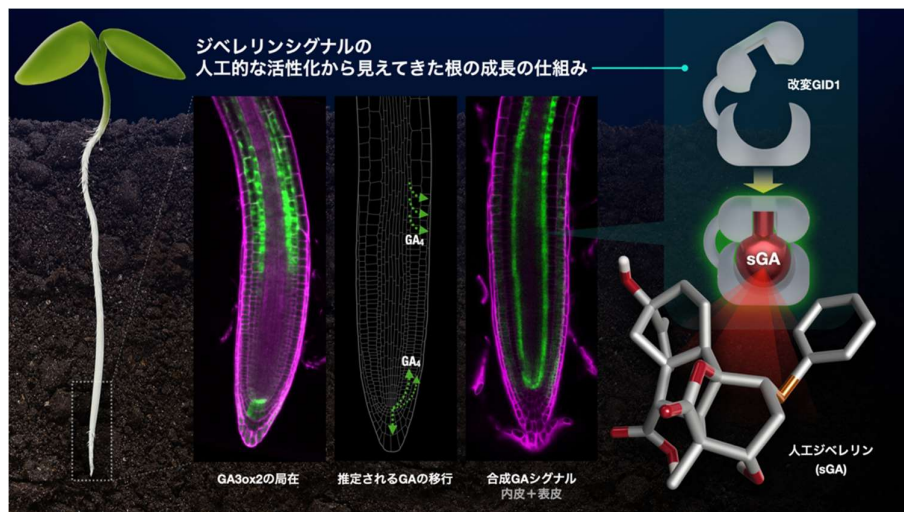


植物ホルモンが「働く場所」を操る ージベレリンによる根の成長の仕組みを解明ー

ポイント

- 植物の成長を促進するホルモン「ジベレリン(GA)」について、植物の特定の細胞だけで GA シグナルを人工的に活性化できる新しいシステムを開発した。
- 根の伸長には、根の内部にある内皮と最外層の表皮という異なる細胞層の両方で、GA シグナルが協調的に働くことが重要であることを明らかにした。
- 本研究で開発した技術は、植物ホルモンが「いつ」「どこで」働くことで植物の成長を制御するのを解明するための新たな研究基盤となる。将来的には、植物の成長や形態を人為的に制御する技術の開発など、農業分野への応用も期待される。



概要

埼玉大学理工学研究科の中村 匡良 教授(研究開始当時:名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM) 特任准教授)は、名古屋大学大学院理学研究科の八神 祐一郎 博士後期課程学生、名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(WPI-ITbM)のウォルフ フロマー 客員教授、理化学研究所環境資源科学研究センターの萩原 伸也 チームディレクター、伊丹 健一郎 チームディレクター(理化学研究所 開拓研究所 主任研究員)らと共同で、植物の成長を調節する重要なホルモン「ジベレリン(Gibberellin: GA)」が、植物の「どこで」働くことが成長に重要なのかを明らかにしました。

植物体内では、GA を作る細胞と、実際に GA が作用する細胞が必ずしも同じではありません。本研究では、天然の GA とは異なる「合成 GA (sGA)」と、それを特異的に認識するように改変した「GA 受容体(mGID)」を組み合わせ、特定の細胞層だけで GA シグナルを作動させる人工的なシステムを開発しました。このシステムをシロイヌナズナの根に適用したところ、根の伸長には、内皮と表皮という異なる細胞層での GA シグナルが協調して働くことが重要であることが明らかになりました。また、GA を合成する細胞と GA が作用する場所が空間的に異なることから、GA が細胞間を移動して作用する可能性も示されました。

本研究で開発した手法は、植物ホルモンが「いつ」「どこで」働くことが成長を生み出すのかを直接調べることを可能にする新しい研究手法です。今後は、植物の成長や発生を細胞レベルで制御する仕組みの全容解明や、植物の器官ごとに成長を制御する技術、さらには農作物の生産性向上・効率的な栽培技術の開発につながる研究への応用が期待されます。

本研究成果は、英国の国際科学誌『Nature Plants』に、2026 年 10 月 22 日(日本時間)に公

開されました。

研究の背景

ジベレリン(GA)は、植物の細胞伸長や分裂を促進し、茎や根の成長を調節する代表的な植物ホルモンです。GA は細胞内の受容体 GID1 に結合することで、成長を促すシグナルを伝えます。

