

## 審査の結果の要旨

氏名 周旭光

本論文は7章からなる。第1章は序論である。磁気一般論に触れた後に、交換相互作用の本質が量子効果であり、非自明な多体効果の起源となることを述べている。さらに、伝導電子と局在電子の相関が、RKKY相互作用や近藤効果などのスピンの関連する多彩な現象を生み出すことを論じている。

第2章では、スピン系のモデル化が多彩な量子現象の記述に有効であり、ボースアインシュタイン凝縮や超流動、バレンスボンド固体などの研究に発展していることを論じている。また、スピンを制御するための磁場の重要性を指摘すると同時に、その強度が十分であることがスピン系の研究に必須であることを述べている。実際に、本研究で対象とする  $\text{TlCuCl}_3$  と  $\alpha\text{-RuCl}_3$  の二つの興味深い量子スピン系については、100 T に及ぶメガガウス磁場を用いることが本質的に重要である。さらに、近藤絶縁体の一つである  $\text{YbB}_{12}$  について、近藤効果の磁場による抑制が電子状態に及ぼす影響について論じた後に、本研究の目的について述べている。

第3章は本研究で用いる実験技術について説明している。磁場発生手法を整理し、破壊型磁場発生法である一巻きコイル法を用いた磁化測定、及び、電気抵抗率測定における技術開発に関して詳しく説明している。

第4章は、 $\text{TlCuCl}_3$  におけるマグノンの磁場誘起ボースアインシュタイン凝縮について、準粒子と正孔の非対称性について詳しく議論している。全ての三重項励起自由度を取り入れたスピンモデルと、励起マグノンを1種類に射影したハードコアボソンモデルについて量子モンテカルロ計算を行い、ハードコアボソンモデルが、マグノンの遍歴性が強い場合には適当ではないことを明らかにした。ハードコアボソンモデルの帰結である準粒子と正孔の対称性が成り立たないことから、対称性の破れを証明した。さらにその詳細を議論するために磁化の磁場依存性に関しての臨界磁場近傍での臨界指数について調べ、準粒子と正孔における指数の差異を示し、非対称性がマグノンの遍歴性に強く依存することを見出した。

第5章は、スピン液体が実現する可能性のある物質として注目される  $\alpha\text{-RuCl}_3$  の磁化過程について論じている。 $\alpha\text{-RuCl}_3$  は、スピン液体状態が厳密解として得られるキタエフ模型に対応する物質であると期待されている。スピン液体状態は、磁場で非キタエフ型の反強磁性相互作用を抑制することで出現が期待されることに着目し、磁場を結晶の  $ab$  面から傾けて磁化の磁場角度依存性を測定することで、磁場誘起相の特徴的な異方的振る舞いを明らかにした。理論計算との対応から、磁場誘起相はスピン液体状態と強く関連した性質を持つことを示した。

第6章は伝導電子スピンと局在スピンの強く結合した系である近藤絶縁体  $\text{YbB}_{12}$  における磁場誘起相転移について論じている。 $\text{YbB}_{12}$  は約 50 T と 100 T に磁場誘起相転移が起こり、50 T

での相転移では近藤絶縁体から近藤金属状態に変化することが明らかにされているが、100 Tでの相転移での電子状態変化は未解明である。本研究では、高周波電気抵抗測定を用いて、100 Tでの相転移における電気抵抗の減少をはじめて見出している。定量的議論から、この抵抗減少は、近藤束縛状態の磁場による抑制が100 Tで起こり始めたことに対応し、完全な近藤効果の抑制にはさらに強い磁場が必要であると論じている。また、磁化も100 Tでは局在磁気モーメントの飽和の50%程度であることがわかっており、近藤効果の磁場によるゆっくりとした連続的な抑制と符合することを指摘している。

第7章では本論文の結論が述べられている。本研究では強いスピン相関を有する系を対象に、量子現象、具体的には、マグノンのボースアインシュタイン凝縮、量子スピン液体、近藤格子における絶縁性、について磁場誘起相転移現象を調べることでその性質を明らかにしている。それぞれの現象は、その起源である強い相互作用のために従来は磁場の効果は十分理解されていなかった。本研究における100 Tを超えるメガガウス磁場領域での相転移の観測と、それによる相関スピン系の性質の解明は、学術的意義および独自性の高い研究であると判断される。

なお、本論文の第3章から第6章は、松田康弘氏、池田暁彦氏、との共同研究であり、第4章は、田中秀数氏、姚元氏、松尾晶氏、金道浩一氏、との、5章は、田中秀数氏、松尾晶氏、金道浩一氏、第6章は、伊賀文俊氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験・解析・考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上1929字