

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	非エルミート系におけるブロッホバンド理論
Title(English)	Non-Bloch Band Theory of Non-Hermitian Systems
著者(和文)	横溝和樹
Author(English)	Kazuki Yokomizo
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11669号, 授与年月日:2020年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:村上 修一,齋藤 晋,笹本 智弘,西田 祐介,平原 徹
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11669号, Conferred date:2020/12/31, 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

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		横溝 和樹	
		氏名		職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	村上 修一		教授		平原 徹	准教授
	審査員	斎藤 晋		教授	審査員		
		笹本 智弘		教授			
		西田 祐介		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Non-Bloch Band Theory of Non-Hermitian Systems」と題し、開放境界条件下での非エルミート1次元系で、系の大きさが大きな極限でのバンド構造を記述する一般的手法の構築とその応用について論じたもので、7章よりなる。

第1章「Introduction」では非エルミート系の物理について概観している。非エルミート系の物理系の理論・実験における先行研究について解説し、特にトポロジカル相の研究に関連した最近の進展について概観している。最後に本論文の全体を概観している。

第2章「Hermitian systems and non-Hermitian systems」では、量子ホール系やトポロジカル絶縁体など代表的なトポロジカル相と、そこでのバルクエッジ対応について紹介した後、トポロジカル相の分類について解説を行っている。その後、非エルミート系においてはバルクエッジ対応が成立していないと考えられていることを解説している。

第3章「Non-Hermitian open chain and periodic chain」では、1次元のHatano-Nelsonモデルを例にとって、有限長の鎖でのスペクトルを、開放境界条件および周期境界条件で計算している。さらにそれらが一致していないことを指摘し、これが非エルミート表皮効果と呼ばれることを説明している。さらに、開放境界条件を変化させると、有限長の場合はスペクトルが変化することと、それが無限の長さの鎖の極限では境界条件によらないことを、数値計算を交えて示している。

第4章「Non-Bloch band theory of non-Hermitian systems and bulk-edge correspondence」では、開放境界条件下での非エルミート1次元系のスペクトルの、無限長での漸近形を記述するnon-Bloch理論の構築を行っている。まず、一般的な非エルミート1次元系の有限鎖において、開放境界条件下でのスペクトルを定める式を導出し、鎖が無限長の極限での漸近的なスペクトルが連続分布となる条件を導出している。さらにこの条件から、エルミート系でのブリュアンゾーンに相当する拡張ブリュアンゾーン概念を導入し、それが通常のエリミート系と質的に異なるいくつかの性質、例えば尖点(カスプ)を持つことを述べている。さらにいくつかのモデルにこのnon-Bloch理論を適用した結果を述べている。またこのnon-Bloch理論を用いることで、先行研究では破綻すると思われていたバルクエッジ対応が正しくなることを述べている。

第5章「Topological semimetal phase with exceptional points in one-dimensional non-Hermitian systems」では、前章の応用として、時間反転対称性と副格子対称性の両方を有する1次元非エルミート系の新しい側面について述べている。non-Bloch理論を用いて、トポロジカル半金属状態が安定に存在しうることを示し、その結果相図上で、トポロジカル半金属状態が有限の領域に広がることを示している。また半金属相では拡張ブリュアンゾーン上にギャップが閉じる点があり、それらが対消滅ないし拡張ブリュアンゾーンの尖点に到達する際に相転移が起こることを示している。さらに各バンドを構成する状態は、時間反転対称性が保たれた状態、副格子対称性が保たれた状態、両対称性とも破れた状態の3つに分離され、それらは拡張ブリュアンゾーンの尖点を境とすることを示している。

第6章「Non-Bloch band theory in bosonic Bogoliubov-de Gennes systems」においては、第4章の応用として、Bogoliubov-de Gennes (BdG) ハミルトニアンで表されるボース粒子系にnon-Bloch理論を適用し、その結果この系はエルミートでありながら、non-Bloch理論の適用により必然的に非エルミート性が現れることを示している。さらに、Kitaev-Majorana鎖にこれを適用すると、非エルミート表皮効果がパラメータ変化とともに一旦消滅した後また出現する、リエントラントな振る舞いを見出している。数値計算に頼る先行研究での解析方法と比較して、non-Bloch理論は見通しよい物性の理解を可能にすることも指摘している。

第7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。特

に non-Bloch 理論から帰結される非エルミート表皮効果について、実験での観測の現状と今後の展望を述べている。

以上をまとめると本論文では、開放境界条件下の非エルミート1次元系で、無限長の極限での漸近的スペクトル分布を記述する一般論である non-Bloch 理論を構築している。この理論は一般の非エルミート1次元系に広く適用できる。この理論の帰結として、ブリュアンゾーンがエルミート系とは質的に異なる様々な性質、例えば尖点を持つこと等を見出した。さらにトポロジカル半金属相の安定化やボース粒子の BdG 系の特異な性質など、非エルミート系特有の物性を示すことを見出した。この理論は、固体物理の基本定理であるブロッホの定理の、非エルミート系への一般化であり、波及効果が大きい。このように非エルミート系の基本原理となる理論構築を行った本論文は、理学の発展に大いに資するものと判定され、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。