

c p 別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 特異摂動理論から見た量子開放系の摂動的手法

氏 名 久木田 真吾

論 文 内 容 の 要 旨

熱浴や、その他の擾乱を外部の系から受けている量子系を量子開放系という。量子的性質を情報処理や通信に応用しようという見地に立つと、このように外部系（環境系）からの擾乱を受けている系の時間発展を調べることは非常に重要である。しかし、量子開放系の時間発展は、孤立系とは異なって von Neumann 方程式に従うユニタリ発展をせず、散逸やデコヒーレンスなどの効果が表れる。

このような系のダイナミクスを微視的な立場から追う方法として、「縮約された力学」という方法がある。これは、対象としている開放系とそれに擾乱を与えている環境系を一つの複合孤立系とみなして量子化し、それをユニタリ発展させたのちに環境系の自由度をトレースアウトすることで、対象系の状態の発展を追う方法である。この方法は、環境系を含めた複合量子系のユニタリ発展を解かなくてはならず、実際の系では解析が非常にむつかしくなることが多い。そこで、ここにいくつかの近似を課して対象系の発展方程式を簡単にするということが行われる。

よく行われる近似は環境系と対象系の相互作用が弱いとする近似である。これを課すことで、全系のユニタリ発展、さらには対象系に対する縮約された力学を摂動的に解くことが可能になる。また、その過程で初期状態として対象系と環境系の間に相関がない状態を用意する、という仮定がしばしば行われる。このような近似の下で得られた対象系のダイナミクスに対する摂動的方程式を、(摂動的)量子マスター方程式という。量子マスター方程式にはいくつかの種類があり、非マルコフ的な寄与を含む時間畳み込み型、時間非畳み込み型の非マルコフ型量子マスター方程式、そこからさらにマルコフ性を課して履歴効果を消去したマルコフ型量子マスター方程式が良く用いられる。しかし、量子マスター方程式の導出の過程で用いた、初期の無相関状態の仮定に対する物理的な正当化は十分になされていない。また、導出された量子マスター方程式は、非マルコフ型の場合には一般に微積分方程式あるいは係数が時間に依存する微分方程式の形をしており、その解析は容易ではない。

申請者は、摂動パラメータを含む微分方程式の体系的近似解法である「繰り込み群の方法」を用いて、量子開放系のダイナミクスを記述する摂動方程式を量子マスター方程式とは異なった視点から構築した。まず、環境系を含めた全系の Schrödinger 方程式に対して、相互作用が弱いと仮定し、解の摂動展開を行う。この場合、単純な摂動解の中に厳密解への近似を妨げる「永年項」が生ずることが一般に知られている。申請者は、この永年項を繰り込み群の方法によって取り除くことで、開放系の厳密なダイナミクスを大域的に近似する解を記述する方程式を与えた。

この方程式の導出過程で、量子マスター方程式の導出で要求された環境系と開放系の相関が初期に存在していないという仮定が、相関関数が摂動パラメータで決まる時間スケールより速やかに消えること（環境系が定常的かつ十分な「混合性」を持つこと）の帰結として正当化されることが明らかとなった。さらにこの混合性は、環境系を含めた全系の摂動的時間発展が、開放系のみ動的自由度のみで支配されるための十分条件を与えることを示した。また、この方法の下では開放系のダイナミクスを計算する際に必要となるのは時間に依存しない係数を持つ微分方程式を解くことであり、先述した量子マスター方程式の一般的な形である微積分方程式や係数が時間依存する微分方程式よりも多くの場合で解析が容易であることを明らかにした。