

植物の生産性向上に資する 光センサーの活性制御機構を解明

新潟大学自然科学系(理学部)の酒井達也教授らの研究グループは、植物がまぶしい光にも、かすかな光にも確実に応答する光感受性の広さが、植物光センサータンパク質「フォトトロピン」の活性制御によって実現されることを発見しました。本研究の成果が発展することにより、植物が環境に適応しながら成長する仕組みの理解が深まるだけでなく、環境適応性が良く、収量の高い作物の創出にも繋がるのが期待されます。本研究成果は、2020年3月26日(日本時間)付けで米国植物生物学会誌『The Plant Cell』オンライン版に掲載されました。

【本研究成果のポイント】

- 植物の光屈性^{注1}に働く光センサー「フォトトロピン」^{注2}の活性を RPT2 タンパク質が抑制することを発見
- フォトトロピンは RPT2 タンパク質を調節することで、自身の活性状態を最適化することを発見
- 本研究成果が発展することで、植物がどのように光環境に適応して成長するのか理解できるだけでなく、生産性の高い作物の創出へ繋がることも期待されます

I. 研究の背景

植物が、茎や芽生えの胚軸といった器官を光源に向かって成長させる光屈性反応は、太陽光の強い光でも、その1億分の1の微弱な光でも引き起こされる反応であり、頑健性のある反応です。双子葉植物シロイヌナズナ^{注3}の光センサー・フォトトロピン1(**phot1**)は、微弱光から強光まで、光強度が8桁以上も異なる青色光を感知して光屈性を誘導することができます。どのようにして単一の光センサーがこれほど広いダイナミックレンジを実現しているのか、その仕組みはよく分かっていません。我々はこれまで、**RPT2**と呼ばれる因子が何らかの作用によって **phot1** の光感受性を下げ、強光に適応する仕組みを働かせることを明らかにしていました (Sakai et al., 2000, Haga et al., 2015)。

II. 研究の概要

本研究では、**phot1** が光を感知するとその酵素活性が上昇することに着眼し、**RPT2** が

phot1 の光に応答した活性化を抑制するという仮説を立てました。そこで、RPT2 タンパク質の生産量が正常なシロイヌナズナ野生株、RPT2 を失った突然変異体、RPT2 を過剰に生産する株、それぞれに光を当て phot1 の活性を比較しました。すると、野生株の phot1 に比べて *rpt2* が欠失した突然変異体の phot1 は活性が高く、過剰生産株の phot1 は活性が低くなっていました。このとき、RPT2 は phot1 の活性調節部位である LOV1 と名付けられたドメインに結合していることを明らかにしました。これらの結果から、RPT2 は phot1 の活性化を抑制する調節因子であることが明らかになりました。

また、本研究では、RPT2 タンパク質が暗所においてユビキチン-プロテアソームタンパク質分解機構^{注 4} によって分解されること、phot1 が RPT2 の分解を抑制することも発見しました。既に明らかになっていた RPT2 遺伝子転写制御^{注 5} と合わせると (Tsuchida-Mayama et al., 2010)、RPT2 タンパク質の生産量が暗所や弱光下では低く、強光下では高くなるようダイナミックに調節されることで、RPT2 がいわば可変抵抗器として機能し、暗所や微弱光下では phot1 が活性化しやすく、逆に強光下では phot1 は過剰に活性化しなくなると考えられました。

III. 今後の展開

本研究によって、植物が敏感かつ頑健に光屈性を示す能力の基盤に、単一の光センサーの活性を分子可変抵抗器によって絶妙に制御する仕組みがあることが明らかになりました。phot1 は光センサーとして光屈性のみならず、光合成活性調節に働く気孔開口運動、葉緑体光定位運動に関わり、また温度センサーとして植物の気温適応にも働くことが最近明らかになりつつあります。また光によって構造変化する分子デバイス、LOV タンパク質として脳や細胞の光遺伝学的研究ツールとして利用されています。本研究成果が発展することにより、光合成能を高めた収量の高い作物の創出や、植物科学を超えて広く生物科学分野で利用される分子デバイスツールの開発に繋がることが期待されます。

IV. 研究成果の公表

これらの研究成果は 2020 年 3 月 26 日 (日本時間) 付けで、米国植物生物学会誌『The Plant Cell』のオンライン版に掲載されました。

論文タイトル: Arabidopsis ROOT PHOTOTROPISM2 is a Light-Dependent Dynamic Modulator of Phototropin1.

