

(13) 藻類増殖能力の推定に関する一考察 (II)

—自然河川水中の懸濁態栄養塩による藻類増殖効果—

FUNDAMENTAL STUDY ON ALGAL GROWTH POTENTIAL (II)

— UTILIZATION OF PARTICULATE NUTRIENTS BY ALGAE IN RIVER WATERS —

橘 治国*・森口朗彦*・井上隆信*・今岡孝之**

Harukuni TACHIBANA *, Akihiko MORIGUCHI *, Takanobu INOUE *, Takashi IMAOKA **

ABSTRACT ; We examined AGP (Algal Growth Potential) of nutrients, especially particulate nutrients which are usually dominant forms in river waters. As the result of the examinations, we found that algae (the main tested alga is *Microcystis aeruginosa*) utilized particulate nutrients for its growth at the almost same rate as dissolved nutrients and we estimated that about 70%(max) of particulate phosphorus was utilized. These facts show that in small and shallow lakes, algal bloom would be influenced by high concentration of suspended matters containing nutrients, which is often observed during rain periods (wash out loads) or when sediments are resuspended by waves.

KEY WORDS ; Eutrophication, AGP, Nutrients, Particulate Phosphorus.

1. 緒 言

停滞水域において藻類が異常増殖する原因は、栄養塩であるリン・窒素等が多量に存在し、また水温・照度等の環境条件が生育に適しているためである。ただ自然水中に含まれる栄養塩は多種多様な形態¹⁾、これらと藻類の利用度や増殖速度等との関係については明らかでない部分が多く、藻類増殖のメカニズムについても様々な見方がある。著者らは、都市内河川を対象とした調査結果から(前報²⁾)、藻類に摂取される可能性が少ないとされてきた懸濁物質中の栄養塩が、短期間のうちに存在量の40~60%利用される事実を指摘した。引き続き、著者らは対象を自然河川に移し、前報と同様に水質調査と藻類培養能力試験を行った。我国においては、自然河川の中・下流部のほとんどは、都市内河川ほどではないものの栄養塩濃度が高く、富栄養化していると言ってもよい。したがって、これらの河川水が流入する湖沼の栄養状態を解明し藻類発生量を予測するために、本研究の意義があるものと言える。調査にあたっては、栄養塩の形態 特に自然河川で優占的に存在する懸濁態に着目し、これらの藻類増殖効果について検討を加えた。

2. 研 究 方 法

2・1 藻類増殖能力の推定試験

藻類増殖能力の推定試験方法と試験に供する試料の前処理については、前報²⁾に詳しく記した。ここでは、その概要と表示方法について説明する。

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

**オルガノ Japan Organo Co., LTD.

(A) 試料の前処理

懸濁態栄養塩による藻類増殖効果について検討を加えるため、試料に4種の前処理を施した。〔 〕内は、(B)で述べる藻類増殖能力の前処理後の表示方法である。

- ① 無処理 (N tr.) [AGP (T)]
- ② 高圧蒸気滅菌処理 (AC tr.) [AGP (AT)]: 121℃, 1.055kg/cm² の条件で20分間処理。
- ③ ろ過処理 (F tr.) [AGP (F)]: 孔径0.45 μmメンブランフィルターで無菌ろ過。従来法。
- ④ 高圧蒸気滅菌ろ過処理 (ACF tr.) [AGP (AF)]: ②の処理後, 孔径0.45 μm メンブランフィルターで無菌ろ過。懸濁物質由来の栄養塩を考慮した従来法。

②の処理は、無菌条件における懸濁物質中の栄養塩の藻類による摂取の有無・程度を明らかにするため、今回新たに追加したものである。

(B) 藻類増殖能力推定試験方法

須藤ら³⁾による藻類増殖能力 (AGP) 試験方法に準じた。本法は、試水に特定の藻類を接種し、一定環境条件のもとでの最大増殖量を試水の藻類増殖能力とする方法である。今回は、試水 (10ml) に *Microcystis aeruginosa* (東京大学, IAM-176) を10,000細胞/ml となるよう接種し、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。 *Microcystis aeruginosa* は水の華の代表種であり、石狩川流域内の湖沼で優占種になる例が多い⁴⁾。最大増殖時は、2 ~ 3日ごとに濁度 (使用波長660nm) を測定し、その増加量が5%以下となった時点とした。藻類増殖量は、有機炭素 (TOC) の増加量 (C mg/l, C: 炭素) で代表させ、2組の試験結果の平均値とした。また各試水 (前処理後) について、藻類利用可能リンあるいは窒素量を推定するため、それぞれ過剰の窒素あるいはリンを添加したものについても試験に供した。リンについては K₂HPO₄ を、窒素については NaNO₃ を、試水中での濃度がそれぞれ、0.1 P mg/l, 1.0 N mg/lとなるよう添加した。

(C) 表示方法

4種の前処理を施した試水について、3種の条件で藻類増殖能力 (AGP) 試験を行った。各試水の AGP (藻類増殖能力) 値は、Table 1 のように示すこととした。

Table 1 Definition of terms

	No treatment (N tr.)	Autoclave treatment (AG tr.)	Filtration treatment (F tr.)	Autoclave & filtration treatment (ACF tr.)
No addition (S)	AGP (T)	AGP (AT)	AGP (F)	AGP (AF)
Phosphorus addition* (+P)	AGP (T) +P	AGP (AT) +P	AGP (F) +P	AGP (AF) +P
Nitrogen addition** (+N)	AGP (T) +N	AGP (AT) +N	AGP (F) +N	AGP (AF) +N

