

平成21年4月16日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
研究期間：2006～2009  
課題番号：18540340  
研究課題名 (和文) 低次元量子スピン系におけるボンド変化とフラストレーションの競合と協力  
研究課題名 (英文) Competition and cooperation between the bond change and the frustration in low dimensional quantum spin systems  
研究代表者  
岡本 清美 (OKAMOTO KIYOMI)  
東京工業大学・大学院理工学研究科・助教  
研究者番号：10114860

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：量子スピン, 低次元, 量子相転移, フラストレーション, 磁性

## 1. 研究計画の概要

本研究の主要な目的は、低次元反強磁性量子スピン系において、空間的格子構造に起因するボンドの変化とフラストレーションの相乗効果を理論的(解析的および数值的)に調べることにある。量子スピンの Heisenberg モデルにおいて、微妙な格子構造の変化が、例えばボンド交代(bond alternation)あるいは bond dimerization)や3量体的スピン相互作用(trimerization), などのボンド変化や、相互作用のフラストレーションをもたらす。以上のような状況に鑑み、ボンド変化とフラストレーションの競合と協力を種々のモデルで調べ、実在物質の磁気的性質の解明、あるいは物質合成や探索の指針を与える。

## 2. 研究の進捗状況

(1)  $S=1/2$  の二等辺三角形スピントラップの基底状態について詳しく調べた。正三角形スピントラップではカイラリティが重要な役割を果たすが、それが二等辺三角形になった場合にどうなるかについてはほとんど知られていなかった。我々は解析的理論と数値計算によって、二等辺三角形型の場合について詳細な基底状態相図を得た。この結果は日本物理学会2009年年次大会のシンポジウム講演に選定された。

(2) 磁場中の量子スピン鎖では、磁場の大きさと量子パラメーターによって格子に整合的なスピン相関と非整合的なスピン相関の優劣が逆転しうることを明らかにし、いわゆる supersolid の可能性についても論じた。具合的モデルは  $S=1/2$  のボンド交代と次近接相互作用があるモデル、および歪んだダイヤモンド

型スピン鎖モデルである。前者は  $F_2PNN$  と略称される有機磁性体のモデル、後者はアズライトのモデルとされている。前者では実験結果をうまく説明し、後者では我々の理論的予言の直後にそれを示唆していると思われる実験結果も発表された。

(3)  $S=1$  (Ni が担っている)と  $S=2$  (Mn が担っている)のスピンが交互に並ぶ鎖状磁性体は実際に合成されていて、この系ではスピン間相互作用  $J$  と一軸異方性  $D$  の大小関係を広範囲にコントロールできる。我々は種々の手法を用いてこのモデルを解析し、高スピンの内部自由度を反映した非常に興味ある相図を得た。有限磁場中の磁化プラトーの存在およびその機構についても調べた。また、この系に対するボンド交代の影響も調べた。

(4) 励起ギャップのあるスピン鎖にギャップエネルギーより大きな磁場を印可した場合の磁化の温度依存性に対するランダムネスの効果について厳密に解けるモデルを用いて調べた。用いたモデルは、 $S=1/2$  の XY 鎖にボンド交替とローレンツ型ランダム磁場が入ったモデルである。励起ギャップとランダムネスのバランスにより、磁化の温度依存性のパターンは複雑な様相を呈し、今まで知られていなかった温度変化のパターンも見出した。同様の現象が比熱についても起こることを初めて示した。

## 3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

当初視野に入っていたテーマは(1)～(3)であるが、(4)は研究進行中に新たに加えられ

た部分である。当初のテーマについては順調に進展して物理学会のシンポジウム講演にも選定され、更に当初予定外のテーマについても成果を上げられたことで、研究自体については当初の計画以上に進展していると判断できる。ただし、研究の進展が早すぎて論文執筆が追いつかない点があり、総合的に見て「② おおむね順調に進展している」とした。

#### 4. 今後の研究の推進方策

研究自体は当初の計画以上に進展しているのでこのままのペースで研究を続ける。また、今年度は研究の最終年度であることを考慮して、やや追いついていない感のある論文という形での研究成果の発表周知にも力を注ぎたく、実際執筆中の論文もある。また、今夏の磁性国際会議等でも成果発表の予定である。

#### 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16件)

- ① T. Sakai, M. Sato, K. Okunishi, Y. Otsuka, K. Okamoto and C. Itoi: “Quantum phase transitions of the asymmetric three-leg spin tube”, Phys. Rev. B **78**, 184415-1-11 (2008).査読有
- ② T. Tonegawa, T. Sakai, K. Okamoto and M. Kaburagi: “One-Third Magnetization Plateau in an Anisotropic (S,S')=(1,2) Spin-Alternating Chain”, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 124701-1-8 (2007). 査読有
- ③ T. Sakai, K. Okamoto and T. Tonegawa: “Quantum Spin Flop Transition in Nanowire Ferrimagnets”, Physica E **40**, 359-362.(2007).査読有

[学会発表] (計80件)

- ① 坂井徹, 佐藤正寛, 奥西巧一, 大塚雄一, 岡本清美, 糸井千岳:【シンポジウム講演】「スピナノチューブ:最近の理論的発展」, 日本物理学会 2009 年年次大会, 2009.3.28, 立教大学池袋キャンパス
- ② T. Tonegawa, H. Nakano, T. Sakai and K. Okamoto: “Half Magnetization Plateau in a Frustrated S=1 Antiferromagnetic Chain”, 4th JAEA Synchrotron Radiation Research Symposium: X-Ray and High Magnetic Field, 2009.3.6, Spring-8.
- ③ K. Okamoto: “Anomalous Temperature Dependence of the Magnetic

Susceptibility and the Specific Heat of a Spin Gapped Chain with Randomness in Magnetic Field”, Topological Aspects of Solid State Physics: Symposium, 2008.6.24, Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University