

1. ま え が き

活性汚泥による有機物(基質)の除去については、吸着による物理的な作用と、活性汚泥微生物群による基質の分解という生物学的な作用の2つの作用が考えられている。筆者は先の論文¹⁾において、後者の生物学的作用に着目し、活性汚泥による基質除去の機構に、微生物の連続培養の理論と適用し、ある基質濃度以下において基質除去式は1次反応でなく、 $(1+n)$ 次 $(0 < n < 1)$ 反応式であると述べた。しかしこの式は、連続培養における微生物量が近似的に変化しないと仮定した式から導かれており、回分法においては微生物量が変化しているので、厳密には、回分法における基質除去について説明しきれていない。そこでこの論文においては、回分法における基質除去の式を作り、これを解き、実用的な範囲では連続培養から導かれた式が十分成立することと述べる。

2. 基 質 除 去 の 理 論 式

2-1. 理論式の誘導

基質除去の式に使用する記号は次のものとする。

- S : 残存基質量 S_0 : 初期基質量
- ΔS : 消費基質量 ($\Delta S = S_0 - S$)
- X : 活性汚泥量 X_0 : 初期活性汚泥量
- ΔX : 増殖活性汚泥量 ($\Delta X = X - X_0$)
- μ : 活性汚泥の比増殖速度 ($\frac{1}{X} \frac{dX}{dt}$)
- Y : 収量係数 (yield)
- t : 時間

活性汚泥の増殖速度と比増殖速度で表わすと、

$$X = X_0 e^{\mu t} \quad \cdots \cdots (1)$$

活性汚泥の変化は次のとおりである

$$\Delta X = X - X_0 \quad \cdots \cdots (2)$$

(2) 式に (1) 式を代入すると

$$\Delta X = X_0 (e^{\mu t} - 1) \quad \cdots \cdots (3)$$

増殖活性汚泥量と消費基質量とは

$$\Delta X = Y \times \Delta S = Y \times (S_0 - S) \quad \cdots \cdots (4)$$

(4) 式に (3) 式を代入すると次式のようになる。

$$S = S_0 - \frac{\Delta X}{Y} (e^{\mu t} - 1) \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\log \left\{ \frac{S_0}{S_0 - Y \cdot (1 - \frac{S}{S_0})} + 1 \right\} = \mu t \quad \cdots \cdots (5')$$

2-2. 比増殖速度の表示法

微生物の比増殖速度 (μ) は基質濃度 (S) の関数で、 S が小さいときは μ は S に比例し、 S が大きくなると μ は μ_m と一定値をとると言われている。Monod はこれらの関係を $\mu = \frac{\mu_m \cdot S}{K_s + S}$ と表わしている²⁾が、筆者は基質濃度の範囲と2つに分け次のように表わす¹⁾。

$$\mu = \mu_m = C_1 \quad (S > S_m) \quad \cdots \cdots (6)$$

$$\mu = C_2 S^n \quad (S < S_m) \quad \cdots \cdots (7)$$

ただし、 S_m は飽和濃度で、 $\mu = \mu_m$ とり始める最小の濃度である。これらの関係を図-1に示す。

厳密には、比増殖速度は基質濃度の関数であるが、活性汚泥法や醗酵工学における特殊な条件の下(例えば、活性汚泥の性状や曝気の影響などで、何かの不足すると)では、便宜的に比増殖速度を時間の関数で表わすと便利な場合がある。この時の μ と

$$\mu = \frac{\log C_3 t}{t} \quad \cdots \cdots (8)$$

と表わすと $e^{\mu t} = C_3 t$ となり、等速増殖 (linear growth) とか、複合指数増殖相 (multiple exponential phases) と呼ばれているものになる²⁾。

2-3. 基質除去の理論式

収量係数が一定であれば(5)式より次式が導かれる。

(A)、活性汚泥の比増殖速度が基質濃度の影響を受ける一定の場合には、(6)式と(5)式に代入すると

$$S = S_0 - \frac{X_0}{Y} (e^{C_1 t} - 1) \quad \cdots \cdots (9)$$

となり、 $S = f(t)$ で表わすことができる。

(B)、活性汚泥法のような特殊な条件の下では(8)式と(5)式に代入すると

$$S = S_0 - \frac{X_0}{Y} (C_3 t - 1) \div S_0 - K_1 t \quad \cdots \cdots (10)$$

となり、零次反応式で表わせる。

(C)、活性汚泥の比増殖速度が基質濃度の影響を受ける場合には、(7)式と(5)式から

$$\log \left\{ \frac{S_0}{S} \times Y \cdot \left(1 - \frac{S}{S_0} \right) + 1 \right\} = C_2 S^a t \quad \dots (11)$$

