

第5章 藻類の培養試験によるアオコ増殖抑制因子の解明

5.1 調査の概要

三方五湖（日向湖、久々子湖、水月湖、菅湖、三方湖）と北潟湖は、福井県を代表する湖沼であるが、このうち北潟湖と三方五湖の最も南に位置する三方湖は富栄養化が進行し、水質汚濁の改善が課題となっている。過去10年間にわたる両湖の水質（COD、T-N、T-P）の平均値を表5-1に示したが、富栄養化のレベルはほとんど同じといえる。しかし、三方湖では夏季から秋季にかけて、アオコ形成種の *Microcystis*、*Anabaena* 属が優占するアオコが発生しているのに対し、北潟湖ではアオコ形成種がみられるものの、アオコが発生するほど増殖はしていない^{1)・2)}。アオコの発生因子を抽出するため、平成9年に北潟湖で、10年には三方湖で水質やプランクトンの詳細な現地調査を行ったが、「第4章 湖沼の水質およびアオコ発生因子の解析」でも述べられているように、両湖での明確な差は認められなかった^{1)・4)}。しかし、北潟湖では毎年9月から、湖の北部に位置する開田橋の水門が開き、海水が湖に遡上して、10月から12月の間は湖水中の塩素イオン濃度が急激に上昇する（表5-2、図5-1）。すでに、塩素イオン濃度の変化が大きい湖では *Microcystis* 属によるアオコの発生が少ないことが示唆されており⁵⁾、この現象と冬季の低水温が、アオコの増殖抑制の要因になっているのではないかと考えた。そこで、アオコの増殖と塩素イオン濃度や水温との関係を明らかにするために、三方湖で優占種となっている *Microcystis aeruginosa*（以下、*M. aeruginosa* と記す）を使用して培養試験を行った。そして、実際に、塩素イオン濃度が高い時期と、塩素イオン濃度が低い時期の湖水を用いて、藻類の最大増殖量（以下、AGPと記す）を測定し、増殖

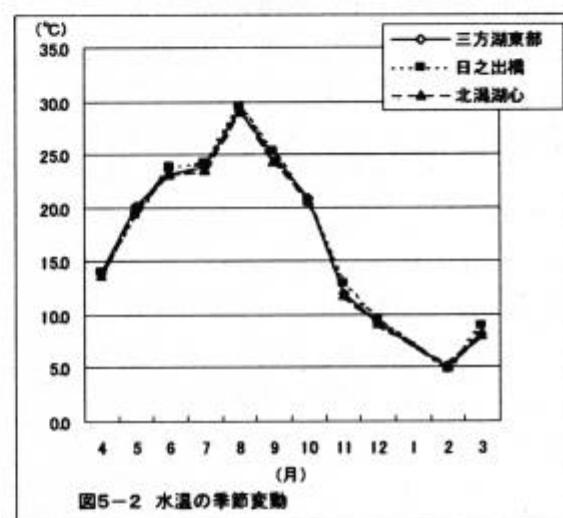
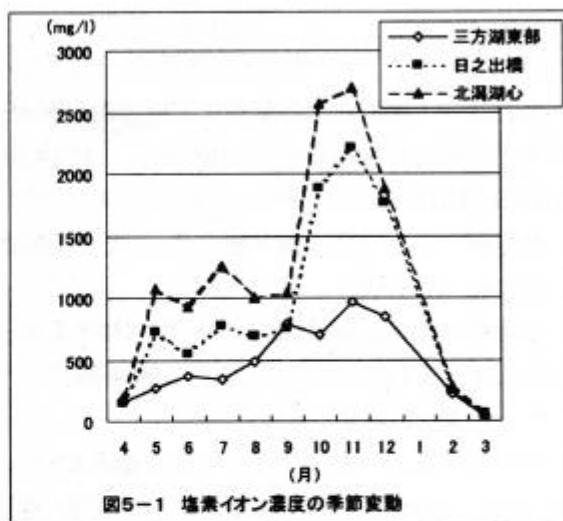


表5-1 三方湖と北潟湖の水質（1990～1999年）

	三方湖東部			北潟湖心		
	COD mg/ℓ	T-N mg/ℓ	T-P mg/ℓ	COD mg/ℓ	T-N mg/ℓ	T-P mg/ℓ
n	68	68	68	68	68	68
AVE	5.4	0.85	0.075	5.4	0.86	0.072
MAX	19.0	3.20	0.280	9.3	1.40	0.140
MIN	1.8	0.26	0.029	2.0	0.30	0.019
SD	2.7	0.41	0.043	1.9	0.17	0.030

抑制の有無、およびその影響を比較した。また、採取した様々な植物プランクトンを含む湖水を、滅菌した湖水に植種する混合培養（以下、AGP^Mと記す）を行い、優占的に増殖した藻類を、培養前後および植種先の湖沼間で比較した。

表5-2 三方湖と北潟湖における水温、塩素イオン濃度の季節変動（1990～1999年）

水温（℃）		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2月	3月	平均
三方湖	三方湖東部	13.8	20.1	23.2	23.9	29.1	24.9	20.8	11.9	9.1	4.9	8.1	17.3
	北潟湖	13.9	19.4	23.9	24.2	29.5	25.3	20.4	12.8	9.5	4.8	8.8	17.5
北潟湖	日之出橋	13.7	20.1	23.2	23.6	29.1	24.4	20.5	11.8	9.1	5.0	8.0	17.1
	北潟湖心												
塩素イオン（mg/ℓ）		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2月	3月	平均
三方湖	三方湖東部	160	266	365	332	486	778	697	966	846	221	41	469
	北潟湖	144	727	539	768	690	745	1,880	2,310	1,750	237	59	886
北潟湖	日之出橋	189	1,070	933	1,260	997	1,040	2,570	2,700	1,880	282	49	1,180
	北潟湖心												

