

(6) 藻類増殖能力の推定に関する一考察

FUNDAMENTAL STUDY ON ALGAL GROWTH POTENTIAL

橘 治 国*

Harukuni TACHIBANA*

ABSTRACT ; In this study, I mainly examined the characteristics of algal growth potential of urban polluted waters and the relationship between them and the forms of nutrients. For these purposes, I made AGP tests (applying the method of Sudo and others (1981), inoculation with *Microcystis aeruginosa*) and MBOD tests*(applying the method of Nakamoto (1978) on waters pretreated in various ways (non-treatment, autoclave treatment, filtration treatment, and so on) which were sampled from rivers and lakes near Sapporo city in winter. Together with the tests above, the forms of nutrients especially of phosphorus were analyzed. As the result of these experiments, it was recognized that the maximum algal production of polluted urban waters were limited by the concentration of phosphorus, especially by particulate reactive phosphorus, the dominant form in many cases. It was also recognized that the influence of the existence of bacteria to the algal growth is not so much. In addition, through this study, MBOD test that is advantageous of short testing period (5 days) is fairly effective of predicting the quantity of algal production, but it was observed to have the tendency to underestimate the contribution of particulate nutrients to some extent.

*The Principle of MBOD (Modified BOD) : Assume the amount of oxygen as the algal growth potential; the oxygen was utilized until the growth of microorganisms stops because of nonexistence of available N or P, adding glucose sufficiently into the sample waters. Dilute, in the case that the concentration of nutrients is high.

KEY WORDS ; Eutrophication, AGP, Bioassay, Nutrients, Particulate phosphorus.

1. 緒言

富栄養化水域における藻類の異常増殖については数多くの研究論文が発表され、そのメカニズムについては解明されたかのような状況にある。しかし現場サイドからこれらの研究内容を再点検すると、室内あるいはモデル実験的なものが多く、現実の状態すなわちフィールドでの実際の状態に焦点をあてたものが少いため、「水の華」発生を予測するには今一步の感である。その原因は、停滞水域へ流入する栄養塩の形態や流入パターンが複雑でその実態の把握に時間を要し、したがってこれらと藻類増殖との関連についてもその解析にかなりの困難を伴うためと考えられる。特に自然水域において藻類増殖制限因子と関連してその挙動が注目されるリンについては、存在状態が発生源の性格によって多種多様であり、流出過程においても生物的、化学的、物理的作用によって様々に変化するなど、他の成分に比較し、その挙動には未解明の部分が多く、藻類増殖との関連については推論で処理されやすい。このような現状の認識の基で、著者らは水域におけるリンを中心とした栄養塩の存在状態やその流出特性および藻類増殖への利用可能性について調査してきた。例えば1.2.3) 本論文では、とりわけ「水の華」発生 of 著しい都市近郊水域を対象に、流入河川や冬期湖沼水についてのAGP試験⁴⁾とMBOD試験⁵⁾およびリンなど栄養塩の形態別分画定量を行い、都市排水汚染型河

* 北海道大学工学部衛生工学科 Department of Sanitary Engineering, Hokkaido University.

川・湖沼水の藻類増殖能力の特徴、特に優占的に存在する懸濁態リンの藻類増殖に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。また、各試験の測定法上の問題点についても検討を加えた。

2. 研究方法

2.1 藻類増殖能力の推定試験

(A) 試料の前処理 河川・湖沼など一般自然水域におけるリンの多くは、懸濁態として存在する。¹⁾ この懸濁態リンについて、Stevensら⁶⁾やCowenら⁷⁾は、かなりの割合で藻類増殖に利用されるとしており、直接的、間接的な藻類生産への寄与は無視できないと考えられる。そこで試料は、(1)無処理 (N tr.)

(2)高圧蒸気滅菌処理 (AC tr.: 121℃, 1.055 kg/cm²で20分処理後, 0.45 μmメンブランフィルターによって無菌ろ過) (3)ろ過処理 (F tr.: (3)と同じフィルターで無菌ろ過)の各処理後試験に供し、懸濁態栄養塩の増殖への影響を把握できるようにした。

(B) 推定試験方法 本研究では我国の淡水を対象に特定藻類を接種し藻類増殖能力を推定する方法として提案された須藤らによるAGP法⁹⁾と、中本の開発した藻類を使わないで従属栄養細菌の生長を利用し潜在的藻類生産量を推定するMBOD法を利用した。MBOD法は、BODの考え方を発展させたもので、十分量の有機物を試水に添加し、それによって微生物(主に細菌:以下細菌とする)の生長・増殖が制限されないようにして、試料水中に含まれる栄養塩を使い尽すまで微生物を増殖させる方法であり、このとき消費する酸素量を生物利用可能栄養塩量と対応した微生物(藻類)増殖量として測定

