

待っているのは反応ではなく、拡散である

— 1 mm なら **2.7778** 時間、100 mm なら **3.17** 年 — 10 倍の距離に **100** 倍の時間がかかる — そして温度を 10 K 上げて、反応は **4.0553** 倍になるのに拡散は **1.5220** 倍にしかない — [論文445]

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

熟成に時間がかかるのは、反応が遅いからだと思われている。本稿が示すのは、待っているのが移動である場合があることである——そして、移動は温度を上げてほとんど速くならない。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。拡散に要する時間は距離の二乗に比例する。10 倍の距離に 100 倍の時間がかかる（第2節）。第二に、1 mm なら **2.7778** 時間だが、100 mm なら **3.17** 年である（第2節）。第三に、温度を 10 K 上げると、反応は **4.0553** 倍になる（第3節）。第四に、同じ 10 K で、拡散は **1.5220** 倍にしかない（第3節）。第五に、その比は **2.6645** 倍で、活性化エネルギーの差から来る（第3節）。第六に、分離子は「反応が律速か、移動が律速か」である（第4節）。キーワード：拡散、拡散律速、フィックの法則、拡散距離、温度依存性。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——拡散方程式、拡散距離の二乗則、アレニウス型の温度依存はすべて既知である。特定の食品や材料を論じない——どの熟成に何日かかるかという実務は主題ではない。拡散係数を主張しない—— 10^{-10} m²/s は水中の小分子の代表値であり、系で桁が動く。活性化エネルギーを主張しない——反応 100 kJ/mol・拡散 30 kJ/mol は代表値である。動かないのは、拡散のほうが小さいという向きである。対流を扱わない——かき混ぜたり流れがあれば、移動は拡散よりずっと速くなる。本稿は静止した系だけを扱う。形を一次元に固定する——球や円柱では係数が変わるが、二乗則は変わらない。既刊との関係：論文444 は乳化が下り坂を緩くするだけであることを示した——そこでも時間が主役だった。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「反応が遅い」と「届くのが遅い」は、その基準で別根である。論文443 は温度の効き方が一定でないことを示した——そこでは同じ反応の中で効きが変わった。ここでは反応と移動で効きが違う。論文425 は遅らせても額が落ちず確かさだけが落ちることを示した——ここでも、二つの量が同じようには動かない。加えたのは、三つの距離で拡散時間を数に出したこと、二乗則を 100 倍として確かめたこと、反応と拡散の温度倍率を並べたこと、その比を **2.6645** 倍と出したこと、同じ活性化エネルギーなら倍率が一致することを逆算で確かめたこと、分離子を「反応か移動か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：拡散係数 D の系で、距離 L を移動するのに要する時間はおよそ次で与えられる。

$$t \sim \frac{L^2}{D}$$

また、反応も拡散もアレニウス型の温度依存を持つ。

$$k(T) \propto \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

以下 $D = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ 、反応の $E_a = 100 \text{ kJ/mol}$ 、拡散の $E_a = 30 \text{ kJ/mol}$ 、 $T_0 = 15 \text{ 度}$ とする。

観察 1.1

熟成に時間がかかるのは、反応が遅いからだと思われている。ゆっくり変わっていく——だから温めれば速くなるはずだ、と考える。

観察 1.2

だが反応が起きるには、まず分子が出会わなければならない。会うには移動が要る——二つの段があり、遅いほうが全体を決める。

問い：遅いのはどちらか。そして、温めると両方同じだけ速くなるのか。

2. 10 倍の距離に、100 倍の時間

計算 2.1：三つの距離で、拡散に要する時間を出す。

距離 [mm]	時間 [秒]	換算
1	1.0000×10^4	2.7778 時間
10	1.0000×10^6	11.5741 日
100	1.0000×10^8	3.17 年

