

平成22年4月23日現在

研究種目：特定領域研究
研究期間：2007～2011
課題番号：19052006
研究課題名（和文） フラストレーションとカイラリティ

研究課題名（英文） Frustration and Chirality

研究代表者
川村 光 (KAWAMURA HIKARU)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：30153018

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・カイラリティ・フラストレート磁性・スピングラス

1. 研究計画の概要

カイラリティ（キラリティ）とは、秩序状態の構造が局所的に右手系か左手系かを表す自由度として定義され、特に化学の分野では分子の立体異性体（光学異性体）の問題と関連して古くより大きな関心を集めてきた量である。固体・統計物理の分野でも、フラストレート系研究の急速な進展に伴い、フラストレーションの効果がしばしばカイラリティ自由度を誘起すること、かつ生じられたカイラリティが系の諸物性に新奇な効果を及ぼすことが明らかになってきた。代表的なカイラリティとして、磁性体を舞台としたスピнкаイラリティがあげられる。3角格子やパイロクロア等の幾何学的フラストレート磁性体、フラストレートしたランダム磁性体であるスピングラス等で、カイラリティが出現し重要な役割を演じる。磁性体以外でも、例えば粒状の超伝導体がジョセフソン・ネットワークを形成する超伝導セラミックスでは、超伝導の位相自由度に伴うカイラリティが発現する。本研究では磁性体のスピнкаイラリティを主眼としつつも、より広範な系のカイラリティを研究対象とする。最近注目されているスピнкаイラリティ起源の異常ホール効果やスピнкаイラリティが誘起する磁気強誘電性のように、カイラリティ自由度が系の他の自由度とカップルすることによって新奇な物理現象を導く場合もあり、カイラリティの物性物理を一層豊富なものにしていく。

本研究は、スピングラスやパイロクロア等のフラストレート磁性体および銅酸化物超伝導セラミックスを対象とし、数値的・理論的研究と実験的研究の有機的連携を進める。

具体的には、1) スピングラス・3角格子反強磁性体・パイロクロア等のフラストレート磁性体のカイラリティの理論研究、2) ホール効果測定等によるカノニカルスピングラス AuFe, CuMn のカイラリティ秩序の実験研究、3) 磁気的電氣的測定等による YBCO 系超伝導カイラルグラスの実験研究を行う。数値シミュレーションを主とした数値・理論研究と、ホール測定・磁気電気測定・フラックス観察を主とした実験研究の有機的連携により、物性研究にカイラリティ・コンセプトに基づく新たな地平を拓くことを目指す。

2. 研究の進捗状況

これまでの理論研究により、ハイゼンベルグスピングラス系がスピン-カイラリティ分離現象を示す、即ちカイラリティの転移温度がスピン自体の転移温度より10%～15%程度高温に有ることを、大規模数値シミュレーションにより明らかにしたほか、低温カイラルグラス秩序相におけるレプリカ対称性の破れが1ステップ的になっていることや、カイラルグラス転移の臨界性質が非イジング的になっていること等を明らかにした。スピングラスの実験面からは、カノニカルスピングラス AuMn, AgMn, PtMn 等の磁気測定及び高精度ホール測定を行い、カイラリティ起源の異常ホール効果を観測した。とりわけ、カイラリティのガラス秩序化 — カイラルグラス — に伴うと思われるホール係数の温度依存性のカズプ状のアノマリーと低温での熱履歴現象の観測に成功した。また、帯磁率やホール抵抗の磁気異方性の強さに関する依存性を詳細に解析し、スピングラスのカイラリティ機構の理論と整合的な結果

を得た。

超伝導セラミックス系においても、グレイン間の接合強度を制御した良質の Y124 超伝導セラミックス系試料の作成に成功した。また接合を意識的に切る目的で、Y124 と非超伝導グレインを種々の比率で含む複合セラミックス系の試料作製も行った。高感度磁気測定により、カイラルガラス理論と整合的な**帯磁率の負発散**が観測され、また発散の臨界指数値についても、高調波成分の丹念な解析を通して、最終的には理論と整合的な値が得られた。さらには、カイラルガラス転移温度で線形抵抗が有限に残るという“スピン-カイラリティ分離”の理論の予言の検証を行うべく、**高精度の電気抵抗測定**をデータ取得を進めている。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

前項で述べたとおり、それぞれの課題で研究成果が得られており、概ね当初プラン通り順調に進んでいる。

4. 今後の研究の推進方策

22年度より、近年カイラリティ関連で急速に研究が進展しつつあるマルチフェロや伝導系との関連部分を強化するため、22年度よりは、新たに小野田繁樹氏（理研）が研究分担者として参画する。小野田氏の参画により、カイラリティとマルチフェロや電気伝導の関連部分が一層強化され、今後の発展に繋がることを期待している。

またメンバーは、日常的に密接な研究交流を保っており、交流の場として、特定領域の研究会や物理学会の際にメンバーで集まり研究討議の機会を持つことを重ねている。今後も、年に数回程度の研究ミーティングを通して、フラストレーションとカイラリティの研究の一層の発展を図りたい。

なお、具体的な研究面では、22年度はカイラルガラスの理論面を強化するために研究支援員を1名増員するとともに、スピン-カイラリティ分離現象のもっとも直接的な実験的検証になると期待される超伝導セラミックス系での電流-電圧精密測定用の測定装置に対し、重点的な資金配分を行う予定である。

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 13 件)

1. H. Kawamura, A. Yamamoto and T. Okubo, “ Z_2 -vortex ordering of the triangular-lattice Heisenberg antiferromagnet”, 査読有り, 2010, J. Phys. Soc. Jpn. 79(2),

023701/1-4

2. H. Kawamura, “Chirality scenario of the spin-glass ordering”, 査読有り, 2010, J. Phys. Soc. Jpn. 79(1), 011007/1-16
3. D. X. Viet and H. Kawamura, “Monte Carlo studies of chiral and spin ordering of the three-dimensional Heisenberg spin glass”, 査読有り, 2009, Phys. Rev. B80(6), 064418/1-20
4. A. Ikeda and H. Kawamura, “Monte Carlo study of the ordering of the pyrochlore Ising model with the long-range RKKY interaction”, J. Phys. Conf. Series 145, 査読有り, 2009, 012025/1-6
5. T. Taniguchi, T. Munenaka and H. Sato, “Spin glass behavior in metallic pyrochlore ruthenate $\text{Ca}_2\text{Ru}_2\text{O}_7$ ”, J. Phys. Conf. Series 145, 査読有り, 2009, 012017/1-4

[その他] <http://www.frustration.jp/>