相模湖の細菌による有機物の無機化

前 田 秋 一

The Bacterial Mineralization of Organic Matter in Lake Sagami

Shuichi MAEDA

Abstract

Community respiration and bacterial respiration together with some environmental factors were measured in Lake Sagami, Kanagawa Prefecture. The annual mean of community respiration ($3.77 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) was 9.7% of that of BOD in the water column of Lake Sagami. Also community respirations of 0 and 1 meter in depth (1.06 and $1.07 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$) were 29.4 and 27.2% of the annual means of BOD, respectively. Therefore, the high activity of planktonic organisms was suggested to affect the quality of the lake water in the epilimnion. Since the annual mean of bacterial respiration ($1.63 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) was 43% of community respiration, bacteria were considered to play an important role in the decomposition of organic matter. But bacteria in the hypolimnion were much more inactive than those in the epilimnion. Bacterial respiration had a strong correlation with turbidity, BOD, NO_3 , chlorophyll *a* and total number of bacteria. Among other factors bacterial respiration was assumed to depend on BOD.

1. 緒 言

湖沼や河川の有機物は、一部は堆積、流出などの作用に伴ってそのまま系外へ失われるが、一部はそこに生息する生物によって分解され最終的には無機物へともどる (KUZNETSOV, 1968; BLOESCH *et al.*, 1977). すなわち、好気性の従属栄養型の生物は呼吸などの酸化作用によって有機物を無機化し、大型植物や植物プランクトンの栄養塩を供給する。それゆえ湖沼などでの植物プランクトンによる一次生産には従属栄養微生物の無機化活性が大きく寄与することになる。その無機化活性には、人為的汚染物質や動物・植物の死骸に起因する溶存および固形の有機物 (坂本, 1974; WILLIAMS and YENTSCH, 1976; SEPERS, 1977), また植物プランクトンの排出溶存有機物 (TANAKA *et al.*, 1975; BERMAN and GERBER, 1980; BELL and SAKSHAUG, 1980; NALEWAJKO *et al.*, 1980) などが重要な基質となると考えられている。

湖沼の全生物による呼吸については、HOGETSU and ICHIMURA (1954), 倉沢ら (1962) などにより報告されているが、とりわけ微生物の中で最も生理的活性が大きいグループである細菌群による有機物の分解・無機化については、TEZUKA (1970) による湯ノ湖の調査のほかは少ない。著者は相模湖における従属栄養細

菌の分布および有機物の無機化活性を測定し、その活性と環境要因との関係を検討することにより、湖沼での微生物構造および機能の一部を解明しようとした。

2. 調査水域と方法

調査は相模湖の湖心部で実施した (Fig. 1)。相模湖は、山梨県にある山中湖、忍野八海を水源として、神奈川県中央部を流下する相模川の上流部に位置する、貯水量 5,000 万トン、平均水深 19 m、最大水深 34 m、湛水延長 7 km の人工湖である (森, 1970)。この湖は近年水質汚濁の進行がはなはだしく、1972 年来毎夏期には、*Microcystis* が出現し、しばしば水の華が形成される (相模川水系水道事業者水質連絡協議会, 1979)。

湖水の調査は、湖心の 0, 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25 m の各層について、1978 年 5 月～1979 年 3 月の期間に、毎月 1 回実施した。水質環境として、水温 (棒状水銀温度計)、濁度 (積分球式光電光度法)、pH (ガラス電極法)、 PO_4 (モリブデン酸アンモニウム法)、 NH_4 (チルマンの変法)、 NO_2 (α -ナフチルアミン・スルファニル酸法)、 NO_3 (紫外部吸収法)、DO (ウィンクラー法)、BOD (20°C , 5 日間培養法) を上水試験方法 (日本水道協会, 1970), および Standard Methods (APHA・AWWA・WPCF, 1975) に従って測定した。

植物プランクトンの現存量は、クロロフィル a 量 (UNESCO 法) をもって表わした。従属栄養細菌の計数は湖水を原水のまま、およびグラスファイバー・フィルター (GF/C) で濾過した汙過水を 10 倍希釈の PYG 寒天培地 (ポリペプトン (BBL社) $0.2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, 酵母エキス (OXOID 社) $0.1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, ブドウ糖 (Difco社) $0.05 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, Bacto-Agar (Difco社) $15 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, pH 7.0 に調整) に混和し、 20°C で 14 日間培養し、生じたコロニーから生菌数を求めた。また総菌数は顕微鏡観察法 (LUMPKINS and ARVESON, 1968) により求めた。

