

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 18 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25450255

研究課題名(和文) 亜熱帯性大型浮遊性カイアシ類の生活史戦略の解明

研究課題名(英文) Study on life history strategy of subtropical large planktonic copepods

研究代表者

下出 信次 (Shimode, Shinji)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・准教授

研究者番号：70397090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)： 熱帯・亜熱帯性のEucalanida科とCalanidae科カイアシ類の生活史戦略の詳細と進化の過程を理解するために、相模湾に出現する両科カイアシ類を実験室で飼育し、卵生産と生活史戦略の関係を解析した。その結果、両科の属間および生活史戦略の違いに対応し、雌成体の体サイズと卵サイズの関係が異なる事が明らかとなり、表層性種は大卵少産のK-戦略者、OVM種は小卵多産のr-戦略者に大別されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： To understand details of life history strategy and speciation processes, we conducted field investigation and laboratory experiments on egg production rates and egg sizes of subtropical large planktonic copepod families of Eucalanidae and Calanidae species. The egg sizes relative to the female body sizes were clearly different among epipelagic species and OVM (ontogenetic vertical migration) species. Our result revealed that the former group is K-strategist (large but fewer eggs), while the later group is r-strategist (small but many eggs).

研究分野：生物海洋学

キーワード：生活史戦略 卵サイズ 卵生産

1. 研究開始当初の背景

「海の砂漠」であると考えられてきた亜熱帯海域は、時間的・季節的な基礎生産の変動に乏しく、一様に貧栄養な海域として認識されていたが、近年の栄養塩環境や植物プランクトンに関する研究により、その認識は大きく変化しつつある。亜熱帯海域における乱流鉛直混合や海盆スケールの中規模渦、亜熱帯性低気圧の通過による海洋表層の擾乱に伴う下層からの栄養塩供給、さらに海洋島や海山周辺での湧昇に伴う基礎生産の局所的な増加など、亜熱帯海域の生態系の生産構造は時空間的に変動している事が示唆されている。

一方、亜熱帯表層の動物プランクトンは、主に体長1mm前後の小型のカイアシ類により構成されており、その生活史は季節性に乏しく、周年再生産を行っていると考えられてきた。しかし、近年の申請者らの研究によって、亜熱帯性のカイアシ類のうち、大型種である *Neocalanus gracilis* (Calanidae 科) において、季節性は無いものの亜寒帯海域で優占する同属種と同様に「成長に伴う鉛直移動」を行っている事が始めて明らかになった。さらに、黒潮親潮移行域を含む亜熱帯海域に分布する Eucalanidae 科の *E. californicus*、*Rhincalanus nasutus* と *Rhincalanus rostrifrons* においても、亜寒帯海域や南大洋で優占する姉妹種と同様に、1年の限られた時期のみ表層へ移動し、摂餌・成長・再生産を行うという「季節的な成長に伴う鉛直移動」を行う生活史戦略が明らかとなっている。これらの種の表層への出現は、黒潮親潮移行域における植物プランクトンの増殖時だけでなく、台風などの突発的な現象、亜熱帯縁辺部、海洋島・海山等、地形性の湧昇といった時空間的に突発的・局所的な現象に対しても応答してことが示唆されている。したがって、2次生産者である動物プランクトンのうち、上記の種を含め、亜熱帯海域に分布する大型種は、これら非定常的新生産を有効に利用するため、成長に伴う鉛直移動に代表される特異的な生活史戦略を獲得している可能性が予想される。

2. 研究の目的

本研究では、亜熱帯海域の主要な2次生産者である外洋性カイアシ類のうち、Eucalanidae 科と Calanidae 科に着目し、上記非定常的新生産を有効に利用するための「成長に伴う鉛直移動」に代表される同科の生活史戦略の多様化と進化過程の解明を目標として、特に各種の表層への出現パターンと産卵生態に着目し、研究を実施した。

