

新しいレーザーで新しい分野を拓く

緑川克美

理化学研究所レーザー物理工学研究室主任研究員

総研大ジャーナル 8号 2005秋 SOKENDAI Journal No.8
無断で転載することはお断りします。journal@soken.ac.jp

波長が数十nmの軟X線は、現在、レーザーで作り出せるいちばん波長の短い光だ。
波長が短いほど短いパルスをつくれることから、この光で新たな研究分野が開けると期待されている。

「光で観る」ことは科学の基本だと思います。望遠鏡と顕微鏡の発明以来、光による観察や計測は科学の進歩に大きな役割を果たしてきました。しかし、そのために使われてきた光は、可視域がほとんどでした。可視域ではレーザー光も簡単につくり出すことができ、レンズ、ミラー、ファイバーなどの光学素子も極限近くまで開発されています。

これからは、光の波長範囲*1を可視域周辺からもっと外側へと広げることで、科学の先端分野を切り開いていく時代で

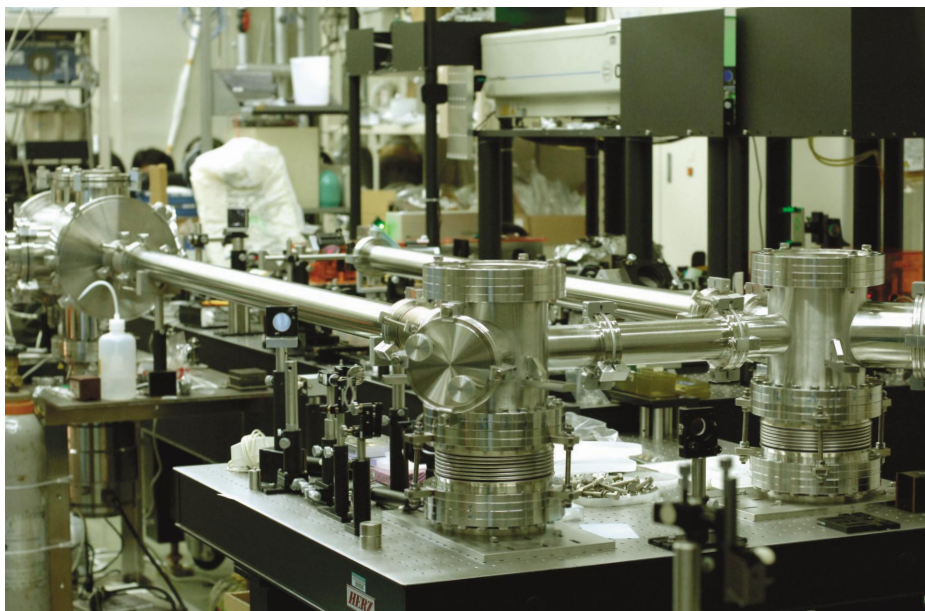
す。ところが、この領域では、光源も、光学素子もないに等しい。ですから、まず光源を開発し、同時に、「どんな手法を使えば、何がどのように見えるのか」を研究しなければなりません。

そのために、今年度から「エクストリームフォトリクス」というプロジェクトが始まりました。これまで光源開発や生体イメージングなどを行ってきた理化学研究所のいくつかの研究グループがまとめ、さらに、分子研や東大などのグループにも加わっていただいて、共通の目

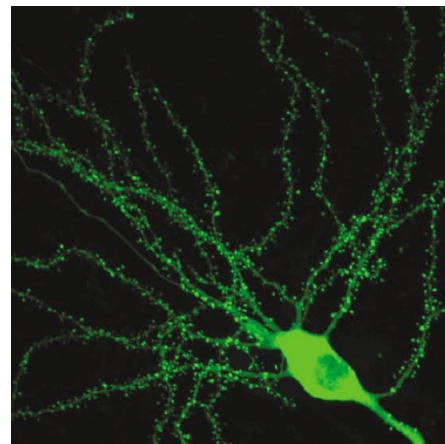
標に向けた研究を進めています。

新しい光で「観る」対象はいろいろ考えられますが、特に期待されるのは生物試料です。生物は、小さな分子、タンパク質などの高分子、それらが集まってできたオルガネラ（細胞器官）、細胞、細胞が集まった組織という階層構造をもっています。「より短い波長で観察すれば、より小さい階層を観察できる」のはもちろんですが、同じ階層をさまざまな波長と手法で観察できれば、異なった空間・時間スケールの情報が得られ、いろいろな

この装置で、軟X線レーザーのアト秒パルスをつくり出す研究が行われている。振動や気流を嫌うレーザー研究のために、装置を設置する建物の設計段階から、さまざまな配慮がなされた。撮影：由利修一



