

12. 三方五湖の夏期における プランクトンの生産量について

青木啓子, 有賀 紀

I 緒 言

水中の栄養塩が豊富で、植物プランクトンの生産量の大きい湖を富栄養湖というが、富栄養化の引き金になる栄養塩と一次生産者である植物プランクトンの関係を明らかにすることは、富栄養化の機構を考える上で重要と思われる。三方五湖は、日向湖(かん水湖)を除いて、三方、水月、菅、久々子の4湖とも富栄養湖に分類され、夏期には、*Microcystis*, *Anabaena*などの藍藻の異常増殖がみられている。これら各湖の水を採取して、N, Pの栄養塩を段階的に添加し、経日的に植物プランクトンの質的量的変化を検討した。また、栄養塩と植物プランクトンの関係や各湖の生産性の特徴について考察したので報告する。

II 調査方法

1. 調査時期 昭和60年7月19日～7月29日
2. 調査地点 三方湖、水月湖、久々子湖、日向湖の湖中央○印地点で採水し、各湖の湖岸付近である×印地点に図-1に示す装置をセットした。

3. 調査方法

各湖の表層水を1地点につき5本の3ℓ透明ガラス瓶に採取し、1本は無添加、他の4本にはN, Pを表-1の如く段階的に添加して、各湖の湖岸付近にセットし、3日後、10日後のプランクトンの質・量の変化について、プランクトンの計数を行った。計数はビュルケルチュルク血球計算盤を用い、3回計数しその平均値を求めた。なお、*Phormidium*, *Lyngbya*は、分類せずにまとめて計数した。同時に行った化学試験結果は、本報で前川ら¹⁾が報告している。

III 結果と考察

N, Pの添加による三方五湖のプランクトンの生産量調査結果を表-2に示した。これらの結果をもとに、各湖の生産性について以下にまと

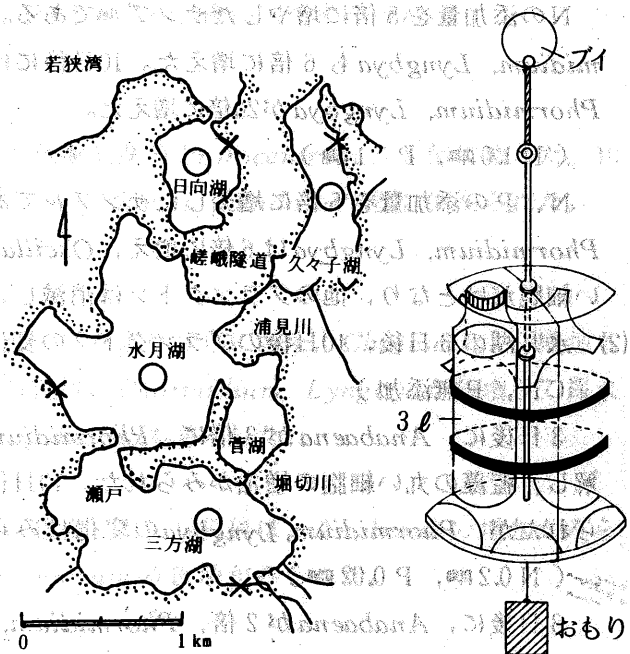


図-1 三方五湖の生産量調査地点

1. 採水時(0日目)のプランクトン

(三方湖)

*Microcystis*が多く、*Phormidium*, *Lyngbya*は少ない。

(水月湖)

Anabaena, *Phormidium*, *Lyngbya*が多い。*Microcystis*は三方湖に比べて少ない。

(久々子湖)

水月湖とよく似たプランクトン相を示し、*Phormidium*, *Lyngbya*が多い。
(日向湖)

