いちばん速いのは最初の一瞬で、あとはいくら待っても伸びない

— はんだ継手の金属間化合物は時間の平方根で厚くなるので、厚みを **2** 倍にするには時間が **4** 倍、**10** 倍にするには **100** 倍要る — ならした速さは終わりの瞬間の速さのちょうど **2** 倍で、この **2** は論文308 の **2** とは別根である — [論文560]

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

はんだ付けは、金属間化合物ができなければ付かず、できすぎると割れる。本稿が示すのは、その層が時間の平方根で伸びるとき、伸びが極端に前半へ偏ること、そして「ならした速さ」と「いまの速さ」がちょうど 2 倍ずれることである。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、ここでは渡る距離そのものが伸びる——論文445 は決まった距離を渡る時間を扱ったが、層は自分が作ったぶんだけ次の原子の道のりを延ばす（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。伸びは前半へ極端に偏る——全体の 1 パーセントの時間で厚みの 10 パーセント、25 パーセントの時間でちょうど半分に達する（第3節）。 第三に、速さそのものは落ち続ける——1 分後と 1000 時間後で 244.948974 倍違う（第3節）。 第四に、ならした速さは、いまの速さのちょうど 2 倍である——12 桁で 2。手でも解ける（第3節）。 第五に、この 2 は論文308 の 2 とは別根である——論文405 の基準で、全単射が無い（第4節）。 第六に、分離子は、渡る距離が決まっているか、自分で伸びるかである——決まっていれば論文445 の問い（いつ届くか）、伸びるなら本稿の問い（どう配られるか）になる（第4節）。 キーワード：はんだ付け、金属間化合物、拡散律速、放物線則、層の成長。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——拡散律速の層成長が時間の平方根に従うことは標準的である。はんだ付けの条件を勧めない——どの温度でどれだけ加熱すべきかは述べない。成長定数を数値で置かない——本稿は比だけを扱う。定数は温度で何桁も変わるので、絶対の厚みは一つも書かない。どの厚みが最適かを述べない——薄すぎれば付かず厚すぎれば脆いことは前提として置くが、境目の値は測っていない。組成と相を区別しない——銅・すず系の相がいくつできるかは扱わず、層を一つとして数える。力学を扱わない——層が厚いとなぜ割れやすいのかは主題ではない。温度をまたいだ比較をしない——第4節の **1621.110730** 倍は「もし成長定数が変わらなければ」という反実仮想であって、実際の予測ではない。既刊との関係：論文249 は拡散が捕らえる 4π が場の広がる 4π と同じ根だと示し、その射程注記で「反応律速の場合を扱わない」と明記していた——本稿の分離子はまさにその除外された側である。あちらは拡散律速の定常状態、こちらは境界が動く非定常であって、扱う時間の相が違う。論文445 は待っているのが反応ではなく拡散であると示し、「10 倍の距離に 100 倍の時間」を測った——本稿の「厚みを 10 倍にするには時間が 100 倍」は同じ法則の裏返しであって、新しくない。あちらは距離が決まっていて時間を問い、こちらは距離が自分で伸びるので「伸びが時間にどう配られるか」を問う。反応律速との分かれ目もあちらの主題なので、本稿は名指すにとどめる。論文308 はあなたが乗るバスの間隔が平均の 2 倍だと示した——本稿の「ならした速さは いまの速さの 2 倍」も同じ 2 だが、あちらは長い区間ほど観測されやすいという標本の偏りから出て、こちらは平方根の微分から出る。論文405 は数値の一致が同根の証拠になるのは全単射があるときだけだと示した——その 2 どうしにこれを当てた。論文300 は同根か別根かが判定できると示した——「伸びが前半に偏る」と「速さの比が 2」は同じ平方根から出る同根である。加えたのは、時間比と厚み比の対応を 12 桁で確かめたこと、到達割合が時間割合を常に上回ることを示したこと、速さの比を **244.948974** 倍と測ったこと、ならした速さと いまの速さの比を独立に解いて 2 と突合せたこと、分離子を「渡る距離が決まっているか、自分で伸びるか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：はんだと銅のあいだにできる金属間化合物の層を考える。層が厚くなるほど、次の原子はその層を通り抜けなければならない。輸送が律速なら、厚み x は

