

びわ湖北湖における $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加について

山 中 治

滋賀県水産試験場がびわ湖（彦根—安曇川間の5地点）において毎月実施している定期観測結果より、びわ湖の富栄養化が年々進行しているということを、いくつかの例で指摘できる。例えば、びわ湖深層の全循環期前の溶存酸素量が年々減少していること、¹⁾ 4月から9月にかけての生産層で溶存酸素が過飽和状態となることが多くなったこと、生産の盛んな時期、層におけるPH値が年々高くなってきたこと、逆に分解が盛んに行なわれる時期、層ではPH値が低くなってきたこと、無機栄養塩類（特に $\text{NO}_3\text{-N}$ ）が増加してきたこと、透明度が低下してきたこと等があげられる。これらは経年変化を数値で表わさないかぎり、富栄養化の程度や速度がわからず、目に見えぬ、いわば富栄養化が潜行した状態であった。ところが近年、鼓藻類やウログレナが異常繁殖し、湖面を緑や赤褐色に変えるという現象が毎年といってよいほど起こるようになると、もはやびわ湖の富栄養化は顕在化しびわ湖利用者に危機感さえ抱かせるようになった。

本報では、植物プランクトンの生産に対して最も基礎的な栄養条件である $\text{NO}_3\text{-N}$ が激増していることを述べ、他の栄養条件、生物種間の競合条件、ひきかね要因さえそろえば、いつでも植物プランクトンの異常繁殖が起こりうる可能性のあることを指摘し、また $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加傾向をみることで、逆に減少させるための努力につながることを期待した。

$\text{NO}_3\text{-N}$ の経年変化

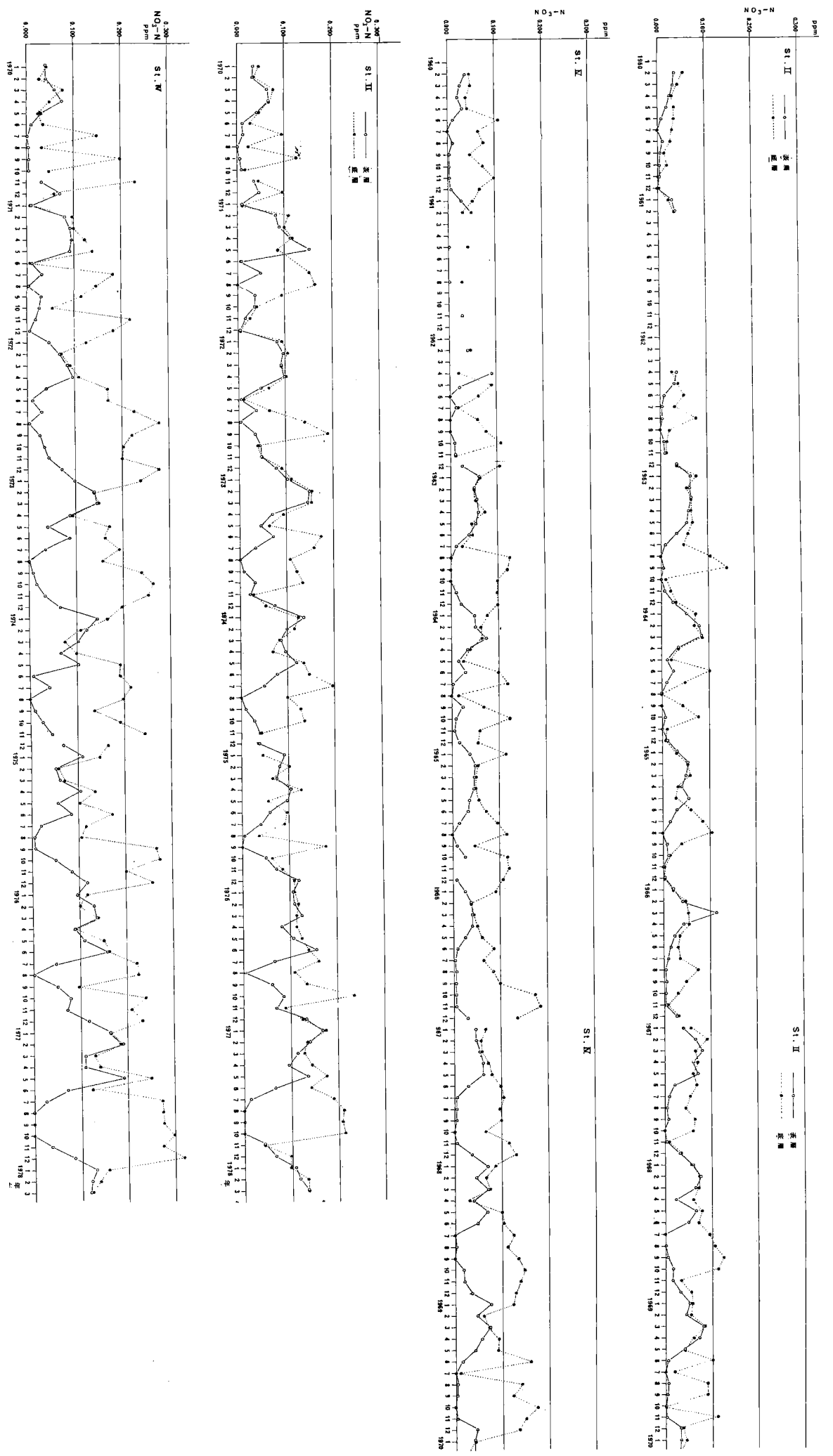
滋賀県水産試験場が行なった各年度びわ湖定期観測結果より、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の経年変化を第1図に示した。1960年2月以降の観測結果を用いたのは、この月から $\text{NO}_3\text{-N}$ の分析方法が Mullin—Riley の方法²⁾となり、途中1972年1月に比色計が BAUSCH&LOMB . Spectronic 20 光電光度計から139型日立分光光度計に変わったものの、現在も同じ分析方法を用いているからである。定期観測の彦根—安曇川間を結ぶ線上、5地点より、湖心に近いSt. IIとSt. IVを選んだが、これらの地点は概略次のようである。

地 点	水 深	離岸距離（彦根港口—舟木崎線上）
St. II	22 m前後	彦根港口から約3,200 m
St. IV	78 m前後	舟木崎から 約4,000 m

