

氏名（本籍）	NGO QUANG THIN（ベトナム社会主義共和国）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第535号
学位授与日付	平成30年3月25日
専攻	電子情報システム工学専攻
学位論文題目	Constraints on the EOS of neutron star matter based on observations （観測に基づく中性子星物質の状態方程式に関する制約）
学位論文審査委員	（主査）教授 仲澤 和馬 （副査）教授 田中 雅宏 教授 新村 昌治

### 論文内容の要旨

申請論文は、宇宙に存在する最も密度の高い物質からなる中性子星の質量と半径の観測値を用いて、その高密度物質の状態方程式（EOS）に制限をあたえる研究である。著者は、中性子星の質量のみでなく半径にも注目し、その両方を同時に説明できる EOS を決定することに成功している。その結果、単に「より stiff な（硬い）EOS が必要である」という主張は不十分であること、むしろ、EOS が、より soft に（柔らかく）なるべき密度領域と stiff に（硬く）なるべき密度領域があり、その結果、質量と半径が整合性良く説明できることを明らかにしている。以下、論文の各章の概要を説明する。

第1章では、中性子星についての概略的な説明と研究の歴史に触れた後、中性子星研究における現時点での問題を説明し、本研究の位置づけを明確にしている。具体的には、最近発見された太陽質量の2倍以上の質量をもつ中性子星をめぐって、理論的に重要なハイペロン・パズル（高密度中性子物質ではハイペロンが混入し状態方程式が柔らかくなるため、太陽質量の2倍以上の大質量の中性子星は存在できないという理論と実際に存在するというパズル）を紹介し、一方で、多くの場合、質量のみが研究対象にされてきた現状を明らかにしている。質量と半径を同時に説明すべきであるという本研究の基本的な立場を明らかにしている。

第2章では、本研究で用いる EOS のモデルを与えている。このモデルは、本研究の独自性、新規性をあたえるものである。具体的には、密度領域を3つに分けて、それぞれの領域毎に、合理的な仮定とパラメータを導入している。理論的な EOS を基準に調整可能なパラメータを導入し、理論的な EOS に対してどのような変更が必要となるかを明らかにしている。また、高密度領域では区分線形型の自由度の高い EOS を導入している。

第3章では、一般相対性理論にもとづいて中性子星の構造を決めるための方程式である TOV 方程式を導入している。EOS を用いて TOV 方程式を解くことによって、中性子星の質量と半径を決定できることが示されている。

第4章では、観測データに基づいて最適な EOS を決めるための統計的方法、および、本研究で用いた観測データについて記述している。この統計的方法は、ベイズ統計に基づいて Steiner らによって導入されたものである。本研究で取り上げた観測データは現時点で利用可能なほぼすべてのデータであり、これらすべてを取り入れた研究は他にない。

第5章は、第4章であたえた統計的方法を用いて、観測データを統計的に最もよく説明する EOS についての結果をあたえ、その性質を議論している。その結果、ある特定の密度領域（原子核密度の約3.5から4倍程度の密度領域）で急速に EOS が硬化するという新しい知見を与えている。また、得られた EOS に基づいて、中性子星の密度分布を求め、中性子星の質量ごとに、3つの密度領域の占める比率がどのように変化するかを明らかにしている。中性子星はその質量に関わらずほぼ同じ半径をもつが、質量が大きくなるに伴って内部構造が変化するという描像を定量的に明らかにしている。

第6章では、第5章までの結果と議論をまとめている。また、将来の見通しとして、中性子星の質量と半径のより精密な観測データが与えられるならば、本研究で与えた EOS モデルと方法によって、より精密な EOS の決定が可能になることを示唆している。

## 論文審査結果の要旨

本論文は、宇宙において最も高い密度をもつ中性子星物質の状態方程式を中性子星の質量と半径の観測値に基づいて制限づける研究である。その結果、次の点で新しい知見を与えている。

- (1) 従来用いられている理論的な状態方程式では、太陽質量の2倍の質量をもつ中性子星を説明することができないか、または、できたとしても、その半径が大きすぎる
- (2) 従来の研究では、状態方程式をより硬くすることが必要とされているが、中性子星の質量と半径を同時に説明するには、より柔らかくすべき領域と硬くすべき領域がある
- (3) その結果、通常原子核密度の3倍から4倍程度の密度領域で、状態方程式の硬さが急激に変化すること、および、急激に変化したあとの硬いコア領域の大きさが中性子星の質量に強く依存すること

本論文の主たる部分は査読付きの論文として発表されていることを確認した。以上から、本論文は博士(工学)の学術論文として価値あるものと認められる。

## 最終試験結果の要旨

平成30年1月26日に学術論文公聴会を開催し、質疑・討論を行った。また、その終了後に、主査・副査3名出席のもとで、口頭試問を行い、これを最終試験とした。その結果、論文提出者が博士(工学)の取得に必要な学力を有していることを確認できたので、最終試験に合格とした。

---

発表論文 (論文名, 著者, 掲載誌名, 巻号, ページ)

1. The Equation of State of Neutron Star Matter Based on the G-matrix and Observations, Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2016, Issue 7, 073D02 (18 pages) (2016),  
Ngo Quang Thin and Shoji Shinmura.  
(Basic idea of doctoral thesis)
2. Constraints on the EOS of Neutron Star Matter Based on Observations, Modern Physics Letters A, Volume 32, 1750190 (11 pages), (2017),  
Ngo Quang Thin and Shoji Shinmura.  
(Summarized in chapters 2, 4, 5)