

日仏海洋学会賞受賞記念講演

海洋における窒素循環の研究\*

小池 勲夫\*\*

Study on nitrogen dynamics in the ocean\*

Isao KOIKE\*\*

皆様のご推薦により、この度日仏海洋学会賞を頂くことになり、本当にありがたいことと感謝致しております。これを機会に、これまでの研究をさらに発展させ、研究者としての夢の一部なりともかなうよう努力したいと存じています。ここでは、私とその共同研究者が行ってきた海洋の窒素循環の研究のうち、海底堆積物における無機態窒素の動態の研究に焦点を絞って紹介していきたいと思います。

さて、海洋科学の分野において、窒素循環の研究は生物を主体とした個々の窒素代謝と関連したもの、あるいは栄養塩や有機窒素化合物の動態と微生物群集との関係を論じる等の仕事が多く、なかなか海洋における窒素循環を統合的に扱った研究は少ないのが現状です。私の窒素循環への取り組みも、大学院の時に進んでいた実験室での脱窒素細菌のエネルギー生理学的研究を、海洋というフィールドで発展させる手始めとして、東京湾で脱窒素活性を重窒素でラベルした硝酸イオンをトレーサーとして測定を試みたことから始まりました。<sup>15</sup>Nを使った脱窒素活性の測定は、修士課程の時にすでに浜名湖で少し行ったことがあり、嫌気条件下の底層水では極めて高い活性を得ることが出来たので、東京湾の水でもなんら問題なく活性の測定が出来るものと楽観しておりました。しかしまた実験を始めた年は、東京湾における夏季の貧酸素層の発達が悪く、有為な活性が検出出来ないままに、ある時堆積物の表層を使って測定してみたのが堆積物の窒素循環を始めるきっかけになりました。堆積物表層では、1-2時間の<sup>15</sup>N硝酸イオンの添加で極めて高

い活性が得られ、これは他の季節でも、大きくは変わらないことが示されたからです。現場条件での活性測定にいろいろ方法上の問題はあっても、常に強い代謝活性が得られることは大きな利点であるので、研究の場を水中から海底堆積物へと乗り換えることにしました。

私が堆積物の仕事を始めた70年代の半ば頃は、海底堆積物の微生物活性、特に無機態窒素循環に関与した活性を測定した仕事は乏しかったため、重窒素をトレーサーとして使う利点を生かして、硝酸イオンの動きと微生物代謝を関係させたいいくつかの研究を発表することが出来ました。その一つは、嫌気的な硝酸還元のプロセスが脱窒素へ向かう系と、アンモニア生成へ向かう系とに分かれ、堆積物の環境条件の違いでその比率がかなり異なってくることを明らかにしたことであります。これまで実験室での培養菌では、嫌気的な硝酸還元で脱窒素細菌のように分子体窒素などを生成せず、アンモニア生成を伴う菌がいることはよく知られており、私もこのような菌の1種を用いて、生理学的な実験をしていました。しかし、自然条件下でこのような菌が活発に働いていることを明らかにしたのは、沿岸堆積物でのこの実験が初めてでした。我々の実験では、より酸化的な堆積物において脱窒素活性がより強い位の事しか言えませんでした。しかし、その後80年代の始めに、主にアメリカのグループによって、環境中の硝酸還元の基質である有機炭素と、硝酸還元呼吸系の末端電子受容体である硝酸イオンとの存在比が重要であることが、異なったタイプの硝酸還元菌の群集が分布する、土壌・堆積物・活性汚泥等による実験で明らかにされています。次に、硝酸還元・脱窒素の電子受容体である堆積物中の硝酸イオンの起源について、底層水から拡散で堆積物中に供給される部分と、堆積物中での硝化作用によって生成される部分とがあることを、<sup>15</sup>N硝酸イオンによる同位体希釈法を用いて明らかにすることが出来ました。海洋における窒素循環の研

\* 1992年5月31日日仏会館（東京）で講演  
Conférence la remise du Prix de la Société  
franco-japonaise d'océanographie

\*\* 東京大学海洋研究所東京都中野区南台1-15-1  
Ocean Research Institute, The University of  
Tokyo, 1-15-1 Minamidai, Nakano, Tokyo,  
164 Japan