* P concentration after addition (K₂HPO₄) 0.1 Pmg/l

** N concentration after addition (NaNO₃) : 1.0 Nmg/l

2・2 対象水域と調査時期

前報では水質と水量が共に人為的影響の大きい都市内河川を研究対象としたが、本論文では我国では大型の自然河川である石狩川本・支川 (空知川, 雨竜川等) を対象とした。これは、前述のように、都市排水のほか農地、森林あるいは市街地など面源負荷に由来する栄養塩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ためである。Figure 1 に石狩川の概況と主要調査地点を示した。藻類増殖能力試験を行なった地点は、本川の St. 1 (旭川), St. 3 (納内), St. 6 (奈井江) と、支川 of 空知川の St. 51 (赤平) である。St. 1 は、上流域が大雪山系のため、清澄な流れであるが (BOD 平均値 [昭和57年度北海道公共用水域の水質測定結果⁵⁾] 0.9mg/l), St. 3 では旭川市からの都市・工場排水の流入によって、汚濁が進行

する（BOD平均値 2.1mg/l）。St. 51は、周辺が炭坑地域のため、また地質的要因によって、懸濁物質の流出が肉眼的に認められるが、有機汚濁の程度は低い（BOD平均値 0.9mg/l）。本川下流のSt. 6 のBOD平均値は1.4mg/lと、中流部に比較すると汚濁は軽減している。水質調査は懸濁物質の流出特性を考慮し、融雪増水時（昭和58月 4 月23日）、夏期低流量時（昭和58年 8 月17日）、降雨増水時（昭和58年 9 月13日）の3回実施した。

2・3 水質分析項目と分析方法

DO, pH, SS, TOC, 有機態窒素(Org-N), 各態無機窒素, Chl-a, Cl-などの一般成分は、水の分析⁶⁾にしたがって分析した。リン化合物については、Standard Methods⁷⁾を基本に、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(溶存態DRP, 懸濁態PRP, いずれもリン酸態リン($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)), 弱酸加水分解リン(溶存態AHP(D), 懸濁態AHP (P)：硫酸酸性 (0.12N), 121℃, 1.055kg/c m²で30分間高圧加熱処理), 全リン(溶存態DP, 懸濁態PP：過硫酸カリウム添加(0.8%), 121℃, 1.055kg/cn²で30分間高圧加熱処理)を測定し、表中の式で計算した。

Table2 Analytical differentiations of phosphorus

Particulate reactive phosphorus (PRP)	PRP= $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	} …… Particulate phosphorus (PP)
Particulate condensed phosphorus (PCP)	(AHP * (P)-PRP)	
Particulate organic phosphorus (POP)	(PP-AHP (P))	
Dissolved reactive phosphorus (DRP)	DRP= $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	} …… Dissolved phosphorus (DP)
Dissolved condensed phosphorus (DCP)	(AHP(D)-DRP)	
Dissolved organic phosphorus (DOP)	(DP-AHP(D))	

* AHP: Acid-hydralzyable phosphorus
Notes. (P) . (Particulate), (D) . (Dissolved)

3 結果および考察

3・1 自然河川における栄養塩の存在形態

リン・窒素等の栄養塩は、その発生源が生活排水や産業排水などの種々の点源としてはもちろん、農耕地や森林からの流出水にみられるように面源としても広く分布し、流出過程においても物理化学的あるいは生物的作用を受け易いため、水域では様々な形態で存在する。Table 3-1, 3-2 は、水質分析結果の一例である。表中には、自然河川における特徴を理解するために、比較として同時期に調査した各種排水（工場排水, 都市排水, 都市内河川）と都市排水汚染型の湖沼（茨戸湖, 1981年12月）についての分析結果を併せて示した。河川水における栄養塩の形態についての全般的な特徴は、リンについては懸濁態（PP（=TP-DP）50～93％）として、窒素は溶存態（DN 54～98％）として優占的に存在することである。リン化合物は、各種排水（パルプ排水を除く。）では溶存態の占める割合が高く、したがって流出過程で大きな吸着作用や生物摂取による質的变化を受け、河川に到達した段階では懸濁態になっているものと推測できる。⁸⁾リン・窒素化合物の分画結果からは、さらに次の特徴を認められる。リンについては、都市・工場排水で溶存態反応リン（DRP）が、都市排水流入の影響が大きい湖沼水（冬期）では懸濁態リン（PRP）とDRPが優占的に存在するが、河川では各形態の存在割合の分布に偏りが少なくなる。窒素については、都市排

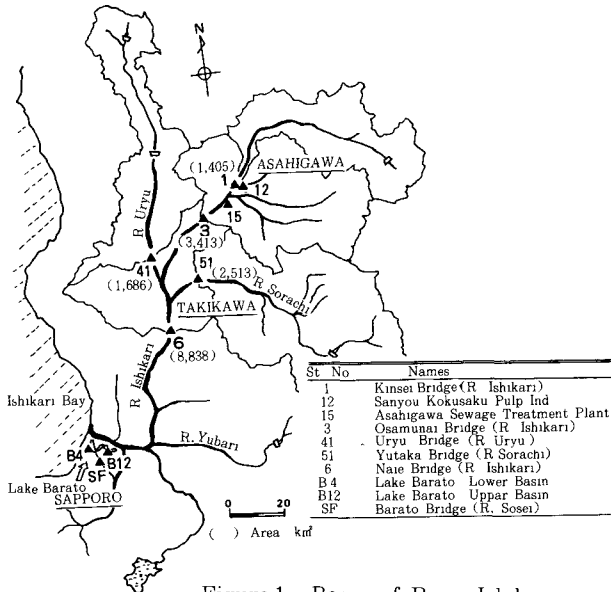


Figure1 Basin of River Ishikari

Table 3 - 1 Chemical analysis of sampling waters (Rivers)

