

## 8 報 文

### 緑藻類による窒素およびリンの除去の研究

盛岡文雄 松本秀三※

#### 1 緒 言

近年、湖沼や内湾性海域などで、水の華とか赤潮の発生が見られ、時として養殖魚介類に斃死事故を起こしたり、天然の魚類の斃死、忌避現象を見ることが多くなって来ている。

この主な原因として、窒素、リンの水中濃度の増加が考えられ、一般有害物質と別にこれら栄養塩による汚濁が指定されてきた。これは一般に富栄養化と呼ばれており、そのメカニズムについては種々の論議がかかわれているが、要するにその最大の因子が窒素及びリンであることは疑いの余地がない。

水質には自然の浄化作用があり、これに預る要素として微生物が重要な役割を果たしている。赤潮、水の華などは水中プランクトンの異常に強く発生したものであって、これば自然浄化の一つの形態でもありとも考えられる。

窒素、リンの除去処理は、公共水域の富栄養化を防止するために行われるものであって、物理的、化学的に種々の処理方法が考案されているが、窒素、リン除去の方法としては、運転の経費の面で問題があり、これまで見るべきものがないようである。

ここで生物学的処理法が注目される場所である。これまで行われてきた活性汚泥法、嫌気性消化法、散水沓過法など有機物の除去を目的とする手法も、窒素、リンの一部除去にはいるが、それを目的とする場合には甚だ不十分である。

本研究は、天然水域で、浄化作用をになっている藻類に着目して、人口的に水の華、アオコを発生させるような形態を取り、増殖した藻類に摂取させることによって、窒素、リンの除去を行おうとするもので、通常アオコと言われているものは *Microcystes* 類の濃厚に発生したものを指しているが、ここでは、藻体の除去を容易にするために緑藻類、特に *Selenastrum westii* や *Scenedesmus* 類 (*Scenedesmus quadricornis* など) を用いることにした。これらはミジンコ (ここでは、*Moina macrocopa*) に摂食させることによって、水中から除去するのに好都合であるからである。

本研究の特徴は排水中に藻類を増殖して、水中の栄養塩を摂取させ、この緑藻を除去することによって排水中の栄養塩の大部分を取り去るもので、この緑藻の除去を容易にするために、動物プランクトンであるミジンコを用い、これに緑藻を摂食させることによって目的を達成しようとするところにある。緑藻はリンの形態の如何にかかわらず、これを摂取するので、この方法はリ

---

※ 財団法人秋田県分析化学センター

ンの除去法として、特に有利であり、低コストで処理される利点もある。

## 2 緑藻の分離

この研究に当たって、緑藻の特性、特にその窒素、リンの摂取機構等基本的な問題を解明するために緑藻の純粋分離を行った。分離したものは *Scenedesmus* 属中の *Scenedesmus quadrispinus* である。

分離は寒天培地を用い、これを直径90mmのシャーレで平板培養を行った上、コロニー中から分離、これを2度繰り返すことによって完全に分離した。

培養条件を下に列記する。

- (1) 培地 次章に求める2液を混合したものの1,000倍希釈液に寒天2%を加熱溶解し、高圧滅菌(121°C、20min)後、放冷したもの。
- (2) 接種 金魚鉢中に予め培養してある緑藻を白金線で寒天培地に画線接種した。
- (3) 光照射 ビタルックス20W蛍光灯2本から約20cm離し、約3,000Lxで照射した。
- (4) 分離 1週間後及び2週間後にコロニーから白金線を用いて分離、次の培養基に移し、そのまま培養保存した。

## 3 栄養物質

下のA、B2液を源液として調製し、これをそれぞれ希釈後混合し、更に必要に応じて希釈して使用する。

A液 1ℓ当り配合量

尿 素	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	65g
硝酸カルシウム	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	130g
塩化マグネシウム	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	340g
リン酸二水素カ	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	33g
硝 酸	$\text{HNO}_3(61\%)$	4ml
水 道 水	(全量が1ℓになるように加える。)	

B液 2ℓ当り配合量

硫酸ナトリウム	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	190g
炭酸水素ナトリウム	$\text{NaHCO}_3$	2g

両液をA液1ℓB液2ℓの割合で混合するが、この混液3ℓ中には大略、

N 46g、 P 7.5g、 Mg 41g、 Ca 22g、 K 9.5g、 Na 62g

のような割合で含有される。

通常両液をそれぞれ10倍位に希釈して混合し、更に必要に応じて適宜の濃度（原液から200～1,000倍など）に希釈し、寒天を添加溶解するなどしたのちオートクレーブで滅菌して培養基とした。

炭素の給源としては炭酸水素ナトリウムがあるが、これは不十分で、大気中からの供給を待つほか、通気培養では送気中に炭酸ガスボンベからCO<sub>2</sub>ガスを混合して補給した。

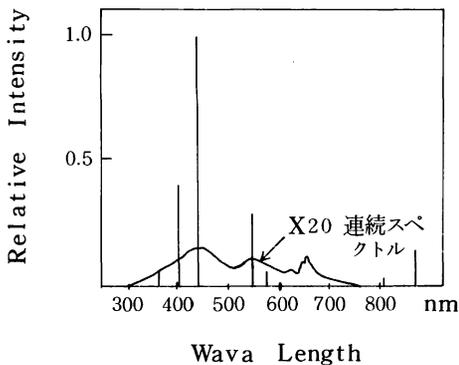
#### 4 光 源

光源として用いた植物用蛍光管（三菱ビタルックス、又はナショナルホルモックス）は20Wのもので、2本あわせて約150cd、照度は20cmの位置で約2,600 Lxになる。ランプは436nmの波長が最も強く、いくつかの線スペクトルと若干の連続スペクトルを放射する。これらの様子を下表及び図4に掲げた。この測定は、島津製作所の自動分光光度計AA-610型を用いて行った。この装置は炎分光光度計として使用出来るように作られているので、光源の光をアトマイザーの部分に導いて測定することが出来るのである。

表 4

波 長	相 対 強 度	波 長	相 対 強 度
365	0.052	546	0.286
565.5	0.014	576.5	0.047
404.5	0.406	578.5	0.041
407.5	0.023	809	0.020
436	1.000	871	0.136

図 4 植物用蛍光灯の波長スペクトル



## 5 Scenedesmus quadrispina の色素の吸収波長

一般に植物の吸収スペクトル (absorption spectrum) は、作用スペクトル (action spectrum — 波長と光化学的効果の関係を示すグラフ) と類似している。従って吸収スペクトルを測定することによって、この植物が生理的に必要とする光の特性がわかるわけで、これを次のようにして測定した。

この測定には植物のアセトンによる抽出液を用いた。即ち、Scenedesmus を含む培養液の一定量をミリポアフィルター (孔径  $1 \mu$ 、外径  $42 \text{ mm}$ ) で濾過し、濾過残渣をフィルターと共に乾燥して、超音波のもとでアセトンに溶解させ、遠心分離後に自記分光光度計 (日立323型) を用いて吸光スペクトルを描いた。

クロロフィルの吸光波長は a ;  $662, 430 \text{ nm}$ 、b ;  $644, 455 \text{ nm}$ 、c ;  $628, 447 \text{ nm}$ 、 $\alpha$  ;  $688, 447 \text{ nm}$  に極大値をもつが溶媒によってピークの位置がずれる。緑藻類に含まれる色素は次のようなものがある。

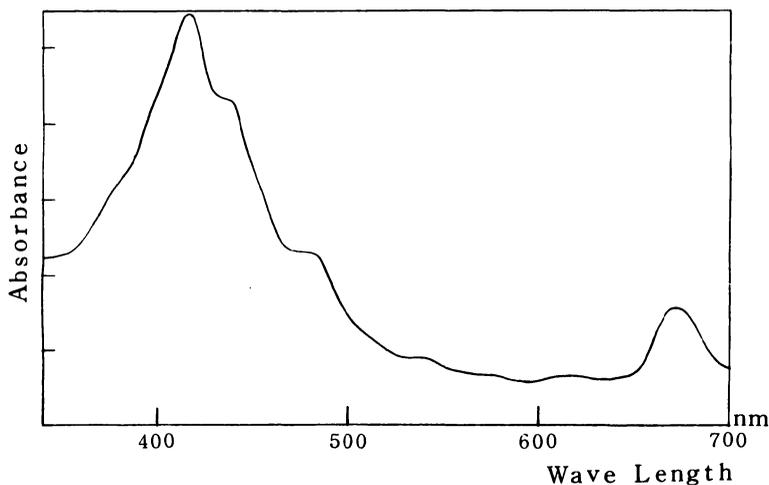
Chlorophyll a、Chlorophyll b、(以上Chlorophyll 類)

$\alpha$ -Carotene、 $\beta$ -Carotene (以上Carotene 類)

Lutein、Zeaxanthin、Violaxanthin、Neoxanthin、(以上Xanthine 類)

図5の吸収スペクトルは極大値が  $436 \text{ nm}$ 、 $660 \text{ nm}$  付近にあるが、これは主としてChlorophyll a と、b との吸収であって他の色素類もこれに関与しているものと思われる。なおこの分析法では枯死した藻体などから、Chlorophyll の分解 (Mg の脱失) した Phaeophythin a、b も多少は含まれているであろう。

図5 Scenedesmus quadrispina の色素の吸収スペクトル (溶媒; アセトン)



6 Scenedesmus quadrispina の増殖

藻類の繁殖によって水中の栄養塩を除去す機構を考えると、その除去の機能は藻類の繁殖過程に依存するはずで、増殖の経過を知ることが重要である。

一般に藻類の生育曲線は次の図のような形をとる。

図 6 - a 有機炭素源を用い暗所で培養した生育曲線

図 6 - b CO<sub>2</sub> を炭素源とし光照射の下で培養した生育曲線

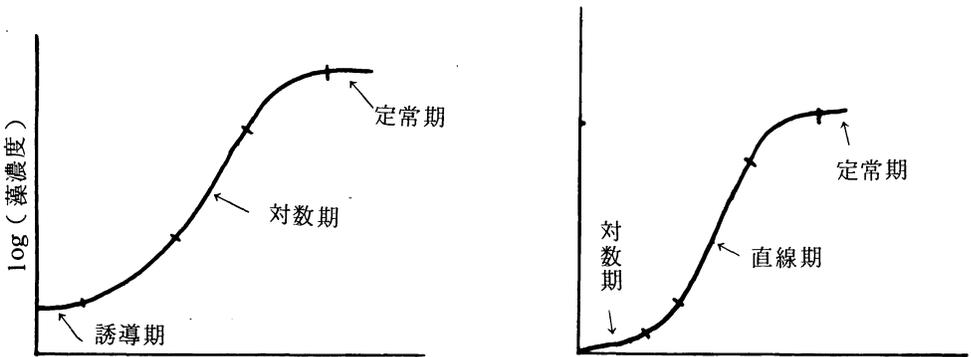


図 6 - a は有機炭素源を用いて暗所で培養した場合、図 6 - b は CO<sub>2</sub> を炭素源として光を照射した場合を示す。

生育期間の中で、対数期について考えると、

$$\log_e (N/N_0) = kt \dots\dots\dots ( 6.1 )$$

- ここに N ; 時間 t 経過後の藻濃度
- N<sub>0</sub> ; 初期の藻濃度
- k ; 定 数
- t ; 時 間

なる関係がある。これを微分すれば、

$$\frac{dN}{dt} = kN \dots\dots\dots ( 6.2 )$$

となり、藻類の増殖速度はその濃度に比例する。普通、

$$k_g = k \log_{10} e = 0.4343 k \dots\dots\dots ( 6.3 )$$

とおいた場合の k<sub>g</sub> を生育速度定数といい、これを用いて生育速度の比較を行う。この生育速度定数 k<sub>g</sub> は、温度、光の強さ、栄養条件などによって変わる。

定常期に達した時の藻体量を、水質の AGP ( Algal Growth Potential) と言って、その水の生産量をあらわす指標とする。富栄養化の度合いを表わすにもこの指標がよく用いられる。以下これらの定数、指標を用いて、Scenedesmus quadrispina の増殖について検

討する。

### 6-1 藻濃度の測定

藻体量の測定法は種々あるが、ここでは血球計算盤 (hemacytometer) を用いて細胞数を数える方法と積分球濁度計を用いて濁度を求める方法とで培養液の藻体濃度を測定した。細胞数の計数は10回以上の繰返しで平均値を求めたが、その95%信頼区間は±10%以内である。

### 6-2 生育曲線について

前記の培養液を用いるに当たって、始め、微量成分は水道水中の存在量で充分ではないかと考え、栄養塩のみで出発したが、途中微量成分を添加すると藻類の繁殖が著しく増大することを見たので、微量成分添加についても検討した。

#### 6-2-1 微量成分を添加しない場合

藻濃度を縦軸にして生育をプロットしてみると、対数をとってもとらなくとも似たような曲線となるが、その場合も細胞数の増加率が、濁度の増加率を上回っている。

表 6-2-1 細胞数と濁度との比較

時間 (hr)	細胞数		濁度	
	普通目盛	対数目盛	普通目盛	対数目盛
30	0.023	0.020	0.020	0.016
40	0.022	0.020	0.013	0.016
50	0.014	0.020	0.010	0.016
60	0.011	0.010	0.008	0.006
70	0.006	0.003	0	0

$k_g$  の値 1/hr  
 明度 約 2,600 Lx

表 6-2-1 は式 (6.3) から求めた  $k_g$  の値である。

藻類のこのような生育過程を考えると、直線期では、

$$\frac{dN}{dt} = \text{const} \text{ であるから}$$

$$k_g = \frac{\text{const}}{N} \dots\dots\dots (6.4)$$

となり、即数期では

$$\frac{d \log_e N}{dt} = \text{const} \text{ であるから}$$

$$k_g = \text{const} \dots\dots\dots (6.5)$$

である。濁度から求めた  $k_g$  と、細胞数から求めた  $k_g$  では値が異なるが、両者は近い値となるので、濁度から求めてもおおよその目安とはなる。式 (6.2) で

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \approx k N \dots\dots\dots (6.6)$$

と考えれば、i 番目の測定時では

$$k_g = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \log_{10} \frac{N_{i+1}}{N_i} \dots\dots\dots (6.7)$$

として  $k_g$  を求めることが出来るが、傾きから求めたものに比べてばらつきが大きい。

6-2-2 微量成分を添加した場合

微量成分を添加しないときは十分に増殖しないうちに定常期に達してしまう事が次の実験で明らかになった。

すなわち、6-2-1で行った微量成分添加なしで定常期に達した液に、別に配合した微量成分の溶液を追加注入したものである。微量成分を追加すると、少時、誘導期があってその後対数的に増殖し、直線期を経て定常期に達する。この定常期の細胞数は 4,200 万個/ml で、濁度はカオリン換算 3,900 ppm、固型物量 1,550 mg/l となる。

この際添加した微量成分溶液は次の組成のもので、

微量成分の配合表 (水溶液 1 l 当り)			
品 目	分量	摘 量	
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2.0 g		
Mn Cl <sub>2</sub>	2.5 "		
Co Cl <sub>2</sub>	0.1 "		
Zn (Metal)	2 "	HCl に溶解	
Cu Cl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.14 "		
Na <sub>2</sub> Mo O <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.7 "		
Fe Cl <sub>3</sub>	1.0 "		
HCl (12N)	1.0 ml	Zn を溶解する際に加える。	

この液の微量要素の分析値は次表のようであった。

微量要素液の主な組成表			
成分	濃度 mg/l	成分	濃度 mg/l
Zn	1.63 × 10 <sup>3</sup>	Mo	7.42
Mn	1.01 × 10 <sup>4</sup>	Fe	2.81 × 10 <sup>3</sup>
Co	25.6		
Cu	49.6		

この原液を培養液の 1/10,000 となるように培養液中に添加したものである。

表6-2-2 Scenedesmus quadrispina の増殖

hr	個体数 万個/ml	濁度(カオリン) ppm	個体数 数/濁度	hr	個体数 万個/ml	濁度(カオリン) ppm	個体数 数/濁度
21.5	15.88±5.21 (10.67~21.09)	18.0	0.882 ±0.287	307 (161)	1,712±198 (1,514~1,710)	1,417	1.208 ±0.140
26	17.7±5.6 (12.1~23.2)	21.0	0.843 ±0.267	314 (168)	1,739±105 (1,604~1,844)	1,527	1.137 ±0.069
43	48.3±11.6 (36.7~59.9)	42.8	1.129 ±0.271	331 (185)	1,977±141 (1,836~2,118)	1,804	1.096 ±0.078
50	60.0±9.7 (50.3~69.7)	48.4	1.240 ±0.200	338 (192)	2,022±253 (1,769~2,276)	1,760	1.147 ±0.144
67	100.7±20.2 (80.5~120.9)	67.3	1.496 ±0.300	355 (209)	2,511±222 (2,270~2,733)	1,940	1.294 ±0.1144
93	117.5±13.8 (103.7~131.3)	68.0	1.728 ±0.203	362 (216)	2,490±259 (2,231~2,748)	2,000	1.245 ±0.130
115	134±16 (118~150)	65.3	2.052 ±0.245	379 (233)	2,722±221 (2,502~2,943)	2,030	1.341 ±0.109
122	141±21 (120~162)	64.2	2.196 ±0.327	386 (240)	2,871±234 (2,637~3,106)	2,300	1.248 ±0.102
139	123±10.0 (113~133)	64.2	1.956 ±0.156	403 (257)	2,997±197 (2,800~3,194)	2,480	1.208 ±0.079
* 146 (0)	124±19 (104~143)	63.2	1.962 ±0.301	451 (305)	3,874±282 (3,592~4,157)	3,050	1.270 ±0.092
163 (17)	116±15 (100~131)	68.6	1.691 ±0.219	458 (312)	4,083±220 (3,643~4,523)	3,480	1.173 ±0.063
170 (24)	124±12 (112~135)	77.5	1.600 ±0.155	475 (329)	3,882±240 (3,642~4,122)	3,480	1.116 ±0.067
187 (41)	177±20 (157~197)	130.8	1.353 ±0.153	499 (353)	4,062±293 (3,770~4,355)	3,760	1.080 ±0.069
194 (48)	198±18 (180~216)	178	1.112 ±0.101	547 (401)	4,269±283 (3,986~4,552)	3,420	1.248 ±0.078
211 (65)	371±21 (351~392)	349	1.063 ±0.060	595 (449)	4,187±320 (3,867~4,507)	3,890	1.076 ±0.083
218 (72)	519±45 (474~564)	448	1.158 ±0.100	619 (473)	4,138±325 (3,813~4,467)	3,870	1.069 ±0.082
235 (89)	825±59 (765~884)	728	1.133 ±0.081	643 (497)	4,395±332 (4,064~4,726)	3,890	1.130 ±0.084
268 (122)	1,143±64 (1,078~1,207)	923	1.238 ±0.069	667 (521)	4,166±330 (3,837~4,496)	3,890	1.071 ±0.085
283 (137)	1,394±126 (1,267~1,520)	1,123	1.241 ±0.112	691 (545)	3,730±221 (3,590~3,750)	3,790	0.984 ±0.0583
290 (144)	1,458±172 (1,286~1,630)	1,168	1.248 ±0.147		4,072±365 (3,707~4,437)	3,790	1.074 ±0.096

※微量成分添加

6-2-3 生育速度定数及び生育速度の比較

表6-2-2は時間による細胞数、濁度及び細胞数/濁度を計算したもので、これを図にプロットしたものが図6-2-1、図6-2-2と後に掲げる図6-2-4である。

図6-2-1では縦軸に細胞数及び濁度、横軸に時間をとって、時間に対する藻体量の増加を示し、図6-2-2では縦軸を対数にして同様のものを表わした。これらの図で、微量元素添加前では誘導期が20時間くらい、対数期が25~50時間、その後の直線期が、50~70時間目に出現して70~80時間まで経過、定常時にはいっている。この過程で、濁度の増加が細胞数の増加に先行して進んでいることが見られる。この傾向は微量元素添加後にも引続いてみられた。この様子を示したのが図6-2-4で、以上の関係を見易くするように縦軸に細胞数/濁度をとったものである。

図6-2-1 *Scenedesmus quadricornis* の生育曲線(普通目盛)

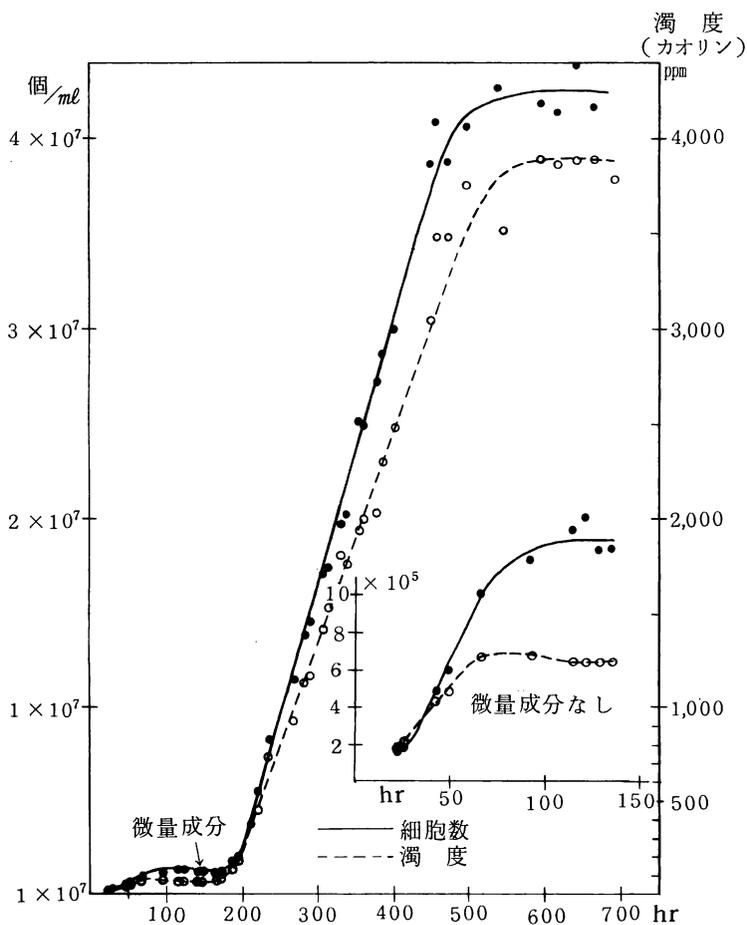
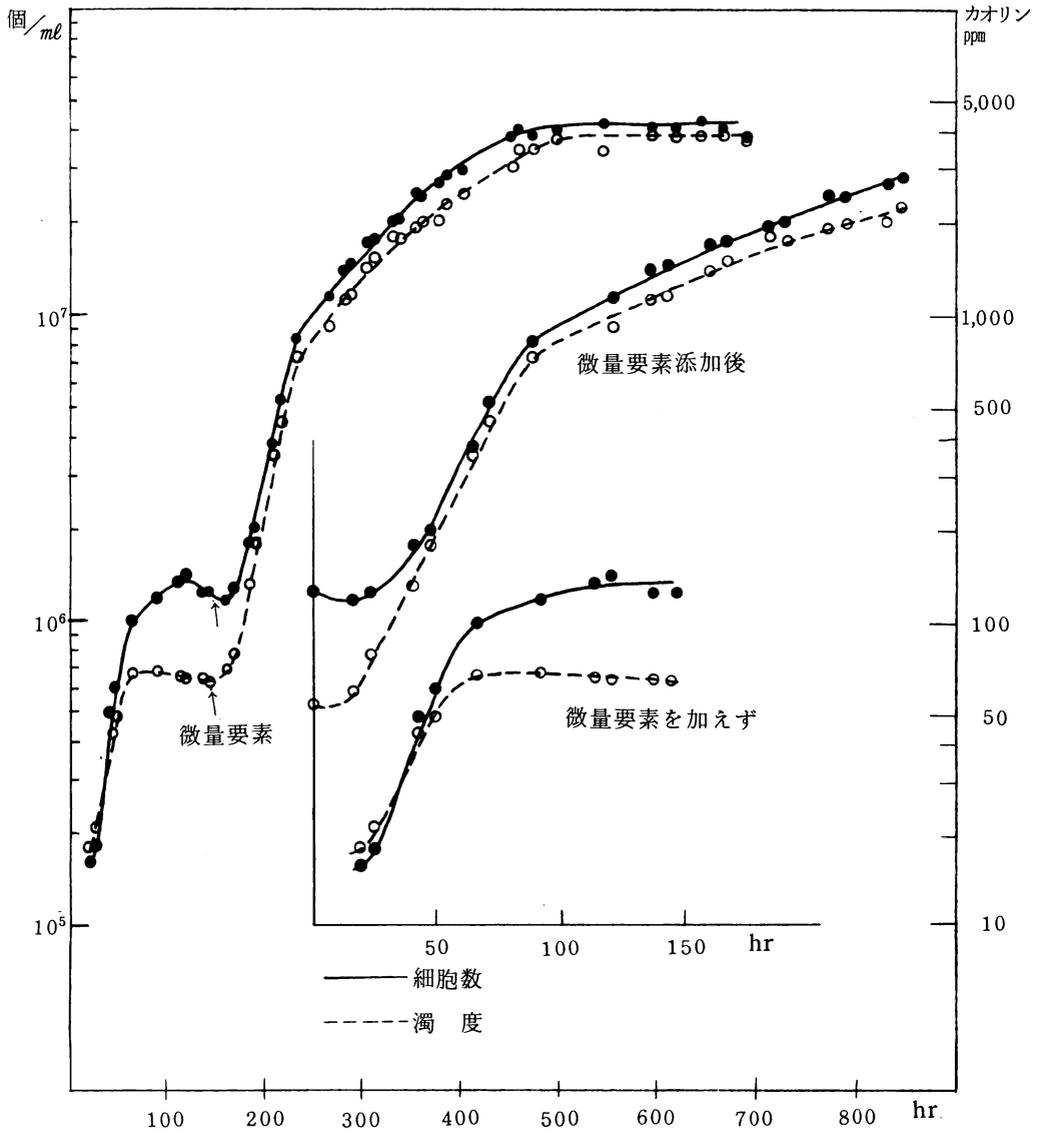


