

南極バンダ湖における細菌の細胞サイズと現存量の垂直分布

近田俊文¹・滝井 進²・福井 学²・楠岡 泰²・
松本源喜³・中谷 周⁴・鳥居鉄也⁵

Vertical Distribution of Bacterial Cell Size and Biomass in Lake Vanda, an Antarctic Lake

Toshifumi KONDA¹, Susumu TAKII², Manabu FUKUI², Yasushi KUSUOKA²,
Genki I. MATSUMOTO³, Shyu NAKAYA⁴ and Tetsuya TORII⁵

Abstract: Vertical distribution of bacteria in Lake Vanda in the Dry Valleys region of the Antarctic was examined by the acridine orange direct count (AODC) method in December 1984 and the results were compared with those of January 1984 (S. TAKII *et al.*: *Hydrobiologia*, **135**, 15, 1986). Bacterial numbers, cell sizes, and biomass in the water showed an almost identical pattern of vertical distribution at the two sampling times. Total bacteria by the AODC method were in the order of 10^4 cells/ml in the water at the depth of 55 m and above, and increased markedly to 5.0×10^6 cells/ml in the bottom water (69 m depth). Bacteria from the water between 5 and 60 m depths were dominated by rods of 1.0–2.0 μm length, and, particularly, filamentous bacteria more than 10 μm long occurred a relatively high frequency in the water above the depth of 55 m. On the other hand, most bacteria from the water at depths below 65 m were coccoidal or short rods less than 1.0 μm long. Bacterial biomass estimated from cell volumes ranged from 0.0026 to 0.079 mgC/l.

要旨: 南極ドライバレー地域のバンダ湖における細菌の垂直分布について、1984年12月にアクリジンオレンジ染色による直接計数 (AODC) 法を用いて調べた結果を、1984年1月の調査結果 (S. TAKII *et al.*: *Hydrobiologia*, **135**, 15, 1986) と比較した。湖水中の細菌数・細胞サイズ・現存量の垂直分布パターンは、両調査時期でよく類似していた。すなわち、全菌数 (AODC) は、水深 55 m 以浅では 10^4 cells/ml のオーダーであったが、それ以深で急激に増加して、底層水 (69 m) では 5.0×10^6 cells/ml に達した。細菌の細胞サイズについてみると、5 m 層から 60 m 層までは長さ 1.0–2.0 μm の桿菌が最も多く、特に水深 55 m 以浅では長さ 10 μm 以上の糸状細菌も比較的多く出現したが、水深 65 m 以深では長さ 1.0 μm 以下の球桿菌や短桿菌がほとんどであった。細菌体積量から炭素量に換算した細菌現存量は、0.0026–0.079 mgC/l の範囲であった。

¹ 東京都立大学理学部生物学教室。Department of Biology, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University, 1-1, Fukazawa 2-chome, Setagaya-ku, Tokyo 158 (現在: 国立予防衛生研究所細菌部細菌第三室。Present address: Laboratory of Bacteriology III, Department of Bacteriology, National Institute of Health, 10-35, Kamiyosaki 2-chome, Shinagawa-ku, Tokyo 141).

² 東京都立大学理学部生物学教室。Department of Biology, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University, 1-1, Fukazawa 2-chome, Setagaya-ku, Tokyo 158.

³ 東京大学教養学部化学教室。Department of Chemistry, the College of Arts and Sciences, The University of Tokyo, 8-1, Komaba 3-chome, Meguro-ku, Tokyo 153.

⁴ 弘前大学理学部化学教室。Department of Chemistry, Faculty of Science, Hirosaki University, 3, Bunkyo-cho, Hirosaki 036.

⁵ 千葉工業大学。Chiba Institute of Technology, 17-1, Tsudanuma 2-chome, Narashino 275.

