

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 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

2. 個人研究者名

藤橋 裕太（京都大学大学院工学研究科 特定助教）

3. 事後評価結果

既存のフェムト秒時間分解レーザー分光はフーリエ限界のため周波数分解能が犠牲となり、PSII 反応中心のように熱揺らぎ程度のエネルギー領域に複数の電子状態を含む動的過程の実時間観測は困難である。本研究では、量子もつれ光による時間分解分光理論の構築について、量子相関の利用により古典光では不可能な周波数分解能と時間分解能の両立を達成し、PSII 初期電荷分離過程の解明へ展開できる量子技術の理論基盤の確立を目指した。

[どのような量子性をどのように扱ったのか]

・周波数・時間自由度についての量子もつれ光子対を時間分解分光計測の光源として利用

[達成状況とインパクト]

藤橋研究者は、時間分解量子もつれ分光の理論を FMO 複合体における量子分光スペクトルの数値解析から、光合成光捕集タンパク質である Fenna-Matthews-Olson 複合体(FMO 複合体)に対し、時間分解量子もつれ分光の理論を適用し、位相整合関数による周波数フィルター効果を生体分子系の分光計測に活用できることを明らかにしている。藤橋研究者は本研究を進めるにあたり、まず量子もつれ光子を光源とする時間分解分光計測の理論的枠組みについて検討を進めた。CW レーザーを用いたカスケードパラメトリック下方変換などで生成される周波数が、もつれた 3 光子状態であることに着目し、3 光子間の非古典相関を活用することで、CW レーザーを用いて生成する量子もつれ光子対による時間分解分光法と二光子同時計数検出を統合できることを見出した。量子計測の新しい手法の開発研究として、量子もつれ光子を用いた時間分解分光計測の理論基盤を構築した成果は高く評価できる。3 光子もつれ状態の光源を用いて二光子同時計数検出による時間分解分光計測の信号対雑音比を向上する手法は大変興味深い。次に藤橋研究者は、この時間分解量子もつれ分光の理論を緑色硫黄細菌の光合成光捕集タンパク質である FMO 複合体に適用を試みた。その過程において、もつれ時間が比較的長い場合では、非線形結晶の位相整合関数の周波数フィルター効果により FMO 複体内の二次元スペクトルの特定の非対角ピークを選択的に増強できることを見出すことに成功している。それらの結果から、現存する量子もつれ光子発生技術により、位相整合関数による周波数フィルター効果を生体分子系の分光計測に活用できる道筋を示すことができている。自ら開発した時間分解量子もつれ分光の理論の手法を活用し、FMO 複体のシミュレーションの結果を提示することができたことは、当該手法の利点・欠点、その適用可能性を議論する上で貴重な成果と言えよう。特に光合成色素タンパク質複合体へ適用した例では、非線形光学結晶の位相整合関数の周波数分布を調整することで、2 次元スペクトル上の特定の非対角ピークを選択的に増強できることを明らかにしたことは、量子計測の新しい展開につながる重要な成果と考えられる。

本研究からどのような生命現象の量子現象にアプローチできる手法もしくは理論につながるかの方向性について、藤橋研究者は、光合成タンパク質のエネルギー移動経路を詳細に追跡する際に、混雑したスペクトルから特定のシグナル寄与を選択的に抽出できる有用性を挙げている。今後、非線形現象の生成効率や計測時間、光学系の損失など、実際の提案手法を実現するために考慮すべき諸条件について、理論あるいはシミュレーションで検討していくことが望まれる。また、実験システムにつなげていくことの重要性を鑑み、量子計測を専門とする実験系研究者との連携研究や情報交換を期待したい。