

霞ヶ浦北浦における *Phormidium* の増殖について

佐々木 道也, 外岡 健夫

はじめに

1970年代から霞ヶ浦北浦全域で大增殖した *Microcystis* は、近年では湾入部などごく限られた水域でしか、かつてのような状況を見ることはできない。

この *Microcystis* の減少は1980年代後半からみられ、代わって *Phormidium*, *Oscillatoria* などの植物プランクトンが目立ってきている。

当初、*Microcystis* が大增殖しない原因として、天候説(水温、照度など)がいわれることもあった。

しかし、記録的な猛暑となった1994年度の夏も、*Microcystis* の大增殖がみられなかったことから、近年の *Microcystis* の増殖量の多少は、少なくとも天候に左右されているのではないと考えられる。

このようなこともあって、最近では *Microcystis* から *Phormidium*, *Oscillatoria* への遷移が起こっているの

はないか、という考え方が強くなっている。

ここでは特に *Phormidium* の増殖について取り上げ検討したので、その結果を報告する。

調査方法

1. 資料について

植物プランクトンについては湖沼観測結果⁽¹⁾⁻⁽²⁾を用いた。

水温は水産試験場棧橋における、午前9時の表面水温値を用いた。

DIP(P₀₄-P), DIN(NH₄-N+NO₃-N+NO₂-N)については、湖沼観測結果⁽¹⁾⁻⁽²⁾の中から取り出して用いた。

なお、第1図に霞ヶ浦北浦における湖沼観測定点の位置を示した。



第1図 霞ヶ浦北浦における観測定点位置

2. 植物プランクトン増殖試験について

(1) 試験管による *Phormidium* 培養実験

培養は20ml 試験管を用い、恒温槽(平均温度13.7°C、照度約21,000lux 連続照射)で行った。

試験にはCB培地⁽²⁶⁾にNaClを加えて、各塩素濃度とした培養液を各15ml作った。

この培養液に1993年12月に採水した、北浦水原沖の湖水(*Phormidium*が増殖している)を0.5ml宛て添加した。

なお、全ての培養液には珪藻の増殖を抑えるために、GeO₂を10ppmとなるよう加えた。

(2) 恒温槽による増殖試験

1994年5月に水産試験場先で採用した湖水61を、60~70°Cに加熱し、放冷後81入り水槽に入れて用いた。

水槽には霞ヶ浦高浜入り奥部の玉里沖で、1994年5月に採取した湖底泥を、湿重で約100g添加したが、特に、特定の植物プランクトンは加えなかった。

試験には2個の水槽を使用し、N源としてNH₄NO₃を、P源としてKH₂PO₄を加えた。

試験開始時の各水槽のN、Pの濃度は第1表に示したようであった。

試験期間中は通気し、平均水温は約26.3°C、照度は約21,000luxで連続照射とした。

なお、試験は1994年5月12日から5月24日まで行った。

第1表 試験開始時のN、P量について

区分\濃度	N	P
1	9.901ppm	57 ppb
2	0.667	320

(3) 湖水による増殖試験

361入り塩化ビニール製水槽に、試験を行う直前に水産試験場先で採水した湖水を満たして培溶液とし、特に、特定の植物プランクトンは加えなかった。

この時、霞ヶ浦高浜入り奥部の下玉里沖で、1994年5月に採取した湖底泥を、湿重で約50g添加した。

試験は1994年7月12日から8月8日と、7月28日から8月5日の2回行った。

試験期間中は通気し、水槽は窓際に設置して室温に放置したが、蒸発して不足した水については、蒸留水で適宜補充した。

水槽には毎日NおよびPを加えたが、その場合、試験区1の水槽にはNを5 mg/day、Pを0.05mg/dayを、試験区2の水槽にはNを0.5mg/day、Pを0.5mg/dayを加えた。

なお、添加したN、P源としては、NH₄NO₃およびKH₂PO₄を用いた。

61入り水槽に、水産試験場先で採水した湖水61を用いて行った試験では、Nを60mg、Pを6 mg加え、水槽は窓際に設置して室温に放置した。

水槽には試験期間中は通気し、蒸発して不足した水については、蒸留水で適宜補充した。

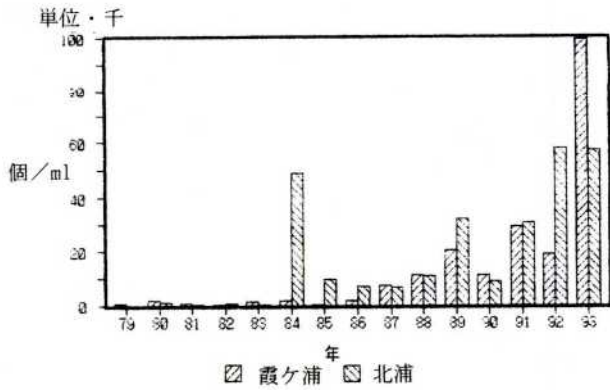
結果および考察

1. 霞ヶ浦北浦における *Phormidium* の増殖について

第2図は霞ヶ浦および北浦における、それぞれの湖の観測地点の中から、その年の *Phormidium* の最大値を1979年から示したものである。

これによると霞ヶ浦では1987年頃から、一方、北浦では1984年頃から *Phormidium* が多数みられるようになっており、1993年には霞ヶ浦で湖水1 ml 当たり、約99,400 個体(群体数)が観測されている。

このように霞ヶ浦では、1984年~1987年頃にかけて *Phormidium* の増殖が盛んになっている様子がみられる。

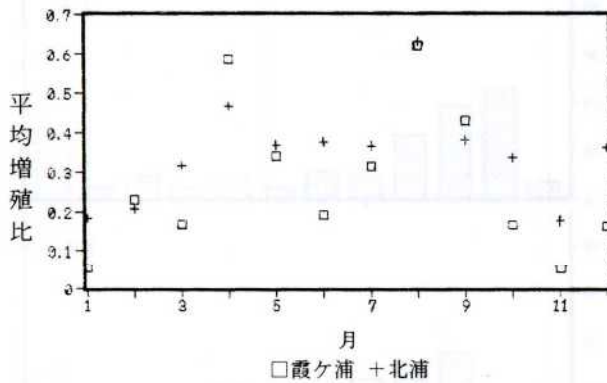


第2図 霞ヶ浦北浦における *Phormidium* の増殖(最大値)について

次に、*Phormidium* の増殖がみられるようになった、1988年から1992年までの期間について、霞ヶ浦北浦それぞれの湖の全ての観測定点の中から、月ごとに *Phormidium* の最大値を取り出し、その年の最も大きな値を1.0として、それを基に各月の *Phormidium* 個体数の割合を算出した。

