

放射光を用いた大学院生向け実習の試み

東京工業大学理学院 河内宣之, 北島昌史, 穂坂綱一

東京工業大学理学院化学系では、2011年度より大学院生向けの実習“放射光科学実習”を放射光科学研究施設(PF)で実施している。本稿では、その経緯を振り返るとともに、実習の様子を紹介したい。さて、2009年4月に東京工業大学理工学研究科化学専攻(当時)と放射光科学研究施設との間で放射光科学の教育研究推進についての合意書及びそれに付帯する覚書が交わされた。それに基づき、PF BL-20Aが、大学等運営ステーションに指定され、私どもが施設側教員の指導の下に、そのBLの運営に参画することになった。施設側教員は、当初は伊藤健二教授(現名誉教授)であったが、2013年4月以降は足立純一研究機関講師に交代した。ここで紹介する実習“放射光科学実習”は、このような枠組みの下、PF BL-20Aで実施されている。

さて、BL-20Aを大学等運営ステーションとして運営し始めた当初から、大学院生向けの実習を検討し始めた。そもそもの動機は、ユーザーが次第に光源加速器の存在を意識しなくなりつつある現状に、異を唱えたいことにあった。トップアップ運転の開始以降、放射光の安定性には目を見張るものがあり、我々ユーザーは、ともすれば光源加速器の存在を忘れがちになっている。次世代光源がユーザーの視野に入りつつある現状を考慮すれば、加速器科学と放射光科学の距離をもっと縮める必要があるようだ。そこで、『放射光を使いこなせる人材を養成するためには、蛇口をひねれば出てくる水を使うような実習ではなく、ユーザーには見えない光源加速器(PF)の存在を意識できる実習が望まれる。』をコンセプトに、新しいタイプの実習を立ち上げることにした。鍵は、どのようにして学生に光源加速器の存在を意識させるか、である。色々なアイデアが出たが、放射光パルスとの同期を取る実験をすることにより、光源加速器の存在を意識させることにした。こうと決まれば、話は早く、化学屋が得意とする、けい光強度の時間分解測定を実習のメインテーマに据えることにした。けい光としては、一年生の化学の講義で学ぶ水素原子のLyman- α けい光をとり上げることにした。H(2p)原子の寿命が1.6 nsなので、放射光パルスの繰り返し周期2 ns内に、その強度がかなりの程度、減衰する。何とか寿命が求まりそうである。また、放射光の時間構造(フィルパターン)を目の当たりにすることもできる。放射光の何たるかを、直感的に理解するには、最適の実習になりそうである。問題は、どうやってH(2p)原子を多量に、かつ瞬間的に生成するか、である。これも実は簡単なことである。水素ガスにパルス真空紫外光(パルス幅100 ps)を照射すれば、光解離により、H(2p)原子が瞬間的に生成する(もちろん、入

射光子エネルギーは適切に選ばねばならない)。その個数は、Lyman- α 光子を時間分解単一光子計数できるほどである。これで準備が整った。光源加速器から供給される、パルス放射光と同期したピックアップ信号とLyman- α 光子の同時計数測定をすればよい。実験装置の模式図を図1に示す。ポイントは、光源加速器から供給されるRFピックアップ信号の意味を、荷電粒子のRF加速をはじめとする放射光発生原理と絡めて、いかにうまく学生に伝えるかにある。ここは、我々としても、ある程度勉強しなければならない。いまのところ、うまく行っていると自負しているが、..。

このあたりで、実習の全体像をご紹介したい。対象は本学化学系の修士課程一年生である。まず一回の実習で受け入れる学生数は、5から6名が限界である。これ以上になると、教育効果が低下してしまうし、安全面からも、この辺りが限度であろう。実習は1泊2日で行う。まず安全ビデオによる安全教育を済ませ、放射光科学全般にわたる基礎知識を学ぶべく、放射光科学研究施設の足立純一先生による一時間程度の講義を受講する。そのあと、PF実験ホールにて、放射光分光器の解説から始まり、図1の計測システムの修得など盛りだくさんの課題をこなしながら、目的とする時間分解Lyman- α けい光強度の測定にまでたどり着く。図2に得られた結果の一例を示す。a)からフィルパターンが良くわかる。ここでも、RFによる加速と絡め

