

# 論文審査の結果の要旨

氏名 宮城 宇志

本論文は5つの章及び7つのAppendixからなる。まず第1章では、核子多体系研究の歴史的背景と現状が紹介され、本学位研究の目的が、第一原理的な計算に基づいて広い質量領域にわたる原子核の基底状態エネルギーとその半径を評価し、その結果を通して、核子-核子相互作用だけでは不十分な多核子相互作用の影響を探ることであることが述べられる。その上で、本研究の結果の概要が述べられ、論文全体の構成が提示されている。次の第2章では核子-核子相互作用についての説明がなされ、特に本研究で取り扱うAV18、CD-Bonn、 $N^3L0$ 型相互作用が導入され、それらの特徴が物理的な観点から比較されている。ここで重要なのは、計算の便宜上必要となる調和振動子の人為パラメーター $\hbar\omega$ の存在であり、それが整合性の観点から最終的な物理的な結果から排除されるように計算方法を組み立てるべきことが強調されている。さらに、核子-核子相互作用の短距離における問題点を解決するための有効理論であるkubo-Lee-Suzuki (OLS) 型の有効相互作用と、これと組み合わせる繰り込み群の技法 (SRG) が併せて紹介されている。

続く第3章及び第4章は、本学位論文の根幹を成す部分である。まず第3章では、本研究の中心的手法であるユニタリ模型演算子法 (UMOA) の詳しい説明が与えられる。基礎的なHartree-Fock近似の問題点が指摘され、多体相関を考慮に入れる方法としてUMOAが導入されるが、ここではさらにOLSによる変換を通して特定の粒子-空孔 (nph) の励起状態を分離する手法が述べられ、物理量を計算するための具体的手続きとして2つの方法が提示される。その1つ (Method I) は従来からの方法であり、2p2hの励起状態からの関与を除去することが1個の因子 $S^{(2)}$ による相似変換により達成される。一方、本論文で提案された方法 (Method II) では、一体相関演算子の因子 $S^{(1)}$ を $S^{(2)}$ に加えた相似変換を用いることにより、さらに1p1hの状態を他の励起状態から相互作用上で分離する。この方法により、懸案であった $\hbar\omega$ 依存性の抑制できることが予想されることが述べられる。

次の第4章では、まず従来からの方法 (Method I) を用いて、具体的に二重魔法数を持つ ${}^4\text{He}$ ,  ${}^{16}\text{O}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ ,  ${}^{56}\text{Ni}$ 原子核について、CDBonn相互作用を用いて基底状態のエネルギーと半径を数値的に評価し、それらが現実に大きな $\hbar\omega$ 依存性を持つことを示す。その上で、第3章で新たに開発した方法 (Method II) を用いて同様の計算を行い、その結果が予想通り、

$\hbar\omega$  依存性を抑制するものになっていることを確かめている。次に、この新しい UMOA (Method II) と他の第一原理的な計算手法を比較するために、カイラル有効場理論に基づく相互作用をSRG変換した核子-核子相互作用等を用いて、 ${}^4\text{He}$  と酸素同位体の基底状態エネルギーを計算し、UMOA が他の第一原理的な計算手法と同様に有効な方法になっていることを確かめている。さらにSRG変換した核子-核子相互作用を用いて、 ${}^4\text{He}$  から  ${}^{218}\text{Pb}$  までのいくつかの閉殻な原子核に対して系統的に基底状態エネルギーと半径を計算し、中性子スキン厚  $\Delta r_{\text{np}}$  が実験値の経験的な傾向と一致することが示されている。

最後の第5章では、本論文のまとめと今後の研究の展望が述べられており、本研究で提案されたUMOA (Method II) 法は、他の第一原理計算の結果と比較しても理論としての有効性と整合性が十分であることが確認できたとしている。その一方で、実験結果の精確な再現に向けて3核子相互作用をより系統的に組み込む必要があることが、今後の課題として述べられている。猶、Appendixでは、計算過程や有効相互作用など、本文で展開された技法の補足説明と、数値計算の結果が記載されている。

本論文の目的は、上述のように核子多体系の物理的性質の解明に向けた理論的枠組の整備であり、特に第一原理計算に基づいて、従来のUMOA と呼ばれる方法を改善し、整合的な計算方法にすることであった。この目的は、広い範囲の原子核における種々の物理量の数値計算結果から見て、十分達成されていると判断できる。また論文提出者は、3核子相互作用の重要性を新たな視点から議論しており、理論だけでなく、今後、実験結果への接近を図る上でも、本研究が着実な貢献を与えているものと評価できる。

以上をまとめると、本論文の研究は、広い範囲の原子核の系統的な分析のための新たな理論的枠組と数値計算の手法を開発し、今後の実験結果における相互作用の分析への道筋をつけたものであり、原子核物理学の研究として十分に高いレベルにあり、また学位論文として優れた内容を持っているものと判断できる。

なお、本論文の第3章及び第4章の内容は、岡本良治、阿部喬、大塚孝治の各氏との共同研究であるが、根幹部分は論文提出者が主体となって確立したものであり、数値計算部分の分析においても論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認める。