二光子レーザー走査顕微鏡により、神経細胞の中で蛍光タンパク質が光るようすを詳細にとらえることができる。脳科学総合研究センターの宮脇敦史チームリーダーとの共同研究。写真提供：宮脇敦史



生物現象の一部始終が明らかになるものと期待しています。

レーザー研究者の夢を実現

私自身の担当は、軟X線（波長の長いX線）レーザーの開発です。1960年にレーザーが発明されて以来、発振波長をX線にまで短くすることは研究者の大きな夢でした。X線レーザーは、大出力の励起光源を必要とすることが大きなネックであり、レーザーを励起光源として1980年代初めによく実現されました。しかし、そのときの装置は体育館のように巨大なものでした。

その後、フェムト秒レーザー^{*2}が開発され、そのパルスのエネルギーを圧縮する技術も開発されて励起光源に使えるようになりました。フェムト秒レーザーをうまく使うと、発振波長をもとの光の100分の1程度にまで短くできます。この波長変換技術により、卓上に置ける大きさの装置でX線レーザーを実現できるようになりました。ただし、実現された当初は、物理学的にはおもしろいものの、効率が低く、光源としては使い物になりませんでした。

波長変換の効率を落とさないためには、もとの波長の光と、変換後の波長の光の速さを揃えることが重要です。しかし、波長が異なるとレーザー媒質中での屈折率が異なるため、変換の前後で速さが変わってしまうのです。そこで私は、レーザーの集光方式や、媒質として用いるガスを入れるセル、ガス圧などを工夫することで、波長による速さの差をうまく解消する方法を開発しました。同時に、軟X線を反射させるのに適したミラーなども開発し、2003年に、従来の100～1000倍の強度をもつ世界最高瞬間輝度の軟X線レーザーの発振に成功しました。

新たな光で新たな現象を

このように強い光は、入力が2倍になると出力が4倍以上になるといった「非線形現象」を引き起こすので、超高速のスイッチなどさまざまなデバイスへの応用が考えられます。さらに、軟X線の波長は

緑川克美（みどりかわ・かつみ）
もともとは核融合に興味をもっていたが、レーザー核融合というのを知り、レーザーの研究室へ。そこでレーザーの魅力にとりつかれる。軟X線レーザーの高出力化、短パルス化に取り組む一方、「エクストリームフォトニクス」研究推進グループのリーダーとして、理化学研究所内の関係グループを束ね、分子科学研究所や東京大学との連携を進めている。

撮影：由利修一



短いので、可視光で実現できるフェムト秒に比べてずっと短いアト秒^{*3}のパルスがつくれます。フェムト秒レーザーでは、分子の回転や振動を見ることができ、化学反応の解析が進みましたが、アト秒レーザーでは原子の中の電子の運動が見えるはずです。

また、「水の窓」と呼ばれる波長領域の軟X線は、水には吸収されないのに炭素や窒素の原子には吸収されるので、水を含んだ生物試料の観察にたいへん適しています。生きた細胞の中のオルガネラ間でエネルギー輸送や情報伝達が起こるようすを、アト秒のパルスでストロボ写真のようにとらえられる日も近いと思います。

光源開発の一方で、これまでに蓄積したフェムト秒レーザーの制御技術を生体イメージングに生かすための共同研究も行っています。その一つが、二光子レーザー走査顕微鏡による神経細胞の観察です。目的の試料に蛍光タンパク質を組み込み、細胞内で光らせて観察するという手法がありますが、大脳皮質の神経細胞

はたくさん積み重なっており、奥の細胞の蛍光タンパク質だけに焦点を絞って励起光をあてるのが難しいのです。

フェムト秒レーザーを励起光に用いると、ある波長の光子が2個まとまってその半分の波長の光子1個と同じ働きをするという現象が起こり、奥まで届きやすい長波長の光で励起することができます。さらに、パルスに含まれる光の波長を調節して蛍光タンパク質の劣化を極力防ぎ、顕微鏡の視野を走査し終えるまで光らせることができました。

今回のプロジェクトでも、光を使ってさまざまなものを観ようとするグループとの連携を深めつつ、新たな光源を開発していくことになります。この強みを生かして新たな研究分野を開けるよう、微力を尽くしたいと思っています。

（取材・構成 青山聖子）

*1 p.3参照。

*2 10フェムト秒程度のパルスをつくれるレーザー。1フェムト秒＝ 10^{-15} 秒（1000兆分の1秒）。

*3 1アト秒＝ 10^{-18} 秒（100京分の1秒）。