

小野湖 (ダム湖) の集水域と滞留特性^{*1}

武居 薫・上野俊士郎

Studies on the Catchment Areas and the Retention Time of Dammed Lake Ono

By

Kaoru TAKESUE and Syunshiroh UENO^{*2}

In order to clarify the mechanism of lake eutrophication, the authors have investigated the limnological characteristics of dammed Lake Ono, Ube City, Yamaguchi Prefecture, since 1981. As a part of the studies, the present paper deals with the catchment areas and the monthly retention time (τ_m) and the annual retention time (τ) of the lake. These retention times were calculated from the storage and the inflow of the water during 1966-1983. The results can be summarized as follows: 1) The catchment area is 320.2 km², of which 51.8% and 32.3% are occupied by River Kotou division and R. Oota division, respectively. This area comprises a population of about 18,600 and about 28.9 km² of the rice field. Akiyoshi limestone group spread over both the divisions is 19.6% of the catchment area. 2) The maximum daily inflow was $436.6 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{day}$, and the mean annual inflow was 0.368 km³/year. The inflow changed seasonally with larger values in summer and smaller ones in winter. 3) The great substitution of lake water occurred only in summer, with τ_m of less than 5 days. The mean values of τ_m got shorter to about 10 days in summer, while longer to more than a month in winter. 4) The annual retention times (τ) changed irregularly year by year, indicating mean value of 17.5 days during 1966-1983. 5) The eutrophication of this lake water would be largely effected by the inflow which is enriched with nutrients originated from the catchment area and also by the retention time which is not so short that phytoplankton population might be diluted out and not so long that nutrients might be depleted in the euphotic zone.

*1水産大学校研究業績 第1036号, 1984年11月7日受理.

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 1036. Received Nov. 7, 1984.

*2水産大学校小野臨湖実験実習場

Ono Limnological Station of Shimonoseki University of Fisheries, Ono-ku, Ube City, Yamaguchi Pref., 754-13, Japan.

1. はじめに

小野湖は1950年3月に完成した面積が 2.4 km^2 の人工湖である。この湖の湖沼学的研究として、松井・赤築^{1,2)}は湖水の理化学的性状、中野ら³⁾および中野・松尾⁴⁾は魚類等の生産増強方法、そして山元・平野^{5,6)}は、プランクトン相についてそれぞれ報告している。それらのうち山元・平野⁶⁾は本湖が調和型の富栄養湖で、汚染度が β -中腐水性であると述べている。これからすると、この湖は湖齢が30年で富栄養湖へ遷移したことになる。

湖沼においては、水が滞留し、汚濁物質が蓄積しやすいために、藻類などの生物生産に伴って水質が累進的に悪化する、いわゆる富栄養化の進行がみられる。それゆえ、湖水の滞留特性を明らかにすることは、湖沼の生物生産、水質状態、富栄養化状態を論じる上で非常に重要である。

著者らは、本湖の富栄養化機構を明らかにする目的で、1981年以来湖沼学的特性に関する研究を実施しているが、今回はその手がかりともなる湖水の集水域と滞留特性について検討したので、その結果を報告する。

本研究をまとめるにあたり、懇切で有益なご意見を頂いた秋吉台科学博物館の杉村昭弘学芸員、貴重な資料を提供された山口県厚東川ダム管理事務所、山口県農地経済課、宇部市小野市民センター、秋芳町役場、美東町役場、楠町役場産業課、同万倉支所および同吉部支所の方々に対し、厚くお礼申し上げます。

2. 資料および方法

集水面積は、まず1/50,000の地形図(国土地理院発行)に小野湖を取り囲む分水嶺を記入し、ついでそれと同形にトレース紙を切り抜き、その重量を測定する方法で求めた。

湖水の滞留特性は月間および年間の各滞留時間について検討した。この場合、月滞留時間(τ_m)と年滞留時間(τ)は、それぞれ滞留特性の季節的变化と年変動を把握することを目的としている。これらは貯水量と流入量から次式により算出した。

$$\tau_m \text{ or } \tau \text{ (day)} = V \cdot Q^{-1} \cdot D$$

この場合、V: 月間または年間の平均貯水量 (m^3)

Q: 月間または年間の総流入量 ($\text{m}^3/\text{月}$ または $\text{m}^3/\text{年}$)

