

(14) 河川水中微生物群集の生産力について

PRODUCTIVITY OF THE BIOTIC COMMUNITIES IN RIVER WATER

○ 藤木 修・山田幸男・村上 健*

Osamu FUJIKI, Yukio YAMADA, Ken MURAKAMI*

ABSTRACT; Rates of photosynthesis and respiration of biotic communities were measured in large-scale artificial streams and Kanda River. In the artificial streams, two types of bed were prepared — stony one and flat stainless steel one. Water was recirculated in the streams, each of which was polluted with different amount of powdered milk. The metabolic activities of the biotic community in each stream was estimated on both BOD and O_2 balance bases. The results were as follows.

- (1) The stream with stony bed, on which a large amount of periphyton was growing, showed lower net productivity or higher purification rate than with flat bed.
- (2) The average net productivity, that had minus values in all cases, was proportional to the organic pollutant concentration. The behavior of organic pollutant in the flowing water - stream bed system could be approximately evaluated from the values of net community productivity obtained by TOD and O_2 balance methods. The characteristics of biotic product and respiration were surveyed in Kanda River, where algal communities were densely attendant on the concrete bed. O_2 balance method was applied and following results were obtained.
- (3) The activities of epibenthic communities was far more dominant than those of flowing suspended ones.
- (4) Primary productivity was saturated when light intensity reached 5klux-10klux. The increment in light intensity over the limit therefore did not contribute to the primary production.
- (5) Daily average values of the community respiration rate exceed those of primary productivity even in Kanda River, which is assumed to be one of the most eutrophicated rivers in Japan.

KEYWORDS: River, Productivity, Respiration, Periphyton, Eutrophication

1. はじめに

有機汚濁物質と比較して発生源対策の遅れている栄養塩類負荷の増大のため、水深の浅い多くの都市河川では、河床付着藻類の著しい増殖が認められるようになっている。相崎は、多摩川中流域における河床付着藻類を $100 \sim 700$ (chl. a mg/m^2) と報告しているが¹⁾、これは、全国で最も富栄養化の進行している水道水源地の1つ、霞ヶ浦湖心における藻類の平面密度 $250 \sim 700$ (chl. a mg/m^2)^{**}に匹敵する数値である。このような河川の「富栄養化」は、河川水の水素イオン濃度、溶存酸素濃度に大きな変動を与えるばかりでなく、枯死藻類の堆積によって底質を悪化させ、さらには下流水域に対する有機汚濁負荷の増加の原因になる場合さえあると言われている²⁾。この現象は、いわゆる自浄作用とは全く逆の關係にあり、実際の河川において、藻類による生産と従属栄養微生物による有機汚濁物質の酸化分解作用のうち、どちらがどの程度卓越しているかを定量化することは、下水や産業排水に対する河川の汚濁機構と自浄能力を正しく評価し、もって河川および下流水域の水質保全施策を検討する上で大きな関心のあるところである。

* 建設省土木研究所

Public Works Research Institute, Ministry of Construction

** 昭和54年度の毎週調査のデータをもとに、水深を5mとして計算した。

著者らは、屋外に設けられた大型の還流水路実験施設を用いて、河川に流入する窒素、リン負荷量および有機物負荷量と、河川中の主として河床付着微生物群による生産・呼吸作用との関係について調査を行ってきたが、引続き今回は、水路に礫を敷き、さらに水路に対する汚濁負荷量を何段階かに変えて同様の実験を試みた。また栄養塩濃度および河床付着微生物群集中に占める藻類の割合の高さから見て、かなりの富栄養河川とみなされる神田川において、微生物群集の生産力の測定を行った。以下にその概要を示す。

2. 還流水路実験

2.1 実験方法

(A) 還流水路施設

実験で使用した河川模型は、全長290 mのステンレス製循環水路であって、深さ500 mm、路床部の幅500 mm、側壁上端部の幅1500 mmの台形断面を有する (Fig.1 参照)。一旦円形のタンクに貯留された水は、循環ポンプで水路上端部に送られ、傾斜1/1000の水路を自然流下して再びタンクにもどるしくみになっている。水路は全く同型のものが南北方向に並行して5本設置されており、各水路のタンクには、あらかじめ設定された流量で上水を連続的に供給することができる。本実験で使用したのは5本のうち4本で、それぞれの水路を区別するためにRUN1, RUN2, RUN3, RUN4と番号をつけ、各々の水路はこの番号で呼ぶことにする。

(B) 実験条件

実験期間は、昭和56年9月16日から12月12日までの約3ヶ月である。対照水路とするRUN3を除く残りの3本の水路床には、直径5 cm～1.5 cm程度の礫を厚さ約20 cmにわたって敷きつめた。各水路には、常時約1.05 (m^3/hr) の上水を供給し、同量を堰から越流させるという運転方式を取っている。すなわち、循環ポンプで水路上流端に送られた水は、約40～50分かけて下流端に流達すると、一部は堰から越流し、残りの部分は循環ポンプで再び水路上流端に送られることになる。汚濁物質としては市販の脱脂粉乳を使用し、1日の分量を毎日まとめて午前11時頃直接流水中に溶解させながら投入した。Table 1 に実験条件を整理して示す。RUN1, RUN2, RUN4を比較することによって脱脂粉乳の負荷の影響を、RUN1とRUN3を比較することによって礫路床の効果を把握することができる。なお、礫路床水路の流れはほぼ等流とみなされるが、RUN3は下流ほど水深の大きい堰上げ背水となっている。Fig.2 に実験期間中の気象条件を示す。

