

# 水理特性が付着藻類の一次生産特性 に与える影響に関する研究

戸田祐嗣<sup>1</sup>・赤松良久<sup>2</sup>・池田駿介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 学士(工) 東京工業大学助手 理工学研究科土木工学専攻(〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

<sup>2</sup>学生会員 修士(工) 東京工業大学 理工学研究科土木工学専攻(同上)

<sup>3</sup>フェロー会員 工博 東京工業大学教授 理工学研究科土木工学専攻(同上)

水理特性の違いが河床付着藻類の一次生産特性に与える影響について、現地観測および室内実験による定量的調査を実施した。現地観測では、多摩川中の瀬と淵にモルタル製の模擬石を多数設置し、それらに付着する藻類量を1週間間隔で55日間計測した。その結果、瀬の河床礫に付着する藻類は、淵と比較して、増殖初期の生産活性が高いことが示された。室内実験では、日射量、水質が全く同じ条件で流速などの水理特性のみが異なる4つの開水路を作成し、付着藻類現存量、剥離量の測定および藻類の種分析を行った。実験の結果、底面付近の乱れが大きな水路ほど、藻類一次生産が大きくなることが明らかになった。

*Key Words: periphyton, hydraulic characteristics, nutrients, primary production, detachment, near-bottom turbulence*

## 1. 序

礫床河川中に見られる「瀬と淵」は河川魚類や昆虫類の良好な生活の場を提供することが知られており<sup>1)</sup>、河川生態環境を構成する主要な存在として注目を集めている。瀬と淵の生物環境においては、河床礫に付着する藻類が一次生産活動によって有機物合成を担い、それらが魚類や昆虫類の餌となることによって食物連鎖を支えている。従って、付着藻類の一次生産活動や現存量の特性を明らかにすることは、瀬と淵の生態系をその根幹から解明していくために重要な課題であると言える。

河床付着藻類に関する既往の研究は、藻類種に関する生物学的研究および藻類量やその一次生産力に関する研究に大別される。前者については陸水生態学や藻類学の分野で数多くの研究が実施されており、例えば、Hoagland et al.<sup>2)</sup>は付着藻類が河床に定着・繁茂する過程に関して、初期段階では単細胞型の珪藻網の平面的な繁茂が生じ、その後、ロゼットを有する珪藻網や糸状体の緑藻網・藍藻網が侵入し優占的に繁茂するようになることを報告している。また、Lobo et al.<sup>3)</sup>は河床付着珪藻種と水

温、水深、BOD等の水質値に関する多変量解析を行い、珪藻類の種の多様性を表す指数(species richness)がある水質条件の下で最大の値を取ること示している。以上のような藻類種に関する研究成果から、ある環境条件下で出現する藻類種を予測することが将来的に可能となることが期待されるものの、そこでは藻類量やその一次生産力に関する検討は行われていない。

一方、付着藻類量やその一次生産力に関する研究として以下の研究が挙げられる。Biggs et al.<sup>4)</sup>はニュージーランド中の4河川において付着藻類量と藻類付着基盤上部における流速の計測を行い、ある流速値の下で付着藻類量が極大となることを示している。池田ら<sup>5)</sup>は東京都秋川において瀬と淵の付着藻類量(クロロフィルa量)の計測を行い、河床付近の日射量と藻類一次生産速度に関する文献値<sup>6)</sup>を用いて夏期の日中の藻類一次生産力を算出している。これらの調査から、河床付着藻類は湖沼の水柱に匹敵するほどの高い一次生産力を有すること、一次生産活動は藻類付着基盤近傍の水理特性の影響を受けることが明らかにされている。しかし、上記の調査では日射量、栄養塩濃度あるい

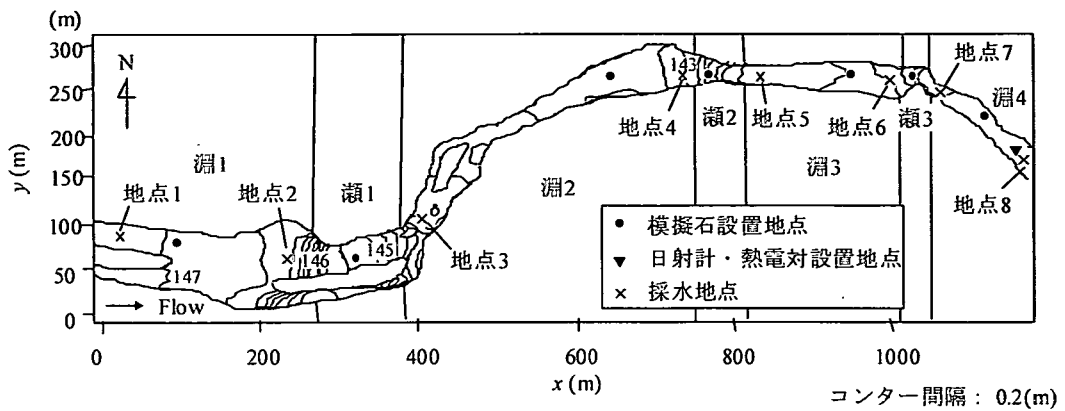


図-1 観測地地図と水位コンター（水位コンターの値は東京湾平均海水位を基準とした標高値（単位：m））

は藻類生育場の水理特性といった一次生産に影響を及ぼす環境要素の計測が十分では無いため、一次生産と各種環境要素との因果関係を正確に把握するには至っていない。また、筆者らは河床藻類の一次生産特性について現地観測<sup>7)</sup>、室内実験<sup>8),9)</sup>により検討を行ってきたが、そこでは藻類の種組成や増殖過程の詳細に関する検討までは行われていない。藻類量、日射量、栄養塩濃度、水理特性を同時に捉えた質の高い実測データは非常に少なく（著者の知る限りでは、Stevenson et al.<sup>10)</sup>による野外水路を用いた藻類生育実験結果のみである）、近年盛んに行われている数値解析による藻類一次生産に関する研究（例えば、DeAngelis et al.<sup>11)</sup>、Momo<sup>12)</sup>、Saravia et al.<sup>13)</sup>、浅枝ら<sup>14)</sup>）も、計算上の多数のパラメータを仮定するか、数少ない実験データから推定しているため、定量的評価を行える段階には至っていない。以上の様に、河床付着藻類の一次生産力に関する研究は、藻類量や藻類種に加えて水理量、日射量、栄養塩濃度を同時に捉えた定量的な実測データが決定的に不足している状況にある。

以上のことから、本報では、河床付着藻類の一次生産特性に関する、藻類種、藻類量、日射量、水質、水理特性を総合的に捉えた定量的データベース構築の第一歩として、現地観測および室内実験により得られた付着藻類の増殖過程に関する実測データを報告する。また、これらのデータに基づいて、藻類一次生産と水理特性との因果関係を定量的に把握することを目的とする。

## 2. 現地観測

### (1) 観測地及び観測方法

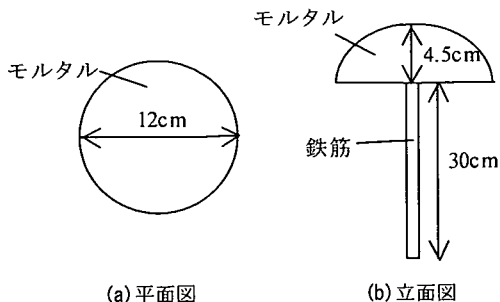
#### a) 観測地概要

観測は多摩川中流域の下奥多摩橋（東京都青梅

市、多摩川河口より59km地点）付近の瀬と淵において実施した。観測地では、その約10km上流に位置する発電施設によって流量の制御が行われており、観測期間中（1997年7月18日～同年9月11日）の河川流量はほぼ10～14m<sup>3</sup>/sの間に保たれていた。観測対象領域内には支川の合流といったような大きな横流入は無い。図-1に観測地の地図と水位コンターを示す。本観測では、水位勾配が大きく、水面が空間的に波状に変動している領域を瀬とし、それ以外の領域を淵と分類した（以下、それぞれ上流側から順に淵1、瀬1、...、瀬3、淵4と称する）。淵の中でも、図-1中のx座標が0m～250m、600m～700m、900m～1000mの区間は一般に言われる深掘れした淵ではなく、川幅が広く、水深の小さい淵（トロ）が形成されている。

