

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05786

研究課題名(和文)アカイカ科における複数の精子貯蔵器官の進化

研究課題名(英文)Evolution of multiple sperm storage organs in Ommastrephidae

研究代表者

佐藤 成祥 (Sato, Noriyoshi)

東海大学・海洋学部・特任講師

研究者番号：40723854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：外洋性のアカイカ科は精子の貯蔵器官を口の周辺に数十個保有する。沿岸性のイカ類やタコ類では一つ、二つしかないため、この特殊な精子貯蔵器官の機能についてスルメイカを対象に研究を行った。貯蔵精子を使って人工授精を行い、得られた稚仔のDNAから交配相手の数を割り出した結果、従来の頭足類では見られない、10個体ほどの雄との交配経験が確認された。また、貯蔵器官ごとに貯められている精子の父性割合は大きく異なっていた。この事から、様々な雄の精子を偏りなく貯蔵するためにこの特徴的な形質が進化しており、多様な精子資源を確保する事が資源量維持に重要であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外洋性のアカイカ科に属する種は日本のみならず、世界的にも漁獲量が多く、水産的に重要な分類群である。日本では近年、スルメイカの不漁が続く、資源量の減少が問題となっている。そのため、その資源量の維持メカニズムを理解することは重要である。本種の産卵生態は研究が進んでいるが、精子貯蔵といった繁殖戦略に関してはほとんど研究が進んでいない。本研究成果はアカイカ科の繁殖において遺伝的多様性の維持が個体の繁殖成功に大きく関わっている事を示すものであり、資源量を考えるうえで重要な貢献を果たしたと言えるだろう。

研究成果の概要(英文)：Although many cephalopod species including the loliginid squid have no more than two seminal receptacles (SRs), some species of Ommastrephidae have more than twenty SRs on the buccal membrane. In order to investigate how many males were involved in sperm storage within a single SR, we conducted in vitro fertilization assay using spermatozoa collected by squeezing each SR and paternity analysis of resulting embryos. It was found that the females had mated with about 10 males. The sperm storage pattern of each SR varied greatly. This results suggests that this characteristic trait has evolved in order to store sperm from a variety of males, and that securing a diverse sperm resource is important for maintaining abundance.

研究分野：行動生態学

キーワード：精子貯蔵 スルメイカ 父子判定 乱婚

1. 研究開始当初の背景

一般的に資源変動が大きい生物において、遺伝的に多様な子を生むことは子供の全滅を避けるために有利になると考えられている (Yasui 1998)。しかし、遺伝的多様性の維持メカニズムについてはあくまでも集団遺伝学的な理解によるものがほとんどで、個体レベルで遺伝的多様性を維持する能動的なシステムが存在するかどうかは分かっていない。一方、繁殖における雌の配偶者選択では、雄に対する選好性は 1) 優秀な雄の子をより多く獲得する、もしくは 2) 多様な雄の子をまんべんなく獲得する、という二つが考えられている (Anderson 1994)。これまでは前者を検証したものが圧倒的に多く、後者については多くの雄と交尾を行うという状況的な説明のみで、実際に多様性を確保するための行動であるのか確認がされていない。巨大な産卵群を形成し、様々な雄の精子が混ざり合った海水中に雌が放卵するイワシやニシン等の多獲性魚類においても、雄が資源を独占できないという状況的な問題から、雌は特定の雄とではなく、多様な雄との間に子を残すと考えられてきた。実際に配偶者選択の段階で、遺伝的多様性を重視した雄選びが行われているのだろうか。

スルメイカが属するアカイカ科はイカ類の中でも外洋性イカ類に区分され、他にもアルゼンチンマツイカやアメリカオオアカイカ等、水産資源として優良な種が数多く属する分類群である。近年はスルメイカの不漁が全国的なニュースとして報じられる等、一般的にもその漁獲量の動向が注目されており、資源の持続的利用を行うための再生産過程および生活史の解明は重要な課題である。中でも繁殖生態、とりわけ精子貯蔵様式や雌雄の繁殖戦略については未解明な部分が多く残されている。イカは雌からもらった精子を産卵まで雌が受精嚢とよばれる精子の貯蔵器官に確保する。ヤリイカやコウイカ等、沿岸性のイカでは口の周りに一つの受精嚢を保有する。しかし、アカイカ科だけは例外的に複数の受精嚢を持つことが知られている (Fig. 1b)。資源量の変動が激しいアカイカ科において、このような特殊な精子貯蔵様式が進化した背景には、雌が遺伝的多様性の確保を求め、より多くの雄から精子を獲得し、貯蔵するような配偶者選択が働いているのではないだろうか。

