

深海調査と博物館で探る 「ハゲナマコ」の真の多様性

The true diversity of deep-sea holothurian genus *Pannychia* exploring by deep-sea surveys and museum collections

国立科学博物館・海洋研究開発機構 小川 晟人 (Ogawa, Akito)

はじめに

深海底は地球上で最大の生態系であり、棘皮動物ナマコ綱は深海底を代表する大型動物として知られている。著者はナマコ綱の中でもとりわけ深海域に広く適応し多様化した板足目に着目し、その日本周辺における多様性と系統分類に関する研究を進めてきた。板足目は両極域を含む世界中の深海底から知られ、水深70 mの沿岸域 (Théel, 1876) から10000 mを超えるマリアナ海溝の最深部まで (Hansen, 1975) 幅広い水深に生息する。これまでに世界から4科24属170種余りが知られている (WoRMS, 2022)。

本稿では板足目の中でも、日本周辺を含む北西太平洋の漸深海底 (水深約200~2500 m) において優占するムラサキハゲナマコ *Pannychia moseleyi* Théel, 1882の分類を見直したので、その結果を紹介する。

ムラサキハゲナマコの分類学的課題

ムラサキハゲナマコ (図1A) は板足目カンテンナマコ科ハゲナマコ属 *Pannychia* Théel, 1882に属する深海性のナマコ類で、ハゲナマコ属にはこれまでに世界からムラサキハゲナマコと *P. taylorae* O'Loughlin in O'Loughlin et al., 2013の2種が有効種と

して認められてきた (O'Loughlin et al., 2013)。このうち、ムラサキハゲナマコが太平洋に広く分布し、タイプ産地 (種名の基準となる標本の採集地) のシドニー沖から、フィリピン、日本、極東ロシア、アリューシャン列島、北米西岸、ハワイ、パナマ、ペルーに至るまで太平洋をぐるりと同じ種が分布すると考えられてきた (Hansen, 1975)。しかし、ムラサキハゲナマコには色彩や形態に大きな変異が知られており、以前はそれらが別々の7種/亜種と定義されていた。Hansen (1975) はそれらをすべてムラサキハゲナマコ1種の中の個体変異であると判断した。そのため、日本から知られていた2亜種、相模湾から報告されていたムラサキハゲナマコ (Mitsukuri, 1912) と、北海道と東北地方の沿岸から記載されたハゲナマコ *Pannychia moseleyi virgulifera* Ohshima, 1915 (Ohshima, 1915) もムラサキハゲナマコの種内変異としてまとめられていた。「ハゲナマコ」という名前を聞くと、その和名からツルツルのナマコを想像する方もいるかもしれない。しかし、この和名は底曳き網 (図1B) などでの採集時に「表皮が柔らかく容易に剥げる」 (図1C) ことから名づけられたものであり (内海, 1982)、海底における真のその姿は体表に多数の突起 (疣足) が並び、意外とフサフサしている (図1D)。決して禿海鼠ではないのだ。

