

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 竹 内 美 緒

様々な有害物質による地質汚染が世界各地で顕在化し、その影響は飲料水をはじめとした地下水利用にとどまらず、地下水の流入による沿岸域への汚染拡大が懸念されている。なかでも発癌性のあるトリクロロエチレン（TCE）は最も広範囲の地下水汚染をもたらしている。その浄化法として揚水曝気法が主に採用されているが、環境基準値以下への浄化に10年前後の長時間を要し、空中拡散という原因物質の分解を伴わない応急的な処置に留まっている。このため短い浄化期間にTCEそのものを分解するバイオレメディエーション法の開発が必要とされている。本研究はメタンを基質として利用するメタン資化細菌がTCE分解能を持つことに注目して、メタン資化細菌を利用したバイオレメディエーション法を確立することを目的として行われた。

これまでもメタンやメタン資化細菌を人工的に添加する試みはあったが、分解効率が悪いため実用化に至っていなかった。本研究では、その原因がメタン資化細菌の生態が不明であったことに注目して、まず地質中のメタン資化細菌の生態解明に重点を置いた。フィールドとして千葉県千倉町のTCE汚染現場を選んだ。約30mの柱状地層試料を採取し、メタン資化細菌の分布を最確法により明らかにした。汚染透水層ではメタン資化細菌は地層の粒度と良い相関を示し、粗粒砂層で最も多く中・細粒砂層になるにつれ減少したのに対してメタン濃度そのものとの関連が低いことを明らかにした。これは粗粒砂層での地下水流速が速く基質供給量が多いためと解釈され、粗粒砂層がバイオレメディエーションの重要な場となると考えた。

次に、観測井から地下水を得てメタン資化細菌数の季節変動と環境要因の関係を明らかにした。各透水層の地下水は異なる特徴を示し、汚染透水層では溶存酸素と硝酸塩濃度が高く、一方、その下の透水層では溶存メタンとリン酸塩濃度が高く、メタン資化細菌も年間を通じて安定して存在することを見いだした。この結果から汚染透水層にその下の地下水を注入すれば、メタン資化細菌に必要な基質が揃うためメタン資化細菌が増殖し、TCEの分解が促進される可能性が示された。

この可能性を実証試験により検証した。汚染透水層にその下層の地下水を注入し、汚染物質の変化を調べた。試験時、現場ではTCEの殆どが嫌氣的分解により有害なジクロロエチレン（DCE）に変化していたが、DCEはメタン資化細菌の分解を受けるため、DCEを汚染除去モニタリングの対象にした。コントロールとして汚染透水層より上層の地下水を注入した。注入井から2m下流の観測井ではコントロール期間中DCE濃度が平均34ppbであったのに対して、本試験ではDCE濃度が48%に減少した。メタン資化細菌数の変化およびメタンの取込みの V_{max} の変化から、DCE濃度の減少はメタン資化細菌による分解であるとの結論を得た。

次に、千倉町のようにメタンを含む地下水が存在しない地域におけるバイオレメディエーション法を検討した。そのために南関東ガス田の中心である茂原市の高濃度メタン含有地下水の利用を検討対象とした。フィールドとして千葉県我孫子市のTCE汚染現場を選んだ。現場に長さ10mの溝（ピット）を掘り、ここから茂原の地下水を注入した。コントロールとして無汚染の消火用水を用いた。ピットから2m下流の観測井ではコントロール水到達期間に平均90ppbだったTCE濃度が茂原地下水到達期間には検出限界以下に減少し、高いTCE分解効果が認められた。バッチ培養実験から茂原の地下水中に含まれるメタン資化細菌による分解であることが明らかになった。

本研究で開発した千倉での方法ならびに茂原地下水を利用した方法と、従来の人工的な基質添加法についてコスト計算を行った。この結果、千倉での方法が処理期間に関わらず最もコストが低く、次に、1ヶ月程度の短期間処理では茂原水の利用、それ以上の長期処理では人工添加法のコストが低いとの見積を示した。

本研究が開発したメタン含有地下水を利用したTCE汚染地質のバイオレメディエーション法は類例が全くない新しい方法であり、実証試験の結果から実用性が高いことが示され、地下水の資源的な価値を新たに付与するものである。また、それに先立ち解明された地層中におけるメタン資化細菌の分布と環境要因との関係、メタン消費活性およびTCE分解能に関する知見は微生物生態学における新たな研究分野を開拓する学術的価値の極めて高いものである。よって審査委員一同は本論文が博士（農学）の学位論文としてふさわしいものと認めた。