

出村 拓 教授

加藤 晃 准教授

國枝 正 助教

中田 未友希 助教



# 旺盛なパワーを秘めた木の細胞を設計し、持続可能な社会を支える

バイオサイエンス領域 植物代謝制御研究室

## 道管づくりの遺伝子を発見

植物は、二酸化炭素を吸収し酸素を生み出して地球環境を保護し、食糧やエネルギーになるバイオマス資源を提供して持続可能な環境や社会を支えてきた。その中で出村教授らは、重要なバイオマス資源となる樹木などを研究材料として、水や養分を輸送する道管や植物体を支える繊維細胞が形作られる仕組みを遺伝子解析などの分子生物学の手法で解明。基礎研究の成果を応用して細胞(木質細胞)そのものを改変して有用な材料に仕立てるなど、SDGs(持続可能な開発目標)を達成するためのバイオテクノロジーの開発を進めている。

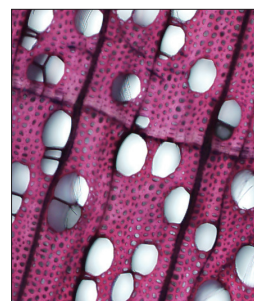
木材は、水供給のライフラインともいえる筒状につながった道管細胞と、それを取り巻いて植物体を支持する繊維細胞でできている。しかし、道管細胞は組織を形成するときに細胞死して残骸になってしまうので、細胞の分化の過程を追跡するのは困難だった。

そこで、出村教授は、遺伝子解析などの手法を使って研究。道管の細胞に分化するためのスイッチを入れる転写因子(VND7、VND6)の遺伝子(マスター遺伝子)を2005年に世界で初めて発見。このあと、VND7の機能を強制的にオンにして、様々な種類の細胞に道管の細胞に特有のらせん状構造の厚い細胞壁(二次細胞壁)を作らせる技術開発に成功。関連する研究は米科学誌「サイエンス」に掲載された。道管形成に関係する遺伝子のネットワークも解明しつつある。

「最初の陸上植物であるコケにもVND7の類似遺伝子があ

ることから、水を運ぶ細胞や体を支える細胞の進化の研究にも広げていきたい」と出村教授。

また、こうした木質細胞の研究成果の応用では、早く育つ特性がある樹木のポプラの遺伝子を改変し、目的に合わせて性質を自在にデザインできる木質バイオマス(生物資源)を作り出す技術の研究にも取り組む。VND7やVND6の遺伝子を導入したポプラの実験では、細胞壁に含まれる糖やアミノ酸の量が変化させ、木質を変えることができた。



▲ 爪楊枝の断面写真  
中心部が白く抜けた大きい細胞が水を運ぶ道管。

## 生物学と力学の融合

もうひとつの大きなテーマは、植物科学を研究する出村教授らと、空間構造工学という理工学分野の全国の研究者が連携して行う文部科学省の「科学研究費補助金新学術領域研究」で2018年度からスタートした。植物が環境に応じて枝の向きを変える時、効率よく絶妙の力学的バランスを取るなど最適化(オプティマイゼーション)による戦略を調べ、細胞、組織の構造の特性など生物学の知見を建築学など空間構造工学の立場から読み解く。その成果は省エネや省建築部材の設計など次世代型の持続可能な建築構造システムの基盤づくりに役立っている。

出村教授は、全体を統括するとともに、植物が形を変える出発点の「細胞壁の特殊化」をテーマに研究を進める。「植物の力学

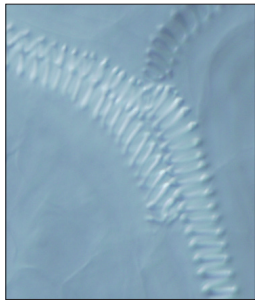
的最適化の戦略の知見は、建築物などの設計において新たな安定化の仕組みの導入に役立つとの発想です」と出村教授。植物の構造でも、ワイヤー(引張り材)と硬い棒(圧縮材)の張力の関係だけで安定化するテンセグリティ(張力と統合)という概念が成り立つと考えている。

## タネを保護する物質

國枝助教は、種子が濡れると、種皮細胞から大量に放出されて種子を保護する「ムシレージ」という粘液状の物質の研究を続けてきた。この成分は細胞壁の構成成分でもある多糖類(ペクチン)で、細胞壁と細胞膜の間の空間に蓄えられており、國枝助教は、ムシレージ大量放出を担う酵素が、細胞壁が壊れる部分にだけ偏在してムシレージの放出を促進しているという巧妙な仕組みを突き止めた。

