



**PRESS RELEASE**

本リリースは以下の宛先に送付しております。

岡山大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会、兵庫県  
教育委員会記者クラブ、神戸民間放送記者クラブ、  
大阪科学・大学記者クラブ

令和 2 年 9 月 14 日

岡 山 大 学  
神 戸 大 学

**ピングイオ藻の集光性色素タンパク質の特性解明：  
アルカリ pH で誘導される太陽光エネルギー利用機構を明らかに**

◆発表のポイント

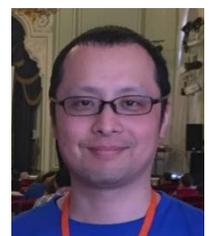
- ・ 光合成生物の特徴の一つである、見た目の色の違いをもたらす光捕集タンパク質の機能を解き明かすため、褐色を呈するピングイオ藻の集光性色素タンパク質<sup>(注1)</sup>の励起エネルギー伝達機構を時間分解蛍光分光法<sup>(注2)</sup>により明らかにしました。
- ・ ピングイオ藻の集光性色素タンパク質において、励起エネルギー伝達経路の変化およびエネルギー消光がアルカリ pH によって誘導されることを見出しました。これは他の光合成生物では観測されていない、ピングイオ藻における独特なメカニズムです。
- ・ 集光性色素タンパク質の励起エネルギー伝達機構は多様であり、これらが光合成生物の環境適応や生存戦略として重要である可能性を示しました。

岡山大学異分野基礎科学研究所の長尾遼特任講師と神戸大学大学院理学研究科の秋本誠志准教授らの共同研究グループは、時間分解蛍光分光法を用いて海産性ピングイオ藻の集光性色素タンパク質の溶液 pH に依存する励起エネルギー伝達機構の解析に成功しました。この結果から、ピングイオ藻の集光性色素タンパク質は、特にアルカリ pH により励起エネルギー伝達を変化させ、エネルギー消光が起こることが明らかになりました。本研究成果は 9 月 11 日、欧州の科学雑誌「*Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*」にオンラインで掲載されました。

本研究成果は、「光合成生物は、変動する光環境の中でどのように集光性色素タンパク質の機能を調節しているのか?」、という問いに対して知見を与えるものです。色の多様性は光合成生物の生存戦略の一環です。ピングイオ藻は褐色を呈することで、水中を透過する限られた光エネルギーを効率よく利用し、生育場所を獲得してきたと考えられます。集光性色素タンパク質の機能を変化させ、環境に適応する可能性が示唆されました。この成果は、光合成生物の集光性色素タンパク質の多様性をひも解く知見となり、なぜ光合成生物は見た目の色が異なるのか?という進化上の問題に知見を提供することにつながります。

◆研究者からひとこと

これまでは褐色を示す珪藻の研究をしてきましたが、今回は別の褐色光合成生物であるピングイオ藻に着目しました。ピングイオ藻と珪藻は似た集光性色素タンパク質を持ちますが、本研究により光捕集メカニズムが異なることを見出しました。似たような色をしているのにどうして機能が異なるのか?光合成生物の見た目の色の違いはとても興味深いです。



長尾特任講師



## PRESS RELEASE

### ■発表内容

#### <現状>

光合成とは、太陽の光エネルギーを利用して水・二酸化炭素から炭水化物と酸素を合成する反応です。光化学系Ⅰ・光化学系Ⅱと呼ばれる膜タンパク質複合体が光合成反応の中心であり、光エネルギーを有用な化学エネルギーへと変換する役割を担います。光合成生物種は共通する光化学系タンパク質を有しています。一方で、光化学系タンパク質に結合し、光エネルギーを供給する集光性色素タンパク質は、極めて多様性に富んでいます。陸上に生息する植物や海中に生息する藻類など、光合成生物は多様な環境に適応しており、この理由は、集光性色素タンパク質に結合した色素の種類やタンパク質自体の組成を最適化していった結果であると考えられています。つまり、光合成生物が多様な色を持つ理由は、集光性色素タンパク質にあるといえます。

水域に存在する微細藻類は、陸上植物と異なる進化を遂げており、それぞれの生存環境に応じて異なる集光性色素タンパク質を持ちます。水中を透過する太陽光エネルギーは、青色から緑色の光であるため、陸上植物よりも限られた光エネルギー資源を確保するために多様性が生まれたと考えられています。ピングイオ藻は、紅藻を細胞内へ取り込んで進化した二次共生藻と考えられており、褐色を呈しています。その要因は集光性色素タンパク質であるフコキサンチン-クロロフィル a/c 結合タンパク質 (FCP) にあります。

FCP を含む集光性色素タンパク質はチラコイド膜に内包されています。チラコイド膜内外の親水性領域では、光合成反応が駆動することにより、pH が大きく変動することが知られています。このとき、チラコイド膜のストロマ側はアルカリ pH、ルーメン側は酸性 pH になります。この pH 変化により、陸上植物や緑藻の集光性色素タンパク質では励起エネルギー伝達機構の変化、特に酸性 pH による大きな変化が生じるといわれています。では、ピングイオ藻の FCP では、pH 変化による励起エネルギー伝達機構はどのように変わるのでしょうか？その詳細は全く不明でした。

