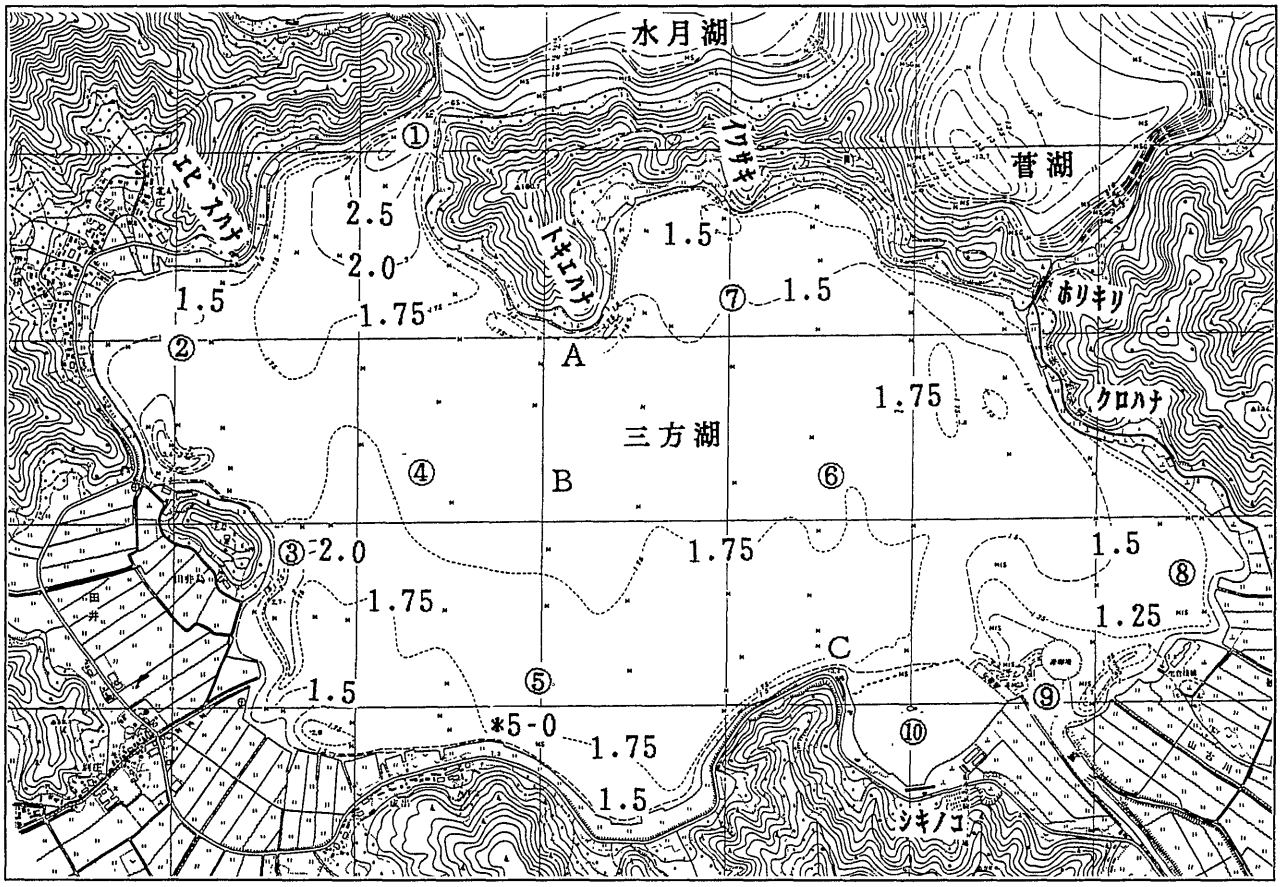
第２章　調査および結果の概要

２．１ 調査地点

三方湖の調査地点を図－２に、三方五湖の諸元を表－２に示す。三方湖では①瀬戸、②田井島を除いて水深は２m以下である。透明度は 0.5～1.0mであり、生産層は透明度の約 2.5倍といわれるため、全層が生産層と見なすことができる。

表－２　三方五湖の諸元

	周 囲 km	湖面積 km²	最大深度 m	平均深度 m	流域面積 km²	湖容積 10⁴m³
日　向	4.2	0.9	38.5	14.3	2.2	1287
久々子	7.7	1.4	2.5	1.8	15.8	252
水　月	10.3	4.1	34.0	14.3	4.3	7165
菅	4.5	0.9	13.0		1.3	
三　方	10.2	3.6	5.8	1.5	63.0	547



図－２　三方湖調査地点と湖水深

地点名は①：瀬戸，②：伊良積，③：田井島，④：三方西，⑤：成出，⑥：三方東，⑦：三方北岸，⑧：観音川，⑨：河口，⑩：シキノコで、A、B、C、5-0 は垂直調査時の補助地点である。
コンター上の数値は水深(m)を示す。

２．２ 調査方法

調査は平成５，６年度の二年度にまたがる。地元の人と電話連絡を行い、アオコ発生状況を確認しながら実施した。

平成５年度は三方湖内10地点（図－２の①～⑩）で、６月から10月にかけて計10回、アオコのプランクトンと水質の水平分布調査を行った。

平成６年度は三方湖内４地点（図－２の①⑥⑦⑨)で、

5月から10月にかけて計24回、プランクトンと水質についてアオコ発生期の集中的調査を行った。

現地調査当日は午前9：30ごろに乗船して各地点を巡回し、水深、透明度、風向、風速、水温、DO、塩分の測定と採水を行い、正午ごろに下船した。直ちに保存処理のため、NH_4-NとNO$_3$-Nはミリポアメンブランフィルター(HA 0.45μ）でろ過し、ろ液100mlにつき1N-H_2SO_4を1ml添加し、また、D-FeとD-Mnはろ紙(No.5C)でろ過し、ろ液100mlにつき6N-HClを2ml添加した。実験室に持ち帰った試料は、直ちに、または前処理を行って分析した。

［アオコ計数］

アオコのプランクトン計数

ホルマリン固定した計数用試料500mlを底栓式シリンダーで24時間静置しアオコを浮上させる。この上層100mlについて枠付き界線入りスライドガラスを使用して計数した。結果は1mlあたりの個体数または群体数で示した。

ネットプランクトン比率(%)

プランクトンネット(号数NXX17 長径69μm)を舟で引きながら、アオコのプランクトンを濃縮し採取した。これを定性的に計数し、プランクトン比率(%)を求めた。この値は、上記の計数用試料から算出した組成比率と異なったため、プランクトンの完全捕集に問題があったと考えて参考値とした。

なお、一部のプランクトンは、㈱東京久栄に同定を依頼した。

［水質分析］

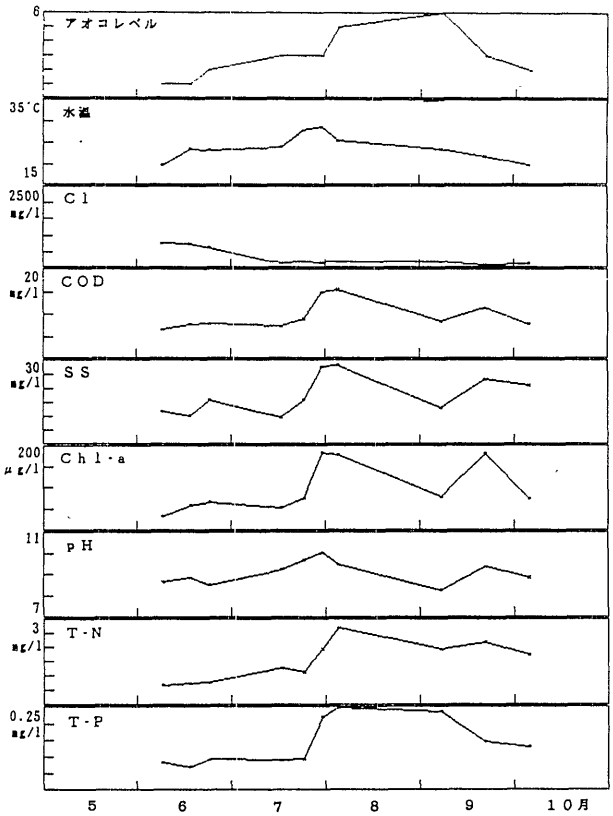
pH、COD、D-COD、SS、Cl、Chl-a、Chl-b、Chl-c、T-N、D-N、NH_4-N、NO$_3$-N、T-P、D-P、PO_4-P、D-Fe、D-Mn

