



## 超短パルスレーザーの進歩とともに



## 長澤 裕

(立命館大学生命科学部 教授)

ながさわ・ゆたか / 1991年に早稲田大学大学院理工学研究科修士修了後、総合研究大学院大学数物科学研究科に入学、分子科学研究所吉原研究室において、1994年に博士(理学)取得。その後、日本学術振興会 海外特別研究員、シカゴ大学 化学科 博士研究員を経て、1997年に大阪大学大学院基礎工学研究科の助手となる。同大学の助教授、准教授を経て、2015年より立命館大学生命科学部教授。

私が総合研究大学院大学の学生として分子研に来たのは1991年春のことだったが、その前に一度分子研を見学に行き、受験面接を受けている。見学のときには、超高速分光の吉原経太郎先生の研究室とラマン分光による生体物質の研究を行っていた北川禎三先生の研究室を見学した。結局、吉原先生の研究室を志望して面接を受けたが、その帰り、それまで東京住まいの自宅通いの学生だった私は、名鉄の窓から外の風景を眺め、「自分は随分遠くへ行こうとしているな」と心細く思ったものである。修士時代は、早稲田大学の高橋博彰先生の研究室で、時間分解ラマン分光を使ってフォトクロミズムの反応過程の研究を行っていた。時間分解と言っても、excimerレーザーを使用していたため、その時間分解能はナノ秒程度であり、吉原研で行うフェムト秒の超高速分光は、まるで次元の違うものであった。フェムトケミストリーのAhmed H. Zewailがノーベル化学賞(1999年)を取る前の時期でもあり、この分野における国際競争は熾烈を極めていた。バブルの波に乗って、吉原グループにも多くの外国人科学者が来ており、グループミーティングは英語で行われていた。私も吉原先生に「君も英語でやってね」と言われ、1回目に修士の研究内容を英語で発表しようとしたが、冒頭5分もしないうちにギブアップしたような気がする。2回目からはブロークンなイ

ングリッシュで発表したはずだが、その内容は全く覚えていない。

当時はまだ自己モード同期型のTi:sapphireレーザーは開発されておらず、フェムト秒パルスレーザーといえば、シンク・ポンプ型の色素レーザーしかなかった。これが極めて安定性が悪く、ちっとも言うことを聞いてくれない。なにしろ、色素溶液を電動ポンプで液体ジェットとして空気中に飛ばし、これにYAGレーザーの第二高調波をあててレーザー発振させるという無茶な発想のレーザーである。しかもシンク・ポンプ型なので、励起用のYAGレーザーと色素レーザーのキャビティ長は厳密に一致させないといけない。室温の変化によってキャビティ長が $\mu\text{m}$ 単位で伸縮すれば、もうレーザーは安定しない。しかも私が行っていた実験は、当時はまだ一般的ではなかった和周波発生(upconversion)法による蛍光のサブピコ秒時間分解測定であった。ちっとも安定しないレーザーで、目には全く見えない和周波を分光器に入れて検出しようという実験を、真っ暗な地下室で一日中何日も行うという気の滅入るような状況であった。当時いっしょに仕事していたのは、屈強なロシア人博士研究員のArkadiy P. Yartsev氏であり、彼はフェムト秒レーザーのエキスパートであった。和周波信号を30時間くらい積算していたのだが、その測定中、彼は片時もレーザーから離れず、自

己相関関数を見ながらレーザーキャビティの調整を行っていた。その結果、無事最初のデータを得ることができたが、このようなやり方では結果をたくさん出すことは難しい。どうしたものかと悩んでいると、分子研に救いの天使が舞い降りた。つまり、当時発売されたばかりのTi:sapphireレーザーのデモ機がやってきたのである。これは、光Kerrレンズ効果による自己モード同期の極めて安定な固体パルスレーザーである。さまにパラダイム・シフトを見ているような経験であり、Ti:sapphireレーザーの出現のせいで、色素レーザーは完全に駆逐され、ロスト・テクノロジーとなってしまった。デモ機を借りることができたのはごく短期間だったが、その後、装置開発室にTi:sapphireレーザーが入り、これをお借りすることができた。おもしろいように研究が進み、私も3年間で無事に博士号を取得することができた。このレーザーを使用し、電子供与性溶媒中の超高速電子移動や、ロチェスター大学との共同研究で、酸化チタンのナノ結晶に付加した色素の電荷移動による超高速蛍光減衰を測定し、論文としてまとめた。

