



PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ、文部科学記者会、
科学記者会 御中

令和 8 年 10 月 23 日
岡 山 大 学

光合成の足場を守るタンパク質 VIPP1 の進化を解明 —VIPP1 の誕生は足場である「チラコイド膜」の誕生よりも以前だった—

◆発表のポイント

- ・植物の光合成は、葉緑体内の「チラコイド膜」という膜の上で行われます。VIPP1 は、この膜の形成・維持・再構築に重要なタンパク質です。
- ・VIPP1 は細菌の膜保護タンパク質 PspA から進化したと考えられていますが、いつ誕生したのかは分かっていませんでした。
- ・さまざまなシアノバクテリアの系統を比較した結果、それらほとんどの系統において VIPP1 と PspA の両方が確認され、VIPP1 は現在のようなチラコイド膜が成立する以前から存在していたことが示されました。
- ・さらに、植物・藻類の葉緑体進化と、海洋性シアノバクテリアのゲノム縮小という異なる進化過程で、共通して PspA が失われ、VIPP1 が残ったことが明らかになりました。

植物の光合成は、細胞内の葉緑体にある「チラコイド膜[1]」で行われます。チラコイド膜には光合成に必要なタンパク質複合体が並んでおり、いわば光合成の「足場」です。この膜を作り、維持し、環境変化に応じて作り替えるために重要なのが VIPP1 (Vesicle-Inducing Protein in Plastids 1) です。VIPP1 は多数の分子が集合して膜に作用する「膜リモデリングタンパク質」で、高温や強光などのストレス下でもチラコイド膜を維持する働きが知られています。

岡山大学学術研究院先鋭研究領域(資源植物科学研究所)の坂本亘教授、岡山大学資源植物科学研究所 非常勤研究員の Alexandre Muhire(ムヒーレ アレクサンダー)博士らは、国立台湾大学の Ming-Yang Ho 教授との共同研究により、VIPP1 とその祖先型である PspA の進化を解析しました。その結果、VIPP1 は現在のようなチラコイド膜が成立する以前にすでに誕生しており、その後、異なる光合成生物の進化の中で繰り返し VIPP1 が保持されたことを明らかにしました。

この研究成果は、2026 年 10 月 5 日に国際学術誌『*Plant & Cell Physiology*』に発表されました。

◆研究者からのひとこと

VIPP1 は、光合成の足場となるチラコイド膜を作り、守るタンパク質です。今回、VIPP1 がチラコイド膜より前から存在し、その後の異なる進化過程でも共通して残ってきたことが分かりました。なぜ光合成生物が VIPP1 を残したのかを、今後さらに明らかにしたいと考えています。



坂本教授

PRESS RELEASE

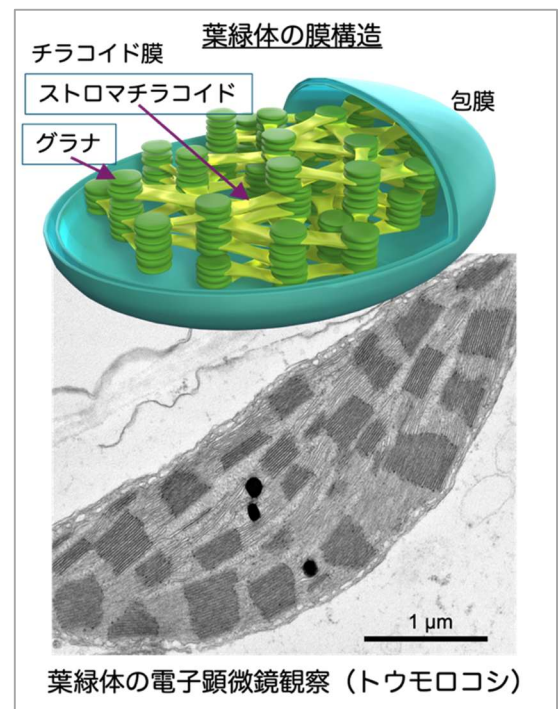
■発表内容

＜研究背景＞

光合成は、太陽光のエネルギーを利用して二酸化炭素から有機物を作り、その過程で酸素を発生する生命現象です。植物では、その中心的な反応は葉緑体の内部にあるチラコイド膜[1]で行われます(右図)。チラコイド膜には光化学系Ⅰ・Ⅱ、電子伝達複合体、ATP 合成酵素などが高密度に配置されており、その構造を正しく作り、維持することが光合成を安定して行うために不可欠です。