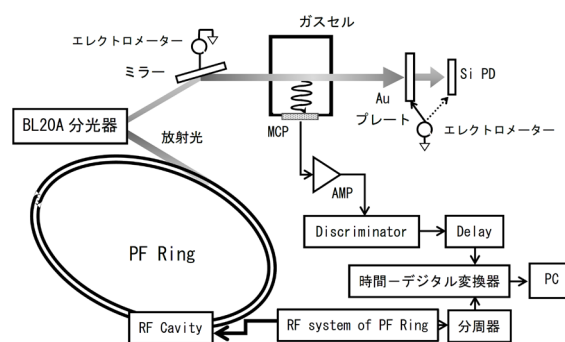


図1 実験装置の模式図

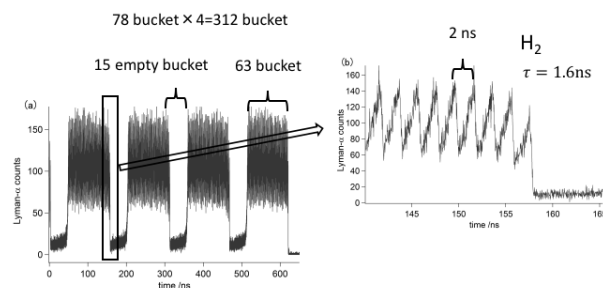


図2 得られた時間分解Lyman- α けい光強度の一例。(b)にはH(2p)原子の寿命1.6 nsを反映した強度の減衰が見られる。

Brookhaven National Laboratory 滞在記 ～研究編～

放射光科学第二研究系 山田悠介

た説明が必要になる。二日目は主としてデータ解析に当てる。図2に示す時間分解 Lyman- α けい光強度に理論式をフィットして、H(2p) 原子の寿命を求める。パイルアップ効果を考慮する学生、しない学生、様々であるし、ダークギャップ部の利用を思いつく学生もいる。このとき、加速器研究施設の高井良太先生から提供していただいた、ストリークカメラで取った放射光パルス波形を見せる。このあたりで、時間分解能という概念をうまく学生に伝えることができれば、大成功である。実際、時間分解能を畳み込んだ解析をする鋭い学生も時々見受ける。また、施設見学も行っている。実は、この施設見学が、人気が高く、かつ印象に残るメニューのようだ。二日目の夕方に解散して、1泊2日の実習が終わる。このような実習を一年あたり、4回から5回行っている。例えば、2016年度は、25名の学生を対象に、5回に分けて実習を行った。参加率を(実習参加学生数) / (化学系 M1 学生総数) により定義すると、参加率は45%に達し、学生の関心の高さが伺われる。図3に年度別の参加学生数を示す。これまでに88名の学生が参加した。今年度中に累計参加学生数が100名を超えると予想している。学生から見ると、この実習に参加するには、教育と訓練を受けて、東京工業大学において放射線作業従事者として登録される必要がある。当初このことが、高いハードルになることを懸念したが、実際には、この心配は杞憂に終わった。図3に見られる参加者数の増加傾向は、このような実習が強く支持されていることを示している。

6年前に、手探りで、光源加速器の存在を意識できる実習を始めた。幸いにも、学生諸君から注目される実習となり、放射光科学と加速器科学の融合型人材育成において、試験的役割を果たしつつあると自負している。なお、本実習を遂行するにあたり、放射光科学研究施設の足立純一先生と加速器研究施設の高井良太先生に多大なご支援をいただいている。学生に人気の高い施設見学に当たり、放射光科学研究施設の兵藤一行先生が労を取ってくださっている。また、多くの先生方に説明をお願いしている。ここに記して、先生方に深く感謝申し上げたい。本事業は、KEK 大学等連携支援事業に採択され、財政的支援を受けている。感謝申し上げたい。最後に、この実習が評価されて、東京工業大学教育賞優秀賞(2015年度)を受賞したことを報告したい。

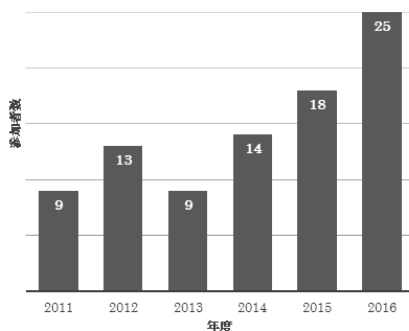


図3 実習参加者数の推移

前回 (Vol.34 No.3) の滞在記～生活編～に引き続き、今回は研究に関することを書いていきたいと思います。

私は米国のブルックヘブン国立研究所 (BNL) のなかにある放射光施設 NSLS-II で半年間の長期海外派遣をさせていただきました。前回の生活編でも少し触れましたが、私は BNL に行くまで、BNL は高エネルギー物理学研究用の加速器 RHIC や放射光施設 NSLS-II があることから KEK と同じような加速器の研究所と思っていました。しかし実は加速器に関わらず様々な研究を行っている総合的な研究所であることに気付かされました。そのためキャンパスは広大で KEK の数倍はあろうかという広さです。

NSLS-II は周長 792 m の大型施設でエネルギーが 3 GeV のいわゆる高輝度 3 GeV リングの一つであり、2014年に運転が開始された新しい放射光施設です。新しい施設であるため多くのビームラインは建設中であつたり、立上げ・コミッショニング中であつたりで、実験ホール内は常に活気づいていました (図1)。NSLS-II の光源棟の周囲に5つの研究棟が隣接しており、私はこの中の LOB5 という研究棟の中に机を割り当ててもらい、そこで研究生活を送っていました。

海外の研究施設で働いていた人たちと話をすると、海外の研究施設では安全に対する意識が非常に高い、という話をよく聞きます。実際、BNL にいるとそれを実感しました。研究者個人の安全意識というのはそれほど大差ないようで、安全対策を煩わしく思っている人も多かったです。ただ施設としての安全への取り組みは非常に徹底しています。E ラーニングをベースとした安全教育は非常に発達していて、ありとあらゆる項目が E ラーニングとして用意されており、これをパスしないどんな作業も行うことが出

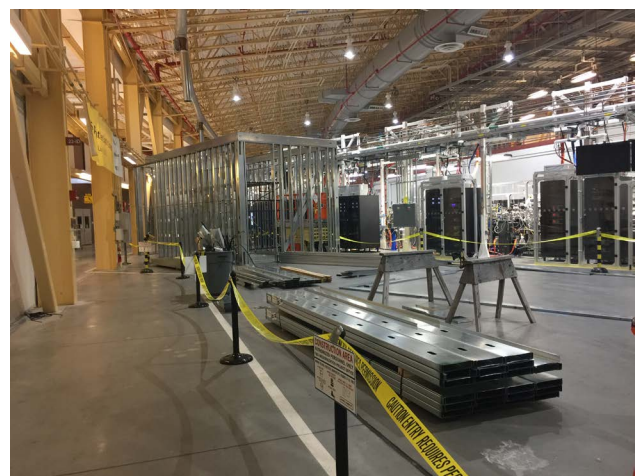


図1 NSLS-II 実験ホールの様子。新しい施設なので実験をしているビームライン (写真奥) のすぐ隣で、新しいビームライン (手前) の建設が行われています。

来ません。私は NSLS-II ではユーザーの立場だったので、NSLS-II での研究のために受けなければならない E ラーニングは 3 つ程度でしたが、BNL 職員、特にビームライン責任者となると受けなければならない E ラーニングの数は膨大です。私も滞在中に日本から学会ついでに見学に来られた方を NSLS-II 内に案内する機会がありましたが、その際には「外国人を施設案内する」という E ラーニングを受ける必要がありました。また、毎週行われる運転に関する打ち合わせや、半年に 1 回の頻度で開かれるユーザーとのミーティング (Town meeting) では、まず安全の責任者による話から始まります。Town meeting ではミーティングの最後が NSLS-II のリーダーである John Hill さんによる施設報告となるのですが、ここでもまず安全に関する話から入っていました。9 月の Town meeting では NSLS-II 内で報告すべき事故がない期間が 130 万時間 (人数と時間を掛け合わせたものだと思います。) に達した、という報告をされていたのが印象に残っています。このようにして日頃から安全第一の意識を浸透させようとしているようにしているのかな、と感じました。なお、ちょっと話がそれますが、BNL キャンパスでは自動車の最高速度が 30 MPH (約 50 km/h) と決まっており、これを越えたところをキャンパス内を徘徊しているパトカーに見つかるとなちまち捕まってしまうそうです。ということで、BNL キャンパス内ではどの車もしっかり速度制限を守って安全運転をしています。これも安全意識の表れでしょうか。でも、キャンパス外に出るとどの車も速度制限お構いなしで飛ばすんですね・・・

