

## 夏期の涌池における栄養塩類と 植物プランクトンの垂直分布

野崎健太郎<sup>1)</sup>・高橋辰也<sup>2)</sup>・坂井 正<sup>3)</sup>・渡辺義人・中本信忠

信州大学繊維学部応用生物科学科

現所属 <sup>1)</sup>京都大学生態学研究センター, <sup>2)</sup>(株) エステム, <sup>3)</sup>(財)新潟県環境衛生研究所

### VERTICAL DISTRIBUTIONS OF NUTRIENT AND PHYTOPLANKTERS ON LAKE WAKU-IKE IN SUMMER

Kentaro NOZAKI<sup>1)</sup>, Tatsuya TAKAHASHI<sup>2)</sup>, Masashi SAKAI<sup>3)</sup>, Yoshito WATANABE  
and Nobutada NAKAMOTO

*Department of Applied Biology, Faculty of Textile Science and Technology,  
Shinshu University, Ueda 386.*

Present Address: <sup>1)</sup>Center for Ecological Research, Kyoto University, <sup>2)</sup>Estem company

<sup>3)</sup>Environmental Hygiene Reseach Institute, Niigata Prefecture

**Abstract :** Vertical distributions of nutrient and phytoplankters were investigated on a small lake Waku-ike (area : 2,338ha, depth : 8.5m) on 31 August 1992. Thermocline layer was developed from 2 to 4 meters depth. Its water temperature difference was 11.1°C in this layer. Dissolved oxygen was disappeared at 3 meters depth. Nitrate nitrogen and reactive silicate were gradually increased toward the bottom. Reactive phosphorus and total phosphorus were rapidly increased below the thermocline. Standing crop of 95.6 % of phytoplankters in cell volume concentrated in surface layer from 0 to 2 meters. But the maximum peak of chlorophyll *a* concentration (207.0mg/m<sup>3</sup>) was observed at 4 meters depth, where the water color was milky green. The estimated cause of the green water was due to dense populations of photosynthetic sulfur bacteria, *Chlorobium* sp.. Phytoplankters observed were in 5 classes and 33 species. Dominant species were *Ceratium hirundinella* and *Peridinium elpatiewskyi*. Composition of phytoplankton species was similar to the record of 10 years ago.

**Key words :** Thermocline, Green water, Dinophyceae, 水温躍層, 緑色湖水, 渦鞭毛藻

### 1. はじめに

涌池は、長野市の岩倉山西南斜面に位置する面積2,338ヘクタール、水深10mほどの小湖である。本湖は湖水中に高濃度の硫酸イオンを含み、春期から秋期にかけて安定した無酸素層と高濃度の硫化水素層が発達することが知られている。また水温躍層付近に繁殖する光合成硫黄細菌により湖水が緑色あるいは紅色に着色する現象が見られる(落合1960, Takahashi & Ichimura 1968, 高橋ら1993)。この様な興味深い特徴があるため、本湖の研究は比較的古くから行われてき

た(田中1926)。しかし近年は落合(1988)によるプランクトンの分布に関する研究、高橋(1994)による堆積物の研究があるのみである。筆者らも1992年夏に湖水中の栄養塩類、植物プランクトンの垂直分布を測定したので報告する。

### 2. 調査項目および方法

調査は1992年8月31日に行った。採水は湖心(水深8.49m)でバンドーン型採水器(3リットル)を用いて行った。測定項目と方法は以下の通りである。水温:サーミスタ型水温計, pH:比色法, 電気伝導

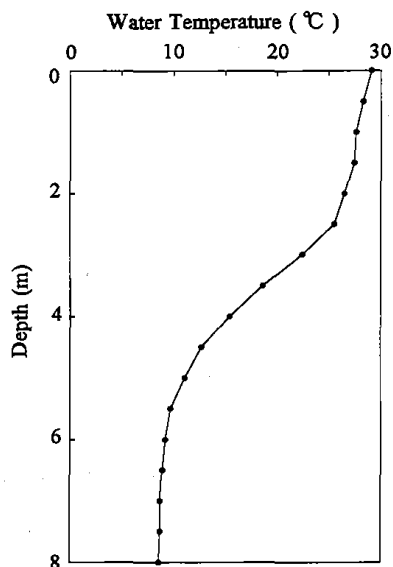


図-1 正午における水温の垂直変化 (1992年8月31日)  
Fig 1. Vertical profiles of water temperature at noon on 31 August 1992.

