

藤橋 裕太

自然科学研究機構分子科学研究所  
特任研究員

時間分解量子もつれ分光法: 理論基盤の構築と生体分子系への応用

## § 1. 研究成果の概要

光合成は太陽光のエネルギーを細胞が利用可能な化学エネルギーに変換する反応である。その初期過程は (1) 光捕獲系タンパク質内に含まれている色素分子による太陽光フォトン吸収および電子励起、(2) 色素分子間の励起エネルギー移動、(3) 反応中心タンパク質内の特定の色素分子での電荷分離過程からなる。太陽光の強度が弱い場合には、色素分子に吸収された太陽光輻射の光子はほぼ 100% の量子収率で反応中心へ輸送され電荷分離反応が駆動される。緑色植物や藻類では、光化学系 II (PSII) における反応中心タンパク質が初期電荷分離の機能を担っている。X 線構造解析によって PSII の立体構造が解かれ、PSII 反応中心の色素分子配置は比較的良好に理解されている紅色細菌のものと非常に類似していることが明らかにされた。しかし最近 20 年間に行われた PSII 反応中心の分光学研究によって、PSII 反応中心における初期電荷分離のダイナミクスは紅色細菌のものとは大きく異なっていることが明らかになりつつある。特に、PSII 反応中心における初期電荷分離の時定数は紅色細菌の反応よりも 1桁速く、数百フェムト秒で起こることが示された。この超高速ダイナミクスは量子力学的効果の存在・寄与を強く示唆するものであり、その物理学的機構や植物生理学的意義は大きな謎として残されている。しかし、PSII 反応中心などの光合成タンパク質複合体では、複数の色素分子の電子励起状態が比較的狭いエネルギー領域に密集している。そのため、初期電荷分離過程に関わる個々の電子励起状態を分離観測することは困難であり、その物理学的機構の完全な理解には至っていない。

本研究計画では、レーザーのような古典光には対応物がない非古典光に特有の性質やパラメータを時間分解分光測定に利用することに着目し、その有用性を解明する。それにより、古典光による従来分光計測を超える情報を得ることができる量子分光法の理論的基盤を確立する。今年度では、非線形光学応答理論に基づき、もつれ光子対の量子力学的相関を活用できるような時間分解分光の測定系について模索した。現在、量子もつれ光子対以外の非古典光の時間分解分光法への利用について理論的検討を進めている。