図 6-2-2 Scenedesmus quadricornis の生育曲線 (対数目盛)



濁度は粒子の数が等しくても、その大きさが異なれば違って来るもので、粒子が大きくなると当然濁度が大きくなるから、以上の濁度の増加の先行する現象は、細胞数の増加にともなって細胞の肥大がおこっていることを意味する。この傾向は150時間位まで続き、その後微量要素の添加によって細胞分裂が盛んになると細胞の大きくなる傾向はなくなり、定常期に達するまでは、濁度と細胞数の増加とは一定の比率で進行し、細胞の大きさがほぼ一定していることがうかがわれる。定常期にはいると図6-2-4の曲線の左端に見られるように

細胞数/濁度は再び小さくなり、細胞の肥大して来ることが知られる。

培養液を濾過して成分を定量した結果については後述するように、微量成分を添加せずに定常状態に達したものは、濾液中に多量の栄養素(N、P、K等)が残っており、微量元素を添加し、増殖が盛んになって定常状態に達したものではN、P、K等が極めて低い濃度になっている。

以上のことから、微量元素が少ない場合は、主要栄養素が残っているうちに微量元素を消費し尽くして細胞数が一定となり、この場合の細胞は細かい。これが微量元素を添加した場合は主要栄養素を消費してしまったために、定常期に達し、この場合の細胞は大きいのである。このような細胞の形状の大小の変化については、種々論じられていることであるが、本研究では単に、濁度による浮遊藻類の濃度の測定には、このような問題があることに触れるにとどめたい。

生育速度定数について

生育速度定数  $k_g$  は式(6・2)または式(6・7)で求められる。

表6-2-3 (6・7)式によって求めた  $k_g$

h r	個体数 $kg (\downarrow/hr)$	濁度 $kg (\downarrow/hr)$	h r	個体数 $kg (\downarrow/hr)$	濁度 $kg (\downarrow/hr)$
21.5	0.0105	0.0149	290(144)	0.00410	0.00494
26	0.0256	0.0182	307(161)	0.00097	0.00464
43	0.0135	0.0076	314(168)	0.00328	0.00426
50	0.0132	0.0084	331(185)	0.00140	-0.00153
67	0.00288	0.00017	338(192)	0.00553	0.00249
93	0.00259	-0.00080	355(209)	-0.00052	0.00189
115	0.00316	-0.00105	362(216)	0.00228	0.00038
122	-0.00349	0	379(233)	0.00331	0.00775
139	0.00050	-0.00097	386(240)	0.00110	0.00192
* 146( 0)	-0.00170	0.00209	403(257)	0.00232	0.00187
163( 17)	0.00414	0.00757	451(305)	0.00326	0.00818
170( 24)	0.00909	0.01337	458(312)	-0.00129	0
187( 41)	0.00696	0.0191	475(329)	0.00082	0.00140
194( 48)	0.0160	0.0172	499(353)	0.00045	-0.00086
211( 65)	0.0208	0.0155	547(401)	-0.00018	0.00117
218( 72)	0.0118	0.0124	595(449)	-0.00021	-0.00009
235( 89)	0.00429	0.00312	619(473)	0.00109	0.00009
268(122)	0.00575	0.00568	643(497)	-0.00097	0
283(137)	0.00278	0.00244	667(521)	-0.00200	0.00047

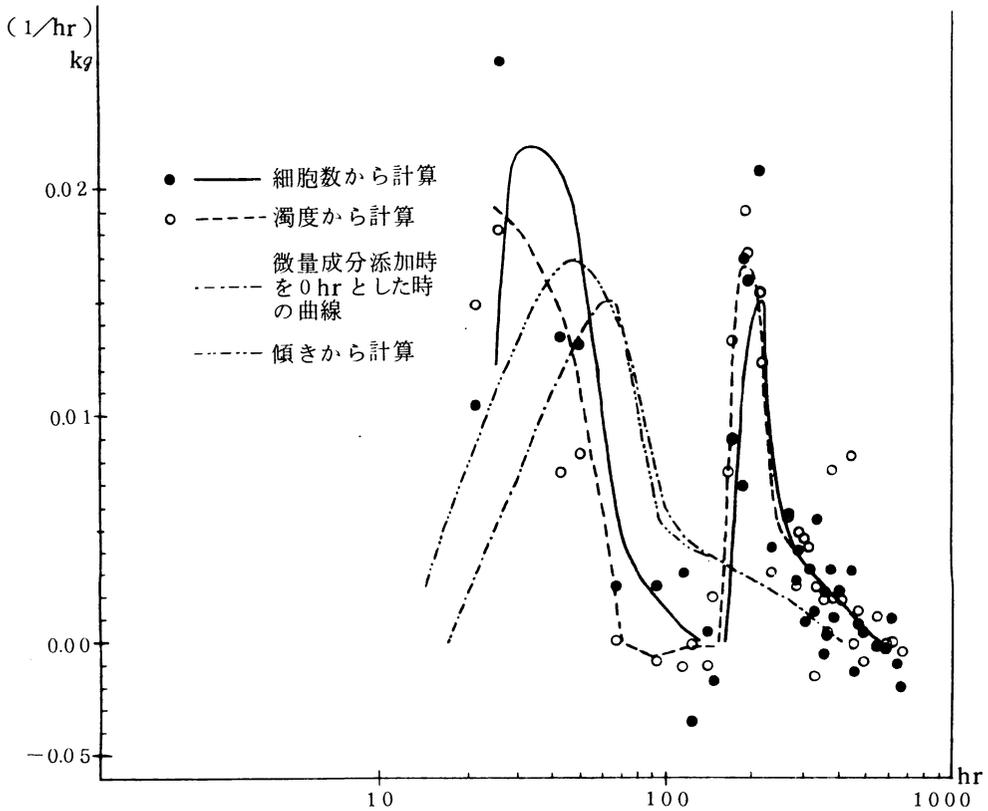
※ 微量成分添加

表 6-2-4 曲線の傾きから計算した  $kg$

h r	個体数 $kg$	濁度 $kg$	h r	個体数 $kg$	濁度 $kg$
25	0.0123	0.0190	190	0.0121	0.0167
30	0.0215	0.0181	200	0.0140	0.0164
40	0.0210	0.0143	210	0.0151	
50	0.0170	0.0121	220	0.0130	0.0129
60	0.0105	0.0063	240	0.0063	0.0055
70	0.0045	0	280	0.0041	0.0041
80	0.0032	-0.0002	320	0.0033	0.0032
90	0.0022	-0.0006	360	0.0027	0.0025
100	0.0015	-0.0006	400	0.0021	0.0021
120	0.0001	-0.0002	450	0.0016	0.0017
* 140	-0.0009	-0.0002	500	0.0003	0.0009
160	0	0.0037	550	0	0.0002
170	0.0042	0.0092	600	0	0
180	0.0096	0.0149			

※ 微量成分添加

図 6-2-3 生育速度常数 ( $kg$ ) と  $\log$  (時間) との関係



式(6・7)から求めた値が表6-2-3であり、曲線の傾きから求めた値が表6-2-4である。図6-2-3では  $k_g - \log(\text{時間})$  をプロットしているが、 $k_g$  が極大値を取るのが対数増殖期に当たる。 $k_g$  値も濁度から計算した数値が、細胞数の値から計算したものよりも先に変化していることが認められる。

生育速度について

生育速度  $dN/dt$  は次式に従うと考えられる。

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N_{i+1} - N_i}{t_{i+1} - t_i} \dots\dots\dots (6 \cdot 8)$$

$N_i$  : ある時  $t_i$  の藻類濃度

$N_{i+1}$  :  $t_i$  から一定時間を経過した時点

$t_{i+1}$  における藻類濃度

表6-2-5はこの式(6・8)から求めた数値であり、表6-2-6は図6-2-1、図6-2-2の曲線の傾きから求めた数値である。図6-2-5にはこれらの数値を速度- $\log(\text{時間})$  でプロットしている。図中●○は表6-2-5から、 $\cdots$ 、 $\sim$  は表6-2-6から求めたものである。直線期にはこの曲線が一定値を示し、対数期で急上昇、定常期にはって急に降下する様子をこの曲線がよく示している。

表6-2-5 生育速度(6・8式で求めた計算値)

時間	細胞数 $10^4$ 個/ $ml \cdot hr$	濁度 ppm/hr	時間	細胞数 $10^4$ 個/ $ml \cdot hr$	濁度 ppm/hr
21.5	0.38	0.62	290	13.76	13.29
26	1.04	0.88	307	3.82	15.14
43	1.50	0.75	314	13.13	14.98
50	1.82	0.94	331	6.37	-6.36
67	0.26	0.03	338	11.16	10.09
93	0.30	-0.13	355	-3.01	8.44
115	0.42	-0.16	362	13.07	1.75
122	-1.13	0	379	20.75	36.23
139	0.14	-0.14	386	7.27	10.17
146	-0.49	-0.30	403	16.01	10.68
163	1.11	1.20	451	29.08	57.45
170	2.62	2.39	458	-12.13	0
187	2.84	5.75	475	7.33	11.22
194	7.30	7.05	499	4.21	-7.45
211	17.77	12.46	547	-1.77	9.21
218	14.10	12.79	595	-2.03	-0.81
235	8.15	5.23	619	10.39	0.80
268	15.13	11.97	643	-9.82	0
283	8.92	6.31	667	-19.19	-4.21

表 6 - 2 - 6 生育速度(曲線の傾きから計算)

時 間	細胞数 $10^4$ 個/ $ml$ ・hr	濁度 ppm/hr	時 間	濁度 ppm/hr	濁度 ppm/hr
25	0.48	0.88	190	5.36	5.46
30	1.08	1.16	200	8.38	7.89
40	1.87	1.21	210	13.33	
50	2.35	1.43	220	15.66	13.08
60	2.08	0.40	240	12.42	9.18
70	1.08	0	280	12.71	10.46
80	0.83	-0.03	320	14.21	11.32
90	0.61	-0.09	360	15.48	11.50
100	0.43	-0.09	400	14.89	11.97
120	0.03	-0.03	450	13.86	11.92
140	-0.26	-0.03	500	2.88	7.53
160	0	0.54	550	0	1.77
170	1.20	1.62	600	0	0
180	3.23	3.45			

図 6 - 2 - 4 Scenedesmus quadrispina の生育過程における細胞数-濁度の相対関係の変化

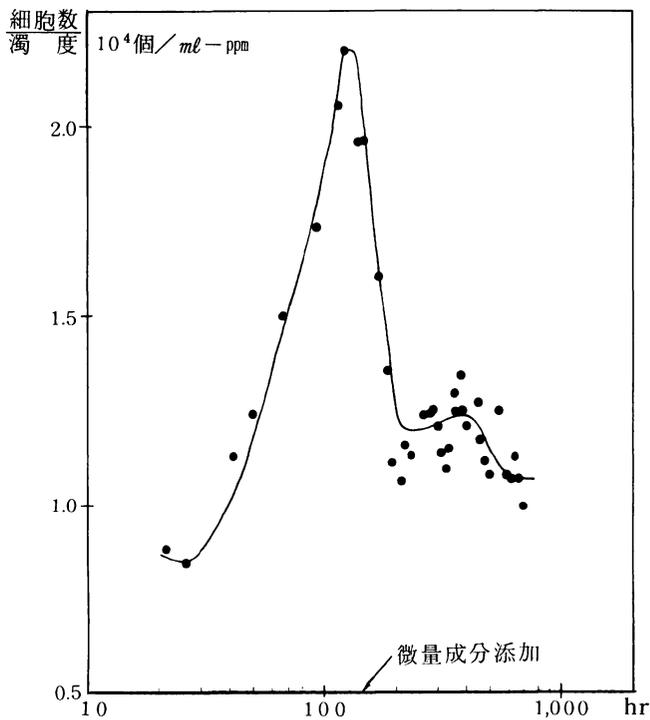
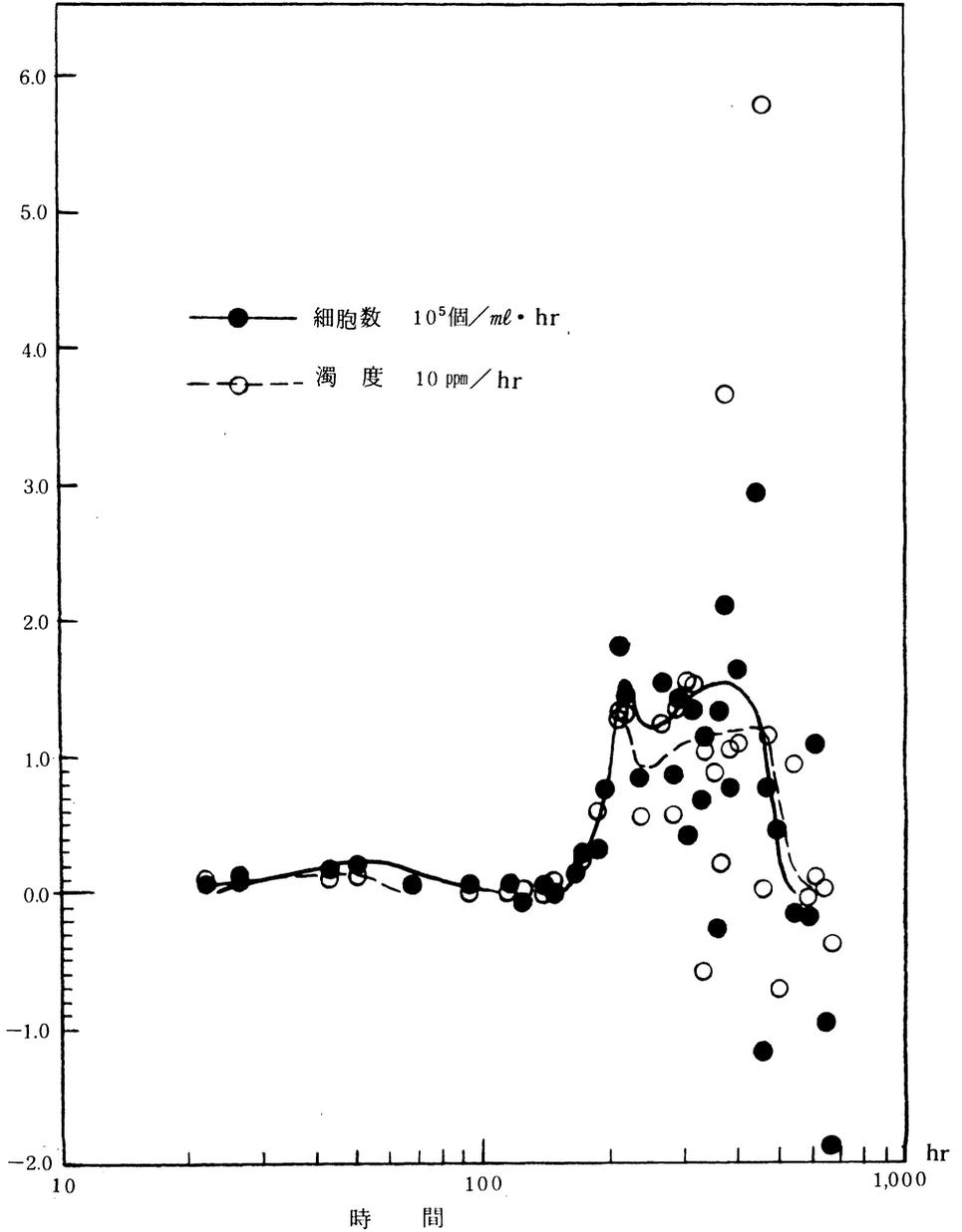


図 6-2-5 生育速度と時間の対数との相互関係

生育速度



### 6-3 細胞数と濁度の関係

細胞数が濁度によって直ちに示されるものでなく、両者の関係がその増殖の過程に応じて変動することについては、6-2-3で触れたが、本節では両者の相関関係からこれを考察してみたい。

図 6-3-1 Scenedesmus quadrispina の細胞数と濁度との関係

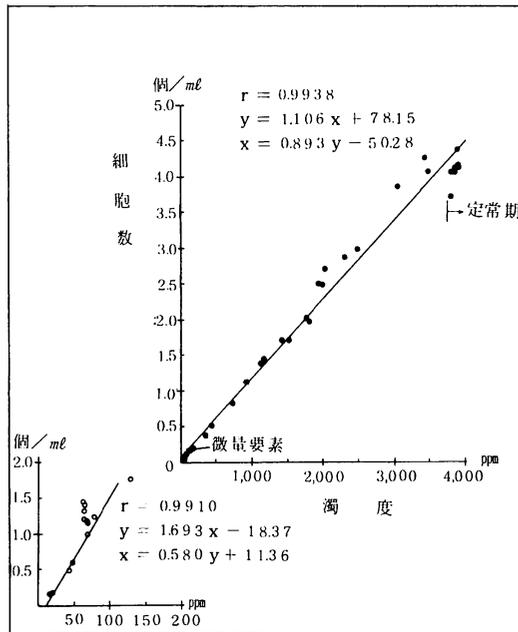
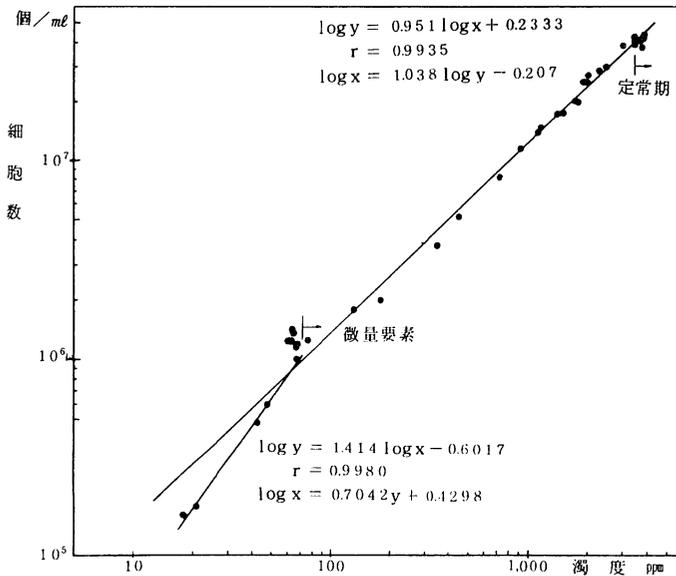


図 6-3-2 (図 6-3-1) の両軸を対数目盛としたもの



細胞の大きさが一定で散乱光が干渉しない場合は、濁度は単純に細胞数に比例する。図6-3-1は濁度を横軸に、細胞数を縦軸にとったもの、図6-3-2は両者のそれぞれの対数を、同様に取ったグラフである。

今濁度を  $x$  ppm、細胞数を  $y$  万個/mlとして次の回帰直線を考える。

$$y = Ax + B \quad \dots\dots\dots (6 \cdot 9)$$

$$\log y = A' \log x + B' \quad \dots\dots\dots (6 \cdot 10)$$

$$x = ay + b \quad \dots\dots\dots (6 \cdot 11)$$

$$\log x = a' \log y + b' \quad \dots\dots\dots (6 \cdot 12)$$

式(6・9)、(6・10)のときの相関係数をR

式(6・11)、(6・12) " r

として、表6-3-1にまとめた。

表6-3-1 緑藻の生育過程における細胞数と濁度との相対関係

	対 数 目 盛			普 通 目 盛		
微量要素無し 定常期前最初の5点	A'1.414	B' -0.602	r 0.9980	A 1.693	B -18.37	R 0.9910
	a'0.704	b' 0.430		a 0.580	b 11.36	
微量要素無し (10点)	A'1.638	B' -0.907	r 0.9832	A 2.376	B -35.92	R 0.9430
	a'0.590	b' 0.591		a 0.3742	b 19.23	
微量要素添加 定常期前 (23点)	A'0.949	B' 0.2422	r 0.9966	A 1.159	B 55.25	R 0.9937
	a'1.047	b' -0.233		a 0.8517	b -27.25	
微量要素添加 (30点)	A'0.940	B' 0.2642	r 0.9968	A 1.097	B 117.73	R 0.9910
	a'1.057	b' -0.260		a 0.8955	b -70.10	
全 部 (40点)	A'0.951	B' 0.2333	r 0.9935	A 1.106	B 78.15	R 0.9938
	a'1.038	b -0.2067		a 0.8932	b -50.28	

この表からわかるように、両者の相関係数は微量要素無添加の10点を除いてすべて0.99以上で、細胞数と濁度とは、一方が定まれば他方が一義的に定まる。この際微量要素無添加の10点のような場合は6-2-3で考察したように、全体の中で誘導期の数値が多く、誘導期には細胞の個体の大きさが大きくなり、そのために細胞数と別に濁度が高くなることになる。即ち、誘導期には以上のような計算はやや精度が落ちることを知らなければならない。又、細胞の大きさに及ぼす条件は種々あると考えられ、例えば微量要素の不足、培養温度などが影響するであろうし、定常期に達すると、又、その変動が少しはいつて来るようである。

#### 6-4 Scenedesmus 増殖のまとめ

(1) 藻体量の測定では通常濁度測定と細胞数測定はほぼ1に近い相関が得られ、実用的には濁度の測定で藻体の濃度を決定し得る。



表7-2 Scenedesmus quadrispina の培養における無機成分の行動

(微量成分添加(定常期))

① 培養液      ② 濾液      ③ 濾過残渣      ④ 洗浄残渣

	K-N	T-P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Na	Cu
① mg/l	74.3	10.75	15.9	59.4	25.8	0.566	0.43	0.14	88	0.011
② mg/l	2.2	0.64	2.71	52.5	29.3	0.489	0.07	0.07	92	0.006
③ mg/l	70.9	8.53	12.8	3.32	0.37	0.048	0.30	0.07	nd	0.009
④ mg/l	66.2	7.78	12.8	2.74	0.19	0.037	0.28	0.02	nd	-
③ - ④ mg/l	4.7	0.75	-	0.58	0.18	0.011	0.02	0.05	-	0.009
③ % 乾燥重量	4.56	0.549	0.823	0.214	0.024	0.0031	0.019	0.0045	-	0.0005
④ % 乾燥重量	4.26	0.500	0.823	0.176	0.012	0.0024	0.018	0.0013	-	-
③ - ④ % 乾燥重量	0.30	0.048	-	0.037	0.012	0.0007	0.001	0.0032	-	0.0005

SS            1,555 mg/l

濁度  
(カオリン)      3,800 mg/l

細胞数             $4.2 \times 10^7$  個/ml

クロフィル a      11.23 mg/l            0.72 % 乾燥重量

                  "      b      4.45 mg/l            0.29 % "

カロチノイド      13.6 mg/l            0.87 % "

表7-3 Scenedesmus quadrispina の培養における無機成分の行動

(微量成分添加(定常期))

① 培養液      ② 濾液      ③ 濾過残渣      ④ 洗浄残渣

	K-N	T-P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Na	Cu
① mg/l	44.1	6.53	12.66	42.1	18.7	0.669	0.29	0.128	64.9	0.013
② mg/l	1.16	0.027	2.76	29.8	19.0	0.009	0.33	0.043	66.3	0.003
③ mg/l	46.6	6.41	9.53	13.1	0.76	0.698	0.22	0.123	0.92	0.010
④ mg/l	46.4	6.12	8.92	12.3	0.49	0.684	0.29	0.116	0.07	0.010
③ - ④ mg/l	0.2	0.29	0.61	0.8	0.27	0.014	-	0.007	0.85	-
③ % 乾燥重量	3.58	0.493	0.733	1.008	0.0585	0.0537	0.017	0.0095	0.0708	0.00077
④ % 乾燥重量	3.57	0.471	0.686	0.946	0.038	0.0526	0.022	0.0089	0.0054	0.00077
③ - ④ % 乾燥重量	0.015	0.022	0.047	0.062	0.020	0.0011	-	0.0005	0.0654	-

