



## 光合成にとって太陽光とレーザー光は同じか？

関西学院大学 橋本 秀樹  
大阪市立大学 藤原 正澄

生命が 38 億年の歳月をかけて育んだ光合成アンテナは、輻射総量は莫大であるが、輻射密度が希薄な太陽光フォトンを手早く受け止め、100% 近い効率で有効利用できる自然が創造した英知の宝庫である。光合成初期過程には、フェムト秒からピコ秒という超短時間で生じる電子・分子振動コヒーレンスやエネルギー移動・失活といった物理現象が巧みに制御され、反応中心の電荷分離から水の酸化につながっている。もっとも理解の進んでいる紅色細菌の光合成アンテナでは、バクテリオクロフィルとカロテノイドの色素分子群が、自己組織化によりリング状の周辺アンテナ LH2 とコアアンテナ LH1-RC (RC:反応中心) を形成し、光合成膜中で最密充填的に 2 次元配列する。アンテナ系の動作機構の解明のために、超短パルスレーザーによるコヒーレント分光などの先端的レーザー分光計測法が開発されており、その初期過程に関する緻密な研究が展開されている。筆者らもこれまで、超高速コヒーレント分光を用いて、光合成色素の励起状態ダイナミクス・エネルギー移動のメカニズムや、LH1-RC において、バクテリオクロフィルからカロテノイドへの励起一重項間逆エネルギー移動を明らかにしてきた[1]。また、光合成アンテナを用いた人工光合成アンテナの構築により、カロテノイドからのエネルギー伝達効率を 27%から 65%へと飛躍的に向上させ、結合するカロテノイド分子の局所構造及び非線形光学特性を決定している[2]。

しかしながら、日々実験にいそしむ者の素直な疑問として、人工的で制御された光である超短パルスレーザー光と我々が日常的に感じる自然な光の太陽光は全く一緒なのであるか？実際、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る。光のコヒーレンスには空間性と時間性が存在する。光合成アンテナが存在するクロマトフォアの大きさは、太陽光のコヒーレンス長よりも十分小さいので、レーザーも太陽光も光合成アンテナ系にとっては同じであると考えられる。一方、時間コヒーレンスに関してはその限りではない。量子光学による理解では、レーザー光自身は古典電磁気学の平面波で十分近似される「古典光」であり光子の統計性はポアソン分布を示す。これに対し、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であり、光子統計は黒体放射のプランク分布から導かれるサーマル統計を示す。最近の量子光学分野では、この光子統計の違いがいかに関与するののかに関して興味深い研究が欧州から報告されている[3, 4]。光合成系に対してもレーザー光とサーマル光での光応答の変化に関する研究がカナダから報告されている[5]。

このように太陽光の本質的な姿によく注意した上で、自然が創り出した最高の光合成デバイスであるアンテナ蛋白質を理解する試みも必要であり、現在、我々も取り組んでいる。いずれ、このニュースで成果を報告させていただければと思っている。

[1] D. Kosumi, et al., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 50 (2011) 1097.

[2] N. Yukihiro et al., *Faraday Discuss.*, 198 (2017) 59.

[3] T. Kazimierczuk et al., *Phys. Rev. Lett.* 115 (2015) 027401.

[4] M. Strauss, et al., *Phys. Rev. B* 93 (2017) 241306 (R).

[5] D. Turner et al., *Nature Commun.* 4 (2013) 2298.