

平成 21 年 6 月 3 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006 -2008
 課題番号：18740194
 研究課題名（和文） クロムスピネルにおける磁場誘起相転移および磁化プラトー状態の
 解明と探索
 研究課題名（英文） Elucidation and exploration of field-induced transitions
 and magnetization plateaux in chromium spinels
 研究代表者
 氏名（アルファベット） 植田 浩明 (UEDA HIROAKI)
 所属機関・所属部局名・職名 東京大学・物性研究所・助教
 研究者番号 10373276

研究成果の概要：

水銀クロムスピネルにおける半磁化相の磁気構造が 3up-1down であることが明らかになった。さらに、半磁化相への磁気転移を示す三つ目の系として、亜鉛のクロムスピネルを発見した。このことにより、系統的な比較が可能となり、水銀、カドミウム、亜鉛とイオン半径が小さくなるにつれて、スピン格子相互作用が小さくなり、亜鉛の系では他の系とは異なった磁気相も現れることが明らかになった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,800,000	0	1,800,000
2007 年度	1,000,000	0	1,000,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	180,000	3,580,000

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、磁気転移、スピン格子相互作用

1. 研究開始当初の背景

クロムスピネルは、磁性を担うクロムイオンがパイロクロア格子と呼ばれる正四面体のネットワークを形成しており最近接相互作用は反強磁性的であるが、正四面体の上ではすべての最近接を反強磁性的に配列することは不可能である。そのため、多くの磁気秩序状態が拮抗した状態にある。カドミウムクロムスピネルおよび水銀クロムスピネルに強磁場を印加することによって、新規な磁

気転移を示すことが研究代表者によって発見された。

それまで、パイロクロア格子上のイジングスピンは磁場誘起転移が知られていたが、この磁気転移はハイゼンベルグスピンの系としては、初めての磁場誘起転移であり、全磁化の半分の値の磁化を持つのが特徴である。この新規な磁気転移は、アップスピンとダウンスピンが三対一の比で配列した磁気構造の形成によると研究代表者により当初から提案されているが、その磁気構造や磁気

転移の起源に関する詳細はまだ定かにはなっていないかった

2. 研究の目的

クロムスピネルにおける磁気転移の起源、背景にある物理、特にフラストレーションとスピン格子相互作用の重要性を明らかにすることが、本研究の目的である。そのためには、個々の系の研究はもちろんであるが、様々な系の間での比較が重要なヒントを与える。しかし、これまでのところ、同様の転移をする物質は、カドミウム及び水銀の二例だけである。そこで本課題では、この二つの系の磁気転移後の状態の詳細な測定と共に、同様の磁気転移を示す他の系の探索に焦点を当てる。

新たな系の探索としては、以下の二つの点を明らかにすることを目的とする。転移することのわかっている物質の関連物質であるマグネシウムまたは亜鉛のクロムスピネルでは、磁気的な相互作用の大きさから 100T 付近で転移をする可能性があると考えており、転移の有無を確かめる。また、圧力の印加によりクロムイオン間の距離を変化させると、磁気相互作用の大きさを変化させることが可能であることが分かっている。これを利用することにより、常圧では転移を示さない系も高圧下で転移させることができると考えられ、圧力下での磁気転移の探索を行う。

すでに転移が知られている物質に関しては、磁気転移後の磁気構造の決定や格子変形の測定の他に、圧力下での転移の変化の測定を通して、温度-磁場-圧力相図を作成することを予定している。これらを通して、スピン格子相互作用の効果を実証する。

3. 研究の方法

(1)

カドミウムおよび水銀系では、これまでに磁気転移の知られているが、カドミウム系は転移磁場が大きいために、転移後の状態の詳細な測定が困難である。一方、水銀系では転移磁場が超伝導磁石を用いて実現できる大きさであり、転移後の半磁化相の状態を明らかにすることが可能であると考えられる。そこで水銀系の半磁化相における磁気構造を中性子回折などの方法を用いて決定する。

(2)

系の磁性を支配している磁気相互作用はイオン間距離に敏感であり、圧力の印加により磁気的なエネルギースケール等を連続的に変化することが可能である。そのために、

圧力下での磁化測定システムを立ち上げ、磁気特性の圧力効果を測定することによって本系におけるスピン格子相互作用の役割を明らかにする。

(3)

マグネシウムおよび亜鉛系のクロムスピネルに関して、同様の磁気転移を示すかどうかを検証する。これらの物質は、磁気相互作用の大きさから、磁気転移がある場合でも 100T 程度と非常に高い磁場が必要であると予想されるが、物性研の強磁場グループと協力し転移の有無を調べる。

4. 研究成果

(1)

水銀系に関して磁気転移した後の半磁化相における磁気構造が、当初の予想通り $3up-1down$ 構造であることを決定した。このときの配列は、提案していた二つのモデル内の立方晶モデルである。

また、水銀系における磁気転移に伴う格子の変化を観測し、飽和磁化まで磁化の変化に対応した格子変形が起こっていることを明らかにした。このことは、本系の磁気転移がスピン格子相互作用と密接に関連していることを示唆している。