2. 研究の目的

アカイカ科における複数の精子貯蔵器官は遺伝的多様性の確保のため進化したという仮説を検証するため、スルメイカの精子貯蔵戦略と遺伝的多様性の影響について明らかにする。

3. 研究の方法

受精嚢に関する基礎的知見

雌が保有する受精嚢の数は変異があることが報告されている (Ikeda 1993)。しかし、それが雌の体サイズに関係するものなのかは確認されていない。たくさん受精嚢を持っている雌はより多くの雄を受け入れる事ができるかもしれない、受精嚢数と雌の体サイズとの関係性は繁殖戦略において重要な基礎的知見である。雌雄の体サイズや生殖腺重量などの基礎情報を計測し、精子競争強度や配偶システムの基盤情報となる実効性比や生殖腺重量指数 (GSI) を求め、本研究の基盤とする。

雌の受精嚢内精子の DNA 解析

スルメイカは通常の精子貯蔵様式の沿岸性イカに比べて父性が多く、また特定の雄に繁殖成功度が偏ったりしないのか。偏らないのだとしたら、受精嚢に精子がどのように貯蔵されるのか。すべての受精嚢に均等に貯蔵されるのか、受精嚢ごとに個別に精子が貯蔵されるのか (Fig. 2)。口の周りに付着された精子塊、および受精嚢内に貯蔵された精子の DNA 解析を行う事で、精子の貯蔵パターンを明らかにする。精子塊はピンセットで一つずつ分けてエタノール固定する。一方、受精嚢内の精子については内部で混ざり合い個体ごとに分けることができないので、受精嚢から貯蔵精子をピンセットでしぼり出し、人工授精を行い、孵化した稚イカの DNA を使って父性解析を行う事で実際の貯蔵精子の DNA パターンを推定する。

ヨーロッパマツイカとの比較

アカイカ科にもかわらず、複数の精子貯蔵器官を持たずに、外套膜内に精子塊を受け渡すマツイカ属の精子貯蔵戦略を明らかにし、スルメイカの結果と比較する事で、複数の精子貯蔵器官の進化的背景を明らかにすることができる。そこで、スペイン、CSIC との共同研究によりヨーロッパマツイカを採集し、精子貯蔵状況を明らかにした。

4. 研究成果

産卵回遊のために南下してきたスルメイカを捕獲し、受精嚢の数に雌の体サイズや雄から渡された精子塊の数が関係するのかを調べた。その結果、受精嚢の数と雌の体サイズ間、受精嚢の数と付着精子塊数の間には関係性が見られなかった。また、7 月に隠岐の島沿岸に回遊して

きた雌の成熟スルメイカを捕獲し、付着精子塊のDNAを抽出すると共に、受精嚢内の精子を使って人工授精を行い、貯蔵精子の父性解析を行った結果、9 個体もの雄の精子を貯蔵している事が分かった。このうち、付着精子塊の父性はたったの2 個体だったことから、その多くは以前に交配した雄によるものであることが確認された。

