

高良和武先生を偲んで

雨宮慶幸（東京大学 名誉教授）

フォトンファクトリーの初代施設長、日本放射光学会の初代会長を務められた高良和武先生（写真1）が、本年1月31日に97歳でご逝去されました。2月9日に告別式が行われましたが、その日は高良先生の満98歳の誕生日でした。4月上旬には、数えて99歳をお祝いする白寿祝賀会を予定していて、新元号に関する話題も含めて、高良先生と色々とお話しができることを楽しみにしていただけに、残念でなりません。

一年前の同日（1/31）のほぼ同時刻に奥様の芳枝様のご逝去された、ということをご子息の和晶（かずあき）さんからお聞きし、高良先生ご夫妻の深い絆が感慨深く思い起こされました。

昨年11月4日には毎年恒例の「高良先生を囲む会」を学士会館で行い、高良先生はとてもお元気な様子で3時間余りの会に最後までご参加され、楽しい一時を過ごしました。その後の11月末に体調を急に崩され入院されたとお聞きしました。丁度二ヶ月間のご入院でした。診断は老衰とのことでしたので、高良先生は天寿を全うされたのだと確信しました。

この記事の後に、高良先生が2012年に書かれた「放射光実験施設誕生の頃の裏話」が掲載されています。是非、ご一読下さい。PF建設の頃の3年間（1979.4～1982.3）、私はポスドク（日本学術振興会奨励研究員）として、PF入射器棟の上流付近にあった旧クラブハウスの宿舎に住んで、PF建設作業に携わっていました。高良先生は、PFスタッフが昼夜兼行で頑張っている建設現場に足繁く通われました。PFスタッフに寿司や菓子等を差し入れするため



写真1 在りし日の高良和武先生（2016年、「高良先生を囲む新年会」にて）

で、それが高良先生の日課のような感じでした。その折には、何故か私が誘われ、高良先生と一緒に買い出しに行くのが常でした。私は「食べることに関心が強い」と高良先生から認識されていたようで、食料の差し入れの量や種類に関してのアドバイスが期待されたのだと思います。高良先生はPF建設に取り組んでいるスタッフを励ましたいと心の底から思っておられると、肌身で感じました。皆さんに頑張って貰うために、僕にできることは『差し入れ』ぐらい。と、笑顔で語られながら、スタッフを励ます高良先生の姿が今でも脳裏に蘇ります。告別式の時に和晶さんが次のように語られていました。「私は父と仕事分野が全く違うので、父の仕事のことは何も分かりません。ただ、父は、『多くの研究者が喜んで使える、世界一立派な実験装置を実現したい。』といつも話していました。」

高良先生のご専門は、「動力学X線回折理論とその応用研究」で、シリコン等の完全結晶を用いた精密X線光学系の開発とその応用（X線トポグラフィ法を用いた半導体中の格子欠陥を可視化する研究）です。私が卒論で高良研究室に配属された時（1973年5月）は、高良先生はPFの建設に向けた活動で忙しく、高良先生にお会いできるのは週に一度の高良研コロキウムの時のみでした。私の卒論は、「小角X線散乱を用いた筋収縮機構の解明」に関するテーマで、医学部に出入りしていたので、動力学X線回折理論は不勉強で、コロキウムの内容は分からないことだらけでした。そんな訳で、高良研コロキウムで研究室のメンバーが紹介した研究内容は、今では殆ど覚えていません。しかし、今でもはっきりと覚えていることは、高良先生が2年間（1955.9～1957.12）、ドイツのフリッツ・ハーバー研究所に客員教授として滞在された時の数々のエピソードです。ちなみに、フリッツ・ハーバーは空気中の窒素からアンモニアを合成するハーバー・ボッシュ法を発明したことで知られるノーベル化学賞受賞者です。

高良先生から、ドイツ滞在中に深い交流のあったラウエ先生（当時、フリッツ・ハーバー研究所長）とのエピソードをよくお聞きしました。ラウエ先生は皆さんご存じのマックス・フォン・ラウエ（1879-1960）で、1914年にノーベル物理学賞を受賞した方です。

高良先生は、「ラウエ先生は知的好奇心が大変に旺盛で、コロキウムの時はいつも一番前の席に座り、発表者に色々な質問をして熱心に議論を交わっていて、その姿が大変に印象的でした。」と言われていました。そう言われる高良先生の高良研コロキウムでの姿勢と熱心さは、高良先生の語られるラウエ先生の姿勢と熱心さそのものなのでは、といつも思っていました。また、「ラウエ先生は、『愛することを学びなさい』、『勇気を持ちなさい』といつも語っていた。」と高良先生からよくお聞きしました。ナチ支配のドイツの政治状況を経験したラウエ先生の心から出る言



写真2 後列左から、高良先生、ラウエ先生、ゲハルド・ボルマン先生（フリッツ・ハーバー研究所）、前列左から、ラウエ夫人、高良夫人（1957年、ベルリンにて）

葉であった、とのことでした。写真2は、ドイツ滞在中の高良先生ご夫妻とラウエご夫妻の写真です。

高良先生を通して聞いたラウエ先生の「愛することを学びなさい」、「勇気を持ちなさい」という二つの言葉が、高良研コロキウムで私の記憶に最も残っている言葉です。高良先生の生き方は自然体なので、その言葉を特にご自分の座右の銘にしていた訳ではないと思います。しかし、高良先生の生き方や私達に接する先生の姿そのものが、その言葉に通じていたので、私の心に深く残ったのだと思います。研究や人生に関する言葉のインパクトは、その言葉を語る人の生き方や人柄に大きく依存する、とつくづく実感させられます。

高良先生に出会えたこと、多くのことを教えて頂き大切なことを学ぶことができたことを、心から感謝しています。在学中はもとより就職後も、研究に行き詰まったり元気が出なくなった時に、高良先生から頂いた励ましの言葉と笑顔が、私にとって大きな心の支えでした。

高良先生、本当にありがとうございました。天寿を全うされた高良先生のご冥福を心からお祈り致します。

第 29 回 PF シンポジウム PF30 周年記念講演①

放射光実験施設誕生の頃の裏話

KEK 名誉教授 高良和武

放射光実験施設のストーレージ・リングから最初に放射光が取り出されてから、30 年になります。施設は常に、第一線の研究施設として活動して居り、またこの度は、新しい計画の話を聞き、嬉しい限りでした。

ビームが取り出される前に、10 年ばかりの準備期間といえますか、胎動の期間がありました。その頃の裏話を、お話したいと思います。

1960 年代の半ばごろ、ドイツとフランスの連合で、研究用の原子炉を作り、そこで発生する中性子を使い、回折を中心とした研究を行おうという計画の話しが、聞えて来ました。あの頃、金をかければ、大出力の X 線発生装置が出来るだろうと語り合あったことを思い出します。

その頃、X 線回折の研究者は、X 線トポグラフィや、構造解析のために必要な回像を撮るために、X 線強度の不足に悩まされていました。一応、満足できるトポグラフの写真を撮るのに、10 時間ぐらいかかり、また簡単な蛋白の構造を解析するために、必要な回折写真を撮るのに、一年位かかるという時代でした。

“大出力 X 発生装置の研究”というテーマで、1971 年度(昭和 46 年度)の科学研究費を受けました。その可能性として、“回転対陰極型 X 線管、レーザー、電子軌道放射”の三つが上げられました。比較検討の結果、電子軌道放射が断然、強いことが分かり、之を使って、大出力の X 線発生装置を造り、いろいろな分野で使おうということになり、その計画はフォトン・ファクトリー計画と呼ばれました。

1973 年 4 月、九州大学で開かれた物理学会で、そのシンポジウムが開かれましたが、会場は一杯になりました。そのシンポジウムの後で、X 線、電子線の研究者の間では、名大の加藤範夫さんが、「騙された積りでやりましょうよ。」と言われたと聞きました。先輩の先生からは、「皆、信じ始めたよ。責任があるぞ。」と言われました。

世話人会が造られ、さらに懇談会となりました。伏見康治先生から、「日本学術会議からの勧告を受けるのがよい。」と教えていただきました。当時、先生は学術会議の副会長、間もなく会長になられました。先生は計画の意義を理解して下さり、文部省 * の関係筋に、話して下さっているということを知りました。(* 当時は、文科省はなく、文部省と科学技術庁に分かれていました。)

学術会議で、審査を受けるためには、SOR とか、電子軌道輻射、電子シンクロトロン放射に代わる、短い、適当な言葉を考えようということになり、懇談会の集まりの時の投票で、放射光という名前が決まりました、放射と光

と、同じような二つの言葉が、重なるという批判もありましたが、語呂がよいので、定着しました。その頃、台湾に行きましたが、台湾では同歩光と呼んでいました。巧い言葉だ、さすが漢字民族と感心したことを覚えて居ます。姫路の SPring-8 では、研究所の正式の名前を“高輝度光科学研究センター”というように、放射光が、高輝度光となっています。

その頃、日本では、研究所が沢山できました。設立に当たっては、計画は先ず日本学術会議の部会(法学、経済、医学、工学、理学など)の下部組織である物理、化学、生物などの個々の研究連絡委員会の一つから提案された後、総会で審議され、最終的に学術会議が設立を政府に勧告するという事になっていました。我々の場合、先ず、学術会議の下部組織である、物理学研究連絡委員会、さらにその下部組織である物性小委員会で審議されました。

そこでは、巨大科学に対する反感、反対や共同利用に対する不信がありました。巨大科学では、個人は大きな歯車の一つの歯になり、個性が失われる。共同利用と称して、高価な設備を購入するが、一部の人が独占する。というような理由でした。我々は、これらの反対理由に対して、そ



PF 光源棟建設前の様子



ライナック建設現場の視察風景 (1978 年)

うならないように注意すればよいと考えました。

この案は、物理のみならず、化学、生物などの研究連絡委員会では審議の後、賛成され、最後の4部（理学関係）からの提案となり、1974年10月、放射光総合研究所として学術会議から政府へ勧告されました。

次の課題は、どこに造るかということでした。原子核研究所のあった田無、物性研究所のある六本木、さらに、分子研生物、基礎生理研究所のある岡崎などが候補地となりましたが、結局、筑波の高エネルギー物理学研究所の敷地内に造ることになりました。高エ研では、その頃、陽子加速器の建設が終り、いよいよ実験を始めようという時で、難色を示す人たちも居たようですが、当時の所長の諏訪繁樹さん、主幹の西川哲治さんたちの理解により、受け入れが得られました。そこには、加速器の専門家が大勢居て、助けて貰いました。始めは、加速器のグループと共用ということを考えていましたが、最終的には、放射光専用ということになりました。

世話人会から懇談会に名前を変えた時、会則を作ろうという意見がありました。僕は、莊子の混沌*の話しを持ち出して、細かい会則作りは時期尚早として止め、大きな方針だけを定めることにしました。その方針は、次のようなものでした。(1)測定装置の製作に当たっては、物理、化学、生物というような学科による分類はやめる。(2)スタッフの役割は、装置の設計、開発である。(3)個人の研究者でも使えるようにする。

* 混沌の話しとは、中国古代の思想家、莊子の教えで、次のような話しです。「昔、肅と忽という二つの国の王が、混沌という国を訪ねたが、混沌の王の手厚い持て成しを受けた。肅と忽の王は、混沌の王に何かお礼をしようと相談したが、混沌の王には、目、鼻、耳と口の七つの穴が無いので、それを付けてあげようということになり、先ず目と鼻を付けたら、混沌の王は死んでしまった。」という話しです。

混沌の話しは、我々の間で有名になり、佐々木さんから、クワンタム・メカニクス（力学）をもじって、コントン（混沌）力学と言われました。

学術会議で放射光総合研究所として勧告された研究所は1978年4月、文部省により、高エネルギー物理学研究所の放射光実験施設として認可されました。建設当時、研究者に必要な道具は、棍棒と懐中電灯と長靴で、我々は、三種の神器と呼んで居ました。棍棒は野犬を追い払うため、懐中電灯は、高エ研のキャンパスも外の東大通りも暗かったので、必要でした。長靴は、雨が降ると、当時、道路は舗装されて居らず、すぐ、ぬかるみになるので、必要でした。

「判子と辞表を持っています。皆さんは、自由にやって下さい。責任は僕が取ります。」と言ったら、後で、「あんな物理学者が居るとは...」と話題になったそうです。

実験施設は、線形加速器、貯蔵リング、光源棟の三つの系に分かれ、それぞれの主幹として田中治郎さん、富家雄雄さん、佐々木泰三さんが居ました。それぞれ、個性的な侍で、すぐれたリーダーシップで複雑で困難な仕事を遂行

されました。それぞれの系には、木原元央さん、山川達也さん、佐藤勇さん、佐藤繁さん、神谷幸秀さんたち優秀で元氣な若い人たちが居ました。

放射光実験施設では、世界に誇る、ユニークな装置が、多数、造られました。例えば、超高圧、高温の装置は、当時、無機材研に居られた下村理さんたちにより開発・製作されましたが、後に同種のものがスタンフォードやハンブルグの施設にも輸出され、その据え付けや使い方の指導に、下村さんが行かれました。また、垂直ウイグラーについては、このシンポジウムで佐々木さんの講演がありますが、山川さんたちにより造られ、世界に誇る独創的なものでした。

神谷さんは、スタンフォードに一年、留学しましたが、その頃、私は何回か、スタンフォードを訪ねましたが、ドクター・カミヤは理論も実験も良く出来ると絶賛して居り、それを聞いて私も誇らしく、嬉しかったことを覚えています。

貯蔵リングが完成して、電子を回すと、周回軌道が、理論より僅かにずれる時がある。詳しく調べると、晴れた天気の良い日に起ることが分かりました。天井の屋根の上に、熱の不導体を置いたら、この問題は解決しました。このことについての一部始終は、富家さんたちの作ったアニュアル・レポート（差し替え、補充自由のファイリング形式）に書いてあり、海外でもよく読まれて居たようです。天井



PF 光源棟建設の様子（1980年）



現在のPF 光源棟

は、リングの部分と構造的に分離すべきだと言う結論でしたが、後日、ベルリンで製作中のリングを訪ねましたが、そこでは、分離されており、PFのレポートを読んだからと、いって居ました。

線形加速器の導波管のユニットになる銅のチューブの接続部は、精密仕上げされ、隣同士の銅チューブは、熔接されず、直接、接着された後、外回りをメッキするというものでした。スタンフォードでも、その後、韓国で作られた線形加速器の導波管でも、要素になる銅のチューブは一つ一つ熔接していました。

実験棟については、先ず温度を一定になるようにしました。広い空間を、恒温にするということは、当時、文部省の施設では珍しいことでした。富家さんから、「物性の研究者たちは、ワイシャツにネクタイで、背広を着て実験をやる気か？夏は揮1枚でやれ。」と、悪口を言われましたが、僕は「恒温は人間の為ではなく、精密機械の為に必要だ。」と反論し、実験棟の恒温を実現しました。その頃、しばしば、仲良く口論をしました。実験棟を静かにすることにも、気を配りました。ドイツのハンブルグの研究所を訪ねたとき、煩いのには驚きましたが、研究者が、「長時間、仕事をすると頭痛がするので、耳に栓をしている。」と言ったことを思い出しました。壁や床が、音を吸収するように、また送風ダクトの騒音を抑えるように、いろいろ対策をたてました。

光源棟の拡張、満月計画（理由：建前と本音、将来は産業界利用のため、当時はタブー、大蔵省の主計局長の見識）ビームライン12→20個（光源棟の幅をひろげる、予算は総面積幾らで来ているので、長さが短くなった。）。

1960年代の終り頃、猖獗を極めた大学紛争の名残で、産学協同は当時タブーでしたが、それを破りました。私は、その頃、完全結晶におけるX線・電子線の回折現象を研究していましたが、それは半導体結晶の評価に有効なので、日立、三菱、富士通、電々公社の研究者たちと学術振興会の産学協同研究会の一つ、“半導体結晶の評価”という委員会で共同研究を進めていましたが、それぞれの会社に自前のビームラインを造ることを提案し、それを実現しました。

省庁の壁も破りました。その頃、霞が関では、相手の省に文書を届けに行くのは、頭を下げることになるので、省庁間の文書は、道路で交換していたそうです。無機材研の高圧装置が搬入されたときは、新聞種になりました。電総研は、車で20分の距離にありますが、始めは、一々、出張届が必要だったそうですが、それを止めてもらいました。ずっと後になって、文部省のお役人から、“高良先生は無茶を言うので、困りましたよ。”と言われましたが、その頃は若氣？の至りで、夢の実現には、少々の規則破りは止むを得ないと思っていました。

陽子加速器の建設時には、建設予算と人員の比率は、一般の国立研究所の平均に比べ、ほぼ3分の1といわれました。放射光施設の場合、陽子加速器の場合の更にほぼ3分の1でした。全国の国立研究所の平均に比べて、ほぼ10

分の1に相当しました。

建設時のスタッフの頑張りは、壮絶でした。「頭より体力だ。」といった人もいました。スタッフで胃潰瘍になった人が、何人か居ました。疲れを取るのに、夜、酒を飲むようになった為ということでした。田中治郎さん、「最近の若者は、働き方を知らない。」と慨嘆しましたが、後に、ご自身も胃潰瘍になり、入院されました。富家雄さん、歯を痛め、病院に通い、白髪も増えました。

貯蔵リングが完成して、いよいよ線形加速器からの電子をリングに打ち込んでも、電子が回らない。ライナックとリングを繋ぐチューブが細すぎたからだ、リングの形が楕円形で対称性が低いからだ....など、いろいろな原因を言う人が居ましたが、解決策は立てられませんでした。真夜中でしたが、ライナックの副主幹の佐藤勇さんが、にぎり寿司を持って陣中見舞いにやって来て、「リングの電子軌道に沿って置かれた偏向磁石の電極の符号、プラス、マイナスが逆になって居ないか一度、調べて見たら。」と提案しました。リングのスタッフ達は、そんなことは絶対に無いと憤慨しましたが、最後に佐藤さんも付き添って、実際に調べて見たら、全周の4分の1の磁石の電極の符号が逆になっていた居たことが分かり、それを直したら、首尾よく電子は廻りました。符号の間違い？と考えたのは、佐藤さん自身の線形加速器での経験からでした。主幹の田中さんは、ライナックでも符号の間違いが2回あったと言いましたが、佐藤さんは「実際には、もっと、あったが、田中さんに言わなかっただけです。」と笑って居ました。

筑波の公害研究所所長の近藤治郎先生とは、常磐線で東京に帰る時、屢々ご一緒になりました。（先生とは、筑波に来る前、共に東京大学の工学部に勤めて居ました。）あるとき、電子の回らなかった件の一部始終をお話ししましたら、先生から初期不良ということを知りました。新しい航空機が出来上がると、不具合を調べるために、空に飛び上がる前に、陸上を長い間、時には1年以上も走らせる。飛び上がってから不具合が見つかったら、遅いですからねということでした。

立派な施設が、短期間に出来たというので、海外でも、評判になりました。フランスの大統領のミッテランも視察



ミッテラン仏大統領視察の時に行われた対面式。手前側に座っているのが著者（1982年4月17日）。

にやって来ました。「大統領は、筑波にある研究所を見たいと言っている。」と外務省の役人が言うので、通産省の電総研かと思って、連絡しようとしたら、そうではなく、文部省の研究所だということが分かり、高エネ研に連絡がありました。陽子加速器のグループは自分の所だと初め喜びましたが、放射光施設だと聞いてガッカリしたと聞きました。続いて、首相の鈴木善幸氏もやって来ました。間もなくパリで開かれる予定のサミット会議で、フォトン・ファクトリーが話題になるだろうから、我々も見て置かねばということのようでした。

イギリスの科学行政に携わる教授もやって来ました。「イギリスでは、金曜日の夜に装置が故障したら、修理はテクニシャンの仕事なので、サイエンティストは彼等が月曜に出てくるまで待たねばならない。労働組合が煩いので、技術的なことは彼等にまかせねばならない。然し、日本の研究者は、何時、サイエンスをやるのだろうか？」と言いました。

綺麗な仕上げに（壁や床などの）、ロシアの学者が感心しました。後日、私はロシアに行き、ノボシビルスクとモスクワの放射光の施設を見ましたが、仕上げが粗末なのに驚くとともに、彼等の PF での感想を納得しました。

光源棟に、約 20 個の測定装置が据え付けられ、いよいよ実験を始めようという頃、多くの VIP が視察に来られました。物理学界の大先輩である茅誠司先生、伏見康二先生、小谷正雄先生も来て下さいましたが、茅先生から「これまで多くの研究所を見て来たが、こんなに感激したことはなかったよ。多くの研究者が力を合わせて、よく造ったものだ。」と褒めて頂きました。伏見先生は「作った仏に魂を居れるように。」と言われました。

山下勇さん（元三井造船の社長で、当時、造船学会の会長、後に JR 東日本の社長）も来られました。線形加速器の展望台の上で、「こんな巨大で精密な装置を、物理学者の皆さんが作られたのには、感動しました。」と言って、深々と頭を下げられました。行政改革委員会の参謀役の瀬島龍三氏も来られました。「こういう装置を造る為に、行政改革委員会はあるのですよ。必要な金と人は、遠慮なく要求下さいよ。委員長の土光さんにも言うておきますよ。」



