

植物の根の窒素栄養吸収を葉から調節するホルモンを発見 —変動する土壤栄養環境への植物の適応のしくみ—

名古屋大学大学院理学研究科（研究科長：松本 邦弘）生命理学専攻の松林 嘉克（まつばやし よしかつ）教授と大久保祐里（おおくぼ ゆうり）大学院生らの研究グループは、植物の土壤中の根における窒素栄養吸収を地上部である葉から遠距離調節するホルモンを発見しました。

窒素は植物の成長に最も重要な栄養素のひとつです。植物は、根の一部が窒素栄養不足を感知すると、他の根で相補的に多くの窒素栄養を取り込むしくみを持っていますが、この過程には葉が司令塔として関与することがこれまでの同研究グループの解析で明らかになっていました。今回発見されたホルモンは葉から根に移行して最終的な窒素取り込みの指令を与える重要な役割を担っており、このホルモンをつくれない植物は葉が黄色くなって、正常に生育できないことが明らかとなりました。

これらの結果は、刻々と変動する土壤栄養環境への植物の適応のしくみを理解する上で重要な手がかりとなり、今後の農業分野への応用が期待されます。

この成果は、平成29年3月20日（月）午後4時（英国時間）に英国科学誌「Nature Plants」オンライン速報版で発表されました。

【研究の背景と内容】

窒素は植物の成長に最も重要な栄養素のひとつです。植物は根から窒素栄養分を主に硝酸イオンのかたちで吸収して成長しますが、土壤中には硝酸イオンがいつも均一に十分量あるわけではありません。雨による流失や他の植物体による吸収などで、極めて不均一になっています。そのため植物は、根の一部が窒素栄養不足を感知すると、他の根で相補的に多くの窒素栄養を取り込むしくみを持っていますが、この過程には葉が司令塔として重要な役割を果たすことがこれまでの私たちのグループの解析で明らかになっていました（図1）。すなわち、根が窒素欠乏を感知すると根の細胞がCEPというペプチドを道管の中に分泌し、これが水とともに地上部へ運ばれ葉に認識されます。これにより、根の一部が窒素欠乏であることを知った葉は、他の根で相補的に多くの硝酸イオンを吸収させるために根へ向けてホルモンを送り返しますが、

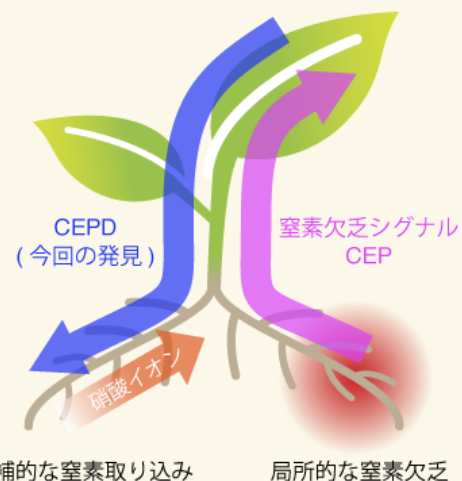
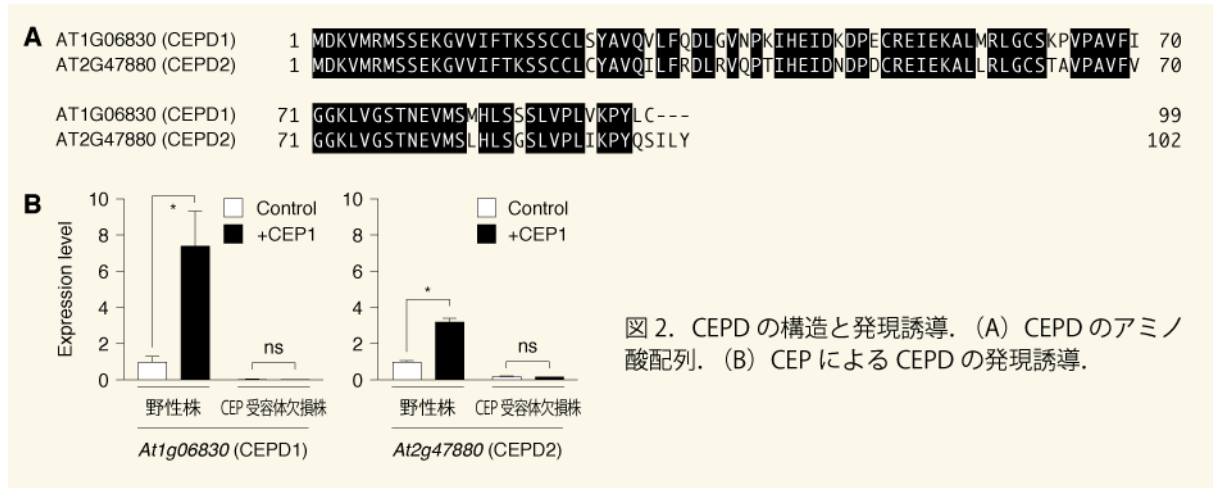


