

2種類の競合と低次元性によって現れる特異磁性の研究

Study of unique magnetism caused by two magnetic frustrations and low dimensionality

長谷 正司¹⁾ 松田 雅昌²⁾ 加倉井 和久²⁾ 黒江 晴彦³⁾ 関根 智幸³⁾

Masashi HASE Masaaki MATSUDA Kazuhisa KAKURAI Haruhiko KUROI Tomoyuki SEKINE

¹⁾ 物材機構 ²⁾ 原子力機構 ³⁾ 上智大学

反強磁性鎖と反強磁性ダイマーが結合したスピン系を持つ $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ の単結晶作製に成功し、中性子非弾性散乱測定を行った。磁気励起の観測に成功し、分散関係を決めた。

キーワード : $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ 、反強磁性鎖、反強磁性ダイマー、磁気励起、分散関係

1. 目的

$\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ の磁性は特異である。 $T_N = 7.9 \text{ K}$ 以下で反強磁性秩序が起こり、合わせて、弱強磁性 (weak ferromagnetism) 的な性質も示す[1]。ただし、磁化曲線から判断するに、少なくとも 2.5 K 以上のゼロ磁場では、弱強磁性秩序自体は安定化していない。磁場を印加することによって、弱強磁性秩序も安定化するようである。また、スピン $1/2$ を持つ Cu^{2+} イオンの一部を非磁性の Zn^{2+} イオンに置き換えると、わずか 0.5% の Zn で、 T_N はほとんど変化しないが、弱強磁性的な性質が見えなくなる[2]。

Fig. 1 に Cu 位置を示す。3種類の Cu サイトが存在する[3]。以下のようなスピン系を推測している。 J_4 反強磁性交換相互作用が $\text{Cu}1$ の反強磁性鎖を形成し、 J_3 反強磁性交換相互作用が $\text{Cu}2$ と 3 の反強磁性ダイマーを形成する。鎖とダイマーは J_1 と J_2 相互作用で弱く結合していて、スピン系全体としては、磁気フラストレーション (競合) を含むことになる。反強磁性鎖内には、 J_4 相互作用に加えて、ジャロシンスキー・守谷相互作用 (DM 相互作用) も存在すると推測している。 J_4 と DM 相互作用の競合 (2種類めの競合) の結果、弱強磁性的な性質が現れると推測している。DM 相互作用を含む反強磁性鎖だけのスピン系では (例えば、 $\text{BaCu}_2\text{Ge}_2\text{O}_7$ [4])、弱強磁性秩序はゼロ磁場で安定化する。よって、反強磁性ダイマーの存在による磁気フラストレーションのため、ゼロ磁場で弱強磁性秩序が現れなかったり、上記の特異な置換効果が現れると考えている。

我々の考えが正しいかどうかを確認するためには、まず、磁気相互作用の情報が必要である。よって、磁気励起を観測するために、3軸分光計を用いて、中性子非弾性散乱の測定を行った。

2. 方法

$\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ の単結晶試料は赤外炉を用いて作製した。直径 5mm 、長さ 30mm の単結晶試料を使った。JRR-3 の LTAS と TAS-2 分光器を用いて実験した。 ^4He 冷凍機を用いて、 4.4 K から 100 K の間で温度を調整して測定を行った。

3. 研究成果

Fig. 2 に典型的な $I(\omega)$ (constant Q scan) の結果を示す。LTAS で測定した $I(\omega)$ では、1個の励起が、TAS-2 で測定した $I(\omega)$ では、1または2個の励起が観測された。温度が上がると、これらの励起の強度は小さくなる。よって、磁気励起である。磁気励起の分散関係をまとめたのが Fig. 3 である[5]。

4. 結論・考察

Fig. 3 から、2種類の励起が存在することが判る。低エネルギー励起は、 $(0\ 1\ 1)$ のゼロエネルギー

一付近から立ち上がる磁気分散を持つ。k 方向の分散が強く、反強磁性鎖の磁気励起に似ている。
 一方、高エネルギー励起は、測定した全ての Q で、有限エネルギーに励起がある。反強磁性ダイマーのようなスピン。ギャップ系の磁気励起を意味している。実線は、反強磁性鎖と反強磁性ダイマーが弱く結合した場合の計算結果で、実験結果を良く再現している。上記の我々の推測が正しいようである。 $J_4 = 4.0$ meV、 $J_3 = 5.8$ meV、鎖間の相互作用の絶対値が 0.5 meV、結合エネルギーが $1.6\sin(\pi k)$ meV という結果を得た。

5. 引用(参照)文献等

[1] T. Hamasaki, T. Ide, H. Kuroe, T. Sekine, M. Hase, I. Tsukada, and T. Sakakibara, Phys. Rev B 77, 134419 1-7 (2008).
 [2] M. Hase, H. Kitazawa K. Ozawa, T. Hamasaki, H. Kuroe, and T. Sekine, J. Phys. Soc. Jpn. 77, 034706 1-4 (2008).
 [3] U. Steiner and W. Reichelt: Acta Crystallogr., Sect. C 53 (1997) 1371.
 [4] I. Tsukada, J. Takeya, T. Masuda, and K. Uchinokura: Phys. Rev. B 62, R6061 (2000).
 [5] H. Kuroe et al., submitted to Phys. Rev B.

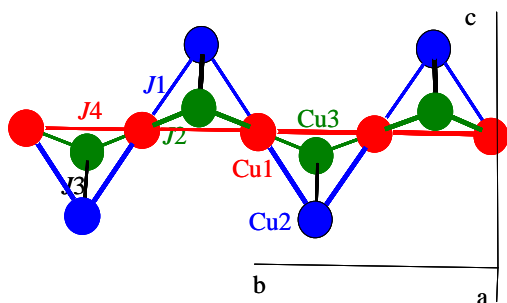


Fig. 1 $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ の Cu 位置を示す模式図。

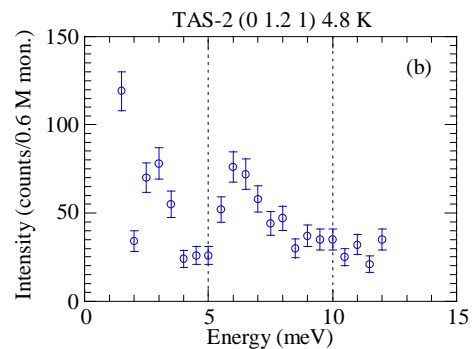
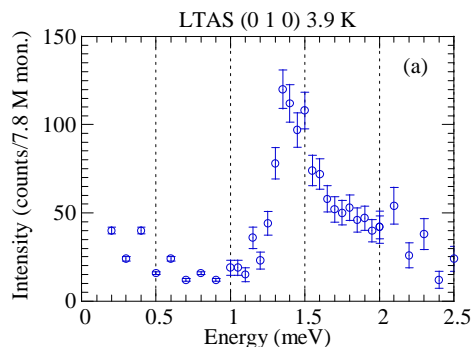


Fig. 2 $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ 単結晶の中性子非弾性散乱強度のエネルギー依存性。

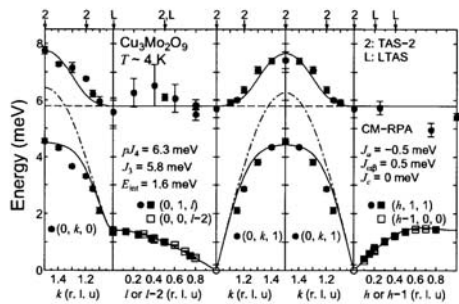


Fig. 3 $\text{Cu}_3\text{Mo}_2\text{O}_9$ の磁気励起の分散関係。