

卒業研究概要

提出年月日 2019年 1月 31日

卒業研究課題 H-IIB ロケットの飛行の再現

学生番号 B15-100

氏名 村上 直哉

概要 (1000字程度)

指導教員

印

ロケットはできるだけ効率良く地球の重力圏を脱出するための速度を得るために、燃料を使い果たした時点で燃料タンクや推進エンジンなど、自らの質量の一部を後方に分離させながら、多段階的に加速していく。本研究ではこの飛行の様子をできるだけ現実的に再現するために質量変化、万有引力、空気抵抗力の要素を取り入れてシミュレーションを行った。特に [1] に記載されている空気力学的抗力係数 (下記の K) の効果を取り入れた。水平方向を x 軸、鉛直方向を y 軸とし、推進力 F 、空気抵抗力 D 、重力 F_g としてロケットの運動方程式を立てると次のようになる。

$$m \frac{dv_y}{dt} = F \sin \theta - D \sin \theta - F_g, \quad m \frac{dv_x}{dt} = F \cos \theta - D \cos \theta$$

ここで、 v はロケット速度、 θ はロケットの水平面からの角度、 m はロケットの全体の質量である。ロケットは相対速度 u で、燃料を噴射しながら加速していくので、質量の減少とそれに伴う推進力 F の作用も含めた。空気抵抗力 D は速度の 2 乗に比例する慣性抵抗とし、空気抵抗の係数 K は空気の密度 (高度) とマッハ数によって変化する値 [1] である。重力は地球の半径 R 、地表からの距離 y として万有引力を用いた。

$$F = u \frac{dm}{dt}, \quad D = K v^2, \quad F_g = \frac{R^2}{(R + y)^2} g$$

初期条件を同じにして、使用後の燃料ユニットなどを段階的に分けて分離させた場合とさせなかった場合、あるいはロケットの射出の角度の違いによる高度の変化を比較した。モデルは 6t の物質を国際宇宙ステーション (高度 400 km) に届ける JAXA の H-IIB ロケット (531t) 「こうのとりの」の質量や推進力、分離時刻など実際のデータを用いたものである。

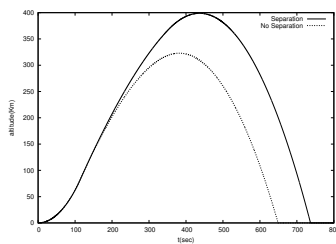


図 1: 質量の 14.8% を分離させた場合 (実線) とさせなかった場合 (点線) の高度 (km) の比較。横軸は時間 (秒)。分離させた方が最高到達点が高い。

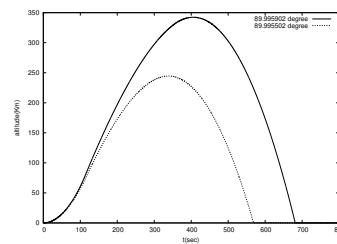


図 2: 射出角の違いによる高度 (km) の比較。横軸は時間 (秒)。89.995902 度から 0.00882 度の差で最高到達点が約 30% 低くなる。

ロケットは、多段式にした方がより効率良く加速し、最高到達点も高くなる (図 1)。また、射出時に、鉛直方向から少しでもずれた場合、ロケットの最高到達点が変わってしまう (図 2) ことから、ロケットの発射にはより高い精度が求められることが分かった。

[1] S-H Lee, R. C. Aldredge, Aerospace Science and Technology 46 (2015) 374