



NS Solutions

K3Tunnel 宇宙ステーションへの旅

～宇宙をテーマにした小中学生向け
ビジュアルプログラミング講座～

★参考資料★詳しい計算内容
これを読むと、理解が深まる！

2017年11月
@サイエンスアゴラ

参考資料 ～最終ステップの計算内容の解説～

- ・ 今回の計算プログラムは大きく分けて7つのステップから成り立っています。

(1) ロケットの燃料と消費ペースを決める

(2) 繰り返しの計算を始める前に、最初の値を設定する。

(3) 繰り返し計算を1秒ごとに行う。(繰り返しの範囲は(4)～(7))

(4) 燃料の消費ペースから使用可能な残りの燃料と、ロケットの推力を計算する。

(5) その瞬間の総重量と推力を使って、ロケット全体の加速度を計算する。

(6) 加速度から、その瞬間の速度と高度を計算する。

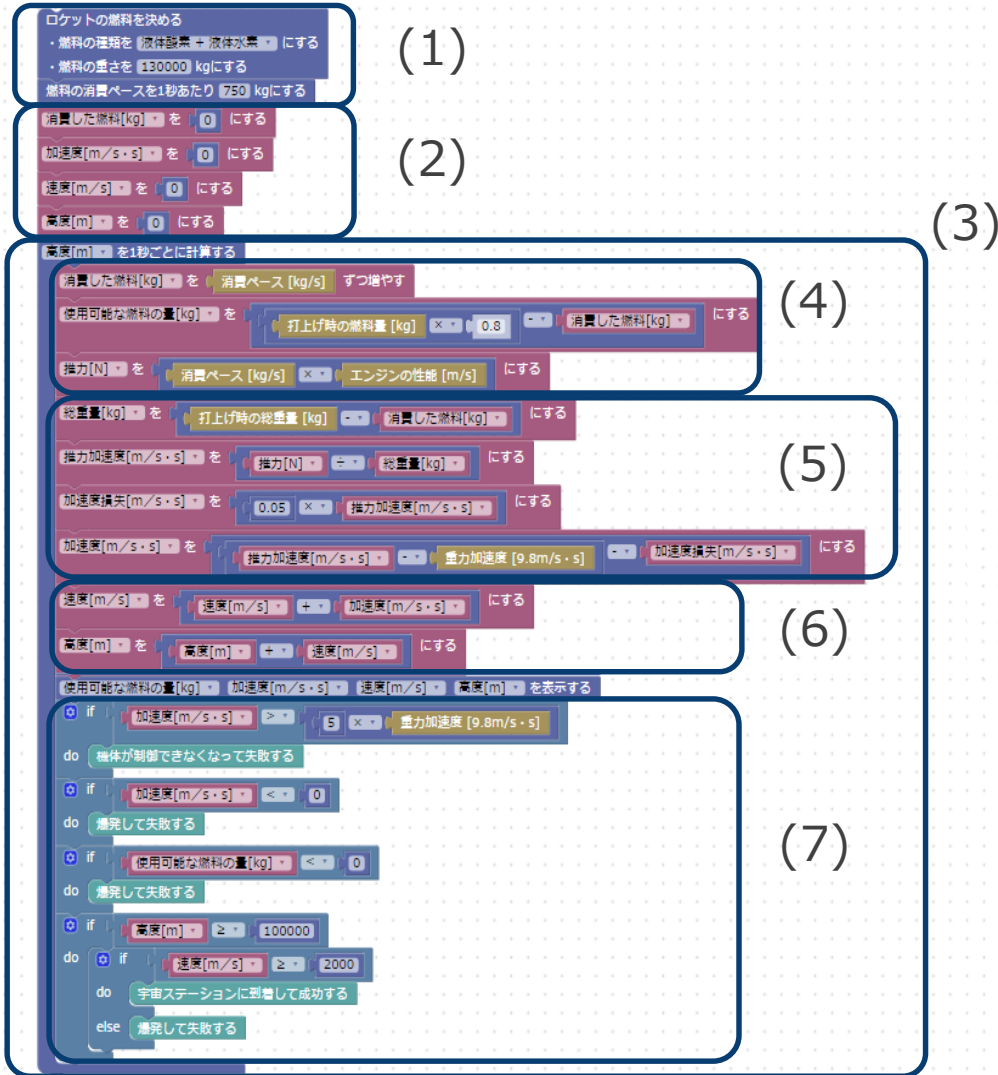
(7) 成功か失敗か、計算を継続するかを判定する。



繰り返し範囲

全体を（１）～（７）に分けるとこうなります。それぞれ詳しく見ていきましょう。

燃料の設定
打上げ計算
条件文
数式
変数



(1) ロケットの消費ペースを決める

(1) では、ロケット打上げ前のロケットの燃料について決めています。

ここで決めている項目は、3つの項目なります。

- ①燃料の種類（「液体酸素+液体水素」か「固体燃料」か）
- ②燃料の重さ
- ③燃料の1秒あたりの消費ペース

ここで決めた内容は、その後の計算において重要になってきます。

The image shows a screenshot of a software interface for configuring rocket fuel. It has a dark blue background with white text. At the top, the title 'ロケットの燃料を決める' (Decide Rocket Fuel) is displayed. Below the title, there are three configuration items, each preceded by a bullet point. To the left of the interface, there are three numbered callouts (①, ②, ③) with arrows pointing to the corresponding configuration items. Callout ① points to the fuel type dropdown menu, which is currently set to '液体酸素 + 液体水素' (Liquid Oxygen + Liquid Hydrogen). Callout ② points to the fuel weight input field, which contains the value '130000' followed by 'kgにする' (set to kg). Callout ③ points to the fuel consumption rate input field, which contains the value '750' followed by 'kgにする' (set to kg).

ロケットの燃料を決める

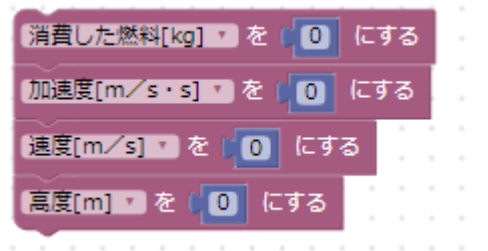
- ① → ・燃料の種類を 液体酸素 + 液体水素 ▾ にする
- ② → ・燃料の重さを 130000 kgにする
- ③ → 燃料の消費ペースを1秒あたり 750 kgにする

(2) 繰り返しの計算を始める前に、最初の値を設定する。

(3) 以降で繰り返しの計算をする前に、ロケットの打上げ前の状況をセットします。
この、計算開始時の最初の値を設定することを「初期値の設定」といいます。

初期値の設定項目は4項目なります。

- ・消費した燃料[kg]を 0にする（まだ燃料を消費していない）
- ・加速度[m/s・s]を 0にする（加速していない）
- ・速度[m/s]を 0にする（速度はない=動いていない）
- ・高度[m]を 0にする（地上にある）



繰り返し計算を行う時は、必ず初期値の設定をしてから計算をします。
それでは、この内容をスタートにして、計算を始めていきましょう。

(3) 繰り返し計算を1秒ごとに行う。(繰り返しの範囲は(4)～(7))

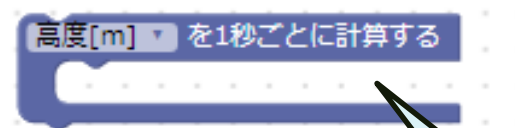
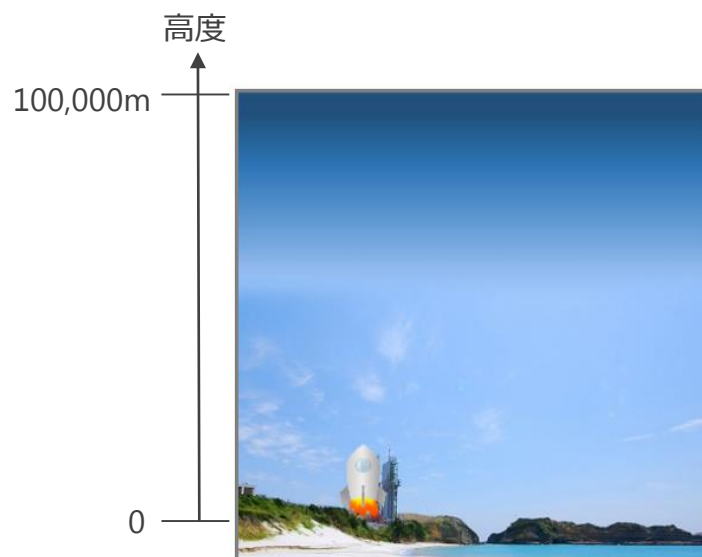
(4)～(7)の計算を行う内容を繰り返しの計算範囲とします。

