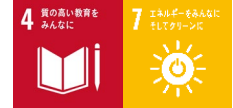


大阪科学・大学記者クラブ 御中
(同時提供先：文部科学記者会、科学記者会)



2022年12月5日
大阪公立大学

海中での光合成、どうすれば効率的？ メカニズムの解明に光 ～クライオ電子顕微鏡法^{※1}を用いて解析～



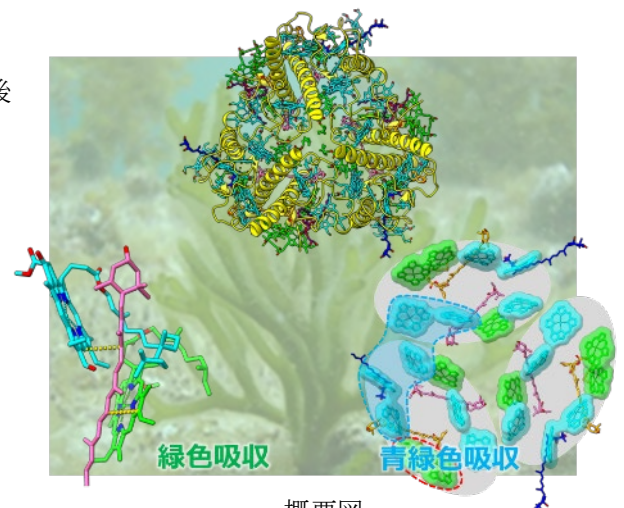
<ポイント>

- ◇海洋性緑藻ミルの光合成アンテナ^{※2}の構造をクライオ電子顕微鏡法を用いて高分解能で解析
- ◇光合成アンテナに結合している色素の構造と置換位置を解明

<概要>

大阪公立大学 人工光合成研究センターの藤井 律子准教授と関 荘一郎大学院生（大阪市立大学大学院理学研究科後期博士課程2年）、大阪大学蛋白質研究所の栗栖 源嗣教授ら、サーモフィッシュサイエンティフィック株式会社の銭 朴氏らの研究グループは、高分解能の電子顕微鏡を用いた解析により、海洋性緑藻ミルの光合成アンテナと呼ばれるタンパク質内での色素の構造と結合環境を初めて明らかにしました。その結果、海水中で得られる唯一の光である青緑色光を効率よく光合成に利用する分子メカニズムがより鮮明になりました。

本研究成果は、2022年11月11日に『BBAAdvances』にオンライン掲載されました。



概要図

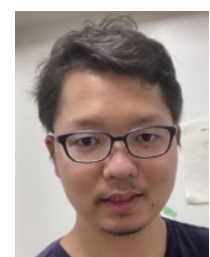
<研究者からのコメント>

今回の成果は、海藻が海底で光合成をするための仕組みを解明する手がかりとなります。色素の構造を少し変えただけで緑色光を光合成に活用してしまうというのは、**コスパの良い戦略**と思いました。このような生物の生存戦略を学ぶことは、太陽光利用や再生可能エネルギー源の開発につながると期待できます。



藤井 律子准教授

この研究には、論文に名前が記載されている方以外にも多くの方が長年携わってきました。僕は先輩方からのバトンを引き継ぎ、研究室に配属されてからずっと培養からタンパク質の精製方法まで工夫を凝らしてきました。その執念が今回の成果につながったと思います。この構造を初めて藤井先生と見たときは打ち震えました。今回の論文掲載を糧に、今後もガンガン研究を進めてまいります。



関 荘一郎大学院生

陸上に生息する植物は、太陽光の内、赤色と青色を主に吸収して光合成に利用します。しかし、海底には青緑色の弱い光しか届かないため、海洋に生育する大型藻はこの青緑色光を効率よく利用する光合成アンテナを発達させてきました。これは陸上植物の光合成アンテナと非常に似ていますが、結合している色素の構造に特徴があります。光合成アンテナというタンパク質にはカロテノイド色素とクロロフィル色素の二種類の色素が結合していますが、本研究対象の海洋性大型緑藻ミル (学名 *Codium fragile*, 図1上) では、カロテノイド色素がシフォナキサンチン^{*3} (図1下) に、またクロロフィル色素の一部がクロロフィル *a*^{*4} からクロロフィル *b* に入れ替わっています。前者は緑色光、後者は青緑色光の吸収量を増やすのに貢献していることが分かっていますが、その仕組みは解明されていませんでした。光の吸収は色素の周辺環境の違いや構造の歪みによって大きく変わります。そこで私たちは、クライオ電子顕微鏡法を用いて、ミルの光合成アンテナの色素のタンパク質内での構造と結合環境を高分解能で解析することにより、青緑色光吸収を達成する分子メカニズムの解明につながる基礎的な情報を得ようと考えました。