するものである。AGP試験においては、接種藻類として、「水の華」の代表種であり、調査対象とした茨戸湖でも優占種となることの多い *Microcystis aeruginosa* (東京大学, IAM-176) を用い、培養温度 25±1℃, 照度 1,000±100Lux で、最大増殖時(2~3週間)まで培養した。最大増殖時は、毎日濁度(使用波長660nm)の測定を行い、その増加率が5%以下となった時点とした。¹²⁾ 試験は試料10mlを試験管に入れ、無処理の場合を除き無菌的に行った。MBOD試験の方法や条件は、BOD試験に準じ、培養温度は20℃, 培養期間は5日間とした。無菌処理試料水の植種のためには、原試料水を0.5~1%添加した。MBOD値の計算に際しては、植種試料水分を差し引いた。各試料について、さらに藻類利用可能リン、窒素量との関係を推定するため、Table 1のようにそれぞれの試験方法に準じて過剰の窒素、リンを添加し、試験に供した。窒素については、試料水に無機態窒素(TIN)が1mg/l以上含まれ、実際には添加の効果が少ない。両試験の微生物増殖量は有機炭素(TOC)を指標とし、2組の同一試料の濃度変化の平均値として示した。したがってMBOD試験においては、酸素濃度をグルコースを仮定して炭素濃度に換算した。

2.2 対象水域と採水方法

対象水域は札幌市近郊にあり、夏期に *Microcystis spp* を

Table 1 Definition of terms

terms	nutrient added	
(1) AGP, MBOD	none	
(2) AGP-P, MBOD-P	N*	
(3) AGP-N, MBOD-N	(measurement of available phosphorus)	
	P**	
	(measurement of available nitrogen)	
* N concentration after addition	AGP (NaNO ₃)	: 1.0 Nmg/l
** P concentration after addition	MBOD (KNO ₃)	: 1.05 Nmg/l
	AGP (K ₂ HPO ₄)	: 0.1 Pmg/l
	MBOD (KH ₂ PO ₄)	: 0.15 Pmg/l
1)	Each production was measured in terms of increase in carbon concentration(mg/l). In the case of MBOD, consumed oxygen(O ₂) was converted to evolved carbon on the basis of glucose composition.	
2)	(2)<(3) Type of growth limited by phosphorus.	
	(2)>(3) Type of growth limited by nitrogen.	

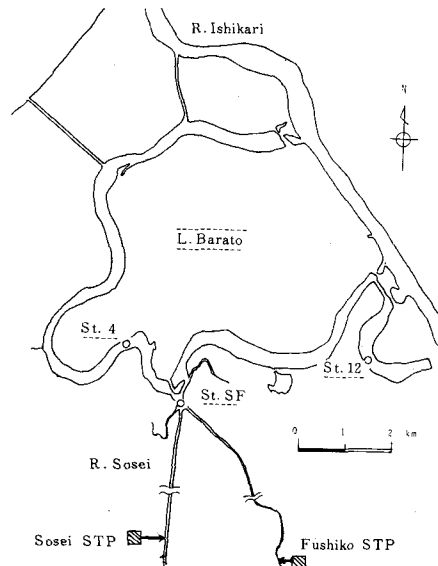


Figure 1 Sampling points in Barato

中心とした「水の華」発生が著しい（Chl-a濃度は200～300 $\mu\text{g}/\text{l}$ に達する。）茨戸湖およびその流入河川とした。水域の概況は Figure 1 に示す。試料（表層水）を採取した地点は、流入河川である創成川のSt.SFと、湖内のSt.12である。（地点名は、著者の一連の研究のなかで決定している。）創成川には札幌市の二ヶ所の下水処理場放流水が流入するため、St.SFおよびSt. 4 では放流水質の影響は大きく、富栄養化が著しく進行している。St.12は、水理的に都市排水流入の影響は少ないが、周囲の水田・畑地から農業・畜産排水が流入し、栄養塩濃度は高い。試料は、流入水質の藻類増殖への影響を把握するため藻類発生量の少ない冬期、昭和56年12月23日に採水した。昭和57年12月6日にも補足試験のため採水した。いずれの時期も、外観上藻類は認められなかった。

