

令和元年 12 月 19 日

植物が酸素を作り出すしくみ： “光合成”と“葉緑体”を維持する機能の解明と作物への利用

◆発表のポイント

- ・植物の光合成が行われる葉緑体は、かつてバクテリアだった生物が細胞内に共生することで生じました。
- ・光合成で必要となる以上の過剰な光を受けると、葉緑体は損傷してしまいます。
- ・この損傷をもたらすメカニズムや、葉緑体を損傷から守る手段の解明を進めており、これにより日照りに強くよく育つ作物の改良が期待されます。

光合成は、太陽から降り注ぐ無尽蔵の光エネルギーを使って有機物を作り出します。毎日食べるごはんやパンに含まれるデンプンは、光合成によって作られています。また、二酸化炭素を使って水から酸素を作り出すので、森や海中の光合成によって我々の吸う大気が保たれています。このように、光合成は地球上の生命が持つ最も重要な化学反応といえます。

光合成で光エネルギーを吸収して酸素と有機物を作り出すしくみは、約 30 億年前に地上に現れたシアノバクテリアという光合成細菌を起源としています。緑藻や陸上植物は、このバクテリアを取り込んで“葉緑体”を作り出し、光合成を行っています。本学では資源植物科学研究所と異分野基礎科学研究所が光合成と葉緑体の最先端研究に取り組んでおり、本学が行っている「大学改革促進のための国際研究拠点形成プログラム（RECTOR）」においても、光合成の国際研究拠点の形成に向けてプロジェクトを進めています。

葉緑体は、光合成を行うときに「光を使う」だけでなく、余分な光も吸収してしまい、それによって植物の生育が妨げられる（光阻害作用）ことが知られています。岡山大学資源植物科学研究所の坂本亘教授らは、最近、葉緑体を光から守るために重要となる作用を次々に明らかにしてきました。これらへの理解を通して、光合成効率を上昇させ、日照りに強い作物への応用も今後期待されます。

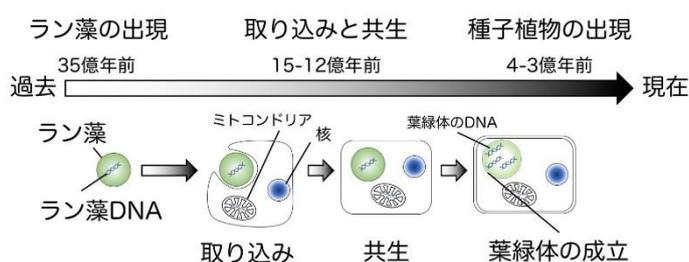
■発表内容

<背景>

近年、台風や豪雨災害で温暖化による気象問題が顕在化しつつあります。温室効果ガスである二酸化炭素排出を削減する施策が世界的に議論されていますが、そもそも二酸化炭素に覆われていた地球の誕生から、現在の酸素を含む大気組成が形成され、人類が繁栄することになったのは、植物の「光合成」に由来しています。光合成では、太陽から降り注ぐ無尽蔵の光エネルギーと豊富な水を使って酸素を作り出し、そこで得られたエネルギーにより二酸化炭素を取り込んで有機物（デンプン）を作り出します。光合成なしに地球の大気環境を維持することはできないため、光合成は我々の生存環境を維持する最も重要な化学反応であるといえます。

PRESS RELEASE

光合成は 35 億年前に出現した、酸素を発生するラン藻（シアノバクテリア）に由来します。ラン藻が、進化の過程で一度だけ原始細胞に取り込まれ（細胞内共生現象）、このラン藻が現在の「葉緑体」となり、緑色植物が形成されたと考えられています。葉緑体を獲得した藻類が、やがて多細胞となり、地上に出現し、1 億年前から種子植物が繁栄して森林ができ、現在の大気環境が形成されました。光合成の基本的なしくみはシアノバクテリアと葉緑体で共通なので、それぞれの研究により、光合成の仕組みを解明する研究が行われています。異分野基礎科学研究所の沈建仁教授はシアノバクテリア、高橋裕一郎教授は緑藻の葉緑体、資源植物科学研究所の坂本亘教授は種子植物の葉緑体を用いて、光合成の光エネルギーから酸素を作り出すしくみの解明を進めています。



細胞内共生で葉緑体ができ、植物は光合成できるようになった

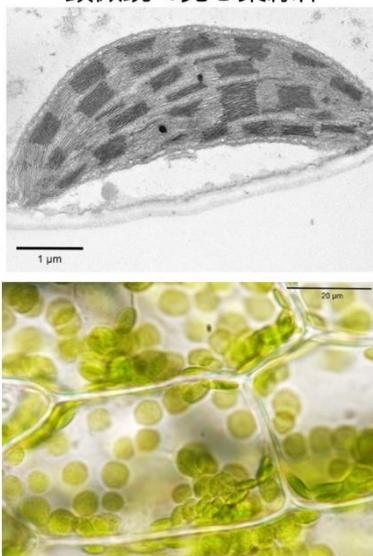
↓

過酷な地上での生育は光阻害になる

種子植物は葉緑体を維持する新たなしくみを進化させた

< 研究内容 >

顕微鏡で見る葉緑体



(上：トウモロコシ、下：オオカナダモ)