こうして得られた各年の月別相対値を平均して求めた値を示したのが第3図である。

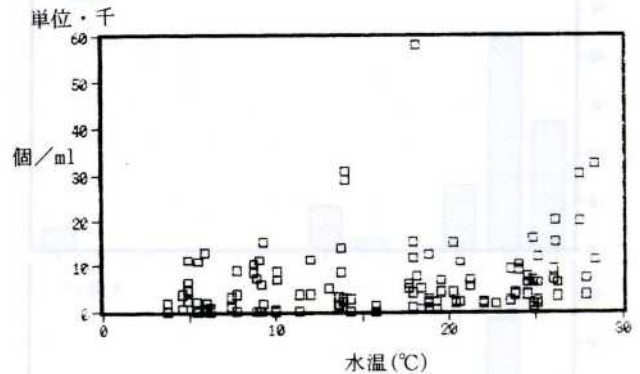
これによると霞ヶ浦北浦とも4月と8月に増殖のピークを示しており、両湖とも全く同一の傾向をみせている。



第3図 霞ヶ浦北浦における *Phormidium* の月別増殖比について

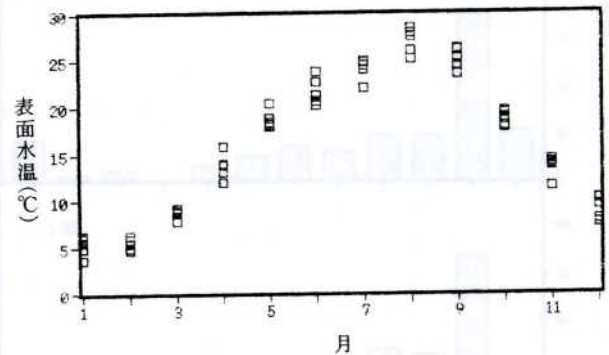
第4図は、1988年から1992年までの期間における、*Phormidium* の増殖と水温との関係をみたものである。

Phormidium の値は霞ヶ浦北浦における、全観測定点中の月ごとの最大値であり、水温は水産試験場地先棧橋におけるその月の平均水温を用いた。



第4図 霞ヶ浦北浦における水温と *Phormidium* の増殖について

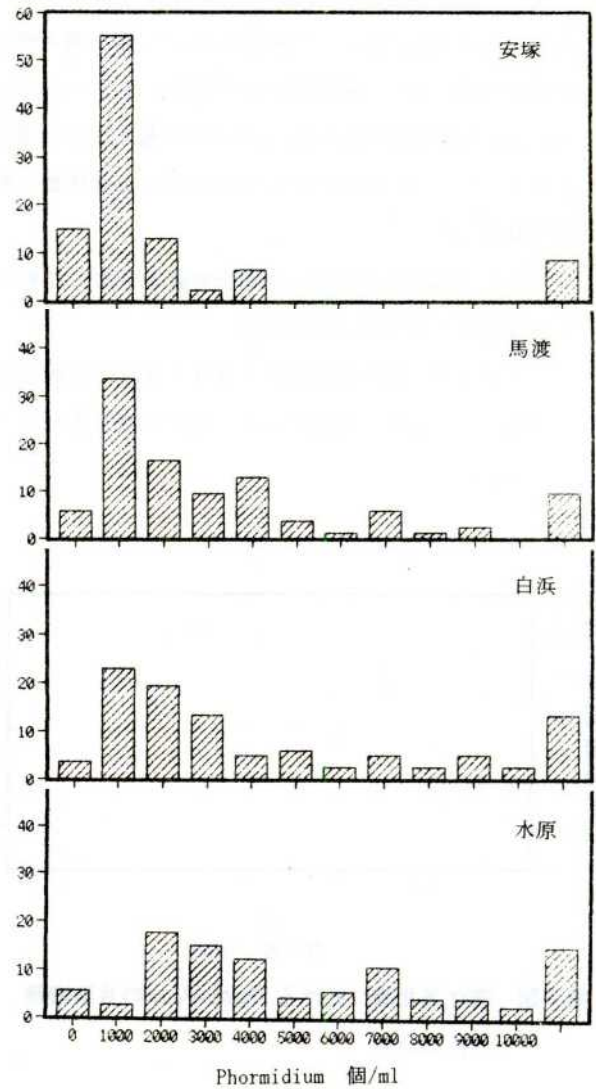
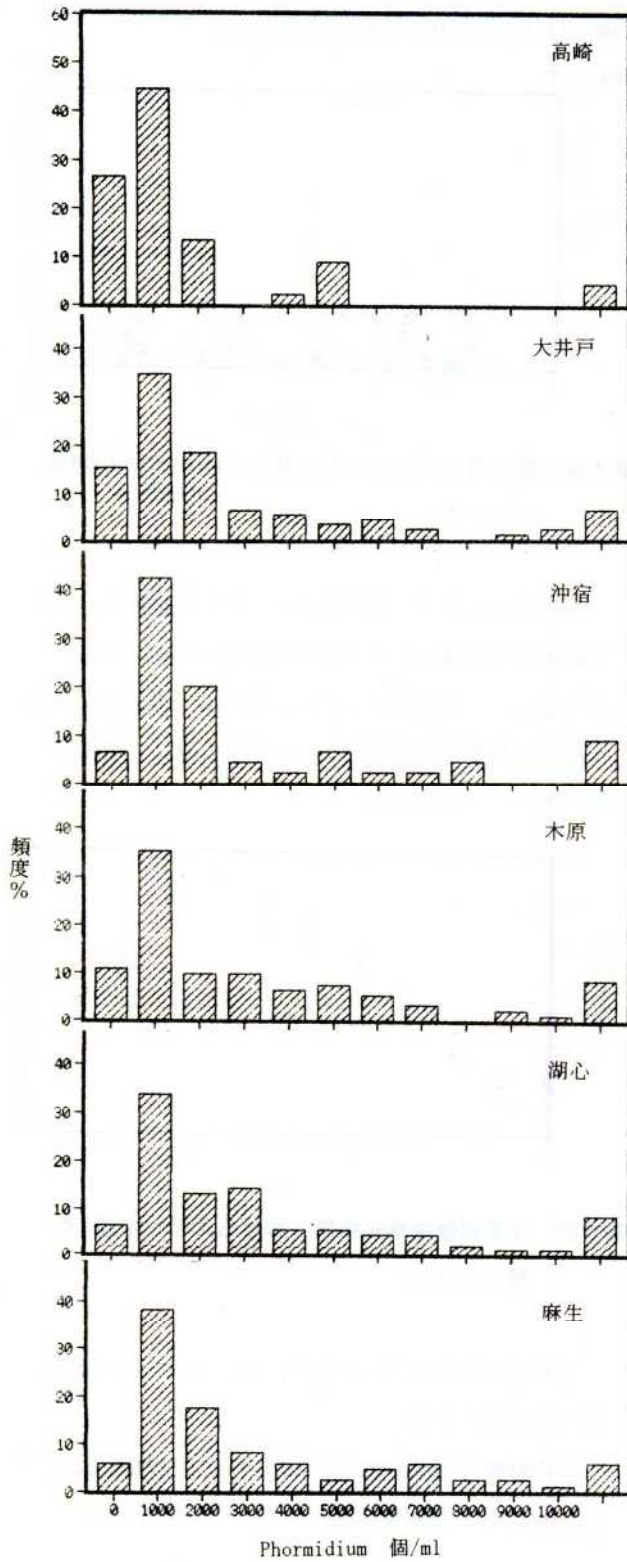
この図によると、第5図に示したこの期間の、水産試験場地先棧橋における月平均水温の推移からも明らかのように、水温条件からだけみれば、*Phormidium* は水温には影響されることなく、年間を通じて増殖が可能であることがわかる。



