

フラストレート・スピン 1/2 鎖物質における 螺旋秩序状態 vs スピンギャップ状態

明大理工 ; 安井幸夫

Chiral order state vs. spin gap state of frustrated spin 1/2 chain system

Meiji Univ. ; Yukio Yasui

スピン間の相互作用に競合がある量子スピン系では、量子効果によって特異な物性現象を示したり、新奇な量子磁性状態の出現が期待される。ここでは CuO_2 リボン鎖と呼ばれる一次元絶縁体量子スピン系を取り上げるが、 CuO_2 リボン鎖とはスピン $S=1/2$ をもつ Cu^{2+} イオンが4つの酸素イオンに囲まれた CuO_4 四角形を形成し、それが辺共有で一次的に連なった構造をしており、リボンのように見えることから、この呼び名がつけられた。この系では最近接交換相互作用 J_1 が強磁性的で、次近接交換相互作用 J_2 が反強磁性的という特徴をもち、 J_1 と J_2 の相互作用が競合するので、低温でどのような磁性を示すかは簡単には予想できない（相互作用の概略図を Fig. 1 を示す）。

CuO_2 リボン鎖の具体的な物質例としては、 LiVCuO_4 [1], LiCu_2O_2 [2], $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$ [3] がまず挙げられ、これらの物質ではヘリカル型磁気構造をもつ反強磁性転移があり、そこでは強誘電転移を伴うマルチフェロイック現象（磁気秩序と強誘電性が共存）が観測されている。一方、 CuO_2 リボン鎖系 $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ では、 $J_1 = -138\text{K}$, $J_2 = 51\text{K}$ の相互作用をもつが、量子ゆらぎと低次元性により少なくとも 2K までは長距離磁気秩序を示さないと先行研究により報告されていた[4]。 $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ の様々な物性測定を行ったところ、興味深い結果が得られたので報告する。

Fig.2 に $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ の磁場下での強誘電分極の温度依存性を示す。わずか 0.05T の磁場を印加しただけで、 8K 付近に磁場誘起の強誘電転移が出現することを見出した。磁化率・比熱・中性子非弾性散

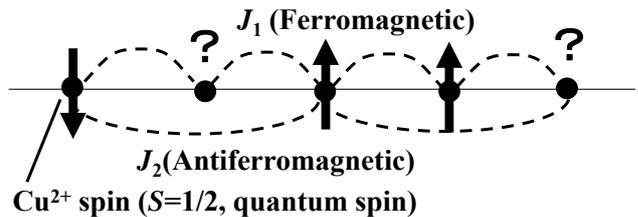


Fig.1: CuO_2 リボン鎖でのスピン間相互作用の概念図。

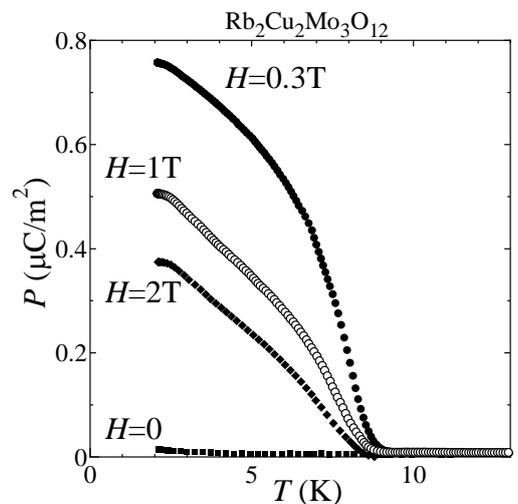


Fig.2: $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ の磁場下での強誘電分極の温度依存性。

乱の振舞いから、転移温度の 8K 付近では長距離磁気秩序は起きておらず、ヘリカル型の短距離磁気秩序状態で磁場誘起の強誘電転移が出現しており、新しいタイプの強誘電転移と考えられる[5]。

さらに磁気的基底状態を知るために 2K 以下の比熱・磁化率・誘電率を詳しく調べた。Fig. 3 に $H=0.05\text{T}$ での磁化率の温度依存性を示すが、スピン数はずか 0.5% の不純物スピン成分 χ_{imp} を差し引くと、非磁性の基底状態をとることがわかった。この時の spin gap energy は $\Delta \sim 1.7\text{K}$ である[6]。実験により得た磁気相図を Fig.4 に載せるが、磁場印加とともに energy gap が減少し、2T で非磁性状態は消失した。さらに 2T 以上の磁場中ではベル型の磁気・強誘電秩序相が出現することを見出した。