2.3 水質分析項目および分析方法

生物量の指標はTOCとしたが、必要に応じChl-aも使用した。窒素については、無機三態（ NH_4^+-N , NO_2^--N , NO_3^--N , 合計量はTINとして表わす。）と有機態とした。以上の分析方法は、水の分析⁸⁾に準じた。リンはStandard Methods⁹⁾に基づいて、Table 2に示すように6態に区分した。各形態の値は、反応リン（DRP, PRP, いわゆる $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ のこと。）、弱酸加水分解リン（溶存態AHP(D), 懸濁態AHP(P)：硫酸酸性(0.12N), 15～20psi,30分間高圧蒸気滅菌処理)全リン（溶存態DP, 懸濁態PP：過硫酸カリウム添加（約0.8%）,15～

Table 2 Analytical differentiations* of phosphorus

Particulate reactive phosphorus	: PRP--- $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	} ----Particulate phosphorus
Particulate condensed phosphorus	: (AHP** (P) - PRP)	
Particulate organic phosphorus	: (PP - AHP (P))	
Dissolved reactive phosphorus	: DRP--- $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	} ----Dissolved phosphorus
Dissolved condensed phosphorus	: (AHP (D) - DRP)	
Dissolved organic phosphorus	: (DP - AHP (D))	

* based on Standard Methods⁹⁾

** AHP : Acid-hydralyzable phosphorus

Notes. (P) : (Particulate), (D) : (Dissolved)

20psi,30分間高圧蒸気滅菌処理)を測定し、表中に示す方法で計算してもとめた。DO, pH, Cond.（電気伝導度, 25℃）,SS等の一般成分は水の分析⁸⁾に準じて分析した。溶存態と懸濁態は、0.45 μ のメンブランフィルターを用いて区分した。

3. 結果および考察

3.1 対象試料（都市近郊水域）の水質特性

藻類増殖試験に用いた創成川と冬期茨戸湖水の水質を、形態別リンの分画定量結果を含めTable 3に示し

Table 3 Chemical analysis of sampling waters
(December 23, 1981,* September 29, 1979)

	St.No.	pH	COND $\mu\text{S}/\text{cm}$	SS mg/l	Chl-a $\mu\text{g}/\text{l}$	TOC _T mg/l	TOC _F mg/l	TN mg/l	TIN (NH_4^+-N) mg/l
L. Barato	St. 4	7.2	616	18	2.9	8.4	6.0	8.98	8.18 (6.10)
L. Barato	St. 12	6.8	365	11	2.0	10.3	8.7	2.74	1.26 (0.29)
R. Sosei	St. SF	7.1	543	19	4.7	8.3	6.6	9.73	8.75 (7.10)
L. Barato*	St. 4	8.5	521	29	114.0	12.6	6.6	7.95	6.53 (3.73)

()TP%	St.No.	TP mg/l	PP mg/l	DP mg/l	PRP mg/l	PCP mg/l	POP mg/l	DRP mg/l
L. Barato	St. 4	0.180	0.146 (81.1)	0.034 (18.9)	0.093 (51.7)	0.039 (21.7)	0.014 (7.8)	0.021 (11.7)
L. Barato	St. 12	0.119	0.102 (85.7)	0.017 (14.3)	0.064 (53.8)	0.032 (26.9)	0.006 (5.0)	0.012 (10.1)
R. Sosei	St. SF	0.294	0.253 (86.1)	0.041 (13.9)	0.161 (54.8)	0.056 (19.0)	0.036 (12.2)	0.010 (10.2)
L. Barato*	St. 4	0.250	0.234 (93.6)	0.016 (6.4)	0.049 (47.2)	0.122 (41.0)	0.063 (11.8)	0.008 (3.2)

た。表には、夏期湖沼水質 (St. 4) を参考として示した。冬期試料は、Chl-a が $5 \mu\text{g}/\text{l}$ 以下で懸濁態 TOC (T OCT-TOCF) も $2 \text{ mg}/\text{l}$ 程度と低い、TOCF は $8 \sim 10 \text{ mg}/\text{l}$ でかなりの有機物を含んでいる。栄養塩濃度についても、全窒素 (TN) は、St.12 で幾分低いものの、どの試料も一般河川に比較するとかなり高く、TP も $0.1 \sim 0.3 \text{ mg}/\text{l}$ あり、富栄養化していることがわかる。TN/TP は $20 \sim 50$ の範囲にあり、*Microcystis* 藻体の $13 \sim 14$ (例えば 10) より高く、リン増殖制限型の試料といえる。リンの形態については、懸濁態が $80 \sim 90\%$ と優占的である。懸濁態の内訳は、約 50% が反応リン (PRP) で、縮合リン (PCP)、有機リン (POP) の順でその割合が減少する。なお、PRP は懸濁態鉄との間に顕著な相関があり¹⁾、土壌粒子吸着態と考えられている。以上の冬期試料の水質と夏期の湖沼水質を比較すると、藻類増殖に伴い Chl-a と TOC が増加し、リンの優占形態が PRP (吸着態) から PCP や POP (藻類構成体¹⁾) に移行していくことがわかる。このことは、反応リン (PRP) の藻類異常増殖への寄与が高いことを示唆していると考えられる。

