

窒素除去にかかわる複合微生物生態系の構造と機能の解析

岡部 聡（北海道大学大学院工学研究院環境工学部門・教授）

この度は名誉ある日本水環境学会学術賞を授与いただき大変光栄に思います。関係する皆様方に心より感謝申し上げます。私は、微生物の研究をするのであれば土木屋であろうが何であろうが、自分の行っている研究が土木環境工学分野のみで通用するいわゆる「お気軽論文」ではだめで、微生物分野の専門家を納得させ引用されるような論文を書くことを心掛けて研究を行ってまいりました。今回受賞対象となった窒素除去にかかわる複合微生物生態系の構造と機能の解析は、私が米国の大学で Ph.D を取得し宮崎大学に赴任した 1993 年に着手した研究テーマです。複合（廃水处理）系バイオフィーム内の硝化細菌の空間的分布とその機能に着目し、バイオフィームを生きのまま深さ（z 軸）方向にマイクロスライサー[®]で切片化し、MPN 法で硝化細菌数および従属栄養性細菌数を定量し、深さ方向の生菌数分布を当時としては初めて測定することに成功しました。この実験結果を自信を持って Water Research 誌に投稿しましたが、結果はなんと“Rejection”でした。理由は、環境中のほとんどの微生物は培養困難であるため、培養に基づく解析手法では硝化細菌等の真の空間分布やポピュレーションダイナミクスは明らかにできないということでした。1990 年代、培養に依存しない分子生物学的手法が急速に発展しており、反論の余地はありませんでした。そこで、分子生物学的手法とバイオフィーム内 *in situ*（原位置）における微生物の機能解析法（マイクロセンサー技術）を同時に学ぶために、Dr コース時代の同僚を頼ってドイツのマックスプランク海洋微生物研究所に 3 ヶ月間自ら修行に行きました。振り返るとこの 3 ヶ月間は私の研究者人生にとって非常に貴重で大きな転換点となりました。微生物の研究をするなら微生物の土俵で勝負し、彼らに評価されなければならないと改めて決心をしました。でもこの 3 ヶ月間は精神的・体力的にも本当に厳しく、体重が大幅に減少したことを記憶しています。

北大に戻り新たに習得した分子生物学的手法（Full-cycle 16S rRNA アプローチなど）やマイクロセンサーを用いて、これまで手掛けていた複合系硝化細菌バイオフィームの研究を開始しました。しかし、当時、私が所属していた研究室は物理化学的水処理を主体とする研究室であり、生物系の実験設備はほぼゼロの状態でした。必要な実験機器・施設の整備からのスタートとなり大分難儀をしました。それから 2 年後の 1999 年に、やっと複合系バイオフィーム内の硝化細菌の空間的分布とその機能に関する実験結果をまとめることができ、当時我々土木屋の目標であった Applied and Environmental

Microbiology (AEM) 誌に初めて論文を掲載することができました。インターネットがないこの当時、AEM への投稿はすべて Air mail で行っており、査読結果を一日千秋の思いで毎日郵便ボックスを覗いていたこと、封筒が届き“Accept”の文字が目飛び込んできた時のことを今でもはっきり覚えています。

複雑な微生物群集内の様々な培養可能および培養不可能な微生物の系統学的同定とその機能を解析するためには、異なる空間的（分子レベル、細胞レベル、群集レベル）・時間的解像度でその場（*in situ*）で解析する多相的アプローチ（複数の分子生態学的手法とマイクロセンサーを組み合わせる）ことが重要であると考えました。具体的には、古典的な回分培養実験、複数種のマイクロセンサー、蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション（FISH）、FISH と組み合わせたマイクロオートラジオグラフィ（MAR-FISH）法、安定同位体プロービング（SIP）法、各種オミックス解析などの組み合わせです。これらの技術開発や応用研究は、佐藤久氏（現北大教授）、伊藤司氏（群馬大学准教授）、金田一智則氏（広島大学准教授）らが中心になり積極的に実施してくれました。連日夜遅くまで休日返上で（家庭を犠牲にして）研究をしていましたが、純粋に毎日が楽しかったです。

さらに、これまでに報告された嫌気性アンモニア酸化（アナモックス）細菌の 5 属のうち 4 属（*Brocadia* 属、*Kuenenia* 属、*Jettenia* 属、*Scalindua* 属）の集積培養に成功し、その基礎的な生理生態学や動力学的解析を行うことができました。現在、4 属の高度集積培養系を保有しているのは世界で唯一我々のみであり、アナモックス細菌研究の世界的リーダーであると自負しています。

複雑な微生物群集の構造と機能を理解することは、生物学的廃水处理プロセスの重要なテーマである、と主張しながら研究を行ってまいりましたが、こうした研究の真の社会的重要性に関しては正直疑問を感じていました。そうした中、我々のアナモックス細菌の基礎的な生理生態学的研究成果を基に韓国企業と協力し、2022 年に釜山市の下水処理場に韓国初のアナモックスプラント（600 m³ のリアクター 2 基）を建設（現在、稼働中）することができました。私の興味本位の研究が少しは社会実装に貢献できたことをうれしく思っています。

最後になりましたが、これまで私と共に研究を行ってきたすべての博士研究員、博士、修士、学部学生の皆さんおよび研究協力をいただいた方々に深く感謝申し上げます。