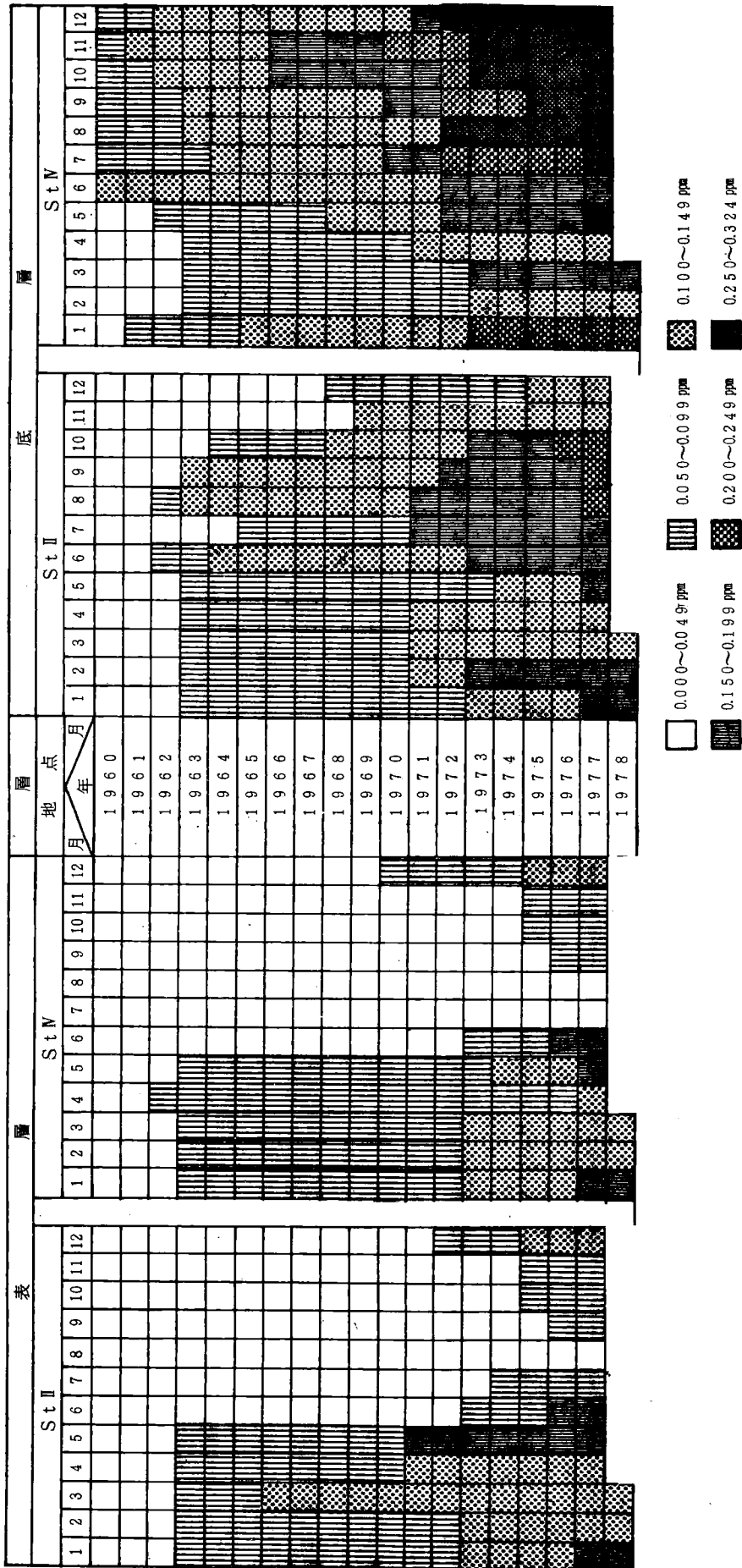
表層（水面下約50 cm）の経年変化は —○— で、底層（観測水深より0.5~1.5 m差し引いた深さで採水）は……●……で表わした。第1図では $\text{NO}_3\text{-N}$ が確実に増加していることと、周年変化の様子が若干変わってきたと述べるにとどめ、以下でさらに詳しく検討を行なうことにする。

$\text{NO}_3\text{-N}$ の増加程度と速度

まず $\text{NO}_3\text{-N}$ が1960年2月から1978年3月迄、どのように増加してきたかをみてみよう。第1表は $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が過去に測定された値より高くなった年月とその時の値、およびどれだけ更新されたかをSt. II, St. IVの表層、底層それぞれについて記録したものである。また第2図は、この



第1図 St. II, St. IIIの表層および底層におけるNO₃-Nの経年変化(1960年2月~1978年3月)



第2図 NO₃-Nの更新記録
 St. II, St. IVの表層および底層において、各月別に、NO₃-N濃度が0.050PPm増加更新
 することにより色分けした。

第1表 NO₃-Nの更新記録

St. II, St. IV の表層および底層において、各月別に、測定値が過去を上回っ

年	地点 月	St. II (表層)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960			38	33	25	18	11	0	11	6	3	3	0
1961	24												
1962					33 (8)	31 (13)		3 (3)			6 (3)	9 (6)	34 (34)
1963	76 (62)	62 (24)	65 (32)	60 (27)	56 (25)	33 (22)	9 (6)						
1964		80 (18)	84 (19)										
1965							15 (6)			8 (2)	22 (16)		
1966			123 (39)										
1967				66 (6)	73 (17)								
1968						48 (15)						14 (5)	
1969				71 (5)									
1970												35 (21)	45 (11)
1971		81 (1)		112 (41)	52 (79)		48 (33)			31 (23)	35 (13)		
1972	82 (6)	95 (14)								35 (4)	44 (9)	47 (12)	78 (33)
1973	102 (20)	149 (54)	146 (23)			71 (23)							
1974	135 (33)					77 (6)	50 (2)						
1975											50 (6)	73 (26)	120 (42)
1976						155 (78)	65 (15)			59 (24)	84 (34)		133 (13)
1977	167 (32)												
1978													

単位: r/l

年	地点 月	St. IV (表層)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960			37	27	21	30	11	0	11	3	3	3	6
1961	27	48 (1)										27 (24)	
1962					87 (66)			12 (12)			9 (6)		25 (19)
1963	59 (32)	50 (2)	55 (28)		52 (22)	38 (27)							
1964		51 (1)	73 (18)							23 (20)			
1965								14 (2)			25 (16)		
1966													
1967					61 (9)								
1968	70 (1)				67 (6)	47 (9)							
1969	75 (5)												
1970												32 (5)	
1971		81 (30)	92 (19)	95 (8)	88 (21)		30 (16)			31 (8)	26 (1)		
1972											33 (7)	44 (12)	
1973	100 (25)	140 (59)	145 (53)			84 (37)	35 (5)						
1974	143 (43)				102 (14)		42 (7)					46 (2)	
1975											50 (17)	83 (37)	116 (45)
1976					110 (8)	157 (73)	48 (6)			51 (20)	75 (29)		117 (1)
1977	162 (19)			111 (16)	192 (32)								
1978													

