

ポストニュートン近似

卒業研究中間報告 B12-101 山本 峻

今年是一般
相対論発表
から100年

ポストニュートン近似とは？

- アインシュタイン方程式への近似
- 本来なら全て解きたい
 - しかし全部解くと計算量が膨大になってしまう
 - 計算結果はたくさんほしい
 - 今回考える運動については十分に正しい結果がえられるよって近似で求める
- 今回は重力波の影響まで考えたいのでRadiation Reaction (放射反作用：重力波の影響)まで考える

ポストニュートン近似

Newton力学の万有引力 (以下Nと表記) に
 Post-Newton(以下PN)
 Post²-Newton(以下2PN)
 Radiation-Reaction(以下RR) と、少しずつ補正を加えていく
 (e.g.) 加速度については

$$a = a_N + a_{PN} + a_{2PN} + a_{RR}$$

たとえば水星の近日点移動ならPN程度で十分

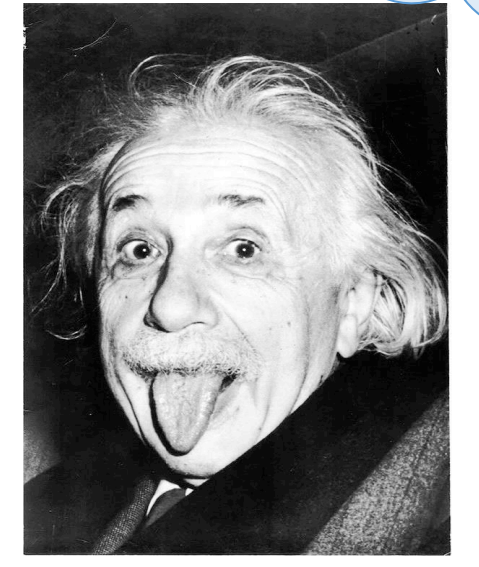
アインシュタイン方程式とは

- (簡単に言うと) 時空の歪みを計算する方程式

$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

G: アインシュタインテンソル
 T: エネルギー運動量テンソル

Tが物質の分布を、Gが時空の歪みをあらわす



アルベルト・アインシュタイン (Albert Einstein) : 1879-1955

水星の近日点移動 (1)