一方、チラコイド膜は固定された構造ではなく、強い光や高温などの環境変化に応じて形を変え、損傷した部分を修復しながら維持されています。こうした膜の形成・維持・再構築に関わるのが VIPP1 です。VIPP1 は多数の分子が集合して膜に作用する「膜リモデリングタンパク質」で、膜の変形、安定化、融合などに関わると考えられています。

VIPP1 によく似たタンパク質として、細菌の細胞膜をストレスから守る PspA があります。VIPP1 は PspA から進化したと考えられており、これまではシアノバクテリア[2]が光合成のためのチラコイド膜を獲得した際に、PspA から VIPP1 が生まれたという考えが広く受け入れられてきました。しかし、チラコイド膜を持たない原始的なシアノバクテリアである *Gloeobacter*[3]の仲間にも VIPP1 が存在します。そこで本研究では、VIPP1 がいつ誕生し、その後どのように光合成生物に受け継がれてきたのかを、大規模なゲノム比較によって解析しました。



＜研究成果＞

坂本教授らはまず、チラコイド膜を持たない4種類の原始的なシアノバクテリアを調べました。その結果、すべての種が VIPP1 と PspA の両方を持っていることが分かりました。さらに解析対象を主要な系統を含む202種類のシアノバクテリアに広げたところ、191系統で VIPP1 と PspA の両方が確認されました。

この結果は、VIPP1 と PspA を両方持つ状態が、シアノバクテリアの祖先的な特徴であったことを示しています。すなわち、VIPP1 は現在のようなチラコイド膜が形成されるより前に、PspA から遺伝子重複によって分かれて誕生していた可能性が高いと考えられます。チラコイド膜を持たない系統にも VIPP1 が存在することから、VIPP1 の起源とチラコイド膜の起源を直接結びつける従来の考え方を見直す必要があります。

次に坂本教授らは、植物、緑藻、紅藻など、葉緑体を持つ真核光合成生物68種類について調べました。その結果、VIPP1 は確認された一方で、PspA は検出されませんでした。このことから、シアノバクテリ

PRESS RELEASE

アが細胞内に取り込まれて葉緑体へと進化する過程で、祖先的には両方存在していた PspA と VIPP1 のうち、VIPP1 が残り、PspA が失われたと考えられます(右図)。

さらに、海洋に広く生息する *Prochlorococcus* [4] などのシアノバクテリアにも注目しました。これらの生物は、栄養の乏しい海洋環境に適応する過程で多くの遺伝子を失い、ゲノムを大幅

に小型化しています。興味深いことに、このような系統でも PspA が失われ、VIPP1 が残る例が見つかりました。

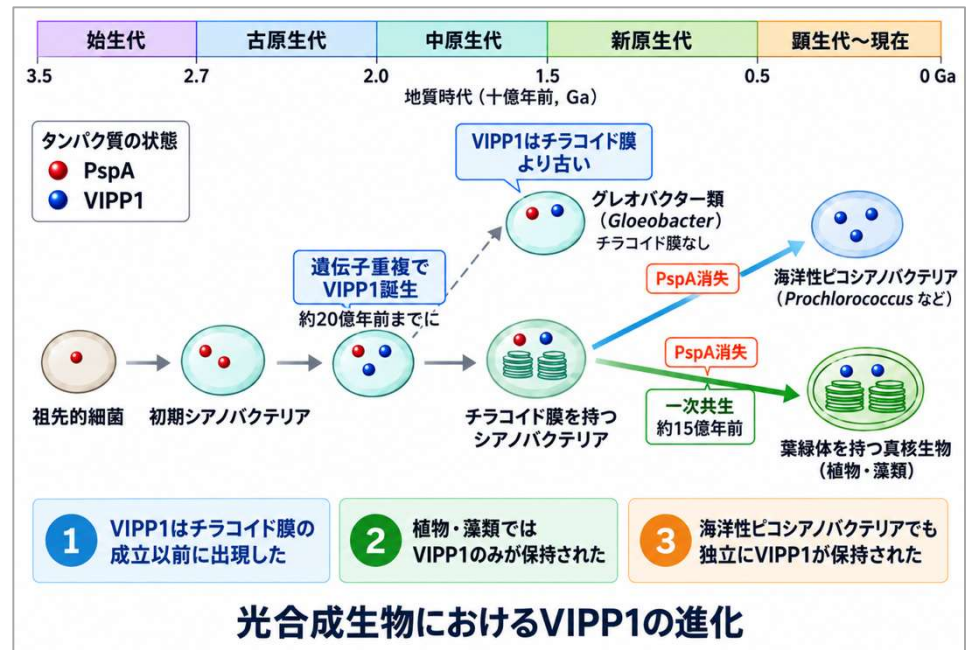
葉緑体が成立する過程と、海洋性シアノバクテリアがゲノムを小さくしていく過程は、まったく異なる進化現象です。それにもかかわらず、両方のケースで共通して VIPP1 が保持されました。研究グループは、このように異なる進化の道筋で同じタンパク質が残る現象を「収斂的保持 (convergent retention)」として捉えています。本研究は VIPP1 が PspA より常に機能的に優れていることを直接示すものではありませんが、VIPP1 が光合成膜の形成や維持に適した何らかの特徴を持つ可能性を示しています。