1. はじめに

南極大陸のサウスビクトリアランドのドライバレー地域のライト谷に位置するバンダ湖(77°32'S, 161°34'E)は、最大水深が約 69 m の深い湖で、その湖面は絶えず厚い氷で覆われているが、湖底の水温は約 25°C にも達する。さらに、その湖水は表層では淡水であるが、深層では塩化カルシウムを主成分とした高濃度の塩水であり、湖水環境は物理的・化学的に特異な垂直分布を示す (ANGINO and ARMITAGE, 1963; TORII *et al.*, 1975)。バンダ湖の細菌分布については、MEYER *et al.* (1962)、BENOIT *et al.* (1971) および VINCENT *et al.* (1981) の調査報告があるが、まだ情報が少ない。特に水中の細菌数を正確に推定することができるアクリジンオレンジ染色直接計数 (Acridine Orange Direct Count; AODC) 法による全菌数の計数は、南極の他の湖と同様ほとんど行われていない。TAKII *et al.* (1986) は、1984年1月のバンダ湖において細菌分布の調査を行い、アクリジンオレンジ染色直接計数法によって計数された全菌数は、表層では非常に少ないが、深層では急激に増加すること、また、平均細菌体積は表層では長桿菌や糸状細菌がかなり出現したために大きい、深層では球桿菌や短桿菌が優占したために小さいことを見いだした。

本報告では、バンダ湖の細菌分布に関して、1984年12月に行った調査の結果を示し、前回の結果 (TAKII *et al.*, 1986) と比較して、この湖における細菌数・細胞サイズ・現存量の垂直分布の特徴を確認した。また、バンダ湖への流入河川であるオニックス川の調査も同時に行い、湖水中に分布する細菌との関係について考察を加えた。

2. 試料および方法

2.1. 採水方法

現地調査は、1984年12月22日に湖の最深部で行い、湖面の氷に SIPRE ice auger で穴を開けた後、十分洗浄した北原式採水器を用いて各層から採水した。また、1984年12月25日にオニックス川の河口で表層水を採水した。採取した試水は、あらかじめ無細胞蒸留水で洗浄した滅菌ポリエチレン瓶 (50 ml) に入れ、現場で直ちにグルタルアルデヒドを最終濃度が 1.0% (vol/vol) になるよう固定し、細菌の計数まで約 5°C で保存した。

2.2. 細菌数と細菌体積の測定

全菌数 (AODC) の測定は、試水を孔径 0.2 μm の Nuclepore フィルターでろ過後、蛍光色素アクリジンオレンジで染色し、落射型蛍光顕微鏡で直接計数を行った。染色の方法は、原法 (HOBBIE *et al.*, 1977) を若干変更して行った (TANAKA and TEZUKA, 1982; KONDA, 1984)。なお、各フィルターについて合計 300 細胞以上を計数し、各層の全菌数はそれぞれの試水について 2 回繰り返して求めた。

細菌体積は、全菌数の計数に使用した Nuclepore フィルター上の細菌を顕微鏡写真撮影

(フジカラー, ASA 400) し, 印画紙上の細菌像について幅と長さをマイクロコンピューター (NEC, PC-9801F) に接続したタブレットデジタイザー (Graphtec 社, KD4030 型) を使用して計測し, 細菌の形態を球体および円柱の両側に半球がついたものと推定して計算を行い求めた. なお, 前回の試料についてはノギスを用いて計測したが, 上記の方法で再計測したところ, ほぼ同様の値が得られた. 各層の平均細菌体積は, 約 50 細胞を測定して求めた.

2.3. 細菌の現存量の算出

細菌の現存量は, 細菌体積を炭素 (C) 量に変換することによって求めた. この変換係数は, WATSON *et al.* (1977) の報告値 ($129.7 \text{ fgC}/\mu\text{m}^3$) を使用した.