ヨーロッパマツイカの精子貯蔵に関して、採集された雌の外殻膜内には輸卵管の開口部付近に精子塊の束が確認された。ひとつの束には平均 279 本の精子塊が含まれたが、束の数自体は最大で3 束、平均 1.5 束と少なかった。この一束が一個体に渡された雄と考えれば、前年の結果から、一個体ではあるが、スルメイカは 10 個体と交配していたことが分かっているため、ヨーロッパマツイカはスルメイカに比べはるかに乱交度が低い配偶システムであると推察される。また、貯蔵精子塊の父性解析を行うためのマイクロサテライト領域の遺伝マーカーが5 セット開発する事に成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Marian Jose E. A. R., Apostolico Ligia H., Chiao Chuan-Chin, Hanlon Roger T., Hirohashi Noritaka, Iwata Yoko, Mather Jennifer, Sato Noriyosi, Shaw Paul W.	4. 巻 10
2. 論文標題 Male Alternative Reproductive Tactics and Associated Evolution of Anatomical Characteristics in Loliginid Squid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Physiology	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/fphys.2019.01281	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 Yuto Hikidi, Noritaka Hirohashi, Takashi Kasugai, Noriyosi Sato	4. 巻 -
2. 論文標題 An elaborate behavioural sequence reinforces the decoy effect of ink during predatory attacks on squid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Ethology	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) 10.1007/s10164-020-00640-8	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 Iwata Yoko, Sauer Warwick H H, Sato Noriyosi, Shaw Paul W	4. 巻 84
2. 論文標題 Spermatophore dimorphism in the chokka squid <i>Loligo reynaudii</i> associated with alternative mating tactics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Molluscan Studies	6. 最初と最後の頁 157 ~ 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mollus/eyy002	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 Sato Noriyosi, Uchida Yu, Takegaki Takeshi	4. 巻 72
2. 論文標題 The effect of predation risk on post-copulatory sexual selection in the Japanese pygmy squid	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Behavioral Ecology and Sociobiology	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) 10.1007/s00265-018-2540-4	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 Iwata Yoko, Sato Noriyosi, Hirohashi Noritaka, Kasugai Takashi, Watanabe Yoshiro, Fujiwara Eiji	4. 巻 29
2. 論文標題 How female squid inseminate their eggs with stored sperm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 R48 ~ R49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2018.12.010	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 Sato Noriyosi, Iwata Yoko, Shaw Paul W, Sauer Warwick H H	4. 巻 85
2. 論文標題 Whole spermatangia within the seminal receptacles of female chokka squid (<i>Loligo reynaudii</i> d'Orbigny, 1839?1841)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Molluscan Studies	6. 最初と最後の頁 172 ~ 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mollus/eyy059	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8件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 小澤大嗣、佐藤成祥、小野廣記、広橋教貴
2. 発表標題 貝を作るタコ：アオイガイの精子貯蔵方法
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 佐藤成祥、広橋教貴、小野廣記、岩田容子
2. 発表標題 数十個にもおよび貯精嚢を持つスルメイカの精子貯蔵パターン
3. 学会等名 日本動物行動学会第38回大会
4. 発表年 2019年 ~ 2020年

1. 発表者名 Noriyoshi Sato
2. 発表標題 Investigation of decoy effect in inking of the Japanese pygmy squid
3. 学会等名 The 2nd Oct-squid meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

1. 発表者名 佐藤成祥、引地 勇斗、春日井隆、広橋教貴
2. 発表標題 イカの墨は如何にして捕食者を騙すのか？
3. 学会等名 第37回日本動物行動学会大会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 佐藤成祥
2. 発表標題 イカ・タコの多様な繁殖生態～貯精と受精～
3. 学会等名 第一回イカ・タコ研究会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Noriyosi Sato, Noritaka Hirohashi, and Yoko Iwata
2. 発表標題 Why do you have so many seminal receptacles? : The sperm storage pattern in the Japanese flying squid <i>Todarodes pacificus</i> .
3. 学会等名 The International Workshop and Symposium of Cephalopod International Advisory Council (CIAC) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 Noriyosi Sato, Tsuda Seiichirou, Masa-aki Yoshida, and Noritaka Hirohashi
2. 発表標題 Some evidence for female monogamy in the firefly squid, <i>Watasenia scintillans</i> .
3. 学会等名 The International Workshop and Symposium of Cephalopod International Advisory Council (CIAC) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 佐藤成祥
2. 発表標題 イカは墨を使ってどのように捕食者から逃れるのか？
3. 学会等名 大阪市立大学動物社会学研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年～2019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

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		
スペイン	Institut de Ciencies del Mar (CSIC)		