

非一様磁化構造中におけるスピン流 - 電流生成に対する理論的研究

星 幸治郎 (物性理論教室)

電子デバイス中のスピン自由度を積極的に活用するスピントロニクス分野において、スピン流は新規スピントロニクス素子を実現するための重要な物理量である。近年、このスピン流の生成と制御に対する研究が盛んに行われている。特に、磁性体中の磁化構造をスピン流により制御することで、高速・高密度の新規磁気メモリの提案がされている。しかしながら、従来の研究では、磁壁などの単純な磁化構造が用いられていたため、高密度化や高度な制御ができなかった。また、複雑な磁化ダイナミクスと電子スピンダイナミクスを同時に取り扱うような理論的手法の確立も急務の課題である。

本研究では、非一様磁化構造から誘起されるスピン流・電流生成に対する理論的研究を行った。特に、ねじれた磁化構造を有するカイラル磁性体や、温度勾配下のスピン波から誘起されるスピン流に注目した。研究ではまず、磁化ダイナミクスと、スピン依存電気伝導を逐次的に解く数値的手法を確立した。これにより、任意の磁化構造と実際の磁化ダイナミクスから誘起される電流・スピン流の計算が可能になった。1次元螺旋磁化構造から誘起されるスピン流の計算では、螺旋構造の右巻き・左巻きに対応した非自明なスピン分極電流が得られること示した[1]。スピン波によるスピン流生成（スピンポンピング効果）の研究では、従来の一様磁化から得られるスピンポンピング効果に比べて、数倍の大きさのスピン流が容易に得られることが分かった。また、この電流の起源はスピン起電力に由来し、定量的に生成された電流を説明できることを示した[2]。さらに、2次元的な磁気渦構造（磁気スカーミオン）に温度勾配を印加した場合のマグノン・ドラッグ効果に対する研究を行った[3]。計算の結果、磁気スカーミオンから誘起される熱ホール電流は、マグノンのホール効果と電子のホール効果両方に由来し、定量的にはマグノンのホール効果による電流が支配的であることが分かった。また、これらの研究に付随して、螺旋磁性体中の特殊な集団励起モードの存在を明らかにした[4]。螺旋磁性体の螺旋軸に対して垂直に外部磁場を印加することで、ねじれた磁化構造がソリトンとして振る舞うことを見出し、さらにこのソリトン間には強磁性状態を介した斥力が働くことを明らかにした。この相互作用により、ソリトンの連成振動子モードが出現することを示した。これらの研究により、複雑な磁化ダイナミクスから誘起される電流・スピン流に対する理論的手法を確立し、新規スピントロニクス素子開発のための基礎的な学理を構築したものと考えている。

[1] H. Watanabe, K. Hoshi, and J. Ohe, Phys. Rev. B 94, 125143 (2016)

[2] K. Hoshi, H. Kohno and J. Ohe submitted to Phys. Rev. B (2020).

[3] K. Hoshi, T. Yamaguchi, A. Takeuchi, H. Kohno and J. Ohe, Appl. Phys. Lett. 117,062404 (2020).

[4] K. Hoshi, J. Kishine and J. Ohe, Phys. Rev. B 102, 134414 (2020).