

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23380112

研究課題名(和文)エイ類(トビエイ亜目)胎仔の発生初期に見られる胚休眠の実態と環境への適応戦略

研究課題名(英文)Embryonic diapause at the early stages of development in rays (Myliobatoidei species) as an adaptation strategy to the environment

研究代表者

山口 敦子 (YAMAGUCHI, Atsuko)

長崎大学・水産・環境科学総合研究科・教授

研究者番号：10310658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円、(間接経費) 3,780,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、日本沿岸でのエイ類増加の一因をその特異な繁殖戦略に求め、海洋温暖化がエイ類の再生産に与える影響と環境への適応戦略の解明を目的としたものである。徹底したフィールド調査によりトビエイ亜目6種の受精卵と各発達ステージにおける胎仔の標本採集に成功し、それらのうち少なくとも4種が発生初期に胚休眠(発生が休止し、長いもので10ヵ月の間休眠状態になり、ごくわずかな期間で胎仔は劇的な成長を遂げる)をもつ可能性があることを明らかにした。本研究の結果から、胚休眠は本来、熱帯・亜熱帯海域に生息する種が温帯域で冬季の著しい水温の低下を克服し、繁殖成功を高めるための適応である可能性を示唆するに至った。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study was to elucidate the effects of global warming on environmental and reproductive adaptation strategies in rays. Thus, we evaluated the following hypothesis: Embryonic diapause in Myliobatoidei species is an adaptive strategy of southern-based species. We collected embryos at each developmental stage and fertilized eggs from six species. We examined these samples in detail and observed that embryonic diapause occurred during the early stages of development in at least four of the six species. These findings may suggest that embryonic diapause serves as an adaptive strategy for species that originate from tropical and sub-tropical regions to overcome the low water temperature condition of temperate regions to increase reproductive success.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：板鰓類 繁殖生態 温暖化 初期発生 休眠卵

1. 研究開始当初の背景

日本の沿岸域ではトビエイ亜目(アカエイ類やトビエイ類等)のエイ類が増加傾向にあり、深刻な漁業被害を引き起こしている。特に、西日本では温暖化の影響によりナルトビエイが増加したと考えられ、餌となる二枚貝への漁業被害を引き起こしたと認識されるようになり、モニタリング体制の充実が図られたにもかかわらず被害海域は拡大し、現在に至っている。

海洋生態系の最高位捕食者である大型サメ類の著しい減少により、食物網ではその直下位にあるエイ類等が急激に増加し、さらにその餌となる二枚貝が減少したことは、米国でも長年のデータに基づき解析され、エイ類増加は必ずしも日本だけの問題ではないことも指摘された。しかし、エイ類の増加原因は一つだけではない。そこで、ほとんど明らかにされていないエイ類の基礎生物学的な知見を蓄積するため、過去に採択された科研費により、ナルトビエイの分布や回遊、成長、食性等の全生活史や、海洋温暖化がエイ類の生物量、分布、行動に及ぼした具体的な影響の解明等に努めてきた。こうしてこれまでに行ってきた一連のエイ類生活史研究の過程で、極めて重要な事象を見出した。すなわち、有明海等の干潟河口・浅海域に生息する数種のエイ類には、発生の過程で数ヶ月間にも及ぶ diapause(胚休眠期)が起こることが明らかになったのである。陸上の昆虫や爬虫類等の胚には休眠期があることが知られており、生息域を拡大していく過程で多くの不適な環境に遭遇する際にそれを克服するための生活史戦略であると考えられている。魚類では珍しい現象である。

エイ類の中でも上記のような休眠期を持つ種の妊娠期間は約1年に及ぶ。受精後のごく初期の発生段階で突然その発達が停止、長期間休眠状態に陥り、ある時突然発育を再開させると極めて短期間で胎仔は劇的な成長を遂げる。この研究過程で、南方の海域ではトビエイ亜目のような胎生エイ類の種多様性が高いことも明らかとなり、「胎生エイ類で見られる胚休眠は南方系種特有の適応戦略である」との仮説を立てるに至った。