私は PF ではタンパク質 X 線結晶構造解析ビームラインの開発・運営に携わっていますが、BNL での研究も NSLS-II にある 2 つのタンパク質結晶構造解析ビームライン AMX/FMX の開発に参加するというものでした。NSLS-II には構造生物学研究のためのビームラインとして、2 つのタンパク質 X 線結晶構造解析ビームライン AMX と FMX、1 つの小角散乱ビームライン LIX があります。この開発を行うチーム構成が少し複雑で、NIH からの予算でビームライン建設を行う ABBIX と呼ばれるチームと NIH と DOE の双方からの予算でビームライン運営を行う LSBR と呼ばれるチームが合わさって開発が行われています。総勢 29 名の大所帯で、約半分がエンジニア、残りがサイエンティストという構成です。私が在籍したときはビームライン建設とコミショニングの最終フェーズでしたが、ユーザー運転に向けてエンジニアの方たちの作業はフル回転で、これらの取りまとめるビームラインサイエンティストの苦勞がひしひしと伝わってきました。

2 つの生体高分子 X 線結晶構造解析ビームライン AMX と FMX について簡単に紹介すると、AMX はビーム径が 5~100 μm でフォトンフラックスが 5×10^{12} ph./sec. (250 mA 運転の場合) 程度であるビームを用いてハイスルーポットな測定を行うことに主眼を置いたビームラインです。一方、FMX はビーム径が 1~20 μm でフォトンフラックスが 5×10^{12} ph./sec (250 mA 運転の場合) 程度であるビームを

用いて高難度なタンパク質結晶からの構造解析を行うことに主眼を置いたビームラインです。両ビームラインともビームライン光学系およびビーム輸送系はドイツの RI Research Instruments 社が一括して設計、製作、設置を請け負っています。私の滞在時は丁度 AMX のビームラインコミショニングを行っている時期だったので、光学調整などの立上げにも参加することが出来ましたが、専門業者が製作するビームラインは洗練されており、調整における安定性や再現性は非常にレベルの高いものでした。タンパク質 X 線結晶構造解析のようなある程度光学系への要求が確立したビームラインでは、このように専門業者による一括製作が極めて有効だと感じました。光学系 / 輸送系は業者に委託する一方で実験ハッチ内の回折計、結晶交換ロボットはオリジナルに開発されたものでした。ヨーロッパを中心に近年開発されるタンパク質 X 線結晶構造解析ビームラインでは、市販の回折計や結晶交換ロボットが使用されることが多いのですが、ユーザーが直接触れるこれらの装置を完全にオリジナルで開発することで差別化を図っているように感じました。回折計は非常に幅広いズーム比に対応した同軸観察系や、約 200 mm という非常に狭い空間に 6 つの装置を搭載したビームコンディショニングユニット、正確かつ高速にサンプル位置決めをするゴニオメータヘッドなどが搭載されており、非常に使用感の優れたものでした (図 2)。AMX、FMX には検出器としてそれぞれ Dectris 社の最新ピクセルアレイ型検出器 EIGER X9M と EIGER X16M が搭載されています。EIGER は非常に高速なフレームレート (9M で 238 Hz, 16M で 133 Hz) で測定可能な検出器ですが、AMX/FMX ではこの高速検出器の利用に関して早くから問題意識を持っていて、HDRMX (High Data-Rate Macromolecular Crystallography) というワークショップを主催し、EIGER の利用、特に新しく採用されたファイル形式 HDF5 の活用に関して各放射光施設の意見を取りまとめ、Dectris 社に仕様改善を要望するといった働きかけをしています。私はこの AMX において、回

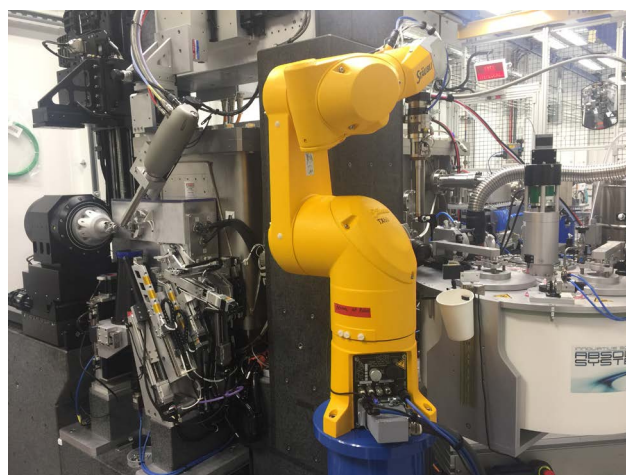


図 2 FMX の回折計 (左) と結晶交換ロボット (右)。これらの装置は設計から製作まで全て NSLS-II の ABBIX/LSBR グループによって行われています。

折データの処理および構造解析パイプラインの構築、および Serial Crystallography に関する研究を行ってきました。前者はデータ収集後の処理および構造解析を高速かつ自動で進めることで、次のデータ収集にフィードバックさせることを目的としたものです。まだ完成には至っていませんが、解析パイプラインは PF でも有効であり今後も共同研究を続けて行く予定です。後者の Serial Crystallography についてもフォトンフラックスが低い PF のビームラインでは実験が不可能な手法ではありますが、次期光源計画につなげる形を取れるよう継続して行きたいと考えています。

