

太陽系シミュレータの作成

大阪工業大学 情報科学部 情報科学科

学生番号 A05-132

森本雄士

2010年2月11日

目次

1	序論	3
1.1	背景	3
1.2	本研究の目的	3
1.3	本論文の構成	3
2	ニュートンの運動方程式	4
2.1	ニュートンの運動方程式	4
2.2	Runge-Kutta 法	8
2.3	初期条件の決定	10
2.4	精度・コードチェック	10
3	考察	13
3.1	軌道の傾きについて	13
3.2	質量について	13
4	シミュレータの解説	14
4.1	シミュレータ全体の構成	14
4.2	シミュレータの座標系の設定	15
4.3	シミュレータの使用例	16
4.3.1	年月の指定	16
4.3.2	表示惑星の切り替え	18
4.3.3	XY/XZ平面の切り替え	19
4.3.4	軌道の表示/非表示	20
4.3.5	星/衛星の設置	21
4.4	フローチャート	25
5	結論	26

1 序論

1.1 背景

太陽系とは、太陽を中心にした8つの惑星、惑星になりそこなった天体や衛星、広大な宇宙空間に存在する塵や太陽から放出されているプラズマ、高エネルギー粒子などで構成されているものの事をいう。ほとんどの質量は、太陽が担っており、惑星を含めた他の天体をあわせても太陽の質量の100分の1にも満たないほどである。

太陽系の構成要素のほとんどは、太陽をほぼ中心にして、それぞれが公転運動している。8つの惑星の軌道は、ほぼ黄道面（地球の軌道平面）に沿っており、またそれぞれが円形に近い楕円で安定している。一方、惑星以外の天体の場合は、軌道が長期にわたって安定とは必ずしも限らない[1]。

1.2 本研究の目的

本研究では、 xyz 座標の3次元で視覚化することで2次元と比較した場合どのような利点があるか、各惑星の質量が惑星や衛星の運動にどれ程影響を与えているかなどを調べつつ、惑星と冥王星・月の正確な位置を計算し表示するシミュレータを作成するのが目的である。また、年月の指定、アニメーションの一時停止、軌道の表示、 $x-y$ 座標と $x-z$ 座標の切り替え、任意の座標に衛星・小天体の設置、冥王星と月を含んだ惑星の情報を確認出来る、以上のようなインタラクティブな要素を取り入れる。

1.3 本論文の構成

本論文の構成は次のようになっている。

第2章では、本論文で使用する諸概念について述べる。

第3章では、考察を述べる。

第4章では、本シミュレータの各機能について説明をする。

最後に、第5章で本論文の結論を述べる。

2 ニュートンの運動方程式

本章では、ニュートンの運動方程式についての説明や、実際に解く式などについて述べる。

2.1 ニュートンの運動方程式

ニュートンの定めた運動の法則は、

- 慣性の法則
外から力が作用しなければ、物体は静止したままか、等速直線運動をする。
- 運動の法則
物体に力が作用すると、力の方向に加速度を生じる。加速度はその物体が受ける力に比例し、物体の質量に逆比例する。
- 作用・反作用の法則
全ての作用に対して、等しく、かつ反対向きの反作用が常に存在する。

の3つである。以下、定量的な法則である運動の法則について述べる。

質量 M の物体から受ける万有引力で、質量 m の物体の運動を考えると、以下の式になる

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -G \frac{Mm}{r^2} \quad (2.1)$$

G は万有引力定数、 $r(t)$ は両者の重心間の距離 (t は時間である)、 m は両辺割って消せる。なお、式 (2.1) は二体問題であり、本研究では N 体問題を扱う。図 1 は N 体問題を簡単に説明するために物体 3 つの場合について説明したもので、式として表すと以下のようなになる、

$$M_1 \frac{d^2 r}{dt^2} = -G \frac{M_1 M_2}{r^2} - G \frac{M_1 M_3}{r^2} \quad (2.2)$$

質量 M_1 の物体の運動を考えた場合、質量 M_2 と M_3 の物体から受ける万有引力の合計となる。

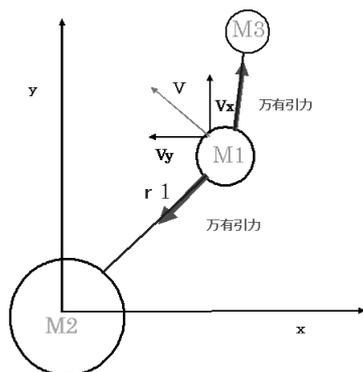


図 1: N 体問題

M_1 が M_2 と M_3 より受ける万有引力によって V 方向に進むのを表している

実際には惑星の個数分足し合わせる必要があるので、 n 個の星がある時 i 番目の星 (質量 m_i) の運動方程式は、

$$m_i \frac{d^2 r}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G \frac{m_i m_j}{r_{ij}^2} \quad (2.3)$$

となる。ここで、 r_{ij} は i 番と j 番の惑星の距離である、ただし $i \neq j, i, j = 1, 2, 3 \dots n$ 。また、運動方程式は、大きさだけでなく、向きも含んだ方程式である。本研究では、3次元の運動方程式を解くので表示は x - y 座標と x - z 座標の二つの座標を用意した。これにより、擬似的に3次元表示を可能にしている。

用いた座標系は原点を太陽の中心においた日心黄道座標系である [2]。各軸の取り方は図 2 の通りである。

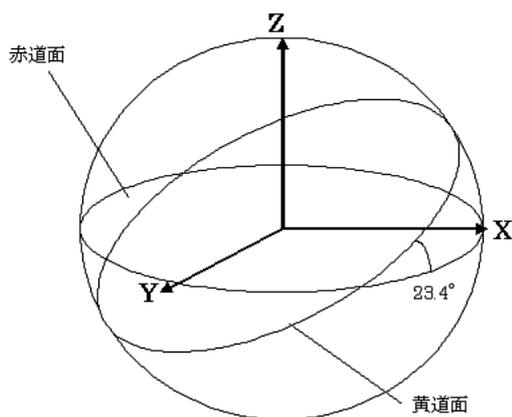


図 2: 座標系

本研究で用いた日心黄道座標系

力の働く方向を x, y, z の 3 方向に分け, 座標点 $(x, y \text{ or } z)$ と原点を結ぶ線分と x 軸のなす角度を θ とすれば (図 3),

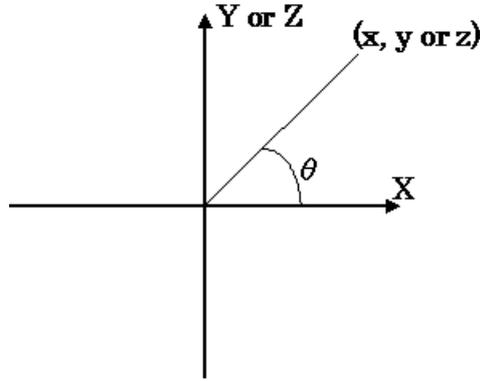


図 3: 角度の定義
原点と $(x, y \text{ or } z)$ を結ぶ線分と x 軸のなす角度 θ

$$\cos \theta_x = \frac{x}{r}, \sin \theta_y = \frac{y}{r}, \sin \theta_z = \frac{z}{r} \quad (2.4)$$

となるので, 力の成分は,

$$m_i \frac{d^2 x}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G \frac{m_i m_j}{r_{ij}^2} \frac{x}{r} \quad (2.5)$$

$$m_i \frac{d^2 y}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G \frac{m_i m_j}{r_{ij}^2} \frac{y}{r} \quad (2.6)$$

$$m_i \frac{d^2 z}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G \frac{m_i m_j}{r_{ij}^2} \frac{z}{r} \quad (2.7)$$

となる, ここで x, y, z, r は

$$x = x_j - x_i \quad (2.8)$$

$$y = y_j - y_i \quad (2.9)$$

$$z = z_j - z_i \quad (2.10)$$

$$r = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} \quad (2.11)$$

なので,

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{(x_j - x_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.12)$$

$$m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{(y_j - y_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.13)$$

$$m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = - \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{(z_j - z_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.14)$$

となる .

