

XAFS ユーザーグループ活動紹介

名古屋大学 田淵雅夫

XAFS ユーザーグループはユーザー間で情報交換や、PF と PF の XAFS ユーザーの間の情報伝達・意見交換を行うことを主たる目的として活動してきました。この原稿を書くために改めて思い出しますと、私が代表を務めさせていただくようになったのは 2005 年のことだったと思いますので、私の代になってからでも既に 15 年近く、その前を考えるとかなりの長期に渡って存在しているグループだということになります (PF の年齢が 35 年を超えるので当然かもしれませんが)。そこで XAFS ユーザーグループあるいはユーザーの立場から見た PF の動きを少し振り返ってみたいと思います。

私が代表になった後しばらくは PF の次期光源計画として想定されていた ERL にどのような性能を求めるかが、あるいは更にさかのぼると ERL を選ぶこと自体が大きな議論の対象になっていて、PF とユーザーの間で盛んに意見の交換があった時期でした。XAFS ユーザーグループとしても何度もユーザーに意見を求め、議論をして PF に伝えることを繰り返しました。その後、当時の呼ばれ方で東北放射光源の計画が浮上すると同時に PF の主計画が ERL からストレージリングに代わり、そこでもまたユーザーの新光源に対する要望と、新光源で期待されるサイエンスをまとめることで PF の計画を支援し、ユーザーにとって最大の利益が得られるよう活動を行いました。

現在は、そうした時期に比べるとひと段落していて、ユーザーの皆さんから頂くご意見も少なくなっています。そのためユーザーグループの活動としても、年度末の PF シンポジウム (量子ビームサイエンスフェスタ) に合わせたユーザーグループミーティング開催が主になっています。しかし実際には状況が落ち着いたわけではなく、ビームタイムが漸減を続けていることにどの様に対応するかを考えること、ユーザーグループとして、中期的にはオールジャパンの放射光施設の中で PF がどのような役割を果たして欲しいかの要望をまとめること、さらに長期的には PF の次期放射光施設計画に対して要望を具体化し議論を深めて行く必要があると考えています。

本号で報告させていただいた PF 研究会「XAFS・X線顕微鏡分光分析分野での IMSS, PF 戦略的利用に関する研究会」は、そのような議論をする場の一つと考えて、XAFS ユーザーグループと X線顕微分光ユーザーグループの共同開催で企画させていただきました。

会の詳細については研究会報告の記事に譲りますが、同会で議論したかった内容に関しては、XAFS および X線顕微分光ユーザーグループだけでなく、PF-UA 全体として今後も継続的に議論していくべき事柄だと思いますので、一

部重複することになりますが、ここにも記載したいと思います。

近年では XAFS 測定も、微小領域の測定、高い時間分解能を持った測定、2次元・3次元の空間分解能を持った測定が行われるようになりました。また、複数の計測手法による同時計測の試みも頻繁に行われるようになってきています。学術応用の観点で見ると幅広い学術分野の研究手段として利用されるようになってきました。その結果、ある研究を遂行するのに、例えば XAFS 測定なら XAFS 測定だけを主な手段として展開されることは少なくなり、実験技術の面で考えても複数の計測手法を駆使して総合的に議論されることが増えてきました。この様に放射光を利用した計測が発展する一方で PF の状況の面では上に述べたように、予算が削減されビームタイムが漸減傾向にあるのは事実で、これにどの様に対応するのも考える必要があります。

この様なことを背景に、研究会でのご講演やご発表は、放射光を道具として使いこなし大きな枠組みで展開される先端的なご研究の紹介と、放射光計測技術の高度化の話題を柱にし、近年どの分野の話をする時でも無視することができないデータサイエンスやデータ収集の高度化の話題も加えた構成とさせて頂きました。

議論のパートでは、1) PF に複数ある XAFS 測定ビームラインの役割分担が適切かどうか、変えるとするならどの様になるべきか、2) PF のビームタイムが減っている現状の中で、ビームタイムの配分方針に関して提案できることがあるか、3) PF のビームタイム減少を止め増大に転じるためにはより多くの新しい研究成果を挙げてくことが求められるが、これに対してユーザーコミュニティとしては何を考えていくべきか、という 3 点を柱に皆様からのご意見を頂き、議論を深めるように努めました。

もとよりここでの議論で結論が出るものではなく、今後継続的に続けるべき議論の皮切りととらえていますが、主だった意見を幾つか紹介したいと思います。1) に関しては複数手法同時計測等最先端を目指した特化ビームラインはもちろん必要だが、すべてのビームラインが何かの目的に特化するのとは好ましくなく一定数は汎用的なビームラインであり続けるべきという議論がありました。2) に関しては、判断基準として PAC 評点を使うとして、高評点の課題に集中するべきか、採択されている限り低評点の課題にも最低限のビームタイム配分を考えるべきかが最も大きな話題でした。私が受けた印象としては、教育が目標の一つの組織で、制度として 2 年有効な課題採択を行う限り (それが、学生の研究課題と対応する可能性が高いことを考慮して) 一定の配分は確保すべきという雰囲気が強かった気がします。採択された課題が 2 年間有効になるのは PF の大きな特色の一つだと思いますが、一部 PF の制度をあまりご存じでない方からは「採択されたのに実験できない課

