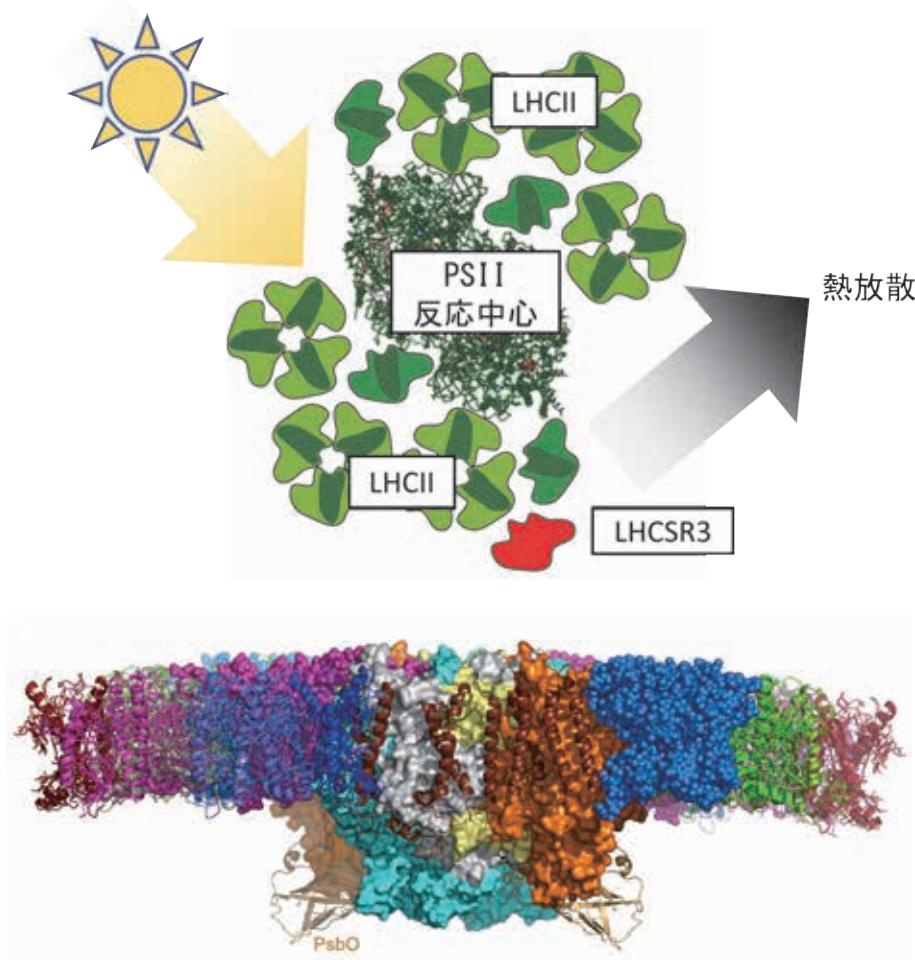


植物が光を集め仕組みを探る

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、ライブイメージングなどを駆使し、光合成に必要な光が効率よく集められるしくみや、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。



Members

教授
皆川 純

助教
Kim Eunchul

特任助教
横野 牧生

技術課技術職員
野田 千代

博士研究員
鎌田 このみ
石井 麻子

特別訪問研究員
Marcel Dann
(ミュンヘン・ルートヴィヒ・マクシミリアン大学)

総合研究大学院大学
大学院生
谷中 綾子

技術支援員
米沢 晴美
門脇 たまか

事務支援員
外山 麻実

【上】過剰に吸収された光エネルギーを安全に消去する NPQ 機構：クラミドモナスの光化学系 II (PSII) に LHCSPR3 が結合すると、集光アンテナ (LHCII) に吸収された光エネルギーは PSII 反応中心に移動する前に熱として放散される。このしくみは NPQ (non-photochemical quenching) と呼ばれ、高効率で光を集める光合成装置を強光環境で保護するために役立っている。

【下】原子レベルで解明された PSII-LHCII 超複合体の構造：光化学系 II は、電荷分離を起こす反応中心を光のアンテナである LHCII が取り囲んだ構造を取っている。その全体構造がクライオ電顕技術により明らかになった（図はチラコイド膜水平方向からのもの）

光合成装置の環境適応

植物や藻類は置かれた環境に応じて光合成装置を変化させ常に最適化された光合成を行っている。その最も顕著な変化は、光を集める“アンテナ”であるLHC (light-harvesting complex) に現れる。本研究部門では、特にLHCに注目し、その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を中心に、さまざまな微細藻類や植物を用い、その光合成装置の先進的な解析を生化学解析、物理学解析、遺伝学解析などを組み合わせて行っている。

最近は特に、光合成にとって過剰分の光エネルギーを安全に消去する熱放散機構NPQ (non-photochemical quenching) に注目し、その分子機構の解明を進めている。

