* は琉球列島に年中生息している種であることが判明したが、イソアワモチ属の中でも最小の種であり、食用イソアワモチの調理には向かないとされる(図3, b)。地元の人々が主に採集する手のひらサイズのイソアワモチ (*P. peronii*) は5月から12月にかけて観察され、水温が下がる1月以降の冬場に数が減っていたため、イソアワモチ漁業が主に夏場に行われる結果と一致している。

最後に

今回の調査から、琉球列島において食用イソアワモチ文化の知名度が、筆者の予想以上に高かったことが判明した。琉球列島には、特に海や海洋生物と関連のある独特な歴史や文化が多く根付いているが、それらは島民の高齢化や島の沿岸開発と共に年々失われつつある。この記事を通して、潮間帯にのんびりと生息しているイソアワモチおよび、琉球列島のユニークな文化に少しでも興味を持っていただけたら大変幸いである。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、Chloé Julie Lois Fourreau氏、

Guillermo Mironenko Castelló氏、屋富祖七海氏に離島調査およびデータ解析のご協力をいただきました。感謝申し上げます。また、指導教員であるJames Davis Reimer先生に研究の助言および国立公園海域内における採集許可取得のご協力をいただきました。ここに感謝申し上げます。そして、聞き取り調査に快く回答していただいた、伊江島、伊是名島、伊平屋島、与論島、沖永良部島、徳之島、奄美大島、喜界島の皆さまの知識・ご協力にこの場をお借りして大変深く感謝申し上げます。本研究は、公益財団法人水産無脊椎研究所2023年度個別研究助成により遂行されました。ここに深く感謝申し上げます。今回の寄稿を通して、イソアワモチの生態および、琉球列島独特の文化を紹介する機会をいただきましたこと、関係者の皆さまに感謝申し上げます。

参考文献

- 馬場菊太郎 (1958) 日本の海辺生物生態写真集。北隆館。東京。
- Dayrat B, Goulding TC, Apte D, Aslam S, Bourke A, Comendador J, Khalil M, Ngo XQ, Tan SK, Tan SH. (2020) Systematic revision of the genus *Peronia* Fleming, 1822 (Gastropoda, Euthyneura, Pulmonata, Onchidiidae). *ZooKeys* 972(3): 1-224.
- 久保弘文、黒住耐二 (1995) 沖縄の海の貝・陸の貝。沖縄出版。沖縄。
- 政岡伸洋、真柄侑 (2021) 沖永良部島・内城の民俗―鹿児島県大島郡和泊町内城集落の暮らしの諸相―。東北学院大学論集。歴史と文化。64: 1-219.
- Mizukami I, Fourreau CJL, Matsuo S, Reimer JD. (2022) Diversity and distribution of air-breathing sea slug genus *Peronia* Fleming, 1822 (Gastropoda: Onchidiidae) in southern Japanese waters. *PeerJ* 10: e13720.
- Mizukami I, Fourreau CJL, Mironenko GC, Yafuso N, Reimer JD. (in review) Species diversity of genera *Peronia*, *Wallaconchis* and *Onchidella* (Gastropoda: Onchidiidae) in intertidal coral reef environments of the Ryukyu Islands.
- 西村三郎 (編) (1992) 原色検索日本海岸動物図鑑 I。保育社。大阪。
- 奥谷喬司 (2000) 日本近海産貝類図鑑。東海大学出版会。神奈川。
- 奥谷喬司 (2007) 日本近海産貝類図鑑 第2版。東海大学出版会。神奈川。
- Solanki D, Kanejiya J, Gohil B. (2017) Studies on ecological status, nutritive values and exploitation of *Peronia verruculata*, Cuvier, 1830 (Gastropoda: Onchidiidae) from Gulf of Khambhat, India. *J. Zool. Stud.* 4(3): 24-28.

深海で輝くナマコの発光現象と その生態・進化を探る

Exploring the Bioluminescence, Ecology, and Evolution of Glow-in-the-Deep Sea Cucumbers

東北大学学際科学フロンティア研究所 兼 生命科学研究所 別所-上原 学 (Bessho-Uehara, Manabu)

深海に潜む光るナマコとは？

生物発光とは、生体内で起こる化学反応により光が生み出される現象である。ウミホタルやホタルイカ、ハナデンシャなど海産無脊椎動物にも生物発光を行う生物、すなわち発光生物は多数知られている。読者の皆さんにとって発光生物はあまり馴染みがない存在だと思われるが、砂浜や潮溜りなど沿岸の環境においては発光生物を見つけるのは難しく、個体頻度でいえば1%程度である。しかし、海の大部分を占める200 m以深の海底では状況が大きく変わる。水深4000 mまでに生息するマクロ生物（肉眼で確認できるサイズの生物）のおよそ3割が発光生物であることが、近年の海底探査機による調査で明らかとなってきた (Martini et al. 2019)。発光する底生生物のうち最も高い頻度で観察されるのが棘皮動物と刺胞動物であり、棘皮動物のうちでもナマコ類の観察頻度は全体の11%を占める。意外と思われるかもしれないが、これらナマコ類には発光種が多く、場所によっては優先的な種であることもある。例えば、上述の調査では水深1350 mでは98%のナマコが発光種であった。もはや、光るナマコを知らずして海は語れないと言っても過言ではないであろう。しかしながら、ナマコ類における生物発光についてはほとんど研究が進んでいない。本稿では、最近の著者の研究成果も併せてナマコ類の発光種の多様性と進化について紹介したい。