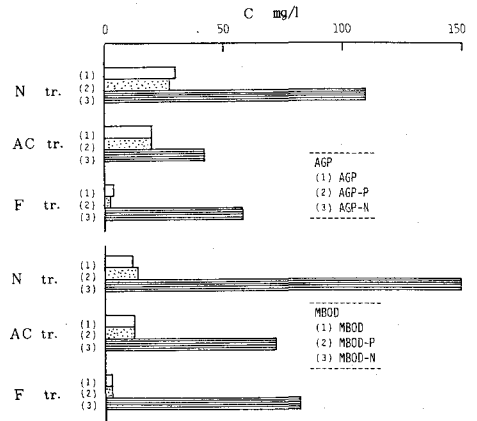
ここで述べた対象試料の水質特性は、2.2 で述べた水域の状況を考慮すると、そのまま都市近郊水域のものともみなせるだろう。

3.2 藻類増殖能力推定試験結果

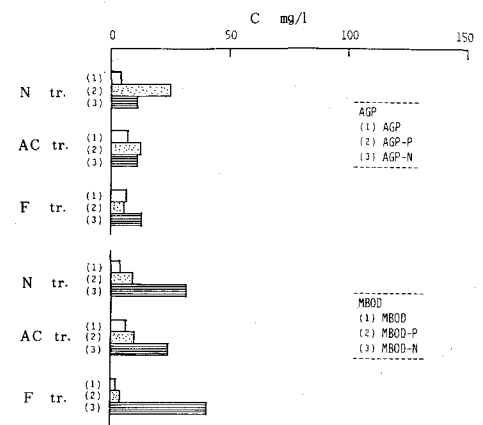
AGP 試験および MBOD 試験の結果を Figure 2 に示した。両試験に共通した特徴は、各試験値について無処理 (N tr.) と高圧蒸気滅菌処理 (AC tr.) 特に無処理で高く、ろ過処理 (F tr.) で低くなる傾向のあることで、このことは藻類の増殖に対し懸濁物質中の栄養塩の寄与の大きいことを示す重要な事実である。また栄養塩無添加の AGP、MBOD 値と窒素を添加した AGP-P、MBOD-P 値の差が各々小さいことから、水質分析で推測されたように、試料が藻類増殖に対しリン制限型であることが明らかである。AGP-N に対する MBOD-N 値が相対的に大きい、これは細菌による短時間の窒素化合物の摂取代謝を意味しており、MBOD-N の試験結果の解釈に注意を払う必要のあることがわかる。地点別に比較すると、都市排水流入の影響が少い St.12 で AGP、MBOD 値が小さく藻類増殖能力の低いこと、無処理 (Ntr.) の AGP-P が相対的に大きく窒素制限的になるなど、低濃度で N/P 値小 (約 13) という水質と対応した特徴が認められる。

Figure 3 ~ Figure 5 は、AGP、MBOD 両試験結果の関係を再整理して示したものである。栄養塩無添加の

L. Barato (St.4)



L. Barato (St.12)



R. Sosei (St.SF)

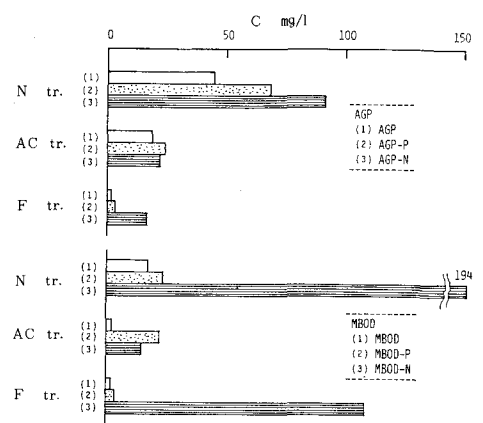


Figure 2 Results of AGP tests and MBOD tests

Notes. N tr. : Non-treatment
AC tr. : Autoclave treatment
F tr. : Filtration treatment

