

Unityを用いた小惑星軌道の安定性の検証

浅沼 航志、河南 佳吾 (高1) 【巢鴨高等学校】

要旨

ゲームエンジンの物理演算機能を用いて、太陽と木星の重力を受ける小惑星の軌道の力学的な安定性について検証を行った。

1. はじめに

2021年10月16日、NASAの小惑星探査機Lucyが打ち上げられた。この探査機はトロヤ群小惑星やメインベルト小惑星の計8つの小惑星を観測する予定である。これをきっかけとして、小惑星軌道について詳しく調べることにした。

2. 目的

火星と木星との間に存在する多数の小惑星のうち、木星の重力を受けて軌道が安定するトロヤ群小惑星、ヒルダ群小惑星、チュレ群小惑星と不安定になるカークウッドの間隙における小惑星軌道の安定性についてゲームエンジンを用いたシミュレーションにより検証する。

3. 方法

(1) 使用したPC、シミュレーションソフト

使用したPC：NEC VersaPro

- ・プロセッサ：corei3-8145U CPU 2.10GHz
- ・実装 RAM：8.00 GB

シミュレーションソフト：Unity¹⁾

無料でダウンロードできるゲーム制作エンジンで、多数の参考書やサイトがある。

(2) 確認

(2-1) 万有引力による運動の確認

mizu-mi blog²⁾では地球が太陽の周りを円運動や楕円運動の様子をシミュレーションしている。今回は容易に検証可能な円軌道のみで再現を行った。

(2-2) 万有引力による運動の確認(2)

mizu-mi blog³⁾では、月が地球と太陽からの両方の重力を受けて、地球の周りを回る様子をシミュレーションしている。これは同じ三質点系を扱う本研究に似ており、パラメーター（オブジェクトの設定方法）やスクリプト（力の式の記述されたファイル）が公開されていたので参考にした。

(3) 手順

宇宙規模のスケールで計算した後、Unityの規模に合わせてスケーリングする。

(3-1) 太陽、木星のデータ

・太陽と木星の質量、木星の軌道半径と公転周期は理科年表⁴⁾から引用した。

・初期位置：太陽は原点、木星は太陽から 7.783×10^{11} m離れた位置に置く。

・木星の速度：等速円運動を仮定して、向心力=万有引力より初速を求め、太陽と垂直な方向に与えた。

(3-2) 小惑星のデータ

・軌道半径：平均運動⁵⁾（1周期で平均した公転角速度）の逆比が木星の公転周期と小惑星の公転周期の比になる。小惑星の公転周期からケプラーの第三法則より軌道半径を求めた。

・初期位置：トロヤ群小惑星以外はすべて太陽と木星の直線上の各々の軌道半径の位置に置く。トロヤ群小惑星L4は木星の公転方向に対して前方 60° に位置する。L5は後方 60° に位置する。

・質量：ほぼ正確な値が定まっているイトカワやリュウグウの値を考慮して 1.0×10^{10} kgとする。

・初速：木星と同様に、向心力=万有引力より求めた。

(3-3) スケーリング

Unityでは質量の上限が 1.0×10^9 kgに設定されているため、 10^{-22} 倍にした。大きさは値を参考文献3に近づけるため、 10^{-10} 倍にした。速度を同じ値にするため、重力定数を 10^{12} 倍にした。

4. 結果

今回は、方法(2)までの結果を示す。

確認(2-1)の結果を図1に示す。このようにUnityでは、ほぼ誤差がなく、きれいな円運動をリアルタイムで描けることが分かった。

確認(2-2)の結果を図2に示す。このように月が太陽と地球から重力を受けていることが分かる。つまり、スクリプトは間違っておらず、ゲームエンジンを用いたシミュレーション実験に使用できることが分かった。



図1 太陽と地球の運動の様子（中心の点が太陽、黒い軌跡が地球）



図2 太陽と地球と月の運動の様子（うごいていない点が太陽、外側の点が月、中間の点が地球）

5. 考察

軌道計算の精度について考察を加える。ケレスに働く木星からの万有引力に対する太陽からの万有引力の割合を、万有引力の公式 $F = G \frac{mM}{r^2}$ を用いて求めると、約4%であることが分かった。（ケレスは観測がしやすく、質量がほぼ正確に定まっているため計算に使用した。）つまり、本実験で木星の重力による明らかな影響を表すには正確な計算が必要となる。Unityの参考文献2で使用したfloatが32ビットであることを考慮すると、実験結果からUnityは小惑星の木星の重力による軌道のズレを見ることが可能であると推測される。

6. 今後の課題

まずは、手順(3-3)で求めた値を代入し、ゲームエンジンを用いたシミュレーション実験を終わらせたい。さらには、今回は簡単のために省略した木星の楕円運動や、軌道傾斜をUnity上で再現し、定量的な評価を行いたい。また、実際の楕円運動がシミュレーションでできるようになれば、ヒルダ群小惑星が太陽を挟んで木星の反対側、あるいは木星より 60° ほど前もしくは後ろにある力学的に平衡な点、ラグランジュ点L4、L5の内側のいずれかの遠日点を通過することも示したい。

7. 参考文献

- 1) Unity公式サイト <https://unity.com/ja>
- 2) mizu-mi blog | Unityで万有引力による運動の確認 <https://mzmlab.hatenablog.com/entry/unity-planet>
- 3) mizu-mi blog | Unityで万有引力による運動の確認(2)～月も回してみた <https://mzmlab.hatenablog.com/entry/unity-planet-moon>
- 4) 国立天文台 編. 理科年表2021. 丸善出版, 2020年
- 5) 天文学辞典 | 平均運動共鳴 <https://astro-dic.jp/mean-motion-resonance/>