2.2 Runge-Kutta 法

一般的に差分法では精度が悪い，そこで，常微分方程式に対してはより高精度な方法を使うのが普通である．Runge-Kutta 法はその中でも簡単で，しかもある程度の精度が出る方法だ．

Runge-Kutta 法のアイディアは，Euler 法の要領で 1 ステップ Δx 進むときに，何回か推測値を修正して精度を上げる，というものである．

もっとも簡単な 2 次の Runge-Kutta 法は，微分方程式である，

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (2.15)$$

を解くときに，点 (x_n, y_n) から次の点 $x_{n+1} = x_n + \Delta x$ における y_{n+1} の値を求める計算を，

$$\begin{aligned} k_1 &= \Delta x \cdot f(x_n, y_n), \\ k_2 &= \Delta x \cdot f(x_n + \Delta x, y_n + k_1) \\ y_{n+1} &= y_n + \frac{1}{2}(k_1 + k_2) \end{aligned} \quad (2.16)$$

とする． k_1 は x_n での右辺を用いた y_{n+1} の推測値， k_2 は k_1 を利用した第 2 の推測値で，それらの平均を取る形になっている．このときの局所的な計算誤差は， $O((\Delta x)^3)$ であり，2 次精度といえる．

理論的には，1 ステップを多段階に分割し，さらに各段階での y_n の予測値を加重平均で算出することが可能である．一般的な Runge-Kutta 法は，

$$\begin{aligned} k_i &= \Delta x \cdot f(x_n + c_i \cdot \Delta x, y_n + \Delta x \sum_{j=1}^s a_{ij} k_j) \\ y_{n+1} &= y_n + \frac{1}{2}(k_1 + k_2) \end{aligned} \quad (2.17)$$

と書くことが出来る， a_{ij} , b_i , c_i は係数であり，段数と呼ばれる s と，これらの係数に応じて様々なスキームが可能になる．

非常によく使われ，本研究でも用いる 4 次精度の Runge-Kutta 法は，次のようになる．

$$\begin{aligned} k_1 &= \Delta x \cdot f(x_n, y_n) \\ k_2 &= \Delta x \cdot f(x_n + \frac{\Delta x}{2}, y_n + \frac{k_1}{2}) \\ k_3 &= \Delta x \cdot f(x_n + \frac{\Delta x}{2}, y_n + \frac{k_2}{2}) \\ k_4 &= \Delta x \cdot f(x_n + \Delta x, y_n + k_3) \\ y_{n+1} &= \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \end{aligned} \quad (2.18)$$

図 4 に示すように， x_n から Δx_n の値を予想するプロセスに k_1, k_2, k_3, k_4 の過重平均を用いる方法である．このようにして求めた y_{n+1} を新たに y_n と置き直して， x がまた Δx だけ増加したときの値を求めるという操作を繰り返す．

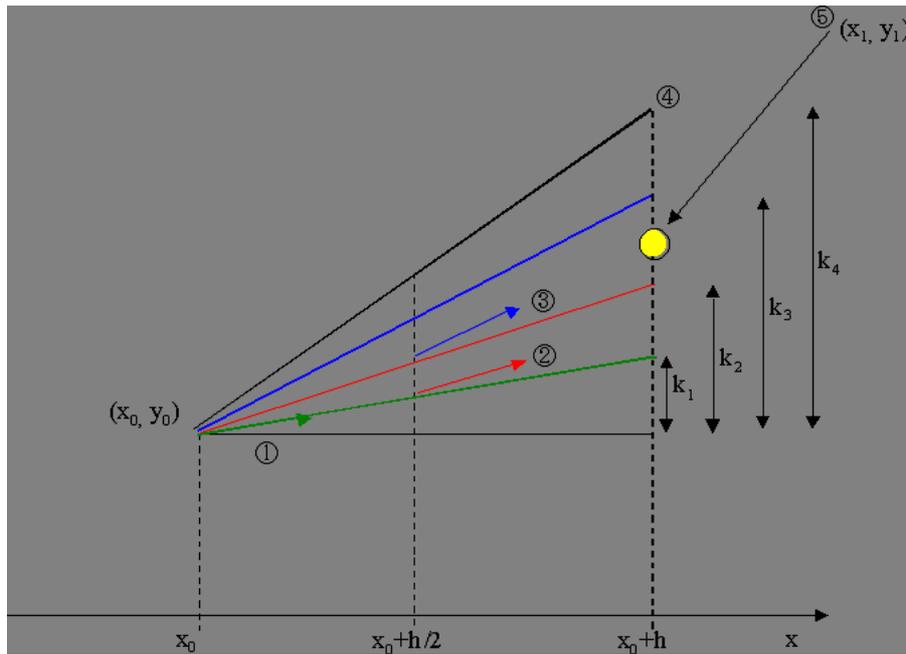


図 4: 4 次の Runge-Kutta 法 . x_0 から x_0+h の座標を求める計算

図 4 の補足をすると ,

1. 点 (x_0, y_0) で傾き $f(x_0, y_0)$ で h だけ進むと y は k_1 だけ変化することになる .
2. この 1 で求めた線上の点 $(x_0 + h/2, y_0 + k_1/2)$ で傾きを計算し , (x_0, y_0) から h だけ進むと y は k_2 だけ変化することになる .
3. 同じように (x_0, y_0) から傾き $(x_0 + h/2, y_0 + k_2/2)$ で h だけ進むと k_3 の変化となる .
4. (x_0, y_0) から傾き (x_0, y_0) から傾き $(x_0 + h/2, y_0 + k_3/2)$ で h だけ進むと k_4 の変化となる .
5. 以上の計算結果のとして点 (x_1, y_1) を得る .

Runge-Kutta 法は , 1 階の微分方程式に用いる解法なので , 2 階の微分方程式である式 (2.12)(2.13)(2.14) を Runge-Kutta 法で解くために ,

$$\frac{dx}{dt} = v_x \tag{2.19}$$

$$m_i \frac{dv_x}{dt} = - \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{(x_j - x_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2)^{\frac{3}{2}}} \tag{2.20}$$

$$\frac{dy}{dt} = v_y \tag{2.21}$$

$$m_i \frac{dv_y}{dt} = - \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{(y_j - y_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2)^{\frac{3}{2}}} \tag{2.22}$$

$$\frac{dz}{dt} = v_z \quad (2.23)$$

$$m_i \frac{dv_z}{dt} = - \sum_{j=1}^n G m_i m_j \frac{(z_j - z_i)}{((x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (2.24)$$

のように2階の微分方程式を1階の微分方程式の連立の組にして同時にRunge-Kutta法で解けばよい。

2.3 初期条件の決定

本研究のシミュレータの初期条件は、以下の定数を元に計算し、比にした値を用いている。なお、詳細な数値は後に記述する。万有引力定数 G 、質量は惑星に対する太陽の質量比(太陽 ÷ 惑星)の逆数、各惑星の座標と初速度は海上保安庁の「天体位置表と基礎理論」より1969年6月27日の値を引用[4]、ただし月の座標においては地球-月の地心距離であるので注意、位置と座標の単位は、単位は天文単位距離、速度は天文単位距離/日速である。

Runge-Kutta法に用いる刻み幅 h の大きさは0.002に設定している。刻み幅の設定の理由として、計算速度と計算の誤差、描画速度の兼ね合いから決定した。

$$\text{万有引力定数 } G = 6.672 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{s}^{-2}\text{kg}^{-1}$$

$$\text{天文単位距離 } A = 1.49597870 \dots \times 10^{11} \text{ m}$$

2.4 精度・コードチェック

計算の精度の目安として、刻み幅0.002では地球一周分の計算を終えるまでに3142ステップである。この条件で計算が正しいかの精度チェックとしては地球の1周期を基準にし、各惑星 ÷ 地球の公転周期を計算した値と天文年鑑の公転周期[3]を比較した。その結果、最大誤差0.029%となったため本プログラムでの計算結果はほぼ正しいとした。この計算結果を得るために座標と初速度においては17桁と多めに採り、倍精度で計算を行っている。

惑星名	質量 (比)
太陽	1.0
水星	1.0 / 6023600
金星	1.0 / 408523.5
地球	1.0 / 332946
火星	1.0 / 3098710
木星	1.0 / 1047.355
土星	1.0 / 3498.5
天王星	1.0 / 22869
海王星	1.0 / 19314
冥王星	1.0 / 15384615
月	(1.0 / 332946) × 0.01230002

表 1: 各惑星の質量 (比)
 全て (太陽質量/惑星質量) の逆数である .

