

## 「魔女の雑草」の寄生戦略を分子レベルで解明

### ー ストライガ防除に向けた分子標的を発見ー

#### 概要

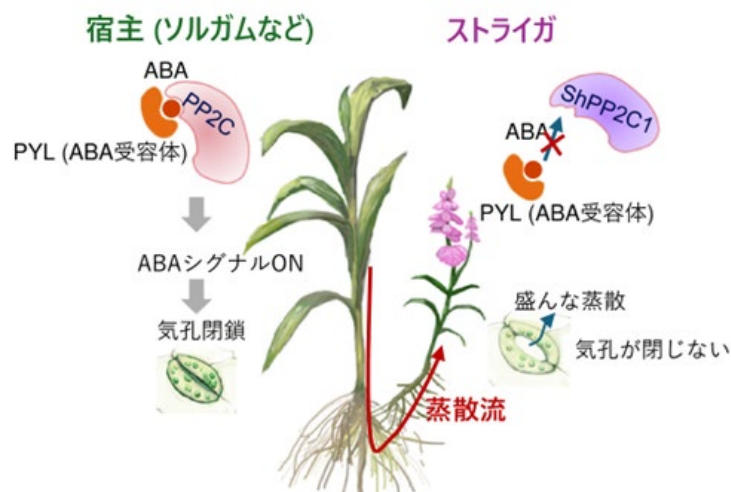
理化学研究所（理研）環境資源科学研究センター植物化学遺伝学研究チームの岡本昌憲チームディレクター、片桐壮太郎特別研究員、藤山敬介基礎科学特別研究員らの共同研究グループは、アフリカで甚大な農業被害をもたらす根寄生雑草ストライガ<sup>[1]</sup>が特異的に持つ寄生戦略に必要な遺伝子変異を特定しました。

本研究成果により、ストライガの弱体化・防除のための新たな研究開発が進むことが期待されます。

ストライガは、乾燥地における作物栽培に甚大な被害をもたらす根寄生雑草です。乾燥環境に適応したストライガは、気孔（きこう）が大きく開口し、盛んな蒸散流<sup>[2]</sup>を維持することで、その流れを利用して宿主から効率的に栄養分と水分（養水分）を奪います。このストライガの特異な形質は、通常であれば気孔閉鎖を誘導して蒸散を抑制する植物ホルモン「アブシシン酸（ABA）<sup>[3]</sup>」に対する感受性が著しく低いと考えられています。

本研究では、その原因とされる ShPP2C1<sup>[4]</sup>のアミノ酸配列を詳細に解析し、他の寄生植物の相同遺伝子<sup>[5]</sup>と比較して、ストライガ特異的な変異が存在することを明らかにしました。さらに、その中から気孔閉鎖の阻害に関与する重要なアミノ酸変異を特定しました。

本研究は、科学雑誌『*Journal of Experimental Botany*』オンライン版（9 月 18 日付）に掲載されました。



根寄生雑草ストライガの寄生戦略に必要な遺伝子変異を特定

## 背景

根寄生雑草ストライガ (*Striga hermonthica*) はサハラ以南アフリカの半乾燥地を中心に分布し、同地域の食糧生産を深刻に脅かす最大級の生物的要因です。「魔女の雑草 (Witchweed)」とも呼ばれるストライガは、宿主作物の生育を著しく阻害し、養水分を吸い上げて収量を壊滅的に低下させます。ストライガが養水分を効率的に奪う戦略の一つは、植物ホルモンのアブシシン酸 (ABA) による気孔閉鎖シグナルに対して極めて鈍感である点にあります。乾燥条件下でも気孔を閉じず蒸散流を維持することで、寄生先の宿主から継続的に養水分を引き込みます。

共同研究グループは、ストライガの ABA 感受性低下に関与する原因遺伝子 *ShPP2C1* に着目し、同遺伝子がどのような分子メカニズムで気孔閉鎖シグナルを阻害するのかを解明する研究を進めてきました。

## 研究手法と成果

植物ホルモンの ABA は植物が乾燥を感知すると合成され、気孔を閉鎖させることで、水分損失を抑制する生理作用を持っています。植物の細胞内において、ABA が受容体 PYL<sup>[6]</sup> によって認識されると、PYL はタンパク質脱リン酸化酵素 PP2C<sup>[4]</sup> を抑制します。PP2C は普段 ABA のシグナルを止めるブレーキの役割を担っていますが、ABA と PYL の働きによって PP2C が抑制 (=ブレーキの解除) されることで、ABA への応答が始まります (図 1)。

