

審査の結果の要旨

氏名 大熊 隆太郎

本論文は 10 章からなり、第 1 章の前文に引き続いて第 2 章は本論文が注目する局在スピン系の特徴と幾何学的フラストレーション、および磁場中での量子磁性体の振る舞いについて説明する。第 3 章で研究目的が述べられた後、第 4 章では合成、評価、物性測定の実験手法が説明され、第 5 章以下で結果と考察がまとめられている。第 5 章では $\text{CdCu}_3(\text{OH})_6(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (CdK) の基底状態について、第 6 章では強磁場中で観測された多段の磁化プラトーについて、第 7 章では関連するカゴメ格子反強磁性体ハーバートスミサイトの強磁場磁化測定について、第 8 章では部分秩序型パイロクロア磁性体 $\text{ZnNd}_{3.67}\text{Os}_3\text{O}_{14}$ について、第 9 章では二次元的磁性を示す立方晶クラスター磁性体である毒鉄鉱について書かれている。最後の第 10 章で研究のまとめと今後の展望について述べている。

第 2 章ではまず局在スピン系の特徴とそこで起こる秩序と相転移に関してまとめている。さらに秩序状態における素励起としてマグノンの概念が導入され、特に量子スピン系における特殊な励起状態が説明される。新奇な基底状態を誘起する要因として幾何学的フラストレーションの概念が説明され、本研究で着目するカゴメ格子反強磁性体に関する従来の理解がまとめられる。また、その候補物質の特徴を概観し、本研究で注目する CdK の位置付けが述べられる。最後に量子フラストレート磁性体の磁場中での振る舞いを理解するためのマグノン描像が説明される。

第 3 章の研究目的に引き続き、第 4 章では本研究で用いた実験手法が説明される。特に、CdK の単結晶を作製するために用いた水熱輸送法の開発と工夫に関して詳細に述べられる。

第 5 章では CdK の基底状態が磁化、比熱、中性子回折実験により、これまで報告されたことのない **negative vector chirality** 秩序であることを示した。また、その起源が $J/10$ 程度の DM 相互作用であることを議論した。

第 6 章では、CdK の強磁場磁化測定における複数の磁化プラトーの発見をまとめる。その磁化の値に分数のシリーズがあることを指摘し、これらがカゴメ格子の六角形に局在したマグノンの結晶化によるものであることを提案した。その起源として、長距離磁気相互作用と格子との結合が重要であることを議論している。

第 7 章では、最も理想的なカゴメ格子反強磁性体と考えられているハーバートスミサイト結晶において、全磁化過程を明らかにするために 500T までのファラデー回転測定実験の予備実験の結果がまとめられている。

第 8 章では部分秩序型パイロクロア磁性体 $\text{ZnNd}_{3.67}\text{Os}_3\text{O}_{14}$ の合成と物性に関する予備的な実験の結果がまとめられている。

第 9 章では立方晶クラスター磁性体である毒鉄鉱の合成と磁性についてまとめている。 $J/3$ 程

度のクラスター間相互作用により 6K 以下に $q=0$ の Γ_5 型の磁気秩序を示すこと、そこでは何らかの揺らぎが残されており、古典スピン系にもかかわらず磁気モーメントが 60% も短縮していることを示した。中性子非弾性散乱実験結果に基づいて、この揺らぎの原因がフラストレーションによる 2 次元化と面内での 1 次元「ゼロエネルギーモード」によることを提案した。このような現象はこれまで報告されたことがなく、新たなフラストレーション磁性の概念構築に繋がる可能性が高く、高く評価される。

第 10 章では総括と今後の展望が述べられている。

なお、本論文の第 5 章は矢島健氏、浜根大輔氏、大久保毅氏、Goran Nilsen 氏、廣井善二氏との、第 6 章は中村大輔氏、大久保毅氏、三宅篤氏、松尾晶氏、金道公一氏、徳永将史氏、川島直輝氏、嶽山正二郎氏、廣井善二氏との、第 7 章は嶽山正二郎氏、廣井善二氏との、第 8 章は廣井善二氏との、第 9 章は矢島健氏、藤井達生氏、高野幹夫氏、古府麻衣子氏、河村聖子氏、中島健次氏、浅井晋一郎氏、益田隆嗣氏、廣井善二氏との共同研究成果であるが、論文提出者が主体となって合成・物性実験を行い、結果の分析および検証を行ったものであり、その寄与が十分であると判断する。

以上のフラストレート量子磁性体に関する研究は、高度な結晶作製と精密な物性測定との組み合わせにより学位論文申請者が中心となっ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。CdK に関する研究は最先端の超強磁場磁化測定により新規なマグノン結晶の存在を示したものであり、毒鉄鉱に関する研究は 3 次元磁性体におけるフラストレーションによる 2 次元化という新現象を発見したことで、フラストレート磁性分野で高く評価され、国内外に与えたインパクトは大きい。論文申請者は、本論文の成果の一部を 3 つの論文にまとめて発表している。

以上の理由により、論文申請者に博士（ 科学 ）の学位を授与できると認める。

以上 1994 字