最近、 CuO_2 リボン鎖系については理論的にも活発に研究されており、 J_1/J_2 や磁場、磁気異方性等を parameter にして各種の理論的相図が提案されている。そこでは chiral order state や 2 種類の dimer 相 (1 つは Haldane dimer 相と呼ばれている)、2 種類の vector chiral dimer 相などの新奇な量子磁性状態の出現が指摘されている[例えば 6,7]。本実験により見いだした各相や状態が、理論的に指摘されているどの相にそれぞれ相当するか、理解が進みつつあるので、詳しくは講演で紹介する。

これらの研究は、寺崎一郎、岡崎竜二、佐藤正俊、木村剛、山口泰弘、井口敏、佐々木孝彦、長谷正司、益田隆嗣、萩原雅人、榊原俊郎、河野洋平、佐藤正寛、小野田繁樹各氏や、大学院生の柳沢雄大君、岡村卓真君、藤村明央君他、多くの方々の協力のもとに行なわれてきたものである。

- [1] Y. Yasui *et al.*, JPSJ 77 (2008) 023712.
- [2] S. Park *et al.*, PRL 98 (2007) 057601.
- [3] Y. Yasui *et al.*, JPSJ 80 (2011) 033707.
- [4] M. Hase *et al.*, PRB 70 (2004) 104426.
- [5] Y. Yasui *et al.*, JPSJ Conf. Proc. 3 (2014) 014014.
- [6] S. Furukawa *et al.*, PRL 105 (2010) 257205.
- [7] H. Ueda *et al.*, PRB 89 (2014) 024407.

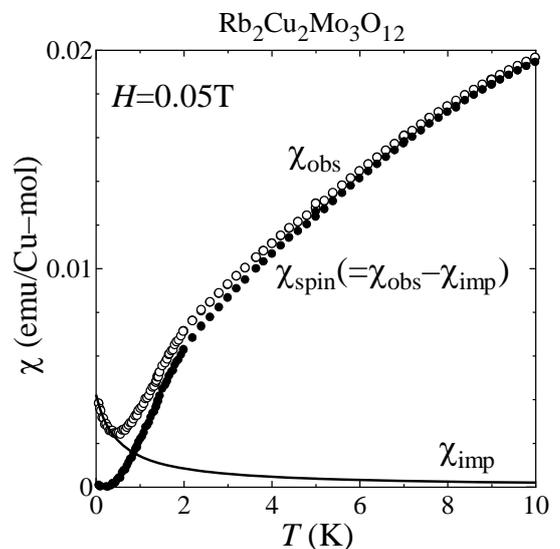


Fig.3: $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ の $H=0.05\text{T}$ での磁化率の温度依存性。

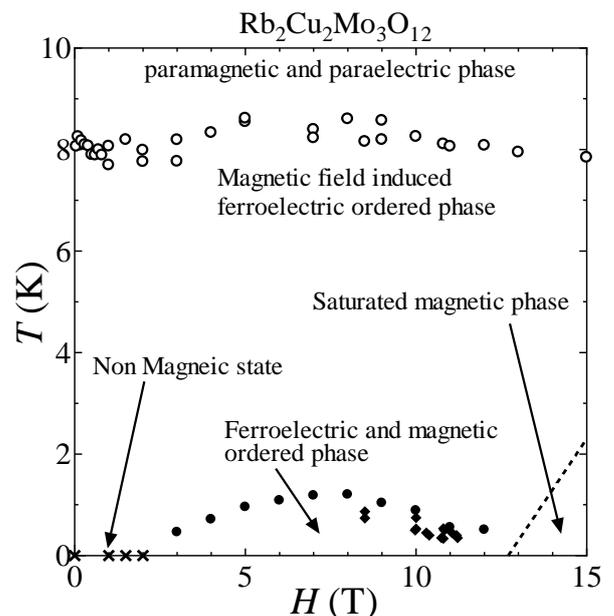


Fig.4: $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ の磁気相図。