

第6章 群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターによる *Microcystis* 属の増殖抑制

6-1 序

富栄養化湖沼ではアオコ発生期から最盛期にかけて *Microcystis* 属は球形の細胞が多数集合し粘質性の基質につつまれた不定形の大きな群体を形成する。*Microcystis* 属によるアオコの発生をくい止めるためには、群体状の *Microcystis* 属の増殖を抑制できるか否かが重要な鍵になると考えられる。第4章の結果から、群体状の *Microcystis* 属を *M.guttula* や *P.erythrophthalma* に捕食させるためには、群体を単独の細胞に分散化させる必要があることを導きだし、その作用を有する *Aeolosoma hemprichi* と共存させると、捕食分解が促進されることが示唆された。とくに、*M.guttula* は分散した単独細胞の *Microcystis* 属に対し優れた捕食能を有していることも明らかにされた。さらに、第5章の結果から、微小動物定着型リアクター内で *Microcystis* 属を食物源とし *M.guttula* と *A.hemprichi* の食物網が形成可能であることが示された。このリアクターを実際の水域に導入し、多量の群体状 *Microcystis* 属の増殖を効果的に抑制する上では、リアクターでの *Microcystis* 属の分解機能を最大限に引き出すことが重要である。そのためには、*Microcystis* 属の群体を *M.guttula* が捕食できる単独の細胞に速やかに分散化させることが有効と考えられ、リアクターの前段に物理的に群体を分散化するプロセスの導入を考案した。ここでは、群体を分散化する微小動物として *A.hemprichi* を起用しているが、そこに群体分散化プロセスを導入することで *Microcystis* 属の増殖抑制機能が向上する可能性が十分に考えられる。

そこで本章では、第5章で検討した実験システムを用い、モデル池沼では群体状の *Microcystis* 属を増殖させ、さらに、リアクターの前段に物理的作用による群体分散化プロセスを設けて実験を行い、群体分散化プロセスの有無による *Microcystis* 属の増殖抑制効果を定量的に明らかにし、群体状 *Microcystis* 属の効果的な増殖抑制プロセスを提案することを目的とした。

6-2 実験材料および方法

6-2-1 微小動物定着型リアクターによる群体状 *Microcystis* 属の増殖抑制

1) 実験装置

微小動物定着型リアクター (Fig.5-4) およびモデル池沼は前章と同様のものを用いた。また、実験システムも前章 (Fig.5-5) と同様の構成とした。ここで、リアクターを接続したモデル池沼を C system、リアクターを接続していない対照系を D system とした。

2) 供試微生物とその培養方法

供試微小動物には、*A.hemprichi*、*P.erythrophthalma*、*M.guttula* を用いた。

また、供試藻類は 1996 年 7 月に霞ヶ浦から分離し、現在まで系統保存された群体状の *Microcystis aeruginosa* を用いた。培養方法は 5-3 の 2) に従った。

3) 実験条件

実験は、モデル池沼に培養した群体状の *M. aeruginosa* をクロロフィル *a*、で $7\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ となるように無菌的に移送後、温度 30°C 、水面の平均照度を $20,000\text{Lx}$ 、12hr ごとの明暗周期に環境条件を設定し、底部から曝気で攪拌を行い *M. aeruginosa* を増殖させた。一方、リアクターには多孔質セルローズ担体 (ポアサイズ 200~500 μm , 5mm 角) を量で約 40% 充填し、オートクレーブ (121°C 、40min) で滅菌後、無菌的にモデル池沼に接続した。

リアクターは *M. aeruginosa* をモデル池沼に接種してから 3 日後に運転を開始した。なお、リアクターの反応槽には、運転開始直前に供試微小動物を無菌的に接種した。リアクターの HRT (水理学的滞留時間) は 4hr とした。経時的にモデル池沼およびリアクター内の微小動物の個体数、クロロフィル *a*、pH の測定を行った。なお、*M.aeruginosa* のバイオマスはクロロフィル *a* 濃度と正比例することは確認済みである。

6-2-2 群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターによる群体状 *Microcystis* 属の増殖抑制

1) 実験装置

群体分散化プロセスの導入による群体状の *Microcystis* 属の増殖抑制効果を明らかにするため、リアクターの前段に超音波破碎による群体分散化装置を接続した。本実験で用いた群体分散化装置は 500ml の硬質ガラス製容器に超音波発生装置 (UR-2P 型、TONY 精工製) を組み込んだものである。まず、池沼水が容器内に 400ml 入ると超音波処理が 4min、20W (発生装置の表示値) 行われ、*Microcystis* 属の群体が単独の細胞に分散化される。処理後の池沼水は定量ポンプでリアクターに移送される。この工程はシーケンス動作するように設定した。なお、*Microcystis* 属の群体分散化率は 93% で、この処理の影響でバーストして消滅する細胞はほとんど認められなかった。

実験システムの構成を Fig.6-1 に示す。処理のフローは、まず、リアクターに流入させる前の池沼水を超音波処理し *Microcystis* 属の群体を単独の細胞に分散化させた後にリアクターで処理し、その処理水を池沼に返送することとした。なお、群体の分散化は *M. aeruginosa* の増殖に影響を及ぼさない強度に設定した。ここで、群体分散化装置およびリアクターを接続したモデル池沼を E system、リアクターを接続していない対照系を Fsystem とした。

モデル池沼とリアクターの容積比は 83 : 1 である。

2) 供試微生物とその培養方法

供試微小動物には、*A. hemprichi*、*P. erythrophthalma*、*M. guttula* を用いた。

また、供試藻類は 1996 年 7 月に霞ヶ浦から分離し、現在まで系統保存された群体状の *Microcystis aeruginosa* を用いた。培養方法は 5-2 の 2) に従った。

3) 実験条件

実験は、モデル池沼に培養した群体状の *M. aeruginosa* をクロロフィル *a*、で $7\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ となるように無菌的に移送後、温度 30°C、水面の平均照度を 20,000Lx、12hr ほどの明暗周期に環境条件を設定し、底部から曝気で攪拌を行い *M. aeruginosa*

