



2025年9月1日

報道関係者各位

慶應義塾大学

音波が「軌道流」を生み出す2つの新現象を観測 — 一次世代の電子技術を拓く新たな原理を実証 —

慶應義塾大学大学院理工学研究科の谷口真理(博士2年・助教(有期))と慶應義塾基礎科学・基礎工学インスティテュート(KiPAS)および同大学理工学部の安藤和也教授(KiPAS主任研究員)らは、結晶中を伝わる音波(表面弾性波)によって「軌道流」を生成する2つの新現象「音響軌道ホール効果」と「音響軌道ポンピング」の観測に初めて成功しました。

電子は電荷・スピン・軌道という3つの基本的性質をもち、電荷とスピンの流れはそれぞれ「電流」と「スピン流」と呼ばれています。近年は、スピン流に基づく「スピントロニクス」が電子技術に新たな展開を生み出してきました。さらに最近では、電流・スピン流に対応する「軌道流」を生成することが可能となり、これによる新しい物理現象の探索が急速に拡大しています。電流やスピン流のように物質中の軌道流を自在に操るためには、物質を構成する結晶格子との相互作用の理解が求められますが、これまで格子運動と軌道流の関係は明らかではありませんでした。

今回の研究では、表面弾性波と呼ばれる格子の運動から軌道流が生成されることを実験的に明らかにしました。本研究成果は、格子運動と軌道流を融合した新たな電子技術を切り拓くための基盤となることが期待されます。

本研究成果は8月29日(英国時間10時00分)に英国科学誌『*Nature Communications*』オンライン版に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・格子運動が軌道流を生み出す新現象を観測することに成功した
- ・今回の研究成果は、格子運動と軌道流を初めて結びつけたものであり、軌道流に基づく新たな電子技術の基礎となることが期待される

2. 研究背景

現代の電子デバイスは、電子の電氣的性質「電荷」を主に利用していますが、電子は電荷の他に磁氣的性質「スピン」を持ちます。スピントロニクスは、電荷に加えてスピンを利用することで、高性能・低消費電力な電子デバイスを実現する新しい電子技術として注目されてきました。エレクトロニクスの発展が電荷の流れである「電流」の自在な操作によってもたらされたように、スピントロニクスがもたらすさまざまな機能を担うのは、スピンの流れである「スピン流」です。最先端のスピントロニクス研究では、スピン流が生み出すさまざまな物理現象が見出され、スピン流の基本的な性質が明らかになってきたことで、スピン流を自在に操るための基盤が築かれつつあります。現在では、スピン流による次世代の記憶素子や新原理コンピューティング技術の研究が広く展開されています。

このようなスピントロニクスの研究において、最近になり、電子の持つもう一つの性質「軌道」の重要性が明らかになってきました。特に、電流・スピン流に対応する「軌道流」を生み出すことが可能となり、軌道流が中心となる新しい物理現象が次々と見出されています。この進展は、エレクトロニクス・スピントロニクスに続く電子技術の新たな展開を期待させるものです。しかし、スピン流については多彩な生成機構が確立されている一方で、軌道流の生成現象はこれまでごく限られたものしか明らかになっていませんでした。

3. 研究内容・成果

今回、格子の運動が軌道流を生成する2つの新現象を観測することに初めて成功しました。一つ目は、非磁性体中の格子振動と軌道流の相互作用によって生じる「音響軌道ホール効果」(図左)、二つ目は、磁性体中の格子振動と軌道流の相互作用によって生じる「音響軌道ポンピング」という現象です。

実験では、磁性体ニッケルと非磁性体チタンを積層した構造に表面弾性波(表面を伝わる音波)を印加し、発生する電圧信号の磁場角度依存性や構造依存性を詳細に解析しました。その結果、チタン中の格子運動によって軌道流が生成される音響軌道ホール効果と、格子運動によってニッケル中の磁化振動が励起され、これが軌道流を生成する音響軌道ポンピングを観測することに成功しました(図右)。

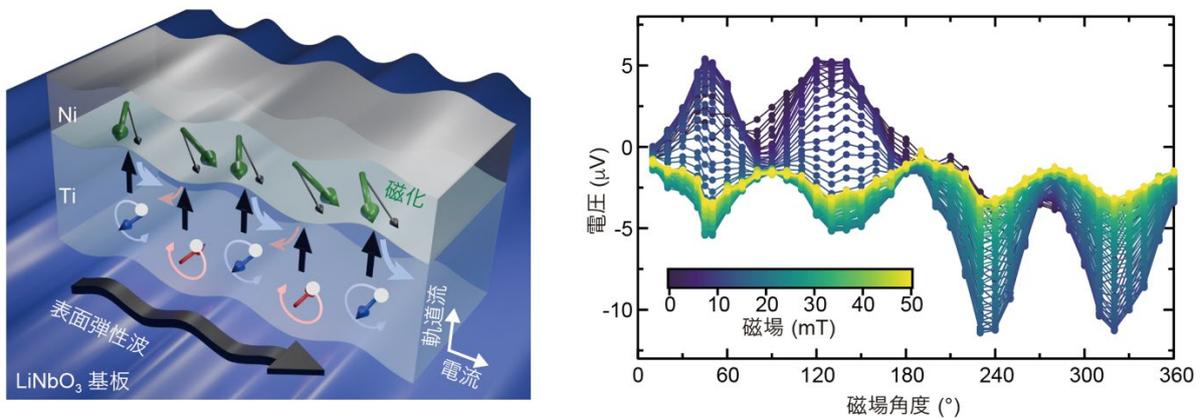


図: 音響軌道ホール効果の模式図と実験結果の例。(左) 音響軌道ホール効果では、チタン中の格子運動が軌道流を生成し、これがニッケルとの界面で反射されることで電圧信号を生み出す。(右) 実験結果は、表面弾性波を印加した際に現れる電圧の磁場角度依存性を様々な磁場強度において測定したものである。この結果を解析することで、音響軌道ホール効果と音響軌道ポンピングによる信号が得られる。

4. 今後の展開

スピントロニクスは、スピン流を電子技術に組み込むことで、電流を基盤とする従来のエレクトロニクスにはない新たなデバイス機能の可能性を切り拓いてきました。軌道流は、それに続く新たな電子の流れとして注目されています。特に本研究では、これまで未解明であった格子運動と軌道流の相互作用を初めて明らかにし、音波によって軌道流を生成するという新たな原理を実証しました。

今回の研究によって軌道流を生成することが明らかになった音波(表面弾性波)は、電子機器のセンサーやタッチパネル、フィルター素子など、幅広い用途に用いられています。このように高い実用性を持つ音波が軌道流と結びつくことを本研究が初めて明らかにしたことは、軌道流の基礎的な性質の理解に貢献するとともに、音波を応用した新しいデバイス機能の創出に向けた重要な一歩であり、今後の展開が期待されます。

<原論文情報>

Mari Taniguchi, Satoshi Haku, Hyun-Woo Lee, and Kazuya Ando,
"Acoustic generation of orbital currents,"

Nature Communications

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-62703-z>

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

- 研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科 教授 安藤 和也 (あんどう かずや)

TEL : 045-566-1582 E-mail : ando@appi.keio.ac.jp

- 本リリースの配信元

慶應義塾広報室 TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>