

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2月4日

岡山大学

藻類から高等植物への進化をつなぐ鍵を発見 ～ゼニゴケ由来光化学系I-アンテナ超複合体の構造を解明～

◆発表のポイント

- ・モデル生物であるゼニゴケ⁽¹⁾から、光化学系I (PSI) -クロロフィル a/b 結合タンパク質 (LHCI) 超複合体の単量体と二量体を単離しました。
- ・岡山大学異分野基礎科学研究所・国際構造生物学研究センターの高性能 300 kV クライオ電子顕微鏡 Thermo Fisher Scientific Titan Krios G4 (クライオ電子顕微鏡)⁽²⁾を用い、PSI-LHCI 単量体と二量体の構造を、それぞれ 1.94 Å と 2.52 Å という高分解能で解明しました。
- ・PSI-LHCI 単量体は非常に高い分解能で解析されたため、複合体内部の水分子の配置や励起エネルギーの移動系路を詳細に明らかにすることができました。
- ・陸上植物由来の PSI-LHCI 二量体構造を、世界で初めて決定しました。これは、これまでに報告されている緑藻由来の PSI-LHCI 超複合体二量体とは異なり、アンテナではなく、PSI コア同士が直接結合する新しい様式で形成されていました。

光化学系Iは、光エネルギーを利用して NADPH を生成する光合成の重要な複合体です。ゼニゴケ *Marchantia polymorpha* は原始的な陸上植物の一つであり、光合成のしくみや植物の進化を解明するうえで欠かせないモデル生物として知られています。これまで陸上植物の光化学系Iは単量体で存在する構造のみが解明され、それ以外の形態はよく分かっていませんでした。今回、岡山大学学術研究院先鋭研究領域（異分野基礎科学研究所）の蔡弼丞助教（特任）、Romain La Rocca 助教（特任）（研究当時。現在は仏国の Institute of Bioscience and Biotechnology of Aix-marseille (BIAM) 所属）、沈建仁教授、秋田總理准教授、学術研究院環境生命自然科学学域の本瀬宏康准教授のグループは、岡山大学異分野基礎科学研究所国際構造生物学研究センターのクライオ電子顕微鏡を用いて、ゼニゴケ由来の光化学系I (PSI) -クロロフィル a/b 結合タンパク質 (LHCI) 超複合体の単量体と二量体の両方の構造を、それぞれ 1.94 Å と 2.52 Å の高分解能で解明しました。単量体については、分解能が非常に高いため、水分子の配置まで明らかにすることに成功しました。さらに二量体の構造から、PsaB/PsaG/PsaH/PsaM と呼ばれるサブユニットが、二量体形成に重要な役割を果たすことが分かりました。また、主要な励起エネルギー移動経路も同定され、単量体と二量体で大きな違いがないことから、二量体は高密度化に寄与している可能性が示唆されました。これらの成果は、ゼニゴケにおける PSI-LHCI 超複合体の構造解明にとどまらず、進化の過程で PSI がどのように変化してきたかを理解する手がかりにもなります。この成果は、2026年2月5日18:00、英国学術雑誌「Communications Biology」のオンライン版に掲載されます。



PRESS RELEASE

◆研究者からのひとこと

岡山大学に来る前は、ガンや微生物の研究に携わっていましたが、現在は光合成酵素の研究を行っています。今回は、陸上植物のモデル生物であるゼニゴケを用いて、光化学系I超複合体の構造解析を行いました。光化学系Iの進化について、微力ながら貢献できたことを嬉しく思います。



蔡弼丞助教（特任）

■発表内容

<現状>

ゼニゴケは、日陰や湿ったところで容易に見つけることができるコケ植物で、水生の緑藻が陸上に進出し、光合成に適した葉を形成する維管束植物へと進化する中間に位置しています。そのため、緑藻がどのように陸上の環境へ適応し、その分布を広げてきたかを研究するためのモデル生物となっています。我々は、様々な光化学系I (PSI) -クロロフィル *a/b* 結合タンパク質 (LHCI) 複合体の構造を解明することによって、緑藻から陸上植物への光合成の適応や進化を理解することを目的に研究を行っています。

