



## 研究成果の概要

### 研究の背景と目的

物性物理学の研究では数K以下における低温測定とそれができる低温環境の整備が必須である。低温にすることによって通常環境では熱的効果に隠れて見えない相互作用による影響や量子効果を顕在化することで新しい状態や物理現象を発見することが可能となる。ある種の物質系では温度を下げるとボース・アインシュタイン凝縮 (BEC) とよばれる量子的な相転移が生じる。この現象はボソンとよばれる素励起が存在する場合には普遍的に存在するもので、現在最も活発に研究されている研究課題である。工業的にも重要な超伝導も BEC の一種であり BEC の基礎的研究は将来の応用的発展のためにも重要である。幸い福井大学においては低温研究に不可欠な液体ヘリウム液化装置が更新され本学における低温物理研究の基盤が形成されつつある。本研究プロジェクトの目的は、福井大学における低温物理学の研究体制を確立することである。具体的には、磁性、レーザー分光、量子液体 (液体ヘリウム) といった低温物理学の多彩な分野において共通項のように現れる BEC 及び BEC が関連する現象について多角的な研究を行い、相互に議論を行いながら、究極的には新しい現象を見いだす事を目標としている。

### 研究成果

この一年は、磁性、レーザー分光、量子液体の各研究グループ内で研究活動を行いながら、低温物理学に関する有機的な研究体制確立を目指してグループ間で不断の連絡をとりあった。磁性グループでは 2007 年 12 月に、量子効果が顕著に働く磁性体 (量子スピン系) に関する研究会を行い国内の当該研究分野に関する有力な研究者が参加して活発な議論を行った。以下に各グループの研究成果についてまとめる。

#### 磁性 (菊池、光藤、藤井)

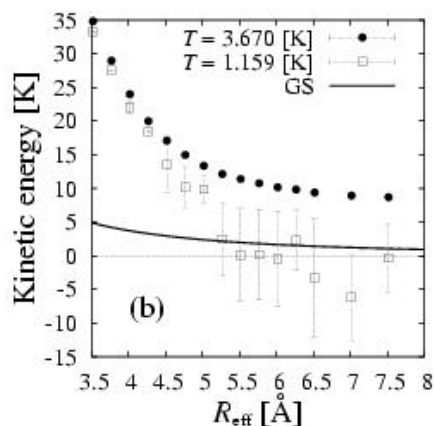
幾何学的にフラストレートした反強磁性的量子スピン系において、反強磁性的に結合した二つのスピンからなるスピンドイマーが規則的に配列することによって生成される新しい量子相である VBS (Valence Bond Solid) 状態が存在することをかごめ格子反強磁性体  $Zn_xCu_{4-x}(OD)_6Cl_2$  に対する中性子実験によって実証した<sup>1)</sup>。二次元三角格子反強磁性体  $Cs_2CuBr_4$  に対する  $^{133}Cs$ -NMR 実験により、磁化プラトー (規則配列したボソン (マグノン) に起因する現象) を横断する磁場域における磁場誘起相転移現象を明らかにした<sup>2)</sup>。

#### レーザー分光 (熊倉)

Rb原子気体においてボース凝縮を行うため、今年度は2重磁気光学トラップ法及び偏向勾配冷却法によるRb原子のレーザー冷却実験を推進した。その結果、常温の金属蒸気から $10^8 \sim 10^9$ 個のRb原子を $100 \mu\text{K}$ 程度にまでレーザー冷却することができ、凝縮体の生成・保持を行う磁気トラップでこの原子集団が捕獲されることを確認した<sup>3-5)</sup>。

### 量子液体 (高木)

ナノスケール球状ケージに数個の $^4\text{He}$ 粒子を閉じ込め、低温でボーズ統計性を示すかどうかの検証を経路積分法で行った。その結果、粒子4個の場合は $5 \text{ \AA}$ 程度が臨界半径で、それよりも大きなケージではボーズ統計性が発現した。それ以下の半径のケージでは幾何学的制限により粒子交換は発生せず、固体的な熱力学特性を示した。示した図は、粒子4個の場合のケージ半径に対する運動エネルギーであり、半径が大きい場合には低温で運動エネルギーの低下が見られる。GSの線は理想1体粒子の運動エネルギーであり、粒子が基底状態に落ち込んでいることが理解される。このことは名大グループの実験結果と矛盾しない<sup>6)</sup>。