第5図 水産試験場地先棧橋における月平均水温(表面)について

第6図は霞ヶ浦における *Phormidium* の、分布状況を調べたものである。

図の縦軸は、1988年から1993年までの期間における、*Phormidium* の各個体数区分における頻度である。



第6図 霞ヶ浦における *Phormidium* の分布について

霞ヶ浦では各調査地点による違いは殆どみられない。一方、北浦についても湖尻の水原で、他調査地点と比較して幾分多い傾向がみられるものの、総じて各調査地点とも同様の傾向を示しているものと思われる。

しかし、この調査では調査時期が同じ日であることから、各地点での増殖時期が異なっていることが考えられるので、このことから直ちに各地点での増殖量は変わらないとはいえない。

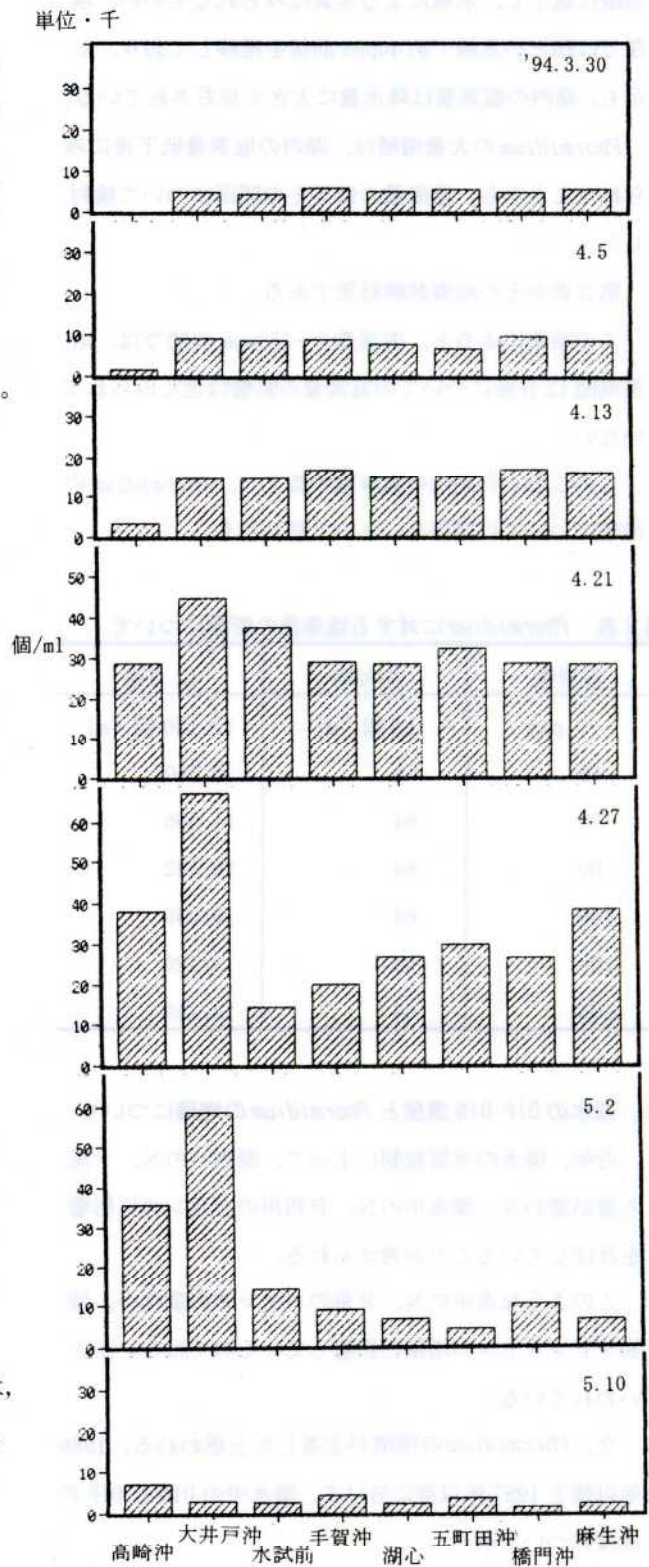
そこで次に、霞ヶ浦において第7図に示した地点で、*Phormidium*の増殖し始めた時点から終息時期まで、日を追って各地点ごとに*Phormidium*の増殖状況を調べた。



