同じ水を止めながら通せるのは、液体と蒸気で孔の半径の効き方が違うからである

— 孔の半径を 10 分の 1 にすると、液体の粘性流は 0.010000 倍に落ちるのに、拡散で抜ける蒸気は 1.000000 倍のままで、隔たりは 100.000000 倍ひらく — 分離子は、孔の半径が指数の何乗で入るか — [論文722]

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

同じ水を、液体では止めて蒸気では通す膜がある。魔法ではなく、孔の半径が二つの輸送に違う効き方をするからである。効き方の違いを、同じ半径の変化に対する比で数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、液体は毛管圧で止まる——接触角が 90 度を超えていれば水は自分から入れず、入れるには圧力が要る（第2節）。 第二に、その圧力は半径に反比例する——半径 1 μm で水柱 7.438411 m、0.1 μm で 74.384109 m、0.05 μm で 148.768217 m になる（第2節）。 第三に、蒸気の側は半径に依らない——拡散で抜けるので流れは空孔率と厚さで決まり、半径を 40 倍動かしても差は出ない（第3節）。 第四に、これが本稿の芯である。同じ半径の変化に、二つは違う指数で応える——10 分の 1 にすると液体の粘性流は 0.010000 倍に落ちるのに蒸気は 1.000000 倍のままで、隔たりは 100.000000 倍ひらく（第3節）。 第五に、だから一つの半径が二つの要求を同時に満たせる——耐水圧だけが 10.000000 倍になり、透湿は落ちない（第3節）。 第六に、分離子は、孔の半径が指数の何乗で入るかである——同じ一つの孔が、二つの輸送に違う次数で効く（第4節）。 キーワード：ヤング＝ラプラスの式、接触角、耐水圧、透湿、孔径の指数、クヌーセン領域。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ヤング＝ラプラスの式、接触角による毛管圧の符号、多孔質膜の拡散透過は、いずれも標準的である（ヤング 1805、ド・ジェンヌ 1985）。クヌーセン拡散を扱わない——半径 0.1 µm は空気の平均自由行程と同じ桁なので、連続体の拡散係数を使った蒸気側の見積りはそこで崩れる。この限界は第3節に明記する。実在の膜を主張しない——微多孔質膜や無孔質の親水膜の透湿度は扱わない。汚れを扱わない——界面活性剤や汚れによる接触角の低下は扱わない。それが実際の失敗の主因になりうることには触れるだけである。代表値に精度を主張しない——表面張力 0.0728 N/m、接触角 120 度、空孔率 0.8、厚さ 30 µm、拡散係数は桁を見るための値である。吸放湿を扱わない——結露や繊維の吸放湿による輸送は扱わない。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た——そこでは射程注記が「接触角を扱わない——$\cos\theta = 1$（完全濡れ）で計算する」と明記しており、席が空いていた。ここはその接触角が符号を変える側に立つ。同じヤング＝ラプラスの式が、cos が正なら持ち上げ、負なら押し返す。加えたのは、耐水圧を水柱 **74.384109 m** と出したこと、蒸気側が半径に依らないことを 40 倍の範囲で確かめたこと、同じ 10 分の 1 に対する応答の隔たりを **100.000000** 倍と出したこと、クヌーセン領域という限界を明示したこと、分離子を「半径が何乗で入るか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：半径 r の孔について、液体が入るのに要る圧力と、蒸気が拡散で抜ける流れを別々に書く。

$$\Delta p = \frac{2\gamma|\cos\theta|}{r}, \qquad P_{\text{蒸気}} = \frac{D\,\phi}{L}, \qquad Q_{\text{粘性}} \propto r^{2}$$

ϕ は空孔率、L は厚さである。表面張力 0.0728 N/m、接触角 120 度（cos は -0.500000）、空孔率 0.8、厚さ 30 µm を代表値として置く。

問い：一つの孔径が、液体を止めて蒸気を通すという二つの要求を同時に満たせるのはなぜか。

2. 液体は毛管圧で止まる

計算 2.1：孔の半径ごとに、水が入るのに要る圧力を出した。

半径	圧力	気圧	水柱
1.00 µm	72800 Pa	0.718480	7.438411 m
0.50 µm	145600 Pa	1.436960	14.876822 m
0.10 µm	728000 Pa	7.184801	74.384109 m
0.05 µm	1456000 Pa	14.369603	148.768217 m

観察 2.2

符号が向きを決めている。接触角が 90 度を超えると cos が負になるので、同じ式が持ち上げるのではなく押し返す——完全にぬれる面では同じ式が $2\gamma/r$ の吸い込みになり、比は 1.000000 で一致する。

観察 2.3

だから細いほど強く止まる。半径を 10 分の 1 にすると、要る圧力はちょうど 10.000000 倍になる——0.1 µm で水柱 74.384109 m というのは、雨や水圧に対しては十分な余裕である。

