

博士論文審査報告書

論文題目 : Novel ferrimagnetism in quantum Heisenberg spin systems with frustration
「フラストレートした量子ハイゼンベルクスピ系における新奇なフェリ磁性」

申請者 : 下川 統久朗

1. 論文内容の要旨

フェリ磁性は、強磁性や反強磁性と同様に磁性体の内部で発生する、最も基本的で代表的な磁気構造の一種である。単位胞内の複数のスピンの向きが上向きか下向きに限られながら全体として強磁性が発生するフェリ磁性は、Lieb-Mattis(LM)型と呼ばれている。ハイゼンベルクモデルで記述されるスピ系で発現するこの LM 型フェリ磁性は、Marshall-Lieb-Mattis(MLM)の定理を用いて理解できることが知られている。近年の 1 次元ハイゼンベルクスピ系についての数値的な手法を用いた研究によって、現在では MLM 定理の適用外であるフラストレーションの効果が存在する状況で、LM 型とは異なるフェリ磁性の存在が明らかとなり、Non-Lieb-Mattis(NLM)型フェリ磁性と呼ばれている。つまり、ハイゼンベルクモデルで発現するフェリ磁性についての理解は未だ不十分であり、依然として未解決な問題が残されている。申請者は、このフェリ磁性発生の問題について、フラストレーションの影響を含むモデルに対して次の 2 つの点に着目した研究を行った。第 1 点は、フェリ磁性の発生に対する空間次元の及ぼす影響を明らかにすることであり、また第 2 点として、結晶の副格子構造の存在の必要性を明らかにすることである。

最初の点を明らかにするため、申請者は 2 次元と擬 1 次元の空間的に異方的なカゴメ格子について、厳密対角化法と密度行列繰り込み群の方法の 2 つの計算手法を用いた数値計算を実行した。サイズの異なる有限系について得られた計算結果について、系のサイズ依存性についての詳細な解析を行った結果、NLM 型フェリ磁性の発生には 1 次元性を特に必要とせず、2 次元系の場合にも発生することを明らかにした。

第 2 の点について、これまでのフェリ磁性の研究では、MLM 定理が成り立つ場合や、結晶格子の単位胞内に、異なる向きの磁気モーメントが発生するサイトを仮定する、いわゆる副格子構造を有するモデルのみが経験的な観点から対象とされてきた。これに対して申請者は、副格子構造を仮定する代わりに、単位胞に 1 個のスピだけが含まれる 1 次元のハイゼンベルク鎖のモデルのスピ間に第 4 近接までの交換相互作用を仮定し、フェリ磁性の発生する可能性を数値的な計算によって調べた。得られた基底状態のスピ状態についての解析から、これまでフェリ磁性の発現に必須であると見なされてきた副格子構造が、実際には必ずしも必要でない場合があることを明らかにした。

以上、この論文ではハイゼンベルク系で発現するフェリ磁性に対し、空間次元の 1 次元性と結晶格子の副格子構造の存在が、どちらも必須ではないことを数値的な計算結果に基づいて明確に示した。

2. 論文審査結果

本論文は、絶縁体磁性のモデルとしてすでに確立したハイゼンベルクモデルにおいて発現するフェリ磁性について、申請者が日本物理学会の欧文雑誌に公表した内容をまとめ、学位論文の形として提出したものである。論文内容の要旨ですでに記したように、本論文は、近年高い関心の集まるフラストレーションの存在する系におけるフェリ磁性の発現条件を、具体的なモデルを用いて数値的な計算によって調べた。この分野では確立したモデルが知られていても、その解析的な解が求まるのは極めて特殊な場合に限られている。そのために、有限系のモデルの数値的な取扱いがよく用いられるが、系のサイズが増大するとすぐに現存の計算機的能力を越えてしまうという事情がある。申請者は複数のかなり大きな有限サイズの2次元系と、第4近接までのスピン間相互作用を有する1次元系に対し、厳密対角化法と密度行列繰り込み群の手法を適用し、大規模な数値計算を実行した。得られた結果の系のサイズ依存性を用い、解析方法の工夫によって無限系で予想される興味深い結果を導くことができた。つまり、すでに知られた1次元系における Non-Lieb-Mattis 型フェリ磁性が2次元系の場合にも発現し、また副格子構造もその発現に必要な可能性があることを明らかにした。これらの内容は、局在スピン系のフェリ磁性に関する研究にとって重要な新たな知見であり、今後のこの分野の発展に寄与すると考えられる。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成24年1月16日、論文内容およびこれに関連する事項について試問を行った結果、合格と判定した。

主査： 高橋 慶紀 印

副査： 小原 孝夫 印

： 馬越 健次 印

： 坂井 徹 印

(独立行政法人日本原子力研究開発機構、教授)

： 細越 裕子 印

(大阪府立大学大学院理学系研究科、教授)