〈論 文〉

汽水湖中海における一次生産に関する研究

Studies on the primary production in the brackish Lake Nakanoumi

近 藤 邦 男*
Kunio KONDO

Abstract

In recent years, brackish Lake Nakanoumi which is being converted into a fresh-water lake by reclaiming is rapidly eutrophicated, and its waters are heavily polluted.

This study was performed special attention paid on the Yonago Embayment which is the most heavily polluted area in the Lake Nakanoumi waters, and the primary production was measured by the *in situ* method.

The environmental factors controlling the primary production were sought for by multiple regression analysis using the measured data.

For a water depth of 0.5m, the three variables, *i.e.*, global solar radiation, chlorophyll-a and water temperature, were found to fit into the multiple regression equation, and a high multiple correlation coefficient ($r=0.921$) was obtained.

The total amount of the primary net production in 1982 in the Yonago Embayment area was also estimated.

Key words: brackish Lake Nakanoumi, primary production, multiple regression analysis

1. はじめに

島根・鳥取両県にまたがる汽水湖中海は、近年急速的な富栄養化の進行に伴い水質が汚濁化し、*Prorocentrum minimum* や *Skeletonema costatum* 等による赤潮の発生頻度が極めて高くなっている¹⁾²⁾。筆者が中海の藻類の研究に着手した1973年より現在に至るまで、それらの赤潮が直接漁業資源に被害を与えたという報告はないが、湖水の透明度は急激に低下し、湖の景観を悪化させている。

こうした水質の汚濁化は、人間活動の活発化によって水域への窒素や磷等の栄養塩の供給量が増加し、藻類の一次生産活動が助長されることに起因すると考えられる。

さらに、生産された有機物は湖底に沈降、堆積することによって底質環境をも悪化させる原因となっている。

また、湖底に堆積した有機物は分解無機化することによって湖水中に回帰し、一次生産活動を活発化させることになる。

このように、湖外から負荷された栄養塩は藻類の一次生産によりその生体内に取り込まれ、湖底に堆積することによって湖内に栄養塩を蓄積することになる³⁾。この傾向は、水の停滞性の強い湖や内湾において特に顕著である。

中海は湖水を農業用水および飲料水として利用するための干拓淡水化事業⁴⁾が1968年に着工され、その工事の完成も間近い。淡水化された場合には、水域の自然環境は一変し、湖内の水質および生態系は短期間に大きく変動することが予測される⁵⁾。

従って、現在の汽水環境における一次生産の実態を把握することは、水質環境の動態を知る上で、極めて重要である。このような観点から、筆者らは汽水湖中海における水質汚濁機構を解明すべく調査研究を過去10数年にわたって行なってきた⁶⁾⁷⁾⁸⁾。

本研究では、中海のうち最も富栄養化が進行し、赤潮の発生頻度も極めて高い米子湾水域の水質汚濁機構の解明の一環として、主として藻類の一次生産に着目し、その現場調査を行なった。さらに、得られた調査

* 島根大学環境分析センター 〒690 島根県松江市西川津町1060, Environmental Analysis Center, Shimane University, 1060 Nishikawasu-cho, Matsue-shi, Shimane-ken 690 Japan

結果をもとに米子湾における一次生産支配因子の探索を重回帰分析によって行なった。

2. 調査地点と方法

2.1 調査地点

一次生産の測定は、中海の東南に奥深く入り込んだ米子湾の中央部地点 (St. 11) (Fig. 1) において行なった。

湾内は閉鎖性が強く、境水道を通じて流入する日本海水との水の交換率が極めて低く、平均水深も約 4 m と浅い上に米子市からの都市下水や下水 2 次処理水が直接この湾内に流入しているため、中海のうち最も水質の汚濁化が進行した水域である。

従って、藻類の現存量も中海の主湖盆に比べて極めて多く、渦鞭毛藻 *P. minimum*, 珪藻 *S. costatum*, *Nitzschia closterium* および *Chaetoceros sp.* 等による赤潮の発生頻度も高い⁹⁾。

