

## 史上最大の陸上作戦

同志社大学特別客員教授  
サイエンスライター

渡辺 政隆

今からおよそ5億2000万年前、カンブリア紀（およそ5億4100万～4億8500万年前）前期の地層から、奇妙奇天烈な動物化石が見つっている。現在の動物分類の基準からはみ出しているかのようにも見える多様な種類が、化石記録中に唐突に出現しているのだ。最初に見つかった化石産地の種類についてはバージェス動物群と呼ばれている。さらにこの爆発的な進化にはカンブリア爆発の名称が付されている。

## 地球緑化共同作戦

生物進化を語る段になると、どうしても動物に目が行きがちである。バージェス動物や恐竜など、派手な種類を擁することや、われわれ自身が哺乳類の一員であるということもあるのだろう。しかし、植物がいなければ動物の生存はままならない。その一方で、動物がたとえいなくても、植物は自立自存可能である。

そもそも、初上陸を果たしたのは動物ではなく植物だった。バクテリアがまばらに覆う程度だった荒地を緑の沃野に変えたのが植物である。植物の上陸こそが、現在の地球環境を生んだ先兵だったのだ。

植物の初上陸はオルドビス紀（およそ4億8500万～4億4500万年前）前期のことだ。すべての陸上植物の直系の祖先は藻類で、いちばん近いのは淡水に生息していたアオミドロの仲間（接合藻類）だったと考えられている。水生生活をしていた祖先が、陸上の乾燥や紫外線に耐えられる形質を進化させたことで、上陸が可能となったのだ。

藻類や陸上植物の強みは光合成によって有機物を自己生産できることだ。これならば有機物に乏しい不毛な土壌でもやっていけそうなものだ。しかし、それ以外にリンや窒素などの無機栄養も必要である。藻類は水中の無機栄養を細胞表面から吸収している。無機栄養は水中に溶け込んでいるので、植物のように根を張る必要はない。

腐葉土など存在しない大地に上陸してしまった陸上植物の祖先は、どうやって無機栄養を手に入れていたのだろうか。どうやら助っ人の手を借りることにしたらしい。その助っ人

とは、一足先に上陸していたと思われる菌類である。

現在、植物のおよそ8割がアーバスキュラー菌根菌（AM菌）という菌（糸状菌）と共生している。AM菌は植物の根に菌糸を挿入し、根の組織中に樹枝状体という特殊な器官を形成する。その一方で土壌中にも菌糸のネットワークを広げている。

リンは土壌中で移動しにくい元素であるうえに、土壌粒子に吸着されやすい。そのせいで、根を限られた範囲にしか広げられない植物は、自前の根だけでは十分な量のリンを吸収することが難しい。それに対してAM菌は土壌中の広い範囲のどんなに狭い隙間にも菌糸を張り巡らすことでリンを効率よく吸収する。そして樹枝状体から寄主植物に水分やリンなどのミネラルを提供する。植物のほうは、光合成で得た糖や脂質を提供している。両者はwin-winの関係なのだ。

つまり、先に植物は自立自存可能と書いてしまったが、正確にはそうではないことになる。ではこの共生関係はどのようにして実現したのだろうか。

## ヤヌス神のメッセンジャー物質

種子植物がAM菌と共生するにあたっては、根からストリゴラクトンという信号物質を放出することでAM菌の菌糸の分岐を活性化し、自分の根への共生を促すことが知られている。その一方でストリゴラクトンは、種子植物の体内ではホルモンとしても機能している。

リンが欠乏するとストリゴラクトンの合成が誘導され、枝分かれが抑えられて成長が抑えられるのだ。その一方で根から放出されたストリゴラクトンがAM菌の共生と樹枝状体形成を促進し、リンの吸収を活性化させる。

ローマ神話の二面神ヤヌスは、門の守護神として扉の開閉を司っていた。成長と栄養補給のアクセルとブレーキを切り替えているストリゴラクトンという物質も、まるでヤヌスのような存在ということになる。

ここで一つの疑問が湧く。植物が合成するストリゴラクトンには初めからこの二面的な機能があったのだろうか。この疑

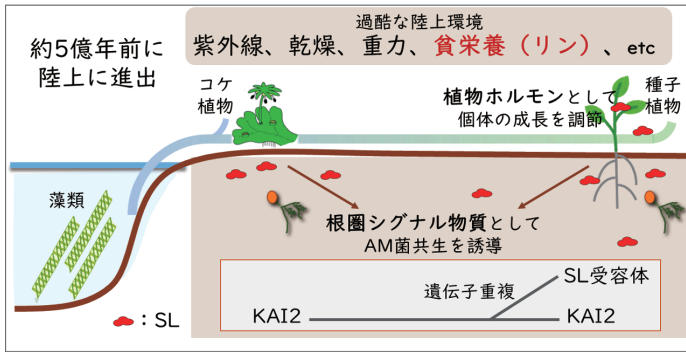


図-1 植物はストリゴラクトン合成能力を獲得したことでAM菌との共生を実現し、貧栄養の陸上への進出を実現した。種子植物はそのストリゴラクトンを成長を制御する植物ホルモンとしても活用する能力を獲得した。(図版提供：経塚淳子東北大学大学院教授)

問に答えたのが、東北大学の経塚淳子教授の研究グループである (Kodama *et al.* 2022)。

陸上植物の共通祖先に連なる系統で最初に分かれたのがコケ植物だった。なのでまずはコケを調べるべきだろう。フタバゼニゴケというコケもAM菌と共生している。ただしコケには根がない。その代わりにあるのが仮根(かこん)という固着装置なのだが、これ自体に栄養素や水分を吸収する機能はほとんどない。AM菌はフタバゼニゴケの仮根から侵入し、葉の中に樹枝状体を形成している。ストリゴラクトンを合成しているかどうかを調べると、たしかに合成していた。しかも、リンが欠乏するとストリゴラクトンの合成量が増加した。また、ストリゴラクトンを合成しない変異体を作成したところ、形態的な違いは見られないものの、AM菌との共生は起こらなかった。

フタバゼニゴケのこの性質から、おそらく元祖コケもストリゴラクトン合成能力を獲得したことでAM菌との共生能力を獲得し、陸上での生育が可能となったものと推定される。

では、種子植物の成長制御物質としてのストリゴラクトンの機能はどのようにして生じたのだろうか。フタバゼニゴケの体内では、ストリゴラクトンはいかなる機能も果たしていない。というか、それを植物ホルモンとして感受する仕組みが発達していないという。

ホルモンを信号として認識するには、その受容体というものを備えていなければならない。種子植物にはそれがあるが、コケ植物やシダ植物にはそれが存在しないのだ。裸子植物と被子植物からなる種子植物は、その共通祖先において、KAI2という既存の遺伝子を余分にコピー(遺伝子重複)し、それが少し改変されることでストリゴラクトン受容体を獲得



図-2 ソルガム畑でピンクの花をつけたストライガの一種(写真提供：USDA APHIS PPQ)

したのである。試しにフタバゼニゴケにこの受容体を導入したところ、ストリゴラクトンの信号を感知することも確認された。

というわけで、植物とストリゴラクトンをめぐる進化の筋書きが見えてきた。元祖コケにおけるストリゴラクトンのそもその機能は仮根から土壤中に放出されてAM菌との共生を促進することだけだった。そしてそれが後に種子植物を生んだ系統で植物体内のホルモンとしても受容する準備ができたことで、成長とリン吸収の切り替え機能ももつようになったのだ(図-1)。

地球の緑化に大きな役割を担っているストリゴラクトンだが、じつはやっかいな事態も引き起こしている。アフリカなどのイネ科とマメ科の畑では、ストライガ(図-2)という寄生植物が甚大な被害を及ぼしている。ストライガの微小な種子は、作物が土壤中にストリゴラクトンを放出するとそれに反応して発芽し、作物の根に寄生して栄養分を吸い取ってしまうのだ。なんともしたたかな戦略ではないか。

生活を豊かにしてくれる科学技術は、ときに軍事用にも転用できる。これをデュアルユースと言うが、植物にとっては天啓だったストリゴラクトンも、まさにデュアルユースに利用されてしまっているというわけである。これもまた二つの顔のなせるわざというべきなのだろうか。(完)

## 引用文献

Kodama, K. *et al.* 2022. An Ancestral Function of Strigolactones as Symbiotic Rhizosphere Signals. *Nature Communication* 13, 3974.