#### b) 観測方法

1997年8月26、27日に地形、日射、水質の測定を行った。まず、観測地の大局的な地形の特性を把握するため、河川形状、河床高、水面高の平板、水準測量を行った。図-1中の▼地点では、8月26日6am～8月27日6amにかけて、鉛直上向き日射量、下向き日射量および水温を10分間隔で計測した。日射量の測定には日射計（MS-42、MS-62、（株）英弘精機製）、水温の測定には熱伝対を用いている。水質に関して、8月26日6am～8月27日6amにかけて図-1中の×の地点（以下、上流側から順に地点1、地点2...とする）で2時間間隔で溶存酸素濃度の測定および採水を行った。溶存酸素濃度の計測には簡易多項目水質計（U-10、（株）堀場製作所製）を用いた。採水されたサンプル水を持ち帰り、分光光度計（DR-2000、（株）セントラル科学製）を用いた比色法<sup>15)</sup>により栄養塩濃度（アンモニア態窒素NH<sub>4</sub>-N、亜硝酸態窒素NO<sub>2</sub>-N、硝酸態窒素NO<sub>3</sub>-N、全窒素T-N、リン酸態リンPO<sub>4</sub>-P、全リンT-P）の測定



(a) 平面図 (b) 立面図

図-2 観測に用いた模擬石

表-1 模擬石および実河床礫に付着する藻類量の比較

	模擬石	実河床礫
瀬3	39.3	36.3
淵3	37.8	33.7

(単位: mg.chl.a/m<sup>2</sup>)

表-2 瀬と淵の水力特性

	平均水深 H (m)	平均流速 U (m/s)	フルード数 $Fr=U/(gH)^{1/2}$	レイノルズ数 $Re=UH/v$
瀬1	0.27	1.22	0.69	$3.3 \times 10^5$
瀬3	0.36	0.96	0.49	$3.5 \times 10^5$
淵1	0.31	0.71	0.41	$2.2 \times 10^5$
淵2	0.40	0.44	0.22	$1.8 \times 10^5$
淵3	0.59	0.55	0.23	$3.2 \times 10^5$
淵4	0.76	0.44	0.16	$3.3 \times 10^5$

を行った。また、8月26日0pmに採水されたサンプル水に対しては、分光光度計により植物の光合成に重要となる可視光領域の光(660nm)の水中透過率を測定した。

瀬と淵の付着藻類の一次生産特性をとらえるため、1997年7月18日～9月11日(55日間)にかけて以下の測定を行った。1997年7月18日に各瀬、淵に30個ずつ(計210個)モルタルで作成した模擬石を設置し、それらを1週間毎に3個ずつ回収した。回収された模擬石に付着した藻類を歯ブラシで剥がし取り、それに含まれるクロロフィルa量を分光光度計を用いた3波長法<sup>16)</sup>により測定し、藻類量とした。模擬石の設置地点を図-1中に●印で示す。模擬石の形状は、観測対象地の河床表面に見られる礫を参考として、底面の直径を12cmとした半球を押しつぶしたような形状(図-2)とし、底部に取り付けられた鉄筋を河床に突き刺すことによって河川内に固定した。表-1に、瀬3および淵3における、模擬石と実河床礫表面のクロロフィルa量の比較(模擬石設置より28日後)を示す。模擬石に付着する藻類量は、実河川礫のそれよりも1割程度大きな値を示している。模擬石はモルタルで作成しているため、実河川礫より表面が粗く、その結果、藻類が付着し易くなり、このような違いが生じたものと推察されるが、瀬と淵で同傾向・同程度の過大評価であるため、両者の間の一次生産特性の違いを抽出することは可能であるものと判断される。1997年8月27日には、礫周りの藻類の付着分

表-3 観測全地点・観測期間平均栄養塩濃度

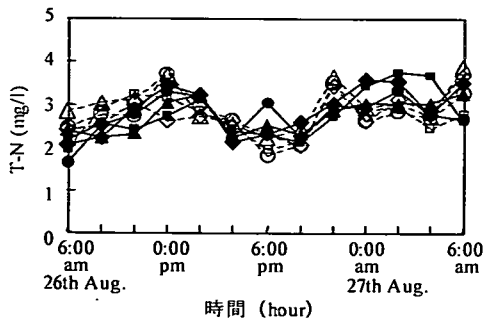
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	T-N (mg/l)	PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	T-P (mg/l)
0.044	0.043	2.7	2.8	0.088	0.088

布を把握するため、瀬3、淵3それぞれにおいて長径15cm～20cmの河床礫を5個採取して、その流れに対して上流側の面、頂部の面、下流側の面のそれぞれに付着するクロロフィルa量を測定した(藻類採取面積:5cm×5cm)。1997年9月11日には、図-1中に示される瀬3および淵3の河床礫から付着藻類を採取し、その種分析を行った。

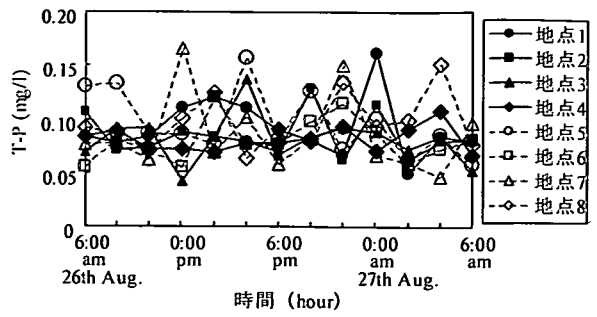
## (2) 観測結果及び考察

### a) 瀬と淵の水力特性

各模擬石設置横断面における瀬と淵の水量を表-2に示す。表中では付着藻類の生理活動に関連する水量として、日射の透過率に影響を与える水深、瀬、淵といった流れ場の違いに関連するFroude数、流れ場の乱れの大きさを表す指標としてReynolds数を示している。これらの水量に加えて、基質拡散に影響を与える藻類付着基盤近傍の乱れや、藻類の付着し易さに影響を与える付着面の粗さなどを表す水理的な指標が重要になるものと思われるが、その詳細は現段階では明らかでない。また、瀬2は流速が大きく、地形測量が正確に行えなかったため記載していない。瀬と淵を比較すると、瀬ではフルード数が大きな値を示すこ



(a) 全窒素濃度



(b) 全リン濃度

図-3 全窒素・全リン濃度の時間変化

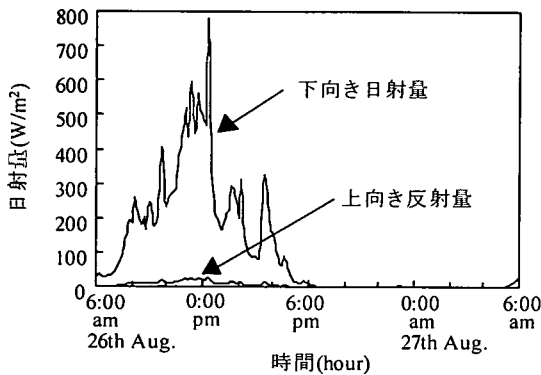


図-4 日射量

表-4 河床への日射の到達率

	瀬1	瀬3	淵1	淵2	淵3	淵4
日射の到達率 (%)	92.5	90.1	91.4	89.0	84.3	80.2

はそれらの報告より1~2時間程位相が遅れているものの、これらの変動は流域からの負荷変動に起因しているものと考えられる。これに対して全リンの日変化には特徴的な変動は見られず、0.06~0.16mg/lの間で不規則に変動している。全窒素、全リン濃度ともに測定地点間の系統的な違いは見られず、瀬と淵の間には栄養塩環境の有意な違いは無いものと判断される。

### c) 日射及び溶存酸素濃度の日変化

日射量の日変化を図-4に示す。日射量の4%程度が水で反射しており、ほとんどが水中に透過している。波長660nmに対する河川水の吸光係数の計測結果は $0.29\text{m}^{-1}$ であり、純水の値( $0.28\text{m}^{-1}$ )に近く、観測対象水域の透明度が高いことが分かる。水中の日射の透過特性と水深の関係をあらわす Lambert-Beer の光透過式<sup>19)</sup>は

$$E/E_0 = \exp(-\alpha D) \quad (1)$$

で示される。ここに $E_0$ : 水面を水中に投下する日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $E$ : 水面からの深度  $D$  (m) における日射量 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )、 $\alpha$ : 吸光係数 ( $\text{m}^{-1}$ )。式(1)から得られる各瀬と淵の模擬石設置地点での河床への光の到達率を表-4に示す。最も水深の大きい淵4でも日射の80%程度が河床に到達しており、いずれの地点においても日射のほとんどが河床へ到達していることが分かる。植物の光合成活動は光量(照度)に依存するため、日射量と照度の関係を明らかにする必要がある。エネルギーの単位である日射

