

コケ植物が環境に応じて隣同士の細胞間コミュニケーションを制御する 新たな仕組みを発見

～環境悪化にともない、ストレスホルモン、アブシジン酸が細胞壁にあく多数の小さな孔の形成を抑制～

ポイント

- ・植物ホルモン ABA が原形質連絡（PD）の形成を抑制し、密度を低下させることを初めて解明。
- ・PD 密度の制御に関与する ABA シグナル経路の主要因子を同定。
- ・環境に応じた細胞間コミュニケーションの調節機構を明らかにし、育種への応用にも期待。

概要

北海道大学大学院理学研究院の神野智世博士研究員、檜本悟史准教授、藤田知道教授らの研究グループは、東京農業大学生命科学部の坂田洋一教授、埼玉大学大学院理工学研究科の竹澤大輔教授らとの共同研究により、コケ植物が環境に応じて細胞間コミュニケーションを調節する新たな仕組みを発見しました。

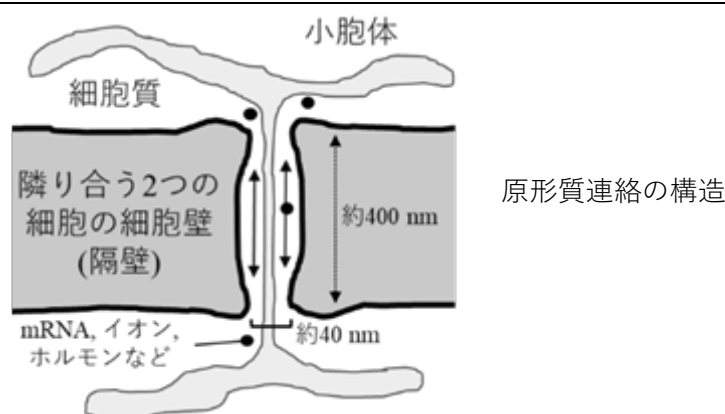
植物は「原形質連絡（Plasmodesmata, PD）」と呼ばれる細胞壁にある多数の微細な孔を通じて、細胞間で情報分子や栄養素をやり取りしています（p1 図）。この PD は直径わずか数十ナノメートルと極めて小さく、この構造を通じて RNA や代謝産物、イオンなどが通過することで細胞同士が協調し、個体全体としての成長や環境応答が維持されています。

本研究では、モデルコケ植物ヒメツリガネゴケを用いた解析により、植物ホルモン「アブシジン酸（Abscisic acid, ABA）」が PD の形成を抑制し、その密度を低下させることを世界で初めて明らかにしました。

さらに、ABA の受容体（PYL^{*1}）、リン酸化酵素（SnRK2^{*2}）、脱リン酸化酵素（PP2C^{*3}）といった ABA シグナル伝達経路の主要因子に加えて、転写因子 ABI5^{*4} が PD の数の制御に、別の転写因子 ABI3^{*5} が PD の透過性（構造）に関与することも解明しました。

これらの成果から、植物はストレス環境下で PD の数と機能を柔軟に調整し、情報分子の細胞間におけるやり取り（細胞間コミュニケーション）を制限・再開することで成長のバランスを取っていることが示唆されます。これは、植物が進化の中で獲得した高度な環境適応戦略の一端を明らかにするものであり、今後、乾燥や塩害などの環境ストレスに強い作物の開発にもつながる重要な基礎知見となります。

本研究成果は、2025 年 5 月 7 日（水）公開の Science Advances 誌（米国科学振興協会（AAAS）の学術誌）に掲載されました。



【背景】

植物は細胞間を「原形質連絡（Plasmodesmata, PD）」と呼ばれる微細な孔で結び、情報分子や栄養をやり取りすることで、成長や環境応答を協調的に制御しています。PD は 1879 年に発見された非常に古い構造ですが、その形成メカニズムや数（密度）をどのように制御しているかは未解明のままでした。特に、植物が乾燥や塩害などのストレス環境下で、細胞間コミュニケーションをどのように調節しているのかは、大きな謎とされてきました。

【研究手法】

本研究では、モデルコケ植物ヒメツリガネゴケの原系体を用いて、ABA 処理により新たに形成される細胞壁（隔壁）における PD 密度の変化を観察しました。さらに、遺伝子変異体を用いて、ABA シグナル伝達に関与する複数の因子、受容体 (PYL)、リン酸化酵素 (SnRK2)、脱リン酸化酵素 (PP2C) 及び転写因子 ABI3・ABI5 の関与について網羅的に調べました。

【研究成果】

ABA 処理により、処理後に新たに形成される隔壁で PD の形成が抑制され、PD 密度が低下することが明らかとなりました（図 1）。これは、ABA が PD の形成そのものを制御していることを示しています。また、ABA シグナル伝達に関与する複数の因子に加え、PD の密度制御には転写因子 ABI5、透過性制御には ABI3 が関与することが判明しました（図 2）。これにより、植物が環境ストレスの強弱に応じて PD の数と性質を調節し、細胞間の情報伝達を柔軟にコントロールしている可能性が示されました。この発見は、乾燥ストレスに強い作物の開発など、応用にもつながる重要な基礎知見です。

【今後への期待】

今回見出した ABA による PD 形成の抑制機構は、PD 形成に直接関与する因子の同定につながる重要な糸口となります。今後、この制御の“下流”で実際に PD の形成を担う分子を特定することで、植物の細胞間コミュニケーションの全貌に迫ることが期待されます。