5. 2 試験方法

5. 2. 1 供試藻類

平成6年に三方湖から分離し、培養していた *M. aeruginosa* (以下、三方株と記す) と、本種との比較のため、国立環境研究所から分譲を受けた *M. aeruginosa* NIES-87 (以下、N87株と記す) を供試藻類とした。

5. 2. 2 塩素イオン濃度別培養試験

塩素イオンの影響を海水と塩化ナトリウムで別々に検討した。表5-3に示したMA培地中に塩素イオン濃度310、630、1,250、2,500、5,000mg/ℓとなるよう調整し、試験区とした。植種する供試藻類の初期濃度は10万cells/mlとし、培養条件は、30℃、静置培養、約40μE/m²/s (2,000ルクス)、12時間明暗とした。藻類の増殖量の測定は、683nmでの吸光度から総細胞数(万cells/ml)で行った(図5-3、4)。

5. 2. 3 温度別培養試験

温度を15、20、25、30℃の4段階とし、他は5. 2. 2と同様とした。

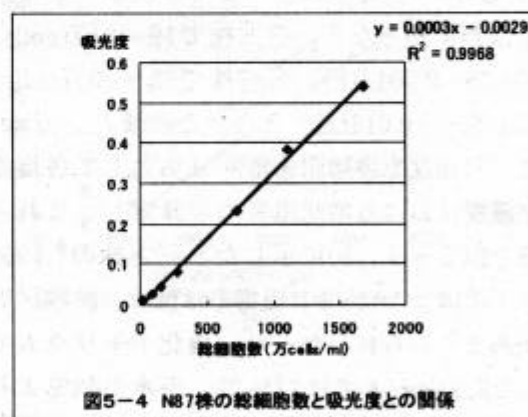
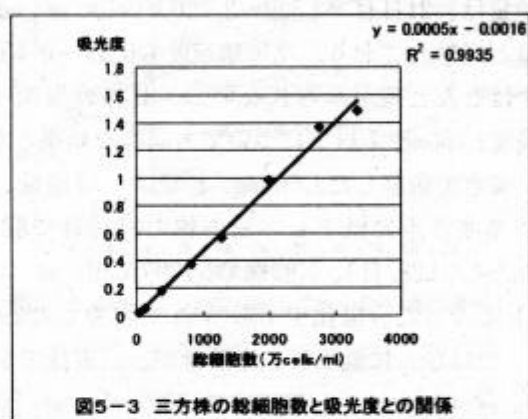
5. 2. 4 AGPとAGPM試験⁶⁾

三方湖(三方湖東部)と北潟湖(日の出橋、北潟湖心)の表層水を8月と10月に採取した(第2章図2-1、図2-2)。湖水の前処理には、オートクレーブ後さらにろ過滅菌する熱分解法を採用した。さらに、AGP試験では、各湖沼区その他、これらに栄養物質としてNaNO₃を2.5mg-N/ℓ、K₂HPO₄を0.25mg-P/ℓとなるよう加え、栄養添加区をそれぞれ設けた。なお、前処理後のT-N、T-Pがそれぞれ0.37~0.73mg/ℓ、0.032~0.053mg/ℓであったことから、これらの約5倍の濃度を栄養物質の濃度の目安とした。三方株とN87株は、窒素と磷をそれぞれ1/10にしたMA培地で前培養し、初期濃度が2万cells/mlとなるよう調整した。培養は最大増殖量に達するまで行い、増殖量はビルケル血球計数盤を用いて、総細胞数(万cells/ml)を測定した。培養条件は、5. 2. 2と同様とした。

AGPM試験では、前処理済みの湖水150mlあたり、前処理前の湖水3mlをそれぞれ植種した。25℃、約40μE/m²/s (2,000ルクス)、12時間明暗で

表5-3 MA培地組成

Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	50	mg
KNO ₃	100	mg
NaNO ₃	50	mg
Na ₂ SO ₄	40	mg
MgCl ₂ ·6H ₂ O	50	mg
β-Na ₂ glycerophosphate	100	mg
Na ₂ EDTA	5	mg
FeCl ₂ ·6H ₂ O	0.5	mg
MnCl ₂ ·6H ₂ O	5	mg
ZnCl ₂	0.5	mg
CoCl ₂ ·6H ₂ O	5	mg
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.8	mg
H ₃ BO ₃	20	mg
BiCine	500	mg
Distilled water	1,000	ml
pH	8.6	



30日間静置培養し、プランクトン計数板を用いて培養後の植物プランクトンの出現数とその総細胞数(cells/ml)を求めた。

5. 2. 5 水質分析

三方湖と北潟湖から採取した湖水について、以下の分析を行った。

pH (ガラス電極法)、COD (100℃酸性Mn法)、SS (GFPろ過法)、T-N、D-N (アルカリ性過硫酸カリウム分解Cu-Cd還元法)、T-P、D-P (アルカ

り性過硫酸カリウム分解アスコルビン酸還元法)、塩素イオン(モール法)、クロロフィル(吸光度法)

5. 3 結果

5. 3. 1 *M. aeruginosa*の増殖に及ぼす塩素イオンの影響

三方株とN87株の各塩素イオン濃度における増殖曲線を図5-5~8に示した。また、培養してから21日目の増殖量、対数増殖している2日目から10日目の比増殖速度⁶⁾を表5-4、5に示した。塩素イオン濃度1,250mg/ℓ以下における三方株の増殖量は、21日目で2,320~3,720万cells/mlに達するほど増殖しており、比増殖速度も0.34~0.40/日と、ほとんど差がみられない。N87株の塩素イオン濃度1,250mg/ℓ以下についても同様な結果となった。海水で調整した2,500mg/ℓでは、増殖量、比増殖速度ともに低下し、三方株の21日目で821万cells/ml(0.23/日)、N87株で1,130万cells/ml(0.20/日)となった。塩化ナトリウムで調整した2,500mg/ℓではさらに低下し、増殖量が、三方株で35万cells/ml(0.090/日)、N87株で196万cells/ml(0.14/日)となった。5,000mg/ℓまで濃度が上がると増殖量はわずかとなり、三方株で19~31万cells/ml(-0.078~0.004/日)、N87株で33~43万cells/ml(-0.079~-0.012/日)となった。また、0mg/ℓの比増殖速度を増殖阻害率⁵⁾0%として各塩素イオン濃度における増殖阻害率を算定し、これらの関係を図5-9、10に示した。三方株の1,250mg/ℓ以下では、7~16%と阻害率は低く、試験区間で差があまりみられなかった。塩化ナトリウムで調整した2,500mg/ℓでは77%で、海水の42%より高くなり、同じ塩素イオン濃度で阻害率に差がみられ、海水中には塩素イオンによる増殖抑制を緩和する物質が含まれていることが考えられた。5,000mg/ℓにおいては、さらに阻害率が高まり、海水で99%、塩化ナトリウムで100%以上となった。また、N87株に関しても三方株と同様な傾向を示した。

