



PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ、文部科学記者会
大阪科学・大学記者クラブ
科学記者会

御中

令和3年6月22日
岡山大学

生命の源、光合成の足場づくり ～「足場=チラコイド膜」を守り光合成を高めるしくみを明らかに～

◆発表のポイント

- ・光合成で、光エネルギーの転換反応は「チラコイド膜^[1]」という膜の上で起こります。
- ・この、光合成の足場ともいえるチラコイド膜を維持する分子機構について、今回、VIPP1と呼ばれるタンパク質の超分子構造が日本とドイツの国際共同研究により解明されました。
- ・長らく謎とされたチラコイド膜を作る分子の役割が明らかになり、今後、光合成の効率を高めるなど、植物や藻類をバイオ素材とする技術への貢献が期待されます。

岡山大学資源植物科学研究所・光環境適応研究グループの坂本亘教授と大西紀和非常勤研究員は、ヘルムホルツ研究所、カイザースラウテルン工科大学、などドイツのグループと共同で、光合成の光エネルギー転換反応が起こる「チラコイド膜」を維持するVIPP1と呼ばれるタンパク質分子が作る微細な構造を、世界で初めて明らかにしました。

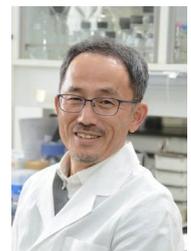
光合成は、生命が光からのエネルギーを使うことができる唯一の反応で、地球環境や衣食住に欠かせない重要な反応です。この反応は、シアノバクテリア^[2]や藻類、植物だけが持つ「チラコイド膜」という袋状の膜の中で起こります。ここが光合成の足場といえますが、この特徴ある膜ができるしくみは、長らく謎とされていました。今回、VIPP1と呼ばれるタンパク質の構造を明らかにし、この膜を維持して光合成を高める作用もあることを突き止めました。生命の源、光合成の理解が進むとともに、バイオ素材の効率的な生産など脱炭素社会への貢献が期待されます。

この研究成果は6月23日（アメリカ東部時間）、米国の国際科学誌「セル (Cell)」の Article として掲載されました。

◆研究者からのひとこと

光合成は、光を利用して水と二酸化炭素を原料に有機物やエネルギーを作る、私たちの生活に欠かせない驚くほど精巧な反応です。また、光合成の研究は、人工光合成やバイオ素材の開発など、脱炭素社会によりSDGsに貢献するテーマです。

ちなみに、葉っぱが緑に見えるのは、チラコイド膜があるからで、ここから地球上の酸素が作られているんですね。



坂本教授

PRESS RELEASE

■発表内容

<現状>

光合成は、地球に降り注ぐ太陽光のエネルギーとどこにでもある水を利用して、二酸化炭素から有機物を作る生体反応です。この反応で、私たち人間を含め多くの生き物に欠かせない酸素も作られます。地球上ではさまざまな環境で光合成生物が繁茂し、多様な生態系の基礎を作り出していますが、光合成の起源と考えられるシアノ

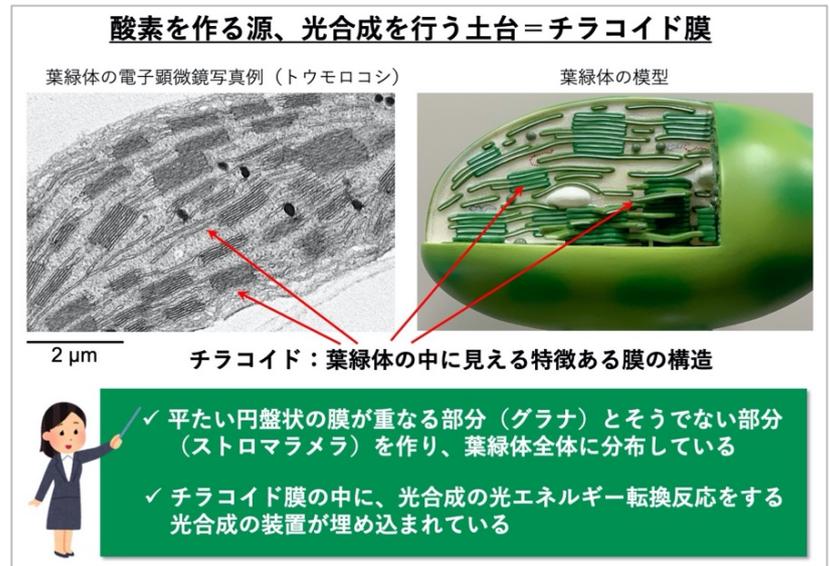
バクテリアから森の木々まで、光エネルギーを吸収する基本的なしくみは驚くほど共通しています。特に、光エネルギーを転換する反応、つまりソーラーパネルに相当する部分は、「チラコイド膜」という光合成をする生物に特徴的な膜構造の中で行われます（右上図）。

