

量子磁性体における幾何学的フラストレーションと量子効果の研究

Studies of geometrical frustration and quantum effect in a quantum antiferromagnet

鳴海康雄¹, 野尻浩之¹, 中山元希², 原 茂生², 佐藤博彦²

¹東北大・金研,²中央大・理工.

Y. Narumi¹, H. Nojiri¹, G. Nakayama¹, S. Hara² and H. Sato²

¹Institute for Materials Research, Tohoku University

²Faculty of Science and Engineering, Chuo University

1. はじめに

幾何学的フラストレーションを内包した磁性体は、磁場によって誘起される誘電現象や、構造変化が磁気相転移に附随して起こるスピンヤンテラー効果など、興味深い相転移現象の舞台として注目されている。フラストレーション効果の本質は、交換相互作用を元にしたベクトルスピンの安定構造と結晶構造に起因する幾何学との矛盾にある。従って、フラストレーションの強さは三次元的な磁気長距離秩序を抑制する指標となる。一方、孤立した少数スピンからなるクラスター磁性体やスピン量子数の小さな一次元磁性体においては、量子力学的な一重項状態が安定化されるため、同様に磁気秩序が抑制される。前者は古典スピン、後者は量子スピンとして扱われるが、スピン量子数の小さなフラストレーション磁性体において、両効果がどのように競合、共演して磁気秩序の抑制が起こるのかという問題は、基礎物性の観点から非常に興味深い。

本研究では、幾何学的フラストレーションを内包する量子磁性体の基底状態および強磁場物性に関する知見を得ることで、フラストレーション効果と量子効果の競合・共存現象に関する新しい物理を開拓することを目的としている。今回、2次元三角格子構造を有する新規磁性体 $\text{Na}_2\text{BaMnV}_2\text{O}_8$ ($M = \text{Mn}$) に関する比熱測定を行い、磁気相転移の存在を示唆する、低温での異常な挙動を観測したので、その結果に関して報告する。

2. 基礎物性

$\text{Na}_2\text{BaMV}_2\text{O}_8$ ($M = \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}$) は M^{2+}O_6 八面体と V^{3+}O_4 四面体が2次元面内でつながった三角格子を形成している。 M^{2+} イオン間の相互作用が反強磁性の場合は幾何学的フラストレーションの効果が期待される磁性体である。SQUID 磁束計を用いた磁化の温度依存性の結果から、 $M = \text{Co}$ では $T_c = 3.0 \text{ K}$ 、 $M = \text{Ni}$ では $T_c = 8.2 \text{ K}$ で磁化が発散する傾向がみられ、磁場依存性の結果もふまえると、この二つの化合物では低温で強磁性状態へと転移していると考えられる[1]。一方 $M = \text{Mn}$ では、磁化の温度依存性において 2.3 K 付近に緩やかなピークを持つ低次元磁性体

特有の振る舞いが観測され、磁気相転移の抑制が起こっていると考えられる。そこで、磁気相転移の有無を検証することを目的として、 $M = \text{Mn}$ に関する単結晶試料を用いた比熱測定を行った。

3. 実験方法

比熱測定は緩和法を用いた比熱測定プローブを20TSMに組み込んで行った。この装置の特徴は、数 $10 \mu\text{g}$ の試料を用いての測定が可能であることで、微小な単結晶しか得られないような興味深い物質の研究においても威力を発揮する。今回は 0.48 mg の単結晶試料を用いて実験を行った。磁場印加方向は三角格子面に垂直な結晶の c 軸である。温度コントロールは⁴Heガスフローにより約 $2 \text{ K} \sim 8 \text{ K}$ の範囲で行った。