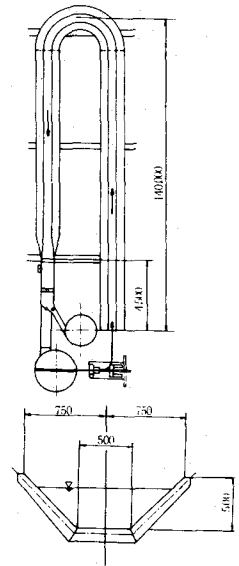


Fig. 1. Diagram of artificial stream

Table 1. Experimental Conditions in Artificial Streams

	RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
pollutant (powdered milk) loading	625g/day	125g/day	625g/day	3750g/day
bed condition	stony	stony	stainless steel (flat)	stony
mean depth *(cm)	10.3	10.2	14~34	10.4
mean velocity (cm/s)	24.6	24.8	30~38	25.4
retention time **(day)	1.9	1.8	2.2	1.8

* Standard level is set on the surface of stony bed for RUNs 1, 2, 4.
 ** The pore water in stony bed is taken into account as well as flowing water.

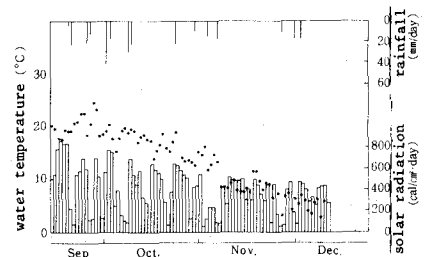


Fig. 2. Water temperature, solar radiation and rainfall in the artificial stream experiment

2.2 流水水質と路床付着微生物

Fig. 3 のレーダーチャートは、各水路流水の実験期間中の平均水質を示したものである。項目は、BOD、T-N、T-P、P-BOD（粒子態BOD）、O-N（有機性窒素）、P-P（粒子態全リン）、chl. a（クロロフィル a）であって、脱脂粉乳投入後約4時間後の値である。礫路床のRUN1、RUN2、RUN4については、各水質項目とも脱脂粉乳の供給量に応じてほぼ相似のパターンを示すが、ステンレス路床のRUN3はO-Nとchl. a濃度が相対的に高く、他とは傾向が異なる。これは以下に述べるように、路床付着微生物の多いRUN1、RUN2、RUN4と比較して、RUN3は浮遊微生物の占める割合が高いためであると考えられる。

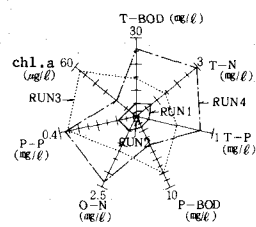


Fig. 3. Average concentrations

あらかじめ水路路床に沈めた鉄板の上に15 cm × 15 cmの磁性ゴムを貼ったスレート板を固定しておき、これを定期的に取り出して表面に付着する微生物試料を採取した。Fig. 4 に路床付着微生物の乾燥重量密度とchl. a密度の経日変化を示す。付着微生物密度は、実験開始後各水路とも一旦急速に増加した後減少し、秋から冬にかけて再度増加する。路床付着微生物の乾燥重量密度とchl. a密度の変動パターンはよく一致しており、付着微生物群集全体量の変化が、付着藻類量の変化によって代表されることを示している。このような付着微生物量の変動は、従来からしばしば観察されており、^{4) 5) 6)}これは付着微生物群集の増殖・剥離が交互に起こることに起因している。Fig. 4で見る限り、付着微生物密度はRUN4 > RUN3 > RUN1 > RUN2の順であるが、これはあくまでスレート板上に付着した微生物量を示したもので、実際の路床に付着する微生物量とは異なる。特に礫路床では、同じ水平面積でも路床材の表面積からするとかなりの大きさとなり、水路全体の付着微生物量もそれだけ増加することになる。実験の最終日に一定水平面積の礫路床をすべて取出し、表面に付着する微生物をかき取ってその乾燥重量を測定した。その結果、同じ水平面積について、スレート板上に対する礫路床表面に付着する微生物量の比は、RUN1で4.12、RUN2で6.9、RUN4で4.7であった。RUN3のステンレス路床上に付着する微生物量はスレート板上と同程度であるから、礫路床の場合にはステンレス路床に比べ、付着微生物量が格段に増加することになる。しかし、どの水路においても、路床付着微生物相と流水中の浮遊微生物相は概ね一致しており、上記のような路床形態による付着・浮遊微生物量の違いは、微生物に対する路床の保持力の違い、あるいは微生物の剥離のしやすさの違いに起因するものと考えられる。