(2)

圧力下での物性測定を行うために、磁化率を圧力約 2GPa まで測定できるシステムを構築することに成功した。これを用いていくつかのクロムスピネルの圧力下での磁化率の温度依存性を測定した結果、圧力の印加によって再近接相互作用はより反強磁性的になることが明らかになった。さらに、水銀スピネルの磁気転移の圧力依存性を測定するために、交流磁化率を圧力約 3GPa、磁場 14T まで測定を行った。その結果、転移磁場は圧力とともに増加し、その増加の割合は、再近接の反強磁性相互作用の増大の割合とほぼ一致した。これによって、最近接の反強磁性相互作用が、磁気転移を支配していることが明確に示された。

磁気特性の圧力効果から水銀カドミウム亜鉛のスピネルにおいてスピン格子相互作用の系統的な変化を観測したその結果、スピン格子相互作用は、水銀系が最も大きく、カドミウム系、亜鉛系と徐々に小さくなっていくことが分かった。それに伴い、磁気的なエネルギーに対する磁気転移の起こる磁場の大きさが変化し、さらに亜鉛の系では新たな磁気相が出現していることが判明した。

(3)

新しい系の探索としては、亜鉛のクロムスピネルにおいて、120Tにおいて磁気転移を示すことを発見した。さらに半磁化をもつ磁化プラトー相が存在するという点は他の系と同様であるが、磁化プラトー相よりも低磁場および高磁場側に、新たな磁気相の存在を示唆する結果が得られた。この磁気転移の現れ方の違いは、スピン格子相互作用の大きさの違いに起因していることが理論的および実験的に示唆された。

本課題の研究により、類似の磁気転移を示す三つ目の系が見つかり、磁気的なエネルギーやスピン格子相互作用の大きさの異なる三つの系の磁気挙動を明らかにすることによって、本現象を系統的に理解する大きな足がかりを与えたと言える。

5. 主な発表論文等

(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 6 件)

(1)
E. Kojima, A. Miyata, S. Miyabe, S. Takeyama, H. Ueda, and Y. Ueda,
"Full magnetization of geometrically frustrated CdCr₂O₄ determined by Faraday rotation measurements at magnetic fields up to 140 T",
Physical Review B, 77, 212408-1 --4 (2008) 査読有.

(2)
H. Ueda and Y. Ueda,
"Pressure Enhanced Direct Exchange Couplings in Chromium Spinel",
Physical Review B, 77, 224411-1 --6 (2008) 査読有.

(3)
H. Mitamura, H. Ueda, H. A. Katori, S. Takeyama, T. Sakakibara, Y. Ueda, and H. Takagi,
"Phase Transitions of a Geometrically Frustrated Spin System CdCr₂O₄ in Very High Magnetic Fields",
Journal of the Physical Society of Japan, 76, 085001-1 -2 (2007) 査読有.

(4)
Y. Tanaka, Y. Narumi, N. Terada, K. Katsumata, H. Ueda, et. al,
"Lattice Deformations Induced by an Applied Magnetic Field in the Frustrated Antiferromagnet HgCr₂O₄"

Journal of the Physical Society of Japan, 76, 043708 (2007) 査読有.

(5)
H. Ueda, J. -I. Yamaura, H. Mitamura, T. Goto, H. A. Katori, H. Takagi and Y. Ueda,
"S=3/2 spin systems on frustrated pyrochlore lattice",
Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 310, 1275 (2007) 査読有.

(6)
S. Kimura, M. Hagiwara, H. Ueda, Y. Narumi, K. Kindo, H. Yashiro, T. Kashiwagi, and H. Takagi,
"Observation of Higher Harmonic Helical Spin-Resonance Modes in the Chromium Spinel CdCr₂O₄",
Physical Review Letters, 97, 257202-1 -4 (2006) 査読有.

[学会発表](計 4 件)

(1)
植田浩明,
「クロムスピネルの磁気転移とスピン 格子相互作用」
「フラストレーションが創る新しい物性」平成 20 年度領域成果報告会
2009 年 1 月 7 日, 東京大学物性研究所

(2)
植田浩明,
「クロムスピネルにおけるスピンプラストレーションと磁場誘起相の研究」
日本物理学会 第 63 回年次大会
2008 年 3 月 24 日, 近畿大学

(3)
植田浩明,
「クロムスピネルにおける新規な磁気転移」
フラストレーションが創る新しい物性 トピカルミーティング「フラストレート新規物質」
2008 年 1 月 12 日, 京都大学

(4)
H. Ueda,
"S=3/2 spin systems on frustrated pyrochlore lattice" (招待講演),
International Conference on Magnetism 2006
2006 年 8 月 24 日, 京都

6 . 研究組織

(1)研究代表者

植田 浩明 (UEDA HIROAKI)
東京大学・物性研究所・助教
研究者番号 10373276

(2)研究分担者

(3)連携研究者