3. 研究の方法

西部北太平洋の亜熱帯海域で採集された動物プランクトン試料の解析

西部北太平洋の東経128~165度、北緯15~49度の海域で、JAMSTEC「白鳳丸」の航海

KH-03-02(2003年10月:St.1~7)、KH-06-01(2006年1~3月:St.8~13)、KH-06-02(2006年6月:St.14~20)、同「淡青丸」の航海KT-08-07(2008年4月:St.21と22)、KT-09-03(2009年4月:St.23~25)、水産総合研究センター「若鷹丸」の航海WK0805(2008年5月:St.26~45)において、計45測点で実施した動物プランクトンの層別試料の解析を行った。これらの動物プランクトン試料から、Eucalanidae 科各出現種の発育ステージ、(copepodid 幼体第1期から雌雄成体)を同定し、個体数の計数を行った。

相模湾における採集と飼育実験、固定試料を用いた過去の卵生産速度の推定のためのモデル式の構築

相模湾西部に位置する真鶴半島沖の観測地点(St. M, 35°09.0' N, 139°10.5' E, 水深約120m)において、2013~2016年まで毎月1回、植物プランクトンのブルームが例年観察される1~6月は月複数回、動物プランクトン試料の採集を行った。試料は卵生産実験に用いる飼育用試料とカイアシ類の生殖腺発達段階の評価と個体数密度測定のためのホルマリン固定用試料の双方を採集した。また同時に、飼育海水の採取および現場環境を評価することを目的として、CTD センターを用いて水温・塩分・クロロフィル a 濃度の鉛直プロファイルを取得した。

得られた飼育用試料より、同海域に出現した Eucalanidae 科と Calanidae 科の全ての種(計19種)の成体雌を選別し、24時間の飼育実験を行い、卵生産速度、卵サイズ、成体雌の前体部長を測定した。得られた両科各種の卵サイズの結果と、その生活史の解析結果および先行研究の結果を用いて、生活史のタイプと産卵生態の関係を解析した。

上記に加えて、現場で優占的に出現する *Calanus sinicus* と *E. californicus* の2種に関しては、クラッチ数の測定も併せて行った。さらに固定試料を用いて、両種成体雌の出現個体数密度の計数、生殖腺発達段階の判定も実施した。これらの解析結果を用いて、固定試料中の両種の成体雌の生殖腺発達段階を指標とした卵生産速度推定のためのモデル式を構築することを目的として、重回帰分析を実施した。また、横浜国立大学臨海環境センターに保存されている相模湾沿岸域の動物プランクトンのモニタリング試料を活用し、両種の個体群動態と成体雌の生殖腺発達段階の経年変化を解析した。

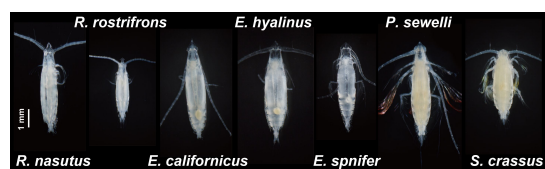


図1. 調査海域に出現した亜熱帯性の Eucalanidae 科のうち、成長に伴う鉛直移動を行っていると考えられる7種。

4. 研究成果

亜熱帯から亜寒帯海域で採集された表層から深層まで層別の動物プランクトン試料を解析した結果、Eucalanidae 科出現種のうち、それぞれ高緯度種 1 種・中緯度種 2 種・低緯度種 4 種において、緯度毎に異なる OVM のパターンが認められた(図 1)。そこで、本科の熱帯・亜熱帯性の表層性種を含め、多様な生活史戦略の詳細と進化の過程を理解するために、相模湾に出現する本科カイアシ類を実験室で飼育し、卵生産と生活史戦略の関係を解析した。その結果、本科の属間および生活史戦略の違いに対応し、雌成体の体サイズと卵サイズ、卵生産速度の関係が異なる事が明らかとなり、表層性種は K-戦略者、OVM 種は r-戦略者に大別されることが明らかとなった。

