

理論分子科学第二研究部門

石 崎 章 仁 (教授) (2016 年 4 月 1 日着任)

NGUYEN, Thanh Phuc (助教)

藤橋 裕太 (特任研究員)

赤羽 厚子 (事務支援員)

A-1) 専門領域：理論物理化学

A-2) 研究課題：

- a) 光・量子科学技術に基づく複雑分子系の観測と制御の理論研究

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) 近年、非古典光を用いた量子計測技術の分子科学、物質科学への応用に向けた機運が高まりつつある。レーザーなど古典光を用いた分光計測に比して卓越した優位性を有する量子計測技術を開発する上で、光の非古典的性質が果たす役割を明確にする必要がある。本研究課題では、複雑分子系の動的過程を時間分解計測することを念頭に、量子もつれ光子対の非古典相関を利用する量子分光計測の理論研究に取り組んでいる。

特に本年は、(1) もつれ光子対の発生方法としてポンプ光に CW レーザーを用いたパラメトリック下方変換を、(2) 光学系として Hong-Ou-Mandel 干渉計を用いて、時間分解スペクトルの定式化を行なった。レーザーを用いた分光計測では超短パルスの遅延制御によって時間分解測定を行うが、もつれ光子対の非古典相関を用いることによって同様の時間分解測定が可能となることを見出した。さらに、もつれ光子対の非古典相関が強い極限においては、本手法で得られるスペクトル情報がフォトンエコーなど非線形光学応答として得られる二次元分光スペクトルの情報に等価であることを示した。すなわち、CW 光および Hong-Ou-Mandel 干渉計など比較的簡単な光学系を用いることで、複数のレーザーパルスを注意深く制御することが求められるコヒーレント多次元分光法と同等の情報が得られる。このことは、光子対の非古典相関がもたらす量子分光計測の優位性を明確に示しているだけでなく、量子分光計測を展開するうえで非古典光をどのようにデザインするべきかについて重要な指針を提供している。量子分光計測の理論基盤を確立することに成功したと言える。

さらに現在、カスケードパラメトリック下方変換などを用いて生成される三光子もつれ状態を用いて、二光子同時計数測定に基づく時間分解計測手法の定式化を試みている。位相整合関数のスペクトル分布が周波数フィルタとして機能することで、時間分解スペクトルの特定の周波数領域を選択的に分解することが可能であることを明らかにし、非古典光を用いた時間分解能と周波数分解能の同時向上の可能性を理論的に示した。

B-1) 学術論文

A. ISHIZAKI, "Prerequisites for Relevant Spectral Density and Convergence of Reduced Density Matrices at Low Temperatures," *J. Phys. Soc. Jpn.* **89**, 015001 (2 pages) (2020). (Ranked in Top 20 Most Downloaded Articles of *J. Phys. Soc. Jpn.* in December 2019) DOI: 10.7566/JPSJ.89.015001

T. P. NGUYEN, Q. T. PHAM and A. ISHIZAKI, “Controlling the Nonadiabatic Electron Transfer Reaction Rate through Molecular-Vibration Polaritons in the Ultrastrong Coupling Regime,” *Sci. Rep.* **10**, 7318 (11 pages) (2020). DOI: 10.1038/s41598-020-62899-8

Y. FUJIHASHI, Y. SHIMIZU and A. ISHIZAKI, “Generation of Pseudo-Sunlight via Quantum Entangled Photons and the Interaction with Molecules,” *Phys. Rev. Res.* **2**, 023256 (7 pages) (2020). DOI: 10.1103/PhysRevResearch.2.023256

A. ISHIZAKI, “Probing Excited-State Dynamics with Quantum Entangled Photons: Correspondence to Coherent Multidimensional Spectroscopy,” *J. Chem. Phys.* **153**, 051102 (7 pages) (2020). (Selected as an Editor’s Pick) DOI: 10.1063/5.001543

B-4) 招待講演

A. ISHIZAKI, “Dynamics in Photosynthetic System: Quantum dissipation, vibrational assistance, and quantum light spectroscopy,” The 3rd International Forum on Quantum Metrology and Sensing, online, December 2020.

石崎章仁, 「量子科学技術に基づく複雑分子系の観測と制御の理論」, 電気通信大学大学院情報理工学研究科講演会, 東京都調布市 (オンライン開催), 2020年9月.