- 太陽系は太陽を一つの焦点とした楕円軌道を描く

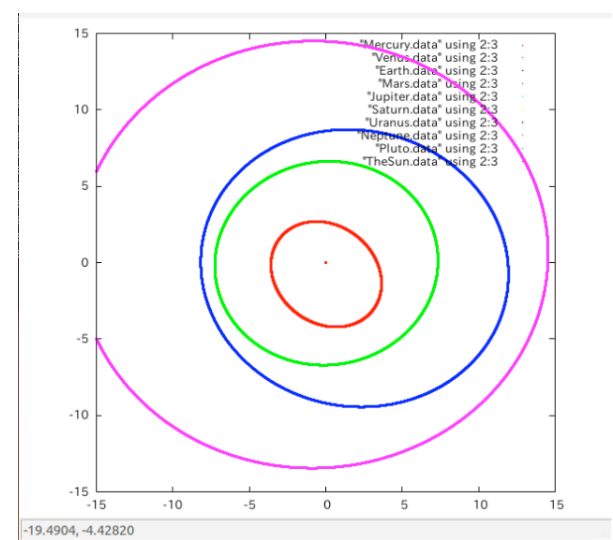


図4.1 太陽系の楕円軌道

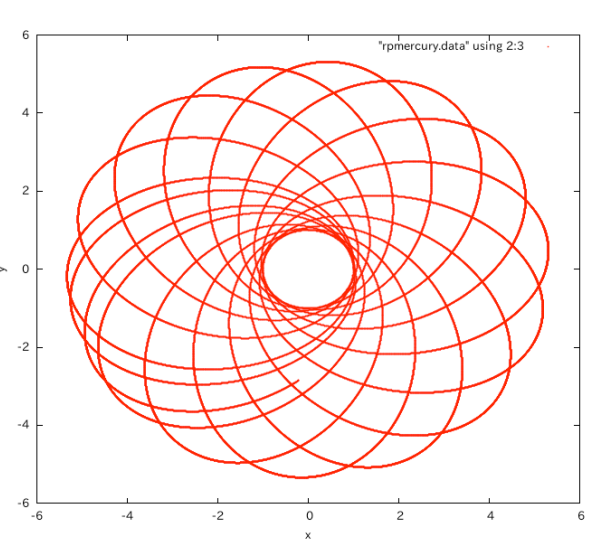
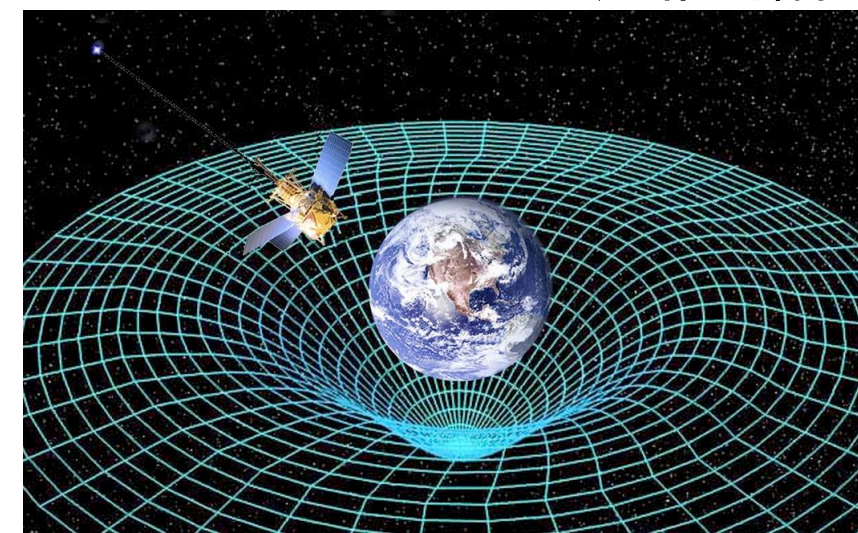


図4.2 極端な近日点移動

水星の近日点移動 (2)

- 水星が100年周回する間に発生する573秒角 (≒0.16°) の移動、そのうちの43秒角のずれが説明出来なかった
 - (水星の内側に未知の惑星バルカンの存在を仮定することで説明)
- アインシュタインが一般相対論で看破



時空の歪み
参照:
<http://www.gizmag.com/quantum-black-holes-singularity/29242/>

時空の歪み？

- 実際に時空の歪みが重力レンズ効果で観測された
- 重力レンズ効果は空間の歪みから光が曲げられる現象



アーサー・エディントン (Arthur Stanley Eddington) : 1882-1944



皆既日食を利用して重力レンズ効果を観測

連星運動

- 連星：二つ以上の星が互いに引っ張り合ってお互いのまわりを運動している星のこと
- 今回は簡単のため計算を以下の通りに設定
 - 質量：太陽質量 (M_{\odot}) = 1 として 1 : 1
 - 距離：影響を大きくするため50km
 - 速度：Nの場合、PNの場合で円運動として初速度を決定

精度

- プログラムが正しいことの確認のために エネルギーが保存されるか確認
- (図8.1) のように確認された
- N、PN、2PNについては保存が確認された
- RRについてはエネルギーが減少している
 - ⇒ 重力波として放出されるため

