

PF 研究会「シリコン単結晶：理想品質へのあくなき追求：半導体産業の米と放射光 X 線光学素子として」の開催報告

東京理科大学 安藤 正海

まず足立主幹にはお忙しい中、週末にもかかわらず研究会にご出席下さり、その上ご挨拶を頂戴しました。ここに感謝いたします。

シリコン単結晶の完全性に焦点をあてた研究会は初めてかもしれません。シリコン単結晶は私が学生のころより親しんできた材料です。日本の産業を長く支えてきた産業のコメであることは多くの方の認識でもあります。そのコメの完全性と役割について一流の専門家をお招きしてもっと知ろう、より完全性を求める動きはあるか、最後の格子欠陥はなにか、可視化する方策はあるか、などが企画の時点でも考えた課題でした。

一方、私が従事している放射光医用画像開発をより加速するために周辺諸国と共同研究を進めています。お互いが理解し合うようになってきております。医用画像開発で使われる X 線光学素子はシリコン単結晶です。その縁でシリコン単結晶に理解ある方をお招きしたいとも考えました。そのために研究会言語として英語を考えました。これは結局やめてプロシーディングスではできるだけ英語でと方針を変えました。

日本におけるシリコン単結晶の生産高は世界の 7 割におよぶそうです。世界競争の中で驚くべきことです。日本が得意とする高品質は日本人の国民性と教育が相まって到達できたのであると確信しています。私がシリコン単結晶を初めて見た 1960 年代中ごろの修士課程時代、1960 年代後半の助手の初めごろはまだシリコン単結晶の大きさは親指

の大きさほどでした。世界の半導体工業がシリコン単結晶で行くかゲルマニウム単結晶で行くかの方針がようやく決まってシリコン単結晶に一本化したところではないでしょうか。これが瞬く間に他を寄せ付けない生産技術と営業力における努力のおかげで世界一の数字を生んだといって過言ではないかもしれません。

自動車はコンピューターのお化けだそうです。シリコンがいっぱい搭載されています。飛行機もそのようです。演算素子機能としてのシリコンの使われ方は付加価値を高めて日本経済を支えているものとして最も尊敬に値するものですが、その素材の良さすなわち結晶性の良さに起因しているにちがいがなく、結晶性の良さは X 線トポグラフィなどの X 線回折手法によって明らかになっていますから、道具としての X 線はもっと誇っても良いかもしれません。X 線を生み出す放射光もそうです。我が国の回折理論も実験レベルの高さもつとに有名ですが直接・間接にシリコン単結晶の大型化と高品質化の後押しになっていることは間違いないでしょう。また高品質のシリコン単結晶があって日本発 X 線回折に関する実験・理論の素晴らしい発展があったともいえる気がします。相乗効果の代表例です。

放射光 X 線分光素子というシリコン単結晶素材をそのまま使っている私たちの分野はそのシリコン単結晶の素材の良し悪しをもっとも敏感に感じる立場にいます。高抵抗値 FZ シリコン単結晶を求める私たちの姿勢を製造側はどのように見ているかも知りたいところでした。

そこでシリコン単結晶を中心にして (G) 製造現場と成長理論, (C) 評価, (U) 利用, (T) 回折理論, X 線画像アルゴリズム開発, (S) 若手, (M) その他に色分けし、多彩な専門家が一同に会する場を設定すると面白い議論ができるのではないかと考えました。着想は昨年 2011 年 11 月ごろでした。人選は研究会直前まで続きました。そのおかげで良い発表者・参加者にお集まりいただけたと思います。周辺諸国とも密に共同開発する意味合いがあり結果としてはたった一人でしたが忙しい中時間を割いて出席下さいました韓国浦項加速器研究所林博士には感謝したいと思います。

ちなみに (G) として信越化学 (株) 半導体阿部孝夫主幹、鹿島一日児技監、米永一郎東北大金研教授、(C) として川戸清爾九州シンクロトロン光研究センター顧問、近浦吉則九大シンクロトロン光利用研究センター客員教授、梶原堅太郎高輝度光科学研究センター副主幹、井上直久東京農工大大学院工学府客員教授、(C+U) として張小威 KEK 博士、藤本弘之産総研博士、杉山弘 KEK 博士、(T) として鈴木芳文九工大教授、高橋敏男東大物性研教授、湯浅哲也山形大大学院理工学研究科教授、(S) として砂口尚輝 KEK 博士研究員、呉彦霖総研大大学院生、金歌九工大大学院生と学部生、(M) として那須奎一郎 KEK 名誉教



図 1 研究会冒頭で挨拶をする筆者。

授、並河一道東京理科大教授でした。これらの先生方にはお忙しい中ご出席いただき、さらに他の講演に対して貴重なコメントを頂戴しました。謝意を表したいと思います。ポスドクと大学院生、学部生など次世代に活躍して頂く若手にこのような雰囲気を感じてもらうことも大きな目的でした。各専門家の発表にありましたように点欠陥がシリコン単結晶中最後の格子欠陥ともいえ、これをどのように攻略するかは製造側の攻め、直接に見えるようにするのはどのようにするかはX線を初めとする評価側の攻めが大いに期待されると受け取りました。

プログラムは以下のとおりです。

プログラム

総合司会：KEK 名誉教授 那須 奎一郎

5月26日(土)

9:50-10:00 はじめに：歓迎のあいさつ
(安藤正海：東京理科大学)

I. 結晶完全性

- 10:00-10:30 放射光を利用した自己相関型格子コンパレーター：その分解能の限界と結晶評価への新たな可能性 (張 小威：KEK・PF)
- 10:30-11:00 アボガドロ定数の測定とシリコン結晶の品質 (藤本弘之：産業技術総合研究所)
- 11:00-11:30 X線トポグラフィによる CZ シリコン単結晶中格子欠陥の3次元分布 (梶原堅太郎：高輝度光科学研究センター)
- 11:30-12:00 シリコンの真正点欠陥研究の過去・現在・未来—赤外吸収を中心に— (井上直久：東京農工大学大学院工学府)
- 12:00-12:45 加藤 (Prof. N.Kato) 動力学理論による消衰効果を取り入れた不完全な単結晶シリコンウェーファの多波長 SL- X線イメージングについて (近浦吉則：九州大学シンクロトロン光利用研究センター)
- 12:45-14:00 昼食
- 14:00-14:45 X線トポグラフィから見たシリコン単結晶の完全性 (川戸清爾：九州シンクロトロン光研究センター)
- 14:45-15:50 シリコン最後の格子欠陥 '点欠陥' 制御の理論と実際 (阿部孝夫：信越化学(株)半導体研究所)
- 15:50-16:20 Defect study in impurity doped Si and related crystals (Ichiro Yonenaga: Institute for Materials Research, Tohoku University)
- 16:20-16:30 コーヒーブレイク

II. シリコン単結晶利用研究

- 16:30-16:45 Development of new X-ray diffraction enhanced imaging system using channel-cut crystals (Yanlin Wu: YGUAS, PhD)
- 16:45-17:15 シンクロトロン光平面波による無転位 Si 単

結晶内の微小欠陥観察と動力学的回折理論を用いたシミュレーション

(鈴木芳文：九州工業大学)

17:15-17:30 屈折イメージングの計算 DFI 空間分解能評価のための (金歌：九州工業大学修士課程)

