

Organic carbon determines nitrous oxide consumption activity of clade I and II *nosZ* bacteria: Genomic and biokinetic insights

寺田 昭彦 (東京農工大学大学院工学研究院・教授)

このたびは榮譽ある論文賞を授与いただきましたこと、選考委員会の先生方、日本水環境学会の関係者の皆様方に心よりお礼申し上げます。

受賞の主要対象論文¹⁾では、排水処理施設の硝化・脱窒反応で副次的に発生する亜酸化窒素 (N_2O) を N_2 に変換する N_2O 還元細菌の単離菌株に着目し、異なる有機炭素源における N_2O 消費に関する動力学的特性を評価しました。高い温室効果と強力なオゾン層破壊能を有する N_2O は、排水処理分野からの排出量が増加の一途を辿っています。その中で、 N_2O 還元細菌に関する研究では、ユニークな種類の発見や、生理学的な機能の解明が進んでいます。本研究では、研究室で分離培養された新たに分類された Clade II タイプの N_2O 還元細菌と、既存の Clade I タイプの N_2O 還元細菌を用いて動力学的評価を行いました。Clade II タイプの N_2O 還元細菌は、利用できる有機炭素源に対して偏向性が強く、酢酸塩やコハク酸塩添加時に N_2O 還元速度が Clade I タイプよりも高くなる一方、メタノールやエタノールに関しては、 N_2O 還元速度が小さくなる傾向を明らかにしました。また、 N_2O 還元酵素の阻害物質である酸素に暴露した後の N_2O 消費活性の回復能力は、Clade II タイプでは有機炭素源により大きく異なることも明らかにしました。並行して行ったゲノム解析により、有機炭素源の嗜好性は、分解に関する機能遺伝子の有無により変わることが確認できました。以上より、Clade II タイプの N_2O 還元細菌の N_2O 削減能力は、限定された有機炭素源のみで発揮されることを示しました。

私たちの研究グループが実施している N_2O 還元細菌の研究は 10 年前に遡ります。 N_2O 還元細菌は、 N_2O 還元酵素のアミノ酸配列により 2 つに分類できることが報告されたことから²⁾、新たに分類された Clade II タイプが N_2O 削減に向けたキープレイヤーになる、という着想に至りました。故 細見正明教授の指導を受けながら、当時博士前期課程の学生であった末永俊和氏 (現: 広島大学大学院助教) と培養装置を開発しました。Clade II タイプの集積化条件を解明し、酸素と N_2O 濃度を微量かつ精緻に追跡可能な呼吸活性装置を用いた動力学的パラメータ同定の方法論を確立したことが主要対象論文の研究の基盤となっており、末永氏の功績なくして、本研究に至ることはなかったと思います。

主要対象論文¹⁾ は、当時南京師範大学の博士後期課程在学中に東京農工大学に特別研究生として在籍した Qi Chuang 氏 (現: 南京財経大学講師) と、博士後期課程の学生であった Yiwen Zhou 氏 (現: 広東省科学院准教授) が、昼夜を問わず粘り強く行ってきた研究成果であり、両氏の努力が結実したものになります。また、本研究成果を

含めた N_2O 還元細菌の生理生態に関する研究を基盤とし、自然界の N_2O 生成・消費といったプロセスの機構解明へ研究を拡張してきました。2 つの関連論文^{3, 4)} では、湖沼の富栄養度がもたらす N_2O 排出の動態や、生活排水処理施設の処理水が都市河川の N_2O 排出量や微生物生態に及ぼす影響を評価したものであり、 N_2O 生成・消費に資する微生物の活性の重要性を明らかにしています。これらの研究では Zhou 氏のハードワークと共著者の密なディスカッションにより研究を成就させることができました。また、主要対象論文、2 つの関連論文の共著者の先生方、紙面の都合で記載しきれない多くの皆様のご指導・ご支援がなければ、これらの論文の成果には至らなかったと考えています。この場を借りまして厚くお礼申し上げます。

水処理から発生する N_2O は、国土交通省が発表している「グリーンイノベーション下水道」の重要課題として挙げられており、水処理工程での N_2O 排出機構と削減対策に資する研究の重要性を示しています。 N_2O の削減を担う細菌群の研究は、生理生態解明から N_2O 削減技術開発まで幅広く、重点的に全世界で展開されています。歴史を遡ると、水処理の N_2O 研究は、当時東京大学の松尾先生と花木先生のグループにより 1992 年に発表された論文⁵⁾ が先駆けとなり、排水処理プロセスの N_2O 研究が世界に波及しています。今回の受賞を励みに、 N_2O 削減を行う細菌の探索、 N_2O 排出の機構解明、社会実装を視野に入れた N_2O 削減技術開発を日本から発信できるよう、微力ながら研究を進めていく所存です。変わらぬご指導・ご鞭撻をよろしくお願いいたします。

参考文献

- 1) Qi, C., Zhou, Y., Suenaga, T., Oba, K., Lu, J., Wang, G., Zhang, L., Yoon, S., Terada, A., 2022. Organic carbon determines nitrous oxide consumption activity of clade I and II *nosZ* bacteria: Genomic and biokinetic insights. *Water Research* 209, 117910.
- 2) Sanford, R.A., Wagner, D.D., Wu, Q., Chee-Sanford, J.C., Thomas, S.H., Cruz-García, C., Rodríguez, G., Massol-Deyá, A., Krishnani, K.K., Ritalahti, K.M., Nissen, S., Konstantinidis, K.T., Löffler, F.E., 2012. Unexpected nondenitrifier nitrous oxide reductase gene diversity and abundance in soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(48), 19709-19714.
- 3) Zhou, Y., Xu, X., Song, K., Yeerken, S., Deng, M., Li, L., Riya, S., Wang, Q., Terada, A., 2021. Nonlinear pattern and algal dual-impact in N_2O emission with increasing trophic levels in shallow lakes. *Water Research* 203, 117489.
- 4) Zhou, Y., Toyoda, R., Suenaga, T., Aoyagi, T., Hori, T., Terada, A., 2022. Low nitrous oxide concentration and spatial microbial community transition across an urban river affected by treated sewage. *Water Research* 216, 118276.
- 5) Hanaki, K., Hong, Z., Matsuo, T., 1992. Production of nitrous oxide gas during denitrification of wastewater. *Water Science and Technology* 26(5-6), 1027-1036.