

# 小惑星の研究

金光研究室 小松原 直希

## 1. 序論

小惑星には軌道が確認されると番号が振り分けられる。軌道が確認され、番号がついた小惑星は 12 万個近くもあり、その多くの軌道は火星と木星の間に存在している。しかし、中には地球の近くまで接近するものも存在している。最近では 2004 年 9 月に、4179 番目の小惑星「トーチタス」が地球に接近することが話題となった。この小惑星は地球から約 155 万キロメートルまで接近する。近づくといっても地球からはかなり離れており、パニックを引き起こすほどではないが、過去 100 年以上にわたり、この距離まで接近することが確認された小惑星のなかでは、最大のものとなっている。

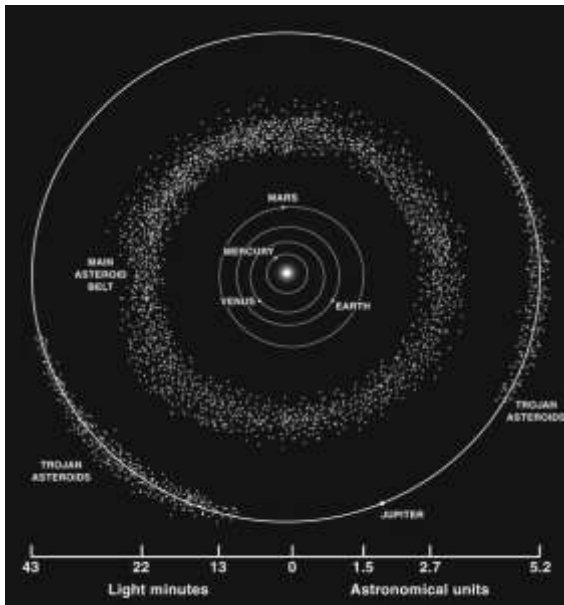
本研究では、太陽と木星の重力に小惑星の軌道がどのように影響されるのかを観察できるようなパソコンシミュレーションを作る。

## 2. 小惑星

太陽の周りを公転する惑星よりも小さな天体の総称。(当時の)望遠鏡で見ると恒星のように見えることから、ウィリアム・ハーシェルにより、ギリシャ語の  $\alpha \sigma \tau \epsilon \rho$  (aster 恒星) と  $\epsilon \iota \delta \omicron \varsigma$  (eidos 姿、形) から "asteroid" と命名された。主として火星と木星の間にある。ティティウス・ボーデの法則から予想された火星と木星間の“欠落惑星”の調査が発見のきっかけになった。イタリアの天文学者 G. Piazzi が 1801 年 1 月 1 日に最初の小惑星セレスを発見し、その後数年の間に 3 個の小惑星が発見された。当時すでに H. Olbers は、これらの小惑星が 1 つの惑星から壊れた破片であろうと考えた。小惑星の探査は当初は可視光観測によって、後には写真観測によって行われた。新しく発見された小惑星は詳しく観測された後、登録番号と名前が与えられる。Harvard-Smithsonian 天文学物理センターには小惑星の位置観測の完全なデータが保管されており、また、レニングラードの理論天文学研究所では、2200 個以上の登録済み小惑星の予測位置一覧を毎年発行している。

## 3. 軌道

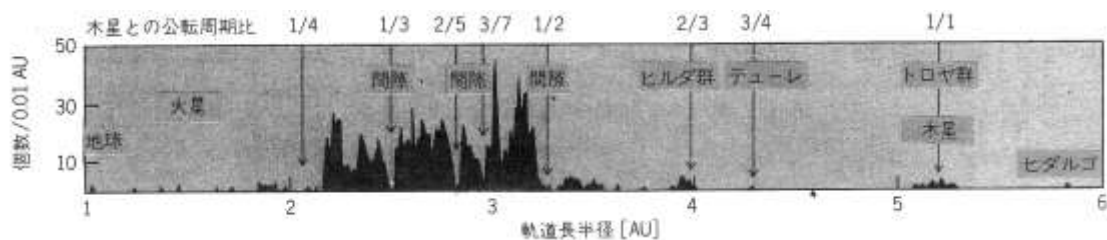
大多数の小惑星が 2.2AU から 3.2AU の間の軌道長半径を持つ。しかし、地球と火星の間に軌道を持つ小惑星もあり、また、トロヤ群と呼ばれる 2 つの小惑星グループは木星と同じ軌道半径を持っている。太陽からもっとも遠い小惑星はキロンでその軌道長半径は 13.632AU で、土星と天王星の間である。最も近い小惑星の軌道長半径は 0.832AU である。



