

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	松本 雅生 (まつもと まさお)
○学位の種類	博士 (理学)
○授与番号	乙 第 514 号
○授与年月日	2013 年 3 月 8 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 2 項 学位規則第 4 条第 2 項
○学位論文の題名	NEW QUANTUM STATES AND THE DYNAMICS: COHERENT STATE PATH INTEGRALS BASED ON ARBITRARY FIDUCIAL VECTORS (新形式量子状態とその動力学: 任意の基点ベクトルにもとづくコ ヒーレント状態経路積分)
○審査委員	(主査) 池田 研介 (立命館大学理工学部教授) 城戸 義明 (立命館大学理工学部教授) 倉辻 比呂志 (立命館大学理工学部特別任用教授)

<論文の内容の要旨>

本申請論文の主旨:

本申請論文は新形式のコヒーレント状態の構成, およびその経路積分への適用, さらに典型的応用として幾何学的位相に関する新観点を提示したものである. 典型的な例として, ボソンコヒーレント状態およびスピニコヒーレント状態をとりあげている.

背景; 従来型のコヒーレント状態:

量子力学的状態を記述する表示として, いわゆるコヒーレント状態が種々の系において有効であることが知られている. 通常のボソンコヒーレント状態は, 真空状態 (フォトンゼロ状態) に並進演算子を作用させることによって得られる. また, スピニコヒーレント状態はスピンの最低状態に回転演算子を作用させることによって構成される. さらに一般に, あるリー群の最低ウェイト状態を『ひとつの基盤量子状態 (fiducial state とよぶ)』として, ユニタリー演算子を作用させて構成されるものが, Perelomov, Gilmore による一般化されたコヒーレント状態 (generalized coherent state = GCS) である. ボソンコヒーレント状態, スピニコヒーレント状態は GCS の特別な場合とみられる. この GCS の特徴は, 『完全性関係 = 1 の分解』が成立するところにある. このような GCS で一括りされるコヒーレント状態は『従来型コヒーレント状態 (conventional coherent state)』とよぶべきものである.

拡張型コヒーレント状態 (Extended coherent state):

本申請論文の眼目は、特定の基盤状態から出発する『従来型コヒーレント状態』を拡張した、いわば extended coherent state を、ボソン状態とスピン状態の場合に構成したことである。すなわち、一連の「励起状態」（これは既約表現の組）の『1 次結合』を基盤状態として採用できることを見いだしたことである。（ちなみに、学位申請者の見いだした観点をもとに、Michel Stone によってリー群の既約表現の立場から一般の場合において構成されることが証明されたことを付記しておく）。この拡張によって物理的に期待されるあらたな観点は、たとえば、現実問題において、「フォトン数」が大きな状態からコヒーレント状態を構成できることを意味し、従来型コヒーレント状態で記述が困難な高励起状態配位における量子状態の解析にとって有効な手段を与えるものと期待される。さらに他の広汎な問題にもアプローチできる可能性を有している。その意味で、本理論で展開される手法は将来の新たな問題への 1 ステップとしてさらなる発展が期待される。

<論文審査の結果の要旨>

完全性関係の成立と経路積分の構成：

ここで決定的に重要なことは、このように拡張されたコヒーレント状態においても従来型 CS において成り立つ「完全性関係 = 1 の分解」が依然として成り立つことである。この事実を学位申請者は、直接計算によって証明した。この完全性関係を用いることによって経路積分がただちに構成される。それは従来型のコヒーレント状態経路積分に対する付加項をあたえる。この付加項に関して、とくに、スピン系の場合についてゲージ不変性との関連において詳細な分析がなされた。その結果、スピン系の作用関数のなかの幾何学的項（正準項）を規定している『モノポール構造』の特性が明らかにされた。

幾何学的位相の構成：

さらに重要な帰結は、幾何学的位相に関するものである。幾何学的位相と従来型コヒーレント状態の関連は以前から知られているが、拡張型コヒーレント状態経路積分においても依然として、この関連性は有効であることが議論された。とくに、スピニコヒーレント状態の場合にたいして、NMR 型ハミルトニアンに対し、ベリー位相の古典的結果を再現できることが示された。しかしながら、従来のベリー位相とは異なり、断熱定理には依拠しないという意味でより一般性を有している。このように、周知の結果を再現するにとどまらず、あらたな効果を予言する可能性が理論構成のなかに含まれている。さらに、幾何学的位相の干渉による実験的検証の可能性が示唆された。

以上みたように、『拡張型コヒーレント状態』の構成は、一見きわめて単純にみえるにも関わらず、学位申請者によってはじめて見いだされたものであり、それをもとに従来型理論から踏み出たあらたな理論が展開されたものとして高く評価される。

本論文の審査に関して、2013 年 2 月 5 日（火）17 時 30 分～19 時、ウエストウイング 7 階数学物理系会議室 2 において公聴会を開催し、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者松本雅生に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者

より、当該理論の構成、その意義、将来への展望などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本学学位規程第 24 条の 3 に基づき、学位申請者に対して学力確認のために専門科目（物理学基礎科目）および外国語（英語）の試験を行った。試験結果を主査、副査で検討した結果、本学大学院博士課程後期課程修了者と同等以上の学力を有することが確認された。

以上の諸点を総合し、本学学位規程第 18 条第 2 項に基づき、学位申請者に対し、「博士（理学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。