3. 結 果

3.1. 湖水の物理的・化学的な環境

バンダ湖の水温・pH・溶存酸素・塩化物イオン量は, 図 1 に示すように, 垂直的にかなり特徴のある変化を示した (TAKII *et al.*, 1986). 水温は表層の 0°C から底層の 23.5°C まで段階的に上昇し, pH は底層で 5.68 と低い値が観察された. 溶存酸素は 55 m 層以浅では過飽和であったが, 65 m 層以深では無酸素状態になった. 塩化物イオン量は 50 m 層以浅では非常に少なかったが, それ以深で急激に増加し, 底層で 76.5 g/kg と海水の約 4 倍に達した. なお, 1984 年 12 月 22 日は水温のみ測定したが, 図 1 と同様の結果であった. さらに, 本報

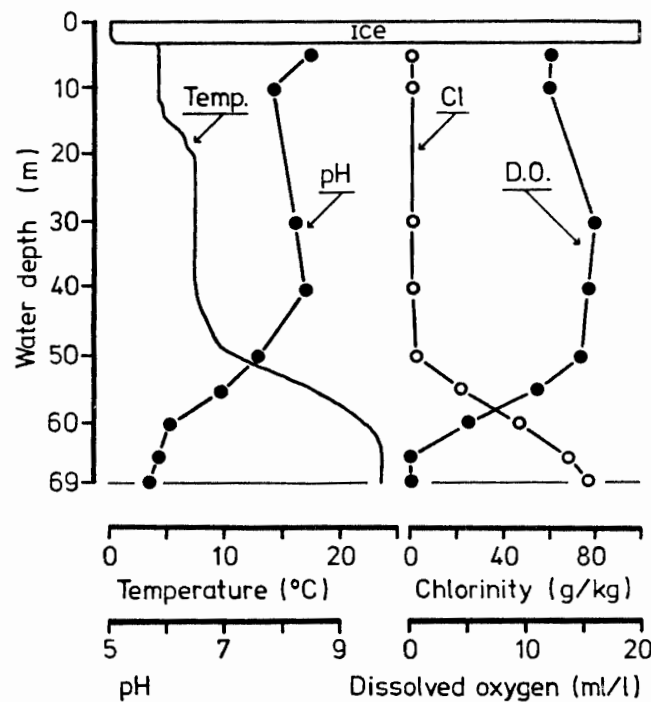


図 1 バンダ湖 (1983 年 12 月 16 日) における物理・化学的な環境要因の垂直分布

Fig. 1. Vertical profile of physicochemical environmental factors in Lake Vanda on 16 December 1983.

告の環境要因の垂直分布は、いくつかの前報告とほぼ同様であった (ANGINO and ARMITAGE, 1963; TORII *et al.*, 1975; MATSUMOTO *et al.*, 1982).

3.2. 全菌数の垂直分布

バンダ湖における全菌数の垂直分布は、図2に示すように、1984年1月と非常に類似していた。表層(5m層)から55m層までは 10^4 cells/mlのオーダーでほぼ一定の分布を示したが、60m層以深で急激に増加し、底層(69m)では 5.0×10^6 cells/mlに達した。なお、両調査時における全菌数は、30m層以深では有意な差は見られなかった。

