

霞ヶ浦における A G P の季節変化と その要因について

岩 崎 順

1 はじめに

近年霞ヶ浦では、生活排水、工場排水、畜産排水、かんがい排水などの流入によって、水域の富栄養化が急速に進行している。富栄養化の程度は、従来から透明度、窒素およびリンの濃度、溶存酸素量、藻類の現存量、一次生産力などによって測定されてきた。しかし、これらの陸水学的な手法だけでは湖沼に流入する各種の排水が富栄養化の促進にどの程度の影響があるのかを評価すること、あるいは藻類増殖の制限物質が何であるのかを判定することはむずかしい。このような問題を検討する場合には、藻類の潜在生産力を測定する必要があると考えられる。

本研究は、藻類培養試験 (AGP: Algal growth potential) の手法を用いて、藻類増殖の制限要因の決定、および水中の利用可能な栄養塩量の推定を試みたものであるが、その過程で、藻類の生長に増殖抑制物質が関与している可能性も示唆されたので、あわせてここに報告する。

なお供試藻類は、国立公害研究所水質土壌環境部須藤隆一博士から提供していただいた。ここに深く感謝の意を表す。

2 実験方法

採水は霞ヶ浦の4定点(第1図)で、1981年4月から1982年3月にかけて毎月1回、計12回行った。水質分析は常法(外岡,1981)により行い、植物プランクトンの同定・計数は試水を用いて、生物顕微鏡下で行った。

AGP試験には、加熱分解法を用いた。すなわち試水をオートクレーブで分解(120℃, 15分間)後、1μmのミリポアフィルターで濾過した水に、窒素(NaNO₃, 1mg/l)、あるいはリン(K₂HPO₄, 0.1mg/l)を添加し、緑藻類の*Selenastrum capricornutum*を接種して行った。



第1図 調査定点位置図

培養条件は 20 °C, 6,000 lux (12L・12D) で, 3週間培養した後, 分光光度計で吸光度を測定し, 乾燥重量 (mg/l) に換算して AGP を求めた。

3 結 果

3-1 AGPの季節変化

第2図は, 霞ヶ浦の各定点におけるAGPの月別変化を示したものである。

AGPは高崎・大井戸・三又沖・麻生と, 高浜入から湖中央部へ向かうにしたがって低くなっていった。そして恋瀬川河口に位置する高崎を除き, 4月, 5月, 6月にはNが制限要因に, 翌年1月, 2月にはPが制限要因になる傾向が顕著であった。

なお5月の三又沖, 1月の麻生などで, N+P添加の値が, NあるいはPの単独添加の値にくらべて低くなっているが, これは培養条件を一律に3週間としたため, N+P添加の場合, それ以前に増殖のピークを過ぎて, 減少傾向にある試料を測ったことに起因していると思われる。

