

寄生植物が宿主に接近するメカニズムの解明

―病害寄生雑草による農業被害を防ぐ方法の開発に期待―

理化学研究所（理研）環境資源科学研究センター植物免疫研究グループの小川哲史訪問研究員、白須賢グループディレクター、奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科バイオサイエンス領域の吉田聡子教授、ツイ・スンクイ助教らの国際共同研究グループは、根寄生植物^[1]が宿主植物に向けて根を伸ばすメカニズムを発見しました。

本研究成果は、世界中で主要な穀物に寄生し深刻な収量減少を引き起こす、根寄生植物の被害を撲滅する方法の開発に貢献すると期待できます。

根寄生植物は、①宿主となる植物が近くにいることを認識し発芽する、②自身の根を宿主の根に向けて伸ばす、③根を連結させ栄養や水を奪う、という3段階を経て寄生を完了させます。このうち、①と③については研究が進められてきましたが、②の屈性^[2]と呼ばれる現象のメカニズムについてはほとんど明らかになっていませんでした。

今回、国際共同研究グループは、ハマウツボ科寄生植物のコシオガマ^[3]が宿主の根から放出される根圏情報物質のストリゴラクトン（SL）^[4]に対して屈性を示すことを発見しました。この屈性はアフリカなどで農業被害を引き起こしている同じハマウツボ科のストライガでも見られる一方で、非寄生植物では見られないことから、ハマウツボ科寄生植物に特有の戦略である可能性があります。また、SLへの屈性には植物ホルモン^[5]であるオーキシンの輸送が関与すること、屈性はアンモニウムイオン^[6]の存在下では抑制されることを発見し、さらにSLを認識して屈性を引き起こす受容体を同定しました。

本研究は、オンライン科学雑誌『*Nature Communications*』（8月15日付）に掲載されました。



ストリゴラクトンを放出するイネの根に向かって根を伸ばすコシオガマ

背景

寄生植物は他の植物（宿主植物）に寄生し、栄養や水を奪って生きる植物です。作物に寄生した場合、収量を大幅に減少させます。特に、ストライガやオロバンキといったハマウツボ科の根寄生植物は世界中の主要な穀物に寄生し、年間数十億ドルの農業被害をもたらしている食料安全保障上の脅威です。日本でもマメ科植物などに寄生するヤセウツボが生息域を拡大しており、農業への影響が懸念されます。しかし、これらの寄生植物に対する有効な防除策は確立されていません。この脅威への対策を見いだすためにも、寄生のメカニズムを分子レベルで理解することが重要です。

寄生植物が宿主に寄生するまでには、①宿主の近くで発芽し、②自身の根を宿主へと接近させ、③宿主へと侵入する、というステップがあります。このうち①については宿主が放出するストリゴラクトン（SL）などの物質を、③については宿主由来のエチレンやキノンといった物質を認識して行うことが明らかにされてきましたが、②の屈性と呼ばれる現象については解析が進んでいませんでした。

研究手法と成果

国際共同研究グループは、ハマウツボ科寄生植物のコシオガマに着目しました。コシオガマは宿主なしでも生存可能であり、SL がなくても発芽します。それにもかかわらず、コシオガマのゲノム上には SL を認識する受容体^[7]の候補が複数存在しており、その役割は明らかになっていませんでした。そこで、コシオガマは SL を屈性に用いているという仮説を立て、寄生実験を行いました。その結果、コシオガマは SL を放出しないイネよりも放出するイネに向かって根を伸ばす傾向があることを発見しました。さらに、化合物への屈性を評価する実験系を確立し、コシオガマが SL およびその類似化合物に対して屈性を示すことを明らかにしました（図 1）。

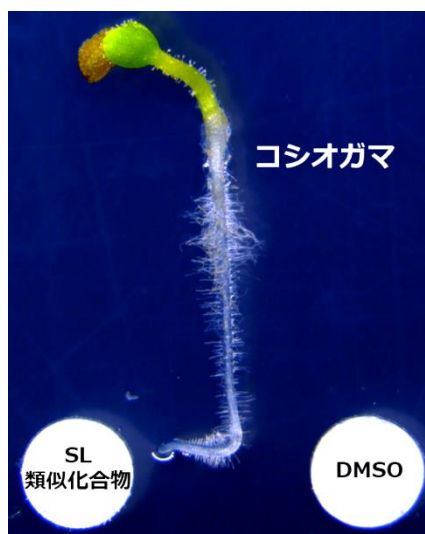


図1 SL 類似化合物に屈性を示すコシオガマ

SL の類似化合物（左側）と DMSO（右側：溶媒コントロール）を並べたところ、SL 類似化合物に向かうよう根の伸長方向を変えた。

SL への屈性は同じハマウツボ科寄生植物のストライガでも見られた一方、ハマウツボ科でありながら寄生能力を持たないリンデンベルギアという植物やアブラナ科のシロイヌナズナといった非寄生植物では見られず、ハマウツボ科寄生植物が独自に編み出した戦略であることが示唆されました。また、SL と同じくラクトン（環状エステル）構造を持つ化合物であるコスツノリドやカリキンに対してはコシオガマもストライガも屈性を示さず、コシオガマやストライガは SL に対し特異的に屈性を示すことが示唆されました。

