鞭毛虫類 *Monas guttula* によるカビ臭産生藻類 *Phormidium tenue* の分解に及ぼす温度の影響

李 保 瑛* 杉 浦 則 夫** 稲 森 悠 平***

西 村 修*** 東 照 雄† 須 藤 隆 一*

Effect of Temperature on Degradation of Musty Odour Compound Producing by Cyanobacteria, *Phormidium tenue* by Microflagellate, *Monas guttula*

Bo -Young LEE*, Norio SUGIURA**, Yuhei INAMORI***, Osamu NISHIMURA***, Teruo HIGASHI† and Ryuichi SUDO*

* Faculty of Engineering, Tohoku University, Aramaki aza Aoba, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0845, Japan

** Ibaraki Prefectural Waterworks, 2972 Ooiwata, Tsuchiura-shi, Ibaraki, 300-0835, Japan

*** National Institute for Environmental studies, 16-2, Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-0053, Japan

† Institute of Applied Biochemical, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-0053, Japan

Abstract

Biodegradation characteristics of cyanobacteria, *Phormidium tenue* and its metabolites, 2-methylisoborneol(MIB) by protozoan microflagellate, *Monas guttula*, and the effect of temperature on them were examined in batch culture experiment. The flagellate was found to predate on *P. tenue* favorably as a food source within a wide temperature range from 10°C to 30°C. Specific growth rate(μ) and generation time(t_d) of the flagellate were 4.6day⁻¹ and 3.5h⁻¹, respectively at 20°C and 30°C, whereas in the case of 10°C the lag values of μ and t_d were obtained by 1.9 fold in comparison with the removal ratio of 61% at the first cultivation day and that of 99% at the 2nd day at 30°C, while at 20°C the removal was only about 30% in the first day, but *P. tenue* could be perfectly reduced at the 2nd day. Although the reduction rate of the *P. tenue* was slow at the lower temperature of 10°C, the removal reached 98% in the 7th day. Removal rate of *P. tenue* by the flagellate increased with the increase in temperature and reached maximal value with 4.0h⁻¹ at 30°C. The flagellate could contribute to the degradation of MIB, although the degradation was lower than that of *P. tenue*. It was found that the microflagellate could favorably predate on *P. tenue* and degrade its metabolite, MIB emitting musty odor in a wide range of temperature.

Key words : biofilm, microflagellate, *Monas guttula*, *Phormidium tenue*, 2-methylisoborneol

1. はじめに

水道水の異臭味のうち、とくにカビ臭は飲用した時、直接人に不快感を与えることから、水道水に対する信頼感を大きく損ない社会的問題となっている。カビ臭の主な原因である 2-メチルイソボルネオール (以下MIB)とジェオスミン (以下geosmin) は二環性テルペノイド物質であること、さらにカビ臭の強さが、これらの化合物が有するOH基の立体構造の相違によることが明らかにされている

¹⁾。さらにこれらの物質は富栄養化が進行した水域で発生する *Streptomyces*属, *Nocardia*属, *Micronomospora*属などの放線菌および糸状藍藻類である *Phormidium*属, *Anabeana*属, *Oscillatoria*属などにより産生されることがすでに判明している^{2,3)}。最近では、全国各地の水道水源で糸状藍藻類によるカビ臭が顕在化し、水道水の処理に大きな影響を及ぼしており⁴⁾、1984年度以降10年間の調査によると異臭味の被害を受けた水道事業体は毎年80～100カ所、被害人口は1,500～2,000万人前後を推移している^{5,6)}。これ

