霞ヶ浦における繊毛虫縁毛類の季節的消長

Seasonal Changes of Peritricha in Lake Kasumigaura

杉浦則夫¹⁾、大内山高広²⁾、稲森悠平³⁾、須藤隆一³⁾

Norio Sugiura,¹⁾ Takahiro Ouchiya²⁾, Yuhei Inamori³⁾, Ryuichi Sudo³⁾

茨城県衛生研究所¹⁾、日本環境クリエイト(株)²⁾、国立環境研究所³⁾

Ibaragki Prefectural Institute of Public Health¹⁾, Nippon Kankyo Create²⁾,
National Institute for Environmental Studies³⁾.

Abstract

Seasonal changes of peritricha and physical, chemical and biological factors influencing to the standing crop of the microbe were investigated during the period from January 1986 to March 1988 in eutrophicated Lake kasumigaura. Species number, maximum and average numbers of peritricha attached on the setting board at Kiharaoki in the lake were 23(species), 590n/cm² and 245n/cm², respectively. *Vorticella campanula*, *Epistylis hentscheli* and *Campanella umbellaria* were dominant species through the investigated period. Peritricha decreased with an increase in ammonium ion concentration, while the microbe increased with an increase in chlorophyll-a during a dominance of diatom. It was suggested that ammonium ion concentration was a limiting factor for the growth of peritricha in Lake Kasumigaura.

Key word: Peritricha, Ammonium ion, Chlorophyll-a, Diatom

1. はじめに

霞ヶ浦は、浄化対策の強化に伴い一時期の極度な富栄養化の進行は抑制されつつあるが、依然として特定の藻類の異常増殖が認められている。すなわち、夏季には藍藻類の *Microcystis aeruginosa*、春季には珪藻類の *Synedra acus*、およびカビ臭を発生する藍藻類の *Phormidium tenue* などがしばしば優占種となる^{1)~3)}。これら藻類の異常増殖に関連して、浄水処理の上では凝集能力の低下、ろ過閉塞、異臭味などの現象が起り、問題となっている。

そこで最近、霞ヶ浦浄水場ではこれらの対策の一環として高度浄水施設の一つである生物処理を導入し、水質の向上に努めている。ところで、この生物処理はハニコムチューブを用いた浸漬濾床方式を採用しており、ハニコムチューブに形成された生物膜によって汚濁原水を浄化している⁴⁾。生物膜は細菌、菌類、藻類、原生動物、後生動物などの微生物から構成されており、生物膜を構成する種類は原水の水質や処理方式と密接な関係があり、環境条件と生態上の性質がよく一致しているものほど優占種になりやすい。霞ヶ浦浄水場の生物処理に優

先的に出現する微小動物は、原生動物繊毛虫類の緑毛類に属する*Vorticella*, *Campanella*, 旋毛類の*Stentor*, 袋形動物輪虫類の*Philodina*など⁵⁾であり、これらの種は付着型の生活様式をとる濾過摂食性の微小動物であることが共通している。このような微小動物が多量に出現すると浄化能が高まる⁶⁾ことから、霞ヶ浦において、とくに出現率が高く現存量の多い緑毛類に着目し、その出現環境を把握することは処理水質の向上、安定化および生物処理の改善に極めて重要な示唆を与えるものと思われる。

本報告では、水道水源である霞ヶ浦木原沖に付着板を設置し、繊毛虫緑毛類の季節的消長を調査するとともに、水環境が緑毛類の現存量に及ぼす影響について検討を加えた。

2. 方法

調査期間は1986年1月～1988年3月まで、2年3ヶ月にわたり、月2回の頻度で行なった。調査地点は水道水源である霞ヶ浦の木原沖とした。本地点は、霞ヶ浦の土浦入りに位置し、湖岸から600m沖で、水深4mの水域である。付着基物は透明の塩化ビニール板(縦1m、横0.3m、厚さ1mm)を用い、水深0.5mの表層部に設置した。付着物はハブラシを使用してきれいにはぎ落としたのち、無菌水の入った試料ビンに採取した。緑毛類などの原生動物はホルマリンなどの固定剤を加えると細胞が破壊されたり著しく変形したりすることがあるため種の同定が困難になる⁷⁾。このため採取後直ちに生試料を光学顕微鏡を用いて観察した。細胞固体数は、試料0.05mlを界線入りスライドグラスに取り計数し、1cm²中の細胞数に換算した。なお、*Epistylis*属などのように群体を形成するものは1細胞を1固体として計数した。付着微生物の採集と同時に水質調査も実施した。水質の分析は上水試験方法(1985)に従った。なお、水温とpHは現場で測定した。

