

植物の葉をギザギザにする物質の発見

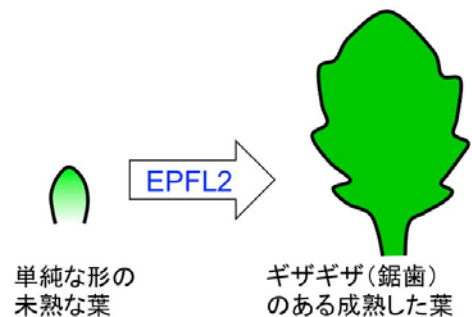
～EPFL2 ペプチドがもたらす多様な葉の形～

名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所（ITbM）の爲重 才覚（ためしげ としあき）研究員、打田 直行（うちだ なおゆき）特任准教授、鳥居 啓子（とりい けいこ）教授らの研究チームは、葉のギザギザした形を生み出すEPFL2という物質（ペプチド）を発見しました。

様々な植物の葉の縁に見られるギザギザは鋸歯（きょし）と呼ばれ、各々の植物の形を特徴づける重要な要因です。鋸歯が生まれるには、植物ホルモンのオーキシンの働きが重要だとは言われてきたものの、これまで不明な点が多く、その解明が求められていました。今回、EPFL2というペプチドとそれを受け止めるアンテナとなるタンパク質が、鋸歯を生み出す際にオーキシンを制御していることを発見しました。このEPFL2を働かなくさせた植物の葉は、鋸歯が無い滑らかな葉となります。今回の発見は、地球上に存在する植物の葉の多様な形がどのように作られるのかを解明する糸口になると期待されます。

本研究成果は、米国生物学誌Current Biologyのオンライン版で9月2日 午前 1時（日本時間）に公開されました。

図1
葉のギザギザを作る物質EPFL2

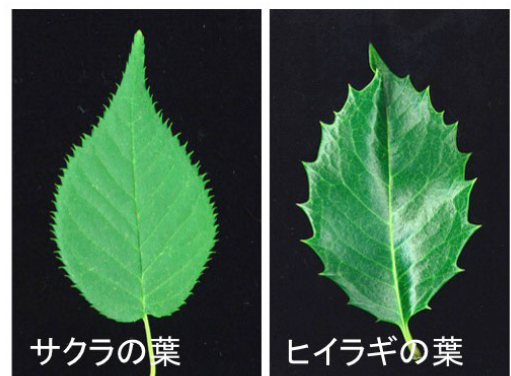


【研究の背景と内容】

植物の葉の縁には、小さなギザギザ（鋸歯）を持つものが多くあります。サクラ（図2）にもカエデにも、タンポポやシソの葉にも鋸歯があります。ヒイラギ（図2）やアザミの鋸歯は固く発達したトゲとなって植物本体を守っていて、触ると痛い様子から魔除けの意味で装飾に用いられたり、悲しみや痛みの象徴として神話に登場したりと、古来より人の関心を引いてきました。しかし、トゲとして植物の体を守る役割は一部の植物で見られるものの、一般的に葉の鋸歯がなんのために存在するのか、そして、どうやって形成されるのか、という点はこれまでわかっていませんでした。

今回、名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所の爲重 才覚研究員らの研究グループは、葉の鋸歯を作り出す原因物質とその物質が働く仕組みを発見しました。今回の研究の発端となったのは、EPFL2 ペプチドという化合物の機能を調べる研究でした。

図2



EPFL2 とその受容体の発見

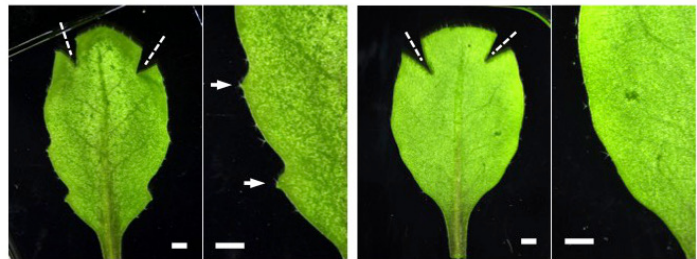
EPFL2 は、生物の構成要素であるアミノ酸が鎖のように連なった分子（ペプチドと呼ばれる）です（図 3）。EPFL2 は、昔から知られている植物ホルモンのオーキシンなどに加えて、植物が分泌する物質として近年発見されたばかりで、未だにその機能が不明の物質でした。爲重 才覚研究員、打田 直行特任准教授^{註1}、鳥居 啓子教授^{註2}（名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所）、岡本 智史氏、相田 光宏特任准教授、田坂 昌生教授（奈良先端科学技術大学院大学）、Lee Jin Suk 博士^{註3}（米国ワシントン大学）の研究グループは、遺伝子の機能を調べる実験に便利な植物シロイヌナズナを用いて、EPFL2 の機能を調べました。すると、EPFL2 を作れない植物では、野生株の葉にはあるはずの鋸歯が無く、滑らかな葉の形をしていました（図 4）。つまり、EPFL2 は鋸歯のあるギザギザした葉の形を作るために必要な物質だということがわかりました。