場合 (Figure 3) は、無処理のものを除くと両者の値はほぼ等しくなる。無処理では AGP 値がかなり大きくなるが、これは短期間 (MBOD 試験では 5 日間) では利用できないが、長期的に藻類に利用可能な懸濁態栄養塩の存在を意味しており、今後充分に考慮してゆかなければならない。AGP-P と MBOD-P (Figure 4) については、図中の点が破線 (両者の値が等しい) 付近に分布し、両者の間にあまり差はないが、AGP-N と MBOD-N (Figure 5) では MBOD-N が全般的に大きく、窒素の利用に関する前述の説明がより明らかである。

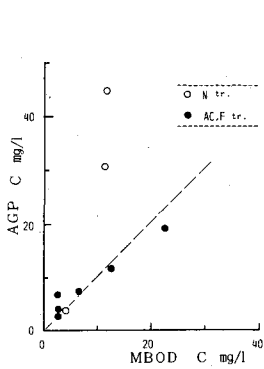


Figure 3 Relationship between AGP and MBOD

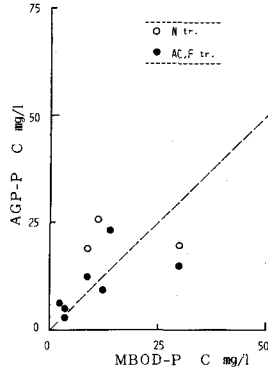


Figure 4 Relationship between AGP-P and MBOD-P

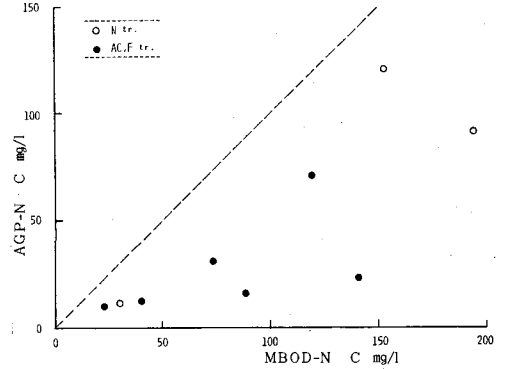


Figure 5 Relationship between AGP-N and MBOD-N

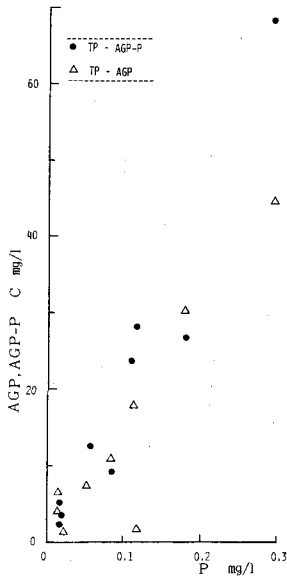


Figure 6 Relationship between TP and AGP, AGP-P

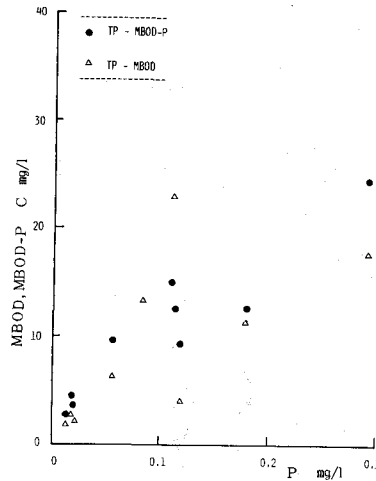


Figure 7 Relationship between TP and MBOD, MBOD-P

以上の結果から都市近郊水域での藻類増殖については、リン制限型で、長期的には懸濁態栄養塩の寄与が高いと要約できる。

3.3 栄養塩濃度と藻類増殖について

初期全リン (TP, $TP = PP + DP$) 濃度と AGP, MBOD 両試験結果の関係を Figure 6, Figure 7 に、全窒素 (TN) および TIN との関係を Figure 8, Figure 9 に示した。リンに関連しては、無添加と窒素添加 (AGP-P あるいは MBOD-P) の両者に良い正の相関が認められ、その差も少ないことから、リンが