繰り返す内容は1秒置きの計算で、
最終的に高度を求める計算をしていきます。

計算で得た結果の高度は、画面左側の絵の中で
ロケットの位置として表示されます。

ロケットのスタート地点が0m

画面の上端が100,000mとなっています。



繰り返す計算
内容をこの中
に入れる

(4) 燃料の消費ペースから使用可能な残りの燃料と、ロケットの推力を計算する。

ロケットに積んだ燃料は、消費ペースで設定した量だけ1秒ごとに消費していきます。
1秒ごとの計算の中で、「消費した燃料」を「消費ペース」の分だけ増やします。

消費ペース [kg/s] : このブロックの中には、(1) で設定した「消費ペース」の値が入っています。

「消費した燃料」がわかれば、残りの「使用可能な燃料の量」が計算できます。
「使用可能な燃料の量」は、最終的に20%を残しておかなければならないので、
「打上げ時の燃料量」×0.8からはじまり、「消費した燃料」の分だけ減っていきます。

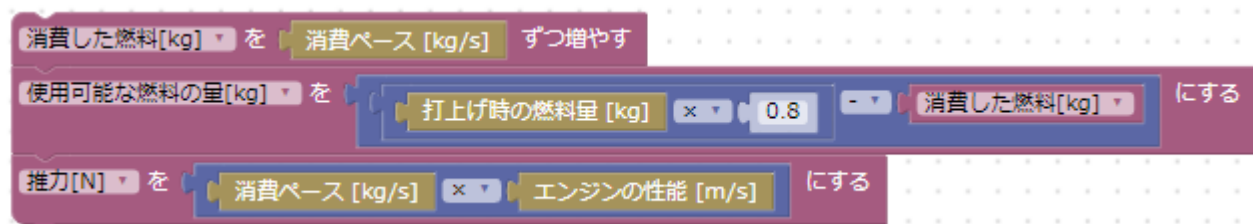
打上げ時の燃料量 [kg] : このブロックの中には、(1) で打上げ時に設定した「燃料の重さ」の値が入っています。

燃料を1秒間に消費する量が多ければ多いほど、推力は大きくなります。
このミッションでは次の式で表せるものとします。

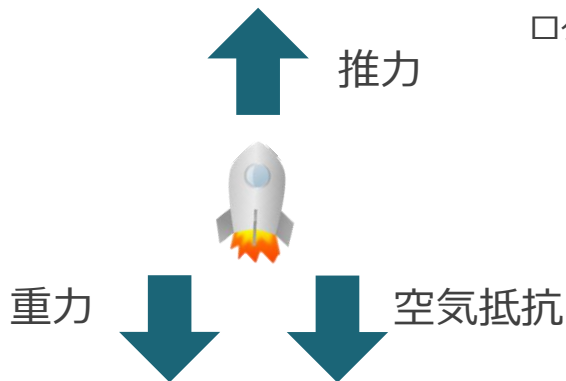
$$\text{推力} = \text{1秒間で使う燃料の重さ} \times \text{エンジンの性能}$$