SS	1,300 mg/ℓ		
濁度 (カオリン)	2,800 mg/ℓ		
細胞数	$3.1 \times 10^7$ 個/ml		
クロロフィル a	7.51 mg/ℓ	0.58 %	乾燥重量
"      b	2.50 mg/ℓ	0.19 %	"
カロチノイド	3.60 mg/ℓ	0.28 %	"

なお、前の3つの表で用いた用語は次のように規定する。

- (1) 培養液：藻類を培養している液で藻体を含んだままのもの
- (2) 濾液：(1)の液を1.0 $\mu$ のメンブランフィルターで濾過したもの
- (3) 濾過残渣：(2)の濾紙上に残った固型物の洗浄をしないもの
- (4) 洗浄残渣：(3)の残渣を蒸留水で充分洗浄した固定物

単位mg/ℓは普通用いられるとおり溶液（浮遊固型物を含む）1ℓ中に含まれる元素のmg数であるが、固型物のmg/ℓとは1ℓの液を濾過して得られた固型物中の元素の量をmgであらわしたものである。また乾燥重量%とは、濾過残渣、洗浄残渣等の固型物の乾燥したものに対する元素を%で示したものである。

#### 7-1 微量成分を添加しない場合

先にも触れたように微量成分を加えない培養液では定常期に達した後も、P、N、Kが高濃度に残っている。即ち、これで定常期となるのは微量成分を消費し尽してその不足を来したためであることがわかる。またこの場合濾過残渣を蒸留水で洗浄すると相当量のN、Pが洗い落とされる。特に濾液中に高濃度にPが存在すると、細胞内のPも相当多いことが見出された。このことは細胞のもつ吸着性によるもので、この状態を調べるために別に実験を行ったので後に詳しく述べる。

#### 7-2 微量成分を添加した場合

微量成分を加えて定常期に達した場合は、濾液中のN、Pは少なく、ほとんど全量が藻体中に取り入れられている。この場合、藻体中のPの乾燥重量%は0.5%程度で、この数値が *Scenedesmus quadricornis* の必要量のようなものである。

#### 7-3 栄養塩吸収についての考察

微量成分の有無による藻体の構成成分の差異を比較するときには、濾液中の栄養塩の濃度を考慮しなければならない。表7-1から7-3に掲げた③-④の数値は藻体から洗い取られる栄養塩量を示している。これを直ちに吸着されていた塩類と見なすにはなお議論の余地があるが、ここでは一応藻体表面に存在する吸着性栄養塩類としておく。さて、微量成分の添加しな

い場合には、早期に定常期に達してしまい、培養液中には溶解性の栄養塩類が高濃度に残存しており、藻体中では吸着性のN、Pがその全体の半分位を占めて存在する。K、Mg、Caは吸着性のものは少ないので、誤着範囲内に入り、吸着性の塩の有無が不明である。Naは藻中にほとんど利用されていないか、利用されるとしても微量である。

微量要素を添加した場合には、定常期に入ったときの培養液では溶存する栄養塩類の濃度が非常に低下していて、藻体中の吸着性元素はほとんど無く、実験誤差の範囲に入ってしまう。けたKはこの場合ほとんど変動がなく、N、Pのように残留塩類の濃度によって左右されず、ほぼ一定の値を示している。

微量要素の添加によって、主要栄養素塩が、極限と思われる量までも消費されることは、AGPにおいてLiebigの最小濃度則(Low of the minimum)が成立しているものと考えられる。通常の培養では、培養液の組成は、生物の繁殖が最も促進される配合を選択するものであろうが、排水処理ではこの最小濃度則を考慮して目的成分を最少にすることをはからなければならない。

## 8 リンの吸収に関する基礎的研究

近年公共水域における富栄養化の問題が深刻になって来て、これの防止について種々論じられていることであるが、特にPの問題が強く浮かび上がってきた。従来盛んに論じられたNの問題は、近時洗剤の排水などから来るPに置換えられた観がある。即ち、水域の富栄養化は、Pの増加によって支配されるように考えられるようになったのであるが、これは、Nに対してPが相対的に増加して来た場合、Nは制限因子にならず、ある種の藻類によって空中窒素の固定が行われるために、既存のNに無関係に藻類の増殖を来たす結果となるからである。

上の情勢からすると排水処理に当たっても、栄養塩除去の対象になるものは当然Pであって、この研究ではPの摂取速度がどのようなものであるか、又、過剰摂取は如何に行われるかなど、Pの摂取機構を究明することが重要であって、この点に着目して研究を進めてみた。

### 8-1 リンの摂取速度

Pの吸収機構を究明するのに、藻体内への吸収速度がまず必要なものと考えられる。この研究では、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ と $\text{K}_2\text{HPO}_4$ を用いて、*Scenedesmus quadricornis*のP吸収の問題を扱ってみた。

Cationに $\text{K}^+$ を用いたのは、Kが植物の3大栄養素のひとつであることと、7-3でも述べたようにKの植物体への吸収が、その生育過程等の条件によっては著しい影響を受けないことなどの理由からである。

又、実験に用いた植物プランクトンは純粋培養して定常期にある *Scenedesmus quadricornis* を用いた。定常期にある藻はPに対して飢餓状態にあると考えられる。

#### 8-1-1 実験

Pの濃度が、約25/4 ppmになるように、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ の2塩類のそれぞれの溶液を調製し、試験溶液とした。これらの溶液の40 mlと、純粋培養した *Scenedesmus* を含む液10 mlとを混合し、25℃にした恒温振とう器中で振とうし、各時間ごとにこの中から取出し、濾過して濾液と残渣に分け、残渣は更に蒸留水で充分洗浄して分析試料とした。ここで用いた *Scenedesmus* の濃度は、細胞数で  $6.2 \times 10^6$  個/ml、濁度でカオリン換算580 ppm、乾燥固型量として260 mg/lのものである。

濾液はそのままモリブデン青法でPを測定し、洗浄残渣はこれを $\text{HNO}_3$ 、 $\text{HClO}_4$ で常法により加熱分解、中和希釈したものについて、同様モリブデン青法でPの測定を行った。

#### 8-1-2 結果

実験の結果をまとめたものを表8-1-1、表8-1-2に示す。この表中で濾液の分析値で上段はその濃度 mg/l を示す。下段は藻中の含有量と対照し易くするために換算した数値で、上の全溶液即ち50 ml中に含まれるK、Pの量を  $\mu\text{g}$  であらわした値である。残渣の欄では上段は藻体に対するそれぞれの成分の重量%（対乾量）で、下段の数値はこの試験1単位中即ち試験液50 ml全量中の全藻体に含まれる  $\mu\text{g}$  数で、濾液の下段に対応する。この表から各成分の挙動を考察すると次のようになる。

**K** 濾液中のKは始めの10分間位まで急激に減少するが、その後はほぼ一定の濃度となる（図8-1-1）。藻体内のKは始めの50分ぐらいまで上昇して行くが、その後一定となる（図8-1-4）。

**P** 濾液中のPは最初5分間で急激に減少し、その後徐々に減少を続ける（図8-1-2）細胞内のPは実験中の全時間（180分）にわたって増加を続けるが、時間がたつにしたがってその増加速度が鈍る（図8-1-3）。この場合 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ 溶液中のPの方が、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ のPよりも吸収量が多い。

**Mg、Ca** K、Pが吸収されるにつれて、細胞内濃度が減少してゆく傾向が見られる（図8-1-5、図8-1-6）。

**Zn、Mn、Fe、Cu** これらはほぼ一定の濃度を示す。Feはやや変動がみられるが、これは分析上分光光度計のBlank値が高く、誤差が大きいため、確実なことは言えない。

表 8 - 1 - 1 Scenedesmus quadricornis における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液 (  $\text{P } 5\text{mg}/\ell$  ) 中の P の  
 吸収と各成分の平衡

時間(分)	濾液		残渣							
	K	P	K	P	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe
0'	7.2 mg/ℓ	5.20	0.68 %	0.47	0.94	0.038	0.009	0.052	0.0008	0.022
	360 μg	260	88 μg	61						
1'	7.0 mg/ℓ	5.01	0.72 %	0.40	0.93	0.032	0.007	0.049	0.0019	0.02
	350 μg	251	94 μg	52						
2'	6.7 mg/ℓ	4.60	0.72 %	0.46	0.93	0.027	0.007	0.045	0.0014	—
	335 μg	230	94 μg	60						
10'	6.6 mg/ℓ	4.44	0.75 %	0.51	0.85	0.025	0.009	0.053	0.0013	0.01
	330 μg	222	98 μg	67						
20'	6.6 mg/ℓ	4.53	0.81 %	0.59	0.87	0.032	0.009	0.050	0.0065	0.05
	330 μg	227	105 μg	78						
40'	6.6 mg/ℓ	4.11	0.83 %	0.52	0.98	0.049	0.009	0.061	0.0012	0.04
	330 μg	206	109 μg	68						
60'	6.7 mg/ℓ	4.09	0.86 %	0.59	0.69	0.022	0.009	0.046	0.0014	—
	335 μg	205	113 μg	77						
90'	6.6 mg/ℓ	3.91	0.94 %	0.62	0.64	0.039	0.010	0.045	0.0018	0.004
	330 μg	196	122 μg	81						
120'	6.1 mg/ℓ	3.52	0.93 %	0.67	0.56	0.019	0.010	0.048	0.0015	0.02
	305 μg	176	121 μg	87						
180'	6.2 mg/ℓ	3.67	1.02 %	0.73	0.47	0.031	0.008	0.047	0.0017	0.004
	310 μg	184	132 μg	95						

表 8 - 1 - 2 Scenedesmus quadricornis における  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 (  $\text{P } 5\text{mg}/\ell$  ) 中の P の  
 吸収と各成分の平衡

時間(分)	濾液		残渣							
	K	P	K	P	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe
0'	13.1 mg/ℓ	4.97	0.68 %	0.47	0.94	0.038	0.009	0.052	0.0008	0.022
	656 μg	249	89 μg	61						
1'	12.4 mg/ℓ	4.68	0.71 %	0.45	0.93	0.043	0.007	0.052	0.0010	0.02
	620 μg	234	93 μg	58						
2'	12.2 mg/ℓ	4.44	0.77 %	0.47	0.92	0.034	0.009	0.051	0.0013	0.01
	610 μg	222	100 μg	61						
5'	12.2 mg/ℓ	4.55	0.78 %	0.45	1.18	0.040	0.008	0.070	0.0016	0.02
	610 μg	228	102 μg	58						

濾液		残渣								
時間(分)	K	P	K	P	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe
20'	11.5mg/l	4.35	0.75 %	0.53	0.90	0.039	0.008	0.049	0.0023	0.08
	575 mg	218	97 $\mu g$	70						
40'	11.5mg/l	3.83	0.87 %	0.59	0.86	0.033	0.008	0.046	0.0015	0.004
	575 mg	192	113 $\mu g$	77						
60'	11.5mg/l	3.93	0.95 %	0.65	0.95	0.072	0.009	0.052	0.0017	0.07
	575 mg	197	123 $\mu g$	85						
90'	11.3mg/l	3.78	0.91 %	0.78	0.82	0.032	0.008	0.046	0.0022	0.008
	565 mg	189	118 $\mu g$	101						
120'	11.3mg/l	3.42	0.86 %	0.82	0.76	0.006	0.008	0.050	0.0018	0.02
	565 mg	171	112 $\mu g$	106						
180'	11.3mg/l	3.23	1.00 %	0.87	0.75	0.010	0.008	0.052	0.0013	0.01
	565 mg	162	130 $\mu g$	113						

図 8-1-1 Scenedesmus quadricornis における  $KH_2PO_4$  及び  $K_2HPO_4$  溶液 ( P 5 mg/l ) 中の K の吸収 ( 濾液中の K の減少 )

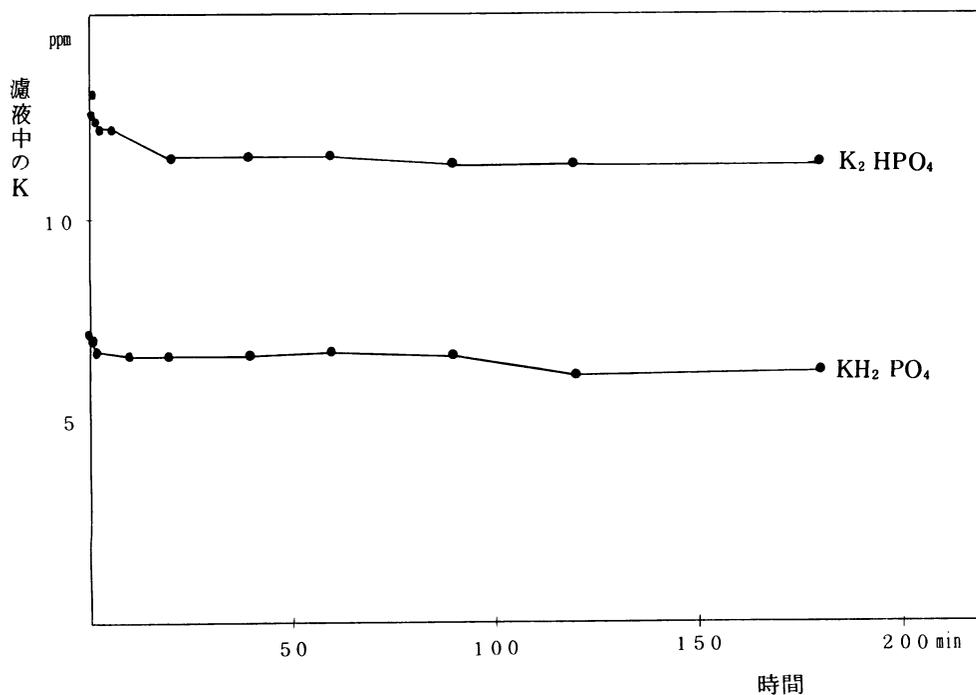


図 8 - 1 - 2 Scenedesmus quadricornis における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  ( P 5 mg / ℓ )  
 溶液中の P の吸収 ( 濾液中の P の減少 )

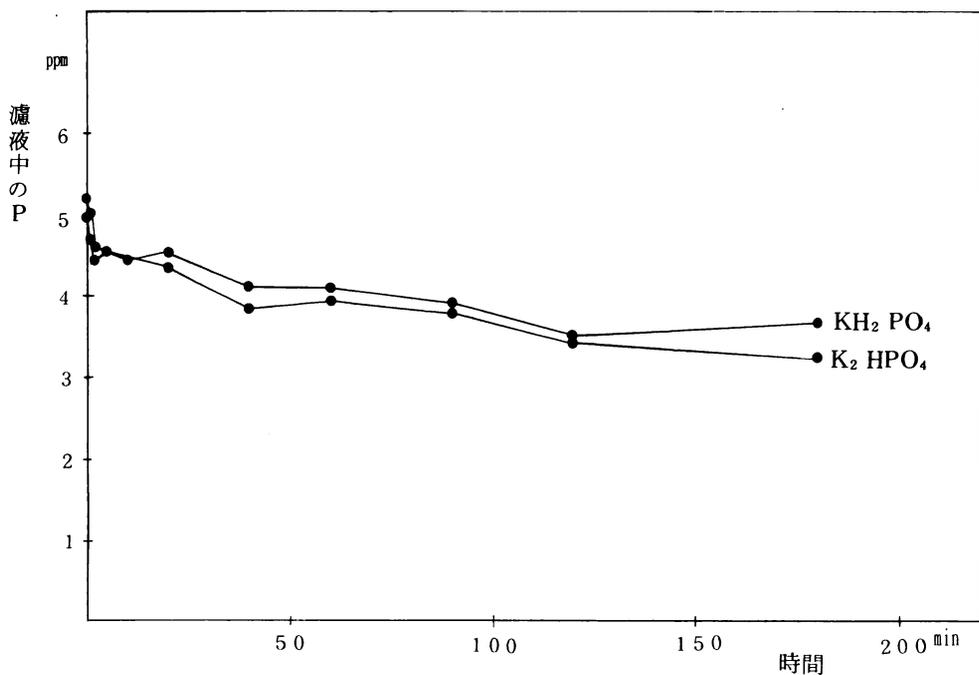


図 8 - 1 - 3 Scenedesmus quadricornis における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  ( P 5 mg / ℓ )  
 溶液中の P の吸収 ( 細胞中の P の増加 )

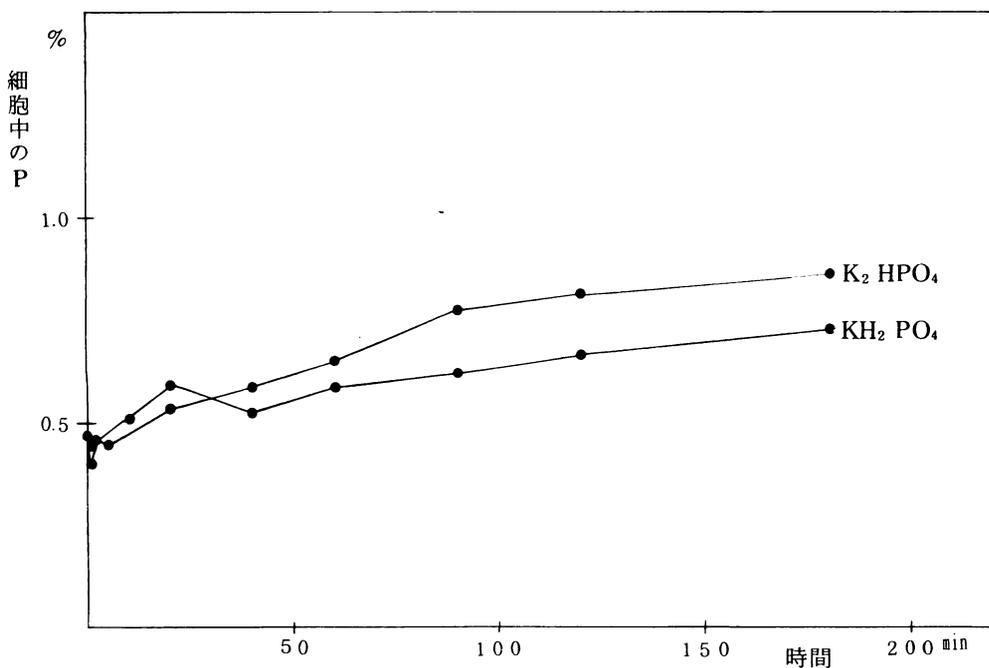


図 8 - 1 - 4 Scenedesmus quadrispina における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 溶液中の K の吸収 (細胞中の K の増加)

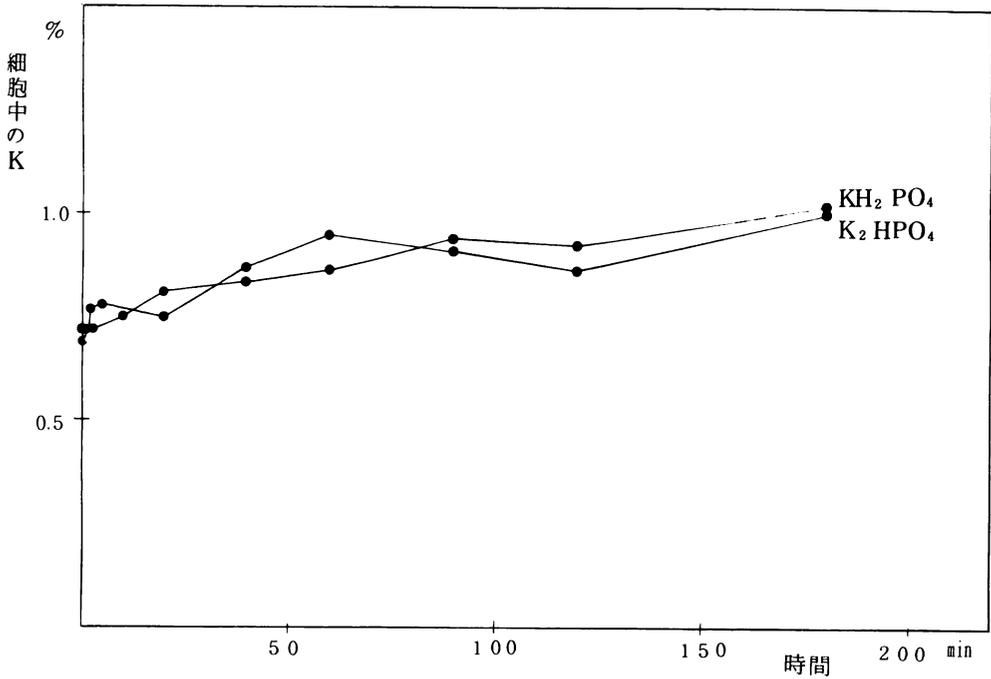


図 8 - 1 - 5 Scenedesmus quadrispina における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 中の Mg の吸収 (細胞中の濃度の変化)

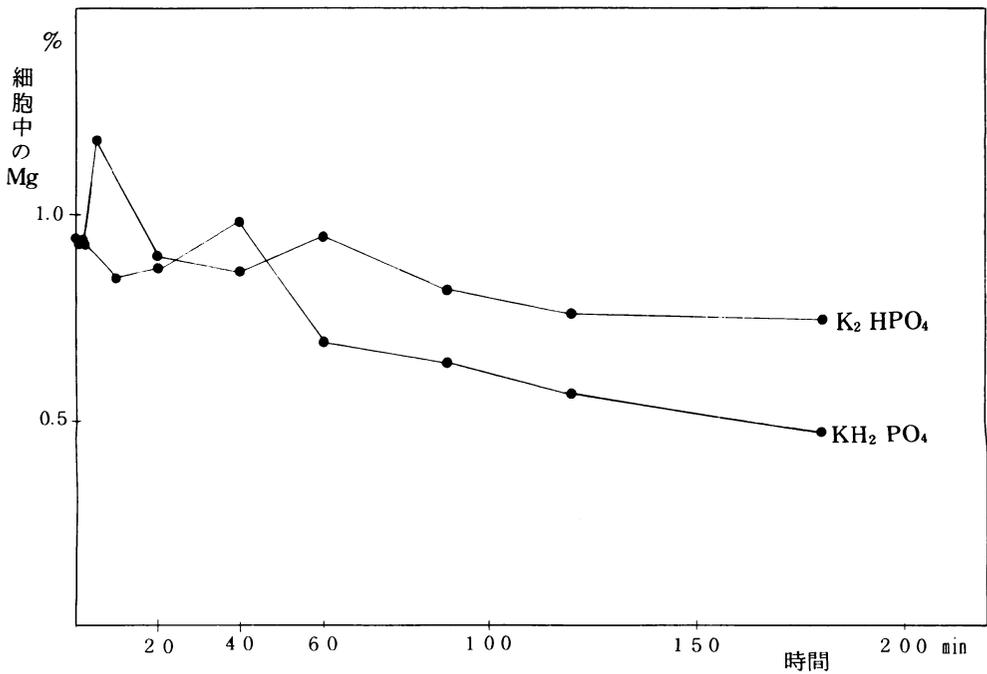
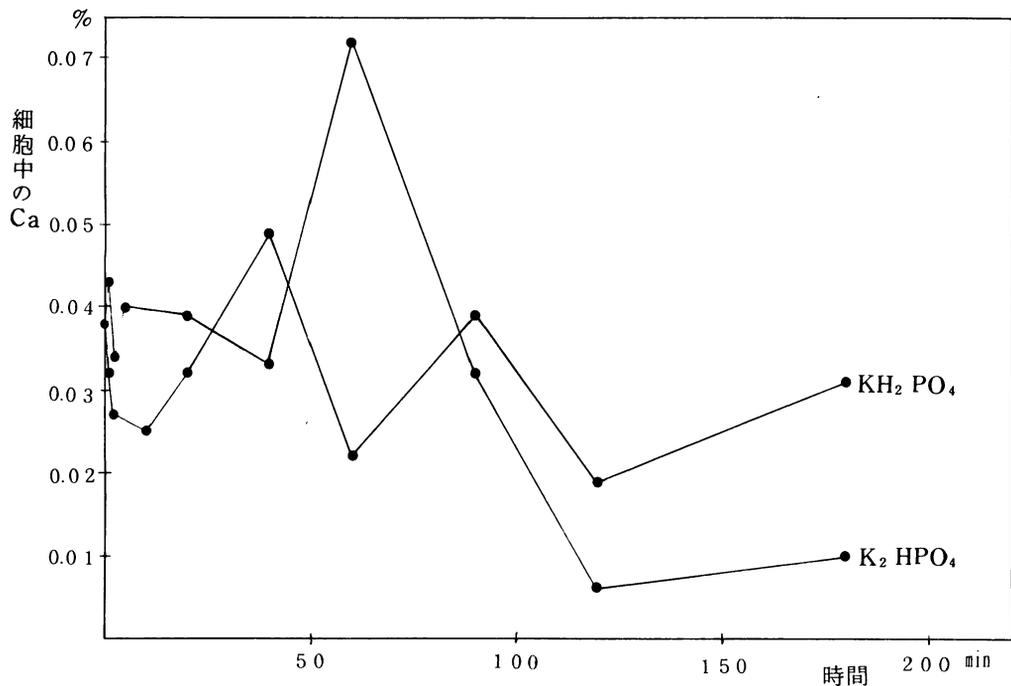


