

平成 30 年 8 月 29 日

本件は下記の時間に情報公開が解禁されています。

TV・ラジオ・WEB … 日本時間 平成 30 年 8 月 1 日(水)午後 7 時
新聞 … 日本時間 平成 30 年 8 月 2 日(木)朝刊

植物の水の通り道を自在に制御する

■ 概要

植物の細胞壁は、その沈着の仕方によって、細胞の形、さらには葉や茎、果実といった器官の大きさや硬さといった性質に影響します。道管において、この細胞壁の沈着の仕方に影響するのが、細胞壁の「壁孔」と呼ばれる直径数ミクロンの水を通す無数の穴なのです。

情報・システム研究機構国立遺伝学研究所、東京大学大学院理学系研究科、理化学研究所、京都大学の共同研究グループは、遺伝学的な手法と「反応拡散モデル」と呼ばれる数学的な手法を組み合わせ、道管に壁孔が作り出される仕組みを明らかにしました。

この知見を利用することにより、道管をはじめとする植物の細胞の細胞壁の沈着の仕方を自在に操り、植物の大きさや硬さ等の性質を人為的に制御できるようになる可能性があります。

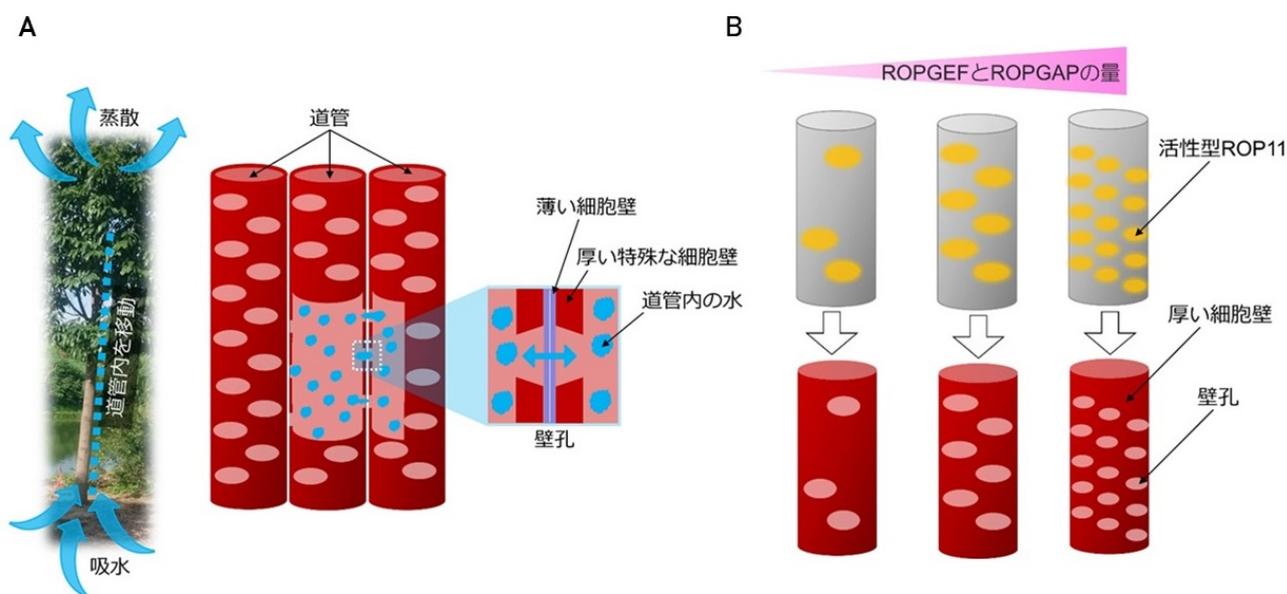


図 1:

(A) 植物の水輸送

(左) 植物の根から吸水された水は道管を通して葉まで輸送される。葉では水が蒸散により失われ、さらに水が引き上げられる。

(中央) 道管の内部を輸送される水は壁孔を通じて道管間を移動する。壁孔の薄い細胞壁を水が通り抜けることができる。

(B) ROP11 のはたらきを調節することにより細胞壁の壁孔の数が決まる

細胞内の ROPGEF と ROPGAP の量により、活性型 ROP11 のスポットを作る数やその間隔が制御される。その結果として壁孔の数が決まる。

■ 成果掲載誌

本研究成果は、米国電子ジャーナル Scientific Reports に平成 30 年 8 月 1 日(グリニッジ標準時)に掲載されました。

論文タイトル:A Rho-based reaction-diffusion system governs cell wall patterning in metaxylem vessels (Rho GTPase に依存する反応拡散系が木部道管における細胞壁のパターン形成を制御する)