第3図は, N・Pを添加していない試水(対照)のAGPの季節変化を示したものである。

いずれの定点においても, AGPは春季から夏季にかけて減少し, 7月から9月にかけて最低値を維持し, それ以降再び増加する傾向がみられた。

ここで, 夏季にAGPが減少する原因として, 次の3つの要因が考えられる。

A) N・Pが制限要因になっていた。

B) N・P以外の物質が制限要因になっていた。

C) 接種藻である *S. capricornutum* の増加を抑制するような物質が含まれていた。

そこで, 夏季におけるAGP減少の原因を追究するため, 過去3年間の夏季水質の変動をAGPのそれと対応させて調べてみた。

3-2 夏季水質の概要

第4図は, 三又沖におけるT-NおよびT-Pの季節変化を示したものである。

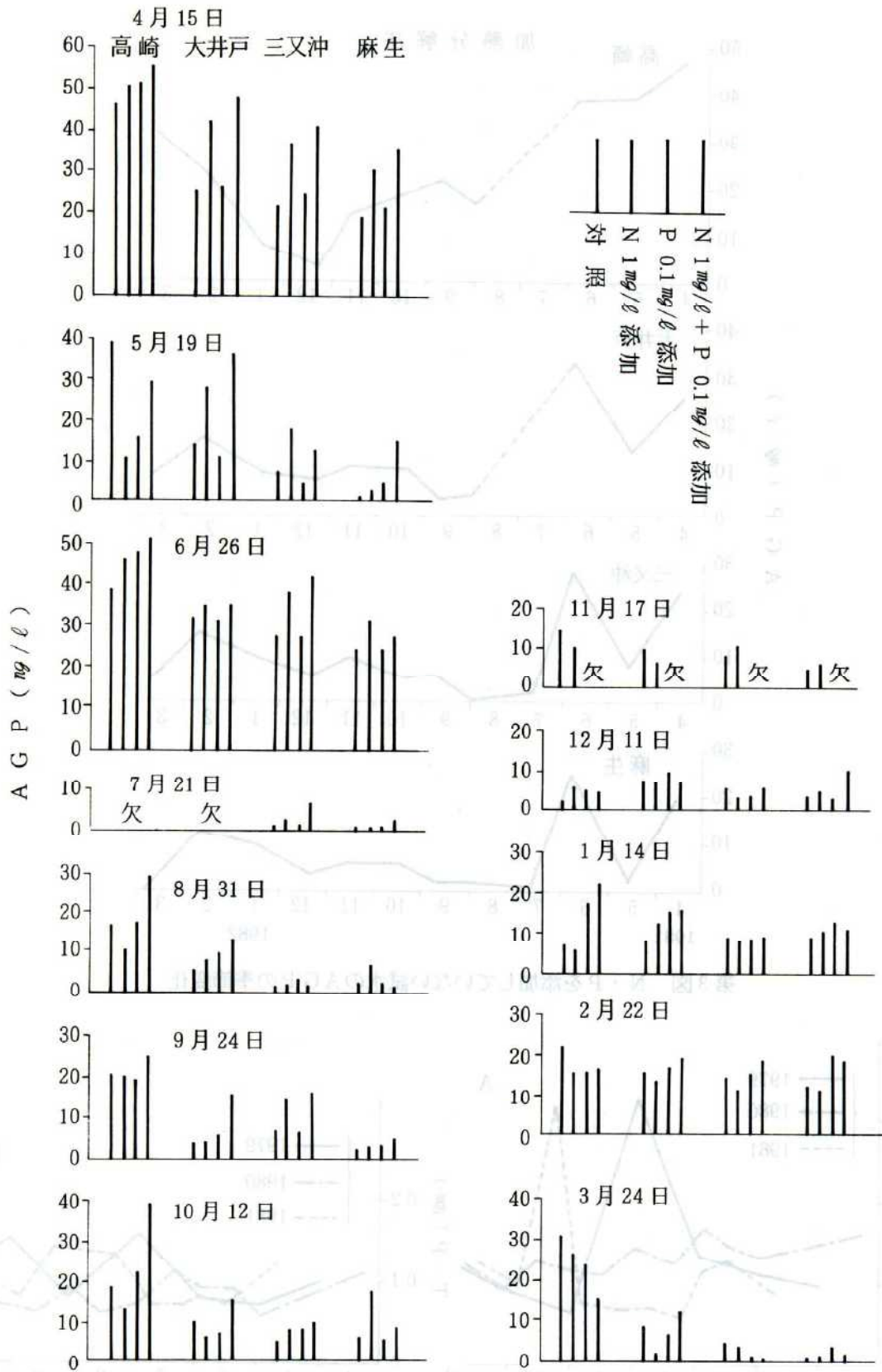
T-Nは, 1979年の7月下旬と1981年の9月上旬に3 μ mを上廻ったが, それ以外は1 μ m前後を維持していた。一方T-Pは, 3ヶ年とも0.1 μ m前後を維持していた。