第7図 *Phormidium*の分布調査地点

結果を第8図に示したが、増殖初期では調査地点間の増殖量に差はみられない。しかし、終期では多くの調査地点で減少し始めているのに対し、高崎、大井戸では引き続き増殖しており、特に大井戸でその傾向が著しい。

この調査から *Phormidium*の増殖開始時期については、水域による差はみられず、一方、終息時期については、高崎、大井戸で他の地点より幾分遅くまで増殖していたように、水域間の違いは多少みられるようである。



第8図 *Phormidium*の分布調査結果について

2. 塩素量と *Phormidium* の増殖について

常陸川水門の閉鎖によって、霞ヶ浦北浦の塩素量は急激に低下し、水域による差異はみられるものの、現在では殆どどの水域で約 40ppm 前後を推移しており、しかも、湖内の塩素量は降水量に大きく左右されている。

Phormidium の大量増殖は、湖内の塩素量低下後にみられたことから、塩素量の低下との関係について検討した。

第 2 表がその培養試験結果である。

この結果によると、塩素量 0~250ppm の間では、培養期間 12 日後についての塩素量の影響は全くみられていない。

このことから湖内の塩素量の低下と、*Phormidium* の増殖については関係ないものと思われる。

第 2 表 *Phormidium* に対する塩素量の影響について

塩素量	開始時	12 日後
0 ppm	64 個/ml	12,120 個/ml
10	64	9,060
30	64	11,598
60	64	10,842
100	64	19,038
150	64	14,220
250	64	14,118

3. 湖水の DIP・DIN 濃度と *Phormidium* の増殖について

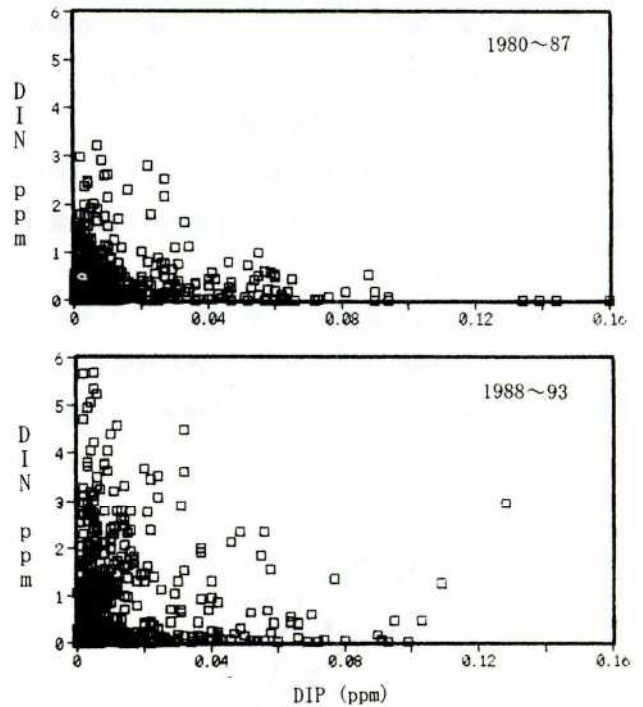
近年、廃水の水質規制によって、湖内への N, P 流入量が変わり、湖水中の N, P 利用のバランスに影響を及ぼしていることが考えられる。

このような水中の N, P 量のバランスの変化が、植物プランクトンの増殖に影響しているのではないかとされている。

今、*Phormidium* の増殖が定着したと思われる、1988 年以降と 1987 年以前に分けて、湖水中の DIN と DIP の濃度について調べた。

第 9 図は、全観測地点の DIP と DIN の濃度との関係を、1980~1987 年と 1988~1993 年とに分けて、同時に

示したものである。



第 9 図 霞ヶ浦北浦における DIP と DIN との関係について

これによると 1987 年以前と 1988 年以降と比較すると、DIN の分布に大きな差異がみられている。

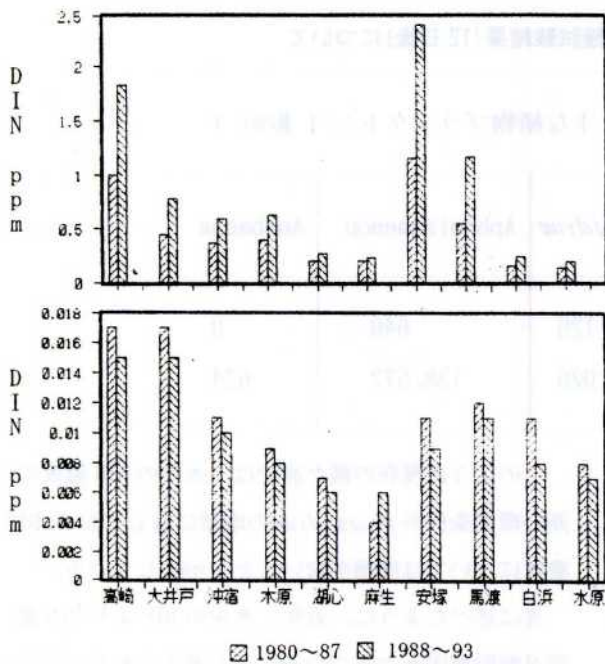
即ち、1987 年以前では殆ど全てが約 2 ppm 以下となっているのに対し、1988 年以降では 2 ppm 以上の値がかなり多くなっている。

一方、DIP についてはあまり明確な傾向はみられていない。

この 2 つの期間について、観測地点別に DIP と DIN の平均値を単純に算出し、図示したのが第 10 図である。

この図を基に 1988~1993 年の DIP と DIN について、1980~1987 年と比較してみると、DIP では麻生を除く全地点で減少しているのに対し、DIN については逆に全ての地点で増加している。

