

植物の『空腹ホルモン』を発見

田畑亮 (名古屋大学大学院理学研究科 博士研究員)
松林嘉克 (名古屋大学大学院理学研究科 教授)

名古屋大学大学院理学研究科 生命理学専攻の松林嘉克教授と田畑亮研究員、住田久美子研究員、篠原秀文助教らの研究グループは、植物の窒素不足を感知した根でつくられ、他の根からの窒素取込みを相補的に促進する働きをする新しいホルモン「CEP」を発見するとともに、その作用のしくみを明らかにしました。この発見は、変動する窒素環境に対する植物の巧みな適応能力の一端を明らかにするとともに、窒素飢餓に強い作物の作出にも応用が期待できるものです。

この成果は、2014年10月17日に米国科学誌『Science (サイエンス)』で発表されました。

—植物の根が見せる窒素吸収の巧みな連携プレー。植物の「空腹ホルモン」発見で、窒素肥料の効果的・効率的調節に期待膨らむ。

植物の成長に欠かせない「植物ホルモン」。

植物自身が作り出し、植物の生理活性や情報伝達を調節する機能を有する物質である。一般有機化合物の形をしたものに加え、近年では、細胞間情報伝達に関与しているペプチドホルモン（ペプチド性分子）も含む。—未知のホルモン発見、およびその作用のしくみ解明に向けて、益々熱い分野なのだ。

植物ホルモンの研究と言うと、例えば、『どうして花が咲くのだろう』などの現象面から入り、そのメカニズムを探る中で偶然見つけてくることが多い。



「僕らは、物質屋なんですよ。」

名古屋大学大学院 理学研究科の松林嘉克教授ら研究グループは、植物の成長の秘密を物質（分子）の側から探る。調べる最初の段階ではどんな機能を持っているか分からなくとも、情報伝達分子をいろんな方向から、いろんな手がかりを頼りに進めていく。

手がかりの一つは、アポプラスト（細胞と細胞の隙間）を行き交うシグナル分子群を解析すること。その高精度解析を独自技術として確立していることは、まさに研究グループの強みだ。

研究グループはまた、研究室でホルモンの受容体候補を発見させた培養細胞の株を数年かけて作り、ライブラリを構築して、いつでも研究に使えるようにと－80℃の冷凍庫に保存している。数にして、受容体候補は約600個、これで「ほぼ全部」だという。一方、特定の受容体に特異的に結合する物質（リガンド）は、そのうち5%程度しか見つかっていない。

「植物の形態形成に関わるリガンド—受容体ペアを見つけ出し、個々の生理機能を分子レベルで明らかにしたい。」

特定の生命現象から入り、それに関与する遺伝子群を一つずつ探し出すのではない。それとは逆のアプローチにより、松林教授らは研究を進める。「着眼点を変えること」が、これまで見過ごされてきた面白い現象やしくみを見出せる大発見につながる。

...

アミノ酸は、組み合わせ様々にして多様な構造を持つペプチドを形成し、一部はリガンドとして働く。それがいわゆる「ペプチドホルモン」だ。長さを50～150アミノ酸に限

定しても、植物のゲノム中には約1,000個ものペプチドが存在する。



「見過ごされてきたホルモンを発見する。」

大事なペプチドホルモンが、遺伝子のコピーをいくつも持っているなら、遺伝子のコピーが多いものは大事なペプチドホルモンの可能性がある。2010年、松林教授らは、ペプチド分子の特殊な構造をつくりだす酵素（翻訳後修飾酵素）に着目することでその難しい壁を超えた。根の

成長に必要なホルモン RGF (Root Meristem Growth Factor) を発見したのである (Matsuzaki *et al. Science* (2010) 329: 1065-7)。

今回の研究成果も、構造に着目することが発見の鍵となった。

まず始めに、ゲノムが解読されているシロイヌナズナの遺伝子情報から、候補となるペプチド群を選び出した (図1)。それはC末端に保存された配列を持っていたことから、CEP (C-terminally Encoded Peptide) と名付けられた (Ohyama *et al. Plant J.* (2008) 55: 152-60)。

「CEPの多くは根で特異的に発現しているが、何をしているか最初は見当がなかった。」

同研究グループの田畑亮博士は、CEPをペプチドホルモン候補として解析し始めた。しかし、CEPの場合も、コピー遺伝子が多数存在してい

るために、全てを欠損させた植物をつくることは難しい。

CEP1	IVVTYTRRGVLQKEVIAHPTD	FRPTNPGNSPGVGHNSGRH----	91
CEP2	NPEDSLGIGHPRVLNNKFTND	FAPTNP GDSPGI RHPGVVNV---	126
CEP3	VLSSSPTEPLESPSHGV	DTFRPTEPGHSPGIG HSVHN----	82
CEP4	PKDDFVWYHKINRFKINIEQ	DAFRPTHCGPSQGIG HKNPPGAP--	86
CEP5	QFSPPPPPPPPSQSGGKDAED	FRPTT PGHSPGIG HSLSHN----	105
CEP7	PEELQGSIKTRRSKDIYGLNA	FRSTEPGHSPGVGH LIKT-----	104
CEP9	SPGIGHKMKENEENAGGYK	DDFEPTT PGHSPGVGH AVKNNPNA101	
CEP10	FAAGNSNLSSKLTTEDHSL	DAFRPTNPGNSPGIG H-----	76
CEP11	LRTGGGSVKTDISKEEHGV	DEFRPTT PGNSPGIG H-----	87

