

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18612

研究課題名(和文)動物プランクトン群集のエネルギー代謝機能の解明

研究課題名(英文)Studies on the ecological metabolism on community level of marine plankton

研究代表者

八木 光晴(YAGI, Mitsuharu)

長崎大学・水産学部・助教

研究者番号：90605734

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)：本研究は、動物プランクトン群集のエネルギー代謝機能の律速要因の解明を目指した。そこで、北は北海道から南は台湾周辺海域に至る様々な海域において動物プランクトン群集のエネルギー代謝速度、海洋物理環境、そしてバイオマスと体サイズスペクトルを明らかにした。エネルギー代謝速度は昼間より夜間の方が有意に高く、昼間の平均の値と比べて約4倍であった。一方、昼間でも夜間でもエネルギー代謝速度は水温・塩分といった物理環境に影響を受けていることも明らかとなった。また、バイオマスはエネルギー代謝速度に直接的な影響を及ぼしており、バイオマスで標準化したエネルギー代謝速度は体サイズが律速要因の1つであることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to clarify limiting factor for ecological metabolism on community level at biological hierarchy, whereat I investigated metabolic rate of marine zooplanktons, water quality environment, biomass, and body size-spectrum in various kinds of marine area from Hokkaido in the north to Taiwan in the south. Mean value of metabolic rate during night was approximately quadruple than that of day. On the other hand, metabolic rate was influenced by water quality such as water temperature and salinity during day or night. Biomass of zooplankton community was directly affected metabolic rate, and body size-spectrum was one of the critical factor in the determination for mass-correlated community metabolic rates.

研究分野：生理生態学、漁業生態学

キーワード：動物プランクトン群集 エネルギー代謝速度 体サイズ 海洋物理環境 サイズの生物学 代謝スケール
リング サイズスペクトル 練習船

1. 研究開始当初の背景

海洋に生息する動物プランクトンは、植物プランクトンが産み出す一次生産エネルギーを二次生産エネルギーへと転換し、魚類、海鳥ひいては人類といった高次消費者へ転送する機能を担っている。動物プランクトンの二次生産量は、エネルギー代謝速度に依存していることから、エネルギー代謝速度は単に生理学的な情報のみならず、水産・生態学的な機能を知る上で極めて有用な数値的形質である。加えて、この形質は生物の体サイズと密接に関係していることが知られてきた。

従来、生物のエネルギー代謝速度をめぐっては個体レベルでのエネルギー代謝速度が何に？どれくらい影響を受けるのか？という問題を扱ったものが多かった。一方で、温暖化をはじめとした現在進行中の環境変動が様々な生物のエネルギー代謝速度に与える影響を明らかにする必要性が増していることから、モデル・理論研究では個体レベルの議論から個体群、群集レベルへとスケール・アップする方向にシフトしつつある。しかし、実際に群集レベルでのエネルギー代謝速度を測定した例、及びそれに影響を与える律速要因の検討をした研究例は世界的にも皆無である。そこで本研究では、動物プランクトンを用いて個体レベルを超えた群集のエネルギー代謝機能を体サイズと生息物理環境という2つの構造とともに明らかにしていく。これらの知見は、社会的に注目されている海洋環境変動が及ぼす群集レベルでの二次生産量への影響評価への足がかりとなる。

研究代表者は、広義では動物プランクトンとされる生まれた直後からの微小な魚類や頭足類を用いて、成長に伴うエネルギー代謝速度を明らかにしてきた。この研究で、個体レベルのエネルギー代謝速度は、温度を一定にした場合、体サイズを説明変数に持つアロメトリー式で表され、全体の回帰直線の傾きは負の値であることが明らかとなった。このことは、単純に小さな動物は体重当たりのエネルギー代謝速度（単位体重当たりのエネルギー代謝速度）が高く、大きな動物では単位体重当たりのエネルギー代謝速度が低いことを示している。そこで、申請者は群集レベルのエネルギー代謝速度でも体サイズの構造（どれくらいの大きさのプランクトンがどのくらいいるのか）が鍵になっているのではないかと考えるに至り、それらの形質に着目した。

2. 研究の目的

本研究では群集エネルギー代謝速度は群集の体サイズ構造と物理環境により説明される、とする作業仮説を立てた。そこで、季

節、緯度別に以下のことを明らかにすることを目的とした。(1) 群集のエネルギー代謝速度、(2) 生息していた海洋物理環境、(3) バイオマスと群集の体サイズ構造を表す体サイズ・スペクトル。

