

# 多摩川における底生付着微生物群集の 解析とその環境改変作用の評価

1 9 9 0 年

渡 辺 泰 徳

東京都立大学理学部助教授

# 目 次

1. 諸 言 .....	1
2. 調 査 地 点 .....	2
3. 調 査 方 法 .....	3
3-1 野 外 調 査 .....	3
3-2 化 学 分 析 .....	3
3-3 生 物 の 同 定 と 計 数 .....	3
3-4 野 外 お よ び 室 内 実 験 .....	4
4. 結 果 .....	4
4-1 付 着 微 生 物 量 の 分 布 と 現 存 量 の 変 化 .....	4
4-2 流 水 中 の 栄 養 塩 濃 度 .....	4
4-3 付 着 層 中 の 生 物 相 .....	7
4-4 現 場 に お け る 付 着 層 の 発 達 速 度 .....	7
4-5 水 槽 実 験 の 結 果 .....	16
5. 考 察 .....	18
参 考 文 献 .....	23

## 研 究 組 織

渡 辺 泰 徳 : 東 京 都 立 大 学 理 学 部 末 広 誠 一 : 水 道 機 工 株 式 会 社
--

## 1. 諸 言

河川の底質である岩盤や砂礫上には薄膜状の付着層が発達する。この層は、細菌、カビ類、藻類、原生動物などの微生物を主要な構成者とする生物群集であるが、さらにそれらの遺体の有機物、粘質物と粘土粒子が加わって一定の構造を形成している。この付着層の量と性状は河川の地形や流況、あるいは基盤の種類によって異なりと同時に、流水中の有機物や溶存栄養塩類の多少に大きく支配されていて、河川環境の質を評価する指標として重要である。

付着層の果たす生態学的機能は多岐にわたっている。ユスリカ、カゲロウなど水生昆虫の生息場所として、またアユなど藻食性魚類の餌資源としての重要性も指摘されねばならない。加えて、付着微生物層による栄養塩類や溶存有機物の除去は、河川のいわゆる自浄作用の最も重要な機能の1つで、流水の水質を良好に維持するために欠かせない。従って付着層の形成とその生態学的諸機能は、環境と生物の間の作用-反作用系として位置づけられるもので、その観点から評価されねばならない。付着層は平水時は上記のようにプラスの面での環境改変作用をはたしているが、大雨洪水時には河床基盤からはく離し、流水中の懸濁有機物質として下流部や河口域への汚濁負荷としてマイナスに作用する。この二面性を考慮することは重要である。これまで河川付着層については様々な面から研究されている。即ち、汚濁指標として主に硅藻類の分布を利用したもの（たとえば渡辺（1981））、付着群集全体の現存量と生産を測定したもの（手塚1974、相崎1980）、繊毛虫の季節変化の調査（末広・手塚1981）、藻類と細菌の動態解析（森川1985）、原生動物と細菌の関係解析（渡辺1975）、有機物の分解（落合・中島・小椋1981）等。しかし、上流-下流という環境勾配をもつ河川における付着微生物群集の動態は複雑で、その生態学的諸機能を正しく評価するためには実測にもとづいた研究をさらにつみ重ねる必要である。本研究は多摩川本流の上流と下流を対比させながら河床付着層の現存量と構成生物の変化を実地調査し、さらに栄養元素含有量の測定などからその環境改変作用を推定することを目的とした。また下流域で、人工基質を用いて付着速度と付着藻の光合成生産速度を測定した。付着層の活性が水質に与える影響評価は今後の河川管理に重要と考えられる。これは現場条件での測定が困難なので、実験室の水槽モデル実験によってその予備的な検討を行った。

本研究において、付着藻類の同定については都立衛生研究所の渡辺真利代博士、付着速度の測定については明治大学学生（当時）の桃井正行氏の協力を得たので感謝する。

本研究の一部は「とうきゅう環境浄化財団学術研究助成金によって行われた。ここに深く謝意を表す。

## 2 調査地点

多摩川本流の上流域、海沢 (St. 1) と中～下流域、玉堤 (St. 2) を主調査地として試料の採取と環境測定を行った。また、それに加えて、多摩大橋下、関戸橋下、秋川の戸倉の地点でも参考試料を採取した。調査地点を図1に示す。

St. 1は小河内ダムにより約6 km、下流の海沢橋下の右岸である。ここでの流水はダムからの放流水と、約1 km上流で合流する日原川からの流水に依存している。調査地点の近くには、ニジマス等養殖池からの廃水が小さな沢となって流入している。この沢の付着層は他よりも緑色あるいは褐色が強く、流入水中に栄養塩類と有機物が高いと考えられたのでその影響をさけて本流の上流寄りで調査を行った。採取地点の川巾は約30 mで河床は直径10～30 cmの石やさらに大型の岩盤でおおわれ、年間を通じて灰褐色の付着層が認められた。流速はつねに大きく秒速1～2 mであり、基盤に強固に付着している層以外の堆積物は殆んど認められなかった。石や礫には多くの河川昆虫 (カゲロウ、トビケラなど) が生息していた。

St. 2 玉堤は二子橋下流約3 kmの左岸で、流水の岸寄りには直径数cm以下の小礫でおおわれ表面と間隙には砂や腐泥が堆積していた。付着層は一般に厚く褐色を呈していたが、時によりかなりの部

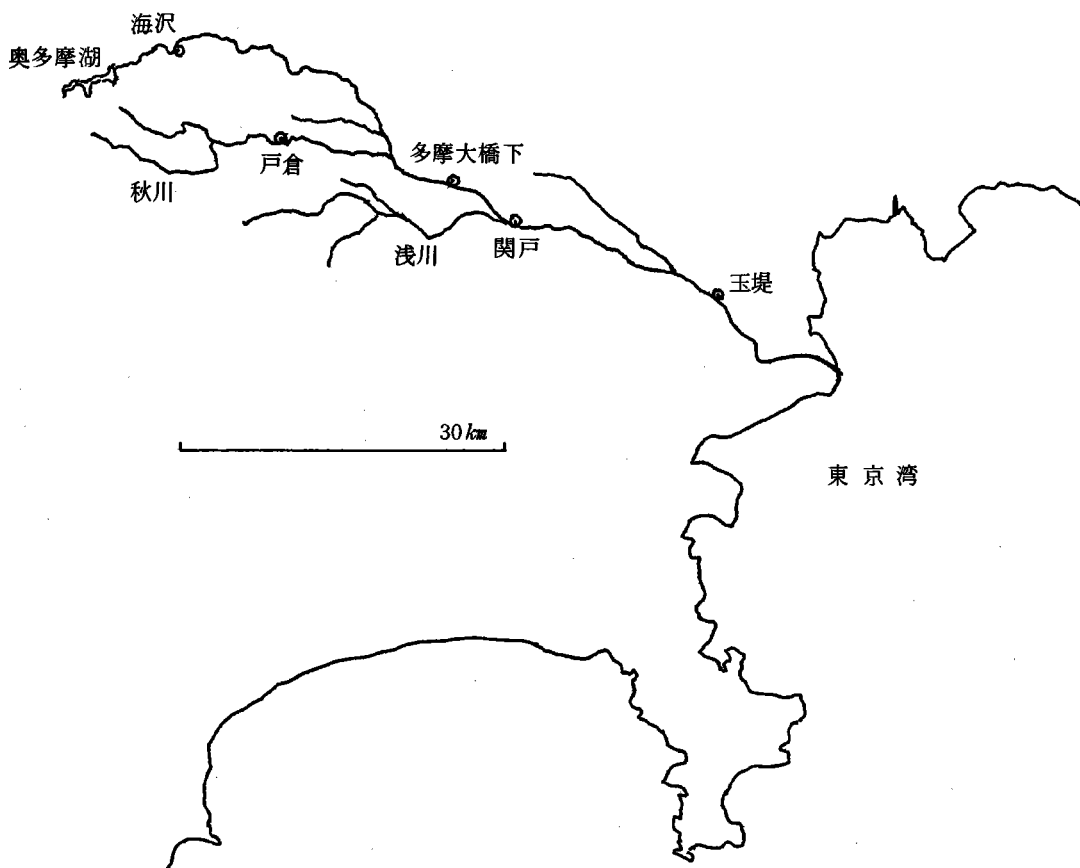


図1 多摩水系図と調査地点

分、濃緑色の付着藻が発達している場合があった。流水は汚濁しており流速は秒速20cm～80cm程度であった。流量の変動によって岸寄りの河床が露出・水没を繰り返していたが、サンプリングはそれ以前約1週間は水没していたと思われる地点を選んで行った。