エンジンの性能 [m/s] : このブロックの中には、(1) で設定した「燃料の種類」に応じた、エンジンの性能が入っています。

「液体酸素+液体水素」を選ぶと、エンジンの性能は4300[m/s]の値が入ります。
「固体燃料」を選ぶと、エンジンの性能は2800[m/s]の値が入ります。



(5) その瞬間の総重量と推力を使って、ロケット全体の加速度を計算する。



ロケットには、エンジンが生み出す推力以外に、重力と空気抵抗の力が働いています。

$$\text{ロケット加速度} = \text{推力加速度} - \text{重力加速度} - \text{空気抵抗による加速度損失}$$

※加速度損失 = $0.05 \times \text{推力加速度}$ とします。

上に向かう加速度は、推力が重力と空気抵抗に打ち勝った力によって得られます。

一方で、推力加速度は以下の式で求めることができます。

$$\text{推力加速度} = \text{推力} \div \text{ロケットの総重量}$$

推力加速度を求めるのに必要な推力は(4)で求めた値です。

$$\text{推力} = \text{1秒間で使う燃料の重さ} \times \text{エンジンの性能}$$

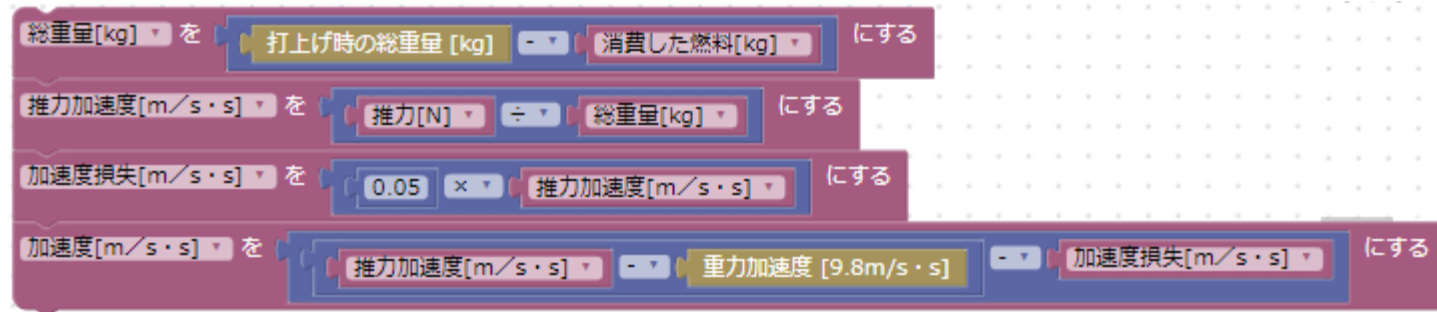
ロケットの総重量は、燃料を使った分その分軽くなるので、1秒ごとに計算する必要があります。

$$\text{ロケットの総重量} = \text{最初のロケットの重さ} - \text{消費した燃料}$$

消費した燃料は(4)で求めた値です。

(5) その瞬間の総重量と推力を使って、ロケット全体の加速度を計算する。(続き)

これをブロックで表すようになります。



※加速度損失 = $0.05 \times$ 推力加速度とします。

打上げ時の総重量 [kg] : このブロックの中には、打上げ時の重量の合計値が入っています。
中身の内訳は下のようになります。

- ・ 70kgの乗員10名分の重さ : 700kg
- ・ 機体に搭載する機材の重さ : 400kg
- ・ 機体の構造の重さ : 500kg
- ・ エンジンの重さ :
 - 「液体酸素 + 液体水素」のとき 10,000kg
 - 「固体燃料」のとき 1,000kg
- ・ 燃料の重さ : (1) で決めた「燃料の重さ」の量

重力加速度 [9.8m/s・s] : この値は固定の値（定数）で、地球上で常に働いている加速度です。
普段、物が下に落ちるのは、この重力が地球上では常に働いているからです。

(6) 加速度から、その瞬間の速度と高度を計算する。

ミッションの説明の通り、ロケットは少しずつ速度を上げながら飛んでいき、宇宙ステーションを目指します。(5)の説明の通り、ロケットの加速度は常に一定ではなく、1秒ごとに変化していきます。そのため、1秒毎に加速度、速度、高度を計算していきます。

加速度を求めた後、現在の速度と高度は1秒前の速度と高度を使って次の様な計算式で求めることができます。

$$\begin{aligned}\text{現在の速度} &= \text{1秒前の速度} + (\text{加速度} \times 1\text{秒間}) \\ \text{現在の高度} &= \text{1秒前の高度} + (\text{速度} \times 1\text{秒間})\end{aligned}$$