なお、T-は全、D-は溶存態を示す。

分析方法はJIS-K0102 およびこれに準拠する方法によった。

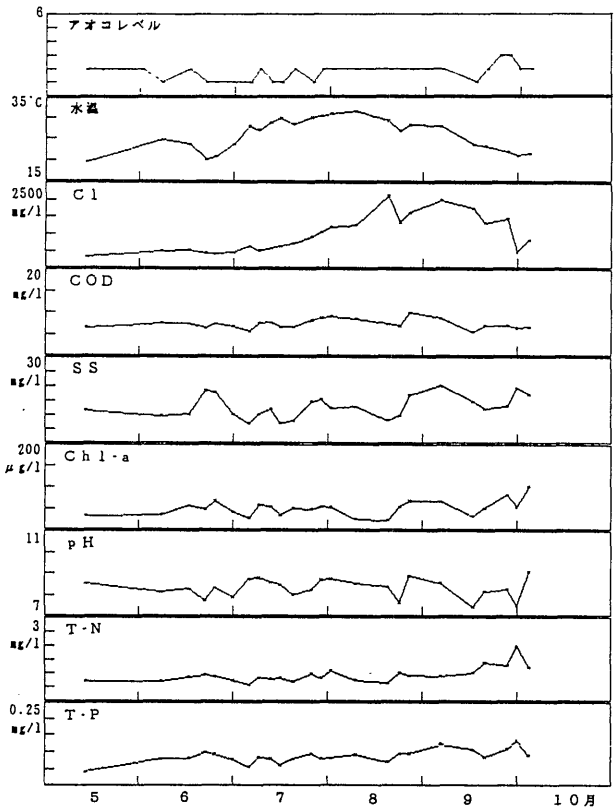
［現地測定］

水温、DO	東亜電波工業㈱DO-25Aを使用した。
塩分	ＹＳＩ社S-C-T model33を使用した。
自動水温測定	離合社RMT水温計を使用した。
風向風速	ＮＡＫＡＡＳＡ㈱ビラム式風速計を使用した。



図－3　三方湖の平均水質（平成5年度）

縦軸は下限と最大目盛り・単位で示し(下限表示のない場合は0)、横軸は月で示した。アオコレベルについては第5章 5.3を参照



図－4　三方湖の平均水質（平成6年度）

縦軸は下限と最大目盛り・単位で示し(下限表示のない場合は0)、横軸は月で示した。アオコレベルについては第5章 5.3を参照

2．3 調査結果

平成５年度は大規模に、６年度は小規模にアオコが発生した。発生状況写真をＧ－１，２に、アオコの典型的な藍藻プランクトン写真をＧ－３，４，５，６に示した。アオコ発生の程度をレベル０からレベル６で示す「見た目アオコ指標」[53]を適用し、水質項目と合わせて図－３，－４に示した。調査結果の個表および資料は、第５章 ５．４に載せた。

本調査事業は生活環境課が分掌した。担当は以下のとおりである。

総 合 解 析：宇都宮高栄
アオコ計数：青木啓子*1)　片谷千恵子
水 質 分 析：村田義公　林隆一郎*2)　宇都宮高栄
青木啓子*1)　坊栄二　吉田耕一郎
片谷千恵子　石本健治
*1)現　福井保健所，　*2)現　小浜保健所

2．3．1　アオコの発生現象

平成５年度は、６月から７月初旬まで例年に比べて水温が低く塩分が高く、湖水は褐色状態が続いてアオコの発生が遅かった。７月中旬になると降水もあり塩分が降下し、マット状のアオコが湖全面に大発生した(７月中、下旬はプランクトン種の交替が激しかった)。この状態が８月の盆過ぎまで継続した後、下旬には一時アオコ形成が弱まり分散した。しかし、９月に入り再度アオコ形成が活発化し、10月まで大発生状態が続いた。

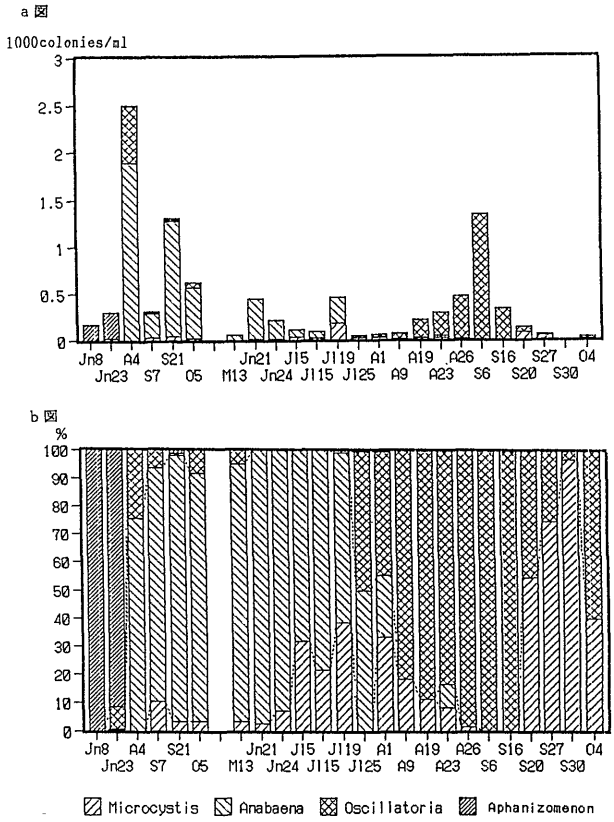
平成６年度は、調査開始の５月中旬から７月中旬にかけて筋状のアオコが発生した。その後、塩分と水温の上昇や強光阻害のためか、アオコは水中に懸濁した状態のままで、平成５年度のような大規模マット状の発生には至らなかった。９月中旬以降は降雨が頻発し、下旬には塩分が高いものの水温も下がらず暖かく、アオコが湖全体に広がり、所々パッチ状となり、平成６年度一番のアオコ発生となった。このアオコ発生状況の詳細については第５章 ５．３に載せた。

2．3．2　アオコのプランクトン時系列

図－５に平成５年度（平均値）と平成６年度(三方東)のアオコのプランクトン計数値および組成比を示した。

計数値(ａ図)では、平成５年度の最大値2502colonies/mlに対して、６年度は最大値1338colonies/mlと少なかった。これは、５年度は８月から９月にかけて湖全面にアオコのマット状態が継続したのに対し、６年度はアオコの粒子または泥絵の具状が中心でマット状は局部的にしか発生しなかったことと対応する。しかし、アオコが大量に発生した場合、目視による湖面状況(図－６のｄ図)では③田井島でアオコが最も濃いと観察されたが、計数値（付表－１）では⑤成出や⑦三方北岸が田井島より高かった例があるように、プランクトン採取方法により計数値は大きく変動すると考えられる。また、計数値はプランクトン種間で重みが異り、全藻類種間で均等な尺度ではない。したがって、計数総和値は相応的量と考えるべきである。