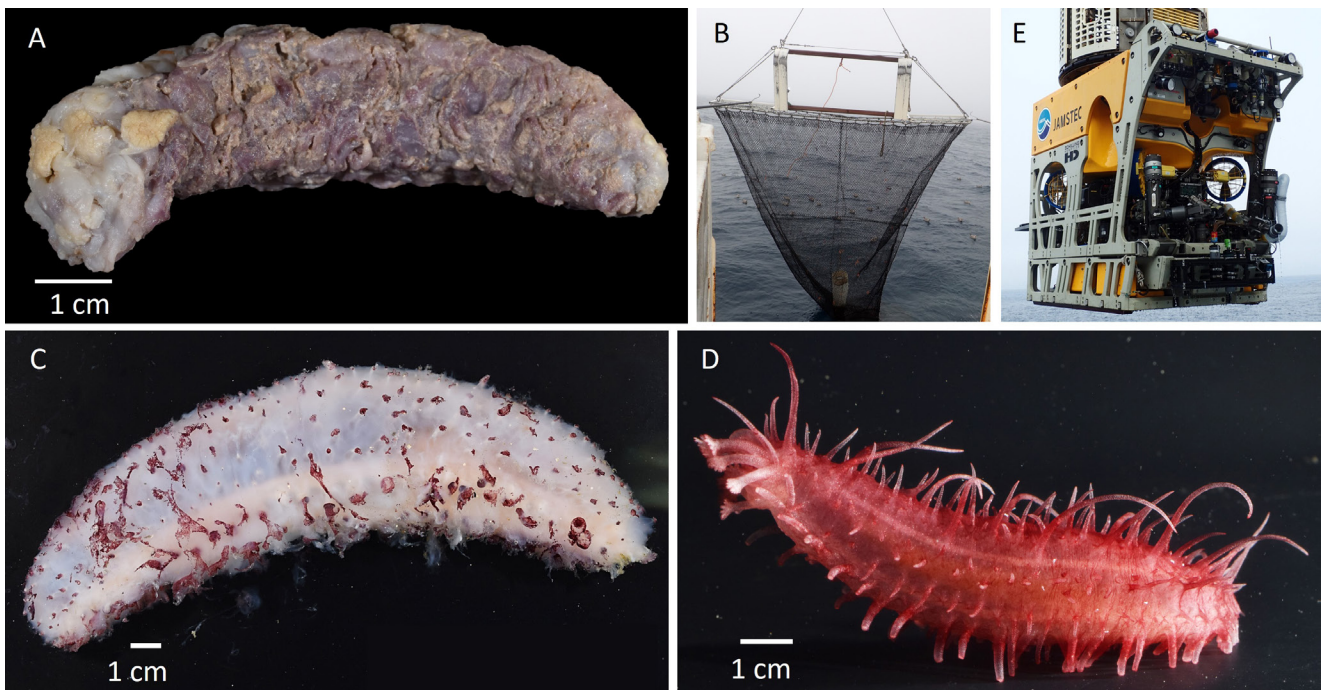


図1 南東オーストラリア産のムラサキハゲナマコの標本と底曳き網および無人探査機でされたハゲナマコの標本。A. 南東オーストラリア産のムラサキハゲナマコの標本 (豪ヴィクトリア博物館メルボルン博物館収蔵 NMV F136931)。B・C. 底曳き網 (B, 水産研究・教育機構) で採集されたハゲナマコ *P. virgulifera* (C)。採集時に表皮の大半が剥がれ落ち、本来全身紫色の体色は疣足や管足の周囲のみに斑点状に表皮が残っている。D・E. 損傷なく採集されたハゲナマコ (D) と採集に用いた無人探査機 (E, 海洋研究開発機構)。

ハゲナマコの真の姿とその多様性

近年の無人探査機 (図 1 E) などを用いた深海調査により、以前はボロボロに傷ついた姿 (図 1 C) しか知られていなかった深海性のナマコ類についても、生きている個体の海底での観察が可能となり、損傷の少ない状態での標本採集 (図 1 D) ができるようになった。これによって、東日本以北の太平洋に分布するムラサキハゲナマコには腹側を含む全身が濃い紫色の形態型 (図 2 A) と腹側が白から淡い黄色で背側が半透明な淡い紫色の形態型 (図 2 B) の色彩が異なる 2 つの形態型が観察されてきた。

著者らは、これらの 2 つの形態型を別種とするべきかを検証するために、研究航海によって採集された標本をもとに、東日本沿岸からベーリング海に至る北西太平洋の各地のムラサキハゲナマコの標本を比較検討した。まずミトコンドリア DNA の CO1 (シトクロム c オキシダーゼサブユニット 1) 遺伝子の塩

基配列を用いて、収集した北西太平洋の標本とムラサキハゲナマコのタイプ産地である南東オーストラリア産の標本 (図 1 A) について、その遺伝的な違いを比較した。その結果、北西太平洋のムラサキハゲナマコには 2 つの遺伝的な集団が存在することが明らかとなり、どちらも南東オーストラリアの集団とは遺伝的に離れた集団であった (図 2 C)。

次にこれら 3 つの遺伝的な集団の形態の違いを検討したところ、北西太平洋の 2 集団はオーストラリアの集団から、背側に並ぶ疣足が最大 8 列に並ぶことと背側の体表に輪状骨片に加えて棒状骨片をもつ (図 2 D) という特徴で識別できた。さらに、北西太平洋の遺伝的な 2 集団は色彩による 2 つの形態型と一致した (図 2 C)。ムラサキハゲナマコに見つかったこれらの 3 集団は遺伝的にも形態的にも互いに明瞭に識別可能であることから、異なる 3 種に分けるべきであると判断できた (Ogawa et al., 2022)。

