

## 多摩川中流部の再生に関する研究 (その5)

— 付着藻類による有機物の生成とその河川水質への影響 —

坪 郷 久 子\* 和 波 一 夫 嶋 津 暉 之  
(\*非常勤研究員)

### 要 旨

付着藻類の増殖要因である栄養塩をどこまで削減すればよいかを知るため、現場調査と室内実験を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 是政橋～多摩川原橋の間ではK処理場の放流水が完全に混合する1.8km下流地点で栄養塩が最高濃度に上昇し、河床石礫の付着藻類量も最大値になっていた。
- (2) 多摩川原橋の石礫を用いた付着藻類の増殖実験の結果では、無機態窒素、 $PO_4\text{-P}$ とクロロフィル a 増加速度との間にそれぞれ0.83、0.84という高い相関係数が得られ、栄養塩濃度が付着藻類の増殖速度に影響していた。
- (3) この結果を用いて試算したところ、河川水のクロロフィル a をC-BODにほとんど影響しないレベルまで下げるには、河川水の無機態窒素を概ね  $3\text{ mg/l}$  以下、 $PO_4\text{-P}$ を概ね  $0.2\text{ mg/l}$  以下に落とす必要があった。

キーワード：多摩川、C-BOD、栄養塩類、付着藻類、クロロフィル a

## Study on Revival of Tamagawa Middle Reach Parts (5)

— Organic Production by Sessile Algae and Influence on Quality of River Water —

Hisako Tsubogo\*, Kazuo Wanami and Teruyuki Shimazu

\*Associate researcher

### Summary

To examine the threshold level of the nutrient concentration, which is the factor of increasing sessile algae, field and laboratory experiments were performed. The following results were obtained:

- (1) Between Koremasa-bashi and Tamagawara-bashi, the concentration of nutrient and the amount of standing crop of sessile algae were greatest at 1.8 km below Koremasa-bashi, where the outflow of K sewage treatment plant mixed completely with river water.
- (2) In the experiment using stones collected in Tamagawara-bashi, correlation coefficients of inorganic N and  $PO_4\text{-P}$  with chlorophyll-a were 0.83 and 0.84 respectively. Increased nutrient concentrations led to increased growth of sessile algae.
- (3) It is estimated that in order to decrease the concentration of chlorophyll-a sufficiently, the concentration of inorganic-N and  $PO_4\text{-P}$  should be reduced to not more than about  $3\text{ mg/L}$  and  $0.2\text{ mg/L}$  respectively.

Keywords : Tamagawa River, C-BOD, nutrient, sessile algae, chlorophyll-a

### 1 はじめに

東京都水環境保全計画では、多摩川中流部の水質について、環境基準C類型（BOD 5 mg/ℓ以下）を早期に達成し、より上位のB類型（BOD 3 mg/ℓ以下）を目指すことを目標に掲げている。

多摩川の水質は、1975年頃までは悪化傾向にあったが、その後、工場・事業場の排水規制、下水道の普及、生活排水対策によってしだいに改善されてきている。田園調布堰でのBOD値は、1997年度から4 mg/ℓ以下の低い値で推移してきている。このように多摩川中流部は、環境基準を達成しつつあるが、長期目標のB類型にはいまだ達していない。B類型を満たすためには、多摩川中流部のBOD負荷量をさらに削減しなければならない。

多摩川中流部の水質を改善するためには、NH<sub>4</sub>-Nの排出量を抑制してN-BODの低減を進めるとともに、C-BODを合わせて削減することが必要である。既報<sup>1)</sup>では、N-BODの負荷量削減対策を検討し、田園調布堰でN-BOD値を1 mg/ℓ以下にするには、下水処理場排水のNH<sub>4</sub>-N濃度を4 mg/ℓ以下に低減する必要性を示した。また、前報<sup>2)</sup>ではC-BODの負荷量の実態を調査し、浮遊性C-BODがC-BODの50%以上を占め、特に河川中の付着藻類由来のC-BOD割合が二子橋・田園調布堰で38~51%と大きいことを示した。今回は、C-BODの負荷量削減対策を検討するため、多摩川中流部において、河川水の栄養塩濃度と付着藻類の現存量との関係を調査したので、その結果を報告する。

### 2 調査方法

#### (1) 調査対象

多摩川中流部のC-BODに対して最も大きな流出源となっていたのはK下水処理場である。前回の調査では、河床の付着藻類の現存量が最大となる地点は多摩川原橋であった。その直上流にK処理場から大量の排水が流入しているため、付着藻類の増加要因として、K処理場排水の栄養塩濃度の影響が示唆された。そこで、今回はK処理場の河川水への負荷影響が把握できるように是政橋~多摩川原橋の間を6点に分けて栄養塩類の挙動と付着藻類の現存量について調査を行った。調査地点を図1に示す。

