

## CMRC 研究会「ARPES, 中性子散乱, $\mu$ SR を用いた強相関系研究の最近の発展」開催報告

東京大学大学院理学系研究科 吉田鉄平

2012年12月6日(木), 7日(金)の2日間, CMRC 研究会「ARPES, 中性子散乱,  $\mu$ SR を用いた強相関系研究の最近の発展」が4号館セミナーホールにて開催され, 53名の参加がありました。

講演では, 近年, 急速な研究進展が見られるトポロジカル絶縁体と, 銅酸化物, 鉄系超伝導体などの強相関電子系の物理を軸に, 新しい研究展開について講演と議論が行われました。電子構造のプロブである角度分解光電子分光(ARPES)の研究者と磁気構造のプロブである中性子散乱,  $\mu$ SRの研究者が集うことで, 有意義な議論が交わされることが期待され, 実際, 活発な質疑応答が繰り返されました。

1日目は鉄系, 銅系の高温度超伝導体を中心とした強相関電子系についての研究成果の講演が行われました。そのうちの幾つかの講演は, 鉄系超伝導体のペアリング機構についてそれぞれの実験手法から議論するもので, 今後, 実験結果の整合性を突き詰めることで, 真実に迫ることが可能であると感じられる議論でした。

2日目は重い電子系の「隠れた秩序」, マルチフェロイクス, スキルミオンなどの最新のトピックスが網羅され, 小規模な研究会ながら, 物性物理の最先端を概観することができる密度の濃い講演が続きました。特にトポロジカル絶縁体の研究では初期にはアメリカが先行していましたが, 近年のスピ分解光電子分光などの発展で, 日本からの発信力が強くなっていることを感じさせるものでした。研究会1日目の夜には懇親会がKEK近くの居酒屋「月の華」にてアットホームな雰囲気で開催され, 学生も参加して研究者同士の親睦を深めることができました。今後もPFのユーザーグループを含む量子ビームを軸とした物性研究者が広く活発に議論を行う場として, 研究会を開催することが必要であると感じました。

### プログラム

<第1日> 2012年12月6日(木)

13:10 はじめに 村上洋一 (KEK)

銅酸化物, 鉄系【座長: 佐藤正俊】

13:15 「鉄系超伝導体, 銅酸化物の超伝導ギャップ, 擬ギャップ」吉田鉄平 (東大理)

13:45 「Bi系銅酸化物超伝導体における低エネルギー準粒子状態のホール濃度依存性」井野明洋 (広大院理)

14:15 「低エネルギーミュオンで見た  $T^*$ -(La,Y)<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>-MBE 薄膜の表面磁性」門野良典 (KEK)

14:45 休憩

強相関酸化物【座長: 組頭広志】

15:00 「強相関酸化物量子井戸における低次元電子状態」吉松公平 (KEK-PF, 東大理)

15:30 「Electronic structure of thermoelectric/multiferroic delafossite oxides CuCr<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O<sub>2</sub>」斎藤智彦 (東京理科大学)

16:00 「共鳴軟X線散乱による研究の最近の展開」中尾裕則 (KEK)

16:30 休憩

鉄系超伝導体【座長: 吉田鉄平】

16:45 「 $\mu$ SRによる鉄系超伝導体 (Ba,K)Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>の磁束状態」大石一城 (CROSS)

17:15 「鉄カルコゲナイドとランタン系銅酸化物における磁性と超伝導の $\mu$ SRによる研究」足立匡 (東北大)

17:45 「鉄系超伝導体への興味と問題点」佐藤正俊 (CROSS)

18:30 ~ 懇親会

<第2日> 2012年12月7日(金)

強相関系あるいは鉄系・マルチフェロイクス・トポロジカル励起【座長: 相馬清吾】

9:00 「URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>の高分解能放射光電子分光」

横谷尚陸 (岡山大)

9:30 「マルチフェロイクスと量子ビーム」

有馬孝尚 (東大)

