

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	Ⓐ／乙第 号	氏 名	FONTAINE, Mateo Olivier Jean-Marie Michel	
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学専任講師	博士(理学)	古川 俊輔
	副査	慶應義塾大学教授	理学博士	江藤 幹雄
		慶應義塾大学教授	博士(理学)	能崎 幸雄
		慶應義塾大学教授	博士(工学)	渡辺 宙志
(論文審査の要旨) 学士(科学技術医療)、修士(物理学) FONTAINE, Mateo Olivier Jean-Marie Michel 君提出の学位請求論文は、「Spin-Chirality Interplay in an XXZ Ladder with Four-Spin Interaction: Duality and Topology (4 スピン相互作用を有する XXZ 梯子系におけるスピン・カイラリティ複合効果：双対性とトポロジー)」と題し、全 6 章から構成されている。 一次元量子磁性体においては、基底状態（絶対零度）においても強い量子揺らぎによって磁気秩序が発達せず、無秩序な量子状態が形成されることがある。そのような無秩序状態は、対称性が課された下でトポロジーによって区別される種々の相に分類され、対称性で保護されたトポロジカル (symmetry-protected topological; SPT) 相と呼ばれる。スピン 1/2 が梯子状に並ぶスピン 1/2 梯子系は、銅酸化物などの対応物質が知られるとともに、その豊かな相構造から多くの理論的研究がなされてきた。そのような先行研究として、等方的 2 体 Heisenberg 相互作用におけるトポロジカル Haldane 相と自明な無秩序相の出現、異方的 2 体 XYZ 相互作用における 4 種の SPT 相と磁気秩序の競合、4 体リング交換相互作用によるダイマー、カイラル秩序・相関の出現などが挙げられる。しかし、Haldane 相以外の SPT 相は強い異方性の下で得られており、より現実的な弱い異方性の下でそれらの相が現れるか、他の相互作用と組み合わせることさらに新しい SPT 相を得ることができるかは、学術的意義のある問題である。また、リング交換相互作用の下での多彩な秩序・相関について、スピン・カイラリティ双対性から一定の理解はなされていたものの、系統的な解析計算による相構造の理解はなされていなかった。 本論文は、このような問題意識の下、リング交換相互作用から本質を抽出したカイラリティ型 4 体相互作用を導入し、それが 2 体相互作用と競合するときの基底状態の相構造を調べたものである。カイラリティ型相互作用は、双対変換の下で単純な 2 体相互作用に置き換わるため、解析的な扱いがしやすい。また、カイラル秩序・相関を直接強める効果があるため、数値解析においても安定した結果を得ることができる。これらの利点を活かし、解析計算により広いパラメータ領域の相構造が定性的に導かれた後、数値計算による定量的な確認がなされている。 第 1 章は序論であり、SPT 相やスピン梯子系に関する先行研究がまとめられた後、本研究の動機となった問いが設定され、カイラリティ型 4 体相互作用を有するモデルを研究する目的が述べられている。第 2 章では、背景知識として、量子スピン系の自発的対称性の破れ、SPT 相、行列積状態、トポロジカル指数、数値計算手法などがまとめられている。第 3 章では、ボソン化による場の理論と 2 種類の双対性による基底状態相図の解析がなされている。相互作用が等方的な場合について、4 体相互作用により種々のカイラル秩序・相関が誘起される豊かな相構造が導かれている。また、弱い異方性によって 2 種類の SPT 相が誘起され、そのうちのひとつ (c-Haldane*相) が時間反転対称性の下で既知の相と区別される新種のものであることが示されている。第 4 章では、スピンモデルを有効ボソンモデルに書き直すことにより、自己双対面や容易軸・容易面領域における相構造が解析されている。第 5 章では、密度行列繰り込み群などによる数値計算結果がまとめられ、前章までに定性的に導かれた相図が確認されるとともに、トポロジカル指数の計算によって 2 つの SPT 相と自明相が明確に区別されるものであることが示されている。第 6 章は結論であり、本研究の成果が総括され、今後の展望が述べられている。 本研究は、量子磁性分野における重要なテーマであるカイラル秩序、トポロジカル相、多スピン相互作用に関する諸問題を理論的に解明しており、基礎研究として大きな意義がある。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。				
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。			