オニックス川の全菌数は、 1.3×10^5 cells/mlと同じ時期のバンダ湖の表層と比べ若干多かった。

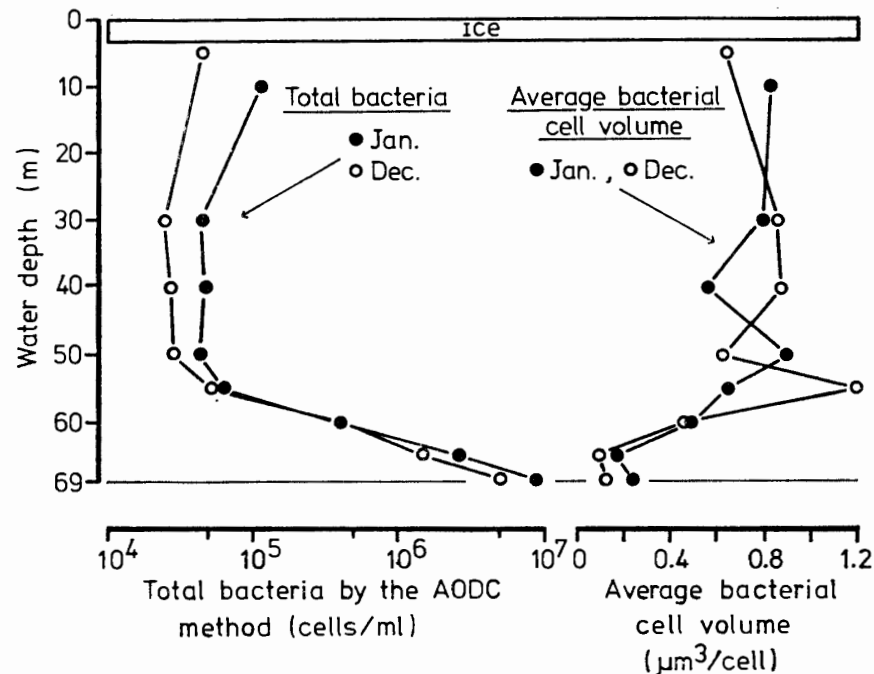


図2 バンダ湖(1984年1月2日・12月22日)における全菌数(AODC)と平均細菌体積の垂直分布

Fig. 2. Vertical distribution of total bacteria by the AODC method and their average bacterial cell volumes in Lake Vanda on 2 January and 22 December 1984.

3.3. 細菌の細胞サイズの分布

細菌の細胞サイズについては長さと幅を測定したが、前回の結果と同様に細胞幅は垂直的にほとんど変化がなく、各層の平均細胞幅は $0.37-0.53 \mu\text{m}$ の範囲であった。一方、細菌細胞長の頻度分布は、図3に示すように、両調査時とも60m層を境に大きく異なっていた。5m層から60m層までは長さ $1-2 \mu\text{m}$ の桿菌が最も多く、特に55m層以浅では長さ $10 \mu\text{m}$ 以上の糸状細菌が比較的多く出現した。一方、65m層以深では長さ $1 \mu\text{m}$ 以下の球桿菌や短桿菌がほとんどであった。

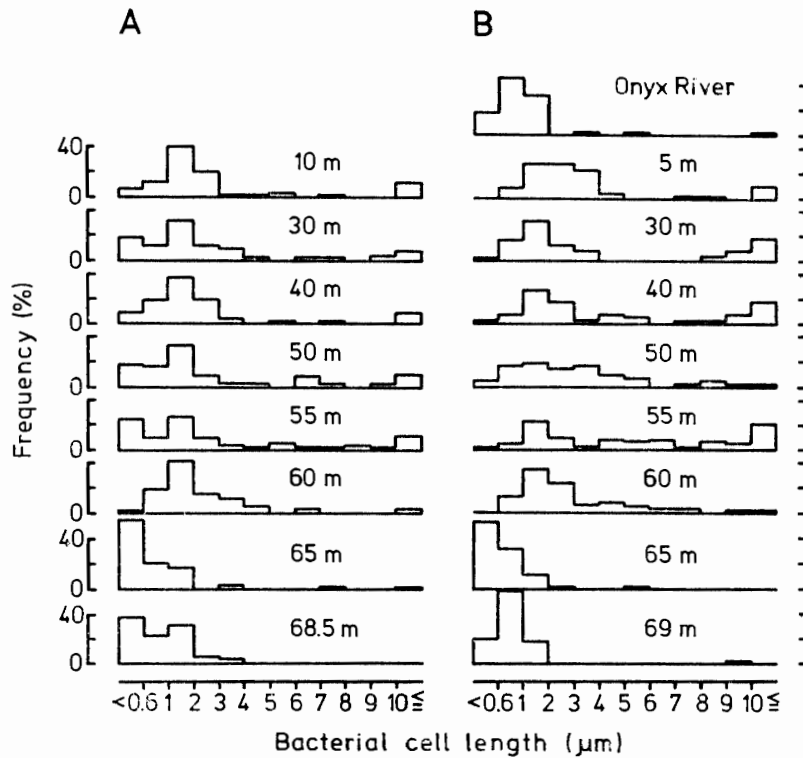


図 3 バンダ湖の水中における細菌の細胞サイズの頻度分布
A: 1984年1月2日, B: 1984年12月22日

Fig. 3. Size frequency distribution of bacterial cells in the water of Lake Vanda.
A: 2 January 1984, B: 22 December 1984.

