

◁「海外ビームライン」シリーズ▷

フランス LURE 滞在記

繁政 英治 (分子科学研究所 UVSOR*)

1997年12月12日から1999年3月25日までのおよそ1年3ヶ月間、パリの南郊外、Orsay (パリ市内の有名な美術館とは別) という町にある南パリ大学の放射光利用研究所 (LURE) で研究する機会を得ました。1986年に HBr 分子の内殻励起状態において、内殻励起光解離は全てオーシェ崩壊後に起こるとするそれまでの概念を打ち破る実験を行った Paul Morin 博士のグループに所属し、彼らの開発した二次元光電子分光装置とそれを用いた同時計測実験のノウハウを習得する事が滞在の主目的でした。フランス原子力委員会 (CEA: Commissariat à l'Énergie Atomique) の SPAM (Service des Photons, Atomes et Molécules) と呼ばれる部門に籍を置くことになりました。SPAM はレーザー関係、放射光利用、理論など8つの研究グループから成り、部門長は VUV・軟 X 線分光の世界では著名な Irene Nenner 博士でした。(私の滞在中にもう一ランク上に昇進されました。DRECAM: Département de Recherche sur l'Etat Condensé, les Atomes et Molécules という SPAM を含む総勢500名に上る大部門の長だそうです。) Paul は、組織上は FEL (自由電子レーザー) を含む放射光利用グループのヘッドでしたが、原子分子を対象にしたサブグループのメンバー、Marc Simon と Michael Meyer 両博士と主に研究を行っていました。SPAM の本部は Saclay という、大学からパリ方面へ数キロのところにあつたので、セミナーや身体検査以外で中を訪れることは殆どありませんでしたが、パリ市内へ車で出かける際には裏門の前の道を利用することも多く、その外観だけは何度も拝む事になりました。敷地の周囲を鉄条網付のフェンスが囲み、入口ゲートには拳銃を持ったガードマンが警備しているちょっとものものしい施設ですが、緑が豊富で鳥や野ウサギが沢山住んでいました。その数たるや、大学の食堂で時々出てくるウサギ料理の材料は、原子力ウサギとして Saclay から運ばれるなどと言う冗談も囁かれる程でした。

パリ北郊外のシャルル・ド・ゴール空港に家族で到着したのは金曜日の夕方5時頃でした。少し遅れて迎えに来てくれた Paul が運転する小さなプジョー106に人と荷物を満載し、南を目指します。空港から環状線へ A3 号線を通って進んで行くと左手に白っぽい巨大な円盤状の建造物が見えてきます。「あれはワールドカップサッカーのメイ

ンスタジアムである Stade de France じゃないですか?」、てっきりワールドカップの話題で盛り上がるかと思ひ Paul に聞くと、「お前は詳しいなあ。おれは知らない。」と拍子抜けする返事。自分の興味がないことには本当に関心がない、これはフランス人の特徴のようです。モンマルトルやエッフェル塔、セヌ川を過ぎてとどんどん南下して行き、我々の借家のある Gif-sur-Yvette という小さな町に到着しました。次の日の土曜日、Paul が最寄りのスーパーマーケットに連れていってくれました。幸い歩いて行ける距離だったので、あまり大量に食料を買い込まず、調味料や飲み物など必要最低限のものだけ買いそろえました。その翌日、悲劇は起こりました。時差ボケのため朝起きるのが遅れてしまい、スーパーの開店時間になったので、家族でスーパーへ食料を買いに向かったら、日曜日は休みじゃありませんか。寒風吹きすさぶ中、がっかりしてお腹をすかせて歩いていると、老夫婦が美味しそうなバゲットを数本、小脇に抱えて歩いている姿を見つけました。どこかに開いているパン屋さんがあるに違いない、そう思い老夫婦が来た方向へみんなで向かいました。Yvette 川という名の小川に架かる小さな橋の向こうのビルの一階に、小さなパン屋さんがありました。それを見つけたときの安堵感と、帰り道に手でちぎり分け合って食べたバゲットとキーシュの味は決して忘れることが出来ません。

少しまじめな話に戻しましょう。LURE には放射光利用に供されるリングが二つあります。一つは DCI と呼ばれるリングで、実験ホールには X 線の利用を目的とした4つのビームライン、エンドステーションが整備されています。PF で見慣れたカラフルな実験ハッチはこちらの実験ホールにしかありません。もう一つは、Super-ACO で、その規模及び性能は、世界的に見ると、ドイツの BESSY-I や UVSOR のものとはほぼ同じカテゴリーに属します。8カ所の偏向電磁石部と8ヶ所の直線部から成る蓄積リングは、シールド壁があるため実験ホールに立つと見えません。しかし、シールド壁際にある梯子を上ると、上からは丸見えの構造になっています。実験ホールは35m×60mの長方形で、全長が比較的長めのビームラインを設置するのに十分なスペースが確保されています。一週間の運転モードは、月曜日がマシンスタディー、火曜日と木曜日が2バンチ (200 mA)、水曜日と金曜日が24バン

