

B-16 活性汚泥法微生物群の捕食関係における沈殿池と細菌捕食微生物の増殖速度飽和定数の影響

島根大学汽水域研究センター 都筑良明

1. はじめに

いわゆる IWA 活性汚泥モデルは、1986 年に国際水学会(IWA)の前身である国際水質学会(IAWQ)および国際水質汚濁制御学会(IAWPRC)に設置されたタスクグループがその最初の成果である活性汚泥モデル No.1 を発表し、その後の検討を重ね、現在では活性汚泥プロセスにおける有機物・窒素・リン除去反応を記述するモデルの世界標準として広く国際的に認知されている。これらの活性汚泥モデルでは、細菌については生化学的、遺伝子学的な実験的検討も進められているが、原生動物等の大型微生物については細菌との捕食関係も含めて十分な検討が行われていない。運転条件等によって大型微生物の構成割合を制御することができるのであれば、余剰汚泥の減少に資することができる。

都筑(2004a, b)^{2,3)}は、活性汚泥中の微生物群の捕食関係について、嫌気好気式活性汚泥法(AO 法または EBPR 法)を検討対象として、実験データおよび既存文献のデータから原生動物等の細菌捕食者群と細菌群に関する基本的モデルを構築し、細菌捕食者群の増殖速度と、返送汚泥の濃縮率をパラメータとして半年程度の期間に相当するシミュレーション計算を行った。細菌と原生動物の構成割合の初期条件を MLSS ベースで 96 : 4 と仮定して、返送汚泥の濃縮率をパラメータとして計算を行った結果、計算条件の範囲で、原生動物の構成割合が初期条件よりも増加したため、実験室規模プラントおよび実施設での原生動物の重量割合は仮定した初期条件よりも大きく、返送汚泥の濃縮率が大きくなると原生動物の重量割合が大きくなると考えられた。

さらに、Tsuzuki(2005)⁴⁾は、原生動物の増殖速度 μ_{pb} は、MLSS 中の原生動物の構成割合に大きな影響を及ぼさず、新しく導入した指標である原生動物の増殖限界(細菌の MLSS(B-SS)と原生動物の MLSS(B-SS)の比) GLR_{pb} が MLSS 中の原生動物の構成割合に大きく影響することを示した。

本報では、原生動物の増殖速度 μ_{pb} に Monod 式を導入するとともに、沈殿地での濃縮率を MLSS の関数とした場合に、MLSS 中の原生動物の構成割合がどのように変化するかを検討した結果の概要を報告する。

2. 方法

2. 1 活性汚泥モデル

嫌気好気式活性汚泥法を対象として、活性汚泥モデル(Fig. 1)を作成した^{2,4)}。本モデルでは、活性汚泥微生物を X(MLSS)、B(細菌)、P(原生動物等の細菌捕食者である大型微生物、原生動物で代表させた。以下、原生動物とする)の 3 種類のパラメータで表現している。

2. 2 活性汚泥微生物の検討

本研究では、嫌気好気式活性汚泥法の嫌気槽、好気槽を対象として、実験室規模プロセスの運転パラメータと、細菌、原生動物に関する文献値^{5,6)}等から、活性汚泥プロセス中の細菌および原生動物について定量的に把握することを試みた。計算の初期条件等は前報^{2,4)}と同様である。

前報^{2,4)}では原生動物の好気槽における増殖速度 μ_{pb} は、実験室での細菌と原生動物の 2 者培養のデータ⁹⁾を元にした 2.5 日^{-1} と、実施設のエアレーションタンクにおける原生動物の平均的増殖速度¹⁰⁾ 0.50 日^{-1} の 2 通りの値を用いたが、本研究では、式(1)に示す Monod タイプの増殖速度を導入し、飽和係数 K_{pb} の値を $500 \sim 20,000 \text{ (g m}^{-3}\text{)}$ で変化させてその影響を検討した。 $\mu_{0,pb}$ の値は 1.0 day^{-1} とした。また、細菌および原生動物の自己酸化係数 KD_b , KD_p を好気槽のみに導入し、好気槽における細菌および原生動物の増殖を式(2), (3)で計算した。

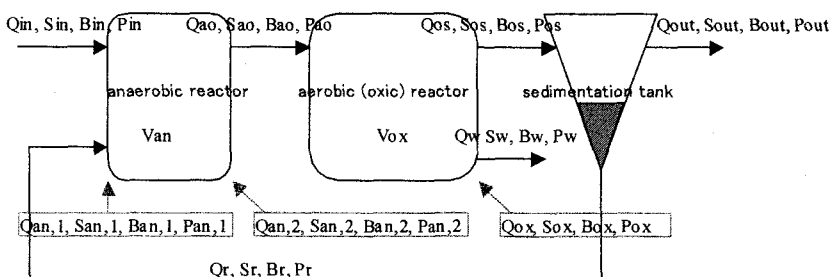


Fig. 1 Flow schematic of a continuous-type laboratory-scale anaerobic-aerobic (oxic) enhanced biological phosphate removal (EBPR) activated sludge process.