17:40-18:15 Design and Construction of a New Medical Beamline and Its Commissioning

(Lim Jae-Hong: Pohang Accelerator Laboratory)

18:30-20:30 懇親会 (茶寮かげつ)

5月27日(日)

9:00-9:30 透過型 off-Bragg 条件における X線回折強度とビーム軌道

(高橋敏男：東京大学物性研究所)

9:30-10:00 X線暗視野法を用いた軟組織描画システム：ハードウェア

(杉山 弘：高エネルギー加速器研究機構・放射光研究施設)

10:00-10:30 アルゴリズム開発と X線画像進歩 I

(湯浅哲也：山形大学)

10:30-11:00 アルゴリズム開発と X線画像進歩 II

(砂口尚輝：KEK・PF)

11:00-11:15 X線暗視野法光学系の空間解像度向上の試み

(中尾悠基：東京理科大学修士課程)

まとめ

11:15-12:00 明日のシリコン単結晶へ向かって (司会：安藤正海 / 東京理科大学)

参加者：講演者および並河一道 (東京理科大学), 中川翔 (東京理科大学部4年)

世話人の立場としては現在開発中の X線暗視野法を用いて病理検査用システム開発を目指す上で高い空間解像度を達成しようとしています。そのためには 100 ミクロン以下の厚さで、最低 2 cm × 2 cm の大きさのシリコン単結晶を実現することが必須条件です。学生時代以来、FZ シリコン単結晶は抵抗値が高ければ高いほど良質と教え込まれてきたところですが、抵抗値が低くても高い結晶完全性を示すらしいこと、一方視野を大きくする上で大型 CZ シリコンを使うことになりましたが、この完全性に関しても学生時代の刷り込み〜スワールへの懼れ〜も問題なしとする製造現場からの声はかつての思い込みとは大いに異なる現状に驚いているところです。このような既成概念を打破するきっかけになりました。

忙しい中、家族サービスをすべき土日に研究会を開くという罪作りなことをしてしまいましたが、それにもかかわらず時間を割いて多数お集まりいただき、あるいは司会をして下さり、あるいは熱心に講演して下さい、あるいは聞き手に回っては熱心に質問下さり、あるいは若手発表を支援下さり、おかげさまで私としては実りある研究会となったのではないかと思います。

最後に一言。物理的不純物、すなわち空孔子点、過剰シ



図2 熱心に質問をする参加者。

リコン原子と化学的不純物、多くはCZシリコンでは酸素、FZシリコンでは炭素、それに結晶成長速度を速めるために加えられたドーパントのそれぞれの量はおよそ $10^{-6} \sim 10^{-9}$ のオーダーと思われる。これを1次元のシリコン原子の並びに直してみると3乗根をとって $10^{-2} \sim 10^{-3}$ となる。すなわち1次元の世界では不純物はシリコン原子100個から1000個に1個の割合で入っていることになる。これがデバイスの上でどのような悪さをしているのか、さらにデバイスの密度が上がる場合にどのような影響が出るかは知る由もないが、X線回折の上でどのような作用があるかはこれからの研究に俟つところ。X線動力学理論が成り立つ結晶の大きさの目安として1次元30ミクロンをとると、それに含まれるシリコン原子数は 6×10^4 です。不純物の数は上の値を使って計算でき、かなりの数となるのが分かります。

いずれにしても点欠陥の生成モデルにはVoronkov, 阿部を始めいくつかあるようであるが、これらはいわば理論であり、裏付ける実験検証が求められるわけです。どちらの理論が正しいにしても高エネルギー実験のようにグループを組んで全世界的に実験検証してほしいと思います。

さてプロシーディングスは大部分が日本語となりました。英文は少数派となりました。文章ではなくパワーポイント(スライド)で済ませた講演もあります。次回以降はさらに形式を整えたいと思います。発行に向けて順調に推移しているところです。印刷物のみならずネットでもご覧頂きます。最後ですが研究会発案を支持し予算化して頂いたPF首脳部、会の企画段階から実施までさらに現在はプロシーディングス発行に向けて情熱的に作業をして頂いている主幹秘書高橋さんに深甚の感謝の意を表わしたいと思います。

PF 研究会「薄膜・多層膜の埋もれた界面の解析—高度な量子ビーム源による新しい研究の方向性」の開催報告

物質・材料研究機構 桜井健次
放射光科学第二研究系 平野馨一

2012年6月26日(火)～28日(木)の3日間、PF研究会「薄膜・多層膜の埋もれた界面の解析—高度な量子ビーム源による新しい研究の方向性」がKEK小林ホールで開催されました。この研究会は2001年12月に開催されたPF研究会「X線・中性子反射率法による薄膜・多層膜の構造解析」を出発点として、ほぼ毎年継続的に開催されており、今回が11年目、通算18回目にあたります。出席者は54名で、過去の研究会とあまり変わりませんが、放射光および中性子のビームタイム中であり、また他の重要イベントとも重なり、ご関係の方々にはかなり無理をお願いすることになってしまいました。この研究会の特色としては、次のような点が挙げられます。(1)半導体・電子材料からソフトマテリアル、バイオシステムまで、広い応用分野の埋もれた界面に共通する課題や困難度の高い未解決問題を取り扱っている。(2)反射率法とその関連技術を中心に微小領域分析、イメージング、クイック計測、モデルフリー解析等、新規の計測・解析技術の開発・確立と応用に取り組んでいる。(3)近くて遠い関係になりがちなX線と中性子の両方の専門家にとって共通のプラットフォームであろうとしている。(4)理論研究者やマテリアル開発を専門とする研究者との交流、意見交換を重視している。今回の研究会では、それらに加え、PFの将来計画のプロジェクトであるエネルギー回収型直線加速器光源(ERL)等、高度な量子ビーム源を先んじて取り入れた利用研究をどう準備すればよいかという点について、第1日目に討論企画「新しい量子ビーム源の魅力」を設けて活発に意見交換しました。また、第2日目の夜には、若手研究者を中心に、プレリミナリな内容を含む最新の研究状況を5～10分で話題提供してもらって討論するイブニングセッションが行われました。懇親会も第1日目と第2日目の夜に開催され、毎日朝から夜まで、たいへん活発で熱心なディスカッションが続きました。

高輝度なアンジュレータのビームラインを多数備えた第3世代および新第3世代の放射光源において蓄積され、拡張されてきた研究をさらに飛躍的に発展させるためには、ERLのような第4世代の放射光源に注目することが非常に重要です。X線反射率法は、全反射現象を利用して薄膜・多層膜の膜構造・界面構造を研究する方法としてよく知られていて、実験室系のX線源を用いたルーチン分析も広く行われていますが、新しいビーム源を採用することで、これまでは不可能、もしくはきわめて困難であった計測が実現する可能性があります。研究会では、KEKの河田洋先生、足立伸一先生より詳しい解説をして頂き、ナノビームによる微小領域の薄膜の表面・界面の解析、超短パルス



