

# ワムシの増殖速度と濾過速度

Growth Rate and Filtration Rate of Rotatoria

鈴木基之\*・向井人史\*

Motoyuki SUZUKI and Hitoshi MUKAI

## 1. 緒言

活性汚泥法や回転円板法等によく出現する後生動物であるワムシは、汚泥槽中のバクテリアや小さな原生動物を捕食し増殖していくため、槽内の汚泥発生量を減少させたり、流出水の透明度を引き上げる働きを持っている。

ここでは、このワムシの増殖の様子と共にその速度を検討した。またワムシは、頭部にある繊毛環によりまわりに水流を起こし、その水流によって運ばれてくるバクテリア等を口の部分の繊毛により食道の方へかき込むようにして摂取を行うようであるが、そのことによって浮遊物が濾過される水量についても検討を加えた。

## 2. ワムシについて

活性汚泥や回転円板によく出現するワムシはベニヒルガタワムシ(*Philodina*)、ヒルガタワムシ(*Rotaria*) (図1)等のヒルガタワムシ類であるが、この類は雄虫がまったく存在せず、全て雌虫より単性発生で増殖を行う。通常何かに固着して摂取を行うが、泳ぐときも繊毛により泳ぐことができる。周年性である。

図2は、ネズミワムシ(*Trichocerca*)の種と思われるもので、この種もよく活性汚泥中に出現する。この種は、雄虫が存在する類である。雄虫は、まわりの環境の悪化(寒曇または群集の過多)等により、雌虫が減数分裂により生んだ半数性の卵より発生する。しかしながら、あまりこの雄虫は発見されなく不明な点も多い。通常雌虫は2倍性の夏卵(Summer egg)を生み、それから雌虫が生じる。よって、普通の状態ではこの種でも雄虫は出現しないと考えるのが適当である。発生時期は主に夏と秋である。

## 3. 実験方法

### 1) 増殖速度の測定

図3のように、コンケープスライドガラスの上に、約0.1 mlのバクテリアの培地を作り、その中にワムシを1~5個体ほど接種して、顕微鏡(100倍)によって個体数の変化を調べた。バクテリアの排出物の影響や酸欠等が起こりうまく培養ができなかったため、一度バクテリ

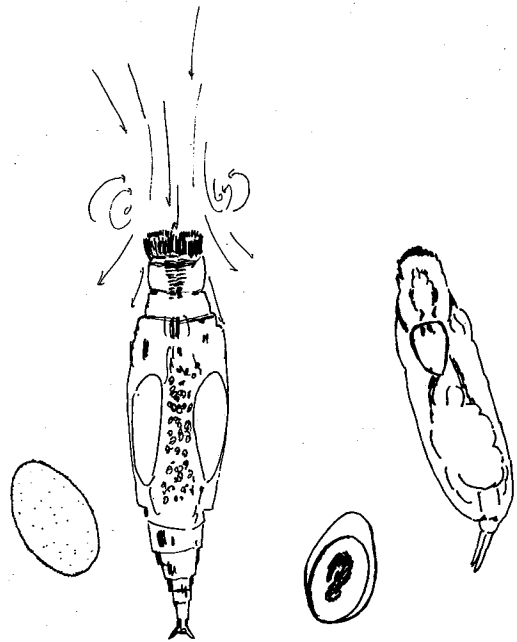


図1 ヒルガタワムシ (*Rotaria*) とその卵 図2 ネズミワムシ (*Trichocerca*) とその卵

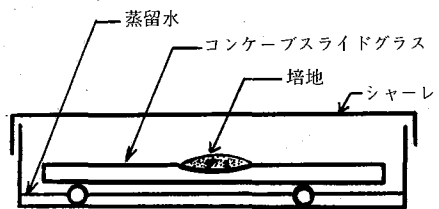


図3 ワムシ培養器

ア液を静置させ、大きなフロック等を沈殿させ、浮遊のバクテリアをとり、それを遠心分離にかけて上澄を除き、バクテリアを分離し、それに井戸水を加えて浮遊させたものを培地とした。