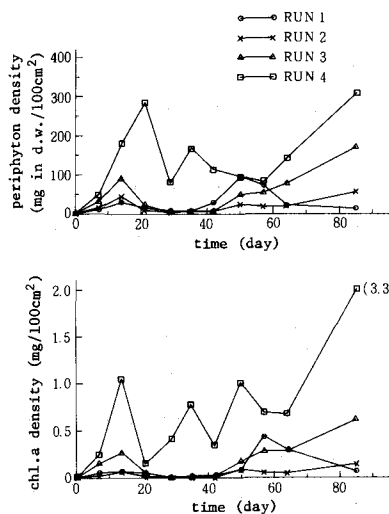


Fig. 4. Changes in dry weight and chl. a of epibenthic communities attendant on substrata.

2.3 群集純生産力の測定

河川水中において、どの程度の生物生産および有機物分解反応が起こっているかを示す1つの指標として、河川の群集純生産力が挙げられる。大雑把に言って、群集純生産力が正の値なら藻類による生産活動の方が、負なら従属栄養微生物による有機物分解活動の方が卓越していると考えてよいであろう。河川の微生物、特に河床付着微生物の代謝活動は流速等の影響を受けやすく、停滞水域の生産力の測定に広く採用されている明暗ビン法は、河川に適しているとは言い難い。ここでは、還流水路における微生物生態系の純生産力を(1)BOD収支法と(2)DO収支法の2つの方法で測定し、その特徴を比較した。

(A) BOD収支法（有機物収支法）

実際の河川はもとより還流水路においても、河（路）床に付着する微生物の絶対量を追跡することは極めて困難である。そこで付着微生物量は近似的に定常とみなし、生産・分解による有機物の増減はすべて流水中の有機物濃度に反映されると仮定すると、次のようなBODの保存式が成り立つ。

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{L}{T} + R \quad \dots\dots\dots (1)$$

L：流水中のBOD濃度（ mg/ℓ ）

T：水路滞留時間（day）

R：群集純生産力（ $\text{mg BOD}/\ell \cdot \text{day}$ ）

ここでは有機物指標としてBODを採用したが、その他の指標を用いることも可能である。Rは光強度や水温或は流水中の基質濃度などに依存する量であるが、本実験のように付着微生物の働きが支配的な系では、付着微生物による生産・分解作用が水質に反映される段階で時間的に平均化されると考えられるから、ここではRを定数とみなしてよい。なお、 $-R$ は水路流水中におけるBODの平均除去速度にはならない。

ここで脱脂粉乳投入直前のBOD濃度を $L_0 - \Delta L$ とおく。脱脂粉乳投入直後を $t = 0$ とし、この時点でBOD濃度が ΔL だけ上昇して L_0 になるものとする。1日後の $t = 1$ において、BOD濃度は再び $L_0 - \Delta L$ に低下すると想定されるから、外部からのBOD負荷がないと仮定すると、方程式(1)について、次の2つの境界条件が成立する。

$$L = L_0 \text{ at } t = 0 \quad (\text{脱脂粉乳投入直後}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$L = L_0 - \Delta L \text{ at } t = 1 \quad (\text{脱脂粉乳投入から1日後}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

上記の2つの境界条件それぞれについて(1)式を解き、得られた2つの解から L_0 を消去すると、次式を得る。

$$R = \frac{1}{T} \left(L - \frac{\Delta L e^{-\frac{1}{T}}}{1 - e^{-\frac{1}{T}}} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 ΔL は脱脂粉乳投入によるBOD濃度の上昇（ mg/ℓ ）、 t は脱脂粉乳投入から流水採水までの時間間隔（約0.17 days）である。

定期的に測定した流水中のBOD濃度から(4)式を用いて各水路のBOD除去速度（ $-R$ ）を算出すると、Fig.5のようになる。実験の期間中に流水の水温はかなり低下しているにもかかわらず（Fig.2参照）、BOD除去速度は各水路によってはほぼ一定の値となっている。またいずれの水路でも $R < 0$ であって、有機物の分解作用の方が生産を上回っていることがわかる。Fig.6は、各水路のBOD除去速度の平均値とBOD負荷率との関係を示している。礫路床のRUN1、RUN2、RUN4においては、〔BOD除去

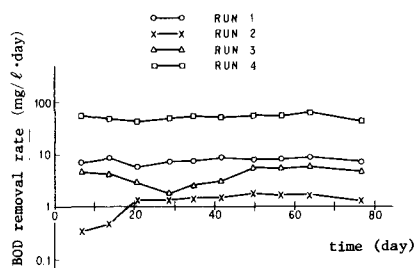


Fig. 5. Changes of BOD removal rate

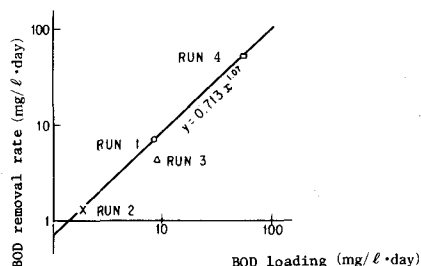


Fig. 6. Relation between BOD loading and BOD removal rate

速度 ($mg/l \cdot day$)] = $0.713 \times [BOD \text{ 負荷率 } (mg/l \cdot day)]^{1.07}$ なる関係が得られた。BOD 負荷率に係る指数の値が 1 に近いことから、除去率はほぼ一定の値 (70 ~ 95 %) となる。一方、ステンレス路床の RUN 3 については、平均 BOD 除去率が 46 % と礫路床の場合に比べてかなり低くなっている。

