



若 者

## 光に魅せられて

渡 辺 歴\*

飛行機に乗っていて、夜暗くなってから空港に着陸する前、窓から下を眺めると、暗い中に、街の明かりがきらきらと宝石がちりばめられたような輝いている景色を魅了されていると、滑走路への誘導灯により飛行機が着陸するという光景はみなさんも何度か体験されておられるでしょう。光は暗い中を照らしてくれるだけでなく、道しるべとして使われたり、私達にとってなくてはならない存在です。

太陽や蛍光灯の光とは違った性質をもつレーザーは、光通信、自動車などの加工、医療診断、土木測量などさまざまな分野において使われています。また、CD(コンパクトディスク)、DVDなど音楽や映像の再生装置、買い物ときのバーコードリーダーなど、日常生活においてもレーザーはなくてはならないものになっています。今から40年ほど前の1960年に発明された画期的な光源はLight Amplification by Stimulated Emission of Radiation(誘導放出によって光を増幅するという意味)の頭文字をとって、LASER(レーザー)と名づけられました。

レーザーは、時間的に常に同じ光の強さが得られる連続発振とある瞬間にのみ光が得られるパルス発振とに大きくわけられます。通常、連続発振光では、媒質の応答は入射電場に比例した線形光学効果しか起こりません。これに対し、パルス光振レーザーでは瞬間的なパワー(ピークパワー)が極めて高いために、媒質中で線形光学効果だけではなく、入射電場の2乗、3乗に比例する「非線形光学効果」を発生させることができます。パルス発振の場合、光が出ている時間をパルス光の時間パルス幅といい、一定

の時間間隔でパルスが出力されます。パルス発振レーザーの時間パルス幅は技術開発によりだんだんと短くなってきました。現在では、時間パルス幅が数フェムト秒(1フェムト秒は1秒の $10^{15}$ の1)から数百フェムト秒といった時間パルス幅の非常に短いパルス発振レーザーが製品化されています。ご存知のように、光は1秒間に地球をおよそ7周半回ることが出来ます。百フェムト秒という短い時間では、光はたった30マイクロメートルしか進みません。このようなレーザーからの光パルスは、すごく短い時間だけ光が閉じ込められていることとなります。パルス発振レーザーを用いると今までは見られなかった新しい現象が現れるようになってきました。このレーザー光パルスをレンズにより媒質内部に集光すると、「非線形光学効果」により、レーザー強度の高い集光点付近の、数マイクロメートルから数百ナノメートル程度の領域のみ選択的に構造を変えることが可能となってきました。

現在、レーザー光パルスと物質との非線形な相互作用をキーワードとした研究を進めています。まず、レーザー光パルスを用いてガラスの中に小さな光の部品をつくることについて紹介します。最近、インターネットなどで画像や動画を扱うようになってきました。光を用いることで、たくさんの情報を速く送ることができます。しかし、より多くの情報を、速くを送れるようであれば、いままでよりもきれいな画像や動画をリアルタイムで見ることができます。このためには同時にたくさんの情報を同時に処理したり、蓄えたりする必要があり、今までより小さい部品を作る必要があります。従来、光の部品は物質の表面にだけしか作ることができませんでした。最新のレーザー光パルスをレンズによりガラスなどの物質の中に集光すると、光の強さの高い集光点の近くの、数マイクロメートル程度の領域だけ構造を変えることができ、中に小さな光部品を作ることができます。このとき表面は全く傷つかず、物質の中の小さな領域だけの構造を変えられるのが特徴です。インターネットなどで情報を伝える手段として、



\* Wataru WATANABE  
1970年10月生  
大阪大学大学院工学研究科応用物理学  
専攻博士後期課程修了  
現在、大阪大学大学院工学研究科 物質・生命工学専攻、学内講師(助手)、  
博士(工学)、応用光学  
TEL 06-6879-7326  
FAX 06-6879-7295  
E-Mail watanabe@photonics.mls.  
eng.osaka-u.ac.jp

