

O-11 石崎 章仁

自然科学研究機構分子科学研究所
ishizaki@ims.ac.jp

2008年 京都大学大学院理学研究科化学専攻修了
2008年 カリフォルニア大学バークレー校 学振海外特別研究員
2010年 ローレンス・バークレー国立研究所 博士研究員
2012年 自然科学研究機構分子科学研究所 特任准教授
2016年 自然科学研究機構分子科学研究所 教授



量子散逸系のダイナミクス理論とその光合成初期過程への展開

凝縮相分子系に限らず如何なる量子系も純粋な孤立系とは見なし得ず、常に何らかの外界と接触することで、ときに量子性が破壊され、ときには量子性が頑健に保持される。殊に凝縮相分子系においては量子性の維持と崩壊のバランスが化学ダイナミクスの様態に大きな影響を及ぼし得るため、「多自由度ゆえに生じる動的揺らぎや散逸に曝されながら量子効果はどのような影響を受けるのか」を理解することは量子散逸系研究および分子科学の重要な課題である。

光合成初期過程における電子エネルギー移動や電荷分離過程は、そのような量子ダイナミクス現象の一例である。光合成色素タンパク質複合体では、捕捉された太陽光が色素分子の電子励起エネルギーとなり、ほぼ 100% の収率で反応中心へ輸送され電気化学エネルギーに変換される。しかし、その驚異的なエネルギー輸送効率および変換効率の物理学的理由は未だ不明である。これまで、エネルギー移動を記述する標準的な理論として「電子励起系とタンパク質環境との相互作用を摂動として扱う Redfield 理論」と「電子励起間の静電相互作用を摂動として扱う Förster 理論」が用いられてきたが、天然の光合成におけるエネルギー移動は両理論の妥当性が明らかで無い中間領域で実現しており、その動態の記述と理解は光合成研究において大きな問題として残されていた。

本講演では、タンパク質環境が誘起する色素電子状態の「動的揺らぎの時間スケール」に着目し、色素電子状態の揺らぎとタンパク質の局所的な応答の間に成り立つ揺動散逸関係を正しく取り扱うことで導出される量子ダイナミクス理論を議論する。さらに、従来の Redfield 理論および Förster 理論では記述不可能なパラメータ領域で起こるエネルギー移動の動態、特に天然の状況に対応するパラメータ領域でこそエネルギー移動の速度が最適化されていることを明らかにする。また、動的揺らぎに曝された量子的重ね合わせ状態の頑健性・脆弱性およびエネルギー移動に要する活性化自由エネルギーを解析することで、高速エネルギー移動およびレーザー分光実験で見出された長寿命量子ビートの物理的起源を議論したい。

参考文献

[1] G. D. Scholes et al., “Enhancing function in chemical and biophysical systems using coherence,” *Nature* **543**, 647 – 656 (2017).