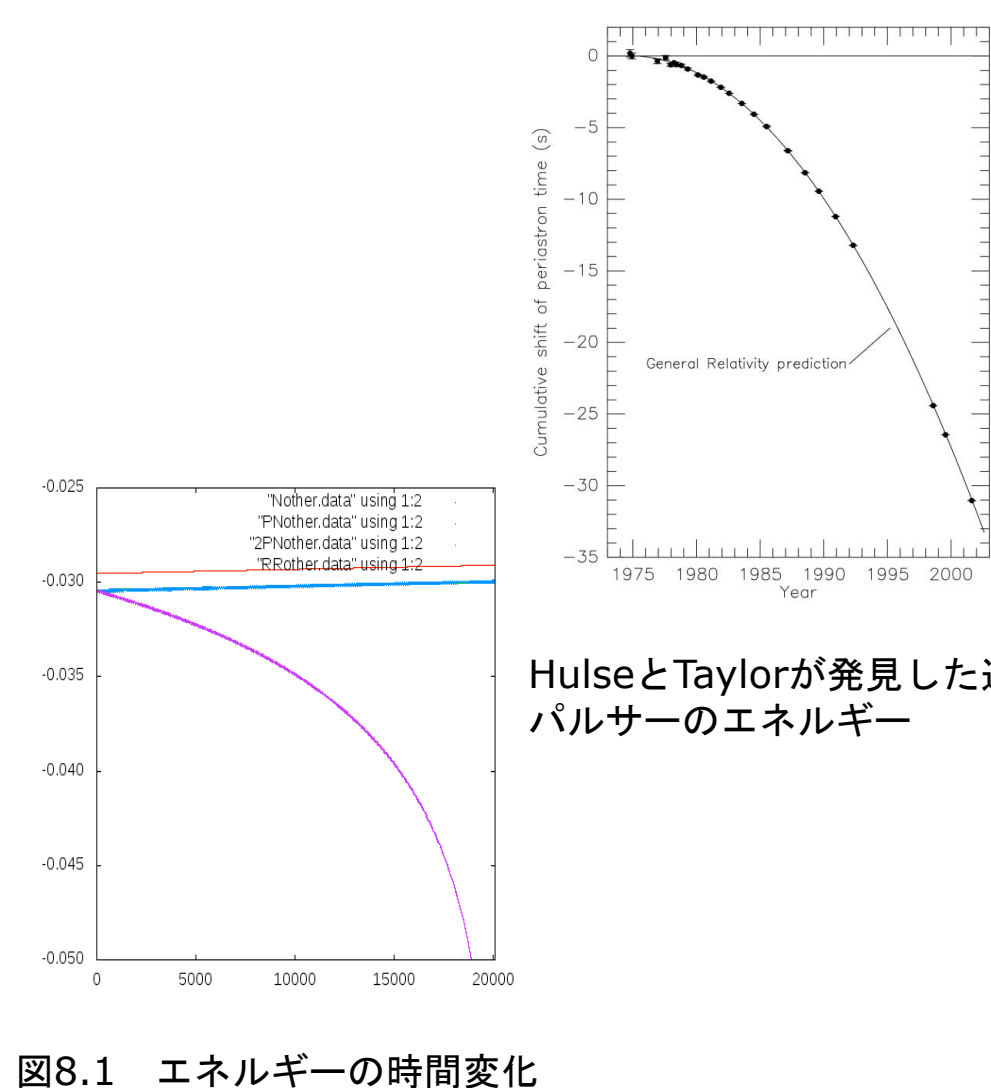


図8.1 エネルギーの時間変化

連星運動

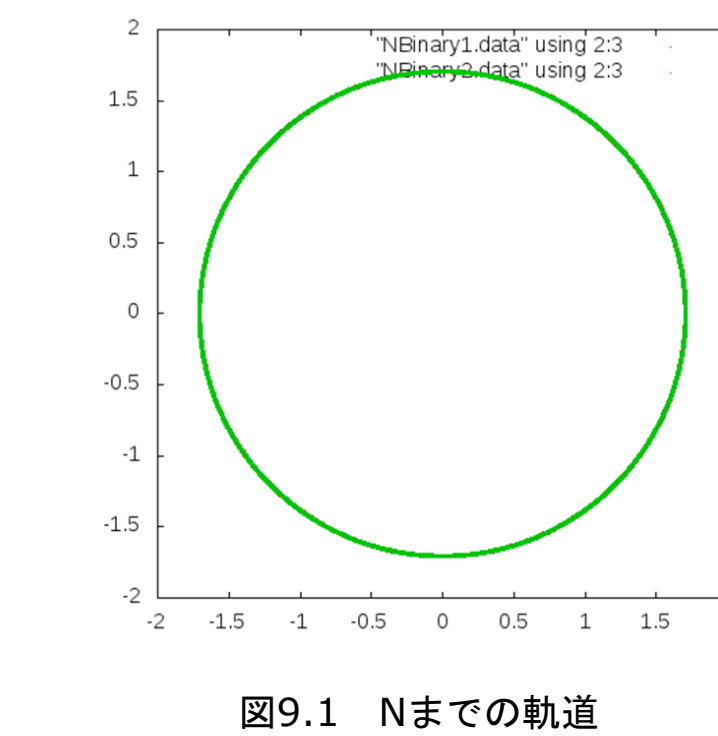


図9.1 Nまでの軌道

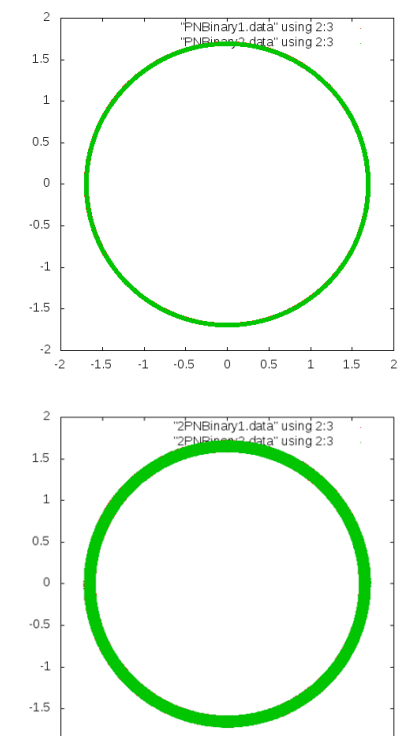


図9.2 PNまでの軌道

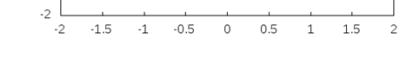


図9.3 2PNまでの軌道

連星運動

- (図10.1) はRRを含めた影響を考えた運動
- だんだん近づいていき、最後にはぶつかってしまう

すなわち重力波が放たれることで二体の星はエネルギーを失い、段階と接近していつかということになる

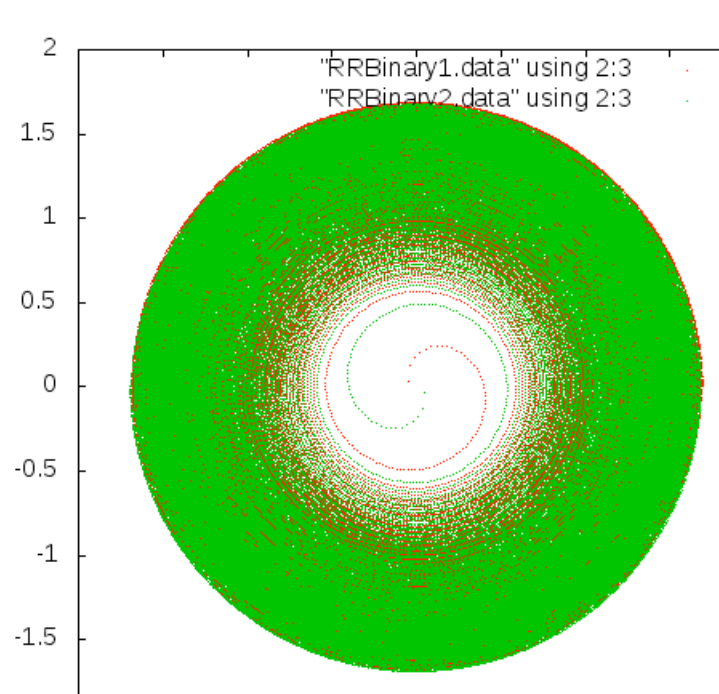
