

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K06333

研究課題名(和文) 深海性頭足類の繁殖様式の解明

研究課題名(英文) Reproductive system of deep-sea cephalopods

研究代表者

広橋 教貴(Hiroashi, Noritaka)

島根大学・学術研究院農生命科学系・教授

研究者番号：90376997

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ホタルイカモドキ：マイクロサテライトマーカーを開発し、メスに付着した精子塊の父性を調べたところ、乱婚であることが分かった。さらに、繁殖期の後半になると性比がオスに偏り、それに伴って精子受け渡し場所に多様化が見られた。ヒメジンドウイカのメスには精子受け渡し場所が3か所あることを発見した。3か所の使われ方には法則性があり、初めて交配が行われる時には必ず周口膜であり、最後に目の後ろが使われることがわかった。さらに少数のオスが全て3か所を使う場合も観察された。この現象はオスがメスの状態を評価する新たな精子分配戦略と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海洋生物の多くは繁殖行動が不明である。特に深海生物のそれは観察が極めて困難なためほとんど知見がなかった。本研究を通して、ホタルイカ、ホタルイカモドキ、そしてダイオウイカの繁殖に関する新知見を得ることができたことは、今後自然や地球環境や生物多様性を一般人に理解してもらう時に役立つと期待される。特に水族館のような科学リテラシー、アウトリーチに特化した施設における最新知見の提供は、社会的貢献度の高いものとなっている。

研究成果の概要(英文)： We examined the reproductive patterns of the firefly squid, *Anguilla japonica*, a close relative of the firefly squid, *Anguilla japonica*. The firefly squid, in Toyama Bay has a breeding season from early summer to autumn, and the proportion of males increased from October onward. Microsatellite markers were developed to examine the paternity of sperm masses attached to females, which were found to be promiscuous. Furthermore, in the latter half of the breeding season, the sex ratio was skewed toward males, and there was a corresponding diversification in sperm delivery sites.

We found that females of the brown squids have three sperm delivery sites, and that there is a rule of thumb regarding the use of these three sites, with the buccal membrane always being used for the first time during copulation, and finally the area behind the eyes. In addition, a small number of males were observed to use all three sites.

研究分野：海洋生物学

キーワード：深海生物 繁殖様式 乱婚 父性解析

1. 研究開始当初の背景

深海が地球最後のフロンティアと呼ばれて久しいが、進歩した有人・無人の探査機によってそのフロンティアも近年徐々に解き明かされつつある。だが殆どの深海生物の生態、特に生殖については観察が困難な為、未だに深い謎に包まれている。深海に住む生物はその環境に適応し、形態、生理機能、生殖において独特な形質を獲得してきたと考えられている。深海は暗黒で個体群密度が低く、捕食者が少ない反面、餌食や配偶の機会も制限されるため、それぞれの種が収斂的、または独自に環境に適応してきたと思われる。深海生物の中でも世間で最も知名度が高く、学術的にも謎が多いのがダイオウイカである。また、ホタルイカは食用の発光生物で、深海生物としては入手が容易である。ダイオウイカの死着個体は大抵、地元の水族館や博物館で展示され、またホタルイカの生体は魚津水族館、滑川ミュージアムで季節展示され、いずれも市民学習の格好の材料となっている。

2. 研究の目的

頭足類(イカ・タコ)は一般に乱婚であり、雄が示す多様な繁殖行動、繁殖戦略の観察が比較的容易なため、交尾後性選択(精子競争と雌の隠れた選択)の格好の研究対象となっている。ところが、「頭足類=乱婚」の常識を破ったのが、ホタルイカである(Sci Rep 2020)。単婚が進化した環境要因は、ベイトマン理論に合わないもの、つまり雌雄どちらかに何らかの制約がはたらき、子孫を残すのに乱婚より有利となったためと思われる(例えば育児への両親関与など)。本研究では、ホタルイカの単婚発見を契機に、これまで手つかずであった深海性イカ類の繁殖様式を明らかにし、深海という特殊な環境またはホタルイカ独自の生活史形質が単婚進化と如何に関連するのかを明らかにする。そのため、申請者が独自に開拓してきた深海性イカ類の試料入手ルートやそれらを使ってこれまで収集した貴重な試料を用い、ダイオウイカとホタルイカモドキ科2種の繁殖様式を明らかにする。

3. 研究の方法

ホタルイカが単婚から乱婚へ移行する時期と環境要因

既にSSRを用いた父性解析により、95%の雌は単婚であることが分かった(文献1)。残り5%について調べていくと、乱婚個体の特徴として、雌が保有する精子塊数が単婚個体(平均1.2)に比べて2倍程度と多かった。この多数付着を指標に雌の推定乱婚個体頻度を季節毎にみていくと、一般に交接(交尾)期間とされる2月中旬から下旬より後で頻度が一過的に上がる傾向が見られた。この先行結果を基に詳細な時期の特定と大規模な計測調査と父性解析を実施し、交接期間後の単婚から乱婚への一時的移行が存在するかをまず明らかにし、その時期の雌雄の身体的特徴(保有卵数や保有精莖数)、性比、雌精子塊付着数を測定する。硬骨魚類のテングカワハギ属では、産卵期の前半と終盤で性比が変化し、その結果単婚から乱婚へ移行することが知られている(J. Ethol. 16, 81-86, 1998)。ホタルイカの雌が戦略として乱婚へ移行するのか、新旧付着精子の受精能・遊泳能など調べて生理的利点を調べる。