発光ナマコの多様性

ナマコの生物発光について最初に観察されたのは19世紀後半に行われた深海調査の際で、板足目の一種 *Elpidia glacialis* の疣足（いぼあし）が発光したことが観察されている。その後、海洋生物学研究の大家である Peter Herring (1974) によって、50年前に9種の生きたナマコ類で報告された。底引き網によって捕獲されたナマコを機械的または塩化カリウム水溶液など用いて化学的に刺激したところ、青～青緑色の発光が体壁、特に疣足の先で強く発光が観察された。その後、同じく Herring によって、ナマコ類において発光種が30種報告された (Herring 1995)。

1992年には水中探査技術の進展により、それまでの底引網漁ではゼラチン質の体が崩れてしまうため生体観察が困難であったユメナマコが見つかり、本種の発光が報告された (Robison 1992)。ユメナマコは、透明な桃色をしており、泥が詰まったねじれた腸が透けて見えるとてもナマコとは思えないような見た目をしている。海底から数メートル上を浮遊している姿が度々見つかっており、海底の泥を食べ、次の餌場に移動する際に海底面から数メートル浮き上がり、泳いで次の餌場に移動する生態をもつ。ユメナマコは体表に無数の微小な発光顆粒をもち、刺激に応答して全身を青く発光させる（最大波長=474 nm）。強い機械刺激（ガラス棒で水槽をかき回すなど）によって体表は剥がれてしまうが、剥がれた破片は十数秒明るく光り、その後数分で消えていく。捕食者に対する防御応答として発光を利用していると考えられているが、観察・実験的な証拠はな

い。ユメナマコの発光に関する報告以降、ナマコの生物発光に関して目立った進展は少なかった。ちなみに、これまで見つかった発光するナマコは全て深海に生息するものである。

最近、オーストラリア近海の深海調査により、新たに4目12種の発光種が見つかった。これまで発光種が報告されていなかった隠足目からシリプトイモナマコ *Molpadia musculus* が発光種として新たに見出されたことは、知られざる発光ナマコの多様性の奥深さを示唆しているのではないだろうか。大別すると、ナマコ綱では板足目 *Elasipodida*, *Perciculida*, 隠足目 *Molpadidae*, *Synallactidae*, *Holothuroidea* の5つの目は発光種を含むが、無足目 *Apodida* と樹手目 *Dendrochirotida* からは発光種は報告されていない (図1)。Herring らの報告から分類学的な整理が行われ当時の学名の変更などを整理すると、現在は発光ナマコは5目9科26属42種となる (Bessho-Uehara et al. 2024)。

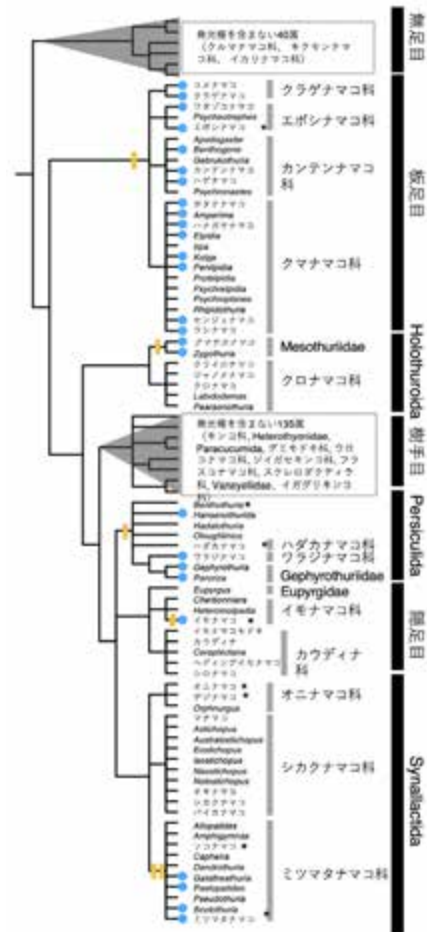


図1 発光するナマコの分類学的分布
ナマコ類における全属の系統関係は、WoRMS (2023年12月参照) の有効な分類と Miller et al. 2017 によって報告された分子系統に基づいて推測した。135属からなる無足目と樹手目の系統樹の枝をまとめている。発光種を含む属は青色で示されている。アスタリスクは、発光試験をしたが発光が観察されなかった種を含む属を示す (Bessho-Uehara et al. 2024より改変)。

ナマコはどのように光るのか

発光生物の自然な発光の様子を観察するのは、実はかなり難しい。特に深海に生息するナマコの場合は殊更である。これまでの多くの研究では、底引網などによって捕獲されたものが観察されている。つまり、石や他の硬い生き物と一緒に網に入ったまま、深海数千メートルの距離を数十分から数時間かけて船上に引き上げられる。この時の環境の劇的な変化（例えば水深1000 mならば水圧101気圧、水温4度以下）や、混獲されたものとの摩擦ストレスに耐えかねて生き延びたナマコは、船上の実験室でさらに突つかれたり、真水や飽和食塩水、塩化カリウム水溶液などに浸されたりして発光の試験に供される。つまり、最悪なコンディションで発光能力を試されているのである。そのような状態でも、全身の発光細胞を強制的に刺激することができれば、発光細胞がどこに分布するか、発光は何色かなどの重要な情報は得られる。発光が観察できなかった場合でも、上記のようなサンプリングの過程のストレスが原因である場合や、発光行動を誘導する条件が見つからない可能性を考えると、非発光種と決めつけることはできない。そういうわけで、自然下においてどのようにナマコが発光しているのか、その様子を知ることはこれまで困難であった。

