

Title	Relaxation Dynamics of Quantum Composite Systems : Validity of Markovian Master Equation Approach
Author(s)	中谷, 正俊
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49735
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	中谷正俊
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第22377号
学位授与年月日	平成20年6月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Relaxation Dynamics of Quantum Composite Systems : Validity of Markovian Master Equation Approach (量子複合系の緩和ダイナミクス：マルコフ型マスター方程式の有効性)
論文審査委員	(主査) 教授 小川 哲生 (副査) 教授 阿久津泰弘 教授 菊池 誠 准教授 時田恵一郎 准教授 浅野 建一

論文内容の要旨

相互作用しあう複数の部分系からなる複合量子系は、近年急速に発達している量子情報技術の分野において、重要な研究対象となっている。ここでは複合量子系として、結合量子ドットや共振器中にトラップされたイオンといった物理系が、エンタングルド状態の生成や、量子状態制御の研究などに使われている。このとき問題となるのが、まわりの環境との相互作用によって量子状態のコヒーレンスが失われる、デコヒーレンスである。環境によるデコヒーレンスによって、量子情報の重要な資源である量子コヒーレンスが失われることは、量子情報技術の実現を考える上での大きな問題である。したがって、デコヒーレンスといった量子複合系の緩和の機構を理解し、制御または回避することが強く望まれる。

量子系の緩和を記述するには、系の状態を表す密度演算子の運動方程式である量子マスター方程式が有用である。特に熱浴の相関時間が非常に短い場合には、マルコフ型マスター方程式によって記述できる。量子複合系の緩和に対しては、緩和項における内部相互作用の寄与を無視した、ad hoc なマルコフ型量子マスター方程式が頻繁に利用されている。しかし、この ad hoc なマスター方程式には大きな問題がある。マスター方程式から得られる定常状態が、有限温度にて環境である熱浴との熱平衡状態を再現しないのである。

そこで本研究では、量子複合系の緩和がどのように記述されるべきか明らかにする。そのためにまず、複合量子系に対するマルコフ近似の妥当性を再考した。その結果、緩和項に内部相互作用の寄与を残したままマルコフ近似することはできないことが分かった。このことは、複合系が定常状態に行き着くまでの緩和ダイナミクスを記述するためには、たとえ熱浴の相関時間が非常に短かったとしても、非マルコフ型マスター方程式を使う必要があることを意味する。また、ad hoc なマスター方程式と非マルコフ型マスター方程式の解を比較し、ad hoc なマスター方程式の適用範囲を調べ明らかにした。

次に、強結合領域においてマルコフ近似をする際に、新たな近似を加えることで、緩和項に内部相互作用の寄与を取り入れたマルコフ型マスター方程式の導出を行った。このマスター方程式の定常状態は、熱浴との熱平衡状態と一致することが解析的に確かめられる。また、非マルコフ型のマスター方程式の解との比較から、このマスター方程式の適用範囲は ad hoc なマスター方程式の適用範囲の相補的なものになっていることが分かった。量子複合系の緩和ダイナミクスをマルコフ型のマスター方程式で記述する場合には、着目するパラメータ

や時間スケールによって、これら二つのマスター方程式を使い分ける必要があるが分かった。

論文審査の結果の要旨

近年急速に発達している量子情報技術の分野において、相互作用しあう複数の部分系からなる複合量子系は、重要な研究対象となっている。このような複合量子系を用いて、量子もつれあい状態の生成や量子状態制御の研究が進められているが、このとき深刻な問題となるのが、その系の周囲の環境との相互作用によって量子状態のコヒーレンスが失われるデコヒーレンスで、これは量子系の緩和現象の一種である。量子情報技術の実現に向けても、開放系の量子力学に関する学理的理解に向けても、デコヒーレンスなどの複合量子系の緩和機構を微視的に理解することが強く望まれている。しかし、従来の多くの研究論文においては、複合量子系の緩和を記述するために、緩和項における系内部の相互作用の寄与を無視した「ad hocマルコフ型量子マスター方程式」が頻繁に用いられている。しかし、このマスター方程式の定常状態は熱平衡状態を記述しないので、「ad hocマルコフ型量子マスター方程式」による記述は不十分である。

本博士論文では、量子複合系の緩和がどのように記述されるべきかを明らかにすることを目的としている。そこでまず、(a)複合量子系に対するマルコフ近似の妥当性を精査することによって「ad hocマルコフ型量子マスター方程式」が複合量子系に適用できない理由を微視的に解明した。(b)さらに、複合量子系の緩和を正しく記述する非マルコフ型マスター方程式を数値解析することによって、「ad hocマルコフ型量子マスター方程式」による結果の誤りを定量的に評価した。同時に、この評価によって、「ad hocマルコフ型量子マスター方程式」の適用可能条件も明らかになった。(c)次に、複合量子系内部の相互作用が強い強結合領域においては、緩和項に内部相互作用の寄与を取り入れることの可能なマルコフ近似を開発し、新しい「強結合マルコフ型マスター方程式」を導出した。この新しいマスター方程式の定常状態は、熱平衡状態を正しく記述する。

量子複合系の緩和ダイナミクスは、一般には非マルコフ型マスター方程式で記述しなければならないが、マルコフ型のマスター方程式で近似的に記述する場合には、着目するパラメータや時間スケールによって、本博士論文で導出された新しい「強結合マルコフ型マスター方程式」と「ad hocなマルコフ型量子マスター方程式」とを適切に使い分ける必要があることが、微視的に明らかになった。これらの二つは相補的關係になっている。本博士論文の結果は、今後の実験との比較などによる検証が必要であるが、得られた知見は、量子情報技術開発のための基礎として有益だけでなく、ほとんど手つかずのままだった複合量子系の緩和理論に対して、学理的な新しい一歩となるものである。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値のあるものと認める。