D: 月間または年間の日数

なお、貯水量と流入量は1966年から1979年までの多目的ダム管理年報^{7,8)}、1980年から1983年までの厚東川ダム管

理月報の平均貯水位と日平均流入水量、厚東川ダム管理事務所所有の貯水位-貯水量早見表などによって求めた。それらによると、本湖の18年間の平均貯水量は $16.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ であった。また、流域の降雨量としては、同ダム管理事務所の見測所別雨量集計表の平均日雨量を用いた。

3. 研究結果

3.1 集水域

小野湖の位置をFig. 1に、そして集水域を厚東川区、大田川区および小野湖区の3区域に分けて、Fig. 2にそれぞれ示した。これらの各区の集水面積はTable 1に示したとおりである。

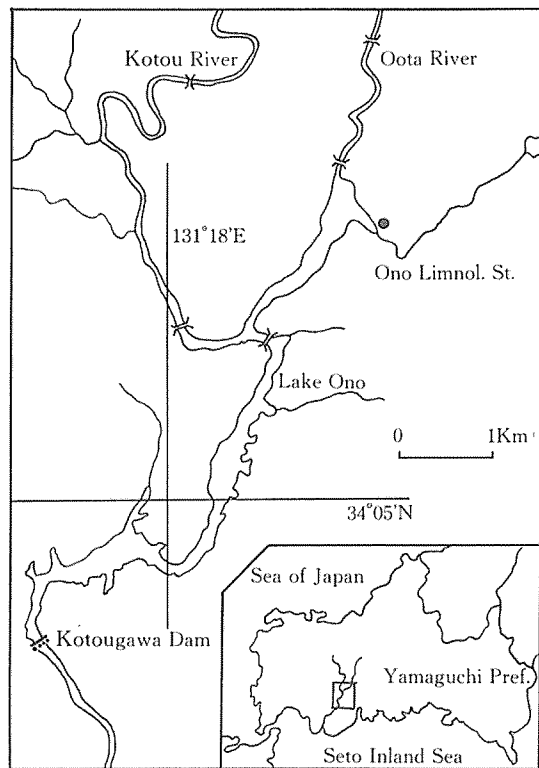


Fig. 1. Location of Lake Ono, Ube City, Yamaguchi Prefecture.

本湖の集水面積は 320.2 km²で、そのうち厚東川区が 51.8%、大田川区が 32.3% を占めている。これらの両区にまたがって広大な秋吉台地があり⁹⁾、その地表には数多くのドリーネが散在し、地下には石灰洞が走り、台地への降水の大部分は地下水となる。分水嶺の位置から大田川区に属する約 20 km²の区域は、藤井¹⁰⁾による本台地の地下水流の動きから厚東川区に入れられる。厚東川区と大田川区において石灰岩台地が占める面積の割合はそれぞれ 35.5% と 3.

7% で、厚東川の水質が石灰岩の影響をとくに強く受けていることが推察される。この石灰岩台地は 62.7 km²で、全集水面積の 19.6% を占める。一方、小野湖区の集水面積は 50.7 km²で全体の 15.8% にすぎない。しかし、本区の流入水は、湖の各所に直接に注ぎ込み、局所的な影響も考えられるので、集水面積を直接に湖に流入する 7 小河川小区および小野湖水面小区に細分して Table 1 に示した。

つぎに、各集水域の人口、人口密度および水稲田面積を Table 2 に示した。厚東川区は人口が最も多く、また小野湖区は人口密度および水稲田面積の割合が最も高い。

Table 1. Catchment areas of rivers pouring into Lake Ono.

Name of river and lake	Catchment area (km ²)
R. Kotou	166.0
Akiyoshi Limestone	58.9
Others	107.1
R. Oota	103.5
Akiyoshi Limestone	3.8
Others	99.7
Lake Ono	50.7
R. Zoosa	10.4
R. Fujigase	8.9
R. Hanaga	3.3
R. Ashikawachi	3.1
R. Kurokawa	3.0
R. Fujikawachi	1.4
R. Nyoji	1.9
Lake Ono	2.4
Others	16.3
Total	320.2

