

## ■会議報告

# 第11回日本放射光学会若手研究会 「放射光を用いたナノ分光技術とスピントロニクスとの協奏 ～リサーチネットワークの形成に向けて～」報告

中山耕輔 (東北大学)  
小林正起 (東京大学)  
大坪嘉之 (大阪大学)

第11回日本放射光学会若手研究会「放射光を用いたナノ分光技術とスピントロニクスとの協奏～リサーチネットワークの形成に向けて～」を、2019年8月22日(木)から23日(金)にかけて東北大学片平キャンパスの片平さくらホール2階会議室にて開催いたしました。研究会には大学や公的研究機関から計80名の方々にご参加いただき、大盛況のうちに無事終了いたしました(図1, 2)。講演者と参加者の皆様、研究会の準備や運営にご協力いただいた研究室メンバー、秘書さん、ならびに放射光学会事



図1 全体集合写真。



図2 講演会場の様子。

務局の方々に心より感謝申し上げます。

スピントロニクスは、電子のもつ運動の自由度とスピン自由度の結合が、微小ナノ空間領域において顕在化することにより発現する様々なスピン現象を対象とする分野であり、世界的に熾烈な研究競争が展開されています。この点で、東北大学新・葉山キャンパスに新たに建設される次世代放射光施設は、ナノ領域を分光する放射光技術とスピントロニクスの融合により、新たな研究創発や産業創出においてブレークスルーをもたらす拠点となることが強く期待されています。さらに、SPring-8のアップデート(SPring-8-II)により、日本国内における放射光研究は新たな局面を迎えることとなります。この機会に、先端放射光科学とスピントロニクス分野の研究者が一堂に会して、スピントロニクス研究の現状を俯瞰し、先端的放射光光源を用いて今後推進すべき新しい研究開発の課題を明確にすることを目的として、本研究会を企画しました。また、本研究会では、若手研究者を主体とし、新たな研究ネットワークの形成を目指しました。

表1に、本研究会のプログラムを示します。本研究会では、研究対象とする物質や現象ごとに計5つのセッションを設け、最後に総合討論を行いました。放射光施設のビームライン担当者やユーザーに限らず、これまで放射光と接点の無い方々にも講演していただいたことが今回の研究会の特徴と言えます。

研究会は8月22日(木)の13:30から開始しました。世話人による研究会趣旨説明に続いて、セッション1「トポロジカル現象」では、トポロジーに関連した物性研究、および物性と関わる電子状態の観測手法について講演をいただきました。まず、大阪大学の新見康洋先生は、トポロジカル絶縁体に多く含まれるBiと強磁性体であるNiの界面における奇妙な超伝導についてご紹介され、その界面を利用したスピン流生成に関する実験結果についてご講演されました。東京大学の矢治光一郎先生は、トポロジカル物質などのスピン偏極電子状態を直接観測できるスピン偏極角度分解光電子分光法の現状と今後の展望についてご講演されました。また、東京大学の塩見雄毅先生からは、空間反転対称性を有する超伝導体と磁性絶縁体との接合系に

