

本のページが波打つかどうかは、紙が湿る量より、綴じた辺にどちらの向きを沿わせたかで決まる

— 綴じた背の向きは伸びられないので自由な縁が波打ち、目が背と平行なら振幅 **0.349083** mm、直角なら **0.700507** mm になる — 分離子は、どれだけ湿るかを問うか、どの向きを縛るかを問うか — [論文859]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年9月

YOI: <https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/859>

— *From thinking to syncing.* —

要旨

本を作るときは「紙の目を背に揃える」と言われる。本稿は、それが何を揃えているのかを数える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、紙の伸びは向きで違う。相対湿度が **30** パーセント上がると、目の向きで **0.003**、直角の向きで **0.012** 伸びる（第2節）。第二に、綴じた辺に沿う向きは伸びを縛られる。縛られた伸びの行き場が、自由な縁の波になる（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。どちらの向きを縛るかで波の高さが変わる。目が背と平行なら振幅 **0.349083** mm、直角なら **0.700507** mm である（第3節）。第四に、伸びの差ほどには波は違わない。ひずみは **4** 倍なのに、振幅は **2.006707** 倍である（第3節）。第五に、振幅は伸びの平方根で効く。近似 $(w/\pi)\sqrt{\epsilon}$ は厳密な弧長の計算と **1** パーセント以内で合う（第3節）。第六に、分離子は、どれだけ湿るかを問うか、どの向きを縛るかを問うかである。同じ紙が同じだけ湿っても、置く向きで波打ち方が変わる（第4節）。キーワード：紙の目、湿度膨張、異方性、波打ち、製本、模型。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない。紙の湿度による伸びが繊維の向きで異なり、目と直角の向きのほうが大きいこと、製本で紙の目を背と平行にする習わし、伸びを縛られた薄い板が波打つこと、正弦波の弧長と振幅の関係は、いずれも既知である。実在の紙の値を主張しない。伸びの係数 1×10^{-4} と 4×10^{-4} 、波長 **20 mm** は模型の値である。製本を指示しない。綴じ方の手順や材料の選び方は述べない。乾きを入れない。乾いて縮むときの反り（カール）は扱わない。紙の強さを扱わない。破れや折り目の付き方は主題ではない。既刊との関係：論文342 は同じ二材料を同じ割合で混ぜても、並べ方で剛性が **16.93** 倍ひらくことを示した。本稿はその隣に置く。あちらは並べ方が硬さを変え、こちらは向きの置き方が波打ちを変える。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した。湿る量と縛る向きは、その基準で別根である。加えたのは、二つの向きで波の振幅を厳密な弧長から出したこと、ひずみ **4** 倍が振幅 **2.006707** 倍になると測ったこと、近似と厳密な計算が **1** パーセント以内で合うと確かめたこと、分離子を「湿る量か、縛る向きか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：紙が相対湿度 $\Delta\phi$ だけ湿ると、目の向きには $\beta_{MD}\Delta\phi$ 、直角の向きには $\beta_{CD}\Delta\phi$ のひずみが生じる。背に沿う向きは綴じられて伸びられず、縛られたひずみ ε のぶんが自由な縁で波長 w の正弦波になると置く。

$$\frac{1}{w} \int_0^w \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi a}{w} \cos \frac{2\pi x}{w} \right)^2} dx = 1 + \varepsilon, \quad a \approx \frac{w}{\pi} \sqrt{\varepsilon}$$

左の式を振幅 a について解く。右は ε が小さいときの近似である。本稿は $\beta_{MD} = 1 \times 10^{-4}$ 、 $\beta_{CD} = 4 \times 10^{-4}$ 、 $\Delta\phi = 30$ 、 $w = 20 \text{ mm}$ と置く。

問い：ページの波打ちは、湿る量で決まるのか、向きの置き方で決まるのか。

2. 向きで違う伸び

計算 2.1：相対湿度が **30** パーセント上がったときのひずみを出した。

向き	ひずみ
目の向き	0.003000
目と直角の向き	0.012000
比	4.000000

観察 2.2

同じ湿りで、伸びは向きで 4 倍違う。背に沿う向きがどちらになるかで、縛られるひずみが変わる。湿る量は同じで、違うのは縛られる向きだけである。

3. 波の高さ

計算 3.1：縛られたひずみから、自由な縁の波の振幅を厳密な弧長の式で解いた。

目と背の関係	縛られるひずみ	振幅（厳密）	振幅（近似）
平行	0.003000	0.349083 mm	0.348691 mm
直角	0.012000	0.700507 mm	0.697382 mm

