

VII-51

底泥からのリンの溶出に及ぼす鉄還元菌と硫酸還元菌の影響

岩手大学 学生員 ○毛利俊英 八巻智彦

岩手大学 正 員 伊藤 歩 相沢治郎 海田輝之

1.はじめに

閉鎖性水域の富栄養化は、アオコなどを発生させて景観を損ね、水資源としての価値も下げるという問題を引き起こす。生活排水や畜産廃水などとして湖沼に流入し、底部に堆積したリン化合物は、嫌気性状態になったときに溶出してくる。このリンは、富栄養化の原因の一つであるが、その底泥からのリンの溶出機構に与える嫌気性細菌の影響は、ほとんど検討されていない。本研究では、嫌気的条件下での底泥からのリンの溶出に鉄還元菌、および硫酸還元菌がどのように影響を与えるかを検討した。

2.底泥からのリン溶出機構

図-1に底泥からのリン溶出機構のモデルを示す。図のように、閉鎖性水域において、嫌気性状態になると底泥に堆積しているリン酸鉄が化学的あるいは生物学的に還元されて、リンが溶出するが、特に生物学的には鉄還元菌と硫酸還元菌が影響を与えていると考えられている¹⁾。

3.実験条件及び方法

実験試料としては、岩手県和賀郡東和町の田瀬湖と、岩手県盛岡市の高松の池から採取した底泥を用いた。底泥からのリン溶出実験は表-1に示す条件に従って行った。実験は田瀬湖の底泥においてはB,C,D、高松の池の底泥においてはB,C,D,Eの条件で行い、全ての条件においてFePO₄を4.108g(1g as Fe)紫外線滅菌の前に添加した。底泥を添加する条件では底泥を10g-DS/lになるように添加し、培地添加の条件では振とうフラスコに、表-2に示す組成の培地(Lovleyらの用いた培地²⁾の改変培地)を1000ml、培地無添加では蒸留水を1000ml添加した。底泥の滅菌を行う条件では、培地あるいは蒸留水に底泥を添加した後、高温高圧蒸気滅菌を行った。放冷後、FePO₄を添加し、紫外線滅菌を一晩行った。全ての条件で無酸素状態にするために窒素曝気を行った後、25℃の恒温室で振とう培養を行った。なお、初期pHは8付近に調整した。条件Bにおいては鉄還元菌がある程度進行した後、Na₂SO₄を2g添加した。また、B,Cには30日目の時点で酢酸ナトリウム7gを追加で添加した。

分析項目は、塩酸可溶性鉄、溶存鉄、溶存リン酸態リン（モリブデン青吸光度法）、pH、酸化還元電位、溶存有機炭素、硫酸イオン（比濁法）とした。塩酸可溶性鉄の分析は、試料10mlを採取し、塩酸少量を加え緩やかに加熱し、鉄を溶出させた後、5Bのろ紙でろ過したろ液中の全鉄と第一鉄濃度を1,10-フェナントロリン法で行った。溶存鉄、溶存リン酸態リン、pH、溶存有機炭素及び硫酸イオンの項目については、試料を5000rpmで10分間遠心分離にかけ1μmのメンブレンフィルターでろ過したものをろ液として測定した。各項目について経時的に測定し、試料の採取後、毎回窒素曝気を行ってから再び振とうした。

4.実験結果及び考察

図-2,3に塩酸可溶性の第一鉄、第二鉄の濃度の経日変化を各々示す。第二鉄濃度は全鉄の濃度から第一鉄の濃度を引いた値とした。鉄濃度の初期値は、リン酸第二鉄を添加しているため、割合は第二鉄の方が高くなっている。20日目以降、培地を添加し、底泥の滅菌を行っていない条件Bでは、第一鉄の濃度が増加し、第二鉄濃度は減少した。一方、その他の条件では初期値と比較して鉄濃度の大きな変化は無かった。溶存鉄の濃度は全ての条件で、10mg/l以下であり、測定した鉄のほとんどが不溶性であった。

図-4に酸化還元電位の経日変化を示す。湖、池ともに、培地を添加し滅菌を行っていない条件Bにおいては変化がすぐに現れ、酸化還元電位が低下し還元状態にあったと言える。最終的には、滅菌していない底泥だけを含むD以外の、培地を含む条件及び底泥を滅菌した条件で酸化還元電位が低下した。これは、窒素曝気を行ったことにより、培地中の物質や、高温高圧蒸気滅菌を行った際に底泥から溶出してきた物質が徐々に還元されて、化学的に還元状態

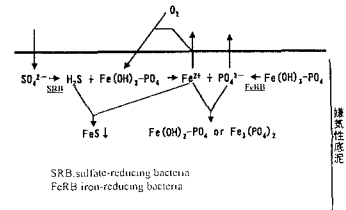


図-1 リン溶出の機構

表-1 実験条件

	底泥	底泥滅菌	培地
A	無添加	無	添加
B	添加	無	添加
C	添加	有	添加
D	添加	無	無添加
E	添加	有	無添加

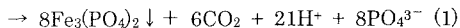
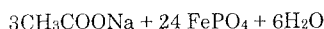
表-2 培地組成

