同じ指数を共有していても、前因子は三つの別根から来る

— アイリングの前因子 $k_B T/h$ は 300 K で $\mathbf{6.250986 \times 10^{12}}$ 毎秒、$Q_{10} = 2$ から逆算した E_a は $\mathbf{53597.3}$ と $\mathbf{51061.8}$ に分かれ、クラマースの速度は摩擦に対して $\gamma = \mathbf{0.562341}$ に山がある — [論文 523]

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

反応の速さが $e^{-E_a/kT}$ で決まることは、三つの理論が共有している。本稿が示すのは、共有しているのは指数だけであり、前になる因子は測るもの・数えるもの・揺らぎから来るものの三つの別根であることである。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、アイリングの前因子は測った量ではない——$k_B T/h$ は 280 K で $\mathbf{5.834253 \times 10^{12}}$、300 K で $\mathbf{6.250986 \times 10^{12}}$ 毎秒であり、温度と二つの普遍定数だけで決まる（第2節）。 第二に、Q_{10} は定数ではない——E_a を 50000 ジュール毎モルに固定しても、280 K で $\mathbf{2.097179}$、340 K で $\mathbf{1.657559}$ になる（第3節）。 第三に、それでも Q_{10} は前因子を見分けられる——アイリングは前因子が T に比例するので、同じ E_a でも Q_{10} が 300 K で $\mathbf{3.3333}$ パーセント大きい（第3節）。 第四に、これが本稿の芯である。測った Q_{10} から E_a を逆算すると、前因子の型で答が変わる——$Q_{10} = 2$ から出る E_a はアレニウスで $\mathbf{53597.3}$、アイリングで $\mathbf{51061.8}$ ジュール毎モルで、$\mathbf{2535.5}$（$\mathbf{4.965}$ パーセント）違う（第3節）。 第五に、クラマースの前因子は摩擦の関数であり、単調でない——速度は $\gamma = \mathbf{0.562341}$ で最大の $\mathbf{5.992964 \times 10^{-4}}$ になり、両端ではその $\mathbf{8.898 \times 10^{-3}}$ 倍と $\mathbf{1.789 \times 10^{-3}}$ 倍まで落ちる（第4節）。 第六に、分離子は前因子がどこから来るかである——当てはめから来るか、h を含む数え上げから来るか、γ という揺らぎから来るか（第5節）。 キーワード：アレニウスの式、遷移状態理論、クラマース理論、前指数因子、反応速度。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——アレニウスの式も、アイリングの遷移状態理論も、クラマースの脱出速度も標準的である。どの理論が正しいかを判定しない——本稿がするのは、三つの前因子が別の出所を持つことと、その違いが数でいくらになるかを示すことだけである。遷移状態理論の透過係数を扱わない——トンネル効果や再交差の補正には立ち入らない。実在の反応の E_a を主張しない——50000 ジュール毎モルは説明のために置いた値であり、特定の反応の値ではない。生物の温度反応を一般化しない——Q_{10} が使われる系の多くは素反応ではなく、指数一つで書けるとは限らない。クラマースの内挿式を最良と呼ばない——低摩擦側と高摩擦側をつなぐ式には複数の流儀があり、本稿の式は山があることを示すために選んだ標準的な一つである。既刊との関係：論文353 は雑音を足すと検出が良くなる場合があると示し、射程注記でクラマース速度に立ち入らないと明示した——本稿はその席に入る。確率共鳴の最適な雑音の大きさは、クラマースの前因子が無ければ書けない。論文443 と論文457 は温度係数を使った——あちらで使った Q_{10} が、指数だけを見て前因子を見ていないことを本稿が数で示す。論文372 は経験的な冪則の指数を扱った——当てはめた指数と、数え上げから出る指数の身分の違いは、そこでも本稿でも同じ問題である。論文300 は同根か別根かが判定できると示した——三つの前因子は「道筋」の基準で別根である。論文481 は「法則が破れた」がどの仮定へも落とせると示した——Q_{10} が合わないとき、指数のせいにも前因子のせいにもできる。本稿はその二択に数を与える。加えたのは、三つの前因子の出所を並べたこと、Q_{10} が温度で動くことを 280 K から 340 K まで測ったこと、アレニウスとアイリングの Q_{10} の差を 3.3333 パーセントと出したこと、$Q_{10}=2$ から E_a を逆算して 2535.5 ジュール毎モルの食い違いを出したこと、クラマースの山の位置を $\gamma = 0.562341$ と測ったことである。