これまでの研究から、根の内側に位置する「内皮」で GA シグナルが働くことが、根の伸長に重要であることが知られていました。しかし、内皮以外の細胞層で働く GA シグナルがどのような役割を持つのか、また異なる細胞層で働くシグナルがどのように協調して根の成長を制御するのかは、十分に分かっていませんでした。その理由の一つは、通常の植物に GA を与えると植物全体で GA シグナルが活性化されてしまうため、特定の細胞層だけで GA を作用させた場合の効果を調べることが難しかったためです。

研究内容

特定の細胞だけで GA シグナルを活性化する人工システムを開発

研究グループは、天然の GA 受容体²とは異なる「合成 GA(sGA)」と、sGA だけを認識するように改変した GA 受容体「mGID1」を組み合わせた人工的な GA シグナルシステムを開発しました。植物の特定の細胞層で mGID1 を発現させ、sGA を与えることで、その細胞層だけで GA シグナルを活性化することができます。また、sGA を与えるタイミングを変えることで、GA シグナルを「いつ」「どこで」働かせるかを操作できます。

このシステムにより、これまで困難だった「GA がどの細胞で働くことが植物の成長に重要なのか」を直接調べることが可能になりました。

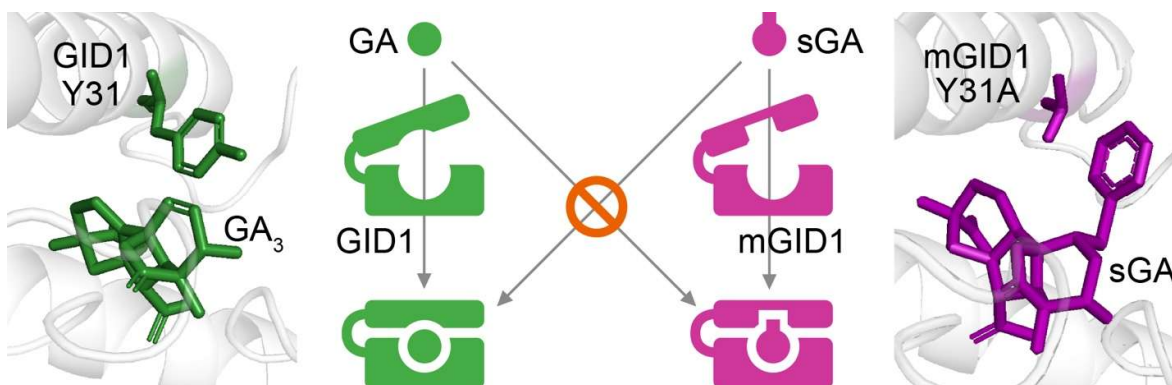


図 1. 天然の GA-GID1 ペアとは独立して、特異的に相互作用する sGA-mGID1 ペア

GA₃ などの活性型の GA は、天然の GA 受容体 GID1 に認識されます(左図)。研究グループは、活性型 GA に立体的な障害を付加することで、天然の GID1 には認識されない sGA を合成しました。さらに、GID1 の 31 番目のアミノ酸であるチロシン(Y)を、アラニン(A)に置き換えることで、立体的な障害を持つ sGA を特異的に認識可能な mGID1 を開発しました(右図)。この sGA-mGID1 の組み合わせを利用することで、sGA を与えた時に、mGID1 を発現している細胞・組織だけで GA シグナルを活性化することが可能になります。

根の伸長には内皮と表皮での GA シグナルが協調して働くことを発見

開発したシステムを用いて、シロイヌナズナの根を構成するさまざまな細胞層で GA シグナルを個別に活性化しました。

その結果、根の内部にある「内皮³」、または根の最外層にある「表皮」での GA シグナルを活性化させると、根が伸長することが分かりました。一方、内皮と表皮の間にある「皮層」で GA シグナルを活性化しても、根の伸長は促進されませんでした。さらに、内皮と表皮の両方で GA シグナルを活性化させると、どちらか一方だけで活性化させた場合よりも根が大きく伸長しました。