4. 実験結果

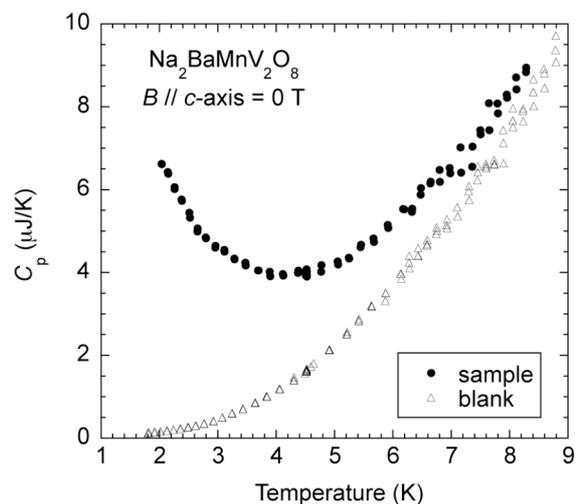


図1 $\text{Na}_2\text{BaMnV}_2\text{O}_8$ の比熱の温度依存性。黒丸が生データで三角が試料ステージの比熱。

図1にゼロ磁場で測定した比熱の温度依存性の生データと試料ステージのみの結果を示す。低温領域で磁気相転移の存在を示唆する急激な立ち上がりが見られる。磁化率でブロードなピークが現れる温度 2.3 K よりも低温においても比熱の値は上昇し続けていることから、磁化率の異常は量子効果に由来

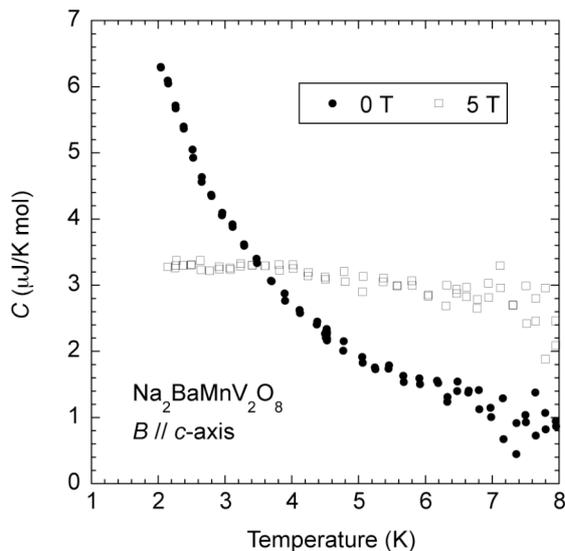


図2 $\text{Na}_2\text{BaMnV}_2\text{O}_8$ の比熱の磁場依存性。黒丸が試料ステージの比熱を差し引いたゼロ磁場の結果。四角が5Tの磁場中比熱。

したピークで、より低温領域において磁気相転移が現れると期待される。本測定の後、パルス磁場を使った磁化測定を実施し、約1 K以下の低温領域で磁気秩序を示唆する磁化の折れ曲がりが発達する様子を確認している。図2はステージの影響を差し引いた比熱の結果で、ゼロ磁場での測定に加えてc軸方向に5 Tの磁場を印加した測定結果も合わせて示している。ゼロ磁場の結果は低温に向けて短調に増加する傾向が見られるだけで、高温域でスピングャップを反映したショットキー的異常は観測されなかった。磁場の印加によって低温での上昇は抑制され、低温域でほぼ一定の振る舞いが見られるが、約4 K付近を境にして緩やかに折れ曲がり高温に向かって減少していく傾向が見られる。磁化過程と比較すると、この異常は磁化飽和に対応すると考えられる。

5. まとめ

三角格子磁性体 $\text{Na}_2\text{BaMnV}_2\text{O}_8$ の比熱測定を行って、低温で急激に発散する温度依存性が観測された。磁化率測定との比較から2 K以下の低温にて、磁気相転移があるものと推定される。今後、3He 冷凍機を用いたより1 K以下の低温域での比熱測定を行うことで、磁気相転移の有無を検証したいと考えている。

参考文献

- [1] 中山元希ら、日本物理学会 2011 秋季大会、23pGP-13