Photon Factory 完成時（1983 年）の 1 コマ。左より伏見康二先生、小谷正雄先生、茅誠司先生、西川哲治主幹、著者。

と励まして貰いました。会計検査院の局長も来られました。私が、予算の関係で、光源棟も未完成で、ビームラインも一部しか造れないで居ると話したら、「施設の予算をもっと、増やすべきだ。と報告しておきますよ。こういうのを、我々は協力闘争と言います。」と予想外の言葉を聞きました。会計検査院の主な仕事は、予算の無駄使いを指摘することだと思って居ましたから。某研究所の事務局長も視察に来ましたが、「我々の所では組合が煩く、深夜遅くまで自発的に働くなんて、考えられませんよ。」と零していました。

皆が力を合わせて奮闘した結果が、多くの人に認められ、研究者として冥利に尽きると思いました。



高良和武先生著作の「未知への旅」



PF シンポジウム「30 周年記念講演」の中で、「放射光実験施設誕生の頃の裏話」を講演中の著者。

共鳴 X 線散乱の軟 X 線領域への研究展開 における四方山話

放射光科学第一研究系 中尾裕則
物質・材料研究機構 山崎裕一

1. はじめに

強相関電子系の多彩な物性の背後には、電子の持つ自由度である電荷・スピン・軌道・多極子などの多様な秩序状態が存在している。したがって、これらの物性の発現機構を理解する上で、電子の秩序状態の解明が重要となっている。ここで「共鳴 X 線散乱 (RXS)」は、原子の吸収端を利用した X 線散乱実験であり、吸収端を選択することで、元素・軌道選択的に物性を支配する電子の秩序状態が解明でき、強相関電子系の研究において広く利用されている。しかしながら、実験に利用する X 線エネルギー (吸収端) は、観測したい元素・電子軌道で決まってしまうため、これまでの硬 X 線領域に加えて、軟 X 線領域での研究展開が必要となった。例えば、超伝導・巨大磁気抵抗効果・巨大電気磁気効果などの多彩な物性を発現する $3d$ 遷移金属酸化物において、機能を担っている $3d$ 電子状態を直接的に捉えるためには、軟 X 線領域にある $L_{2,3}$ 吸収端 ($2p \rightarrow 3d$ 遷移) を利用する必要がある。また実際に軟 X 線領域での実験を行うと、単に直接 $3d$ 電子状態が観測できるだけでなく、その共鳴信号は桁違いに強く、磁気信号までもが観測されている。さらに世界的には、その強い強度を生かした高エネルギー分解能の共鳴軟 X 線非弾性散乱装置が次々と建設され、中性子散乱でないと観測が難しいとされてきたスピン波の観測まで達成されている。

このような背景のもとで、我々は軟 X 線領域での RXS 実験用の真空中 X 線回折計群 [1] を立ち上げてきた。しかしながら、それまで利用してきた硬 X 線領域での実験から、軟 X 線領域に切り替わることで生じた幾つもの問題に直面した。後になって、原因が分かれば当然の事となるが、当時は色々悩まされた。今回、原著論文には記載しないような実験上のノウハウ的な内容を執筆する機会を頂いたので、ここに紹介する。

2. 真空

軟 X 線を利用した実験では、X 線の侵入長が短くなり、実験装置も、試料回りも、検討が必要となった。特に、低温での電子の秩序状態の解明を目指しており、冷却に伴う試料表面への水や気体分子の吸着という意味で、真空は重要である。もちろん、真空度は高ければ高いほど良いが、真空対応でなかったり、ベakingできない機器も搭載する必要があった 2 軸回折計では、到達真空度が制限された。新たな装置を建設する前に、我々は共鳴信号が観測されている良く知られた系での予備実験を行った。その結果、装置の真空度が 10^{-4} Pa 台での低温実験に成功した (ちなみに冷凍機で試料を冷却すると、装置の真空度は当然良くなり、 10^{-5} Pa 台であった)。一般的な軟 X 線領域の実験

である電子収量法による吸収測定で低温実験を行うには 10^{-6} Pa 台での実験が要求されるが、今回は電子でなく X 線を検出する実験なので、この程度の真空度でも大丈夫なのだと判断した。また真空排気として、ターボ分子ポンプ (TMP) とロータリーポンプ (RP) の組み合わせを、予算の都合もあり選択した。この組み合わせは、PF の軟 X 線ビームラインでも良く使われており、大丈夫だと判断したのである。これら 2 つの判断が、後の実験に大きく影響した。

2-1. オイルの吸着

放射光実験では、X 線照射に伴う試料ダメージの問題があり、実験後、X 線照射領域の試料の色が変わることは良くある。しかしながら、我々の低温実験後の試料表面を調べると、試料自身が変質しているというよりは、何かが焦げ付いているように見えることがあった。最も問題となった実験が、磁気スキルミオンの観測 [2, 3] であった。この実験では、X 線が試料を透過する配置で実験を行うために、収束イオンビーム加工装置により約 200 nm の厚さの薄片試料を作製し、ピンホールの上に設置する (図 1(a) 左側)。また、試料の隣にはホログラフィ実験用のピンホールも設置された (図 1(a) 右側)。まず室温で、X 線が試料を透過するように試料と X 線ビーム位置を調整した。次に、低温かつ磁場印加により磁気スキルミオン格子が出現する系の測定なので、試料を透過する X 線強度をモニターしながら冷却したところ、この X 線強度が数時間程度でどんどん弱くなっていくことが判明した。実験終了後、試料の状況を走査型電子顕微鏡 (SEM) 像で確認したが、図 1(b) である。ちょうど X 線が試料を透過していると期待される場所に丸い痕ができていた。右側のピンホール部も、異物が詰まっており、これが X 線照射によるオイルの焦げ付きと考えられ、冷却に伴う X 線強度の減衰の原因である。

結局、ビームラインでは $10^{-7} \sim 10^{-8}$ Pa 台で TMP+RP が利用されているが、今回のように 10^{-4} Pa 台となると、RP のオイルがチャンバー側に相当入り込んでいると考えられる。実際、磁石部を液体ヘリウムで常に冷却して実験を行う超伝導磁石搭載回折計では、オイルが磁石に付着していることが、改修時に判明した。その後我々は、RP の利用は止め、ドライポンプを利用している。

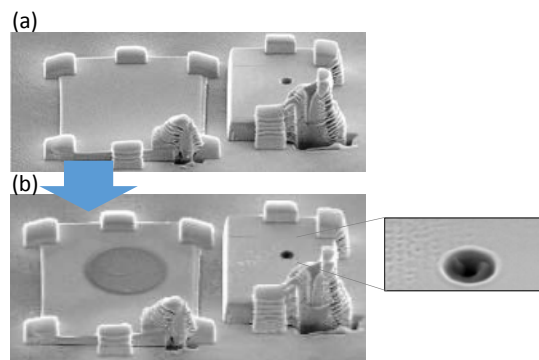


図 1 (a) 実験前。左側の四角が試料。右側はホログラフィ実験用のピンホール。(b) 実験後。ピンホール部の拡大図。

2-2. 水の吸着

上述したように、装置の真空度が 10^{-4} Pa 台で、試料を冷却し、共鳴信号を観測することは可能だった。しかしながら、信号強度の温度依存性を測定したとき、再現性のない実験結果が報告された。当時、真空度などのモニタリングシステム (STARS [4]) を導入していたので、実験中の状況を確認してみた。一例として、ある共鳴信号強度の温度依存性の結果を、図 2(a) に示す。温度上昇させると 160 K に向けて、信号強度が急激に弱くなり、180 K で強度が復活する特異な振る舞いである。図 2(b), (c) に、試料温度と真空度の時間変化を示す。すると、120 K 辺りから真空度が悪くなり始め、180 K 辺りで真空度がかなり悪くなっていることが判明した。この結果から、試料の温度を上昇させると、冷凍機のクールドヘッド部の温度が熱勾配を持ちつつ上昇し、冷却時に吸着したガスが徐々に気化し、このガスが試料表面に再吸着することで散乱強度がある温度領域で弱くなること、さらに試料温度が上昇すると、ガスが試料表面から再度気化し散乱強度が復活することが考えられた。一方、試料の冷却時は、必ず試料温度より冷凍機のクールドヘッドが先に冷えるので、ガスはクールドヘッド

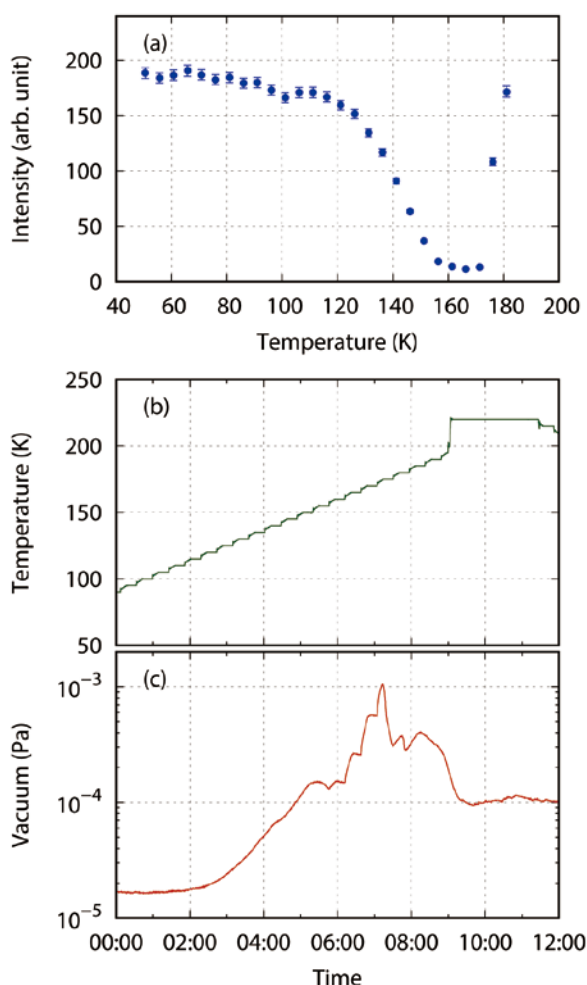


図2 (a) 散乱強度の温度依存性。実験時にモニターした試料温度 (b) と真空度 (c) の時間変化。

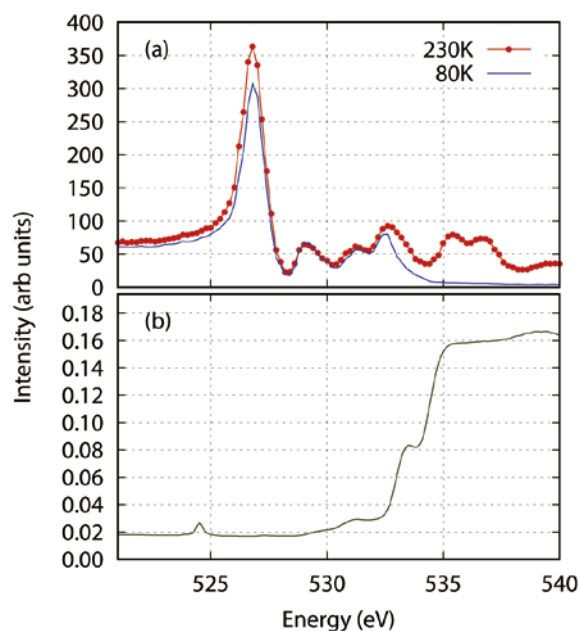


図3 (a) BL-16A で測定したある散乱強度の温度依存性。(b) 水の蛍光スペクトル。

側に主に吸着され、試料表面には実験の問題になるほどのガス吸着はなかったというわけである。

次に、試料表面へのガス吸着により信号が消えることはないものの、エネルギースペクトルに影響を受けた例を紹介する (論文では、なかなか出せない結果である)。酸素 K 吸収端近傍でのある共鳴信号のエネルギー依存性を図 3(a) に示すが、230 K と 80 K のスペクトルの違いに注目して欲しい。534 eV より高エネルギー側の信号が、80 K のデータで非常に弱くなっている。図 3(b) には、実験上のトラブルで明らかに水が吸着してしまったときに測定された水の酸素 K 吸収端での蛍光スペクトルを示す。図 (a), (b) を見比べるとわかるように、試料表面に吸着した水の吸収が大きくなるエネルギーから、図 3(a) の 80 K の信号強度が弱くなっている。このように、装置の真空度が 10^{-4} Pa 台での低温実験は、問題であった。ちなみに現在は、装置の真空度が 10^{-5} Pa 台で低温実験を行っている。この条件で、試料温度を上げ下げすると真空度の変化は観測されるものの、図 2(a) のスケールでの強度の温度依存性には実験精度の範囲で異常は観測されない。たった一桁の真空度の違いではあったのだが、最初の判断ミスは大きかった。

3. 冷凍機

多様な電子秩序状態を観測する上で、冷凍機の到達温度は実験の可否を決める重要なパラメータである。しかしながら、放射光 X 線は非常に強く、X 線ビームを照射することで試料温度が上昇してしまい、極低温領域 (4 K 以下) の実験は硬 X 線領域でも簡単ではない。さらに軟 X 線を利用した実験では X 線の侵入長が短くなることが、ここでも問題となる。一般に、冷凍機で低温にするためには、外部

からの熱輻射を輻射シールドを用いて抑えることが重要となる。ところが軟X線は、この輻射シールドを透過させるのが難しく、輻射シールドにX線の出入口となる窓を開ける必要がある。一方、単結晶を用いた回折・散乱実験では、試料に対するX線の入射方向と散乱X線の出射方向は状況により変化するため、なるべくX線窓は広く開けておきたい。また、装置の真空度を低温実験のための 10^{-5} Pa 台にするには、それなりに時間がかかるため、複数の試料を冷凍機に搭載できるようにしたいという要望もある。そこで、必要とされる到達温度に合わせて、冷凍機に搭載できる試料の数、つまり輻射シールドの窓の大きさを決めることとした。作製した冷凍機が安定して冷えるようになるまでは、時間を要したが、軟X線の利用により生じる問題ではないのでここでは最終的な結果のみ紹介する。

真空中の2軸回折計ということで真空チャンバーが大きいことや、試料の回転、位置調整のためのXYZステージが搭載されているので、首の長さが1 m 以上あるヘリウムフロー型冷凍機を製作した(図4(a))。図4(b)が試料・コールドヘッド部の拡大図である。コールドヘッド部は、液体ヘリウムで直接冷やされ、液体ヘリウム温度4.2 Kとなる。輻射シールドの窓の大きさの調整には、アルミ製の輻射シールドのX線窓に、アルミテープを張り付けることで調整することとした(図4(c)(d))。まず、輻射シールドの窓をすべて閉じて冷却し、試料位置の温度が4.2 Kになることを確認した。続いて窓を、1か所、2か所と1つつ開けると、試料温度が2 K ずつ上昇していくことがわかり、X線窓の大きさと到達温度がほぼ比例関係となっていることを実験的に示すことができた。期待された結果ではあるが、熱輻射の影響の具体的な到達温度の違いとしての評価は、冷凍機開発の上で貴重な結果となった。ただし、ここで評価できたのは試料ホルダー部の温度であり放射光照射時の信号に寄与している試料部分の温度は、試料自身の熱伝導にも依存するので注意が必要である。これらの結果をもとに、必要な到達温度に応じた冷凍機の利用ができるようになってきた。また最近、より低温での測定を目指し、窓サイズをさらに制限した実験を実施した。その結果、



図4 (a) He フロー型冷凍機の全体像。(b) 試料・コールドヘッド部の拡大図。輻射シールドを取り付けた状態で、開いているX線窓の数が(c) 5か所。(d) 3か所。

転移温度6 Kの系の秩序変数の温度依存性の測定に成功した。このように輻射シールドのX線窓サイズを制御することで、必要な温度での実験ができることが分かった。

続いて、首の長い冷凍機の上部からの振動が直接試料に伝わらないタイプの冷凍機を作製した。この場合、コールドヘッドの熱をワイヤー伝えることで試料部を冷やす必要があるが、X線の窓が1か所の場合に8 K 以下まで冷やせるものが出来上がっている。

4. X線検出器

軟X線領域での実験を始めるにあたり、X線検出器として何を採用するか悩んだ。当時、同種の実験には、フォトダイオード(PD, 図5(a)), マルチチャンネルプレート(MCP, 図5(b)), CCDカメラが利用されていた。しかしながら、微弱な共鳴信号を捉えるためには、1光子検出が可能であることが期待される。まずPDは、硬X線領域での実験でも 10^5 cps より強い時に使われ、軟X線領域でX線エネルギーが低くなることも考えると、RXS実験の主検出器とは考えられない。MCPは、軟X線領域で良く使われているが、1光子検出できるのか分らなかった(その後の実験で、100光子当たり1カウント程度となることがわかった)。また、その利用にあたり高真空であることが望まれ、上述の真空問題のこともあり、1光子検出できる他検出器の利用を検討した。さらにRXSは、原理的に吸収端近傍での実験であり、いかにバックグラウンドである蛍光X線を除去して、観測したい共鳴信号を捉えるのか、が重要となる。実際、硬X線領域でのRXS実験では、エネルギー分解して測定が可能なシリコンドリフト型X線検出器(SDD)が利用されている。少し脱線するが、バックグラウンドである蛍光X線を落とし、観測したい共鳴信号を観測する上で、試料とX線検出器との間に4象限スリットを入れることも、硬X線領域での実験における常套手段である。しかしながら、真空中の回折計上に4象限スリットを設置することは大変であり、世界的にも4象限スリットを設置した同種の回折計はなかった。我々は、軟X線での実験であることを考えていないと言われるような大きな真空チャンバーで2軸回折計を建造し、回折計の上に4象限スリットを搭載させ、現在はバックグラウンドの軽減に重

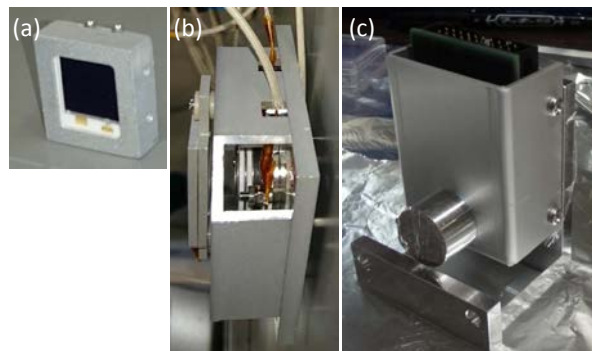


図5 (a) フォトダイオード, (b) マルチチャンネルプレート, (c) シリコンドリフト型X線検出器。

宝している。話を検出器に戻すと、軟X線領域でもSDDは利用されているので、何としてもSDDを使いたいと考えた。ただし、軟X線領域で利用されていたSDDは、真空フランジに差し込んで利用するタイプのみで、散乱角が変化していく信号を追いかけて実験する必要のあるRXS実験では、SDDの受光部だけでなく、プリアンプ部まで、真空中に入れる必要があった。さらに硬X線領域でのSDDでは、S/N良く信号を捉えるために素子が冷却されている。ところが、検出器を真空中で利用するためには、ファンによる空冷は使えない。このような背景のもと、軟X線領域のRXS実験用のSDDの開発をすることとなった。

まず、プリアンプ部を真空中に入れる必要があったが、上述の真空問題と関連して、超高真空に対応していない部品でも利用することとなった（そうでないと、メーカーに製作してもらえなかった）。SDD素子の冷却については、信号検出可能な範囲でなるべく冷却せず、排熱は回折計上で熱伝導で逃がす方針で、装置を設計することとなった。もし、排熱が逃がしきれない場合には、検出器の水冷が可能となるように回折計は設計した。ちなみに1号機のSDD素子は、排熱し切れず素子の温度が上昇し、さらに冷却しようとペルチェ素子が頑張ったために、数年で故障した（原因は特定できていないので、違うかもしれないが）。現在は、ペルチェ素子の出力を抑える回路を付加し、安定して動くようになってきた。完成したSDDを、図5(c)に示す。硬X線領域のSDDは検出器窓としてBeが利用されているが、可視光が真空チャンバー内に入り込んでくる

ことも考え、写真は遮光用の窓がついているものである。ただし、回折計側で通常の遮光をして、SDDで波高解析して測定していれば可視光の影響はほとんどないことが判明し、現在遮光窓は利用していない（ちなみに、CCDカメラの場合には、真空チャンバーを十二分に遮光し直し、真空ゲージの電源を切って、ようやく可視光の影響が無視できるようになった）。次に、SDDで測定したX線のエネルギースペクトルを図6(a)に示す。 λ と示しているのが入射X線のエネルギーであり、それ以下のエネルギーに色々な元素の蛍光X線が入っていることがわかる。（ $\lambda/4$ の影響で、Cu K吸収端の蛍光が観測されていることもわかる）PDを使った実験では、すべてのエネルギーのX線を検出することとなり、図6(b)に示すように、バックグラウンドが高く、原因はわからないが、特定のエネルギーでピークになるようなノイズも存在する。一方、 λ のエネルギーところにROIを設定して測定した部分収量蛍光スペクトル（図6(b)）は、PDと比較して、S/N良く蛍光スペクトルが測定できていることが一目瞭然である。こうして、現在の我々の回折計の主力のX線検出器が完成した。