図 8-1-6 Scenedesmus quadrispina における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 中の Ca の吸収 (細胞中の濃度の変化)



### 8-1-3 考 察

Scenedesmus quadrispina の細胞内塩類相互の間の相関係数を表 8-1-1、表 8-1-2 から計算すると、表 8-1-3、表 8-1-4 のようになる。この表からわかることは、K、P が細胞内に吸収されると、Mg が細胞から排出されることである。

表 8-1-3 Scenedesmus quadrispina における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液 ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 中で平衡した各元素間の相関行列

	K	P	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe
K	1	0.935	-0.895	-0.093	0.420	-0.273	0.045	-0.199
P		1	-0.900	-0.229	0.521	-0.286	0.165	-0.127
Mg			1	0.430	-0.366	0.541	0.070	0.450
Ca				1	0.038	0.602	-0.014	0.443
Zn					1	0.147	0.055	0.190
Mn						1	-0.072	0.656
Cu							1	0.615
Fe								1

$$P = 0.855K - 0.150$$

$$Mg = -1.451K + 1.985$$

$$Mg = -1.595P + 1.673$$

$$r-P, K = 0.935$$

$$r-Mg, K = -0.895$$

$$r-Mg, P = -0.900$$

表 8-1-4 Scenedesmus quadricornis における  $K_2HPO_4$  (  $P 5 mg/l$  ) 中で平衡した各元素間の相関行列

	K	P	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe
K		0.841	-0.484	-0.169	0.056	-0.214	0.358	-0.066
P			-0.766	-0.536	-0.082	-0.386	0.377	-0.151
Mg				0.589	0.112	0.813	-0.147	0.187
Ca					0.306	0.152	-0.006	0.566
Zn						-0.026	-0.110	0.194
Mn							-0.179	-0.001
Cu								0.430
Fe								

$$\begin{aligned}
 P &= 1.290K - 0.461 & r-P, K &= 0.841 \\
 Mg &= -0.556K + 1.361 & r-Mg, K &= -0.484 \\
 Mg &= -0.573P + 1.249 & r-Mg, P &= -0.766 \\
 Mn &= 0.450Mg + 0.115 & r-Mn, Mg &= 0.813
 \end{aligned}$$

濾液中の塩濃度を C、時間を t とすれば、 $dC/dt$  は塩の増加 ( 減少 ) 速度であるが、表 8-1-5 には次式

$$\frac{dC}{dt} = \frac{C_i - C_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \dots\dots\dots ( 8.1 )$$

を用いて計算した値を示した。

表 8-1-5 濾液の K、P の減少速度

$KH_2PO_4$					$K_2HPO_4$				
min	K $mg/l \cdot hr$	$\mu g / \mu g \cdot hr$ ※	P $mg/l \cdot hr$	$\mu g / \mu g \cdot hr$ ※	min	K $mg/l \cdot hr$	$\mu g / \mu g \cdot hr$ ※	P $mg/l \cdot hr$	$\mu g / \mu g \cdot hr$ ※
0'	-1.20	-4.615	-1.14	-4.385	0'	-4.20	-1.615	-1.74	-6.692
1'	-1.80	-6.923	-2.46	-9.462	1'	-1.20	-4.615	-1.44	-5.538
2'	-0.75	-2.88	-1.20	-4.62	2'	0	0	2.20	8.46
10'	0	0	0.54	2.08	5'	-2.80	-1.077	-0.80	-3.08
20'	0	0	-1.26	-4.85	20'	0	0	-1.56	-6.00
40'	0.30	1.15	-0.06	-0.23	40'	0	0	0.30	1.15
60'	-0.20	-0.77	-0.36	-1.38	60'	-0.40	-1.54	-0.30	-1.15
90'	-1.00	-3.85	-0.78	-3.00	90'	0	0	-0.72	-2.77
120'	0.10	0.38	0.15	0.58	120'	0	0	-0.19	-0.73

※ 全部細胞に吸収されたとして、乾燥藻体  $1 mg$  当りに 1 時間で吸収される量を計算した。

図 8-1-7、図 8-1-8 で、K、P の初期に濾液から急激に減少し、その後次第に減少率の低下する様子を見ることが出来る。

一方細胞内の K、P の増加率も同様に計算することが出来、その結果を表 8-1-6、図 8-1-9、図 8-1-10 にまとめた。

表 8 - 1 - 6 細胞内K、Pの増加速度

KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> μg / mg · hr					K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>				
min	K	前表から 計 算	P	前表の 値	min	K	前表から 計 算	P	前表の 値
0'	2.4.0	4.6.2	-4.2.0	4.3.9	0'	1.8.0	1.6.2	-1.2.0	6.6.9
1'	0	6.9.2	3.6.0	9.4.6	1'	3.6.0	4.6.2	1.2.0	5.5.4
2'	2.2.5	2.9	3.7.5	4.6	2'	2.0.0	0	-4.0.0	-8.5
10'	3.6.0	0	4.8.0	-2.1	5'	-1.2.0	1.0.8	3.2.0	3.1
20'	0.6.0	0	-2.1.0	4.9	20'	3.6.0	0	1.8.0	6.0
40'	0.9.0	-1.2	2.1.0	0.2	40'	2.4.0	0	1.8.0	-1.2
60'	1.6.0	0.8	0.6.0	1.4	60'	-0.8.0	1.5	2.6.0	1.2
90'	-0.2.0	-3.9	1.0.0	3.0	90'	-1.0.0	0	0.8.0	2.8
120'	0.9.0	-0.4	0.6.0	-0.6	120'	1.4.0	0	0.5.0	0.7

図 8 - 1 - 7 Scenedesmus quadricornis におけるKH<sub>2</sub> PO<sub>4</sub> 及びK<sub>2</sub> HPO<sub>4</sub> 溶液 (P 5mg/l) 中のPの吸収——浴液中のPの減少速度

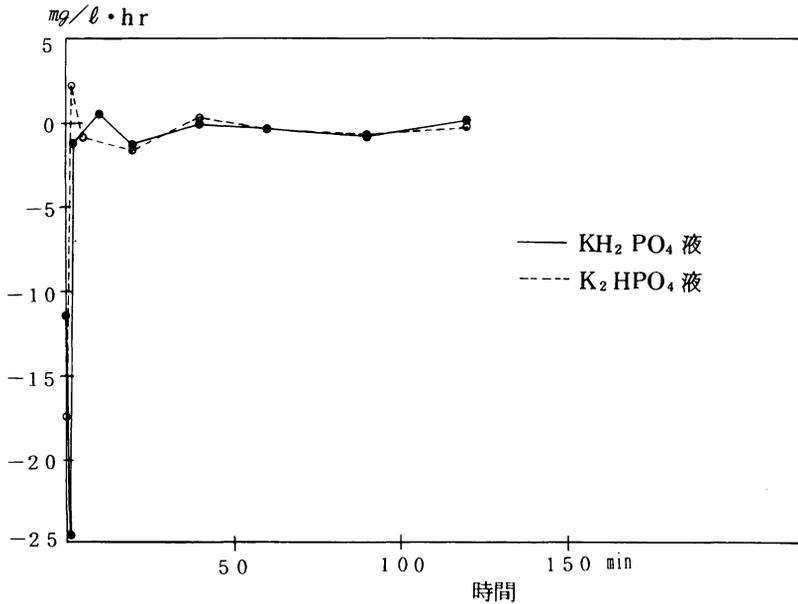


図 8-1-8 Scenedesmus quadricornis における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 中の K の吸収—— 溶液中の K の減少速度

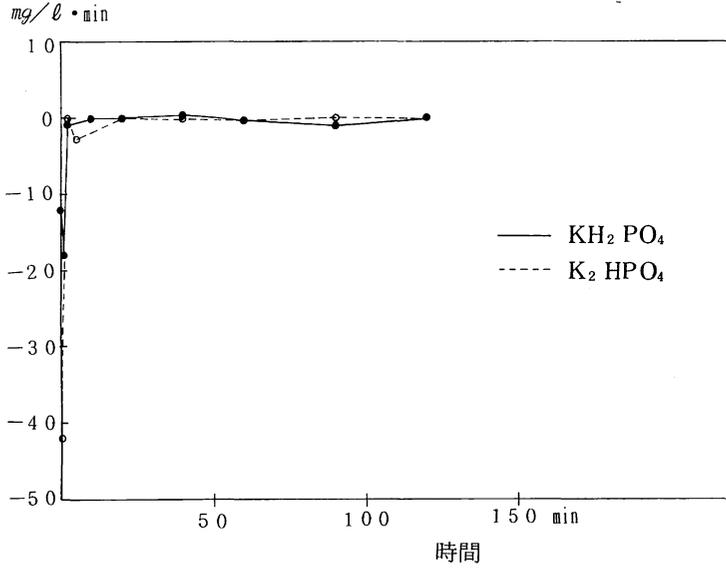


図 8-1-9 Scenedesmus quadricornis における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 中の P の吸収—— 細胞中の P の吸収速度

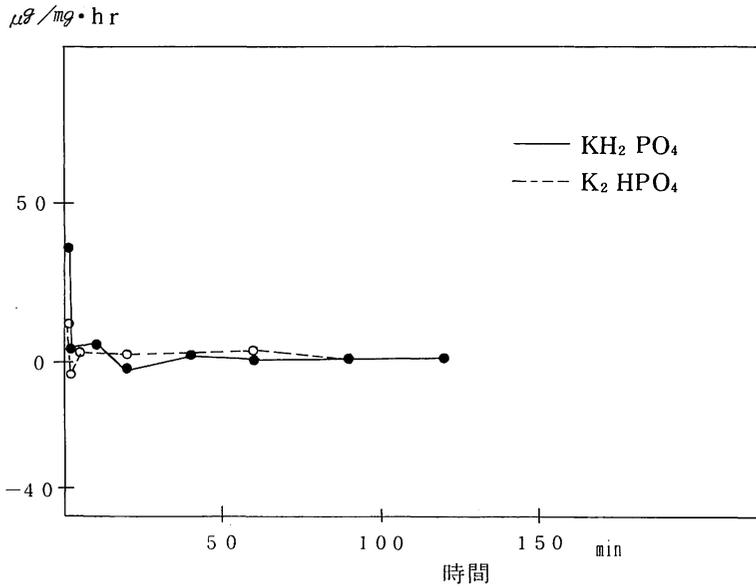
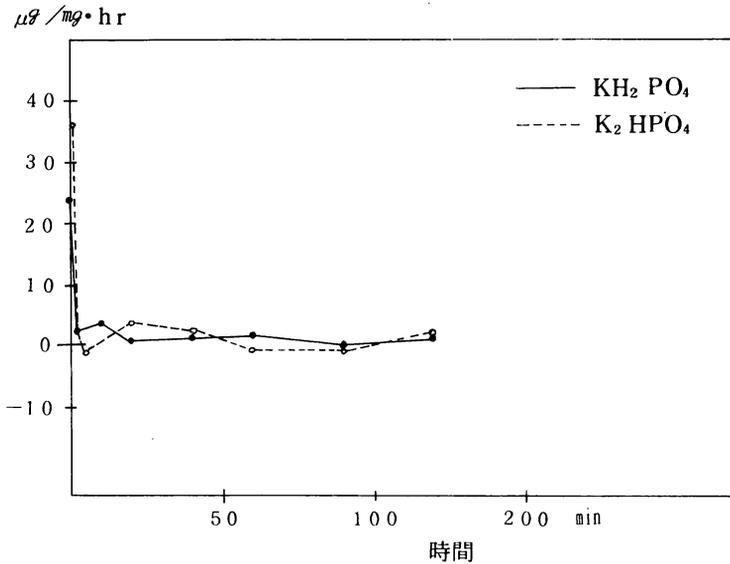


図 8 - 1 - 10 Scenedesmus quadricornis における  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液 ( $\text{P } 5\text{mg}/\ell$ ) 中の K の吸収——細胞中の K の増加速度



これらによると、細胞内の K、P の増加率も上と同様に初期に大きく、時間の経過するに従って、その減少する模様がみられる。藻細胞を塩類を含む溶液内に投入すると、浴液内の P の減少は直ちにおこるようであるが、細胞内のリンの増加は 1 分くらい遅れて起こるようになる。これは P が一旦細胞膜の表面に吸着され、ついでこの膜を透過して細胞中に取り込まれることによるものと考えられる。

細胞中に摂取されるリンの量は、当然限界があり、この値が一定量 A を示すと仮定し、P の摂取速度が、この上限値 A と現在の細胞内濃度 P の差に比例するとすれば、

$$\frac{dP}{dt} = k(A - P) \dots\dots\dots (8.2)$$

が成立する。k は定数であるが、栄養塩濃度が変わればこの値も変わるので、細胞外の P 濃度を  $C_p$  とすれば、(8.2) 式は、

$$\frac{dP}{dt} = kf(C_p)(A - P) \dots\dots\dots (8.3)$$

となる。f( $C_p$ ) の関数型モデルによって異なるが Monod 型がよく用いられる。この (8.3) 式に関する動力学的な考察は、最後の節(補記)で述べたい。

以上のようなP吸収の機構は、Pの除去を目的とする排水処理の実施に当たって、原排水の水質でPの濃度の激変に対抗することが可能で好都合であると思われる。

## 8-2 水中のリン濃度による藻のリン吸収

8-1では濃度を一定にした場合のPの摂取の時間的変化を追跡したが、この節では適当な一定時間に濃度の異なる液中でのPの摂取量を調べてみた。

### 8-2-1 実験

方法の概略は8-1-1と同じであるが、作用時間を3時間とし、添加する $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 又は $\text{K}_2\text{HPO}_4$ の濃度を数段階に変えて実験を反復した。

### 8-2-2

分析結果はすべて表8-2-1から8-2-4にまとめた。表8-2-1、8-2-2で右端の列はそれぞれのリン酸塩の濃度を $\text{mmol}/\ell$ で示し、左端の第1、第2列は、使用したScenedesmusの母液に含まれていたリン酸塩を含めて、リン酸塩を加えた後のK、Pの計算上の濃度である。また最下段の行には、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ のリン酸塩を加えない母液(培養液の滷液)のK、Pその他の濃度を示した。

表8-2-1 Scenedesmus quadricornisにおける $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 溶液の種々の濃度に対する吸収各元素の滷液中に残存する濃度

最 初 $\text{mg}/\ell$		滷 液 ( 3 hr 振盪後 ) $\text{mg}/\ell$							最 初
K	P	K	P	Mn	Mg	Ca	Na	pH	$\text{KH}_2\text{PO}_4$ $\text{mmol}/\ell$
0.681	0.107	0.747	0.006	0.005	6.12	3.72	14.6		0.00329
0.810	0.209	0.736	0.004	0.010	5.76	3.35	12.6		0.00659
1.20	0.515	0.918	0.004	0.006	5.41	3.28	12.3		0.0165
1.84	1.03	1.36	0.019	0.006	5.73	3.36	14.1		0.0329
3.13	2.05	2.55	0.835	0.008	5.58	2.49	14.2	7.1	0.0659
5.70	4.09	4.76	2.60	0.010	5.11	1.49	14.0	7.0	0.1317
13.4	10.21	13.4	8.50	0.016	4.94	1.03	14.1	7.1	0.329
26.3	20.4	25.1	17.5	0.022	5.14	0.947	14.1	7.0	0.659
64.9	51.0	62.7	46.4	0.036	5.73	0.949	14.9	6.4	1.647
129.3	102.0	118.5	88.3	0.043	5.87	0.976	14.2	6.1	3.293
$\text{KH}_2\text{PO}_4$ 液 を加えず		0.552	0.005	0.002	5.96	3.80	13.3		

SS 260  $\text{mg}/\ell$

表 8-2-2 Scenedesmus quadrispina における  $K_2HPO_4$  溶液の種々の濃度に対する吸収—各元素の濾液中に残存する濃度

最初濾液		(濾液) 3 hr 振盪後 $mg/\ell$							最初
K	P	K	P	Mn	Mg	Ca	Na	pH	$K_2HPO_4$ $mmol/\ell$
0.809	0.107	0.756	0.004	0.006	5.79	3.60	13.3		0.00328
1.066	0.209	1.02	0.003	0.006	5.52	3.34	12.5		0.00657
1.84	0.514	1.46	0.005	0.003	5.46	3.32	12.8		0.0164
3.12	1.022	2.54	0.018	0.002	5.57	3.39	14.5		0.0328
5.69	2.04	4.88	0.793	0.003	5.39	2.63	14.2	7.5	0.0657
10.65	4.07	9.88	2.55	0.004	4.65	1.54	13.9	7.4	0.1313
25.8	10.18	24.8	7.96	0.002	4.25	1.10	14.5	7.5	0.3283
51.9	20.3	47.2	16.8	0.001	4.14	1.04	14.2	7.7	0.6567
128.9	50.9	116.7	43.8	0.003	4.48	1.09	14.7	7.9	1.642
257.3	101.7	249.0	87.3	0.003	4.56	1.12	15.5	8.0	3.283
$K_2HPO_4$ 液を加えず		0.552	0.005	0.002	5.96	3.80	13.3		

SS 260  $mg/\ell$

図 8-2-1 Scenedesmus quadrispina の浸漬による  $KH_2PO_4$  及び  $K_2HPO_4$  の濃度に対する濾液中の P の濃度推移

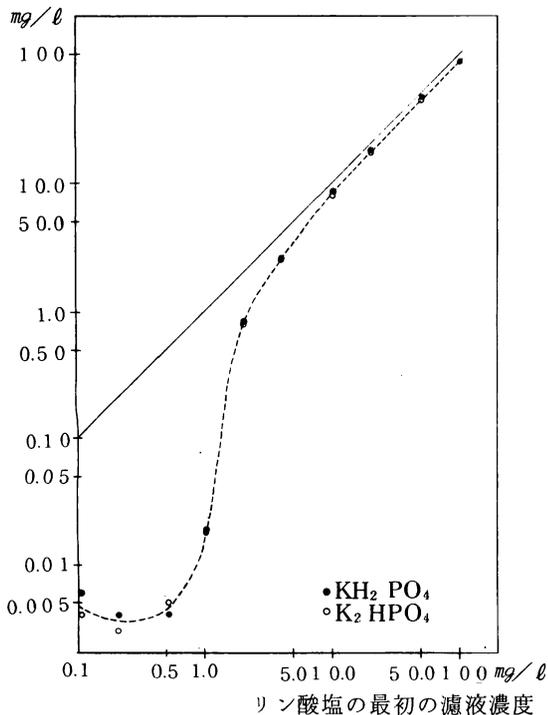


図 8-2-2 Scenedesmus quadrispina の浸漬による  $KH_2PO_4$  及び  $K_2HPO_4$  の濃度に対する濾液中の K の濃度推移

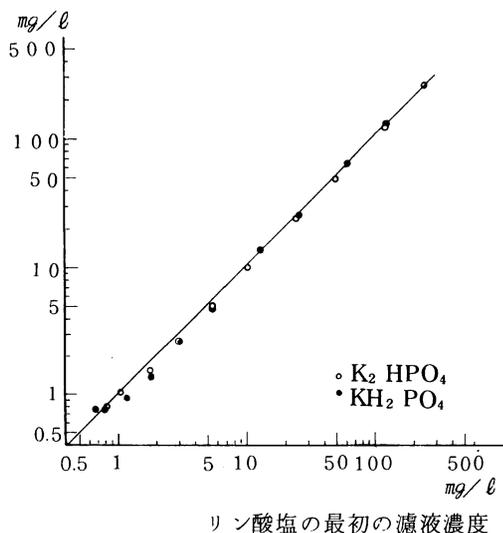


表8-2-3、8-2-4は残渣のK、P及び他の元素の分析値を掲げた。各欄は上下2段に数値を掲載してあるが、上段は濾過残渣の乾物に対するその成分の百分率、下段は濾過残渣を蒸留水で充分洗浄したもの、即ち前出の洗浄残渣の乾物百分比である。この残渣は鏡によれば、實際上全部Scenedesmus quadrispinaの藻体であると考えてよい。

表8-2-3 Scenedesmus quadrispinaにおけるKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>溶液の種々の濃度に対する吸収—各元素の細胞中の濃度

溶液濃度	振盪後(25℃、3hr)の乾燥百分率(%)								
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> mol/l	P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Na	Cu
3.29 × 10 <sup>-6</sup>	0.517 0.495	0.697 0.714	0.806 0.749	0.047 0.021	0.0392 0.0415	0.013 0.007	0.010 0.009	0.04 0.03	0.0011 0.0007
6.59 × 10 <sup>-6</sup>	0.546 0.583	0.762 0.896	0.835 0.593	0.075 0.036	0.0471 0.0435	0.023 0.011	0.011 0.012	0.11 0.15	0.0023 0.0023
1.65 × 10 <sup>-5</sup>	0.624 0.602	0.800 0.783	0.798 0.712	0.044 0.024	0.0387 0.0377	0.007 0.006	0.008 0.009	0.14 0.03	0.0007 0.0007
3.29 × 10 <sup>-5</sup>	0.800 0.728	0.869 0.836	0.702 0.614	0.041 0.020	0.0383 0.0410	0.027 0.009	0.011 0.015	0.24 0.14	0.0011 0.0011
6.59 × 10 <sup>-5</sup>	0.818 0.765	0.971 0.922	0.600 0.625	0.026 0.035	0.0402 0.0444	0.023 0.013	0.009 0.009	0.12 0.11	0.0011 0.0016
1.32 × 10 <sup>-4</sup>	0.803 0.784	0.925 0.889	0.418 0.391	0.026 0.014	0.0283 0.0333	0.003 0.010	0.007 0.008	0.06 0.04	0.0013 0.0008
3.29 × 10 <sup>-4</sup>	0.754 0.784	0.876 0.827	0.315 0.296	0.016 0.005	0.0343 0.0290	0.011 0.001	0.013 0.007	0.04 0.03	0.0011 0.0005
6.59 × 10 <sup>-4</sup>	0.778 0.865	0.969 0.909	0.229 0.283	0.012 0.008	0.0296 0.0400	0.023 0.040	0.010 0.009	0.10 0.03	0.0010 0.0036
1.65 × 10 <sup>-3</sup>	0.803 0.747	0.990 0.900	0.172 0.160	0.007 0.004	0.0277 0.0310	0.018 0.019	0.007 0.009	0.04 0.08	0.0011 0.0021
3.29 × 10 <sup>-3</sup>	0.797 0.834	1.028 1.024	0.146 0.149	0.005 0.011	0.0269 0.0319	0.015 0.036	0.006 0.018	0.10 0.10	0.0011 0.0011

SS 260mg/l 上段 洗浄せず 下段 洗浄後

表8-2-4 Scenedesmus quadrispinaにおけるK<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>溶液の種々の濃度に対する吸収—細胞中の各元素の濃度

