

# ネマチック状態が期待される一次元競合系 $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ における $^{87}\text{Rb}$ -NMR

## $^{87}\text{Rb}$ -NMR Study on possible nematic state in One-dimensional Competing System $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$

後藤貴行<sup>1</sup>, 星野侑宏<sup>1</sup>, 新聡一郎<sup>1</sup>, 長谷正司<sup>2</sup>, 佐々木孝彦<sup>3</sup>

<sup>1</sup>上智大・理工, <sup>2</sup>物材機構, <sup>3</sup>東北大・金研

T. Goto, Y. Hoshino, S. Atarashi, M. Hase, T. Sasaki

<sup>1</sup> Faculty of Science and Engineering, Sophia University

<sup>2</sup> National Institute for Material Science, <sup>3</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

### 1. はじめに

1次元  $S = 1/2$  Heisenberg 系  $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$  は、2004 年に Hase らによって ferro の最近接交換相互作用 ( $J_1 = -138$  K) と、それに競合する antiferro の第二近接交換相互作用 ( $J_2 = 51$  K) を持つ 1 次元競合系であると報告された。[1] このような ferro と antiferro の交換相互作用が競合する系では、低磁場域でスピン密度波 (SDW) 相が、飽和磁場付近の高磁場域では多極子 Tomonaga-Luttinger 液体 (TLL) が実現すると Hikihara らによって理論的に示されている。[2] これは例えば、強磁性ボンド上に励起された二つの隣接スピンの三重項 (ディレクタ) の  $S_z = 0$  状態とみなせ、 $z$  軸に対して反転対称性を持つことから、ネマチック (液晶) のように振る舞うことに由来している。

しかし、多極子 TLL は 4 体以上のスピン相関関数で表されるため、実験で直接検出することは非常に困難である。近年、NMR 緩和率  $T_1$  測定により、間接的にはあるが多極子 TLL を検出できるという理論が Sato らにより提唱された。Sato らによれば、nematic TLL 状態になると、低磁場域 (SDW 相) では通常の TLL と同じように核磁気緩和率  $1/T_1$  は低温で発散するが、高磁場域 (多極子 TLL 相) では  $1/T_1$  は温度と共に減少するという特徴的な振る舞いを示す。[3]

通常の TLL では、 $K$  をラッティンジャーパラメタとすると、スピン相関が、スピンの縦・横いずれの成分についても  $x^{-2K}$  のようなべき指数で空間内を減衰する。これに対応して、スピン相関の核スピン縦緩和率への寄与は、横相関と縦相関とでそれぞれ  $T^{2K-1}$  と  $T^{1/2K-1}$  のように異なる温度のべきであり、 $K$  の磁場依存性にかかわらず、低温で  $1/T_1$  は温度のべきで発散する傾向を示す。

一方、nematic TLL では、2 つの三重項 (ディレクタ) を隣接して励起しようとする、共有点にスピンが重複するため、極めて高いエネルギーとなり、横相関が断ち切られてしまう。すると、先ほど述べた、スピン相関の核スピン縦緩和率への寄与のうち、 $T^{1/2K-1}$  のみが生き残ることになり、高磁場で TL パラメタ  $K$  が小さくなると、低温での  $1/T_1$  発散は見られなくなる、という、極めてはっきりした磁場依存性が現れる。

我々はこれを利用して、 $\text{Rb}_2\text{Cu}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$  の NMR 測定を行い、多極子 TLL の検出を試みた。この物質は冒頭で述べたように詳細なマクロ測定によって、交換相互作用の大きさが評価されており、また、飽和磁場は 11.5 T であることと、零磁場では 2 K まで長距離磁気秩

