

ユーザーとスタッフの広場

PF での 28 年間を振り返って

松下 正

1. はじめに

私は、今年の3月末をもちましてPFを定年退職いたしました。PFの建設が佳境に入りつつあった1980年7月に採用されて以来27年9ヶ月もの期間PFにお世話になったこととなります。この間、多くの方々と出会うことができ色々なことを学ぶ機会がありましたことは、大変幸運であったと思います。これまでいろいろな形で接する機会を通じてご教示、ご支援いただいた方々に心から感謝しお礼申し上げます。

退職のこの機会に、これまでを振り返ってすこし思い出などを述べさせていただきます。

2. 日本で初めてのX線領域の放射光

私がPFに着任した時期は、Linacの建物の形が見えてきて、光源棟はまだ基礎を打ち終わった頃だったと思います。ビームラインなどを担当するグループは放射光測定器研究系でしたが、佐々木泰三先生をヘッド（研究主幹）として安藤正海さんと太田俊明さんがいらっしゃり、私は測定器研究系の4人目のスタッフでした。PFへの着任の前の1年間はStanfordの放射光施設SSRLに滞在していましたが、基本的には小さな研究室でX線回折の研究の訓練を受けてきたものにとって、PFのような（システムとしても）大きな施設の建設のような仕事は初めての経験で、途惑いながらもこれから日本でも放射光（X線領域では初めて）が利用できるようになるのだという高揚した気持ちで仕事をしていたように記憶しています。

PFリングの立ち上げは1982年の3月に行われ、3月12日に電子ビームの蓄積が確認されたと記憶しています。確かその翌日だったと思いますが、BL10の放射線遮蔽壁を抜



平成20年3月14日にKEK交流ラウンジで開催された退職記念講演会を終えて講演者、司会者の皆様に囲まれて。

けて実験ホール側まで設置されていたビームパイプの先端のベリリウム窓を通した放射光によって蛍光板が光るのを見て、ビームチャンネル建設責任者の佐藤繁さん達と一緒に興奮し小躍りして喜んだ光景を今でも鮮明に記憶しています。

PFの建設は、将来ユーザーになるであろう方々がワーキンググループを形成し、少ないスタッフを助けていただいたことが大きな力になりました。私はEXAFS、高圧回折計、6軸回折計（結晶物理）、小角散乱ビームラインなど複数のワーキンググループを内部スタッフとしてサポートさせていただきました。このような作業を通じて、放射光関連の広い分野を見渡すことの必要性を認識する訓練を受けたように思います。

3. Instrumentation と方法論の開発

PFの建設が始まる頃は、海外でもBrookhaven（米国）とDaresbury（英国）に2-2.5 GeVクラスの放射光リングの建設が計画されていました。X線領域では放射光の利用経験はごく限られた人々しかもっててなく、X線源としての性質もそれまでの実験室線源とは大きく異なり、放射光利用技術の研究と開発の重要性が認識され、1977年ごろからInstrumentationに関する国際会議や国際ワークショップがよく開かれるようになっていました。PFの初代施設長であられた高良先生のガイダンスもあり私もinstrumentationの研究が大切だと考え、そのような方向性をもって研究を進めていました。PFが発足するときの組織も、Linacを担当する入射器研究系、storage ringを担当する光源系の他には、放射光測定器研究系という名称の組織がビームラインや共同利用を担当することになっていました。定員に制約があったこともあると思いますが、この組織案を予算当局に認めてもらうにあたり、測定器研究系は装置や利用技術の開発を行い、放射光利用研究は大学の研究者が共同利用者として行うという説明をしたということを高良先生からお聞きしたことがあります。論文になるような仕事以外にも、ビームラインの建設と共同利用の開始のために多くの時間を割いて働きましたが、ビームラインから放射光が得られそれを多くの方々が利用し成果をだすということを目の当たりにし、ある種の充実感と喜びを感じたことを懐かしく思い出します。

4. 放射光施設の運営

PFのスタッフであれば何らかの形でPFの運営に関与していることは当たり前ですが、私の場合には放射光測定器研究系の研究主幹、物構研副所長（放射光実験施設長という正式なポストはなくなりましたが、実質的には施設長の役割も併任しました）を務めたことで、PFの運営ということを強く意識しました。

(a) Large facility for small science

ある時、当時東大物性研の藤井保彦先生が“small science at large facility”という表現が使われていたのを聞き、私自身は“large facility for small science”で働いているのだなという思いを強くしたことを記憶しています。こ

ここで大切な“for small science”ということだと意識しました。建設当初に施設のスタッフは主に instrumentation や方法論の開発に重点をおくということが意識されたことを上に述べましたが（建設期を過ぎても、放射光分野では instrumentation や方法論の開発が大変重要であるという認識は持っていましたが）、測定器研究系としてあるいは放射光施設としてそのことだけでは放射光分野や他分野から十分な評価を得られないのではと感じることもしばしばありました。放射光施設として持つべき機能として大切なのは、science を研究するユーザーに新しい可能性を常に提供することだと考えました。それは instrumentation や方法論の開発でもよいし、既存の装置や既存の方法でもそれまでに比べ大きな飛躍を放射光を利用すればできることを実例をもって示すことでもよいと考えました。自身の論文に直接つながらないような共同利用や広報などの仕事も“for science”ということ常を意識することが大切と考えていました。放射光施設ではよい料理をするためのキッチンやキッチン用具を整え、ユーザーが食材を持ち込み料理をするという風に例えるなら、キッチンやキッチン用具を整備するのもスタッフの役割なら、テレビの料理番組のようにこうすればこんなおいしい料理ができるということを実例で示したり、料理教室で料理法を伝授するのも施設スタッフの大切な仕事と考えました。紙面がないので詳しいことを省略しますので飛躍があるように感じられるかもしれませんが、3月に行っていたいただいた私の退職記念講演会での村上洋一先生（東北大）、若槻壮市先生（PF）、腰原伸也先生（東工大、JST）のお話は、私としてはPFのマネジメントとして上のような考え方に基いて何らかのアクションをとったことが成果につながっている（もちろん、主役はそれぞれの分野で研究をされた方々ですが）部分があると思うので講演をお願いした経緯があります。

(b) 放射光施設での現在計画、近い将来の計画、少し先の将来計画

既存の施設・設備の性能を向上させるという努力は、PFの建設以来絶えず行われてきました。1987年（400 nm rad → 130 nm rad）と1997年（130 nm rad → 36 nm rad）に高輝度化が行われ、そのような光源性能の向上を積極的に活かすために経験の浅かった時代に設計・製作した装置やビームラインの更新と装置技術の進歩を取り入れたビームラインの建設も行われていました。世界中で新しい放射光施設が次々と建設され、新しいビームラインや実験装置が建設されていた状況のなかで、競争力を保つためには既存の光源、ビームライン、実験装置の性能向上は欠かせないものでした。

一方、将来の方向を探る努力も必要と考えました。特に、SPRING-8の稼動が間近になった1996年ごろからPFの将来計画を議論する必要性を意識しました。とはいっても放射光分野にSPRING-8建設のための大きな予算が投入されたばかりである、東京大学物性研のVUV・軟X線光源計画が提案されている、KEKではJ-PARCの建設が提案されているという状況の中で、PF関連で数百億円の計画を