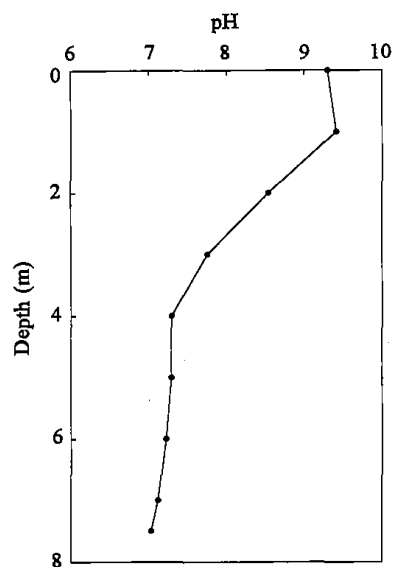


図-2 正午におけるpHの垂直変化 (1992年8月31日)  
Fig 2. Vertical profiles of pH at noon on 31 August 1992.

度：横河 SC51型伝導度計，硝酸態窒素：紫外吸光法（関口・滝島1975），リン酸態リン：アスコルビン酸還元法（Murphy & Riley 1962），全リン：過硫酸カリウム分解法（Menzel & Corwin 1965），溶存珪酸：モリブデン黄法（Burton et al. 1970）．栄養塩類分析用の試水は全リンを除き，ガラス繊維ろ紙（東洋GA100）でろ過したものを用いた．

植物プランクトンの現存量はクロロフィル *a* 量と細胞数で求めた．クロロフィル量の測定は湖水1~2リットルをガラス繊維ろ紙（東洋GA100）でろ過し，ろ紙上の懸濁物質を用いてLorenzen法（Lorenzen 1967）により測定した．植物プランクトンの同定，計数は湖水1~2リットルをホルマリン固定し濃縮した試料を用いて顕微鏡下で行った．計数は血球計数用のます目（1mm×1mm）が印刷されたスライドガラス上で行った．種の同定には廣瀬・山岸（1977），小島・小林（1978），Krammer & Lange-Bertalot（1988，1991），水野・高橋（1991）の分類に従った．

植物プランクトン群集の種組成は細胞数により議論されることが多い．しかし植物プランクトンの実際の大きさは種によって大きく異なるため，一律に個体数で種組成を論じることは危険である（Smayda 1978）．そこで本調査では種ごとの細胞の体積を考慮し種毎の体積量を求め種組成を論じた．植物プランクトンの細胞体積はFindenegg（1969），Clarke（1987）を参考にして簡単な立体，円柱，三角柱，円錐，球などに近

似させて求めた．試料中に優占的に見られる種については200~300細胞の体積を求め，その平均値を使用した．

### 3. 結果および考察

#### 3-1. 水温，pH，電気伝導度の垂直変化

水温は0mで29.1°C，湖底直上の8mで8.6°Cであった．水深2mから4mにかけて顕著な水温躍層が形成されており，この間の水温変化は11.1°Cにも達した（図-1）．吉村（1937）は，本湖の水温下降率は本邦湖沼の中で最大に属すると報告し注目していた．溶存酸素濃度は0~1mで10mg/lであったが水温躍層上部の2mでおおよそ3mg/l，3mではほぼ消失していた．硫化水素は躍層中間の3mから発生し下層に向かって増加していた（高橋ら1993）．

pHは0mで9.30，1mで9.41と表層部で高い値を示し，植物プランクトンによる活発な光合成が行われていることが示唆された．しかしpHは4m深まで急激に低下し，深層部では7.3~7.0であった（図-2）．水深1m以下のpHの急激な低下は太陽光線の減衰に起因すると考える．湖水の透明度は0.96mで，2m深では植物プランクトンによる光合成が制限されていると考えられる．

電気伝導度は0mで461.5 $\mu$ s/cm，7.5mで737.0 $\mu$ s/cmと下層に向かって緩やかに増加していた（図-3）．平野部で大きな湖沼の代表である琵琶湖表層水

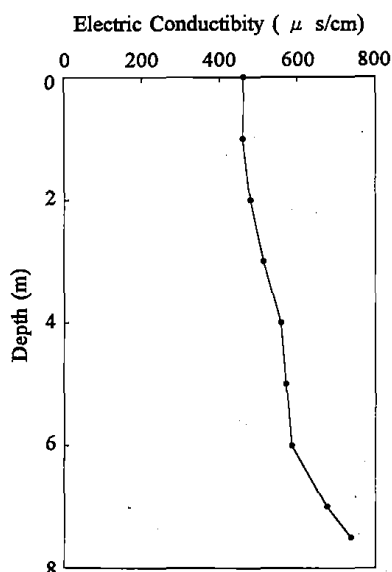


図-3 電気伝導度の垂直変化 (1992年8月31日)  
Fig. 3. Vertical profiles of electric conductivity at noon on 31 August 1992.