とが分かる。そのため瀬の中に存在する大きな礫の背後では跳水による気泡の混入により局所的に水表面が白濁している様子が観察され、常流、射流の混在する流れが形成されていたものと思われる。

### b) 栄養塩の日変化

栄養塩( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{T-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 $\text{T-P}$ )の全地点・観測期間(8月26日6am~8月27日6am)平均濃度を表-3に示す。本観測地では、後に示すように河川水中の溶存酸素が豊富であり、全窒素、全リンの殆どは最も酸化された形態である硝酸態窒素やリン酸態リンとして存在している。観測対象地の全窒素/全リン重量比は約32であり、微生物体内の典型的な窒素/リン構成比を表す Redfield 比(=7.2)<sup>17)</sup>と比較すると、リン制約となる環境下にあるといえる。

全窒素(T-N)、全リン(T-P)の全測定地点での日変化を図-3に示す。全窒素の日変化は8月26日正午頃と8月26日10pm以降に大きな値を示している。一般的に住宅地などからの生活排水の影響を受けた河川区間においては汚濁物負荷量のピークは9am~11am頃と7pm~9pm頃の日中に2回出現するとされている<sup>18)</sup>。本観測で見られた全窒素の変動

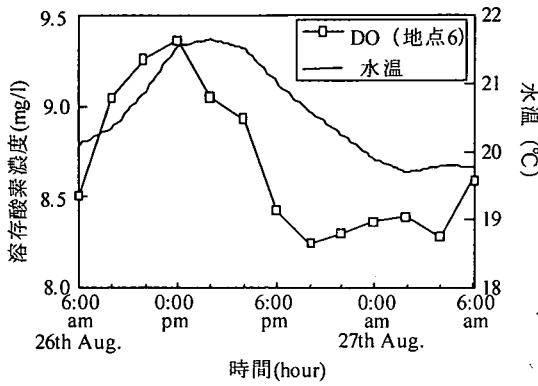


図-5 溶存酸素濃度の日変化

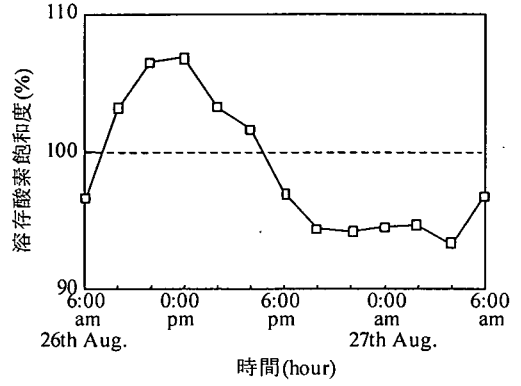
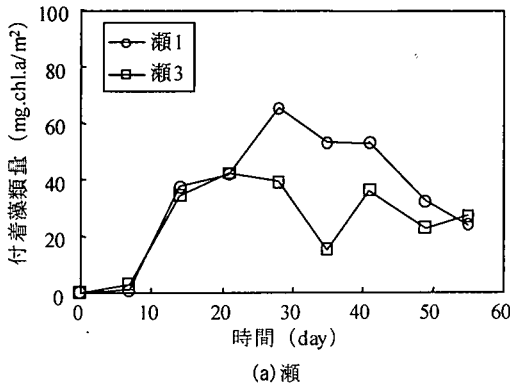
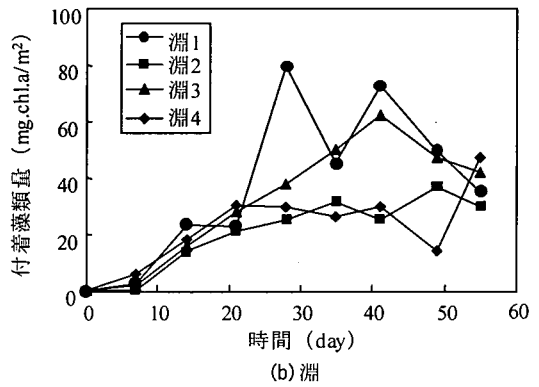


図-6 溶存酸素飽和度の日変化



(a) 瀬



(b) 淵

図-7 河床付着藻類の増殖過程

量と光量である照度を完全に変換することは厳密には不可能であるが、太陽光の場合には、両者の間に近似的に次式<sup>20)</sup>が成り立つことが知られている。

$$1W/m^2 = 103.4lux \quad (2)$$

本観測では上述のように日射のほとんどが河床へ到達しているため、水中を透過する際の波長毎の吸光係数の違いは無視できるものと考えられる。従って上記の近似的な関係は河床付近に拡張することが可能である。式(1)、(2)を用いて算定した河床の照度は日中40～60klux程度であった。淡水域に生息する植物プランクトンや付着藻類は、約20klux以上の光量があると活発な光合成活動を行うことが出来ることが報告<sup>21)</sup>されている。従って、本観測対象地においては、日中は瀬、淵に関わらず光合成を行うのに十分な光量が確保されていると考えられる。

水温及び溶存酸素濃度の日変化を図-5に示す。溶存酸素濃度は、栄養塩濃度と同様に、地点間の有意な違いが見られなかったため、図中では地点6の結果のみを示している。水温変化は水の熱容量の

表-5 河床礫周囲の付着藻類分布

計測日	計測地点	上流側の面	頂部の面	下流側の面
27th Aug.	瀬3	7.0	35.7	33.6
	淵3	20.3	19.9	19.1

(単位: mg.chl.a/m<sup>2</sup>)

ため日射のピーク(正午)から位相が遅れ、2pm頃にピーク値を示している。水温の日変化を考慮して算出した溶存酸素の飽和度の日変化を図-6に示す。8月26日8am頃～8月26日5pm頃における溶存酸素は過飽和状態であるが、それにもかかわらず、午前中には水中の溶存酸素濃度が増加している。このような増加が生じるには、過飽和に逆らう強制的な曝気や付着藻類による光合成によって水中に酸素が供給されていなければならない。観測期間中の水量は殆ど変化していなかったため、このような溶存酸素濃度の増加は観測区間上流域から観測対象地の間で生じる藻類の光合成活動によるものと考えられる。

d) 付着藻類の増殖過程

図-7(a)、(b)に瀬、淵における模擬石に付着した藻類の増殖過程を示す。一般に生物の増殖は、初期

表-6 瀬と淵の付着藻類種

No.	植物門	綱	目	種名	瀬3	淵3	細胞の大きさ ( $\mu\text{m}$ ) (*2)
1	藍色門	藍藻綱	糸状体目	<i>Homoeothrix</i> spp. (*1)	19	19	2.5~15, 50~600
2				<i>Oscillatoria</i> spp.	73	66	2~3, 2~8
3	不等毛門	珪藻綱	中心目	<i>Melosira granulata</i>			8~35
4			羽状目	<i>Diatoma vulgare</i>			45~60, 10~18
5				<i>Synedra inaequalis</i>			35~90, 7.5~9
6				<i>Synedra</i> spp.			
7				<i>Cocconeis placentula</i>			20~60, 10~40
8				<i>Achnanthes lanceolata</i>	4	8	10~30, 4~8
9				<i>Achnanthes</i> spp.			
10				<i>Navicula gregaria</i>			13~40, 5~10
11				<i>Navicula gregaria</i>			
12				<i>Navicula</i> spp.			
13							50~150, 10~25
14							25~50, 10~15
15							
16							
17							
18							1
19	緑藻門	緑藻綱	カエワネ目	<i>Stigeoclonium</i> spp.		1	10~17, 10~30
20			クロコケ目	<i>Scenedesmus</i> spp.			2~9, 7~35

(表中の数値は細胞数に基づく百分率(単位%)。表中の空欄は種の存在が確認されたものの、細胞数が0.5%以下であった種であり、斜線部は存在が確認されなかった種を表す。(\*1)*Homoeothrix* spp. は糸状体を1と計数している。(\*2)*Homoeothrix* spp. については、文献22)より属内の4つの種の基部および糸状体の全長の範囲を示しており、他の種に関しては、文献23)より、球形のものに関してはその直径を、その他のものに関しては細胞直径と細胞長さ(珪藻綱羽状目については殻長と殻幅)を記している。)