BNL への長期派遣の目的として、私の中ではもう一つ NSLS-II で取り入れられているデータベースシステムを学ぶということがありました。NSLS-II では Python と MongoDB をベースとした測定からデータ解析までのシステムが標準化されています (<https://nsls-ii.github.io/>)。残念ながら AMX では、まだこのシステムの中にある amostra と呼ばれるサンプル情報を取り扱うデータベースシステムについて活用する段階までは開発が進んでおらず、実際にその使用感を体験することは出来ませんでした。ただ、この標準システムを開発した NSLS-II の制御グループは定期的にチュートリアルクラスを開催しており、そこに参加してシステムのセットアップから使用方法についてまで学ぶ事が出来ました。また、毎週金曜日の午後にはこの制御グループがサポートオフィスを開設しているので、何か疑問が出たときにはノートパソコンをもって質問に行くことが出来ました。制御システムに限った話ではありませんが、このようなシステムの標準化やそれを用いるユーザーへの手厚いサポートは最先端の施設を作り上げていく上では無くてならないもので、PF も見習う必要があるなど強く感じました。

私は大学院博士課程後期から現在に至るまで KEK で研究活動をしてきました。このような私にとって、今回の長期海外派遣は非常に有意義なものでした。BNL で私をホストしていただいた Dieter Schneider 博士および Jean

Jakoncic 博士を始め、ABBIX/LSBR グループの皆様には感謝致します。また、このような機会を与えてくださった物構研および PF 執行部の皆様はこの場を借りてお礼申し上げます。半年間、ビームラインおよび PF を不在とすることに理解いただいた、構造生物学研究センターの皆様、および PF スタッフの皆様にもお礼申し上げますとともに、この制度をもっと積極的に使って多くの方々が海外放射光施設で最先端技術を学んだり、交流を増やしたりするようになることを切に願います。

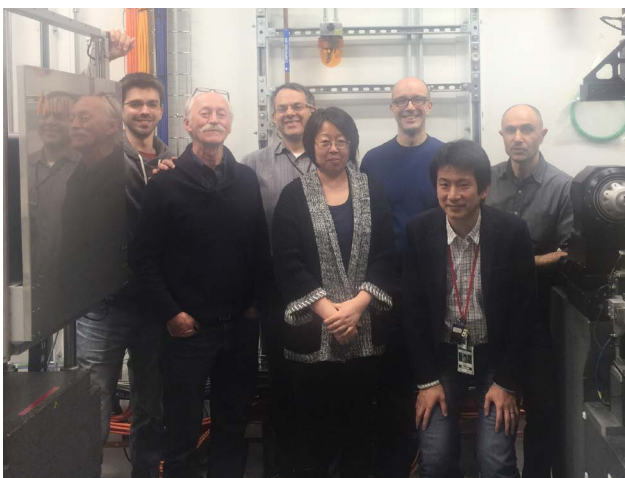


図3 滞在期間中お世話になった皆さんとの記念撮影。左から Bruno Seiva Martins, Dieter Schneider, Alexei Soares, Wuxian Shi, Martin Fuchs, 私, Jean Jakoncic (敬称略)。

PF 滞在記：PF BL-9C

立命館大学大学院生命科学研究科
博士後期課程 2年 山本悠策

反応条件下における担持金属触媒の化学状態解析を行うため、2017年2月19日から2月24日までフォトンファクトリーを訪れた。今回のBL-9Cにおけるビームタイムでは、粒子サイズの異なるニッケル化学種やコバルト化学種を対象として、Xヘリウムで希釈した水素、酸素、一酸化炭素、一酸化窒素、メタン、二酸化炭素のガス雰囲気下での酸化還元特性をX線吸収微細構造解析(XAFS)法により解析した。

卒研究生として稲田康宏教授の研究室に配属されて以来、何度もフォトンファクトリーでの実験に参加してきた。既に慣れているはずなのに、行きの新幹線では独特な緊張感がある。ビームタイムを効率的に使い、一つでも多くの重要なデータを持ち帰るという使命感が、慣れによる気の緩みを引き締めてくれている。ビームタイムが始まってからの動きをイメージしたりしているうちに、高エネルギー加速器研究機構に到着した。

手続きを終わらせて宿舎でのんびりしていると地震が発生した。つくばに来た時には、かなり高い頻度で地震が発生する。とりあえず今回の地震では、大きなトラブルは発生しなかったみたいなので一安心。しかし、ビームタイム直前に地震が起きると、不吉な予感がして心臓によくない。考えても仕方ないので、これ以上地震が起こらないことを祈りつつ、翌日朝からのビームタイムに備えて就寝した。

そして、いよいよ迎えたビームタイム当日、あらかじめフォトンファクトリーに送っておいた荷物を回収し、ほどよい緊張感とともにビームラインへと向かった。午前中で *in situ* XAFS 測定の準備をおおよそ終わらせる予定である。今回のビームタイムでは、先述の6種類の反応ガスと希釈ガスを用いるため、ガス配管が複雑だ。他の学生たちと手分けして、手早く、でも慎重にガス配管を組み、測定の準備を進めていった。

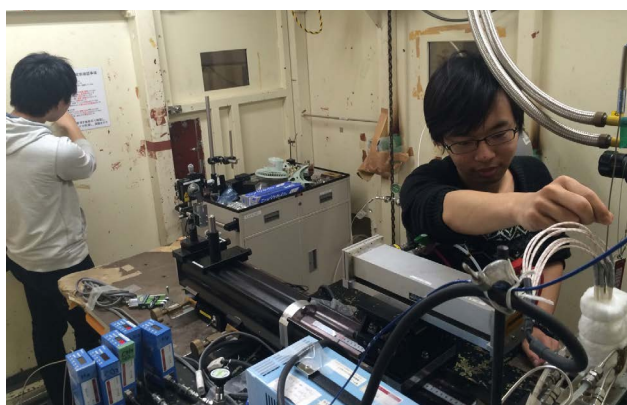


図1 *in situ* XAFS 測定開始前の実験環境のチェックの様子。左奥にチェックリストを掲示し、右手前でフローセル周辺の確認を行っている。



図2 興味深い測定結果に喜ぶ後輩と私

安全に *in situ* XAFS 測定を行うには、反応ガスの漏れはないか、フローセルや温調に損傷はないか、冷却水は循環しているか、など多くの項目のチェックが必要だ。睡魔と闘い続けている深夜の時間帯でさえ、慎重にチェックすることが求められる。そこで今回は、チェック項目をリストアップし、実験ハッチ内と制御用PC付近の2か所に掲示した。毎回 *in situ* XAFS 測定を始める前には、その場にいる全員で一項目ずつ指差呼称により確認することとした。

