

◁海外情報▷

軟 X 線分光顕微鏡の研究室に滞在して

池浦 (関口) 広美 (産業技術総合研究所*)

1. はじめに

2000年8月20日から2001年8月19日までの一年間、科学技術庁原子力長期在外研究員派遣制度によりカナダのオンタリオ州ハミルトン(トロントとナイアガラの間)にある McMaster 大学の A. P. Hitchcock 教授の研究室に所属して放射光実験を行う機会を得ました。一年間という短い期間でしたが、その間、3月に約4週間米国ウィスコンシン大学の Synchrotron Radiation Center (SRC) で光解離の実験、10月、4月、6月、7月に約2週間バークレイ研究所 Advanced Light Source (ALS) で走査型透過 X 線顕微鏡と光電子顕微鏡の実験を行いました。年間約3ヶ月は米国でビームタイムをしているというハードスケジュールでした。また、サスカチュワン州に建設中のカナダ初の放射光施設 Canadian Light Source (CLS) を見学することもできました。既にバックナンバーで SRC や ALS については紹介がなされているので、建設中の CLS、特に日本にはまだない軟 X 線分光顕微鏡ビームラインについて紹介したいと思います。

2. カナダ初の放射光施設 CLS

CLS はカナダ中西部サスカチュワン州のサスカトゥーンにあります。サスカチュワン州は私が持っているカナダの観光ガイドブックには1ページ載っているかないほどで、ほとんど日本人が訪れることはないところです。自然が豊かであることはいまでもありませんが、狩りで有名だそうで(つまり、大自然の残る人里離れた土地ということでしょうか)、シーズン中にはライフルを抱えた観光客で飛行機がにぎわうそうです。何故ゆえ、このような場所に放射光施設が建設されることになったかという、やはり政治的圧力からだそうです。もともとはオンタリオ州に建設されるはずだったのが、サスカチュワン州の産業科学都市化の計画に飲み込まれてしまった? ということみたいです。McMaster 大学のあるハミルトンからサスカトゥーンまでは直線でも1500 km 以上あり、当然飛行機で行くことになります。さすがに、広大な国というだけあって、各駅飛行機とでもいましょうか、飛行機はサスカトゥーンに到着するまでに、いくつかの空港に立ち寄り、客を乗せたり降ろしたりしながら飛ぶのです。直通便も数本ありますが、多くは各駅? 停車です。おかげで、すっかり到着したと勘違いをして降りそうになりましたが、博士の学生に呼び止められて事無きを得ました。サスカトゥー



Figure 1. 建設中の CLS 実験ホール内部の様子

ン空港からダウンタウンまではタクシーで行きました。CLS はサスカチュワン大学構内のはずれにあり、この大学はカナダ初のノーベル賞受賞者である G. Hertzberg 博士が教鞭を執られていたことで有名です。また、日本人留学生の間ではカナダで一番学費が安い大学としても知られています。ダウンタウンから大学までは徒歩圏内にありますが、会議中はダウンタウンの各ホテルからシャトルバスのサービスがありました。ダウンタウンにはモールや映画館もあり、日本料理店もあるそうですが、少なくとも天ぷらは×だったそうです。徒歩圏内には何も無い SRC より環境が良かったと思います。SRC では車がないと買い物にすら行けません。

2000年11月に行われた CLS ユーザー会議のときに撮影した建設中の CLS 内部の写真を Fig. 1 に示します。カナダ初の放射光施設とあって、選挙のキャンペーンも兼ねて Jean Chretien カナダ首相も建設中の CLS を見学されたり、多くのマスコミもやって来ました。CLS はリニアックと直径約54メートルの蓄積リングを持ち、リングエネルギー2.9 GeV、リング電流最大500 mA で運転される予定で、最初の6本のビームラインは2003年からコミッションングが開始されることになっています。カナダにはこれまで放射光施設はありませんでしたが、Canadian Synchrotron Radiation Facility (CSR) として、SRC に3本のビームラインを所有しており、CLS ができた暁には、少なくとも軟 X 線用の SGM (Spherical Grating Monochromator) ビームラインは CLS に移動することになっています。将来的には30本以上のビームラインが建設され

* 産業技術総合研究所 光技術研究部門 放射光利用技術グループ 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1 AIST 中央第2
TEL: 0298-61-5632 FAX: 0298-61-5657 E-mail: ikeura-sekiguchi@asit.go.jp

る予定です。

3. CLS 軟 X 線分光顕微鏡ビームライン

Hitchcock 教授はチームリーダーとして、最初のビームラインの1本である分光顕微鏡ビームラインを建設しています。ビームラインの開発には NSLS と ALS において軟 X 線顕微鏡の経験を持つ K. Kanacheyev 博士がスタッフとして参加しています。Kanacheyev 博士は PF でポストドクをしていたのでご存知の方もいるかと思いますが。強力なサポーターとして、ALS で分光顕微鏡ビームラインを建設した T. Warwick 博士がデザインコンサルタントで参加しています。このビームラインは二つに分岐した軟 X 線アンジュレータービームラインで、走査型透過 X 線顕微鏡 (Scanning Transmission X-ray Microscope: STXM) と X 線光電子顕微鏡 (X-ray Photoelectron Emission Microscope: XPEEM) がエンドステーションに設置され、バルク (STXM) と表面 (XPEEM) の XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) イメージングの測定に使用されます。分光器は Plane Grating Monochromator (PGM) を考えているようです。XPEEM は市販のものを用い、他のビームラインへの移動も可能となっています。Hitchcock 教授の研究室の卒業生で、ノースカロライナ大学の H. Ade 教授のところでポストドクの経験を持つ、現在サスカチュワン大学の S. Urquhart 博士が XPEEM のリーダーをしています。

