

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2011

課題番号：19052008

研究課題名（和文）スピン・電荷・格子複合系における幾何学的フラストレーションと機能

研究課題名（英文）Geometrical frustration and functions in spin-charge-lattice coupled system

研究代表者

香取 浩子 (Katori Hiroko)

独立行政法人理化学研究所・高木磁性研究室・専任研究員

研究者番号：10211707

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：フラストレーション、磁気秩序、スピン液体状態、磁場誘起相転移

## 1. 研究計画の概要

本研究は幾何学的フラストレーションを内在する物質において自由度の複雑な絡み合いの結果生じる新機能・物性、特にスピン・軌道複合液体状態やスピン・電荷複合液体状態、それに付随する機能を発掘することを目指している。フラストレーションを内在する物質では巨視的な縮重度が低温まで残るが、2つ以上の自由度が結合することで系は縮重を解き、秩序化に至る。しかし、自由度の結合によるフラストレーション抑制は微妙なバランスの上になり立っているため、通常の秩序系に比べて電場・磁場などの外場に対する応答が非常に顕著である。このような自由度の絡み合いと「やわらかさ」の協奏現象が本研究のターゲットである。多自由度フラストレート系から巨大応答機能を発信することが最終目的である。

本研究では、申請者らがこれまで手がけてきたスピン-格子結合系の研究を推進すると同時に、スピン-軌道結合系、スピン-電荷結合系を重点課題として、多自由度フラストレート系の機能開拓をさらに展開させたい。スピン-格子結合系では巨大磁歪や負の熱膨張を示す物質の設計、スピン-軌道結合系では、LiNiO<sub>2</sub>を含む関連層状化合物中にエキゾチックな軌道自由度の液体状態（スピン・軌道複合液体状態）を探索する。一方、スピン-電荷結合系では、重い電子系酸化物LiV<sub>2</sub>O<sub>4</sub>を含む関連物質中にエキゾチックな電荷・スピン複合液体状態を探索し、巨大熱起電力特性を見出したい。

## 2. 研究の進捗状況

(1) ハイパーカゴメ構造を形成する  $S=1/2$  3次元磁性体 Na<sub>4</sub>Ir<sub>3</sub>O<sub>8</sub>においてスピン液体状

態が実現することを発見した。低温比熱の温度に対する  $T^2$  依存性は、この系の液体状態のスピン励起が極めて異常なものであることを示唆している。ハイパーカゴメ格子上的のハバード模型に対してクラスター動的平均場法による計算を行い、Na<sub>4</sub>Ir<sub>3</sub>O<sub>8</sub>に見られる磁気緩和率や比熱の奇妙な振舞いが、金属-絶縁体転移近傍における電子構造の繰り込み効果から理解出来る可能性を指摘した。

(2) 新しい  $S=3/2$  層状ハニカム格子化合物 Bi<sub>3</sub>Mn<sub>4</sub>O<sub>12</sub>(NO<sub>3</sub>)において、次近接相互作用によるフラストレーションのため、少なくとも0.4 Kまで長距離秩序がないことを発見した。さらに磁化率と  $\mu$ SR の測定から、7 K以下でスピングラス状態が実現していると結論した。また、低温で中性子散乱実験を行った結果、ゼロ磁場下では短距離反強磁性相関が発達し、磁場中でこの短距離磁気秩序が長距離秩序化する、という興味深い結果を得た。

(4) Cr スピネル ACr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (A: 非磁性元素)において、磁場の印加によって出現する磁化プラトー相の磁気構造を中性子散乱実験によって決定し、その構造が物質に依らず共通であることを明らかにした。これは、ゼロ磁場でのスピン-格子相互作用は物質依存性が強いにも関わらず、磁場誘起相では普遍的なスピン-格子相互作用が働くことを意味している。

(5) 我々が得た新物質、新現象に対応するモデルに対して計算を行い、フラストレーションによって引き起こされた新現象の発現機構の解明を行った。

## 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

(理由)

