

国際会議 International Conference on Topological Materials Science 2017(TopoMat2017)において Poster Award を受賞して

ナノスケール物性研究部門／量子物質研究グループ併任 肥後 友也

この度、2017年5月9日～5月13日に、東京工業大学で開催された国際会議“International Conference on Topological Materials Science (TopoMat2017)”において、“Magneto-optical Kerr effects and real-time imaging of magnetic domains in the non-collinear antiferromagnetic metal Mn_3Sn ”という題目で発表を行い、Poster Awardを受賞させていただきました。Topomat2017は、新学術領域「トポロジーが紡ぐ物質科学のフロンティア」により開催された会議で、トポロジカル物質やそれらに関連したトポロジーを基軸とする新奇物性の開拓をキーワードに、世界各国から集まった研究者により活発な議論が行われていました。以下では、この場をお借りして、受賞対象となった研究について簡単に説明させていただきます。

磁気光学カー効果は、磁性体に直線偏光を当てた際に、磁化の向きに応じて反射光の偏光面が回転する現象で、光磁気ディスクなどの磁気光学素子の原理であるほか、磁気特性・電子状態などの基礎物性や磁気ドメインを非破壊・非接触で観察する手段として、有限の磁化を示す強磁性体で盛んに研究が行われています。特に、体積が小さく通常の磁化測定が困難な薄膜形状の強磁性体の磁気特性評価に適しており、熱電変換素子やスピントロニクスデバイスなどの開発に広く用いられています。これらのデバイス開発では、近年、高集積・大面積・高速化への期待から、強磁性体だけでなく反強磁性体(中でも、電気を流すことが可能な反強磁性金属)にも注目が集まっています[1]。その一方で、反強磁性体では磁化がゼロ、もしくは非常に小さいため、強磁性体で一般的に用いられている手法では、光・熱・電気などの外場の反強磁性スピン構造に対する応答の検出・制御は困難であると考えられていました。実際、磁化がゼロとなる反強磁性体における自発的な磁気光学カー効果の報告はされていませんでした。

本研究では、中辻研究室が開発した、反強磁性体で初めて異常ホール効果[2]や異常ネルンスト効果[3]を示し、また最近では、時間反転対称性の破れたワイル金属状態[4]となること明らかになった反強磁性金属 Mn_3Sn に着目しました。カゴメ格子が積層した構造を持つ Mn_3Sn は、430 K という高温から逆 120 度構造と呼ばれる非共線反強

磁性スピン構造が安定となり、この特徴的なスピン構造が上記の新奇な物性の鍵であると考えられています。磁気光学カー効果測定の結果、室温・ゼロ磁場下で約 20 ミリ度という強磁性体にも匹敵するほど大きなカー回転角が現れ、これが微小な磁場で制御できることを発見しました。 Mn_3Sn は強磁性体の 1/1000 程度の非常に小さい磁化を持っていますが、第一原理計算との比較から、今回観測した磁気光学カー効果はこの微小な磁化の有無によらず、磁化がゼロとなるように整列した逆 120 度構造のスピンが作るクラスター磁気八極子秩序[5]が、その微視的な起源であることを明らかにしました。また、磁気光学カー効果を用いて、磁気八極子を持つ反強磁性ドメインとそのダイナミクスの直接観察にも成功しました[6]。

本結果は、新たに磁気光学カー効果を示す反強磁性体開発の指針を示しただけでなく、反強磁性デバイス材料として、磁気八極子を持つ反強磁性体が有力な候補となることを提示したという意味で応用上も大きな意味を持っています。その具体的な応用例としては、熱を電気に変換する「異常ネルンスト効果」を用いた熱電素子が挙げられます。こちらは反強磁性体を用いることで(i) 漂遊境界による電子機器などへの影響が小さく、(ii) 大面積・高密度な素子の作製が期待できることからエネルギーハーベスティング分野において大きな注目が集まっています。素子開発の一つの指針として、2 種類の反強磁性ドメインを接続したサーモパイル構造をとることでより大きな起電力が得られると考えられており、そのドメイン状態の理解・可視化が重要となっています。今回確立した、磁気光学カー効果を用いて非破壊・非接触でかつ簡便に反強磁性ドメインを直接観察する手法は、ドメインダイナミクスを把握することが難しかった反強磁性体を用いた素子を作製する上で、非常に有用な結果であるといえます。今後は、引き続き反強磁性体における磁気光学効果に関する研究を行っていくとともに、熱電素子やスピントロニクス素子に反強磁性体を実装することが当たり前となるように、新しい熱電・スピントロニクス機能の開拓に挑戦していきたいと考えています。



最後に、受賞対象となった本研究は、中辻研究室の特任研究員として、「頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム」のサポートにより米国 JHU に 1 年の長期研究留学をさせていただいた際に、同大 Chien グループ、NIST Shull グループ、UCB Orenstein グループ、理研 CEMS 有田グループと共同で行ったものであるとともに、帰国後に大谷研究室・中辻研究室の CREST 「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」特任研究員として行った実験や様々な分野の研究者との議論を通して得た知見を元に遂行して参りました。この場をお借りして、中辻知先生、瀧川仁所長、URA 鈴木博之博士、有田亮太郎先生、是常隆先生、大谷義近先生、谷口研二先生、秋永広幸先生をはじめ、ご協力や本研究を行う機会を与えてくださった皆様に深く感謝を申し上げます。

- [1] T. Jungwirth *et al.*, Nat. Nanotech. **5**, 231 (2016).
- [2] S. Nakatsuji, N. Kiyohara, and T. Higo, Nature **527**, 212 (2015).
- [3] M. Ikhlas, T. Tomita *et al.*, Nat. Phys. **13**, 1085 (2017).
- [4] K. Kuroda, T. Tomita *et al.*, Nat. Mater. **16**, 1090 (2017).
- [5] M.-T. Suzuki *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 094406 (2017).
- [6] T. Higo *et al.*, accepted for publication in Nat. Photon. (2018).



左から：受賞した肥後友也特任研究員、中辻 知教授