同じ還流水路施設を用いた別の実験において、河川水中の栄養塩は、有機物濃度が低ければ河川の純生産力を増大させるが、ある程度の有機物の存在する状態では、逆に純生産力を減少させる傾向のあることが確められている。³⁾⁷⁾ 今回の実験で使用した脱脂粉乳は、かなりの栄養塩類を含有しているとは言っても、比較的易分解性の有機物であるため、上記のような結果になったものと考えられる。

(B) DO収支法

この方法は、H. T. Odum が、特に流水中の微生物群の生産力を測定するために考案したもので、日変化曲線法 (diurnal curve method) とも呼ばれる。⁸⁾

Fig.7 と Fig.8 は、それぞれ昭和 56 年 11 月 16 日 ~ 21 日に観測された水温、日射量と、RUN 1 の流水中 DO 濃度の変化を示している。この期間中、脱脂粉乳は 1 日分を 12 等分して 2 時間ごとに投入した。

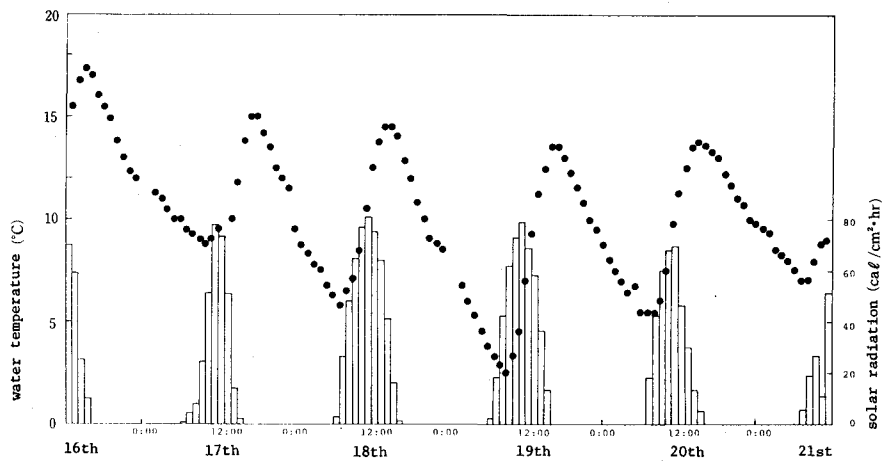


Fig. 7. Variations of water temperature (black circles) and solar radiation (histogram)

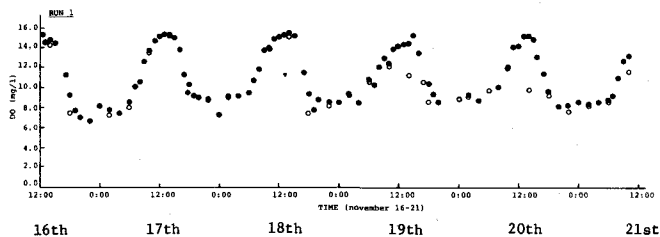


Fig. 8. DO variation in the artificial stream RUN 1 (Nov. 16th-21st)
black circle: running water white circle: pore water

流水の自由表面における酸素移動と、微生物群集の生産・呼吸活動に伴う酸素収支、および上水供給による水の交換を考えれば、還流水路流水中の DO の変動は次式に従う。

$$\frac{dC}{dt} = K_2 (C_s - C) + q (C_{in} - C) + \beta \dots\dots\dots (5)$$

C : 流水 DO (mg/l) , C_s : 飽和 DO (mg/l)

Cin : 供給水 DO (mg/ℓ), β : 群集純生産力 ($\text{mg O}_2/\ell \cdot \text{hr}$), K_2 : 水路再ばっ気係数 ($1/\text{hr}$)
 q : 水路希釈率 ($1/\text{hr}$)

上式の左辺 dC/dt を差分式で近似し, 土研 (村上) の式⁹⁾ から K_2 を求めれば, 群集純生産力 β の日間変動を計算することができる。Fig. 9 は, RUN 1 についての結果である。どの水路でも群集純生産力は, 昼間は正, 夜間は負の値となり, 日射量が大きくなると, 藻類の光合成活動が生物群集全体の呼吸量を上回ることを示している。

夜間は藻類による生産活動が行われず, 呼吸作用のみとなることから, 各水路における群集呼吸速度を求め, 路床付着微生物群乾燥重量密度との関係を描いたのが Fig. 10 である。付着微生物量が大きいほど, 水路全体の群集呼吸速度は大きくなる。