Site a（是政橋）を始点（0.0km）とし、Site bは始点から1.4km地点、Site cは1.6km地点、Site dは1.8km地点、Site eは2.6km地点、Site f（多摩川原橋）は2.8km地点にある。また、K処理場放流口は始点から1.5kmの地点にある。

更に、多摩川原橋の河床石礫を対象として、付着藻類の光合成速度、呼吸速度、栄養塩吸収速度の測定を行った。

#### (2) 試料採取方法

##### ア 河川水と河床付着物

図1に示す各調査地点で河川水と下水処理水の採水を行い、保冷して持ち帰った。河川水の採水と同時に石礫の付着物の採取も行った。径15~20cmの石礫を3個選び、石礫の平滑な表面部分に5cm×5cmのゴム製のコドラートを置き、コドラートの外側をブラシで剥ぎ取った後、コドラートの内側を蒸留水とともにバット内にこすり落とし、3個分合わせて試料とした。試料は保冷して持ち帰った。

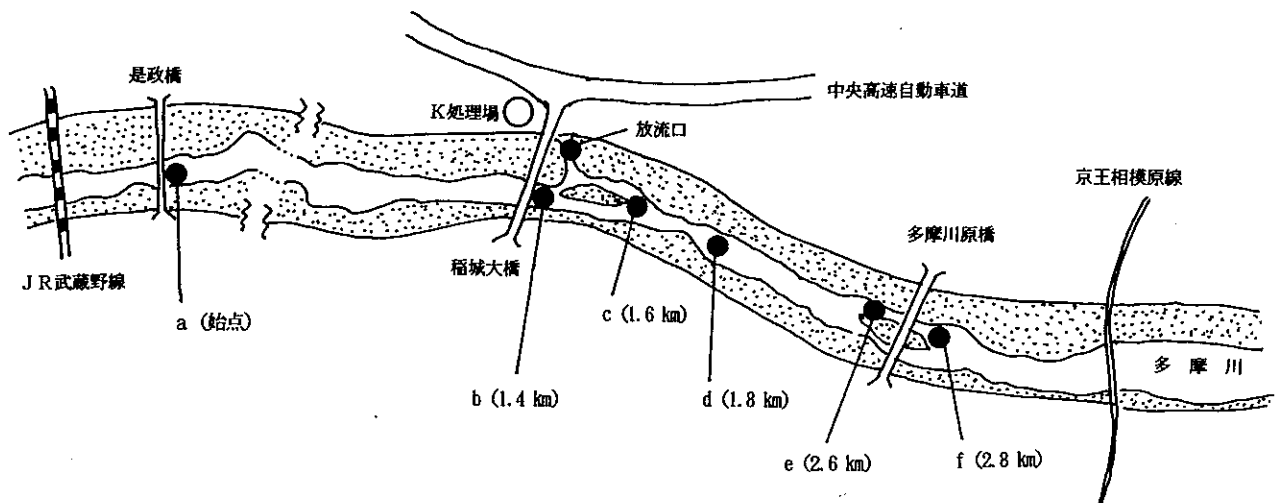


図1 調査地点

イ 付着藻類の光合成・呼吸速度と栄養塩吸収速度

(ア) 現場測定

多摩川原橋において、渡辺<sup>3)</sup>によるプラスチック製袋を用いた溶存酸素測定法を使って、付着藻類の光合成速度と呼吸速度を現場で測定した。溶存酸素はウィンクラー法または溶存酸素計により測定した。

(イ) 室内実験

付着藻類の栄養塩吸収速度等を調べるため、次の2種類の室内実験を行った。

i 実験1

多摩川原橋から付着藻類のついた石礫(直径5~10cm)を採取し、2つの人工水路(W:50cm、L:100cm、H:40cm)に敷きつめた。一つの水路に多摩川原橋で採水した河川水を20ℓ入れ、12h:12hの光周期(明条件下:30or70μE/S/m<sup>2</sup>)、水温20or17℃(±1.5℃)の条件で、60ℓ/minの水を循環させた。また、もう一つの対照の人工水路は暗条件とし、その他は明条件と同じ条件にした。実験開始7日後にNH<sub>4</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの濃度が開始時の濃度に近くなるように9.0mg/ℓのNH<sub>4</sub>Clと34.5mg/ℓのKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>を各水路に加え、延べ14日間または11日間の実験を行った。実験開始後、経時的に水質を測定し、開始時と終了時に水路中の石礫3個について付着物をブラシで剥ぎ取り、蒸留水とともにバット内にこすり落として試料とし、付着物の現存量を測定した。

ii 実験2

多摩川原橋から付着藻類のついた石礫(直径5~10cm)を採取し、7ℓ容量の水槽5個を並べ、それぞれ栄養塩濃度の異なる3ℓの河川水(多摩川羽村取水堰で採取した河川水をベースとしてNH<sub>4</sub>ClとKNO<sub>3</sub>とKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>を添加することにより5段階の栄養塩濃度を作成)を加えた。この水槽を水温16℃(±1.5℃)で6日間静置して、水質の経時変化を調べた。開始時の石礫、終了時に各水槽中の石礫について実験1と同様の方法で付着物の現存量を測定した。