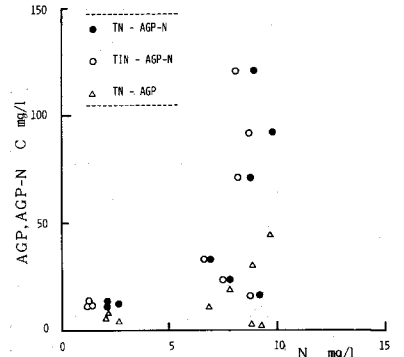


Figure 8 Relationship between TN, TIN and AGP, AGP-N

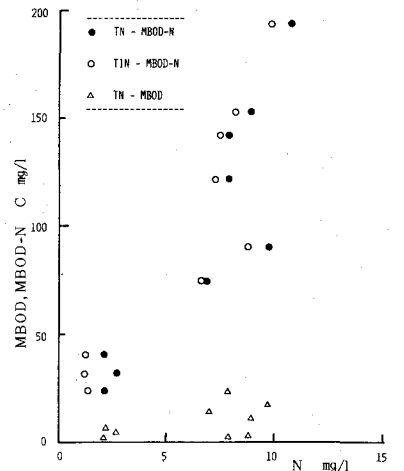


Figure 9 Relationship between TN, TIN and MBOD, MBOD-N

増殖制限栄養塩であることはもちろん、含まれている多くが藻類増殖に利用されることがわかる。一方、窒素については、M BOD-NとTN, TINに相関関係が認められ、添加無機態窒素による細菌増殖効果が認められるが、その他についてははっきりした相関関係は認められない。リン添加と無添加の差があることから、窒素は非制限型栄養塩であることは推測できるものの利用形態との関連は明確ではない。試料水のN/PおよびTIN/TN比の高いことが原因の一つと考えられる。

3.4 リンの形態と藻類増殖との関連

ここでは、形態別リン濃度と藻類増殖量について若干の解析を試みる。Figure 10に前処理後の試料中の形態別リン分析結果を示した。無処理 (N tr.) においては、溶解態および懸濁態とも反応リンの割合が高く、高圧蒸気滅菌処理 (AC tr. : ろ過) 後はさらに溶解態反応リンの割合の高くなること

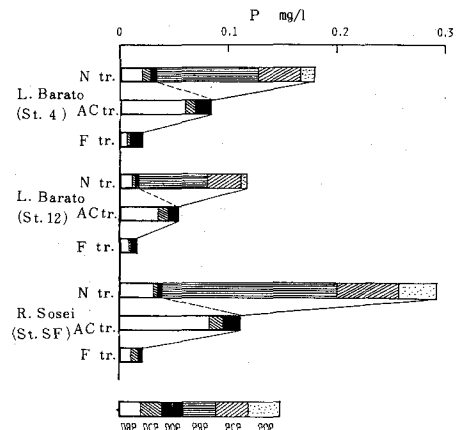


Figure 10 Fractionated phosphorus concentration after various kinds of pretreatment

る。ろ過処理 (F tr.) 後反応リン濃度が減少するが、これは操作中の損失と思われる。Figure 11とFigure 12には、初期全リン (TP) および反応リン (RP) と AGP, MBOD 値の関係を、無処理 (N tr.) とその他を区別して示した。AGP試験では無処理と他の処理とに差はあまりないが、MBOD試験では無処理における増殖量の著しく低い傾向が認められ、リンについても短期間では微生物による懸濁態リンの利用の難しいことがわかる。AGP試験において反応リン (RP, $RP = PRP + DRP$) と増殖量との関係が、TP同様の相関関係にあると認められ、RPが懸濁態としての存在割合の高いことを考えると、その藻類増殖への寄与の高いことがわかる。

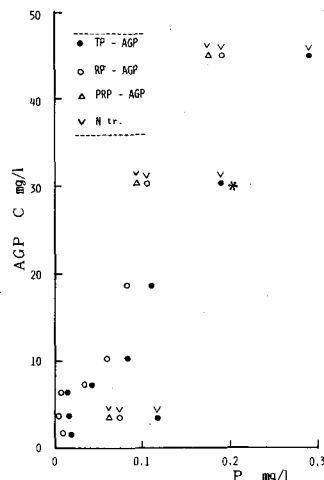


Figure 11 Relationship between fractionated phosphorus and AGP

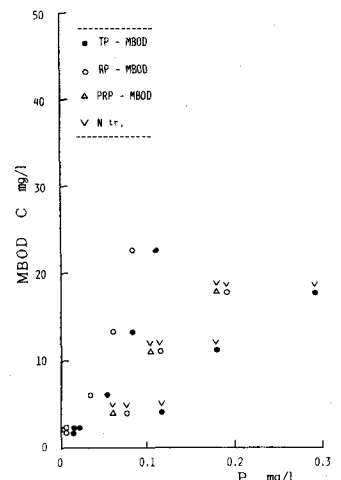


Figure 12 Relationship between fractionated phosphorus and MBOD

Figure 13には、無処理およびろ過処理後、300 mlの平底フラスコを用いてAGP試験を行った際のリンの形態変化をSt.SFを例として示したものである。図中の最大増殖量は分析計の故障のためTOCで表示

