

福井県三方五湖におけるAGP試験

石田 敏一*・青木 啓子・林 隆一郎

Algal Growth Potential (AGP) Assayes in The Five Lakes of Mikata, Fukui Prefecture

Toshikazu ISHIDA, keiko AOKI, Ryuichiro HAYASHI

Abstract

The present paper describes algal growth potential (AGP) assayes made use of *Anabaena flos-aquae* in The Five Lakes of Mikata. As a result, we found that the AGPs of the water at each point of the lakes showed 4.0~0.1mg/ℓ, and the growth limiting nutrients were nitrogen, phosphorus, iron and something else. On the other hand, the AGPs of the water in River Hasu showed 5.8~1.3mg/ℓ, and the growth limiting nutrients were phosphorus.

1 緒 言

昭和62年に、北潟湖とともに、福井県の代表的湖沼である三方五湖（日向湖を除く）の窒素、りんに係る類型指定を行ったが、類型指定にあたり、早急な環境基準の達成が見込めないことから、暫定目標を設定した。この暫定目標は、概ね5年を経過した時点の平成4年に、その達成状況を確認し、新たな目標を定めることが必要となる。

そこで、前報¹⁾で報告した北潟湖での調査に続き、三方五湖（日向湖を除く）においても、暫定基準見直調査の一つとして、藻類生産潜在能力 (AGP) 試験を行ったので、その結果について報告する。

2 試験方法

2.1 試水の採取場所、月日

三方五湖は、日向湖、久々子湖、水月湖、菅湖、三方湖の5湖からなる湖沼群で、それぞれの湖は、水路等で連結し、採水地点は、図1に示した、久々子湖(南部)、水月湖(南部)、三方湖(東部)と、三方五湖に流入する最大河川の鯖川(上口橋)とした。なお、窒素、りんの類型指定のない日向湖、および水月湖と水質状況が同じような菅湖は、調査から除外した。試水は、平成3年5月21日、8月6日、11月12日、2月18日に表層水を採水した。

2.2 供試藻類

昭和63年に三方湖で発生したアオコの原因種であった *Anabaena flos-aquae* を供試藻類とした。*A. flos-aquae* は、三方湖から単藻分離できなかったため、国立環境研究所から、*A. flos-aquae* (NIES-73)

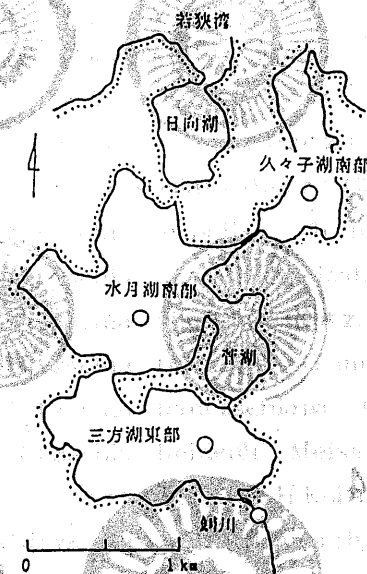


図1 調査地点図

表1 CB培地組成

Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	15	mg
KNO ₃	10	mg
β-Na ₂ glycerophosphate	5	mg
MgSO ₄ · 7H ₂ O	4	mg
Vitamin B ₁₂	0.01	μg
Biotin	0.01	μg
Thiamine HCl	1	μg
PIV metals **	0.3	ml
Bicine	50	mg
Distilled water	99.7	ml
pH	7.5	

** PIV metals

FeCl ₃ · 6H ₂ O	19.6	mg
MnCl ₂ · 4H ₂ O	3.6	mg
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	2.2	mg
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.4	mg
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	100	mg
Na ₂ EDTA · 2H ₂ O	100	
Distilled water	100	

* 現 福井県栽培漁業センター

表2 M-11培地組成

NaNO ₃	100mg
K ₂ HPO ₄	10mg
MgSO ₄ · 7H ₂ O	75mg
CaCl ₂ · 2H ₂ O	40mg
Na ₂ CO ₃	20mg
Fe-citrate	6mg
Na ₂ EDTA · 2H ₂ O	1mg
Water	1000ml
pH	8.0

の分譲を受けて試験に用いた。保存培養は、表1に示したCB培地を用い、前培養には、表2に示したM-11培地をNaNO₃10mg、K₂HPO₄1mgに減らしFe-citrateを加えずに用いた。

2.3 AGPの測定方法

AGP試験は、須藤らの方法²⁾に準じて以下の通り行った。

2.3.1 藻類の接種および培養方法

孔径0.45μmの滅菌済みメンブレンフィルターで濾過した試水200mlを、500mlの三角フラスコに無菌的に、分注し、これに窒素、りん、鉄を添加した後、前培養しておいた *A. flos-aquae* を接種した。接種量は、いずれも乾燥重量で0.01mg/ℓ程度とした。培養条件は、30℃、2,500Lux、14時間明、10時間暗、1日1回5分間振とうを行い培養した。なお、生物検定であることを考慮して、すべて2連で行った。