光ファイバーがよく用いられています。光ファイバーはたくさんの情報を速く伝えることができます。光ファイバーは中心部分の屈折率が回りの部分に比べて、0.001から0.0001程度高く、その中を光が反射して、ほとんど漏れずに伝わる光の回路(導波路)です。レーザー光パルスをつるやかにガラスの“中に”集光すると、光の強度の強い集光点近くでのみ屈折率が高くなりますことが見出されました。集光点を動かしていくと、光ファイバーと同様に光を送る光回路を作ることができます。レーザー光パルスの集光点を動かすと、ガラスの中に太さ数ミクロンほどの光を伝える光回路を自由に描くことができます。2つの光回路を近づいて並べると、片方の光回路を伝わっている光からもう片方の光回路に光の強度が移っていくという現象があります。このような光回路は、分岐路、結合器などと呼ばれ、1つの光をいくつかに分けたり、いくつかの光を1つにまとめたりできます。私たちはガラス内部に非常に近い(4ミクロン程度)、長さが2ミリメートルの3次元的な立体光回路を作り、ひとつのビームを3つのビームに分けたり、色を分けること(波長多重化)に成功しています。たった2ミリメートルの大きさで光を分けたり、まとめたりすることができます。また、大きさが数百マイクロメートルのレンズや鏡などをガラスの中に作っています。

通常、情報通信・処理で使われるデータというのは「0」「1」の2つの数字を並べたデジタルのビットで表現されます。レーザー光パルスにより大きさ1ミクロン程度の穴をガラス中に埋め込むことができ、穴の位置をデータのビットと見立てると、3次元的に情報を蓄えられる光メモリ(記録媒体)になります。現在使われているメモリの多くは1層だけですが、3次元メモリでは多層に情報を記録できるので、より多くの情報を蓄えることができます。1立方センチのサイコロ程度のガラスに用い、1ミクロン間隔で穴を埋め込むと、サイコロの中に100兆ビット、今のDVDに換算して2千枚分もの情報を埋め込むことができます。3次元的に好きな方向に穴を移動させることができ、メモリの記録状態を変化させ、3次元書き換えメモリをつくるのが可能です。このようにレーザー光パルスを用いて、ガラスなどの中に光回路、レンズ、メモリなどの微小な光学素子を3次元的に埋め込むようになりました。たくさ

んの情報を取り扱う次世代の光情報通信システムにレーザー光パルスによるマイクロ部品作りが一役買うことができることを期待しています。

今まで述べてきたように、レーザー光パルスを媒質内部に集光すると、集光点近傍の数ミクロンからサブミクロンの空間のみ、状態、性質を変えることができます。この技術をバイオの分野にも適用しています。私たち人間をはじめ、生命あるものはさまざまな細胞の集まりです。例えば、私たちの体は60兆もの細胞でできています。細胞は、栄養を取り入れたり、動いたり、刺激に反応したりしながら、成長、分裂を繰り返します。通常の細胞の大きさは、数～数十マイクロメートルです。この細胞の中あるいはそのまわりには細胞の形態や機能に関わりをもつさまざまな小さな器官が存在します。例えば、細胞内の核やミトコンドリアなどです。これらの器官は細胞小器官と呼ばれています。レーザー光パルスを細胞内の特定の細胞小器官に集光すると、その細胞小器官を数百ナノメートル程度の細かさでつぶすことができます。例えば、針などを用いて同じようなことができますが、レーザー光パルスを用いると非接触で、細胞の中の小さな部分のみ状態を変えることができます。細胞が生きた状態で、小さな領域をつぶし、細胞小器官を観察することにより、細胞小器官の働きを調べるなど、生命現象を解明するツールとして新しい生細胞内ナノ加工技術の確立されると思っています。

今回、現在行っている研究の2つのテーマを例に述べましたが、いずれも共同研究の成果です。ガラスの中への光部品の作製は産業技術総合研究所関西センターの西井準治博士との成果であり、生細胞内の加工技術は応用生物工学専攻の松永幸大講師との共同研究成果です。研究の方向性、具体的な実験などディスカッションし、アイデアを交換することにより、一人ではできないプラスの方向にいい成果が出ています。共同研究ではお互いの独立性を認め合いながら、お互いの特異分野を発展させながら進めるのがいいのではないかと思います。光は生物にとって必要なだけでなく、さまざまな産業界、研究分野で使われています。光の本質は何なのか、光を用いて私達の未来を明るくするような技術が生まれてくること常に意識しながら、独創的な研究を進めていきたいと思っています。