著者: Taro Kimura, Tomoko Tsuchida-Mayama, Hirotatsu Imai, Koji Okajima, Kosuke Ito, Tatsuya Sakai

DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00926>

V. 研究支援

本研究は日本学術振興会の科学研究費助成事業 (22570058、25120710、16H01231、17H03694、18K19329) による支援の下、行われました。

本件に関するお問い合わせ先

新潟大学自然科学系（理学部）

教授 酒井 達也（さかい たつや）

E-mail : tsakai@gs.niigata-u.ac.jp

<用語解説>

注¹ 光屈性

茎や芽生えの胚軸の成長方向を光源方向に向けることによって、より光を吸収し光合成活性を高めるために働く植物の光環境応答。19世紀にダーウィンによって観察・記述され、20世紀における植物ホルモン・オーキシンの発見につながった。光屈性では、光の当たった器官の光照射側と陰側との間にオーキシン濃度勾配が生じ、これが器官内に不均等な成長をもたらすために屈曲成長が起こると考えられているが、未だにそのメカニズムには不明な点が多い。

注² フォトトロピン

緑藻類から被子植物まで広く保存された植物に特異的に存在する青色光受容体で、光屈性、葉緑体光定位運動、気孔開口運動などの植物の光環境応答に働く。2つのLOVドメインに1つのタンパク質リン酸化酵素ドメインをもち、2つのLOVドメインにはそれぞれ青色光を吸収するフラビンモノヌクレオチドが結合している。LOVドメインにおける青色光吸収がフォトトロピン光受容体の構造を変化させ、光情報の出力を担うタンパク質リン酸化酵素ドメインが活性化し、細胞内で一連のシグナル伝達がおきると考えられている。またこの構造変化の速さは温度によって変化するため、フォトトロピンが温度センサーとしても機能することが報告されている。

注³ シロイヌナズナ

学名は *Arabidopsis thaliana*。アブラナ科シロイヌナズナ属の1年草。2000年に植物で初めてゲノム塩基配列が完全に解読されるなど、植物の生命現象を理解するために最も良く研究されているモデル実験植物。

注⁴ ユビキチン-プロテアソームタンパク質分解機構

真核生物に保存されたタンパク質分解機構であり、様々な生命現象に関与する。分解の標的となるタンパク質には、ユビキチンタンパク質が複数個連なった鎖が付加されるポリユビキチン化が起こる。ポリユビキチン化標識されたタンパク質はプロテアソームと呼ばれるタンパク質複合体内において分解される。

注⁵ 転写制御

タンパク質のアミノ酸配列が記録される遺伝子のDNA塩基配列を鋳型に、RNAが合成される過程を転写と呼ぶ。転写されたRNA塩基配列を元にタンパク質が合成される。そのため、遺伝子の転写を抑制あるいは促進するように制御することで、その後に合成されるタンパク質量を変化させることができる。