これらの結果から、根の伸長には、内皮と表皮という異なる細胞層で GA シグナルが協調して働くことが重要であることが明らかになりました。

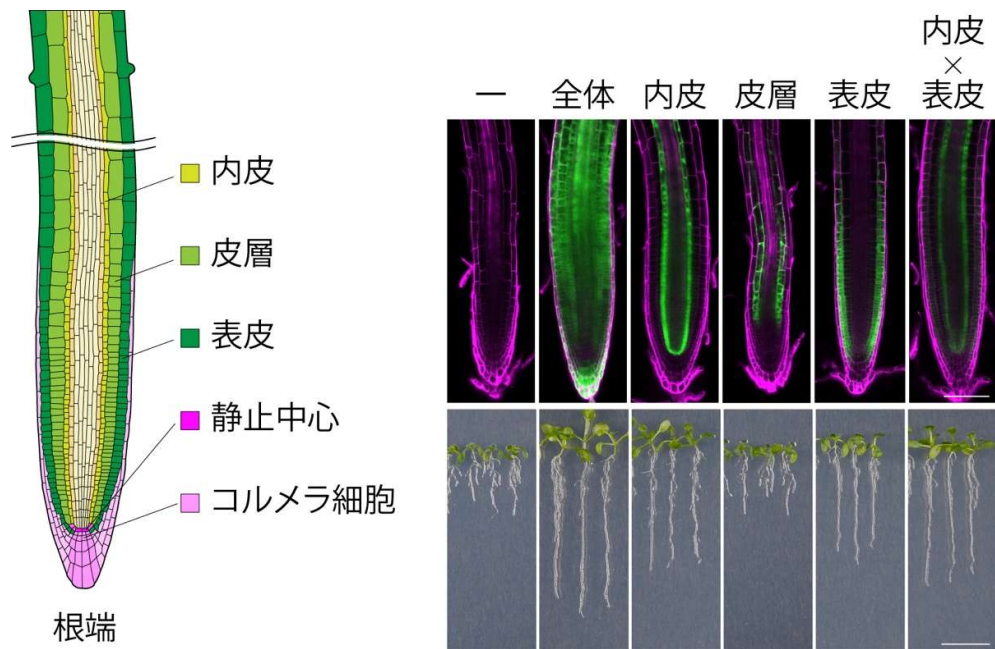


図 2. 細胞層ごとの GA シグナルの活性化が根の伸長に与える影響

根は層状の構造をしており、内側から内皮、皮層、表皮という細胞層で構成されています(左図)。研究グループは、根の全体、内皮、皮層、表皮それぞれで GFP⁴-mGID1 を発現させ、sGA を処理しました(右図上)。根全体で GFP-mGID1 を発現した植物では、sGA 処理によって野生型と同程度に根が伸長しました。また、内皮または表皮のみに GFP-mGID1 を発現した植物でも根が伸長しました。さらに、内皮と表皮の両方で GFP-mGID1 を発現させた植物では、どちらが一方だけの場合よりも根が大きく伸長しました(右図下)。

GA は作られた場所から別の細胞へ移動して作用する可能性

次に、活性型 GA を合成する酵素が根のどの細胞に存在するのかを調べました。その結果、活性型 GA の合成に関わる GA3ox2 は、内皮や皮層、根の先端部に存在する細胞に局在していました。一方、表皮には GA3ox2 は局在していませんでした。

先ほどの実験では、皮層で GA シグナルを活性化しても根の新調は促進されなかったのに対し、GA を合成する酵素が見られない表皮で GA シグナルを活性化すると根が伸長しました。