#### <研究成果の内容>

長尾特任講師と秋本准教授らの岡山大学と神戸大学の共同研究グループは、ピングイオ藻から FCP 複合体を精製し、時間分解蛍光分光法によりその独特な励起エネルギー伝達機構を解明しました。アルカリ pH によって、エネルギー伝達経路の変化およびエネルギー消光が誘導されることを見出しました。この励起エネルギー伝達機構の変化は、チラコイド膜のストロマ側がアルカリ pH になることによって駆動されることが示唆されました (図)。ピングイオ藻以外にも FCP を持つ光合成生物は多数存在し、その中でも珪藻の FCP は酸性 pH によってのみ励起エネルギー伝達機構の変化が報告されています。さらに、陸上植物の集光性色素タンパク質においても同様で、酸性 pH による励起エネルギー伝達機構の変化が知られています。このように、アルカリ pH によって誘導される独特な励起エネルギー伝達はこれまでに報告されておらず、ピングイオ藻で初めて発見されました。この独特な光捕集機構を利用し、ピングイオ藻は繁栄してきたのかもしれませんが。

#### <社会的な意義>

太陽光を利用したクリーンエネルギーの活用は、エネルギー問題や環境問題の解決につながる非常に重要な事柄です。FCP は、植物とは異なる太陽光エネルギーの成分を効率よく吸収・利用して

## PRESS RELEASE

います。今回、我々が解明したメカニズムは、特定の波長の太陽光エネルギーの成分を集める分子配置の設計に指針を提供する可能性があります。将来的には、得られた知見を利用することで、太陽光エネルギーの成分の選択的利用に基づいたエネルギー利用デバイスの創出が期待されます。

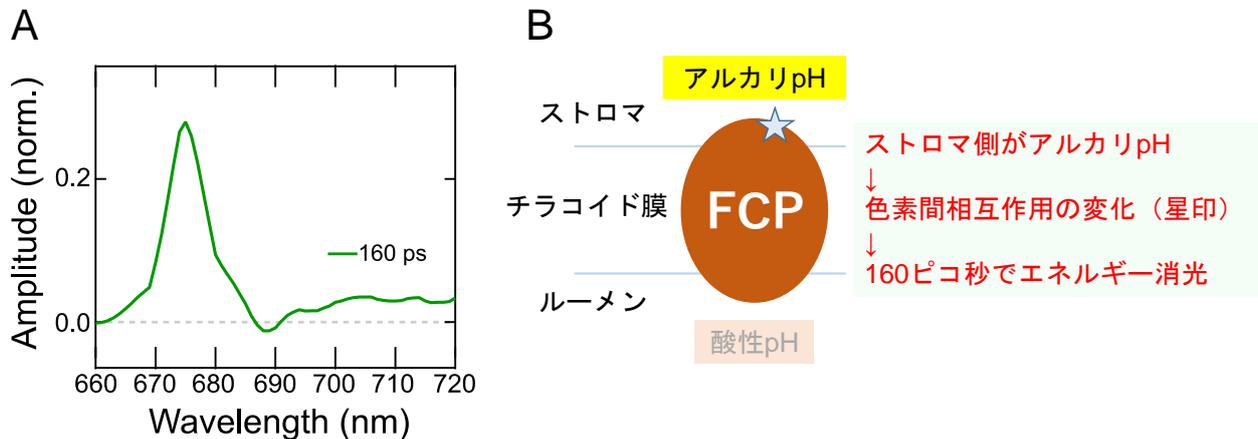


図. ピンガイオ藻 FCP のアルカリ pH によって誘導される特徴的なスペクトル (A) ; 光合成反応によって生じるチラコイド膜のストロマとルーメンの pH 変化および反応概略 (B)。

## ■論文情報

論文名 : “Basic pH-induced modification of excitation-energy dynamics in fucoxanthin chlorophyll *a/c*-binding proteins isolated from a pinguiphyte, *Glossomastix chrysoplata*”

「ピンガイオ藻 FCP のアルカリ pH 誘導型励起エネルギーダイナミクス」

掲載紙 : *Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics*

著者 : Ryo Nagao, Makio Yokono, Yoshifumi Ueno, Ka-Ho Kato, Naoki Tsuboshita, Jian-Ren Shen, and Seiji Akimoto

DOI : [doi.org/10.1016/j.bbabi.2020.148306](https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2020.148306)

URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0005272820301560>

## ■研究資金

本研究は、日本学術振興会・科学研究費補助金「基盤研究」(課題番号: JP20K06528、JP20H02914)、日本学術振興会・「新学術領域研究 (研究領域提案型)」(課題番号: JP19H04726、JP17H06433、JP16H06553) の支援を受け実施しました。

## ■補足・用語説明

注1: 集光性色素タンパク質

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。本報告で明らかにしたフコキサンチン-クロロフィル *a/c* 結合タンパク質 (FCP) は、その名の通りクロロフィル *a*、クロロフィル *c*、フコキサンチンを結合しています。



## PRESS RELEASE

### 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。

#### <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 （ながお りょう）

（電話番号）086-251-8630

神戸大学大学院理学研究科

准教授 秋本 誠志 （あきもと せいじ）

（電話番号）078-803-5705

