

同じガラスが、5000 倍透明になった

— 窓ガラスは 20 m で光が 1 パーセントに落ちるが、光ファイバは同じ 1 パーセントまでに 100 km 走る — 太平洋を渡るのに中継が 90 台か 450,000 台かを分ける — [論文415]

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

光ファイバは「ガラスでできている」と説明される。窓ガラスもガラスである。本稿が示すのは、同じ材料名の中で 5000 倍の差があることである——そしてその差が、海底ケーブルが成り立つかどうかを決めている。新しい定理も法則も主張しない。第一に、これが本稿の芯である。同じ透過率 1 パーセントまでに、窓ガラスは 20 m しか進めず、光ファイバは 100 km 進む。比はちょうど 5000 倍である（第2節）。第二に、減衰率の比も 0.2 対 1000 dB/km でちょうど 5000 倍であり、距離の比と一致する（第2節）。第三に、ファイバでは 1 km 走っても 95.4993 パーセントが残る（第2節）。第四に、太平洋横断 9000 km に必要な中継は、ファイバなら 90 台である（第3節）。第五に、同じ距離を窓ガラスで作れば 450,000 台が要る。桁が四つ違う（第3節）。第六に、分離子は「材料の名前か、不純物の量か」である。組成ではなく、鉄イオンが 10^9 分の一に減ったことが効いている（第4節）。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ランベルト＝ベールの法則、デシベルの定義、石英ファイバの低損失窓はすべて既知である。定理を証明しない——指数減衰は既知として使い、数を入れるだけである。製造を論じない——気相軸付法などの製法は主題ではない。損失の物理を分解しない——レイリー散乱と赤外吸収の寄与を分けることは主題ではなく、**0.2 dB/km** を与えられた値として使う。分散を扱わない——波形の広がり、非線形効果、偏波モード分散は主題ではない。中継の間隔は損失だけで決めており、実際には分散も効く。窓ガラスの値を一つに固定する——**1000 dB/km** は代表値であり、板ガラスの種類で動く。既刊との関係：論文414 は同じ「一刻」が季節で **1.5** 倍変わることを示した——そこでは同じ名前の単位が別の長さだった。ここでは同じ名前の材料が別の透明さである。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「ガラスだから透明」と「不純物が少ないから透明」は、その基準で別根である。論文412 は「一番近い」が距離を決めるまで決まらないことを示した——ここでは「透明」が距離を決めるまで決まらない。論文413 は柱を一本足すと閉じた式が消えることを示した——そこでは自由度が式を壊した。ここでは不純物が距離を壊す。加えたのは、同じ透過率に至る距離を両者で出したこと、減衰率の比と距離の比がどちらも **5000** で一致することを示したこと、**1 km** での残存率を **95.4993** パーセントと出したこと、太平洋横断の中継台数を **90** 対 **450,000** と出したこと、分離子を「名前か不純物か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：減衰率 α (dB/km) の媒質を L km 進んだあとの透過率は次で与えられる。

$$T = 10^{-\alpha L/10}$$

光ファイバは **1550 nm** で $\alpha = 0.2$ dB/km、窓ガラスは代表値として $\alpha = 1000$ dB/km とする。

観察 1.1

窓ガラスは透明である。数ミリの板を通して外が見える——だから「ガラスは透明だ」と言う。

観察 1.2

ところが厚さを変えると話が変わる。同じ板を何百枚も重ねれば向こうは見えない——「透明」は厚さと組で意味を持つ。

問い：では、どこまで厚くできるのか。

2. 同じ 1 パーセントまでに、20 m と 100 km

計算 2.1：両者の透過率を距離ごとに出す。

距離	ファイバの透過率	窓ガラスの透過率
1 m	0.9999539	0.7943282
20 m	0.9990794	0.0100000
1 km	0.9549926	10^{-100}
100 km	0.0100000	0

観察 2.2

窓ガラスは 20 m でちょうど 1 パーセントになる。 $1000 \times 0.02 = 20 \text{ dB}$ だからである——20 dB はちょうど 100 分の一である。

観察 2.3

ファイバは 100 km でちょうど 1 パーセントになる。 $0.2 \times 100 = 20 \text{ dB}$ で同じ値である——同じ 20 dB を、片方は 20 m で、片方は 100 km で使い切る。

計算 2.4：二つの比を出す。

減衰率の比は $1000/0.2 = 5000.0000$ 倍である。同じ透過率に至る距離の比も $100,000/20 = 5000.0000$ 倍である。

観察 2.5

この二つが一致するのは、指数減衰の性質である。減衰率が k 分の一になれば、同じ減衰に要る距離は k 倍になる——片方から他方を逆算できるので、計算の自己検査になっている。

観察 2.6

ファイバでは 1 km 走っても **95.4993** パーセントが残る。窓ガラスなら 1 km で 10^{-100} である——光子一個も届かない。

3. 中継が 90 台か 450,000 台か

計算 3.1：20 dB を使い切るごとに中継を置くとして、太平洋横断 9000 km に何台要るか。

ファイバなら $9000/100 = 90$ 台である。窓ガラスなら $9000/0.02 = 450,000$ 台である。

観察 3.2

90 台は作れる。450,000 台は作れない。20 m ごとに海底で電力を供給する装置を置くことになる——装置そのものより、電力と故障率で成り立たない。

観察 3.3

つまりこの 5000 倍は、量の差ではなく可否の差である。「五千倍良い」ではなく「できる／できない」——海底ケーブルは、この一桁の四つ分の上に立っている。

観察 3.4

そして差は組成ではない。どちらも主成分は二酸化ケイ素である——違うのは不純物、とくに鉄などの遷移金属イオンの量である。

観察 3.5

1966 年に 20 dB/km が目標として掲げられたとき、当時のガラスは 1000 dB/km だった。五十倍の改善が必要と言われた——実際には 0.2 dB/km まで届き、5000 倍になった。