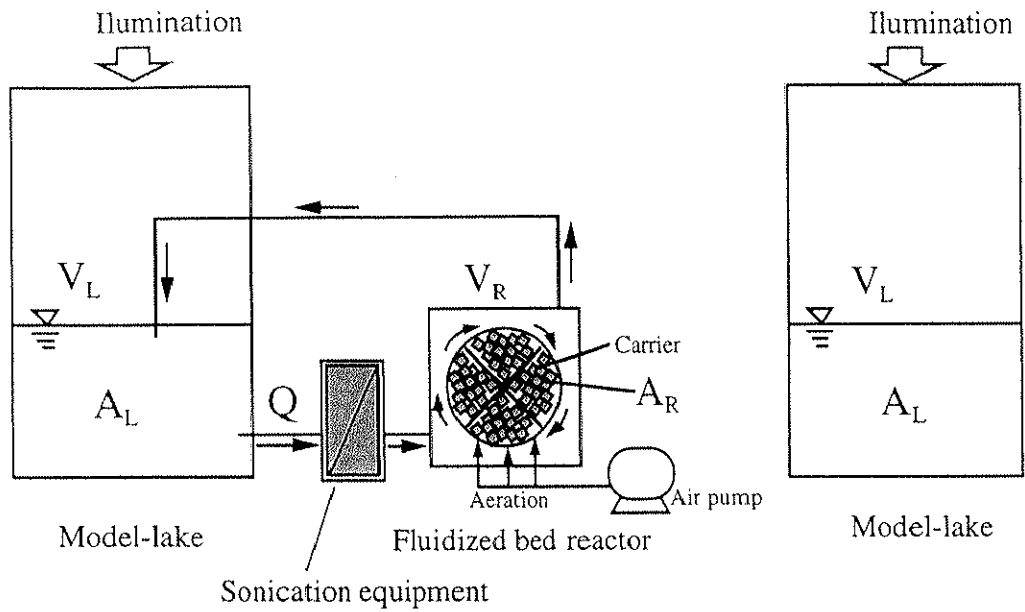


Fig.6-1 Schematic diagram of model-lake combined with reactor (C system) and model-lake combined with reactor jointed sonication equipment (E system) and model-lake without reactor as control

Legende

A_L : concentration of chlorophyll *a* in model-lake [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]

A_R : concentration of chlorophyll *a* in reactor [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]

V_L : volume of model-lake [liter]

V_R : working volume of reactor [liter]

Q : water volumetric flow rate [$\text{l}\cdot\text{day}^{-1}$]

を増殖させた。一方、リアクターには多孔質セルロース担体（ポアサイズ 200～500 μ m, 5mm 角）を量で約 40% 充填し、オートクレーブ（121 $^{\circ}$ C、40min）で滅菌後、無菌的にモデル池沼に接続した。

リアクターおよび群体分散化装置は *M. aeruginosa* をモデル池沼に接種してから 3 日後に運転を開始した。なお、リアクターの反応槽には、運転開始直前に供試微小動物を無菌的に接種した。群体分散化の処理時間は 1 回に 4min 行い、リアクターの HRT（水理的滞留時間）は 4hr とした。経時的にモデル池沼およびリアクター内の微小動物の個体数、クロロフィル a、pH の測定を行った。

6-3 結果および考察

6-3-1 微小動物定着型リアクターによる群体状 *Microcystis* 属の増殖抑制

実験開始時からの C system および D system のモデル池沼におけるクロロフィル a の経日変化を Fig.6-2 に、群体状と分散状の *M.aeruginosa* の細胞数の割合を Fig.6-3 に示す。リアクターを運転する前（3 日目）までのモデル池沼でのクロロフィル a の増加速度はリアクター接続系のモデル池沼（C system）が若干高かった（Fig.6-2）。これは、光強度が若干高かったためと考えられる。リアクター運転開始から 9 日目の時点までのクロロフィル a 濃度もリアクター接続系が対照系を上回った。その後、C system のモデル池沼内においてクロロフィル a 濃度は 9 日目から 13 日目まで急激に減少し、13 日目以降増加し続けた（Fig.6-2）。一方、対照系のクロロフィル a 濃度は 9 日目以降単調に増加した（Fig.6-2）。Fig.6-3 からわかるように分散状の *M.aeruginosa* の割合は 10 日目まで多かったが、16 日目にはほとんどなくなり、実験終了時の 31 日目まで群体状 *M.aeruginosa* で占められていた。一方、対照系では実験初期は群体状と分散状の混合状態であったが、14 日目以降は全て分散状となった。

つぎに、C system および D system のモデル池沼における pH の経日変化を Fig.6-4 に示す。対照系である C system の pH は、0 日目から 6 日目にかけて 7.8 から 10.0 まで上昇し、10 日目まではほぼ一定値を示した。その後、14 日目まで減少を続け 8.0 に達した。14 日目からは再び増加に転じ、31 日目には 9.5 を上回った。対照

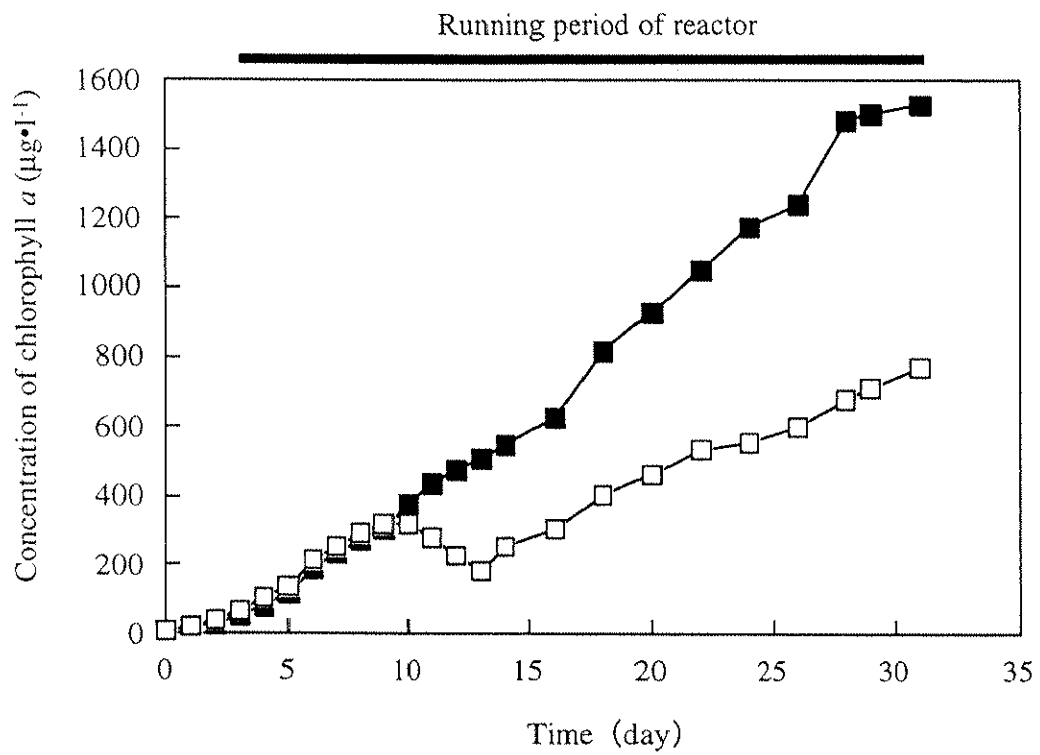


Fig.6-2 Time course of chlorophyll *a* in reactor combined with model-lake and the control system

- : Model-lake combined with reactor (C system)
- : Model-lake without reactor (D system)