実験が順調に始まったところで、夜勤に備えて宿舎で仮眠をとった。昼夜逆転前は流石に眠りにくく、2時間ほどして目が覚め、夜ご飯を食べに出かけることにした。雨が降っていたため、大穂窓口センター付近まで徒歩で移動した。徒歩で出かけられる範囲内に飲食店が複数あるというのは、非常にありがたい。この日は、研究室にも熱狂的なファンがいる活龍甲殻堂に入った。まるでポタージュかのように濃厚なつけ汁が印象的な「雲丹のつけめん」がお気に入り。とある後輩曰く「甲殻堂を超えるつけめんはない」とのこと。そう言いたくなるのも納得の完成度の高さである。量が多いのも若者には嬉しいポイント。しっかり食べて深夜の実験に臨むのには、うってつけのお店である。

満腹になってビームラインに戻ると、夜勤の始まりだ。モニターに表示される測定データを見て一喜一憂しながら、私を含め3人で測定を進めていった。深夜のビームラインでは、眠気を紛らわせるために常に話続けるのが定番である。普段、研究室ではあまりしないような話をするので、後輩の意外な一面を知るのも面白い。

自分自身の測定は、ビームタイム最終日からスタートした。ビームタイム前に立てていた仮説を基に、今回の実験を計画したわけだが、見事に予想とは真逆の結果が出てきた。仮説が否定されることにはなったが、これからの研究が面白くなるだろうと期待している。

測定自体は順調に進んでいき、予定していたすべての測定を無事実施できた。ご協力いただきましたフォトンファクトリーの関係者の皆様に深く感謝いたします。また2か月後には、ビームタイムに参加するためフォトンファクトリーを訪れることになる。今回得られた結果を踏まえて、さらに面白い測定を展開できるように、準備を進めていきたい。

PF 滞在記：PF BL-17A

静岡県立大学薬食生命科学総合学府
博士前期課程 2年 清水聡史

みなさま初めまして。私は静岡県立大学薬食生命科学総合学府博士前期課程2年になりました清水聡史と言います。所属する研究室は分子病態学教室といい、心不全の病態を分子レベルで明らかにし、その治療薬を開発することを目標としています。

研究室に配属されたのは3年生の終わり頃、そこでGATA4という転写因子の結晶構造解析というテーマを与えられました。結晶構造解析は自分の研究室では行ったことがないため同じ大学にあり専門としている生命物理化学教室との共同研究で、まだ研究室の右も左も分からない頃から自分の研究室と共同研究先の研究室とを行ったりきたりする日々でした。初めの説明では同じファミリーのタンパク質では構造解析できているし、それほど難しそうなたんパク質でもないのですぐにできるよ、と言われていたので、一気に頑張っって早く結果を出してやろうと思っていました。しかし実際に始めてみると問題も多く、一年が経ち大学院生となっていました。その時に二つの研究室を行き来しているから中途半端になってしまうのだと考え、生命物理化学教室の方に出向させてもらえないかお願いし、教授同士の話し合いで認めてもらうことができました。それが功を奏したのか急に実験がうまくいくようになりました。結果が出てくると嬉しいものでその先どのような実験を行っていくのか知りたくなりました。つまりは放射光というものについて興味を持ち始めました。調べて行くうちにシンクロトロンといえば高校の物理で解いたやつだ！とか、兵庫のSACLAってエヴァンゲリオンに出てくるポジトロンライフルと似ている！！などなど興味は深まってきました。そしてついに結晶も得られ、PFへ連れて行ってもらえることになりました。

チームタイムは2016年11月31日の午前1:30～9:00、それに備え21時ごろにバスでいきました。あたりは真っ暗となっていました。正門前の[高エネルギー加速器研究機構]と書かれたオブジェがライトアップされており、ついにここまで来たぞ、と気分は高揚してきました。そこから宿舎へ向かいいざPFへ。宿舎からPFまでの道のりには高い壁に黄色の回転灯があり、助教の先生が言った「刑務所みたいでしょ」という言葉には確かにと思うしかありませんでした。そしてPFの建物が見えて来たのですが、正直え？と思ってしまいました。どこにでもある大学の講堂と同じではないかと思うほどで最先端の技術が詰まった施設には見えませんでした。建物内に入るには少し下に降りたところにある入り口で上の方の入り口はなんやねん！とツッコミを入れたくなるほどでした。そんなことを思いながら中へ入り実験ホールの入り口を見たときによく「ここから先はPFか・・・」との感動でした。諸手続きを終え中に入り、思ったことはまず広い！思

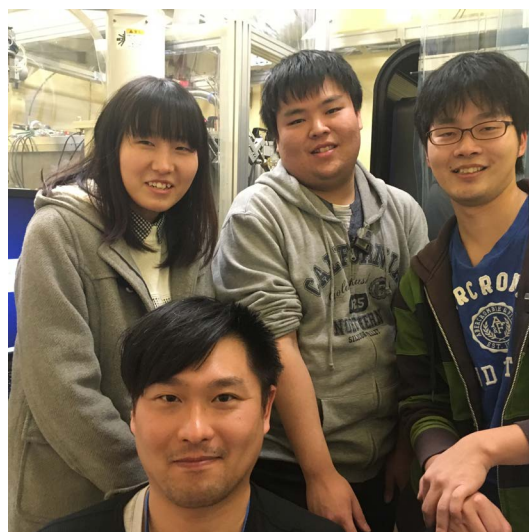


図1 今年の2月26日にBL-17Aにて撮影した写真。いつもアドバイスをいただく原助教(左手前)と、この日に来たメンバー(上列左から右田さん、横山くん、著者)。

っていた以上でした。そして周りにある機械が何をやるものなのか気になりましたがよくわかりませんでした。そしてBL-17Aの実験ステーションへ。部屋のように区切られているせいか、他のチームラインよりも綺麗な印象でした。中に入り、静岡から運んできた結晶を機械にセットし、ついに実験スタート。実験自体はPCに向かって行うので直接手を動かして実験しているという感覚からは遠いですが、同じように見える結晶でもこんなにも回折像が違うのかと驚きでした。また形のいい結晶なのに分解能が悪かったり、こんな結晶が！？とみためとは裏腹に高分解能になったりと放射光を当てるその瞬間までわからないのでドキドキ感は最高です。そして面白いのが、良い分解能が出続けると実験ステーションも盛り上がってきて、逆に低分解能ばかりだと眠さも合わさって重い雰囲気になることです。普段の実験ですと個人プレーの実験ですが、この時だけはそこにいるメンバー全員でやっているという一体感があって良かったです。データを取り終えたのはチームタイム終了ぎりぎり、徹夜でしたので静岡への帰りはヘトヘトでしたがそれでもあの放射光を当てる瞬間のドキドキ感に病みつきになり、また行きたいと思いました。実際のところ何度も行かせていただきましたが、それでもまた行きたいと思います。PF-ARも今期は稼働しますし、中に入ったことがないので色々みて見たいです。

