

## 乞うご期待！小さな地球の掃除屋さんの活躍

森 美穂

地球が動植物の死骸でいっぱいにならないのはなぜだろう？ヒトがどんどん作り出して、使用している化学物質が蓄積しないのは誰のおかげだろう？肉眼では確認できない微生物という『小さな地球の掃除屋さん』の能力が再注目されている。

生物による環境修復技術をバイオレメディエーションといい、多くの場合は浄化能力を有する細菌、アーキア、菌類などの微生物（以下、浄化微生物）が利用されている。リン・窒素などの栄養塩や酸素などを汚染現場に導入するなどして、元々その場所に生息していた浄化微生物を増殖・活性化する技術をバイオスティミュレーション、浄化微生物を大量に培養し、それらを積極的に汚染現場に投入する技術をバイオオーグメンテーションという。前者は生態系への影響が少ない印象があり、社会的同意を得やすいが、優れた浄化微生物が存在しない場合は効果がなかったり、浄化するのに長期間かかったりする。後者は浄化の効率化が期待され、投入エネルギーや浄化コストを低く抑えることができるが、社会的同意が得にくい。

国内では、微生物を用いたバイオオーグメンテーションによる環境浄化の安全性の確保に関して、環境省と経済産業省が共同で「微生物によるバイオレメディエーション利用指針」を示している<sup>1)</sup>。ヒトと生態系へのリスクについての確認要件として、導入菌株自身の病原性と環境利用による生態系影響の確認があげられている。内容の一部を抜粋すると、浄化微生物は天然微生物（非遺伝子組換え微生物）とそれらの複合系に限り、細菌の場合だと16S rRNA 遺伝子配列（1000塩基以上）をデータベースと比較し、98.5%以上の類似性から菌株名を判定し、既知の病原性細菌情報と照合して病原性が認められないものを利用することになっている。また、適用可能な環境は限定された作業区域が設定可能なもの限り、土壌や地下水などが該当し、海洋には利用できないとされている。

2005年3月に本指針が告示されてから2018年3月まで、利用指針に適合した浄化事業計画は10件と非常に少ない。確認を求めることに法的な義務もなく、浄化事業計画が指針に適合しているかどうかの確認には、かなりの時間と手間・コストがかかるため、多くは適合確認なしで行われている現状である。バイオスティミュ

レーションに関しては、いまだ明確な実施方法や評価方法などは示されていない。

高畑の総説に国内外のバイオレメディエーションの研究例や実施例が紹介されている<sup>2)</sup>。国内における実施例は少なく、現在はバイオスティミュレーションを中心に行われている。バイオオーグメンテーションでは、微生物製剤を用いて、給油所や工場跡地、住宅地や公園における土壌や地下水のガソリンなどの燃料油やその成分であるベンゼン、トリクロロエチレンなどの炭化水素系溶剤の浄化が実用化されている。

世界最大の化学物質データベースであるChemical Abstract Service (CAS) REGISTRYの登録数は2018年3月現在で1億3800万を超えている<sup>3)</sup>。その中で工業的に製造されて世の中に流通しているものは約10万種類といわれており、これらの化学物質の一部は、意図的、非意図的に環境中に排出され、環境汚染物質としてヒトの健康や生態系に及ぼす悪影響が懸念されている。今後も、国境や海を超えて、低濃度で広範囲にわたって拡散している環境汚染物質対策として、低コスト・低環境負荷である微生物の浄化能力を利用したバイオレメディエーションが期待される。

これまでに、環境中に導入した浄化微生物の実験室における浄化能力や、環境中に導入した後の浄化微生物の挙動（菌数、酵素活性や遺伝子発現量の変化など）を調査した報告例は多く存在するが、導入された場所の微生物群の変化について調査している例はまだ少ない。最近では汚染現場の微生物群を解析する手法として、次世代シーケンサーを用いたメタゲノム解析なども行われるようになってきたが<sup>4)</sup>、もっとバイオレメディエーションで『小さな地球の掃除屋さん』に活躍してもらうためには、低コストで簡便な評価方法の確立が必要である。また、実績の多い微生物農薬や、これまで経験的に使用されてきた微生物資材などの環境中での挙動や、環境影響の科学的知見の集約なども重要だと思われる。

- 1) 環境省：<https://www.env.go.jp/air/tech/bio/02.html> (2018/3/16)
- 2) 高畑 陽：環境バイオテクノロジー学会誌, **13**, 19 (2013).
- 3) 米国化学会：<http://support.cas.org/content/chemical-substances> (2018/3/16)
- 4) Bouhajja, E. *et al.*: *Biotechnol. Adv.*, **34**, 1413 (2016).