溶液濃度	振盪後(25℃、3hr)の乾燥百分率(%)								
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> mol/l	P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Na	Cu
3.28 × 10 <sup>-6</sup>	0.555 0.514	0.729 0.765	0.885 0.762	0.047 0.030	0.0383 0.0429	0.024 0.011	0.011 0.010	0.02 0.06	0.0007 0.0027
6.57 × 10 <sup>-6</sup>	0.527 0.524	0.741 0.781	0.749 0.818	0.044 0.028	0.0429 0.0462	0.015 0.016	0.016 0.007	0.02 0.00	0.0015 0.0013
1.64 × 10 <sup>-5</sup>	0.646 0.643	0.818 0.838	0.666 0.744	0.014 0.022	0.0437 0.0425	0.013 0.013	0.006 0.018	0.01 0.02	0.0004 0.0027
3.28 × 10 <sup>-5</sup>	0.718 0.750	0.925 0.841	0.827 0.552	0.056 0.016	0.0440 0.0385	0.017 0.015	0.015 0.010	0.15 0.09	0.0020 0.0016
6.57 × 10 <sup>-5</sup>	0.822 0.818	0.877 1.247	0.656 0.873	0.037 0.058	0.0425 0.0469	0.014 0.023	0.009 0.011	0.12 0.10	0.0011 0.0016
1.31 × 10 <sup>-4</sup>	0.803 0.847	0.964 0.871	0.589 0.589	0.045 0.031	0.0417 0.0367	0.012 0.006	0.009 0.010	0.11 0.08	0.0010 0.0004
3.28 × 10 <sup>-4</sup>	0.953 0.953	0.995 0.997	0.564 0.598	0	0.0425 0.0415	0.003 0.024	0.009 0.011	0.04 0.04	0.0018 0.0017
6.57 × 10 <sup>-4</sup>	0.960 0.935	1.024 0.953	0.631 0.562	0.051 0.018	0.0396 0.0333	0.040 0.019	0.009 0.007	0.15 0.08	0.0043 0.0013
1.64 × 10 <sup>-3</sup>	1.060 1.028	1.217 1.090	0.723 0.704	0.046 0.038	0.0462 0.0427	0.022 0.028	0.010 0.010	0.10 0.08	0.0014 0.0016
3.28 × 10 <sup>-3</sup>	1.148 1.047	1.493 1.143	0.637 0.666	0.027 0.028	0.0483 0.0423	0.022 0.027	0.008 0.009	0.13 0.04	0.0007 0.0013

SS 260mg/l 上段 洗浄せず 下段 洗浄後

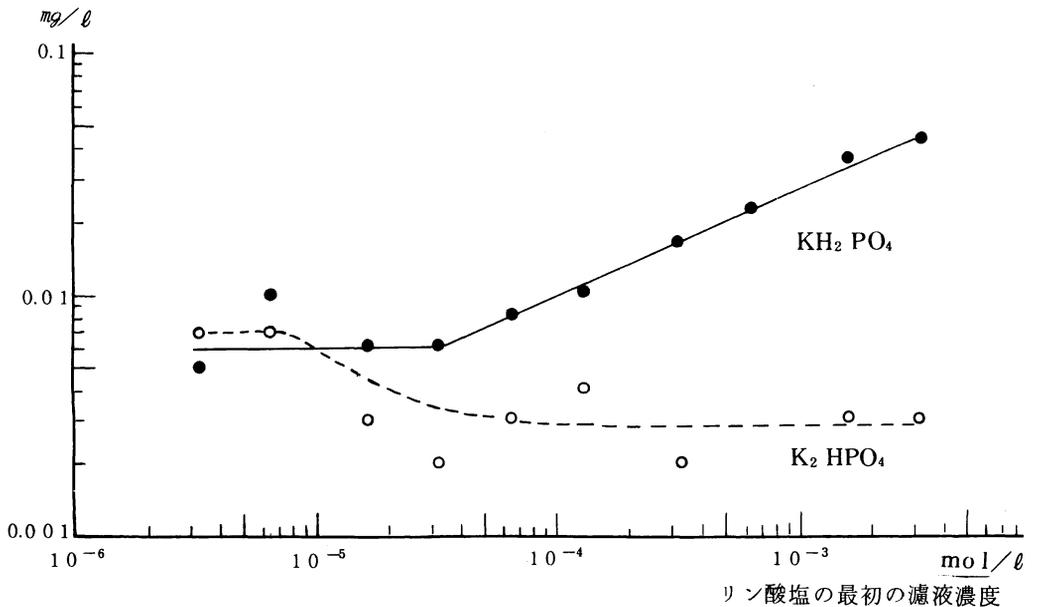
### 濾液のK、Pの減少

図8-2-1、8-2-2は表8-2-1、8-2-2のそれぞれのK、Pの濃度推移をグラフ化したものである。横軸は緑藻に接触する前の液のK、Pの濃度で、縦軸は25℃、3hrの振とうによって、液と緑藻とが接触した後の濾液の濃度を示している。これによると、濾液のK、Pの減少量は最初のK、Pの濃度に強く依存している。濾液中のこのK、Pの濃度減少が全てScenedesmusの摂取によるものとするれば、Scenedesmusの細胞中のPの増加量は濾液中のPの濃度だけによって決定されることになる。しかし実際に細胞内のPを定量した結果の表8-2-3、8-2-4を比較検討してみると、細胞内のPの増加の量は液中のPの濃度のみで決定せず、そのKの濃度もこれにあずかることが見出される。この矛盾については考察のところで詳しく述べることにしたい。

### 液中のMn、Mg、Ca、Na

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  の両溶液を用いた摂取実験の濾液の組成中では、Mnの行動が最も特徴的である。図8-2-3では横軸に、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ の濃度を  $\text{mmol}/\ell$  にとり、縦軸に濾液中のMnの濃度 ( $\text{mg}/\ell$ ) を取った。

図8-2-3 Scenedesmus quadrispinaの浸漬による $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 及び $\text{K}_2\text{HPO}_4$ の濃度に対する濾液中のMnの濃度推移



この図でわかることは、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液を用いた場合、この濃度が約  $4 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$  を超えるとその濃度の上昇にともなって濾液中のMnの濃度が次第に増加し、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  を用いたときにはその濃度による濾液のMnの変化ははっきりしないことである。

MgとCaは互いに似たような変化を示す。即ち両者は $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$ の両リン酸塩の溶液の別に関係なく、これらの濃度が約  $4 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$  を超えると急激に減少を始め、リン酸塩の濃度  $5 \times 10^{-4}$  付近までその濃度上昇にともなって減少し続ける。その後はMgでは再び増加の傾向をたどるが、Caはここで変化が止まり、リン酸塩の濃度増加に無関係にほぼ一定値を保つようになる。(図8-2-4、8-2-5)

図8-2-4 *Scenedesms quadrispina*の浸漬による $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 及び $\text{K}_2\text{HPO}_4$ の濃度に対する濾液中のMgの濃度推移

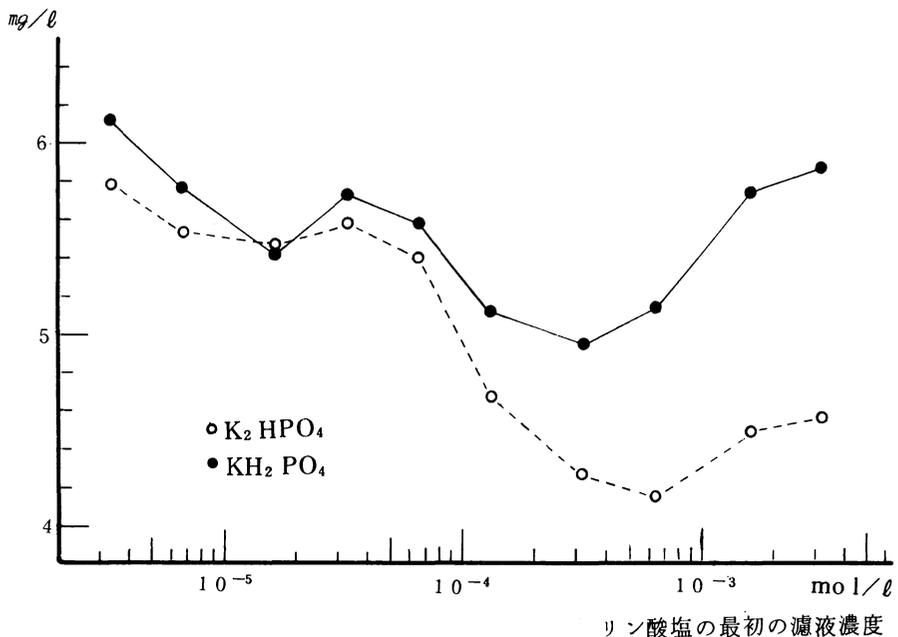


図 8-2-5 Scenedesmus quadricornis の浸漬による  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  の濃度に対する 滲液中の Ca の濃度推移

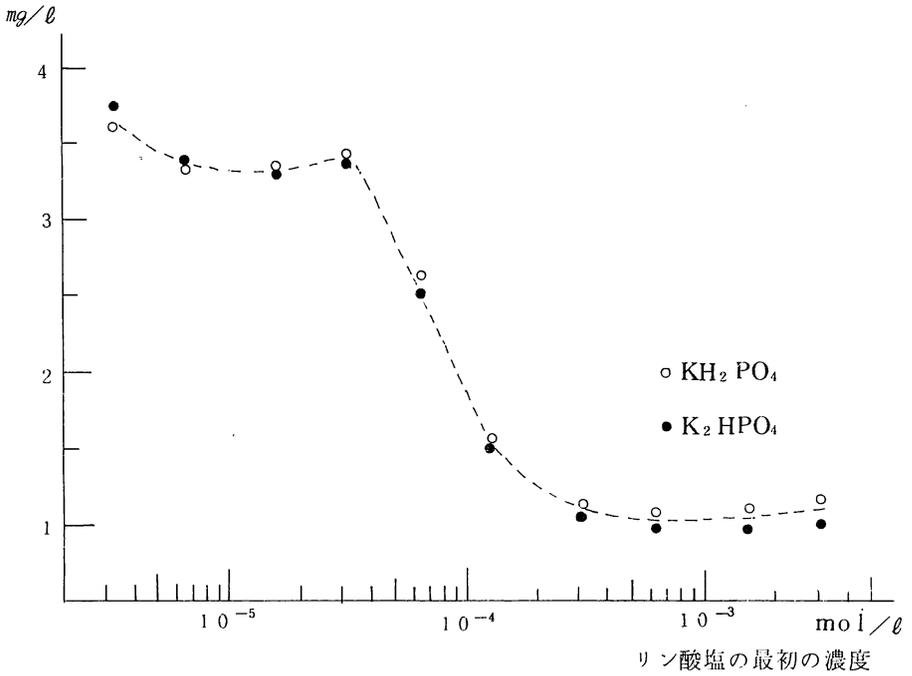


図 8-2-6 Scenedesmus quadricornis の浸漬による  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  の濃度に対する 滲液中の Na の濃度推移

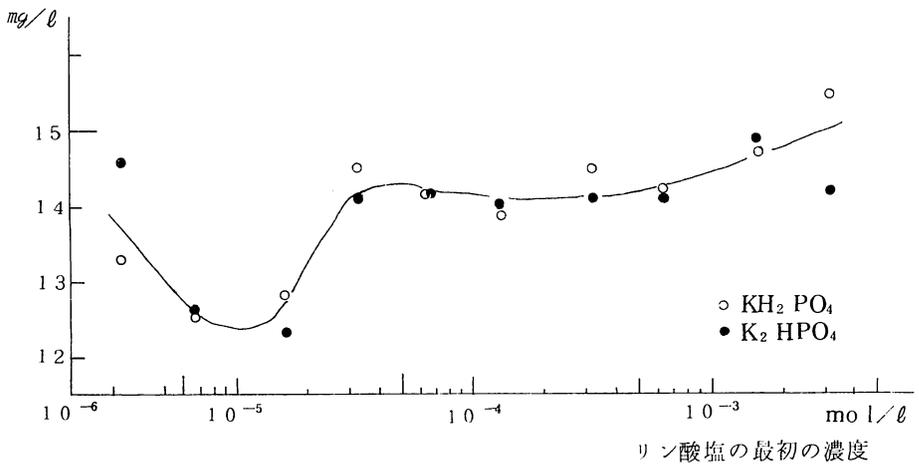


図 8-2-6 は同様に Na の行動を示したものである。リン酸塩濃度  $4 \times 10^{-5}$  付近に最低値が見られるようであるが、その他ではほぼ濃度に関係なく一定値を示す。

#### 細胞中の K、P

細胞中の元素組成は前出の表 8-2-3、8-2-4 に示されたとおりである。

図 8-2-7 では横軸が、最初に添加した  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液の濃度で、縦軸には 25℃、3 hr 振とう後の細胞中の P の含有量（乾燥百分率）をとった。

このグラフから知られるように、P を  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  で与えた場合  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  の場合とでは、それらの濃度が低い間は両者に対応する細胞中のリン含量の間には差異がなく、液中の濃度が  $4 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$  を超えると P の摂取の状態に明瞭な差異が見られて来る。即ちこの濃度以上になったとき、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液では P の摂取量は、その濃度の増加に関係なくほぼ一定であることに反して、 $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液の場合にはその  $4 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$  以上の濃度で濃度が増加するに従って摂取量も増大する。細胞を蒸留水で洗浄したものを、しないものと対比してみると、両者の間にほとんど差が認められないが、洗浄した方がわずかに低い値を示すかと感じられる程度である。

図 8-2-7 Scenedesmus quadricornis の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による P の摂取——細胞中 P 濃度の推移

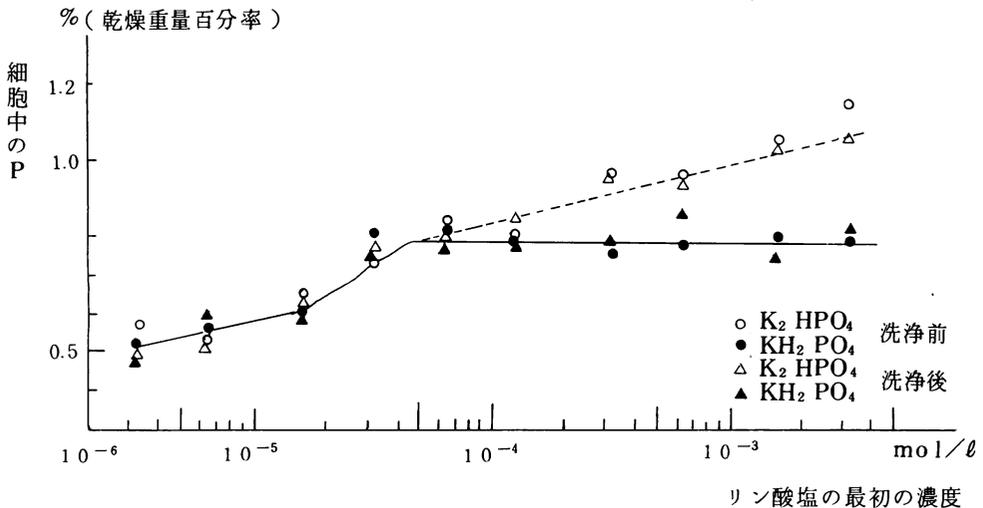
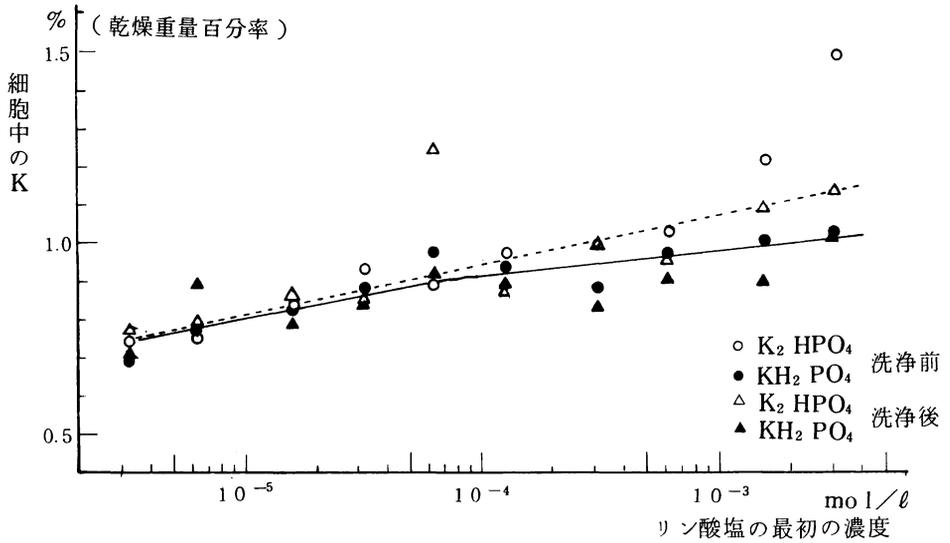


図 8-2-8 Scenedesmus quadricornis の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による K の摂取——細胞中の K 濃度の推移



K の摂取量については、その K の濃度が高い程多いことが、図 8-2-8 で認められる。又、同図から見て、等しい K 濃度では  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  の方が  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液に比べてやや摂取量が多い。蒸留水洗浄の影響については、K 濃度が  $10^{-5} \text{ mol/l}$  をこえる辺から K の濃度の増大にともなって洗浄によって細胞中の K が低くなる様子がわかる。

細胞中の Mg、Ca、Mn

細胞中の Mg、Ca、Mn はいずれもよく似た傾向をもっている。

図 8-2-9 Scenedesmus quadricornis の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  浸漬による Mg の摂取細胞中 Mg 濃度の推移

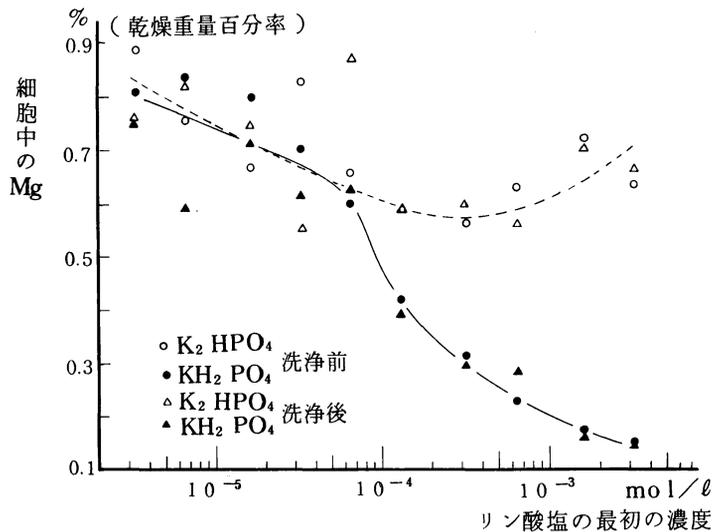


図 8-2-10 *Scenedesmus quadricornis* の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による Ca の摂取——細胞中 Ca 濃度の推移

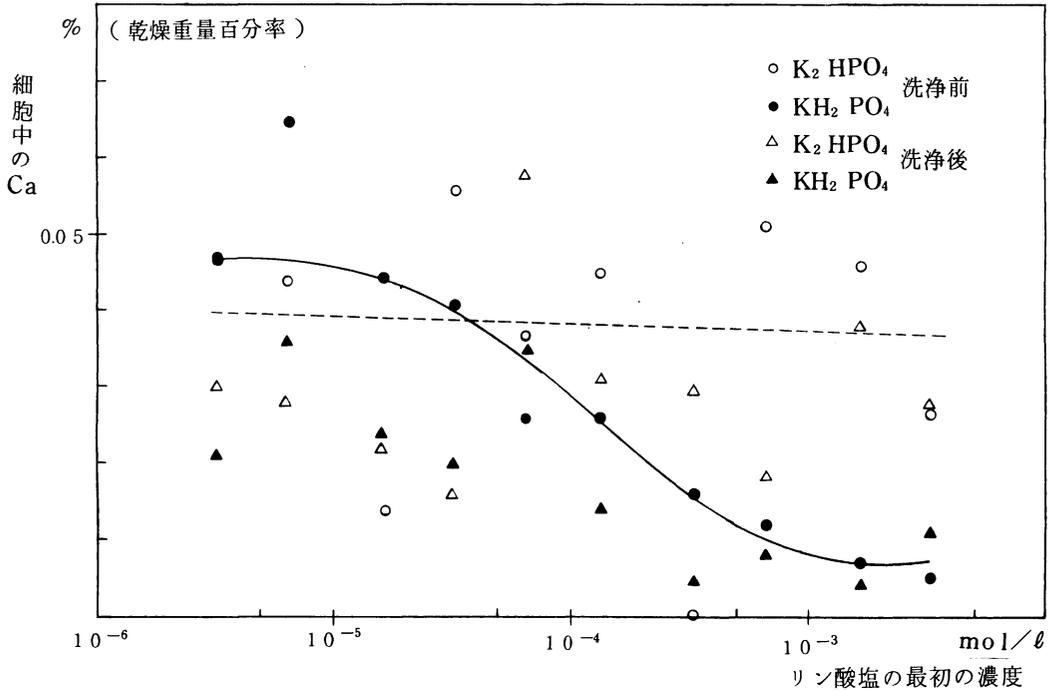
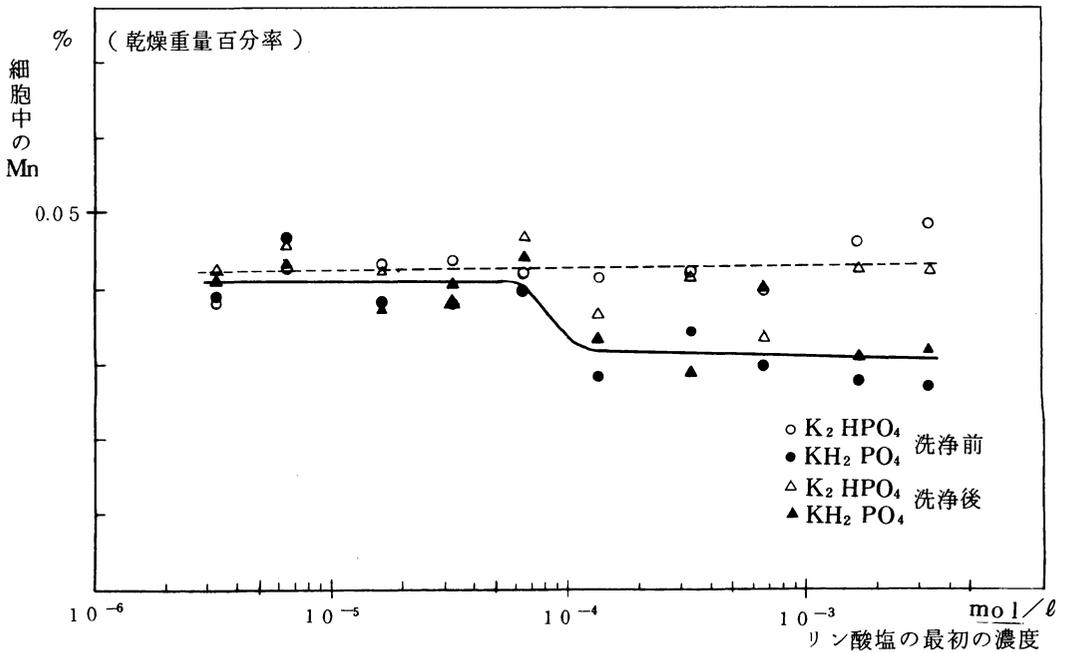


図 8-2-11 *Scenedesmus quadricornis* の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による Mn の摂取——細胞内 Mn 濃度の推移



即ち、図 8-2-9 から 8-2-11 にみられるように、 $K_2HPO_4$  溶液を用いるときはいずれもその濃度を変えても、細胞内の量には変動がありみられないが、一方  $KH_2PO_4$  溶液ではその濃度を増すと逆に細胞内のこれら金属濃度は減少する。

これら元素については細胞の洗浄の効果はいずれもはっきりしない。

#### 細胞中の Fe、Zn、Na、Cu

Fe、Na はもとと細胞中のブランク値が高く、Zn、Cu は細胞内の含量が微量であるため、分析誤差が大きく、測定値の変動が大きい、両リン酸塩のいずれでも、変動なく一定値であるとみてよさそうである。(図 8-2-12 から 8-2-15) いずれもリン酸塩濃度が  $10^{-4} \text{ mol/l}$  程度から上では、細胞中のこれら元素は蒸留水洗浄によって含量の低下がおこるようである。

図 8-2-12 *Scenedesmus quadricornis* の  $KH_2PO_4$  及び  $K_2HPO_4$  溶液浸漬による Fe の摂取——細胞中 Fe 濃度の推移