図1. 全身的な窒素取り込み制御に関わる分子群。このしくみにより、不均一な窒素環境下でも生育に必要な窒素栄養を安定的に取り込むことができる。

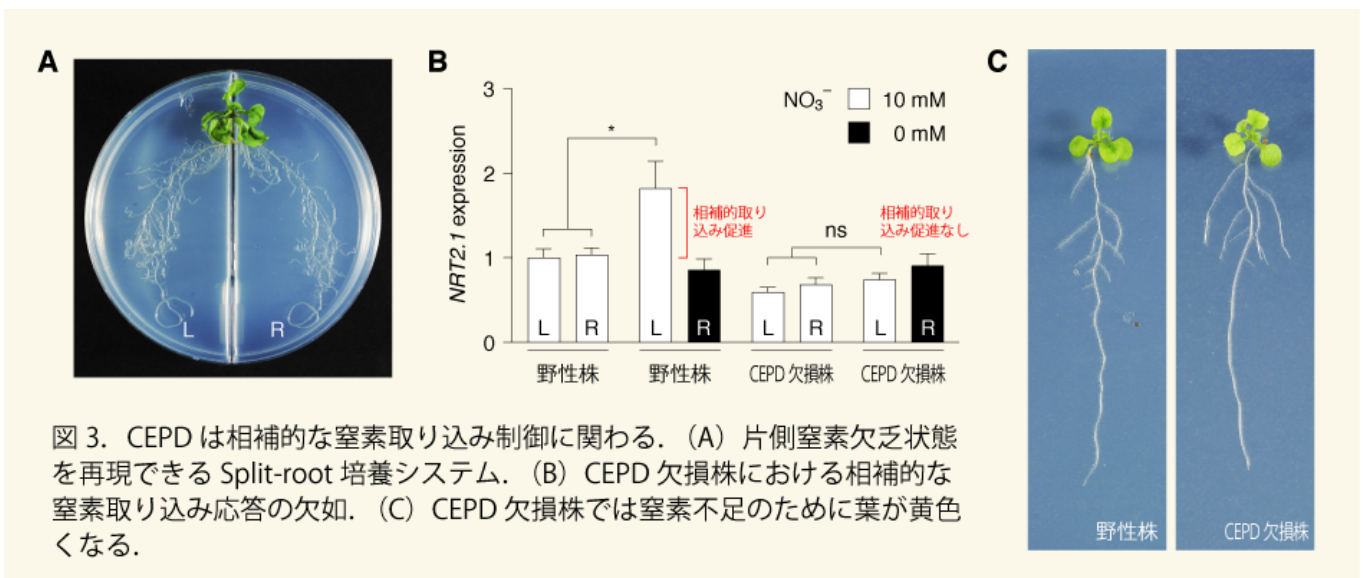
今回の研究成果はこのホルモン（CEPD と命名）の実体を明らかにしたものです。

今回の研究では、まず根に化学合成した CEP を与えた時に、マイクロアレイという手法を用いて葉の葉脈（維管束）で特異的に発現上昇する遺伝子群を探し出しました。それらの遺伝子群の中から、過剰発現させた時に根で硝酸イオン取り込み輸送体遺伝子 *NRT2.1* の発現を上昇させるものを探した結果、2 つの遺伝子を見出しました。これらの遺伝子は互によく似ており、約 100 アミノ酸からなるポリペプチドをコードしていました（図 2）。両遺伝子は野性株の葉では CEP 処理により 3 から 8 倍程度発現誘導されましたが、CEP を受容できない植物では全く誘導されませんでした。このことは 2 つのポリペプチドが CEP の下流シグナルであることを意味していることから、



両者を CEP Downstream（CEPD1 および CEPD2）と命名しました。

次に、2 つの *CEPD* 遺伝子を壊した植物体を作製し、その窒素栄養応答を解析しました。前述したように、植物は、片側の根が窒素栄養不足を感知すると、もう片側の根で相補的に多くの窒素栄養を取り込むために硝酸イオン取り込み輸送体遺伝子 *NRT2.1* の発現を上昇させるしくみを持っていますが、*CEPD* 遺伝子破壊株では、この応答が起りませんでした（図 3）。すなわち、*CEPD* は相補的な窒素取り込みの制御に関わっていることが確かめられました。また、*CEPD* 遺伝子破壊株では、葉が黄色くなるなど典型的な窒素不足の症状を示しました。



