

◁海外情報▷

Advanced Photon Source の 5ID-C で主に働いて

坂田 修身 (高輝度光科学研究センター放射光研究所利用促進部門*)

1. はじめに

1998年の4月から2000年の6月まで、アルゴンヌ国立研究所にある Advance Photon Source (APS) で主に働いた。渡米前、当時のもろもろの状況を絶対に変えたいと思った。知らないグループで自分の仕事が満足にできなければそこまでと、つまり、この選択しか自分には残されていないという覚悟半分ともやもやしてうまく説明できない気持ち(不安)半分をもってシカゴへの飛行機に搭乗した。

2. アルゴンヌ国立研究所, APS

アメリカ合衆国のほぼ北部の中央にあるイリノイ州(ミシガン湖の南西に面している)に、アルゴンヌ国立研究所はある。その研究所はシカゴダウンタウンから南西の方向にあり、I-55号線を通って約30分のところ、また、オヘア空港からは南南西の方向にあり、T-294号線、I-55号線を経由して約30分のところに位置している。この研究所はアメリカで最初の国立研究所、原子爆弾を作ったマンハッタンプロジェクトが遂行された場所、また、その後の原子核反応の平和利用の推進地、として知られている。物理、化学、材料科学、環境科学、数学、計算機科学、生物学、原子力発電の安全に関する研究やそのほか多岐にわたる研究が行われていると耳にした。建物の多くが2階建てと低いことから、公園のような風景に見えたのが印象に残っている。この研究所の情報は <http://www.anl.gov/>にある。

APSには18個の collaboration access team (CAT) があり25個の sector がある。すべての sector が挿入光源 (ID) を有しており、その約半分は Bending Magnet (BM) ももっている。18個 (ID and BM) ビームラインが稼動していた。中央棟のビルとの結合部分あたりから sector 1 がはじまり、上からみて時計周りにその番号が増えていき、1から20, 22, 31-34で1周する。その5番目の sector は DuPont-Northwestern-Dow Synchrotron Research Center の DND-CAT が運営している。そこにはアンジュレータと BM のビームラインがあり、前者はタンデムに3個並んだ実験ハッチを、後者は1個の実験ハッチを有している。アンジュレータのビームラインの中央の実験ハッチ内

(5ID-C) で主に働いた。ビームラインの利用や性能比較のためには、APS のウェブサイト (<http://www.aps.anl.gov/>)、各 sector のホームページ、APS の Activity Report (上記のウェブサイトの中で読める) などが参考になるでしょう。SRI (Synchrotron Radiation Instrumentation)-CAT での実験記を石松直樹博士がすでに綴っている¹⁾。

3. DND-CAT とわたしとの関係

6人のスタッフが DND-CAT に当時は常駐しており、そのうち5人は Northwestern 大学 (NU) に、残りは DuPont Co. に所属していた。NU では主に Material Research Center と Center for Catalysis and Surface Science and Institute for Environmental Catalysis (IEC) の2個のセンターと生命科学関係の研究員が DND-CAT の運営に関係していると理解していた。NU からは30人の Principal Investigators がおり、研究員の所属学科は Materials Science (MS) (36), Chemistry (20), Biology & Micro Biology (17), Mol. Pharm. & Bio Chem. (15), Civil Engineering (7), Physics (5), Chemical Engineering (5) でした。() 内の数字は研究員数。Dow Chemical Co. からは5個の研究グループ (22)、DuPont Co. からは8個の研究グループ (48) が利用していた。

わたしのボス、Michael J. Bedzyk 博士はアルゴンヌ国立研究所の材料科学部の研究員を兼務している一方、NU の MS のスタッフも本務している。その関係で、自分は NU の MS に所属した。

4. 任務と実際と

5ID-C に X 線回折、散乱のための超高真空 molecular beam epitaxy (MBE) 装置を立ち上げることが任務でした。この装置(設計の概念²⁾)は多目的用で、ある測定用に特化されていないと思いました。X 線回折や散乱の測定だけでなく、蛍光、光電子の測定も可能な特徴をもつ。回折計は 2+2³⁾、または、4S+2D⁴⁾ とよばれるタイプのもので、その特徴は超高真空チャンバの回転と X 線検出器の回転を完全に独立に制御できる点です。

着任したとき、超高真空チャンバがハッチの床において

* 高輝度光科学研究センター放射光研究所利用促進部門 〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町光都 1-1-1
TEL: 0791-58-2750 FAX: 0791-58-2752 E-mail: o-sakata@spring8.or.jp