全呼吸量 (community respiration) は、原水の入った酸素ビンを現場に暗状態で 24 時間培養後の酸素消費量で表わし、総一次生産量 (gross primary production) は、明および暗状態の 24 時間培養後の酸素ビンの酸素消費量の和より求めた (有賀, 1973)。

細菌群による呼吸量の測定は、陸水生物生産研究法 (陸水生物生産測定方法論研究会, 1969) に記載されている方法に従って大むね次の通り実施した。相模湖に出現する植物プランクトンには、細胞個体の大きさが $5 \mu\text{m}$ 前後の小型珪藻や藍藻の *Microcystis* の報告がある (神奈川県水道局, 1979) ことから、粒子保持能 $1.2 \mu\text{m}$ のグラスファイバー・フィルター GF/C (MEAKIN and PRATT, 1972) を用いて、湖水から植物プランクトンを除去した汙過水を測定に供した。この汙液には原水の細菌数のうち、平均 41.9%, 標準偏差 19.4, 95% 信頼係数で $41.9 \pm 38.0\%$ (サンプル数 86) が回収されていた。汙過水中の 1 細胞の 1 日あたりの呼吸活性 (Q) は次の BUCHANAN および FULMER (1930) の式

$$Q = \frac{2.303 \times R_{24}' \times \log \frac{N_{24}'}{N_0'}}{N_{24}' - N_0'}$$

で求めた。ここで N_0' , N_{24}' , R_{24}' はそれぞれ汙過水に関して得られた 0 時間および 24 時間後の生菌数と 24 時間における酸素消費量を表わす。原水中の 1 細菌細胞の呼吸活性が汙過水中の 1 細菌細胞のそれと等しいと仮定すると、24 時間における湖水中の細菌群の呼吸量 Bac-O_2 は

$N_0 = N_{24}$ のとき

$$\text{Bac-O}_2 = \frac{N_0 + N_{24}}{2} \times Q$$

$N_{24} > N_0$ のとき

$$\text{Bac-O}_2 = \frac{N_{24} - N_0}{2.303 \times \log \frac{N_{24}}{N_0}} \times Q$$

より求めた。ただし N_0 , N_{24} は原水に関して得られた 0 時間および 24 時間後の生菌数を表わす。

また細菌群による呼吸と環境要因との相関関係は、呼吸活性の認められたサンプル (データ数は 40) から求めた。

3. 結 果

1) 環境要因. Fig. 2 に示したように、相模湖の水質は季節的・鉛直的に大きい変化をした。水温は $7.4 \sim 27.4^\circ\text{C}$ の範囲で変化し、3~5 m と深層 20 m に水温躍層のある成層が晩春~初秋期にかけて形成された。DO の濃度は $0 \sim 15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ で、表層から底層へ向うにつれ減少し、とくに停滞期の成層で無酸素状態になった。溶存窒素の濃度は NH_4 で $0 \sim 800 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, NO_2 で $5 \sim 192 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であり、また PO_4 の濃度は $0 \sim 300 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であった。これら溶存栄養塩類のうち、 NO_3 , PO_4 の濃度はいずれも成層の形成にともない表層、底層において減少し、また NH_4 は逆に無酸素化のために底層で高濃度であった。

Fig. 1. Location of sampling station (•) in Lake Sagami.

Fig. 2. Seasonal changes in physical, chemical and biological factors in water of Lake Sagami.