現するには、よい企画であることは大前提ですが、十分な理解を得る努力とタイミングのよいめぐり合わせなどの要因が必要と感じていました。前任のPF施設長であられた木原元央先生がよく「将来計画は大切だが、大規模な計画はいつ実現するかわからない。実現しないこともあるので、将来計画を考えると同時に、現在の仕事もきちんとやって実績を残さないといけない」という趣旨のことを言われていたのが強く印象に残っていました。

丁度そのような時期に、光源系の小林幸則さんが2.5 GeV リングのマグネットの配置を変えることで挿入光源用の短直線部を4本増やし既存直線部の長さも2倍弱にすることができる「直線部増強計画」を提案してくれました。また高エネルギー物理学分野ではトリスタン計画が終了し、入射器として利用していた6.5 GeVのAR単バンチリングを使用しなくなったので、PF-ARと名前を変えて放射光専用光源として運用することが可能な状況が生まれていました。私はすぐに「直線部増強」とそれを有効に活かすビームライン増強、PF-ARを短バンチ特性を生かした研究や硬X線を利用するために活用することの二つの柱をPFの近い将来へ向けての目標とし、全く新しい光源の建設はもう少し先の将来での実現を目指すことが現実的ではないかと判断し、この近い将来と少し先の将来の計画に対してバランスよく努力を行っていくことが大切だと考えました。予算確保に大分苦労して期待よりも時間がかかってしまいましたが光源スタッフの地道かつ多大な努力の結果、「直線部増強」が実現し、2005年9月から生まれ変わったPFリングが稼動しました。PF-ARも2001年のリング真空系の大改造、北西実験棟の建設、NW2、NW12、NW14、NW10などのビームラインの建設が実現し、PFの大きな戦力になっている現在をみると、そのために多くの時間と労力を割いていただいた関連スタッフに感謝したいと思います。

長期的な計画に関しても努力を重ねたつもりですが、その進展には紆余曲折もあり「将来計画」を進めることの大変さと自分自身の力量不足を感じることもありました。当初、1996~1997年頃には3~4 GeVクラスのリングでVUV・SXから硬X線までをカバーするストレージリングを想定しました。当時は東大物性研のVUV・SX光源計画がありましたので、それと違うという印象を与えるためにリングのエネルギーを4 GeVとしてプランを考えてもらいました。その後、VUV・SX高輝度光源の実現の可能性が高まってきている状況でさらにあまり時間を置かずにストレージリングベースの光源を提案することの実現性を考える必要性を感じて、物構研の運営協議員会の下に将来計画検討WGを組織し、さらにそのなかに設置した光源と利用計画を検討する二つの作業部会で検討をしてもらいました。その結果、5 GeVクラスのERLを光源とする計画を提案することになりました。これらの作業の結果は「放射光将来計画検討報告-ERL光源と利用研究-」として2003年3月に報告が出されていますが、当時の考え方がよくまとめられていると感じています。将来計画自体はそ

の後も紆余曲折があり、ますますその難しさを実感しましたが、現在では機構内に ERL 計画推進室が作られ河田さんを中心に努力が重ねられている姿をみますと、是非とも将来計画が実現してほしいと願っています。

(c) 放射光施設の評価

1995 年には測定器系研究主幹として、2001 年と 2006 年には PF 施設の長として、PF の外部評価を受ける経験をしました。1995 年のときは、PF が稼動を開始して以来のほぼ 15 年分にわたる活動のサマリーとして、400 ページを超える報告書をユーザーとスタッフの方々の協力をいただき作成しました。評価委員会委員長の有馬朗人先生の前で、大変緊張してプレゼンテーションを行ったことを記憶しています。PF のような大型施設での大規模な共同利用を行っている所では、少なくとも 5 年に 1 回は外部からの目で評価していただくことが必要と考え、2001 年になってしまいましたが、2 回目の評価を行っていただきました。この時は、個別のビームラインの活動も詳細まで評価していただきたいと考え、評価委員会の下に 5 つの小委員会を設けてもらいました。また、各ビームラインごとに英文の報告書を作成していただき、それを小委員会の外国人委員に送って書面でコメントをいただくということも試みました。この評価委員会の後に野村さんを中心として各ビームラインの位置づけをまとめたテーブルを作成してもらい、実験ホールへの廊下の壁に貼りだすことなども行いました。

3 回目の評価は 2006 年 3 月に行われましたが、この時には国際的な観点からの評価がなされていることが分かるように委員長を含めて委員の半数は外国人にお願いし、資料の準備、プレゼンテーションも全て英語で行いました。PF としては初めてでしたが、よい経験だったと思っています。

5. 実験データを現場でリアルタイムでみる“わくわく感”

2006 年 3 月末に物構研副所長と放射光研究施設の長の任を離れ、定年退職まで 2 年を残していました。研究主幹や副所長を務めていた間は、自分自身の研究に時間を割く余裕がなかったので、残された 2 年間のうちに何か実験を行って論文の一つ書くということを目標にしました。

2003 年ごろにオーストラリア放射光のユーザーミーティングで J. White 先生 (J-PARC の国際諮問委員会委員長) が SSD を使ったエネルギー分散法による X 線反射率測定のことを話されているのを聞き、私が昔開発した dispersive XAFS の方法を拡張することで同様に X 線反射率を X 線エネルギーの関数として測定できると考えたことがありました。その時はそれ以上の検討をする余裕がなかったので、何ら進展はありませんでした。2006 年 4 月から検討を始めてみますと、何を検討すればよいかは比較的短時間に整理できたのですが、自分自身で検討のための簡単な計算をしてみるとなかなか進まないということなどを経験しました。それでも何とか 2006 年 10 月に PF-AR の NW2A ビームラインで実験にこぎつけることができました。実験に至るまで、そして実験中も丹羽博さん (PF)、

稲田康宏さん (PF)、野村昌治さん (PF)、石井真史さん (NIMS)、桜井健次さん (NIMS) から多大なご支援を受けました。また、途中からは荒川悦雄さん (東京学芸大) にも実験に参加していただき、当初の予想を超えた進展をみる事ができました。10 数年ぶりに、実験ステーションの現場で新しい実験データがでてくるのをリアルタイムでみて“わくわく”する感じを味わうことができたことは、貴重な体験として記憶に留めることができていると思います。お蔭様で、鏡面 X 線反射率曲線を 1 秒～数ミリ秒の時間で測定できることを示すことができ、2007 年 7 月に仙台で行われた workshop のプロシーディングス [1] と Appl. Phys. Lett. [2] への二つの論文を出版することができました。さらにポリクロメーターとして彎曲結晶の代わりに楕円面上に沿って周期間隔が連続的に変化している多層膜を使うという光学系についても、荒川さん、羽多野忠さん、原田哲男さん (共に東北大学多元研)、東保男さん (KEK 工作センター)、平野馨一さん (PF) の協力を得てテスト実験を行うことができ、ポジティブな結果を得つつあります。2008 年 7 月にパリで開催された国際会議では、自分自身で実験した成果の発表としては 10 数年ぶりに英語で口頭発表を行うことができ、昔に比べ英語がへたになったなどと思う経験もすることができました (この原稿はパリから帰ってきてまだ時差ぼけがとれない状態で書きました)。定年退職前の 2 年間でこのような形で過ごせたことは大変幸運だったと思いますと同時に、そのような過ごし方が可能となる環境を与えていただきました物構研の関連の皆様へ感謝申し上げます。