単位: r/l

た時の値と増加濃度 () 内を示す。

年	地点 月	St. II (底層)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960			43	42	33	35	36	33	27	15	20	0	3
1961		30											
1962						39 (4)	52 (16)		78 (51)	20 (5)		14 (14)	34 (31)
1963		64 (34)	55 (12)	65 (23)	65 (32)	67 (28)	57 (5)	48 (15)	105 (27)	139 (119)		19 (5)	
1964		72 (8)	74 (19)	86 (21)			101 (44)				77 (57)		
1965								85 (37)					
1966													
1967			92 (18)		70 (5)								
1968					77 (10)			94 (9)	106 (1)		122 (45)	33 (14)	55 (21)
1969												112 (79)	
1970													72 (17)
1971			108 (16)	101 (15)	115 (45)	86 (9)		152 (58)	164 (58)				
1972		92 (20)								189 (50)			90 (18)
1973		112 (20)	154 (46)	143 (42)			172 (71)	158 (6)			183 (61)		
1974		124 (12)				135 (59)		197 (39)			185 (2)		
1975					127 (12)								110 (20)
1976											236 (51)		126 (16)
1977		175 (51)			145 (18)	176 (41)			212 (48)	209 (20)			
1978													

単位: r/l

年	地点 月	St. V (底層)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1960			45	49	39	41	107	64	75	47	74	98	70
1961		52				42 (1)						138 (40)	
1962						88 (46)				77 (30)	109 (35)		103 (33)
1963		62 (10)	50 (5)	52 (3)	72 (33)				125 (60)	120 (43)			
1964		76 (14)	62 (12)	64 (12)				119 (55)			122 (13)		
1965		114 (38)											106 (3)
1966											172 (60)	184 (46)	136 (30)
1967													
1968			66 (4)	77 (13)		100 (12)		125 (6)		134 (14)			
1969		122 (3)			92 (20)		109 (2)		141 (16)		174 (2)		138 (2)
1970								174 (49)		197 (63)		230 (46)	
1971			97 (31)	99 (22)	121 (29)	139 (39)		182 (8)	146 (5)				182 (44)
1972		125 (3)				170 (31)	170 (61)	227 (45)	279 (133)	221 (24)	202 (28)		278 (96)
1973		238 (13)	140 (43)	150 (51)						239 (18)	264 (62)	253 (23)	
1974						186 (16)	192 (22)						
1975					135 (14)					265 (26)	273 (9)		
1976													
1977					140 (5)	251 (65)		273 (46)		279 (14)	298 (25)	275 (22)	324 (46)
1978													

単位: r/l

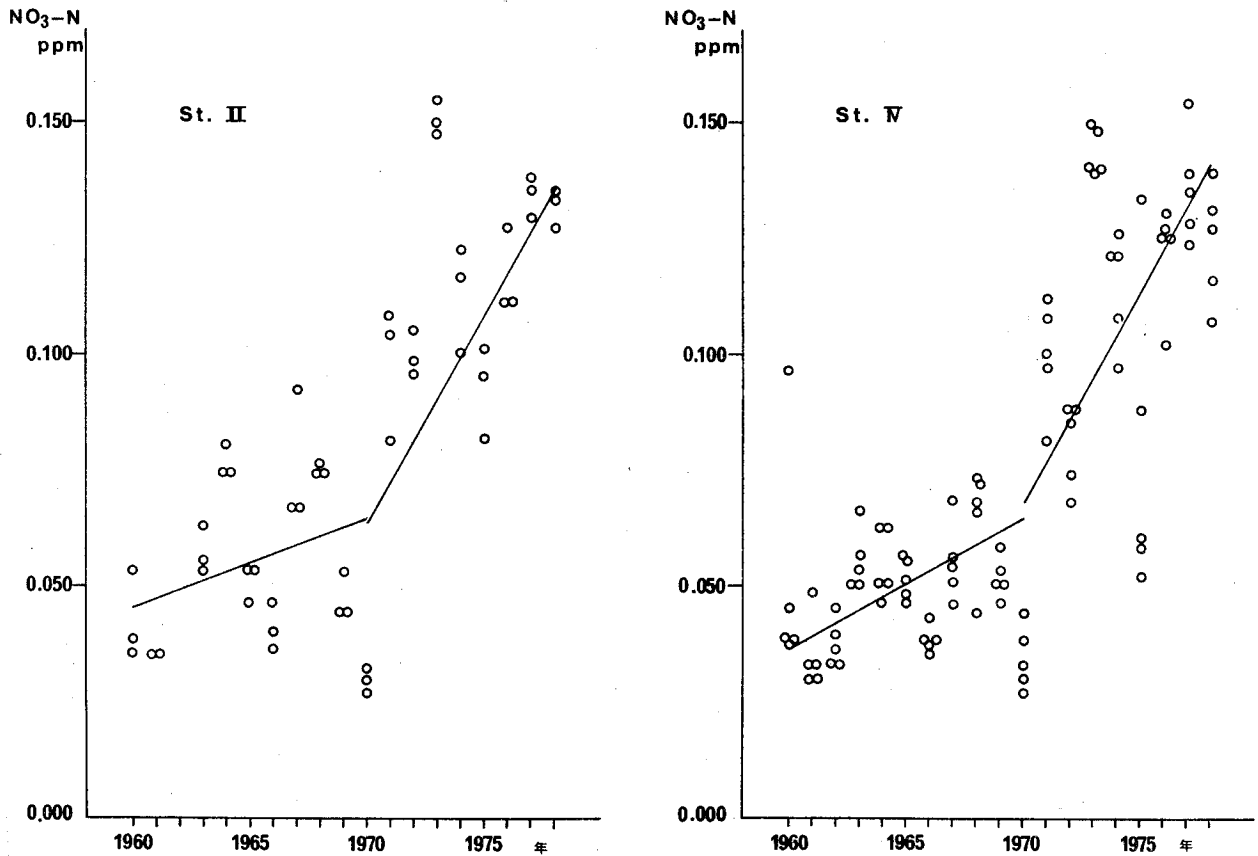
更新記録を0.050 ppm間隔で区切り、色分けしたものである。第1表より、NO₃-Nが急増したと思われる年は、すなわち更新値の大きい年月、その前後の年月の更新記録、更新されたのは生産が盛んに行なわれている時期あるいは層なのか、また逆に分解の盛んな時期、層なのかを考慮しながら、1962～1963年、1970～1972年、1976～1977年と推定した。第2図では0.050 ppm 増加更新するのに何年かかっているかがわかるが、特に1970年代に入ってから更新速度（すなわちNO₃-Nの増加速度）が著しい。

第2表は1960年から1978年の2月調査時のSt.Ⅱ， St.Ⅳにおける水深別NO₃-N 濃度で

第2表 St.Ⅱ, St.Ⅳにおける2月調査時のNO₃-N濃度 (PPm)

