

温度を上げるより、水を減らすほうが効く

— 水分活性を **1.0** から **0.65** へ落とすと **11.9334** 倍になり、同じ効果を温度で出すには **29.47 K** 要る
— そして「**10 K** で **2 倍**」を二回重ねても **5.3792** にはならず、実際は **5.1539** である — 二段目の **10 K**
は一段目より効きが弱い — [論文443]

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

焦げ色を早く付けたいなら、温度を上げると思われている。本稿が示すのは、水を減らすほうが効くことである——そして、温度の効き方そのものも一定ではない。新しい定理も法則も主張しない。第一に、温度を **10 K** 上げると速度は **2.3193** 倍になる（第2節）。第二に、その規則を二回重ねると **5.3792** になるはずだが、実際は **5.1539** で、**4.3726** パーセント足りない（第2節）。第三に、二段目の **10 K** は **2.2222** 倍で、一段目の **2.3193** 倍より弱い（第2節）。第四に、これが本稿の芯である。水分活性を **1.0** から **0.65** へ落とすと **11.9334** 倍になる（第3節）。第五に、同じ効果を温度で出すには **29.47 K** 上げなければならない（第3節）。第六に、分離子は「速さを上げるか、邪魔を減らすか」である（第4節）。キーワード：水分活性、メイラード反応、褐変、アレニウスの式、食品の保存。

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、水分活性、褐変反応の水分依存はすべて既知である。反応機構を扱わない——どの中間体を経てどの色素ができるかは主題ではない。活性化エネルギーを主張しない——100 kJ/mol は代表値であり、系によって 80～160 kJ/mol に動く。特定の食品の値ではない。水分依存の形を実測として主張しない——山の位置を 0.65 付近に置いたのは既知の目安に合わせたもので、本稿はその形を導出していない。調理法を提案しない——どう焼くべきかは主題ではない。風味と安全を論じない——生成物の香りや、加熱による生成物の毒性は主題ではない。既刊との関係：論文442 は白が色ではなく屈折率の差であることを示した——そこでも、目立つ量の外に原因があった。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「温度で速くする」と「水を減らして速くする」は、その基準で別根である。論文434 は安くしているのが時間でなく累積であることを示した——そこでも、動かすべき軸が思い込みと違った。論文416 は積が同じでも結果が同じにならないことを示した——ここでも、簡便な経験則が厳密な式と一致しない。加えたのは、10 K の倍率を 2.3193 と数に出したこと、二段重ねが二乗にならないことを 4.3726 パーセントのずれとして示したこと、二段目が一段目より弱いことを逆算で確かめたこと、六つの水分活性で速度を並べたこと、水を減らす効果を温度に換算して 29.47 K と出したこと、分離子を「速さか邪魔か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：反応の速度は、温度についてアレニウスの式で書ける。

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

$E_a = 100$ kJ/mol、 $R = 8.314$ J/(mol K) とする。また褐変の速度は、水分活性 a_w について山形になり、0.6～0.7 付近で最大になることが知られている。

観察 1.1

焦げ色を早く付けたいなら、温度を上げる。火を強くする——最も分かりやすい手である。

観察 1.2

だが濡れたままの肉は、いくら火を強くしても焼き色が付かない。水が蒸発するまで、表面は 100 度を超えない——温度以外の何かが効いている。

問い：温度と水、どちらがどれだけ効くのか。

2. 「10 K で 2 倍」は、二回重ねられない

計算 2.1：100 度から 110 度へ上げたときの速度比を出す。

2.3193 倍である。よく言われる「10 K で 2 倍」に近い——既知の目安と合っている。

計算 2.2：では 100 度から 120 度へ、20 K 上げるとどうなるか。

量	値
実際の速度比	5.1539
「10 K で 2.3193 倍」を二回重ねた値	5.3792
ずれ	4.3726 %

観察 2.3

一致しない。実際のほうが **4.3726** パーセント小さい——アレニウスの式は $1/T$ の指数なので、 T の一次では書けないからである。

計算 2.4：二段目だけを取り出す。110 度から 120 度への比を出す。

2.2222 倍で、一段目の **2.3193** 倍より小さい。

観察 2.5

つまり「10 K ごとに一定倍」ではない。上に行くほど効きが弱る——同じ 10 K でも、どこから上げるかで倍率が違う。

観察 2.6

これは近似が破れているのではなく、近似がそもそも別の式である。 Q_{10} は T の一次、アレニウスは $1/T$ の指数——狭い範囲では近いが、重ねると差が出る。

3. 水を減らすと、11.9334 倍になる

計算 3.1：水分活性を変えて、相対速度を出す。

水分活性	相対速度
0.20	0.0152
0.40	0.2749
0.60	0.9497
0.70	0.9497
0.80	0.6282
1.00	0.0796