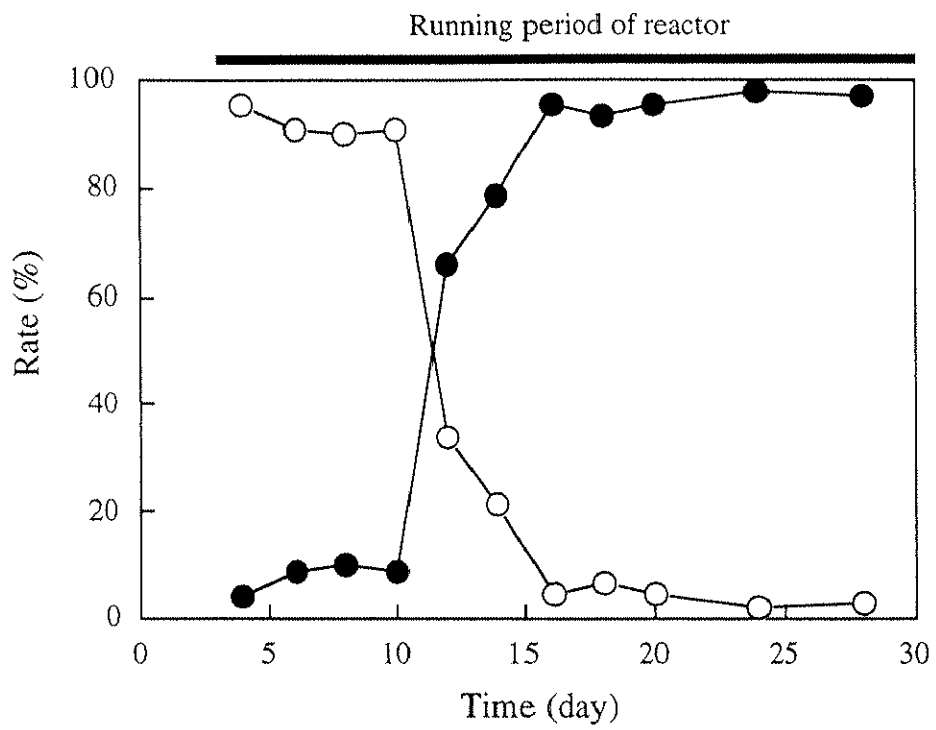


Fig.6-3 Ratio of colony-forming cell to single cell of *M. aeruginosa*

—●— Colony-forming cell —○— Single cell

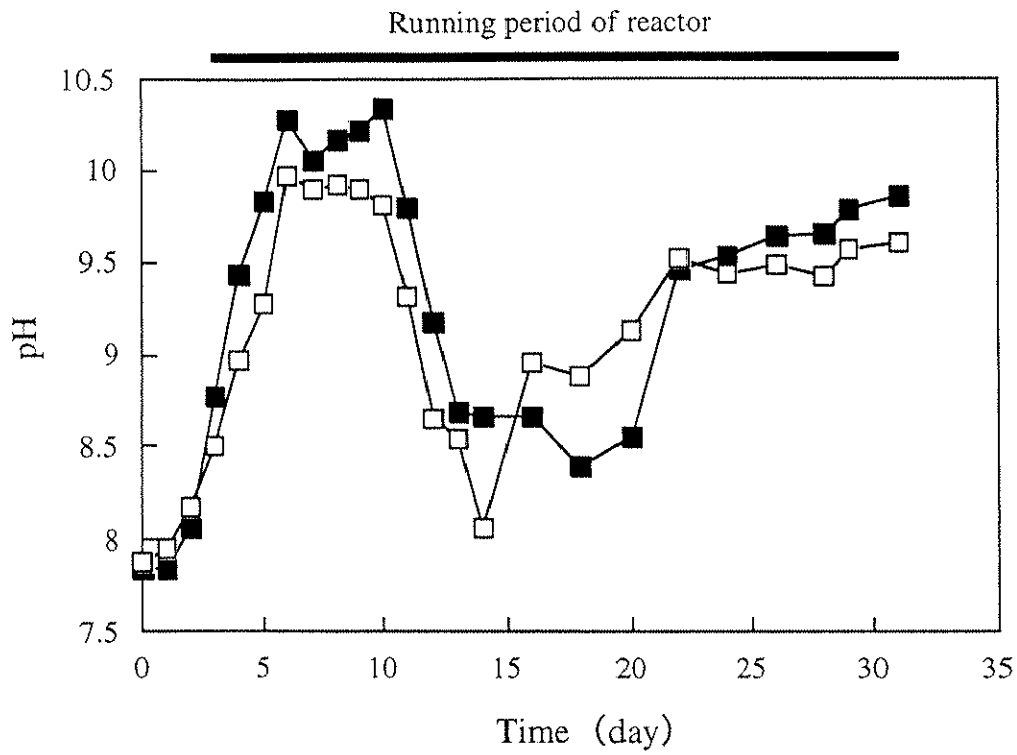


Fig.6-4 Time course of pH in reactor combined with model-lake and the control system

- : Model-lake combined with reactor (C system)
- : Model-lake without reactor (D system)

系の pH は、リアクター接続系とほぼ同様の挙動を示したが、0 日目から 14 日目は対照系より約 0.5 高くなっていたが、その後反転し 16 日目から 22 日目までは低かったが、それ以降は対照系より高くなった。対照系において 10 日目から 14 日目にかけて pH が低下したことについては、バクテリアの呼吸作用が影響していることが考えられる。しかし、その詳細については不明であるので 14 日目以降のデータを用いて定量解析を行った。

ここで、14 日目以降のリアクターによるモデル池沼の *M.aeruginosa* の増殖抑制効果をみるために、リアクターのクロロフィル *a* の除去率およびリアクター接続系 (C system) と対照系 (D system) のクロロフィル *a* の割合 (以降 C/D とする) を Fig.6-5 にプロットした。クロロフィル *a* の除去率に着目すると、リアクターのクロロフィル *a* の除去率は徐々に上昇傾向を示し、20 日目以降には 70% を上回った。このときのリアクターの担体内における各微小動物の個体数の変化を Fig.6-6 に示す。*P.erythrophthalma* はリアクター内に定着できなかった。*M.guttula* は 5 日目以降急速に増殖し 6 日目には $10^4 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ に達し、その後、徐々に増殖し 20 日目には約 $10^5 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ という高い密度で担体内に生息した。また、*A.hemprichi* も 6 日目の $10^4 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ から 20 日目には $10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ に増殖した。このことから、リアクター内では *M.guttula* と *A.hemprichi* の捕食により *M.aeruginosa* が除去されていることが示唆された。第 4 章の結果から、*M.guttula* と *A.hemprichi* がリアクターで共存し作用したことにより群体状 *M.aeruginosa* の捕食分解が進行したと推察される。

ここで、Fig.6-5 より、リアクターでのクロロフィル *a* の除去が進行しているにもかかわらず C/D は 14 日目以降、ほぼ横這いに推移した。第 2 章で挙げた定義に基づくと、もし、増殖抑制が進めばこの C/D 比は減少することになる。したがって、本結果は、*M.aeruginosa* の増殖が抑制されていないことを示している。

6-3-2 群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターによる群体状 *Microcystis* 属の増殖抑制

実験開始後の 2 日目から群体分散化プロセスとともにリアクターの運転を開始した。実験開始時からの E system および F system のモデル池沼におけるクロ