このようにT-N, T-Pは, 夏季のAGPの減少に対応するような顕著な減少傾向はみられず, N・Pの絶対量の不足がAGPを減少させているとは考えにくい。

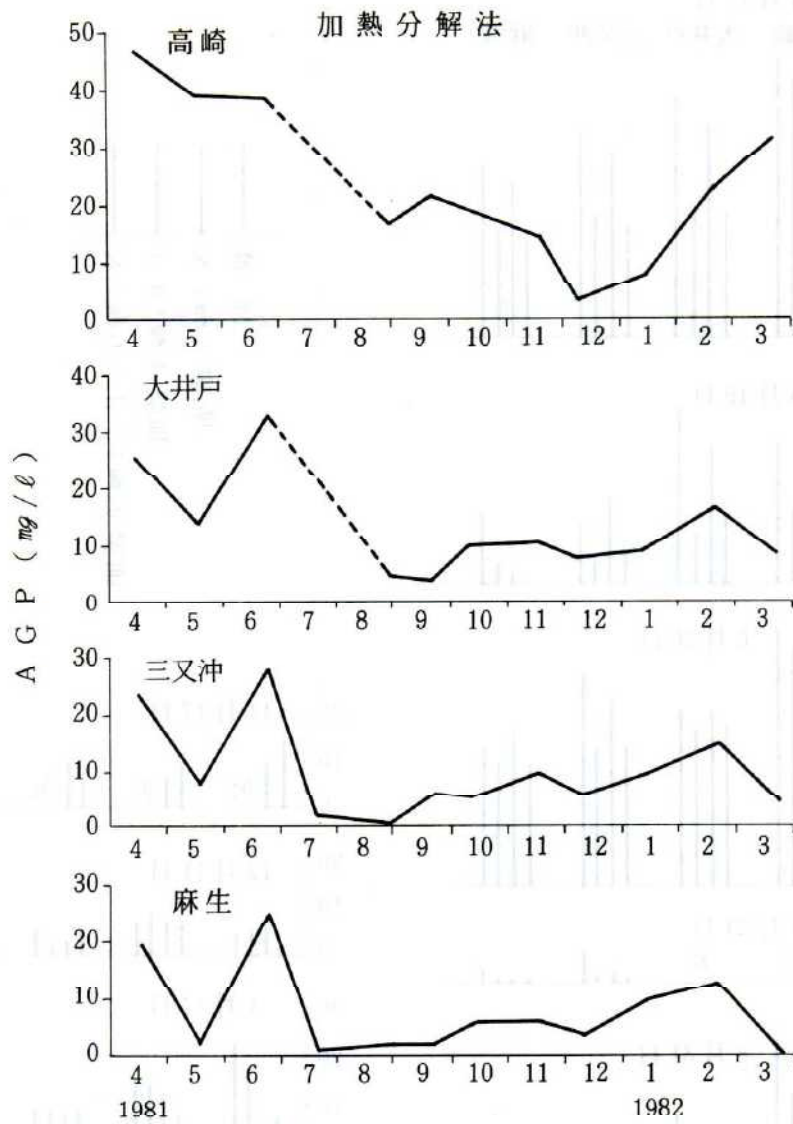
そこで次に, 夏季における各藻類の季節変化をAGPのそれと対応させて調べてみた。