PFでの結果はまだ出ていませんが、現在の研究テーマが終わってもここまで約2年にわたって関わってきた構造生物とは関わり続けたいと思います。結晶構造解析だけでなく次はSAXSなども試してみたいと思います。他にも冠動脈や心筋の動きも放射光を用いて観察したりできますし夢が広がっている世界です。今後研究者になりたいと思っていますが自分のツールの一つとして構造生物というのを持ち続けたいと思います。まだまだ若造ですが、様々な方と出会い学び、いずれはたくさんの方のために研究成果をあげられるように頑張っって行きます。

修士論文紹介コーナー

X-ray diffraction and spectroscopy study of magnetism in Fe oxide and alloy thin films (X線回折・分光でみる鉄酸化物・合金薄膜の磁性)

東京大学物性研究所・理学系研究科 山本航平

【修士号取得大学】

東京大学, 2017年3月

【実験を行ったビームライン】

BL-4C, BL-19B

【論文要旨】

鉄ペロブスカイト酸化物 $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ の電荷・磁気秩序の膜厚依存性の硬・軟X線回折実験 [1] および、時間分解X線分光・回折装置の開発と、垂直磁化膜 FePt に対する実験 [2] で修士論文は構成される。時間分解測定装置は、SPring-8 BL07LSU に設置され測定を行った。ここではフォトンファクトリーで実験を行った $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ の電荷・磁気秩序の膜厚依存性の結果についてその概要を述べたい。

3d 遷移金属酸化物は多様な物性をしめすが、近年の製膜技術の向上に伴って、薄膜状態での物性が注目されるようになってきた。我々は $\text{La}_{1/3}\text{Sr}_{2/3}\text{FeO}_3$ 中の電荷・磁気秩序の空間的な広がり、とくに臨界膜厚に着目して、膜厚を系統的に変化させながらX線回折による研究を進めてきた。

最初に、非共鳴の硬X線回折による電荷秩序の結果を (a) 上段に示す。膜厚 15 nm まで電荷秩序に由来するピークが見えるが、5 nm で消失している。ピーク強度も 15 nm 近傍で急峻な低下が見られ、臨界膜厚近傍であることが示唆される。次に鉄吸収端を利用した共鳴軟X線回折による磁気秩序の結果を (a) 下段に示す。同様に 15 nm から 5 nm の間に磁気秩序の臨界膜厚があることが示唆される。ピーク幅に注目すると強い膜厚依存性がある。この点をピーク幅の逆数として定義される、空間的な広がりに対応する相関長としてまとめたものを (b) に示す。磁気秩序の相関長は膜厚と同程度であり、おおそ比例した振る舞いを見せる。電荷秩序の相関長の膜厚依存性はそれに比べ少なく、おおそ一定である。膜厚および磁気秩序の相関長が電荷秩序の相関長と近くなったときの膜厚が臨界膜厚を与えているように見える。すれすれ入射による表面敏感な共鳴軟X線回折の結果は表面でも磁気秩序が維持されていることを示した。これらの結果から、得られた膜厚依存性は、表面由来ではなく、膜厚の幾何学的な制限が磁気秩序の広がりを抑制して行き、臨界膜厚を与えていることが分かった。この臨界膜厚は反強磁性磁気秩序を単位として 4-11 周期程度で、他の強磁性ペロブスカイト酸化物も同程度であり、

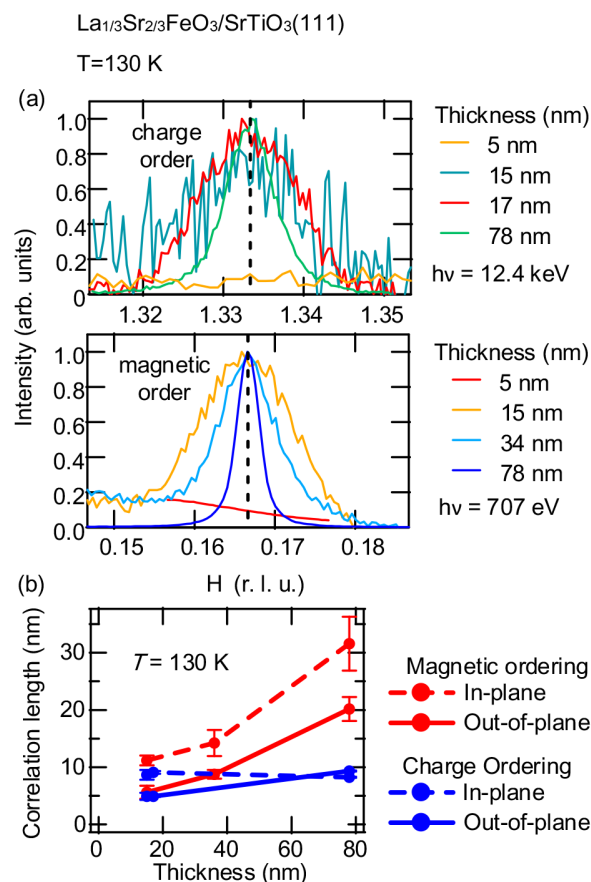


図1 (a) 回折の結果。上段：電荷秩序由来の $(1/3\ 1/3\ 1/3)$ 下段：磁気秩序由来の $(1/6\ 1/6\ 1/6)$ (b) ピーク幅の逆数として得られた相関長。