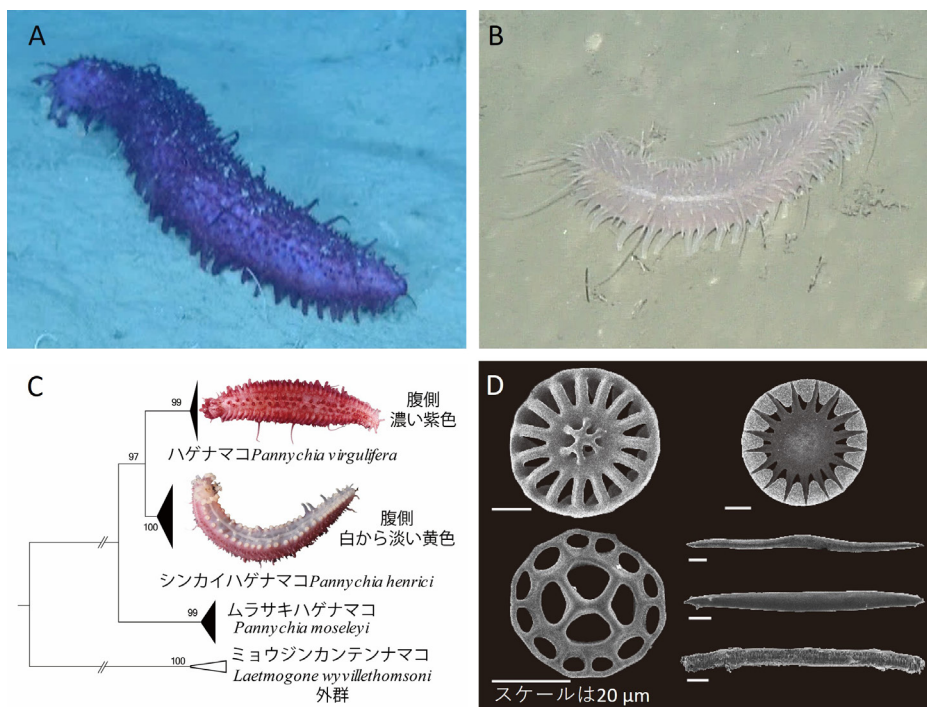


図 2 分子と形態で認められた北西太平洋の 2 種のハゲナマコ属。A. ムラサキハゲナマコの腹側を含む全身が濃い紫色の形態型の深海底での観察画像 (=著者らによってハゲナマコ *P. virgulifera* として再定義)。B. ムラサキハゲナマコの腹側が白から淡い黄色で背側が淡い紫色の形態型の深海底での観察画像 (=著者らによってシカイハゲナマコ *P. henrici* として再定義)。C. 太平洋に分布するハゲナマコ属の系統。分子系統で認められた 3 つのクレードは、色彩による 2 型および背腹の体表における棒状骨片の有無と一致し、ハゲナマコ、シカイハゲナマコ、ムラサキハゲナマコ *P. moseleyi* に対応し、それぞれ別種として再定義できた。D. 北西太平洋の 2 種の背側体表の微小骨片。大小 2 型の輪状骨片に加えて、棒状骨片をもつ。