Name	Date	Q m ³ /s	SS mg/s	TOC mg/l	TN mg/l	DN mg/l (%)	TIN mg/l	NH ₄ ⁺ -N mg/l	TP mg/l	DP mg/l (%)	Cl ⁻ mg/l	TN/TP	AGP test
RIVER (>10 m ³ /s)													
R. Ishikari (St. 1)	4/23/83	132	27	2.9	0.47	0.36(77)	0.23	0.01	0.031	0.009(29)	3.0	15.2	*
	8/17/83	20.5	12	4.1	0.55	0.53(96)	0.25	0.03	0.041	0.010(24)	3.0	13.4	*
	9/13/83	70.5	31	6.4	0.71	0.68(96)	0.53	0.04	0.044	0.012(27)	6.7	16.1	*
R. Ishikari (St. 3)	4/23/83	317	17	5.6	0.73	0.53(73)	0.36	0.12	0.035	0.012(34)	5.9	20.8	*
	8/17/83	60.1	15	5.9	1.02	0.84(82)	0.42	0.04	0.067	0.027(40)	15.0	15.2	*
	9/13/83	289	77	7.4	1.53	0.82(54)	0.31	0.10	0.096	0.020(21)	17.0	15.9	*
R. Ishikari (St. 6)	4/23/83	1118	91	4.9	0.70	0.62(89)	0.42	0.11	0.040	0.008(20)	6.7	17.5	*
	8/17/83	91.8	11	4.6	0.86	0.82(95)	0.34	0.02	0.078	0.031(40)	13.3	11.0	*
	9/13/83	86.6	44	9.5	1.38	1.26(91)	0.65	0.08	0.246	0.016(7)	18.7	5.6	*
R. Sorachi (St. 51)	4/23/83	207	179	4.3	0.50	0.49(98)	0.31	0.04	0.104	0.010(10)	4.9	4.8	*
	8/17/83	41.2	14	8.7	0.49	0.48(98)	0.40	0.05	0.034	0.009(26)	8.3	14.4	*
	9/13/83	148	159	6.6	1.21	1.10(92)	0.69	0.11	0.099	0.015(15)	13.3	12.2	*

1) * mark indicates that AGP test was examined.

2) No differentiation is indicated in the region of slash line shown in the figures at the right.

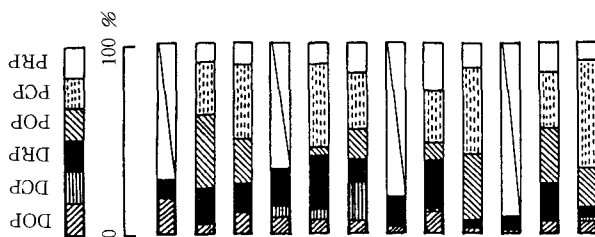


Table 3—2 Chemical analysis of sampling waters (Urban rivers, Lakes, Waste waters)

Name	Date	Q m ³ /s	SS mg/s	TOC mg/l	TN mg/l	DN mg/l(%)	TIN mg/l	NH ₄ ⁺ -N mg/l	TP mg/l	DP mg/l(%)	Cl ⁻ mg/l	TN/TP	AGP test
URBAN RIVER													
R. Sosen (St. SF)	12/23/81		19	9.1	9.73	9.09(93)	8.75	7.10	0.294	0.041(14)	53.5	33.1	**
R. Kihoku ※	12/23/82	0.17	9	5.7	1.70	1.40(82)	0.99	0.38	0.118	0.015(13)	36.6	14.4	
R. Uppetsu ※	12/23/82	0.50	18	11.4	5.15	3.50(68)	2.83	1.99	0.473	0.065(14)	51.8	10.9	
LAKE (Winter)													
L. Barato (St.B 4)	12/23/81		18	8.1	8.53	8.08(95)	7.68	6.10	0.180	0.034(19)	67.0	47.4	**
L. Barato (St.B12)	12/23/81		11	11.8	1.80	1.75(97)	1.20	0.29	0.119	0.017(14)	38.5	15.1	**
WASTE WATER													
(Factory)													
A (Dairy) ※	12/22/82	0.008	47	36.3	7.58	2.84(37)	0.28	0.18	5.74	4.72 (82)	346	1.3	
B (Sake) ※	12/24/82	0.008	23	21.4	1.81	0.67(37)	0.10	0.01	1.85	1.40 (76)	48.0	1.0	
C (Oil, Fat) ※	12/18/82	0.063	173	81.2	44.3	8.99(20)	5.57	5.45	9.98	4.86 (49)	38.7	4.4	
D (Pulp) ※	11/ 4/83	3.00	85	74.5	3.33	2.54(76)	1.90	0.02	0.235	0.043(18)	163	14.1	
(Sewage Treatment Plant)													
E STP ※	11/ 4/83	0.155	7	14.8	27.5	(100)	27.5	22.8	4.10	3.49 (85)	150	6.7	**
F STP (Raw Water) (Oasa Dwelling Area, Ebetsu)													
	9 00	11/30/83	0.083	430	224	(100)	55.6	55.0	10.3	7.07 (69)	59.0	5.5	**
	18 00	11/29/83	0.053	204	145	(100)	24.8	24.5	4.58	2.78 (61)	76.3	6.0	**
G STP ※ (Night Soil)													
	11/ 4/83	0.038	11	15.4	35.6	(100)	35.6	32.8	5.99	4.99 (83)	182	5.9	**

3) ** mark indicates that AGP test was examined.