図1 熱心に講演に聞きいる参加者。

用いたポンプ・プローブ法による表面・界面の超高速反応や構造相転移の時分割計測、高いコヒーレンスを利用する埋もれたナノ構造の形状・寸法の決定や非周期・ランダム構造の解析等、多くの魅力的な研究の発展方向が議論されました。海外では X-ray cross correlation analysis (XCCA) のような新手法の開発や応用が始まっており、新光源は、そのような研究をさらに進めるのに寄与することが予想されます。このように、新ビーム源を用いることで、埋もれた界面の解析にかかわる分野においても、新しい研究領域が大きく開ける可能性があることを知ることができ、たいへん有意義でした。X線領域の ERL は、諸外国でもまだ実現していないだけに、わが国が世界に先駆けて実現を目指すことはとても価値あることと考えられます。他方、東海村では、J-PARC が昨年の震災による被害から立ち直り、順調に出力を上げつつあります。CROSS の鈴木淳市先生より、X線とは異なるユニークな特徴を持つ中性子の有用性、加速器を用いて生成させる白色のパルス中性子源の持つ優れた特徴をわかりやすく解説して頂きました。J-PARC/MLF では、世界最先端の大強度中性子源ばかりでなく、光学系や検出器、データ処理なども含めたビームライン整備においても先端的な取り組みが進んでおり、高い競争力を持つ施設になっています。最近稼働を開始した BL17 (SHARAKU) は、BL16 (SOFIA) に続く 2 本目の反射率ビームラインであり、埋もれた界面の解析に関する研究の新たな拠点として、今後発展してゆくことが期待されます。今回の研究会では、3 日続けて、J-PARC 関連の講演がありました。中性子反射率法も従来の常識では実現できなかったハイレベルな計測や新しい応用分野の開拓を進めるべき節目を迎えています。

3 日間の研究会での講演、討論の内容を振り返って、計測・解析技術や機器の水準も、適用しようとする実試料の応用のレベルも非常に進歩していると感じましたので、その一端を紹介します。X線反射率法では、1 cm 角程度もしくはそれ以上の大きさの試料を扱うのが当たり前のように考えがちですが、SPring-8 のアンジュレータ光を用い、いまや 1 μm 以下の領域の X線反射率の測定が、実試料に対して行われています。均一な薄膜ではなく、さまざまな分布、構造、パターンを持つ埋もれた界面の

ヴィジュアル化も実現されています。さらに、位置分解能を持たない検出器で 2 次元または 3 次元のイメージングを行う方法も研究されています。時々刻々の変化を追うリアルタイム計測法については、実験室系の X線源を用いた場合でも、 $\theta/2\theta$ の角度走査を行うことなく、反射率のプロファイル全体を 1 秒で 10^{-5} まで取得できるようになりました。同じく実験室系の CTR 散乱測定で、放射光利用の場合とほとんど変わらない高品位のデータが短時間で得られるようになり、結晶成長中の in-situ 計測への拡張も可能になりました。放射光を用いれば、こうした測定はサブミリ秒～数 10 マイクロ秒レベルで実現する可能性が考えられます。白色放射光とポリクロメータを用いた独自の新しい手法により、すでにミリ秒レベルの反射率測定、CTR 散乱測定が達成されています。さらに超高速現象の素過程を計測するために、ポンプ・プローブ法による X線反射率測定も計画されています。以上のような空間、時間のスケールにおける革新だけでなく、試料周辺の機器、セル等の開発により、これまで制約の大きかった試料系の計測も本格的に行われるようになりました。例えば、実試料の分子性物質と水の固液界面もその一つです。20 keV 前後のアンジュレータ光を側面入射させて反射率を測定し、水との界面のごく近くの詳細な構造が議論されています。ここまで反射率法のことばかり述べましたが、密接に関連し併用されることも多い表面回折法、反射小角散乱法、定在波法等の技術も、それぞれに顕著な進歩があり、研究会でも活発に討論されました。

以上のほか、数年前から始めていた理論研究者との交流もだいぶ進み、主に固液界面の構造等に関し、実験データと計算をどのようにつきあわせるか、といった具体的な課題が浮かび上がってくるような段階になりました。また、マテリアル開発を専門とする先生方にもご講演をお願いし、X線・中性子の解析が実際に役に立つためには、どんなことを考えなければいけないかという点での多くのご示唆を頂きました。

この研究会の成果は、この分野に関係する研究テーマの最先端の状況と将来展望をコンパクトにまとめた「埋もれた界面の X線・中性子解析アウトLOOK 2012」として近日中に出版する予定です。私たちにとっては、この 11



図2 懇親会でも議論が白熱。

年間で13冊目の出版になります。また、応用物理学会埋もれた界面のX線・中性子解析研究会 (<http://www.nims.go.jp/xray/ref/>) では、今後も継続的に研究会の開催を計画しています。ご関心のある方は、ぜひお気軽にお問い合わせください。

最後に、本研究会のさまざまなサポートをしてくださった物質構造科学研究所事務室の皆様はじめ、PF職員の皆様、共催に加わり運営に協力して下さったCROSS東海事業センターの皆様深く感謝申し上げます。

プログラム

第1日 2012年6月26日(火)

討論企画「新しい量子ビーム源の魅力」

- 14:50 ~ 15:00 Introductory Talk 桜井健次 (物材機構)
 15:00 ~ 15:30 次期光源計画としてのERL計画概要 (Status of the ERL project as a future light source) 河田 洋 (KEK)
 15:30 ~ 16:00 ERLの光源性能と利用サイエンス (The Performance and Science Cases of ERL) 足立伸一 (KEK)
 16:00 ~ 16:30 J-PARC物質・生命科学実験施設MLFの特徴 (The Feature of J-PARC/MLF) 鈴木淳市 (CROSS東海)
 16:30 ~ 17:30 総合討論
 17:30 ~ 懇親会「オー・ド・ヴィ」 (アーバンホテル1階)

第2日 2012年6月27日(水)

- 8:50 ~ 9:00 Introductory Talk 桜井健次 (物材機構)
 9:00 ~ 9:30 半導体における埋もれた界面構造とそのデバイス特性への影響 竹田美和 (名大)
 9:30 ~ 10:00 結晶成長その場観察を目指したヨハンソン分光結晶を用いるX線回折装置の開発 田渕雅夫 (名大)
 10:00 ~ 10:30 半導体ナノ構造デバイスの成長制御 (Growth control of nano-scale semiconductor devices) 高橋正光 (JAEA/Spring-8)
 10:30 ~ 10:50 休憩 (コーヒープレーク)
 10:50 ~ 11:20 X線の位相計測を利用した埋もれた界面研究の現状と将来展望 (X-ray Phase Measurements for Analyzing Buried Interfaces - Recent Progress and Future Prospects) 矢代 航 (東大)
 11:20 ~ 11:50 ナノエレクトロニクスにおける材料と界面の課題 (Challenge for discovering new materials and interface control in nano electronics) 知京豊裕 (物材機構)
 11:50 ~ 13:00 昼食
 13:00 ~ 13:30 太陽電池材料Cu(In,Ga)Se₂の電気・光学手法による欠陥評価 (Defect characterization of Cu(In,Ga)Se₂ by electrical and optical)

秋本克洋 (筑波大)

