

増原 宏 濱野生命科学研究所 21 生命科学研究所 主席研究員
大阪大学名誉教授

光科学と分子研

分子研レターズに寄稿するチャンスを与えていただきました。私にとって分子研は装置を使わせていただいた時代はもちろん、訪問すらしないときも気にかけてきた研究所ですので、大変うれしく思っています。なかなかない機会ですので、私の研究について述べさせていただき、次に分子研との関わり、今後の光科学研究に関連して分子研に期待することを述べます。



レーザーと光化学

私は1965年に東北大学理学部化学科で小泉正夫（1974年逝去）教授の研究室に4年生として入り、研究の手ほどきを受けました。頭でっかちの学生でしたので、研究の現場になじむのに少々時間がかかったように思います。量子力学、量子化学、電磁気学を勉強して、電子状態から反応の何たるかを知りたい、そのためには何をどう勉強すればいいか、今後どういう研究をなさるのか、小泉先生や当時助教授だった奥田典夫（1981年急逝）先生にさかんに質問をしたものです。小泉先生は、今

まで反応速度論的な手法で光化学反応を解明してきたけれど、これからは反応の途中を、道筋を見なくてはいけない、そのためにはフラッシュフォトリシス、ガラス状態にトラップした反応中間体を調べる剛性溶媒法を活用していくと言われたことをよく覚えています。私のテーマは、低温剛性溶媒中で光照射により π ラジカルを作り、その電子スペクトルを測定帰属することで、そのための具体的な仕事は、開殻系 π 電子状態計算のプログラムを作ることで、設置されたばかりの東北大大型計算センターに通い、又まとまっ

たデバック時間のもらえる東大の大型計算センターに出張しました。電子状態計算は小泉研では初めてでしたので、東工大森雄二先生、千葉大青野茂行先生、大阪市大西本吉助先生に個人的にアドバイスをいただきました。また東北大に着任したばかりの中島威先生には修士学位論文を見てもらうなど理論化学の先生と議論する機会がありました。このような研究の中で、私は理論化学の世界ではとつてもやって行けないだろうと思い、勉強した電子状態の視点で議論できる実験研究をしたいと考え、研究室を替わりたいと申し出ました。小泉先生はそれでは又賀先生に私を推薦してください、阪大の基礎工学部合成化学科の博士課程に転入学しました。

まずはら・ひろし

東北大学理学部化学第二学科卒業(1966)、東北大学大学院理学研究科化学専攻(修士課程)修了(1968)、大阪大学大学院基礎工学研究科化学系専攻(博士課程)修了(1971)。日本学術振興会奨励研究員、大阪大学基礎工学部助手・講師、京都工芸繊維大学繊維学部教授、ERATO 総括責任者(1988-1994 兼務)、大阪大学大学院工学研究科教授を経て2007年より現職。光化学協会賞(1989)、LVMH ダビンチ賞(1993)、日本化学会学術賞、大阪科学賞(1994)、ベルギーアカデミー外国人会員(1998)、レーザー学会論文賞、光産業技術振興協会桜井記念賞(2005)、化学会賞、ポーターメダル、日本分光学会学術賞、エコルノルマルスベリオール・ド・カシャン名誉学位(2006)、IUPAC フェロー(2007)など受賞。

たデバック時間のもらえる東大の大型計算センターに出張しました。電子状態計算は小泉研では初めてでしたので、東工大森雄二先生、千葉大青野茂行先生、大阪市大西本吉助先生に個人的にアドバイスをいただきました。また東北大に着任したばかりの中島威先生には修士学位論文を見てもらうなど理論化学の先生と議論する機会がありました。このような研究の中で、私は理論化学の世界ではとつてもやって行けないだろうと思い、勉強した電子状態の視点で議論できる実験研究をしたいと考え、研究室を替わりたいと申し出ました。小泉先生はそれでは又賀先生に私を推薦してください、阪大の基礎工学部合成化学科の博士課程に転入学しました。

すなわち時間分解可視紫外吸収分光装置を作ることでした。ナノ秒領域では従来のプローブ光が弱くもたもたしていたところ、偶然幅広く強いCT蛍光がセルの中を走るうちにCT励起状態により吸収される現象を見つけました。この励起状態自身による再吸収効果を解析することにより、世界で初めてCT錯体の $S_1 \rightarrow S_n$ 吸収が取れてしまったのです。このときのレーザー励起蛍光スペクトルは写真のフィルムで測定し、現像したら乾くまもなく覗いて、教授室に報告に走るという素晴らしい経験をしました。又この論文を投稿したところ長倉先生から直接コメントをいただき感激したことを覚えています。

