

令和 3 年 4 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K14506

研究課題名(和文) 餌生物の違いがカイアシ類の成長生産に与える影響に関する実験生態学的研究

研究課題名(英文) Experimental study on effect by different prey for copepod ecology and physiology

研究代表者

松野 孝平 (MATSUNO, Kohei)

北海道大学・水産科学研究院・助教

研究者番号：90712159

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)：北極海でこれまで観測されていなかった植物プランクトン秋季ブルームに対しても、北極海産カイアシ類は速やかに応答し、摂餌速度を高めた。一方で、太平洋から流入する太平洋産カイアシ類は、北極海でほとんど餌を摂餌していなかった。これらのカイアシ類の摂餌行動は、外因的な要因(餌の種類)だけでなく、内因的な要因(油球の蓄積度合い)によっても変化することが考えられた。カイアシ類の産卵についても、海氷融解に伴う春季植物プランクトンブルームのタイミングに大きく支配されていることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カイアシ類は汎世界的な最優占分類群であり、一次生産を高次生物に繋ぐ面(水産学)や鉛直的な物質輸送の面(海洋学)において重要であるが、餌生物とカイアシ類の関係(摂餌、成長、生産)については未だ十分に理解が進んでいない。本研究は、気候変動により海洋環境および植物プランクトンが変化したときに、カイアシ類がどのように応答するのか明らかにしている。この知見は、海洋生態系内のエネルギーフローや物質循環が気候変動によりどのように変化するのかを解釈・予測する上で重要である。

研究成果の概要(英文)：Copepods quickly increased their grazing rate in autumn phytoplankton bloom of the Arctic Ocean. While, Pacific copepods did not actively graze the phytoplankton in the Arctic Ocean. These grazing activities were controlled by not only exogenous factors (food contents) but also endogenous factors (lipid accumulation). Their reproduction was governed with the timing of spring phytoplankton bloom associated with sea-ice melt.

研究分野：生物海洋学

キーワード：動物プランクトン 植物プランクトン カイアシ類 摂餌 再生産 脂肪酸組成 極域

1. 研究開始当初の背景

海洋生態系において、動物プランクトンは植物プランクトンを摂餌し、魚などの高次生物に捕食されることにより、一次生産と高次生物を繋ぐ役割を持つ。動物プランクトン分類群の中でもカイアシ類は、汎世界的にバイオマスの約8割以上を占める、最重要分類群である。海産カイアシ類の成長および生産は、餌生物から得た有機物に基づいている。一般的に、カイアシ類の摂餌量を1とした時、有機物を体内に取り込む割合の"同化効率"は0.7、摂餌量のうち成長に回る割合の"純生産"は0.3、また呼吸によるロスが0.4、排泄される部分が0.3程度とされている。しかし、これらの値はカイアシ類の種や餌生物によっても大きく異なるが、その一般則については不明な点が多い。海洋生態系モデリングの NEMURO においても、カイアシ類の成長および生産に関わる諸パラメータ(同化効率、純生産、呼吸速度、排泄率)は前述の固定された比率率を用いている。これら海洋生態系モデリングにおいても、動物プランクトン以降の再現性の低いことが指摘されているが、この理由として餌生物の質的な違いがカイアシ類の成長および生産に関わる諸パラメータ(同化効率、純生産、呼吸速度、排泄率)に与える影響の評価に関する理解が乏しいことが挙げられる。

2. 研究の目的

研究代表者はこれまで、船上飼育実験に基づくカイアシ類の摂餌速度や排泄速度の測定を複数回にわたり行ってきた。その結果として、同所的な環境下においてもカイアシ類の摂餌速度は種により大きく異なること、さらに餌生物の選択性もあり、その選択度合いはカイアシ類の種により異なることを見だしていた。一方で、餌生物が変化すれば、カイアシ類の生理活性が変化することが予想されるが、それらを検証した研究例は乏しい。本研究は、船上および陸上実験室での飼育実験を通して、カイアシ類の摂餌から成長・生産過程に関わる生理活性に、餌生物の違いが与える影響を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題達成のため、北海道大学水産学部附属練習船おしよる丸および JAMSTEC 海洋地球研究船みらいの複数回の航海に参加し、以下の観測・実験を行った。

(1) 2013年9月の太平洋側北極海陸棚域において、2週間の定点観測を実施した。定点観測中は、80cmリングネットによりカイアシ類生鮮個体を毎日2-4回採集し、消化管色素量を測定し、カイアシ類の摂餌速度を求めた。