年月日	地点 水深	Ⅱ		Ⅳ		年月日	Ⅱ		Ⅳ		年月日	Ⅱ		Ⅳ		年月日	Ⅱ		Ⅳ	
		Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅳ		Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅳ		Ⅱ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅳ		Ⅱ	Ⅳ		
1960年 2月17日	0m	0.038	0.037																	
	10	0.035	0.096																	
	20	0.053	0.038																	
	30		0.038																	
	底		0.045																	
1965年 2月20日	0m	0.053	0.048																	
	10	0.047	0.051																	
	20	0.053	0.046																	
	30		0.056																	
	底		0.055																	
1970年 2月13日	0m	0.030	0.038																	
	10	0.027	0.033																	
	20	0.032	0.044																	
	30		0.030																	
	底		0.027																	
1975年 2月16日	0m	0.081	0.052																	
	10	0.095	0.088																	
	20	0.101	0.133																	
	30		0.060																	
	底		0.058																	

第3図に各測定値をプロットした。2月は各層の濃度が最も均一化した状態であり、植物プランクトンによる生産および微生物による有機物の分解も低く、また雪解け水の流入もまだ少ない時期であるという理由で、NO₃-Nの経年増加傾向を調べるのに最も適していると考えられる。第3図でNO₃-Nの経年変化は、St.Ⅱ， St.Ⅳともほぼ同様の傾向がみられ、1970年代を境に増加速度が非常に異なっている。したがって1960年から1970年（1960年代）と1970年から1978年（1970年代）に分けて、それぞれのNO₃-Nの増加速度が加速度的でなく、等速であると仮定して、直線を引き、その傾きと切片を最小自乗法で計算してみた。これによると1960年代の増加速度は、St.Ⅱで0.002 ppm/年、St.Ⅳで0.003 ppm/年となり、1970年代の増加速度は、St.Ⅱで0.009 ppm/年、St.Ⅳで0.009 ppm/年となった。また1960年から1970年にかけてNO₃-N濃度はSt.Ⅱでは約1.4倍、St.Ⅳでは



第3図 St. II, St. IVにおける2月調査時NO₃-Nの経年変化

約1.8倍に増加し、1970年から1978年にかけてはSt. IIで約2.2倍、St. IVでは約2.1倍に増加している。1960年から1978年ではNO₃-N濃度はSt. IIで約3.0倍、St. IVで約3.9倍となった。以上総合すると、湖水へのNO₃-N 負荷量が例年より大きかったと考えられる年は1962～1963年、1970～1972年、1976～1977年で、特に1970～1972年が顕著であった。NO₃-Nは1970年代に入って急に増加速度を増し、1960年代増加速度の3倍以上にも達しているようであった。

NO₃-Nの周年変化

第3表はSt. IVのNO₃-N 測定値を1960年代と1970年代に分け、月別、水深別に平均をとった値である。また第4図に1960年代および1970年代のNO₃-N の周年変化を示した。

第3表によると、2月の上下層が混合された状態で、1970年代のNO₃-N 濃度は1960年代の2.0～2.5倍となっている。このように1960年代と1970年代における湖水中NO₃-N の絶対量の差が、NO₃-Nの周年変化(第4図) に影響を及ぼしているのであろうか、1960年代には生産の盛んな6月から11月迄の6ヶ月間、0 m, 10 m層で0.010 ppm 以下という非常に低い濃度が続いているのに対して、1970年代は8月の0 m層のみ0.010 ppm 以下であるという大きな特徴がみられる。ところで表層から底層までの全層を総合しながらNO₃-N の周年変化をみると、まず

第3表 1960年代, 1970年代におけるNO₃-N濃度の月別水深別平均値 (ppm)

月水深	1960年代 (1960年~1969年の平均値)				
	0 m	10 m	20 m	30 m	底
1	0.048	0.051	0.052	0.053	0.083
2	0.045	0.055	0.046	0.050	0.051
3	0.055	0.059	0.060	0.059	0.058
4	0.044	0.037	0.044	0.055	0.051
5	0.035	0.036	0.048	0.058	0.065
6	0.023	0.028	0.049	0.064	0.087
7	0.005	0.011	0.052	0.052	0.069
8	0.003	0.009	0.063	0.071	0.088
9	0.005	0.003	0.067	0.076	0.090
10	0.007	0.008	0.061	0.090	0.120
11	0.007	0.007	0.019	0.088	0.123
12	0.024	0.024	0.026	0.031	0.106

月水深	1970年代 (1970年~1978年の平均値)				
	0 m	10 m	20 m	30 m	底
1	0.101	0.100	0.110	0.105	0.146
2	0.103	0.107	0.116	0.101	0.105
3	0.101	0.104	0.101	0.100	0.105
4	0.082	0.104	0.099	0.106	0.112
5	0.081	0.098	0.116	0.126	0.152
6	0.057	0.067	0.112	0.132	0.136
7	0.026	0.051	0.136	0.151	0.198
8	0.002	0.027	0.149	0.145	0.183
9	0.016	0.028	0.162	0.165	0.214
10	0.027	0.033	0.110	0.186	0.209
11	0.044	0.046	0.070	0.154	0.207
12	0.075	0.077	0.075	0.115	0.218

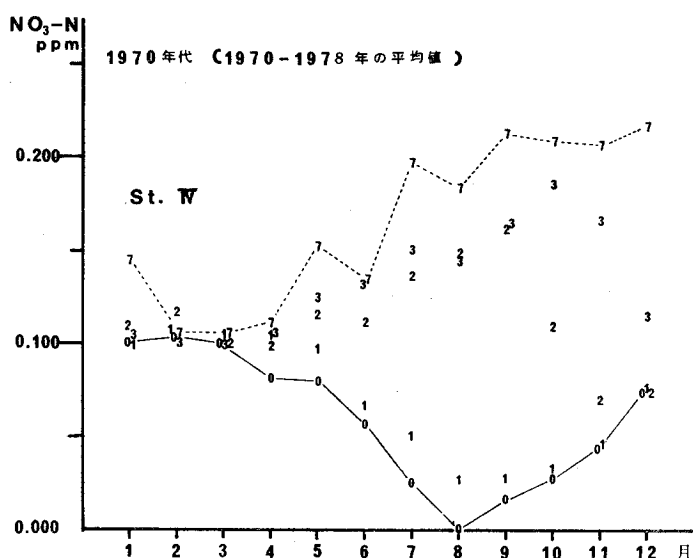
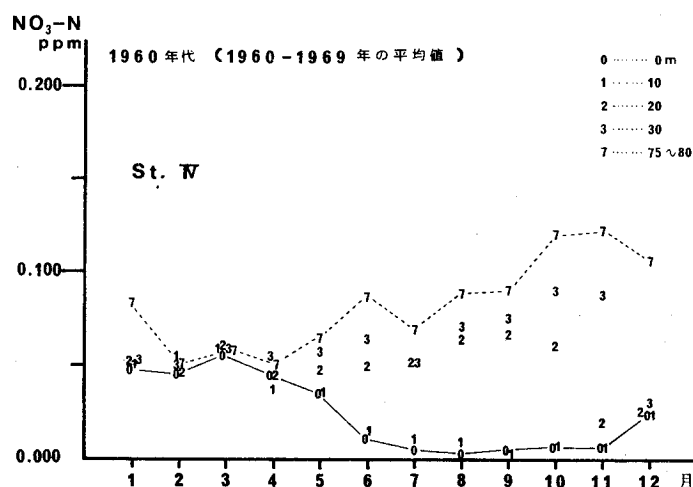
1960年代は, 2月から3月にかけて若干増加, 4月にやや減少, 5月, 6月は変化なし, 7月に減少, 8月に増加という周年変化がみ