10:00 「MnGeにおける3次元スキルミオン結晶とトポロジカル物性」金澤直也 (東大工十倉研)

10:30 休憩

トポロジカル絶縁体・ラシュバ【座長: 藤森淳】

10:45 「Topological Insulator」永長直人 (東大工)

11:15 「放射光を用いたトポロジカル絶縁体の高分解能ARPES」相馬清吾 (東大理)

11:45 「極性半導体の巨大ラシュバ分裂: ARPESによる研究」石坂香子 (東大工)

世話人: 藤森淳 (東大), 吉田鉄平 (東大), 組頭広志 (KEK), 伊藤晋一 (KEK), 門野良典 (KEK), 小野寛太 (KEK)



図1 研究会での様子

## 「第1回先進的観測技術研究会 一局所構造解析, イメージングの最前線」開催報告

放射光科学第二研究系 中尾裕則, 足立伸一

近年の観測技術の進展は目覚ましいものがあり、今まで不可能と思われてきた事が当たり前ようになってきています。一方、先端的技術であるが故、部外者が入りにくかったり、他の研究分野から見えにくくなっている点も否めません。しかしながら、近未来の観測技術の発展には、広く先端的観測技術の現状を知るとともに、その上で議論することが必須と言えます。また、現在の観測技術の相補利用によるブレイクスルーも期待されるところです。そこで、今回『先進的観測技術研究会』を始めることとなりました。また、放射光の関連する観測技術の方向性は多岐にわたっており、全てを網羅するような研究会を組むよりは、テーマを設定して集中議論する方が良いとの判断で、第1回は局所構造解析・イメージングをテーマとしました。開催は12月26日となり、師走の忙しい時期となりましたが、64名の方々に参加頂きました。

最初に、共催頂いたPF-UAの佐藤会長よりご挨拶頂き、研究会をスタートしました。続いてPFの野澤氏より、PFの将来計画であるERL、また来年度ビーム利用が可能となるcERLの話、さらにはそこで展開される先端的研究を紹介頂きました。局所・表面構造解析の最前線のセッションのトップバッターは、東北大の平田氏で、Åサイズに絞った電子ビームを利用した電子線回折手法を紹介頂きました。将来の放射光X線でも実現できないサイズで、放射光との相補利用した研究の可能性を感じました。また、利用例で示された金属ガラスの局所構造を反映した回折パターンは印象的でした。2番目の講演はJAEAの樹神氏で、中性子・X線を用いた原子対相関関数(PDF)解析について紹介頂きました。結晶性物質に適用することで、結晶周期をもっていない構造の歪みを観測でき、具体的に得られた局所構造歪みと物質の機能・物性の関係は、興味深いものでした。EXAFSとの相補利用や、コヒーレントX線の空間相関観測など、今後の接点が期待されるところです。前半のセッション最後は、JAEAの深谷氏で、物質の表面構造を決定できる陽電子回折法について紹介頂きました。最表面原子層のみからの回折像が得られる極めて高い表面敏感性は、新たな研究の可能性を強く感じられました。今後、KEKの低速陽電子施設の利用で、より大強度の陽電子が利用可能となり、研究が進むとのことでした。

イメージングの最前線の最初の講演は、阪大の高橋氏で、コヒーレントX線を用いたイメージング研究の発展を紹介頂きました。1段1段と観測・解析技術を向上させ、次々と困難を克服して、新たなイメージング法を確立していく話で、興味深く聞かせて頂きました。また、試料結晶の転位を利用して生成されるという「X線うずビーム」には、将来を感じさせて頂きました。続いて二番目の講演では、