観察 3.2

これが本稿の芯である。向きの置き方で波の高さが変わる。目が背と直角だと、平行のときの 2.006707 倍の高さで波打つ。目を背に揃えるのは、伸びの小さい向きを縛られた辺に合わせることである。

観察 3.3

ひずみ 4 倍が、振幅 2 倍にしかない。比は 2.006707 で、4 の平方根にほぼ等しい。余った長さは波の高さの二乗で吸収されるので、高さは伸びの平方根で効くからである。

観察 3.4

近似と厳密な計算は 1 パーセント以内で合う。厳密な振幅がわずかに大きいのは、弧長の高い次の項のぶんである。比が 2 よりわずかに大きいのも同じ理由による。

4. 分離子

観察 4.1

分離子は、どれだけ湿るかを問うか、どの向きを縛るかを問うかである。湿りの量を同じにしても、縛る向きで振幅は **0.349083 mm** と **0.700507 mm** に分かれる。同じ紙が同じだけ湿っても、置く向きで波打ち方が変わる。

観察 4.2

論文342 の隣に置く。342 は同じ二材料を同じ割合で混ぜても、並べ方で剛性が **16.93** 倍ひらくことを示した。あちらは材料の並べ方が硬さを変え、こちらは向きの置き方が波打ちを変える。どちらも中身を変えずに向きと配置だけで答が変わる。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した。湿る量と縛る向きは、その基準で別根である。

観察 4.3

言わないこと。実在の紙の係数も、製本の手順も、乾いたときの反りも、紙の強さも扱わない。示したのは、波打ちを決めるのが縛る向きだということである。

5. 点呼と結び

1. 目の向きのひずみ **0.003000** (計算 2.1) : 小さい。
2. 直角の向き **0.012000** (計算 2.1) : 4 倍。
3. 背に沿う向きは縛られる (第1節) : 行き場が波になる。
4. 平行なら **0.349083 mm** (計算 3.1) : 低い波。
5. 直角なら **0.700507 mm** (計算 3.1) : 本稿の芯。
6. 比は **2.006707** (観察 3.3) : 4 倍にならない。
7. 高さは伸びの平方根 (観察 3.3) : 二乗で吸収される。
8. 近似は 1 パーセント以内 (観察 3.4) : 高い次の項のぶんどけずれる。
9. 揃えるのは小さい伸びの向き (観察 3.2) : 作法ではない。
10. 湿る量か、縛る向きか (観察 4.1) : 分離子・論文342・300。

結び：本のページが波打つかどうかは、紙が湿る量より、綴じた辺にどちらの向きを沿わせたかで決まる。相対湿度が 30 パーセント上がると紙は目の向きで 0.003、直角の向きで 0.012 伸び、背に沿う向きは綴じられて伸びられないので、そのぶんが自由な縁の波になる。縛られた伸びの行き場が、縁の波しかないからである。波長 20 mm の振幅は、目が背と平行なら 0.349083 mm、直角なら 0.700507 mm で、ひずみは 4 倍でも振幅は 2.006707 倍にとどまる。余った長さは波の高さの二乗で吸収されるので、高さは伸びの平方根で効くからである。目を背に揃えるのは、伸びの小さい向きを縛られた辺に合わせることである。既刊との位置：論文342の「並べ方で硬さが変わる」の隣に、「向きの置き方で波打ちが変わる」を置き、論文300の規律で湿る量と縛る向きを別根として扱った。正直に言えば、伸びの係数と波長は模型の値で、乾いて縮むときの反りは入っていない。

参考文献

1. Niskanen, K. (Ed.) (2012). *Mechanics of Paper Products*. De Gruyter.
 2. 山岸勇輝 (2026). 『三百本目の点呼 — 同根か別根かは、判定できる』 [論文300]. YOI:
<https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/300> ・ DOI: 10.5281/zenodo.22171914
 3. 山岸勇輝 (2026). 『同じ二材料を同じ割合で混ぜて、剛性が 16.93 倍ひらく』 [論文342]. YOI:
<https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/342> ・ DOI: 10.5281/zenodo.22682160
-

— *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)