ほとんどの小惑星の軌道は、主要惑星の軌道に比べて、離心率が大きく、軌道面傾斜角も大きい。離心率の平均値は約 0.15、軌道面傾斜角の平均値は約  $10^\circ$  である。中には離心率が 0.5 を超えるものや軌道面傾斜角が  $30^\circ$  より大きなものもあり、短周期彗星との間に明確な区別はない。アモール群という小惑星群の軌道は火星の軌道と交差しており、アポロ群と呼ばれる少数の小惑星は地球軌道と交差する。

小惑星の軌道長半径  $a$ 、離心率  $e$ 、軌道面傾斜角  $i$  の分布は一様ではない。小惑星の軌道長半径には Kirkwood の間隙と呼ば

れる欠落箇所が存在している。Kirkwood の間隙は、そこでの公転周期が木星の公転周期 (11.862 年) と簡単な整数比をなすところに現れる。間隙にも小惑星が存在していたと考えられるが、木星との公転周期が簡単な整数比になることから、これらの小惑星は同じ配位で木星と会合を繰り返すことによって、木星の重力摂動を強く受け、大きな速度を得て、他の小惑星と激しく衝突したために次第に数が減っていったと考えられている。また木星に近い領域でも小惑星は存在していたはずであるが、木星の重力によって直接跳ね飛ばされ消失してしまったと考えられている。ただし、公転周期比が  $2/3$  のヒルダ群と  $3/4$  のチュレーは、木星との接近会合をうまく避けるように公転しているため、生き残っている。



似かよった  $a$ 、 $e$ 、 $i$  をもつ小惑星の集団を族という。小惑星の族は、1918 年平山清次によって最初に発見された。最近 J. Williams によって続の一覧表が作成されたが、それによると、族の数は 100 を超え、登録番号を持つ小惑星の約 4 割は族に属している。族は同じ母天体から壊された衝突破片の集まりと考えられている。

#### 4. シミュレーション

まず、小惑星の質量は木星や太陽の質量と比べると非常に小さなものであるので、考え

ないものとした。数値計算をする上で、計算を簡単にするために次のように単位を選んだ。

長さの単位：1天文単位=1.496×10<sup>11</sup> m 重さの単位：太陽質量=1.989×10<sup>30</sup> kg

こうすると重力定数G=6.672×10<sup>-11</sup> [m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> s<sup>-2</sup>]なので、

$$s = \sqrt{\frac{(1.496 \times 10^{11})^3}{(1.989 \times 10^{30}) \times (6.672 \times 10^{-11})}} = 5.023 \times 10^6 \text{ 秒}$$

なるので、G=1 になるように時間の単位を決めようとする、時間の単位：(G=1 になるように) = 0.159 年となった。これらの単位を用いて、運動方程式の数値積分を行い小惑星の軌道をシミュレーションしていった。その際、運動方程式の数値積分には、定評のあるルンゲ・クッタ法を使い計算を行った。このシミュレーションに使用する運動方程式は以下の二つである。太陽-木星間での万有引力(G=1)【y, zも同様】

$$\frac{dx}{dt} = u$$

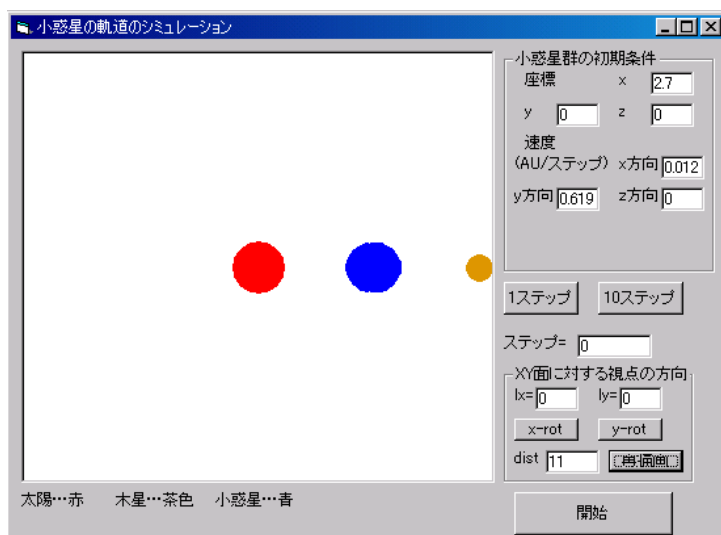
$$\frac{du}{dt} = -\frac{M(x-x')}{r^3}$$

