



Title	Three-Dimensional Topological States in the Absence of Fundamental Symmetries [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	羽部, 哲朗
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11436号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55383
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tetsuro_Habe_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 羽部 哲朗

学 位 論 文 題 名

Three-Dimensional Topological States in the Absence of Fundamental Symmetries

(対称性の破れた三次元系におけるトポロジカル相)

Kane による「トポロジカルに非自明な電子状態」という概念の提唱以来、我々の物質観は大きく変容を遂げている。物質中の電子状態は量子力学的な波動関数で表現されるが、絶縁体のように励起にギャップがある物質では、電子が占有している状態の波動関数からトポロジカル数を計算することが出来る。このトポロジカル数が自明な値であるゼロの場合には、絶縁体は従来のバンド理論で示唆される普通の絶縁体である。その一方、トポロジカル数がゼロ以外の非自明な値になる場合には、トポロジカル絶縁体と呼ばれ前者と区別される。トポロジカルに非自明な電子状態（トポロジカル相と呼ぶ）という概念は、絶縁体だけでなく超伝導体にも適用される。ある非自明なトポロジカル数で特徴付けられる電子系は、系の詳細によらない共通の性質をもつ。例えば、2次元において時間反転対称性が破れた系では、チャーン数と呼ばれるトポロジカル数が一般的に整数になる。チャーン数が非自明な2次元系では、普遍定数の単位におけるホール伝導度がチャーン数の値に量子化する。また、トポロジカル数が異なる物質を接合した場合、接合界面において励起ギャップの中に電子状態（ギャップブレス状態）が現れる事が知られていおり、この性質はバルク - 境界対応と呼ばれている。

トポロジカル相の有無は物質の次元性や電子系の基本的な対称性に対する不変性と密接な関係がある。ここで、基本的な対称性とは時間反転対称性、粒子-ホール対称性、副格子対称性と鏡映対称性である。理論的には、物質の次元性と電子系の持つ対称性を用いて、トポロジカル相が分類されてきた。また実験的には、これらを制御することによって新たなトポロジカル相を実現しようとしている。この分類に従うと、3次元では、トポロジカルに非自明な相が存在するためには、基本的な対称性に対する電子状態の不変性が不可欠である。しかしその一方、基本的な対称性が壊れている状況でもギャップレスな界面状態が現れる事も知られている。バルク-境界対応から、このギャップレスな界面状態の存在は、従来の分類とは異なるトポロジカル相の存在を示唆している。したがって、従来のトポロジカルな分類に加えて、基本的対称性が破れた条件でも定義可能な新たなトポロジカル数を定義し、それを用いてトポロジカル相を特徴付ける必要がある。

本論文では、基礎的な対称性が破れた3次元系において新規なトポロジカル相の存在を示した。さらに、このトポロジカル相がブリルアンゾーン内の部分空間で定義されたトポロジカル数で特徴づけられることを明らかにした。電子系に並進対称性があるとき、3次元物質は3次元のブリルアンゾーンをもつ。同時に、1つの波数が0となるような部分空間を考える事が出来、その部分空間もまた2次元のブリルアンゾーンであり、チャーン数を定義できる。チャーン数は基本的対称性が破れていても定義できることから、基礎的な対称性が破れた3次元物質でもトポロジカル相が可能

である事を示した。また、本論文ではこのトポロジカル数が導く様々な現象も議論した。磁場中の3次元トポロジカル絶縁体の特異な半金属相への転移は、絶縁体から金属になる際にチャーン数が保持される事実によって理解することができる。また、従来の分類ではトポロジカルに区別できないトポロジカル絶縁体同士の接合界面に、このチャーン数の差によってギャップレス状態が生じることも示した。さらに、そのギャップレス状態の摂動に対する安定性もこの新たなトポロジカル数で理解できることも明らかにした。