図1. CEPの配列。同じ配列を示す確率の高い順に黒、グレーの色が付けてある。(図は、説明資料として松林教授より提供)

「受容体側から攻めよう。」

田畑博士は、研究グループで保持している受容体ライブラリを用いて、総当たり戦により CEP との結合実験を進めた。幸運にも、40個程度調べた時点で、CEPの受容体

(CEPR) が二つ見つかった。

そこで、CEPRの欠損株と野生株を比較。CEPRの欠損株では、側根の伸長や、葉の黄化、植物体の矮小化などの形態変化が現れた (図2)。

これらは、植物の栄養素である窒素が欠乏状態にある時にしばしば観察される。が、窒素応答のどの部分に関わっているかはまだ調べる必要がある。

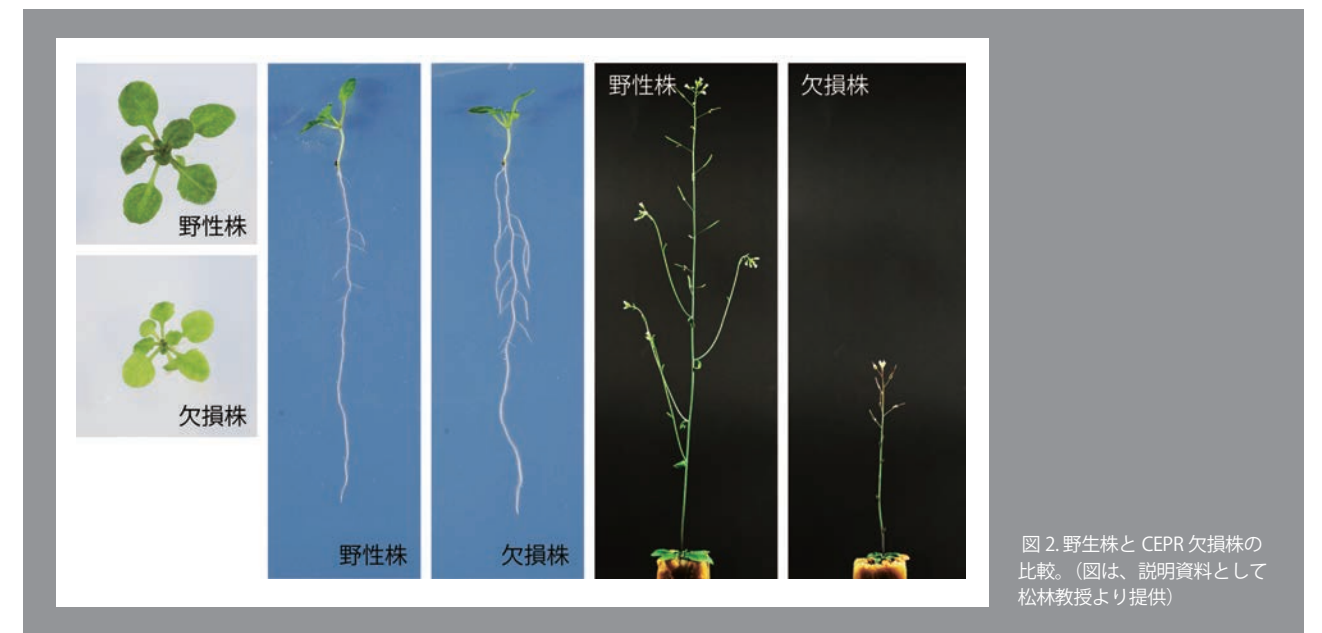


図2. 野生株と CEPR欠損株の比較。(図は、説明資料として松林教授より提供)

「現象を説明する論文を片端から調べた。」

いくつかの仮説を立てては検証する実験を繰り返すなかで、ついに、CEP – CEPR ペアの働きは、「全体的窒素要求シグナリング (Gloria M. Coruzzi *et al. PNAS* (2011) 108: 18524-9)」に関わっていることが分かった。

全体的窒素要求シグナリングとは、根の片側が窒素不足になったときに、もう片側の根で余分に窒素栄養を取り込むしくみのことである。CEPRは、地上部の葉などの維管束(葉脈部分)で発現している受容体だが、土壌中の硝酸イオンの分布が

