

新しい量子スピнкаゴメ格子反強磁性体の発見

一般に、磁性体においてスピン間に相互作用が働くと、低温で強磁性や反強磁性といったスピンの長距離秩序が現れる。このようなスピン秩序を阻害したときにどのような状態が現れるかということは、物性物理学における非常に重要な問題である。最もスピン秩序が起こりにくい環境として、量子数 $1/2$ の量子スピンをカゴメ格子 (図 1a) に配列し、さらに最近接スピン間に反強磁性相互作用をもたせることが挙げられる。このような量子スピнкаゴメ格子反強磁性体では、幾何学的フラストレーションと強い量子揺らぎの効果によって、量子スピン液体と呼ばれる特異な状態が現れると理論的に予測されている。例えば、P. W. Anderson によって提案された共鳴原子価結合 (RVB) 状態はその一つであり、銅酸化物における高温超伝導の発現機構とも関連して非常に注目されてきた。

しかし、量子スピン液体を求めて、過去数十年にわたり物質探索が行われてきたにもかかわらず、現段階では実験的に量子スピン液体が確立している物質は存在しない。例えば、銅を含む鉱石はしばしば量子スピン系のモデル物質として研究されてきた。その中で量子スピнкаゴメ格子反強磁性体のモデル物質として、ボルボース石、ハーバートスミス石という 2 種の鉱石が知られているが、前者はカゴメ格子の歪み、後者は格子欠陥による乱れのために、共に理想的なモデル物質とはいえず、量子スピнкаゴメ格子反強磁性体の本質的な物性は明らかとなっていない。

今回、東京大学物性研究所の岡本佳比古氏、広井善二氏らの研究グループは、ベシニエ石 (図 1b) と呼ばれる鉱石が新しい量子スピнкаゴメ格子反強磁性体であることを発見した。この結果は、日本物理学会が発行する英文誌「Journal of the Physical Society of Japan」の 2009 年 3 月号に掲載される。

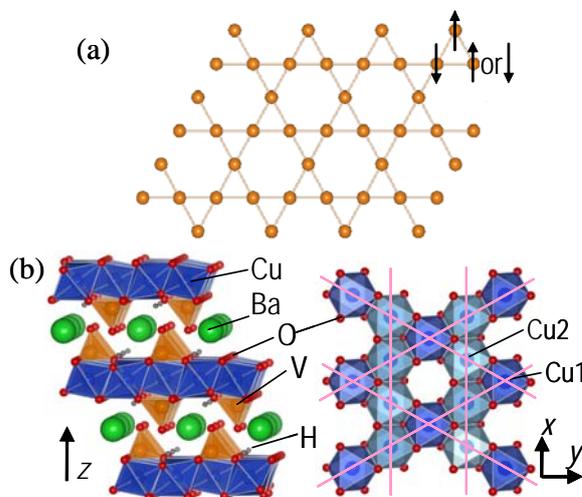


図 1. (a) カゴメ格子. 全ての隣接スピン対を逆向きにするには不可能であり、スピンの反強磁性秩序が抑制される (幾何学的フラストレーション). (b) ベシニエ石 $\text{BaCu}_3\text{V}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$ の結晶構造. 量子スピンをもつ Cu^{2+} イオンがカゴメ格子に配列する.

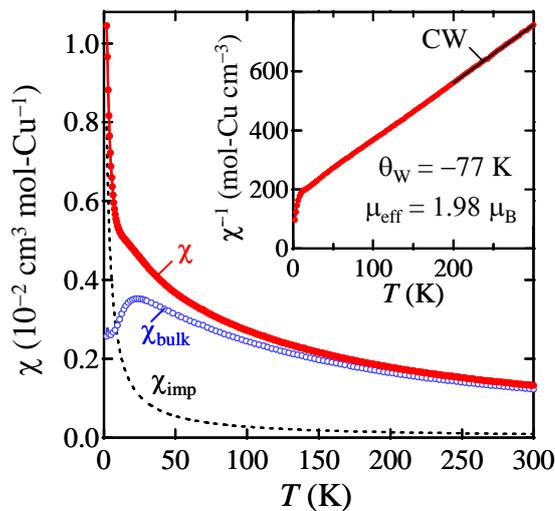


図2. ベシニエ石 $\text{BaCu}_3\text{V}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$ 多結晶試料の磁化率 χ の温度依存性. 不純物スピンの寄与 χ_{imp} 及び、これを χ から差し引いた χ_{bulk} を併せて示す. 挿入図に逆帯磁率及びキュリー・ワイス則へのフィッティングの結果を示す.

ベシニエ石は、1955年に C. Guillemin によって $\text{BaCu}_3\text{V}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$ の化学組成をもつことが報告された銅の天然鉱石である。本研究では、ベシニエ石において量子スピンを担う Cu^{2+} イオンが極めて理想的に近いカゴメ格子を組むことを見出し、さらに純良な多結晶試料の合成に成功した。多結晶試料の磁化率・比熱測定により、ベシニエ石が量子スピンカゴメ格子反強磁性体であること、2 K まで長距離秩序及びスピングラスを示さず、ある種のスピン液体状態（ギャップレススピン液体）にあることを発見した（図2）。また、ベシニエ石の磁性を、ボルボース石やハーバートスミス石と比較することで、このような振る舞いが量子スピンカゴメ格子反強磁性体にとって本質的であることを示した。

これらの成果は、長年にわたり未解明であった量子スピンカゴメ格子反強磁性体の物性解明を大きく前進させ、加えて量子スピン液体状態を実験的に研究するための舞台を与えるものとして、多くの研究者の注目を集めている。今後、幾何学的フラストレート磁性体に関する理論・実験両面からの研究進展が大いに期待される。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) No. 3, p. 033701

電子版: <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/78/033701/> (2月25日公開済)

<情報提供: 岡本佳比古、吉田紘行、広井善二 (東大物性研) >