に指数関数的に増加し、栄養分や環境条件の制約により、増殖が低下すると言われており、その様子が本観測でも捉えられている。瀬と淵の増殖過程の違いに着目すると、瀬では模擬石設置後7~14日の間に40mg.chl.a/m<sup>2</sup>程度まで急速に増殖するが、淵では30日~40日後付近まで緩やかに増殖していることが分かる。前述のように、観測対象とした瀬と淵では河床面での日射量、栄養塩濃度に有意な違いは見られなかった。従って、このような増殖初期の生産活性の違いは水理特性の違いに起因しており、流速や摩擦速度が大きい瀬の方が初期の一次生産活性が高いことが分かる。一方、増殖が十分に進行した模擬石設置から40日後以降の藻類量に関しては、値のばらつきが大きく、瀬と淵の間で系統的な違いは見られなかった。

実河床礫表面の流れに対して上流側の面、頂部の面、下流側の面のそれぞれに付着する藻類量を表-5に示す。淵の藻類は礫全面にほぼ一様に付着しているのに対して、瀬では上流側の面に比べて頂部および下流側の面に多く付着している。

以上の結果を総合すると、瀬と淵の藻類の増殖・生産過程の違いに関して以下のことが推論される。淵では藻類の生産活性が低く、緩やかに現存量を増加させながら、河床礫の全面へと繁茂が進行していく。一方、瀬では藻類の生産活性が高く、それが増殖の初期段階において河床礫の頂部の面、

下流側の面に付着し、現存量の急速な増加を生じさせる。しかし、藻類が付着できる面積が限定されているため、増殖の終期における藻類量では淵との間に系統的な違いが見られなかったものと考えられる。

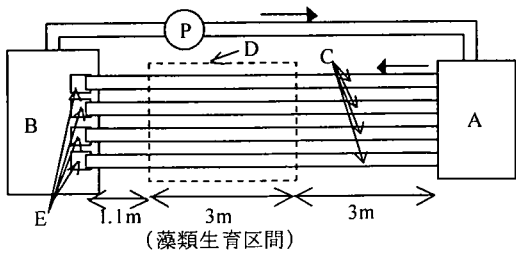
#### e) 藻類の種組成

表-6に付着藻類の種分析結果を示す。表中の数値は計測細胞数の百分率で示しており、表中の空欄部分は存在は確認されたものの、細胞数が0.5%以下であった種であり、斜線部は検出されなかった種を表している。また、藍藻綱の*Homoeothrix*は細胞境界が明確に判断できなかったため、糸状体を1として計数している。観測対象域では、細胞数としては藍藻綱が圧倒的に優占しており、出現種数としては珪藻綱が最も多い。本観測地で細胞数に関して優占的に見られた藍藻綱*Oscillatoria*は糸状体の藻類であり、観測期間中の流量変動が小さかったため、Hoagland et al.<sup>2)</sup>が報告しているような単細胞型の藻類から糸状体藻類への典型的な種の遷移が生じたものと推察される。瀬と淵の種組成の違いに着目すると、流速の大きな瀬の方が糸状体藍藻綱(*Homoeothrix* spp., *Oscillatoria* spp.)の優占率が若干大きく、このことは後に示す室内実験の結果と定性的に一致する。

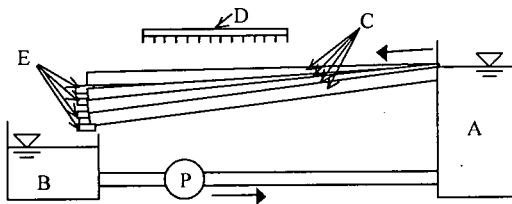
種組成の違いが藻類一次生産力に与える影響については、各種毎の生産特性が未知である現段階

表-7 実験水理条件

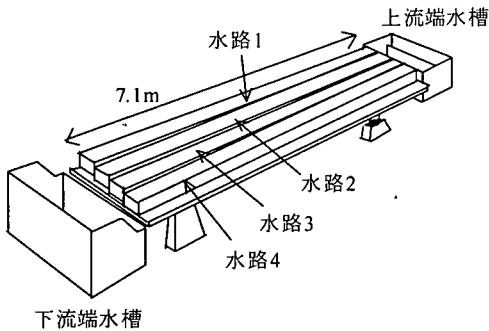
実験ケース	水路番号	水路床勾配	断面平均流速 U (cm/s)	断面平均水深 H (cm)	フルード数 $Fr=U/(gH)^{1/2}$	レイノルズ数 $Re=UH/\nu$
Case1	水路1	1/500	9	3.5	0.15	$3.2 \times 10^3$
	水路2	1/285	13	2.7	0.25	$3.5 \times 10^3$
	水路3	1/138	51	1.8	1.2	$9.2 \times 10^3$
	水路4	1/68	71	1.5	1.9	$1.1 \times 10^4$
Case2	水路1	1/500	8	8.1	0.09	$6.5 \times 10^3$
	水路2	1/285	12	9.8	0.12	$1.2 \times 10^4$
	水路3	1/138	33	8.2	0.37	$2.7 \times 10^4$
	水路4	1/68	40	8.5	0.44	$3.4 \times 10^4$



(a) 平面図



(b) 立面図

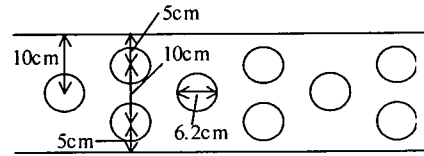


(c) 鳥瞰図

A: 上流端水槽 B: 下流端水槽 C: 水路(4本)  
D: 照明 E: ネット P: ポンプ

図-8 実験水路図

において、明確な結論は得られていない。これについては、今後の河床付着藻類の一次生産特性を解明していく上で重要な課題である。



(a) 平面図



(b) 立面図

図-9 水路床上的半球状突起の配置 (Case2)

### 3. 室内実験

現地観測では捉えきれない付着藻類の増殖過程や剥離形態の詳細な特性を把握するため、室内実験を実施した。実験では、光量、栄養塩濃度、水温を一定に保ち、水理条件の相違による一次生産特性の違いを抽出することを目的とした。

#### (1) 実験方法

図-8(a), (b), (c)に実験に用いた水路群の平面図、立面図、鳥瞰図を示す。実験水路群は水路床勾配の異なる4本の開水路から構成されており、それらは上流端水槽および下流端水槽を共有している。このことにより、各水路には水理条件のみが異なり、水温・水質に関して全く同質の水が循環することとなる。水路はアクリル製で長さ710cm、幅20cmである。実験は、最も単純な水理条件の場合として平坦床 (Case1) および礫床河川を模して底面に直径6.2cmの半球状の突起を千鳥状に配置した場合 (Case2, 図-9) の2ケースについて実施した。各実験ケースにおける水理条件を表-7に示す。水路床表面は藻類が付着しやすいようにサンドペーパー(40番)で粗さを付けた。また、各水路の下流端にはネットを取り付け、流れのせん断力や藻類の生理作用によって水路床から剥離した藻類を

表-8 実験水質記録

実験ケース	計測日 (実験開始 後日数)	水温 (℃)	NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	T-N (mg/l)	PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	T-P (mg/l)
Case1	0	28.5	0.09	0.002	3.2	3.3	0.17	0.20
	3	27.4	0.29	0.051	2.4	2.7	0.09	0.10
	7	28.5	0.22	0.081	2.2	2.5	0.07	0.16
	10	29.5	0.93	0.112	1.4	2.4	0.05	0.05
	13	31.0	0.02	0.223	2.7	2.9	0.10	0.12
	16	29.5	0.08	0.285	2.5	2.9	0.16	0.18
	23	29.5	0.37	0.011	2.7	3.1	0.17	0.18
	31	29.0	0.09	0.006	3.6	3.7	0.20	0.22
	39	27.0	0.17	0.020	3.4	3.6	0.18	0.18
	46	29.7	0.07	0.004	2.4	2.5	0.16	0.16
Case2	53	26.6	0.15	0.003	2.6	2.8	0.11	0.15
	60	29.1	0.05	0.007	2.7	2.8	0.13	0.14
	0	24.5	0.05	0.007	3.3	3.4	0.14	0.16
	6	24.1	0.21	0.023	2.6	2.8	0.08	0.11
	11	24.7	0.32	0.116	2.8	3.2	0.15	0.18
	18	23.8	0.03	0.213	2.3	2.5	0.17	0.18
	25	24.6	0.08	0.032	3.1	3.2	0.11	0.14
	32	24.8	0.12	0.004	2.7	2.8	0.18	0.22
	40	24.5	0.01	0.016	2.8	2.8	0.11	0.14
	49	24.6	0.01	0.003	2.9	2.9	0.15	0.17