- 13:30 ~ 14:00 X線定在波法の新展開 (Generalization of the x-ray standing-wave technique) 坂田修身 (物材機構 / Spring-8)
 14:00 ~ 14:30 時分割測定を目指した波長-角度同時分散型X線反射率計の開発 (Development of the X-ray Reflectometer in Multiple Wavelength-Angle Dispersive Mode for Time-Resolved Measurements) 荒川悦雄 (東京学芸大)
 14:30 ~ 15:00 両イオン性水面高分子ブラシのナノ構造とその転移 (Nanostructure and Transition of Zwitterionic Polymer Brush at the Air/Water Interface) 松岡秀樹 (京大)
 15:00 ~ 15:20 休憩 (コーヒープレーク)
 15:20 ~ 15:50 Recent quick reflectivity measurements with laboratory X-ray source Vallerie Samson (物材機構)
 15:50 ~ 16:20 固液界面での第一原理反応シミュレーション (First-principles simulations on chemical reactions at solid-liquid interfaces) 森川良忠 (阪大)
 16:20 ~ 16:50 固液界面の空間スケールと時間スケール (Space and time scale at solid-liquid interfaces) 赤木和人 (東北大)
 16:50 ~ 17:00 休憩
 17:00 ~ 18:30 懇親会 (同じ会場にて立食パーティ)
 18:30 ~ 21:30 イブニングセッション

1. Bonse-Hart on a shoestring budget: Design considerations and initial stages of construction Brian Richard Pauw (ICYS-NIMS)
2. 逆X線光電子ホログラフィーの技術確立 (Internal-Detector Electron Holography: Measurement and Establishment) 上坂彰朗 (堀場製作所)
3. ソフトマター内部の“埋もれた”微細構造の超小角X線散乱による非破壊精密評価 篠原貴道 (九大高原研)
4. J-PARC BL16 SOFIA 反射率計の現状 小林元康 (ERATO 高原プロジェクト)
5. J-PARC BL17 SHARAKU 反射率計の現状 水沢まり (CROSS東海)
6. in-situ計測の近況 (Development of an in-situ X-ray Diffraction System) 松野信也 (旭化成)
7. 蛍光X線ホログラフィ 林好一 (東北大)

第3日 6月28日(木)

- 9:00 ~ 9:30 GI-SAXSによる表面周期ナノ構造の形状評価 表和彦 (リガク)
 9:30 ~ 10:00 バイオインターフェースモデルとしての組織化分子膜のX線構造解析 (X-ray Structural Analysis of Organized Molecular Films as Biointerface Models) 飯村兼一 (宇都宮大)

- 10:00 ~ 10:30 強誘電体薄膜の界面構造の精密計測とその応用に関する研究 (Research on precise measurements of interface structures of ferroelectric thin films and their application)
香野 淳 (福岡大)
- 10:30 ~ 10:50 休憩 (コーヒープレーク)
- 10:50 ~ 11:20 X線反射率法による Si(100) 熱酸化膜の深さ方向密度分布測定 (XRR Study on Depth Density distribution of Thermal Oxide Thin Film on Si(100)) 東 康史 (産総研)
- 11:20 ~ 11:50 脂質立方相の構造から界面の相互作用を探る (Can lipidic cubic phase be used as a tool for studying interfacial interactions ?)
高橋 浩 (群馬大)
- 11:50 ~ 13:00 昼食休憩 (70分)
- 13:00 ~ 13:30 リアルタイム 2D-GIXD による有機薄膜成長のその場観察 (In situ real-time observation of organic thin film growth by means of 2D-GIXD) 細貝拓也 (岩手大)
- 13:30 ~ 14:00 X線反射率法による微小領域計測と異常分散利用 X線反射率解析の可能性 (The possibility of micro X-ray reflectivity measurements and X-ray reflectivity analysis using anomalous dispersion effect)
上田和浩 (日立)
- 14:00 ~ 14:30 多波長同時分散光学系を用いた CTR 散乱の迅速測定 (Quick measurement of crystal truncation rod scattering in simultaneous multi-wavelength dispersive mode)
白澤徹郎 (東大物性研)
- 14:30 ~ 15:00 軟 X線領域でのコントラストマッチング GISAXS 奥田浩司 (京大)
- 15:00 ~ 15:30 J-PARC 反射率ビームライン BL17 の今後の展開 (Future prospects of neutron reflectometry at BL17 in J-PARC)
武田全康 (JAEA 東海)
- 15:30 講評, 閉会 平野馨一 (KEK)

PF 研究会「薄膜・多層膜の埋もれた界面の解析—高度な量子ビーム源による新しい研究の方向性」に参加して 1

岩手大学工学部 細貝拓也

本ワークショップは、2012年6月26日(火)~28日(木)の3日間、KEK 小林ホールで開催された。筆者は昨年まで海外の大学に従事しており、KEKを訪ねるのは学生の時以来であった。小林ホールは学生当時には無かったが、どの場所からでもスクリーンが見やすく、発表および議論に相応しい作りになっていた。初めてのためか入室し

てすぐに緊張感を覚えつつ、その中で3日間、最先端の放射光および中性子線施設の現状や将来構想、およびそれらを活用した非常に多岐に渡る各分野の最新の研究成果を一度に聴講する機会に恵まれた。

筆者にとっては、この「埋もれた界面研究会」の参加は今回が初めてである。過去の研究報告を閲覧してみると、2001年12月のPF研究会を契機として、10年以上に渡って行われているこの研究会は、X線および中性子線反射率や散乱に関する科学・技術を総合的に議論してきた国内でも稀有な研究会であることが分かった。X線反射率法に海外で初めて触れた筆者にとっては、この会の進行・雰囲気を知らず、既知の参加者もほとんどおらず、また同分野の発表もなかったため、ディスカッションどころか知り合いを作ること自体も困難であろうことが当初頭の中にあった。しかし、その心配は杞憂にすぎなかった。発表内容は非常に多岐にわたっていながらも、研究会の趣旨の通り、各自がそれぞれの研究成果のサイエンスだけでなく、その技術的なことや創意工夫など、多彩な興味によって議論は大いに盛り上がった。また、ある種の基本的な質問も柔軟に受け入れてくれる雰囲気があり、筆者にとっては、例えば J-PARC の職員の方々に中性子線の素朴な疑問を投げかけても逐一親切に対応頂いた。

参加者は合計54名であったが、その多くが放射光・中性子のビームタイムや施設の各種行事、国際会議等のスケジュールと重なっていたため、常駐している人数はその半分程度(または以下)であったと思う。普段はもっと多いとの話だったが、初参加の筆者にとっては若干さみしい気もした。理由の一つとして、学生やポスドクなどの若手研究者が比較的少なかったことが挙げられるかと思う。各分野のエキスパート達の講演は刺激的で勉強になるものばかりであったが、一方で、講演内容の完成度の高さからか安心して聞けてしまい、若手の学会発表であるような切磋琢磨という感が少し足りなかったように思えた。筆者のような会の歴史をよく知らない者の意見は的外れになるかもしれないが、あえて言わせていただければ、若手の研究者や学生などの講演の機会がもっとあっても良かったのではないだろうか。不完全な内容であれば、参加者が叱咤激励しながらもそのような人達を応援する。このような許容心がこの研究会には十分備わっていると感じるからである。開始から11年経っており、その時の若手は既に十分なベテランである。新たな若手の参入は、この研究会の更なる活性化につながると筆者は信じている。

さて、研究会の初日はPFの将来計画として ERL の概要やその期待される様々なサイエンスの紹介があり、また J-PARC の物質・生命科学実験施設の概要説明があったのちに、総合討論として特に ERL 計画についての熱い議論が繰り広げられた。質疑討論の勢いはすさまじく、正直、筆者は最終日の自分の発表に不安すら覚えた(もちろんこれはそれほど密度とレベルが高かったためである)。二日目および三日目はその他の参加者らの最新の研究成果の発表があった。全てを聴講することができなかったため個別