$$x(t) = A\sqrt{t}$$

に従う。A は温度で何桁も変わるので、本稿は A を数値で置かず、比だけを扱う。

> **観察 1.1**
>
> この層は無いと困り、厚いと困る。できなければ濡れず、付かない——厚くなりすぎれば脆くなって割れる。多すぎても少なすぎてもいけない量である。

> **観察 1.2**
>
> 層は自分自身の障壁である。できた層が次の成長を遅らせる——だから速さは一定ではありえない。

問い：どのくらい前半に偏るのか。

2. 平方根で伸びる

計算 2.1：時間の比が厚みの比にどう化けるか。

時間	厚み
4 倍	**2.000000** 倍
60 倍	**7.745967** 倍
100 倍	**10.000000** 倍
3600 倍	60.000000 倍
60000 倍	**244.948974** 倍

> **観察 2.2**
>
> この二乗は、体系が既に持っている。論文445 は「10 倍の距離に 100 倍の時間」を示し、1 mm なら 2.7778 時間、100 mm なら 3.17 年と測った——本稿の「厚みを 10 倍にするには時間が **100** 倍」は、同じ法則を裏返しただけである。あちらは距離を決めて時間を問い、こちらは時間を決めて厚みを問う。本稿が足すのは、ここから先である。

> **観察 2.3**
>
> 境目でも確かめた。時間 0 では厚み 0 である——式が壊れていないことの、いちばん安い確認である。

> **観察 2.4**
>
> A を置かなくても、ここまでは言える。比だけを取れば A は消える——温度が分からなくても、時間の効き方は分かる。分からないものを置かずに済む形にしてある。

3. 伸びは前半に偏る

計算 3.1：ある時刻までの伸びを、全体に対する割合で見た。

経った時間の割合	到達した厚みの割合
1 パーセント	10.00 パーセント
10 パーセント	31.62 パーセント
25 パーセント	50.00 パーセント
50 パーセント	70.71 パーセント

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。時間の 1 パーセントで厚みの 10 パーセント、25 パーセントでちょうど半分——どちらも 12 桁ちょうどである。到達割合は時間割合を常に上回る。

> **観察 3.3**
>
> だから「ゆっくり冷ます」の意味が変わる。層の大半は、加熱の最初の一瞬でできている——そのあとの保持時間を短くしても、減らせるのは残りの少しだけである。

計算 3.4：速さそのものの落ち方を見た。1 分後と 1000 時間後の成長速度の比は 244.948974 倍である（240 より大きく 250 より小さい）。

計算 3.5：ならした速さと、終わりの瞬間の速さを比べた。ならした速さは $x(T)/T$、終わりの瞬間の速さは $\dot{x}(T)$ で、比はちょうど 2 である。

> **観察 3.6**
>
> この 2 は手でも解ける。$x = A\sqrt{t}$ なら $x(T)/T = A/\sqrt{T}$、$\dot{x}(T) = A/(2\sqrt{T})$——計算機が返した **2.000000** と 12 桁一致する。独立に解ける値との突合せである。

> **観察 3.7**
>
> ならした速さで報告すると、いまの速さを 2 倍に見誤る。「1000 時間で x 進んだ」から 1 時間あたりを割り出すと、いまの速さの 2 倍になる——平均は、この量では現在の代表になっていない。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、渡る距離が決まっているか、自分で伸びるかである。決まっていれば問いは「いつ届くか」になり、それは論文445 が答えた——伸びるなら問いは「伸びが時間にどう配られるか」に変わる。前半への偏りも、ならした速さと いまの速さの 2 倍の隔たりも、距離が自分で伸びることから出ている。同じ平方根でも、訊けることが違う。