3・2 流入水量と滞留特性

3・2・1 流入水量

1966年から1983年までの18年間における日流入水量は、最大値が 436.6 × 10⁵m³ (1981年 6月26日)、最小値が 0.3 × 10⁵m³ (1968年 6月8日) で、変動幅が非常に大きい。その1例として、1983年5月から7月までの流入水量と集水域の平均降雨量の日変化を Fig. 3 に示した。流入水量は集水域の強い降雨によって当日内に急増し、その後4～5日以内に急減する。そして、顕著な降雨が約1か月間ないと、2.5 × 10⁵m³以下に低下する。これらによって、流入水量は集水域の降雨に強く影響されていることがわかる。

つぎに、18年間の資料から月別の日平均流入水量を求め、Fig. 4 に示した。日平均流入水量は、1月では 5.6 × 10⁵m³、4月では 14.2 × 10⁵m³で、この間では漸次増大するが、5月には 9.7 × 10⁵m³ となって一時的に減少する。そして7月には 23.4 × 10⁵m³ となって最大値を示し、8月には急減し、12月には最小値 4.4 × 10⁵m³ となる。このように流入水量は、夏季とりわけ7月に多く、冬季に少ない明瞭な季節的变化を示している。

Table 2. Population and rice field areas in three divisions of catchment area of Lake Ono in 1984.

Catchment area		Population		Rice field	
Name	area (km ²)	number	density (no./km ²)	area (km ²)	proportion (%)
R. Kotou division	166.0	8,268	49.8	11.2	6.7
R. Oota division	103.5	6,795	65.7	10.6	10.2
L. Ono division	50.7	ca 3,510	ca 69.0	ca 7.1	ca 14.0