また、中海の平均的水質を代表していると考えられる⁷⁾中海中央部地点 (St. 4) においても St. 11 との比較のため同様の調査を行なった。

2.2 一次生産の測定方法

一次生産の測定は現場法¹⁰⁾によって行なった。日の出前に水深 0, 0.5, 1, 2 m および 3 m から水を採取し 100ml 容の酸素瓶 (明瓶および暗瓶) にそれぞれの試水を分注したのち、再び採水した各水深に正午まで吊り下げた。一次生産量は溶存酸素法により測定し、溶存酸素濃度を Winkler 法のアジ化ナトリウム変法¹¹⁾により定量分析を行なった。

その他 Chlorophyll-a (Chl-a) は Parson and Strickland (1968) の方法¹²⁾, Cl⁻濃度はクロム酸銀法¹³⁾, NH₄-N インドフェール法¹⁴⁾, NO₃-N は Cd-Cu アマルガム法¹⁵⁾, T-N は Kjeldahl-N¹⁶⁾, NO₃-N および NO₂-N の和を求め、また PO₄-P は混合試薬法¹⁷⁾, T-P は過硫酸カリウムによって分解¹⁸⁾した後、混合試薬法により定量分析を行なった。

さらに、得られた実測データを用いて Step Wise

Fig. 1 Map of Lake Nakanoumi showing investigated stations. Hatched areas denote reclaimed lands.

法¹⁹⁾による重回帰分析を行なうことにより、一次生産を支配する環境要因の探索および St. 11 における一次生産量の推定を試みた。

3. 結果と考察

3.1 藻類の現存量

Fig. 2 に中海の平均的水質を代表していると考えられる中海中央部地点 (St. 4) ⁷⁾および米子湾中央部地点 (St. 11) の水深 1 m における Chl-a 量の年周変化を 1974 年 4 月から 1982 年 12 月までの 9 年間にわたって示した。

St. 4 における Chl-a 量の最大値は 1979 年 5 月の $67.5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で、 $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ を超えることなく、9 年間の平均値は $18.9 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。これに対し、St. 11 では $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ を超える場合もしばしば観察され、1975 年 12 月には *P. minimum* の異常増殖に起因した $335 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と極めて高い値が観察され、9 年間の平均値は $48.7 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ で St. 4 の約 2.6 倍であった。このことから、St. 11 は藻類の現存量が多く、水質の汚濁化が極めて進んだ水域であることが判る。

次に、1981 年 1 月から 1982 年 12 月までの間に St. 11 において測定した Chl-a 量の鉛直分布を Fig. 3 に示した。 $70 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上の高い値は表層から水深 1 m にかけて検出され、水深が深くなるにつれその値は減少していた。また 1982 年 1 月は *P. minimum* の赤潮により、表層から水深 1 m にかけて $70 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 以上の高い値が検出されたが、水深 1 m 以深ではその濃度が急激に減少し、水深 2.5 m では水深 1 m の約 1/20 の濃度であった。このことから、St. 11 における藻類の大部分は表層から水深 1 m までに存在しているといえる。

3.2 一次生産調査時の水質

Table 1 に St. 11 において 26 回一次生産の測定を行なった際の、主な水質および環境項目の平均値を示した。

水温 (W. T) および塩分濃度は表層から水深 3 m までその変化は小さく、これは米子湾の水深が約 4 m と浅いことに起因するものと考えられる。夏期 7, 8 月に水温躍層とともに塩分躍層が形成されたが、水深約 7.5 m と中海の中では比較的水深の深い中海中央部地点 (St. 4) のそれらと比較すると微弱なものであった。

しかし、Chl-a, T-P, T-N および NO₃-N は表層あるいは水深 0.5 m において最大となり、水深 3 m における濃度の 1.5–2.0 倍であった。

一方、NH₄-N および PO₄-P は表層から水深 2 m までその濃度の変化は殆んど認められなかったが、水深 3 m においてそれらの濃度が急激に増加していた。この傾向は St. 11 において毎年観察される。

