



太陽光フォトン・・・って何？

関西学院大学 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、沈先生を代表とした、新たな新学術領域研究「革新的物質変換」が採択され、人工光合成に関する新たな挑戦が許される事となりました。この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つの柱を繋ぐため、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。

前新学術領域の終了間際に、井上先生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分解反応に目を向けると、1分子の水を完全分解するためには、4電子還元が必要となり、1光子1電子の原則に従うと、これ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、水分解の中心となる Mn_4CaO_5 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。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。真剣に考えて見ると、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。その初期過程に関与する電子励起状態やそれ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]。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、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す。一方、太陽光のような古典光に関する最近の研究により[4-7]、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。したがって、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ことができるかも知れません。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. Kazimierzuk, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **115** (2015) 027401.
- [7] M. Strauss, *et al.*, *Phys. Rev. B* **93**, (2016) 241306(R).