の内容に関しては割愛させていただくが、半導体界面、ナノドット、化合物太陽電池、高分子や単分子膜などのソフトマターなど、幅広い材料科学の話や、一方で測定手法の高度化や新手法・解析の提案などの技術的な話まで非常にバラエティーの富んだ内容であった。筆者が驚いたのは、発表内容もさることながら、先にも述べたように質疑討論の内容が濃くまた時間を超過してもなかなか収まらないなど、まさに白熱の討論会であったことである。過去の開催報告を見ても同様な記述が良くみられる。このような本研究会の体制はもはや伝統のようだ。昨今、規模の大きな学会で質疑応答時間の不十分さを感じることもある中、本研究会のとことん議論する、という姿勢は発表に良い意味での緊張を持たせてくれた。また多くの異分野の人達の話聞いて、自分の研究を見つめ直す良い機会にもなった。ちなみに、二日目のイブニングセッションの前には夕食と若干のアルコールが振る舞われ、その後の発表の質疑応答はさらに盛り上がったように思う。

全体を通してみて、筆者にとっては「出会い」および「新たな知識の取得」、「刺激」という意味で非常に有意義な会であった。ぜひまた参加をしてみたいと思うことに加えて、参加者の広がりや会の発展を期待せざるを得ない。最後に、今回の運営を担当された物材機構の桜井先生や KEK の平野先生、高橋さんや森さん、研究会で知り合いになりました各先生方にこの場を借りて厚くお礼を申し上げたいと思います。

PF 研究会「薄膜・多層膜の埋もれた界面の解析—高度な量子ビーム源による新しい研究の方向性」に参加して 2

東北大学 WPI-AIMR 赤木和人

表面科学の研究を行っている「PF」の言葉を耳にする機会が多い。しかし、分子シミュレーションを主な手法とする私は、それがどのくらいの大きさの装置であるか想像したことがなかった。もう 20 年以上前、大学 3 年当時に KEK の一般公開で見学した巨大な装置の印象はあったがそれは陽子加速器だったらしく、PF のリングの周長が 187m だと知ったのは今回の研究会という恥ずかしいありさまである。そんな私にも次世代光源についての企画討論は興味深かった。エネルギー回収型ライナック (ERL) を話題の中心にしつつ X 線自由電子レーザー (XFEL) なども頻りに引き合いに出されていたが、次世代光源への期待だけが語られていたわけではなかったからである。使いこなすにあたってユーザの考え方の変化や技術の向上が必要なこと、積極的な人がいる一方で使い慣れた従来型光源の併存を希望する人も少なくないことなどは、近年のスーパーコンピュータ (スパコン) を取り巻く状況に通じるものを感じた。

ご存知の方も多いかもしれないが、1990 年代前半まで

のスパコンは 1 つの命令で複数のデータに演算を施すベクトル型が主流であり、1 プロセッサの中で大量のデータを扱うためにメモリまわりも贅沢な作りであった。しかし、パソコン (PC) のアーキテクチャが劇的な進歩を遂げる一方でベクトル型アプローチでの性能の伸び悩みとコストの高止まりが壁になり、スパコンにも並列化の波が押し寄せた。先日完成した「京」コンピュータも 8 個のコア (演算器) を持つ CPU を 9 万個結合した超並列マシンであり、CPU やメモリまわりは PC アーキテクチャを流用してコストを抑えつつ、CPU をつなぐネットワーク (ハード・ソフトの両面) に知恵とコストをつぎ込むことで高い計算性能を実現している。使いこなせば、従来は使えなかった重い手法の実用化により計算対象が広がったり理論精度が向上したりするだろうし、同じ手法であれば大規模な計算によって小規模な計算とは質的に異なる理解が得られるだろう。ただ、ユーザにはベクトルプロセッサ時代よりも高度なアルゴリズム設計とプログラムのチューニングが要求されるようになり、使用に際してのハードルは高くなっている。「京」コンピュータの周辺では計算科学の専門家と計算科学の専門家の協力を密にする試みが従来以上に展開されているが、それでもマシンの性能を十分に引き出すノウハウが確立して普及し、計算物質科学の分野で本当に新しいアウトプットが量産されるようになるまで数年は要するだろう。

他方、intel 社の CPU を使った PC クラスタと呼ばれるタイプの並列マシンが手頃な価格で購入できるようになった。スパコンランキングの代名詞ともなった TOP500 においても、PC クラスタをスケールアップしたタイプのものが 4 分の 3 を占めている。性能を一杯に引き出す使い方ではないが、手元の PC クラスタで動くプログラムをそのまま持ち込めばそれなりに高速に動くため国内でも人気がある。これはこれで計算科学の裾野を広げる役割を果たしており、実際に多くの研究成果を生み出している。「地球シミュレータ」に代表されるベクトル型スパコンへのニーズも計算の種類によっては未だ健在である。コンピュータほど装置の入手性が良くないため単純に比較はできないと思うが、X 線を用いた測定も研究室レベルのものから放射光施設を必要とするものまで様々なようであるし、次世代光源の導入を契機にコミュニティが刺激を受けあるいは層の厚みを増すことで、質的にも量的にも新たなステージに入りつつあることは確かなのであろう。

ともあれ、計算機の進歩によって、物理的にも化学的にも多くの問題と絡んで興味のある固液界面の構造とダイナミクスの解明にも分子シミュレーションの立場から手を出せるようになってきた。実験的にはマイクロな探針と試料表面との相互作用 (原子間力やトンネル電流) を用いる走査プローブ顕微鏡の手法が先行してきたが、この手法は探針の存在が系を乱す可能性もあるため、界面近傍の分子振動の情報を抽出する和周波分光法 (SFG) や、X 線・中性子線のような量子ビームによる界面の観察にも期待するところが大きい。計算科学はその仲立ちを担うことが求めら

れよう。現在、「ちゃんと固液界面を扱っています」と言える最低 1.5 nm 以上のサイズ（面内・深さの両方）および相応な時間スケールにまで非経験的分子シミュレーションの適用可能領域が広がってきており、本研究会での数々の講演や議論は、実験との接点がすぐそこまで来ていることを強く感じさせるものであった。併せて、実験のことをもっと知る必要性をあらためて痛感した次第である。

本研究会の母体となった KEK/PF に関わる方々、今回の開催を陰に陽に支えてくださった方々、そしてこのような機会を設けてくださった物材機構の桜井先生にお礼を申し上げつつ結びとしたい。

