

# 農業と物質循環(1)

## — 今、人類が大量に放出している「窒素」を巡る論題解説 —

主席研究員 河原林孝由基

### 1 人類による「窒素」の大量放出

産業革命以降、とくに20世紀になって人類が環境に大量に放出し始めた物質がある。化石燃料の使用を中心とした二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の大量排出は言を俟たないが、もう一つ大量に放出しつづけている物質がある。「窒素」(N、窒素化合物を含む)である。窒素は生命にとってタンパク質などを構成する重要な元素であり、植物にとってもリン(P)、カリウム(K)と並んで肥料の3大要素の一つとなっている。窒素は大気の約8割を占める気体の状態で大量に存在するが、窒素ガス(N<sub>2</sub>)は常温では化学的に不活性(極めて安定し他の元素と化合しない)であることから、一部の微生物を除いて植物も動物もそのままでは大気中の窒素ガスを栄養として取り込むことはできない。

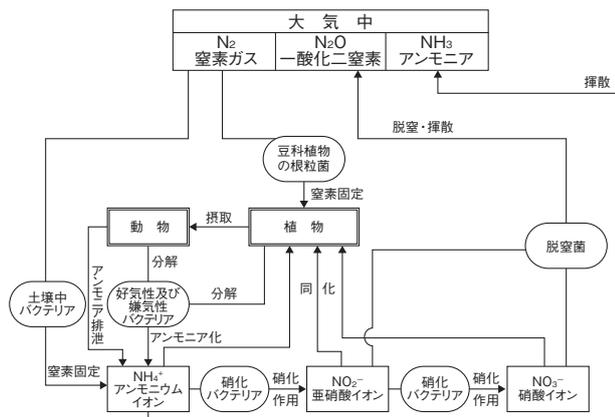
肥料の歴史を辿ると、1840年にドイツの化学者リービヒ(Justus Freiherr von Liebig、1803~1873年)が植物は栄養素を無機物として吸収すること(無機栄養説)を明らかにし、その後、化学肥料が広く使用されるようになっていく。窒素肥料は、20世紀初頭まではチリで発見された鉱石(硝酸ナトリウム、チリ硝石)の利用が主体であったが、決定的な転機となったのはドイツの物理化学者ハーバー(Fritz Haber、1868~1934年)とボッシュ(Carl Bosch、1874~1940年)が大気中の窒素を固定する技術の開発に成功したことである(1909年のハーバーによるアンモニアの合成と1913年のボッシュらによる工業化)。ハーバー・ボッシュ法と

呼ばれるアンモニアの工業的製法で、鉄を主体とする触媒を使い、高温で窒素(N<sub>2</sub>)と水素(H<sub>2</sub>)を反応させて窒素化合物であるアンモニア(NH<sub>3</sub>)を合成する(N<sub>2</sub>+3H<sub>2</sub>→2NH<sub>3</sub>)。これにより、人類は大気中にほぼ無尽蔵にある窒素から肥料の原料となるアンモニアを製造できるようになった(注1)。「空気からパンを作る」と形容されるほど画期的な発明であった。窒素肥料(化学肥料)の大量生産を可能にしたことで食料増産が可能となり、20世紀以降の人口爆発を支えていくことになる。

### 2 「窒素循環」の仕組みと現況

地球の長い歴史の中で、生態系での窒素の収支バランスはおおよそ安定していたと考えられている。窒素の収支は、窒素がどれだけ生態系に入ってどれだけ出ていったかという「窒素循環」に拠っている。大気中の窒素ガスは根粒菌に代表される特殊な生物(窒素固定生物)によって生態系へと取り込まれる。これが土壌中の微生物によって窒素化合物(アンモニウムイオン[NH<sub>4</sub><sup>+</sup>]や硝酸イオン[NO<sub>3</sub><sup>-</sup>]などの形態)に変換される。土壌のアンモニウムイオン(アンモニア態窒素)や硝酸イオン(硝酸態窒素)は植物が栄養源として利用しアミノ酸やタンパク質などを作り、これを動物が摂取する(あるいは植物を摂取した他の動物を摂取すること)で動物も窒素を体内に取り入れる。生物の死骸や動物の排せつ物などは再び土壌中の微生物によって窒素化合物に変換される。一部の

## 第1図 自然界における窒素の循環



出典 石坂匡身・大串和紀・中道宏(2020)

※この自然界における窒素の循環とは別に、人類は陸上の生態系が自然に固定する窒素の量と同じくらい人工的に窒素を固定し環境に大量に放出している。

窒素は窒素ガスとして大気中に戻っていくものもあるが、この一連のプロセスが生態系による窒素循環の仕組み(第1図)である。自然界における窒素の循環では、生態系のプロセスによって大気から固定化される窒素量と硝酸イオンが気体状の窒素に還元されて大気中に戻される量はほぼ釣り合っており、本来なら窒素の収支バランスは安定しているはずである。

ハーバー・ボッシュ法が発明され人工的な窒素固定が可能になると、農業分野はそれを用いた窒素肥料(化学肥料)によって食料を増産し、飢餓・食料不安・栄養失調をなくし、増大する世界人口を養うために十分な食料を生産しなければならないといった「食料充足

性(food sufficiency)」の要求に応じてきた。

しかし、食料増産のために行き過ぎた施肥が行われ、「農業の工業化」(注2)も手伝い、大量の固定窒素が生態系に蓄積されていくことになる。人間活動による人工的な固定窒素は、大規模な化学肥料の生産と施肥だけでなく化石燃料の燃焼などに起因するものもあるが、世界全体でのアンモニアの年間生産量(約2億トン)のうち約8割が肥料として消費されている(2019年データ)ことから農業分野との関わりは非常に深い。人工的な窒素固定量は、陸上の生態系が自然に固定する窒素の量と同じくらいになっているといわれており、生態系での窒素の収支バランスは大きく崩れている。

現時点ではその影響は十分に解明されていないが、生体中に存在し生命の維持・活動に不可欠な元素である酸素、炭素、水素、窒素、カルシウム、リンなどといった「生元素」と呼ばれる元素に関する変化では、窒素が際立っている。このわずか1世紀あまりの間に地球上の窒素循環は激変した。地球の歴史からみて気候変動については過去に何度か起こっていたことが分かっているが、「窒素循環の大規模な変化は地球が初めて経験する事態であり、過剰な窒素の循環が今後どのような状況へと展開するのかは、今のところ誰にも予測できない」(国立大学附置研究所・センター会議(2018))との警告は重い。

### <参考文献>

- ・石坂匡身・大串和紀・中道宏(2020)『人新世(アントロポセン)の地球環境と農業』農山漁村文化協会
- ・国立大学附置研究所・センター会議(2018)「森林に忍び寄る静かな異変 激増する窒素は地球に何をもたらすのか(京大大学生態学研究センター 木庭啓介教授)『未踏の領野に挑む、知の開拓者たち』vol.49

(かわらばやし たかゆき)