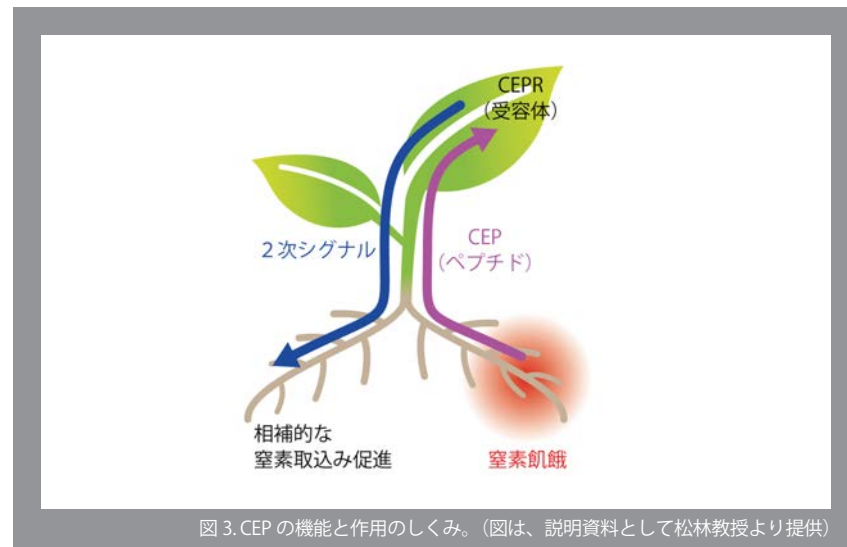
不均一な場合、CEP – CEPRの働きによって、植物個体で硝酸イオン取り込み量を最適に保つよう制御していることが分かったのである。

ここに CEP の機能と作用のしくみをまとめたい (図 3)。

根の一部が窒素飢餓になった場合、根における CEP ファミリーペプチドの発現レベルが急上昇し、道管を経由して、地上部の葉などの葉脈部分で発現している受容体 CEPR で認識される。

ここで、さらに生産される 2 次シグナルが根に再び移行し、別の根に働きかけて余分に窒素栄養を取り込ませることによって、局所的な不足分を補っている。

CEP はいわば「空腹ホルモン」であり、それを知った他の根が余分に食べることによって、常に安定した個体の成長が支えられていたのである。



「みんなと同じ方向じゃない方が、見過ごしの大物が見つかる。」

発想の転換の大切さに改めて気づかされた、今回の大発見。

植物の環境適応能力の巧みさや賢さに納得をもたらすとともに、私たちの生活に大事に関わってくる植物成長の化学制御にも新しい概念を生むことになるだろう。そしてそれは、現状の環境問題や食糧不足の問題に、原理的には対処できる、との期待を膨らませます。

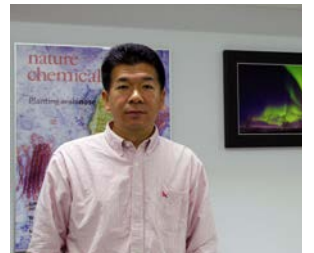
静かに可憐に生きる植物たち

— ダイナミックな情報伝達で、賢く生きる姿に益々魅了される。

研究者紹介

まつばやし よしかつ
松林 嘉克 (名古屋大学大学院 理学研究科 教授)

1971 年三重県の生まれ。1997 年名古屋大学大学院生命農学研究科博士課程修了。同助手、助教授 (准教授) を経て、2011 年より基礎生物学研究所教授。2014 年 4 月から現職。2001 年農芸化学奨励賞；2008 年日本植物生理学会奨励賞；2010 年日本分子生物学会三菱化学奨励賞。



たばた りょう
田畑 亮 (名古屋大学大学院 理学研究科 博士研究員)

2007 年名古屋大学大学院生命農学研究科博士課程修了。その後、同研究科で COE 研究員、2010 年東京大学大学院理学系研究科 特任研究員、同年 熊本大学大学院自然科学研究科で文部科学研究員、2013 年基礎生物学研究所 NIBB リサーチフェローを務める。2014 年より、現職。2008 年 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry (B.B.B.) 論文賞。



参考

研究室 HP <http://www.bio.nagoya-u.ac.jp/~b2/index.html>

今回の論文

Ryo Tabata, Kumiko Sumida, Tomoaki Yoshii, Kentaro Ohyama, Hidefumi Shinohara, and Yoshikatsu Matsubayashi
Perception of root-derived peptides by shoot LRR-RKs mediates systemic N-demand signaling.
Science 346: 343 (2014).
(First published on 17 October 2014; DOI: 10.1126/science.1257800)

その他の論文

Y. Okumura and K. Ito
Yo Matsuzaki, Mari Ogawa-Ohnishi, Ayaka Mori and Yoshikatsu Matsubayashi
Secreted peptide signals required for maintenance of root stem cell niche in Arabidopsis.
Science 329: 1065 (2010).
(First published on August 27, 2010; DOI: 10.1126/science.1191132)

連絡先

名古屋大学 学術研究・産学官連携推進本部 地域連携・情報発信グループ
文・編集 NU リサーチ 梅村綾子
〒464-8601 名古屋市千種区不老町 ナショナル・イノベーション・コンプレックス (NIC) 311 号室
TEL 052(747)6527 FAX 052(747)6796 E-MAIL nuresearch ○ aip.nagoya-u.ac.jp (○を @ に変更)