5. おわりに

RXSの研究としては、観測に利用するX線エネルギーを硬X線領域から軟X線領域へと広げようとしたただけであった。また、効率良く、優れた装置を製作しようと、軟X線領域の実験の専門家と相談しながら、著者らが硬X線領域でやって来た回折実験の良いところを取り入れた装置開発を進めてきたつもりではある。しかしながら、上述のように色々な事を経験することとなり、現在の回折計群として立ち上がるまでに時間がかかってしまった。これらの装置開発・研究に携わってもらった研究者や業者などの多くの方々に、この場を借りて、感謝申し上げたい。一方で、色々悩みながら進んだ研究の中から、軟X線領域でコヒーレントX線の利用が出来る事がわかってきた。次期光源でのコヒーレンス利用に直結する研究[3]が、PFでまさに出来始めており、今後の進展にも期待頂きたい。

参考文献

- [1] <http://research.kek.jp/people/hironori/beamlines/rsxs/>
- [2] 山崎裕一, 中尾裕則, 放射光 **30** (2017) 3.
- [3] 山崎裕一, 中尾裕則, PF News **36** (2018) 12.
- [4] <http://pfwww.kek.jp/stars/>

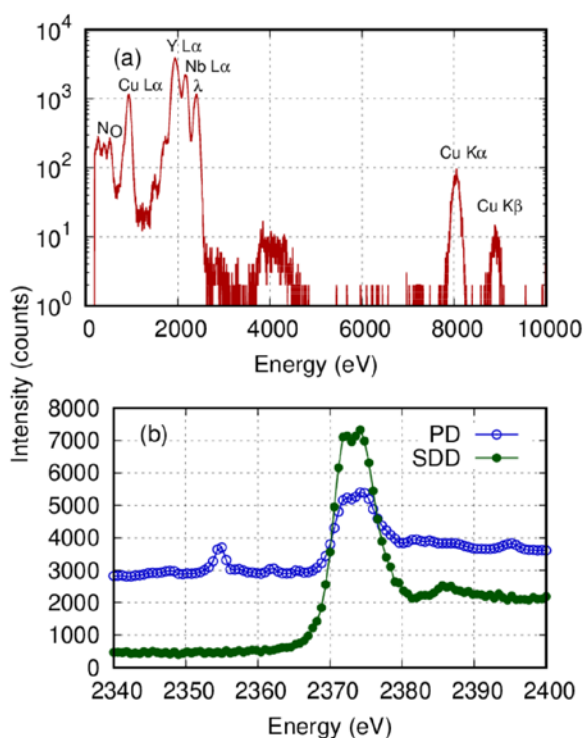


図6 (a) Nb L_3 吸収端での蛍光測定時の、SDDによる入射X線のエネルギースペクトル (BL-11B)。(b) PDとSDDで測定した蛍光スペクトル。

BL-9C を利用した担持ニッケル酸化物 ナノクラスター触媒に関する研究

千葉大学大学院工学研究科 共生応用化学専攻
博士後期課程 佐々木拓朗

私はこれまで、一國伸之教授のご指導のもと、担持ニッケル酸化物ナノクラスター触媒に関する研究を行ってきました。

ニッケルは卑金属の一つであり、貴金属代替材料として期待されています。本研究ではサステナブル社会の実現を目指した触媒設計として、ニッケル酸化物を活性種とした触媒開発に取り組みました。このとき、ターゲットの触媒反応としてアルコール類の液相酸化的脱水素反応に着目し、酸素を酸化剤とし塩基の添加を必要としないクリーンな反応プロセスの設計を目指しました。しかしながら従来のニッケル酸化物の同反応への活性は低く、より高活性な触媒の開発が必要でした。そこで本研究では、より高活性なニッケル酸化物触媒の開発手段として、ナノクラスターの活用および担体の活用に着目しました。

ナノクラスターとは数個～数百個の原子から構成される数ナノメートルサイズの集合体であり、比表面積の増加による反応効率向上だけでなく、ナノクラスター特有の触媒機能発現が期待されています。特に、春田正毅先生によって開発された担持 Au ナノクラスター触媒が示す CO 酸化反応への活性は、ナノクラスターの特異的触媒機能の代表例として広く知られています。またこのとき、担体上に Au ナノクラスターを構築することもキーファクターであり、Au と担体の界面構造が活性発現に寄与することも見出されました。この様に、担体を活用することで新たな活性サイトや反応促進サイトが発現するという、活性種と担体とのシナジー効果も期待できます。

さて、このように高活性な触媒を得るためには様々な手段がありますが、触媒を作製するだけでなく触媒のキャラクターゼーションも同様に重要であります。作製した触媒における活性種の化学状態や構造を分析することで、なぜ活性が発現するのか、あるいはなぜ高い活性を示すのか等について有益な知見が得られます。これにより触媒の活性構造や反応メカニズムを解明することができれば、ニッケルのみならず他の元素を活用した触媒についても、新たな触媒設計指針を得ることにつながります。

ここで問題となるのは分析対象がナノクラスターという非常に微細な構造を有している点です。固体試料を分析して化学種や構造を決定する際、例えば粉末 X 線回折 (XRD) が一般的に用いられます。しかしながらこの方法の場合、回折を検出するためには測定対象の長距離秩序構造を必要とし、ナノクラスターに対し XRD によって構造解析を行うことは困難です。そこで強力な分析ツールとなるのが X 線吸収分光法 (XAFS) です。XAFS は XRD とは対照的に長距離秩序構造を必要としないため、ナノクラスターの分

析が可能です。また、各種解析ソフトを用いてデータ解析を行えば分析対象の価数や化学種だけでなく、配位数や結合距離といった局所構造に関する情報も得られます。このように XAFS を活用することで一試料に対して多くの、かつ詳細な知見を得ることができます。以上の特徴から、私は XAFS をキャラクターゼーションの柱として積極的に活用し研究を進めてきました。また、この XAFS 測定を行うために、高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設の BL-9C を利用させていただきました。

修士課程一年次に初めてマシンタイムを経験しましたが、まず KEK 施設全体はもちろんのこと、実験ホールの大さに驚いたことを今でも覚えています。放射光施設という巨大なスケールの測定施設を利用したことが無かったため、圧倒されつつも新鮮な気持ちでした。初めのうちは、終夜連続的に分析装置を操作し測定を行うということに慣れず、戸惑うことも多くありました。特に深夜から早朝の時間帯は疲れと眠気が押し寄せ、サンプルセットと測定の作業を辛く感じていましたが、必ず良いデータを持ち帰るという気持ちを持ちながら、一國教授や他の学生たちと協力し合い乗り越えていました。また、実際に測定装置に手を触れ、自分の手でサンプルをセットし測定を行うことで、より明確に XAFS の測定原理やデータ解釈について理解することができたと共に、マシンタイムの貴重さや測定の難しさを実感しました。マシンタイムでは一國教授と数名の学生でメンバーを構成し、測定を行っていました。現地へ向かう道中またはつくば市内で食事を済ませ、その後ドミトリリーにて前泊し翌朝から始まるマシンタイムに備える、というのがルーティンでした。移動中や測定中では普段よりも長い時間を教授と過ごすことになりましたが、研究だけでなく様々な内容の会話をするのができたという意味でも貴重な経験となりました。

博士後期課程一年次では初めて一人だけで測定する時間を経験しました。失敗できないという責任を感じつつも、一人で大きな分析装置を操っているという満足感も覚えしました。しかしながら、ビームダンプというトラブルに一人で遭遇した時は非常に焦りました。ビームが復旧するまでこちらとしては手の施しようのないことですから、今思い返せば焦る必要もないのですが、まだまだ未熟だった当時は焦りを抑えられませんでした。

時には辛いことや大変なこと経験もしましたが、XAFS を通して多くの貴重なデータを得ることができ、研究を大きく進展させることができました。例えば、シリカ担持ニッケル酸化物ナノクラスターにおいて、界面に存在する Ni-O-Si 構造がアルコール類の酸化的脱水素反応に対する促進効果を有することを見出しましたが、XAFS なしでは得られない成果であったと感じています。

KEK の放射光施設を利用した実験という、誰もが獲得できるわけではない環境下での研究活動は私を大きく成長させてくれたと感じています。恵まれた環境で研究を行えたことに深く感謝すると共に、今後のキャリアにこの経験を活かしていきたいと思っています。

ある企業研究者が PF で高温ガス反応中の触媒構造を見た！～ビームタイムと会社タイムの共通点～

富士電機株式会社 村田尚義

2015 年度北海道大学大学院博士後期課程修了

2010 年の秋、社会人 3 年目だった私は、共同研究先である北海道大学 朝倉清高教授のご指導の下、蛍光 XAFS (X-ray Absorption Fine Structure) を用いた触媒の高温ガス反応中における構造分析に着手しました。

当時は、メタンガスを検知するセンシング技術の研究に従事しており、ガスを検知する上で触媒は欠かせない材料でした。我々はメタンガスを長期安定に検知し続けることができる触媒として、白金をドーブした酸化スズ触媒（以下、白金ドーブ酸化スズ触媒）の開発に成功しておりました。これは、それまでに一般的だとされていた「酸化スズの格子中には白金は取り込まれず、酸化スズ粒子の表面に白金は析出するものだ」という考えを覆す発見でした。しかし、果たしてガス反応中も安定に構造は維持されているのか？という疑問は残されており、長期安定性を確立する上で大きな課題となっていました。そこで、大気中のガス反応中でも構造分析を可能とする XAFS 分析に着目し、PF での実験生活が始まりました。

ビームラインでの実験は、24 時間または 48 時間の限られた時間の中で、いかに効率よく実験データを取得できるかが求められます。従ってタイムマネジメントはもちろんのこと、高温セルを持ち込んだ実験では、セルを作製する時点で、セルを設置するレール上でサンプルと X 線照射位置との関係を考慮して設計しなければいけません。サンプルの設置高さ等は、あらかじめ採寸することで解決したのですが、大きな問題点として、X 線とサンプルの間の設置角度がありました。研究の目的上、白金ドーブ酸化スズ触媒は、白金ドーブ量が希薄である上に Si 基板上に数 μm 以下で成膜していたため、蛍光 XAFS での測定は必須でした。ところが、X 線が基板に照射される角度によっては、Pt 吸収端の EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) 領域である 11600 eV ~ 12200 eV の間に、Si 基板からと考えられる回折光が強く乗ってきてしまい、解析に支障をきたしておりました。そこで、セルを用いない事前の実験の中で、サンプル角度を細かく振ってスペクトルを測定することで、回折が入らない角度が 25°であることを確認し、セルの設計寸法に反映しました。

高温セルを持ち込んだ実験では、使用する X 線エネルギーのセッティング、19 素子 SSD のセッティングから高温セルのセッティング（図 1）と慣れない作業を、朝倉教授にご指導頂きながら、四苦八苦して進めていたのがよい思い出となっています。実験は、4 人で交代して進めることになりました。セッティングが終わり、いざガスを入れた

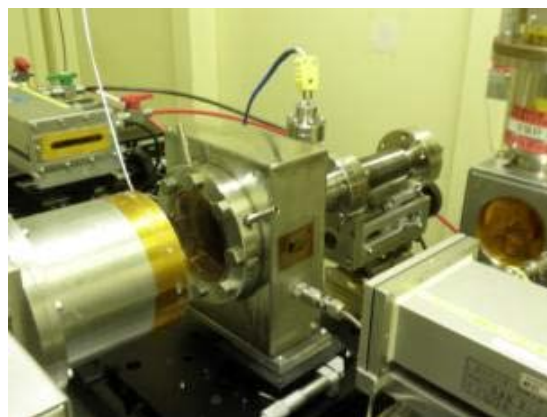


図 1 高温セル（中央）と 19 素子 SSD（手前）

昇温実験が始まると、最初の時点では順調に温度が上がり実験が滞りなく進んでいたのが交代。安心してドミトリで寝ようとしたところ、「温度が上がらなくなりました・・・」と電話があった時は、冷や汗をかいてビームラインに走って行ったのを覚えています。結局、グラファイトヒーターと電極の接触が悪くなっていたことが原因で、念入りの事前確認の大切さを学びました。

実験は、BL-12C で Pt 吸収端の EXAFS 測定を、AR-NW10A で Sn 吸収端の EXAFS 測定を行うことで、PF 施設と PF-AR 施設の両方の光源を使った実験を経験することができました。結果、白金ドーブ酸化スズ触媒は、400°C の高温中で 1% のメタンガスおよび水素ガス中でも構造を維持しており、ガス反応中の構造安定性を確認できました。また反応メカニズムとして、格子中の酸素が反応に寄与していることを明確にし、研究開発にフィードバックすることができました。

辛い徹夜作業の癒しは、冬の冷たい夜空の中で深夜 0 時に決まったように飲む、自動販売機の本一のコーヒーでした。夜空を見上げ、暖かいコーヒーを飲みながらまた頑張るか！と気合を入れ直していました。実験の合間に車による移動で、KEK の外で食べる食事もいい気分転換になり、また楽しみの 1 つでもありました。おそばやラーメンなど美味しいところが多かったのですが、特に「泉食堂」の餃子カツは好きな食べ物になりました。最初は得体が知れず恐れながら食べたのを覚えています。これが美味しく、おすすめの 1 品になりました。

2013 年に社会人として北海道大学の博士後期課程に進学し、PF と PF-AR で実施した白金ドーブ酸化スズ触媒関連の研究成果が認められ、2016 年 3 月に無事修了することができました。現在も富士電機で様々な物理量・化学量のセンシング技術の研究に携わっています。会社での仕事の重要な点は、決まった時間の中でいかに効率よく最大限の結果を出すかにあると考えています。そういう意味では、PF で培った、事前準備の大切さ、タイムマネジメントの意識を常に持ちながら実験を進めることを心がけています。

最後に、本研究でお世話になった、北海道大学 朝倉教授、PF 仁谷浩明様、丹羽尉博様を始め、実験に関わって頂いた方々に感謝致します。

PF トピックス一覧 (2月～4月)

PF のホームページ (<https://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。

2019年2月～4月に紹介されたPF トピックス一覧

- 2.1 【物構研トピックス】つくば SKIP アカデミーおよび筑波大学 GFEST の生徒が SBRC の実習に訪れました
- 2.4 【プレスリリース】海底堆積物に膨大な“微小マンガング粒”を発見～陸上マンガング鉱床に匹敵する量のマンガングが海底下に存在～
- 2.7 【プレスリリース】新材料の研究開発に有用な量子ビーム実験の計測効率を向上する手法を開発
- 2.12 【物構研トピックス】チョコレート・サイエンス @ 多摩六都科学館を開催
- 2.18 【物構研トピックス】PF ユーザーの東北大学 稲葉教授ら、細胞内の亜鉛の新しい生理的役割を明らかに
- 2.19 【物構研トピックス】蒲郡市生命の海科学館でチョコレート・サイエンスを開催
- 2.21 【プレスリリース】トポロジカル物質中の新型粒子を発見 - ディラック・ワイル粒子に次ぐスピン1および2重ワイル粒子 -
- 2.27 【物構研トピックス】研究系技術職員インターンシップ 2019 を開催
- 3.20 【物構研トピックス】2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ開催
- 3.29 【物構研トピックス】北大・KEK 連携協力協定 第9回連携シンポジウムが開催されました
- 4.1 【物構研トピックス】物質構造科学研究所新体制について
- 4.3 【物構研トピックス】共鳴X線散乱による軌道混成状態の観測
- 4.9 【物構研トピックス】私にスピンをわからせて！～ 第3回転「銀原子はなぜ曲がる？」～原子構造解明の歴史の巻
- 4.11 【物構研トピックス】ガーナより、第2回アフリカ光源加速器会議の報告
- 4.12 【KEK エッセイ #6】チョコちゃんは知ってる！？ガラスが透明な理由
- 4.15 【KEK のひと #47】自身の「なんで？」に正直に北村未歩さん
- 4.19 【プレスリリース】機械学習によりX線吸収スペクトル解析の自動化が可能に～データの類似度に着目し定量的なスペクトルの解析を実現～

PF の看板ねこ、「ねこ先生」に寄せて

PF の看板にゃんこ、ねこ先生こと“しろ”をご存知でしょうか。いつも PF 光源棟玄関や PF 駐車場で悠々と過ごしていた、とても賢く人懐っこいにゃんこです。PF の職員やユーザーの皆さんの中にも“しろ”ファンが多くいらっしゃり、撫でたり餌をやったりとても可愛がられていました。KEK の一般公開では、ねこ先生としてTシャツやホームページに出演し、さらには来訪されたお客様のおもてなしをするなど大活躍でした。そんな PF の人気者のしろですが、5月のある日、ふと姿を見せなくなり待てども待てども戻って来ることはありませんでした。私も、主不在のお家や餌場を見るたびにしろのことを想い、悲しい気持ちになっていました。

ねこ先生不在で寂しかった PF にも、去年の秋ごろから、しろの後輩にゃんこ“ちゃしろ”が遊びに来てくれるようになりました。ちゃしろは短いしっぽがチャームポイントの若干2歳のわんぱく子にゃんこ。どうか皆様これからも PF の（未来の）ねこ先生をどうぞよろしく願いいたします。（北村未歩）



ある秋のあたたかい日のしろ（田中宏和さん撮影）



はじめまして、ちゃしろです

PF 滞在記

構造生物学研究センターでの日々

東京大学大学院農学生命科学研究科
博士後期課程 降旗大岳

筑波大学を通り抜け、つくば市を南北に走る東大通りを10分程度、右手に筑波山を見ながら緩やかな長い坂道を上り、左側の「宇宙・物質・生命の謎を解く」と書かれた横断幕を通り過ぎると、金色の文字の高エネルギー加速器研究機構の看板が見えてくる。入り口のゲートで守衛さんと挨拶をして、ガラス張りの研究本館と展望台のある3号館の間を通り抜けて、正面に Linac を見ながら進むと、右手に構造生物学研究センターがある構造生物棟に到着する。構造生物学研究センターは高エネルギー加速器研究機構の中で生命科学の研究活動を中心に行っている。筆者はこの構造生物学研究センターで総研大生として博士課程の最初の2年間で、タンパク質の結晶構造解析を中心に学んだ。この滞在記では、構造生物学研究センターでの日々を書いていきたいと思う。

一年目の最初の頃は、研究をするために基本となる分子生物学や、より専門的な構造生物学について、教科書を先生と読み進めていった。筆者は大学院から本格的に生命科学に取り組み始めたため、一つ一つの概念や現象を理解していくことに時間がかかり、準備をして授業に臨むと先生方がずらずとその内容を話すのに驚いていた。研究室のミーティングの発表内容も、どこから理解していけばいいのか見当がつかなかったが、質問などを中心に意識して聞くことを薦められ、毎回集中して聞いていた。その時間いていた発表や質問は、現在でも役に立っていて、参考にさせて頂いている。夏になると、学部3年生が主に参加する KEK サマーチャレンジに TA として参加した。秋実習では BL-6A で小角散乱の実験をして単量体におけるアクチンと多量体におけるアクチンの構造の比較をした。参加している学部生の議論や考察、感想を聞いて、タンパク質の構造を考えることの面白さを再確認することができた。

研究テーマを決めて、そのテーマのタンパク質の発現・精製・結晶化を始めると、それまで見えてこなかった研究の一面が感じられ、実験を正確に行っていくことの重要さと難しさを痛感した。目的のタンパク質を大腸菌で発現させて、量を減らさずに純度を上げていく精製の過程は、目的のタンパク質の性質とどう向き合ったかの答えが示されていて、どのように精製をするのか考えていくことにも楽しさを感じていた。結晶化では、精製したタンパク質に対して、緩衝液や塩、沈殿剤の種類や濃度などを変えて、結晶化する条件を探す。どの種類をどの濃度で扱うのかは、

それまでの発表で聞いた成功例や同じテーマを持つ共同研究者の実験結果の話から候補を絞った。100種類程度の結晶化の溶液を調製し、何度か結晶化を試みて、最終的に類似のタンパク質の結晶化の条件を参考にすることで、目的のタンパク質の結晶が得られた。その結晶に BL-1A で X 線を照射することで高分解能の回折データが得られ、タンパク質の構造を決定することができた。決定した構造から、そのタンパク質の機能に関わる新たな考え方を見出された。先生や研究室の方々とのミーティングや議論を通して、実験結果から導かれる結論とそれに基づく考え方の修正を行った。内容がまとまった頃に分子生物学会に参加することができ、初めてお会いした方でもポスター発表を最後まで聞かれる方もいて、それまでの日頃の研究生生活の大切さを痛感した。今回決定した構造の結果は学会のワークショップでも取り上げられ、一つの結果を他分野に広げて発展させていく場面を見ることができた。この学会は、筆者の考え方を認定研究レポート（修士論文に相当する）としてまとめていく更なるきっかけともなった。

学会後、認定研究の審査（修士課程の審査に相当する）に臨み、無事に修士号を取得することができた。またその内容を量子ビームサイエンスフェスタで「細胞内 GTP センサーの進化的解析に向けたナメクジウオ PI5P4K の X 線結晶構造解析」としてポスター発表を行い、学生奨励賞を頂いた（図1）。この賞は構造生物学研究センターでの日々により得られたものであり、構造生物学研究センターの皆様から多くの協力を頂いた結果である。研究は千田俊哉教授と加藤龍一准教授のご指導のもとで行われたものであり、特に原田彩佳研究員には丁寧なご指導を頂いた。構造生物学研究センターの皆様に感謝申し上げる。その後、東京大学大学院農学生命科学研究科の博士後期課程に進学し、宮川拓也特任准教授のご指導のもとで、引き続きタンパク質の結晶構造解析に取り組んでいる。最後に、執筆の機会を頂いた編集委員の方々に感謝申し上げる。