表1 研究会プログラム。

1日目：8月22日（木）

セッション0：はじめに

13：30-13：35 中山耕輔（東北大学）

「研究会の趣旨」

セッション1：トポロジカル現象（座長：中山耕輔）

13：35-14：05 新見康洋（大阪大学）

「Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定」

14：05-14：35 矢光一郎（東京大学）

「スピン分解光電子分光3.0」

14：35-15：05 塩見雄毅（東京大学）

「磁性絶縁体|超伝導量子渦系におけるトポロジカル整流効果」

休憩

セッション2：スピン・電荷励起（座長：相馬清吾）

16：05-16：35 橋本佑介（東北大学）

「可視光で見るスピン波伝搬過程」

16：35-17：05 佐藤浩司（東北大学）

「磁性体におけるトポロジカルなスピン波と Krein 空間について」

17：05-17：35 宮脇 淳（東京大学）

「共鳴非弾性軟 X 線散乱による磁性研究と次世代放射光施設での展開」

18：00-20：40 研究交流会（片平さくらホール1階ラウンジ）

2日目：8月23日（金）

セッション3：原子層物質（座長：菅原克明）

9：00-9：30 山本倫久（理化学研究所）

「グラフェンを用いたスピンバレートロンクス」

9：30-10：00 藤原宏平（東北大学）

「高移動度スズ系酸化物の薄膜合成と界面伝導評価」

10：00-10：30 宮田耕充（首都大学東京）

「原子層ヘテロ構造の成長と評価」

休憩

セッション4：スピンドバイス（座長：小林正起）

11：00-11：30 金井 駿（東北大学）

「スピントロニクス材料の不揮発性記憶素子応用」

11：30-12：00 飯浜賢志（東北大学）

「スピンバルブ構造におけるスピン流を介した光誘起磁化反転」

12：00-12：30 鈴木基寛（高輝度光科学研究センター）

「放射光磁気イメージングの進展とスピントロニクス研究への展望」

昼食休憩

セッション5：ナノ分析（座長：大坪嘉之）

13：50-14：20 岩澤英明（広島大学）

「ナノ ARPES による局所電子状態の観測」

14：20-14：50 鈴木明大（北海道大学）

「X 線レーザー回折による溶液試料のナノ構造分析」

14：50-15：20 堀場弘司（高エネルギー加速器研究機構）

「ナノ光電子分光によるピンポイント電子状態観測」

小休憩

セッション6：総合討論

15：30-16：30 進行：小林正起（東京大学）

「ナノスピン放射光科学のリサーチネットワーク構築に向けて」

において、超伝導量子渦のトポロジカルな保護による非相関輸送現象の発見とその原理について詳しく紹介いただきました。また、超格子における磁気ストライプ構造の制御に関する最近の結果についてもご講演いただきました。物質材料研究機構の山崎裕一先生には、軟 X 線を利用して電子構造を時空間分解して観測する手法について、磁気スキルミオンの研究結果を例にご紹介いただくとともに、次世代放射光施設におけるコヒーレントフラックスの大幅な向上によって期待されるスピントロニクス材料研究の展望について詳しくご講演いただきました。セッションを通して、トポロジカル材料におけるスピン状態を空間・時間分解して観測することの重要性、及びその分解能を今後どこまで上げられる可能性があるかについて論じられました。

セッション2「スピン・電荷励起」では、スピントロニクス材料における素励起（マグノンやフォノンなど）に関する講演をいただきました。東北大学の橋本佑介先生は、ポンプ&プローブ法と磁気光学イメージング法に CCD カメラを組み合わせた独自の手法（スピン波トモグラフィ法）によって、鉄ガーネット膜におけるスピン波を可視化した結果についてご講演されました。また、放射光への今後の期待についてもお話をいただきました。東北大学の佐藤浩司先生には、マグノニック結晶におけるトポロジカルなスピン波の理解に重要となる Krein 空間に関する理論的研究についてご講演をいただきました。東京大学の宮脇淳先生には、共鳴非弾性軟 X 線散乱と磁気円二色性を組み合わせた実験手法の有用性についてご紹介いただいた後、次世代放射光施設で建設予定の超高分解能軟 X 線発光分光装置の概要とそこで期待される実験の展望についてご講演いただきました。このセッションを通して、物質中の素励起の解明に向けて、次世代放射光施設での実験技術の発展に掛かる期待の大きさが感じられました。

初日のセッションが終了した後、さくらホール一階のラウンジにて研究交流会を開催しました。30名に上る研究者、学生の方々にご参加いただき、放射光を用いたスピントロニクス材料研究について、放射光ユーザーであるかどうかの垣根を超えて交流・話し合いが行われました。

2日目は、8月23日（金）の9：00から研究会を再開しました。セッション3「原子層物質」では、新しいスピントロニクス材料候補として期待される原子層物質やそれと関連する薄膜の作製、及びデバイス応用の可能性について講演をいただきました。理化学研究所の山本倫久先生は、半導体ナノ構造や原子層物質を用いてスピンを制御する量子デバイスについてご講演されました。また、三角格子を組むグラフェンや遷移金属ダイカルコゲナイドにおけるバレー自由度に由来するスピンバレー流の観測結果についてもご紹介いただきました。東北大学の藤原宏平先生は、金属酸化物を用いた薄膜素子開発について、高移動度のスズ系酸化物を中心に最近の研究の進展をご紹介されました。首都大学東京の宮田耕充先生は、化学気相成長法を利用し

た様々な原子層物質の合成方法や、それらを応用して合成したヘテロ構造の例と界面物性についてご講演されました。このセッションを通して、原子層物質の研究を進めていく上で、物質中のスピン状態を可視化する技術の重要性が論じられました。

セッション4「スピントロニクスデバイス」では、スピントロニクスデバイス研究の最近の進展と放射光を用いたスピントロニクス材料の評価についてご講演をいただきました。東北大学の金井駿先生には、磁気トンネル接合素子について最近の進展をご紹介いただきました。また、スピントロニクス素子研究の観点から、放射光実験技術についての期待を述べていただきました。東北大学の飯浜賢志先生は、超短光パルスを用いたスピントロニクス技術について、磁性体を積層したスピンバルブ構造におけるスピン流を介した磁化反転の実証とそのメカニズムについてご講演されました。高輝度光科学研究センターの鈴木基寛先生は、スピントロニクス材料研究において有用性が確立されているX線磁気円二色性測定技術が、放射光源の発展とともにどのように進化してきたかについて、最近の研究結果も交えながらご紹介されました。また、次世代放射光源で期待される発展についての展望も述べていただきました。このセッションを通して、高い実空間分解能でのイメージング技術、ならびに高い時間分解能での磁化ダイナミクス観測技術の実現により、放射光を用いたスピントロニクスデバイス研究の大幅な進展が望めることが論じられました。

