



2021年11月8日

国立大学法人 京都工芸繊維大学  
国立大学法人 神戸大学  
国立大学法人 千葉大学

## 光が散乱媒質中の奥深くを伝播する様子を 世界で初めてスローモーション動画に記録

京都工芸繊維大学電気電子工学系 栗辻安浩教授，同大学院工芸科学研究科博士後期課程電子システム工学専攻 井上智好，千葉大学大学院工学研究院 角江崇助教，神戸大学 的場修教授らの研究グループは，光が散乱媒質中の奥深くを伝播する様子の，超高速な光の振る舞いのスローモーション動画記録に世界で初めて成功しました。3次元画像技術であるホログラフィー<sup>※1</sup>を応用した超高速イメージング技術を用いて，光が生体組織に見立てたゼラチン中を，集光・屈折・回折といった異なる振る舞いを示しながら伝播する様子の記録・観察に成功しました。

この研究成果は，2021年11月8日に，英国Nature Researchの「Scientific Reports」に掲載されます。

### ポイント

- ✓ 生体組織に見立てたゼラチンの奥深くを，集光・屈折・回折といった異なる振る舞いを示しながら伝播する超短パルス光の様子の記録・観察に成功した。
- ✓ 3次元画像技術であるホログラフィーを応用した光伝播の動画記録・観察が可能なイメージング技術の新たな可能性を示した。
- ✓ 散乱媒質の奥深くで伝播する光をリアルタイムで記録・観察することで，レーザー光を利用したがん治療の発展につながるメカニズムの理解や通常の光学顕微鏡では困難である超生体深部イメージング技術の開発といった貢献が期待される。

### 研究の背景

2018年にノーベル物理学賞を受賞した，極めて短い時間だけ光を照射できる超短パルスレーザー<sup>※2</sup>は，最先端の情報通信，微細加工，医療など幅広い分野で利用されています。そのような最先端技術のさらなる発展に向け，極めて短い時間で発生する物理現象や光化学反応のメカニズム解明を助ける超高速イメージング技術が求められています。このような技術の中でも，超短パルスレーザーが出射する光パルスの伝播を画像，特に動画像によりスローモーション観察することは，バイオ研究分野で有用である超短パルスレーザー光を利用した多光子顕微鏡の高性能化，通信技術に有用である光ファイバーによる光通信の大容量高速化，精密加工・製造技術で有用であるパルスレーザーの性質を利用した材料加工技術の高精度微細化や材料改質技術における材質の高機能化など

様々なレーザー利用技術の基盤となり、有益です。

京都工芸繊維大学電気電子工学系 粟辻安浩教授，同大学院工芸科学研究科博士後期課程電子システム工学専攻 井上智好，千葉大学大学院工学研究院 角江崇助教，神戸大学 的場修教授らの研究グループは，3次元画像技術であるホログラフィーと超短パルスレーザーを組み合わせた，光の伝播のスローモーション動画を記録する技術に関する研究を行ってきました。これまで，研究グループでは，当該技術を用いて光が光学部品中や拡散板上を伝播する様子を記録・観察した例は報告してきましたが，この技術を用いて光が散乱媒質の奥深くを伝播する様子をデジタル記録・再生した例は報告されていませんでした。

## 研究の内容

本研究では，散乱媒質中を伝播する超短光パルスが伝播する様子をデジタル動画として記録するとともに，スローモーション観察を実現する技術の開発に成功しました。

これまでも，拡散板や平板構造の光学部品中を伝わる超短光パルスを高解像写真記録材料に記録した例は報告されてきました。しかし，光の散乱が弱い媒質や，光が媒質の奥深くを伝播する様子を観察することは困難でした。

本研究で提案した技術は，電子撮像素子(イメージセンサー)を用いて記録するため，光の散乱が弱い媒質や，光が媒質の奥深くを伝播する様子を記録・観察できます。

実証実験として本研究では，生体組織や高分子材料といった散乱媒質中を伝播する光を記録することに先駆け，生体組織などに見立てたゼラチンの奥深くを，様々な状況で伝播する光を記録・観察しました。