ホタルイカモドキの繁殖形態

ホタルイカが単婚様式を採用している適応意義を探る手段として、同所的近縁種であるホタ

ルイカモドキの繁殖様式を調べる。これまでの予備調査で、ホタルイカモドキは乱婚である特徴を数多く有し、今後SSRによる父性解析を行ってそれを確かめる。その上でこの近縁2種の生活史戦略、生殖戦略を比較し、繁殖様式に影響を与える生態学的な因子を推定する。ホタルイカモドキ科は他に40を越える種が存在し、日本近海でも複数種生息する。繁殖様式と生態学的特徴、環境因子の相関を調べていくことで、何故ホタルイカが単婚を選択したか進化的経緯を明らかにしていく。その第一歩としてホタルイカモドキを調査する。

4. 研究成果

ホタルイカが単婚から乱婚へ移行する時期と環境要因

繁殖時期を通して乱婚率は一定であることが明らかとなった。付着精子塊数から父性数を確率統計的に算出することができることを見出し、論文発表した。

ホタルイカモドキの繁殖形態

ホタルイカの単婚に対し、ホタルイカモドキが高い乱婚度を示すことを明らかにした。さらに繁殖時期の後半はオスに性比が偏り、それに応じてメスの貯精位置に多様化が見られることがわかった。これを「隠れた精子保存：CSP」と呼び、CSPがどのような条件で起こるかを調べ、その傾向を明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Alam Md. Nur E., Hirohashi Noritaka	4. 巻 170
2. 論文標題 Persistence of a highly monoandrous mating system despite an extremely male-biased operational sex ratio in the firefly squid <i>Watasenia scintillans</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Marine Biology	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00227-023-04204-5	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 Sato Noriyosi, Ono Hiroki, Hirohashi Noritaka, Iwata Yoko	4. 巻 170
2. 論文標題 Multiplicity of sperm receptacles for securing the offspring genetic variability in a pelagic squid	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Marine Biology	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00227-023-04194-4	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 Murai Riho, Shiomi Mamiya, Yoshida Masa-aki, Tomano Satoshi, Iwata Yoko, Sugai Kyoko, Hirohashi Noritaka	4. 巻 175
2. 論文標題 All the spermatangia on a female were implanted by single-pair copulation in giant squid <i>Architeuthis dux</i>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers	6. 最初と最後の頁 103585 ~ 103585
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.dsr.2021.103585	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 -
1. 著者名 Tateno Hiroyuki, Tamura Nakano Miwa, Kusakabe Hirokazu, Hirohashi Noritaka, Kawano Natsuko, Yanagimachi Ryuzo	4. 巻 88
2. 論文標題 Sperm acrosome status before and during fertilization in the Chinese hamster (<i>Cricetulus griseus</i>), and observation of oviductal vesicles and globules	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecular Reproduction and Development	6. 最初と最後の頁 793 ~ 804
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/mrd.23547	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 Hirohashi Noritaka, Sato Noriyosi, Iwata Yoko, Tomano Satoshi, Alam Md. Nur E., Haselmann Apost?lico L?gia, Eduardo Amoroso Rodriguez Marian Jos?	4. 巻 16
2. 論文標題 Context-dependent behavioural plasticity compromises disruptive selection of sperm traits in squid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 0256745 ~ 0256745
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0256745	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 Iwata Yoko, Sato Noriyosi, Hirohashi Noritaka, Watanabe Yoshiro, Sauer Warwick H. H., Shaw Paul W.	4. 巻 34
2. 論文標題 Sperm competition risk affects ejaculate strategy in terms of sperm number but not sperm size in squid	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Evolutionary Biology	6. 最初と最後の頁 1352 ~ 1361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jeb.13894	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 Matsuzaki Mei, Hirohashi Noritaka, Mizushima Shusei, Sasanami Tomohiro	4. 巻 227
2. 論文標題 Effect of sperm surface oligosaccharides in sperm passage into sperm storage tubules in Japanese quail (<i>Coturnix japonica</i>)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Animal Reproduction Science	6. 最初と最後の頁 106731 ~ 106731
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anireprosci.2021.106731	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 -

1. 著者名 Matsuzaki Mei, Hirohashi Noritaka, Tsudzuki Masaoki, Haqani Mohammad Ibrahim, Maeda Teruo, Mizushima Shusei, Sasanami Tomohiro	4. 巻 100
2. 論文標題 Longer and faster sperm exhibit better fertilization success in Japanese quail	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Poultry Science	6. 最初と最後の頁 100980 ~ 100980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.psj.2021.01.003	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 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 岩田容子、広橋教貴	4. 発行年 2021年
2. 出版社 生物研究社	5. 総ページ数 7
3. 書名 海洋と生物	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------