第5図は, 三又沖における植物プランクトンの推移を, 藍藻類・珪藻類・緑藻類・原生動物の別に示したものである。表示は, 1mlあたりの群体数の3乗根で表わした。

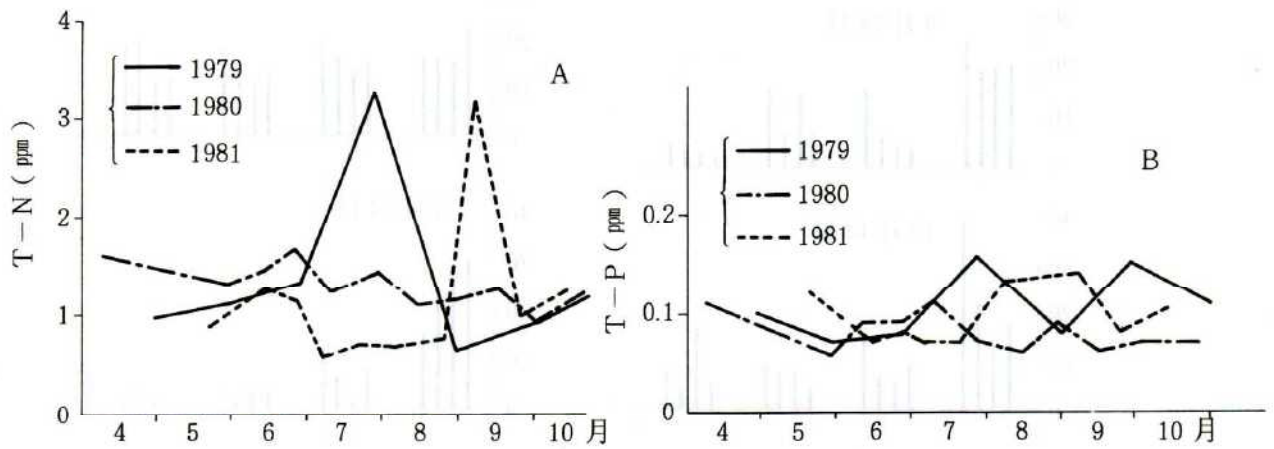
3ヶ年とも, AGPの減少が始まる7月から, 藍藻類が急激に増殖するのに対して, 珪藻類・



第2図 霞ヶ浦におけるAGPの月別変化(加熱分解法)



