サイフォンの流れは出口の落差で決まり、頂上の限界は頂上と出口の高さの差で決まる

— サイフォンを流れる水の速さは、上の水面から出口までの落差だけで決まり、頂上の高さは入らない — 頂上の圧力は、頂上と出口の高さの差だけで決まり、上の水面の高さは入らない — [論文620]

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

サイフォンは、水面より高い頂上を越える管で、上の槽の水を下の出口へ流す仕掛けである。流れの速さと頂上の圧力が、それぞれ何の高さで決まるかを、二つの道筋で出す。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、流れの速さは、上の水面から出口までの落差で決まる——摩擦を入れなければ速さは $\sqrt{2g\Delta h}$ で、落差 **0.5 m** で **3.131557 m/s**、**1 m** で **4.428691 m/s**、**7 m** で **11.717214 m/s** である。頂上がどれだけ高くても、この式には入らない（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。頂上の圧力は、頂上と出口の高さの差だけで決まる——上の水面から速さの分を引いて求めた頂上の圧力と、出口の大気圧から静水圧を引いて求めた頂上の圧力は、四つの落差のすべてで一致した。頂上が水面より **3 m** 上なら、出口が **1 m** 下で **62.169008 kPa**、**7 m** 下で **3.435020 kPa** である（第2節）。 第三に、上の槽が空になっていっても、頂上の圧力は変わらない——出口の高さを固定して上の槽の水面を下げていく計算では、流れは遅くなるが、頂上の圧力は **62.169008 kPa** のまま、差は 3×10^{-11} **Pa** 以下だった。水面が **0.05 m** まで下がる時間 **350.62** 秒は、トリチェリの式と 7×10^{-7} の相対差で一致した（第3節）。 第四に、限界は、頂上と出口の高さの差で約 **10 m** である——頂上の圧力が水の飽和水蒸気圧まで下がると、水が切れる。その高さの差は **20 ℃** で **10.111964 m**、**50 ℃** で **9.182916 m**、**80 ℃** で **5.656917 m** で、水が温かいほど低い（第4節）。 第五に、分離子は、どの高さを測るかである——流れの速さは水面から出口までを、頂上の圧力は頂上から出口までを見る。どちらの式にも、残り一つの高さは入らない（第5節）。 キーワード：サイフォン、ベルヌーイの定理、飽和水蒸気圧、頂上の圧力、落差。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——流れの速さと圧力を結ぶベルヌーイの定理（ベルヌーイ、1738）、サイフォンの高さの限界（ボートライト、ヒューズ、バリー、2015 ほか）、水の飽和水蒸気圧と密度の表（ワーグナーとプルスの定式化）は、いずれも既知である。サイフォンの仕組みの論争に立ち入らない——水が「引っぱられる」のか「押される」のかは述べず、圧力と速さの数だけを出す。摩擦と気泡を入れない——管の摩擦、水に溶けた空気の泡、管の太さの変化は扱わない。水の値は表の代表値である——20・50・80 ℃の密度と飽和水蒸気圧を置いた。既刊との関係：論文366 は、砂時計が時計になるのは、流れの式に残りの高さが入っていないからだと示した——サイフォンでは、流れの速さの式に頂上の高さが入らず、頂上の圧力の式に上の水面の高さが入らない。加えたのは、頂上の圧力を上の水面からと出口からの二つの道筋で出して一致を確かめたこと、槽が空になっていっても頂上の圧力が変わらないことを時間の計算で示したこと、限界を水温ごとに出し、分離子を「どの高さを測るか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：上の槽の水面を高さの基準とし、サイフォンの頂上の高さを z_c、出口の高さを z_o（水面より下なら負）とする。水の密度を ρ、大気圧を $p_a = 101325\ \mathrm{Pa}$、重力加速度を $g = 9.80665\ \mathrm{m/s^2}$ とし、管の摩擦は入れない。出口から大気へ出る速さは、水面から出口までの落差 $\Delta h = -z_o$ で

