

学位論文審査結果の概要

氏名	立浪 諄弥
学位論文審査委員氏名	主査 仙洞田 雄一
	副査 浅田 秀樹
	副査 葛西 真寿
	副査 高橋 龍一
	副査 市村 雅一
論文題目	Gravitational waves and stellar structure in effective quantum gravity (有効量子重力理論における重力波と天体構造)
審査結果の概要（2,000 字以内）	
<p>本学位論文にまとめられた研究成果の学問的テーマは量子重力の低エネルギー有効理論の宇宙物理学的な観測に基づく探究である。量子的な重力法則を記述する理論の完成は現代物理学における最重要課題の一つであるが、素粒子論的な観点から超弦理論などの様々な候補が提案されてきた中で未だその決着を見ておらず、近年では宇宙における諸現象の観察による現象論的なアプローチが模索されている。学位申請者である立浪氏は量子重力の有効理論として Lagrange 関数が時空曲率の非線型項を含む高次曲率重力理論を仮設し、その枠組みにおいて重力波の特質の一つである偏極モード、および、非相対論的なポリトロープ天体の密度構造と半径、質量、湯川荷等の物理量を詳細に調べ、それら諸量の観測を通じて有効理論に内在するパラメータを決定ないし制限する方法を提示した。</p> <p>序論と位置付けられた第1章では、近年に至るまでの宇宙物理学と宇宙論の発展を概観した後で、一般相対性理論を始めとして高次曲率重力理論、有質量重力理論、スカラーテンソル理論といった興味深い重力理論のそれぞれの基礎的な性質を比較し、相互の関連性を振り返っている。また、本論で必要となる概念である重力波偏極の測地線偏差による定義と、球対称ポリトロープ天体の構造の支配方程式である静水圧平衡条件が記述され、それぞれの一般相対性理論の場合の表式および解析がまとめられている。</p> <p>第2章では高次曲率重力理論での平坦な時空の周りでの線型摂動が考察されている。この重力理論での場の方程式は一見して多数の変数を含む結合した連立偏微分方程式系となり解くことは至難と思えるが、立浪氏は変数を巧みに分解し組み合わせて再定義することで各々独立した Klein-Gordon 形の方程式に従う一群のヘリシティ変数を発見し、解析を飛躍的に簡素化させることに成功した。その直接的応用として、この重力理論における平面波重力波が誘起する測地線偏差の基準モードの分類がなされ、一般相対性理論での無質量テンソル型偏極に加え、有質量のテンソル、ベクトル、スカラー型の偏極が併存することが明らかにされた。将来の重力波観測でこれらの有質量の偏極が検出されれば高次曲率重力がより正確な重力の理論であることの確証となり得るというのが立浪氏の主張の一つである。その上、複数の偏極の振幅の観測から高次曲率重力理論に内在するパラメータである重力子質量を直接決定する方法が提案された。</p>	

第3章で展開された非相対論的天体の構造の研究では、高次曲率重力での重力ポテンシャルが無質量重力子のニュートンのポテンシャルと2種の有質量重力子の湯川的ポテンシャルの和になることを示すことから始めている。立浪氏はそのような重力ポテンシャルの存在下でのポリトロープ状態方程式を持つ完全流体の静水圧平衡条件から、球対称天体の密度構造を決定するための6階の常微分方程式である修正 Lane-Emden 方程式を導出し、さらに、ポリトロープ指数が0または1で線型方程式となる場合の厳密解を得、天体の半径や重力質量、湯川荷の重力子質量への依存性を網羅的に調べている。その結果、将来これらに対応する実在天体の精緻な観測データが得られれば重力子質量パラメータの決定や制限をすることが可能と主張された。

第4章は結論であり、本論文に記された一連の研究をまとめるとともに、観測と理論の両面におけるさらなる発展の方向性が言及されている。

以上の立浪氏の研究では有効量子重力理論の観測的な探究に資する科学的成果が示されたと認められる。よって、本学の学位授与に関する諸規程で定められた基準に照らして学位論文審査の結果を合格とする。

学位論文の基礎となる参考論文

- [1] Tomoya Tachinami, Shinpei Tonosaki and Yuuiti Sendouda, “Gravitational-wave polarizations in generic linear massive gravity and generic higher-curvature gravity”, Physical Review D 103, 104037 (2021)
- [2] Shinpei Tonosaki, Tomoya Tachinami and Yuuiti Sendouda, “Nonrelativistic stellar structure in higher-curvature gravity: Systematic construction of solutions to the modified Lane-Emden equations”, Physical Review D 108, 024037 (2023)
- [3] Tomoya Tachinami and Yuuiti Sendouda, “Nonrelativistic stellar structure in the Fierz-Pauli theory and generic linear massive gravity”, Physical Review D 110, 064013 (2024)