第3図 N・Pを添加していない試水のAGPの季節変化



第4図 三又沖におけるT-N (A) とT-P (B) の季節変化

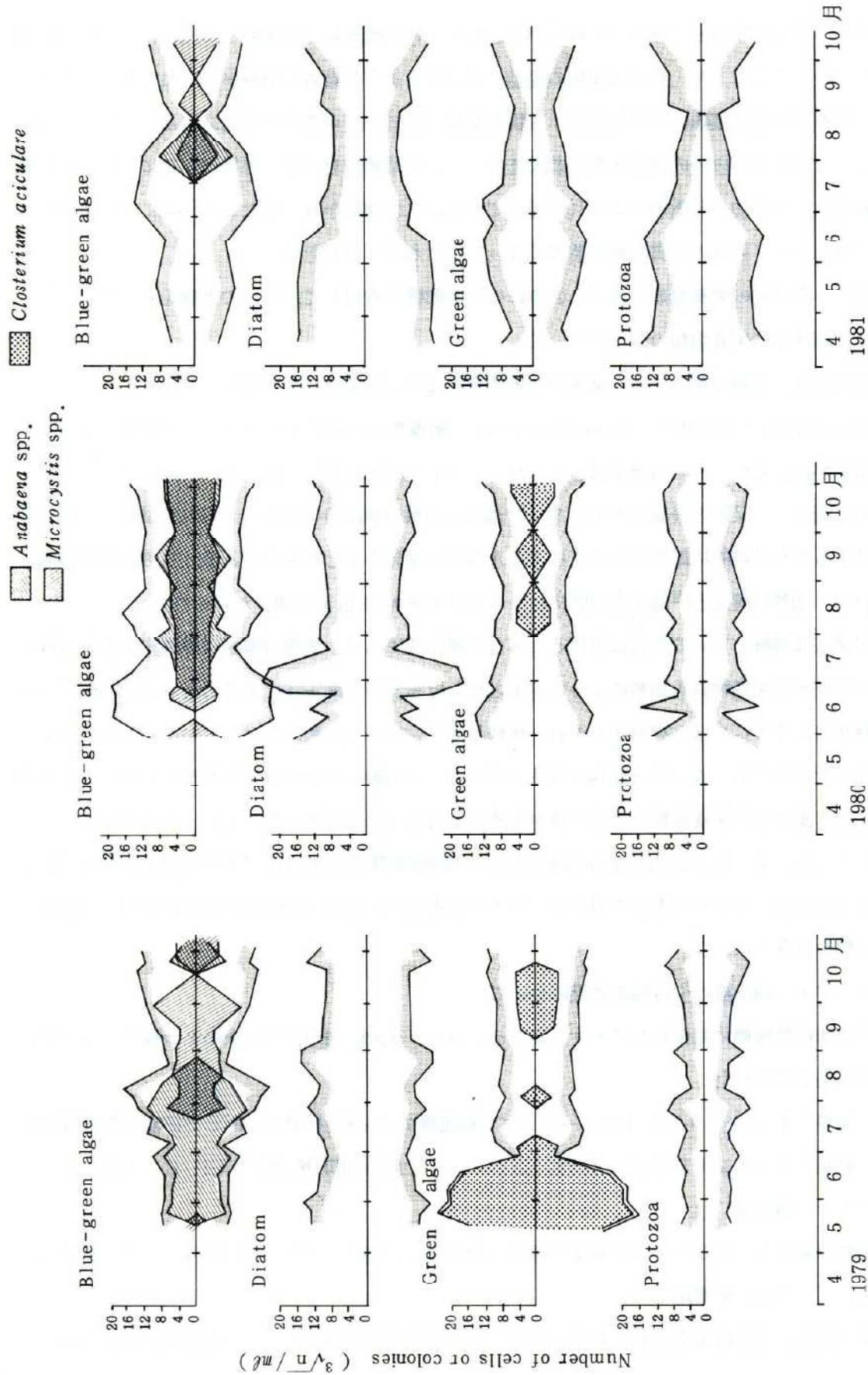


図5 三又沖における植物プランクトンの季節変化

緑藻類・原生動物は逆に減少する傾向がみられた。特に藍藻類と珪藻類との間で、この傾向が著しかった。ここで、N・Pには藻類の変動に対応するような顕著な増減がみられなかったことから、藍藻類が他の藻類の増殖を抑制する物質を排出している可能性が考えられる。しかし、水域によってはN・P以外の物質が制限要因になっている可能性も否定できない。特に4月と6月の高崎では、N添加、P添加のいずれの場合でもAGPの増加がみられたことから、この時期の高崎では、N・P以外の物質が制限要因になっていたものと思われる。

次に、藻体中の栄養塩類がAGPの値に与える影響に着目して、以下の実験を行った。

3-3 藻体中の栄養塩類の溶出について

第6図は、加熱分解法による試水中の各態窒素とリンの変化を示したものである。

Cyclotella (珪藻類)、*Cynechocystis* (藍藻類)ともにオートクレーブ処理によりN・Pの溶出が起こるが、その溶出率は*Cyclotella*のNの場合を除き、70～90%であった。

第7図は、三又沖の表層水を用いて、沝過法、加熱分解法の各々からえられた試料に、制限要因であるNを段階的に添加したことによるAGPの変化を示したものである。Nの各添加段階において、加熱分解法と沝過法との間には、AGPで8mg/l以上の開きがみられた。

沝過法は溶解している物質に着目したAGP測定法であり、加熱分解法は懸濁物や微生物細胞中に存在する栄養物質を加熱によって溶出させた分も含めた測定法であることから、一般に加熱分解法によるAGPは、沝過法のそれと比較して高い値を示す傾向にある。しかしNを1.5mg/l添加した場合でも、AGPは加熱分解法2.50mg/l、沝過法で0.83mg/lしか増加しない点を考慮すると、藻体中の栄養塩類の溶出だけが上述の2方法の差の要因になっているとは考えにくい。このことから、*S. capricornutum*に対して増殖抑制物質が作用していた可能性が考えられる。そこで最後に、AGPの手法を用いて、アオコ抽出液による*S. capricornutum*の生長抑制効果試験を試みた。

