

## 吸収が発光に反転する現象を発見！ ～新たな光周波数コム・高精度光計測への応用に期待～

名古屋大学大学院工学研究科の西澤 典彦教授と山中 真仁助教の研究グループは、超短パルス光を分子ガスのセルに透過させた後に光ファイバに導波させることで、分子の細かな吸収スペクトルが大きな線スペクトルのピークに周期的に反転する新しい現象を発見しました。

パルス光を分子ガスに透過させると、「指紋スペクトル」と言われる線幅が細く、ほぼ等間隔に並んだ多数の吸収スペクトルがパルス光のスペクトル上に現れます。このパルス光を更に数 m～数十 m の光ファイバに導波させると、光ファイバ中で誘起される非線形効果によって、吸収スペクトルがスペクトルのピークに反転し、細いスペクトルの列を形成します。この技術を用いると、これまで困難だったサブ THz 間隔の狭線幅スペクトル列を生成することができます。この光源は新しい光周波数コム<sup>(注1)</sup>として有用で、原理的には紫外～赤外域に渡る広い波長帯で実現が可能です。光スペクトル標準や超高繰り返しパルス列を出力する高機能な光源として、光計測等の分野への応用が期待されます。

この研究成果は、アメリカ光学学会 (OSA) が発刊する学術雑誌『Optica』(インパクトファクター 9.26) に 2020 年 8 月 25 日付けでオンライン掲載されました。

## 【ポイント】

- ・スペクトルの窪み（吸収）がスペクトルのピーク（発光）に反転する新現象を発見。
- ・光ファイバ中で誘起される非線形効果によって、窪みがピークに変換される。
- ・ガスの吸収を用いると、等間隔でサブ THz 間隔のスペクトルピークを生成できる。
- ・新しい光スペクトルの物差しとして有用。原理的にはどの波長でも実現できる。

## 【研究背景と内容】

レーザー技術の進展によって、フェムト秒 (fs,  $10^{-15}$  秒) 位の非常に狭い時間幅に光のエネルギーが集中した超短パルス光を出力するレーザーが開発され、高精細な加工ができる超短パルス加工や超解像なイメージングができる多光子顕微鏡、被測定対象の内部構造を非破壊で観測する光断層計測などの高機能な応用技術の研究が進められています。また、超短パルスレーザー出力のスペクトルを見ると、非常に線幅の細い線スペクトルが高い精度で等間隔にならんだ「光周波数コム<sup>(注1)</sup>」の構成をしており、安定化制御をすることで、「光のものさし」として機能します。「光周波数コム」は精密な分光計測や光計測分野の測定精度を格段に向上させるブレークスルーとなり、医療・バイオ・創薬から天文学、サイエンスなど幅広い分野で活用が進んでいます。

しかし、これまで光周波数コムでは、一般的に周波数間隔が数十～数百 MHz 程度に制限され、光計測への応用において、より高い周波数間隔の実現が課題となっていました。

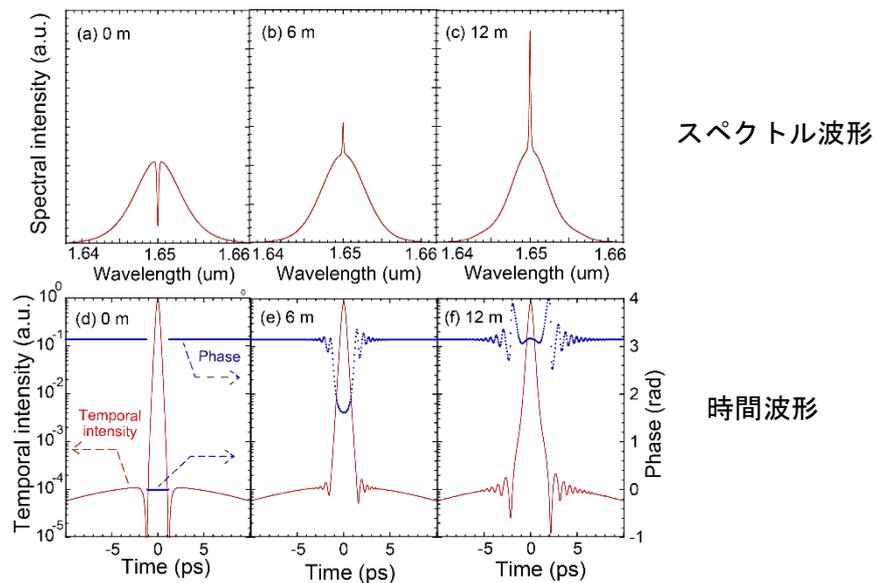


図1 パルス光が光ファイバ中を進むにつれてスペクトルの窪みがピークに変換される様子

本研究では、スペクトル上に細い窪みを持ったパルス光を光ファイバに導波させると、光ファイバ中で生じる非線形効果によって、窪みが周期的にピークに変換される現象を初めて見い出しました。細い窪みは時間的には広いパルスで、またパルスの包絡線は超短パルスを形成しています。超短パルス光はピークが高いため非線形効果による位相変化を受けますが、強度の弱い広いパルスは位相変化を受けないため、相対的な位