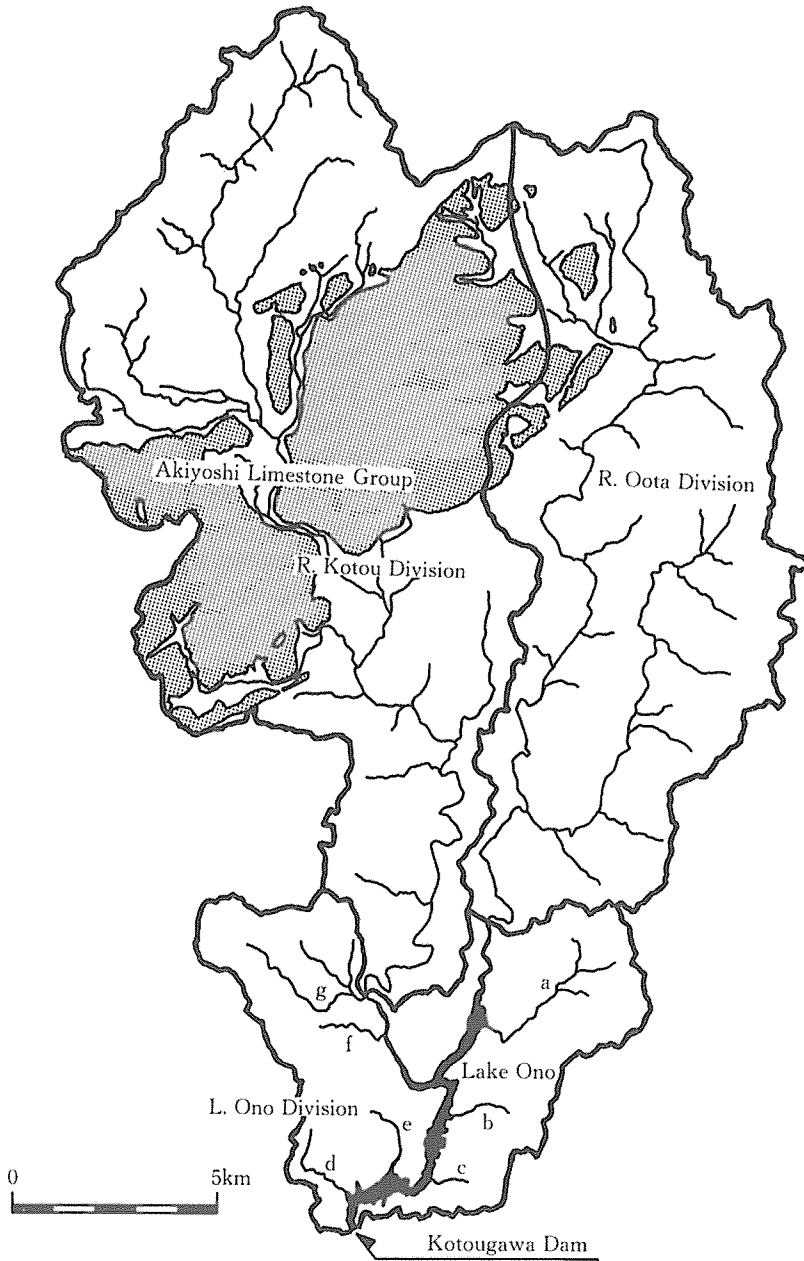


Fig. 2. Distribution map of three divisions of the catchment area of Lake Ono (River Kotou, R. Oota and Lake Ono) and Akiyoshi limestone group. a : River Zoosa, b : R. Hanaga, c : R. Fujikawachi d : R. Ashikawachi, e, : R. Nyoiji, f : R. Kurokawa, g : R. Fujigase.

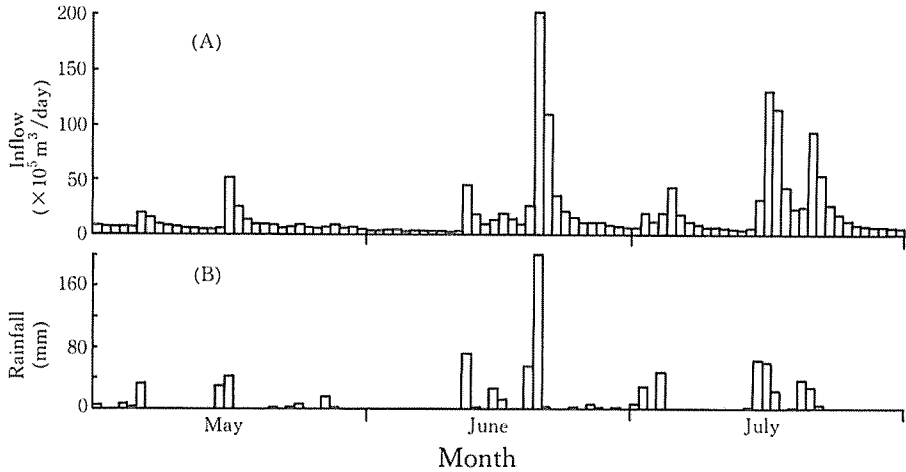


Fig. 3. Daily inflow (A) into Lake Ono and rainfall (B) in the catchment area during May-July in 1983.

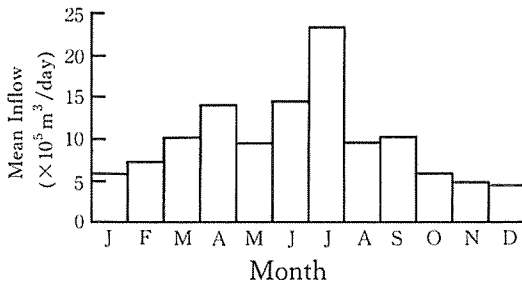


Fig. 4. Seasonal change of mean monthly inflow into Lake Ono during 1966-1983.

つぎに、1966年から1983年までの間における年別の流入水量を Table 3 に示した。流入水量は1980年が 0.623 km^3 で最多、1978年が 0.197 km^3 で最小で、前者は後者の3.2倍に相当した。そして、この間における年平均流入水量は 0.368 km^3 であった。

3・2・2 湖水の滞留時間

1966年から1983年までの間における資料から、5階級に分けた月滞留時間の月別の出現率および各月の平均月滞留時間を求め、Table 4 に示した。月滞留時間が10日以下の

Table 3. Annual inflow in Lake Ono during 1966-1983.

Year	Inflow (km^3/year)
1966	0.406
1967	0.293
1968	0.235
1969	0.335
1970	0.358
1971	0.363
1972	0.528
1973	0.274
1974	0.284
1975	0.376
1976	0.406
1977	0.322
1978	0.197
1979	0.381
1980	0.623
1981	0.454
1982	0.344
1983	0.453
Mean	0.368

短い場合は5月を除いた4月から9月までの期間、5日以下の最短の場合は6月から8月までの夏季に限って出現した。後者の場合は、出現率が7月に22.2%、6月と8月に5.6%で、18年間に7月で4回、6月と8月で1回生じたことを示している。また、20日以下の場合の出現率は、8

月を除いた2月から9月までの期間では50%以上、その他の期間では50%以下であった。これらに対して、30日以上長い月滞留時間の出現率は12月が72.2%、11月が66.7%そして1月が50.0%で、冬季において高かった。

平均月滞留時間は、最短が7月の7.5日、最長が12月の

Table 4. Frequency distribution (%) of monthly retention time (τ_m) and mean monthly retention time ($\bar{\tau}_m$) in Lake Ono during 1966-1983.