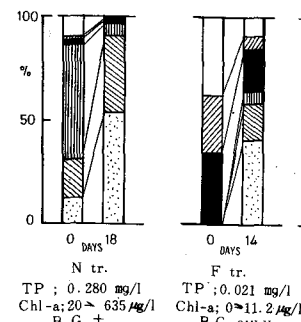


Figure 13 Changes phosphorus forms on the process of algal growth (Water temperature: $25 \pm 1^\circ\text{C}$, Illumination: 1000Lux)

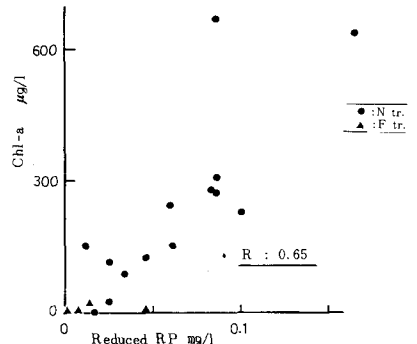


Figure 14 Relationship between reduced reactive phosphorus and produced Chl-a

できず、Chl-aを用いた。反応リンの急激な減少と藻類の構成体比率近い¹⁾PCPとPOPの増加から、反応リンの藻体への移行が推察される。Figure 14は、他の2地点を含めた減少反応リン (減少RP, 減少

RP＝初期RP－最大増殖時RP）の関係を示したが両者に正の相関が認められ、このことから自然に多量に存在する懸濁態反応リンが水の華発生の原因物質となる可能性が明らかである。なお懸濁態リンの利用可能性については、Helfrich¹¹⁾が吸着態リンは無菌状態であったとしても、pHと化学平衡との関係や酸素濃度の変化と関連して、藻類が直接摂取できるとしており、またStevensら⁹⁾は懸濁態リンの20%、Cowenら⁷⁾は30%程度利用されるとしている。矢木らは¹²⁾ K_2HPO_4 をリンの栄養源として用いた *Microcystis* の増殖実験で、藻体収率（増殖した藻体量mg／消費されたリン量mg）を約900としており、高村ら¹⁰⁾の炭素含量約40%を参考にすると、*Microcystis*のC／P（増殖過程）は300～400となり、これをFigure 11の無添加＊印の点（C／P＝170）と比較すると、全リンの40～60%が利用されたことになる。溶存態リンの約15%がすべて利用されたとすると、懸濁態リンとしてはその30～50%が利用されたことになり、StevensらやCowenらの結果を支持することになる。このことはまた同じ割合で含まれる懸濁態反応リン（PRP）の易利用性と関連しているものと思われる。

3. 5 藻類増殖における細菌の関与

増殖量の多い無処理試験は、藻類と細菌の共存状態である。そこでAGP試験によって細菌の存在の藻類増殖に及ぼす影響を確認したのが、Table 4である。試料は茨戸湖（St. 4）で1982年12月に採水したものである。高圧蒸気滅菌処理（AC tr.）における（T）は懸濁物質を含んだ状態（全液）を、（F）はろ液についてのものでこれまでの処理方法と同じである。細菌は、桜井培地¹³⁾で培養したSt. 4の代表的コロニーから1～2白金耳量を取り、植種した。細菌を植種しない試験（Bac-）においては試験の前後あるいは途中で桜井培地を用いた細菌試験を行い、無菌状態であることを確認した。高圧蒸気滅菌処理（AC tr.）で、最大増殖量（Chl-a）が幾分少いようであるが、全液、ろ液それぞれについての差はそれほどでなく、AGP試験のような期間を対象とした場合、細菌の藻類増殖への関与の低いことがわかる。以上の結果は、反応リンあるいは化学的に加水分解する可能性のある縮合リン（例えばClesceli¹⁴⁾が指摘している）が藻類増殖を直接支配していることを裏付けることになる。

Table 4 Influence of existence of bacteria on algal growth
(L.Barato(St.4), December 6, 1982)

