

卒業研究概要

提出年月日 2020 年 1 月 31 日

卒業研究課題

スイングバイ航法による太陽系脱出

学生番号 B16085

氏名 松田裕貴

概要 (1000字程度)

指導教員 真貝寿明

印

スイングバイ航法とは、惑星の万有引力と公転運動を利用して惑星探査機の軌道を変更し、加速あるいは減速させる技術である。探査機が惑星の公転方向の後方を通る場合、探査機には惑星の重力の他に惑星の公転速度による引きつり効果が加わる為探査機は加速する。逆に惑星の公転方向の前方を通る場合探査機は減速する。

本研究では、太陽系の惑星シミュレータ上で探査機を動かすことで、スイングバイ時の探査機の軌道及び速度変化を確認し、太陽系からの脱出には少なくとも外惑星で一回のスイングバイ効果が必要であることを明らかにした。太陽系の惑星シミュレータは、ニュートンの運動方程式をルンゲクッタ法を用いて解きc言語を用いて作成した。各惑星及び探査機の初期データはHORIZONS システム[1]より取得した。

図1はパイオニア10号の軌道を再現したものである。パイオニア10号の初期条件として発射翌日の1972年3月4日(*1)、発射半年後の1972年9月4日(*2)、木星最接近2週間前の1973年11月20日(*3)、パイオニア10号の実軌道(*4)のデータを用意した。射出直後の*1では木星スイングバイで十分に加速出来ず脱出軌道に入っていない。*2では脱出軌道に入っているものの*4との違いがみられる。*3になると*4と同じような軌道を描いている。これらから、スイングバイを行うまでに衛星が緻密な軌道コントロールを行っていると考えられる。

太陽系の脱出速度は $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ (Gは万有引力定数, Mは太陽の質量, rは太陽からの距離)である。図2は横軸天文単位、縦軸km/sからなる木星スイングバイ時の速度変化のグラフである。赤のグラフがパイオニア10号の実際の速度変化であり、*3は概ね一致している。また、黄色が太陽系の脱出速度であるが、木星スイングバイでこれを超えていることが確認できる。図2では木星スイングバイで約210%の速度上昇を行い、その後も太陽系の脱出に必要な速度を維持していることが分かる。これまでの太陽系を脱出した衛星は木星スイングバイを行っており[2]、木星でのスイングバイは太陽系脱出に不可欠である。このほか論文では他の衛星の軌道再現等の解析結果を記している。

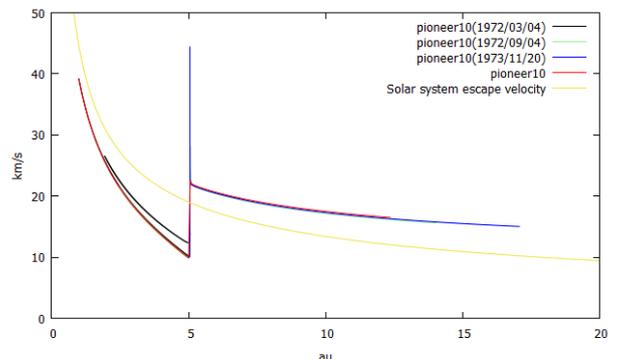
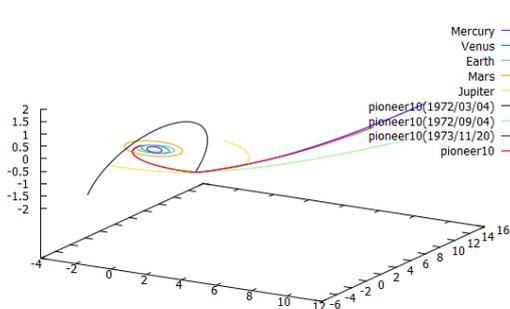


図1 惑星とパイオニア10号の軌道再現(軸は天文単位)

図2 木星スイングバイ時の速度変化

[1]HORIZONS システム (<https://ssd.jpl.nasa.gov/?horizons>)

[2] List of artificial objects leaving the Solar System

(https://www.wikiwand.com/en/List_of_artificial_objects_leaving_the_Solar_System)

