

これまでの研究成果のまとめ

私は、主要な重力波源と考えられているコンパクト天体連星の運動とそこから放出される重力波について、ブラックホール摂動法を用いて研究を行ってきた。ブラックホール摂動法では、ブラックホールを周回する粒子で連星をモデル化し、重力場と粒子の運動を摂動論的に取り扱う。この方法において重力波波形を精密に予測するためには、重力的自己力を考慮した粒子の軌道進化を導く必要がある。この重力的自己力問題に関して、これまでの研究で得られた主要な成果を以下にまとめる。

断熱近似を用いた軌道の永年進化の導出

重力波輻射に伴う軌道の永年進化は、自己力が軌道に与える最も大きな影響であり、三つの運動パラメータ(エネルギー、角運動量、カーターパラメータ)の平均時間変化により記述される。これまでの研究[論文リスト7, 8]で、これらの時間変化率を漸近的な重力波フラックスと関連付けて簡便に計算する手法を開発した。最近の研究[28]では、この公式を用いて、運動パラメータの変化率のポストニュートン展開公式を、それまでは未知であった4次精度まで導出することに成功した。また、これまでの「フラックス」公式は基本軌道周波数の比が有理数になり共鳴が起きる場合には適用できなかったが、磯山氏らとの共同研究[35]において共鳴軌道の場合に拡張した公式を導出した。

自己力の数値的計算手法の開発

自己力による軌道補正には、断熱近似では記述できない保存力的な影響も含まれている。この影響を評価するためには、重力場摂動から直接自己力を計算する必要がある。これまでの研究[10, 17]において、球対称シュバルツシルト時空中の束縛軌道を運動する質点が引き起こす重力場摂動とそれに起因する自己力を数値的に計算するための手法を構築した。その手法を基にした数値コードを作成し、自己力の数値計算の実行可能性を示すとともに、軌道の自己力補正を定量的に評価することに成功した[15, 16, 19]。

他の手法との比較および解析的モデルへの応用

自己力の計算結果から、最内安定円軌道や近星点移動などの軌道の特徴付ける物理量について、その補正を定量的に評価することができ、ポストニュートン法や数値相対論の予言との比較が可能となる。その具体例として、シュバルツシルト時空中における楕円軌道の近星点移動に注目し、自己力の計算結果から予測される値とポストニュートン法や数値相対論が予言する値を比較し、その整合性を確認した[20]。また、近星点移動や赤方偏移関数に対する自己力補正の計算結果を用いて、未知のポストニュートン展開係数の予測をしたり、相対論的連星を包括的に記述する解析的モデル(Effective-One-Bodyモデル)のポテンシャル関数に制限を与える手法を提案した[18, 23]。

その他にも、コンパクト天体連星の合体で生じるリングダウン重力波に関する研究[30, 33]、複数台の重力波検出器を用いたネットワーク解析法の研究[9, 11]、重力波源としてのガンマ線バーストの研究[5]等の重力波に関連する研究や、ブレーンワールドインフレーションシナリオにおける量子揺らぎの評価[1]、一般相対論における宇宙検閲官仮説の検証問題の研究[21]等の重力理論に関する研究を行った。