昼食休憩を挟み、セッション5「ナノ分析」では、放射光を用いたナノ領域の電子状態・構造の観測技術について講演をいただきました。広島大学の岩澤英明先生は、英国Diamond Light Sourceにおける銅酸化物高温超伝導体の研究結果を例に、第三世代の高輝度放射光施設を中心に開発が進められている顕微角度分解光電子分光（ナノARPES）技術の有用性についてご講演されました。北海道大学の鈴木明大先生には、パルス状コヒーレントX線溶液散乱（PCXSS）法について、独自に開発されたマイクロ液体封入アレイを用いた溶液試料の観察例をご紹介いただきました。また、PCXSS法の高度化の一例として、10 nmを切る高い実空間分解能の達成に向けた最近の取り組みについてもご紹介いただきました。高エネルギー加速器研究機構の堀場弘司先生は、光電子分光を用いた電子・化学状態の三次元イメージング技術について、デバイスのオペランド観察への適用例などを交えながらご紹介されました。また、将来展望として、スピン分解ナノARPES装置開発についてもご講演されました。このセッションを通して、これまでスピントロニクス研究との接点が比較的希薄であったナノ分光技術とスピントロニクス研究の融合の可能性について論じられました。

最後の「総合討論」ではパネルディスカッションを行い（図3）、特に下記の3点について集中的な議論が展開されました。



図3 総合討論の様子。

(1) 放射光を利用したスピントロニクス研究の重要性自体は認識されているものの、融合研究が進まない原因は何か

この点について、特に放射光施設を利用したことがない方々から「課題申請書を書いて数日のビームタイムしか獲得できないという手続きが、実験室系と比較して煩雑」、「課題を申請してからビームタイムが使えるまでに数ヶ月から半年も待つのがきつい」などの意見が上がり、放射光実験の敷居の高さがネックになっていることが伺えた一方、「今回の研究会を通して放射光が身近になった」というポジティブな意見もありました。これに対して、放射光ユーザーからは、申請から実験までのスピードを重視する枠組みの存在や、お金を払ったり、共同研究を行ったりといった解決策の説明があり、今後これらのシステムを放射光ユーザー以外にも広く周知することの必要性が論じられました。

(2) 放射光を用いてどのような研究を進めていきたいか

この点について、スピントロニクス研究者からは、「試料のエッジや欠陥をピンポイントで見たい」、「埋もれた界面の情報を得たい」、「デバイスに近い構造でスピンや電子状態を見たい」、「スピンのダイナミクスを解明したい」などの意見が上がり、ナノ計測技術やトモグラフィなどを用いた三次元イメージング技術、及び時間分解測定技術が今後ますます重要になると感じました。また、「世界一の性能でなくても、ボタン一つで操作可能な利便性を重視した装置があるとありがたい」、「測定は放射光施設側に任せてしまえるような仕組みがあるとありがたい」といった意見も多くありました。装置開発者からは「性能のデモンストレーションとして高分解能化を優先するところがあったが、デバイスの研究者が見たいものとズレが生じないようにする必要がある」、「究極性能を達成しなくても取り組める未解決問題があることが分かった」、「スピントロニクス研究に必要な具体的な数値目標を知ることができて良かった」といったコメントがあり、密なコミュニケーションの重要性が伺えました。

(3) 放射光とスピントロニクスの専門家が交流する機会を

---

増やすにはどうすれば良いか

この点については、「このような研究会を継続して開催することが重要」、「今回の会議で生まれたつながりをもとに、実際に行動に移すのが重要」などの意見が上がり、具体的な枠組みとして、新設された学術変革領域研究（科研費）へ共同で応募するという提案もありました。また、新しい放射光施設が東北大学の敷地内にできることで、「Berkeley と Advanced Light Source が大学と研究機関の相互発展モデルの一つとなっているように、東北大学でも互恵的發展ができると将来は明るい」、「次世代放射光施設に東北大学の学生を呼び込んで、サイエンス半分、装置開発半分で学位を取れるような枠組みがあると良いのではないか」という意見もありました。また、「スピントロニクス分野では、スピントロニクス学術連携ネットワークという組織が既に立ち上がっており、この枠組みとうまく連携できれば良いのではないか」という意見もありました。多

くの出席者がネットワーク形成の重要性を感じ、実際に行動に移すことに前向きな雰囲気を感じられました。

研究会を通して、スピントロニクス分野の研究者の方々が、放射光を用いた計測技術に大きな関心と期待を抱いていることを強く感じました。現在の技術でも取り組むことのできる課題が存在する一方で、そのような課題の掘り起こしには、お互いの知りたいこと、できることについて情報を共有したり、相談したりできる機会を増やすことの必要性も痛感しました。また、次世代放射光施設の建設によってスピントロニクスの研究が大きく前進することを予感させる講演が多くありました。放射光科学とスピントロニクスの融合研究の推進に向けて、今後も研究会を継続して開催していくことや、共同研究を有機的に推進するための組織作りを進めていくことに世話人一同・参加者達が今研究会で形成した繋がりを活かして取り組んでいきたいと考えています。