

徳島大学工業短期大学部 正会員 細井由彦
 同 上 正会員 村上仁士
 徳島大学大学院 学生員 住山 真

1. まえがき 河床付着生物群の増殖速度や現存量については、実河川および人工水路を用いて、種々の立場からの研究が、古くから多数行なわれている。増殖におよぼす流れの効果についても多くの研究があるが、そのほとんどの場合、流れを代表するパラメータは平均流速にすぎられているようである。本研究もまた、人工水路による増殖実験を行なったものであるが、流速の測定を従来より詳しくするとともに、水理学モデルによる若干の考察を加えた。

2. 実験方法 長さ360cm、幅20cm、高さ13cmの長方形断面水路を4本使用し、270lのヘッドタンクから、それぞれの水路に水が分岐するようにした。水路を流れた水は受水槽に入り、ヘッドタンクへポンプアップされて循環する。したがって各水路は流れの条件のみ異なり、水質条件は同じである。各水路の底には、10cm×20cmのアクリル板がきつめられており、実験開始後順次回収し、板上の付着物をはぎとって、乾燥重量、乾熱減量、クロロフィルa量を測定した。循環水は、350lの水道水に無機塩類を加えて調整したものに、本学内の池の水を10l加えたものを用いた。実験開始後、水質のチェックは行っていない。照明は水面で100~1400ルクスの連続照明とした。流速はホットフィルム流速計を用いて計測した。

3. 実験結果 4回の実験を行なったが、実験間の再現性に若干傾向があるので、その中の1つについて述べる。流れの測定結果は表1のとおりであった。

図-1,2は乾燥重量とクロロフィルaの日変化を示したものである。流速の違いNo.1,2は、増殖開始後ほぼ一定のペースで増加しているのに対し、No.3,4では、増殖の開始はやや遅れる傾向にあるが、急激な増加がみられる。

図-3はクロロフィルaと乾熱減量との関係である。一般に藻類の有機物とクロロフィルaの比は約100とされている¹⁾ので、図中にその直線を描いた。本実験はほぼその直線上にあり、付着物の構成は藻類が支配的であると考えられる。はくりした場合(No.2の最後)には直線からはずれており、

表-1 実験条件

Stream	Depth	Mean velocity	Turbulent intensity	Frictional velocity
No.1	2.25	15.8	1.59	0.142
No.2	2.15	0.4	0.008	0.204
No.3	2.50	0.8	0.011	0.474
No.4	2.20	2.9	0.278	3.17

Water temperature 17.5~22.0°C
 乱れ強度は河床上2mmにおける値である。

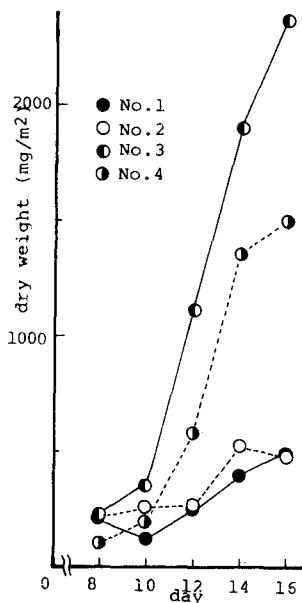


図-1 乾燥重量の変化

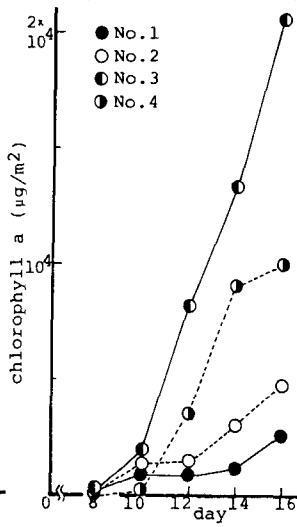


図-2 クロロフィルaの変化

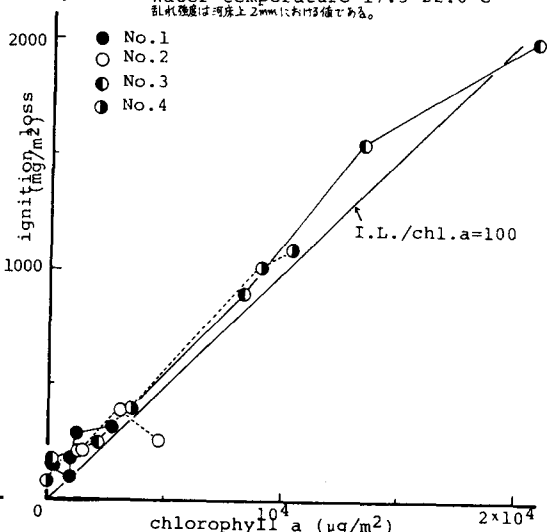


図-3 クロロフィルaと乾熱減量との関係

構成成分が変化することがわかる。

いま増殖を次式で表わす。 $\frac{dB}{dt} = \mu B$ (1) B : バイオマス量, μ : 最大比増殖速度 (1/day)
各実験ごとに増殖が対数的におこっている部分を用いて、上式の μ を求めた。 μ と平均流速および乱流強度との関係求めたのが、それぞれ図-4, 5である。平均流速や乱流強度が増加すると、 μ は増加する傾向にあるが、No.3とNo.4の差は明らかではない。

流れの存在が生物の増殖を促進することは、古くから指摘されてきたことであるが、その理由として、流れによる生物表面のdiffusion gradientの増大が言われている。そのモデル化も種々行なわれているが^{2), 3), 4)}、ここでは、雨水路乱流場におけるモデルを考察してみる。