$$v = \sqrt{2 g \Delta h}$$

になる。

問い：頂上の圧力は何で決まるか。水が切れずに流れる限界はどこか。

2. 速さと頂上の圧力

計算 2.1：20 ℃（密度 998.2 kg/m³）、頂上を水面より 3 m 上に置き、出口の落差を変えて、頂上の圧力を二つの道筋で求めた。（一）水面から：$p_c = p_a - \rho g z_c - \rho v^2/2$。（二）出口から：出口の圧力は大気圧で、管の中の水の速さはどこでも同じなので、$p_c = p_a - \rho g (z_c - z_o)$。

出口の落差	速さ	頂上の圧力（水面から）	頂上の圧力（出口から）
0.5 m	3.131557 m/s	67.063507 kPa	67.063507 kPa
1.0 m	4.428691 m/s	62.169008 kPa	62.169008 kPa
3.0 m	7.670717 m/s	42.591012 kPa	42.591012 kPa
7.0 m	11.717214 m/s	3.435020 kPa	3.435020 kPa

> **観察 2.2**
>
> これが本稿の芯である。頂上の圧力は、頂上と出口の高さの差だけで決まる。水面から見ると、頂上の圧力は頂上の高さの分と、流れの速さの分の二つが引かれる。その速さの分 $\rho v^2/2$ はちょうど $\rho g \Delta h$ である——足し合わせると、引かれるのは頂上から出口までの高さの差 $z_c - z_o$ の分だけになる。上の水面の高さは、どこにも残らない。

3. 槽が空になっていくとき

計算 3.1：断面積 $1\ \mathrm{m}^2$ の上の槽から、断面積 $0.001\ \mathrm{m}^2$ の管で水を流し、出口を水面より $1\ \mathrm{m}$ 下に固定して、水面が出口の $0.05\ \mathrm{m}$ 上まで下がるまでを 0.01 秒刻みで追った（頂上は初めの水面の $3\ \mathrm{m}$ 上）。かかった時間は 350.62 秒で、トリチェリの式から出る 350.619757 秒と相対差 6.9×10^{-7} で一致した。その間、頂上の圧力は最大も最小も $62.169008\ \mathrm{kPa}$ で、差は $2.9 \times 10^{-11}\ \mathrm{Pa}$ だった。

> **観察 3.2**
>
> 上の水面が下がっても、頂上の圧力は変わらない。水面が下がると、頂上は水面から見て高くなり、流れは遅くなる。高くなった分だけ圧力は下がり、遅くなった分だけ上がる——二つはちょうど打ち消し合い、頂上と出口の高さの差だけが残る。

4. 限界

計算 4.1：頂上の圧力が水の飽和水蒸気圧まで下がると、水は沸いて切れる。その限界の高さの差 $(p_a - p_v)/(\rho g)$ を水温ごとに求めた。

水温	密度	飽和水蒸気圧	頂上と出口の高さの差の限界
$20\ ^\circ\mathrm{C}$	$998.2\ \mathrm{kg/m^3}$	$2.339\ \mathrm{kPa}$	$10.111964\ \mathrm{m}$
$50\ ^\circ\mathrm{C}$	$988.0\ \mathrm{kg/m^3}$	$12.352\ \mathrm{kPa}$	$9.182916\ \mathrm{m}$
$80\ ^\circ\mathrm{C}$	$971.8\ \mathrm{kg/m^3}$	$47.414\ \mathrm{kPa}$	$5.656917\ \mathrm{m}$

水蒸気圧を入れなければ、$20\ ^\circ\mathrm{C}$ で $10.350906\ \mathrm{m}$ である。

観察 4.2

限界は、頂上と出口の高さの差で約 **10 m** である。計算 **2.1** の出口が **7 m** 下の場合、頂上と出口の差は **10 m** で、頂上の圧力 **3.435020 kPa** は **20 ℃** の飽和水蒸気圧 **2.339 kPa** の少し上にある——出口をあと少し下げれば、流れは速くなるが、頂上で水が切れる。温かい水ほど水蒸気圧が高く、**80 ℃** では限界が **5.656917 m** まで下がる。

