

時間と周波数の領域で量子もつれ光子を操る

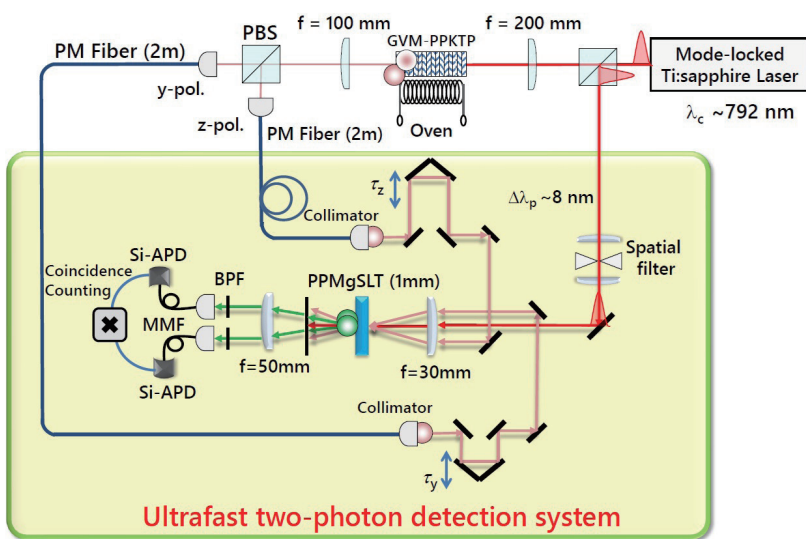
清水 研究室



清水 亮介  
Ryosuke SHIMIZU

「量子もつれ」状態を、いかに安定的に作り出し、精密に制御するかという操作技術の開発です。量子もつれの光科学を研究する清水亮介教授は、特に「時間」と「周波数」に着目し、量子計測の光源となるこの光子の量子もつれ状態（量子もつれ光子）を操作することを目指しています。「時間・周波数領域における量子もつれ光子の特性を調べ、実験的に検出することで、量子光学と既存の分光計測との橋渡しを行い、新たなセンシング技術の発展に貢献したい」と清水教授は語ります。

超高速時間分解 2 子検出



Ultrafast two-photon detection system

キーワード

量子光学、量子もつれ光、量子センシング、量子ネットワーク、光子検出、単一光子カメラ、超高速計測、分光計測、半導体、複雑分子

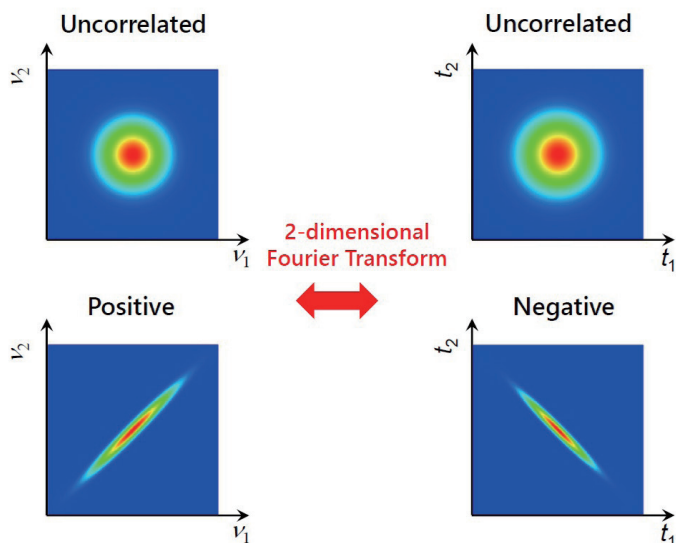
|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| 所属     | 大学院情報理工学研究所<br>基盤理工学専攻<br>量子科学研究センター |
| メンバー   | 清水 亮介 教授                             |
| 所属学会   | 日本物理学会、レーザー学会、<br>アメリカ光学会            |
| E-mail | r-simizu@uec.ac.jp                   |

