

植物の「水の通り道」の形を制御するタンパク質を発見 ～細胞壁形成のしくみ解明へ大きな前進～

【本研究のポイント】

- ・植物では細胞壁^{注1)}の微小な孔(壁孔)が、地中の水の吸収や、体内の水の輸送を担う。
- ・タンパク質 MAP70 が細胞壁の形成を誘導して壁孔の形の決定にかかわるしくみを明らかにした。
- ・本研究成果は、知見の少なかった細胞壁形成のしくみの理解を大きく前進させたとともに、農業・エネルギー分野における植物の形態の制御に広く貢献することが期待される。

【研究概要】

国立大学法人 東海国立大学機構 名古屋大学大学院理学研究科の佐々木 武馬 助教、杉山 友希 特任助教、小田 祥久 教授の研究グループは、大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立遺伝学研究所 遺伝メカニズム研究系の斎藤 慧 助教、島本 勇太 准教授、国立大学法人 九州大学 大学院芸術工学研究院の井上 大介 助教、ストックホルム大学(スウェーデン王国)のヘンリック サーク 博士、エドワール パスケ 教授との共同研究により陸上植物の水の通り道を形づくるタンパク質を発見しました。本研究グループは、道管における細胞壁の微小な孔(壁孔)に存在する MAP70-5 タンパク質に着目し、このタンパク質が微小管^{注2)}と呼ばれる細胞内の繊維を曲がりやすくすることにより、道管における壁孔の立体構造を決定していることを明らかにしました。

植物の細胞を覆う細胞壁は、細胞の形の維持に加え、水分・養分などの輸送も担います。壁孔を含め、植物の細胞壁の立体構造を決定する仕組みはほとんど明らかになっていません。本研究は植物の細胞壁の立体構造が、微小管の物理的な性質を制御することにより決定されることを世界ではじめて明らかにしました。これは植物の細胞壁の形成機構を理解する上で数少ない重要な知見です。また、本研究から得られた知見を利用して植物の細胞壁構造を改変することにより、将来的な植物細胞の形態や機能、さらには植物個体の性質や形態を人為的に制御する技術、利用しやすい木質バイオマスの生産技術にも繋がる可能性が考えられます。

本研究成果は 2023 年 11 月13日午後7時(日本時間)付イギリス科学誌「Nature Communications」誌でオンライン公開されました。

【研究背景と内容】

陸上の植物は地中の水分を根から吸収し、葉や茎芽の先端にまで行き渡らせています。この水分は光合成のような代謝に加え、植物の体を大きく成長させるための充填材としての役割もあり、植物の生命活動のあらゆる場面に欠かせません。根から取り込まれた水分は、道管と呼ばれる植物体内に作られる中空の筒の中を流れて運ばれています。道管の外壁には穿孔や壁孔と呼ばれる微小な孔が無数に形成されており、道管内の水はこの孔を流れて道管から道管へ、さらには道管から葉や茎の細胞へと移動します。このように道管の外壁の構造は植物の体内の水分の通り道を決定する重要な構造です。

道管は、管状要素と呼ばれる筒状の死細胞が連なって作られています。管状要素になる細胞は細胞の表面に厚い細胞壁を合成し、細胞内容物を消化することにより丈夫な中空の構造になります。この管状要素の細胞壁の合成が局所的に抑制されることで、水の通り道となる壁孔が形成されます。壁孔は周囲の細胞壁が覆いかぶさるように肥厚することにより、特徴的な立体構造を作ります(図1)。これまで、この壁孔の立体的な構造を制御する仕組みはほとんど分かっていませんでした。

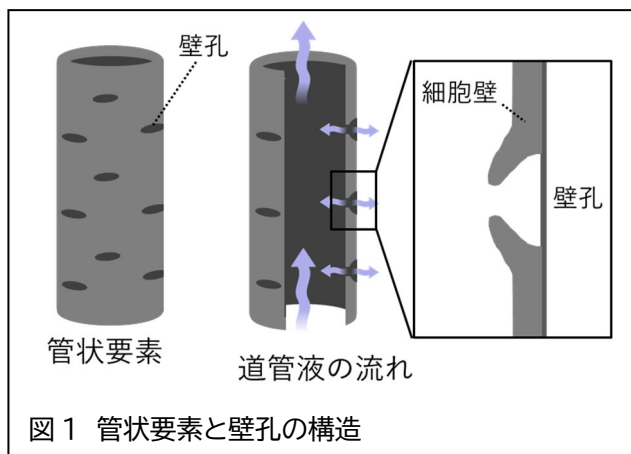


図1 管状要素と壁孔の構造

本研究では、壁孔の立体構造を制御するタンパク質として MAP70-5 を同定しました。植物細胞の表層には微小管と呼ばれる繊維状の管が並んでおり、この微小管に沿って細胞壁が合成されます。道管の壁孔を形成する領域では微小管が孔の縁に沿って湾曲しながら並び、細胞壁の形成を誘導していました。MAP70-5 は壁孔の縁に沿った微小管に作用して、壁孔を縁取る細胞壁の形成を正しい方向に誘導していることが分かりました