Table 1 Composition of peritricha in Lake Kasumigaura

Family	Genus	Species
Vorticellidae	<i>Vorticella</i>	<i>V. alba</i> <i>V. campanula</i> <i>V. convallaria</i> <i>V. monilata</i> <i>V. nebulifera</i> var. <i>similis</i> <i>V. picta</i> <i>V. striata</i> var. <i>octava</i> <i>V. vestita</i> <i>V. spp.</i>
		<i>Carchesium</i> <i>C. polypinum</i> <i>C. sp.</i>
		<i>Zoothamnium</i> <i>Z. hentscheli</i> <i>Z. sp.</i>
Epistylidae	<i>Epistylis</i>	<i>E. crysemidis</i> <i>E. hentscheli</i> <i>E. rotans</i> <i>E. plicatilis</i> <i>E. sp.</i>
		<i>Campanella</i> <i>C. umbellaria</i>
		<i>Opercularia</i> <i>O. allensi</i> <i>O. nutans</i> <i>O. sp.</i>

3. 結果および考察

霞ヶ浦の木原沖に出現した原生動物繊毛虫門緑毛類の種構成を表1に示した。ツリガネムシ科では*Vorticella*属が9種類、*Carchesium*属および*Zoothamnium*属がそれぞれ2種類で計13種類が観察された。また、エピステイリス科では*Epistylis*属が5種類、*Opercularia*属が3種類、*Campanella*が1種類で計9種類が観察され、両科で22種類の出現をみた。これら緑毛類のうちよく観察される種類の季節的消長を図1に示した。*Vorticella*属では、*Vorticella campanula*は年間を通じ出現しており、なかでも1986年2月、1987年12月、1988年3月に著しく増加したことから、低温期に増殖が高まるものと考えられた。なお、本種はグループを形成するため⁸⁾、しばしば肉眼でその存在が確認できた。*Vorticella nebulifera* var. *similis*は前種と同様おおむね通年出現するが著しい増殖は認められなかった。*Vorticella picta*は1986年1月～5月、1988年3月に比較的増殖したが、夏季～秋季には出現しなかった。*Vorticella vestita*は5月～7月にかけてしばしば観察された。*Epistylis*属では、*Epistylis hentscheli*は冬季を除けば比較的良好に出現しており、とくに春季～初夏にかけてよく観察された。*Epistylis chrysemidis*と*Epistylis plicatilis*は春季～秋季のあいだでしばしば出現した。*Epistylis rotans*は秋季～冬季にかけてまれに出現した。*Campanella umbellaria*は冬季～夏季にかけてよく出現しており、なかでも7月に著しい増殖を示した。*Carchesium polypinum*は不定期に出現した。*Opercularia*と*Zoothamnium*は年間を通じて優占的に出現することはなかった。これらのことから霞ヶ浦木原沖では*Vorticella campanula*, *Epistylis hentscheli*, *Campanella umbellaria*が主要構成種であることが明らかとなった。Sladeczek^{9)～11)}によれば、これら3種類はいずれも α 中腐水性～ β 中腐水性にかけてよく出現する種であるので、汚水生物体系からいっても霞ヶ浦木原沖は富栄養化の進行した湖であると言える。

ところで、これら緑毛類をとりまく水質環境について調査することは、緑毛類の消長との関係を明らかにするために重要である。そこで次に、富栄養化した霞ヶ浦をよく現わしている藻類および無機体窒素の季節的变化を調べた。図2はクロロフィルa濃度、NH₄-N濃度、NO₂+NO₃-N濃度、藻類群の出現率および緑毛類の現存量についての季節的消長を示したものである。クロロフィルa濃度は冬季に減少し、夏季に増加する傾向がみられた。夏季～秋季にかけては藍藻類の*Microcystis aeruginosa*

Fig.1 Seasonal changes of dominant peritricha in Lake Kasumigaura

Fig.2 Seasonal changes of peritricha, algae and nitrogen in Lake Kasumigaura

Middle graph symbol: FL; colored flagellata, DI; diatom
CH; green algae, CY; blue-green algae