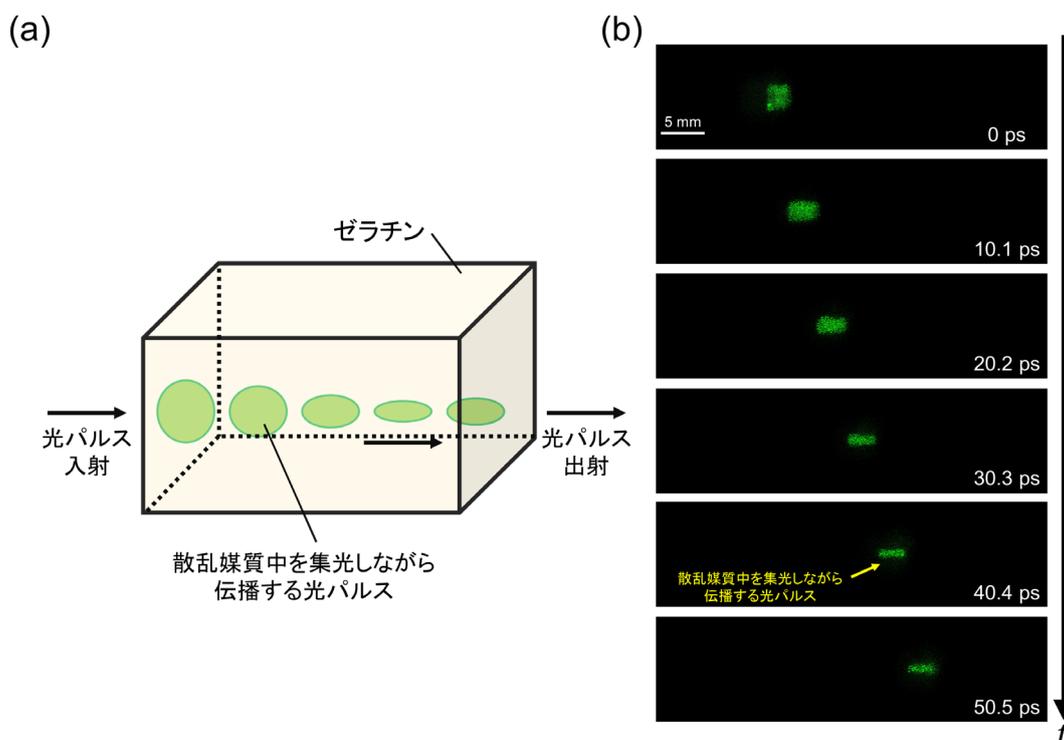


図1 散乱媒質中を集光しながら伝播する光パルスを動画で記録・観察した結果  
(a)結果の概略図. (b)実験結果.

## 今後の展開

---

今後の課題としては、記録する動画像の高精度化が挙げられます。これは、記録に用いる電子撮像素子が従来の記録に用いられてきた高解像写真記録材料に比べて1桁程低いことが要因です。一方、今回開発した技術では、記録した動画像はデジタルデータとして保存できるので、最先端の画像処理技術を利用できるようになり、従来の技術ではノイズなどの影響で観察できなかった光の振る舞いや現象が観察できるようになると期待されます。今後は散乱媒質や揺らぎ媒質を通過する情報へ応用して、細胞中を伝搬する光の様子 of 動画像観察にも挑戦します。

さらに、レーザー光を利用したがん治療の発展につながるメカニズムの理解や、光学顕微鏡の新たな特性評価技術として展開することにより通常の光学顕微鏡では困難である超生体深部イメージング技術の開発といった貢献が期待されます。

## 用語解説

---

### 1. ホログラフィー

光の干渉と回折を利用して、物体からやってくる光のすべての情報を記録・再生できる3次元画像技術です。私たちが物体を見るときに認識している、物体を透過または物体で反射した光を物体光と呼びます。物体光と基準となる光（参照光）を干渉させ、干渉した光の明るさ分布を高解像写真乾板で干渉縞画像として2次元に記録します。干渉縞画像を記録した高解像度写真乾板がホログラムです。記録に用いた参照光と同じ光をホログラムに照射すると物体光が再生され、奥行きを含む物体の3次元像を観察できます。

### 2. 超短パルスレーザー

発光時間の極めて短い光を放つレーザーです。10兆分の1秒程度以下の時間だけ光を放つことができるフェムト秒パルスレーザーなどがあり、超高速現象の計測用光源や材料の微細加工に用いられます。フェムトは1000兆分の1を表す接頭辞です。

## 謝辞

---

本研究は、独立行政法人日本学術振興会(JSPS) 科学研究費助成事業 基盤研究(A) 17H01062, 学術変革領域研究(A) 20H05887 および 20H05886, 特別研究員奨励費 20J23542 の支援を受けて行なったものです。

## 論文情報

---

### ・タイトル

“Spatiotemporal observation of light propagation in a three-dimensional scattering medium”

- **著者**

Tomoyoshi Inoue, Yuasa Junpei, Seiya Itoh, Tatsuya Okuda,  
Akinori Funahashi, Tetsuya Takimoto, Takashi Kakue, Kenzo Nishio,  
Osamu Matoba, and Yasuhiro Awatsuji

- **掲載誌**

Scientific Reports

- **DOI**

10.1038/s41598-021-01124-6

- **アブストラクト URL**

<https://doi.org/10.1038/s41598-021-01124-6>