



令和5年2月27日

報道機関 各位

熊本大学

## 根の伸長を制御するペプチドホルモンを発見

### (ポイント)

- シロイヌナズナ\*<sup>1</sup>を用いて、ペプチドホルモン\*<sup>2</sup>が根の分岐頻度及び分岐速度を抑制することを発見しました。
- 根菜類の枝分かれ防止や根の伸長促進など、農作物の収量増加やストレス耐性付与などへの応用が期待されます。

### (概要説明)

熊本大学大学院先端科学研究部附属生物環境農学国際研究センターの澤進一郎教授・中上知博士研究員らの研究グループは、モデル植物のシロイヌナズナを用いて、ある種のペプチドホルモンが根の分岐頻度及び分岐速度を抑制することを発見しました。根は水や栄養分の吸収を担う器官であるため、根の伸長は土壌の環境により適切に調節される必要があります。本研究は、植物が根の伸長を制御する仕組みを理解する上で重要な知見であり、根菜類の枝分かれ防止や根の伸長促進など、農作物の収量増加やストレス耐性付与などへの応用が期待されます。

本研究成果は令和5年2月26日に植物科学雑誌「The Plant Journal」に掲載されました。

### (説明)

#### [背景]

植物の根は、発芽直後から現れる根（主根）が伸びて成長するだけでなく、主根から新しい根を分岐させることで、生育環境に適した根系（植物の地下部全体）を発達させます。このような新しく分岐した根は側根と呼ばれます（図1）。側根は根系の大部分を占めるため、側根の発達は根系のパターン形成に大きな影響を及ぼします。

側根の形成は、まず初めに、主根の内部にある細胞が特殊な分裂をするところから始まります。さらに細胞分裂を繰り返すことで、ドーム状の側根原基\*<sup>3</sup>が形成されます（図1）。側根原基が発達すると、主根から土壌中へと出現し、側根となります。土壌中へと出現した側根は、主根と同様に伸びることで、根系を発達させていきます。植物は、側根原基の密度及びその発生速度並びに土壌中へ出現した後の伸長速度などを調節することで、根系パターンを制御すると考えられていますが、その仕組みは不

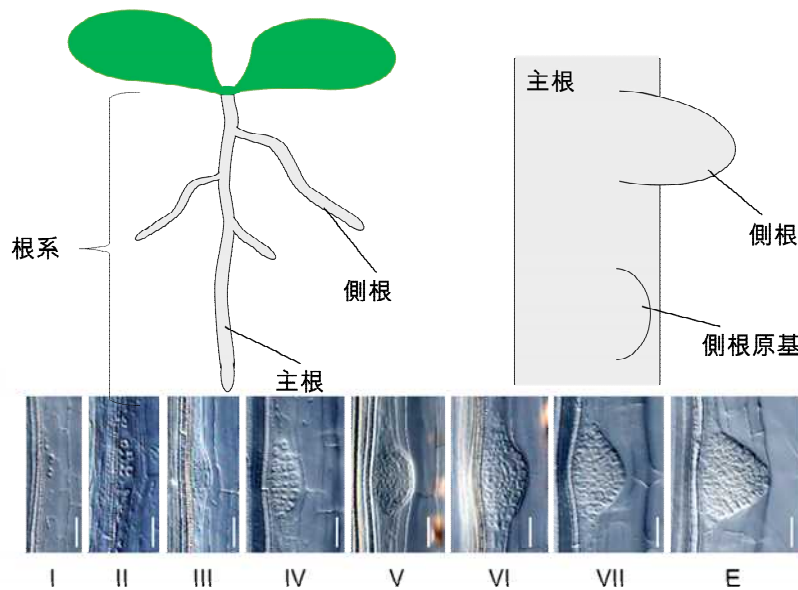
明な点が多く残されています。

本研究グループは、葉や根の発達に関わる *CLE* 遺伝子群\*<sup>4</sup> について解析を進めており、主根の成長を制御する *CLE* 遺伝子を発見しています。しかし、*CLE* 遺伝子群の中には機能未知のものが多く、それらが側根の形成を制御するかはわかっていませんでした。

### [研究の内容と成果]

*CLE* 遺伝子群の中には、同じ機能を持つホモログ\*<sup>5</sup> が複数存在するため、従来の突然変異体を用いた遺伝子解析が困難でした。そこで本研究グループでは、ゲノム編集技術を用いて、シロイヌナズナの *CLE1* から *CLE7* までの 7 遺伝子を全て欠損させた *CLE1*~*7* 変異体を作成し、解析を行いました。*CLE1*~*7* 変異体は、野生型植物と比較して、主根の長さは変わりませんが、側根全体の長さが長いことがわかりました（図 2）。より詳細な解析を行ったところ、*CLE1*~*7* 変異体では、側根の密度が上昇し、側根原基の発生が速いことがわかりました（図 2）。これらのことから、*CLE1*~*7* 遺伝子は側根の密度と側根原基の発生速度を抑制することが示されました。