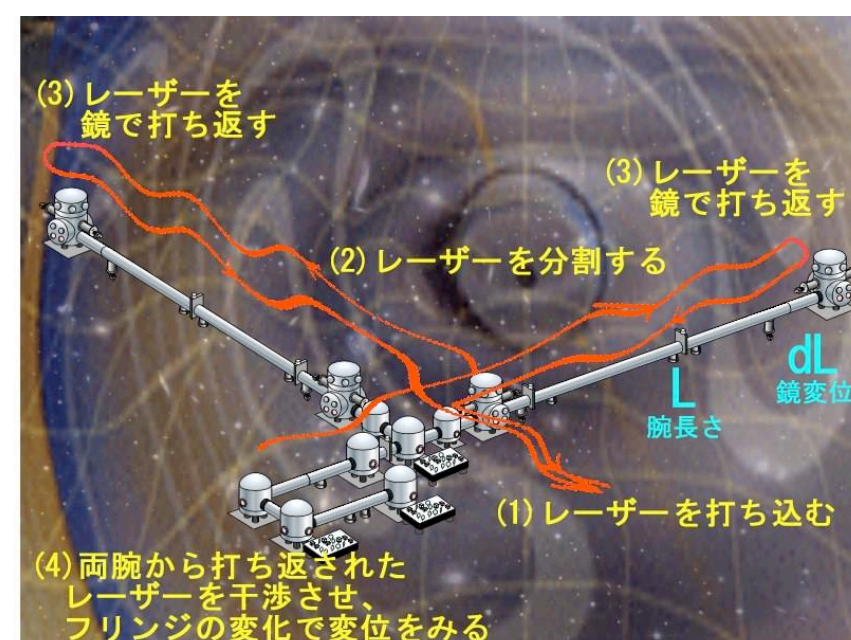


図10.1 RRを含めた軌道

重力波干渉計の構造

- 重力波はあらゆる物を貫通するため、直接確認が出来ない
- そのため光をつかって観測を行う (マイケルソン干渉計)



重力波干渉計の構造
参照<http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/gr/GWPOH/P/whatgw.html>

重力波のこれから

- 世界ではいよいよ大型の重力波干渉計が動き出す



KAGRA
参照:
<http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/plan/history>



LIGO
参照:
<http://apod.nasa.gov/apod/ap001030.html>