滑走に入ると抵抗は速さでほとんど増えない——重さを支えるのが浮力から揚力に替わるから

— 浮いて進む船の摩擦抵抗は速さのほぼ二乗（冪 **1.815296〜1.832310**）で増える — 分離子は、重さを支えるのが浮力か揚力かである — [論文651]

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

水に浮いて進む船は、重さを浮力で支える。速い小舟は、ある速さを超えると船首が持ち上がり、水面を滑るように走る。そのとき重さを支えているのは、浮力ではなく、水をはね下げる揚力である。支えるものが替わると、抵抗が速さにどう応じるかが替わることを、摩擦抵抗の冪で数える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、波の速さが船の長さで決まる速さがある——深い水の波の速さの式から、波長が船の長さに等しい波のフルード数は **0.398942**（$= 1/\sqrt{2\pi}$）で、長さ **6 m** の船では **5.9485** ノットである（第2節）。第二に、浮いて進むと、摩擦抵抗は速さのほぼ二乗で増える——濡れる面積 **12 m²** を一定として、**ITTC 1957** の摩擦係数を使うと、抵抗の冪（速さを **1 %** 上げたときの抵抗の増え方の割合）は **1 m/s** で **1.815296**、**3 m/s** で **1.832310** だった（第3節）。第三に、これが本稿の芯である。揚力で支えて滑走すると、抵抗は速さでほとんど増えない——揚力が重さに釣り合うように濡れる面積が縮み、**10 m/s** で **1.9135 m²**、**20 m/s** で **0.4784 m²** になった。抵抗は **991.4226 N** から **1032.7001 N** で、冪は **0.054595〜0.063380** だった（第4節）。第四に、分離子は、重さを支えるのが浮力か揚力かである——浮力なら濡れる面積は速さによらず、摩擦は速さの二乗で効く。揚力なら濡れる面積が速さの二乗に反比例して縮み、二つが打ち消し合う（第5節）。 キーワード：滑走艇、フルード数、摩擦抵抗、揚力、船体。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——深い水の波の速さ、船の摩擦抵抗の係数（ITTC 1957）、滑走艇の揚力と抵抗の扱い（サヴィツキー 1964）は、いずれも既知である。造波抵抗は計算しない——浮いて進むときの造波抵抗と、滑走に入る前の抵抗の山は、前提の模型に入れていない。数えたのは摩擦と、滑走のときの傾きによる抵抗だけである。前提の例である——長さ 6 m・幅 2 m・質量 1000 kg・浮いているときの濡れる面積 12 m²、滑走の傾き 4 度、濡れる面積あたりの揚力係数 0.10 は例として置いた。実際の滑走では傾きも揚力係数も速さで動く。既刊との関係：論文390 は、帆走艇が風より速く走れることを示し、造波抵抗・滑走・海面状態は主題ではないと明記した——本稿はその滑走の席に座る。論文256 は、フルード数で縮めた模型では摩擦が合わないので、船は抵抗を造波と摩擦に割ることを示した——ここではその摩擦の側が、支えるものが替わると速さへの冪を替えることを数える。加えたのは、波長が船の長さに等しい速さを波の式から出したこと、浮いて進むときと滑走のときの抵抗の冪を並べたこと、分離子を支えるものに置いたことである。

1. 記法と問い

設定：重さ W の船を、浮力か揚力で支える。摩擦抵抗は、濡れる面積 S と摩擦係数 C_f で

$$D_f = \tfrac{1}{2}\rho V^2 S C_f, \qquad C_f = \frac{0.075}{(\log_{10}\mathrm{Re} - 2)^2}$$

と書く（右は ITTC 1957 の摩擦係数、Re は濡れる長さで測ったレイノルズ数）。浮いて進むとき、濡れる面積は速さによらず $S_0 = 12\ \mathrm{m}^2$ とした。滑走するとき、揚力 $\tfrac{1}{2}\rho V^2 S_w C_L$ が重さに釣り合うように濡れる面積 S_w が決まり、傾き τ による抵抗 $W\tan\tau$ が加わる。前提は、海水 $\rho = 1025\ \mathrm{kg/m^3}$・動粘性率 $1.19 \times 10^{-6}\ \mathrm{m^2/s}$、長さ 6 m、幅 2 m、質量 1000 kg、$\tau = 4$ 度、$C_L = 0.10$ である。

冪：抵抗が速さの何乗で増えるかを、$d\ln D / d\ln V$ で測る。

問い：重さを支えるものが替わると、抵抗の速さへの応じ方はどう替わるか。

2. 波と船の長さ

計算 2.1：深い水の波は、波長 λ のとき速さ $\sqrt{g\lambda/2\pi}$ で進む。波長が船の長さ L に等しい波の速さは $\sqrt{gL/2\pi}$ で、フルード数 $V/\sqrt{gL}$ にすると 0.398942 になる。長さ 6 m では 3.0602 m/s、すなわち 5.9485 ノットだった。

> **観察 2.2**
>
> 浮いて進む船は、自分のつくる波に囲まれる。船首と船尾の波の山の間隔が船の長さに届くと、それより速く進むには自分の船首波を登ることになる。この辺りから造波抵抗が急に増えることは知られているが、本稿では計算しない——ここでは、その先で重さを支えるものが替わることを見る。