捕捉した。ネット孔径は、既往の生物膜の実験<sup>24)</sup>で剥離生物捕捉に用いられたネット孔径を参考にして150 $\mu$ mとした。

水路上方には光合成活動に必要となる光を与えるため、450Wの白熱レフランプ(RF110V450WH, 松下電器(株))を8個設置した。昼夜の別はタイマーで制御しており、1日当たりランプ点灯時間は16時間とした。ランプ点灯中の水路床における照度は約20kluxであり、それにより与えられる1日当たりの光エネルギーは860J/cm<sup>2</sup>/dayである。この値は関東域の地表が春期に受ける太陽光エネルギーの可視・紫外部に相当するものであり、藻類の生育に十分な光量であるものと判断される。藻類の生育区間は、上流端より流入した流れが十分発達し、等流状態に達した区間(水路上流端より300cm～600cmの間)に限定し、他の区間は水路を暗幕で覆い光を与えなかった。光が与えられた区間の水路床は流下方向20cm×横断方向19.8cmのプレート(計15枚)に区切られており、藻類量の計測時には各プレートを取り外すことが出来るようになっている。

実験期間中の水質記録を表-8に示す。実験水には水道水を用いており、その中に多摩川の河川水を3.0kg混入している。栄養塩濃度(NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, T-N, PO<sub>4</sub>-P, T-P)に関して、3～8日間隔で実験水の濃度計測を行い、表-2で示した多摩川観測時の水質と比較して栄養塩濃度が著しく低下している場合には、窒素に関してはKNO<sub>3</sub>、リンに関してはK<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>を添加した。各栄養塩項目の測定法

は、分光光度計を用いた比色法<sup>19)</sup>である。また、長期間の実験水の循環によって付着藻類の生育に悪影響のある代謝物が蓄積することや、窒素・リン以外の微量栄養元素が成長の制約因子となることを防ぐため、各実験期間中に3回、全ての実験水の取り替えを行った。水温は水質分析時に簡易多項目水質計(U-10, (株)堀場製作所製)を用いて計測した。Case1の実験時期は7月下旬から9月下旬であり実験水の水温は27～30℃の間で変動していたが、藻類の生育を妨げるような著しい水温低下<sup>9)</sup>は見られなかったため、水温調節は行わなかった。Case2の実験時期は11月上旬から1月上旬であったので、実験水の水温低下を防ぐため、投げ込み式ヒーター(BWA1115, (株)JET製)とサーモスタット(DG2-100, (株)HAKKO製)を用いて水温を24±1℃の範囲に保った。2ケース共に実験時の水温は、多摩川での観測時の水温(19℃～21℃)と比較して高く、20℃前後の水温を好む珪藻より緑藻や藍藻の生育に有利な水温条件<sup>9)</sup>となった。このような水温の違いは、後に示される実験水路内の藻類種が、現地河川における藻類種と異なっていることの一因となっているものと考えられる。従って、本実験の結果を現地河川の付着藻類の生理特性と直接比較を行うことは困難であるが、4つの水路間の水温・水質が等しいことから、水路間の水理特性の違いによる一次生産特性の違いを抽出するには十分であるものと判断される。

藻類量の計測は以下の手順で行った。藻類の増殖が活発に行われる実験開始から20日間程度は3日～



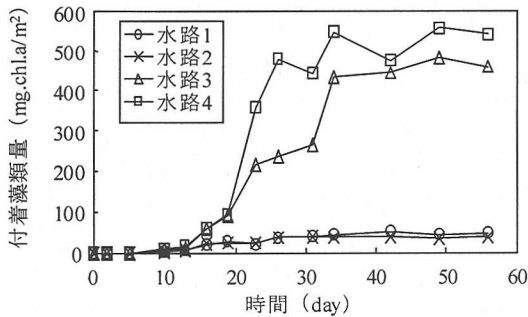


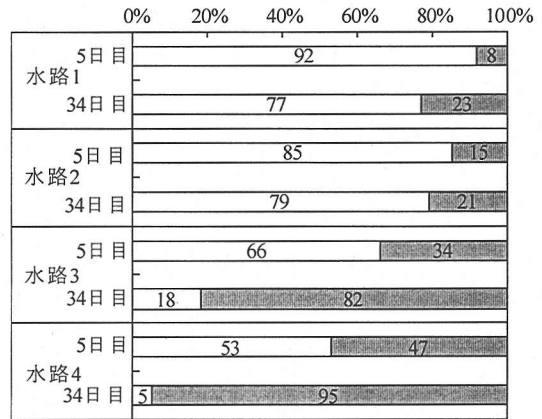
図-10 平坦水路床上的の藻類の増殖過程 (Case1)

6日間隔で、それ以降は約1週間間隔で、河床に設置したプレートを一枚ずつ取り出し、それに付着した藻類を歯ブラシで剥がし取った。剥がし取った藻類のクロロフィルa量を3波長法<sup>16)</sup>で計測した。また、藻類量の計測日には各水路下流端に設置したネット上に捕捉されている藻類を回収し、それらのクロロフィルa量の計測を行うことにより剥離量を求めた。また、Case1, Case2ともに増殖の初期段階および増殖がある程度進行した段階において、藻類の種分析を実施した (Case1: 実験開始より5日後および34日後, Case2: 実験開始より13日後および27日後)。

## (2) 実験結果1 - 平坦水路床 -

### a) 藻類現存量および一次生産力

Case1における付着藻類現存量の時系列変化を図-10に示す。増殖の初期段階において各水路の藻類現存量が指数関数的に増加し、その後、栄養塩や環境条件の制約によって増殖が低下するという、一般的な生物の増殖過程が見られる。水路間の違いに関しては、水路1, 2と比較して水路3, 4では実験開始後15日目付近から著しく大きい増殖が生じ、実験終了時には水路1, 2の10倍程度の現存量を示している。本実験においては、光強度、水温、栄養塩濃度は全ての水路で全く同一であることから、このような一次生産力の違いは、水理特性の違いによって生じたものであり、流速や底面付近の乱れが大きい水路ほど一次生産力が高くなることが推定される。流れが一次生産力に与える影響については、①流れの違いにより藻類種組成が変化し、種の生産活性の違いにより一次生産力が変化する、②水理特性の違いにより藻類膜内部および近傍の基質の拡散能が変化し、その結果、一次生産力が変化する、といった二つの要因が考えられる。しかし、現段階では、各藻類種の生産特性が解明されていないため、どちらの要因がより支配的であ



□ 単細胞・群体    ■ 糸状体

図-11 単細胞・群体型藻類と糸状体藻類の割合 (Case1)

あったかについては不明である。

### b) 藻類の種組成

表-9(a), (b)に実験開始後5日目及び34日目における付着藻類種の分析結果を示す。種分析の表示は、現地観測と同様に同定細胞数の百分率で示しており、表中の空欄部分は存在が確認されたものの0.5%以下の種、斜線部は検出されなかった種を示している。表中に示されている通り、藻類の細胞の大きさは、種間で大きな差があり、細胞の大きさを考慮に入れると、*Homoeothrix*の優占率がさらに増加するものと思われる。従って、細胞数に基づく百分率からは藻類量としての種構成を正確に把握することは出来ない。しかし、藻類種毎の藻類量を計測することが困難である現段階において、水路内で多く見られたいくつかの種に限定し定性的な大小関係を検討することは可能であり、かつ有益であると思われることから、本論文では細胞数に基づく百分率を用いて藻類の種構成を検討することとする。実験開始より5日目の時点では、全ての水路において緑藻綱 *Scenedesmus* の細胞数が最も大きくなっているが、34日後には藍藻綱の *Chroococcus* や *Homoeothrix* が優占的に生育していることが分かる。藍藻綱の優占率は流速の大きな水路ほど大きくなっており、藻類現存量が著しく大きくなる水路3, 4では細胞数に基づく種構成において、80%以上が藍藻綱で占められている。