他の湖と異なり、*Prorocentrum*が優占種である。*Phormidium*, *Lyngbya*も少しみられる。

2. N、P添加後の各湖の生産性について

表-1 N、Pの添加について

	Nとして加えた量 / 2ℓ	添加濃度 N (ppm)	Pとして加えた量 / 2ℓ	添加濃度 P (ppm)
1	無添加	0	無添加	0
2	0.4 mg	0.2	0.04 mg	0.02
3	0.4 mg	0.2	0.2 mg	1.0
4	2.0 mg	1.0	0.04 mg	0.02
5	2.0 mg	1.0	0.2 mg	1.0

(N ; NaNO₃)

(P ; KH₂PO₄)

(1) 三方湖の3日後、10日後のプランクトンの変化

(N、P無添加)

3日後に分解期藍藻の丸い細胞が増えるが、10日後には殆どのプランクトンが消滅した。

(N 0.2 ppm, P 0.02 ppm)

富栄養化限界濃度を添加したサンプルである。3日後に、分解期藍藻の丸い細胞が増えたが、10日後にはほとんどのプランクトンが消滅した。

(N 0.2 ppm, P 0.1 ppm)

Pの添加量を5倍に増やしたサンプルである。3日後に、*Microcystis*, *Anabaena*の減少がみられず、10日後に、*Phormidium*, *Lyngbya*が5倍に急増した。

(N 1.0 ppm, P 0.02 ppm)

Nの添加量を5倍に増やしたサンプルである。3日後に、*Microcystis*が2倍に増え、*Phormidium*, *Lyngbya*も6倍に増えた。10日後には、藍藻の丸い細胞が40万 cells/mlに増え、*Phormidium*, *Lyngbya*が20倍に増えた。

(N 1.0 ppm, P 0.1 ppm)

N、Pの添加量を5倍に増やしたサンプルである。3日後に、*Microcystis*が4倍に増加した。*Phormidium*, *Lyngbya*は6倍に増え、*Oscillatoria*の増加もみられた。10日後には、藍藻の丸い細胞だけとなり、他のプランクトンは消滅し、細胞数は80万 cells/mlと異常に多かった。

(2) 水月湖の3日後、10日後のプランクトンの変化

(N、P無添加)

3日後に、*Anabaena*が3倍に、*Phormidium*, *Lyngbya*が2倍に増えた。*Microcystis*が分解し、藍藻の丸い細胞の増加がみられた。10日後には、*Microcystis*, *Anabaena*の分解減少がみられたが、*Phormidium*, *Lyngbya*の変化はみられなかった。

(N 0.2 ppm, P 0.02 ppm)

3日後に、*Anabaena*が2倍、*Phormidium*, *Lyngbya*が4倍に増えた。10日後は、*Anabaena*が減り、*Phormidium*, *Lyngbya*は3日後と変化がなかった。

(N 0.2 ppm, P 0.1 ppm)

3日後に、藍藻の丸い細胞が3.5万 cells/mlに増えた。*Phormidium*, *Lyngbya*は、3日後、10日後はN (0.2 ppm), P (0.02 ppm)時と同様の傾向を示した。

(N 1.0 ppm, P 0.02 ppm)

10日後に、*Phormidium*, *Lyngbya*が10倍に異常増殖した。

(N 1.0 ppm, P 0.1 ppm)

10日後に、*Phormidium*, *Lyngbya*が10倍に異常増殖した。藍藻分解期細胞も14万 cells/mlと多かった。

(3) 久々子湖の3日後, 10日後のプランクトンの変化

(N, P無添加)

*Microcystis*は3日後に, ほとんど分解し消滅した。10日後に, *Phormidium*, *Lyngbya*が25倍, *Anabaena*が2倍に増えた。

(N 0.2 ppm, P 0.02 ppm)

3日後に, *Phormidium*, *Lyngbya*, *Oscillatoria*類が5倍に増え, *Anabaena*が3倍に増えた。10日後は, 3日後に比べてプランクトンの量が減少したが, *Anabaena*, *Phormidium*, *Lyngbya*の減少は殆どみられなかった。

(N 0.2 ppm, P 0.1 ppm)