このような膜厚依存性が一般的な現象であることも考えられる。

膜厚依存性を調べることは、薄膜特有の状態を理解するのに重要なステップであると共に、酸化物の機能を生かしたエレクトロニクスデバイスの集積化にも不可欠である。今後とも、硬・軟X線を併用し、酸化物薄膜の秩序状態と膜厚との関連を調べていきたい。

[1] K. Yamamoto *et al.*, arXiv:1703.09995

[2] K. Takubo, K. Yamamoto *et al.*, Appl. Phys. Lett. **110**, 162401 (2017)

(連絡先メールアドレス：yamako@issp.u-tokyo.ac.jp)

小林正典氏, 間瀬一彦氏, 日本真空学会 において顕彰

物構研トピックス
2017年2月15日

KEK 名誉教授の小林正典氏（元 KEK 物質科学研究所・放射光源研究系主幹）が一般社団法人・日本真空学会の第3回学会賞を受賞しました。また同時に、KEK 物質構造科学研究所准教授の間瀬一彦氏が、第3回フェローに選ばれました。日本真空学会賞は真空、表面および関連する科学・技術とその産業利用の進歩発展に関して顕著な功績をあげた日本真空学会正会員に授与されます。一方、フェローは日本真空学会における継続的な活動を通じて真空、表面および関連する科学・技術とその産業利用の進歩発展、あるいはそれらに関連する教育・公益活動に関して顕著な業績をあげた正会員に授与されます。

小林正典氏の顕彰業績は「放射光源真空技術の進歩発展、公益活動への貢献」です。小林氏は、1964年に東京大学生産技術研究所にて真空の研究を開始し、東京大学工学部、生産技術研究所における教育・研究活動を経て、1979年に KEK に着任してから2004年に退官するまで、一貫して PF、PF-AR の真空システムに関する研究開発と、安定運用を実現するための維持・改良を行いました。この努力により、PF は放射光を発生してから34年経つにもかかわらず、現在も安定した運転を続けており、最先端の研究成果を生み出し続けています。また、国際的にも世界の加速器施設の真空技術の発展に寄与し、日本真空学会（2012年に日本真空協会より改称）における公益活動にも貢献しています。

間瀬一彦氏は、卓越したアイデアと高度な実験技術に基づき、先駆的かつ顕著な成果をあげていることが評価されました。間瀬氏の開発した「電子-イオンコインシデンス分光法」は、固体表面での様々な励起プロセスの解明につながり、この業績により日本真空協会第29回真空技術賞を受賞しています。PFにおいても、表面研究のためのビームライン BL-13 を建設し、有機薄膜の電子状態解明やガス雰囲気下での表面分析による触媒機能解明などに貢献しています。日本真空学会への貢献も極めて大きく、今後真空・表面科学の分野での先導的活躍が期待されることから、フェローの称号を授与されました。

授賞式は2016年11月30日に、名古屋国際会議場で行われた2016年真空・表面科学合同講演会において行われました。

PF ユーザーの武仲能子氏, コロイドおよび界面化学部会科学奨励賞を受賞

物構研トピックス
2017年3月3日

産業技術総合研究所の武仲能子氏が公益社団法人日本化学会・コロイドおよび界面化学部会の平成28年度科学奨励賞を受賞しました。この賞は、部会の若手研究者の活発な研究を奨励し、国際的に先導的な立場をとることができる人材を育成するとともに、部会の新しい指導者を発掘・育成することを目的として平成14年度より制定されたものです。

受賞対象となった業績は「高アスペクト比金ナノロッドの高収率合成法の開発と応用可能性の拡大」です。アスペクト比（＝長さ／直径）が20を超える金ナノロッドは高アスペクト比金ナノロッドと呼ばれ、光学素子や顕微鏡探針などに応用が期待されるナノ材料です。武仲氏は界面活性剤のゲル中で金ナノロッドを成長させ、直径数十 nm、長さ1 μmを超えるアスペクト比50程度の金ナノロッドを90%以上の高収率で合成する手法を開発しました。さらに、成長場である界面活性剤の自己集合構造を KEK のフォトンファクトリー（PF）において小角 X 線散乱法で観察することにより、界面活性分子の自己集合構造がミセルから層状構造へと変化する際の、ゲル化の微細な特徴が明らかになりました。これにより、高アスペクト比金ナノロッドの長さや直径が決まるメカニズムを明らかにしました。

受賞講演および授賞式は、2016年9月22～24日に北海道旭川市で開催された第67回コロイドおよび界面化学討論会にて行われました。



授賞式での武仲能子氏（右）。左は日本化学会コロイドおよび界面化学部会長加藤直氏。

総研大物質構造科学専攻修了の垣内 徹氏らの論文が第 22 回日本物理学会論文賞を受賞

物構研トピックス
2017 年 2 月 15 日

総合研究大学院大学・物質構造科学専攻を 2007 年に修了した垣内 徹氏（現所属：ブラザー工業株式会社）と、当時の指導教員だった澤 博氏（現所属：名古屋大学）らの論文が、第 22 回（2017 年）日本物理学会論文賞を受賞しました。この賞は、独創的な論文の発表により物理学の進歩に重要な貢献をした研究者の功績を称えるために日本物理学会が授与しているもので、毎年 5 件以内の論文が表彰されます。

対象となった論文は 2007 年に発表された Charge Ordering in α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ by Synchrotron X-ray Diffraction [放射光 X 線回折による α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ の電荷秩序; 著者:垣内 徹, 若林 裕助 (大阪大学), 澤 博, 高橋 利宏 (学習院大学), 中村 敏和 (分子研) *括弧内は現所属] です。この研究を進めている当時、垣内氏は総研大の大学院生で、澤氏は指導教員であり放射光科学研究施設の教授でした。

有機分子からなる分子化合物 α -(BEDT-TTF) $_2$ I $_3$ は、温度低下によって金属-絶縁体転移を示す代表的な擬 2 次元分子性導体です。垣内氏らは、この物質に軌道放射光を用いた精密な X 線構造解析法を適用し、実空間における電荷配列を定量的に決定しました。その結果、低温の絶縁体相が、理論的に予測されている特徴的な電荷秩序状態であることを実験的に初めて明らかにし、さらに電荷秩序相が非磁性状態をとることも示しました。