植物プランクトンはクロロフィル *a* 量として 0~110 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ で、6月の *Synedra acus*, *Sy. rumpens*, 7~8月の *Anabaena*, *Microcystis*, 10月の *Sy. ulna*, *Cyclotella spp.* による高濃度の分布が水温躍層以浅に認められた。従属栄養細菌数は湖水 1 ml 当り $10^4 \sim 2 \times 10^6$ 個で、前田・手塚の報告 (1979) と同様に植物プランクトン現存量の消長にはほぼ同調して変動した。また総菌数は湖水 1 ml 当り $0.28 \sim 4.10 \times 10^6$ 個で、従属栄養細菌数に対して 8~120 倍検出された。

2) 生産と全呼吸。相模湖の総生産量は、Fig. 3 に示したように、 $0.0 \sim 6.9 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ で、他の湖沼で通常観測される“春期~秋期に高く、冬期に低い”という季節変化の傾向を示した。鉛直的にみると、Table 1 に示したように、0 m, 1 m 層の生産は年平均 $2.27, 1.98 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ と高く、5 m 以深ではクロロフィル *a* 量に平行して減少し、10 m 以深では生産は一年中認められなかった。すなわち湖心水柱の生産は表層 0~5 m に集中しており、そこで全生産の 95% が行なわれていた。湖心水柱の年平均生産量は $4.38 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で、その純生産量は $0.61 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ であった。

全呼吸量は冬期と深層の $0.0 \sim$ 夏期表層の $4.4 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ の範囲で、生産量と同様な季節的・鉛直的变化を示し、表層 0~5 m の全呼吸量は全体の 87%

を占めていた (Fig. 3)。鉛直的にみると、0 m, 1 m 層の全呼吸量は年平均 $1.06, 1.07 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ と高く、年平均 BOD 量に対してそれぞれ 29.4, 27.2% と大きい割合を占めていた。また湖心水柱の年平均全呼吸量は $3.77 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ で、その年平均 BOD 量 $38.68 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ に対して 9.7% を占めていた (Table 1)。

3) 細菌群による呼吸。Fig. 3 に示したように、その量は冬期と深層の $0.0 \sim$ 夏期表層の $2.0 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ で、全呼吸量と大体類似の変化を示した。水深別の細菌群による呼吸も 0 m, 1 m 層で年平均 $0.44, 0.66 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ と高く、年平均 BOD 量に対して 12.2, 16.0%, また全呼吸量に対してそれぞれ 41.5, 58.9% と全呼吸量に占める割合が大きかったが、それ以深では減少が認められた。また湖心水柱の細菌群による年平均呼吸量は $1.63 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ でその年平均 BOD 量の 4.2% と占める割合は小さかったが、全呼吸量に対しては 43% を占めていた (Table 1)。

また従属栄養細菌 1 細胞当りの呼吸量は、種々の環境要因、また従属栄養細菌計数法の差異により変動すると考えられるが、Table 2 に示したように、 $0 \sim 180 \times 10^{-11} \text{ mg O}_2 \cdot \text{cell}^{-1} \cdot \text{hour}^{-1}$ の範囲で、夏期とくに 1 m 層において活性が最も高くなる傾向が認められた。

4) 細菌群による呼吸と環境要因との関係。細菌群

Fig. 3 Vertical changes in production and decomposition of organic matter in a year.

P, gross primary production; C.R., community respiration; B.R., bacterial respiration.

Table 1. Annual means of production and decomposition of organic matter in the water column of Lake Sagami.

		Gross primary production	Community respiration	Bacterial respiration	BOD	Chlorophyll <i>a</i>
Depth	0	2.27* ¹	1.06* ¹ (29.4* ²)	0.44* ¹ (12.2* ²)	3.61* ³	39* ⁴
	1	1.98	1.07 (27.2)	0.63 (16.6)	3.93	43
	3	0.51	0.36 (15.7)	0.16 (7.0)	2.30	22
	5	0.12	0.26 (15.7)	0.10 (6.0)	1.66	16
	7	0.05	0.15 (10.6)	0.03 (2.1)	1.42	9
	10	0.02	0.01 (0.8)	0.00 (0.0)	1.10	8
Water column		4.38* ⁵	3.77* ⁵ (9.7* ⁶)	1.63* ⁵ (4.2* ⁶)	38.68* ⁷	—

*¹, Average, $\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$ *², Numbers show percentages of annual means of BOD*³, Average, $\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$ *⁴, Average, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ *⁵, Average, $\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ *⁶, Numbers show percentages of annual mean of BOD in the water column*⁷, Average, $\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$

Table 2. Vertical and seasonal changes in the respiration rate of one bacterial cell in Lake Sagami.

