名古屋大学 NAGOYA UNIVERSITY　理化学研究所 RIKEN

配布先：文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2025 年 2 月 17 日

報道機関 各位

細胞板の形成を導く“分子モーター”を特定
植物の器官発生時の連続的な細胞分裂に必須の機構

【本研究のポイント】

・植物で独自に進化した分子モータータンパク質「キネシン 12 [注 1)]」は、細胞分裂時に細胞板[注 2)]の材料を輸送する因子だった。
・「キネシン 12」による細胞分裂面への細胞板の材料の輸送が、正常な細胞分裂と器官形成に重要だった。
・植物の細胞質分裂機構の進化に関する理解が大きく前進した。

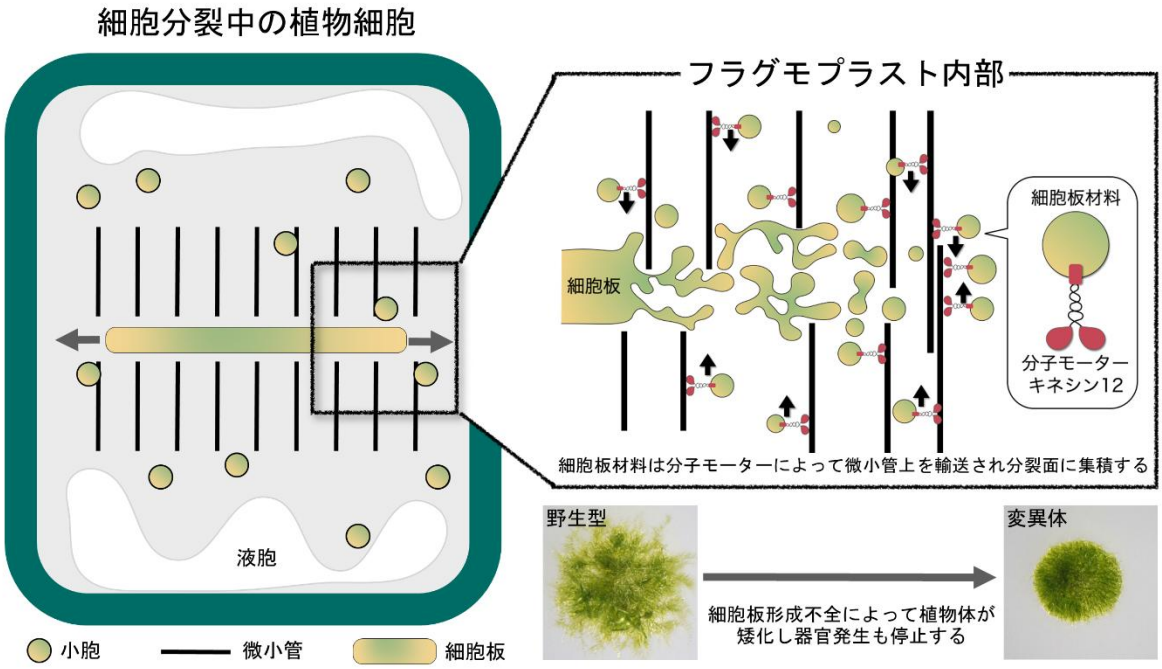
【研究概要】

名古屋大学大学院理学研究科の山田 萌恵 助教は、同附属ニューロサイエンス研究センターの松山 裕典 特任助教および理化学研究所環境資源科学研究センターの豊岡 公徳 上級技師との共同研究により、植物の細胞分裂時に細胞板の形成を促進する分子モーターを発見しました。

植物は細胞分裂の最後に細胞板と呼ばれる「壁」を細胞内に構築することで2つの細胞に分離します。細胞板の材料を細胞内で運ぶ機構の存在は示唆されてきましたが、その詳細な機構は長年謎のままでした。

本研究は、細胞板材料が分子モーター「キネシン 12」によって運ばれ、細胞分裂面に蓄積することで細胞板が形成される機構を解明した重要な成果です。この結果は植物が進化の過程で細胞分裂機構をどのように適応させてきたかを理解する上でも、重要な知見となることが期待されます。

