

北海道大学 正員 井上 雄三

北海道大学 正員 神山 桂一

I. はじめに

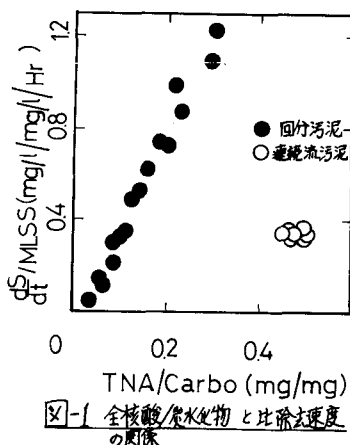
活性汚泥微生物の除去活性度や呼吸活性度などの微生物の種々の活性度指標に関する研究は、今日まで精力的に行われ、かなりの成果を上げている。それらは、具体的には、Monodモデルを基本型としたものと、細胞構成成分に注目した構造モデルにわけられる。活性汚泥プロセスの制御は、対象微生物の内部状態の制御と重要な目的とする外部環境の制御と考えるのは当然であるが、内部状態の内容をさらに明らかにするために、菌齢分布活性度モデルを提案した。

II. モデル構成のための基本的な観点

近年、活性汚泥微生物の活性度を考慮した二つのモデルが提案された。⁽¹⁾⁽²⁾ それらのモデルは、基本的には同じであると思われる。一つは、増殖速度や基質除去速度で与えられる活性度が、二つの細胞成分の比（全核酸と全炭水化物含量の比）と直線的な関係がある（図-1）というモデルである。⁽¹⁾ 他は、ある微生物蓄積物の飽和量に対するその物質の蓄積量の比を考慮したモデルである。これらのモデルの共通点は、そのモデルが一つのシステムを構成しているので、種々の状態変数（種々の活性、組成量）を知ることができ、システムの最適設計、最適制御が可能となるかもしれない。

一方、これらのモデルは、細菌総体の物質収支を表わすもので、グルコースを中心として基質による実験によって展開されている。細菌の蓄積現象については、かなりの研究がされてきた。⁽³⁾⁽⁴⁾ しかし、その大部分は、グルコース基質に対する報告である。Walterら⁽⁵⁾によれば、活性汚泥の蓄積現象（多糖質やPHB）は、グルコース基質については観察されたが、酢酸やグルタミン酸Na基質については観察されなかったことを報告した。また、著者は、グルタミン酸Na副生汚泥にグルコースの取り込みによって見られるような除去活性度の低下がほとんど見られなかったことを確認している。

さて、いままでのモデルは、対象としている活性汚泥微生物の一個一個がすべて同一だという性質を持っている。即ち、個々の微生物は、すべて同じ活性諸量を持っているということである。Patterson⁽⁶⁾は、活性汚泥微生物のATPを測定することにより、生菌の割合が、重量単位で30~40%（実験室汚泥）、15~20%（接触安定化法汚泥）であることを示した。活性汚泥によっては、その割合が0.8%しかないという報告もある。⁽⁷⁾ もしそうであるならば、われわれが扱っている活性汚泥のような微生物は、高々50%しか生菌が存在せず、極端な場合には、1%に満たない場合もあると思われる。また図-1のように、連続流活性汚泥と回分式活性汚泥では、細胞内組成（全核酸量/全炭水化物量）が同じでも、明らかに活性度が違っているといった現象が見られる。要するに、活性汚泥のような微生物の生きている菌体も、それぞれ活性が異なっていて、それによって全体的な活性（平均値）が得られるものと思われる。周知のように微生物は、増殖相によって生理活性も成分比も大きく変化する。柳田⁽⁸⁾は、対数増殖期の活性を菌齢分布モデルを用いて示している。以上のような理由から、活性汚泥微生物の活性を菌齢密度函数を用いて表わすことは、非常に有効であろうと思われる。即ち、活性汚泥微生物の菌齢と活性度（増殖活性など）を対応させることによって、平均値としての諸情報を得られるであろう。しかし、この菌齢は、実験により直接求めることができないので、次に示す方程式から得なければならぬ。



Ⅲ. 理論的考察

いま曝気槽(完全混合単槽)内の混合液において、時刻 t で菌体濃度(重量基準) $X(t)$ を持つ、菌齢 $\theta \sim \theta + d\theta$ の生菌を考える。時刻が t から $t+dt$ 迄進むとき、次の6項の起こる量を考えることにより、槽内の菌齢に関する収支式を作ることができる。(1)その菌齢群の高齢化量。(2)分裂量。(3)死亡量。(4)曝気槽流出量。(5)曝気槽流入量。(6)このシステムから余剰汚泥として引き抜かれる量を考慮した返送量。即ち、(1) $V\psi(t)X(t)(\partial f(t,\theta)/\partial \theta) \cdot d\theta dt$ (2) $V\psi(t)X(t)\varpi(t,\theta)f(t,\theta)d\theta \cdot dt$ (3) $V\psi(t)X(t)\varpi(t,\theta)f(t,\theta)d\theta dt$ (4) $F(1+r)\psi(t)X(t)f(t,\theta)d\theta dt$ (5) $r\beta F\psi(t)X(t)f(t,\theta+\theta_r)d\theta dt$ (6) $r = (1-\beta\omega)/(1-\beta)$ ここで、 ϖ ; $t \sim t+dt$ 間に分裂する割合、 ϖ ; 同様に死亡する割合、 $\psi(t)$; 生菌率、 r ; 汚泥返送率、 β ; 濃縮率、 V ; 槽容量、 F ; 流量、 θ_r ; 沈殿汚泥の平均滞留時間、 f ; 菌齢分布確率密度函数。Eq.(1)~(5)は次式のようにまとめられる。

$$(7) \frac{\partial f(t,\theta)}{\partial t} + \frac{\partial f(t,\theta)}{\partial \theta} + \left\{ D(1+r-\beta r) + \varpi(t,\theta) + \varpi(t,\theta) + \frac{1}{X(t)} \frac{dX(t)}{dt} \right\} f(t,\theta) = 0$$