しかし、現在では高感度カメラを遠隔操作探査機（Remotely Operated Vehicle, ROV）に搭載することで、生物発光を深海で直接観察することが可能になった。例えば、ハゲナマコ属の一種 *Pannychia* sp. は、水深547 mにおいてROVのロボットアームで刺激すると、ドラマチックな生物発光を示す（図2A）。オーロラが全身を巡るように体表のいくつかの点から青い光の波が発生し、約90 mm/sの速度で全身に広がる様子が観察された（Herring 1995）。ちなみに、このような波状の生物発光の伝播は、八放サンゴ類などいくつかの刺胞動物で知られている（Bessho-Uehara et al. 2020a）。特に、八放サンゴのウミシイタケでは、コロニー神経網システムと呼ばれる神経系がカテコールアミンという神経伝達物質を介して生物発光の波を制御しており、複雑な発光パターンを生み出す（Anctil 1987）。しかし、この生物発光の波を制御する生理学的メカニズムは完全には解明されていない。波状に広がる発光は、警報装置 *burglar alarm* としての生態学的な役割があると筆者は考えている。つまり、捕食者がナマコを捕食しようとした刺激にตอบสนองして発光することで、より高次の捕食者に知らせて呼び寄せることで、直接の捕食者を退治してもらおうという役割である。カムリクラゲや八放サンゴ類では、ハゲナマコと同様な波状の発光を示し、これが警報装置としての役割を持つと考えられている（Herring and Widder 2004）。

発光ナマコがどのような化学メカニズムによって発光するかについてはほとんどわかっていない。ホタルを初め多くの生物発光の分子メカニズムは、生化学反応であり、それぞれの物質はルシフェリン（発光基質）とルシフェラーゼ（発光酵素）と呼ばれている。オワンクラゲなど、一部の生物はその複合体の

ようなものを利用しており、特別にフォトプロテインと呼ばれている。これらの物質は、近縁種、つまり発光の進化的起源を共有している生物では共通しているが、そうでない場合は異なる場合が多い。また、一部の生物は餌からルシフェリンやルシフェラーゼを獲得し利用するものもある（Bessho-Uehara et al. 2020b）。その他の棘皮動物では、クモヒトデ綱の一部とウミシダ綱の一部でセレンテラジンというルシフェリンを用いることがわかっているが、ナマコにおいてセレンテラジンが発光に関与するとの報告はない。ナマコにおいては、上述の Herring によって *Kolga hyalina*, *Peniagone thieli*, *Laetmogone violacea* の3種で調べられたが、試験管内で発光反応を再現することができなかった。つまり、ナマコが発光については単純ではなさそうということ以外何もわかっていないことになる。

ナマコ類における生物発光の進化

生物発光は、バクテリアや原生動物から脊椎動物に至るまで、多くの分類群で見られる現象である。この発光は、様々な化学的および遺伝的メカニズムによって生み出されるため、進化の過程で何度も独立して出現したことが示唆されている。最近のレビューによれば、生命の系統樹全体で少なくとも94回もの独立した生物発光の起源が存在すると推定されている（Lau and Oakley 2021）。

ナマコ綱においては、発光能力の有無が系統的に調べられたことはなく、その進化についてはほとんどわかっていなかった。近年、大規模な分子系統解析により、ナマコ綱の分類系統関係の理解が大きく進展した（Miller et al. 2017）。これにより生物発光の進化を紐解くことが可能になった。そこで著者らは、分子系統データを用いて祖先形質推定法による解析を行なった。その結果、ナマコ綱では生物発光能力は独立に6回進化したことが推定された（図3のオレンジの四角）。板足目、Mesothuriidae、Paelopatides のそれぞれの共通祖先で、独立に生物発光能力を獲得した可能性が高い。また、ワラジナマコ科 Molpadiodermidae と Gephyrothuriidae の共通祖先も発光していた可能性がある。発光形質の有無は生息深度とよく相関しており、発光する種は全て深海生の種である（図3Bの緑色の箱）。

本解析では、発光が報告されていない種を非発光種として扱ったため（生物発光をもたないという報告はほとんどない）、祖先の発光形質の推定は過小評価されている可能性がある。したがって、今回の解析結果は今後の発光ナマコの探索の参考になる程度であり、これが最終的な答えではない。例えば、板足目の共通祖先が発光能力をもっていたと考えられるので、その子孫は発光能力を維持している可能性がある。したがって、板足目 *Rhipidothuria racovitzai* は非発光種と扱われているが、その祖先状態と生息分布が深海であることを考慮すると発光する可能性があるが、これはまだ確認されていない。同じ論理が他のグループにも適用できるなら、板足目、Perciculida、Synallactidae の多くの属・種が発光する可能性があり、その発光能力は調査されるべきである。これらのグループが全て発光

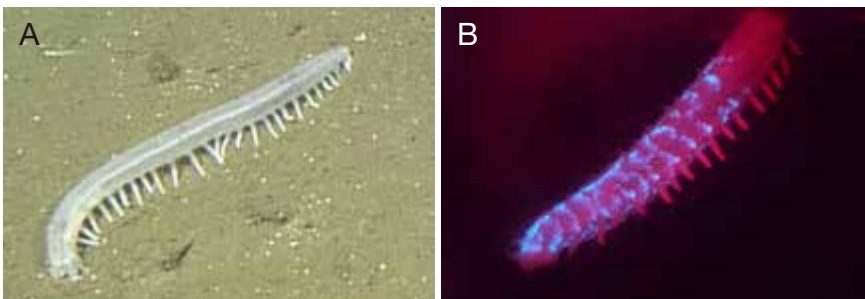


図2 ハゲナマコ属の一種の深海での発光の様子。ROVにより太平洋カリフォルニア湾水深547 mで撮影されたハゲナマコ属の一種(A)。ロボットアームによって掴まれた刺激により発光している。体表のいくつかの点を起点とし、青い発光の波が全身を駆け巡る(B)。写真提供：Steven Haddock / モントレー湾水族館研究所 (MBARI)。