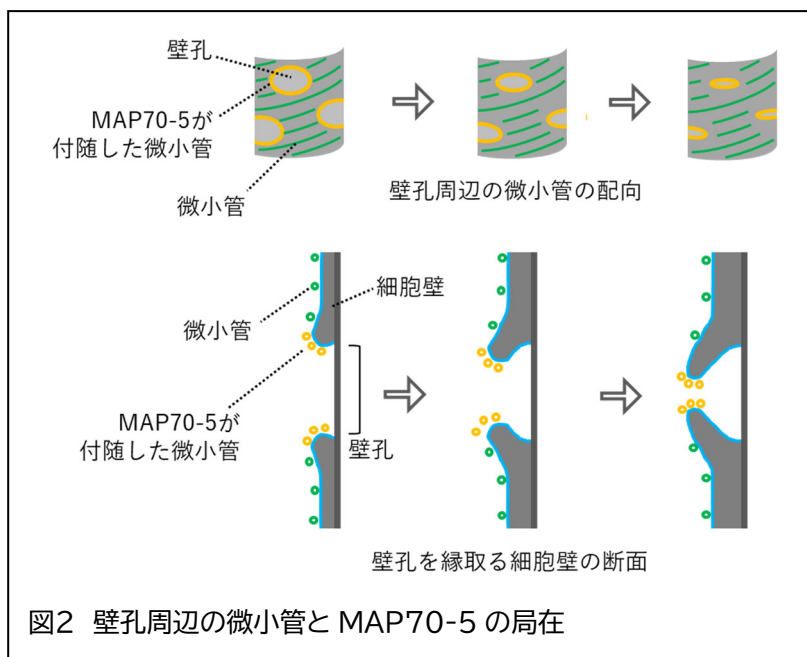
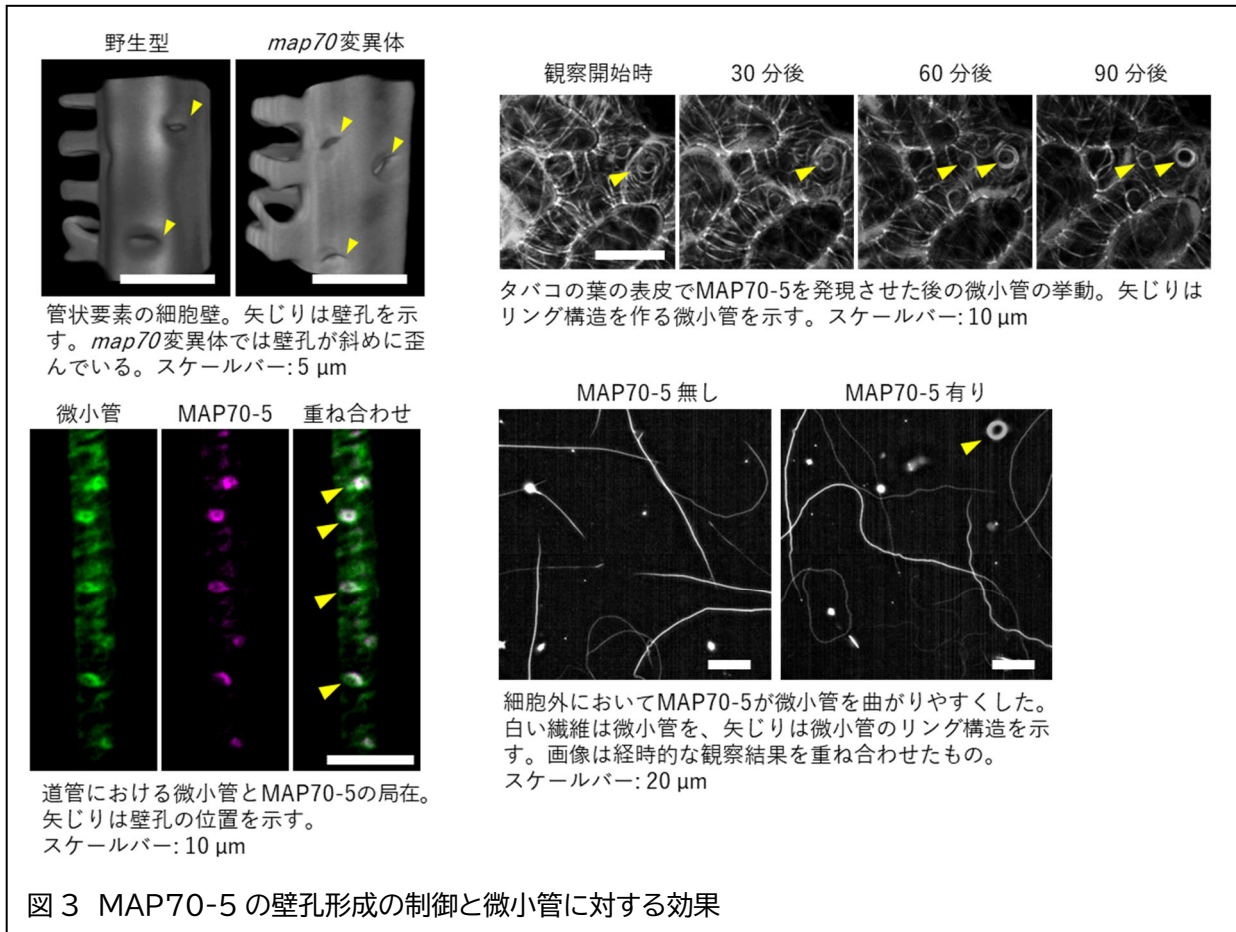