### 3. 調査方法

#### 3-1 野外調査

底質付着物の採取は各調査地点において、その環境・外観が平均的と思われる場を選んで25×25cmの方法枠を設置し、その内部の礫を全て採取した。川底の石が大きく、この枠法がとれない場合には、直径10～20cmの石を複数個採取した。これらの礫をプラスチックバットに集め、蒸留水をかけながら金属ブラシでこすり、付着層をすべて懸濁状態で集めた。その一定量をガラスファイバーフィルター上に濾集し、後の化学分析に供した。野外現場では流速、水深、水温などの環境要因を測定・記録した。また、研究室へ持ち帰り、同定するための生物試料を採取したが、その場合はブラシを用いず、付着微生物層の構造がこわれないう礫全体又は注意してはがした付着層を持ち帰って検鏡した。水質の分析を行うための流水は付着物採取地点の少し上流部からポリビンにとり、冷却して運搬した。

#### 3-2 化学分析

実験室に持ち帰った試料について次の項目の分析を行った。(1)クロロフィルa量(付着藻類現存量の指標):90%アセトン抽出液の吸光度法(2)付着有機炭素・窒素・リン:付着物の一定量をガラスファイバーフィルター上に濾集し、炭素と窒素は柳本CHNアナライザーで、リンは過硫酸カリで酸化分解後モリブデン青法で各々分析した。水中の栄養塩分析としては次の項目を行った。(1)アンモニア態窒素:インドフェノール法(2)亜硝酸態窒素:ジアゾ色素吸光度法(3)硝酸態窒素:硫酸ヒドラジン還元後、亜硝酸分析に準ずる(4)リン酸態リン:モリブデン青法。以上の化学分析はGolterman(1969)、小山他(1972)に準拠した。

#### 3-3 生物の同定と計数

ブラシでこすり取る方法では構造が破壊されてしまうため、生物の同定と計数は各々別に採取した試料について行った。藻類は1%ホルマリンで固定し、位相差顕微鏡で同定した。硅藻については硫酸処理を行った殻をプラウラックスに封じて同定に供した。原生動物は固定剤によって細胞が変形するので、生きた試料を5～10℃の温度で輸送し、採取した日のうちに実体顕微鏡で同定した。細菌はグルタルアルデヒドで固定後、DAPIで染色し落射蛍光顕微鏡下に計数した。

### 3-4 野外および室内実験

- i) 野外現場における藻類の付着速度を実測するため、St. 2玉堤において人工基質を用いた実験を行った。表面を紙ヤスリでこすり粗面とした塩化ビニール板(8 cm×8 cm)を鉄製のアングルに固定し、本流の水深約20cmに沈めた後、経時的に2枚ずつサンプリングし、付着したクロロフィルa、有機炭素・窒素・リンを定量した。また、この付着板を透明アクリル樹脂製の箱に水とともに封入して水中に沈め、照明下での溶存酸素濃度の変化から光合成速度を求めた。
- ii) 付着生物層の有機物分解と栄養塩吸収機能を調べるため2種類の水槽実験を行った。

実験Ⅰ：玉堤から付着層のついた礫(直径3~5 cm)を採取し、半数はそのまま、半数はブラシで付着を除去して各々直径30cmの水槽の底面に敷きつめた。水槽に6 lの河水を入れ、また対照として礫を加えない水槽を加えて3条件のセットを作り、軽く通気しながら照明下にインキュベートした。設置後約24時間経ったとき、グルタミン酸Naとグルコースをそれぞれ炭素量として10mg/lになるように各水槽に加え、経時的に水質と細菌数を測定した。

実験Ⅱ：1 l容のビーカー4個にSt. 2で採取した付着付きの礫をならべ、これに600mlの河水を加えた。このビーカーを、明又は暗、通気の有無を組合わせた4条件下にインキュベートし(室温約25℃)、水中の栄養塩濃度の変化を記録した。

## 4. 結 果

### 4-1 付着微生物量の分布と現存量の変化

現地調査で得られた付着層の現存量を、クロロフィルa、有機態炭素(POC)、有機態窒素(PON)、および有機態リン(POP)で示した結果を表1にまとめた。河床では基盤の特性、流況などの影響により付着量には大きな不均一性があり、今回の測定でもばらつきは大きかったが、大きく見ると次の傾向が認められた。(1)St. 2はSt. 1の約2.5倍(有機炭素量として)の現存量を持つ。(2)有機炭素に対するクロロフィルaの比率はSt. 2で約2倍高く、付着層全体に対する藻類の比率が高い。(3)有機炭素に対する窒素の比率は両地点でほぼ同じか、St. 2でやや高い程度だが、リンの比率はSt. 2の方が3倍近く高い。(4)付着量は、有機物量でみてもクロロフィルa量でみても明確な季節的傾向を示さない。

### 4-2 流水中の栄養塩濃度

表2に両調査地点で採取した流水中の栄養塩濃度を示す。表から明らかなようにSt. 2はSt. 1とくらべて極めて高い濃度である。特にリン酸態リンは十数倍、アンモニア態窒素は数百倍も高かった。海沢でも硝酸態窒素が比較的高いのであったが、これが付着物の元素組成PON/POCがSt. 2とくらべてそれほど低い値でなかった原因と考えられる。St. 2でアンモニア態窒素とリン酸態リンの高い値は、多摩川の中流以降で、下水やその処理水が流入していることを示している。

表 1 多摩川の付着層生物群集の現存量

年	870429	870718	870718	870905	870905	871114	871114	880220	880220	880528	880528	880809	880809	881028	881028	890128	890128
調査地点	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢	海沢
調査対象(付着物)	コブト 石付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着
クロロフィルa(mg/m <sup>2</sup> )	74.0	31.6	88.0	59.1	58.9	88.6	50.8	33.4	23.4	68.0	75.2	33.4	15.8	107.6	141.4	11.6	14.8
クロロフィルa/POC(%)	1.16	0.93	1.40	0.25	0.66	0.74	0.94	0.68	0.71	1.30	1.24	0.37	0.56	1.32	1.66	0.89	1.14
POC (g/m <sup>2</sup> )	6.38	3.39	6.28	23.6	8.90	11.9	5.42	4.92	3.28	5.20	6.08	9.10	2.82	8.16	8.52	1.30	1.30
PON (g/m <sup>2</sup> )	1.06	0.58	1.08	2.69	0.69	1.60	0.70	0.64	0.44	0.78	0.94	1.32	0.50	1.26	1.14	0.20	0.20
PON/POC (%)	0.166	0.171	0.174	0.114	0.078	0.134	0.129	0.130	0.134	0.148	0.153	0.144	0.174	0.154	0.134	0.154	0.154
POP (g/m <sup>2</sup> )	0.077	0.045	0.031	0.925	0.243	0.166	0.070	0.121	0.075	0.092	0.109	0.078	0.036	0.108	0.092	0.022	0.038
POP/POC (%)	0.012	0.013	0.005	0.039	0.027	0.014	0.013	0.025	0.023	0.018	0.018	0.009	0.013	0.013	0.011	0.017	0.029
年	870512	870602	870728	870826	871012	871114	880220	880618	881028	881028	890228	890228	890228	890228	890228	870718	870718
調査地点	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	多摩 大橋下	戸倉
調査対象(付着物)	コブト 付着	コブト 付着	コブト 付着	コブト 付着	コブト 付着	コブト 付着	石A 付着	コブト 付着	コブト 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	石A 付着	石B 付着	コブト 付着	コブト 付着
クロロフィルa(mg/m <sup>2</sup> )	895	273	484	343	-	41.8	165	232	73.4	91.8	126	614	1190		687.3	22.56	
クロロフィルa/POC(%)	2.47	2.74	3.36	2.16	-	0.95	0.67	1.68	2.64	1.50	1.92	2.12	3.05		3.99	1.14	
POC (g/m <sup>2</sup> )	36.3	9.30	14.4	15.9	12.2	4.38	24.6	13.8	2.78	6.10	6.56	29.0	39.0		17.21	1.98	
PON (g/m <sup>2</sup> )	6.61	1.19	2.39	2.35	1.72	0.75	4.02	2.28	0.437	1.09	1.11	5.06	6.68		3.25	0.32	
PON/POC (%)	0.182	0.128	0.166	0.148	0.141	0.171	0.164	0.165	0.157	0.178	0.170	0.174	0.171		0.189	0.162	
POP (g/m <sup>2</sup> )	1.082	0.326	0.451	0.529	0.328	0.312	0.920	0.568	0.104	0.174	0.164	0.862	1.19		0.416	0.028	
POP/POC (%)	0.030	0.035	0.031	0.033	0.028	0.071	0.037	0.041	0.037	0.029	0.025	0.030	0.031		0.024	0.013	