図1 研究会での様子

理研生命システム研究センターの渡邊氏に、光学顕微鏡を用いた生きたままの細胞イメージング手法について紹介頂きました。光の回折限界による制限から、可視光を用いたイメージングの空間分解能は数百ナノメートル程度が限界ですが、蛍光タンパク質を巧みに用いることで、ナノメートルオーダーの空間分解能で、生きた細胞内部を可視化した測定例が示されました。三番目の講演では、金沢大学の内橋氏に、液中環境下のタンパク質の動きをミリ秒の時間分解能とナノメートルオーダーの空間分解能で観測できる高速原子間力顕微鏡について紹介いただきました。この顕微鏡で測定したアクチンフィラメント上を歩くように移動するキネシン分子や回転するATP合成酵素の動画はとても印象的で、この手法の威力を感じさせました。四番目の講演では、理研播磨研究所XFEL研究開発部門の徳久氏に、コヒーレントX線を用いた単分子構造解析の計算アルゴリズム開発に関する話題を紹介していただきました。微弱なコヒーレント回折イメージから生体分子の電子密度分布を得るためには、多数の回折イメージを測定し、イメージの分類と平均化が必須となります。徳久氏らにより、イメージを高速に処理するためのアルゴリズムがすでに開発されており、今後のSACLAを利用した単分子構造解析の実現が期待されます。

最後に、様々な分野で利用される先進的観測技術を一堂に会した今回のような研究会は、これまであまり例がなく、参加された方々からは大変好評を頂きました。すでに、第二回先進的観測技術研究会の企画が始まっております。今後にも、ご期待ください。

なお、研究会ホームページ (<http://pfwww.kek.jp/pf-seminar/AOTI/index.html>) には講演資料も掲載しておりますので、是非ご覧下さい。

### <プログラム>

#### 2012年12月26日(水) 研究会小林ホール

12:00- 受付開始

12:55-13:00 PF-UA 会長挨拶 佐藤 衛 (横浜市立大学)

13:00-13:20 「はじめに - 次世代の放射光源: ERL が目指す先端的観測技術 -」 野澤俊介 (KEK)

局所・表面構造解析の最前線【座長: 中尾裕則】

13:20-14:00 「オングストロームビーム電子回折法による

## 国際会議 GISAS 2012 Kyoto を主催して

京都工芸繊維大学 櫻井伸一



図2 講演者。(上段左より) 平田秋彦氏, 樹神克明氏, (2段目左より) 深谷有喜氏, 高橋幸生氏, (3段目左より) 渡邊朋信氏, 内橋貴之氏, (4段目左) 徳久淳師氏。

金属ガラスの局所構造解析」平田秋彦（東北大学原子分子材料科学高等研究機構）

- 14:00-14:40 「X線中性子 PDF 解析による結晶性物質の局所構造解析」樹神克明（JAEA・量子ビーム応用研究部門）
- 14:40-15:20 「反射高速陽電子回折（RHEPD）法による物質最表面構造解析」深谷有喜（JAEA・先端基礎研究センター）
- 15:20-15:40 Coffee break
- イメージングの最前線 【座長：足立伸一】
- 15:40-16:20 「コヒーレント X線回折を利用したイメージング研究」高橋幸生（大阪大学）
- 16:20-17:00 「光学顕微鏡で生細胞の内部を観て測る」渡邊朋信（理研・生命システム研究センター）
- 17:00-17:40 「高速原子間力顕微鏡による生体分子のダイナミクス解析」内橋貴之（金沢大学・理工研究域・バイオ AFM 先端研究センター）
- 17:40-18:20 「X線自由電子レーザーによる生体高分子の高分解能構造解析法に向けて」徳久淳師（理研・XFEL 計画推進本部）
- 19:00- 懇親会

先進的観測技術研究会実行委員

足立純一, 足立伸一, 雨宮健太, 篠原佑也（東大・PF-UA）, 清水伸隆, 中尾裕則, 野澤俊介, 和田 健

昨年の京都の紅葉は 10 年に一度あるかないかというぐらい見事であった。その初秋の彩りが素晴らしい 11 月 13 日～ 16 日の 4 日間に渡って、京都工芸繊維大学 60 周年記念館において国際会議 GISAS 2012 Kyoto を開催させて頂いた。本国際会議は、ソフトマターやハードマターの表面構造を解析するための有力なツールである、X線や中性子による微小角入射角散乱（GISAS）法を手法として用いている研究者や技術者が一堂に会し、相互の交流をはかるとともに、これから GISAS 法を用いていこうと積極的に考えている人たちに、基礎から最先端の研究事例に至るまで、幅広い知見と情報を提供することが目的であった。