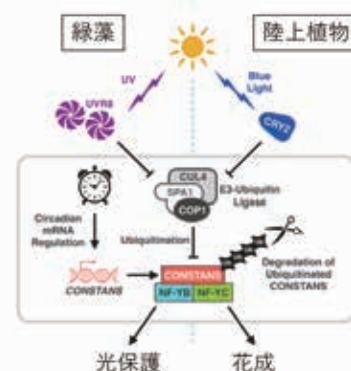


図1. 緑藻光保護(LHCSR)誘導のためのシグナル伝達系の一部
変異株の解析により光シグナルから光保護遺伝子発現までの道筋が明らかになりつつある。ユビキチンリガーゼ COP1 や時計因子 CONSTANS による制御システムの中核は、植物の陸上化に伴い花成に用流されたらしいことがわかつた。

私たちは、(1) NPQは、光化学系II超複合体に結合したLHCSRタンパク質が重要であること、(2) LHCSRタンパク質の発現が青色光受容体や紫外線受容体に起因する細胞内シグナル伝達によって起きることなどを明らかにしてきた。

また、クライオ電子顕微鏡を利用した光化学系II超複合体の構造解析を足がかりとして、原子レベルで、あるいは膜レベルで光合成装置の環境構造変化を明らかにしようとしている。

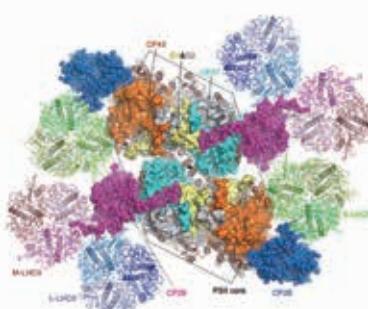


図2. 光化学系II超複合体の立体構造

緑藻クラミドモナスからPSII-LHCII超複合体を精製し、クライオ電子顕微鏡画像取得およびコンピュータによる単粒子解析により立体構造を解明した(解像度3.4Å)。超複合体は光化学系II二量体(通称Core粒子、C₂)の両側に三量体集光装置S-LHCII、M-LHCII、L-LHCIIがそれぞれ1つずつ結合している分子量166万のC₂S₂M₂L₂構造を取っており多くの微細構造が明らかとなった。C₂S₂M₂L₂構造には370分子という多数のクロロフィルが結合し集光のために働いているが、それらの位置や配向が決定されたことで光エネルギーの伝達経路や伝達効率の解析が可能となった。

教授
皆川 純

助教
Kim Eunchul

特任助教
横野 牧生



参考文献

1. Kim, E., Watanabe, A., Duffy, C. D. P., Ruban, A. V., Minagawa, J. (2020). Multimeric and monomeric photosystem II supercomplexes represent structural adaptations to low- and high-light conditions. *J Biol Chem* 295, 14537-14545.
2. Sheng, X., Watanabe, A., Li, A., Kim, E., Song, C., Murata, K., Song, D., Minagawa, J., and Liu, Z. (2019). Structural insight into light harvesting for photosystem II in green algae. *Nat Plants* 5, 1320-1330.
3. Tokutsu, R., Fujimura-Kamada, K., Matsuo, T., Yamasaki, T., and Minagawa, J. (2019). The CONSTANS flowering complex controls the protective response of photosynthesis in the green alga *Chlamydomonas*. *Nat Commun* 10, 4099.
4. Aihara, Y., Fujimura-Kamada, K., Yamasaki, T., and Minagawa, J. (2019). Algal photoprotection is regulated by the E3 ligase CUL4-DDB1^{DET1}. *Nat Plants* 5, 34-40.
5. Kosuge, K., Tokutsu, R., Kim, E., Akimoto, S., Yokono, M., Ueno, Y., and Minagawa, J. (2018). LHCSR1-dependent fluorescence quenching is mediated by excitation energy transfer from LHCII to photosystem I in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 115, 3722-3727.
6. Petroutsos, D., Tokutsu, R., Maruyama, S., Flori, S., Greiner, A., Magneschi, L., Cusant, L., Kottke, T., Mittag, M., Hegemann, P., Finazzi, G., Minagawa, J. (2016). A blue light photoreceptor mediates the feedback regulation of photosynthesis. *Nature* 537, 563-566.
7. Nagy, G., Ünnep, R., Zsiros, O., Tokutsu, R., Takizawa, K., Porcar, L., Moyet, L., Petroutsos, 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.
8. Iwai, M., Takizawa, K., Tokutsu, R., Okamuro, A., Takahashi, Y., Minagawa, J. (2010). Isolation of the elusive supercomplex driving cyclic electron transfer in photosynthesis. *Nature* 464, 1210-1213.
9. 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.
10. 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 U S A* 107, 2337-2342.