られる。これに対し, 1970年代は2月から3月にかけてやや減少, 4月には変化なし, 5月に増加, 6月減少, 7月に増加というパターンである。ここで1960年代はNO₃-Nが7月に減少し, 1970年代は6月に減少しているのがわかったが, その理由を考えてみよう。第5図は

1960年代および1970年代のプランクトン沈殿量の周年変化である。

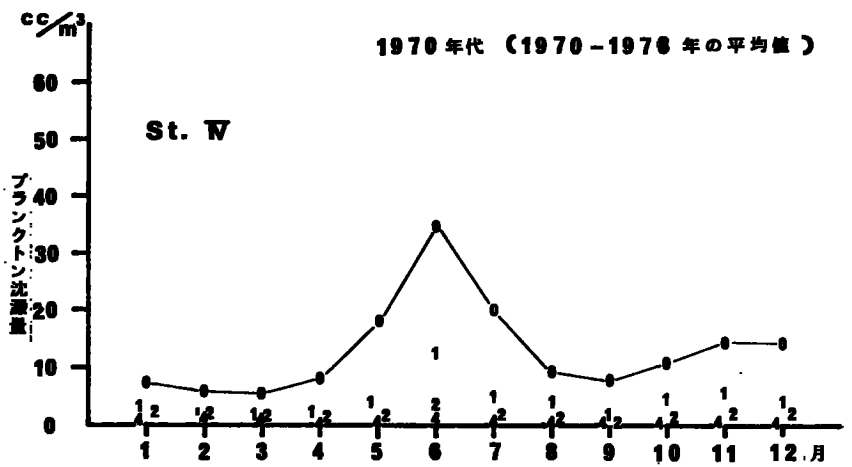
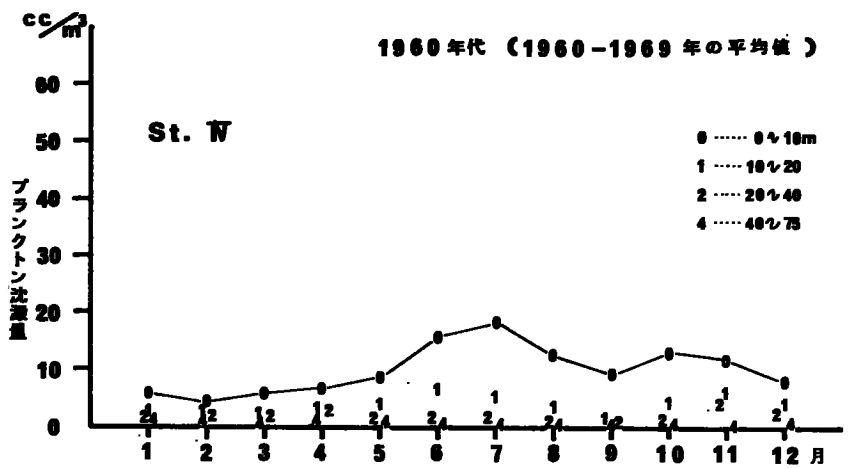
図から明らかのように, 1960年代は7月が最もプランクトン繁殖の盛んな時期であったのに対し, 1970年代は6月であるというように, プランクトン繁殖の最盛期が変わってきた。プランクトン繁殖の最盛期にはNO₃-Nが減少することは容易に想像され, したがってNO₃-Nの周年変化も, 1960年代の7月減少から, 1970年代の6月減少に変わってきたと考えられる。もう一つ変わった現象として, 1970年代の

第4図 1960年代, 1970年代におけるNO₃-Nの周年変化



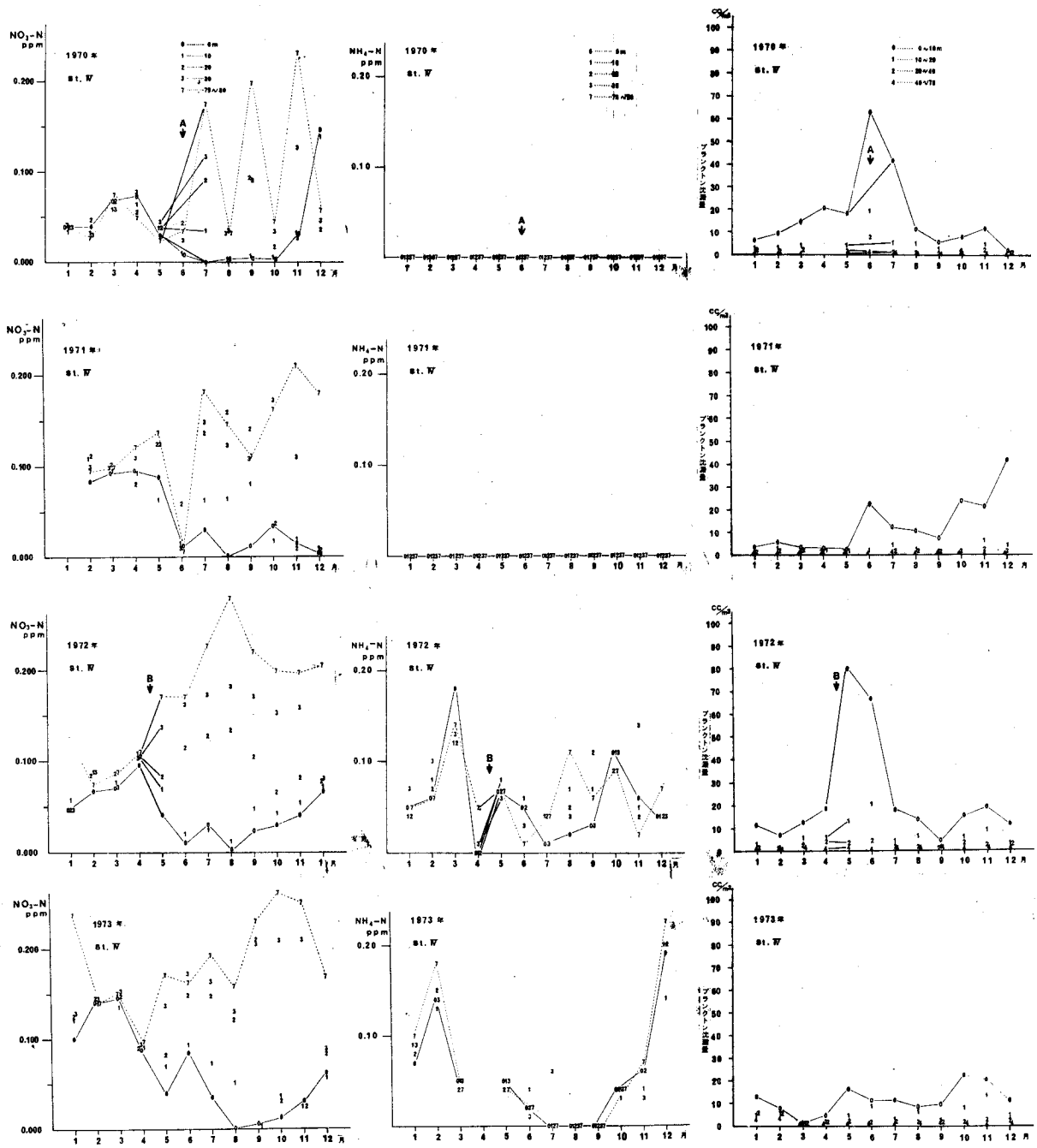
4月から5月にかけて、プランクトン沈殿量が急に増加し、量としては1960年代のプランクトン繁殖の最盛期である7月にも匹敵するのに対して、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が4月から5月にかけて減少するどころか増加している点である。このことは1970年代においては、4月中旬（4月観測値は4月16日前後のものである）から5月中旬にかけての $\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷量が増大したのではないかという疑問につながる。この点をさらに詳しく $\text{NO}_3\text{-N}$ だけでなく、無機態Nの一つである $\text{NH}_4\text{-N}$ の周年変化も含めて考えてみよう。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は1960年代にはほとんど不検出であったが、1970年代には検出限界（0.01 ppm）を越えることが多くなってきたので、無機態Nとプランクトンの増殖を考えると無視できない項目となってきた。なお、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は検出限界（0.001 ppm）以下のことが多く、検出されても0.010 ppmを越えることはほとんどなかったため、この検討から除外した。

