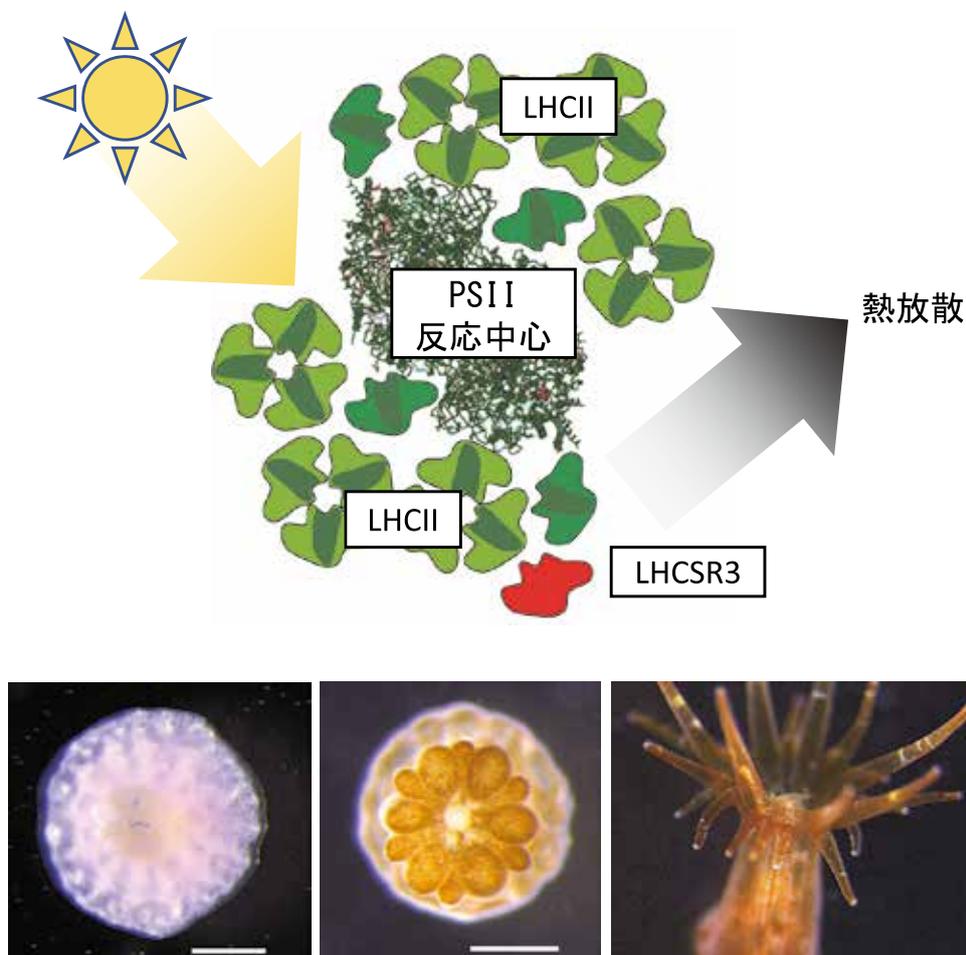


植物が光を集める仕組みを探る

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。



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

特別訪問研究員

(名古屋大学特任助教)

Eunchul Kim

博士研究員

鎌田 このみ

佐藤 諒一

石井 麻子

総合研究大学院大学

大学院生

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

横山 美智子

事務支援員

外山 麻実

飯田 薫

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。

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機構“q E クエンチング”に注目し、その分子機構の解明を進めている。私たちは、(1) q E クエンチングは、光化学系 II 超複合体に結合した 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（図1；文献2、5）、(3) q E クエンチングは光化学系 II 超複合体のアンテナから CP43 へのエネルギー移動を抑制すること（文献4）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、q E クエンチング活性化機構の全容が見えてきた。さらに、これらの最新の技術や知見の応用を見据え、屋外環境での藻類バイオマスの増加を目指す研究なども企業と協力し合いながら進めている。

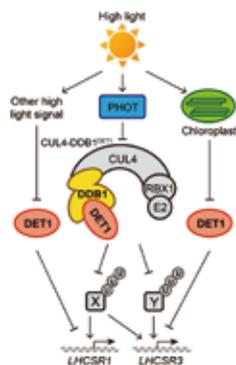


図1. フォトトロピンを介した LHCSR タンパク質の発現調節
強光があたると、そのうちの青色光成分はフォトトロピン (PHOT) を刺激し、そのシグナルによって CUL4-DDB1-DET1 複合体は分解される。その結果、転写因子のコピキチン化は解除され、転写因子は活性化されて LHCSR3 や LHCSR1 遺伝子は転写され、光合成にブレーキがかかる。

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。褐虫藻には遺伝的に異なるいくつもの種（タイプ）が存在し、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、(2) 種特異性機構の解明（文献3）、(3) 褐虫藻の獲得機構の解明（文献1）、(3) 褐虫藻の形質転換法の確立を進めている。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. サンゴの緑色蛍光
本研究室の研究により、サンゴの緑色蛍光が海水中を遊泳する褐虫藻の誘引に働くことが明らかとなった。サンゴの緑色蛍光が共生成立の重要な働きをしていると考えられる。

参考文献

- Aihara Y, Maruyama S, Baird AH, Iguchi A, Takahashi S, Minagawa J (2019). Green fluorescence from cnidarian hosts attracts symbiotic algae. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 116: 2118-2123.
- Aihara Y, Kamada-Fujimura K, Yamasaki T, Minagawa J (2019). Algal photoprotection is regulated by the E3 ligase CUL4-DDB1(DET1). *Nat. Plants*, 5: 34-40.
- 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.
- 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