3. 研究の方法

(1) 群集のエネルギー代謝速度

供試の動物プランクトンは、北は北海道から南は台湾周辺にわたる様々な海域（図1）で年間を通して長崎大学水産学部附属練習船長崎丸に乗船して日中と日没後の1日に2回採集した。

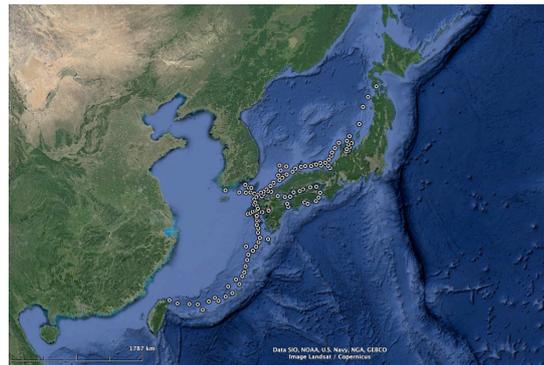


図1 動物プランクトンの採集地点の例

実験期間中の航海日数は368日であった。採集開始と終了地点はDGPSにより緯度、経度を記録した。併せて、動物プランクトン群集の反射強度とその時系列変動を観察するために計量魚探データも収録した。採集方法は航走中でも船速を落とす必要がない船上揚水システムを用い、動物プランクトンネットを作製して使用した。時間当たりの揚水量については流速計を用いて記録した。

エネルギー代謝速度は酸素消費量を指標として、単位時間当たりの酸素消費量を止水式の方法により求めた。併せて、本計測方法の妥当性を判断するために動物プランクトンに限らずいくつかの種で事前にエネルギー代謝速度の計測も行った。溶存酸素消費量の測定は超精密光学式溶存酸素計（WTW社製携帯用マルチ水質測定器 Multi 3430）を用いた。

(2) 海洋物理環境

動物プランクトンの採集中、および全航海中にわたり表層の物理環境を多項目水質計（YSI社製 PRO-DSS 多項目水質モニター DSS2-30）により測定した。具体的には水温、塩分、溶存酸素量、pH、気圧、SPC、ORPの計7項目であった。また、船舶の航海計器により水深、船速、風力、針路等を毎分記録した。さらに、深海域の時系列水温の変化を把握する為に、海底地震計に温度ロガーを装着して計測した。

(3) バイオマスと体サイズ・スペクトルエネルギー代謝速度を計測した動物プランクトンは5%の中性ホルマリンで固定された後、湿重量、すなわちバイオマス量が測定された。測定は精密電子秤(メトラー・トレド社製 EX125D)を用いた。また、動物プランクトンの体サイズを計測するために実体顕微鏡(ニコン社製 SMZ-800)下で撮影をして、パソコン上で各サイズを計測した。併せて、どのような種類がどのくらいいたのかを把握するために、種の同定と個数を計数した。

4. 研究成果

(1) 群集のエネルギー代謝速度

海水1リットル当たりの動物プランクトン群集のエネルギー代謝速度は、昼間は0.456 mg O₂/l/minで夜間は1.591 mg O₂/l/minであり夜間の方が有意に高いことが明らかとなった(t検定、t=3.399、p=0.002)。これは夜間に体サイズの大きい動物プランクトンが日周運動により表層近くに移動していたことを示唆する。一方で、昼間のエネルギー代謝速度の範囲は0.066~1.968 mg O₂/l/minで、夜間は0.209~3.738 mg O₂/l/minとなり、昼夜に拘わらず変動していることが明らかとなった。これは、海域や季節、そして後述する物理環境やバイオマスの違いを反映しているものと考えられた。

(2) 海洋物理環境

実験期間中、水温は9°Cから32°C、塩分は26.2psuから35.2psu、pHは8.05~8.32の幅で推移していたことが明らかとなった。これらの変動は、そこに生息する動物プランクトン群集の生理生態に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。

また、深海域の時系列水温の変化は水深により大きく異なることが明らかとなった。すなわち、年間を通しての水温の平均は水深631mでは6.606±0.317°C(平均±標準偏差)、730mでは5.493±0.373°C、1837mでは2.177±0.056°C、3560mでは1.643±0.004°Cなどであった。

(3) バイオマスと体サイズ・スペクトル

エネルギー代謝速度の測定に使用した動物プランクトンの湿重量、すなわちバイオマスは0.32mgから13.94mgの範囲であった。バイオマスが多い海域は、群集のエネルギー代謝速度も高いことが明らかとなった。体サイズ・スペクトルは昼間より夜間の方が体サイズの大きい個体の出現頻度が高いことも明らかとなり、先のエネルギー代謝速度の高低と関連していることが示唆された。動物プランクトンの種類はコペポダ類が多く、次いでヤムシ類も多かった(図2)。動物プランクトン群集のバイオマスと体サイズ・スペクトルの把握は非常に時間を要する作業であるので、今後、プランクトンカウンターなど