植物の葉緑体を電子顕微鏡で見ると、平たい円盤状の膜が重なり合ったグラナと平坦な一層のストロマラメラが観察できます。この膜の中に、光エネルギーを吸収してエネルギー転換をする光合成装置が配置されています。このように、チラコイド膜は光合成の足場とも言える重要な構造ですが、どのように作られて維持されるかについては長く謎とされていました。

<研究成果の内容>

坂本教授の研究グループは、光合成を行う細胞内の「葉緑体^[3]」を研究しています。今回注目した VIPP1 というタンパク質は 30 年近く前に見つけられ、葉緑体の膜に凝集して結合し、光合成のエネルギー転換反応と水分解を行う光合成装置の維持にも重要であると予想されてきましたが、その詳しい機能は分かっていませんでした。また、VIPP1 タンパク質を植物で恒常的に発現させると、発芽や初期成長が悪い植物の生育改善や、高温にさらした植物の光合成活性を維持させることができ、光合成を高める作用があることもわかっていましたが、どのような仕組みによるものかの詳細も分かりませんでした。

今回、この VIPP1 タンパク質について、ヘルムホルツ研究所パイオニアキャンパス、カイザースラウテルン工科大学、ミュンヘン大学などドイツの複数研究グループと国際共同研究により解析を進め、シアノバクテリアから精製した VIPP1 タンパク質の詳細な分子構造を明らかにしました。VIPP1 は 100 分子以上が結合した不均一な集合体を形成するため、長らくそれらの解析が困難でしたが、クライオ電子顕微鏡を用いた単粒子解析^[4]により、この超分子構造を 3.6Å（1Å は 1cm の 1 億分の 1）という高解像度で明らかにしました。決定された構造は、1 つの分子がヘアピンに似た構造に折り畳まれた構造が 15 分子程度集合してリングを作り、そのリングが 6 から 7 層に重なり合い、穴のあいたフルーツバスケットのような形態をしていることがわかりました（下図）。



PRESS RELEASE

この構造の特徴ある部分として、リング構造の内側に膜を作る脂質を結合させる部分が並んで配置されること、さらにフルーツバスケットの上部にヌクレオチド^[5]という分子を結合する部分が作られることがわかりました。これらの構造から、VIPP1は集合体を作ることで、膜を変形させる活性を持ち、当初予想されたチラコイド膜の形作りや膜を保護する作用があることが実証されました。

今回の研究では、VIPP1がシアノバクテリアだけでなく、より植物に近い緑藻でもチラコイド膜の周辺に集まって長いらせん状の構造体を作っていることが示されました。また、決定されたVIPP1の構造からは、ヒトや酵母で報告されている、細胞内の膜の恒常性維持に重要なESCRT-IIIというタンパク質と類似することがわかりました。

光合成の足場となるチラコイド膜の維持には、膜を維持するための普遍的な機能としてVIPP1がはたらくことを突き止めました。

<社会的な意義>

光合成の足場となるチラコイド膜に関する理解が進み、これまで謎とされてきたチラコイド膜のできるしくみが解明されました。

今回のVIPP1の研究を通してチラコイド膜を頑強にし、光で壊れやすいや光合成の装置を延命させる技術の開発が藻類や植物で期待できます。今後、気候変動から植物が受けるストレスを克服した作物、バイオマス植物を用いたバイオ燃料・バイオ製品の素材開発を通して、クリーンエネルギーによる脱炭素社会への貢献が期待されます。

