

紙が折れなくなるのは厚いからではない——効いているのは長さである

— 厚さは 2^n で増えるが、必要な長さは 4^n で増える — 12 回折るのに厚さは **0.4096 m** しか要らない
のに、長さは **879.0962 m** 要る — 比は **2146.2 倍** — [論文389]

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

「紙は 7 回しか折れない、厚くなりすぎるから」と説明される。本稿が示すのは厚さは効いていないことである——止めているのは長さで、しかも桁が違う。新しい定理も法則も主張しない。第一に、厚さは $t2^n$ で増え、必要な長さは $(\pi t/6)(2^n + 4)(2^n - 1)$ で増える（第1節）。第二に、12 回では厚さが **0.4096 m** しかないのに、長さは **879.0962 m** 要る（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。長さと厚さの比が n とともに 2^n で開く。7 回で **68.6 倍**、13 回で **4290.9 倍**（第2節）。第四に、A4 の長辺 **0.297 m** で折れるのは **6 回** である。7 回には **0.8778 m** 要る（第3節）。第五に、厚さだけを見れば **42 回** で月に届く。厚さは制約になっていない（第3節）。第六に、分離子は「畳むのに要る余りを勘定するか、しないか」である（第5節）。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——一方向折りの長さの式（ギャリヴァン 2002）は既知である。折り紙を作らない——交互方向の折りや、実際の折り技術には立ち入らない。一方向折りだけを計算する。材料を扱わない——紙の剛性・破断・繊維方向は主題ではない。幾何だけを見る。記録を主張しない——何回折れたかの記録の当否は主題ではない。厚さが一定と置いている——折り目で紙が潰れる分は無視する。無視した分は必要な長さを減らす向きに働く。面積を扱わない——交互折りでは長さと幅の両方が効くが、本稿は一方向だけを見る。既刊との関係：論文386 は溶解度を動かさずに速さが **1000 倍** 動くことを示した——ここでは厚さを動かさずに長さが桁で効く。論文362 は石を持ち上げるのが律速でないことを示した——ここでは厚さが律速ではない。論文384 は自由空間損失が損失でないことを示した——どちらも、名前のついているほうが効いていない。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——厚さと長さは、その基準で別根である。加えたのは、六つの回数で厚さと長さを数に出したこと、比が 2^n で開くことを示したこと、A4 で **6 回** という境目を両側から確かめたこと、厚さだけなら **42 回** で月に届くことを示したこと、分離子を「余りを勘定するか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：厚さ t の帯を、同じ向きに n 回折る。折るたびに、折り目の外側に紙を回すぶんの余りが要る。

$$\text{厚さ} = t2^n, \quad L_{\min}(n) = \frac{\pi t}{6}(2^n + 4)(2^n - 1)$$

$t = 0.1 \text{ mm}$ （コピー用紙）で計算する。

観察 1.1

左の式は 2^n 、右の式は 4^n である。 $(2^n + 4)(2^n - 1)$ の主要項が $2^n \cdot 2^n$ ——増え方の指数が違う。

観察 1.2

指数が違えば、大きい n ではどちらが効くかが決まる。比は 2^n で開く——「厚くて折れない」と「長さが足りない」は、同時に効くのではない。

観察 1.3

余りが要るのは、折り目が半円だからである。内側の層が回りこむぶん——層が 2^n 枚あり、各層が 2^n に比例する半径を回る。

問い：紙が折れなくなるのは、何が足りないからか。

2. 比は 68.6 倍から 4290.9 倍へ開く

計算 2.1： $t = 0.1 \text{ mm}$ のときの厚さと必要長（本稿で計算）。

回数 n	厚さ [m]	必要な長さ [m]	長さ／厚さ
7	0.0128	0.8778	68.6
8	0.0256	3.4715	135.6
9	0.0512	13.8060	269.6
10	0.1024	55.0640	537.7
12	0.4096	879.0962	2146.2
13	0.8192	3515.0985	4290.9

観察 2.2

これが本稿の芯である。12 回のところで、厚さは 0.4096 m しかない——子供でも扱える厚さである。同じ行の必要長は 879.0962 m で、比が 2146.2 倍。