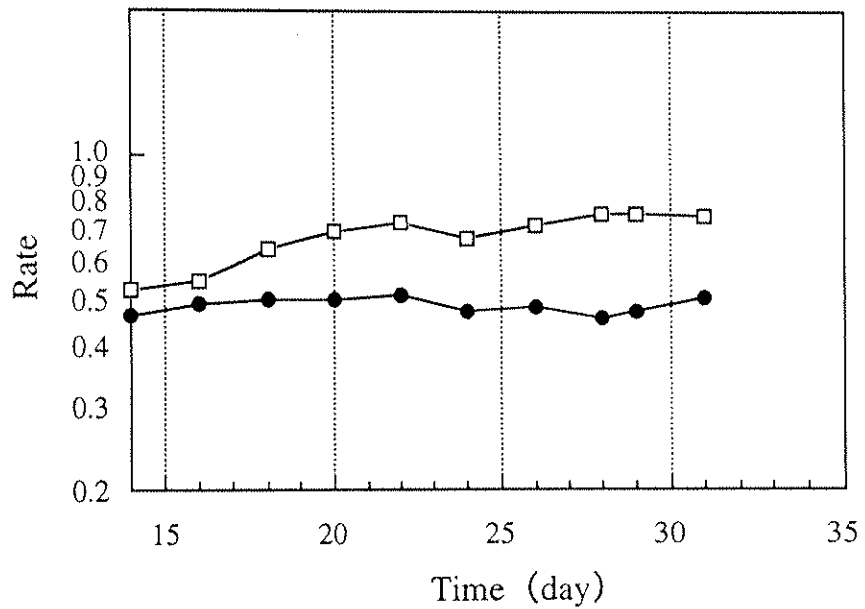


Fig.6-5 Removal effect of chlorophyll *a* in model-lake with reactor

Ratio of chl.*a* in model-lake with reactor (C system) to model-lake without reactor (D system) (—●—)

Removal ratio of chl.*a* on reactor (—□—)

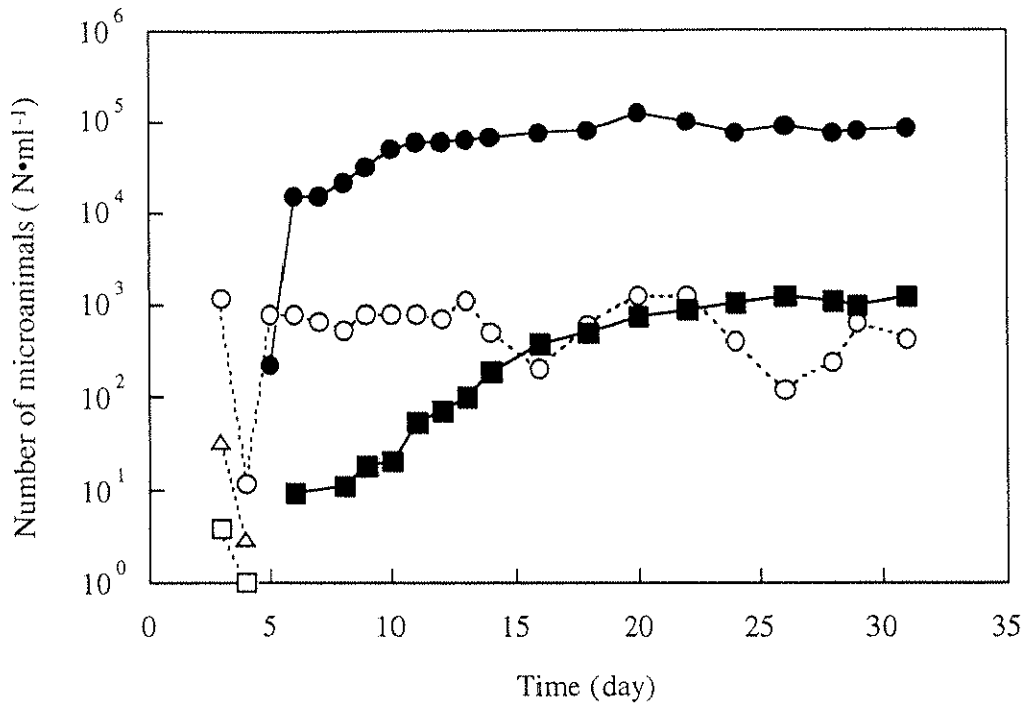


Fig.6-6 Fluctuation of microanimals inhabited in reactor

Microanimals existed in pore of carrier	—●—: <i>M.guttula</i>	—■—: <i>A.hemprichi</i>
Microanimals existed outside of carrier	---○---: <i>M.guttula</i>	---□---: <i>A.hemprichi</i>
	---△---: <i>P.erythroptalma</i>	

クロロフィル *a* の経日変化を Fig.6-7 に示す。リアクターを運転する前（3 日目）までのモデル池沼でのクロロフィル *a* の増加速度は両系とも一致した（Fig.6-7）。対照系（F system）のクロロフィル *a* 濃度は 27 日目まで単調に増加し、その後一定となった。一方、リアクター接続系（E system）のモデル池沼内のクロロフィル *a* 濃度の増加速度は対照系と比べて 4 日目（リアクター運転 2 日目）から 22 日目まで次第に緩やかとなり、それ以降、クロロフィル *a* は急速に減少した（Fig.6-7）。

つぎに、E system および F system のモデル池沼における pH の経日変化を Fig.6-8 に示す。対照系である F system の pH は、0 日目から 8 日目にかけて 7.2 から 10.3 まで上昇し、それ以降は緩やかに低下し、実験終了時の 34 日目には 9.2 になった。一方、リアクター接続系のモデル池沼（E system）の pH は、0 日目から 11 日目にかけて 7.3 から 9.3 まで上昇し、その後、対照系に比べ速やかに低下し、34 日目には 7.4 となった。

ここで、リアクターによるモデル池沼の *M.aeruginosa* の増殖抑制効果をみるため、前節と同様にリアクターのクロロフィル *a* の除去率およびリアクター接続系（E system）と対照系（F system）のクロロフィル *a* の割合（以降 E/F とする）とリアクター処理水中のクロロフィル *a* 濃度を Fig.6-9 にプロットした。E/F に着目すると、0 日目から 4 日目まではほぼ 1 を示したが、それ以降（リアクター運転開始 2 日目から）から 11 日目まではほぼ指数的に減少した。その後、若干増加したが、17 日目から速やかに減少し、結果としてクロロフィル *a* 濃度は 34 日目には対照系に比べ 1/10 以下になった。

リアクター運転期間のリアクターの担体内における各微小動物の個体数の変化を Fig.6-10 に示す。*M.guttula* は 5 日目に $6 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ で確認され、7 日目に $4 \times 10^2 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで一旦減少したものの、11 日目には再び増加し、24 日目には $2 \times 10^5 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ という高密度で生息した。その後、34 日目には $2 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで減少した。これは、食物源である *M.aeruginosa* がほとんどなくなったことが原因と考えられる。*A.hemprichi* は 5 日目から 31 日目まで緩やかに増加し $5 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ で安定した。*P. erythrophthalma* も同様の期間 $8 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ で安定していた。前節の結果と比べると、リアクター前段に分散化プロセスを導入したことで *M.guttula* は 2 倍、*A.hemprichi* は 4 倍の定着密度となった。また、*P. erythrophthalma* は分