* 東北大学工学部 〒980-0845 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉

** 茨城県企業局 〒300-0835 土浦市大岩田2972

*** 環境庁 国立環境研究所 〒305-0053 つくば市小野川16-2

† 筑波大学応用生物化学系 〒305-0053 茨城県つくば市天王台1-1-1

に対しカビ臭の除去に関しては主に粉末活性炭や粒状活性炭が用いられてきた⁷⁻⁹⁾。しかし粉末活性炭は吸着効果は高いが寿命が短く、また粒状活性炭は恒常的な交換頻度、維持管理を含め、コストの面などで問題点がある。そこで近年、効果的にカビ臭物質を除去できる手法の一つであるオゾンと活性炭を組み合わせた高度処理法が適用されつつある¹⁰⁾。これは前段のオゾンによって分解されたカビ臭原因物質が後段の活性炭に吸着されると共に、そこに生息している様々な微生物群集によって効率よく資化・分解されることによるものである。一方、長期的にしかも経済的に、さらに施設の管理面でも容易な利点を有する方法である生物膜法は、細菌類、原生動物、微小後生動物などの混合微生物群によりカビ臭の除去に大きな機能を果たしていることからその活用が期待されている^{11,12)}。とくに全国で大きな問題となっているMIBを産生する*Phormidium tenue*はハニコムチューブを担体とした生物膜法によって効果的に除去され、有効な機能を発揮していることがわかっている^{13,14)}。このカビ臭除去プロセスとして生物膜を構成する微生物群集のうち、とくに原生動物、繊毛虫類および鞭毛虫類が活発に*P. tenue*を捕食・分解し、除去に貢献していることが解明されつつあり¹⁵⁾、なかでも鞭毛虫類は食物源として細菌類を中心に小型から大型の藻類に至るまで広範囲な捕食能を有することが報告されている¹⁶⁾。岩見¹⁷⁾、杉浦ら¹⁸⁾は原生動物、鞭毛虫類の一種の*Monas guttula*が*Microcystis*属、*Phormidium*属など幅広い藍藻類の捕食機能を有することを見出している。実際に生物膜によって、さらに安定的、効果的にカビ臭の除去を向上させるためには生物膜を構成する個々の微生物がカビ臭産生藻類に対し、具体的にどのような捕食機能を持ち、産生されたカビ臭物質がどの過程で分解されるのかについて、また効果的に捕食・分解する微生物の定着条件についてはほとんど明らかにされていない。

本研究では上記の点を鑑み、実際に水道水源で*P. tenue*が大発生し、生物処理装置で効果的に除去された時期に対応して反応槽内で*P. tenue*を活発に捕食している鞭毛虫類*M. guttula*が観察されること、さらにこの鞭毛虫類が水温の季節変動にもかかわらず、春から秋季にかけて本装置内に見られたことに注目し、*M. guttula*による*P. tenue*およびその産生物質MIBの分解特性ならびに温度の影響を明らかにすることを目的として検討を行った。

2. 材料および方法

2.1 材料

2.1.1 供試微生物

本実験に用いた原生動物、鞭毛虫類は、1989年霞ヶ浦の土浦入りの湖底から分離された*M. guttula*である。なお、供試藻類としては霞ヶ浦から分離したMIBを産生する藻類*P. tenue*を用いた。

2.1.2 培養方法

供試藻類の培養は200mlの三角フラスコにM11培地を100ml分取し、*P. tenue*を接種したのち、20℃、照度2,000Lux、12時間ごとの明暗周期の条件で前培養をあらかじめ行った。ついで大量に培養するため前培養と同一条件で通気量100ml・min⁻¹で曝気させ、10ℓ容量の容器で静置培養を行った。M11培地の組成はTable1に示した。

2.2 実験条件

500mlの三角フラスコに食物源として*P. tenue*の培養液を200mlを分取し、好気性条件下であらかじめ*M. guttula*を約1×10⁴個体・ml⁻¹になるように接種し、暗所で静置培養を行い、経時変化に伴う*M. guttula*の個体数を調べた。なお、培養液中の*P. tenue*の濃度はSSとして100mg・ℓ⁻¹になるように調整した。つぎに*P. tenue*が四季を通じて出現していることから、分解に及ぼす温度の影響を明らかにするために、10、20、30℃に設定し、比較実験を行った。

2.3 測定項目

測定項目は、*P. tenue*細胞数、*M. guttula*個体数、バイオマス量およびMIBとした。*P. tenue*の細胞数、*M. guttula*の個体数は培養液を均一になるように混合した試料から0.05mlを採取し、界線スライドグラスにのせ、光学顕微鏡下で（倍率100倍）で5回ずつ検鏡し、平均値から培養液1mlあたりの個体数を換算した。なお、バイオマス量は培養液の懸濁物質濃度とし、ミリポアフィルター0.45μmで培養液をろ過し、90℃で2時間乾燥させたものとした。MIBの分析条件はTable 2に示し、Purge&Trap濃縮装置(TekmarLSC-3000)を用い、GC/MSD(HP5890)で行った。前処理は試料20mlに塩化ナトリウムを4g(カビ臭物質分析用、GLSciences)加