上記の結果を受けて、Eucalanidae 科と同様、海洋において、個体数・生物量ともに主要な動物プランクトンである Calanidae 科に関しても相模湾に出現する種に関して飼育実験を行い、卵生産速度と卵サイズの測定を実施した。また、相模湾では採集できない高緯度海域の種に関しては、先行研究から上記に該当するデータを収集し、併せて解析を実施したところ、Eucalanidae 科と同じく、本科においても表層性種は K-戦略者、OVM 種は r-戦略者に大別されることが明らかとなった。

本研究により明らかになった両科で一致する結果は、海洋の主要な動物プランクトンであるカイアシ類において、生活史戦略と産卵戦略が密接に関連しており、異なる科間でも両者の戦略は共通である可能性を示唆していると考えられた。つまり、異なる海洋環境に適応する際、産卵戦略の変化と生活史の多様化が同時に起きていることを示唆している。

さらに、相模湾における動物プランクトンのモニタリング試料を用いて、2012 年から 2016 年までの毎月の試料を解析し、同海域の主要な大型カイアシ類である *E. californicus* と *C. sinicus* の個体群動態と成体雌の生殖腺発達段階を解析した。その結果、同海域の春季表層にのみ出現する OVM 種である *E. californicus* において、表層での出現期間の長短は、年ごとに異なる表層の餌環境により制御されている可能性が明らかとなった。この結果は、2014~2016 年に実施した上記の卵生産実験の結果においても支持され、餌環境が不良で表層出現期間が長い年は、卵生産速度も低く、個体群の新規加入量も低下していた可能性が示唆された。

Calanidae 科の *C. sinicus* に関しては、本種の周年の卵生産速度の変化が水温と強い負の相関を示したことから、高温期を避けて深層へ移動し休眠する個体が増加し、それらは、冬季から春季に表層に出現している可能性が示唆された。また、本種の表層での生理状態の詳細を明らかにするための追加実験

として、窒素排泄速度の高精度解析を行い 1 個体ごとの排泄速度を明らかにした。

一方、固定試料を用いた過去の卵生産速度推定のためのモデル式構築に関しては、*C. sinicus* において約 2 年間毎月の卵生産速度実験と固定試料の解析を行った。その結果、卵生産速度と成体雌の生殖腺発達段階との間には良い相関(図 2)が認められ、相模湾でのモデル式を構築することができた。一方、*E. californicus* に関しては、実験個体数が十分に集められなかったこともあり、現在も引き続き実験を継続している。

本研究で構築された生殖腺発達段階を指標した二次生産のモデル式を用いることにより、将来的には、各地で継続・保管されている動物プランクトンのモニタリング試料に適応し、過去の中長期的な動物プランクトンの二次生産の復元が可能となるものと期待できる。

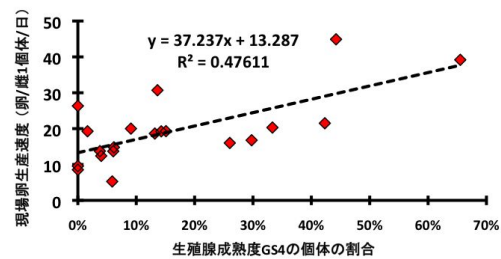


図2. 相模湾における*C. sinicus*の飼育実験による現場卵生産速度と、同時に採集した固定試料中の成体雌のうち生殖腺成熟度が産卵直前のGS4の個体の割合の関係。

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 1 件)

1. Kodama, K., Takahashi, K., Nakamura, K., Shimode, S., Yamaguchi, T. & Ichikawa, T. (2015). Short-term variation in the *Calanus sinicus* ammonium excretion rate during the post-capture period. *Plankton & Benthos Research*, Volume 10, Issue 1, p. 75-79. (査読有り)

[学会発表](計 13 件)

1. 下出信次・高橋一生・平原南萌・美川真奈・菊池知彦・戸田龍樹. *Calanus* 属 2 種 *C. sinicus* と *C. jashnovi* の産卵生態と生活史戦略. 日本海洋学会海洋生物学研究会第一回シンポジウム. 東京海洋大学(東京都品川区, 2017年3月21日).
2. 大西拓也・平井淳也・下出信次・津田敦. 飢餓における *Calanus sinicus* 雌成体の遺伝子発現. 日本海洋学会海洋生物学研究会第一回シンポジウム. 東京海洋大学(東京都品川区, 2017年3月21日)