重力屈性など植物の屈性には、植物ホルモンであるオーキシンが関与することが知られています。そこで、コシオガマの根におけるオーキシン応答およびオーキシン輸送を観察したところ、SL 処理により左右非対称なオーキシン輸送が起こり、それによる左右非対称なオーキシン応答が屈性を引き起こすことが明らかになりました（図2左）。また、この左右非対称なオーキシン応答、ひいては SL への屈性は、アンモニウムイオンにより抑制されることが明らかになりました（図2右）。

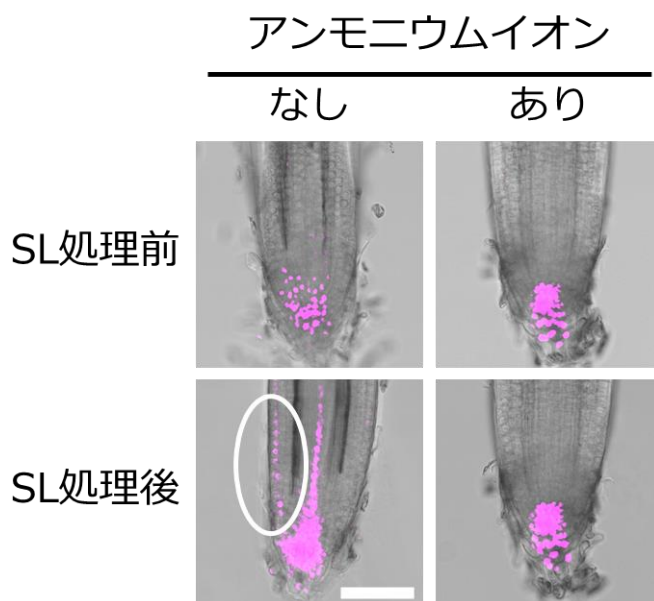


図2 アンモニウムイオン非存在下で左右非対称なオーキシシン応答を示すコシオガマ

オーキシシン応答に応じて蛍光を示す遺伝子をコシオガマに導入し、蛍光を観察した。コシオガマの左側に SL を滴下し、オーキシシン応答への影響を観察した。アンモニウムイオンがない条件（左）では SL 処理により左右非対称なオーキシシン応答が見られたが（左下丸内）、アンモニウムイオンの存在下（右）では消失した。スケールバーは 100 マイクロメートル（ μm 、 $1\mu\text{m}$ は 1000 分の 1mm）を表す。

また、SL を認識する受容体の候補 7 個をそれぞれシロイヌナズナの植物体内で発現させてその機能を解析したところ、少なくとも二つの受容体が外部の SL を認識する受容体として機能することを明らかにしました。この受容体の機能を抑制した結果、SL への屈性が抑制されました。

以上の結果より、ハマウツボ科寄生植物における SL を介した宿主への屈性メカニズムが明らかになりました。

今後の期待

今回、ハマウツボ科の寄生植物が宿主の SL を認識し接近することを明らかにしました。宿主への屈性は寄生植物が寄生を成立させるための重要なステップですが、今回の研究は今後寄生植物の屈性を研究するための重要な基礎になると期待できます。また、屈性を効率良く抑制し宿主への寄生を阻害する方法の開発につながり、寄生植物による農業被害の撲滅に貢献すると期待できます。

今回の研究成果は、国際連合が 2016 年に発行した 17 項目の「持続可能な開発目標 (SDGs) ^[8]」のうち「2.飢餓をゼロに」、「3.すべての人に健康と福祉を」および「15.陸の豊かさを守ろう」に貢献すると期待できます。

論文情報

<タイトル>

Strigolactones are chemoattractants for host tropism in Orobanchaceae parasitic plants

<著者名>

Satoshi Ogawa, Songkui Cui, Alexandra R.F. White, David C. Nelson, Satoko Yoshida, Ken Shirasu

<雑誌>

Nature Communications

<DOI>

10.1038/s41467-022-32314-z

補足説明

[1] 根寄生植物

他の植物(宿主)と自らを連結させ栄養や水を奪って生きる植物(寄生植物)のうち、宿主の根に寄生するもの。

[2] 屈性

生物が外界からの刺激に反応して器官を成長または旋回させる現象。重力に反応する重力屈性、光に反応する光屈性、特定の物質に反応する化学屈性、宿主に反応する宿主屈性などがある。