2. 研究の目的

本研究は、日本の沿岸域でエイ類が増加傾向にあり、その餌となる二枚貝の減少が深刻化していることを背景に、エイ類増加の一つの根拠をその特異な繁殖戦略に求め、海洋温暖化がエイ類の再生産に与える影響と環境への適応戦略の解明を目指すものである。一部のエイ類発生初期に起こる数ヶ月に及ぶ胚の休眠、発育再開のタイミング、短期間での劇的な胎仔の成長についての実態解明は、胚休眠が南方系種特有の適応であるという仮説を検証し、温暖化とエイ類増加との因果関係を紐解くための最重要事項である。ここではトビエイ亜目の種多様性が高い有明海

で、各種の繁殖生態を明らかにして胚休眠を持つ種の抽出とその実態解明を行い、各種の地理分布を調査して南方系種を定義する。その上で、海洋温暖化を初めとする環境変化がエイ類の再生産に与えた影響の解明に加え、胚休眠の生態的意義と環境への適応戦略の解明を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

はじめに、エイ類の発生初期に見られる長期間にわたる胚休眠の実態を解明するため、日本の沿岸域の中でもトビエイ亜目の種多様性が高いことがわかった有明海をフィールドとし、トビエイ亜目を対象にその繁殖生態等を明らかにする。申請者らが確立した手法により胚と胎仔を発育段階ごとに採集および固定し、これらの材料等に基づき種ごとに胚休眠の有無、胚の休眠と発育再開の時期およびタイミング等の実態についても明らかにする。また、同所に生息する複数種の生態的特性を比較検討することにより、胚休眠の生態的な意義を明らかにする。なお、トビエイ亜目では科、属をまたいで胚休眠のある種とない種が混在している可能性があることから、南方に広く分布するアカエイ科魚類の1種について、その胚休眠の有無が地域により異なるかどうかを精査する。以上の結果に基づき、胚休眠が南方系種特有の適応であるのかどうかを検証し、温暖化を初め種々の生息環境変化とエイ類増加との因果関係を再生産の面から解明するための材料とする。

4. 研究成果

(1) 有明海でのトビエイ亜目の繁殖生態

有明海をフィールドに、トビエイ亜目のアカエイ類とトビエイ類の定期的な採集を行った。採集したエイ類について、通常の生物測定と観察を行った後、子宮、子宮内受精卵または胎仔の計測を行うとともに、組織の一部または全部を固定した。受精卵については、固定後に胚を切り出して再度固定した。アカエイ類4種、トビエイ類2種について受精卵または胎仔を採集することが出来た。種ごとに月別データを解析し、受精・排卵・出産時期を推定した。データが十分に得られたエイ類のうち4種には、約一年間の妊娠期間中に最長で約10ヵ月近くもの休眠期を持つ可能性があることがわかった。一方、アカエイなどは妊娠期間が3ヶ月程度と極めて短く、長期の胚休眠は持たないことがわかった。

これらの研究の過程で、ナルトビエイが新種であったことが判明したため、有明海等で採集された標本に基づき詳細な検討を行い、*Aetobatus narutobiei* を提唱した。

(2) トビエイ亜目の地理分布～南方起源のエイは?

胚休眠の有無に地域差があるのかどうかを検討するため、情報の少ないトビエイ亜目の地理的分布状況について調査を行った。本

州および九州沿岸域をはじめ、沖縄・八重山周辺海域、東シナ海、南シナ海、タイ湾、アンダマン海沿岸で漁獲による採集調査、市場での採集調査を行い、得られた標本の同定と測定を繰り返し行った。

その結果、アカエイやトビエイは日本の北部にも分布しており、生息範囲は広いものの南方系とは見なすことができなかった。シロエイやアリアケアカエイは暖かい海域のみに分布することがわかったものの、その分布範囲が極めて狭い可能性が高いことがわかった。ズグエイは九州近海からタイ湾、アンダマン海へ至るまで最も広く分布するうえ、南へ行くほど分布密度が高くなるものと推定されたことから、南方系種のひとつであると考えられた。一方、新種であることが判明したナルトビエイの分布域について新たに調査しなおしたところ、その分布の南限は現時点ではベトナム沿岸にあるものと推定された。南方起源の種であるかどうかはわからないが、今後調査が進めば分布の南限は更に拡大する可能性があることも含め、胚休眠のモデル種の一つとして利用できるものと考えられた。