Fig. 11 に群集純生産力と日射量との関係を示す。RUN 1, RUN 2, RUN 3 の群集純生産力は, $0.25 \sim 0.5 (\text{MJ}/\text{m}^2)$ ではほぼ飽和に達し, それ以上の日射量は, 光合成に寄与しないが, RUN 4 の純生産力は, 約 $1.5 (\text{MJ}/\text{m}^2)$ までなだらかに上昇している。

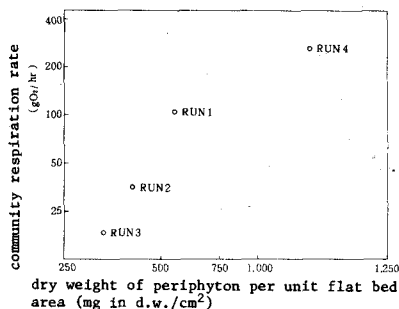


Fig. 10. Relation between periphyton density and respiration rate

(C) 有機物収支法と DO 収支法による, 流水—路床系における有機物動態の推定

以上に示した有機物収支法と DO 収支法の結果を比較することによって, 流水—路床系における有機物の動きを概略的に捉えることができる。アンモニアの硝化に伴う DO 消費を無視し*, 有機物指標として TOD (或は UOD) を用いることにすると, 流水中および路床に付着する TOD の変動について次式が成り立つ。

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{S}{T} + F - \alpha + \beta_1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\frac{B}{A} \frac{dM}{dt} = \alpha + \beta_2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

S : 流水中の TOD 濃度 (mg/ℓ)

M : 路床に付着して存在する TOD (g/m^2)

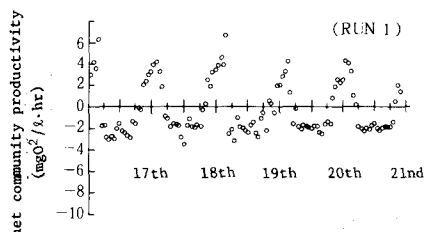


Fig. 9. Variation of net community productivity in RUN 1. (Nov. 16th-21st)

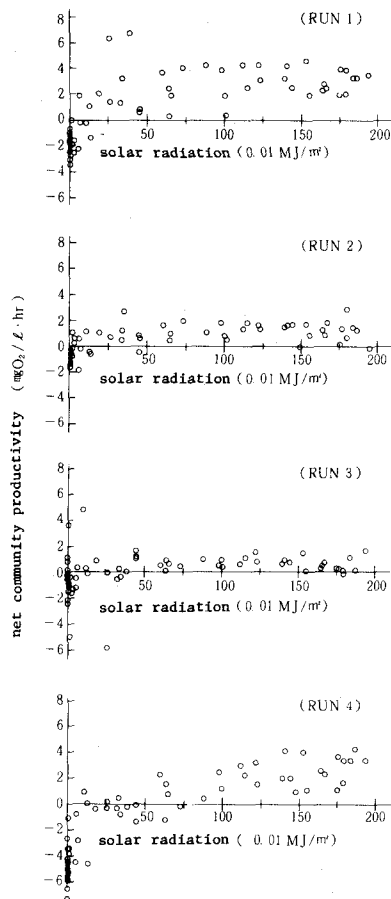


Fig. 11. Relation between net community productivity and solar radiation (Nov. 16th-21st)

* 本実験では流水中の硝酸および亜硝酸性窒素の濃度は極めて低く, 硝化作用は無視できるものと考えられる。

F: 脱脂粉乳の投入によって外部から供給されるTOD ($\text{mg}/\ell \cdot \text{day}$)

α : 流水中から路床へのTOD輸送 ($\text{mg}/\ell \cdot \text{day}$)

A: 流積 (m^2), B: 路床幅 (m)

T: 水路滞留時間 (day)

β_1 : 浮遊微生物群による純生産力 ($\text{mg O}_2/\ell \cdot \text{day}$)

β_2 : 路床付着微生物群による純生産力 ($\text{mg O}_2/\ell \cdot \text{day}$)

ここでは浮遊微生物群による純生産力 β_1 に関するデータがないので $\beta_1 = 0$ と仮定し, $\beta_2 = \beta$ (水路全体の純生産力) とおく。更に $\text{COD}_{\text{cr}} \equiv \text{TOD}$ および $dS/dt \equiv 0$ という仮定をおくと, 流水の COD_{cr} のデータから α が計算される。別に(5)式から β を計算し, α と $\beta (= \beta_2)$ の値を(7)式に代入すれば, 路床付着有機物量の変動 dM/dt を推定することができる。Table 2 は, 11月17日~19日の流水のDOと COD_{cr} のデータをもとにして計算した $\alpha, \beta, dM/dt$ の値を示している。どの水路においても α の値が正であることから, 有機物の付着微生物群への吸着あるいは沈殿速度の方が, 路床から流水中への剥離・溶出速度より大きいことがわかる。しかし $\beta < 0$ より, 路床では常に生産を上回る呼吸・分解反応が行われていることになる。 dM/dt を参照し総体として見れば, RUN1, RUN2, RUN4では, 路床に付着する有機物量は増加傾向に, RUN2では減少傾向にある。なお, この方法は幾つもの仮定を前提としており, 特に, 浮遊微生物の支配的なRUN3への適用には問題があると言える。

