

東北大学 学生員 大久保孝樹

東北大学 正会員 野池 達也

東北大学 学生員 沢口 明

1. はじめに; 鉄酸化バクテリアは主に硫化鉄を含有する鉱山地域に生息し、その排水中の第一鉄を第二鉄に酸化することによって増殖のエネルギーを得ている。北上川の二次支川である赤川では、処理場が建設される以前河床に付着した鉄酸化バクテリアによって鉄酸化作用が行なわれていたことが調査によって報告されていた。本研究では、このような酸性河川中の鉄酸化バクテリアによる鉄酸化作用の機構を解明し、また、河川中で浮遊菌と付着菌の二種の存在形態を有する鉄酸化バクテリアの挙動およびその相互関係を把握することを目的としている。その一部として、今回の連続実験では、滞留時間による鉄酸化バクテリアの挙動に対する影響について検討を行なった。また、連続実験において、付着鉄酸化バクテリアの挙動が溶存酸素によって制限を受けていると推測されたので、その補助的な実験として浮遊菌を用いた回分実験によって鉄酸化バクテリアのDO依存性について検討を行なった。

2. 実験装置および方法; 連続実験および回分実験装置を(図-1)(図-2)に示す。鉄酸化バクテリアは赤川より採取したもので、9K培地30℃での通気培養を数日間植え継いだものを使用している。①連続実験では、鉄酸化バクテリアを壁面に付着させるため数日間回分状態を続けて鉄沈着物を付着させた後(表-1)に示す基質を連続投入した。滞留時間を約4~25hrの間に变化させ、水温25℃、流入基質濃度500mg/Lのもとで実験を行なった。②回分実験で用いた鉄酸化バクテリアは、9K培地25℃で馴致したバクテリアを遠心分離機で収獲したものである。基質は、140mg/L~1900mg/Lの範囲で設定し、栄養塩類を除いたものを使用した。

3. 実験結果および考察; ①連続実験: (図-3)に滞留時間(θ)と槽内第一鉄濃度(S)の関係を示す。 θ と S は、 $\theta=23.3$ hrの点を除くと直線関係にあり基質に關し0次反応であると仮定した場合の式

$S=S_0-k_0\theta$ の関係式によって表現することが可能である。

(図-4)は、滞留時間と槽内DOの関係を示したものである。滞留時間 $\theta=4\sim16$ hr(0次反応に従う領域)では溶存酸素濃度が非常に低いレベルでほぼ一定値(0.9mg/L前後)を取り、一方、 $\theta=23.3$ hrの点は、こ

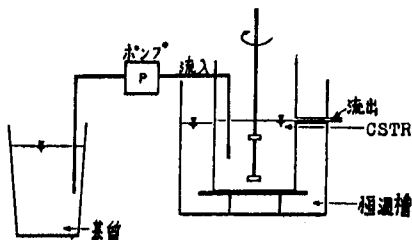


図-1 連続実験装置の概略

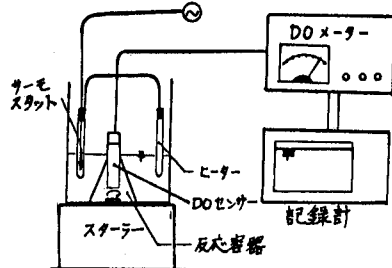


図-2 回分実験装置の概略

表-1 基質組成 (1L中)

成分	量
FeSO ₄ ·7H ₂ O	2.5 g (Fe ²⁺ =500mg/L)
(NH ₄) ₂ SO ₄	166.67 mg
MgSO ₄ ·7H ₂ O	27.67 mg
KCl	5.56 mg
K ₂ HPO ₄	27.76 mg
Ca(NO ₃) ₂	0.556 mg
10N H ₂ SO ₄	1 ml

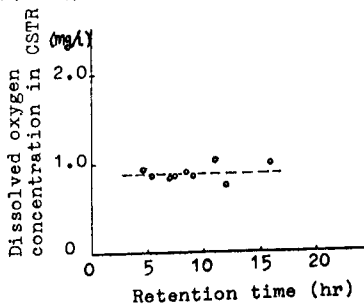


図-4 槽内溶存酸素濃度と滞留時間の関係

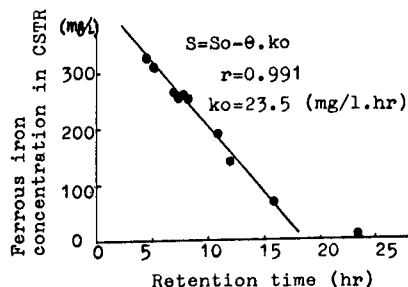


図-3 槽内第一鉄濃度と滞留時間の関係

れらの領域の溶存酸素濃度のレベルに比べ高い値(2.26 mg/l)を取っている。このことより、0次反応に促った原因として、溶存酸素による鉄酸化反応の制限が考えられる。0次反応に促っている領域での槽内基質濃度は66 mg/l ~ 329 mg/l の範囲(図-3)にあるが、このような低い濃度では、浮遊状態の鉄酸化バクテリアは0次反応に促されないことが知られている。(図-10 参照) 付着鉄酸化バクテリアの微生物膜を考えた場合、微生物膜中の個々のバクテリアは一次反応に促っているものと考えられるが、微生物膜(付着鉄酸化バクテリア)を個々のバクテリアの集合体として統一的にとらえ、さらに溶存酸素による制限を考慮すると(図-3)のこのような0次反応に促う原因が明白となる。(図-5)は、比基質消費速度と比酸素消費速度の関係を示したもので、酸素収支より得られた式の直線回帰により、 O_2 係の重量比を表わす係数 $a = 0.1343 \text{ (mg } O_2 / \text{mg } Fe^{2+})$ 、内腔呼吸を表現する項 $b = 6.18 \times 10^{-13} \text{ (mg/cell.hr)}$ が求まった。 a の値は化学量論的に求められた比0.14とほぼ一致する値である。(図-6)は、