6. おわりに

定年退職をあまり大げさに考えないで過ごしていきたいと考えていましたが、人生の一つの区切りであることは間違いないことで、振り返ってみるといろいろなことを思い出し長い紙面を使ってしまうました。この機会に、私が研究者としての道を歩み始めようとした時にご指導、手ほどきをいただきました高良和武先生、菊田惺志先生にお礼を申し上げたいと思います。また、3 月に私の退職記念講演会でご講演いただいた村上洋一先生 (東北大)、若槻壮市先生 (PF)、腰原伸也先生 (東工大、JST)、野村昌治先生 (PF)、講演会、その後のパーティにご出席いただいた方々、講演会・パーティの準備に労を割いていただいた方々にも篤くお礼申し上げます。もう少しの間、X 線反射率の時分割測定法の開発に関する研究を細々と続けさせていただきたいと思っていますので、実験ホールなどでお会いした時にはよろしく願いいたします。

[1] T.Matsushita, Y.Inada, Y.Niwa, M.Ishii, K.Sakurai and M.Nomura, Curved Crystal X-Ray Optics for a New Type of High Speed, Multiwavelength Dispersive X-Ray Reflectometer, J. Phys.: Conf. Ser., **83**, 012021 (2007).

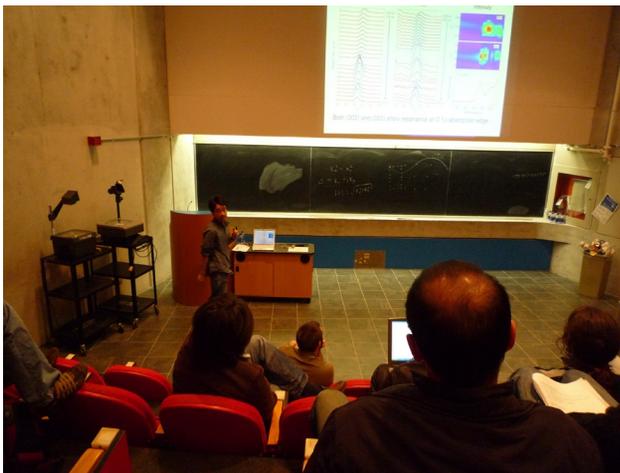
[2] T.Matsushita, Y.Niwa, Y.Inada, M.Nomura, M.Ishii, K.Sakurai and E.Arakawa, High-Speed X-Ray Reflectometry in Multiwavelength-Dispersive Mode, Appl. Phys. Lett., **92**, 024103 (2008).

CIFAR Quantum Materials Summer School & Main Meeting に参加して

日本学術振興会 海外特別研究員
ブリティッシュコロンビア大学 和達大樹

私は昨年 2007 年 4 月 1 日より、カナダのバンクーバーにあるブリティッシュコロンビア大学 (UBC) で Sawatzky 教授のもとポスドクを行っております。昨今の PF ニュースでは、カナダのサスカトゥーンにある放射光施設 Canadian Light Source (CLS) でのビームタイムについて報告させていただきました。カナダにおける放射光とその関連分野への関心のみでなく、日本に近い国でありながらアメリカの陰に隠れて実はあまり知られていないカナダという観点からも、いくらかの反響をいただきました。今年は 5 月 4 日から 10 日にカナダのトロントで開催された国内会議の CIFAR Quantum Materials Summer School & Main Meeting について紹介させていただきます。

まず CIFAR とは Canadian Institute for Advanced Research の略であり、カナダ国内の基礎研究の促進を目的とした組織です。昨年までは CIAR という略称でしたが、遠くを見るという "See far" と掛け言葉にするため、略称が CIFAR に変わりました。自然科学から社会科学にいたるまで様々な研究領域が含まれており、その中の一つに "Quantum Materials" という物性物理学の研究領域があります。CIFAR の "Quantum Materials" は毎年 5 月前半に学生、ポスドク向けの講義を主とする 3 日間の Summer School と最新の研究結果について報告する 3 日間の Main Meeting から成る会議を開いています。この会議は西部のバンクーバー、東部のトロント、モントリオールのいずれかで開催されるようで、2004 年はトロント、2005 年はバンクーバー、2006 年はモントリオール、そして昨年の 2007 年はバンクーバー開催でした。この周期で行くと、来年 2009 年はバンクーバー開催となります (西部には開催地候補がバンクーバーしかないの、頻度が高くなる訳です)。



CIFAR Quantum Materials Summer School で口頭発表する筆者

トロントの紹介もしておきましょう。トロントはカナダ最大の都市であり (首都はオタワにあり別ですが)、人口はおよそ 250 万人です。日本でいえば大阪市程度の人口となります。1812 年からの米英戦争では一時アメリカ軍に占領されるという屈辱を受けながらもその後は順調に発展し、現在ではカナダ最大、北米でも第五の都市となっています。日本人にとってあまりこれといったイメージのない都市かもしれませんが、例えば今年の北京オリンピックの開催決定の際にトロントも立候補しており、最後の投票まで残っていました。その他に 1996 年 (アトランタ開催) の際も立候補していました。ということでなかなかオリンピック開催の夢が果たせない都市です (そのおかげで 2010 年の冬季オリンピックがバンクーバーで開催されることになったとも言えます)。

それでは会議の話に移ります。トロントまではバンクーバーより飛行機で参りました。所要時間は 4 時間 30 分程度、国内の移動ですがかなりの時間ですね。時差もありトロント時間はバンクーバー時間 + 3 時間なので、移動のみではほぼ一日つぶしてしまう感じです (午前 7 時発の飛行機で出発してもトロント到着が午後 2 時半となります)。トロントの空港はトロント・ピアソン国際空港と呼ばれています。ピアソンの名はトロント出身の第 14 代首相 Lester B. Pearson から取られています。

