<ノー ト>

広島湾におけるマイクロ、ナノおよび ピコ植物プランクトンの季節変動

李 英 植* 清 木 徹** 向 井 徹 雄*
瀧 本 和 人* 岡 田 光 正*

Seasonal Variations of Micro-, Nano-, and Picophytoplankton in Hiroshima Bay

Young Sik LEE*, Tohru SEIKI**, Tetsuo MUKAI*,
Kazuto TAKIMOTO* and Mitsumasa OKADA*

* Department of Environmental Science, Faculty of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima 739 Japan

** Hiroshima Prefectural Health and Environment Center, 1-6-29, Minami-machi, Minami-ku, Hiroshima 734 Japan

Abstract

Seasonal variations in chlorophyll *a* and cell density of micro-, nano-, and picophytoplankton were studied in northern part of eutrophic Hiroshima Bay to estimate the contribution of each size phytoplankton to total phytoplankton biomass and cell density. The highest percentages of micro- and nanophytoplankton to total chlorophyll *a* was observed during winter to spring and summer to autumn, respectively. However, percentage of picophytoplankton to total chlorophyll *a* showed little variation throughout the year. During January to April and June to August, nanophytoplankton alone or micro- and nanophytoplankton were dominant accounting for 50-90% of total cell density in every year. However, in other months, picophytoplankton accounted for 50-95% of total cell density. Picocyanobacteria were the dominant component of picophytoplankton community during the whole year, and the important contributor to total phytoplankton cell density in Hiroshima Bay. Chlorophyll *a* concentration of nanophytoplankton increased when NO₃-N concentration increased with the inflow of river water due to rainfall. Chlorophyll *a* concentration of picophytoplankton increased with the decrease in NO₃-N by the growth of nanophytoplankton.

Key words: cell density, chlorophyll *a*, microphytoplankton, nanophytoplankton, picophytoplankton

1. はじめに

一般的に、植物プランクトンを濾紙によりサイズ分画する場合、200~20 μ m をマイクロ、20~2.0 μ m をナノ、2.0~0.2 μ m をピコ植物プランクトンと定義している¹⁾。植物プランクトンのサイズに着目した研究の

うち、一次生産やバイオマスに関する研究は比較的に多く、貧栄養の沿岸海域および外洋ではピコ植物プランクトンが^{2)~4)}、また、Chesapeake や San Francisco 湾のような沿岸河口域ではマイクロあるいはナノサイズ以下の植物プランクトンの重要性が^{5)~8)}それぞれ指摘されている。しかし、富栄養海域における研究例は

* 広島大学工学部環境基礎学講座 〒739 広島県東広島市鏡山 1-4-1

** 広島県保健環境センター 〒734 広島県広島市南区皆実町 1-6-29

少ない⁹⁾。

他方、富栄養化を効果的に制御するため、植物プランクトン増殖の制限栄養塩を知る必要がある。これまで植物プランクトン群集全体^{10),11)}あるいは特定の植物プランクトン種¹²⁾を用い、その制限栄養塩を検討された場合が多い。しかし、植物プランクトンのサイズにより制限栄養塩が異なる場合があり、特にピコ植物プランクトンは他サイズに比べ制限になりやすいことが報告されている¹³⁾。このことから、対象富栄養化海域における植物プランクトン群集のサイズを考慮した動態および制限栄養塩の把握が必要であることを示唆している。

そこで本研究では栄養塩規制による富栄養化の制御に関する基礎的知見を得る研究の一環として、全植物プランクトンに対するサイズ別植物プランクトン、特にピコ植物プランクトンの位置づけを明らかにすることを目的として富栄養化の著しい閉鎖性内湾である広島湾の北部域の植物プランクトン群集を対象にしてそのサイズ構造と季節変動の検討を行った。

2. 実験方法

Fig. 1 に広島湾北部域の試料採取地点を示す。湾奥部には太田川が流入しており、その上流には治水および上水道用水の供給を目的とした高瀬堰がある。高瀬堰では常時上流から流入した流量分を広島湾へ放流している。地点12 (水深: 約15m) は河口域、地点14 (水深: 約20m) は湾北部域の中央に位置する。広島湾北部

