

## 第7期第4回創発セミナー報告 —植物を支える微生物と共生—

大隅基礎科学創成財団は2024年2月20日午後4時から、理化学研究所の林誠氏と東京大学の晝間敬氏を講師に迎えて創発セミナーをオンライン形式で開きました。視聴者は105人。

以下にその要旨を報告します。(司会は財団の飯田秀利理事)

公益財団法人大隅基礎科学創成財団

理事 大谷 清

### 講演1『植物の土壌微生物との細胞内共生：その機構と進化』

理化学研究所環境資源科学研究センター

チームリーダー 林 誠

#### ■ 林誠氏のプロフィール ■

1996：東京大学大学院理学系研究科 博士課程修了

1996：理化学研究所 基礎科学特別研究員

1997：大阪大学大学院工学研究科 助手

2006：ミュンヘン大学生物学部 W2 教授

2008：農業生物資源研究所植物科学研究領域 ユニット長

2014：理化学研究所環境資源科学研究センター チームリーダー (現職)



#### ■ 講演要旨 ■

陸上植物の大部分は、土壌中の水分や栄養を効率よく吸収するため菌根菌と共生する。一方、ダイズなどのマメ科植物の多くは根粒菌と共生し、大気中の窒素を栄養として利用できる。マメ科植物だけでなくイネ、コムギ、トウモロコシなどの穀物と根粒菌が共生できれば窒素肥料の大幅な使用削減が可能となり、生態系に優しい持続的な農業が実現できる。そこで我々は根粒共生の分子機構を明らかにするとともに、マメ科植物と根粒菌との共生における進化的要因を探った。

多くの陸上植物は菌根菌とは共生するが、根粒菌とは共生できない。なぜマメ科植物だけが根粒菌と共生できるのか。

マメ科植物の根から特定の物質が分泌されると、根粒菌はそれを感知して自らの存在を知らせる物質を出し、その物質を受け取ったマメ科植物が根粒を形成、その根粒の細胞内に根粒菌が入り、大気中の窒素固定を始める。しかしマメ科植物のどの遺伝子が根粒菌との共生に必要なのかわからない。この20年ほどの間に、我々を含め世界中の研究者が共生に必要な遺伝子を同定し、共生がどのように始まるかがわかってきた。

マメ科植物のゲノムに変異を起こさせ、その中から根粒菌と共生できないものをみつけることで、共生に必要な遺伝子を特定する研究が進んだ。その結果、20個ほどの遺伝子が根粒の形成初

期に必要な遺伝子であること、そしてそのほとんどが菌根菌との共生でもはたらく共通共生遺伝子であることが明らかになった。

生物の進化において全く新しい遺伝子ができることは基本的にはありえないと言われている。では根粒菌と共生できるように進化した遺伝子は何か。それは共通共生遺伝子ではなく、根粒菌との共生にだけ働く遺伝子で、その一つが NIN と呼ばれる転写因子の遺伝子だ。転写因子とは DNA に結合して特定の遺伝子の発現をコントロールするタンパク質だ。

我々はこの NIN がゲノム上のどこに結合しているのかを調べたところ、側根を作る遺伝子である ASL18 を誘導することがわかった。NIN が発現のスイッチをオンにする他の遺伝子を探すと NF-YA1 と NF-B1 という 2 つの遺伝子が見つかり、合わせて 3 つの遺伝子が発現、誘導され、根粒を作っていることがわかった。

なぜマメ科植物にだけ根粒菌との共生ができるのか。その問いの答えとしてはマメ科植物にはもともと菌根菌と共生するシステム、側根を作るメカニズムがあった。そこへ NIN という既存の遺伝子を介して根粒菌との共生に働くようなメカニズムができ、根粒菌との共生が進化してきたのではないだろうか。

我々の研究の動機は基礎研究だが、マメ科植物と根粒菌の仕組みをイネ、コムギ、トウモロコシなどに導入できれば窒素肥料の大幅な削減、食料や地球環境の問題解決に貢献できる。世界のイネ、コムギ、トウモロコシの生産だけで窒素とリン肥料の半分が使われていると言われる。温室効果ガスの 3 分の 1 は農業によるものと言われる。プラネタリー・バウンダリー（地球の限界）危機を解決するためにも、根粒菌による窒素固定はますます重要になる。

以上

## 講演2『植物と内生糸状菌との共生：圃場から実験室まで』

東京大学大学院総合文化研究科生命環境系  
准教授 晝間 敬

### ■ 晝間敬氏のプロフィール ■

2012：京都大学大学院農学研究科 博士課程修了

2012-14：マックスプランク研究所植物育種学研究所

（日本学術振興会海外特別研究員）

2014-2020：奈良先端科学技術大学院大学 助教

2020-：東京大学大学院総合文化研究科生命環境系 准教授（現職）



### ■ 講演要旨 ■

野外での植物は多彩な内生糸状菌と相互作用している。私たちは内生糸状菌 *Colletotrichum tofieldiae* (Ct) が実験室内だけでなく複数の圃場でアブラナ科植物の成長を促すことを見出している。そのような圃場で見出した現象の基盤について、実験室における実験を通じて明らかにしたい。

植物は多彩な感染様式を持つ微生物と相互作用している。植物及び内生微生物は内生微生物の秘める病原性をどのように抑制しているのだろうか。我々は内生糸状菌 Ct をテーマに研究を進めた。

まず糸状菌 Ct はリンが枯渇した環境下でもアブラナ科植物の成長を促すことを確かめた。この糸状菌との共生にはアブラナ科特異的なトリプトファン由来の 2 次代謝物群が必要で、アブラナ科植物は植物の免疫経路を活用することで糸状菌などを手なづけてきたのではないかと推測される。このことを長野県と奈良県の 2 つフィールドで実験すると、それぞれ異なる圃場でも糸状菌がコマツナの成長、それも実験室より大きな効果で成長を促したことが確かめられた。

またシロイヌナズナを使った実験で、Ct4 (共生型糸状菌) は窒素が枯渇した環境下でも植物成長を促すことも分かった。このことは植物体内の窒素状況が糸状菌による植物成長促進の有無を決定していることを意味する。Ct4 は菌糸を介して  $^{15}\text{N}$  (窒素 15、注) を植物に供給する。

さらに糸状菌の接種によって植物の成長が促される際に、根圏の細菌叢の構成が大きく変化することもわかった。このことは糸状菌が共生効果を発揮する際、特定のタイプの細菌を根圏に誘引していることが示唆された。誘引された細菌の多くが植物成長を促したが、中でも A10 という細菌と Ct4 は窒素欠乏条件下で協調的に植物成長を促した。さらには、トリプトファン由来の 2 次代謝物が欠損した *cyp79b2 cyp79b3* 変異体においても A10 と Ct4 を接種すると、野生型植物と同等レベルまで植物の成長が促された。つまり窒素欠乏かつ A10 の存在下では、トリプトファン由来の 2 次代謝物群は Ct4 との共生には必須ではないことになる。Ct4 は窒素欠乏下でアブラナ科以外の植物、たとえばレタス (キク科) の成長も促した。

以上をまとめると

- ・糸状菌は窒素が欠乏した圃場及び実験室条件において植物の成長を促す
- ・糸状菌は菌糸を介して窒素を植物へ供給する
- ・糸状菌は有益な細菌群を根圏に誘引する

これらのことから糸状菌による成長促進効果が圃場でクリアに観察された要因ではないかと考える。さらに

- ・窒素栄養が枯渇した環境ではトリプトファン由来の 2 次代謝物群は糸状菌による植物成長促進効果に必須ではない
- ・窒素栄養が枯渇した環境では糸状菌によって誘引された細菌が糸状菌の変異体における過剰増殖を抑制する
- ・窒素栄養が枯渇し、他の微生物叢が存在する環境では、植物はトリプトファン由来の 2 次代謝物群を持たなくとも糸状菌との共生関係を構築できる。

これらのことから糸状菌はアブラナ科を超えて他の植物叢と共生関係を築ける基盤ではないかと考えられる。

以上

注 (編集者)

$^{15}\text{N}$ : 天然に存在する窒素の安定同位体の一つ。