Fig.3 Correlation between number of peritricha and water temperature

が異常増殖して水の華を形成しており、とくに1986年10月には $73.0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 、1987年10月には $69.8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ とその年の最大値を示した。一方、春季にもクロロフィル a 濃度が増加しており、1986年5月および1987年4月にそれぞれピークがみられたが、いずれも珪藻類の *Cyclotella* sp. の増殖に対応した。冬季のクロロフィル a 濃度は年により現存量は異なり、1986年12月は調査期間中の最小値 $1.0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ であったが、1988年は最小値でも $20.6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と比較的高濃度を示した。

次に $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度の季節的消長をみると、水の華が分解される過程で増加し、冬季～春季にかけて高濃度であった。5月以降は低濃度が続き、水の華が分解される秋季まで長期間にわたった。

一方、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度は $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度と同様に秋季の水の華の分解過程で増加したが、 $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度ほど長期間にわたり高濃度で残存することはなかった。1986年秋季に *Microcystis aeruginosa* が分解される過程で $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度は増加し、10月後半には $0.39 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と高濃度を示したが、これは *Microcystis aeruginosa* の乾重量の約10%が窒素であること¹²⁾、わずかの越冬固体群を除いてほとんどの *Microcystis* は冬までに湖内で分解される¹³⁾ ことなどによるものと考えられた。その後、11月に入ると $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度は急激に減少するが、12月には再び増加して高濃度を示した。ここで $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度が減少したときに珪藻類の *Coscinodiscus* sp. が

Fig.4 Correlation between number of peritricha and pH

著しい増殖を示し、クロロフィル a 濃度を増加させたことは注目される。清家¹⁴⁾は、植物プランクトンの窒素要求量に対して NH_4^+ が NO_3^- に優先して利用されると報告している。霞ヶ浦でもこの時期に $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度は減少するどころか増加している状態にあるので、*Coscinodiscus* sp. が $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$ を利用しているとは考えにくいことから、本藻体が $\text{NH}_4 - \text{N}$ を取り込んだものと考えられよう。さらに1987年1月～2月にかけて $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度は減少傾向を示したが、このときは珪藻類の *Nitzschia acicularis* が増殖し、2月にピークを示した。また、1988年の同時期においても同様の傾向がみられた。これとは逆に上記以外で $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度が増加した時期は、1986年4月、6月、1987年5月、7月、1988年1月であったが、これらの現象はそれぞれ *Nitzschia acicularis*、*Cyclotella* sp.、*Synedra acus*、*Oscillatoria* sp. が $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度が増加する直前に増殖していたことから、これら藻類が分解される過程で $\text{NH}_4 - \text{N}$ が溶出したものと考えられた。以上のことから、 $\text{NH}_4 - \text{N}$ 濃度は $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 - \text{N}$ 濃度に比べて藻類の季節的消長によく対応した。すなわち調査地点は水深0.5mの表層部であり、底泥からの $\text{NH}_4 - \text{N}$ の溶出の影響は受けにくいことから、藻類による $\text{NH}_4 - \text{N}$ の取り込みおよび分解過程における $\text{NH}_4 - \text{N}$ の溶出が湖内の $\text{NH}_4 - \text{N}$ 現存量に影響を及ぼしているものと示唆された。

このような水環境における縁毛虫類の現存量は、図2

からわかるとおり、 $0 \sim 590 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ のあいだで消長しており、平均現存量は $245 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ であった。ところで微生物の増殖にとって水温およびpHはきわめて重要な環境因子である。そこでまずはじめに水温と緑毛類の現存量との関係を調べ図3にその結果を示した。緑毛類の現存量は、 10°C 以下で $0 \sim 570 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ と著しく変動し、また