Fig. 1 Location of sampling stations in Hiroshima Bay, Seto Inland Sea, Japan

域は毎年貝毒や赤潮等の問題が起こる海域である。試料水は1993年7月から1995年7月まで、毎月1~2回、パンドン採水器を用い、水深2 m (最大のクロロフィル *a* 濃度が観測された水深) から採取した。

広島市の降雨量は広島地方気象台の観測データを引用した。水温は試料水採取後、直ちに船上で測定した。塩分濃度はサリノメーターM.C. 5型 (Electronic Switchgear 社製, London) を用いて測定した。NO₃-N, NH₄-N および PO₄-P はグラスファイバーフィルター (Whatman GF/C) を用いて試料水を吸引ろ過した後、海洋観測指針に従って測定した¹⁴⁾。

マイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンのバイオマス量としてのクロロフィル *a* 濃度を測定するため、試料水を孔径200と20μmのナイロンメッシュフィルター (NBC 工業) および2.0と0.2μmのニュクリポアーフィルター (直径47mm) を順次用いてろ過した。200と20μm ナイロンメッシュフィルターによるろ過は大気圧で、2.0と0.2μmのフィルターの場合は吸引ろ過した (<300mm Hg)¹⁵⁾。ろ過量はマイクロ植物プランクトンの場合0.5~3.0 l, ナノ植物プランクトンの場合0.1~0.6 l, ピコ植物プランクトンの場合0.2~0.6 l とした。ろ過後のろ紙を遠心沈殿管に挿入し、90%アセトン溶液5 mlを加え、4℃の暗所で24時間自然抽出後、吸光法によりクロロフィル *a* 濃度を測定した¹⁴⁾。

マイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンの計数のため、採水直後の試料水にホルマリン液を添加(2% v/v)^{16),17)}し、計数するまで4℃で保存した。採水から48時間以内で試料水の一定量を200と20μmのナイロンメッシュフィルター (NBC 工業) および2.0と0.2μmのニュクリポアーフィルター (直径25mm) を順次用いてろ過した。マイクロ植物プランクトンは孔径200μmのろ紙(ナノは20, ピコは2.0μm)でろ過し、ろ過された試料をまた孔径20μmのろ紙(ナノは2.0, ピコは0.2μm)でろ過し、プレパラートを作成した。その後、速やかにプレパラート上のフィルターを落射式蛍光顕微鏡 (Nikon Optiphot-2, Hg100W ランプ, Nikon filter cassette B, B 励起; ダイクロイックミラー510 nm, 励起フィルタ450~490nm, 吸収フィルタ520nm) で観察し、孔径20, 2.0および0.2μmのろ紙上の蛍光を発する細胞を計数し、それぞれをマイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンの細胞数にした。ピコ植物プランクトンの場合、オレンジ色の蛍光を発する細胞をピコシアノバクテリア、赤色の蛍光を発する細胞をその他のピコ植物プランクトンに区別した¹⁸⁾。また、マイクロとナノ植物プランクトンの優占種は位相差顕微鏡を用いて観察した。

3. 結果および考察

3.1 降雨量、水温および塩分濃度の変動

広島市における降雨量と広島湾における水温および塩分濃度の季節変動を Fig. 2 に示す。水温の変動範囲は10~28°Cであり、1~3月の冬季に最も低く、7~9月の夏季に最も高かった。1994年夏季の水温は1993年の同時期より5°C位高かった。1993年の6~9月は平年より降雨量が多く、冷夏であった。一方、1994年の6~9月は平年より降雨量が少なく、非常に暑い夏であった。1995年の春季から夏季には通常の降雨であった。

塩分濃度は13~32‰の範囲で変動した。1993年7~9月における塩分濃度の変動は大きく、8月には両地点共に13‰まで減少した。1994年における塩分濃度は4~5月に若干低いものの、大きな変動はなく、31‰前後であった。1995年1月から6月までの塩分濃度は1994年のそれらと変わりがなく、31‰前後であった。しかし、7月には22‰まで減少した。