3-4 アオコ抽出液の生長抑制効果について

真空凍結乾燥機で乾燥したアオコ (*Microcystis spp*) を用いて、次の2つ操作によって、アオコ抽出液をえた。

A 乾燥アオコ 0.5g + DW 100 ml → レシプロ振盪機で20分間振盪 → GF/Cで沝過 → 振盪抽出液

B 乾燥アオコ 1g + DW 200 ml → オートクレーブで20分間加熱分解 → GF/Cで沝過 → オートクレーブ抽出液

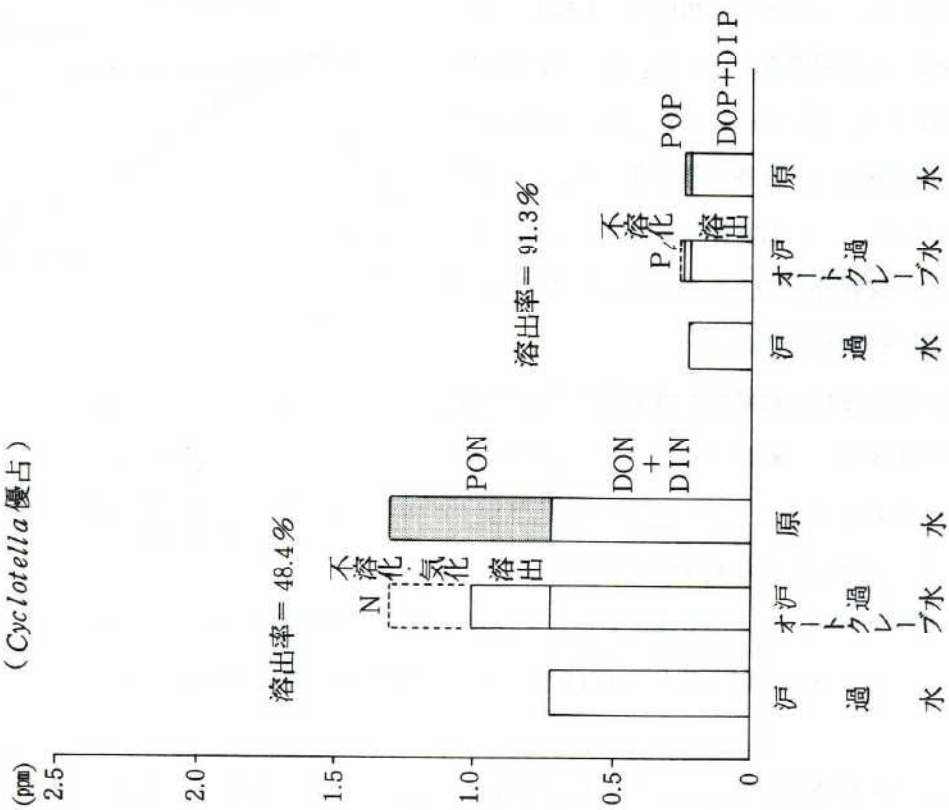
加熱分解後N 1mg/l + P 0.1mg/lを添加した試水に、各々のアオコ抽出液を5, 10, 15 ml/l添加して、AGPを測定した。

