木は水を押し上げるのではなく引き上げており、上限は水の重さと流れの抵抗の和で決まる

— 大気圧で押し上げられる水の柱は **10.350906** m、半径 **40** μm の管の毛管上昇は **0.371846** m にすぎない — 分離子は、水を押し上げるか引き上げるか、そして流れの抵抗を入れるか — [論文794]

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

高い木のてっぺんまで水が届くのは、ふしぎに見える。吸い上げるポンプは **10 m** ほどしか水を持ち上げられず、細い管の毛管の力も足りない。水を押し上げる場合と、切れない水を張力で引き上げる場合で届く高さを出し、引き上げる場合の上限を水の重さと流れの抵抗の和から数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、押し上げるのでは届かない——大気圧で **10.350906** m、半径 **40** μm の管の毛管上昇で **0.371846** m（第2節）。 第二に、引き上げるなら、張力の分だけ届く——**2 MPa** まで切れない水なら、流れのない上限は **194.095452** m（第3節）。 第三に、これが本稿の芯である。上限は、水の重さだけでなく流れの抵抗との和で決まる——半径 **40** μm・**1** mm/s で流れの抵抗は重さの **0.511799** 倍、上限は **128.387070** m（第4節）。 第四に、管が細いと、流れの抵抗が重さを上回る——半径 **20** μm では重さの **2.047196** 倍になり、上限は **63.696407** m（第4節）。 第五に、上限は、管の太さの置き方で大きく動く——同じ流量のまま上で半分の半径まで細くなる管では **57.282411** m（第4節）。 第六に、分離子は、水を押し上げるか引き上げるか、そして流れの抵抗を入れるかである——「木の高さの上限は水の重さで決まる」は、どちらを言うのかを言うまで真偽が決まらない（第5節）。 キーワード：樹木の高さ、凝集力説、負圧、キャビテーション、管の流れの抵抗、毛管上昇。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——木の水が張力のもとで切れずに引き上げられるという凝集力説、毛管上昇の式、細い管の流れの抵抗の式（ハーゲン＝ポアズイユ）、水が張力に耐えられなくなると気泡ができて流れが切れること（キャビテーション）は、いずれも既知である（タイリー＆ツィンマーマン 2002、ノーベル 2009）。値は代表値である——切れる張力 1・2・4 MPa、土の水 −0.1 MPa、管の半径 20・40・80 µm、流速 0.5・1 mm/s は比べるための値で、どの木にも当てはまるとは主張しない。管の中の流れだけを見る——壁孔や管の継ぎ目の抵抗、浸透の力、気泡ができたあとの修復は入れない。細くなる管は極端な置き方である——上へ行くほど一本の管に同じ流量を通す置き方で、実際に管の数や太さがどう配られるかは扱わない。実在の木の高さを主張しない——どの木がなぜその高さかは述べない。既刊との関係：論文309 は、重力と表面張力を分ける長さが材料の寸法ではないことを示し、木の高さには毛管が 0.74 m しか届かないと数えた——その射程注記は植物生理を作らず、凝集力説の当否は扱わず、毛管だけでは足りないという数を出すだけと明記していた。ここではその先——水を引き上げる場合の上限——を、水の重さと流れの抵抗の和から数える。論文620 は、サイフォンの流れが出口の落差で決まり、頂上の限界が水蒸気圧を入れなければ 20 ℃ で 10.350906 m であることを示した——その射程注記は、水が「引っぱられる」のか「押される」のかは述べないと明記していた。ここでは木の中で、張力で引く場合の上限がその何倍にもなることを数える。加えたのは、押し上げる二つの上限（大気圧・毛管）と引き上げる上限を並べたこと、管の半径と流速の六つの組で、流れの抵抗が重さの何倍になり上限がどこまで下がるかを出したこと、閉じた式と二分法で上限を一致させたこと、分離子を「押すか引くか」と「流れの抵抗」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：水の密度を ρ、粘度を μ、表面張力を γ、管の半径を r、流速を v、水が切れる張力を $|\psi_c|$、土の水の張力を $|\psi_{\mathrm{soil}}|$ とする。押し上げる二つの上限と、引き上げる上限は次のとおりである。

$$h_{\mathrm{atm}} = \frac{p_{\mathrm{atm}}}{\rho g}, \qquad h_{\mathrm{cap}} = \frac{2\gamma}{\rho g r}, \qquad h_{\max} = \frac{|\psi_c| - |\psi_{\mathrm{soil}}|}{\rho g + 8\mu v / r^2}$$

分母の第一項が水の重さ、第二項が管の流れの抵抗である。$\rho = 998.2\ \mathrm{kg/m^3}$、$\mu = 1.002 \times 10^{-3}\ \mathrm{Pa\,s}$、$\gamma = 0.0728\ \mathrm{N/m}$、$|\psi_{\mathrm{soil}}| = 0.1\ \mathrm{MPa}$ と置く。

問い：木の高さの上限は、何で決まるのか。

2. 押し上げる

計算 2.1：大気圧で押し上げられる高さと、三つの半径の管の毛管上昇（完全に濡れる場合）を出した。

押し上げ方	届く高さ
大気圧（吸い上げポンプ）	**10.350906** m
毛管・半径 **20** μm	**0.743692** m
毛管・半径 **40** μm	**0.371846** m
毛管・半径 **80** μm	**0.185923** m

> **観察 2.2**
>
> 押し上げるのでは、高い木には届かない。大気圧では **10.350906 m**（論文620 のサイフォンの頂上の限界と同じ値）、毛管では半径 **20 μm** でも **0.743692 m**（論文309 の **0.74 m** と同じ）である——下から押す力には、それより高くへ水を運ぶ余地がない。

