

PF 研究会「次世代光源で拓かれる光電子分光研究の将来展望」開催報告

放射光科学第一研究系 堀場弘司

「次世代光源で拓かれる光電子分光研究の将来展望」と題しました PF 研究会を、2017 年 10 月 5 日（木）、6 日（金）の 2 日間に渡って、KEK 研究本館小林ホールにおいて開催いたしました。固体の電子状態を直接観察する手法として物性研究に多大な貢献を果たしてきた光電子分光法は、レーザーや硬 X 線などの新光源の採用、新しい角度分解分析器やスピン検出器の開発、試料測定環境の多様化など、近年でも多方面にわたり更なる発展を続けています。もちろんこの分野においてこれまで放射光源が大きな役割を果たしてきたことは言うまでもありませんが、次期光源計画として議論が進められている 3 GeV クラス蓄積リング型光源においては、これまでと比較して圧倒的に高輝度の真空紫外・軟 X 線を利用することが可能となるため、光電子分光実験においても更に劇的な高性能化が進み、新たな可能性が拓かれることが期待されています。このような背景から、今回は国内外の放射光施設やレーザー光源を用いて最先端の光電子分光研究を行っている先生方を一堂にお招きし、最新の研究成果をご紹介頂くことで、これらの最先端技術をさらに発展させ、あるいは融合することによって実現可能となる、次世代光源における最先端光電子分光研究の新たな可能性について議論したいという目的から、この研究会を開催いたしました。

10/5 には、初めに PF の村上洋一施設長よりご挨拶を頂いた後、堀場から本研究会の趣旨説明をいたしました。続いたの講演では、まず強相関酸化物研究の話題として、東大物性研の近藤猛氏より、金属-絶縁体転移を示す Ru 酸



図 1 会場の様子

化物の電子状態をレーザー光源を用いた角度分解能電子分光 (ARPES) で非常に高精度に観測した研究成果のご紹介があり、次いで京都大学の吉田鉄平氏からは、同じく Ru 酸化物において、電場印加による金属-絶縁体転移の電子状態を、電場印加下の硬 X 線光電子分光により直接観測するという新しい手法の試みについてご講演頂きました。ここから話題は顕微光電子分光へと移り、早稲田大学の溝川貴司氏からは、強相関電子系の相分離現象における電子状態の空間分布を観測するために、イタリアの放射光施設 Elettra で行ったナノ集光 ARPES の結果についてご紹介頂きました。続いて国内外の放射光施設でビームライン運営を行っているお二方、分子研 UVSOR の田中清尚氏とイギリス Diamond Light Source の岩澤英明氏から、それぞれの施設におけるナノ ARPES 実験ステーションの取り組みについてご紹介頂きました。

後半のセッションでは、最近発展の著しいスピン分解と時間分解の ARPES 手法に焦点を当て、それぞれ最先端の研究成果をご講演頂きました。広島大学 HiSOR の奥田太一氏からは HiSOR 放射光施設におけるスピン分解 ARPES の現状と展望について、また東大物性研の矢治光一郎氏からはレーザー光源を用いた最新の超高エネルギー分解能スピン分解 ARPES の成果について、それぞれご紹介頂きました。続いて時間分解の話題として、東大物性研の石田行章氏からはフェムト秒レーザー高調波を光源とした時間分解 ARPES、佐賀大学シンクロトロンの高橋和敏氏からは放射光パルス光源とした時間分解 ARPES の結果をご紹介頂きました。特に最近の時間分解 ARPES ではレーザー高調波光源の活用が非常に進んでいますが、観測したいダイナミクスの時間スケールによって放射光源も使い分けていくことが重要であるといった事例が紹介されました。この日のセッション終了後には懇親会が開かれ、若手を含め多数の方々にご参加頂き、今後の放射光源と光電子分光研究の未来について、ざっくばらんな議論がなされ大いに盛り上がりました。

2 日目の 10/6 は、午前中には現在 ARPES 研究の中心トピックスとなっている物質系として、トポロジカル絶縁体・ワイル半金属に関する成果を東北大学 CSRN の相馬清吾氏、東京大学の石坂香子氏、大阪大学の木村真一氏に、表面ラシュバ効果に関する成果を千葉大学の坂本一之氏に、酸化物表面の 2 次元電子ガス状態に関する成果を KEK 物構研の湯川龍氏、パリ第 11 大学の Andres Santander-Syro 氏にそれぞれご講演頂きました。これらの方々はいずれも、求める性能や手法に応じてレーザー光源・国内放射光施設・国外放射光施設を問わず様々な実験施設を相補的に活用して研究を進めており、このようなユーザーの方々との協力して成果を上げていくために特徴ある実験装置を整備していくことの重要性を強く感じました。