図1 2019年度量子ビームサイエンスフェスタ奨励賞受賞式(2019年3月12日)での筆者(右から4番目)。

AR-NW10A, BL-9A を利用した鉱物顔料 アタカマイトの合成過程に関する研究

千葉大学大学院融合理工学府先進理化学専攻化学コース
博士前期課程 2 年 林 実貴子

今回、PF 滞在記を執筆させていただきます、林実貴子と申します。私は千葉大学大学院融合理工学府の環境分析化学研究室に所属し、沼子千弥准教授のご指導のもと、鉱物顔料であるアタカマイト (Atacamite, $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$) の合成過程に関する研究を行っています。アタカマイトは塩基性塩化銅鉱物の 3 つの多形のうちの 1 つであり、アジア独特の緑と呼ばれたその鮮やかな色彩は、古来より多くの人々を魅了し、顔料として利用されてきました。

アタカマイトの合成には、銅イオンを含む水溶液にビュレットから水酸化ナトリウム水溶液を滴下する滴下合成法を用います。これまで種々の条件で合成した生成物について、結晶性物質は、大学にて粉末 X 線回折法による鉱物相の同定を行っていました。しかし、溶液から沈殿生成の過程で生じた非晶質成分がどのような化学状態にあるのか、また、生成過程における多形の競合性については疑問が残ったままでした。そこで、滴下合成中の非晶質成分の化学状態を調べるために 2018 年 5 月 19、20 日と 5 月 27、28 日に、AR-NW10A, BL-9A でそれぞれ実験を行いました。短期間のうちに PF-AR と PF 両方を利用し、放射光実験デビューを飾るという贅沢な経験をしましたので、本記事では、そのときの実験の様子を書きたいと思います。

私にとって初めての放射光実験で不安はありましたが、できる限りのことを精一杯やろうと決め、研究室の先輩の応援を受けてつくば市に向かって出発しました。渋滞もなく予定通り 2 時間程でつくば市に到着し、手続きを終わらせて、翌朝から利用する BL-NW10A の下見に行きました。ビームラインに着くと、千葉大学大学院融合理工学府の物理化学系研究室に所属している友人らが実験しており、「千葉大から千葉大へのビームライン引き継ぎですね！」と盛り上がりました。友人らにエールを送った後、宿舎に移動しました。夜は、翌日から一緒に共同研究先の方々とお洒落なイタリアンのお店で夕食をとりました。先生方から赤ワインのたしなみ方を伝授されましたが、ワインの世界の奥深さを知るには、私の五感はまだ未熟だったようです。

翌日の朝 8 時半、朝ご飯をしっかりと食べて、いざ PF-AR に向かいましたが、ビームダンプに遭遇、復旧までは休憩室で待機になってしまいました。しかしさほど待つことなく復旧し、強運の持ち主である沼子先生の力を間近で実感しました。

前述の通り、今回のビームタイムでの私の目的は滴下合成中に生じる非晶質成分の化学状態を調べることです。滴下合成と測定を並行して行うために、ビュレットや pH メーター等、滴下合成に必要な実験器具を施設内に持ち込み、

ビームラインに併設された実験室で合成を行いました。合成直後の沈殿試料をポリエチレンの袋に封入した後、急いでハッチに運び、透過モードで測定するというのが今回のルーティンでした。私が合成に集中している間は沼子先生が測定を担当してくださったのですが、24 時間という限られたビームタイムの中では、先生の素早い測定に何度も助けられました。お昼過ぎから始めた合成実験も、気がついた頃には時計の針が午前 3 時を回っていました。私は昔から夜は早めに就寝し、睡眠時間もたっぷりとする方で、徹夜の経験もなかったのですが、あの時ばかりは滴下合成ハイになっていたのかもしれません。

幸運にも、翌週もビームタイムが割り振られておりましたので、再び合成に必要な実験器具一式を持ち、PF に向かいます。2 週目は BL-9A を利用しました。基本的には先週と同様、私が合成し、沼子先生が測定するという役割分担で行いましたが、今回は私自身 2 回目ということもあり、1 人だけで測定する時間も経験しました。失敗できないという緊張感の中、丁寧かつ素早く試料交換を行いながら、基本に忠実に測定を進めました。緊張感もありましたが、今私はこの大きな実験装置を 1 人で操作しているのだという快感もありました。

繰り返し測定をかけて、先生とお昼ご飯を食べに行きました。事前に、つくば市内にはご飯屋さんがたくさんあるとは聞いていたのですが、たしかに和食から中華、イタリアンからメキシカンまで様々なお店が軒を連ねており、とても驚きました。その中でも先生が学生の頃から利用していた美味しいと評判のつけ麺屋さん『丸長』で昼食をとることにしました。私はデフォルトのつけ麺 (600 円) を頼みました。麺はもちもちでつけ汁はピリッと辛く、あっさりした味付けでとても美味しかったです。最初は麺の量が多めに感じましたが、あっという間に完食してしまいました。つけ麺『丸長』おすすめです！

PF に戻り、実験を再開しました。実験のペースをつかみ、徐々に慣れていきましたが、いつビームダンプやトラブルが起こるかわからないので、油断せずに合成と測定を進めました。予定していた合成実験をすべて終えたのは、深夜 2 時頃だったと思います。このタイミングで私は一度宿舎に戻り、仮眠を取りました。再びビームラインに戻ったとき、早朝にビームダンプがあったと聞いて焦りましたが、無事にすべてのデータを取り終え、持ち帰ることができました。

初めての放射光実験は、右も左も上も下もわからない状況で、不安と楽しみが入り混じった気持ちでした。しかし放射光実験は誰もが経験できることではないですし、1 時間程ではありましたが、1 人だけで測定していた時間の緊張感と満足感は今でも鮮明に覚えています。今年 5 月のビームタイムには就職活動の関係で参加できず、測定をお願いする形になってしまいましたが、得られた測定データから 1 年の経時変化を見るのが楽しみです。放射光実験で得た結果と貴重な経験を、今後の研究生活に活かしていきたいと思います。

量子ビームサイエンスフェスタ学生奨励賞受賞に寄せて—PF とサマチャレと修士論文研究—

東京工業大学 理学院化学系化学コース
修士課程修了 江尻智一

此度、2018 年度量子ビームサイエンスフェスタのポスター発表において学生奨励賞に選出していただきました。指導教員である東工大の北島昌史先生をはじめとした共同研究者と河内・北島研究室の皆様、PF BL-20A を担当されている足立純一先生、並びに選出していただいた実行委員会の皆様に、この場を借りて御礼申し上げます。

修士課程での研究は、電子と気体分子の衝突実験を、衝突エネルギーが 100 meV を下回る超低エネルギー領域で行うというもので、PF で実験を行いました。電子衝突実験でなぜ放射光？と不思議に思われるかもしれませんが、北島研では、Ar にそのイオン化ポテンシャルと等しいエネルギーの放射光を照射することで生成する、運動エネルギーがほぼゼロの光電子をビームに整形して実験しています。これは、電子源に一般に用いられる熱フィラメントでは超低エネルギー電子ビームの生成が極めて困難なためです。

では放射光を使えば実験は楽々なのかといえば全くそんなことはありません。実験を行った BL-20A では、ユーザーが個々に所有する実験装置をビームタイムの度にビームラインに取り付け/取り外して実験します。BL-20A は実験ホールの 2 階部分にあるため、実験装置をクレーンで吊り上げて 2 階部分に運ぶことから始まり、真空引きなどのセットアップをし、電子ビーム調整を行います。この一連の作業はビームタイム毎に必要で、実験ができるようになるまで最低でも 4 日はかかります。実験本番も、実験の特性上、PF リングが Top-Up 運転でないと正確なデータが取

れなかったり、1 つの分子の測定にも長時間かかるなど、非常に大変でした。ビームタイムはどんなに短くても 1 週間、長いと 1 か月にも及びました。一番つらかったのは、アンモニアの測定をしていた際、ターボ分子ポンプが壊れたときです。1 か月間のビームタイムの終盤で疲れていたもので、本当にやる気がなくなりました（笑）一方で、その後のビームタイムで無事データが取れたときは嬉しかったです。

PF での缶詰め実験生活を送っていると、一緒に実験している人以外の人と会う機会がほぼなくなります。そのような環境の中で私が恵まれていたのは、サマチャレで知り合った人と PF でたまに会えることでした。私は学部 3 年次に第 9 回のサマチャレに参加しました。物質・生命コースの演習で特にお世話になった、慶應義塾大学の近藤寛先生と吉田真明先生（現・山口大学）や当時私の演習班の TA をしてくださった方に会って話をするのがささやかな楽しみでした。今回の受賞で、サマチャレでお世話になった方々に私の成長した姿を少しでも見せることができたと考えております。

サマチャレは学生時代に最も楽しかったと言っても過言ではないですね。PF という巨大な施設で実験する初めての機会、実験することは勿論楽しかったですが、様々な人と出会えた点も非常に良かったです。素核コースか物生コースかに関係なく多くの友人ができました。サマチャレ後は、料理が得意な素核コースの友人の家にサマチャレのみんなで集まり、その友人の作る手料理を食べたり持ち寄ったお酒を飲む会を定期的に開いていました。今でもサマチャレ時代の友人たちとお酒を飲みに行ったりしています。

第 11 回のサマチャレでは物生コースの演習 TA を担当しました。TA の仕事は事前準備が中々大変で、自分が学生の立場でのほほんと参加したとき、裏では TA や先生方が大変な下準備を沢山されていたことを思い知りました。私が学生として参加した際の先生方や TA の皆様には頭が下がる思いです。TA の仕事は大変でしたが、演習で担当した学生が 1 年後に PF に研究のために実験しに来ていたのを見たときは少し報われた気分になりました。

現在は、某精密機械メーカーで、主力製品の心臓部に用いる金属材料の研究開発に携わっています。大学院までとは全く異なる分野なので勉強すべきことが沢山あり大変ですが、充実した日々を送っています。これまでの経験のお陰で、金属の加工や分析に真空や X 線などを用いることに抵抗なく着手できたことはとても良かったです。一方で、加速器のような超巨大設備にお目にかかることはなくなり、今になって PF で実験したという経験は本当に貴重だったのだなとひしひしと感じています。PF での経験を今後の仕事にも活かしていければと思う今日この頃です。

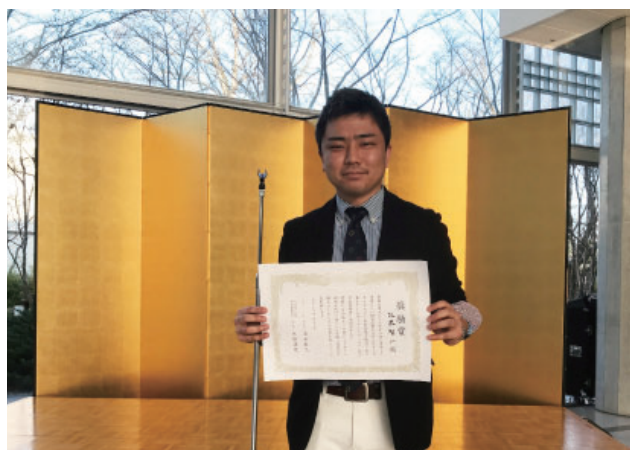


図 1 量子ビームサイエンスフェスタ奨励賞の賞状を持つ筆者。都合により、授賞式は欠席となった。

PF トピックス一覧 (5月～7月)

PF のホームページ (<https://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。

2019 年 5 月～7 月に紹介された PF トピックス一覧

- 5.8 【物構研トピックス】PF ユーザーの東京大学などの研究グループ、「軌道弾性効果」の実証に成功
- 5.20 【物構研トピックス】2019 年 5 月 20 日、キログラムの定義改定
- 5.23 【プレスリリース】衝撃破壊の瞬間、材料に何が起るのか ～パルス X 線の応用でナノ秒間に起こる現象の目撃に成功～
- 5.30 【物構研トピックス】イマドキの生物学者になってみよう @多摩六都科学館
- 5.31 【物構研ハイライト】超高真空を保つために ～ KEK 技術賞受賞！新しい非蒸発型ゲッターコーティング、非蒸発型ゲッターポンプの開発～
- 6.18 【物構研トピックス】育児休業を終えて ～男性研究者の育休体験記～
- 7.4 【KEK エッセイ #10】百万回は一見に如かず～光を作る工場
- 7.6 【物構研トピックス】KEK 公開講座「生物学におけるクライオ電子顕微鏡」を開催
- 7.12 【物構研トピックス】物構研（見学つき）サイエンスカフェ「キログラムの定義改定に貢献した超精密放射光実験とは？」を開催
- 7.17 【KEK エッセイ #11】KEK ネコ事情～うちの しろ知りませんか～
- 7.29 【物構研トピックス】「チームチョコレート・サイエンス」が日産財団リカジョ賞準グランプリを受賞

新しく博士課程に進級された学生さんへ PF ニュースであなたの修士論文を紹介しませんか？ 博士論文も歓迎します！

PF ニュースでは、新しく博士課程に進級された学生さんの修士論文の研究内容を紹介するコーナーを設けております。PF で頑張って実験されている博士課程の学生さん自身の紹介、また、その研究内容をアピール出来る場です。我こそはという博士課程の学生さんは、ぜひ下記のフォーマットに従い、あなたの修士論文の研究を紹介して下さい。また今年、修士課程から博士課程へと進学する学生さんが所属される研究室の指導教員の方は、積極的に学生さんに PF ニュースへの投稿を勧めて頂ければ幸いです。

【投稿資格】PF/PF-AR のビームラインを利用した研究に関する修士論文を執筆し、修士を取得した方。

【投稿フォーマット】

1. 修士論文タイトル
2. 現所属、氏名、顔写真
3. 連絡先メールアドレス（希望者のみで可）
4. 修士号取得大学、取得年月
5. 実験を行ったビームライン
6. 論文要旨（本文 1000 文字以内）
7. 図 1 枚

【原稿量】

図とテキストで刷り上り 1 ページ（2 カラム）。

【提出物・提出方法】

文字データと図表データをメール添付で PF ニュース編集委員会事務局・高橋良美（pf-news@pfqst.kek.jp）までお送り下さい。

DESY 滞在記 ～生活スタート編～

放射光実験施設 石井晴乃

こんにちは。放射光実験施設の基盤技術部門の石井晴乃です。この度 KEK の長期海外派遣制度を利用させていただき 2019 年 5 月 4 日から 2020 年 5 月 9 日までの約 1 年の予定でドイツのハンブルグにあるドイツ電子シンクロトロン (DESY, Deutsches Elektronen-Synchrotron) に滞在しています。DESY は現在 PETRA III や FLASH など複数の加速器を運転しており、それらすべての加速器の制御を Machine Control System (MCS) グループが担当しています。私は今 MCS グループに加わり、加速器等の制御用インターフェイスの開発に携わっています。この度 2 回に分けて DESY 滞在について紹介いたします。今回はこちらでの生活に関して述べていきます。

ご存知の方も多いと思いますが、DESY は北ドイツにあるハンブルグの中心から北東に少し離れた場所に位置しています。DESY エントランス前には DB 社と呼ばれるドイツで最も大きい鉄道会社のバス停があり、ハンブルグ空港からは同社の電車とバスを利用して約 1 時間で到着することができます。私は DESY でお世話になっている MCS グループの Jan さんに迎えに来てもらうことができ、特に問題なく DESY へ着くことができました。ただ、到着日が日曜日だったためスーパーやレストランはほとんど開いておらず初日は日曜日にも営業している店を探し食事をしました。ドイツでは大きなショッピングモールでも祝日や日曜日は営業していないので日本の感覚で買い物や食事ができないことに最初は少し戸惑いました。

DESY の敷地はとても広く実験施設や職員の居室建屋のほかにも様々な施設が充実しています。私が DESY に来てから、住む場所を決めるまでの間滞在していたゲストハウスも敷地内にありますし、食堂やカフェ、銀行、図書室、運動場のほか保育園のようなものもあります。DESY の周辺は住宅街となっていますが、敷地に隣接するように警察署もあり徒歩 10 分以内にはスーパーなどもあります。この一帯は比較的治安もよく静かで住みやすいですが高級住宅街でもあるため家賃は決して安くはないです。私は DESY のハウジングサービスを利用して現在住んでいるアパートを見つけたのですがこの一帯のアパートの貸し出しはそこまで多くなく、貸し出してあっても大家さんに連絡を取ると貸し出しがすでに決定しているケースがあり人気です。私は一軒家の屋根裏部分を借りて住んでいるのですが、かなり広く家具もあらかじめ揃っているため消耗品の購入だけで済みとても助かりました。DESY までは徒歩 30 分ほどですが平坦な道ですし景色を見て歩くのも楽しい道で苦になりません。

こちらでの生活基盤を整えるにあたり一番苦労したのはビザの取得です。私は長期海外派遣が決まったタイミングが遅く日本でのビザの取得が間に合いませんでした。なのでドイツでビザを取得する必要があったのですが、やはり手続きの手順がややこしく現地の方が手伝ってくれなければどうなっていたかと思うと恐ろしいです。手続きのサイトなどを確認すると、住民登録をすればビザの手続きに移ることができるように書かれていますが、実際は住民登録のためにアパートの契約をする必要があります。一方、アパートの賃貸料金を支払うための口座を開設する必要があるが、口座の開設には住民登録が必要です。また、手続きのために行く役所も地域によって違いますし、平日の営業時間も日本と違い曜日ごとに異なるため下調べが必要になります。私は手続きの大半を DESY の方に手伝ってもらい行いましたが、やはりこのような手続きは現地の方に聞くのが一番だと改めて痛感しましたし、DESY の方であれば役所での信頼も厚くスムーズに手続きが進む傾向にあるようです。

一方で日本にいたころに心配していた食事に関してですが、思っていたよりも大分よかったです。平日は DESY の食堂で昼食をとるのですが、メニューの幅広がり肉や魚だけでなく野菜も充実していますし、スーパーに行くと米や醤油などであれば日本の食材が売っています。電車で 30 分ほど行けばアジアマーケットがありそこではより豊富な日本の食材や雑貨が購入できます。手続きや生活基盤が整った後は少し余裕ができ週末などは電車で行ける範



図1 ハンブルグで行われたワインフェス。8～9月は様々な地域でワインフェスやビールフェスなどが行われるそうです。

囲で外出をしたり、市場などに行き交流をしたりしておりドイツの生活に少しずつ馴染んでいます。(図1)

私の今回の長期出張の目的はMCSグループの制御技術と放射光施設のビームラインインターロックやビームライン制御技術のコラボレーションと交流です。残り半年という長いようで短い期間ですが今より積極的に技術を学び、また交流の輪を広げていかなくてはいけないと感じています。次回はDESYでの仕事をメインに紹介していきます。より実りのある報告ができるよう努力いたしますので、この先も見守っていてくださればうれしいです。

そしてこの度このような貴重な機会を与えてくださったKEKそしてPFの皆様に御礼申し上げます。

SOLEIL 滞在記

加速器第六研究系 山本尚人

はじめに

2018年6月初旬より2019年3月末まで、フランス・パリ近郊に位置する放射光利用施設SOLEIL synchrotron(以下SOLEILと略す)に滞在した。本滞在はKEKの長期海外派遣制度を利用したものであり、SOLEILでは加速器部門加速器物理グループに所属した。

SOLEILは2008年にユーザー利用運転を開始したいわゆる第3世代の放射光源加速器であり、電子エネルギー2.75 GeV、周長354 m、水平エミッタンス約4 nm-radの蓄積リングが放射光発生リングとして利用されている。現在、稼働しているビームラインは合計29本である。SOLEILでは2024年頃から蓄積リングのアップグレードを目指しており、現在は極低エミッタンスを目指すラティス改造の検討が精力的に進められている。本計画はアップグレードであるため、加速器トンネルの再利用は勿論、各ビームラインでの放射光発生位置・放射光エネルギーの維持、ハイブリッドフィルや数バンチフィルなどの運転モードの維持がユーザー側から求められている。SOLEILの加速器物理グループではこのような厳しい制約のもと、偏向電磁石のマルチバンド化をはかり、ラウンドビームでエミッタンス約50 pm-radを達成するラティスを提案している。SOLEIL滞在中の私の研究については加速器学会誌[1]にて概要を寄稿したので興味のある方はそちらを参照して頂きたい。本滞在記では研究からは少し離れてSOLEILでの日々の生活について紹介したい。

SOLEILの1日

私が所属した加速器物理グループはビームダイナミクス・ラティス関連の仕事を主に担当し、ハードウェア関連の業務にはあまり携わらない。既存リングのコミッショニング、運転・オペティクス調整が主な業務であり、約2名を中心として担当していた。他に5名がアップグレードリングのラティス開発、ビームダイナミクス・入射検討に専

念しており、これら業務はスーパーコンピュータを用いたデスクワークが主体となっていた。従って、打合せ等の予定がなく運転シフトに当たっていない場合は思い思いの時間に勤務を行っていた。

フランスでは14歳以下の子供は常に保護者の監視下に置かなければいけない。このため、子供を持つ職員はホームシッターを雇うか子供の学校の都合に合わせた勤務態勢をとるかのどちらかになる。ただし、公立の幼稚園・学校でも通常の始業時間の前の7時ぐらいから夜19時ぐらいまで子供を預けておけるシステムがあり、例えば外国人でも収入に合わせた適正な価格で利用できる。