三方湖(三方湖東部)の塩素イオン濃度は、年間平均469mg/ℓで、最も高くなる11月でも1,000mg/ℓ前後までとなり、周年、*M. aeruginosa*の適応範囲内と考えられる。北潟湖(北潟湖心)の年間平均は1,180mg/ℓであるが、10月から11月は海水

の影響で2,500mg/ℓを超える(表5-2)。1,250mg/ℓ以上の塩素イオン濃度(海水)と三方株の増殖阻害率との相関関係式 $y = 0.0229x - 15.52$ ($R^2 = 1$)より、その期間の阻害率は42%以上と予想され、増殖に影響が及ぶと推察された。

5. 3. 2 *M. aeruginosa*の増殖に及ぼす温度の影響

三方株とN87株の各温度における増殖曲線を図5-11、12に示した。また、温度と増殖量、比増殖速度の関係を表5-6に示した。30℃では、盛んに増殖し、最大増殖量は三方株で3,720万cells/ml、N87株で4,860万cells/mlであった。20、25℃でも、30℃より低めに推移したものの、順調に増殖した。15℃では、最大増殖量はN87株が76万cells/mlとわずかに増殖したが、三方株は微増し続け、37日目に437万cells/mlとなった。最も比増殖速度が高かったのは、30℃の三方株(0.40/日)とN87株(0.30/日)で、これよりやや低い値で25℃、20℃と続いた。15℃では、最大増殖量に達するまでに時間を要した三方株で0.11/日と、N87株(0.014/日)より高かった。これより、20℃以上が*M. aeruginosa*の増殖に適した温度であると考えられた。三方湖では5月から10月にこの温度を上回り

表5-4 塩素イオン濃度と三方株の増殖量、比増殖速度との関係

塩素イオン濃度 (mg/ℓ)	増殖量(万cells/ml)		比増殖速度(/日)		増殖阻害率(%)	
	海水	NaCl	海水	NaCl	海水	NaCl
0	3,720	3,720	0.40	0.40	0	0
310	2,660	2,660	0.35	0.36	14	10
630	2,800	3,270	0.34	0.37	16	7
1,250	3,000	2,320	0.35	0.36	13	9
2,500	821	35	0.23	0.09	42	77
5,000	31	19	0.004	-0.078	99	120

(増殖量は培養21日目、5000mg/ℓのみ最大増殖量。比増殖速度は、2~10日)

表5-5 塩素イオン濃度とN87株の増殖量、比増殖速度との関係

塩素イオン濃度 (mg/ℓ)	増殖量(万cells/ml)		比増殖速度(/日)		増殖阻害率(%)	
	海水	NaCl	海水	NaCl	海水	NaCl
0	3,560	4,860	0.27	0.30	0	0
310	3,330	4,080	0.25	0.34	5	-13
630	3,870	4,160	0.24	0.31	12	-3
1,250	4,710	3,570	0.25	0.24	7	20
2,500	1,130	196	0.20	0.14	25	54
5,000	43	33	-0.012	-0.079	104	126

(増殖量は培養21日目、5000mg/ℓのみ最大増殖量。比増殖速度は、2~10日)

表5-6 温度と三方株、N87株の増殖量、比増殖速度との関係

温度 (℃)	最大増殖量(万cells/ml)		比増殖速度(/日)	
	三方株	N87	三方株	N87
30	3,720	4,860	0.40	0.30
25	2,420	4,530	0.29	0.21
20	2,540	3,380	0.26	0.21
15	437	76	0.11	0.014

(比増殖速度は、2~10日)