第 1 回目の GISAS 会議は 2009 年 9 月にドイツのハンブルグで「小角散乱国際会議（SAS2009@Oxford）」のサテライトとして開催された。今回の実行委員長である京都大学の奥田浩司先生と筆者がハンブルグでの GISAS 会議に出席し、主催者であったドイツ電子シンクロトロン（DESY）の Roth 博士とミュンヘン工科大学の Buschbaum 教授との歓談中に、彼らから「京都開催」を要請された。会議閉会時に参加者の満場一致の賛同が得られ（実は韓国開催を希望された方がお一人だけおられたが）、今回の開催に至った。前回にない、今回も「小角散乱国際会議（SAS2012@Sydney）」のサテライト会議として開催した。ドイツ、フランス、イギリス、アメリカ、韓国、サウジアラビア、中国、日本の合計 8 カ国、85 名の参加者を集め（図 1）、盛会裡に終了することができた。これも献身的にご協力頂いた実行委員の方々のご尽力のおかげである。紙面の都合、ここでお名前を述べさせて頂くことができないので、詳しくは web サイト（<http://www.gisas2012.kit.ac.jp/>）をご覧ください。

11 月 13 日は welcome party を開催した。また、翌日からの本会議に先立ち GISAS の基礎を学んで頂くためのチュートリアルとして、数名の日本人講師による日本語の講義とフランスのメーヌ大学（ルマン大学）の Gibaud 教授に英語の講義を行って頂いた。14 日は、開会式での京都工芸繊維大学 古山正雄学長の挨拶と奥田実行委員長の挨拶に引き続き、韓国ポーハン工科大学 Ree 教授の基調講演を皮切りに 4 件の講演（招待講演と依頼講演）を行い、ランチタイムを迎えた。午後はフランス原子力庁グルノーブル原子力研究センターの Renaud 博士による基調講演（質疑応答込みで 1 時間）に始まり、6 件の講演（30 分の招待講演と 20 分の依頼講演）のあと、口頭発表会場（60 周年記念館 2F 大セミナー室）のすぐ外のフリースペースでポスターセッション（合計 22 件；若手最優秀ポスター賞 1 件をバンケットで表彰）を行った。その最中に口頭発表会場のレイアウトを変更して、ケータリング業者とともにオードブルもセットしておき、ポスターセッション終了後、バンケットを行った。本会議 2 日目の 15 日は、Buschbaum 教授の基調講演から始まり、14 件の講演（招



図1 集合写真

待講演と依頼講演)のあと、閉会した。

基調講演では、韓国ポーン加速器研究所所長でもある Ree 教授がアジア・オセアニア地域におけるシンクロトロン施設の現状をレビューしたあと、X線を用いた GISAS 法 (GISAXS) によるご自身の研究をレビューされた。Renaud 博士は、分子線エピタキシー法や化学蒸着法によって基板上に作製されるナノドットやナノワイヤーの形成過程、結晶成長過程、ナノ粒子の形成過程を GISAXS と微小角入射 X 線回折測定によってその場観察した結果や、これらの測定のために彼らが開発した超高真空の試料チャンバーについて講述された。また、Buschbaum 教授は、中性子を用いた GISAS 法 (GISANS) によるご自身の研究を講演されたが、実は Buschbaum 教授はシンクロトロン放射光による GISAXS でも著名な成果を挙げておられる。今回の講演では、世界的に先駆けて GISANS を精力的に行っておられる同教授に、この方法でなければできないこと、その優位性を強調するご講演をお願いした。我々からのこのような要請にしたがって、中性子照射による試料ダメージが全くないこと (高輝度 X 線の場合は試料ダメージが顕著でこれをどう回避するかが大問題) などについてわかりやすく解説下さった。このように、基調講演では X 線と中性子の相補的利用の重要性を学ぶことができた。招待講演や依頼講演では半導体、EL 素子や太陽電池材料に関する内容が多数あり、これらの関連の材料開発の基盤技術の向上のために GISAS 法による構造解析が果たす役割の重要性を認識することができた。産業利用の観点からも GISAS 法の有効性が印象づけられた。