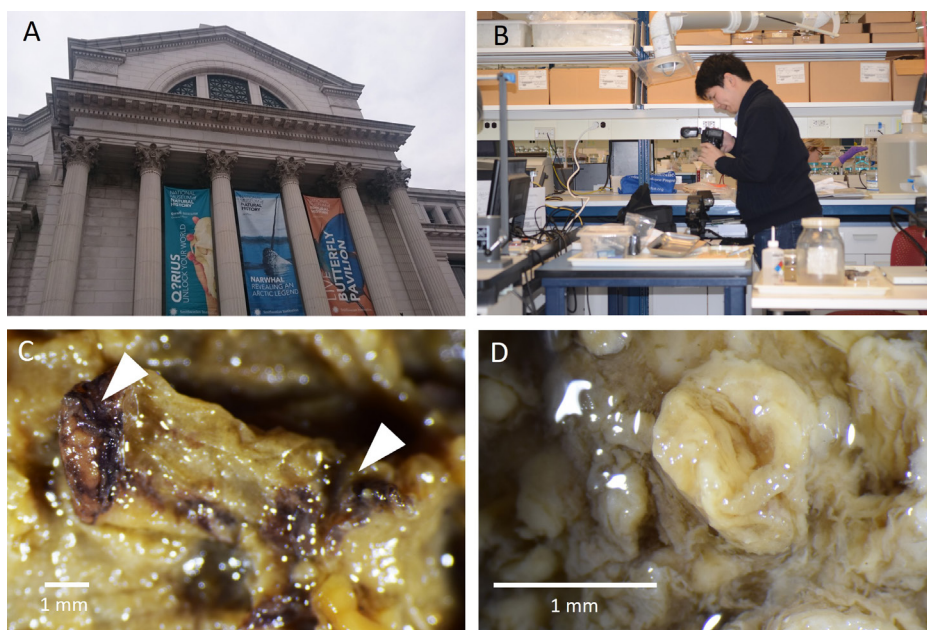


図 3 スミソニアン博物館米国国立自然史博物館でのタイプ標本調査。A. タイプ標本を調査した米国国立自然史博物館。B. 米国国立自然史博物館での標本調査の様子 (藤田敏彦氏撮影)。C. *Pannychia moseleyi virgulifera* のタイプ標本の体色 (USNM E16975A)。管足の周囲に紫色の表皮が残る (白色三角)。D. *Pannychia moseleyi henrici* のタイプ標本の体色 (USNM 18223)。管足や周囲の表皮全体は淡黄色で、紫色の色素は見られない。

博物館でのタイプ標本の観察

太平洋のハゲナマコ属は3種に分けるべきことは明らかとなったが、次に各種をどの学名と対応させるべきなのかを確認する必要があった。これらのうち、まず真のムラサキハゲナマコ *P. moseleyi* はタイプ産地の標本を含む南東オーストラリアの種であることが、形態学的にも背側の疣足が4列に並び、背側の体表に棒状骨片をもたない点で Théel (1882) の原記載の特徴と合致することから判断できた。しかし、残りの北西太平洋の2種に用いるべき学名を確定させるため、Hansen (1975) によってムラサキハゲナマコに統合されていた種や亜種と比較を行う必要があった。そこで著者らは米国自然史博物館 (図3A) とハーバード大学比較動物学博物館に収蔵されていたハゲナマコ *P. moseleyi virgulifera* と *P. moseleyi henrici* Ludwig, 1894の2亜種のタイプ標本 (種名の基準となる標本) と北西太平洋の2種との比較を行った (図3B)。2亜種のタイプ標本の体壁からは輪状骨片に加えて棒状骨片が観察され、ムラサキハゲナマコとは明瞭に識別できた。さらに、ハゲナマコのタイプ標本の腹側では濃い紫色の色素が観察できた一方 (図3Cの白三角)、*P. moseleyi henrici* のタイプ標本の腹側は白色で紫色の色素は観察されなかったことから (図3D)、北西太平洋の2種は全身が濃い紫色のハゲナマコ *P. virgulifera* (図2A) と腹側が白から淡い黄色のシンカイハゲナマコ *P. henrici* (図2B) とすべきであると結論づけられた (Ogawa et al., 2022)。Mitsukuri (1912) が相模湾から報告したムラサキハゲナマコの標本についても東京大学総合研究博物館において標本調査を実施したが、保存状態の問題から詳細な再観察と再同定はできなかった。

ハゲナマコ属の多様性の解明と 深海性ナマコ分類の課題

ここまでの説明通り、ムラサキハゲナマコ1種とされていた太平洋のハゲナマコ属をムラサキハゲナマコ、ハゲナマコ、シンカイハゲナマコの3種に再編できた。しかし、依然としてムラサキハゲナマコには過去に別種として記載されていた3つの新参異名 (既知種に後からつけられたとして無効となった学名) など、今後さらなる分類学的検討を行う必要がある。著者らのその後の研究の進展においても、日本やオーストラリア、南極海などに未記載種とみられる種が分布していることも明らかになりつつある (Ogawa et al., 未発表)。