表 2 多摩川流水中の栄養塩濃度

水	質																		
年月日		870429	870718	870905	871114	880220	880528	880809	881028	880128									
調査地点		梅沢	梅沢	梅沢	梅沢	梅沢	梅沢	梅沢	梅沢	梅沢									
PO <sub>4</sub> -P (μg/L)		27	39	21	10	7	51	53	29	16									
NH <sub>4</sub> -N (μg/L)		9	3.3	0.8	0	0	35	28	14	16									
NO <sub>2</sub> -N (μg/L)		1	9	2	1	6	6	5	6	1									
NO <sub>3</sub> -N (μg/L)		479	537	533	382	340	571	549	441	532									
年月日		880220	881028	880618	880808	880818	880908	890228	870429	870718	870905								
調査地点		玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	玉堤	多摩	戸倉	関戸								
									大橋下										
PO <sub>4</sub> -P (μg/L)		744	312	400	359	113	194	288	648	30	269								
NH <sub>4</sub> -N (μg/L)		5600	641	873	824	577	412	1660	5110	19	281								
NO <sub>2</sub> -N (μg/L)		217	95	336	392	148	207	415	518	13	2								
NO <sub>3</sub> -N (μg/L)		3130	2110	3220	2920	3630	3330	3670	2340	826	1240								



### 4-3 付着層中の生物相

- i) 藻類 両調査地点で礫表面の付着層中に出現した藻類を表3に示す。どちらの場所でも細胞数で比較した優占種は矽藻であった。特にSt.1でしばしば最優占した *Cocconeis* 属の矽藻は石面や糸状藻の表面に強固に付着する種で、流速の大きい現場環境に適応していると考えられる。また両地点とも糸状性のシアノバクテリア（藍藻）が粘質物を分泌して基盤の表面に発達していた。St.2でも矽藻が多かったが、*Synedra*, *Nitzschia* などの種が優占していた。これらは高い栄養濃度を要求する、あるいは溶存酸素低下など汚濁環境に適した種と考えられる。なお、St.2の春から夏にかけては分岐する比較的大型の糸状緑藻、*Stigeoclonium* が、生物量としては優占している場合もあった。また石の表面を蛍光顕微鏡で直接観察すると、細菌程度の大きさの単細胞性シアノバクテリアが多数生育していることが判明した。このグループは通常の顕微鏡観察では見落とされやすいが、その常在性や量的重要性から考えても、今後の研究が必要と思われる。
- ii) 繊毛虫類を中心とした微小生物 表4に付着層および堆積物中から確認できた原生動物などの微小生物のリストを示す。各上段には昆虫類、貧毛類、線虫類、輪虫類、鞭毛虫類、根足虫類と大きくグループわけした区分を示してあるが、両地点ともこれらのどの分類群も分布していることがわかる。しかし、同じ昆虫類でもSt.1はカゲロウ、カワゲラ、類などの幼虫、いわゆる溪流昆虫であるのに対し、St.2ではユスリカやチョウバエなど双翅目の幼虫であるなどの点では全く異なっていた。属あるいは種まで細かく調べた繊毛虫類はいずれの地点にも分布していたがSt.2の方が多様性に富んでいた。St.1では矽藻を捕食する小型の種類が多く見られたが、St.2では細菌食、藻類食、肉食性と多様な食性の種が混在していた。またSt.2では *Loxodes* がしばしば確認されたがこの種は溶存酸素濃度が非常に低いところに出現するとして知られているもので、この地点が有機汚濁がすすんでいることを示すものといえよう。

### 4-4 現場における付着層の発達速度

玉堤で行った人工付着板を用いた付着藻類の発達速度測定の結果を図2に示す。一年間の各季節について行ったが発達の過程はいずれもほぼ指數的な増殖を示した。春～夏期には10～15日で最大現存量（クロロフィルa量として3～400mg/m<sup>2</sup>）に達し、その後しばらくその値を維持するか、又は付着層がはく離流失して現存量が低下する。このはく離は大雨増水による場合もあるが、日照がつづいた時でも付着層下部からはがれ落ちることも観察された。秋の例は雨ががつづいた時のもので、初期の増加も10日間程低くおさえられていたがその後、急激に発達した。しかし、再び増水があったために夏期ほど増加しないうちに減少してしまった。冬期には増殖速度は大きくないものの、25日後の最大現存量が300mg/m<sup>2</sup>以上を春・夏期と同等なことは注目に値する。冬期には降雨が少ないことが原因の1つかもかもしれない。

表 3 多摩川付着微生物群集中の藻類

梅 沢

1987年11月14日採取	1988年2月20日採取
<i>Schytonema</i> sp. (C)	<i>Schytonema</i> sp. (C)
<i>Lyngbia</i> sp. (C)	<i>Lyngbia</i> sp. (C)
<i>Melosira varians</i> (D)	<i>Ulothrix</i> sp. (C)
<i>Diatoma</i> sp. (D)	<i>Diatoma</i> sp. (C)
<i>Synedra ulna</i> (D)	<i>Synedra ulna</i> (D)
<i>Synedra</i> sp. (D)	<i>S acus</i> (D)
<i>Achnanthes</i> spp. (D)	<i>Synedra</i> sp. (D)
<i>Cocconeis placentula</i> (D)	} ++
<i>C. scutellum</i> (D)	
<i>Navicula</i> spp. (D)	<i>Rhoicosphenenia</i> sp. (D)
<i>Gomphonema olivaceum</i> (D)	<i>Achnanthes</i> spp. (D) +
<i>Gomphonema</i> sp. (D)	<i>Cocconeis placentula</i> (D) +
<i>Cymbella ventricosa</i> (D)	<i>Navicula</i> spp. (D)
<i>C. tumida</i> (D)	<i>Gomphonema</i> spp. (D)
<i>Cymbella</i> spp. (D)	<i>Amphora ovalis</i> (D)
<i>Nitzschia palea</i> (D)	<i>Cymbella</i> spp. (D)
<i>Nitzschia</i> spp. (D)	<i>Nitzschia palea</i> (D)
	<i>N. dissipata</i> (D)
	<i>Nitzschia</i> spp. (D)

(D) : 矽藻、(G) : 緑藻、(C) : シアノバクテリア (藍藻)

優占率 +++75%以上 ++50%程度 +20%程度

梅 沢

1987年9月5日採取	1989年1月28日採取
<i>Lyngbia</i> sp. (C)	<i>Melosira varians</i> (D)
<i>Diatoma</i> sp. (D)	<i>Synedra ulna</i> (D)
<i>Synedra ulna</i> (D)	<i>Diatoma</i> sp. (D)
<i>Cocconeis placentula</i> (D)	<i>Achnanthes lanceolata</i> (D)
<i>C. scutellum</i> (D)	<i>Achnanthes</i> spp. (D)
<i>Navicula</i> spp. (D)	<i>Cocconeis placentula</i> (D)
<i>Gomphonema</i> spp. (D)	<i>Navicula pupula</i> (D)
<i>Cymbella</i> spp. (D)	<i>Navicula</i> spp. (D)
<i>Nitzschia dissipata</i> (D)	<i>Gomphonema</i> spp. (D)
<i>Nitzschia palea</i> (D)	<i>Cymbella tumida</i> (D)
<i>Nitzschia</i> spp. (D)	<i>Cymbella</i> spp. (D)
	<i>Rhoicosphenia curvata</i> (D)
	<i>Nitzschia palea</i> (D)
	<i>Nitzschia</i> spp. (D)

玉 堤

1988年9月20日採取	1989年2月28日採取
<p><i>Schyttonema</i> sp. (C)  <i>Lyngbia</i> spp. (C)  <i>Stigeoclonium</i> sp. (G)  <i>Melosira varians</i> (D)  <i>Diatoma</i> sp. (D)  <i>Fragilaria</i> sp. (D)  <i>Synedra ulna</i> (D) +  <i>Achnanthes</i> spp. (D)  <i>Cocconeis</i> sp. (D)  <i>Pinnularia</i> sp. (D)  <i>Navicula pupula</i> (D)  <i>N. Capitata</i> (D)  <i>Navicula</i> spp. (D)  <i>Gomphonema</i> spp. (D)  <i>Nitzschia frustrum</i> (D) ++</p>	<p><i>Lyngbia</i> spp. (C)  <i>Scytomema hoffmanni</i> (C)  <i>Cyclotella maneghiniana</i> (D)  <i>Melosira varians</i> (D)  <i>Synedra ulna</i> (D) +  <i>S. rumpens</i> (D)  <i>Synedra</i> sp. (D)  <i>Achnanthes pinnata</i> (D)  <i>A. hauckiana</i> (D)  <i>Achnanthes</i> spp. (D)  <i>Cocconeis placentula</i> (D)  <i>Navicula pupula</i> (D)  <i>N. viridula</i> (D)  <i>Navicula</i> spp. (D)  <i>Gomphonema parvulum</i> (D)  <i>G. olivaceum</i> (D)  <i>Gomphonema</i> spp. (D)  <i>Cymbella</i> sp. (D)  <i>Hantzschia</i> sp. (D)  <i>Rhoicosphenia</i> sp. (D)  <i>Nitzschia palea</i> (D) ++  <i>N. dissipata</i> (D)  <i>N. intermedia</i> (D)  <i>Nitzschia</i> spp. (D)  <i>Surirella</i> spp. (D)</p>
<p>1988年10月28日採取</p>	
<p><i>Lyngbia</i> spp.  <i>Stigeoclonium</i> sp.  <i>Cyclotella maneghiniana</i> +  <i>Melosira varians</i>  <i>Synedra ulna</i>  <i>Achnanthes</i> spp.  <i>Cocconeis placentula</i>  <i>Navicula pupula</i>  <i>N. viridula</i>  <i>Navicula</i> spp.  <i>Gomphonema parvulum</i>  <i>Gomphonema</i> spp.  <i>Nitzschia linearis</i>  <i>N. palea</i>  <i>N. dissipata</i>  <i>Nitzschia</i> spp.  <i>Surirella</i> sp.</p>	<p>(D) : 珪藻、(G) : 緑藻、  (C) : シアノバクテリア (藍藻)  優占率 +++75%以上  ++50%程度 +20%程度</p>

