

補助事業番号 2019M-148

補助事業名 2019年度 光通信への適用を見据えた高次伝搬モードのコヒーレント光源開発
に関する 補助事業

補助事業者名 青山学院大学 北野健太

1 研究の概要

現在市販されている超短パルスレーザーの時間幅は、100フェムト秒を優に下回る。ここで1フェムト秒とは 10^{-15} 秒である。このような超短パルスレーザーを励起光源として用いた場合、超蛍光によって非線形光学現象が誘起されることが知られており、それ自体、超蛍光ダイナミクスを時間領域で調べるためのプローブ手法としても有力である。このような着想のもと、本補助授業では、超蛍光ダイナミクスに関する研究を遂行した。特に超蛍光に付随して放出される出力光(ヨーク超蛍光)のビームプロファイルに超蛍光の量子揺らぎが反映されていることを解明した。さらに励起光源に加えて、ナノ秒色素レーザーによる制御パルスを導入することによって、超蛍光現象が制御され、その帰結として、出力光の発光波長を制御できることを実証した。これらの内容は、超蛍光という量子多体系を用いて新しい着想に基づいたコヒーレント光源を実現するための重要な知見である。

2 研究の目的と背景

量子多体系の相互作用に基づく新規現象を解明することは、現代物理学の数多くの分野で共通する重要な研究課題である。例えば、冷却リドベルグ原子集団で起こるリドベルグブロケードと呼ばれる現象では、数多くの原子から一つの原子のみを励起させることを可能とした。他にも、三角格子結晶のスピンフラストレート系で実現されるスピン液体では、量子力学的なゼロ点振動によってスピンの揺らぐという特異的な性質を持つことが知られている。これらの量子多体系を構築する相互作用の形態はそれぞれの系によって様々である。原子(あるいは分子)の自然放出過程は一般的にインコヒーレントな現象として知られている。しかしながら、ある条件が満たされると、自然放出に伴って放出される輻射場を介して、原子集団がコヒーレントに結合し、量子多体系として振る舞う現象(超蛍光)が知られている。超蛍光が起こるための重要な条件とは、自然放出による緩和過程がドップラー効果や衝突に伴うデコヒーレンス過程と比較して十分に早く起こることである。この条件は、超短パルスレーザーを用いた高速現象を利用することで実現できる。

3 研究内容

(1)ルビジウム原子を用いたヨーク超蛍光の波面計測

フェムト秒レーザーパルスでルビジウム原子を励起した後
 に起こる、ヨーク超蛍光と呼ばれる発光現象に関して研究
 を実施した。特に、ヨーク超蛍光の際に放出される光電場
 の時空間プロファイルおよび波面に関して系統的なデータ
 を取得し、ラビ振動に代表される原子の非線形励起過程
 の振幅、位相が光電場のそれに転写されることを実証した。
 さらに、光電場の干渉縞をシングルショットで計測するこ
 とによって、超蛍光に特有の量子揺らぎが光の波面に転写
 されることを観測した。図1(a), 1(b)には、実験で得られた光
 電場のビーム形状と干渉縞を、図1(c), 1(d)にはそれぞれ
 の実験結果を再現したシミュレーション結果を示す。これら
 の手法は、超蛍光という量子多体系を理解し、制御するこ
 とによって、新しいコヒーレント光源を開発するための重要
 な基盤技術となると期待される。

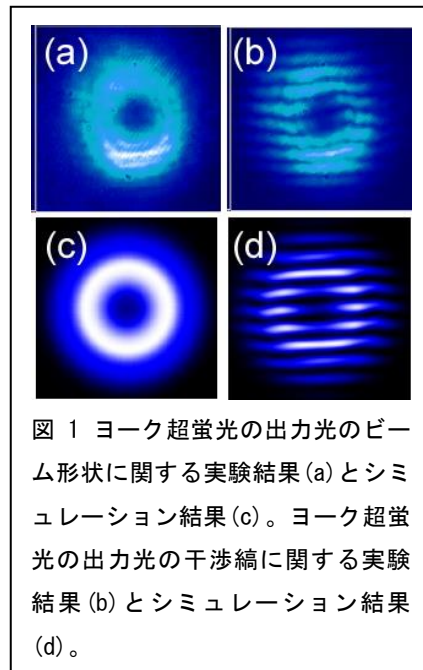


図 1 ヨーク超蛍光の出力光のビーム形状に関する実験結果 (a) とシミュレーション結果 (c)。ヨーク超蛍光の出力光の干渉縞に関する実験結果 (b) とシミュレーション結果 (d)。