本研究成果は、2025 年 2 月 4 日付で英国の科学雑誌『Nature Plants』に掲載されました。



【研究背景と内容】

陸上植物は、細胞分裂の最後に細胞内に細胞板と呼ばれる「壁」を構築し、成熟した細胞板によって細胞内を2つに仕切ることで2つの娘細胞に分離します。2つに仕切られた細胞の位置関係は永続的に維持されるため、正確に細胞板を作り出す細胞板形成機構は、植物の発生や形態形成を支える基本的な仕組みとなっています。

細胞板は、微小管[注 3)]を主体とするフラグモプラスト（隔膜形成体）[注 4)]と呼ばれる構造体を足場として作り出されます。細胞板の材料を含む小胞がフラグモプラストを利用して細胞分裂面に集積し、融合することで拡大して細胞板が形成されます。

これまでの研究では、細胞板の材料が分子モーターであるキネシンによって運ばれるモデルが有力視されていましたが、その分子実体は明らかになっていませんでした。一方で、分子モーターの一種である II 型キネシン 12（以下、キネシン 12）は植物の細胞板の形成に必須である因子として知られていましたが、フラグモプラスト微小管の形成に関与すると考えられており、細胞板の材料の輸送には関与しないとされてきました。

本研究では、基部陸上植物ヒメツリガネゴケ（*Physcomitrium patens*）をモデルとし、ゲノム編集技術とライブイメージング技術[注 5)]を駆使することで、キネシン 12 が細胞板の形成に必要な材料の輸送を駆動する主要因子であることを突き止めました。さらに、キネシン 12 が細胞分裂だけでなく、器官発生にも影響を及ぼすことを発見し、植物の成長と発生の分子機構を理解する上で新たな知見をもたらしました。

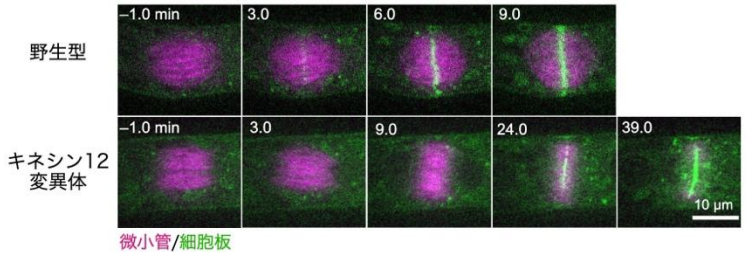


図1：細胞分裂時の細胞板形成過程の比較。野生型では速やかにフラグモプラスト内の細胞分裂面に細胞板が形成されたが、キネシン12変異体では細胞板形成が顕著に遅延し、細胞分裂時間も長くなった。

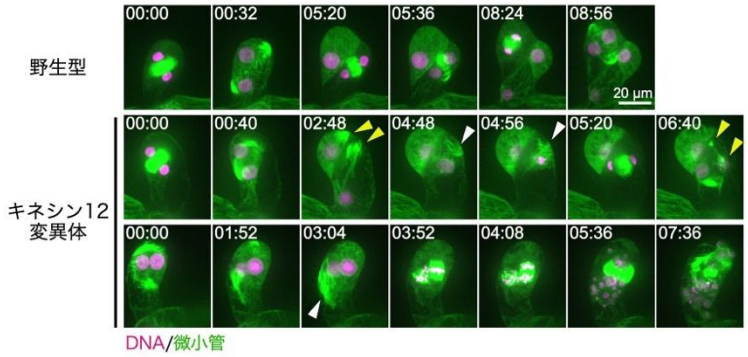


図2：茎葉体初期発生過程の比較。細胞分裂時の細胞板形成過程の比較。野生型では正常な細胞分裂が繰り返されて茎葉体の発生が進行したが、キネシン12変異体ではフラグモプラストの崩壊（黄矢じり）や細胞分裂が完了する前に次の細胞分裂が開始される現象（白矢じり）が観察された。細胞分裂異常が引き起こされた茎葉体では発生が停止した（最下段）。