(2) 9-10月の太平洋側北極海において、同所的に採集した北極海産カイアシ類と太平洋産カイアシ類の摂餌実験を行った。80cmリングネットにより生きた個体を採集し、種類ごとにソートし、現場表層海水を満たしたボトルに入れ、デッキ上の表層水かけ流し水槽中で24時間インキュベートした。インキュベート前後でのボトル中の餌(マイクロプランクトン)を倒立顕微鏡下で計数し、カイアシ類の摂餌速度および餌選択性を評価した。

(3) 2019年10月の太平洋側北極海において、北極海産カイアシ類と太平洋産カイアシ類を採集し、消化管色素量と脂肪酸組成を分析した。

(4) 北部ベーリング海において、2017年および2018年の夏季に採集した動物プランクトン試料を分析し、カイアシ類の個体群構造、雌成体の成熟度合い、ノープリウス幼生の月変化を解析した。

4. 研究成果

本研究課題では、船舶による観測機会の多かった極域において、特に多くの成果を挙げることができた。以下に概要を記述する。

(1) 秋季の太平洋側北極海で強風イベントを起因とする植物プランクトンブルームに対し、カイアシ類が速やかに応答し、摂餌速度を上昇させていたことを明らかにした(図1)。同観測では、植物プランクトンの優占分類群も短期間で変化し、ブルーム時には珪藻類の割合が増加していた。これらのことから、カイアシ類は餌の量および種類が変化するとそれに応じて摂餌速度を速やかに変化させることが示された。これは、自然環境中において餌生物が変化した場合にカイアシ類がそれに鋭敏に応答することを示しており、餌生物の違いが摂餌以外の成長、同化効率、呼吸へ影響を及ぼす可能性を示唆している。

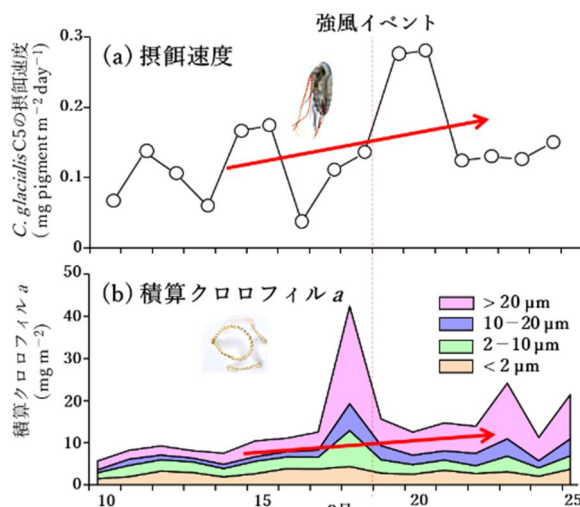


図1. 太平洋側北極海の秋季ブルーム時におけるカイアシ類摂餌速度の時間変化。

(2) 太平洋側北極海には太平洋にしか分布していないカイアシ類(太平洋産種)が北極海内に輸送されており、それらが北極海内ではあまり餌を摂餌していないことを船上飼育実験で明らかにした(図2)。従来の分布域(北太平洋亜寒帯域)での摂餌と比べて、北極海内での摂餌速度は低かったために、北極海内の餌環境は太平洋産種にとって好ましくないものと考えられた。この結果から、不適な餌環境に遭遇すると、カイアシ類の摂餌速度は下がり、それを受け生理活性も下がることが示唆される。

(3) 本研究課題は、上述のような餌環境という外因的な要因によるカイアシ類生理活性への影響のみを当初想定していたが、内因的な要因による影響も明らかにすることができた。令和元年(2019年)のJAMSTEC 未来北極航海中に採集したカイアシ類の消化管色素量と脂肪酸組成を解析した。その結果、油球を体内に多く蓄積している個体は、摂餌速度が低く、反対に油球蓄積が進んでいない個体ほど摂餌速度が高いことが明らかとなった。このことから、本研究課題で注目していた外因的な要因(餌の種類)だけでなく、内因的な要因(油球の蓄積度合い)によって、摂餌行動が変化することが示唆される。

脂肪酸分析では、種および食性ごとに体内に蓄積している脂肪酸の組成が変化していることも分かった。詳細に解析すると、北極海陸棚域に優占する北極海産カイアシ類 *Calanus glacialis* では、同時期の同種・同発育段階内であっても地点による大きな変化が見られた。脂肪酸組成は、摂餌した餌の履歴と判断できるため、脂肪酸組成の海域差は、海域による餌生物(珪藻類や渦鞭毛藻類などの植物プランクトン分類群レベル)の差を反映していると考えられる。このことから、本種の摂餌戦略は日和見であることが示唆される。興味深いことに、太平洋産種の *Eucalanus bungii* の脂肪酸組成も、地点による変化が大きいと、北極海産種と同様に日和見の摂餌戦略を有していると考えられる。