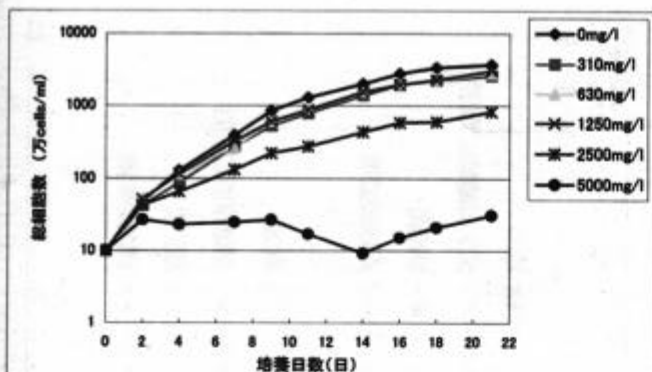


図5-5 塩素イオン濃度(海水)における三方株の増殖

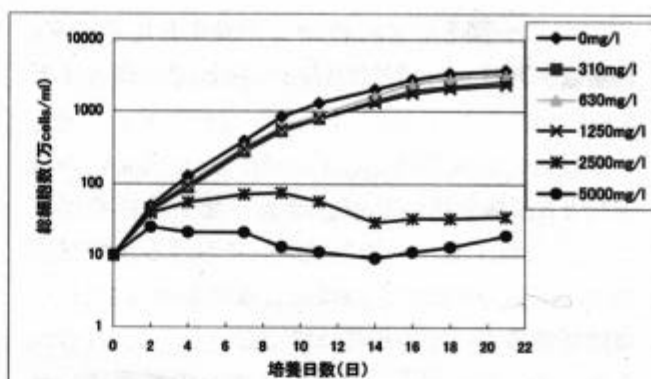


図5-6 塩素イオン濃度(NaCl)における三方株の増殖

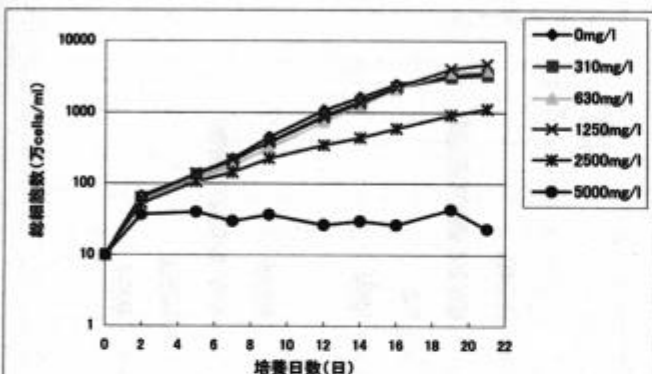


図5-7 塩素イオン濃度(海水)におけるN87株の増殖

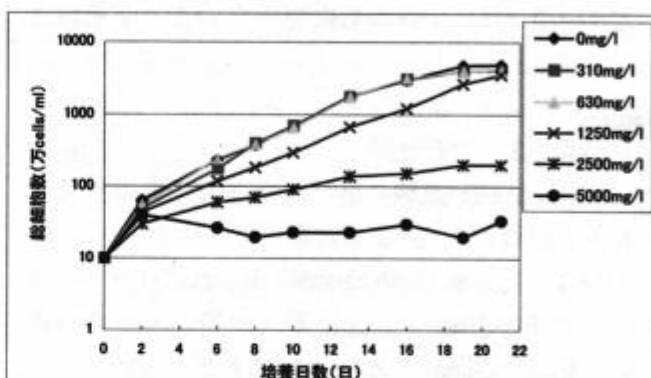


図5-8 塩素イオン濃度(NaCl)におけるN87株の増殖

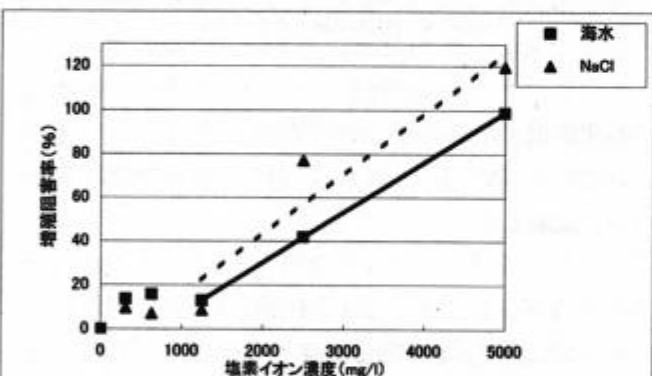


図5-9 塩素イオン濃度と三方株の増殖阻害率との関係

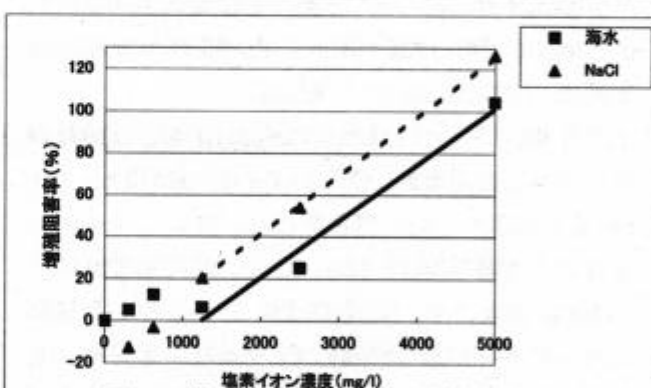


図5-10 塩素イオン濃度とN87株の増殖阻害率との関係

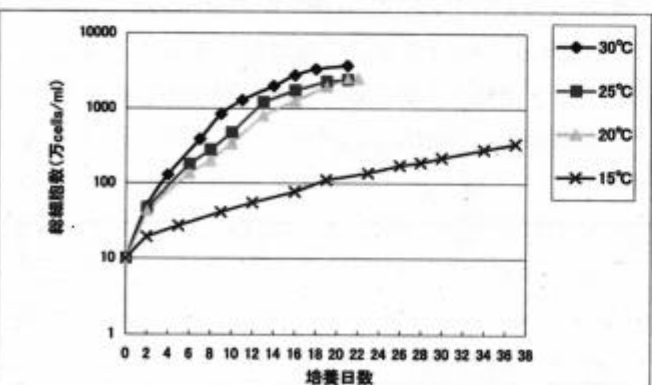


図5-11 各水温における三方株の増殖

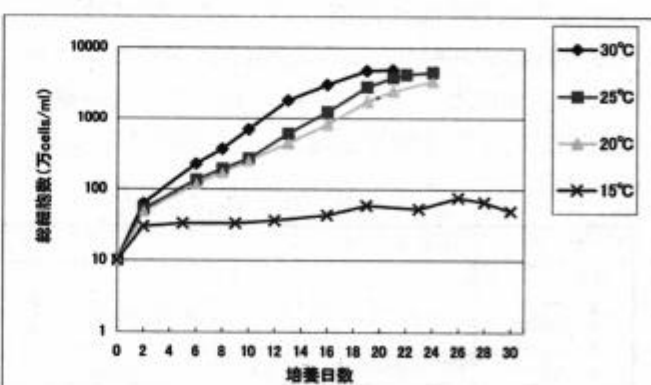


図5-12 各水温におけるN87株の増殖

(表5-2、図5-2)、アオコが発生した平成9、10年は、8月から10月に*Microcystis*属が優占種となっていた^{1), 2)}。

本試験の供試藻類として、*M. aeruginosa*の三方株とN87株を用いたが、塩素イオン濃度や温度(ただし、20℃以上)の各試験区における比増殖速度や増殖量の挙動は、ほぼ同じ傾向を示しており、増殖特性についての相違はほぼないと考えられた。また、*M. aeruginosa*の塩素イオンの影響は、他県でも調べられており、塩素イオン濃度の変化が大きい湖ではアオコの発生が少ないことが示唆されている。

