

非磁性キラル絶縁体における熱伝導誘起スピン流生成の理論

物性理論研究部門 加藤 岳生

自然界には鏡に映した形が元の物質に戻らない物質(キラルな物質)が存在する。例えば、らせん構造を持つDNA やアミノ酸・糖はキラルな物質である。最近になって、DNA 上を電子が移動していくと、電子のもつスピンの方向に揃う現象がイスラエルのグループによって報告された [1]。このときの磁石の向きは分子構造のキラリティ(右手系か左手系か)と電子の移動方向により決定される(図 1)。この現象はキラリティ誘起スピン選択性(Chirality-Induced Spin Selectivity, CISS)と呼ばれ、物質のキラリティと磁性が直接結びつく重要な発見となった。現在世界中で活発な研究が行われているが、なぜキラルな物質がスピン選択性を有するのかについて、未だにはっきりとした理由はわかっていない。

固体中でも結晶構造のキラリティと電子スピンの関係する現象が議論されつつある。ごく最近になり、キラル結晶である α -石英(SiO_2)のフォノンによる熱伝導により、図 1(a)に模式的に示すようなスピン流を隣接する常伝導金属に誘起することが報告された[2]。 α -石英は非磁性で、スピン-軌道相互作用を誘起する重元素を含まないので、従来のフォノン輸送による議論ではスピン流生成の理由が説明できない。フォノン輸送によるこの CISS 現象は、原子核のカイラル運動から伝導電子のスピンへの角運動量移動によって素朴に説明されるが、その微視的起源は界面フォノン-スピン変換の基礎となる微視的記述の理解不足のために未解決のままであった。

本研究[3]では、石英のような磁性をもたないキラル物質の絶縁体と金属との間の接合系を理論的に考察した。キラル絶縁体に温度勾配をつけるとフォノンによって熱が運ばれるが、固体中のフォノンモードは局所的に結晶を回転させることに着目した。磁石ではない物質を回転させると、物質中の電子のスピンが揃う現象がすでに知られている[4](図 1(b))。これは「磁気回転効果」と呼ばれ、近年、表面弾性波を用いた実験においてもスピン流生成の起源となることがわかっている[5]。本研究では、固体中のフォノンによって結晶の局所的回転が発生することで磁気回転効果が生まれ、電子のスピンとフォノンが直接結合することを示した。これは従来の理論では見逃されていた機構であり、

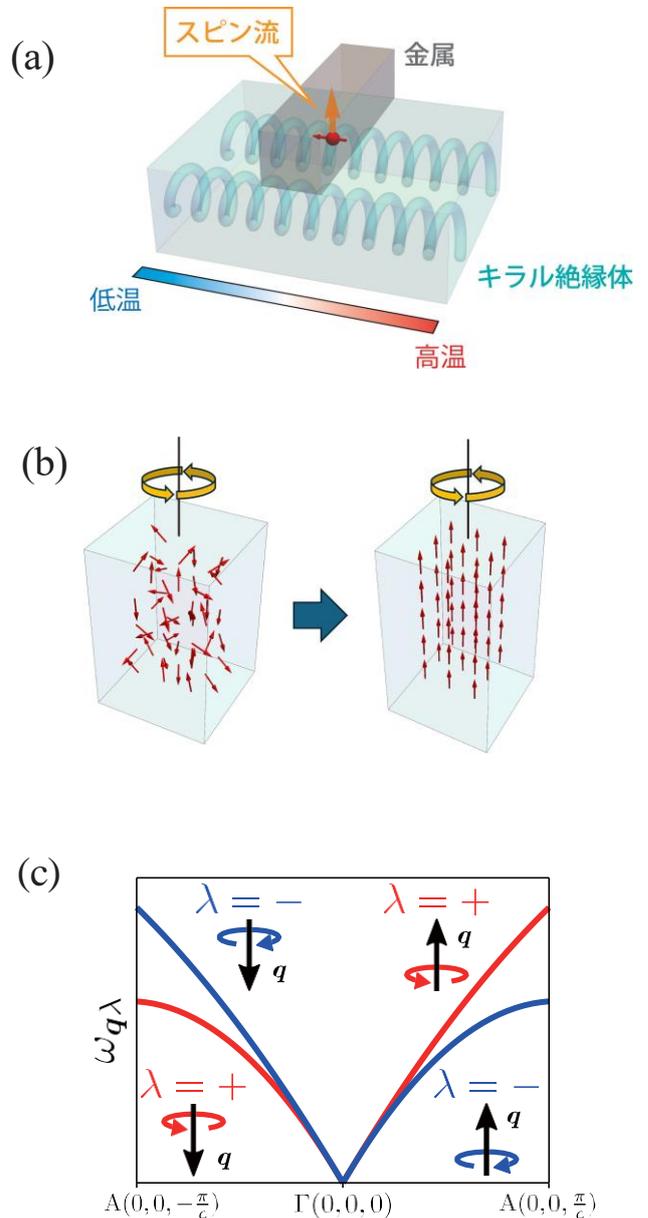


図 1 (a) キラル絶縁体と金属の接合系。キラル絶縁体に温度勾配をつけると、キラル絶縁体から金属へスピン流が生じる。(b) 磁気回転効果の模式図。(c) キラル絶縁体中のフォノン分散。

特に軽元素で重要な役割を果たすと期待される。

本研究ではまず、常伝導金属とキラル絶縁体から成る二層系の微視的模型から出発して、スピン-微小回転結合による電子スピンとカイラルフォノン間の界面結合を記述す

