

# 論文審査の結果の要旨

氏名 藤本 悠輝

本論文は9つの章と2つの補遺から構成される。第1章はイントロダクションであり、高密度物質の相図・状態方程式、その量子色力学からの導出について概説される。また本論文の主要結果の簡潔なまとめも与えている。第2章は高密度物質の状態方程式のレビューであり、実験・観測、および理論計算の状況がまとめられている。特に後者について、量子色力学の摂動計算の現状と、その収束性問題が説明されている。第3章は、量子色力学の理論計算における、resummation 手法のレビューである。従来の摂動計算を改善する手法として、Hard Dense Loop (HDL) による resummation について、その基本的定式化、物理的意義、そして HDL摂動をはじめとする幾つかの計算スキームの説明を与えている。

第4章以降で本論文のオリジナルな結果が議論される。第4章では HDL摂動計算により状態方程式の導出が行われる。先行研究と比べ、ストレンジクォークの質量の効果を取り入れていることが新たな点である。ベータ平衡における状態方程式について、圧力(P)-化学ポテンシャル( $\mu$ )、圧力(P)-エネルギー密度( $\varepsilon$ )の関係を導出している。結果の繰り込みスケール依存性から計算の不定性の大きさを見積もとると共に、ストレンジクォーク質量の効果も議論されている。中でも、 $P(\varepsilon)$ 関係式において、従来の摂動計算と比べ不定性が大幅に減少している点が主要な成果である。第5章では、第4章の結果の信頼性をさらに検証するため、 $O(\alpha_s)$ 補正、クォーク質量補正の効果について議論し、またHDL摂動計算に替えて $\Phi$ -derivable 近似を用いた計算を行い、第4章の結論は基本的に維持されることを述べている。

第6章では、HDL摂動計算での不定性の小ささについて考察が与えられている。従来は主に $P(\mu)$ ,  $n_B(\mu)$ 関係式 ( $n_B$ : バリオン数密度)が調べられており、これらについてはHDL摂動計算においても大きな不定性があるものの、それらが互いにキャンセルすることで不定性の小さい $P(\varepsilon)$ 関係式が得られている。さらに状態方程式導出における繰り込みスケールの扱いについて、手法によって結果に違いが出ることを指摘し、本論文で用いている手法は物理的により信頼性のあることを議論している。

第7章では高密度物質の音速がテーマである。高密度極限での音速の値 conformal limit と摂動計算に基づく補正について概観したのち、音速の密度依存性についてどのような可能性があるかを議論している。その上でHDL摂動計算により、音速がある密度領域で conformal limit を超えるという結果を得ている。従来は conformal limit は音速の上限だと考えられていたため、新たな一石を投じる結果である。

第8章では状態方程式について核物質で記述される低密度領域とクォークからなる高密度領域の接続が議論される。相転移あるいはクロスオーバーの可能性について概観したのち、本論文で計算した（高密度側の）状態方程式は、低密度側の核物質状態方程式とスムーズに接続され、クロスオーバーが示唆されることを述べている。さらに接続した状態方程式を基に中性子星の構造の計算も行っている。

第9章では本論文の全体のまとめと今後の展望が述べられている。

2つの補遺ではHDL計算の補足や中性子星に関する理論方程式が与えられている。

本論文では、HDL摂動計算により量子色力学に基づく状態方程式の導出が行われており、 $P(\epsilon)$ 関係式について従来の摂動計算と比べ不定性を大きく減少させた。また、対応する音速が conformal limit よりも大きな値となるという、従来の予想と異なる結果を得た。さらに本論文で得られた高密度状態方程式は、低密度核物質状態方程式とスムーズに接続することが可能と解った。これら本論文の結果は高密度物質の性質を解明する上で意義があると認められる。

なお、本論文のオリジナルな結果である第4－8章は、福嶋健二氏との共同研究で得られたものであるが、論文提出者が主体となって研究を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。