

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06780

研究課題名（和文）間隙性動物の分類群ごとに種数を推定する方法の確立

研究課題名（英文）Establishing a method for estimating species numbers for each taxon in interstitial environment

研究代表者

柁原 宏 (Kajihara, Hiroshi)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：30360895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究期間内に、2種の扁形動物と6種の紐形動物を新種として公表した。扁形動物門を構成する自由生活性の主要な11の下位分類群のうち、これまで5つの分類群を代表する種においてミトコンドリアゲノムが決定されてきた。本研究において残る6つのうちの1つである原順列類において初めてミトコンドリアゲノムを決定出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

いわゆるバーコード配列を伴って2種の扁形動物と6種の紐形動物を新種として公表したことにより、日本及びその周辺に生息する間隙動物の種多様性に関する知見が増進し、塩基配列情報に基づいた多様性評価法の進展に寄与することが出来た。世界で初めて原順列類のミトコンドリアゲノム塩基配列を決定したことで、扁形動物門のミトコンドリアゲノム進化に関する知見の増大に寄与することが出来た。

研究成果の概要（英文）：During this research period, two species of turbellarians and six species of ribbon worms were described as new. Mitochondrial genomes had been determined for turbellarians representing five of the 11 major free-living platyhelminth subtaxa. In this study, we were able to determine the mitochondrial genome for the first time for a representative of Proseriata, one of the remaining six major turbellarian subtaxa.

研究分野：動物系統分類学

キーワード：扁形動物 紐形動物 間隙動物

1. 研究開始当初の背景

砂浜の砂の隙間に住んでいる微小な動物たちを間隙性動物と呼ぶ。1990年代に至るまで、砂のすき間の微小な体サイズの間隙性動物は単一種が世界的に広域に分布するようなコスモポリタンであると信じられてきた。彼らの多くは浮遊幼生期間を欠き、成体の移動分散能力も極めて低い。そのような生物が世界各地に分布しているように見える「逆説」を指す「メイオファウナ・パラドックス」という概念が1970年代に提唱されていた。

2000年代に入って分子データが利用可能になると、広域分布するとされてきた生き物たちの実態は、形態的に類似してはいるが生物学的には別種であるような、いわゆる隠蔽種の複合体であることが多くの分類群についてわかってきた。昨今では「メイオファウナ・パラドックスはもはや逆説でもなんでもなく、単なる誤同定に起因する錯覚だった」という論調が支配的となりつつある。移動分散能力が低いのであれば、現在みられる間隙性動物の分布パターンは大陸移動によって大方説明することが出来るはずである。しかし申請者らは最近、この予測に反する新たな「逆説的」分布パターンに出くわした。大陸移動と非整合的な分布パターンがどれくらい一般的なのか、分子データによる検証を経ていない分類群がまだ多数あるためよく分からないのが現状である。いずれにせよ「間隙性動物の移動分散能力は一概に低い」とは必ずしも言えず、その分布パターンを説明する思考の枠組みに新たな転換が訪れるべき時代に差し掛かっていると申請者らは予感している。しかしながらこのパラダイム・シフトをもたらすためには、どこに何の仲間が何種いるのかという基礎情報や、確実に同定された標本に由来する塩基配列情報が現状では圧倒的に足りない。

2. 研究の目的

そこで本研究では、紐形動物と扁形動物(副次的に半索動物も)に焦点を当て、日本とその周辺の間隙環境にどのような種が生息しているのかを明らかにし、将来環境DNAの技術を用いて簡易に種同定が可能な情報基盤を構築することを目指した。

3. 研究の方法

間隙環境から紐形動物と扁形動物を採集し、それらのDNAバーコード配列を決定した。また、間隙性扁形動物の主要分類群である原順列類の一種におけるミトコンドリアゲノム配列を決定し、その構造を解析した。また、国立研究開発法人海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」の調査航海KH-22-8に参加し、紐形動物・半索動物相を調査した。

4. 研究成果

研究期間中に19種の紐形動物と2種の扁形動物が新種記載された(Hookabe et al. 2022; Liu et al. 2022; Tsuyuki et al. 2022; Abato et al. 2024)。また、*Stereobalanus* 属を日本海溝から(Kajihara et al. 2023a)、リュウグウギボシムシ科を日本の領海から(Kajihara et al. 2023b)、それぞれ初めて報告した。

石狩浜から得られた原順列類 *Nematoplana* sp. cf. *ciliovesiculae* Tajika, 1979 のミトコンドリアゲノムは16,106 bp (ただし未解決の非コード領域に存在するタンデムリピートを考慮すると潜在的に18,812 bp ~ 19,277 bp) で構成され、38個の遺伝子が含まれていた(図1)(Shimada et al. 2023)。それらは23個のtRNA遺伝子、13個の蛋白質コード遺伝子(アデノシン三リン酸(ATP)合成酵素F0サブユニット8遺伝子(atp8)を含む)及び2個のrRNA遺伝子から成る。このうちatp8遺伝子は標準的なソフトでは自動的に検出されず、手動アノテーションが必要であった。

2010年代後半まで、扁形動物のミトコンドリアゲノムにはatp8遺伝子は存在しないと考えられてきたが、その後複数の証拠から、この遺伝子は高度に派生的ではあるものの、この動物門において消失していないことが示されてきた。

現在認められている11の非寄生性の高次分類群のうち、これまでに5つ(小鎖状類・多食類・多岐腸類・棒腸類・三岐腸類)においてatp8遺伝子の存在が示唆されてきたが、残りの5つ(原有吻類・錐咽頭類・原順列類・フェカンピア類・原卵黄類・ボスリオプラナ類)のミトコンドリアゲノムは決定されてこなかった。今回原順列類においてatp8の存在が示されたことから、この遺伝子がこの動物門において消失していないという仮説の尤もらしさが強められる結果となった。

