

スピン液体状態における熱ホール効果

Thermal-Hall effect in a spin liquid state

東京大学 物性研究所 山下 穰

磁場の中を移動する電子は、フレミング左手の法則で表されるローレンツ力を感じ、その軌道が曲げられる。金属中を流れる電気もローレンツ力を感じることで、電流の向きと磁場の向きの両方に直行する方向に起電力が現れる。ホール効果として知られるこの現象は、金属中の電子に対する基礎物性測定から、スマートホンの中の磁気センサへの応用まで様々なところに利用されている。

このホール効果は金属中を流れる電子に対するローレンツ力とその起源であるため、電気が流れない絶縁体には存在しない。ところが最近、絶縁体中の磁性を担う「スピン」が類似のホール効果を示すことが理論的に提案され、注目を集めている。ここでいう「スピン」とは物質を構成する電子の持つ磁氣的性質であり、このスピンの同じ方向に揃って強磁性体になったものが磁石である。このスピンは電気を運ばないが、熱を運ぶため、このホール効果は熱流と磁場の両方向に対して垂直方向の温度差として現れる「熱ホール効果」として観測される。スピンの一方向に揃った強磁性体では「マグノン」と呼ばれるスピンの波が熱を運ぶ。このマグノンは電荷をもっていないためにローレンツ力によるホール効果は表れないが、磁性体の持つトポロジーの効果によって熱ホール効果が表れることが理論的にも実験的にも明らかになっている。

このスピンによる熱ホール効果を、新しい磁性体「スピン液体」の研究に応用したのが本研究である。「スピン液体」とはスピンの極低温まで整列せず、その向きが量子力学的に揺らいでいる状態である。通常、世の中のほとんどの物質は温度の低下によって固化するが、ヘイゼンベルグの不確定性原理による量子ゆらぎの影響が顕著なヘリウムは、絶対零度まで液体のままである。絶対零度近傍での液体は、我々の周りには全く異なる量子力学的性質を示すことから、「量子液体」と呼ばれている。「スピン液体」は量子液体のスピン版ともいえるべき状態なのでこう呼ばれている。このスピン液体も、スピンの向きがただバラバラなだけの常磁性状態とは違う性質を示すことが期待されているが、その詳細はよく理解されていなかった。

本研究で我々は、ボルボサイトと呼ばれるカゴメ格子を持つ磁性体の熱ホール効果を測定することで、常磁性状態からスピン液体へと変化するにしたがって熱ホール効果が現れることを見出した。さらに、スピン液体のスピン同士の相関が強くなるにつれて熱ホール効果に大きな変化が現れることを見出した。これは未だわからないことの多いスピン液体の特徴をとらえた大きな成果だと考えている。