

活性汚泥のバルキングと糸状性細菌

新田見 匡

活性汚泥とは活性を持った好気性微生物群により構成される有機性の浮遊物質の総称である。微生物の主体は細菌であり、細菌の分泌する細胞外高分子物質などにより、浮遊物質は数十 μm ～数 mm 程度の塊（フロック）に凝集している（図1）。下水処理場など多くの廃水処理施設では、この活性汚泥を利用した処理方法（活性汚泥法）により廃水処理を行っている。活性汚泥法は100年の歴史のある制御性に優れたシステムである¹⁾。しかし処理の最終工程（沈殿）で発生する活性汚泥と処理水との固液分離の障害は、未だ解決されない厄介な課題である。

固液分離障害の原因の一つに「糸状性バルキング」がある。これは糸状性の細菌（図1）の増殖により、沈殿した活性汚泥の体積が増加する現象である。糸状性バルキングの機構については、①糸状性細菌がフロック内部で増殖すると、フロックは隙間の多いゆるい構造となって内部に多くの水を含む、②糸状性細菌がフロック外部に伸長して増殖すると、沈降時のフロック同士の凝集や沈殿汚泥の圧密が阻害される、といった説明がなされている¹⁾。深刻な糸状性バルキングが発生すると、活性汚泥は沈殿池の上部まで堆積し、処理水である上澄みとともに大量の活性汚泥が流出してしまう。かつては糸状性細菌が一定量（閾値）を超えると活性汚泥の沈降・濃縮性が急激に悪化すると考えられていた。しかしSchulerとJassbyは既往の論文のデータを整理し、実際には糸状性細菌の増加にはほぼ比例して活性汚泥の沈降・濃縮性が悪化することを報告している²⁾。

バルキングの原因となる糸状性細菌を特定するため、これまで多くの研究が行われてきた。河野らの総説によると、1980年代までは分離培養法や顕微鏡観察に基づく形態分類法を使った研究が主流であった。しかし活性

汚泥から分離培養できる細菌は限られること、また類似の糸状形態を示す細菌が系統的には異なることなど、それらの手法には複合微生物系を解析するうえでの問題があった。そこで1990年代後半以降、Fluorescence *in situ* hybridization (FISH) 法を用いた研究が行われるようになった³⁾。

FISH法は蛍光試薬で標識した20塩基程度のオリゴヌクレオチドプローブを標的の細菌のrRNAとハイブリダイゼーションさせ、蛍光顕微鏡で観察する方法である。この方法により、分離培養をせず、系統のかつ形態的に、フロック内部に存在する場合であっても、活性汚泥中の糸状性細菌を特定することが可能となった。FISH法を使った既往の研究のレビューによると、都市下水処理の活性汚泥では、“*Candidatus Microthrix parvicella*”や*Chloroflexi*、工業廃水処理の活性汚泥では*Alphaproteobacteria*や*Thiothrix*に属す糸状性細菌が、バルキング原因細菌として上位にあがってくるようである⁴⁾。FISH法はまたmicroautoradiography法やメタゲノム解析と併用することで、分離培養を行わずに糸状性細菌の代謝活性を調べる手段となる。最近の研究において、McIlroyらはヨーロッパの都市下水処理施設から*Chloroflexi*門の未培養の系統に属す新たなバルキング原因糸状性細菌を検出し、その基礎的な代謝モデルを明らかにしている⁵⁾。

既存のバルキング対策は、活性汚泥への次亜塩素酸ナトリウムの添加など、活性汚泥微生物全体が対象となってしまう非特異的なものであった。そのため原因の糸状性細菌が期待通りに減らず、バルキングが解消されないことや、リンや窒素の除去を担う細菌群の活性が抑制され、廃水処理能力が低下するといった副作用を伴うこともあった⁶⁾。今後はバルキングの原因となる糸状性細菌の代謝情報を活用し、原因細菌に特異的に作用する薬剤を投与するなど、新たなバルキング対策を確立していく必要があるだろう。

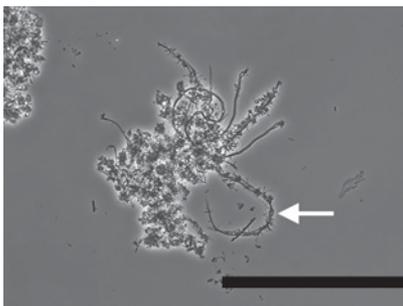


図1. 活性汚泥フロックの顕微鏡像。図中の矢印は糸状性細菌を指す。スケールバーのサイズは100 μm 。

- 1) Jenkins, D. and Wanner, J.: Activated sludge 100 years and counting, IWA publishing (2014).
- 2) Schuler, A. J. and Jassby, D.: *Water Res.*, **41**, 4349 (2007).
- 3) 河野哲郎：用水と廃水, **48**, 61 (2006).
- 4) Seviour, R. and Nielsen, P. H.: Microbial ecology of activated sludge, IWA publishing (2010).
- 5) McIlroy, S. J. *et al.*: *ISME J.*, **10**, 2223 (2016).
- 6) 中村慈実, 佐藤直之：下水道研究発表会講演集, p. 896 (2016).