表 4 多摩川付着層中の微小動物と原性動物

調査地点	海沢、岸近くの付着層							
年 月 日	870718	870905	871114	880220	880528	880809	881029	890128
生 物 名								
insects	+	+	+++	+	+		+	+
oligochaetes	+			+	+			+
nematodes	+	+						
rotifer	+	++		+	+		+	+
flagellates	+	+	+		+	++		
rhizopods	+		+		+	+	+++	
ciliates								
<i>Acineria incurvata</i>								
<i>Aspidisca</i>	+		+	+	+			+
<i>Carchecium</i>		+						
<i>Chilodonella cucullulus</i>	++		++					
<i>Chilodonella uncinata</i>			+	+	+			
<i>Chilodontopsis</i>								
<i>Cinetochilum margalitaceum</i>	+		+		+	+	+	
<i>Colepus</i>	+							
<i>Cyclidium</i>				+				+
<i>Dileptus</i>								
<i>Epistylis</i>								
<i>Euplotes</i>	+	+						
<i>Frontonia leucus</i>								
<i>Hemiphrys pleurosigma</i>								
<i>Litonotus</i>	+		++	+	+		+	+
<i>Litonotus cygnus</i>								
<i>Lembadion</i>								
<i>Loxocephalus</i>								
<i>Loxodes</i>								
<i>Loxophyllum</i>								
<i>Opercularia</i>								
<i>Perispira</i>								
<i>Pleuronema</i>								
<i>Spirostomum intermedium</i>					+			
<i>Spirostomum teres</i>								
<i>Stentor</i>	+							
<i>Strobilidium</i>								
<i>Stylomichia</i>	+				+			
<i>Uroleptus</i>								
<i>Vorticella</i>		+			+	+		
oxitrichidae		+	++	+	+	+	+	+
small diatom feeder	+		++	++		+		+

+ 出現が認められたもの

++ 多数生息が確認されたもの

+++ 優占していたもの

調 査 地 点		玉 堤、岸 近 く の 堆 積 ・ 付 着						
年 月 日	870531	870831	871114	880220	880430	881028	890228	
生 物 名								
insects		+				++	+	+
oligochaetes		++		+	+++	++	+	+
nematodes		+		+	++	+	+	+
rotifer		+	++	+	+	+	+	+
flagellates		+++	+++	+	++	+	+	+
rhizopods		+		+		+	++	+
ciliates								
<i>Acineria incurvata</i>								
<i>Aspidisca</i>						+		+
<i>Carchecium</i>					+			
<i>Chilodomella cucullulus</i>		+	+		+	+		+
<i>Chilodomella uncinata</i>						+		
<i>Chilodontopsis</i>		++						
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>			+				+	+
<i>Colepus</i>								
<i>Colpidium colpoda</i>					+			
<i>Cyclidium</i>								
<i>Dileptus</i>								
<i>Epistylis</i>								
<i>Euplotes</i>		+		++			+	
<i>Frontonia leucus</i>		+++		++				
<i>Hemiophrys bivacuolata</i>								
<i>H. pleurosigma</i>								
<i>Litonotus</i>				+			+	
<i>Litonotus cygnus</i>			+			+		
<i>Lembadion</i>								
<i>Loxocephalus</i>								
<i>Loxodes</i>		+	++	+		+	+	+
<i>Loxophyllum</i>			+					
<i>Opercularia</i>								
<i>Paramecium caudatum</i>					+	+		+
<i>P. trichium</i>				+	+	+		+
<i>Perispira</i>				+				
<i>Pleuronema</i>								
<i>Spirostomum intermedium</i>		+		+	+			
<i>Spirostomum teres</i>		+						
<i>Stentor</i>				+		+	+	
<i>Strobilidium</i>								
<i>Stylonichia</i>			+	+		+	+	
<i>Uroleptus</i>		++	+	+				
<i>Vorticella</i>							+	
oxitrichidae				+		+		
small diatom feeder								

調 査 地 点		海 沢、 岸 近 く の 付 着 層							
年 月 日	870429	870718	870905	871114	880220	880528	880809	881029	890128
生 物 名									
insects	+++	+++			+	+	+	+	+++
oligochaetes	+	+				+	+		
nematodes	+	+	+				+		+
rotifer	+	+	++		+	+	+		
flagellates	+	+	+	+	+		++		+
rhizopods	+	+	+	+	+	+	+	+	++
ciliates									
<i>Acineria incurvata</i>									
<i>Aspidisca</i>		+	+	+	+	+			+
<i>Carchecium</i>									
<i>Chilodonella cucullulus</i>	+	++	+++	+					
<i>Chilodonella uncinata</i>	+	+		+	+++	+			
<i>Chilodontopsis</i>									
<i>Cinetochilum margalitaceum</i>	+	+	+	+		+		++	+
<i>Colepus</i>									
<i>Cyclidium</i>					+				
<i>Dileptus</i>			+						
<i>Epistylis</i>									
<i>Euplotes</i>			+						
<i>Frontonia leucus</i>									
<i>Hemiphrys pleurosigma</i>									
<i>Litonotus</i>		++		+	+	+		+	+
<i>Litonotus cygnus</i>						+			
<i>Lembadion</i>			+				+		
<i>Loxocephalus</i>									
<i>Loxodes</i>			+						
<i>Loxophyllum</i>			+						
<i>Opercularia</i>									
<i>Perispira</i>									
<i>Pleuronema</i>							+		
<i>Spirostomum intermedium</i>						+			
<i>Spirostomum teres</i>									
<i>Stentor</i>			+						+
<i>Strobilidium</i>									
<i>Stylomichia</i>			+	+		+		+	+
<i>Uroleptus</i>									
<i>Vorticella</i>			+			+			
oxitrichidae	+	+	+	+	+	+	+	++	+
small diatom feeder	+++	+		+	+	+			+

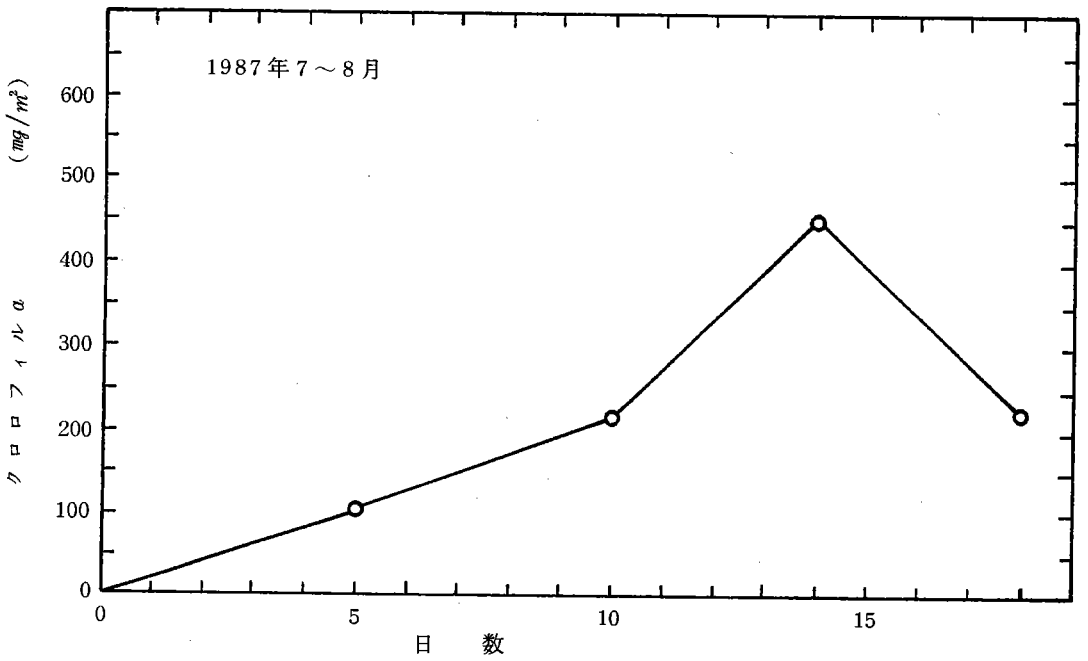
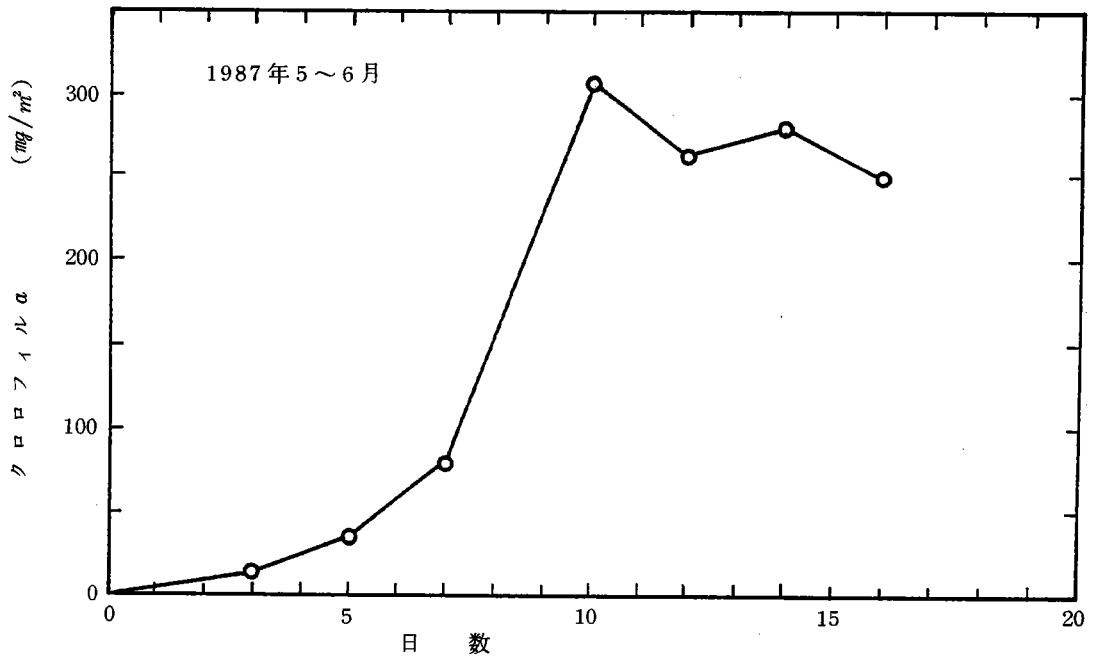


