

対称性に基づいた超伝導体のトポロジーの判定法の確立
— トポロジカル超伝導体の候補物質探索における指針として期待 —

1. 発表者：

小野 清志郎（東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 博士課程 1 年生）
渡邊 悠樹（東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 准教授）

2. 発表のポイント：

- ◆ トポロジカル超伝導体の候補となる物質の探索に有用な新理論を構築した。
- ◆ 各物質を特徴付けるバンド構造に現れる空間群の表現に基づいて超伝導体のトポロジーを判定する手法を確立。
- ◆ 本提案手法を用いてトポロジカル超伝導体の候補物質が見つければ、今後の量子コンピューターの実用化を後押しすることが期待される。

3. 発表概要：

電気抵抗がゼロになるという著しい性質を示す「超伝導体」（注 1）は MRI など既に実生活のさまざまな場面で実用化されている。その中でも「トポロジカル超伝導体」（注 2）と呼ばれる種類のものは表面にマヨラナ粒子（注 3）が現れることが知られており、その量子コンピューターへの応用可能性から世界中で注目され活発な研究が行われている。しかし、「トポロジカル超伝導体」の性質を示す現実の物質の候補は極めて少数に限られているのが現状である。

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻の小野大学院生と渡邊准教授は、米国・マサチューセッツ工科大学の Po 研究員との国際共同研究で、トポロジカル超伝導体の新候補物質の探索に役立つ包括的な理論を提案した（図 1）。

この提案をもとに実際にトポロジカル超伝導体の新しい候補物質が見つければ、今後のトポロジカル量子コンピューターの開発に結び付くことが期待される。

本研究成果は米国科学誌 *Science Advances* 誌（オンライン版）に 5 月 1 日掲載予定である。

本研究成果は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 さきがけ 研究領域「トポロジカル材料科学と革新的機能創出」（研究総括：村上 修一）研究課題「対称性の表現に基づくトポロジカル材料の探索（研究者：渡邊 悠樹）」（No. JPMJPR18LA）の支援を受けて行われた。

4. 発表内容：

従来、物質は電気伝導性や磁性などの性質に着目して分類されていた。しかし今世紀に入り、「トポロジー」によって物質の性質が大きく異なることが明らかになり、物質のトポロジカルな性質は世界中で活発に研究されるようになった。トポロジカル相の例である「トポロジカル超伝導体」は、その表面や端にマヨラナ粒子が現れるという、通常の超伝導体とは異なる性質を示す。現在でも、マヨラナ粒子の検出と制御による次世代の量子コンピューターを実現するために、トポロジカル超伝導体の探索が求められているが、実際にトポロジカル超伝導性を示すと確認されている物質はほとんど無いのが現状である。

各々の物質の持つトポロジを直接計算したり実験的に判定したりすることは一般に非常に困難である。しかしその物質の持つ結晶対称性の表現に着目することで、その物質のトポロジを容易に判定する手法が近年確立された。この手法は「対称性指標」（注4、参照文献1）と呼ばれ、実際にこれを用いて「トポロジカル絶縁体」の候補物質が数多く発見された。この手法を絶縁体だけでなく超伝導体へと拡張しようとする試みはこれまでもあったものの、さまざまな課題が残されていた。

本研究では対称性指標の方法論を一般的な形で超伝導体へと拡張することに世界で初めて成功した（図1）。具体的には、全4196種類の超伝導体の対称性のそれぞれに対し、トポロジカル超伝導体を結晶対称性の表現に基づいて系統的に分類した。これにより与えられた超伝導体がトポロジカルかどうかを簡便に調べることが可能になり、「トポロジカル結晶超伝導体」や「高次トポロジカル超伝導体」などさまざまな種類のトポロジカル超伝導体の候補物質を探索する指針となる。近年活発に研究が行われているデータ駆動的な物質探索と組み合わせることで、トポロジカル超伝導体候補物質が発見され、将来的な量子コンピューターの実用化につながることを期待される。

（参考文献1）

“Symmetry-based indicators of band topology in the 230 space groups,”

Hoi Chun Po, Ashvin Vishwanath, and Haruki Watanabe

Nature Communications, **8**, 50 (2017)

