日本物理学会学生優秀発表賞（領域３）を受賞して

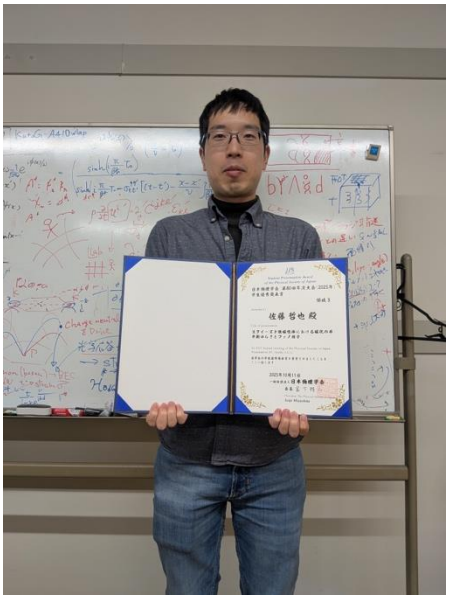
物性理論研究部門　加藤岳生研究室　博士過程３年　佐藤 哲也

このたび、日本物理学会2025年年次大会にて学生優秀発表賞（領域 3）を受賞いたしました。対象となった研究題目は「スクイーズド強磁性体における磁化の非平衡ゆらぎとファノ因子」です。以下に、研究概要をご紹介いたします。

我々はこれまで、強磁性体におけるスピンショットノイズの全光学的アプローチの理論的提案について研究してきました[1]。スピンショットノイズとは、電気伝導におけるショットノイズのスピン版と位置づけられ、一回の緩和過程で放出される有効角運動量を決定できます。しかし、既存の測定法では、逆スピンホール効果を用いて、スピンノイズを電流信号へ変換する必要があり、純粋なスピンショットノイズの信号を他の揺らぎと分離することが困難でした。そこで、我々は、スピンショットノイズを直接的に検出する方法として、超短パルスレーザーを用いた全光学的手法を理論的に提案しました。具体的には、強磁性体に対してポンプレーザーを照射し、マグノンを非平衡に励起した後、その緩和過程におけるスピンノイズをプローブレーザーによって検出します。本手法は追加の検出素子を必要とせず、スピンノイズの直接的な観測を可能にします。

今回の受賞研究では、本手法が、他の系での非平衡スピン緩和を調べる上でも有用であることを示すため、新たに、異方性のある強磁性体で発現するマグノンスクイーズド状態を考察しました。スクイーズド状態とは、ハイゼンベルクの不確定性原理の制約の中で、ある特定の方向のノイズを犠牲にすることで、別の方向のノイズを抑え込んだ量子的な状態を指します。この概念は量子光学の分野で発展し、重力波検出など精密測定への応用で知られていますが、近年では磁性体中のマグノンにおいても、形状異方性などの効果により自然に実現されることが注目されています。我々は、これまでの研究と同様にリンドブラッド方程式を用いて、マグノンスクイーズド状態におけるスピンショットノイズを計算しました。

その結果、スピンショットノイズから定義されるファノ因子は、低温において、通常の強磁性体における値 $(\hbar)$ からずれることが明らかになりました。これは、マグノンスクイーズド状態において、一回のスピン緩和で環境に放



出される角運動量が $\hbar$ と異なった値を取ることを示しており、マグノンスクイーズド状態の素励起が通常のマグノンと異なった角運動量を持っていることを反映しています。また、分布関数の量子性を調べるために用いられる、いわゆる $g^{(2)}$因子を計算すると、ポンプ直後には $g^{(2)} < 1$ となることが分かり、マグノンスクイーズド状態の量子性が本手法で観測可能であることが明らかになりました。

本研究の成果は、我々が提案している手法が、様々な磁性体の非平衡緩和を調べるプラットフォームとして有用であることを示しています。この光学的手法は、これまで電気的測定では困難であったスピンショットノイズの測定を可能にし、スピン角運動量の量子性の観測に資すると期待されます

本研究の遂行にあたり、熱心にご指導いただいた加藤岳生先生をはじめ、共同研究者である渡邉伸一先生、松尾衛先生に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

[1] T. Sato et al., Phys. Rev. Lett. **134**, 106702 (2025).