

## 自己評価報告書

平成23年4月18日現在

機関番号：12601

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008~2013

課題番号：20105003

研究課題名（和文）クォーク力学に基づく原子核構造

研究課題名（英文）Nuclear Structure based on Quark Dynamics

研究代表者

初田哲男 (HATSUDA Tetsuo)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号：20192700

研究分野：ハドロン物理学

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：格子QCD, 原子核構造、中性子星、ストレンジネス

## 1. 研究計画の概要

過去数年間に、素粒子論と原子核論の分野において、真空と物質のクォーク構造の理解に向けた確実な進歩が生まれつつある。

素粒子論においては、クォークの真空偏極を考慮した格子QCD計算（いわゆるフルQCD計算）が大きく進歩し、体積(6 fm)<sup>3</sup> かつ物理的クォーク質量での計算が手の届く範囲に見えてきた。一方、原子核論においては、現実的核力を用いた核子多体系の厳密計算が可能になりつつある。また、原子核構造論の基礎である核力を格子QCD計算から理論的に導出する道が、本計画研究のメンバーである初田、青木、石井により拓かれ、格子QCD計算による軽い原子核の直接計算の第一歩も蔵増らにより踏み出されている。

このように、これまで別々に研究されていた隣接する階層の物理が計算科学の進歩により融合し統一的に研究できる可能性が、本計画研究に参加する研究者の貢献により拓けてきている。

本計画研究では、フルQCD計算により、核力やバリオン間相互作用の全解明を目指すとともに、その結果に基いた大規模数値計算により原子核構造論、ハイパー核構造論、中性子星内部の高密度物質の構造論を系統的に展開する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) クォークの真空偏極を取り入れたフルQCD計算により、SU(3)極限でのバリオン-バリオン相互作用が導かれた。その結果、クォークのパウリ原理に起因して、短距離でのバリオン間相互作用が決まっていることが明らかになった。さらに、フレーバー重項においては、短距離での引力芯の存在を明らかになった。

(2) 核力の短距離部分に関する理解を深めるために、フレーバーSU(3)での演算子展開を持った解析的研究を行い、数値シミュレーションで得られている斥力芯の構造との比較が行われた。

(3) モンテカルロ殻模型の新しい数値計算コードとアルゴリズムを開発し、特に誤差評価と外挿に関してエネルギー期待値の偏差を用いる新しい方法が提唱された。

(4)  $\alpha\alpha n \Lambda \Lambda$ の5体系の厳密計算を、基底状態と励起状態に関して、ガウス展開法を用いて実行した。

(5) TDHFB方程式のカノニカル基底形式を開発することで、計算時間を大幅に削減することを可能にし、Ne および Mg 原子核のE1遷移分布の系統的計算が行われた。

## 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。研究代表者、研究分担者のそれぞれの研究は順調に進展しており、QCDからの現実的核力の導出と、それに基づく原子核構造研究というゴールに向かってすすんでいる。

#### 4. 今後の研究の推進方策

H23 年度には、次世代スパコン「京」を用いた格子 QCD の現実的シミュレーションおよびモンテカルロ殻模型計算に向けたチューニングを開始する。また、格子 QCD 計算により得られた核力を用いた少数系厳密計算を本格的に開始する。H24 年度には、「京」を用いた本格的計算を開始する。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① S. Aoki, T. Hatsuda and N. Ishii,  
“Theoretical Foundation of the Nuclear Force in Lattice QCD”,  
Prog. Theor. Phys. 123 (2010) 89-128  
(査読有)
- ② N. Shimizu, Y. Utsuno, T. Mizusaki,  
T. Otsuka, T. Abe, M. Honma,  
“Novel Extrapolation Method in the Monte Carlo Shell Model”,  
Phys. Rev. C82 (2010) 061305 (査読有)
- ③ K. Nagata and A. Nakamura,  
“Wilson Fermion Determinant in Lattice QCD”,  
Phys. Rev. D82 (2010) 094027  
(査読有)
- ④ K. Hashimoto, N. Iizuka and T. Nakatsukasa,  
“N Body Nuclear Forces at Short Distances in Holographic QCD”,  
Phys. Rev. D81 (2010) 106003 (査読有)
- ⑤ E. Hiyama, M. Kamimura, Y. Yamamoto and T. Motoba,  
“Five-body cluster structure of double hyper- $\Lambda$  hypernucleus  $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ ”,  
Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 212502 (査読有)

[学会発表] (計 4 件)

- ① T. Hatsuda, “Nuclear Physics from Lattice QCD”, Invited talk at Lattice 2010 (July 19, 2010, Sardinia, Italy)
- ② S. Aoki, “Recent progress on nuclear potentials from lattice QCD”, Invited talk at ICHEP 2010 (July 23, 2010, Paris, France)
- ③ T. Hatsuda, “Nuclear Forces from Lattice QCD”, Invited talk at Chiral Dynamics 2009 (July 7, 2009, Bern, Switzerland)
- ④ T. Hatsuda, “Nuclear Force from Lattice Quantum Chromodynamics”, Invited talk at Nishina Memorial symposium in honor of Professor Y.

Nambu (Oct. 27, 2009, Kyoto, Japan)

[図書] (計 1 件)

- ① T. Hatsuda and K. Maeda,  
“Quantum Phase Transitions in Dense QCD”,  
(Taylor and Francis, 2010) Chap. 25