Fig.5 Correlation between number of peritricha and $\text{NH}_4\text{-N}$

20°C 以上においても $60 \sim 520 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ と増減するなど、緑毛類の現存量の水温とのあいだにはまったく関連性が認められなかった。次にpHとの関係についてであるが、霞ヶ浦は藻類が異常増殖するのに伴ってしばしばpH値が高くなる。ふつう、中性付近で原生動物は良好な増殖を示すことから、高pH値が緑毛類の増殖に与える影響は興味を持たれるところである。図4に緑毛類の現存量とpH値との関係を示した。霞ヶ浦木原沖のpH値は7.58～9.47の範囲にあり、平均値は8.20であった。緑毛類が最大に増殖したときのpH値は8.94であり、アルカリ側であっても緑毛類の増殖は良好であった。このときに増殖能が高かった緑毛類は*Vorticella campanula*と*Epistylis hentscheli*であった。また、調査期間中4回pH値が9以上を示したが、このときの緑毛類の現存量は $150 \sim 310 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ で平均的な増殖を示したことなどから、緑毛類現存量とpH値とのあいだには関連性は認められなかった。

図2の結果から、緑毛類の現存量は1986年10月～1987年2月にかけて著しく減少しており、11月下旬の $150 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ を除けば、 $60 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以下と非常に少なく、なかでも1月下旬には緑毛類は全く出現していない。このときの $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の変化をみると10月下旬 $0.39 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、12月～1月にかけては $0.30 \sim 0.40 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と高濃度であり、緑毛類の減少と対照的であった。このことから $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と緑毛類の現存量のあいだには何らかの相関があるのではないかと考え、両因子間の関係を図5に示した。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $0.1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下のとき緑毛類の現存量は $50 \sim 590 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ のあいだで増減したが、 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ を越えると緑毛類の現存量は $60 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ 以下と著しく減少した。このことは1988年1月に $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $0.25 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ に増加したとき、緑毛類の現存量は $440 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ から $50 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2}$ に急激に減少したことからも言える。その他 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が増加した1986年4月、6月、1987年5月、7月に緑毛類の現存量は減少した。そこで $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と緑毛類現存量の相関係数を求めたところ、 $r = -0.61$ と負の相関が高いことが明らかとなった。したがって $\text{NH}_4\text{-N}$ が緑毛類の現存量の制限因子になっている可能性が示唆された。次に、 $\text{NH}_4\text{-N}$ に対する緑毛類の各々の種の出現域をみると、*Vorticella campanula*と*Epistylis hentscheli*は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $0.02 \sim 0.39 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ のほぼ全水域で観察されたが、高濃度では固体数が著しく減少する傾向を示した。*Campanella umbellaria*は上記2種に比べると出現域は狭く、 $0.02 \sim 0.17 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の範囲で観察された。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$ に鋭敏に反応したのが*Vorticella vestita*であった。本種は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $0.02 \sim 0.07 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と低濃度のときにだけ出現した。これらのことは種により $\text{NH}_4\text{-N}$ に対する耐性が異なることを示している。

ところで先に述べたように $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の増減は藻類の増殖および分解と関係があるので、次にクロロフィルa濃度と緑毛類の現存量の関係について調べた。霞ヶ浦では冬季～春季にかけて珪藻類が、夏季～秋季にかけて藍藻類が優占的に増殖する傾向がみられるので、クロロフィルa濃度を珪藻類が優占化したときと、藍藻類が優占化したときに分け、それぞれが緑毛類の現存量とどのような関係にあるかを調べた。なお、藻類が分解される過程で高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が溶出すると緑毛類の現存量が減少するので、この影響を除く必要がある。そこで $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ を越えるものについては解析対象から除外した。図6に全藻類数の50%以上を珪藻類が占めたときのクロロフィルa濃度と緑毛類の現存量との関係を示した。クロロフィルa濃度が $42.0 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$

と最大値を示したとき緑毛類の現存量は $590\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ と著しい増殖をみせた。一方、クロロフィル a 濃度が $10\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と低濃度のときは緑毛類の現存量も $40\sim 210\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ と増殖が抑えられた。そこで両因子間の相関係数を求めたところ $r=0.74$ と高い相関関係を認めることができた。ここでクロロフィル a が高濃度のときによく出現した種は *Campanella umbellaria* と *Epistylis hentscheli* であった。また、*Vorticella vestita* と *Vorticella monilata* は珪藻類が優占的に出現したときにしばしば観察された。