3日後に, *Phormidium*, *Lyngbya*が6倍に増えた。藍藻分解期細胞が1.4万 cells/mlと多い。10日後は, *Phormidium*, *Lyngbya*がさらに増え, 12倍になった。

(N 1.0 ppm, P 0.02 ppm)

3日後の*Anabaena*は, 採水時より少し増加した。出現プランクトンの種類や量は, N(0.2 ppm), P(0.1 ppm)添加サンプルと殆ど変化がないが, *Oscillatoria*が多かった。10日後は, *Phormidium*, *Lyngbya*が増えて8倍になった。

(N 1.0 ppm, P 0.1 ppm)

3日後に, *Anabaena*が2倍に増えた。*Phormidium*, *Lyngbya*は8倍に増え, 藍藻分解期細胞も1.3万 cells/mlと多い。*Oscillatoria*も増加した。10日後は, 3日後に比べて, プランクトンの量が減少したが, *Phormidium*, *Lyngbya*は, 殆ど減少せず優占的に多かった。

(4) 日向湖の3日後, 10日後のプランクトンの変化

(N, P無添加)

3日後に, *Phormidium*, *Lyngbya*が増え, 黄色鞭毛藻の*Prorocentrum*が5倍に増えた。10日後は, *Phormidium*, *Lyngbya*がさらに増え, *Amphiprora paludosa*の増加がみられた。*Prorocentrum*は, 3日後とほとんど変らなかった。

(N 0.2 ppm, P 0.02 ppm)

3日後に, *Phormidium*, *Lyngbya*が無添加サンプルよりさらに増え, *Chaetoceros*の増加もみられた。*Prorocentrum*は10倍に増えた。10日後は, *Phormidium*, *Lyngbya*が急増して採水時の200倍になった。*Amphora*, *Amphiprora paludosa*も急増した。

(N 0.2 ppm, P 0.1 ppm)

3日後に, *Chaetoceros*が3,900 colonies/mlに急増した。10日後は, *Anabaena*の増加がみられ, *Chaetoceros*は分解して消滅したが, *Prorocentrum*の急増がみられた。

(N 1.0 ppm, P 0.02 ppm)

3日後は, プランクトンの増加が少なく, *Chaetoceros*を除く他のプランクトンは, N(0.2 ppm), P(0.02 ppm)添加サンプルの3日後に比べて半分量であった。*Chaetoceros*は, 2倍に増えた。10日後は, *Amphora*が急増し, *Prorocentrum*も多い。

(N 1.0 ppm, P 0.1 ppm)

3日後に, *Chaetoceros*が1.8万 colonies/mlに急増した。10日後には, *Cheatoceros*が完全に消滅し, *Amphora*が8,000 cells/mlに急増した。*Phormidium*, *Lyngbya*の増加もみられた。

表-2 3日後, 10日後のプランクトンの変化(7月19日~7月29日)