フリーエニ二重性の実証

二つの光子をそれぞれ観測すると2個の電球の光のように見えませんが、光子が対になった量子もつれ光子を観測すると、そろった粒子が集団で振る舞うレーザー光のように、光子対がまとまりきれいな振る舞いを見せます。清水教授は過去に、レーザー光と量子もつれ光子を比較する回折・干渉実験を行い、こうした量子もつれ光子の性質を明らかにするとともに、その波長があたかも短くなったかのような波形パターンを観測したことから、量子もつれ光子のイメージングなどへの応用の可能性も示しました。

近年では、量子もつれ光子の時間領域分布を直接測定するため、

## 2光子のフーリエ二重性

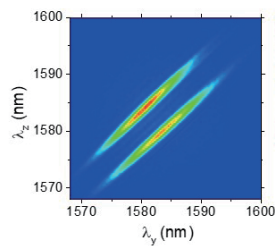
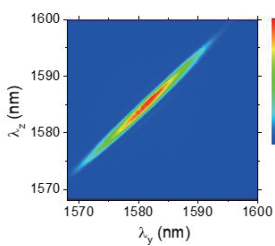


超短パルス光との相互相関測定を利用した「アップコンバージョン法」を高度化し、サブピコ秒(ピコは1兆分の1)の時間分解能を持つ単一光子検出技術を開発しました。この技術により、時間領域の量子もつれ光子を評価する手法を確立し、量子もつれ光子の時間と周波数分布の間の二重性(フーリエ二重性)を実験で検証しています。

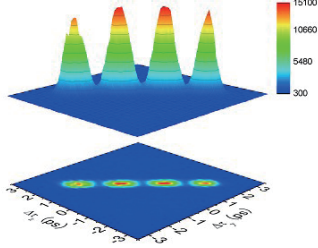
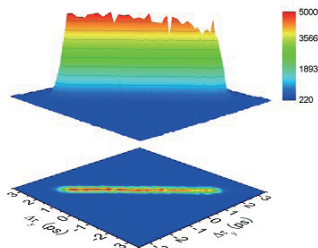
「量子光シンセシス」を提唱  
1次元のフーリエ変換に基づくレーザー光の操作は光シンセシス

## 量子光シンセシス

◆ 2光子周波数スペクトル



◆ 2光子時間分布



と呼ばれるが、清水教授は2次元フーリエ変換に基づくこれらの量子もつれ光子の操作を「量子光シンセシス」と名づけ、量子計測への展開を進めています。例えば、2次元の周波数空間中でスペクトルを操作したり、フーリエ操作による量子もつれ光子の時間波束制御を実証したり、また、量子通信の波長多重化につながる技術を開発したりと、多くの成果を挙げています。

光合成のメカニズム解明へ  
このほか、国家プロジェクトで「多次元量子もつれ分光システム」を開発し、光合成など複雑分子系の物理機能の解明を目指す研究も手がけています。現在までに、時間一周波数分解型の分光計測装置で量子もつれ分光が可能なることを実証し、そこに偏光量子状態トモグラフィ装置を組み合わせることで、分光計測の精度をより向上させることに成功しています。これ

は「光子がいつ、どこにたかを高精度に観測できるカメラのようなもので、新しい分光計測やイメージングの可能性を広げられる」(清水教授)です。

量子リモートセンシングの学内プロジェクトが発足  
さらに、本学でも既存の枠組みを超えて研究者を集め、量子技術の基礎研究から社会実装までを目指す「q-Nexus」プログラムが立ち上がりました。学内の離れた2拠点間を量子ネットワークで結び、量子もつれ光子の非局所相関を使って光子を伝送し、遠隔地のスペクトル情報を取得することにより、分光センサーを使わずに遠くの試料を計測する「量子リモートセンシング」の実証試験を行う予定です。

清水教授はこうした多角的な量子計測・センシングの研究を通じて、企業との共同研究なども視野に入れながら、「量子技術を社会に浸透させていきたい」と考えています。

【取材・文】藤木信穂