

微生物反応における収率係数について

鹿児島工業高専 正員○森山克美
鹿児島工業高専 正員 西留 清

1. はじめに

微生物反応における収率係数は、生物学的廃水処理プロセスからの汚泥発生量に直接関与するものであるが、これに関する詳細な検討とこれを基礎とした汚泥発生機構の解明を試みた研究は少ない。筆者らは活性汚泥法の浄化機構に関する研究¹⁾において、液相から除去された有機物の一部は活性汚泥内に蓄積することなく代謝され、活性汚泥の増殖に寄与しないことを実験的に明らかにした。しかしながら、この現象を収率係数の変化として捉え、その変化の生じる原因について検討し、モデル化するまでには至らなかった。本研究は、回分実験および基質浄化に関する動力学モデルの数値計算を行い、このような収率係数の変化の原因と一連の基質浄化反応のモデル化における収率係数の考え方について検討を加えたものである。

2. 実験方法

実験には、グルコースで培養した活性汚泥を用いた。実験は表-1に示す活性汚泥濃度、基質濃度で行われ、基質の除去特性、基質の活性汚泥内蓄積および生物増殖の関連を調べた。表に示されているように、F/M比一定で活性汚泥濃度、グルコース濃度を変えた二つの回分実験を行った。前培養、本実験共に20℃の恒温室で行った。DNAは仔牛胸腺DNA、汚泥内炭水化物はグルコースをそれぞれ標準物質とした。本文で使用する記号を以下に示す。

a: 汚泥内蓄積基質1mgを形成するに必要な液相中基質量(m_g)を表わす換算係数、 $A: A = (P/X) - (P/X)_0$ で示される単位DN A当たり汚泥内蓄積基質量、 A_0 : 汚泥内基質代謝がない場合のAの最大値、C: (液相中)基質濃度、 k_d : DNAの自己分解速度定数、 K_A : 汚泥内蓄積基質に関する飽和定数、 K_C : (液相中)基質に関する飽和定数、P: 汚泥内炭水化物濃度(P_0)として測定される活性汚泥内成分濃度であり、生物構成成分と液相から除去され汚泥内に蓄積された基質の和、 $(P/X)_0$: P/X の初期値、X: DNA濃度、 Y_1 : 汚泥内基質代謝がない場合に、液相中基質の除去により生成される汚泥内蓄積基質の除去された基質に対する収率係数 $[(dA/dt)/(dC/dt)]$ 、 Y_2 : Y_1 の最大値、 Y_2 : 生成されるDNAの汚泥内蓄積基質代謝量に対する収率係数 $[(dX/dt)/(dA/dt)]$ 、 α : 定数、 φ_A : 汚泥内蓄積基質最大代謝速度定数、 φ_D : DNAの単位量当たり基質最大除去速度定数

3. 実験結果とモデルによる検討

実験結果を図-1~3に示す。(a)、(b)いずれにおいてもグルコースの除去に伴いAが増加し、Aの値が高くなるとグルコース除去速度が急激に低下することが分かる。DNAはグルコース濃度に関係なくAの代謝に伴い増加することが認められる。以下に活性汚泥による基質除去とその代謝、およびDNAを指標とした活性汚泥微生物の増殖に関するモデル式を示す。²⁾

【液相からの基質除去速度式】

$$\frac{1}{X} \frac{dC}{dt} = -\frac{\varphi_C C}{K_C + C} \left(1 - \frac{A}{A_0}\right) \quad (1)$$

【活性汚泥内蓄積基質の収支式】

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{P}{X} \right) = -\alpha Y_1 \frac{1}{X} \frac{dC}{dt} - \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A} \quad (2)$$

右辺第1項は、液相から除去された基質のうち、0~1の収率係数 Y_1 で示される割合だけが、汚泥内基質蓄積に寄与することを表わしている。

【微生物の収支式】

$$\frac{1}{X} \frac{dX}{dt} = Y_2 \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A} - k_d \quad (3)$$

Xの変化が微小な範囲では、式(1)は次式となる。

$$-\frac{1}{X} \frac{d(C+P)}{dt} = -(1-Y_1) \frac{1}{X} \frac{dC}{dt} + \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A} \quad (4)$$

