

## 反強磁性トポロジカル絶縁体を世界で初めて発見！

### ～未知の素粒子アクシオンの発見に加速～

広島大学大学院理学研究科 木村昭夫教授の研究グループは、ロシア・サンクトペテルブルグ大学やスペイン・ドノステシア国際物理センターなどとの国際共同研究として、広島大学放射光科学研究センターで高輝度シンクロトン放射光やレーザー光を利用した角度分解光電子分光法を用いて「反強磁性トポロジカル絶縁体」を世界で初めて発見しました。今回の研究成果は、未知の素粒子アクシオンが引き起こすトポロジカル電気磁気効果などの新しい量子現象の観測に向けた研究が加速されることが期待されます。

本研究の成果は、英国の科学雑誌「Nature」に掲載されるのに先立ち、オンライン版に掲載されました。

#### 【背景】

トポロジカル絶縁体という通常の絶縁体とは異なる特殊な絶縁体の存在が明らかになり大きな注目を集め、2016年のノーベル物理学賞につながりました。トポロジカル絶縁体は、物質の内部は電気を通さない絶縁体にも関わらず、表面では金属的な振る舞いを示すことが知られています。最近5年間では大きな進展がありました。このトポロジカル絶縁体に磁石の機能を加えることにより、全く新しい現象が予測・発見され、新たなフィーバーが起こっています。

一つは量子異常ホール効果と呼ばれ、トポロジカル絶縁体に少量の磁性元素を混ぜることにより、試料の端に沿って摩擦のない電流を外部磁場なしで発生することができました。もう一つは、トポロジカル電気磁気効果です。通常は、電場をかけることで電気分極が発生し、磁場をかけることで磁化が生まれます。しかし、トポロジカル電気磁気効果では、電場で磁化が発生し、磁場で電気分極が発生する現象です。

このようにこれまでの常識をくつがえすような効果が、反強磁性トポロジカル絶縁体で現れることが理論的に予測されていましたが、そのような物質はこれまで見つかっていませんでした。

#### 【研究成果の内容】

本研究チームは、まず高度な理論計算手法を用いて  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  が反強磁性トポロジカル絶

縁体になりうることを予測しました。次にその単結晶試料の作製を行い、構造、磁性、電気的特性を調べたところ、同物質が層状の反強磁性体であることを明らかにしました。その試料を、広島大学の放射光科学研究センターのシンクロトロン放射光を用いて角度分解光電子分光を用いて実験を行なったところ、その物質の表面に大きなエネルギーギャップが開いたディラック電子状態を直接的に観測しました。このように本研究では、世界で初めて反強磁性トポロジカル絶縁体の実現に成功しました。

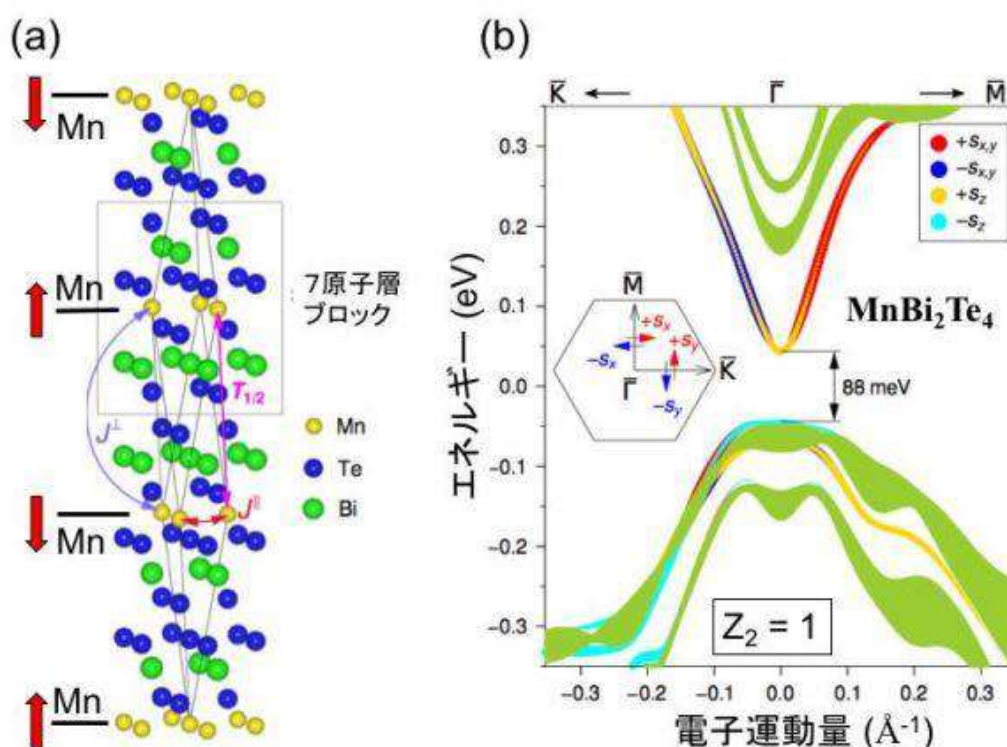


図1. (a)反強磁性トポロジカル絶縁体候補物質  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  の結晶構造と(b)理論計算による表面バンド構造。