このように 1988 年以降では 1987 年以前と比較して、湖水中の DIN 濃度は増大し、DIP 濃度は減少傾向を示していることがわかる。



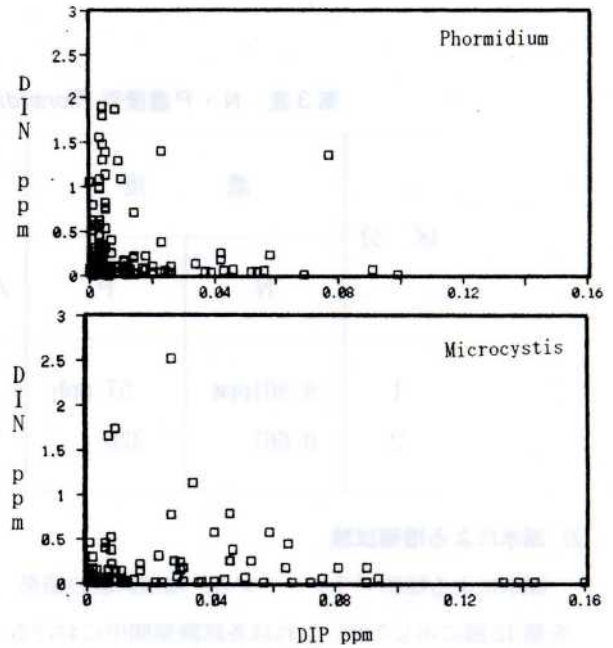
第10図 震ヶ浦北浦におけるDINとDIPの地点別平均値について

以上のような湖水中のDIN, DIP濃度の変化がみられる中で、*Microcystis*および*Phormidium*の増殖について調べてみた。

第11図は、1980年～1993年の震ヶ浦北浦における全観測点の中から、*Microcystis*については個体数1,000個体以上の、*Phormidium*については個体数5,000個体以上のものについて図示したものである。

この図によると*Phormidium*は、DINが高くDIPが低い水域出、一方、*Microcystis*は*Phormidium*に比較して、DIPが高い水域で増殖量の多い場合が目立っている。

これらのことから湖水のDIN濃度の増大、DIP濃度の低下が、*Phormidium*の増殖を促したのではないかと考えられたので、これを培養実験によって確かめることとした。



第11図 *Phormidium*, *Microcystis*の増殖とDINとDIPについて

4. 培養実験による水中のN, P濃度と*Phormidium*の増殖について

(1) 恒温槽による増殖試験

加熱湖水を用いた植物プランクトンの増殖試験において、試験開始12日後、水槽中で増殖した主な植物プランクトンを第3表に示した。

これによるとP濃度が低くN濃度が高い試験区1で、*Phormidium*が大量に増殖している。

一方、P濃度が高くN濃度が低い試験区2では、*Phormidium*の増殖量は小さく、試験区1では増殖量が少なかった*Aphanizomenon*が、逆に大量に増殖している。

このことは先に述べた、水中のDIP濃度の低下DIN濃度の増大が、*Phormidium*の増殖を促したのではないかと、とした考え方と一致するものと思われる。

第3表 N・P濃度別 *Phormidium*増殖試験結果(12日後)について

区分	濃度		主な植物プランクトン (個/ml)		
	N	P	<i>Phormidium</i>	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Anabaena</i>
1	9.901ppm	57 ppb	37,120	640	0
2	0.667	320	7,020	138,572	624

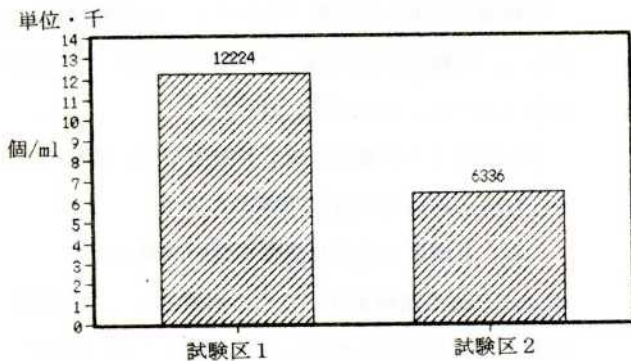
(2) 湖水による増殖試験

湖水による植物プランクトンの増殖試験の結果を第12図に示したが、これは各試験期間中における、*Phormidium*増殖量の最大値を示したものである。

これによるといづれの試験でも、Nの添加量が多い試験区1で、*Phormidium*の増殖量が大きくなっており、*Phormidium*の増殖にはNが制限要因となっている可能性がうかがわれる。

このように現在の霞ヶ浦では、水中のDIN濃度の高い環境条件が*Phormidium*の増殖に適しており、DIP濃度については問題がないことを示唆している。

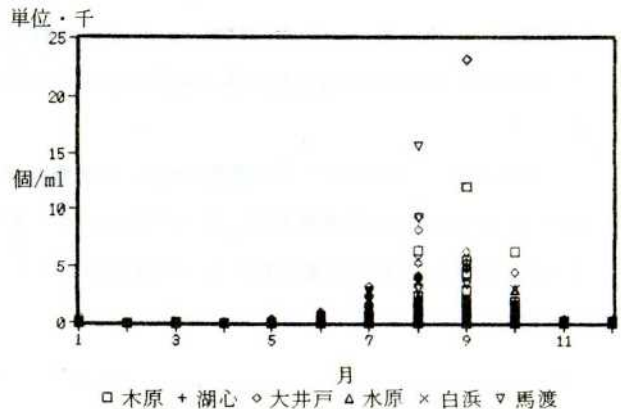
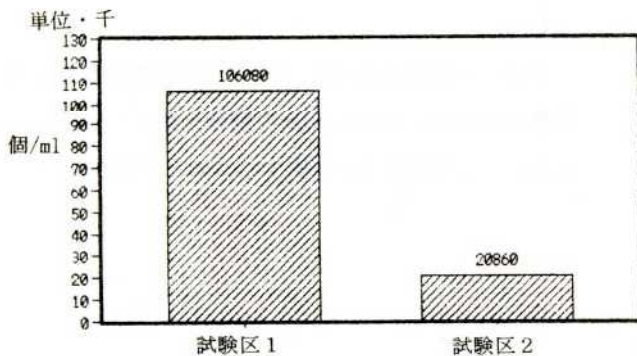
先に述べたように、近年、水中のDIPよりDIN濃度が制限要因となっていることが考えられることから、*Phormidium*はリービッヒの最少率で規定されるPの濃度が、他の植物プランクトンに比べて小さいのではないかと推測される。



