運ぶ相手が燃料そのものなので、同じ一つの飛行の中で最初の一区間と最後の一区間の値段が違う

— ブレゲーの式で無次元の航続距離 x を 1 から 2 へ倍にすると燃料は 3.718282 倍要り、$x = 1$ なら最初の 1 km は最後の 1 km の 2.718282 倍かかる — 分離子は、距離が高さの蓄えから出るか、燃料の蓄えから出るか — [論文723]

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

燃料を積めば遠くへ行ける。だが積んだ燃料も運ばなければならないので、距離と燃料の関係は比例にならない。同じ一つの飛行の中で、区間ごとの値段が違うことを数で示す。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、要る燃料は距離の指数になる——無次元の距離 x に対して $x = 1$ で 1.718282 倍、2 で 6.389056 倍、3 で 19.085537 倍である（第2節）。 第二に、だから距離を倍にするのに燃料は倍では足りない——x を 1 から 2 へ倍にすると、燃料は 3.718282 倍になる（第2節）。 第三に、これが本稿の芯である。同じ飛行の中で、区間ごとの値段が違う——燃料の流れは重さに比例するので、$x = 1$ なら最初の 1 km は最後の 1 km の 2.718282 倍かかる（第3節）。 第四に、比べる相手は動力の無い滑空である——そちらは距離が高度と揚抗比の積で、重さを 125 倍動かしても 15000.000000 m のまま変わらない（第3節）。 第五に、だから重さの入り方が違う——滑空では重さが式から消え、動力飛行では重さが対数で残り、しかも運ぶ相手が重さそのものである（第3節）。 第六に、分離子は、距離が高さの蓄えから出るか、燃料の蓄えから出るかである——前者では重さが消え、後者では重さが自分に跳ね返る（第4節）。 キーワード：ブレゲーの式、航続距離、燃料重量比、滑空距離、重さの入り方、区間ごとの値段。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ブレゲーの航続距離の式、滑空距離が揚抗比で決まること、燃料流量が重量に比例することは、いずれも標準的である（ブレゲー 1923、アンダーソン 1999）。実在の機体を主張しない——燃料消費率も揚抗比も個別には扱わず、まとめて一つの定数 K に押し込んだ。巡航だけを見る——上昇・降下・待機の燃料は入れない。揚抗比を一定とする——飛行中に揚抗比が変わることは扱わない。線図を描かない——ペイロードと航続距離の交換は扱わない。$x = 1$ は規格化である——そこに現れる **2.718282** は x の目盛を 1 に取ったことの帰結で、測った値ではない。既刊との関係：論文590 は、紙飛行機にクリップを付けても飛ぶ距離は変わらないことを示した——そこでは重さが距離の式から消え、重くしても短くならなかった。ここでは重さが対数で残るだけでなく、運ぶ相手が燃料そのものなので重さが自分に跳ね返る。重さが消える側と、重さが自分に返る側になる。加えたのは、要る燃料を距離の指数として並べたこと、距離を倍にする費用を **3.718282** 倍と出したこと、同じ飛行の中の区間ごとの値段の差を出したこと、滑空の側で重さが消えることを 125 倍の範囲で確かめたこと、分離子を「高さの蓄えか、燃料の蓄えか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：巡航中の航続距離は、離陸重量と着陸重量の比の対数に比例する。

$$R = K \ln \frac{W_i}{W_f}, \qquad x = \frac{R}{K}, \qquad \frac{W_{\text{燃料}}}{W_f} = e^{x} - 1$$

K は速さ、燃料消費率、揚抗比をまとめた定数で、長さの次元を持つ。W_f はペイロードと空虚重量、x は無次元の航続距離である。

問い：距離と燃料は、比例するのか。

2. 要る燃料は距離の指数になる

計算 2.1：無次元の距離ごとに、重量比と要る燃料を出した。

x	重量比	W_f に対する燃料
0.5	1.648721	0.648721
1.0	2.718282	1.718282
1.5	4.481689	3.481689
2.0	7.389056	6.389056
3.0	20.085537	19.085537

> **観察 2.2**
>
> 距離を倍にするのに、燃料は倍では足りない。x を 1 から 2 へ動かすと、燃料は 1.718282 倍から 6.389056 倍——3.718282 倍に増える——積んだ燃料を運ぶのにも燃料が要るからである。

> **観察 2.3**
>
> それでも搭載率は 1 に達しない。$x = 3$ でも燃料が離陸重量に占める割合は 0.950213 である——式のうえでは距離に上限が無く、上限を作るのは構造と、運びたい荷物のほうである。