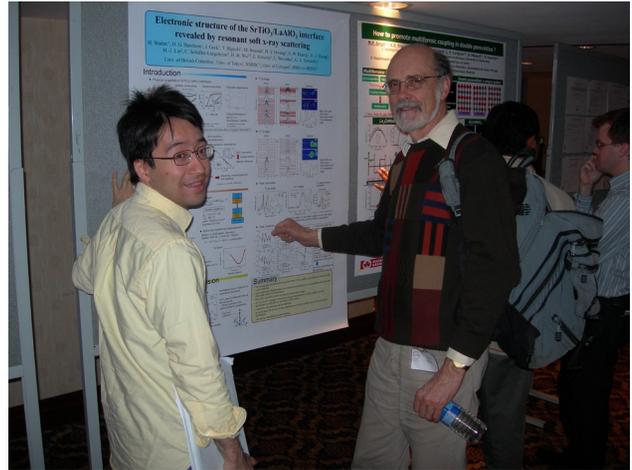
前半 3 日間の Summer School は郊外のハミルトン市にある McMaster 大学で開催されたため、トロントからハミルトンまで高速バスで参りました。一時間程度の道のりで、値段は片道 9 ドルとお手頃です。ハミルトンはトロントとナイアガラの間にある都市で、Tim Horton's の発祥の地でもあります (ちなみに Starbucks はアメリカのシアトル発祥ですね)。Summer School の前日夜にまず Welcome BBQ があり、ハンバーガーなどをいただきました。ここで京都大学の前野悦輝先生の研究室よりいらっしゃったポスドクの Markus Kriener さん (ドイツ人) と修士 2 年の田中壮太郎さんにお会いしました。プログラム上 BBQ は午後 5 時からですが、実際に食事が始まったのは午後 6 時ごろからでした。日本からのお二人は律儀にも午後 4 時 55 分ぐらいから待っていらっしゃったようですが、カナダでは時に律儀さは裏目に出ます。

Summer School 初日はまず午前中に理論の講義が 3 つありました。午後には実験手法 (中性子散乱, NMR) の講義があり、NMR の講義は McMaster 大学の Takashi Imai 先生 (日本人) によるものでした。カナダの大学に日本人の物理の教授はそれほど多くないため、Imai 先生のお話を伺うことができ大変感激いたしました。午後の最後は学生とポスドクによるポスター発表でした。ポスターには番号などなく、事前の申し込みがなくてもポスターが貼れるという、日本からすれば結構いい加減なポスターセッションではあります。2 日目の午前には 2 つの講義の後、学生とポスドクによる講演がありました。Markus Kriener さんの Boron-Doped Silicon Carbide の発表、「室温超伝導にもつながりうる道」ということで大変興味深いものでした。午後

は一つの講演がキャンセルになったことによるプログラム移動のため、Banquet まで2時間以上上空という妙にゆとりのあるスケジュールでした。3日目の午前、McMaster大学のCatherine Kallin先生による銅酸化物高温超伝導体のpseudogap相についての講義が、特にFermi面の形状についての最近の解釈などためになりました。その後の学生とポスドクによる講演で私も共鳴軟X線散乱によるSrTiO₃/LaAlO₃界面の研究について発表しました。昼食前の発表で空腹のせい、その場でのあまり活発な議論はありませんでしたが、後になって何人かの参加者から「お前発表していたな」、「面白かったよ」というようなことは言われたので、それなりに聞いていただいたようです（ただ、残念ながらUBCのメンバーからも「お前UBCに一年もいたんだな」というようなことを言われたこともあります。UBCの物理学科では、理論系の研究室はHennings Building、実験系の研究室はAMPEL Buildingと分かれてしまっており、理論系と実験系では特別のセミナーなど以外では顔を合わせることもまれなことがあります。研究室間の有機的なつながりはどこの大学でも難しいかもしれないのですが、同じ大学のメンバーの研究を大きな会議で初めて知ることが多いのはやや滑稽でもあり残念なことです。午後にはLab Toursが予定されていましたがこれは急ぎょ中止となり、すぐにMain Meetingが開かれるトロント市街のMarriottホテルへ移動となりました。

この日の夜は自由行動であったため、トロントの球場であるRogers Centreに野球観戦に参りました。対戦カードはトロント・ブルージェイズ対タンパベイ・レイズでした。ブルージェイズには日本人選手はいませんが、レイズには岩村明憲選手がいます。きれいな球場で（雨上りのためドームの屋根を閉じていました）、観戦自体は楽しいのですが、球場の客の入りの少なさにはやや不安を感じます。日本からいっしょって同じく観戦なさった東大の高木英典先生も「これで経営大丈夫かな？」とおっしゃっていました。モンリオール・エキスポズが2004年にワシントンD.C.に移転してしまっからは、ブルージェイズはカナダ唯一のメジャーリーグの球団なのですが、アイスホッケーが一番人気のカナダにおいて野球の人気はいまいちのようです。1992, 93年のワールドシリーズ連覇以来、地区優勝はおろかワイルドカード獲得すらない戦績もさびしいものがあります。しかし、いくら球場がすいていると言っても、来ているお客さんの90%以上がブルージェイズのファンですし、7回裏の攻撃前の"Take me out to the ball game"の歌、怠惰なプレーへの容赦ないブーイング、2ストライクまで追い込んだ後の三振を要求する拍手など、メジャー流の応援は十分に感じることができます。

さて、Main Meetingですが、こちらはやはり銅酸化物高温超伝導体のトピックが主となります。そのような中で初日午前の高木英典先生の幾何学的フラストレーションのある系の研究、Augsburg大学（ドイツ）のJochen



CIFAR Quantum Materials Main Meeting でポスター発表する筆者（左）。右は Walter N. Hardy 先生（UBC）。

Mannhart 先生の SrTiO₃/LaAlO₃ 界面の研究は特に興味深いものでした。午後には終日座長もやっていらっしゃる Sherbrooke 大学（モンリオール郊外）の Louis Taillefer 先生の高温超伝導体の発表がありました。こちらの研究室は昨年 Y 系での Fermi 面についての論文を 2 編 Nature 誌に出すなど（N. Doiron-Leyraud *et al.*, Nature **447**, 565 (2007); D. LeBoeuf *et al.*, Nature **450**, 533 (2007)), この分野での主導的なグループです。物質名を明かさずに Nd ドープした La 系の電気抵抗の温度依存性のデータを示し、「擬ギャップ」、「ストライプ」、「フェルミアーク」といった我々が（正しく理解しているかどうかは別にして）よく使う用語に頼ることなく、参加者に先入観なく考えさせようというユニークなスタイルがとても印象的でした。2日目はほとんどの講演が高温超伝導体の研究であり、ARPES, STM, 光学測定などの最近の結果が示されました。このうちでは特に PSI, Zürich（スイス）の Joël Mesot 先生と中国科学院（中国、北京）の Xingjiang Zhou 先生の講演が印象に残りました。Joël Mesot 先生の講演は主に J. Chang *et al.*, arXiv: 0805.0302v2 に基づき、Nd ドープした La 系の ARPES により小さいホール型の Fermi 面が見られたことについてでした。Xingjiang Zhou 先生は超高分解能のレーザー励起の光電子分光（G. Liu *et al.*, Rev. Sci. Instr. **79**, 023105 (2008)) を用いた APRES により、最近話題の高エネルギーキックが本質的ではないのではないかとこの講演でした。この日の午後に予定されていた "Discussion on High-Tc superconductors" はなぜか中止となりました。1, 2日目とも夕食前はポスターセッションであり（例の番号付けのない"いい加減な"ポスターセッションですが）、私も Summer School で口頭発表した内容をポスターで発表しました。Jochen Mannhart 先生と SrTiO₃/LaAlO₃ 界面の特に 2 種類の界面（p 型：LaO/AlO₂/SrO と n 型：LaO/TiO₂/SrO）の違いについて詳しくお話してきたのが何より有意義でした。3日目も主に高温超伝導体の講演が続きました。UBC の Marcel Franz 先生の講演の中で同じく UBC の Andrea Damascelli 先生の示された M. A. Hossain

