

仮想敵国の脅威をことさら強調することできな臭い話をかき消すための無駄遣い選挙が終わり、世の中はなおいっそう怪しい状況に傾斜しつつある。一方、海の向こうの大統領は、身辺周辺のロシア疑惑を、こともあろうに大統領選で追い落とした相手の陰謀説で煙に巻こうとしている。どちらのトップも、日本政府が推し進める道徳教育では決して取り上げられそうにないキャラだ。

そういえば、その大統領に八つ当たりされているヒラリー・クリントンは、大統領夫人時代に、将来の政界進出を見据えてのことか、自伝的な教育書を出版していた。題して『村中みんなまで』。ちょっと？の書名だ。原題は *It takes a village* という。これは、*It takes a village to raise a child* という言い回しからの援用らしい。直訳すると、「子育てには村が必要」あるいは「村中のみんなが必要」という意味になる。書名には、極端な個人主義や家族の絆だけを強調する共和党保守派に対する揶揄も含まれていたのかもしれない。

そんなことに連想が及んだのは、さる研究の一般向け紹介文を読んでいたら、*it takes a village (of other organisms) to raise a poplar tree* という文章に出っくわし、面食らったからだ。ポプラがどうしたというのか？ポプラにも村が必要？

ポプラ(図-1)は、ゲノムが解読された最初の多年生植物という栄誉を授けられた樹木である。2006年のことだ。ポプラが選ばれたのは、成長が早く、パルプやバイオ燃料などの有用樹種として需要が高い上に、ゲノムサイズがほどほどだったからだ。そしてゲノムの全容が明らかになった時点で、プロジェクトはさらなる展開を見せた。ポプラの木を取り巻く土壌中の環境、そこにすむ多様な微生物との相互作用も理解しない限り、ポプラの生き方を解明したことにはならないということになったのだ。なればこそ、「他の生きものからなる“村のみんな”」が必要ということになる。

そこで次なる研究のターゲットの1つに選ばれたのがAM菌(アーバスキュラー菌根菌、図-2) *Rhizophagus irregularis* (旧称は *Glomus intraradices*) で、2013年にそのゲノム解読

が終了した。AM菌は、植物の根に寄生する共生生物である。土壌中のリンを菌糸から吸収して植物に与えるのと引き換えに、植物が光合成によって生産した糖をもらっている菌類である。植物種のじつに3分の2(8割とも)は、何らかの菌根菌と共生関係にあるといわれてきた。それもそのはず、菌根菌は、陸上植物の進化に深くかかわっているらしい。4億2000万年前の原始的なシダの化石の根に、その痕跡が認められるほどなのだ。発達した根茎をまだもっていなかった初期のシダと共生することで、互いにウィンウィンの関係を築いたのだろう。それ以後、植物の進化に深くかかわってきたと考えられている。

AM菌は、胞子や無隔菌糸のなかに何百個もの核をもっている奇妙な糸状菌である。しかも、ゲノムサイズが、真菌類のなかでは最大規模だという。そのうちの多くは、リン代謝に関わる遺伝子である。その一方で、共生関係を深める中で不要な遺伝子の多くを欠いている。毒素を生成する遺伝子はないし、植物の細胞壁を溶かすための遺伝子ももっていない。したがって、土壌中の植物体の死骸を分解して生きていくという生活はできない。

AM菌は、寄生した根との細胞間コミュニケーションに関わると思われる遺伝子も多数保有している。植物の共生関係を育む中で獲得した遺伝子なのだろう。つい最近(2017年)、植物の側からAM菌にはたらきかけるための遺伝子も見つかった。菌根菌と共生できないトウモロコシの変異体の原因遺伝子の機能を調べたところ、その正常遺伝子 *NOPE1* には、信号伝達物質であるN-アセチルグルコサミン(GlcNAc)という糖を細胞外に排出する機能があった。この糖は、菌類の細胞壁を構成するキチンの素材でもある。この糖は、感染症を引き起こすカンジダ菌の細胞内に入ると、細胞内信号伝達を活性化し、菌糸の成長を促す遺伝子を発現させ、宿主への侵入を促進することが知られていた。そこで、正常な *NOPE1* 遺伝子をもつイネの根からの浸出液にAM菌をさらしたところ、菌糸がイネの根に侵入し、共生的な感染を促す遺伝子が活性化されたという。



図-1 ポプラの1種セイヨウハコヤナギ (Otto Wilhelm Thome, 1885, *Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz* より)

ことだ。ケンブリッジ大学でなされたこの研究では、トウモロコシの変異体で遺伝子を特定し、それがイネで検証された。応用面を意識していることがよくわかる。作物の栽培条件下でも菌根菌との共生関係を積極的に活用することで、肥料の節約と収量の効率的な増化を目指そうというのだ。

菌根菌は、宿主の根の内部に菌糸を伸ばし、根の内部または表面に菌根を形成する。それに対して外菌根菌(図-3)は、宿主の根の内部に菌糸が侵入しないタイプの共生関係を結ぶ。有名なマツタケとアカマツの関係はこれにあたる。

北アメリカの森林で、土壌中の菌根菌と外菌根菌の存在と樹木の多様性との関係を調べる実験が行われた。その研究では、550カ所から集めた土壌で、55種の樹種の実生苗が育てられた。その内訳は、外菌根菌との共生種が30種、菌根菌との共生種が25種である。その結果、菌根菌共生種の苗は、同種の樹木の近くから集めた土壌での成長が悪かった。病原菌や微小な動物に攻撃を受ける例が多かったからである。それに対して外菌根菌共生種の実生苗は、同種の樹木近くから集めた土壌での生育状態がよかった。つまり、外菌根菌共生種の樹種が生育する森は、樹木の多様性が低くなる傾向が高



図-2 M菌の菌糸と胞子 (© Guillaume Bécard, University of Toulouse)



図-3 北アメリカ、ベイツガの森に生える外菌根菌の子実体(キノコ) (© Colin Averill)

植物から菌根菌に対して、まるで手を差し伸べて誘うかのような仕組みが見つかったのは、今回が初めての

いのに対し、菌根菌共生種は、樹木の多様性が高い森に生育する傾向が高くなる。

ただしこの関係は、どちらの方がよいというわけではない。なぜなら、多様な樹種が混ざり合う混交林と、単一樹種が優先する単純林のどちらがよいかという価値観は、自然界では意味をなさないからだ。

菌根菌と外菌根菌(外生菌根菌と内生菌根菌を含む)と樹木との関係については、それとは別の研究結果もある。外菌根菌と共生する樹種が優占する森では、菌根菌と共生する樹種の森よりも、土中に保存されている炭素の量が70%も多いことがわかったのだ。これは、外菌根菌が有機態窒素分解酵素を産生することで、植物による窒素の吸収を可能にし、結果的に土壌中の炭素の貯蔵量を増大させるからだ。それがなければ、土壌中の有機物はバクテリアなどに分解され、炭素は二酸化炭素となって大気中に放出される。事実、菌根菌が優占する森では、そういうことが起こっている。つまり、キノコが地球の二酸化炭素の循環に大きな役割を担っているらしいことになる。これは、気候変動を考える上で、これまで考慮されていなかった要素である。

陸上植物は、その進化の過程で菌類と切っても切れない関係を築いてきた。その関係は、分子レベルでの共生メカニズムから大気中の二酸化炭素量にまで及んでいることがわかってきた。だが、わかっていないことはまだまだ多い。

ただし言えることは、われわれは一人では生きられないということだろう。そう、村中みんなの存在が必要なのだ。