ワムシとしては、ヒルガタワムシとネズミワムシを用いた。ヒルガタワムシは、一日1回ほどの割合いでエサを追加してやらねばならなかったが、ネズミワムシは初めだけとした。途中、蒸発する水の分を添加補正した。

### 2) 濾過水量の推定

\* 東京大学生産技術研究所 第4部

上と同様な方法で作ったバクテリア浮遊液を、2本の試験管に 10 ml ずつ加え、一方はそのままにし、もう一方にワムシを加え、その後の両方の濁度(O. D.<sub>600 nm</sub>)およびワムシ個体数を測定した。バクテリア濃度と濁度とは比例関係にあるとし、その変化からワムシの濾過速度を推定する。

4. 結果および考察

1) 増殖速度

(a) ネズミワムシ

図4は、ポリペプトンで培養したバクテリアを先程のように処理した培地(SSとして23 ppm)を用い、ネズミワムシを培養したものである。培地中には、ワムシ自身の他、その卵が観察されるが、卵はワムシの対数増殖期には、ほぼ、そのときのワムシの数と同じだけ見られた。3~4日目になると、環境の悪化(食物の不足、排出物の影響等)のためか、卵を生まなくなり、その数が激減していることがわかる。対数増殖期の傾きは、一般の微生物に適用されている比増殖速度 $\mu$ といわれるもので、このネズミワムシの場合、 $1.15 \text{ day}^{-1}$ 程度であることがわかる。また1びきのものが2びきになるまでの倍化時間 $t_0 (= \ln 2 / \mu)$ は14.5時間と計算される。

図5に初期のバクテリア濃度を23~2200 ppmと変化させて測定したものを示したが、立ち上がりの傾きはほぼ同じで、平均して $\mu$ で $1.17 \text{ day}^{-1}$ 、倍化時間で14.3時間であった。これは、通常の原生動物、たとえば *Aspidisca* ( $\mu = 1.2 \text{ day}^{-1}$  前後、 $t_0$ で13時間前後)等に匹敵するほど速く、多細胞の動物としては驚くべき速度である

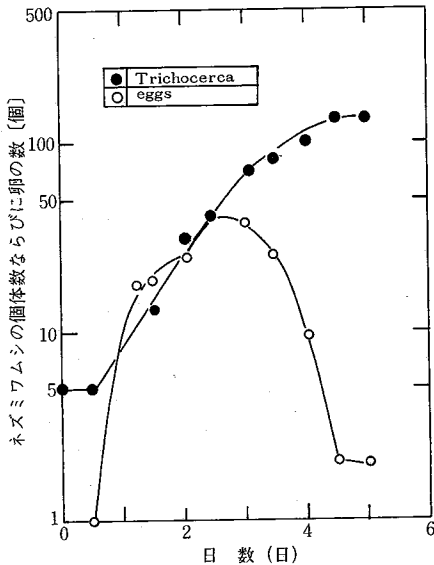


図4 ネズミワムシの増殖の様子

ことがわかる。

(b) ヒルガタワムシ

図6にその増殖の様子を示した。温度を20°C, 25°C, 30°Cと変化させて、一日に一度程度の割合いでエサを与えて培養したが、各温度で比増殖速度 $\mu$ は、ほぼ一定で平均して $0.367 \text{ day}^{-1}$ 程度であった。これはヒルガタ

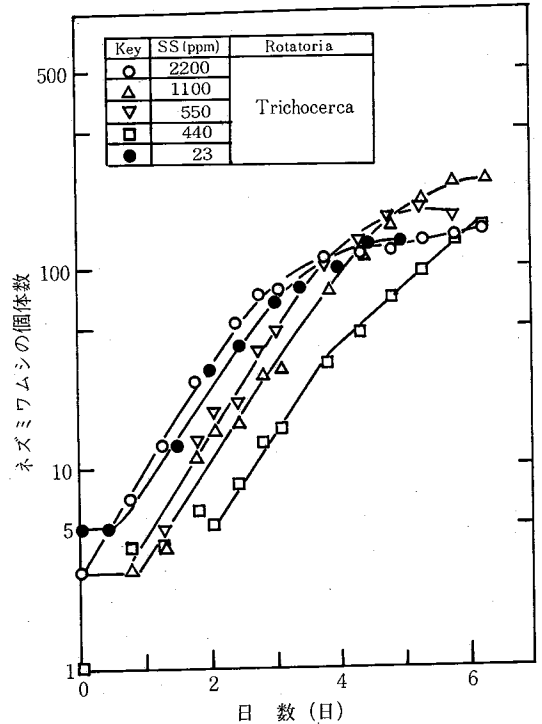


図5 各SS濃度でのネズミワムシの増殖 (28°C)

