

令和3年5月27日
岡山大学

褐色光合成から紐解く 光合成生物の見た目の色の違いの不思議

◆発表のポイント

- ・長尾遼特任講師は、光合成生物の見た目の色の違いに着目しています。
- ・見た目の色の違いの要因である集光性色素タンパク質 (LHC)^(注1) の機能と構造を明らかにするために、様々な手法を取り入れて研究しています。
- ・LHC の多様性を分子レベルで解明することが、光合成生物の進化の理解につながると期待しています。

光合成生物は見た目の色が違います。見た目の色の違いは集光性色素タンパク質 (LHC) およびそれらに結合する色素分子の種類や数が、各々の光合成生物で異なるためです。一部の陸上植物や緑藻の LHC の特性についてはある程度明らかになっていますが、その他の光合成生物の LHC については未だに不明です。

岡山大学異分野基礎科学研究所の長尾遼特任講師は、褐色を呈する植物プランクトンである珪藻の光捕集メカニズムに関する研究を行ってきました。珪藻の LHC はフコキサンチン-クロロフィル結合タンパク質 (FCP) と呼ばれています。珪藻 FCP のタンパク質や色素組成の分析に始まり、時間分解蛍光分光法^(注2) による励起エネルギー伝達の解明およびクライオ電子顕微鏡単粒子解析^(注3) によるタンパク質立体構造の解明を進めてきました。これらの成果は、珪藻 FCP の機能および構造が陸上植物 LHC と大きく異なることを示しました。このように、見た目の色が異なるという生物学的な興味を拡張し、褐色の特性や機能を物理化学的な手法を用いて分子レベルで明らかにしました。本研究のような生物物理化学的な研究は、光合成生物の多様性や進化の解明につながることが期待されます。

■発表内容

<導入>

小学校の理科の教科書に記載されているように、酸素発生型光合成は光と水と二酸化炭素から酸素と有機化合物を生み出す生体反応です。既に全容がわかっているのでは？と思いがちな光合成ですが、実は未だに不明な点ばかりです。光エネルギーを化学エネルギーに変換する主要な反応場は、光化学系 I および II (PSI、PSII) と呼ばれる膜タンパク質複合体です。この光化学反応を促進するために、集光性色素タンパク質 (LHC) は PSI および PSII に結合し、捕集した光エネルギーをそれぞれの光化学系に渡します。

いきなりですが、光合成生物といえば何でしょうか？真っ先に思い当たるのは、私たちの身の回りに生息する草や木ではないでしょうか。草木の連想から「光合成生物＝緑色」とイメージされる

PRESS RELEASE

かと思えます。しかし興味深いことに、すべての光合成生物が緑色を呈しているわけではありません。湖沼や海洋といった水域に目を向けると、緑・青・紫・赤・黄・褐色など多種多様な色を呈する植物プランクトンが何千何万種類と存在します（図1）。見た目の色の違いは LHC およびそれらに結合する色素分子の種類や数が、各々の光合成生物で異なるためです。しかし、なぜ植物プランクトンは見た目の色を変える必要があったのでしょうか？太陽光を獲得するための生存戦略だと考えられていますが、その答えを知る人はいません。



図1. 多様な色を持つ微細藻類

<背景>

見た目の色の違いを担う LHC の特性を明らかにするために、これまでの光合成研究では陸上植物や緑藻といった代表的な生物を用いて、LHC の遺伝子発現・タンパク質組成・エネルギー移動・立体構造が研究されてきました。陸上植物や緑藻の LHC については 30 年以上に渡る研究によってある程度わかってきましたが、それら以外の生物の LHC は未開の状態です。

長尾遼特任講師は、褐色を呈する珪藻と呼ばれる植物プランクトンの LHC に着目してきました。珪藻は海洋を中心とする水域の二酸化炭素固定に大きく貢献する重要な植物プランクトンであるといわれています。珪藻の LHC はフコキサンチン-クロロフィル結合タンパク質（FCP）と呼ばれており、陸上植物と異なる色素分子を持ちます。珪藻の LHC が特殊な色素を持つ FCP であることは 1990 年代から明らかでしたが、FCP の機能や構造といった分子特性は全く不明でした。

<研究内容、業績>

珪藻から PSII と FCP の超複合体（PSII-FCPII）および PSI と FCP の超複合体（PSI-FCPI）を精製し、タンパク質や色素組成を分析しました。得られたタンパク質試料を用いて、時間分解蛍光分光測定し、FCP から PSII や PSI へのエネルギー伝達機構を調べました。その結果、陸上植物とは異なる励起エネルギー伝達機構（クロロフィル分子間のエネルギーのやり取り）やエネルギー消光（クロロフィル-クロロフィルおよびクロロフィル-カロテノイド相互作用によりエネルギーが消光する現象）メカニズムが珪藻には備わっていることを明らかにしました。また、クライオ電子顕微鏡単粒子解析により、PSII-FCPII および PSI-FCPI の立体構造を調べました。PSII-FCPII において、主要な FCP が四量体（4 つの同一サブユニットで構成）を形成していることを見出しました。陸上植物の PSII に結合する主要な LHC は三量体を形成するため、珪藻と陸上植物とで LHC の多量体構造の違いが判明しました。一方、PSI-FCPI において、16 個の FCP が PSI に結合していました。陸上植物の PSI に結合する LHC は 4 個であるため、PSI に結合する LHC の数の違いが明らかになりました。このように、生物学のみに留まらず、励起エネルギー伝達機構および立体構造解明といった多階層的な研究を行い、珪藻 FCP の分子特性を明らかにしました。

<展望>

珪藻 FCP に関する機能構造的な知見が明らかになりましたが、他の植物プランクトンの LHC は

PRESS RELEASE

どのような特徴があるのでしょうか？珪藻に近いのでしょうか、もしくは陸上植物に近いのでしょうか？その答えを知る者は誰もいません。誰もいないからこそ、挑戦する価値があると考えます。今後は別の生物種でも研究を行い、LHC の多様性から光合成生物の見た目の色の違いの不思議を解明していきたいと考えています。

<略歴>

1984 年生まれ。東京理科大学工学部卒、東京大学大学院総合文化研究科博士課程単位取得退学。博士（学術）。専門は生物学。名古屋大学特任助教、岡山大学特任助教を経て、2020 年より現職。

■補足・用語説明

注 1：集光性色素タンパク質（Light-harvesting complex; LHC）

クロロフィルやカロテノイドなどの色素を結合した、太陽光エネルギーを集める役割を持つタンパク質です。光合成生物の種類に応じて異なる集光性色素タンパク質が存在します。

注 2：時間分解蛍光分光法

パルスレーザーを色素に照射した後、色素から発せられる蛍光の変化をフェムト秒（ 10^{-15} 秒）からピコ秒（ 10^{-12} 秒）の時間分解能で追跡する方法です。光エネルギーを吸収した直後の色素分子の挙動だけではなく、分子が置かれた環境に関するさまざまな物理化学的情報を解析するための非常に有用な分光法です。この手法により、集光性色素タンパク質の色素分子の役割を明らかにします。

注 3：クライオ電子顕微鏡単粒子解析

電子顕微鏡によりタンパク質粒子を観察し、その立体構造を解明する方法です。サンプルへの電子線ダメージを軽減するために液体窒素温度での測定を行います。多数のタンパク質粒子の形状を計測して平均化することで、当該タンパク質の立体構造を解析します。

<お問い合わせ>

岡山大学異分野基礎科学研究所
特任講師 長尾遼

(HP) <https://ryoagan.wixsite.com/nagaoryo>