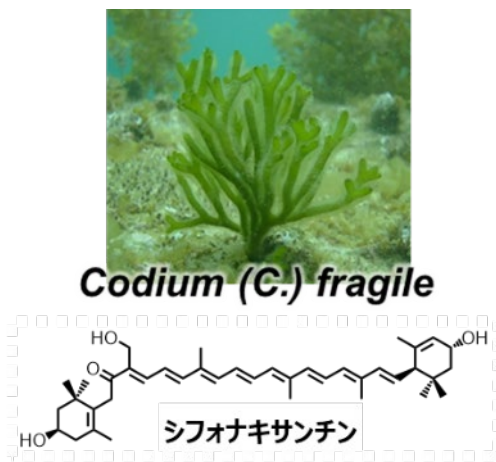


図1 海洋性大型緑藻ミル (*Codium fragile*)の写真 (上)とシフォナキサンチンの化学構造 (下)

<研究の内容>

本研究では、ミルの光合成アンテナの構造をクライオ電子顕微鏡により高分解能で取得し(図2左)、シフォナキサンチンの構造とクロロフィル *b* の置換位置 (602)を明らかにしました。

シフォナキサンチンは大きくねじれており、周囲のタンパク質と2カ所で水素結合を形成していることを明らかにしました。これらの構造的特徴はシフォナキサンチンが緑色光を吸収するようになる鍵となると考えられます。また、手法的に困難であったクロロフィル *a* とクロロフィル *b* の違いを検出することに成功し、クロロフィルの置換部位を一部明らかにしました。これによりクロロフィル *b* が隣接して並んだクラスターの領域が広くなり (概要図の右下)、青緑色光を効率よく光合成に利用する仕組みの解明に必要とされる色素の座標情報が得られました。

