高度を上げても抗力は変わらない。高度が買っているのは、同じ抗力を出すときの速さである

— 抗力は重さを揚抗比で割った値なので、高度を 5 通り変えても 117647.058824 N のまま動かず、高度が買うのは同じ抗力での速さである — 分離子は、高度が効くのが力の大きさか、その力を出す速さか — [論文724]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

— From thinking to syncing. —

要旨

旅客機が高いところを飛ぶのは、空気が薄くて抗力が小さいからだと言われる。抗力は小さくなっていない。何が変わって何が変わらないかを、同じ大気の表で分ける。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、密度は 11000 m で 3 分の 1 以下になる——海面の 1.225000 kg/m³ から 0.363918 kg/m³ へ、3.366147 分の 1 である（第2節）。 第二に、だから同じ揚力に要る速さが上がる——密度の −1/2 乗で、海面の 1.834706 倍になる（第2節）。 第三に、これが本稿の芯である。抗力は動かない——重さを揚抗比で割った値なので、高度を 5 通り変えても 117647.058824 N のままである（第3節）。 第四に、だから高度が買うのは力ではなく速さである——燃料消費が推力に比例するなら、距離は速さの比だけ伸びる（第3節）。 第五に、上限は音速の側から来る——音速は気温で決まるので海面の 0.867102 倍に下がり、マッハ数は速さの比よりさらに上がって 2.115907 倍になる（第3節）。 第六に、分離子は、高度が効くのが力の大きさか、その力を出す速さかである——前者は動かず、後者だけが動く（第4節）。 キーワード：国際標準大気、巡航高度、揚抗比、抗力、真対気速度、マッハ数。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——国際標準大気、揚力の式、水平飛行で抗力が重さと揚抗比で決まること、音速が気温で決まることは、いずれも標準的である（アンダーソン 1999、ホートン＆カーペンター 2003）。実際の巡航高度の決め方を主張しない——燃料消費率、推力の高度特性、重量の変化による最適高度の移り方は扱わない。抗力係数を一定とする——速さやマッハ数による変化は扱わず、同じ揚抗比を置く。成層圏の細かい構造を扱わない——圏界面で式を切り替えるだけである。棺の隅を求めない——失速とマッハの限界が出会う点は、存在を指すだけで位置を求めない。既刊との関係：論文592 は、ゴム気球が上がるほど膨らむが上昇の速さは空気の密度の $-1/6$ 乗でしか速くならないことを示した——そこでは同じ 11000 m の同じ密度 **0.363918** kg/m³ を使い、同じ密度の比 **3.366147** に対して速さは **1.224209** 倍しか上がらなかった。ここでは同じ比に対して $-1/2$ 乗で **1.834706** 倍になる。$-1/2$ 乗は $-1/6$ 乗のちょうど 3 乗で、差は 10^{-15} に収まる。同じ量の、違う指数になる。加えたのは、速さの比を密度から出したこと、抗力が高度に依らないことを示したこと、利得が力ではなく速さの側に在ると分けたこと、マッハ数の上がり方を **2.115907** 倍と出したこと、分離子を「力か、速さか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：水平飛行では揚力が重さに等しく、抗力は重さを揚抗比で割った値である。

$$W = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_L, \qquad D = \frac{W}{L/D}, \qquad a = \sqrt{\gamma R T}$$

a は音速である。以下では重さ 2.0×10^6 N、揚抗比 17 を固定して、高度だけを動かす。

問い：高いところを飛ぶと、何が得になるのか。

2. 密度が落ちるので、速さが上がる

計算 2.1：国際標準大気の密度と、同じ揚力を出すのに要る速さの比を出した。

高度	密度	要る速さ（海面を 1 として）
0 m	1.225000 kg/m³	1.000000
3000 m	0.909122 kg/m³	1.160799
6000 m	0.659697 kg/m³	1.362686
9000 m	0.466348 kg/m³	1.620739
11000 m	0.363918 kg/m³	1.834706

> **観察 2.2**
>
> 速さの比は密度の $-1/2$ 乗である。密度の比 3.366147 に対して 1.834706 倍になる——揚力が密度と速さの二乗の積だから、密度の下がりを速さで埋めるには平方根だけ要る。

> **観察 2.3**
>
> 同じ密度に、違う指数が付く場合がある。論文592 は同じ密度の比に対して $-1/6$ 乗を出し、1.224209 倍にしかならなかった——$-1/2$ 乗は $-1/6$ 乗のちょうど 3 乗で、差は 10^{-15} に収まる。指数が違うだけで伸び方が変わる。