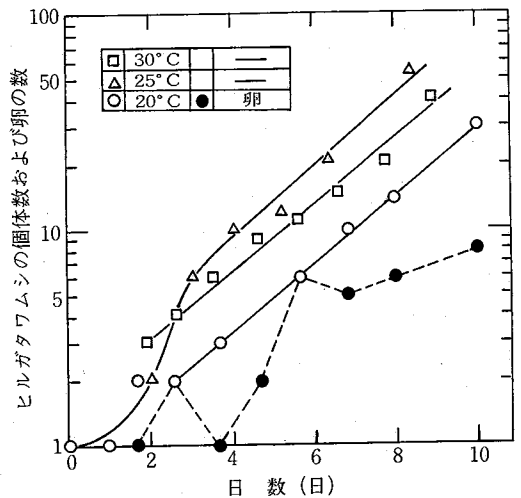


図6 各温度におけるヒルガタワムシの増殖

研 究 速 報  
 ワムシが一年中見られることと対応していると考えられる。 $t_e$ では45.3時間程度で、倍になるには2日ほど必要であることがわかる。

ネズミワムシと違い、ヒルガタワムシの摂取は、一カ所に固着して、繊毛による水流により浮遊物を取り込むため、浮遊のバクテリアでないと思われないと推定され、バクテリアのフロック化が進むと増殖速度がにぶると考えられる。これに対し、ネズミワムシは、遊泳目であって、フロックとなったものも食べるようである。

2) 増殖の構造

いま、ワムシの産卵(egg-laying)とその卵のふ化(hatching)がそれぞれ一定の速度で行われていると仮定し、それぞれの時定数を  $t_e, t_h$  とすると、ワムシの増殖速度  $dX/dt$  は卵の数  $E$  に比例し、卵の存在量の変化  $dE/dt$  は、ワムシ数  $X$  に比例して増加し、かつ卵の存在量自身に比例し減少するため、次のように表すことができる。

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = \frac{1}{t_e} \cdot X - \frac{1}{t_h} \cdot E & (1) \\ \frac{dX}{dt} = \frac{1}{t_h} \cdot E & (2) \end{cases}$$

この方程式を  $t=0$  のときに、 $E=E_0, dE/dt=X_0/t_e - E_0/t_h$  の条件で解くと、ふ化時間と産卵時間の比  $t_h/t_e$  を  $R$  とおくことにより、次のような形となる。

$$\begin{cases} E = A \cdot e^{D_1 t} + B \cdot e^{D_2 t} & (3) \\ X = \frac{1 + \sqrt{1 + 4R}}{2R} A \cdot e^{D_1 t} + \frac{1 - \sqrt{1 + 4R}}{2R} B \cdot e^{D_2 t} & (4) \end{cases}$$

ここで、

$$A = \left\{ RX_0 - E_0 \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{1 + 4R} \right) \right\} / \sqrt{1 + 4R} \quad (5)$$

$$B = \left\{ \frac{1}{2} E_0 (1 + \sqrt{1 + 4R}) - RX_0 \right\} / \sqrt{1 + 4R} \quad (6)$$

$$D_1 = (-1 + \sqrt{1 + 4R}) / 2t_h > 0 \quad (7)$$

$$D_2 = (-1 - \sqrt{1 + 4R}) / 2t_h < 0 \quad (8)$$

上式より、十分時間が経過すれば両式の二項目が無視できるようになるため、測定により求めている  $\mu$  は上式の  $D_1$  を求めていることになる。さらにここで、卵の数  $E$  とワムシの数  $X$  の比をとると、

$$E/X = 2R / (1 + \sqrt{1 + 4R}) \quad (9)$$

となる。

図7に、ネズミワムシとヒルガタワムシの測定中のワムシ数と卵の数の比を示した。初期には高い値を持つが、概略ネズミワムシで1、ヒルガタワムシで0.25となることがわかる。これより(9)式を用いて、 $R (= t_h/t_e)$  を求め、さらに  $\mu = D_1$  の関係を使うと、 $t_h$  と  $t_e$  が求まる。