付着藻類はその形態的特徴として、糸状体のものと単細胞あるいは群体となって繁茂するものが存在し、それぞれによって流水からの影響の受け方が異なるものと推察される。ここでは、実験水路中の藻類を糸状体とその他のもの (以下、単細胞・群体と称す) に分類した (図-11)。これらの割合は各形態の藻類量に関する割合では無く、細胞数

表-9 平坦水路床上に生育する藻類の種分析結果

(a) 実験開始より5日後

No.	植物門	綱	目	種名	水路1	水路2	水路3	水路4	細胞の大きさ ( $\mu\text{m}$ ) (*2)	
1	ユーグレナ植物門			<i>Trachelomonas</i> sp.	25	7	2		8~30, 8~25	
2	藍色門	藍藻綱	クロコッカス目	<i>Chroococcus</i> sp.		2			8~32	
3			ネンシユモ目	<i>Homoeothrix</i> spp. (*1)	6	15	14	47	2.5~15, 50~600	
4				<i>Calothrix</i> sp.	1				5~10	
5				<i>Phormidium</i> sp.	1				0.8~9	
6				スチゾネ目	<i>Westella</i> sp.		7			
7			不等毛門	珪藻綱	中心目	<i>Stephanodiscus</i> sp.				
8		<i>Bacillaria pardoza</i>								
9	羽状目	<i>Achnanthes convergens</i>			1					10~25, 4~45
10		<i>Achnanthes minutissima</i>			0					5~25, 3~4
11		<i>Achnanthes minutissima saprophila</i>			1					8~15, 3~3.5
12		<i>Cocconeis placentula lineata</i>								20~60, 10~40
13		<i>Fragilaria crotonensis</i>			1					40~170, 2~4
14		<i>Gomphonema parvulum</i>			2					10~40, 5~8
15		<i>Nitzschia filiformis conferta</i>			6		1	2		30~70, 4.5~5
16		<i>Nitzschia hantzschiana</i>								12~40, 3~4
17		<i>Synedra ulna</i>								50~350, 5~9
18		<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>								12~70, 4~8
19	緑藻門	緑藻綱	クロコッカム目	<i>Scenedesmus acutus</i>	30	40	22	15	2~9, 7~35	
20				<i>Scenedesmus acutus f. alteraus</i>	15	8	14	3		
21				<i>Scenedesmus arcuatus</i>	11	15	38	28		
22				<i>Scenedesmus</i> sp.			10	2		
23				クロコッカサ目	<i>Tetrachlorella</i> spp.		7			3

(b) 実験開始より34日後

No.	植物門	綱	目	種名	水路1	水路2	水路3	水路4	細胞の大きさ ( $\mu\text{m}$ ) (*2)		
1	ユーグレナ植物門			<i>Trachelomonas</i> sp.	2				8~30, 8~25		
2	藍色門	藍藻綱	クロコッカス目	<i>Chroococcus</i> sp.	11	49	16		8~32		
3			ネンシユモ目	<i>Homoeothrix</i> spp. (*1)	16	20	82	95	2.5~15, 50~600		
4				<i>Lyngbia putealis</i>	1	1			2~18		
5				<i>Lyngbia aerugineo-coerulea</i>	5						
6				<i>Scytonema</i> sp.	10	1					
7				カマエシフォン目	<i>Chamaesiphon</i> sp.		4				
8			不等毛門	珪藻綱	羽状目	<i>Achnanthes convergens</i>					10~25, 4~4.5
9	<i>Achnanthes minutissima</i>									5~25, 3~4	
10	<i>Achnanthes minutissima saprophila</i>	14				12				8~15, 3~3.5	
11	<i>Fragilaria crotonensis</i>									40~170, 2~4	
12	<i>Gomphonema parvulum</i>	0				1				10~40, 5~8	
13	<i>Navicula minima</i>	0								5~18, 3~4.5	
14	<i>Nitzschia filiformis conferta</i>	18				6	1			30~70, 4.5~5	
15	黄色鞭毛藻綱	オクロモナス目				<i>Dinobryon</i> sp.	1				7~14, 30~50
16	緑藻門	緑藻綱	クロコッカム目	<i>Scenedesmus acutus</i>	14	4		1	2~9, 7~35		
17				<i>Scenedesmus acutus f. alteraus</i>	5	2	1				
18				<i>Scenedesmus arcuatus</i>	1		1				
19				クロコッカサ目	<i>Tetrachlorella</i> spp.						
20				ヨツボ目	<i>Gloeocystis</i> sp.	1					4~13
21					<i>Sphaerocystis</i> sp.	1					6~22
22				ホシト目	<i>Spirogyra</i> sp.						50~80, 70~200
23	アオサ藻綱	ヒビト目	<i>Ulothrix zonata</i>	1				20~45, 15~30			

(表中の数値は細胞数に基づく百分率(単位%)。表中の空欄は種の存在が確認されたものの、細胞数が0.5%以下であった種であり、斜線部は存在が確認されなかった種を表す。(\*1) *Homoeothrix* spp. は糸状体を1と計数している。(\*2) *Homoeothrix* spp. については、文献22)より属内の4つの種の基部および糸状体の全長の範囲を示しており、他の種に關しては、文献23)より、球形のものに関してはその直径を、その他のものに関しては細胞直径と細胞長さ(珪藻綱羽状目については殻長と殻幅)を記している。)

に基づく百分率より算出されたものである。全ての水路において、実験開始5日後と比較すると34日後の方が糸状体の藻類の割合が増加しており、Hoagland et al.<sup>2)</sup>が指摘するような典型的な藻類種の遷移が生じていることが分かる。水路間の違いに

ついては、水路3, 4では実験開始より34日後には付着藻類の細胞数に関して、80%以上が糸状体の藻類で占められており、流速や底面付近の乱れが大きい水路ほど、糸状体藻類の優占率が高くなる

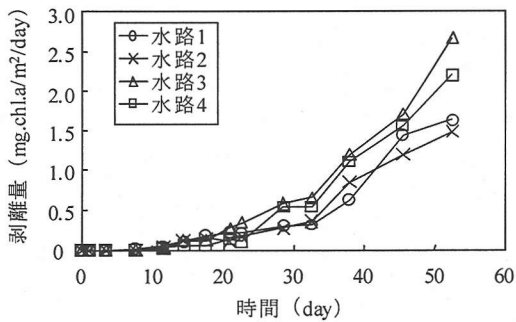


図-12 藻類剥離量の時系列変化 (Case1)

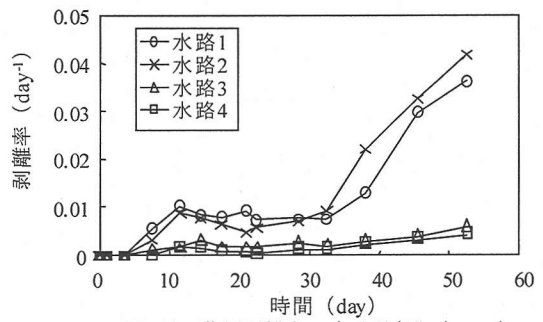


図-13 藻類剥離率の時系列変化 (Case1)

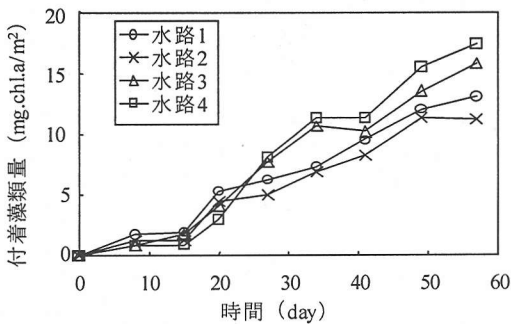


図-14 藻類現存量の時系列変化 (Case2)

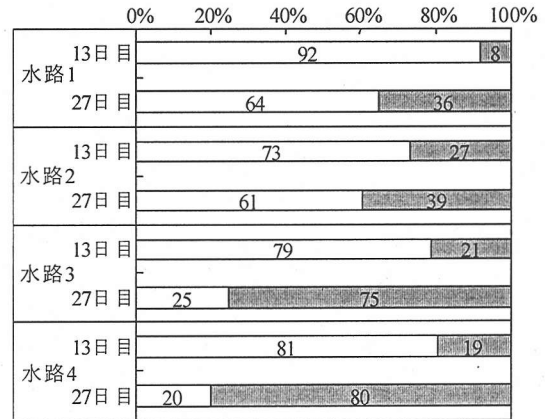


図-15 単細胞・群体型藻類と糸状体藻類の割合 (Case2)