4) ※ mark indicates that sampling station is located in Asahigawa city.

水や冬期湖沼水で $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ が80%以上とその存在割合が高いが、河川では $\text{NO}_3^- - \text{N}$ と溶存態有機窒素の存在割合が高くなる。

以上のような分画パターン（存在形態）の変化の原因は、単に物理・化学的作用ばかりでなく、明らかに微生物による摂取・代謝作用が支配的なためである。河川水中には、河川環境に対応して安定化した栄養塩が存在しているものといえる。このことは、河川水の藻類増殖能力を考える際、重要な点であろう。

3・2 藻類増殖能力（AGP）と栄養塩の存在形態

（A）藻類増殖能力（AGP）試験結果

Table 4 に、栄養塩無添加の場合のAGP試験結果を示した。都市汚染型湖沼水（茨戸湖）と二、三の排水についての試験結果も併せて示した。河川（Table 3 中、* 印）の傾向として、 $\text{AGP(AT)} > [\text{AGP(T)}, \text{AGP(AF)}] > \text{AGP(F)}$ の順序を認めることができる。前処理として試水にろ過のみを行なったAGP(F) が多くの例で最低値になるが、このことは自然河川においては、懸濁物質中の栄養塩が藻類増殖に利用されることを意味している。Figure 2 に従来法のAGP(F) とAGP(AT) の関係を河川について示したが、後者の値のかなり大きいことがわかる。またAGP(AT) がAGP(AF) より大きくなる傾向にあることから、無菌状態においても藻類が生育できる環境にあれば、物理・化学的⁹⁾あるいは酵素の分解作用によって、藻類は懸濁物質中の栄養塩を容易に利用できることがわかる。実験条件が好氣的なので、物理・化学的作用よりも、高いフォスファターゼ活性が懸濁物質に認められるように¹⁰⁾、酵素活性の効果が大きいと推測される。無処理のAGP(T) が無菌状態のAGP(AT) より小さい例が多いが、前者では藻類としての生産物が微生物によって代謝・分解されるためであろう。湖沼水やし尿処理排水を除いた各種排水についても同様な特徴が認められる。し尿排水ではAGP(F) が大きい、溶存性の栄養塩が大量に含まれ、また微量増殖促進物質の存在量が多いことなどが原因と考えられる。Table 5 に、河川水の各AGP値（Table 3 中の* 印）の相関マトリックスを示した。この表からは、相関係数がAGP(F) とAGP(AF) が0.44で、全般的にも0.60~0.75と小さいことから、河川水を持つ藻類増殖能力の指標として単一に用いることにも問題のあることがわかる。

試水中の藻類利用可能栄養塩量を推定するために栄養塩添加試験を行なったが、Figure 3 は石狩川 St. 3（納内橋）の、Figure 4 はAGP(AT) についての夏期低流量時（8月）における石狩川本・支川4地点の試験結果の例である。この試験結果の全般的傾向は、Figure 3 の、4月や8月の例やFigure 4 にみられるように、栄養塩無添加との差が窒素よりもリン添加で小さく、藻類増殖

Table 4 Results of AGP tests

Name	Date	AGP(T) C mg/l	AGP(AT) C mg/l	AGP(F) C mg/l	AGP(AF) C mg/l
R Ishikari (St 1)	4/23/83	2.1	7.2	5.9	2.6
	8/17/83	3.6	13.9	7.7	7.8
	9/13/83	4.2	9.6	6.7	4.4
R. Ishikari (St 3)	4/23/83	11.8	7.1	6.3	9.8
	8/17/83	6.0	13.6	6.7	11.3
	9/13/83	26.3	15.1	9.0	12.4
R Ishikari (St 6)	4/23/83	3.3	10.5	4.6	3.5
	8/17/83	10.8	16.3	9.5	14.0
	9/13/83	25.0	24.4	10.2	25.0
R Sorachi (St 51)	4/23/83	9.8	10.7	3.5	3.1
	8/17/83	9.3	10.8	5.9	10.9
	9/13/83	20.6	17.8	12.6	4.0
R Sosei (St SP)	12/23/81	44.7		1.8	18.3
L Barato (St B 4)	12/23/81	30.3		3.5	10.3
L Barato (St B12)	12/23/81	3.9		6.4	7.1
Pulp Ind. Waste *	11/ 4/83	-18.9	56.9	35.9	21.9
E STP *	11/ 4/83	544	414	146	149
F STP (Ebetsu) 9 00	11/30/83	84.4	295	230	193
(Raw Water) 18 00	11/30/83	150	181	278	124
G STP (Night Soil) *	11/ 4/83	147	151	158	89.6

Table 5 Matrix of simple correlation coefficient between the values of various AGP tests