本論文は、その発表後、この種の分子性導体の電荷秩序状態を放射光によって評価する研究のスタンダードになっているだけでなく、分子性導体の電荷秩序状態に関係した電子物性研究の基盤となる知見を与えました。この物質は、光パルスにより物性を制御できることから高速光スイッチなどへの応用も期待されており、様々な機能発現の起源に関する研究の進展に結びついていることも高く評価されました。

表彰式は 2017 年 3 月 19 日、第 72 回日本物理学会年次大会において池田市民文化会館（大阪府）で行われました。



表彰式で賞を受け取る若林 裕助氏（写真：日本物理学会提供）

科学技術分野の文部科学大臣表彰 物質構造科学研究所 関係者多数が受賞

物構研トピックス
2017 年 4 月 24 日

平成 29 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰受賞者が決定し、科学技術賞 開発部門で MLF ユーザーである住友ゴム工業を中心とする研究チームが、科学技術賞 研究部門で PF スタッフとの共同研究者の石谷 治氏が受賞しました。また、若手科学者賞を PF ユーザーの多数が受賞しました。

この賞は、科学技術に携わる者の意欲の向上を図り科学技術の水準の向上に寄与することを目的として、文部科学省が、研究開発・理解増進等において顕著な成果を収めた方を顕彰するものです。

科学技術賞 開発部門

社会経済、国民生活の発展向上等に寄与し、実際に利活用されている（今後利活用が期待されるものを含む）画期的な研究開発若しくは発明を行った者を対象

◆住友ゴム工業株式会社・東京大学・名古屋大学の研究チーム

（筆頭者）岸本浩通 住友ゴム工業株式会社 研究開発本部分析センター

科学技術賞 研究部門

科学技術の発展等に寄与する可能性の高い独創的な研究又は開発を行った者を対象

◆石谷 治 東京工業大学 理学院 化学系 教授

「二酸化炭素を還元資源化する可視光駆動光触媒の研究」
※石谷氏は、物質構造科学研究所 野澤俊介・足立伸一らとの光触媒化学に関する共同研究者です。

若手科学者賞

萌芽的な研究、独創的視点に立った研究等、高度な研究開発能力を示す顕著な研究業績をあげた 40 歳未満の若手研究者を対象

◆今岡 享稔 東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授

「デンドリマー内包金属粒子の原子精度合成とその機能の研究」
※ Photon Factory Highlights 2015 に掲載されました。
「Structure of the Most Catalytically Active Platinum Cluster (Pt19)」

◆大久保 将史 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻 准教授

「配位子場理論に基づいた二次電池用電極材料の研究」

- ◆大戸 梅治 東京大学大学院 薬学系研究科 准教授
「自然免疫系 Toll 様受容体に関する構造生物学研究」
※トピックスで取り上げられています。
(2016.10.21) ウイルスの侵入を検知して免疫系を活性化する仕組み
(2016.06.20) 精子と卵子を認識するタンパク質の構造を解明
(2015.02.12) 自然免疫応答を引き起こすタンパク質が微生物の侵入を感知する仕組みを解明
(2015.01.21) 自然免疫に関わるタンパク質が RNA の分解産物を認識する仕組みを解明
- ◆北野 政明 東京工業大学 元素戦略研究センター 准教授
「無機電子化物を利用した固体触媒に関する研究」
※ハイライト、プレスリリースでも取り上げられています。
(2017.01.30) 【ハイライト】悪臭が世界を救う!? アンモニア合成の最前線
(2016.10.07) 【プレスリリース】低温で高活性なアンモニア合成新触媒を実現

表彰式は平成 29 年 4 月 19 日、文部科学省にて行われました。

- 3.17 【物構研トピックス】2016 年度量子ビームサイエンスフェスタ開催
- 3.27 【物構研トピックス】総研大 物質構造科学専攻修内の垣内 徹氏らの論文が第 22 回 日本物理学会 論文賞を受賞
- 3.28 【物構研トピックス】TIA かけはしワークショップ「放射光利用における新分野開拓のための連携形成」開催
- 4.13 【物構研トピックス】"バレリーナから研究者に" KEK 物質構造科学研究所 研究員 長瀬里沙さん
- 4.14 【物構研トピックス】東京大学の研究チーム PF ビームラインにて薄膜内で銅が膜面に垂直に磁化することを実証
- 4.17 【トピックス】TYL スクール理系女子キャンプを開催しました
- 4.17 【プレスリリース】量子ビーム実験・計算データをウェブ上で高速解析する可視化システムを開発ー自動車用磁性材料開発のための最強ツールー
- 4.18 【トピックス】物構研の教育活動 対称性・群論トレーニングコース
- 4.24 【物構研トピックス】科学技術分野の文部科学大臣表彰 物質構造科学研究所関係者多数が受賞
- 4.28 【物構研トピックス】宇都宮大学等の研究チーム チタン合金の強度を左右する添加レアメタル近傍の原子移動モデルを解明

PF トピックス一覧 (2 月～ 4 月)

PF のホームページ (<http://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関する研究成果やイベント、トピックスなどを順次掲載しています。各トピックスの詳細は PF ホームページをご覧ください。

2017 年 2 月～ 4 月に紹介された PF トピックス一覧

2017 年

- 2.7 【物構研トピックス】上村洋平氏、日本放射光学会 奨励賞を受賞
- 2.15 【物構研トピックス】小林正典氏、間瀬一彦氏、日本真空学会において顕彰
- 2.20 【プレスリリース】新しい単原子シート「ボロフェン」の中に質量ゼロ粒子を発見
- 2.23 【物構研トピックス】チョコレイト・サイエンスを開催しました
- 2.24 【物構研トピックス】金属的な二次元状ケイ素を形成
- 3.3 【物構研トピックス】PF ユーザーの武仲能子氏、コロイドおよび界面化学部会科学奨励賞を受賞
- 3.7 【プレスリリース】光で強誘電体中の水素原子を動かし、分極高速に制御～理論と実験の発展的融合～
- 3.9 【物構研トピックス】筑波大ー KEK 連携セミナー 第 2 回「生命の機能とかたち」を開催