(2) 超蛍光で誘起される非線形光学現象の制御

セシウム(Cs)原子を用いた一光子励起三光子脱励起過程において、超蛍光によって誘起された非線形光学現象を観測し、それを制御パルスによって制御するための実験を実施した。図2(a), 2(b)にその遷移模式図、図2(c)に実験結果を示す。これらの結果は、制御パルスを導入することによって、超蛍光によって誘起された脱励起プロセスを制御し、新たに波長852nmに相当するヨーク超蛍光の発光を観測したことを実証する内容であり、超蛍光を含む非線形光学現象の新しい可能性を示している。このハイブリッドなコヒーレンスを自在に制御し、それをを用いて新しい物理を展開することが期待される。

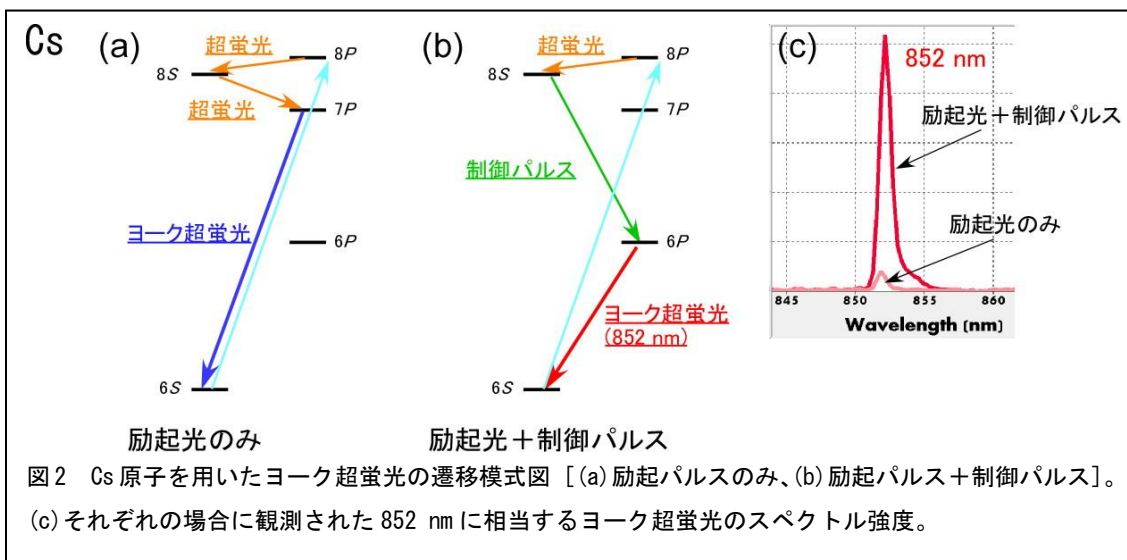


図 2 Cs 原子を用いたヨーク超蛍光の遷移模式図 [(a) 励起パルスのみ、(b) 励起パルス + 制御パルス]。
 (c) それぞれの場合に観測された 852 nm に相当するヨーク超蛍光のスペクトル強度。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

現代社会において、品質の良い光源開発、および高い精度での検出技術は、例えば光通信事業などにおいて非常に重要な役割を担っている。特に、半導体レーザーに代表される各種レーザー光源は、幅広い分野で大いに活用されている。本研究では、超蛍光という量子多体系の発光現象を利用することによって、新しいコヒーレント光源の開発し、さらに、それらの性能を評価することを実施した。特に、超蛍光の波面計測に関する実験では、その空間コヒーレンスを定量的に測定することに成功した。今後は、連続波光源励起の超蛍光現象を実現させ、定常的に発振する光源として超蛍光現象を活用することが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、青山学院大学において、2016年より着手した研究テーマである。今回の研究期間(2019.4～2020.3)において、数多くの基礎的な知見を得ることができ、また、新しい展開を見出すことができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

K. Kitano and H. Maeda, “Unveiling the mechanism of wave-front distortion of superfluorescent pulses”, Phys. Rev. A, 100, 041803(R) (2019).

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当項目はございません。

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当項目はございません。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 青山学院大学理工学部 (アオヤマガクインダイガクリコウガクブ)

住 所: 〒252-5258

神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1

担 当 者: 助教 北野健太 (ジョキョウ キタノケンタ)

担 当 部 署: 物理・数理学科 (ブツリ・スウリガッカ)

E - m a i l: kkitano@phys.aoyama.ac.jp

U R L: <http://www.phys.aoyama.ac.jp/~maeda/>