3. 抗力は動かない

計算 3.1：同じ重さと同じ揚抗比で、高度ごとの抗力を出した。

高度	抗力
0 m	117647.058824 N
6000 m	117647.058824 N
11000 m	117647.058824 N

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。高度を 5 通り変えても、抗力の幅は 0 である。抗力は重さを揚抗比で割った値で、密度も速さも入っていない——薄い空気では動圧が小さくなるが、そのぶん速く飛ぶので、掛け算の結果が戻る。

> **観察 3.3**
>
> だから高度が買うのは、力ではなく速さである。推力は同じで、その推力で進む距離が伸びる——燃料消費が推力に比例するなら、同じ燃料で 1.834706 倍の距離になる。

> **観察 3.4**
>
> 「空気が薄いから楽になる」は、言い方として正確でない。楽になっているのは力ではない——同じ力で速く運べるようになっている。

計算 3.5：上限を見るため、高度ごとの気温と音速を出した。

高度	気温	音速
0 m	288.150000 K	340.293947 m/s
6000 m	249.150000 K	316.428329 m/s
11000 m	216.650000 K	295.069458 m/s

> **観察 3.6**
>
> 上限は音速の側から来る。音速は海面の 0.867102 倍に下がるのに、要る速さは 1.834706 倍に上がる——だからマッハ数は 2.115907 倍になり、二つの制限が高度とともに近づく。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、高度が効くのが力の大きさか、その力を出す速さかである。前者は動かず、後者だけが動く——どちらを指して「得」と言っているかを分けないと、抗力が減ったように聞こえる。

> **観察 4.2**
>
> 論文592 と並べる。592 は、ゴム気球の上昇の速さが空気の密度の −1/6 乗でしか速くならないことを示した——同じ大気の同じ密度を使い、指数だけが違う。同じ量に別の指数が付く場合である。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。実際の巡航高度の決め方も、推力の高度特性も、抗力係数の変化も扱わず、棺の隅は位置を求めなかった——示したのは、動く量と動かない量の分かれ目である。

5. 点呼と結び

1. 海面の密度 **1.225000**（計算 2.1）：基準。
2. **11000 m** で **0.363918**（計算 2.1）：**3.366147** 分の **1**。
3. 要る速さ **1.834706** 倍（計算 2.1）：密度の **−1/2** 乗。
4. **6000 m** では **1.362686** 倍（計算 2.1）：途中の値。
5. 論文592 なら **1.224209** 倍（観察 2.3）：**−1/6** 乗。
6. 抗力は **117647.058824 N**（計算 3.1）：本稿の芯。
7. 高度を変えても幅 **0**（観察 3.2）：力は動かない。
8. 音速は **0.867102** 倍（計算 3.5）：気温で決まる。
9. マッハ数は **2.115907** 倍（観察 3.6）：上限が近づく。
10. 力か、速さか（観察 4.1）：分離子・論文592。

結び：高度を上げても抗力は変わらない。高度が買っているのは、同じ抗力を出すときの速さである。国際標準大気で密度は海面の **1.225000 kg/m³** から **11000 m** の **0.363918 kg/m³** へ **3.366147** 分の **1** に落ちるので、同じ揚力に要る速さは密度の **−1/2** 乗で **1.834706** 倍になる——揚力が密度と速さの二乗の積だから、密度の下がりを埋めるには平方根だけ要る。ところが抗力は重さを揚抗比で割った値なので、高度を **5** 通り変えても **117647.058824 N** のまま幅 **0** である——薄い空気では動圧が小さくなるが、そのぶん速く飛ぶので掛け算の結果が戻る。だから高度が買うのは力ではなく速さで、推力は同じままその推力で進む距離が伸びる——「空気が薄いから楽になる」は言い方として正確でなく、楽になっているのは力ではない。上限は音速の側から来る——音速は気温で決まるので海面の **0.867102** 倍に下がり、要る速さは **1.834706** 倍に上がるので、マッハ数は **2.115907** 倍になって二つの制限が高度とともに近づく。分離子は、高度が効くのが力の大きさか、その力を出す速さかである。既刊との位置——論文592 は同じ密度に **−1/6** 乗を付けて **1.224209** 倍を出した。ここは **−1/2** 乗で、同じ量に別の指数が付く。正直に言えば——実際の巡航高度の決め方も抗力係数の変化も扱わず、棺の隅は位置を求めなかった。

参考文献

1. Anderson, J. D. (1999). *Aircraft Performance and Design*. McGraw-Hill.

2. Houghton, E. L., & Carpenter, P. W. (2003). *Aerodynamics for Engineering Students*. Butterworth-Heinemann.

3. 山岸勇輝 (2026). 『ゴム気球は上がるほど膨らむが、上昇の速さは空気の密度の **−1/6** 乗でしか速くならない』[論文592]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014392

— From thinking to syncing. —

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)