

# 量子揺らぎが作り出す新たな電子状態

プロジェクト代表者：理工学研究科 准教授 小坂昌史

共同研究者：理化学研究所・専任研究員（埼玉大学 客員准教授）香取浩子

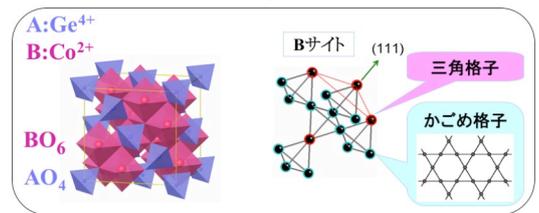
## 1. 研究目的

磁気モーメントを持つ磁性原子間の相互作用が何らかの理由で拮抗している場合には、極低温で量子揺らぎに基づく興味深い現象が観測されることがある。近年、注目を浴びている幾何学的フラストレーションを含んでいる物質系で現れる量子効果がその一例であり、また電子相関の強い希土類金属間化合物において観測される量子臨界点近傍での「非フェルミ液体」や「重い電子系超伝導」などもその一例と言える。両者とも容易に磁気的な自由度が開放できない状態に置かれている点が共通している。本研究では次に挙げる物質について、量子揺らぎが物性にどのような影響を与えるか研究を進めていく。

## 2. 研究計画

### 【スピネル酸化物 $\text{GeCo}_2\text{O}_4$ -カゴメ格子による幾何学的フラストレーション-】

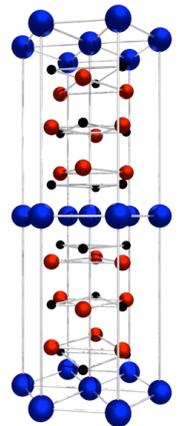
$\text{GeCo}_2\text{O}_4$ は右図のようなスピネル型の結晶構造を持つ立方晶化合物である。磁性を担う $\text{Co}^{2+}$ は $[111]$ 軸方向から見ると三角格子とカゴメ格子が交互に積み重なった構造をとっている。これまでの研究により $T_N=21\text{K}$ で生じる反強磁性転移に伴い結晶構造が立方晶から正方晶に



僅かに構造相転移し、対称性が低下していることがわかった。つまり、構造を若干変化させることによりフラストレーションを解消し、磁気秩序状態に転移して系のエネルギーを下げていることになる。本研究では、異方性を知る上で妨げとなるドメイン構造を軸性圧力で制御し、磁化測定から構造相転移を伴う反強磁性転移の詳細を調べる。

### 【希土類炭化物 $\text{YbAl}_3\text{C}_3$ -2次元三角格子による幾何学的フラストレーション-】

希土類イッテルビウムYb(大きい黒丸)とアルミニウムAl(灰色)、炭素C(小さい黒丸)からなる化合物 $\text{YbAl}_3\text{C}_3$ は右図のような六方晶の結晶構造を持つ。Ybは六角形の頂点と中心に位置し、三角格子を組んでいる。しかも、Ybからなる層はAlとCから成る層によって大きく隔てられており、2次元的な状況に置かれている。これまでに、磁化測定の結果から大きな磁気相互作用を持っているにも係わらず極低温まで磁気秩序化を示さないことが分かっており、放射光X線回折、中性子非弾性散乱実験などを行いその原因に迫る。



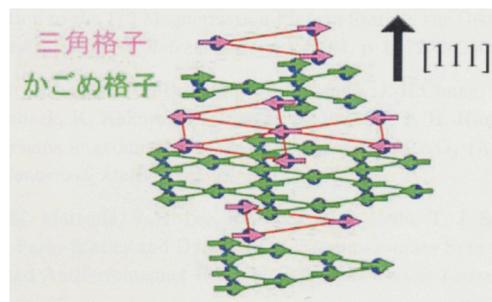
### 【希土類金属間化合物 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ -圧力による量子臨界点-】

昨年、 $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ において量子臨界点と考えられる現象を観測した。極低温まで磁気秩序化を示さなかった $\text{YbCo}_2\text{Zn}_{20}$ に1GPa程度の圧力をかけると、磁気相転移と思われる異常が電気抵抗測定で観測された。量子臨界点近傍での振る舞いと、圧力-温度相図を作成することを目的とする。