5. 3. 3 水質分析

AGP、AGP^M試験に用いた湖水の分析結果を表5-7に示した。水質を両湖で比較すると、CODとSSは、三方湖(三方湖東部)でそれぞれ9.9~12.4 mg/ℓと16~20mg/ℓ、北潟湖(北潟湖心、日の出橋)で5.6~9.6mg/ℓと7~24mg/ℓとなった。T-NとT-Pは、三方湖でそれぞれ0.88~1.44mg/ℓと0.070~0.106mg/ℓ、北潟湖で0.69~1.03mg/ℓと0.074~0.154mg/ℓであった。塩素イオンについては、三方湖で1,100~2,020mg/ℓ、北潟湖で419~4,540mg/ℓとなり、10月は両湖ともに過去10年間の10月の平均値(三方湖東部: 697mg/ℓ、日の出橋: 1,880 mg/ℓ)に比べて高い値となった。クロロフィルaは、三方湖で22.4~42.0μg/ℓ、北潟湖で30.0~93.0μg/ℓとなり、藍藻や珪藻を中心とする植物プランクトンが最も繁殖していた8月の北潟湖(北潟湖心)で高くなった。三方湖では平成10年までは毎年、8月から10月にアオコの発生がみられていたが、平成11、12年については、この時期でも*Microcystis*属によるアオコは全く発生せず、平成9、10年に比べ、全クロロフィルは、低い値となった。

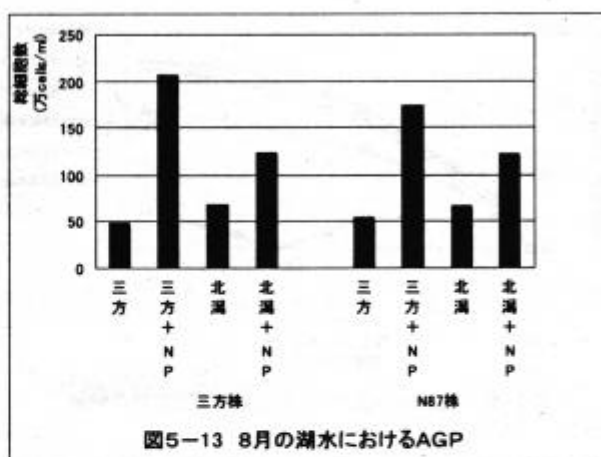


図5-13 8月の湖水におけるAGP

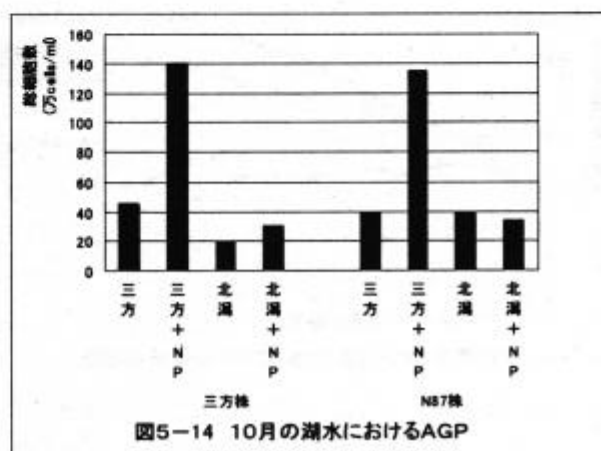


図5-14 10月の湖水におけるAGP

5. 3. 4 A G P 試験

北潟湖の塩素イオン濃度が低い8月と塩素イオン濃度が高い10月の湖水におけるA G P試験を行い、比較した。

8月の各湖水のA G Pを図5-13に示した。三方湖のA G Pは、三方株を植種した方で48万cells/ml、N87株では54万cells/mlとなった。これらに窒素と磷を添加することにより、さらに、それぞれ158万cells/ml、120万cells/mlの増加がみられた。北潟湖のA G Pは、三方株で68万cells/ml、N87株で66万cells/mlとなり、これに窒素と磷を添加したもので、両株とも55万cells/mlの増加が見られたが、三方湖ほどの増殖量にはならなかった。8月の塩

表5-7 A G P、A G P^M試験に用いた湖沼水の水質

地 点	採 水 日	水 温	pH	DO	COD	SS	T-N	T-P	D-N	D-P	Chlorophyll-a	Cl ⁻
三方湖	2000/											
※三方湖東部	8/1	29.0	8.1	7.3	11.0	19	1.03	0.098			42.0	1,100
※三方湖東部	8/22	31.3	8.7	9.9	10.7	18	0.88	0.070	0.35	0.014	33.8	1,840
※三方湖東部	10/10	22.1	9.2	11.0	12.4	20	1.44	0.106	0.30	0.012	41.0	2,020
※三方湖東部	10/17	19.0	8.8	10.1	9.9	16	1.24	0.099			22.4	1,890
北潟湖												
※北潟湖心	8/1	29.4	8.6	7.7	9.6	24	0.96	0.154			93.0	419
※日の出橋	8/22	29.8	8.1	7.8	7.5	8	0.69	0.074	0.27	0.016	47.9	569
※日の出橋	10/10	21.8	7.7	7.7	5.6	7	1.03	0.084			30.0	4,540

(※の地点で採取した湖沼水はA G P試験に、※はA G P^M試験に用いた。)

素イオン濃度は北潟湖 (569mg/ℓ) よりも三方湖 (1,840mg/ℓ) で高いことから、この塩素イオン濃度付近での増殖抑制は確認していないが、北潟湖の増殖量は三方湖より多くなることが予想された。しかし、逆に北潟湖の増殖量が少なくなり、三方湖の高い塩素イオン濃度より、北潟湖に存在する塩素イオン以外の増殖抑制要因等が影響していた可能性が考えられた。