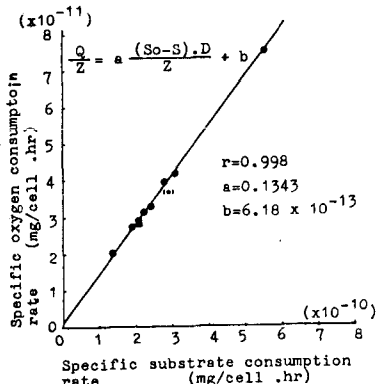


図-5 比基質消費速度と比酸素消費速度の関係

$\mu = XF/A$ (X :浮遊菌数, F :流入流量, A :附着面積)の式より計算した増殖速度と槽内基質濃度の関係を示したものである。2回の実験系列で再現性が見られなかったが、定性的な傾向として基質濃度が減少するに伴い増殖速度も減少していることが示された。ここで得られた附着菌の増殖速度のオーダー($\times 10^5$)は、赤川での浮遊菌の増加現象が附着菌より離脱したバクテリアに由来することを説明するのに十分な値である。(図-7)は、比基質消費速度と比増殖速度の関係を示したものである。この結果も再現性に乏しいが、増殖収率が $10^6 \sim 10^7$ のオーダーに存在することが示されている。また、右下の(●)の点は、他の(●)の点群に比べ低い収率を示している。この点は(図-3)(図-4)における $\theta = 23.3$ hr の点に当り、溶存酸素が他に比べ高い状態での増殖収率を示している。ある種の微生物(*Azotobacter* 属)の増殖収率は、溶存酸素濃度が高くなるにつれエネルギー非共役型の増殖パターンが生じ、収率が低下することが知られている。このことより、上

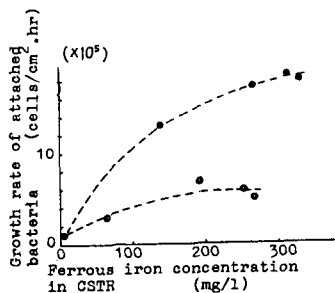


図-6 槽内鉄濃度と単位面積当りの増殖速度の関係

記の現象を説明することができ。② 回分実験の結果を(図-8)(図-9)に示す。(図-8)は、ホフスティアロットによって得られた動力学定数を用いた Michaelis-Menten 式の形で表現したものである。基質飽和定数の平均値は約 0.053 mg/l であり、 O_2 に対する親和性が非常に高いことが示された。(図-9)は(図-8)の最大比呼吸速度と平均第一鉄濃度より求めた Michaelis-Menten 式である。 $V_{max O_2} = 3.114 \times 10^{-10} \text{ mg } O_2 / \text{cell.hr}$ を量論比 0.14 によって基質消費速度に換算すると $21.8 \times 10^{-10} \text{ mg } Fe^{2+} / \text{cell.hr}$ が得られ、海田氏の $36.0 \times 10^{-10} \text{ mg } Fe^{2+} / \text{cell.hr}$ の値とオーダー的に一致している。両者の違いとしては、実験条件および基質組成の相違等が考えられる。

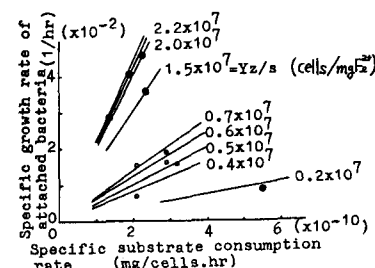
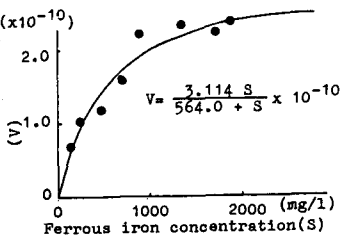


図-7 比基質消費速度と比増殖速度の関係

(結論) 浮遊状態での鉄酸化バクテリアの酸素に対する親和性は非常に高いが、鉄酸化バクテリアの微生物膜による鉄酸化作用は、溶存酸素によって制限を受ける。



(図-10) 基質濃度(Fe^{2+})に対する M-M 式

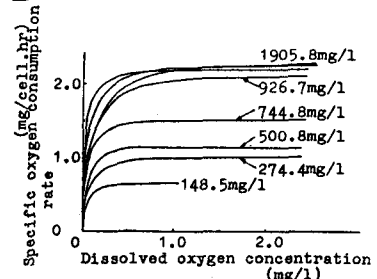


図-8 回分実験より得られた M-M 式

(参考文献) S. OHGAKI et al. Water Reserch

Vol 12 p243 to 249