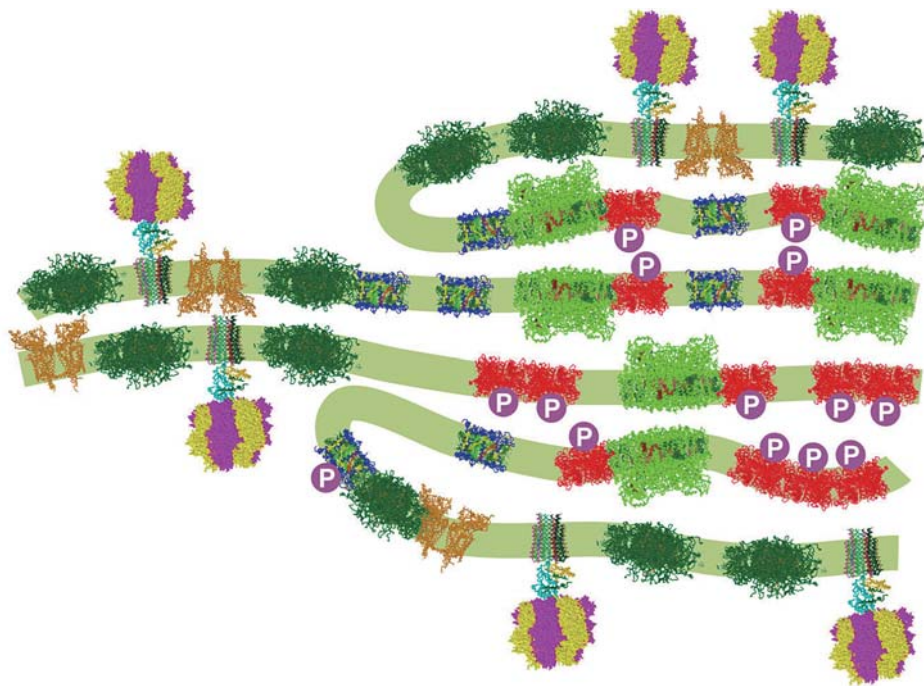


# 植物が光を集める仕組みを探る

植物は、環境の変化に自らを順化適応させることで生き残りをはかる。太陽光を集め、利用可能なエネルギーへの変換を行う光合成においても、さまざまなレベルの光環境適応が行われている。本部門では、単細胞緑藻クラミドモナスを中心としたモデル藻類を用いて、生化学、分子遺伝学、分光学的手法、ライブイメージングなどを駆使し、光合成装置がいかに効率よく光を集めるのか、そのしくみの研究を行っている。また、得られた基礎的知見をもとに、サンゴやイソギンチャクと共生する褐虫藻、北太平洋の珪藻など、環境において重要な光合成生物が生態系の中でいかに光合成を行っているのか、その理解も目指している。



新しい状態遷移モデルによる状態2状態のチラコイド膜 (上)

全ての植物は光化学系 1/ 光化学系 2(PSI/PSII) と呼ばれる 2つの光化学系を用いて、光エネルギーを電子の流れへと変換する。状態遷移のしくみにより、光環境が変化しても2つの光化学系はバランスよく光を吸収する。

産卵するココビミドリイシ (下左)

サンゴは褐虫藻を細胞内に共生させ、その光合成産物を利用する。この共生が破綻した状態が環境問題として知られる“白化”である。年に一度、夏の満月の夜にみられる一斉産卵の機会に卵と精子を採集し受精させるとプラナラ幼生を得ることができる。ココビミドリイシはこのプラナラ幼生や、それから発生した初期ポリプ時のみ、褐虫藻を取り込む。

褐虫藻との共生体として注目されるセイタカイソギンチャク (下右)

育てやすく、褐虫藻の出し入れが可能なセイタカイソギンチャクは、動物-植物共生系のモデルとして注目されている。触手の内部には、共生している褐虫藻細胞を“つぶ”状に見ることができる。

## Members

教授  
皆川 純

准教授  
高橋 俊一

助教  
得津 隆太郎

技術課技術職員  
野田 千代

NIBB リサーチフェロー  
相原 悠介

博士研究員  
鎌田 このみ  
山崎 朋人  
河合 寿子  
山崎 広顕

日本学術振興会  
外国人特別研究員  
Eunchul Kim

特別協力研究員  
滝澤 謙二  
前田 太郎  
高橋 サラ

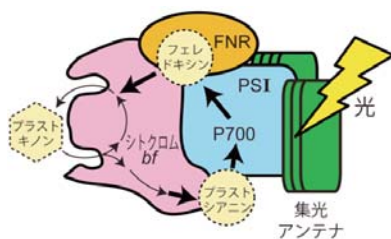
総合研究大学院大学  
大学院生  
Yousef Yari Kamrani  
加藤 弘樹  
小菅 晃太郎  
岡島 圭佑  
渡邊 顕正