それでは、*CEPD* 遺伝子の発現パターンやペプチドの局在はどのようなになっているのでしょうか。興味深いことに、*CEPD* 遺伝子は葉の維管束の篩管側でのみ発現しており、根では検出されませんでした。翻訳された *CEPD* ペプチドは根の篩管部分で明瞭に検出されました（図 4）。このことは、*CEPD* ペプチドは葉から根へ篩管を通して長距離移行して情報を伝えるホルモンであることを示しています。また、別の実験から、*CEPD* ペプチドはすべての根に移行していきませんが、外側に窒素栄養がある環境におかれた根だけで硝酸イオン取り込み輸送体遺伝子 *NRT2.1* の発現を上昇させることが分かりました。以上の結果から、根の一部が窒素栄養不足を感知すると、他の根で相補的に多くの窒素栄養を取り込むしくみの根幹が明らかとなりました。

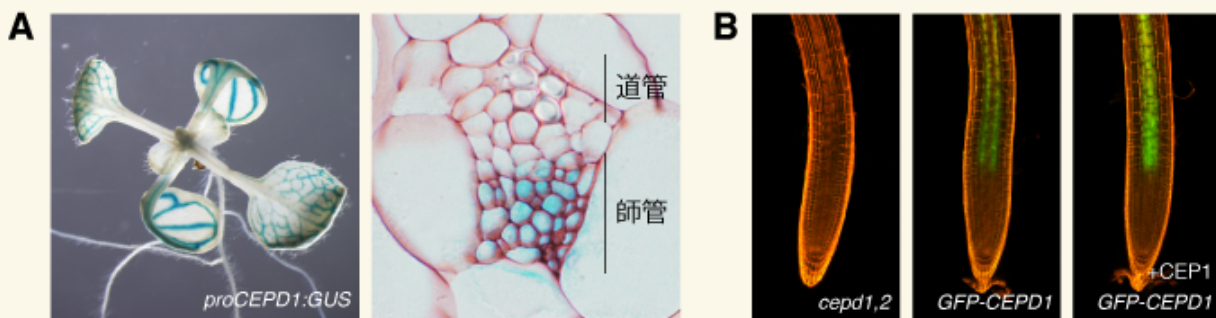


図 4. *CEPD* 遺伝子の発現パターンとペプチドの局在. (A) *CEPD* 遺伝子は葉の維管束の篩部側でのみ発現している. (B) *CEPD* ペプチドは葉から根へ移行して機能する.

【成果の意義】

植物は動物のように動き回ることはできませんが、変動する自然環境に巧みに適応するしくみを持っています。今回のダイナミックなシグナル経路の発見は、動き回らず一見静的に見える植物における環境適応能力の驚くべき巧みさや賢さの一端を示しています。窒素は、その供給が植物の生育や収量に大きく影響します。そのため、農業の現場では、しばしば過剰な窒素肥料の投与が行なわれ、環境問題や食料価格の高騰などの原因となっています。今回発見されたシグナル経路は、植物の窒素取り込み制御の根幹に関わるしくみと考えられます。このシグナル経路を強化することで、より効率よく窒素栄養を取り込み、最小限の肥料で生育できる作物の作出が可能になるかもしれません。また、根における硝酸イオン取り込み効率の調節が、地上部から制御されているという事実は、例えば、葉にかけるだけで根での硝酸イオン取り込みを促進するような薬剤の開発が原理的に可能であることを示しており、植物成長の化学制御にも新しい概念をもたらすものです。

【論文名】

Shoot-to-root mobile polypeptides involved in systemic regulation of nitrogen acquisition (全身的な窒素取り込みの制御に必要な、葉から根へ移行するペプチド)

Yuri Ohkubo¹, Mina Tanaka¹, Ryo Tabata, Mari Ogawa-Ohnishi and Yoshikatsu Matsubayashi*

(¹These authors contributed equally to this work)

大久保祐里、田中美名、田畑 亮、小川-大西真理、松林嘉克

【研究費】

本研究は、科研費による支援を受けました。

科研費種別：基盤研究（S）

課題名：翻訳後修飾ペプチドを介した植物形態形成の分子機構

研究代表者：松林 嘉克

課題番号：25221105

科研費種別：新学術領域研究「植物の成長可塑性を支える環境認識と記憶の自律分散型統御システム」

課題名：長距離シグナリングを介した変動環境への適応機構

研究代表者：松林 嘉克

課題番号：15H05957