Month	τ_m (day)					$\bar{\tau}_m$ (day)
	0-5	5-10	10-20	20-30	30-	
Jan.	0	0	11.1	38.9	50.0	28.7
Feb.	0	0	50.0	44.4	5.6	21.0
Mar.	0	0	61.1	27.8	11.1	20.8
Apr.	0	22.2	50.0	11.1	16.7	18.5
May	0	0	50.0	22.2	27.8	26.1
Jun.	5.6	27.7	33.3	16.7	16.7	19.6
Jul.	22.2	44.4	16.7	5.6	11.1	13.1
Aug.	5.6	11.1	11.1	27.8	44.4	31.9
Sep.	0	16.7	50.0	22.2	11.1	19.9
Oct.	0	0	16.7	38.9	44.4	30.8
Nov.	0	0	11.1	22.2	66.7	37.8
Dec.	0	0	5.6	22.2	72.2	36.6

Table 5. Annual retention time ($\bar{\tau}$) in Lake Ono during 1966-1983.

Year	$\bar{\tau}$ (day)
1966	14.3
1967	14.8
1968	26.5
1969	16.7
1970	18.1
1971	17.6
1972	13.0
1973	20.8
1974	21.9
1975	16.9
1976	16.9
1977	18.2
1978	23.3
1979	16.3
1980	9.9
1981	15.5
1982	19.7
1983	14.1
Mean	17.5

Table 6. Annual retention time ($\bar{\tau}$) of multi-purpose dams in the neighboring areas in 1979.

Name of dammed lake	$\bar{\tau}$ (day)
Ozegawa	38.3
Koudou	9.4
Sugano	129.4
Kawakami	80.5
Koyagawa	74.2
Sabagawa	73.1
Abugawa	98.1
Daibou	63.8

34.1日で、一般に夏季において短く、冬季において長い季節的变化を示した。

つぎに、上記の期間における年別の滞留時間を求め、Table 5 に示した。その最長は1968年の26.5日、最短は1980年の9.9日で、前者は後者の約2.7倍であった。これらの年滞留時間の平均値は17.5日であった。

本湖の近傍に存在する多目的ダムの年滞留時間を Table 6 に示した。これらと比較すると、本湖の滞留時間は、向道ダムについて短く、菅野ダムの約1/7に相当した。

4. 考 察

小野湖の集水面積の約20%は秋吉石灰岩台地で占められている。小林¹¹⁾は、我国の225河川の水質分析結果から、流域に石灰岩地層がある河川では Ca^{2+} 濃度が高いことを報告し、その例として厚東川の分析値(21mg/l)をあげている。 Ca^{2+} は植物プランクトンの光合成時の炭素源供給に、また水のpH緩衝能に大きな役割を果し、その濃度は植物プランクトン生態に大きな影響を与える^{12,13)}。さらに同氏¹¹⁾は、我国には石灰岩地域が少なく、河川水への Ca^{2+} および炭酸塩の溶解が少量であることを報告している。以上から、高濃度の Ca^{2+} を含む河川水が流入し、植物プランクトンの増殖しやすい条件を備えていることが本湖の重要な湖沼学的特性の一つであると考えられる。

本研究で求めた集水面積は汚染負荷量を計算する資料でもある。横尾¹⁴⁾は、湖沼の多くが下水道の普及の遅れた集水域を有し、このことが湖沼の水質改善を困難にしている原因の一つであると述べている。下水道処理設備をほとんど持たない本湖の集水域には約18,600人の住民が生活し、28.9km²の水稲田が広がっている(Table 2)。そのうち厚東川区においては全人口の約45%と水稲田面積の約39%が分布しているので、N,P等の栄養物質の負荷量が最も多く、一方、小野湖区と大田川区においては、人口密度と水稲田割合が高率であるから、負荷濃度が厚東川区よりも高いことが推察される。