技術支援員  
米沢 晴美  
門脇 たまか  
木田 絵実

事務支援員  
小島 洋子

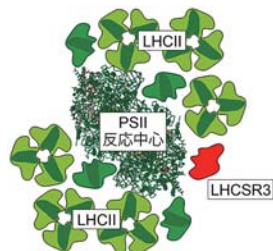
## 光合成装置の環境適応

植物はどのような環境においても、その環境下で最も有利な光合成ができるよう光合成装置を最適化する。光合成に必要な光を集める“光のアンテナ”LHCも、環境変化にあわせ調節されることが知られている。本研究部門では、LHCが自然環境の下で刻一刻と変化し続ける適応現象に注目し、その分子レベルでの理解を目指している。単細胞緑藻であるクラミドモナス (*Chlamydomonas reinhardtii*) をモデルに、光が2つの光化学系に何をもちこたすのかを解明すべく、先進的な生化学解析を行っている。また、蛍光寿命顕微鏡を用いたステート遷移の可視化 (文献6) をきっかけに、生細胞を用いた中性子小角散乱解析等が進んだことでステート遷移とチラコイド膜高次構造変化や超複合体のマクロ構造変化が明らかとなり、従来の考え方を一新した包括モデルを提案している (文献1)。一方、ステート遷移時の葉緑体チラコイド膜から、PSI 超複合体 / シトクロム bf 複合体 / フェレ



**図1. サイクリック電子伝達を担う超・超複合体**  
PSII から移動してきた集光アンテナを結合した PSI は、シトクロム bf 複合体、フェレドキシリン-NADPH 酸化還元酵素 (FNR) と共に超・超複合体を形成する。この超・超複合体上で、矢印で示すような“サイクリック電子伝達”が行われる。

ドキシリン-NADPH 酸化還元酵素 (FNR) などで構成される超・超複合体 (CEF supercomplex) を発見し、この超・超複合体がサイクリック電子伝達を行うことを突き止めた (図1; 文献5)。さらに、近年大きな課題となっている植物のもう一つの光環境適応機構、“過剰エネルギー消去” (NPQ) の研究においては、LHCSR タンパク質が光化学系 II 超複合体に結合しエネルギー散逸状態へ誘導することを明らかにした (図2; 文献2,3)。もっとも新しい課題としては、これらの環境適応機構が屋外環境でどのように働いているかにも注目している (図3)。上記環境適応機構が光合成生物にどのよ



**図2. 強光適応時のチラコイド膜に発見された PSII-LHCII-LHCSR3 超複合体**  
光化学系2は強すぎる光に対して特に脆弱だが、LHCSR3 と呼ばれるタンパク質 (赤) を結合し、これがプロトン化された時、過剰なエネルギーを安全に消去することができるように、強光にも耐えることができる。

うなメリットをもたらしているのかを明らかにしたいと考えている。



**図3. レースウェイ・ボンド**  
澄んだ青空の強い陽射しの下、いかにすれば光合成を効率よく行い生産性を上げることができるのか、藻類培養企業等と協力し、研究を行っている。

## 褐虫藻 (サンゴ/イソギンチャク) の光合成

モデル生物クラミドモナスの光合成研究で蓄積された知見や技術を応用し、環境において重要な植物プランクトンが、それぞれのニッチにいかに適応しているのかを明らかにしたい。特に、サンゴやイソギンチャクと細胞内共生をする褐虫藻の研究に力を入れている。沖縄で採取したサンゴ内の褐虫藻、単独培養した褐虫藻、モデル種であるセイタカイソギンチャク (*Aiptasia*) に共生させた褐虫藻などの光合成を詳しく調べ、熱帯海域の生態系がいかに支えられているのかその理解を目指している (左頁)。

### 参考文献

- Aihara, Y., Takahashi, S., and Minagawa, J. (2016). Heat induction of cyclic electron flow around photosystem I in the symbiotic dinoflagellate *Symbiodinium*. *Plant Physiol.* 171: 522-529, 2016.
- Minagawa, J., and Tokutsu, R. (2015). Dynamic Regulation of Photosynthesis in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant J.*, 82: 413-428.
- Nagy, G., Ünneper, R., Zsiros, O., Tokutsu, R., Takizawa, K., Porcar, L., Moyet, L., Petroustos, D., Garab, G., Finazzi, G., and Minagawa, J. (2014). Chloroplast remodeling during state transitions in *Chlamydomonas reinhardtii* as revealed by non-invasive techniques *in vivo*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 5042-5047.
- Tokutsu, R., and Minagawa, J. (2013). Energy-dissipative supercomplex of photosystem II associated with LHCSR3 in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 10016-10021.
- Allorent, G., Tokutsu, R., and Minagawa, J. et al. (2013). A dual strategy to cope with high light in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Cell* 25, 545-557.
- Tokutsu, R., Kato, N., Bui, K. H., Ishikawa, T., and Minagawa, J. (2012). Revisiting the supramolecular organization of photosystem II in *Chlamydomonas reinhardtii*. *J. Biol. Chem.* 287, 31574-31581.
- Iwai, M., Takizawa, K., Tokutsu, R., Okamura, A., Takahashi, Y., and Minagawa, J. (2010). Isolation of the elusive supercomplex driving cyclic electron transfer in photosynthesis. *Nature* 464, 1210-1213.
- Iwai, M., Yokono, M., Inada, N., and Minagawa, J. (2010). Live cell imaging of photosystem II antenna dissociation during state transitions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 107, 2337-2342.

教授  
皆川 純



准教授  
高橋 俊一



助教  
得津 隆太郎