10月の各湖水のAGPを図5-14に示した。三方湖のAGPは、三方株で45万cells/ml、N87株では39万cells/mlであった。これに窒素と燐を添加することにより、それぞれ95万cells/ml、96万cells/mlの増加がみられた。北潟湖のAGPは、三方株で20万cells/ml、N87株で39万cells/mlとなった。これに窒素と燐を添加したものは、三方株ではわずか10万cells/mlの増加、N87株では6万cells/ml減少した。10月の塩素イオン濃度は、三方湖の1,890mg/ℓに比べ、北潟湖では4,540mg/ℓと高く、塩素イオン濃度(海水)と三方株の増殖阻害率との相関関係式より、増殖阻害率はそれぞれ28%と88%になり、三方湖以上に北潟湖では増殖が抑制されたと推察された。しかし、AGPは三方湖と北潟湖で顕著な差はみられず、実際の湖水中には塩素イオンによる抑制を緩和する因子等や、窒素と燐以外の制限物質が影響していることが考えられた。

5. 3. 5 AGP^M試験

8月と10月に三方湖と北潟湖で採取した生の湖水を、前処理したそれぞれの湖水に植種し培養した。この培養液を検鏡し、表5-8、9に三方湖と北潟湖の、藻類の培養前後における植物プランクトンの出現種とその細胞数の変化を示した。この試験では、最高増殖量が確認できなかったため、培養期間は全ての試験区で30日間とした。

8月の三方湖(三方湖東部)では、藍藻綱6属、珪藻綱1属、緑藻綱2属の計9属を確認し、総細胞数は76万cells/mlであった。第一優占種はアオコ形成種の*Planktothrix* sp.で、総細胞数の76%を占め、*Oscillatoria* spp.が13%、*Lyngbya* sp.が7%と続いた。

これを前処理後の湖水に植種し、初期濃度1.5万cells/mlで培養したところ、同じ三方の湖水では、11万cells/mlまで増殖がみられた。第一優占種は

Lyngbya sp.となり、全体の70%を占め、これに次いで*Oscillatoria* spp.が27%となった。また、北潟の湖水では、9万cells/mlまで増殖がみられた。第一優占種は*Oscillatoria* spp.で、44%を占め、*Lyngbya* sp.が22%、*Aphanizomenon* sp.が18%と続いた。培養前の三方湖で第一優占種となっていた*Planktothrix* sp.は確認できなかった。

8月の北潟湖(北潟湖心)では、藍藻綱7属1種、黄色鞭毛藻綱1属、珪藻綱7属4種、鞭毛藻綱1属、ミドリムシ藻綱1属、緑藻綱12属7種の計29属12種を確認し、総細胞数は14万cells/mlであった。第一優占種は*Aphanocapsa* sp.で、総細胞数の35%を占め、*Chaetoceros* sp.が13%、*Skeletonema potamos*が8%、*Cyclotella* spp.が7%と続いた。

これを初期濃度3,000cells/mlで培養したところ、同じ北潟の湖水では1.5万cells/mlまで増殖がみられた。出現数は7属2種と培養前より極端に減った。第一優占種は*Oscillatoria* spp.で、88%を占めていた。三方湖の湖水では1.8万cells/mlまで増殖し、第二優占種となった*Lyngbya* sp.以外は、北潟と同様な種類が出現した。これより、培養後の総細胞数や出現数にあまり差がみられなかったことから、8月の三方湖と北潟湖の湖水に関しては、適応し優占する植物プランクトンに差を生じさせるほど違う性質ものではないと考えられた。

10月の三方湖(三方湖東部)では、藍藻綱5属、珪藻綱2属、鞭毛藻綱1属、緑藻綱2種1種の計10属1種を確認し、総細胞数は161万cells/mlであった。第一優占種はアオコ形成種の*Planktothrix* sp.で、総細胞数の81%をも占めた。

これを初期濃度3.2万cells/mlで培養したところ、同じ三方湖の湖水では、総細胞数2.4万cells/mlと減少した。第一優占種は*Oscillatoria* spp.と*Lyngbya* sp.で、いずれも35%を占め、*Planktothrix* sp.が26%と続いた。北潟湖の湖水でも2.8万cells/mlとあまり増殖はみられず、さらに、出現数は4属と培養前の半分以下となった。第一優占種は*Oscillatoria* spp.で、70%を占め、次いで*Lyngbya* sp.が21%となり、培養前に第一優占種となっていた*Planktothrix* sp.は確認できなかった。

10月の北潟湖(日の出橋)では、藍藻綱6属1種、珪藻綱5属3種、鞭毛藻綱1属、緑藻綱8属3種の計20属16種を確認し、総細胞数は2.1万cells

表5-8 三方、北潟湖水の培養前後における出現種とその細胞数の変化(8月)