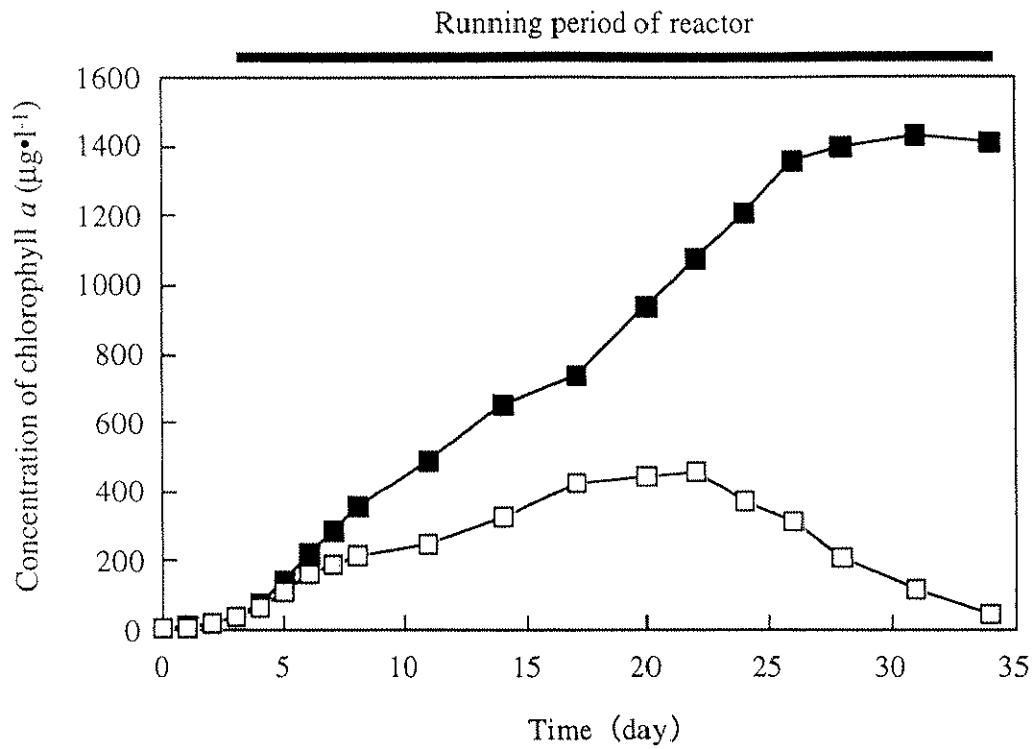


Fig.6-7 Time course of chlorophyll *a* in reactor jointed sonication equipment combined with model-lake and the control system

- : Model-lake combined with reactor (E system)
- : Model-lake without reactor (F system)

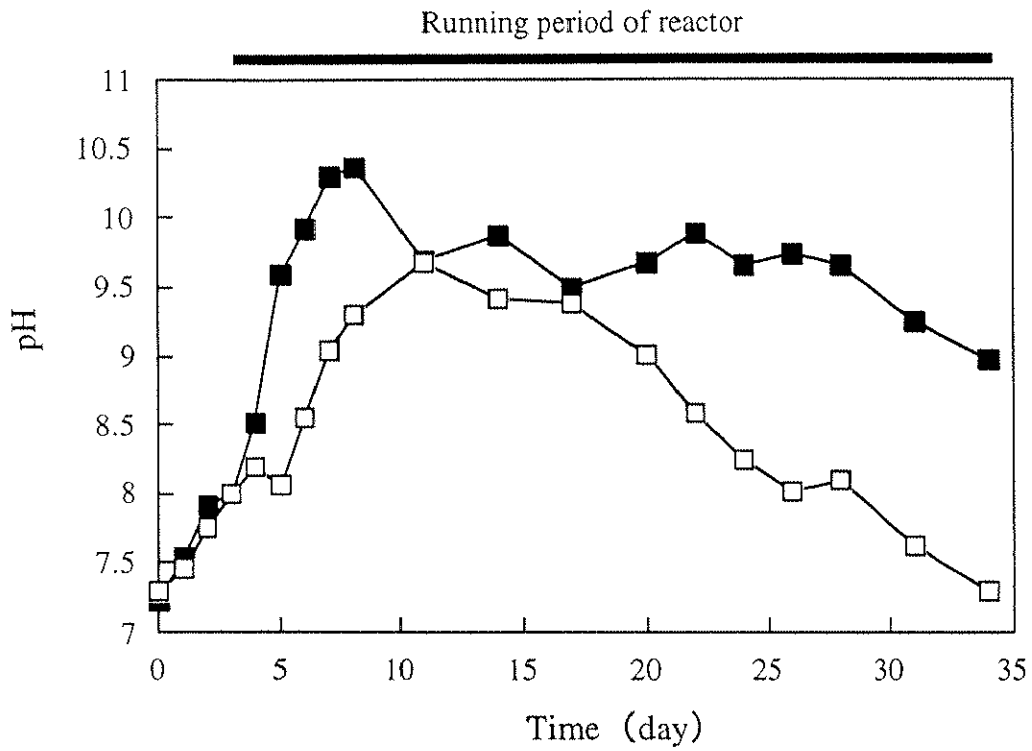


Fig.6-8 Time course of chlorophyll *a* in reactor jointed sonication equipment combined with model-lake and the control system

- : Model-lake combined with reactor (E system)
- : Model-lake without reactor (F system)

