

## 新種のトポロジカル絶縁体の性質を理論的に解明 - 新しいトポロジカル物性を示す物質探索における指針として期待 -

1. 発表者：渡邊 悠樹 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 講師

### 2. 発表のポイント：

- ◆近年注目を集めている「トポロジカル結晶絶縁体」や「高次トポロジカル絶縁体」（注1）という新しいクラスのトポロジカル絶縁体に関する新理論を提案した。
- ◆結晶の持つ全 230 種類の対称性（注2）に基づいて、トポロジー（注3）の分類や表面状態の系統的な解析を行った。
- ◆今後トポロジカル物性を示す新物質を探索していく上での指導原理となり、これを応用した新デバイスの開発、スピントロニクスや量子コンピューターの発展に役立つと期待される。

### 3. 発表概要：

物質のトポロジーに関する研究は、今世紀以降世界中で積極的に行われてきたが、2016年にノーベル物理学賞がトポロジカル相の研究に授与されてから、一層活発化している。

東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻の渡邊悠樹講師は、米ハーバード大学の Vishwanath 教授、マサチューセッツ工科大学の Po 研究員、独マックスプランク研究所の Khalaf 研究員との国際共同研究で、近年注目されている「トポロジカル結晶絶縁体」や「高次トポロジカル絶縁体」と呼ばれる一連の物質群を包括的に取り扱うことができる新理論を提案した。

本研究では、「トポロジカル結晶絶縁体」や「高次トポロジカル絶縁体」という、ここ数年で新たに注目を集めている一連の物質群に対する包括的な理論を世界に先駆けて整備した。特に、全部で 230 種類ある結晶の対称性を用いて、これらの物質群に現れるトポロジーを系統的に分類し、「表面状態」の物理的性質を明らかにした。

本研究成果は、今後トポロジカル物性を示す新物質を探索していく上での指導原理となり、トポロジカル物質をメモリや集積回路などに応用した新デバイスの開発に役立つことが期待される。

### 4. 発表内容：

従来、身の回りの物質は伝導性や磁性といった性質に着目することで分類されてきた。しかし今世紀に入り、これまで見過ごされてきた「トポロジー」の違いによっても物質の性質が大きく変わ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盛んに研究されるようになった。例えばトポロジカル相の代表例である「トポロジカル絶縁体」は、物質内部は絶縁体であるにもかかわらず物質表面は金属になるという興味深い性質を示す。この表面金属状態は、例えばスピントロニクスの分野に応用されており、低消費電力もしくは高速な次世代のデバイス開発につながることで期待されている。2016年のノーベル物理学賞がトポロジカル相の研究に授与されたことで、この分野の研究は一層活発化している。

本研究グループは、近年、「物質のトポロジー」と「結晶構造の対称性」の関係を精力的に研究している。これまでの成果は既に論文[参考文献 1],[参考文献 2]として Nature Communications や Science Advances 等に刊行され、世界的に注目されている（※）。

今回の成果はこれらの研究をさらに発展させたものである。ここ数年における最新の研究により、元来の「トポロジカル絶縁体」以外にも「トポロジカル結晶絶縁体」や「高次トポロジカル絶縁体」と呼ばれる新しいクラスの物質群が存在することが明らかになってきた。特に「高次トポロジカル絶縁体」と呼ばれるクラスの絶縁体では、従来のトポロジカル絶縁体のように物質の2次元表面が金属的になるのではなく、物質表面に1次元的な金属的部分が現れるという特徴がある(図1)。そこで今回は、これらの新しいクラスのトポロジーと「結晶構造の対称性」との関係性を詳細に調べ、表面の金属状態の構造を系統的に調べる研究(図2)を行なった。

本研究の成果は、今後デバイス開発などの実用に適した新たなトポロジカル物質を探索していく上での指導原理として、この分野の研究を理論・実験の両面から加速させると期待される。

[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-tokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws\\_201707031105008939464317\\_611888.pdf](https://www.t.u-tokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws_201707031105008939464317_611888.pdf)

[参考文献2] “Structure and topology of band structures in the 1651 magnetic space groups”

Haruki Watanabe, Hoi Chun Po, and Ashvin Vishwanath

Science Advances, 4, eaat8685 (2018)

<http://advances.sciencemag.org/content/4/8/eaat8685>

<https://phys.org/news/2018-08-band-structuressystem-materials-specific-properties.html>

(※) 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 : 「*Physical Review X*」

論文タイトル : Symmetry indicators and anomalous surface states of topological crystalline insulators

著者 : Eslam Khalaf, Hoi Chun Po, Ashvin Vishwanath, Haruki Watanabe

アブストラクト URL :

<https://journals.aps.org/prx/accepted/0607eKa6Cae1db0082297b84c6b977749bc04f1db>

## 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

講師 渡辺 悠樹 (わたなべ はるき)

## 7. 用語解説：

(注1) トポロジカル結晶絶縁体：トポロジカル絶縁体のうち、結晶の対称性によって守られているもの

高次トポロジカル絶縁体：トポロジカル絶縁体のうち、2次元表面が金属的になるのではなく、表面に1次元的な金属の線が現れるもの。

(注2) 結晶の対称性：回転操作、鏡映操作（鏡に写すこと）、並進操作（横にずらすこと）などの組み合わせのうち、結晶の原子の位置を不変に保つものの集合。全部で230種類あることが知られている。