これらの結果から、GA は合成された細胞にとどまらず、細胞間を移動して、別の細胞で作用している可能性が示されました。

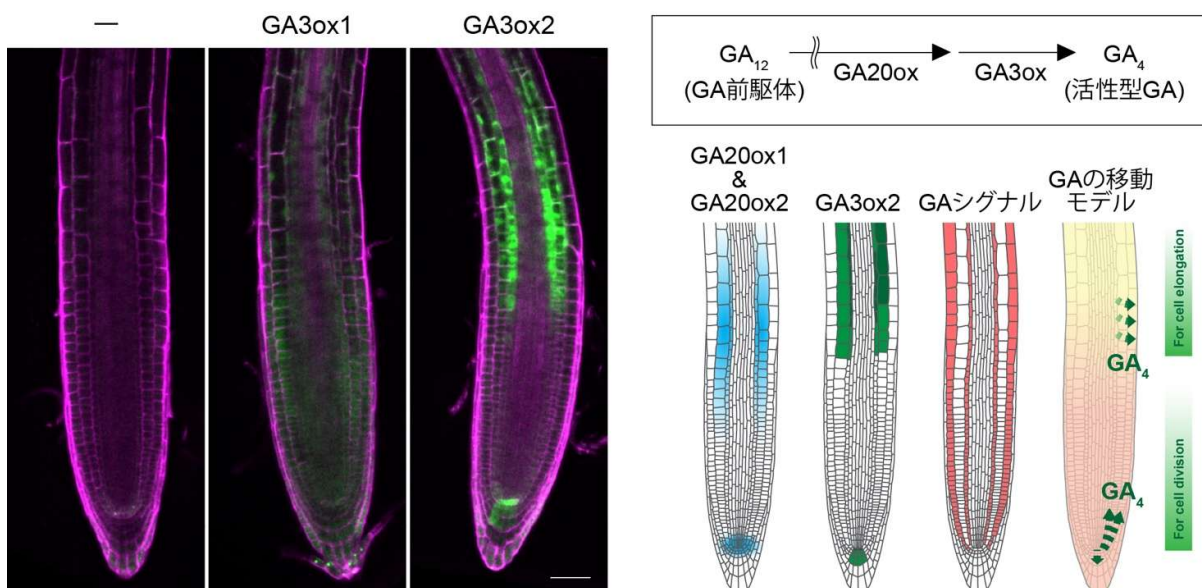


図 3. GA の生合成、シグナル伝達、および移動経路

GA3ox1 と GA3ox2 に GFP を融合し、活性型 GA を合成する酵素が根のどの細胞に存在するのかを観察しました。その結果、特に GA3ox2-GFP は特定の細胞層に偏って分布していました（左図）。一方、根の伸長に必要な GA シグナルが働く細胞層は、GA 合成酵素が存在する細胞層とは一致していませんでした。これらの結果から、GA を合成する細胞から、GA が作用する細胞へと、GA が移動することで、根の成長が調節されている可能性が明らかになりました（右図）

今後の展開

本研究で開発した sGA-mGID1 システム⁵は、植物ホルモンの作用を「いつ」「どこで」起こすかを操作し、その働きを細胞レベルで調べることを可能にする新しい研究手法です。今後、この技術を用いて、植物ホルモンがどの細胞で作用し、細胞間をどのように移動しながら成長や発生を制御するのかをさらに明らかにすることが期待されます。また、植物の器官や細胞層ごとに成長を制御する技術の開発を通じて、農作物の生産性向上や効率的な栽培技術への応用につながることも期待されます。

論文情報

掲載誌	<i>Nature Plants</i>
論文名	Synthetic activation of gibberellin signaling reveals spatial coordination of root growth
著者名	Yuichiro Yagami, Ryotaro Yamada, Yuuma Ishikawa, Eiki Meguro, Shuhei Kusano, Kenichiro Itami, Wolf B. Frommer, Shinya Hagihara, Masayoshi Nakamura
DOI	DOI: 10.1038/s41477-026-02438-x
URL	https://doi.org/10.1038/s41477-026-02438-x

研究支援

本研究は日本学術振興会（JSPS）科研費（26KJ1307, 20K21424, 23H02473, 22H00360）、科学技術振興機構（JST）ERATO（JPMJER2403）、サントリー生命科学財団（SUMBOR）の支援を受けて行われました。

用語解説

1. ジベレリン(Gibberellin; GA)

植物ホルモンの一種。細胞の伸長や分裂を促進し、植物の茎や根の成長などを調節する。

2. GA 受容体

細胞内で GA を認識して結合するタンパク質。GA が受容体に結合すると、その情報が細胞内に伝わり、成長を促す GA シグナルが活性化される。

3. 内皮、皮層、表皮

植物の根を構成する細胞層。内側から順に、内皮、皮層、表皮が並んでおり、表皮は根の最も外側に位置する。

4. 緑色蛍光タンパク質 (Green Fluorescent Protein; GFP)

青色などの光を当てると緑色の蛍光を発するタンパク質。目的のタンパク質に GFP を融合することで、そのタンパク質が植物体内のどこに存在するかを顕微鏡で観察できる。

5. 合成 GA (sGA) – 改変 GA 受容体 (mGID1) システム

天然の GA とは異なる構造を持つ合成 GA (sGA) と、sGA を特異的に認識するよう改変した GA 受容体 (mGID1) を組み合わせた人工的な GA シグナル制御システム。本研究では、天然の GA と区別して sGA による GA シグナルを選択的に操作するために用いた。