藻類の増殖量は、683nmでの吸光度を測定し、最大増殖量は、乾燥重量をSSの測定方法に準じて求めた。

2.3.2 添加栄養物質

窒素、りんおよび鉄を添加した。添加量は、窒素として、NaNO₃を1.0mg-N/ℓ、りんとして、K₂HPO₄を0.1mg-P/ℓ、鉄として、FeCl₃を1.0mg-Fe/ℓとなるよう試水に加えた。これらの添加溶液は、あらかじめオートクレーブによって滅菌しておいた。

2.4 試水水質分析

AGPと水質を検討するため、以下の分析を行った。1)pH：ガラス電極法。2)COD：100℃酸性Mn法。3)SS：GPF濾過法。4)T-N、5)D-N、6)NO₃-N：Cu-Cd還元法。7)NH₄-N：インドフェノール法。8)T-P、9)D-P、10)PO₄-P：アスコルビン酸還元法。11)Cℓ⁻：モール法。12)T-Fe、13)D-Fe：原子吸光法。14)クロロフィルa：吸光光度法。

3 結果と考察

3.1 水質分析結果

結果は、表3に示した。三方湖で6月中旬から下旬と7月中旬から9月中旬にかけてアオコが頻繁に発生していた³⁾。そのため、三方湖（東部）の8月6日の水質分析結果はCOD、SS、T-N、T-Pで高い値がみられた。

表3 三方五湖水質分析結果

地点	久々子湖(南部)				水月湖(南部)				三方湖(東部)				鯉川(上口橋)			
採水月日	5.21	8.06	11.12	2.18	5.21	8.06	11.12	2.18	5.21	8.06	11.12	2.18	5.21	8.06	11.12	2.18
pH	8.5	8.5	8.2	7.8	8.7	8.8	8.2	8.1	7.5	8.7	8.6	7.2	7.3	7.5	7.6	7.3
COD	3.2	3.3	2.4	2.3	3.3	3.7	3.1	2.2	4.3	7.8	5.1	2.6	2.3	1.4	1.5	1.0
SS	2	1	2	1	2	2	1	1	10	16	17	3	7	1	1	1
T-N	0.31	0.28	0.22	0.61	0.22	0.46	0.32	0.53	0.43	0.93	0.76	0.73	0.85	0.81	0.98	0.93
D-N	0.15	0.17	0.12	0.48	0.14	0.28	0.14	0.41	0.18	0.28	0.22	0.57	0.84	0.31	0.77	0.86
NH ₄ -N	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.04	0.04	0.03
NO ₃ -N	0.01	<0.01	<0.01	0.34	<0.01	<0.01	<0.01	0.32	<0.01	<0.01	<0.01	0.49	0.66	0.68	0.70	0.76
T-P	0.029	0.043	0.023	0.023	0.022	0.021	0.028	0.016	0.071	0.092	0.069	0.030	0.067	0.039	0.031	0.024
D-P	0.013	0.014	0.011	0.010	0.011	0.010	0.011	0.009	0.017	0.031	0.018	0.008	0.039	0.025	0.026	0.014
PO ₄ -P	<0.001	<0.001	0.002	0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.001	0.014	0.001	0.001	0.026	0.020	0.014	0.009
T-Fe	0.06	0.12	0.03	0.08	0.02	0.12	0.02	0.05	0.61	0.86	0.67	0.23	0.58	0.26	0.23	0.26
D-Fe	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	0.02	0.02	0.12	0.08	0.09	0.09
Cl ⁻	1,460	2,790	6,630	1,920	721	823	2,370	1,340	147	116	857	202	17	20	16	15
クロロフィルa	12.5	12.1	10.3	10.5	6.0	5.2	11.7	7.8	37.8	51.3	36.4	13.0	4.8	2.2	1.3	1.3

単位：mg/l (ただし、pHは単位なし、クロロフィルaはμg/l)

CODは、久々子湖(南部)で2.3~3.3mg/l、水月湖(南部)で2.2~3.7mg/l、三方湖(東部)で2.6~7.8mg/l、鱈川(上口橋)で1.0~2.3mg/lと、三方湖(東部)で高い値がみられた。

