

ペイロード搭載型モデルロケットの製作

2622 田口 優真 2604 伊藤 あかね

要旨

夏に行われるロケット甲子園の出場を目指すため、ペイロードとして生卵を搭載し、割らずに回収できるモデルロケットの製作を目指す。モデルロケットの4級ライセンスを取得し、その後、自作の機体を2機製作して打ち上げを行い、回収することができた。

次に、生卵を割らずに打ち上げと回収を行うためには、飛行中に卵にかかる重力の大きさが関係していると考えた。そこで、センサーを使用し、飛行中の加速度を計測し、飛行中の機体にかかる重力を計算した。さらに、速度と重量の関係も調べるため、ツィオルコフスキーのロケット方程式の検証を行った。

本論

1. 方法

(1) 使用した器具・装置など

パソコン	はさみ	alphaIII(モデルロケット)
モデルロケットエンジン	ビニール	セロハンテープ
点火装置	点火装置	たこ糸
カッター	発射台	色紙
木工用ボンド	A4 普通紙	Altimeter Two(集積センサー)
油粘土		

(2) 実験手順

- ① モデルロケットの打ち上げに必要な4級ライセンスの取得を行う。
- ② 自作の機体を2機製作する。 1号機：Open Rocket(パソコンソフト)を使用して設計した機体
2号機：alphaIIIを模造した機体
- ③ スイングテスト、パラシュートの確認を行う。
- ④ 打ち上げ、考察を行う。
- ⑤ ①で使用した alphaIIIに重りを載せ、打ち上げる。
- ⑥ データをもとに、考察を行う。

2. 結果

(1)モデルロケットライセンスの取得

初めに、モデルロケットのライセンス講習を受け、alphaIIIの打ち上げを行い、モデルロケットの打ち上げに必要な4級ライセンスを取得した。

(2)自作の機体の製作及びシミュレーション

自作の機体を図1のように製作し、GP(重心)とCP(圧力中心)の位置が適性かを確認するため、

スイングテストを行った (図2)。

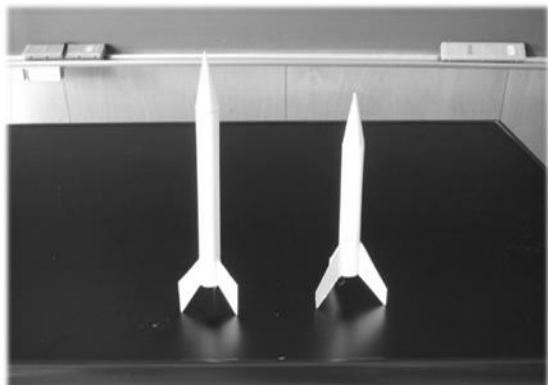


図1 左：1号機 右：2号機



図2 スイングテストの様子

同時にモデルロケットのシミュレーションソフトを用いて、それぞれの機体の飛行状態をシミュレーションした。その結果が表1である。

表1 機体の諸元とシミュレーションの結果

	1号機	2号機
全長	36.4cm	31.5cm
重さ(エンジン含む)	46.7g	41.5g
直径	24mm	24mm
使用エンジン	A8-3	A8-3
予想到達高度	66.6m	77m
予想最高速度	36.4m/s	38.7m/s
予想フライト時間	19s	22.1s