Table 1 Composition of M11 medium

Components	Dosage
NaNO ₃	100mg
K ₂ HPO ₄	10mg
MgSO ₄	75mg
CaCl ₂	40mg
Na ₂ CO ₃	20mg
Fe・citrate	1mg
Na ₂ ・EDTA・2H ₂ O	1mg
Distilled Water	1,000ml

pH 7.5

Table 2 Analytical condition for 2-methylisoborneol by GC/MSD

Item	Condition
Column	NB-1 30m
Carrier Gas	He 1ml/min.
MSInterfaceTemp.	280℃
Sample Vol.	20ml
Trap Material	Tenax 1
Standby Temp.	40℃
Purge time	12min.
Dry purge	1min.
Desorb.	6min.
Cool down	-50℃
Inject	4min., 200℃
Bake	10min., 210℃

Oven Temperature Program

え、120℃で10分間パージさせ、*P.tenue*細胞を破壊、細胞内のMIBを抽出した。

3. 実験結果

3.1 *Monas guttula* の増殖特性と温度との関係

*M.guttula*は無性的な分裂によって増殖し、特異的に藍藻類を捕食・分解するがカビ臭産生藻類、*P.tenue*を食物源とした増殖特性はFig.1に示すとおりである。一般的に微小動物の増殖は20℃前後で基質に対する活発な捕食効果が見られるがこの温度では培養の極めて早い0日から2日目までに著しい増殖が見られ、その後、3日目には約 $2 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで顕著な減少を示し、以後、緩慢な減少が見られた。この変動パターンは30℃の場合についても同様であった。このことから捕食効率は高いものの食物源がなくなると急激に個体数が減少することから増殖・消滅の著しい原生動物であることがわかった。一方10℃に注目すると増殖が20、30℃に比べ、著しい低下が見られ、5日目に最大個体数に達したものの20℃と30℃の場合とは異なり減少速度は、緩慢であった。しかし最大個体数は10、20、30℃とともに約 $1.0 \times 10^4 \sim 1.4 \times 10^4$ でほぼ同じ個体数を示した。次にこの原生動物の比増殖速度(μ)を次式により求め、評価した。

$$\mu = 2.303 \log(\text{N}-\text{No})/t-\text{to},$$

ここで、

N : t日目の個体数 ($\text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$)

No : 0日目の個体数 ($\text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$)

t : 培養t日目

to : 培養0日目

なお、個体数が2倍になるのに要する倍加時間(t_d)は比増殖速度(μ)との間の関係式 $t_d = 0.693/\mu$ から求めた¹⁹⁾。

Table3に*P.tenue*を食物源とした*M.guttula*の比増殖速度 μ および倍加時間 t_d を示す。ここで20℃では比増殖速度(μ)が 4.5 day^{-1} 、倍加時間(t_d)が 3.6 hr^{-1} であった。これは30℃でも同一の結果が得られたが、10℃の場合は増殖が1.9倍遅くなることがわかった。この結果は須藤ら²⁰⁾の*P.tenue*を食物源とする場合の*M.guttula*の増殖は、*P.tenue*の濃度 $40 \text{ mg} \cdot \ell^{-1}$ (SSとして)、*M.guttula*の接種量 $5,000 \text{ 個体} \cdot \text{ml}^{-1}$ に対し、培養12～24時間にかけて著しく、比増殖速度 $\mu = 3.6 \text{ day}^{-1}$ 、倍加時間 (t_d) = 4.6 hr^{-1} を示したものの同一の温度条件の本研究の24時間から48時間にかけて著しい増加が認められたのは培養開始時の接種量と基質量の相違が原因ではないかと考えられる。なお、杉浦ら²¹⁾はアオコの分解に果たす*M.guttula*の捕食能に関する研究において*M.aeruginosa*で $\mu = 4.1$ 、 $t_d = 4.0$ 、*M.wsenbergii*は $\mu = 3.1$ 、 $t_d = 5.5$ 、*M.viridis*で $\mu = 3.2$ 、 $t_d = 5.2$ の値を得ており、*Microcystis*属より*Phormidium*属の比増殖速度 μ が大きいことが明らかにしている。