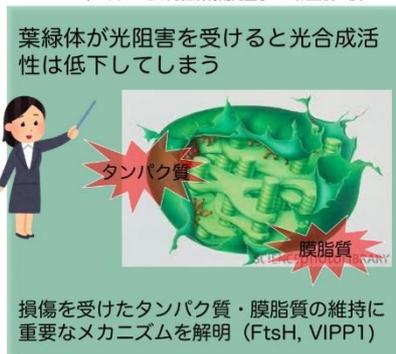
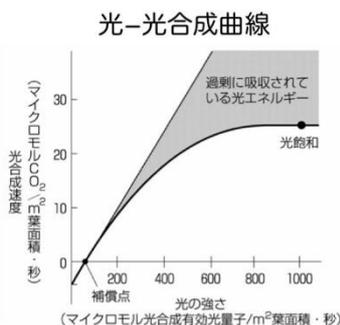
図 1：顕微鏡で見る葉緑体

葉緑体は、葉の一つの細胞の中に 100 個くらいあり、葉緑体の中に「チラコイド」という袋状の膜が重なった構造を持っていて（図 1）、ここで光を吸収して酸素を作り出す反応が起こります。葉緑体は、植物の中でさまざまな機能を持つようになり、お米のようにデンプンを貯蔵したり（デンプン体）、トマトの果実のようにカロテノイドを貯め込んだり（色素体）するようになりました。そのため、「プラスチド」という総称で呼ばれることもあります。つまり、植物では、光合成をするプラスチドが「葉緑体」、ということになります。

さて、葉緑体では光を利用して光合成を行います。最近の研究からは、光が同時に光合成のしくみを弱めてしまうこともわかってきました。図 2 に示すように、光合成活性と光の強さの関係を調べてみると、光が強いほど光合成活性は高くなり、一定の活性にとどまってしまいます（光飽和）。このような作用は、過剰に吸収される光エネルギーを葉緑体が光合成に使用せず、かえって

植物に害を与えることが原因と考えられます。光合成に使われない過剰な光エネルギーは、活性酸素を発生させ葉緑体に酸化障害を起こし、時には植物が枯れてしまいます。光合成を維持するためには、このような光阻害作用と闘わねばならないわけです。

坂本教授らの研究グループ（資源植物科学研究所・光環境適応研究グループ）では、光合成や葉緑体の機能を維持するために必要となる分子の解明に取り組んでいます。光エネルギーを利用して



酸素を発生する「光化学系 II」というチラコイド膜のタンパク質複合体構造が、酸化障害により変化を起してしまう場所を特定できるようになりました。この障害を迅速に除去する作用として、FtsH と呼ばれるタンパク質分解酵素の機能を、最近、明らかにしています。また、過剰な光エネルギーにより葉緑体の膜が障害を受けることも知られていますが、VIPP1 と呼ばれるタンパク質が特殊な活性を持ち、膜の維持や修復に重要であることも明らかにしています。

<展望>

光阻害から葉緑体を守る機能を詳しく調べることにより、これらを強化することで日照りに強い作物の育成や、光合成効率の上昇により作物の収量を上げることが期待されます。

岡山大学では、光合成生物における光エネルギー転換反応の基本構造解明から、それらの植物における保存性、葉緑体での機能維持など、先駆的な研究が進められています。これらの研究リソースを国際的に発展させるため、2019 年から生命科学 RECTOR 国際光合成拠点プログラムが開始され、ドイツ・ミュンスター大学のミハエル・ヒップラー教授をクロスアポイントメントで資源植物科学研究所に採用し、これらの研究を推進しています。

(参考)

FtsH に関する論文発表

Kato Y. and Sakamoto W. (2019) Phosphorylation of the chloroplastic metalloprotease FtsH in Arabidopsis characterized by Phos-tag SDS-PAGE. *Frontiers in Plant Science*, 10:1080.

Kato, Y., Hyodo, K., and Sakamoto, W. (2018) Photosystem II repair cycle requires proper FtsH turnover through EngA GTPase. *Plant Physiology*, 178: 596-611.

VIPP1 に関する論文発表

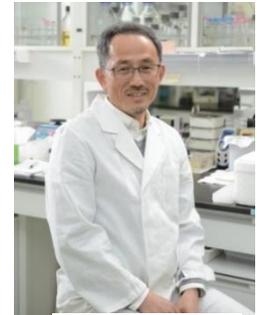
Ohnishi, N., Zhang, L., and Sakamoto, W. (2018) VIPP1 involved in chloroplast membrane integrity has GTPase activity *in vitro*. *Plant Physiology*. 177: 328-338.

<略歴>

静岡県出身、1990 年東京大学大学院農学系研究科修了、農学博士。1990 年米国コーネル大学ポイストンプソン研究所、1993 年岡山大学資源生物科学研究所（現資源植物科学研究所）助手を経て2003 年より現職。2019 年より資源植物科学研究所長を務める。

◆研究者からのひとこと

アメリカから岡山大学の研究所に赴任して 26 年になります。大学で 1 年生に「植物生理学」の講義をすると、植物の不思議な能力に驚かされる、とよく言われます。植物の研究は、時間がかかりますが、我々の食糧や、衣類、紙、建材から地球環境の維持まで、人類に広く貢献しています。



坂本教授

＜お問い合わせ＞

岡山大学 資源植物科学研究所

所長・教授 坂本 亘

(電話番号) 086-424-1661

(FAX) 086-434-1249



岡山大学は持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。