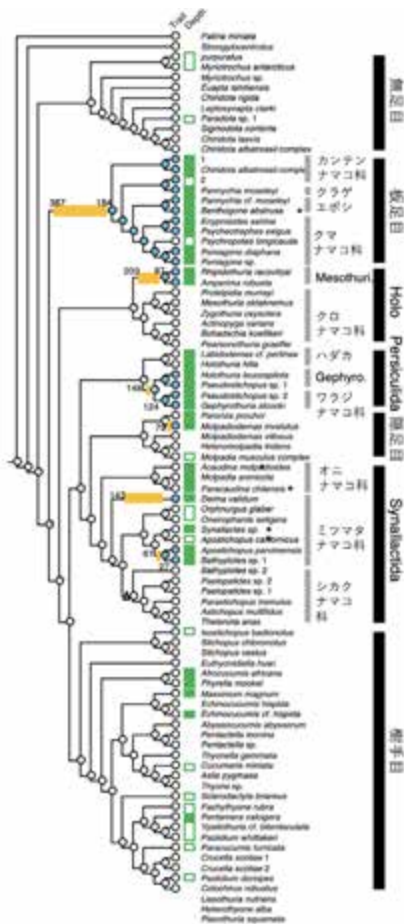


図3 ナマコ類における生物発光の祖先形質推定
 生物発光形質は Miller et al. 2017 で発表された分子系統樹を用いて祖先形質推定を行った。系統樹の枝先の円が青いものは、発光種である。オレンジ色のバーは、発光能力獲得の進化的起源を示している。分子時計と6つの化石記録を用いた較正によって、推定された分岐時期(数百万年前)が注目すべきノードに示されている。種名の左に示した緑の四角は生息深度が200-1000 m (塗りつぶしなし)と、1000 m 以上 (塗りつぶしあり)を示す。アスタリスクは、発光試験をしたが発光が観察されなかった種を含む属を示している。(Bessho-Uehara et al. 2024より改変)

するならば、ナマコ綱における発光種は200種を超える。既知の発光種が42種であることを考慮すると、ナマコ類における生物発光研究は大きな余白を残している。

祖先形質推定法による解析は、祖先のナマコ類が生物発光能力を獲得した時期も推定することが可能である。板足目、Mesothuriidae, Perciculida, 隠足目のそれぞれのグループにおける発光種の共通祖先は、それぞれ1.8-3.9億年前、9700万-2.0億年前、1.2-1.5億年前、7900万年前から現在に生物発光を進化させたと考えられる。Synallactida では2つの独立な起源があると推定され、*Synallactes* sp. を含む系統では1.4億年前から現在に、*Paelopatides* sp. を含む系統では2700-6100万年前に生物発光を進化させたと考えられる。これらの推測は、系統樹における不完全な分類群のサンプリングや、生物発光メカニズムの情報不足のため、今後の研究によって変動する可能性はある。逆に、光るナマコはどれも同じだと一括りにすることなく、これら6つの系統で生理学、組織学、化学などにも違いがあると考えて研究を進めることが重要である。

ナマコ綱の中では、板足目が最も発光の起源が古いと考えられ、遅くとも白亜紀には発光能力をもっていたと考えられる。したがって、ナマコ類は比較的長い生物発光の歴史をもっており、深海底環境での光の適応的側面を多様に発展させた可能性がある。例えば、カニの幼体やウロコムシ(環形動物)の一種

が発光ナマコにくっついて生活している例が観察されている。これらの生物の共生と発光の具体的な役割は不明であるが、生物発光を用いた異種間コミュニケーションは、深海という環境で最も有効な手段の1つだと考えられる。

最後に、本稿ではナマコ類における生物発光研究の現状を紹介した。生態学的な重要性の割に、どの分野においてもほとんど研究が進んでいないことがわかりいただけたと思う。今後、ナマコ類の発光研究を多分野で推し進めることは急務である。近年注目されている深海開発では掘削により堆積物が巻き上げられ、微小な砂や泥が年単位で浮遊し、光環境が汚染されてしまう。視界が塞がれてしまった深海底では、数億年間続いてきた発光コミュニケーションが阻害されてしまい、その影響はナマコだけでなくその発光を利用する多様な種に及ぶことが想像される。彼らが地球から姿を消す前に、ナマコの生物発光を理解し、深海底生態系を守るための道筋が照らされることを願いたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、深海のナマコ類の発光観察に協力いただいた Steven Haddock 博士(モンレー湾水族館研究所、米国)、Jerome Mallefet 博士(ルーヴァン・カトリック大学・ベルギー王国)に感謝申し上げます。本稿で扱った研究は、JST ACT-X 事業(JPMJAX211F)、創発的研究支援事業(JPMJFR214D)、David and Lucile Packard Foundation、およびオーストラリア政府による National Environmental Science Program (NESP) の Marine Biodiversity Hub の支援を受けたものである。

引用文献

Ancil, M. (1987) Neural control mechanisms in bioluminescence. In M. A. Ali (Ed.), *Nervous systems in invertebrates* (pp. 573-602). Plenum Press.

