

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 28 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22710027

研究課題名（和文） 亜熱帯海域における植物プランクトン分布と物質循環に対する微小動物の摂餌インパクト

研究課題名（英文） Grazing impact of microzooplankton on phytoplankton distribution and material cycle in subtropical ocean

研究代表者

喜多村 稔 (KITAMURA MINORU)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・研究員

研究者番号：00392952

研究成果の概要（和文）：

亜熱帯外洋域では、基礎生産力は表層で高いが植物現存量は亜表層クロロフィル極大層で高い。この mismatches の一因として微小動物プランクトンの摂餌速度に着目した。クロロフィル極大形成期の摂餌速度は、亜表層 ($0.01\sim 0.24\text{ d}^{-1}$) より表層 ($0.08\sim 1.05\text{ d}^{-1}$) で高いが、両深度とも実験間の変動が大きい。この結果は、表層の被食効果が植物現存量を低く抑える一因となることを示すが、この効果は恒常的には働いていないと考えられた。

研究成果の概要（英文）：

Primary productivity is high in surface layer but phytoplankton biomass is high in subsurface Chl. *a* maximum layer in the subtropical ocean. To solve this mismatch, grazing of microzooplankton in surface and subsurface layers were observed. Grazing rates in surface layer ($0.08\sim 1.05\text{ d}^{-1}$) were higher than those in Chl. *a* maximum layer ($0.01\sim 0.24\text{ d}^{-1}$) but the rates were variable in both layers. The higher grazing rate suggests that grazing is one of the factors decreasing phytoplankton biomass in surface layer, but the grazing impact maybe not constantly large.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：生物海洋・微小動物プランクトン

1. 研究開始当初の背景

熱帯・亜熱帯の外洋域においては、亜表層クロロフィル (Chl. *a*) 極大の形成が広範囲に認められる。クロロフィルが多いことは、極大深度において生産力が高いことを予想させるが、実はそうではない。予察的研究として 2009 年 9 月に高速励起蛍光法 (FRR

法; Suggest et al., 2005) で測定した 30°N , $133^{\circ}40'\text{E}$ の基礎生産力の鉛直プロファイルでは、水柱中の生産力は Chl. *a* 極大層ではなく表層で高くなり (図 1)、同様の傾向はハワイ近海で ^{14}C 法を用いた基礎生産力の測定においても報告されている (Letelier et al., 1996)。活発な生産は表層でなされるものの、

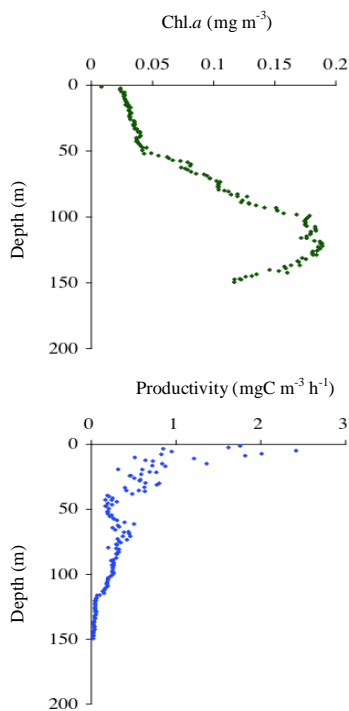


図1 北太平洋亜熱帯域におけるクロロフィル a (上) および基礎生産力 (下) の鉛直プロファイル (2009年9月)

炭素量で見た植物プランクトンの現存量極大は Chl.a 極大層に一致している (Furuya, 1990). 「なぜ表層で植物現存量が極大にならないのか？」本研究のスタートはここにある。植物プランクトンの側から迫れば、表層では呼吸や DOC 排出による炭素消費が高く POC として水中に残存する量が抑えられている；表層は小型種が、Chl.a 極大層は大型種が卓越する、などの仮説が成り立つだろう。ところが、動物プランクトンの摂餌が影響する可能性については知見が無い。

北太平洋における海洋生態系/物質循環研究は、東部海域のふたつの時系列観測点, Sta. ALOHA (ハワイ近海) および Sta. P (アラスカ湾) にて進んでいるものの西部海域では遅れている。西部海域でも、親潮域, Sta. KNOT (45°N, 155°E), Sta. K2 (47°N, 160°E) など亜寒帯域に比べれば、亜熱帯海域の知見は少ない。IGBP 傘下プロジェクトである SOLAS-JAPAN による西部北太平洋亜熱帯海域の調査研究が近年始まったが、さらなる多様な観測研究が必要である。そこで、観測点 S1 が 30°N, 145°E に設けられ 2010 年 1 月より時系列観測がスタートしている。