(3) 調査期間

ア 河川水と河床付着物

河川水と河床付着物の調査は1997年11月28日、98年7月16日に実施した。

イ 付着藻類の光合成・呼吸速度と栄養塩吸収速度

(ア) 現場測定

調査は1997年11月13日、98年3月10日、98年7月28日

に実施した。

(イ) 付着藻類の光合成・呼吸速度と栄養塩吸収速度

実験1 1998年8月4日~18日と11月9日~20日に実施した。

実験2 1999年2月12日~18日と2月25日~3月2日に実施した。

(4) 調査項目

JIS及び上水試験方法に準じて、次の項目を分析した。

ア 河川水と河床付着物

河川水:溶解性T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、溶解性T-P、PO<sub>4</sub>-P、Cl<sup>-</sup>

付着物:粒子状有機態炭素(以下、POCという)、クロロフィルaとフェオフィチンa(以下、クロロフィルaとフェオフィチンaの合計をクロロフィルaという)

イ 付着藻類の光合成・呼吸速度と栄養塩吸収速度

(ア) 現場測定

河川水:溶存酸素濃度

付着物:POC、クロロフィルa、T-N、T-P

(イ) 室内実験

実験1

水:溶解性T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、溶解性T-P、PO<sub>4</sub>-P、TOC

付着物:POC、クロロフィルa、T-N、T-P

実験2

水:溶解性T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、溶解性T-P、PO<sub>4</sub>-P、TOC

付着物:クロロフィルa

3 結果及び考察

(1) 是政橋~多摩川原橋における河川水質と付着藻類量の変化

是政橋~多摩川原橋の各調査地点における付着藻類の現存量と河川水栄養塩濃度の変化を1998年7月16日に調査した結果を図2に示す。97年11月の調査結果もほぼ同様であった。同図(1)は河川水のNH<sub>4</sub>-NとNO<sub>x</sub>-N、(2)はPO<sub>4</sub>-P、(3)は付着物のPOCとクロロフィルa、(4)は河川水のCl<sup>-</sup>の変化である。

K処理場の放流口直下のSite cでNH<sub>4</sub>-Nが、Site dでNO<sub>x</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pが最も高い濃度であった。また、付着物のPOC量とクロロフィルa量はともにSite dで大

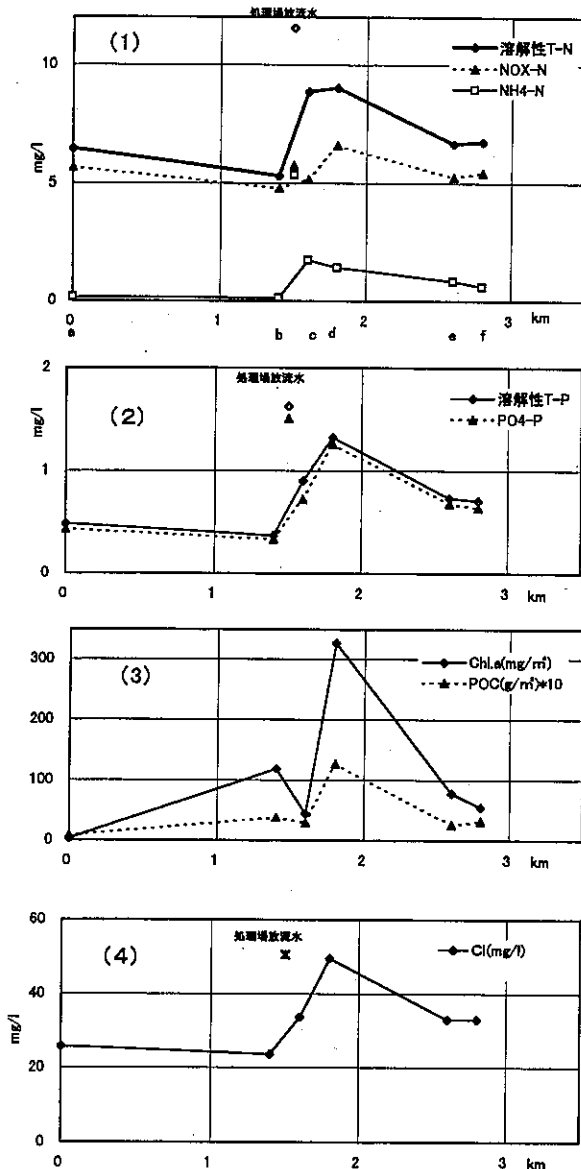


図2 是政橋—多摩川原橋の縦断調査結果 (1998年7月16日)

