

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。その手法を数値コードに実装し、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]。これにより、自己力計算を、ポストニュートン法、数値相対論の予言と比較することが可能となった[20]。また、自己力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したり、相対論的連星の解析的モデル(Effective-One-Bodyモデル)の較正を行う手法を提案した[18, 23, 37]。

自己力問題に加えて、最近では、リングダウン重力波に関する研究にも取り組んでいる。

連星合体で放出されるリングダウン重力波の研究

現在、重力波望遠鏡で観測されているコンパクト天体連星は、合体後にブラックホールを形成すると考えられている。合体直後に放出される重力波は、リングダウンと呼ばれる特徴的な減衰振動を示し、その周波数と減衰率を読み取ることで合体により形成されるブラックホールの精密な情報が得られると期待されている。

私はこれまでに、リングダウン重力波と摂動方程式の有効ポテンシャルの関係性[30]、リングダウン重力波を用いた一般相対論の検証法[39]、リングダウン重力波への倍音モードの影響について研究[43]を進めてきた。また、事象の地平面を持たないブラックホール擬似天体が引き起こす重力波エコー現象の理論的研究とそのデータ解析に取り組んだ[33, 36, 38]。