1. 記法と問い

設定：反応の速さは、どの理論でも同じ形に書ける。

$$k \;=\; A\,\exp\!\left(-\frac{E_a}{k_B T}\right)$$

指数の部分は三つの理論で共通である。分かれるのは前因子 A である。

> **観察 1.1**
>
> 三つの A は、出所が違う。アレニウス（1889）の A は測って当てはめる量である。アイリング（1935）の A は $k_B T/h$ であり、測らずに書ける。クラマース（1940）の A は摩擦 γ と障壁の曲率から出る。

> **観察 1.2**
>
> 三つは「当てはめ」「数え上げ」「揺らぎ」である。同じ指数の前に立っているだけで、由来を共有していない——論文300 の「道筋」の基準でいえば、指数へ至る道は共有され、前因子へ至る道は共有されていない。

問い：測定はこの三つを見分けられるのか。

2. 三つの前因子

計算 2.1：アイリングの前因子 $k_B T/h$ を温度ごとに出す。

温度（K）	$k_B T/h$（毎秒）
280	5.834253×10^{12}
300	6.250986×10^{12}
310	6.459352×10^{12}
320	6.667718×10^{12}

> **観察 2.2**
>
> この数には反応の情報が一つも入っていない。入っているのは温度と k_B と h だけ——どんな反応でも同じ値になる。前因子が測定量でない理論が、ここに一つある。

> **観察 2.3**
>
> h が入っていることが、この前因子の署名である。アレニウスの A にもクラマースの A にもプランク定数は現れない——同じ位置に立つ数でも、持ち物が違う。

観察 2.4

クラマースの前因子は摩擦を持ち物にする。媒質の粘性を変えると値が動く——アイリングの $k_B T/h$ は媒質を変えても動かない。同じ実験で二つを分けられる、という意味である。

3. Q_{10} は何を見ているか

計算 3.1：$E_a = 50000$ ジュール毎モルに固定して、Q_{10} を温度ごとに出す。アイリング側は前因子が T に比例する分だけ $(T+10)/T$ を掛ける。

温度（K）	アレニウス	アイリング	差（パーセント）
280	**2.097179**	**2.172079**	3.5714
300	**1.909088**	**1.972724**	**3.3333**
320	**1.767333**	**1.822562**	3.1250
340	**1.657559**	**1.706311**	2.9412

観察 3.2

Q_{10} は定数ではない。E_a を動かしていないのに、280 K の **2.097179** から 340 K の **1.657559** まで下がる——「この生物の Q_{10} は 2 である」と書くとき、どの温度で測ったかを書かなければ数は決まらない。

観察 3.3

それでも Q_{10} は前因子に感度を持つ。300 K での差は **3.3333** パーセント——零ではない。前因子が温度に依るかどうかは、原理的には Q_{10} に現れる。

観察 3.4

差の大きさは $(T+10)/T$ そのものである。300 K なら $310/300 = 1.033333$——指数の中身に依らない。だから E_a をどう選んでも差は **3.3333** パーセントのままである。

計算 3.5：逆に、$Q_{10} = 2$ が測れたとして E_a を逆算する。二分法で 300 K で解いた。

前因子の型	逆算した E_a（ジュール毎モル）
アレニウス（A は定数）	**53597.3**
アイリング（$A \propto T$）	**51061.8**
差	**2535.5**（**4.965** パーセント）

> **観察 3.6**
>
> これが本稿の芯である。同じ測定値から、前因子の型を選ぶだけで E_a が **2535.5** ジュール毎モル動く——Q_{10} を測って E_a を報告するとき、前因子について何を仮定したかを書かなければ、その数は一意でない。

