

# 2006 年度福井大学工学部予算重点配分

## 研究テーマに係る研究報告書

### 研究テーマ「スピンプラズマレーションを有する新しい磁性体の研究」

研究代表者                      菊池 彦光（工学研究科物理工学専攻、教授）

共同研究者：

光藤 誠太郎（遠赤外領域開発研究センター、教授）、  
藤井 裕（遠赤外領域開発研究センター、助教授）

# 研究成果の概要

菊池彦光（工学研究科物理工学専攻）

## 研究の背景と目的

物理学においてフラストレーションとは、様々な最適化条件が互いに競合し、系がそれらを同時には満たす事ができないような状況をさす（要するに、こちらをたてればあちらがたたず、という状況）。フラストレート系では自明な最適化条件が存在しないため、大きなゆらぎの効果が見られたり、非フラストレート系では見られない新しい型の秩序相が実現されたりすることから非常に注目されている。特にフラストレート系において予測されたスピン液体とよばれる強く揺らいだ特異な状態と高温超伝導発現機構との間の関連が理論的に指摘されたこともあり、磁性物理のみならずより広範な分野においても新たな展開が見られつつある。本研究の目的は、新しいフラストレート磁性体の合成・探索を行い、種々の磁氣的測定手段を駆使して、スピン液体状態に代表される新規な物性を発見することである。

## 研究結果

幾何学的フラストレート磁性体となりうる格子としては一次元ではダイヤモンド鎖、二次元では三角格子やカゴメ格子、三次元ではパイロクロア格子などが知られている。この中でカゴメ格子磁性体では低次元性とフラストレート効果の協同効果のために興味深い物性が期待されるが、理想的なカゴメ格子磁性体はこれまで知られていなかった。ごく最近構造的に完全なカゴメ格子磁性体  $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$  が合成され世界的に注目されている。今回、磁性を系統的に解明するために、 $\text{Zn}_x\text{Cu}_{4-x}(\text{OH})_6\text{Cl}_2$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) の多結晶試料を合成し NMR、ESR、強磁場磁化、磁化率、中性子回折実験を行った。ここで  $x=1$  がカゴメ格子に、 $x=0$  は歪んだパイロクロア格子に対応する。 $x=1$  の試料の磁化率の高温部分のフィットからはスピン間には非常に大きな反強磁性的相互作用があることがわかった。しかしながら、2K の低温に至るまでなんら長距離磁気秩序の発生をうかがわせる異常は見られず、大きなフラストレート効果の存在が示唆された。Zn 濃度  $x$  を増加していくと  $x=0.5-0.6$  ではスピングラス的転移が約 5 K において生じることを見いだした。更に  $x$  を増やすと約 5 K における転移は弱い磁気モーメントを伴う弱強磁性的な転移に変化していった。図 1 に約 1 T の磁場中で測定した  $^1\text{H-NMR}$  のスピン-格子緩和率  $T_1^{-1}$  の温度依存性を示した。 $x=1$  の試料の  $T_1^{-1}$  は殆ど温度変化を示さず、低温にいたるま

で磁気相関が発達しないことがわかる。 $x=1$  では磁化率における異常と対応した約 5 K において発散的な変化が見られる。興味深い点は 18K 近傍に幅の広いピークが見られる点で、磁気秩序が二段階的に起こる逐次転移が生じていることが明らかになった。このような逐次転移はフラストレート磁性体にしばしば見られる現象である。また、高温の転移における  $T_1^{-1}$  の変化がブロードであることはこの転移が静的なものではなく相当なスピン

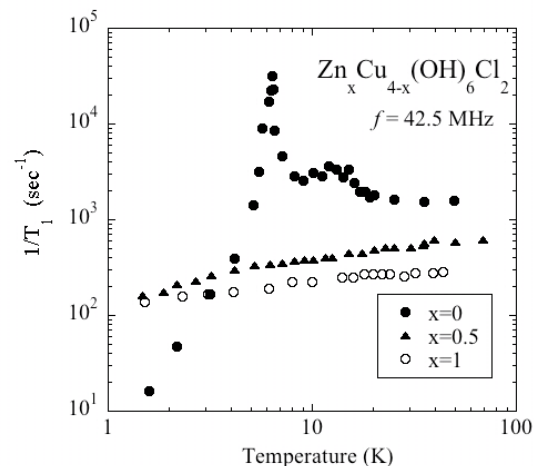


図 1 :  $Zn_xCu_{4-x}(OH)_6Cl_2$  の  $^1H$ -NMR のスピン - 格子緩和率の濃度及び温度依存性。

ゆらぎが相転移後も残存している事を示唆する。磁気的なエネルギー励起に関する知見を得るために本化合物の H を重水素 D に置換した試料を合成し、非弾性中性子散乱実験を S.-H. Lee (Virginia 大学) らとともに現在行っている。その結果、 $x=0$  ではスピン対からなる一重項状態からなるスピン液体状態が実現している事を示唆する結果が得られた。Zn 濃度  $x$  を変えて行った実験結果から  $x$  に対する磁気相図を作成し、量子フラストレートスピン系を統一的に理解するモデルを提唱した。

## 発表論文

Y. Fujii, H. Hashimoto, Y. Yasuda, H. Kikuchi, M. Chiba, S. Matsubara, M. Takigawa; "Nuclear magnetic relaxation of  $^{133}Cs$  of distorted triangular antiferromagnet  $Cs_2CuBr_4$ ," J. Magn. Mater. **310** (2007) e409-e411

H. Kikuchi, M. Chiba, Y. Fujii, Y. Yamamoto, W. Higemoto, K. Nishiyama; "Low temperature magnetism of gapless  $S=1$  bond-alternating antiferromagnet studied by NMR and  $\mu$ SR", J. Magn. Mater. **310** (2007) e400-e402.

H. Kikuchi, W. Higemoto, K. Nishiyama; "Magnetic Freezing Transition of the Frustrated Antiferromagnet  $LiCrTiO_4$  with Spinel Structure" **850** (2006) *24th International Conference on Low Temperature Physics (LT24) AIP Conference Proceedings* 1119-1120.

S.-H. Lee, H. Kikuchi, Y. Qiu, B. Lake, Q. Huang, K. Habicht, K. Kiefer; "Quantum spin liquid states in the two dimensional kagome antiferromagnets,  $Zn_xCu_{4-x}(OH)_6Cl_2$ ", cond-mat 0705.2279v1.

2007/6/28

配分経費および経費の支出額内訳

研究課題「スピンプラストラーションを有する新しい磁性体の研究」

研究代表者：菊池 彦光（工学研究科物理工学専攻、教授）

配分額 [redacted] 円

支出

[redacted]	[redacted]
消耗品	[redacted]
	[redacted]
	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
[redacted]	[redacted]
計	[redacted]