

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：31308

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23510012

研究課題名(和文)珪藻ブルーム期における珪藻食渦鞭毛虫の摂食量の評価

研究課題名(英文)Evaluation of dinoflagellate grazing on diatom bloom

研究代表者

太田 尚志(Ota, Takashi)

石巻専修大学・理工学部・教授

研究者番号：20364416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、三陸沿岸での珪藻ブルーム期における渦鞭毛虫による珪藻摂食量を定量評価した。微小動物プランクトン群集に占める渦鞭毛虫類の割合は42-81% (平均67%) と高い値を示し、さらに渦鞭毛虫類の中では、珪藻食性の割合が11-77%に達することが明らかとなった。現場実験および室内実験に基づく珪藻群集の除去率は、珪藻現存量に対しては5-15%、珪藻生産量に対しては2-45%と評価された。以上の結果より、現場で観察された珪藻ブルームの終焉を部分的に説明することができた。

研究成果の概要(英文)：The quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates during spring diatom bloom was studied at a coastal site in Sanriku, Japan. Heterotrophic dinoflagellates including both thecate and athecate gymnodinoid species often occurred at high abundance composing from 42 to 81% (average 67%) of total microzooplankton biomass and diatom feeders (the species which able to feed on diatom) were dominated heterotrophic dinoflagellate assemblages accounting for 11 to 77%. Daily losses of phytoplankton (mainly diatom) by heterotrophic dinoflagellate grazing based on in situ experiments were mostly around 5 to 15% of the initial standing stock, or between 10 and 45% of the potential primary production. These estimations partially explained the decrease of diatom standing crops during late bloom stage. This indicates that dinoflagellate herbivory on diatom was highly active and substantial energy was transferred from diatom during bloom.

研究分野：浮游生物学

キーワード：珪藻食渦鞭毛虫 摂食速度 増殖速度 食物連鎖 群集組成

1. 研究開始当初の背景

従属栄養性渦鞭毛虫(以下、渦鞭毛虫とする)は、体サイズ範囲が 20-200 μm の動物性プラクトンと定義される微小動物プラクトン群集に含まれる。微小動物プラクトンは、海洋食物連鎖上、基礎生産の第一次消費者に位置づけられ、とりわけ、5 μm 以下の小型植物プラクトンが主要な基礎生産者となる熱帯、亜熱帯海域や珪藻ブルーム期以外の温帯、亜寒帯海域で植食者としての重要性が強調されてきた。一方、基礎生産の高い沿岸域や湧昇域におけるブルームなどでは、珪藻などの比較的大型の植物プラクトンが優占することから、カイアシ類などの中・大型動物プラクトンが主要な第一次消費者と考えられてきた。しかし、近年、基礎生産の高い珪藻ブルーム期においては微小動物プラクトンの基礎生産消費速度が中・大型動物プラクトンのそれを上回り、そのような海域では微小動物プラクトンの中でも渦鞭毛虫の生物量が卓越するという事例が数多く報告されるようになり、今や渦鞭毛虫は、珪藻ブルーム期の海洋食物網において主要第一次消費者として認識されつつある。

現場海域における珪藻—渦鞭毛虫の食関係の実態を明らかにし、その食物過程の物質・エネルギー流束を定量評価することは食物網動態研究や表層物質循環研究の発展に不可欠な研究課題と言える。しかしながら、これまで渦鞭毛虫の珪藻に対する摂食圧が直接的に定量された例は少なく、現在の教科書的な書籍、あるいは生態系モデルにおいては、珪藻—微小動物プラクトン(渦鞭毛虫)の食物連鎖ルートはほとんど考慮されていない。また、渦鞭毛虫の珪藻種に対する摂食選択性や嗜好性に関する情報、あるいは、異なる珪藻を餌料とした場合の代謝速度(摂食速度や増殖速度など)に関する知見は極めて乏しいのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、珪藻ブルーム期の珪藻と渦鞭毛虫の被食・補食関係を明らかにし、さらに渦鞭毛虫による珪藻摂食量を測定することで、珪藻—渦鞭毛虫間の食物連鎖過程を定量評価することを目標とした。具体的には、以下の項目について野外調査および実験生態学的研究を行なった。