<研究成果の内容>

本研究では、コケ類のモデル生物ゼニゴケに由来する PSI-LHCI 超複合体の単量体と二量体を単離・精製し、岡山大学異分野基礎科学研究所・国際構造生物学研究センターのクライオ電子顕微鏡を用いて、それぞれ 1.94 Å と 2.52 Å の高分解能でその構造を解明しました。PSI-LHCI 単量体の構造では 4 個の LHCI が結合しており、二量体では片側 4 個ずつ、合計 8 個の LHCI が結合していました。PSI は生物種によって二量体・三量体・四量体など多様な形態を示し、緑色系統（緑藻や維管束植物）では通常単量体ですが、緑藻のモデル生物であるクラミドモナスでは PSI-LHCI が二量体を形成することが示されています。しかし、陸上植物由来の PSI-LHCI 二量体構造はこれまで報告されていませんでした。ゼニゴケの PSI-LHCI 二量体の結合様式は、報告されている緑藻クラミドモナスの PSI-LHCI 二量体とは異なり、結合部位に LHCI が存在せず、PSI コアの PsaB/PsaG/PsaH/PsaM と呼ばれるサブユニットが結合に関与していることが明らかになりました。次に、詳細な色素配置を解析することで単量体と二量体のエネルギー伝達機構を明らかにしました。その結果、二量体のエネルギー伝達経路は単量体と同じであったため、二量体化は高効率のエネルギー伝達ではなく、光化学系Iがよりコンパクトに収納され、チラコイド上での高密度化に寄与している可能性が示唆されました。

<社会的な意義>

ゼニゴケの PSI-LHCI 単量体と二量体を高い分解能で構造解析したことによって、光合成生物が「どのように光を受け取り、そのエネルギーを反応中心へ運んでいるか」を、より詳しく議論できるようになりました。この成果は、自然界の光エネルギー利用の仕組みを理解することに繋がり、将来的には光の有効利用を目指す人工光合成システムの開発にも役立つと期待されます。

PRESS RELEASE

また、ゼニゴケは最も原始的な陸上植物の一つであり、水中の環境から陸上へと植物が進出していく過程を理解する上でとても重要な生物です。今回の成果は、植物がどのように陸上の環境へ適応し進化していったかを解明する重要な手がかりになります。

