

## 論文審査の結果の要旨

氏名 山崎加奈子

本論文は8章から成り、第1章では緒言と研究の背景が述べられている。

第2章では、本論文で研究されている有限温度のハドロン-クォーク相転移を扱うための理論的基礎が詳述されている。まず、真空でのカイラル対称性の自発的破れと、その高温での回復を特徴づける秩序変数であるカイラル凝縮について、Ginzburg-Landau 型有効理論の構築が解説されている。つぎに、クォークの閉じ込め相転移を特徴付ける秩序変数であるポリアコフープについて、その背景となる離散対称性が述べられたあと、高温相と低温相におけるこれら秩序変数の振る舞いを議論するとともに、それを定性的に記述できる有効模型としての PNJL 模型が導入されている。

第3章では、本論文で用いられる有限温度の場の量子論について、その経路積分表示、およびループ計算に必要な基本公式がまとめられている。

第4章では、有限温度におけるカイラル相転移を扱う有効模型である 2-flavor NJL 模型が詳述されている。NJL 模型が持つ対称性や、この模型の分配関数に対する補助場を用いた経路積分表示を解説したあと、平均場近似を用いてギャップ方程式や状態方程式の導出を行い、この近似の範囲でカイラル凝縮がどのように温度変化するかを計算している。さらに、平均場近似を越えると現れる中間子的励起やダイクォーク的励起が、分配関数にどのように寄与するかが理論的に検討されている。これらは、後章における熱的中間子励起の理論計算および数値計算の基礎となるものである。

第5章、第6章、第7章は、本論文の核心部分となっている。

第5章では、まずカイラル相転移と閉じ込め相転移を同時に扱う有効模型としての 2-flavor PNJL 模型の詳細が記述されている。次に、平均場近似の範囲で、2つの秩序変数の温度依存性を計算し、格子 QCD 計算と定性的な一致を確認している。さらに、平均場近似を越えると現れる中間子の熱励起を PNJL 模型により計算し、系の圧力やエントロピーへの寄与、中間子のスペクトル関数の詳細研究を通じて、低温で強く相関して現れる中

間子的励起が高温で無相関のクォーク-反クォーク対励起に連続的に移り変わる現象を数値的に示している。

第6章では、前章の解析を、より現実的な3-flavor PNJL 模型に拡張し、 $\pi$  中間子だけでなく、 $K$  中間子や  $\eta$  中間子などの擬スカラー中間子や、 $\sigma$  中間子をはじめとする重いスカラー中間子の熱励起を含めた計算を実行している。その結果、低温領域では、中間子の熱励起を含まない従来の PNJL 模型の取り扱いに比べて、格子 QCD の計算結果と定量的に一致する圧力やエントロピーが得られると同時に、高温では無相関のクォーク-反クォーク対の励起のために、格子 QCD 計算と定性的に一致する結果が得られている。

第7章では、前章までの有限温度・ゼロバリオン密度の解析を、有限バリオン密度における相転移現象に拡張する理論的枠組みの構築が試みられている。特に、有限バリオン密度で重要となるバリオン励起を補助場として導入し、PNJL 模型を中間子、ダイクォーク、バリオンの3種の補助場からなる有効模型に書き直し、それぞれの分配関数への寄与を理論的に評価している。

第8章では、本論文で得られた結果のまとめと、今後の展望が記述されている。

本論文では、QCDにおけるクォークの閉じ込めとカイラル対称性の自発的破れを定性的に再現する PNJL 模型を用いて、QCD相転移におけるクォークとグルーオンの自由度の開放がどのようにおこるかを、クォーク-反クォーク対の中間子的励起を考慮して解析し、格子 QCD の数値シミュレーション結果と定性的な一致を得ている。また、有限バリオン密度媒質中におけるバリオンの相関が扱えるように、この模型の理論的拡張を行っている。これらの結果は、今後の有限温度密度 QCD 研究に対して物理的指針を与えるという意義を持つ。

なお、本論文の主要部である第5章、第6章および第7章の内容は、松井哲男氏および Gordon BAYM 氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって理論的解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上の観点から、申請者に博士（理学）の学位を授与できると認める。