一方、組成比（ｂ図）はプランクトン相遷移を示しており、湖の水質環境変化の指標として重要な情報と考えられる。



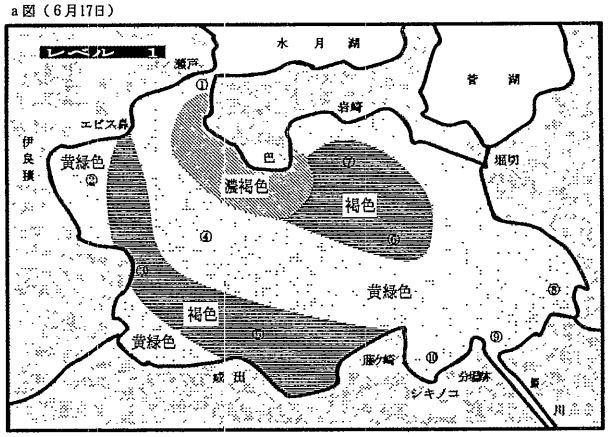
図－５　アオコ藍藻プランクトン（平成５～６年度）
ａ図は計数値、ｂ図は組成比を示す。

2．3．3　平成５年度のアオコのプランクトン相遷移

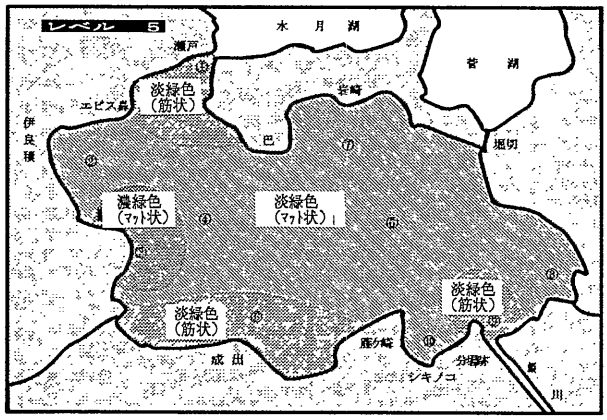
湖面状況（図－６）とプランクトン相遷移を参考にして、アオコ発生経緯との関係をまとめた。なお、以下では、MicrocystisをＭ、 AnabaenaをＡ、OscillatoriaをＯ、AphanizomenonをＡｐと略記した。

調査開始時の６月８日は湖岸の一部にアオコが凝集しているだけで、Ａｐが大半であった。６月17日(ａ図)と23日(ｂ図)では黒褐色系が特徴的で、Ａｐ計数値平均は６月８日の170から６月23日の280に増加した。また、こ

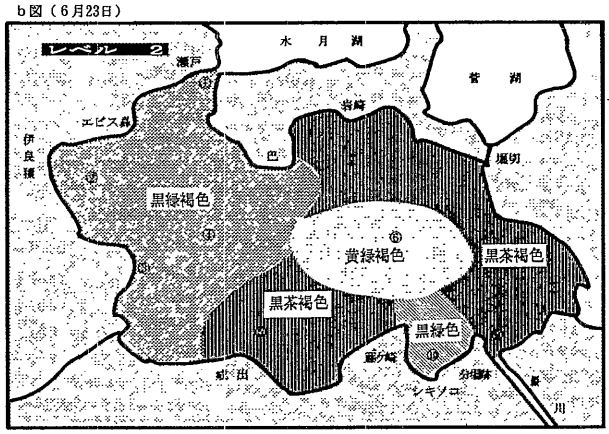
a図（6月17日）



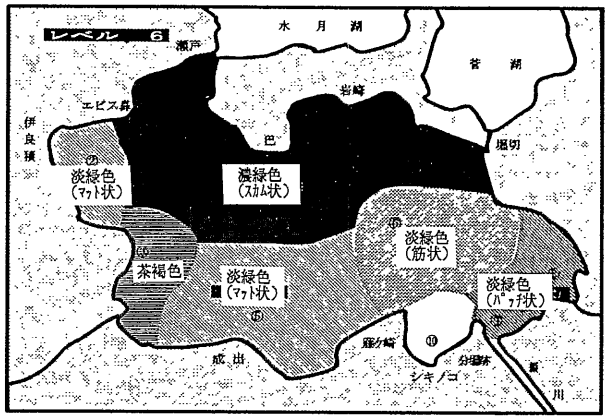
d図（8月4日）



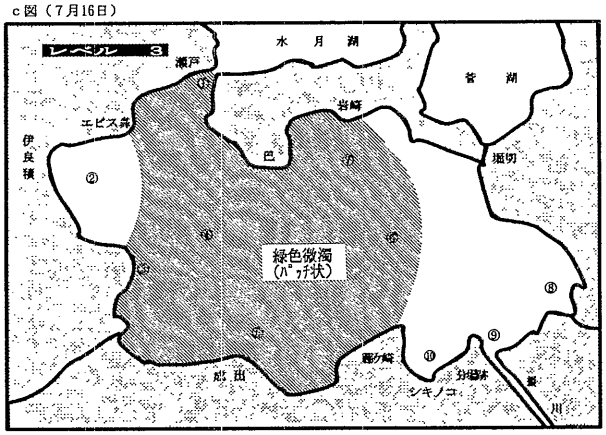
b図（6月23日）



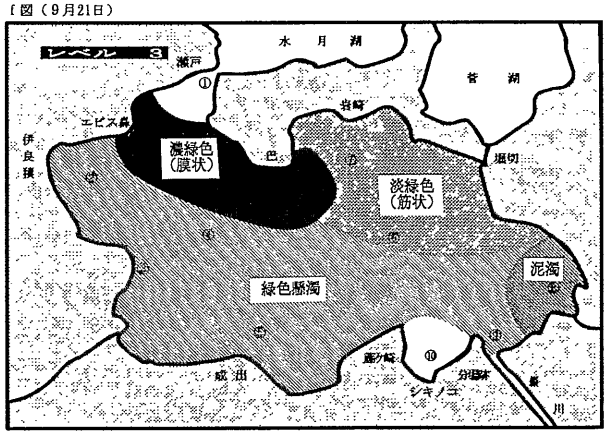
e図（9月7日）



c図（7月16日）



f図（9月21日）



図－6　アオコ水平分布調査時の湖面状況（平成5年度）

のときOが発生し始めた。7月11～15日の降雨後の16日の調査(c図)では湖面が緑色微濁で、湖水のアオコはガラスウール状に固まっており、検鏡ではOであった。これ以降、アオコ塊が徐々に大きくなった。7月23日にはアオコが緑色から黄緑色に変化し*)、7月24日の湖水の検鏡では種の交代が激しいことが観察されたが、Apも認められた。しかし、7月29日の検鏡ではA、M、Oを確認したのみである。7月31日からは粉を吹いたようなアオコが出始め、8月2日には湖全体に広がり、8月4日(d図)ではマット状のアオコとなった。浮上したアオコのプランクトンにはApは皆無であったが、同日の常時監視の全量計数ではApも少し認められた。このときのAとOの計数値増加は爆発的であった。