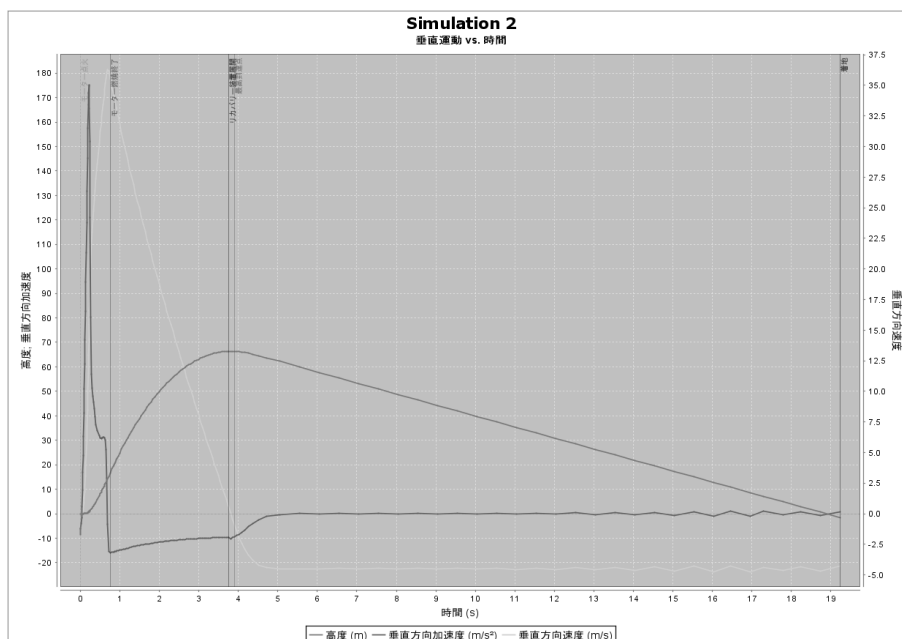


図3 1号機のシミュレーション結果

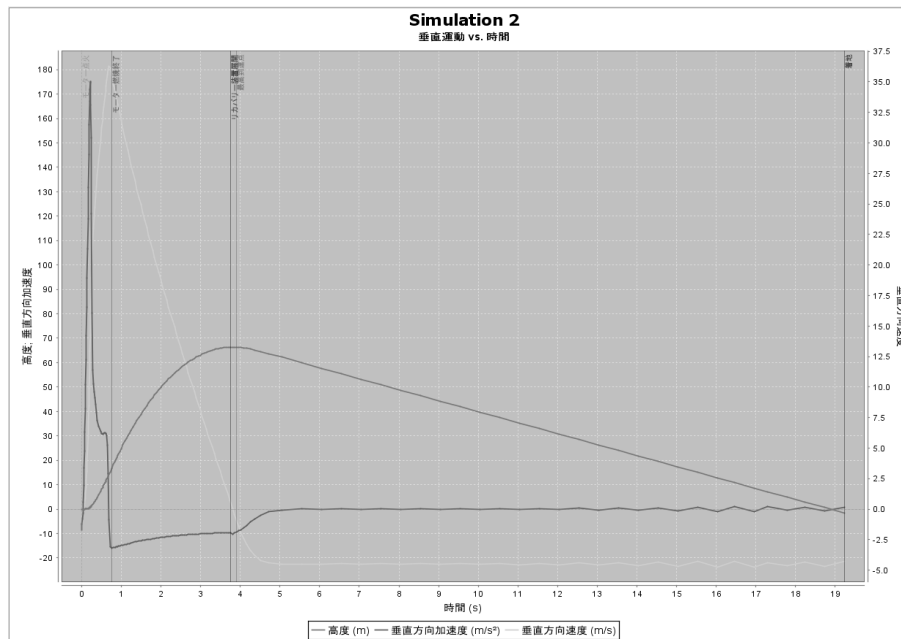


図4 2号機のシミュレーション結果

(3)自作の機体の打ち上げ

- ア. 1号機 … 打ち上げ後、パラシュートの素材が硬かったためパラシュートが開かずそのまま落下。
最高到達高度 18m
- イ. 2号機 … 打ち上げ後、ノーズコーンが上手く分離せずそのまま落下。
最高到達高度 27m

この結果とシミュレーションの結果を比較すると、1号機2号機共にシミュレーションで算出した値を下回った。

(4)ロケット方程式の導出

ロケットについて様々な観点より調査を進めて行くと、ロケットの速度と質量の関係を表したロケット方程式というものがある事を知った。

ロケット方程式とは、ロシアの科学者であるコンスタンチン・エドゥアルドヴィチ・ツィオルコフスキー博士(Konstantin Eduardovich Tsiolkovskiy : 1857-1936)が導き出した方程式で、博士はこの式により人類が人工衛星を飛ばせることを予言した。この式がなかったら人類は人工衛星や宇宙開発利用ができなかったほど重要な方程式である。

そこで、このロケット方程式は自分たちが打ち上げる機体にも適応しているのか調査するため、まずはロケット方程式を自分たちで導き出した。

【ロケット方程式の導出】

時刻 t において質量 m のロケットが速度 V で飛行している また、推進剤の後方への噴出速度を u とする。

$$\begin{aligned} \forall mV &= (m - \Delta m)(V + \Delta V) + \Delta m(V - u) \\ &= mV + m\Delta V - V\Delta m - \Delta m \cdot \Delta V + \Delta m \cdot V - \Delta m \cdot u \end{aligned}$$

$\Delta m \cdot \Delta V$ を2次の微小量として無視すると $m\Delta V = u \cdot \Delta m$ これを微分形で書くと

$$\Delta V = \frac{dV}{dt} \Delta t, \Delta m = -\frac{dm}{dt} \Delta t \quad \left(\frac{dm}{dt} < 0 \text{ より } \Delta m \text{ は正} \right) \text{ より}$$

$$m \frac{dV}{dt} \Delta t = u \cdot \left(-\frac{dm}{dt} \right) \Delta t \quad \therefore m \frac{dV}{dt} = -u \frac{dm}{dt} \quad \text{よって } \frac{dV}{dt} = -\frac{u}{m} \frac{dm}{dt} \text{ が得られる。}$$

ロケットが $t = 0$ から $t = t_f$ まで燃焼したとすると

$$\int_0^{t_f} \frac{dV}{dt} dt = - \int_0^{t_f} \frac{u}{m} \frac{dm}{dt} dt \quad \therefore \int_0^{t_f} dV = - \int_0^{t_f} \frac{u}{m} dm$$