	AGP (T)	AGP (AT)	AGP (F)	AGP (AF)
AGP (T)	1.00			
AGP (AT)	0.71	1.00		
AGP (F)	0.67	0.75	1.00	
AGP (AF)	0.60	0.73	0.44	1.00

(n=12)

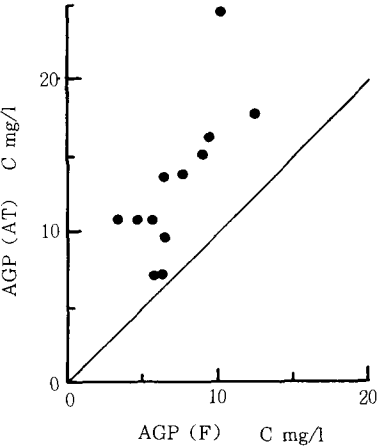


Figure 2 Relationship between AGP(F) and AGP(AT)

に対し窒素制限型の傾向にある。前報²⁾の都市河川を対象とした場合は明らかにリン制限型を示したので、自然河川を流下する栄養塩の組成が汚濁河川とかなり異なることがわかる。Figure 4 の St. 3 と St. 6 で窒素添加の AGP が大きいという地域性は、この 2 地点では汚濁に対応して、試水中のリン化合物のうち溶存性特に DRP の割合が高いことに理由があるようである。また Figure 3 の 9 月の例で明らかのように、懸濁物質 (SS) 濃度の高い時期は、各 AGP が、AGP (F) を除くとほぼ等しくまた無添加よりかなり大きい。栄養塩無添加の状態では水中のリン・窒素以外の藻類必須微量物質量が藻類増殖量を制限していると考えられる。日野¹¹⁾が収量増大効果を示すプリン、ピリミジン、蛋白質等を底泥から抽出したが、流下成分についてもこの種の成分の同定や由来についての検討が必要になろう。またろ過処理 (F tr.) で、AGP (F)+P が AGP (F)+N より大きく、また他のリン添加の AGP との差が小さいことを考慮すると、この時期のリンは懸濁態として、窒素は溶存態として供給されたものが藻類増殖量を支配している可能性のあることがわかる。

(B) 藻類増殖能力 (AGP) と栄養塩の存在形態
Table 6 に、各態のリンおよび窒素の濃度と AGP 値の相関係数を示した。表中の AGP (ASS) は、AGP (AT) から AGP (AF) を差し引いたもので、懸濁栄養塩による藻類増殖能力を示すものである。

全リン (TP) と全窒素 (TN) はともに AGP (T) や AGP (AT) と、また全リン (TP) についてはそれぞれに過剰の窒素を添加したもの、全窒素 (TN) については過剰のリンを添加したものと相関が高い。栄養塩無添加のものについては、Table 6 にその回帰式を併せて示した。またリンについては藻類に摂取されやすい形態である DP の各 AGP に対する相関係数が小さく、藻類増殖への寄与を過大評価してきたことがわかる。相関性の高い TP に対して DP の存在割合の低いことに原因のあることは明らかである。河川水においては、栄養塩が溶存態あるいは懸濁態などの形態区分なしに藻類増殖に利用される可能性があると考えてもよいことがわかる。AGP (ASS) については、窒素を過剰に添加したものと PP についてのみ非常に高い相関 (相関係数 0.90、前処理後の水質変化分を補正した場合は 0.93 となる。) が認められる。リンについては、懸濁態リンの多くが藻類増殖に利用されることが明らかである。窒素については、懸濁態の割合が低く、その寄与の小さいことがわかる。