地点別に塩分濃度の差をみると、1993年7月と8月を除き、太田川河口に近い地点12が地点14より低い濃度であった。1993年7月と8月には湾中央部の地点14で地点12より逆に高かった。1994年6~12月の間で大

きな塩分濃度の変動がなかったことは前述の通りほとんど降雨がなかったためと考えられる。また、1993年の7~9月や1995年の7月の低塩分濃度は降雨に伴う太田川からの河川水の流入が増加したためと考えられる。

3.2 無機態窒素およびリンの変動

Fig. 3 に無機態窒素およびリン濃度の季節変動を示す。NO₃-N は、1993年の8月に10μg-at N・l⁻¹以上で、本研究期間中最大であった。一方、1994年の夏季(6~9月)には2μg-at N・l⁻¹以下で、最低濃度であった。冬季の11~12月には1993年および1994年共に4μg-at N・l⁻¹以上になり、全般的に夏季より高い濃度を示した。

NH₄-N は NO₃-N と類似した変動を示し、冬季に高く、夏季に低かった。しかし、1993年の夏季の NH₄-N は1994年および1995年の夏季のそれらより高い値を示した。

PO₄-P は、1993年の7~10月を除き、NO₃-N と類似した変動を示した。すなわち、冬季に高く、夏季に低くなる傾向を示した。1993年7月から9月までは、前述したように NO₃-N 濃度は高い値を示したが、PO₄-P は冬季より低い値を示した。

Fig. 2 Seasonal variation of rainfall at Hiroshima city, water temperature and salinity at stations 12 (●) and 14 (■) in Hiroshima Bay

Fig. 3 Seasonal variation of NO₃-N (A), NH₄-N (B), and PO₄-P concentrations (C) at stations 12 (●) and 14 (■) in Hiroshima Bay

3.3 マイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンのバイオマスとその割合の変動

マイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンのバイオマスの変動をクロロフィル *a* 濃度としてまとめた結果を Fig. 4 に示す。

マイクロ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は、両地点共に夏季から秋季（6～9月）では $5.0\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下であった。一方、秋季から春季（10～5月）にはマイクロ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度のピークが現われ、地点12では1994年4月に $18.0\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ まで達した。種の変動は、1994年2月のクロロフィル *a* 濃度のピーク時には *Eucampia* sp., 同年4月のピーク時には *Chaetoceros* sp., *Skeletonema costatum* 等の珪藻類が優占した。1994年10月-1995年5月には1994年2月に優占した *Eucampia* sp. は観察されず、べん毛藻類や珪藻類の *Chaetoceros* sp., *Thalassiothrix* sp., *Stephanopyxis* sp., *Nitzschia* sp., *Skeletonema costatum* 等が優占した。

マイクロ植物プランクトンが秋季から春季にかけて優占したのに対し、ナノ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は夏季から秋季（5～9月）に高く、冬季から春季（10～4月）に低かった。特に、1993年の

Fig. 4 Seasonal variation of chlorophyll *a* concentrations for micro-, nano-, and picophytoplankton at stations 12 (●) and 14 (■) in Hiroshima Bay

夏季から秋季にかけて最大 $22.0\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ まで増加し、研究期間中最も高かった。1993年の夏季から秋季のナノ植物プランクトンの優占種は珪藻類であった。1994年と1995年の夏季から秋季には珪藻類とべん毛藻類が優占した。

ピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度の変動は $0.1\sim 9.4\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であり、広島湾における多田ら¹⁹⁾の値 ($0.7\sim 6.9\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) と同程度の値であった。ピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は、冬季から春季（10～4月）よりも夏季から秋季（5～9月）に高かった。特に、1993年の9月には最大 $9.4\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ に達した。広島湾の夏季から秋季のピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は外洋 ($0.5\sim 1.0\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)^{21,23)}や噴火湾 ($0.2\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下)⁴⁾と比較すると非常に高い値と考えられる。一方、富栄養海域の Chesapeake 湾²⁰⁾における夏季のピコ植物プランクトン ($3\mu\text{m}$ 以下)のクロロフィル *a* 濃度は $1\sim 5\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ に変動し、平均 $2.5\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ くらいであった。また、富栄養海域の Northern Adriatic 海⁹⁾では年間のピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は平均 $0.48\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であることが報告された。広島湾におけるピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は Northern Adriatic 海より高く、Chesapeake 湾とは同様の値であった。