惑星名	x 座標 (A[m])	y 座標 (A[m])	z 座標 (A[m])
太陽	0.0	0.0	0.0
水星	$3.572602 \dots \times 10^{-1}$	$-9.154906 \dots \times 10^{-2}$	$-8.598100 \dots \times 10^{-2}$
金星	$6.082494 \dots \times 10^{-1}$	$-3.491324 \dots \times 10^{-1}$	$-1.955433 \dots \times 10^{-1}$
地球	$1.160148 \dots \times 10^{-1}$	$-9.266055 \dots \times 10^{-1}$	$-4.018062 \dots \times 10^{-1}$
火星	$-1.146886 \dots \times 10^{-1}$	-1.328366 ...	$-6.061551 \dots \times 10^{-1}$
木星	-5.384208 ...	$-8.312495 \dots \times 10^{-1}$	$-2.250979 \dots \times 10^{-1}$
土星	7.889889 ...	4.595709 ...	1.558429 ...
天王星	$-1.826989 \dots \times 10$	-1.162732 ...	$-2.503762 \dots \times 10^{-1}$
海王星	$-1.605950 \dots \times 10$	$-2.394293 \dots \times 10$	-9.400426 ...
冥王星	$-3.048800 \dots \times 10$	$-8.732159 \dots \times 10^{-1}$	8.911354 ...
月	$-8.081773 \dots \times 10^{-4}$	$-1.994630 \dots \times 10^{-3}$	$-1.087262 \dots \times 10^{-3}$

表 2: 各惑星と冥王星, 月の x, y, z 座標
 値は海上保安庁の「天体位置表と基礎理論」より 1969 年 6 月 27 日の値を引用 . ただし月の座標は地心距離であるので注意 . なお , スペースの都合上小数点 6 桁までの値を記す .

惑星名	x 方向の初速度 (A[m/日])	y 方向の初速度 (A[m/日])	z 方向の初速度 (A[m/日])
太陽	0.0	0.0	0.0
水星	$3.367845 \dots \times 10^{-3}$	$-2.488934 \dots \times 10^{-2}$	$1.294407 \dots \times 10^{-2}$
金星	$1.095242 \dots \times 10^{-2}$	$-1.561250 \dots \times 10^{-2}$	$6.328876 \dots \times 10^{-3}$
地球	$1.681162 \dots \times 10^{-2}$	$-1.743130 \dots \times 10^{-3}$	$7.599750 \dots \times 10^{-4}$
火星	$1.448200 \dots \times 10^{-2}$	$-2.372847 \dots \times 10^{-4}$	$-2.837487 \dots \times 10^{-4}$
木星	$1.092366 \dots \times 10^{-3}$	$6.523294 \dots \times 10^{-3}$	$-2.823012 \dots \times 10^{-3}$
土星	$-3.217205 \dots \times 10^{-3}$	$-4.330631 \dots \times 10^{-3}$	$1.926416 \dots \times 10^{-3}$
天王星	$2.215450 \dots \times 10^{-4}$	$3.767654 \dots \times 10^{-3}$	$-1.653244 \dots \times 10^{-3}$
海王星	$2.643125 \dots \times 10^{-3}$	$1.503487 \dots \times 10^{-3}$	$-6.812687 \dots \times 10^{-4}$
冥王星	$3.225418 \dots \times 10^{-4}$	$3.148760 \dots \times 10^{-3}$	$-1.080185 \dots \times 10^{-3}$
月	$6.010848 \dots \times 10^{-4}$	$1.674454 \dots \times 10^{-4}$	$-8.556208 \dots \times 10^{-5}$

表 3: 各惑星の x, y, z 方向の初速度

値は海上保安庁の「天体位置表と基礎理論」より 1969 年 6 月 27 日の値を引用。なお、スペースの都合上小数点 6 桁までの値を記す。

3 考察

3.1 軌道の傾きについて

$x-y$ 座標の2次元でなく $x-y-z$ 座標の3次元で計算を行うことで、 $x-z$ 座標表示において 23° 傾けたとき、冥王星以外の軌道面はほぼ同じであるのに対して、冥王星の軌道面だけ大きく傾いていることがわかった(図5)。このことから、海王星と冥王星の軌道が $x-y$ 座標表示で重なることがあるのは軌道面の傾きの違いからと考えられる。

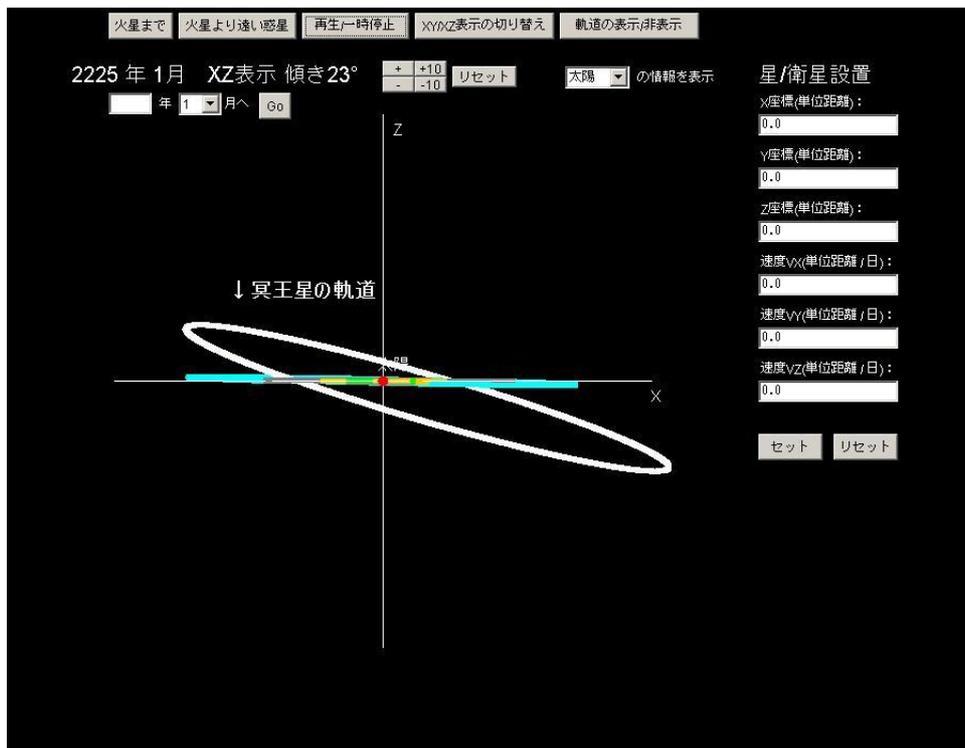


図 5: 冥王星の軌道
火星より遠い惑星の軌道を描いた図

3.2 質量について

各惑星の質量を変化させていて気がついたことは、太陽と木星以外の惑星の質量はほとんど公転運動に影響を与えていないことがわかった。これは太陽の質量に比べると木星以外の惑星はあまりにも小さいからと考えられる。

木星の有無によって生じる公転周期の差を調べるために地球の500年分(精度の目安:一周3142ステップ)の周期を計算した。その結果、木星の質量を含めなかった場合に比べ、含めた場合のほうが地球の公転周期が約3時間ほど遅れていることがわかった。

以上のことから、惑星の軌道に限定した場合は太陽、木星、惑星の3体問題を解くことで座標を求めることができるが、衛星や小天体を含めた場合は、木星はもちろん全ての惑星の質量を含めた多体問題を解く必要があると考えられる。

