論文審査の結果の要旨

氏名　金　澤　拓　也

本論文は４章と補遺 A、B、C、D からなる。

第１章は、イントロダクションであり、研究の背景と目的について述べられている。有限温度及び有限密度における QCD の相図を考えるとき、ゼロ温度及びゼロ密度におけるカイラル対称性の破れの理解に重要な役割を果たすカイラルランダム行列模型を、高密度における２-カラーQCD に拡張し、Dirac 演算子の固有値スペクトルを解析することにより、高密度における QCD の理解につなげることが本研究の目的である。

第２章は、本論文を構成する重要な概念の説明にあてられ、第２．１節では、有限温度及び有限密度における QCD の相図、第２．２節では、低密度における２-カラーQCD、第２．３節では、カイラルランダム行列理論が概説されている。

第３章が本論文の主要な部分である。まず、第３．１節では、通常の 3-カラーQCD の場合に、高密度における対称性の破れとカイラルラグランジアンが説明された後、ε領域を定義し、Dirac 演算子のスペクトル分布に対する和則が導かれている。第３．２節では、２-カラーQCD の場合に、高密度における対称性の破れとカイラルラグランジアンが説明された後、ε領域を定義し、Dirac 演算子のスペクトル分布に対する和則が導かれている。第３．３節では、高密度における２-カラーQCD と同じ対称性を持つ、新しい非エルミートのカイラルランダム行列模型が導入され、行列の大きさ無限大の極限で、新しく導入された行列模型とε領域におけるカイラルラグランジアンの分配関数が等しくなることが、鞍点法を用いて示されている。このことは、新しく導入された行列模型が、高密度における２-カラーQCD に対する正しいカイラルランダム行列模型であることを強く示唆する。次に、第３．４節では、新しく導入された行列模型が、任意のフレーバー数について、非エルミート性が弱い場合と強い場合のそれぞれの場合に厳密に解かれ、行列の大きさ無限大の極限を取ることによって、微視的スペクトル密度が求められている。まず、行列の大きさが有限の場合に、スペクトル密度が分配関数によって表され、次に、分配関数の解析的な表式が求められ、行列の大きさが無限大の極限を取ることによって、微視的なスペクトル密度が、非エルミート性が強い場合と弱い場合にそれぞれ求められている。微視的なスペクトル密度は、クォーク質量に強く依存することがみとめられる。第３．５節では、符号問題が議論されている。まず、分配関数に対して平均場の仮定をすることにより高密度における微視的スペクトルの振動する振る舞いが説明されている。次に、非エルミート性が弱い場合には化学ポテンシャルの関数として、非エルミート性が強い場合にはクォーク質量の差の関数として、フェルミオン行列式の符号の平均が計算され、それぞれの場合に、

化学ポテンシャル及びクォーク質量の差がある閾値を超えると符号問題が深刻になることが示されている。第３．６節ではダイクォークソース項が導入され、Banks-Casher 型及び Smilga-Stern 型の和則が導かれている。第３．７節では、高密度における BCS ギャップに対する Banks-Casher 型の関係式が導かれている。

第４章は、まとめと結論にあてられている。

補遺 A では、数学的な記法、補遺 B-D では、本文で省略された詳細な計算が整理されている。

本論文において考察されているカイラルランダム行列の有限密度への拡張は、最初 Stephanov によって１つのランダム行列を用いて、後に Osborn によって２つのランダム行列を用いてなされたが、これらは、非エルミート性が弱い場合、すなわち低密度の場合に相当し、非エルミート性が強い場合、すなわち高密度の場合への拡張は、２-カラーQCD ではあるが、論文提出者らが最初である。本論文の結果は、現実の世界が３-カラーQCD であるのに対して、２-カラーQCD ではあるものの、Dirac 演算子の固有値スペクトルの分布を通して高密度における QCD の理解への重要な一歩であると考えられる。

なお、本論文の内容は、T. Wettig、G. Akemann、山本直希、M. J. Phillips との共同研究に基づいているが、G. Akemann、 M. J. Phillips は数学的な側面での貢献が主であり、論文提出者、T. Wettig、山本直希が物理学的な側面で貢献したと考えられるが、論文提出者の寄与が最も顕著であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。