あり、何も手をつけていない状態でした。また、表面分析用の装置もほとんどなかった。やるべき項目を次の4点、期間を2年と設定し、計画を立てた。(i)チャンバの真空テストと分析機器のテスト、(ii)試料導入、ストレージチャンバの設計、(iii)空気中での回折計のテスト、(iv)超高真空中でのX線回折によるサーファクタント原子の吸着構造を調べる。(i)では真空もれの発見、手当てのほかにも、試料マニピュレータの改造、差動排気に関わる真空系統の変更もした。(iii)のテストの後、Biサーファクタントの効果を調べるため、Si/Ge/Si(001) X線回折と定在波測定⁵⁾を行なった。それに先立ち計数、制御系のテストをかねてS/Ge(001)の定在波実験⁶⁾をした。(iv)ではGe(001):Te 1×1について、Crystal Truncation Rodと反射率を測定した。以上を1年半でやり終えた。成果を整理し、1999年12月のボストンでの材料研究学会と2000年3月のミネアポリスでの物理学学会で口頭発表した。第一原理全エネルギー計算から、この表面はTe原子がzigzagに配列するか、Te missing-rowをもつことが予想されていた⁷⁾。X線散乱の結果は後者の構造モデルがより確からしいことを示した。さらに、それよりもmissing-rowの方向が90度異なる原子モデルを提示した⁸⁾。後者の発表の直後、会場において、ボスの関係した研究発表のうちで最高の発表といってくれた⁹⁾。その後、ボスに関係した論文の中で、論文[8]の、投稿から掲載までの時間が最速であると、NUやAPSのカフェテリアでボスが嬉しそうに話しているのを何度か耳にした。

5. ほかの sector など

<http://www.aps.anl.gov/xfd/communicator/useroffice/catguide/table.html>をもとに単純化すると、それぞれのsectorは、4個のsectorが装置開発(instrumentation)、13個のsectorが材料科学(materials science, chemical science, atomic science)、2個のsectorが環境科学(environmental sciences)、6個のsectorが生物学(biology)に分けられる。

表面に関連するところは、知る限り次の通りでした。SRI-CATでS. K. Sinhaらが液体表面の構造を調べている。IMMYT-Whitehead-CAT (Massachusetts Institute of Technology, McGill Univ., IBM, Yale Univ., Univ. of Toronto, and Whitehead Institute)のMITのグループが超高真空チャンバーを準備していた。BESSRC (Basic Energy Sciences Synchrotron Radiation Center)-CATではG. B. StephensonらがO. Aucielloらと協力しMetal-Organic Chemical Vapor Deposition成長下でのGaNなどをX線その場観察していた。また、H. Youらが電気化学反応などを表面X線散乱で調べていた。Michael J. Bedzykらは超高真空MBEチャンバをNational Synchrotron Light Sourceから移設し、酸化物表面構造をA. KazimirovとOAらと調べ始めていた。N. C. Sturchioら

がMJBと協力し、環境科学の観点から溶液中の酸化物表面上の吸着金属原子の構造を調べていた。UNI (Univ. of Illinois, the Oak Ridge National Lab, the National Institute of Standards & Technology, and UOP Research & Development)-CATではH. Hongらが、超高真空中で表面の研究をしており、また、Ian K. RobinsonらがCoherent X-ray Scatteringを利用する実験を準備している。

6. 雑感1: 安全対策, 外部評価

実験ハッチ内の安全対策はとくに徹底していた。電気ケーブルの配線、アース線、ハッチ内のものの配置の安全面からの検討などセクターの方のチェックもあったし、APS職員のぬきうち検査も頻繁にあった。また、通りすがりのフロアコーディネータから、ハッチを閉めるときの注意と確認を何回か受けた。それ以外のことを含めてもフロアコーディネータの安全に対する責任感に感心した。

1年に1度、セクターが外部評価をされる一大学の教授クラスがきて、聴聞会を開いているときいた。冷や汗がでることをいわれるようでしたが、その評価がどう後に影響をあたえるのかはわかりません。

7. 雑感2: インパクトのある研究のために

表面の研究に限りますが、研究のトレンドと実験装置の完成時期のタイミングが重要とつくづく思いました。表面構造の研究のトピックス—たとえば、量子ドット、2次元ナノ構造、酸化物の表面、表面の磁気構造、charge-density-wave相転移、半導体のステップ表面、金属のCOガスなどの吸着など—があります。その新しいトピックスがでたとき、タイムリに研究ができると、インパクトを与えられます。建設計画の立案から建設終了まで計画より遅れるほど、予定していた研究がトレンドでなくなる一方、グループメンバの熱意も激減すると感じた。以下、蛇足；建設後も、鉄はあついうちにうての通り、グループの垣根を越えて人を投入し、短期間に成果をあげるやり方もあると実感した。ビームラインの建設には、とくに多額の費用がかかることを考えると、最初にインパクトの強い成果をだすか、あるいは、数年にわたる明確な戦略がないと、その後資金面で難渋するのではないかと思った。

また、表面や薄膜を作る専門家と回折散乱の研究者の協力の重要性を感じた。これは、成功している所をみると明らかです。たとえば、ESRFのBW2の高い研究の生産性は、R. Johnsonのグループの高度な表面作成技術が鍵をにぎっていると考えられること、またAPSの12ID-DのG. B. StephensonとO. Aucielloの協力などが好例と推測した。