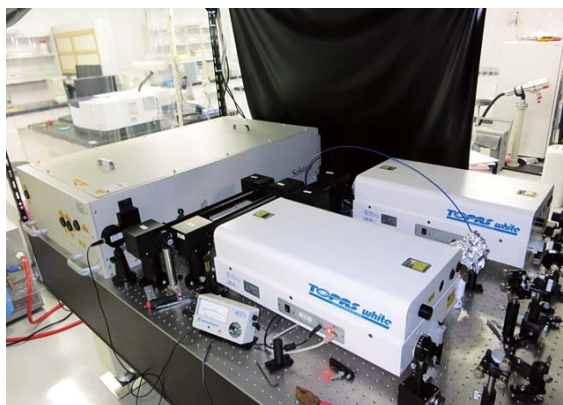
博士号取得後は、日本学術振興会の海外特別研究員として、シカゴ大学のGraham R. Fleming先生の研究室でお世話になった。当時市販されていたTi:sapphireレーザーのパルス幅はせいぜい70フェムト秒程度であり、これだ

と分子振動をコヒーレントに励起して核波束運動を誘起するのは困難であった。核波束運動の生成には分子振動の半周期以下のパルス幅が必要であり、30フェムト秒以下のパルスが必要である。ロチェスター大学のグループが書いた「Ti:sapphireレーザーの作り方」みたいな文書が出回っていたので、これをもとにTi:sapphireレーザーを自作して実験に用いた。私はフォトンエコーという電子の位相緩和を測定する研究を行っていたが、常温では電子のデコヒーレンスは超高速で起こるので、超短パルスレーザーを自作する必要があったのである。シカゴ大学に3年間在籍した後、大阪大学大学院基礎工学研究科に助手として赴任した。これまでの経験を活かし、阪大ではキャピティダンパー内蔵型のCr:forsteriteレーザーを製作した。このレーザーの発振波長は1260 nmと近赤外にあり、Ti:sapphireレーザーとは異

なるおもしろい実験ができた。このレーザーを顕微鏡下で集光すると、フォトクロミック化合物ジアリールエテンの2光子開環・3光子閉環反応を行うことができる。これは、レーザーを上手く調整すると、2光子で起こる開環反応を飛び越えて、3光子の閉環反応が起こるという興味深い現象である。

しかし、その後、レーザーの自作は行っていない。なぜなら、そのほうが楽だからである。自作だとメンテナンスや壊れたときの修理等は自分でやらないといけませんが、市販品を買おうと、お金さえ出せば、全て基本的にメーカーがやってくれる。現在の立命館大学の研究室には再生増幅器付きのTi:sapphireレーザーと非同軸型光parametric増幅器がある。私の自作レー

ザーとは比べものにならないくらい複雑なシステムであるが、経験の浅い学生でも、わりと簡単に実験が行えるほど安定している。時代は変わったものだと感慨深いものがある。ここから今後の研究について抱負を書こうと思っていたが、昔の思い出を書きすぎたため、もうページがない。そういうことは研究費申請のときにさんざ書いているので、ここで一旦筆を置きたいと思う。



立命館大学の再生増幅器付きTi:sapphireレーザーと非同軸型光パラメトリック増幅器システム。



## 東京理科大学での10年



### 根岸 雄一

(東京理科大学理学部応用化学科 教授)

ねぎし・ゆういち / 1996年3月慶應義塾大学理工学部化学科卒業、2000年7月慶應義塾大学大学院理工学研究科博士課程中退、2000年4月慶應義塾大学理工学部化学科助手、2000年7月分子科学研究所助手・助教、2008年4月東京理科大学理学部応用化学科講師、2013年4月同准教授、2017年4月同教授、現在に至る。その間、2013年8月～2015年7月文部科学省研究振興局学術調査官、2014年4月～2016年3月分子科学研究所物質分子科学研究領域客員准教授。