Fig. 2 Concentrations of Chlorophyll-a at the central part of Lake Nakanoumi (St. 4) and Yonago Embayment (St.11) (1975-1982).
●; St.4 ○; St.11

Fig. 3 Vertical distribution of Chlorophyll-a at Yonago Embayment.
■ 70<, ▨ 50-70, ▩ 30-50, ▨ 10-30, □ 0-10 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$

3.3 一次生産量

1982年2月から12月までの間に26回、現場法により測定した純生産量(Pn)に関する結果をFig. 4に示した。Pnは全般的に水温の低い冬期および春期に比較し、水温の高い夏期および秋期の方が多い。

Pnの最大は雨天(R)または曇天日(C)には表層、晴天日(F)には水深0.5mにおいて観察された。

晴天日に水深0.5mでPnが最大になったのは、必ずしもChl-a量が0.5mにおいて最大であったからではない。例えば5月16日、8月8日および9月5日の晴天日の場合、水深0mにおけるChl-a量が47.2, 55.8, 47.6 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であったのに対し、水深0.5mでは46.1, 56.0, 47.1 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であり、両水深におけるChl-a量を比べると、同程度あるいは逆に水深0mの方が多かった。26回の調査時における両水深のChl-a量の平均値(Table 1)を比較した場合も、両水深間の濃度差は小さい。

Table 1 Mean of physical and chemical characteristics of the several water depth at Yonago Embayment

Water depth	Mean Values of Environmental Factors							
	Chl-a ($\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	W.T. ($^{\circ}\text{C}$)	Cl^{-} ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)	T-P ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	$\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	T-N ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)
0.0m	41.9	19.7	9098	123	6	1370	21	47
0.5m	45.2	19.6	9219	129	5	1385	20	46
1.0m	38.2	19.3	9341	117	6	1206	18	46
2.0m	28.0	19.1	9838	99	6	1075	15	45
3.0m	12.1	18.6	10684	85	23	889	10	79

Fig. 4 Primary net production (Pn) measured by light and dark bottle technique at Yonago Embayment (1982). F; Fine C; Cloudy R; Rain

そこで、晴天日の水深 0 m と 0.5 m における単位 Chl-a 量当りの Pn (光合成活性) を計算すると、水深 0 m の方が 0.5 m のそれに比べて値が小さい。従って、晴天日には水深 0 m において強光阻害が生じ、生産量が低下していることが考えられる。

また、Fig. 4 より St. 11 における晴天日 (F) の補償深度は水深 2 - 3 m、雨天 (R) または曇天日 (C) は 2 m 以浅であることが判った。このように、St. 11

の生産層の深さは極めて浅く、水質の汚濁化の進行により透明度が平均 1.05 m と低いことに起因すると考えられる。

3.4 重回帰分析による一次生産量の推定

このようにして得られた一次生産の実測データを用いて、米子湾水域における一次生産支配環境要因を探り、かつ一次生産量の推定を行なうために Step Wise 法による重回帰分析を試みた。

解析に用いた説明変量(測定項目)はChl-a、水温(W.T)、T-N、NO₃-N、NH₄-N、T-P、PO₄-P、Cl⁻および全天日射量(GSR)の9個で、目的変量は日の出から正午まで実測した純生産量(Pn)である。

水深0、0.5、1、2 mおよび3 mのデータをそれぞれ単独に解析を行なった。その結果、水深2 mおよび3 mの場合は9個の説明変量のいずれも重回帰式に取り込まれなかった。その原因は、水深2 mおよび3 mは前記現場法による一次生産量の実測結果(Fig. 4)に示したように、両水深は生産量の下端あるいは補償深度以深であったためと考えられる。

しかし、水深0、0.5 mおよび1 mの場合は9個の説明変量のうちの数個の変量が重回帰式に取り込まれた。その結果をFig. 5に示した。

水深0 mは1)式で示したように、水温(W.T)に関する変量のみが重回帰式に取り込まれ、重相関係数は0.556と低かった。

水深0.5 mは2)式で示したように、全天日射量(GSR)、Chl-aおよび水温(W.T)の3個変量が重回帰式に取り込まれ、重相関係数は0.921と極めて高い値が得られた。