3. 井川裕介・戌亥麻純・戸田龍樹・菊池知彦・下出信次. 相模湾における浮遊性カイアシ類 *Eucalanus californicus* の個体群動態と卵生産. 日本海洋学会 2016 年度秋季大会. 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市, 2016 年 9 月 13 日)
4. 下出信次・高橋一生・平原南萌・美川真奈・菊池知彦・戸田龍樹. カラヌス科カイアシ類の卵サイズと生活史戦略. 日本海洋学会 2016 年度秋季大会. 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市, 2016 年 9 月 13 日)
5. Shimode, S. and Takahashi, K. Egg sizes and life histories of the copepod family Eucalanidae. ICES/PICES 6th Zooplankton Production Symposium (Bergen NORWAY, 10 May 2016).
6. 山口貴史・菊池知彦・平原南萌・戸田龍樹・下出信次. 相模湾における浮遊性カイアシ類 *Calanus sinicus* の生殖腺発達段階と卵生産の関係. 日本海洋学会 2016 年度春季大会. 東京大学 (東京都文京区, 2016 年 3 月 17 日).
7. 美川真奈・菊池知彦・平原南萌・戸田龍樹・高橋一生・下出信次. 相模湾における浮遊性カイアシ類 *Calanus sinicus* の卵サイズ. 日本海洋学会 2016 年度春季大会. 東京大学 (東京都文京区, 2016 年 3 月 17 日).
8. Shimode, S., Inui, M., Kikuchi, T. and Toda, T. 3-year variability of *Eucalanus californicus* population in Sagami Bay, Japan: Relationships between population density and duration of surface occurrence. PICES-2015 Annual Meeting (Qingdao CHINA, 22 October 2015).
9. Yamaguchi, T., Kikuchi, T., Toda, T. and Shimode, S. Seasonal changes in prosome length and egg reproduction of planktonic copepod *Calanus sinicus* in Sagami Bay, Japan. PICES-2015 Annual Meeting (Qingdao CHINA, 22 October 2015).
10. 戌亥麻純・菊池知彦・戸田龍樹・下出信次. 相模湾におけるカイアシ類 *Eucalanus californicus* の個体群動態. 2015 年度日本海洋学会秋季大会. 愛媛大学 (愛媛県松山市, 2015 年 9 月 28 日).
11. 下出信次・山口貴史・菊池知彦・平原南萌・戸田龍樹・津田敦・高橋一生. ユーカラヌス科カイアシ類の卵サイズと生活史戦略. 2015 年度日本海洋学会春季大会. 東京海洋大学 (東京都品川区, 2015 年 3 月 24 日).
12. 山口貴史・菊池知彦・中川裕子・平原南萌・戸田龍樹・下出信次. 相模湾におけるカイアシ類 *Calanus sinicus* の卵生産

と体長組成の季節変化. 2015 年度日本海洋学会春季大会. 東京海洋大学 (東京都品川区, 2015 年 3 月 24 日).

13. 後藤直子・菊池知彦・下出信次 (2014). 相模湾におけるカイアシ類 *Calanus sinicus* の体長組成の季節変化と生殖腺発達段階の推定. 2014 年度日本海洋学会秋季大会. 長崎大学文教キャンパス (長崎県長崎市, 2014 年 9 月 15 日).

〔その他〕

ホームページ等

1. 研究を通じて採集した動物プランクトンの動画を撮影し、一般向けに下記で公開した。

https://www.youtube.com/channel/UCZhgSFNe8bY7GnAk4Lx0f0g/videos?sort=d&view=0&live_view=500&flow=grid

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下出 信次 (SHIMODE, Shinji)
 横浜国立大学・大学院環境情報研究院・
 准教授
 研究者番号：70397090