

海域底質における有機物の嫌氣的分解について

東北大学工学部 学 吉野 明良
東北大学工学部 藤田 晃樹
東北大学工学部 正 佐藤 和明

1. はじめに

有機物を多量に含む底質においては、溶存酸素が消費された後に有機物は嫌氣的な分解がなされる。特に硫酸塩が豊富に存在する海域底質では、この分解に硫酸還元菌が関与するために硫化水素が発生し、その水域は黒ずみ悪臭がたどよい環境が悪化する。本研究では、海域底質における硫酸還元菌やメタン生成菌などによる嫌氣的有機物分解に約を絞り、次の2点について検討を加えた。① 20℃の連続実験を行ない、神奈川により行なわれた25℃、桑添らの15℃の結果を用いて、温度の影響について。②硫酸還元菌とメタン生成菌の相互関係について。

2. 実験方法および材料

①実験装置は、図-1に示すケモスタート型連続培養装置である。種汚泥は、釜釜湾より採取した底泥を表-1に示すグルコースを単一炭素源とする人工海水を用いて、25℃、15℃と一年間づつ連続実験を行なう、た後に、20℃で培養した。基質投入にはマイクロキューブポンプを使い、基質流入量を変えて表-2に示す菌体滞留時間(SRT)を設定した。各反応槽は恒温水槽とクーララインにより20℃に維持された。各SRTの2倍以上運転した後に、槽内総有機酸、残存硫酸イオン、残存グルコース濃度、MLVSSの安定をもって定常状態とした。

②硫酸還元菌とメタン生成菌の相互関係を見せすいものとすために、基質として酢酸を用いることで、酸生成過程を除いた。実験装置は図-1と同じものであり、人工海水も表-1と同じであり、炭素源が酢酸となる。培養温度を20℃に維持し、表-3に示すSRTを設定した。残存酢酸、硫酸イオン、MLVSSの安定をもって定常状態とした。

表-1. 基質の組成(mg/l)

Carbon source	
Glucose	10000
Artificial sea water	
NaCl	27800
MgCl ₂ ·6H ₂ O	8440
MgSO ₄ ·7H ₂ O	3530
CaSO ₄ ·2H ₂ O	2260
K ₂ SO ₄	890
NH ₄ Cl	1530
KH ₂ PO ₄	350
1N NaOH	100cc/l

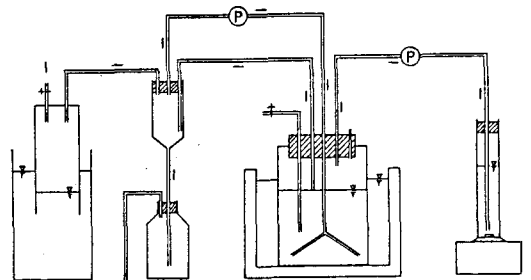


図-1. 連続実験装置

表-2. 安定SRT

反応槽 No.	安定SRT (day)
RUN. 1	13.7
RUN. 2	9.7
RUN. 3	5.2
RUN. 4	30.4
RUN. 5	3.1
RUN. 6	2.0

表-3. 安定SRT

反応槽 No.	安定SRT (day)
RUN. 1	10.0
RUN. 2	6.7
RUN. 3	5.0

3. 実験結果および考察

①温度の影響

基質濃度Sに残存硫酸イオン濃度(mg/l)を用いて、図-2に示すHofstee-plotにより硫酸還元菌の20℃における動力学定数を求めた。結果は、最大比増殖速度 $\mu_{max} = 0.503 \text{ (day}^{-1}\text{)}$, 基質飽和定数 $K_s = 2.45 \text{ (mg/l)} = 2.55 \text{ (mM)}$, 最小菌体滞留時間 $S_{min} = 1.99 \text{ (day)}$, 最小世代時間 $\theta_{min} = 1.38 \text{ (day)}$ となった。同様にして得られている25℃の結果は、 $\mu_{max} = 0.693 \text{ (day}^{-1}\text{)}$, $K_s = 3.53 \text{ (mM)}$, S_{min}