<https://www.nature.com/articles/s41467-017-00133-2>

プレスリリース:

[https://www.t.u-](https://www.t.u-tokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws_201707031105008939464317_611888.pdf)

[tokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws_201707031105008939464317_611888.pdf](https://www.t.u-tokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws_201707031105008939464317_611888.pdf)

英科学誌 Nature に掲載された紹介文：

<https://www.nature.com/articles/d41586-018-05913-4>

5. 発表雑誌：

雑誌名：「*Science Advances*」

論文タイトル：Refined symmetry indicators for topological superconductors in all space groups

著者：Seishiro Ono, Hoi Chun Po, Haruki Watanabe*

アブストラクト URL：（暫定版）<https://arxiv.org/abs/1909.09634>

6. 問い合わせ先：

東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻

准教授 渡邊 悠樹（わたなべ はるき）

Tel：080-9285-9267

E-mail：haruki.watanabe[at]ap.t.u-tokyo.ac.jp

<JST 事業に関すること>

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ

嶋林 ゆう子 (しまばやし ゆうこ)

Tel : 03-3512-3531

E-mail : prestol[at]jst.go.jp

7. 用語解説 :

(注1) 超伝導体 : 通常の導体は電気抵抗を持つが、超伝導体は低温で電気抵抗が0となるためエネルギー散逸がなく電流が流れる。

(注2) トポロジカル超伝導体 : 通常の超伝導体とは異なり、非自明なトポロジーを持つ超伝導体。表面にマヨラナ粒子が現れるものが多い。

(注3) マヨラナ粒子 : 粒子には、それと対になる反粒子が存在する (例 : 電子の反粒子は陽電子)。マヨラナ粒子は、反粒子と粒子が同一という通常の粒子とは異なる性質を持つ。マヨラナ粒子は統計性においても通常の粒子と異なり、この統計性がトポロジカル量子コンピューターへ応用できると期待されている。

(注4) 対称性指標 : 結晶の持つ対称性 (左右を入れ替える・回転させるなどの操作に対して不変) に基づいて、物質のトポロジカルな性質を判定する手法。

8. 添付資料 :

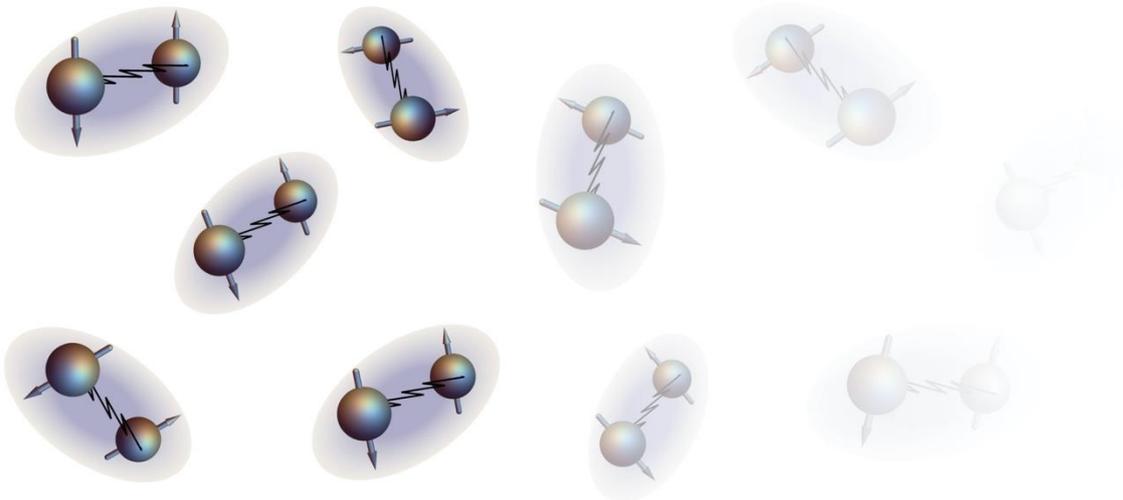


図1: 本研究で提案した理論の概念図。超伝導体 (図左側) が滑らかに真空 (図右側) につながっているときにその超伝導体のトポロジーを自明と定義する。