

フラストレーション系低次元磁性体における量子効果の解明

Quantum effect on geometrically frustrated low dimensional antiferromagnets

プロジェクト代表者：本多善太郎（工学部・助手）

Zentaro Honda (Faculty of Engineering, Assistant)

絶縁性の磁性体では、スピンの磁気原子に局在し、それらの中にスピンを平行（あるいは反平行）にしようとする力（交換相互作用）が働く。交換相互作用は磁性イオン間距離に大きく依存するため、結晶構造によっては交換相互作用が一方向に強い1次元磁性体、面内に強く働く2次元磁性体などの低次元磁性が現れることがある。これらの低次元磁性体ではスピンの熱揺らぎの効果が強く現れ、磁気相転移に伴う臨界現象が広い温度範囲で見られる。また、低次元反強磁性体はスピンの本来持つ量子力学的な性質が顕著な系でもあり、スピンの熱揺らぎではなく、量子効果によって揺らいでいる状態（スピン液体）やスピン量子数に依存する磁気励起スペクトル（ハルデンギャップ）などが知られ、興味をもたれている。本プロジェクトでは、一次元磁性体における量子多体効果の観測と解明を目的として、2種類の異なる結晶格子を持つ磁性体を合成し、その磁気的性質を調べた。

スピン1鉄橋格子反強磁性体 $\text{Ni}(\text{bpy})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$

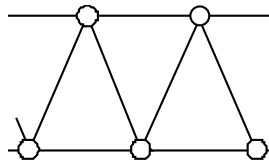


図1. 鉄橋格子

$\text{Ni}(\text{bpy})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ は Ni^{2+} イオンがスピン1を持つ1次元磁性体である。この物質の特徴は二本のスピン鎖が磁気的にカップルした結晶構造を持つことで、磁気相互作用の経路が鉄橋のように見えることから鉄橋格子磁性体と呼ばれる（図1）。結晶内の磁気相互作用がすべて反強磁性的である場合、鉄橋格子内の3角形のスピン配置によってスピンの幾何学的フラストレーションが生じることが予想される。

我々は $\text{Ni}(\text{bpy})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ の単結晶試料を作成し、磁気測定及び磁場中比熱測定をおこなった。その結果、 $\text{Ni}(\text{bpy})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ は低温、低磁場中で磁気秩序を示さず、量子効果によって非磁性になった基底状態をもつことを明らかにした。スピン間に磁気相互作用があるにもかかわらず秩序化しない原因は、非磁性の基底状態と励起状態との間のエネルギーギャップ（スピンギャップ）が存在するためであると考えられる。また、 $\text{Ni}(\text{bpy})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ は高磁場中で磁場誘起磁気相転移を起こし、磁気秩序することを明らかにした。磁場誘起磁気秩序相では、スピ

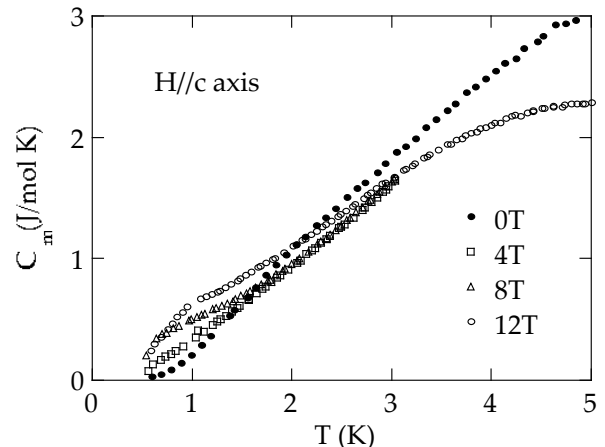


図2. $\text{Ni}(\text{bpy})\text{SO}_4(\text{H}_2\text{O})_2$ の磁場中比熱

ン

ンの幾何学的フラストレーションを反映した非整合磁気構造が期待され、興味をもたれる。今後、中性子散乱実験により磁場誘起秩序相の磁気構造およびスピングャップの調査をおこなう予定である。

スピン 1/2 梯子格子反強磁性体 $\text{NaCo}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$

$\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$ は結晶内に C_2O_4 イオンと磁性を担う2価コバルトイオンによる梯子状の構造を持つ金属錯体である。コバルトイオン間には梯子構造に沿って交換相互作用が働くため、 $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$ は梯子格子磁性体と呼ばれる(図3)。この物質は梯子間の距離が短いため、一次元性が低い磁性体である。このような系では、スピン鎖間の相互作用の大きさによって、スピン液体とNéel状態の基底状態における相転移(量子相転移とよばれている)が存在することが予想されており、有限温度でその兆候が観測される可能性がある。また、コバルトイオンを含む梯子格子磁性体はこれまでに報告例がない。このような興味から、 $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$ の結晶を作成し、その磁性を調べた。

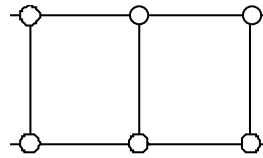


図3. 梯子格子

帯磁率及び比熱の実験結果の解析からコバルトイオンは低温で fictitious spin 1/2 を持つことを明らかにした。電子スピン共鳴の実験からこの物質が大きい一軸性異方性を持つことが分かっており、それが量子効果にどのような影響を及ぼすか興味深い。比熱は低温でスピングャップの存在を示唆する振る舞いを見せるが、帯磁率は低温で反強磁性垂直帯磁率に類似した振る舞いを示す。これらのことから、量子相転移の兆候が示唆されるが、今後の更なる検討が必要である。

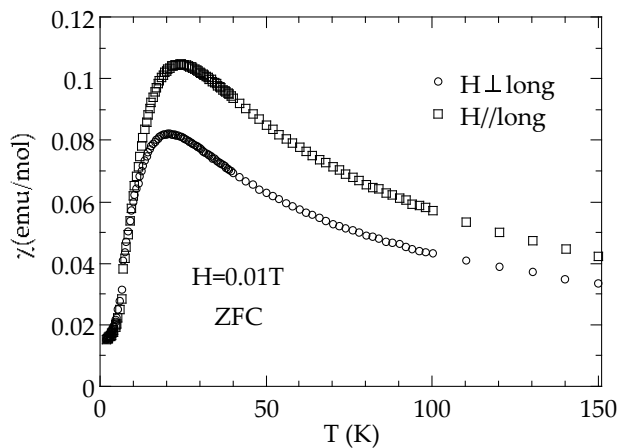


図4. $\text{Na}_2\text{Co}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3(\text{H}_2\text{O})_2$ の帯磁率

参考論文

Z. Honda, K. Katsumata, A. Kikkawa, and K. Yamada, Phys. Rev. Lett. **95**, 087204 (2005).