しかしながら、ストライガが持つ PP2C の一つ *ShPP2C1* は、高濃度の ABA と PYL によっても抑制されないため、ストライガでは ABA のシグナルが止まり続けることで、気孔の閉鎖が誘導できなくなっています (図 1)。

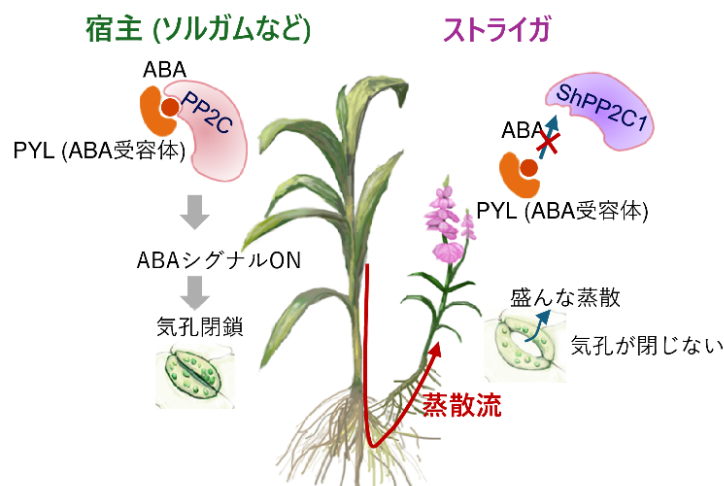


図 1 乾燥地で特に被害を出すストライガ

ストライガは乾燥条件下でも気孔を開いたまま蒸散を行う。一方、宿主となった作物では ABA のシグナルにより気孔が閉じる。それにより、蒸散流の流れがストライガ側に向き、宿主から養水分を奪う。この戦略は特に、蒸散の差を利用できる乾燥条件下で深刻な被害をもたらす。

今回の研究では、ストライガの ABA 感受性低下に関与する原因遺伝子 *ShPP2C1* に着目し、立体構造の予測モデルを用いた解析と酵素活性試験の結果、*ShPP2C1* が PYL と結合しない原因は、立体構造を変化させる複数のアミノ酸置換にあることが判明しました。さらに系統解析により同様の変異はストライガ (*Striga*) 属が持つ PP2C に特異的であることが示され、ストライガ属で独自に獲得した遺伝子変異であることを発見しました (図 2)。さらに、ストライガ属の中での保存性も確認できるため、ストライガの寄生戦略に密接に関連することを裏付けています。

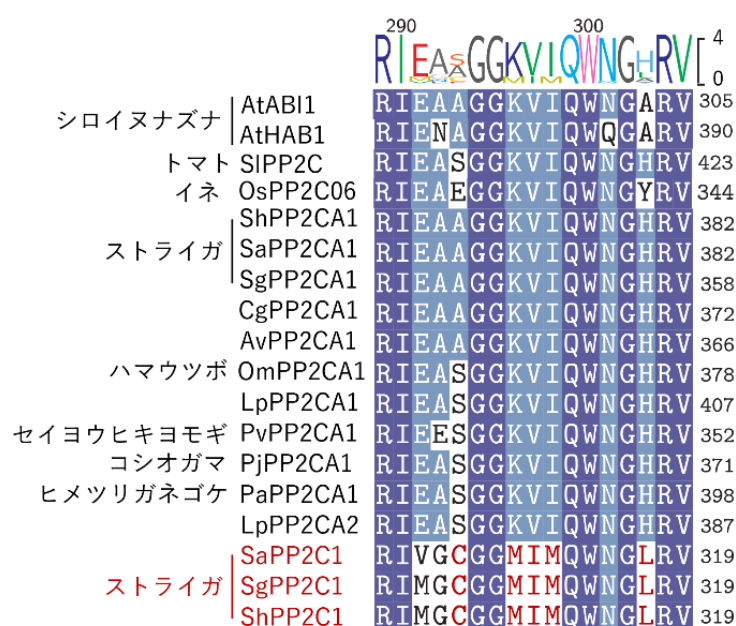


図 2 ストライガが属するハマウツボ科とモデル植物が持つ PP2C のアミノ酸配列

下側三つの種がストライガ属の *Striga asiatica*、*Striga gesnerioides*、*Striga hermonthica* が持つ PP2C。これらの PP2C のみが特異的に変異している。

加えて、ストライガの *ShPP2C1* が持つアミノ酸変異のうち、ABA 感受性を低下させるのに重要なアミノ酸を特定し、シロイヌナズナ<sup>[7]</sup>に導入することで、蒸散速度の向上が見られました (図 3)。

