

氏 名	谷 口 敬 介
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2025 号
学位授与の日付	平 成 11 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学・宇 宙 物 理 学 専 攻
学位論文題目	Ellipsoidal Figures of Equilibrium in the First Post-Newtonian Approximation of General Relativity (一般相対論の一次ポストニュートン近似における楕円体の平衡形状) (主査)
論文調査委員	教 授 佐 藤 文 隆 助 教 授 中 村 卓 史 教 授 堀 内 昶

論 文 内 容 の 要 旨

重力波による宇宙観測は、強い重力場中での一般相対論の検証や、中性子星での高密度領域の物理を知るのに寄与するものと期待されている。今世紀末から来世紀初頭にかけてレーザー干渉計型の装置によって重力波の観測が実現されるものと考えられている。

これらのレーザー干渉計の感度が良い振動数領域の重力波を放出する源の一つとして中性子星を含む連星系でのそれらの合体過程がある。重力波観測の実際においては強いノイズからシグナルを拾う必要があり、あらかじめ理論的に用意された波形のテンプレートが必要になる。これによって、連星間距離が星の半径より十分離れている場合は、中性子星の質量、自転速度等の情報を引き出すことが出来る。さらに合体直前の情報は、中性子星の状態方程式、即ち、中性子星の質量と半径の関係の測ることさえ原理的には可能にする。申請論文はこうした合体直前での重力波の理論的なテンプレートの計算に必要となる連星系潮汐力による各成分星の構造・形状・軌道への影響を調べたものである。

合体直前の連星中性子星は複雑なものであり、精密なテンプレートを得るためには数値的に解く必要が出てくる。しかし数値的な研究も遅々としたものであり、またニュートン重力で扱ったもの、また連星系に対して同時回転という非現実的な状態を仮定で行われているものが多い。現実的であると思われる連星系に対して渦無しという仮定で解くという研究が行われ始めたのは最近のことである。さらに、このようにして得られる数値解がどれだけ正しいものかどうかの判定のために、解析的に求められた解と比較しなければならないが、そのようなものがまったく知られていないのが現状である。

申請論文ではこうした現状を改善するために出来るだけ解析的な考察で連星系での潮汐力が成分星の構造に及ぼす影響を考察している。ここでは連星系に対して現実的と思われる状態、即ち、慣性系から連星系を見たとき渦無しという状態の連星系の平衡解を解いている。また、一般相対論を1次のポストニュートン近似のオーダーまでではあるが一般相対論的効果を取り入れ、また、重力平衡の方程式を解くことで流体運動を考慮した星の構造を解くことをこのモデルに含めている。さらにこの論文では非圧縮性流体という単純化を行っているが、今の段階では最も現実に近い状況での研究となっている。

連星系での潮汐力による非圧縮性流体の天体の構造問題は太陽系惑星の問題として天文学における古典的な問題の一つであるが、この申請論文はこれに一般相対論の効果を一次のオーダーまで加えた考察をしたものであると評価することも出来る。

申請論文のこうした考察によって、連星系をニュートン重力で扱った場合に対する1次のポストニュートンの効果による連星の軌道角速度の変化や連星系を構成する星の形状の変化を定量的に求めている。また、得られた結果の物理的解釈も議論されている。こうした考察は複雑な数値計算のシミュレーションを行う場合のコードチェックや計算結果が満たすべき傾向の考察に役立つものであり意義あるものである。

論文審査の結果の要旨

連星系での中性子星合体の過程で放出される重力波強度は合体直前の時期で強くなるから、観測の上からも最も注目されている過程である。しかしこの合体直前の数値解を求める研究はきわめて難しく、世界の幾つかのグループ間で解答の傾向に定性的な差が生じているほどである。このことに決着をつけるためには、ある程度単純化した条件のもとで解析的に解を求め、その結果と数値解の結果とを比較することが一つの方法である。申請論文においては、このような観点に立ち、合体直前の連星中性子星の解析解の系列を求めている。

申請論文では、合体直前の連星中性子星をモデル化するにあたり、一般相対論的重力を1次のポストニュートン近似した重力を用い、流体運動の基礎方程式を解くことによって、合体直前に重要となる一般相対論と流体の両方の効果を取り入れることに成功している。

さらに、星の内部運動に対しては、現実的に可能な散逸過程が極めて小さいことから、慣性系から連星系を見たとき渦無しという状態を設定することにしていく。この前提の下に連星間距離を変化させたときに実現する平衡解の系列を詳しく調べている。このとき、単純化のため星を構成する物質の状態方程式を非圧縮としている。合体直前では重力にはすでに一般相対論の効果が効いてくるので、それを1次のポストニュートン近似まで組み込んだ方程式群を無矛盾に解くための基本方程式を導出し、それに基づく計算を遂行している。このような研究は国際的にも最初のものであり高く評価できる。

幾つかのパラメーターの場合の計算結果によると、一般相対論の効果を増加させると、平衡を保ったまま連星がより近接することが出来ることや、その最も接近したときの軌道角速度は、中性子星の内部運動の存在のために、ニュートン重力の場合と比べてそれほど増加しないなどが得られている。これらの結果は、数値計算で今後求められる数値解のチェック上でも重要な示唆を与えるものと期待できる。

以上に述べたように、申請論文は合体直前の連星中性子星の平衡解を解析的に初めて求めたものであり、一般相対論と流体内部運動の両方の効果が重要となる状況での解析解の研究に大きな寄与をするものである。これらの結果はそれ自体興味あるものではあるが、それ以上に重力波の観測ともからんだ連星中性子星合体の数値解を出す今後の研究に対し、幾つかのチェックポイントを提示するという重要な役目を果たすと期待される。

参考論文はいずれも、1次のポストニュートンオーダーでの連星、孤立星を含めた流体の平衡解やそこから放出される重力波に関連したものであり、申請論文と密接に関連するものである。よって、本論文は博士の学位論文として価値あるものと認めるものである。

なお、本論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。