

論文審査の結果の要旨

氏名 正木 祐輔

反転対称性の無い結晶構造に由来するジャロシンスキー守谷相互作用をもつカイラル磁性体においては、ヘリカル秩序、コニカル秩序、ソリトン格子、スキルミオンなどの特徴的なスピン構造が出現する。本論文は5章および付録の合計6章において、カイラル磁性体のマグノン励起の運動量依存性に現れる非相反性を研究し、さらに結晶軸に対して斜め方向にかけた磁場下の絶対零度磁気相図を特にカイラルソリトンの役割を中心として研究した。

第1章はイントロダクションであり、本研究で展開されるカイラル磁性体におけるトポロジカル励起の重要性が説明され、さらに理論の舞台となる物質 $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ の磁場下の磁気相についての紹介がなされた後、本論文の構成が示されている。

第2章は本論文において展開される理論の基礎事項の説明に当てられている。本論文の研究の中心となるトポロジカル励起であるカイラルソリトンについての基本が説明されている。引き続き、斜め方向にかけた磁場下の磁気相図に関連する先行研究が紹介される。相図においては磁気秩序相へ連続的に相転移する領域と1次転移する領域があり、1次転移領域が連続転移領域を二分するが、別れた2つの領域の連続転移は異なる性格をもつことが説明されている。

第3章は本論文の主要部分でありカイラル磁性体のマグノン励起の非相反性が理論的に解析されている。非相反性とはある運動量のマグノンと運動量を反転させたマグノンの性質の違いであり、非自明な非相反性を示す物理量を明らかにすることが目指された。本論文では1次元量子スピン鎖模型として、ジャロシンスキー守谷相互作用および、それと同じ主軸のスピン異方性を含むハミルトニアンが考察され、また主軸方向の外部磁場が制御因子として印加された。この模型における絶対零度のマグノン励起が標準的なボゾン化法により計算され、マグノンのエネルギー分散と動的スピン構造因子が計算された。動的構造因子横成分は2つのモードのエネルギーでデルタ関数型のピークを示す。運動量を反転させた時、この2つのエネルギーは変化しないがピーク強度の大小関係が逆転することが非相反性の帰結であることが明らかにされた。また、有限温度の動的相関関数の数値計算行われ、絶対零度と本質的に同じ結果を得た。

第4章も本論文の主要部分であり、一軸性カイラル磁性体に印加した磁場の大きさと同様方向を変化させた時の絶対零度磁気相図が理論的に研究された。第3章と同様のスピンハミルトニアンが考察されるが、今度は古典模型であり磁場方向も任意である。先行研究によって発見された複雑な相図の構造の実現にソリトンが果たす役割を明らかにすることが目標とされている。主な解析手法は場所依存性を取り入れた平均場近似であり、エネルギー最低状態に加えて、ソリトンなどの励起のスピン構造やエネルギーが解析されて

いる。まず、基底状態からの微小なスピン変位の線形モード解析が実行され、主要モードの空間構造に3種類あり、相転移のタイプが3種類に分かれる原因であることが示された。特に磁場と主軸の角度が大きい領域のソリトンに対応した主要モードの不安定化が、連続転移から1次転移への多重臨界点を作り出し、この不安定化の原因はソリトン間の相互作用が斥力から引力に変化することにあることを相互作用の計算により示した。同様に、磁場方向と主軸の角度が小さい領域の三重臨界点が解析された。また、実験で観測されている磁気抵抗および磁気トルクのジャンプを説明するために、ソリトンが系の端で出入りする際のエネルギー障壁が場所依存平均場近似に基づく数値計算によって詳しく解析された。進入時の障壁が消失する磁場の強さが実験のジャンプ位置とかなり良い一致を示すことが示され、ソリトンの重要な役割が明らかにされた。

第5章においては第3章および第4章で得られた主要な結果がまとめられており、この系のソリトンの役割の重要性が強調されている。将来の展望としては1次転移領域の直接実験検証、また関連してソリトンの相互作用の斥力から引力への変化の検証が重要な課題として述べられている。

以上のように本論文は一軸性カイラル磁性体の量子揺らぎであるマグノン励起の非相反性を明らかにすると同時に、磁場下の磁気相図の豊かな構造の実現に果たすソリトンのさまざまな重要な役割を理論的に明らかにしており、当該分野の物理の理解に寄与するものである。

なお、本論文第4章は、青木瑠也・戸川欣彦・加藤雄介各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を推進したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。