3.2 *Monas guttula*の増殖と活性化エネルギー

温度が増殖に対してどの程度の影響を及ぼすのかを評価するために、Arrhenius式を用い、活性化エネルギーを求めた。Fig.2は*M.guttula*の μ に及ぼす温度の影響をArrheniusの式によってプロットしたものである。活性化エネルギー、 ΔE は

$$\log \mu = -\Delta E/2.303RT+b$$

ここに、 ΔE : 活性化エネルギー

R : 気体定数

T : 絶対温度

b : 定数

である²²⁾。10～30℃で得られた増殖に対する活性化エネルギーは $4,300 \text{ cal} \cdot \text{mole}^{-1}$ であった。これは原生動物、微小後生動物の食物源としての細菌類に対する温度の影響

Fig. 1 Growth curve of *Monas guttula*

Table 3 Specific growth rate(μ) and generation time(t_d) for *M.guttula*

Temp(℃)	specific growth rate(μ)	generation time(t_d)
10	2.4 day^{-1}	6.9 hr
20	4.6	3.6
30	4.6	3.6

Fig. 2 Effect of temperature on growth rate of *M.guttula*

に関する研究において、稲森ら²³⁾の *Philodina* sp. の μ に対する活性化エネルギー、 $17,900\text{cal} \cdot \text{mole}^{-1}$ 、須藤ら²⁴⁾の *Aspidisca costata* は $13,800\text{cal} \cdot \text{mole}^{-1}$ と比較すると、*P. tenue* を食物源とした *M. guttula* の増殖は他の微小動物より温度による大きな影響を受けず、効率的に *P. tenue* を基質として利用できることを意味している。このことは *M. guttula* が湖水で *P. tenue* が優占化した場合、比較的低温から高温に至るまで出現できる可能性を示唆している。このように広い温度範囲で微小動物が *P. tenue* のようなカビ臭産生糸状藍藻類を捕食し、カビ臭物質を分解することができれば水道原水の異臭物質の生物学的処理法としての活用が期待されることになる。すなわち、糸状藻類を摂食する微小動物を汚濁湖沼水の生物処理システムに大量に定着させることができれば、カビ臭物質の分解に大きく貢献できるものと考えられる。

3.3 *Phormidium tenue* の捕食に及ぼす温度の影響

水環境中での藻類の分解・消滅には細菌類、原生動物、微小後生動物などの微生物群が直接的、間接的に様々な形で関与している。すなわち、鞭毛虫類による藍藻類 *Oscillatoria* 属や大型の珪藻類 *Synedra* 属などの藻類の捕食作用が報告されているが、これらの微小動物は水環境生態系の食物連鎖に果たす役割は重要と考えられる²⁵⁾。なお、この場合水源が捕食特性に及ぼす影響に及ぼすかについては解明すべき課題として残されている。そこで上水道の水源でしばしば大発生する *P. tenue* の *M. guttula* による捕食に及ぼす温度の影響について検討を加えた (Fig. 3)。 *P. tenue* は 30℃ で最も除去率が高く、1日目で61%除去され、2日目にはほぼ消滅した。20℃ における1日目の捕食率は30%程度で低かったが2日目には30℃と同様にほぼ完全に消滅した。10℃ では除去速度が緩慢であるが7日目には98%の高い分解率を示した。ついで除去程度を具体的にするために *P. tenue* の除去速度定数を $N = N_0 e^{-kt}$ で求めた。

ここで、 N_0 : 初期の *P. tenue* の個体数 ($\text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$)

