

## 自己評価報告書

平成23年 5月11日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2012

課題番号：20540261

研究課題名(和文)

ゲージ理論の量子論的力学の解明

研究課題名(英文) Study on quantum dynamics of gauge theories

研究代表者

早川 雅司 (Hayakawa Masashi)

名古屋大学・基礎理論研究センター・准教授

研究者番号：20270556

研究分野：数物系科学

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：素粒子(理論)

## 1. 研究計画の概要

本研究は、既知のゲージ相互作用が支配する諸現象の記述と正味の予言能力を備えた素粒子模型構築、両者の観点からゲージ理論の量子論的力学を解明することを目的としている。電磁相互作用の素過程の強さを表す微細構造定数を世界最高精度で決定するため、電子の異常磁気モーメント( $g-2$ )へのQEDの10次摂動の寄与をすべて計算する。 $\mu$ 粒子の $g-2$ による超対称性の検証のため、QCDが光・光散乱が及ぼす寄与の誘導する寄与を格子QCD数値実験による予言を与える。電弱ゲージ対称性の破れの機構と物質の質量の起源の解明を目的とし、格子ゲージ理論によって、walking technicolor力学の分析を遂行する。また、現時点では不定性の大きい軽いクォークの質量の値を、格子ゲージ理論数値実験により精密に決定する方法を開拓する。

## 2. 研究の進捗状況

(1) ゲージ理論の摂動計算手法の開拓も目的として遂行してきた、レプトンの異常磁気モーメントにおけるQEDの10次摂動補正の計算は、必要とされる数値計算プログラムの約9割を平成22年度までに完成した。2通り以上の計算方法で得た結果の間の整合性を確認した補正の寄与に関しては、逐次成果を報告してきた。これまで使用してきた計算機の本運用再開のめどがたらず、数値計算は停止中である。

(2) ミュー粒子の異常磁気モーメントにおけるQCD補正、特にQCDによる光・光散乱が誘導する寄与の計算は、テスト計算においてQEDに関する非摂動方法を機能させる段階で見つかったため、現在ディラック演算子の

小さい固有値モードを露に求めることで問題点が克服されるかを調べる準備をしている。

(3) 電弱対称性の破れの動的起源を引き起こす適切なゲージ理論の探求として、カラー数が3で10個の“クォーク”を含むゲージ系の力学に注目し、その有効結合定数のエネルギー依存性を数値シミュレーションにより決定した。そして赤外固定点を持つ可能性について報告した。

(4) 格子QCDシミュレーションにQED補正を含める一つの方法によって軽い擬スカラー粒子の質量を計算して、3つの軽いクォーク(アップクォーク、ダウンクォーク、ストレンジクォーク)の質量の値を与えた。この過程において、有限体積上のQEDを定義し、系統誤差の一つである有限体積補正の定量的な考察を行った。

## 3. 現在までの達成度

(1) QEDの10次摂動計算に関しては、試行錯誤が必要と考えていた点で解決したものが多数あったため、当初の計画よりもかなり早く進行している。

(2) 格子QCD数値実験の技術的な点の改良を盛り込んだシミュレーションをまだ行っていないことも起因して遅れている。

(3) 10個のクォークを含むSU(3)ゲージ理論の有効結合定数を決定する上で想像を超えた統計量が必要であったこと、及び、計算機調達業務に多大な時間を割かれたことにより、研究の進行は遅れている。

(4) 軽い3つのクォークの質量の値の決定に関しては当初最低限すべきこととして計画したことを、やや遅れはしたものの、終了した。

#### 4. 今後の研究の推進方策

(1) 数値計算が今後遅延することは避けることができないが、2重チェックのための計算方法の開拓と必要な数値計算プログラムの作成を中心に続けていく。

(2) 22年度中に参加したミュー粒子の異常磁気モーメントに関するミーティングを経て、USA内の計算機資源を光-光散乱の寄与の計算に使用できる見込みが出てきた。現在着手中のソフトウェア開発を終えて本年度中に正味の計算が開始する計画である。

(3) 調達作業を経て導入した計算機が正味使用できないことが判明し、本研究を推進する上での計算機資源をまず確保することが課題である。また、計算コストを小さくするため、カラー数が2のゲージ系のうちで興味深いと思われる6個の"クォーク"を含む系の力学に注目し、その非摂動力学を格子ゲージ理論の方法により分析する。

(4) これまでの研究で提示したクォークの質量の値には、仮想クォークの電荷を源とするQED補正が考慮されていない。今後の研究では、**reweighting**をはじめ、この補正を含める上で有効な方法を検討していく。

#### 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12件)

① T.Aoyama, M.Hayakawa, T.Kinoshita and M.Nio, ``Tenth-Order QED contribution to Lepton Anomalous Magnetic Moment - Fourth-Order Vertices Containing Sixth-Order Vacuum-Polarization Subdiagrams'', Physical Review D 83, 053002-1~053002-16 (2011)、(査読付)。

② T.Aoyama, K.Asano, M.Hayakawa, T.Kinoshita, M.Nio and N.Watanabe, ``Tenth-order lepton sixth-order light-by-light-scattering subdiagram internally'', Physical Review D 81, 053009-1~053009-7 (2010)、(査読付)。

③ T.Blum, R.Zhou, T.Doï, M.Hayakawa, T.Izubuchi, S.Uno and N.Yamada, ``Electromagnetic mass splittings of the low lying hadrons and quark masses from 2+1 flavor lattice QCD+QED'', Physical Review D, 094508-1~094508-47 (2010)、(査読付)。

④ T.Aoyama, M.Hayakawa, T.Kinoshita and M.Nio, ``Tenth-Order Lepton Anomalous Magnetic Moment: Second-Order Vertex Containing Two Vacuum Polarization Subdiagrams, One Within the Other'', Physical Review D 78, 113006-1~113006-7 (2008)、(査読付)。

⑤ T.Aoyama, M.Hayakawa, T.Kinoshita, M.Nio and N.Watanabe, ``Eighth-Order Vacuum-Polarization Function Formed by Two Light-by-Light-Scattering Diagrams and its Contribution to the Tenth-Order Electron  $g-2$ '', Physical Review D 78, 053005-1~053005-14 (2008)、(査読付)。