4 シミュレータの解説

4.1 シミュレータ全体の構成

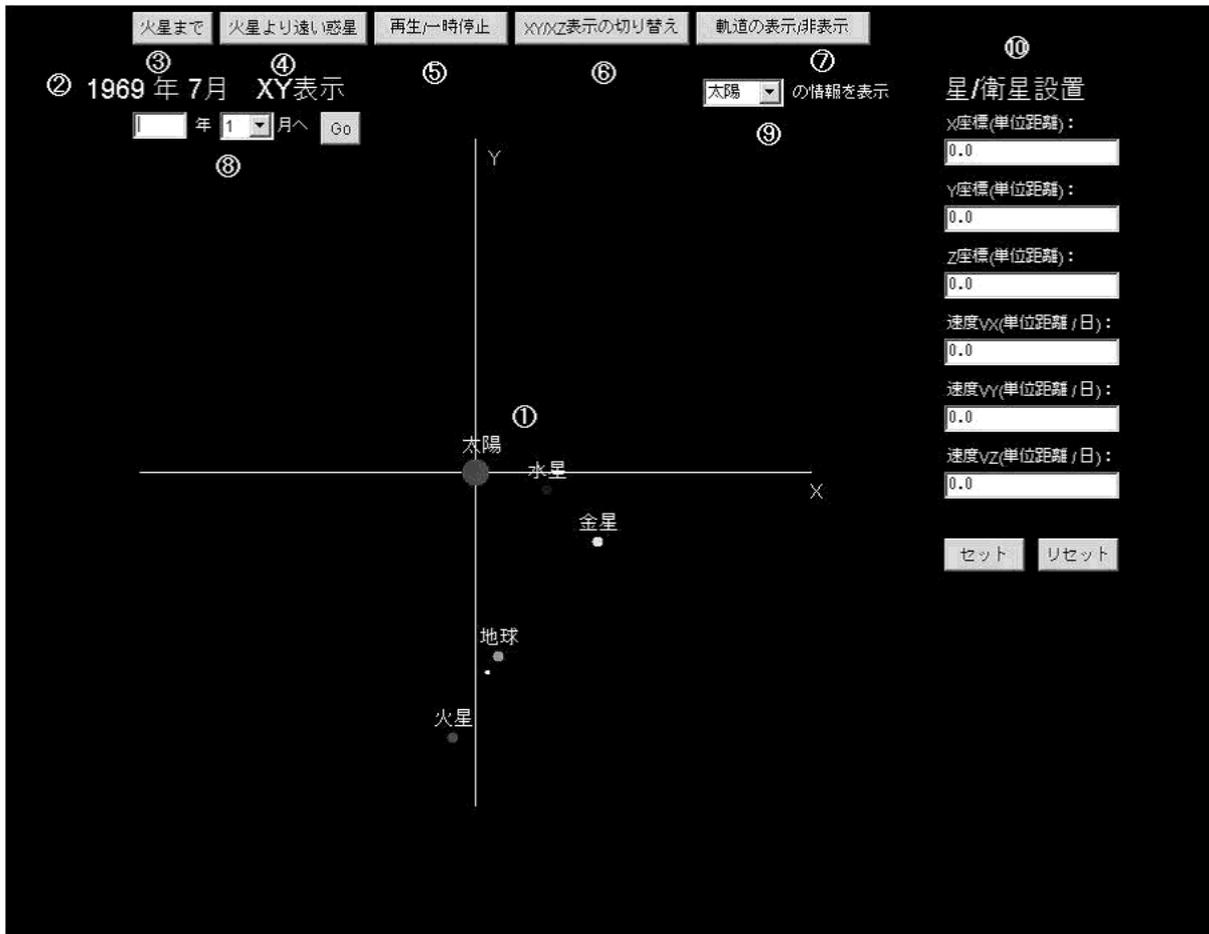


図 6: 画面構成
シミュレータを起動した時の表示画面

1. 惑星の表示
各惑星を表示する，起動時には太陽，水星，金星，地球，月，火星を表示している．
2. 年月の指定
現在の年月と表示している平面を表示． $x-z$ 座標表示においては角度も表示．
3. 火星まで表示
太陽，水星，金星，地球，月，火星までの惑星を表示する．
4. 火星より遠い惑星の表示
木星，土星，天王星，海王星，冥王星の惑星を表示する．

5. 一時停止/再生
このボタンを押すことによりアニメーションが開始する，動いている時に押すことにより一時停止をすることが出来る．
6. XY/XZ 平面の切り替え
このボタンを押すことにより表示する座標を変更することができる． $x-z$ 座標では角度の調整を行うことができる．これにより各惑星の軌道面の傾きを見ることも可能である．
7. 惑星軌道の表示/非表示
このボタンを押すことで惑星の軌道を描画することができる．惑星軌道を描くのではなく，通った軌跡を描くことに注意．この仕様にしたのは，追加した星または衛星の軌道も描けるようにするためである．
8. 指定した年月の惑星位置を表示
左のテキストボックスに年を入力し，次に月を選び最後にGOボタンを押すことで，指定した年月の惑星位置を計算し表示する．なおこの機能は一時停止中のみ使用できる．これは，再生中に実行すると誤差が出る可能性があるため，限りなく誤差をなくすためにこのような仕様にした．
9. 各惑星の情報を表示
リストの中から確認したい惑星を選択することにより，選択した惑星のウィキペディアのページを開くことができる．ウィキペディアによる表示にした理由は，開いた時点での最新情報を見れるようにするためである．
10. 星/衛星の設置
この機能は一時停止中にのみ使用できる．理由は年月の指定と同じである．各テキストボックスに値を入れ，セットボタンを押すことにより設置が完了する．その後，再生することで設置した星/衛星がどのように動くか見ることが出来る．
正確な位置や速度の値が分かれば新たに発見された星や打ち上げた衛星の軌道を表示することができるだけでなく，画面上の一定領域内をクリックするだけで x と y 座標は入力されるようにしたので，画面上を適当にクリックした後，初速度を設定するだけでオリジナルの星/衛星を簡単に設置することができるようにした．
どの程度の数値を入れればよいか分からない時のために，サンプルの値を入力できるようにした．サンプルの使用方法はリストからどれか一つ選ぶだけである．選んだ時点のその惑星の座標と速度がテキストボックスに表示される仕組みである．

4.2 シミュレータの座標系の設定

用いた座標系は原点 $(0, 0)$ を太陽の中心においた日心黄道座標系である [2]．各軸については第 2.1 章の図 2 を参照．

4.3 シミュレータの使用例

4.3.1 年月の指定

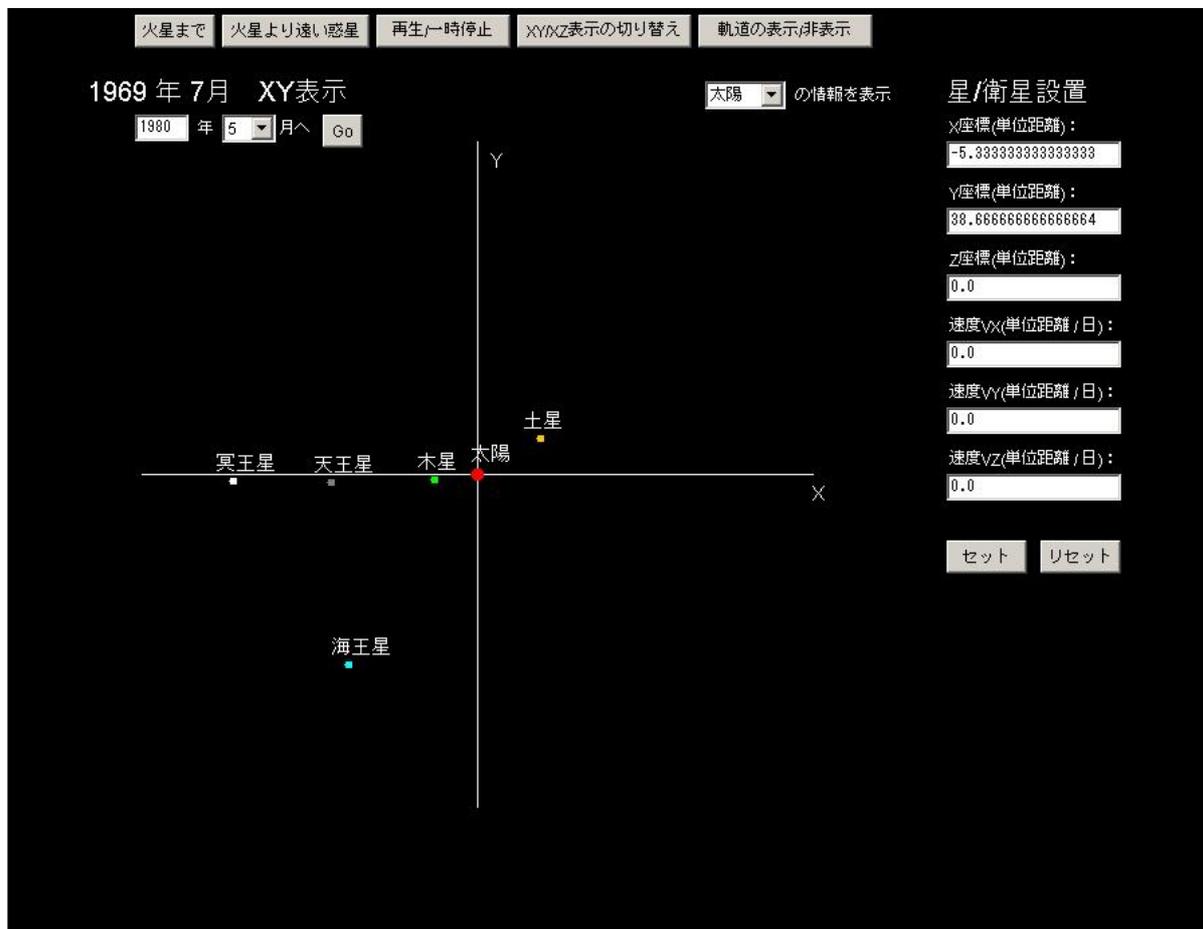


図 7: 年数の指定

画面上部のテキストボックスに年数を入力し月を選択した画面

図 7 は画面左上のテキストボックスに実際に見たい年の数値を入力し、月を選んだ時点の画面である、入力後、右の GO ボタンを押すことにより計算が始まる。表示されている年数から大きく離れた年数を入力すると、その分計算が終わるのが遅くなるので注意。