Aが十分に大きく式(4)の右辺第2項が φ_A に近似できる範囲で、反応槽内の全基質の代謝速度を表わす左辺の項と右辺第1項の $-dC/dt/X$ の関係を求めたものが図-4である。 $1-Y_1 \approx 0.21$ を傾きとした直線に近似でき、液相から除去された基質の約20%が除去に伴って代謝されていることを示している。 $Y_2 = 0.79$ となる。

一方、式(2)から、回分実験過程でXの変化が微小な範囲では次式を導くことができる。

$$Y_2 = \frac{\frac{1}{X} \frac{dP}{dt} + \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A}}{\frac{1}{X} \frac{dP}{dt} + \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A} - \frac{1}{X} \frac{dC}{dt}} = \frac{\frac{1}{X} \frac{\Delta P}{\Delta t} + \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A}}{\frac{1}{X} \frac{\Delta P}{\Delta t} + \frac{\varphi_A \cdot A}{K_A + A} - \frac{1}{X} \frac{\Delta C}{\Delta t}} \quad (5)$$

式(5)を用いれば、回分実験過程における Y_2 の経時変化を実験値から求められる。 Δ は、測定時間間隔の差分である。 Y_1 は汚泥内蓄積基質量Aに依存していることが筆者らの研究で指摘されている。²⁾ そこで、実験値を式(5)で解析し、経時的に Y_2 の値を求めこれを縦軸に、そのときのAの値を横軸にして図示したものが図-5である。 A_0 の値も図中に示す。これによ

表-1 実験条件

記号	●	○
F/M比	1.2	1.2
グルコース	600mg/ℓ	360mg/ℓ
MLSS ₀	500mg/ℓ	300mg/ℓ
NH ₄ Cl	240mg/ℓ	144mg/ℓ

F/M比: グルコース/MLSS₀比

るとAに関係なく Y_1 の値が0.7~0.8を保っている領域と A_0 近傍で Y_1 の値が急激に減少する領域がある。すなわち、Aが A_0 に近づくと Y_1 の値が減少すると考えられる。そこで図-5の横軸を $(A_0 - A)$ とすれば図-6が得られる。これによると、 $(A_0 - A)$ が6程度になると Y_1 は急激に低下し、 $(A_0 - A)$ がそれ以上では Y_1 は、ほぼ一定の値0.7~0.8を保っている。すなわち、汚泥内基質蓄積容量の80%程度が飽和されると、 Y_1 は減少を始める傾向にある。図-4では基質除去速度 $(-dC/dt/X)$ が比較的大きいとき、すなわち、Aが小さく、 $(A_0 - A)$ が大きい場合の平均的な Y_1 の値を求めたものである。よって、図-4で求められた Y_1 の値0.79は、図-5、6における Y_1 に相当することになる。

一方、図-2で P_0/X が最大で一定値を保っている時間内では、Aは27.8mg/mgDNA、 $-dC/dt/X$ は100~150mg/mgDNA/day、 $\Delta P/\Delta t/X$ は0である。これらの値を式(5)に代入すると、 Y_1 の値として0.24~0.36程度を得る。このとき $(A_0 - A)$ は1.2となるので、この関係を図-6中に●印で示している。 Y_1 と $(A_0 - A)$ の関係を示す曲線は、図-6の斜線の領域を通ると考えられる。そこで、 Y_1 と $(A_0 - A)$ の関係を表わす実験式として、

$$Y_1 = Y_1[1 - \exp\{-\alpha(A_0 - A)\}] \quad (6)$$

を提示する。ここに、 α :定数(0.5)

4. 数値計算による検討

以上の考察の結果、 Y_1 は $(A_0 - A)$ の変化に伴って変動することが示され、 Y_1 と $(A_0 - A)$ の関係は式(6)で与えられた。そこで、次に示すように Y_1 を一定とした場合と Y_1 が式(6)に従い変化すると仮定した場合について数値計算を行い、 Y_1 の挙動について検討を加える。計算に用いる定数は表-2にまとめて示す。

$$\textcircled{1} \quad Y_1 = 0.79 \quad \text{-----} (A_0 - A) \text{の値に拘わらず一定}$$

$$\textcircled{2} \quad Y_1 = 0.79[1 - \exp\{\alpha(A_0 - A)\}]$$

$$\alpha: \alpha = 0.4, 0.5, 0.6$$

②については、 α の値を上記のように与えて計算を行った。

表-2の値と上記の Y_1 を式(1)、(2)、(3)に与えて計算を行った。この結果を図-1~3に示す。 Y_1 を一定とした場合は、図-1、2において実験値と計算値とが一致せず、一方、 Y_1 を式(6)で与えた場合の計算結果は、 $\alpha = 0.5$ の場合が液中基質、 P_0/X において実験値によく一致している。図-3に示すDNAについては、 Y_1 の条件によらずほとんどの数値計算結果が5~10%程度の誤差範囲に収まっている。