第12図 湖水による *Phormidium* の増殖試験について

5. *Microcystis* の増殖への影響

第13図は、1980~1993年の霞ヶ浦北浦における、*Microcystis*の月別観測値の最大値を示したものであるが、*Microcystis*の増殖適水温⁽²⁸⁾からも明らかに、主に8~9月に増殖していることがわかる。



第13図 霞ヶ浦における *Microcystis* の月別増殖について

ところで、*Phormidium*の増殖量については、4月と8月に大きくなっていると既に述べた。

又同時に、*Phormidium*は殆ど水温には影響されることなく、年間を通じて増殖が可能であるとも述べた。

これらの*Phormidium*と*Microcystis*の増殖時期から、次のような推測を行った。

① 湖水のDIN濃度の増大、DIP濃度の低下が、*Phormidium*の増殖に適した環境条件となり、*Phormidium*の大量増殖を促した。

② *Phormidium*は周年を通じて増殖が可能なおよび、*Microcystis*の増殖時期である8月～9月には、*Microcystis*にとってN、Pが、制限要因となりやすい状況となっている。

③ このため*Microcystis*の増殖は、N、P供給源である流入河川の多い湾入部に限られている。

①についてはこれまで述べてきたので、次に②および③について検討してみた。

第4表はN、Pの濃度を変えて、*Microcystis*の増殖を調べたものである。

表中試験区1については、1994年4月28日採水の湖水についての結果であり、試験区2、3については第12図に示した試験において、*Phormidium*と同時にみられた*Microcystis*について、その最大増殖量を示したものである。

*Microcystis*の増殖量が多いのは、試験区1と2ではP添加量の、試験区3では逆にN添加量の多い場合となっており、必ずしも一定していない。

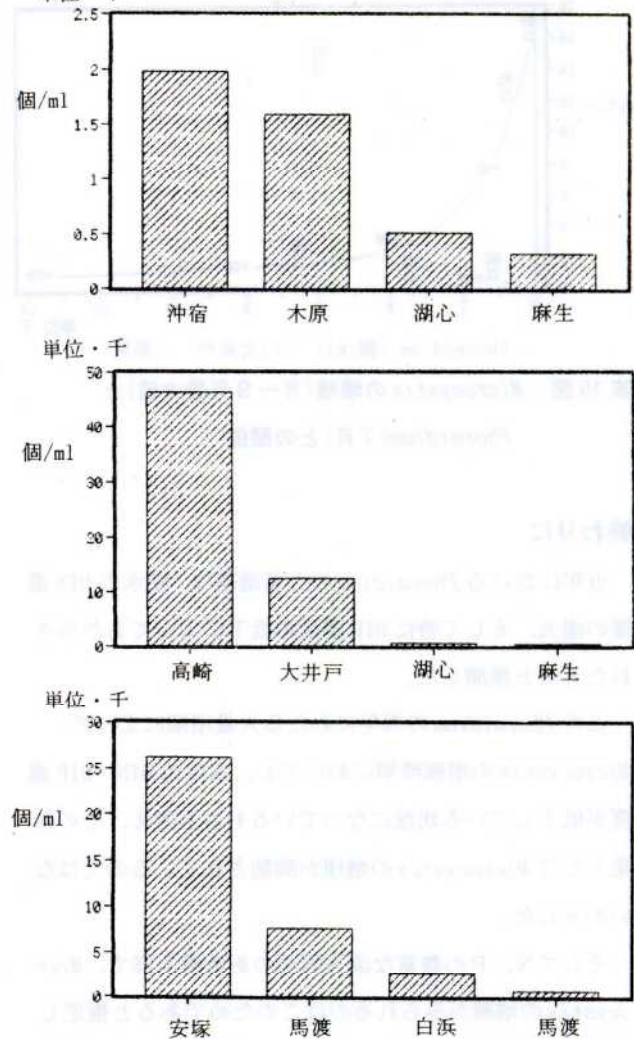
第4表 湖水による*Microcystis*の増殖試験について

区分	湖水採水日	Microcystis 最大増殖量	濃度	
			N	P
1	1994.4.28	7,232 個/ml	36.0mg/36l	10.80mg/36l
		256	108.0mg/36l	0.36mg/36l
2	7.12	832	0.5mg/day	0.5mg/day
		640	5mg/day	0.05mg/day
3	7.12	448	0.5mg/day	0.5mg/day
		1,408	5mg/day	0.05mg/day

このことから現在の湖水では、*Microcystis*の増殖に対して、NやPのどちらか一方が、常に制限になっているというのではなく、*Phormidium*の増殖程度や水域等によって、NまたはPが制限になりやすい状況になっているものと思われる。

湖の湾入部でN、Pが多いということについては、既に示した第10図に示されているように、湾入部にある観測地点である。高崎、大井戸、沖宿、および安塚、馬渡などで、他の観測地点に比較して、DINやDIP濃度、特に、DIN濃度が高くなっていることから明らかである。

また第14図は、近年では珍しく*Microcystis*の増殖量が多かった、1992年の霞ヶ浦北浦における*Microcystis*の分布を示したものであるが、DINやDIP濃度の高かった、高崎、大井戸、沖宿、および安塚、馬渡な