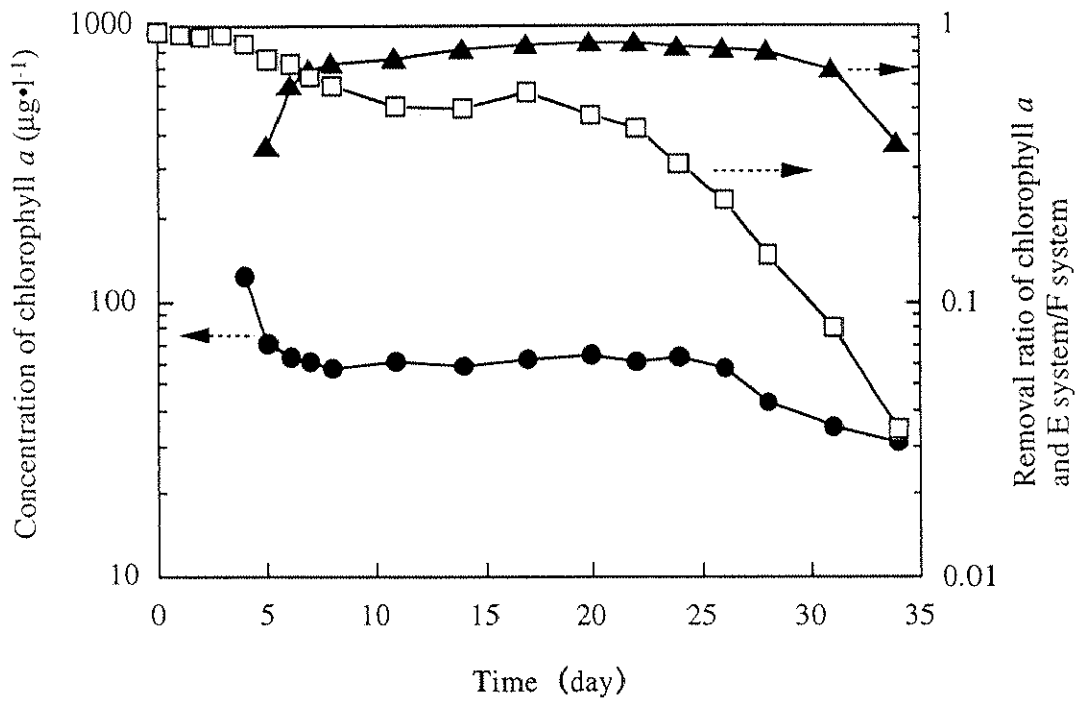


Fig.6-9 Removal effect of chlorophyll *a* in model-lake with reactor

Ratio of chl.*a* in model-lake with reactor(E system) to model-lake without reactor(F system) (—□—)

Removal ratio of chl.*a* on reactor (—▲—)

Concentration of chl.*a* on reactor (—●—)

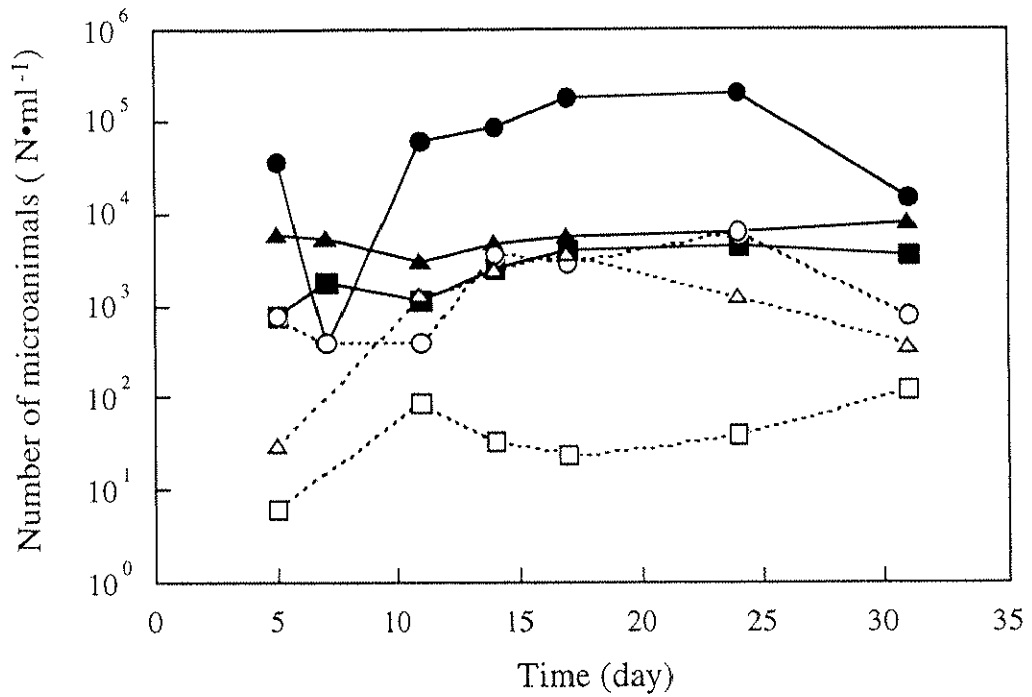


Fig.6-10 Fluctuation of microanimals inhabited in reactor

Microanimals existed in pore of carrier	●—: <i>M.guttula</i>	■—: <i>A.hemprichi</i>
	▲—: <i>P.erythroptalma</i>	
Microanimals existed outside of carrier	○····: <i>M.guttula</i>	□····: <i>A.hemprichi</i>
	△····: <i>P.erythroptalma</i>	

散化プロセスがない場合には定着できなかったが、プロセス導入の結果、 $8 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ という高密度で定着した。クロロフィル *a* の除去率は分散化プロセスがない場合は最大で約 70%であったのに対し、プロセス導入したことで各微小動物がより高密度に定着し、その結果、流入水のクロロフィル *a* 濃度によらず処理水はほぼ一定の濃度に保持され、その除去率は最大で約 90%に達した (Fig.6-9)。このように、リアクターの前段で *M.aeruginosa* の群体を単独の細胞に分散化させることで、各微小動物の捕食作用を促進し、担体への高密度定着が図れ、その結果、高い除去率を達成することができたと考えられる。この高い除去率が達成できたことが分散化プロセス無しでは実現できなかった群体状 *M.aeruginosa* の増殖抑制につながったと考えられる。

ここで、モデル池沼内の微小動物の個体数変化をみると (Fig.6-11)、*M.guttula* は 10 日目から 17 日目にかけて $1.5 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ から $7 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ に増加し、その後、31 日目には再び $1.5 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ に減少した。また、*P.erythrophthalma* は 17 日目から 31 日目にかけて $1 \times 10^4 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ から $1.5 \times 10^3 \text{N} \cdot \text{ml}^{-1}$ まで増加した。*M.guttula* については第 5 章の結果とほぼ同様の個体数であったことから池沼内での捕食による抑制効果も寄与していると考えられる。また、同様の捕食作用を持つ *P.erythrophthalma* も寄与していると考えられる。

しかしながら、モデル池沼の *M.aeruginosa* の増殖抑制はリアクター内およびモデル池沼内の微小動物による捕食分解作用のみではないと推測される。ここで、リアクター処理水の pH 変化をみると (Fig.6-12)、リアクター内での微小動物の捕食分解作用 (※呼吸による炭酸ガスが水中に放出され CO_3^{2-} が遊離するので pH は酸性側にシフトする) によって pH が中性付近に緩和されている。この処理水が返送されることでモデル池沼内の pH の緩和され微小動物の捕食作用を促進すると考えられる。また、藍藻類にとって pH が高い環境は増殖に有利となり中性に近づくにしながら増殖速度は低下することが知られている¹⁰³⁾。

以上の結果から、微小動物定着型リアクターの前段で群体状 *Microcystis* 属を単独の細胞に分散化させることで、リアクター内の微小動物の捕食分解作用が促進されたこと、およびその不随効果として池沼内の高 pH の低下が群体状 *Microcystis* 属の増殖を効率よく抑制できることがわかった。

