



分子研に赴任して

関連領域研究系分子クラスター研究部門 久保 厚

平成12年4月に京都大学理学部化学教室より分子研の流動部門に赴任しました。京都大学からは博士課程の西山君と市川君がいっしょに来ました。市川君は今年4月から富山市の博物館に就職しました。非常に緻密な実験データを出す人でいつも感心するのですが、貴重なデータをまとめて近く世に出してもらえるものと信じています。西山君も現在、京都大学の寺尾教授の御指導で論文の仕上げに取り組んでいるところです。市川君は分子性結晶のdisorderを重水素NMRスピン拡散の実験で調べました。また西山君はコレステリック液晶やネマティック液晶の高分解能¹³C NMR法の開発を行っています。

私自身の紹介をさせていただきます。博士課程修了まで名古屋大学理学部化学教室の中村研究室にいました。卒業後、カナダのプリティシュ・コロンビア大学にポスドクとして約2年、留学したことが大きな経験であった様に思います。西洋社会では若者が権力におべっかを使ったり擦り寄ったりすることは必要とされないとは聞いていたのですがまさにそのとおりであった様に思います。私のボスはすでに引退して名誉教授だったのですが、彼が金曜の夕方時々皆にビールや中華料理をおごってくれたりしました。日本人のポスドクはたいがい喜んで付いて行くのですが、イギリス人のポスドクの1人はあいつの話を聞かされるのは御免だという感じでいっしょに食事をするのを拒否していました。前提としてそのような行動をとっても不利益を受けないということが保障されているようです。また日本から来た先生が講演された時、話がわかりにくかった所為か学生が話

の途中でどンドン席を離れていきました。カナダの学生は講義で寝る必要はないようです。

ボスがまた親切な人でよその研究室のポスドクにおまへのところの先生は学生のデータをとり上げて自分でさっさと論文にしてしまう癖があるとアドバイスしていました。アメリカ人の友人が人間よりも犬の方がよっぽど誠実だと言っていたことも思い出します。ボスがよく言っていたのは大学は原則を教える場所だということでした。かつてその大学で学生をしていたという教授らしき人は、自分も学生のころは彼とよく衝突したが今になってみると彼のやりかたはほぼ正しかったというようなことを言っていました。さてその原則として彼や私の友人達は何を言っていたかと断片的に思い出すと、「才能は伸ばすためではなく皆で使うためにある。」日本に帰って文庫本を読んでいると似たような考えに出会いました。「道具は作った人のためにあるのか？ 使う人のためにあるのか？」「医術は、医術の利益になることを考察するものでなく、身体利益になることを考察するものなのだ。」（プラトン、国家。）「西洋の学者は、東洋の学者のように知識を集めて悟りを開くことが目的ではなく、ただ皆の使えるように知識を図書館にでも整理しておくのが役目。」（おそらくパール・バック、大地）同様にして「論文はpublishした時点で学会発表し、使ってくれそうな人に配る。」「終わったら、さっさと他のテーマに移る。」「博士論文は使うためにある。」

「若い時は人格など問うても仕方ない。だが年をとれば誰でも理解するようになる。」「何が悪いことが皆が判るように、悪の標本のような人も時には必

要。」ポスドク時代、廊下で他の研究室の先生とすれ違うと嫌な顔をしていたのを覚えています。同僚のポスドクもそのように言っていました。装置の修理や工作等は年配の優秀な技官の人が素早く対応してくれました。俺達が働かないことには大学が成り立っていかないから、というような自覚と自信を技官の人達が持っていたのが印象的でした。同僚にインド人のポスドクがいて、仕事は速くないが非常に親切な人でした。彼は、「キリスト教ではどんな悪いことをやっても心から謝罪すれば許される。」と言っていました。ポスがNMRの本を書いた著者の名を挙げて「こいつは自分の本には一個所も誤りがないと主張している。」と非難していました。「良い人はどこにもいない。」

また留学中に広島かどこかの大学の助手が教授を殺害したという記事が物理教室の掲示板に張っており、ポスがそれを見て、大学院生に殺されない様という戒めだといっていました。「ここではfacultyになったらほぼ自動的にprofessorになる。」とも言っていました。「私におとなしく付いて来れば教授にしてやる。」とか言う人がいたとすれば目標の設定が根本から間違っているのではないのでしょうか？原則を理解させ、社会において自分の持ち場で可能な限り原則に従って行動する人を育てるとというのが、カナダの大学での教育方針でした。