### 主要な研究論文

- 1) "Quantum-spin-liquid states in the two-dimensional kagome antiferromagnets  $\text{Zn}_x\text{Cu}_{4-x}(\text{OD})_6\text{Cl}_2$ ", S.-H. Lee, H. Kikuchi, Y. Qiu, B. Lake, Q. Huang, K. Habicht and K. Kiefer, *Nature Materials*, **6**, 853 – 857 (2007).
- 2) "Commensurate and incommensurate phases of the distorted triangular antiferromagnet  $\text{Cs}_2\text{CuBr}_4$  studied using  $^{133}\text{Cs}$  NMR", Y. Fujii, H. Hashimoto, Y. Yasuda, H. Kikuchi, M. Chiba, S. Matsubara, M. Takigawa, J. *Phys.: Condens. Matter*, **19**, 145237 (5 pages) (2007).
- 3) "Spontaneous splitting of a quadruply charged vortex", T. Isoshima, M. Okano, H. Yasuda, K. Kasa, J. A. M. Huhtamäki, M. Kumakura, and Y. Takahashi, *Phys. Rev. Lett.*, **99**, 200403/1-4 (2007).
- 4) "Degenerate Fermi gases of ytterbium", T. Fukuhara, Y. Takasu, M. Kumakura and Y. Takahashi, *Phys. Rev. Lett.*, **98**, 030401/1-4 (2007).
- 5) "Spin noise measurement with diamagnetic atoms", M. Takeuchi, S. Ichihara, T. Takano, M. Kumakura and Y. Takahashi, *Phys. Rev. A* **75**, 063827/1-4 (2007).
- 6) "Path Integral Calculation of  $^4\text{He}$  in Zero-Dimensional Nanocage Model", Y. Nakamura, and T. Takagi *J. Phys. Soc. Jpn.*, **77**, 03608-03614 (2008).

## Program

研究会会場：福井大学 遠赤外領域開発研究センター5Fコロキウム室  
 日時：2007年12月10日(月) 午後-11日(火)

2007.12.10. (Mon) 福井大学 遠赤外領域開発研究センター5Fコロキウム室

座長:	大久保晋	分子フォトサイエンス研究センター
13:25-13:30	はじめに	
13:30-14:00	大沢明	上智大学理工学部物理学科 偏極中性子非弾性散乱による擬一次元イジング型反強磁性体 $TiCoCl_3$ の異方的磁気揺らぎの研究
14:00-14:30	後藤貴行	上智大学理工学部物理学科 NMR及び $\mu SR$ によるスピングャップ固溶系 $IPa-Cu(Cl,Br)_3$ の研究
14:30-15:00	菊池彦光	福井大学工学部 ダイヤモンド鎖化合物 $Cu_3(MO_4)(OH)_2-(4,4'-bpy)$ の磁化過程
15:00-15:20	Break	
座長:	菊池彦光	
15:20-15:50	大久保晋	神戸大学分子フォトサイエンス研究センター $S=1/2$ カゴメ格子反強磁性体 $ZnCu_3(OH)_6Cl_2$ のSpin液体状態について (仮題)
15:50-16:20	奥西巧一	新潟大学理学部 擬1次元XXZ模型の磁場誘起非整合秩序について
16:20-16:50	坂井徹	原子力機構/Spring-8 擬一次元量子スピン系のスピフロップ転移
16:50-17:20	藤井裕	福井大学遠赤外センター 三角格子反強磁性体 $Cs_2CuBr_4$ の磁化プラトー領域におけるNMR

2007. 12. 11. (Tue) 福井大学 遠赤外領域開発研究センター5Fコロキウム室

座長:	光藤誠太郎	
10:00-10:30	利根川孝	福井工業大学 異方的 $(s,S)=(1,2)$ スピン交代鎖の基底状態
10:30-11:00	岡本清美	東京工業大学大学院理工学研究科 1次元スピングャップ系における有限磁場中の磁化の温度変化とランダムネス
11:00-11:30	太田仁	神戸大学分子フォトサイエンス研究センター $S=1/2$ ハニカム格子反強磁性体 $InCu_2/3V_1/3O_3$ のスピンドイナミクス (仮題)
11:30-12:00	細越裕子	大阪府立大学 BIP-TENOの格子歪みと圧力・不純物置換効果
12:00-13:00	Lunch	
座長:	藤井裕	
13:00-13:30	中村敏和	分子科学研究所 低次元スピン系としての有機導体
13:30-14:00	光藤誠太郎	福井大学遠赤外センター 未定