<研究成果の意義・今後の展開>

今回の研究によって、「チラコイド膜が生まれたために VIPP1 が進化した」というこれまでの単純な図式を見直す必要があることが分かりました。むしろ、膜を守り、形を変える能力を持った VIPP1 が先に誕生し、その後、酸素発生型光合成の進化の中でチラコイド膜の形成や維持に利用されるようになった可能性があります。

これまでの研究では、チラコイド膜を持たない *Gloeobacter* の VIPP1 にも、植物の葉緑体でチラコイド膜形成を助ける能力があることが示されています。今回の研究は、こうした実験的知見を、シアノバクテリアから植物までを含む光合成生物の長い進化の中に位置づけるものです。

今後、PspA と VIPP1 が膜に対してどのように異なる働きをするのか、また VIPP1 のどの性質が光合成膜の形成・維持に適していたのかを実験的に明らかにすることで、「なぜ光合成生物は VIPP1 を残したのか」という問いに迫ることができます。こうした研究は、光合成膜の進化を理解するとともに、将来的には環境変動に強い光合成システムや植物を設計するための基礎になると期待されます。





PRESS RELEASE

論文情報

論文名 : Convergent Retention of VIPP1 over PspA in Photosynthetic Lineages
著 者 : Alexandre Muhire, Ming-Yang Ho, Wataru Sakamoto
掲載誌 : *Plant and Cell Physiology*
D O I : <https://doi.org/10.1093/pcp/pcag131>
公開日 : 2026 年 10 月 5 日

■研究資金

本研究は、文部科学省科学研究費・学術変革領域研究(A)「光合成ユビキティ」計画研究および基盤研究(B)の支援を受けて実施されました。また、本研究の VIPP1 に関する研究は、岡山大学 RECTOR プログラム(生命科学 RECTOR 国際光合成拠点)に基づき、ドイツ・ミュンスター大学との国際共同研究として実施されました。

■補足・用語説明

[1] チラコイド膜

植物の葉緑体やシアノバクテリアに存在する膜構造。光化学系や電子伝達系、ATP 合成酵素など、光エネルギーを化学エネルギーへ変換する装置が配置されています。

[2] シアノバクテリア

酸素を発生する光合成を行う細菌。現在の植物や藻類の葉緑体は、祖先的なシアノバクテリアが真核細胞内に共生したことに由来すると考えられています。

[3] *Gloeobacter* (グレオバクター)

シアノバクテリアの中でも早い時期に分岐した系統で、一般的なシアノバクテリアと異なりチラコイド膜を持ちません。今回、VIPP1 がチラコイド膜成立以前から存在したと考える重要な根拠になりました。

[4] *Prochlorococcus* (プロクロロコッカス)

海洋に広く生息する小型のシアノバクテリア。進化の過程で多くの遺伝子を失い、小さなゲノムを持つことで知られています。

<お問い合わせ>

岡山大学学術研究院先鋭研究領域(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

(メール) saka@okayama-u.ac.jp

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