$$\mu_{pb} = \frac{BSS_{an,2}}{K_{pb} + BSS_{an,2}} \times \mu_{0,pb} \quad (1)$$

$$PSS_{ox} = \mu_{pb} \times PSS_{an,2} - KD_{p,ox} \times PSS_{an,2} \quad (2)$$

$$BSS_{ox} = BSS_{an,2} + Y_{bs} \times (S_{an,2} - S_{ox}) - \frac{1}{Y_{pb}} \times (PSS_{ox} - PSS_{an,2}) - KD_{b,ox} \times BSS_{an,2} \quad (3)$$

また、沈殿池における濃縮係数 R は前報²⁴⁾では一定としたが、本研究では、MLSS の関数とし、その関数形は $MLSS = 500 \text{ g m}^{-3}$ で $R = 1.9$ 、 $MLSS = 2,000 \sim 3,000 \text{ g m}^{-3}$ で $R = 2.2$ 前後で最大となり、 $MLSS = 4,000 \sim 6,000 \text{ g m}^{-3}$ で $R = 1.8 \sim 1.9$ となるような $MLSS$ と R の関係をグラフ上にプロットし、これらの近似関数を作成した(Fig. 2)。式(4)は $MLSS$ がおよそ $1,500 \sim 3,800 \text{ g m}^{-3}$ の範囲で $R > 2.0$ となる二次関数で、式(5)は $MLSS$ がおよそ $1,000 \sim 3,300 \text{ g m}^{-3}$ の範囲で $R > 2.0$ となる三次関数である。

シミュレーション計算は、初期条件として嫌気槽末端の $MLSS$ を $4,000 \text{ g m}^{-3}$ とし、1 サイクル目と、返送汚泥の濃縮率をパラメータとした約 0.5 年に相当する 4,000 時間(1,000 サイクル)の計算を行った。自己酸化係数 KD_b 、 KD_p の値は、両方とも 0.01 とした。原生動物の増殖速度 μ_{pb} は飽和定数 $K_{pb} = 500, 3,000 \text{ g m}^{-3}$ の 2 種類の条件で計算した。

3. 結果

R を式(4)の二次式で計算したときの 4,000 時間(1,000 サイクル)の計算の結果を、 $K_{pb} = 500 \text{ g m}^{-3}, 3,000 \text{ g m}^{-3}$ の場合について、それぞれ Fig. 3-1, 3-2 に示す。 $K_{pb} = 500 \text{ g m}^{-3}$ の場合には、3,600~4,000 時間で、B-SS、P-SS とともにほぼ一定の定常状態となっている。一方、 $K_{pb} = 3,000 \text{ g m}^{-3}$ の場合には、4,000 時間後も捕食関係による細菌と原生動物の増減が続くという結果が得られた。 $MLSS$ 、B-SS、P-SS の変動幅は、それぞれ $1,190 \sim 3,300 \text{ g m}^{-3}$ 、 $850 \sim 2,800 \text{ g m}^{-3}$ 、 $110 \sim 1,220 \text{ g m}^{-3}$ で、B-SS/ $MLSS$ の範囲は 49~94%、P-SS/ $MLSS$ の範囲は 6~51% となった。

R を式(5)の三次式で計算した場合には、 $K_{pb} = 500 \text{ g m}^{-3}, 3,000 \text{ g m}^{-3}$ の場合とも、4,000 時間後も捕食関係による細菌と原生動物の増減が続くという結果が得られた。

4. 考察

嫌気好気式(EBPR)活性汚泥法の細菌と原生動物の捕食関係を、シミュレーションモデル²⁴⁾により検討した。

計算の結果、沈殿池における濃縮率の僅かの差が、細菌、原生動物(細菌捕食者)の反応槽内の存在量に大きな影響を及ぼすという計算結果が得られた。例えば、式(4)を用いた場合には 3,600~4,000 時間で B-SS、P-SS とともにほぼ一定の定常状態となったのに対して、式(5)を用いた場合には 4,000 時間後

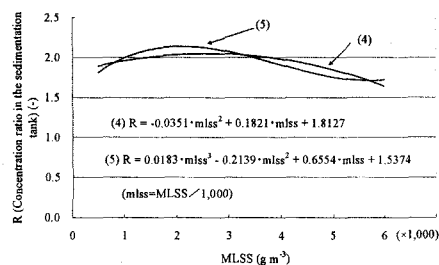


Fig. 2 Approximate relationships between $MLSS$ in the aerobic (oxic) phase and R (concentrate ratio in the sedimentation tank).

