

# 論文審査の結果の要旨

氏名 久保賢太郎

巨視系で測定 of 反作用を考慮した際には、古典系で成立していた揺動散逸定理が破綻しうることが一般論からこれまで議論されていた。特に時間反転対称性が破れている場合は、静的成分における揺動散逸定理の破綻が生じると期待されてきた。しかし、実際に具体的な物理系で観測可能なほど十分に大きな破綻が生じるかは理解されずにいた。本論文はこのような背景のもと、時間反転対称性を破る典型例である量子ホール系について、具体的にどの程度揺動散逸定理が破れうるかを数値的・理論的に評価・考察したものである。

本論文は7章と付録からなる。第1章は、イントロダクションであり、本論文の要旨と背景がまとめられている。第2章は揺動散逸定理と久保公式、準古典量子測定とそれに伴う揺動散逸定理の破れに関する既知の結果がまとめられている。第3章は本論文で考察する輸送現象に久保公式を適用し電気伝導度に関する既知の知見をまとめている。第4章は一様磁場中の相互作用しない電子に関する物理、第5章はそこで発現する量子ホール効果についてまとめている。特に乱雑さにより引き起こされる局在状態とホール伝導度プラトールとの関係について既知の知見をまとめている。

第6章が本論文の主な内容である。主たる結果は、第2-5章で導入した知見と数値計算を組み合わせることで、準古典量子測定 of 反作用を考慮した非対角電流揺らぎには、非局在状態に加えて局在状態が同程度寄与することを見出した点である。具体的には、まず可能な量子測定の中で、できる限り古典測定を模した測定過程を準古典量子測定として定義し、電流測定を行った場合に適用することで非対角電流揺らぎの表式を得ている。特にこの表式が、揺動散逸定理で現れるカノニカル積相関ではなく、対称化積相関となることを確認し、このために揺動散逸定理が一般に成立しないことを述べている。また得られた表式の行列要素を、一粒子エネルギー固有状態を基底にして変形することで、非対角電流揺らぎには非局在状態と同様に局在状態も寄与することを述べている。一方で、散逸に対応するホール伝導度には非局在状態しか寄与しないことが知られているため、この結果は揺動散逸定理の破れを明示的に示唆していると結論している。

次に揺動散逸定理の破れが実際にどの程度かを定量的に評価するために、一様磁場とデルタ関数型の不純物ポテンシャル中を運動する一電子のハミルトニアンを数値的に対角化し、その固有状態とエネルギーを得ることで非対角電流揺らぎを与える対称化積相関とホール伝導度を計算している。得られた結果は「非対角電流揺らぎには、非局在状態に加えて局在状態が同程度寄与する」という解釈と整合するものといえる。また不純物ポテンシャル

強度に関するスケーリングについてオーダー評価を解析的に行い、数値結果と矛盾しない結果を得ている。章の末尾では、非対角電流揺らぎが電子数密度に比例することを利用して、電子数密度推定に準古典測定を応用する可能性について議論されている。

以上のように、本論文は巨視系に対する量子測定の反作用により引き起こされる揺動散逸定理の破れを、時間反転対称性を破る典型例である量子ホール系において具体的に評価・考察したものであり、量子統計物理学の進展に寄与をした論文と認められる。本論文は清水明氏および浅野健一氏との共同研究であるが、論文提出者が主体になって解析を行ったもので、本人の寄与は十分と認められる。よって本審査委員会は博士（理学）の学位授与が適当と結論した。