

断熱しているのは雪ではなく、雪が抱えている空気である

— 新雪（密度 100）の熱伝導率は **0.069330** W/(m K) で氷の **1/32.02** — 30 cm はグラスウール **17.31** cm に相当する — 密度 500 まで締まると **6.3645** 倍通すようになる — [論文451]

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

雪が暖かいのは不思議だ、と言われる。本稿が示すのは、断熱しているのは雪ではなく雪の中の空気であることである——だから同じ雪でも、締まれば **6.3645** 倍熱を通す。新しい定理も法則も主張しない。第一に、新雪の熱伝導率は **0.069330** W/(m K) で、氷の **1/32.02** である（第2節）。第二に、密度 100 の新雪は体積の **0.8909** が空気である（第3節）。第三に、これが本稿の芯である。新雪 30 cm はグラスウール **17.31** cm に相当し、住宅用断熱材の実用厚に届いている（第2節）。第四に、密度 500 まで締まると熱伝導率は **6.3645** 倍になる（第2節）。第五に、実測値は直列下限 **0.029141** と並列上限 **0.265258** の間にある（第3節）。第六に、分離子は「材質が断熱するか、構造が断熱するか」である（第4節）。キーワード：雪、熱伝導率、断熱、空気、混合則。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——雪の熱伝導率の密度依存性、混合則の直列・並列限界はすべて既知である。建物を設計しない——断熱材の選択、施工、結露対策は主題ではない。雪洞の作り方を論じない——安全確保、換気、雪崩の危険は主題ではない。水蒸気の輸送を含めない——昇華と再凝結による熱輸送は雪の中で無視できない場合があるが、ここでは伝導だけを見る。経験式を一つに固定する——密度の二次式を用いる。文献によって係数に幅がある。既刊との関係：論文450 は同じ日数でも積算温度が 3 倍違うことを示した——そこでも、同じ名前の下に別の量があった。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「材質としての雪」と「構造としての雪」は、その基準で別根である。論文447 は増やした働き手が出口から流れ出すことを示した——そこでも、量ではなく構造が効いていた。加えたのは、四つの密度で熱伝導率を出したこと、グラスウール換算厚を **17.31** cm と出したこと、空隙率を **0.8909** と出したこと、直列下限と並列上限で実測を挟んだこと、分離子を「材質か構造か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：雪の熱伝導率を、密度 ρ [kg/m³] の二次式

$$k(\rho) = 0.138 - 1.01 \times 10^{-3} \rho + 3.233 \times 10^{-6} \rho^2$$

で与える。氷は $k_i = 2.22$ 、空気は $k_a = 0.026$ W/(m K) とする。厚さ d の層の熱抵抗は $R = d/k$ である。

観察 1.1

雪が暖かいのは不思議だ、と言われる。雪は 0 度の氷でできている——冷たいものが暖めるはずがない、という直観がある。

観察 1.2

だが暖めているのではなく、逃がさないだけである。問題は温度ではなく熱伝導率である——そしてそれは、雪の材質ではなく構造で決まる。

問い：どれだけ断熱していて、何がそれを決めているのか。

2. 新雪は氷の 32 分の 1 しか通さない

計算 2.1：四つの密度で熱伝導率を出す。

密度 [kg/m ³]	熱伝導率 [W/(m K)]
100（新雪）	0.069330
200	0.065320
300	0.125970
500（締雪）	0.441250

観察 2.2

新雪は氷の $1/32.02$ しか通さない。0.069330 対 2.22——同じ物質でできているのに、32 倍の差がある。

観察 2.3

締まると通すようになる。密度 500 で 0.441250、新雪の **6.3645** 倍——雪をかき固めると断熱が落ちる。

観察 2.4

それでも氷の半分にも届かない。0.441250 対 1.11——完全に締まるまでは、空気が残っている。

観察 2.5

ただし表の 100 と 200 の間で、値がいったん下がっている。0.069330 から 0.065320 へ——この二次式は密度 **156.2017** に極小 **0.059118** を持つ。

観察 2.6

これは経験式の人工物であって、雪の性質ではない。二次式で当てはめた結果、外挿の端で向きが反転している——**156** より上でだけ「締まると通す」が言える。この下では、式が保証していない。