* 分子科学研究所 UVSOR 〒444-8585 岡崎市明大寺町西郷中38
TEL 0564-55-7400 FAX 0564-54-7079 e-mail sigemasa@ims.ac.jp



Catalin (最後列左端)のお別れパーティーにて。Paulの家に関係者全員集合。(最後列真ん中が Marco, その右が Michael, 二人の間で座っているのが Paul, 中央のひげ面が Renaud。)

チ (400 mA) 運転です。通常の運転は、午前8時から翌日の午前6時までの22時間で、木曜日の午後8時から翌朝6時までではFELのスタディー、金曜日は夜中の2時まで運転されます。ビームラインとしては、FEL用のものと建設中のものを含めて18本ありますが、その内、直入射分光器が設置されているものはわずかに2本、斜入射ラインが最も多く11本、二結晶ラインが3本の構成になっています。さすがに Jobin Yvon のラベルが付いた分光器が目につきました。ビームラインの再構築が順調に行われているようで、不等刻線間隔平面回折格子分光器とアンジュレータを組み合わせたスペイン人グループの担当するビームライン (SU8) を始め、ドラゴン型分光器を採用したイタリア人グループの担当するビームライン (SB7) など、ちょうど立ち上げ中という新しいビームラインも幾つかありました。一方で、トロイダル形状の光学素子のみを使った一世代前の斜入射分光器、TGM のラインも未だ4本も生き残っていました。滞在中に使用したビームラインは、SA31とSA22と呼ばれるラインでした。Sの次のアルファベットがUのラインは挿入光源、A又はBが偏向電磁石部を意味しています。その次の数字が偏向電磁石や挿入光源の番号、最後の数字はブランチラインの番号です。SA31は、三枚のトロイダル鏡と二枚の平面鏡からなる平面回折格子を使った分光器です。数十eVから300eV程度までの光を供給していますが、分解能の決め手となる鏡がトロイダル形状であるため、性能的には今ひとつという印象でした。SA22の方は、100eVから900eV程度をカバーする不等刻線間隔平面回折格子分光器のラインでした。前置鏡と後置鏡にはトロイダル形状が採用されましたが、入射スリット間に設置される肝心の鏡は球面鏡でした。性能的にはアンジュレータラインには及ばないものの、偏向電磁石部としてはまずまずの分解能が出ていたと思います。C, N, OのK殻吸収端をカバーする振動分光が可能なビームラインと言うことで、非常に人気が高

くビームタイムの分捕り合戦は熾烈を極めていたようです。

実験ホール内での飲食は自由で、サンドイッチを嚙りながらコーラを片手に実験する人の姿が日常的に見られました。それ以上に多いのは、コーヒーを飲んでいる人、次にタバコを吸っている人でしょうか。実験ホールでのタバコは原則として禁止でしたが、電車の中や百貨店の中などの人混みではないので厳禁ではないと解釈するのがフランス流のようです。禁煙してから一年以上も経った今となっては、(日本と比べても決して安くはない、ほぼ倍の値段の) タバコを銜え、(イタリア人には物足りないらしいが十分に濃い) エスプレッソを片手に、オシロスコープを覗き込んで装置の調整をしている自分の姿など、ちょっと想像できません。さらに実験が成功したりすると、シャンパンやワインを開けて、ささやかなお祝いをすることもあります。実は渡仏前には、食事中に必ずと言って良いほどワインを飲むフランスの習慣にちょっと期待していたのですが、残念なことに自分の知り合いで平日の昼間から飲む人はいませんでした。唯一の例外がクリスマス前の特別昼食会、年に一度の大学食堂をあげての大サービスの日です。飾り付けを施した食堂で、クリスマス名物のフォアグラやロブスター、サラダ、ラムステーキなどの豪華な食事に、ワインの小瓶が付いてきます。果物が入ったカラフルな籠まで付いて25フラン、この日ばかりは仲間とゆったりと食事を楽しみました。

研究所における業務の分担は非常に明確でした。例えばクレーン、フォークリフト、トラックなど運搬業務を専門に担当する人達がいる、彼ら以外はそれらのモノに触ることはありません。その他、電気、真空、安全など施設の運営上必要な業務を担う多くの技術者、専門員がいました。学生さんから技術者、先生に至るまで、実験ホールで働く人はみんな仲間と言った感じのアットホームな雰囲気があり、総じて明るい印象を持ちました。これは、少しでも見覚えがあれば名前など知らなくても気軽に挨拶をし合う習慣のためだと思います。日本に比べると研究所内の女性の割合が多いのも(化学系では約20%、生物系では約50%と言われていた) その一因かもしれません。フランスでは、仲良しの女性とは頬にキスをし合うという習慣がありますが(久しぶりに会ったりすると、男性同士でもキスしてますけど)、あちこちでそういったシーンを見ると何となく穏やかな気持ちになります。こういったことも良い雰囲気作りにも貢献しているような気がします。また、LUREのサッカーチームに所属し、業務以外での人との繋がりを広げることが出来たことも、研究所での日常生活をより快適に感じさせてくれたのだと思います。