SSは、三方湖(東部)と鱈川(上口橋)の5月に高い値がみられ、その他では、2mg/l以下の低い値であった。

T-Nは、三方湖(東部)の8月と鱈川(上口橋)で高い値がみられ、特に鱈川(上口橋)では、各時期とも0.8mg/lを超える高い値であった。

D-Nは、湖内では冬期に高くなる傾向がみられた。鱈川(上口橋)では、0.31~0.86mg/lと湖内に比べ高かった。

NH₄-Nは、湖内で0.01mg/lか、それ以下と低く、鱈川(上口橋)では、0.03~0.08mg/lであった。

NO₃-Nは、湖内で冬期に高くなる傾向がみられ、鱈川(上口橋)では年間を通して0.70mg/l前後であった。

T-Pは、三方湖(東部)の5月、8月、11月、鱈川(上口橋)の5月に高い値がみられた。

D-P、PO₄-Pとも湖内での最高は、アオコが発生していた三方湖(東部)の8月だった。鱈川(上口橋)では5月が高かった。

T-Feは、三方湖(東部)、鱈川(上口橋)で高い値がみられた。

D-Feの最高値は、鱈川(上口橋)の5月の0.12mg/lであった。

Cl⁻は、久々子湖(南部)で11月に6,630mg/lと高かったが、その他は116~2,790mg/lと例年に比べるとやや低かった。

クロロフィル-aは、アオコが発生によって、三方湖(東部)で51.3mg/lと高い値がみられた。

3.2 供試藻類 *Anabaena flos-aquae* の増殖に及ぼす塩分の影響

三方五湖は、日本海に接しており、今回の調査時にも久々子湖(南部)でCl⁻6,630mg/lと、海水がかなり進入していたことがわかる。そこで、AGP試験にあたり、*A. flos-aquae* の増殖に及ぼす塩分の影響を調べた。M-11培地にNaClを加えて行った。結果は、表4に示した。これによると、Cl⁻0~1,000mg/lでは、最大増殖量が456~505mg/l

であるが、Cl⁻2,000mg/l以上では徐々に低下し、Cl⁻6,000mg/lでは増殖しなかった。

しかし、平成3年3月5日に三方湖(東部)で採水した試水(Cl⁻44mg/l)に、NaNO₃を1.0mg-N/l、K₂HPO₄を0.1mg-P/lとなるよう加えた後、NaClを加えてCl⁻4,044mg/lにしたものと、NaCl無添加のもので、最大増殖量を比較したところ、無添加で84.5mg/l、NaCl添加のもので79.1mg/lとなり、あまり差がでなかった。

以上のことから、実際の湖水ではCl⁻が多少高くなってもAGP試験の結果には、あまり影響を与えるものではないと考えられる。

なお、試験では、Cl⁻1,000mg/lを超えた試水について、滅菌したイオン交換水でCl⁻1,000mg/l以下に希釈した系列も作り、2系列で試験を行った。

表4 *A. flos-aquae* の増殖に及ぼすCl⁻の影響

Cl ⁻ (mg/l)	最大増殖量(mg/l)
0	456
500	505
1,000	468
2,000	335
3,000	253
4,000	165
5,000	155
6,000	0

3.3 三方五湖のAGP

久々子湖(南部)、水月湖(南部)でCl⁻1,000mg/l以上となったときのイオン交換水で希釈した系列は、希釈しないものに比べ3~10倍と極端に値が高くなるため、希釈しないで試験した値を採用した。結果は、表5に示した。

久々子湖(南部)、水月湖(南部)、三方湖(東部)、鱈川(上口橋)のいずれの地点でも、5月が最大となっていた。久々子湖(南部)、水月湖(南部)では5月を除くと、AGPが1.0mg/l以下と低く、藻類を増殖させる潜在能力は低いと言える。三方湖(東

部)は6月から9月にかけてアオコの発生が頻繁におき、8月1日にも*Microcystis* 属のアオコが発生していたにもかかわらず、AGPは意外に低い結果となっていた。鱈川(上口橋)は、最大となっていた5月の他、11月も $4.2\text{mg}/\ell$ と高い値を示した。

表5 三方五湖のAGP

(ろ過法 mg/ℓ)

	5月	8月	11月	2月
久々子湖(南部)	2.0	0.9	0.1	0.7
水月湖(南部)	2.4	0.5	0.9	0.4
三方湖(東部)	4.0	1.1	1.3	0.8
鱈川(上口橋)	5.8	1.4	4.2	1.3