大きく増加していた。この結果は、K処理場放流水の混入によって栄養塩濃度が上昇し、その影響で、付着物のPOC量、クロロフィルa量が増加したことを示している。河川水の最高濃度地点がNH<sub>4</sub>-NとNO<sub>x</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pとで異なっている。河川水Cl<sup>-</sup>の最高濃度地点はSite dであるので、Site cではK処理場放流水と河川水とが完全に混合していないと考えられる。したがって、NO<sub>x</sub>-NとPO<sub>4</sub>-Pの最高濃度がSite dでみられるのは妥当である。NH<sub>4</sub>-Nの場合はK処理場放流水の濃度が合流前の河川水に比べて10倍以上高いため、完全に混合しなくても、河川水の濃度を大きく上昇させる。そして、その後、硝化が急速に進行して、NH<sub>4</sub>-Nの減少が進むこと

から、Site cが最高濃度地点になったと考えられる。

また、付着物のPOC量、クロロフィルa量がSite cで減少している。この理由としては、放流口の直下は放流水の変動により河床が不安定であることと、高いNH<sub>4</sub>-N濃度が付着藻類に対して毒性を持つことの可能性が考えられる。

表1 現場での光合成速度測定結果

	1997/11/13	1998/3/10	1998/7/28	
水温	℃	18.3	16.7	24.5
光強度	μE/S/m <sup>2</sup>	270(200~340)	760(440~1080)	1450(1400~1500)
付着藻類量	mgChl.a/m <sup>2</sup>	101	51	56
石礫表面積あたり 光合成速度	mgO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /時	105	105	208
	mgC/m <sup>2</sup> /時	39	39	78
石礫表面積あたり 取込み速度①	mgN/m <sup>2</sup> /時	12.8	15.9	19.2
	mgP/m <sup>2</sup> /時	2.0	1.5	3.3
石礫表面積あたり 呼吸速度	mgO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /時	23.0	63.9	16.7
付着藻類のC:N:P		100:32.5:5.1	100:40.5:3.9	100:25.6:4.5

(注) 石礫表面積あたり取込み速度①は光合成速度に付着藻類のC:N:Pを乗じた値を示す。

(2) 付着藻類の光合成速度の現場測定

表1に1997年11月13日、98年3月10日、7月28日にSite fで測定した付着藻類の光合成速度の値を示す。光強度270、760、1450 μE/s/m<sup>2</sup>の条件で石礫の単位表面積あたりの光合成速度を溶存酸素の変化量として測定した。結果は、それぞれ105、105、208 mgO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/Hであった。春と秋の測定値に比べ、光強度と水温の高い夏には光合成速度が大きくなる傾向がみられたが、春と秋は光合成速度の差がなかった。測定時の春と秋は光強度に約3倍の違いがあったが、その影響は明確ではなかった。

次に、この溶存酸素変化量に相崎<sup>4)</sup>の定数0.375 (mgC/mgO<sub>2</sub>)を乗じて、光合成速度を炭素量で求めた。その結果はそれぞれ、39、39、78 mgC/m<sup>2</sup>/Hであった。これは、相崎<sup>4)</sup>や渡辺<sup>5)</sup>が示した値と近似している。

更に、上記の値に各々の付着藻類のC:N:P (P<sub>0</sub>C:C:T-N:T-P)の比を乗じて、単位表面積あたりの栄養塩吸収速度を求めた。その結果は、13~19 mgN/m<sup>2</sup>/H、1.5~3.3 mgP/m<sup>2</sup>/Hであった。

(3) 栄養塩吸収速度についての室内実験

ア 実験1 (人工水路実験)

表2に1998年8月4日~18日、11月9日~20日に実施した人工水路実験の結果を示す。人工光源を使用したため、光強度は現場測定よりかなり小さく、2回の実験はそれぞれ30、70 μE/s/m<sup>2</sup>であった。実験期間中の付着藻類の増加量を測定した結果から、石礫単位表面積あたり

表2 人工水路での栄養塩取込み速度測定結果

		1998/8/4~18	1998/11/9~20
水温	℃	20.0	17.0
光強度	μE/S/m <sup>2</sup>	30.0	70.0
石礫表面積あたり	mgChl.a/m <sup>2</sup> /時	0.32	0.99
光合成速度	mgC/m <sup>2</sup> /時	12.2	55.7
石礫表面積あたり	mgN/m <sup>2</sup> /時	6.5	18.8
取込み速度(1)	mgP/m <sup>2</sup> /時	0.4	2.5
石礫表面積あたり	mgN/m <sup>2</sup> /時	2.2	4.2
取込み速度(2)	mgP/m <sup>2</sup> /時	0.27	0.62