また、植物が水中から陸上へと進化する過程で、環境ストレスへの適応手段として細胞間コミュニケーションの制御機構をどのように獲得してきたのかを探るうえでも、貴重な手がかりとなります。さらに本研究で得られた知見は、乾燥や高塩などの過酷な環境下でも生育可能な作物の開発にも貢献しうるものであり、今後の農業や環境応答技術への応用が期待されます。

【謝辞】

本研究は、笹川科学助成（2021-4043）、北海道大学博士人材フェローシップ、JST さきがけ（JPMJPR22D6）、JSPS 科研費（JP23K05800、JP19K06713、JP23K05821、JP20H04878、JP21K19247、JP21H02516）などの支援により実施されました。

論文情報

論文名	Absciscic acid signaling regulates primary plasmodesmata density for plant cell-to-cell Communication (アブシシン酸シグナルは、植物の細胞間コミュニケーションに関わる一次原形質連絡の密度を制御する)
著者名	神野智世 ¹ 、藤崎 健 ² 、四井いずみ ² 、大内基生 ³ 、シン プレルナ (Prerna Singh) ⁴ 、檜本悟史 ^{1,5} 、竹澤大輔 ^{3*} 、坂田洋一 ^{2*} 、藤田知道 ^{1*} (¹ 北海道大学大学院理学研究院、 ² 東京農業大学生命科学部、 ³ 埼玉大学大学院理工学研究科、 ⁴ 北海道大学大学院生命科学院、 ⁵ 科学技術振興機構さがけ、*責任著者)
雑誌名	<i>Science Advances</i> (米国科学振興協会 (AAAS) の学術誌)
D O I	10.1126/sciadv.adr8298
公表日	2025 年 5 月 7 日 (水) (オンライン公開)

【参考図】

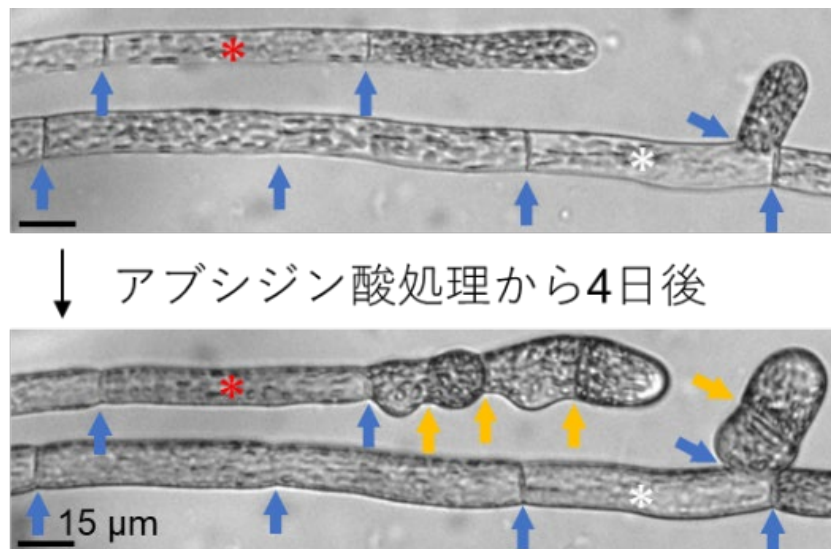


図 1. ヒメツリガネゴケ原系体における ABA 処理前（上）と 4 日目（下）の隔壁の様子。色別の＊は同じ細胞、青矢印は既存の隔壁、黄矢印は ABA 処理後に新たに形成された隔壁を示す。新たな隔壁では PD 密度が低下していた。

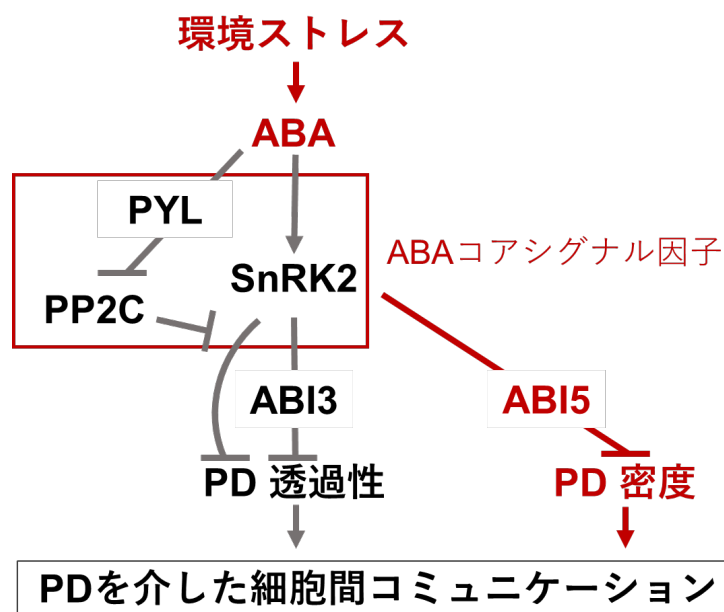


図 2. ABA による PD を介した細胞間コミュニケーションの制御機構。赤で示された部分が、今回新たに明らかになった PD 密度の制御機構。

【用語解説】

- * 1 PYL … ABA 受容体、PYRABACTIN RESISTANCE-LIKE の略称。
- * 2 SnRK2 … リン酸化酵素、SUCROSE NONFERMENTING 1-RELATED PROTEIN KINASE 2 の略称。
- * 3 PP2C … 脱リン酸化酵素、type 2C protein phosphatase ABA-INSENSITIVE 1 (ABI1) の略称。
- * 4 ABI5 … 転写因子、ABA-INSENSITIVE 5 の略称。
- * 5 ABI3 … 転写因子、ABA-INSENSITIVE 3 の略称。