> **観察 3.7**
>
> 逆算は検査になっている。出た E_a を式に戻すと Q_{10} は 2 に戻る（10^{-6} 以内）——解いた値が本当に解であることを別に確かめた。

4. クラマース — 前因子が単調でない

計算 4.1：障壁の高さを $5 k_B T$ とし、摩擦 γ を 10^{-3} から 10^{3} まで動かして速度を測る。

γ	速度	最大に対する比
0.001	$\mathbf{5.332545 \times 10^{-6}}$	$\mathbf{8.898 \times 10^{-3}}$
0.562341	$\mathbf{5.992964 \times 10^{-4}}$	1
1000	$\mathbf{1.072162 \times 10^{-6}}$	$\mathbf{1.789 \times 10^{-3}}$

観察 4.2

山は内側にある。両端はどちらも最大の 1 パーセント未満——摩擦を減らせば速くなる、でも、増やせば速くなる、でもない。

観察 4.3

両側で冪が違う。低摩擦側では γ を 10 倍すると速度もほぼ 10 倍になり、高摩擦側では 10 倍すると 10 分の 1 近くになる——指数 $+1$ と -1 の二本の直線が山で出会う。

観察 4.4

この山は指数の側にはない。e^{-E_a/k_BT} は γ を含まない——摩擦で速度が変わるのは、前因子だけが動いているからである。

観察 4.5

論文353 の予約席である。確率共鳴で「最適な雑音の大きさ」が言えるのは、速度が雑音に対して単調でないからである——その単調でなさは、指数ではなく前因子から来ている。あちらが射程の外に置いた量が、こちらの主題である。

5. 分離子

観察 5.1

分離子は前因子の出所である。当てはめ・数え上げ・揺らぎの三つ——指数を固定したまま前因子だけを取り替えると、Q_{10} が 3.3333 パーセント動き、逆算した E_a が 2535.5 ジュール毎モル動く。

観察 5.2

持ち物で分けられる。アイリングの前因子は h を持ち、クラマースの前因子は γ を持ち、アレニウスの前因子はどちらも持たない——論文300 の「量の持ち物」の基準がそのまま使える。

観察 5.3

同じ数が出ても同根とは限らない。三つの理論は、うまく当てはめれば同じ室温の速度を返す——一致するのは一点であって、温度を動かすと 3.3333 パーセント、媒質を動かすともっと大きく分かれる。

観察 5.4

論文481 の二択に数が付く。Q_{10} が予想と合わないとき、E_a が違うのか前因子が違うのかは、一回の測定では決まらない——温度を広く振れば前因子の温度依存が 3.3333 パーセントの形で見え、媒質を変えれば摩擦依存が見える。どちらの実験もしなければ、行き先は決まらない。

観察 5.5

言わないこと。どの理論が正しいかは判定しない——トンネル効果も再交差の補正も扱わず、Q_{10} が使われる系の多くが素反応でないことにも立ち入らない。

6. 点呼と結び

1. $k_B T/h$ は 300 K で 6.250986×10^{12} 毎秒（計算 2.1）：反応の情報が入っていない。
2. h を持つのはアイリングだけ（観察 2.3）：持ち物で分かれる。
3. Q_{10} は 280 K で 2.097179、340 K で 1.657559（計算 3.1）：定数ではない。
4. 差は 300 K で 3.3333 パーセント（観察 3.3）：零ではない。
5. 差は $(T+10)/T$ そのもの（観察 3.4）：E_a に依らない。
6. 逆算した E_a は 53597.3 対 51061.8（計算 3.5）：本稿の芯。
7. 食い違いは 2535.5 ジュール毎モル（観察 3.6）：4.965 パーセント。
8. 逆算値を戻すと Q_{10} が 2 に戻る（観察 3.7）：検査。
9. クラマースの山は $\gamma = 0.562341$（計算 4.1）：両端は 1 パーセント未満。
10. 両側で冪が $+1$ と -1（観察 4.3）：山で出会う。
11. 山は前因子から来る（観察 4.4）：指数は γ を含まない。

結び：反応の速さが $e^{-E_a/k_B T}$ で決まることは三つの理論が共有している。共有しているのは指数だけである——アイリングの前因子 $k_B T/h$ は 280 K で 5.834253×10^{12}、300 K で 6.250986×10^{12} 毎秒であり、温度