第5図 1960年代、1970年代における
プランクトン沈殿量の周年変化

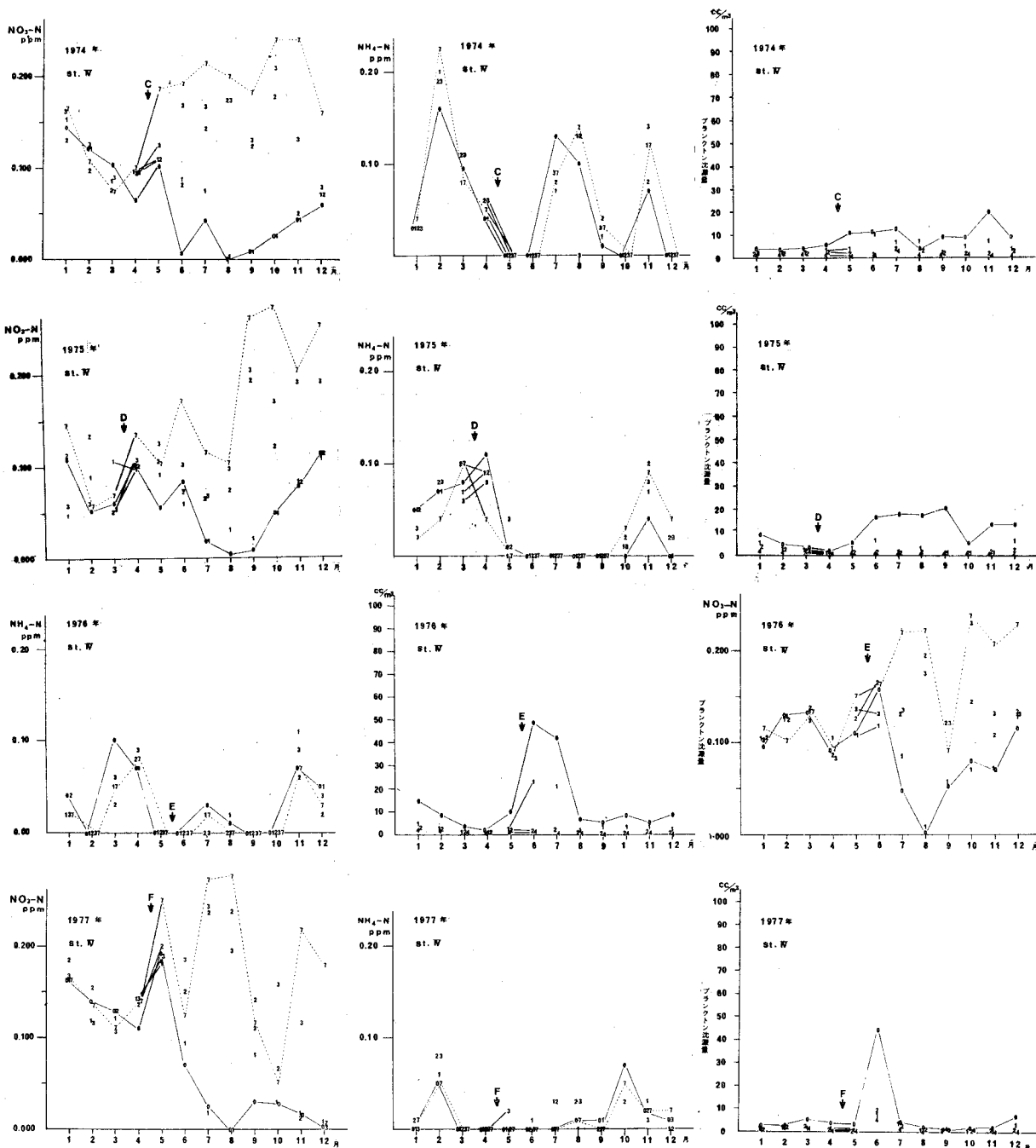


第6-1図、第6-2図は1970年から1977年の各年度における $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、プランクトン沈殿量の周年変化である。図で、プランクトン沈殿量が増加しているのに、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が減少せず、むしろ増加している月、およびプランクトン沈殿量の増加割合が高いのに、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少割合が少ない月について、図中に矢印（←）を付した。矢印を付した部分だけを第7図に大きく拡大し、第4表に矢印を付した理由を記した。また上下層が混合している2月から矢印を付した月にかけての（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）+（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の増減とプランクトン沈殿量の増減を第5表に示した。これは無機態Nの循環過程における消失および回帰を少しでも考慮するためである。