3. 浮いて進む

計算 3.1：濡れる面積 12 m² で、摩擦抵抗と冪を出した。

速さ	摩擦抵抗	冪
1 m/s	20.8574 N	1.815296
2 m/s	73.6928 N	1.826408
3 m/s	154.7267 N	1.832310

> **観察 3.2**
>
> 浮いて進むと、摩擦抵抗は速さのほぼ二乗で増える。濡れる面積が一定なので、抵抗は速さの二乗に摩擦係数を掛けたものになる。摩擦係数は速いほど少し下がるので、冪は 2 より少し小さい——速さを倍にすれば、摩擦だけで抵抗はほぼ四倍になる。

4. 滑走

計算 4.1：濡れる面積が船底 9.6 m²（長さ×幅の 0.8）に収まるには、揚力だけで支えられる速さが要る。それは 4.4646 m/s、すなわち 8.6784 ノット（フルード数 0.5820）だった。

計算 4.2：滑走するときの濡れる面積・抵抗・冪を出した。

速さ	濡れる面積	抵抗	冪
10 m/s	1.9135 m^2	991.4226 N	0.054595
15 m/s	0.8504 m^2	1014.6101 N	0.059531
20 m/s	0.4784 m^2	1032.7001 N	0.063380

抵抗のうち傾きによる分は、どの速さでも 685.7478 N だった。抵抗を重さで割ると、10 m/s で 0.101097、20 m/s で 0.105306 だった。

> **観察 4.3**
>
> これが本稿の芯である。揚力で支えて滑走すると、抵抗は速さでほとんど増えない。揚力は速さの二乗で効くので、速くなるほど少ない面積で重さを支えられ、濡れる面積が速さの二乗に反比例して縮む。摩擦は速さの二乗と面積の積なので、二つが打ち消し合って、摩擦抵抗はほぼ重さ×摩擦係数÷揚力係数になる。傾きによる抵抗は重さ×$\tan\tau$で、速さに関係しない——冪は浮いて進むときの 1.8 余りから、0.06 ほどに落ちた。

5. 分離子

> **観察 5.1**
>
> 分離子は、重さを支えるのが浮力か揚力かである。浮力は速さによらないので、濡れる面積も速さによらず、摩擦は速さの二乗で効く。揚力は速さの二乗で効くので、濡れる面積がその分縮み、摩擦の速さへの効きが消える——同じ船、同じ水でも、支えるものが替わると抵抗の冪が替わる。

> **観察 5.2**
>
> 論文390 と論文256 と並べる。390 は、帆走艇が風より速く走れることを示し、滑走は主題ではないと明記した。256 は、フルード数で縮めた模型では摩擦が合わないので、船は抵抗を造波と摩擦に割ることを示した——ここではその摩擦の側が、支えるものが替わると速さへの冪を 1.8 余りから 0.06 ほどへ替えることを数えた。

> **観察 5.3**
>
> 言わないこと。造波抵抗と、滑走に入る前の抵抗の山は計算していない。傾きと揚力係数は一定と置いたが、実際の滑走では速さで動く。実艇の性能は論じない——示したのは、支えるものの違いが摩擦の冪を替える仕組みである。

6. 点呼と結び

1. 波長＝船の長さのフルード数 **0.398942**（計算 2.1）：$1/\sqrt{2\pi}$。
2. 長さ **6 m** で **5.9485** ノット（計算 2.1）：波に囲まれる速さ。
3. 浮いて進む冪 **1.815296**〜**1.832310**（計算 3.1）：ほぼ二乗。
4. 揚力だけで支えられる速さ **8.6784** ノット（計算 4.1）：前提の船底で。
5. 濡れる面積 **1.9135** から **0.4784 m²**（計算 4.2）：速さの二乗に反比例。
6. 滑走の冪 **0.054595**〜**0.063380**（計算 4.2）：ほとんど増えない。
7. 傾きの分 **685.7478 N**（計算 4.2）：速さによらない。
8. 抵抗÷重さ **0.101097** から **0.105306**（計算 4.2）：ほぼ一定。
9. 面積の縮みと速さの二乗が打ち消す（観察 4.3）：本稿の芯。
10. 浮力か揚力か（観察 5.1）：分離子・論文390・論文256。

結び：水に浮いて進む船は重さを浮力で支え、滑走する船は揚力で支える。浮いて進むと濡れる面積は変わらず、摩擦抵抗は速さのほぼ二乗（冪 **1.815296**〜**1.832310**）で増えた。揚力で支えると濡れる面積が速さの二乗に反比例して縮み、抵抗の冪は **0.054595**〜**0.063380** まで落ちた——速さの二乗で効く揚力が、速さの二乗で効く摩擦を打ち消している。分離子は、重さを支えるのが浮力か揚力かである。既刊との位置——論文390 が空けておいた滑走の席で、論文256 の摩擦の側が冪を替える。正直に言えば——造波抵抗とその山は計算しておらず、傾きと揚力係数は一定と置いた前提の例である。

参考文献

1. International Towing Tank Conference (1957). *Proceedings of the 8th International Towing Tank Conference*.
2. Savitsky, D. (1964). Hydrodynamic design of planing hulls. *Marine Technology*.
3. 山岸勇輝 (2026).『力学相似が厳密に成り立つ縮尺は、1 だけである』[論文256]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22168919
4. 山岸勇輝 (2026).『速くなるほど風が強くなる——だから帆走艇は風より速く走れる』[論文390]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699203

— 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)