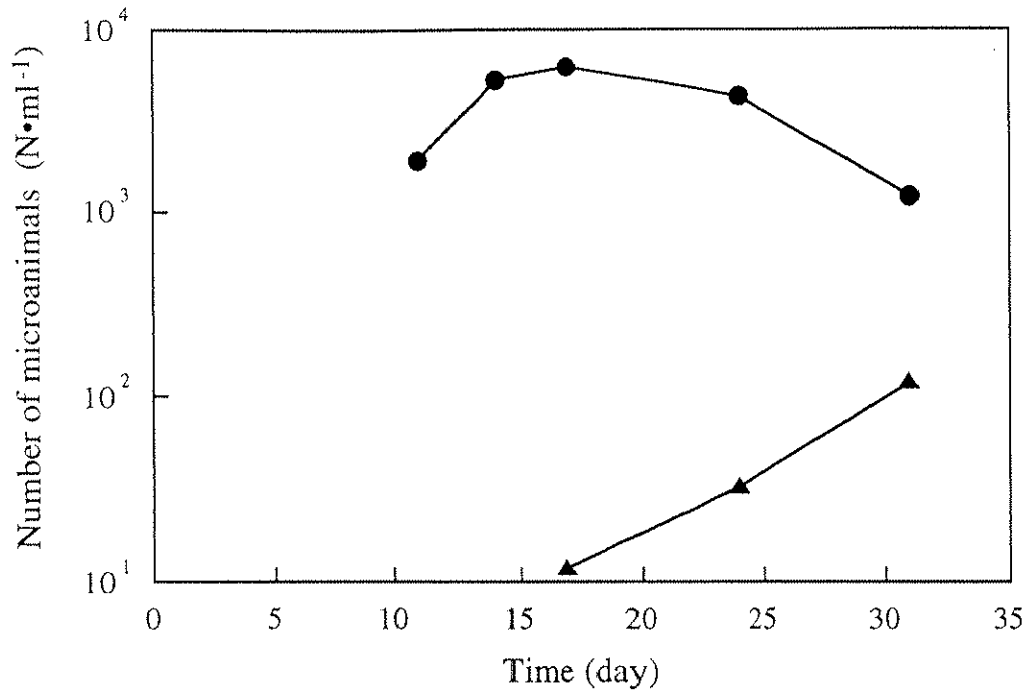


Fig.6-11 Fluctuation of microanimals inhabited in model-lake(E system)

—●—: *M.guttula* —▲—: *P.erythroptalma*

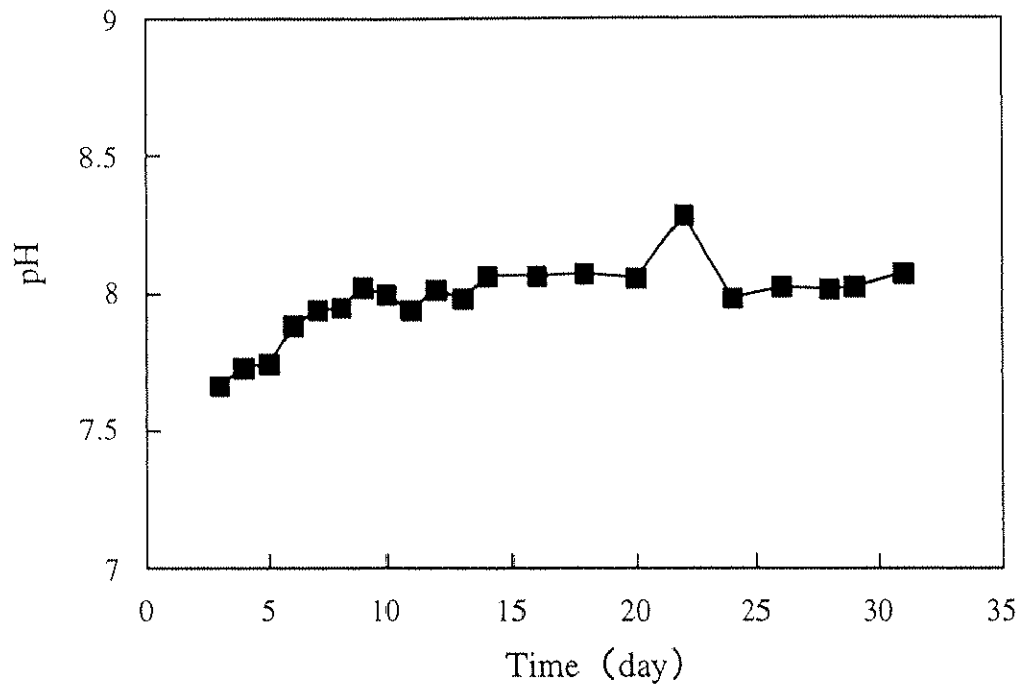


Fig.6-12 Changes of pH in reactor

6-3-3 群体分散化プロセスを組み込んだ微小動物定着型リアクターによる群体状 *Microcystis* 属の増殖抑制効果の定量解析

本節では、実験結果についての定量的解析を行うこととする。第 5 章で示したようにリアクターを接続した池沼内の *Microcystis* 属の動態は以下の式で表される。

$$\frac{dA}{dt} = \mu A - \left(\frac{Q}{V}\right)(A - A_R)$$

ここで、 $Q/V=D$ とすると以下のようなになる。

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= \mu A - D(A - A_R) \\ &= (\mu - D)A + DA_R \end{aligned}$$

リアクターからの処理水中のクロロフィル *a* 濃度 (\propto ミクロキスティス密度) A_R が一定であるとすれば、上式の解は次のようになる。

$$A(t) = \left(A_0 + \frac{D}{\mu - D} A_R \right) e^{(\mu - D)t} - \frac{D}{\mu - D} A_R \quad \dots \dots \dots (6-1)$$

ここで、リアクターが無い場合の対照系、即ち、 $D=0$ の場合には、

$$A_c(t) = A_{c_0} e^{\mu t} \quad \dots \dots \dots (6-2)$$

となる。したがって、リアクターが作用した場合と対照系のクロロフィル *a* 濃度 (*Microcystis* 属の密度) の比は、以下のようなになる。

$$\begin{aligned} r(t) &= A(t) / A_c(t) \\ r(t) &= \left(\frac{A_0}{A_{c_0}} + \frac{D}{\mu - D} \frac{A_R}{A_{c_0}} \right) e^{-Dt} - \frac{D}{\mu - D} \frac{A_R}{A_{c_0}} e^{-\mu t} \quad \dots \dots \dots (6-3) \end{aligned}$$

ここで、リアクターの運転を開始する以前のリアクター接続系のクロロフィル *a* 濃度の増加速度より *Microcystis* 属の比増殖速度を求め、

$$\mu = 0.567 \text{ day}^{-1}$$

を得た。また、リアクターの運転開始後、処理水のクロロフィル *a* 濃度が安定し一定となった6日目における、リアクター接続系と対照系、およびリアクター処理水中のクロロフィル *a* 濃度を以下に示した。

$$A_0 = 162 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}, A_{c_0} = 223 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}, A_R = 61 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$$

さらに、リアクターからの返送水によるモデル湖沼の希釈速度は

$$D = \frac{V_R}{V_L} \frac{1}{T_R} = \frac{6\text{l}}{500\text{l}} \frac{1}{1/6\text{day}} = 0.072 \text{day}^{-1} \quad \dots \dots (6-4)$$