以上の数値計算の結果は、微生物反応における収率係数が、汚泥内基質蓄積の影響を受けること、その影響は実験式(6)で表示できることを示している。

5. おわりに

収率係数が変動することについては、Ribbonsの報告²⁾がある。Ribbonsは基質組成の微生物細胞組成に与える影響について実験を行い、その結果、炭素源の酸化還元状態、基質の重合度、代謝経路、増殖速度、培養時の物理的条件等により収率係数は変動すると述べている。本研究の成果として、収率係数 Y_1 が、 $(A_0 - A)$ を支配因子とした実験式で表示できることが明らかとなったが、この収率係数の変動現象は、生物学的廃水処理施設からの汚泥発生量に直接関係するものであり、今後、生物化学的見地からの詳細な検討を加える必要があろう。

一参考文献一

- 1) 森山克美, 栗谷陽一, 久米秀俊: 活性汚泥の基質除去・代謝に関する動力学モデル, 土木学会論文報告集, No. 339, pp. 89~98, 1983.
- 2) Ribbons, D. W.: Quantitative Relationships Between Growth Media Constituents and Cellular Yields and Composition, Methods in Microbiology, Vol. 3A, Academic Press, London, 1970.

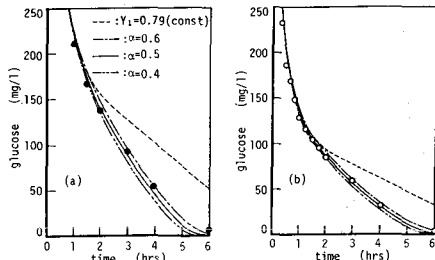


図-1 液中相グルコースの変化(実験値と計算値)

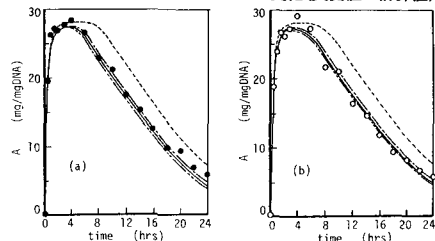


図-2 汚泥内炭水化合物の変化(実験値と計算値)

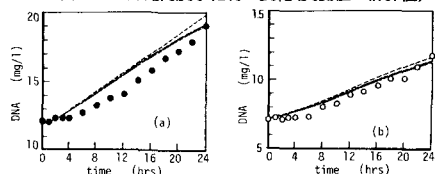


図-3 DNAの変化(実験値と計算値)

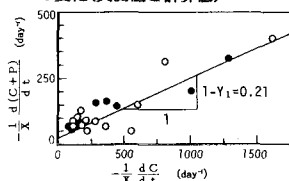


図-4 Y_1 の決定

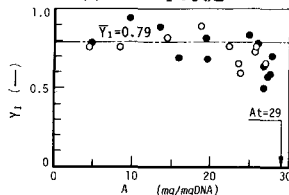


図-5 Y_1 とAの関係

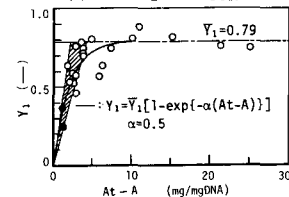


図-6 Y_1 と $(A_0 - A)$ の関係

表-2 数値計算に用いた定数

$P_0 = 1900$	(mg/mgDNA/day)
$K_c = 20$	(mg/l)
$A_0 = 29$	(mg/mgDNA)
$P_A = 44$	(mg/mgDNA/day)
$K_A = 6.5$	(mg/mgDNA)
$k_d = 0.05$	(day ⁻¹)
$Y_2 = 0.017$	(mgDNA/mgA)