

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	トポロジカル半金属およびギャップレス超伝導体のトポロジカル相転移
Title(English)	Topological phase transitions of topological semimetals and gapless superconductors
著者(和文)	奥川亮
Author(English)	Ryo Okugawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10721号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村上 修一,西田 祐介,古賀 昌久,西森 秀稔,平原 徹
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10721号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名		奥川 亮	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	村上 修一		教授		平原 徹	准教授
	審査員	西森 秀稔		教授	審査員		
		古賀 昌久		准教授			
		西田 祐介		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Topological phase transitions of topological semimetals and gapless superconductors」と題し、6 章と付録よりなる。 第 1 章「Introduction」ではトポロジカル絶縁体、トポロジカル超伝導体、トポロジカル半金属に関する研究背景を解説している。まずこれらの系に関して歴史的背景やその特異な物性について解説している。特にこうしたトポロジカル物質相においては、表面やエッジにギャップレスな束縛状態が出現することを紹介し、さらにどんなトポロジカル相が出現しうるかは系の対称性に依存することを指摘している。次にトポロジカル相の物理において、トポロジカル相の間の相転移が重要な問題であることを述べ、最後に本論文の全体を概観している。 第 2 章「Topological materials」では、トポロジカル物質に関する先行研究のうち、本博士論文に関係の深いものについて解説を行っている。チャーン絶縁体（量子ホール系）について、そのトポロジカルナンバーであるチャーン数とそれに起因するエッジ状態を説明し、さらにトポロジカル絶縁体の基礎物性について解説している。さらにトポロジカル半金属の例としてワイル半金属とノーダルライン半金属について解説している。ワイル半金属についてはその基本的な性質やトポロジカル不変量での特徴づけを解説した後、空間反転対称性の破れた非磁性半導体のギャップが閉じると一般にワイル半金属ないしノーダルライン半金属が出ることを述べている。またノーダルライン半金属やトポロジカル超伝導体、ワイル超伝導体についても基礎的な物性を紹介している。 第 3 章「Topological surface states and their evolution in Weyl semimetal and topological insulator phases」では、ワイル半金属の簡単な模型を用いて表面状態やトポロジカル相転移の議論を行っている。最初にワイル半金属を表す連続模型の構築を行い、それがパラメタの値を変えることで通常の絶縁体へ相転移することを示している。さらにこの連続模型を用いて表面状態の計算をすると、それがフェルミアークと呼ばれる、ワイル半金属に特徴的な表面状態を出すことを示し、そのフェルミアーク状態の分散について論じている。さらに、トポロジカル絶縁体の模型を用いて、空間反転対称性が破れたときに、トポロジカル絶縁体-ワイル半金属-通常の絶縁体という相転移が起こる様子を計算している。そしてその結果が上記の連続模型の計算とよく符合することや、この相転移に伴い、ワイル半金属の表面フェルミアーク状態が変化してトポロジカル絶縁体の表面ディラックコーンとなることを指摘している。またこのフェルミアークは、バルク状態でのワイル点 2 個をつなぐように現れるが、表面の終端の仕方を変えると、フェルミアークを形成するワイル点 2 点の組みあわせが入れ替わることを示している。 第 4 章「Topological phase transition of spinless topological semimetals」では、スピンレスのノーダルライン半金属について、対称性を崩したときに起こるトポロジカル相転移が、ノーダルラインの形状と系の対称性からどのように決まるかを述べている。まず伝導帯と価電子帯とが縮退するノーダルラインの形状を、時間反転不変波数の点を囲むかどうかで 2 種類に大別し、その分類が空間反転操作の固有値やトポロジカルナンバーと関連していることを述べている。さらにこれら 2 種のノーダルライン半金属について、時間反転対称性や空間反転対称性を崩したときにどのような相転移を起こすかを詳しく論じている。特にワイル半金属へと転移する場合について詳しく述べ、回転対称性が加わった場合にその回転対称性に起因してワイル半金属となる場合があることを指摘している。 第 5 章「General phase transition of Weyl superconductivity in mirror symmetric superconductors」では、鏡映対称性のある超伝導体（トポロジカル結晶超伝導体）について、奇パリティの場合や空間反転対称性のない場合に、超伝導ギャップを閉じたときにワイル超伝導相が一般に現れることを示している。鏡映対称な超伝導体を表す有効模型を構築してこのことを一般的に示すとともに、相転移が起こった時のワイル点の軌跡を一般的に論じている。さらに別の具体的な模型を例として、実際にこの相転移がどのように起こるかを詳しく解析し、ワイル超伝導状態で現れる表面マヨラナーク状態が、どのようにトポロジカル結晶超伝導体での表面マヨラナコーン状態に変化するか述べている。 第 6 章「Summary and Outlook」では、論文の全体を概観し今後の展望について述べている。
--

付録「Classification of the type-A TNLs and their band structures」では、論文中で使われるノーダルラインの分類の詳細について丁寧に説明している。

以上をまとめると、本論文では、トポロジカル半金属が関係した相転移について一般性のある理論を構築している。ノーダルライン半金属で対称性を崩した場合や、鏡映対称性がある超伝導体で対称性を崩した場合に現れる相転移について一般論を構築していて、多くの物質へと適用できる。また第 3 章で構築したワイル半金属の模型は、単純ながら汎用性がありワイル半金属の物性を表す簡便な模型としての価値が高い。このようにトポロジカル半金属の関係したトポロジカル相転移現象について一般論を構築するに至った本論文は、理学の発展に大いに資するものと判定される。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値があると認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。