三方湖, 水月湖, 久々子湖, 日向湖

三 方 湖	N.P 無添加			N(0.2) P(0.02)		N(0.2) P(0.1)		N(1.0) P(0.02)		N(1.0) P(0.1)	
	0 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日
<i>Microcystis A</i>	2,800	700	200	600	500	3,600	200	6,400	4,900	1,000	900
<i>Microcystis B</i>	0	R	100	0	500	200	200	0	200	0	0
<i>Anabaena A</i>	900	1,000	R	100	1,000	900	1,000	200	900	700	0
<i>Anabaena B</i>	R	R	R	400	0	R	0	0	0	0	0
<i>Phormidium, Lyngbya</i>	500	2,000	100	2,400	2,600	1,800	1,400	2,900	9,500	3,200	0
<i>Oscillatoria</i>	R	R	R	R	R	R	30	100	0	1,000	0
ランソウの分解期	1.8万	28万	0.5万	34万	1.3万	29万	10万	23万	40万	18万	80万
水 月 湖	N.P 無添加			N(0.2) P(0.02)		N(0.2) P(0.1)		N(1.0) P(0.02)		N(1.0) P(0.1)	
	0 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日
<i>Microcystis A</i>	2,700	900	300	800	100	1,600	500	3,000	500		600
<i>Microcystis B</i>	0	0	30	0	200	0	70	0	70		30
<i>Anabaena A</i>	1,600	5,000	1,600	3,000	1,400	5,000	400	3,900	900		200
<i>Anabaena B</i>	100	1,700	0	200	0	600	400	300	200		70
<i>Phormidium, Lyngbya</i>	2,000	4,000	4,800	8,400	8,800	8,700	7,400	7,900	22,400		21,000
<i>Oscillatoria</i>	90	200	R	100	100	100	R	1,200	R		R
ランソウの分解期	0.7万	1.4万	0.7万	1.7万	0.7万	3.5万	0.6万	2.3万	4万		14万
久 々 子 湖	N.P 無添加			N(0.2) P(0.02)		N(0.2) P(0.1)		N(1.0) P(0.02)		N(1.0) P(0.1)	
	0 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日
<i>Microcystis A</i>	2,600	70	100	700	300	600	300	850	700	900	500
<i>Microcystis B</i>	0	0	R	0	200	100	100	100	700	0	R
<i>Anabaena A</i>	1,000	900	2,400	3,300	3,000	1,400	100	1,700	300	2,000	R
<i>Anabaena B</i>	0	0	0	200	0	100	700	0	100	100	R
<i>Phormidium, Lyngbya</i>	1,800	2,900	9,000	9,600	7,800	10,000	21,000	11,000	15,000	15,000	23,000
<i>Oscillatoria</i>	80	40	100	400	200	200	70	600	200	600	400
ランソウの分解期	2,000	3,200	800	15,000	1,600	14,000	3,200	13,000	4,800	13,000	5,000
日 向 湖	N.P 無添加			N(0.2) P(0.02)		N(0.2) P(0.1)		N(1.0) P(0.02)		N(1.0) P(0.1)	
	0 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日	3 日	10 日
<i>Amphora</i>	R	0	R	0	570	0	R	0	900	0	8,000
<i>Anabaena A</i>	R	R	R	R	R	R	300	R	R	R	R
<i>Anabaena B</i>	R	0	R	R	200	R	200	R	R	0	R
<i>Microcystis A</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phormidium, Lyngbya</i>	50	540	1,600	2,300	10,500	2,400	7,000	1,100	6,900	1,700	15,000
<i>Oscillatoria</i>	R	R	R	R	0	R	60	R	200	R	100
<i>Amphiprora paludosa</i>	R	R	170	R	2,000	0	0	0	0	0	0
<i>Prorocentrum</i>	80	380	230	3,500	1,600	3,600	7,300	1,300	3,600	2,600	2,000
<i>Chaetoceros</i>	R	R	0	340	0	3,900	0	570	0	18,000	0

Cells /ml, Colonies/ml

(*Microcystis A*; *M. aeruginosa* *Microcystis B*; *M. wesenbergii*)
(*Anabaena A*; *A. spiroides* *Anabaena B*; *A. macrospora*) と思われる。

3. 種類別にみたプランクトンの生産の特徴

(1) *Microcystis*

*Microcystis*の各湖における変化を図-2に示した。採水時には、三方、水月、久々子湖ではほぼ同数の*Microcystis*のコロニーが確認された。N、Pの添加後は、三方湖で生産が増大したが、他の湖での生産はみられなかった。三方湖では、3日後の生産が高く、10日後は分解期に入っている。日向湖に、*Microcystis*の出現がみられないのは、海水の影響と思われる。N、Pの比率をみると、Nを増やした方がPを増やすより生産が高かった。