著者:Yoshinobu Nagashima, Satoru Tsugawa, Atsushi Mochizuki, Takema Sasaki, Hiroo Fukuda, Yoshihisa Oda (長島慶宜、津川暁、望月敦史、佐々木武馬、福田裕穂、小田祥久)

■ 研究の詳細

● 研究の背景

植物は細胞壁によって囲まれた細胞によって作られています。細胞壁は細胞の外側に沈着して、その沈着の仕方により細胞の形、さらには葉や茎、果実といった器官の大きさや硬さといった性質に影響します。

植物の道管⁽¹⁾は植物体内の水分を全身に行き渡らせるための通路として働いています(図 1A 左)。植物体内の水分は光合成などの様々な代謝に加え、体の体積を増やすための充填材としても使われていて、植物が大きく生長する上で不可欠なものです。道管を構成する細胞の細胞壁には壁孔と呼ばれる直径数ミクロンの孔が無数に作られています。壁孔以外の場所は水を通さない特殊な細胞壁が分厚く沈着していますが、壁孔は水を通しやすい薄い細胞壁で作られているため、道管内の水分は壁孔を通過して道管から道管へ、さらには道管から葉や茎の細胞へと移動します(図 1A 中央)。

このように壁孔は植物の体のなかで水分の通り道となる重要な構造です。壁孔はほぼ等間隔に、一定の大きさで形成されます。これまで、この壁孔の数や大きさが決まる仕組みはほとんどわかっていませんでした。

● 本研究の成果

これまでに小田准教授らの研究グループは、壁孔が作られる場所で Rho GTPase⁽²⁾の一種である ROP11 タンパク質がスポット状に活性化し、この活性化した ROP11 が細胞壁の沈着を阻害することにより壁孔を作り出していることを突き止めていました。

本研究では、この ROP11 の働きを調節する遺伝子である ROPGEF と ROPGAP を探し出しました。これらの遺伝子の働きを抑制すると道管に作られる壁孔の数が少なくなり、逆にこれらの遺伝子の働きを促進すると、壁孔の数が増加しました。この現象は細胞内の ROPGEF タンパク質および ROPGAP タンパク質の量に連動して ROP11 が活性化するスポットの数が変わったことに起因していたのです(図 1B)。

どのようにして、ROPGEF タンパク質と ROPGAP タンパク質が ROP11 の活性化するスポットの形成を制御しているのでしょうか。本研究グループは「反応拡散モデル」と呼ばれる数学的な手法を用いて、これらのタンパク質の細胞内での動きから、活性型 ROP11 のスポットが作られる条件を解析しました。その結果、活性型 ROP11 の拡散⁽³⁾が遅く、かつ活性化した ROP11 の近傍でさらに ROP11 の活性化が引き起こされやすくなるという条件が予測されました。

これらの条件を実験的に検証したところ、ROPGEF タンパク質が活性型 ROP11 の拡散を抑制すること、さら

にその近傍で ROP11 の活性化反応を起こしやすくしていることが分かりました (図 2A, B)。これらの結果から、ROP11 の活性化と不活性化の反応を繰り返すことにより、次第に ROP11 のスポットが形成される仕組みが明らかになりました (図 2C)。道管の細胞は ROP11 の活性化と不活性化の反応を利用して、道管の細胞壁の沈着の仕方を制御していたのです。