私も6歳と4歳になる子供2人を連れて赴任したためこの問題に直面した。我々は言葉やお金の問題があったためホームシッターは雇わず、学校に延長保育(学習)を申請しその間にSOLEILに出勤することにした。このため、子供達は一日10時間程度、日本語の全く通じない学校で過ごすこととなった。これについては子供達には辛い思いをさせたと感じている。

私の出勤は、路線バスで子供を小学校に送り届けることから始まる。学校の門が開く時間はわずか10分のみでこの時間に全学年の子供が一斉に集まる。門に入った子供達はクラス毎に集合し、担任の先生に引率され一斉に教室に入る。私も他の保護者らとともにこれを見送った後、最寄りの駅から満員電車と満員バスを乗り継いでSOLEIL施設に向かう。電車では移民の国を象徴するかのように多種多様な人が乗り合わせていた。SOLEIL方面に向かうバスはマッシーというTGVの駅も隣接する駅から朝・夕に集中して出ており、パリサクレ大学の一部であるエコール・ポリテクニック構内を走り抜ける。このため、乗客のほとんどが学生であり、車内はいつも熱気に溢れていた。また、このバスは専用道路を走るため朝夕のパリの渋滞を回避でき非常に便利な交通手段であった。

朝、SOLEILにつくと居室に向かい同室のメンバーとBonjour, ça va?の挨拶後に、研究を開始する。12時30分ぐらいになるとグループメンバー内で声を掛け合い連れだって食堂に行く。グループメンバーのほぼ全員が一斉に揃うのは週一回のミーティングを除いてこの昼食の時間であり、研究で直面している課題からプライベートなことまで幅広く会話を楽しむ時間となっていた。食堂にはSOLEILから補助がでておりスタッフは定価の半額以下(1食5ユーロ程度)で食事をとることができる。メニューは流石食の国フランスという印象で前菜・メインディッシュ、そしてデザートまでバラエティに富んでいた。ワインやビールなどのアルコール類ももちろん手に入る。料理は味も量も申し分なく私は日々この食堂で活力を得ることができた。

この食堂にはビームラインスタッフやユーザー、他の加速器グループメンバー、そしてSOLEILのディレクター達も一斉に訪れる。お昼の時間は広い食堂もほぼ満席となるため、これらの人が席を譲り合ったり肩を寄せ合ったりして食事をとることになり、自然に交流が生まれる。このため、加速器メンバーとビームラインメンバー、施設の運営

に携わる者と若く熱意溢れる研究者などが意見を交わし合う非常に良い交流の場となっていると感じた。身分に関係なく、また欧米特有のファーストネームで呼び合いつつ語り合える環境は各々の研究者がモチベーションを保ち、施設全体での人間関係を良好に保つのに非常に有効であると感じた。

昼食及び食後のコーヒーを一時間以上かけ済ませると Bon après-midi. の挨拶の後、居室に戻り研究の続きを始める。SOLEIL は郊外にあるため周囲は緑が多い、窓の外ではまぶしい太陽の下数頭の羊がのんびり草を食む、このような景色を時折眺めつつ食後の緩やかな眠気の中、パソコンに向かう。

夕方、17時を過ぎる頃になると、SOLEIL も人が少なくなる。ただし、研究者には遅くまで残っている人も多いようであった。SOLEIL リングが 24 時間運転であることもその理由かもしれないが、SOLEIL の研究者は日本人と比べても劣らないぐらい仕事熱心であるように感じた。ただし、休日（いわゆる bank holiday）はしっかり休むようである（私は間違えて bank holiday に一度出勤したが路線バスそのものがほとんど動いておらず、なんとか SOLEIL に到着したものも誰も人はいなかった。施設内に入るとは可能であった。）。また、bank holiday 以外の休暇としてバカンスが春夏秋冬にあり、人によって期間は異なるが夏は 2～4 週間、それ以外は 1 週間程を各自確保しているようであった。

SOLEIL の言語事情とミーティング

SOLEIL 施設の公用語はフランス語であり、人によっては英語は全く通じない。話さないのではなく話せない。研究職のスタッフであってもシニアには片言の英語しか話さない人もいる。聞くところによると現在のフランス学校教育でも第二外国語に英語を選ぶ人はほとんどいないらしい。

SOLEIL ではフランス語を母国語としない人向けの言語学習カリキュラムが存在し、対象者は週 1 度 90 分間のクラスを受講することができる。クラスはレベル毎に分かれ 1 クラス最大 4 人程度で開催される。私の場合は毎週月曜日の午前中にその時間が設けられた。クラスは基本フランス語で進み、専用のテキストを用いて行われるが、英語での質問は受け付けてもらえた。ただし、私以外の受講者はヨーロッパ圏の出身で母国語の言語体系や文化的な慣習も似通っているためか理解が早く、私はついて行くのに必死となり週末は予習・復習に時間を要した（滞在時期後半にはサボり気味であったが）。

幸い、私の属したグループでは全員英語を理解できたため、私の参加するグループミーティングでは英語を使用してもらえた。私の滞在期間、グループミーティングは週一回行われた。目的は各自の課題について進捗を述べ、問題点などを議論するためである。私の滞在時はアップグレードラティス検討の重要な時期であったため、検討課題も多く毎回予定時間を越えて密度の濃い議論を行っていた。ま

た、議論が盛り上がりと言語はいつのまにかフランス語に変わっていった。「英語は苦手なのでフランス語を使わせてもらうね。ごめんなさい。」と断ってくれる人もいたが、私としてもちょっとしたニュアンスの違いも無視できない重要なことを議論するには母国語が一番だと感じた。ちなみに、スイスのポール・シェラー研究所（PSI）では英語が公用語になっているらしい。

私も滞在して数ヶ月経ってきた頃には、加速器関連の専門用語がわかるようになり、フランス語の簡単な文法や表現がわかってきたため、白熱する議論の中で何を話しているかぐらいはわかるようになってきた。SOLEIL としてもアップグレードを検討する重要な時期にわずか 10 ヶ月程度であるが、その議論の場に立ち会えたことは貴重であったと感じる。

また少し話題はそれるが、打合せ室には「良い会議の方法」という張り紙があり、「時間通りに始まり、時間通りに終わる」「目的を明確に、発表資料はわかりやすく」「無言は賛成とみなす」などと箇条書きで記されていた（フランス語で書かれていたため意識）のが印象に残っている。

最後に

KEK 長期海外派遣制度を利用しフランス、SOLEIL synchrotron に 10 ヶ月滞在した。渡航前にフランス語を全く勉強したことのなかった私そして私の家族にとって、言語の問題はあったが渡航先に SOLEIL synchrotron を選んだことは正解だったと思う。その理由は、私の研究内容とのマッチングは当然であるが、ヨーロッパ・北米を含めて随一の食の豊かさ、他のヨーロッパ諸国・研究機関への良好なアクセスである。パリ郊外の歴史ある静かな町のほぼ一年中バラの咲くアパートに住み、家族とともに豊かな食材に囲まれて過ごせた 10 ヶ月はかけがえのない日々であったと思う。今後、KEK-PF、PF-AR もますます難しい時期に入ってくるが、この出張で得られた経験・人脈を活用し研究に邁進していきたいと思う。

最後に本出張の期間に日本からバックアップして下さった坂中教授、高橋氏、私の滞在を暖かく受け入れて下さった SOLEIL の皆さん、そしてフランスでの私の研究を支えてくれた妻と子供達に感謝申し上げます。

- [1] 山本尚人, 「Synchrotron SOLEIL 長期滞在報告」加速器 Vol. 16, 119-123 (2019).

BL-3A を利用した $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ における三量体形成の観測

広島大学大学院先端物質科学研究科
量子物質科学専攻 博士課程前期2年 尾園優作

それを告げられたのは、卒業論文を出し終えて達成感に満ちていた学部4年生の春休みのことだった。「尾園君、共鳴X線回折実験をやってみませんか。」この一言が私の研究生活を大きく変えるものになるとは、その時はまだ知る由もなかった。

その一言をかけたのは、筆者の指導教員である松村武准教授。筆者は、広島大学先端物質科学研究科量子物質科学専攻に所属し、希土類化合物の磁気構造の研究を行っている。特に、変形カゴメ格子を形成する $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ について研究している。 $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ は基礎物性の測定結果から、Gd がスピン三量体を形成していることが示唆されていたが、それまでに見つけていた三量体を形成する化合物は絶縁体化合物や、長距離秩序の超交換相互作用がある化合物であり、金属化合物かつ局所的な f 電子化合物、しかも軌道角運動量が 0 の古典的なスピン系の Gd で本当に三量体が形成されているのであれば、非常に珍しい化合物である。Gd の磁気構造を観測すれば、三量体を形成しているのかをミクロの視点から明らかにすることができる。筆者は、学部4年生の頃は Ce 化合物の基礎物性測定をメインに行っていた。今まで見てきた物質の基礎物性の結果と比べても、 $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ は確かに面白そう。「やってみます」と一言返事し、松村先生の部屋を後にした。

2018年6月、ついに放射光実験のデビュー戦が始まった。PF の大きさに驚愕し、見たこともない実験装置に目を輝かせたのも束の間、いよいよビームタイムが始まった。まず実験装置とビームの調整。手際よく準備する松村先生を横目に、未知の実験装置に戸惑った筆者はただ見ていることしかできなかった。準備開始から約15時間後、準備が終わりどうやらここから実験開始のようだ。時刻は深夜1

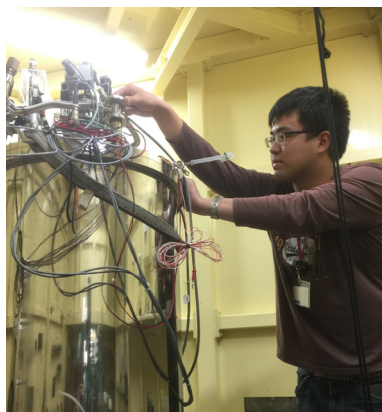


図1 実験準備中の筆者

時。プログラムを操作しビームを照射。軸立てをし、温度を変えながら回折X線を測定していく。「あっ、出てきた」少し興奮した様子の松村先生の一言で、深夜のぼやけていた意識が一気に覚めた。画面を見ると1つのピークが映し出されていた。確かにピークが出ている。このピークはきっと何かを伝えているのだろう。でも、筆者はこの一本のピークが何を表しているかわからず、興奮している様子が正直分からなかった。そうこうしているうちに、ビームタイムは幕を閉じた。結局筆者はあのピークの表している内容が分からず、PF のデビュー戦は完敗だった。もやもやした思いと眠気覚ましに飲みすぎた缶コーヒーのせいで、ちょっとした気分の悪さとともに広島へ帰った。

PF から帰ってきて測定データの解析を進めようとしたが、如何せんデータが多い。どうまとめたらよいか。あのピークには何が隠されているのか。全く分からず、まさに五里霧中だった。「やってみます」と言った過去の自分を恨んだ時期も正直あった。でも、頭の片隅にはあの基礎物性のデータが残っていた。「面白そう」と思った直観だけを支えになんとか続けていったような気がする。

それから5か月後の2018年11月。筆者は再びBL-3Aに来ていた。今度は偏光解析装置を用い、磁気秩序の様子を散乱面内と垂直成分に分離して測定することで、磁気秩序の観測に挑む。準備を終えいよいよ測定。回折X線のデータがパソコンの画面に表示される。前回は見るだけしかできなかったが、今度は意味が分かるようになった。温度を変化させて測定していく。入射X線の偏光を変えて測定していく。同じようなピークが何回も観測されていったが、入射X線の偏光を変えると、ピークが消える温度も変わること気づいた。その時頭の中に浮かんできたのは、PF 生活のきっかけとなったあの基礎物性のデータだ。比熱の結果から二段階の磁気転移が起こることが示唆されていたが、その転移温度とピークが消える温度が一致していたのだ。この瞬間、一気に目の前が明るくなった。ここまでやってきたことがつながったのを実感した。実験がひと段落し、休憩に飲んだ缶コーヒーは6月とは違い格別な味だった。

その後、解析を進める中で放射光実験のデータが基礎物性のデータを説明できることが分かり、Gd が三量体を形成していることが明らかになった。幸いにもこの結果は論文にもなった。放射光実験を始めた当初には想像もつかない結果だった。今年度も $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ の磁気構造の研究を続けている。すでに3月と6月の2度実験しているが、だんだん楽しみが大きくなっている。

こうして振り返ってみると、色々あったが楽しく有意義な研究室生活だった。マクロに物性を見る基礎物性測定と、ミクロに見る放射光測定。両方の実験経験を積み重ねてもらい、ミクロとマクロがつながる瞬間を体験することができた。修士課程もあと少しで修了だが、最後まで研究に邁進していきたい。最後に、執筆の機会をくださった編集委員の方々、指導教員の松村武准教授、PF でいつも気さくに話しかけてくださり実験のサポートをして下さる中尾裕則准教授に感謝申し上げたい。

KEK に居候

Tietz Video Image and Processing Systems GmbH 荒牧慎二

私は民間企業に勤めながら KEK に通勤し、KEK では構造生物学研究センターの一角から業務を行っています。私の勤める会社は、ドイツ・ミュンヘン近郊の閑静な住宅街にある、Tietz Video Image and Processing Systems GmbH (TVIPS GmbH) です。TVIPS(ティーヴィアイピーエス)は、透過型電子顕微鏡用カメラの開発・製造を30余年続けており、社員数は全部で15人です。日本人は私一人だけです。小さいながらも電子顕微鏡用デジタルカメラの分野では非常に長い歴史を持っており、電子顕微鏡用のカメラシステムを研究・開発する小さな研究室のような雰囲気です。

それでは、そんな私がなぜ KEK に来ているのでしょうか？その前に、まずは構造生物学における透過型電子顕微鏡と KEK についてお話ししたほうが良いでしょう。KEK は構造生物学の分野において、放射光ビームラインを用いた研究の最前線を走り続け、また共同利用施設として多くのユーザーの研究に支援してきました。一方、ここ5年でクライオ電子顕微鏡法（液体窒素温度に冷却した含水サンプルを、透過型電子顕微鏡で撮影する手法）を用いた構造生物学分野は目覚ましい発展を遂げました。この理由としては、様々な技術革新があったとともに、最も大きな要因の一つとしてデータ取得の自動化が挙げられます。一昔前の電子顕微鏡といえば、撮影の度に手作業でフォーカス合わせや撮影などを行っており、常に装置の前に電子顕微鏡を操作する人が必要でした。そのため、貴重なマシンタイムを有効活用するために、装置の前に寝袋を置いて実験をするということが日常茶飯事でした。しかし、ソフトウェアとハードウェアの進歩により、24時間自動稼働の運用が可能となり、オペレータが常に常駐しなくともデータの収集が可能となり、高品質なデータを24時間365日収集ができるようになったのです。すると、多くの人がクライオ電子顕微鏡法を用いた研究に興味を持つようになりました。しかし、クライオ専用型の透過型電子顕微鏡は非常に高価な

装置なので、残念ながらだれもが購入できるものではありません。また、初期投資だけでなく保守・運用にも多くの予算が必要となります。そのため、米国をはじめ欧州や中国では、幅広い研究者が装置を使えるように共同利用型施設へ導入され、また合わせて共同利用の仕組みづくりも行われてきました。しかし、日本では、クライオ電子顕微鏡法を用いた研究は盛んだったにもかかわらず、共同利用施設という面では一歩出遅れていました。そのため、KEK では PF で培われた共同利用施設のノウハウをクライオ電子顕微鏡法分野でも生かすべく、平成29年度に最新型のクライオ電子顕微鏡を導入し、現在では産学問わず多くのユーザーが KEK の電子顕微鏡を利用するようになり、日本のクライオ電子顕微鏡法を用いた研究を支える重要な拠点となっています。

やっと、私が KEK に来るきっかけをお話しする前準備が整いました。2年前、KEK にクライオ専用透過型電子顕微鏡が導入された時点では、KEK にはこの装置を取り扱える人は限られていました。KEK にはビームラインのスペシャリストが集まっており、結晶を用いた研究を得意としていたためです。そこで、透過型電子顕微鏡を取り扱える人を探していたのです。ちょうど私が在任地の日本からドイツ本社に長期出張をしていた時、突然深夜の3時に電話が鳴りました。KEK 構造生物研究センターの千田先生からでした。半分寝た状態でお電話をしていたため、正直、正確な内容は覚えてません。電子顕微鏡のサポートをして欲しいというような内容だったと思います。その後、紆余曲折を経て、いざというときのお手伝い役として KEK に来ることになりました。

私は KEK にいることで、多くのことを享受しています。主には、最先端研究を常にキャッチアップできること、そして国際的な研究者に常に触れられることです。企業にいと、学会や論文を通して常に最先端技術に触れられるように心がけてはいても、やはり専門分野以外の方々と交流する機会は減ってしまいます。KEK では様々なフィールドの研究者が出入りしているほか国際的な研究会も頻繁に開催されているため、幅広い研究者と交流する機会が持てます。また、私は日本にいる唯一の TVIPS 社員ということで、KEK に来るまでは基本的にはホームオフィスで仕事をしていました。そのため、Skype ミーティングや学会で人と接する機会はあるにせよ、自宅で仕事をする際には家で一人寂しく仕事をしていました。KEK に通うようになってから、研究会への参加や周囲の研究者の方々と人的な交流が増えたとともに、最新の研究についてほかの研究者の方々と意見を交わすことができる機会が持てるようになったことが最も大きな点だと感じています。

現在、KEK では電子顕微鏡ネットワークの拡充を図っており、多くの人が相互の施設を利用できるようになってきています。近隣では、筑波大学の生存ダイナミクス研究センター（TARA センター）にもスクリーニング用の透過型電子顕微鏡と TVIPS のカメラシステムが昨年度末に納入され、共同で電子顕微鏡をベースとした実験系の新規開



図1 SBRC が主催した講習会の様子（後列一番右が筆者）

発を企画しています。今後はカメラメーカーのスペシャリストとして、カメラの能力を最大限に引き出すための、研究サポートを行っていきたいと考えています。そして、まだ電子顕微鏡へなじみのないユーザーへ電子顕微鏡の秘めた力を KEK から発信し続け、生物応用に限らず幅広いフィールドでの電子顕微鏡を使った研究の裾野を広げて行きたいと思っています。

クライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループ発足のご紹介

ユーザーグループ代表 田中良和（東北大学）

近年、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析の技術は著しい発展を遂げており、構造生物学研究に必要な不可欠なコア技術となりました。世界中でクライオ電子顕微鏡を用いた研究が活発的に推し進められる中、わが国でも、AMED「創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業」の一環である創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム（BINDS）のサポートのもと、共同利用型のクライオ電子顕微鏡解析のシステム（クライオ電顕ネットワーク）の運用がスタートしました。クライオ電顕ネットワークは、高エネルギー加速器研究機構（KEK）に事務局を置き、日本国内の既存のクライオ電子顕微鏡コミュニティにご協力をいただき、利用経験のない研究者でも最先端のクライオ電子顕微鏡を利用できる体制を整えつつあります。実際に KEK にも、最新鋭の 200 kV クライオ電子顕微鏡 Talos Arctica（Falcon III 検出器を搭載）が導入され、多くの入門者ユーザーがクライオ電子顕微鏡の実験を学びつつ、利用を開始しています。

日本中で整備されている共同利用型のクライオ電顕が多くの研究者に効率的に利用されるようになることを目指してクライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループが立ち上がり、今年 3 月に第 1 回ユーザーグループミーティングが開催されました。予想を大きく超える 150 名以上の方にご参加いただき、施設側、利用者側からの忌憚のない意見交換や、測定に関する情報共有が図られ大盛況でした。そして、第 2 回のクライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループミーティングが 12 月 5 日（木）の日本分子生物学会年會内でフォーラムとして開催されます。詳細は p.55 の「第 2 回クライオ電顕ネットワーク・ユーザーグループミーティング開催案内」をご参照ください。

ユーザー同士の積極的な交流により、日本のクライオ電顕利用者コミュニティ全体の活性化に貢献できればと考えています。ぜひご参加ください。

PF トピックス一覧（8 月～ 10 月）

PF のホームページ（<https://www2.kek.jp/imss/pf/>）では、PF に関係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。