と k_B と h しか含まない。どんな反応でも同じ値を返す。h を持つのはこの前因子だけで、クラマースの前因子は代わりに摩擦 γ を持ち、アレニウスの前因子はどちらも持たない。論文300 の「量の持ち物」の基準が、そのまま三つを分ける。Q_{10} は指数をほとんど測っている——E_a を 50000 ジュール毎モルに固定しても Q_{10} は 280 K で 2.097179、340 K で 1.657559 になり、定数ではない。それでも前因子への感度は零ではなく、アイリングは前因子が T に比例する分だけ 300 K で 3.3333 パーセント大きい Q_{10} を返す。この差は $(T+10)/T$ そのものなので、E_a をどう選んでも変わらない。逆算すると答が割れる——$Q_{10}=2$ から E_a を逆算すると、アレニウスで 53597.3、アイリングで 51061.8 ジュール毎モルとなり、2535.5 ジュール毎モル、4.965 パーセント食い違う。どちらの値も式に戻せば Q_{10} が 2 に戻るので、これは解き損ないではない。Q_{10} を測って E_a を報告するときは、前因子について何を仮定したかを書かなければ、その数は一意にならない。クラマースの前因子は単調ですらない——障壁を $5k_BT$ にすると、速度は $\gamma=0.562341$ で最大 5.992964×10^{-4} になり、$\gamma=0.001$ では最大の 8.898×10^{-3} 倍、$\gamma=1000$ では 1.789×10^{-3} 倍まで落ちる。低摩擦側は γ にほぼ比例し、高摩擦側はほぼ反比例して、指数 $+1$ と -1 の二本が山で出会う。この山は指数の側にはない。e^{-E_a/k_BT} は γ を含まないので、動いているのは前因子だけである。論文353 が射程の外に置いたクラマース速度は、まさにこの単調でなさを与える量である。確率共鳴の「最適な雑音」は前因子から来ている。分離子は前因子の出所である——当てはめか、h を含む数え上げか、γ という揺らぎか。論文481 の言い方でいえば、Q_{10} が合わないとき指数のせいにも前因子のせいにもできる。温度を広く振れば前因子の温度依存が 3.3333 パーセントとして見え、媒質を変えれば摩擦依存が見えるが、どちらもしなければ行き先は決まらない。正直に言えば——どの理論が正しいかは判定していない。トンネル効果も再交差の補正も扱わず、50000 ジュール毎モルは説明のために置いた値で、特定の反応の値ではない。Q_{10} が使われる系の多くは素反応ではなく、指数一つで書けるとは限らない。クラマースの内挿式にも流儀が複数あり、本稿のものは山があることを示すために選んだ標準的な一つである。言えるのは、三つの理論が指数だけを共有し、前因子は別の出所を持ち、その違いが逆算した E_a の 2535.5 ジュール毎モルとして現れる、そこまでである。

参考文献

1. Arrhenius, S. (1889). *Uber die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Sauren*. Zeitschrift fur Physikalische Chemie.
2. Eyring, H. (1935). *The Activated Complex in Chemical Reactions*. Journal of Chemical Physics.
3. Hanggi, P., Talkner, P., & Borkovec, M. (1990). *Reaction-Rate Theory: Fifty Years after Kramers*. Reviews of Modern Physics.
4. Kramers, H. A. (1940). *Brownian Motion in a Field of Force and the Diffusion Model of Chemical Reactions*. Physica.
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). 『雑音を足すと検出が良くなる場合がある——ただし「多いほどよい」ではない』[論文353]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22696835
7. 山岸勇輝 (2026). 『面積を半分にしても、種は半分にならない——そして種を半分にするには面積を 6.25 パーセントにする』[論文372]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22698241

8. 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
9. 山岸勇輝 (2026). 『速さを買うと風味を売るのは、二つの温度係数が違うときだけである』[論文457]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22733066
10. 山岸勇輝 (2026). 『「法則が破れた」は、どの仮定へも落とせる』[論文481]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22733927

— 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)