また、水深1 mは3)式に示したように、全天日射量(GSR)の変量のみが重回帰式に取り込まれ、重相関係数は0.727であった。

このように、米子湾中央部地点において一次生産量を測定することによって得られたデータを用いて重回帰分析を行なった結果、水深ごとに重回帰式に取り込まれた説明変量および重相関係数は異なっていた。

その中で、水深0.5 mの場合のみが2)式で示したように、重相関係数が0.921と極めて高い最良重回帰式が得られた。この式は重相関係数が0.9以上と極めて高く、水深0.5 mにおいて実測した純生産量を極めて良く近似することができることが判った。

そこで、この2)式を用いてSt. 11の水深0.5 mにおける純生産量の推定を試みた。2)式に1982年1月か

$$\begin{aligned}
 0.0\text{m } Y_{00} &= 0.0282X_3 + 0.1052 \dots\dots\dots 1) \\
 R &= 0.556 \quad F = 10.76 \quad (5\% \quad F = 3.05) \\
 X_3 &; \text{Water Temperature } (^{\circ}\text{C}) \\
 0.5\text{m } Y_{05} &= 0.0164X_1 + 0.0871X_2 + 0.0324X_3 - 1.2747 \dots\dots 2) \\
 R &= 0.921 \quad F = 40.98 \quad (5\% \quad F = 3.05) \\
 X_1 &; \text{Chlorophyll-a } (\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}) \\
 X_2 &; \text{Global Solar Radiation } (\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}) \\
 X_3 &; \text{Water Temperature } (^{\circ}\text{C}) \\
 1.0\text{m } Y_{10} &= 0.0744X_2 - 0.600 \dots\dots\dots 3) \\
 R &= 0.727 \quad F = 26.95 \quad (5\% \quad F = 3.05) \\
 X_2 &; \text{Global Solar Radiation } (\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2})
 \end{aligned}$$

Fig. 5 Results of multiple regression analysis.

ら12月までの間にSt. 11において実測したChl-a量、水温(W.T)および米子測候所において連日測定された全天日射量(GSR)の値を代入することによって水深0.5 mにおける一次生産量の算出を行なった。

ここで、2)の重回帰式は日の出から正午まで、すなわち午前中の測定データを解析して得られたものであり、一日(日の出-日没)の純生産量(Pn)を算出する場合、光合成の日周リズム²⁰⁾すなわち午前と午後との光合成活性の違いが問題となる。一般に、午前中の光合成活性の方が午後に比べ高い²¹⁾とされ、Vollenweider and Nauwerck (1961)²⁰⁾は単位面積当りの光合成量を検討した結果、午前中の光合成量は日光合成量の54-62%であると報告している。

しかし、筆者が中海において一次生産の現場測定を行なった結果では、終日快晴であった日以外は午前と午後の光合成活性との間に有意な差は認められなかった²²⁾。

従って、年間を通じ終日快晴の日数の比較的少ない中海においては²²⁾、午前と午後の光合成活性を同一と仮定してもさしつかえないと考えた。

St. 11の水深0.5 mにおける日純生産量を算出するために必要なChl-a量および水温をFig. 6に、米子測候所において連日測定された全天日射量の経日変化をFig. 7に示した。ここで、Chl-a量および水温については1982年1年間の実測値は39個であり、実測日以外は最も近い実測日の値を用いた。

Chl-a量の最大値は1月20日の*P. minimum*による赤潮発生時に観測された $183\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ で、また最小値は2月6日の $17\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であった。3月から6月の間のChl-a量は比較的少なく、7月から12月にかけてその濃度が増加する傾向にあった。

全天日射量(GSR)は天候によって大きく変動しながらも、冬期に少なく夏期に高くなる傾向が顕著であり平均すると8月は1月の約2.5倍であった。

これら各変量の値を2)式に代入することによって得られた米子湾中央部地点の水深0.5 mにおける日中の純生産量の経日変化をFig. 8に示した。図からも明らかなように、水温が低く日射量の少ない冬期に比べ、水温が高く日射量の多い夏期に純生産量が増大する傾向が顕著に示された。

しかし、水温が低く日射量の少ない冬期であっても、藻類が異常増殖してChl-a量が極めて高い場合には夏期の晴天日と同程度の生産が行なわれているという興味ある結果が得られた。

3.5 米子湾中央部地点における年間純生産量の推定

Fig. 8に示した水深0.5 mにおける純生産量の経日

Fig. 6 Data of Chlorophyll-a (a) and Water Temperature (b) substituted in multiple regression equation.

