

光合成反応の最適化の仕組み

生命システム科学コース 環境応答統御科学分野
岩井 優和 ・ 皆川 純

植物によって光合成反応が行われる際、集められた光エネルギーは直列に並ぶ2つの光化学系（光化学系2 / 光化学系1）において、化学エネルギーへと変換されます。この一連の反応を効率よく行うためには、2つの光化学系がバランス良く駆動される必要があります。このバランスが崩れると、活性酸素が発生するなど植物に深刻なストレスがかかってしまうからです。自然の中では、植物が受ける光は刻一刻とスペクトルや大きさが変化しています。つまり植物はこのアンバランスの危険に常にさらされていることになります。

もちろんこのアンバランスな状態を克服する術を植物は発達させてきました。アンバランスな状態が長期にわたる場合、遺伝子の発現が調節され、光化学系1と2それぞれの存在量が最適化されます。しかし、これには早くても数時間かかるため、天候が急変した場合などには間に合いません。そんなときはどうするのか？ 実は光化学系の存在量そのものは変えず、瞬時に2つの光化学系が光を集める能力（集光アンテナ機能）のみを最適化する別の仕組みがあります。この仕組みは状態遷移（state transition）と呼ばれ、古くから知られてきました。しかし、集光アンテナの機能が調節されているらしいことはわかっていますが、分子レベルでの理解は進んでいませんでした。果たして、LHC と呼ばれる色素結合タンパク質そのものが移動するのか？ 移動するならば数十あるうちのどの LHC 分子が移動するのか？（図1）

私たちは、状態遷移の能力が特に発達している単細胞の緑藻（クラミドモナス）を研究材料に用いて、状態遷移の実体を捕まえようとしています。光化学系2を励起しすぎると、光化学系2の集光能力は次第に小さくなり、逆に光化学系1の集光能力が大きくなります（状態2）。最近、その集光能力が大きくなった光化学系1を丸ごと単離することに成功しました。その中には、光化学系1の集光アンテナを構成する LHCI 分子のほかに、光化学系2の集光アンテナを構成する3つの LHCII 分子が含まれていました。さらに詳細に解析したところ、予想外のことがわかりました。それらは、これまで光化学系2固有の成分であると考えられていた単量体 LHCII 分子（CP26/CP29/LhcbM5）だったのです。私たちはこれらの結果をもとに、以下のような新しいモデルを提唱しています。

状態1の光化学系2では、単量体 LHCII を介して三量体 LHCII が反応中心に結合し、集光アンテナを構成しています。光化学系2が過剰に励起されると、三量体 LHCII は単量体 LHCII ごと瞬時に光化学系2からはずれるため、光化学系2の集光アンテナは小さくなります。はずれた LHCII 分子は光化学系1と再結合することにより、今度は光化学系1のアンテナとして働きます。こうして状態遷移が完成し、再び2つの光化学系のバランスが保たれるのです（図2）

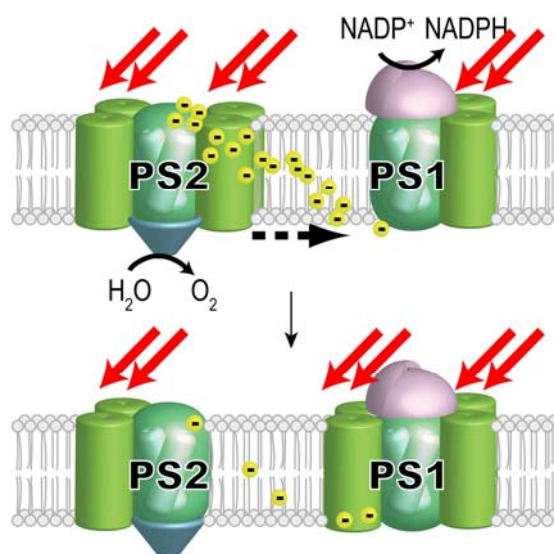
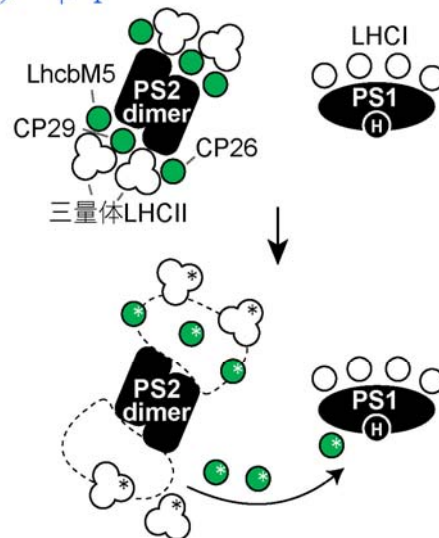


図1. ステート遷移による2つの光化学系の最適化。光化学系2（PS2）が過剰に励起されると、2つの光化学系間に還元力（電子）が溜まるが、2つの光化学系の集光能力を調節する（破線矢印）ことにより解消される。

ステート1



ステート2



図2. ステート遷移の分子モデル（膜面の鉛直方向からの図）。緑色で示した単量体 LHCII 分子は2つの光化学系間でシャトル移動を行い、それぞれにおいて集光アンテナの本体である三量体 LHCII の結合部位となる。

Takahashi, H.*, Iwai, M.*, Takahashi, Y., Minagawa, J. (2006)

Identification of the mobile light-harvesting complex II polypeptides for state transitions in *Chlamydomonas reinhardtii*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 103: 477-482 (*equally contributed)