### 3. 研究成果

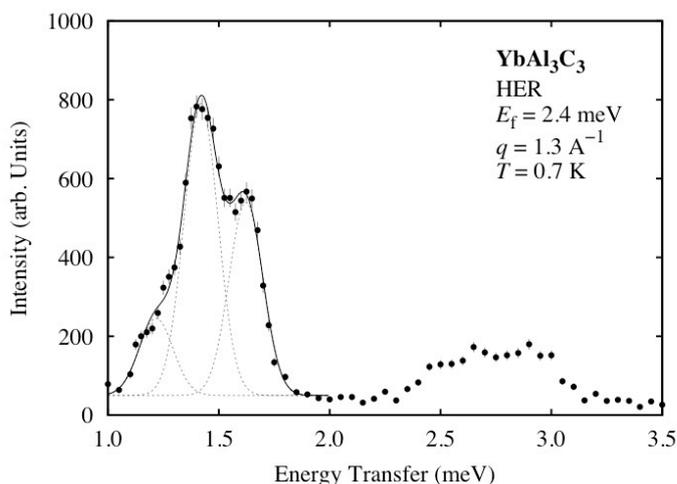
#### 【スピネル酸化物GeCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>】

軸性圧力で磁気ドメインを制御することにより、磁化の異方性のデータを得ることに成功した。その結果と中性子回折実験結果を併せて考察した磁気構造は右図のようになることが明らかになった。



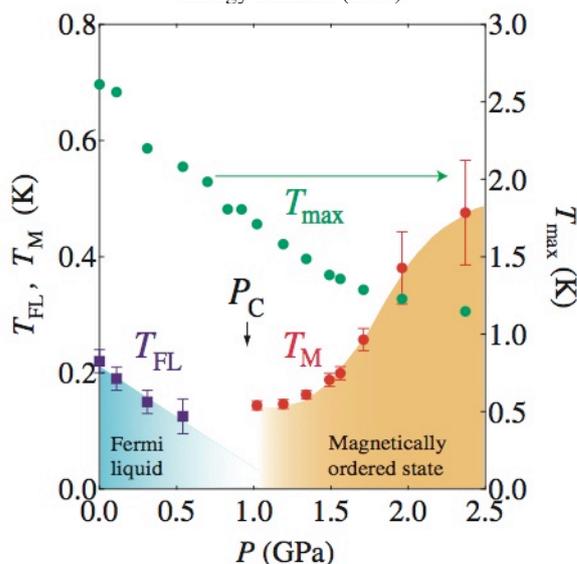
#### 【希土類炭化物YbAl<sub>3</sub>C<sub>3</sub>】

大きな磁気相互作用の存在にもかかわらず、極低温まで磁気秩序が観測されなかった原因が低温でのYbのスピン二量体化によることを実験的に明らかにした。中性子非弾性散乱実験より明らかにした低エネルギー磁気励起の存在は二量体化によるスピン一重項と三重項のスピンギャップがその起源であり、さらに分解能を上げた実験で励起状態が三重項である直接的な証拠を捉えた（右図）。この低エネルギー磁気励起構造はフラストレーションを含んだ2次元d電子系物質の実験結果と極めて酷似している。希土類金属間化合物において基底状態にスピン二量体化を実現する物質は初めてのケースであり、大きな成果といえる。多くの希土類化合物では磁気秩序化によって電子系のエネルギーを下げるが、YbAl<sub>3</sub>C<sub>3</sub>はYbの2次元三角格子によるフラストレーションにより磁気秩序が抑制されており、フラストレーションがYbAl<sub>3</sub>C<sub>3</sub>のスピン二量体化現象に重要な役割を果たしていることを明らかにできた。



#### 【希土類金属間化合物YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>】

圧力誘起相転移をさらに詳しく調査し、圧力相図を作成することに成功した（右図）。電子状態がフェルミ液体的性質から非フェルミ液体的性質へ圧力の印可と共に移行し、1GPaで磁気秩序化する相が0.2K以下の温度に出現する。さらに圧力を加えていくと転移温度が増加していく傾向が見られた。また、圧力下比熱、 $\mu$ SR 実験、超音波による弾性定数測定などの共同研究が進み、この物質の電子状態に関する新たな情報が次々と得られている。



発表論文

[1] Y. Kato, M. Kosaka, H. Nowatari, Y. Saiga, A.

Yamada, T. Kobiyama, S. Katano, K. Ohoyama, H. S. Suzuki, N. Aso, and K. Iwasa, Spin-Singlet Ground State in the Two-Dimensional Frustrated Triangular Lattice: YbAl<sub>3</sub>C<sub>3</sub>, J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 053701.

[2] Y. Saiga, K. Matsubayashi, T. Fujiwara, M. Kosaka, S. Katano, M. Hedo, T. Matsumoto, and Y. Uwatoko, Pressure-induced Magnetic Transition in a Single Crystal of YbCo<sub>2</sub>Zn<sub>20</sub>, J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 053710.