

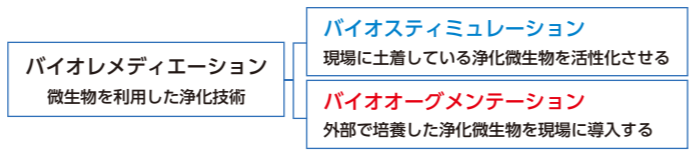


バイオレメディエーション

VOC 汚染とバイオレメディエーション

名古屋市内では毎年、VOC(揮発性有機化合物)による土壌・地下水汚染が判明し問題となっていますが、最近では汚染浄化対策にバイオレメディエーションを用いる事例が見受けられます。バイオレメディエーションとは、微生物を使って地中の汚染物質を直接分解して無害にする方法で、高濃度汚染には不向きで浄化に時間がかかりますが、低コストで建造物の撤去が要らず、広範囲の汚染に適用できるなどの利点があります。環境科学調査センターでは、VOCによる汚染の浄化に活用できるバイオレメディエーションの研究を行っています。

バイオレメディエーションには、バイオスティミュレーションとバイオオーグメンテーションの2種類があります。バイオスティミュレーションは、有機物や酸素などを地中に供給し、汚染現場に土着している浄化微生物を増殖・活性化させるものです。バイオオーグメンテーションは、土着している浄化微生物が皆無あるいは極端に少ない場合に、外部で培養した有用な浄化微生物を現場に導入するものです。バイオオーグメンテーションは高い浄化効果が期待できる半面、外部から導入する浄化微生物の安全性や生態系への影響を確認する必要があります。



VOC を脱塩素化する浄化微生物

土壌汚染対策法では、表に示したVOC12物質が第一種特定有害物質に指定されています。これらはベンゼンを除くとすべて塩素化合物で、水より重く粘性が低いので、地中深くまで浸透して帯水層に達する汚染を引き起こします。

VOCの微生物分解には、酸素が必要な好気分解と必要としない嫌気分解があり、上記の塩素化合物による汚染の浄化では、酸素を供給しないで行う嫌気的なバイオレメディエーションがよく用いられます。例えばテトラクロロエチレン等の塩素化エチレンは、“脱塩素化”と呼ばれる反応によって段階的に嫌気分解され、最終的に炭化水素(エチレン)になることが知られており、脱塩素化反応を担う数々の浄化微生物(デハロココイデス属細菌など)が見つっています。なお、バイオレメディエーションを行う際は、分解過程で生じる有害物質にも注意が必要です。塩素化エチレンの嫌気分解の場合、エチレンに至るまで途中で生成する物質はすべて有害であり、完全に脱塩素化して初めて無害な状態となります(図1 上段部)。

当調査センターでは名古屋大学と共同で、塩素化エタンの嫌気分解に関する検討を行ってきました。その結果、市内河川底質から、国内初となる1,2-ジクロロエタン浄化微生物であるジオバクター属細菌AY株の分離・培養に成功しました(特許5764880号)。このAY株は鉄還元菌の一種で、嫌気条件下で高濃度の1,2-ジクロロエタンを脱塩素化してエチレンにできるほか、分解にともなう有害物質を生成しないなど、浄化微生物として優れた特性を有しています(図1 下段部)。詳しくは、<環境科学調査センターだよりvol.14(平成27年10月発行)>をご覧ください。

表 土壌汚染対策法に定められた第一種特定有害物質

VOC(揮発性有機化合物)12物質

①クロロエチレン	②四塩化炭素
③1,2-ジクロロエタン	④1,1-ジクロロエチレン
⑤シス-1,2-ジクロロエチレン	⑥1,3-ジクロロプロペン
⑦ジクロロメタン	⑧テトラクロロエチレン
⑨1,1,1-トリクロロエタン	⑩1,1,2-トリクロロエタン
⑪トリクロロエチレン	⑫ベンゼン