一方、藍藻類が50%以上を占めたときのクロロフィル a 濃度と緑毛類の現存量との関係を図7に示した。藍藻類が優占化しているときのクロロフィル a 濃度は $40\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上のものがほとんどであり、珪藻類が優占化したときと比べるとクロロフィル a は高濃度であった。クロロフィル a 濃度が $73.0\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と最大を見たときの緑毛類の現存量は $60\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ と少なく、クロロフィル a 濃度が $24.8\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と最小のときでも $190\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ と緑毛類の現存量は少なかった。また、緑毛類の現存量が $570\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ と増殖が良好なときのクロロフィル a 濃度は $55.5\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ であったが、この濃度付近の緑毛類の現存量は $100\sim 570\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ とかなり増減しており、藍藻類と緑毛類のあいだの相関を調べたところ、 $r=-0.15$ と関連性は認められなかった。水の華が形成されているときによく出現した緑毛類は *Vorticella* 属が多く、*Vorticella alba*, *Vorticella convallaria*, *Vorticella nebulifera* var. *similis*, *Vorticella* spp. などがしばしば観察されたが現存量としては少量であった。*Vorticella campanula* も少量出現しているが1987年の水の華終期には増殖能が高まり $370\text{n}\cdot\text{cm}^{-2}$ まで増加した。

ところで、絨毛虫緑毛類と水環境因子との関係について、Nusch¹⁵⁾は腐水性の異なる貯水池やダム河川を調査して緑毛類のそれぞれの種についての生態価を示した。また、Bick¹⁶⁾は絨毛虫類の各種についてその生態的特徴を明らかにしている。両者は各種環境要因に対する緑毛類の耐忍範囲を明記しているが、緑毛類の現存量と水質の具体的な関係については十分に検討されているとは言えない。有機性汚水を微生物によって処理している施設、例えば活性汚泥法や生物膜法を用いている施設では、そこに出現する緑毛類の現存量により処理水の水質を把握できる¹⁷⁾ことが報告されている。従って霞ヶ浦などのように富栄養化が極度に進行している湖水を生物膜法によって処理している施設でも、緑毛類の現存量を把握することは一つの浄化向上の指標としての知見を得るために重要であろう。著者らの観察から、緑毛類の現存量は水温およびpHとの相関性が認められなかったが、

$\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度とは負の相関が高いことが示された。後者に関しては、クロロフィル a 濃度が減少する過程で $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が増加していることから、藻類が分解されて $\text{NH}_4\text{-N}$ が高濃度に溶出すると緑毛類の増殖は抑制されることを意味している。

Fig.6 Correlation between number of peritricha and chlorophyll-a during a dominance of diatom. Diatom dominates over 50% of total algae.

次に緑毛類の現存量とクロロフィル a 濃度の関係であるが、珪藻類が優占化しているときクロロフィル a 濃度と緑毛類の現存量のあいだには正の相関が認められた。Porter¹⁸⁾は貧栄養性から過栄養性までの41の湖から絨毛虫のバイオマス量とクロロフィル a 濃度の関係について考察し、両者間には正の相関があることを示した上で、従属栄養性絨毛虫を細菌や微細藻類の摂食者として位置づけている。また、Carlough¹⁹⁾らは汽水域において絨毛虫量と細菌量および溶存性有機炭素 (DOC) のあいだには正の相関があることを示し、クロロフィル a 濃度とも関連性があることを示した。さらにBird²⁰⁾らは細菌量とクロロフィル a 濃度のあいだに正の相関があることを報告し、加藤²¹⁾は植物プランクトンから細胞外へ排出される溶存態の有機物を細菌は好んで分解することを示した。これらのことを考えると、藻類および藻類が排出するDOCは細菌の栄養源となっており、この細菌類の増殖量が、細菌を主な食物源としている緑毛類の現存量に影響を及ぼしているのではないかと推察される。ところが、藍藻類が優占化したときのクロロフィル a 濃

度は珪藻類が優占化したときより高濃度を示しているにもかかわらず緑毛類の現存量は逆に減少し、相関関係も認められなかった。この原因としては、Microcystisによる水の華形成ときに細菌の増殖が抑制される²²⁾ことや、特定の細菌が原生動物の増殖に関与している²³⁾ことなどが考えられる。

したがって、緑毛類の現存量にとって藻類は重要な存在であるとともに、細菌類の役割も注目すべき因子であるといえる。今後は緑毛類の現存量に対して細菌がどのような影響を及ぼすのかさらに検討を加える必要があると思われる。

Fig.7 Correlation between number of peritricha and chlorophyll-a during a dominance of Blue-green algae.
Blue-green algae dominates over 50% of total algae.

