

究極の光との歩み

ふじ・たかお

1994年 筑波大学基礎工学類卒業、1999年 同大学大学院工学研究科修了 博士（工学）、
1999年 東京大学大学院理学系研究科助手、
2002年 オーストリア・ウィーン工科大学客員研究員（日本学術振興会海外特別研究員）、
2004年 ドイツ・マックスプランク量子光学研究所客員研究員、
2006年（独）理化学研究所研究員、2008年同研究所専任研究員を経て、
2010年2月より現職



2010年2月からレーザーセンターに着任しました。分子研に勤めるのは今回が初めてですが、実は10年以上前に2回ほどのマシンタイムで分子研のUVSORで実験をしたことがあります。当時わたしは筑波大学の院生（指導教官：中塚宏樹教授）でしたが、香川大学の伊藤先生、中西先生が主体的に行っていた研究の手伝いとして実験に参加しました。チームラインの面倒をみてくれていたのは、現在佐賀大学にいらっしゃいます鎌田先生でした。研究としては、SORから発生する300 nmぐらいの光を用いた超高速分光で、ポリマーにドーブされたアニリン分子の位相緩和時間についての測定をおこないました^[1]。この実験結果は、SOR光や白色ランプの光のような、インコヒーレントな光を使っても、フェムト秒の超高速分光が可能な場合があることを示したものであり、わたしの修士論文の一部にもなりました。

装置を使う時間が厳しく制限されている放射光での実験は、当時のわたしにとって、とても新鮮なものでした。マシンタイムの間になんとかしてデータを出すためには、様々な臨機応変の対応が必須であり、それには、装置に対する豊富な知識と、データ解析や装置の制御をするプログラムを限られた時間で作成、修正できるスキル

が重要であることを学びました。また、UVSORの控え室で、研究者や技術職員の方々の話を聞くことも貴重な経験だったと思います。UVSORで実験をした経験が、自分が研究者としての道を歩んでいくときに励みになったと思っています。

また、わたしがドイツにいたころ、分子研レーザーセンターの平等グループと共同研究をさせていただいたことがあります。当時、高出力の光パラメトリック増幅器（OPA）の開発を行っていましたが、以前使用していた市販の周期分極反転LiNbO₃結晶（PPLN）をこの光学系に使えるか、考えていました。PPLNは非常に非線形係数が大きく、非線形効果を利用した波長変換で極めて高い効率を達成することができますが、分極を反転させることが、大きい結晶では難しく、大きい口径が必要な高出力OPAに使うことはできませんでした。あるときに、PPLNの口径が5 mm×5 mmのものを作ったという平等グループの論文を見つけて、驚きました。これは、市販されているものの5倍の口径になりますので、高出力のOPAに使うことができます。さっそく平等先生に連絡したところ、いくつかサンプルをわけていただけることとなり、この結晶を使って、高出力のOPAを作ることができました^[2, 3]。将

来、この光源は、アト秒パルス発生で重要な役割を担うことが考えられます。

日本に戻ってきてから、和光の理研において、分子研出身である鈴木俊法主任研究員の研究室で、研究員のポジションに着きました。そのときから、理研と分子研の共同でエクストリームフォトンクス研究会が年2回ずつ開かれており、分子研にさらに親しみを感じていました。今回、分子研で独立した研究室を主宰する機会をいただくことができましたが、以前からのわたしと分子研とのつながりを考えると、なにか縁のようなものがあつたのかな、とも思っています。

これまで、様々な研究室を渡り歩いてきましたが、共通している研究テーマとしては、超高速の科学、つまりフェムト秒の科学です。フェムト秒パルスを発振するレーザーを作ることから、分光装置の開発まで行ってきました。わたしの実績で最も有名なものは、現在、商品として最も短いパルス（7 フェムト秒）を発生するチタンサファイア発振器の開発^[4]です。これは、ウィーン工科大学にいるときに、地元会社と行った共同研究でした。このレーザーは、短いパルスを発生するだけでなく、その位相も制御できることが特徴で、その制御装置はわたしが偶然発見した現象をもとに作り上げたもの^[5, 6]であ

り、特許も取得しました^[7]。

分子研でスタートする研究室では、様々な波長の超短光パルスと同時に発生する装置を作りたいと考えています。いうまでもなく、分子科学の研究では、赤外から紫外まで様々な波長の超短光パルスが使われています。図1は、それぞれの波長領域での最短の光パルスのパルス幅を、光子エネルギー（波長の逆数に比例）を横軸としてプロットしています。このプロットの中で、わたしが携わった研究もいくつか入っています（図中青丸）。

図1の下絵に示すとおり、光は波長によって様々な形で分子と相互作用しますが、それぞれの相互作用の間にも深い関係があります。例えば、分子の電子状態が変われば、その振動や回転にも大きな影響が現れる場合が少なくありません。そのような現象について、実験で研究を行う場合、まったく異なる波長のレーザーを二台用意し、同期させなくてはなりません。超高速な現象を調べる場合、その同期はフェムト秒の精度が求められ、二台の異なるレーザーで、そのような同期をとることは極めて困難です。