N : 反応後の *P. tenue* の個体数 ($\text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$)

t : 反応時間

k : 除去速度定数

10℃ では除去速度定数 (k) は 0.5hr^{-1} 、20℃ では 3.15hr^{-1} 、30℃ では 4.0hr^{-1} になり、10℃ と 20℃ 以上では除去速度に大きな差が認められ、短時間に *P. tenue* を除去するためには20℃以上の条件が必要であることがわかった。 *P. tenue* の除去と *M. guttula* の増殖との関係から *P. tenue* の細胞の消失と *M. guttula* の個体数の著しい増加が連動したことから *M. guttula* が *P. tenue* を食物源として活発に利用しているものと判断できた。原生動物の *M. guttula* に対する捕食作用による研究では繊毛虫類 *Trithigmostoma cucullulus* がやな器と呼ばれる細胞小器官によって糸状藍藻類の *P. tenue* を効率よく捕食することが明らかにされている²⁶⁾。この繊毛虫類による *P. tenue* の捕食率は6日目まで55%であった。しかし *M. guttula* の場合は糸状性の *P. tenue* に対し、3日間で98%の高い除去率を示し、さらに有毒アオコで注目されている凝集性藍藻類の *Microcystis* 属に対しても最大85.6%除去率を示し、藍藻類の形状にかかわらず、優れた捕食能を有することがわかった。採取した現場における浄水処理システムの生物反応槽からの生物膜を用いた *P. tenue* の除去

Fig. 3 Predation of *P. tenue* by *M. guttula*

Fig. 4 Relationship between coefficient of removal velocity of *P. tenue* and temperature

Fig. 5 Effect of temperature on removal rate of biomass

速度定数(k)の関係は最大 2.1hr^{-1} の値であり, *M.guttula*の単独接種による除去速度の最大値と比べると 20°C , 30°C では1.5~2倍高い値を示した。したがって, *M.guttula*が生物反応槽内に定着できた場合, この鞭毛虫類は幅広い温度範囲で*P.tenue*を捕食できると考えられた。なお, さらに除去能を高めるための操作条件としては温度を 20°C から 30°C に維持することが有効であると考えられた。以上のように*M.guttula*が*P.tenue*を効率よく捕食することがわかったが, 実際の水処理では同時に浮遊物質をいかに低減化できるかが重要な課題である。そこで*P.tenue*のバイオマス量の低減化に及ぼす温度の影響を調べた(Fig. 5)。培養初期のバイオマス量は温度の増加に伴って著しく減少した。自然水域で*P.tenue*の発生しやすい温度の 20°C に着目すると*M.guttula*の接種3日目には80%であり, 一方, 30°C ではすでにほぼ完全に*P.tenue*の細胞が分解された。したがってFig. 3 から 20°C , 30°C ともに2日目に*P.tenue*の除去率が100%達しているのに対して*P.tenue*細胞の分解は, 30°C の場合は*P.tenue*がほぼ除去された24時間後の3日目に, また, 20°C についてはさらに長時間要していることがわかった。このように捕食率とバイオマスの低減率の間で時間的な差は*M.guttula*が*P.tenue*を捕食したのち分解するのに要した時間を意味しており, 温度が 30°C の場合, 消化・分解の活性化が促進されたものと考えられる。Fig. 6は*M.guttula*が*P.tenue*を捕食している顕微鏡写真であるが*M.guttula*は球形で2本の鞭毛をもち長い方をまっすぐ伸ばして前進し, 短い鞭毛は顕微鏡で観察しにくいものの小型の鞭毛虫類としては比較的輪郭のはっきりしている。食物摂取する際は鞭毛の複雑な動きにより鞭毛で藻類をたぐりよせ, 鞭毛の基部に陥入部を形成し取り込むかあるいは糸状の細胞の場合でもある程度の長さに切断して摂取する。*M.guttula*は糸状藻類以外の球状の*Microcystis*属の細胞の場合においては鞭毛で水流をつくり, 球状の藻類を細胞基部に引きつけ, Fig. 7のように取り込むことができる²⁷⁾。