キネシン 12 の変異体を解析したところ、細胞板材料を含む小胞の動きが鈍化し、細胞板の形成が顕著に遅延することが確認されました（図 1）。さらに、キネシン 12 の細胞内の動態を観察したところ、細胞板の形成部位に特異的に局在することが分かりました。また、機能欠損型キネシン 12 を細胞内で発現させたところ、機能欠損型キネシン 12 と細胞板成分が細胞分裂面以外の場所で集積する現象を観察しました。これらの結果は、キネシン 12 が細胞板材料の輸送を担う分子モーターであることを強く示唆しています。

さらに、本研究ではヒメツリガネゴケの茎葉体（コケ植物の葉と茎に分化した配偶体）の発生において、キネシン 12 による細胞分裂の迅速な進行が重要であることを明らかにしました。茎葉体の発生は単一の茎葉体初期細胞の細胞分裂から始まり、細胞分裂が何度も繰り返されることで成熟した茎葉体の形態に変化していきます。しかし、キネシン 12 変異体の茎葉体細胞では細胞板形成が遅延しても、細胞分裂が完了しないまま次の細胞分裂が開始されてしまい、細胞分裂異常が引き起こされました。その結果、最終的に茎葉体の器官発生が停止することが分かりました（図 2）。このことから、細胞板形成の遅れが植物の器官形成にまで影響を及ぼすことが示されました。

【成果の意義】

本研究は、陸上植物の細胞分裂において細胞板材料の輸送を駆動する主要分子としてキネシン 12 を特定した画期的な成果です。長年、有力視されてきた「分子モーターが細胞板材料を輸送する」というモデルを裏付ける結果でもあります。また、本研究はキネシン 12 を介した迅速な細胞分裂の進行が、植物の器官発生時に起こる連続的な細胞分裂に必須であることも示しました。植物は進化の過程で細胞分裂の様式を変化させており、陸上植物は細胞板形成を介して細胞分裂を行います。迅速な細胞分裂の進行の重要性を今後紐解いていくことで、細胞板形成を介した細胞分裂が進化の過程でどのように生じたのかを考察する手がかりになることが期待されます。

なお、本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業、戦略的創造研究推進事業 ACT-X、公益財団法人内藤記念科学振興財団の支援のもとで行われました。

【用語説明】

注 1)キネシン 12:
キネシンは、微小管を足場として機能するモータータンパク質の一種。複数種類存在するキネシンの中には物質に結合したまま微小管上を移動することで物質輸送を担うものもある。キネシン 12 は微小管を安定化することでフラグモプラスト形成に寄与すると考えられていたが、本研究によって細胞板材料を輸送するモーターであることが明らかになった。

注 2)細胞板:
陸上植物が細胞分裂する際に細胞内に形成される板状の構造のこと。細胞板は成熟すると細胞を囲む細胞壁の一面となる。

注 3)微小管:
チューブリンというタンパク質が重合することで形成される繊維状の構造体。分子モーターの足場(レール)として細胞内の物質輸送において重要な役割も担う。

注 4)フラグモプラスト(隔膜形成体):
細胞板形成のための足場構造のこと。細胞骨格である微小管及びアクチンを主成分として含む。

注 5)ライブイメージング技術:
生きた状態の細胞を顕微鏡を用いて経時観察する技術のこと。細胞やタンパク質の動き・形態変化を捉えることができるため、観察対象物の機能をより詳細に理解できる。

【論文情報】

雑誌名:Nature Plants
論文タイトル:Class II kinesin-12 facilitates cell plate formation by transporting cell plate materials in the phragmoplast
著者:Moé Yamada(名古屋大学), Hironori J. Matsuyama(名古屋大学), Noriko Takeda-Kamiya(理化学研究所), Mayuko Sato(理化学研究所), Kiminori Toyooka (理化学研究所)
DOI: 10.1038/s41477-025-01909-x
URL: https://www.nature.com/articles/s41477-025-01909-x