観察 3.2

山形である。最大は 0.6～0.7——水が多すぎても少なすぎても遅い。

観察 3.3

両側で落ちるが、落ち方が違う。水が多い側で 0.0796、少ない側で 0.0152——山が非対称な位置にあるからである。

計算 3.4：水分活性を 1.0 から 0.65 へ落としたときの倍率を出す。

11.9334 倍である。

観察 3.5

10 K の昇温 2.3193 倍の、5 倍以上である。水を少し減らすだけで——火加減より効く。

計算 3.6：同じ効果を温度で出すには、何度上げればよいか。

29.47 K である。100 度なら 129.5 度——表面に水がある限り、そこまで上がらない。

4. 分離子

分離子：速さを上げるか、邪魔を減らすか。

観察 4.1

温度は、分子の動きを速くする。障壁を越える確率が上がる——反応そのものに効く。

観察 4.2

水は、二つの向きで効く。多すぎると濃度を薄め、蒸発で熱を奪って温度も上げない——少なすぎると分子が動けなくなる。

観察 4.3

だから水には最適値があり、温度には無い。温度は上げれば上げるだけ速い——形が違う。

観察 4.4

これは論文300の基準で別根である。どちらも「速くする」と呼ばれる——一方は単調な効き、一方は山形の効きである。

観察 4.5

そして水を減らすことは、温度を上げることでもある。蒸発が止まれば表面温度が上がる——二つは独立ではなく、片方を動かすともう片方も動く。

観察 4.6

正直に言えば——100 kJ/mol も、山の位置 0.65 も代表値である。系によって動く——動かないのは、水に最適値があり温度に無いという形の違いである。

観察 4.7

最後に一つ——「10 K で 2 倍」は覚えやすいが、重ねてはいけない。二段重ねで **4.3726** パーセントずれ、三段ならもっとずれる——簡便な規則は、その範囲の中でだけ使うものである。

5. 点呼と結び

1. 10 K で **2.3193** 倍（計算 2.1）：既知の目安と合う。
2. 20 K で **5.1539** 倍（計算 2.2）：二乗ではない。
3. 二乗は **5.3792**（計算 2.2）：ずれ **4.3726** %。
4. 二段目は **2.2222** 倍（計算 2.4）：一段目より弱い。
5. 水分活性の山は **0.6~0.7**（計算 3.1）：両側で落ちる。
6. 多い側 **0.0796**・少ない側 **0.0152**（観察 3.3）：非対称。
7. **1.0** → **0.65** で **11.9334** 倍（計算 3.4）：本稿の芯。
8. 10 K 昇温の **5** 倍以上（観察 3.5）：火加減より効く。
9. 同じ効果に **29.47 K**（計算 3.6）：水があると届かない。
10. 分離子は速さか邪魔か（観察 4.4）：論文300 の基準で別根。

結び：焦げ色を早く付けたいなら温度を上げる、というのが最も分かりやすい手である——だが濡れたままの肉は、いくら火を強くしても焼き色が付かない。水が蒸発するまで表面は 100 度を超えないので、温度以外の何かが効いている。まず、温度の効き方そのものが一定ではない——100 度から 110 度へ上げると速度は **2.3193** 倍になり、よく言われる「10 K で 2 倍」に近い。ところがその規則を二回重ねると **5.3792** になるはずが、実際は **5.1539** で **4.3726** パーセント足りない。二段目だけを取り出すと **2.2222** 倍で、一段目の **2.3193** 倍より弱い——アレニウスの式は $1/T$ の指数なので、 T の一次では書けないからである。これは近似が破れたのではなく、 Q_{10} とアレニウスがそもそも別の式で、狭い範囲では近いが重ねると差が出る。そして水のほうが、はるかに効く——水分活性を 1.0 から 0.65 へ落とすと **11.9334** 倍になり、10 K の昇温の 5 倍以上である。同じ効果を温度で出すには **29.47 K** 上げなければならず、100 度なら 129.5 度——表面に水がある限り、そこまでは上がらない。速度は水分活性について山形で、最大は 0.6~0.7、水が多すぎても少なすぎても遅い。多い側で 0.0796、少ない側で 0.0152 と落ち方が違うのは、山が非対称な位置にあるからである。分けているものは一つ——速さを上げるか、邪魔を減らすか。温度は分子の動きを速くして障壁を越える確率を上げ、反応そのものに効く。水は二つの向きで効き、多すぎると濃度を薄め蒸発で熱を奪って温度も上げず、少なすぎると分子が動けなくなる。だから水には最適値があり、温度には無い——温度は上げれば上げるだけ速く、形が違う。論文300 の基準で別根であり、一方は単調な効き、一方は山形の効きである。そして水を減らすことは温度を上げることでもあり、蒸発が止まれば表面温度が上がるので、二つは独立ではない。正直に言えば

——100 kJ/mol も山の位置 0.65 も代表値で、系によって動く。動かないのは、水に最適値があり温度に無いという形の違いである。最後に一つ——「10 K で 2 倍」は覚えやすいが、重ねてはいけない。二段重ねで 4.3726 パーセントずれ、三段ならもっとずれる。簡便な規則は、その範囲の中でだけ使うものである。

参考文献

1. Maillard, L. C. (1912). Action des acides aminés sur les sucres. *Comptes Rendus*.
 2. Arrhenius, S. (1889). Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*.
 3. Labuza, T. P. (1980). The Effect of Water Activity on Reaction Kinetics of Food Deterioration. *Food Technology*.
 4. Hodge, J. E. (1953). Dehydrated Foods: Chemistry of Browning Reactions in Model Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
 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). 『積が同じでも、結果が同じにならない』 [論文416]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699831
 7. 山岸勇輝 (2026). 『安くしているのは、時間ではなく累積である』 [論文434]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22708735
 8. 山岸勇輝 (2026). 『白は色ではなく、屈折率の差が作っている』 [論文442]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732404
-

— *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)