

Title	一次元スピン系および電子系における量子相転移現象の理論的研究
Author(s)	川口, 晃
Citation	大阪大学, 2003, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44263">https://hdl.handle.net/11094/44263</a>
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">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</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	川口晃
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第17813号
学位授与年月日	平成15年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	一次元スピン系および電子系における量子相転移現象の理論的研究
論文審査委員	(主査) 教授 川上 則雄 (副査) 教授 笠井 秀明 助教授 笠井 康弘 助教授 菅 誠一郎 助教授 小西 毅

#### 論文内容の要旨

近年、一次元量子系に分類される物質が系統的に作成されるようになり、その物性に関する研究が理論的にも実験的にも精力的に進められてきた。このような背景に基づき、本学位論文では一次元量子系における磁場誘起型相転移や金属・絶縁体転移の理論的研究を行った。特に、量子転移点近傍での静的または動的な物理量に現れる特異な振舞いを明らかにし、系統的に理解することを目的とした。得られた結果を以下の6章にまとめた。

第1章では、序章として一次元量子系の研究背景と本研究の目的及び意義を述べた。

第2章では動的物理量としてNMR緩和率に注目し、一次元量子系における軌道縮退の効果について解析を行った。その結果、量子相転移点近傍では、NMR緩和率に増大因子の発達、もしくはクロスオーバーが低温で起こることを示した。

第3章では、スピニングギャップを持つ一次元スピン軌道系における磁氣的性質について解析した。その結果、スピンと軌道の自由度の絡み合いによって、磁場誘起型相転移の特徴的な構造である磁化プラトーや磁化カスプが出現することを明らかにした。

第4章では、弱い鎖間相互作用を持つ準一次元  $S=1$  ボンド交替鎖系の磁化過程について議論した。数値的な解析の結果、鎖間相互作用による磁化プラトーの変化について定量的に示した。また、単一イオン異方性の効果についても議論し、単一イオン異方性の方向と磁場の方向により磁化曲線に大きな違いが表れることを紹介した。

第5章では、強いフラストレーションを持つスピン梯子系にホールドープした系について数値的に解析を行った。まず、金属・絶縁体転移を議論し、その結果、二つの相の競合により金属・絶縁体転移においても一次相転移が現れることを示した。さらに、絶縁体近傍の金属相では、フラストレーションが強くなるに従ってホール間に強い引力が働くことを明らかにした。

第6章ではこれまでの章を総括し、今後の展望と研究課題を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

近年の物質合成技術の進歩により低次元量子系の物質が数多く作製され、低次元系における電子相関や量子効果についての研究が盛んに行われている。その中で、一次元量子系はこれらの効果が最も顕著に現れ、かつ特異な物理現象を示すことから恰好の研究対象となっている。特に興味深い現象として、相互作用や磁場の変化によって引き起こされる「量子相転移現象」がある。例えば、電子数や電子間相互作用の変化によって起こる金属・絶縁体転移や磁化曲線のプラトー構造に代表される磁場誘起型相転移がある。特に、量子相転移点近傍では量子ゆらぎの著しい増大や、異なる相の競合が起こることから、非自明な物理現象を示すことが予想されている。そこで本研究では、一次元量子スピン系および電子系における量子相転移現象を理論的に解析し、静的または動的な物理量に現われる特異な振る舞いを系統的に理解することを目的としている。本研究における主な成果を要約すると以下のとおりである。

(1)カーボンナノチューブなどの一次元量子系において、有効的な軌道自由度の重要性が指摘されている。この軌道自由度の効果を取り入れた有効モデルを提案し、スピンと軌道の絡み合いが磁氣的性質に与える影響を理論的に議論している。その結果、軌道分裂や磁場による量子相転移点の近傍では NMR 緩和率に増大因子の発達、もしくはクロスオーバーが低温で現れることを明らかにしている。また、動的スピン帯磁率のスペクトルにはスピンの自由度だけでなく軌道の自由度にも起因したピークが現れることを見出している。

(2)近年、 $S=1$  スピンを持つ一次元量子スピン系の物質が系統的に作成され、磁化プラトーなどの磁場誘起型相転移の研究が盛んに行われている。実際の物質においては三次元性を無視することはできない。ここではこの三次元性の効果を考慮した準一次元  $S=1$  量子スピン系における磁化過程を数値的に解析している。三次元性の効果による磁化プラトーの変化を定量的に議論し、実験においてどのように反映されるのかについても言及している。

(3)最近、強い磁氣的フラストレーションを持つ量子系が次々と合成され、様々な非自明な振る舞いを示すことから理論・実験の両面でたいへん注目されている。この典型例として、強いフラストレーションを持つスピン梯子系におけるホールドープ効果について密度行列くり込み群を用いた解析を行っている。その結果、フラストレーションの効果によって、金属・絶縁体転移に一次相転移が現れることを見出している。さらに、金属・絶縁体転移の転移点近傍では超伝導とも関係の深いホール間の引力がフラストレーションによって強くなることを明らかにしている。

以上のように、本論文は、一次元量子系における量子相転移現象について理論的に解析したものであり、一次元量子系の基礎物性のみならず応用に関しても有益な知見を得ており、応用物理学、特に物性物理学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。