1993年の7～8月にナノ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度が非常に高かった。これは1993年の夏季から秋季にかけての河川水の流入による硝酸塩濃度の増加 (Fig. 3) により、ピコ植物プランクトンより硝酸塩に対して高い親和性を持つとされている²¹⁾ナノ植物プランクトンが増殖しやすかったためと推定される。一方、ピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は、河川水の流入により増加した硝酸塩濃度が減少した (Fig. 3) 1993年9月に非常に高かった。これはナノ植物プランクトンの増殖に伴って、硝酸塩濃度が減少し、その結果 DIN/DIP 比が小さくなり (1993年8月の DIN/DIP は30～130, 同年9月は10～20), 相対的にリンを多く要求する^{22,23)}ピコ植物プランクトンの増殖に有利な環境になったためと考えられる。

全クロロフィル *a* に対するマイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度の割合の変動を Fig. 5 に示す。マイクロ植物プランクトンの割合は、夏季から秋季（6～9月）には5～50%, 冬季から春季（11～4月）には10～90%を占め、冬季から春季の時期に高い値を示した。他方、ナノ植物プランクトンは、夏季から秋季には26～88%, 冬季から春季には3～64%を占め、夏季から秋季の時期に高い値を示した。全植物プランクトンのバイオマスに対するマイクロとナノ植物プランクトンの割合がそれぞれ冬季

Fig. 5 Seasonal variation in the relative composition of chlorophyll *a* concentrations in the different phytoplankton size fractions. ■, Picophytoplankton; ▨, Nanophytoplankton; ▩, Microphytoplankton

から春季と夏季から秋季に高く、顕著な季節変動を示したのに対して、ピコ植物プランクトンの割合は顕著な季節変動を示さず、平均約15%を占めた。この値は Chesapeake 湾²⁰⁾の夏季におけるその値 (15%) と同一であった。しかし、Northern Adriatic 海⁹⁾の年間平均値 (19.4%) と比較すると低い値であった。

3.4 マイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンの細胞数とその割合の変動

マイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンの細胞数の変動を Fig. 6 に示す。マイクロ植物プランクトンの細胞数は $3 \times 10^3 \sim 2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ に変動した。ナノ植物プランクトン数の変動は $1 \times 10^5 \sim 6 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ で、1994年2月に最低濃度 ($1 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$) が観測された程度で、明確な季節変動は認められなかった。ピコ植物プランクトンの細胞数の変動は $1 \times 10^5 \sim 7 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。マイクロとナノ植物プランクトンの場合と異なり、ピコ植物プランクトンは水温の変動に従い細胞数も変動し、冬季から春季の1～4月に低く、夏季から秋季の6～9月には高くなる傾向が得られた。しかし、本研究の毎年7～8月にその細胞数の一時的な減少が認められた。その理由は現在不明である。

全細胞数に対するマイクロ、ナノおよびピコ植物プランクトンの寄与を明らかにするため、それぞれ植物プランクトンの細胞数の割合を Fig. 7 に示す。ピコ植物プランクトンの細胞数が少なかった毎年1～4月と一時的に減少した毎年7～8月の時期には全細胞数に占めるナノあるいはナノ以上のプランクトンの割合が

Fig. 6 Seasonal variation in cell density of the micro-, nano-, and picophytoplankton at stations 12 (●) and 14 (■) in Hiroshima Bay

Fig. 7 Seasonal variation in the relative proportion of cell density in the different phytoplankton size fractions. ■, Picophytoplankton; ▨, Nanophytoplankton; ▩, Microphytoplankton

50～90%を占めた。しかし、それ以外の時期にはピコ植物プランクトンの細胞数の割合が大きく、50～95%を占めた。

ピコ植物プランクトンに対するピコシアノバクテリアとその他のピコ植物プランクトンの割合を Fig. 8

Fig. 8 Relative abundance of the cell density of cyanobacteria (▨) and other picophytoplankton (■) in picophytoplankton at stations 12 and 14 in Hiroshima Bay