図2 集合写真

午後からは、まず近年一分野を築くまでに至った硬X線励起の光電子分光に関する話題が3件ありました。大阪大学の関山明氏からは、移相子により容易に偏光を制御出来る硬X線の特長を生かした光電子分光線二色性による軌道対称性の解明に関する研究成果をご紹介頂きました。物材機構の上田茂典氏からは硬X線光電子分光のARPES、磁気円二色性、X線定在波法など様々な手法の成果をご紹介頂きました。また分子研の高木康多氏からは、最近開発に成功した大気圧下で測定可能な硬X線光電子分光装置についてご講演頂きました。このように硬X線光電子分光手法は様々な方向性に発展を続けており、その可能性はまだ計り知れないという印象を受けましたが、この手法を取り入れたビームラインがPFにないことは残念に思います。この後は、分子研の山根宏之氏から有機材料に対する光電子分光研究の研究成果と最近の話題についてご講演頂き、続いて立命館大学の滝沢優氏からは、立命館大学SRセンターのご紹介とその低エネルギー光の特長を生かしたLi化合物の電子状態解析の研究成果について、最後に名古屋大学の伊藤孝寛氏からは、あいちシンクロトロン光センターのご紹介と光電子分光ビームラインの研究成果についてご紹介頂きました。

本研究会は72名という非常に多数の方にご参加頂きました。特に多くの若手の方々の参加が目立ち、この分野が今後ますます発展していく未来を予感させるものでした。講演者の方々の研究成果はどれも素晴らしいものであり、改めて物性研究における光電子分光の重要性を強く認識しましたが、その中でもレーザー光源を用いた成果や海外放射光施設を利用した結果に特に目を引くデータが多く、やはり今後の発展的な光電子分光研究のためには次世代放射光源が必要不可欠であることを痛感いたしました。

最後になりましたが、本研究会の開催にあたり、世話人および秘書室の方々をはじめとしたPF関係者の皆様には多大なご協力を頂きました。深く感謝申し上げます。
(研究会ホームページ：<http://www2.kek.jp/imss/pf/workshop/kenkyukai/20171005/index.html>)

タンパク質結晶構造解析初心者向け講習会開催報告

放射光科学第二研究系 山田悠介

2017年10月5日、6日の2日間にかけてタンパク質結晶構造解析初心者向け講習会が開催されました。本講習会は国立研究開発法人日本医療研究開発機構（AMED）が実施する創薬等先端技術支援基盤プラットフォーム（BINDS）において、構造解析ユニットの構造解析領域、およびタンパク質生産領域の参加機関である構造生物学研究センターが、タンパク質結晶構造解析の未経験者等を対象にタンパク質の結晶化から回折実験、構造解析までの一連の流れを解説するものです。前身のプロジェクトであるターゲットタンパク研究プログラムや創薬等支援技術基盤プラットフォーム（PDIS）から数えて7回目となる講習会ですが、今回は講習会期間を1泊2日とし、さらに実習形式の講習を充実させることで、タンパク質結晶構造解析の流れをより深く実感してもらうことを目指しました。

参加者は大学および公的研究機関の研究者および学生を中心に17名でした。これに加えて、本講習会は茨城大学大学院の学生実習も兼ねたため、茨城大学の学生11名、教員3名も参加しました。講習会初日は千田俊哉教授/センター長によるBINDSの概要説明がされ、研究支援という制度の紹介とともに支援メニューカタログが配布されました。次に、山田悠介助教、および加藤龍一准教授による結晶構造解析の概要と結晶化スクリーニングについての講義の後、4つの班に分かれて、各実験施設へと移動し、結晶化スクリーニング装置のデモンストレーションや、回折実験の試料準備である結晶の凍結作業などの実習が行われました。2日目は引田理英助教による放射光ビームラインにおける回折実験についての講義が行われた後、3つのビームラインに分かれて、ビームライン実験装置の見学を行い、さらに参加者全員が装置を操作して、初日に自身が凍結した結晶試料を回折計にマウントして観察を行い、凍結



図1 結晶凍結作業の様子

作業がうまく行えたかどうかの確認をしました。ビームライン見学の後は、講義室で各自持参したパソコンからインターネット上のクラウドに本講習会用に作成した解析サーバーにアクセスし、回折データの処理から位相決定、分子モデリングといった構造解析の実習を行いました。

タンパク質結晶構造解析は工程が多岐に渡るものですが、絶え間ない技術の進歩によって多くの工程が簡便化されて来ています。今後もこのような講習会を通してタンパク質結晶構造解析をより身近なものに感じてもらい、この研究手法が生命科学分野により広く行き渡るよう活動を行っていききたいと思います。