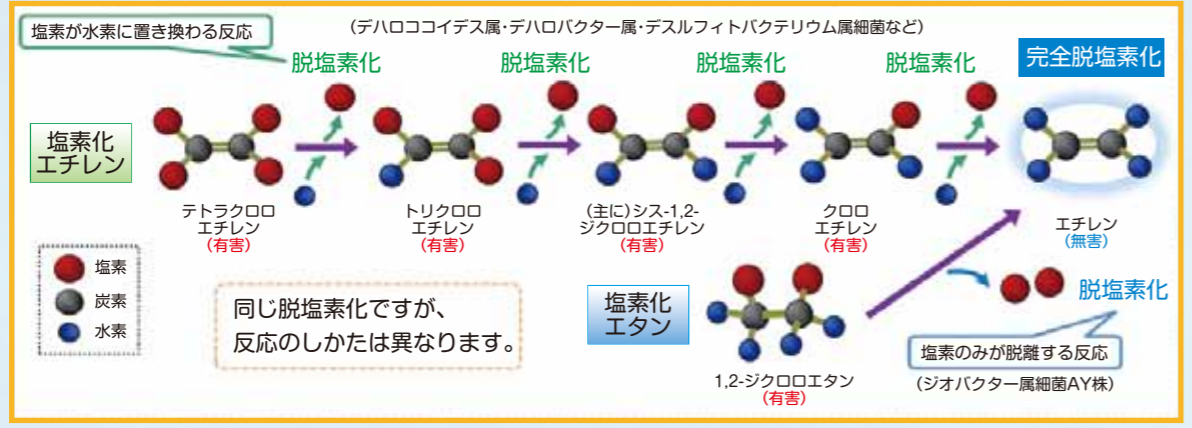


図1 浄化微生物によるVOCの脱塩素化

バイオスティミュレーションを用いた現地実験

バイオレメディエーションでは実際の浄化に適用できるか判断するため、予め室内実験や現地実験を行います。今回は、VOCを脱塩素化する浄化微生物群が確認された汚染現場において、嫌気的なバイオレメディエーション(バイオスティミュレーション)を用いて、VOCに汚染された帯水層地下水を浄化する実験を行いました。実験の流れを図2に示します。