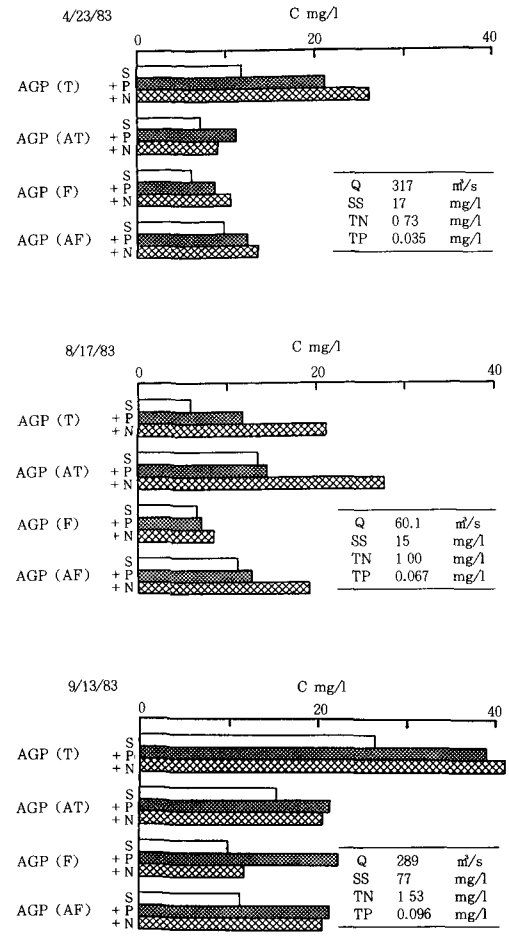


Figure 3 Results of AGP tests

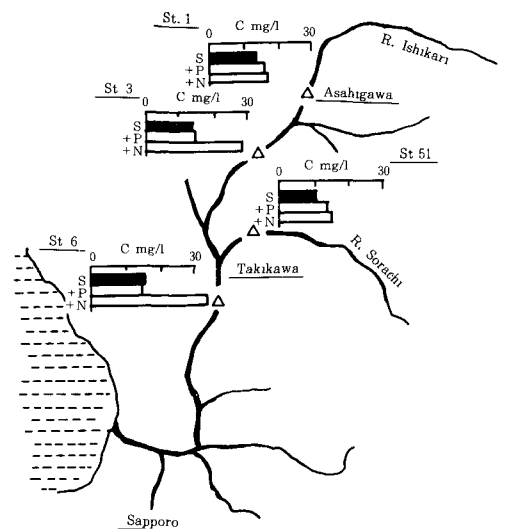


Figure 4 AGP (AT) in R. Ishikari basin

Figure 5 は、懸濁態リン(PP) と AGP(ASS) + N(炭素 C で濃度表示)との関係を示したものである。高圧滅菌処理中に懸濁物質の可溶化によって若干の質的変化が認められるので、ここでは両者の直接的関係を正確に把握するために、処理後のリン濃度を用いた。回帰直線は $C = 257PP - 0.22$ (相関係数 0.93) となり、増殖した *Microcystis aeruginosa* の C/P が約 260 ということになる。矢木ら¹²⁾ と高村ら¹³⁾ の研究結果を参考にすると(文献²⁾ 参照), $PO_4^{3-}-P$ を用いたときの *Microcystis aeruginosa* の藻体収率(藻体量 Cmg/消費されたリン量 Pmg) は約 350 となり、この値と比較すると懸濁態リンは非常に高い割合(74%)で藻類に摂取されたことになる。

3・3 藻類の増殖パターンと増殖速度

前処理後における藻類増殖量の経時変化を、石狩川 St. 3 (納内橋) を例に、Figure 6 に示した、藻類増殖量として、濁度(波長 660nm で測定)を使用した。無処理(N tr.) と高圧蒸気滅菌処理(AC tr.) の試水については、試験開始後 1~3 日目に懸濁物質の沈降による一時的濁度の低下が認められるが、その他の試水では開始時から増加が始まる。濁度は、無処理と高圧蒸気滅菌処理で 15~20 日、ろ過処理と高圧蒸気滅菌ろ過処理では増加量は少なく 3~7 日で最大に達するようである。懸濁物質が藻類の栄養補給源として重要なことは明白である。また過剰のリン・窒素を添加した場合も、濁度の初期増殖パターンが無添加の場合と差異がないことから、滞留時間の短い湖沼などにおいては栄養塩の形態や濃度が増殖の律速要因となる可能性の低いことが推測される。ただし懸濁物質の沈降現象や試験方法とも関連するので、さらに今後の検討が必要である。藻類の増殖が顕著に認められた無処理(N tr.) および高圧蒸気滅菌処理(AC tr.) 後の試水について、比増殖速度 μ (day⁻¹) を示したのが Table 7 である、比増殖速度 μ は、試験開始初期(3~12 日)において、藻類の増殖が確認された時点とその後の 2 回の観測値(4 日間)から回帰計算に基づき算出した。計算の際、最終観測値が増殖パターンにおける転移期に近いと思われるものが多いため、低めの値になる。 μ が 0.01(day⁻¹) 以下のものあるいは濁度変化が大きく計算が不可能なものについては一記号とした。今回の試験で得られた最大値(day⁻¹) は、栄養塩無添加については無処理で 0.27、高圧蒸気滅菌処理で 0.17、栄養塩添加後については無処理で 0.28、高圧蒸気滅菌処理で 0.25 と、リン酸をリン源とした *Microcystis aeruginosa* の比増殖速度 μ (20℃: 0.07day⁻¹, 25~35℃: 0.25day⁻¹)¹²⁾ に近い値であった。観測した多くの値が 0.05day⁻¹ 以上で、増殖初期にはこれら Table 7 の値より大きくなると推察されることや、ろ過試料での増殖量が非常に小さかったことを考えると、懸濁態栄養塩とりわけ懸濁態リン化合物の藻体への移行が速度論的にもかなり速いことがわかる。

Table 6 Correlation coefficient between concentrations of nutrients and values of AGP tests.

		TP	DP	PP	TN	DN	TIN	PN
AGP (T)	S	0.70 ^a	0.28	0.68	0.86 ^c	0.86	0.90	0.56
	+P	—	—	—	0.87	0.83	0.85	0.68
	+N	0.63	0.62	0.56	—	—	—	—
AGP (AT)	S	0.85 ^b	0.45	0.81	0.74 ^d	0.80	0.65	0.18
	+P	—	—	—	0.84	0.87	0.80	0.33
	+N	0.73	0.70	0.66	—	—	—	—
AGP (F)	S	—	0.45	—	—	0.75	0.64	—
	+P	—	—	—	—	0.77	0.89	—
	+N	—	-0.03	—	—	—	—	—
AGP (AF)	S	0.69	0.48	0.65	0.59	0.57	0.43	0.36
	+P	—	—	—	0.34	0.34	0.31	0.14
	+N	-0.21	0.78	-0.32	—	—	—	—
AGP (ASS)	S	—	—	0.04(0.01*)	—	—	—	-0.31
	+P	—	—	—	—	—	—	0.08
	+N	—	—	0.90(0.93*)	—	—	—	—

1) PP=TP-DP, PN=TN-DN (n=12)

2) * this value is corrected for the changes of water quality during the pretreatment

3) Regression equations

- a. AGP (T) (C mg/l) = 100.7 TP (mg/l) + 3.1
- b. AGP (AT) (C mg/l) = 70.7 TP (mg/l) + 7.5
- c. AGP (T) (C mg/l) = 20.1 TN (mg/l) - 5.9
- d. AGP (AT) (C mg/l) = 10.0 TN (mg/l) + 4.6

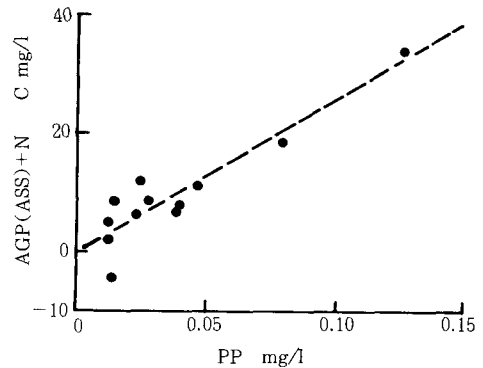


Figure 5 Relationship between PP and AGP(ASS)+N

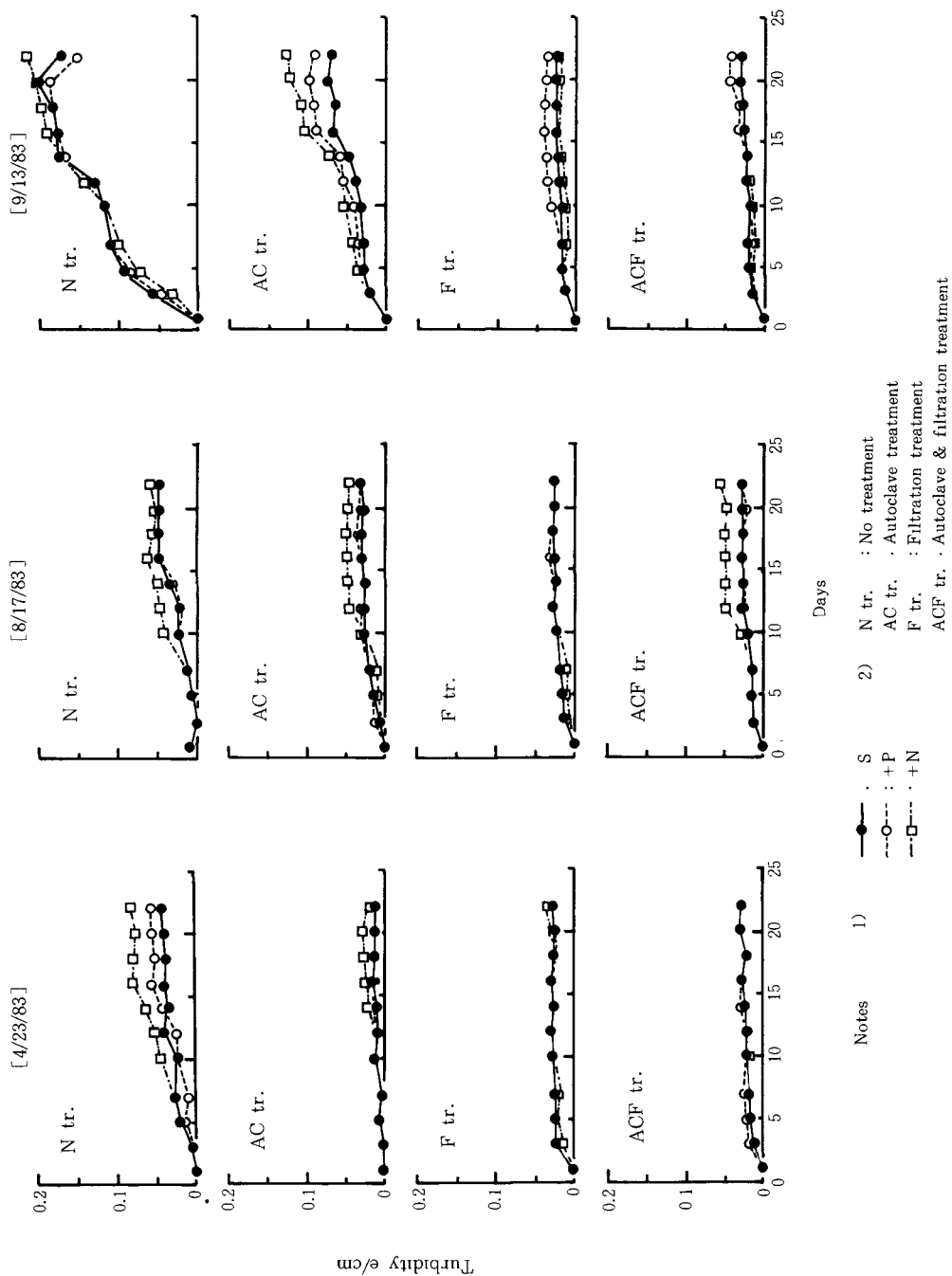


Figure 6 Growth of algae during AGP tests

(ex. Changes of turbidity of waters sampled at St. 3, R. Ishikari)

4 結 論

本論文は、河川水を対象に、栄養塩の形態別分析と各種の前処理を施した藻類増殖能力（AGP）を行い、自然水域における藻類増殖の特徴や藻類増殖特性について考察したものである。特に河川で存在割合の高い懸濁態栄養塩による藻類増殖効果について重点的に検討を加えた。また従来の藻類増殖能力試験方法についても、その問題点について若干の検討を行なった。結果は以下のように要約できる。