半自動的にサイズと量を測定できる技術の開発とその応用が重要になってくるものと考えられる。これらの知見をもとに、全球的な規模での動物プランクトン群集のエネルギー代謝マップの構築を目指した研究も期待される。



図2 採集した動物プランクトンの一例。格子の大きさは1mm

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9件)

① Andrea Tarallo, Mitsuharu Yagi, Shin Oikawa, Claudio Agnisola, Giuseppe D'Onofrio, 2016, Comparative morpho-physiological analysis between *Ciona robusta* and *Ciona savignyi*, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 485, pp. 83-87. doi:10.1016/j.jembe.2016.09.001 【査読有り】

② 八木光晴, 楠本成美, 山脇信博, 清水健一, 2016, 海上における相手船の目視観測距離の推定誤差について, *日本航海学会論文集*, 135, pp. 115-121. doi:10.9749/jin.135.115 【査読有り】

③ Minoru Wada, Fumiaki Mori, Kazuki Yokouchi, Mitsuharu Yagi, Toru Takita, Atsushi Ishimatsu, Mitsumori Iwataki, Kazuya Takahashi, Hieu Van Mai, Toan Thanh Vo, Hung Phuoc Ha, Dinh Dac Tran, 2016, Comparison of planktonic microbial abundance and dissolved oxygen consumption between the aquaculture ponds of mudskippers and shrimps in the Mekong Delta, Southern Vietnam, *Fisheries Science*, 82(5), pp. 787-797. doi:10.1007/s12562-016-1000-1 【査読有り】

④ 千葉元, 竹内章, 畠俊郎, 八木光晴, 2016, 魚群探知機エコーとGPS測位によるメタンブルーム位置特定, *日本航海学会論文集*, 134, pp. 73-80. doi:10.9749/jin.134.73 【査読有り】

⑤ 川崎規介, 清水健一, 八木光晴, 高山久明, 2016, エネルギー代謝量からみた和船槽漕ぎの推進効率の検討, *日本航海学会論文集*, 134, pp. 52-57. doi:10.9749/jin.134.52 【査読有り】

⑥ Nopparat Nasuchon, Mitsuharu Yagi, Yuuki Kawabata, Kunshan Gao, Atsushi Ishimatsu, 2016, Escape responses of the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* under elevated temperature and CO₂ conditions, *Fisheries Science*, 82(3), pp 435-444. doi:10.1007/s12562-016-0974-z 【査読有り】

⑦ Andrea Tarallo, Claudia Angelini, Remo Sanges, Mitsuharu Yagi, Claudio Agnisola, Giuseppe D'Onofrio, 2016, On the genome base composition of teleosts: the effect of environment and lifestyle, *BMC Genomics*, 17, 173. doi:10.1186/s12864-016-2537-1 【査読有り】

⑧ Kazutoshi Sato, Atsuyoshi Manda, Qoosaku Moteki, Kensuke K. Komatsu, Koto Ogata, Hatsumi Nishikawa, Miki Oshika, Yuriko Otomi, Shiori Kunoki, Hisao Kanehara, Takashi Aoshima, Kenichi Shimizu, Jun Uchida, Masako Shimoda, Mitsuharu Yagi, Shoshiro Monobe, Yoshihiro Tachibana, 2015, **Influence of the Kuroshio on mesoscale convective systems in the Baiu frontal zone over the East China Sea**, *Monthly Weather Review*, 144, pp 1017-1033. doi:10.1175/MWR-D-15-0139.1 【査読有り】

⑨ Yuuki Kawabata, Atsushi Nanami, Ken Yamamoto, Taku Sato, Koichi Kuwahara, Megumi Koga, Kazuhiro Kawaguchi, Tomofumi Yamaguchi, Itaru Ohta, Ryo Kawabe, Gregory N. Nishihara, Mitsuharu Yagi, Kiyoshi Soyano, 2015, Duration of migration and reproduction in males is dependent on energy reserve in a fish forming spawning aggregations, *Marine Ecology Progress Series*, 534, pp 149-161. doi:10.3354/meps11380 【査読有り】

〔学会発表〕(計 11 件)

① 八木光晴, 楠本成美, 筒井英人, 内田 淳, 木下 宰, 清水健一, 山脇信博, 青島 隆, 森井康宏, 2016, 群集のエネルギー代謝量を決定するものは何か? : 動物プランクトン編, *日本動物・植物・生態学会 2016 年度長崎県三学会合同例会*, 長崎大学 (長崎県長崎市) . 2016 年 12 月 17 日.

