

Title	1次元量子スピン系のスピンによる熱伝導
Author(s)	竹谷, 純一
Citation	大阪大学低温センターだより. 139 P.20-P.22
Issue Date	2007-07
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/3634
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

1 次元量子スピン系のスピンによる熱伝導

理学研究科 竹谷 純一（内線5398）

1 . はじめに

銅や銀など電子伝導が良好な固体は、熱伝導性にも優れていることが多い。良伝導体では、格子の振動（フォノン）のほかに電子の液体（フェルミ液体）も優れた熱伝導媒体になっているからである。さらに、磁性体では、磁気秩序状態（スピンの固体）におけるスピン波動起（マグノン）がフォノンの1割程度の熱を伝えることが以前より知られていた。ここでは、低次元磁性体において低温で“スピンの量子液体”がフォノンの何倍もの熱を伝えるという筆者らが比較的最近行った実験の結果^[1-4]を紹介する。

2 . スピンパイエルス物質CuGeO₃

実験に用いた物質は、無機スピンパイエルス物質として有名なCuGeO₃である。図1のように、Cuサイトのスピン1/2が一次的に配列し、酸素を介した反強磁性的な超交換相互作用 J のせいで一次元ハイゼンベルグスピン系を構成している。一次元鎖方向の J は120 K程度であるのに対し、鎖間の相互作用は約1桁小さい。スピン1/2一次元系ハイゼンベルグスピン系では、量子揺らぎの影響が大きくなるので、三次元系の場合のように反強磁性長距離秩序相が基底状態にはならない。実際、CuGeO₃では約15 K以下において、一次元鎖のCuサイト間距離が交互に短くなって、スピン一重項を形成するという、非磁性スピンパイエルス相が実現している。

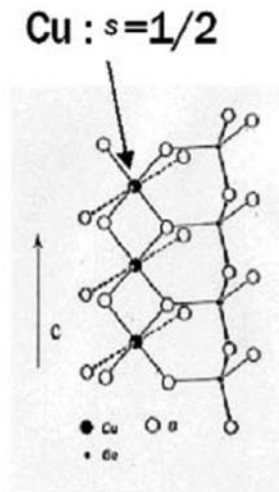


図1

このように、一次元量子スピン系の特徴がよく現れているCuGeO₃において、スピンパイエルス転移温度 T_{sp} 直上の温度域では、120 Kのエネルギースケールのスピン相関がありながら、量子揺らぎのせいで長距離秩序を形成しえない量子スピン液体状態となっている。この低次元スピン系のスピン励起ダイナミクスを明らかにするために、CuGeO₃及びCuサイトを部分的にMgに置換したCu_{1-x}Mg_xGeO₃の単結晶についてスピン鎖方向の熱伝導を測定した。Mgはスピンがないので、スピン鎖を分断し鎖方向のスピン相関を遮断してしまう。

3 . CuGeO₃及びCu_{1-x}Mg_xGeO₃の熱伝導

低温領域で十分な温度測定の高感度が得られるようにCernox抵抗温度センサーを用いて、10⁻⁶ Torr程度の真空中で熱伝導率の温度変化を測定した。サンプルとしては、当時東京大学内野倉研究室におられた益田隆嗣氏がフローティングゾーン法によって作製されたMg含有量の分布が少ない高品質単結晶を用いた。

図2は様々なMg濃度の単結晶サンプルについて測定した熱伝導率の温度変化、図3には T_{SP} 直上での κ の x に対する変化を示した。CuGeO₃からMgの不純物濃度が増えるに従って T_{SP} 以上の κ は減少し、 $x=0.03$ 以上でほぼ一定となる。CuGeO₃は絶縁体なので、電子の熱伝導はなく、フォノンとスピン励起が熱伝導を担う。フォノン散乱過程の考察によって、フォノンの熱伝導は x とともにあまり変化しないことが示される。従って、Mg置換によってスピン鎖が短くなるに従って急激に減少したのは、スピン励起による熱伝導であることになる。スピン励起による熱伝導はフォノンの4倍程度であり、スピン励起の分散関係から平均自由行程を求めると約300 nm (鉛の低温電子伝導の場合と同程度)にもなる。

なお、 T_{SP} 以下のスピンパイエルス状態においては、格子系とスピン系との結合による効果が熱伝導のピーク異常として現れている。低次元スピン液体のみならずスピンパイエルス状態でも、熱伝導測定は低エネルギー励起のダイナミクスを調べる有用な手段となっている。

4 . おわりに

その後、Sr₂CuO₃などのほかの系についても、低次元スピン液体の大きな熱伝導が示されている^[5]。また、理想的なスピン1/2の一次元ハイゼンベルグシステムであれば、数学的に可積分系であるため、エネルギー流が保存する、即ち熱伝導率が無限大になることと関連した議論も展開されている^[6]。今後、無機金属錯体などのより理想的な一次元系におけるスピン熱伝導の研究など、更なる研究の発展が期待される。

以上、筆者が財団法人電力中央研究所に在籍した時に行った実験研究について紹介した。共同で研究を進めてくださった、安藤陽一、塚田一郎、益田隆嗣、内野倉國光、A. Kapitulnikの各氏に心より感謝申し上げます。

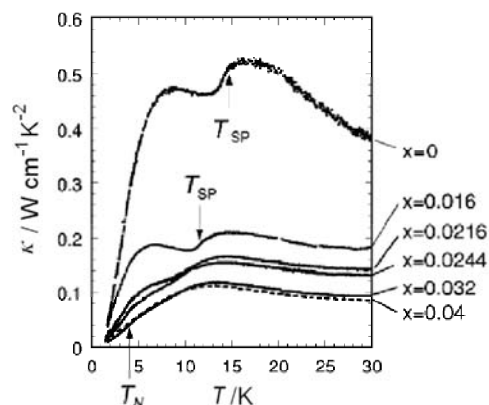


図2

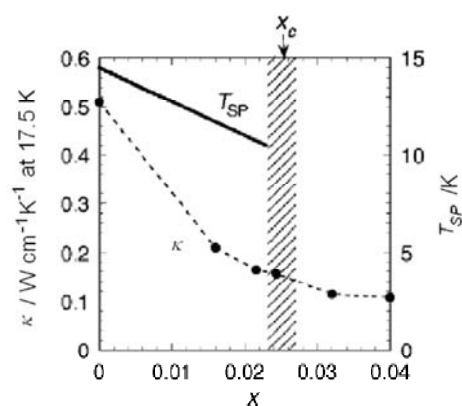


図3

参考文献

- [1] J. Takeya, I. Tsukada, Y. Ando, T. Masuda, K. Uchinokura, *Phys. Rev. B* 61, 14700 (2000)
- [2] Y. Ando, J. Takeya, D. L. Sisson, S. G. Doettinger, I. Tanaka, R. S. Feigelson, A. Kapitulnik *Phys. Rev. B* 58, R2913 (1999)
- [3] J. Takeya, I. Tsukada, Y. Ando, T. Masuda, K. Uchinokura, *Phys. Rev. B* 62, R9260 (2000)
- [4] J. Takeya, I. Tsukada, Y. Ando, T. Masuda, K. Uchinokura, I. Tanaka, R. S. Feigelson A. Kapitulnik, *Phys. Rev. B* 63, 214407 (2001)
- [5] A. Sologubenko, E. Felder, K. Gianno, H. R. Ott , A. Vietkine, A. Revcolevschi, *Phys. Rev. B* 62, R6108 (2000)
- [6] X. Zotos, *Phys. Rev. Lett.* 82, 1764 (1999)