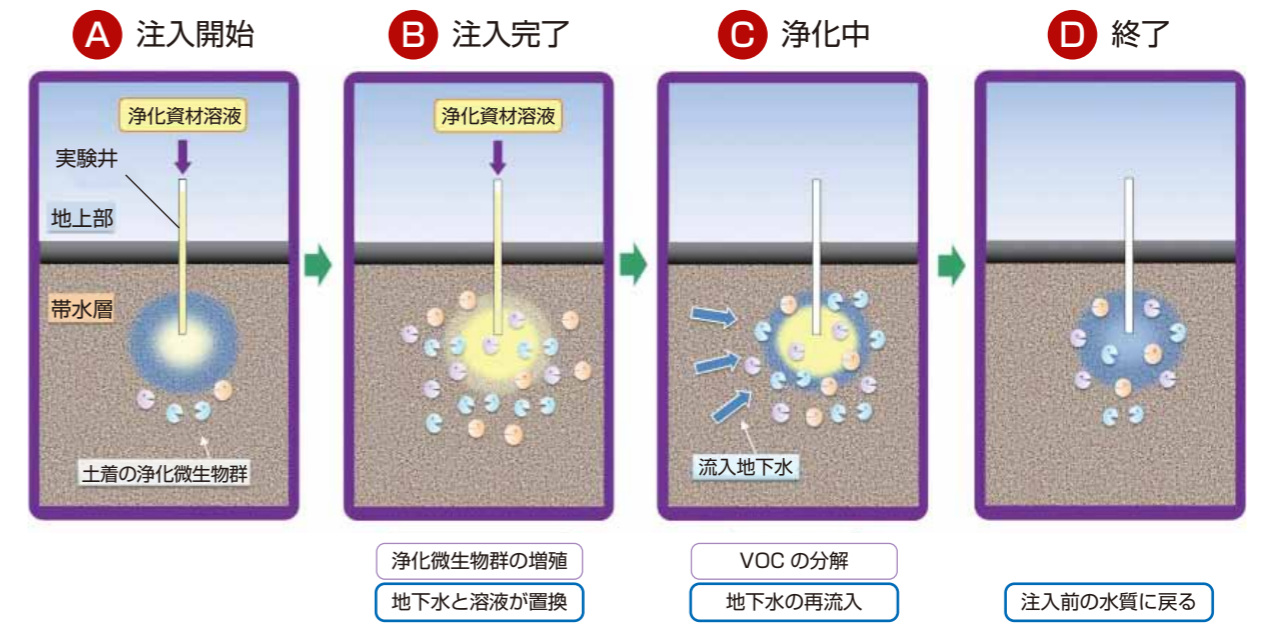


図2 地下水浄化実験の概要

- A** 微生物の増殖を促す有機物(微生物活性化剤)、地下水の挙動を把握する目的で加える物質(臭化物塩)などから成る浄化資材溶液を実験井から帯水層内に圧入します。以降は、実験井から地下水を採取して水質を測定します。
- B** 注入完了時の実験井周辺部は、地下水が押し出されて浄化資材溶液に置換されています。このとき採取する地下水にはVOCはほとんど無く、臭化物塩が高濃度状態にあります。地下では、微生物活性化剤のはたらきで浄化微生物群が増殖をはじめており、VOCを脱塩素化できる環境が次第に整ってきます。
- C** 実験井周辺部の外から再び地下水の流入が始まります。浄化資材溶液は流入する地下水によって徐々に薄められ、臭化物塩濃度も低下していきます。逆に、VOCは地下水の再流入にともなって濃度が上昇し、最後は注入前の地下水並みの濃度に戻ると考えられます。ところが、この段階で浄化微生物群が十分に増えていると、VOCは脱塩素化による分解を受けて、なかなか元の濃度まで戻りません。つまり、濃度上昇が遅れる分だけ“浄化”されていることになります。
- D** 微生物活性化剤が微生物に使われなくなったり地下水に希釈されて無くなると、それ以上分解は進まなくなり実験は終了します。

実験の結果、臭化物塩濃度の減衰から推察して、地下水流入が始まって元の水質に戻るまで200日近くかかりました。この間のVOCの濃度変化を表したのが図3で、1,2-ジクロロエタン(塩素化エタン)、トリクロロエチレン(塩素化エチレン)、ほとんど嫌気分解しないベンゼンの3種類のVOCをとり上げました。非分解性のベンゼンは、流入地下水の影響をそのまま反映し早い段階から濃度が上昇しますが、1,2-ジクロロエタンやトリクロロエチレンは140日あたりまで濃度上昇が抑えられ、脱塩素化による分解が続いていることが判ります(赤矢印)。これは、バイオレメディエーションの浄化効果が実証された一例ですが、研究ではさらに効果を高める現地実験に取り組んでいます。

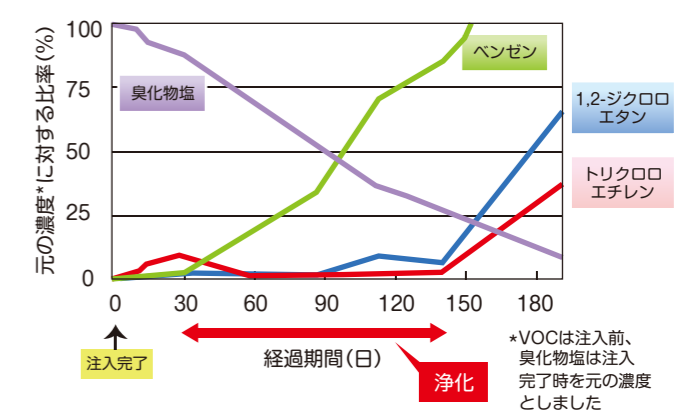


図3 VOC濃度変化の推移