これを、プログラムで書くと、次のようになります。

$$\begin{aligned}\text{速度} &= \text{速度} + (\text{加速度} \times 1\text{秒}) \\ \text{高度} &= \text{高度} + (\text{速度} \times 1\text{秒})\end{aligned}$$

式の左辺と右辺が違うのに、=で結ばれている所に違和感を持つ人がいるかもしれません。

プログラムでは、「=」は計算式の「=」とは違う意味を持ち、

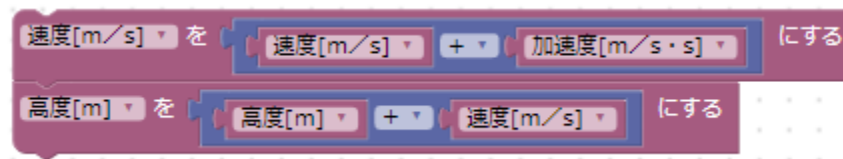
“「=」の右辺の計算結果を、「=」の左辺に入れる”という意味を持ちます。

したがって、「=」の右辺の「速度」には、前回計算した結果の「速度」が入っていて、

「加速度」での速度の追加分を足して計算した結果が新しい「速度」としてここで左辺になります。

「高度」についても同様です。

ブロックで示すと次のようになります。



今回の計算では、1秒おきに計算しているため、(加速度 × 1秒間) や (速度 × 1秒間) の (×1秒間) の部分は省略しています。

(7) 成功か失敗か、計算を継続するかを判定する。

繰り返し計算を行う時、必ず繰り返しの終わりを設定する必要があります。
今回の計算においては、成功条件と失敗条件は以下のようになっています。

(成功条件) 高度100,000mに達した時に、速度2,000m/sを超えていること、燃料も2割残っていること
(失敗条件) 途中で失敗とならないこと

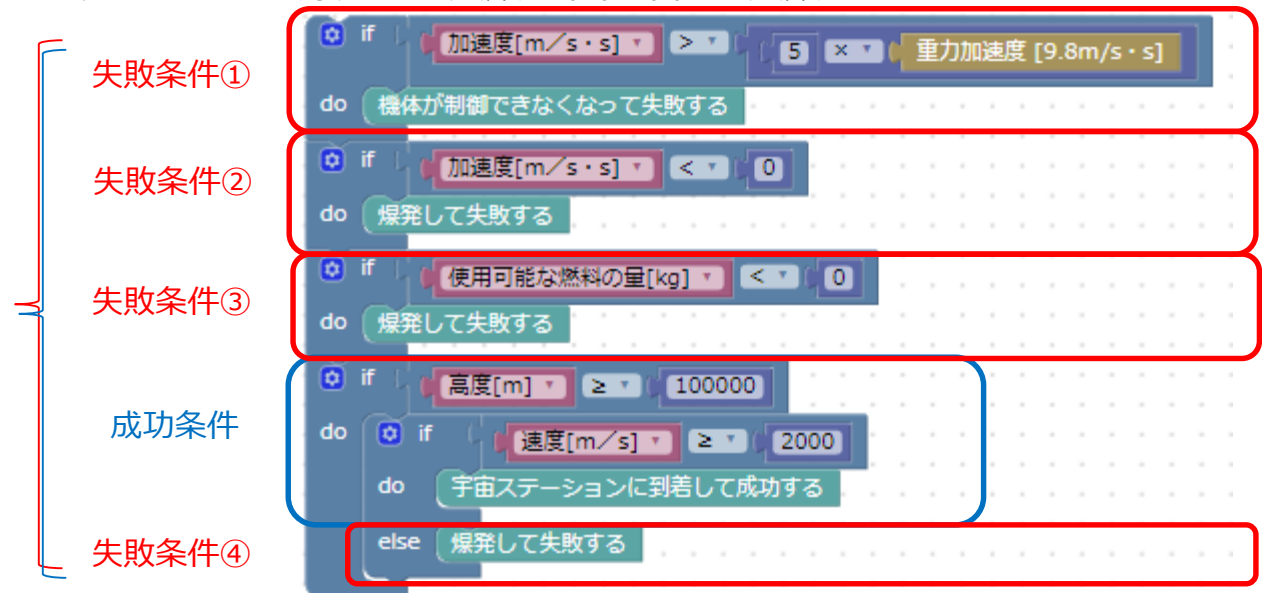
この、失敗条件は、具体的には次の4種類があります。

- ① ロケット全体の加速度が重力加速度の5倍を超えないこと（乗員が耐えられず制御不能になる）
- ② 加速度がマイナスとなる（飛びあがれず、逆に落ちていく⇒爆発する）
- ③ 使用可能な燃料を使い切る（宇宙ステーションまで届かない⇒地球に落ちる）
- ④ 所定の高度（100,000m）で必要な速度（2,000m/s）を満たさない（衛星軌道の投入に失敗する）