Bessho-Uehara, M., Francis, W. R., & Haddock, S. H. D. (2020a) Biochemical characterization of diverse deep-sea anthozoan bioluminescence systems. *Marine Biology*, 167(8), 114.

Bessho-Uehara, M., Yamamoto, N., Shigenobu, S., Mori, H., Kuwata, K., & Oba, Y. (2020b) Kleptoprotein bioluminescence: *Paraprriacanthus* !sh obtain luciferase from ostracod prey. *Science Advances*, 6(2), eaax4942.

Bessho-Uehara, M., Mallefet, J., & Haddock, S. H. (2024) Glowing sea cucumbers: Bioluminescence in the Holothuroidea. In *The world of Sea cucumbers* (pp. 361-375). Academic Press.

Herring, P. J. (1974) New observations on the bioluminescence of echinoderms. *Journal of Zoology*, 172(3), 401-418.

Herring, P. J. (1995) Bioluminescent echinoderms: Unity of function in diversity of expression. In R. H. Emson, A. B. Smith, & A. C. Campbell (Eds.), *Echinoderm research* (pp. 9-17). Balkema.

Herring, P. J., & Widder, E. A. (2004) Bioluminescence of deep-sea coronate medusae (Cnidaria: Scyphozoa). *Marine Biology*, 146, 39-51.

Lau, E. S., & Oakley, T. H. (2021) Multi-level convergence of complex traits and the evolution of bioluminescence. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 96(2), 673-691.

Martini, S., Kuhn, L., Mallefet, J., & Haddock, S. H. D. (2019) Distribution and quantification of bioluminescence as an ecological trait in the deep sea benthos. *Scientific Reports*, 9(1), 14654.

Miller, A. K., Kerr, A. M., Paulay, G., Reich, M., Wilson, N. G., Carvajal, J. I., & Rouse, G. W. (2017) Molecular phylogeny of extant Holothuroidea (Echinodermata). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 111, 110-131.

Robison, B. H. (1992) Bioluminescence in the benthopelagic holothurian *Enypniastes eximia*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 72(2), 463-472.

深海調査の裏話

山梨大学名誉教授 宮崎 淳一 (Miyazaki, Junichi)

深海には光が届かないため光合成が行われず、餌資源が少ないために深海では一般的に生物の生息密度は小さい。しかし、深海の湧水域や熱水域では、光合成のかわりに、海底から湧き出る水に含まれる硫化水素やメタンなどを利用して有機物を生成する細菌の化学合成によって、餌資源がもたらされ高密度の生物がみられる。鯨遺骸や沈木でも硫化水素が発生するので、ここには化学合成生物群集がみられる。鯨や木はもともと光合成生物群集であるが、死んでから化学合成生物群集も養うので、光合成生物群集と化学合成生物群集を結ぶ重要な場である。生物が浅海から深海に進出するためには様々な障壁を克服しなければならないが、化学合成生物群集を構成する生物は化学合成細菌と共生することによって滋養を得て深海に適応した。栄養摂取方法とともに深海の高水圧や低温などの障壁を一気に克服することは困難と思われ、おそらく生物は徐々に深海へ適応できるようになったのだろう。鯨や木は死んでランダムに沈むので、浅海と深海とを繋ぐ中継地点となるだろうし、光合成生物群集の生物と化学合成細菌との出会いの場でもありうるだろう。鯨遺骸や沈木を海底での置石にたとえて、生物が浅海から深海へ鯨遺骸や沈木を中継して徐々に深海に進出したと考える進化的ステッピングストーン仮説が提唱された(図1)。

我々はこの説を証明するために鳥島沖の約4000 mの海底に沈んだ鯨遺骸を2005年に調査することになった。このニタリクジラの鯨骨は日本近海で自然死して深海で発見された唯一のもので、地球科学的な調査の際に偶然発見された。我々に許されたのは「しんかい6500」によるただ1回の潜航で、東大の研究者が地震計を回収するための航海のついでで実現した。それでも準備を重ね意気揚々と母船の「よこすか」に乗船して航海が始まった。航海に先立ってガイダンスがある、船から(特に夜に)落ちたら諦めて下さいとか、潜水艇が上昇できなくなったら酸素が十数時間しかもたないので諦めて下さいとか。しかし、私が気になったのは全く別のことであった。潜航するにあたって最も気掛かりだったのは何か?と小学生に質問すると、すぐにうんちと答えてくれる。普通は命の危険が伴うからと答

えてくれそうなものだが、小学生はたいしたものだ。実は調査のための潜水艇に事故が起こって人が死亡したことを聞いたことがなかったので、私は全く心配していなかった。それよりも、3人しか乗れない潜水艇の狭い空間で、小用はともかく(交通渋滞の際使用するカップ状のものが潜水艇に積んである)、大は非常に困る。なんとかまよおさないように潜航の数日前から食べる量に注意して体調を整えた(ちなみに船上ではメインディッシュに肉と魚の両方が出る、どちらを好むかいちいち調べる時間を節約するためであろうが、いくらもったいないと思ってもとても両方をたいらげることはできない)。しかし、いったん着底して生物を見た瞬間、うれしすぎてそのような危機はいっさい吹き飛んでしまう(図2)。

