

知の扉を  
開く

# 微生物とともに生きる 植物の免疫システムを 解明する

バイオサイエンス領域 植物免疫学研究室



西條 雄介 教授



安達 広明 助教

## 病原菌と共生菌

植物はヒトと同様に、体内に細菌やカビなど様々な微生物を宿しており、自身を攻撃する悪玉の病原菌には抵抗する一方で生育を助けるなど善玉の共生菌とは共存するという柔軟な戦略を取っている。細胞の表面に、微生物などの異物や自身の細胞破碎成分を見分けるセンサー（免疫受容体）を備えていて、微生物の「善悪」の判断に役立っている。さらに、微生物が分泌する感染促進因子（エフェクター）のタンパク質も細胞内の免疫受容体で識別して対処することがわかってきた。

西條教授は、植物が細胞に受けたダメージも免疫センサーでいち早く感知することで、病原菌を認識し、免疫応答を強化する仕組みを明らかにするなどの実績がある。「植物に共生している菌は、環境条件次第で、善玉菌にもなれば悪玉菌になることがあります。そういった変化を宿主の植物が柔軟に感知

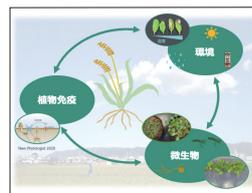
して免疫を誘導したり、環境適応に役立つ方向に共生菌のふるまいをコントロールしたりする仕組みを明らかにしたい」と抱負を語る。

## 環境センサー

植物体を構成する細胞同士の隙間などには多種の微生物が常在していて、その状況を植物のセンサーがモニターし、微生物集団が適正な状態にあるかどうかをチェックしている。多様な微生物群自体がバリアとなり、特定の菌の侵入や増殖が難しくなる。あえて免疫応答を誘導せずとも感染拡大を防ぐことができるのだ。一方、植物の細胞内部の生成物が流出するというダメージがある場合、そこに特定の種類の微生物が増えれば、悪玉の攻撃が始まったとして免疫システムを活性化させる。

西條教授が目指すのは「湿度」という環境の変化をセンサーが感知し、免疫を誘導するシステム。湿度が高まると微生物が増殖し、植物に病害が起きやすくなるため、植物の免疫系が反応すると見られているが、湿度センサーそのものについては未解明だ。そこで、植物の細胞膜を貫通して水を取り入れるアクアポリンというタンパク質に着目。湿度の上昇により活性化されることなどをつきとめ、未知の湿度センサーとの関連を調べている。

「水は微生物が増殖する環境づくりに必要で、病原菌は免疫受容体に感知されるリスクがあるエフェクターを使って水を集めます。植物には、微生物が増殖して悪玉になりやすい湿度を感知するセンサーがあり、それが免疫を誘導しているのかもしれない」と推測する。



▲植物と微生物の関係性は湿度、温度、光、栄養などの環境条件によって大きく左右される。

## 栄養をめぐる適応の仕組み

また、西條教授は、植物の「栄養」をめぐる適応の仕組みも

免疫のシステムの制御と深く関わっていると示唆する。植物が光合成により作り出した糖などの栄養分を求めて、病原菌も共生菌も植物に感染する。ただし、病原菌と共生菌とでは栄養要求性が異なっていて、一方的に大きく要求しすぎる存在が悪玉菌すなわち病原菌として認識されるのではないかと。植物は、根が吸収するミネラルなどの栄養分が欠乏した場合は、根の生え方を変えたり、ミネラルを運ぶ輸送体タンパク質の量を増やして効率的な吸収ができるように応答する。ミネラル欠乏応答が働かなくなるようにすると植物の免疫システムの感受性が高まるなど、栄養応答と免疫応答とのつながりを示す研究成果も出始めている。

「植物、微生物、環境の三者の関係によって微生物は共生菌にも病原菌にもなります。植物が善玉と悪玉を識別する原理を知るとともに、どちらもうまく調節するような共通の原理を見つけていきたい」と語る。

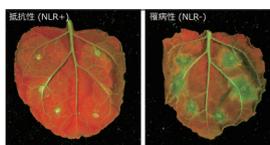
免疫研究の新たな方向をめざしてきた西條教授は京都大学卒業後、米国のエール大学、ドイツのマックスプランク研究所の植物免疫研究グループのリーダーを経て、本学の研究室を立ち上げた。学生に対しては「足元を見る目」と「世界を見る目」の両方を伸ばしていこうと呼びかけ、英語で学び、研究できる環境も整えている。

## 細胞死を起こす受容体

安達助教は植物の細胞内で働くNLRと総称される免疫受容体の研究を続けている。この受容体は、病原微生物が免疫システムをかく乱しようと分泌するエフェクターを識別して、プログラム細胞死を誘発し、感染の拡大を防いでいる。NLRは動物細胞でも見つかり、自然免疫としての重要性から研究が進んでいるが、植物細胞でのNLR免疫の研究は、課題が多い。

安達助教は「NLRは病原微生物との攻防の中で多様化しており、その機能の仕組みを分子レベルで明らかにするとともに、進化の上での位置づけを調べたり、病害に弱い植物に導入して抵抗性を高めたり、さまざまな視点からの研究を予定しています。興味につきない受容体です」と強調する。

センズベリー研究所(英国)で4年間、博士研究員となり、昨年4月に本学に赴任したが、その間に重要な発見をした。NLRタンパク質のアミノ酸配列(並び順)を解析し、細胞死を誘導する領域をつきとめたことだ。「MADAモチーフ」と命名した21個のアミノ酸の配列は、植物種を越えてゲノム(遺伝情報)に保存されていた。陸上植物の進化の初期の段階に登場し、重要な配列パターンとして受け継がれていたことがわかったのだ。さらに、NLRは、エフェクターを認識するセンサー機能と免疫を誘導するヘルパー機能と2つに分離し、働くときは役割の異なる複数のNLRが多様化するエフェクターに対応するなど新たな受容体ネットワークシステムにも注目している。



▲【左】タバコの葉でNLR受容体が働くと細胞死(黄)が誘導されて感染が起こらない。【右】一方、NLR受容体がないと病原菌は感染する(緑)。

安達助教は「独自の発見や現象が見つければ、できるだけ早く論文化して公表することが研究者の責務と考えています。読んだ人がそのデータを元に新

たな研究を築いてくれることに期待します」と一途な研究への思いを披露した。

## 国際感覚が身についた

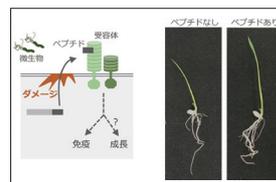
博士後期課程3年生の田中江梨子さんは、企業の研究所に勤める社会人でもあり、植物の共生菌を農業の現場に活用する研究を行っている。「研究は地道な作業で時間もかかりますが、最近うまくできるようになり、希望の光が見えてきて毎日がわくわくしています。実際に農家で使ってもらえるような技術に仕上げたい」。子育てと研究を両立させるため時間に追われているが、「明日死ぬかのように生きよ。永遠に生きるかのように学べ」と言うガンジーの言葉を心の支えにしている。



▲本学の野外圃場にて、トマト共生菌の接種試験の様子。

藤雅子さん(同3年)は、細胞ダメージに応じて免疫を活性化させるペプチドを研究しており、「植物が免疫のシステムを強く保持しながら、生長を促す良い微生物とは共生関係を構築するときに関与するペプチドと考えて研究しています」。本学については「海外で研究した先生や留学生が多く、国際感覚を身に付けるという目標が達成できました」。観葉植物を育てることが趣味で、ガジュマルの樹が天井に届くまで成長してしまったり、一生に一回しか咲かないアナナスの花が咲いたり、得難い経験をした。

博士前期課程2年生の切田澄礼さんは、イネの特定のタンパク質リン酸化酵素遺伝子の機能を調べている。「菌根菌との共生に使われる遺伝子ですが、水稻では共生しないにもかかわらず、この遺伝子の有無により、イネの生長や共生する細菌の種類に違いが出るのがわかっています」。



▲イネは、免疫を活性化させるペプチドを使って根の生長も促している。

農業が好きで、学部の際は土壌分析の研究を手掛け、植物を研究したくて本学を選んだ。就職先が決まっていて「農業関係の社内ベンチャーを立ち上げたい」。



▲田中江梨子さん



▲藤雅子さん



▲切田澄礼さん

▶バイオサイエンス領域 植物免疫学研究室  
<https://bsw3.naist.jp/courses/courses111.html>