

グルノーブル滞在記Ⅱ

岡山大学 理学部

圓山 裕

(3) ESRF体験

この滞在記も最終回となりました。今回は、私が参加した実験を中心にESRFでの体験を綴ってみます。予めお断りしておきたいのは、当然の事ですが、私の体験はESRFのほんの一部に関したものであることです。しかし、第3世代放射光として先頭を走っているESRFの雰囲気を感じて頂けると幸いです。

私が、Grenobleに放射光を誘致する計画がある事を知ったのは、1987年2月でした。共同研究のために滞在中のCNRSでPauthenet先生からパンフレットを見せられ、建設予定地がILLの原子炉の背後に広がる林と広い運動場である事や、磁性研究にも大いに役立つことを紹介されました。ESRFの建設場所がGrenobleと決定した後も、ヨーロッパで学会がある度に訪れて、Front-endの模型、建設中の現場、実験フロアー（不等沈下の修正作業）などを見学しました。そして今回、共同利用実験に参加する事が出来た訳です。

ESRFを訪問されたり実験に参加された会員の方も多いと思いますが、施設の概略をご紹介します。ILLとESRFのゲート受付から、正面遠景に低く蓄積リングの銀灰色の屋根の一部が見えます。左手にILLの原子炉、右手に食堂（2階は理論グループの居室と図書室）、右手背後に宿舎があります。そこから研究棟に向かうにつれて、「ネロの頭」と呼ばれる岩山が右手から迫って来る感じがします。研究棟は総ガラス張りの外観と、玄関ホールの吹き抜けの空間が印象的です。蓄積リングへは渡り廊下を渡って、いきなり実験フロアーに入ってしまいます。ここで、X線安全管理が無いことに驚きました。一応、ビデオを見る事になっているのですが、結局、私を含めて今回の実験に参加した者は誰も見ませんでした。また、実験フロアーは禁煙ですが、飲食可能だったことには驚きました。実験の成功を祝したシャンペンの空き瓶をよく目にしましたし、夜食や飲物の自動販売機さえ設置されています。X線安全管理に関する日本との相違について、日本が過剰なのか欧州が杜撰なのかは判断出来ませんが、被曝による害は人種には無関係ですから、これは歴史と文化の相違と理解するしかないのでしょうか。実験フロアーは既に7-8割が埋まっていますが、まだ建設調整中のために梱包を解いていない機器が並んでいるBLもありました。BLはハッチがタンデムに並んでいて一見長屋風ですが、光学系、実験、コントロールの各ハッチや準備室等が機能的に配置されています。実験フロアーの外周部が通路になっており、自転車での移動が便利です。BLによっては駐輪場所が確保されています。外縁部には各種のアトリエやエンジニアの居室も配されています。また、実験フロアーからの出入口（フリーパス）が数カ所設けられています。BLの最寄りの入口まで車でアクセス出来るので便利でした。

私が参加したのは、(1) BL-6(Circular Polarization:責任者Goulon氏)での磁気円二色性(MCD)及び共鳴磁気散乱(XRMS)の実験と(2)BL-8(Dispersive XAS:責任者 Hagelstein氏)

でのダイヤモンド移相子を用いたMCDのテスト実験です。ここで、各々のBLとそこでの実験の概略をご紹介します。

(1) ESRF BL-6 :

このビームラインには2台の円偏光アンジュレータ(Helios I型、II型)、Si(111)二結晶分光器(Kohzu)、水平・垂直集光ミラー、最高7テスラの超伝導マグネット(Oxford)が設置されていて、3-22keVの範囲で円偏光X線を用いたMCDや磁気散乱の実験が可能です。また、0.5-1.6keVの範囲の軟X線はミラーによって隣接のBL-26(責任者Goedkoop氏)に分岐され、Dragon-型の分光測定装置に導かれます。通常、入射は7時と19時の2回/日です。ビームに関する情報は全てモニターを通して得る事になり、音声によるアナウンスは皆無です。蓄積リングは最大蓄積電流約200mA、Life-timeも約30時間と大変安定していました。また、ビームポジション・モニターの表示によると、ゆらぎは水平垂直共に±10ミクロン以内に収まっていました。Grenobleは夏期にしばしば激しい雷雨に襲われますが、昨年も落雷に因るビーム・ダンプが数回ありました。BL光学系や実験装置の操作は全てWS(HP-Apolo)から行われます。挿入光源のGap、分光器、スリット、シャッターなどの操作、実験装置の温度調節、外部磁場などのコントロールがモニター画面を見ながら行えます。ESRFでは、計測用softwareがSPECに統一されている事は周知の通りです。これは大変使い勝手の良いソフトでした。