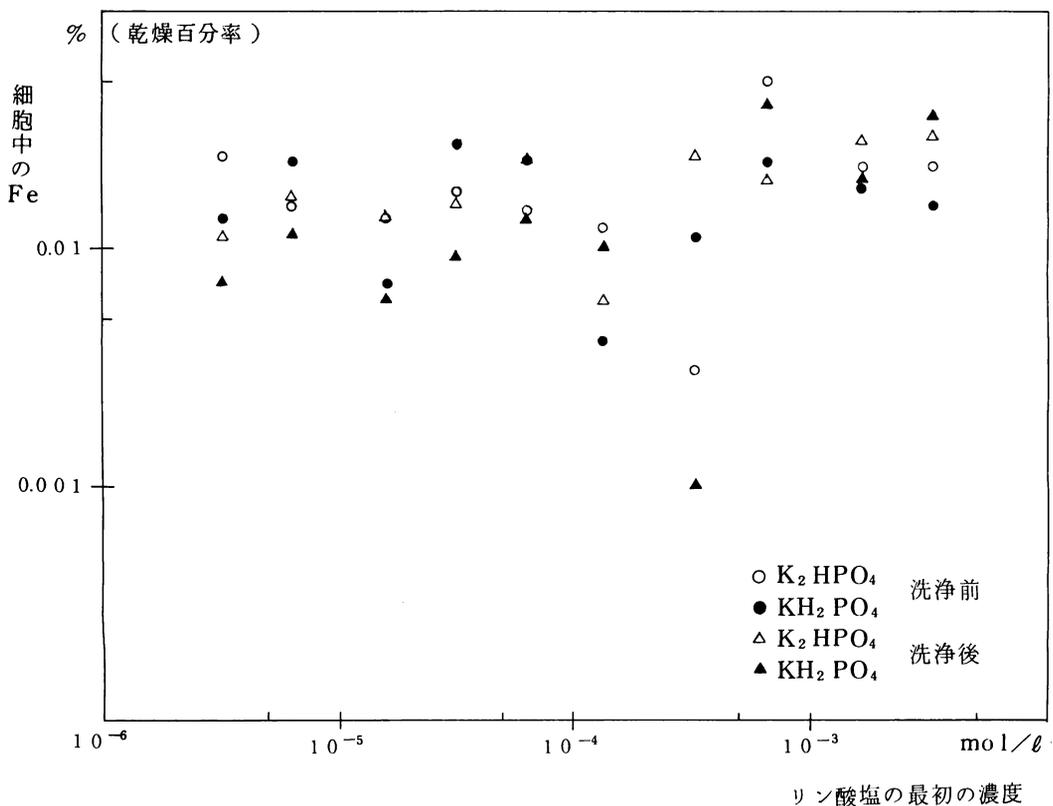


図 8-2-13 Scenedesmus quadricornis の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による Zn の摂取——細胞中 Zn 濃度の推移

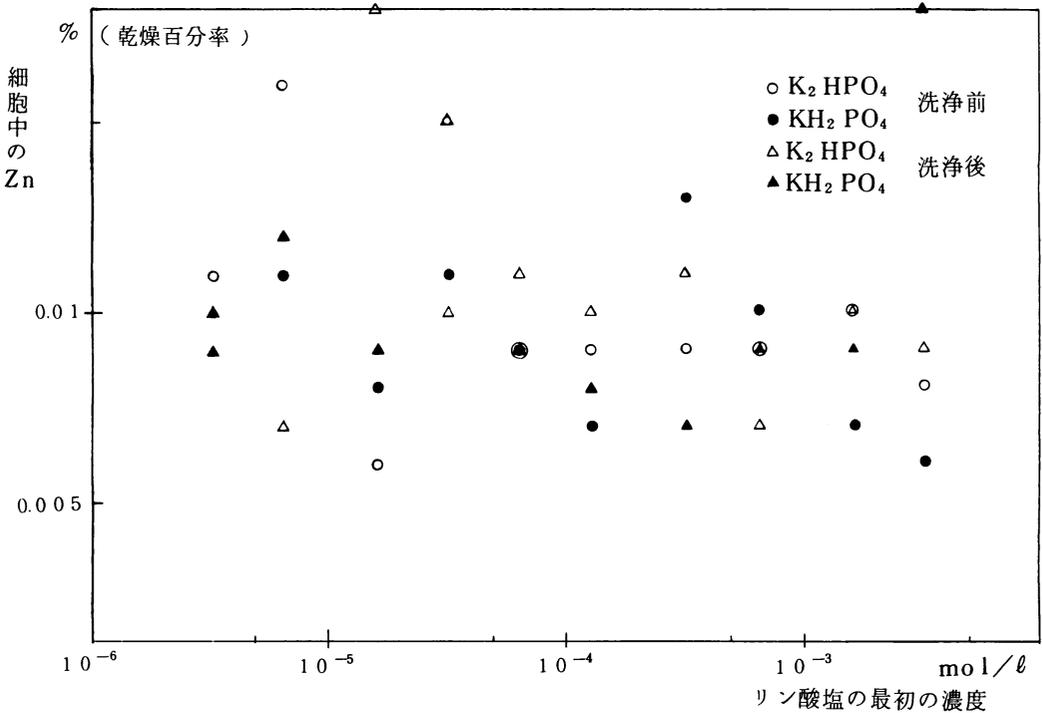


図 8-2-14 Scenedesmus quadricornis の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による Na の摂取——細胞中 Na 濃度の推移

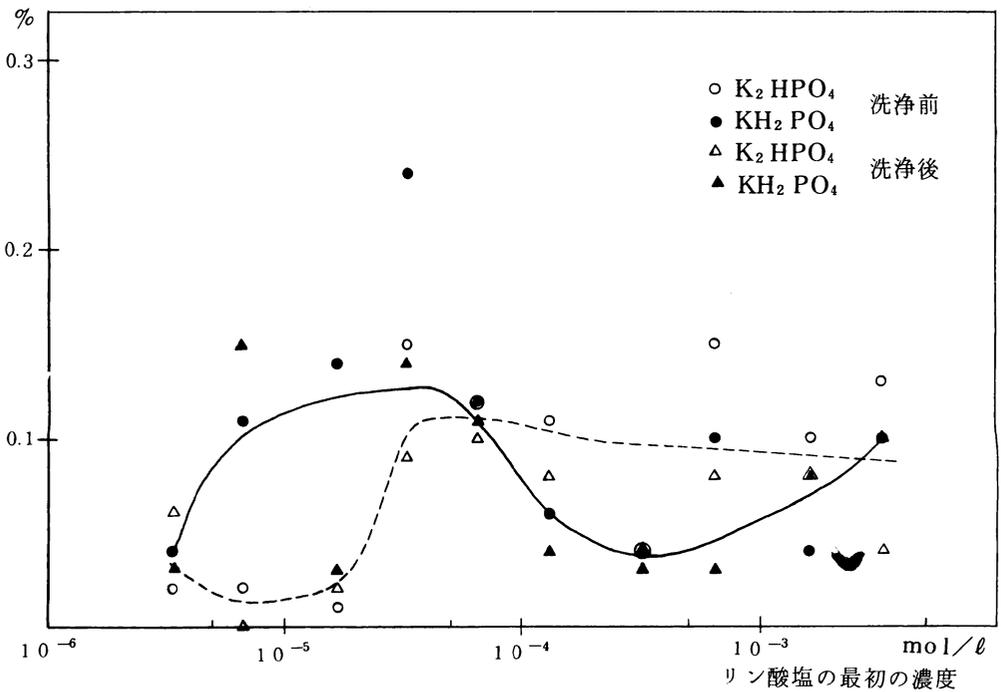
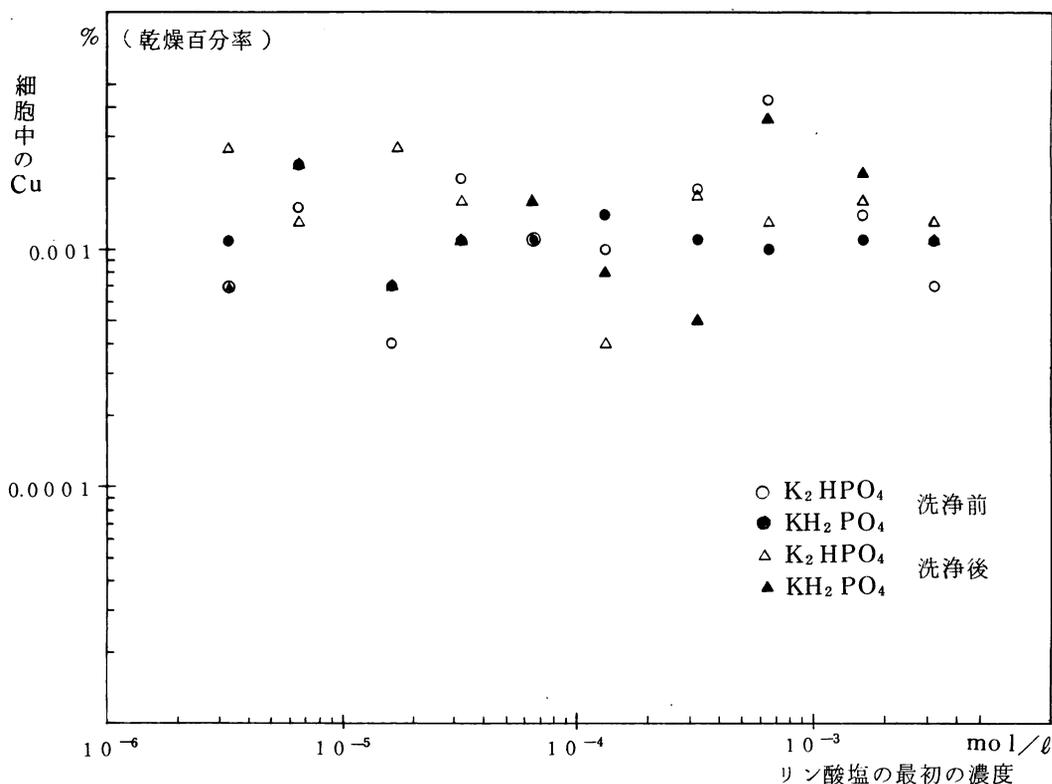


図 8-2-15 Scenedesmus quadricornis の  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液浸漬による Cu の摂取——細胞中の Cu 濃度の推移



8-2-3 考 察

(1) 細胞内リンの増加量と溶液中リンの減少量

細胞内リンの量を  $a$ 、溶液中のリンの量を  $f$  とすれば

$$a + f = S \dots\dots\dots (8.4)$$

$S$  : 全体のリンの量

が成立すると考えられる。ここで今、行った実験で全体の  $P$  の量  $S$  は、 $\text{KH}_2\text{PO}_4$  又は  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  を溶液として加える以前の培養液（藻体を含む）の中の  $P$  の量に、加えたリン酸塩中の  $P$  の量を加算した量である。表 8-2-5、8-2-6 は分析値から求めた  $a$ 、 $f$  及び計算して得た  $S$  の量を掲げてある。ここでは培養液の  $P$  も、加えた試薬中の  $P$  も分析して得られた数値であるから、 $S$  は実測値と考えてよい。

表 8-2-5 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液における P、K の減少量

P					K				
最初の 濾液 ppm	全体量 μg (S)	濾液中 μg (f)	藻 μg (a)	a+f-S μg	最初の 濾液 mg/l	全体量 μg (S)	濾液中 μg (f)	藻 μg (a)	a+f-S μg
0.005	65.3	0.27	64.1	-0.93	0.552	126.6	27.6	95.3	-3.7
0.107	69.5	0.30	67.5	-1.7	0.681	129.4	37.4	90.5	-1.5
0.209	74.6	0.20	71.0	-3.4	0.810	135.8	36.8	99.0	0
0.515	89.9	0.20	81.0	-8.7	1.196	155.1	45.9	104.0	-5.2
1.025	115.4	0.95	104	-10.4	1.84	187.3	68.0	112.5	-6.8
2.045	166.4	4.18	106.5	-18.2	3.13	251.8	127.5	126	1.7
4.09	268.6	130	104.5	-34.1	5.70	380.3	238	120	-22.3
10.21	574.6	425	98	-51.6	13.4	765.3	670	114	18.7
20.41	1085	875	101	-109	26.3	1410.3	1255	126	-29.3
51.0	2614	2320	104.5	-189	64.9	3340.3	3135	129	-76.3
102.0	5164	4415	103.5	-645	129.3	6560.3	5925	133.5	-501.8

表 8-2-6 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 溶液における P、K の減少量

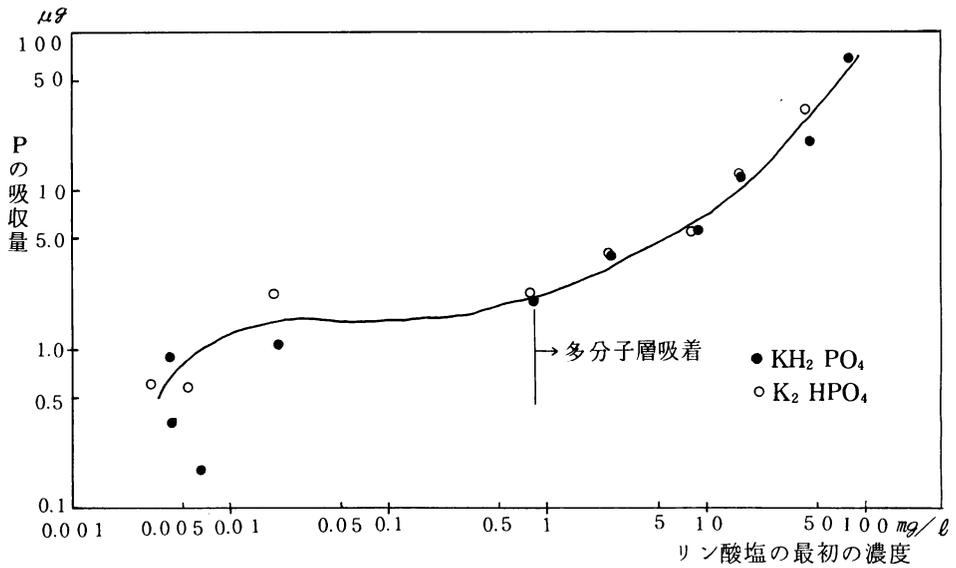
P					K				
最初の 濾液 mg/l	全体量 μg (S)	濾液中 μg (f)	藻 μg (a)	a+f-S μg	最初の 濾液 mg/l	全体量 μg (S)	濾液中 μg (f)	藻 μg (a)	a+f-S μg
0.005	65.3	0.27	64.1	-0.93	0.552	126.6	27.6	95.3	-3.7
0.107	69.5	0.20	72.0	2.7	0.809	135.8	37.8	95.0	-3.0
0.209	74.5	0.15	68.5	-5.9	1.066	148.6	51.0	96.0	-1.6
0.514	89.8	0.25	84.0	-5.6	1.84	187.3	73.0	106.0	-8.3
1.022	115.2	0.90	93.5	-20.8	3.12	251.3	127	120	-4.3
2.039	166.1	39.7	107.0	-19.4	5.69	379.8	244	114	-21.8
4.073	267.8	127.5	104.5	-35.5	10.65	627.8	494	125.5	-8.3
10.18	573.1	398	124.0	-51.1	25.8	1385.3	1240	129.5	-15.8
20.3	1079.1	840	124.5	-114.6	51.9	2690.3	2360	157.5	-172.8
50.9	2609	2190	138	-281	128.9	6540.3	5835	157.5	-547.8
101.7	5149.1	4365	149	-635.1	257.3	12960	12450	194.0	-316.3

さて、このふたつの表の中で、 $a + f - S = 0$  が成立しなければならないはずであるが見られる通り表の中の値は 0 とはならない。この  $a + f - S$  の値は失われた P の量であるが、これがどこに去ったものであるかを究明する。図 8-2-16 では濾液中のリン濃度と、消去した P の量との関係を表わした。

ここで起こる P の消失は実験誤差であり得ない量であり、同図に見られる変化の規則性から見て、使用器具への吸着によるものと考えられる。従って  $f$  の値は過少に出ており、 $a$  は実験の手順から正しい値を示すものであると考えられる。

もしこの吸着が真であるならば、図 8-2-16 は BET 型の吸着等温線をなしていると言える。

図 8-2-16  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液における P の容器への吸着等温線 (25℃)



(2) 沝液成分の容器への吸着

P 以外の元素についても、上の  $a + f - S$  を消失量として求めたのが表 8-2-7、8-2-8 で、これを図示すると図 8-2-17 から 8-2-22 となる。

表 8-2-7  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  液の各濃度における種々の元素の減少量

mol/l	$\mu\text{g}$					
	P	K	Mg	Ca	Mn	Na
0	-0.93	-3.7	8	10.6	0.38	23.2
$3.29 \times 10^{-6}$	-1.7	-1.5	-10.2	5.11	-1.34	86.2
$6.59 \times 10^{-6}$	-3.4	0	-24.5	-9.8	-0.07	-4.7
$1.65 \times 10^{-5}$	-8.7	-5.2	-46.8	-17.3	-1.36	-15.8
$3.29 \times 10^{-5}$	-10.4	-6.8	-43.2	-13.7	-1.41	87.2
$6.59 \times 10^{-5}$	-18.2	1.7	-64.0	-59.1	-1.06	76.6
$1.32 \times 10^{-4}$	-34.1	-22.3	-111.2	-109.1	-2.51	58.8
$3.29 \times 10^{-4}$	-51.6	18.7	-133.1	-133.4	-1.43	61.2
$6.59 \times 10^{-4}$	-109	-29.3	-134.2	-138.0	-1.74	69
$1.65 \times 10^{-3}$	-179	-76.3	-112.1	-138.6	-1.29	101.2
$3.29 \times 10^{-3}$	-645	-50.2	-108.5	-137.6	-1.04	74

表 8-2-8  $K_2HPO_4$  液の各濃度における種々と元素の減少量

	P	K	Mg	Ca	Mn	Na
0	-0.93	-3.7	8	10.6	0.38	23.2
$3.28 \times 10^{-6}$	2.7	-3.0	-16.5	-0.9	-1.41	18.6
$6.57 \times 10^{-6}$	-5.9	-1.6	-47.6	-14.3	-0.81	-21.4
$1.64 \times 10^{-5}$	-5.6	-8.3	-61.4	-19.2	-0.86	-7.7
$3.28 \times 10^{-5}$	-20.8	-4.3	-35.0	-10.2	-0.87	95.5
$6.57 \times 10^{-5}$	-19.4	-21.8	-66.2	-50.7	-1.02	76.6
$1.31 \times 10^{-4}$	-35.5	-8.3	-111.9	-104.2	-1.07	60.3
$3.28 \times 10^{-4}$	-51.1	-15.8	-135.2	-132.0	-1.07	81.2
$6.57 \times 10^{-4}$	-114.6	-172.8	-132.0	-128.4	-1.49	80.5
$1.64 \times 10^{-3}$	-281	-547.8	-103.0	-126.5	-0.53	99.0
$3.28 \times 10^{-3}$	-635	-316.3	-110.2	-127.5	-0.26	142.9

図 8-2-17  $KH_2PO_4$  及び  $K_2HPO_4$  溶液におけるカリウムの吸着等温線 (25°C)

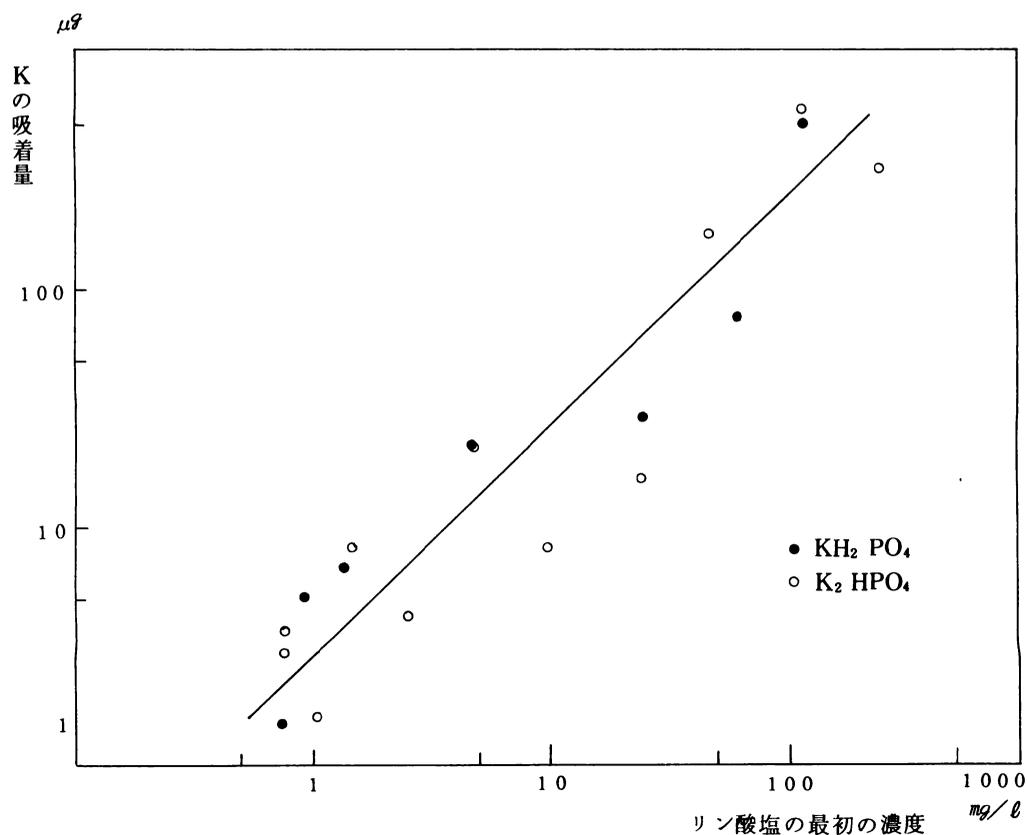


図 8-2-18  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液中における Ca、Mg の吸着量

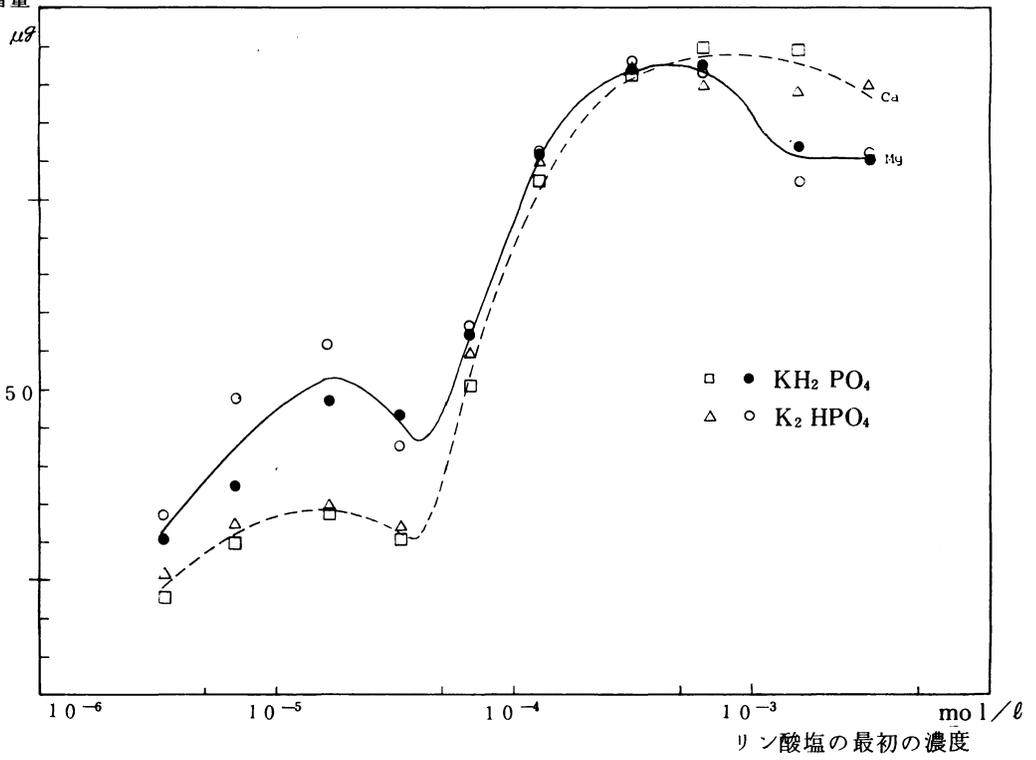


図 8-2-19  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  の溶液中における Mg 濃度とその消失量

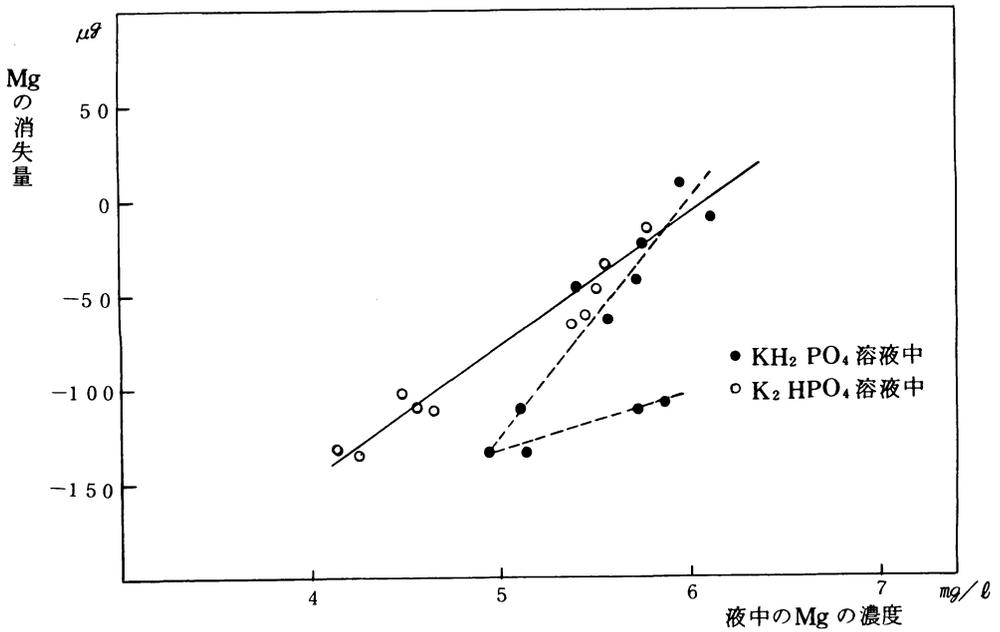


図 8 - 2 - 20  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液中における Ca 濃度とその消失量