表 1 バンダ湖とオニックス川における平均細菌体積と細菌現存量

Table 1. Average bacterial cell volume and bacterial biomass in Lake Vanda and the Onyx River.

Water depth (m)	Average bacterial cell volume* ($\mu\text{m}^3/\text{cell}$)		Bacterial biomass (mgC/l)		Total organic carbon** (mgC/l)
	Jan. 1984	Dec. 1984	Jan. 1984	Dec. 1984	
Onyx River surface	—	0.210 \pm 0.332 (40)	—	0.0034	0.72***
Lake Vanda					
5	—	0.650 \pm 0.846 (63)	—	0.0037	0.41
10	0.828 \pm 1.391 (59)	—	0.012	—	0.32***
30	0.797 \pm 1.317 (53)	0.864 \pm 1.038 (50)	0.0044	0.0027	0.54
40	0.565 \pm 0.851 (54)	0.876 \pm 0.853 (40)	0.0034	0.0031	0.30
50	0.899 \pm 1.686 (51)	0.708 \pm 0.625 (42)	0.0049	0.0026	0.54
55	0.651 \pm 0.844 (56)	1.209 \pm 1.213 (61)	0.0052	0.0081	1.07
60	0.494 \pm 0.485 (62)	0.457 \pm 0.369 (63)	0.023	0.024	6.6
65	0.164 \pm 0.203 (53)	0.094 \pm 0.147 (45)	0.056	0.018	15.6
68.5	0.239 \pm 0.284 (55)	—	0.27	—	32.0****
69	—	0.122 \pm 0.135 (50)	—	0.079	47.6

* Values are means \pm standard deviation. The figures in parentheses are the number of cells measured.

** Unpublished data by MATSUMOTO *et al.* for samples collected on 18 December 1985.

*** Samples collected on 13 December 1976 (MATSUMOTO *et al.*, 1979).

**** 67.5 m depth.

細胞サイズから計算した平均細菌体積の結果を表 1 および図 2 に示す。各層の平均細菌体積は両調査時ともに類似した値であり、垂直的には 60 m 層を境に大きく異なっていた。すなわち、60 m 層以浅では $0.5-1.2 \mu\text{m}^3$ と大きく、65 m 層以深では $0.1-0.2 \mu\text{m}^3$ と小さな値であった。

オニックス川における細菌の細胞長の頻度分布および平均細菌体積は、それぞれバンダ湖の表層とは異なる結果であった (図 3, 表 1)。

3.4. 細菌現存量の垂直分布

細菌体積量から炭素量に換算したバンダ湖の細菌現存量は、表 1 に示すように、 0.0026 mgC/l (50 m 層) から 0.079 mgC/l (69 m 層) の範囲であった。また、各層の細菌現存量の値は、表層 (5 m, 10 m 層) および底層 (65-69 m 層) では 1 月の値の約 3 分の 1 であったが、30-60 m 層では 1 月と 12 月の値にはほとんど差はなく、その垂直分布も同じ傾向を示した。

オニックス川の細菌現存量は、 0.0034 mgC/l と同調査時期のバンダ湖の表層と類似していた。

4. 考 察

バンダ湖の水中における全菌数は、前回の調査結果 (TAKII *et al.*, 1986) とよく一致し、垂直的に表・中層と深層で極端に相違しており、その最大と最小では約 200 倍もの菌数の差が観察された。表層から 55 m 層までの全菌数は 10^4 cells/ml のオーダーと貧栄養の外洋海水 (KOGURE *et al.*, 1979) や貧栄養湖水 (AIZAKI *et al.*, 1981) に比べ若干少なかったが、底層水の全菌数は富栄養湖水 (COVENEY *et al.*, 1977; AIZAKI *et al.*, 1981) に匹敵する値であった。バンダ湖の表層水の全菌数は、他の南極湖沼 (MIKELL *et al.*, 1984; HAND and BURTON, 1982) に比べ若干少なく、さらに、筆者らが調査したフリクセル湖の $10^5-10^7 \text{ cells/ml}$ (近田ら, 1986) と比べても少なかった。しかし、底層水の全菌数は、ボニー湖の底層水の $10^4-10^5 \text{ cells/ml}$ (TAKII *et al.*, 1986) と比べかなり多かった。一方、バンダ湖の全菌数については、ほかに KRISS *et al.* (1976) の報告があるが、彼らはキャピラリーを用いる顕微鏡法で湖水中の細菌を計数して、TAKII *et al.* (1986) および本報告の菌数より 10 m 層で約 1/20, 30 m 層で約 4-7 倍、60 m 層で約 1/5-1/6 の値を報告したが、この方法は誤差が大きいので本報告の結果と直接比較することは困難であると思われる。