第8図は、その結果を示したものである。この図から明らかなように、振盪抽出液を添加した

1982. 1. 12

内水試前湖水

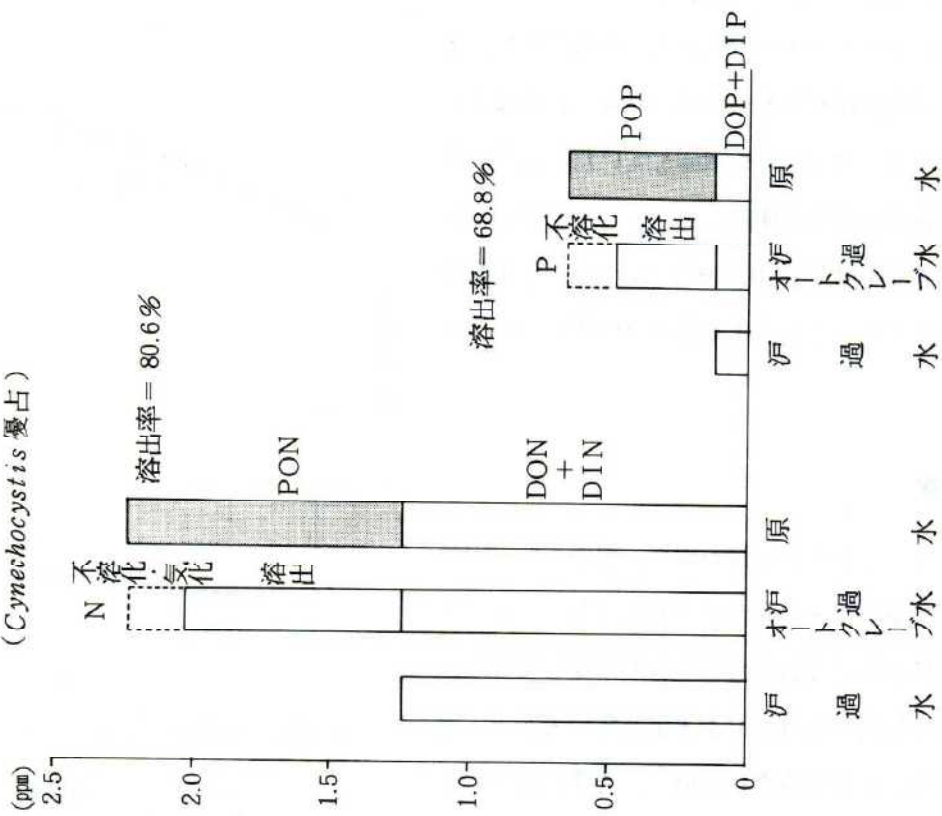
(*Cyclotella* 優占)



1982. 1. 12

ハクレン養魚池

(*Cyaneocystis* 優占)



第6図 オートクレーブ処理による各態窒素およびリンの変化 (溶出率 = $\frac{\text{溶出N (P)}}{\text{PON (P)}} \times 100$)

場合、AGPはほぼ直線的に減少し、15 mg/ℓ 添加でAGPは対照の半分の20 mg/ℓ になった。これに対し、オートクレーブ抽出液を添加した場合、AGPはほとんど変化せず、35～40 mg/ℓ を維持していた。以上から、アオコの振盪抽出液は接種藻である*S. capricornutum*の増殖を抑制する作用があり、かつその作用は熱を加えることによって不活化することが明らかになった。

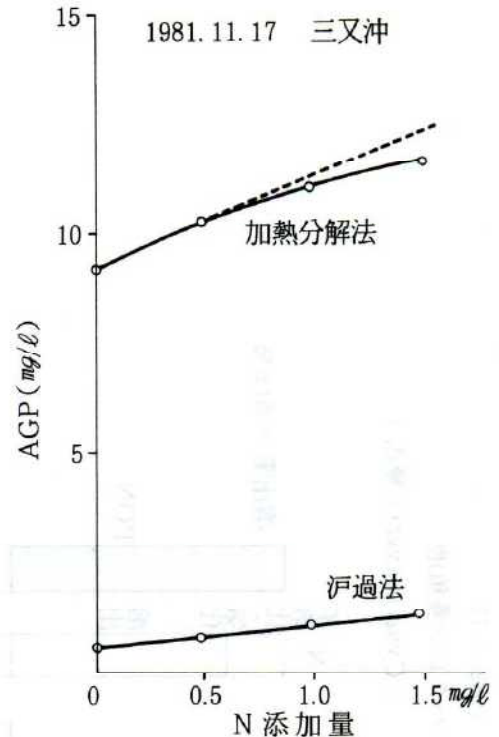
4 考 察

本研究では、AGPから見た場合、春季(4～6月)にN制限、冬季(1～2月)にP制限となっているが、これは春季にはPに見合うだけのNが不足しており、冬季にはNに見合うだけのPが不足していること。言いかえるとN/P比が春季には低く、冬季には高いことを意味している。このような知見は、大槻ら(1981)、岩崎ら(1982)も現場調査からえている。これに対し、矢木ら(1981)は、*Microcystis flos-aquae*を用いたAGP試験から、夏季の霞ヶ浦ではNとPが同時に制限要因になっていると述べている。これが年による差なのか、接種藻類による違いなのかは明らかではなく、今後の研究が望まれる。