成功条件や失敗条件の判定には、「もし○○だったら、△△する」(if ○○, do △△) という“条件文”を使います。上の条件判定をブロックで表現すると、右下の様になります。

判定条件の結果に合わせて、画面左側のロケットも成功、爆発して失敗、制御不能で失敗、となります。

この条件のどれかに当てはまったら
繰り返し計算終了



打上げにかかる費用を計算する

打上げにかかる費用は、画面には計算式を表示していませんが、裏側で自動的に計算するようになっています。より少ない費用で打上げを実現できた人が高得点です。

計算式は以下の通りです。

20億円 + 打上げ時の燃料の量[kg] × 0.001 × 燃料の単価(※) + 打上げ時の総重量[kg] × 0.001 × 0.2億円

それぞれの費用の位置づけは以下の通りで、この合計が打上げ費用の総額となります。

- ・ 打上げに必ずかかる費用 ⇒ 20億円
- ・ ロケット燃料の費用
⇒ 打上げ時の燃料の量[kg] × 0.001 × 燃料の単価(※)
- ・ 大きさに応じたロケットの構造の費用
⇒ 打上げ時の総重量[kg] × 0.001 × 0.2億円

(※)燃料の単価（1000kgあたり）

- ・ 液体酸素 + 液体水素の場合：1億円
- ・ 固体燃料の場合：0.3億円

打上げ費用の総額
178.3億円

燃料の種類

液体酸素 + 液体
水素

打上げ時の燃料量

130,000kg

エンジンの性能

4,300m/s

打上げ時の総重量

141,600kg

燃料消費ペース

750kg/s



計算結果の確認のための表示

使用可能な燃料の量[kg] ▼ 加速度[m/s・s] ▼ 速度[m/s] ▼ 高度[m] ▼ を表示する

このブロックは、計算結果を確認・検証するために使います。
数値シミュレーションなどをするときには、成功・失敗の結果だけではなく、計算の途中経過も確認しながら、良いか悪いかを確認しながら進めていく必要があります。

今回の計算では、「使用可能な燃料の量」「加速度」「速度」「高度」が確認できるよう、計算を実行した時に画面の下の方に計算結果が表示できるようにしています。

計算結果

上へ▲



#	使用可能な燃料の量[kg]	加速度[m/s・s]	速度[m/s]	高度[m]
1	103,250.00	11.95	11.95	11.95
2	102,500.00	12.07	24.02	35.97
3	101,750.00	12.19	36.21	72.18
4	101,000.00	12.30	48.51	120.69
5	100,250.00	12.43	60.94	181.63
6	99,500.00	12.55	73.48	255.11
7	98,750.00	12.67	86.15	341.26
8	98,000.00	12.79	98.95	440.21
9	97,250.00	12.92	111.87	552.08
10	96,500.00	13.05	124.91	676.99
11	95,750.00	13.18	138.09	815.08
12	95,000.00	13.31	151.39	966.47
13	94,250.00	13.44	164.83	1,131.30
14	93,500.00	13.57	178.40	1,309.70
15	92,750.00	13.70	192.10	1,501.81
16	92,000.00	13.84	205.94	1,707.75
17	91,250.00	13.98	219.92	1,927.67
18	90,500.00	14.12	234.04	2,161.71
19	89,750.00	14.26	248.30	2,410.01



終わりに

【続きはWebで・・・】

URL <https://k3tunnel.com/>

Mission3をクリック！！

【お問合せ先】

新日鉄住金ソリューションズ株式会社

K3Tunnel 宇宙担当窓口

pss-k3tunnel-space@jp.nssol.nssmc.com