



物質科学におけるカイラリティの考察と非局所長距離スピン応答の発見

物性物理学およびその関連分野

研究者所属・職名 : 大学院工学研究科・教授

ふりがな とがわ よしひこ

氏名 : 戸川 欣彦

主な採択課題 :

- [基盤研究\(A\)「カイラル物質が誘導する非局所スピン偏極の解明と基礎学理の構築」\(2023-2026\)](#)
- [基盤研究\(B\)「キラリ磁性の物理と応用」\(2017-2019\)](#)

分野 : 物性物理学、応用物理物性

キーワード : カイラリティ、カイラル物質、スピン偏極、非局所、角運動量偏極

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

電子がDNAなどのカイラル分子を通過するとスピンの向きが進行方向に揃うという現象が報告された。通過した電子の8割以上がスピン偏極するという高い偏極率が示されるなど、既存の物性物理学でこの現象を理解するのは難しく、その原理解明が強く望まれている。分子から結晶まで幅広く見つかるカイラルな物質がどこまで普遍的に偏極現象を示すかを探ることはとても興味深い。この考えのもと、カイラル分子ではなく、カイラル結晶に着目した研究を開始した。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

結晶の中でスピン偏極状態を検出するのは容易ではない。まず、電気的に検出するためのデバイスを考案した。試作に取り掛かってから2週間後には最初のデータを得たが、その速い進み具合と結果にとても驚いたことを覚えている。ただ先例のない実験を進めているだけに慎重に検証を進める必要がある。その作業には1年間以上を要したが、実験データの質が高まり、その正しさを確信するようになった。これらの結果をまとめて投稿した論文はいずれも1か月程度で採択に至り、査読者から高い評価を得た。一方で、水晶を用いて行った実験を論文化するのには大変苦労した。新しい研究には時間がかかるものだが、着想から論文発表まで丸5年かかった。この間、物質中におけるカイラリティの意味について理解が深まった。

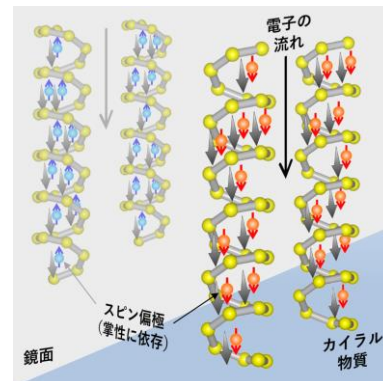


図1 カイラル物質におけるスピン偏極現象のイメージ図



物質科学におけるカイラリティの考察と非局所長距離スピン応答の発見

物性物理学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

カイラル物質が、磁気素である電子のスピンを揃え、長距離にスピン信号を伝搬する非局所スピン偏極を示すことを発見した(図2)。更に、電子のみならず原子をらせん状に回転運動させ、やはり長距離にスピン信号を伝える特性を見出した(図3)。物質のカイラリティとは、物質構造の左右の違いを意味するだけではなく、普遍的にダイナミックな偏極機能をもたらす源泉であることを示した。従来の物性物理学の理解を超える概念である。

プレスリリース

[「スピンを噴き出すキラルな結晶」磁石を使わず検出可能に！ 2020年4月22日](#)

[「熱を加える実験で明らかに。水晶が隠し持つ新たな特性！」 2024年1月31日](#)

アメリカ物理学会解説誌 (Physics **14**, s113)

[Long-Range Spin Currents with Chiral Crystals, 2021年9月14日](#)

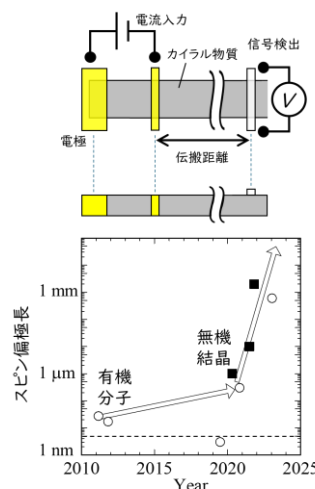


図2 カイラル物質においてスピン偏極する長さの記録更新。白丸は有機分子(文献)、黒四角は無機結晶のデータ(我々の研究)。

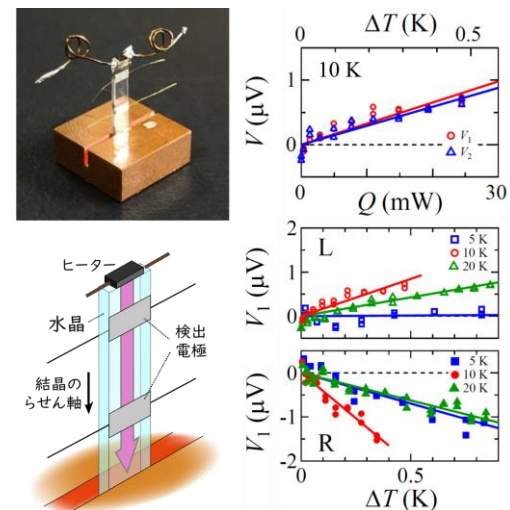


図3 水晶デバイスの光学写真、デバイス構造の模式図、温度勾配下で左手系と右手系水晶に発生する電圧の温度依存性。水晶の大きさは10 mm×2 mm×0.5 mm。

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

カイラル分子で見出されたスピン偏極現象がカイラル結晶においても生じることが明らかになった。分子から結晶までの多様なカイラル物質で、金属や絶縁体といった電気伝導性を問わずに、スピン信号が現れる。今後、カイラル構造がスピン偏極を誘導する普遍的な発現機構を解明する必要があるが、固体物理の方法論が適応可能になったことは大きなブレイクスルーであり、従来技術では実現不能な長尺のスピン伝送線など超低消費電力で動作する情報通信基盤技術の誕生が期待される。一方で、この現象はカイラリティに対する我々の知見の欠如を端的に示している。多様なカイラル物質を研究対象とする“カイラル物質科学”が息吹いており、生物・化学・物理系などの研究者らが物質中のカイラリティの意義を論じる学際的な研究がますます活発になるであろう。