解析に用いた種は全体的な形態が *Nematoplana ciliovesiculae* Tajika, 1979 に似るが、交尾器が若干異なるため、別種である可能性がある。石狩湾産種の正体を確かめるには、そこから約80 km離れた *N. ciliovesiculae* のタイプ産地である来岸町から得られる、確実に同定された標本に由来するDNAバーコード配列が必要である。今回用いた種の属への同定は18S rRNAと28S rRNA遺伝子を用いて推定した系統的位置から裏付けられた(図2)。

引用文献

- Abato, J. C., Chernyshev, A. V., Hookabe, N., Tsuyuki, A., Kaushik, G., & Kajihara, H. (2024). Delimiting the polymorphic congeners of the genus *Oerstedtia* Quatrefages, 1864 (Nemertea, Hoplonemertea), and descriptions of three new species from the Northwest Pacific. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12, 1356316.
- Hookabe, N., Kajihara, H., Chernyshev, A. V., Jimi, N., Hasegawa, N., Kohtsuka, H., ... & Ueshima, R. (2022). Molecular phylogeny of the genus *Nipponnemertes* (Nemertea: Monostilifera: Cratenemertidae) and descriptions of 10 new species, with notes on small body size in a newly discovered clade. *Frontiers in Marine Science*, 9, 906383.
- Kajihara, H., Abato, J., & Matsushita, M. (2023). Occurrence of an unidentified harrimaniid acorn worm in the genus *Stereobalanus* (Hemichordata: Enteropneusta) from the Japan Trench hadal zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 198, 104075.
- Kajihara, H., Abato, J., & Matsushita, M. (2023). New locality for the deep-sea acorn worm *Quatuoralisia malakhovi* (Hemichordata: Enteropneusta). *Russian Journal of Marine Biology*, 49(6), 522-527.
- Kajihara, H., Abato, J., & Matsushita, M. (2023). Occurrence of an unidentified harrimaniid acorn worm in the genus *Stereobalanus* (Hemichordata: Enteropneusta) from the Japan Trench hadal zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 198, 104075.
- Tsuyuki, A., Oya, Y., & Kajihara, H. (2022). Reversible shifts between interstitial and epibenthic habitats in evolutionary history: molecular phylogeny of the marine flatworm family Boniniidae (Platyhelminthes: Polycladida: Cotylea) with descriptions of two new species. *PLOS ONE*, 17(11), e0276847.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Liu Hai-Long, Kajihara Hiroshi, Sun Shi-Chun	4. 巻 9
2. 論文標題 Diversity of interstitial nemerteans of the genus <i>Ototyphlonemertes</i> (Nemertea: Monostilifera: Ototyphlonemertidae) in the South China Sea, with a comment on the distribution pattern of the genus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2022.1009536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Tsuyuki Aoi, Oya Yuki, Kajihara Hiroshi	4. 巻 17
2. 論文標題 Reversible shifts between interstitial and epibenthic habitats in evolutionary history: Molecular phylogeny of the marine flatworm family Boniniidae (Platyhelminthes: Polycladida: Cotylea) with descriptions of two new species	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0276847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0276847	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kajihara Hiroshi, Abato Jamael, Matsushita Maho	4. 巻 49
2. 論文標題 New Locality for the Deep-Sea Acorn Worm <i>Quatuoralisia malakhovi</i> (Hemichordata: Enteropneusta)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Russian Journal of Marine Biology	6. 最初と最後の頁 522 ~ 527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/S1063074023060111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kajihara Hiroshi, Yamaguchi Atsushi	4. 巻 15
2. 論文標題 A morphological note on the pelagic polystiliferous hoplonemertean <i>Protopelagonemertes beebei</i> (Nemertea: Pelagica)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Plankton and Benthos Research	6. 最初と最後の頁 337 ~ 341
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3800/pbr.15.337	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kajihara Hiroshi, Abato Jamael, Matsushita Maho	4. 巻 198
2. 論文標題 Occurrence of an unidentified harrimaniid acorn worm in the genus <i>Stereobalanus</i> (Hemichordata: Enteropneusta) from the Japan Trench hadal zone	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 104075 ~ 104075
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr.2023.104075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Abato Jamael C., Chernyshev Alexei V., Hookabe Natsumi, Tsuyuki Aoi, Kaushik Gauri, Kajihara Hiroshi	4. 巻 12
2. 論文標題 Delimiting the polymorphic congeners of the genus <i>Oerstedia</i> Quatrefages, 1864 (Nemertea, Hoplonemertea), and descriptions of three new species from the Northwest Pacific	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and Evolution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fevo.2024.1356316	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hookabe Natsumi, Kajihara Hiroshi, Chernyshev Alexei V., Jimi Naoto, Hasegawa Naohiro, Kohtsuka Hisanori, Okanishi Masanori, Tani Kenichiro, Fujiwara Yoshihiro, Tsuchida Shinji, Ueshima Rei	4. 巻 9
2. 論文標題 Molecular Phylogeny of the Genus <i>Nipponnemertes</i> (Nemertea: Monostilifera: Cratenemertidae) and Descriptions of 10 New Species, With Notes on Small Body Size in a Newly Discovered Clade	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2022.906383	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Hiroshi Kajihara
2. 発表標題 Systematic studies on ribbon worms (phylum Nemertea)
3. 学会等名 39th Symposium on Systematic Biologists of the Philippines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	嶋田 大輔 (Shimada Daisuke) (30768445)	日本大学・経済学部・専任講師 (32665)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------