

論文 / 著書情報
 Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Field-driven successive phase transitions and magnetic excitations of spin-1/2 frustrated antiferromagnet Ba ₂ CoTeO ₆
著者(和文)	チャンラートプリントーン
Author(English)	Purintorn Chanlert
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10674号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:田中 秀数,井澤 公一,笹本 智弘,古賀 昌久,吉野 淳二
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10674号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Chanlert Purintorn	
		氏名	職名		
論文審査 審査員	主査	田中 秀数	教授	審査員	古賀 昌久
	審査員	吉野 淳二	教授		
		井澤 公一	教授		
		笹本 智弘	准教授		
					職名

論文審査の要旨 (2000 字程度)

スピンの大きさが $1/2$ で交換相互作用が等方的な Heisenberg 模型で表される $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体は幾何学的フラストレーションのある量子磁性体の典型的な模型であり、磁場中の基底状態や磁気励起に顕著な量子多体効果が現れることが知られている。一方、最近接交換相互作用 (J_1) と次近接交換相互作用 (J_2) が共に反強磁性的な蜂の巣格子上の Ising 模型は相互作用の競合によるフラストレーション (ボンドフラストレーション) のある典型的な模型の 1 つである。本論文は $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体からなる subsystem A と蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 反強磁性体からなる subsystem B で構成される複合反強磁性体 $\text{Ba}_2\text{CoTeO}_6$ の逐次相転移と磁気励起を詳細に研究したものである。

本論文は「Field-Driven Successive Phase Transitions and Magnetic Excitations of Spin-1/2 Frustrated Antiferromagnet $\text{Ba}_2\text{CoTeO}_6$ 」と題し、以下の 4 章からなる。

第 1 章「Introduction」では、まず低温における磁性イオン Co^{2+} の磁気モーメントと Co^{2+} イオン間の交換相互作用の有効模型 ($S=1/2$ XXZ 模型) を述べ、幾何学的フラストレーションの概念を Ising 模型の場合を例に述べている。さらに量子効果が入った $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体のゼロ磁場での基底状態、量子揺らぎによる秩序 (order-by disorder) の概念とそれによって起こる磁化曲線の $1/3$ プラトー、線形スピン波理論と大きく異なる磁気励起の理論を説明している。続いて、 $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体のモデル物質 $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ の研究を中心に、これまで行われた実験研究をまとめている。次に、ボンドフラストレーションの概念を Ising 模型の場合を例に述べ、磁場中での磁化が階段状に変化する逐次メタ磁性転移や $S=1/2$ の Heisenberg 模型の場合に生ずる非磁性 singlet 状態を説明している。続いて、本研究対象である $\text{Ba}_2\text{CoTeO}_6$ で行われた粉末試料での実験結果をまとめている。次に、 $\text{Ba}_2\text{CoTeO}_6$ の結晶構造と超交換相互作用の考察から、 $\text{Ba}_2\text{CoTeO}_6$ が $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体からなる subsystem A と蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 反強磁性体からなる subsystem B で構成される複合反強磁性体であり、磁場中で多体効果と量子効果に起因する相転移が期待されること、及びこれらを詳細に研究するためには単結晶を用いた低温・高磁場実験が必要であることを述べ、本論文の目的を記している。

第 2 章「Experimental Procedures」では、まずフラックス法による単結晶育成方法が述べられている。続いて、磁化率測定と緩和法による比熱測定の説明、パルス強磁場を用いた磁化測定、多周波電子スピン共鳴 (ESR) 実験の説明が述べられている。

第 3 章「Experimental Results and Analyses」では、まず磁化率と比熱測定から従来知られていた $T_{N1}=12.0$ K での磁気相転移の他に $T_{N2}=3.0$ K にも明瞭な相転移を確認し、磁場 H が c 軸に平行な場合 (c 軸は三角格子面や蜂の巣格子面に垂直) と垂直な場合での磁気相図を 9 T までの範囲で作成している。また、低温側相転移 T_{N2} の値と磁場中での分裂が subsystem A と類似のモデルで表され、弱い容易面型異方性をもつ $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体 $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ で観測された相転移温度と相境界の磁場変化によく似ていることから、 T_{N2} では subsystem A が磁気秩序を起こし、高温側の相転移 T_{N1} では subsystem B が磁気秩序を起こす