Fig. 7 Daily change of Global Solar Radiation at Yonago City (1982). Latitude; 35° 25.9'N Longitude; 133° 20.5'E Elevation; 6.4m

変化を1982年1年間にわたって加算すると449.3 $\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ となる。

さらに、米子湾中央部地点の各水深における純生産量がそれぞれどのような割合になっているのか知るために、1975年から1982年の7年間に米子湾中央部地点において57回実測した一次生産量に関するデータを、各水深ごとにその平均値を求めた。それを、水深0 mにおける値を100%とし、各水深の値を相対値で示した (Fig. 9)。

その結果、水深0.5, 1 mおよび2 mにおける生産量の割合はそれぞれ140.0%, 116.3%および10.8%であり、米子湾中央部地点では水深0.5mにおいて純生産量が最大となることが判った。

そこで、先に水深0.5mにおける1982年1年間の純

生産量の推定値 ($449.3 \text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$) を基準に、各水深における純生産量を Fig. 9 に示した割合に応じて比例計算すると、水深0 m, 1 mおよび2 mにおける年間純生産量はそれぞれ332.7, 387.0 $\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ および35.9 $\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ であったと推定することができる。

これを水深方向に積分すると、その値は $617.4 \text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ となり、これが米子湾中央部地点における単位水柱 (1 m^2) 当りの年間純生産量の推定値である。この値を中海における植物プランクトンの主体である珪藻類の平均的光合成商 (O_2/CO_2) を1.12²³⁾としてC量に換算すると $150.2 \text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ となる。

また、夜間呼吸によって消費される有機物量は、中海における46回の実測値の平均を求めると日中で純生

Fig. 8 Daily change of estimated primary net production at Yonago Embayment (1982).

Fig. 9 Relative primary net production at Yonago Embayment (1975-1982).

産量の約45.1%であった。そこで、この割合で夜間呼吸によって有機物が消費されたと仮定すると、St. 11における単位水柱 (1 m^2) 当りの1982年1年間の有機物の増加量は約 $82.5 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ となった。

以上、米子湾における一次生産量を実測し、そのデータを用いて Step wise 法による重回帰分析を行なうことにより、実測値を極めて良く近似することのできる重回帰式を得ることができた。

4. おわりに

干拓淡水化を目前に控えた汽水湖中海のうち閉鎖性が強く、最も水質の汚濁化が進行し、赤潮の発生頻度が極めて高い米子湾中央部地点 (St.11) における一次生産量を現場法により測定した。

測定した純生産量および水質環境に関するデータを用いて Step wise 法により重回帰分析を行ない、米子湾において一次生産を支配している環境因子の探索および一次生産量の推定を試みた。

水深0.5mのデータを解析した結果、全日射量、水温および Chl-a の3つの変量が重回帰式に取り込まれ、重回帰係数は0.921と高く、実測値を極めて良く近似することができた。

さらに、この重回帰式に実測した Chl-a 量、水温および全日射量のデータを代入することにより、米子湾中央部地点における1982年1年間の日中の純生産量を推定した。その結果、純生産量は冬期に少なく、夏期に多い傾向が観察された。しかし、冬期でも藻類の異常発生時には、夏期の晴天日とほぼ同程度の生産が行なわれていることが判った。

さらに、1982年以前の実測データから得られた結果および2、3の仮定の下で、米子湾中央部地点における単位水柱 (1 m^2) 当りの年間有機物の増加量を概算した結果、その増加量は $82.5 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ であった。