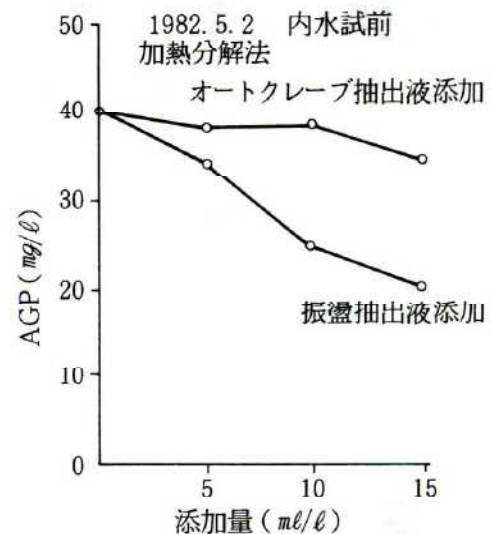
ある藻類が他の藻類の増殖に影響を及ぼすような物質を放出する現象は、一般にアレロパシー(Allelopathy)といわれている。

本研究でも、夏季における藍藻類の増加とそれに対応する他の藻類の減少、および夏季におけるAGPの減少から藍藻類によるアレロパシーの存在が示唆され、アオコ抽出液による*S. capricornutum*の生長抑制効果試験からその存在が明らかになった。

須藤(1981)も夏季におけるAGPの減少を確認しており、この場合Feが制限要因になっていると述べている。Murphy et al. (1976)も、藍藻類にするFeの消費がヒドロキサム酸塩の



第7図 N添加によるAGPの変化



第8図 アオコ抽出液の生長抑制効果試験

キレート化合物の生成を誘発し、他の藻類の増殖を抑制すると述べている。

一方大槻(1982)も、藍藻類による遠隔性物質の放出の可能性を述べているが、その原因物質としてCyanobacterinをあげている。

本研究では、アレロパシーの原因物質を明らかにすることはできなかった。今後は、従来のN・Pを中心とした富栄養化研究のみならず、微量元素、および藻類の遠隔性物質をも考慮した藻類の生理生態学的な研究を進めていく必要がある。

5 要 約

- 1 AGPは、高浜入から湖中央部へ向かうにしたがって減少した。
- 2 AGPは、春季にはN制限、冬季にはP制限になる傾向がみられた。
- 3 対照試水のAGPは、夏季に減少する傾向がみられた。
- 4 加熱分解法による藻体中のN・Pの溶出率は70～90%であった。
- 5 アオコ抽出液には*S. capricornutum*の増殖を抑制する作用があり、その作用は加熱することによって不活化することが明らかになった。

参 考 文 献

- 岩崎順・外岡健夫・佐々木道也・赤野誠之(1982)：霞ヶ浦における植物プランクトンの消長と物質循環。昭和56年度赤潮予察調査報告書。茨城県内水面水産試験場，1—53。
- Murphy, T. P., D. R. S. Lean and C. Nalewajko(1976)：Blue-green algae：their excretion of iron selective chelators enable them to dominate other algae. Science, N. Y. 192, 900—902。
- 大槻晃(1982)：栄養塩類濃度の季節変動から見た霞ヶ浦の植物プランクトンの増殖と制御機構。国立公害研究所調査報告，第22号，175—181。
- 大槻晃・河合崇欣・相崎守弘(1981)：霞ヶ浦高浜入におけるリンおよび溶存無機態窒素の動態。国立公害研究所研究報告，第22号，3—21。
- 須藤隆一・田井慎吾・矢木修身・岡田光正・細見正明・山根敦子(1982)：藻類の培養試験法によるAGPの測定。国立公害研究所研究報告，第26号，1—53。
- 外岡健夫(1981)：昭和55年度霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について。茨城県内水面水産試験場調査研究報告，第18号，174—190。
- 矢木修身・須藤隆一・萩原富司(1981)：*Microcystis*の増殖促進物質。日本陸水学会創立50周年記念(第46回)大会講演要旨集，p. 61。