et al, arXiv: 0801.3421v1 の Y 系の ARPES の結果, 特に K (カリウム) を蒸着することで表面のホール量を減らす手法が多く注目を呼びました。このドーピング法は元素置換と違い格子に影響がないため、純粋にドーピング量依存性を観測するには大変有用な方法であると感じました。また、この日圧巻だったのは、中国科学院の Hai-Hu Wen 先生による LaOFeAs 系の講演でした。今年 3 月に発表されたばかりの物質ですが (Y. Kamihara et al., J. Am. Chem. Soc., **130**, 3296 (2008)), Hai-Hu Wen 先生らのグループによりすでに多くの組成の試料が合成され、物性測定がなされ、多くの論文が arXiv に上がっていることに、聴衆一同息を飲む思いでした。ARPES 測定などのため、単結晶試料の合成がぜひ必要ということが皆一致した感想だったようです (この後単結晶試料を用いた ARPES の結果が C. Liu et al., arXiv:0806.2147v3 に報告されましたが)。Cu のみでなく Fe や Ni の化合物でも超伝導体が合成されたことにより、今後高温超伝導体も含めたこれらの物質の性質の解明が飛躍的に進むことが期待されます。

以上で CIFAR Quantum Materials Summer School & Main Meeting の感想を終わらせていただきます。会議情報の詳細はホームページにあります。Summer School については <http://www.physics.mcmaster.ca/cifar/> を、Main Meeting については <http://www.cifar.ca/mtgs/meetings.nsf/pages/qm-may7-11-08> をご覧ください。放射光中心の会議ではありませんが、この業界の研究者の皆様が興味ある話題が多いかと思ひ、ここに執筆させていただきました。カナダ国内の会議であり、一般の参加者が入れないという意味では閉鎖的な会議なのですが、であるがゆえにカナダ的なところの多い、ざっくばらんに楽しみながら物性物理を議論できる会議ではないかと思ひました。

ビームラインのできるまで ～ BL-16A 立ち上げ奮闘記 (2) ～

放射光科学第一研究系 雨宮健太

1. はじめに

前号の PF ニュースが出版されて以来、あちこちで BL-16A の記事について声をかけて頂きました。PF のスタッフに始まり、実験に来ていたユーザーの方、さらには今期 PF で一度も実験をしていない分子研の方まで、PF ニュースがあちこちで読まれていることに改めて驚いた次第です。どうやら好評(?)につき、めでたく第二回をお届けできることになりました。

2. ひらめきの瞬間 (2008 年 1 月)

まずは前回の宿題です。復習すると、2007 年 10 月から 12 月にかけてのビームライン調整において、以下の 2 点が大きな問題になっていました。

- (1) 0 次光の焦点が設計よりはるかに上流にあり、集光

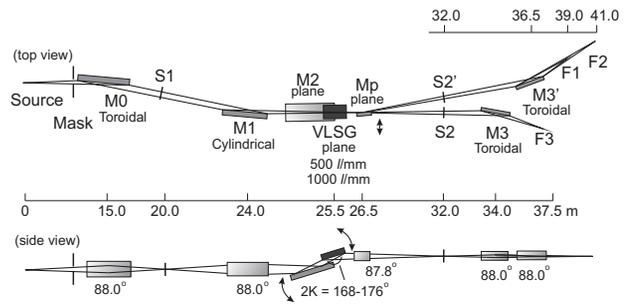


図 1 新 BL-16A のレイアウト。

ミラー (図 1 の M1) の曲率半径の誤差と考えるにはあまりにも大きすぎる。

- (2) 0 次光の焦点が設計通りになるように M1 の入射角を調整したのに、回折光の焦点が設計値と大きく異なり、しかも偏角 (図 1 の 2K) を変えた時の焦点位置の変化が計算とは逆方向になる。

特に (2) が深刻で、同じエネルギーで比較した場合、本来は 2K を大きくするほど (M2 と VLSG の入射角は浅くなる) 焦点が下流に行くはずなのに、まったく逆で、しかもその変化量が計算に比べてケタ違いに大きい (数 100 mm も動く!) のです。最初は不等線間隔回折格子 (VLSG) のパラメータを色々変えた計算をしてみても、この状況を再現しようと試みたのですが、到底不可能でした。こうなると、「M2 も VLSG も平面なんだから 0 次光の焦点は M1 だけで決まるはず。回折光にすることは M2 と VLSG だけを動かすんだから、もう M1 は関係なくて焦点は VLSG だけの問題のはず。でも…」と堂々巡りです。ところが車を運転しながらぼーっとこのことを考えていた正月休みのある日、この文章に重大な思い込みがあることに気がきました。

「M2 も VLSG も平面？」

もしも M2 が凹面になっていたらどうなるのでしょうか？

凹面鏡は入射角を浅くするほど焦点が上流に来ます (tangential 集光の場合)。ということは、偏角 (2K) を大きくするほど焦点が上流に来ることはあり得ます。はやる気持ちを抑えて子供たちを寝かせつけ (こういう下心がある時はなかなか寝ないものです)、M2 を半径 1 km の円筒にした場合の光線追跡をしてみると…、なんと、回折光の焦点位置は偏角に応じて見事に当初の計算とは逆方向に変わります。しかも実測以上の変化量です。結局、観測された焦点位置の変化は M2 が 2 km くらいの曲率半径をもつだけで説明できてしまうことがわかりました。まさかその程度の緩い曲率がそんなに効くとは、まさに先入観というのは恐ろしいものです。

3. 傾向と対策 (2008 年 1 月 - 5 月)

さて原因の目星はついたものの、どうやって確かめればよいのでしょうか。最も確実なのは、0 次光の焦点位置の偏角依存を調べることでしょう。そうすれば、回折格子 (VLSG) は単なるミラーとみなせるので、M2 と VLSG の曲率半径がそのまま焦点位置に効いてきます。残念なが

ら、12月までの調整では0次光の焦点が偏角に依存するなどとは思いませんでしたので、0次光の調整はすべて偏角174°で行っていました。前回の記事で紹介したように、焦点位置を調べる手段はもう確立していますので、測定としては簡単なのですが、放射光施設の宿命、運転再開を待たなければいけません。

正月のシャットダウンが終わって早速測定してみると、結果は明らかでした。解析などしなくても測定データを見ただけで、偏角(2K) = 172°では出射スリット(S2)の下流にあった0次光の焦点が、2K = 175°では逆に上流にあることがすぐわかり、思わずガッツポーズです(本来は由々しき事態なので、ガッツポーズどころではないのですが…)。一連の測定によって得られた0次光の焦点位置の偏角依存性を図2に示しますが、メートル単位で焦点が動くという、想像を絶する状況になっています。これでは回折光もめちゃくちゃになるはず。