に示す。本研究ではピコ植物プランクトンの大部分はピコシアノバクテリアであった。岩内湾²⁴⁾では75%以上がピコシアノバクテリアであり、その他のピコ植物プランクトンの割合は低いが、毎月観測された。本研究では一部の時期のみに、その他のピコ植物プランクトンが観測された。また、Odate ら²⁵⁾によるとピコ植物プランクトン中その他のピコ植物プランクトンの割合は水温が10~20°Cでは5%であったが、水温が6~14°Cでは73%に増加した。しかし、本研究ではそのような傾向は観察されなかった。

最後に全クロロフィル *a* 濃度に対するピコ植物プランクトンの割合は年平均15%と低い値であったが、河川水流入によりナノ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度がまず増加し、その後ピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は最大 $9.4\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (全クロロフィル *a* 濃度では30%)まで増加した (Fig. 4, 5)。また、細胞数でピコ植物プランクトンの分布を検討した場合、毎年7~8月を除く、晩春から秋にピコ植物プランクトンの割合が高かった (Fig. 7)。このことから、広島湾における富栄養化に対してはマイクロとナノ植物プランクトン以外にピコ植物プランクトンの動態にも注目しなければならないと考えられる。

4. ま と め

全植物プランクトンに対するサイズ別植物プランクトン、特にピコ植物プランクトンの位置づけを明らかにすることを目的として富栄養化の著しい閉鎖性内湾である広島湾の北部域の植物プランクトン群集を対象にしてそのサイズ構造と季節変動の検討を行った。そ

の結果、以下のことが明らかになった。

1) クロロフィル *a* に占めるマイクロとナノ植物プランクトンの割合はそれぞれ冬季から春季と夏季から秋季の時期に高かった。しかし、ピコ植物プランクトンの割合の季節変動は少なく、平均約15%を占めた。

2) 本研究期間中、ピコ植物プランクトンの細胞数が少なかった毎年1~4月と一時的に減少した毎年7~8月の時期には全細胞数に占めるナノあるいはナノ以上のプランクトンの割合が50~90%を占めた。しかし、それ以外の時期にはピコ植物プランクトンの細胞数の割合が大きく、50~95%を占めた。

3) 1993年の7~8月、降雨に伴い太田川からの河川水の流入によって硝酸塩濃度が増加し、ナノ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度が著しく増加した。一方、ナノ植物プランクトンの増殖により硝酸塩濃度が減少した後の1993年9月に、ピコ植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は著しく増加した。

4) 水温が低い海域ほどピコ植物プランクトン中ピコシアノバクテリア以外のピコ植物プランクトンの割合が高くなることが報告されている。しかし、本研究では水温が低い冬季にピコシアノバクテリア以外のピコ植物プランクトンの割合が増加する傾向は観察されず、そのピコ植物プランクトンの大部分はピコシアノバクテリアであった。

(原稿受付 1995年8月25日)

(原稿受理 1996年1月16日)

引 用 文 献

- 1) Fogg, G.E. (1987) Marine planktonic cyanobacteria, 393-414, in "The Cyanobacteria" (Fay, P. and Van Baalen, C. eds.), Elsevier.
- 2) Stockner, J.G. (1988) Phototrophic picoplankton: An overview from marine and freshwater ecosystems, *Limnology and Oceanography*, **33**, 765-775.
- 3) Stockner, J.G. and Antia, N.J. (1986) Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**, 2472-2503.
- 4) Maita, Y. and Odate, T. (1988) Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka Bay, Japan, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, **44**, 268-279.
- 5) Cole, B.E., Cloern, J.E. and Alpine, A.E. (1986) Biomass and productivity of three phytoplankton size classes in San Francisco Bay, *Estuaries*, **9**, 117-126.
- 6) Durbin, E.G., Krawiec, R.W. and Smayda, T.J. (1975) Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA), *Marine Biology*, **32**, 271-287.
- 7) McCarthy, J.J., Rowland Taylor, W. and Loftus, M.E. (1974) Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay

- estuary and problems associated with the measurement of nanoplankton productivity, *Marine Biology*, **24**, 7-16.
- 8) Sellner, K.G. (1983) Plankton productivity and biomass in a tributary of the upper Chesapeake Bay. I. Importance of size-fractionated phytoplankton productivity, biomass and species composition in carbon export, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **17**, 197-206.
- 9) Vanucci, S., Acosta Pomar, M.L.C and Maugeri, T.L. (1994) Seasonal pattern of phototrophic picoplankton in the eutrophic coastal waters of the northern Adriatic Sea, *Botanica Marina*, **37**, 57-66.
- 10) Fisher, T.R., Peele, E.R., Ammerman, J.W. and Harding, L. (1992) Nutrient limitation of phytoplankton in Chesapeake Bay, *Marine Ecology Progress Series*, **82**, 51-63.
- 11) Caraco, N., Tamse, A., Boutros, O. and Valiela, I. (1987) Nutrient limitation of phytoplankton growth in brackish coastal ponds, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **44**, 473-476.
- 12) Harrison, P.J., Hu, M.H., Yang, Y.P. and Lu, X. (1990) Phosphate limitation in estuarine and coastal waters of China, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **140**, 79-87.
- 13) Lee, Y.S., Seiki, T., Mukai, T., Takimoto, K. and Okada, M., Limiting nutrients of phytoplankton community in Hiroshima Bay, Japan, *Water Research*, in press.
- 14) Oceanogr. Soc. Japan, Tokyo (1985) Kaiyo Kansoku Sisin (A Manual for Oceanographical Observation), 428pp, Oceanogr. Soc. Japan.
- 15) Prepas, E.E., Dunnigan, M.E. and Trimbee, A.M. (1988) Comparison of *in situ* estimates of chlorophyll *a* obtained with Whatman GF/F and GF/C glass-fiber filters in mesotrophic to hypereutrophic lakes, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **45**, 910-914.
- 16) Tsuda, A., Sugisaki, H., Takahashi, K. and Furuya, K. (1994) Succession of pelagic organisms in the size range 0.5-200 μm during a diatom bloom in Otsuchi Bay, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **39**, 173-184.
- 17) 斉藤昭二, 有賀祐勝 (1994) 津久井湖における植物プランクトンの季節的消長と環境要因との関係, 水道協会雑誌, **715**, 62-79.
- 18) Odate, T. (1989) Seasonal changes in cell density of cyanobacteria and other picophytoplankton populations in Funka Bay, Japan, *Bulletin of Plankton Society of Japan*, **36**, 53-61.
- 19) 多田邦尚, 松本幸治, 多田充利, 越智正 (1994) 広島湾における植物プランクトン群集のサイズ組成, 香川大学農学部学術報告, **46**, 27-35.
- 20) Ray, R.T., Haas, L.W. and Sieracki, M.E. (1989) Autotrophic picoplankton dynamics in a Chesapeake Bay sub-estuary, *Marine Ecology Progress Series*, **52**, 273-285.
- 21) Herbland, A., Le Bouteiller, A. and Raimbault, P. (1985) Size structure of phytoplankton biomass in the equatorial Atlantic Ocean, *Deep-Sea Research*, **32**, 819-836.
- 22) Redfield, A.C., Ketchum, B.H. and Richards, F.A. (1963) The influence of organisms on the composition of sea-water, in "The Sea, Vol. 2", (Hill, M.N. ed.), pp.26-77, Wiley Interscience, New York.
- 23) Cuhel, R.L. and Waterbury, J.B. (1984) Biochemical composition and short term nutrient incorporation patterns in a unicellular marine cyanobacterium, *Synechococcus* (WH7803), *Limnology and Oceanography*, **29**, 370-374.
- 24) Miyazono, A., Odate, T. and Maita, Y. (1992) Seasonal fluctuations of cell density of cyanobacteria and other picophytoplankton in Iwanai Bay, Hokkaido, Japan, *Journal of Oceanography*, **48**, 257-266.
- 25) Odate, T., Yanada, M., Castillo, L.V. and Maita, Y. (1990) Distribution of cyanobacteria and other picophytoplankton in the western north Pacific Ocean, summer 1989, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, **46**, 184-189.