[注] 石礫表面積あたり取込み速度(1)は光合成速度に付着藻類のC:N:Pを乗じた値、(2)は水中のN減少量から求めた値を示す。

の光合成速度を求めた。その結果、2回の実験の光合成速度はクロロフィル a 表示でそれぞれ0.32、0.99mgChl.a/m<sup>2</sup>/H、炭素量表示で12.2、55.7mgC/m<sup>2</sup>/Hであった。室内実験の光強度は現場測定より小さいにもかかわらず、11月の結果は現場測定と同レベルの値であった。このことから、室内実験の結果で河床で起きる現象を推測できると考えられる。

付着藻類のC:N:Pから求めた栄養塩吸収速度は2回の実験それぞれ6.5、18.8mgN/m<sup>2</sup>/H、0.4、2.5mgP/m<sup>2</sup>/Hであった。この値は現場測定と同レベルの値である。一方、人工水路内の水の栄養塩減少量から、栄養塩吸収速度を求めると、それぞれ2.2、4.2mmgN/m<sup>2</sup>/H、0.27、0.62mgP/m<sup>2</sup>/Hであり、付着藻類のC:N:Pから求めた値よりかなり小さい値になった。これが水中の栄養塩が繰り返し利用されることによるのかどうか、その理由は現段階では不明である。

図3に、1998年11月9日~20日の明と暗の光条件それぞれの実験に使用した水の栄養塩濃度変化を示す。同図(1)は無機態窒素、(2)はNO<sub>x</sub>-N、(3)はNH<sub>4</sub>-N、(4)はPO<sub>4</sub>-Pの変化である。実験を開始して13日までは明と暗のどちらの光条件でも同じように溶解性T-N、NO<sub>x</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pが減少したが、明条件では13日以降も減少し続けたのに対し、暗条件ではほぼ一定の値になった。明条件の減少傾向の継続は、付着藻類によって栄養塩が吸収され続けていることを表している。NH<sub>4</sub>-Nは明と暗のどちらの条件でも同じように減少し続けた。これは硝化作用によるものと考えられる。溶解性T-Nは16日以降、PO<sub>4</sub>-Pは17日以降において濃度の低下が次第に緩やかになっていく傾向がみられる。これは栄養塩の濃度が藻類の増殖速度に影響するため、栄養塩濃度の低下

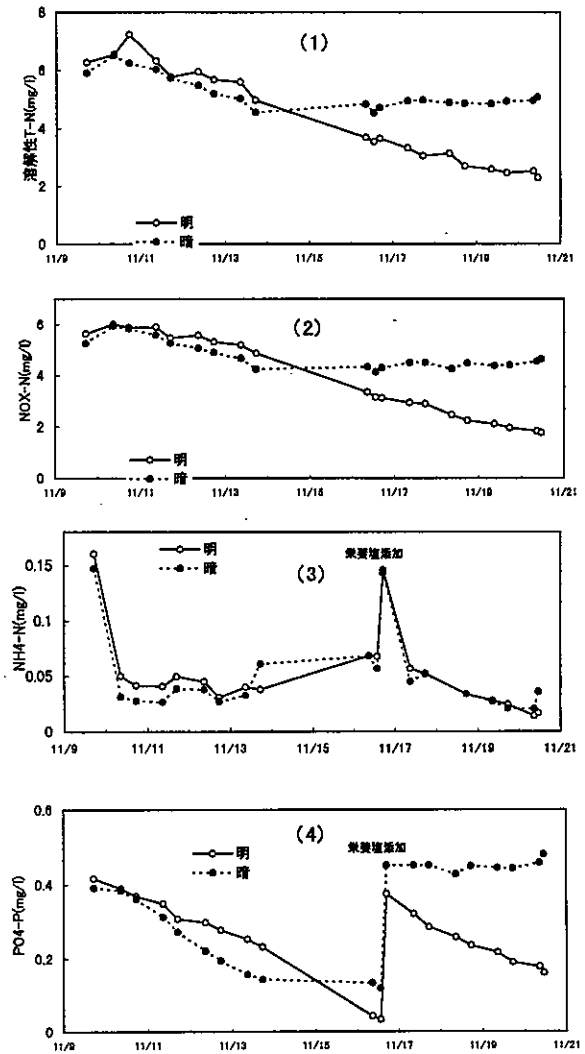


図3 人工水路による付着藻類の栄養塩吸収実験 (1998年11月9日~20日)

で藻類の増殖が遅くなり、栄養塩の吸収速度が小さくなったことを示唆している。

図4に実験開始前と終了時の付着藻類のクロロフィル a、T-N、T-Pを示す。明条件では実験終了時にそれぞれ、初期値の3倍、1.5倍、4倍になったのに対して、暗条件では少し減少した。これは、明条件では付着藻類が栄養塩を吸収して成長し続けたのに対し、暗条件では成長が止り藻体が剥離したことにより現存量が減少したことによるものである。

イ 実験2 (水槽実験)