次の疑問としては当然、ミラーが平面でないのはなぜか、ということになります。もちろんミラーの検査成績書には5 kmとか10 kmという値が書いてあります。ところが、BL-16Aではミラーをホルダーに取り付けるためにミラーの側面に溝を掘り、そこに板を差し込んでホルダーに押し付けています。では、もしもホルダーが平面でなかったらどうなるのでしょうか？ 押し付ける強さにもよりますが、ミラーはホルダーに沿って変形するでしょう。また、ミラーの底面はどれだけ平らなのでしょう？ ミラー表面は非常に高い精度で研磨してもらっていますが、底面の平面度は仕様に含まれていません(もちろんホルダーの平面度も)。そこで早速ホルダーのメーカーに相談し、同じ方式のホルダーで固定したミラーの形状変化を測ってもらいました(残念ながらPFにはミラー形状の測定装置はありません。たまたま別の用事があったのか、測定はなぜかフランスで行ったそうです)。その結果は確かに予想通りで、強く締め付けることによってミラーの曲率半径がはっきりと変わってしまうとのことでした。

これで原因がわかったので、非常に単純な解決策、すなわち、「ミラーを緩く押さえる」を実施することに決めました。なお、このミラーは冷却のために側面からCuブロックを押し付けていますので、押さえ方をゆるくしてもミラーが動いてしまう心配はありません。メーカーとしては、この改善策に100%の自信を持っているとのことでしたが、超高真空を破って巨大なチェンバーを大気にさらす以上、何か効果を確認できる手段が欲しいところです。上述の通りPFではミラーの形状は測定できませんので、代わりに「オプティカルフラット」という、要は表面を非常に平らに研磨したガラスをミラーの上に置き、干渉縞の向きによって平面度を確認することにしました。と、言うだけなら簡単ですが、実際にはミラーの表面にガラス板を直接置くわけで、傷でもつけやしないかと緊張の連続です(こういう役どころは必ず筆者に回ってきます…)。しかも干渉縞といっても決してきれいに見えるわけではなく、「あ、この辺に置くとうまく見える」「お、この角度からだ

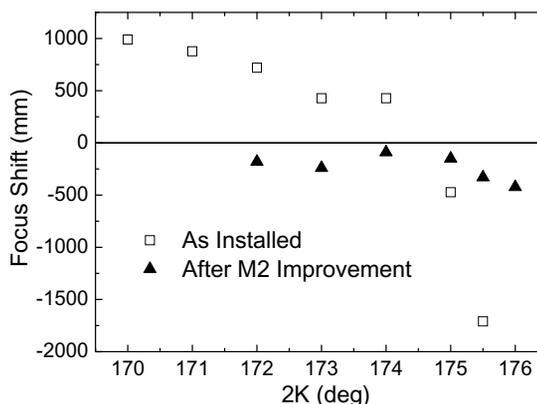


図2 0次光の焦点位置の偏角(2K)依存性。

と見えやすい」などと言いながら何度も何度もやり直し、そのたびに寿命が縮む思いをしたものです。写真撮影にもチャレンジしたのですが、残念ながらPFニュースに掲載されるレベルの画像は撮れませんでした。

何はともあれ、干渉縞を見る限りでは「平面」になったミラーを使って、2008年の5月に再度、0次光の焦点位置の偏角依存性を測定しました(図2)。まさに効果てきめん、焦点位置のシフト量が圧倒的に小さくなったことが分かります。今度こそ本当のガッツポーズです。ただし、それでもまだ100 mmのオーダーでシフトが残っています。実は、今回改良したのはM2だけで、VLSGについては何もしていません。実際にはこの程度のシフトであればエネルギー分解能にほとんど影響ないのですが、今回の結果からホルダー改良の効果がはっきりしましたので、次の機会にはVLSGにも同様の改良を施す予定です。

4. 時には快調に—試料位置へのフォーカス調整—(2007年12月)

ビームラインにおいては、試料位置へのフォーカスも重要なポイントです。時期は戻りますが、この調整は2007年12月13日にF1位置(図1参照)に対して行い、おそらく今回の立ち上げの中で一番快調に完了しました。ここで焦点位置の探し方を確認しておきます。前回の記事でも同じような方法を紹介しましたが、復習ということで。まず図3のように、どこかなるべくビームが広がった位置にアパーチャーを用意します。すると、例えば下側のアパーチャーを閉めれば実線の光が、上を閉めれば破線の光が下流に到達します。そしてそれぞれの場合について、焦点が来るべき位置に設置したナイフエッジで、ビームの位置を調べます。具体的には、ナイフエッジの下流に光強度モニターを置き、ナイフエッジをスキャンすると図3(b)のような強度変化が見られ、これを微分することで図3(c)のようにビームプロファイルが得られます(図3(c)では符号を反転させています)。この時、図3の上のように焦点が下流にあれば、実線の光の方が後から切られますし、逆に図3下のように焦点が上流にあれば実線の光が先に切られます。このようにして焦点が上流にあるのか下流にあるのか、設計位置からどのくらい離れているのかを知るこ

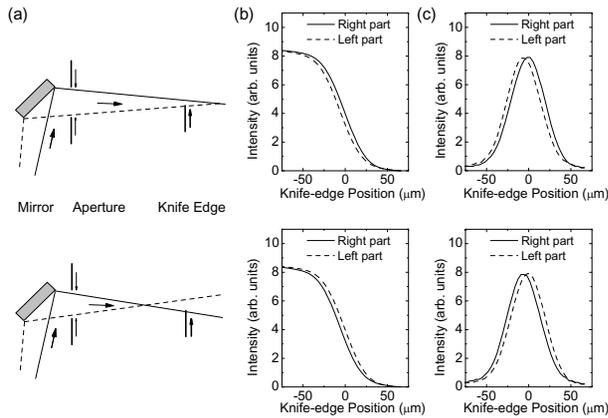


図3 焦点位置の探し方の模式図 (a) および、ナイフエッジスキャンで得られるデータ (b) とそれを微分して得られるビームプロファイル (c) の例。(c) は (b) を微分して符号を反転したもの。焦点がスリットの下流にある場合 (上) と上流にある場合 (下) について示した。

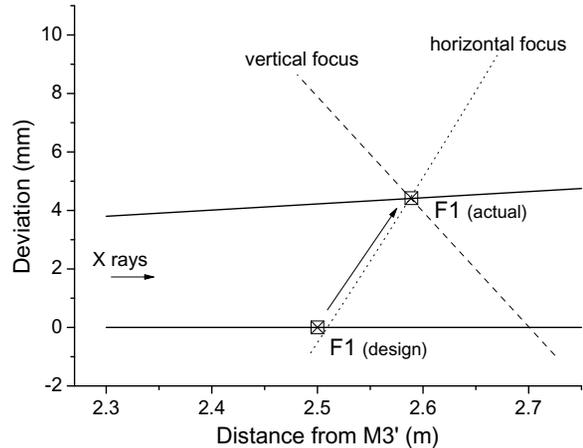


図5 M3' の入射角を変えた時の水平方向 (点線) および垂直方向 (破線) の焦点位置の軌跡。F1(actual) 位置において、水平・垂直方向の焦点が一致する。