私は2008年3月まで、電子構造研究系の佃達哉助教授グループにて助手／助教としてお世話になりました。その後、2008年4月に東京理科大学の理学部応用化学科に異動し、それ以降は、東京理科大学にて自分の研究室を運営しています。今年は研究室を運営

し始めてからちょうど10年目でしたので、先日、研究室発足10周年記念パーティーをハイアットリージェンシー東京にて開催しました(写真)。そこでは、うちから卒業した多くのOB・OGに会うことができ、その日は本当に感慨深い一日となりました。

さて、このように私は10年前に、東京理科大学に異動したのですが、その時には、実は自分の研究費は殆どもっていませんでした(科学研究費若手研究(B)の50万円と科学研究費特定領域研究の160万円のみ!)。この10年間、いろいろな人事を見てきていますので、東

京理科大学はそんな状況の私を良く採用して下さったなと思っています。その時の応用化学科の教授陣のご英断には本当に感謝してもきれない思いです。こうした状況で研究室の立ち上げを行いましたので、1期生の学生が研究室に入ってきてくれた時には、実験室には、殆ど物が無い状況でした。ですので、研究室立ち上げは決して順調というわけではなく、最初の数ヶ月は、実験も行えず、毎日、学生と輪講のみを行っていました。最初の年は、6月後半から1人ずつ実験を開始しまして、最後の7人目の学生が実験を開始した時には、もう9月の半ばになっていました。幸い、次の年には少し大きめの研究費を頂くことができ、それ以降は、研究環境は大きく改善されています。

こうしてスタートした研究室ですが、これまでに65名の学生が根岸研究室に入ってきてくれています。また、その内の60名は、うちの研究室で大学院まで進学してくれています（内部大学院進学率92%以上!）。うちの研究室は東京理科大学の中でも特別人数の多い研究室というわけではないのですが、こうした状況ですので、うちには常時、20名前後の学生が在籍しています。教員数を考えますと、この数はあまりに多いのですが、ただ、東京理科大学の学生は本当に真面目で、毎日真摯に実験に取り組んでくれますので、決して、人数が多すぎて研究を行えないという状況ではなく、彼らのおかげで、いろいろな課題に同時に取り組むことができます。

さて、東京理科大学ではどのような研究を行っているのかといえますと、金属クラスターの基礎と応用について研究を行っています。私自身は、クラスター研究には、慶應義塾大学の茅幸二先生の研究室に学部4年生の時に配属された時か

ら継続的に取り組んでいます。学生時代は、真空中で生成するクラスターを対象に研究を行っていましたが、博士課程の時に、クラスターを真空中から大気中に取り出して光らせるという実験を茅幸二先生と中嶋敦先生（現慶應義塾大学教授）に経験させて頂きました。それまでは、オシロスコープでしかクラスターの生成や物性（より正確には電子構造）を観測したことはありませんでしたので、取り出したクラスターが光る様子を実際に自分の目で見たときには本当に感動しました。それでそれ以降は、私の興味は、クラスターの物質化学研究に移っています。幸い、佃達哉先生（現東京大学教授）に助手として採用して頂き、そこでは、金属クラスターの精密化学合成に取り組ませて頂きました。佃先生との協力のもと、数年後には、いくつかの精密な金属クラスターを化学合成できるようになり、それで今は、それら金属クラスターを高機能化させる手段の確立と、そうした金属クラスターを活用することで、現代社会が抱えるエネルギー・環境問題の解決に貢献することに取り組んでいます。

こうして、これまでの自分の研究経緯を記載してみますと、今の研究は、学生時代から取り組みたいと思っていた課題だということを改めて実感します。クラ

スターの面白さや物質としての可能性が分かれば分かるほど、それらの特質を活かした材料を作りたいと思うようになりましたし、化石燃料の枯渇問題や環境問題が深刻化してからは、エネルギー・環境材料の分野で貢献したいと思うようになりました。そうした分野で私達が果たしてどこまで貢献できるのかについては、私達の今後の頑張り次第だと思っていますが、いずれにしても、今は、本当にやりたかった研究を行っていると自分自身感じています。