なお、計算中はアニメーションは停止し、ボタンを押すことも出来なくしている。

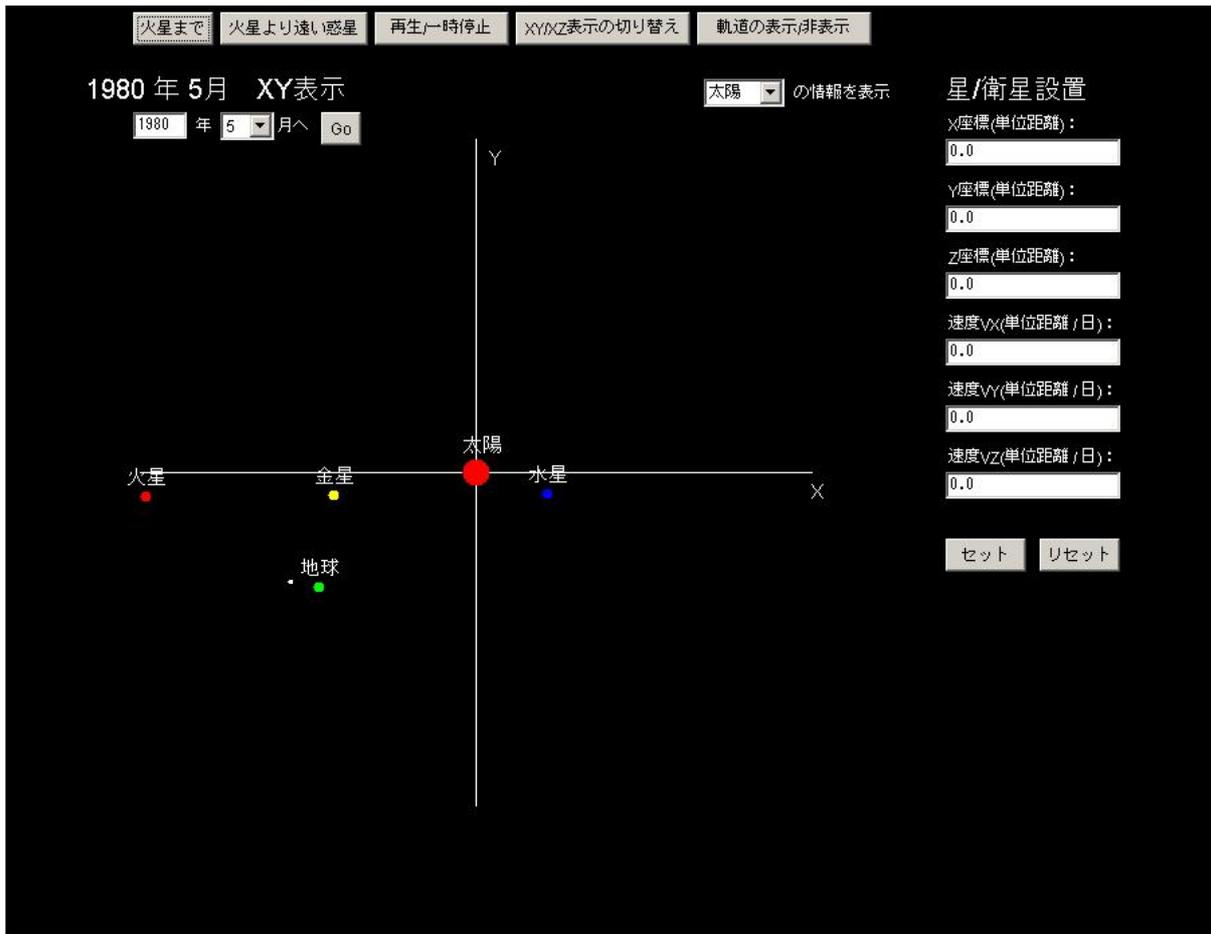


図 8: 計算終了後の画面
指定した年月に達した後の画面

図 8 は図 7 において入力した値で計算が終了した画面である。画面左上の年月の表示が先程入力した年数になっていることが確認出来る。今回は元の年月より大きい数字を入力したが、小さい数字を入力することで過去の惑星の位置を表示することも当然可能である。

4.3.2 表示惑星の切り替え

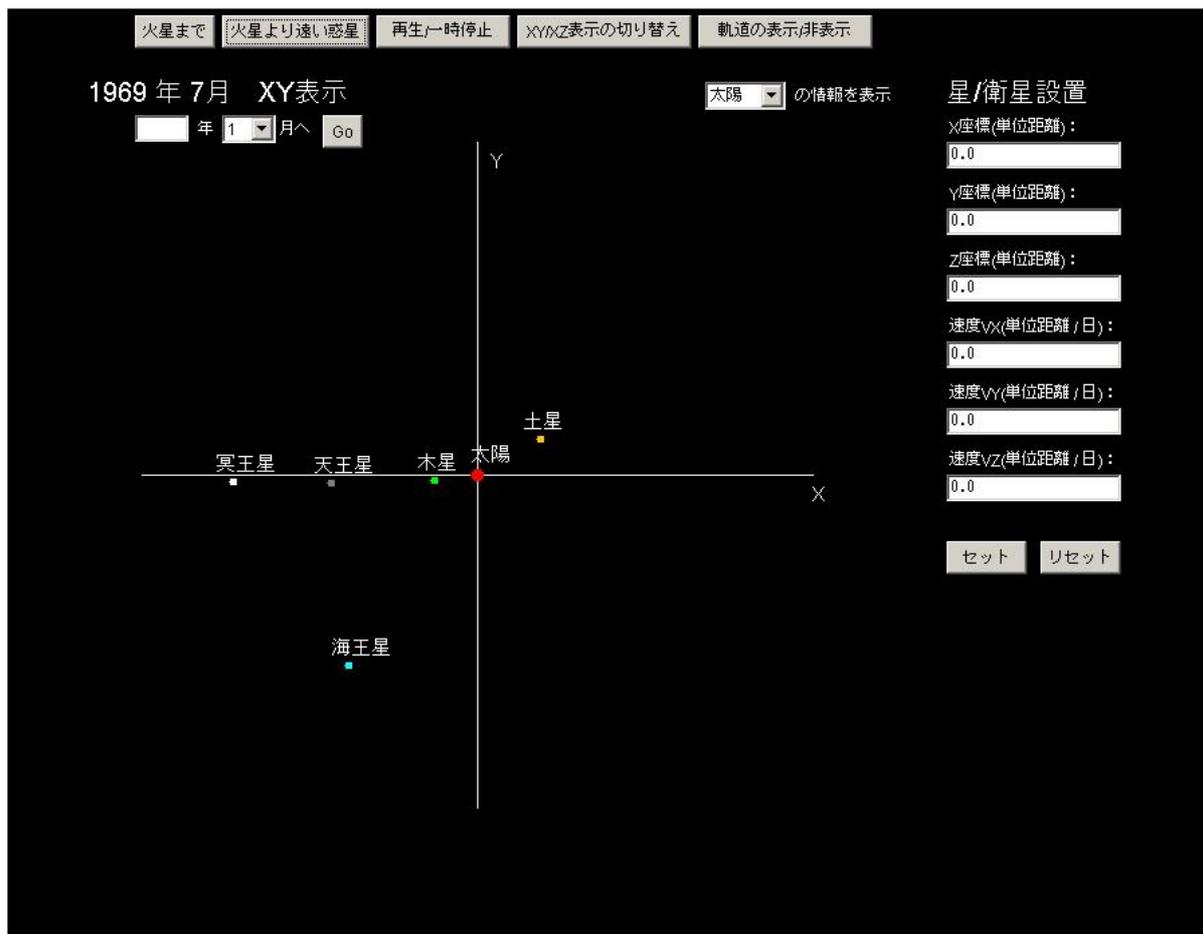


図 9: 火星より遠い惑星の表示

「火星より遠い惑星」をクリックすることで、表示されるのが図9である。中心の惑星から太陽、木星、土星、天王星、海王星、冥王星となっている。「火星まで」をクリックすることで、図6の画面に戻ることができる。