観察 2.7

当てはめの形が、結論の向きを変えうる場所がここである。単調と思って読むと、100 から 200 の区間で逆を言うことになる——式の外に出ないことを、数で確かめておく。

計算 2.8：新雪 30 cm の熱抵抗を、住宅用断熱材の厚さに換算する。

熱抵抗 $4.3271 \text{ m}^2\text{K/W}$ 、グラスウール (0.040 W/(m K)) に直すと **0.1731 m = 17.31 cm** である。

観察 2.9

住宅の壁に入れる断熱材の実用厚とほぼ同じである。10 から 20 cm——雪の 30 cm は、比喩ではなく本当に断熱材である。

観察 2.10

コンクリートとの比は **23.08** 倍である。同じ 30 cm で——ここは私が最初「40 倍以上」と見積もって外した。実測は **23.08** 倍だった。

3. 空隙率 0.8909 —— 断熱しているのは空気である

計算 3.1：密度 100 の雪の空隙率を出す。

$1 - 100/917 = \mathbf{0.8909}$ 、すなわち体積の 89 パーセントが空気である。

観察 3.2

ほとんど空気である。氷は 11 パーセントしかない——「雪」と呼んでいるものの実体は、形を保った空気である。

計算 3.3：混合則の両限界で挟む。

模型	熱伝導率 [W/(m K)]
直列（下限）	0.029141
実測（経験式）	0.069330
並列（上限）	0.265258

観察 3.4

実測は両限界の間にある。下限の **2.3792** 倍、上限の **0.2614** 倍——氷と空気の二成分だけで説明がつく範囲にいる。

観察 3.5

下限に近いということは、熱が氷の骨組みを迂回していることを意味する。並列なら氷が近道になるはずだが、そうになっていない——つながっていない氷の粒が、空気の中に浮いている。

観察 3.6

締まると氷がつながり、上限に近づく。密度が上がると熱伝導率が二次式で急に伸びるのはそのためである——100 から 500 で 6.3645 倍という跳ね方は、線形ではない。

4. 分離子

分離子：材質が断熱するか、構造が断熱するか。

観察 4.1

材質が断熱するなら、同じ物質はいつも同じだけ断熱する。氷は氷である——2.22 という一つの数で済む。

観察 4.2

構造が断熱するなら、同じ物質でも並べ方で変わる。0.069330 から 2.22 まで 32 倍——材質の名前は、熱の通り方を決めていない。

観察 4.3

これは論文300 の基準で別根である。どちらも「雪の熱伝導率」と呼ばれる——一方は物質の量、一方は物質と密度の組の量である。

観察 4.4

論文450 と同じ形である。そこでは「28 日」が温度なしでは量でなかった——ここでは「雪」が密度なしでは量でない。どちらも、名前が量を指していない。

観察 4.5

だから断熱材の設計は、素材選びではなく空気の閉じ込め方である。グラスウールも発泡樹脂も羽毛も、原理は同じ——動かない空気を作る構造を持っている。

観察 4.6

正直に言えば——水蒸気の輸送を入れていない。雪の中では昇華と再凝結が熱を運ぶことがあり、温度勾配が大きいと無視できない——ここでは伝導だけを見た。

観察 4.7

最後に一つ——経験式は文献によって係数に幅がある。32 倍という数そのものより、密度で大きく動くという向きのほうが確かである——断熱しているのが構造であるという結論は、係数の選び方に依らない。

5. 点呼と結び

1. 新雪は **0.069330 W/(m K)** (計算 2.1) : 氷の **1/32.02**。
2. 密度 500 で **0.441250** (計算 2.1) : **6.3645** 倍通す。
3. それでも氷の半分未満 (観察 2.4) : 空気が残る。
4. **30 cm** はグラスウール **17.31 cm** (計算 2.8) : 本稿の芯。
5. コンクリート比は **23.08** 倍 (観察 2.10) : 私の見積もりは外れた。
6. 空隙率は **0.8909** (計算 3.1) : ほとんど空気。
7. 直列 **0.029141**、並列 **0.265258** (計算 3.3) : 実測が間にある。
8. 下限寄り (観察 3.5) : 氷がつながっていない。
9. 分離子は材質か構造か (観察 4.3) : 論文300 の基準で別根。