小惑星-太陽と木星間での万有引力(G=1)【y, zも同様】

$$\frac{dx}{dt} = u$$

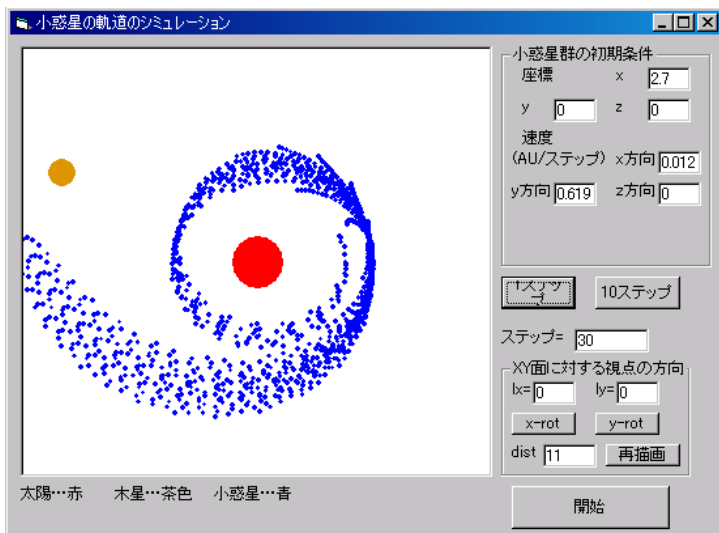
$$\frac{du}{dt} = -\frac{M1(x-x1')}{r^3} - \frac{M2(x-x2')}{r^3}$$

コンピュータで計算する際太陽-木星間また、小惑星-太陽と木星間での万有引力を数値積分するのにそれぞれ上式のように二階微分方程式を一回の連立微分方程式に分けて計算を行った。

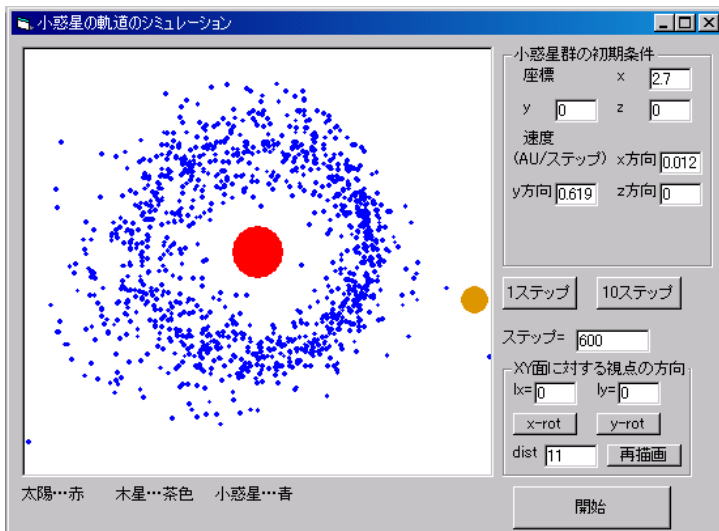


開始直後の小惑星の様

現代的な太陽系起源論では、惑星は小惑星に似た無数の微惑星の集積の結果作られたものと考えられている。このような惑星形成過程の自然な延長として、火星と木星の間にあった微惑星で惑星に捕獲されずに取り残されたものが小惑星であろう、とするのが今日支配的な考えである。こういった点を踏まえて今回は小惑星帯の存在する太陽から



30 ステップ(4.47 年)後の小惑星の様子



600 ステップ(95.4 年)後の小惑星の様子

していることがわかる。また、太陽付近や木星の軌道付近、木星の外側では小惑星の数が少なくなっている様子も見てとれる。

## 5. まとめ

今回の研究では太陽と木星の万有引力のみを用いてシミュレーションを行ったが、小惑星同士の衝突などの力も計算できるようにすることが今後の課題である。また小惑星の特性を族ごとに分けてそれぞれ違った条件を与えられるようにすることによって、より細かく小惑星の軌道を計算できるようにプログラムを改善していく必要がある。

2.7AUの地点に1200個の小惑星を配置し、x軸方向に0.012(AU/1ステップ)、y軸方向に0.619(AU/1ステップ)の初速を与えてシミュレーションを行った。シミュレーションを開始した直後から、小惑星は太陽に吸い込まれるようにして、反時計回りのらせん状に公転を開始した。

そこから200ステップほど計算を進めると、木星の万有引力によって木星の外側に弾き飛ばされる小惑星なども見られるようになった。そうして600ステップまでシミュレーションを進めていくと小惑星の公転の軌道も安定してくるようになった。

600ステップ後の小惑星の軌道を見てみると小惑星の軌道は、太陽と木星の間の距離が5.2AUである点から考えて、2.2AUから3.2AU付近に集中