(3) 胚休眠は南方系種特有の適応戦略か？

南方系種であると考えられたズグエイをはじめ、暖かい水域を好むと考えられた4種のエイは胚休眠期を持つと推定された。一方、日本北部にも普通に分布するアカエイについては、長期の胚休眠期を持たないものと推定された。これらのことから、胚休眠は南方系種に特有の戦略である可能性があると考えられた。また、南方海域ほど生息数が多いことから典型的な南方系種であると考えられたズグエイは胚休眠期を持つが、地域によりその期間は大きく異なっていた。このことから、胚休眠は生息環境に応じて変化しやすい形質であると推定された。

(4) 胚休眠の生態的意義と個体群維持機構～温暖化がエイ類再生産に及ぼす影響とは？

各種のエイ類は長いもので10か月の胚休眠期を持つことが分かった。冬季に水温が10以下に低下するよう有明海に生息するこれらの種は、越冬するため回遊することがわかった。すなわち、越冬回遊を開始する前に交尾を済ませ、雌は子宮内にすでに受精した卵を持ったまま移動することが明らかになった。これらのエイ類の雄は、雌に比べてかなり小型で寿命が短いことも明らかとなり、越冬時には特に雄で死亡率が高くなることが予想された。温暖化がエイ類の再生産に与える直接的な影響の特定には至らなかったが、今回調査を行ったエイ類のうち胚休眠をもっていた種は九州あるいは本州が地理的分布の北限となっていることがわかった。胚休眠というシステムは、もともと熱帯・亜熱帯海域に生息する種が、温暖な海域

において冬季の著しい水温の低下を回避するための越冬を可能とし、繁殖成功を高めるための適応である可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6件)

Zhang, J., Yang, B., Yamaguchi, A., Furumitsu, K., B. Zhang: Mitochondrial genome of longheaded eagle ray *Aetobatus flagellum* (Chondrichthyes: Myliobatidae), Mitochondrial DNA, 2014 (査読あり)

White, W. T., Furumitsu, K., A. Yamaguchi: A New Species of Eagle Ray *Aetobatus narutobiei* from the Northwest Pacific: An Example of the Critical Role Taxonomy Plays in Fisheries and Ecological Sciences, Plos One, doi: 10.1371/journal.pone.0083785, December 31, 2013 (査読あり)

山口敦子: 高次捕食者から捉える有明海生態系の構造と機能の解明に向けて. 水産海洋研究, 77(4), 331-332 (2013) (査読なし)

Yamaguchi, A., Furumitsu, K., Tanaka, S., Kume, G.: Dietary habits of the fanray *Platyrrhina tangi* (Batoidea: Platyrrhinidae) in Ariake Bay, Japan. Environmental Biology of Fishes, 95, 147-154 (2012) (査読あり)

古満啓介, 山口陽介, Tongnunui Prasert, 堀之内正博, 山口敦子: アンダマン海および長崎県黒島沖から得られたウシエイ *Dasyatis cf. ushieii*. 板鯧類研究会報. (2012) (査読なし)

Furumitsu, K., Kume, G., Minei, Y., A. Yamaguchi: Reproductive biology of the shortspine spurdog *Squalus mitsukurii* in the southwest waters of Japan.: Bulletin of Marine Science, 88(4), 987-1001 (2012) (査読あり)

[学会発表](計 16件)

原康二郎・古満啓介・青島隆・兼原壽生・山口敦子: 「東シナ海におけるガンギエイの年齢と成長」日本水産学会春季大会(北海道大学, 2014.3.28)