4.3.3 XY/XZ平面の切り替え

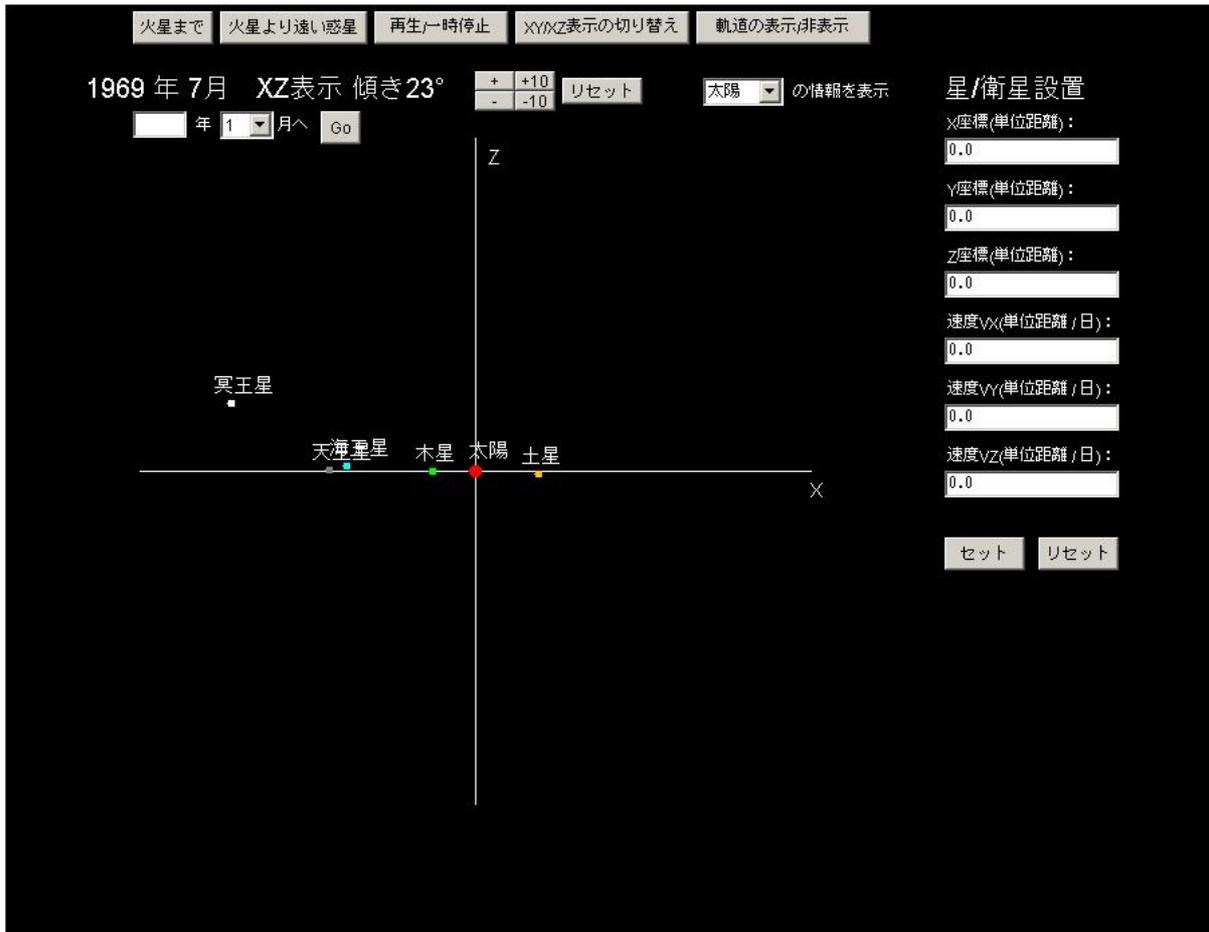


図 10: XZ平面の表示例
表示を XZ平面に切り替え，角度を調整した時の画面

XY/XZ平面の切り替えを押すことにより図 10 のように惑星の座標系を変更し表示を変更することができる。また $x-z$ 平面表示のみ角度調節が可能である。図 10 はもとの表示から x 軸から 23° 回転したものである。見てわかるように冥王星の軌道面だけ他の惑星に比べ、大きく傾いていることがわかる。