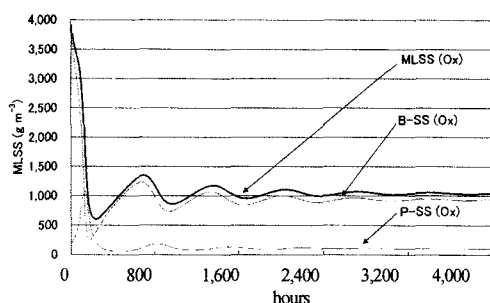


Fig 3-1 Total MLSS, B-SS and P-SS in the aerobic (oxic) phase. (R: equation (4); $K=500 \text{ g m}^{-3}$)

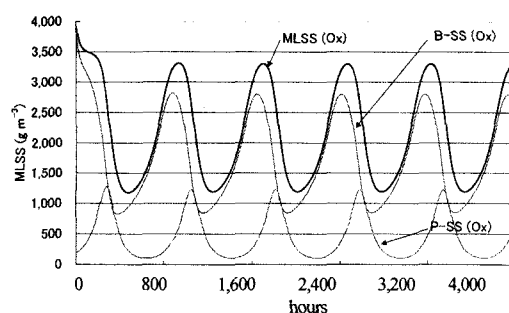


Fig 3-2 Total MLSS, B-SS and P-SS in the aerobic (oxic) phase. (R: equation (4); $K=3,000 \text{ g m}^{-3}$)

も B-SS, P-SS とともに捕食関係によると思われる増減を繰り返すという結果が得られた。

細菌捕食者増殖速度の飽和定数 K_{pb} については、Fig. 3-1 と Fig. 3-2 を比べると、 $K_{pb}=500 \text{ g m}^{-3}$ の場合には、4,000 時間後には MLSS, B-SS, P-SS とともに一定になるのに対して、 $K_{pb}=3,000 \text{ g m}^{-3}$ の場合には、4,000 時間後も B-SS, P-SS とともに捕食関係による増減を繰り返すことが分かった。B-SS, P-SS の絶対値は、 $K_{pb}=3,000 \text{ g m}^{-3}$ の場合の方が大きい。嫌気槽末端での B-SS に対する μ_{pb} および好気槽での増殖率は、 $K_{pb}=3,000 \text{ g m}^{-3}$ の方が小さい。計算の初期に注目すると、P-SS の立ち上がりは Fig. 3-2 よりも Fig. 3-1 の方が急激に増加している。この期間の B-SS の減少量が Fig. 3-1 の方が大きく、Fig. 3-2 の細菌の減少は緩やかである。結果的に細菌捕食者の増殖速度が小さい Fig. 3-2 の方が、4,000 時間後で比較すると全体の生物量が大きく、槽内の P-SS の絶対値も大きくなるという計算結果になったと考えられる。

5. 結論

嫌気好気式(EBPR)活性汚泥法の細菌と原生動物で代表させた細菌捕食者の捕食関係について、特に沈殿池の濃縮率と、細菌捕食者の増殖速度の飽和定数に着目して、シミュレーションモデル²⁴⁾により検討した結果、次のような計算結果が得られた。沈殿池濃縮率の僅かな違いが、長期的には、槽内の細菌と大型微生物の存在量に大きく影響する。一方、 K_{pb} が小さい方が、同じ細菌濃度 B-SS に対する細菌捕食者の増殖速度が大きく、細菌の減少量が大きく、長時間のシミュレーション計算では全体の生物量が小さくなる。

参考文献

- 1) Mino, T., van Loosdrecht, M. C. M., and Heijnen, J. J.; Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process, *Wat. Res.*, **32**(11), 3193-3207 (1998).
- 2) Tsuzuki, Y.; Roles of Predators and Bacteria in Anaerobic-Aerobic (Oxic) EBPR Activated Sludge Process Estimated from CFU Study and a Mathematical Model Analysis, *J. Ecotech. Res.*, **10**(2), 55-61 (2004a).
- 3) 都筑良明; 活性汚泥モデルにおける活性汚泥微生物群の捕食関係に関する一考察, 第 41 回環境工学研究フォーラム講演集, 50-52, (2004b)
- 4) Tsuzuki, Y.; Ecological Model Analysis of Predator-Prey Relationships in Anaerobic-Aerobic (Oxic) EBPR Activated Sludge Process (submitting)
- 5) Sudo, R., K. Kobayashi and S. Aiba; Some experiments and analysis on predator-prey model, interaction between *Colpidium campylum* and *Alcaligenes faecalis* in a continuous and mixed culture, *Biotech. Bioeng.*, **17**, 167-184 (1975)
- 6) 須藤隆一; 廃水処理の生物学, 産業用水調査会 (1977).
- 7) 同書, 171.
- 8) 同書, 302.
- 9) 同書, 143-170.
- 10) 同書, 282-286.