結果を表1に示した。両ワムシとも、ふ化に関する時

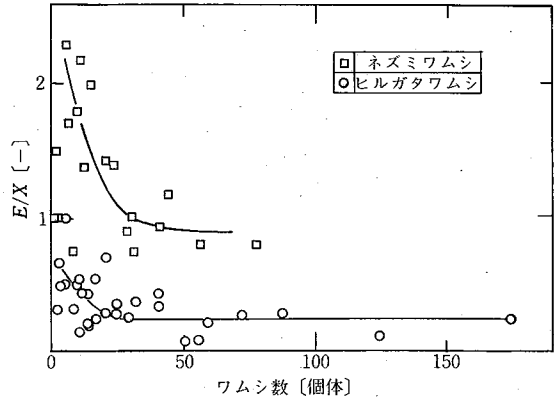


図7 ネズミワムシとヒルガタワムシの E/X

表-1 ネズミワムシとヒルガタワムシの増殖特性

	ネズミワムシ	ヒルガタワムシ
$\mu$ [day <sup>-1</sup> ]	1.17 (28°C)	0.367 (20~30°C)
$t_e$ [hr]	14.3	45.3
$E/X$	1	0.25
$R$	2	5/16
$t_e$ [day]	0.423	2.18
$t_h$ [day]	0.855	0.681
$D_1$ [day <sup>-1</sup> ]	1.17	0.367
$D_2$ [day <sup>-1</sup> ]	- 2.34	- 1.84

定数  $t_h$  は同程度であるが、産卵に関する時定数はヒルガタは非常に大きく、時間がかかることがわかる。ネズミワムシの方は逆に産卵に対する時間は、ふ化時間よりも小さく、両者の決定的な増殖の差は、産卵に対する速度の差に起因することがわかる。

図7に上式を用いワムシ1ぴきから始めた増殖の様子を示したが、初期の卵の数がその後の増殖に大きく影響することがわかる。

3) 濾過水量の検討

試験管中のバクテリアは、ワムシに捕食され、かつ同時に自己分解を行っていることより、次式のような濃度変化を考えると考えられる。ただし、ワムシによって濾過される水量は測定期間一定であるとし、バクテリアは、濃度に対し一次反応で自己分解するとすると、

$$-V \cdot \frac{dC}{dt} = X(t) \cdot W \cdot C + V \cdot k \cdot C \quad (10)$$

$V$ : 培養液量 [ml],  $C$ : バクテリア濃度 [mg/ml],  
 $X(t)$ : ワムシの個体数 [個],  $W$ : 濾過水量 [ml/個・hr],  $k$ : 自己分解速度定数 [hr<sup>-1</sup>]

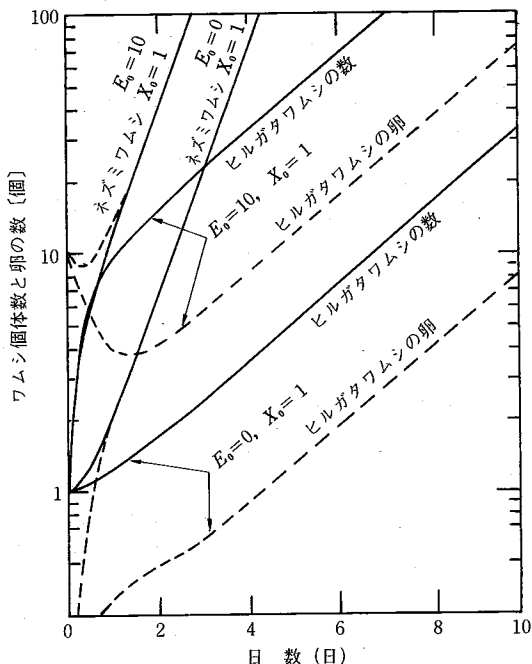


図8 理論式によるワムシの増殖に及ぼす初期の卵の数の影響

(10)式を0からtまで積分するし整理すると、

$$W = \frac{V(\ln C_0/C_t - kt)}{\int_0^t X(t) dt} \quad (11)$$

よって、初めと終わりのバクテリア濃度の比とk, さらには、ワムシの時間積分を求めてやればWが求まる。

結果の一例を表2に示した。これはヒルガタワムシのものであるが、これより、Wは(11)式により  $3 \times 10^{-14}$  ml/個・hr 程度の値が求まる。