「第2回コンパクト ERL サイエンスワークショップ」開催報告

放射光科学第二研究系 野澤 俊介

2012 年 7 月 30, 31 日、KEK 研究本館 小林ホールにおいて標記研究会が開催された。総勢 100 名の参加があり、盛況な研究会となった。KEK では、以前より放射光施設の次期計画をエネルギー回収型ライナック (ERL) と定めて準備を進めているが、その実現を目指して 2009 年から加速器要素技術の実証器としてコンパクト ERL (cERL) の建設が初められ、今年度末には電子ビーム運転を開始する予定である。一方、cERL は加速器の実証器と言う位置付けだけではなく、テラヘルツ (THz) 領域から X 線領域に至る幅広いエネルギー領域 (meV ~ keV) に跨る新しい量子ビーム科学のプラットフォームとして、優れた光源性質を有している。特に、レーザーコンプトン散乱 (LCS) によるフェムト秒短パルス X 線や、共振器を使った高繰り返し高強度 X 線、また cERL からのコヒーレント放射光 (CSR) である THz 光としての光源特性を、単一の加速器を用いて実現することができることから、X 線位相イメージング、医療用 X 線イメージング、THz 分光、THz イメージング、フェムト秒 X 線超高速ダイナミクス研究などを複合的に組み合わせ、新しい学術研究が可能となることが期待される。2007 年には第 1 回 cERL サイエンスワークショップ「cERL が拓く世界」が開催されたが、今回、電子ビーム運転が目前と迫ったタイミングにおいて 2 回目のワークショップを開催することで、cERL におけるサイエンスの展開について更に活性化することが本研究会の開催目的である。上述した cERL の光源性能に合わせて、1. 光源について、2. フェムト秒時間分解、レーザー・電子ビーム相互作用、3. THz 光利用研究、4. X 線イメージングの四部構成のセッションで研究会は進行された。

最初の光源に関するセッションでは、河田 洋 ERL 推進室長から、本研究会において cERL を用いた新しい量子ビームプラットフォームでのサイエンスの展開を議論したい、という全体の趣旨説明が行われた後、中村 典雄氏 (KEK) より 2013 年・春にビーム運転開始という cERL の進捗状



図 1 熱心な議論

況が発表された。羽島 良一氏 (JAEA) からは、低エミッタンスマシンによる分解能の高いレーザーコンプトン散乱は核燃料セキュリティへの応用も可能であること、島田 美帆氏 (KEK) からは cERL から発せられる THz 光と電子バンチを再度衝突させることによる軟 X 線ビームの生成について、山本 樹氏 (KEK) からは cERL に極短周期のアングレレーターを設置することで 2-3eV の真空紫外光が得られることが、それぞれ発表された。セッションの最後に、野澤 俊介氏 (KEK) から cERL において建設が計画されている、LCS による硬 X 線ビームラインと THz ビームラインの展望について発表された。

次のセッションにおいては、cERL からのフェムト秒 X 線を利用した時間分解・ダイナミクス分野の利用研究、またレーザー・電子ビーム相互作用を用いた利用研究の可能性について講演が行われた。初めに、LCS で得られる 100fs パルス X 線を用いた時間分解回折実験の研究提案として、衝撃圧縮過程における構造変化や、位相の揃った原子の集団振動であるコヒーレントフォノンのダイナミクス研究について、それぞれ、一柳 光平氏 (東大新領域) と中村 一隆氏 (東工大応セラ研) から発表された。LCS で得られる X 線は準単色光であるが、この光源性能を生かした利用研究として、阿部 仁氏 (KEK) より DXAFS を用いた光反応中間体の分光研究について発表された。cERL における軟 X 線利用については、足立 純一氏 (KEK) からレーザーによって配向制御された気体分子の光電子回折を用いたストロボ撮影について発表頂いた。坂井 信彦氏 (兵庫県大) からは、LCS における衝突レーザーの偏光を電気光学デバイスによって制御することで円偏光 X 線の高速切り替えが実現されることが示され、磁性体の磁気緩和等の利用研究への応用について発表が行われた。また、将来的な 3 GeV-ERL における ERL 加速器の特徴ある展開として大見 和史氏 (KEK) からエネルギー分散の少ない加速器性能を生かしたアト秒光源としての可能性についてご講演頂いた。

その後、現在 cERL が建設されている ERL 開発棟において施設見学が行われた。現在、すでに設置された X 線遮蔽壁の外周部分から加速器の外観が想像できるまで建設は

進んでおり、見学者は完成した cERL を想像しながらそこで展開される利用研究についてイメージを膨らませることができたと思う。見学終了後、小林ホールラウンジにおいて盛大な懇親会が行われ、参加者間で cERL における利用研究について実験的な詳細部分も含めた活発な議論が行われた。

2日目の最初のセッションでは、レーザーベース光源も含めた THz 光による利用研究の現状と、CSR による大強度 THz 光によって可能となるサイエンスについて講演が行われた。初めに、木村 真一氏（分子研）から、cERL における CSR を利用した THz 光の概要について説明があり、そこでは、ピークパワーは 25 MW が見込まれ、繰り返しを考慮するとレーザーベースの光源と比べて平均強度は桁違いに強いこと、THz ポンプ X 線プローブ実験の可能性、さらには近接場分光への応用等が発表された。テーブルトップレーザーベースの装置を用いた先端研究として、廣理 英基氏（京大）から 1 kHz 繰り返し 1 MV/cm の電場発生方法について、またその THz パルス励起によるバンド間電子励起に起因した励起子発光の観測について講演頂いた。谷 正彦氏（福井大）からは高強度、高出力の THz 光源を利用した応用展開として THz 波による多光子吸収、Ponderomotive force、非線形物性等の最新トピックスについての発表があった。THz 帯における高感度な超電導検出器についての講演として、大谷 知行氏（理研）から THz 光によるクーパー対の解離に起因した力学インダクタンスの変化を光検出原理とするマイクロ波力学インダクタンス検出器についての発表が行われた。続いて、築山 光一氏（東理大）からは東理大野田キャンパスの FEL 施設における赤外-FEL によるポンプ-プローブ励起状態解析についての紹介と、THz-FEL ポンププローブ測定への展望について発表が行われた。岡村 英一氏（神戸大）からは近接場分光の進展について講演頂き、変調法による空間分解能 ~100 nm の実現可能性について議論頂いた。セッションの最後には木原 裕氏（立命館大）から生理的機能と重要な関係にあるタンパク分子の低周波数内部振動に対する THz 光を用いた測定について、さらには、タンパ

ク質が機能を有するため特定の立体構造に折りたたまれるフォールディングの THz 光を使った機構解明への期待について発表が行われた。

2日目2番目のセッションでは、LCS による共振器を用いた高繰り返し高強度 X 線を使った X 線イメージング研究に関する講演が行われた。LCS で得られる光源サイズは約 50 μm と小さく、また光源点から 20 m 離れた地点におけるビームサイズは直径約 100 mm、ビーム強度は約 10^8 photons/sec/mm² となる（E = 40 keV、繰り返し周波数 130 MHz の場合）。このことから cERL は伝搬ベースの位相イメージングに適した光源であると言える。セッションの最初に兵藤 一行氏（KEK）より cERL における X 線イメージングの概要についての発表があり、大視野・準単色・微小光源という詳細な光源性能について、また検出器開発の重要性について述べられた。X 線イメージングにおける検出器開発については新井 康夫氏（KEK）から発表があり、半導体プロセスで製造される 3 次元構造のイメージング検出器である SOI 検出器の開発について、その性能や、共同開発体制、さらには大面積化について講演頂いた。鶴嶋 英夫氏（筑波大学）からは臨床応用における現場からの意見として、従来の装置では見えないステント等の可視化を実現するための新世代光源の必要性について発表頂いた。その後、昼食休憩を挟み、百生 敦氏（東北大学）から、タルボ干渉計を用いた位相イメージングについての発表があり、従来の X 線源を使用しているタルボ干渉計はすでに臨床応用にも手が届いて来ているという現状について、またそれを受け医療画像診断応用を推進するには cERL のさらなるコンパクト化の構想が必要である点、さらには cERL における THz イメージングとの融合ステーションによる構造と機能の融合計測の可能性等について議論が行われた。セッション最後の講演として盛 英三氏（東海大学）から微小血管の観察による糖尿病診断法の確立について発表頂き、近年における MRI など先端診断法の急速な医療機関への導入実績例から、将来的に病院への導入を想定した cERL 光源の検討が必要であるとの指摘がなされた。