Table 2. Changes in TOD on Stream Beds
(Nov. 17 - 19)

	α ($\text{mg}/\ell \cdot \text{day}$)	β ($\text{mg}/\ell \cdot \text{day}$)	dM/dt ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)
RUN1	10.5	-3.2	0.84
RUN2	0.7	-1.7	-0.11
RUN3	3.5	-3.3	0.03
RUN4	80.6	-61.1	2.26

per unit surface plane area of stony bed for RUNs 1, 2, 4 and per unit wetted bed area for RUN3.

3. 実際の河川における群集

純生産力の測定

3.1 調査概要

栄養塩濃度が高く, 河床に付着藻類の繁茂する典型的な富栄養都市河川, 神田川において, 河床付着微生物群の生産力の測定を試みた。Fig.12に調査対象区間を示す。この区間はすべてコンクリート河床で, その表面には *Spirogyra* sp. や *Oscillatoria* sp. 等の藻類が一面に着生している。上流から順に St.1, 2, 3 の3つの観測点を設け, 3回にわたる晴天時24時間連続調査を行ったが, その実施日と流量, 水質, 河床付着微生物量を Table 3 に示す。

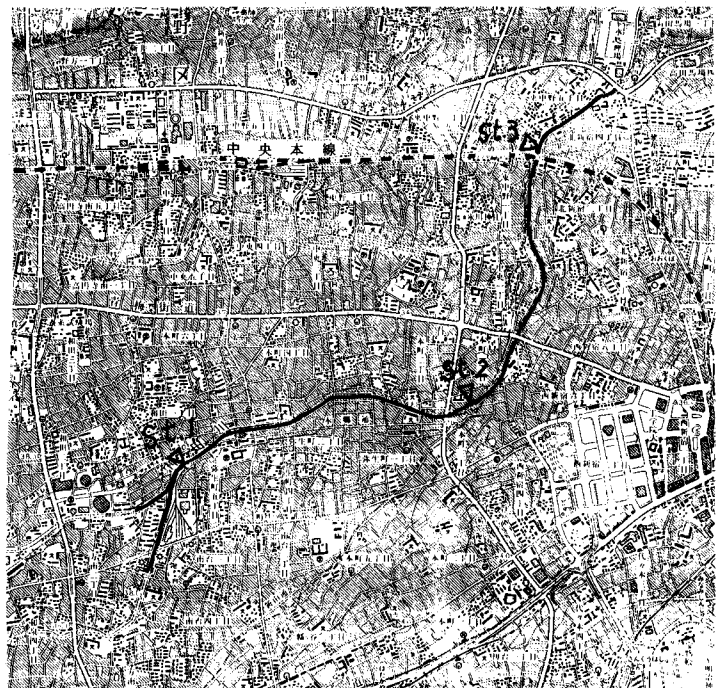


Fig. 12. Map of Knada River. ▽ indicates the sampling station.

Table 3. Flow, water quality and periphyton density in Kanda River

survey No.	date	average flow (m ³ /s)	water temperature (°C)	average concentration at St. 1, 2, 3 (mg/l)			(St. 1 - St. 2)	
				BOD	T-N	T-P	periphyton density (g in d.w./m ²)	Chl. a density (g/m ²)
1	1981. Sep. 2-3	0.57	24-28	1.5	5.28	0.09	360	-
				4.1	6.13	0.21		
				3.4	5.63	0.16		
2	1981. Oct. 22-23	0.84	13-17	1.5	8.77	0.04	120	1.2
				1.6	8.62	0.04		
				1.6	7.19	0.05		
3	1982. Feb. 8-9	0.41	2-6	8.5	6.72	0.29	220	2.3
				6.4	5.88	0.28		
				4.9	5.43	0.23		

3.2 DO収支法による群集純生産力の推定

採水から水質分析に至るまでの時間遅れ等、諸々の誤差を考慮に入れると、還流水路で行ったようにBOD収支から生産力を算定することは、ここでは無意味である。そこで、神田川の調査対象区間を河床の断面形状や流況に応じて8つの小区間に分割し、水理計算によって各小区間の必要な水理量を求めた後、DO収支に基づいて河床付着微生物群の群集純生産力を推定した。まず浮遊微生物による酸素消費速度 R_f の寄与を調べるため、2回目の調査時に流水を採水して実験室に持ち帰り、10℃、20℃、30℃の各温度条件の暗所で酸素消費速度を測定したところ、次のような関係が得られた。

$$R_f = 6.63 \times 10^{-3} (1.084)^T C \dots\dots\dots (8)$$

T：水温（℃），C：DO濃度（mg/l）

このことから、神田川における浮遊微生物の酸素消費速度は、付着微生物と比べて無視できる程度であることがわかる。また流水中のクロロフィルa濃度は4～9（ $\mu\text{g/l}$ ）であり、河床に付着するクロロフィルa量と比較して（Table 3 参照）、浮遊藻類の光合成の影響も無視できると考えられる。Fig. 13に、第1回目調査時における河床1 m²当たりの群集純生産力の日間変動を示す。Fig. 14は、同じデータを群集純生産力と水面での照度との関係で示したものである。夜間は光合成はなく呼吸作用のみであるから、群集純生産力は負の値となるが、照度の増加に伴って上昇し、昼は正となる。しかし純生産力は5 klux～10 kluxでピークに達し、それ以上の照度は光合成に寄与しないばかりでなく、わずかではあるがかえって生産を阻害する傾向さえ見られる。