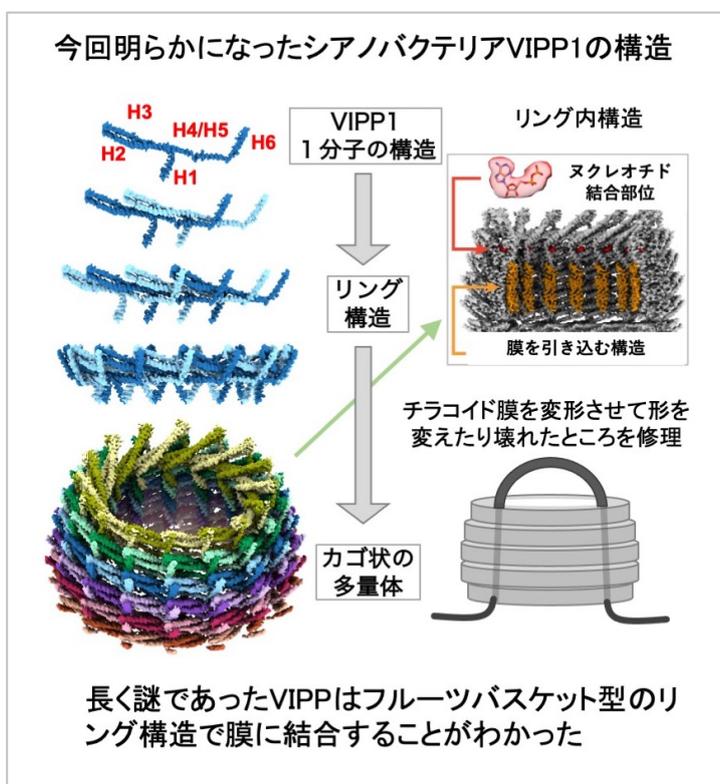
■論文情報

論文名：Structural basis for VIPP1 oligomerization and maintenance of thylakoid membrane integrity

掲載紙：Cell, 2021年6月23日（アメリカ東部時間）

著者：Tilak Kumar Gupta, Sven Klumpe, Karin Gries, Steffen Heinz, Wojciech Wietrzynski, Norikazu Ohnishi, Justus Niemeyer, Benjamin Spaniol, Miroslava Schaffer, Anna Rast, Matthias Ostermeier, Mike Strauss, Jürgen M. Plitzko, Wolfgang Baumeister, Till Rudack, Wataru Sakamoto, Jörg Nickelsen, Jan M. Schuller, Michael Schroda, Benjamin D. Engel

DOI: 10.1016/j.cell.2021.1.05.011





PRESS RELEASE

■研究資金

本研究は、日本学術振興会科学研究費（基盤研究 B および新学術領域研究）、公益社団法人大原奨農会の研究助成により行われました。また本研究の一部は、岡山大学の生命科学 RECTOR 国際光合成拠点プログラムによるドイツとの国際共同研究として行われた成果です。

■補足・用語説明

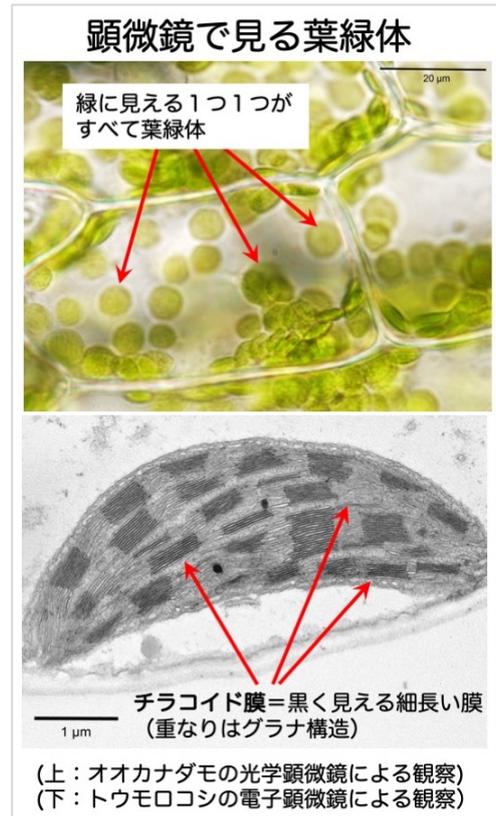
[1] チラコイド膜：酸素を発生する光合成生物に見られる、特徴ある構造をした袋状の膜構造（図を参照）。この膜の中に葉緑素があって光を吸収し、光合成の光エネルギー転換反応が起こる。

[2] シアノバクテリア：光合成をする細菌（バクテリア）で藍色細菌、ラン藻とも呼ばれる。30 億年以上前に現れて、酸素を発生する光合成の起源とされている。約 15 億年前に植物の祖先に取り込まれて葉緑体となり、陸上生物が反映して現在の地球環境が作られた。

[3] 葉緑体：藻類や陸上植物などで光合成の反応が起こる細胞内器官。顕微鏡でも緑の器官として観察される。進化の過程でシアノバクテリアの細胞内共生により生じ、特徴あるチラコイド膜の構造を持っている（右図）。

[4] クライオ電子顕微鏡単粒子解析：タンパク質など生体高分子の 3 次元構造を決定する解析技術。2017 年にはこの技術の開発により、3 名の欧米科学者にノーベル化学賞が授与された。

[5] ヌクレオチド：細胞内にさまざまな種類があり、DNA や RNA の合成に使われたり、化学反応により生体反応のエネルギー交換をする役割を持つ。



<お問い合わせ>

岡山大学資源植物科学研究所

光環境適応研究グループ

教授 坂本 亘

(電話番号) 086-434-1206

(HP) www.rib.okayama-u.ac.jp/index-j.html

