

【5B-1201】 1, 4-ジオキサン汚染地下水の生物浄化可能性の評価診断ツールの開発と浄化戦略の実証 (H24~H26; 累計予算額 115, 601 千円)

池 道彦 (大阪大学)

## 1. 研究実施体制

- (1) 1, 4-ジオキサン分解菌の分解活性化因子の特定と浄化戦略の策定 (大阪大学)
- (2) 1, 4-ジオキサン汚染サイトの生物浄化可能性評価診断ツールの開発 (北里大学)
- (3) 1, 4-ジオキサン汚染サイトにおける 1, 4-ジオキサン浄化実証試験 (大成建設 (株))

## 2. 研究開発目的

我々は 1, 4-ジオキサンの生物分解に関する研究を実施し、多様な環境試料から 1, 4-ジオキサン分解菌の分離に成功してきた。また、その活用により、低コストの 1, 4-ジオキサン含有排水処理が可能であることも示してきた。このことから、汚染環境の浄化についても、土着の 1, 4-ジオキサン分解菌、あるいは我々が単離した高性能の分解菌を活用したバイオスティミュレーション、バイオオーグメンテーション、オンサイト浄化等の技術を確立することは可能であると想起した。

一方で、汚染環境における分解菌の存在やその分解能力の情報を収集、診断し、汚染環境の状態に合わせた最も適切な浄化対策技術を選択する必要がある。そこで本研究では、1, 4-ジオキサン分解菌を用いた 1, 4-ジオキサン汚染環境の浄化技術を確立するとともに、1, 4-ジオキサン汚染現場の浄化戦略の策定に有用な、浄化促進手法を診断するツールを開発することで、包括的な 1, 4-ジオキサン浄化技術パッケージを提案することを目的とした。

## 3. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

これまで 1, 4-ジオキサン分解菌の報告はわずかであったが、本研究において誘導型分解菌 1 菌株、構成型分解菌 2 菌株、共代謝型分解菌 2 菌株の特徴付けが完了した。これらの菌株は、これまでの報告において最も優れた 1, 4-ジオキサン分解菌であった CB1190 株を上回る能力を持ち、汚染地下水の浄化への適用が有望であることが明らかとなった。また、D17 株を用いて構築したバイオリクターは模擬汚染地下水に対して優れた浄化性能を発揮し、10mg/L という高濃度の 1, 4-ジオキサン汚染水を環境基準値以下である 0.05mg/L 以下にまで浄化することが可能であった。これをスケールアップして構築した実証試験設備において、連続バッチ方式、及び連続方式の両方式にて、環境基準値以下の濃度までの 1, 4-ジオキサン除去を達成した。1, 4-ジオキサンに汚染された実環境水の浄化を、低コストでの運転が可能な生物学的処理法で達成したという報告はこれまでになく、本研究はこの分野をリードする成果を挙げていると言える。

また、本研究で考案したジエチレングリコールを用いた培養は、開放系にて *Pseudonocardia* sp. D17 を培養できる手法として、バイオレメディエーションを実行する上で画期的なツールである。さらにジエチレングリコールは、*Pseudonocardia* sp. D17 だけでなく、環境中の 1, 4-ジオキサン分解菌を特異的に増殖させることができる基質としての可能性をも有しており、これまでに報告が全くないバイオスティミュレーションを実現する活性化剤としても期待できるものである。

さらに本研究では、我々の取得した 5 菌株の持つ 1, 4-ジオキサン分解への関与が推測される遺伝子群を発見し、マイクロアレイ発現解析により D17 株において *thm* 遺伝子群が 1, 4-ジオキサン分解に関わることを強く示唆する結果を得た。また、この知見を利用して開発した *thmC* 遺伝子をターゲットとする real-time PCR システムにより D17 株を特異的かつ高感度に検出することに成功し、実証試験設備に用いた D17 株の定量モニタリングツールが開発されたものと言える。さらには、*thm* 遺伝子を含む SDIMO 遺伝子を標的とした PCR システムにより、1, 4-ジオキサン分解ポテンシャル評価を評価可能であることを見いだした。以上のことから、本研究では、今後のバイオレメディエーション技術の開

発ならびに実施において大いに貢献する 1,4-ジオキサン分解菌モニタリング技術の基盤が構築できたものと言える。

## (2) 環境政策への貢献（研究者による記載）

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

これまで、1,4-ジオキサン汚染に対して、高エネルギー消費・高コストとなるオゾンと紫外線による促進酸化法（AOP）を除いて浄化法が存在せず、特に様々な夾雑物質を含み、処理すべき量も膨大な土壌／地下水汚染については非常に困難であった。本研究において、系統的にも分解様式的にも多様な 1,4-ジオキサン分解菌のライブラリを構築することができ、さらに、1,4-ジオキサン汚染環境のオンサイトリアクターあるいはバイオオーグメンテーションによる浄化に有望な数株の 1,4-ジオキサン分解菌を提示することができた。特に、D17 株については、他の汚染物質が共存する場合でも 1,4-ジオキサン分解活性を維持できることが確認され、様々な特性をもつサイトにおける 1,4-ジオキサン汚染の浄化に活用できると考えられる。実際に、青森・岩手県境不法投棄現場に設置した実証設備は、1,4-ジオキサン汚染地下水を用いた試験において高い性能を発揮しており、1,4-ジオキサンによる土壌／地下水汚染の浄化の現実的な対策となりうると期待される。我々の調査だけでも国内において公表されている 1,4-ジオキサンによる地下水汚染現場は 4ヶ所あり、潜在的にはさらに多くの汚染現場が存在する可能性がある。本研究により現実的な汚染対策技術が開発されれば、公表されている汚染現場の浄化への貢献のみならず、新たな汚染現場の発見と浄化の促進にも貢献できるものと期待される。我々は、学会発表などの学術的な公表のみならず、新聞報道などによる一般向けの情報発信も積極的に行うことで成果の普及に努めており、国内外で発生している 1,4-ジオキサン汚染問題の解決と、汚染に伴う健康被害の未然防止に貢献することを目指している。

## 4. 委員の指摘及び提言概要

1,4-ジオキサンの処理に有用な菌株を同定し、生物学的 1,4-ジオキサンの除去技術への基礎的知見を見出して、模擬排水、汚染土壌抽出成分を含む排水などを利用した処理実験および汚染土壌の浄化に関する検証を行い、処理及び浄化の可能性を示した。低コストの処理法の実用化に近づく成果をあげたと評価できる。ただし、連続流実証実験ではいくつかの課題が解決されておらず、目的に掲げた広範囲にわたる土壌や地下水汚染に対し、経済的に見合う手法であるか否か不明確である。

## 5. 評点

総合評点：A