### c) 藻類剥離量

図-12 に付着藻類の一日当たりの剥離量の時系列変化を示す。藻類量が増加する実験開始後20日～30日頃から剥離量が増加している。水路間の違いに関しては、水路1, 2と比較して水路3, 4のほうが大きな値を示しているが、現存量で見られたほどの大きな違いは無い。

付着藻類の現存量に対する剥離量の割合を検討するため、一日当たりの剥離量をその時点での現存量で除すことにより剥離率を算出した。図-13に剥離率の時系列変化を示す。全体的な傾向として、剥離率は実験の進行に伴って増加しており、実験開始初期に河床面に付着した藻類が、寿命や生理活性の低下によって付着力が低下し剥離しているものと思われる。水路間の違いについては、流速が大きく河床面のせん断応力が大きくなる水路3, 4より、水路1, 2の剥離率の方が大きな値を示している。剥離率の小さくなる水路3, 4では糸状体の藻類が優占的に繁茂しており、このような種構成の違いが水路間の剥離率の違いを引き起こしていることが分かる。以上のことより、付着藻類の剥離は流体せん断力よりも藻類の生理的活動や藻類種に依存していることが分かる。

### (3) 実験結果2 - 半球状突起を有する水路床 -

#### a) 藻類現存量および一次生産力

図-14にCase2における付着藻類現存量の時系列変化を示す。全ての水路において、実験開始から現存量が徐々に増加し、実験開始より50～60日後に至っても緩やかな増加が続いている。実験開始から50～60日後における各水路の藻類量についてはCase1ほど顕著では無いものの、水路床勾配の大きな水路ほど大きくなる傾向が見られ、流速や水路床近傍の乱れの大きな水路ほど藻類一次生産力が高いことが再確認される。

#### b) 藻類の種組成

表-10(a), (b)に実験開始より13日後と27日後における付着藻類種の分析結果を示す(表-9と同様に細胞数に基づく百分率)。13日後の時点では水路1, 2で藍藻綱と緑藻綱、水路3, 4で藍藻綱を中心とした群落が生育しているが、27日後にはCase1と同様に全ての水路において藍藻綱を中心とした群落へと遷移している。

図-15に各水路の付着藻類を糸状体と単細胞・群体に分類し、その割合を細胞数に基づき算出した結果を示す。全ての水路において、実験開始より13

表-10 半球状突起を有する水路に生育する藻類の種構成

(a) 実験開始より13日後

No.	植物門	綱	目	種名	水路1	水路2	水路3	水路4	細胞の大きさ ( $\mu\text{m}$ ) (*2)	
1	藍色門	藍藻綱	クロコックス目	<i>Chroococcus</i> spp.	1	12	1	23	8~32	
<i>Gloeocapsa</i> spp.				51		53	34	8~90		
3			ネジユモ目	<i>Homoeothrix</i> spp. (*1)	8	27	23	8	2.5~15, 50~600	
4	不等毛門	珪藻綱	羽状目	<i>Fragilaria</i> sp.					40~170, 2~4	
5				<i>Synedra ulna</i>						50~350, 5~9
6				<i>Cocconeis placentula</i>						20~60, 10~40
7				<i>Achnanthes minutissima</i>	5	3	1	1	5~25, 3~4	
8				<i>Navicula radiosa</i>		1			5~20, 3~10	
9				<i>Amphora</i> sp.					10~50, 7~18	
10				<i>Cymbella leptoceros</i>		1			15~60, 7~13	
11				<i>Cymbella ventricosa</i>					15~60, 7~13	
12				<i>Gomphonema paryulum</i>	4	5	3	2	10~40, 5~8	
13				<i>Gomphonema olivaceum</i>						
14				<i>Nitzschia palea</i>	5	6	6	7	20~65, 3~5	
15				<i>Nitzschia scalpeliformis</i>					40~100, 6.5~9	
16						1				
17	緑藻門	緑藻綱	クロコックス目	<i>Oocystis</i> spp.	24	42	11	22	9~13, 9~19	
18				<i>Scenedesmus</i> spp.	2	3	1	2	2~9, 7~35	

(b) 実験開始より27日後

No.	植物門	綱	目	種名	水路1	水路2	水路3	水路4	細胞の大きさ ( $\mu\text{m}$ ) (*2)
1	藍色門	藍藻綱	クロコックス目	<i>Chroococcus</i> spp.		3		1	8~32
2				<i>Gloeocapsa</i> spp.	30	39	19	14	8~90
3			ネジユモ目	<i>Homoeothrix</i> spp. (*1)	36	39	75	80	2.5~15, 50~600
4				<i>Oscillatoria</i> spp.					2~3, 2~8
5	不等毛門	珪藻綱		<i>Fragilaria</i> sp.					40~170, 2~4
6				<i>Achnanthes minutissima</i>	4	6	1	1	5~25, 3~4
7				<i>Amphora</i> sp.					10~50, 7~18
8				<i>Gomphonema parvulum</i>	2	1			10~40, 5~8
9				<i>Nitzschia palea</i>	1	2	1		20~65, 3~5
10	緑藻門	緑藻綱	クロコックス目	<i>Oocystis</i> spp.	26	8	2	3	9~13, 9~19
11				<i>Scenedesmus</i> spp.	2	1		1	2~9, 7~35
12				ホシトモ目	<i>Closterium</i> spp.				

(表中の数値は細胞数に基づく百分率(単位%)。表中の空欄は種の存在が確認されたものの、細胞数が0.5%以下であった種であり、斜線部は存在が確認されなかった種を表す。(\*1)*Homoeothrix* spp. は糸状体を1と計数している。(\*2)*Homoeothrix* spp. については、文献22)より属内の4つの種の基部および糸状体の全長の範囲を示しており、他の種に関しては、文献23)より、球形のものに関してはその直径を、その他のものに関しては細胞直径と細胞長さ(珪藻綱羽状目については殻長と殻幅)を記している。)

日後の時点では単細胞・群体の藻類細胞数が70%以上を占めているが、その後糸状体藻類の優占率が増加していることが示されている。各水路間の違いについてみると、水路1, 2, 3, 4の順で糸状体藻類の優占率が増加しているが、その違いはCase1ほど大きくはなく、このことが藻類現存量の水路間の違いを小さくしているものと推察される。

c) 藻類剥離量

図-16に藻類剥離量、図-17に剥離率の時系列変化を示す。Case1と同様に、藻類の増殖に伴って剥離量が増加している。水路間の剥離率の違いに関しては、Case1で見られたような明確な違いは観察されなかった。このことは各水路間の藻類種の構成がCase1ほど大きく異ならなかったため、種組成の違いによる剥離率の相違が小さかったと思われる。

d) 半球周辺の藻類の付着分布

写真-1(a), (b)に水路4における実験開始より27日後および41日後における半球状突起への藻類付着状況の写真を示す。写真中の黒ずんだ部分は、藻類が大量に付着していることを示している。藻類の付着は半球の流れに対して下流側の面で集中的に生じており、上流側の面と下流側の面の間には、付着量の違いによる境界が確認される。表-11に実験開始より27日後および41日後の半球の上流側の面、頂部、下流側の面それぞれに付着していた藻類量を示す。27日後、41日後のいずれにおいても、半球の上流側の面と比較して頂部、下流側の面の付着藻類量が多い。半球近傍の流れは上流面と下流面の境界付近で剥離し、その下流側では乱れの大きい剥離域が形成されることが知られている<sup>25)</sup>。一方、剥離域の上流側では、剥離域内と比較して、

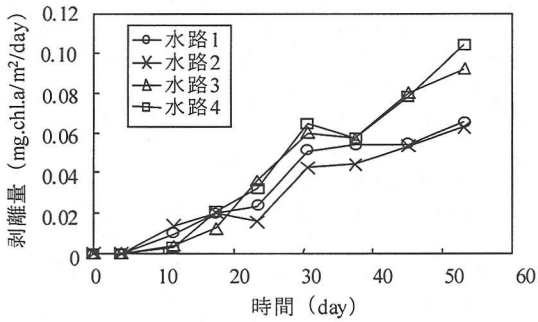


図-16 藻類剥離量の時系列変化 (Case2)