そこで、様々な波長の超短光パルスを同時に発生させる光源が求められます。わたしが理研で開発した手法によって、そのような光源が現実的となりました。理研において、非線形係数の小さい気体を媒質としても、高効率な波長変換が行える方法を開発しました。気体は透過する領域が非常に広いので、波長変換できる領域が遠赤外から極端紫外まで広げることができますが、非線形係数が非常に小さいことが問題でした。これを克服する手段として、フィラメンテーションという現象を使うことを考えました。これは、高強度な超短光パルスが気体に集光されたとき、非線形効果による

屈折率増加（光カー効果）と、高強度パルスによる気体分子の多光子イオン化によって発生するプラズマによる屈折率減少が釣り合い、光が集光されたままレイリー長よりはるかに長い距離を伝搬する現象です。この現象をチタンサファイアレーザー出力（800 nm）の波長変換における相互作用長の伸長へ利用することによって、これまでにないほど高いパルスエネルギーで260 nm以下の紫外光パルスを15 fs程度のパルス幅で発生させることに成功しました^[10, 11]。また、同じチタンサファイアレーザーから同様の手法で、13 fsの中赤外光パルスを発生

させました^[8]。この手法を発展させることによって、少なくとも中赤外から紫外まで同時に発生させることができると考えています。この超広帯域光源は、同じ光源から発生するので、もちろんそれぞれのパルスは同期しています。さらに、それらの光を波としてすべて重ね合わせることも可能です。様々な相互作用におけるエネルギー移動を光の干渉性を利用して制御し、これまでなかったような分子の制御が可能となるかもしれません。

そうした新規な光源を作製し、分子研のさまざまなグループと連携して、分子科学の発展に貢献したいと考えています。

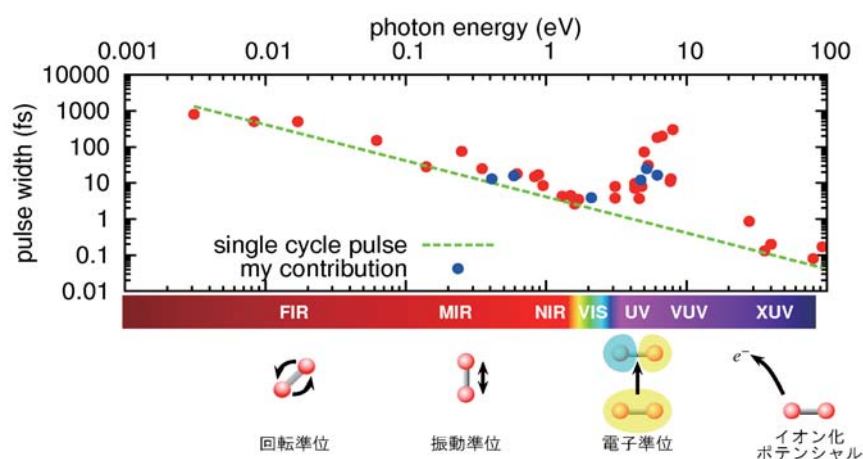


図1 2010年6月までに発生されたそれぞれの波長における最短の超短光パルス。縦軸はパルス幅、横軸は光子エネルギーで波長の逆数に比例する。分光に使用しやすい繰り返し周波数が1 kHz以上のものをプロットしている。緑の線は単一サイクルパルスを示し、この線より下の領域のパルスを発生させるのは極めて困難である。青丸は筆者が貢献した成果^[2, 8-12]。

参考文献

- [1] S. Nakanishi, et al. J. Synchrotron Rad., Vol.5, p.1072, 1998.
- [2] X. Gu, et al. Opt. Express, Vol.17, p.62, 2009.
- [3] 石井順久 他 レーザー研究 Vol.37, p.271, 2009.
- [4] T. Fuji, et al. Appl. Phys. B, Vol. 77, p.125, 2003.
- [5] T. Fuji, et al. Opt. Lett., Vol.30, p. 332, 2005.
- [6] T. Fuji, et al. New J. Phys., Vol. 7, p. 116, 2005.
- [7] F. Krausz and T. Fuji. Generation of radiation with stabilized frequency. WO2006008135.
- [8] T. Fuji and T. Suzuki. Opt. Lett., Vol.32, p.3330, 2007.
- [9] A. Baltuska, et al. Opt. Lett., Vol.27, p.306, 2002.
- [10] T. Fuji, et al. Opt. Lett., Vol. 32, p.2481, 2007.
- [11] T. Fuji, et al. Phys. Rev. A, Vol. 80, p.063822, 2009.
- [12] P. Zuo, et al. Opt. Express, Vol. 18, p.16183, 2010.