- (1) 珪藻ブルーム期における渦鞭毛虫を中心とした微小動物プラクトン群集組成を把握すること。
- (2) 珪藻食を行っているか否かを判別し、珪藻—渦鞭毛虫の被食—補食関係の実態を明らかにすること。
- (3) 珪藻に対する渦鞭毛虫の摂食圧を見積もるために必要な生理パラメータ(とりわけ摂食速度と増殖速度)を実験で明らかにすること。

3. 研究の方法

(1) 群集組成解析

研究対象海域は、三陸牡鹿半島の荻浜湾、および三陸道東沖とした。両海域は、北太平洋の西部亜寒帯域に属し、春季に珪藻の大規模ブルームが起る海域と知られている。両海域は、親潮海流および黒潮を起源とする北上暖水、津軽暖流の影響を受けた複雑な海況を呈し、前者は外洋、後者は沿岸であり、性質を異にする。両海域に共通して出現する珪藻種も多いが、珪藻食渦鞭毛虫の群集組成や、珪藻群集に対する摂食圧にも違いが見られることが予想される。

荻浜湾では、春季に 2~3 週に 1 回の頻度で複数層から海水試料を採取した。現存量解析用には酸性ルゴール液、形態観察用(プロタゴール染色用)にはブアン液を用いて試料を固定した。また、渦鞭毛虫については、形態のよく似た独立栄養・混合栄養の渦鞭毛藻が存在するため、試料の一部を中性ホルマリン固定し蛍光顕微鏡下で判別した。群集組成解析には、可能な限り形態情報に基づく同定作業を優先させた。なお、親潮外洋域の試料については、2005 年および 2007 年春季の研究航海時に採取し、適切な状態で保存しているものを用いた。

(2) 渦鞭毛虫の珪藻食の判別について

餌を丸呑みするタイプ(engulfment feeding)の無殻渦鞭毛虫については、プロタゴール染色後、食胞内容物の精査により、珪藻食の有無を判別した。有殻渦鞭毛虫の摂食様式は、摂餌仮足で餌生物を包み込み細胞外で消化するタイプ(pallium feeding)か、餌生物に管状柄を突き刺して内容物を吸い取るタイプ(tube feeding)であるために固定試料をもとに珪藻食を判別することはできないが、本研究で出現が確認された種はすべて既往文献等で珪藻食が確認されている種であったため、珪藻食種として計数した。

(3) 代謝速度測定実験

現場海域における微小動物プラクトンの摂食速度は希釈培養法により測定した。摂食速度はクロロフィル蛍光量測定の他、珪藻細胞数の検鏡により評価した。これと同時にサイズ分画法(無濾過区、315 μm 濾過区、60 μm 濾過区)による渦鞭毛虫類の増殖速度を測定した。培養試水は荻浜湾内(5m 層)からバンドン採水器で採取した。両実験で用いた容器は、1 ℓ PC 製ボトルで、光強度が 5m 水深と同程度になるように青色ネットと黒色ネットで遮光し、荻浜岸壁の表層に 24 時間係留して擬似現場環境下で培養した。サンプル処理：各実験区から実験開始(t0)と終了時(t24)の培養水を 250ml \times 3 本採取し、酸性ルゴール液で固定(最終濃度 2%)した。なお、採集および培養器具類はすべて入念に酸洗浄処理したものをを用いた。