観察 4.1b：第二の分離子は、輸送が律速か反応が律速かである。反応が律速なら厚みは時間に比例し、本稿に書いたことは一つも成り立たない——ただしこの分かれ目は論文445 の主題そのものなので、本稿は名指すにとどめる。温度を 10 K 上げると反応は 4.0553 倍になるのに拡散は 1.5220 倍にしかならない、というのがあちらの答である。

> **観察 4.2**
>
> 論文249 が除外した側が、ここでは主題である。あちらは射程注記で「反応律速の場合を扱わない」と明記し、拡散律速の定常状態だけを扱った——本稿は同じ拡散律速でも、境界が動く非定常のほうである。定常では濃度勾配が固定され、非定常では層が伸びるぶん勾配が緩む。同じ「拡散律速」でも、時間の相が違う。

> **観察 4.3**
>
> **2** の一致は同根の証拠にならない。論文**308** の「あなたが乗るバスの間隔は平均の **2** 倍」と、本稿の「ならした速さはいまの速さの **2** 倍」は同じ数である——だが論文**405** の基準では全単射が無い。あちらは長い区間ほど観測されやすいという標本の偏りから出て、こちらは平方根の微分から出る。あちらは指数分布に依り、こちらは分布に依らない。数が同じでも、根は別である。

> **観察 4.4**
>
> 論文**300** の基準では、本稿の二つは同根である。「伸びが前半に偏る」と「速さの比が **2**」は、どちらも平方根一つから出る——冪を **1** に変えれば両方とも消える。

計算 **4.5**：温度をまたぐとどうなるか、反実仮想として計算した。リフローの **60** 秒と **5** 年（1.5768×10^{8} 秒）の時間比は 2.628000×10^{6} で、もし成長定数が変わらなければ厚み比は **1621.110730** 倍になる。

> **観察 4.6**
>
> これは予測ではない。成長定数は温度で何桁も変わるので、この計算はそのまま使えない——むしろ、平方根の法則だけでは温度をまたいだ比較ができないことを示している。時間の効き方が分かっても、温度の効き方は別に要る。

> **観察 4.7**
>
> 言わないこと。どの厚みが最適かは述べない——薄すぎれば付かず厚すぎれば脆いことは前提として置くが、境目の値は測っていない。

5. 点呼と結び

1. 時間 **4** 倍で厚み **2.000000** 倍（計算 2.1）：**12** 桁。
2. 時間 **100** 倍で厚み **10.000000** 倍（計算 2.1）：**12** 桁。
3. 時間 **0** で厚み **0**（観察 2.3）：境目。
4. 時間の **1** パーセントで厚みの **10** パーセント（計算 3.1）：本稿の芯。
5. 時間の **25** パーセントでちょうど半分（計算 3.1）：**12** 桁。

6. 速さの比 **244.948974** 倍（計算 3.4）：実測してから挟んだ。
7. ならした速さは いまの **2** 倍（計算 3.5）：手でも解ける。
8. 論文**308** の **2** とは別根（観察 4.3）：論文**405** の基準。
9. 分離子は距離が伸びるか（観察 4.1）：決まっていれば論文**445** の問い。
10. 反実仮想の **1621.110730** 倍（計算 4.5）：予測ではない。

結び：はんだ付けは、金属間化合物ができなければ付かず、できすぎると割れる。その層は自分自身の障壁なので、伸びは時間の平方根に従う——厚みを 2 倍にするには時間が 4 倍、10 倍にするには 100 倍要り、どちらも 12 桁ちょうどで逆算でも確かめた。ただしこの二乗そのものは体系が既に持っている——論文445 が「10 倍の距離に 100 倍の時間」を示し、1 mm なら 2.7778 時間、100 mm なら 3.17 年と測った。あちらは距離を決めて時間を問い、こちらは時間を決めて厚みを問う。同じ法則の裏返しである。比だけを取れば成長定数が消えるので、温度が分からなくても時間の効き方は言える。そして伸びは、極端に前半へ偏っている——全体の 1 パーセントの時間で厚みの 10 パーセント、25 パーセントの時間でちょうど半分に達する。到達割合は時間割合を常に上回る。だから層の大半は加熱の最初の一瞬でできており、そのあとの保持時間を短くしても減らせるのは残りの少しだけである。速さそのものは落ち続け、1 分後と 1000 時間後で 244.948974 倍違う。ならした速さは、いまの速さのちょうど 2 倍である——$x = A\sqrt{t}$ なら $x(T)/T = A/\sqrt{T}$、$\dot{x}(T) = A/(2\sqrt{T})$ で、計算機の返した 2.000000 と 12 桁一致する。手でも解ける値との突合せである。だから「1000 時間で x 進んだ」から 1 時間あたりを割り出すと、いまの速さを 2 倍に見誤る。平均は、この量では現在の代表になっていない。分離子は、渡る距離が決まっているか、自分で伸びるかである——決まっていれば問いは「いつ届くか」になり、それは論文445 が答えた。伸びるなら問いは「伸びが時間にどう配られるか」に変わり、前半への偏りも 2 倍の隔たりも、そこから出ている。第二の分離子は輸送が律速か反応が律速かで、反応律速なら本稿に書いたことは一つも成り立たないが、その分かれ目は論文445 の主題そのものなので名指すにとどめる（温度を 10 K 上げて反応は 4.0553 倍、拡散は 1.5220 倍というのがあちらの答である）。論文249 は射程注記で「反応律速の場合を扱わない」と明記して拡散律速の定常状態だけを扱ったが、本稿は同じ拡散律速でも境界が動く非定常のほうである。定常では濃度勾配が固定され、非定常では層が伸びるぶん勾配が緩む——同じ語でも時間の相が違う。2 の一致については、慎重に扱った——論文308 の「あなたが乗るバスの間隔は平均の 2 倍」と本稿の 2 は同じ数だが、論文405 の基準では全単射が無い。あちらは長い区間ほど観測されやすいという標本の偏りから出て指数分布に依り、こちらは平方根の微分から出て分布に依らない。一方、論文300 の基準では本稿の二つ——「伸びが前半に偏る」と「速さの比が 2」——は同根である。どちらも平方根一つから出て、冪を 1 に変えれば両方とも消える。正直に言えば——はんだ付けの条件は勧めていない。成長定数を数値で置かず比だけを扱ったので、絶対の厚みは一つも書いていない。どの厚みが最適かも述べておらず、薄すぎれば付かず厚すぎれば脆いことは前提として置いたままである。組成と相も区別せず層を一つとして数え、層が厚いとなぜ割れやすいのかという力学にも立ち入っていない。温度をまたいだ比較もしない——リフローの 60 秒と 5 年の比から出る 1621.110730 倍は「もし成長定数が変わらなければ」という反実仮想であって、実際には成長定数が温度で何桁も変わる。むしろこの計算は、平方根の法則だけでは温度をまたげないことを示している。

参考文献

1. Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (2nd ed.). Oxford University Press.
2. Deal, B. E., & Grove, A. S. (1965). *General Relationship for the Thermal Oxidation of Silicon*. Journal of Applied Physics.
3. Laurila, T., Vuorinen, V., & Kivilahti, J. K. (2005). *Interfacial Reactions between Lead-Free Solders and Common Base Materials*. Materials Science and Engineering: R.
4. Tu, K. N. (2007). *Solder Joint Technology: Materials, Properties, and Reliability*. Springer.
5. 山岸勇輝 (2026).『拡散が捕らえる 4π は、場が広がる 4π と同じ根である』[論文249]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22160409
6. 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
7. 山岸勇輝 (2026).『あなたが乗るバスの間隔は、平均の **2** 倍である』[論文308]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22172305
8. 山岸勇輝 (2026).『数値の一致が同根の証拠になるのは、全単射があるときだけである』[論文405]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699433
9. 山岸勇輝 (2026).『待っているのは反応ではなく、拡散である』[論文445]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732445

— *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)