の電気伝導度は、1992年8月に南湖で118 $\mu$ s/cm、北湖で117 $\mu$ s/cmの月平均値を示し(滋賀県立衛生環境センター1994)、長野県内の他の湖沼の電気伝導度の値(渡辺ほか1995)と比べ涌池の電気伝導度は極めて高く、桜井・渡辺(1974)が指摘している通り、本湖の湖水中には溶存物質が極めて高濃度であることをがわかった。

### 3-2. 栄養塩類の垂直分布

リン酸態リン濃度は0mで16.3 $\mu$ g/l、7mで501.0 $\mu$ g/l、全リン濃度は0mで32.5 $\mu$ g/l、7mで503.2 $\mu$ g/lであった。特に水温躍層下部に当たる4m以深で大きな増加を示した(図-4)。珪酸濃度は0mで13.9 mg/l、7mで32.8mg/lであり下層に向かって緩やかに増加していた(図-5)。硝酸態窒素濃度は0mで0.80mg/l、7mで2.25mg/lであり珪酸と同様に下層に向かって緩やかに増加していた(図-6)。なお、今回の分析結果では無酸素状態である深層部で硝酸態窒素濃度の増加を示したが、嫌気的条件下では硝酸態窒素濃度は減少するのが普通である。この深層部での本分析法での値は誤分析である可能性があり、この値は参考値として示した。

### 3-3. 植物プランクトンの垂直分布

植物プランクトンは5綱33種が見い出された(表-1)。植物プランクトンが実際に生息可能な環境である表層部においては、珪藻 *Nitzschia acicularis*、*Synedra acus*、緑藻 *Chlamydomonas reinhardi*、*C.*

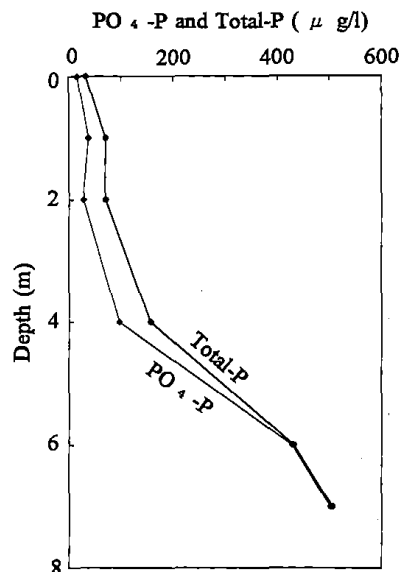


図-4 リン酸態リン・全リンの垂直分布 (1992年8月31日)  
Fig. 4. Vertical profiles of reactive phosphorus and total phosphorus on 31 August 1992.

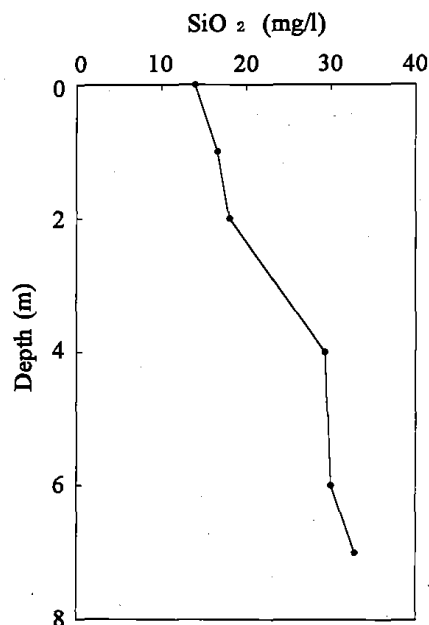


図-5 珪酸の垂直分布 (1992年8月31日)  
Fig. 5. Vertical profile of silicate on 31 August 1992.

*umbonata*, らん藻 *Anabaenopsis raciborskii*, クリプト藻 *Cryptomonas ovata*, 渦鞭毛藻 *Ceratium hirundinella*, *Peridinium elpatiewskyi* が優占的な種であった。

出現した植物プランクトンを細胞体積で表し、綱単位で優占率を求めてみた(図-7)。水深0~2 mの

Table 1. A list of phytoplankters.

