

氏 名(本 籍)	さいとう たけし 齋 藤 健 (福 島 県)
学 位 の 種 類	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	博 乙 第 1,156 号
学位授与年月日	平成 8 年 1 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
審 査 研 究 科	物 理 学 研 究 科
学 位 論 文 題 目	A System of Quantum Stochastic Differential Equations in terms of Non-Equilibrium Thermo Field Dynamics (非平衡 Thermo Field Dynamics による量子確率微分方程式の体系)
主 査	筑波大学教授 理学博士 久 保 健
副 査	筑波大学助教授 理学博士 有 光 敏 彦
副 査	筑波大学助教授 理学博士 初 田 哲 男
副 査	東京大学教授 理学博士 岡 部 靖 憲

論 文 の 要 旨

非平衡統計力学は平衡状態の統計力学の基礎を与えるだけでなく、化学反応や種々の輸送現象等の理論的枠組みを与える重要な分野である。特に最近の技術の進歩により巨視的量子トンネリングやメソスコピック系の研究が盛んになりつつある。そこでは「量子性と散逸」の関わりが顕著になり、量子的非平衡統計力学の枠組みが必要となる。この非平衡統計力学で広く用いられる手法として、Langevin 方程式や確率 Liouville 方程式等の確率微分方程式があるが、これらを量子系に拡張することは従来十分になされていなかった。

Hudson, Parthasarathy 等は、量子論的演算子に対する Langevin 方程式を定式化するにあたって、各時刻毎に独立なボゾン演算子を導入することにより、絶対零度における揺動力演算子とその表現空間を構成した。この論文では非平衡 Thermo Field Dynamics (NETFD) の枠組みを採用することにより、有限温度における量子確率微分方程式系(量子 Langevin 方程式と量子確率 Liouville 方程式により構成されている系)が、対応するマスター方程式と一貫する形で正準演算子形式に定式化されることが示された。

具体的には、Hudson らが導入した揺動力演算子の表現空間を NETFD における表現空間である熱空間に拡張する事により有限温度の量子 Wiener 過程を得た。その際、熱空間での Bogoliubov 変換を導入することにより、絶対零度の熱真空と有限温度の熱真空の間のユニタリ非同値性が示された。異なる温度の熱真空のユニタリ非同値性という概念は、Thermo Field Dynamics の枠組の著しい特徴である。有限温度における揺動力演算子の表現空間を明確に構成することは、この論文で初めてなされた事である。

以上で確立された有限温度の量子 Wiener 過程によりその時間発展をおこなう確率的 Schroedinger 方程式を考え、それを基に一種の対応原理に従って NETFD の表現空間における確率 Liouville 方程式を定式化した。そこでは、無限小時間発展演算子がエルミートになり、確率的時間発展がユニタリ変換となることが特徴である。この時間発展演算子を基に、古典確率過程で知られた 3 要素(確率 Liouville 方程式、Langevin 方程式、及び、マスター方程式あるいは Fokker-Planck 方程式)すべてを含んだ正準演算子形式の量子確率微分方程式の一貫した体系が構成された。確率微分方程式は、古典系におけるものと同様に伊藤形式と Stratonovich 形式との双方で定式化されている。

この論文で得られたユニタリ時間発展の体系では、散逸や緩和を抽出するために揺動力演算子の非可換性が重

要な役割をする。これは、以前に筆者等により定式化された時間発展が非ユニタリである量子確率微分方程式の体系とは異なるものである。非ユニタリ時間発展の体系では、可換な揺動演算子しか現れなかった。なお、ユニタリ時間発展の体系と非ユニタリ時間発展の体系のどちらを採用しようと、物理量に対してはまったく同一の結果を与えることができる。

審 査 の 要 旨

本論文は、ユニタリ時間発展の量子確率微分方程式に対する一貫した正準演算子形式の体系を有限温度で初めて実現したものであり、従来の量子確率微分方程式の定式化に対して新しい視点を与えたものといえよう。また、揺動演算子の非可換性から如何に緩和項が得られるかを一貫した体系で位置付けたことにより、量子トンネル効果の研究（スピン・ボソン系）において先に都築が導入した「反作用場」の物理的意味にたいする重要な示唆を与えていると考えられる。この研究においては Langevin 方程式における揺動演算子は形式的に導入されており、今問題にしている物理系と外界とを含む真に微視的な立場から導入されてはいないが、一つのきちんとした枠組みが与えられた事により、その微視的な導出（非平衡統計力学の大きな問題の一つ）を試みる際の一つの指導原理を与えるものとして、この分野の研究に重要な貢献を与えたものと認められる。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。