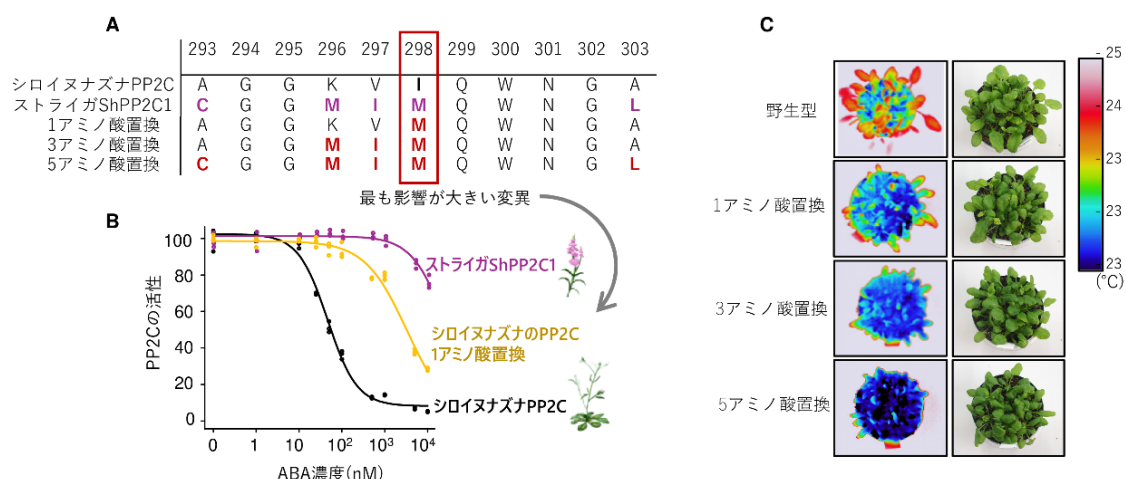


図3 ストライガの ShPP2C1 の ABA 感受性を低下させる原因となる変異

(A) ストライガとシロイヌナズナの PP2C の配列の比較。

(B) PP2C の活性阻害に必要な ABA 濃度。PP2C と ABA 受容体 PYL を混合し、異なる濃度の ABA を加えた際の PP2C の活性を測定した。シロイヌナズナの PP2C に比べて、ストライガの ShPP2C1 や、シロイヌナズナの PP2C の 298 番目のイソロイシン (I) をストライガ型のメチオニン (M) に変化させると、より高い ABA 濃度においても活性を保つ。1 アミノ酸の置換で、約 100 倍に ABA 濃度を上げないと、活性を抑制できない。nM : nmol/L (ナノ (10 億分の 1) モル毎リットル)

(C) シロイヌナズナの PP2C のアミノ酸を、ストライガの PP2C 型に置き換えた際の葉の様子 (右) と葉面温度 (左)。ストライガが持つ PP2C のアミノ酸配列のうち、ABA シグナル伝達を阻害するのに重要なアミノ酸を特定し、シロイヌナズナの PP2C に同様の変異を入れて、遺伝子導入実験を行った。葉面温度は蒸散速度が速くなると気化熱によって低下するため、温度が低いほど気孔が開いており、蒸散が盛んである。アミノ酸の置き換えが増えるほど気孔が開いていることが分かる。

## 今後の期待

本研究成果は、ストライガが進化の過程で獲得した ABA 低感受性の形質を解明するものです。本研究で解析したストライガの ShPP2C1 は ABA によってほとんど抑制されませんが、予測された立体構造を手掛かりに、ABA の類縁体を用いたストライガの弱体化・防除に向けた新たな研究開発の進展が期待されます。

加えて、ストライガの ShPP2C1 が持つアミノ酸変異をシロイヌナズナに導入することで、気孔が開き蒸散速度が向上しました。PP2C は植物に共通した遺伝子であるため、今回解明された ShPP2C1 におけるアミノ酸変異を作物に導入することで、より気孔を開き、二酸化炭素の吸収を促すことで光合成の促進を目指す育種への応用も期待できます。

本研究は、国際連合が定めた 17 の目標「持続可能な開発目標 (SDGs) <sup>[8]</sup>」のうち「2.飢餓をゼロに」と「15.陸の豊かさを守ろう」への貢献が期待される成果です。

**論文情報**

&lt;タイトル&gt;

Evolutionary and Functional Significance of ShPP2C1 in the Parasitic Life Strategy of Striga

&lt;著者名&gt;

Sotaro Katagiri, Daisuke Fukuhara, Keisuke Fujiyama, Hijiri Fujioka, Yukihiro Sugimoto, Masanori Okamoto

&lt;雑誌&gt;

Journal of Experimental Botany

&lt;DOI&gt;