図3

EPFL2は鎖のように長く
曲がりくねった分子
(ペプチド)



図4



野生株の葉

EPFL2が働かない
植物の葉

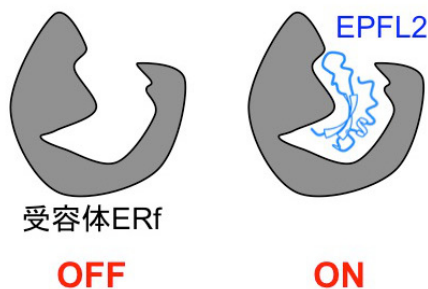
注)

矢印: 鋸歯

丸まった葉を押し広げて撮影するため、
点線部分で切れ込みを入れている。

EPFL2 やオーキシンなどの成長を制御する化合物は、特定の生理機能を活性化させる鍵の役割を持っています。そして、鍵が動くには鍵穴が必要です。実際に、様々な植物の成長制御物質について鍵穴に相当する分子（=受容体タンパク質）が知られています。これまで EPFL2 の受容体（鍵穴）はわかっていませんでしたが、今回の研究では、EPFL2 の受容体も明らかになりました（図 5）。

図5

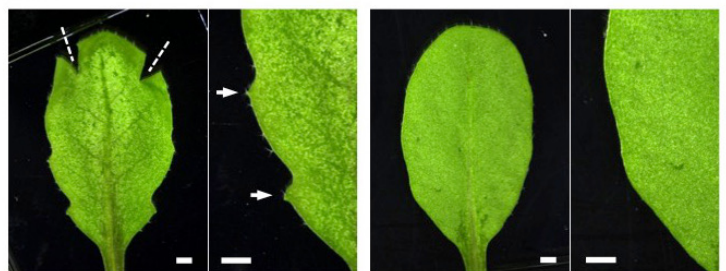


受容体ERf

OFF

ON

図6



野生株の葉

ERfが働かない植物の葉

注)図3と同じ

見つかった EPFL2 の受容体は、ERf (英語名 ERECTA family の略称) と呼ばれる一群の受容体でした。実際に、ERf 受容体の機能を一部失った植物は、EPFL2 を作れない植物と同じく鋸歯の無い形の葉を作りました (図 6)。

EPFL2 が鋸歯を成長させる仕組み

葉の形ができ上がるまでには、生まれたばかりの小さく丸い葉が大きく成長するときに、部分的に成長したり、成長が抑えられたりして、葉の引っ張りや凹 (へこ) みが形成されます。鋸歯の突起が大きく引っ張るためには、植物ホルモンのオーキシンの重要な役割を果たしていると言われてきました。実際には、オーキシンは成長している葉の突起の先端部に蓄積して、周辺の裾野部分には蓄積せず、オーキシン濃度の濃淡の違いが突起の成長に必要であることが知られています (図 7)。

しかし、突起の先端部分でだけオーキシンが蓄積し、裾野部分では蓄積しないという濃淡がどういう仕組みで生まれているのかは、これまでよくわかっていませんでした。

図7

成長途中の鋸歯

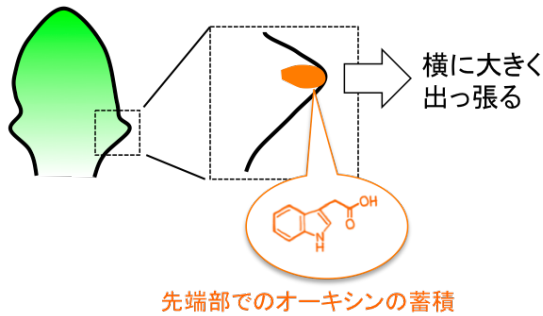
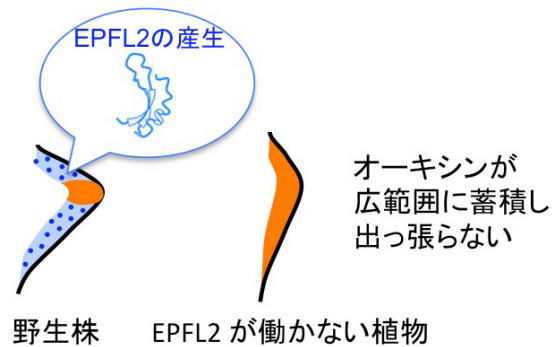


図8

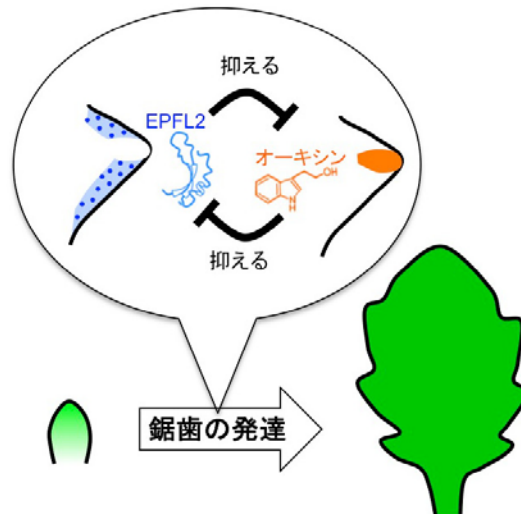


今回、EPFL2 とオーキシンの関係性を調べたところ、EPFL2 はオーキシンの蓄積を抑える働きがあることがわかりました。EPFL2 は鋸歯の先端部では作られず、鋸歯の裾野部分でのみ作られるため、そこでのオーキシンの蓄積を抑えていたのです (図 8 左)。EPFL2 を作れない植物では、オーキシンが裾野まで広がるために、鋸歯の突起が引っ張れないこととなります (図 8 右)。

