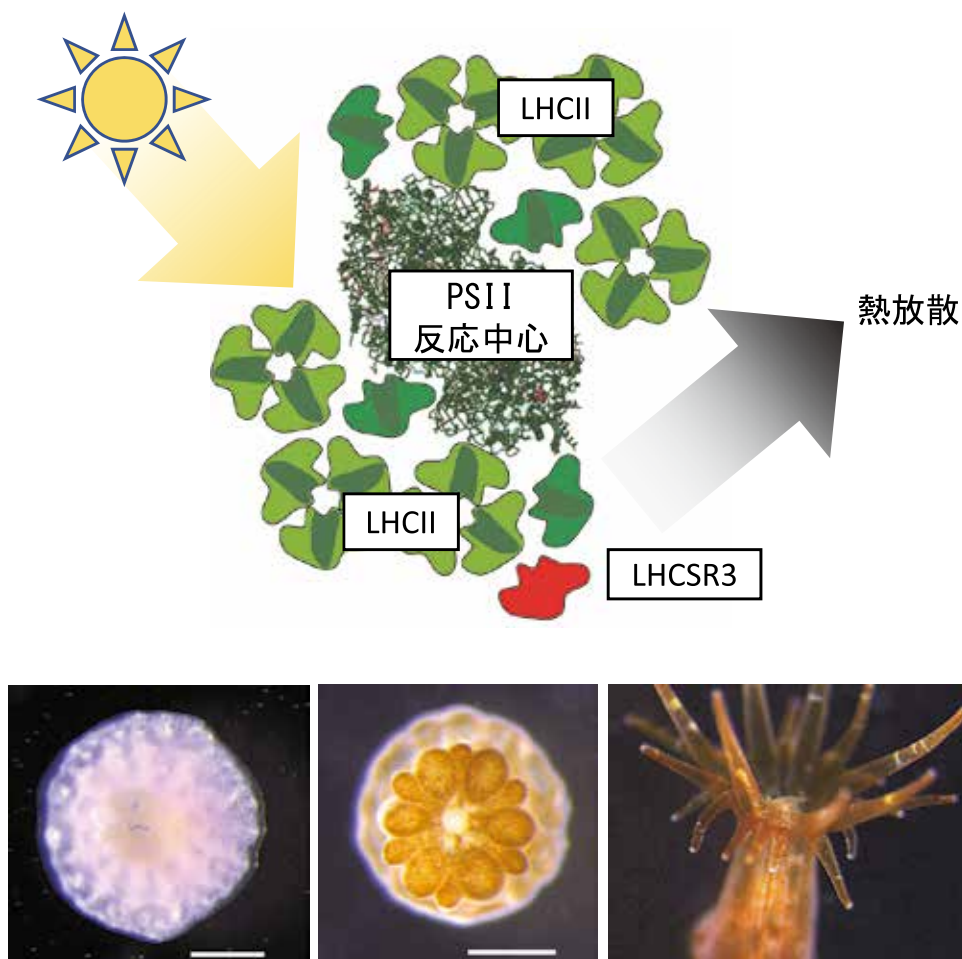


# 植物が光を集める仕組みを探る

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、光合成に利用する光を効率よく集めるしくみや、余分に吸収された光エネルギーを安全に消去する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、サンゴ礁生態系の主な生産者であるサンゴ共生藻（褐虫藻）が、どのように環境に適応し、それにより共生や生態系がどのように維持されているかを理解するための研究も行っている。



過剰に吸収された光エネルギーを安全に消去する機構（上）

クラミドモナスの光化学系 II に LHCSR3 が結合すると、アンテナ（LHCII）に吸収された光エネルギーが PSII 反応中心に移動する前に消去される。これは、熱放散と呼ばれ、強光下での光合成装置の保護に役立っている。

サンゴの幼ポリプ：褐虫藻を共生させる前（下左）と共生させた後（下中央）

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。多くのサンゴ種は、環境から褐虫藻を取り込み共生をスタートさせる。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。

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  
Eunchul Kim

日本学術振興会特別研究員  
河合 寿子

博士研究員  
鎌田 このみ  
河合 文啓  
佐藤 諒一  
Raymond Burton-Smith

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  
岸本 真理子  
岡島 圭佑  
渡邊 顕正  
谷中 綾子

技術支援員  
米沢 晴美  
門脇 たまか  
植野 靖子  
横山 美智子

事務支援員  
外山 麻実

## 光合成装置の環境適応

植物は環境やその変化に応じて光合成装置を変化させ、光合成を最適化する。その最も顕著な変化は、光を集める“アンテナ”LHCにみられる。本研究部門では、LHCに注目し、光環境適応メカニズムの分子レベルでの解明をめざしている。単細胞緑藻であるクラミドモナス (*Chlamydomonas reinhardtii*) をモデルに、生化学解析 (膜タンパク質複合体の単離) と物理学解析 (電子顕微鏡を用いた画像解析や蛍光寿命解析など) を組み合わせ、先進的な研究を進めている。光環境に応じた光化学系超複合体の構造と機能の変化を同時に捉えることで、光環境適応機構を分子レベルで解析できるようになっている。私たちの研究成果は、これまでの光環境適応機構を一新する包括モデルの提案に至った (文献 6)。