複雑系のほうに興味があった私は、又賀研の電荷移動錯体、エキシプレックス研究から、徐々に高分子溶液、高分子固体へシフトしながら、ナノ秒、ピコ秒の時間分解分光をもとに光物理光化学過程を調べる仕事を続けました。この中で私は化学反応の研究におけるレーザーの持つ高いポテンシャルを生かした化学反応の将来の研究は空間分解化学にあると考え始めました。1985年にIBMアルマデン研究所に3ヶ月滞在したときは、京都工芸繊維大学教授に就任1年後でしたので、本当に自由に、真剣に今後の光化学、レーザー化学はどうなるだろうか、その中で私は何をすべきか、と考えるときでした。高分子のレーザーアブレーションの研究を行い、3件の速報にまとめましたが、その1報をChem. Phys. Lett. に投稿しました。当時のことですから、この仕事はChemical Physicsではないと、簡単にリジェクトされるだろうと思っていたのですが、伊藤光男先生はこれからこういうものも大事になると掲載してくれました。大いに勇気付けられたことです。この掲載が、その後空間分

解的な化学研究をしようと決める背景の一つになったかと今では思っています。

1988年に新技術開発事業団（現科学技術振興機構）のERATOプロジェクト総括責任者として選ばれたとき、レーザーと顕微鏡を駆使した微小空間の分光と反応の研究を行うとして、「増原極微変換プロジェクト」として立ち上げました。以来一貫して微小領域のレーザー化学の研究を展開してきました。1991年に阪大工学部の応用物理学科に移ってからは、化学と違うさまざまな手法や方法論から刺激を受け、特に走査型プローブ顕微鏡には心を揺さぶられました。私はレーザーと化学から離れたら終わりとして一貫して立場は変えませんでした。こういうことでとり着いた成果を最近では以下のようにまとめております。

1. 時間分解・空間分解分光法の開発と分子系光ナノダイナミクスの解明
2. 集光レーザービームの光圧による分子系ナノマニピュレーション
3. レーザーナノアブレーションのダイナミクスとメカニズムの解明およびバイオサイエンスへの応用

この内容で昨年春のIUPAC光化学シンポジウムの会期中に欧米垂三光化学協会からポーターメダルをいただくことができました。タイトルは「Pioneering Laser-induced Time- and Space-resolved Micro/Nano-size Photochemistry」で、本多健一先生（1992年）、又賀昇先生（1996年）につぐ日本人として3人目の荣誉となり、大いに感激いたしました。皆様も御存知のとおりポーター先生は分子研にもゆかりの深い先生で、国内外の国際会議で何度も一聴衆としてお話

しを伺っておりました。フラッシュフォトリシス、レーザーフォトリシスから光合成初期過程への研究展開には、大変説得力ある物理化学のストーリーを感じました。方法論開発からそれを駆使した新現象の探索と解明、新概念提案に至る流れが、物理化学のみならず、化学あるいは分子科学の研究者に一つの研究基準を与えてきたと思います。私のレーザーと顕微鏡を駆使した極微化学も、方法論の開発、新現象の探索と解明を志向する研究ですから、私にとってポーターメダルをいただいたことは非常な喜びです。私たちの研究は、結果として物理化学の枠にとどまらず、ナノサイエンス・ナノテクノロジー、ナノ物質の化学、単一分子分光など現在活発な研究展開に貢献があった、関連学問分野に方法論的寄与をしたと認めていただいたと思っています。私は物理化学の研究者集団のど真ん中にいる、分子科学の発展をもっとも担って来たという意識はまったくありませんが、物理化学、分子科学という学問への憧れを心に持ちつつ、オリジナルな学問は独自の立場からのみ生まれると信じ、光化学から特徴あるアプローチを展開してきたつもりです。

分子研との関わり

1975年に分子科学研究所が設立されました。分子科学研究所ができた、研究会があるから行きましようという機会が何度かありました。又賀先生と御一緒したことが多かったと思います。愛知教育大が移転した後のキャンパスを使い、ここが研究棟、あそこがテニスコート、寝泊りできるロッジは二つあって……研究会だけではなく新しい建物の見学会があったことをも覚えています。赤松先生が所長で、如

何にこの研究所が新しい分子科学を展開するかというお話をじかにお聞きしたこともあります。我々の分野では吉原経太郎先生が若き教授として着任され、パルスレーザーによる高速分光の実験を開始されました。新しい建物、素晴らしいレーザーは若い我々にとって魅力たっぷりでした。そして分子研に属さない研究者にとって、分子研は衆望の対象であり、ぶつかるべき競争相手でありました。長倉研、田中郁三研、吉原研、そして我々又賀研は幸せない時期を持ったと今でも懐かしくおもいだされます。