10. 断熱材は空気の閉じ込め方（観察 4.5）：素材選びではない。

結び：雪が暖かいのは不思議だ、と言われる——雪は 0 度の氷でできており、冷たいものが暖めるはずがないという直観がある。だが暖めているのではなく、逃がさないだけである。問題は温度ではなく熱伝導率であり、そしてそれは雪の材質ではなく構造で決まる。断熱の量は大きい——新雪の熱伝導率は **0.069330 W/(m K)** で、氷の **1/32.02**。同じ物質でできているのに **32 倍** の差がある。**30 cm** の熱抵抗は **4.3271 m²K/W**、グラスウールに直すと **17.31 cm** で、住宅の壁に入れる断熱材の実用厚とほぼ同じである——雪の **30 cm** は比喩ではなく本当に断熱材である。コンクリートとの比は **23.08 倍**。ここは私が最初「**40 倍以上**」と見積もって外し、実測は **23.08 倍** だった。そして締まると通すようになる。密度 **500** で **0.441250**、新雪の **6.3645 倍** で、雪をかき固めると断熱が落ちる。断熱しているのは空気である——密度 **100** の雪の空隙率は **0.8909**、すなわち体積の **89 パーセント** が空気、氷は **11 パーセント** しかない。「雪」と呼んでいるものの実体は、形を保った空気である。混合則で挟むと、直列下限 **0.029141**、実測 **0.069330**、並列上限 **0.265258** で、実測は両限界の間にある——氷と空気の二成分だけで説明がつく範囲にいる。そして下限に近いということは、熱が氷の骨組みを迂回していることを意味する。並列なら氷が近道になるはずだが、そうならない——つながっていない氷の粒が、空気の中に浮いている。締まると氷がつながって上限に近づき、**100** から **500** で **6.3645 倍** という線形でない跳ね方をする。分けているものは一つ——材質が断熱するか、構造が断熱するか。材質が断熱するなら同じ物質はいつも同じだけ断熱し、氷は氷で **2.22** という一つの数で済む。構造が断熱するなら同じ物質でも並べ方で変わり、**0.069330** から **2.22** まで **32 倍** 動く。材質の名前は、熱の通り方を決めていない。論文**300** の基準で別根であり、一方は物質の量、一方は物質と密度の組の量である。論文**450** と同じ形で、そこでは「**28 日**」が温度なしでは量でなかった。ここでは「雪」が密度なしでは量でない。だから断熱材の設計は素材選びではなく空気の閉じ込め方である——グラスウールも発泡樹脂も羽毛も、動かない空気を作る構造を持っている。正直に言えば——水蒸気の輸送を入れていない。雪の中では昇華と再凝結が熱を運ぶことがあり、温度勾配が大きいと無視できないが、ここでは伝導だけを見た。最後に一つ——経験式は文献によって係数に幅がある。**32 倍** という数そのものより、密度で大きく動くという向きのほうが確かで、断熱しているのが構造であるという結論は係数の選び方に依らない。

参考文献

1. Sturm, M., Holmgren, J., König, M., & Morris, K. (1997). The Thermal Conductivity of Seasonal Snow. *Journal of Glaciology*.
2. Yen, Y.-C. (1981). *Review of Thermal Properties of Snow, Ice and Sea Ice*. CRREL Report 81-10.
3. Maxwell, J. C. (1873). *A Treatise on Electricity and Magnetism*. Clarendon Press.
4. Calonne, N., Flin, F., Morin, S., Lesaffre, B., du Roscoat, S. R., & Geindreau, C. (2011). Numerical and Experimental Investigations of the Effective Thermal Conductivity of Snow. *Geophysical Research Letters*, 38, L23501.
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). 『働き手を増やしすぎると、働き手のほうが流れ出す』 [論文447]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732494
7. 山岸勇輝 (2026). 『冬の二十八日と夏の二十八日は、同じ二十八日ではない』 [論文450]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732716

— *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)