



## 光合成システムの環境応答

基礎生物学研究所 キム ウンチュル

私は大学院時代に太陽電池や光触媒などの光エネルギー転換システムにおけるエネルギーおよび電子伝達のダイナミクスを勉強し、現在は植物の光合成を研究しています。特に、植物の光合成システムが変動する光環境に応じて効率的かつ安全に光合成を行うための環境応答メカニズムに興味を持って研究を行っています。

自然界の多くの環境因子は変動しますが、特に光の変動は顕著です。日差しが強い時、人々は帽子やサングラスを着用したり、影に求めたりすることで快適な環境を作り出します。一方、帽子もサングラスもなく動けない植物は、光環境に応じて光合成システムを調節する環境適応を行います。

光環境の変化は、葉緑体内のルーメンの酸性度や、光化学系2から光化学系1まで電子を運ぶプラストキノンやチオレドキシンなどの電子伝達体の酸化還元状態に直接的に影響を与えます。これにより、タンパク質のプロトン化やリン酸化などを誘導し、光合成タンパク質（チラコイド膜の色相結合タンパク質）の構造やタンパク質間の相互作用に変化をもたらします（図1）。このような変化は、クロロフィルやカロテノイドなどの色素の相互作用も変化させ、最終的に集光システムの性質が調節されると考えられます。短期的には過剰な光による

光阻害を避けるために励起エネルギーを非光化学消光 (Non-Photochemical Quenching, NPQ) という形で放出し、長期的にはアンテナの量を調節する環境順応を行います。また、光の質や量の変化により光化学系1と2の励起バランスが崩れる場合、光化学系のアンテナを再分配する状態遷移というメカニズムを利用してバランスを調節していると知られています。

私が特に関心を持って研究を行っているのは、タンパク質間相互作用による集光・光防御特性の調節メカニズムです。Rubanらの研究では、集光タンパク質 (Light-harvesting complex II, LHCII) が相互作用することにより、LHCII内のクロロフィルがNPQできる状態を作る分子メカニズムが明らかにされました[1]。この研究は、タンパク質間相互作用が色素間の相互作用を調節し、最終的に集光特性を調節するメカニズムを示しています。

最近では、構造解析研究の進歩により、様々な複合体に結合しているLHCIIの構造を比較分析することが可能になり、LHCIIと相互作用するタンパク質によってクロロフィルの配置がわずかに変わることが示されました[2]。また、最近の研究では、光化学系2が複数結合してメガ複合体を形成することで、吸収したエネルギーを光化学反応が起きる反応中心まで伝達する集光効率がおよそ2倍に向上することが明らかになりました[3]。現在、このようなタンパク質間相互作用を調節する因子を明らかにするための研究を進めています。

**将来の展望：**自然の光合成システムを理解することで、より効率的で柔軟な人工光合成システムの設計が可能になると期待されます。特に、自然の光合成システムが環境に応じてどのように調節されるかを研究することは、将来的に人工光合成システムが環境に応じて調節されるように開発する上で重要な示唆を与えると期待しています。



図1 光化学系2の集光システムにおける環境応答

[1] Ruban et al., *Nature* **2007**, 450, 7169

[2] Kim et al., *J. Phys. Chem. B* **2022**, 126, 31

[3] Kim et al., *J. Biol. Chem.* **2020**, 295, 43