ここでこのWより、バクテリアからワムシの収率Yを考えてみると、先程求められたμとE/Xを用いて、

$$Y = \frac{\mu \cdot m \cdot (1 + E/X)}{W \cdot \bar{C}} \quad (12)$$

と表される。W・C̄は捕食量と考えられる量で、mはワムシ1個体の重さ、(1+E/X)は卵の分を考えた補正項である。C̄はここでは0.06 mg/ml前後だったことより、 $m = 1 \times 10^{-8}$  mg,  $\mu = 0.367 \text{ day}^{-1} = 0.0153 \text{ hr}^{-1}$ ,  $E/X = 0.25$  とすると、 $Y = 0.01$  程度となり、原生動物の収率が0.5前後であるのに比し、低すぎる値であることがわかる。

このことから、ここで測定されたものは、実際ワムシによって捕食された量ではなくて、見かけの量であることが推定される。つまり、おそらくは、ワムシのフロック形成力によって、バクテリアがフロックとなり、濁度

表-2 ヒルガタワムシによる濾過水量の実験結果

時間 (hr)		0	35.3
ワムシ培養	ワムシ数	300	≈300
	O.D [-]	0.45	0.18
ブランク	O.D [-]	0.45	0.247

が実際以上に下がったように見えるのであろう。実際、顕微鏡観察によっても、ワムシによっておこされた水流が口のあたりを通りすぎると、浮遊物が固まりやすくなっていることが見うけられる。また、繊毛環の前方に渦が発生し、浮遊物はその中にまき込まれている間にも、フロック化していくようにも見うけられる。

日高ら<sup>9)</sup>のシオミズボワムシの大量培養のデータや、鈴木・藤井<sup>1)</sup>のフェノールの二段処理のデータからも、 $10^{-4}$  ml/個・hr 程度の濾過水量を推定することができるが、ここに述べたようなフロック化等を考慮に入れて検討する必要があると考えられる。

### 5. 結 論

(1) 活性汚泥処理等に重要であるワムシの増殖速度を求めたところ、ネズミワムシでは  $\mu$  で  $1.17 \text{ day}^{-1}$  と原生動物に匹敵するほどの速度を持っていることがわかり、汚泥等にならりの影響を与えていることが観察された。ヒルガタワムシは  $\mu$  で  $0.367 \text{ day}^{-1}$  とおそく、倍化時間で2日は必要であることから、汚泥の滞留時間をそれなりに長くにとってやらないと、ウォッシュアウトしてしまう危険性があることがわかった。

(2) ワムシの増殖は産卵によって行われるが、比増殖速度μと、ワムシと卵の現存量の比E/Xをとることによって、産卵に対する時定数とふ化に対する時定数を求めることができた。それによると、ふ化に対する時定数は両ワムシとも同程度であったが、産卵に対する時定数に大きな差があることがわかった。また、卵の存在量により初めの立ち上がりの増殖が非常に異なることがわかった。

(3) ワムシによる濾過水量は、見かけでは非常に大きく、 $10^{-4}$  ml/個・hr のオーダーを持っていることがわかった。しかし、これは捕食による真の濾過ではなく、多くはワムシの持つフロック形成能力によるみかけの値であることが推察された。(1982年2月25日受理)

### 参 考 文 献

- 1) 鈴木、藤井：「廃水生物処理における化学工学」化学工学協会第13回秋季大会プロシーディングス(1979)。
- 2) 日高、古川：「ワムシの大量生産に関する技術的問題点」日本プランクトン学会報第20巻第1号(1973)。