

# 第18回日本物理学会若手奨励賞を受賞して

附属極限コヒーレント光科学研究センター 板谷研究室助教 栗原 貴之

この度、第18回日本物理学会若手奨励賞(領域5:光物性)を受賞する荣誉に与りました。受賞となった研究対象は「テラヘルツ・中赤外における非線形マグノクスと分光手法の開拓」です。この一連の研究は、私が博士課程時代に在籍した物性研の旧末元徹研究室から開始して、ドイツのコンスタンツ大学におけるポストドク時代から現在に通じて行ってきたものです。この間様々な方々のご協力を頂きましたことを、この場を借りて感謝申し上げます。

私はフェムト秒からピコ秒といった超高速時間スケールにおける磁性体のスピンドYNAMIKSに関して研究を行っています。反強磁性体などでは強い交換相互作用によって自然共鳴周波数が THz に達することが知られ、従来のスピントロニクスデバイスを数桁高速化できる可能性から注目を集めています。このような速いダイナミクスを測るには電氣的な分解能では追いつけないため、超短パルスレーザーが必要になります。通常の超高速実験の研究室では可視から近赤外のフェムト秒レーザーが比較的簡便に得られるため、これを使ったポンププローブ分光は従来数多く行われてきました。これに対し、2010年代前後から発達してきた高強度 THz 波や中赤外光などの光子エネルギーの低い赤外パルスを用いると、余剰エネルギーが生じないためスピン系を非熱的に励起でき、コヒーレントなマグノンピコ秒スケールで精密に制御できることが知られてきました。末元徹研究室は当時このことを世界に先駆けて示したグループの一つであり、私は物性研合成室のフローティングゾーン炉を用いて合成した高品質のオルソフェライト単結晶( $\text{RFeO}_3$ , R=希土類または Y)をターゲットとして、こうした赤外パルス光源を用いたスピン系の超高速分光・制御手法を開発してきました[1-7]。

一つ目の論文は、超高速磁気相転移の過程において対称性の破れを決めるものは何か?という問いに対して取り組んだものです[1]。 $\text{ErFeO}_3$  はスピン再配列相転移という2次の相転移を持ち、85–96 K 付近で弱強磁性の配列方向が連続的に90度回転します。この過程は常温だけでなく可視光による瞬時加熱でも生じさせることができますが、ゼロ磁場で実験を行うと相転移後の磁化状態は

上向き・下向きの両状態が混ざり合い、正味の磁化はゼロとなるのが普通です。しかしここで光照射の前に、金属プラズモン構造を使って増強した高強度の THz 波[2]でマグノンを励起しておいてやると瞬間的に磁化が傾くため、ここにタイミングよく光パルスを照射することで相転移の方向性が決定的に定まり、終状態では飽和磁化の80%に近い巨大な磁化を生成できることがわかりました。この結果は THz 波を用いたスピンスイッチングの最初期の実現例の一つとなりました。

二つ目の論文は、光誘起の後にスピン再配列相転移が生じるまでの微視的な機構をより詳しく調べたものです[3]。一般的に考えられてきた機構は、光照射を行うとまず電子系から格子系へエネルギーが緩和し、それに伴って4f系の電子状態が熱化することで3d-4f交換結合により磁気異方性が徐々に変化していく、というものでした[4]。しかし、近赤外光を使った励起ではそれぞれの過程を分離することが難しく、緩和の各過程がどの程度の時間スケールで生じるのかは不明な部分が多い状況でした。これを明らかにするために、高強度のフェムト秒中赤外光源を用いて4f電子系の内部遷移を共鳴的に励起するという実験を行いました。比較のために行ったフォノン励起の場合は光励起後数 ps 経ってから再配列相転移が生じ始めるのに対し、4f共鳴励起では瞬間的に磁気異方性が変化し、励起直後から相転移が始まることがわかりました。このことから、従来見られていたデッドタイムは確かに格子系の加熱に対応する時間スケールであること、また fs の中赤外共鳴励起によってこれを回避し高速な相転移を引き起こすことが可能であることがわかりました。

三つ目の論文では、高強度 THz 波によって誘起された非線形なスピンドYNAMIKSの観測方法に関する研究を行いました[5]。通常スピンドYNAMIKSの光学応答は誘電率の非対角項にあたる磁気光学効果(ファラデー効果など)をプローブとして観測されることが多いですが、ここでは磁気複屈折効果という誘電率の対角項の変化を用いてプローブすることにより、スピンドYNAMIKSの2次高調波成分が感度良く観測できることを発見しました。詳細な理論

解析を行うと、このような非線形応答は異なるマグノン間の非調和な結合に起因している可能性が示唆されます。その様子は後に共同研究者である MIT のグループによる 2 次元分光実験で明瞭に観察されました[6]。

テラヘルツ波による超高速スピン制御、いわゆるテラヘルツマグノンクスに関わり始めてから 10 年近くになりますが、本研究を通じて実に多くの方々と知り合う機会に恵まれたことを何よりも有難く思います。物性研所内の様々な部門・研究室をはじめ、リーディング大学院の海外派遣プログラムでインターンを行った MIT の Keith Nelson 研、ポストク先であり興味本位の挑戦的な研究にも関わらず大変な協力をしてくださった Konstanz 大の Alfred Leitenstorfer 研など、今でも現在進行形で共同研究を続けさせていただける国内外のネットワークを構築できたのは得難い経験でした。今後も超高速物性を明らかにするための光源・計測技術開発を通じて、物性コミュニティの発展に寄与できるよう研究を続けていきたいと思えます。

- [1] T. Kurihara, et al., Phys. Rev. Lett. 120, 107202 (2018).
- [2] T. Kurihara, et al., Phys. Rev. B 90, 144408 (2014).
- [3] G. Fitzky, et al., Phys. Rev. Lett. 127, 107401 (2021).
- [4] K. Yamaguchi, et al., Phys. Rev. B 92, 064404 (2015).
- [5] T. Kurihara, et al., Commun Phys 6, 51, 1–6 (2023).
- [6] Z. Zhang, et al., Nat. Phys. (31 January 2024).
- [7] M. Weiss et al., Nat. Commun. 14, 7651 (2023).