4.3.4 軌道の表示/非表示

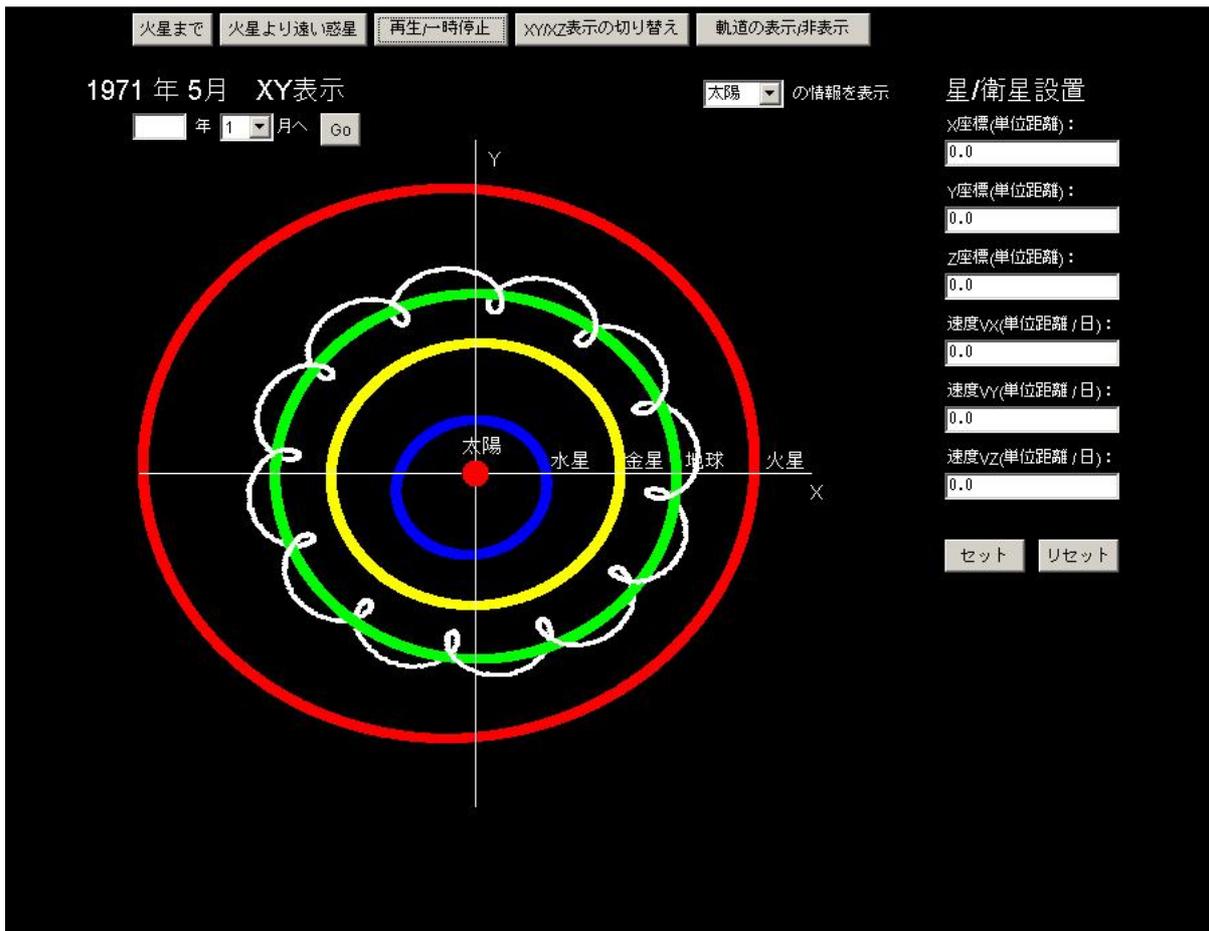


図 11: 火星までの軌道表示例
軌道を描画するようにし、各惑星が1周した時点の画面

図 11 が火星までの表示時に軌道を描いたものである。同様に火星より遠い惑星と XZ 平面表示時にも同様に機能する。

軌道を描くことで各惑星がどのような軌道を描いているか、また、軌道がどの程度傾いているかを分かりやすくするためを目的に作成した。

4.3.5 星/衛星の設置

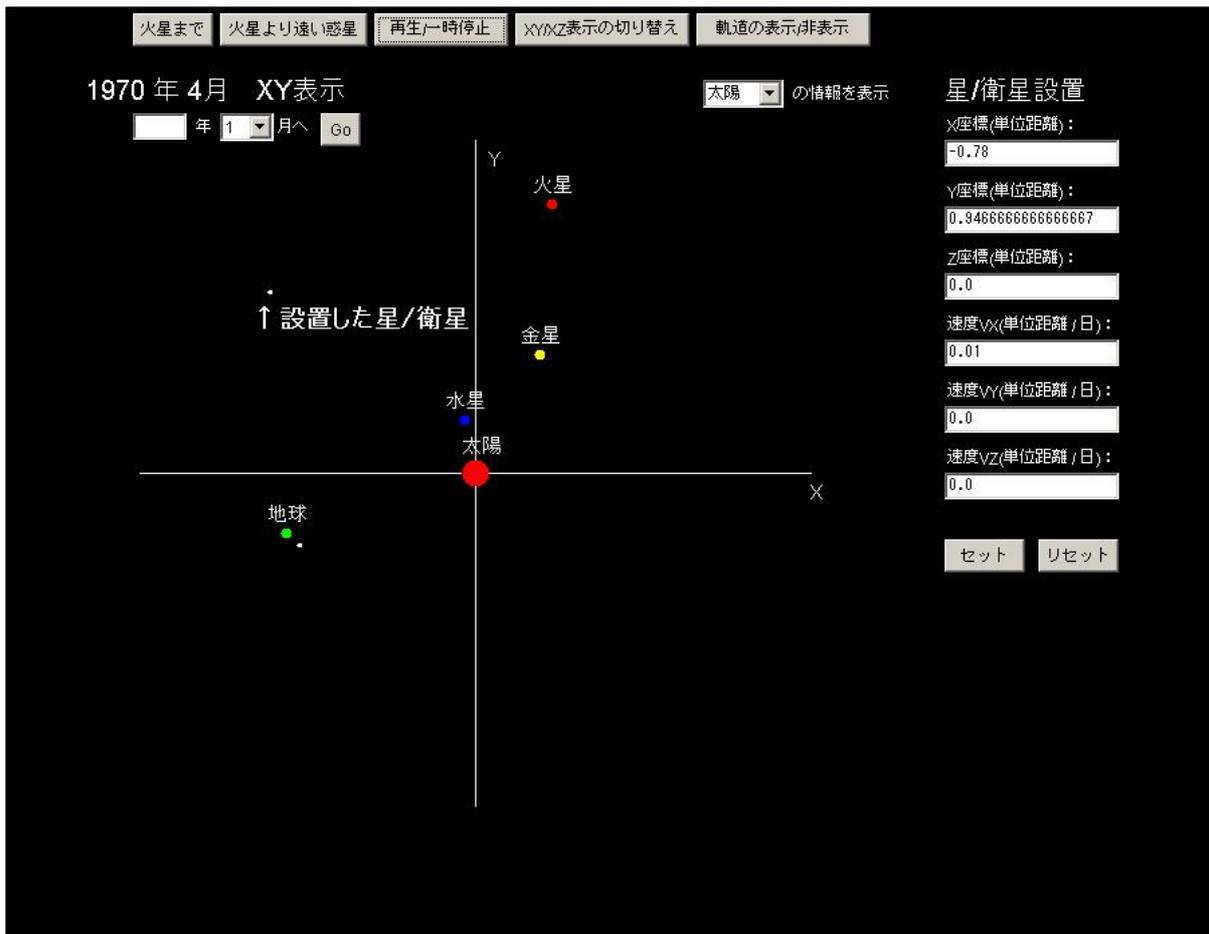


図 12: 星/衛星の設置例

画面右のテキストボックスに値を入力しセットを押した時点の画面

図 12 が実際に星/衛星を設置した画面である。矢印の上にある点が新たに設置した星/衛星である。4.1 で説明した通り、設置する際 X と Y 座標に関しては画面をクリックするだけで入力可能である。その後、各速度を入力しセットボタンを押すことで簡単に設置することを可能にした。

