

持続可能な窒素利用を 将来世代のために

Sustainable Nitrogen Use for Future Generations

林 健太郎



元素としての窒素は反応性が高く多様な化合物を形成する。アミノ酸や核酸塩基の形成に必須の元素でもあり、これらが組み上がってタンパク質やDNAが作られる。すなわち、窒素は生命の根幹に関わる元素である。大気の78%を占める窒素はありふれた存在であるが、それは安定で反応性に乏しい窒素分子(N_2)であり、18世紀後半まで人類による発見を逃れ、利用可能性がきわめて限定的であった。地球システムでは、一部の微生物が N_2 からアンモニア(NH_3)を生成する生物学的窒素固定を出発点として、生態系内で窒素が利用され、別の微生物が酸化態窒素を N_2 に還元して大気に返す脱窒を終着点とした窒素循環が成立している。人類もこの循環の中で発展してきた。

1913年に実用化したハーバー・ボッシュ法は化学工学の金字塔であろう。 N_2 と水素から NH_3 を合成する人工的窒素固定技術である。得られた NH_3 は直接あるいは他の化合物に加工して用いられ、最大用途は化学肥料である。緑の革命として知られる1950~1960年代から、品種・農業・機械化・灌漑の開発と併せて作物生産を大きく向上させた。生産力の余裕は飼料にも振り向けられ、家畜生産も大きく伸びた。1900年ごろには16億人であった世界人口は2022年には80億人と5倍になり、2050年ごろには100億人に達するとされる。食料生産を増やして人口増加を継続的に支えてきたことは大きな成功である。また、 NH_3 をスタート物質とした各種窒素化合物は化学工学においてなじみ深い素材の一つであろう。火薬・爆薬(きわめて残念な使途もあるが)、薬品、化学繊維、プラスチック、および半導体に加え、近年は、燃焼に伴い二酸化炭素を発生させない NH_3 のエネルギー資源利用も着目されている。さらに、安定で不活性な N_2 でさえ、その性質と容易に入手できる特徴を活かした用途が多々生み出されてきた。

しかし、これらの便益が代償を伴うことはあまり知られていない。人工的窒素固定量(年間約1億5千万トン)は陸域の生物学的窒素固定量の2倍以上に達し、窒素利用に伴い大量の反応性窒素(N_2 を除く窒素化合物の総称)が環境に排出される。排出された反応性窒素は、地球温暖化、成層圏オゾン破壊、大気汚染、水質汚染、富栄養化、酸性化と多様な窒素汚染を引き起こす。燃料や廃棄物などの燃焼においても反応性窒素が発生する。窒素利用が窒素汚染を伴うこの状況を「窒素問題」と称する(林ほか, 2021)。

窒素問題の主因は人類の窒素利用効率が低いことである

Kentaro HAYASHI

1990年 北海道大学工学部衛生工学科卒業

1992年 北海道大学大学院工学研究科修士課程修了

同年 パシフィックコンサルタンツ(株)入社

2002年 東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所博士課程修了 博士(農学)

同年 (独)産業技術総合研究所 特別研究員

2003年 (独)農業環境技術研究所 主任研究員~(国)農業・食品産業技術総合研究機構農業環境研究部門 主席研究員

2022年 (共)人間文化研究機構 総合地球環境学研究所 教授

現在に至る

連絡先; 〒603-8047 京都市北区上賀茂本山457-4

E-mail kentaro@chikyu.ac.jp

が、そこには生産面の技術課題のみならず、大量生産・消費・廃棄や利用効率が低い産物を好むなどの社会課題も含まれる。排ガス・排水処理は反応性窒素を N_2 に還す重要な技術ながら、設備の建設と運用にコストを要し、コストをかけて人工的に固定した反応性窒素を更にコストをかけて N_2 に戻すことは無駄ともいえる。この点で、人間社会から環境に排出される窒素の総量(反応性窒素+ N_2)を「廃棄窒素」とし、この削減を図る動きが生まれている。

窒素利用の便益を保ちつつ窒素汚染の脅威を緩和することを「窒素管理」と呼ぶ。国際窒素イニシアティブなどの窒素問題の専門家の支援を受けて、国連環境計画(UNEP)は2019・2022年の第4回・第5回国連環境総会において、二度に渡り「持続可能な窒素管理決議」を採択した。同決議により2020年に設置されたUNEP窒素作業部会では、参加国による窒素管理の枠組づくりの議論が進められている。日本国も環境省と農林水産省が同作業部会に参画し、環境省は2024年9月に世界に先駆けて「持続可能な窒素管理に関する行動計画」を公表した(環境省, 2024)。

国内外の窒素管理が本格化しつつある現在、窒素問題の化学工学面に着目する本特集は時宜を得たものである。新たな窒素固定・回収・処理技術や農業・水産業と幅広いトピックが、新たな研究開発のアイデアを揺り起こすことに期待する。ただし、如何に有益な技術であっても、包括的な視座からそれを用いるリテラシーと社会の仕組みが必要である。さもないと新たな技術が新たな問題を生みかねない。将来世代に持続可能な窒素利用を手渡せる社会が構築されることを心より願って結びとする。

参考文献

- 1) 林ほか編: 図説 窒素と環境の科学, 朝倉書店(2021)
- 2) 環境省: 持続可能な窒素管理に関する行動計画(2024)