2. 研究の目的

本研究では、動物プランクトンの摂餌に焦点をあて「動物の摂餌圧は表層で高く Chl.a 極大層で低い、つまり表層ではトップダウン

効果(被食の効果)が働いて植物現存量を低く抑える一因となる」という新たな仮説を提唱する。消費者の中で何に注目すべきか？本研究では、植物プランクトンに対する摂餌圧が高い(基礎生産の 60~75%, Landry & Calbet, 2004) 微小動物プランクトン (<200µm, 繊毛虫, 鞭毛虫, カイアシ類幼生など) を対象とする。上記予察研究では、希釈培養法 (Landry & Hassett, 1982) によって植物プランクトンの増殖速度と微小動物プランクトンの摂餌速度を見積もった。この中で、0m 海水を減光して培養したところ、微小動物プランクトンの摂餌速度は植物プランクトンの増殖速度を上回り、摂餌圧は基礎生産の 160% だった。この結果は、表層で植物増殖速度と摂餌速度は拮抗し、日射量によっては植物の増殖速度が落ち「増殖<摂餌」となって植物現存量を減らす可能性を、すなわち表層でのトップダウン効果の存在を強く示唆している。このような希釈培養実験による「増殖<摂餌」は、特別な現象ではなく様々な海域でしばしば報告されているもの (例えば Zhang et al., 2006), その原因はこれまで全く追求されていない。

本研究では、亜熱帯海域の時系列観測点 S1 (30°N, 145°E) において、

- 1) 表層とクロロフィル極大層における希釈培養実験
- 2) 微小動物プランクトンの現存量・群集構造・その鉛直変化の把握

を行い、植物プランクトンの増殖速度、微小動物プランクトンの摂餌速度、両者の変動に影響を与える要因を解明し、基礎生産力・炭素現存量 mismatches の原因を明らかにする。

3. 研究の方法

調査は時系列観測点 S1 (30°N, 145°E, 図 2) において、海洋地球調査船「みらい」を用いて 2010 年秋, 2011 年冬, 春, 夏, 2012 年夏に行った。本観測点は黒潮の外側域に位置する。

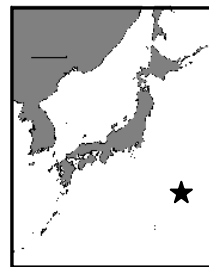


図2 調査観測点 S1 (30°N, 145°E)

微小動物プランクトンの群集構造を明らかにするため、有光層内の 8 層から採水し、グルタル固定・DAPI とプロフラビンの二重染色・濾過・蛍光観察により分類群別の計

数とサイズ測定を行った。得られたサイズデータから、微小動物プランクトンを球形近似して細胞体積を算出し、以下に示す既報の換算式を用いて分類群毎に炭素現存量を見積もった。

ナノ鞭毛虫： $220 \times V$ (fg C)
従属栄養性渦鞭毛藻： $0.284 \times V^{0.9}$ (pg C)
無殻繊毛虫： $0.19 \times V$ (pg C)
有鐘繊毛虫： $444.5 + 0.053 \times V$ (pg C)

ここで、 V は細胞体積あるいはロリカ体積(有鐘繊毛虫)、括弧内は単位である。

また、摂餌速度を測定するための希釈培養実験を表層海水と Chl. *a* 極大層の海水について行った。採水は、表層海水については採水バケツを、Chl. *a* 極大層海水はニスキン採水器を用いて行い、200 μ m のメッシュであらかじめ濾過し、大型動物プランクトンの混入を避けた。培養には 1L あるいは 2L のポリカーボネートボトルを用いた。元海水の濃度が 25, 50, 75, 100% に近づくように濾過海水を加え、混合直後のクロロフィル濃度を測定し、希釈率と実験開始時のクロロフィル濃度を決定した。栄養塩律速による植物増殖低下を避けるため硝酸・リン酸を加え、甲板上に設置した水槽で 24 時間培養した。この際、表層海水を使った培養実験時は相対照度 100% および表面海水の掛け流しにより、Chl. *a* 極大層の海水を使った実験時には相対照度 2% への減光および現場水温に調整して行った。用いた採水器、濾過器、培養ボトルはいずれもあらかじめ酸洗浄を施している。培養終了後、各ボトルのクロロフィル濃度を測定し、以下に示す式を用いて植物プランクトンの見かけの増殖速度を見積もった。