現場実験とは別に、培養株を確立した渦鞭

毛虫 3 種（無殻渦鞭毛虫二種、有殻渦鞭毛虫 1 種）を用いての代謝速度測定実験も行った。

4. 研究成果

研究期間全体を通じて実施した研究の成果について、まず、研究初年度（H23 年度）は、東日本大震災により、研究環境（実験機器の故障および電源停止に原因する生物株の全損）および研究代表者の生活環境が被害を受けたために、研究実施が大幅に遅れた。そのため、当初の研究計画を見直し、実験室内での分析研究を縮小する一方で、現場海域での調査研究を強化することとした。また、群集組成解析では、申請者が過去に採取保存していた試料を分析に加えデータの補強を図った。室内実験は主に H24、H25 年度に行い、現場海域からの実験対象生物の単離および培養株の作成、さらに、培養株を確立した渦鞭毛虫 3 種（無殻渦鞭毛虫二種、有殻渦鞭毛虫 1 種）を用いての代謝速度測定実験を行った。現場調査・実験は H24 年の春季から開始したが、翌 H25 年は主に天候不良が原因で備船調整が難航し、予定していた調査の 5 割しか実行できなかった。そのため、データ補完を目的として H26 年 4~6 月の期間に計 6 回の追加調査を実施した。これにより、春季における渦鞭毛虫類の出現種組成およびそれら現存量の変化傾向を把握することが出来た。

(1) 群集組成

本研究では、三陸沿岸域での 2 期に加え、三陸沖親潮域の春季ブルーム期 2 期（2005 年と 2007 年に採集）における微小動物プランクトン群集組成を明らかにした。その結果、全体の細胞密度は海域や年度間で大きな変動がみられるものの（図 1）、微小動物プランクトン群集内に占める従属栄養性渦鞭毛虫類が占める割合は、細胞密度では平均 49.5%（10.8-88.8%）、生体炭素量では 67.1%（42.4-80.7%）と高い値を示した。

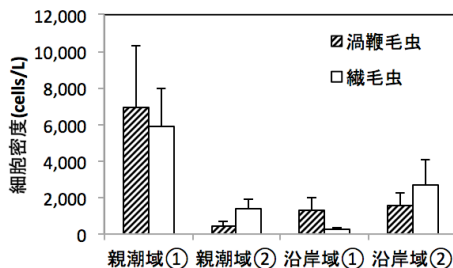


図 1. 三陸沿岸と三陸沖（親潮域）における渦鞭毛虫類と繊毛虫類の現存量

近年、様々な海域の植物プランクトンブルーム期において、微小動物プランクトン群集の中で、渦鞭毛虫類が繊毛虫類と同等かそれ以上の現存量を占める事例が報告され、海洋低次生産過程における渦鞭毛虫の役割がこれまで考えられていた以上に重要である可

能性が指摘されている。我が国では、微小動物プランクトン群集における渦鞭毛虫類の定量研究報告例がなく、本研究が初と思われる。本研究で示された渦鞭毛虫類の高い現存量比は、世界各地での先行調査結果と符号するものであり、改めて、植物ブルーム期における渦鞭毛虫の量的重要性を確認することができた。

(2) 珪藻食渦鞭毛虫

本研究で検出した渦鞭毛虫種は延べで約 20 種であり、そのうち珪藻食が確認されたのは 8 種（無殻種 5 種、有殻種 3 種）であった（図 2）。

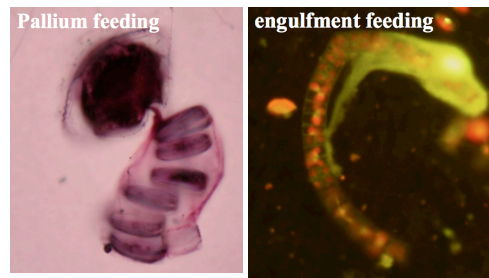


図 2. (左)パリウムを出して中心目珪藻 *Thalassiosira* sp. を捕捉している *Protoperidinium* sp.、(右)羽状目珪藻 *Fragilariopsis* sp. を丸呑みしている *Gymnodinium* sp.