序が存在しないことがわかっている[1]。

### 2. 実験

実験は固相反応法で作製した粉末試料を用い、5~12 T の磁場範囲で NMR スペクトルと縦緩和率の温度依存性を測定した。スペクトル結晶学的に異なる 3 つの Rb サイト (4e, 8f, 4d) のからの寄与が、それぞれ、Rb 核 ( $I=3/2$ ) の電気四重極分裂によるパウダーパターンを呈し、重なっている。中心線ピークは、パウダーパターンによる構造がその他の原因による不均一幅によって、完全にスミアアウトされており一本のピークとして見えている。このため、3 つのサイトの Rb 核は一つのリザーバーとして振る舞うと期待され、実際、緩和曲線は単純に四重極分裂した単一の  $T_1$  を与えるものとなった。

### 3. 結果及び考察

磁場掃引スペクトルパウダーパターンの Center 遷移  $90^\circ$  ピークに対応する磁場にあわせて  $T_1$  測定を行った結果が、図 1 である。印加磁場によって、温度依存性が大きく異なっている。ここでまず、温度域 5-10 K での振る

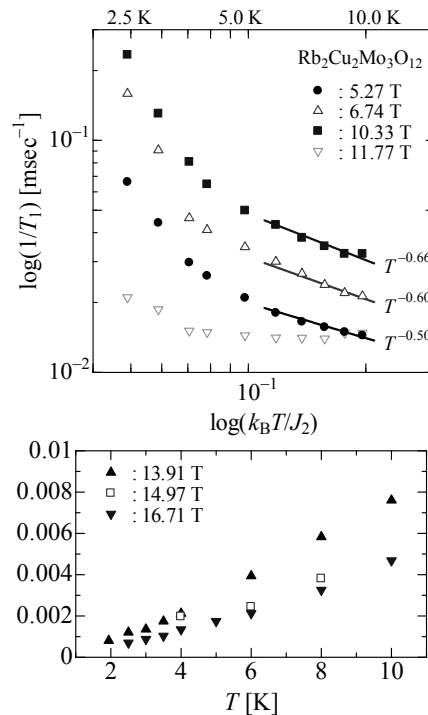


Fig. 1 様々な磁場下で測定した Center 遷移  $90^\circ$  ピークにおける核磁気緩和率  $1/T_1$  の温度依存性

舞いを、低磁場から見て行くと、磁場域 5-10T では、磁場増加とともに、緩和率は増大する。温度依存性は、図1に示すように  $T$  のべきで表わされ、TLLとしての振る舞いと一致する。しかし、磁化飽和 11.5T よりも低磁場、すなわち、図1で 10.77T のデータにおいて、既に発散傾向は弱くなり、低温まで殆ど温度依存しなくなる。この振る舞いは、TL パラメタの値が高磁場で  $K < 1/2$  となったことより、低温での発散項が消えた可能性を示している。つまり、磁化飽和直前のごく狭い磁場域においてネマチック-TLL が実現している可能性があると考えられる。

さらに磁場を上げて磁化飽和させると、T1 は熱活性型の温度依存性を示すようになる。ギャップの値は、 $H - \Delta/\mu_B$  に近いと思われるものの、図1のプロットでは誤差が大きく、明瞭ではない。

次に低温での振る舞いに目を向けると、飽和磁場よりも低磁場において、4 K 以下の低温における  $1/T1$  の発散傾向は著しく、温度のべきでフィットしても TLL としては説明出来ない値となる。これは、三次元長距離秩序の臨界発散である可能性を示しており、有限磁場下で、2 K 以下において磁場誘起磁気転移が存在することを示すものである。

#### 4. まとめ

一次元競合系  $Rb_2Cu_2Mo_3O_{12}$  の Rb-NMR 縦緩和率を広磁場域において測定した。5-10T 程度の有限磁場下において、2K 以下の低温で、磁場誘起磁気転移の存在を示す臨界発散の存在が認められた。さらに、磁化飽和に近い磁場域でネマチックTLLの可能性を示唆する磁場依存性が観測された。

#### 参考文献

- [1] M. Hase et al., Phys. Rev. B 70, 104426 (2004).
- [2] T. Hikihara, L. Kecke, T. Momoi, and A. Furuski, Phys. Rev. B 78, 144404 (2008).
- [3] M. Sato, T. Momoi, and A. Furusaki, Phys. Rev. B 79, 060406(R) (2009).