いよいよ我々の潜航予定の前日、船長と潜水艇の最高責任者である司令に呼び出された。何か嫌な予感がした。二人とも暗い顔をして目を合わせてくれない。なんと!!台風の接近を回避しなければならず、明日の我々のたった1回の潜航はキャンセルと伝えられた。膝を落として落胆すべきところだったが、私は諦めきれずむしろ平然としていた。ところが、悪天なのに青天の霹靂で次の日に潜航できることになった。台風が逃避しようとしていた方向に進路を変え、むしろ逃げない方が安全となったからだ。常々自分には運がないと思っていたが、なんとこの悪運の強さ。しかしまだ不安はあった。この鯨骨は1992年に発見されてから既に十数年経過している。もしかしたら鯨骨が朽ちてなくなっているかもしれない、堆積物に覆われて見つからないかもしれない。海洋研究開発機構の藤原義弘さんを中心に行われた、座礁したマッコウクジラを鹿児島湾沖約250 mの海底に設置した実験では、5年ほどの間に鯨骨はかなり朽ちてしまい、堆積物に覆われてしまった(ちなみに鯨遺骸の軟体部はいろいろな生物がよってたかって短い時間で消費し、鯨骨だけが残る)。潜航して海底面に近付いたら、鯨骨はすぐに見つかり、しかもいろいろな生物がうごめいているのもわかった。実は予定した位置より少しずれてしまっていたが、1992年当時のGPSデータの精度が悪かったためらしく、間違ってもむしろ