留学して半年あまり、論文を読んだり、自分の提案したテーマで結晶作りを試みたり、ことごとく失敗しました。その頃、研究室は気の優しいインド人と私の2人だけでしたので日に日にポスの表情が硬くなっていったような気がしました。その時もらっ

たのがスピン拡散のテーマでした。2つの論文があり、一方はノーベル賞学者の、もう一方はアメリカの企業研究者の論文でした。ノーベル賞学者の方は非常にきれいに書かれていて、もうこの実験を繰り返しても結論は全く同じになってしまうような気がしました。もう一方の企業研究者の論文は読みづらいものでした。けれど良く読んでみると企業研究者の論文も異なる近似方法を取っていて無視するのは公正でない気がしました。またポスが「ノーベル賞学者は優秀な学生を集めて使っているだけ。」「自分の論文以外は引用せず小さなグループの論文を無視する傾向がある。」と非難していました。実験結果を良く眺めてみると自分の系においてはノーベル賞学者の近似は適用できないことがわかりました。またバス停でバスを待っている時、児童を数人連れて先生が「私達は多人数だから先に乗って欲しい。」と譲ってくれることがありました。「人は地位や家柄ではなく行為によって評価されるべき。」論文でなされた行為を考えると、きれいにまとまっていれば確かに後で読み易いが、自分の限界ぎりぎりのところでもがきながら新しいことを見つけようという仕事も大切に思います。編集のプロがいて体裁良く論文を仕上げるとことは読者にとっては結構なことですが、逆に論文を読むプロがいて、体裁の悪い論文から真にその論文でなされた行為を抽出し公正な評価を下すということの方が必要な気がします。そんな調子でずいぶん年配の先生方に反感を持たれるような論文を書いてしまいました。ただ比較的若い人には今でもその頃の論文を引用してくれたりするようです。



友人の一人にそんなに働いてもどうせ professor の仕事となるだけだ、と忠告してくれる人がいました。自分でも自分のしたことただ与えられた問題を解いただけということはよく自覚していました。しかしながら何人かの人（論文の読者や友人）と共感することができたことが大きな経験として残りました。ボスは、「模倣はやはりオリジナルにはかなわない。それは読めばわかる。」また新たに教授として赴任する人について、「彼も他大学へ移ってから（自分のやっていた）緩和時間測定で有名になったからなあ。」とっていました。私もこの時の仕事の残像が長い間、頭の中に残り、かなり彼のテリトリーを侵害したに違いありません。ただ孤島で外界との接触なしで自分独自のオリジナルな研究をする人はおそらくいないだろうし、いてもいないに等しい。もらった物の一部でも返すように自分でも色々調べ、思い浮かんだアイデアもしゃべるにはしました。（Mulliken の population analysis と同じでどこに境界線を引くかは厳密には決まらない。）他人のやった仕事はちゃんと引用し、自分が少しでも付け加えることを見つけ正直に書くように心がけるしかないと思いました。

ボスは第2次大戦中のドイツの軍人を評して「彼らはワッペンを集めるのが好きだった。兵士をこき使った。」とっていました。戦争というのは国内問題でもあります。財産や能力を多く持った人が「やはり持っている人は捨てるのが嫌なのだ。」といわれないうち頃から責任を果たすことも必要でしょう。カナダのボスも私が去った後、皆が予想もしないようなテーマを見つけ学会発表していました。

学生時代から同じテーマを一貫して続けてこられたことを自慢する方も見受けられますがどうでしょうか？ すでにあるテリトリーを維持することではなく新たなフロンティアを見出すことが本当は重要ではないでしょうか？ 戦争中飢餓状態に陥った人間の悲惨さは大岡の「野火」や山崎豊子の「大地の子」にもよく描かれています。学問の飢餓状態というのは別に人が死ぬわけでもなくたいしたことはないのですが、「ピラトの罪」という原則も友人から教わりました。ハンナ・アーレント「イェルサレムのアイヒマン」。私には何も責任はないとは同時代の人には言えない様です。学問の目的がギリシャ時代のように何が正しくて何が誤っているのか判断する能力を養うことであるとすれば、どんなことが必要でしょうか？ もちろん知識の図書館として応用に奉仕するという今日的意義もあるでしょうが、ブリティッシュ・コロンビア大の化学教室のヘッドになった人が「私もこの年になってやっと、アフリカ人や東洋人の学生の面倒を見る気になりました。」とっていたのがとても印象的でした。学術研究は後世の人すべての利益のためでもあり、先進国のお坊ちゃま、お嬢ちゃまの名誉欲を満足させるためにあるのではないと思います。

