



● 光合成過程にコヒーレンスは必要か？

B01班 小澄 大輔

自然界の光合成は、太陽光を利用し生物が利用可能な化学エネルギーを創出している。光合成器官では、多数の色素分子がタンパク質を反応場として駆動し、様々な機能を発現している。その中でも筆者が着目しているのは、光合成初期反応において集光アンテナが光を吸収し伝達する過程である。

2005年にCalifornia大学のFlemingらのグループにより、緑色硫黄細菌FMOに結合するバクテリオクロロフィル間相互作用が、じかに観測されたことが報告された(Brixner *et al.*, *Nature*, 2005)。2007年には同グループから、FMOに結合したバクテリオクロロフィル分子間に誘起される量子力学的干渉効果である電子コヒーレンスの実時間観測(Engel *et al.*, *Nature*, 2007)、紅色光合成細菌反応中心でのタンパク質揺らぎと量子コヒーレンスの関連を解明した論文(Lee *et al.*, *Science*, 2007)が報告された。これらの結果は、光合成を行う生体組織が、量子力学というミクロな物理現象を利用していることを実証したものである。このような結果に誘発され、その後10年間で光合成エネルギー・電子伝達と量子コヒーレンスの関係に着目した研究が数多く行われてきた。色素分子間に誘起される量子コヒーレンスを観測するためには、30フェムト秒以下の非常に短い光パルスが必要になる。また、色素分子が光励起されることにより生じる量子コヒーレンスは、タンパク質をはじめとする周辺環境の揺らぎにより、素早く散逸してしまう。このため初期の研究では、色素タンパク複合体を液体窒素温度以下に冷やして実験が行われていた。低温下では揺らぎの影響が小さいため、誘起された量子コヒーレンスはピコ秒程度(タンパク質中の色素分子間エネルギー伝達速度と同程度)持続するため、高効率なエネルギー伝達との関連が議論されてきた。一方で、様々な技術の向上により、観測が困難であると考えられてきた生体温度での量子コヒーレンスが報告され、その散逸時間はエネルギー伝達時間よりもずっと短い100フェムト秒程度であることが報告されている。また、極超短光パルスにより誘起される量子コヒーレンス信号は、電子状態のみならず振動状態にも由来することがあるため、観測される信号の帰属に関しても問題が残されている。

現在では、色素分子間に誘起される量子コヒーレンスが、単一光合成超分子レベルでも観測されるようになった(Hildner *et al.*, *Science*, 2013)。また、小分子ながら電子コヒーレンスを誘起しやすい物質を創生し、そのコヒーレンス過程の観測が報告されている

(Hayes *et al.*, *Science*, 2013)。光合成系の超高速分光研究の第一人者であるScholesは2011年に出版したレビュー”Lessons from nature about solar light harvesting”(Scholes *et al.*, *Nature Chem.*, 2011)に、これまでの研究のまとめと、人工的なアンテナ系を創出する際の指針を記述している。

光合成における量子コヒーレンスと効率的なエネルギー伝達過程の関係については、その重要性が指摘されているものの(Scholes *et al.*, *Nature*, 2017)、未だ明らかになっていない。しかしながら、光合成生物のような生体系で、量子力学的現象が観測されたことは非常に興味深い事実である。色素分子間に量子コヒーレンスを誘起させるには、強い分子間相互作用が働かなくてはならない。光合成器官の場合、タンパク質という反応場により色素分子が揺らぎを受ける。この揺らぎが大きすぎても小さすぎても色素分子間のエネルギー伝達は効率的に行われぬ(Ishizaki and Fleming, *J. Chem. Phys.*, 2009)。つまり、光合成生物はタンパク質を組み替えることにより、エネルギー伝達を最適化している。これは、時には効率的に光捕集を行うが、時には過剰なエネルギーを外部に散逸させる。量子コヒーレンス過程解明は、このような色素分子と周辺タンパク質との相互作用を解明する手段の一つであると考えられる。

本年度より、研究公募班として光合成アンテナにおける量子コヒーレンス過程解明を行う研究機会をいただきました。皆様のご指導・ご協力のほど、よろしくお願いいたします。

● お知らせ

第32回カロテノイド研究談話会・2018年カロテノイド若手の会

日時：2018年9月14日(金)～9月16日(日)

会場：熊本大学・工学部百周年記念会館

主催：日本カロテノイド研究会

協賛：カロテノイド懇話会 他

・口頭発表

カロテノイド研究談話会 9月15、16日

・ポスター発表

カロテノイド若手の会 9月14日

お問合せ：小澄 大輔(熊本大学)

kosumi@kumamoto-u.ac.jp

新学術領域「革新的光物質変換」ニュースレター

第1巻・第7号(通算第7号)平成30年7月23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/>