$$\text{Apparent growth rate} = (1/t) \times \ln(P_t/P_0)$$

ここで、 t は培養時間 (日)、 P_t および P_0 はそれぞれ培養終了時および開始時のクロロフィル濃度である。横軸に培養海水の希釈率、縦軸に植物プランクトンの見かけの増殖速度をとって結果をプロットしたとき、線形近似直線の傾きが微小動物プランクトンの摂餌速度である。また、一部の培養実験においては、フローサイトメトリーを用いた植物プランクトン細胞数の測定を行い、培養実験前後の植物細胞数の変化から微小動物プランクトンの摂餌速度を見積もった。この際、植物細胞は、シネココッカス、プロクロコッカス、真核植物を細胞サイズによって 2~3 群に分けて計測し、各植物群に対する摂餌速度の見積を試みた。

時系列観測点 S1 では、物質循環像の解明を目指し海洋物理・化学・生物に関する統合的な観測を進めており、取得された様々な関

連パラメータを利用することができる。このうち基礎生産速度は、微小動物プランクトンの群集構造を把握するための採集層と同じ 8 層から採水した海水を使って ^{13}C トレーサー法によって 24 時間の疑似現場培養により測定され、有光層深度は自由落下型の分光光度計を用いて観測された。

4. 研究成果

調査を行った 5 研究航海のうち、顕著な亜表層 Chl. *a* 極大は夏秋に (90~100m)、春は不安定な極大 (鉛直的に均一か 50m 付近に極大形成か CTD キャストによって異なる) が認められた。冬期には鉛直混合が深度 200m 付近まで達し、亜表層 Chl. *a* 極大も崩壊していた。観測点 S1 は、躍層形成期と鉛直混合期が交互に繰り返される季節変化に富んだ海域だった。

水柱積算基礎生産量は栄養塩が下層から供給される冬期 (鉛直混合期) に最も高く、その後秋期にかけて減少した。また、亜表層クロロフィル極大は春季に 50m、夏・秋期には 90m 付近に認められた。有光層深度は基礎生産速度の高かった冬期 (0-75 m) および春期 (0-55m) に浅く、夏期 (0-94 m) および秋期 (0-110 m) に深かった。

微小動物プランクトンの細胞数は、ナノ鞭毛虫が 10^6 cells/l、従属栄養性鞭毛藻が $10^3\sim 10^4$ cells/l、無殻繊毛虫が $10^2\sim 10^3$ cells/l、有鐘繊毛虫が $0\sim 10^1$ cells/l のオーダーだった。既往の報告と比べると、ナノ鞭毛虫は東部北太平洋亜熱帯域の細胞数 (10^5 cells/l, Shorin et al., 2010) より一桁高く、東部大西洋 ($10\sim 10^3$ cells/l, Karayanni et al., 2005) における季節変動の最大値、および赤道湧昇域 (10^3 cells/ml, Landry et al., 2000) と同レベルである。従属栄養性渦鞭毛藻については、東部太平洋亜寒帯域 (10^3 cells/l, Boyd et al., 1995) や赤道湧昇域 ($10^1\sim 10^2$ cells/ml, Landry et al., 2000) と同レベルであり、熱帯・亜熱帯・亜寒帯で細胞密度に大きな違いはないものと考えられた。また、無殻繊毛虫の細胞密度は、東部北太平洋亜熱帯域 ($10^1\sim 10^2$ cells/l, Shorin et al., 2010) よりやや高く、東部太平洋亜寒帯域・赤道湧昇域・東部北大西洋 ($10^2\sim 10^3$ cells/l, Boyd et al., 1995, Karayanni et al., 2005, Landry et al., 2000) と同レベルだった。有光層内の積算細胞数は季節的に以下のように変動した。

ナノ鞭毛虫：冬期に最低、その後増加して夏期に最高
従属渦鞭毛藻：冬期に最低、その後増加して秋期に最高
無殻繊毛虫：冬期に最低、春期に最大、その後減少
有鐘繊毛虫：冬期に最低、春期に最大、その後減少

