



## ● 天然光合成系におけるエネルギーフローに関する実験・理論解析

B 班代表, B01 班研究代表者 橋本 秀樹

井上晴夫先生を代表とする新学術領域研究「人工光合成」が多くの実りある成果を上げて平成 28 年度で終了しました。幸いな事に、沈先生を代表として課題提案した、新たな新学術領域研究「革新的物質変換」が採択され、気分一新、人工光合成に関するネクストステージへの挑戦が許される事となりました。

沈先生の執筆された本新学術領域研究のニュースレター第 1 巻第 1 号の巻頭言に記載されているとおり、本新学術領域研究には、2つの大きな柱があります。「天然光合成の機構解明 (A 班)」と「人工光合成系の開発 (C 班)」です。私が代表を務める B 班は、この2つの柱を実質的につなぐため、最先端の理論研究や測定技術を導入した計画班として設置されています。天然および人工の両方の“光合成”研究に精通する第一線で活躍している理論・実験研究者を計画班員として配置し、さらに公募研究班員を迎えることで、本新学術領域研究の発展に貢献する使命を担っています。

前新学術領域の終了間際に、井上代表から究極の命題を頂戴しました。それは、“光子束密度制限”の問題です[1]。太陽光の輻射総量は莫大であり、地球上に降り注ぐ太陽光エネルギーの 1 時間分が、人類が 1 年間に消費する総エネルギー量に匹敵すると試算されています。しかしながら、特定の波長領域に絞って、単位時間・単位面積あたりに飛来する太陽光フォトンの数を試算すると、1 発色団 (クロモフォア分子) が光励起された後に、次のフォトンが同じ発色団を光励起するためには約 0.6 秒の時間を待たねばなりません。PSII 反応中心における水の分解反応に目を向けると、分子状酸素を発生するためには、4 電子の移動が必要となります。1 光子 1 電子の原則に従うと、4 電子の移動を実現するためには 2.4 秒もの時間が必要になります。これを“光子束密度制限”と定義します。天然の光合成は、この問題を解決するために、光捕集アンテナ系を配備し、酸素発生中心となる Mn<sub>4</sub>CaO<sub>5</sub> クラスタから、必要な時にすぐさま電子引き抜くように設計されていると考えられます。つまり、光子束密度制限の問題を克服している訳です。この分子機構を実験的に証明できないか? と言うのが井上代表の私に提案された究極命題なのです。快くお引き受けしたものの、実際に真剣に勉強して考えて見ると、それほど簡単な課題では無いことに気がつきました。何故なら、私たちは太陽光のことについて余りにも無知だと言う事実気がついたからです。

光合成系は複雑な量子多体系です。しかしながら、

その初期過程に関与する電子励起状態や電子励起状態に結合した振動量子状態に関する緻密な研究が成されており、エネルギーフローや固有振動 (コヒーレントフォノン) の制御がなされるに至っています[2,3]。すなわち、光合成初期過程は、複雑ではあるが、その基本動作機構の解明により開花される成果の応用・実用研究への発展が極めて有望視されている、魅力的な研究対象です。しかしながら、コヒーレント光であるレーザー光を用いた研究では、実際の太陽光により誘起される光合成反応の核心にせまる際の矛盾が指摘され始めています。レーザー光は量子力学が生み出した顕著な果実の 1 つであり、現代光科学技術の基礎を支えています。しかしながら、レーザー光自身は古典電磁気学の電磁波で記述される極めて古典的な光であることに注意する必要があります。一方、太陽光に代表される古典光に関する最近の研究により[4-7]、初めて太陽光フォトンの光子相関が測定され、太陽光はバンチングした光であること、量子光学にもとづく 2 次の光子相関時間は数フェムト秒であることが明らかになっています。すなわち太陽光は、数フェムト秒程度の部分コヒーレンスを保持したインコヒーレント光 (これをサーマル光と定義する) と見なせます。B01 班の研究では、新規サーマル光源の開発を行い、これを用いた光合成タンパク質内、タンパク質分子配列間のエネルギー移動に関する研究を行うことを計画しています。サーマル光を用いた新規量子科学分光計測と解析手法を開発・適用することにより、人工光合成を実現するための必須アイテムである超高効率光エネルギー変換機構の解明を行う予定です。その成果を半導体光触媒・分子系光触媒研究に活用することにより実用デバイスの開発を加速したいと考えています。井上先生から頂戴した究極の課題である、光子束密度制限の問題の解明に繋がりたいと強く願っています。

- [1] H. Inoue, *et al.*, *ChemSusChem* **4** (2011) 173-179.
- [2] H. Hashimoto, *et al.*, *J. Photochem. Photobiol. C: Photochemistry Reviews*, **25** (2015) 46-70.
- [3] H. Hashimoto, *et al.*, *Biochim. Biophys. Acta - Bioenergetics*, **1847** (2015) 69-78.
- [4] P. K. Tan, *et al.*, *Astrophys. J. Lett.* **789** (2014) L10.
- [5] F. Boitier, *et al.*, *Nature Phys.* **5** (2009) 267.
- [6] T. Kazimierczuk, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **115** (2015) 027401.
- [7] M. Strauss, *et al.*, *Phys. Rev. B* **93**, (2016) 241306(R).

新学術領域「革新的光物質変換」ニュースレター  
 第 1 巻・第 4 号 (通算第 4 号) 平成 30 年 4 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/>