

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19710009

研究課題名 (和文) 海洋中層における光合成生物の生存戦略と生元素循環へのその影響

研究課題名 (英文) Phytoplankton in the twilight zone - their distribution and significance for the biogeochemical cycling in the deep ocean

研究代表者

宗林 留美 (福田 留美) (SOHRIN RUMI (FUKUDA RUMI))

静岡大学・理学部・助教

研究者番号：00343195

研究成果の概要：

海洋の 200m 以深、すなわち中層以深は光合成生物にとって生存に必要な光が届かないにも関わらず、本研究により駿河湾と太平洋亜熱帯域の 200m～2000m で微細な光合成生物であるピコ植物プランクトンが深度によらず一定に分布していることが明らかになった。中層以深のピコ植物プランクトンは表層から海底までの水柱全体に対して、春の駿河湾では 26～69% を占めたが、夏の駿河湾と亜熱帯では 0.7～10% に留まり、ピコ植物プランクトンが沈降粒子に付着して中層に輸送されている可能性が示された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,100,000	0	2,100,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	360,000	3,660,000

研究分野：生物海洋化学

科研費の分科・細目：(分科) 環境学 (細目) 環境動態解析

キーワード：物質循環、海洋生態系、トワイライトゾーン、海洋生態系

## 1. 研究開始当初の背景

海洋中層以深は光合成生物にとって生存に必要な光が届かない無光層であると考えられており、光合成生物の中でも自身の重みでは中層まで沈降できないピコ植物プランクトンは、中層以深における分布がこれまで注目されたことがなかった。しかし、静岡県が駿河湾中層からサイフォンで汲みあげている「駿

河湾深層水」から、ピコ植物プランクトンを含む光合成生物が検出された。この発見は、光合成生物が表層から海洋中層に輸送され、迅速な細胞死を免れて生存している可能性を示しており、この仮説を実証できれば「海洋中層以深には光合成生物は存在しない」という定説を覆し、海洋中層における生態系や物質循環に対する既存の概念を打破し得る。

## 2. 研究の目的

(1) 海洋中層における光合成生物の分布を明らかにする。

(2) 海洋中層の光合成生物の生存率を求める。

(3) 光合成生物の暗所耐性に影響する因子を調べる。

(4) バクテリアやピコ植物プランクトンの捕食者である原生生物について、これまでに代表研究者が調査した海洋中層以深の分布をコンパイルし、海洋中層における微生物食物連鎖について考察する。

## 3. 研究の方法

(1) 駿河湾と西部太平洋亜熱帯域において、研究船により海水を鉛直的に採水し、ピコ植物プランクトンの細胞数を顕微鏡観察とフローサイトメトリーにより求めた。駿河湾は日本一深い湾であり、亜熱帯域は表層の光合成生物におけるピコ植物プランクトンの寄与が高いことが知られているため、調査海域としてふさわしいと考えられる。

(2) 駿河湾と西部太平洋亜熱帯域において、研究船により海水を鉛直的に採水し、光合成生物の生物量の指標であるクロロフィル a 濃度を求めた。

(3) 細胞消化法によるピコ植物プランクトン細胞の生死判定 (Darzynkiewicz et al. 1994) を細胞数の少ない海洋中層サンプルに適用するための手法を検討した。

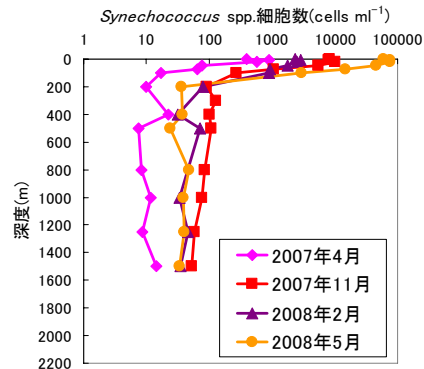
(4) 駿河湾で研究船により海水を鉛直的に採水し、上記(3)で確立した手法を用いて、ピコ植物プランクトンの生存率を鉛直的に求めた。

(5) 駿河湾で研究船により海水を鉛直的に採水し、ろ過により捕食者を除いた後、培養温度を変えて暗所培養を行い、ピコ植物プランクトンの細胞数の変化を調べた。

## 4. 研究成果

(1) 駿河湾の 1500m 以浅と太平洋亜熱帯域の 2000m 以浅でそれぞれ時期を変えて複数回調査した結果、200m 以深において真核および原核のピコ植物プランクトンの細胞数が深度によらず比較的一定に分布していることが明らかになった (図 1)。この結果は顕微鏡観察とフローサイトメトリーの両方から支持された。また、200m 以深のクロロ

フィル a 濃度についても駿河湾で検出されたが、ピコ植物プランクトン細胞数の分布とは異なり、鉛直的に減少していた。



ピコ植物プランクトンの中でも優占

図 1. 駿河湾における *Synechococcus* 属の鉛直分布.

