



● 光合成反応の最適化と応用

公募 A 班 韮 達也

太陽光は希薄であり、それを有効に活用するためには集光装置を工夫する必要がある。太陽電池は積層できないため二次元的に広い面積が必要になっているが、植物が行う光合成は葉の付け方のようなマクロから集光分子の配置のようにミクロな環境まで変化させることにより、量子収率の高いエネルギー変換を実現している。私はこの後者のメカニズムを明らかにすることにより、生体反応を用いた高効率のエネルギー変換系基盤技術の創生を目指している。また、天然の光合成はこのような高い集光能を実現しているが、過剰な光は活性酸素種をもたらすことから、実際の応用では集光ばかりでなく過剰な光を逃す機構の検討も必要となる。エネルギー移動を制することが応用可能な光合成反応最適化の一つのルートと言えるかもしれない。

天然の光合成でエネルギー変換を行う酸素発生型光合成色素にはクロロフィル、カロテノイド、フィコビルンがある。これらはタンパク質に結合することにより少しずつ吸収帯をシフトし、高効率なエネルギー移動を実現している。この中でエネルギー変換の“鍵”となる色素はクロロフィルである。クロロフィルは集光、エネルギー移動、電荷分離、電子伝達成分として多くの機能を担っている。とりわけ、水を電子供与体として用いるには電荷分離を担うクロロフィルの酸化還元電位が水のそれよりも高くなる必要がある。これはクロロフィル分子周囲のタンパク質環境が鍵となっている。クロロフィルは可視光の青色と赤色に吸収帯があるが、主として反応に関与しているのは可視光の中でも低エネルギー側に位置する赤色の領域である。酸素発生型光合成生物に普遍的に存在するクロロフィルはクロロフィル *a* と呼ばれる分子であり、クロロフィル *a* をもたない酸素発生型光合成生物は見つかっていない。緑色植物や褐藻等がもつクロロフィル *b* と *c* は吸収帯がクロロフィル *a* より高エネルギー側にあることから集光性色素として機能している。これまで最も低エネルギーに吸収帯を位置する酸素発生型光合成色素はクロロフィル *a* であった。しかし、20 年くらい前にクロロフィル *a* よりも低エネルギー側に吸収帯を位置するクロロフィル *d* をもつ生物が、さらに近年それよりも低エネルギー側に吸収帯を位置するクロロフィル *f* をもつ生物（どちらもシアノバクテリア）が見つかった。全ての酸素発生型光合成生物はクロロフィル *a* を必ずもっていることから、これらの新しく見つかった色素はクロロフィル *a* にむかってエネルギー的に不利なアップヒルにエネルギー移動する必要があり、反応として物理的に興味深い。これ

らの新規クロロフィルのエネルギー移動機構を明らかにすることにより、効率的なエネルギー移動原理が明らかになると期待される。また、これまで見過ごされてきたクロロフィル *a* よりも低エネルギー側の光を用いることにより、エネルギー変換効率の増加が期待できる。我々はこれまでにこれらの色素複合体について分光解析を行いその諸性質を報告してきたが¹⁻³⁾、まだ完全理解にはつながっていない。クロロフィル *f* は 700 nm 以上の培養光を使用時に光化学系複合体に少しずつ蓄積されてくる。現在、その蓄積過程のエネルギー移動について分光解析を行ったので近く発表予定である。今後の解析には吸収帯を明瞭に帰属できる赤外分光法や時間分解分光法などの手法が必要になってくる。本領域のこれら測定の実験家と共同研究ができるよう進めていきたい。

また、最終的には、色素が埋まっているタンパク質環境全体との機能・構造・相関が必要になることは自明なので、タンパク質構造を高分解能で解き明かす必要性がある。本新学術研究の間に三次元結晶化あるいはクライオ電子顕微鏡で構造解析に進めるように実験を進めている。本領域の先生からアドバイスをいただければ幸いです。

話は少し変わりますが、上記とは別に生体分子と伝導性の高い化学物質を組合わせた人工光合成による還元力の創生も進めている。もちろん、こちらでもクロロフィル *d* やクロロフィル *f* を用いることを視野に入れている。天然の光合成では光化学系複合体が生体膜中に埋もれているため実験的に扱いづらいが、本研究は水溶液中で行える利点がある。現在は単層カーボンナノチューブやグラフェンを用いて実験を進めている。C 班の方々と共同研究を進めていくことを計画している。

現在までにカーボンナノチューブを用いて電子をとりだしているが⁴⁾、得られている電流値は小さい。天然の光合成研究者は高い量子収率をアピールしがちであるが、真に実用可能なためには高電流のアウトプットが必要となってくるので、人工光合成の研究者の皆様から良い示唆をいただければと考えています。よろしくお祈りします。

- 1) *Photosynth. Res.* (2018) in press; 125, 115-122 (2015); 125, 105-114 (2014)
- 2) *Biochim. Biophys. Acta* (2014) 1837, 1484-1489
- 3) *PNAS* 108, 8054-8058 (2011); 107, 3924-3029 (2010)他
- 4) *Photosynth. Res.* 133, 155-162 (2017); *JJAP* 56, 107001 (2017)

新学術領域「革新的光物質変換」ニュースレター
 第 1 巻・第 10 号（通算第 10 号）平成 30 年 10 月 1 日発行
 発行責任者：沈 建仁（岡山大学 異分野基礎科学研究所）
 編集責任者：八木政行（新潟大学 自然科学系）
<http://photoenergy-conv.net/>