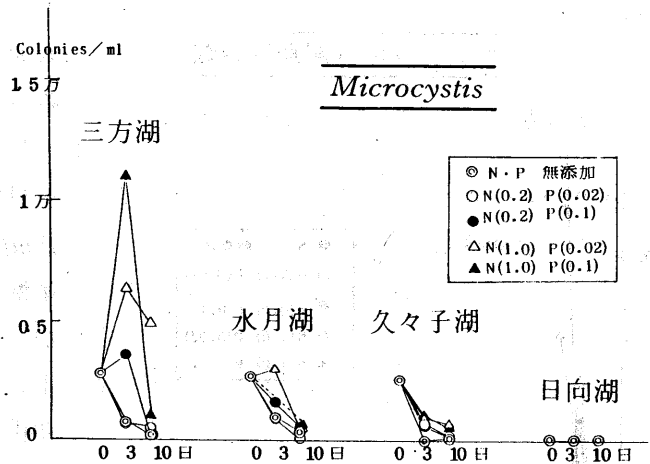


図-2 *Microcystis*の各湖における変化

(2) *Anabaena*

*Anabaena*の各湖における変化を図-3に示した。三方、水月、久々子湖で採水時にコロニーが確認された。N、Pの添加による三方湖での生産はみられなかった。一方、水月湖、久々子湖では生産が増大し、3日後の生産が高く、10日後は分解期に入っている。日向湖での生産は、三方湖同様にみられなかった。N、Pの比率をみると、*Microcystis*とは逆にPを増やした方が、Nを増やすより生産が高かった。

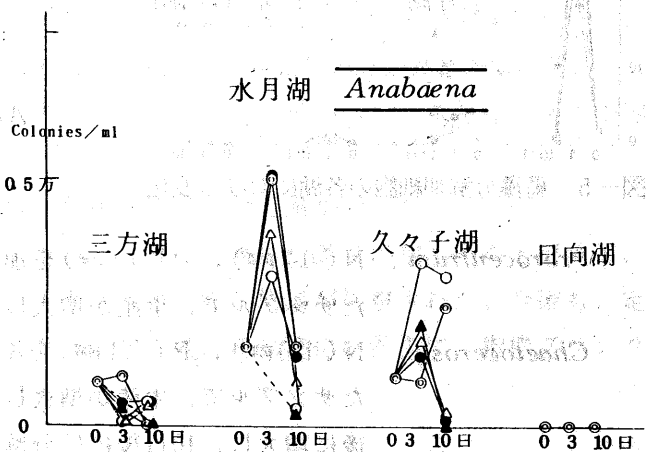


図-3 *Anabaena*の各湖における変化

(3) *Phormidium*, *Lyngbya*

Phormidium, *Lyngbya*の各湖における変化を図-4に示した。三方、水月、久々子、日向湖の淡水、汽水、海水域において、N、Pの添加により生産が増大した。生産の大きさは、久々子>水月>日向>三方の順に大きく、三方湖の生産は、他の湖に比べて低かった。3日後より10日後に急増がみられるので、短期間に分解しにくい性質を持つと考えられる。N、Pの比率をみると、Nを増やした方が、Pを増やすより生産が高かった。