2019 年 8 月～ 10 月に紹介された PF トピックス一覧

- 8.5 【プレスリリース】ナノ磁気渦形成の定説を覆す物質の開発に成功—磁気フラストレーションを利用して創発電磁気応答を巨大化—
- 8.9 【プレスリリース】超高速の分子振動の高精度観測に成功—原子レベルの時空間分解能で分子動画を作成—
- 8.9 【物構研トピックス】私にスピンをわからせて！～第 4 回転「銀原子はなぜ曲がる？」～シュレディンガー方程式の巻
- 8.9 【物構研トピックス】茨城県内の日本最古の鉱床で発見された鉱物が、フォトンファクトリーにて新鉱物と判明
- 8.16 【物構研トピックス】フォトンファクトリー新体制発足記念講演会 ～ PF REBORN 2019 ～ を開催
- 9.4 【物構研トピックス】国光あやの衆議院議員がフォトンファクトリーを視察
- 9.13 【物構研トピックス】KEK 一般公開 2019 が開催されました
- 9.17 【物構研トピックス】研究系技術職員インターンシップ 2019 秋を開催
- 9.17 【物構研トピックス】16 個の銀原子を DNA でコーティングしたナノ蛍光物質「DNA- 銀ナノクラスター」の立体構造解析に成功
- 9.18 【プレスリリース】室温で磁場により電気が 100 倍流れ易くなる物質を発見
- 9.18 【物構研トピックス】岡山大学などの研究グループ、酸化グラフェンの光による酸素除去メカニズムを解明
- 9.24 【物構研トピックス】高分解能立体構造解析に基づいた、多剤耐性菌や歯周病菌に特異的な阻害剤の探索に成功
- 9.30 【物構研トピックス】水戸農業高等学校でチョコレイト・サイエンスを開催
- 10.2 【プレスリリース】「ストライプ照射」だと放射線の影響は軽減される～放射線の当たり方が一様でない場合、従来の単純な予測は当てはまらない～
- 10.3 【物構研トピックス】茨城大学の研究グループ、J-PARC MLF の中性子線と KEK PF の X 線を使ってタンパク質解析
- 10.9 【物構研トピックス】酸化ストレスによる統合失調症の発症メカニズムを解明
- 10.10 【物構研トピックス】Canadian Light Source の Lamb 所長がフォトンファクトリーを訪問

- 10.17 【物構研トピックス】キメラ型超分子ポリマーの開発に成功
- 10.31 【プレスリリース】遺伝情報の読み取りを強化する tRNA のメチル化の仕組みを構造解析と生化学解析により解明 - 真核生物 Trm7-Trm734 複合 tRNA メチル化酵素の基質 tRNA 選択性とサブユニットの役割 -

【訃報】元フォトンファクトリー施設長・佐々木泰三先生がご逝去されました

2019 年 10 月 1 日

フォトンファクトリーの2代目施設長（1984 年 4 月～1985 年 3 月 高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設長）および初代測定器研究系研究主幹（1980 年 4 月～1984 年 3 月）であり、KEK 名誉教授の佐々木泰三先生（享年 95）におかれましては、9 月 20 日にご逝去されました。ここに謹んでお知らせいたします。佐々木先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。



在りし日の佐々木泰三先生。写真は「第 29 回 PF シンポジウム」の2日目に開催された「30 周年記念講演」（2012 年 3 月 16 日）の中で、「挿入光源事始め」の講演中の様子。

佐々木泰三先生を偲んで

宮原恒晃

佐々木泰三先生は1925年2月14日に東京でお生まれになり、旧制一高を卒業してから大阪大学に就職されました。その後、東大の教養学部基礎科学科が設立され、1964年には学科の一期生が3年生になっておりますが、そのころすでに先生は助教として基礎科学科に赴任していました。実は私がまだ高校生の頃、1963年に先生は Seya-Namioka 型の分光器の建設について論文を書かれており、同年に、極端紫外線領域でのシリコンの光学定数の測定、ゲルマニウムの光学定数の測定（単著）について論文を出版しています。当時はまだ大学に「講座制」が残っていて、教授は石黒浩三先生でしたが、上記3編のうち2編では、石黒先生との共著で佐々木先生が第一著者、1編が佐々木先生の単著でした。

私との出会いは、留年したあとの4年の卒業研究の時に、研究テーマとしては、固体ガリウムの光学定数を、水素放電管を用いて二角反射法で測ったものでした。こういう、いわば正統的な研究のうえに私は乗っかっている感じで「この道を進むのね」という理解でした。ところが大学院への進学が決まると「宮原君、君ね、ストレージ・リングって知ってるかい・・・」と言われ、こちらはチンプンカンプンでしたが、研究場所は田無の原子核研究所であるということから、そういう話には乗ろうと決断したいきさつがあります。そもそも当時の研究室の講座名が「物理機器学」ですから、それほどおかしくはないわけです。

しかし、先生はすでに、ストレージ・リング以前に原子核研究所の電子シンクロトロンを用いて、苦労しながらも研究を遂行しており、私がそれを知ったのは正式に大学院に進学してからでした。先生はときどき当時の西ドイツの DESY に行かれて、放射光の有用性を説いて回り、6 GeV 電子シンクロトロンを用いた放射光研究の推進に尽力されました。1974年にハンブルグで完成した高エネルギー実験用の蓄積型加速器 DORIS からの放射光利用をも、計画段階から先導してられました。シンクロトロンのようなパルス状の不安定な光源よりは、蓄積リングのほうがはるかに安定ですが、それでも高エネルギー研究者によって軌道が頻繁に変動させられたりしますから、安定性は不十分でした。そういう状況下では「放射光専用の蓄積リングが欲しい」というのは非常に強い要求であったわけです。

先生が日本の放射光の先駆者であることは良く知られていますが、実はドイツの放射光科学の先駆者であることも忘れてはならないことです。実際1970年に「第三回真空紫外線物理国際会議」が東京で開かれ、私はスライド係りなどをやっていたのですが、多くの外国人が「Professor

Sasaki」と言って先生の、放射光に係わる国際的な先駆的貢献に言及するのです。これは眼からうろこでした。そういう先生が指導教官であるからには、誇りをもって頑張らなければいけないと決意を新たにすることを記憶しています。特に西ドイツからの当時の若手、ルプレヒト・ヘンゼル、クリストフ・クンツ、ベルント・ゾンタクさんらは、先生と親しく話していましたが、先生は英語以外にドイツ語も堪能であることも初めて知りました。

さて、設計の段階から光源専用として建設された「SOR-RING」は、現在では SPring-8 の敷地に展示されています。この計画を主導したのはもちろん佐々木先生ですが、その後の管理・運営は物性研が請け負うことになりました。その後、このリングを用いた実験に「佐々木研」の多くの大学院生が参加し、彼らはその後、企業や大学などで活躍しました。また、利用実験だけでなく、アンジュレータのプロトタイプを作って、放射光のスペクトル・強度分布や偏光性を理論と比較したりしました。

ちょうどそのころ、つくばではフォトン・ファクトリーが建設中であり、先生は1981年から測定器系主幹、84年度は施設長を務められました。先生はそこでもアンジュレータを「非公式」に推進し、PFのBL-2で挿入光源の卓越性を示されました。私が都立大からPFに着任したのは1982年10月でしたが、それ以前から「建設協力者」として時々打ち合わせに参加し、SOR-RINGに比べて「なんでも大きいな」という印象を持ったことを憶えています。そこでまた先生は「宮原君、君ね、分光器作ったことないだろう。作ってみないか？」と持ち掛けました。これも乗ったほうが良いと決断し、当時のN88BASICという遅いソフトで、光線追跡プログラムを自作しました。これは私にとって初めての分光器建設で、その後、数台の回折格子分光器を建設したことは「精密機械と超高真空の両立」を考



図1 佐々木先生の米寿のお祝いで1コマ（前列右から二人目が佐々木先生、左から二人目が筆者）



図2 第30回日本放射光放射光学会年会・日本放射光科学シンポジウムでの特別公演「SOR-RING 始末－放射光 SOR-RING の「分析機器・科学機器遺産」認定を記念して－」(2017年1月)の際の1コマ

えるうえで非常に有意義な経験となりました。

1985年に先生は阪大に移られて、3年間研究・教育に従事され、しばらくは私との共同作業もなくなりましたが、放射光学会会長をつとめたり、SPRING-8のアドバイザーなどの国内的貢献だけでなく、真空紫外線物理国際会議でもよくお会いしました。1992年ころ、パリでこの会議があったときと前後して、当時東大物性研の辛さんと3人でローマの繁華街を歩いていた時、突然、赤ん坊を抱えた黒装束の女性（ローマ大学のビアンコーニ教授によると「ジブシー」とか）数人に襲われそうになったことは、今では懐かしい思い出です。

若いころからお酒が強く、2013年の「米寿」のお祝いの頃、やっと私と同程度の強さに軟化しましたが、高齢になってもいつも頭脳明晰なのは驚かされました。その時（2013年2月）の写真を図1に、2017年1月の放射光学会で先生の特別講演があった日の夜の写真を図2に紹介します。

佐々木先生との関係では、私が単に弟子であるだけでなく、先生が「やってみないか」と提案したことはすべて飛びついた、その結果は上手くいったという経験は、先生がいかにか慧眼であったか、普通の「王道」よりも一歩先を行くことを常に考えていたことを、如実に示していると思います。リングにしても、アンジュレータ、分光器、将来計画にしても、常に次の次を見ていたことは特筆に値すると思います。

自然科学から離れたトピックに関しても、先生は人文科学全体について博覧強記でした。日本史・世界史に詳しく、特に19世紀から現代までのヨーロッパの歴史、それぞれの国の特徴・国民性などについて、時間が許す限り、いくらでも話すことができました。ロシア革命以降のソ連やスターリン主義の問題点など、詳細な事例をご存知でした。もちろん、主要な日本文学、西洋文学についても、若い時に読破されていたようで、源氏物語についても一家言あるようでした。

特筆すべきはドイツ語が堪能なことでしょう。先生の大学の居室には、ヘーゲルの「大論理学」や「精神現象学」の独語本がありました。私の第二外国語はロシア語でしたので、独語については全くダメでしたが、「宮原君、大論理学のドイツ語はかなり読みやすいドイツ語だよ」と言われても、私は生返事でした。あとで専門家に聞いてみると、確かにそのとおりらしく、逆に「精神現象学」は難解な独語だそうです。先生がハンブルグに滞在した時、独語を駆使したようですが、「あなたのドイツ語は、ややオーストリア訛だ」と言われたそうです。

クラシック音楽のファンで、若いころはピアノを演奏したようすし、将棋も強かったと記憶しています。これだけ多才でありながら晩年まで頭脳明晰で、いくら高齢とはいえ突然に亡くなるとは、まったく想定しがたい事でした。しかし、亡くなっても「ロール・モデル」であり続けると思います。

心からご冥福をお祈りします。

佐々木泰三先生を偲んで

小出常晴（物質構造科学研究所，功労職員）

放射光実験施設の第2代施設長および日本放射光学会の第2代会長を務められた佐々木泰三先生が、2019年9月20日に95歳で逝去されました。

佐々木先生は、日本の放射光研究者が世界に誇る、世界の放射光研究を牽引された文字通りのパイオニアでした。佐々木先生は、日本においてINS-SOR、SOR-RING、Photon Factory (PF) の設計・建設・運営を主導され[1-4]、SPRING-8やSACLAに参加されました。

放射光はレーザーと並び、人類が20世紀に手に入れた画期的な光源です。1947年にGeneral Electric (GE) 社の70 MeV シンクロトロンからの放射光が初めて地上の実験室で観測され、ほぼ同時期にJ. SchwingerやA. A. Sokolovの放射光の理論が出たことにより、放射光研究がスタートしました。1940年代にはGEグループが、1950年代にはMoscow大とCornell大のグループが、極紫外・軟X線域用光源としての放射光の利用検討を始め、理論の予言する強度・スペクトル・角度分布・偏光を検証し始めました。

佐々木先生は元々真空紫外域の光学と光物性の研究がご専門で、低圧気体放電管を用いて極紫外におけるSi, Ge, Auなどの光学定数の決定、極紫外スペクトロメーターの設計・製作、反射の際の偏光の測定などのご研究をされていました。1956年春の物理学会の折、佐々木先生は東北大シンクロトロンから放射される青白い光を観察されました。これが佐々木先生の放射光初体験だそうです。1961年に核研電子シンクロトロン(ES)が試運転に成功しました。小塩高文先生と笹沼道雄先生の放射光特性の計算を見た佐々木先生は驚愕し、ご自分でも計算して放射光の威力を確信されたそうです。1962年物理学会の素粒子実験分科会において、佐々木先生は「物理学へのESの大きな貢献の可能性と小塩先生に協力して研究活動をする用意がある」旨の発言をされたそうです。佐々木先生の勇氣ある発言は、核研ESの人達から好意的に迎えられました。これを契機に佐々木先生と小塩先生をリーダーとする核研ES放射光利用のINS-SORグループがスタートしました。しかしシンクロトロンは制御が困難で、ビーム振り落とし、強度変動、ビームサイズ変化、位置変動ありで、パラサイト放射光利用に悪戦苦闘されたそうです。これが後のSOR-RING建設の主要な動機になりました。先生は放射光研究黎明期の生き証人でした[1,2]。

このような時期の1963年、NBS(米)のR. P. MaddenとK. Codlingが、放射光分光学の口火を切る実験を報告し



主幹当時の佐々木泰三先生 (PF ニュース Vol.2 No. 1 February 1984 のスタッフ紹介ページより転載)

ました。彼らは、稀ガス自動電離スペクトルの写真を取り、原子の電離状態と束縛状態の配置間相互作用から生じるFano効果を明らかにしました。このニュースは、日本の分光研究者には大きなショックだったそうです。しかし佐々木先生を始めとするINS-SORの日本人研究者は、金属やイオン結晶の薄膜をターゲットに固体の内殻励起スペクトルを測定し、固体の内殻励起が価電子励起と本質的に異なる物理過程を含んでいることを示すことに成功されました。この成果は、放射光の重要性を内外に認識させ、未開拓だった内殻電子の励起過程に分光研究者の関心を引き付けました[1,3]。1965年頃NBSは移転のため閉鎖で、INS-SORグループだけが放射光利用分光学を行っており、一時世界の最先端に立っていました。

1966～68年に佐々木先生は、当時のDESY(独)副所長P. Stähelin教授の招待でDESYに滞在され、放射光研究に打ち込まれました。先生ご自身は、金属や絶縁体の内殻吸収の研究及び半導体の光学定数の測定を行うとともに、当時は若かったR. Haensel, C. Kunz, B. Sonntag, M. Skibowskiや、後にDESYから巣立ったE.-E. Koch, B. Feuerbacher, W. Gudat, P. Schwentner, V. Saileらを指導されました[2]。これにより、彼らが後年世界の指導的放射光研究者になり、ドイツの放射光利用研究の黄金時代が到来したことは周知の事実です。彼らは、佐々木先生に深い敬愛の念を抱き、Taizoとファーストネームで呼んでいました。佐々木先生は1968年ドイツからの帰路アメリカに立ち寄られ、DESYでの最新データを基に、Argonne国立研究所の井口道生先生と共同で、Alの光学定数を $10^{-1} \sim 10^4$ eVの広大な領域に渡り決定されました。これは光学定数に関する記念碑的なお仕事です[2]。

滞欧・滞米中の佐々木先生は、多くの研究者との議論・意見交換を通じて既に放射光専用ストレージリングの構想を固めておられました。先生は欧米から帰国後SOR-RINGの予算獲得に苦勞されたものの、予算は認められ建設がスタートしました。最も驚くべきことは、佐々木先生を始め、活動の中心となった若手の佐藤繁、渡辺誠、宮原恒昱、北村英男の諸氏全員が、加速器の専門家ではなかったことです。核研の加速器専門家が「本当にできるのか」と、危惧の念を抱いたのも無理はありませんが、佐々木先生は「素人の強みは己の無知を自覚して慢心しないことだ」との信念で、建設を遂行されたそうです。1974年12月14日～15日、奇しくも赤穂浪士の討ち入りの日にSOR-RINGの試運転が行われ、一発で成功しました。ここに「世界最初の放射光専用ストレージリング」が確立されました[2,3]。このSOR-RING成功がその後の日本の放射光研究の導きの星になりました。私は博士課程の院生の時に、SOR-RINGからの放射光を利用し、それまで用いた水素放電管とは別世界だ、との強烈な印象を受けました。INS-SORとSOR-RINGを通じて特筆すべきことは、他の多くの科学・技術分野とは異なり、欧米で先行・成熟した実験技術をそっくり導入するのではなく、日本独自のアイデアと方法を発展させたことです。

佐々木先生は1980年に、折から設計・建設中のPFに赴任されました。当初計画のPFリングは円形でしたが、挿入光源を重視された先生は、楕円形リングを提案されたそうです。当然ながらこの案には、光源加速器系主幹の富家雄先生が大反対されたそうです。佐々木先生は、リングの軌道・電磁石の責任者の木原元央先生と交渉し、楕円形リング案を勝ち取られました。楕円形リングで長直線挿入光源を可能にした佐々木先生の慧眼は、その後のPFに計り知れない恩恵をもたらしました[3,4]。実際、山川達也先生は佐々木先生と共同で、世界に類を見ない縦型超伝導ウィグラーの挿入・縦偏光硬X線取出しに成功されました。佐々木先生は、物性研・東大教養学部・PFチームを指揮してSOR-RINGで試験アンジュレーターPMU-1に成功され、さらに北村英男、前澤秀樹、鈴木芳生氏らの若手研究者やPFスタッフと、絶対強度測定を含めPFリングで本格器PMU-2に成功されました。PMU-1からの美しい虹色スペクトルの写真は、文部省の玄関に長く飾られていました。挿入光源の開発・特性評価の詳細については、本号に佐々木先生ご自身の詳しい寄稿がありますので、ぜひ一読下さい（佐々木泰三「挿入光源事始め」）。

第3, 4世代放射光に関し、佐々木先生は「コヒーレンスが本質的だ、従って今後の若い放射光研究者は量子光学の基礎を勉強する必要がある」と強調しておられました。

PFが運転を開始した1980年代初頭、世界の第2世代放射光リングでは光学素子の熱負荷が深刻な問題になり

つつありました。特にDaresbury放射光施設SRS（英）では、赤外・遠赤外利用を計画し第1ミラーが割れてしまう状況でした。佐々木先生は耐熱ミラー材の探索のために、日英独の共同研究を計画され、第1弾として日英共同ビーム照射試験をDaresbury SRSで行うことになりました。幸運なことに私はその先兵に選ばれました。照射槽はPFで製作しSRSへ送りました。日本側の責任者が佐々木先生であるお蔭で、受入責任者のI.H. Munro先生とJ.B. West先生は極めて好意的で、現場の共同テスト実験者のA. A. MacDowell君とM. M. Kelly嬢もとても親切でした。実験は成功で、SiCがベストとの結果が得られました。

私は、佐々木先生と佐藤（繁）さんへ別々の手紙を送りました。私が帰国後に先生の居室へご報告に伺い、真面目な話が一段落すると、先生「ところで、君、ダレスベリーでは綺麗なイギリス人女性と仲よかったそうだな。」私「先生、どうしてそれを？」先生「君は私宛と佐藤さん宛に手紙を書き分けたようだが、佐藤さんと私の間では情報はツーカード。」私「どうにも恐れ多いことで。」先生「君は今回が最初の渡欧だと思うが、最初にしては公私ともによくがんばった。」その間、先生はユーモアたっぷりの穏やかな表情で、冷や汗をかく私をからかっては楽しんでおられるようでした。

「日本人はテンション民族だ、ユーモアのセンスがない」とよく言われますが、佐々木先生のご講演や執筆された記事[1-4]からも分るように、先生は日本人には珍しいユーモアのセンスをお持ちだと拝察いたします。このユーモアのセンスは、INS-SORやSOR-RINGでのパイオニア的なお仕事を支えたに違いありません。何故ならば、先の見えない困難な研究を続けるには、心の余裕と自信に由来するユーモア精神と楽天主義が必須だと思うからです。

佐々木先生は、比類なきリーダーとして世界の放射光研究者から絶大な信頼と尊敬を集めておられました。佐々木先生は、天寿を全うされて、今は天上でご自身のまいた種の豊かな実りに満足され、世界の放射光研究を見守っていらっしゃると思います。

放射光研究の巨星墜つ、の感深しです。

佐々木先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。



1992年3月13日PFリング10周年記念パーティでの佐々木泰三先生（前列右端）とその時のケーキ。リングを模して作られた。

- [1] 佐々木泰三, 固体物理 **22**, 1007 (1987).
- [2] 佐々木泰三, 固体物理 **23**, 142 (1988).
- [3] 佐々木泰三, 放射光 **11**, 82 (1998).
- [4] 佐々木泰三, PF ニュース **30**, 23 (2012).