STXM ではゾンプレートを用いて軟 X 線を直径約 50 nm の微小スポットに集光し、試料を二次元的に走査しながらイメージのコントラストの大きいエネルギーを選んで吸収強度の測定を行います。集光するためのゾンプレートは ALS から供給されることになっています。STXM の開発は Hitchcock 教授の研究室スタッフ T. Tyliczszak 博士が担当しています。Hitchcock 教授の研究室は、Ade 教授がチームリーダーである ALS の新 BL5.3.2STXM 偏光電磁石ビームラインの建設に参加しており、Tyliczszak 博士は BL5.3.2 の担当者 D. Kilcoyne 博士や T. Warwick 博士らとともに、ゾンプレートと試料ホルダーの相対的な位置の変位をモニターし、ビーム位置のずれを補正する二次元レーザー干渉計システムを備えた新型 STXM の開発に成功しています。そのため、CLS では ALS の新型 STXM をもとにして改良を加えた、最新の機能を備えたものになるでしょう。また、レーザー干渉計システムは STXM に限らず、今後多くのマイクロビームを利用した測定に応用されることでしょう。

XPEEM は、放出された光電子を、電子または磁場レンズによって拡大し、位置情報を保ったまま光電子強度を画像化します。既にエルミテック社製の XPEEM が発注されており、ビームラインが建設されるまでの約 2 年間は、SRC に設置され、現在募集中の XPEEM 担当スタッフによって立ち上げ、および実験が行われることになっています。SRC は B. Tonner 教授による XPEEM 発祥の地であり、現在 G. De Stasio 教授のグループによって XPEEM の技術が引き継がれています。特に、悪性脳腫

瘍の治療法のひとつであるガドリニウム中性子捕捉療法 (GdNCT) におけるガドリニウムの脳内での分布を調べるのに利用されています。このように、SRC は XPEEM の立ち上げには最適な場所といえるでしょう。

光源には、直線偏光モードと(楕)円偏光モードで駆動する偏光可変アンジュレーターを採用し、直線偏光だけでなく、数十ナノメートルという微小領域の円二色性や磁気円二色性の実験もできるという特徴を持たせています(実際には、ALS に先を越されそうですが)。しかしながら、現在候補に挙がっているアンジュレーターは機械駆動による位相変調を行うタイプのもので、他のビームラインへの影響を避けるのは難しい。実際に、筆者の所属する旧電子技術総合研究所の放射光施設テラスには最初の機械駆動による偏光可変アンジュレータービームラインが設置されていますが、蓄積リングに与える影響は極めて大きく、他のビームラインで同時に実験を行うことはできないし、ときどき、蓄積リング内に入り、機械駆動により緩んだネジを締め直す必要もあります。2000年10月に ALS で実験を行った際に、ちょうどこのタイプのアンジュレーターが放射光リングに設置されるどころでした。その後、どのような状態にあったかはわかりませんが、帰国後、11月に ALS の BL5.3.2 の STXM ではじめての実験を行ったときには、このアンジュレーターの位相変調が行われるたびに、ビームの光強度に影響を受けました。このような状況なので、どのようなアンジュレーターを採用するかに関しては計画変更も有り得るかもしれません。

4. おわりに

今回の在外研究中に省庁再編や独立行政法人化が重なり、多少の犠牲は覚悟の上での渡航でしたが、STXM や XPEEM を用いた XANES イメージングを利用した研究ができたことやその分野の権威である研究者の人たちと知り合えたことは、犠牲をはらってもあまりある貴重な経験となりました。また、(株)リコーの谷克彦博士や岩田周行博士と共同研究ができたことで、三次元のイメージングに挑戦することもできました。本稿では、STXM や XPEEM を用いた XANES イメージングに関する技術的なことに関してはほとんど紹介できませんでしたが、東京大学の太田俊明教授編集「X 線吸収分光法」が(株)アイピーシー社から近日出版されるので、ご興味のある方はそちらの方を参考にいただければと思います。

最後に、国内では、高田信久博士が中心となって私の留守を預かってくれていました。カナダでは、単身赴任で日本人の知り合いもできないまま、最初の半年間を淋しい思いもせず無事に過ごせたのは、Hitchcock 教授の公私にわたる気配りと博士の学生 Cynthia と Peter、大家さんの Barbara が仲良くしてくれたおかげです。また、Tyliczszak 博士には故障した日本語のノートパソコンをよく修理してもらいました。これらの方々をはじめ、公私を問わずお世話になった多くの方々に、感謝の意を表します。