

論文審査の結果の要旨

氏名 吉田 紘行

本論文は5章からなり、第1章は幾何学的フラストレーションの概念と期待される物性、および、いくつかのモデル物質における研究の現状について、第2章は実験方法について、第3章は三角格子化合物 Ag_2MO_2 ($M = \text{Ni}, \text{Mn}$) の合成と物性について、第4章は量子カゴメ格子反強磁性体 $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の合成と物性について、第5章は研究のまとめと今後の展望について述べている。

第1章では、本論文の基礎となる重要な概念である幾何学的フラストレーションに関する詳細な説明がなされている。近年、物性物理学、特に磁性の分野においてはフラストレーションが重要な概念の一つとなっている。正三角形の格子点上に配置されたスピン間に反強磁性相互作用が働く場合、全てのスピン間の相互作用を同時に満たす事が出来ず、このような状況をフラストレーションと呼ぶ。一般の磁性体では磁気相互作用の程度の温度で長距離秩序を形成するが、三角格子反強磁性体の様にフラストレーションが強く働く場合には長距離秩序の形成がはるかに低い温度まで抑制される。このような状態は短距離相関に支配された状態ということができ、そこでは数多くの興味深い現象が理論的に期待されている。一方、カゴメ格子上の量子スピン系においては強いフラストレーションと量子揺らぎにより、スピニングレット対が動的に組み変わる RVB 状態というスピン液体状態が実現する事が予想されている。しかしながら、これらの興味深い現象を示す舞台となる物質はこれまでにほとんど知られておらず、実験的に詳細な研究例は数少ない。本論文の特徴は、新規なフラストレート物質を作製し、その磁性を極低温まで詳細に調べたことにある。

第2章では、本論文においてなされた実験の手法について述べられている。

第3章では、始めに Ag_2NiO_2 の研究について、次に Ag_2MnO_2 について述べられている。 Ag_2NiO_2 では、 Ag_2 層と NiO_2 層の積層からなる結晶構造に着目し、前者が金属伝導を担い、後者がスピン $1/2$ の三角格子とみなせることを実験的に明らかにした。比較的高い温度 260K において、Ni の e_g 軌道の自由度に基づく軌道秩序

が起こることを見出し、これによって三角格子内の幾何学的フラストレーションは解消され、54K において磁気秩序を示すことを示した。また、軌道の並びと磁気相互作用の関係を明らかとした。

同様の結晶構造を有する Ag_2MnO_2 においては、Mn イオンがスピン量子数 2 の古典スピンであるにもかかわらず、最低温度まで磁気秩序を示さず、特異な振る舞いを有することを明らかにした。80K において何らかの相転移が存在し、そこから短距離磁気秩序がゆっくりと発達するが、24K においてスピングラス転移を示し、長距離秩序は現れない。80K の相転移に関して、イジング異方性を有する古典スピンの量子化軸のみが秩序化する特異な相転移である可能性を議論した。

第 4 章では、スピン 1/2 量子カゴメ格子反強磁性体 $\text{Cu}_3\text{V}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の良質試料作製に成功し、その磁性を 50mK の極低温まで調べた結果、何らかの液体状態と考えられる基底状態を取ることを示した。さらに、低温での磁化過程において、少なくとも 3 段の階段状の磁化曲線を発見した。このような磁化曲線はこれまでに報告例が無く、新たに「磁化ステップ」と命名した。その背後には、幾何学的フラストレーションと量子揺らぎが支配する特異な量子状態が存在するものと期待されている。

以上の 3 つの物質におけるフラストレーションに関する研究は、学位申請者が世界で初めて行ったものであり、極めてオリジナリティーの高い研究である。また、得られた成果も物性物理学の新たな展開に結びつくものであり、高く評価される。

なお、本論文第 3 章の三角格子化合物 Ag_2MO_2 に関する研究は、ドイツマックスプランク研究所の Martin Jansen 教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって合成を行い物性を測定したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。また、第 3 章、および、第 4 章には豊田中央研究所の杉山純氏、日本原子力研究機構の松田雅昌氏、バージニア大学の S.-H. Lee 氏、物性研究所の徳永将史准、田山孝、榊原俊郎、松雄晶、鳴海康雄、金道浩一、吉田誠、瀧川仁各氏との共同研究の成果に基づく議論が行われているが、全て論文提出者の合成した試料を用いて行われた実験であり、論文提出者の主導によって行われたものであると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。