8. おわりに

Michael J. Bedzyk博士は仕事、研究をする機会を与えてくれた。プール(玉突き)、ゴルフ、ポーカゲームを

教えてくれた。また、パーティだけでなく、頻繁に家によんでくれ、まるで家族の一員のように扱ってくれた。こうして、わたしの生活に味をつけてくれた。Andre Authier 博士, Sean Brennan 博士, 橋爪弘雄博士が、採用を決めるのに参考となる資料を MJB に送ってくれた、ときいた。

滞米中、MJB に加えて次の人のおかげで仕事に集中できた。Peter Stair 博士 (IEC のセンター長。彼の研究室で、金属触媒表面とガス分子との相互作用の研究を夜中、分光学的な方法で行ったが、論文になる成果まで得られなかった。しかし、機会があるごとに表面化学の議論をしてくれた)、Masahiro Meshii 博士, Monica Olvera de la Cruz 博士 (以上 NU), Ian K. Robinson 博士 (Univ. of Illinois), Sean Brennan 博士 (Stanford Synchrotron Radiation Lab.), Hoydoo You 博士 (Argonne National Lab.) が声をかけてくれた。William Rodrigues 博士, Tien-Lin Lee 博士, Brad P. Tinkham, Alexandar Kazimirov 博士, Donald A. Walko 博士 (以上 NU), Paul F. Lyman 博士 (Univ. of Wisconsin) と仕事をした。とくに、NU の学生であった TLL, WR, BPT とは金土日の夕方から深夜、何時間もサイエンスの議論をしたことが数えきれないほどあった。DND-CAT のスタッフ、とくに、Denis T. Keane 博士, John P. Quintana 博士, John Kulpin, Alan Philipides, JerrieLea Hopf に備品の所在、CAT のルールを教わった。丸茂文幸博士はご自身のスイス滞在の貴重な経験談を教えてくれた。佐々木聡博士は take it easy などの的を得た複数の言葉をタイムリにかけてくれた。石澤伸夫博士は意味深い言葉をくれ、内省を促されたと思った。澤岡昭博士も人生で何が重要かはっきりいってくれた。坂田誠博士からの歯切れのよい言葉をきき、元気が湧く気がした。吉村昌弘博士は親身になって声をかけてくれると感じた。鯉沼秀臣博士, 石川哲也博士, 水木純一郎博士らからいただいた言葉、あるいは、言葉をいただいたという事実が思い出されるたびにありがたいと思った。雨宮慶幸博士は家族のことも心配してくれた。川崎雅司博士は酸化物薄膜のサイエンスの話題を話してくれた。下村理博士, 虎谷秀穂博士, 安田栄一博士, 川村朋晃博士, Do Young Noh

博士は就職情報をくれた。Andrei Nikulin 博士, Andrew Stevenson 博士, 杉山宗弘博士, 獅子口清一氏, 松本治博士からタイムリと思える通信があった。森田辰郎博士は NU 日本人会の情報をくれた。山口雄一博士は問い合わせに対応してくれた。東京に残した優(妻)との電子メール、また、直哉(息子)から(かな文字を完全に覚えるまで)ほぼ毎日来た、はがき、あるいは、FAX の絵日記に励まされた。また、直哉の面倒を中心になってみてくれている渡辺房子(妻の母)には感謝している。オヘア空港から飛行機が離陸し遠ざかる T-294号線をみていたら、真空チャンバのどこかわからないところから突然小さなリークが発生したように、以上のことが頭の中にとめどもなく押し寄せ、充満した。世の中には生きる希望を与えてくれる人もいることを再認識し、これからもなんとかやっというと思った。

この文章の内容で APS に関する 2 と 5 の前半は、最新情報であること (2000年 8 月) を Donald A. Walko 博士が確認してくれた。

参考文献

- 1) 放射光 第12巻第2号 (1999年) 139-140.
- 2) P. F. Lyman, D. T. Keane and M. J. Bedzyk: in Synchrotron Radiation Instrumentation, edited by Ernest Fontes, AIP Conf. Proc. No. 417 pp. 10 (AIP, Woodbury, NY, 1997).
- 3) K. W. Evans-Lutterodt and Mau-Tsu Tang: J. Appl. Cryst. 28, 318 (1995).
- 4) H. You: J. Appl. Cryst. 55, 614 (1999). (この論文はまさに、5ID-C の回折計を制御するために準備してもらったときいている.)
- 5) X 線回折実験: W. Rodrigues, O. Sakata, T.-L. Lee, D. L. Marasco and M. J. Bedzyk: J. Appl. Physics, 88, 2391 (2000); (定在波実験; 論文準備中).
- 6) P. F. Lyman, O. Sakata, D. L. Marasco, T.-L. Lee, K. D. Breneman, D. T. Keane and M. J. Bedzyk: Surf. Sci. 462, L594 (2000).
- 7) N. Takeuchi: Surf. Sci. 426, L433 (1999).
- 8) O. Sakata, P. F. Lyman, B. P. Tinkham, D. A. Walko, D. L. Marasco, T.-L. Lee and M. J. Bedzyk, Phys. Rev. B61, 16692 (2000).
- 9) (余談ですが) ポス自身の最高の発表 (第 2 回表面 X 線, 中性子線会議の発表) とまけず劣らずの最高と、ポスは後日言い直した。