

# 論文審査の結果の要旨

氏名 岡 隆 史

本論文は、絶縁体に強電場をかけたときに、量子トンネル効果によってどのように絶縁破壊が起こるかを様々な角度から研究したものです。絶縁体としてはバンド絶縁体とモット絶縁体を考えています。本論文で新しく得られた著しい結論は、モット絶縁体で（絶縁破壊の起こる前の）絶縁相と（絶縁破壊が起きた後の）金属相の中間に、動的局在相とでも呼ぶべき状態があるということです。このような状態は、ランダム行列の理論においてごく最近に示唆されていましたが、実際の物質により対応するモデルでの指摘は初めてです。審査委員会として、この点を高く評価します。

上の結論を得るために、本論文では様々な解析手法を用いています。特に、取り扱いの難しいモット絶縁体は、

- (1) 時間依存するゲージを使った厳密対角化の手法
- (2) 時間依存しないゲージを使った密度行列繰り込み群の手法
- (3) トイモデルにおける量子ランダムウォークの解析
- (4) 光応答の数値計算

のように多角的に解析しています。このような議論の多面性も、評価できる点の一つです。

以下に、本論文の要旨を章立てに従ってまとめます。本論文はアブストラクトと本文7章および補遺1章からなります。第1章では、本論文の興味の対象となる絶縁破壊についての最近の実験の紹介から始まり、本論文の結論のまとめで終わります。

第2章では、理論的に解析する基礎となるハバード模型ハミルトニアンを定義しています。特に、強電場の効果を(1)周期境界条件を課した系での時間に依存するゲージと、(2)開放境界条件を課した系での時間に依存しないゲージの2通りで表し、両者が(フロケー形式の意味で)数学的に等価であることを示しています。また、量子トンネル効果のZenerによる基本的扱い方について

でも概観しています。

第3章では、時間に依存するゲージを用いてバンド絶縁体の絶縁破壊を扱っています。Zener による従来の取り扱いを拡張した議論をしています。また、数値計算によって絶縁破壊の閾値の存在を具体的に示しています。つまり、バンド絶縁体では通常の絶縁相と金属相しか存在しません。

第4章では、いよいよモット絶縁体の絶縁破壊を扱っています。時間に依存するゲージの周期境界系を厳密対角化によって短時間の領域で解析した結果と、時間に依存しないゲージの開放系を密度行列繰り込み群によって長時間の領域で解析した結果を示しています。特に後者においては、(A) 初期状態である基底状態からほとんど遷移しない領域と、(C) 基底状態の存在確率が指数関数的に減衰する領域の中間に、(B) 基底状態の存在確率がある程度は減衰するが、途中で減衰が止まる領域が存在することを示しました。これが、本論文の中心的な、高く評価できる成果です。

第5章では、モット絶縁体の絶縁破壊を、新たな有効モデルの観点から解析しています。モット絶縁体のエネルギー準位の構造を単純化したモデルで、基底状態からの量子的なランダムウォークを考えています。その結果、この簡単なモデルでも (A) 基底状態にランダムウォーカーが留まる領域、(B) ランダムウォーカーが、ある程度は基底状態から逃げるが、ほとんど基底状態付近に局在する領域、(C) ランダムウォーカーが基底状態から完全に逃げてしまう領域の3つがあり、第4章の (A) (B) (C) に対応していることを示しています。このモデルの計算によって、(B) という状態がエネルギー空間における局在に相当していることが示されました。これも新しい知見として評価できます。

第6章では、モット絶縁体の非線形光学応答を解析しています。物理的状況としては、強電場がかかった絶縁体に電磁波を当てたときの応答です。ここでも、応答関数の振る舞いに第4章の (A) (B) (C) に対応した領域があることが示されています。また、最近の実験に対しても明快な理論的説明を与えています。

最後に、第7章で再びこの論文の成果をまとめています。補遺では、密度行列繰り込み群について簡単に紹介しています。

以上のように、本論文は古くて新しい絶縁破壊の問題に、幾つもの視点から

多角的にアプローチして独自の結論を得ており、実験に対する示唆にも富んでいます。物性物理学の論文として高く評価できます。

なお本論文は、青木秀夫氏、今野紀雄氏、有田良太郎氏との共同研究を含んでいますが、いずれも論文提出者が主導した研究であると判断します。以上より、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認めます。