		Water Quality (Initial)				Maximum Growth		
		TP mg/l	DP mg/l	PRP mg/l	DRP mg/l	TN mg/l	TIN mg/l	Chl-a μg/l
N tr.	BAC. +	0.144	0.033	0.053	0.022	9.33	7.34	171.2
AC tr.	(T) BAC. +	0.160	0.083	0.025	0.056	7.93	6.30	174.1
	(F) BAC. +	0.083	0.083		0.056	7.80	6.30	5.0
AC tr.	(T) BAC. -	0.160	0.083	0.025	0.056	7.93	6.30	157.0
	(F) BAC. -	0.083	0.083		0.056	7.80	6.30	3.0
F tr.	BAC. -	0.033	0.033		0.022	8.74	6.34	3.0

Growth period : 17 days

Notes. (T) : total sample (F) : filtered sample

4. 結論

著者は、都市近郊の都市河川と冬期湖沼水を対象にAGP試験と便宜的な方法としてのMBOD試験およびリンを中心とした水質分析を行い、藻類増殖能力の特徴や推定方法や藻類増殖能力推定試験の問題について考察した。結果は以下のように要約できる。

- (1) 都市汚染型河川・湖沼水の特徴と藻類増殖能力の推定について
 - ・ 都市汚染型河川・湖沼水は、藻類増殖に対しリン制限型である。
 - ・ リンについては、溶存態ばかりでなく懸濁態の藻類増殖への寄与が高く、特に自然水域では存在割合の高い懸濁態反応リンの影響は大きい。したがって藻類増殖能力の推定に際しては、懸濁物質の性質を重視しなければならない。窒素については、その形態との関係については明らかにできなかったが、微生物による利用形態が一樣でないようで、窒素制限型の水の増殖能力との関連の解析の際には重要な検討課題となろう。
 - ・ 水中の細菌の存在は、藻類の増殖量に対してはあまり影響しない。MBOD試験に対応するような短期間では、藻類・細菌等の栄養塩摂取方法を充分に考慮する必要がある。
- (2) 藻類増殖能力推定試験について
 - ・ AGP, MBOD試験ともマクロ的な藻類増殖量の予測は可能と思われるが、MBOD試験は懸濁態栄養塩の寄与については過小評価する可能性がある。
 - ・ 藻類増殖可能量に対しては懸濁態栄養塩の寄与が大きいため、藻類増殖能力試験は従来のような過試料のほか試料そのものについても行う必要がある。この際AGP試験におけるバクテリアの除去はあまり考慮する必要がないといえる。
 - ・ 過試料を対象とした場合は、AGP, MBOD試験値はほぼ等しい。しかしリン添加による利用可能窒素の寄与の測定においては、MBOD試験では過大評価する可能性が高い。

本研究は河川・湖沼水を試料として用いたが、試験管やフラスコ内の「限定された環境条件」のものである。今後は、これらの理論的解析とともに、フィールドにおける藻類増殖の支配要因を考慮して、より現実的な藻類増殖能力の推定方法について検討してゆく予定である。本研究の一部は、北海道大学工学部水質工学講座に所属していた大林純一（北海道）、石川清（北大大学院）、星野隆史（札幌市）氏との共同実験である。また研究遂行に際しては、日本生命財団の助成を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 橘 治国他 4 名：第18回衛生工学討論会講演論文集，p. 1，1982
- 2) 橘 治国他 3 名：土木学会第37回年次学術講演会講演概要集第 2 部，p.147，1982
- 3) 橘 治国他 2 名：第17回水質汚濁学会講演集，p.205，1983
- 4) 須藤隆一他 5 名：国立公害研究所報告第26号，p.17，1981
- 5) 中本信忠：下水道協会誌，15，No 9，p. 1，1978
- 6) R.J.Stevens et al：Water Res. 16，p.1591，1982
- 7) W.F.Cowen et al：JWPCF，48，p.580，1981
- 8) 日本分析化学会北海道支部編：水の分析（第 3 版），化学同人，1981
- 9) APHA - AWWA - WPCF：Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1975
- 10) 高村義親他 5 名：国立公害研究所報告第25号，p.31，1981
- 11) L.A.Helfrich et al：Mich. Acad. 6，No 1，p.71，1973
- 12) 矢木修身他 4 名：国立公害研究所報告第25号，p.47，1981
- 13) 桜井善雄：日本水処理生物学会誌，2，No 2，p.21，1967
- 14) N.L.Clesceri et al：Int. J. Air Wat. Poll.，9，p.743，1965