5. 謝 辞

本研究に際し多大な御協力を頂いた米子市役所の政木人巳氏に心より感謝いたします。

また、本稿をまとめるに当たり、多くの有益な助言を

いただいた元島根大学農学部教授伊達善夫先生、環境分析センターの清家 泰氏ならびに島根大学理学部化学学科の宅和暁男助教授に深謝いたします。

(原稿受理 昭和60年9月6日)

引用文献

- 1) 伊達善夫, 近藤邦男, 川田修一, 林伸行 (1980) 中海における植物プランクトンの動態に関する研究 (VI, 中海における植物プランクトン相, 山陰文研紀要, **20**, 159-179.
- 2) H. Ohtake, K. Kondo, N. Hayashi, S. Kawata and Y. Date (1980) Phytoplankton studies in the brackish-Lake Nakanoumi, Japan, 1. Phytoplankton in Lake Nakanoumi, 1974-1978, *Archiv für Hydrobiologie*, **90**, 309-323.
- 3) 信楽義夫, 石渡良志 (1980) 環境試料中の直鎖飽和の脂肪酸, アルコール, 炭水化物の分布と起源, 陸水学雑誌, **42**, 72-81.
- 4) 伊達善夫 (1975) 中海淡水化事業, 事業計画と自然環境について, 水利科学, **104**, 43-69.
- 5) Odum, E. P. (1971) *Fundamentals of Ecology*. W. B. Sanders Co., Philadelphia.
- 6) 伊達善夫, 持田和男, 近藤邦男 (1979) 中海水圏における水質の動態に関する研究 (IV), 富栄養化現象の多変量解析による考察, 山陰文研紀要, **18**, 163-175.
- 7) 伊達善夫, 近藤邦男 (1978) 内湾水域における水温および塩分と二, 三の環境要因, 水温の研究, **20**, 2-11.
- 8) H. Ohtake, K. Kondo, Y. Seike and Y. Date (1982) Seasonal and areal features of the lagoonal environment in Japan. *Hidrobiologia*, **97**, 15-26.
- 9) 近藤邦男, 清家泰, 伊達善夫 (1981) 中海における渦鞭毛藻 *Prorocentrum minimum* による赤潮について, 第46回日本陸水学会大会要旨集.
- 10) Shimura, S. and Ichimura, S. (1973) Selective transmission of light in the ocean waters and its relation to phytoplankton photosynthesis. *J. Oceanogr. Soc. Jap.*, **29**, 257-266.
- 11) 松江吉行 (1961) 水質汚濁調査指針, 恒星社恒生閣, 東京.
- 12) Strickland, J. D. and Parsons, T. R. (1968) A manual of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, **167**.
- 13) 厚生省 (1950) 衛生検査指針IV, 飲料水検査指針, 協同医青出版社, 東京.
- 14) Sagi, T. (1966) Determination of ammonium in sea water by the indophenol method and its application to the coastal and off-shore waters. *Oceanogr. Mar.*, **18**, 43-51.
- 15) Wood, E. D., F. A. J. Armstrong and F. A. Richards (1967) Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **47**, 23-31.
- 16) 日本水道協会 (1965) 上水道試験法, 東京.
- 17) U. S. Environmental Protection Agency (1967) Methods for chemical analysis of water and waste water.
- 18) 小山忠四郎, 半田鴨彦, 杉村行勇 (1967) 湖水海水の分析, 講談社, 東京.
- 19) 奥野忠一 (1972) 多変量解析法, 日科技建, 東京.
- 20) Vollenweider, R. A. and A. Nauwerck (1961) Some observations on the ^{14}C -method for measuring primary production. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **14**, 134-139.
- 21) Lorenzen, C. J. (1963) Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton pollutions. *Limnol. Oceanogr.*, **8**, 56-62.
- 22) 近藤邦男, 清家 泰, 伊達善夫 (未発表) 汽水湖中海における1次生産とその特性.
- 23) J. H. Ryther (1965) Photosynthesis in the Ocean as a function of light intensity. *Limnol. Oceanogr.*, **1**, 72-84.