幾何学的フラストレーションが内在する

物質において自由度の複雑な絡み合いの結果生じる新機能・物性、それに付随する機能を発掘することを目指しているが、この3年間に国内外から注目される新しいフラストレート物質を2つ見出すことができた。また、それらについて、実験および理論の両面から現象を解明することができたことから、研究はおおむね順調に発展していると考えている。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1) 引き続き、新物質の開発に力を入れる。特に、スピン-格子結合系、スピン-軌道結合系、スピン-電荷結合系を重点課題として、多自由度複合系フラストレート物質の探索を行う。

(2) 得られた多自由度フラストレート物質から巨大応答機能を見出す。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 46 件)

- ① T. Ogitsu, F. Gygi, J. Reed, Y. Motome, E. Schwegler, and G. Galli, “Imperfect Crystal and Unusual Semiconductor: Boron, a Frustrated Element”, J. Am. Chem. Soc. 131, 1903-1909 (2009) 査読有。
- ② B. J. Kim, H. Ohsumi, T. Komesu, S. Sakai, T. Morita, H. Takagi, and T. Arima, “Phase-sensitive observation of a spin-orbital Mott state in  $\text{Sr}_2\text{IrO}_4$ ”, Science 323, 1329 -1332 (2009) 査読有。
- ③ O. Smirnova, M. Azuma, N. Kumada, Y. Kusano, M. Matsuda, Y. Shimakawa, T. Takei, Y. Yonesaki, and N. Kinomura, “Synthesis, Crystal Structure and Magnetic Properties of  $\text{Bi}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}(\text{NO}_3)$  Oxynitrate Comprising  $S=3/2$  Honeycomb Lattice”, J. Am. Chem. Soc. 131, 8313-8317 (2009) 査読有。
- ④ M. Matsuda, J. -H. Chung, S. Park, T. J. Sato, K. Matsuno, H. Aruga Katori, H. Takagi, K. Kakurai, K. Kamazawa, Y. Tsunoda, I. Kagomiya, C. L. Henley, and S. -H. Lee, “Frustrated minority spins in  $\text{GeNi}_2\text{O}_4$ ”, Europhys. Lett. 82, 37006/1-5 (2008) 査読有。
- ⑤ Y. Okamoto, M. Nohara, H. Aruga Katori, and H. Takagi, “Spin-Liquid State in the  $S=1/2$  Hyperkagome Antiferromagnet  $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ ”, Phys. Rev. Lett. 99(13), 137207

/1-4 (2007) 査読有。

[学会発表] (計 121 件)

- ① M. Azuma, O. Smirnova, Y. Shimakawa, N. Kumada, M. Matsuda, and M. Motome, “Frustrated  $S=3/2$  Honeycomb Antiferromagnet  $\text{Bi}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}(\text{NO}_3)$ ”, 6th International Conference on Magnetism, Superconductivity and Phase Transitions in Novel and Complex Materials, 2009年11月12日, Fortune Park Panchwati, Kolkata.
- ② 松田雅昌, “フラストレート磁性体の中性子散乱”, 日本物理学会 2009年秋季大会, 2009年9月25日, 熊本(招待講演)
- ③ 香取浩子, 林浩嗣, 本多善太郎, 高木英典, “スピネル化合物 $\text{GeFe}_2\text{O}_4$ の磁性”, 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月30日, 東京
- ④ H. Takagi, “Spin Liquid State in  $S=1/2$  Hyper-Kagome Antiferromagnet  $\text{Na}_4\text{Ir}_3\text{O}_8$ ”, Highly Frustrated Magnetism, 2008年9月9日, Braunschweig, Germany (招待講演)
- ⑤ M. Udagawa and Y. Motome, “Magnetic Fluctuations in the Hubbard Model on Kagome-based Frustrated Lattices”, APS March Meeting, 2008年3月13日, New Orleans, Louisiana, USA

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 1 件)

名称:  $\text{BiMnO}_3$  結晶の合成方法及び  $\text{BiMnO}_3$  結晶合成用の組成物

発明者: 東正樹、山田幾也

権利者: 独立行政法人科学技術振興機構

種類: 特許

番号: 第 4034139 号

取得年月日: 平成 19 年 11 月 2 日

国内外の別: 国内

[その他]