(注3) トポロジー：数学の分野の一つで、滑らかな変形に対して不変に保たれる性質を対象とする。例として、「ドーナツ」と「コーヒーカップ」はどちらも穴が一つ（ドーナツでは中心の穴、コーヒーカップではとっぺの部分の穴）という点でトポロジカルに同じである、と言われる。

## 8. 添付資料：

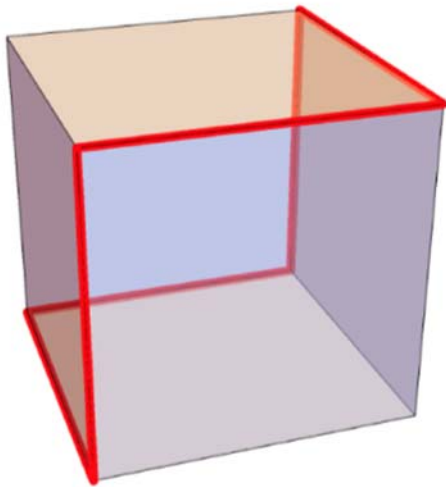


図1: 3次元的な絶縁体物質（ここでは例として立方体を考えている）の表面に現れる1次元的な金属状態（赤色の太線）

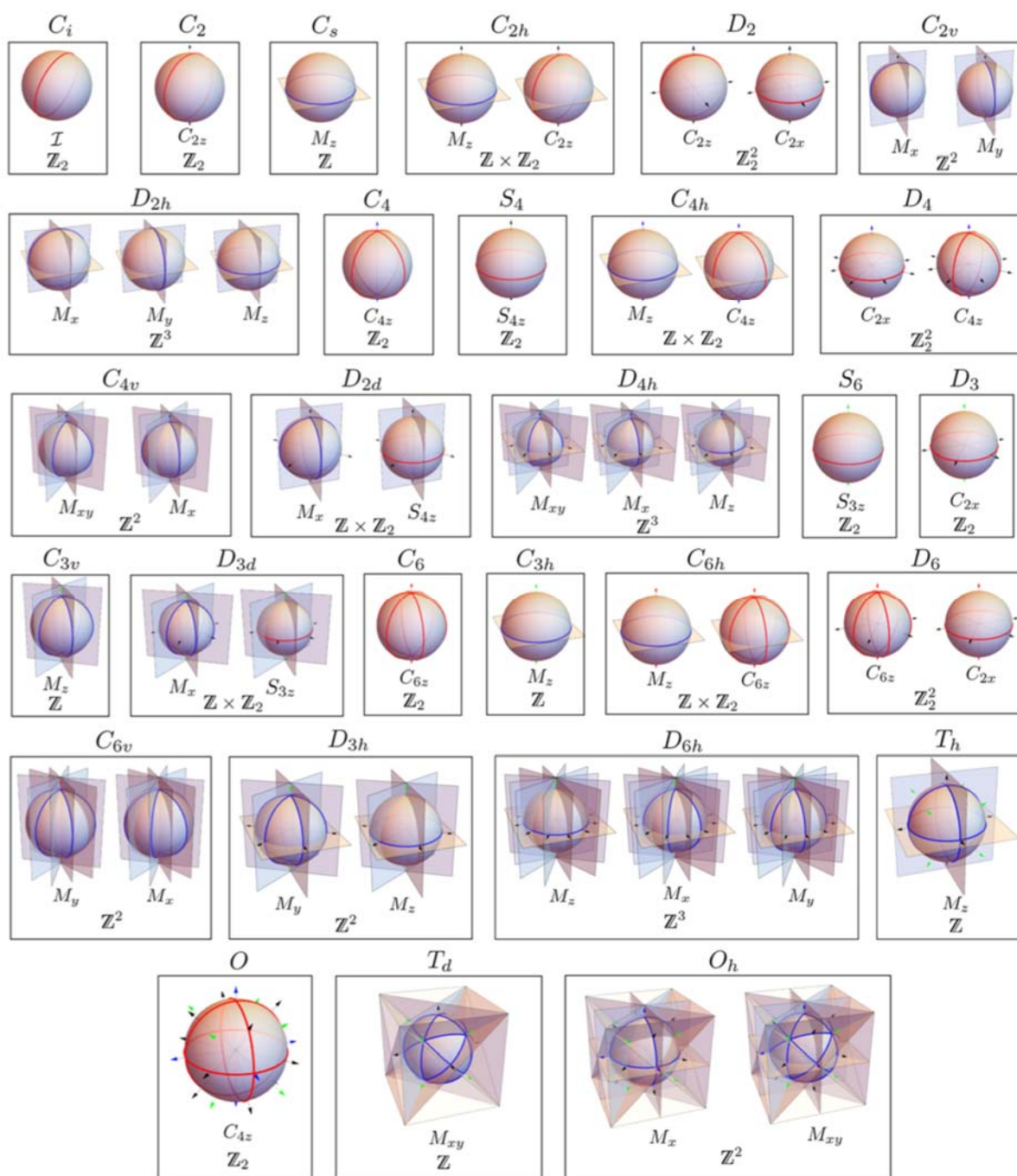


図2: 3次元的な絶縁体物質（ここでは球形の物質を考えている）の表面に現れる1次元的な金属状態の、結晶の対称性に基づいた分類。