SOMMER¹⁵⁾はボーデン湖において植物プランクトン群の世代時間を観察しているが、いずれも10日を越える種を見出ししていない。ところで本湖における湖水の滞留時間は、それが短い時期である6月や7月でも10日前後であり、5日以下の場合のごく稀である。したがって、本湖の植物プランクトン群集が、湖水の滞留時間が短いことによる希釈効果で低密度に抑えられることはあまりないものと思われる。むしろ、夏に湖水の置換が比較的短時間に行われ、表層水における枯渇しかけた栄養物質が適度に補給されると考えられる。そして、水稲田から多量の栄養物質が流れ込む6月前後と、湖水の鉛直循環で底層から栄養物質が供給される9月および10月には、湖水の滞留時間がやや長いので、植物プランクトンが活発に増殖し、その結果、有機物質が蓄積されて湖水の著しい汚濁が起りやすいように思われる。また、冬季には低い水温と照度であるが、湖水の滞留時間が長いので、生物生産物は洗い流されないうえ、適当な現存量が維持されるものと推察される。

本湖は湖齢30年ですでに富栄養湖に遷移している。この

ように富栄養化が早いのは、集水域からの高濃度の石灰岩溶出物質と、生活・農業排水に含まれる多量の栄養物質の流入によるものと思われる。また、植物プランクトン群集を洗い流してしまわない、つまり植物プランクトンの世代時間よりも長い滞留時間は本湖の富栄養化を促進させ、また維持させると考えられる。一方、夏季における湖水の大置換は湖底の堆積有機物を洗い流し、これ以上の富栄養化を抑える働きをしていると推察される。

5. 要 約

小野湖の富栄養化に関する湖沼学的研究のうち、今回は湖水の集水域と滞留特性について調べ、次の結果を得た。

1) 小野湖の集水面積は320.2 km²でそのうち厚東川区が51.8%、大田川区が32.3%を占め、これらの両区にまたがって62.7 km²の秋吉石灰岩台地が広がっている。本集水域には約18,600人の住民が生活し、28.9 km²の水稲田がある。

2) 1966年から1983年の間における日流入量は、最大が436.6×10⁵m³、最小が0.3×10⁵m³であった。また、月平均流入量は夏季とりわけ7月に多く、冬季に少ない明瞭な季節的变化を示す。年平均流入量は0.368km³である。

3) 月滞留時間が5日以下の湖水の大置換は夏季に限って起きる。月滞留時間は夏季には約10日で短く、冬季には約1か月で長い。

4) 18年間における年滞留時間は、最長が26.5日、最短が9.9日、平均値が17.5日であった。

5) 本湖の富栄養化は、集水域からの肥沃な流入水および植物プランクトン群集を洗い流すほど早くなく、栄養物質が不足するほどおそくない滞留時間が原因しているように思われる。

文 献

- 1) 松井 魁・赤築敬一郎：水産研究会報，4号，205～216 (1952)。
- 2) 松井 魁・赤築敬一郎：水産研究会報，5号，79～99 (1953)。
- 3) 中野宗治・松尾三男・古田能久：水産研究会報，4号，165～199 (1952)。
- 4) 中野宗治・松尾三男：水産研究会報，5号，52～78 (1953)。
- 5) 山元憲一・平野 修：水産大研報，28 (1)，33～46 (1979)。

- 6) 山元憲一・平野 修：水産大研報, **31** (1・2), 1～7 (1983).
- 7) 建設省河川局開発課 (監修)：多目的ダム管理年報, 関東建設弘済会, 東京, 1970～1980.
- 8) 建設省河川局開発課 (監修)：多目的ダム管理年報, 中国建設弘済会, 広島, 1981～1983.
- 9) M. Ota and R. Toriyama: Geologic Map of Akiyoshi District, Akiyoshi-dai Museum of Natural History, 1971.
- 10) 藤井厚志:秋吉台の鍾乳洞, 石灰洞の科学 (河野通弘編), 河野通弘教授退官記念事業会, 山口, 1980, pp. 65～80.
- 11) 小林 純：農学研究, **48**, 63～106 (1960).
- 12) G. E. HUTCHINSON: A Treatise on Limnology, Vol.2, Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton, Wiley, New York, 1967, p. 1115.
- 13) C. S. REYNOLDS: The Ecology of Freshwater Phytoplankton, Cambridge Univ. Press, London, 1984, p. 384.
- 14) 横尾和伸:湖沼環境調査指針 (日本水質汚濁研究協会編), 公害対策技術同友会, 東京, 1982, pp. 1～4.
- 15) U. SOMMER: *Acta Oecologica*, **2**, 327-342 (1981).