(a)四角で囲まれているように、テルルとビスマスとマンガン（中央）の原子層からできた7層ブロックが基本単位となり、弱い力で積層しています。それぞれのブロックのマンガン層の磁気モーメントがブロックごとに上向きと下向きに交互に並んで正味の磁化を持たない「層状反強磁性」となっています。(b)理論計算からバルクバンド（緑色）のエネルギーギャップの中に存在するスピン偏極した表面バンドに大きなエネルギーギャップ(86 meV)が予言されました。

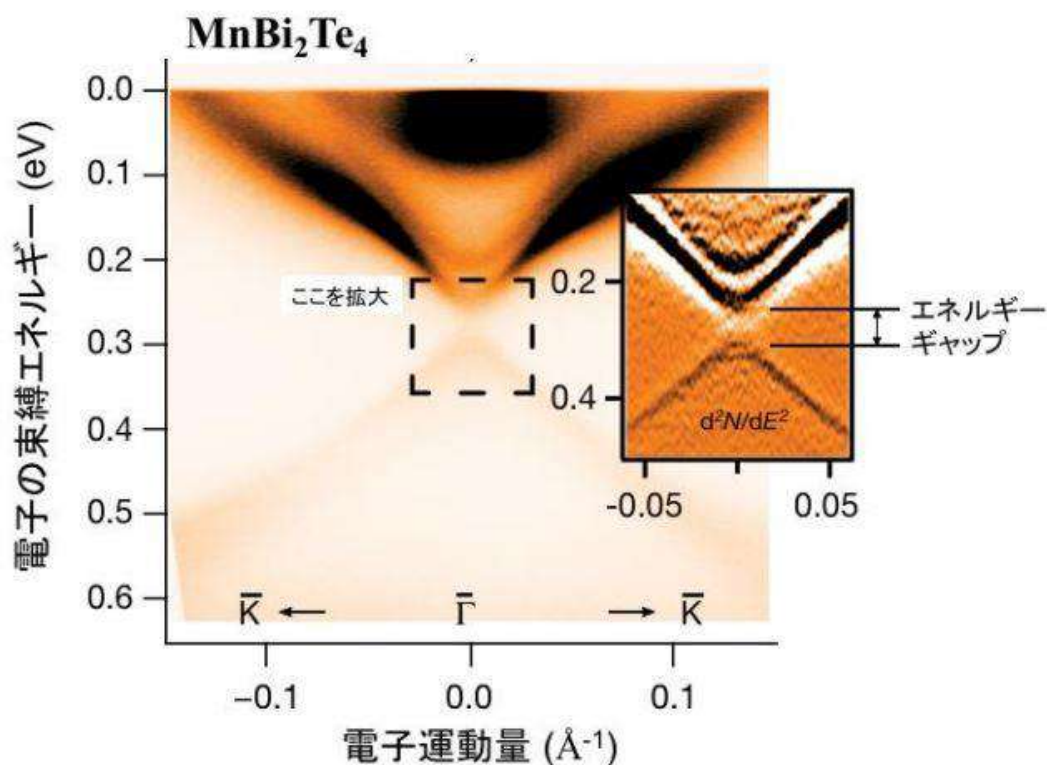


図2.角度分解光電子分光によって観測した  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  の表面バンド構造。  
 広島大学放射光科学研究センターの高輝度レーザー光を利用した角度分解光電子分光手法を用いて反強磁性トポロジカル絶縁体候補物質  $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  の表面バンド構造の観測を行いました。その結果、図1に示すように、トポロジカル絶縁体を特徴付ける直線的なディラック表面の交差点で、エネルギーギャップが空いていることを観測しました。これにより、 $\text{MnBi}_2\text{Te}_4$  が反強磁性トポロジカル絶縁体であることを実験・理論の両面から世界で初めて明らかにしました。

論文情報

タイトル Prediction and observation of an antiferromagnetic topological insulator

雑誌 Nature

DOI: 10.1038/s41586-019-1840-9

日文发布全文

<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/55379>

文：JST 客观日本编辑部翻译