

課題名 (タイトル) :

第一原理による有限密度 QCD の研究

利用者氏名 : 境 祐二

所属 : 望月理論生物学研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

クォークとグルーオンは通常ハドロン (核子や中間子など) の中に閉じ込められており、個別に取り出すことはできない。しかし、1 兆度以上の高温、あるいは高密度の環境ではクォークはハドロン内から解放され非閉じ込め状態になり、クォーク・グルーオン・プラズマと呼ばれる新たな相が現れる。また、そのときクォークの質量は急激に減少しカイラル相転移といわれる現象が現れる。このように温度と密度を変数とするパラメタ空間で、QCD は豊かな相構造を持つと予想される。こうした QCD 相転移の詳細は、初期宇宙の進化や、高密度相が実現される可能性がある超新星爆発を理解する上で重要になる。こうした QCD の極限状態を理解しようと、クォーク・グルーオン・プラズマを地上で実現する高エネルギー原子核衝突実験が RHIC や LHC で国際的プロジェクトとして進められている。それらの性質の解明にも QCD 相転移の理解が欠かせない。QCD は強結合で非常に非線形性の強い理論なので、その理論的解析は一般に非常に困難である。格子 QCD にもとづく計算機シミュレーションは、その唯一の系統的アプローチを与えている。本研究課題では、格子 QCD 計算を用い有限温度密度相転移を解析し、宇宙初期や中性子星の中心部の解明を目指す。

2. 具体的な利用内容、計算方法

しかし、格子 QCD 計算は有限密度で符号問題を持っており、計算手法が確立していない。そこで符号問題のない領域に着目し、一般に有限密度でのゲージ理論の性質を理解する。そのような領域として、クォークの色自由度を 3 から 2 に落とした two color QCD (QC₂D) がある。QC₂D は閉じ込め相転移など現実の QCD と似た性質を持っており、密度の効果でこれらの相転移がどう変化

するかを調べることができる。QC₂D を格子 QCD と同様にモンテカルロ計算を用いて系統的に解明する。

3. 結果

まず、QC₂D の相構造について解析した。QCD の符号問題を避ける方法として、虚数密度から解析接続する方法がある。虚数密度領域の全ての情報が得られれば原理的には実数密度の情報を問題なく得られるはずだが、数値計算上いろいろな近似を行う必要があり、近似をした結果が正しい結果を与えるとは限らない。QC₂D は虚数、実数の量密度領域において第一原理計算が実行できるので解析接続法の妥当性を確かめることができる。まず、虚数密度領域で第一原理計算を行い、得られた結果を再現する有効モデルを構築した。次に、このモデルを実数密度領域に解析接続し、実数密度領域の第一原理計算と比較した。

それにより単純な多項式による解析接続に比べ、我々が提唱した有効モデルによる解析接続の方が高い再現性を示すことができた。また、有効モデルを改良することでさらに良い一致を得ることができることを示し、有効モデルによる解析接続の優位性を示すことに成功した。この結果は、論文として Physical Review D に投稿している。

4. 今後の計画・展望

本年に引き続き、有限密度 QC₂D を詳細に解析し、様々な物理量の密度依存性について解析して行く予定である。

平成 26 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

T. Makiyama, Yuji Sakai, T. Saito, M. Ishii, J. Takahashi, K. Kashiwa, H. Kouno,
A. Nakamura, M. Yahiro, submitted to Physical Review D
「Phase structure of two color QCD at real and imaginary chemical potential;
lattice simulation and effective model analyses」

【国際会議、学会などでの口頭発表】

日本物理学会年次大会, 平成 25 年 3 月, 東海大学
境祐二, 齋藤卓也 「SU(2)格子ゲージ理論による有限密度系のクォークとグルーオン伝搬関数の研究」