

## 水質汚染の現状を打破する 自然と化学のチカラ

# アナモックス菌を活用した 新たな排水処理方法で 世界の水環境を守る



理工学部 応用化学科  
井坂 和一 准教授

### Profile

1998年に日立プラント建設株式会社 松戸研究所に就職後、日立製作所にて研究に注力。2015年から2017年まで水処理装置の開発等を行うオルガノ株式会社勤務。その後、東洋大学理工学部の准教授に着任し、現在は環境負荷低減の実現に向けて、排水処理技術の開発を行う。また、公益社団法人 日本水環境学会にも所属し、運営幹事や産官学協力委員会、広報委員会の幹事を務めている。

## 不完全な排水処理により引き起こされてきた環境汚染

私は微生物を使った新たな排水処理方法の開発を進めています。この研究に至った背景にあるのが、産業排水や生活排水による環境汚染問題です。排水には窒素化合物が含まれています。これらが処理されないまま多量に川に流れると、富栄養化を引き起こし、世界的にも問題になっているアオコや赤潮を誘発。水質汚濁や生態系の破壊といった問題につながります。また、化学物質の中には発がん性物質など毒を有するものも多く、水を利用する私たち人間や家畜へも悪影響が生じます。

このような問題を避けるために、排水は河川等に放流する前に、排水処

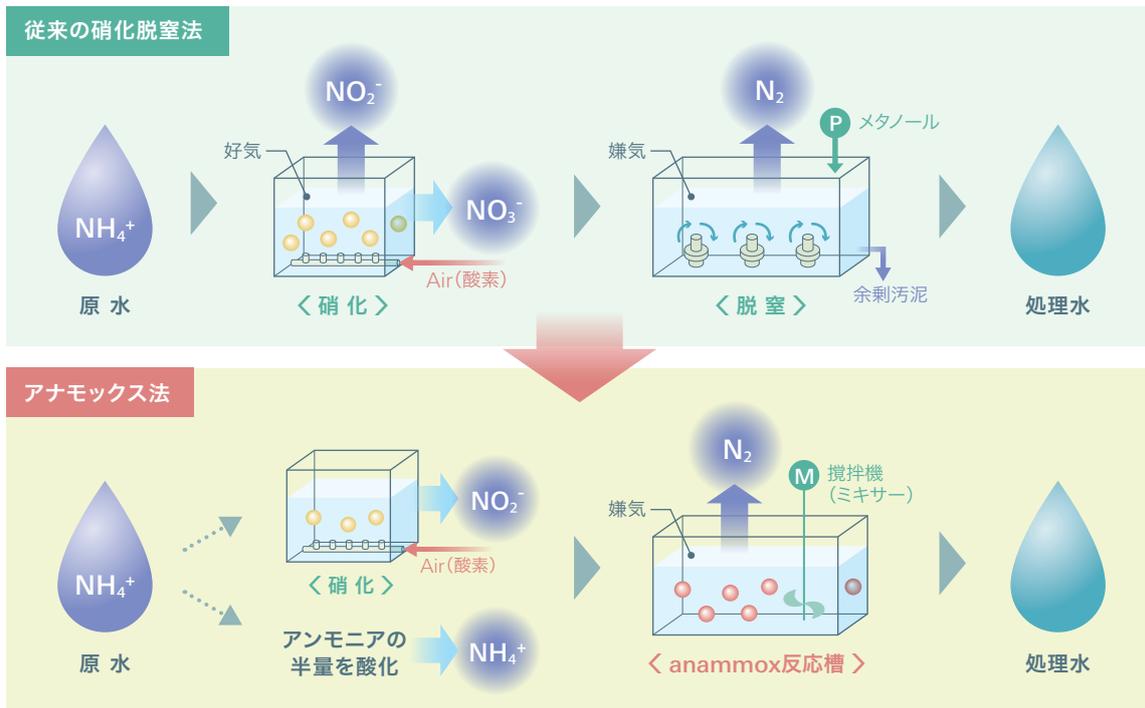
理装置で窒素を除去しておく必要があります。その時に利用されるのが、分解菌と呼ばれる微生物です。しかし、自然界に生息する微生物だけでは数が足りず、排水に含まれている窒素をすべて処理することはできません。微生物を用いた硝化脱窒法については多くの企業が研究を進めてきましたが、湖沼や沼など閉鎖性水域と呼ばれる場所は、未だに窒素含有量を定める排水基準を2割程度しか達成していない状況です。一刻も早く環境汚染問題を解決するためにも、さらに効果的な処理方法の開発が急がれます。今回私たちが開発した特許技術は、その第一歩になるものと言えるでしょう。

## 「アナモックス菌」の活用で効率的な窒素処理法を実現

従来の排水処理では、硝化菌を用いる硝化脱窒法が用いられてきました。この方法では、アンモニア ( $\text{NH}_4^+$ ) の形にまで分解されている窒素に硝化菌と酸素を送り、亜硝酸 ( $\text{NO}_2^-$ ) や硝酸 ( $\text{NO}_3^-$ ) に酸化させます。これらを細菌とともに酸素のない反応槽に送ることで脱窒反応を起こし、水質汚濁を防ぐという仕組みです。しかし、この方法は酸素や有機物を必要とする

非常に大きな生化学反応であり、コストも高額。私たちはこの問題を解決するため、研究に取り組みました。

一般的に採用されている硝化脱窒法よりも効率的で環境に優しく、かつ低コストの排水処理方法を実現する鍵となったのが「アナモックス菌」です。この細菌を活用した処理方法では、アンモニアの半量を亜硝酸に酸化



その後、アナモックス菌の効果により、残ったアンモニアと亜硝酸から水と窒素ガスを生成します。つまり、酸化するアンモニアが半量で済むため、硝化脱窒法と比べコストが半減されるのです。

また、この研究では水質を保ちながら分解菌を活性化する方法を明らかにしています。数をどれだけ増やしたとしても、微生物が活発に動かなければアンモニアは分解されません。私たちが栄養を必要とするように、微生物

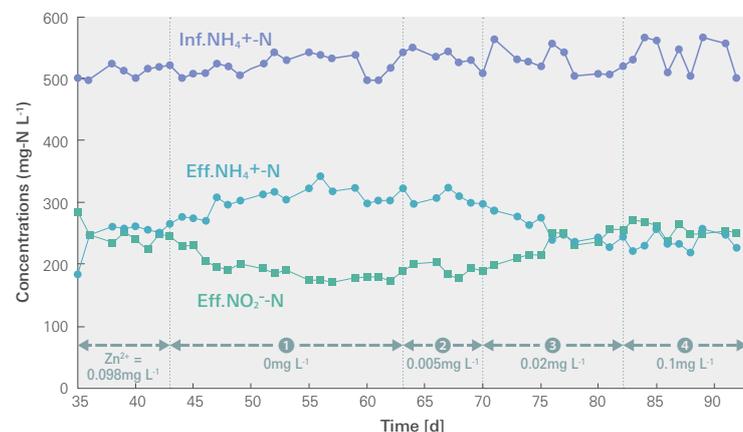
を活性化するにはさまざまな条件を満たさなければならないのです。活性化に必要となるのが、栄養剤となる金属元素や微量元素。たとえばリンやカルシウム、鉄、ニッケル、銅などです。しかし、単に元素濃度を高くするだけではかえって川の汚染につながり、さらに、供給する元素が増えれば増えるほどコストも倍増します。この研究では、こうした問題の解決策を求めて実験。活性化を促しながらも環境には負荷を与えない最適な濃度を発見しました。

## 技術の有用性を高める数々の研究成果

この特許技術には、他にもたくさんの特徴があります。一つ目は、硝化菌とアナモックス菌が活性化するために必要な亜硝酸の濃度を示していること。まず、硝化菌の場合、先行研究では亜鉛が $0.098\text{mg L}^{-1}$ 必要であるとされてきました。しかし、この亜鉛量が川に含まれると環境に悪影響を及ぼします。一方で、亜鉛を $0\text{mg}$ にすると硝化菌の活性化が弱くなる。私たちは少しずつ亜鉛の濃度をあげていき、 $0.005\text{mg L}^{-1}$ から $0.02\text{mg L}^{-1}$ が最適な濃度条件であることを突き止めました。アナモックス菌でも同様の実験を行い、また、鉄やコバルトなど他にもさまざまな条件下で検証。これにより、今回の特許の有用性がさらに高まったと感じています。

2つ目の特徴は、金属を溶液で添加するために最適な方法を提唱していること。 $0.005\text{mg L}^{-1}$ など微量の亜鉛を入れる場合は、沈殿しないように予め液化しておく必要があります。従来はキレート剤など薬剤で溶かす方法が一般的でしたが、私たちは酸溶液の利用に辿り着きました。

3つ目は、超純水を利用し実験に成功していること。様々な工業排水では、製造工程で純水などを利用して微量金属が不足する傾向にあります。今回、超純水を利用した試験を行い、微量元素の必要性を評価できており、様々な排水に適用できる可能性が示されました。



- ① Znの添加を制限( $0\text{mg/L}$ )すると、3週間で硝化性能が低下した。
- ② Znの添加量を $0.005\text{mg/L}$ とすると、硝化性能の低下は抑えられ、硝化性能を維持することができた。
- ③ Znの添加量を $0.02\text{mg/L}$ とすると、活性が回復し、Znの添加量が $0.098\text{mg/L}$ の基本排水と同程度まで活性が回復した。
- ④ Znの添加量を $0.1\text{mg/L}$ まで添加したが、Znの添加量が $0.02\text{mg/L}$ の時から活性の上昇は見られなかった。  
Znは廃水処理に必須の微量元素であり、Znの添加量は $0.005\text{mg/L}$ 以上で、生物活性の低下を抑制し、生物活性を維持できることが確認できる。また、 $0.02\text{mg/L}$ 以上とすることで、生物活性を回復することができる。Znの添加量は $0.1\text{mg/L}$ としても、生物活性に変化は見られないため、添加する金属元素の上限は、 $0.05\text{mg/L}$ 以下とすることが好ましい。

## 産学連携を果たし、さまざまな環境下での普及を目指す

実験を成功するために必要だったのは忍耐力でした。与える金属量など、さまざまな変化を加えたとしても、その結果が得られるまでにはかなりの時間を要します。実際に、この研究では100日以上継続して実験を行っていました。また、実験中は元素量などを正確に加え、さらに微生物の様子を長期間観察する必要があり、失敗が許されません。

困難を乗り越えるために特に役立ったのが、今までの研究です。これまでの水処理研究で培った経験をいかし、トラブルが起きにくい装置の開発に成功しました。また、学生の存在も大きな支えになったと感じています。東洋大学の学生は、熱心な人が多く、実験の内容もしっかり理解し根気強く取り組んでくれます。学生の努力がなければ、特許取得には至らなかったでしょう。

この研究は、海外ではすでに実用化もされていますが、日本での普及はあまり進んでいません。日本でアナモックス菌を用いた処理方法を取り入れている下水処理場は現在のところ、大阪市の平野下水処理場のみです。原因として、財政面での課題や、発見されて間もない細菌への認知や信頼が未だ足りていない状況であることが考えられます。この技術の有用性を知っていただくためには、やはり産学連携が必要です。大学側の研究を土台として、企業が開発した技術を自治体で実際に試行し、実用性を確認する。このサイクルによって、新たな発明への信頼が高まっていくでしょう。

一部では民間企業や地方自治体との共同研究も動き始めています。今後も認知を高め、排水処理はもろろんさまざまな場面でこの研究を活用していただきたいです。



排水環境を再現した実験装置



東洋大学

お問い合わせ先

学校法人東洋大学 産学連携推進センター  
TEL: 03-3945-7564  
URL <https://www.toyo.ac.jp/research/industry-government/ciit/>



特開2021-036781  
「培養方法、培養装置、排水処理方法及び排水処理装置」