[3] コシオガマ

学名 *Phtheirospermum japonicum*。生存のために必ずしも宿主が必要でないハマウツボ科の条件的寄生植物で、日本原生である。実験室環境下で宿主なしでも発芽、生育が可能であり、ゲノムも解読されているため、モデル寄生植物として適している。

[4] ストリゴラクトン (SL)

植物が作る低分子化合物で、ラクトン構造を有する。土壤中に放出されると、植物と共生する共生菌を誘引する。一方、寄生植物のストライガなどは SL シグナルをハイジャックし、自らの寄生に利用する。SL は不安定な化合物であり土壤中容易に分解すること、また死んだ植物は SL を放出しないことから、SL の存在は「生きた植物が近くにいる」という指標になる。SL は strigolactone の略。

[5] 植物ホルモン

植物が作り、微量で生理反応を引き起こす物質。成長や防御反応などさまざまな生理作用の制御に関与する。オーキシン、サイトカイニン、エチレンなどが挙げられる。

[6] アンモニウムイオン

化学式 NH_4^+ 。植物にとっては重要な窒素源になるが、過剰なアンモニウムイオンは毒にもなる。

[7] 受容体

ホルモンなどのシグナル分子を受け取り、情報を伝えるタンパク質。

[8] 持続可能な開発目標 (SDGs)

2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された2016年から2030年までの国際目標。持続可能な世界を実現するための17のゴール、169のターゲットから構成され、発展途上国のみならず、先進国自身が取り組むユニバーサル(普遍的)なものであり、日本としても積極的に取り組んでいる(外務省ホームページより一部改変して転載)。

国際共同研究グループ

理化学研究所 環境資源科学研究センター 植物免疫研究グループ

訪問研究員 小川 哲史(オガワ・サトシ)

(日本学術振興会 特別研究員 PD)

グループディレクター 白須 賢(シラス・ケン)

(環境資源科学研究センター 副センター長)

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 バイオサイエンス領域

教授 吉田 聡子(ヨシダ・サトコ)

助教 ツイ・スンクイ(Cui Songkui)

カリフォルニア大学リバーサイド校(米国)

教授 デビッド・ネルソン(David Nelson)

博士課程学生 アレクサンドラ・ホワイト(Alexandra White)

研究支援

本研究は、日本学術振興会(JSPS)科学研究費助成事業基盤研究(S)「植物と病原体の攻防における分子機構(研究代表者:白須賢)」、同基盤研究(A)「アポプラストにおける植物-病原体相互作用(研究代表者:白須賢)」、同基盤研究(B)「寄生植物の寄生器官誘導を司る新規タンパク質の機能解明(研究代表者:吉田聡子、研究分担者:白須賢)」、同学術変革領域研究(A)「不均一環境変動に対する植物のレジリエンスを支える多層的情報統御の分子機構(研究領域代表者:松下智直)」の「不均一土壌環境に応答した寄生植物の感染統御機構(研究代表者:吉田聡子、研究分担者:白須賢)」、同若手研究「Elucidating regulatory mechanism of haustorium number using a model parasitic plant system(研究代表者:Cui Songkui)」、同特別研究員奨励費「寄生植物-宿主間と植物-菌根菌間における他者認識の分子機構(研究代表者:小川哲史)」、科学技術振興機構(JST)戦略的創造研究推進事業さきがけ「異種植物間ネットワーク解析による植物間相互作用の理解(研究代表者:吉田聡子)」による支援を受けて行われました。

発表者・機関窓口

<発表者> ※研究内容については発表者にお問い合わせください。
理化学研究所 環境資源科学研究センター 植物免疫研究グループ
訪問研究員 小川 哲史 (オガワ・サトシ)
(日本学術振興会 特別研究員 PD)
グループディレクター 白須 賢 (シラス・ケン)
(環境資源科学研究センター 副センター長)
TEL : 045-503-9574 (白須) FAX : 045-503-9573
E-mail : satoshi.ogawa[at]riken.jp (小川)、ken.shirasu[at]riken.jp (白須)

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 バイオサイエンス領域
教授 吉田 聡子 (ヨシダ・サトコ)
助教 ツイ・スンクイ (Cui Songkui)
TEL : 0743-72-5481 (吉田)、0743-72-5521 (ツイ)
E-mail : satokoy[at]bs.naist.jp (吉田)、songkuic[at]bs.naist.jp (ツイ)



小川 哲史



白須 賢



吉田 聡子



ツイ・スンクイ

<機関窓口>
理化学研究所 広報室 報道担当
E-mail : ex-press[at]riken.jp

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 渉外企画係
Email : s-kikaku[at]ad.naist.jp
※上記の[at]は@に置き換えてください。