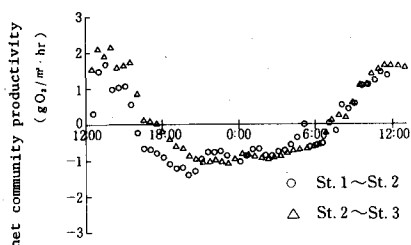


Fig. 13. Diurnal variations of net community productivity in Kanda River (1981, Sep. 2nd-3rd)

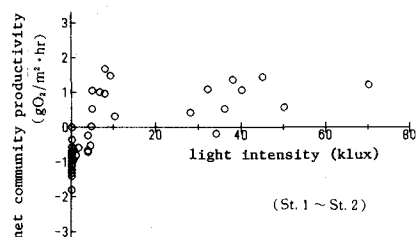


Fig. 14. Relation between net community productivity and light intensity (St. 1~St. 2)

3.3 室内実験による光合成・呼吸速度の測定

神田川調査時に河床から採取した付着微生物試料を実験室に持ち帰り、光合成・呼吸作用の特性を調査するため Fig. 15 に示す実験装置で以下のような測定を行った。

- (1) 酸素ビン（容量約100 ml）に適当量の河床付着微生物試料と河川水を入れ、これにDO測定用電極を

差し込む。

(2) 種々に設定した光と温度の条件下で、15～20分間のDO変化を測定する。

(3) 測定終了後、酸素ビンより試料を取り出し、乾燥重量を測定する。

2回目調査時に採取した河床付着微生物試料について、上記の方法で得られた光合成—光曲線と光合成—温度曲線をFig.16とFig.17に示す。図中のprimary productivityというのはDO変動から求められる純生産力に、暗条件で測定される呼吸速度を加えたものである。光合成速度が飽和となるのは約50 kluxで、実際の河川のDO収支から得られたFig.14と異なり、高い照度条件の下でもそれによる光合成の阻害は見られない。また光合成—温度曲線は、20℃～30℃で最大の光合成速度を示している。

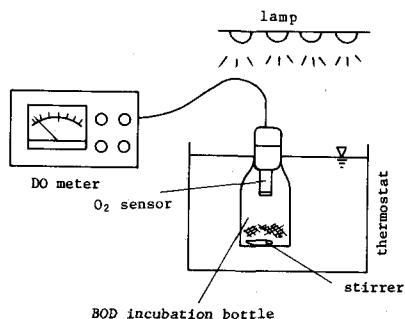


Fig. 15. Apparatus for measuring the photosynthesis and respiration rates.

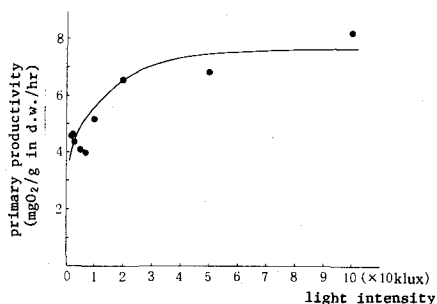


Fig. 16. Photosynthesis - light intensity curve for the periphyton community in Kanda River. (survey No.2, water temperature: 15°C)

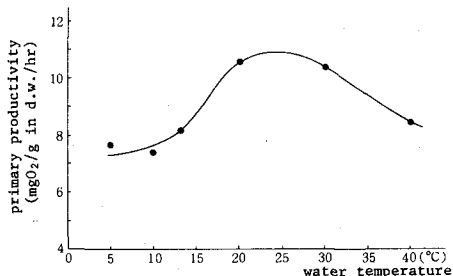


Fig. 17. Photosynthesis - temperature curve for the periphyton community in Kanda River (survey No. 2, light intensity: 50 klux)

実際の河川のDO収支法によって求めた、河床付着微生物群集1g当たりの総光合成速度の光飽和値と、対応する水温について室内実験で測定した光合成—温度曲線から読取れる光合成速度の値を比較したのがTable 4である。両者は比較的良好一致している。

Table 4. Light-saturated photosynthetic rates

Survey No.	1	2	3
<i>in situ</i> method based on O ₂ balance (mgO ₂ /g in d.w./hr)	7.5	9.1	2.7
DO meter method in laboratory (mgO ₂ /g in d.w./hr)	11.0*	8.9	3.5