石崎章仁, 「タイトルTBA」, 量子科学と重力・宇宙の融合研究会, 九州大学, 福岡県福岡市, 2020年3月. (新型コロナウイルス感染拡大防止のため中止)

石崎章仁, 「量子散逸系として見る光補集系におけるダイナミクス」, 山田研究会「動的過程における右と左——非平衡, 非対称, 非線形が紡ぐ学際研究——」, アルカディア市ヶ谷, 東京都千代田区, 2020年2月. (新型コロナウイルス感染拡大防止のため自粛)

A. ISHIZAKI, “Theory of time-resolved optical spectroscopy with quantum light: Toward simultaneous enhancement of temporal and spectral resolutions,” Workshop on Quantum Foundations: Measurement & Entanglement, High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba (Japan), February 2020.

Y. FUJIHASHI and A. ISHIZAKI, “Quantum dynamical aspects of primary charge separation in photosystem II reaction center,” the 11th Asian Conference on Ultrafast Phenomena 2020, East China Normal University, Shanghai (China), January 2020.

B-6) 受賞, 表彰

藤橋裕太, 日本物理学会第15回若手奨励賞 (2021).

石崎章仁, 第16回日本学士院学術奨励賞 (2020).

石崎章仁, 第16回日本学術振興会賞 (2020).

NGUYEN, T. P., 第9回自然科学研究機構若手研究者賞 (2020).

B-7) 学会および社会的活動

学協会役員等

量子生命科学会 学術委員会委員 (2019–2021).

学会の組織委員等

日本学術振興会第3回日英先端科学シンポジウム企画委員 (2019).

文部科学省, 学術振興会, 大学共同利用機関等の委員等

文部科学省科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センター専門調査員 (2015–).

B-8) 大学での講義, 客員

電気通信大学大学院情報理工学研究科, 「物理工学特論」, 2020年9月14日–18日.

総合研究大学院大学物理科学研究科, 「基礎物理化学II」, 2020年7月7日–10日

B-10) 競争的資金

科学技術振興機構さきがけ研究「量子技術を適用した生命科学基盤の創出」領域, 「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」, 藤橋裕太 (2019年–2023年).

科研費若手研究, 「Theoretical study of nonlinear optical responses of ultracold atomic systems: towards a high-resolution coherent multidimensional spectroscopy investigation of quantum many-body effects」, NGUYEN, Thanh Phuc (2019年–2022年).

科研費基盤研究(B), 「光合成初期過程の効率性と恒常性を制御する電荷分離・再結合反応の理論研究」, 石崎章仁 (2017年–2021年).

Human Frontier Science Program, Young Investigator Grant 2017 “Regulation of photosynthetic light harvesting: how does protein conformation control photophysics?” G. Schlau-Cohen, M. Johnson and A. Ishizaki (2017年–2020年).

文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP), 「Flagship プロジェクト: 量子生命技術の創製と医学・生命科学の革新」(代表: 馬場嘉信), 石崎章仁 (研究分担者) (2020年–2026年).

文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP), 「基礎基盤研究: 複雑分子系としての光合成機能の解明に向けた多次元量子もつれ分光技術の開発」(代表: 清水亮介), 石崎章仁 (研究分担者) (2018年–2023年).

科研費基盤研究(B), 「太陽光の効率利用のための励起子・電荷ダイナミクスの基礎理論の構築」(代表: 田村宏之), 石崎章仁 (研究分担者) (2018年–2021年).

科研費新学術領域研究(研究領域提案型)「天然光合成系におけるエネルギーフローに関する実験・理論解析」(代表: 橋本秀樹), 石崎章仁 (研究分担者) (2017年–2022年).

C) 研究活動の課題と展望

生体及び有機物質系における励起子及び電荷移動などの動力学過程は, 周囲の溶媒, タンパク質, 分子の核運動等の影響を受けることによって多様かつ頑健な機能を生み出しており, その全容を明晰に理解することは物理学の最も魅力的な問題の一つである。このような複雑な相互作用により生ずる非自明な機能を理解するためには, 各動力学過程における様々な要素の適切な理論的取り扱いが必要である。我々は, 量子散逸系のダイナミクス理論を用い, または新たに発展させ, 複雑な分子系における物理現象の本質的かつ簡明な理解を得ることを目指している。また同時に, 最新の量子科学技術を適用することで, 従来技術と比較してより詳細な分子系の情報を得ることが可能な手法の開発に向けて研究を進めている。