図2 人工付着板を用いた場合の付着藻類発達速度(王・堤)  
付着板2枚の平均値を示す。



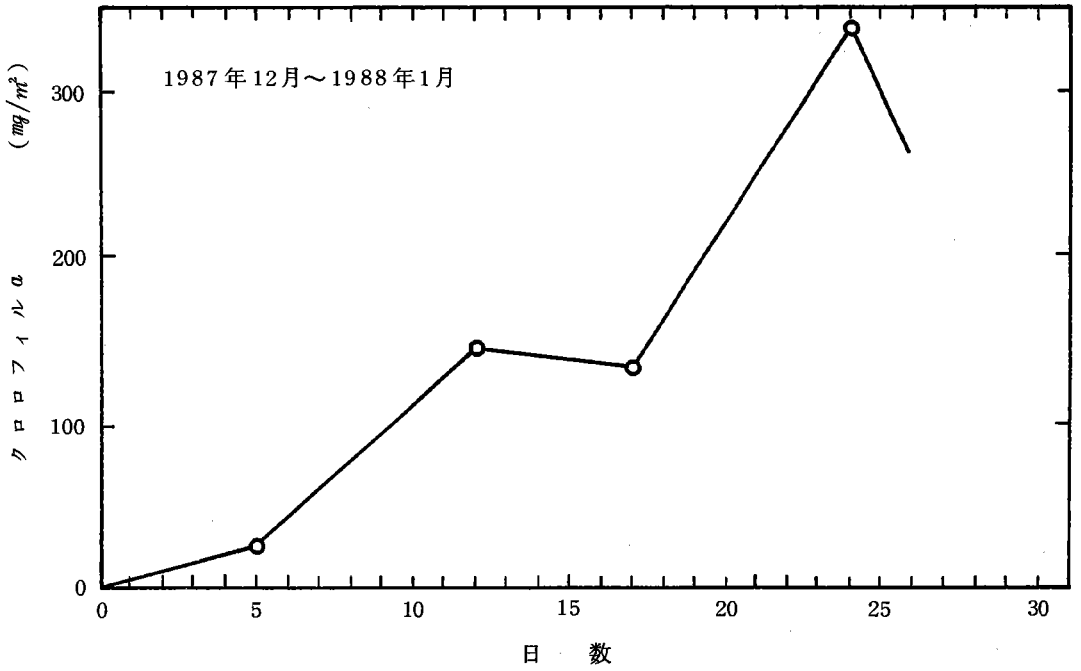
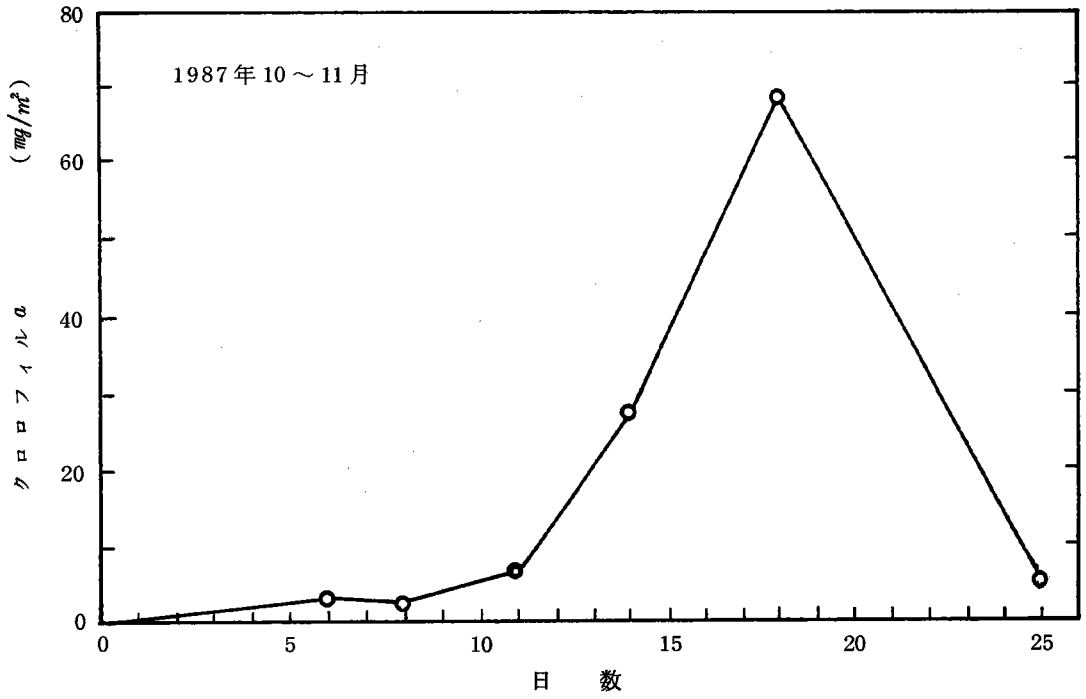


図2 つづき

表5に冬期の付着板について測定した付着藻類の光合成速度と付着群集全体の呼吸速度の値を示す。光合成は現場水温程度(10~15℃)で照度 $90\mu\text{E}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ で測定したものである。付着板設置日数が経過するに従って、面積当たりで求めた光合成速度は増加するものの、クロロフィル当りでの速度は減少していくことがわかる。これは付着層が厚くなると光が透入しなくなるためと考えられる。また、付着藻類に加えて細菌、原生動物等の生物量も増加するので全体の呼吸速度も急上昇する。付着量がさらに増加したとするとやがて呼吸速度が光合成速度を上まわり、付着層下部では有機物の生産よりも分解が進行することになる。付着層がある程度増加するとやがてはく離するのはこの生産と分解のバランスによると考えられる。

#### 4-5 水槽実験の結果

i) 実験Ⅰ 図3に、付着の有無と水中有機物の関連を調べた実験Ⅰの結果を示す。この実験は開始後24時間の時点で添加した有機物の分解に付着層がどう影響するかを調べようとしたものだが、結果は付着層のついていない礫の系でも、ついている系と同様の有機物除去速度を示した。礫のない系では除去速度が遅かったことから、有機物除去に礫の表面積が有効であったことが示唆された。水槽中に加えた流水中には浮遊細菌が高密度で存在したので、それらが礫に付着し、付着群集がない系でも礫表面で分解が進んだと考えられた。実験後半で付着系の方が水中有機物量が高かったのは、付着層から光合成産物等の溶出があったためであろう。

ii) 実験Ⅱ

付着生物層のついた礫を加えた水槽を〔明・通気〕、〔明・非通気〕、〔暗・通気〕、〔暗

表5 付着板で測定した光合成・呼吸速度 (1987年12月)