設置後、再生ボタンを押すことで星/衛星がどのように動くか見ることができる。

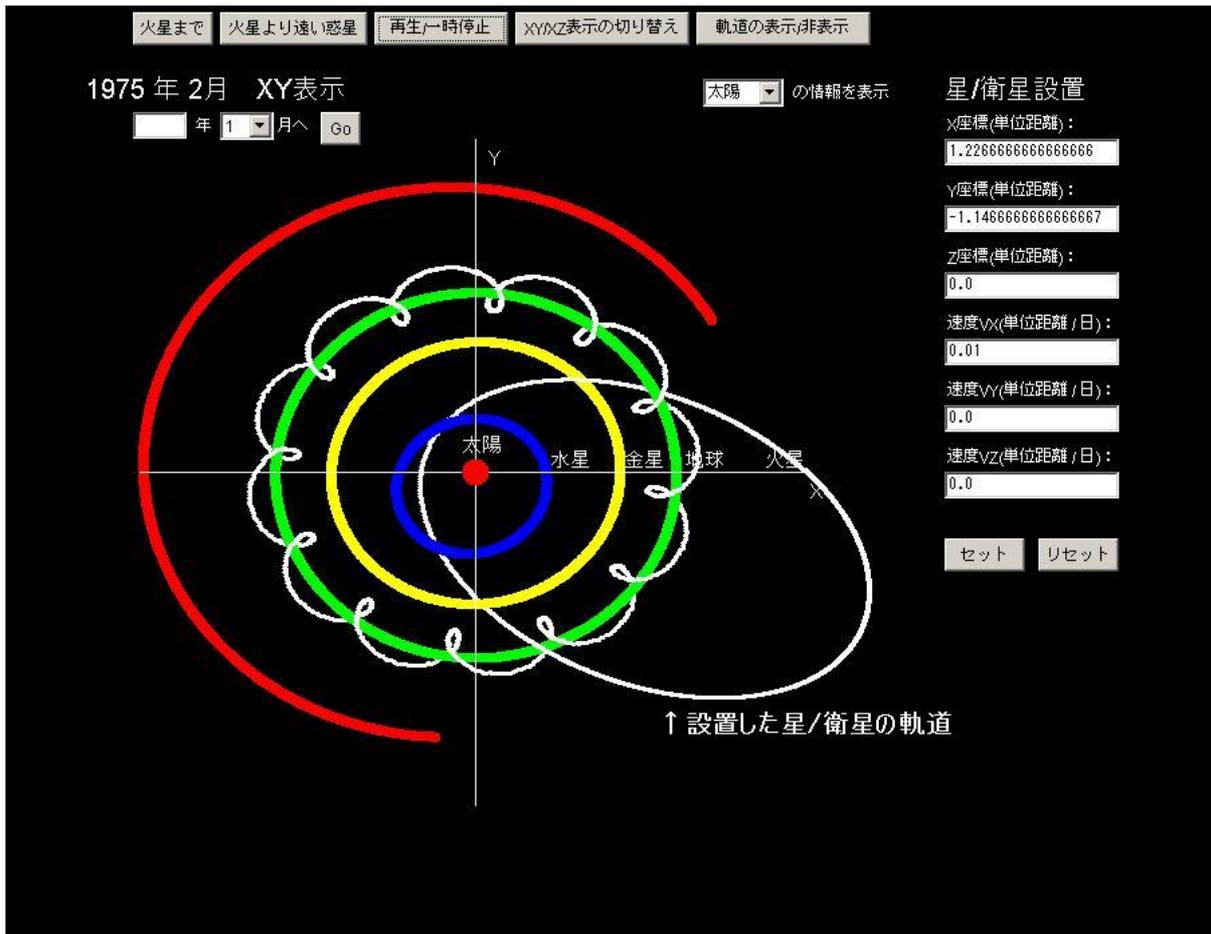


図 13: 設置した星/衛星の軌道
実際に新しい星/衛星を設置し，軌道を描かせた画面

図 13 は実際に新たに星/衛星を設置し，軌道を描かせた時の画面である．図 11 と比較していただくとより理解していただけるであろう．

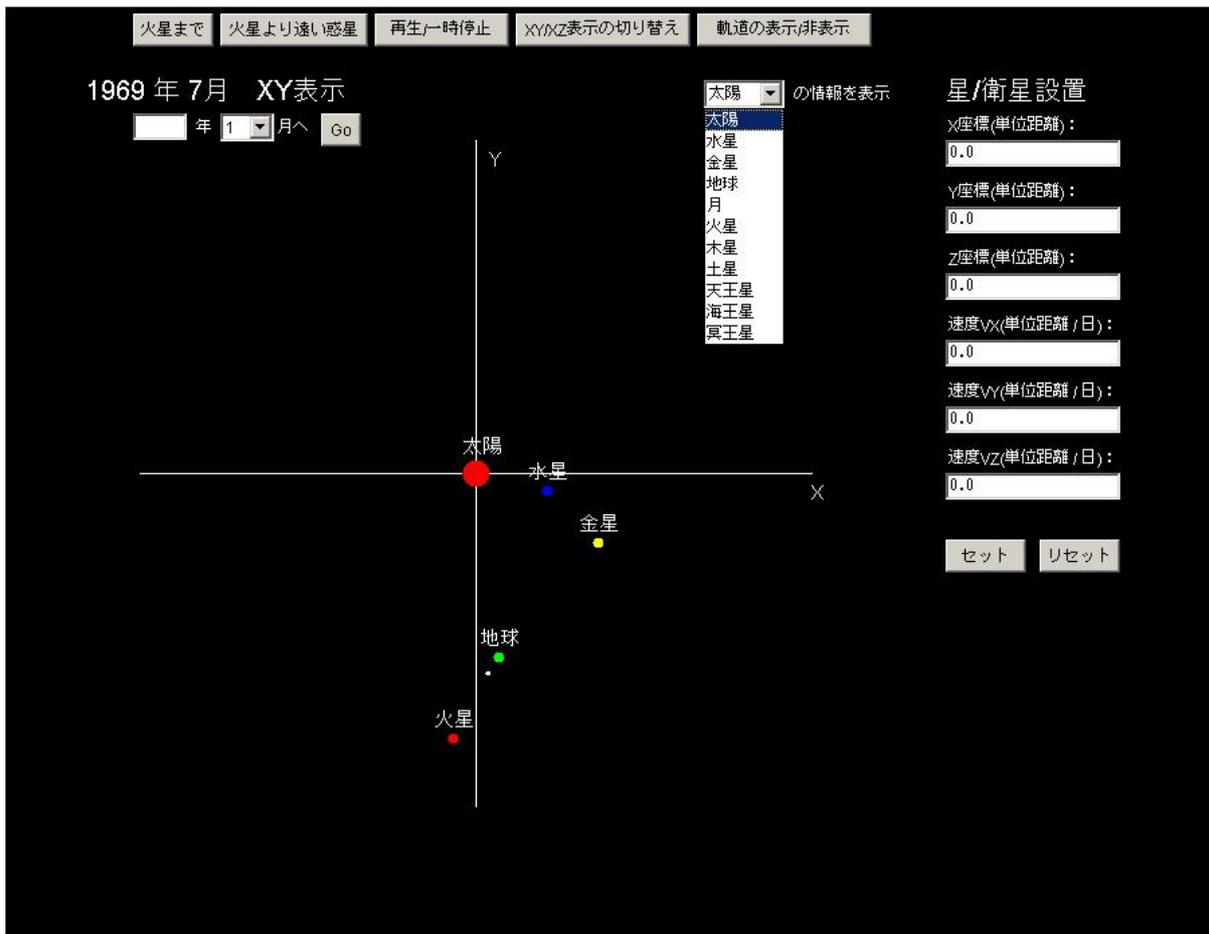


図 14: リストの使用例 1
リストを開いた時の表示画面

図 14 はリストを開いた際の画面である。このリストから見たい惑星を選ぶことで、それぞれの情報が載っているウィキペディアのページを開くことができる。

地球

出典: フリー百科事典『ウィキペディア (Wikipedia)』

地球 (ちきゅう) は、太陽系の惑星の1つで、太陽から3番目に近く、生物が生存している星である。

岩石質の「地球型惑星」に分類され、太陽系の地球型惑星の中で大きさ、質量ともに最大のものである。放射性元素による隕石の年代測定により、誕生してから約46億年経過していると推定される。

目次 [非表示]

- 1 概説
- 2 地球の運動
- 3 物理的性質
 - 3.1 大きさ、質量、密度
 - 3.2 構造
 - 3.2.1 核
 - 3.2.2 マントル
 - 3.2.3 地殻
- 4 生命
- 5 衛星
- 6 地理
- 7 地球の将来
- 8 関連項目
- 9 参考文献
- 10 外部リンク

概説 [編集]

太陽系の年齢もまた隕石の年代測定に依拠するので、地球は太陽系の誕生とほぼ同時に形成されたとしてよい。10個程度の火星サイズの原始惑星の衝突合体によって形成されたと考えられている。

地球 
Earth



アポロ17号、ハリソン・シュミットの撮影した地球(1972年12月7日)

仮符号・別名 lat: Terra en: Gaia
分類 地球型惑星

軌道要素と性質	
平均公転半径	149,597,870 km
近日点距離 (♁)	0.983 AU
遠日点距離 (♁)	1.017 AU
離心率 (♁)	0.01671022
公転周期 (♁)	365.25636 日 (恒星年) 365.2422 日 (太陽年)
平均軌道速度	29.7859 km/s
軌道傾斜角 (♁)	0.00005°
近日点引数 (♁)	102.9332°

図 15: リストの使用例 3
リストから見たい惑星を選択した後の画面

リストから見たい惑星を選択することにより図 15 のように、別画面に選んだ惑星の情報が載っているウィキペディアを開くことができる。

4.4 フローチャート

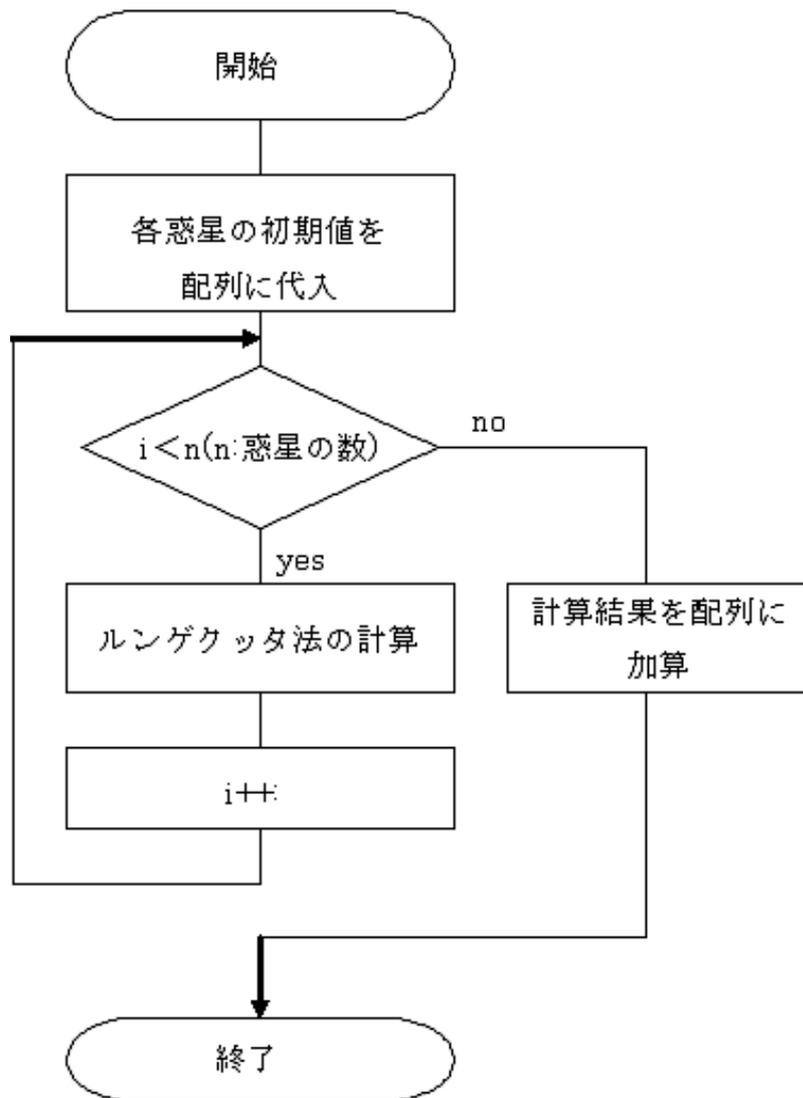


図 16: フローチャート図
太陽系シミュレータのフローチャート

5 結論

本研究の結果から以下のことがわかった。

- 3次元にすることで軌道面の傾きもわかる。
- 木星の有無によって公転周期に3時間の差が生じる。
- 惑星限定のシミュレータの場合は、太陽・木星・惑星の3体問題でよい。
- 衛星や小天体など含めた場合は全ての星の質量を含めた多体問題を解く必要がある。

今後の課題として、摩擦の有無によって惑星の軌道運動に影響があるのかが考えられる。また、機能面においては、年月の指定だけでなく日時まで指定を可能にする、月の満ち欠けの表示、地球以外の惑星の衛星の表示、星座の表示などの機能を追加など。

参考文献

- [1] 渡部潤一, 井田茂, 佐々木晶: 太陽系と惑星, 日本評論社 (2008)
- [2] 福島登志夫: 天体の位置と運動, 日本評論社 (2009)
- [3] 天文年鑑, 誠文堂新光社 (2010)
- [4] 海上保安庁: 天体位置表と基礎理論, pp.12-13, 20-21 (2000)