いずれの分類群も基礎生産速度が最も高い冬期に細胞数が最低値を示すこと、ふたつの繊毛虫群は同じ消長傾向を示すことが明らかとなった。これまでの外洋域における微小動物プランクトン研究は、スナップショットの航海報告がほとんどだが、本研究は定点における季節変動を明らかにした。

既往の体積-炭素重量換算式を用いて算出した微小動物プランクトンバイオマスは、全季節を通して従属栄養性鞭毛虫が優占し（総炭素現存量の62~89%）、従属栄養性渦鞭毛藻（5.9~23%）と無殻繊毛虫（5~22%）が続いた。有光層内の積算バイオマスは、基礎生産の変動とは逆の消長を示し、冬期から秋期にかけて増大した（図3）。

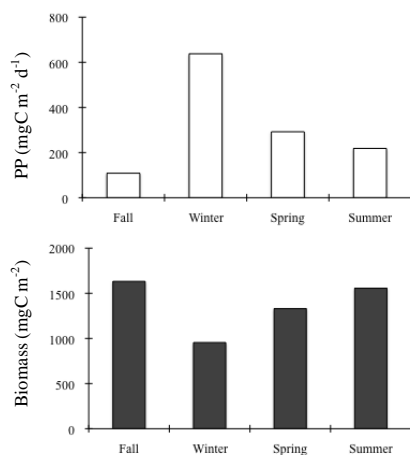


図3 基礎生産力（上）および微小動物プランクトンバイオマス（下）の季節変動

一方、バイオマスの鉛直分布は春期には0mに、夏・秋期には亜表層で高くなるがクロロフィル極大層（90~100m）とは一致せず50~60mに極大を有していた。顕著なクロロフィル極大形成期である夏・秋期には、微小動物プランクトンバイオマスは表層よりもクロロフィル極大層で1.5~1.6倍多かった。また、表層と亜表層クロロフィル極大層における組成に明瞭な違いは見いだせなかった。

微小動物プランクトンの摂餌速度は希釈培養実験によって測定された。培養前後のバルククロロフィルa濃度の変化から見積もった微小動物プランクトンの摂餌速度を以下に示す。クロロフィル極大層形成期の摂餌速度は、表層で0.40 d⁻¹ (range: 0.08~1.05 d⁻¹) およびクロロフィル極大層で0.10 d⁻¹ (range: 0.01~0.24 d⁻¹) であり、亜表層より表層で高かった。しかしながら両深度ともに、同一航海における実験間の変動幅も大きい。たとえば、表層海水を使った実験では、2010年11月6-7日には0.48 d⁻¹だったものが同月9-10日には0.08 d⁻¹と6倍の開きがあった。クロロフィル極大層の海水を使った実験においても、たと

えば2011年7月28-29日の0.09 d⁻¹に対して7月31-8月1日には0.24 d⁻¹だった。このうち「微小動物プランクトンの摂餌速度は表層>クロロフィル極大層だった」という結果は、本研究を開始するにあたってたてられた仮説「動物の摂餌圧は表層で高くChl.a極大層で低い、つまり表層ではトップダウン効果(被食の効果)が働いて植物現存量を低く抑える一因となる」を支持するが、実験間で摂餌速度が大きく変動することからトップダウン効果は恒常的には働いていないと考えられた。クロロフィル極大形成期、表層とクロロフィル極大層における微小動物プランクトンバイオマスには大きな差はないため(1.5~1.6倍)、両層の水温差(5.6~8.1°C)に由来して、微小動物プランクトン群集の呼吸に伴う炭素要求量は表層で高くなる。これが鉛直的な摂餌速度の違いに効いていると考察されるが、同じ層内で日によって摂餌速度が大きく変動する要因はいまだ良く解らない。

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)

[学会発表] (計2件)

- ① 喜多村稔・小針統・井上龍一郎 動物プランクトン群集の季節変動 2013年度日本海洋学会春季大会 2013年3月21日 東京海洋大学
- ② 喜多村稔・小針統・本多牧生・松本和彦・川上創・藤木徹一・脇田昌英・才野敏郎 西部北太平洋の生態系/物質循環南北比較研究:動物プランクトン 2012年度日本海洋学会春季大会 2012年3月29日 筑波大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

喜多村 稔 (KITAMURA MINORU)
独立行政法人海洋研究開発機構・
海洋・極限環境生物圏領域・研究員
研究者番号: 00392952

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし