

卒業研究概要

提出年月日 2016 年 1 月 29 日

卒業研究課題

ポストニュートン近似を用いた天体の運動 ～水星の近日点移動と連星からの重力波放出～

学生番号 B12-101

氏名 山本 峻

概要 (1000字程度)

指導教員 真貝 寿明

印

本研究では、ポストニュートン近似を用いて歪んだ時空での天体の運動を2つのモデルで計算した。一般相対性理論によれば時空は質量に依って曲げられる。この歪んだ時空での天体の運動は、アインシュタイン方程式が正しい答えを導くが、アインシュタイン方程式はあまりにも複雑で、そのすべてを計算することは難しい。そのため本研究では弱い重力場での近似であるポストニュートン近似を用いて、天体の運動を計算した。ポストニュートン近似は、対象とする天体の速度 v と光速 c の比 $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ を展開パラメータ ϵ として近似する方法である。 $\epsilon^{2.5}$ のオーダーからは重力波反作用が入ることが知られている。本研究では微分方程式を解く手法として Runge-Kutta 法を使用した。

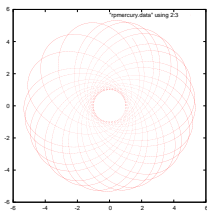


図 1: 誇張して描いた水星の近日点移動のバラ模様

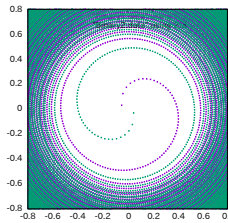


図 2: 重力波を放出しながら周回する連星の位置

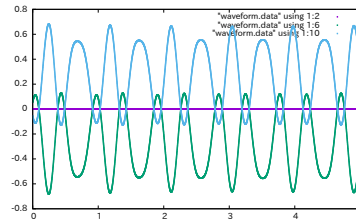


図 3: 連星から放出される重力波の波形の時間変化

(1) 水星の近日点移動

水星の公転運動の近日点は太陽による時空の歪みの影響を受けて、100年の間に約43秒角移動する。本研究ではこの水星の近日点移動が ϵ のオーダーの補正を入れることで生じることを確認した。図1は近日点移動の様子を極端に表した軌道である。近日点移動によって水星はバラ模様を描く。図1は $\epsilon = 0.1$ として計算した結果である。

(2) 連星から重力波放出

重力波とは、質量の大きな天体が加速運動をする際に、時空の歪みが光速で伝播する現象である。重力波は一般相対性理論によって予測され、近い将来に直接観測されることが期待されている。観測される波源として期待されるのは、連星ブラックホールや連星中性子星の合体現象である。図2は重力波を放ちながら運動している連星の軌道である。ここでは太陽質量の二つの中性子星をモデルにし、連星初期距離を50kmとした。また円運動の初速度を与えた。 $\epsilon^{2.5}$ の項を含めない運動方程式では周回し続け、力学的エネルギーを保存することが確認できたが、 $\epsilon^{2.5}$ の項を含めると連星が時間経過とともに加速し、距離が近づいていく。最終的には合体するが、ポストニュートン近似はその前に精度が悪くなる。中性子星が互いの距離約32kmのとき、ポストニュートン近似は悪くなった。図3は図2で表される連星が周回する際に放つ重力波の波形である。連星に対してx軸方向から観測した重力波波形の対角成分を描画している。横軸は時間を一周の時間で割った値、縦軸は振幅を表している。時間経過とともに連星はその距離を近づけていき、そのため重力波の放出もより大きくなっている。連星の運動については2.5次の項まで影響に含めているが重力波の波形には2次の影響まで四重極公式を用いて描画している。本研究ではアインシュタイン方程式の近似であるポストニュートン近似を用いたが、これは重力波観測の波形予想では標準的な方法である。一般相対性理論を検証するという観点からは、修正した重力理論での同様な波形解析が望まれる。今後の研究の一つの方向として考えたい。