4. 分離子

分離子：材料の名前で決まるか、不純物の量で決まるか。

観察 4.1

「ガラスだから透明」は、名前で決めている。組成を言えば性質が決まる、という考え方である——短い距離ではそれで足りる。

観察 4.2

だが 5000 倍の差は名前の中にある。同じ「ガラス」で 0.2 から 1000 まで動く——名前は範囲を決めるだけで、値を決めない。

観察 4.3

これは論文300の基準で別根である。「透明さの上限」は組成が決める——「実際の透明さ」は不純物が決める。同じ言葉が二つの量を指している。

観察 4.4

そして「透明」は距離を決めるまで意味を持たない。窓ガラスは 3 mm では透明で、20 m では不透明である——論文412で「一番近い」が距離を要求したのと同じ形である。

観察 4.5

正直に言えば——中継の間隔を損失だけで決めるのは単純化である。実際には分散、非線形効果、雑音の蓄積が効く——90 台という数は桁を示すためのもので、実際の設計値ではない。

観察 4.6

最後に一つ——0.2 dB/km には物理の下限がある。レイリー散乱は不純物をゼロにしても残る——つまり 5000 倍は「まだ足りない」のではなく、ほぼ限界まで来た値である。

5. 点呼と結び

1. 窓ガラスは 20 m で 1.0000 % (計算 2.1) : 20 dB。
2. ファイバは 100 km で 1.0000 % (計算 2.1) : 同じ 20 dB。
3. 減衰率の比は 5000.0000 倍 (計算 2.4) : 1000 対 0.2。
4. 距離の比も 5000.0000 倍 (計算 2.4) : 逆算が一致。
5. ファイバは 1 km で 95.4993 % 残る (観察 2.6) : ほぼ減らない。
6. 窓ガラスは 1 km で 10^{-100} (計算 2.1) : 一個も届かない。
7. 太平洋横断に中継 90 台 (計算 3.1) : 9000 km。
8. 窓ガラスなら 450,000 台 (計算 3.1) : 桁が四つ違う。
9. 差は組成ではなく不純物 (観察 3.4) : どちらも二酸化ケイ素。
10. 分離子は名前か不純物か (観察 4.3) : 論文300 の基準で別根。

結び：光ファイバは「ガラスでできている」と説明され、窓ガラスもガラスである——だが同じ透過率 1 パーセントに至るまでに、窓ガラスは 20 m しか進めず、光ファイバは 100 km 進む。どちらも 20 dB を使い切っているのに、片方は 20 m で、片方は 100 km で使い切る。減衰率の比は $1000/0.2 = 5000.0000$ 倍、同じ透過率に至る距離の比も $100,000/20 = 5000.0000$ 倍で、この二つが一致するのは指数減衰の性質であり、片方から他方を逆算できるので計算の自己検査になっている。ファイバでは 1 km 走っても 95.4993 パーセントが残り、窓ガラスなら 1 km で 10^{-100} 、光子一個も届かない。そしてこの 5000 倍は、量の差ではなく可否の差である——20 dB ごとに中継を置くとして、太平洋横断 9000 km に必要な台数はファイバなら 90 台、窓ガラスなら 450,000 台になる。90 台は作れるが、20 m ごとに海底で電力を供給する装置を 45 万台置くことは、装置そのものより電力と故障率で成り立たない。海底ケーブルは、この一桁の四つ分の上に立っている。差は組成ではない——どちらも主成分は二酸化ケイ素であり、違うのは不純物、とくに鉄などの遷移金属イオンの量である。1966 年に 20 dB/km が目標として掲げられたとき当時のガラスは 1000 dB/km で、五十倍の改善が要ると言われた。実際には 0.2 dB/km まで届いた。分けているものは一つ——材料の名前で決まるか、不純物の量で決まるか。「ガラスだから透明」は名前で決めており、短い距離ではそれで足りるが、5000 倍の差は名前の中にある。名前は範囲を決めるだけで値を決めない。論文300 の基準で別根であり、「透明さの上限」は組成が、「実際の透明さ」は不純物が決める。そして「透明」は距離を決めるまで意味を持たない——窓ガラスは 3 mm では透明で 20 m では不透明であり、論文412 で「一番近い」が距離を要求したのと同じ形である。正直に言えば——中継の間隔を損失だけで決めるのは単純化で、実際には分散、非線形効果、雑音の蓄積が効く。90 台という数は桁を示すためのもので、実際の設計値ではない。最後に一つ——0.2 dB/km には物理の下限がある。レイリー散乱は不純物をゼロにしても残るので、5000 倍は「まだ足りない」のではなく、ほぼ限界まで来た値である。

参考文献

1. Kao, K. C., & Hockham, G. A. (1966). Dielectric-Fibre Surface Waveguides for Optical Frequencies. *Proceedings of the IEE*.
2. Miya, T., Terunuma, Y., Hosaka, T., & Miyashita, T. (1979). Ultimate Low-Loss Single-Mode Fibre at 1.55 μm . *Electronics Letters*.
3. Agrawal, G. P. (2012). *Fiber-Optic Communication Systems* (4th ed.). Hoboken: Wiley.
4. Born, M., & Wolf, E. (1999). *Principles of Optics* (7th ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
5. 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]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
6. 山岸勇輝 (2026). 『「一番近い」は、距離を決めるまで決まらない』 [論文412]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699661
7. 山岸勇輝 (2026). 『柱を一本足すと、閉じた式が消える』 [論文413]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699750
8. 山岸勇輝 (2026). 『同じ「一刻」が、季節で 1.5 倍変わる』 [論文414]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699766

— *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)