Paulのグループのプロジェクトの柱の一つは、オージェ電子・光イオン同時計測法によるサイト選択的結合切断のメカニズムの解明でした。内殻電子はある原子サイトに局在していると考えられます。この局在性のために、その

後の解離過程では原子サイト選択的な解離が起こる可能性が指摘されて久しいのですが、サイト選択的な結合の切断が起こるためには、オージェ終状態に於ける価電子正孔が切断される結合に局在化し、しかも振動緩和を通じてエネルギーが再配分される前に速やかに解離する必要があります。どのような電子状態の時にそれが実現するのか、詳細を調べるためにはオージェ電子・光イオン同時計測が不可欠です。Paulのグループのメンバーの一人、ルーマニア人の Catalin Miron が博士課程在学中に設計・開発した二次元検出器内蔵の高効率二重トロイダル電子エネルギー分析器 (DTEA: Double Toroidal Electron Analyzer) を、飛行時間型質量分析器 (TOF: Time of Flight mass spectrometer) と組み合わせてオージェ電子・光イオン同時計測を実現し、従来より格段に質の高いデータを量産していました。さらに、TOFにも高速型二次元位置検出器を導入し、イオンの運動量測定を行うことも計画されていました。一方、DTEAの高効率性、つまり角度分布とエネルギー分布の情報が一度に測定できるというメリットを活かしたプロジェクト (Renaud Guillemin という私のワインの師匠となった学生さんの博士論文のテーマ) として、配向した分子からの電子の角度分布測定を新たに展開することが計画されていました。光電子あるいはオージェ電子が分子を離れて行く様の直接観測—連続状態の波動関数を可視化すること—が実現できれば、理論計算との直接的な比較が可能になり、電子放出過程のダイナミクスに関する理解を深めることが出来ると考えられます。光電子に関しては、非等方的な分子ポテンシャルとの相互作用を反映して、運動エネルギーの変化とともに波の形を変えながら光電子が分子を離れて行く様がPFで観測されていましたので、LUREではオージェ電子を対象を絞って幾つかの実験を企画しました。しかし、実験装置に多くの問題が次々に起こり、なかなか思うような成果は上がりませんでした。装置に何度も小改良を施し、データ処理のプログラムを含む計測系を見直して、帰国直前になって漸く信頼できそうな面白いデータが取れ始めました。これからも共同研

究を続けて、何とか成果を出せればと思っています。

最後にちょっと余談ですが、Super-ACOをUVSORやPFと比べて決定的に違うのは、実験ホールの明るさだと思っています。UVSORの実験ホールは地下にあり、採光用の窓がありません。PFの実験ホールは地上にありますが、側室があるためか、採光用の窓はここにもありません。一方、LUREは地上の実験ホールの外側壁は勿論のこと、一部天井にも採光用の窓があります。これがあると、一日の時間の流れや天候の変化がよく分かるので、何となく実験者収容所のような雰囲気のある日本の放射光施設とは趣が随分と異なると思います。フランス独自の第3世代放射光建設計画「SOLEIL」プロジェクトのリーダーの一人でもあるPaulは、Super-ACOの実験ホールで得意そうに天井を指さしながら、「SOLEILの実験ホールにも採光窓を作るつもりなんだ。」とその重要性を熱く語ってくれました。採光窓に関しては、日本では法律での規制や冷暖房効率の問題で採用できない事情があるのかもしれませんが、何とかなるのなら、採用を検討する価値はあると思っています。明るい光源を使って、明るい実験ホールで、明るい気持ちで研究できる、そういう環境の実現を目指した「SOLEIL」計画に目処が立たないどころかLURE自体の閉鎖さえ囁かれる状況でしたが、決して諦めずに明るく積極的に行動を起こす多くの研究者や技術者が、LUREには数多く働いていたのがとても印象的でした。

執筆依頼のあった「海外ビームライン」シリーズの趣旨を十分に把握せず、従来のものとは少々毛色の違う内容になった感はありますが、著者のいい加減な性格のためとご容赦頂ければ幸いです。今回このような貴重な経験をする機会を与えて下さった物質構造科学研究所の首脳部と、留守中の仕事を分担していただいた仲間の皆さんに感謝の気持ちを記して、拙文を終えたいと思います。なお、「SOLEIL」計画の進捗状況を含むLUREに関する詳しい情報は、<http://www.lure.u-psud.fr> をご参照下さい。