図5に、1999年2月12日~18日と2月25日~3月2日に水槽の栄養塩濃度を5段階に変えて実験した結果を示す。(1)は水中の無機態窒素、(2)は水中のPO<sub>4</sub>-P、(3)は付着藻類のクロロフィル a の変化である。この実験の光強度は65~70μE/s/m<sup>2</sup>であった。この実験では栄養塩を

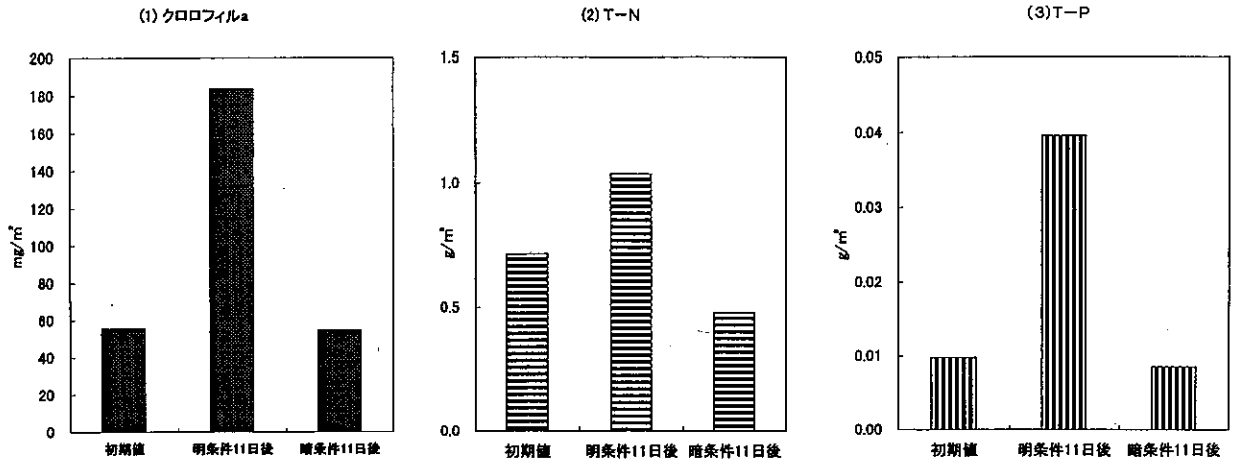


図4 人工水路実験の付着藻類の変化 (1998年11月9日—20日)