3.4 2-methylisoborneolの分解に及ぼす温度の影響

カビ臭物質を産生する糸状性の*P.tenue*に対して効果的な捕食特性を有する*M.guttula*によるMIBの除去効果をFig. 8に示した。*P.tenue*は効果的に捕食されるもののMIBについては捕食された分がすべて分解されるわけではなくその分解率は 30°C において7日間で52.7%, 20°C では32.7%, 10°C では23.5%であった。このように温度の増加に伴って分解率が高まったがこれは温度が高くなると*M.guttula*細胞内のMIB分解に関与する酵素が活性化されることなどが考えられる。以上のように試験管内実験を通して*M.guttula*が*P.tenue*を食物源としての有効に捕食・分解し, さらにMIBについても分解に貢献でき, *M.guttula*が*Phormidium*属の捕食者として重要な役割を担っていることが明らかとなった。これは生物処理反応槽内において, 食物連鎖過程で一次生産者の藻類に対して鞭毛虫類が密接に捕食者として関与し, 物質循環を高める上で鞭毛虫類が重要な意義を有していることを示唆している。しかしこれらの鞭毛虫類の役割に関しては藻類はもとより他の微生物との相互作用など未解明の部分が多く残されている。現在*Phormidium*属, *Microcystis*属をはじめ, 各種の藻類が大発生する多くの水域では水道水源, 工業用水, 農業用水など重要な水資源として利用されている。したがっ

Fig. 6 Photomicrograph of *M.guttula* preying *P.tenue*

Fig. 7 Predating form of *Microcystis* sp. by *M.guttula*

Fig. 8 Effect of temperature on removal of MIB and *P.tenue* by *M.guttula*

て、それぞれの利用目的に合った適切な水質改善に貢献できる微生物の機能・役割を明らかにすること、応用手法を検討することが課題になっている。それ故、生物膜法の機能を強化するために有用な微生物の高密度定着条件を見出し、さらに有効に活用することが急務である。

4. ま と め

本研究では *M.guttula* を用い、糸状性のカビ臭産生藻 *P.tenue* およびその産生物質 MIB の分解特性ならびに温度の影響について検討を行った。得られた結果は以下に示す通りである。

- 1) 鞭毛虫類 *M.guttula* のカビ臭産生藻類 *P.tenue* に対する比増殖速度 μ および倍加時間 t_d は 20℃ および 30℃ で 4.6day^{-1} , 3.6hr^{-1} で同様であり、10℃ の場合、比増殖速度 μ および倍加時間 t_d は 2.4day^{-1} , 6.9hr^{-1} であり、低水温では増殖の低下が認められたが夏期に観察される高水温下において高い捕食活性の得られることがわかった。
- 2) *M.guttula* の増殖に対する Arrhenius 式による活性化エネルギーは $4,300\text{cal} \cdot \text{mole}^{-1}$ であり、比較的低温から高温まで幅広い条件で増殖できることがわかった。
- 3) *M.guttula* の捕食能からみると *P.tenue* は 30℃ で最も除去率が高く、1日目で 61% 除去され、2日目にはほぼ消滅すること、20℃ における1日目の捕食率は 30% 程度で低かったが2日目には 30℃ と同様にほぼ完全に消滅すること、10℃ では徐々に減少したが、7日目に 98% の高い分解率を示すことがわかった。
- 4) *P.tenue* の *M.guttula* による除去速度定数は温度の増加に伴って増加し、30℃ で最大の 4.0hr^{-1} になることがわかった。
- 5) 10, 20, 30℃ における7日間での MIB の分解率はそれぞれ 23.5, 32.7, 52.7% であり、高い水温ほど高まることがわかった。

(原稿受付 1997年 9月29日)

(原稿受理 1997年12月26日)