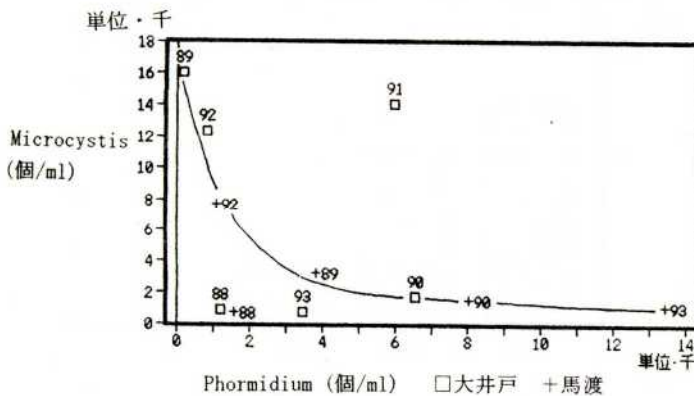
第14図 霞ヶ浦における*Microcystis*の分布について

ど、湖の湾入部地点ほど、*Microcystis*の増殖量が多くなっており、DINやDIP濃度の高い水域での増殖が目立っている。

第15図は*Phormidium*の大量増殖がみられるようになった、1988～1993年における大井戸及び馬渡の7月の*Phormidium*の個体数と、7～9月間の*Microcystis*の最大個体数との関係をみたものである。

ここで大井戸と馬渡を取り上げたのは、他の観測地点に比べて、どちらも*Microcystis*の増殖がみられる地点であることによる。

1991年の1点を除けば、両者の間には相関関係が認められるものと思われ、*Microcystis*の増殖量は*Phormidium*の増殖量と関係があることがうかがわれる。



第15図 *Microcystis*の増殖(8～9月最大値)と
Phormidium(7月)との関係

終わりに

近年における*Phormidium*の大量増殖は、湖水のDIN濃度の増大、そして特にDIP濃度の低下によってもたらされたものと推測した。

この*Phormidium*の周年にわたる大量増殖によって、*Microcystis*の増殖時期においても、水中のDIN、DIP濃度が低下している状況になっているものと考え、その結果として*Microcystis*の増殖が抑制されているのではないかとした。

そしてN、Pの豊富な流入河川のある湾入部で、*Microcystis*の増殖がみられるのはこのためであると推定した。

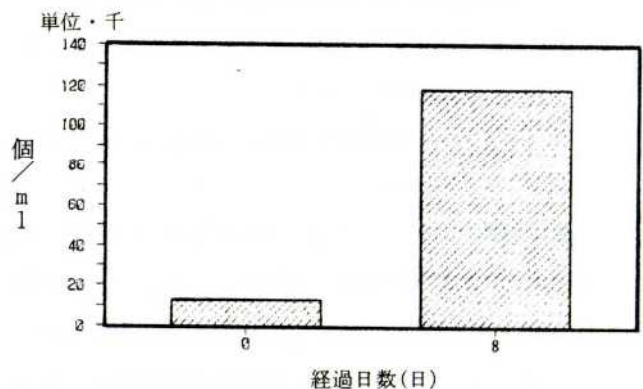
それでは水中のDIP濃度を増大させれば、*Phormidium*の増殖量を抑えることができるのであろうか。

第16図は、1994年7月の水産試験場地先で採取した湖水6lに、Nを60mg、Pを6mg添加して*Phormidium*の増殖量を調べた結果である。

採水時の*Phormidium*の個体数は12,736個/mlであったのが、試験開始8日後には119,040個/mlと、約10倍近くにも増殖している。

このことは*Phormidium*が既に大量に増殖している今の霞ヶ浦では、単にPを増やしても*Phormidium*の増殖を抑えることにはならないことを示している。

したがって*Phormidium*の増殖量を抑えるためには、PのみではなくNについても、同時に削減に努めることが必要であると思われる。



第16図 N、P添加と*Phormidium*の増殖

なお、この試験における植物プランクトンの培養による実験は、室内等に放置した水槽実験であるため問題も多く、今後は単一種による純粋培養実験などにより検討する必要がある。

参考文献

- (1) 岩崎 順(1981):資料 昭和55年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン, 茨内水試研報, 18, 131-161
- (2) 岩崎 順(1982):資料 昭和56年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン, 茨内水試研報, 19, 93-129
- (3) 高木英夫(1983):資料 昭和57年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン, 茨内水試研報, 20, 79-91

- (4) 高木英夫(1983)：資料 昭和58年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン，茨内水試研報，21，79-91
- (5) 高木英夫(1985)：資料 昭和59年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン，茨内水試研報，22，107-119
- (6) 中村 誠(1986)：資料 プランクトン，茨内水試研報，23，67-95
- (7) 中村 誠(1988)：資料 プランクトン，茨内水試研報，24，119-151
- (8) 中村 誠(1990)：資料 プランクトン，茨内水試研報，26，91-139
- (9) 浜田篤信，野内孝則(1991)：資料 1988～1990年度の霞ヶ浦のプランクトン，茨内水試研報，27，191-233
- (10) 松原尚人(1992)：資料 1991年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン，茨内水試研報，28，155-179
- (11) 松原尚人(1993)：資料 1992年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン，茨内水試研報，29，145-167
- (12) 松原尚人(1994)：資料 1993年度の霞ヶ浦北浦のプランクトン，茨内水試研報，30，161-183
- (13) 外岡健夫(1981)：資料 昭和55年度の霞ヶ浦北浦湖観測結果について，茨内水試研報，18，174-190
- (14) 外岡健夫(1982)：資料 昭和56年度の霞ヶ浦北浦湖観測結果について，茨内水試研報，19，130-146
- (15) 外岡健夫(1983)：資料 昭和57年度の霞ヶ浦北浦湖観測結果について，茨内水試研報，20，100-116
- (16) 外岡健夫，高木英夫(1984)：資料 昭和58年度の霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，21，92-108
- (17) 外岡健夫，高木英夫，大川雅登(1985)：資料 昭和59年度の霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，22，90-106
- (18) 外岡健夫，野内孝則(1986)：資料 昭和60年度霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，23，96-112
- (19) 外岡健夫，野内孝則(1988)：資料 昭和61年度霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，24，101-117
- (20) 外岡健夫，野内孝則(1989)：資料 昭和62，63年度霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，25，5-126
- (21) 外岡健夫(1990)：資料 1989年霞ヶ浦北浦湖沼観測報告，茨内水試研報，26，72-89
- (22) 外岡健夫(1991)：資料 平成2年度霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，27，172-187
- (23) 外岡健夫，河崎正(1992)：資料 平成3年度霞ヶ浦北浦湖沼観測結果について，茨内水試研報，28，129-146
- (24) 外岡健夫，松原尚人(1993)：資料 1992年度の霞ヶ浦北浦環境調査結果(1)定期湖沼観測結果について，茨内水試研報，29，124-140
- (25) 外岡健夫，松原尚人(1994)：資料 1993年度の霞ヶ浦北浦環境調査結果(1)定期湖沼観測結果について，茨内水試研報，30，140-156
- (26) LIST OF STRAINS (1991) The National Institute for Environmental Studies
- (27) 稲森悠平，藤本尚志，須藤隆一(1993)：水塊生態系に及ぼす影響からみた廃水処理における窒素・リン同時除去の必要性，35(1)，19-26
- (28) 佐々木道也(1975)：アオコの増殖に関する諸要因について，茨内水試研報，12，17