アクリジンオレンジ染色直接計数 (AODC) 法は、水中の全菌数を正確に計数することができる方法として現在最も広く使われており、バンダ湖の底層水のように多量の粒子状懸濁物を含む試料でも細菌を計数することができた。しかし、この AODC 法は類似したサイズの細菌と藍細菌 (シアノバクテリア) を区別して計数することができないので、今後は蛍光色素 4', 6-diamidino-2-phenylindole (DAPI) (PORTER and FEIG, 1980) を用いて細菌と藍細菌を区別して計数する必要があるだろう。しかし、GOLDMAN *et al.* (1967) によると、バンダ湖の表層

から 60 m 層において *Phormidium* や *Synechocystis* のような微小な藍細菌の数は 10^3 cells/ml 以下と非常に少ないので、細菌数に及ぼす影響は無視できよう。

バンダ湖の水中細菌の細胞サイズについては、60 m 層を境に細胞の長さの頻度分布および平均細菌体積が大きく異なっており、60 m 層以浅の平均細菌体積は、海洋 (FERGUSON and RUBLEE, 1976; WATSON *et al.*, 1977; FUHRMAN, 1981; 今井, 1984) や湖沼 (JORDAN and LIKENS, 1980; PEDRÓS-ALIÓ and BROCK, 1982; NAGATA, 1986) の水中細菌で測定された値 ($0.08-0.3 \mu\text{m}^3$) に比べ非常に大きかった。また、特に 55 m 層以浅では形態的な特徴から柄 (stalk) を持つ *Caulobacter* 属や付属物 (prosthecae) を持つ *Hyphomicrobium* 属に含まれると推定される細菌が比較的多く顕微鏡観察された。なお、1984 年 1 月の 10 m・30 m 層からは *Caulobacter* 類縁菌が分離されている (TAKII *et al.*, 1986)。一方、65 m 層以深ではこれらの細菌は認められず、そのほとんどは長さ $1 \mu\text{m}$ 以下の球桿菌や短桿菌であった。したがって、バンダ湖における細菌は、湖水の物理・化学的環境の著しい垂直的变化 (特に、水深 60 m を境にして) の影響を受けて、垂直的に異なった種類の細菌が分布していると思われる。

バンダ湖の細菌現存量は、表層と底層では約 100 倍もの差がある垂直分布を示し、特に底層での現存量は $0.02-0.3 \text{ mgC/l}$ と南極の海氷や海水中 (AZAM *et al.*, 1979; SULLIVAN and PALMISANO, 1984) に比べ非常に高い値が得られた。各層における細菌の炭素量は、MATSUMOTO *et al.* (1979, 未発表) による全有機炭素量 (表 1) に対して、0.12% (65 m 層) から 3.8% (10 m 層) の範囲の割合を占めた。概して、細菌炭素量の全有機炭素量に対する割合は表層で高く底層で低かったが、この理由の一つは、MATSUMOTO *et al.* (1984) が示唆したように底層水では難分解性の有機物が高濃度で存在したためと考えられる。

本報告では、細菌の体積量から炭素量への変換係数として、前報 (TAKII *et al.*, 1986) と同様に各層一律に WATSON *et al.* (1977) の報告値 ($129.7 \text{ fgC}/\mu\text{m}^3$) を用いたが、NAGATA (1986) が琵琶湖水で報告した細菌の体積あたりの炭素量の季節変化 ($39-188 \text{ fgC}/\mu\text{m}^3$) を考慮すると、表 1 の細菌現存量の推定値は若干変化すると思われる。今後、自然状態における細菌の炭素量の直接測定を含め、さらに検討しなければならない。