深海底生環境は長らく変化の乏しい安定した環境であると考えられていたため、そこに生息する底生生物は広域に分布する種が多いとされ、深海性ナマコ類の中にも同じ種が複数の大洋に跨るような地理的分布をもつ種が多く報告されてきた (e.g. Hansen 1967; 1975)。しかし、大型の研究船の使用が不可欠な深海底からの標本採集の機会は限られ、地球規模に広がった地理的分布域を網羅するような採集調査の実施は難しい。さらに柔らかく傷つきやすい深海性ナマコ類は不完全な状態の標本として採集されることも多く、従来の形態比較のみによる分類学的見直しを妨げていた。近年の分子系統学的手法の発達によって、形態的な類似性が高くとも遺伝的に分化した種の存在が認められ、過小評価されていた遺伝的な多様性の再評価が進められつつある (e.g. Gebruk et al., 2020; Ogawa et al., 2022)。深海性ナマコ類の真の多様性を解明するためには正確な記載や形態情報と紐づけされた塩基配列情報を、今後積み重ねていく必要がある。著者らも深海におけるナマコ類の多様性やその多様化・進化の様式についてさらに追究していきたいと考えている。最後に本稿を通じて、深海性ナマコ類に興味をもっていただくとともに、不可欠な研究インフラである研究船、博物館などの

科学的重要性についても少しでも理解が広がってくれることを期待する。

謝辞

これまで採集調査、博物館調査などでご協力をいただいた多くの方々に感謝申し上げます。また現在までの著者のナマコ類の系統分類における研究を指導・支援していただき、本稿にも助言をいただいた藤田敏彦氏 (国立科学博物館) に厚くお礼申し上げます。本稿の改稿にあたっては嶋田大輔氏 (国立科学博物館) にもご協力いただいた。本稿で扱った研究の一部は文部科学省東北マリンサイエンス拠点形成事業 JPMXD1111105260 の助成を受けて行うとともに、研究の遂行にあたり水産無脊椎動物研究所2017年度育成研究助成にご支援をいただいた。深謝申し上げます。

引用文献

- Gebruk, A. V., Kremenetskaia, A. and Rouse, G. W. (2020) A group of species "*Psychropotes longicauda*" (Psychropotidae, Elasipodida, Holothuroidea) from the Kuril-Kamchatka Trench area (North-West Pacific). *Progress in Oceanography* 180: 102222.
- Hansen, B. (1967) The taxonomy and zoogeography of the deep sea holothurians in their evolutionary aspects. *Studies in Tropical Oceanography* 5: 480-501.
- Hansen, B. (1975) Systematics and biology of the deep-sea holothurians Part. 1 Elasipoda, in: Wolff, T. (Ed.), *Galathea Report Volume 13. Scientific Results of the Danish Deep-Sea Expedition Round the World 1950-52. The Galathea Committee, Copenhagen*, pp. 1-262. <https://doi.org/10.2307/1986281>
- Ludwig, H. (1894) The Holothuroidea. Reports on an exploration off the west coasts of Mexico, Central and South America, and off the Galapagos Islands, in charge of Alexander Agassiz, by the U. S. fish commission steamer "Albatross" during 1891, lieutenant commander Z. L. Tanner, U. S. N., commanding. *Memoirs of the Museum of Comparative Zoölogy, at Harvard College*. 17 (3): 1-183.
- Mitsukuri, K. (1912) Studies on Actinopodous Holothuroidea. *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo*. 29, 1-284.
- O'Loughlin, P. M., Mackenzie, M., VandenSpiegel, D. (2013) New sea cucumber species from the seamounts on the Southwest Indian Ocean Ridge (Echinodermata: Holothuroidea: Aspidochirotida, Elasipodida, Dendrochirotida). *Memoirs of Museum Victoria* 70, 37-50. <https://doi.org/10.24199/j.mmv.2013.70.04>
- Ohshima, H. (1915) Report on the holothurians collected by the United States fisheries steamer "Albatross" in the northwestern Pacific during the summer of 1906. *Proceedings of the National Museum* 48, 212-291.
- Ogawa, A., Kremenetskaia, A., Hiruta, S. F., Shibata, Y., Narimatsu, Y., Miki, S., Morita, T., Tsuchida, S., Fujiwara, Y. and Fujita, T. (2022) Rehabilitation of two deep-sea holothurian species in genus *Pannychia* from the northwest Pacific Ocean, *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 202, 105099. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2022.105099>
- Théel, H. (1876) Note sur l'*Elpidia*, genre nouveau du groupe des holothuries. *Bihang Till Kongl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar* 4(4): 1-7.
- Théel, H. (1882) Report on the Holothuroidea dredged by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. Part I. Report of the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873-76, *Zoology*. 4, 1-172.
- 内海富士夫 (1982) 棘皮動物海鼠綱 In: 岡田要, 内田清之助, 内田亨. *新日本動物図鑑* 下巻. 北隆館. pp. 82-99.
- WoRMS (2022) Elasipodida. Accessed at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=123112> on 2022-10-20.