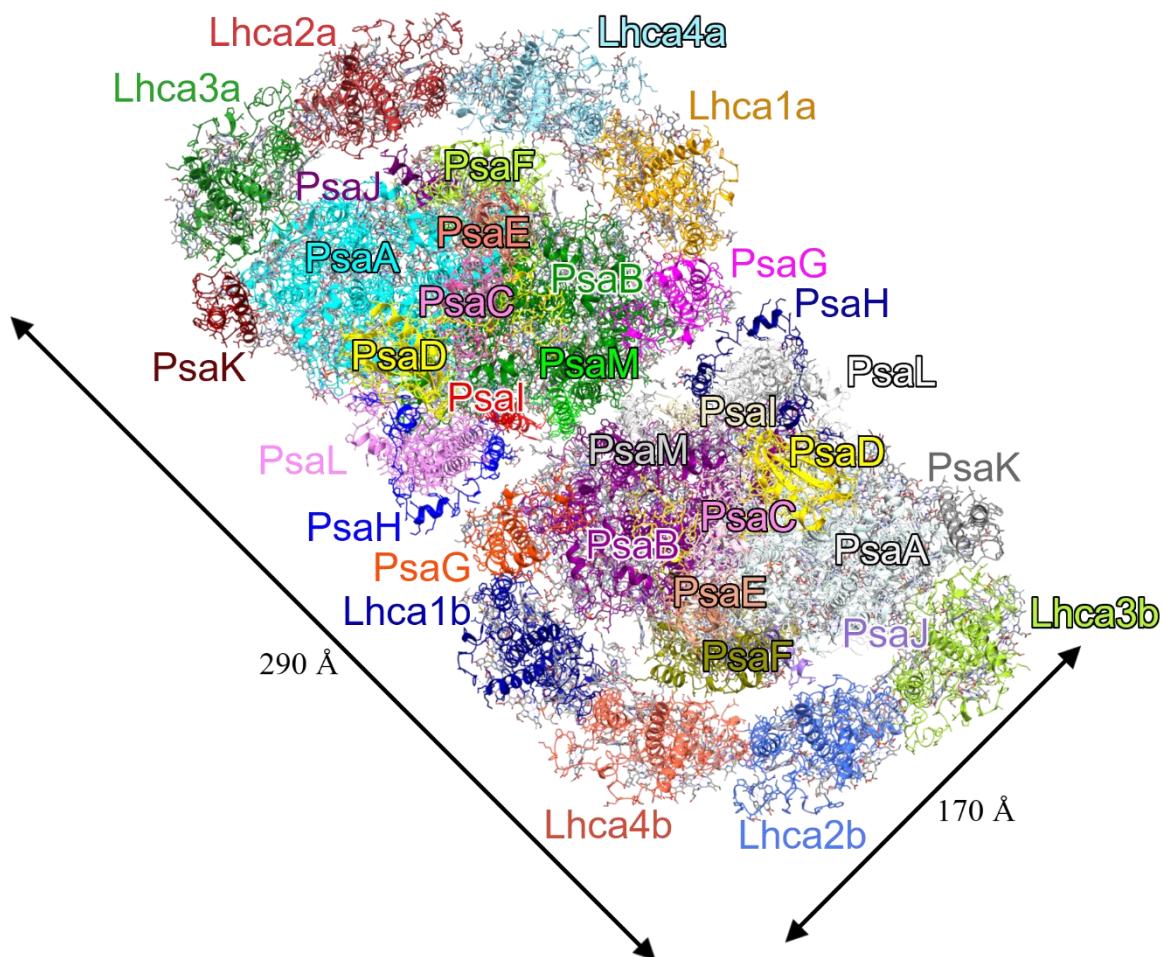


図. ゼニゴケの PSI-LHCI 超複合体の二量体構造

■論文情報

論 文 名 : Structural study of monomeric and dimeric photosystem I-LHCI supercomplexes from a bryophyte

掲 載 紙 : *Communications Biology*

著 者 : Pi-Cheng Tsai, Romain La Rocca, Hiroyasu Motose, Jian-Ren Shen, Fusamichi Akita

D O I : 10.1038/s42003-026-09631-w

U R L : <https://www.nature.com/articles/s42003-026-09631-w>

■研究資金

本研究は、日本学術振興会特別推進研究（JP22H04916）、基盤研究(B)（JP24K02025）、基盤研究(C)（JP25K08923）と地域中核・特色ある研究大学強化促進事業（J-PEAKS）（JPJS00420230010）の支援を受けて実施しました。データ収集には岡山大学コアファシリティー（CEPOU RIIS-n01）の支



PRESS RELEASE

援を得て、国際構造生物学研究センターのクライオ電子顕微鏡で収集しました。また、本論文は「岡山大学 インパクトの高い国際的な学術誌への APC 支援」を受けています。

■補足・用語説明

(1) ゼニゴケ：コケ植物の3つの分類群（蘚類、苔類、ツノゴケ類）の内、ゼニゴケは苔類に属しています。コケ植物は、緑藻から、光合成に適した葉を形成する維管束植物へと進化する中間の生物であると考えられており、陸上環境への適応と進化を解明する上で重要なモデル生物として注目されています。

(2) クライオ電子顕微鏡：瞬間凍結したタンパク質などに電子線を照射し、その透過像を撮影する装置です。岡山大学では、2023年に国際構造生物学研究センターを発足し、クライオ電子顕微鏡を導入しています。

国際構造生物学研究センターURL: <https://www.okayama-u.ac.jp/user/icsb/index.html>

＜お問い合わせ＞

岡山大学学術研究院先鋭研究領域（異分野基礎科学研究所）

教授 沈 建仁

（電話番号） 086-251-8502

（FAX） 086-251-8502

岡山大学学術研究院先鋭研究領域（異分野基礎科学研究所）

准教授 秋田 総理

（電話番号） 086-251-8630

岡山大学学術研究院環境生命自然科学学域

准教授 本瀬 宏康

（電話番号） 086-251-7857



岡山大学は持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています。



岡山大学
OKAYAMA UNIVERSITY

SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS