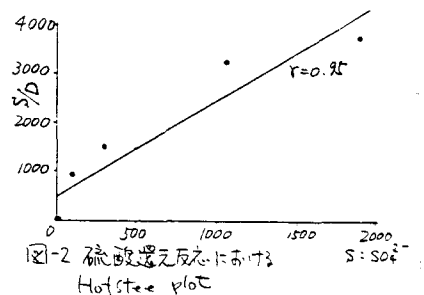


図-2. 硫酸還元反応における Hofstee plot

$= 1.45(\text{day})$, $\mu_{\min} = 1.00(\text{day})$ 。15°Cにおいて $\mu_{\max} = 0.270(\text{day}^{-1})$, $K_s = 1.92(\text{mM})$, $S_{\min} = 3.70(\text{day})$, $\mu_{\min} = 2.57(\text{day})$ となった。 $\mu_{\max}$ と K_s の値を用いて、Monod 曲線の温度による影響を示したものが図-3 である。基質飽和定数は温度の低下につれて小さな値となるので、基質低濃度において μ は、温度の影響が小さいが、基質濃度が高くなるにつれて、 $\mu_{\max}$ の違いから温度の影響を大きく受けようになる。次に $\mu_{\max}$ と温度の関係をアレニウスの式を用いて示す。 $\mu_{\max} = A \exp(B/T)$ として、 T は絶対温度、 $A+B$ は、硫酸還元菌固有な定数である。この式を変形して $\ln \mu_{\max} = \ln A + B/T$ として定数 A, B を求めたものが図-4 である。このことより、硫酸還元菌の $\mu_{\max}$ と温度の関係は、 $\mu_{\max} = 4.8 \times 10^{-11} \times 10^{-3529/T}$ となる。同様にして求めた酸生成菌(基質濃度=残存メタン濃度)の温度の関係は $\mu_{\max} = 1.69 \times 10^{19} \times 10^{-4250/T}$ となる。

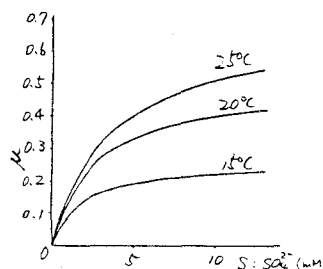


図-3 各温度における硫酸還元反応の Monod 曲線

②硫酸還元菌とメタン生成菌の相互関係

制限基質に残存硫酸イオン濃度を用いて、Hofstee plotにより求めた硫酸還元菌の $\mu_{\max}$, K_s はそれぞれ $0.206(\text{day}^{-1})$, $0.272(\text{mM})$ となる。同様にして、制限基質を酢酸として求めることのできるメタン生成菌の動力学定数は、 $\mu_{\max} = 0.285(\text{day}^{-1})$, $K_s = 6.60(\text{mM})$ となる。ここで両者の制限基質に違いがあるが、酢酸利用種の硫酸還元菌は $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{HS}^- + 2\text{HCO}_3^-$ に従って反応を行なうことより、基質濃度の単位をモルにすることで、制限基質の違いは無視できるものと思われる。実際に、硫酸還元菌の制限基質が酢酸となるように、投入酢酸濃度を 1000 mg/l 、硫酸イオン濃度を 3130 mg/l として酢酸を低濃度で行なった。SRT=9.8日として連続実験は常態は残存酢酸濃度は $15 \text{ mg/l} = 0.25 \text{ mM}$ 、残存硫酸イオン濃度は約 1600 mg/l と高濃度であり、酢酸が硫酸還元菌の制限基質となっている。同じ硫酸還元菌であれば、制限基質が酢酸であるも、硫酸イオンであるも $\mu_{\max}$ は同程度の値となる。よって酢酸も制限基質として行なうた実験結果を用いて、制限基質=残存酢酸濃度 0.25 mM , $\mu = (0.8)^{\mu_{\max}}$

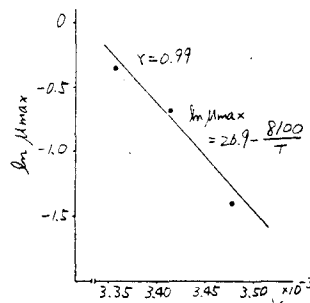


図-4 硫酸還元反応の $\ln \mu_{\max}$ と $1/T$ の関係とアレニウスの式と実験値

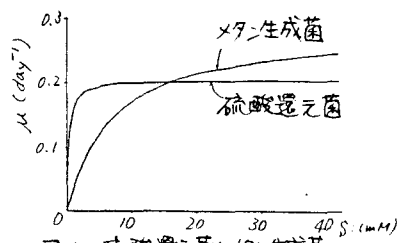


図-5 硫酸還元菌とメタン生成菌の Monod 曲線

$\mu_{\max} = 0.206$ として Monod 式に代入して K_s の値を求めると $0.255(\text{mM})$ となり、 $K_s = 0.272(\text{mM})$ の硫酸イオンを制限基質の場合と近い値になっている。図-5 は、硫酸還元菌とメタン生成菌の Monod 曲線の比較である。基質(酢酸)が低濃度時では、硫酸還元菌の増殖速度がメタン生成菌よりかなり速いことが分かる。また前述の酢酸濃度 1000 mg/l の実験において、メタン生成が全く見られなかったことより、メタン生成菌は硫酸還元菌によって消費された基質の残存分を利用していると思われる。両者の相互関係は、酢酸が低濃度であり硫酸イオンが豊富に存在している環境では、硫酸還元菌による増殖が主に見られ、酢酸濃度が高い時はメタン生成菌も同時に増殖が見られる。この増殖速度の低濃度時における違いは、メタン生成菌の基質飽和定数が硫酸還元菌のものより、およそ 25 倍も大きい値であることが原因であると思われる。

参考文献 1) 神保 進他 : 第 38 回 年譜 (1983)

2) 桑添東彦他 : 第 39 回 年譜 (1984)