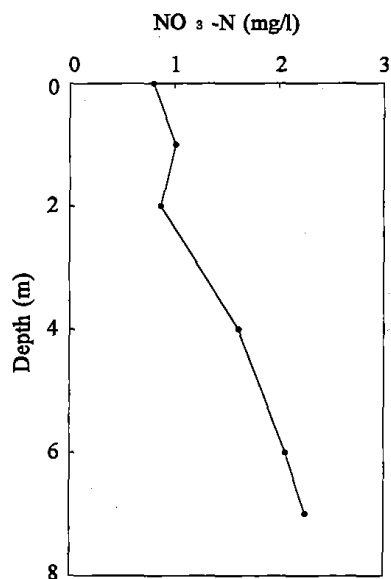


図-6 硝酸態窒素の垂直分布 (1992年8月31日)

Fig 6. Vertical profile of nitrate nitrogen on 31 August 1992.

表層部では、渦鞭毛藻が70%以上を占めていた。他には0 mで珪藻が17%、1 mではクリプト藻が14.4%を占め比較的高い値を示していた。落合(1988)による1982年8月22日の調査においても *Ceratium*, *Peridinium* が優占しており、今回の結果と類似していた。したがってこの10年間に植物プランクトン相には大きな変化が無かったことがわかった。

クロロフィル *a* 量は表層部 0~2 m では 24.3~57.6 mg/m<sup>3</sup> であり、最大値は水深 4 m に存在し 207.0 mg/m<sup>3</sup> の大きな値を記録した (図-8)。しかし透明度、溶存酸素濃度、pH の値から見て 4 m 付近に植物プランクトンが繁殖している可能性は考えられなかった。そこで、計数した植物プランクトンを細胞数から体積に換算し (表-2) 垂直分布を示してみた (図-9)。体積量は水深 1 m で最大となりクロロフィル *a* 量の結果とは異なった。これは水深 4 m 付近に植物プランクトン以外の光合成生物が存在しており、その生物が持つ光合成色素を測定したものと推定された。4 m の湖水は緑色を呈しており、落合(1960)、Takahashi & Ichimura (1968) の報告から光合成硫黄細菌 *Chlorobium* 属の繁殖による着色と考えられた。植物プランクトンは体積にして 95.6% が水深 0~2 m の間に存在しており、極端に表層部に集中していた。しかし本湖全体の一次生産を評価する場合には水温躍層付近に大きな現存量を示した光合成細菌の生産力を考慮する必要がある。Takahashi &

Bacillariophyceae
<i>Amphora ovalis</i>
<i>Gomphonema olivaceum</i>
<i>Navicula lanceolata</i>
<i>Nitzschia acicularis</i>
<i>Nitzschia palea</i>
<i>Synedra acus</i>
Chlorophyceae
<i>Actinastrum hantzschii</i>
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>
<i>A. falcatus</i> var. <i>mirabile</i>
<i>Chlamydomonas moewusii</i>
<i>Chlamydomonas reinhardi</i>
<i>Chlamydomonas umbonata</i>
<i>Chlamydomonas</i> sp.
<i>Coelastrum reticulatum</i>
<i>Cosmarium furcatosperum</i>
<i>Kirchneriella lunaris</i>
<i>Micractinium pusillum</i>
<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Scenedesmus acutus</i>
<i>Scenedesmus longispina</i>
<i>Scenedesmus</i> spp.
<i>Schroederia setigera</i>
<i>Selenastrum capricornutum</i>
<i>Tetraedron minimum</i>
Cyanophyceae
<i>Anabaena</i> sp.
<i>Anabaenopsis raciborskii</i>
<i>Merimospedia punctata</i>
<i>Phormidium tenue</i>
<i>Phormidium</i> spp.
Cryptophyceae
<i>Cryptomonas ovata</i>
Dinophyceae
<i>Ceratium hirundinella</i>
<i>Glenodinium dinabryonis</i>
<i>Peridinium elpatiewskyi</i>

Ichimura (1968) は1965年8月に本湖の光合成活性の垂直分布を測定し、水深 2.5 m における光合成細菌の活性は 4.6 mg C/m<sup>3</sup>/hr であった。これは光合成活性が測定可能であった水深 0~2.5 m 間の表1 出現した植物プランクトン 16.5% を占めていた。Matsuyama & Shirouzu (1978) は涌池と同様に硫化水素層上部で光合成細菌が濃密な群集を形成している貝池 (面積 0.15 km<sup>2</sup>, 水深 11.6 m) の有機物生産を測定し、酸素-硫化水素境界層では光合成細菌の炭素固定量が全固