図 1 シロイヌナズナの根系構造と側根原基の発達

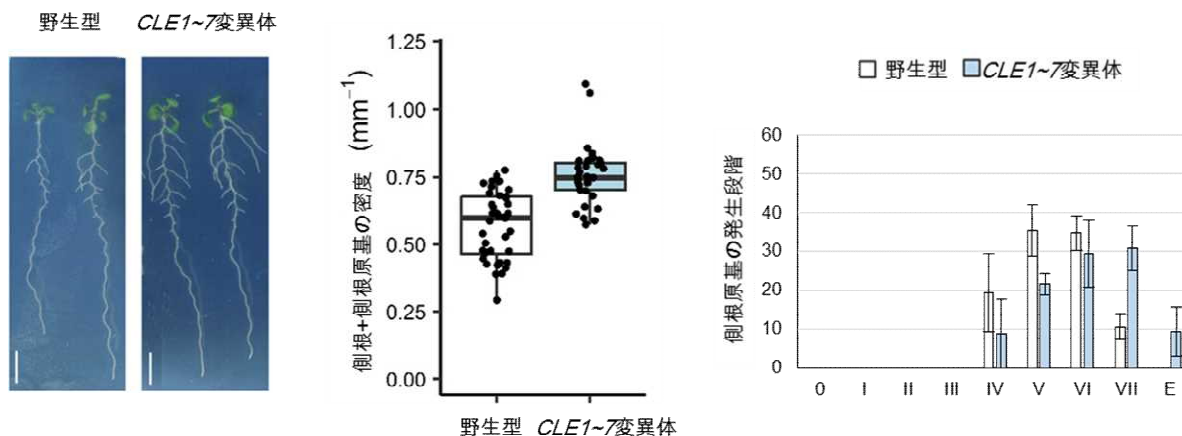


（左上図）シロイヌナズナの根系は、主根と主根から分岐する側根から構成される。

（右上図）主根内部の細胞から側根原基が生じ、側根原基が発達することで、最終的に土壤中へと側根が出現する様子を示す。

（下写真）側根原基発達の様子。左から初期の側根原基を示し、右へいくにつれて発生段階が進む様子を示す。写真 E は、出現直後の側根。

図2 野生型と *CLE1*~7 変異体における根の成長



(左写真) 発芽9日目の植物。野生型と比較して、*CLE1*~7 変異体では主根の長さは変わらないものの、顕著な側根の伸長促進が確認できる。スケールバーは5 mm。

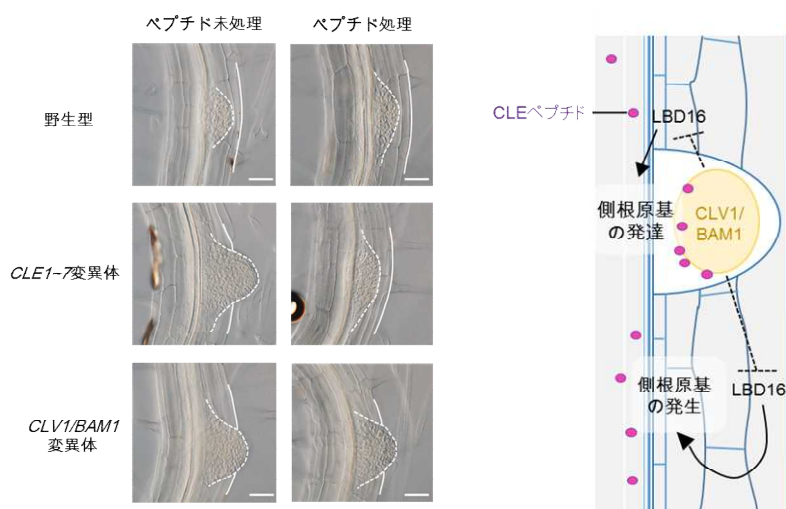
(中央図) *CLE1*~7 変異体において、主根1 mm当たりの側根及び側根原基の密度が高かった。