参 考 文 献

- 1) Lalezary, S., Pirbazari, M. and McGuire, M.J. (1986) Evaluating activated carbons for removing low concentrations of taste- and odor-producing organics, *J. AWWA*, 11, 76-82.
- 2) 日本水道協会, 異臭味対策の指針(1980) 日本水道協会.
- 3) 根来健, 市川信繁, 安藤正義(1984) カビ臭発生機構-藍藻類-, 用水と廃水, 26(8), 21-26.
- 4) 日本水道協会, 凝集障害・藻類除去委員会(1996) 上水道における藻類障害, 技報堂.
- 5) 山村充, 伊木聖児(1991) 最近の異臭味被害の状況と対策, 第42回全国水道発表会講演集, 668-670.
- 6) 伊藤雅喜, 住友 恒(1997) 異臭味被害と処理方法の現状および今後の対策における課題, 第48回全国水道研究発表会, 562-563.
- 7) 斉藤昭二(1993) 藻類による浄水処理被害-カビ臭, ろ過 閉塞, 着濁, 水道協会雑誌, 62(6), 2-16.
- 8) Lalezary-Craig, S., Pirbazari, M., Dale, M.S., Tanaka, T.S. and McGuire, M.J. (1988) Optimizing the removal of geosmin and 2-methylisoborneol by powered activated carbon, *J. AWWA*, 80(3), 73-80.
- 9) 日本水道協会(昭和63年) 高度浄水施設導入ガイドライン.
- 10) 大住旦生, 藤田正樹, 井上嘉高, 山本正視, 川崎一司(1989) 生物, オゾン, 粒状活性炭の組み合わせによる高度浄水処理プラント実験, 水道協会雑誌, 58(4), 2-12.
- 11) Namkung, E. and Rittmann, B.E. (1987) Removal of taste-and odor-causing compounds by biofilms grown on humic substances, *J.AWWA*, 7, 107-112.
- 12) Lee, B.Y., Sugiura, N., Inamori, Y. and Sudo, R. (1997) Degradation potential of musty odor in drinking water source by biofilm method, *6th IAWQ, Asia-Pacific Conference*, 2, 1587-1594.
- 13) 李保瑛, 稲森悠平, 杉浦則夫, 須藤隆一(1996) 流動床生物膜処理によるカビ臭産生藍藻類 *P.tenue* の分解, 水環境学会, 19(11), 891-896.
- 14) 杉浦則夫(1996) 霞ヶ浦の水質障害と微生物を活用した水質改善方法. 水, 4, 26-33.
- 15) Inamori, Y., Kuniyasu, Y., Sudo, R. and Koga, M. (1991) Control of the growth of filamentous microorganisms using predacious ciliated protozoa. *Wat.Sci.Tech.*, 23, 963-971
- 16) Suttle, C.A., Amy, M.C., Taylor, W.D. and Harrison, P.J. (1986) Grazing of planktonic diatoms by microflagellates, *Jour. Plankton Research*, 8(2), 393-398.
- 17) 岩見徳雄, 稲森悠平, 杉浦則夫, 松村正利(1996) 大形淡水マイクロコズムを用いた鞭毛虫類 *M.guttula* による有毒 *Microcystis viridis* の分解特性, 水環境学会誌, 19(2), 54-60.
- 18) Sugiura, N., Inamori, Y., Sudo, R., Ouchiyama, T. and Miyoshi, Y. (1990) Degradation of bluegreen alga, *Microcystis aeruginosa* by flagellata, *Monas guttula*, *Environental Technology*, 11(10), 739-746.
- 19) 杉浦則夫, 田中修三, 森忠洋, 矢木修身(1994) 水処理 バイオ入門, 産業用水調査会.
- 20) 須藤隆一, 杉浦則夫, 一条悟朗, 稲森悠平, 大内山高広, 青山莞爾(1990) 日本水処理生物学会, 10(11), 8.
- 21) 杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一(1991) 鞭毛虫類によるアオコの分解, 用水と廃水, 338, 639-644.
- 22) 都留信也(1979) 環境と微生物, 共立出版株式会社.
- 23) 稲森悠平, 林 紀男, 須藤隆一(昭和58-59年度) 水路に出現する微小後生動物輪虫類 *Philodina.sp* の増殖特性, 国立公害研究所研究報告, 第97号.
- 24) 須藤隆一(1977) 廃水処理の生物学, 産業用水調査会.
- 25) Suttle, C.A., Amy, M.C., Taylor, W.D. and Harrison, P.J. (1986) Grazing of planktonic diatoms by microflagellates, *Jour. Plankton Research*, 8(2), 393-398.
- 26) 稲森悠平, 大内山高広, 杉浦則夫, 須藤隆一, 青山莞爾(1990) カビ臭生成 *Phormidium tenue* の細菌および微小動物による分解・除去, 水質汚濁研究, 13(9), 592-8.
- 27) 杉浦則夫, 稲森悠平, 須藤隆一, 一条悟朗(1991) アオコを分解する鞭毛虫類, 水道協会雑誌, 60(5), 2-9.