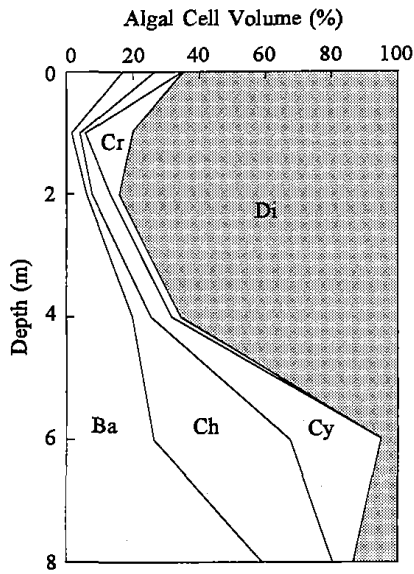


図-7 植物プランクトンの綱組成(体積比)の垂直変化(1992年8月31日)

Fig 7. Vertical change in the percent of class composition of phytoplankters (in volume) on 31 August 1992. Ba : Bacillariophyceae, Ch : Chlorophyceae, Cy : Cyanophyceae, Cr : Cryptophyceae, Di : Dinophyceae

表-2 優占した植物プランクトンの平均細胞体積

Table 2. Mean cell volumes of dominant phytoplankters.

	$\mu^3$
Bacillariophyceae	
<i>Nitzschia acicularis</i>	131.8
<i>Synedra acus</i>	1480.6
Chlorophyceae	
<i>Chlamydomonas umbonata</i>	371.3
Cyanophyceae	
<i>Anabaenopsis raciborshii</i> (100 $\mu$ m)	764.2
Cryptophyceae	
<i>Cryptomonas ovata</i>	764.7
Dinophyceae	
<i>Ceratium hirundinella</i>	53156.4
<i>Peridinium elpatiewskyi</i>	6598.1

定量の30~80%に達することを報告した。

動物プランクトンについては定量的な調査は行わなかったが、プランクトンネットによる定性的な調査では、*Asplanchna priodonta*, *Brachionus calyciflorus*, *B. forficula*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra trigla*, *Pompholyx complanata*, *Trichocerca stylata* などワムシ類が多く観察された。

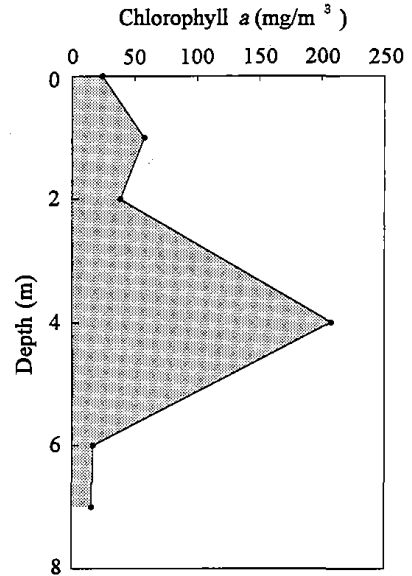


図-8 クロロフィルaの垂直分布(1992年8月31日)  
Fig 8. Vertical distribution of chlorophyll a on 31 August 1992.

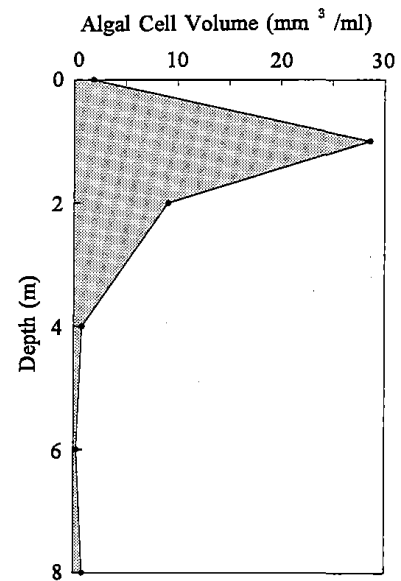


図-9 植物プランクトン量(体積)の垂直分布(1992年8月31日)  
Fig 9. Vertical distribution in the standing crop of phytoplankters (in volume) on 31 August 1992.