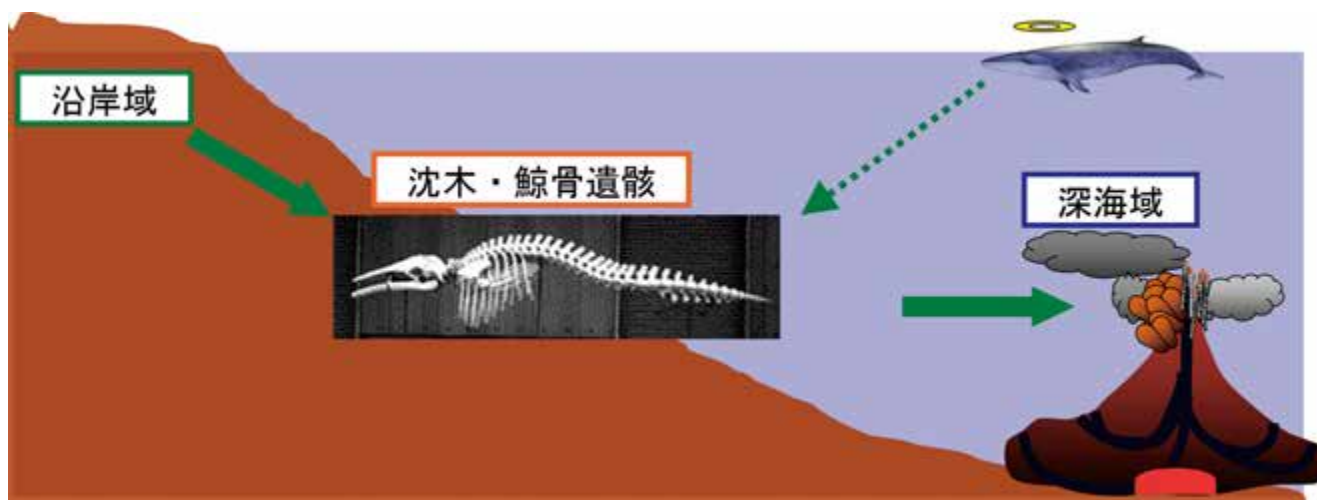


図1 ステッピングストーン仮説 鯨遺骸や沈木を中継して生物は浅海から深海へ進出

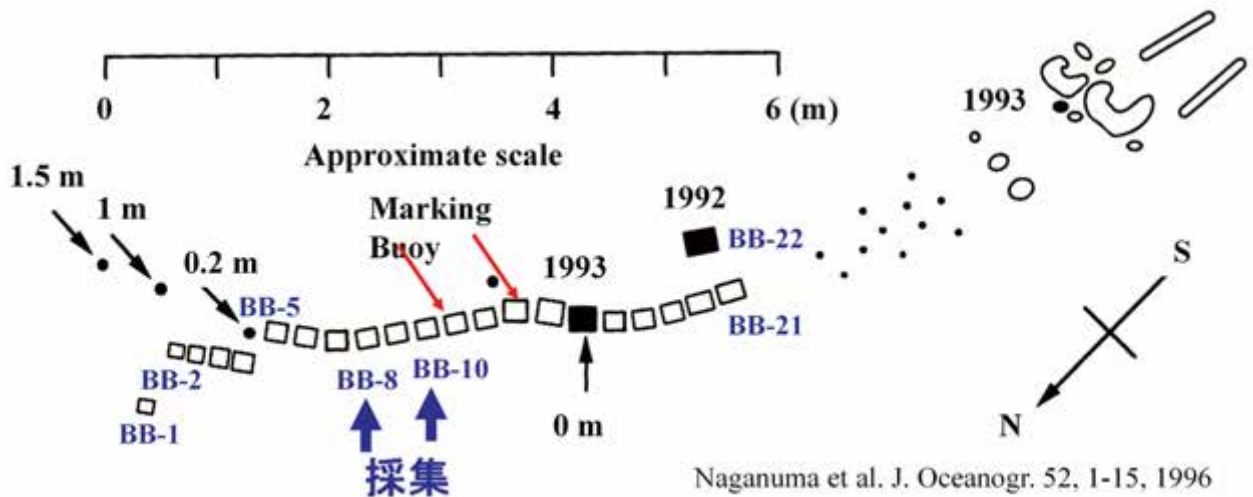
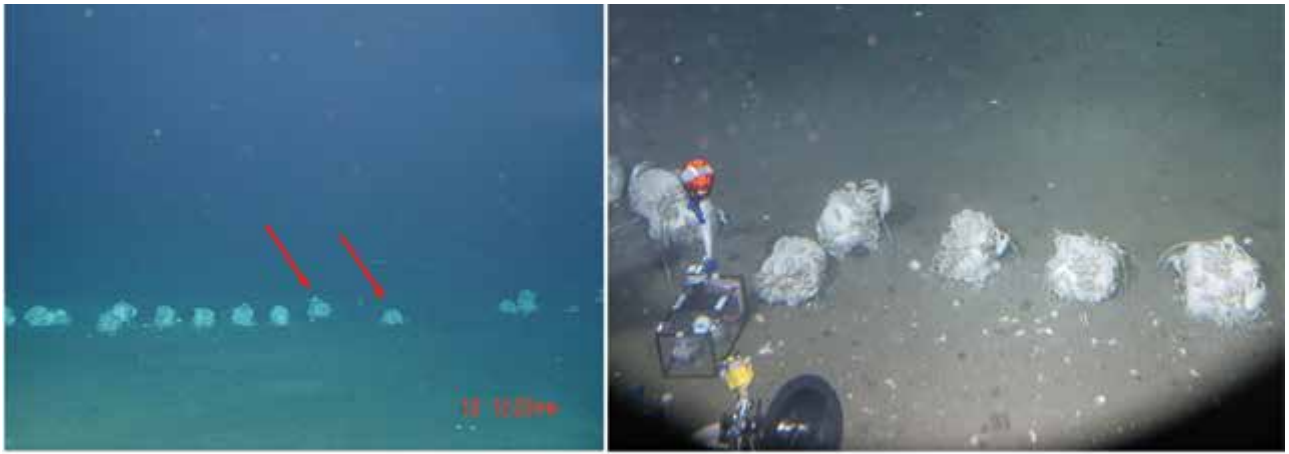


図2 鳥島沖の鯨遺骸 左上；2005年に調査した鯨骨，右上；鯨骨の拡大（骨に様々な生物がついている），下；1996年に報告された鯨骨（1992年に発見，赤の矢印は左上の2005年の調査で見つかった骨が同じ位置にあることを示す）

鯨骨に近い位置に潜航したのだった。これも悪運なのか。予定通りの作業を終えたが、やはり1回の潜航では理想的なサンプリングはできなかった。バイトトラップもやってみたが、すぐ近くで他の作業をしていたので、生物がトラップに入ってくれるわけもなかった。それでも、その後に奥谷喬司先生との共著で新種となったゲイコツマユイガイなどを採集することができた。潜航が終わった後、船長から呼び出された。実は船長は十数年前に発見された鯨遺骸など見つかるわけがない、しかも生物を採集しようなどとはなんとむしのいい研究者だと思っていたようだ。しかし、予想外の成功に、むしろ私がやっていることは面白いと褒めてくれた。

さて我々の仕事は採集物を無事持って帰るだけとなり、暇となった我々は乗員を入れ換えることになっており、我々が日本への帰途につくグアム島のことで盛り上がっていた。恋人岬に行ってみようとか、郷土料理を堪能しようとか。しかしまたとこころがある。次の台風が接近して「よこすか」がグアム島に着岸できない！グアム島近辺で約2日間も行ったり来たりしていた。もちろん予約したホテルはキャンセルできないことになっていたのだから、宿泊料は戻ってこない。しかも、グアムから日本への航空券をディスカウントで購入していたため、あと半日で着岸できなければそれも料金は戻ってこないし、また新たに航空券を買わなければならない。追い込まれた。しかし、直前でやっと着岸できることになった。予定の便に乗るために残された時間は約2時間、我々は水族館に行くグループとお土産を買うグループに分かれ、最終的に日本にたどり着いた。運は帳

尻を合わせてくるものだと思った。でもグアムってなんだったのだろう。

結局その後の研究でステップストーン仮説を二枚貝のイガイ類では証明できたと思っている。また、浅海でも化学合成に頼っているハナシガイ類やキヌタレガイ類はステップストーン仮説が示すのとは異なる過程で深海に適応したらしいことも示した。このことについては下記の論文などを参照していただきたい。この潜航後、鯨遺骸を中心とした生物群集がいつまで存続するのか明らかにすべく、何度か再調査の申請をしたが、私の力不足で採択されなかった。今この群集はどうなっているんだろう。日本周辺海域で唯一の自然死した深海の鯨遺骸のもっと精密で重点的な再調査がどうしても必要だと思う

引用文献

- J.-I. Miyazaki, L. de O. Martins, Y. Fujita, H. Matsumoto, and Y. Fujiwara (2010) Evolutionary process of deep-sea *Bathymodiolus* mussels. PLoS ONE 5, e10363.
- J. Lorion, S. Kiel, B. Faure, M. Kawato, S.Y.W. Ho, B. Marshall, S. Tsuchida, J.-I. Miyazaki, and Y. Fujiwara (2013) Adaptive radiation of chemosymbiotic deep-sea mussels. Proc. R. Soc. B 280, 1243.
- 宮崎淳一・別符沙織・藤原義弘 (2010) シンカイヒバリガイ類と近縁なイガイ類の系統と分類学的な問題. 遺伝 64, 65-70.
- 宮崎淳一・松本寛人・藤田祐子 (2012) シンカイヒバリガイ類の進化と系統. 潜水調査船が観た深海生物—深海生物研究の現在 (藤倉克則・奥谷喬司・丸山正編). 第2版 東海大出版会, 神奈川. 126-128.