では、そもそも、EPFL2 はどうして鋸歯の先端部では作られず、裾野部分でだけ作られるのでしょうか。この問題を追究したところ、面白いことにオーキシンが EPFL2 の作られる場所を決めていることがわかりました。オーキシンが蓄積すると、そこでは EPFL2 が作られないという仕組みになっていたのです。このため、オーキシンが蓄積している場所と EPFL2 を作っている場所は、丁度写真のポジとネガのように反対の関係になります (図 9)。

図9

EPFL2 とオーキシンによるフィードバック制御



このように考えると、オーキシンの蓄積する場所を決める仕組みと、EPFL2 を作る場所を決める仕組みは、「卵が先かニワトリが先か」という構図のようになっていて、どちらが先に決まるとも言い切れない関係にあります。しかし、このように二つの物質が互いの働きを抑え合うような関係性は、「フィードバック制御^{注4)}」と呼ばれ、生き物の形作りや体内時計などさまざまな場面で働く仕組みであることがわかっています。

【まとめと今後の展望】

今回発見した EPFL2 ペプチドが鋸歯のあるギザギザした形を作り出す仕組みは、実験植物であるシロイヌナズナを用いてわかったことです。また、EPFL2 の受容体も今回初めて明らかになりました。葉の鋸歯を作り出す仕組みが同じように他の植物で働いているのかは、今後さらに調べる必要がありますが、今回の発見によって、シロイヌナズナよりももっとギザギザした複雑な葉の形や、触ると痛いトゲトゲの葉も EPFL2 によって作られている可能性が示唆されます。

また、EPFL2 は、他の植物ホルモンのように、人工的に合成して投与することも可能になると期待できます。たとえば、盆栽や他の観葉植物など、見て楽しむ植物に EPFL2 を加えて、様々な葉の形に変えることも今後できるようになるかもしれません。また、野菜の形が変わると、見た目や食感に違いが生まれます。レタスや水菜など葉野菜の形を変えられることができると、新しい品種あるいはブランド野菜としての付加価値を与えることができるかもしれません。

注1：名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所の他、本学理学研究科生命理学専攻の特任准教授を兼任。

注2：名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所の他、本学理学研究科生命理学専攻の客員教授、米国ワシントン大学の教授とハワード・ヒューズ医学研究所の正研究員を兼任。

注3：現在はカナダ Concordia 大学の Assistant professor (アシタントプロフェッサー)。

注4：今回のように互いに抑え合う場合に限らず、互いの働きを促し合う場合など、相互に影響し合うさまざまな関係をフィードバック制御と呼ぶ。

【掲載雑誌、論文名、著者】

掲載雑誌：Current Biology

論文名：A secreted peptide and its receptors shape the auxin response pattern and leaf margin morphogenesis

(分泌ペプチドとその受容体がオーキシン反応と葉の周辺部の形作りを決定する)

著者：Toshiaki Tameshige, Satoshi Okamoto, Jin Suk Lee, Mitsuhiro Aida, Masao Tasaka, Keiko U. Torii and Naoyuki Uchida

(爲重 才覚、岡本 智史、Lee Jin Suk、相田 光宏、田坂 昌生、鳥居 啓子、打田 直行)

DOI：10.1016/j.cub.2016.07.014 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.07.014>)

論文公開：2016年9月2日午前1時（日本時間） / 2016年9月1日午後12時（米国EDT時間）

【研究費】**科研費**

新学術領域 「環境記憶統合」(JP16H01462)

新学術領域 「植物発生ロジック」(JP26113507・JP16H01237)

新学術領域 「ゲノム・遺伝子相関」(JP26113707)

新学術領域 「植物細胞壁機能」(JP25114511)

基盤研究 (B) (JP26291057)

WPI-ITbM について (<http://www.itbm.nagoya-u.ac.jp/>)

文科省の世界トップレベル拠点プログラム(WPI)の一つとして採択された、名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所(ITbM)は、従来から名古屋大学の強みであった合成化学、動植物科学、理論科学を融合させることで研究を進めております。ITbMでは、精緻にデザインされた機能をもつ全く新しい生命機能の開発を目指しております。ITbMにおける研究は、化学者と生物学者が隣り合わせで研究し、融合研究を行うミックス・ラボという体制をとっております。このような「ミックス」をキーワードに、化学と生物学の融合領域に新たな研究分野を創出し、トランスフォーマティブ分子を通じて、社会が直面する環境問題、食料問題、医療技術の発展といった様々な議題に取り組んでおります。