(4) 成長と産卵に関して、2017年6-9月の北部ベーリング海で毎月採集した試料を分析した。その結果、北極海産種の *Calanus glacialis* および太平洋産種の *Eucalanus bungii* と *Metridia pacifica* は、6月では初期発育段階が多いが、9月では後期発育段階が増加し、時間経過とともに個体群が成長していることが示された(図3)。さらに、成熟した雌成体とそれぞれの種のノープリウス幼生が調査期間中継続して出現していたことから、少なくとも6-9月に再生産を行っていることが分かった。

さらに、夏季の北部ベーリング海におけるカイアシ類の個体群構造を、海水融解が例年通りであった2017年と著しく早かった2018年の比較をしたところ、海水衰退時期が早まると、春季植物プランクトンブルーム発生が遅延し、カイアシ類の再生産時期が遅くなることが明らかとなった。

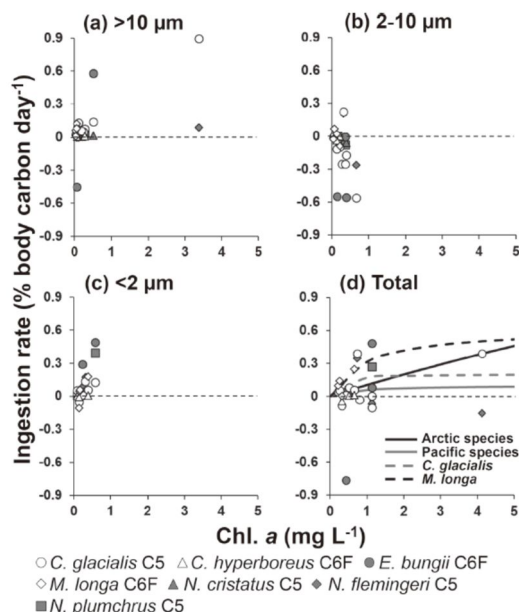


図2. 太平洋側北極海内で同所的に出現した北極海産カイアシ類(白抜きシンボル)と太平洋産カイアシ(灰色シンボル)のサイズ画分ごとの摂餌速度。横軸が現場のクロロフィル a 濃度、縦軸がカイアシ類炭素重量に対する摂餌した餌の炭素量。