題があるのは理解できない」という声も多く聞きました。3)に関しては、何かを考えていくことが必要という意識は参加者共通の認識としてあるものの具体的な提案がある状況ではありませんでした。

XAFS ユーザーグループとしては、今後も機会を捉えてこのような議論を継続し、随時 PF 側に伝えて行くことや、PF を支援することを続けたいと考えています。今後とも皆様のご協力を頂きますよう宜しくお願い致します。

X線顕微分光分析ユーザーグループ紹介

東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻
高橋嘉夫

はじめに

X線顕微分光分析ユーザーグループは、以前の「マイクロビームX線分析応用グループ」を改称したもので、X線顕微鏡を用いた多様な分析を展開する研究者の集まりである。X線顕微鏡には様々なタイプがあり、例えば、試料を走査して像（信号）を得る走査型と位置敏感な検出器を用いて短時間に像を得る結像型があるほか、透過X線を用いるか蛍光X線を用いるかや、より先端的手法では、X線の吸収率の差では判別できないものを位相コントラストで検出する手法があるなど、非常に多様化している。一般にX線顕微鏡は、電子顕微鏡に比べて空間分解能では劣るが、(i) 大気中で実験可能（硬X線の場合）、(ii) エネルギーを変えてX線吸収スペクトルを得ることで元素の化学種・化学状態の解析が可能、(iii) X線の透過力が強いことを利用

して3次元像の取得が可能（CT法）、などの利点があり、様々な応用が進んでいる。これらの実験の多くでは、エネルギー可変で大強度のX線が必要なこともあり、放射光の利用を前提としたX線顕微鏡が多い。逆に言えば、世界の殆どの放射光施設において、何らかのX線顕微鏡が運用されていると言えるだろう。

PFでのX線顕微鏡の展開

Photon Factoryでも、様々なタイプのX線顕微鏡が開発され、多くのユーザーが利用を進められており、代表的なものを表1にまとめておく。これらは、空間的にマルチスケールで利用するエネルギーも多様であり、試料によって適切に使分けられることで様々な情報を得ることができる。近年特に、アンジュレータを備えた新BL-15AでのマイクロXRF-XAFS-XRD法、PFでは最も新しいBL-19Aでの走査型透過X線顕微鏡（Scanning Transmission X-ray Microscopy (STXM)）、PF-ARのNW2AへのXAFS-CT装置の導入など、新たな手法の導入が進んでいる。

ユーザー運営ビームラインBL-4Aの運用

これらの手法のうち、これまでの経緯もあり、本UGメンバーの主要な研究として、蛍光X線分析（XRF）を中心とする分析手法の開発と応用が挙げられ、その重要な発展の方向性が微小領域分析であった。長年、国内におけるこうしたマイクロXRF-XAFS利用の要請に応じてきたビームラインがBL-4Aであり、本UGは主にBL-4Aの利用者で構成されてきた。BL-4Aは、飯田厚夫先生（現協力研究員）が開発されたビームラインで、2014年3月の飯田先生のご退職に伴いユーザー運営ビームラインとなり、本

表1. Photon Factoryで稼働している主なX線顕微鏡

ビームライン	X線顕微鏡の種類	エネルギー範囲 (keV)	空間分解能 H-V (μm)	特徴
PF BL-4A	μ-XRF-XAFS法 (K-Bミラー)	6-15	5 × 4	ユーザー運営ビームライン。検出器はSDD使用。シンプルな構成で操作性が高い。現在、各年度I期はK-Bミラーモード、II期とIII期は両方のモードを利用可能。
	μ-XRF-XAFS法 (ポリキャピラリー)	6-17	30 × 30	
PF BL-14B, C	位相コントラストイメージング法	8-80	大型試料対象 40 × 40 mm ²	吸収コントラスト法に比べて、(i) H, C, Oなどの軽元素で構成される低密度な物質に対しても高い密度分解能で測定可能、(ii) 高エネルギー領域のX線により高感度、などの特徴を持つ。
PF BL-15A1	μ-XRF-XAFS-XRD (K-Bミラー)	2.1-15	20 × 20	同一視野でのXANES/XRF/XRD複合分析が可能。2-4 keV領域でのマイクロXAFSを測定可。
PF BL-19A	走査型透過X線顕微鏡 (STXM)	0.1-2.0	0.03 × 0.03	炭素などの軽元素の官能基マッピングや鉄などの元素の価数別のマッピングが可能。併設のBL-19Bにおいて、バルク試料の標準試料の測定が可能。
PF-AR NW2A	XAFS-CT	5-11	0.01 × 0.01	Zoneplateによる結像光学系を備えた高空間分解能のCT法が利用でき、エネルギーを変えて、化学種の3次元マッピングが可能。位相コントラスト測定も可。