以上が、分子研を卒業してからの10年の近況報告です。前述の通り、この10年の間には、65名の学生を指導させて頂きましたし、その内の2名の学生には博士の学位を授与させて頂きました（立教大学助教の新堀佳紀さんと、東京理科大学助教の藏重亘さん）。先日の10周年記念パーティーにて、卒業生は皆、社会にでてからも活躍している様子を伺うことができ、そのことにもの涙く嬉しさを感じました。私達大学教員は、研究だけではなく、人材育成も大きな使命となっていますし、また私自身、人材程の宝はないと感じています。残り20年余りの教員生活の間には、科学技術の進展に加えて、人材育成の面でも可能な限り、世の中に貢献してゆきたいと思っています。







## 分子研を去ってからの10年



## 大江 洋平

(同志社大学生命医科学部医情報学科 准教授)

おおえ・ようへい / 2006年3月、同志社大学大学院工学研究科博士課程（後期課程）修了。博士（工学）、2006年4月～2008年3月、分子科学研究所 IMS フェロー（魚住グループ）、2008年4月、同志社大学生命医科学部助教（有期）、2013年4月より現職。

分子研をあとにしてから早いもので10年が過ぎようとしています。2006年4月、私は魚住泰広教授の研究室の博士研究員として分子研に赴任致しました。着任後すぐに、「水中で働くグリーンな不均一触媒」の研究に携わることが決まり、学生時代から論文を通して非常に興味をもっていた研究に触れるという喜びとともに、「自分は、アカデミックの世界でやっていけるのだろうか」という不安を持って分子研生活をスタートした気持ちが今でも思い出されます。そうして始まった分子研生活ですが、そんな思いを忘れるくらいの素晴らしい研究環境と人間環境の中、たくさんの刺激を受けながら忙しくも充実したポストライフを満喫しました。そんなある日、大学時代の恩師で現在の上司である太田哲男教授から「同志社大学の新しい生命医科学部という学部で化学系の助教を募集している」という連絡を頂戴し、運よくその職を得ることができました。分子研着任から2年が過ぎた2008年3月、分子研を去り、同年4月より同志社大学生命医科学部医情報学科にて新たなキャリアをスタートしました。

さて、現在の所属である医情報学科はいい意味で変わった学科であり、分子研とはまた異なった刺激を私に与え

てくれます。学科のカリキュラムは、電気・電子工学および情報学を主幹科目とし、それらに加えて生物、生命物理学、数学、および化学の基礎を学ぶというものになっています（悲しいことに、純粋に有機化学を学ぶのは、1年次の基礎科目だけです）。研究室は6つの系統に分かれており、学科で所有しているMRIやNIRS、超音波診断装置といった医療にも用いられる機器を駆使する研究やコウモリ・ネズミを対象とした行動生物学的研究、生命物理学研究そして私たちの有機化学の研究など多様な分野の研究が展開されています。学生さんは、広範な座学を済ませて4年生になると自分の興味がある（もしくは雰囲気のある）研究室を選び、そこで専門性を尖らせていくカリキュラムになっています。このような教育環境で育った学生さんのうち、電気・情報系が苦手な学生さんや有機化学に興味がある学生さんが太田・大江研を希望してくれているようです。4年生は毎年だいたい20名ほど配属されますが、当研究室では大学院への進学率は低く、5名進学すればよい方です。それでも、総勢30名程度の大所帯であり、大学院生にお願いできない4年生の実験に関しては、私自身が講義や会議の合間を縫って直接指導を行ってい