	Month	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Depth	0	42*	15	56	24	75	12	—	—	—	—	2
	1	58	18	130	43	180	100	—	—	—	—	7
	3	22	3	56	52	13	55	—	—	—	—	9
	5	25	4	42	20	—	—	—	—	—	—	3
	7	25	—	11	13	—	—	—	—	—	—	—
	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*, $10^{-11} \text{mgO}_2 \cdot \text{cell}^{-1} \cdot \text{hour}^{-1}$.

による呼吸は、Table 3に示したように、濁度 ($r=0.74$), BOD ($r=0.78$), NO_3 ($r=-0.78$), クロロフィル *a* 量 ($r=0.69$), 総菌数 ($r=0.70$), 全呼吸 ($r=0.84$) に強い相関関係が認められた。その他の水温, pH, DO, 生産には、細菌群の呼吸と強い相関関係が認められなかった。従属栄養細菌数は春期～秋期の呼吸の活発な時期の表層部で各月とも細菌群による呼吸量と類似の鉛直変化のパターンを示したが (Fig. 4), それらの間に強い相関関係はなかった。また従属栄養細菌 1 細胞当りの呼吸量と各環境要因との相関関係係数は小さかった (Table 3)。

4. 考 察

相模湖の生産・呼吸は、琵琶湖の報告 (坂本, 1974) などと同様に、生産層でもっとも活発であり、坂本が言及するような“生産量で生産された有機物の消費・分解が生産活動と平行して もっぱら生産層中で起こ

る”ことが観測された。微生物による生産・呼吸の湖生態系へ与える影響を推定する上から、生物分解可能な有機物の収支を測ると、Table 1 に示したように湖心水柱の年平均 BOD 量の 9.7% しか生物により分解されず、大部分は湖内に沈殿するか、湖外へ流出するものと推察される。しかし表層部 0~1 m に限ればその割合が約 30% を占めており、生物代謝の湖表層へ与える影響の大きいことがうかがえた。また Table 1 に示したように、細菌群による呼吸は全呼吸の 43% を占めており、相模湖での栄養塩類の再生・他栄養物の合成などに細菌の果たす役割りの大きいことが示唆される。しかし相模湖に比較して、栄養レベル、水温の低い湯ノ湖 (TEZUKA, 1970; 沼尾, 1974) の場合、全呼吸に占める細菌群による呼吸の割合は 3~7% と報告されている (TEZUKA, 1970)。これは後述するように湖水中の細菌フローラや呼吸基質の差異など水質環境の違いが、細菌群による呼吸活性の低下を生んだ

Fig. 4. Vertical distribution of heterotrophic bacteria number and bacterial respiration. Solid line, bacteria number $\cdot \text{ml}^{-1}$; dotted line, bacterial respiration.

Table 3. Correlation coefficient between bacterial respiration (or respiration of one bacterial cell) and environmental factors in Lake Sagami.

Environmental factor	Bacterial respiration	Respiration of one bacterial cell
Water temperature	0.52	0.41
Turbidity	0.74	0.41
pH	0.22	0.22
PO_4	-0.56	-0.63
NH_4	-0.42	-0.43
NO_3	-0.78	-0.42
DO	0.54	0.35
BOD	0.78	0.20
Chlorophyll <i>a</i>	0.69	0.23
Heterotrophic bacteria in lake water	0.43	-0.13
Heterotrophic bacteria in 1.2 μm filtrate	0.22	-0.28
Total number of bacteria	0.70	0.19
Gross primary production	0.46	0.45
Community respiration	0.84	0.24

ものと推測される。

水質の物理的要因と細菌群による呼吸との相関関係では、濁度のほかは大きい相関係数が得られなかった。濁度との大きい相関係数は、濁度とクロロフィル *a* 量との強い相関関係 ($r=0.85$) によるものと考えられる。一方、一般に細菌活性へ大きい影響を与える水温 (CHRISTIAN and WIEBE, 1974; LYNCH, 1975) が、活性へ明瞭な効果を示めなかったのは、それ以外の環境要因が一層強く作用したためと考えられる。