まとまりのない話を長々と書いてしまいました。流動の助手に呼んでいただき独立に研究費をいただき大変感謝しています。研究費を無駄にしないよう新しいNMRのプロープの作成に取り組んでいます。

「目で見る」原子と分子

極端紫外光科学研究系界面分子科学研究部門 小宮山 政 晴

1. STMのこと

走査型トンネル顕微鏡 (STM) を初めて見たのは、かれこれ15年ほど前のことになります。「STMというものを作ったのですが、一緒に応用をやりませんか?」という、当時東北大通研の助手をしていた現阪大教授の森田さんのお話しがきっかけでした。もちろん当時は市販の装置はなく、手探り、試行錯誤で装置づくりを重ねては、今日はナノメートルまでいった、もう一桁上げるにはどうしたらよいらうと、いくつかのグループが通研の一室で頭を寄せ集めては情報交換をしながら仕事を進めるというような様子でした。

STMというのは、原理的にとくに新しいことはなく、ただただノウハウのかたまりとってよいような装置です。STM (そしてこれから派生した、原子間力顕微鏡 (AFM) などのいわゆる走査プローブ顕微鏡 (SPM)) は、基本的には鋭い針 (探針) で試料表面をなぞって、表面の原子や分子の像を見るという顕微鏡です。探針先端の原子と試料表面原子との間に働く何らかの物理量を検出して両者間の距離を数オングストローム以内に保ち、一方探針を試料の面内方向にオングストローム以下の精度で移動させて試料表面の原子像を得るのです。

探針をオングストローム以下の精度で制御することは、そんなに難しいことはありません。この目的には piezo素子を使うのですが、変位量が10 nm/V 程度の piezo素子は一般に市販されています。これを10 mV 程度の精度で制御すればよいわけですから、ノイズ対策さえ十分にやれば、制御回路の作成はそんなにたいへんなことではありませんでした。

一番大きな問題は、外界からの振動をどう遮断するか、ということでした。オングストロームのオーダーで探針の位置を制御しているわけですから、外界から侵入するほんのわずかの振動 (音波その他) でも命取りになります。いろいろな方法で除振対策を施した結果、最後まで取りきれなかったのは建物が有する固有振動でした。1982年にSTMの開発を発表したIBMのグループは、超伝導磁石をつかってSTMを実験台から浮かせるという方法まで試みています。私たちが実験を始めた当時は、良いデータがとれるのは建物内で人が動いていることの少ない深夜から早朝の時間帯でした。ことに休み明け (月曜日など) の早朝 (2~3時ころ) がベストです。このようなわけで、STMの原理を利用した建物の振動検出器を特許申請したこともありますが、いまだに買い手は現れません。今はもちろんそんな時間に実験をする必要はなく、通常二重ばねつり型の除振台と渦電流ダンパの組み合わせを用いることにより、この問題を解決しています。

原子レベルの分解能をもつ装置は、STMの出現以前にもいくつかありました。たとえば透過型の電子顕微鏡は、原子一個一個を見ることはできませんが、同じ原子が10個くらい縦方向に並んでいると (たとえば結晶など) 試料面内でその原子列を一つの原子として分解することができます。またX線回折や電子線回折、EXAFSなどでは、逆格子空間ではありますが、結晶の原子配列を決定することができます。さらに電界放射顕微鏡 (FIM) も、試料系は極端に限られますが、原子分解能を有しています。ちなみにSTMの研究者にFIMの研究から転進した