ここで、ロケットの燃焼による速度増分を ΔV と表しているのので、

$$\Delta V = V(t_f) - V(0) = - \int_0^{m(t_f)} \frac{u}{m} dm$$

$u = \text{const.}$ (定数) とすると

$$\Delta V = -u \int_0^{m(t_f)} \frac{1}{m} dm = -u \int_0^{m(t_f)} (\log_e m)' dm = -u [\log_e m]_0^{m(t_f)}$$

$$\Delta V = -u (\ln m(t_f) - \ln m(0)) = u (\ln m(0) - \ln m(t_f))$$

$$\Delta V = u \ln \left(\frac{m(0)}{m(t_f)} \right) = u \ln \frac{m_{\text{initial}}}{m_{\text{final}}} \quad \text{よって}$$

この式に値を当てはめていくことで最高速度と質量の関係を求めることができる。

(5) センサーを搭載したロケットの打ち上げ

ロケット方程式の検証では、自作の機体にはセンサーを搭載することができなかった。

そのため、センサー搭載可能で安全かつ正確に測定することができる **alphaIII** を使用した。センサーは市販の **Altimeter Two** を使用した。

今回 **alphaIII** にセンサーを搭載し、ノーズコーンに油粘土で製作した錘を取り付け、打ち上げを試みた。



図5 Altimeter Two と 10 円玉の比較



図6 打ち上げの様子

錘は 0g, 10g, 20g を用意した。結果は以下の表 2 の通りである。

表 2 センサー搭載ロケット打ち上げの結果

	±0g	+10g	+20g
使用エンジン	A8-3	A8-3	A8-3
最高高度	31m	28m	17m
最高速度	25m/s	25m/s	17m/s
燃焼時間	0.79s	0.74s	0.78s
最高加速度	6.9G	9.1G	6.1G
平均加速度	3.3G	3.4G	2.3G
降下速度	7m/s	8m/s	8m/s
飛行時間	7.4s	5.7s	4.0s

また、以上のデータを元に(4)でもとめたロケット方程式に沿ってグラフ化した。

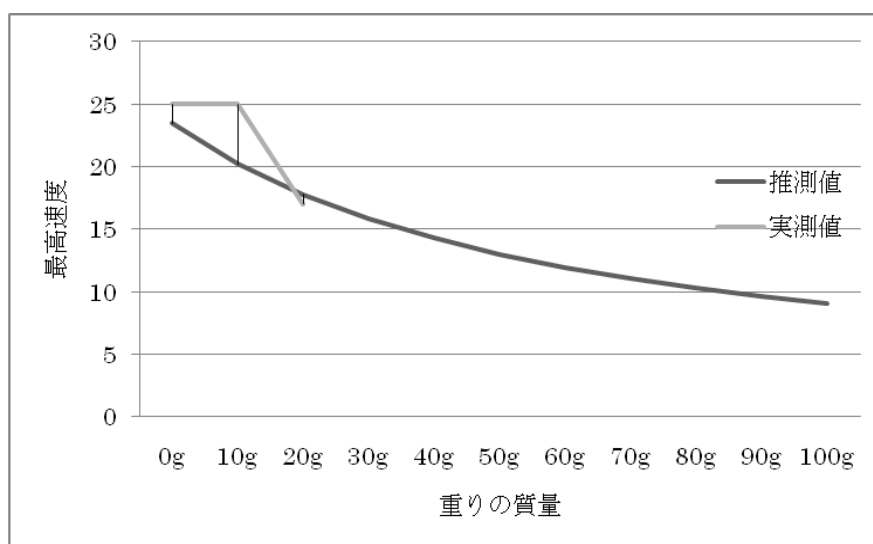


図 7 最高速度の推測値と実測値

3. 考察

- (2)(3)・自作の機体の打ち上げにおいては二機ともに打ちあがったが、1号機はパラシュートの材質と畳み方が不十分であり、2号機はノーズコーンがうまく分離しなかったため、設計上のミスで墜落してしまった。
- ・実際の機体を製作する際、設計時に示された材質と同じものを使用して製作できなかったため、機体質量にシミュレーションとの誤差が生じ、シミュレーション通りの結果とはならなかった。
⇒ 設計段階から材質等にまで気を配り、慎重に機体を製作する必要がある。
- (5)・20gの時うまく打ち上げができず、他の二つと比べてデータが急激に落ちたのは、機体が錘の質量によって地面と垂直に進むことができなかったからだと考えられる。
- ・10gの時の結果がロケット方程式に当てはまっていないのは何らかの誤差が生じた可能性があるため、何度も打ち上げを行い、多くのデータより結果を求めることが必要であり、さらに正確な結果が得られると考える。
⇒ 現時点では alpha III でしか測定できていないため、今後は卵等の大きさ・質量の物体をペイロードとして搭載できる機体を作成し、測定していきたい。

4. 参考文献

- ・アマチュア・ロケッティアのための手作りロケット完全マニュアル
日本モデルロケット協会 監修 久下洋一 著
- ・模擬講義:ロケット方程式の導出と意味について (URL:<http://yumenavi.info/reference/g0034051.pdf>)