成分	濃度(g/l)
基礎培地	
CH ₃ COONa	6.8
NaHCO ₃	2.5
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.1
KCl	0.1
NH ₄ Cl	1.5
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	0.6
酵母エキス	0.05
微量元素	
NaCl	0.1
MgCl ₂ ·6H ₂ O	0.1
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.005
NaMoO ₄ ·2H ₂ O	0.001

へと変化したということも一つの要因ではないかと考えられる。

図-5 に溶存有機炭素濃度の経日変化を示す。条件 A,D においては、濃度の変化はなかったが、培地と底泥を含む条件 B,C あるいは、底泥のみで滅菌を行った条件 E では、10 日目前後に濃度が増加した。この増加は底泥からの有機物の溶出分であるが、条件 D で底泥が添加されていても同様に溶存有機性炭素濃度が増加しなかったのは、溶出分を底泥内に存在する嫌気性微生物が消費したために、見かけ上の濃度が増加しなかったと考えられる。また、条件 E で培地を添加していないにも関わらず、初期で 2g/l 程度の有機物が溶出しているが、これは滅菌操作により底泥中の有機物が溶出しやすくなったと思われる。

図-6 に溶存リン酸態リン濃度の経日変化を示す。条件 B ではリン濃度が 20 日目前後で他の条件より高い値を示した。その時期に鉄の還元も進んでいることと、他の条件においてリンの溶出と第二鉄の還元が乏しいことから、鉄還元菌の影響でリンが溶出したと言える。しかし、添加したリン酸第二鉄が全て溶出した場合でのリン酸態リン濃度は約 550mg/l であるが、本実験で溶出したリン酸態リン濃度は 170mg/l 程度であった。これは下記の(1)式³⁾



に示すように溶出していないリン酸が、第二鉄から還元された第一鉄と結合して $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ の形態で存在しているためと考えられる。リン酸第二鉄が全て還元されるとすると、鉄として 1000mg/l 添加しているので、 $\text{PO}_4\text{-P}$ では 185mg/l となり、実験結果とほぼ一致した。従って、添加した FePO_4 中のリンの溶出は、図-1 に示す硫酸還元菌の間接的な影響を受けず、主に鉄還元菌による第二鉄の還元が行われたと考えられる。

以上の結果より、底泥を滅菌した試料や、培地を添加していない試料、底泥を添加していない条件では細菌の増殖のための十分な環境が得られずに、最も好条件の B において、鉄還元とリン溶出が同時に起こる事が分かった。しかしながら、リンの一部は鉄還元により生じた第一鉄と結合した状態で存在していると考えられる。

5.まとめ

鉄還元菌がリン酸第二鉄を還元することにより、富栄養化の原因物質となるリン酸イオンが溶出することが分かった。今回の実験においては、リンが溶出するまでに時間を要したが、嫌気性状態が続き鉄還元菌が既に活性化している状況であれば、リン酸イオンが短時間で溶出すると考えられる。しかし、リンの溶出量は今回用いた試料のリンの総量に比べると少なく、硫酸還元菌の関与もあればリンの溶出量がさらに増えると考えられ、今後の研究で検討したい。

<参考文献>

- 1) Eric E.Roden & Jennifer W.Edmonds : Arch. Hydrobiol. , 139 , 3 , 347-378 , 1997
- 2) Derek R.Lovley & Elizabeth J.P. Phillips ; Environ. Sci. Technol. Vol.25 , 1062-1067,1991
- 3) Derek R.Lovley & Elizabeth J.P. Phillips ; Applied and Environmental Microbiology, Vol.54(6),1472-1480,1988

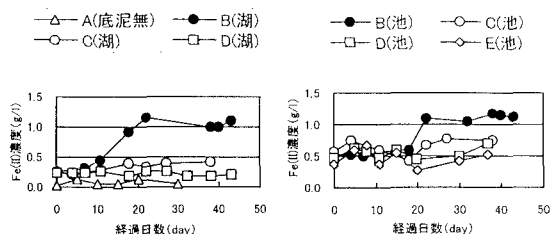


図-2 第一鉄濃度の経日変化

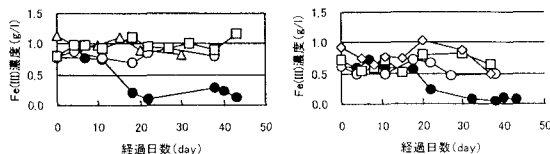


図-3 第二鉄濃度の経日変化

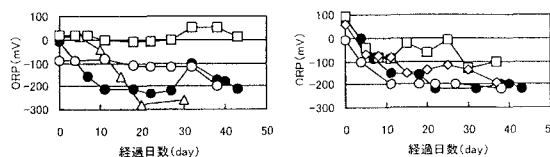


図-4 酸化還元電位の経日変化

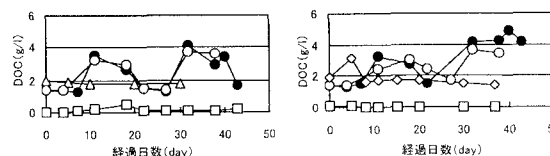


図-5 溶存有機炭素濃度の経日変化

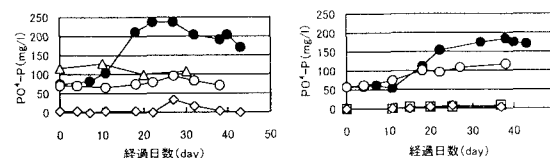


図-6 溶存リン酸態リン濃度の経日変化