度が高かった *Synechococcus* 属の細胞数について、水柱全体の現存量に対する無光層の現存量の割合を求めたところ、一次生産力が高く、沈降フラックスの高い春の駿河湾で割合は 26~69%と最も高く、成層化が顕著で一次生産力と沈降フラックスが比較的低いと考えられる夏の駿河湾と亜熱帯で 0.7~10%と最も低かった (図 2)。この結果から、有光層の *Synechococcus* 属が沈降粒子に付着して中層に輸送されている可能性が示された。

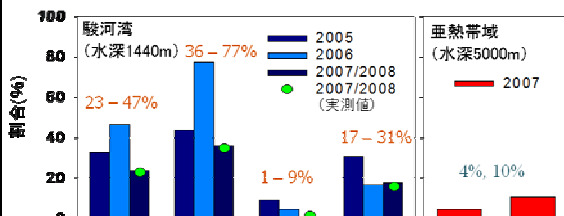


図 2. 中層以深の *Synechococcus* 属が水柱全体に占める割合. 実測値以外のデータは  $\geq 200$  m における細胞数の平均値を海底直上まで適用して算出した。

沈降フラックスによるピコ植物プランクトンの鉛直輸送についてはこれまで実測例がなく、モデルからその寄与が無視できないことが近年示唆されただけであり (Richardson and Jackson, 2007)、本研究の結果はモデルの有効性を支持する最初の観測例である。また、海洋中層においても沈降フラックスが深度と共に指数関数的に減少するという Martin et al. (1987) のモデルが提唱されて以来、海洋の物質循環モデルは

このモデルに基づいて作成されてきたが、近年、中層以深では沈降フラックスはむしろ一定であるとの意見がある (Integration biogeochemistry and ecosystems in a changing ocean, 2008)。もし、海洋中層のピコ植物プランクトンが沈降フラックスにより輸送される過程で沈降粒子から解離したものであるなら、海洋中層におけるピコ植物プランクトン細胞数が鉛直的に一定であったという本研究の観測結果は Martin のモデルと矛盾し、近年の意見を支持する。従って、本研究の結果は、沈降粒子の解離フラックスの指標として海洋中層のピコ植物プランクトン細胞数が使えるかもしれないことを意味する。

(2) 本研究で検討した酵素による細胞消化法の改良法により駿河湾における *Synechococcus* 属の生細胞数の割合を求めたところ、表層で 47%であったのに対して中層では 73~106%と高く、沈降する過程で死細胞を除去するような淘汰が働き、且つ、中層で *Synechococcus* 属が無光環境に適応して生存している可能性が考えられた。

(3) 駿河湾の海水を培養温度を変えて暗条件で培養したところ、採水深度によらず低温ほどピコ植物プランクトンの生存率が高かった。従って、無光層に輸送された光合成生物の生存戦略として低温による代謝活性の抑制が重要なかもしれない。また、予備調査により、暗所培養中に生じるクロロフィル a 濃度の減少が微量金属の添加により軽減されることが示されたため、中層水から微量金属のみを選択的に除去する手法を開発した。本研究では微量金属除去海水を使用した培養実験に着手できなかったが、本研究で開発した微量金属除去海水は栄養塩と有機物の汚染が極めて低く抑えられており、微量金属は海洋生態系と物質循環を握る鍵であることから、今後様々な用途に使用できると考えられる。

(4) バクテリアやピコ植物プランクトンの捕食者である従属栄養ナノ鞭毛虫類 (HNF) と繊毛虫類の細胞数とバイオマスの分布を中部太平洋の赤道から亜寒帯域において 5000m 以浅について調査した結果、ピコ植物プランクトンの有力な捕食者である HNF の分布が 100~2000m の中層で鉛直的に激減し、2000m 以深では鉛直的にほぼ一定であった。バイオマスの相関関係の有無から、捕食-被捕食の関係を推測したところ、中層では繊毛

虫がバクテリアと HNF を捕食し、HNF がバクテリアを捕食すると推定されたのに対し、1000m~4000m の漸深層では HNF と繊毛虫、HNF とバクテリアの間には捕食-被捕食の関係が成立せず、繊毛虫がバクテリアを捕食することが示唆された。中層で HNF が鉛直的に激減する要因は明らかでないが、中層での HNF の激減はピコ植物プランクトンが中層で生存することに寄与しているかもしれない。

## 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 4 件)

- ① R. Sohrin, M. Imazawa & H. Fukuda, Full-depth profiles of microzooplankton along the Central Pacific Ocean, Integration biogeochemistry and ecosystems in a changing ocean, 2008年11月12日, アメリカ・フロリダ州・マイアミ
- ② R. Sohrin, Y. Obara, M. Isaji, T. Hanai, R. Matsuura, Y. Hiroe & K. Hidaka, Distribution of *Synechococcus* below the euphotic zone, Integration biogeochemistry and ecosystems in a changing ocean, 2008年11月11日, アメリカ・フロリダ州・マイアミ
- ③ 宗林留美・小原香美・伊佐治真樹史・鈴木款・花井孝之・松浦玲子・廣江豊・日高清隆、トワイライトゾーンにおけるシアノバクテリアの分布、2008 年度日本海洋学会秋季大会、2008 年 9 月 27 日、広島国際大学呉キャンパス
- ④ 池谷真希、宗林留美、鈴木款、培養実験のための微量金属プランク海水の開発、2008 年度日本海洋学会春季大会、2008 年 3 月 29 日、東京海洋大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宗林 留美 (福田 留美) (SOHRIN RUMI (FUKUDA RUMI))

静岡大学・理学部・助教

研究者番号 : 00343195

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし