

Leaders TOPICS

窒素も巡るよ、居候が家族になった 窒素固定細胞小器官 Nitroplast

理学博士 武澤研二
エネルギー部会
生物部会



■窒素固定細胞小器官 Nitroplast

今年2024年、窒素固定細胞小器官(オルガネラ、organelle)、Nitroplast の発見と証明に日本の研究チームが貢献し、超一流科学誌 Science 誌の表紙を飾りました(出典 1,2,3)。



(ハプト藻と Nitroplast(▲)、出典2よりお借りしています)

窒素固定(大気中の窒素を有機物の窒素に「固定」する)は細菌、シアノバクテリア(藍藻)、古細菌などに限られ、真核生物の植物には窒素固定能がありません(出典 4)。

ところが、真核生物でありながら海の単細胞藻類のハプト藻 *Braarudosphaera bigelowii* は窒素固定が出来ます。窒素固定能のあるシアノバクテリア、UCYN-A が細胞内に居るからです。この UCYN-A は「居候」として宿主のハプト藻 *B. bigelowii* と共生するうちに、「家族」、細胞の構成単位である細胞小器官になったことが発見、証明されました。軟 X 線三次元構造解析により、葉緑体やミトコンドリアと同じく、UCYN-A が *B. bigelowii* の細胞分裂時に同調して複製し分裂することをつきとめ「Nitroplast」仮説が証明されました(出典 1,2,3)。

■窒素固定と窒素循環

生き物(の構成要素)と地球環境(水、大気、土壌...)を巡る元素の循環の主なものに炭素循環や窒素循環があります。炭素循環は大気、海、動植物の間を巡る大きなスケールですが、一方、(陸上における)窒素循環のプロセスはほとんど土の中で微生物が主役です。土壌中で根粒菌などが大気中の無機窒素を有機物アンモニア(NH₃)として固定し、また、動植物の排泄物、遺体、残渣などは微生物やきのこ(担子菌、子嚢菌)がアンモニアに分解します。硝化菌などにより亜硝酸塩、硝酸塩となり、植物が窒素源として利用します。残りはさらに微生物により代謝され無機の窒素ガスとして大気に戻ります(脱窒)(出典 4)。

窒素固定や炭素固定(光合成、化学合成)により生物は、環境の無機物(CO₂、N₂)を有機物(糖、アンモニア)に

変えて体づくりやエネルギー源に用いています。これらは環境の無機物を生体の有機物に変える重要なプロセスです。特に、マメ科植物と根粒菌(リゾビウム属)は持ちつ持たれつの「相利共生」で、栄養の乏しい荒地でもマメ科植物は良く育ちます。根粒菌が窒素固定で有機体窒素を宿主に供給し、光合成は行わず糖分は宿主の植物から得ています。

■化学肥料と緑の革命

1906年フリッツ・ハーバーとカール・ボッシュが大気中窒素から化学的に有機物アンモニアを合成する「ハーバー・ボッシュ法」を開発したことで、安価な化学肥料が工業的に大量生産され、食糧生産は急増し、20世紀の人口爆発を支えてきました。化学肥料は品種改良、農薬とともに1940~1960年代「緑の革命」(途上国の食糧増産)に貢献しました。今では化学肥料など農工業からの有機窒素は窒素循環への流入の半分を占め、生物による窒素固定と比肩し得るほどです。当然、「緑の革命」などプラス面とともに湖沼、河川、沿岸など水系の富栄養化など負の側面も招きます(出典 4)。ちなみにもう一方の炭素固定の工業化(人工光合成)はまだ研究段階です。

■植物進化の観点から

単細胞藻類のレベルで細胞内共生の Nitroplast、UCYN-Aによって窒素固定が達成されている一方で、被子植物など高等植物では窒素固定がなぜ未だに根粒菌など微生物との共生によって行なわれているのか?一方の炭素固定(光合成)を担う葉緑体は早くから細胞小器官として植物の進化を通して引き継がれてきたのとは対照的です。単細胞ハプト藻の Nitroplast 獲得は植物進化が進んだ後の「袋小路」の進化なののでしょうか? DNA 解析など、更に研究が進めば、植物進化における位置づけが分かるかも知れませんね。

■出典 1: 高知大学プレスリリース 2024.04.15「海産微細藻類における窒素固定型シアノバクテリアのオルガネラ化(細胞内小器官化)の進行を明らか」

■出典 2: カリフォルニア大学 UC SANTA CRUZ 校プレスリリース April 11, 2024 "Scientists discover first nitrogen-fixing organelle"

■出典 3: "Nitrogen-fixing organelle in a marine alga" TYLER H. COALE et al. SCIENCE 11 Apr 2024 Vol 384, Issue 6692pp. 217-222 DOI: 10.1126/science.adk1075

■出典 4: ウィキペディア記事「窒素固定」