ポスターセッション中に本国際会議の International Advisory Board のメンバーと実行委員、そして、基調講演の講師が出席して、今後の運営方針を話し合った。その結果、次回は Gibaud 教授のお世話で 2015 年にフランスで「小角散乱国際会議 (SAS2015@Berlin)」のサテライト会議として開催することが決まった。さらに次々回は Ree 教授のお世話で 2018 年に韓国で「小角散乱国際会議 (SAS2018@Traverse City, Michigan USA)」のサテライト会議として開催することも決まった。

最終日の 16 日はエクスカージョンで京都市内観光を行った。参加者は 21 人で全員外国人、実行委員の山本勝宏氏 (名工大) に添乗して頂き、適宜、ツアーガイドもして頂いた。朝 9 時に集合し、たっぷり 1 日かけて市内名所を観光した後、午後 5 時ごろに終了。翌日、参加者のひとりから、金閣寺など素晴らしかった、との感想を漏れ伺った。

末筆ながら Photon Factory からも協賛を頂いた (合計 14 団体の協賛) ことに、この場を借りて御礼申し上げる。

## 15th International Small-Angle Scattering Conference (SAS2012) に参加して

名古屋工業大学 山本勝宏

第 15 回小角散乱国際会議 International Small-Angle Scattering Conference (SAS2012) がオーストラリアシドニー (Sydney Convention & Exhibition Center) で昨年の 11 月 18-23 日の間に開催された。当然ながら、気候は日本と正反対で夏に向かう初夏の様相で、温かくなり始めるとも過ごしやすい時期であった。この国際会議の目的は、ソフトマターおよびハードマターの構造解析に関わる研究分野において光、X線や中性子による小角散乱や反射率測定の手法を利用する世界各国の研究者、技術者が集まり、最新の研究動向や技術発展などについて情報交換し、相互交流を持つことにある。

1965 年に第一回の SAS Conference が英国で開催されて以来、ほぼ 3 年ごとに開催され、今回が 15 回目となった。前回 (2009 年)、オックスフォードで開催した際に本開催地と次期開催地 (2015 年ベルリン・ドイツ) が決定されており、本会議中に次々回 (2018 年 10 月) の開催場所としてミシガン (アメリカ) での開催が了承された。

SAS2012 における研究発表分野は複合流体、構造生物学、多孔質物質、高分子、応用と技術開発、ネットワーク構造、膜、磁性流体、計測機器と手法、表面、構造生物学、金属、

理論とモデリング、時間分割、液晶、コントラスト法、医薬、コヒーレント散乱とイメージングと多岐にわたった。参加者は350人程度と例年に比べ少ない感じであった。開催地が欧米から遠いことや参加費が意外と高かった？ことも原因であろうか。そのような状況でも、日本からの参加者が60名あまりと開催国であるオーストラリアからの参加者とほぼ同数であり、2番目の多さであった。アジア諸国からの参加において、日本は群を抜き、依然と日本がこの分野を牽引していることを実感した。当然、中国、韓国、台湾の研究グループの発表も洗練され刺激を受けるものが多くあった。各パラレルセッションが開催される会場はコンパクトに集められており、講演会場間をスムーズに行き来でき、数多くの講演を効率よく拝聴できたことはありがたかった。