*)7月19日と28日の2回、空中からの水田農薬散布があった。

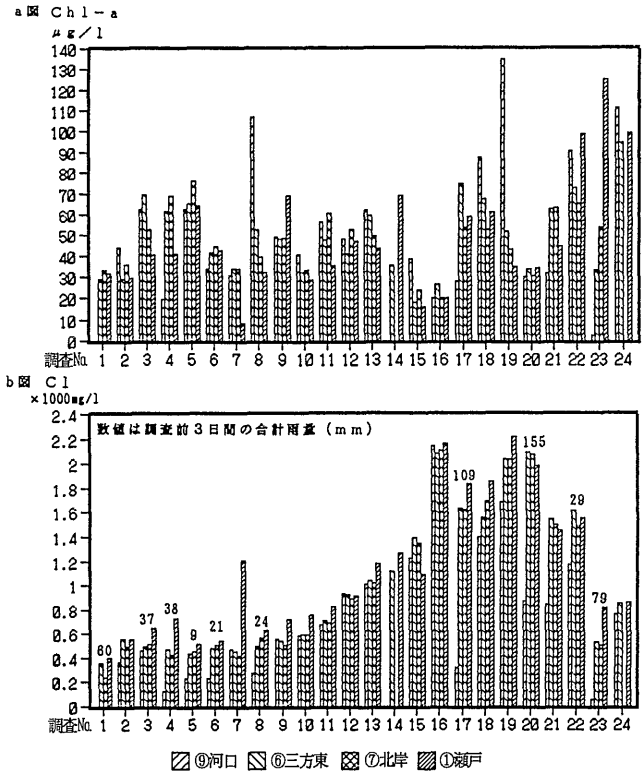
9月7日(e図)には計数値が少なくなったもののAが優占し、Mも増え、Oは衰退してきた。9月7日以降の雨でアオコが再び増加し、9月21日(f図)ではAの最盛期となり、Mもやや多くなり、Oも認められ、Apも少ないが再出現した。

このようにして、平成5年度のアオコ大発生期間であった8月から10月はAが優占していた。

2.3.4 平成6年度のアオコのプランクトン相遷移

調査開始時の5月13日はアオコがうっすらと認められた。Aが優占し、M、Oも共存していた。なお、図－5のb図から想像すると、6年度春のアオコのプランクトン組成比は、5年度秋の組成比に従ったようにも思える。6月7日、6月16日のネットプランクトンではM、A、Apが確認されOは見られなかった。しかし、これ以降、Apは一度も出現しなかった。6月16日には明瞭な筋状のアオコが発生し、6月13～14日の雨の後、6月21日には青味の強いアオコが発生し、A、Mのみ確認された。6月24日にはAが減退傾向で、Mが増加傾向となった。6月30～7月15日まではM、Aのみであったが、7月19日にはOが計数的に再出現したが、5月13日のOとは種が異なっていた。7月25日の計数ではMが消滅し、Aも減少する一方、Oは増加の兆しを示し、プランクトン相が変化した。7月27日には地元の人によると「凪で突然にアオコが出てきた」。7月28日にはアオコの粒子が大きくなってきており、塩分も高くなってきた。8月1日は、M、A、Oが共存し、アオコは水中に懸濁した状態で、表層に膜を形成することはなかった。8月3日はアオコは黄味を帯び、粒子はさらに大きくなって懸濁していた。8月9～19日の計数ではAはなく、MとOのみで、Oは9月6日にかけて徐々に増加傾向を示したが、8月中旬すぎまではアオコが黄味を帯びて減退の印象を示した。しかし、8月21日には大雨があって、8月23日には一時的にAが再生し、M、A、Oが揃った。新しく小粒で鮮やかな緑色のアオコが発生した。8月26日にはAは消滅し、MとOのみが計数されたが、9月6～16日には計数ではOのみで、Oも減退した。9月16日の大雨の後、9月20日には北岸に筋状のアオコ発生し、Mが出現したが、以後10月4日までMの増加とOの減退傾向が続いた。計数値は小さいが、9月24～30日までMによるパッチ状のアオコが最盛期となり、6年度最高の発生となった。

平成6年度は、アオコのマット状大発生はほとんどなく、プランクトン相は経時的に変遷した。



図－7 三方湖4地点間の濃度比較（平成6年度）
a図はChl-a、b図はCl

調査No.

X	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
軸	日付	5.13	6.07	6.16	6.21	6.24	6.30	7.05	7.08	7.12	7.15	7.19	7.25

X	No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
軸	日付	7.28	8.01	8.09	8.19	8.23	8.26	9.06	9.16	9.20	9.27	9.30	10.04

以後の図でも、調査No.はこの表に対応する。

2．3．5　水質の結果

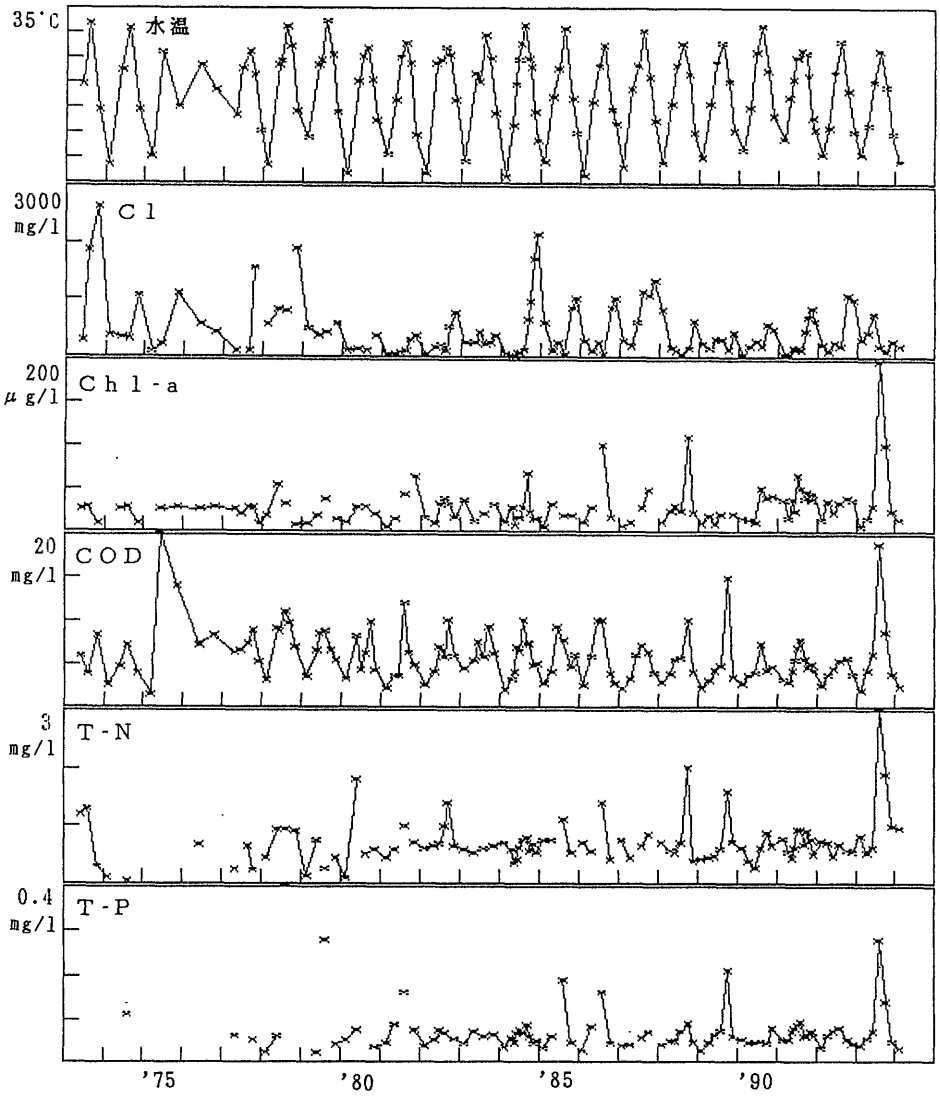
平成５年度の水質（図－３）は、水温が最高28.9°Cで維持期間は短かった。Clは６月に約 700mg/lで、それ以降は下がった。Chl-aは７月下旬から高くなった。調査期間中、COD、SS、Chl-a、pHで三つの山が見られ、変動傾向は類似し、山の最大値にpHの最大値が対応し、プランクトンの光合成を示唆している。