$\theta = 0$ では次式が成立する。(8) $f(t,0) = 2 \int_0^\infty \varpi(t,\theta) f(t,\theta) d\theta$

$$(9) \frac{\partial g(t,\theta)}{\partial t} + \frac{\partial g(t,\theta)}{\partial \theta} + \left\{ D(1+r-\beta r) \Lambda(t,\theta) + \frac{d}{dt} \left(\frac{(1-\psi(t)) \cdot X(t)}{(1-\psi(t)) \cdot X(t)} \right) \right\} g(t,\theta) = 0$$

$$(10) g(t,0) = \frac{\psi(t)}{1-\psi(t)} \int_0^\infty \varpi(t,\theta) f(t,\theta) d\theta$$

また、槽内の全微生物の菌体量の収支式は次式で与えられる。

$$(11) \psi(t) \int_0^\infty \varpi(t,\theta) f(t,\theta) d\theta - \left\{ 1 - \psi(t) \right\} \int_0^\infty \Lambda(t,\theta) g(t,\theta) d\theta - D(1+r-\beta r) = \frac{d}{dt} \left\{ X(t) \right\} / X(t)$$

ここに θ ; 死亡菌の死後の経過時間、 Λ ; dt 間に溶菌の起こる割合、 g ; 死亡菌の菌齢分布確率密度函数

上式のEq.(7)~(11)が、菌齢分布に関する菌齢の保存式と菌量の収支式である。ここで、 ϖ , ϖ , Λ は、それぞれ分裂速度定数、死亡速度定数、溶菌速度定数と表わすこともできる。これらは、実験によって得なければならぬが、この式の中に菌齢による活性の変化を導入することが可能となるであろう。指数函数を仮定してみると、(12) $\varpi = \mu_m S/(K_s + S) e^{-k_g \theta}$ (13) $\varpi = d e^{-k_d \theta}$, (14) $\Lambda = \beta e^{-k_a \theta}$ これらの値を求めるために、回分実験を行なった。結果を図(2)~(5)に示す。実験より、 $k_g = 0.85 \times 10^{-2} (\text{Hr}^{-1})$ ϖ , Λ は、実験データがよくなく、今回は、 $\varpi = k_d = 0.68 \times 10^{-2} (\text{Hr}^{-1}) = \Lambda$ と仮定した。

Ⅳ. まとめ 微生物の各情報量の内容を知るモデル、菌齢分布モデルが提案できたが、まだ ϖ , ϖ , Λ の関数が十分明らかでない。今後更にこの点について研究を進めたい。なお、計算結果は講演時発表します。

引用文献 1) 加藤; 北大工衛生工学科博士論文(課程), 2) 津野ら; 下水道協会誌 Vol. 13

No. 141, 49~60, (1976.2) 3) Krishnan et al. J.W.P.C.F., 40, 2, R54-R66, (1968)

4) 浅井達; 水処理生物学会誌 Vol. 14, No. 1, p. 6~11, (1966) 5) Walterら, ASCE SA2,

April (1968) 6) Patterson et al. ASCE, SA, 95, 775 (1969) 7) Rao et al. J.W.P.C.F., 38, 5, 794~812 (1966) 8) 柳田, 科学 Vol. 26, No. 2 (1966)

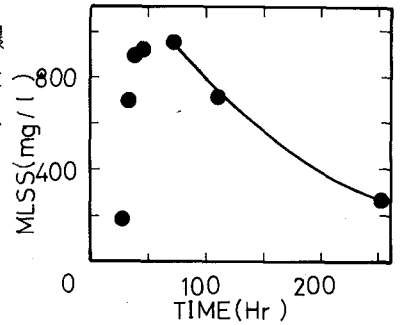


図-2. 培養(回分)における微生物量の挙動

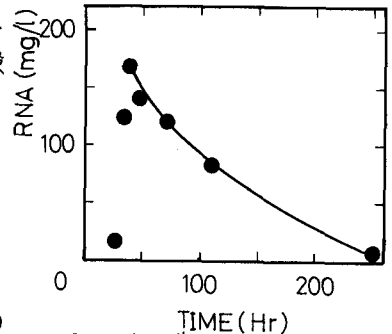


図-3. 回分培養におけるRNAの挙動

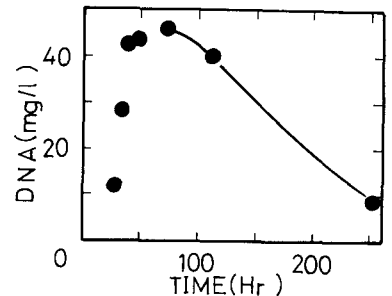


図-4. 回分培養におけるDNAの挙動

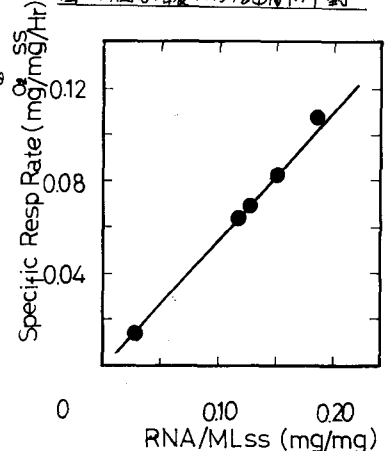


図-5. RNA含有率と比呼吸速度の関係