

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 奥村 駿

キラルな格子構造を持つ遍歴磁性体では、波数に関して反対称なスピン軌道結合を通じて、らせんや渦といった非共線・非共面な磁気構造が現れることが知られている。ここでは、これらの特異な磁気構造に伴うベリー位相を通じて、電子状態や伝導現象、光学応答といった様々な物性に興味深い振る舞いが現れる。これまでの研究では往々にして、遍歴電子の自由度を捨象したり、磁気構造を単なる内部磁場として取り扱ったりする単純化が行われてきた。しかしながら、最近の研究において、磁性と電荷の相関が重要と考えられる現象が多く見出され、電子自由度をあらわに取り込んだ新しい研究展開が必要とされている。本論文では、擬 1 次元あるいは 3 次元なキラル磁性体に着目し、スピンと電荷の自由度の絡み合いを取り込んだモデル構築と、それらに対する数値計算を行うことで、特異な磁性の発現機構や、新規な伝導現象や光学応答を理論的に明らかにした。

本論文は英文で執筆されており、以下の 7 章からなる。以下に各章の概要を述べる。

第 1 章では、キラル磁性体に対する研究を概観している。とりわけ、本研究に深く関係するいくつかの興味深い現象に関する研究の現状をとりまとめ、本論文の研究動機を述べている。

第 2 章では、本研究で用いた理論モデルを導入している。 $s-d$  モデルと呼ばれるスピン電荷結合モデルから出発し、反対称スピン軌道結合の効果を取り込んだモデルや、スピン電荷結合やスピン軌道結合に関する摂動展開から求まる有効スピンモデルを導入している。

第 3 章では、本研究で用いた研究手法を示している。具体的には、変分法、モンテカルロ法、焼きなまし法、電子系の自由エネルギーを求める手法、超格子の導入、線形・非線形応答理論とスピンに依存したランダウー法の概要を紹介している。

第 4 章では、擬 1 次元キラル磁性体に着目し、磁場中で現れるカイラルソリトン格子と呼ばれる状態における磁性と伝導現象を調べている。電子の自由度をあらわに扱った計算により、電子状態にギャップを開けることでソリトン間隔が特定の値にロックインされる現象を見出している。同様の現象が最近実験で観測されており、本研究の結果はこの現象における電子自由度の重要性を指摘している。加えて、電気伝導度の計算から、実験で見出されている非線形な負の磁気抵抗を良く説明する結果を得るとともに、その磁場依存性がソリトン密度に相関することを示し、ソリトンによる電子散乱の重要性を明らかにしている。

第 5 章では、擬 1 次元キラル磁性体が示す別の磁気構造としてユニカル状態に着目し、非線形・非相反現象の研究を行っている。まず、磁場の方向に応じて伝導性が変化する磁気カイラル効果の計算を行い、ユニカル秩序状態と常磁性状態の両者を含む広いパラメタ領域における振る舞いを明らかにしている。先行研究との詳細な比較から、高磁場や有限

温度において既存の理論では説明の難しい寄与を見出している。さらに、2次高調波発生や光起電力効果の計算を行い、磁性と電子状態を反映した特異な磁場・周波数依存性を明らかにしている。とりわけ、光起電力効果においては、磁場による符号制御が可能であることを示している。さらに、コニカル角や磁気周期に依存した特徴的な非相反スピン流が現れることを見出している。これらの結果は、コニカル磁性体を、新しい光起電力デバイスやスピン流整流デバイスに利用できる可能性を示している。

第6章では、最近立方晶キラル磁性体において実験的に見出されたヘッジホッグ格子と呼ばれる磁気構造に着目し、その安定化機構と磁場中における振る舞いを調べている。有効スピン模型に対する変分計算と焼きなまし法を用いることで、ゼロ磁場でヘッジホッグ格子が安定に現れることを示し、その安定化にはスピン電荷結合とスピン軌道結合の両方が重要な役割を果たしていることを明らかにしている。さらに、磁場中で非共面な磁気構造に伴うモノポール・反モノポールの対消滅に伴うトポロジカル転移を含む様々な相転移が現れることを見出している。

第7章では、本研究によって得られた成果についての総括と今後の展望が示されている。

以上をまとめると、本論文では、キラルな遍歴磁性体におけるスピンと電荷の相互作用に着目したモデル構築と数値計算により、特異な磁性や電子特性を理論的に開拓した。キラル磁性体におけるスピン電荷結合とスピン軌道結合の役割を解明し、新しい磁性や伝導現象、光学応答を提案した本研究の成果は、物性科学・物理工学の発展に大きく寄与すると期待される。以上より、本論文審査委員会において審査員全員一致で、本論文が博士（工学）の学位請求論文として合格であると判定された。