



|              |                                                                                          |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Electrical detection of magnetic fluctuations in nanoscale frustrated magnetic materials |
| Author(s)    | 谷口, 祐紀                                                                                   |
| Citation     | 大阪大学, 2020, 博士論文                                                                         |
| Version Type | VoR                                                                                      |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.18910/76369">https://doi.org/10.18910/76369</a>              |
| rights       |                                                                                          |
| Note         |                                                                                          |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 谷 口 祐 紀 )

## 論文題名

Electrical detection of magnetic fluctuations in nanoscale frustrated magnetic materials  
(フラストレートしたナノ磁性体における磁気ゆらぎの電氣的検出)

## 論文内容の要旨

幾何学的条件によって最安定の磁気秩序状態が得られにくい状況は、磁氣的フラストレーションとして古くから知られている。しかしその複雑さの故、最安定磁気状態やそのダイナミクスなど、未だに多くの問題が残存する、物性物理の中でも重要な課題の一つである。

上記の背景の下、フラストレート磁性体であるスピングラスと三角格子反強磁性体の磁気ダイナミクスの解明を目指して、スピン輸送測定に着目した。本研究は、スピン角運動量の流れ「スピン流」を用いて磁気ゆらぎを検出するという新しい試みである。スピン流は通常 $\mu\text{m}$ 以下で減衰するため、スピン流に関する情報を得るためには、フラストレート磁性体をサブ $\mu\text{m}$ に加工する必要がある。そこで本研究では、フラストレートしたナノ磁性体の作製し、スピン輸送及び電気伝導測定を行い、磁気ゆらぎを電氣的に検出することに成功した。

まず始めに、三元合金スピングラス $\text{CuMnBi}$ のスピン輸送測定を行った。この合金にスピン流を注入し、スピンホール効果を測定することで、注入したスピン流は電流に変換されるが、その際にスピン偏極率 $\eta$ の情報も得られる。温度を変えながら $\eta$ を測定すると、ある温度 $T_1$ で $\eta$ が減少を始め、さらに温度 $T_2$ で $\eta$ が完全に消失した。 $T_2$ はナノ細線におけるスピンの凍結するスピングラス温度、さらに $T_1$ と $T_2$ の間には「スピン蜜領域」という新しい磁気状態があることを明らかにした。これらの結果は、従来の磁気測定では特定できなかったナノ磁性体のスピングラス温度を決定できること、さらに凍結前の前駆現象であるスピン蜜領域を初めてスピン流で捉えた、学術的に価値の高いものである。

次に導電性をもつ三角格子反強磁性体 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ に着目した。 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$ は、反強磁性転移温度以下で部分無秩序相と呼ばれるフラストレート系特有の磁気状態を示すが、その詳細は明らかでない。本研究では、多結晶から単結晶に近い結晶薄膜を抽出する手法を独自に開発し、得られた薄膜の磁気抵抗を測定した。その結果、バタフライ型の磁気抵抗が検出され、部分無秩序相における無秩序スピンの $c$ 軸方向に磁気異方性をもつことを明らかにした。

本研究で得られた結果は、微小系における磁気ダイナミクスを理解する上での試金石とも言える結果であり、磁性体研究を大きく発展させる可能性を秘めている。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 ( 谷 口 祐 紀 ) |     |           |
|-----------------|-----|-----------|
|                 | (職) | 氏 名       |
| 論文審査担当者         | 主 査 | 教授 小林 研介  |
|                 | 副 査 | 教授 川村 光   |
|                 | 副 査 | 教授 小川 哲生  |
|                 | 副 査 | 教授 黒木 和彦  |
|                 | 副 査 | 准教授 新見 康洋 |

論文審査の結果の要旨

幾何学的な制限のため最安定の磁気秩序状態が単純でない状況は、磁気フラストレーションとして古くから知られている。しかしその複雑さ故、最安定磁気状態や磁気ダイナミクスの詳細など未解明な問題が数多く残存する、物性物理の中でも重要な課題の一つである。

上記の背景の下、谷口氏は、代表的なフラストレート磁性体であるスピングラスと三角格子反強磁性体の磁気ダイナミクスの解明を目指して、スピン輸送測定に着目した。これまでフラストレート磁性体の測定手法として主に、熱測定、磁気測定、中性子・X線散乱、核磁気共鳴及び電子スピン共鳴などが用いられてきたが、これらの測定には比較的大きな体積の試料を準備する必要がある。一方、本研究で行ったスピン輸送測定は、スピン角運動量の流れ「スピン流」を用いて、ナノメートルサイズの極小試料の磁気ゆらぎを超高感度に検出できるという、新しい試みである。谷口氏はフラストレート磁性体のナノ構造を作製し、スピン輸送及び電気伝導測定を行うことで、極小試料の磁気ゆらぎを電氣的に、かつ高感度に検出することに成功した。

まず始めに谷口氏は、三元合金スピングラス  $\text{CuMnBi}$  のスピン輸送測定に取りかかった。この合金にスピン流を注入し、スピンホール効果を測定することで、注入したスピン流は電流に変換されるが、その際にスピングラスによって変調を受けた伝導電子スピンの偏極率 $\eta$ の情報も得られる。これはちょうどミューオンスピンを用いてバルク磁性体の磁気ダイナミクスを探ることに類似している。温度を変えながら伝導電子のスピン偏極率 $\eta$ を測定すると、ある温度  $T^*$  で $\eta$ が減少を始め、さらに温度  $T_0$  で $\eta$ が完全に消失した。 $\text{Mn}$  濃度依存性を詳細に調べることで、 $T_0$  はナノ細線中の  $\text{Mn}$  の磁気モーメントが凍結する温度  $T_f$ 、さらに  $T^*$  と  $T_f$  の間には「スピン蜜領域」という新しい磁気状態があることを明らかにした。これらの結果は、従来の磁化測定では特定できなかった極小スピングラスのスピン凍結温度  $T_f$  の定量的な評価方法を示しただけでなく、凍結前の前駆現象であるスピン蜜領域を初めてスピン流で捉えた、学術的に非常に価値の高いものである。

次に谷口氏は導電性をもつ三角格子反強磁性体  $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  に着目した。 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  は、反強磁性転移温度以下で部分無秩序相と呼ばれるフラストレート系特有の磁気状態を示すが、その詳細は明らかでない。本研究では、多結晶から単結晶に近い結晶薄膜を抽出する手法を独自に開発し、得られた薄膜の磁気抵抗を測定した。その結果、バタフライ型の磁気抵抗が検出され、部分無秩序相における無秩序スピンの  $c$  軸方向に磁気異方性をもつこと、さらに理論計算との比較を行うことで、磁気転移温度近傍の磁気ゆらぎが磁気抵抗の本質であることを明らかにした。またホール測定では、正常ホール項に加えて、 $\text{Ag}_2\text{CrO}_2$  の磁気状態を反映した余剰成分があることを明らかにした。

本研究で得られた成果は、極小のフラストレート磁性体の磁気ダイナミクスを定量的に理解する手法を初めて示した結果であるだけでなく、磁性体研究を大きく発展させる突破口を開いたものである。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。