

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 巖 正輝

フラストレーションの強い系では、相互作用の拮抗により長距離秩序の形成が抑制され、低温まで様々な状態の競合が実現しうる。例えば、三角格子上の反強磁性イジングモデルでは、絶対零度まで長距離秩序が実現せず、基底状態に巨視的な縮退を持つスピン液体状態が現れる。こうした系では、基底状態のみならず、励起状態にも多種多様な競合が生じ、それらが低エネルギー領域に密集しうることから、様々な摂動や揺らぎに敏感な変化が期待される。例えば、スピナー格子結合や Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用、あるいは磁場などの外場によってこれらの縮退が解かれ、多彩な磁気状態が出現しうるということが知られている。パイロクロア格子を持つクロムスピネル化合物(ACr_2X_4 ; $A = \text{Hg, Cd, Zn, } X = \text{O, S}$)では、既に外部磁場とスピナー格子結合をパラメータとした研究が進み、cant 2:2 相、cant2:1:1 相、1/2 プラトー相、cant 3:1 相、ネマティック相などのバリエティに富んだ基底状態が理論的にも実験的にも確認されていた。これらの基底状態に更なるコントロールパラメータを導入することで、これまで想像すらできなかった新奇磁気状態が発現する可能性は非常に高い。しかしながらそのような予想とは裏腹に、新たなパラメータを導入した研究は、実験的にも理論的にもほとんど存在しない。2010 年代になり、ようやく大小 2 つの四面体が周期的に配列したパイロクロア格子である『ブリージングパイロクロア格子』が注目され、新しい研究の潮流が生まれつつある。そういった状況の中で本論文は、3 つのブリージングパイロクロア化合物 ($\text{LiInCr}_4\text{O}_8$, $\text{LiGaCr}_4\text{O}_8$, $\text{CuInCr}_4\text{S}_8$) において、500 テスラまでの超強磁場領域での基底状態に着目した研究を報告した。

本論文は全 8 章から構成される。第 1 章ではフラストレート化合物における一般論を議論し、本論文の目的を記述している。第 2、3 章では、ブリージングパイロクロア化合物やその母物質であるクロムスピネル化合物の先行研究について紹介している。磁化や比熱などの低温物性のみならず、強磁場下での磁化過程、それらを説明する理論的研究を取り上げている。ブリージング異方性が導入されたことによる諸物性の変化や、70 テスラまでの磁化過程、そして理論的な取り扱い等についても触れられている。第 4 章では、本研究を遂行するにあたって必要な強磁場発生装置の概要や、本研究で用いた磁化および磁歪測定手法について述べられている。特に磁化測定手法については、幾つかのセットアップについての比較検討など、新しい装置開発についての詳細が記述されている。第 5、6 章では $\text{LiInCr}_4\text{O}_8$, $\text{LiGaCr}_4\text{O}_8$, $\text{CuInCr}_4\text{S}_8$ という 3 つのブリージングパイロクロア化合物の磁化と磁歪測定の結果を示している。最大 500 テスラまでの困難な極限環境での実験について、測定条件の詳細や測定データの取り扱いなども述べられている。第 7 章では、第 3 章で詳しく導出したハミルトニアンを使って、理論的な磁化カーブおよび強磁場で現れうる磁気状態の導出がなされている。実験で得られた磁化カーブとの比較も行われており、良い一致が得られている。第 8 章では、本研究で得られた知見が総括されている。また巻末には付録 A-D が添付されており、ここでは磁歪計算に使われる式の導出法やクロムスピネルにおける磁気熱量効果、磁場発生手法の改良、そして理論研究で製作したソースコードについての

記述がなされている。

本論文の特筆すべき成果は、母物質であるクロムスピネル化合物では存在しない強磁場新奇相をブリージングパイロクロア化合物で初めて発見したことである。ここでは磁化および磁歪測定を500テスラという超強磁場領域で行うことで、この磁場誘起新奇相の同定に成功した。これらは困難な極限環境下での実験であったため、本論文の範疇で、新しい装置開発も完了させている。さらには理論的な研究も推し進め、2種類の交換相互作用の交替の強さとスピン-格子結合がどちらも大きい時に、この新奇磁気相が出現しうる事を示している。これら新奇相の磁気構造も予想されており、その一つとして、cant 2:2 構造と 3up-1down 構造(1/2 プラト-相構造)が長周期秩序した磁気構造が提案されている。実験と理論を包括的に進めた研究は、ブリージングパイロクロア化合物では存在せず、新しい磁気秩序相の発見も相まって、当該分野に対して多大な貢献を与えた研究といえる。

なおこの研究は、名古屋大学の岡本佳比古准教授、森政貴氏、兼松智也氏からサンプル提供を受け、また大阪大学の青山和司助教に理論的研究を協力いただいている。他にも多くの方々との共同研究の成果であるが、いずれも論文提出者が主体となり、研究計画の立案、新しい装置開発、全ての強磁場実験の遂行、そして理論的解析を行っている。このため論文提出者の寄与は極めて高いと判断される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。