受賞記念講演

生物的リン除去法

——その機構の現状と問題点*

深瀬 哲 朗

1975年7月、南アフリカのJ. Barnardは、Institute of Water Pollution Control 南アフリカ支部の月例会で、活性汚泥法によるリン除去について1つの提案を行った¹⁾。それは、活性汚泥プロセス中に硝酸性窒素を含まない嫌気性のゾーンを設けることにより、凝集剤を添加することなくリンを除去することができる、というものであった。また、これより約9カ月遅れて、アメリカ合衆国 Air Products and Chemicals 社の M. Spector は“Production of non-bulking activated sludge”と題する特許を出願した²⁾。この中で彼は、酸化態窒素($\text{NO}_x\text{—N}$)を実質的に含まない嫌気性条件下で返送汚泥と被処理水を混合することにより、沈降性にすぐれるのみならず、リン含有率の高い汚泥を生成することができる、と記述している。

これらの提案、および特許は、表現に多少の差はあるものの、活性汚泥プロセスによるリン除去における NO_x を含まない嫌気性ゾーンの重要性を指摘した点で共通している。それまで、1960年代から70年代初めにかけて、アメリカ合衆国のいくつかの下水処理場で観察された“意図せざるリン除去現象”を解明するため、生物的な面、および化学的な面から数多くのアプローチが行われていた。それにもかかわらず、 NO_x を含まない嫌気性ゾーンの重要性を強調した例は数少ない。その意味では、J. Barnard の提案、および M. Spector の特許出願は1つのbreak throughであった、と言えよう。

以後、 NO_x を含まない嫌気性ゾーンを設けた活性汚

泥プロセス（以後、嫌気・好気法と呼ぶ）は、南アフリカ、アメリカ合衆国を中心に、わが国においても多くの検討が行われてきた。その結果、本プロセスのリン除去効果については、少なくとも対象を下水に限定した場合、確認された、といってよい段階にある。これに対して、リン除去機構、とりわけ、 NO_x を含まない嫌気性ゾーンの意義に関しては、その重要性が主張されて以来、10年近い年月が経過したにもかかわらず、ほとんど解明されていないといってよいと考える。

筆者らの研究は、嫌気・好気法の機構解明を目的として行われた。本格的に研究に取り組んだのは1978年であった。当時は三次処理技術に対する関心がきわめて高く、当社においても2、3の検討を行っていた。すなわち、生物処理の分野では硝化脱窒プロセスであるステップ脱窒法³⁾、鉄塩による凝集と活性汚泥を組み合わせたバイオフィリック法⁴⁾等である。特にリンに関しては、活性汚泥プロセスにおけるリンの挙動を運転管理のパロメーターとすることを目的に、活性汚泥のリン摂取、放出に関する研究を、すでに1966年に行っていた⁵⁾。嫌気・好気法によるリン除去についても、これら数々の研究の流れから、当然のこととして検討を開始した。以後、1年半の研究の結果が“生物的リン除去法の機構に関する基礎的検討”である。嫌気・好気法で過剰に摂取されたリンは、汚泥中にポリリン酸として蓄積される、嫌気槽では原水中の有機物が大部分除去され、一方、汚泥中のポリリン酸が加水分解されて、生成した正リン酸が液中へ放出される、嫌気槽で除去された有機物のうち、少なくとも一部はPoly- β -hydroxybutyrate (PHB)やグリコーゲンとして汚泥中に蓄積される等、今では常識となっている知見もほとんど明らかにされておらず、検討の課題は嫌気・好気、それぞれの槽における有機物とリンの挙動を追跡することであった。その間の研究の成果は、嫌気槽で汚泥に吸収された有機物量と汚泥中のポリリン酸の加水分解量に比例関係があることを示した点であると考えている。

