

近年の X 線結晶構造解析やクライオ電子顕微鏡技術の進展により、光合成を駆動する個々のタンパク質 - 色素複合体の反応機構はかなり詳細に分かってきました。一方で、実際の光合成は個々の複合体が集まってネットワークを形成しシステムとして働きます。光合成システムは、外部環境の変化に応じて自身を変化させながら柔軟に働きます。まだまだ我々の理解が不十分な光合成システムが働く現場を捉えるため、我々は、主に光学顕微鏡とレーザー分光法を組み合わせた手法を駆使した研究を展開しています。システムとしての光合成の理解から、人類最大の課題であるエネルギー問題解決のヒントを探ります。

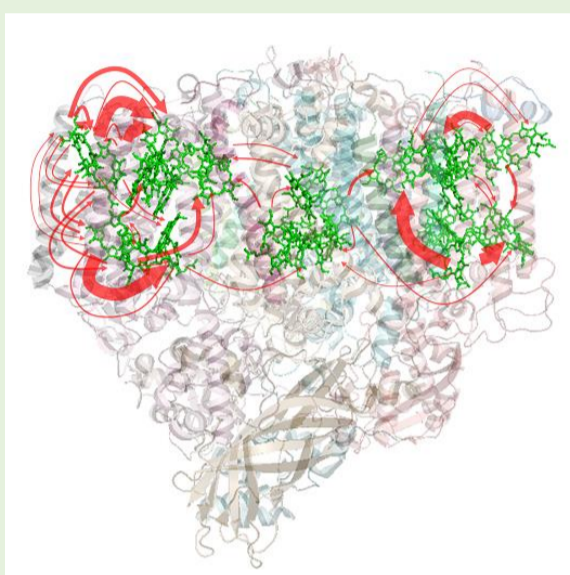
研究テーマ

・ 理論解析との融合で見えてきた PSII 内部のエネルギー移動経路

植物の光合成で、光エネルギーを使って水から電子を引き抜いて酸素を発生させる光化学系 II には、35 個のクロロフィルと 2 個のフェオフィチンが結合しています。各色素分子は、分子種としては同じでもそれぞれ異なる環境に置かれることから吸収する波長（サイトエネルギーと言う）は異なります。個々のクロロフィルのサイトエネルギーを求めることは、未だに難問です。理論解析と超高速パルスレーザー分光の実験結果を融合することで、各色素分子のサイトエネルギーを推定し、これらの色素分子間のエネルギーの流れを明らかにしました。

Y. Shibata et al., *JACS* (2013)

A. Mohamed et al., *J. Phys. Chem. B* (2016)

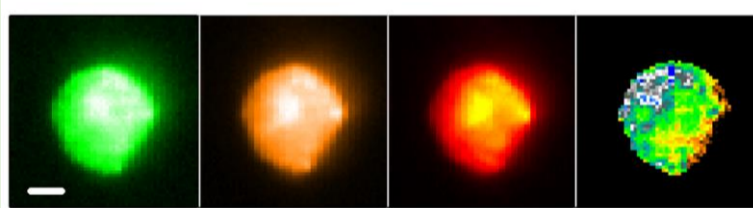


・ 極低温顕微鏡で葉緑体内部のタンパク質の移動を検証

葉緑体では、光化学系 I と光化学系 II という二つのタンパク質複合体が、直列に繋がれた太陽電池のように働いている。植物は、二つの複合体が均等に励起されるように調節する状態遷移と呼ばれる機構を進展させてきた。状態遷移では、光エネルギーを供給するアンテナ複合体が、二つの光化学系の間を移動することで、励起バランスを保つと考えられていた。我々は、極低温で動作する光学顕微鏡を開発することで、アンテナ複合体の移動の直接証拠となる顕微鏡画像の取得に成功した。

Y. Shibata et al., *BBA* (2014)

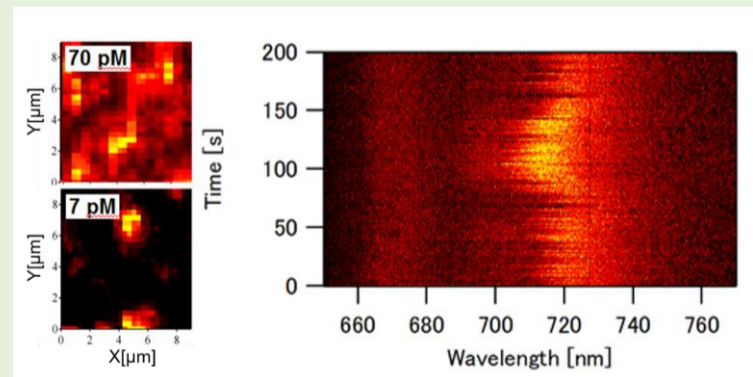
Y. Fujita et al., *J. Photochem. Photobiol. B* (2018)



・ 単一分子分光により明らかとなった光合成アンテナ系のエネルギー移動経路の揺らぎの起源

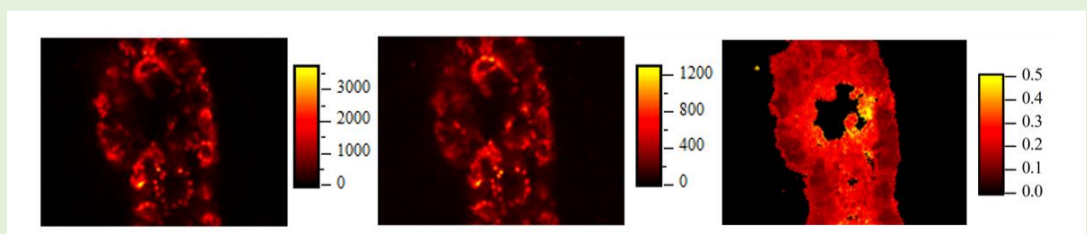
一つの分子の蛍光スペクトルなどを検出する単一分子分光では、分子構造の揺らぎなどを明らかにできる。80 K で単一の光化学系 I 三量体からの蛍光スペクトルを測定すると、蛍光スペクトルのピーク位置、強度が不規則に変動する（ブリンキング）と呼ばれる現象が見られた。この結果は、エネルギー移動の経路自体が揺らぐ、という概念の必要性を示す。

S. Jana et al., *BBA* (2019)



・ 植物光合成タンパク質の構造構築過程の中間体探索

複雑な光合成系の色素 - タンパク質複合体が生体内でどのような機構で構築されるのかは、ほとんど手つかずの問題です。我々は、構造構築の中間体を見つけ出すために、光を当てずに発芽させることで光合成タンパク質をほとんど持たない状態としたトウモロコシの葉に、光照射によって光合成タンパク質の構築を開始させ、その途上に現れる成分を低温顕微鏡で追跡した。



Y. Shibata et al., *BBA* (2013)

近い将来の目標

- ・ 極低温超解像顕微鏡の実現による葉緑体内部微細構造と光合成機能の関係
- ・ ハイスループット単一分子分光による光合成タンパク質の環境応答
- ・ 調節可能な人工光合成アンテナ系の創生