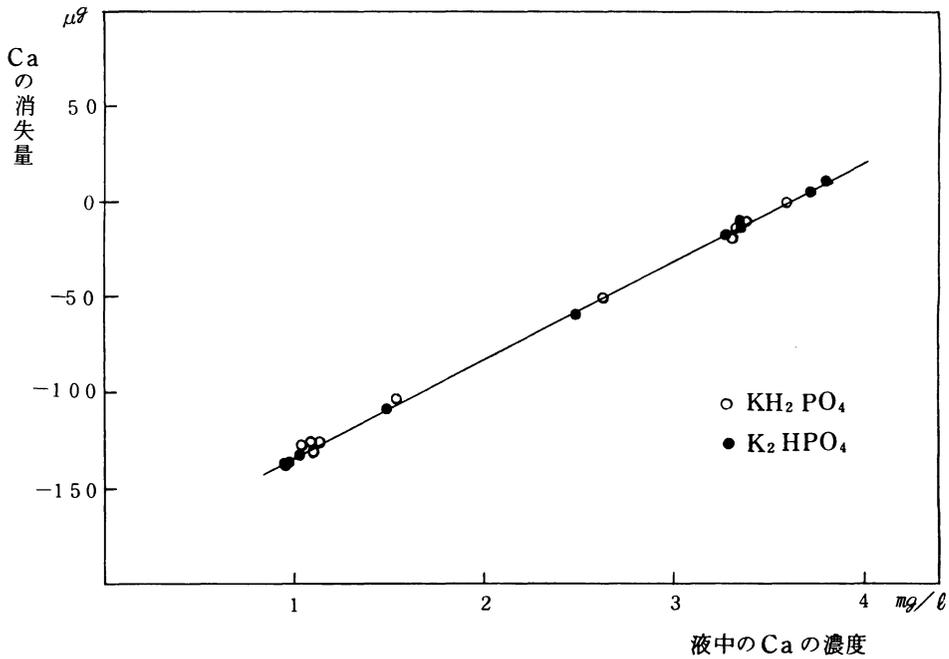
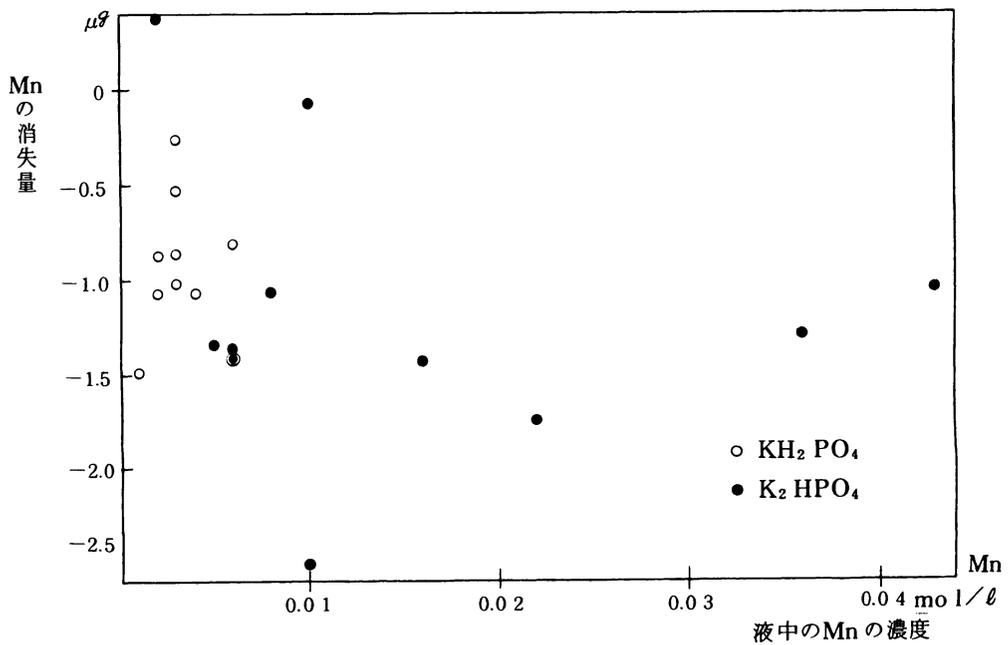


図 8 - 2 - 21  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  及び  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  溶液中における Mn 濃度とその消失量





(3) 細胞内のリンの増加

細胞内のPの乾燥百分率は図8-2-8に示されている。今、もし汙液中の減少量から式(8.4)を用いて計算した値を細胞内のPの乾燥百分率として図示したならば、Pの濃度100mg/lの位置では、細胞内のPが5%と言う非常識な値に達してしまはずである。液中のP量を1ppmとすれば、この際の計算値は0.9%くらいとなり、正常値に近いが、実測値より一割位高くなる。汙液中のPの減少量を直ちに細胞中のPの増加量と考えることは大きな誤りであることがここで知られた。

さて、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>溶液からPの摂取はPとして5×10<sup>-5</sup>mol/lで頭打ちとなる。これは細胞内のMg、Ca、MnがこのPの濃度で減少していることから、細胞内の何らかの変化が生じているためであると思われる。この点、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>溶液を用いるときはPO<sub>4</sub>濃度が増加するほど摂取量が多くなり、Mg、Ca、Mnの細胞内の量の変化は少ない。

細胞内元素間の相関関係

表8-2-3、8-2-4にはScenedesmus細胞の元素組成を掲げてあるが、これから求めた元素相互の相関係数を表8-2-9、8-2-10にまとめた。

表8-2-9 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>溶液の濃度変化におけるScenedesmus quadricornisの細胞中元素の相関行列

	P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Na	Cu
P		0.907	-0.714	-0.779	-0.663	0.129	-0.293	0.147	-0.375
K	0.728		-0.844	-0.841	-0.737	0.139	-0.494	-0.020	-0.288
Mg	-0.771	-0.681		0.921	0.893	0.074	0.355	0.399	0.280
Ca	-0.549	-0.126	0.783		0.891	0.133	0.391	0.315	0.600
Mn	-0.445	-0.215	0.753	0.825		0.331	0.564	0.356	0.482
Fe	0.589	0.695	-0.600	-0.334	-0.051		0.343	0.522	0.285
Zn	0.131	0.501	-0.129	0.100	0.071	0.423		0.133	0.256
Na	-0.027	0.434	0.100	0.519	0.400	0.041	0.649		-0.048
Cu	0.318	0.407	-0.296	-0.028	0.321	0.679	-0.005	0.182	

対角線より上側は洗浄しない細胞  
下側は洗浄した細胞

表8-2-10 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>溶液の濃度変化におけるScenedesmus quadricornisの細胞中元素の相関行列

	P	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Na	Cu
P		0.920	-0.572	-0.203	0.552	0.200	-0.470	0.596	0.240
K	0.736		-0.398	-0.124	0.733	0.212	-0.354	0.555	0.041
Mg	-0.473	0.177		0.569	-0.210	0.245	0.613	-0.183	-0.156
Ca	0.134	0.672	0.668		-0.234	0.603	0.557	0.478	0.327
Mn	-0.338	0.237	0.881	0.626		-0.218	-0.099	0.246	-0.342
Fe	0.683	0.788	0.095	0.324	0.293		-0.009	0.436	0.596
Zn	-0.173	-0.057	0.181	0.025	0.206	-0.184		0.000	0.179
Na	0.385	0.408	-0.260	0.322	-0.365	0.032	-0.179		0.482
Cu	-0.472	-0.236	0.378	-0.072	0.365	-0.028	0.587	-0.262	

この相関行列は、やや変則的な形式であるが、対角成分より上側の数値は洗浄しない細胞中に含まれる元素間の相関係数であり、下側の数値は蒸理水洗浄後の同じく細胞中諸元素間の相関係数で、両者を対比し易くするためにこのような形をとった。

この表で、栄養要素であるK、Pの間にはいずれも相関がみられることがわかる。その他では、不洗浄でもK-Mn、洗浄でFe-P、Fe-K、Mg-Mn等に相関係数の高いものがみられ、これらがいずれも一応植物の必須元素であることに注目されるが、今後の検討にまちたい。

#### 排水処理

排水処理に応用する場合、Pの急変に対して、緑藻類が適応出来ることについては先に述べたことであるが、本節で論じたところによって、その変動の限界を定める見通しの得られることがわかる。

### 9 タマミジンコによる緑藻の除去

*Scenedesmus quadricornis*の培養実験からわかるように、このような緑藻をうまく培養することによって、排水中のN、Pを95%以上の除去率で除去することが充分可能であるとも言ってもよい。しかし残る問題は、繁殖した緑藻を水中から除去することである。

タマミジンコ (*Moina macrocopa*) は、*Scenedesmus* のような緑藻を好んで摂食し、これを栄養として良好な繁殖をする。このことを利用して緑藻を分離することが、この研究の主眼でもあるので、植物として *Scenedesmus* が選ばれたもの、この理由による。

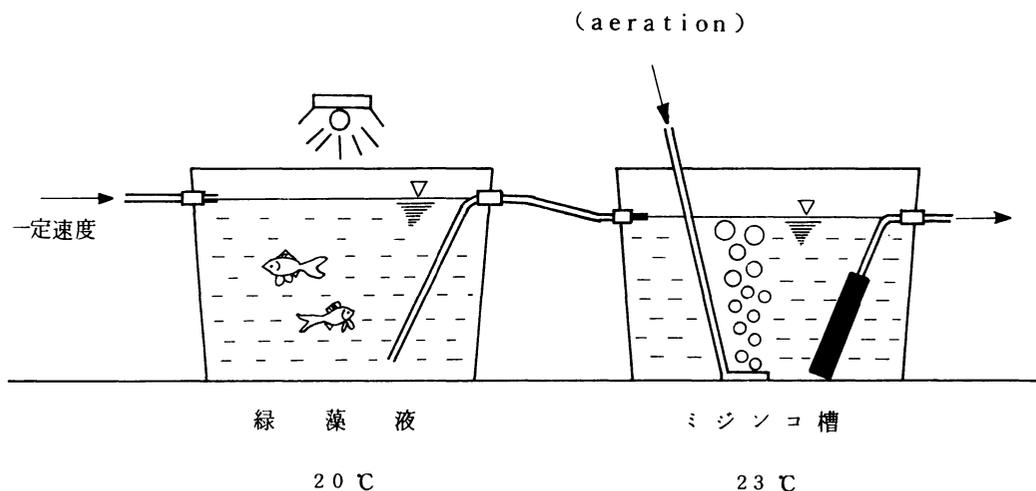
繁殖したタマミジンコは、細かい網 ( ミューラーガーゼ ) を用いると容易にすくい上げることが出来、又、これで汚すことも可能である。このような措置をしないときは、緑藻はその体表に分泌する粘液のために汙濁に当たっては目詰りを起こし易く、沈澱させることも難しいもので、分離作業はほとんど手段がない。

#### 9-1 タマミジンコの連続的繁殖

Batch方式でタマミジンコを飼育すると、ある程度の繁殖は達成出来るが、通常は飼料の残渣、排泄物の蓄積などによって水の変質を来し、高い密度で長期間飼育を継続することは、これまであまり行われていなかった。

この研究では、一定密度の緑藻を含む培養液を高い密度に保ったミジンコの飼育槽中に連続注入し、飼育槽内の水が常に更新される System を考案した。図9-1にこの方法を示した。

図9-1 タマミジンコの連続飼育



上図について説明を加えると、装置は、緑藻培養槽と、ミジンコ槽の2槽からなっている。緑藻培養槽は種々考えられるが、ここでは10ℓ入りの水槽（市販の金魚鉢、寸法350×180×230）で実際は2～3個を直列に使用している。ミジンコ槽は同型の金魚鉢を用いるが、その容量は緑藻培養液の全容量の1/2～1/3位がよい。両水槽は緑藻培養槽からミジンコ槽に、オーバーフローによって液が流れ、更にミジンコ槽の内容は内径20mm、長さ100mmの不透明塩ビパイプを経てオーバーフローして流れ去るようにしてある。

緑藻培養槽には通常緑藻と共に金魚を飼う。これは金魚の排泄物の肥料効果と運動によるかく拌作用、呼吸による過剰酸素の除去及び炭酸ガスの供給などの点で、装置を極めて簡単になし得るからである。光の供給は、自然光（窓際設置）とビタルックス蛍光灯（20W）をこの水槽1個当たり1本程度で照射する。

この緑藻培養槽に一定速度で水道水、又はこれに無機栄養塩溶液を加えたものを注入する。注入速度は培養槽容量の1/2～1/3が24hrに流れる程度を限度として、緑藻の増殖状態を見ながら次第に増加し、この間光量も始め弱く、次第に強くして3～5日位で定常状態となるようにする。こうするとその後は日常流量の調節と水槽の汚れを掃除する程度の管理で、ほぼ一定濃度の緑藻液が、ほぼ一定密度のミジンコ培養液中に流入し、ミジンコ培養液は自然に交換されるようになる。このときミジンコは暗い所を嫌う性質から排水管の入口の端につけられた塩ビ管内に入ることを避けるが、その密度が極限に近くなると一定割合で出て行くようになるために、その密度がほぼ一定に保たれるのである。

9-2 捕食者と被食者 (Predator-prey relationship)

捕食者(この場合ミジンコ)と被食者(緑藻)が共存する系では有名なLotka-Volterraのモデルがある。このモデルは自然界では、捕食者と被食者の個体数が一定周期で変動していることに注目し、アメリカのLotka(ロトカ)とイタリアのVolterra(ボルテラ)達が次のような微分方程式を仮定した。

- (1) 被食者の個体数 ( $N_1$ ) は、捕食者がいないときは増殖率が  $k_1$  である。
- (2) 捕食者の個体数 ( $N_2$ ) は  $k_2 \cdot N_1 \cdot N_2$  の速度で増殖する。
- (3) 被食者は捕食者された分だけ減少する。
- (4) 捕食者は死によって減少する。

この仮定によって次の式が成立つ。

$$\frac{dN_1}{dt} = k_1 N_1 - C_1 N_1 N_2 \dots\dots\dots (9.1)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = k_2 N_1 N_2 - C_2 N_2 \dots\dots\dots (9.2)$$

$k_1$ 、 $k_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  は定数である。

さて、この研究でのミジンコ槽では、 $N_1'$  の濃度の藻が速度  $v$  で流入するとすれば、全体の槽の容量を  $V$  として、

$$\frac{dN_1}{dt} = k_1 N_1 - C_1 N_1 N_2 + N_1' \frac{v}{V} - N_1 \frac{v}{V} \dots\dots\dots (9.3)$$

$$\frac{dN_2}{dt} = k_2 N_1 N_2 - C_2 N_2 - N_2 \frac{v}{V} \dots\dots\dots (9.4)$$

となる。

定常状態では、 $dN_1/dt = dN_2/dt = 0$  であるから、 $N_1 N_2 = 0$  とすれば、

(9.4) 式から

$$N_1 = \frac{C_2 + v/V}{k_2} \dots\dots\dots (9.5)$$

(9.3) 式から

$$N_2 = \frac{1}{C_1} \left\{ k_1 + \frac{N_1' v}{N_1 V} - \frac{v}{V} \right\} \dots\dots\dots (9.6)$$

が成立する。

9-3 ミジンコ槽における窒素とリン

9-3-1 乾燥ミジンコの重量と含有窒素量

ミジンコをミュラーガーゼを用いて液から分離し、その個体数を数えたのち、乾燥重量

をはかり、1個の乾燥重量を計算して、平均0.015 mgであることを知った。

一方、ミジンコをケールダール法によって窒素定量して乾燥百分率9.1%を得た。

従って培養液中に1 ml当たり10個のミジンコがいるならば、その含有窒素量は13.4 μgでこの液1 lについて約13 mgのNがミジンコの増殖のため消費されることになる。

なお、ミジンコ中のNを粗蛋白に換算すると、定説に従って6.25倍して、56.88%即ち、約57%の蛋白質となり、良好な蛋白源とすることが出来る。

### 9-3-2 タマミジンコの餌料の窒素とリン

#### 緑藻

図9-1のような系で緑藻を増殖した場合のことを考える。今、

- (1) 緑槽培養槽の容積は約60 lとする。
- (2) 1日当たり金魚に2 gの餌料を与える。
- (3) 金魚の排泄物を栄養塩として緑藻が繁殖する。
- (4) 水道水は1日当たり10 lの速度で流している。

なお、ここで(2)で与えている餌料は乾燥物として、Nが8.54%、Pが0.66%である。

金魚の排泄物中糞は緑藻の繁殖が著しいとき濃緑色を呈して、検鏡すると緑藻の残骸を含んでいる。この糞を定量すると、

N : 6.50 %      P : 1.73 %

を含む。

さて、(1)~(4)の状態で(20℃で)定常状態に達したとき、水の状態は次のとおりである。

水温 21.7℃    pH 10.10    Eh 312 mV    Eh<sub>7</sub> 474 mV (pH 7としたときに換算した酸化還元電圧)

濁度 136 ppm (カオリン換算)

Scenedesmus の個体数	3.5 × 10 <sup>5</sup> 個/ml
Selenastrum    "	2.6 × 10 <sup>4</sup> "
Lyngbya の群体数	3.2 × 10 <sup>5</sup> "
K-N (ケルダール窒素)	9.6 mg/l
T-P (全リン)	1.52    "

この汙液については

K-N	0.6 mg/l
T-P	0.04    "

このときの水道水の状態

pH 6.98、Eh 830 mV、Eh<sub>7</sub> 829 mV、K-N、nd、T-P、nd

### 9-3-3 タマミジンコ槽の窒素とリン

前節の緑藻培養液をミジンコに餌料として与えた。この条件は、

- (1) ミジンコ水槽の容量約20ℓ
- (2) 緑藻培養液は1日20ℓの速度でミジンコ槽に流入する。

このようにして定常状態に達した時の水の状態は次のとおりとなった。

ミジンコをミューラーガーゼで濾し去った液

水温 21.7℃                      pH 6.75                      Eh 444mV                      Eh<sub>7</sub> 429mV

濁度 14.6 ppm (カオリン換算)

Scenedesmus の個体数                       $3.8 \times 10^4$  個/ℓ

Selenastrum                      "                       $2.8 \times 10^4$  "

Lingbya の群体数                       $0.2 \times 10^4$  "

メンブランフィルター (1.0 μ) で濾過した液

K-N    4.4 mg/ℓ

T-P    0.37 mg/ℓ

### 9-3-4 ミジンコを使用したときの窒素とリンの除去効果

9-3-2、9-3-3でタマミジンコは藻類の90%以上捕食している。ミジンコを除いた液はこの場合緑色を呈し混濁していて、あまりよい状態のものでなかったが、放置することによって無機性の懸濁物は数十分で沈降し、上澄液をメンブランフィルターで濾過することは比較的容易である。

濾過前の処理液の分析は、懸濁物のすべてを含めたもので、そのNの除去率が39.6%、Pが27.6%にすぎない。濾過後のものについてみるとNの除去率は54.2%、Pは75.7%、で一応の有用性を示しているが、9-3-2で見られる緑藻培養液の濾液に見られるN、Pがそれぞれ93.8%、97.4%に比べて相当低くなっているが、これはミジンコの排泄物によるものである。なお、Pに比べてNの除去率が低いが、これはもとの液組成が偏ってPが少なく、これが緑藻培養の制限要因となっていたためである。

### 9-3-5 無機態の窒素とリンの除去

9-3-2、9-3-3の状態で定常状態になっている槽に微量成分を加えない無機栄養の配合液(第3章参照)を適宜希釈して水道水の代りに定量ポンプで20ℓ/dayの速度で流した。この際、金魚には1ℓ/dayの餌料を与えた。

この無機栄養塩液の組成は次のとおりである。

K-N 23.6 mg/ℓ、T-P 3.85 mg/ℓ、pH 6.41、Eh 741mV、Eh<sub>7</sub> 706mV

この状態で1日経過した時の液の状態は次のようである。

## 緑藻培養槽

水温	24℃	pH	10.12	Eh	405 mV	Eh <sub>7</sub>	588 mV	濁度	119 ppm
Scenedesmus の個体数					$2.1 \times 10^5$	個/ml			
Selenastrum	"				$0.4 \times 10^4$	"			
Lyngbya の群体数					$1.6 \times 10^5$	"			
K-N					13.7	mg/l			
T-P					1.14	"			

## 藻の滲液

K-N	2.3 mg/l	T-P	0.04 mg/l
-----	----------	-----	-----------

ミジンコ液 (ミジンコを取去った残液)

K-N	6.1 mg/l	T-P	0.60 mg/l
-----	----------	-----	-----------

ミジンコ液の滲液 (1.0μmメンブランフィルター)

K-N	6.3 mg/l	T-P	0.65 mg/l
-----	----------	-----	-----------

以上のデータによって無機性のN、Pも有機態と変わらない結果が得られることがわかった。

この場合には加えた液の組成に比べて、緑藻培養槽内のPが著しく低下していることが注目される。このことは、金魚の糞による吸着沈澱、無機態リンの沈澱生成などが考えられるが、この場合おそらく緑藻等に取り込まれたPが金魚に摂食され糞として沈澱したものではないかと考えられる。

又、ミジンコ液とその滲液とのK-N、T-Pに差がなく、むしろ後者の方が多くなっているのは奇異な感があるが、これはミジンコ槽の掃除が行き届かず、ミジンコの糞や死骸の残物が液中に長い時間残ったときに起こるもので、この種の処理に当たっておおいに留意しなければならない。

この場合の除去率を見ると、ミジンコ液でN 55.5%、P 47.4%、ミジンコ液の滲液内でそれぞれ、54.0%、43.0%と低いが、ミジンコ液の滲液については前に述べたように欠陥があったので9-3-3の場合と比較することが出来ない。

緑藻培養槽内での除去率は、Nについて、83.2%、Pで96.5%となっていて、9-3-3の場合とほとんど同じ結果になっている。Pが緑藻培養の制限要素となっている点も前回と同じである。

## 9-3-6 タマミジンコ利用に対する考察

この実験には、タマミジンコ捕食後の液の藻類の残量が多かったこと、Lyngbya (らん藻の一種)の繁殖のあったことなど、やや欠陥があり、不十分な結果であったが、9-3-3

で得られたミジンコ液の汙液でPの除去率約75%は、これまで別に行って来た断片的な実験結果からみても達成の充分可能な値であると思われる。この場合、ミジンコ液の汙過は緑藻培養液と比べると容易であるが、なお実用的には不利であるけれども、この液は通常は緑藻をほとんど含んでいない ( $10^3$  個/ml以下) ので、短時間の沈降によって懸濁物の除去は十分に可能であろう。

この実験ではNとPの比率を一応考慮外としたので、Pが制限要素となり、従ってPの除去率だけが高くなったが、必要があれば最初の液にPを補充することによって、Nの除去率を向上することは容易なはずである。しかし現今都市排水などに含まれるPは非常に多くなっていて、これらの処理についてこのことは考慮の必要がないであろう。

ミジンコ槽から出た処理排水は、放置すると残存した緑藻の細胞を母体として、再び速かに緑藻が増殖して来るので、これを第2段階処理に移し、あるいは循環処理することによって、更に処理の度を高めることはこの際容易なことで、これによって除去率を所望する程度までの向上することが可能である。

緑藻によるN、Pの除去の際に問題のひとつは、pHの著しい上昇にある。この実験ではこの値が10.1付近であることが多い。これを単に汙過して放流するとすれば、法規に従ってこれを中和して放流しなければならない。ミジンコが緑藻を捕食するときは、その呼吸、排泄などによってpHが6.9程度に低下する。この点では極めて好都合である。

タマミジンコはムレミカヅキモ属、セネデスムス属などの緑藻を好んで食う習性があり、これによってよく増殖する。又、このミジンコは蛋白質を多く含み(乾燥で約50%)魚のよい餌料で、利用の道が広い。