となる。これらの値を代入し実験値とともにプロットしたものを Fig.6-13 に示した。

5日目から11日目までは理論値と実験値がよく一致しており、上記仮定に基づく増殖抑制作用が現れていると判断されるが、14日目以降からは大きくはずれ一旦理論値よりも抑制効果が低下する。これは、*Microcystis* 属の密度が低下したため低層部まで光が到達することとなり増殖率が高くなったことが要因の一つとして考えられる。22日目以降は再び抑制効果が回復しさらに理論値よりも大きな効果を得ることができたことがわかった。これは、pHの低下による増殖抑制および池沼で増加した微小動物による捕食作用によるものであると推察された。

つぎに、リアクターからの処理水の *Microcystis* 属密度が一定となる理由を考察する。

リアクター内では、流入する *Microcystis* 属を食物源として、各種微小動物とくに *M.guttula* が増殖すると考えられる。そこで、リアクター内の担体中での微小動物の動態として、以下のような捕食モデルを仮定する。

$$\frac{dZ}{dt} = \nu A_R Z - \delta Z = (\nu A_R - \delta) Z \quad \dots \dots (6-5)$$

ここで、*Z*は微小動物の担体中の個体数密度、 ν は *Microcystis* 属1個体を食物源とした場合の微小動物の比増殖速度、 δ は微小動物の死亡率である。また、 A_R はリアクター内の *Microcystis* 属個体数密度を示しており、この式から、 A_R は以下のように表すことができる。

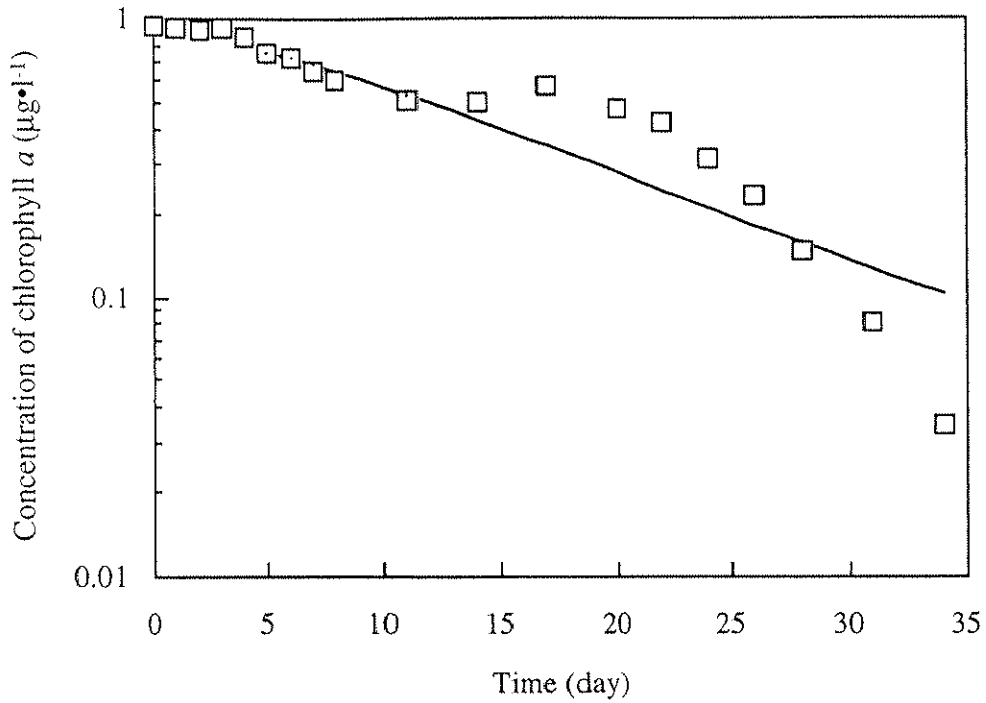


Fig.6-13 Comparison of removal effect of chlorophyll *a* in model-lake with reactor with model equation

ratio of chl.a in model-lake with reactor (E system) to model-lake without reactor (F system) (□)

Model equation (—)

$$\frac{d}{dt} \ln Z = \nu A_R - \delta$$

$$A_R = \frac{\delta + \frac{d}{dt} \ln Z}{\nu}$$

..... (6-6)

従って、微小動物の個体数変化率 $d(\ln Z)/dt$ が比較的緩やかで、微小動物の死亡率よりも十分小さい場合には、

$$\frac{d}{dt} \ln Z \approx 0$$

..... (6-7)

と近似できる。そしてこの場合には、

$$A_R \approx \frac{\delta}{\nu}$$

..... (6-8)

を再び得るので、この近似は無矛盾である。

ここで、第3章の *M.guttula* による *M.viridis* の捕食実験から、30°Cの *M.guttula* の死亡率 δ を約 2 day^{-1} 、 ν を $7 \times 10^6 \text{ day}^{-1} (\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1})^{-1}$ を得たので、

$$A_R \approx \frac{\delta}{\nu} \approx 3 \times 10^5 \text{ cells/ml}$$

..... (6-9)

を推定することができる。さらにこれは、第3章 (Fig.3-13) で得た、クロロフィル *a* 濃度と *M.viridis* の個体数密度の換算式を用いれば、クロロフィル *a* 濃度として、約 $100 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ となり、*M.guttula* のみを捕食微小動物と考えたことを考慮すれば、実際のリアクター処理水の濃度約 $60 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ にかかなり近似しているといえる。また、リアクターからの処理水のクロロフィル *a* 濃度が安定したときの *M.guttula* の個体数変動は約20日で一桁程度の変化であるので、 $d(\ln Z)/dt \sim \ln 10/20 \text{ day}^{-1} \sim 0.1 \text{ day}^{-1}$ となり、処理水のクロロフィル *a* 濃度の変化は約5% ($=0.1 \text{ day}^{-1} / 2 \text{ day}^{-1}$) 程度である。一定濃度のクロロフィル *a* の処理水が流出することをほぼ満足に説明できる。

このように、処理水のクロロフィル *a* が一定濃度で流出するということは、リアクター内で微小動物の捕食によって *Microcystis* 属が分解されていることを示

していると考えられる。

6-4 結論

微小動物定着型リアクターの前段に物理的作用による群体分散化プロセスを設けて実験を行い、群体分散化プロセスの有無によるモデル池沼内の *Microcystis* 属の増殖抑制を検討した結果、以下の結論を得た。

- 1) リアクター内で、群体状の *M.aeruginosa* を *M.guttula* と *A.hemprichi* のそれぞれの捕食作用および共存効果により分解除去できることが示された。
- 2) 群体分散化プロセスを導入することで各微小動物の定着密度を高められ、群体状 *Microcystis* 属の分解効果が向上することがわかった。
- 3) 群体分散化プロセスを組み込んだリアクターによって池沼の群体状 *Microcystis* 属の増殖を効果的に抑制できることが明らかとなった。