次に、実験について簡単に触れたいと思います。BL-6とBL-26では主に磁性体に関する分光実験(特にMCD)が活発に行われています。各々は硬X線と軟X線領域に分かれているものの、スタッフ及び利用者の交流は極めて密接です。分光測定はフォトダイオードによる蛍光X線収量法が標準的です。円偏光度は公称90%以上ですが、実際には硬X線の領域では70~80%と見積もられます。集光時の試料上での標準的なビームサイズは約 $0.7 \times 0.1 \text{mm}^2$ です。円偏光度、輝度、計測方法などに因って、MCDの精度、S/N比などが随分向上しているとの印象を持ちました。測定システムが異なるので単純には比較出来ませんが、例えば、7keV付近ならPFの約半分の時間で十分な統計精度のデータが得られます。今回の実験では、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ のスピン再配列相転移に伴うMCDの温度変化を明確に観測でき、今までのPFでの測定結果を確認する事が出来たばかりでなく、PFでの測定でははっきりしなかったスペクトルの変化が観測できました。その実験では、スペクトル測定毎に磁場を反転する方法を採用しています。これはビームが安定している証拠といえます。しかし、スキャンする度に分光器のロッキング・カーブを確認して再調整する必要がありました。6GeVでアンジュレータからの光はやはり強力ですが、ハンドリングには微妙な操作が必要のようです。

(2) ESRF BL-8 :

BL-8ではCNRSのFontaine氏のグループが行った移相子による直線偏光から円偏光への変換とそのMCDへの応用実験に参加しました。BL-8はDispersive XAFSを目的としており、テーパード・アンジュレータ、SiC-ミラー、湾曲型分光結晶、長い可動アームを備えた分光計(従って、大きな実験ハッチ)、CCDカメラなどで構成されています。実験では、分光結晶として厚さ $120 \mu\text{m}$ のSiをBragg配置で用いて、その焦点に試料(Gd薄膜)と永久磁石の磁気回路(Magnetic Solutions, Ltd.)を、磁気回路の直ぐ上流側に合成ダイヤモンド(100)単結晶を用いた移相子のゴニオメータを設置しました。移相子の111非対称反射のBragg角(θ_0)を中心にoff-set角($\Delta\theta$)を±150"の範囲で変えながら、Gd L_3 -吸収端のMCDを磁場反

転法で測定しました。円偏光度(P_c)がoff-set角の関数として $-1 \leq P_c \leq 1$ の範囲で変化する様子をMCD強度でモニターしたことになります。測定データは動力学的回折理論によって導かれる $P_c(\Delta\theta)$ と大変良く一致したものでした。 θ_0 を中心に P_c は反転対称を成し、 $\Delta\theta = \pm 85^\circ$ で $P_c \sim \pm 1$ 、その内側で振動する様子が観測されました。これは言い換えると、off-set角を調節することによって望みの円偏光度が得られることを意味しています。磁場反転によるMCDと円偏光の反転によるそれとの一致も確かめられました。円偏光度の制御が容易に出来る移相子の効用に大変感動しました。

また、測定ではリンをシンチレータとした LN_2 冷却型のCCDカメラを用いました。目的の吸収端や測定範囲を決めて、分光計の然るべき位置にCCDを移動して調整(熟練したスタッフが行った)を完了すれば、後はストロボ的に(テストでは0.3secのpresetで)スペクトルの全体像を見ることができます。この特徴を活かして、BL-8では時分割の測定が重要なテーマの一つとして掲げられています。Dispersive XAFSとCCDカメラの組み合わせは様々な可能性を持っていると感じましたし、我が国にも建設されるべきだと思います。

さて、最後にESRFで感じたその他のことを記してみます。計測用softwareがSPECに統一されているので、基本的な操作はどこBLでも同様に出来る訳です。また、ソフト関係の技術者はプログラム上のトラブルや要望に対して素早く対応してくれます。但、BLの全体を把握している者にとっては、非常に快適に実験できる環境ですが、初心者にとってはBlack-boxの感は否めません。従って、HERCULESと呼ばれている若手向けの教育コースは、これを補う意味でも大変重要な役割を果たしていると思います。滞在中に私が属したグループは、フランス人4名、オランダ人1名、ロシア人1名(以上は、CNRS, ESRFのスタッフ)、スペイン人3名、イタリア人3名と私の総勢13名でした。実験に参加したメンバーはその都度変わりました。各自の興味に応じて実験に参加できると共に、メンバーが他のグループと個別に共同研究を実施する場合も勿論あります。これは、どこの放射光施設でも共通している事と思いますが、SPring-8では更に研究者の交流の(国際交流も含めた)活性化が図られるように期待したいです。私は滞在期間の終了間際にESRFの実験課題を申請しましたが、その際、我が国との相違を痛感しました。現在、課題採択率は平均約40%、申請が殺到しているBL(特に、BL-6)では30%以下と聞いています。課題の有効期間は半年間で、研究目的を包括的でなく具体的に記すように強く求められています。これによって研究のサイクルが短くなる反面、研究成果の評価や実験の継続の審査に際して明確な基準が不可欠と考えられます。SPring-8でも同様の手続きが試行されていますが、コンセンサスの得られる形で定着することを願います。

SPring-8は蓄積リングのコミッション開始の運びとなって、実験ステーションの建設が実験計画を視野に入れながらいよいよ始まります。これに先立って、ESRFで「新しい光」を体験しながら半年間を楽しく過ごす事が出来ました。この様な機会を得ました事を感謝しながら、この拙い報告を終わります。