4. まとめ

- 1) 1986年1月～1988年3月にかけて霞ヶ浦木原沖に付着板を設置したところ、繊毛虫緑毛類は23種類が出現し、その現存量は0～590n・cm⁻²のあいだで消長し、平均現存量は245n・cm⁻²であった。
- 2) 緑毛類の現存量と水環境因子との関係を調べたところ、NH₄-N濃度とのあいだに負の相関関係が認められたことから、NH₄-Nが緑毛類現存量の制限因子になっている可能性が示唆された。
- 3) 珪藻類が優占化したときのクロロフィルa濃度と緑毛類の現存量とのあいだには正の相関性が認められたが、藍藻類が優占化したときには関連性がみられなかった。

引用文献

- 1) 須藤隆一(1980) 霞ヶ浦における水の華に関する研究、陸水学雑誌、41(3):124～131.
- 2) 杉浦則夫、高柳秀夫、須藤隆一(1982) 霞ヶ浦における植物性プランクトンの変遷、用水と廃水、24(11):47～54.
- 3) 茨城県企業局(1989) 企業局水質年報、20、15～29.
- 4) 日本水質汚濁研究協会(1985) 水道における高度処理と原水の水質保全、112～129.
- 5) 日本水道協会(1988) 高度浄水施設技術資料(生物処理施設)、34～46.
- 6) 杉浦則夫、大内山高広、稲森悠平(1989) 未発表
- 7) 大森信、池田勉(1976) 動物プランクトン生態研究法、P46、共立出版.
- 8) Noland, L. E. and Finley, H. E. (1931) Studies on the Taxonomy of the Genus Vorticella. Trans. Amer. Micros. Soc., 50:81～123.
- 9) Sladek, V. (1971) Saprobic Sequence within the Genus Vorticella. Water Research, 5:1135～1140.
- 10) Sladek, V. (1981) Indicator Value of the Genus Opercularia (Ciliata). Hydrobiologia, 79:229～232.
- 11) Sladek, V. (1986) Indicator Value of the Genus Epistylis (Ciliata). Arch. Hydrobiol., 107(1): 119～124.
- 12) 高村義親、野村和輝、萩原富司、平松昭、矢木修身、須藤隆一(1981) 霞ヶ浦に発生するアオコとMicrocystis aeruginosaの化学的組成について、国立公害研究所研究報告、25:31～46.
- 13) 高村典子、相崎守弘、安野正之(1985) 霞ヶ浦における植物プランクトンの分解過程について、国立公害研究所、第2回自然浄化シンポジウム、33～40.
- 14) 清家泰、近藤邦男、伊達善夫、石田祐三郎(1986) 汽水湖・中海における窒素代謝Ⅰ-植物プランクトンによる無機態窒素の取り込み-、陸水学雑誌、47(2):121～132.
- 15) Nusch, E. A. (1970) Okologische und systematische Untersuchungen der Peritricha (Protozoa, Ciliata) im Aufwuchs von Talsperren und Flußstauen mit verschiedenem Saprobitätsgrad. Arch. Hydrobiol./Suppl. 37:243～386.
- 16) Bick, H. (1972) Ciliated Protozoa. WHO, Geneva.

- 17) Reynoldson, T. B. (1942) *Nature*, 149:608.
- 18) Porter, K. G. Sherr, E. B., Sherr, B. F., Pace, M., and Sanders, R. W. (1985) Protozoa in Planktonic Food Webs. *J. Protozool.*, 32(3): 409~415.
- 19) Carlough, L. A. and Meyer, J. L. (1989) Protozoans in two southeastern blackwater rivers and their importance to trophic transfer. *Limnol. Oceanogr.*, 34(1):163~177.
- 20) Bird, D. F. and Kalff, J. (1984) Empirical Relationship between Bacterial Abundance and Chlorophyll Concentration in Fresh and Marine Waters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41:1015~1023.
- 21) 加藤憲二(1984) バクテリアと動物プランクトン、*生物科学*、36(4):169~175.
- 22) 前田秋一、手塚泰彦(1979) 相模湖の従属栄養細菌、*水道協会雑誌*、536:19~31.
- 23) 須藤隆一(1977) 廃水処理の生物学、P133~139, 産業用水調査会.