第 29 回 PF シンポジウム PF30 周年記念講演② 挿入光源事始め

KEK 名誉教授 佐々木泰三

放射光科学は元来高エネルギー物理学の実験手段であった電子シンクロトロンに寄生して、「目的外」の利用者によって始まった現代科学の「想定外」分野である。電子を加速すれば必ず出てくる、素粒子実験にとっては厄介者であったX線を光源として応用しようという、いわば「廃物利用」として始まった。日本では昭和37年(1962)に原子核研究所に750 MeVの電子シンクロトロンが完成した時、INS-SORという光の利用者団体が活動を開始して今日に至っているが、今年はその50周年に当たる。今年はまだ筑波にX線を発生する2.5 GeVの光源施設フォトン・ファクトリーが完成して30年に当たり、それを記念して建設に当たった当事者が昔話をするようになったのがこの原稿の由来である。

紙数の制約もあって講演の内容をそのまま再現するのは困難なので、ここではその講演の要旨をお伝えして責めを塞ぐことにする。

1. 加速器屋とユーザー

光を使って結晶構造解析をするX線のユーザーにしても、物性を研究する分光学の研究者にしても、放射光のユーザーというのは時間的にも空間的にも出来るだけ安定した強い光を要求するものである。ところが加速器の電子ビームというのは暴れ馬で、そう簡単に云う事を聞いてくれない。加速空洞も電磁石も電子を前後(シンクロトロン振動)、上下左右(ベータトロン振動)に揺さぶってくれる。何もしなければ電子はどんどんバラけてくる。それを抑え込んでユーザーの希望する「強く、安定した」光を供給するのが加速器屋の腕だ。

ところがユーザーの欲望は更に進んで、もっと硬いX線を(ウィグラー)とか、狭い波長幅で良いからもっと強く鋭い光を(アンジュレーター)とか、加速や収束には必要のない余計な磁石を軌道の直線部に「挿入」したがる。これが更に電子ビームを乱すので、加速器屋にとっては余計な負担だ。こういう追加負担を嫌う加速器屋の懸念には根拠があるのだ。こうして加速器屋とユーザーは「放射光施設」という一つ屋根の下で共同体を作り、互いに緊張する関係を抱えながら共存し、時には喧嘩もしながら協力する。

2. ウィグラーの挿入

PFではユーザーの強い希望で「縦型超伝導ウィグラー」を軌道の一部に長い直線部を設けて挿入することになった。その理由はPFの電子エネルギーが2.5 GeVで「硬い」X線を発生するにはやや低かった(特性フォトン・エネルギー

ギー: 4 keV) ため、超伝導磁石を軌道の直線部に挿入して高い磁場を発生し、その部分だけ硬いX線を利用できるようにする狙いであった。放射光は本来水平面に強く偏っているが、この磁場で電子を垂直方向に曲げて縦偏光を発生するという野心的な狙いもあった。今日ではARとか、SPring-8とか、硬いX線の光源はいくらでも利用できるし、またSPring-8では鈴木基寛氏が開発した結晶偏光子で偏光面を水平から垂直に変換するとか、直線偏光を円偏光に変換するとか、光源の偏光特性を加速器に頼らず、ビームラインの側で操作できるようにもなったので、光源側で無理に縦偏光を発生しなくてもよい。しかしPF発足当時としては他の選択肢はなかったので、ユーザーの要求にはそれなりの根拠があった。

こうしたユーザーの意向をくんで縦型超伝導ウィグラーを軌道に挿入することが決まり、PFの軌道形状は当初の円形から楕円形に変更になった。しかしこの変更を懸念する声は国内だけでなく、海外の加速器専門家の間にも広がっていた。例えば1976年、カナダのケベックで開催された放射光専用光源のワークショップで出会ったブルックヘブンの加速器屋Ken Greenは私を捕まえて「PFでは縦型の超伝導ウィグラーを挿入する計画だそうだが、これは無茶だ。悪いことは言わない。止めておけ!」と強い口調で警告された。グリーンさんは何しろこの分野では名だたる大御所だ。気にはなったが、そういう事はやって見なきゃ分かんないじゃないか、と聞き流して帰ってきた。

PFの加速器の責任者富家さんもかなり心配はしていたようだが、PFの建設を討議する重要会議では「ウィグラーの建設は必ずやります」とユーザーに対して繰り返し明確に約束していた。

ところがいざ加速器建設が始まって、光源各部分への予算配分が発表されたとき、山川さんが担当するウィグラーには配分がなかった。ウィグラーは最初0磁場の状態で加速器の入射、運転を行い、電子が十分蓄積された状態になってから励磁を始める。最終磁場に到達するまで、励磁の途中で当然軌道は不安定になるので、加速器の各種磁場のパラメータを調整しながら、安定した軌道が維持される道筋を捜さねばならぬ。いわば「ロードマップ」を作成するための長い模索の時間が必要だ。ウィグラーの本体を出来る限り早い時期に製作して、励磁試験の長い模索の作業を開始せねばならぬ。山川さんは初年度の予算配分から外れて大変失望し、心配していた。周囲の光源系の仲間も心配していたが、予算の配分が厳しいのはどのセクションも同じだろう。私は山川さんと相談して一芝居やろうという事になり、PFの全体会議で光源系の建設計画の説明があった席上、私が立ち上がって質問した。「光源系では今年度ウィグラーに予算を配分しなかったそうだが、これはウィグラーの挿入を断念したということか?」すかさず山川さんが立ち上がって、「いや、そんなことは絶対ありません。

ウィグラーの建設は必ず実行します。富家さん、そうですね！」

富家さんは多分ウィグラー建設の実行を躊躇う気持ちがあったのだろう。しかし山川さんの発言は富家さんのかねてのユーザーに対する約束でもある。「その通りです。ウィグラーの建設は必ず実行します」

明言はしたものの、富家さんも無い袖は振れないのだ。しばらくして富家さんは測定器の主幹室にやってきた。「あんな約束をしたけれど、実は光源系にはもう今年度配分する予算が余っていないんだ。測定器から何とか融通して貰えないか？」これが山川さんと私の読み筋で、後の年度に返済してもらう約束で¥1000万を測定器からまわして、山川さんの仕事は始まった。

光源建設は多少の難航はあったが、1982年には完成して運転を始め、山川さんのウィグラー本体も同じころ完成し、軌道に組み込まれた。ここからが山川さんの長い大奮闘の始まりだった。ウィグラーの励磁試験は時間を食うので、加速器の運転試験の中でも時間の要求が大きい。他のマシン・スタディーが宵の口までに終了したのち、深夜から明けがたが山川さんの時間になった。真夜中になると山川さんはヘリウムの準備を終えて地下の運転室に陣取り、来る日も来る日も徹夜でデータ取りをやっていた。昔核研時代に一緒に仕事をした若い同僚もPFには少なからず来ていて、手の空いている時は山川ブースに駆けつけてデータ取りを手伝っていた。しかし応援団の若手諸君もそれぞれ自分の仕事を持っているのだ。毎晩来られるわけではない。助っ人が居る時も居ない時も、山川さんはメーターと睨めっこで調整を繰り返していた。その期間が半年だったか一年だったか、もう忘れたが、山川さんの奮闘には全く恐れ入った。私も時々覗きに行き、山川さんが今日も徹夜の態勢だ、と見てとると、竹園の馴染みの寿司屋「いそはる」に車を飛ばしてクルマエビの入った「特製太巻き」を作って貰って現場に届けた。これはやがて「応援団」の若手諸君の間にも噂が伝わって、差し入れのある時は人数が増える、という噂も聞いた。

山川さんの奮闘はやがて実を結び、ウィグラーの運転は十分な安定性を確保しつつ実施段階にこぎつけ、PFの一般公開に間に合って完成した。グリーンの心配は杞憂に終わった。ウィグラーの完成は高エ研としても特筆すべき成果として恒例の新聞発表の話題に取り上げられ、山川さんが所長主催の記者発表の後、記者団に対する現場説明を行った。富家さんは「これは主幹の仕事だから俺がやる」と言いだしたが、開発の現場に立ち会ったこともないのだ。「これは辞退して山川さんに譲るべきだ」とご遠慮願ひ、結局山川さん単独の新聞発表となった。

3. アンジュレーターの挿入

アンジュレーターは電子の直線軌道上に多周期の極性の交代する磁場をつくり、多数回の電子の発光を干渉させて格段に高い輝度をもつ放射光を発生させる仕掛けである。PFの建設開始の時点ではアンジュレーターの挿入は計画

に入っていなかった。この装置がどういうものか、理論的には良く知られていたが、実用化の展望は未だなかった。アンジュレーターの概念が出来上がったのは古く、1947年にモスクワ大学のGinzburgの提案に始まり、1953年にはオックスフォード大学のMotzがスタンフォードに来て、小型の線形加速器を使ってミリ波、サブミリ波の発生に成功した。初期の試みはたいへんこうした電波の発生を目標にしていたが、やがて半導体のデバイスが登場して競争に負けてしまい、大げさな加速器を使ってこんなことをやっても意味がない、と廃れてしまった。ところが1976年にバークレイのMadeyが超伝導コイルでダブル・ヘリックスのアンジュレーターを作り、共振器をつけて赤外の自由電子レーザーの発振に成功して一気に注目を浴びた。同様のデバイスを蓄積リングに挿入して短波長の自由電子レーザーを作ろうと、米仏の共同チームがオルセイの放射光リングACOで暫く実験をしたが、これは何度も爆発事故を起こして失敗に終わった。一方電磁石を並べて直線部に挿入しようというアイデアがフラスカチやトリエステで試みられたが、電磁石は大きすぎて十分な周期数の磁石群を直線部に挿入するには無理がある。結局実用化には至らなかった。アンジュレーターが実用化したのは1978年スタンフォードでHalbachとWinickが永久磁石を組み合わせる加速器の直線部に外部から挿入する仕掛けを発明したのがきっかけである。

私は1976年にケベックの会議でGreenの講義を聞いて、いつの日かの実用化に備えて準備をしようとして核研でINS-SORの諸君と一緒に勉強会を始めたが、Winickが1978年にPFに来て、Halbachの永久磁石モデルの講演をしたのを聴いて、実用化の機は熟したと判断し、直ちに試作を決意した。

4. 加速器とユーザー 再論

PFでのWinickの講演は大変刺激的なアドバイスであったが、富家さんの反応は全くネガティブであった。ウィグラーが欲しいというユーザーの我儘で、こんなことをして加速器が一体動くのか、と心配している矢先、またもう一つユーザーの道楽を押しつけられては敵わない、と思ったのだろうか。

「ユーザーの諸君はこれまで放射光は連続光だから素晴らしい、と盛んに言っていたではないか。ところが今度はアンジュレーターが単色光だから素晴らしいという。こんなにコロコロと考えが変わる連中の面倒は見切れない。おれの眼の黒いうちはこんなものを加速器には絶対入れさせないぞ！」と不快感を露わにした。もちろんこれはとんでもない誤解で、偏向磁石の連続光と挿入光源の単色光は共存可能で、両方にそれぞれの価値があるのだ。

アンジュレーターはウィグラーほどではないが、加速器の不安定要因でないとは言いきれない。後に分子研が挿入光源を導入する際、加速器担当の浜さんがアンジュレーターによる軌道の不安定性を精密に分析、公表した。どうもユーザーの我儘が加速器屋さんにも余分の迷惑をかけるのは

申し訳ないが、だからといって挿入光源はもう諦めます、とユーザーが何も言わなくなったらどうなる？そうならば加速器は何をしなくても毎日ご機嫌で回り続けるだろう。そうなるともう優秀な加速器屋など要らない。加速器屋は失業するのだ！

SPring-8 が出現して、加速器屋とユーザーの関係はだいぶ変わってきた。光源加速器の安定性は格段に向上し、例えば地球の潮汐運動による軌道位置の変化がモニターに検出され、それを自動的に補正するシステムが導入された。こういう高度の安定性を達成した若い加速器屋の田中均氏が云う。「加速器屋がここまで頑張って安定な良いビームを供給しているんだから、ユーザーの皆さんはそれに見合った成果を上げて下さいよ！」

加速器屋の親分の熊谷氏はこう言っていた。「ユーザーの光源に対する要求はそれが加速器にとってどんなに厳しいものでも加速器屋はそれを受けて立つ。それが加速器屋の使命だ。それが結局加速器の性能向上と新技術の開発に結びつき、そうして光の性能が上があればユーザーにとっても加速器屋にとっても望ましいことだ。」こうした加速器屋とユーザーの緊張関係を伴う協力が放射光科学を進歩させるエネルギーなのだ。

5. 初めてのアンジュレーター試験機：PMU-1

私は 1980 年 4 月、東大と併任の形で PF に着任した。これを機にアンジュレーターの開発と実用化を目指して試作機を作り、1976 年以来利用を公開していた物性研の小型光源 SOR-RING で試験した。その準備のために 1980 年 6 月に Winick さんを訪ねてノウハウを聴き、北村英男氏の指導の下で東大教養学部で修士課程の学生であった玉虫秀一君を中心にチームを作り、81 年の 12 月に物性研の共同利用課題としてこの試験機の運転を実施した。

この時の実験内容は

1. アンジュレーターの動作試験、
2. 加速器のビームへの影響、
3. スペクトルの絶対強度測定、
4. スペクトルの電子エネルギー・磁場強度・角度への依存性測定
5. 3～4 による理論の検証
6. 可視部の発光パターン、「虹」の目視と撮影

が主な内容であった。

加速器の運転を物性研スタッフ（宮原、磯山、西村、三国）と大阪市大三谷が担当し、アンジュレーターの性能評価を PF（佐々木、山川、佐藤、北村、前澤）と東大駒場の院生（鈴木、玉虫、金森）が担当した。結果は予想以上の大成功で、1 週間で目的の実験はすべて終了し、理論の検証もできた。重要な収穫の一つは加速器のエミッタンスが大きいためにスペクトルのピークシフトが起こり、プロファイルも変化してバンド幅が広がるのが良く分かったことだ。

このマシンタイムの間、私は国際会議の準備のためエルサレムに出張しており、帰ってきたら実験はほとんど終わっていた。余ったマシンタイムで我々はアンジュレーター

光の美しい虹の写真をたくさん撮り、その一部を引き伸ばして文部省の研究機関課に送ったところ、文部省は建設中の PF の宣伝に絶好だと思ったのだろう。玄関に飾るから全紙大に引き伸ばして寄せという。それは二三日の展示のはずだったのが、来訪者の関心が高かったようで、一ヶ月ほど玄関正面に展示してあった。この写真は後に SPring-8 の建設の時も、放射光の実例だといって宣伝ビラやパンフの飾りに使われて、多くの一般人の目にとまった。本当はこの虹は SOR-RING のような低エネルギーのリングだからこそ見えるので、PF や SPring-8 で見ることは出来ない。「羊頭狗肉」の誹りを受けそうだが、これが放射光の姿の一端であることは事実なのだ。まあご勘弁願ってもいいだろう。

6. 実用機 PMU-2

試作機の成功を踏まえて PF では直ちに実用機 PMU-2 の製作に着手した。PF の当初計画には含まれていなかったにもかかわらず、文部省はこの新規要求には大変寛大で、82/83 年度に光源研究系から提出した ¥5000 万の予算は全額認められ、83 年度には BL-2 にこの実用機が挿入され、84 年度から一般に公開された。試験機の費用は全額測定器研究系の予備費から支出されたが、実用機の製作に当たっては山川、北村ほか、光源系スタッフの協力が必要で、実施計画はすべて測定器側でまとめたが、光源系経由で本来の建設計画の枠外で要求を出した。光源系の中堅・若手の諸君もこの試験機の成果を見て大変エキサイトしていた。富家さんはもう「俺の眼の黒いうちは・・・」などとは言わなかった。

PMU-2 の磁場周期は 4 cm、周期数 60、全長 4 m で、1 次光のフォトン・エネルギーは 0.4 ～ 1.0 keV である。設置場所はウィグラーの反対側の長直線部、BL-2 となった。図 1 はこの挿入光源の一次から 7 次光までを測定したオリジナル・データである。測定器はヘリウム・イオン・チェンバーで、この結果は適当な数値処理で絶対強度単位に変換できる。図 2 は磁場を変化させたときの 1 次光、2 次光のスペクトルで、絶対強度単位で示してある。点線が実測

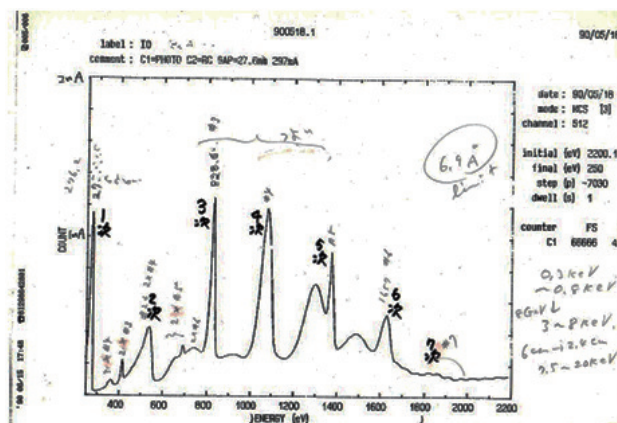


図 1 PMU-2 の 1 次～7 次光スペクトル（オリジナル・チャート）

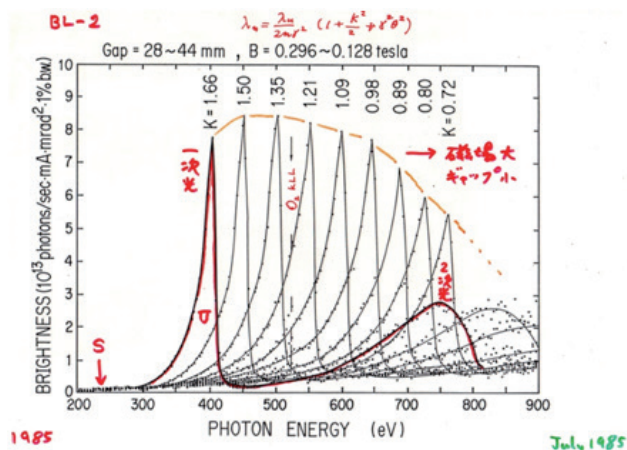


図2 PMU-2の1～2次光輝度の磁場強度依存性点が測定値、実線は理論値。Sは偏向電磁石からの光、Uがアンジュレーターの発光である。

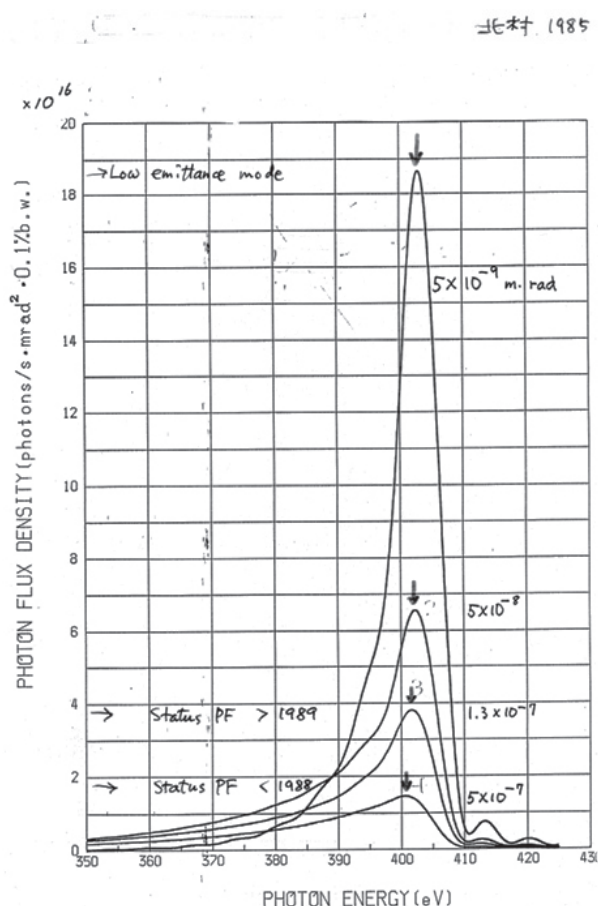


図3 アンジュレーター・スペクトルのエミッタンス依存性（北村 1985）

値、実線は計算値で、一致は極めてよい。放射光は古典電気力学的現象で、理論と実験が一致したからと言って驚くようなことではないが、こういう実験と理論の比較から、一致が得られるのは加速器のエミッタンスを正しく評価した場合に限られる、という点が重要である。つまりこのような定量的評価の結果から、改めてアンジュレーターの放射光はエミッタンスが十分小さい場合に初めて本来の優れ

た性能が発揮されるという重要な認識が得られた。その結果、次世代の加速器設計に求められる「低エミッタンス」がどの程度のものかという認識が得られ、アンジュレーターの挿入を基本とする次世代の加速器が何を指向するか、という指針がこれで確立した。今日日米欧と世界の3極を形成する高輝度放射光光源はこの認識の上に設計され、それを実現したものである。図3はエミッタンスがスペクトルの強度や半値幅にどう影響するかを示した北村氏の計算である。一次光のピークの高さと波形がどう変化するかは明瞭にわかるが、PFでの実用機の評価ではそれらの特徴が定量的に示された。第三世代の放射光施設の建設が始まった1980年代後半には、低エミッタンスの加速器設計には重大な障害があり、安定なビームを維持できないのではないかと懸念が発生して、一時は悲観論が優勢であった。しかし間もなくその困難は日米欧の共同研究で打開され、第三世代の低エミッタンス光源は現在世界中どこでも安定に運転が続けている。PFでの挿入光源実験はこうした決定的な証拠を提供したことで、第三世代放射光のコンセプトの確立に貢献した。

7. その後の発展

挿入光源のその後の発展についてはここで詳細に触れる余裕はないが、挿入光源の磁気回路デザインのその後の進歩で、任意の偏光、つまり縦横任意の直線偏光、円偏光（楕円偏光）の発生技術が確立し、ネオジミウム・鉄・ボロン（+ディスプレイウム）の強力永久磁石 NEOMAX の発明、真空封止型アンジュレーター技術の確立に伴う第三世代放射光光源の小型化等、アンジュレーターの技術水準を格段に向上させる進歩が相次ぎ、自由電子X線レーザー SACLA の完成でその技術は一つの頂点に達した。PFの歴史と歩調を併せて挿入光源の歴史もこの30年、画期的な進歩を達成したのである。



