

# 序文：「窒素汚染と大気・水環境」発行にあたって

佐竹 研一

(立正大学地球環境科学部)

すべての生物の活動に欠かせない元素「窒素」は、私たち人類の活動を根底から支えている。しかし、自然界では植物が栄養として利用できる窒素化合物の供給は限られている。窒素が不足している環境条件下では、窒素化合物は食物連鎖を経て植物から動物へと生態系全体に分配され、動物からの排泄と動植物の死後の分解によって窒素は再び生態系に回帰し、その循環が繰り返される。

長い間、人類の活動はこの限られた窒素循環系の枠の中にあり、窒素欠乏が人類の発展に限界をもたらすと考えられていた時代があった。すなわち 1900 年代の初め頃、人類の発展の限界は、すなわち人口増加の限界は、窒素肥料の欠乏に由来する食糧生産の限界によってもたらされる可能性があると考えられていたのである。しかし、やがて科学技術の進歩に伴って人類の直面していた窒素欠乏の問題は解決される。そして地球環境への窒素化合物の大量附加の時代が始まる。やがて窒素の供給は過剰となり、過剰供給は世界各地で様々な環境問題を生み出し、大気や水や土壌の窒素汚染が現実の問題となりはじめた。

窒素が大気の 78% を占め、大量に存在しているにもかかわらず、窒素欠乏の時代が続いていた理由は、窒素分子 ( $N_2$ ) を構成する窒素原子と窒素原子が三重結合で強く結ばれ、極めて反応性に乏しく、ほとんどの植物が窒素分子を還元してアミノ酸を合成することができないからである。植物が栄養源としてその代謝系内に取り入れることのできる窒素化合物の形、すなわち硝酸 ( $HNO_3$ ) やアンモニア ( $NH_3$ ) の生成は、雷光を伴う空中放電による窒素分子の酸化か、ニトロゲナーゼを有する限られた微生物による窒素分子の還元によるしかなかったのである。

しかし、近世の科学技術の進歩は、この長い窒素欠乏の時代に幕を閉じ、大量の窒素を地球環境に附加するようになった。その主な要因は、第一次世界大戦直前にドイツで開発されたハーバー・ボッシュ法による大気中の窒素分子からのアンモニアの大量合成と、エンジンの開発と利用に伴う窒素酸化物の排出である。

人為起源の窒素化合物の供給は、まず大量の火薬・爆薬の製造ならびに農産物の大量生産の形で現れた。大気中の窒素分子を固定して大量生産が可能となった火薬や爆薬は、それらを破壊や殺戮のために大量に消費する大規模なそして長期にわたる戦争の継続(第一次世界大戦、第二次世界大戦)と、地域的な戦争の頻発につながった。また、鉱山開発や産業開発や土木工事などの分野で大量に使用されるようになった。大量に生産された農産物は更なる人口の増加を可能にする一方で、更なる農産物生産の必要性を生み出した。大量の肥料の使用を伴う農業牧畜は地下水の硝酸汚染をもたらし、飲料水の供給に問題のある地域が生じるようになった。それはまた陸水の富栄養化の原因となり、富栄養化は更に水域の貧酸素化・無酸素化を生み出し、無酸素化は有毒な硫化水素を含む無酸素・含硫化水素水域を生み出すようになった。一方、大量生産されているエンジンからの大量の窒素化合物の排出は、いわゆる「富栄養酸性雨」を生み出し、酸性雨中の窒素酸化物の量は酸性の原因物質の約半分を占めるようになった。そして大気からの大量の窒素化合物の附加は肥料に加えて陸上生態系の富栄養化や陸水の富栄養化の要因と考えられるようになった。更に長い間窒素欠乏状態にあった海洋生態系への大気からの窒素化合物の附加は、海洋における生物生産にも大きな影響をもたらした。

このように、本来生元素であり生物活動に欠かせないはずの窒素の大量供給は地球環境に大きな影響をもたらすようになってきたのである。

本特集は人為起源の窒素化合物の生み出す様々な環境問題を考えるため、主に窒素化合物の地球環境への附加に注目し、窒素欠乏の時代から窒素過剰供給に至る経緯、大気圏、水圏(陸域と海域)、地圏、生物圏の中の窒素の循環や偏在、窒素汚染の現状、窒素循環の研究手法等について各分野の専門家の方々にご執筆いただいたものである。もちろん世界各地で進行している窒素化合物をめぐる環境問題はあまりにも多様で複雑な問題を抱えている。本特集はその一端をとりあげているに過ぎないが、現在進行している窒素問題を鳥瞰し、考察する上で本特集が多少とも参考になれば幸いである。

## 追伸

本特集でご執筆いただいた方々のそれぞれ活躍している分野が多少異なることから、窒素化合物の量を示す時の濃度単位として、 $mg\ l^{-1}$ 、 $ppm$ 、 $mg\ NI^{-1}$ などが用いられております。このうち  $mg\ l^{-1}$  と  $ppm$  (parts per million) を用いて示す濃度は、それぞれ濃度化合物の量を分子量あるいはイオン量として、あるいは窒素 (N) の量として示したもので、内容的に同じものです。また  $mg\ NI^{-1}$  はそれぞれの窒素化合物の分子あるいはイオンに含まれる窒素 (N) の量として示したものです。これらの表記になじみのない方には多少分かりにくい点があるかと思いますがご注意ください。