化学的要因中では BOD 量と NO_3 とに強い相関関係が認められた。BOD は細菌群による呼吸の基質としての機能を果たすため、濃度の増加はその活性を高めることになる。とりわけ相模湖の水温が 15°C 以上の場合、BOD は他要因より大きい相関係数が得られたことから、細菌群による呼吸へ最も大きい影響を与えた要因と考えられる。また相関係数の大きかった NO_3 をはじめ他の栄養塩類との相関関係には植物プランクトンの増殖が間接的に影響を与えたと考えられる。

相模湖での植物プランクトン量(クロロフィル *a* 量)と細菌群による呼吸との大きい相関係数は、細菌が植物プランクトンによる排出溶存有機物を呼吸に利用したことに因ると考えられる。そのことは、植物プラン

クトンの初期排出物質のグルコール酸が細菌により速やかに利用される (TANAKA *et al.*, 1975) ことや、植物プランクトンにより取り込まれた放射性同位元素が速やかに溶出し細菌に摂取される (BERMAN and GERBER, 1980; BELL and SAKAHAUG, 1980; NALEWAJKO *et al.*, 1980) ことから推測される。

従属栄養細菌数と細菌群による呼吸との相関関係が弱かった原因には、(1) 細菌フローラの変化、すなわち個々の菌体活性度の多様性 (STRZELCZYK *et al.*, 1975), (2) 環境状態の差異による菌体の生理的活性の変化 (TISON, 1980), (3) 呼吸基質の違いによる酸素消費量の変化 (HOBBIE and CRAWFORD, 1969) などが考えられる。一方、総菌数は生菌ばかりか多数の死菌を含有する (KOGURE *et al.*, 1980) ことや、また上述したような生菌の性質にもかかわらず、総菌数と細菌群の呼吸の間の相関関係が大きかった。それは、総菌数が生物としてよりもむしろ栄養源として作用した、すなわち前田 (第10回微生物生態シンポジウム講演) が言及するように細菌が有機物の貯蔵的役割りを果たすことにより、細菌がそれを呼吸基質として利用したことに因ると考えられる。

摘 要

1. 1978年5月～1979年3月の相模湖の水質は例年とはほぼ同様な変化が認められた。また微生物による生産・呼吸も他の湖沼で観測される“春期～秋期に高く、冬期に低い”季節変化をした。

2. 湖心水柱の年平均 BOD 量 ($38.68 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$) に比較すると、全呼吸量 ($3.77 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) は 9.7% と小さく、湖心の生態代謝は水柱全体からみると低かった。しかし中層～深層の低い呼吸に対して、表層 0, 1 m の呼吸 ($1.06, 1.07 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{day}^{-1}$) は高く、表層の BOD 量に対してそれぞれ 29.4, 27.2% を占め、生物による代謝作用が相模湖表層水に大きい影響を与えていたことが推察された。

3. また細菌による年平均呼吸量 ($1.63 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) は全呼吸量の 43% を占め、有機物分解に果す細菌の役割りの大きいことが示唆された。

4. 細菌群による呼吸は、濁度、BOD、 NO_3 、クロロフィル *a* 量、総菌数、全呼吸と強い正または負の相関関係が認められた。なかでも相関係数の大きかった BOD が細菌群による呼吸を律速していたと考えられた。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、懇切な御助言を頂き、また本稿を御校閲頂いた京都大学手塚泰彦教授に深謝します。また調査に深い御理解を頂いた寒川浄水場長はじめ職員の皆さんに感謝します。