最後に、流入河川であるオニックス川の細菌の細胞サイズがバンダ湖の表層に分布する細菌と全く異なるという結果 (図 3) から、バンダ湖の水中細菌は主に湖水中で増殖したものである。特に、55 m 層以浅で見られた *Caulobacter* や *Hyphomicrobium* と思われる細菌は、貧栄養の水域環境に適応した細菌である (SCHMIDT, 1981; MOORE, 1981) ことから、これらはバンダ湖の固有細菌 (autochthonous bacteria) の一つであると思われる。一方、底層水の細菌は、上層からの沈降によって供給されたものなのか、あるいは無酸素条件下で海水の約 4 倍の塩分濃度という特異な環境で増殖したものを明らかにするためには、現場における細菌の増殖活性などを調べなければならないであろう。

謝 辞

現地で多大な協力を得た Antarctic Division, DSIR, New Zealand に深謝する。また、ご校閲を賜った国立予防衛生研究所細菌部細菌第三室長永瀬金一郎博士に謝意を表する。

文 献

- AIZAKI, M., OTSUKI, A., FUKUSHIMA, T., HOSOMI, M. and MURAOKA, K. (1981): Application of Carlson's trophic state index to Japanese lakes and relationships between the index and other parameters. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, **21**, 675-681.
- ANGINO, E. E. and ARMITAGE, K. B. (1963): A geochemical study of Lakes Bonney and Vanda, Victoria Land, Antarctica. *J. Geol.*, **71**, 89-95.
- AZAM, F., BEERS, J. R., CAMPBELL, L., CARLUCCI, A. F., HOLM-HANSEN, O., REID, F.M.H. and KARL, D. M. (1979): Occurrence and metabolic activity of organisms under the Ross Ice Shelf, Antarctica, at Station J9. *Science*, **203**, 451-453.
- BENOIT, R., HATCHER, R. and GREEN, W. (1971): Bacteriological profiles and some chemical characteristics of two permanently frozen Antarctic Lakes. *The Structure and Function of Fresh-Water Microbial Communities*, ed. by J. CAIRNS, Jr. Blacksburg, Virginia Polytechnic and State University, 281-293.
- COVENEY, M. F., CRONBERG, G., ENELL, M., LARSSON, K. and OLOFSSON, L. (1977): Phytoplankton, zooplankton and bacteria—standing crop and production relationships in a eutrophic lake. *Oikos*, **29**, 5-21.
- FERGUSON, R. L. and RUBLEE, P. (1976): Contribution of bacteria to standing crop of coastal plankton. *Limnol. Oceanogr.*, **21**, 141-144.
- FUHRMAN, J. A. (1981): Influence of method on the apparent size distribution of bacterioplankton cells: epifluorescence microscopy compared to scanning electron microscopy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **5**, 103-106.
- GOLDMAN, C. R., MASON, D. T. and HOBBI, J. E. (1967): Two Antarctic desert lakes. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 295-310.
- HAND, R. M. and BURTON, H. R. (1982): Microbial ecology of an Antarctic saline meromictic lake. *Hydrobiologia*, **82**, 363-374.
- HOBBI, J. E., DALEY, R. J. and JASPER, S. (1977): Use of Nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.*, **33**, 1225-1228.
- 今井一郎 (1984): 周防灘における海洋細菌の粒子径組成と現存量. *南西水研報*, **17**, 183-196.
- JORDAN, M. J. and LIKENS, G. E. (1980): Measurement of planktonic bacterial production in an oligotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 719-732.
- KOGURE, K., SIMIDU, U. and TAGA, N. (1979): A tentative direct microscopic method for counting living marine bacteria. *Can. J. Microbiol.*, **25**, 415-420.
- KONDA, T. (1984): Seasonal variations in four bacterial size fractions from a hypertrophic pond in Tokyo, Japan. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, **69**, 843-858.
- 近田俊文・福井 学・楠岡 泰・平石 明・滝井 進・松本源喜・中谷 周・鳥居鉄也 (1986): 南極バンダ湖・フリクセル湖における細菌の垂直分布: 現存量と分離菌を中心に. *日本陸水学会第51回大会講演要旨集*, p. 23.
- KRISS, A. E., MITSKEVICH, I. N., ROZANOVA, E. P. and OSNITSKAYA, L. K. (1976): Microbiological investigations of Lake Vanda (Antarctica). *Microbiology*, **45**, 917-922, (Translated from *Microbiologiya*, **45**, 1075-1081).
- MATSUMOTO, G., TANAKA, Y. and TORII, T. (1982): Nutrient matters in saline lakes of McMurdo Oasis in the 1976-77 summer season. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **74**, 109-118.
- MATSUMOTO, G., TORII, T. and HANYA, T. (1979): Distribution of organic constituents in lake waters and sediments of the McMurdo Sound region in the Antarctic. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **13**, 103-120.
- MATSUMOTO, G., TORII, T. and HANYA, T. (1984): Vertical distribution of organic constituents in an