観察 2.3

右端の列が n ごとにほぼ倍になっている。68.6 → 135.6 → 269.6 → 537.7—— $4^n/2^n = 2^n$ だから、比そのものが指数で開く。

観察 2.4

13 回では 3.5 km 要る。厚さは 0.8192 m——厚さは人の背丈にも届かないのに、長さは町を横切る。

観察 2.5

どの行でも、長さのほうに先に尽きる。 $n = 7$ ですでに 68.6 倍——どこかで逆転するのではなく、最初から長さが効いている。

3. A4 で折れるのは 6 回。厚さだけなら 42 回で月に届く

計算 3.1：境目（本稿で計算）。

量	値
A4 の長辺	0.297 m
6 回に要る長さ	0.2243 m（足りる）
7 回に要る長さ	0.8778 m（足りない）
厚さが月（ 384400 km）を超える回数	42 回

観察 3.2

眼目を両側から挟んだ。**6** 回は **0.2243** m で足り、**7** 回は **0.8778** m で足りない——A4 一枚を一方向に折れるのは **6** 回である。

観察 3.3

通説の「**7** 回」は、一方向折りではもう一回少ない。交互に折れば幅も使えるので回数が増える——「**7** 回」は折り方の話であって、厚さの話ではない。

観察 3.4

厚さだけを見れば **42** 回で月に届く。 $0.1 \text{ mm} \times 2^{42} = 4.3980 \times 10^8 \text{ m}$ ——よく知られたこの計算は、実は「厚さは制約になっていない」ことの証拠でもある。

観察 3.5

同じ **42** 回に要る長さは、宇宙より長い。 4^{42} の側——どちらが先に破れるかを比べれば、比べるまでもない。

4. 半円が、長さを食っている

観察 4.1

折り目は角ではなく半円である。内側の層をぐると回す——その円周が長さを食う。

観察 4.2

層の数が 2^n 、回る半径も 2^n に比例する。積が 4^n ——「二つとも指数で増える」ことが、 4^n の正体である。

観察 4.3

厚さの側には、この掛け算が無い。層の数だけ——だから 2^n で止まる。

観察 4.4

論文300の基準で別根である。厚さは層の数が、長さは層の数と半径の積が決める——同じ「折れなくなる」という結果に、根の違う二つが並んでいる。

観察 4.5

薄くしても比は変わらない。 t は両方に一次で入る——どんなに薄い紙を使っても、長さ／厚さの比は t に依らない。

5. 分離子：余りを勘定するか、しないか

観察 5.1

分離子——折り目の半円を数えるか、平らな板が重なるだけと見るか。

見方	効く量	12 回の要求
平らな板の重なり	厚さ 2^n	0.4096 m
折り目の半円を数える	長さ 4^n	879.0962 m

観察 5.2

二行の要求が **2146.2** 倍違う。同じ操作の、同じ回数——見方一つで答が三桁動く。

観察 5.3

平らな板の見方は、厚さがゼロの極限でだけ正しい。 $t \rightarrow 0$ で余りも消える——ところが厚さがゼロなら、そもそも折る回数に上限が無い。

観察 5.4

分離子は動かせる。交互方向に折れば、幅も長さも両方使える——そのとき 4^n が面積に分散し、回数が増える。

観察 5.5

正直に言えば——**879.0962 m** も **0.8778 m** も、折り目で紙が潰れないと置いた模型の値である。潰れれば必要長は減る——動かないのは、比が 2^n で開くことと、それが紙の厚さに依らないことである。

観察 5.6

最後に一つ——「厚くなりすぎる」という説明は、正しい量を挙げていながら、効いている量を挙げていない。厚さは確かに 2^n で増える——増えてはいるが、先に尽きるのは長さである。

6. 点呼と結び

1. 厚さは 2^n 、長さは 4^n (第1節)：指数が違う。

2. 12回で厚さ **0.4096 m** (計算 2.1) : 子供でも扱える。
3. 同じ 12回に長さ **879.0962 m** (計算 2.1) : 比は **2146.2** 倍。
4. 比は n ごとに倍 (観察 2.3) : **68.6** $\rightarrow$ **4290.9**。
5. 13回で **3.5 km** (計算 2.1) : 厚さは **0.8192 m**。
6. A4では 6回 (計算 3.1) : **0.2243 m** と **0.8778 m** で挟んだ。
7. 厚さだけなら 42回で月 (計算 3.1) : 制約になっていない。
8. 4^n の正体は層数 $\times$ 半径 (観察 4.2) : どちらも指数。
9. 比は t に依らない (観察 4.5) : 薄くしても変わらない。
10. 分離子は余りを勘定するか (観察 5.1) : 見方で三桁動く。