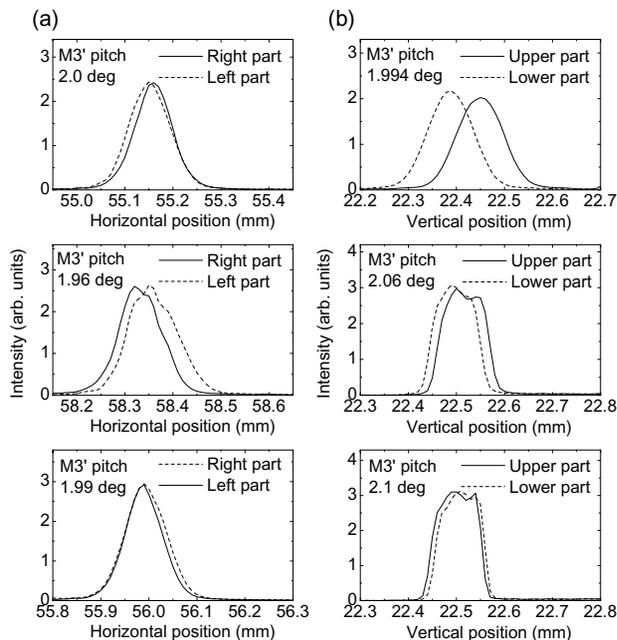


図4 F1 位置における水平方向 (a) および垂直方向 (b) のフォーカスの調整。M3' の入射角 (pitch) を変えることで焦点の位置を制御できる。

とができます。

まず水平方向のフォーカスを調べた結果を図4(a)に示します。M3' (図1参照) の入射角 (pitch) を設計値 (2.0°) にすると、わずかに焦点が下流にあることが分かります。ところが pitch を 1.96° にしただけで焦点は下流に移動し、結局 pitch が 1.994° の時に焦点がちょうど F1 位置に来ることが分かりました (もちろんビーム進行方向に関してです)。一方、この状態で垂直方向の焦点も合っていれば最高なのですが、そんなうまい話はありません。図4(b)のようにこの状態では垂直方向の焦点は F1 のはるか下流にありました。そこでこれを上流に移動させるべく、M3' の入射角を大きくしていきます。ちなみに M3' は横振りのトロイダルミラーであり、垂直方向の焦点は入射角を大き

くするほど上流にくるのに対し、水平方向の焦点は逆に、入射角を大きくするほど下流にきます。さて、図4(b)に示すように M3' の pitch を 2.1° とすると今度は焦点が上流に移り、結局 pitch を 2.09° とした時に設計上の F1 位置に焦点が来ることが分かりました。

この状況をまとめると図5のようになります。つまり、水平方向の焦点は M3' の pitch が 2.0° ではわずかに F1 より下流にあり、焦点位置を (進行方向について) F1 に合わせるためには入射角を小さくする必要がありますので、ビームは図5の下側にふられます。一方、垂直方向についてはやはり F1 の下流に焦点がありますが、これを F1 に合わせるためには入射角を大きくする必要がありますので、結局、水平方向と垂直方向の焦点を同時に F1 に合わせることはできません。これを解決するためには、図5に示したようにあえて F1 の位置をずらし、水平・垂直の焦点が一致する位置に設定する必要があります。つまり、M3' の pitch を 2.05° 程度にし、F1 を 90 mm 程度下流に、かつ 4.2 mm 程度横にずらすことで、理想的なフォーカスが得られます。実験装置はこの新たな F1 位置に置かなければなりません (フォーカスなんてどうでもいい、というなら話は別です)。前回も書きましたが、「設計通りの位置にビームを導くことが調整のゴールではない」ということです。

ところで最後にもう一点。図4の一番下の段は、どちらもほぼ焦点があった状態でのビーム形状ですが、水平方向に 100-200 μm 程度なのはいいとして、垂直方向も 100 μm 程度というのはちょっと大きい気がします。というのは、この時出射スリット (S2) は 20 μm 程度になっていたので、M3' によって縮小されてさらに小さくなるはずだからです。これはビームが傾いているためと考えられます。傾いているということは右の方の光と左の方の光が違う高さにあるということです。今度は左右のアパーチャーを切りながら垂直方向のビーム位置を調べてみました。すると図6(a)に示すように確かに左右で大きな違いがあり、M3' の面内回転 (yaw) を調整することで、一気にビームサイズを小さくすることができました。最終的に得

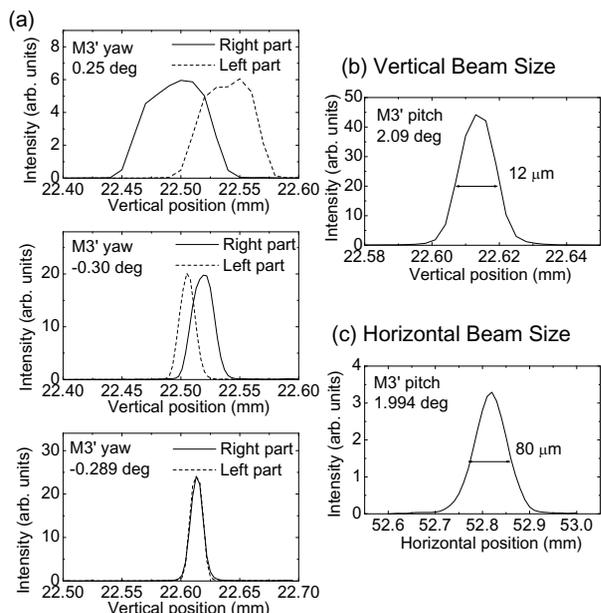


図6 F1位置における像の傾きの調整(a)および最終的に得られた垂直(b)および水平(c)方向のビーム形状。

られたビームサイズを図6(b)および6(c)に示します。この段階ではナイフエッジを90mmも下流に動かすことはできませんでしたので、水平方向と垂直方向のビーム形状は違う条件(M3'の入射角)で測定していますが、上述のように次回からは新たなF1位置に実験装置を置くことによって、これらのビーム形状を同時に実現できます。

5. 緊迫の試料作製 (2008年某日)

最後に、ビームラインの調整とは直接関係ないエピソードを紹介します。ご存じの通りBL-16Aは可変偏光ビームラインですので、ある月曜日に、偏光制御に関するアンジュレータとビームラインの合同スタディが予定されていました。筆者は土曜日の準夜勤当番だったので、その間にNi薄膜の準備をしました。周知のようにNiに限らずたいの磁性金属は、大気中では表面が酸化されてしまいます。軟X線領域の電子収量XMCDは比較的敏感なので、正しく円偏光の評価をするためには真空中で試料を作製することが望まれます。もちろん筆者は原子層レベルの超薄膜の磁性を専門にしていますので、そのあたりは日常茶飯事です。特にNiの蒸着は非常に簡単で、単にφ0.25mm程度のNi線を20cmくらい切ってきて、精密ドライバなどにくるくる巻きつけていわゆるフィラメント状にし、それに直接電流を流すことで加熱、蒸着できます。今回は念のため4端子の電流導入を使って2本のフィラメントを用意し、まずは小手調べに20分ほど蒸着して吸収スペクトルを測定してみたのが図7(a)の実線です。ところが、もちろんNiの吸収は見えるのですが、どうも量が少ないのです。これまでの経験から考えると、この程度のシグナル強度(バックグラウンドに対するピークの高さ)では、基板が普段使っているCuではなくTaであることを考慮しても、Niの厚さはせいぜい数原子層といったところで