日数	クロロフィルa量 ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )	有効炭素量 ( $\text{mg}/\text{m}^2$ )	面積当り光合成 ( $\text{mgO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )	クロロフィル当り光合成速度 ( $\text{mgO}_2/\text{mgchl}a\cdot\text{h}$ )	呼吸速度 ( $\text{mgO}_2/\text{m}^2\cdot\text{h}$ )
5	26	1680	178	6.8	79.6
12	145	8150	251	1.7	90.5
17	133	8310	297	2.2	95.0
23	377	13120	381	1.1	251.0

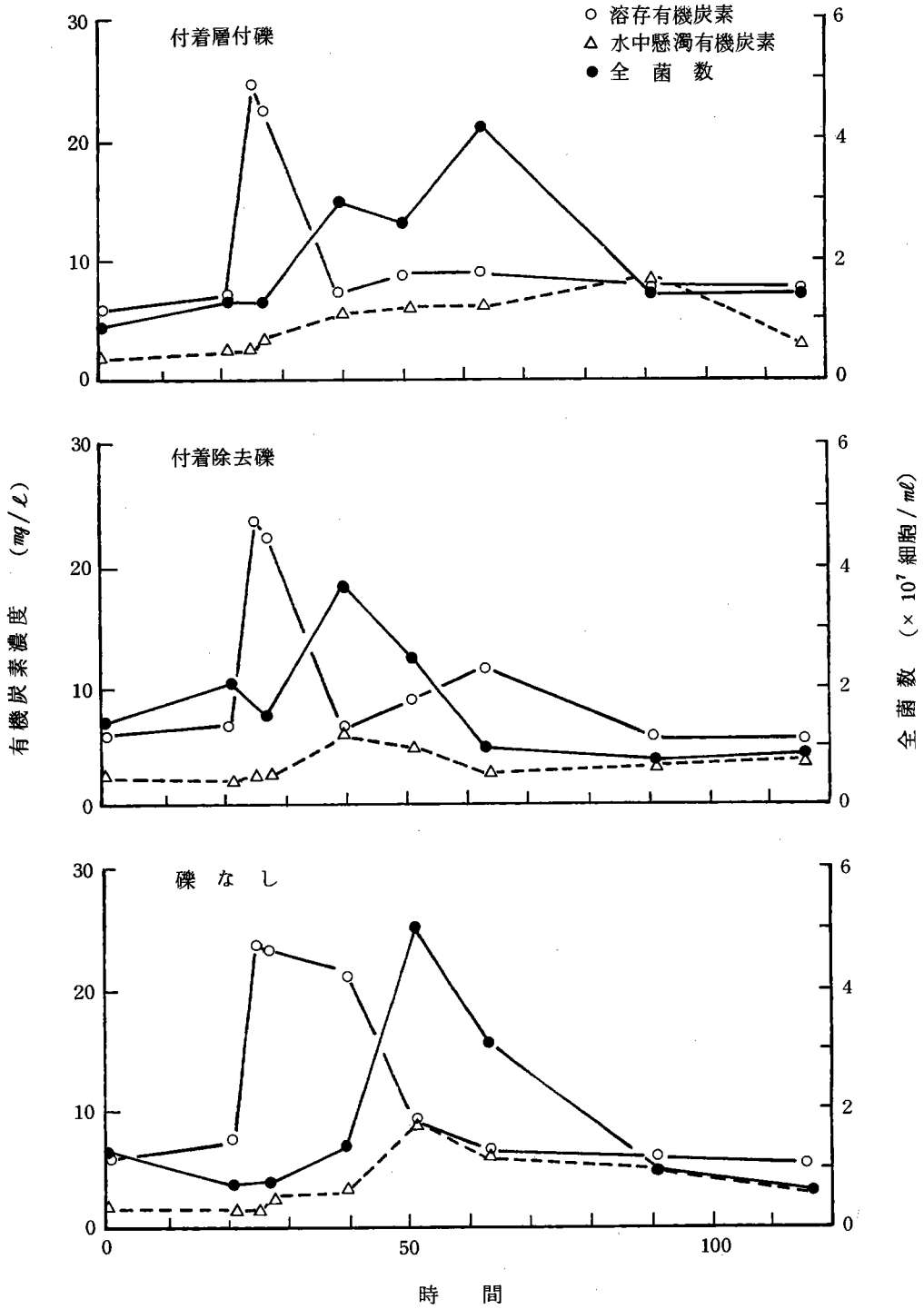


図3 実験Iにおける水槽中での溶存有機炭素、懸濁有機炭素および全菌数の経時変化。

・非通気] の4条件でインキュベートした実験Ⅱの結果を図4に示した。水中の有機物と栄養塩濃度は各条件で特徴的な違いを示した。即ちアンモニア態窒素は〔暗・非通気〕の系でのみほぼ直線的に増加した。これに対して硝酸態窒素は〔明・通気〕と〔暗・通気〕で3日目までは増加し、その後〔明・通気〕でのみ上昇した。これら窒素成分の変化は付着層中の有機窒素がアンモニアとして回帰すること、それが好氣的条件では硝化されること、明条件では硝化が阻害され、また恐らく付着藻類の光合成に伴ってとりこまれること、などから説明することが出来る。リン酸態リンはいづれの条件でも水中に増加してくるが明条件よりも暗条件、非通気系よりも通気系でその程度が大きかった。これは明条件でリンのとりこみが増加すること、通気系の方が水の攪拌によって付着層中からの拡散が促進されるためと考えられる。溶存有機炭素の増加は明条件で大きかったがこれは付着藻類の光合成産物に由来するのであろう。

付図として、St. 1、2で付着群集から記録された優占藻類と、St. 1の付着中で観察された珪藻を捕食するアメーバ類の写真を示す。

## 5. 考 察

多摩川のような都市河川では、一般に汚濁有機物が流入し、河床の石に付着微生物膜が発達すると考えられている。しかし本研究の結果からも判断できるように、付着層の構成生物としては付着藻類が量的に優占している。本調査の上流部調査地、海沢でも年間を通じかなりの付着層が形成されていたことから、付着群集は汚濁のみが原因で成立するものではない。玉堤の人工付着板による実験からも藻類群集の発達が基礎となって付着群集が成立することがわかる。海沢で付着藻類と細菌の関係を研究した森川（1984、1985）も、そこでの付着層が藻類を主構成者とする群集で、年間を通じて増減をくり返しながらもほぼ一定量の現存量を維持していることを見ている。付着層中の栄養元素、特に窒素とリンの含量がほぼ安定していることから付着発達期には、水中の溶存栄養塩のとりこみ場所（シンク）として付着層が作用していることがわかる。それらの含量はその場の流水中の濃度に影響されていることが確認された。特に下流部ではリンの含量が高くなっており、これは汚濁河川の特徴と言えるのかもしれない。支流の一つである南浅川でもこの勾配が認められている（渡辺等1975）。

水槽を使用したモデル実験からは付着層と流水との間での栄養吸収-放出関係には、光、溶存酸素（通気状態）、水の動きなどが影響することがわかった。河川環境での水質を良好に保つために付着層の栄養吸収特性を利用することは理解されやすく今後も活用されるであろうが、有効に機能させるためには、付着群集をめぐる環境の維持・管理に注意を払う必要があろう。

付着層による有機物除去は、広く散布濾床や礫間浄化法などの廃水処理系で利用されているが、自然河川では、付着藻類による光合成生産と溶出が同時に起きているため、事情は複雑である。相崎（1981）は人工水路を用いた研究で付着藻類の多い場合は有機物除去能が低いことを見ている。