② 藤本真悟, 山平寿智, 八木光晴, 2016, メダカにおける安静時代謝量の集団内変異と遊泳速度との関係, *日本動物・植物・生態学会 2016 年度長崎県三学会合同例会*, 長崎大学 (長崎県長崎市) . 2016 年 12 月 17 日.

③ 筒井英人, F. Lozar, C. Rioux-Gobin, G. Iwankow, 八木光晴, 山脇信博, R. W. Jordan, 2016, 現生ナマコならびにホシムシの消化管内から見いだされた動物プランクトンについて, *日本動物・植物・生態学会 2016 年度長崎県三学会合同例会*, 長崎大学 (長崎県長崎市) . 2016 年 12 月 17 日.

④ Shingo Fujimoto, Kazunori Yamahira, Mitsuharu Yagi, Intra-population variation in resting metabolic rate affects swimming speed in a fish, *The Joint meeting of the 22nd International Congress of Zoology & the 87th meeting of the Zoological Society of Japan*, Ginowan, Okinawa, Japan. 17th-18th November 2016.

⑤ 筒井英人, 山脇信博, 日野出賢二郎, 八木光晴, 楠本成美, 森井康宏, 大立目美雪, Richard W. Jordan, 2016, 日本海沿岸表層水中の *Coscinodiscus wailesii* ほかに植物プランクトン群集について, *日本珪藻学会第 36 回研究集会*, タカミヤビレッジホテル (山形県山形市) . 2016 年 10 月 22 日.

⑥ 清水健一, 八木光晴, 森井康宏, 山脇信博, 木下 宰, 楠本成美, 青島 隆, 内田 淳, 眞角聡, 高山久明, 2016, MATLAB の対話型 GUI 機能を用いた船体挙動表示プログラムの開発と長崎大学水産学部附属練習船鶴洋丸における巡回試験での適用, *平成 28 年度公益社団法人日本水産学会秋季大会*, 三重大学 (三重県津市) . 2016 年 9 月 10 日.

⑦ 八木光晴, 清水健一, 内田 淳, 木下 宰, 山脇信博, 青島 隆, 森井康宏, 兼原壽生, 2016, カツオドリが航行船と付随飛行する謎に迫る: 船とカツオドリとトビウオの不思議な関係, *平成 28 年度公益社団法人日本水産学会春季大会*, 講演番号 1028, 東京海洋大学 (東京都品川区) . 2016 年 3 月 27 日.

⑧ 八木光晴, 藤本真悟, 及川 信, サイズの生物学: 生き物たちの体の大きさとその暮らしぶり, *第 40 回日本比較内分泌学会・第 37 回日本比較生理生化学会合同大会 (CompBiol 2015) 公開講座「くらべてびっくり! いきものあんな生き方, こんな生き方: 生き物の不思議を探る~研究最前線」*, JMS アステールプラザ (広島県広島市) . 2015 年 12 月 13 日.

⑨ 八木光晴, 受賞講演: 動物の成長に伴う代謝スケールリングに関する研究, *第 40 回日本比較内分泌学会・第 37 回日本比較生理生化学会合同大会 (CompBiol 2015)*, JMS アステールプラザ (広島県広島市) . 2015 年 12 月 13 日.

⑩ 千葉 元, 竹内 章, 畠 俊郎, 八木光晴,

2015, 魚群探知機エコーとGPS測位によるメ
タンブルーム位置特定, 第133回日本航海学
会講演会, 東京海洋大学(東京都品川区).
2015年11月7日.

⑪ Tadasuke Kawasaki, Hisaaki Takayama,
Kenichi Shimizu, Mitsuharu Yagi, Evaluation of
propulsive efficiency of “Ro-Scull” focus on
active metabolic rate, *14th Joint International
Symposium between Pukyong National
University and Nagasaki University*, Busan,
Korea. 22th October 2015.

[その他]

ホームページ等

<http://research.jimu.nagasaki-u.ac.jp/IST?ISTActId=FINNJPDetai&ISTKidoKbn=&ISTErrorChkKbn=&ISTFormSetKbn=&ISTTokenChkKbn=&userId=100000784>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八木 光晴 (YAGI, Mitsuharu)

長崎大学・水産学部・助教

研究者番号: 90605734