一方、平成６年度の水質（図－４）は水温が最高31.7°Cで、７月中旬から８月中旬まで30°Cの高水温が持続した。また、Clも８月から９月にかけて1000～2000mg/lの高い状態が続いた。Chl-ａは調査期間中を通して５年度よりも低かった。COD、Chl-a、SS、pHには約５個のなだらかな山がみられる。

アオコは湖面に浮上し、風により湖面の風下局部に吹き寄せられ、湖岸に集積される。この状況を確認するため、６年度は水質調査時に風向、風速を適宜計測した。また、降雨時河川増水で、河口部の湖水は希釈されるが、これら地点別の差異を検討するために Chl-aとClについて地点ごとの関係を示した(図－７)。

Chl-aでは、６月16日(No.3)の北風による河口の高濃度、瀬戸の低濃度が若干現れたが、Clでは特別な差異がみられないため、表層懸濁物の吹送による集積と考えられた。このように、北系の風（No.7,8,10,11,13,17）では河口の高濃度、瀬戸の低濃度の傾向がうかがえた。しかし、９月に入ってからは８月と違って降水があり、河口では、降雨後の流入水塊による希釈現象も考えられた。

Clでは、６月21日(No.4)は降雨後であり、河口部の低濃度、瀬戸の高濃度が見られる。このような傾向は降雨後（No.17,20,23）の現象と考えられた。



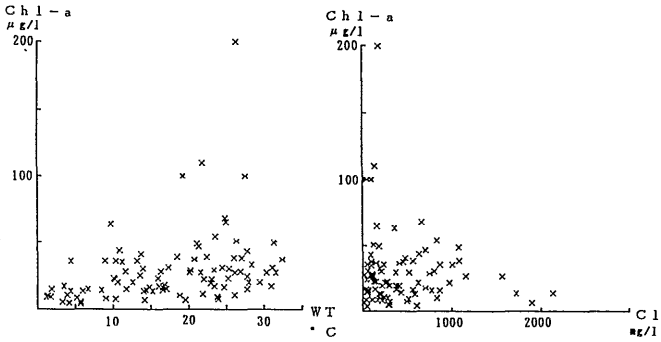
図－８　三方湖の水質常時監視結果（三方東⑥）
縦軸は最大目盛り・単位で示し、横軸は年で示した。

NP比 高い ミ70
ひくい・アオベナ

2．3．6　水質の経過

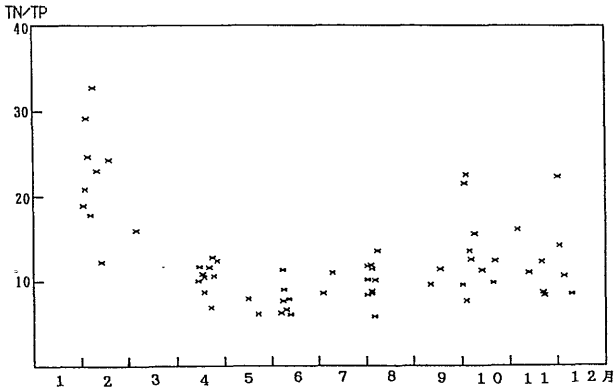
1973年度から1993年度の三方東部の水質時系列を図－8に示す。CODは1993年を除いてほぼ横ばいもしくは減少傾向とも思われるが、プランクトン量の指標となるChl-aは破線で示すように、最大値が上昇傾向にあるとも考えられる。「20年程前に早瀬川と浦見川*)を深くして、約10年前からアオコがでるようになった。」との地元の人の話があり、Chl-aの上昇傾向はこのことと符合しているように思える。昭和50年（1975）から57年(1982)にかけて災害復旧工事で浦見川の護岸工事を行った経緯があり、プランクトン増殖挙動に関する何等かの湖環境要因に変化が生じたと考えられる。

*)早瀬川は日本海と久々子湖を、浦見川は久々子湖と水月湖をつなぐ水路である。(図－1を参照)。



図－9　塩素イオン濃度および水温のクロロフィルaとの対比（1973～1993年）

Chl-a濃度と水温およびClを対比させ、図－9に載せた。水温が高いときとClが低いときにChl-aが高くなる傾向がうかがわれる。T-N/T-P比の月別変化(図-10)では



図－10　T-N/T-P比の月別変化傾向（1973～1993年）

初夏から初冬(5～11月)に10前後で一定であり、冬から春にかけては高くなる傾向がうかがわれる。これは、湖の内部生産においてある一定濃度以上のT-PがあればT-Nが制限因子になるといわれていること、藻体のT-N/T-P比がプランクトン種類で大差がなく、かつ、夏期ではT-N、T-P値の大部分が藻体由来のものと考えれば、冬場を除いて10前後の値であることが理解できる。なお、冬期のT-N/T-P比が高いのは、流入河川の硝酸性窒素濃度が高い反面、生物活性が低いために硝酸性窒素がプランクトンの生態的挙動に関与せず、湖内に残存するためと考えられる。

表－3　三方湖表層水の水質の水平分布調査結果（1982年6月）

n＝19		平　均	標準偏差	CV%
透明度	m	0.62	0.04	6.5
pH		7.86	0.08	10.2
DO	mg/l	8.39	0.42	5.0
COD	mg/l	6.86	0.26	4.2
SS	mg/l	12.6	1.8	14.3
Cl	mg/l	203.4	15.8	7.8
T-N	mg/l	0.684	0.036	5.3
NH_4－N	mg/l	0.015	0.013	86.6
NO_3－N	mg/l	0.014	0.009	64.3
T-P	mg/l	0.0725	0.0077	10.6
PO_4－P	mg/l	0.0003	0.0009	300
Chl－a	mg/l	0.0315	0.0037	11.7

また、常時監視とは別に湖水質の水平分布調査を昭和57年6月（1982）に詳細に実施した経緯がある(表－3)[11]。これによると、湖内の一般的水質は変動が小さい反面、無機栄養塩は変動が大きいという結果が得られている。

2．3．7　アオコ発生と水質

一般に藍藻はChl-aのみ、緑藻はChl-aとChl-b、硅藻はChl-aとChl-cを持つ(表－4)。クロロフィル測定ではa，b，cの3タイプが測定され、アオコの藍藻プランクトンに加えて他の藻類も測定対象となるが、測定結果でChl-bはほとんど検出されず、緑藻は無視できる。

表－4　藻類中の主要色素の分布

	Chlorophyll		
	a	b	c
緑藻類	＊＊＊	＊＊	－
ミドリムシ類	＊＊＊	＊	－
珪藻類	＊＊＊	－	＊
渦鞭毛藻類	＊	－	＊＊
黄緑色藻類	＊＊＊	－	
藍藻類	＊＊＊	－	－

