



# News letter



## 班員から

### 人工光捕集系の意義とは？

A01班 高木 慎介

ご存じのように植物の光合成反応は多くの構成要素から成り立っている（図1）。光反応中心電子伝達系や、水の酸化触媒、カルビン回路など、それら全てが重要な要素であるが、それら一連の反応の駆動源である光吸収を担っているのが光捕集系である。シアノバクテリアの光化学系Iでは、96個のクロロフィルのうち、実に90個が光捕集系に用いられており、このことも光捕集系の重要さを示唆している<sup>1</sup>。

このように、光捕集系は重要そうではあるが、特に人工系においては、その重要さを深く突き詰めた考察はあまり見かけない。例えば、天然の光合成系や人工光合成系において、光反応中心だけでは機能し得ないのだろうか？光反応中心がクロロフィルを含んでいるならば、光反応中心自体が光を吸収し、かつ、電荷分離も行えれば良いのではないだろうか？光捕集系自体は物質変換を行うことは出来ず、ともすると、実は光捕集系はさして重要ではないようにも感じられる。光捕集系の存在意義とは何なのだろうか？

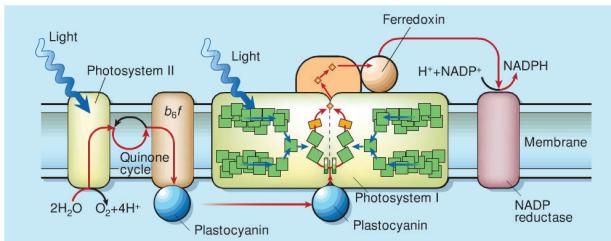


図1 光合成細菌におけるエネルギーの流れ（青線）と電子の流れ（赤線） Reprinted with permission from ref. 1 (Copyright 2001, Nature Publishing Group).

天然系における光捕集系の存在意義は完全には解明されていないと思われるが、i) エネルギー移動によって、エネルギー密度が希薄な太陽光( $\sim 1.4 \text{ kW m}^{-2}$ )を光物質変換系（光反応中心）に集める（励起頻度とタイミングの調節）、ii) より広い波長範囲での太陽光の利用を可能とする、iii) 高コストな光物質変換系を少量で機能するようにする、iv) 反応システムの光損傷を防ぐ、などの機能が重要であろう。以下、これらのことについてもう少し詳細に記す。

i) 多電子物質変換を行う際には、触媒の酸化/還元状態の安定性、酸化還元速度のバランスの観点から、適切なタイミングで触媒系との電子授受を行う必要があるはずである。光捕集系は励起頻度を上げることで多電子変換を可能としていると考えられ、このことは井上らにより、光子束密度条件として提案されている<sup>2</sup>。Zスキームにおいては、二光子を利用する際のタイミングの整合が重要なはずであり、光捕集系がそのタイミング調整の一翼を担っていると考えられる。ii) 光捕集系では複数種の色素を用いることで太陽光の利用効率を上げていると考えられる。iii) また、光

文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究  
領域略称「人工光合成」領域番号 2406  
人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換：  
実用化に向けての異分野融合

反応中心の特定の色素のみに選択的にエネルギー移動することにより、自然界において製造コストが高いであろう光反応中心に全ての機能を任せず、製造コストの安い光捕集部位として分業を担っているとも考えられ、貴重な触媒を有効に活用するという側面もあるであろう。iv) 過剰なエネルギーを散逸させるという機能を果たすために、天然系では光の強度に応じて、光捕集系の数の増減を行っている。光捕集系は必要以上の光エネルギーを熱エネルギーに変換し、光環境の変化に柔軟に対応する能力をもっている。

これら天然の光捕集系における機能、特徴を踏まえて人工的に光捕集系を構築する意義について考えてみたい。仮に、光物質変換系が太陽光の全域を効率よく吸収し、それ自身で反応速度が最適化された多電子変換を行い、かつ、低コストに生産でき、光耐久性が高ければ、人工光合成系において光捕集系は必要ないかも知れない。しかし、通常の光物質変換系では、これらの要件を全て満たすことは困難であると思われ、特に、分子系光触媒においては、人工光捕集系はやはり必須なものであると考えられる。個人的に、人工光合成が太陽光発電に伍するためには、特定生成物を与えることができる分子系光触媒は必須だと考える。

目の前の課題としては、光吸収能の低い光触媒を増感するのはもちろんのこと、多電子変換に有利となるよう励起頻度を上げること、太陽光全域の有効利用が考えられる。具体像を考えると、その際には、光物質変換系との空間的、エネルギー的、時間的なマッチングが重要であることが明らかである。実はこのことは人工光捕集系の利用がそれほど簡単では無いことを意味している。ナノ構造制御化学の展開も必要となってくる。しかし、さらに重要な人工光捕集系の機能は、さらに進んだ物質変換系において本領を発揮するはずである。多電子変換を伴う複雑な物質変換系や、Zスキームを模倣したシステム、光損傷を考慮に入れたシステムなど、高度なシステムになるほど、光捕集系の仕組みが必要となってくる。すなわち、現在開発されつつある物質変換系との相乗効果のある連結を目指すとともに、将来るべき物質変換系との接合を視野に入れた光捕集系の開発が必要であろう。例えば、環境によって集合構造を変化させ、励起頻度を調整できるような人工光捕集系などである。現状では、人工光捕集系と光物質変換系を組み合わせた研究例はわずかであるが、そのような研究から見出される知見が、より深い光捕集系の存在意義を明らかにしていくものと考えられる。すなわち、分子系光触媒研究の発展が人工光捕集系研究の進展を生むとも言え、多数の優れた分子系光触媒の開発を期待したい。

なお、執筆者は光生物分野に精通しているわけではなく、是非、光生物分野の方からの忌憚の無い叱責、ご助言をお願い致します。

- 文献 1) Kühlbrandt, W. (2001) *Nature* 411, 896-899.  
2) Inoue, H. et al. (2011) *ChemSusChem.* 4, 173-9.

### 新学術領域「人工光合成」ニュースレター

第2巻・第6号（通算第18号）平成26年9月1日発行

発行責任者：井上晴夫（首都大学東京 都市環境科学研究所）

編集責任者：八木政行（新潟大学 自然科学系）

<http://artificial-photosynthesis.net/>