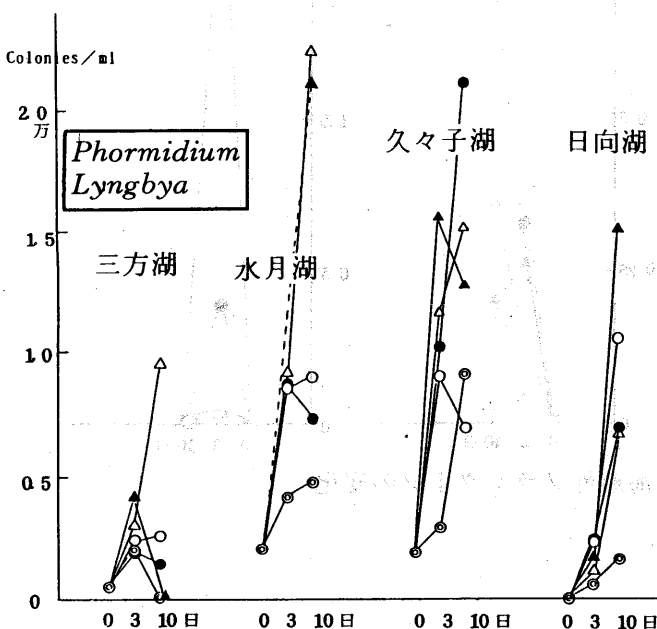


図-4 *Phormidium*, *Lyngbya*の各湖における変化

(4) 藍藻の分解期細胞

生産量調査において、N、Pの栄養塩の添加とともに、球形の単独の細胞が増えた。この細胞は、*Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanocapsa*, *Chroococcus*などの藍藻の1細胞と思われるが、分類が困難なので、藍藻の分解期細胞数として計数を行った。各湖における藍藻分解期細胞の変化を図-5に示した。三方湖で、特に目立った増え方をしていて、N

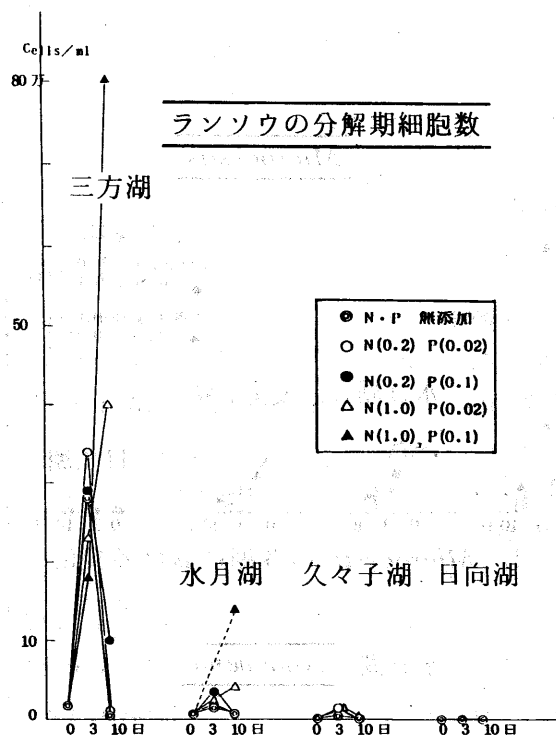


図-5 藍藻分解期細胞の各湖における変化

(1.0 ppm), P (0.1 ppm)の高濃度の栄養塩が添加されたサンプルでは、10日後に80万Cells/mlに急増した。水月、久々子湖では細胞数が少なく、日向湖は全くみられなかった。

(5) 日向湖の海産性プランクトン

日向湖は、他の湖と異なって、*Amphiprora*, *Amphora*, *Prorocentrum*, *Chaetoceros*などの海産性プランクトンが、N, Pの添加により増加したが、N, Pの濃度比により、違った種類のプランクトンの増加がみられた。図-6に各プランクトンの変化を示したが、特徴を以下に示す。

Amphiprora; N (0.2 ppm), P (0.02 ppm)を加えたサンプルで、10日後に生産が増大した。

Amphora; N (1.0 ppm), P (0.1 ppm)を加えたサンプルで、10日後に生産が増大した。

Prorocentrum; N (0.2 ppm), P (0.1 ppm)を加えたサンプルとN (1.0 ppm), P (0.02 ppm)を加えたサンプルで、生産が増大した。

Chaetoceros; N (1.0 ppm), P (0.1 ppm)を加えたサンプルとN (0.2 ppm), P (0.1 ppm)を加えたサンプルで、生産が増大した。分解しやすいプランクトンと思われる、3日後に増大し、10日後には分解していた。

