

学位申請論文公開講演会

日時：2025 年 2 月 7 日(金) 15:00~

申請者：早川 雄人 (St 研)

場所：B5 講義室 (B501)

題目：伝導電子に媒介されたジャロシンスキー・守谷相互作用の微視的理論
および関連現象の理論

主論文の要旨

電子の電荷だけでなくスピンの自由度を利用するスピントロニクスは基礎と応用の両面で注目されている。特に、物質界面など空間反転対称性の破れた系における磁気構造とその電氣的制御は次世代メモリへの応用が期待されている。これらの磁気構造の形成と制御に重要な役割を果たすのが、隣り合う磁化をねじる働きをするジャロシンスキー・守谷相互作用(DMI)である。

伝導電子を有する系における DMI は、磁化の影響を受けた電子スピンの流れが別の磁化へ伝わることで相互作用を引き起こすと理解されている。DMI の理論研究は、電子状態の情報から DMI を定量的に見積もる手法が多く提案されてきたが、スピン軌道相互作用が強い系における一般的な理論は未だ確立されていない。本研究では、スピン軌道相互作用の強い磁性体に適用できる DMI のより正確な理論の構築を目指した。また、DMI が重要な役割を果たす磁壁移動の理論研究も行った。

申請者は、まず、スピン軌道相互作用の強い系に適用可能な DMI の理論を定式化した。グリーン関数を用いて DMI 係数の一般式を導出し、自由エネルギーにおける DMI 係数とスピン波分散における DMI 係数が一般に異なることを示し、両者の関係式を導いた。つぎに、得られた公式を磁性トポロジカル物質や、磁性体と重金属界面で現れる磁性ラッシュバ系に適用し、DMI 係数の具体的評価を行った。まず、スピン軌道相互作用が弱い極限ではスピン軌道相互作用の型に依らず、2つの DMI 係数が一致することを示した。また、磁性ラッシュバ系では、磁化の向きに依存して種々の特異な振る舞いが現れることを見出した。例えば、磁化が界面に平行な場合はスピン波分散における DMI 係数がディラック点で不連続性を示すことや、界面に垂直な場合はディラックギャップ内でトポロジカル絶縁体に似た特性を示すことを見出した。

さらに、フェリ磁性体におけるスピンホールトルクによる磁壁移動の理論的研究を行った。DMI を考慮した運動方程式に基づいて、パルス電流下の磁壁のダイナミクスを解析し、加速過程と減速過程の時定数の非対称性が有効摩擦の変化に由来することを示した。また、強磁性体と反強磁性体を両極限に含むフェリ磁性体のモデルを用いることで、スピンダイナミクスの統一的な理解を提示した。さらに、フェリ磁性体特有の現象として、磁化が振動しながら磁壁が移動する現象を見出し、その特性を明らかにした。