* estimated from the photosynthesis - light curve obtained in the survey No. 2

3.4 付着微生物群集の生産・呼吸作用と水質汚濁および水温との関係

Table 5に神田川の調査において観測された、1日当たりの群集純生産量の値を示す。調査はすべて晴天時で、藻類の光合成活動が比較的高いと考えられる天候の日に行われているにもかかわらず、純生産量は、1回目調査のSt.2—St.3の区間以外はすべてのケースで負の値となっている。このことは、年間平均の有機汚濁物質濃度又は年間の総有機汚濁負荷量という観点で見ると、河川の富栄養化が、必ずしも内部生産による著しい有機汚濁にはつながらないことを示唆している。しかしFig.4で見たように、河床付着微生物群集は、洪水による流送ばかりでなく季節の変化等によっても急激に剥離する場合があります、一時的に河川やその下流水域を汚濁させることは十分に考えられることである。

Table 5. Net product per day in Kanda River (mgO₂/g/day)

Survey No.	1	2	3
St. 1 - St. 2	-17.2	-7.7	-23.9
St. 2 - St. 3	14.1	-7.1	-15.7

また、河床付着微生物群集の生産・呼吸速度は、単位生体量当たりで見ても季節によって変化するが、(光合成速度については Table 4 参照) 水温との関係は必ずしも明確ではない。河床付着微生物相は少しずつ遷移しており、事実、神田川では 1981 年の調査時点で優先種であった *Spirogira* sp. に代わり、1982 年 8 月現在では *Chaetomorpha* sp. が優先種となっている。河川水中の細菌による有機物分解作用の反応定数を Van't Hoff - Arrhenius の式又はその修正式を用いて、水温のみの関数で表示することはひろく行われていることである¹⁰⁾。しかしながら、次々と遷移する藻類も含めた河床付着微生物群集全体の代謝作用を細菌と同様に単純な水温の関数で表すことは、一般には困難であると考えられる。

4. おわりに

人工河川水として脱脂粉乳溶液を流した屋外大型還流水路と、富栄養都市河川の 1 つ神田川において、主として河(路)床付着微生物群集による生産・呼吸速度を測定した。得られた知見を以下に簡単にまとめる。

- (1) 流水中の栄養塩濃度が高くても、脱脂粉乳のように易分解性の有機物が共存する場合には、純生産力は負となる。
- (2) ステンレン路床より礫路床の方が付着微生物量が大きく、流水中の BOD 除去能力も高い。(ただし、純生産力が負の場合。)
- (3) 有機物収支法と DO 収支法を併用することにより、流水-河(路)床系の有機物の動きをある程度推定することができる。
- (4) DO 収支法は、実際の河川の純生産力を推定する場合の有効な手法となり得る。また、光合成速度の光飽和値や呼吸速度については、実験室内でも測定し得る。
- (5) ある程度以上の照度は、河床付着藻類の光合成に寄与しない。このため 1 日当たりの生産量は、天候によってあまり変化しないと推定される。
- (6) 神田川のようにかなり富栄養化していると思われる河川でも、有機物の酸化分解反応の方が、藻類の光合成を上回っている。

なお、本論文のうち神田川における観測結果の一部は、文献 7), 11) に既発表のものである。

参 考 文 献

- 1) 相崎守弘：多摩川における付着性微生物群集の現存量と生産量の季節変化，日本生態学会誌，28，p.123-134，1978
- 2) 小林節子：河川の汚濁負荷に及ぼす着生微生物の影響——印旛沼流入河川桑納川の汚濁とミズタおよび着生藻類——，第 15 回日本水質汚濁研究会年次学術講演会講演集，p.145-150，昭和 56 年 3 月。
- 3) 藤木修，山田幸男，村上健：屋外還流水路を用いた富栄養化河川の生産量に関する研究，第 15 回日本水質汚濁研究会年次学術講演集，p.62-63，昭和 56 年 3 月。
- 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ともなう現存量および光合成量の変化，陸水学雑誌，41 巻 4 号，p.225-234，1980
- 5) Hisao Ohtake, Shuichi Aiba, Ryuichi Sudo: Growth and Detachment of Periphyton in an Effluent from the Secondary Treatment Plant of Wastewaters
- 6) 相崎守弘・手塚泰彦：汚濁河川における付着性微生物——付着生物層形成過程の解析及び季節変化——陸水富栄養化の基礎的研究報告(第 2 報)，文部省科学研究費による特定研究，p.4-7，1973
- 7) 藤木修：河川の富栄養化について，京都大学環境衛生工学研究会第 4 回シンポジウム講演論文集，p.217-222，昭和 57 年 8 月
- 8) Howard T. Odum: Primary production in flowing Waters. Limnol. Oceanogr., 1, p.102-117, 1956
- 9) 村上健：河川における再曝気，第 6 回衛生工学研究討論会，p.45-52，昭和 45 年 1 月。
- 10) W. W. エッケンフェルガー，D. J. オコンナー：廃水の生物学的処理，岩井重久訳，コロナ社，p.66-68
- 11) 藤木修：河床付着微生物群の光合成・呼吸速度について，日本陸水学会第 4 7 回大会講演要旨集，p.68，1982