最近では、光環境に応じて、余分な光エネルギーを消去する“熱放散” $qE$ に注目し、その分子機構の解明を進めている。私たちは、(1)  $qE$ が光化学系II超複体に結合したLHCSRタンパク質によるエネルギー散逸に起因すること (文献 7)、(2) LHCSRタンパク質の発現が光受容体のフォトトロピンによって制御されていること (文献 4)、(3) LHCSR依存の $qE$ は光化学系II超複体のアンテナからCP43へのエネルギー移動の抑制に起因すること (図 1: 文献 3) を世界に先駆けて明らかにしてきた。これらの知見により、 $qE$ 活性化機構の全容が見えてきた。最近では、これらの最新の技術や知見を応用に利用しようと、屋外環境での藻類バイオマスの増加を目指す研究も企業と協力し合いながら進めている。

PSII-LHCII-LHCSR3

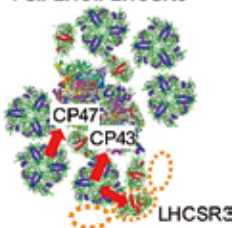


図 1. LHCSR3 によるエネルギー放散  
光化学系IIにLHCSR3と呼ばれるタンパク質が結合すると、アンテナからCP43へのエネルギー移動が抑制され、吸収された光エネルギーは放散される。これは、過剰なエネルギーが反応中心に流れるのを防いでいる。黄色の点線の輪は、LHCSR3が結合すると予想される部位。

## サンゴ礁を支える褐虫藻の光合成

熱帯や亜熱帯の沿岸に広がるサンゴ礁には、生物多様性に富んだ生態系が築かれている。この生態系の主な生産者は、サンゴに共生する褐虫藻である。そのため、褐虫藻の光合成で生み出されるエネルギー (糖) は、サンゴ礁に生息する生物全体の生活を支えている。近年、海水温の上昇によるサンゴの白化が世界規模で頻繁に起こっており、それによるサン

ゴ礁の減少が懸念されている。その原因の一つは、高温ストレスによる褐虫藻の光阻害である。光阻害の高温感受性は褐虫藻種 (タイプ) により異なるため、どの褐虫藻種を共生させるかにより、サンゴの白化感受性は変化する。しかし、サンゴと褐虫藻の共生には種特異性があり、それぞれのサンゴ種はある特定の褐虫藻種としか共生関係を結ぶことができない。そのため、サンゴが新たな褐虫藻種を環境から取り込み、環境変化に適応することは容易ではない。本研究部門では、(1) 単離培養された褐虫藻やイソギンチャク (サンゴと同様に褐虫藻を共生させる) をモデルに、高温ストレスによる白化機構やその感受性機構の解明 (文献 5)、(2) 種特異性機構の解明 (図 2: 文献 2)、(3) 褐虫藻の形質転換法の確立 (文献 1) を進めている。モデル生物の光合成研究で蓄積された知見や技術を応用することで、この分野の発展に貢献する。

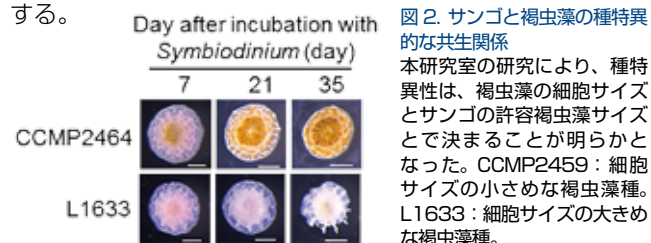


図 2. サンゴと褐虫藻の種特異的な共生関係  
本研究室の研究により、種特異性は、褐虫藻の細胞サイズとサンゴの許容褐虫藻サイズとで決まることが明らかとなった。CCMP2459: 細胞サイズの小さな褐虫藻種。L1633: 細胞サイズの大きな褐虫藻種。

## 参考文献

- Ishii, Y., Maruyama, S., Fujimura-Kamada, K., Kutsuna, N., Takahashi, S., Kawata, M., Minagawa, J. (2018). Isolation of uracil auxotroph mutants of coral symbiont alga for symbiosis studies. *Scientific Reports* 8:3237.
- Biquand, E., Okubo, N., Aihara, Y., Rolland, V., Hayward, D., Hatta, M., Minagawa, J., Maruyama, T., Takahashi, S. (2017). Acceptable symbiont cell size differs among cnidarian species and may limit symbiont diversity. *ISME J.* 11:1702-1712.
- Kim, E., Akimoto, E., Tokutsu, R., Yokono, M., Minagawa, J. (2017). Fluorescence lifetime analyses reveal how the high light-responsive protein LHCSR3 transforms PSII light-harvesting complexes into an energy-dissipative state. *J. Biol. Chem.* 292:18951-18960.
- Petroutsos, D., Tokutsu, R., Maruyama, S., Flori, S., Greiner, A., Magneschi, L., Cusant, L., Kotke, T., Mittag, M., Hegemann, P., Minagawa, J., Finazzi, G. (2016). A blue-light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis. *Nature* 537:563-566.
- Aihara, Y., Takahashi, S., 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.
- Tokutsu, R., 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.

教授  
皆川 純



准教授  
高橋 俊一



助教  
得津 隆太郎

