

博士論文要旨

学位申請者：藤本 大仁

論文題目：Theory of topological charge pumping by moiré pattern sliding

(モアレ模様のスライドによるトポロジカル電荷ポンプ)

論文要旨：

近年、グラフェンなどの2次元物質が生成され、基礎・応用ともに活発な研究が行なわれている。2次元物質の特徴として、層同士を任意の角度で重ねられることが挙げられる。このツイスト角により、単層系にはない新奇な物性が発現する。例えばツイスト二層グラフェンでは2つの異なる周期構造が干渉し、大きな周期構造を形成する。これはモアレ模様と呼ばれ、電子相関に顕著な影響を与え、超伝導転移することが観測され、多くの研究が行なわれている。

これまでに固定された積層系の研究が進展している。一方で、ツイスト積層系は層間のスライドの自由度を有しており、本博士論文ではツイスト積層系のダイナミクスに着目する。片方の層を他方に対して水平に移動させるとき、原子間距離分である数 Å 動かすだけで、モアレ模様はその数百倍もの距離を移動する。これは、「モアレスピードアップ」と呼ばれる現象である。しかし、このモアレ模様の運動に伴う電子の量子力学的性質は未解明である。

この研究では、モアレ超格子を形成する一般の積層系において、層間の相対的なスライドによる電荷ポンプとそのトポロジカルな性質について理論的に調べた。一方の層を他方に対して相対的にスライドさせるとモアレ模様が移動し、これに追従して電子の輸送が生じることを示した。特にフェルミエネルギーがエネルギーギャップ中にある時、このスライドにより輸送される電子の個数は「スライドチェーン数」という新しいトポロジカル不変量により特徴付けられ、またこのスライドチェーン数が量子ホール効果に類似した Diophantine 方程式に従うことを明らかにした。実際にツイスト二層グラフェンに対して計算を行うことで、ギャップ内でスライドチェーン数が非ゼロの整数となり、電荷ポンプがグラフェンシートのスライドと垂直な方向に生じることを示した。さらにリボン構造のツイスト二層グラフェンの電子状態を実際に計算し、スライドチェーン数とエッジ状態のスペクトルの数が対応するバルクエッジ対応を明らかにした。

本研究で提案した層間スライドによる電荷ポンプは、電氣的自由度と機械的自由度の交差相関現象とみなすことができ、その逆現象も期待できる。そのためナノモーターやナノ電流源への応用が期待される。さらに、層間のスライドはあらゆる低次元物質が有する自由度である。2次元磁性体や超伝導体などの層間スライドへ理論を拡張することで、様々な準粒子を機械的に制御できる可能性を秘めている。