原康二郎・古満啓介・青島隆・兼原壽生・山口敦子: 「東シナ海におけるガ

ンギエイの資源生態学的特性」水産海洋学会研究発表大会（京都大学，2013.11.17）

Yamaguchi, A., K. Furumitsu: Long-term biological study of longheaded eagle ray *Aetobatus flagellum* in Ariake Bay Japan, AES Symposium 2013, Biology, Ecology and Management of Durophagous Stingrays, (Albuquerque, 12, July, 2013)

Hara, K., Furumitsu, K., A. Yamaguchi : Age, growth, and size at sexual maturity of Kwangtung skate *Dipturus kwangtungensis* in the East China Sea, The Annual Meeting of American Elasmobranch Society, (Albuquerque, 12, July, 2013)

Yamaguchi, A., Furumitsu, K., G. Kume: Movement, seasonal migration and habitat use of sharks and rays in Ariake Bay on the western coast of Kyushu, Japan (IPFC Okinawa, 23-28 June, 2013)

Furumitsu, K., G. Kume, A. Yamaguchi: The importance of Ariake Bay, western Kyushu, Japan, as a nursery ground for many sharks and rays (IPFC Okinawa, 23-28 June, 2013)

山口敦子：「有明海の価値と干潟の生き物」世界湿地の日記念—荒尾干潟のワイズユースを考えるシンポジウム（荒尾市シティホール，2013年2月2日）

山口敦子・古満啓介：「九州・沖縄周辺海域におけるサメ・エイ類の行動生態調査について」2012年度日本板鰐類研究会シンポジウム（大阪海遊館ホール，2012年12月8日）

原康二郎・古満啓介・山口敦子：「男女群島周辺海域におけるガンギエイの繁殖特性に関する知見」2012年度日本板鰐類研究会シンポジウム（大阪海遊館ホール，2012年12月8日）

山口敦子：「高次捕食者から捉える有明海生態系の構造と機能の解明に向けて」水産海洋学会創立50周年記念大会シンポジウム「未来のために—地域が抱える課題の検証—」（東京大学伊藤国際学術研究センター，2012年11月16日）

Furumitsu K., Kume, G., A.

Yamaguchi: Reproductive Biology of Shortspine Spurdog, *Squalus mitsukurii*, around Ishigaki Island, Okinawa, Japan. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists (Vancouver, 8-14, August, 2012)

Kume, G., Furumitsu, K., A. Yamaguchi: Life history of fanray *Platyrrhina tangi* in Ariake Bay, Japan. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists (Vancouver, 8-14, August, 2012)

山口敦子：「有明海の豊かな魚類相とその生態系について」長崎地盤研究会（長崎大学，2011年10月14日）

山口敦子：「有明海の魚類相と各種の資源生態—魚類を中心とした生態系構造と機能の解明に向けて」日本水産学会シンポジウム（長崎大学，2011年9月28日）

Furumitsu, K., and A. Yamaguchi: Reproductive biology of the whip stingray, *Dasyatis akajei* (Myliobatoidei: Dasyatidae) in Ariake Bay, Japan. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists (Minneapolis, 8, July, 2011)

Yamaguchi A., Furumitsu K., Ito T., Fujiwara S., Minei Y., G. Kume: Reproductive Biology of Shortspine Spurdog, *Squalus mitsukurii*, around Ishigaki Island, Okinawa, Japan. Joint Meeting of Ichthyologists and Herpetologists (Minneapolis, 9, July, 2011)

〔図書〕（計 2件）

山口敦子ほか（共著）軟骨魚綱 全45科 in 中坊徹次編. 日本産魚類検索第3版. 東海大学出版会, 秦野. (2013.3)

山口敦子・古満啓介・久米元：有明海の魚類相と各種の資源生態「豊穡の海・有明海の現状と課題」水産学シリーズ173，恒星社厚生閣，76-87（2012.9）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 敦子 (YAMAGUCHI ATSUKO)
長崎大学大学院・水産・環境科学総合研究科・教授

研究者番号：10310658

(2) 研究分担者

古満 啓介 (FURUMITSU KEISUKE)

長崎大学大学院・水産・環境科学総合研究
科・産学官連携研究員

研究者番号：30554266