研究会最後には、研究会提案代表者である河田 洋 ERL



図2 集合写真

推進室長が全体のまとめを行い、聴衆に cERL 計画への協力を呼びかけて研究会を終了した。以下にプログラムを記す。尚、研究会での講演要旨、発表スライドについては以下のサイトを参照。

http://pfwww.kek.jp/ERLOffice/cerl_scienceWS/2/program.html

プログラム

7月30日(月)

12:30 受付開始

1. 光源について

- 13:00-13:20 全体趣旨説明 河田 洋 (KEK)
- 13:20-13:40 cERL の進捗状況 中村 典雄 (KEK)
- 13:40-14:00 レーザー・コンプトン散乱
羽島 良一 (JAEA)
- 14:00-14:20 THz-ICS による軟 X 線発生
島田 美帆 (KEK)
- 14:20-14:40 極短周期アンジュレータの ERL への応用
山本 樹 (KEK)
- 14:40-15:00 利用研究ビームライン概要
野澤 俊介 (KEK)
- 15:00-15:30 休憩・写真撮影

2. フェムト秒時間分解, レーザー・電子ビーム相互作用

- 15:30-15:50 X線回折・散乱を用いたダイナミクス研究
一柳 光平 (東大新領域)
- 15:50-16:10 コヒーレントフォノンダイナミクス
中村 一隆 (東工大応セラ研)
- 16:10-16:30 DXAFS を用いた fs ダイナミクス研究
阿部 仁 (KEK)
- 16:30-16:50 強レーザー場中の分子挙動の cERL による研究
足立 純一 (KEK)
- 16:50-17:10 円偏光レーザーコンプトン散乱ガンマ線による動的スピン磁気計測
坂井 信彦 (兵庫県大)
- 17:10-17:30 EEHG によるアト秒パルス放射光
大見 和史 (KEK)
- 17:30-18:00 cERL 見学 ERL 開発棟
- 18:00-20:00 懇親会 (小林ホール ラウンジ)

7月31日(火)

3. THz 光

- 09:00-09:20 THz 光を用いた分光研究と cERL への期待
木村 真一 (分子研)
- 09:20-09:45 高強度テラヘルツパルスで誘起する非線形光学現象
廣理 英基 (京大)
- 09:45-10:05 大強度 THz 光源の現状と応用展開
谷 正彦 (福井大)
- 10:05-10:25 超伝導テラヘルツ波検出器の開発と応用
大谷 知行 (理研)
- 10:25-10:45 理科大 FEL の利用実験と大強度 THz 光源への

期待 築山 光一 (東理大)

- 10:45-11:00 赤外領域における近接場分光実験
岡村 英一 (神戸大)
- 11:00-11:15 THz 光による protein folding 研究
木原 裕 (立命館大)
- 11:15-11:35 休憩

4. X線イメージング

- 11:35-11:45 cERL での X 線イメージングについて
兵藤 一行 (KEK)
- 11:45-12:05 SOI Pixel 検出器による X 線イメージング
新井 康夫 (KEK)
- 12:05-12:30 放射光の臨床応用の可能性について
鶴嶋 英夫 (筑波大学)
- 12:30-13:30 昼食
- 13:30-13:50 レーザーコンプトン X 線へのタルボ干渉計の応用
百生 敦 (東北大学)
- 13:50-14:15 次世代光源を用いた糖尿病性微小循環障害の低侵襲・早期診断法の開発
盛 英三 (東海大学)

5. まとめ

- 14:15-14:35 まとめ・今後に向けて 河田 洋 (KEK)



図3 今回のワークショップのポスター

SRI2012 に参加して

構造物性研究センター 岡本 淳

第 11 回 SRI2012 は 7 月 9 日～ 13 日にかけて、ESRF と SOLEIL の共催で、フランスのリヨン市にて開催されました。前日のレセプションでは ESRF へのツアーがあり、学会会場からバスで 1 時間ほどかけて向かい、実験ホールと付属の研究設備を見学しました。構造生物学研究センターの平木さんと蛋白質構造解析のステーションの説明を聞きましたが、自動化設備で時間短縮の工夫や電磁石による試料交換ホルダーの仕組みには研究グループ毎の工夫の違いが表れていて興味深かったです。

付属ラボでは、1-2 m の多層膜ミラーの作製手法を研究している多層膜ラボを見学しました。長い円筒チャンバーの側面に取り付けられた 4 つの蒸着源の前を、テーブルに基板を載せて移動させることで大面積の蒸着を制御することができるシステムがあり、凄さを感じました。当日の展示では、硬 X 線構造解析関連のものが多かったのですが、壁に貼られたポスター展示では、時間分解光電子、X 線吸収分光やイメージング、パルス磁場下 XMCD が見受けられ、ESRF の研究層の広さを感じました。ESRF の管理棟入口付近の展示区画で ESRF やビームラインの模型が展示されているほかに、実験ホールへ渡り廊下で ESRF での各研究部門での成果がポスターで展示されていました。PF で見られるポスターと方向性や内容で被さっている点も多く、世界とかけ離れているわけではないと安心する一方、

先駆けるにはどうすればいいのかという不安も感じました。

会議の大きなトピックとしては、XFEL 等の第四世代光源研究の現状と成果報告の他に、X 線イメージングの空間分解能などの性能向上、時間分解回折・分光測定の研究報告が数多く見受けられました。軟 X 線分光においても、SDD の導入により部分蛍光収量法を利用して自己吸収効果を補正した X 線吸収分光法の成果が報告されており、検出器と計測技術の進歩が合わさって新しい解析手法を生み出していました。ポスター会場の一角にある世界各地の放射光施設の現状報告ブースでは、報告ポスターが 20 を超えており、稼働している放射光施設がじわじわと増えているのは、いち放射光利用研究者としてありがたく感じます。

開催地の文物についてですが、リヨンはフランスを代表する文化や歴史の街としても著名です。会場が市街を南北に抜けるローヌ川沿いにありましたので、毎朝 9 時の開会前にホテルから町や公園を見て回りました。ルイ 14 世像のある広大なベルクール広場や町の北西にそびえるフルヴィエールの丘の大聖堂だけでなく、趣きのある建物の影からひょっこりと彫像のある広場や寺院が顔を覗かせるあたり、京都を思わせました。

三日目のバンケットは、三ツ星レストラン、ポール・ボキューズのアペイ・ド・コロージュで開かれ、食の街リヨンを満喫できました。いろいろな企画やサポートを準備された運営スタッフの皆様には、深く感謝いたします。