Table 7 Specific growth rates of algae in AGP tests

			N tr.			AC tr.		
			S	+P	+N	S	+P	+N
St. 1	4/23/83	0.19	0.05	0.13	0.02	0.05	0.03	
	8/17/83	0.11	0.09	0.11	—	0.01	0.01	
	9/13/83	0.21	0.22	0.11	0.04	—	0.04	
St. 3	4/23/83	0.24	0.06	0.15	—	0.15	—	
	8/17/83	0.15	0.14	0.20	0.10	0.04	0.05	
	9/13/83	0.07	0.12	0.12	0.02	0.03	0.05	
St. 6	4/23/83	0.08	0.28	0.14	0.15	0.25	0.11	
	8/17/83	0.06	0.10	0.27	0.05	0.04	0.02	
	9/13/83	0.27	0.04	0.16	0.08	0.03	0.06	
St. 51	4/23/83	0.07	0.22	0.08	0.17	0.17	0.22	
	8/17/83	0.13	0.03	0.28	0.03	0.06	0.08	
	9/13/83	0.10	0.16	0.08	0.14	0.12	0.12	

Temperature 25 ± 1 °C
Illumination 1,000 ± 100Lux

◇ 河川水中の栄養塩の形態について

- 河川水中での栄養塩の形態として、懸濁態は無視できない。リンについては優占的な形態である。
- リンについては、発生源でリン酸 ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) などを中心とした溶存態で存在することが多いが、流出過程で吸着あるいは生物摂取によって懸濁化され、河川では有機態、縮合態、有機態がバランスのとれた状態で存在する。
- 汚濁地点では、藻類利用可能な形態のリン化合物の存在割合が高い。
- 河川水は藻類増殖に対し、窒素制限型の組成である。

◇ 藻類の栄養塩摂取および増殖能力について

- 藻類は懸濁態栄養塩を溶存態に近い状態で増殖に利用する。リンについては、優占的な形態である懸濁態に着目する必要がある。したがって藻類増殖能力の推定に際しては、栄養塩の全量を考慮する必要がある。
- 自然河川水においては、特に懸濁物質濃度が高い場合、リンや窒素濃度のほか微量増殖促進物質が藻類増殖量を制限している可能性がある。
- 藻類増殖能力試験によって *Microcystis aeruginosa* による懸濁態リンの利用効率は、約 260 Cmg/P mg となり、リン酸を用いた値 (350 Cmg/Pmg)²⁾ に近い値を示した。
- 藻類増殖能力試験によって、*Microcystis aeruginosa* の比増殖速度の最大値は、未ろ過河川水で実験開始 3～12 日後 0.3 day⁻¹ に近い値となった。ろ過河川水では 3～5 日後には増殖がほとんど認められないので、速度論的にも懸濁態栄養塩の藻類利用は明らかである。

◇ 藻類増殖能力（AGP）推定試験方法について

従来の AGP 試験法は、前処理として、懸濁物質を除去するためにろ過処理を義務づけてきた。しかし著者らは、懸濁物質から直接藻類に利用できる栄養塩の多いことを明らかにした。細菌共存下では分解作用等によって過小に評価する可能性があるため、試料についてはまず高圧蒸気滅菌処理を行ない、その後ろ過操作を省略して直接藻類増殖能力試験に供することを提案する。（従来法との併用が望ましい。栄養塩濃度（TP, TN）と無処理後あるいは高圧滅菌処理後の AGP 値は Table 6 に示す。）

自然河川の増水時には、栄養塩を含有した大量の懸濁物質が流出する。¹³⁾ また湖沼の浅い部分では常に底質は舞い上がる可能性がある。¹⁴⁾ したがって懸濁物質の一次生産への寄与は今後大きな問題になろう。今後は現実の場を想定した調査・研究に発展させたい。

本研究の実施に際し、日本生命財団の助成を得た。また資料の収集に対しては、北海道開発局石狩川開発建設部ならびに旭川開発建設部の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 橘 治国 他4名, 衛生工学研究討論会講演論文集, 18, p 1, 1982
- 2) 橘 治国, 衛生工学研究論文集, 20, p53, 1984
- 3) 須藤隆一 他4名, 国立公害研究所研究報告, 26, p17, 1981
- 4) 中村俊男 他2名, 北海道公害防止研究所報, 1, p157, 1975
- 5) 北海道 昭和57年度公共用水域の水質測定結果, 1983
- 6) 日本分析化学会北海道支部, 「水の分析」第3版, 化学同人, 1981
- 7) APHA-AWWA-WPCF 16th Edition, 1985
- 8) 橘 治国 他3名, シンポジウム「富栄養化現象の解析と防止対策—リン化合物を中心として—」論文集(北海道大学), p 5, 1985
- 9) N.L.Cleceri et al Int. J. Air Wat. Poll., 9, p743, 1965
- 10) 一部 8) でデータを公表
- 11) 日野修次 他1名, 陸水学雑誌, 44, No. 2, p116, 1983
- 12) 矢木修身 他4名, 国立公害研究所研究報告, 25, p47, 1981
- 13) 高村義親 他5名, 国立公害研究所研究報告, 25, p31, 1981
- 14) 橘 治国 他3名, 日本陸水学会講演要旨集, 第49回, p69, 1984