< 参考資料 >

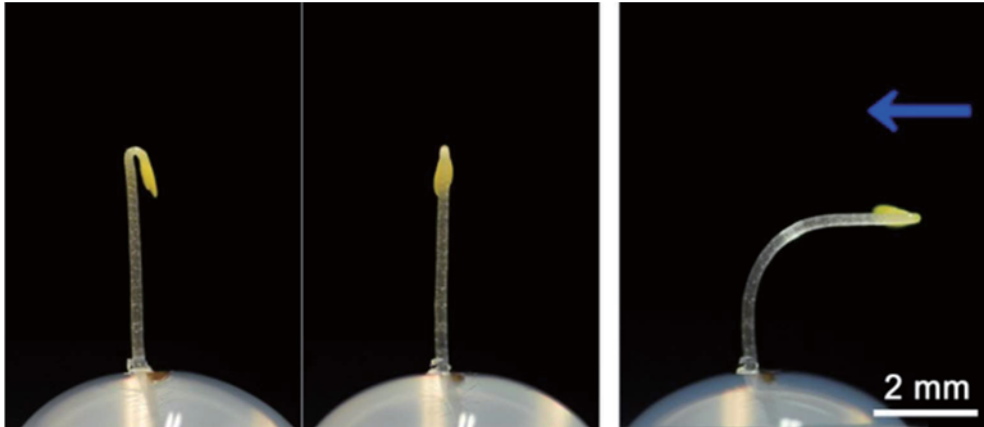


図 1. シロイヌナズナ黄化芽生え胚軸の光屈性

横から青色光を照射すると、およそ二時間後には芽生えの胚軸は光源方向へと屈曲する。暗所で育てた黄化芽生えなので、子葉は開いておらずフックが形成されている。写真は子葉正面からの黄化芽生え。左は光照射前、右は青色光照射後、3 時間後の様子（写真撮影・芳賀健）。

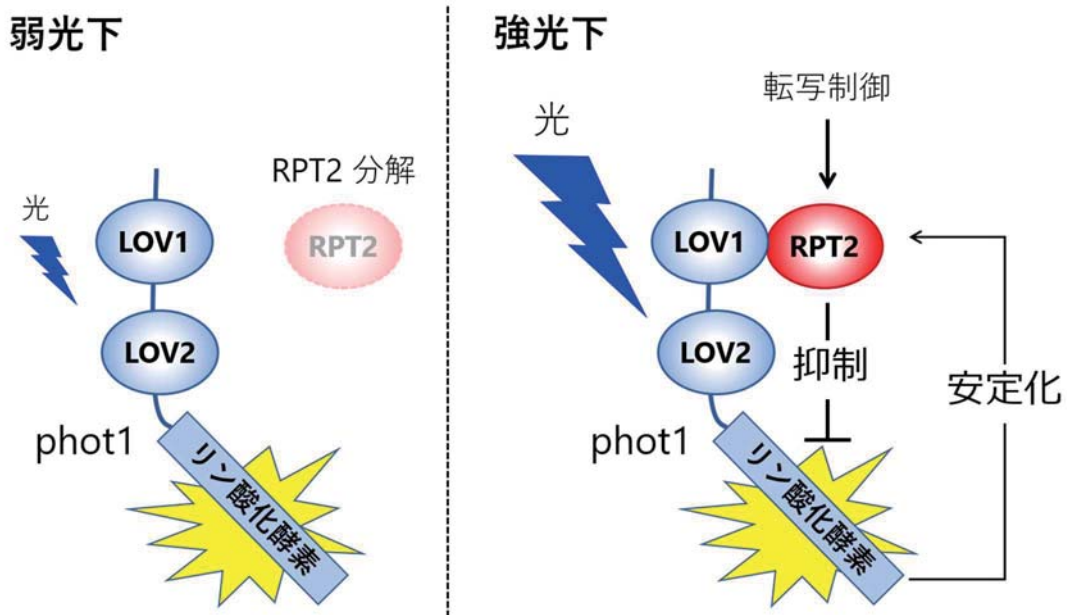


図 2. RPT2 分子可変抵抗器による phot1 活性調節機構のモデル図

弱光下：RPT2 タンパク質の生産量が低く、phot1 が活性化しやすい。phot1 はわずかな光の入力から最大限のシグナルを出力できるため、微弱な刺激で光屈性をおこすことが可能になる。
強光下：光が RPT2 タンパク質の生産量を上昇させ、phot1 が活性化しづらくなる。光が大量に入力しても phot1 の活性化は適度に抑制されて飽和せず、光照射側と影側の光の強さを見分け、光屈性をおこすことが可能になる。