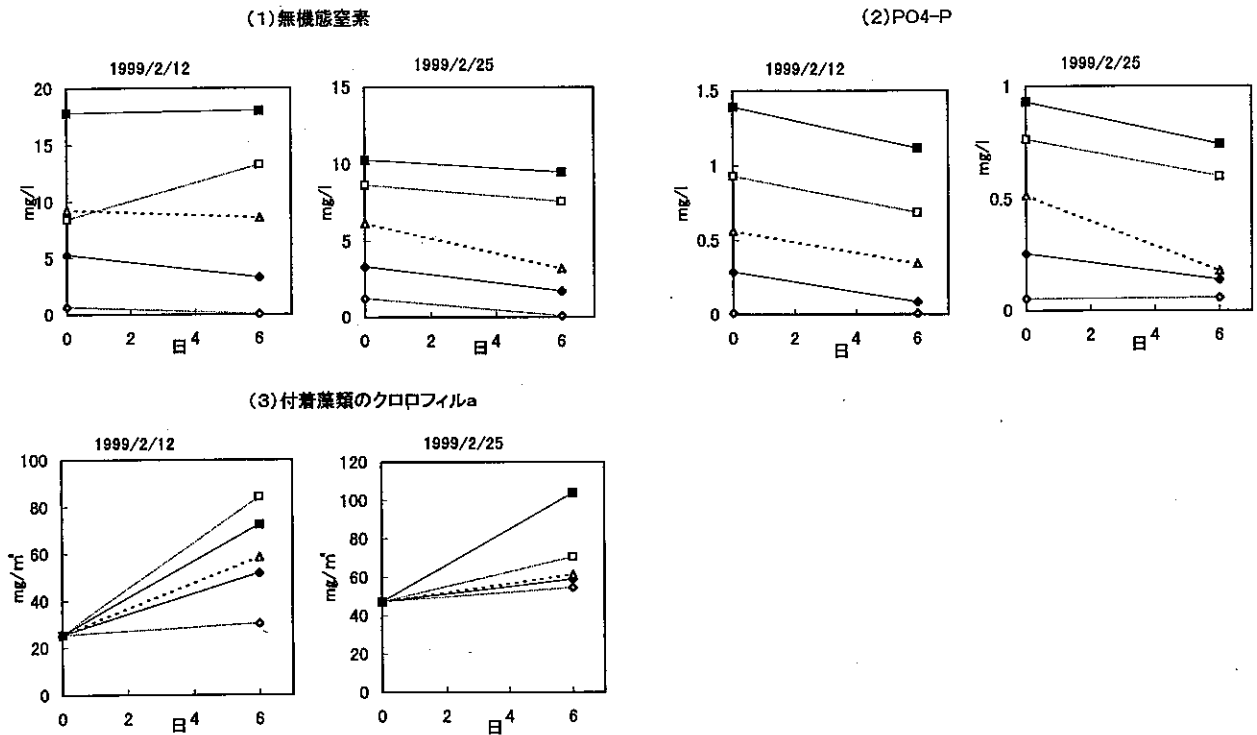


図5 水槽を用いた付着藻類の栄養塩吸収実験

添加しない水槽を除くと、いずれも、水中の栄養塩をほぼ使い切る状態までには至っていないので、この結果から水中の栄養塩濃度と付着藻類の増殖速度との関係を知ることができる。そこで、実験期間6日間の平均の栄養塩濃度と付着藻類のクロロフィルa増加速度との関係をプロットした。その結果を図6に示す。無機態窒素とクロロフィルa増加速度との相関係数は0.83、P O<sub>4</sub>-Pと

クロロフィルa増加速度との相関係数は0.84であり、高い相関がある。この結果から、一定濃度までは栄養塩濃度が高くなるほど、付着藻類の増殖速度が大きくなると考えられる。

(4) 負荷量削減の検討

多摩川中流部において、C-BODが最大となるのは多摩川原橋であり、その主な要因の一つとして、付着藻

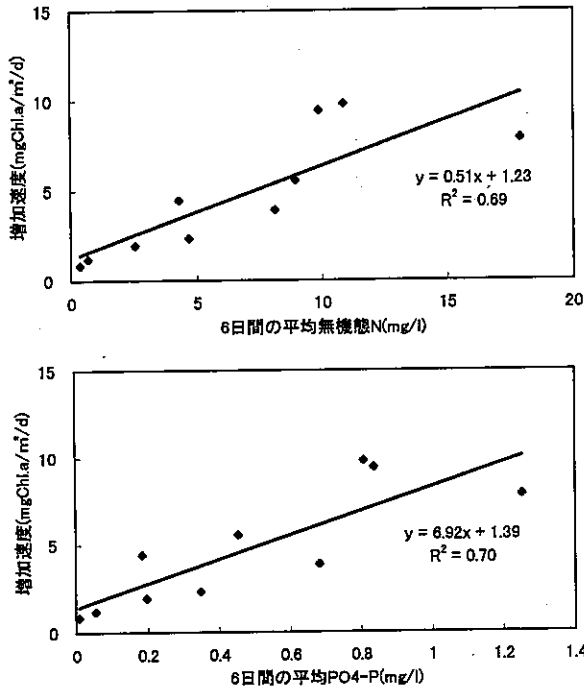


図6 水槽実験における栄養塩濃度と付着藻類の増殖速度との関係

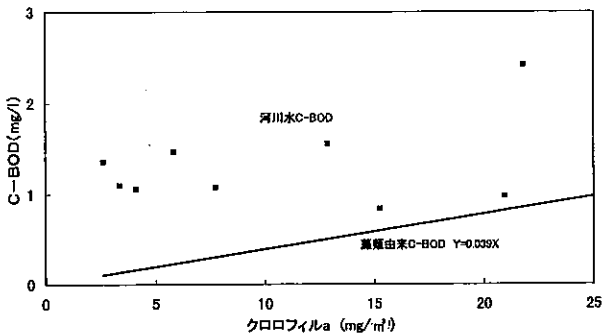


図7 多摩川原橋の河川水 (1997年度)

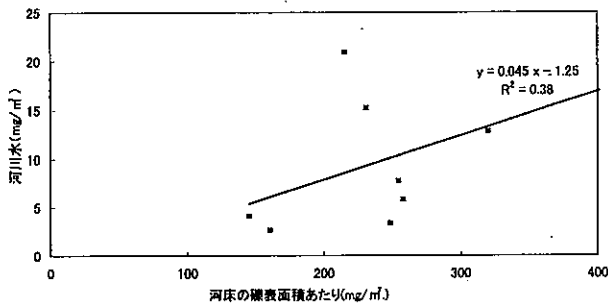


図8 多摩川原橋の河床と河川水のクロロフィルa (1997年度)

類の剥離による有機物質の供給がある。前報<sup>2)</sup>では藻類由来のC-BODはクロロフィルa 1 μgあたり0.039mgであった。1997年度に多摩川原橋で調査した結果にこの値をあてはめると、図7のとおり、河川水中のクロロフィルaが15~20mg/m<sup>2</sup>の時は藻類由来のものがC-BOD

D全体の3~4割を占めている。多摩川原橋の河床石礫のクロロフィルaと河川水中のクロロフィルaとの関係を見ると、図8に示す関係がある。ただし、多摩川原橋の河川水中のクロロフィルaの量は同地点より上流の石礫の付着藻類から供給されたものも含んでいる。この図から推測すると、河川水のクロロフィルaをC-BODにほとんど影響しないレベル、すなわち、5mg/m<sup>2</sup>程度まで下げるには、河床の石礫表面積あたりのクロロフィルaを100mg/m<sup>2</sup>程度まで減らす必要がある。