綱	種名	単位: cells/ml			
		培養前 三方東	培養後 三→三	培養前 北→北	培養後 北→三
藍藻	<i>Aphanocapsa</i> sp.			979	
	<i>Chroococcus</i> sp.	48		90	528
	<i>Merismopedia tenuissima</i>		192	17	1,390
	<i>Aphanizomenon</i> sp.	73	16,500		
	<i>Raphidiopsis</i> sp.			6	
	<i>Planktothrix</i> sp.	11,600			
	<i>Oscillatoria</i> spp.	1,930	30,600	136	12,600
	<i>Phormidium</i> sp.	262	640	134	12,400
	<i>Lyngbya</i> sp.	1,050	78,700		2,680
	<i>Anabaena aphanizomenoides</i>		1,870	144	
	<i>Spirulina</i> sp.			15	
	Others				192
	<i>Mallomonas</i> sp.		48	<1	240
	<i>Melosira granulata</i>			1	
黄色鞭毛藻 珪藻	<i>Melosira italica</i>			13	
	<i>Melosira distans</i>			178	
	<i>Skeletonema potamos</i>		48	227	
	<i>Cyclotella</i> spp.		208	240	192
	<i>Chaetoceros</i> spp.	269	240	374	
	<i>Rhizosolenia</i> sp.		<1		
	<i>Synedra</i> spp.		48	9	
	<i>Nitzschia</i> sp.	144		21	
	Others			7	
	<i>Cryptomonas</i> sp.		96	3	
	<i>Trachelomonas</i> spp.			<1	
	<i>Chlamydomonas</i> sp.		48	1	96
	<i>Garteria</i> sp.	5		9	
緑藻	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>			15	
	<i>Oocystis</i> sp.			11	144
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>			2	
	<i>Coelastrum microporum</i>			129	432
	<i>Scenedesmus</i> spp.	5	48		
	<i>Glosterium</i> sp.			2	
	<i>Staurastrum</i> sp.			19	
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>			38	
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>			47	
	<i>Gloeocystis</i> sp.			4	
	<i>Tetrastrum heterocantum</i>			<1	
	<i>Tetraedron</i> sp.			<1	
	<i>Polyedriopsis spinulosa</i>			86	288
	Others	58		32	7
総細胞数		15,300	112,000	2,790	17,800
出現数		9	9	11	8

表5-9 三方、北潟湖水の培養前後における出現種とその細胞数の変化(10月)

綱	種名	単位: cells/ml			
		培養前 三方東	培養後 三→三	培養前 北→北	培養後 北→三
藍藻	<i>Aphanocapsa</i> sp.	480		122	
	<i>Chroococcus</i> sp.		216	26	96
	<i>Merismopedia tenuissima</i>			9	
	<i>Planktothrix</i> sp.	26,200	6,220		
	<i>Oscillatoria</i> spp.	2,440	8,530	41	
	<i>Phormidium</i> sp.	544		9	320
	<i>Lyngbya</i> sp.	2,510	8,410	5,880	
	<i>Spirulina</i> sp.		72	76	
	<i>Mallomonas</i> sp.				
	<i>Melosira italica</i>			1	
	<i>Melosira distans</i>		144	2	
	<i>Skeletonema potamos</i>	34	144	9	48
	<i>Cyclotella</i> spp.	14	72	24	
	<i>Chaetoceros</i> spp.			<1	
黄色鞭毛藻 珪藻	<i>Navicula</i> sp.				432
	<i>Cymbella</i> sp.				1,300
	<i>Nitzschia</i> sp.			1	
	Others				
	<i>Cryptomonas</i> sp.	5		27	
	<i>Chlamydomonas</i> sp.	14	72	1	
	<i>Microcystis</i> sp.			1	
	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	5		2	
	<i>Crucigenia</i> sp.			2	
	<i>Scenedesmus</i> spp.			8	96
	<i>Schroederia</i> sp.			3	
	<i>Nephrocystium</i> sp.			10	
	<i>Scenedesmus acuminatus</i>			1	
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>			1	
緑藻	Others	10	360	432	25
	総細胞数	32,200	24,200	27,700	409
出現数		10	9	4	22
					4

/mlであった。第一優占種は *Aphanocapsa* sp.で、総細胞数の30%を占め、*Spirulina* sp.が19%、*Oscillatoria* spp.が10%と続いた。

これを初期濃度400cells/mlで培養したところ、同じ北潟の湖水では、6,000cells/mlまで増殖した。第一優占種は培養前には確認されなかった *Nitzschia* sp.で、87%を占めた。三方湖の湖水では2,000 cells/mlと北潟の湖水ほどは増殖しなかった。第一優占種は *Nitzschia* sp.で、84%となった。出現数は両湖水とも4属と培養前より減った。また、培養前に優占していた種類は、培養後には両湖水で確認されなかった。これより、10月の三方湖と北潟湖の湖水に関しては、培養後の出現数や総細胞数にやや差がみられ、8月よりは性質が異なると示唆された。

AGP^M試験においては、培養中に藻類の消長が起こっていた可能性があり、今回のように、培養前に優占していたものが消滅し、逆に培養前は確認されなかった種類が優占種となる場合があった。このため、短期間にモニタリングを行い、藻類相の途中変化も含めて両湖水を評価する必要があると思われた。

5. 4 考察

三方株に及ぼす塩素イオンの増殖抑制については、塩素イオン濃度1,250mg/l以下では順調に増殖するが、2,500mg/lを超えると増殖量や比増殖速度が顕著に低下し、5,000mg/lで増殖阻害率は100%前後となった。霞ヶ浦由来のN87株でもこれと同様な挙動を示した。一方、鳥取県の湖山池由来の同種では、すでに2,300mg/l以上ではほとんど増殖しないことが明らかにされており^{6), 7)}、三方株やN87株はこれよりやや塩分耐性があると考えられた。

北潟湖では、9月から3月まで開田橋の水門が開き、海からの潮流の影響で10月から12月は塩素イオン濃度が高くなる(表5-2、図5-1)。特に2,500mg/lを超える10月から11月の増殖阻害率は42%以上となり、*M. aeruginosa*の増殖は三方湖より抑制されることが予想される。2月は、雪解け水や潮位の影響で塩素イオン濃度が低くなるが、水温が5℃前後となるため、増殖できない。結局、北潟湖では5月から9月までが増殖可能な

期間となり、水温の影響だけを受けている三方湖は5月から10月となる。北潟湖ではこのわずか1ヵ月間の差が、直接 *M. aeruginosa*によるアオコを抑制していることになる。しかし、AGP試験では、8月の北潟湖で塩素イオン以外に増殖を抑制する物質の存在が考えられた。また、10月では北潟湖の塩素イオン濃度が高いにもかかわらず、AGPは三方湖と北潟湖で顕著な差はみられず、実際の湖水中には塩素イオンによる抑制を緩和する因子等や、窒素と磷以外の制限物質が影響していることが考えられた。今後はこれや北潟湖で塩素イオン以外に増殖を抑制する物質の影響について検討して行きたい。