図2 壁孔周辺の微小管と MAP70-5 の局在

(図2)。MAP70 を生産することができなくなった変異体は、斜めに歪んだ異常な構造の壁孔を作りました(図3)。また、この植物では微小管が十分に湾曲せず、壁孔の外側に出てしまうことが分かりました。MAP70-5 を道管ではない葉の表皮細胞に発現させると、微小管が湾曲してリング構造を作る様子が観察されました(図3)。試験管内で合成した MAP70-5 を細胞外で微小管に反応させたところ

ろ、微小管が曲がりやすくなることが分かりました(図3)。これらの結果から、MAP70-5 が微小管の物性に作用することにより、壁孔の縁に沿う湾曲した微小管を維持しており、これにより壁孔を縁取る細胞壁が正しい方向に形成されることが明らかとなりました。



【成果の意義】

壁孔を含め、植物の細胞壁の立体構造を決定する仕組みはほとんど明らかになっていません。本研究は植物の細胞壁の立体構造が、微小管の物性を制御することにより決定されることを世界ではじめて明らかにしました。これは植物の細胞壁の形成機構を理解する上で数少ない重要な知見です。

MAP70-5の機能を利用して植物の細胞壁の構造を改変することにより、将来的に持続可能な社会の構築に貢献し得る様々な技術につながる可能性が期待されます。MAP70-5が作用する微小管は、道管の細胞だけでなく、植物の多くの体細胞において細胞壁の形成を制御しています。MAP70-5を利用して植物の細胞壁の立体構造を人為的に制御することにより、植物細胞の形態や機能を改変する技術、さらには植物個体の性質や形態を人為的に制御する技術にも繋がる可能性が期待されます。また、植物の細胞壁は陸上に最も豊富に存在するバイオマス(木質バイオマス)であり、カーボンニュートラルな資源です。MAP70-5を利用した細胞壁の改変は利用しやすい木質バイオマスの生産技術に繋がる可能性が考えられます。

本研究は、文部科学省の科学研究費補助金『19H05670』、『19H05677』、日本学術振興会の科学研究費補助金『21H02514』、『20K21435』、『23K18126』、『JP20K15141』、『JP21H05886』、『21K15128』、『22H02590』、公益財団法人三菱財団自然科学研究助成の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注 1)細胞壁:

植物の細胞膜の外側に形成され、植物細胞の形態や機能を決定づける構造。主にセルロース、ヘミセルロース、ペクチンから成る。道管や仮道管、繊維の細胞壁にはこれらに加えてリグニンが沈着する。

注 2)微小管:

チューブリンと呼ばれるタンパク質が重合することで作られる直径 24 ナノメートルのチューブ状構造。細胞分裂や細胞内輸送など多様な機能を担う。植物細胞では細胞表層に並び、細胞壁の主成分であるセルロースの合成を導いている。

【論文情報】

雑誌名:Nature Communications

論文タイトル:Confined-microtubule assembly shapes three-dimensional cell wall structures in xylem vessels

著者:*佐々木 武馬、斎藤 慧、井上 大介、Henrik Serk、*杉山 友希、Edouard Pesquet、島本 勇太、*小田 祥久 (*名古屋大学関係者)

DOI: 10.1038/s41467-023-42487-w

URL: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-42487-w>