

宮崎大学工学部 正員 石黒政義
宮崎大学工学部 正員 渡辺義公
宮崎大学工学部 学生員 ○松畠建二

1. はじめに 筆者らは先に固定生物膜反応の定常動力学式を提示した¹⁾。この動力学モデルでは、生物膜内の基質除去速度を0次反応と仮定している。本文では、汚濁性微生物を用いた回分実験により求めた生物学的硝化反応の反応次数および硝化反応速度と曝気強度、水温の関係について報告する。

2. 実験装置および実験条件 実験装置を図-1に示す。容量3ℓの三角フラスコに硝化菌を入れエアープンプで曝気し、硝化菌混合液の水温を一定に保つために外槽を設け、ヒーターとサーモスタットで調節した。硝化菌は宮崎市終末

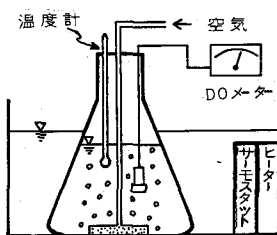


図-1 実験装置

水処理場の返送汚泥を NH_4Cl と NaHCO_3 を基質として4ヵ月以上、連続流完全混合槽で培養したものである。微生物量 (MLSS と VSS で表示)、曝気量 (攪拌強度) および水温を実験変数として一連の回分実験を行ない、各種の水質測定は下水試験方法に基づいて行なった。

3. 実験結果および考察 a) 硝化反応次数の決定 図-2, 3に回分実験による代表的な水質変化を示す。これによると $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は直線的に減少しており、硝化反応が0次反応であることは明確である。また図-4にはアンモニア酸化とDO濃度の関係が示してあるが、 $\text{NH}_3\text{-N}$ が酸に上っている間はDO濃度がほぼ一定 (1.6 mg/l) となっている。すなわち $\text{NH}_3\text{-N}$ を酸化するのに必要な酸素量と曝気により供給される酸素量とが平衡状態にあることが示されており、硝化反応が0次反応であることはこの図からも明白である。したがって図-2, 3, 4より硝化反応速度は次式で表わせる。

$$-dC_N/dt = R_d = k_a X_M \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 C_N : $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度 (mg/l), R_d : $\text{NH}_3\text{-N}$ 除去速度 (mg/l・日), k_a : $\text{NH}_3\text{-N}$ 除去速度係数 (1/日), X_M : Nitrosomonas 濃度 (mg/l) である。

b) R_d および k_a の定量化 図-5に曝気量 Q_a (ℓ/分) を3段階に変化させた場合の $\text{NH}_3\text{-N}$ 除去速度 R_d (mg/l・日) と硝化菌濃度 X (Nitrosomonas + Nitrobacter, mg/l) の関係を示す。同一の硝化菌濃度でも Q_a によって R_d が変化していることがわかる。例えば $X = 4000 \text{ mg/l}$ において $Q_a = 2, 4, 10 \text{ ℓ/分}$ の時の R_d 値はそれぞれ 740, 1260, 2100 mg/l・日である。この原因として硝化菌フロックの大きさの変化が考えられる。微生物は粘着性の物質を分泌しフロックを形成するので、曝気

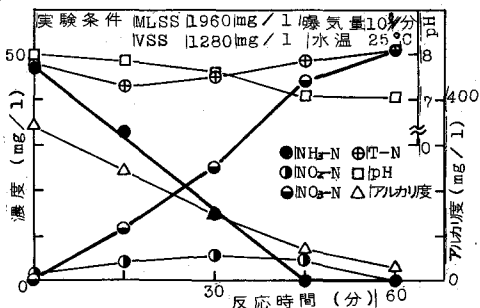


図-2 回分実験による水質変化

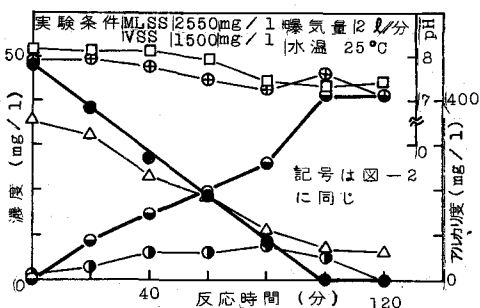


図-3 回分実験による水質変化

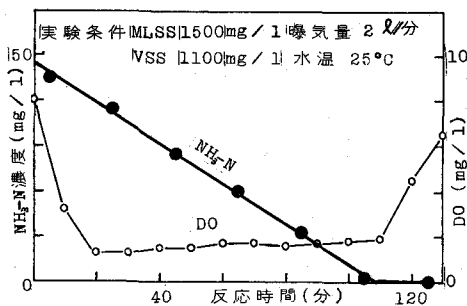


図-4 アンモニア酸化とDO濃度の関係

量が少ない時は硝化菌のフロックが大きくなるが、曝気量が多くなると剪断力によりフロックが破壊されて小さくなる。したがって同一の硝化菌濃度であっても、曝気量が多くなるほど硝化菌フロックの表面積が大きくなるはずであり、この表面積の違いが図-5のような結果をもたらした一因と考えられる。また曝気量を変えるとDO濃度も変化するが、この実験においてもDOは1.6 mg/l以上であったので、 R_d の変化は主に曝気による撹拌速度の変化に支配されていたと考えてよい。