UGメンバーがその運営に当たっている。これまで、第1期(2014-2016年度)および第2期(2017-2019年度)の6年間、BL-4Aはユーザー運営ビームラインとして利用され、さらにこの運営は第3期(2020-2022年度)も継続される見込みである。BL-4Aが長期間に亘って利用希望がある要因として、マイクロXRF-XAFS分析の高いニーズに加え、BL-4Aがシンプルな構成であるため、トラブルが少なく、初心者でも比較的容易に利用できることが挙げられる。BL-4Aは、分光器としては二結晶分光器を備え、利用可能なX線マイクロビームとしては、楕円ミラーを用いたKirkpatrick-Baez(K-B)型集光光学系マイクロビーム(5 μ m角)とPoly-capillaryセミマイクロビーム(30-40 μ m角)があり、前者は微小領域のマイクロXRF-XAFS分析に、後者は高強度のX線が必要なセミマイクロXRF-XAFS分析に利用されている。これらの手法を利用した研究内容は極めて多岐に渡っており、新しい分析法の開発に加えて、環境物質、地球惑星物質、生体試料、機能性材料、考古試料などの局所の濃度分析および状態分析に幅広く利用されている。このようにBL-4Aは依然として多くのアクティビティがあり、その運用において殆どトラブルはないが、稀に起きる重故障時には飯田先生のご協力が必要なこともあり、円滑な運営のためにはユーザーの皆様のご協力が不可欠となっている。是非、適切な運用をお進め頂き、多くの成果を挙げて頂ければ幸いである。BL-4A利用希望の方は、高橋(ytakaha@eps.s.u-tokyo.ac.jp)までご連絡頂きたい。

UGの活性化の必要性

一方、既に述べたように、X線顕微鏡を用いた実験は、世界の放射光でルーチン的に行われており、関連分野の研究者は、表1に示されたような多様な手法を複合的に利用することで、世界に対抗する成果を生み出していく必要がある。走査型のX線顕微鏡に限っても、既に世界の潮流は「マイクロビーム」から「ナノビーム」に移ってきており、これを適切に使いこなすことが、今後の新技術の開発においても重要となる。そのため関連研究者は、PFの研究者と連携して自分の専門分野においてこれら手法の長所を生かした利用を進めていくことが重要であろう。実際、放射光を利用した様々な分析法が多くの分野で必要不可欠となった現状では、「先端的な研究手法開発」と「応用研究」が融合されてこそ、レベルの高い研究が実現される。またこれらの研究においては、適切な試料調製や測定すべき視野の選定などの技術的要因の重要性が益々高くなってきており、こうした点での手法開発や情報交換も活発に行う必要がある。是非、関連研究者が知恵を出し合って、先端的手法の開発と応用にトライし、独りよがりではなく他分野に訴える力のある研究を進めていくべきだろう。これらのことから、PFの施設研究者と利用研究者、利用研究者間のコミュニケーションを活発化させることは極めて重要であり、UGの枠組みがその一助となれば幸いである。

まとめ

このようにX線顕微鏡は放射光の特性を活かした手法で、世界の放射光施設には必ずX線顕微鏡が利用できるビームラインがあり、しのぎを削っている。またこれらの手法は、先端材料や環境・資源試料などの「持続可能な社会の確立に必須な分野」と、はやぶさ2がもたらす小惑星試料や生物試料などの「人類の夢を担う分野」の両方の発展に貢献でき、21世紀においても多くのニーズが見込まれる。このようなX線顕微鏡の技術を継承し、その利用研究をさらに発展させるためにも、PFと我々ユーザーは協力して、活発な研究発信、若手人材の育成、新たな分野の開拓などに積極的に取り組んでいく必要がある。

令和元年度PF-UAの集い 報告

日時：令和2年1月12日12:00～13:00

場所：ウインクあいち(名古屋市)大会議室901

- ・清水会長挨拶に続き、植草庶務幹事が進行役を務めた。
- ・船守実験施設長より、施設からのご挨拶と御礼に続き、2020年度予算、将来計画、およびPAC検討事項について施設報告があった。量子ビーム連携研究センター設立については、雨宮研究主幹より報告があった。
- ・伏信行事幹事より、量子ビームサイエンスフェスタ開催について、行事小委員会報告があった。積極的な参加と発表、登録をお願いしたい。
- ・植草庶務幹事より、PF-UAだよりでのUG紹介について、広報小委員会(編集)活動の報告があった。続いて、次期会長選挙の進行について、推薦・選挙管理小委員会活動の報告があった。
- ・植草庶務幹事より、今年度のこれまでのPF-UAの活動について、研究会活動支援、内規制定、会員勧誘、PF-UAの英語対応についての報告があった。
- ・参加者約40名であり活発な質疑応答があった。