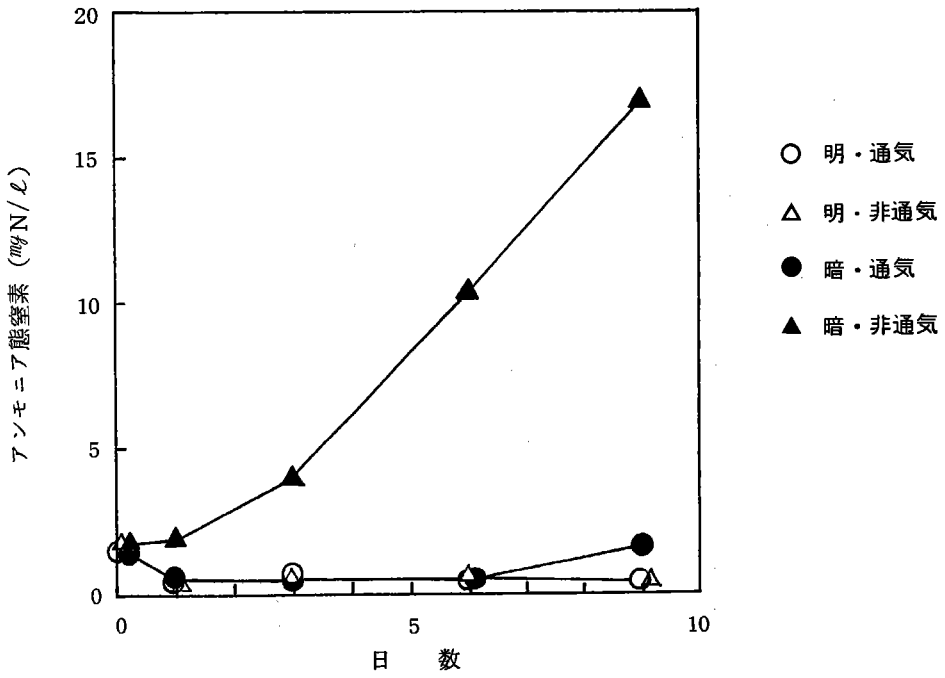


図4-1 実験Ⅱにおける水中溶存有機炭素、栄養塩濃度の経時変化、付着層のついた碟のインキュベート条件

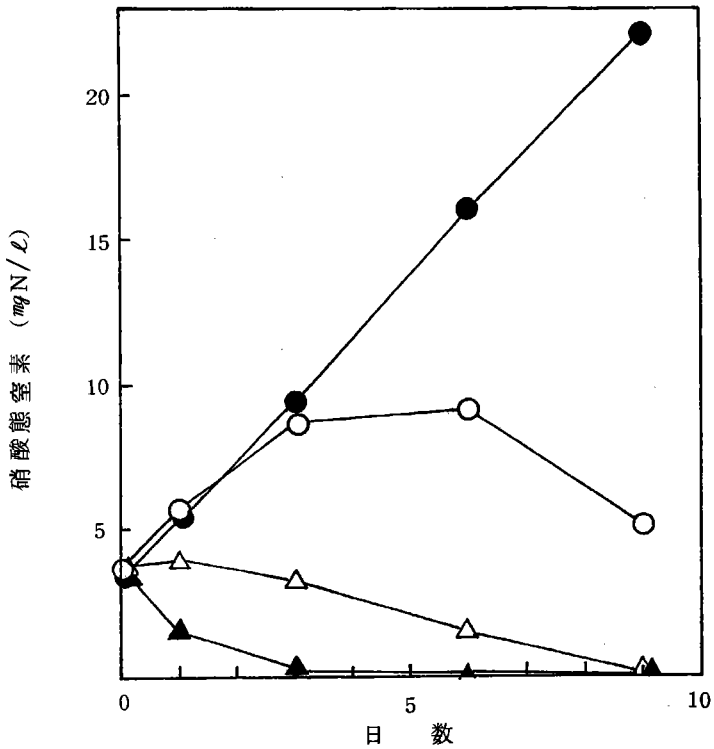


図4-2 つづき

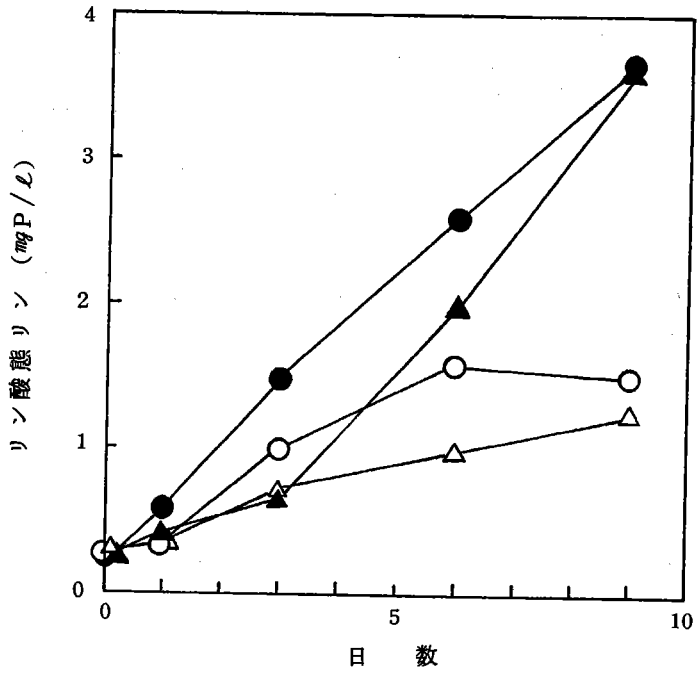


図4-3 つづき

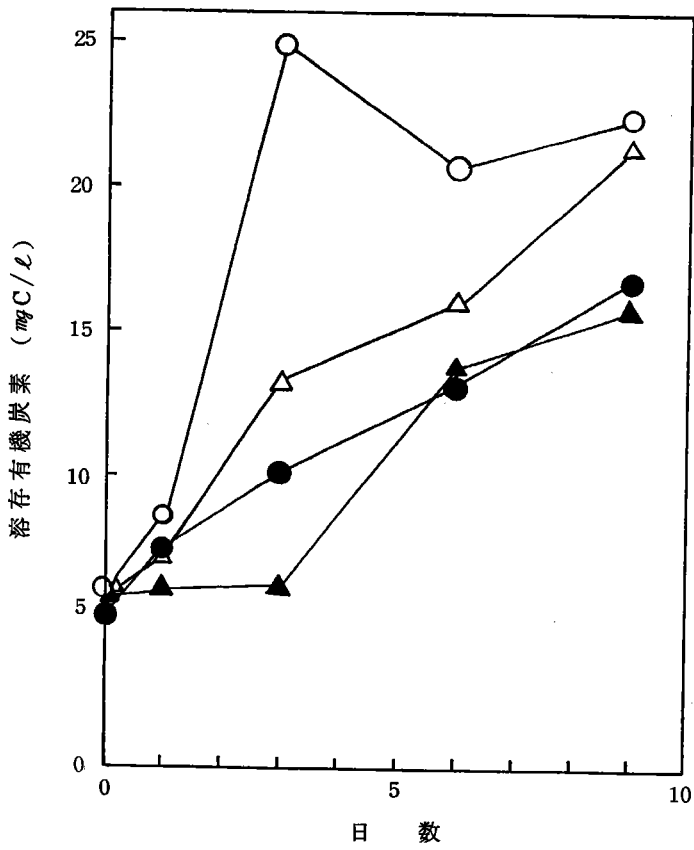
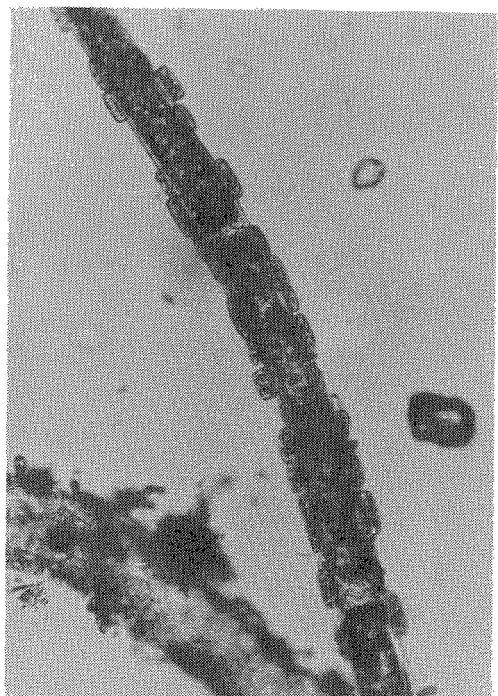
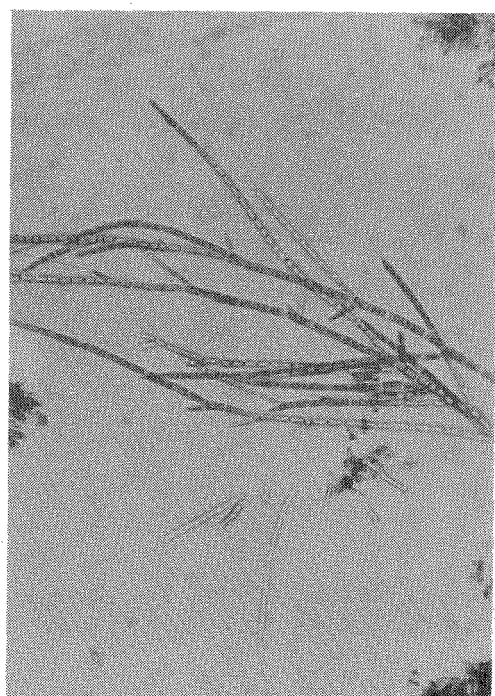