財団からのお知らせ

新刊紹介

海のへんな生きもの事典 ありえないほねなし

ひとでちゃん（著）
ワタナベケンイチ
（イラスト）
四六判，2024.3，
山と溪谷社
本体1600円＋税

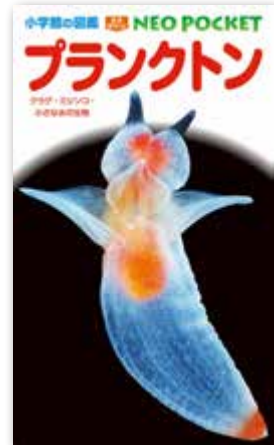


ほねなし（水棲の無脊椎動物）の不思議な生態や特徴がグループごとに分かりやすくイラスト付きで紹介されている。著者は当財団元職員。

各動物の特徴について、貝類の項では「やわらかいの筋肉ムキムキ」、ウミウシでは「アーティスティックな配色の体」など、ユニークで興味深い見出しで紹介してくれる。事典として、様々な無脊椎動物やその特徴を知ることができるとともに、読み物のように楽しめる一冊である。

小学館の図鑑 NEO POCKET プランクトン

山崎博史（指導・執筆），
仲村康秀（指導・執筆），
田中隼人（指導・執筆）
新書判，2024.6.25，
小学館
本体1000円＋税



水の中にすむ小さな生き物、約500種が紹介されている。

児童向けの図鑑ながら、脊椎動物の魚類に始まり、クラゲ・ミジンコだけでなく、カイメンやケイ藻類から単細胞生物の有孔虫まで、プランクトンの多様さを知ることができ、大人でも楽しめる一冊になっている。

また、「プランクトンを集めにいこう！」のコーナーでは、採集の仕方から、観察や記録の付け方まで紹介されているので、自主学習にもおススメである。

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」

5月11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。当日は快晴で、参加者は44名（高校生以上29名，中学生以下15名），博物館の皆さんに実施いただき、磯の観察と貝拾いを行いました。磯の観察では、潮が良い日ではなかったにも関わらず、とてもよくひいたため、予定よりも長く、ウミウシを中心に様々な動物を観察することができました。

また、今回、初めて貝拾いのプログラムを行いました。海岸で貝を拾い、博物館に戻ってから図鑑などで調べ、オオヘビガイやウチムラサキ、カリガネエガイなど、さまざまな貝を観察しました。観察会の様子は、当財団のHPにも掲載しますので、ぜひご覧ください。



磯の生物勉強会

茨城県ひたちなか市の平磯海岸で6月8日（土）に実施しました。参加者は中学生以上28名，5団体との共催で、船の科学館「海の学びミュージアムサポート」の特別協力のもと実施しました。磯での観察と採集のあと、海岸で共催団体の専門家が分類群ごとに解説をするという流れで行いました。参加者は磯の生き物で作られているビンゴシートを使って、観察した生き物でビンゴをしたり、目当ての生き物を探したり、それぞれ磯で楽しんでいました。天気もよく暑い日でしたが、青空のもと、解説も真剣に聞いていました。最後に、オプションでハマダンゴムシ探しを行い、充実した観察会でした。



2025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。

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についても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、若手への支援も行っています。

詳細は当財団ホームページをご覧ください。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（昆虫類を除く）の形態・発生・生理・分類・系統・生態・行動・水産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。

(1) 個別研究助成（10件程度）

【助成期間】2025年4月1日～2026年3月31日

【応募資格】日本に居住する方であれば、特に年齢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。

大学や機関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応募できます。

(2) 育成研究助成（3件程度）

【助成期間】2025年4月1日～2027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、当該課題を指導する教員の推薦を受けられる方。

応募締切

2025年1月7日(火) 17:00 必着

参考 過去5年間の応募課題数と採択数

	年度	2020	2021	2022	2023	2024
個別研究助成	応募数	63	48	50	58	58
	採択数	11	9	10	8	9
育成研究助成	応募数	19	29	20	26	34
	採択数	3	4	4	4	4

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、メール添付にて提出してください（推薦書は郵送にて提出）。

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)

送付先（移転しました）

〒104-0031
東京都中央区京橋 2-5-2 A・M京橋ビル 801
公益財団法人水産無脊椎動物研究所 助成担当

編集後記

表紙写真はヨセナミウミウシ（5.5 cm）です。形がとても変わっていて、写真を初めてみたときに、なんだこの形は！と叫びそうになりました。ウミウシはなぜこのような色になったのかと思うほどカラフルですが、形も実に様々で不思議ですね。

今回、イソアワモチの食用利用についての紹介をいただきました。最初は美味しいのだろうかという疑問に思いましたが、記事を読むと気になり、琉球列島に行ったらぜひ食べてみたいです。

食用といえば、昨年、標本展示のために「わけのしんのす（イシワケイソギンチャク）」を有明海に採りにいきました。漁師さんの高齢化に加え、夏の暑さも影響し、漁をする人が減っているとのこと。その時は手に入りませんでした。現地でも食べられない食材も、いずれは食べる機会が減るかもしれません。食文化の変化は時代の流れかもしれませんが、こうした文化も知っていただける機会になれば、嬉しく思います。