人が多いということも、興味深い事実です。

これらの装置に比較して、STMやAFMがこれだけの普及を果たしたのは、いろいろな理由があると思います。たとえば、装置や制御回路が比較的簡単であること、試料系に制限が少ないこと、原子像を見るのに真空は必ずしも必要でなく大気中・水中でも動作すること、実空間で「通常目で見るような」原子像を得ることができること、などを挙げることができます。なかでも最後の項目は重要で、STM以前の原子分解能を有する装置の多くが試料中の原子配列に長周期性を必要としていたのに比べ、原理的にはSTMでは無秩序な試料でも孤立した吸着分子でも観察することが可能なのです（ただし実際にはとてもたいへんです）。STMの認知が非常に早かったのも（1986年ノーベル物理学賞）、開発者であるBinnigらがSTM開発の早い時期にSi(111) 7×7構造の原子分解像を得たからだ、といわれています。

このようにSTMでは、他の手法では観察できない条件下、他の手法では観察できない構造を見ることができたために、表面科学や電気化学、その他の分野に長足の進歩をもたらしたことはよく知られているとおりです。その一方で、「見た者勝ち」という状況もしばらくの間続きました。たとえばある著名雑誌の表紙もがざった「グラファイト表面に吸着したDNA分子の像」は、実はグラファイト表面のアーティファクトであったことが、今では一般に受け入れられています。私たちもAFMを用いて、水溶液中でゼオライト表面の原子像やそこに吸着したピリジン塩基分子などの分子像を観察し（アーティ

ファクトではないと信じています）その配列・配向構造を決定していますが、「ゼオライト（非導電性試料）表面」に水相で吸着させた分子像の「その場」観察などは、これまでの他の手法ではまったく不可能であったことです。

2. 空間分解分光法

最近私たちは、SPMを使った分光法、すなわちSPMの高い空間分解能を利用した「空間分解分光法」とでも呼ぶべきものに興味をもっています。

一般に分子の形状や性質を知ろうと思うと、三つの分解能が必要だといわれます。すなわち、エネルギー分解能、時間分解能、空間分解能です。エネルギー分解能は種々の分光法として、時間分解能は非常に速いレーザーを用いて、また空間分解能はSPMにより、それぞれ単独ではほぼ極限に近づいていると見てよいでしょう。そしてしばらく前から、複数の分解能を組み合わせることで分子の姿に迫ることが行われています。なかでも進んでいるのは時間とエネルギーの組み合わせによる時間分解分光法で、これによる研究がZewailに1999年のノーベル化学賞をもたらしたことは記憶に新しいところです。

STMにより空間分解分光が可能であろうということは、STM出現後かなり早い時期から指摘されていました。一つは走査トンネル分光法STSと呼ばれるもので、これは試料表面のフェルミエネルギー近辺の電子状態密度を空間分解して見るのに有効です（フェルミ端近傍での光電子分光、逆光電子分光の空間分解に相当）。一方以前から行われている非

弾性電子トンネル分光法との類推から、1分子の振動分光ができるはずだという指摘もあり、実際グラファイトに吸着したソルビン酸1分子の振動分光を行ったという報告が出たこともあります。長い間その追試に成功するグループはありませんでしたが、最近になって、銅表面に吸着したアセチレン1分子の振動スペクトルが報告されています。これも追試は難しそうですが、データの信頼性は高そうです。

このようにSTM装置そのものを用いた空間分解分光法に対して、光を使った分光法を利用しようという考え方もあります。この場合には光の回折限界が空間分解能を左右しますが、それを近接場により回避しようというのが現在主流の考え方で、このような考え方による装置を走査型近接場光学顕微鏡(SNOM)と呼びます。

最近のSNOMの発展も著しく、すでに何機種か市販品もでていますが、現在のところ空間分解能はよくて数十nmで、原子・分子を見るには今ひとつものたりません。SNOMタイプの顕微鏡で原子レベルの空間分解分光を行うには、もう一つか二つ(またはそれ以上?)のブレークスルーが必要なのではないかと推測されます。そのなかには、現在のSNOMオプティクスとはまったく異なるオプティクス開発も含まれるかも知れません。

私共のグループの分子研での2年間は、これまでのSTM装置のみを用いたいわゆる走査トンネル分光法STSによる空間分解分光法の研究を続けながら、一方で光とSPMを組み合わせた空間分解分光法の装置開発もしてみたいと考えています。このような装置(SNOMに限らないかもしれませんが)の分解能

を、現在の数十nmから原子・分子のレベルまであげるためのブレークスルーのきっかけを、この2年間でつかめればと願っています。皆様方のご支援、ご鞭撻を願い上げる次第です。