3.4 制限因子調査

結果は、図2に示した。

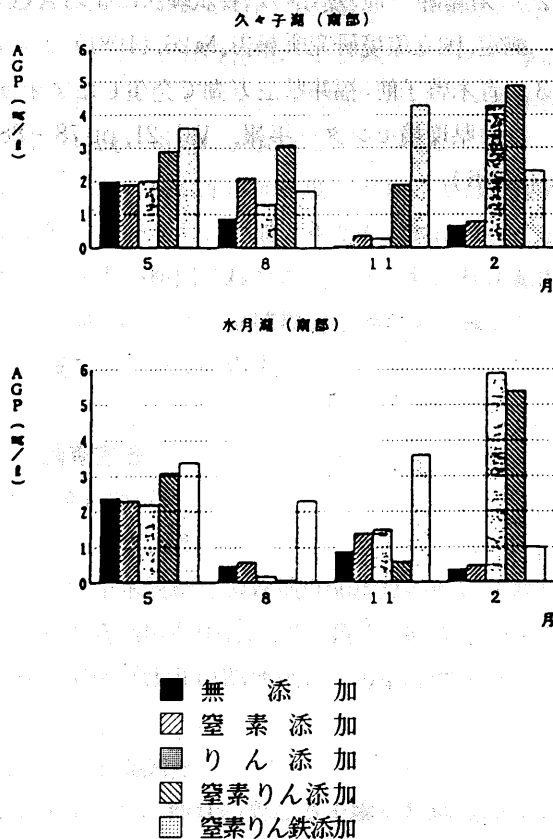


図2 窒素、りん、鉄、添加試験結果

添加量は窒素 $1.0\text{mg-N}/\ell$ 、りん $0.1\text{mg-P}/\ell$

鉄 $1.0\text{mg-Fe}/\ell$

久々子湖(南部)は、5月と11月が窒素、りん同時に制限、8月が窒素制限、2月がりん制限となっていた。さらに、5月と11月には鉄も制限の一つとなっていた。

水月湖(南部)は、5月が窒素、りん同時に制限、8月は、鉄制限、11月が窒素またはりん制限、2月がりん制限となっていた。また、11月は鉄も制限因子となっていた。

三方湖(東部)の5月では、窒素、りん、鉄を添加しても増殖せず、これら以外の物質が制限になっていたと考えられる。8月、2月はりん制限となり、特に8月は著しいりん制限であった。11月は、鉄が制限となっていた。

鱈川(上口橋)では、全ての時期でりん制限となっていた。また、8月は鉄も制限の一つとなることがわかった。

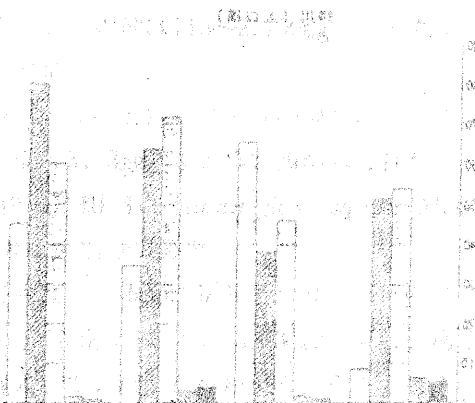
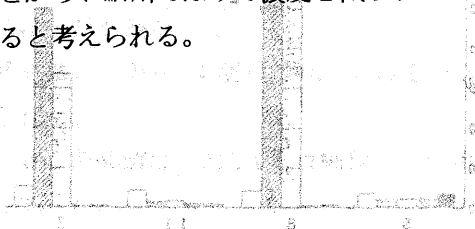
結果を整理して表6にした。このうち窒素とりんについて見ると水月湖(南部)の8月、三方湖(東部)の5月、11月は窒素、りん共に制限因子とはならなかった。2月は久々子湖(南部)、水月湖(南部)、三方湖(東部)、鱈川(上口橋)でりん制限となっていた。

表6 三方五湖における藻類増殖制限因子

	5月	8月	11月	2月
久々子湖(南部)	NandP Fe	N	NandP Fe	P P
水月湖(南部)	NandP	Fe	NorP	P
三方湖(東部)	—	P	Fe	P
鱈川(上口橋)	P	PorFe	P	P

久々子湖(南部)、水月湖(南部)では、窒素、りんを添加しても三方湖(東部)や鱈川(上口橋)ほど増殖量が多くなり、藻類の増殖を抑制、あるいは制限している物質があると思われる。

鱈川(上口橋)では、各時期ともりん制限となっていたことから、鱈川ではりん濃度を減らすことが重要であると考えられる。



4 結 語

AGP試験の結果以下の知見を得た。

- (1) *Anabaena flos-aquae* を用いて三方五湖のAGPを測定することができた。(久々子湖、水月湖、三方湖の3湖)
- (2) 各湖の濾過法によるAGPは4.0~0.1mg/ℓであった。また、三方湖に流入する鱈川では5.8~1.3mg/ℓであった。
- (3) 各湖は、窒素、りんおよび鉄が制限因子となっていたが、さらに制限となる物質があると考えられる。鱈川は、りんが制限因子となっていた。

参考文献

- 1) 石田敏一他: AGPによる北潟湖の富栄養化調査, 福井県環境センター年報, Vol.20, pp159-165, (1990)
- 2) 須藤隆一他: 藻類の培養試験法によるAGPの測定, 国立環境研究所報告, No.26, (1981)
- 3) 青木啓子他: 福井県三方湖で発生したアオコ, 福井県環境センター年報, Vol.21, pp78-88, (1991)