- Antarctic lake: Lake Vanda. *Hydrobiologia*, **111**, 119–126.
- MEYER, G. H., MORROW, M. B., WYSS, O., BERG, T. E. and LITTLEPAGE, J. L. (1962): Antarctica: the microbiology of an unfrozen saline pond. *Science*, **138**, 1103–1104.
- MIKELL, A. T., Jr., PARKER, B. C. and SIMMONS, G. M., Jr. (1984): Response of an Antarctic lake heterotrophic community to high dissolved oxygen. *Appl. Environ. Microbiol.*, **47**, 1062–1066.
- MOORE, R. L. (1981): The genera *Hyphomicrobium*, *Pedomicrobium*, and *Hyphomonas*. The Prokaryotes, Vol. I, ed. by M.P. STARR *et al.* Berlin, Springer, 480–487.
- NAGATA, T. (1986): Carbon and nitrogen content of natural planktonic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.*, **52**, 28–32.
- PEDRÓS-ALIÓ, C. and BROCK, T.D. (1982): Assessing biomass and production of bacteria in eutrophic Lake Mendota, Wisconsin. *Appl. Environ. Microbiol.*, **44**, 203–218.
- PORTER, K. G. and FEIG, Y. S. (1980): The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 943–948.
- SCHMIDT, J. M. (1981): The genera *Caulobacter* and *Asticcacaulis*. The Prokaryotes, Vol. I, ed. by M. P. STARR *et al.* Berlin, Springer, 466–476.
- SULLIVAN, C. W. and PALMISANO, A. C. (1984): Sea ice microbial communities: distribution, abundance, and diversity of ice bacteria in McMurdo Sound, Antarctica, in 1980. *Appl. Environ. Microbiol.*, **47**, 788–795.
- TAKII, S., KONDA, T., HIRAISHI, A., MATSUMOTO, G. I., KAWANO, T. and TORII, T. (1986): Vertical distribution in and isolation of bacteria from Lake Vanda: an Antarctic lake. *Hydrobiologia*, **135**, 15–21.
- TANAKA, Y. and TEZUKA, Y. (1982): Dynamics of detritus-attached and free-living bacteria during decomposition of *Phragmites communis* powder in seawater. *Jpn. J. Ecol.*, **32**, 151–158.
- TORII, T., YAMAGATA, N., NAKAYA, S., MURATA, S., HASHIMOTO, T., MATSUBAYA, O. and SAKAI, H. (1975): Geochemical aspects of the McMurdo saline lakes with special emphasis on the distribution of nutrient matters. *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **4**, 5–29.
- VINCENT, W. F., DOWNES, M. T. and VINCENT, C. L. (1981): Nitrous oxide cycling in Lake Vanda, Antarctica. *Nature*, **292**, 618–620.
- WATSON, S. W., NOVITSKY, T. J., QUINBY, H. L. and VALOIS, F. W. (1977): Determination of bacterial number and biomass in the marine environment. *Appl. Environ. Microbiol.*, **33**, 940–964.

(1987年3月10日受理)