

# スイングバイ 参考資料 v1.1

岩崎 慎太郎

November 9, 2014

## 1 問題

太陽系外に探査機を打ち出すことを考える。打ち上げ日時（と必要があれば位置）を求めよ。ただし、1977年（ボイジャーが打ち上げられた年）に打ち上げるとする。

シミュレーションの条件は以下のように置くが、合理的な範囲で適宜条件の追加および削除をしてよい。また、計算に必要な定数は各自で補うこと。

- 太陽の重力場を脱出できる（無限遠まで行ける）運動エネルギーを探査機が得られればよい
- 地上からの発射時の初速を  $14.5\text{km}$  で、ロケットからの分離などは考えない
- 探査機の重さは  $750\text{kg}$  とする
- 惑星は太陽を中心に円軌道を描き、すべて同一平面状で運動しているとする
- 探査機は、地球を黄道面で切ったときの断面円周上のどこから打ち上げてもよい

特に必要がなければ、地球の自転の影響を無視して地上から垂直に打ち上げたと考えてよい。

## 2 小問題

### 2.1 小問題 1

地球と探査機のみを考える。探査機を適切な速度で入射させることで、探査機が楕円軌道を描き、その焦点が地球になることを示しなさい。この時、重力ポテンシャルと運動エネルギーの和が保存されること、及び探査機と地球の間にケプラーの第二法則が成り立っていることを確認しなさい。

### 2.2 小問題 2

地球と探査機のみを考える。第一宇宙速度および第二宇宙速度が、シミュレーションで実現されるか確認しなさい。

### 2.3 小問題 3

地球と探査機のみを考える。公転速度で直線運動する地球に対して、探査機が適切な速度および軌道で加速スイングバイおよび減速スイングバイすることを示しなさい。

### 2.4 小問題 4

小問題 3 について、地球が常に静止しているような座標系を考えて、解析的に解いた場合と比較しなさい。

### 2.5 小問題 5

当時の太陽系の惑星の位置・軌道を得て、プログラムで読み込めるようにしなさい。

## 2.6 小問題 6

太陽系を脱出できるような打ち上げ日時（と位置）を求めなさい。

## 3 応用問題例

### 3.1 応用問題例 1

太陽系を脱出するケースのうち、2 回以上スイングバイする例を示しなさい。軌道調整のために、妥当な推進力を用いてもよい。

### 3.2 応用問題例 2（困難）

1977 年中に発射する場合、太陽系外に脱出できる最も小さい初速を求めなさい。

## 4 もっと詳しく

スイングバイは二体問題の場合は解析解が得られるので、理論式と結果とをよく比較することが大切である。また、計算すべき範囲が広いので、必要であれば適切に計算範囲を制限することも重要である。

より精度の高いルンゲ=クッタ法を用いて、シミュレーションの時間幅  $\Delta$  を大きくするなど、計算時間の短縮も検討する必要がある。

今回は簡単のため省略したが、実際は探査機自体もエンジンを積み、多少の方向調整ができるものが多い。

## 5 参考となる Web ページ

1. NASA 「Heliocentric Trajectories for Selected Planets」  
<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/coho/helios/planet.html>  
ある時点での太陽系の惑星の位置などが分かります。