「細胞内で合成されたムシレージやその関連酵素が、どのように細胞膜外の特定の領域へと分泌されるのか。分泌に至るまでの輸送に関わっている因子を調べていきたい」という。

また、細胞壁が圧力など力学的要因によってどのように形を変えるか、その仕組みについても調べている。二次細胞壁は、細胞膜と一次細胞壁に挟まれながら形成されるが、この両側の圧力のバランスが変化すると、注目する細胞が持つ二次細胞壁の筒状のらせん構造が崩れてしまう。その現象についてナノレベルで解析できる原子間力顕微鏡(AFM)を使い、細胞壁の表面構造や硬さを測定して解明する。



▲モデル植物シロイヌナズナの道管らせん模様が道管細胞の二次細胞壁。

## 運動する植物

中田助教は、植物の茎や葉、花などさまざまな器官が、「植物体を支える」「太陽光を受け止める」といった、それぞれの役割に適した形態や力学的特性を持っていることから、これらの特徴を決める遺伝子レベルの制御メカニズムの研究を行っている。既に遺伝子情報が明らかになっている草本植物のシロイヌナズナを材料とした研究で、葉や花びらが平らに成長するときに働く遺伝子や、平らに成長する過程を制御する仕組みを解明した。また、植物は枝の若い部分は柔らかくて伸びやすく、古い部分の表面は頑丈だが内部は壊れやすいなど器官や成長段階ごとに特徴的な力学的に複雑な構造を持ち、環境に



▲ケヤキの扇状の樹形

て枝の成長の向きを変えたり葉を動かしたりする運動特性もある。木本植物のユーカリやマメ科植物のダイズを材料として、様々な成長段階の植物器官の形態や力学特性を測定するための新しい実験系や装置の開発に取り組み、こうした特徴的な構造と運動の相関関係の解明に挑んでいる。

こうした実績を重ねつつある細胞壁研究グループで、

主要成分のセルロースが合成される様子の可視化に成功したヨウイチロウ・ワタナベ特任助教(カナダ籍)の指導を受け、石尾寛乃さん(博士前期課程2年)。「セルロースを合成する酵素がどのような経路で輸送されるか、高い解像力の共焦点顕微鏡を使って観察しています。セルロースの合成機構の全体がわかるような研究に結び付けたい」と意欲を見せる。すべて英語で指導されるが「テーマが面白いうえ、英語で研究できるのは得難いチャンス。カナダに短期留学もできました」と声を弾ませた。

## 高効率の遺伝子発現

一方、加藤准教授は、植物の細胞が食糧や工業原料、医薬品になる有用な生産物を作り出す機能を高めたり、過酷な環境で生育する能力を身に付けたりする時に、その機能に直接関わる遺伝子を改変して効率を高めるための基盤技術を開発している。

遺伝子の改変は、目的の機能を持つ遺伝子DNAを細胞に導入して行われる。そのDNA分子の有用な部分の塩基の配列がRNA(mRNA)という分子にコピー(転写)されたあと、mRNAの情報をもとにタンパク質が作られる。加藤准教授はRNA分子の中のタンパク質を指定しない塩基配列(5'非翻訳領域)が遺伝子を高発現に導くことなどを明らかにした。企業との共同研究も多く、黄緑色蛍光蛋白質の遺伝子をペチュニアに導入し、光る花の作成に成功。ヒト用のワクチンを植物で作らせる研究などを行っている。

「これらの研究を進展させ、目的の遺伝子に特化してターゲイトに効率よく発現させる方法を予測するシステムを開発しています」と加藤准教授。発現させたい遺伝子の塩基配列の情報について、遺伝子発現に関する大規模データをもとに、AI(人工知能)の機械学習を行って数理モデルを構築し、最も効率よく発現できるような配列パターンを予測するというデータ駆動型のシステムだ。

加藤准教授は「研究者として、バイオ産業の発展に足跡を残すような技術開発に携わっていきたい」と抱負を語る。

加藤准教授の研究グループで、遺伝子発現の際にmRNAが切断されて分解してしまう機構を調べているのが、上野大心さん(博士後期課程3年)。「RNAの塩基配列のどの部分が切断されやすいかを調べ、分解を防いで安定的に有用物質を生産するための研究です。切断に関わるいくつかの塩基配列を突き止めた」と話す。製薬企業の研究職に内定して「バイオインフォマティクス(生命情報学)の手法を使い効率的に薬を作りたい」と意欲を見せた。



▲石尾 寛乃さん



▲上野 大心さん

▶バイオサイエンス領域 植物代謝制御研究室

<https://bsw3.naist.jp/courses/courses104.html>