ます。とくに、春学期は基礎技術も知識もないので、学生さんには迷惑の上ない話ですが、私が横にへばりついて教えることも多く、時間的に非常に厳しいことも多々あります（このシステムは学内外の仕事が増えてくるとともに辛くなっているの、考え直さないといけません）。とはいえ、素直な学生さんたちに恵まれ、一緒に楽しく研究させていただいています。研究テーマとしては、相変わずの触媒反応の開発から、生体情報の取得に向けた分子プローブの開発と利用、変わったところではGC-MSによる呼気分析といったものまで、自身の専門と学科の特徴をバランスよく取り組み、うまくいったりいかなかったりを繰り返しています。意外にも、どの研究をやりたい？と4年生に聞くと、合成をやりたいという学生が結構たくさんいます。そんな学生さんの中から、触媒反応を研究テーマに博士後期課程を修了し、現在は有機合成の博士研究員として頑張っている中村祐士博士（生え抜きの1期生）や合成した分子プローブでの生体情報取得に関する研究に没頭しているD2の濱口尚人君のように生え抜きの博士後期課程の学生さんもしっかり育てられています。上述のカリキュラムのことを考えると、これは驚くべきことだ

と思います。また、インドネシアからの博士後期課程の留学生のAnggi Eka Putra博士は生命医科学研究科にて博士号を取得し、現在はなんと分子研の魚住グループで博士研究員としてお世話になっています。彼らには、ラボワークも含めてこの10年の研究生生活を非常に助けられました。もちろん、彼ら以外のいずれの学生さんも有機化学を専門的に学んでいないにもかかわらず、よく勉強して食らいつき、知識や技術を次々と吸収して育っていく姿を見ると私も新しい何かを会得して、研究をもっと広げていかなくてはならないなあとつくづく感じます。幸いなことに、そのひとつの機会として、2014

年9月から1年間には、在外研究の期間をいただくことができました。せっかくの機会なので私も新しいことを勉強しようと、LMU（ドイツ・ミュンヘン）のHendrik Zipse教授の研究室に滞在し、そこで1年間DFT計算による反応機構解明とスペクトル予測の研究法を勉強させていただきました。Zipse先生の細やかなご指導により、これらの計算手法をマスターすることができましたので、帰国後さっそく小さな計算環境を整え、こつこつと計算実験も始めております。まだ、外に出せるような内容には達していませんが、この小さな芽が私と化学に疎い学生さんとの間の共通の興味となり、よい研究に育っ

てくれればいいなという甘い妄想をしながら、徐々に学生さんも交えつつ丁寧で育てている段階です。

「やっていけるのだろうか」と不安に思ったスタートでしたが、分子研のポストクとして2年間、そして教員として10年間と何とかまだやっていきます。このように研究生生活を継続できていることはとても幸せなことだと思いますし、まだこの先も継続していけるように頑張りたいと思います。最後になりましたが、そのスタートとなる分子研でのポストクの機会を与えていただきました魚住泰広教授に心より感謝申し上げます。ありがとうございます。

## 覧古考新 10 | 2000年

分子科学研究所が1975年に発足して25年目を迎えている現在、分子科学を取り巻く環境は、分子科学の急速な発展とともに大きく変化してきた。環境科学、生命科学あるいは情報科学などが、「物質」をキーワードとする分子科学の周辺分野として発展し、それらの分野にミクロな理解をあたえる科学として分子科学が大きく入り込んでいる。原子・分子の知識が、普遍化した結果であり、とりもなおさず分子科学の進歩の結果であると言える。このような分子科学の広がり、他方分子科学自身の今後重要な問題を投げかけている。つまり、あまりにも多くの道があるために、分子科学の先導役としての分子研がどの道を選択するか任意性がありすぎるように見える。分子研は、その一つとして生命科学と相互作用する方向を選択した。究極の複雑系物質として生命体は、21世紀に学ばなくてはならない重要なターゲットである。

しかし、分子研のもっとも重要な課題は、「道を選ぶ」のではなく「道を作る」ことにある。しかもその「道」はいままで分子科学が通ってきたものの単なる延長ではなく、惰性を捨てて、よじ登っていかなくてはならない方向にある。先導的学術研究の重要な課題は、当面する問題を研究し、その解を求めるだけでなく、次世代に涉って解くべき問題を発見提唱する点である。「次世代への道」を提唱し、共同利用機関として、分子科学がいままで相互作用することのなかった分野を含めた国の内外の研究者と連携しつつ、新たな挑戦をすることが、分子科学研究所に与えられた使命であるといえよう。

分子研レターズ No.41「レターズ」(2000年)  
茅 幸二 (分子科学研究所長)