図-6のように生物膜表面付近に、栄養塩が分子拡散により輸送される層を考える。生物膜表面における濃度は、主流部の濃度や生物のuptake ratio等により決まると考えられるが、いま S_B と仮定しうるものとする。主流部を S_0 として、つぎのような拡散モデルを考える。 $\frac{\partial S}{\partial x} = D \frac{\partial^2 S}{\partial y^2}$ (2) I.C. $x=0, y=0: S=S_0$, B.C. $x>0, y=0: S=S_B$, $x>0, y \rightarrow \infty: S=S_0$ 。この式を解いて、吸収速度 j および、 $x=0$ での面の平均吸収速度 $\bar{j}$ を求めると、それぞれつぎようになる。

$j = \sqrt{\frac{D}{\pi \tau}} (S_0 - S_B)$ (3), $\bar{j} = 2 \sqrt{\frac{D}{\pi \tau}} (S_0 - S_B)$ (4) 式(3)は時間の経過にしたがい分子拡散による吸収速度が低下することを示しており、その結果式(4)にみられるように、時間平均吸収速度も低下する。流れの存在は、diffusion gradientを更新し、式(4)の τ を小さくして、 $\bar{j}$ を増大させる。乱流場における τ の分布関数として、つぎのようなDanckwertsモデルや、雨水路乱流の壁面付近に観測されるbursting現象の周期分布を与えることが考えられる。

$$f(\tau) = \frac{1}{\tau} e^{-r\tau} \quad r: \text{界面更新率} \quad (5)$$

$$P(\tau) = \frac{\log e}{\pi \tau \sqrt{1+\psi^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\log \tau}{\log \tau_0} \right)^2 \right\} \quad (6)$$

$$\tau_0 = \log e \sqrt{\ln(1+\psi^2)}, \tau_0 = r \tau_0, r = (1+\psi^2)^{-1/2}, \psi = \frac{D}{\tau_0}, \tau_0: \text{平均bursting周期}$$

上記の分布関数をそれぞれ式(4)に当てて積分すると、 $\bar{j}$ はつぎようになる。

$$\bar{j} = K (S_0 - S_B) \quad (7) \quad K = \begin{cases} \sqrt{Dr} & \text{Danckwerts model (8)} \\ \frac{D(1+\psi^2)^{1/4}}{\tau_0} \exp \left(\frac{1}{8 \ln(1+\psi^2)} \right) & \text{Bursting model (9)} \end{cases}$$

r を平均流速 $\bar{u}$ と水深 h により $r \sim \frac{\bar{u}}{h}$ とおき、一オ、 $\psi \sim \text{const.}$ 、 $\frac{D}{\tau_0} \sim 1.5 \sim 30$ という実験結果⁶⁾を参考にすると、式(9)は $K \sim \sqrt{\frac{D}{\tau_0}} \sim \sqrt{\frac{\bar{u}}{h}}$ となり、いずれの分布関数によっても $\bar{j} \sim \sqrt{\frac{D}{\tau_0}} (S_0 - S_B)$ (10)となる。同一の水質条件で、生物の構成も同じ場合には、式(10)の D, S_0, S_B が一定とおけると考え、吸収速度が増殖速度と何らかの関係があるものとして、 μ と $\frac{\bar{u}}{h}$ の関係をプロットしてみたのが図-7である。

4. あとがき 本研究は雨水路流れにおける藻類の増殖を、流れをコントロールして検討しようとしたものであるが、装置等の制約上、十分な範囲の流速をカバーすることができなかった。さらに水質の動きを観測していなかったため、増殖条件がいまいちなまにおかれた。提案した増殖モデルは、いずれかの増殖必須物質が制限された条件下で成立するものと思われるが、行なった実験がその条件を満たしていたかは不明である。今後より詳細な実験を行なってゆく予定である。最後に建設省 藤本修氏との有益な議論に謝意を表す。参考文献 1) 渡辺直江 研 井: 用水と廃水, vol. 17, No. 6, 1972. 2) V. Novotný: Proc. Int. Conf. Water Pollution, 1969. 3) K. Williamson & P.L. McCarthy: J. WPCF, vol. 48, No. 1, 1976. 4) W.J. Pacia & J. Gavis: Limnol. Ocean., vol. 19, No. 6, 1974. 5) P.V. Danckwerts: Ind. Eng. Chemistry, vol. 43, 1951. 6) H. Nakagawa & I. Nezu: Mem. Faculty of Engineering Kyoto Univ., vol. 40, 1978.

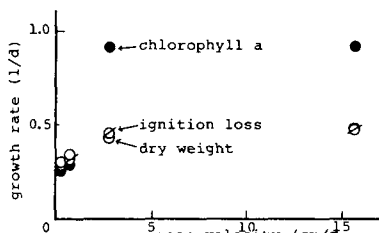


図-4 平均流速と μ の関係

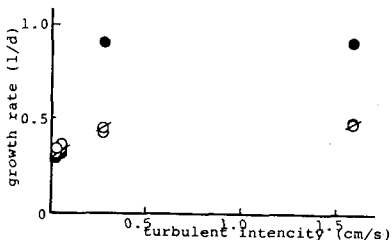


図-5 乱流強度と μ の関係

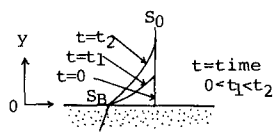


図-6

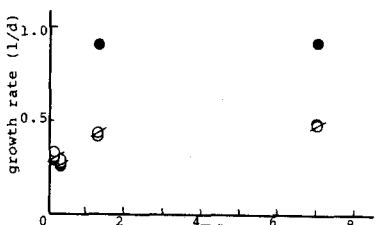


図-7 $\bar{u}/h$ と μ の関係