3. 引き上げる

計算 3.1：水が切れる張力を三通りに置き、流れのない場合の上限を出した。

切れる張力	流れのない上限
1 MPa	**91.939951** m
2 MPa	**194.095452** m
4 MPa	**398.406455** m

> **観察 3.2**
>
> 引き上げるなら、張力の分だけ届く。切れない水を **2 MPa** まで引けるなら、流れがなくても **194.095452 m** 持ち上がる——上限を決めているのは押す力ではなく、水がどこまで引っ張りに耐えるかである。

4. 流れの抵抗

計算 4.1：切れる張力 2 MPa で、管の半径と流速の六つの組について、流れの圧力勾配、それが水の重さの何倍か、上限を出した。上限は閉じた式と二分法で差 2.842×10^{-14} m だった。

半径	流速	流れの圧力勾配	重さに対する倍率	上限
20 µm	0.5 mm/s	10020.000000 Pa/m	1.023598	95.916007 m
20 µm	1.0 mm/s	20040.000000 Pa/m	2.047196	63.696407 m
40 µm	0.5 mm/s	2505.000000 Pa/m	0.255900	154.546958 m
40 µm	1.0 mm/s	5010.000000 Pa/m	0.511799	128.387070 m
80 µm	0.5 mm/s	626.250000 Pa/m	0.063975	182.424844 m
80 µm	1.0 mm/s	1252.500000 Pa/m	0.127950	172.078100 m

観察 4.2

これが本稿の芯である。上限は、水の重さだけでなく流れの抵抗との和で決まる。半径 40 µm・1 mm/s では流れの抵抗が重さの 0.511799 倍加わり、上限は流れのない 194.095452 m から 128.387070 m に下がる——水を持ち上げるだけでなく、流し続けることにも張力を使っている。

観察 4.3

管が細いと、流れの抵抗が重さを上回る。半径 20 µm・1 mm/s では流れの抵抗が重さの 2.047196 倍になり、上限は 63.696407 m である。半径 80 µm なら 172.078100 m まで戻る——流れの抵抗は半径の二乗に反比例するので、管の太さが上限を大きく動かす。

観察 4.4

上限は、管の太さの置き方でも大きく動く。根元で半径 40 µm・1 mm/s の管が、同じ流量のまま上で半分の半径まで細くなると、上限は 57.282411 m になる——これは極端な置き方で、実際の管の配り方は扱わないが、上限が管の形に敏感であることは分かる。

5. 分離子

> **観察 5.1**
>
> 分離子は、水を押し上げるか引き上げるか、そして流れの抵抗を入れるかである。押し上げるなら **10.350906 m** と **0.371846 m**、引き上げて流れがなければ **194.095452 m**、流れの抵抗を入れると **128.387070 m** から **63.696407 m** まで——「木の高さの上限は水の重さで決まる」は、どちらを言うのかを言うまで真偽が決まらない。

> **観察 5.2**
>
> 論文309 と並べる。309 は、毛管が木の高さに **0.74 m** しか届かないことを数え、凝集力説の当否には立ち入らなかった——ここでは、引き上げる場合の上限を、水の重さと流れの抵抗の和として数えた。

> **観察 5.3**
>
> 言わないこと。壁孔の抵抗、浸透、気泡の修復、実際の管の配り方、実在の木の高さは扱わない——示したのは、上限が張力で決まり、重さと流れの抵抗がそれを分け合うことである。

6. 点呼と結び

1. 大気圧で **10.350906 m**（計算 2.1）：押し上げる上限。
2. 毛管 **0.371846 m**（計算 2.1）：半径 **40 µm**。
3. **2 MPa** で **194.095452 m**（観察 3.2）：引き上げる上限。
4. 流れの抵抗 **0.511799** 倍（計算 4.1）：重さに加わる。
5. 上限 **128.387070 m**（観察 4.2）：本稿の芯。
6. 半径 **20 µm** で **2.047196** 倍（観察 4.3）：抵抗が重さを上回る。
7. 上限 **63.696407 m**（観察 4.3）：細い管。
8. 半径 **80 µm** で **172.078100 m**（観察 4.3）：太い管。
9. 細くなる管で **57.282411 m**（観察 4.4）：形に敏感。
10. 押すか引くか、流れの抵抗（観察 5.1）：分離子・論文309。

結び：木は水を押し上げるのではなく引き上げており、上限は水の重さと流れの抵抗の和で決まる。大気圧で押し上げられる水の柱は **10.350906 m**、半径 **40 µm** の管の毛管上昇は **0.371846 m** にすぎず、切れない水を **2 MPa** まで引けるなら流れのない上限は **194.095452 m** になる——上限を決めるのは押す力ではなく、水がどこまで引っ張りに耐えるかである。半径 **40 µm** の管を **1 mm/s** で流れると、流れの抵抗が重さの **0.511799** 倍加わって上限は **128.387070 m**、半径 **20 µm** では抵抗が重さの **2.047196** 倍になって **63.696407 m** まで下がる——水を持ち上げることと流し続けることが、同じ張力を分け合っている。分離子は、水を押し上げるか引き上げるか、そして流れの抵抗を入れるかである。既刊との位置——論文309 は毛管が足りないことを数えた。ここは引き上げる場合の上限を数えた。正直に言えば——値は代表値で、壁孔の抵抗も管の配り方も実在の木の高さも扱っていない。

参考文献

1. Nobel, P. S. (2009). *Physicochemical and Environmental Plant Physiology* (4th ed.). Academic Press.
2. Tyree, M. T., & Zimmermann, M. H. (2002). *Xylem Structure and the Ascent of Sap* (2nd ed.). Springer.
3. 山岸勇輝 (2026). 『重力と表面張力を分ける長さは、材料の寸法ではない』[論文309]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22172337
4. 山岸勇輝 (2026). 『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』[論文620]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014514

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

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