微小動物プランクトン群集に占めるそれら珪藻食渦鞭毛虫類の割合は平均 38.4%（10.8-77.3%）、渦鞭毛虫類に占める割合は 73.7%（48.8-95.8%）に達した（図 3）。

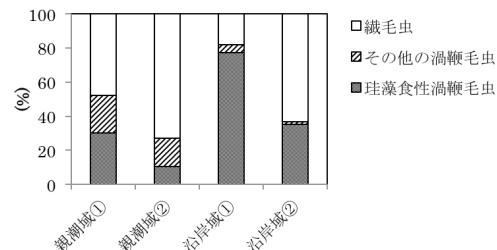


図 3. 微小動物プランクトン群集に占める渦鞭毛虫類と繊毛虫類の割合

ただし、出現したすべての珪藻食種個体が珪藻だけを専食していたわけではない。例えば、三陸沿岸域に出現した *Gyrodinium* sp. (cf. *spirale*) は、複数種の珪藻を摂食していた他、小型の渦鞭毛藻を摂食していたことが確認された。一方、当初、予想していた種特異的な被食-捕食関係は、いずれの珪藻食種においても確認されなかった。さらに、珪藻食渦鞭毛虫の数種について、観察試水（従って同一群集とみなせる）に出現した全個体中に占める珪藻中摂食の細胞（細胞内に珪藻細胞もしくは珪藻の殻が確認された個体）の割合を計測した結果、その頻度は最大でも 50% 以下であり、海域、調査日、採水層によっては珪藻の摂食が全く確認できなかったケースも例外ではなかった。

(3)代謝速度測定

①現場から渦鞭毛虫3種(無殻渦鞭毛虫二種、有殻渦鞭毛虫1種)を用いた代謝速度測定実験を行った。その結果、生理パラメータ各種と環境因子の関係を把握することができた。すなわち、無殻渦鞭毛虫1種(*Gyrodinium* sp. (cf. spirale))および有殻渦鞭毛虫1種(*Protoperdinium* sp.)において、増殖速度、摂食速度は、珪藻餌料濃度との間に双曲近似曲線(ミカエリス-メンテン式)な関係が認められた。これらの成果は、現場環境因子から渦鞭毛虫の現存量、生産量、珪藻摂食量を推定する際の検証精度を上げるための重要要素であり、本研究における主要成果の一つと言える。

②現場疑似現場培養による代謝速度測定実験はH25、H26年の春季珪藻ブルームの終焉時期において実施した。これにより、珪藻に対する渦鞭毛虫の摂食圧(摂食量)および珪藻、渦鞭毛虫各種の増殖速度を推定することに成功した。その結果、珪藻ブルームの終焉期には、渦鞭毛虫の珪藻食による珪藻群集除去が5-15% day⁻¹、珪藻生産量では2-45%に達すると見積もられた。これらより、渦鞭毛虫の珪藻食が珪藻ブルームの終焉を加速させる役割を果たしていること、すなわち、春季海洋食物連鎖における珪藻-渦鞭毛虫ルートの量的重要性が示唆された。

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2件)

① 太田尚志、平岡 正明、佐々木 洋、真壁 竜介、臼井利典、原 芳道：“有用海産微細藻の大量培養法確立のための基礎研究Ⅰ—増殖特性の把握にむけて—”石巻専修大学研究紀要第25号. 1-9(2014). 査読無し

② T. Suzuki, T. Ota:”Planktonic ciliates below sea ice in Franklin Bay, Canada” *Plankton and Benthos Research* 6. 141-157 (2012). 査読有

[学会発表] (計3件)

① 吉江直樹、奥西武、小松幸生、伊藤進一、亀田卓彦、小埜恒夫、田所和明、桑田晃、岡崎雄二、日高清隆、長谷川徹、太田尚志：“海洋低次生態系モデル” **農林水産技術会議研究成果発表会「地球温暖化による「海」と「さかな」の変化.** (20141204). 東京

太田尚志、谷口 旭：“日本沿岸域における浮遊性繊毛虫の分布と多様性”動物学会シンポジウム. (20120916). 大阪

奥村裕、鈴木矩晃、増田義男、太田裕達、太田尚志：“仙台湾における震災前後の植物プランクトン群集の比較”日本水産学会. (20130919). 東京

[図書] (計1件)

日本微生物生態学会編、朝倉書店、環境と微生物の辞典、2014、448(106-107、第3章52「原生生物の生態」)

[産業財産権]

特になし

[その他]

ホームページ等
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 尚志 (OTA, Takashi)
石巻専修大学・理工学部・教授
研究者番号：20364416

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし