

ノート

北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節的変動について (第1報) — 植物プランクトン (1997年度) —

片谷千恵子・松崎雅之・加藤賢二・白崎健一

Seasonal Succession of Planktons in Lake Kitagata and Lake Mikata (1)
— Phytoplankton (1997) —

Chieko KATAYA, Masayuki MATSUZAKI, Kenji KATOU, Ken-ichi SHIRASAKI

1 はじめに

北潟湖・三方湖は富栄養化による汚濁が著しく進行しており、特に三方湖は夏季のアオコ発生が問題となっている。対照的に北潟湖は、一年中褐色から緑褐色の水色を呈しており、現在までにアオコ発生記録はない。両湖には様々な環境要因の差があると思われるが、植物プランクトン相の季節的変動の差異について詳細な調査を行うことは、アオコ発生現象のメカニズムを知る上でも重要なことと思われる。

そこで、平成9～10年度の2ヶ年計画で、北潟湖・三方湖の植物プランクトン相について調査を行うこととした。平成9年度はアオコ発生がない北潟湖を中心として、両湖の植物プランクトンと水質の差異について調査を行ったのでその結果を報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点および調査時期

調査地点は、北潟湖4地点、三方湖3地点の計7地点である(図1、2)。調査地点および調査時期は、表1のとおりである。

2.2 植物プランクトン調査

湖水の表層水(水深0.5m)を採取し、グルタルアルデヒド固定液を0.5V/V%添加後静置濃縮して試料とした。計数はプランクトン計数板によって行い、1ml当たりの細胞数とした。

プランクトンの同定に関しては、今回から *Oscillatoria* 属のうちガス胞を有しているものについては *Planktothrix* 属として新たに分類することとした。

2.3 水質調査

水温、pH、DO、COD、SS、T-N、T-P、クロロフィル、塩素イオン濃度、D-COD、D-N、D-P、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$

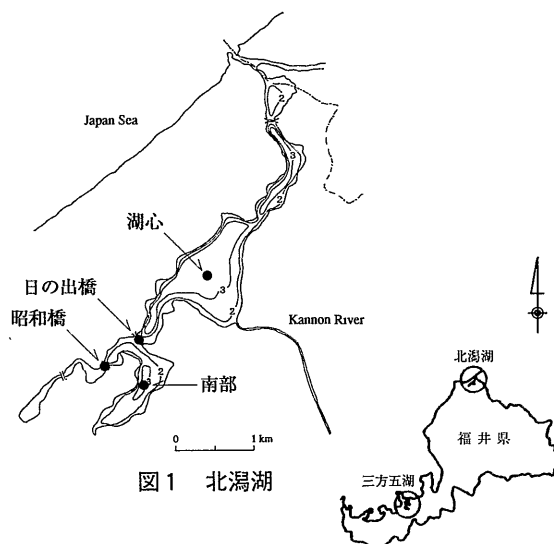


図1 北潟湖

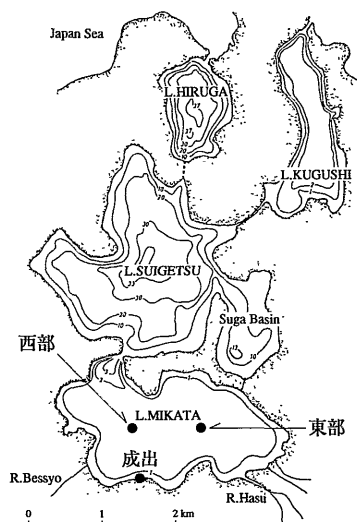


図2 三方湖

表1 調査地点および調査時期等

湖沼名	地点名	調査期間	植物プランクトン調査		水質調査	
			頻度	回数	頻度	回数
北潟湖	南部	H9.4～H10.3	4月:2回/月、5～10月:1回/週、11～3月:1回/月(*1)	33	(*1)と同じ	33
	湖心	//	1回/月	12	(*1)と同じ	33
	日の出橋	//	1回/月	12	(*1)と同じ	33
	昭和橋	//	1回/月	12	(*1)と同じ	33
	成出	//	1回/月(*2)	12	(*2)と同じ	12
三方湖	西部	//	6、8、10、12、2月:1回/月	5	(*3)と同じ	6
	東部	//	4、6、8、10、12、2月:1回/月(*3)	6	(*3)と同じ	6

3 結果と考察

3.1 植物プランクトン

3.1.1 出現種

調査地点毎の出現種を表2に、出現属数を図3、表3に示した。

【北潟湖】

北潟湖の出現属数は、藍藻綱14属、珪藻綱16属、緑藻綱18属、その他9属、計57属であった。特に南部は調査回数が33回と多かったためか、藍藻綱14属、珪藻綱14属、緑藻綱18属、その他8属、計54属であり、他の北潟湖3地点が計40～45属であったことに比べ、多くなっている。また、北潟湖は、藍藻綱の *Oscillatoria* 属、*Myxosarsina* 属、珪藻綱の *Melosira* 属、*Cyclotella* 属、*Skeletonema* 属等優占種の移り変わりが激しく、4地点間においてもその出現に差異がみられた。

北潟湖4地点の中でも特に出現種に差異があったのは、湖心の8、9月であり、他の3地点では出現しなかった *Anabaena* 属の3種がみられたことである(図4、5)。特に9月は、*Anabaena spiroides* 5,000cells/mlと *Anabaena macrospora* 3,000cells/mlが優占種として出現し、湖面が薄い筋状アオコとなっているのが観察されており、北潟湖としては珍しい現象であった。湖心は、4地点の中で唯一観音川の影響を受ける地点であり、その水質に何らかの要因の変化があったのかもしれない。

アオコ形成種のうち *Microcystis* 属は、北潟湖4地点で6～9月に出現しているが量的にも少ない(南部6月の2,400cells/mlが最高値)。

【三方湖】

三方湖の出現属数は、藍藻綱16属、珪藻綱8属、緑藻綱11属、その他5属、計40属であり、北潟湖と比べ珪藻綱、緑藻綱の出現属数が少ない。

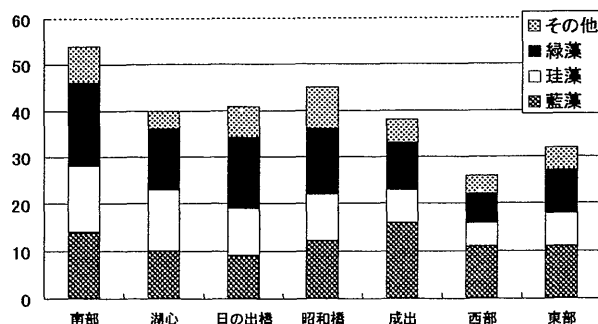


図3 地点毎の網別出現属数

表3 調査地点毎の出現属数

網	北 潟 湖				三 方 湖		
	南部	湖心	日の出橋	昭和橋	成出	西部	東部
藍藻	14	10	9	12	16	11	11
黄色鞭毛藻	2	0	2	3	0	0	0
珪藻	14	13	10	10	7	5	7
渦鞭毛藻	2	1	1	2	3	2	3
鞭毛藻	1	1	1	1	1	1	1
ミドリ藻	3	2	3	3	1	1	1
緑藻	18	13	15	14	10	6	9
合計	54	40	41	45	38	26	32

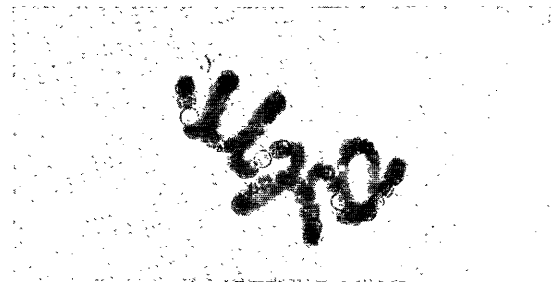


図4 *Anabaena spiroides*

10μm

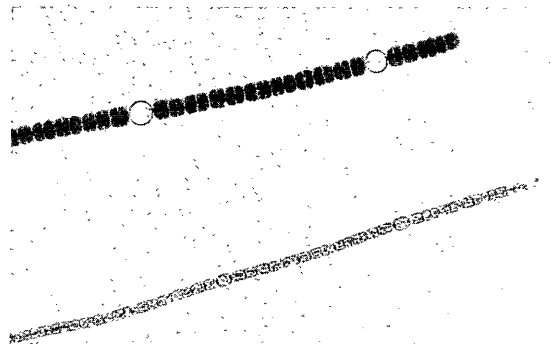


図5 *Anabaena macrospora* (上)、*Anabaena affinis* (下)

10μm

三方湖3地点は、12～4月以外はアオコ形成種が優占している。5～7月は *Anabaena* 属、8～10月は *Microcystis* 属、11、12月は *Planktothrix* 属が第1優占種となっている。2月には、緑藻綱の *Dictyosphaerium* 属が第1優占種となっており、3地点の出現傾向は年間を通して同じである。

また、成出が最も出現属数が多かったが、これは湖水が吹き寄せられる湖岸からの試料採取であったことと、他の2地点は調査回数が少なかったことによるものと思われる。

【出現種の違い】

表3に北潟湖、三方湖の出現種の違いを示した。北潟湖のみに出現した種が26種であり、三方湖のみに出現した4種と比べ圧倒的に多い。北潟湖は、珪藻綱の種類、量とも多く、特に *Melosira italica* と *Skeletonema potamos* が優占種として出現しており、*Achnantes* sp. は平成7年に南部において大発生した記録がある¹⁾。また、黄色鞭毛藻綱3属は、出現量は少ないものの北潟湖のみに出現している。三方湖のみに出現している種として渦鞭毛藻の *Ceratium hirundinella* があるが、これは平成元年の赤潮原因種となっている²⁾。

3.1.2 細胞数

調査地点毎の網別の細胞数の変動を図6-1～6-7に示し、網別の細胞数の割合の変動を図7-1～7-7に示した。

【北潟湖】

北潟湖4地点の総細胞数の変動をみると、南部は5～7月、他の3地点は5～8月の総細胞数が増加し、その内訳をみると珪藻綱が大きな割合を占める傾向にある。昭和橋では11月に藍藻綱の *Oscillatoria* 属が170,000cells/ml

表2 調査地点毎の植物プランクトン出現種

網	科	種名	北 潟 湖				三 方 湖		
			南部	湖心	目の出橋	昭和橋	成出	西部	東部
藍藻	カワヅツ	<i>Microcystis incerta</i> (*1)	○6~10	○9,10	○6~8,10	○6,7,8,10	○9,10,11	○6,8	○8
		<i>Microcystis</i> spp.	○6,7,9	○5,7~9	○7	○6	●4~3	●6,8,10,12,2	●6,8,10,12,2
		<i>Aphanocapsa</i> sp.(*1)	○7,9			○5	○5,6,7	○6	○4,6
		<i>Aphanothece</i> sp.		○4,5	○5	○5,6	○4,5,11	○12	
		<i>Chroococcus</i> sp.	○4,6~10,1	○5	○5~8,10,1	○4,5,6,7	○5~7,2,3	○6	○6,2
		<i>Merismopedia tenuissima</i>	○8~9	○8~10	○8~8	○6,7,8	○6,7,11~2	○6,12,2	○4,6,8,12
		<i>Coelosphaerium</i> sp.	○6~7		○10	○5,7	○4~7,1	○6,12	○4,6
		<i>Gomphosphaeria</i> sp.					○5		○6
		Others	○4~10,1	○6,2	○5~8,10	○5,7,8	○4,5,9,10,1~3	○6,2	
		<i>Myxosarcina</i> sp.	○8~10			○8~10	○4		
	ネンゾユ	<i>Anabaenopsis</i> sp.					○9		
		<i>Aphanizomenon</i> sp.	○8~10	○8~10	○8~10	○8~10	○8,9,10	○8,10	○8,10
		<i>Anabaena spiroides</i>		○7,8,9			○4~11,1	●6,8,10	●4,6,8,10
		<i>Anabaena macrospora</i>		○8,9			○8,9	○8	○6,8
		<i>Anabaena affinis</i>	○8	○9					
	ユレ	<i>Planktothrix</i> spp.	○4~12	○4~9,11~1	○6,8~12	○5,6,8,10,11,12	●4~1	○6,8,10,12	○6,8,10,12
		<i>Oscillatoria</i> spp.(*2)	●4~3	○4~11,1~3	○5,3	●4~6,8,10~3	○7,10~1	○6,12	○6,12
		<i>Lyngbya</i> sp.(*1)	○4,5	○11,12		○5,3	○9		
		Others	○7,10				○11,1		○6
黄色 鞭毛藻	シノナリ	<i>Dinobryon</i> sp.				○2,3			
	シヌ	<i>Mallomonas</i> sp.	○7		○2	○5,2			
珪藻	メソ	<i>Synura</i> sp.	○4,5		○4	○4,2			
		<i>Melosira granulata</i>	○5~10	○4,5,6,8	○7,9	○5~8			
		<i>Melosira italica</i>	○4,5	○4,5,6	○4,5	○4,5,6,10,2,3			
		<i>Melosira distans</i>	○4~10,3	○4	○4,5,7~9,11,12,2	○4~10,1~3			
		<i>Melosira varians</i>		○4					
		<i>Skeletonema potamos</i>	○6~10	●7~10	○5~10,3	○6,8			
	コメ	<i>Skeletonema costatum</i>		○11	○10				
		<i>Cyclotella</i> spp.	●4~3	○4~11,1,3	○4~12,2,3	○4~3	○4~3	○6,8,12,2	○4,6,8,10,12,2
	キト	<i>Chaetoceros</i> spp.	○10~1	○10~1	○10~1	○10~1	○10	○10	○10,12
	ウロ	<i>Rhizosolenia</i> sp.	○5~10	○5,8,9	○5,9	○5~10			
	ア	<i>Asterionella formosa</i>	○4,5,2,3	○4,2,3	○4,1,2	○4,5,12~3			
		<i>Synedra</i> spp.	○4~10,1,3	○4~9,2,3	○4~3	○4~1,3	○4~6,9~11,1~3	○2	○4,6,12,2
	ア	<i>Achnanthes</i> sp.	○4	○7,8					
		<i>Cocconeis</i> sp.		○4,9					○4
	ナ	<i>Gyrosigma</i> sp.		○3	○3		○3		
		<i>Diploneis</i> sp.	○4,5						
	ナ	<i>Navicula</i> sp.	○4~9	○4,5,6	○4,5,8	○5,6,1	○10		○10
		<i>Amphora</i> sp.	○5						
	ナ	<i>Cymbella</i> sp.	○5						
		<i>Nitzschia holsatica</i>	○4,5,6,8,9	○6	○6~8,11	○5~8			
	ナ	<i>Nitzschia acicularis</i>	○4~10	○4,6,3	○4,6~9,11,12,2,3	○5~11,1,2		○10	○10,12
		<i>Nitzschia</i> sp.	○4,6,7,9,3	○8,9	○4,7,8,10,3	○4,5,8,11,1,2,3	○4,10,1		○6
	ナ	Others	○4,5,9,10,3	○4,6,12		○12	○12	○10	○4,12
渦 鞭毛藻	ギ	<i>Gymnodinium</i> sp.	○4,7,9,10,2		○12,2	○4,10,12,2	○12~2	○12	○12
	ペ	<i>Peridinium</i> sp.	○5,7,10	○11		○6~9	○3		○6,8
	ナ	<i>Ceratium hirundinella</i>					○9,10	○10	○10
		その他の鞭毛藻類 (*3)	○4~11,1~3	○4~10,12~3	○4~9,12~3	○4~3	○4,5,7,9~3	○6,12,2	○4,6,12,2
ミ 藻	ミ	<i>Euglena</i> sp.	○5~1	○12	○7,11,1,2	○7,12			
		<i>Trachelomonas</i> spp.	○4~10,1,3	○6,8,10,1~3	○6~8,10,3	○7~10,1~3	○7,2	○6,2	○2
		Others	○10		○10	○6,8~10			
緑藻	ク	<i>Chlamydomonas</i> sp.	○4~10,1	○5,7~9	○6~9,1	○4,5,8,10,1	○5,10		○4,6
		<i>Carteria</i> sp.	○8~10		○8	○8,10			
	オ	<i>Pandoria morum</i>	○8						
		<i>Sphaerocystis</i> sp.	○9~10		○7,8	○8			
	ミ	<i>Micractinium</i> sp.	○4~9	○7	○6,10	○5~8,2	○7		
		<i>Errerella</i> sp.							
	ジ	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	○4~9,12,3	○4,6,8	○4,5,7~10	○4~6,8,10,3	○4~6,1,2	○6,2	○6,2
		<i>Dictyosphaerium</i> sp.					○4,5		
	キ	<i>Kirchneriella</i> sp.	○6						
		<i>Oocystis</i> sp.	○4,5,7,10	○8,10	○6~8	○6	○6~7,1	○6	○6
	ア	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	○4~10,12~3	○4,5,7,9,11,1~3	○4~1	○5~1,3	○4~6,8,10~1,3	○6,12	○4,6,12
		<i>Monoraphidium</i> sp.	○5,6,8,9,11,3	○5,8	○5	○4~8	○4,6,7,12,1	○8	○4,6
	ア	<i>Pediastrum duplex</i>	○5,6,9,12	○8	○9				
		<i>Coelastrum cambricum</i>	○6,7	○4,8		○6			
	コ	<i>Coelastrum microporum</i>	○5~10	○8,9	○8	○7,8	○4,7		○6
		<i>Actinastrum hantzschii</i>	○8,9	○8	○8				
	ク	<i>Crucigenia</i> sp.	○6~10,3	○8,9	○8~10	○5,6,9	○6,8		
		<i>Scenedesmus</i> spp.	○4~3	○4~6,8~10,2	○4~11,1,2	○4~3	○4~8,12	○6,8,10,12	○4,6,8,12
	ク	<i>Closterium</i> sp.	○8~11	○11	○5,10,3	○1			○6
		<i>Staurastrum</i> sp.	○5,6			○6			
	ナ	Others	○4~3	○4~10,12,1	○4~11,1,3	○4~3	○5~7,9~2	○6,12,2	○4,6,12,2
		出現属の合計(*4)		54	40	41	45	38	26

(備考) *1: 群数として計数した。

*2: *Oscillatoria* spp. には、*Phormidium*属を含む。

*3: 鞭毛藻類は1属とした。

*4: 出現属の合計の中にはOthersも1属として含む

●: 100,000cells/ml以上の出現のあった種

○の後の数字: 出現した月

: アオコ種

: 汽水種

表4 平成9年度北潟湖、三方湖の出現種の違い

綱	北潟湖のみに出現した種	三方湖のみに出現した種
藍藻	<i>Anabaena affinis</i>	<i>Gomphosphaeria</i> sp.
		<i>Anabaenopsis</i> sp.
黄色鞭毛藻	<i>Dinobryon</i> sp.	
	<i>Mallomonas</i> sp.	
	<i>Synura</i> sp.	
珪藻	<i>Melosira granulata</i>	
	<i>Melosira italica</i>	
	<i>Melosira distans</i>	
	<i>Melosira varians</i>	
	<i>Skeletonema potamos</i>	
	<i>Skeletonema costatum</i>	
	<i>Rhizosolenia</i> sp.	
	<i>Asterionella formosa</i>	
	<i>Achnanthes</i> sp.	
	<i>Diploneis</i> sp.	
	<i>Amphora</i> sp.	
	<i>Cymbella</i> sp.	
	<i>Nitzschia holsatica</i>	
渦鞭毛藻		<i>Ceratium hirundinella</i>
ミドリムシ藻	<i>Euglena</i> sp.	
緑藻	<i>Carteria</i> sp.	<i>Dictyosphaerium</i> sp.
	<i>Pandoria morum</i>	
	<i>Sphaerocystis</i> sp.	
	<i>Kirchneriella</i> sp.	
	<i>Pediastrum duplex</i>	
	<i>Coelastrum cambricum</i>	
	<i>Actinastrum hantzschii</i>	
	<i>Staurastrum</i> sp.	
出現種(属)		
合計	26(22)	4(4)

と増殖し、総細胞数が240,000cells/mlとなり北潟湖の中では最も高い値となった。南部、湖心、日の出橋は、1月に*Oscillatoria*属が増殖し、総細胞数が82,000~110,000 cells/mlとなっている。総細胞数の変動は、4地点で多少のズレはあるものの、春~夏季にかけて増加、夏~秋季に減少し、冬季に一時的に増加するパターンにあるようだ。

【三方湖】

三方湖は、6~11月にかけて藍藻綱のアオコ形成種が飛躍的に増殖することから、総細胞数が110,000~400,000 cells/mlと増加している。藍藻綱の内訳は、5~7月は*Anabaena*属が第1優占種、8~10月は*Microcystis*属が第1優占種、11、12月は*Planktothrix*属が第1優占種となっていた。また、1~4月は総細胞数が極端に減り、珪藻綱、緑藻綱が優占していた。

3.2 水質

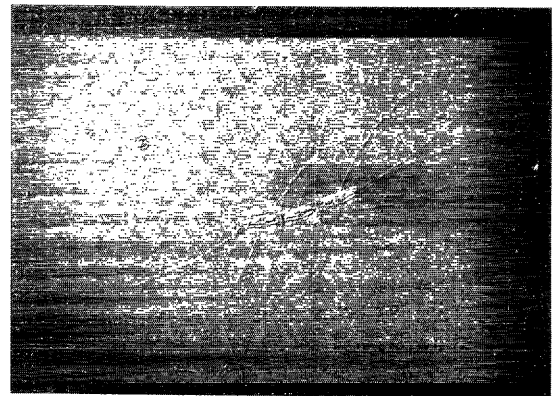
調査地点毎のCODと塩素イオン濃度の変動を、図8-1~8-7に示し、クロロフィル濃度の変動を図9-1~9-7に示した。

【北潟湖】

CODの4地点の変動をみると、4月から7月初旬にかけて上昇し以後徐々に減少する傾向にあった。これは、クロロフィル濃度の変動でも同様であり、植物プランクトン量と有機物量との密接な関係が裏付けられている。総細胞数の変動でも7~8月まで総細胞数が多く、COD、クロロフィル濃度の変動に近くなっている。また、クロ

ロフィル濃度の5~7月にかけての上昇は、珪藻綱の増加とも一致している。但し、冬季の総細胞数の増加は、細胞体積の小さな*Oscillatoria*属が主となっているため、COD、クロロフィル濃度の上昇とは結びついていない。

塩素イオン濃度は4地点とも、10月初旬から上昇し10月下旬頃に各地点とも最高値の2,100~4,600mg/lを記録した。これは、湖末端にある水門が春季に湖水の農業用水利用のため閉められていたのが、秋季に開けられ海水が流入するためである。このため、植物プランクトンの出現内容に変化が起こり、汽水種の*Chaetoceros*属が10~1月までの間に出現していた(11月に昭和橋にて20,000cells/ml確認、図10)。なお、海水の流入による*Chaetoceros*属の出現は、すでに報告されている^{3,4)}。


図10 *Chaetoceros* sp. (微分干渉)

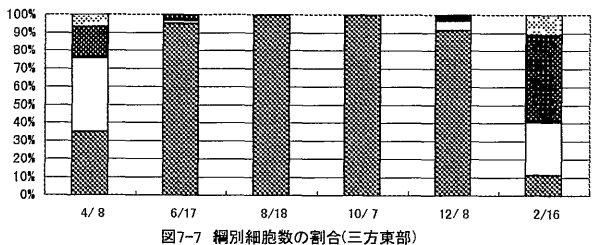
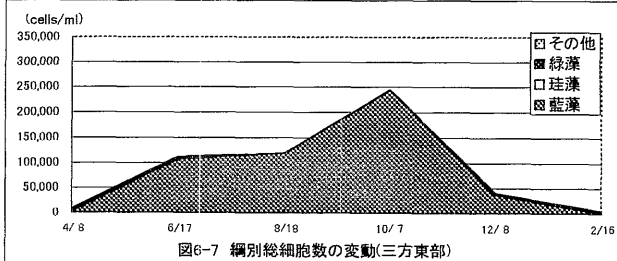
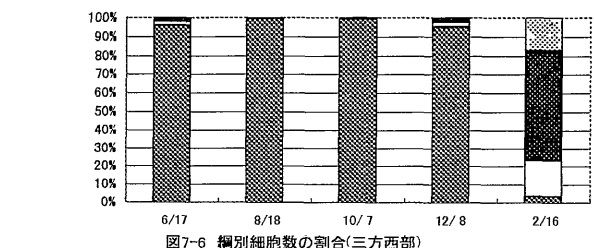
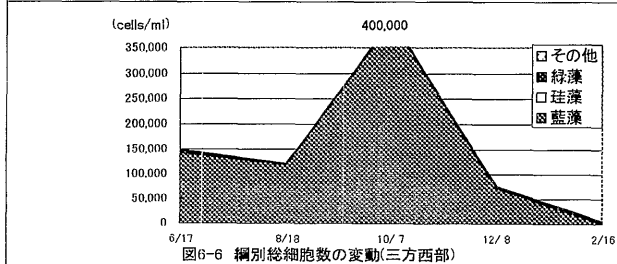
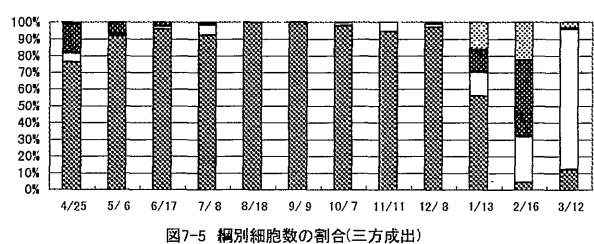
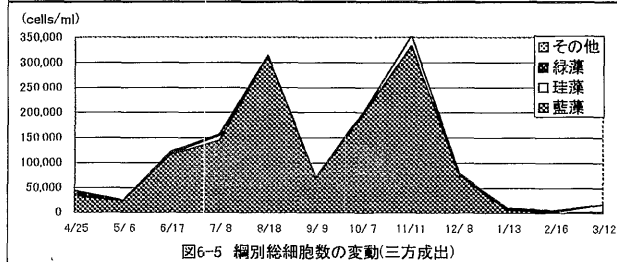
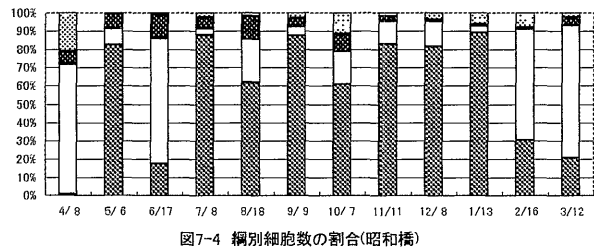
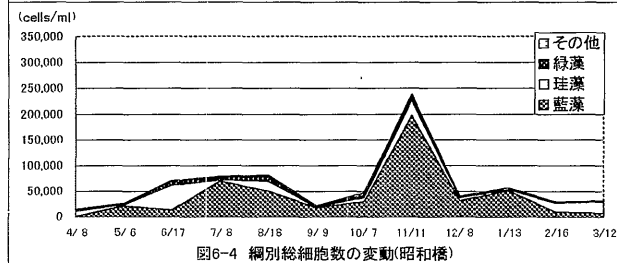
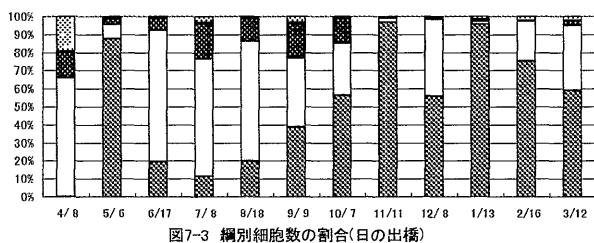
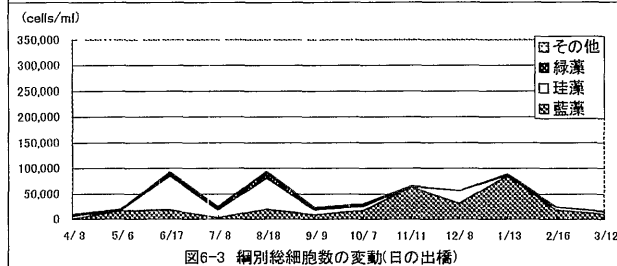
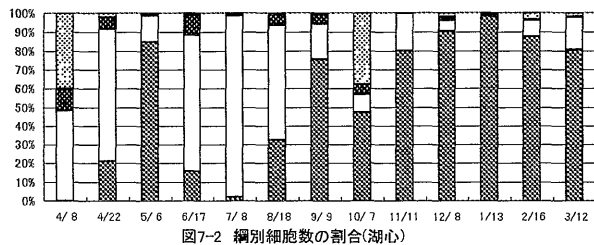
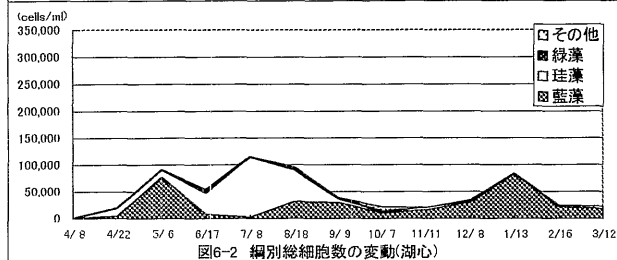
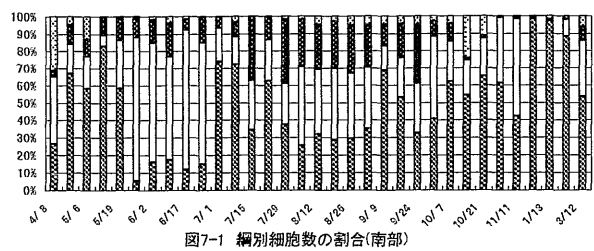
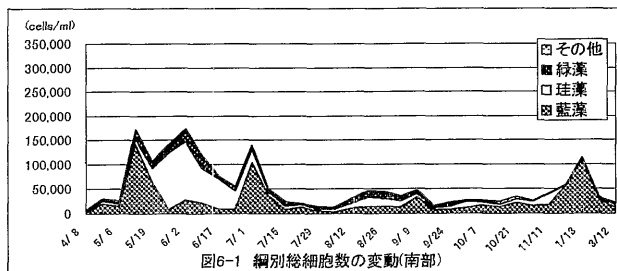
10μm
—|—

【三方湖】

CODは、4月からアオコ形成種の増殖とともに上昇し11月頃まで高い値となっている。クロロフィル濃度も11月頃まで高い値となっているが、12~2月は低下している。塩素イオン濃度は11~12月に800mg/l近くまで上昇し、北潟湖と同様に汽水種の*Chaetoceros*属が10月に出現している。

3.3 植物プランクトン総細胞数と水質

北潟湖の6~11月にかけての植物プランクトン総細胞数は、三方湖に比べ明らかに少ないのに対し、CODは同程度、クロロフィル濃度は三方湖より高くなっている。特に、6~7月のクロロフィル濃度は、三方湖の4倍近くとなっているが、これについては、1細胞当たりのクロロフィル含有量の差もあると思われるが、ピコプランクトンの影響が考えられる。ピコプランクトンは、0.2~2μmの超微小な植物プランクトンであり、10⁶cells/ml以上となると透明度に顕著な影響を与え、2×10⁶cells/ml以上となるとCOD、クロロフィル濃度等に影響してくるといわれている。すでに、琵琶湖等でも1μm程度のピコプランクトンが大増殖を起こし、植物プランクトン数が少ないにもかかわらずクロロフィル量の増加が認められるなど水質に影響を与えているとの報告がされている^{5,6)}。今後は、ピコプランクトンも含めた調査が必要と考えられる。



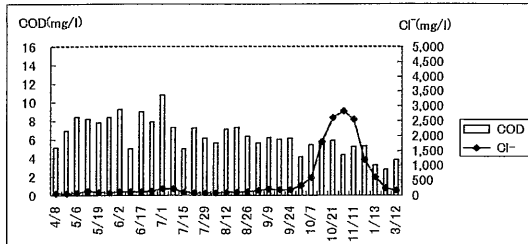


図8-1 COD、塩素イオン濃度の変動(南部)

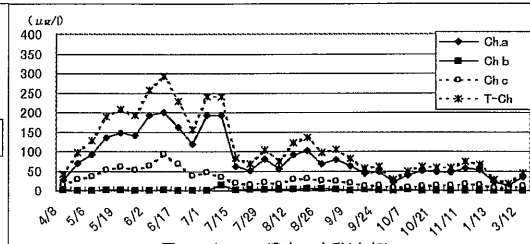


図9-1 クロロフィル濃度の変動(南部)

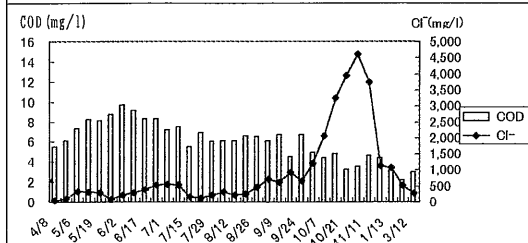


図8-2 COD、塩素イオン濃度の変動(湖心)

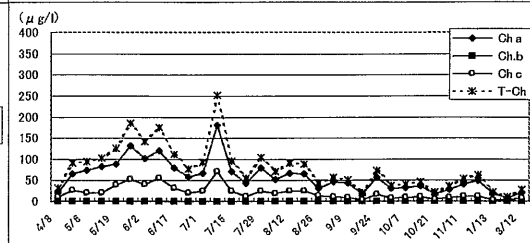


図9-2 クロロフィル濃度の変動(湖心)

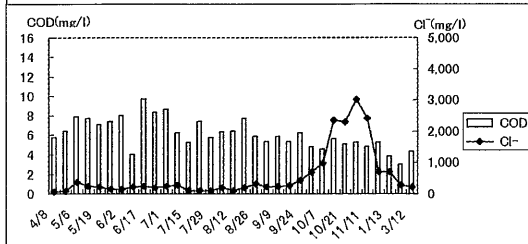


図8-3 COD、塩素イオン濃度の変動(日の出橋)

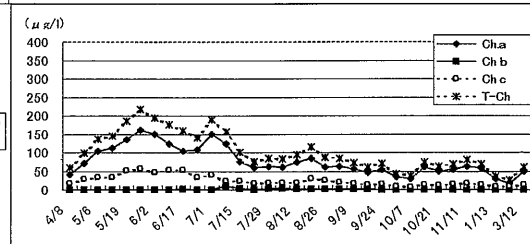


図9-3 クロロフィル濃度の変動(日の出橋)

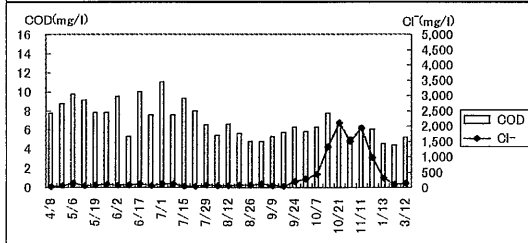


図8-4 COD、塩素イオン濃度の変動(昭和橋)

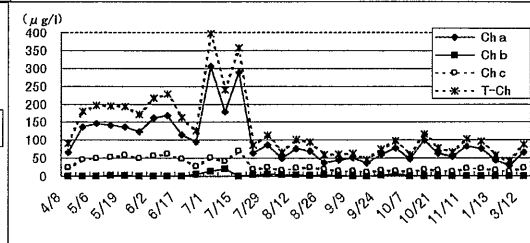


図9-4 クロロフィル濃度の変動(昭和橋)

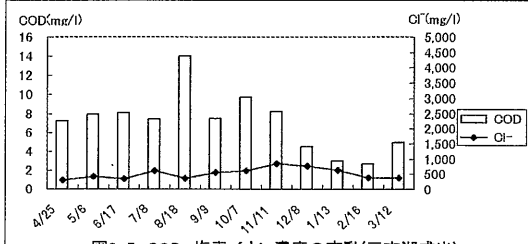


図8-5 COD、塩素イオン濃度の変動(三方湖成出)

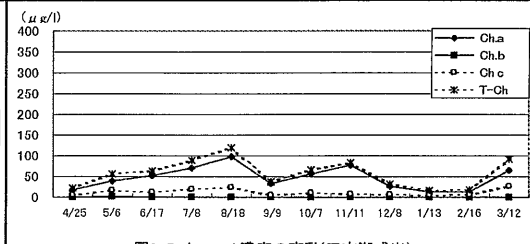


図9-5 クロロフィル濃度の変動(三方湖成出)

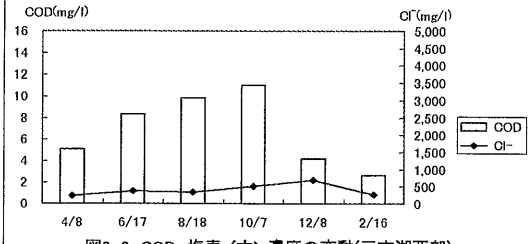


図8-6 COD、塩素イオン濃度の変動(三方湖西部)

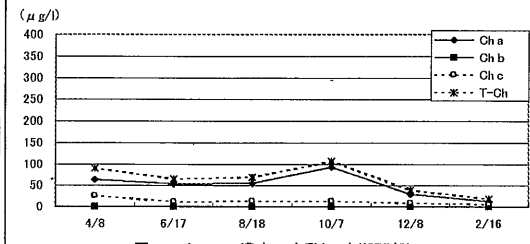


図9-6 クロロフィル濃度の変動(三方湖西部)

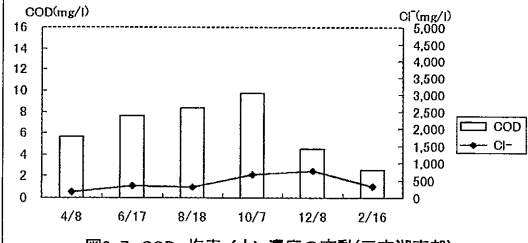


図8-7 COD、塩素イオン濃度の変動(三方湖東部)

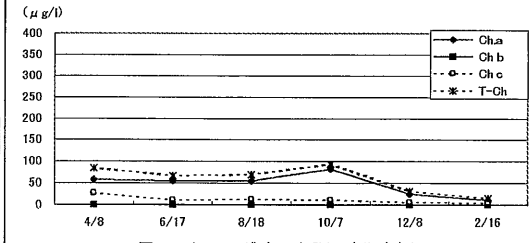


図9-7 クロロフィル濃度の変動(三方湖東部)

4 まとめ

- (1) 北潟湖に出現した植物プランクトンは57属であり、三方湖の40属と比べ多く、特に珪藻綱・緑藻綱の出現属数が多かった。
- (2) 例年アオコが発生する三方湖に対し、北潟湖はアオコ形成種の存在はあるものの極微量しか出現せず、アオコ形成種以外の藍藻綱や珪藻綱の出現量が多い。しかし、平成9年9月に湖心において *Anabaena* 属によるアオコ発生がみられた。
- (3) 北潟湖の総細胞数の変動は、4地点で多少のズレはあるものの、春～夏季にかけて増加、夏～秋季に減少し冬季に一時的に増加した。一方、三方湖は、5～11月頃までアオコ形成種の増殖による高い値が続いていた。
- (4) 両湖は、秋季の海水の流入により塩素イオン濃度が上昇し、汽水種の *Chaetoceros* 属の出現がみられた。
- (5) 両湖の総細胞数の変動パターンは、COD、クロロフィル濃度の変動パターンに近い。しかし、北潟湖は三方湖と比べると、総細胞数に対するCOD、クロロフィル濃度が高い。今後は、ピコプランクトンも含めた調査も必要と考えられる。

参考文献

- 1) 片谷千恵子他：北潟湖の植物プランクトンの異常増殖について，福井県環境科学センター年報，25，p.p.91-93，1995．
- 2) 青木啓子：三方五湖と北潟湖における動植物プランクトン，福井県の陸水生物，p.p.37-63，1998．
- 3) 青木啓子他：三方五湖のプランクトンについて(第1報)，福井県公害センター年報，15，p.p.155-161，1985．
- 4) 青木啓子他：北潟湖のプランクトンについて(第1報)，福井県環境科学センター年報，17，p.p.115-124，1987．
- 5) 一瀬諭他：琵琶湖におけるピコプランクトンの異常増殖—1989～1990—(1)ピコプランクトンおよび他のプランクトン相，滋賀県立衛生環境センター，27，p.p.138-147，1991．
- 6) 山中直他：琵琶湖におけるピコプランクトンの異常増殖(2)—1989～1990—ピコプランクトンの異常増殖に伴う水質変動，滋賀県立衛生環境センター，27，p.p.148-155，1991．