と結論している。続いて、 $H \parallel c$ と $H \perp c$ の 2 方向で測定した強磁場磁化過程の実験結果を示し、得られた磁化曲線は subsystem A と B が独立に作る磁化曲線の重ね合わせで表されることを述べ、2つの subsystem 間に相互作用が殆ど働いていないことを結論している。分離した subsystem A の磁化曲線は $\text{Ba}_3\text{CoSb}_2\text{O}_9$ で観測された磁化曲線と、磁場のスケールを調整すると殆ど一致すること、そして、理論的に求められた磁化曲線とよく一致していることから、subsystem A は弱い容易面型異方性をもつ $S=1/2$ 三角格子 Heisenberg 反強磁性体で記述できることを結論している。また、 $H \parallel c$ の場合の subsystem B の磁化は Ising 模型に特徴的な階段状の磁場変化を示し、磁化の値が 0 と飽和磁化の $1/3$, $1/2$ にプラトーをもつことを述べている。続いて、Ising 模型の厳密な磁化過程の求め方を示した金森理論を反強磁性的蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 模型に適用し、各磁化プラトー状態における subsystem B のスピン構造を求め、 $1/3$ と $1/2$ プラトー状態ではスピン構造に無限縮退があることを示している。また、 J_2/J_1 を変化させたときの磁場中基底状態の相図を完成し、これと磁化過程の測定で得られた第 1 臨界磁場と飽和磁場の値から J_2 と J_1 を求めている。さらに、この J_2 と J_1 の値を用いて計算した第 2 臨界磁場の値が実験結果と一致することから、subsystem B は蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 反強磁性体で記述できることを結論している。次に、 $H \parallel c$ の条件で測定した ESR スペクトルの温度変化を示し、subsystem A を起源とする常磁性共鳴の共鳴磁場が subsystem B が秩序化する $T_{N1}=12.0$ K で全く変化しないこと、また、subsystem B を起源とする局所励起モードの共鳴磁場が subsystem A が秩序化する $T_{N2}=3.0$ K で全く変化しないことから、2つの subsystem が殆ど独立であることを再度結論している。続いて、 T_{N2} 以下の温度で測定した周波数と共鳴磁場の関係を図にまとめ、励起モードの特定を行なっている。第 1 及び第 2 臨界磁場と共鳴磁場が一致する臨界磁場共鳴、三角格子面内で 120° 構造を形成する subsystem A の集団励起モード、及び subsystem B の Ising スピンが 1 個反転する局所励起モードが観測されたことが述べられている。さらに、subsystem A の集団励起モードの共鳴条件を、6 部分格子モデルに基づくトルク方程式を解くことによって求め、これを実験結果にフィットさせて、弱い容易面型異方性と三角格子面間の相互作用の大きさを見積もっている。また、反強磁性的蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 模型に基づき subsystem B の Ising スピンが反転する局所励起モードの共鳴条件を求め、これを実験結果にフィットさせて、 g 値と J_1+2J_2 の値を見積もっている。そして、これらの数値から計算した飽和磁場が実験で得られた飽和磁場と矛盾しないことを示し、subsystem B が蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 反強磁性体で記述できることを再度結論している。

第 4 章「Summary and Future Scope」では、本研究のまとめを行い、今後の課題と展望を述べている。

以上のように申請者は、自ら単結晶試料を育成し、それを用いた磁化率測定、比熱測定、強磁場磁化測定、及び多周波 ESR 測定を行い、その結果の解析から上記の重要な結論を得ている。また、理論的研究が行われていなかった蜂の巣格子 J_1 - J_2 Ising 反強磁性体の磁化過程を明らかにするなど、本研究はフラストレーションの強い反強磁性体における量子効果と多体効果を理解するための重要な指針を与えるものである。これは申請者の研究能力の高さと学識の深さを表しており、本論文は博士（理学）の学位論文として十分な価値を有すると判断される。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。