また、塩素イオン以外の *M. aeruginosa*の増殖抑制要因として、10月はまだ水温が20℃前後と高いため、*M. aeruginosa*が分解を受けて現存量を減らし⁸⁾、結果的に底泥中で越冬する現存量が三方湖より少なくなることが予想される。このため、北潟湖の *M. aeruginosa*は、三方湖に比べ優占種となるまで増殖するのに時間を要することになる。その間、優占してくる他の藻類による影響を受けて、増殖がさらに抑制される可能性も否定できない。また、11、12月は塩素イオン濃度が高いのにあわせて低水温となるため、三方湖よりは *M. aeruginosa*にストレスが加わるのではないかと考えられる。このように、北潟湖における塩素イオン濃度の上昇は、*M. aeruginosa*が優占するアオコの増殖を抑制する第二、第三の要因をもたらしっていると考えられた。

5. 5 まとめ

三方湖でアオコがしているのに対し、富栄養化のレベルがほとんど同じである北潟湖では、アオコは発生していない。この増殖抑制因子として、北潟湖の9月から翌年の3月に開田橋の水門が開き、海からの潮流の影響で10月から12月に塩素イオン濃度が上昇する現象と冬の低水温が考えられた。そこで、三方湖で優占しているアオコ形成種 (*Microcystis aeruginosa*) の増殖と塩素イオン濃度や水温との関係を明らかにした。また、実際に両湖水のAGPとAGP^Mを比較した。

その結果、

- ① 塩素イオン濃度1,250mg/l以下では *M. aeru-*

*ginosa*は順調に増殖し、2,500mg/ℓを超えると増殖量や比増殖速度が低下した。

② 塩素イオン濃度2,500mg/ℓ以上では、海水より塩化ナトリウムで調整した方で増殖阻害率は高くなり、海水中には塩素イオンによる増殖阻害を緩和する物質が含まれている可能性が考えられた。

③ 20℃以上が*M. aeruginosa*の増殖に適した温度であると考えられた。

④ AGP試験では、8月は北潟湖より三方湖で塩素イオン濃度1840mg/ℓと高かったにも関わらず、栄養塩を添加したことで増殖した量が北潟湖で少なくなり、三方湖の高い塩素イオン濃度より、北潟湖に存在する塩素イオン以外の増殖抑制物質が影響していた可能性が考えられた。10月の塩素イオン濃度は、三方湖の1,890mg/ℓに比べ、北潟湖では4,540mg/ℓと高く、栄養塩を添加した北潟湖のAGPは三方湖より非常に少なくなった。この塩素イオン濃度における増殖阻害率はそれぞれ28%、88%となり、これを反映していると考えられた。

⑤ AGP^M試験では、8月の両湖水で、培養後の増殖量や出現数にあまり差がみられなかったが、10月に関しては、培養後の出現数や増殖量にやや差がみられ、8月よりは両湖沼間で性質が異なっていると示唆された。

⑥ 三方湖（三方湖東部）の塩素イオン濃度は、年間平均468mg/ℓと低く、水温が20℃を超える5月から10月が*M. aeruginosa*の増殖期間であるのに対し、北潟湖では10月から11月の塩素イオン濃度は2,500mg/ℓを超え（北潟湖心）、その期間の増殖阻害率は42%以上と予想されるため、増殖が可能なのは5月から9月と推測された。

謝辞

本研究は、福井県立大学との共同研究についての内容である。

この共同研究の実施にあたり、終始懇切丁寧なご指導をいただいた福井県立大学の広石伸互教授に対して深謝いたします。

参考文献

- 1) 片谷千恵子ほか：北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節変動について（第1報），福井県環境科学センター年報，27，pp.90-96，1997.
- 2) 片谷千恵子ほか：北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節変動について（第3報），福井県環境科学センター年報，28，pp.70-77，1998.
- 3) 松崎雅之ほか：北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節変動について（第2報），福井県環境科学センター年報，27，pp.97-103，1997.
- 4) 松崎雅之ほか：北潟湖・三方湖におけるプランクトンの季節変動について（第4報），福井県環境科学センター年報，28，pp.78-88，1998.
- 5) 南篠吉之ほか：アオコ増殖と塩素イオン濃度との関係について，鳥取県衛生研究所所報，32，pp.60-64，1992.
- 6) 須藤隆一ほか：藻類の培養試験法によるAGPの測定，国立公害研究所報告，26，1981.
- 7) 南篠吉之ほか：汽水湖沼におけるアオコおよび赤潮発生の制御に関する基礎的研究，水環境学会誌，21，pp.530-535，1998.
- 8) 高村典子：ラン藻による水の華、特に*Microcystis*属の生態学的研究の現状，Jpn.J.Phycol.，36，pp.65-79，1988.

第6章 結語

三方湖と北潟湖は水質の富栄養化が進み、動物プランクトンが増殖して水質の悪化が著しい。県ではこうした湖沼水質を改善するため、各種下水道の整備や農業排水対策をはじめとした流入負荷源対策、底質の浚渫や水生生物の栽培等の湖水対策を実施してきたが、なかなか水質改善に結びついていない。

また、三方湖は北潟湖と比べて富栄養化の程度は同じレベルにありながら、アオコの発生が著しく、景観上の問題や腐敗したときの悪臭、さらに最近になってはアオコの毒素も問題となってきた。

環境科学センターでは、この両湖の違いからアオ

コの発生の原因を解析し、アオコ除去技術の開発に資するため検討した結果、主なアオコ形成種である *Microcystis* 属は、塩素イオンの影響を受け、かなりの抑制効果があることがわかった。

しかし、塩素イオン濃度の上昇を伴うアオコ対策は、生態系への影響が避けられないばかりでなく、水産業や農業にも影響を与えることから関係機関の十分な検討が必要である。

また、この対策は富栄養化現象を押さえる抜本的な対策では無いため現在まで実施してきた流入負荷源対策や湖水対策の更なる強化と継続が必要である。