観察 2.2

距離が 10 倍になると、時間はちょうど **100 倍**になる。二乗則である——一次ではないので、直感が外れる。

観察 2.3

1 mm なら **2.7778 時間**である。薄く切れば、その日のうちに済む——境目の反対側であり、待つ必要がほとんど無い。

観察 2.4

100 mm なら **3.17 年**である。塊のままなら、何年も待つことになる——同じ材料、同じ反応、同じ温度で、形だけが違う。

観察 2.5

だから「大きいものは時間がかかる」は、量の話ではない。中心まで届くのに時間がかかる——半分に切れば、時間は四分の一になる。

3. 温めても、拡散はほとんど速くならない

計算 3.1 : 15 度から 25 度へ、10 K 上げたときの倍率を、反応と拡散で出す。

過程	活性化エネルギー [kJ/mol]	10 K での倍率
反応	100	4.0553
拡散	30	1.5220

観察 3.2

反応は 4 倍になる。**4.0553**——温度に強く依る。

観察 3.3

拡散は 1.5 倍にしかない。1.5220——2 倍にも届かない。

観察 3.4

比は 2.6645 倍である。活性化エネルギーの差 70 kJ/mol から来る——同じ活性化エネルギーなら倍率も一致することを、逆算で確かめてある。

観察 3.5

だから移動が律速なら、温めてもほとんど短くならない。10 K 上げて 1.5 倍——3.17 年が 2.08 年になるだけである。

観察 3.6

一方、反応が律速なら 10 K で 4 倍速くなる。効き方がまるで違う——どちらが律速かで、温める価値が変わる。

4. 分離子

分離子：反応が律速か、移動が律速か。

観察 4.1

反応が律速なら、形を変えても速くならない。切っても、砕いても同じ——時間は温度で決まる。

観察 4.2

移動が律速なら、形を変えれば速くなる。半分に切れば四分の一——時間は距離で決まる。

観察 4.3

これは論文300の基準で別根である。どちらも「熟成に時間がかかる」と呼ばれる——一方は温度の関数、一方は距離の関数である。

観察 4.4

そして見分ける方法は二つある。切ってみるか、温めてみるか——切って速くなれば移動、温めて速くなれば反応である。

観察 4.5

かき混ぜれば、移動の側は一気に速くなる。対流は拡散よりずっと速い——だから「かき混ぜて変わるか」も、同じことを問う操作である。

観察 4.6

正直に言えば—— $D = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ も、二つの活性化エネルギーも代表値である。系で桁が動く——動かないのは、拡散の活性化エネルギーのほうが小さいという向きである。

観察 4.7

最後に一つ——本稿は静止した系だけを扱った。流れがあれば移動はずっと速くなる——3.17年という数は、動かさないことを選んだ結果である。

5. 点呼と結び

1. 1 mm で 2.7778 時間（計算 2.1）：その日のうち。
2. 10 mm で 11.5741 日（計算 2.1）：二週間弱。
3. 100 mm で 3.17 年（計算 2.1）：何年も待つ。
4. 10 倍で 100 倍（観察 2.2）：二乗則。
5. 半分に切れば四分の一（観察 2.5）：量の話ではない。

6. 反応は **10 K** で **4.0553** 倍 (計算 3.1) : 温度に強く依る。
7. 拡散は **1.5220** 倍 (計算 3.1) : **2** 倍に届かない。
8. 比は **2.6645** 倍 (観察 3.4) : 活性化エネルギーの差。
9. 移動律速なら **3.17** → **2.08** 年 (観察 3.5) : 温めても短くならない。
10. 分離子は反応か移動か (観察 4.3) : 論文300 の基準で別根。

結び : 熟成に時間がかかるのは反応が遅いからだと思われている——ゆっくり変わっていくので、温めれば速くなるはずだと考える。だが反応が起きるにはまず分子が出会わなければならず、会うには移動が要る。二つの段があり、遅いほうが全体を決める。移動の側は、距離の二乗で効く——**1 mm** なら **2.7778** 時間、**10 mm** なら **11.5741** 日、**100 mm** なら **3.17** 年で、距離が **10** 倍になると時間はちょうど **100** 倍になる。一次ではないので直感が外れる。薄く切ればその日のうちに済み、塊のままなら何年も待つ——同じ材料、同じ反応、同じ温度で、形だけが違う。だから「大きいものは時間がかかる」は量の話ではなく、中心まで届くのにかかるという話で、半分に切れば時間は四分の一になる。そして温めても、移動はほとんど速くならない——**10 K** 上げると反応は **4.0553** 倍になるのに、拡散は **1.5220** 倍にしかならず、**2** 倍にも届かない。比は **2.6645** 倍で、活性化エネルギーの差 **70 kJ/mol** から来る——同じ活性化エネルギーなら倍率も一致することを、逆算で確かめてある。移動が律速なら **10 K** 上げて **3.17** 年が **2.08** 年になるだけで、反応が律速なら **4** 倍速くなる。どちらが律速かで、温める価値が変わる。分けているものは一つ——反応が律速か、移動が律速か。反応が律速なら形を変えても速くならず、切っても砕いても同じで、時間は温度で決まる。移動が律速なら形を変えれば速くなり、半分に切れば四分の一で、時間は距離で決まる。論文300 の基準で別根であり、一方は温度の関数、一方は距離の関数である。見分ける方法は二つあり、切って速くなれば移動、温めて速くなれば反応である。かき混ぜれば移動の側は一気に速くなるので、「かき混ぜて変わるか」も同じことを問う操作である。正直に言えば—— $D = 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ も二つの活性化エネルギーも代表値で、系で桁が動く。動かないのは、拡散の活性化エネルギーのほうが小さいという向きである。最後に一つ——本稿は静止した系だけを扱った。流れがあれば移動はずっと速くなる。**3.17** 年という数は、動かさないことを選んだ結果である。

参考文献

1. Fick, A. (1855). Ueber Diffusion. *Annalen der Physik*.
2. Einstein, A. (1905). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung. *Annalen der Physik*.
3. Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion* (2nd ed.). Oxford: Clarendon Press.
4. Cussler, E. L. (2009). *Diffusion: Mass Transfer in Fluid Systems* (3rd 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). 『遅らせても額は落ちず、確かさだけが落ちた』 [論文425]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22700154
7. 山岸勇輝 (2026). 『温度を上げるより、水を減らすほうが効く』 [論文443]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732419

8. 山岸勇輝 (2026). 『混ざらないものを混ぜると、境目が **1000** 倍に増える』 [論文444]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732430

— *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)