当時の高速分光、それを駆使した光化学は、分子科学の一つの華だったといえるでしょう。やはり化学はダイナミクスである、反応である、反応は時々刻々変化する、その変化するさまを長時間で見よう、それにより新しい反応の概念も生まれるという考えは化学者を引き付けます。当時は可視紫外吸収スペクトルの測定が中心で、400nmから700nmにかけて山が二つあるかないくらいでしたが、そのインパクトは極めておおきいものでした。ナノ秒分光により電子移動過程の直接測定を始めたころの又賀研を例にとって言えば、高分子重合、高分子の光伝導、構造有機化学、太陽エネルギー変換などの権威の先生が来られ、まさに「桃李不言、下自成蹊」と感じました。東工大田附重夫先生、阪大三川礼先生、阪大三角荘一先生、東大本多健一先生、北大林晃一郎先生、九大松尾拓先生、筑波大徳丸克己先生らが又賀先生をたずねてこられ、幸いにも近くで話されるのお聞きする貴重な経験をさせてもらいました。光電子移動を中心に時間分解で反応ダイナミクスを明らかにすることが、これほどインパクトがあるものかと驚くばかりでした。吉原先生

をはじめとする分子研のレーザー分光、他のグループの高分解能分光もおそらくは同じ状況であっただろうと思います。まさにレーザー分光、レーザー化学を中心とする物理化学が化学一般に大きな吸引力を示したころでした。その後も高速分光研究においてはこの状況が続き、時間分解分光は電子スペクトルから、ラマン、振動……とあらゆる分光に広がっていき、これが1999年のZewailのノーベル賞につながる流れだったことは言うまでもありません。この流れの中で、分子研は日本のこの分野の中心であり、多くの若い研究者に高速分光への入門の機会をあたえたものと思っています。

私は1984年に京都工芸繊維大学で一研究室を持ったとき、又賀先生とは一味ちがった研究をしようと考えました。しかし化学におけるレーザーの魅力、インパクトから離れることはまったく考えませんでした。阪大から独立した若い教授にとっては、地方の小さい研究室にとっては、分子研はまさに救いの神であり、日本のその分野の底上げに大いに寄与していると感じました。そのころの分子研の評判は極めてよかったと思います。私にとって吉原教授、山崎助教授は我々を助けてくれる人であり、我々の想いを実現してくれる人でした。分子研は今後の分子科学はこの方向と信じさせてくれる力を持った組織だったといえます。

しかし1990年代に入り研究費も増え、レーザーもいきわたってくると分子研への興味は浅くなり、魅力は薄れてきました。私自身のこの経験からいうと、初期の分子研のパワーの根源はやはり一研究室ではもてない装置にあり、システムにあったと言わざるを得ません。装置を一旦持つと、院生をかかえ、広い分野の研究者をかかえる大

きい大学の研究者が、分子研より圧倒的に強くなるのは否定できない事実です。しかし大学はまた多くの院生と教育の重石を引きずっているので、方向転換すべきときでも簡単にはできません。それに対し分子研は新しい流れをいち早く実現できる立場にあるし、科研費だけがベースではない分子研ではそれは予算的にも可能であろうと予想します。私が分子研並みのレーザー装置を持てるようになった1980年後半は、分子研は次の分子科学の吸引力をレーザーから走査型プローブ顕微鏡にシフトし、空間分解の視点を持って分子科学に取り組み、新展開するチャンスがあったと思っています。それにより、分子研が分光を中心にした物理化学のみならず、物質科学一般にリーダーシップを発揮する格好のチャンスをもてた、ナノ時代に10年早く先鞭をつけられたはずだと、外部にいた私には思えました。上に述べたように私個人は京都工芸繊維大学で1988年にERATOプロジェクトを始める機会をいただきましたが、一教授に過ぎない私個人としてはレーザーから離れるわけには行かないと判断し、レーザー+顕微鏡で物理化学としての新現象探索と解明を図り、新しい分子系の微小領域光科学にトライする道を選びました。

光科学と分子研

計算センター、UVSORなどの大型装置も分子研の大きなパワーの一つになって動いてきていると思いますが、変化の激しいサイエンスの動向を押さえて研究所としてどう生きていくのか、今後一層難しい舵取りが重要になっていると思います。ここではわたしの聞きした光科学の動向と、その中で分子研が強い求心力を発揮できるのでは