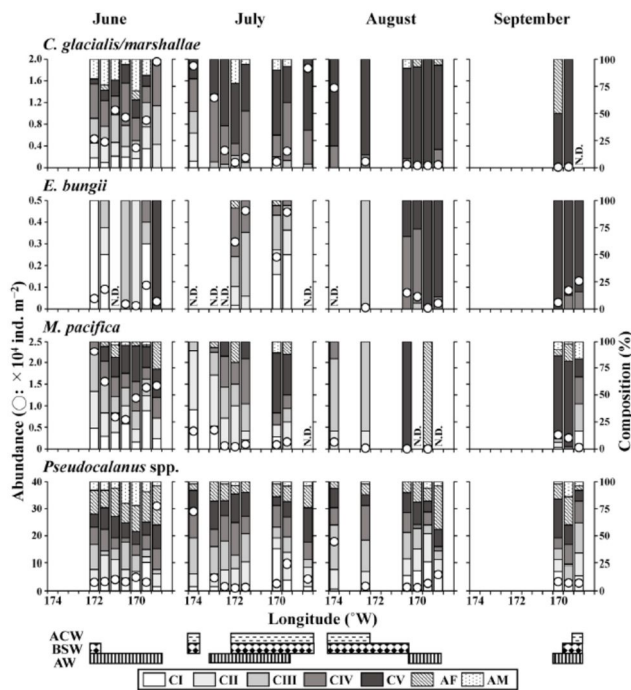


図3. 北部ベーリング海6-9月における優占カイアシ類の個体群構造の月変化。6月は初期発育段階が多いが、時間経過とともに後期発育段階の割合が増える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Matsuno K, Kanna N, Sugiyama S, Yamaguchi A, Yang EJ	4. 巻 642
2. 論文標題 Impacts of meltwater discharge from marine-terminating glaciers on the protist community in Inglefield Bredning, northwestern Greenland	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Marine Ecology Progress Series	6. 最初と最後の頁 55 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3354/meps13324	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 Abe Yoshiyuki, Matsuno Kohei, Fujiwara Amane, Yamaguchi Atsushi	4. 巻 186
2. 論文標題 Review of spatial and inter-annual changes in the zooplankton community structure in the western Arctic Ocean during summers of 2008?2017	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Oceanography	6. 最初と最後の頁 102391 ~ 102391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2020.102391	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 Kimura Fumihiko, Abe Yoshiyuki, Matsuno Kohei, Hopcroft Russell R., Yamaguchi Atsushi	4. 巻 181-182
2. 論文標題 Seasonal changes in the zooplankton community and population structure in the northern Bering Sea from June to September, 2017	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	6. 最初と最後の頁 104901 ~ 104901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr2.2020.104901	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 Maekakuchi Marie, Matsuno Kohei, Yamamoto Jun, Abe Yoshiyuki, Yamaguchi Atsushi	4. 巻 181-182
2. 論文標題 Abundance, horizontal and vertical distribution of epipelagic ctenophores and scyphomedusae in the northern Bering Sea in summer 2017 and 2018: Quantification by underwater video imaging analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	6. 最初と最後の頁 104818 ~ 104818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr2.2020.104818	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 Matsuno, K., A. Fujiwara, T. Hirawake and A. Yamaguchi.	4. 巻 69
2. 論文標題 Ingestion rates and grazing impacts of Arctic and Pacific copepods in the western Arctic Ocean during autumn	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of Fisheries Sciences, Hokkaido University	6. 最初と最後の頁 93-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14943/bull.fish.69.2.93	査読の有無 無
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34件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Matsuno, K. and A. Fujiwara
2. 発表標題 Current state and predicting change on zooplankton community in the pacific sector of Arctic Ocean
3. 学会等名 ISAR6 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kimura, F., Y. Abe, K. Matsuno, R.R. Hopcroft and A. Yamaguchi
2. 発表標題 Temporal changes of zooplankton community and population structure in the northern Bering Sea from June to September in 2017
3. 学会等名 ISAR6 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yamaguchi, A., F. Kimura, Y. Fukai, Y. Abe, K. Matsuno, A. Ooki and T. Hirawake
2. 発表標題 Yearly comparison on interactions between environmental parameters and various plankton stocks in the northern Bering Sea during the summer of 2017 and 2018
3. 学会等名 ISAR6 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Maekakuchi, M., Y. Abe, K. Matsuno and A. Yamaguchi
2. 発表標題 Yearly comparison on abundance and vertical distribution of epipelagic ctenophores and scyphomedusae in the northern Bering Sea in summer of 2017 and 2018
3. 学会等名 ISAR6 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Matsuno, K. and A. Fujiwara
2. 発表標題 Predicting changes on zooplankton community in the pacific sector of Arctic Ocean analyzed by generalized dissimilarity modeling
3. 学会等名 PICES workshop (W4): SB Topic (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村文彦・松野孝平・山口 篤
2. 発表標題 2017年と2018年夏季の北部ベーリング海における大型カイアシ類の個体群構造の経年差：海水融解時期の影響について
3. 学会等名 2020年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松野孝平・佐藤 直・葛西広海・片倉靖次・清水啓介・木元克典・岩本勉之
2. 発表標題 北海道オホーツク沿岸の紋別における低次生態系研究
3. 学会等名 紋別流水シンポジウム2021 連携学術セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村文彦・松野孝平・阿部義之・山口 篤
2. 発表標題 2017年と2018年夏季の北部ベーリング海における動物プランクトン群集と大型カイアシ類個体群の年変化
3. 学会等名 海洋生物学シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Abe, Y., K. Matsuno, A. Yamaguchi and T. Hirawake
2. 発表標題 Spatial and inter-annual changes in zooplankton community structure in the western Arctic Ocean during summers of 2008 - 2017
3. 学会等名 PICES 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kimura, F., Y. Fukai, Y. Abe, K. Matsuno, R. R. Hopcroft and A. Yamaguchi
2. 発表標題 Temporal changes of zooplankton community and population structure in the northern Bering Sea from June to September in 2017
3. 学会等名 PICES 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前角地穂衣・松野孝平・阿部義之・山本 潤・山口 篤
2. 発表標題 定量ビデオカメラによる北部ベーリング海における大型クラゲ類の水平および鉛直分布評価：一般化加法モデルによる解析
3. 学会等名 2018年プランクトン学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 松野孝平	4. 発行年 2020年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 128
3. 書名 プランクトンは海の語り部	

1. 著者名 三谷曜子・工藤秀明・清水宗敬・井尻成保・米山知良・和田哲・上野洋路・野村大樹・松野孝平・美野さやか・藤田雅紀	4. 発行年 2018年
2. 出版社 海文堂出版	5. 総ページ数 127
3. 書名 海をまるごとサイエンス：水産科学の世界へようこそ	

〔産業財産権〕

〔その他〕

北大プランクトン教室HP http://hu-plankton.jp/

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