3. 同じ飛行の中で、区間ごとに値段が違う

> **観察 3.1**
>
> これが本稿の芯である。燃料の流れは重さに比例する。だから重いうちは 1 km が高くつき、軽くなれば安くなる——$x = 1$ なら最初の 1 km は最後の 1 km の 2.718282 倍、$x = 2$ なら 7.389056 倍である。

> **観察 3.2**
>
> この比は、重量比そのものである。飛び始めと飛び終わりの重さの比が、そのまま 1 km の値段の比になる——同じ距離の中に、違う値段の区間が並んでいる。

計算 3.3：比べる相手として、動力の無い滑空を置いた。

量	値
高度 1000 m・揚抗比 15 の滑空距離	15000.000000 m
重さを 125 倍動かしたときの距離の幅	0

観察 3.4

滑空では重さが式から消える。距離は高度と揚抗比の積で、重さを **125** 倍動かしても **15000.000000 m** のまま変わらない——重い機体は速く降りるが、その速さのぶんだけ速く進むので、距離は同じである。

観察 3.5

だから重さの入り方が二通りある。高さを蓄えて飛ぶなら重さは消え、燃料を蓄えて飛ぶなら重さが対数で残る——しかも後者では、運ぶ相手が燃料そのものなので、重さが自分に跳ね返る。

4. 分離子

観察 4.1

分離子は、距離が高さの蓄えから出るか、燃料の蓄えから出るかである。前者では重さが消え、後者では重さが自分に返る——「重いと飛ばない」という言い方が、どちらの場合かで真偽を変える。

観察 4.2

論文**590** と並べる。**590** は、紙飛行機にクリップを付けても飛ぶ距離は変わらないことを示した——そこでは重さが消えた。ここでは重さが残り、しかも運ぶ相手が重さそのものである。重さが消える側と、重さが自分に返る側である。

観察 4.3

言わないこと。実在の機体も、上昇降下も、揚抗比の変化も扱わず、$x = 1$ は規格化であって測った値ではない——示したのは、運ぶ相手が燃料そのものであることの帰結である。

5. 点呼と結び

1. $x = 1$ で燃料 **1.718282** 倍（計算 2.1）：指数になる。

2. $x = 2$ で **6.389056** 倍（計算 2.1）：倍では足りない。
3. $x = 3$ で **19.085537** 倍（計算 2.1）：さらに跳ねる。
4. 倍にする費用 **3.718282** 倍（観察 2.2）：燃料が燃料を運ぶ。
5. 搭載率は **0.950213**（観察 2.3）：1 に達しない。
6. 最初の 1 km は **2.718282** 倍（観察 3.1）：本稿の芯。
7. $x = 2$ なら **7.389056** 倍（観察 3.1）：重量比そのもの。
8. 滑空は **15000.000000 m**（計算 3.3）：比べる相手。
9. **125** 倍動かして幅 **0**（観察 3.4）：重さが消える。
10. 高さか、燃料か（観察 4.1）：分離子・論文590。

結び：運ぶ相手が燃料そのものなので、同じ一つの飛行の中で最初の一区間と最後の一区間の値段が違う。無次元の航続距離 x に対して要る燃料は $x = 0.5$ で 0.648721 倍、1 で 1.718282 倍、2 で 6.389056 倍、3 で 19.085537 倍と指数で増える——だから x を 1 から 2 へ倍にすると燃料は 3.718282 倍で、倍では足りない。そして燃料の流れは重さに比例するので、$x = 1$ なら最初の 1 km は最後の 1 km の 2.718282 倍、$x = 2$ なら 7.389056 倍かかる——この比は飛び始めと飛び終わりの重さの比そのもので、同じ距離の中に違う値段の区間が並んでいる。比べる相手は動力の無い滑空である——そちらは距離が高度と揚抗比の積で、重さを 125 倍動かしても 15000.000000 m のまま変わらない。重い機体は速く降りるが、その速さのぶんだけ速く進む。だから重さの入り方が二通りある——高さを蓄えて飛ぶなら重さは消え、燃料を蓄えて飛ぶなら重さが対数で残り、しかも運ぶ相手が燃料そのものなので重さが自分に跳ね返る。分離子は、距離が高さの蓄えから出るか、燃料の蓄えから出るかである。既刊との位置——論文590 では重さが消えた。ここでは重さが自分に返る。正直に言えば——実在の機体も上昇降下も扱わず、$x = 1$ は規格化であって測った値ではない。

参考文献

1. Anderson, J. D. (1999). *Aircraft Performance and Design*. McGraw-Hill.
2. Breguet, L. (1923). Calcul du rendement maximum des avions et des hydravions. *L'Aerophile*.
3. 山岸勇輝 (2026). 『紙飛行機にクリップを付けても、飛ぶ距離は変わらない』[論文590]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014382

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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