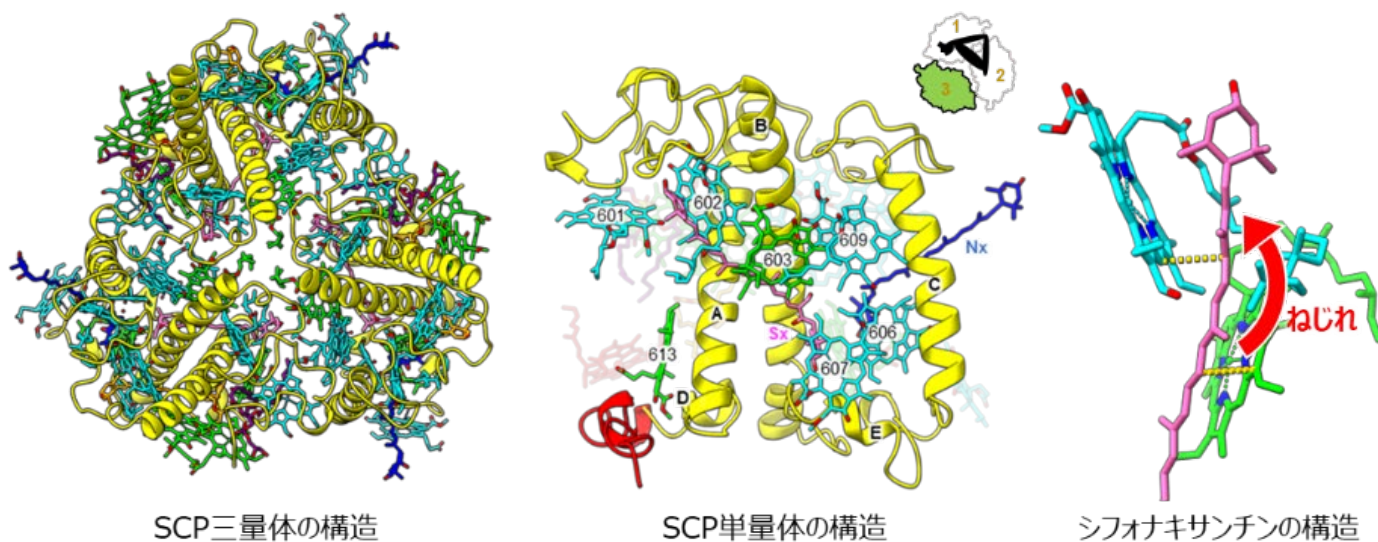


図2 左: ミル由来の光合成アンテナ シフォナキサンチン結合型クロロフィルタンパク質 (SCP) の全体構造 中: 単量体の構造 右: ねじれたシフォナキサンチンの構造
黄色:タンパク質、ピンク:シフォナキサンチン (緑色光吸収)、緑:クロロフィル *a* (藍色光吸収)、水色:クロロフィル *b* (青緑色光吸収)

<期待される効果・今後の展開>

青緑色光を光合成に活用する種は他にもあり、タンパク質の構造と光利用機構について盛んに研究されていますが、まだ完全には明らかになっていません。本研究で得られたミルの光合成アンテナの構造は、よく研究されてきた陸上植物の光合成アンテナと色素の構造だけが異なるため、青緑色光の吸収を可能とする原理を構造から解き明かす糸口となることが期待できます。

本研究で用いたミルは、万葉集の時代から知られる日本原産の食用海藻ですが、ここ 100 年の間に世界中の港に広がり、侵略的外来種としてはびこっています。これはさまざまな光環境に適応できる生命力の強さを示しています。したがってミルの光合成アンテナの構造に基づき、光環境適応の分子機構を解明することは、海洋の生態系を守る戦略につながると考えられます。

また、有機分子である色素の構造を制御することで吸収できる光の波長範囲（色）を広げる分子メカニズムは、太陽光のさまざまな波長の光を高効率で集積し、再生可能エネルギー源として用いるためのデバイスの設計にヒントを与えられると思います。

今後は、この色素がどのように青緑色光吸収を達成するかについて、生化学、構造生物学、分光学等のさまざまな手法を駆使することで、解明していく予定です。

<資金情報>

本研究は、ササクラ環境科学財団（関 莊一郎）、OCU 戦略的研究（藤井 律子）、人工光合成研究拠点共同研究（FY201820、仲庭 哲津子）、大阪大学蛋白質研究所共同研究員事業（CR-21-02、藤井 律子）、JST-CREST（JPMJCR20E1、栗栖 源嗣）の支援により実施されました。

<用語解説>

- ※1 クライオ電子顕微鏡法：タンパク質の高分解能構造解析の手法のひとつ。2017年にノーベル化学賞が授与されたことでも知られる。
- ※2 光合成アンテナ：地球上で最も豊富な膜タンパク質で、色素を結合する。太陽光を吸収し、光化学系反応中心にエネルギーを伝達することで光合成反応を駆動する役割を担う。
- ※3 シフォナキサンチン：特異的な官能基（OH基、C=O基）を持ち、一部の海洋性緑藻のみが蓄積する独特のカロテノイド色素。
- ※4 クロロフィル *a*：葉緑素。ほぼ全ての酸素発生型光合成生物に含まれる色素。クロロフィル *b* との構造の違いは少ないが、それにより吸収する波長が異なる。

<掲載誌情報>

【発表雑誌】 BBA Advances

【論文名】 Structural insights into blue-green light utilization by marine green algal light harvesting complex II at 2.78 Å

【著者】 Soichiro Seki, Tetsuko Nakaniwa, Pablo Castro-Hartmann, Kasim Sader, Akihiro Kawamoto, Hideaki Tanaka, Pu Qian, Genji Kurisu, Ritsuko Fujii

【掲載 URL】 <https://doi.org/10.1016/j.bbadv.2022.100064>

【研究内容に関する問い合わせ先】

大阪公立大学大学院 理学研究科
人工光合成研究センター
准教授 藤井 律子（ふじい りつこ）
TEL : 06-6605-3624
E-mail : ritsuko@omu.ac.jp

【報道に関する問い合わせ先】

大阪公立大学 広報課
担当：谷
TEL : 06-6605-3411
E-mail : koho-list@ml.omu.ac.jp