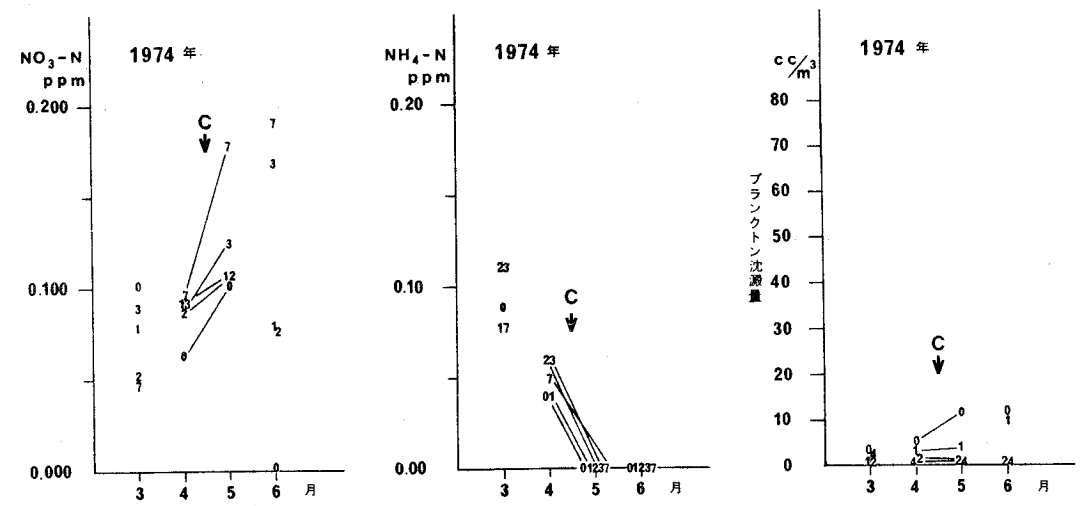
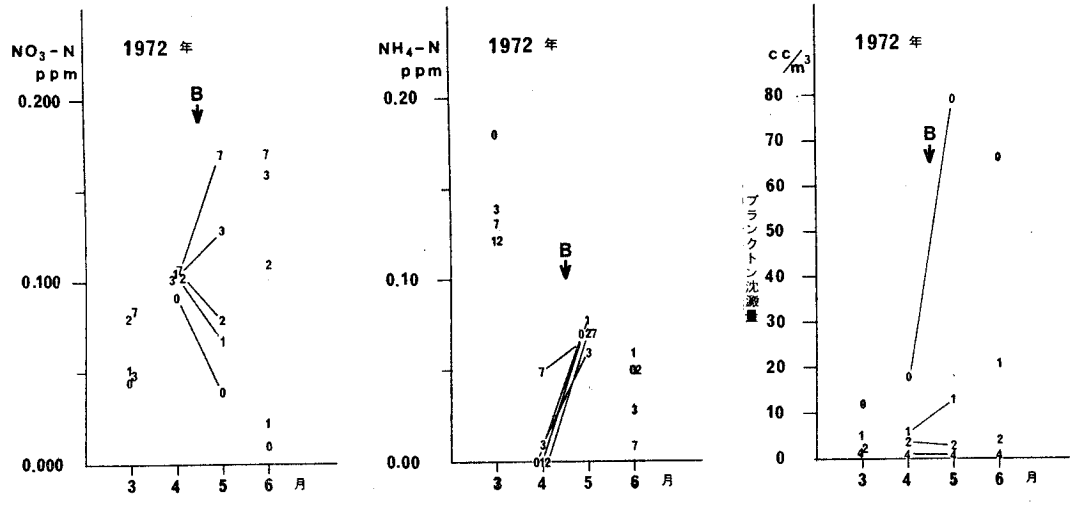
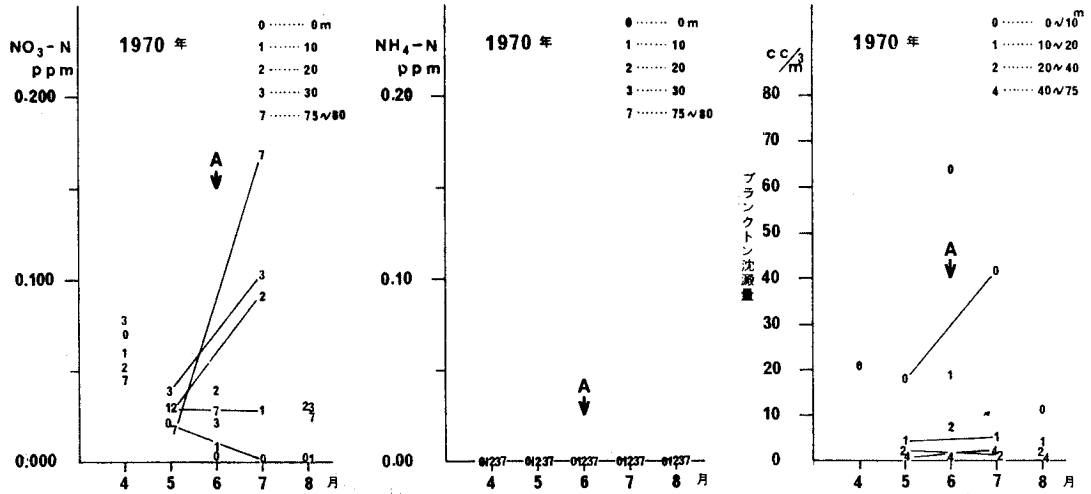
以上の図表から1970年代においては、3月中旬から7月中旬にかけて（特に4月中旬から5月中旬にかけて）、湖水中へ無機態Nが多量に負荷されたのではないかと考えられる年、および疑いのもたれる年が多くなったと言えるが、ただし各年のびわ湖への流入水量やびわ湖からの流出水量を無視した点、4月から5月にかけて、底質から湖水中へ無機態Nが溶出回帰しないことを前提とした点、その他、湖の生態は難しいと思いつつも、いかにも単純にとらえた点など、今後の問題点として残る。本報告を急いだのは、びわ湖におけるプランクトン異常発生の原因の一つとして、 $\text{NO}_3\text{-N}$ の増加が



