

生物ろ過槽を用いた鉄とマンガンを含む地下水からの除去過程

Fe and Mn behaviors in the contaminated groundwater and microorganisms used for remediation in a tank

磯山 陽子^{1*}, 前田 俊介¹, 益田晴恵², 加藤真悟³, 西川禎一⁴

Yoko Isoyama^{1*}, Syunsuke Maeda¹, Harue Masuda², Shingo Kato³, Yoshikazu Nishikawa⁴

¹大阪市立大学理学部地球学科, ²大阪市立大学大学院理学研究科, ³東京薬科大学生命科学部,
⁴大阪市立大学大学院生活科学学研究科

¹Osaka City University, ²Osaka City University, ³Tokyo University of Pharmacy, ⁴Osaka City University

Fe, Mnに汚染された地下水を浄化するために大阪府守口市立下島小学校校庭に曝気濾過槽を作成した。曝気濾過槽内の生物濾過膜の濾材としてプラスチックペレットを用い、曝気濾過槽に入れる前、曝気濾過槽に入れた後6月・9月・11月に取り出し、プラスチックペレット上の微生物の表面をSEM-EDSにより観察・分析した。その結果、曝気濾過槽に入れる前の微生物は大きさが1 μm より小さく、表面には金属元素の顕著なピークは見られなかったが、曝気濾過槽に入れた後の微生物の表面で、6月の微生物は大きさが2 μm 程度で、Mnのピークが見られ、9月の微生物は大きさが1 μm より小さいもので、Feのピークが見られ、11月の微生物はプラスチックペレット全体に非結晶質の被膜が形成されており細胞本体を観察するのが難しい状態であったが、細胞は大きいもので5 μm 程度あり、Fe, Mnのピークが顕著に見られた。これは、微生物の代謝によってFe, Mnの被膜が細胞表面上に形成されたためであり、地下水中のFe, Mnが細胞表面に固定されることにより除去されていることを示唆している。さらに、このプラスチックペレットにどのような微生物が棲みついているのかを調べるため、PCR (polymerase chain reaction) 法により種の同定を行った。曝気濾過槽に入れる前のプラスチックペレット上の微生物はカルスト帯水層の微生物群集に近縁であるが、新種の可能性が高い種が優勢である一方、曝気濾過槽に入れた後、11月に取り出したプラスチックペレット上の微生物は多様化していた。Bacillus, Staphylococcus, Authrobacter, Pseudomonasなど、主に地下環境で分布する微生物に近縁のものが見られた。曝気濾過槽内でFe, Mnが除去されるプロセスを実験室でも再現するために、寒天チューブにFeとO₂の濃度勾配を作り、プラスチックペレットの微生物を培養した。また、好酸性の鉄酸化バクテリアの液体培養も行った。寒天チューブは、下層と上層に分かれており、下層に硫化鉄、鉍物溶液を、上層に炭酸水素ナトリウム、ビタミン溶液、微量元素、鉍物溶液を含んでいる。この培地に鉄酸化バクテリアを接種させると、酸化鉄を含んだ水平な帯状のコロニーが形成される。しかし、寒天チューブにコロニーは形成されなかった。これは、プラスチックペレット上に鉄酸化バクテリアがいないことを示している。よって、地下水中のFe, Mnの浄化には鉄酸化バクテリアは関与していないということがわかった。そこで、曝気濾過槽内のFe, Mnの除去率の推移、pHと酸化還元電位の関係から微生物環境の変動を推定した。Feの除去率が6月頃に著しく低下し、7月上旬には回復した一方で、Mnの除去率は7月上旬に著しく低下し、7月下旬には回復した。これは、曝気濾過槽内が嫌気的な環境になり、Fe, Mnの除去が効率よく行われなくなったためであるが、曝気塔を設置することにより回復した。6月頃に採取したプラスチックペレットの表面にMnのピークが見られたが、これは微生物の死骸にマンガンが吸着し、微生物起原のマンガンノジュールの形成の初期段階のような現象が起きていると思われる。9月頃に採取したプラスチックペレット上の微生物の大きさが6月頃のものより小さいのは、6月頃に形成されたマンガンノジュールの初期段階のようなものが曝気濾過槽下部へと流れ出たのかもしれない。そして、9月頃には新たな微生物相がプラスチックペレット上に形成されたものであると思

われる。また、pHと酸化還元電位の関係から、プラスチックペレット上の微生物は Mn^{2+} と $Fe(OH)_3$ の混合する相に存在していることがわかった。つまり、曝気濾過槽に入れる前の微生物は外来微生物のため、曝気濾過槽内の微生物が自然選択によって淘汰され、曝気濾過槽の環境に合った微生物が新たにプラスチックペレット上に棲みつく。地下水浄化が進むにつれ微生物の多様性が増し、環境に適応した微生物ループが形成されていることを示している。11月頃にPCRによって見出された微生物のほとんどが好気性細菌で、微生物による酸素消費→硝酸還元（鉄酸化を含む）→鉄還元→硫酸還元の一連の反応プロセスによって触媒作用をもたらしたのかもしれない。そして、触媒作用により Mn^{2+} と $Fe(OH)_3$ の混合する相に位置した微生物ループによって、さらに酸化能力が促進し、地下水中に含まれる Fe^{2+} と Mn^{2+} が、微生物によって $Fe(OH)_3$ に酸化され、徐々に Mn^{2+} も4価に酸化してゆき、その酸化物が細胞表面に吸着し、除去されるというメカニズムが確立されたということがわかった。

キーワード:水質浄化,生物濾過,微生物,生態系

Keywords: groundwater remediation, biofilm, microorganisms, ecosystem