以上のような点が、水のN、P除去処理に本方法を採用することの利点で、今後光照射の問題、操作中の副生物の除去(魚の糞、ミジンコの糞、死骸)など究明すべき問題はあるが、充分研究の価値はあるものと思われる。

#### 9-3-7 (付)ミジンコの液の吸収スペクトル

タマミジンコを除去した液は、薄い黄色ないし黄褐色を呈する。緑藻培養液の濃い緑色はこのとき全く失われている。この残った黄系の色が何であるかは、処理排水を放流するときを知っておかなくてはならない問題であろう。

#### 実 験

ミジンコ液をミューラーガーゼで汙してミジンコを除き、更にこれを $1.0\mu$ のメンブランフィルターで汉過して、これに残った残渣をアセトンで抽出し、この液を自記分光光度計(日立323型)にかけて吸収スペクトルをとった。

一方、ほとんどがSelenastrumからなる緑藻培養液を同様に処理して、得られたアセト

ン抽出液の吸収スペクトルを得た。

## 結果

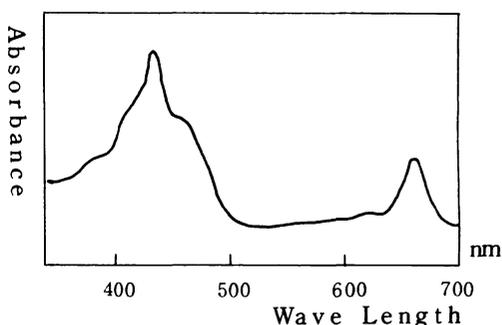
Selenastrum の抽出液で得られた吸収スペクトルは、Scenedesmus の吸収スペクトル (図 4) とほとんど同じであるが、ミジンコ槽から得られたものの方は、曲線の形状は似ているが、吸収の位置がずれている。

即ち緑藻の方の極大値は436,660 mm 近辺にあるが、ミジンコの水槽に  
来たものは、418,670 mm に極大点の波長がずれているのである。

フェオフィチン (Phaeophytin) はクロロフィルからその中に結合している Mg がとれて、H がここに置換ったものであるが、クロロフィルを酸で処理して得られ、自然界では植物

の稠落したもの即ち枯葉などに含まれている。この色素の吸収スペクトルは、クロロフィルのスペクトルと比べると短い方の極大波長は、より短い方へ、長い方の極大波長はより長い方へシフトする。しかも長波長側の極大値は小さくなる。このことからみて、図 9-2 の吸収スペクトルはフェオフィチンのものが主体であると思われる。

図 9-2 ミジンコ槽内の水中の色素の吸収スペクトル



## 10 今後の課題

以上の実験によって、緑藻は培養液中の溶解性の N や P を摂取して生育するので、培養液の濃度を相当低い値まで低下することが出来、N、P の除去を目的とする排水処理に役立ちそうである。この方法の利点の中で、今回気のついたことは、緑藻は P 濃度の急な上昇に当たって、これを数時間で細胞内に取込み、液中の P を低濃度に保つとともに、藻体自身が障害を受けないで済むことである。

繁殖した緑藻を除去するためにタマミジンコを使って、これに捕食させる方法は、タマミジンコの排泄、死骸の残留などで N、P が再溶出するために 75% 程度の除去しか出来ないかも知れないので、ここで 2 段処理、循環処理などを工夫する必要があるだろう。

別に緑藻の除去に、凝集剤を使用する方法についても着目している。緑藻培養液はさいわい強いアルカリ性を呈するので、塩化アルミニウム系の凝集剤を用いると、アルカリ添加が不要で、処理水もほぼ中性付近の pH で放流することが出来そうである。

N、P の量に対する緑藻の発生量、その濃度等についてはほぼ判明したが、光の照射の問題、

その場合効率のよい液深とこれに応じた緑藻の濃度、したがってこれから割出される必要な面積等については、ここであらためて正確に検討しなおす必要がある。

#### 謝 辞

最後に、*Scenedesmus quadrispina*の同定で御指導を賜った増田高校の後藤先生に深謝の意を表す。

#### 文 献

- (1) 田宮、渡辺：「藻類実験法」 南江堂
- (2) L、O、Björn、宮地監訳：「光と生命」(1976) 理工学社
- (3) 「生物学辞典」第2版 岩波書店
- (4) 津野、合田：藻類の増殖における基質の摂取における動力学モデル、水質汚濁研究Vol. 1、No. 1、(1978)、pp 49～pp 62
- (5) 西沢敏：海洋低次生産試論

#### 補 記

リン摂取の動力学 (Kinetics of Phosphorus Pools)

$f(C_p)$ の関数型は色々考えられるが、通常はMond型がよく用いられる。

$$f(C_p) = \frac{C_p}{K_s + C_p} \dots\dots\dots (11.1)$$

この形の式はミハイリス-メンテンのモデル (Michaelis - Menten's model) と呼ばれ、酵素反応速度論の基礎をなしている。すなわち、細胞膜に輸送担体 (Carrier) があって中間複合体を作り、この複合体から細胞内に摂取されると考えてよい。

また、腹の表面にPが単分子吸着してから細胞内に摂取されると考えても、(11.1)式が導かれる。Langmuir型の吸着等温式と全く同じ型をしているからである。

$K_s$ はミハエリス定数あるいは半飽和定数であって、 $f(C_a) = 1/2$ となったときお $C_p$ と等しい。

さて(8.3)式に(11.1)式を代入すれば

$$\frac{dP}{dt} = k \frac{C_p}{K_s + C_p} (A - P) \dots\dots\dots (11.2)$$

となる。

$C_p \gg K_s$ であれば

$$\frac{dP}{dt} = k (A - P) \dots\dots\dots (11.3)$$

となり、この式は簡単に積分出来て

$$\ln(A - P) = -kt + \text{const}$$

あるいは、

$$P = A - (\text{Const}) e^{-kt} \dots\dots\dots (11.4)$$

となる。最初の細胞膜内リン濃度を  $P_0$  とすれば、

$$P = A - (A - P_0) e^{-kt}$$

あるいは

$$\ln(A - P) = \ln(A - P_0) - kt \dots\dots\dots (11.5)$$

となる。

次に  $C_p \ll K_s$  のときは、

$$\frac{dP}{dt} = \frac{k}{K_s} C_p (A - P) \dots\dots\dots (11.6)$$

となる。仮りに溶解性リンと細胞内リンの総和が一定であれば、

$$aC_p + P = B \dots\dots\dots (11.7)$$

( $a, B$  は定数)

となるので(11.6)式は

$$\frac{dP}{dt} = \frac{k}{aK_s} (B - P)(A - P) \dots\dots\dots (11.8)$$

となる。これを積分すれば、

$$\frac{1}{B - A} \ln(B - P) + \frac{1}{A - B} \ln(A - P) = \frac{k}{aK_s} t + \text{const}$$

となり、初期値を  $t = 0, P = P_0$  とすれば、

$$\ln \frac{A - P}{A - P_0} - \ln \frac{B - P}{B - P_0} = \frac{k(A - B)}{aK_s} t \dots\dots (11.9)$$

となる。

(11.2式)式の一般的な解は、(11.7)を仮定して

$$\frac{dP}{dt} = k \frac{B - P}{aK_s + B - P} (A - P) \dots\dots\dots (11.10)$$

を解けばよい。

(11.10)式は部分分数に分かれて、

$$\frac{aK_s}{A - B} \cdot \frac{dP}{B - A} + \left(1 - \frac{aK_s}{A - B}\right) \frac{1}{A - P} dP = k dt$$

となり

$$\frac{aK_s}{A-B} \ln \frac{B-P}{B-P_0} + \left(1 - \frac{aK_s}{A-B}\right) \ln \frac{A-P}{A-P_0} = -kt \dots\dots\dots (11.11)$$

が成立する。

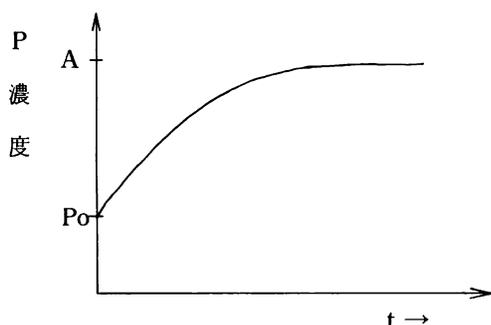
この式で  $aK_s \rightarrow 0$  とすれば、(11.5)式となり、

$$1 \ll \frac{aK_s}{A-B} \text{ とすれば (11.9) 式となる。}$$

$A=B$  のとき、すなわち溶解性リンを全て体内に摂取した時が、細胞内濃度の上限値である場合は、

$$\ln(A-P) - \frac{aK_s}{A-P} = -kt + \text{const} \dots\dots\dots (11.12)$$

となる。



$k, C_p, K_s > 0$  である限り、(11.2)式から求められる  $P$  と  $t$  の関係は左図のようになる。

#### リン摂取速度定数の算出法

Batch方式で藻にリンを吸収させた場合は、熱力学的に見れば閉鎖系 (Closed System) であって、物質の収支は系内だけを考えれば良い。すなわち、容器の表面への物質の吸着が一定値であるか、無視出来るなら (11.7)式が成立し、(11.3)の方程式の一般解は、(11.11)式となる。勿論、藻の細胞分裂があっても良いが、細胞分裂などで藻の容積が増加すれば、いちいち藻体量の測定をする必要があるので、ここでは誘導期 (Lag Phase) 内で考えることにする。

(11.11)式で求めたいのは  $A, K_s, k$  である。各測定点の数値を (11.11)式に代入して連立方程式を解く方法もあるが、めんどうであり、しかも解けたとしても求められた数値はばらばらである。そこで一般的に最小自乗法が用いられるが、(11.11)式の場合は困難である。

仮りに、Aの値がわかったとすれば、k、Ksを最小自乗法で求めることが可能である。

今、 $\frac{aKs}{A-B} = \alpha$ とすれば(11.11)式は、

$$\ln \frac{B-P}{B-P_0} - \ln \frac{A-P}{A-P_0} \cdot \alpha + \ln \frac{A-P}{A-P_0} = -kt \dots\dots\dots (11.13)$$

となる。そこで、

$$Z_i = \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \alpha + \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} + kt_i$$

として、

$$\sum_i Z_i^2 = Q$$

からQが最小値になる時の $\alpha$ 、kを求めるのが最小自乗法である。

この場合、

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial \alpha} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial k} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (11.14)$$

の連立方程式から $\alpha$ 、kを求めることになる。したがって、

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \frac{\partial Q}{\partial \alpha} = \alpha \sum_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right)^2 + k \sum_i t_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \\ \quad + \sum_i \left( \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) = 0 \\ \frac{1}{2} \frac{\partial Q}{\partial k} = \alpha \sum_i t_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) + k \sum_i t_i^2 + \sum \left( \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) t_i = 0 \end{cases}$$

から求められる $\alpha$ 、kがQを極小にする。

$$A = \begin{vmatrix} \sum_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right)^2 & \sum_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \\ \sum_i t_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) & \sum_i t_i^2 \end{vmatrix}$$

として、

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{1}{J} \left[ \begin{array}{cc} -\sum_i \left( \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) & \sum_i t_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \\ -\sum_i \left( \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) t_i & \sum_i t_i^2 \end{array} \right] \\ k = \frac{1}{J} \left[ \begin{array}{cc} \sum_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right)^2 & -\sum_i \left( \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) \\ \sum_i t_i \left( \ln \frac{B-P_i}{B-P_0} - \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) & -\sum_i \left( \ln \frac{A-P_i}{A-P_0} \right) t_i \end{array} \right] \end{array} \right\} \quad (11.15)$$

となる。

実際の計算

今、Pを乾燥重量百分率(%) Cpをmg/ℓで表わせば、(11.7)式より、

$$a = \frac{100}{SS} \dots\dots\dots (11.16)$$

SS : 液中の固型物乾燥含量 (mg/ℓ)

ただし、ここでSSは全部藻体と考える。

SSは260 mg/ℓであるので、式(11.7.)からBが求められる。表8-1-1、8-1-2から

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 \text{ 溶液では } B = \frac{100}{260} \times 5.20 + 0.47 = 2.47$$

$$\text{K}_2\text{HPO}_4 \text{ 溶液では } B = \frac{100}{260} \times 4.97 + 0.47 = 2.38$$

となる。

実際の測定データを式(11.15)で計算した場合は、表11-1、11-2の様になるが、KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>溶液とK<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>溶液中のPの摂取に関しては、

A < Bのときは α > 0 となり K<sub>s</sub> < 0 となる。

A > Bのときは α < 0 で K<sub>s</sub> < 0 となる。

すなわち、半飽和定数は負であるという結果になる。

結局、

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液の場合は K<sub>s</sub> が -4.5 ~ -5.2

K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 溶液の場合は K<sub>s</sub> が -3.7 ~ -4.9

くらいとなる結論に達する。

表 11 - 1 Ks、K の計算結果 (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)

A (%)	$\alpha$ (Ks) $\frac{mg}{\ell}$ "	k ( $\sqrt{\text{min}}$ )	A (%)	$\alpha$ (Ks) $\frac{mg}{\ell}$ "	k ( $\sqrt{\text{min}}$ )
0.731	0.997 (-4.51)	$8.47 \times 10^{-4}$	1.10	1.44 (-5.15)	$-1.59 \times 10^{-4}$
0.734	0.9995 (-4.51)	$8.47 \times 10^{-4}$	1.20	1.56 (-5.16)	$-1.36 \times 10^{-4}$
0.735	1.0004 (-4.51)	$8.32 \times 10^{-4}$	1.30	1.70 (-5.16)	$-1.19 \times 10^{-4}$
0.74	1.0062 (-4.53)	$7.53 \times 10^{-4}$	1.40	1.86 (-5.17)	$-1.05 \times 10^{-4}$
0.75	1.022 (-4.57)	$5.89 \times 10^{-4}$	1.50	2.05 (-5.17)	$-9.37 \times 10^{-5}$
0.77	1.060 (-4.68)	$2.91 \times 10^{-4}$	1.70	2.59 (-5.18)	$-7.73 \times 10^{-5}$
0.78	1.079 (-4.74)	$1.74 \times 10^{-4}$	2.00	4.24 (-5.18)	$-6.11 \times 10^{-5}$
0.79	1.098 (-4.79)	$8.00 \times 10^{-5}$	2.20	7.38 (-5.18)	$-5.36 \times 10^{-5}$
0.80	1.115 (-4.84)	$6.90 \times 10^{-6}$	2.40	$2.85 \times 10^1$ (-5.18)	$-4.77 \times 10^{-5}$
0.801	1.117	$5.77 \times 10^{-7}$	2.45	$9.97 \times 10^1$ (-5.18)	$-4.62 \times 10^{-5}$
0.801	1.1168	$1.68 \times 10^{-8}$	2.46	$1.99 \times 10^2$	$-4.60 \times 10^{-5}$
0.801	1.1169	$-4.546 \times 10^{-8}$	2.469	$1.99 \times 10^3$	$-4.65 \times 10^{-5}$
0.802	1.1175	$-2.52 \times 10^{-6}$	2.47	$\infty$	
0.802	1.118 (-4.85)	$-5.58 \times 10^{-6}$	2.471	$-1.99 \times 10^3$	$-4.59 \times 10^{-5}$
0.803	1.120	$-1.16 \times 10^{-5}$	2.475	$-3.99 \times 10^2$	$-4.59 \times 10^{-5}$
0.805	1.123 (-4.86)	$-2.31 \times 10^{-5}$	2.50	$-6.64 \times 10^1$ (-5.18)	$-4.53 \times 10^{-5}$
0.81	1.13 (-4.88)	$-4.93 \times 10^{-5}$	2.60	$-1.53 \times 10^1$ (-5.18)	$-4.30 \times 10^{-5}$
0.82	1.15 (-4.92)	$-9.19 \times 10^{-5}$	2.70	-8.67 (-5.18)	$-4.10 \times 10^{-5}$
0.85	1.19 (-4.99)	$-1.65 \times 10^{-4}$	2.8	-6.04 (-5.18)	$-3.92 \times 10^{-5}$
0.90	1.24 (-5.06)	$-2.00 \times 10^{-4}$	3.0	-3.76 (-5.18)	$-3.59 \times 10^{-5}$
0.95	1.29 (-5.10)	$-1.97 \times 10^{-4}$	3.5	-1.94 (-5.18)	$-2.98 \times 10^{-5}$
1.00	1.34 (-5.12)	$-1.85 \times 10^{-4}$	4.0	-1.30 (-5.19)	$-2.54 \times 10^{-5}$

表 11 - 2 Ks、K の計算結果 (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)

A (%)	$\alpha$ (Ks) $\frac{mg/l}{''}$	k (1/min)	A (%)	$\alpha$ (Ks) $\frac{mg/l}{''}$	k (1/min)
0.88	$9.55 \times 10^{-1}$ (-3.73)	$2.24 \times 10^{-3}$	2.379	$1.85 \times 10^3$	$-1.16 \times 10^{-4}$
0.89	$9.49 \times 10^{-1}$ (-3.68)	$2.22 \times 10^{-3}$	2.38	$\infty$	
0.90	$9.55 \times 10^{-1}$ (-3.68)	$2.07 \times 10^{-3}$	2.381	$-1.85 \times 10^3$ (-4.82)	$-1.15 \times 10^{-4}$
0.91	$9.72 \times 10^{-1}$ (-3.71)	$1.84 \times 10^{-3}$	2.385	$-3.71 \times 10^2$ (-4.82)	$-1.15 \times 10^{-4}$
0.92	$9.95 \times 10^{-1}$ (-3.78)	$1.57 \times 10^{-3}$	2.39	$-1.86 \times 10^2$ (-4.82)	$-1.15 \times 10^{-4}$
0.95	1.08 (-4.01)	$8.39 \times 10^{-4}$	2.40	$-9.28 \times 10^1$ (-4.82)	$-1.14 \times 10^{-4}$
1.00	1.20 (-4.31)	$1.69 \times 10^{-4}$	2.41	$-6.18 \times 10^1$ (-4.82)	$-1.14 \times 10^{-4}$
1.02	1.24 (-4.38)	$3.36 \times 10^{-5}$	2.45	$-2.65 \times 10^1$ (-4.82)	$-1.11 \times 10^{-4}$
1.025	1.25 (-4.40)	$7.04 \times 10^{-6}$	2.50	$-1.55 \times 10^1$ (-4.83)	$-1.08 \times 10^{-4}$
1.026	1.25	$2.03 \times 10^{-6}$	3.00	$-2.998$ (-4.83)	$-8.62 \times 10^{-5}$
1.026	1.25	$4.63 \times 10^{-8}$	3.50	$-1.66$ (-4.84)	$-7.15 \times 10^{-5}$
1.026	1.25	$-2.996 \times 10^{-9}$	4.00	$-1.15$ (-4.84)	$-6.11 \times 10^{-5}$
1.026	1.25	$-5.23 \times 10^{-8}$	5.0	$-7.11 \times 10^{-1}$ (-4.84)	$-4.72 \times 10^{-5}$
1.027	1.25	$-4.46 \times 10^{-7}$	6.0	$-5.15 \times 10^{-1}$ (-4.85)	$-3.85 \times 10^{-5}$
1.027	1.25	$-2.90 \times 10^{-6}$	7.0	$-4.04 \times 10^{-1}$ (-4.85)	$-3.25 \times 10^{-5}$
1.03	1.26 (-4.42)	$-1.71 \times 10^{-5}$	8.0	$-3.32 \times 10^{-1}$ (-4.85)	$-2.81 \times 10^{-5}$
1.05	1.29	$-9.42 \times 10^{-5}$	10.0	$-2.45 \times 10^{-1}$ (-4.85)	$-2.21 \times 10^{-5}$
1.10	1.37 (-4.57)	$-1.99 \times 10^{-4}$	15.0	$-1.48 \times 10^{-1}$ (-4.85)	$-1.46 \times 10^{-5}$
1.2	1.52 (-4.668)	$-2.53 \times 10^{-4}$	20.0	$-1.06 \times 10^{-1}$ (-4.85)	$-1.07 \times 10^{-5}$
1.3	1.68 (-4.72)	$-2.49 \times 10^{-4}$	30.0	$-6.76 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-7.08 \times 10^{-6}$
1.4	1.86 (-4.75)	$-2.32 \times 10^{-4}$	40.0	$-4.96 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-5.28 \times 10^{-6}$
1.5	2.08 (-4.77)	$-2.13 \times 10^{-4}$	50.0	$-3.92 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-4.21 \times 10^{-6}$
1.8	3.18 (-4.80)	$-1.67 \times 10^{-4}$	60.0	$-3.24 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-3.50 \times 10^{-6}$
2.0	4.87 (-4.81)	$-1.45 \times 10^{-4}$	70.0	$-2.76 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-3.00 \times 10^{-6}$
2.3	$2.32 \times 10^1$ (-4.82)	$-1.21 \times 10^{-4}$	80.0	$-2.41 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-2.62 \times 10^{-6}$
2.35	$6.18 \times 10^1$ (-4.82)	$-1.17 \times 10^{-4}$	90.0	$-2.13 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-2.33 \times 10^{-6}$
2.37	$1.85 \times 10^2$ (-4.82)	$-1.16 \times 10^{-4}$	99.0	$-1.93 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-2.11 \times 10^{-6}$
2.375	$3.71 \times 10^2$	$-1.16 \times 10^{-4}$	99.999	$-1.91 \times 10^{-2}$ (-4.86)	$-2.09 \times 10^{-6}$

リン速度定数  $k$  は  $A$  の値によって激しく変化するので正しく求めることは困難である。

以上のように考えると、栄養塩摂取における Monod 型のモデルは実験事実を正しく把握するには不完全であると結論しなければならない。

分 析 一 覧 表

分析項目	操作手順
① K-N (ケルダール窒素)	<p>○サリチル硫酸分解</p> <p style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">検 体</span> <span style="margin-left: 20px;">(ケルダールフラスコ使用) サリチル硫酸 5 ml 添加</span> </p> <p style="text-align: right; margin-right: 100px;">↑</p> <p style="text-align: center;">(サリチル酸 10 g を濃硫酸 300 ml 中に溶解したもの)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">時々振とう、30分以上放置</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">小さな炎で加熱 ← チオ硫酸カリウム 1 g を少量ずつに分けて添加</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">泡沫がおさまってしばらく後に放冷</p> <p style="text-align: center;"> <span style="margin-left: 40px;">← conc H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> 5 mg</span>  <span style="margin-left: 40px;">← 分解促進剤 1 g 添加</span> </p> <p style="text-align: center;">↑</p> <p style="text-align: center;">徐々に火力を強め、最後強熱 (K<sub>2</sub> SO<sub>4</sub> と Cu SO<sub>4</sub> を 9 : 1 で混合したもの)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">褐色が消え青緑色となり白煙を発生する状態となって更に30分加熱</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">放 冷</p> <p>○水蒸気蒸留</p> <p style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">分解液</span> </p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">← 40% Na OH</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">40% Na OH を用いて微酸性となるまで中和</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">← 10 wt % MgO 懸濁度 10 ml 又は、40% NaOH 5 ml</p>

分析項目	操作手順
	<p style="text-align: center;">↓</p> <p>水蒸気蒸留  <math>N/10 \sim N/20</math> <math>N_2SO_4</math> 10ml 中に捕集</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>100ml 定容</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>適量をインドフェノール青法で <math>NH_4^+</math> の定量を行う  (定量法 JIS K 0102)</p> <p>注 この分析法はケルダール法の一つであるが、特に検体中に存在する <math>NO_3^-</math>、<math>NO_2^-</math> をよく回収するように注意が払われており、事実上総窒素が定量される。</p>
② T-P	<p>○硝酸一過塩素酸分解</p> <p style="text-align: center;"> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">検体</span> (コニカルビーカー中で) </p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">← conc <math>HNO_3</math> (3~5ml)</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>ホットプレート上で加熱</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">← 分解の様子をみて適宜 conc <math>HNO_3</math> を追加  ← ほぼ分解が終了すれば、<math>HClO_4</math> 1ml 添加</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>蒸発乾固</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">← 0.2~0.5 N <math>HCl</math></p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>溶解</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>50または100ml 定容</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>液の適量を取り、必要に応じて希釈、モリブデン青法で <math>PO_4^{3-}</math> を定量する。(定量法 JIS K 0102)</p>



本年10月、不慮の自動車事故によって急逝された、水質科技師、盛岡文雄君の遺稿が研究の指導者である、前所長、松本秀三氏によって補筆整理されて、本報に掲載することが出来ました。松本氏の労を深謝するとともに盛岡君のご冥福をお祈りいたします。

昭和54年11月

秋田県公害技術センター  
所長 小田野 直