

# ブラックホール連星によるラグランジュ点

卒業研究中間報告 B15-026 奥村成吾

## ラグランジュ点とは

- 大きい天体Mのまわりを小さい天体mが周回している時、万有引力と遠心力の均衡点が図1のように五つある。
- ラグランジュ点には条件があり、Mとmの質量比が0.0385以下でなくてはならない。
- 二つの惑星に対して無視できるほどの小さな質量しかない場合、ラグランジュ点の安定・不安定の影響を大きく受ける。

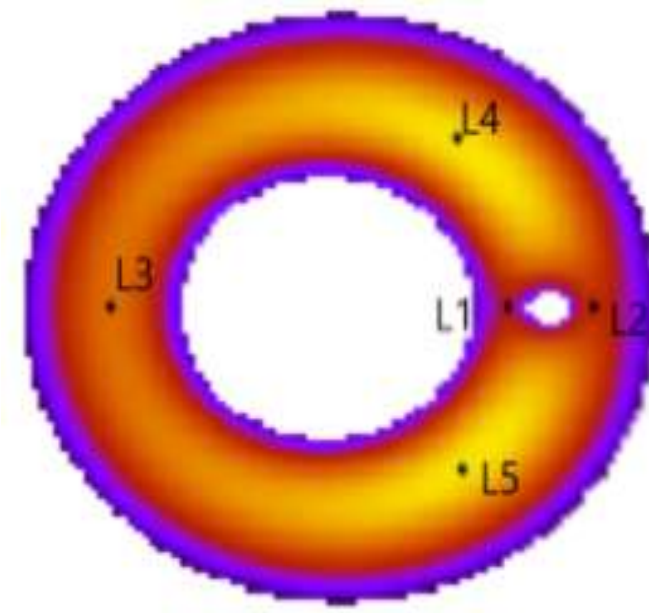


図1 ラグランジュ点の位置

## ブラックホール連星とは

- 二つのブラックホールが両者の重心の周りを軌道運動していることをブラックホール連星と言う。
- 通常の連星と違いブラックホール連星は回転していると重力波を放出し、エネルギーが失われ、軌道運動からずれて少しずつブラックホール同士が近づく。
- 最終的には合体する。

## 万有引力の位置エネルギーによる理解

- 太陽(0,0),地球( $x_m, y_m$ ),地球の角速度を $\omega$ とする、( $x, y$ )点の位置エネルギーは
- $$z = \frac{-GM}{\sqrt{x^2+y^2}} + \frac{-Gm}{\sqrt{(x-x_m)^2+(y-y_m)^2}} - \frac{\omega^2}{2}(x^2+y^2)$$
- 位置エネルギーの大きさを山や谷のように表した場合、図2と図3のようになる。
  - 山頂や谷底にいる場合、その場に留まる。

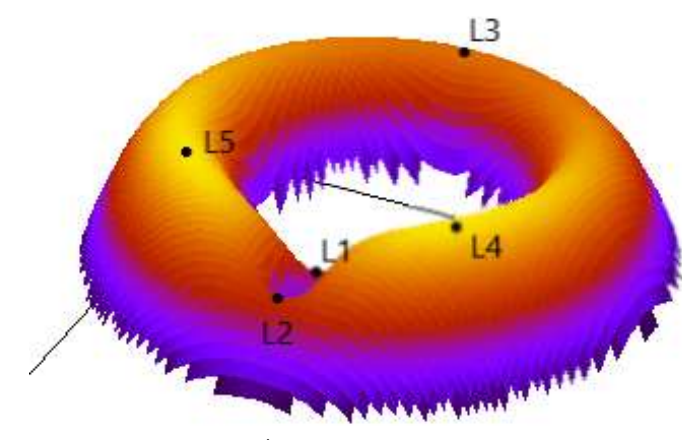


図2 ラグランジュ点立体1

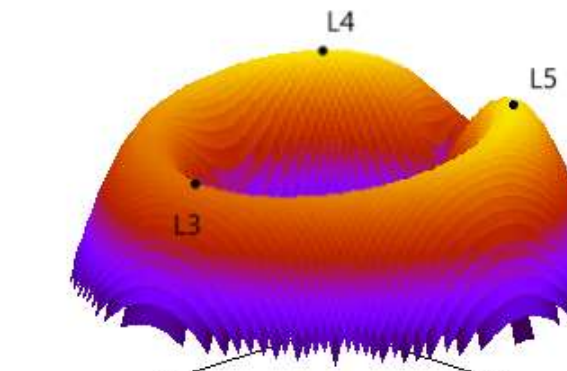


図3 ラグランジュ点立体2

## ブラックホール連星のシミュレーション

- 二つのブラックホールの質量比を $\mu_1, \mu_2$ とし、二つのブラックホールの距離を $r$ とする。

$$\text{質量比パラメータ } \mu_1 = \frac{M}{M+m}, \mu_2 = \frac{m}{M+m}$$

ブラックホールが近づいていく  
速度  $n = \frac{96}{5} \mu_1 \mu_2 r^{-11/2}$

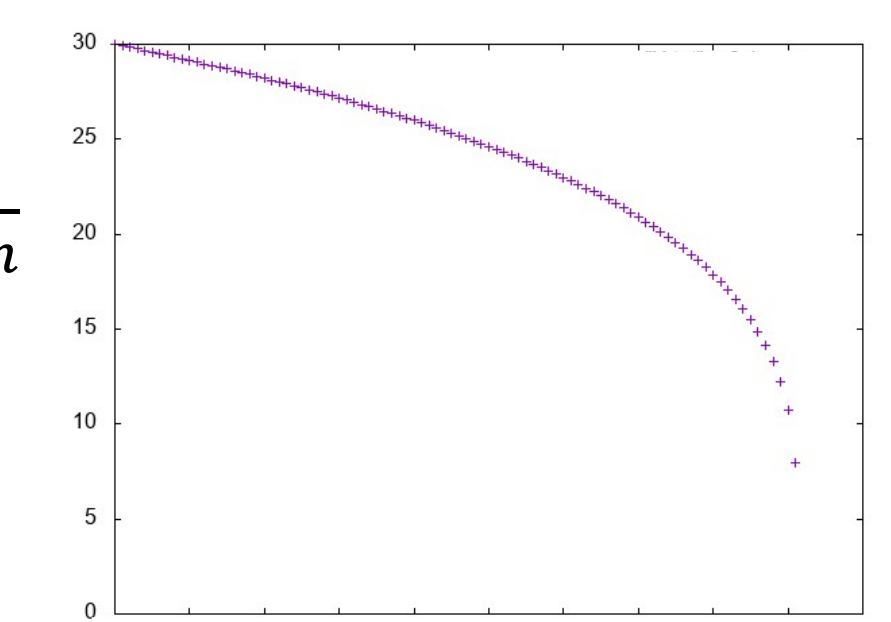


図4 時間ごとのブラックホール同士の距離

## ラグランジュ点のシミュレーション

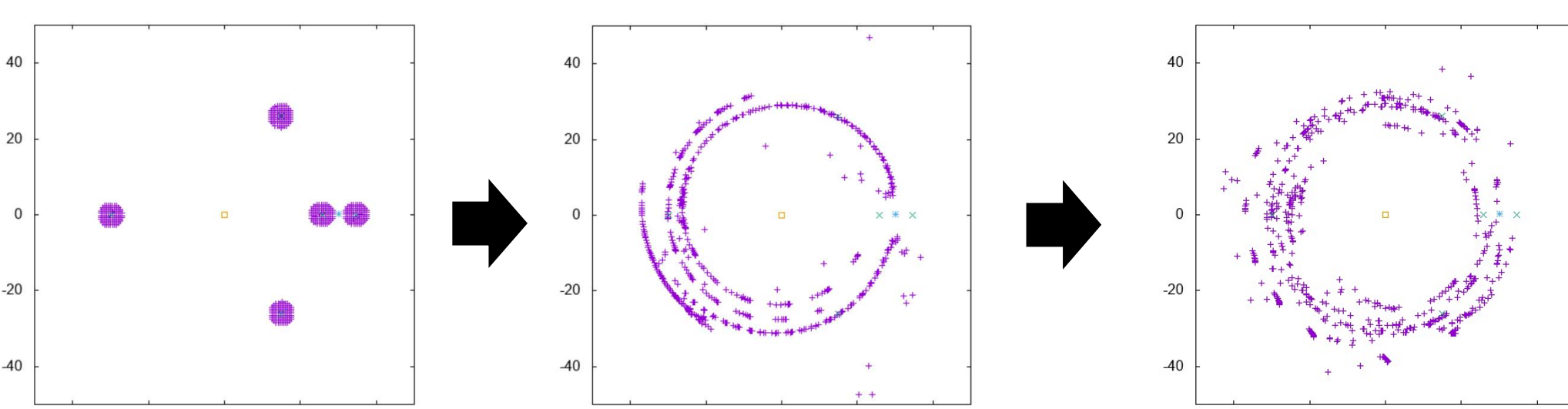
- 太陽と地球を配置し、ラグランジュ点付近に質量0のデブリを各点に110個ばら撒く。
- 地球を公転させ、デブリの動きをシミュレーションする。
- そのデブリの動きを見ることでラグランジュ点ごとの安定性を確認することができる。

## ブラックホール連星でのラグランジュ点

- ブラックホール連星でもラグランジュ点は存在している。
- ただし、ブラックホール同士が近づいて行くにつれ、ラグランジュ点のL4とL5の位置が変わる。L4はmの方向に近づき、安定性が低下する。L5はmから離れ、安定性が増すとされている。

## 結果

- M:m=2000:1の場合  
図の中央に主星M、(30,0)の位置に伴星mが設置されている。



- L4とL5に比較的デブリが集まっているため他のラグランジュ点より安定であることがわかる。

## 今後の展望

- ブラックホール連星時の移動するラグランジュ点を見つける。
- その後のラグランジュ点の安定かどうかを確認する。