最終日の closing で、次回の SRI2015 がニューヨークで開かれることが通知されました。PF での新しい成果を持って臨みたいものです。



図 1 ESRF ホール内に展示されている ID



図 3 フルヴィエールの丘の大聖堂



図 2 ホテルから橋を渡ってローヌ川沿いの会場へ



図 4 ポール・ボキューズでのバンケット

XAFS15に参加して

広島大学大学院理学研究科 横山由佳

2012年7月22日から29日の会期で、XAFS国際会議(15th International Conference on X-ray Absorption Fine Structure, XAFS15)が北京で開催されました。1981年に第1回会議、そして近年では3年に一度開催されている学会であり、XAFSに関する基礎的な研究からそれを応用した幅広い分野の研究が議論されます。私の専門分野は環境地球化学であり、このような分析手法を中心とした学会とはこれまでほとんど縁がありませんでしたが、3年前のXAFS14に参加された先輩の勧めもあり、XAFSユーザーの端くれとしてこの会議に参加することにしました。

北京には22日に到着しました。その前日、北京は未曾有の大豪雨に襲われ、北京市内でも多くの被害があったということでしたが、幸いにも滞在期間中にその影響を受けることはありませんでした。空港からは、研究室の先輩である中国科学院の鄭国東教授の案内のもと、会場へと移動しました。道中、オリンピック公園近くの鄭教授のオフィスを訪れ、同院の周少平教授を交え、研究についての議論などを行いました。国際会議に来たついででしたが、親交を深めるよい機会となりました。学会会場は、北京の中心部から西に離れた場所にあります。近くには地下鉄の駅もあり、北京中心部や空港へのアクセスに便利な場所でした。到着した日の夜はWelcome Receptionに参加しました。Receptionといっても、ビュッフェ形式のレストランで夕食をとるだけでしたが、ベランダから眺める北京の夕日を肴に飲むビールは格別でした。会場周辺は人通りも多く、夜になるとディスコライトが照らされた広場でダンスパーティが催されるなど、非常に賑やかな場所でした。

23日から本格的に始まった学会は、XAFSの創始者として著名なE. Stern教授の講演からスタートしました。このようなXAFS業界の大御所の講演を生で拝聴できるのも、この学会に参加する醍醐味のひとつでした。学会のスケジュールは、午前中にPlenary Session、昼にポスターの



図1 Welcome Receptionにて



図2 会場入り口にて。XAFS15オリジナルリュックをもらいました。

コアタイムを挟み、午後に各セッションの口頭発表という構成でした。午前と午後のコーヒープレイクを利用したポスター発表も積極的に行われていました。学会では、全体で20近くのセッションがあり、XAFSの基本的な研究はもちろん、物質、材料、生体、環境と、広範な応用分野が含まれていました。普段聞きなれない分野ばかりでしたが、XAFSの守備範囲の広さを改めて感じました。また応用分野だけでなく、XAFSの基本である理論や解析に関する発表も積極的に聞きました。例えばデータ解析のセッションでは、FEFFの作成者として有名なワシントン大学のRehr教授グループの講演がいくつかあり、FEFFの理論や最近の改良などが紹介されていました。私も普段、EXAFSの解析にFEFFを用いているため、強い関心を持ってこれらの発表を聞いていましたが、まだまだXAFSの理論や解析の知識が乏しいことを痛感させられました。一方で、そのような理論を意識しながら解析しなければ、得られたスペクトルから余すことなく情報を引き出すことはできないと改めて感じました。

私がポスター発表を行ったのは、「XAFS Applications in Energy & Environmental Science」というセッションで、私の専門に関連したセッションはこれだけでした。地球化学分野の国際会議では、XAFSを研究手法の一つとして用いる研究も多くあるので、地球化学分野のセッションが一つもなかったことは意外でした。Plenary Sessionで環境分野を担当したのは、私の指導教員でもある高橋嘉夫教授でした。物理や化学など専門分野が異なる研究者を前に、環境学的研究がどのように受け止められるのかと気になっていましたが、この講演では、福島第一原子力発電所事故に伴う放射能汚染の話から始まったこともあり、多くの聴衆が興味を示していました。一方で、環境系の他の発表では、最先端の分析手法を駆使して環境試料を分析したことをアピールするような研究が多かったと思います。そのためか、環境化学的意義に欠けるような研究内容もありました。しかし研究所法がメインの会議という事で、やはり何か真新しい手法を使った研究が求められているような気もしました。そういう意味では、私の発表内容も不十分だったかも

しませんが、XAFSが導入されてから環境や地球化学の分野が著しく発展したことは間違いなく、XAFSというツールが分野の重要な一角を占めることをしっかりアピールできるよう、ポスター発表に臨みました。

私の研究では、ヒ素とセレンの環境挙動解析を行っています。具体的には、室内実験や環境試料分析にXAFSを適用し、さらに量子化学計算を組み合わせたEXAFS構造の解析も行っています。今回のポスターでは環境試料分析を中心に発表を行いました。量子化学計算によるEXAFS解析に興味を持っていただく方が多かったです。参加者のバックグラウンドを考えれば当然のことかもしれません。一方で、環境分野の研究者からはいくつか鋭い質問をいただき、まだまだ自分の研究の甘さを思い知らされました。これまで国際学会でのポスター発表は何度か経験しましたが、今回は異分野の方への発表ということで、特に良い経験になったと思います。研究内容だけでなく、英語発表の訓練という点で、良い刺激を受けたポスター発表となりました。また、私が博士課程の学生という事で、多くの方が励ましの言葉をくださりました。少し残念だったのが、コアタイムの初日、環境セッションのポスタースペースには3割程のポスターしか埋まっていなかったことです。国際学会のため仕方がないとは思いますが、オーラルでも楽しみにしていた講演がいくつかキャンセルになっていました。同じく環境系のポスター発表をしていたオーストラリアの学生と、その寂しいポスター会場について愚痴りあったのも良い思い出です。

会期中日にあたる水曜日は、丸一日 Social event にあてられていました。過去の開催では、その地域の研究所や放射光施設などの施設見学ツアーがあったのでこれを期待していたのですが、今回は観光地を巡る excursion が催されました。私が参加したのは、万里の長城（八達嶺長城）と明十三陵を巡るツアーで、観光バス4台分の学会関係者がこのツアーに参加しました。この時期の万里の長城は濃い霧に覆われるそうなのですが、それでもその圧倒的な存在感に感動しました。渋滞の影響もあり、全体として押しのスケジュールでしたが、短い時間の中でスムーズなガイドをしてくださったスタッフの皆様のおかげで、充実した

北京観光を楽しむことができました。

今回、最終日まで学会に参加できず残念でしたが、世界のXAFS研究を知る事と異分野交流という意味で、予想以上に得るものがありました。私たちの分野は、対象試料が微量であることが多いため、適用できる分析手法が限られています。しかし今回の学会で、環境試料分析には不向きだけれど、化学状態を分析する他の手法についてもいくつか学ぶことができました。今後、そういった分析法が発展していくことで、環境試料分析にも適応されることを期待したいと思いました。馴染みのない学会に参加するのはそれなりに勇気がいりましたが、今後の研究の発展につながるようなきっかけが得られたことは確かで、自分の成長を考える上でも、このような学会に参加できて本当に良かったと思います。次回は2015年、ドイツのカールスルーエで開催されます。おいしいビールも待っていることですし、私自身だけでなく、後輩などにも参加するよう勧めたいと思います。



図3 Excursionで訪れた万里の長城。稜線をなぞるその姿がXAFSスペクトルに見えてきます（個人差あり）。