結び : 「紙は 7回しか折れない、厚くなりすぎるから」と説明される——だが厚さは効いていない。厚さは $t2^n$ で増え、必要な長さは $(\pi t/6)(2^n + 4)(2^n - 1)$ で増える——左は 2^n 、右は 4^n で、増え方の指数が違う。 $t = 0.1$ mm なら、12回に必要な厚さは **0.4096 m** しかなく、子供でも扱える。同じ行の必要長は **879.0962 m** で、比は **2146.2** 倍である。比そのものが指数で開く—— $4^n/2^n = 2^n$ なので、**68.6** $\rightarrow$ **135.6** $\rightarrow$ **269.6** $\rightarrow$ **537.7** と n ごとにほぼ倍になり、13回では **4290.9** 倍になる。13回に要るのは **3.5 km** で、厚さは **0.8192 m**——人の背丈にも届かないのに、長さは町を横切る。どこかで逆転するのではなく、 $n = 7$ ですでに **68.6** 倍で、最初から長さが効いている。境目は両側から挟める——A4の長辺 **0.297 m** に対し、6回は **0.2243 m** で足り、7回は **0.8778 m** で足りない。通説の「7回」は一方向折りではもう一回少なく、交互に折れば幅も使えて回数が増える。つまり「7回」は折り方の話であって、厚さの話ではない。厚さだけを見れば **42** 回で月 (**384400 km**) に届くが、この有名な計算はむしろ「厚さは制約になっていない」ことの証拠である。長さを食っているのは折り目の半円である——折り目は角ではなく半円で、内側の層をぐるりと回す。層の数が 2^n 、回る半径も 2^n に比例し、その積が 4^n になる。厚さの側にはこの掛け算が無く、層の数だけだから 2^n で止まる。論文300の基準で別根であり、同じ「折れなくなる」という結果に根の違う二つが並んでいる。しかも t は両方に一次で入るので、どんなに薄い紙を使っても比は変わらない。分けているものは一つ——折り目の半円を数えるか、平らな板が重なるだけと見るか。12回の要求が **0.4096 m** と **879.0962 m**——同じ操作の同じ回数で、見方一つで答が三桁動く。平らな板の見方は厚さがゼロの極限でだけ正しいが、厚さがゼロならそもそも回数に上限が無い。交互方向に折れば 4^n が面積に分散し、回数が増える。正直に言えば——**879.0962 m** も **0.8778 m** も折り目で紙が潰れないと置いたモデルの値であり、潰れれば必要長は減る。動かないのは、比が 2^n で開くことと、それが紙の厚さに依らないことである。最後に一つ——「厚くなりすぎる」という説明は、正しい量を挙げていながら、効いている量を挙げていない。厚さは確かに 2^n で増える。増えてはいるが、先に尽きるのは長さである。

参考文献

1. Gallivan, B. C. (2002). *How to Fold Paper in Half Twelve Times: An "Impossible Challenge" Solved and Explained*. Pomona: Historical Society of Pomona Valley.

2. Weisstein, E. W. Folding. *MathWorld--A Wolfram Web Resource*.
3. Demaine, E. D., O'Rourke, J. (2007). *Geometric Folding Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press.
4. Lang, R. J. (2011). *Origami Design Secrets* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press.
5. 山岸勇輝 (2026). 『第三百回の点呼——同根か別根かは判定できる』 [論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
6. 山岸勇輝 (2026). 『石を持ち上げるのは、律速ではない』 [論文362]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697498
7. 山岸勇輝 (2026). 『「自由空間損失」は損失ではない——真空は何も吸収していない』 [論文384]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699073
8. 山岸勇輝 (2026). 『溶解度は一つも動いていないのに、溶ける速さが 1000 倍になる』 [論文386]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699119

— *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)