#### 4. 摘 要

1992年8月31日に湧池(面積:2,338ha,水深:8.5m)の栄養塩類と植物プランクトンの垂直分布を調査した。水温躍層は水深2~4mの間に存在し、その間の水温の下降は11.1°Cであった。溶存酸素は水深3mで消失した。硝酸態窒素、溶存珪酸は底層部に向

かって緩やかに増加した。リン酸態リンと全リンは水温躍層以下で急激に増加した。この着色は光合成硫黄細菌 *Chlorobium* sp. に起因すると推定された。植物プランクトンは5綱33種が出現した。優占種は渦鞭毛藻 *Ceratium hirundinella*, *Peridinium elpatiewskyi* であった。植物プランクトン相は10年前の記載とほぼ同じであった。植物プランクトンの現存量は水深0~2 mの表層部に95.6%が集中していた。しかしクロフィル *a* 量は湖水が緑色に着色した水深4mで最大(207.0mg/m<sup>3</sup>)となった。

### 引用文献

- Burton, J. D., Leatherland, T. M. and Liss, P. S. (1970): The reactivity of dissolved silicon in some natural waters. *Limnol. & Oceanogr.*, 15: 473-476.
- Clarke, R.T., A. H. H. Marker and J. A. Rother (1987): The estimation of the mean and variance of algal cell volume from critical measurements. *Freshwater Biology*, 17: 117-128.
- Findengg, I. (1969): Expressions of populations. R. A. Vollenweider (Ed.), *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environment*, IBP Handbook No.12, Blackwell Scientific Publications, p.16-18.
- 廣瀬弘幸・山岸高旺編 (1977): 日本淡水藻類図鑑, 内田老鶴圃
- 小島貞男・小林弘 (1976): 素顔の水処理微生物総集版. 水, 臨時増刊号
- Krammer, K. and H. Lange-Bertalot (1988, 1991): *Susswasserflora von Mitteleuropa, Bacillariophyceae, Band 2, Teil 2-4.*
- Lorenzen, C. J. (1967): A note on the estimation of chlorophyll *a* in freshwater algal communities. *Limnol. & Oceanogr.*, 12: 340-346.
- Matsuyama, M. and E. Shirouzu (1978): Importance of photosynthetic sulfur bacteria, *Chromatium* sp. as an organic matter producer in lake Kaiike. *Jpn. J. Limnol.*, 39: 103-111.
- Menzel, D. W. and N. Corwin (1965): The measurement of total phosphorus in seawater based on the liberation of organically bound fractions by per-sulfate oxidation. *Limnol. & Oceanogr.*, 10: 280-282.
- 水野寿彦・高橋永治編 (1991): 日本淡水動物プランクトン検索図鑑, 東海大学出版会
- Murphy, J. and J. P. Riley (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.*, 27: 31-36.
- 落合照雄 (1960): 涌池の現状について. *陸水学雑誌*, 21: 221-228.
- 落合照雄 (1988): 1983年の涌池のプランクトン相, 日本陸水学会甲信越支部会報, 13, 14合併号: 54-57.
- 桜井善雄・渡辺義人 (1974): 信州の陸水, 第1号, p. 105-116.
- 関口恭一・滝島常雄 (1975): 河川水の硝酸イオン濃度と E<sub>210</sub> との関係. *日本化学会誌*, 4: 642-646.
- 滋賀県立衛生環境センター (1994): 水質常時測定データ集. p.84-85.
- Smayda, T. J. (1978): What to count? A. Sournia (Ed.), *Phytoplankton manual*, UNESCO, p.165-166.
- Takahashi, M. and S. Ichimura (1968): Vertical distribution and organic matter production of photosynthetic sulfur bacteria in Japanese lakes. *Limnol. & Oceanogr.*, 13: 644-655.
- 高橋辰也・服部卓生・喜多加代子・小堀文裕・井上憲治・大久保早苗・武内永吏・渡辺義人 (1993): 涌池の停滞期における溶存成分の垂直分布, 日本陸水学会甲信越支部会報, 19: 40-41.
- 高橋辰也 (1994): 湖沼堆積物における硫黄の動態に関する研究, 信州大学大学院工学系研究科修士学位论文
- 田中阿歌麿 (1926): 野尻湖の研究—附犀曲地方の湖沼, 信濃教育会上水内部会
- 渡辺義人・沖野外輝夫・林秀剛・中本信忠・桜井善雄 (1995): 長野県における湖沼環境の現状, 環境科学年報 (信州大学), 17: 00-00
- 吉村信吉 (1937): 湖沼学 (増補版), 生産技術センター, p.127.

(受付 1995年2月20日)