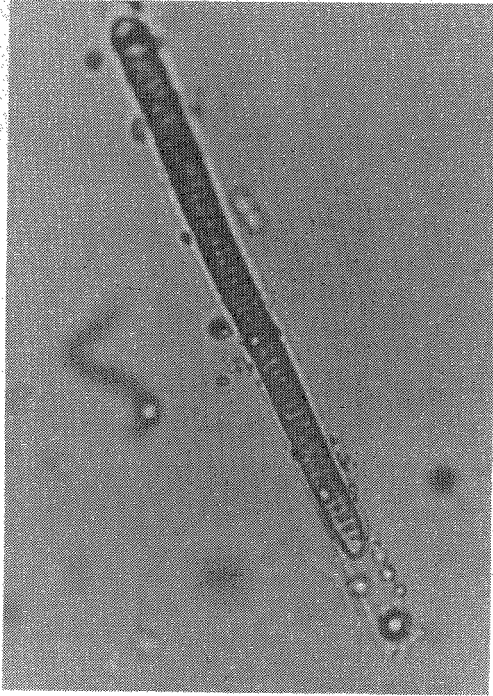
図4-4 つづき



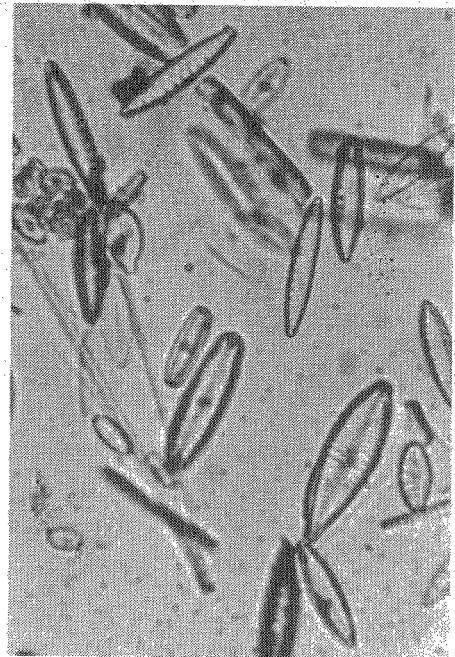
1



3



2

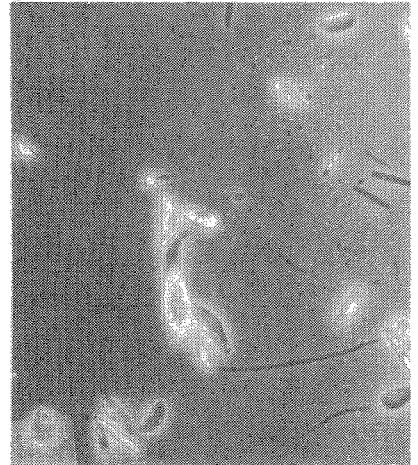
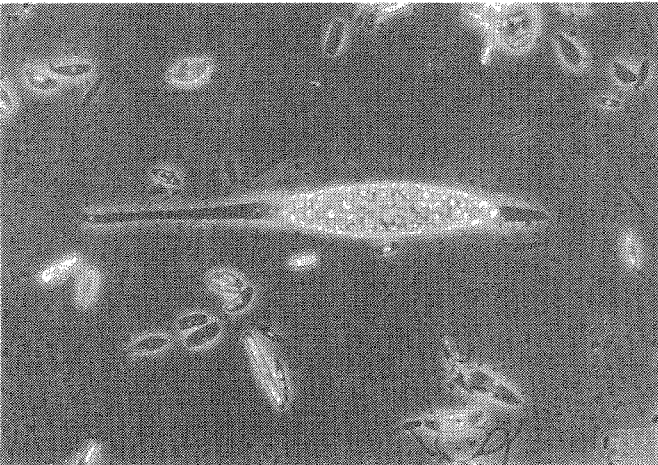
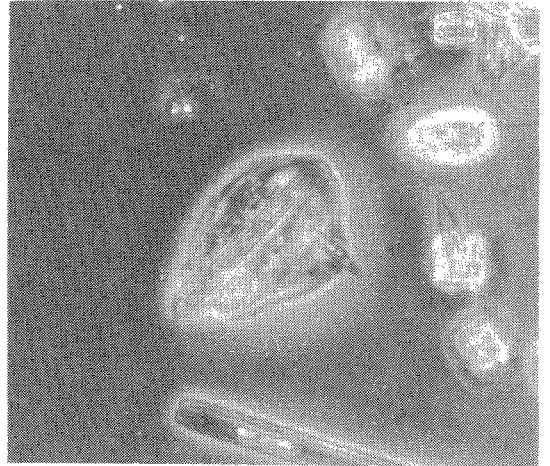
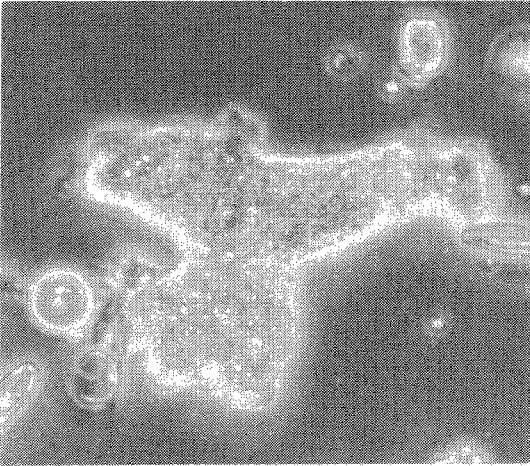
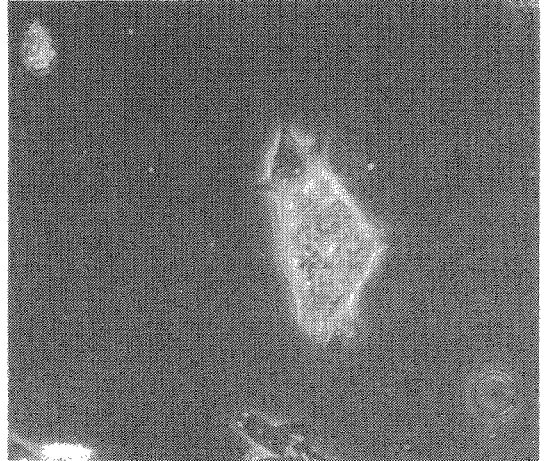
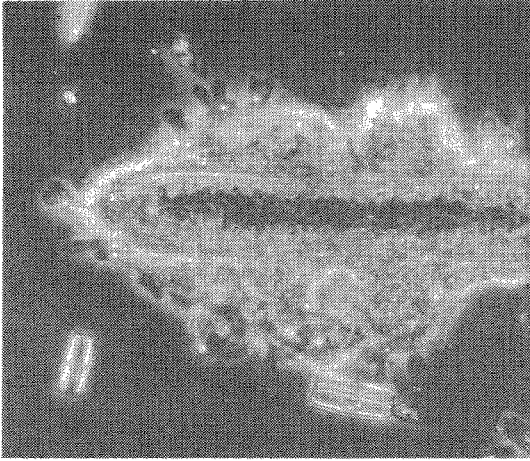


4

付図A 多摩川の付着藻類

- 1. 2 海沢 1989 9月
- 3. 4 玉堤 1988 2月

- 1. 糸状藻に多数附着する硅藻 *Cocconeis*
- 2. *Lyngbia* (シアノバクテリア)
- 3. *Stigeoclonium* (緑藻)
- 4. 珪藻類 *Nitzschia*, *Navicula*, *Synedra*.



付図B 梅沢付着層で見られた矽藻を捕食するアメーバ類



このことは付着層のはく離・流下の問題とともに付着層のマイナスの面として評価しなければならないだろう。付着微生物群集には、細菌、藻類、原生動物、後生動物が含まれ、またそれらが複雑な食物連鎖系を形成している。本研究で詳しく記録した繊毛虫類でも、多様な食性の種が多数混在していた。この食物連鎖が機能することが付着層の自浄作用に貢献している。また、藻類は有機物の生産者ではあるが、同時に酸素の供給者として、これら微生物群集の維持に役立っていることには注意しなければならない。水質の良好な上流部でも汚染のすすんだ下流部でも、河床に分布する付着層は、複雑な生物組成で多様な機能を持つ系である。その特性をさらに解析し、多摩川の、特に中・下流部の水質改善に利用できるようにするため、今後さらに機能の定量的評価の研究をすすめなければならないであろう。

## 参 考 文 献

- 1 相崎守弘、1980、陸水学雑誌、41 : 225-234
- 2 相崎守弘、1981、環境科学研究報告集 B75-S504
- 3 Morikawa, K. 1984. Jpn. J. Limnol. 45 : 69-78
- 4 森川和子 1985、都立大学博士学位論文
- 5 落合正宏・中島拓男・小椋和子、1981、水処理技術 22 : 689-695
- 6 Suehiro, S. and Y. Tezuka 1981. Jpn. J. Limnol. 42 : 1-7
- 7 Watanabe, Y. 1975. Jap. J. Ecol. 25 : 368-384
- 8 渡辺泰徳・渡辺真利代・手塚泰彦、1975 特定研究「人間生存」92-97
- 9 渡辺仁治、1981、公害と対策 17 : 5
- 10 小山忠四郎・半田暢彦・杉村行勇、1972、湖水・海水の分析 講談社
- 11 Golterman, H. L. 1969 IBH Handbook No. 8
- 12 Tezuka, Y., Y. Watanabe, H. Hayashi, S. Fukunaga, M. Aizaki 1974. Jap. J. Ecol. 24 : 43-49