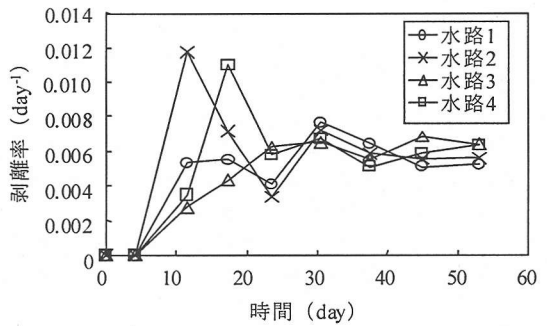
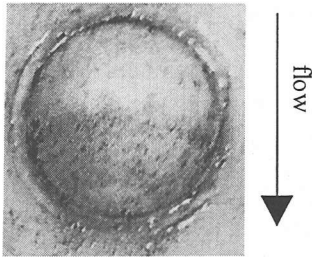
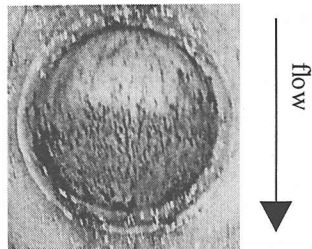


図-17 藻類剥離率の時系列変化 (Case2)



(a) 実験開始後 27 日 (水路 4)



(b) 実験開始後 41 日 (水路 4)

写真-1 半球状突起への藻類附着状況

平均流速が大きく、乱れが小さな流れとなる。このことを考慮すると、附着藻類量は流速の大きさよりも附着面近傍の乱れの大きさの影響を強く受け、乱れが大きいほど藻類一次生産力が高くなることが推論される。

#### 4. 結論

本研究では、現地観測および室内実験により水理特性が附着藻類の一次生産特性に与える影響に関する検討を行った。本研究の範囲内において以下の知見が得られた。

- 1) 水温、河床面での日射量、栄養塩濃度がほぼ等しい実河川中の瀬と淵においては、瀬の方が淵よりも高い一次生産力を示す。
- 2) 観測地における日中の溶存酸素濃度の増加は、

表-11 半球周りの藻類附着量分布

計測日	水路番号	上流側の面	頂部の面	下流側の面
実験開始 後27日目	水路1	4.0	12.0	9.5
	水路2	5.1	8.9	7.8
	水路3	6.3	11.6	8.1
	水路4	11.2	14.1	12.1
実験開始 後41日目	水路1	5.4	15.3	14.3
	水路2	4.9	15.3	12.5
	水路3	11.8	19.4	19.9
	水路4	15.1	25.6	25.5

(単位: mg.chl.a/m<sup>2</sup>)

藻類の一次生産活動によって引き起こされる。

3) 附着藻類の一次生産力は、底面近傍の乱れが大きい場合ほど大きな値を示す。

4) 附着藻類の剥離は、流れのせん断力よりも藻類の種組成や生理的特性の影響を受ける。

5) 流速や底面近傍の乱れが大きな水路では、糸状体の藻類の細胞数に基づく優占率が高くなる。

今後、藻類一次生産特性に関してさらなる定量的評価を行っていくためには、藻類種毎の生理特性(一次生産速度、附着強度、代謝速度)を明らかにすることが必要であり、今後の重要な課題である。

謝辞: 本研究の実行にあたり、東京都交通局多摩川第3発電所から御岳橋流量データを提供していただいた。水質分析時には東京工業大学総合理工学研究科石川忠晴教授および石川研学生諸氏の援助を受けた。藻類種の分析については東京大学緑地研究所加藤一弘助教授の援助を受けた。また、本研究は日本学術振興会科学研究費基盤研究(A)(2)(課題番号: 11305035, 研究代表者: 池田駿介)および同科学技術研究費奨励研究(A)(研究代表者: 戸田祐嗣, 課題番号: 11750451)の補助を受けた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 例えば, 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学, 築地書館, 1972.
- 2) Hoagland, K. D., Roemer, S. E., and Rosowski, J. R.: Colonization and community structure of two periphyton assemblages, with emphasis on the Diatoms (Bacillariophyceae), *American Journal of Botany*, No. 69, pp.188-213, 1982.
- 3) Lobo, E. A., Katoh, K. and Aruga, Y.: Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers in the Tokyo Metropolitan area, Japan, *Freshwater Biology*, No. 34, pp.191-204, 1995.
- 4) Biggs, B. J. F., Goring, D. G. and Nikora, V. I.: Subsidy and stress responses of stream periphyton to gradients in water velocity as a function of community growth form, *Journal of Phycology*, No.34, pp.598-607, 1998.
- 5) 池田駿介, 戸田祐嗣, 佐野貴之: 現地観測に基づく瀬の水理と生物一次生産に関する研究, 土木学会論文集, No.593, pp.93-103, 1998.
- 6) 有賀祐勝: 水界植物群落の物質生産 I, 共立出版, 1973.
- 7) 池田駿介, 戸田祐嗣, 赤松良久: 瀬と淵の水質および生物一次生産に関する現地観測, 水工学論文集, 第43巻, pp.1037-1042, 1999.
- 8) 赤松良久, 戸田祐嗣, 池田駿介: 河床付着性藻類の増殖と剥離に関する実験的研究, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.119-118, 2000.
- 9) 戸田祐嗣, 赤松良久, 池田駿介: 平坦河床上の藻類の増殖と剥離に関する研究, 水工学論文集, 第45巻, pp.1111-1116, 2001.
- 10) Stevenson, R. J., Christopher, P. G., Kirschtel, D. B., King, C. C. and Tuchman, N. C.: Density dependent growth, ecological strategies, and effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams, *Journal of Phycology*, No.27, pp.59-69, 1991.
- 11) DeAngelis, D. L., Loreau, M., Neergaard, D., Mulholland, P. J. and Marzolf, E. R.: Modelling nutrient-periphyton dynamics in streams: the importance of transient storage zones, *Ecological Modelling*, No.80, pp.149-160, 1995.
- 12) Momo, F. R.: A new model for periphyton growth in running water, *Hydrobiologia*, No.299, pp.215-218, 1995.
- 13) Saravia, L. A., Momo, F. R., and Lissin, L. D. B.: Modelling periphyton dynamics in running water, *Ecological Modelling*, No.114, pp.35-47, 1998.
- 14) 浅枝隆, ズン・ソンホン, 藤野毅: 河床のペリファイトンの遷移過程の解析, 河川技術に関する論文集, 第6巻, pp.119-124, 2000.
- 15) 厚生省生活衛生局水道環境部監修: 上水試験方法, 日本水道協会, 1993.
- 16) 半谷高久, 小倉紀雄: 水質調査法, 丸善, 1995.
- 17) 楠田哲也編著: 自然の浄化機構の強化と制御 (第1章), 技報堂出版, 1994.
- 18) 日本化学会編: 陸水の化学 (II-10), 学会出版センター, 1992.
- 19) 土木学会編: 水理公式集 (第1編11章), 土木学会, 1987.
- 20) 日本海洋学会編: 海洋環境調査法 (第6章), 恒星社厚生閣, 1987.
- 21) 西澤一俊, 千原光雄: 藻類研究法, 共立出版, 1979.
- 22) 廣瀬弘幸編: 日本淡水藻類図鑑, 内田老鶴圃新社, 1977.
- 23) 小島貞男, 須藤隆一, 千原光雄編: 環境微生物図鑑, 講談社, 1995.
- 24) 大橋晶良, 原田秀樹, 桃井清至: 平板上に形成される脱窒処理生物膜の成長過程, 衛生工学研究論文集, No.27, pp.45-54, 1991.
- 25) 高橋迪夫: 水路床上に存在する半球下流部の流れの構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.417, pp.73-82, 1990.

(2001. 5. 23 受付)

## STUDY ON PRIMARY PRODUCTIVITY OF PERIPHYTON IN STREAMS IN RELATION TO HYDRAULIC CONDITIONS

Yuji TODA, Yoshihisa AKAMATSU and Syunsuke IKEDA

Field observations on the characteristics of primary production of periphyton were performed at riffles and pools in Tama-river, where many artificial gravels were settled on the bottom. The amount of periphyton growing on them was measured every week for 55 days. It was found that the periphyton growing on the gravels at riffles has larger photosynthetic activity than that at pools. The measurements on the growth of periphyton were conducted in 4 tandemly placed laboratory flumes, in which the environmental conditions except for the hydraulic conditions were controlled to be the same among the flumes in order to estimate the effects of hydraulic characteristics on the primary production of periphyton. The results of the experiments indicate that the primary production of periphyton takes large value for the case where the near-bottom turbulence is large.