基調講演9件のうち4件が中性子散乱に関わるものであったが、会議全体を通して、中性子散乱の利用に関する研究発表は2、3割であった。中でも詳細な構造解析として中性子とX線との相補利用による手法がその半分以上を占めていた。双方の手法の特徴を生かし、また双方の手法の欠点を補うことで、複雑な構造解析には大変有用であることがあらためて示されたと感じた。特にソフトマターにおける多成分複合系の構造解析には、散乱長密度のコントラスト変調法が有効であることは言うまでもないが、X線利用では、特定元素のX線の吸収端近傍のエネルギーを利用した異常小角X線散乱法（共鳴散乱）(Anomalous SAXS: ASAXS) や Soft X-ray を利用した従来のX線散乱とX線吸収分光の組み合わせによる構造解析に関する発表は興味深かった。

近年は、散乱データを二次元検出器で取得することが一般的あり、かつ高速時間分割測定が行われている。即ち、場合によっては一条件の実験を通して数千以上のデータ(1GB以上)の解析が求められる。膨大な量のデータを取り扱うためのソフトウェア開発およびその必要性に関する発表もなされていた。加えて、生データをブラックボックス(解析ソフト)に投げて、自分に都合のよい形で受け取るルーティン処理のため、エラーを見つけにくいこと、あるいは見逃してしまうことなどの問題点が懸念されることも強調されていた。

コーヒーブレイクは適宜とっており、適当な休憩時間は重要であると感じた。ブレイクの回数や時間、ポスター発表時間も十分な時間がとっており、また会場のすぐそばの一つの空間で行われたこともあり、口頭発表の時間では聞けなかった実験の詳細について十分議論することができた。研究講演以外に、チュートリアル講演として小角散乱入門が行われ学生にとっては、有意であったと思われる。

本会議では小角散乱における特別功労賞として Guinier (小角散乱の“父”である偉大な科学者) 賞がオーストラリア グラーツ大学の Otto Glatter 教授に授与された。Otto Glatter 教授の業績は、40年以上におよぶ小角X線散乱、光散乱、中性子散乱法の開発、その発展、応用と普及に献身的に携わってこられたことである。Indirect フーリエ変



図1 Conference Partyにて。(上)バンドに合わせてダンスする Otto Glatter 教授。(下)左から筆者、Cheng Wang 博士(米・ローレンス・バークレー国立研究所 Advanced Light Source), Eva M. Herzig 博士(独・ミュンヘン工科大学), Mr. Gunthard Beecke (独・ドイツ電子シンクロトロン), Kang Wei Chou 博士(サウジアラビア・アブデュラ王立工科大学)。

換法の開発の先駆者であり、多くの分野(特に高分子科学、ソフトマターとナノ粒子系、濃縮系への拡張など)にわたって、材料の実質的問題解決のための応用開発などを手掛けてこられた。さらに、教育・訓練、ソフトウェア開発、出版、計測機器の開発、教材・テキストの執筆を通じ国際小角散乱のコミュニティー構築などを行ってこられた Glatter 先生の業績は多方面で認められている。

カンファレンスパーティは、非常に印象的だった。学会会場からは徒歩で15分ほどの Darling ハーバーの Jones Bay Wharf の倉庫のようなライブハウスのような会場でおこなわれた。会場は参加者で満員、立食形式で何の挨拶もなく始まった。ワインやビールを片手に、何処も彼処も会話を楽しんでいる様子であった。生バンドの演奏が始まると、曲に合わせてダンスが始まった。あの Glatter 先生もノリノリで踊っていたことは忘れられない。日本の中性子散乱の分野で著名な先生方も、日本では見られない(?)様子で楽しんでおられ、必然的に筆者もその輪に加わっていた。さらに世界の著名な先生方、研究者との親睦を図ることができたことは言うまでもなかった。

SAS2012 全体を通して、大変有意義な会議であり、独特で印象的な会議だった。オーガナイザーおよび会議関係者に感謝申し上げたい。