

バイオ凝集剤のあれやこれや

柏 雅美

近年、世界的な水不足への懸念に加え、度重なる大災害の経験から、簡便かつ安全に環境水中の懸濁質を沈殿させ、清澄化することで飲料水に変換する技術の重要性が増している。

水中の懸濁質は、 10^{-9} ~ 10^{-7} mの小さなコロイド粒子が互いに表面のゼータ電位(負の電荷)により反発し合っ
て分散し、いつまでも沈殿せずに浮遊した状態になっている。ここへ凝集剤と呼ばれる正の電荷を持った薬剤を添加すると、負の電荷が中和され、ファンデルワールス力により粒子同士が互いに接着を始める(凝結)。その後、凝結した粒子が成長して大きなフロックを形成し、これを沈降させることにより、水中より懸濁質を除去することができる。凝集剤は、上水、下水、食品、土木などの水処理工程で幅広く利用されており、日本国内だけでも年間300億円という大きな市場を形成している。

凝集剤は、 Al^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} などの多価カチオンを含む無機系、ポリアクリルアミドなどをベースとする合成高分子系、およびバイオ凝集剤に大別される。化学系凝集剤は、低コスト(無機系:数十円~数百円/kg, 合成高分子系:数百円~数千円/kg)で高い凝集性能を持つため、市場では圧倒的なシェアを占めている¹⁾。しかし、無機系凝集剤の使用に伴い発生する大量の金属含有汚泥は、農地還元などができないため埋め立て処分するほかなく、資源循環の観点で課題を残している。また、合成高分子系凝集剤は難分解性で環境残留性が高いだけでなく、ポリアクリルアミドに含まれるアクリルアミドモノマーは神経毒性や発がん性を有することが知られており、安全性が懸念されている。

一方でバイオ凝集剤は、生分解性を有するため環境に残留せず、生体に無害であるだけでなく、フロックを架橋して沈殿を促進する優れた特性を有する。海藻類から抽出されるアルギン酸、カニなどの甲殻類から製造されるキチン・キトサンなどが代表的なバイオ凝集剤であるが、一般的に高コスト(数千円~数万円/kg)で資源量・生産量に限りがあるため市場供給率は低い。

そこで注目されているのが、細菌によるバイオ凝集剤の生産である。これまでに報告されているバイオ凝集剤生産菌の多くは、糖を基質として、ヘテロ多糖やヘテロ

多糖を含む糖タンパク質、ポリガラクトuron酸などを主成分とした凝集剤を生産するもの²⁾である一方で、TKF04株³⁾をはじめとするいくつかの*Citrobacter*属細菌は酢酸やプロピオン酸を基質としてキチン・キトサン様の凝集剤を生産することが報告されている。これらの低級脂肪酸は有機性廃水の嫌気性消化などにより容易に調製できるため、廃液処理と有用物質生産の低コスト化という二つの問題を同時に解決できる可能性がある。Kimura⁴⁾らは、バイオ凝集剤生産能力が*Citrobacter*属細菌に共通した性質であることを推定し、分譲機関から取得した*Citrobacter*属細菌36株の凝集活性を調べたところ、うち21株が凝集活性を示した。これら36株の16S rRNA 遺伝子配列による系統解析を行った結果、興味深いことに、凝集活性を持つ株のうち20株を含むクラスターと、残る1株を除いて凝集活性を持たない株で形成されるクラスターとに二分されたことから、凝集剤生産能は細菌の系統と強く関連することが示唆された。高い凝集活性を示した5株について、それらが生産する凝集成分を同定したところ、いずれも平均分子量 1.66×10^6 以上のキチン・キトサン様ポリマーであった。

一方、バイオ凝集剤の用途として、バイオ燃料生産のための藻類バイオマス回収への適用が検討されている。Ndikubwimana⁵⁾らは*Bacillus licheniformis* CGMCC2876株の生産する凝集剤により、200 Lのパイロットスケールプラントでのバイオマスの98%以上の回収効率を得ることに成功している。このように、無害で生分解性を持つバイオ凝集剤は、懸濁質の除去ではなく有価物の回収を目的とする場合にも非常に有用であり、安全性と環境適合性が特に重視される現代において、適用先がさらに開拓されていくものと期待される。

- 1) シーエムシー出版 編集:2012年 水処理・水浄化・水ビジネスの市場, シーエムシー出版 (2012).
- 2) Xiong, Y. et al.: *Appl. Environ. Microbiol.*, **76**, 2778 (2010).
- 3) Fujita, M. et al.: *J. Biosci. Bioeng.*, **89**, 40 (2000).
- 4) Kimura, K. et al.: *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, **97**, 9569 (2013).
- 5) Ndikubwimana, T. et al.: *Biotechnol. Biofuels*, DOI: 10.1186/s13068-016-0458-5 (2016).