前報<sup>2)</sup>で述べたとおり、河川水質が悪化する冬期において、付着藻類が最大量まで増殖するのに約30日間の日数が必要であった。したがって、石礫表面のクロロフィルaを100mg/m<sup>2</sup>以下に維持するには、クロロフィルaの増加速度を約3mg/m<sup>2</sup>/日以下に落とす必要がある。前出の図6にこの値を当てはめると、無機態窒素を概ね3mg/m<sup>2</sup>以下、P O<sub>4</sub>-Pを概ね0.2mg/m<sup>2</sup>以下に落とす必要がある。

多摩川原橋における1997年度の冬期の無機態窒素は6~9mg/m<sup>2</sup>、P O<sub>4</sub>-Pは0.4~0.9mg/m<sup>2</sup>である。上記の目標値の計算はいくつかの前提条件をおいて求めたものではあるが、この目標値と現状値を比較すると、河床の付着藻類を少なくしてC-BODへの影響をほとんどなくするためには、今後、栄養塩類の削減を一層進めなければならない。

#### 4 おわりに

付着藻類の増殖要因は窒素とりんであり、これらの栄養塩をどこまで削減すればよいかを知るため、栄養塩の濃度とその取込み速度との関係について現場調査と室内実験を行った。その結果、次の5点が明らかとなった。

- (1) 是政橋~多摩川原橋の縦断調査を行ったところ、K処理場の放流水が完全に混合する1.8km下流地点で栄養塩が最高濃度に上昇し、その影響で河床石礫の付着藻類量もこの地点で最大値になっていた。
- (2) 多摩川原橋で付着藻類の光合成速度の現場測定を行ったところ、光強度が270~1450 μE/s/m<sup>2</sup>の条件における石礫単位表面積あたりの光合成速度は炭素量表示で39~78mgC/m<sup>2</sup>/Hであった。
- (3) 藻類が付着した多摩川原橋の石礫を用いて人工水路の室内実験により、藻類の増加量を測定し、石礫単位表面積あたりの光合成速度を求めたところ、光強度30~70

$\mu\text{E/s/m}^2$ の条件で12~56 $\text{mgC/m}^2/\text{H}$ であり、現場測定に近い値を得られた。この人工水路実験において水中の栄養塩濃度の経時変化を測定したところ、実験の後期においては栄養塩濃度の低下とともに、藻類の増殖速度が小さくなる傾向がみられた。

(4) 多摩川原橋の石礫を用いて水槽ごとに栄養塩濃度を変えて行った付着藻類の増殖実験の結果では、無機態窒素、 $\text{P O}_4\text{-P}$ とクロロフィルa増加速度との間にそれぞれ0.83、0.84という高い相関係数が得られ、栄養塩濃度が付着藻類の増殖速度に影響していた。

(5) (4)の結果を用いて試算したところ、河川水のクロロフィルaをC-BODにほとんど影響しないレベル、すなわち、5 $\text{mg/m}^2$ 程度まで下げるには、河床の石礫表面積あたりのクロロフィルaを100 $\text{mg/m}^2$ 程度まで減らす必要があり、そのためには、河川水の無機態窒素を概ね3 $\text{mg/m}^2$ 以下、 $\text{P O}_4\text{-P}$ を概ね0.2 $\text{mg/m}^2$ 以下に落とす必要があった。

付着物には付着藻類だけではなく、細菌・原生動物・後生動物が含まれ、それらが複雑な食物連鎖系を形成しており、その系は複雑な生物組成で多様な機能を持っている。今回は付着物の主体を付着藻類として有機物の生成を検討したが、今後、この多様な機能を解析して定量的評価をしていく必要がある。

## 5 謝 辞

本調査を進めるにあたり、東京都立大学大学院理学研究科生物専攻の渡辺泰徳教授には多大なご助言をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 和波一夫ら：多摩川中流部の再生に関する研究——多摩川のアンモニア性窒素等の排出負荷量と削減対策について，東京都環境科学研究所年報1997，p.228-236.
- 2) 坪郷久子ら：多摩川中流部の再生に関する研究（その2）——田園調布堰における河川水の構成と起源に関する検討，東京都環境科学研究所年報1998，p.205-211.
- 3) 渡辺泰徳：河床付着層の光合成・呼吸速度の測定、日本陸水学会第3回大会1998.
- 4) 相崎守弘：富栄養河川における付着微生物群集の発

達にもなう現存量および光合成量の変化、日本陸水学会誌1980，41(4) p.225-234.

- 5) 渡辺泰徳：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，(財)とうきゅう環境浄化財団研究助成 No130，1990.