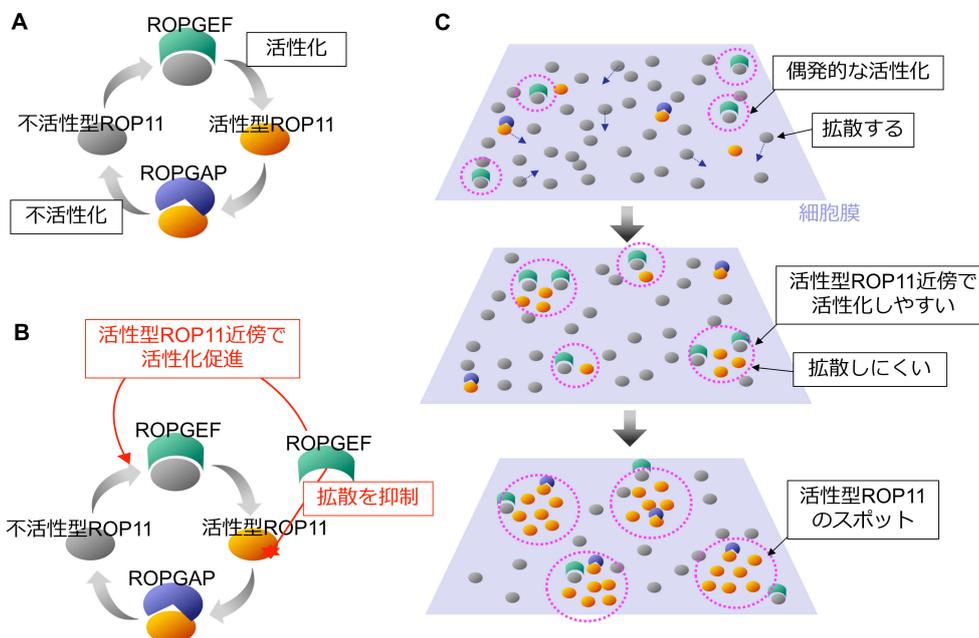


図 2: ROP11 のスポットが形成される仕組み

(A) ROP11 の活性化反応と不活性化反応。ROPGEF が不活性型 ROP11 を活性型に、活性型 ROP11 を ROPGAP が不活性型に変換する。

(B) 新たに見つかった ROP11 の性質。ROPGEF が ROP11 の拡散を抑制し、さらに活性型 ROP11 の近傍で ROP11 の活性化反応を促進する。

(C) 活性型 ROP11 のスポットが作られる仕組み。細胞膜上で偶発的に ROP11 が活性化される(上段)。その近傍でさらに ROP11 の活性化反応が進み、活性化した ROP11 は ROPGEF のはたらきにより拡散しにくくなる(中段)。活性化と不活性化の反応を繰り返すうちに次第に活性型 ROP11 のスポットが等間隔で作られていく(下段)。その後、活性型 ROP11 のスポットが壁孔になる

今後の期待

本研究グループは、道管で壁孔が作られる仕組みを世界で初めて明らかにしました。本研究グループが活用した反応拡散モデルは、英国の著名な数学者 Alan Turing⁽⁴⁾が 1952 年に提唱し、タンパク質などの物質の拡散と化学反応により周期的な濃度の変化が生じ得ることを示したもので、生物の体に現れる様々なパターンの形成を説明できると考えられてきました。本研究は反応拡散モデルによって細胞内に周期的に濃度パターンが生じる仕組みを世界で初めて示した画期的な研究成果です。

この仕組みの中心としてはたらく ROP 11 や ROPGEF、ROPGAP といったタンパク質は道管以外の細胞にも広く存在することから、他の植物細胞においても類似の仕組みが働いている可能性が高いです。これらの知見を利用し、植物の細胞壁の沈着の仕方を人為的に制御することで、形や硬さといった性質の異なる植物の品種を作り出す技術にも繋がると期待されます。

■ 用語解説

(1) 道管:

植物の体内で水輸送を担う組織。道管を構成する細胞は厚く丈夫な細胞壁を沈着し、水を輸送するために必要な強度を得ている。細胞壁を厚く沈着した後、細胞内を消化して中空の死細胞となる。

(2) Rho GTPase:

GTP (guanine triphosphate) を加水分解により GDP (guanine diphosphate) に変換する活性を持つタンパク質の一種。GTP と結合している間は活性型として様々なタンパク質と連携して細胞内の現象を制御する。GDP と結合している間は不活性型となる。GDP は guanine nucleotide exchange factor (GEF) により GTP に交換される。GTP は GTPase activating protein (GAP) により加水分解が促進され、GDP となる。

(3) 拡散:

物質が自然と散らばってゆく現象。

(4) Alan Turing:

英国の著名な数学者。コンピュータ科学に多大な貢献を残し、第二次世界大戦では暗号の解読で活躍した。2015年にはその半生が映画化され注目を集めた。

■ 研究体制と支援

本研究は、情報・システム研究機構国立遺伝学研究所の細胞空間制御研究室(長島慶宜 特別共同利用研究員、佐々木武馬 特任研究員、小田祥久 准教授)と東京大学大学院理学系研究科(福田裕穂 教授)、理化学研究所 開拓研究本部 望月理論生物学研究室(津川暁 基礎科学特別研究員)、京都大学ウイルス・再生医科学研究所(望月敦史 教授)との共同研究として行われました。

本研究は、文部科学省の科学研究費補助金(16H01247、15H05958)、日本学術振興会の科学研究費補助金(16J03646、16H06172、16H06377)、科学技術研究機構(JST)の戦略的創造研究推進事業さきがけ(JPMJPR11B3)およびCREST(JPMJCR13W6)、内藤財団、三菱財団の助成、情報・システム研究機構国立遺伝学研究所NIGスーパーコンピューターの支援を受けて行われました。

■ 問い合わせ先

<研究に関すること>

- 情報・システム研究機構国立遺伝学研究所 細胞空間制御研究室
准教授 小田 祥久 (おだ よしひさ)

<報道担当>

- 情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 リサーチ・アドミニストレーター室
清野 浩明 (せいの ひろあき)