＊は含量の多少を示す。

表－５－１　アオコ発生と水質との対比（集約表）

MEAN	水温	Cl	Chl-a	Chl-c	Chl-a/c	藍藻組成比(%)			
	℃	mg/l	μg/l	μg/l		M	A	O	Ap
93.0608	19.7	758	32.1	9.4	3.4	0	0	0	100
93.0617	23.6	741	57.4	20.3	2.8				
93.0623	23.2	622	68.5	21.4	3.1	0	0	8	92
93.0716	24.1	124	51.9	12.9	4.1				
93.0723	27.8	204	74.0	11.2	6.6				
93.0729	28.9	138	216.7	28.1	7.7				
93.0804	25.5	185	178.2	32.9	5.4	0	76	24	0
93.0907	23.5	159	77.0	21.3	4.5	10	84	6	0
93.0921	21.7	68	180.8	36.1	4.6	3	95	0	1
93.1005	19.5	103	72.5	13.0	5.4	3	89	8	0
94.0513	19.5	332	31.1	8.7	3.6	3	92	5	0
94.0607	24.7	495	34.4	9.4	3.7				
94.0616	23.6	529	56.1	14.7	3.9				
94.0621	20.0	436	47.6	10.0	4.6	3	97	0	0
94.0624	20.8	407	67.0	15.6	4.3	7	93	0	0
94.0630	23.6	437	40.4	8.1	5.1				
94.0705	27.9	637	26.6	5.8	6.0	32	68	0	0
94.0708	26.9	492	57.8	10.9	5.5				
94.0712	28.8	578	53.5	12.1	4.5				
94.0715	29.9	630	33.5	7.4	4.7	21	79	0	0
94.0719	28.5	722	49.7	10.1	5.0	38	61	0	0
94.0725	30.2	913	46.9	7.4	6.6	0	50	50	0
94.0728	30.5	1060	53.6	6.7	8.4				
94.0801	31.0	1195	51.9	9.7	5.4	33	22	44	0
94.0809	31.6	1260	23.9	3.4	7.7	18	0	82	0
94.0819	29.4	2124	21.9	2.6	9.8	11	0	89	0
94.0823	26.9	1351	53.7	10.3	5.3	8	8	84	0
94.0826	28.3	1625	67.0	10.0	7.3	1	0	99	0
94.0906	28.1	1993	66.1	11.2	6.0	0	0	100	0
94.0916	23.7	1751	32.0	4.9	7.2	0	0	100	0
94.0920	23.3	1333	50.5	9.5	5.3	55	0	45	0
94.0927	22.0	1455	81.5	18.7	4.4	75	0	25	0
94.0930	21.1	477	53.6	16.3	4.3	97	0	3	0
94.1004	21.6	823	101.6	23.5	4.3	40	0	60	0

M:Microcystis, A:Anabaena, O:Oscillatoria, Ap:Aphanizomenon

表－５－２　水平水質の地点比較（平成５年度）

	地点	水 温	Cl	Chl-a	Chl-c	Chl-a/c
93.0608	①	19.8	809	25.2	8.3	3.0
	②	19.9	786	25.7	7.8	3.3
	③	19.5	826	38.0	11.0	3.5
	④	19.6	809	33.1	9.5	3.5
	⑤	19.7	801	25.2	6.9	3.7
	⑥	19.8	732	29.9	8.8	3.4
	⑦	19.8	747	28.6	8.6	3.3
	⑧	19.5	740	46.3	14.2	3.3
	⑨	19.2	562	42.1	11.3	3.7
	⑩	20.6	770	27.2	7.6	3.6
	avg	19.7	758	32.1	9.4	3.4
	cv%	1.8	9.5	22.3	22.2	5.7
93.0617	①	22.3	950	89.0	31.0	2.9
	②	24.1	842	48.0	16.0	3.0
	③	24.5	803	47.5	16.5	2.9
	⑥	24.0	723	53.5	18.0	3.0
	⑦	23.2	718	52.0	19.5	2.7
	⑨	23.1	518	58.5	20.5	2.9
	⑩	24.2	635	53.5	20.5	2.6
	avg	23.6	741	57.4	20.3	2.8
	cv%	3.1	17.6	23.2	23.1	4.8
93.0623	①	24.1	840	59.0	19.5	3.0
	②	24.1	745	65.5	21.5	3.0
	③	24.1	715	69.0	22.0	3.1
	④	23.7	660	82.0	25.5	3.2
	⑤	24.1	754	71.0	22.0	3.2
	⑥	23.8	736	80.5	24.0	3.4
	⑦	23.6	607	87.5	25.0	3.5
	⑧	22.3	432	85.0	25.5	3.3
	⑨	18.8	43	10.0	5.5	1.8
	⑩	23.7	685	75.5	24.0	3.1
	avg	23.2	622	68.5	21.4	3.1
	cv%	1.6	218.8	21.3	5.6	0.4
93.0716	①	23.5	150	49.6	12.8	3.9
	③	24.9	146	51.3	11.3	4.5
	④	24.3	96	51.3	11.3	4.5
	⑤	24.7	125	51.3	14.0	3.7
	⑥	23.7	118	55.9	14.1	4.0
	⑦	23.8	111	51.9	13.8	3.8
	avg	24.1	124	51.9	12.9	4.1
	cv%	2.2	15.2	3.7	9.3	8.7
93.0723	①	25.7	425	38.4	7.7	5.0
	⑤	29.5	97	103.0	13.8	7.5
	⑩	28.1	89	80.7	12.2	6.6
	avg	27.8	204	74.0	11.2	6.4
	cv%	5.7	76.9	36.2	23.0	16.2

	地点	水 温	Cl	Chl-a	Chl-c	Chl-a/c
93.0729	①	28.5	159			
	②	29.4	159	190.0	25.3	7.5
	③	29.2	127	274.0	32.3	8.5
	⑤	29.0	127	186.0	26.7	7.0
	⑩	28.6	120			
	avg	28.9	138	216.7	28.1	7.7
	cv%	1.2	12.3	18.7	10.8	8.2
93.0804	①	25.5	212	333.0	59.1	5.6
	②	25.5	203	154.0	26.7	5.8
	③	25.6	188	109.0	19.8	5.5
	④	25.5	151	455.0	81.5	5.6
	⑤	25.6	183	138.0	25.4	5.4
	⑥	24.6	174	207.0	41.9	4.9
	⑦	25.3	124	160.0	32.1	5.0
	⑧	25.0	179	62.0	13.8	4.5
	⑨	26.3	217	48.5	7.7	6.3
	⑩	25.9	223	116.0	20.8	5.6
	avg	25.5	185	178.2	32.9	5.4
	cv%	1.7	15.8	67.1	64.8	8.8
93.0907	①	23.1	169	175.0	24.4	7.2
	②	23.4	199	40.6	11.5	3.5
	③	23.9	165	37.8	10.7	3.5
	④	23.6	168	70.0	15.2	4.6
	⑤	24.0	165	36.6	8.4	4.4
	⑥	23.6	161	106.0	15.1	7.0
	⑦	23.4	161	123.0	20.0	6.2
	⑧	23.0	108	51.9	11.9	4.4
	⑨	23.3	144	98.1	86.3	1.1
	⑩	23.6	150	31.0	9.6	3.2
	avg	23.5	159	77.0	21.3	4.5
	cv%	1.3	13.7	58.5	104.0	39.1
93.0921	①	21.9	86	76.2	18.5	4.1
	②	22.1	81	378.0	59.9	6.3
	③	22.0	91	74.4	21.9	3.4
	④	22.4	66	249.0	40.8	6.1
	⑤	22.3	67	58.0	14.3	4.1
	⑥	21.8	67	167.0	36.7	4.6
	⑦	21.3	46	237.0	51.2	4.6
	⑧	20.4	56	67.0	21.1	3.2
	⑨	20.6	56	145.0	35.9	4.0
	⑩	22.5	67	356.0	61.0	5.8
	avg	21.7	68	180.8	36.1	4.6
	cv%	3.2	19.6	62.9	45.0	22.7
93.1005	④	19.8	112	45.0	9.9	4.5
	⑥	19.3	94	100.0	16.0	6.2
	avg	19.5	103	72.5	13.0	5.4
	cv%	1.3	8.7	37.9	23.6	15.8

しかし、Chl-ｃは検出され、珪藻が発生していると推測された。Chl-ａとChl-ｃの比（以後[Chl-ａ/ｃ]と記す）を見ることにより全プランクトンの組成を推測することができ、水質の指標となる。以下では、Chl-ａ、[Chl-ａ/ｃ]、水温、Clおよびアオコのプランクトン組成比（表－５－１、－２、図－５－ｂ）を参考にして調査期間のプランクトン遷移と水質を対比した。以下では、MicrocystisをM、AnabaenaをA、OscillatoriaをO、AphanizomenonをＡｐと略記した。

[平成５年度]

（第１期）６月８日－７月16日

期間平均　Chl-ａ=52, [Chl-ａ/ｃ]=3.4

Chl-ａ,-ｃ濃度はこの期間６月23日を頂点とする緩やかな山型の濃度推移を示し、７月16日には谷となった。

[Chl-ａ/ｃ]をみると地点間の変動係数は 0.4～8.7%と小さく、期間平均も 3.4と小さかった。第１期の山でChl-ｃがChl-ａより相対的に濃度が高いのは、藍藻類の他に硅藻類が優占していると想像される。浮上したアオコの藍藻だけの計数であるが、Ａｐが第一優占であり、Ｏ-1が第二優占であった。

この期間、湖岸には吹き寄せられたアオコがあるものの、湖面は黒褐色系の状態で、現地の人の経験では、このような湖面状態はアオコ発生の初期段階でないかと思われている。この時期Clが600～700mg/lと高く、７月16日に急激に降下した。

（第２期）７月16日－９月７日

期間平均　Chl-ａ=120, [Chl-ａ/ｃ]=5.5

この期間は７月23日から急激にChl-ａ濃度が上昇し、７月29～８月４日を頂点とする急激なアオコ発生がみられた。Chl-ａ最大の７月29日は、[Chl-ａ/ｃ]も最大の7.7であった。現地の人の話によると、この状態が８月中旬まで続き、その後アオコは散ってしまったとのことで、９月７日に谷となった。

水質は第１期に比べてアオコ発生のため湖内は不均一で、８月４日のChl-ａでみると④三方西で455に対して、⑨河口と⑧観音川地先は48～62と大きな差があった。

８月４日のプランクトンは第一優占がＡ、第二優占がＯ-1であった。なお、７月１６日は定性的だが、湖面に浮いたガラスウール状のＯが特徴的であった。８月４日の計数値の比（Ａ／Ｏ-1）を見ると、地点①②③④で小さく、地点⑤⑥⑦⑧⑨で大きく、プランクトン種間で発生場所が異なるかどうかは、まだ調査が不十分である。

この時期の湖水は緑色微濁からはじまり、途中２回（７月19日、７月28日）の農薬散布の影響か、少々黄色味を帯びることもあったが、筋状、さらにはマット状のアオコが発生した。

（第３期）９月７日－10月５日

期間平均　Chl-ａ=110, [Chl-ａ/ｃ]=4.7

９月から10月にかけて９月21日頃を頂点とするマット状のアオコの発生があり、９月21日には強いアオコ臭が湖周辺に立ちこめた。

Chl-ａ最大値の９月21日には[Chl-ａ/ｃ]が 4.6であった。しかし、局部的には６～７がみられた。

この期間、第一優占はＡが維持したが、第二優先はＭからＯ-1に遷移しており、水温の降下によるものと思われる。

[平成６年度]

６年度は、アオコ発生が弱かった。

一般的水質項目の時系列の変動は小さいため、湖水質指標としてのプランクトン相遷移に着目し、５つの期間に分けた。

（第１期）５月13日－６月30日

期間平均　Chl-ａ＝46.1, [Chl-ａ/ｃ]=4.2

６月21日には青味の強いアオコがネットプランクトンにより濃縮された。最大Chl-ａは６月24日の67で、このとき[Chl-ａ/ｃ]は 4.3であった。[Chl-ａ/ｃ]は徐々に上昇傾向を示し、藍藻が優占の傾向が強まってきている。第一優占はＡ、第二優占はＭであった。ただ５月当初はＯ-1もみられた。当初からアオコが薄く発生しており、水温が低く塩分はClで約400mg/lで比較的高かった。

（第２期）６月30日－７月19日

期間平均　Chl-ａ=43.6, [Chl-ａ/ｃ]=4.8

最大Chl-ａは７月８日の58で、このとき[Chl-ａ/ｃ]は5.5であった。７月８日までは第一期に引続きさらに[Chl-ａ/ｃ]は徐々に上昇傾向を示して藍藻優占の傾向が強まってきている。アオコは濃緑色になったが、しかし、これ以降、アオコの粒子は大きくなる傾向であったものの、高水温のせいか徐々に黄緑色系に変化し、Chl-ａが減少し、[Chl-ａ/ｃ]は小さくなった。Clは約600mg/lを維持した。

期間を通じて第一優占Ａ、第二優占Ｍであったが、Ｍの比率が増化傾向であった。

（第３期）７月19日－８月19日

期間平均　Chl-ａ=41.3, [Chl-ａ/ｃ]=6.7

最大Chl-ａは７月28日の54で、このとき[Chl-ａ/ｃ]は

8.4であった。[Chl-a/c]は徐々に上昇傾向を示して、藍藻が優占の傾向が強まってきたが、Chl-aは期間中、徐々に減少した。

第2期に比べてさらに塩分が高くなりClで1000mg/lを越え、8月19日には6年度調査の最高値2120mg/lを示した。水温も期間平均30.5°Cと高温を維持した。

期間を通じてプランクトン相が激しく遷移し、第2期の第一優占Aが8月初旬で消滅し、第二優占であったMも急激な塩分上昇のショックのためか7月下旬に突如消滅したものの、8月初旬には復活し、期間の終期まで第二優占であった。一方、高水温・高塩分の環境形成とともに突如O-2が出現し期間を通じて徐々に第一優占の傾向を強めた。アオコ状態は粒子が大きくなってきたものの粒子状でマット状にはならず、黄色味を帯びた状態であった。

(第4期) 8月19日－9月20日

期間平均 Chl-a=48.5, [Chl-a/c]=6.3

最大Chl-aは8月26日の67で、このとき[Chl-a/c]は7.3で期間中最高であった。

8月21日に短期間に109mmの降水があり、その後また無降雨が続いた。このため、8月下旬に一時Clが1300mg/lまで下がったが、すぐに、1900mg/lまで復帰した。水温も期間平均で27°Cを維持した。

期間を通じてO-2が第一優占で、割合的にも大半を占めていた。他のプランクトンは8月23日に一時Aが復活したが直ちに消滅した。Mは第3期に引続き減退傾向を強め、塩分が強い9月6日(Cl;2000mg/l)には消滅した。アオコの状態は8月21日の降雨によりアオコが更新した感じがあり、粒子が小さく鮮やかな緑であった。

なお、平成5年度8月と6年度8月のOは別種であった。

(第5期) 9月20日－10月4日

期間平均 Chl-a=71.8, [Chl-a/c]=4.3

最大Chl-aは10月4日の102で、このとき[Chl-a/c]は4.4であった。

9月16日の139mmの降雨の後、期間中2日おき位いに雨が降り、塩分と水温が徐々に降下した。期間平均でClが1000mg/l、水温が22°Cと第4期とは様変わりした。

表－6 プランクトン種と環境要因の概略(平成5年度)

	1 期	2 期	3 期
期間	6.8 - 7.16	7.16 - 9.7	9.7 - 10.5
天候 日射 MJ/m²/D 降雨 mm/D	曇りと雨でぐずつく avg=12.5, sum=489 avg=12.2, sum=476	低温・多雨・寡照 avg=13.5, sum=730 avg= 6.2, sum=335	まとまった雨・寡照 avg=10.3, sum=299 avg= 8.8, sum=254
ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝ (優占順)	①Aphanizomenon	①Anabaena ②Oscillatoria*	①Anabaena ②Microcystis
水温 °C	23.0	25.2	23.5
Cl mg/l	561	162	110
Chl-a μg/l	52	120	110