(右図) 側根原基発生から42時間後の、側根原基の発生段階。*CLE1*~7 変異体は野生型と比べ、側根原基の発生段階がより進行していた。

*CLE* 遺伝子は、ペプチドホルモンとして植物の発生や生理応答を制御すると考えられており、一般にペプチドホルモンはロイシンリッチリピート型受容体キナーゼ (LRR-RK) と呼ばれるタンパク質のいずれかによって認識されることが知られています。そこで、LRR-RK 遺伝子に欠損のあるシロイヌナズナを解析したところ、*CLV1* と *BAM1* 受容体\*<sup>6</sup>を両方欠損した変異体 (*CLV1/BAM1* 変異体) において、*CLE1*~7 変異体同様に、側根が長くなることがわかりました。また、遺伝子発現解析により、*CLV1* 及び *BAM1* は側根原基で発現することがわかりました。さらに、*CLE* ペプチドを人工的に合成し、*CLE1*~7 変異体及び *CLV1/BAM1* 変異体に処理したところ、*CLE1*~7 変異体においては側根原基の発生速度が抑えられたのに対し、*CLV1/BAM1* 変異体においては変化がありませんでした (図3)。以上の結果から、*CLE1*~7 ペプチドが *CLV1/BAM1* 受容体に認識されることで、側根形成を抑制することが示唆されました。

側根形成の誘導には、植物ホルモンのオーキシン\*<sup>7</sup>が重要であることが知られています。主根内部の側根形成部位にある細胞内でオーキシンの濃度が上昇すると、*LBD16* 遺伝子 (側根原基の発生及び発達を促進する遺伝子) の発現上昇を引き起こし、その結果、側根形成が引き起こされます。*CLE1*~7 変異体及び *CLV1/BAM1* 変異体においては、*LBD16* 遺伝子の発現が野生型よりも上昇しており、*CLE1*~7-*CLV1/BAM1* シグナルが *LBD16* 遺伝子の発現レベルを抑えることが示されました。一方で、人工オーキシンやオーキシン阻害剤を処理しても、*CLE* 遺伝子の発現レベルは変化せず、*CLE1*~7 変異体におけるオーキシン応答性も野生型植物と同程度でした。これらの結果から、*CLE1*~7-*CLV1/BAM1* シグナルは、オーキシン応答とは無関係に *LBD16* 遺伝子の発現を抑制し、結果として側根形成を抑制する可能性が示唆されました (図3)。

図3 CLEペプチドを処理した時の側根原基の発達と本研究のまとめ



(左写真) CLE ペプチド処理あるいは未処理時における、側根原基発生から42時間後の様子。スケールバーは20 μm。破線は側根原基あるいは出現した側根を示す。

(右図) CLE1~7 ペプチドは CLV1/BAM1 受容体によって認識され、LBD16 の発現を抑制する。LBD16 は側根原基の発生及び発達を促進する遺伝子であるため、結果として、CLE1~7-CLV1/BAM1 シグナルは側根形成を抑制する。矢印は促進、T字は抑制を表す。

### [今後の展開]

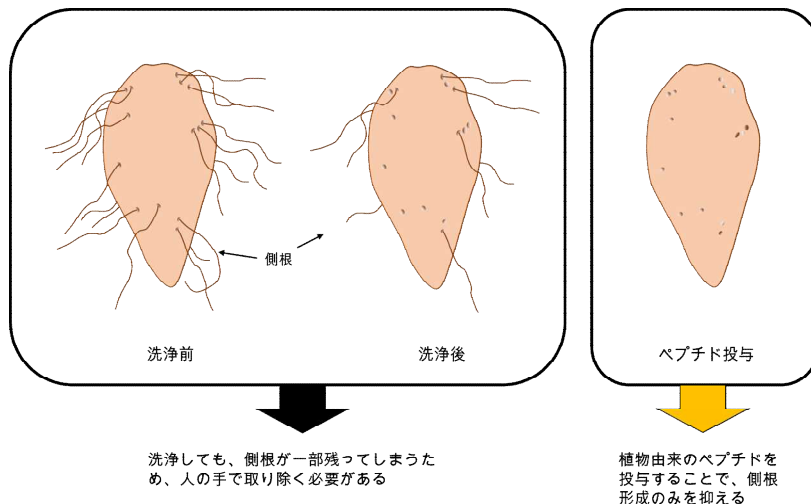
今後、CLE1~7-CLV1/BAM1 シグナルを介した LBD16 の制御機構が解明されれば、シロイヌナズナがどのようにして根系を最適化しているのかの理解につながると期待されます。CLE 遺伝子は、全ての陸上植物に保存されていると考えられているため、他の植物(農作物や園芸植物)における根系形成の仕組みを解明することにも役立つことが期待されます。CLE ペプチドは人工的に合成することが容易であり、受容体に対する特異性が高いため、農作物や園芸植物において、人為的に副作用なく根系パターンを制御することが可能になることが期待されます。さらに、土壌環境にあわせて根系パターンを改良することで植物の成長を制御できれば、根菜類の枝分かれ防止や根の伸長促進など、農業、園芸分野へ貢献することも期待できます。