5. 分離子

観察 5.1

分離子は、どの高さを測るかである。流れの速さは、上の水面から出口までの落差で決まり、頂上の高さは入らない。頂上の圧力と限界は、頂上から出口までの高さの差で決まり、上の水面の高さは入らない——同じサイフォンに三つの高さがあり、二つの問いがそれぞれ別の二つを選んでいる。

観察 5.2

論文366 と並べる。**366** は、水の流量は残りの高さで変わるが、砂の流量には高さが現れないので砂時計が時計になると示した——サイフォンの流れの速さは水と同じく落差で変わる。だが頂上の圧力の式には、上の水面の高さが現れない。式に入らない高さが、何を一定に保つかを決めている。

観察 5.3

言わないこと。サイフォンが水を「引っぱる」のか「押す」のかの論争には立ち入らない。管の摩擦、溶けた空気の泡、管の太さの変化は入れていない——示したのは、頂上の圧力を二つの道筋で出して一致を確かめたこと、槽が空になっても変わらないこと、限界が水温で下がることである。

6. 点呼と結び

1. 流れの速さは $\sqrt{2g\Delta h}$（記法）：頂上の高さは入らない。
2. 落差 **1 m** で **4.428691 m/s**（計算 2.1）：**7 m** で **11.717214 m/s**。
3. 頂上の圧力は二つの道筋で一致（計算 2.1）：四つの落差すべて。

4. 頂上と出口の高さの差だけで決まる（観察 2.2）：本稿の芯。
5. 槽が空になっても **62.169008 kPa** のまま（計算 3.1）：差 3×10^{-11} **Pa** 以下。
6. 時間はトリチェリの式と 7×10^{-7} で一致（計算 3.1）：**350.62** 秒。
7. 高さと遅さが打ち消し合う（観察 3.2）：上の水面は残らない。
8. **20 ℃** の限界 **10.111964 m**（計算 4.1）：頂上と出口の高さの差で。
9. **80 ℃** では **5.656917 m**（計算 4.1）：水蒸気圧が上がる。
10. 分離子はどの高さを測るか（観察 5.1）：三つの高さから二つを選ぶ。

結び：サイフォンは、水面より高い頂上を越えて水を流す。流れの速さは上の水面から出口までの落差で決まり、頂上の高さは入らない——落差 **1 m** で **4.428691 m/s**、**7 m** で **11.717214 m/s** である。頂上の圧力は、頂上と出口の高さの差だけで決まり、上の水面の高さは入らない——上の水面から求めても出口から求めても同じ値になり、槽が空になっていっても **62.169008 kPa** のまま変わらなかった。頂上が高くなった分と、流れが遅くなった分が打ち消し合う。限界は、頂上と出口の高さの差で約 **10 m** である——**20 ℃** で **10.111964 m**、**80 ℃** で **5.656917 m** で、そこを越えると頂上で水が切れる。既刊との位置——論文366 の砂時計と同じく、式に入らない高さが何を一定に保つかを決めている。正直に言えば——摩擦も気泡も入れず、仕組みの論争にも立ち入っていない。

参考文献

1. Bernoulli, D. (1738). *Hydrodynamica*.
2. Boatwright, A., Hughes, S., & Barry, J. (2015). The height limit of a siphon. *Scientific Reports*.
3. Wagner, W., & Pruß, A. (2002). The IAPWS formulation 1995 for the thermodynamic properties of ordinary water substance for general and scientific use. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*.
4. 山岸勇輝 (2026). 『砂時計が時計になるのは、式に「残りの高さ」が入っていないからである』[論文366]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697694

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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