

# Neutron-Star Equation of State and Its Thermal Evolution

土肥, 明

<https://hdl.handle.net/2324/5068164>

---

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (理学) , 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :



氏名	土肥 明			
論文名	Neutron-Star Equation of State and Its Thermal Evolution (中性子星の状態方程式とその熱的進化)			
論文調査委員	主査	九州大学	教授	山本一博
	副査	九州大学	教授	鈴木博
	副査	九州大学	教授	緒方一介
	副査	理化学研究所	主任研究員	長瀧重博
	副査	久留米工業大学	准教授	野田常雄

### 論文審査の結果の要旨

土肥明氏は、極限的な相対論的天体である中性子星の理論研究、とりわけ「中性子星内部で発生する複雑な物理過程と核物質状態方程式を考慮した中性子星の冷却とそれを応用したX線バーストのモデル構築」に関して研究成果を上げた。中性子星は、質量が太陽質量の約1.4倍、半径が12 km程度のコンパクト天体であり、これまで長年にわたって研究がなされてきたが、その内部構造とそれ決める核物質の状態方程式は、大きな未解明の問題となっている。この問題は近年、中性子星同士の連星合体の重力波観測、X線観測、さらに原子核実験の進展により議論が活発になっているテーマである。土肥氏は一連の研究で、宇宙核物理学における重要課題であるこの中性子星の成り立ちと核物質の状態方程式を解明する新たな研究手法を開拓する成果を上げた。

土肥氏の研究では、以下で述べるように(1)中性子星の熱的進化の研究と、(2)中性子星表面で起こるX線バーストに関する研究の二つの柱がある。

(1) 中性子星の熱的進化の研究に関しては、Togashiらによって提案された核物質の状態方程式に着目し、単独中性子星の冷却過程の理論モデルを構築して、観測と比較データと比較することによって、中性子星の状態方程式に制限を与えた。この研究では、中性子星内部で起こるニュートリノ放射過程を考慮した精緻な理論計算によって中性子星の熱的進化の理論モデルを構築した。その中で直接ウルカプロセスによる急速な中性子星冷却が起こるかどうかが、中性子星内部の核物質の状態方程式に強く依存することに着目し、観測データとの比較から状態方程式に制限を付けている。また、急激な中性子星冷却が、パイオン凝縮によって加速する可能性にも着目し、中性子星中心の核物質の組成が重要であることも指摘した。さらに、中性子星内部の核子の超流動が中性子星の冷却を抑制することに着目し、これらを組み合わせることで、観測と整合性のある単独中性子星の熱的進化モデルを作れることを示した。

(2) 中性子星表面で起こるX線バーストに関する研究は、(1)の研究で観測データと比較した単独中性子星とは異なり、伴星を伴う中性子星の連星系で起こるX線バーストの観測データに着目して行った研究である。X線バーストは、伴星からのガスが中性子星に降り積り、中性子星表面における原子核反応により起こる現象と考えられているため、中性子星内部の構造との関連はこれまで考えられていなかった。土肥氏は(1)の研究を応用し、中性子星の状態方程式が中性子星の質量と半径の関係に影響を与え、中性子星表面の重力にも影響を与えることに注目した。結果、中性子星内部の状態と核物質の状態方程式が、X線バーストの性質に影響を与えることを示し、周期的

なX線バーストが観測されるclocked bursterを用いた中性子星の状態方程式の制限という新しい研究手法を開拓した。土肥氏はこの研究において、これまでに構築されていた相対論的天体の1次元熱的進化の計算プログラムに最新の状態方程式のモデルやニュートリノ冷却効果といった中性子星内部の物理過程を組み込み、中性子星全体を計算領域に含むX線バーストモデルを構築した。同時に、原子核反応ネットワークを改良し、X線バーストによる元素合成を記述できるプログラムも開発した。このプログラム開発では、高速に元素合成を計算するための近似核反応ネットワークの開発に成功している。代表的な中性子星の状態方程式を応用して、X線バーストの理論計算を行い、光度曲線の状態方程式依存性や、ニュートリノ冷却過程の依存性について調べている。この結果、X線バーストの観測から中性子星の状態方程式や、内部ニュートリノ放射率の制限が可能であることを示し、それらに対する新しい研究手法を開発した。

中性子星の熱的進化に着目したその内部状態に関する土肥氏の研究は、天文学や相対論、さらにハドロン原子核にわたる多様な物理過程を考慮した緻密な研究成果であり、中性子星の内部状態を探る手法としては、世界的にも先駆的成果である。ニュートリノの冷却過程を観測的に制限する手法があまりないため、中性子星の成り立ちと進化を探る手段として重要である。特に、X線バーストというこれまでにない視点から中性子星の内部状態を探る新しい研究手法を開拓している点は特筆すべきである。今後は、本研究によって得られた成果を応用し、中性子星内部構造の解明や、高速核反応ネットワークを用いた大規模計算への応用等、発展が期待できる。

以上の結果、中性子星の熱的進化とX線バーストから中性子星の内部状態の解明を目指した土肥氏の研究は、核物質の状態方程式への制限と中性子星内部の物理的素過程を理解するため学術的に重要な貢献をした。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。