この点を合理的に説明する考え方を初めて提示したのは、M. Spector であろう。彼は、嫌気槽でリンの放

Tetsuro Fukase

昭和47年大阪大学工学部醸酵工学科卒、同研究生。48年栗田工業(株)総合研究所

* Biological phosphorus removal——To focus on its mechanism, 昭和59年3月21日受理

出と同時に原水中の有機物が除去されることに着目して、汚泥中のポリリン酸が嫌気性条件下での有機物吸収にエネルギーを供給する、と考えた。すなわち、嫌気槽における有機物の減少とリンの放出に比例関係があるのは、菌の有機物摂取に際してその量に見合う分のポリリン酸が加水分解される、と考えることにより説明できる。そして、嫌気・好気法におけるリン除去機構を次のように推定している。すなわち、ポリリン酸を蓄積できない通常の細菌は、 NO_x を含まない嫌気槽ではエネルギーを生成できないため、有機物を摂取できない。したがって、返送汚泥を NO_x を含まない嫌気槽で原水と混合することにより、ポリリン酸を蓄積できる細菌が有機物摂取という点で有利となり、活性汚泥中の優先種となる。すなわち、嫌気槽は、ポリリン酸を蓄積する細菌の選択槽であり、その結果、廃水中のリンが除去され汚泥のリン含有率が上昇する。この考え方は、筆者らの実験結果を合理的に説明しており、少なくとも現状では、嫌気・好気法におけるリン除去機構を解明する上で中心的な仮説であると言える。

しかし、この考え方にも異論はある。第一は、菌種選択の問題である。嫌気槽を設けても菌相は変化しない、という報告⁶⁾や、標準活性汚泥法で生成した汚泥を用いて嫌気・好気法の運転を開始すると、汚泥が入れ替わるより前にリン除去が起こる場合が多い(下水の場合)、嫌気・好気法で生成した汚泥であっても、嫌気槽を取り除くとすぐにリン除去が停止する等である。これらの報告は、リン除去のために必ずしも菌相の変化が必要ではないこと、およびポリリン酸蓄積性細菌が集積されていても、嫌気槽がなければリンが除去できないことを示しており、 NO_x を含まない嫌気性という環境条件の重要性を示唆している。すなわち、活性汚泥を構成する細菌の多くは、 NO_x を含まない嫌気性条件下で原水と混合されることによりポリリン酸を蓄積できるようになる、という可能性も残されている。さらに、ポリリン酸蓄積性細菌として、*Acinetobacter*という報告が数多くなされているが、*Acinetobacter*は絶対好気性細菌であり、脱窒槽におけるリン摂取現象を説明できない。

第二の点は、ポリリン酸が果たして本当にエネルギー源として作用しているかどうか、ということである。ポリリン酸が直接有機物に活性リン酸を供給する反応、もしくは、ATPを介する反応の2通りの可能性があろうが、いずれにしても、酵素面からの研究がほとんど行われていない現状では、ポリリン酸エネルギー源説の正否は不明である。また、この点に関連して、嫌気・好気法の運転を行っていれば、特に顕著な

リン除去反応を示していない汚泥においてもリンを放出せずに嫌気性下で有機物を吸収する、という現象が報告されている⁷⁾。筆者らも、合成廃水を用いた実験で同様の現象を経験した⁸⁾。その際、汚泥中に吸収された酢酸は、ポリリン酸を加水分解して吸収した酢酸と同じ割合でPHBに合成されていた。このことは、ポリリン酸の蓄積が必ずしも NO_x を含まない嫌気性下における有機物の吸収、およびPHBの合成に必須の条件とはならないことを示していると共に、他に何らかの方法によりエネルギーを生成する機構の存在する可能性さえ考えさせるものである。したがって、たとえポリリン酸がエネルギー源として作用しているとしても、ポリリン酸を蓄積できない細菌が嫌気槽で同じように有機物を吸収するのでは、ポリリン酸蓄積性細菌は優先種とはなり得ないことになる。嫌気槽は、ポリリン酸蓄積性細菌の選択槽ではなくて、“ NO_x を含まない嫌気性条件下で有機物を吸収できる細菌”の選択槽としてしか作用しないであろう。

以上、嫌気・好気法におけるリン除去機構に関して、その現状と問題点を、筆者の私見を中心に述べた。本プロセスの原理機構はほとんど未解明である。その機構を解明することは、単に安価なリン除去技術を提供するにとどまらず、混合培養系における菌種選択の問題、BODの除去と菌の増殖に関する動力学的な問題等、従来の活性汚泥法の枠を一步踏み越えた、新しい視野を与えるものと確信する。

引用文献

- 1) Barnard J.L. (1975), "Biological Phosphorus Removal in the Activated Sludge Process —Review and Proposals" Paper presented at the South Africa Branch of the Institute of Water Pollution Control, July 17
- 2) Spector M.L. (1976), "Production of non-Bulking Activated Sludge" U.S. Patent No. 4,056,465
- 3) Miyaji Y., Iwasaki M., and Sekigawa Y. (1980) "Biological Nitrogen Removal by Step-Feed Process", Proc. of the IAWPR 10th International Conf. at Tront
- 4) Mukai T., Kitao T., Kato K., and Kuriyama M. (1974) "Bioferric Process for Advanced Treatment of Sewage", Proc. of the IAWPR 7th International Conf. at Paris
- 5) Sekikawa Y., Nishikawa S., Okazaki M., and Kato K. (1966), "Release of Soluble Ortho-Phosphate in the Activated Sludge Process",

Proc. of the IAWPR third International Conf. at Munich

- 6) Toerien D.F., Vuuren H.J.J., Sadie D.N., and Tracey R. P. (1979), "The Influence of an Anaerobic Zone in Activated Sludge Systems on the Bacterial Population Structure" Water SA 5 (3) pp.109—113,

- 7) 松尾吉高, 田中俊博, 北川政美, 宮晶子 (1982), "生物脱リン法——嫌気・好気法——のし尿および下水への適用" 第18回衛生工学研究討論会講演集
8) Fukase T., Shibata M., and Miyaji Y. (1984), "The Role of an Anaerobic Stage on Biological Phosphorus Removal Paper presented at the IAWPRC to be held in Amsterdam

せせらぎ

幻の湖, 新霽しんみお

春の彼岸も過ぎる3月21, 22の両日, 伊豆諸島の三宅島にYS-11機で渡った。三宅島の噴火については記憶に残る人もあろうが, 昨年10月3日午後3時35分に突如として大爆発が起こった。昭和37年の噴火から21年目である。三宅島は富士火山帯に属するが, 大方の噴火傾向は休火山でも火口から突出するものが多いのに反し, 本島の場合は島の中心に位置する814mの雄山の南西側中腹で帯状に噴火しているのが特異的である。ハワイ島のそれに類似している。

私が最初に三宅島を訪れたのは, 13年前の1971年であるが, ここにはあまり知られていない湖が2つ(大路池, 新霽池)あった。昔から離島の飲料水確保は深刻な問題であるが, 三宅島では天水(現在でも雨水は多く使われている)と大路池の水を飲用に供していた。ところが富栄養化の進行で池水にカビ臭が発生するようになり, この原因究明を依頼されたのが私と三宅島との付き合いの始まりである。その後, いろいろな人達の協力のもとに20回ほど調査に出向いた。観測基地にした民宿の老夫婦にはそのたびに島焼酎やくさを御馳走になり, 夜更けまで島や湖の様子など話し合ったものである。調査を進めるうち, 大路池のカビ臭発生はアクチノマイセスに起因しているとの結論を出した。幸い同時に進めていた地下水の試掘はガリオネラの多量出現で断念した井戸もあったが, 現在では水量

的に池水を使わなくてもすむようになっている。この大路池は噴火後も健在であるが, 多量の高熱火山灰で周辺はすべて枯れ木となってしまった。もう一方の新霽池は水色がプランクトンによって日に7回も変化すると言われたほど神秘的な存在であり, 周囲は椎をはじめ, 松, 椿, 柘植などがうっそうと繁茂し, 湖に近づくことは容易でなかった。ところが今回の噴火でその様相は一変し, 溶岩の流出こそないが, 水蒸気爆発という想像を絶するエネルギーが瞬時にして湖を壊滅状態にしてしまった。巨大な岩石が吹き飛ばされ, 膨大な降灰, 土砂は36mの水深を誇ったあの汽水湖を埋没させて, 赤茶けたただの窪地と化した。広大な常緑樹林はすべて立ち枯れ木となり, 以前の面影はまったく消失してしまった。

溶岩の流出はおもに阿古集落を襲って多くの民家, 学校等を埋めて荒野のように広がっているが, 不幸中の幸いと言ふべきか, 湖周辺はこの害を免れた。バードアイランドの別名を持つ三宅島は230種もの鳥類の楽園であったが, 彼等の騒々しいほどのさえずりもほとんど聞かれない。

年月が経過すれば, あの窪地にも水が溜まるであろうが, 緑が復元するのは何年先のことであろう。バンドン採水器を何回となく苦勞して引き上げたあの幻の新霽池を, 今は写真で見比べながら回顧している。

(東京都立衛生研究所 松本淳彦)