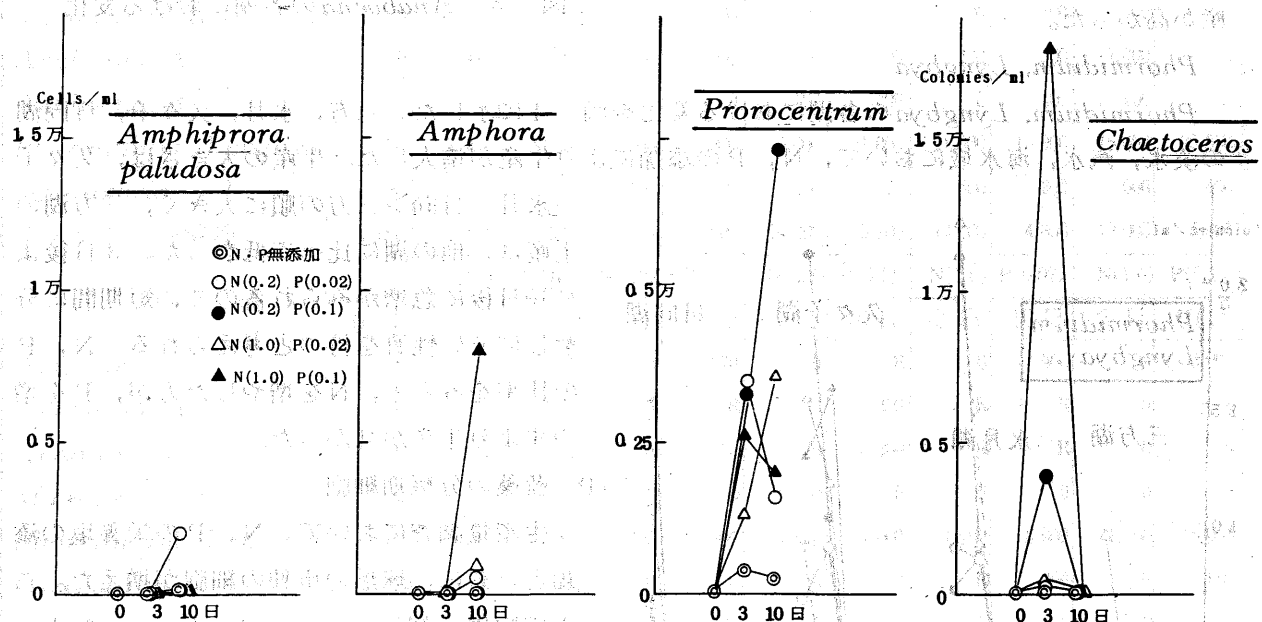


図-6 日向湖における海産性プランクトンの変化

V 結 語

7月19日～7月29日の夏期に行ったプランクトンの生産量調査より、以下の知見を得た。

1. 藍藻の栄養塩への依存性

Nを増加させた方が、Pを増加させるより生産性が高くなった種類 { *Microcystis*
Phormidium, *Lyngbya*
藍藻の分解期細胞

Pを増加させた方が、Nを増加させるより生産性が高くなった種類—*Anabaena*

2. 藍藻の分解性

Microcystis > *Anabaena* > *Phormidium*, *Lyngbya*の順に大きかった。

3. 各湖の生産性の特徴

- (1) 三方湖は、栄養塩の増加により、*Microcystis*が異常増殖した。
- (2) 水月湖は、栄養塩の増加により、*Anabaena*, *Phormidium*, *Lyngbya*が異常増殖した。
- (3) 久々子湖は、栄養塩の増加により、*Phormidium*, *Lyngbya*, *Anabaena*が異常増殖した。
水月湖と生産の特徴はよく似ているが、水月湖に比べて生産量は低かった。これは、久々子湖が日本海と接していて、塩分が高いためと思われる。
- (4) 日向湖は、他の湖と全く違った生産性を示し、海産性珪藻や鞭毛藻が増えた。

今回の夏期のプランクトンの生産量調査結果より、N, Pの栄養塩を多量に加えることで、N, Pの比率の違いや各湖の特質により、特有のプランクトンの異常な増殖が観察された。今後も、定量的な調査を進めていくことで、これらのプランクトンが、湖の富栄養化の監視に、指標プランクトンとして利用できるかどうか、課題と思われる。

参 考 文 献

- 1) 前川ら：本報，15，140，1985