[10.1093/jxb/eraf412](https://doi.org/10.1093/jxb/eraf412)**補足説明****[1] ストライガ**

サハラ砂漠以南のアフリカに広く分布する寄生植物の一種。これらの地域の主要作物であるソルガム、トウモロコシ、パールミレットなどの根に寄生し、収量を大幅に低下させる。ハマウツボ科に分類される。ストライガ属は乾燥地において寄生生活を行う。「魔女の雑草」とも呼ばれ、いったん耕作地に侵入すると駆除することは極めて困難である。アフリカの食糧生産を阻害する最大の生物的要因であり、被害が拡大しており、防除方法の確立が喫緊の課題となっている。

**[2] 蒸散流**

植物体内の水分が気孔と呼ばれる小さな穴（数  $\mu\text{m}$ （マイクロメートル、 $1\mu\text{m}$  は 100 万分の 1 メートル）程度）から水蒸気として排出される現象。植物体内の水の約 90% は、この小さな穴を通じて失われる。これにより植物の根から地上部に向けての水の流れが形成され、根が土壌から水分を吸収する際の推進力となる。

**[3] アブシシン酸（ABA）**

植物が乾燥時に生合成する植物ホルモンの一種。種子や芽の休眠、蒸散の抑制など、植物の環境ストレスに対する耐性を高める作用を有する。陸上植物は ABA の生合成酵素群および、ABA を認識してその情報を細胞内で伝達するタンパク質を保有している。従って、植物が陸上進出時に乾燥ストレスへの適応のために必須となった植物ホルモンであると考えられている。ABA は abscisic acid の略。

**[4] ShPP2C1、タンパク質脱リン酸化酵素 PP2C**

ShPP2C1 はタンパク質からリン酸基を取り除く反応（脱リン酸化）を触媒する酵素群の一つ。一部のタンパク質は「リン酸化－脱リン酸化」によって機能が調節されることから、脱リン酸化酵素はタンパク質のスイッチとしての役割を持つ。ABA の情報伝達に関わる PP2C はシグナル伝達経路における下流の ABA 情報伝達因子を脱リン酸化することで機能を抑制する。ShPP2C1 はストライガの学名 *Striga hermonthica* のイニシャル Sh と、四つ見つかったストライガの PP2C のうちの 1 番目であることから命名されている。



**[5] 相同遺伝子**

進化的に由来が同じ遺伝子。祖先の種から共通して持っている遺伝子で、種が分化した後にも翻訳されたタンパク質が、同じ機能や構造を持っている。

**[6] PYL**

植物の ABA 受容体タンパク質。ABA を受容することで構造が変化し、PP2C と結合してその活性を抑制する。PYL は pyrabactin resistance like protein の略。

**[7] シロイヌナズナ**

植物研究において最も広く用いられているモデル植物。遺伝子組換えによって外来の遺伝子を導入する方法が確立されているため、他の植物の遺伝子を組み込んで、植物体内でどのような機能を持つのか調べる際に用いることができる。

**[8] 持続可能な開発目標（SDGs）**

2015 年 9 月の国連サミットで加盟国の全会一致で採択された「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 15 年間で達成する国際目標。持続可能な世界を実現するための 17 の目標、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から一部改変して転載）。SDGs は sustainable development goals の略。

**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 植物化学遺伝学研究チーム  
チームディレクター 岡本昌憲（オカモト・マサノリ）  
特別研究員 片桐壮太郎（カタギリ・ソウタロウ）  
基礎科学特別研究員 藤山敬介（フジヤマ・ケイスケ）

宇都宮大学 大学院地域創生科学研究科  
修士課程学生（研究当時） 福原大晶（フクハラ・ダイスケ）

神戸大学 大学院農学研究科  
名誉教授 杉本幸裕（スギモト・ユキヒロ）  
博士課程学生（研究当時） 藤岡 聖（フジオカ・ヒジリ）

**研究支援**

本研究は、公益財団法人住友財団基礎科学研究助成「難防除雑草ストライガのアブシシン酸シグナル伝達因子の機能解析（研究代表者：岡本昌憲、200047）」による助成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 植物化学遺伝学研究チーム  
チームディレクター 岡本昌憲（オカモト・マサノリ）

---

特別研究員	片桐壮太郎（カタギリ・ソウタロウ）
基礎科学特別研究員	藤山敬介（フジヤマ・ケイスケ）

Tel: 045-503-9666（岡本）  
Email: okamo@riken.jp（岡本）

<機関窓口>

理化学研究所 広報部 報道担当  
Tel: 050-3495-0247  
Email: ex-press@ml.riken.jp

---