となる。この式はSに因し非線形であるから、 $S = f(t)$ とは表わせない。そこで(11)式の左辺の性質を見るため

$$g(S) = \log \left\{ \frac{S_0}{S} \cdot Y \cdot \left(1 - \frac{S}{S_0} \right) + 1 \right\} \quad \dots (12)$$

とおく。 $g(S)$ の内容は活性汚泥の増加量を表わし2あり、 $S/S_0 < 1$ であればSによる $g(S)$ の依存度は小さいので、 $g(S) = g(10)$ と考えらる。したがって、(11)式は次のように書き表わせる。

$$S = (k_2 t)^{-1/a} \quad \dots (13)$$

一般に、活性汚泥中の生菌数は、その重さには比べかなり少ない³⁾(10~20%)から、実際の $S\%$ はみかけより大きくなる。 $S\%$ が大きい時は S_0 が1に近づいても $g(S)$ のSによる変動量は小さい。ちなみに、初期条件の $S\%$ (F/M)を決め、 $g(S)$ を $g(10)$ と対(比較すると表-1)のようになる。よって $S\%$ が大きい時は、Sがかなり大きくなっても、 $g(S)$ は実用上 $g(10)$ と考えてよく、(13)式が成立する。

なお、(13)式は連続培養における定常状態($\frac{dx}{dt} = \mu x - D x = 0$ に相当するから、連続培養における特性

方程式は $\frac{dx}{dt} = \{g(S) - 1\} \frac{x}{t}$ と考えらる。

3. 実験結果 および 結論

活性汚泥によるスキムミルクの除去実験と $S_0=1000$ ppm, $X_0=30$ ppmで行なった。活性汚泥の増殖曲線を図-2, 3に、上澄水(Whatman GF/Cで濾過)の有機物を COD_{KMn} , BOD_5 , スキムミルク量(アムスロン反応による糖類換算)で測定(図-3, 3'に示す。図-4にスキムミルクに対する活性汚泥の収量を示すが、この図より収量係数は約0.5と考えらる。図-3, 3'を見ると、基質除去式のうち(9)式が0~12時間、(10)式が12~33時間、また(13)式が30~72時間の間において表わされている。以上のことから、基質除去の理論式が実験において確認された。

参考文献

1. 生方 左吉 "微生物の比増殖速度と3220のBOD除去係数に対する基質濃度の関数表示" 第10回衛生工学研究発表講演文集、工研会(1974)
2. Monod "The Growth of Bacterial Culture" Ann. Rev. Microbiol. Vol. 3(1950)
3. Wendle and Jenkins "The Viability and Activity of Activated Sludge" Water Research, Vol. 5, pp. 621~ (1971)

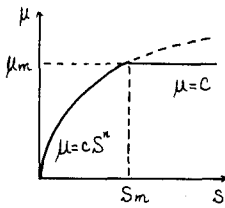


図-1 $\mu-S$ の関係

表-1 $g(S)/g(10)$ について

初期条件 X_0 F/M S	$S_0=2000$		$S_0=1000$	
	200	20	100	10
S	10	100	10	100
800	0.78	0.87		
500	0.87	0.93	0.70	0.83
300	0.93	0.96	0.84	0.91
100	0.98	0.99	0.95	0.97
0	1.00	1.00	1.00	1.00

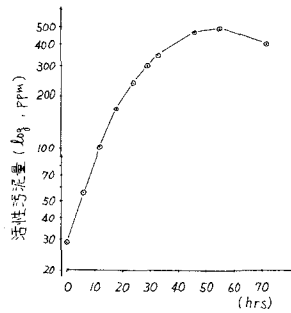


図-2 活性汚泥量の経時変化

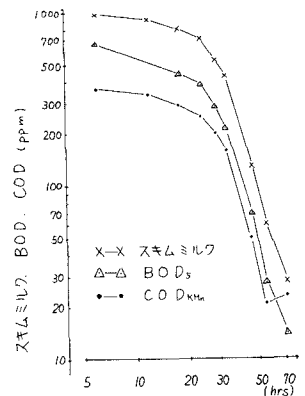


図-3' スキムミルク、BOD、CODの経時変化

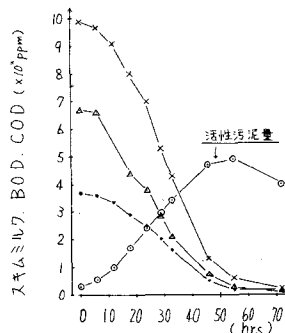


図-3 スキムミルク、BOD、CODの経時変化

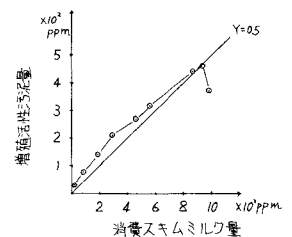


図-4 活性汚泥量の収量係数