Microcystisが8月から9月にかけて徐々に発生しているが、Anabaenaよりも優占的である状況ではなかった。
10月の常時監視調査でもAnabaenaが優占していた。
*;平成6年度と種が異なる。
avgは平均、sumは期間合計を示す。

表－7 プランクトン種と環境要因の概略(平成6年度)

	1期	2期	3期	4期	5期
期間	5.13 - 6.30	6.30 - 7.19	7.19 - 8.19	8.19 - 9.20	9.20 - 10.4
天候 日射 MJ/m²/D 降雨 mm/D	降水は少なめ avg=17.9, sum=875 avg= 3.0, sum=149	曇りが多い avg=17.2, sum=345 avg= 1.3, sum= 25	高温、日照り avg=22.0, sum=704 avg= 0.0, sum= 0	豪雨後の晴れ続き avg=17.5, sum=577 avg= 9.2, sum=304	秋雨 avg=12.9, sum=193 avg=10.9, sum=164
ﾌﾟﾗﾝｸﾄﾝ (優占順)	①Anabaena	①Anabaena ②Microcystis	①Oscillatoria ②Microcystis	①Oscillatoria	①Microcystis ②Oscillatoria
水温 °C	22.0	27.6	30.2	26.6	22.0
Cl mg/l	439	582	1212	1696	1022
Chl-a μg/l	46	44	41	49	72

期間を通じてプランクトン相はO-2とMで占められ、降雨のため塩分が低下(Cl;480mg/l)した9月30日には、一時Mのみで占められた。アオコ状態は降雨を繰り返すごとにアオコが増殖し、9月27日前後に今年初めてのパツチ状（まれにマット状）アオコとなった。

以上の平成5，6年度の結果をもとに、4種の藍藻プランクトン種について、性質をまとめる。

［平成5年度］

M　：Aとほぼ同じ生育条件だが、Aより増殖力が弱かった。

A　：Clが700mg/l以下、水温24°C近傍で最高増殖。

O-1：Clが700mg/l以下、水温25°C近傍で最高増殖。

Ap：Clが700mg/l、水温20°C近傍で最高増殖。

［平成6年度］

M　：Clが1000mg/l以上では、Aよりも優勢に増殖した。

A　：Clが400mg/l以下、水温20°C近傍で最高増殖。

O-2：水温30°C近傍、Cl2000ppm近傍までは増殖増加。

Ap：かすかに5月（19.8°C）に発生した。

まとめとして、天候等の因子を加え、プランクトンの相遷移と環境要因の定性的概略を表－6，－7に示した。

2．3．8　アオコ発生の観察結果

アオコのプランクトンにはガス胞があり、夜間に浮力が増大して浮上し凝集する（詳細は第5章 5．3を参照)。ここではアオコ発生、凝集、消散過程の観察結果を現象的に、1)アオコ微粒子の形成、2)アオコ粒子の粒径増大と維持、3)アオコの拡散消滅の三つの段階に分け、さらに2)の段階をa)粒子状の筋状アオコの形成、b)不透明な泥絵の具状アオコの形成、c)厚みのあるマット状アオコの形成に分けて箇条書にまとめた。なお、文中、Microcystis をM、AnabaenaをA、OscillatoriaをOと略記した。

1)アオコ微粒子の形成

125mmの雨があった2～3日後、グラスウール状にアオコ（O-1）が浮いた。　5年7月16日

38mmの雨があった2～3日後、湖面全体は褐色であるが、プランクトンネットには青味の強いアオコ（A，M）が濃縮された。　6年6月21日

109mmの大雨の2日後、以前と比べて粒子の小さい鮮緑色のアオコ（O，M，A）が発生した。6年8月23日

139mmの大雨の4日後、筋状の緑色のアオコ（M，O）が発生した。　6年9月20日

このように、降雨後2～4日で、鮮やかな緑色(藍色)のアオコ微粒子が発生した。6年8月19日から9月6日にかけてのアオコ再生の様子を写真G－7に示した。

2)アオコ粒子の粒径増大と維持

5年7月19日～8月6日

7月16日にガラスウール状のアオコ(O)が発生して以来、プランクトン相がめまぐるしく変化した。7月19日に小豆大のアオコが徐々に大きくなりつつあり、7月23日には7月16日と異なり黄色味を呈し、7月29日には“北風で30cm厚さのアオコマットでペンキ状”、すなわちアオコ粒子層（と、思われる）が見られ、8月2日にアオコは粉を吹いた（懸濁）状態となり、8月4日には湖面一帯がマット状と筋状のアオコ（O，A）となった。8月7日には一旦、雨でアオコが散った。

6年7月8日～8月19日

7月12日には三方東が黄緑色、西が緑色で共にM，Aのアオコであった。15日には12日より大粒子（A，M）となり、22日には藻草のボール状が観察され、28日、8月1日には更にアオコ（M，A，O）は黄色味を増し大粒子化し、8月9日には黄味が強くなった（M，O）のを最後に、8月19日には9日よりもアオコ（O，M）が減退した。

6年8月23日～9月6日

8月23日に鮮やかな緑のアオコ（O，M，A）が発生し、8月26日には南風のためか瀬戸では粒子状アオコが多くなった。

6年9月16日～9月27日

9月20日に新鮮な緑のアオコが発生し、24日には瀬戸から伊良積にかけて湖岸にアオコが集積したが、27日では粒子状が一般で、局部的にパッチ・スカム状に集積するところがあった。

a)筋状アオコの形成

対流渦中のプランクトン分布では、水よりも軽いものが収れん線に集まり、その中間領域は粒子に乏しくなって、水面に風向とほぼ平行に走る筋（streak）が生じる[84]と言われる（第5章 5．1）。

5年8月4日に湖全体にマット状に発生したとき、瀬戸・成出・河口ではアオコが筋状に発生し、水流とも関係するかと思われた。6年5月13日、6月16日、

7月8日、7月15日、7月28日、9月20日に観察された（写真G－8）。

b)泥絵の具状のアオコ

6年5月13日に成出の護岸で、6月16日に“いりこ”に層状に集積した。7月28日のトモエハナ、9月24日の伊良積にみられた。これらは、風波により湖岸や“いりこ”に吹き寄せられて形成したと思われる（写真G－9）。

c)マット状アオコ

5年度に8月4日から湖全体に大発生した。6年度は9月27日～9月30日に局部的に発生した（写真G－10）。

これらa)、b)、c)は、アオコ発生量と風・波・水流によっていろいろに形態が変わるものと思われた。

3)アオコの拡散消滅

大久保[64]によると、拡散による消失はパッチの周辺を通して起こり、大きな塊は消滅しにくく、小さな塊は消滅しやすい。

（大きな塊は消滅しにくい例）

5年度の8月から10月まで大発生したマット状のアオコが長期間継続した。

（小さな塊は消滅しやすい例）

5年8月20日に朝の降雨により幾分ペンキ状であったアオコが消滅した。

6年9月24～27日の泥絵の具状アオコの上に雨が降って早く消滅した。（写真G－11）

以上の観察結果を集約すると、次のようになる。

①降雨後2～4日してアオコ粒子が形成されるのが通例と思われる。

②異常増殖の発生場所は湖全面と考えられるが、風波・水流により凝集したアオコが移動させられる。

③アオコの形状は風波・湖内位置・水流（例えば洪水流の湖内収れん場所にゴミとともにアオコが固まる）・プランクトン量により決まり、粒子状の筋状アオコの形成、不透明な泥絵の具状アオコの形成、厚みのあるマット状アオコの形成と様々であった。