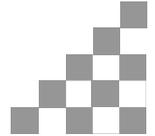


## エッセイ

奥野 長晴

滋賀県立大学名誉教授



かつて、活性汚泥法による下水浄化の過程を方程式で表現することが下水道研究の主力であった。一度、これに成功すると、下水浄化の過程を科学したことになり、処理条件の変更と下水浄化との関連が予測できるからである。これが活性汚泥法を自動制御するための前提条件でもある。活性汚泥法をミクロに見れば、下水中の有機物が微生物の体内でステップバイステップ式に長分子から短分子の物質に分解し、ついに炭酸ガスと水に分解して、下水の浄化が完了。—そうだとすれば、活性汚泥法による下水浄化は酵素反応と同じではないか。ミカエルスメンテンの酵素反応式は、理論的に明快であったので、これが研究の方向を示す道標となり、多くの研究者が続いたのである。彼らは飽くことなく実験を繰り返し、そこから得たデータから実験的に反応係数を決定し、数式モデルの完成度を高めたと信じていた。しかし、いずれも実用からおよそ縁遠いものであったのである。このような試みが、その後数々の悲劇と喜劇を生むことになる。その代表例が、数式モデルに基づいて、活性汚泥法を自動制御する試みである。このモデルでは反応時間(水量)と MLSS を独立変数、BOD 除去率を目的変数としていた。人為的に操作可能な唯一の因子として、エアレーションタンク中の MLSS 濃度を選び、これを制御することにより BOD の除去の制御を意図した。すなわち水量増加に伴う反応時間の不足は、MLSS の増加で補えると無意識に仮定していた。その結果、空気量の節減など副次的な効果を得たが、その多くは BOD 除去率の向上と言う当初の目的を達成できなかった。下水処理の経験が増え、データの蓄積が進むに従い、原水 BOD 濃度が 200mg/l 程度の都市下水の場合、反応に与る微生物の量と反応時間の積(濃度時間積)の広い範囲に渡って、BOD 除去率は、ほぼ一定であることがわかってきた。

このことは、この程度の濃度の基質に対しては、MLSS も反応時間も(すなわち生物の代謝速度は)下水浄化の律速にならないことを物語っている。代謝速度律速が前提の下で導かれた数式を都市下水の浄化プロセスに適用することは、はじめから無理な相談であったのである。

同じことが混合液の溶解性酸素濃度についても当てはまる。典型的な都市下水を原水とし、MLSS 濃度が、2000mg/l 程度の完全混合形小型パイロットプラントでは、混合液の溶解性酸素濃度をいくら高めても、BOD の

除去率が一向に変化しない。このことから、溶存酸素濃度は生物反応に何ら影響を与えないと早とちりしてしまった。溶存酸素濃度が BOD 除去の律速因子でない系においては、こんなことは当然であるにもかかわらず、「何が律速か」との考察の欠落が、このようなミスの原因である。これが純酸素活性汚泥法に対する偏見となり、日本国内での普及にブレーキをかけた。

都市下水処理においては、浄化すべき有機物(基質)濃度が低いので、反応に与る微生物の細胞膜を基質が通過する速度(拡散速度)が、下水中の BOD 分解の律速因子になる。この速度は生物固有のもので、濃度時間積など人為的な操作によって大幅に変えることはできない。逆にそんなことを当てにして下水処理場を設計したとしても、一日に万トンオーダーの下水を処理する現場では対応不可能である。意識していた訳ではないが、拡散速

度律速のおかげで、高度な自動制御を用いなくとも、流入水量や原水 BOD 濃度の変動が吸収でき、下水処理場を安定して運転できる。

一方、標準エアレーションタンクの設計の尺度として設計基

準は BOD・MLSS 負荷の範囲を 0.2–0.4 としている。その理由はどの参考書にも記載されていない。BOD・MLSS 負荷がこの範囲にあると、第 2 沈殿池における固液分離が良好との経験的事実に基づくと考えてよい。つまり無意識のうちに、固液分離を律速として、エアレーションタンクの大きさを決めているのだ。

さて、生物的窒素除去が成功するかどうかは、硝化を十分達成できるかで決まる。アンモニアの酸化、すなわち硝化はアンモニア濃度のゼロ分子反応であると多くの研究者は報告している。これは硝化プロセスが生物の代謝速度律速にあることを示している。したがって、硝化を完了するには反応に与る微生物の量を確保し十分な滞留時間を必要とする。したがって、硝化菌のウォッシュアウトを防止するに十分な長さの SRT の確保が硝化プロセス設計のキーになる。浮遊生物を用いると、汚泥の返送率を高め、反応タンクの容量を大きくするなど、BOD 除去から見ると、まるで無駄なプロセスにせざるを得なかったのである。硝化を担う微生物が付着するための個体表面を提供し、SRT を見掛け上、無限大にする。このようにして、系を代謝反応速度律速の外側に保つことが硝化プロセス安定の要諦というものである。

### 活性汚泥法自動制御の愚行