相違が徐々にシフトし、位相差が  $2\pi$  の周期で窪みが細いピークに変化します。

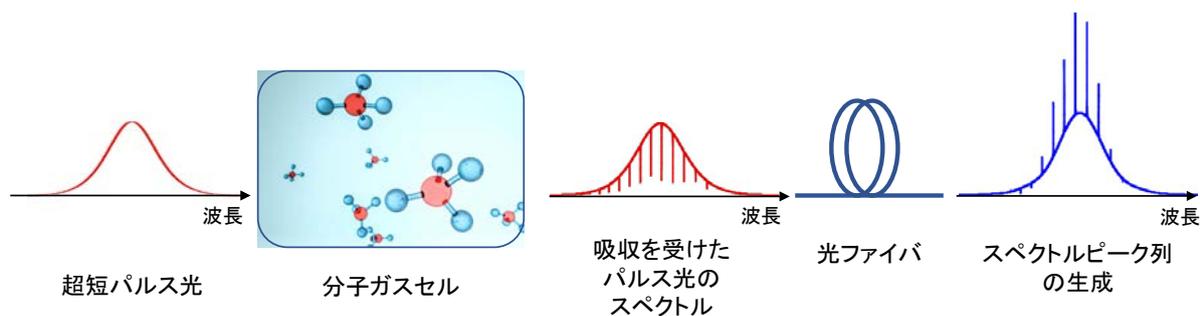


図2 分子ガスを用いたスペクトル列の生成

分子ガスは、線幅が細く、ほぼ等間隔に並んだ「指紋スペクトル」と呼ばれる多数の吸収スペクトルを示します。パルス光を分子ガスの入ったセルに通した後に、光ファイバに導波させると、サブ THz の間隔でほぼ等間隔に並んだ細い線スペクトル列を形成することができます。これまで、これだけ周波数間隔の広い光周波数コムを生成するのは困難でした。

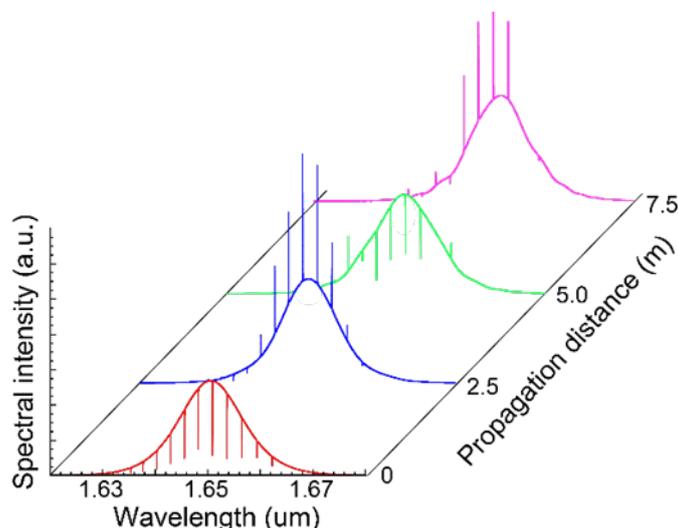


図3 パルス光が光ファイバを伝搬すると、分子の指紋スペクトルが周期的にピークに変化する。(数値解析の結果)

図3は、光ファイバに光通信で用いられる単一モードファイバを、図4は非線形性を高めた高非線形ファイバを用いた時のスペクトルの変化を表しています。分子ガスや光ファイバ中で生じる現象を厳密に解析することで、スペクトルが周期的に窪みからピークに変化する現象を確認し、そのメカニズムを明らかにすることが出来ました。更に、図4に示すように、高非線形ファイバを用いると、広帯域に強いスペクトルのピークを生成することが出来ました。

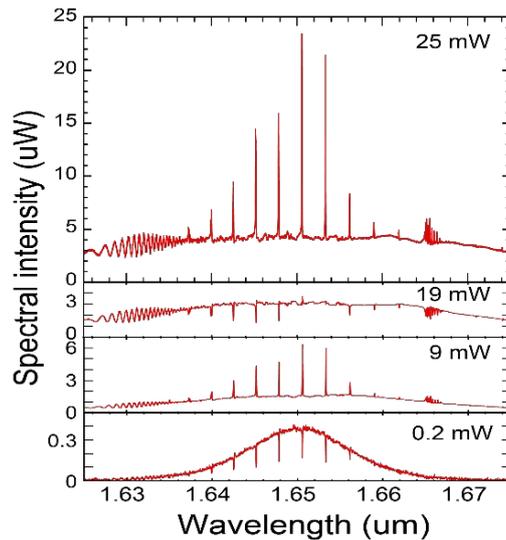


図4 高非線形ファイバを用いた広帯域なスペクトルピーク列の生成。光の強度を増加させると、広帯域に渡って吸収が周期的にピークに変化する。

#### 【成果の意義】

また、本研究で実現したスペクトルピーク列の生成手法は、超短パルス光、分子ガス、そして光ファイバを用いた新しい光スペクトルの制御手法です。この手法では、これまでと比較して非常に簡素な系で高周波数間隔の光周波数コムを生成することができます。生成した光源は、光の物差し・スペクトルの基準として有用な光源です。この手法では、原理的には紫外～赤外域の広い波長帯でスペクトル列を生成することができます。また、スペクトル間隔に対応するサブ THz の超高繰り返しなパルス列を生成することもできます。

本研究で発見した現象は、これまでに無い、新規性の高い新しい光制御手法として有用です。本研究で示したコンセプトを用いた今後の新たな展開が期待されます。

#### 【用語説明】

注1) 光周波数コム：高い精度で等周波数間隔に並んだ線スペクトルの群。高精度な光計測や分光計測の測定精度を格段に向上させるブレークスルーとなり、2005年にノーベル物理学賞が授与された。

#### 【論文情報】

雑誌名：Optica

論文タイトル：Periodical spectral peaking on optical pulses

著者：西澤 典彦、山中 真仁（名古屋大学）

DOI：[10.1364/OPTICA.398388](https://doi.org/10.1364/OPTICA.398388)