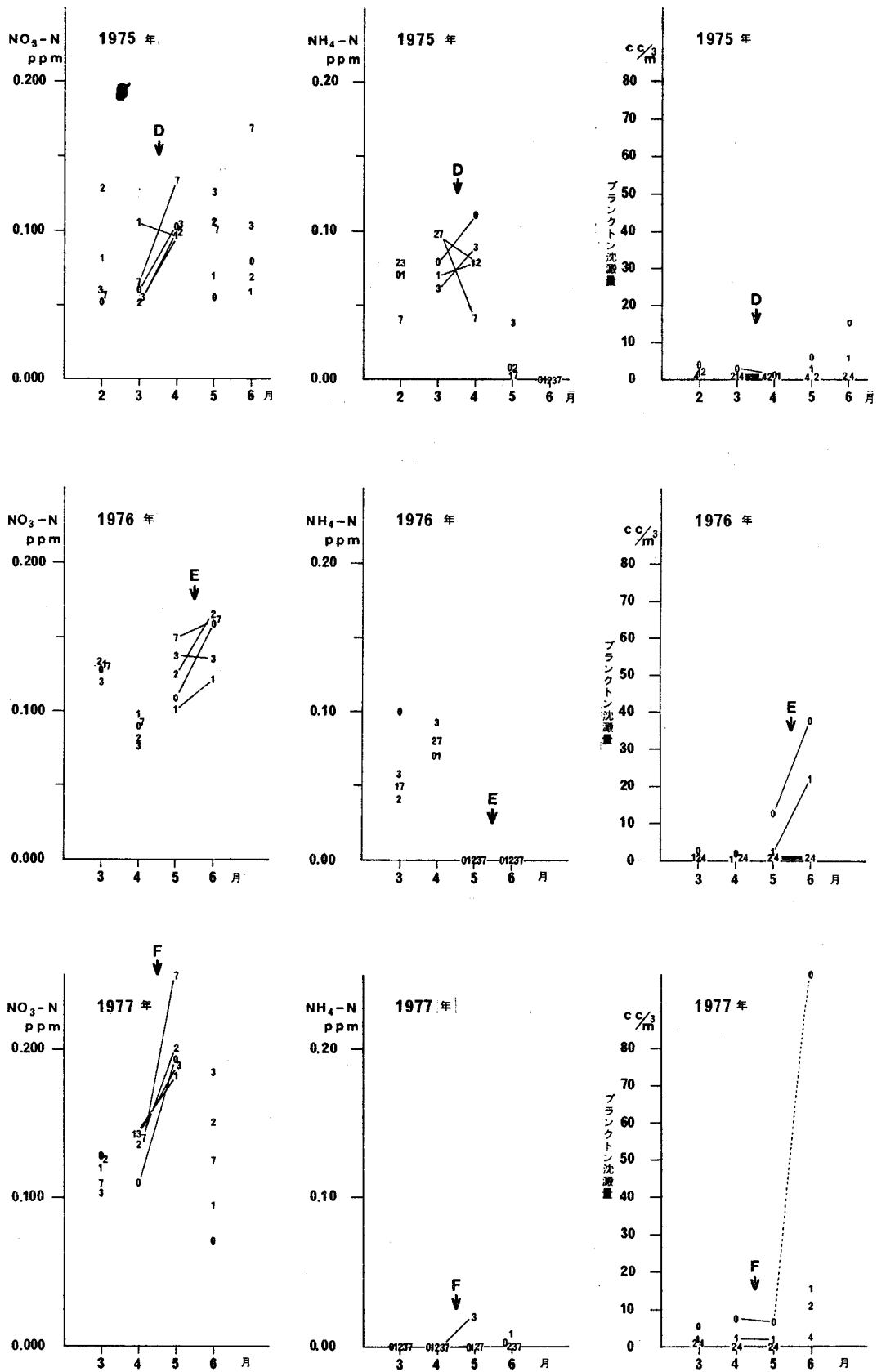
第6-1図 1970~1977年におけるNO₃-N, NH₄-N,
プランクトン沈澱量の周年変化 (St. W)



第 6-2 図 1970 ~ 1977 年における $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, プランクトン沈澱量の周年変化



第7-1図 第6図矢印部の拡大



第7-2図 第6図矢印部の拡大

第4表 第6図における矢印部分の無機態Nおよびプランクトン沈殿量の動向

符号	年 月	NO ₃ -N	NH ₄ -N	プランクトン沈殿量
A	1970年 5月~7月	20m層以深の増加が大	変化なし	0 m層の増加が大
B	1972年 4月~5月	0~20m層で0.023~0.054 ppm減少, 30~底層で0.024~0.061 ppm増加	各層で0.02~0.08 ppm増加	0 m層異常繁殖
C	1974年 4月~5月	全層増加 (0.015~0.086 ppm)	各層で0.04~0.06 ppm減少	0 m層で増加
D	1975年 3月~4月	10m層のみ減少	全層平均してやや減少	0 m層でやや増加
E	1976年 5月~6月	全層増加 (0.000~0.047 ppm)	変化なし	0 m, 10 m層で増加大 わずかに減少
F	1977年 4月~5月	全層増加 (0.039~0.111 ppm)	30m層のみ0.02 ppm増加他は変わらず	(0~10m -1.16cc/m ³ 10~20 -1.15 20~40 -0.46 40~75 +0.19 6月に異常繁殖

第5表 2月から矢印月までの無機態Nおよびプランクトン沈殿量の動向

		(NO ₃ -N) + (NH ₄ -N) ppm 2月 → 矢印月	プランクトン沈殿量
A	1970年 2月→7月	0 m 0.038 → 0.001 10 0.033 → 0.035 20 0.038 → 0.090 30 0.038 → 0.113 底 0.041 → 0.174	0~10 m層で非常に増加
B	1972年 2月→5月	0 0.128 → 0.111 10 0.168 → 0.149 20 0.155 → 0.152 30 0.190 → 0.197 底 0.134 → 0.240	0~10 m層で非常に増加
C	1974年 2月→5月	0 0.281 → 0.102 10 0.321 → 0.109 20 0.287 → 0.109 30 0.316 → 0.125 底 0.338 → 0.186	0~10 m層で増加 10~20 m層はやや増加 40~75 m層でやや減少
D	1975年 2月→4月	0 0.122 → 0.212 10 0.158 → 0.177 20 0.213 → 0.181 30 0.140 → 0.197 底 0.098 → 0.175	0~10 mで若干減少
E	1976年 2月→5月	0 0.130 → 0.110 10 0.125 → 0.107 20 0.125 → 0.126 30 0.127 → 0.137 底 0.102 → 0.151	0~10 m若干増加 他層は若干減少
F	1977年 2月→5月	0 0.189 → 0.080 10 0.178 → 0.130 20 0.234 → 0.176 30 0.194 → 0.174 底 0.185 → 0.178	0~10 m若干増加 10~20 m, 20~40 mは若干減少

あげられるのではないかと考えたからである。

要 約

1. 滋賀県水産試験場が1917年より実施してきたびわ湖定期観測結果より、1960年2月から1978年3月の $\text{NO}_3\text{-N}$ の経年変化について検討した。
2. びわ湖への $\text{NO}_3\text{-N}$ 負荷量が特に大きかったと推定されたのは1970～1972年であった。
3. $\text{NO}_3\text{-N}$ は1970年代に入って急に増加速度を増し、1960年代増加速度の3倍以上にも達していると考えられた。
4. 1970年代においては、特に4月中旬から5月中旬にかけて、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を含む無機態Nが多量に負荷されたと考えられる年、疑いのもたれる年が多くなった。

文 献

- 1) 中 賢治, 1973 : びわ湖深層の全循環期前の溶存酸素量の経年変化, 滋賀水試研報, 第24号 140～143
- 2) Mullin, Riley, 1955 : Determination of nitrate in sea and fresh water—Use of hydrazin as reductor, Anal chem Acta, 12, 464～480