

別紙 4

報告番 -	※ -	第
----------	--------	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Theoretical study of charge and spin Hall transport induced by spin chirality (スピнкаイラリティーに誘起される電荷・スピンホール輸送の理論的研究)

氏 名 仲澤 一輝

論 文 内 容 の 要 旨

電子スピンは量子力学的な内部自由度であり、物質の磁性を考える上で不可欠なものである。一方、伝導電子の持つスピンが磁化（構造）と相互作用することで、多様な輸送現象があらわれる。その一つに、スピнкаイラリティーによるホール効果がある。ホール効果は、外部電場と直交する方向に電流が生じる現象である。磁化構造が非共面的な構造（スピнкаイラリティー）をもつとき、このようなホール効果が起こることが知られており、トポロジカルホール効果と呼ばれている。

トポロジカルホール効果は、伝導電子が磁化構造との交換相互作用を介して獲得する、ベリー位相による有効磁場が誘起する現象であると一般に認識されている。この解釈は、伝導電子と磁化構造との相互作用が強く、伝導電子スピンが磁化構造に断熱的に追従する場合に成立する。このとき、伝導電子は局所的な磁化構造を「見る」ため、有効磁場は局所的な磁化構造で決まる。ところが、交換相互作用が弱い、あるいは磁化構造の空間変化が急激な場合には、伝導電子スピンが断熱追従できなくなり（非断熱効果）、有効磁場は磁化構造と非局所的な関係で決まる可能性がある。申請者は、連続的に空間変化する磁化構造の下で電子が示すトポロジカルホール効果を、様々なエネルギー、長さスケールで調べ、ホール伝導率の解析的な表式と物理的な描像を明らかにすることを目標に研究を行った。具体的には、磁化構造を解析的に取り扱う方法として、(1) ゲージ場の方法、(2) 微小振幅の方法、(3) 交換相互作用の摂動、の3つの手法を、エネルギーや長さスケールによって効果的に使い分けて解析を行った。

申請者はまず、磁化構造の波長が電子の平均自由行程よりも長い「拡散領域」におけるトポロジカルホール効果を調べ、強結合領域から弱結合領域までを（１）の方法で統一的に説明できることを明らかにした。強結合領域ではゲージ場の断熱成分（ベリー位相による描像と対応）による寄与が重要であり、弱結合領域では、断熱成分からの寄与が非断熱成分（ベリー位相で解釈不可能）の一部と打ち消しあい、非断熱成分の電子拡散の効果を含む寄与のみが有限に残ることを示した。

申請者は次に、弱結合領域について（２）と（３）の方法でも解析を行い、電子拡散の影響で有効磁場の局所性が決まることを見出し、それぞれの領域において物理的描像を明らかにした。このうち有効磁場が局所的な領域におけるホール伝導度の表式が、弱強磁性体 $\text{Ce}_x\text{Ca}_{1-x}\text{MnO}_3$ におけるトポロジカルホール効果の実験結果を定性的に説明することがわかった。また、磁化構造の波長が平均自由行程よりも短くなると、一般的な磁化構造に対してはホール伝導度の表式は複雑になるが、スカーミオン格子という特定の磁化構造に対して、長波長から短波長までのホール伝導度の定性的振る舞いを明らかにした。