### 期待される農学的な応用例

#### (1) 根菜類の側根形成抑制

サツマイモや大根のような根菜類には側根が多数形成されます。市販の洗浄機により、土と同時に側根の多くも除去出来ますが、すべての側根が除去出来るわけではありません。除去出来なかった側根は出荷前に人の手により除去しなければならぬため、農家の方の大きな負担になっています(図4)。しかし、本研究で発見した、オーガニックな植物由来のペプチドを投与すれば、根菜類の形成には影響せず、側根のみがなくなり、この作業が不要になると期待できます。

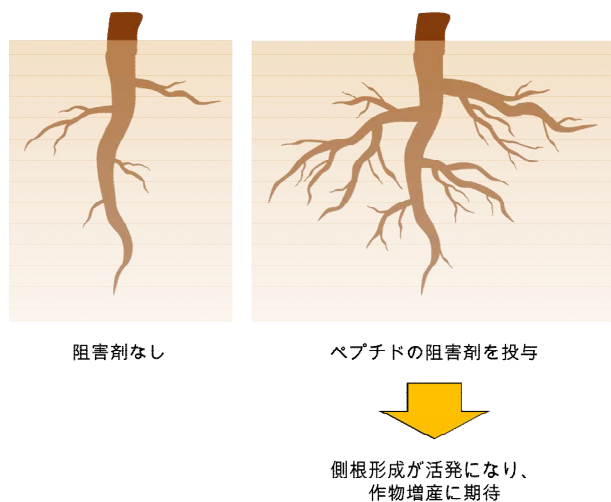
図4 根菜類における応用例



## (2) 根系の発達促進による作物増産

作物の生育促進には、根の形成促進が不可欠です。本研究で発見したペプチドの機能を阻害するようなペプチドを投与すること等により根系を発達させ、水分・栄養吸収能を促進させ、作物の増産を図ることが期待できます（図5）。

図5 作物増産のための応用例



### [用語解説]

\*1 シロイヌナズナ：アブラナ科の一年草（学名：*Arabidopsis thaliana*）。植物体のサイズが小さい、世代間隔が短い及び遺伝子導入が容易などの理由から、モデル植物として幅広く利用されている。

\*2 ペプチド：アミノ酸が2個以上連結した短いタンパク質。ペプチドの中には、ホルモンとしての生理活性を示すものが存在する。

\*3 側根原基：根の内部にある分裂組織から生じる原基。側根原基が適切に発達することで根が分岐し、最終的に側根が出現する。

\*4 CLE 遺伝子群：ペプチドを作るための遺伝子を構成するグループ。シロイヌナズナのゲノム上には32種類存在する。

\*5 ホモログ：共通の祖先をもつと考えられる、相同性の高い遺伝子などの一群。例えば CLE 遺伝子群に含まれる遺伝子は、互いにホモログの関係であると言える。ホモログの関係にある遺伝子同士は機能が同一であるものも多い。

\*6 CLV1、BAM1 受容体：CLE ペプチドを認識し、シグナルを伝えるために必要な受容体。ペプチドホルモンと受容体のペアには特異性があることが知られる。

\*7 オーキシン：植物ホルモンの1つ。器官発生や、光・重力屈性反応など、植物の様々な発生・生理応答に関わる。

### (論文情報)

○論文タイトル

“CLE3 and its homologues share overlapping functions in the modulation of lateral root formation through CLV1 and BAM1 in *Arabidopsis thaliana*”

○論文著者・所属

Satoru Nakagami<sup>1</sup>, Tsuyoshi Aoyama<sup>2</sup>, Yoshikatsu Sato<sup>2</sup>, Taiki Kajiwara<sup>1</sup>, Takashi Ishida<sup>1,3</sup>, Shinichiro Sawa<sup>1, 3, 4</sup>

1 Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan.

2 Institute of Transformative Bio-Molecules, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan.

3 International Research Organization for Advanced Science and Technology (IROAST), Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan.

4 International Research Center for Agriculture and Environmental Biology, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan.

○雑誌名 *The Plant Journal*

○DOI : 10.1111/tpj.16103

○URL : <https://doi.org/10.1111/tpj.16103>

#### 【お問い合わせ先】

熊本大学大学院先端科学研究部  
附属生物環境農学国際研究センター

教授 澤 進一郎  
電話 : 096-342-3439  
Mail : [sawa@kumamoto-u.ac.jp](mailto:sawa@kumamoto-u.ac.jp)

博士研究員 中上 知  
電話 : 080-6433-5357  
Mail : [sing\\_yesterday\\_for\\_me1218@yahoo.co.jp](mailto:sing_yesterday_for_me1218@yahoo.co.jp)