PF シンポジウム「PF 30 周年記念講演」の中で、「挿入光源事始め」を講演中の著者。

Paul Scherrer Institut

私は、2019年7月からスイス連邦の Paul Scherrer Insitut にてポスドクとして働き始めました。PSI は、スイス連邦における中核研究機関の一つであり、放射光などの大型実験施設を所有する研究所です。PSI 内には、第3世代放射光施設である Swiss Light Source (SLS)、中性子・ミュオン実験施設 (the Swiss Spallation Neutron Source (SINQ)), the Ultra-cold Neutron Source (UCN), the Swiss Muon Source (SμS)), X線自由電子レーザー (XFEL) である SwissFEL があります。PSI のキャンパスは、川を挟んで西側 (West) と東側 (Ost) に分かれており、West 側に SLS と SINQ 等があり、Ost に SwissFEL があります。これらの他に、Ost には所謂研究グループがいくつもあります。これらの研究グループでは、放射光など大型施設の利用の有無に関わらず、幅広い研究活動が行われています。

私の参画しているプロジェクトは、研究所内の異なる部局から PI が参画し、それぞれの専門分野を融合させることで、新たに研究を推進することを狙いにしたものです。PSI では所内での公募があり、年4-5件の採用があるそうです。私のプロジェクトでは、研究期間が2年で、装置開発費と人件費を含めて、科研費の基盤 A の上限額規模で予算が支給されています。スイスは物価が高い (日本の1.5~2倍) ため、その分予算規模が大きくなっていますが、それでもこの規模のプロジェクトを毎年4-5件採用しているということに、驚かされました。また、これらのプロジェクトでは、装置を購入するだけでなく人件費も組み込まれていることが、これまで私が体験してきた日本の研究機関との違いだなと思いました。

私のプロジェクトには、大気化学研究グループのリーダー (Dr. Prof. Markus Ammann)、SLS のビームライングループリーダー (Dr. Maarten Nachtegaal)、SwissFEL のビームライングループリーダー (Dr. Chistpher Milne) 及び原子炉安全のための研究をしているグループの PI (Dr. Tertalisa Lind) が参画しています。今回のプロジェクトでは Dr. Ammann が主たる申請者のため、私の所属は "Laboratory for Environmental Chemistry (LUC)" となっています。私のオフィスは PSI Ost ですが、ビームタイムなどに参加す



図1 PSIの全体像：PSI OstとPSI Westにキャンパスが別れており、2400人以上の研究者が働いている。

る場合には West にずっといたり、SwissFEL に出向いたり場所を移動しながら研究を進めている状態です。

PSI での研究スタイル

7月に着任して、1ヶ月ほどで身の回りのことを整えながら、研究の準備をし始めました。新しい研究を始める際には、大なり小なり研究資材の購入が必要であり、実験器具や試薬などの研究資材の選定を始めようとしていました。当初、私は、予算もあることだから、ある程度は購入して良いのかなと思っていました。しかしながら、実際は必要であれば購入可能してよいが、まず部局内に利用できそうなものがないかを確認し、その上で購入するかどうかを判断するという形を取っています。消耗品である試薬は、PSI で登録されている試薬全てがデータベースになっており、もし自分が利用したい試薬が同じ部局内や他の部局にある場合には、それを交渉して利用することも可能です。おそらく、購入したものは、PSI の共有資産という考え方をされていて、予算を効率的に利用すると同時に在庫過多になることを防ぎ、不要な物品・インフラを増やさないという考え方が根底にあるのかなというふうに感じました。

研究者の人員構成について

PSI とこれまで私が過ごしてきた日本の研究所との違いは、博士課程の学生の数だなと思いました。PSI には2400人以上の研究者が働いていますが、そのうち10%程度はPh.Dの学生だそうです。私の所属するLUCには、2つの研究グループがあり、それぞれに4-5名の博士課程の学生がいます。他の研究グループもだいたいそのような感じで、4名程度の博士学生がいるようです。博士の学生は、3年間の契約を結んでおり、博士の研究活動が労働として賃金が支払われるようになっています。常勤のサイエンティスト・ポスドクとともに、博士の学生の研究活動がPSIの研究の推進力となっていることを感じました。

私の所属する研究グループでは、溶液のX線光電子分光(XPS)に取り組んでおり、XPSの装置を立ち上げSLSで運用をします。XPSの装置の運用・管理などはサイエンティストと技官が中心となり、執り行われています。ビームタイムの際には、研究内容が近いメンバーが共同で実験を行っています。装置開発の部分とビームタイムの実験に関わる部分役割分担、ビームタイム毎に4名は人員を確保できる環境を目の当たりにすると、如何に博士の学生が重要な役割を担っているかということが理解できました。学生の能力や技量については、ばらつきがあるかなという印象もありますが、総合的には研究の推進力は高いのだろうと感じています。

PSI での常勤研究者選定プロセス

私が日本にいたときに、海外の放射光施設は1ビームラインあたりのスタッフが多いという話をよく聞きました。確かに、SLSのビームラインでは1ビームラインあたりに関わっている人数は日本より多いように思います。しかし

ながら、チームラインスタッフ全員が同じことをやっているわけではなく、個々に中心となる研究トピックを持っており、単純に人がいるからサポートができるというわけではないようです。また、PSI の常勤サイエンティストになるためには、tenure-track サイエンティストに採用されて、審査を経る必要があります。tenure-track は、まず2年の契約で始まり、1年半たった時点で更新の審査があります。この審査を通過すると、更に3年の契約を結ぶことになります。契約更新から2年半後(tenure-track 採用から4年半後)には、最終審査があり、この審査を通過して晴れて常勤のサイエンティストとなります。私が着任してすぐ LUC の tenure-track サイエンティストの最終審査が行われました。最終審査の前の予聴会に参加したのですが、最終審査ではかなりしっかりと審査をするんだらうなという印象を受けました。Tenure のサイエンティストについては、しっかりと審査プロセスの下に、適切な人材を不足ないように確保するという方針だろうと思います。

労働時間・言語について

PSI での労働時間は、週に 40.5 時間とされています。私が昨年働いていたオランダのユトレヒト大学では労働時間は 38.5 時間でしたので、スイスはヨーロッパでは長いほうなのかなという印象です。スイスには4つの公用語(ドイツ語、フランス語、イタリア語、ロマンシュ語)があり、PSI のある地域はドイツ語圏になります。スイス人の学生の話だと、スイスのフランス語圏とドイツ語圏では日々のワークスタイルが違うそうです。ドイツ語圏では、朝8時頃(人によっては、それより前)から仕事を始め、夕方5時頃には帰宅をするという感じのようです。フランス語圏だと、朝の始動が1時間程度遅い感じだということでした。言語だけでなく、ライフスタイルにも違いがあるということに、ちょっと驚きを覚えました。私の所属するグループには、何名かスイス人がいます。PI である Dr. Ammann はドイツ語圏の出身ですが、彼の学生の1人はフランス語圏出身です。この二人がディスカッションをする場合には、通常英語でディスカッションをすることになります。英語は、スイスの公用語ではないので、ちょっと不思議な光景です。しかしながら、複数の言語が公用語となっている環境であるために、必然的に日常から英語を使う環境が形成されているんだと感じました。このように常日頃から必要に迫られて培われる英語力と、何かしらのイベント毎のために利用する英語とで、歴然とした差が生まれているんだと肌で感じることができました。

ヨーロッパに出てくると、日本人の研究者と会う機会は少なくなりましたが、PSI には日本人の研究者の方をお見かけすることがあります。私が着任する1ヶ月前から PSI で働いている上田大貴さんと、私と入れ替わりくらいの時期で契約を終了された斎藤耕太郎さんにお会いすることができました。学会などで何度か訪れた場所でも長期で滞在するとすると、生活に関する情報などが必要となります。



図2 SLS の入り口にて、筆者(左)、上田さん(右奥)、斎藤さん(右手前)

このように情報を共有できる環境にあることは、スイスでの生活を始める上でありがたかったです。

マサチューセッツ総合病院(ハーバード大学関連病院)滞在記

総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科
物質構造科学専攻 亀沢知夏

私は博士課程に在籍しており、総研大の研究派遣プログラムにより2019年8月19日から10月20日の2か月間、アメリカのボストンにあるマサチューセッツ総合病院(MGH)に滞在致しました。

マサチューセッツ総合病院はハーバード大学の関連病院であり、今年はアメリカ病院ランキングで第2位、また研究費獲得では第1位の病院です。現在のように、時間を管理することが可能なエーテル麻酔が世界で初めて行われた場所でもあります(図1のMGH内のエーテルドームで行われました)。今回はPFユーザーでもあるRajiv Gupta先生が受け入れてくださり、滞在することができました。滞りの目的は、アメリカでの医療に関して学ぶことと、Gupta先生のグループが開発されているユニークなX線装置



図1 エーテルドーム ここで世界最初のエーテル麻酔のデモンストレーションが行われた。

生装置を使用させていただき、博士課程の研究をさらに進めていくことです。私の博士課程の研究はX線イメージングにより内部のずり弾性率を画像化することです。病変は弾性率が高くなるため、病変の識別などに役立つのではないかと期待しています。

滞在前の準備は非常に困難でした。まずビザの取得からつまずきました。スカラシップを持つ人は、J-1ビザが必要です。また病院に滞在するため、各種予防接種や胸部レントゲン撮影を受ける必要がありました。他にもかなり多くの事務手続きを遠隔で行った後、ついにボストンへ行くことができました。

ボストンは非常に美しい街です。自然と都会が同時に存在し、周辺には100以上の教育機関があるといわれています。有名なところではハーバード大学、MITがあり、距離は地下鉄で2駅ですが徒歩で移動することも可能です。大学間の交流も多く、Gupta先生はハーバード大学の先生ですが、研究室の学生はMIT所属の人も多くいました。さらに歴史的な街でもあり、独立に関する史跡がたくさん残っていました。緯度は札幌とほぼ同じ程度と言われており、10月に帰国するころにはダウンを着て更に手袋を使用していました。治安は非常によく、景色も美しくずっと滞在してたいくなります。一点だけ問題なのは物価が少々高いことです。途中から激安スーパーを見つけ、自炊するよう心掛けました。ただハンバーガーの味は非常においしく、忘れることができません。

MGHは非常に大きい病院で建物があちこちにあり、街中で会う人はMGHのIDカードをつけている人か患者さんかというくらい大きな病院です。建物は広いエリアに分布しているためシャトルバスが運行しています。様々な方向へ配車されているため、バスの現在地がわかるスマートフォンアプリがありました。

本滞在の一番の目的であった実験は、研究室の皆様の多くの協力により、予想以上の成果を上げることができました。そのためには、PFから装置を運び、それとGupta先生のグループの装置を組み合わせる必要があり、輸送に関



図2 (左上から時計回りに) ハーバード大学の門、大学の創設者ジョン・ハーバード像と筆者、ボストンの街並み



図3 ラボメンバーと最後のラボミーティングの写真

して兵藤先生を始めPFの方々にご協力をいただきました。この場を借りて感謝を述べさせていただきます。現在も解析を進めていますが、きちんと成果をまとめたいと思います。

もう一つの目的であった医療を学ぶことに関して、私の知識不足のため学ぶことが難しかったです。しかし、超音波を用いて私の研究テーマと同様の研究をしている方と知り合うことができました。アドバイスをいただくことができ、今後も含めつながりを持てたことは非常に大きな収穫でした。

さらに、日本人コミュニティとも密接に交流することができました。日本では普段なかなか会うことのできないような研究分野が異なる方と話すことができ、研究へのアドバイスをいただくこともできました。将来の研究に、このつながりを生かしていきたいと思います。また、MITの近くにあるチャールズ川では、MITスタッフや学生は無料でセーリングを行うことができます。MITのボスドクの方と、日本からMGHへ短期滞在していたヨット部の方と知り合いになり、セーリングも初体験することができました。

あっという間に濃い2か月はすぎ、最後の日にはGupta先生がご自宅でパーティーを開いてくださりました。このように多くのことを得ることができたのは、ご支援くださった皆様のおかげです。今後もこの経験を生かして研究を続けて参りたいと思います。このような機会をいただき、ありがとうございました。この場を借りて御礼を申し上げます。

防災・防火訓練が実施されました

放射光実験施設 防火・防災担当 松岡亜衣・野澤俊介

2019年度のKEK防災・防火訓練が11月27日(水)に実施されました。午後1時30分頃に緊急地震速報の非常放送があり、多くのユーザーの皆様の実験を中断して避難訓練にご参加いただきました。

非常放送が流れてから地震到達までの間に身の安全を確保し、使用中の機器の電源を切るなど適切な対応をしていただき、地震が収まった後に職員の誘導により指定の避難場所に避難していただきました。今回の訓練でPF、

PF-AR 地区では、約 140 名の職員とユーザーの方々が避難場所に集まり、安否確認を行いました。その後、PF 自衛消防隊員は各自の役割を踏まえて負傷者役の搜索と救出、安全防護状況の確認、重要書類の搬出といった緊急時の動きを確認しました。

訓練終了後にユーザーの皆様へお願いしたアンケートでは、約 30 名の方々から有意義なご意見をいただきました。今年度は避難場所を知らなかったと回答された方が約半数と多く、実際に災害が発生した場合に避難場所が不明というのは問題であり、掲示等を行うなど周知徹底の努力を続けてまいります。アンケートでは訓練について「年に 1 回程度ユーザーも参加して実施すべき」というご意見を多くいただきました。KEK のような共同利用施設の安全文化の醸成は職員だけでなく、皆様の協力なくしては決して成り立たないものです。今後とも訓練のみならず日頃のビームタイムなどでも防災、安全に関してご協力をお願いいたします。

最後になりましたが、作業を中断して訓練にご参加いただいたユーザーの皆様へ、改めて御礼申し上げます。どうもありがとうございました。

フォトンファクトリーの共同研究者 東工大腰原伸也教授が第 39 回島津賞を受賞しました

物構研トピックス
2019 年 12 月 10 日

東京工業大学理学院化学系の腰原伸也教授が、第 39 回（2019 年）島津賞を受賞しました。島津賞は、科学技術、主として科学計測に係る領域で、基礎的研究および応用・実用化研究において、著しい成果をあげた功労者を表彰するもので、腰原教授の研究業績は「超短パルスレーザー光と放射光を用いた動的構造解析法の開拓と光誘起相転移の研究」です。

腰原教授は、放射光とフェムト秒パルスレーザーを組み合わせた専用測定装置を、動作原理を含めその初期段階から開発・活用して、光で物質の性質を超高速かつ劇的に変化させる「光誘起相転移現象」という従来の概念を突破する研究分野を世界に先駆けて開拓しました。これにより超高速での情報処理や、高効率なエネルギー利用、さらには情報処理の（量子）過程制御が可能な材料開発への道が切り拓かれたことが高く評価されました。

2003 年 11 月、科学技術振興機構 JST の戦略的創造研究推進事業の一つ ERATO において腰原教授が研究総括を務める「ERATO 腰原非平衡ダイナミクスプロジェクト」が立ち上がりました。KEK は分子動画観測グループとして参画し、ERATO プロジェクトの下、時間分解 X 線ビームライン（PF-AR NW14A）の建設がスタートしました。

現在のフォトンファクトリーの時間分解 X 線計測技術確

立は、腰原教授との共同研究に負うところが大きく、時間分解 X 線ビームラインから数多くの研究成果が生み出されています。

小山篤氏が日本放射光学会功労報賞を受賞

物構研トピックス
2020 年 1 月 22 日

物質構造科学研究所放射光実験施設技術調整役の小山篤前任技師が、第 7 回日本放射光学会 功労報賞を受賞しました。功労報賞は放射光利用技術・支援の永年に渡る功に報いて授与する賞で、これまでに 3 名の、放射光科学を永年支えてきた技術者の方が受賞されています。

小山さんは、フォトンファクトリーで放射光が発生してから 2 年目の 1984 年に KEK（当時は高エネルギー物理学研究所）に文部技官として入所されました。入所以来、XAFS ビームラインを中心とする多くのビームラインの建設・運用・管理・利用支援・高度化に取り組み、多くのユーザーに安定で使いやすいビームラインを提供してきました。ビームラインだけでなく、実験に大きな影響を及ぼす実験ホールの環境についても真摯に取り組み、温度、湿度、気圧、冷却水の流量、圧力変動などを記録する環境測定システムを整備することで、空調の温度揺らぎや冷却水の圧力変動による実験への影響を改善していきました。また、非常通報装置の設置や火災受信機の集約、共同利用者も参加する防災訓練の企画など、安全に対しても大きな貢献をしています。

このように、小山さんのこれまでの功績は、フォトンファクトリーを利用する全てのユーザーが意識せずとも恩恵を受けていることばかりで、まさに放射光科学を支える縁の下の力持ちと言えます。

2020 年 1 月 10 日、名古屋市で開催された第 33 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウムにおいて授賞式が行われました。受賞のスピーチで、小山さんは「放



図 1 授賞式にて朝倉清高 学会長（左）と小山氏

射光の発展とともに歩んで来られたことに感謝します」と挨拶しました。もちろん、その発展は小山さんのような、地道な取り組みを重ねてきた技術者の方々のおかげでもあります。最近では、技術調整役として、次世代の技術者の育成にも力を入れている小山さんは、学会に参加している学生の皆さんにも、ぜひ KEK 技術職員のインターンシップに参加してください、と声をかけていました。

望月出海氏が日本陽電子科学会奨励賞を受賞

物構研トピックス
2020 年 1 月 24 日

低速陽電子実験施設の望月 出海（もちづき いづみ）助教が、2019 年度の日本陽電子科学会 奨励賞を受賞しました。この賞は、陽電子科学の分野で顕著な業績をあげ新進気鋭の研究者として将来の活躍が期待される研究者に対して、2 年に一度授与されるものです。受賞対象となった研究は、「全反射高速陽電子回折法によるルチル型 $\text{TiO}_2(110)-(1 \times 2)$ 表面原子配置の決定」です。

低速陽電子実験施設では、高強度低速陽電子ビームを用いた物質研究が行なわれています。望月氏は、この研究で、同ビームを用いた全反射高速陽電子回折（TRHEPD、トレプト）法により、 $\text{TiO}_2(110)-(1 \times 2)$ 表面原子配置の決定に成功し、30 年続いていた議論に決着をつけました。

TRHEPD は極めて表面敏感な陽電子による回折法です。最表面および表面下に隠れて見えない原子の種類と位置の詳細は、陽電子回折を用いれば明らかにすることができます。多方面の材料表面への応用が今後一層期待されます。



図 1 授賞式にて(2019 年 12 月 6 日撮影 / 日本陽電子科学会提供)

低速陽電子回折に関する論文が日本表面真空学会技術賞を受賞

令和元年 10 月 29 日に、公益社団法人日本表面真空学会において、低速陽電子実験施設の共同利用による低速陽電子回折（LEPD、レプト）実験に関する論文 [1] が、表面・真空科学分野の応用技術に大きな寄与をしたと認められ、令和元年度の技術賞を受賞しました。

LEPD は低速電子回折（LEED）の陽電子版で、理想的な表面構造解析手法として期待されています。既に放射性同位体からの陽電子を用いた実験が行なわれていましたが、反粒子のため十分な強度のビームを得るのが困難で、実験的な研究はこの約 20 年間頓挫していました。低速陽電子実験施設では、同施設の高強度低速陽電子ビームを用いることでこの困難を克服し、加速器ベースのビームを用いた LEPD パターンの観測に初めて成功しました。

[1] K. Wada *et al.*, e-J. Surf. Sci. Nanotech. **16**, 313 (2018).

PF トピックス一覧（11 月～1 月）

PF のホームページ (<https://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関係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。

2019 年 11 月～1 月に紹介された PF トピックス一覧

- 11.4 【プレスリリース】グラフェン超伝導材料の原子配列解明に成功～
- 11.4 【プレスリリース】アルミでコンピュータメモリを省電力化する～アルミ酸化膜を用いた新しい不揮発メモリの動作メカニズムを解明～
- 11.18 【プレスリリース】チョコレート・サイエンス 5 周年記念イベントチョコレート学入門開催のお知らせ
- 11.19 【トピックス】第 6 回「KEK スチューデントデイ」が開催されました
- 12.2 【プレスリリース】電子スピンを自在に操ることができる積層材料の開発に成功 - 日常生活の情報化を支える超高記録密度・省エネ磁気メモリの実現に大きく前進 -
- 12.6 【KEK エッセイ #19】相転移～景色が突然変わるとき
- 12.10 【物構研トピックス】フォトンファクトリーの共同研究者 東工大 腰原伸也教授が第 39 回島津賞を受賞しました
- 12.17 【プレスリリース】航空機用構造材料（CFRP）の破壊はどこから始まるか—放射光 X 線顕微鏡を用いたナノレベル観察—
- 12.24 【物構研トピックス】名古屋工業大学と KEK 物構

研の共同研究により，1次元モット絶縁体の光励起状態を精密計算する「電荷モデル」を開発

- 1.10 【物構研トピックス】私にスピンをわからせて！
～第5回転「銀原子はなぜ曲がる？」～にやるほど，
だから曲がるのねの巻
- 1.17 【プレスリリース】「筋ジストロフィー症に関わる
糖鎖を合成する仕組みを解明」
- 1.22 【物構研トピックス】小山 篤 氏が日本放射光学会
功労報賞を受賞
- 1.24 【物構研トピックス】望月 出海 氏が日本陽電子科
学会 奨励賞を受賞
- 1.24 【プレスリリース】基板に吸着するだけで，100 兆
個以上の分子の「形状」が一斉に変化－世界初，
有機半導体の電子状態を物理吸着で制御すること
に成功－
- 1.31 【物構研トピックス】今年もつくば SKIP アカデミ
ーおよび筑波大学 GFEST の生徒が SBRC の実習に
訪れました