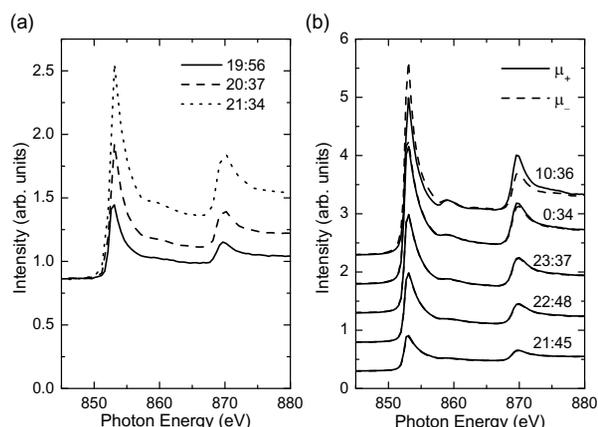


図7 Ta板上に蒸着したNi薄膜に対するX線吸収(a)およびXMCD(b)スペクトル。図中の数字は測定時刻を表す。

しょう。基板がCu(100)単結晶などであれば、10原子層もあれば室温でもほぼ飽和まで磁化されますが、ただのTa板ではそうはいきません。仕方がないので何度か蒸着を繰り返し、図7(a)の点線までNiが増えたところでXMCDを測定してみました。ある意味予想通り、XMCDはまったく見えません(図7(b)一番下)。これは単に厚さが足りないだけですので、さらに蒸着すれば済む話ですが、何度も蒸着を繰り返しているうちにとうとうフィラメントが切れてしまいました。でもまだXMCDは見えません(23:37のスペクトル)。そこでもう一本のフィラメントに切り替えたのですが、あろうことかそれも一時間もしないうちに切れてしまい、万事休すです。普段、数原子層レベルの薄膜ばかり作製しているために気付かなかったのですが、思いつき厚い(といっても1μmもあれば十分なのですが)膜を作るには、この蒸着方法はあまり向いていないかもしれせん。

しかし世の中うまくできているもので、祈る気持ちで測定したXMCDは、飽和磁化には程遠いものの、わずかにシグナルが見えています(0:34のスペクトル)。こうなればしめたもので、早速蒸着源を取り外し(測定槽と試料準備槽は真空系が別なので試料は真空に保てます)、何度も蒸着している間に気づいた問題点(フィラメントを密に巻きすぎてNi同士が触れている)を改善した新たな蒸着源を取り付け、一晩中蒸着することにしました。朝起きてきたときには新しいフィラメントも切れていたので、実際に何時間蒸着したのかは分かりませんが、試料ホルダーが明らかに変色していることから、必要な厚さを十分に超えてNiが蒸着されたことは明らかでした。もちろん、図7(b)に示すようにXMCDもしっかり観測され(10:36のスペクトル)、これで安心してスタディに臨むことができました。実はこれが、今号のPFニュースで「現状」として紹介したXMCDスペクトルが得られるまでの舞台裏です。

6. 第二回目のおわりに

「続編は第一作より面白くない」のは映画の常識ですが、

今回の記事は如何でしたか？ 万が一、さらに続編を読みたいという方は、また声をかけてください。そうでない場合は…、あまり単刀直入に言われるとショックですので、うまくぼかして伝えていただければ幸いです。

ビームタイム利用記録より（2008年冬）

実験企画調整担当 小林克己（KEK・PF）

2007年度第3期ビームタイム利用記録に書かれていたPFに対する要望と、それに対する答えをまとめました。ご希望はなるべく具体的にお書き下さい。また運転当番あるいは担当者（ビームラインおよび準備室）に相談していただければ直に解決する場合がありますので、お気軽にご相談下さい。

* 6泊の期間中、リネン交換が一度も無かった。

⇒リネンとタオルは一緒に、連泊中は3日に一度、土日でも交換することになっています。交換されていなかった場合には管理人に連絡ください。

* 宿舎4号棟1階談話室のTVが故障していた。

* 宿舎備え付けのお茶葉が無くなっていた。

* PF-ARユーザーは朝10時に実験が終わるので、チェックアウトを遅くして欲しい。

⇒上記のような場合は管理人にご連絡ください。

* 宿舎の布団を増やして欲しい。

⇒布団が足りない場合は管理人にご連絡ください。

* 宿舎が確保出来た連絡を早くして欲しい。

⇒宿舎が予約出来た場合には直に連絡がいくはずですが。キャンセル待ちに関して、宿泊予定の何日前までキャンセル待ちをするかというのは予約申し込みの際に設定出来ますので、ユーザーの希望で設定してください。

* 自転車が借りられない事が多すぎる。

⇒利用者の皆様に自転車の借出しは最長でも12時間以内にしてほしいというお願いをしています。長期の占有は避けてくださるようお願いいたします。また、古い自転車を更新しました。

* 実験ホールで飲食が出来るようにして欲しい。

⇒実験ホールで多くの方が飲食をすると、そのゴミのために虫等が侵入し、実験室としての環境を保てなくなる恐れがあります。ご協力をお願いします。

* 食品の自動販売機が欲しい。

⇒売店付近の自動販売機をご利用ください。

* 運転期間中は土日に食堂か売店を開けて欲しい。

⇒これに関しては、レストランの営業再開も含めて、10月を目処に検討が行われています。

* PF-ARへの入射を1日3回にして欲しい。電流が2/3以下になると実験がやり難い。

⇒他のユーザーの意見も調べて、検討します。

PFトピックス一覧（4月～6月）

2002年よりKEKではホームページで「News@KEK」と題して最新の研究成果やプレスリリースなどを紹介しています（KEKのトップページ <http://www.kek.jp/ja/index.html> に掲載。毎週木曜日に更新）。それを受けて、PFのホームページでもNews@KEKで取り上げられたものはもとより、PFの施設を利用して書かれた論文の紹介や受賞記事等を掲載しており、一部は既にPFニュースでも取り上げられています。各トピックスの詳細は「これまでのトピックス」（<http://pfwww.kek.jp/topics/index.html>）をご覧ください。

- 2008年4月～6月に紹介されたPFトピックス一覧
- 2008.04.03 尾嶋正治教授（東京大学）が表面科学会学会賞を受賞されました
 - 2008.04.10 春の風景～総研大の新入生～
 - 2008.04.24 科学を紹介～科学技術週間の催し～
 - 2008.05.22 糖鎖の荷札を読む運び屋タンパク質～糖タンパク質を運ぶVIP36～
 - 2008.06.05 うるおいを届ける～セラミド分子を輸送するタンパク質～