

Title	Quantum Nature in Low-dimensional Ferrimagnets
Author(s)	殿岡, 俊
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47335
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	殿岡 俊
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 21277 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学位論文名	Quantum Nature in Low-dimensional Ferrimagnets (低次元フェリ磁性体の量子性に関する理論研究)
論文審査委員	(主査) 教授 鈴木 直 (副査) 教授 宮坂 博 教授 三宅 和正 教授 萩原 政幸 助教授 草部 浩一

論文内容の要旨

フェリ磁性体は量子揺らぎの強い低次元系においても古典的なネール秩序が存在するために、これまで古典ベクトル近似等の古典的解釈が主流であった。しかし、古典的解釈では説明のつかない現象も近年注目を集めている。本研究では、低次元フェリ磁性体の古典性の裏に隠れた量子性に着目し、様々な角度から理論的研究を行った。まず、議論の出発点となる量子スピンモデルの決定に関する新しい方法を独自提案した。量子多体系の局在スピン密度の空間配置を参照するという方法 (SDR 法) がモデルを本質的に決定する一つの有力な方法である事が分かった。実在する低次元フェリ磁性体に適用すると、SDR 法は非常に有効である事が実証された。次に古典的解釈では説明できない典型的な現象の一つとして、一次元フェリ磁性体の磁化プラトー現象の発現機構解明へ向けた研究を行った。その結果、 $(S=3/2, S=1)$ 一次元フェリ磁性体の磁化プラトー現象を良く説明する量子状態を見つけた。また、外部磁場や異方性によりスピンの量子力学的自由度をコントロールする事が、低次元フェリ磁性体の物質設計へ対する有力な指針を与えることを指摘した。さらに、 $(S=1, S=1/2)$ 一次元フェリ磁性体の厳密可解モデルを解析的に構築する事に初めて成功した。これは磁化プラトー状態の本質的な把握に非常に有効なモデルとなる。その具体的な成果として、 $(S=1, S=1/2)$ 一次元フェリ磁性体のプラトー状態に隠れた反強磁性秩序が存在する事を発見する事ができた。フェリ磁性体において隠れた反強磁性秩序の存在を発見したのは本研究が世界で初めてである。強い量子揺らぎに由来して多彩な量子現象が発現すると知られている低次元反強磁性体と同じ物理に由来する現象が、低次元フェリ磁性体でも確かに存在する事を本研究の成果は示している。

論文審査の結果の要旨

物質中に発生する磁性のうち、古来知られる永久磁石であるフェライトに発生するフェリ磁性は、強磁性秩序と反強磁性秩序が共存する強い磁性状態として知られてきた。しかし、特に低次元フェリ磁性体における磁気秩序の本質がどこにあるのかは十分な理論的理解が進んでいたとは言い切れない状況にあった。そこで、申請者の殿岡君は、磁

性分子、一次元フェリ磁性体における量子現象の解明に必要とされる、物質中のスピン自由度の適切な抽出・表現法、フェリ磁性有効スピン模型に発生する量子状態の特定方法としての変分法、数値的厳密対角化法、場の理論的解析による無限系への外挿法、秩序同定のための秩序変数の発見、ユニバーサリティクラスの同定、という一連の理論手法を、必要に応じて新たに開発を行い、また旧来の概念を適切に拡張することによって、以下の課題を解明した。

有効スピン模型の決定に低エネルギー励起の一致のみを要求することでは模型の確定が不可能である。そこで、一つの例として $[\text{Mn}(\text{hfac})_2\text{NITPh}]_6$ (以下 Mn_6R_6 と略記) を取り上げ、提案されていた複数の有効模型から最適な模型を同定するために、磁化過程のフィッティングに加えて、第一原理電子状態計算の与えるスピン密度を粗視化した上でその空間配置を再現することを条件として与えた。このスピン密度参照法により、 Mn_6R_6 がフラストレーションを内包する磁性体であることを初めて同定した。

続いて、一次元フェリ磁性体の量子現象を解析するために、磁化プラトー上で発生する一般化されたトリマー状態、ペンタマー状態を提案し、($S=3/2$, $S=1$) 混合スピン鎖の量子相図の決定を行った。この変分法による解析は、フェリ磁性体の量子相転移の理解に一つの基本的なアイデアと解釈を与えるものである。

一次元 $S=1$ 量子反強磁性体で存在が知られている隠れた秩序変数 (ストリング秩序変数とも呼ばれる) は、低次元量子スピン系の特徴的な量子状態であるハルデン相を特徴付ける。殿岡君は、($S=1$, $S=1/2$) 混合スピン鎖において単一サイト磁気異方性による量子転移が、ハルデン系で知られているものに類似したストリング秩序変数の消失により特徴付けられることを世界的に初めて発見した。そして、この臨界現象が、ガウシアン型相転移であることを臨界指数に現れるスケーリング則の決定も含めて確定した。

この他にも、ジャロシンスキー・守谷相互作用で特徴付けられる分子磁性体の理論設計、トリマー状態を厳密な基底状態としてもつ模型の決定も行っている。

以上のように本研究は、低次元フェリ磁性体における量子性の発現に関して示唆に富む重要な知見を得ており、物性物理学の発展に寄与するところが大きい。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。