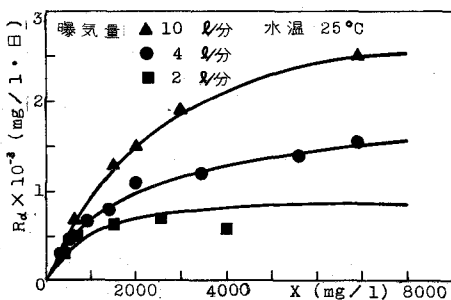


図-5 硝化速度と硝化菌濃度の関係

図-5の R_d を単位微生物あたりの $\text{NH}_3\text{-N}$ 除去速度に換算し、この R_d と X との関係を両対数紙にプロットすると図-6になる。この図によれば $X=170\text{ mg/l}$ 付近で曝気量の影響がなくなっている。この時の R_d 値は1.7 1/日(水温25°C)である。本実験に用いた硝化菌はNitrosomonasとNitrobacterが混在している状態であり、仮にNitrosomonasとNitrobacterが硝化菌濃度 X 中に等量いるとすれば R_d 値はこの値の2倍となる。Nitrosomonasの絶対量がわかれば真の R_d 値は明確となる。Williamson²⁾がNitrosomonasに対して求めた R_d 値(水温20°Cで2.0 1/日)を図-7の関係から25°Cの値に換算すると3.5 1/日となる。この値は本実験において、NitrosomonasとNitrobacterが等量存在すると仮定した時の値とよく一致する。なお図-2, 3を見ると $\text{NO}_2\text{-N}$ がほとんど蓄積していないので、硝化反応速度はNitrosomonasによる $\text{NH}_3\text{-N}$ 除去速度に律速されていると考えてよい。

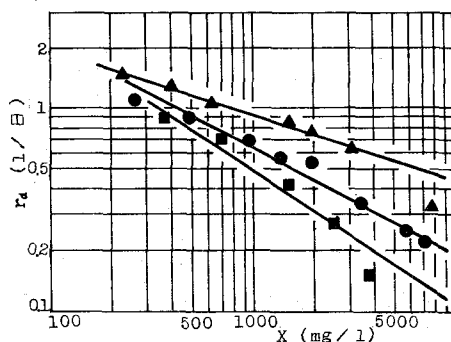


図-6 硝化速度係数と硝化菌濃度の関係

C) 水温の影響 水温と R_d の関係を図-7, 8, 9に示す。フロッキュレーション効果を除外するために $Q_a=10\text{ l/min}$, $X=400\sim500\text{ mg/l}$ として水温20, 15, 10°Cで実験を行なった。各温度における R_d を $T=25^\circ\text{C}$ の時の $R_{d(25)}$ で除して、各温度の R_d が $R_{d(25)}$ の何パーセントになるかを示したのが図-7である。水温が5°C低下しただけで速度係数がほぼ半分に低下している。

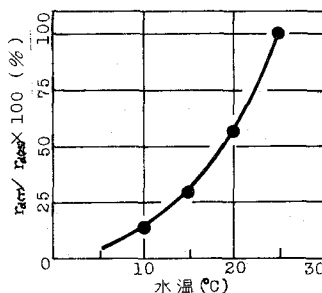


図-7 硝化速度係数と水温の関係

水温と R_d の関係はPhelpsプロットすると図-8となり、この図から硝化菌の θ 値は1.15となる。固定生物膜の θ 値は1.05であったので、活性微生物方式の方が温度の影響を受けやすいことが判明した。また図-9からArrheniusの活性化エネルギーは21.3 kcal/molとなる。

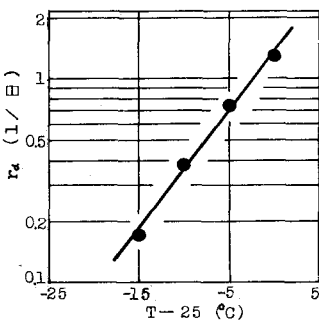


図-8 硝化速度係数のPhelpsプロット

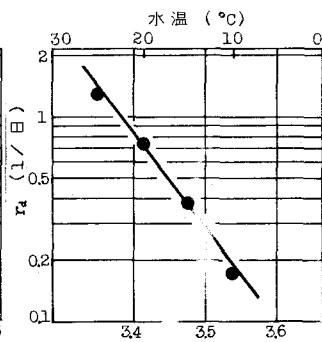


図-9 $1/K \times 10^3$ (1/°K) 硝化速度係数のArrheniusプロット

4. おわりに 本文では硝化反応が0次反応であることを明らかにした。硝化反応は硝化菌濃度、撹拌速度などにも影響されるので、真の硝化反応速度係数を求めるには硝化菌濃度が 200 mg/l 程度以下で実験を行なう必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 渡辺, 石黒, 西留: 回転円板法の浄化機構に関する研究(I), 下水道協会誌 Vol. 15, No. 172, 1978.9
- 2) K. Williamson and P.L. McCarty: A Model of Substrate Utilization by Bacterial Films, Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 48, No. 1 January 1976.
- 3) 石黒, 渡辺, 西留, 田上: 回転円板法の浄化機構(III), 西部支部研究発表会講演集 S54.2