

# ブリージングソリトンレーザー 同期ダイナミクスを明らかに

中国の華東師範大、英アストン大、仏ブルゴーニュ・フランシュ・コンテ大の国際研究チームは、フェムト秒レーザーの全く新しい概念であるブリージングソリトンレーザーを用いて、複数の周波数を持つ非線形系、別名多体相互作用の複雑な同期ダイナミクスを探求している。

通常、同期作業に関与する多くの光共振器（レーザー）の同期は、レーザー間の共振器長の不整合を（マイクロレベルで）厳密に制御する必要があるため、極めて困難。しかし、ブリージングソリトンレーザーには複数の競合周波数が内部にあるため、作業に必要なレーザーは1つだけである。

ブリージングソリトンレーザーとは何か？標準モードロックファイバレーザーは、ソリトンと呼ばれる同一のパルスを経時的に放出する。特定の条件下では、モードロックファイバレーザーは、その周期性から「ブリージングソリトン」として知られる、時間とともに変

化するエネルギーを持つパルスを放出することもできる。

## 簡素な設計、操作が簡単

チームのブリージングソリトンレーザーの設計は、「標準的なモードロックファイバレーザーにすぎない」と、華東師範大精密分光法国家重点実験室のジュンソン・ベン教授(Junsong Peng)は説明している。「実際、これらのパルスは極めて一般的である。すべての標準的なモードロックファイバレーザーはこのようなパルスを放出できるが、重要なのは、ポンプ出力などのレーザーパラメータを慎重に調整することだ。手で調整したくない場合は、以前の研究で示したように、機械学習技術で調整できる」。

最新の研究で、研究チームは、多体系の中で作用する新しいダイナミクスを明らかにした。「われわれは、非同期状態と非同期状態の中間状態である非線形システムの新しい状態、変調さ

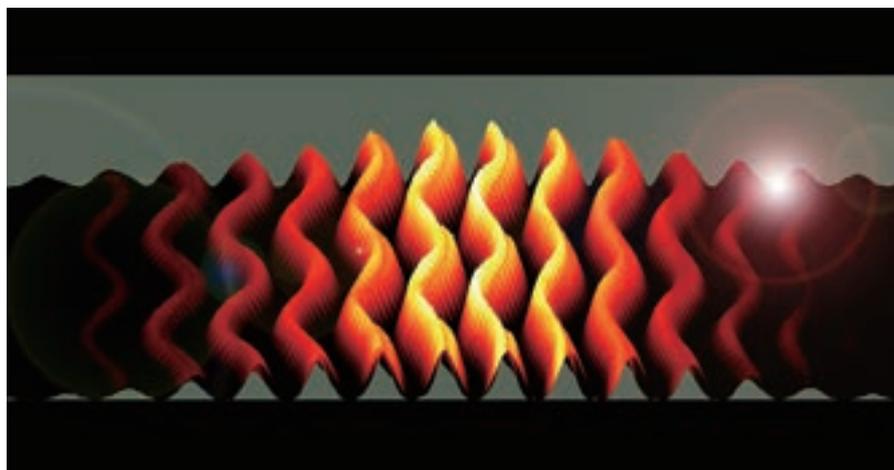
れたサブハーモニクスを発見した。言い換えれば、この状態には同期された信号と非同期の信号の両方が含まれている」とベン教授は説明している。

このような状態は、多くの非線形系で観測されるはずであり、これらの系内の不安定性メカニズムの理解に寄与する可能性がある。「同様に重要なことは、この状態は、共振器の繰り返し周波数（レーザーの長さによって決まる）、低調波周波数、およびその変調周波数という3つの競合する周波数を明らかにする。つまり、非線形科学における多体問題である3つの競合する周波数を1つの発振器内で探索する可能性を開くことである」とベン教授は説明している。「以前のように3つの発振器を作る必要はない」。

チームの多体システムにおける非同期状態は特殊である。「複数のブリージングソリトンは全体としてレーザーキャビティに同期していないが（非同期になっている）、パルス自体は互いに同期している。また、同期状態のロック範囲は、ブリージングソリトンの数とともに増加することを示している」とベン教授は話している。

以前は、非線形同期科学において、3つの内部競合周波数のダイナミクスを調べるために、3つの共振器が必要だった。しかし、研究チームは、1つのブリージングソリトンレーザーでそれを達成し、ポンプ電流を40ミリアンペア（mA）の範囲内で変化させたときに、11の異なるレーザー状態を観察した。

ベン教授とチームは、11種類のレーザー状態を見て驚愕した。チームは、標



変調された低調波状態におけるブリージングソリトンの光学スペクトル進化。ピークの蛇行は、変調周波数を示している

準的なレーザーモデルを用いて、数値シミュレーションでそれを再現した。「われわれのシミュレーションは、レーザーのダイナミクスに関する貴重な洞察を与えてくれる。というのは、実験ではレーザーキャビティ内のパルスの進展などの詳細にアクセスできないからである」と、ペン教授は話している。「シミュレーションの助けを借りて、川の向こうの美しさと神秘を探求するための橋をようやく建設できたような気がする」。

チームにとって最大の課題の1つは、実験ではアクセスできないブリージングソリトンの時間的ダイナミクスを明らかにするために数値シミュレーションが必要であることだった。「とはいえ、数値

シミュレーションの部分では、実験と同じように、1つのレーザーパラメータを調整して、11種類のレーザー状態を連続して再現する必要があるため、極めて困難である。さらに、実験におけるレーザーのパラメータを正確に把握できないものもあり、それが課題となっている」とペン教授は話している。

チームは試行錯誤を繰り返しながらこれらの課題を克服したが、時間のかかる作業であったことを認めている。

### フェムト秒レーザーの新コンセプト

ブリージングソリトンレーザーは、周波数領域内で標準的なフェムト秒レーザーよりも多くの周波数トーンを生成するため、分光法のスペクトル分解能を

高めることができる。また、研究チームが示しているように、多体相互作用の探索など、基礎科学の大きな可能性を示している。

「現在、そのレーザーにより3つの競合する周波数を研究することができる。当然の疑問は、乱流やカオスなどのより複雑なダイナミクスを探求し、理解するために、周波数の数をさらに増やすことができるかどうかである。モードロックレーザーは、測距、センシング、材料加工などの実用的なアプリケーションで使用できるだけでなく、複雑なシステムの物理学と非線形ダイナミクスを探求するための理想的なテストベッドでもある」とペン教授は話している。

(Sally Cole Johnson)

LFWJ



THE **FUTURE** DEPENDS ON OPTICS™

最大 OD 8.0 の  
フィルターブロッキング性能



エドモンド・オプティクス・ジャパン株式会社  
〒113-0021 東京都文京区本駒込2-29-24  
パシフィックスクエア千石 4F  
TEL: 03-3944-6210 E-mail: sales@edmundoptics.jp

**EO** Edmund  
optics | japan  
詳しい情報はこちらへ：  
[www.edmundoptics.jp/074-8155](http://www.edmundoptics.jp/074-8155)