

冥王星-カロン系における未発見衛星存在の可能性に関する研究

05422513 田中 篤行

1. 冥王星とその衛星系

冥王星には5つの衛星が発見されている。そのうちの1つであるカロンは冥王星の約1/9倍の質量を持つ巨大な衛星で、冥王星-カロン系は二重準惑星とも呼べるものとなっている。現在までに発見されている冥王星の衛星(表参照)は冥王星とカロンの共通重心のまわりを楕円軌道で公転していて、各衛星の公転周期はカロン、ステュクス、ニクス、ケルペロス、ヒドラの順におおよそ1:3:4:5:6と整数倍になっている。これはカロンの軌道進化と、カロンと各衛星の間での軌道共鳴の結果と考えられている(Ward and Canup, 2006)。一方で、カロンと1:2になる公転周期を持つ衛星はまだ発見されていない。連星系周りの軌道の安定性を数値計算で調べたHolman and Wiegert(1999)の結果によると、冥王星-カロン系では公転周期がカロンの2.8倍より小さい軌道は不安定とされている。しかしながら、この結果は限られた数の数値実験に基づくもので、公転周期がカロンの2倍となる安定な軌道が本当に存在しないかどうかは明らかではない。

名前	公転周期(日)	軌道半径(km)	質量(kg)
冥王星	6.387	2,390	1.3×10^{22}
カロン	6.387	19,571	1.53×10^{21}
ステュクス	20.2	42,000	?
ニクス	24.856	48,675	$\leq 5.00 \times 10^{18}$
ケルペロス	32.1	59,000	?
ヒドラ	38.207	64,780	$\leq 5.00 \times 10^{18}$

本研究では公転周期がカロンの約2倍となる安定な軌道が存在するかどうかを数値計算によって調べた。冥王星とカロン以外の衛星の質量は無視できるものとして円制限三体問題の枠組みで質量ゼロの質点の運動を数値的に解いた。円制限三体問題とは質量がゼロでない円運動する2体の周りにおける質量ゼロの質点の運動を扱うもので、円制限三体問題ではヤコビ積分という保存量が存在しこれを用いて質点の運動を解くことができる。

2. 数値計算

初期位置と初速度を与えて、ガウス・ルジャンドル法によって質点の運動を数値的に計算した。初期位置は冥王星-カロンの共通重心からの距離と冥王星-カロンに対する相対的な位置で与えた。

共通重心からの距離は約1.48~1.70(冥王星-カロンの距離を1)の間で21通り、相対位置は45度ずつずらした8通りとした。初速度は初期位置で等速円運動をする速度の0.9~1.1倍の間で20001通りを与えた。本研究で計算した質点の数はHolman and Wiegert(1999)の約80倍である。計算ステップの刻みは各質点が回転座標系を1周するのが約100ステップとなるように設定し、 10^6 ステップまで計算した。

3. 結果と考察

ステュクス(公転周期がカロンの約3倍の衛星)の軌道と交差するものは軌道が不安定であるとして、 10^6 ステップまで安定に存在した質点の数を図に示した。共通重心からの距離が大きい程安定な粒子の数は多い。また、初期位置(冥王星-カロンに対する相対的な位置)によって安定な粒子の数は大きく異なることがわかった。

計算の範囲内において、公転周期がカロンの約2倍となるような安定な軌道が存在した。ただし計算した期間は最大でも393年であり、より長期にわたってこれらの軌道が安定であるかどうかはこの結果だけからはわからない。しかしながら、初期条件の数を増やした今回の計算によって、公転周期がカロンの約2倍となるような衛星が存在している可能性のあることが示された。

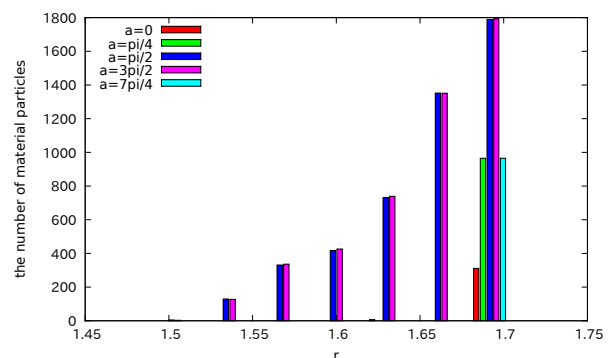


Figure 1: 各初期値において 10^6 ステップ(回転座標系で 10^4 周)まで安定に存在した質点の数。横軸rは共通重心から質点までの距離を無次元化したもの。

4. 参考文献

Holman and Wiegert(1999) Astron.J. 117, 621-628.

Ward and Canup (2006) Science 313, 1107-1109.