涸沼におけるヤマトシジミの研究 - I

水域別稚貝発生数の変化と採苗器の検討

根本隆夫・位田俊臣・河崎 正・根本 孝

1. はじめに

涸沼及び涸沼川においてヤマトシジミ漁業は盛んであり、年間約4,000トンの生産量を上げている(農林統計)。しかし、過去の調査において涸沼湖内では1.5~2 m以深にはヤマトシジミはほとんど分布していないことが分かっている¹⁾。ヤマトシジミの幼生は着底しても環境条件が悪くと死滅することが考えられる。一方、近年宍道湖において放流用種苗の確保を目的として採苗器を用いたヤマトシジミ稚貝の採集に成功した²⁾。

本研究では採苗器を使用して、涸沼及び涸沼川におけるヤマトシジミ稚貝の水域別発生数の特徴を把握す

るとともに、親シジミの少ない水域での採苗器による稚貝採集の可能性を検討することを目的に行った。

なお、本研究を進めるにあたって、調査時にご協力頂いた大涸沼漁業協同組合理事の長洲高夫氏をはじめ同漁協の方々には深く感謝の意を表します。

2. 材料及び方法

(1) 水域別採集

1994年6月2日に図1の13点(⑥を除く①~⑭)に2組の採苗施設(図2)を設置し、6月30日には湖内北側の⑮宮前と⑯広浦にも1組ずつ設置した。

設置箇所は、水深が2~3 mの場所であり(表1)、

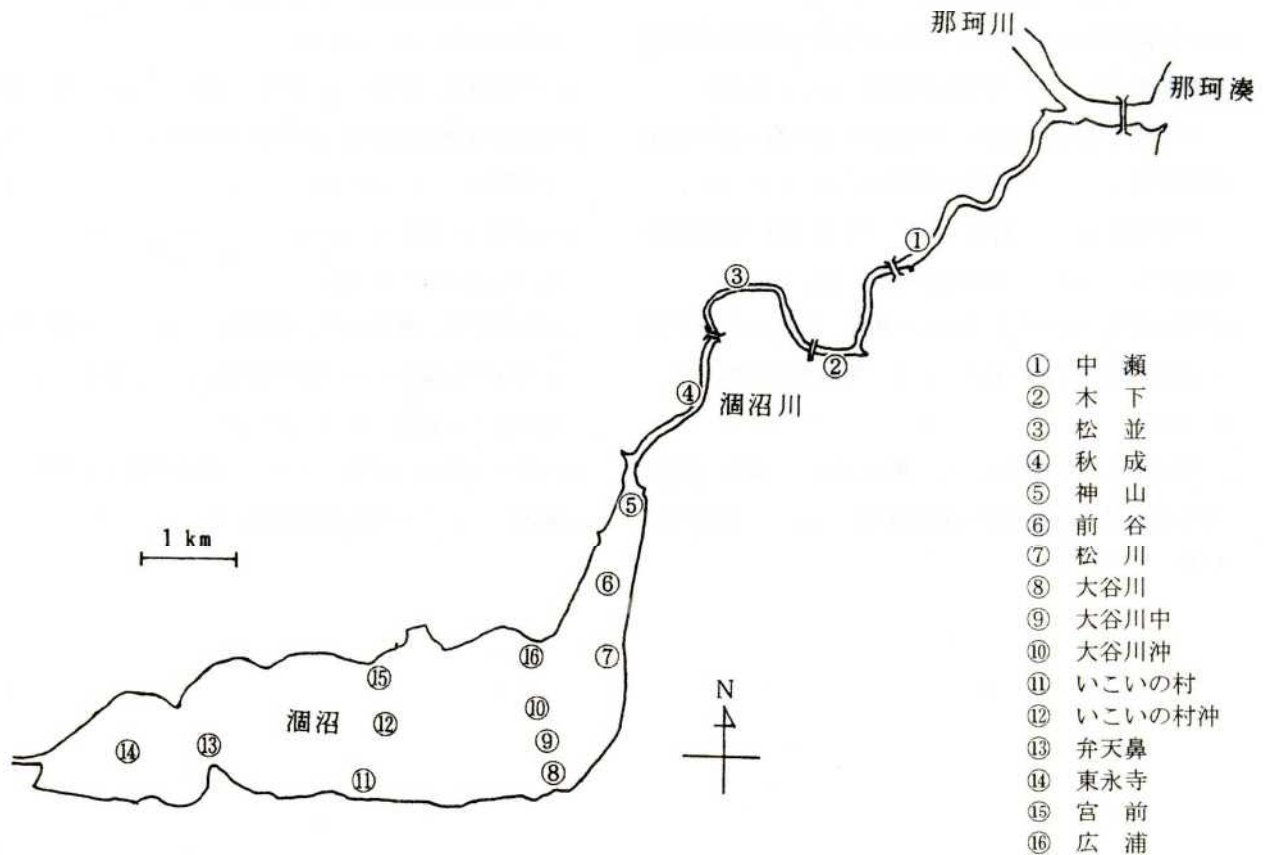


図1 涸沼におけるヤマトシジミ採苗施設設置点