

工学研究科における生物学—環境・食糧問題に関して



若

者

林 誠*

Biology at Graduate School of Engineering

Key Words : Nitrogen fixation, Legumes, Rhizobia, Plant Engineering

1. はじめに

2050年には100億人になろうとしている地球の人口に対して、将来に出会う深刻な食糧危機が以前から問題視されてきた。現在日本のような先進国で暮らしている限り、食糧危機の危険性は日常生活において全く感知できないと言っているが、実際、多くの国において耕地面積の無計画的な増大によって回復不可能な環境破壊がもたらされている。そしてそのような環境破壊によって、生産性の向上どころか現在有効な耕地への悪影響もあらわれている。日本は多くの農産物を輸入に頼っており、ひとたびそれらの輸出国が規制を行えば、深刻な食糧の供給不足が懸念される。日本の農産物生産効率は飽和に達しているわけではないが、技術的な諸問題などを解決して自給自足体制に移行するには非常に多くの労力と時間がかかることが予想され、将来確実に訪れるであろう食糧危機の際には石油ショックの時とは比べものにならないほどの混乱が生じるであろう。

そこでわれわれは農産物の生産コスト低減と生産量増大のために、窒素の同化に注目して、より少ない肥料を用いてより多くの収量を得るための分子生物学的研究を行っている。農作物の栽培においてN・P・Kで代表される元素は現在化学肥料として耕地に供給されている。しかし化学肥料はコストがかさむうえに河川に流失したものが水質汚濁の原因とな

る。このなかで窒素は大気中に窒素分子として豊富に含まれているが、植物はこれを直接利用することができない。しかし一部の植物、特にマメ科植物は土壌中の窒素固定細菌である根粒菌と共生することで大気中の窒素を固定し、植物が利用できる状態にする。この共生システムは残念なことにマメ科以外の農作物には存在しない。マメ科植物の窒素固定共生システムを研究することで、これを他の農作物にも応用したいと考えている。以下に現在までに解明されたいくつかの機構をかい摘んで述べようと思う。

2. 根粒菌の分泌する nod factor について

本来土壌中の微生物と、そこに根を伸ばしている植物は独立して生きている。もし微生物が植物の中に侵入すれば、それは異物として排除されるか、病原菌として植物に害を与える。根粒菌がマメ科植物の根に侵入し、植物が根粒を形成し、そこで根粒菌は増殖を調節されながら大気中窒素を固定する一連の機構には植物と根粒菌の相互情報交換が必須である。

植物の根は土壌中に常にフラボノイドを分泌している。フラボノイドの種類は植物によって異なり、同じ植物でも数種類のフラボノイドを分泌するといわれている。根粒菌がそのフラボノイドを認識し、nod factor とよばれるオリゴ糖をあらたに分泌し、それを植物が認識した結果根粒菌が植物の中に侵入できるようになることが10年ほどまえに解明された。興味深いことにはある種の根粒菌はある特定のフラボノイドしか認識せず、また植物のほうでもある特定のnod factorしか認識できない。特定のマメ科植物としか共生関係を持たない根粒菌の種はその植物の分泌するフラボノイドを認識して、その植物の認識できるnod factorを合成するが、様々なマメ科植物と共生関係を持ちうる根粒菌の種は多くの異なったnod factorを合成できる。nod factorのみを植物

* Makoto HAYASHI
1966年9月11日生
1996年東京大学大学院理学系研究科
生物科学専攻博士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・
応用生物工学専攻、助手、博士(理
学)、植物生理・形態
TEL 06-6879-7417
FAX 06-6879-7418
E-Mail hayashi@res.bio.eng.
osaka-u.ac.jp



に与えた場合でも *ENOD*, *nodulin* という根粒形成、窒素固定に必要な多くの遺伝子が植物で新たに発現し、ダイズなどでは擬根粒と呼ばれる組織も形成される。しかしながら *nod factor* がどのようにして植物に認識されるのかは不明な点が多い。

3. ENOD40

マメ科植物と根粒菌の共生過程において初期に発現が誘導される植物の遺伝子として *ENOD40* が発見された。*ENOD40* は *nod factor* によっても発現が誘導され、根粒形成に先立つ細胞分裂にもなって発現し、さらにこの遺伝子にコードされた産物が構造タンパクとは考えにくい短いペプチドであったことから、*ENOD40* は植物では存在があまり認識されていないペプチドホルモンではないかと思われた。さらにマメ科以外の植物、タバコ、イネ、トウモロコシでも *ENOD40* が見つかり、これが細胞分裂を誘導することが示唆されたために、*ENOD40* は組織分化に重要な役割をしていると思われる。根粒菌は植物内では根粒という根から分化した組織の内部で窒素固定を行っており、*ENOD40* が植物に普遍的に存在することは、根粒菌がマメ科以外の植物とでも共生関係を持ちうることを示している。

4. レグヘモグロビン

土壌中の根粒菌は大気中の窒素を固定しない。根粒内の根粒菌は酸素分圧が低くなったことを感知して、窒素を固定する酵素であるニトロゲナーゼを発現するが、ニトロゲナーゼは酸素の存在下で不可逆的に失活してしまう。マメ科植物の作るレグヘモグロビン(「レグ」は「マメの」という意味)は酸素と結合することで、根粒内で根粒菌に窒素を固定させる環境を作り出している。*ENOD40* と同様に、レグヘモグロビンもマメ科以外の多くの植物での存在が確認されている。

以上のことから、窒素固定の共生システムはマメ科植物のみではなく、他の多くの植物で実現可能なシステムであると考えられる。もちろん植物と根粒菌との共生関係には他にも多くの機構、たとえば植物が *nod factor* を認識した後どのようにして根粒菌を植物内に導入するのか、あるいは根粒の中でどのようにして根粒菌の数を調節して「飼って」いるのか、などの不明な点は数多くある。しかし現在のところ、マメ科植物は共生システムの確立において

多くの部分で植物が本来持っていた機能を流用しているのではないかと考えられており、したがって研究が進めば他の植物に根粒菌を共生させることも夢ではないと思われる。

5. その他の可能性について

先ほどは土壌中の微生物と植物は独立して生きていると述べたが、実は多くの場合根の周囲(根圏と呼ばれる)の微生物は植物と何らかの関わりを持っていると考えられている。たとえばある種の微生物は独立に大気中の窒素を固定するが、根から放出される栄養分を使って生きている。これは厳密な意味での共生ではないが、この微生物を土壌に接種したところ農作物の収量が上がったという報告がある。また、自然界の植物の根には菌根菌と呼ばれるカビが普遍的に寄生しているが、光合成産物などの栄養分を植物から奪うかわりに、水分や無機栄養分を根の及ぶ範囲以上の土壌中から吸収し、結果的には共生関係を持っている。しかも菌根菌が寄生すると植物の耐病性が上がるといわれている。菌根菌の研究は根粒菌と植物の共生の研究と比較してかなり遅れているが、将来解析が進めば農作物の生産向上にとって菌根菌の利用は有望な候補となるであろう。

6. おわりに

この数千年の間、人類は自然界の植物を改良することでかれらの役に立ててきた。しかし最近の人口増大、環境問題などで、われわれは以前より急速に植物の新たな利用を必要としている。分子生物学の発達のおかげで遺伝子導入植物などの自然界には存在しない植物の作出が容易になった。農産物の生産コスト低減と生産量増大のために必要な機構の解明には多くの研究が必要であるが、植物のみではなく、それと関係する微生物も視野に入れることで、より効率的な生産が可能になることは明らかである。工学研究科で植物の研究をする第一の意義はこのような応用面を主眼においた研究をすることであろう。

しかし容易に新しい植物を作り出すことは思わぬ面で環境にダメージを与えかねない。過去にないスピードで生物が絶滅しつつある現在、環境に与える影響を無視した新植物の開発は足元をすくわれる結果になりかねない。自然界に存在する生物とどのように調和して農作物を利用していくかは過去においても将来にわたっても深刻な課題である。