文 献

- 有賀祐勝 (1973) : 水界植物群落の物質生産Ⅱ. 共立出版.
- APHA・AWWA・WPCF (1975) : *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA.
- BELL, H. W. and E. SAKSHAUG (1980) : Bacterial utilization of algal extracellular products 2. A kinetic study of natural populations. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 1021-1033.
- BERMAN, T. and C. GERBER (1980) : Differential filtration studies of carbon flux from living algae to microheterotrophs, microplankton size distribution and respiration in Lake Kinneret, *Microb. Ecol.*, 6: 189-198.
- BLOESCH, J., P. STADELMANN and H. BÜHRER (1977) : Primary production, mineralization, and sedimentation in the euphotic zone of two Swiss lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22: 511-526.
- CHRISTIAN, R. R. and W. J. Wiebe (1974) : The effects of temperature upon the reproduction and respiration of a marine obligate psychrophile. *Can. J. Microbiol.*, 20: 1341-1345.
- HOBBIE, J. E. and C. C. CRAWFORD (1969) : Respiration corrections for bacterial uptake of dissolved organic compounds in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, 14: 529-532.
- HOGESU, K. and S. ICHIMURA (1954) : Studies on the biological production of Lake Suwa. VI. The ecological studies on the production of phytoplankton. *Jap. J. Bot.*, 14: 280-303.
- 神奈川県水道局 (1979) : 県営水道の水質 第3集.
- KOGURE, K., U. SIMIDU and N. TAGA (1980) : Distribution of viable marine bacteria in neritic seawater around Japan. *Can. J. Microbiol.*, 26: 318-323.
- 倉沢秀夫・手塚泰彦・小堀和夫・青山莞爾 (1962) : 印旛沼白井地区におけるプランクトンおよび大型水生植物の生産量 (I). 資源科学研究所彙報, 58-59: 21-36.
- KUZNETSOV, S. I. (1968) : Recent studies on the role of microorganisms in the cycling of substances in lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 13: 211-224.
- LUMPKINS, E. D. and J. S. ARVESON (1968) : Improved technique for staining bacteria on membrane filters. *Appl. Microbiol.*, 16: 433-434.
- LYNCH, W. H., J. MACLEOD and M. FRANKLIN (1975) : Effect of temperature on the activity and synthesis of glucose-catabolizing enzymes in *Pseudomonas fluorescens*. *Can. J. Microbiol.*, 21: 1560-1572.
- 前田秋一・手塚泰彦 (1979) : 相模湖の従属栄養細菌——とくに植物プランクトンとの関係——. 水道

- 協会雑誌, 536号: 19-31.
- MEAKIN, J. C. and M. C. PRATT (1972): *Manual of Laboratory Filtration*. W. & R. Balston LTD., Madistone.
- 森 和紀 (1970): 相模貯水池における河川水の流入深度について. 陸水雑, 31: 111-128.
- 日本水道協会 (1970): 上水試験方法.
- NALEWAJKO, C., K. LEE and P. FAY (1980): Significance of algal extracellular products to bacteria in lakes and in cultures. *Microb. Ecol.*, 6: 199-207.
- 沼尾公道 (1974): 国立公園湖沼水質調査 (湯ノ湖, 中禪寺湖). 栃木県衛生研究所年報, 10号: 78-97.
- 陸水生物生産測定方法論研究会 (1969): 陸水生物生産研究法. 講談社.
- 相模川水系水道事業者水質連絡協議会 (1979): 相模川水系総合調査報告書.
- 坂本 充 (1974): 植物プランクトン群集の生産と分解の相互関係——とくに湖沼生態系における栄養塩回帰との関連——. p. 51-70. 微生物の生態1. 東京大学出版会.
- SEPPERS, A. B. J. (1977): The utilization of dissolved organic compounds in aquatic environments. *Hydrobiol.*, 52: 39-54.
- STRZELCZYK, E., M. STOPÍŃSKI and W. DONDESKI (1975): Studies on metabolic activity of planktonic bacteria isolated from three lakes. *Acta Microbiologica Polonica* Ser. B, 7: 177-183.
- TANAKA, N., M. NAKANISHI and H. KADOTA (1975): Distribution and activity of glycollate-utilizing bacteria in the water column in Lake Biwa. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 41: 251-256.
- TEZUKA, Y. (1970): Distribution of heterotrophic bacteria and their possible role in the mineralization of organic matter in a mesotrophic lake, Yuno-ko. *Jap. J. Ecol.*, 20: 151-158.
- TISON, D. L. and D. H. POPE (1980): Effect of temperature on mineralization by heterotrophic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, 39: 584-587.
- WILLIAMS, P. J. Le B. and C. S. YENTSCH (1976): An examination of photosynthetic production, excretion of photosynthetic products, and organic compounds with reference to results from a coastal subtropical sea. *Mar. Biol.*, 35: 31-40.

(著者: 前田秋一, 神奈川県水道局寒川浄水場, 神奈川県高座郡寒川町宮山; Shuichi MAEDA, Samukawa Purification Plant, Water Supply Bureau of Kanagawa, Miyayama Samukawa-cho, Kouzangun, Kanagawa Pref., 253-01)

1982年2月10日 受理