ないか、という私の希望を述べます。

21世紀は光の時代と言われていますが、光科学研究はその期待に反することなく展開し、あらゆる科学と技術に貢献しているといえます。最近では光科学技術がポストナノテク・ナノサイエンスとして取り上げられることも多く、真に学問と産業を支える基盤として認められる日が近いように思われます。まず光科学技術の持つ大きな枠組みを理解するために、光科学技術とナノテク・ナノサイエンスを比較してみます。ナノテク・ナノサイエンスは有機、無機金属、デバイス、生体を問わず、ナノレベルの分子、原子レベルで、計測、制御、作製、機能発現などを図る科学技術と考えることにします。このナノ研究に、電顕、STMは必要ですが、それらの開発がナノテクとは誰も思っておりません。光科学技術もまた、有機、無機金属、デバイス、生体を問わず、光と物質の相互作用を駆使して、計測、制御、創製、機能発現などを図る科学技術と位置づけることができます。光科学技術の発展にレーザーと顕微鏡は必要不可欠ですが、それらの開発のみが光科学技術の推進ではありません。しかしながらレーザー装置、光源の開発が光科学技術であるという受け止め方が一般の関係者に多くあるのは残念なことです。私は光科学技術のある種の技術開発に限定するのではなく、ナノテク・ナノサイエンスを上回る高いポテンシャルを持っていることこそを主張すべきであると思っています。特に時間、空間、エネルギーを完全に制御して、非接触に、非破壊に、計測、制御、作製、機能発現を図れるのは光科学とそれをベースにする技術を置いて他にありえないからです。

次に、光科学技術とナノテクのアウトプットを比較してみましょう。ナノ

テク・ナノサイエンスは、新しいもの、材料、デバイス、チップなどのものの生産につながる基盤技術と定義できるでしょう。一方光科学技術は、光に関する新しいもの、材料、デバイス、チップなどの生産を生むでしょうが、もっと大切なことは、ものの理解、デバイスの構想にとどまらず、ものを作り出すメカニズム、次の生産方式の新しい発想を与えるところにあります。これは光科学がナノサイエンス以上に期待される理由の一つになっており、光で基礎的なものづくりを心がけてきた光化学の歴史が教えるところであり（紙数の関係で詳しく触れられないが）、光科学の特徴です。

日本の光科学のレベルは非常に高いと考えられています。たとえば化学では（私たちの分野で恐縮ですが）、この3月まで藤嶋昭代表の「光機能界面の学理と技術」（100研究室が参加）と、不肖私が代表の「極微構造反応」（86研究室が参加）が並列して走っていました。平成19年度の科研費特定領域研究の化学分野に選ばれた3件の課題は、いずれも光を駆使した化学の研究です。加えてこのような基礎研究のみならず、光触媒を中心に新しい産業が生まれつつあります。光物理や他の光技術においても同様に世界的に誇れる仕事が次々と発表されており、この歴史と流れに関わって来た素晴らしい人々を抱え込むような形で、わが国の光科学技術の研究推進は行われるべきと考えています。

今後の光科学技術の推進を図る上で参考になるのは、ナノテク・ナノサイエンスはどうやってその大きなプログラムにまで纏め上げることができたのかです。それに習い、いや光科学技術の枠組みはそれ以上に大きいはずですから、ナノテク・ナノサイエンス

以上の構想を持って光科学技術の方策を練ってほしいと願っています。具体的な方策の一つは、光と物質をカップルさせるために、光科学技術とナノテク・ナノサイエンスの融合を図りながら、研究を展開することだと思います。さらに組織的なレーザー装置開発をスタートさせながら、物質、生命、産業、医療のみならず、心理学、社会学と社会そのものまでを射程に入れて、具体的な組織作りを提起すべき時が来ています。そのためには産官学の理解を得て、新しい組織、既存の組織を問わず大きな目標にしたがってフレキシブルに動ける人々を集め、光科学技術の枠組みを正しく理解してもらうところから立ち上げるべきであると思います。

そのような状況では、レーザー光源開発から、光と分子の相互作用の本質を押さえ、かつ光が社会に役立つところまで目配りできる組織が必要と考えられます。さてそのような組織はどこにあるかと考えると、大学の学部でもなく、装置に偏重した研究所でもなく、まさに個人レベルで戦っている研究者が集結する分子研がふさわしいと思います。分子研は光科学をもっともサイエンスとしてまじめに捉え研究を実践してきた研究所です。その研究所に光科学を中心に、光源開発から光技術の行く末までを、波及の先までを見据えてマネージしてもらいたいと希望しています。この役割は分子研にパワーを与えると期待しています。ポストナノテクとしての光科学技術の発展を願う私にとって、まさに時間と空間とエネルギーで分解しながら化学現象を引き起こし、解明し、制御する光科学に、光科学技術の基盤があり学問の求心力があると思っています。