究で、アンモニアの代謝研究には、これまでも同位体希釈法がしばしば使われてきましたが、硝酸イオンの代謝に使われたのは、この研究がおそらく始めてであり、感度はあまり良い方法とは言えませんが、二つの独立の窒素代謝である硝化系と硝酸還元系を同時に測定出来る手法としては唯一のものです。

堆積物での硝酸還元・脱窒素の基質である硝酸イオンの供給に関しては、その後、我々の測定値に加えてアメリカやデンマークでの有機物供給の多い沿岸域堆積物での測定例を併せて検討を最近行っています。その結果、このような沿岸の泥質堆積物表層での脱窒素の現場活性は、底層水での硝酸イオン濃度にほぼ比例していることが明らかになりました。この比例関係は、底層での硝酸イオン濃度が数 $\mu\text{M}$ から数100 $\mu\text{M}$ までの広い範囲で当てはまることから、有機物に富んだ沿岸堆積物では、堆積物中での硝化作用によって供給される硝酸イオンに対し、底層水起源の硝酸イオンの方が脱窒素に大きな役割を果たしていることが示唆されます。またここで得られた関係式と、各沿岸域での底層水中の水温や硝酸イオン濃度などの一般的データを使って、海域スケールでの堆積物での脱窒素の規模を推定することも可能になりました。

海洋の窒素循環の中で、脱窒素がどのくらいの役割を果たしているかについては、 $^{15}\text{N}$ トレーサー法で脱窒素の速度を沿岸域の堆積物で推定する仕事を行って来ました。これらの研究の結果、海底堆積物、特に表層での有機物供給が多い沿岸や、縁辺海での堆積物表層での脱窒素量がかなりの規模になることに気がつきました。海底堆積物中での脱窒素の測定に関しては、 $^{15}\text{N}$ トレーサー法の他に、脱窒素細菌による亜酸化窒素の窒素ガスへの還元が、アセチレンの添加によって阻害されることを利用した、アセチレンブロック法が、測定の容易なことあって広く使われるようになりました。さらに最近では、高精度の溶存窒素ガスの分析法を用いて、ベルジャー中での窒素ガスの脱窒素による増加を直接計測する手法など

が開発され、堆積物で脱窒素速度の推定値がかなり出るようになりました。これらの結果、従来海洋での窒素収支の中で、脱窒素の生じている場として知られていた、太平洋東部熱帯域やインド洋の貧酸素水塊などでの脱窒素量と、同じ位の規模で脱窒素が沿岸や縁辺海での堆積物表層で起こっていることが推定されるようになりました。

亜酸化窒素は、硝化系でも脱窒素系でも生成される、大気中の微量ガス態窒素化合物で、温室効果気体あるいは地球のオゾン層の破壊に関与する気体として近年その動態が特に注目されるようになってきました。堆積物中の亜酸化窒素の動態については、それが微量であることから、ほとんど測定例はありませんでしたが、80年代の後半になって、堆積物コア試料を加圧抽出する事によって、堆積物表層での間隙水中成分の微細分布を明らかにする方法がアメリカで開発されました。さっそくこの方法を亜酸化窒素に応用した所、数mm間隔での堆積物表層での亜酸化窒素の微細鉛直分布を得ることが出来ました。この手法では、亜酸化窒素だけでなく、硝酸・亜硝酸イオンといった無機態窒素化合物や、溶存酸素などのパラメーターも同じ間隔で測定できるので、同時に亜酸化窒素の生成過程について多くの情報を得ることが出来るほか、堆積物からの亜酸化窒素のフラックスについても推定が可能です。

以上、私がこれまで行って来た研究のうち、堆積物中の無機態窒素の循環に関するものをまとめて見ましたが、海洋での有機窒素の循環はさらに複雑で、その微生物との関わりは大変興味深いものです。今後は、今までも多少手がけていた有機窒素・炭素の動態と微生物の働きに研究の主眼を移して、海洋の窒素循環の全体像の把握を目標として行きたいと思います。最後になりましたが、私の大学院の指導教官であり又窒素代謝研究の先達でもあった東京大学名誉教授の服部明彦先生に深く感謝致したいと思います。