

## 自己評価報告書

平成 23 年 4 月 21 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20105002

研究課題名（和文）量子色力学にもとづく真空構造とクォーク力学

研究課題名（英文）Vacuum structure and quark dynamics in QCD

研究代表者 大野木 哲也 (ONOGI TETSUYA)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：70211802

研究分野：素粒子理論

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, 計算機シミュレーション, フレーバー物理, ハドロン

## 1. 研究計画の概要

本研究の目的は (1) 格子計算を用いた第一原理計算によって QCD の真空構造とクォーク力学を解明し (2) 格子 QCD 計算にもとづいてハドロンの相互作用を第一原理から計算することで低エネルギー有効理論や核力を精密に決定し (3) 原子核理論で記述される階層へつなぐ基礎的な理論情報を提供することである。この目的を達成するため格子 QCD の理論と計算手法の研究を推し進め精密な第一原理計算の基本を確立することを目標とする。優れたアルゴリズム (A04 班との連携) と大規模な計算資源を用い、より細かい格子、より大きな体積、より精度のよいカイラル極限の計算を実現し格子 QCD 計算の基礎を確立する。そして有効理論のパラメータの決定や、ハドロン散乱の格子計算を通じて核理論や宇宙物理など重要なインプットを高精度で与えることができる。またこの手法は素粒子のフレーバー物理等、新しい物理を念頭においた研究にも自然に応用が可能で様々な進展が期待できる。

## 2. 研究の進捗状況

2008年度 分担者および連携研究者の大部分のメンバーが格子 QCD の共同研究グループである JLQCD collaboration か PACS-CS collaboration に所属している。それぞれの研究グループで 2+1 フレーバー QCD のシミュレーションの方針と今後の戦略についての

検討を行った。

2009年度 JLQCD collaboration による厳密なカイラル対称性を持つ Overlap フェルミオンによる 3 フレーバーの full QCD シミュレーションで得られたサイズ 2fm、格子間隔 0.12fm のゲージ配位を用いてカイラルダイナミクスの検証を行った。深谷らによるクォークのスペクトル関数のカイラル摂動論との比較、野秋らによる低エネルギー定数の決定、金児らによる  $\pi$  中間子形状因子の決定が主な成果である。これにより QCD の真空およびカイラルダイナミクスに関する現象を格子ゲージ理論から探究する手法が確立した。新谷らは真空偏極からの強い相互作用の結合定数の決定を行った。PACS-CS collaboration による 0(a)-改良された Wilson fermion による 3 フレーバーの full QCD において、サイズ 3fm 格子間隔 0.09fm のゲージ配位を用いて、青木らは物理的なクォーク質量直上でのシミュレーションに成功した。バリオンも含む様々なハドロンの質量スペクトル、崩壊定数などの基礎的物理量の決定を行った。共鳴状態を除く多くのハドロンに対し実験値の 5% の誤差範囲内で再現することに成功した。これをもとにハドロン相互作用に関する研究の進展が期待できる。山崎らはクォークの真空偏極を無視する近似でヘリウム原子核を量子色力学の第一原理から求める計算を行った。

2010年度 PACS-CS collaboration による (a)-改良された Wilson fermion による 3 フレーバー QCD において、青木らはクォーク質量の非摂動的繰り込みの決定を行った。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。  
(理由) 格子 QCD の精密化を図り、QCD の真空構造とハドロンダイナミクスの性質を明らかにすることを目的とし、順調に研究を進めている。すでにカイラル対称性の破れの検証、物理的クォーク質量でのハドロンスペクトル解析、ハドロン多体系のシミュレーションなどにおいて、重要な成果を挙げた。A02 領域の主要研究者との連携も強い。

### 4. 今後の研究の推進方策

JLQCD collaboration による厳密なカイラル対称性をもつ Overlap fermion による 3 フレーバーの full QCD シミュレーションをより大きな体積やより細かい格子間隔でのシミュレーションのための準備をすすめ、含む格子 QCD 計算から、 $\pi$  中間子や K 中間子はもちろん、核子やあるいはチャームクォークを含むハドロンを含め広い範囲でカイラルダイナミクスやフレーバー物理への応用を行う。PACS-CS collaboration による 0(a)-改良された 3 フレーバーの full QCD シミュレーションで得られた体積  $(3\text{fm})^4$ 、格子間隔 0.1fm のゲージ配位を用いて、軽いクォークからなるバリオンも含む様々なハドロンの質量スペクトル、崩壊定数などの基礎的物理量の決定を行う。さらなるアルゴリズムの改良を検討し、体積  $(6\text{fm})^4$  非常に汎用性の高いゲージ配位を生成し、ハドロン相互作用の研究をすすめる。

### 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 8 件)

- [1] T. Yamazaki, Y. Kuramashi, A. Ukawa, "*Helium Nuclei in Quenched Lattice QCD*", Physical Review D81:111504, 2010. 査読あり
- [2] H. Fukaya, S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki, T. Onogi, N. Yamada,

"*Determination of the chiral condensate from 2+1-flavor lattice QCD*", Physical Review Letters 104:122002, 2010. 査読あり

[3] S. Aoki, K.-I. Ishikawa, N. Ishizuka, T. Izubuchi, D. Kadoh, K. Kanaya, Y. Kuramashi, Y. Namekawa, M. Okawa, Y. Taniguchi, A. Ukawa, N. Ukita, T. Yamazaki, T. Yoshie, "*Physical Point Simulation in 2+1 Flavor Lattice QCD*", Physical Review D81:074503, 2010. , 査読あり

[4] J. Noaki, T. W. Chiu, H. Fukaya, S. Hashimoto, H. Matsufuru, T. Onogi, E. Shintani, N. Yamada, "*Non-perturbative renormalization of bilinear operators with dynamical overlap fermions*", Physical Review D 81, 034502 (2010), 査読あり

[5] S. Aoki, T. W. Chiu, H. Fukaya, S. Hashimoto, T. H. Hsieh, T. Kaneko, H. Matsufuru, J. Noaki, T. Onogi, E. Shintani, N. Yamada, "*Pion form factors from two-flavor lattice QCD with exact chiral symmetry*", Physical Review D 80, 034508 (2009), 査読あり

[学会発表] (計 11 件)

[1] 山田憲和 "Conformal window in many flavor QCD", 国際シンポジウム "From Quarks to Supernovae", 2010年11月28日, 静岡県賀茂郡東伊豆町熱川ハイツ

[2] 大野木 哲也 "Lattice Problems for Particle Physics Phenomenology", Lattice QCD confronts experiments - Japanese-German Seminar 2010, 2010年11月4日, 三島商工会議所会館 (静岡県)

[3] 蔵増嘉伸, "Progress in Lattice QCD", 35<sup>th</sup> International Conference on High Energy Physics ICHEP 2010, 2010年7月27日, Palais des Congrès de Paris, France