観察 2.4

ただし余裕は接触角に寄りかかっている。接触角が 90 度に近づくと毛管圧は 0 に向かう——汚れや界面活性剤で cos が 0 側へ動けば、孔径を変えないまま耐水圧が失われる。

3. 蒸気の側は、半径に依らない

計算 3.1：蒸気が拡散で抜ける流れと、液体が粘性流で抜ける流れを、同じ半径の変化に対して並べた。

量	半径を 10 分の 1 にしたとき	半径の入り方
耐水圧	10.000000 倍	r^{-1}
蒸気の透過	1.000000 倍	r^{0}
液体の粘性流	0.010000 倍	r^{2}

観察 3.2

これが本稿の芯である。三つの量が、同じ半径に違う指数で応える。蒸気と液体の隔たりは 100.000000 倍ひらく——だから半径を絞るという一つの操作が、片方だけを削る。

観察 3.3

蒸気側が半径に依らないのは、抜け方が違うからである。流れは空孔率と厚さで決まり、半径を 40 倍動かしても差が出ない——通り道の細さではなく、通り道の総面積と長さが効いている。

観察 3.4

だから設計は二つの量に分かれる。耐水圧は半径で、透湿は空孔率と厚さで決める——一つのつまみで両方を追わなくてよい。

観察 3.5

この見積りには効く限界がある。半径 0.1 µm は空気の平均自由行程と同じ桁なので、連続体の拡散係数を使った蒸気側の値はそこで崩れる——クヌーセン領域では蒸気側も半径に依り始めるので、r^{0} という読みは孔が十分に大きいときの話である。

4. 分離子

観察 4.1

分離子は、孔の半径が指数の何乗で入るかである。耐水圧は r^{-1}、蒸気は r^{0}、液体の粘性流は r^{2} である——「同じ孔」という言い方が、三つの違う効き方を隠している。

観察 4.2

論文309 と並べる。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、接触角を扱わないと明記して $\cos\theta = 1$ で計算した——ここはその接触角が符号を変える側に立つ。同じ式が、cos が正なら持ち上げ、負なら押し返す。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。クヌーセン拡散も実在の膜も汚れも吸放湿も扱わず、五つの量は代表値として置いた——示したのは、一つの半径に対する応答の指数が輸送ごとに違うことである。

5. 点呼と結び

1. cos は **−0.500000**（第1節）：接触角 120 度。
2. **1 µm** で水柱 **7.438411 m**（計算 2.1）：止まる。
3. **0.1 µm** で **74.384109 m**（計算 2.1）：十分な余裕。
4. **0.05 µm** で **148.768217 m**（計算 2.1）：さらに倍。
5. 気圧では **7.184801**（計算 2.1）：**0.1 µm** のとき。
6. 完全にぬれる面では比 **1.000000**（観察 2.2）：同じ式。
7. 耐水圧は **10.000000** 倍（計算 3.1）：r^{-1}。
8. 蒸気は **1.000000** 倍（計算 3.1）：r^{0}。
9. 粘性流は **0.010000** 倍（計算 3.1）：r^{2}・本稿の芯。
10. 半径が何乗で入るか（観察 4.1）：分離子・論文309。

結び：同じ水を止めながら通せるのは、液体と蒸気で孔の半径の効き方が違うからである。接触角が 90 度を超えていれば cos が負になり、水は自分から孔に入れず、入れるには毛管圧を超える圧力が要る——表面張力 0.0728 N/m・接触角 120 度で、半径 1 µm なら水柱 7.438411 m、0.1 µm なら 74.384109 m、0.05 µm なら 148.768217 m になり、10 分の 1 でちょうど 10.000000 倍である。一方、蒸気は拡散で抜けるので流れは空孔率と厚さで決まり、半径を 40 倍動かしても変わらない——だから同じ 10 分の 1 に対して、液体の粘性流は 0.010000 倍に落ちるのに蒸気は 1.000000 倍のままで、隔たりは 100.000000 倍ひらく。半径を絞るという一つの操作が片方だけを削るので、耐水圧は半径で、透湿は空孔率と厚さで別々に決められる。ただし余裕は接触角に寄りかかっている——汚れや界面活性剤で cos が 0 側へ動けば、孔径を変えないまま耐水圧が失われる。そして半径 0.1 µm は空気の平均自由行程と同じ桁なので、連続体の拡散係数を使った蒸気側の値はそこで崩れる——クヌーセン領域では蒸気側も半径に依り始めるので、半径の 0 乗という読みは孔が十分に大きいときの話である。分離子は、孔の半径が指数の何乗で入るかである。既刊との位置——論文309 は接触角を扱わないと明記して完全濡れで計算した。ここは cos が負になる側に立つ。正直に言えば——クヌーセン拡散も実在の膜も汚れも扱わず、五つの量は代表値として置いた。

参考文献

1. de Gennes, P. G. (1985). Wetting: statics and dynamics. *Reviews of Modern Physics*.

2. 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

3. Young, T. (1805). An essay on the cohesion of fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.

— 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)