



[基調講演]

微生物による環境修復

矢木 修身

(東京大学大学院工学系研究科附属水環境制御研究センター教授)
 (併任)環境庁国立環境研究所地域環境研究グループ総合研究官)

現在、汚染した環境を修復する技術としてバイオレメディエーション (Bioremediation) 技術が注目されている。バイオレメディエーション技術とは微生物、植物および動物などの持つ生物機能を活用して汚染した環境を修復する技術である。実用化されている技術のほとんどが微生物を用いた技術であるため、微生物を用いたバイオレメディエーション技術の現状と今後の課題を中心に述べる。

1. バイオレメディエーション技術とは

(1) バイオレメディエーション技術の種類

汚染環境を修復する場合、微生物の活用法により2種に分類される。一つはバイオスティミュレーション (Biostimulation) と呼ばれるもので、汚染した土壌・地下水に窒素・リンなどの無機栄養塩類やメタン、たい肥などの微生物の増殖に必要なエネルギー源としての有機物、さらに空気や過酸化水素を添加し、現場に生息している微生物を増殖させて浄化活性を高める方法である。もう一つはバイオオーグメンテーション (Bioaugmentation) と呼ばれ、汚染現場に浄化微生物が生息していない場合に、外来微生物を導入して浄化する方法である。

一方、利用するプロセスにより固体処理 (バイオパイル)、スラリー処理、原位置処理 (バイオベンチング、バイオスパーキング、地下水注入・循環方式)、バイオリクターの4種に分類される。

(2) バイオレメディエーション技術のプロセス

バイオレメディエーションを実施する際、一般

に以下のプロセスが採用される。

- ① 汚染の状況を正確に把握する。すなわち汚染物質の種類と濃度、汚染の広がり、汚染土壌の物理化学的性質、地下水の水理学的特性などを調べる。しかしこの調査は非常に費用がかかるため、安価でよい技術ができれば、日本中の浄化が進むと思われる。
- ② フラスコ、カラム、ライシメータ等を用いて汚染物質の生分解性を明らかにする。分解が困難な物質の場合には、汚染物質を分解する微生物を分離する必要がある。分解能が低い場合には分解菌を育種し分解能を強化する。
- ③ 汚染の状況に合わせて処理プロセスを選択する。すなわちパイロットスケール規模での浄化試験を実施し、固体処理、スラリー処理、原位置処理、バイオリクターの中から最適な方法を選択する。
- ④ 現場での浄化を実施する。

2. バイオレメディエーション技術の現状

浄化対象として、まず水質に関しては有害化学物質や有機汚濁による地下水汚染、海洋汚染、湖沼汚染があげられる。土壌に関しては有害化学物質、重金属、油、ダイオキシンの問題、さらに大気汚染物質も対象となる。

重金属処理については、微生物を用いて水銀を浄化することがドイツで、また六価クロムを三価にする微生物による排水処理法が中国で開発されている。

次に有害物質処理の場合、PCBは含有排水を紫外線で処理した後に微生物で処理する方法が

JR 総研で企業化されている。トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンについては、鉄粉を混ぜた後にバイオで処理する商売が始まっている。ダイオキシンでは種々の分解微生物が分離され、その活用方法が検討されている。その他 BOD, COD, 硝酸態窒素, リン, 油については、微生物や植物を使った排水処理が実用化されている。

ダイオキシン, テトラクロロエチレン等のような難分解性物質は、好気処理は困難であるが、嫌気条件下では脱ハロゲン反応が生じ分解されることが明らかにされ、嫌気分解と好気分解をドッキングさせた技術の有用性が認識されている。

3. トリクロロエチレン等で汚染された土壌・地下水の浄化技術

トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンを唯一の炭素源として増殖する微生物は見出されていないが、他の炭素源を資化すると同時に、好気的あるいは嫌气的条件下でこれらの物質を共役分解できる微生物が次々と見い出されている。

筆者らは、トリクロロエチレンを分解できるメタン資化性細菌 *Metylocystis* sp. M 株を土壌中より分離し、分解特性や分解酵素であるメタンモノオキシゲナーゼの諸性質、さらに土壌・地下水中における浄化能を検討した結果、M 株はトリクロロエチレン汚染土壌の浄化にたいへん有効であることが判明した。引き続き土壌汚染浄化への実

用化をめざし検討を進めている。

また同時に、メチル水銀による汚染土壌浄化の研究も進めている。水俣湾から有機水銀を分解する多くの微生物が見つかる。一方、遺伝子操作により水銀分解能が強化された組換え微生物が開発され、実験室では良好な浄化効果が確認されている。

4. 今後の課題

バイオレメディエーションの効果の予測と安全性の確認が、今後の大きな検討課題である。すなわち、実験室の研究成果をいかに実用化に結びつけるかが重要な課題である。一方、①安価・迅速な汚染現場の調査技術の開発、②複合微生物系を用いる複合汚染の浄化技術の開発も重要な課題である。

安全性に関しては1998年5月、通産省から組換え微生物等の屋外利用のための指針が、また99年3月、環境庁から単一微生物を地下に注入し、汚染地下水を浄化するための安全性に関する指針が定められ、安全性に関する考え方が明らかになった。このことにより、安全性に関するデータが今後蓄積されていくものと考えられる。

バイオレメディエーション技術は環境ホルモンのように低濃度、広範囲な土壌汚染の浄化にもっとも適した技術と考えられ、今後の発展が期待される。