

氏 名	ひ の はら のぶ お 日 野 原 伸 生
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3246 号
学位授与の日付	平 成 20 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Microscopic Description of Nuclear Large-Amplitude Collective Motion by Means of the Adiabatic Self-Consistent Collective Coordinate Method (断熱的自己無撞着集団座標法を用いた原子核大振幅集団運動の微視的記述)
論文調査委員	(主 査) 准教授 松 柳 研 一 教 授 永 江 知 文 教 授 川 合 光

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大振幅集団運動の微視的理論である Adiabatic Self-Consistent Collective Coordinate (ASCC) 法に基づいて オプレート変形状態とプロレート変形状態が同一のエネルギー領域に共存する、いわゆる変形共存現象のミクロなダイナミクスを分析し、この現象の基本的特徴を理論的に説明する事に成功した研究の成果を系統的に纏めたものである。その主要内容は以下の3つに要約できる。

1. ゲージ不変ASCC理論の定式化：

ASCC 理論は超流動状態にある原子核における大振幅集団運動の微視的記述を目指して、2000年に松尾正之（新潟大）らによって提案されたものである。申請者は、集団経路（collective path）を決定する ASCC 法の基本方程式が粒子数ゆらぎに関する Nambu-Goldstone モードを含むある種のゲージ変換に対する不変性を有することを発見し、このゲージ不変性の為、集団経路を数値的に求める際に任意性が生じ、解が実はユニークに定まらないことを示した。更に、申請者は解をユニークに決定する有効なゲージ固定法を開発し、ゲージ不変 ASCC 理論というより一般化された理論を定式化することに成功した。本論文ではこの新しい理論を系統的かつ詳細に展開している。

2. 大振幅集団運動の慣性質量の微視的計算：

ゲージ不変 ASCC 法に基づいて、大振幅集団運動の慣性質量（inertial mass function）の性質を分析し、広く用いられているクランキング質量と比較した。その結果、一般的に、ゲージ不変 ASCC 法で得られた慣性質量はクランキング質量より大きくなることを見つけた。そして、この理由が self-consistent 平均場の時間発展によって誘起される（時間反転対称性を破る）平均場の time-odd 成分の寄与が前者では self-consistent に取り込まれているが後者では無視されているためであることを明らかにした。特に、四重極対相関力に伴う対場（pair field）の time-odd 成分が慣性質量を増大させることを定量的に示した。

3. オプレート・プロレート変形共存現象の微視的分析：

ゲージ不変 ASCC 法を用いて微視的に導出した（古典的）集団ハミルトニアンを量子化して励起スペクトルや電磁遷移の性質を計算する手法を開発した。この手法を用いて、陽子過剰の $N=Z$ 核、Se68 と Kr72 に対する最近の実験で見だされたオプレート・プロレート変形共存現象のダイナミクスを微視的に分析した。そして、励起スペクトルのパターンや電磁遷移強度の性質に見られる変形共存現象の基本的特徴を理論的に再現することに成功した。計算結果は、角運動量がゼロの状態ではオプレート変形とプロレート変形が軸対称性を破る四重極変形領域を経由する集団径路を通じて強く混合するが、角運動量の増大につれて混合が弱くなることを明瞭に示している。この結果はオプレート変形とプロレート変形を繋ぐ大振幅振動運動と非軸対称変形に伴う 3 次元回転運動の絡み合い、特に、回転運動が異なる変形の混合を抑制することを示していて極めて興味深い。

論文審査の結果の要旨

大振幅集団運動に対する微視的理論を構築するという課題は、原子核構造の多体問題のなかでも格別にチャレンジングな課題として歴史的にも多くの優れた研究者がチャレンジしてきた。一般化された平均場近似の観点からいえば、原子核における変形共存現象とは複数の異なる形をもつ平均場の平衡状態が同一の励起エネルギー領域に共存する現象である。静的な平均場近似では、それらは変形ポテンシャル曲面の異なった極小点に対応する。しかし、実際にはこれらの極小点間のポテンシャル障壁を透過するトンネル効果によって、これらの異なる形はダイナミカルに混合すると考えられる。このトンネル効果は有限量子多体系における大振幅集団現象である。この混合が弱ければ、異なった形をもった励起状態が個性を保って共存するが、混合が強ければ個性は失われる。この混合のダイナミクスを記述するためには、異なる平衡点をまたがる大振幅の集団運動を記述できる微視的理論が必要である。

そのような理論を構築しようという試みは長い歴史をもつが、原子核構造の微視的理論における難問として未解決の深刻な問題を抱えていた。申請者は2000年以後、松尾正之らによって開発されてきたASCC法の成果を継承しつつ、現在まで未解決であった問題を解決した。更に、微視的に導出された古典的集団ハミルトニアンを量子化して低励起スペクトルや電磁遷移確率を計算する新しい手法を開発した。こうして、ASCC理論を現実の変形共存現象に適用することを可能にした。申請者は、典型例として、陽子過剰の $N=Z$ 核、Se68とKr72に対する最近の実験で見だされたオブレート・プロレート変形共存現象のダイナミクスを微視的に分析した。そして、実験データに見られる変形共存現象の基本的特徴を理論的に再現することに成功した。この仕事は時間に依存する平均場理論に基づく大振幅集団運動理論を超流動状態にある現実の原子核における集団現象に適用する事に世界で初めて成功した画期的な業績である。

この仕事の中で、申請者は、1) 有限量子系における超流動（核子ペアの凝縮）に伴うゲージ不変性を取り扱う新しい方法を開発し、2) 対場の時間変化に伴う（一般化された）平均場のtime-odd成分の効果を自己無撞着に取り入れると大振幅集団運動の慣性質量が大きくなる事を示し、更に、3) 平均場の異なる平衡点にまたがる大振幅の振動運動と軸対称性を破った平均場に伴う3次元回転運動の絡み合いの結果、異なる変形の混合が回転運動の角運動量の増大につれて弱まってくことを見つけた。

原子核構造における多様な集団現象はほとんどの場合、多くのパラメタを含んだ現象論的モデルの枠組みの中で議論されており、集団変数それ自身を核子自由度から出発し微視的かつ自己無撞着に導出する基礎的アプローチが開発されたことの意義は極めて大きい。この仕事には将来の飛躍的な発展を期待させるものがある。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、論文内容とそれに関連した事項について諮問を行った結果、合格と認めた。