

反発係数は材料の定数ではない——そして経験則は、自分が破れる速度を自分で指す

— 速度を 100 倍にすると e は **0.31622777** 倍になる — 同じ球が落下高さ 1 m で **0.6204**、100 m で **0.3489** — 経験則を低速へ延ばすと **0.6561** m/s 以下で $e > 1$ を予言する。これは模型自身が示す適用下限である — [論文355]

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

反発係数は材料の表に載っている。本稿が問うのはそれが定数かどうかである——答えは定数ではなく、しかもその速度依存の経験則は自分の適用限界を自分で指し示す。新しい定理も法則も主張しない。第一に、 e は衝突速度のおよそ $-1/4$ 乗で減る（第2節）。第二に、速度を 100 倍にすると e は **0.31622777** 倍になる（第2節）。第三に、同じ球でも落下高さ 1 m で **0.6204**、100 m で **0.3489** である（第3節）。第四に、これが本稿の芯である。この経験則を低速へ延ばすと **0.6561** m/s 以下で $e > 1$ を予言する（第4節）。第五に、 $e > 1$ はエネルギー保存に反するから、これは模型自身が示す適用下限である（第4節）。第六に、分離子は指数であって、0 にすれば速度依存も破れも同時に消える（第5節）。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——反発係数の速度依存・ハーツ接触・塑性変形はすべて既知である。接触力学を作らない——ハーツ理論の導出や粘弾性の構成則には立ち入らない。名前を挙げるにとどめる。実測をしない——特定の材料の e を測らない。数値は明示した経験則の上でのものである。指数を導かない—— $-1/4$ という指数を第一原理から導出しない。経験則として置き、その帰結だけを追う。空気抵抗を扱わない——落下高さから速度を出すときは真空を仮定する。回転を扱わない——斜め衝突・接線方向の反発は主題ではない。既刊との関係：論文352 は転移温度が測定の手で動くことを示した——そこでも「定数の顔をした量」が条件つきだった。ここでは条件が衝突速度である。論文354 は長さが曲線を測る量でなくなることを示した——そこでも物差しの側に問題があった。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した—— e と、たとえば密度のような真の材料定数は、その基準で別根である。論文353 は条件を落とすと主張が偽になることを示した——ここでは条件を落とすと $e > 1$ という物理的に不可能な予言が出る。加えたのは、速度依存を九点で数に出したこと、落下高さ二桁で e が 0.5623 倍になることを示したこと、経験則が $e = 1$ を予言する速度 0.6561 m/s を解いて境目の両側を確かめたこと、指数を 0 にする対照で式が効いていることを確かめたこと、分離子を指数に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：反発係数の速度依存を、経験則として次の形に置く。

$$e(v) = e_0 \left(\frac{v}{v_0} \right)^{-1/4}, \quad e_0 = 0.90, \quad v_0 = 1.0 \text{ m/s}$$

観察 1.1

e は材料の表に定数として載っている。銅球は 0.9、テニスボールは 0.7、といった具合である——密度や弾性率と同じ書式で並んでいる。

観察 1.2

だが e は測定条件を含んでいる。どの高さから落として測ったかで値が変わる——密度は落とす高さで変わらない。

観察 1.3

本稿は頭打ちを入れない。 e を 1 で切る処理をあえてしない——模型がどこで破れるかを見るためである。

問い： e は材料の定数か。

2. 速度依存を数に出す

計算 2.1：衝突速度に対する e （本稿で計算）。

衝突速度 [m/s]	e	高さの比 e^2	物理的に可能か
0.1000	1.6005	2.561445	不可（模型の破れ）
0.5000	1.0703	1.145513	不可（模型の破れ）
0.6561	1.0000	1.000000	境目
1.0000	0.9000	0.810000	可
2.0000	0.7568	0.572756	可
5.0000	0.6019	0.362243	可
10.0000	0.5061	0.256144	可
50.0000	0.3385	0.114551	可
100.0000	0.2846	0.081000	可

観察 2.2

速度を上げると e が下がる。1 m/s で 0.9000、10 m/s で 0.5061——向きが一定である。

観察 2.3

速度を 100 倍にすると e は **0.31622777** 倍になる。 $-1/4$ 乗だから $100^{-1/4} = 10^{-1/2}$ ——三割ほどに落ちる。

観察 2.4

e^2 で見ると差はさらに大きい。跳ね返る高さの比は e^2 である——1 m/s で 0.810000、100 m/s で 0.081000。ちょうど十分の一になる。

観察 2.5

なぜ減るのか。速い衝突ほど塑性変形と内部摩擦に食われる割合が増える——完全に弾性的な衝突は、遅い極限でしか近似的に成り立たない。

3. 同じ球が、二つの高さで二つの値をもつ

計算 3.1：落下高さから衝突速度を出し、 e を比べる（本稿で計算・真空を仮定）。

落下高さ [m]	衝突速度 [m/s]	e
1	4.4287	0.6204
100	44.2869	0.3489

観察 3.2

同じ球の e が **0.6204** と **0.3489** である。比は **0.5623**——材料は一つも変わっていないのに、値は 44 パーセント近く落ちる。

観察 3.3

だから表に載せるには条件が要る。「この球の e は **0.62**」と書くだけでは、どちらの測定か分からない——論文352 で T_g に測定条件が要ったのと同じ形である。

観察 3.4

密度にはこの必要がない。どの高さから落としても密度は変わらない——条件を省略できるかどうか、二つの量の性格を分けている。

4. 経験則は、自分が破れる速度を指す

計算 4.1：経験則が $e = 1$ を予言する速度を解く（本稿で計算）。

量	値
$e = 1$ となる速度 $v_{\text{break}} = v_0 e_0^4$	0.656100 m/s
$0.99v_{\text{break}}$ での e	1.002516
$1.01v_{\text{break}}$ での e	0.997516
$v = 0.1$ m/s での e	1.600451

観察 4.2

これが本稿の芯である。**0.6561** m/s より遅い衝突では、この経験則は $e > 1$ を予言する—— $v = 0.1$ m/s では **1.600451** であり、跳ね返る高さは落とした高さの **2.561445** 倍になる。

観察 4.3

これはエネルギー保存に反する。衝突でエネルギーが増えることはない——だから $e > 1$ は「まだ測っていない領域」ではなく、模型が誤っている領域である。

観察 4.4

境目の両側で符号が変わる。**0.99** 倍で **1.002516**、**1.01** 倍で **0.997516**——**1** をまたいでいる。境目は鋭い。

観察 4.5

ここに使い道がある。経験則の適用下限を、外から与えるのではなく式そのものから読み取れる——「どこまで外挿してよいか」に、模型自身が答えている。

観察 4.6

正直に言えば——実際の低速衝突で e が **1** に近づくこと自体は正しい。遅い衝突ほど弾性的になるからである——誤っているのは **1** を超える部分だけであって、向きは合っている。**0.6561 m/s** は「そこから先は別の式が要る」という印である。

5. 分離子：指数

観察 5.1

分離子——速度の指数が **0** か、**0** でないか。

指数	速度依存	材料定数と呼べるか	破れる速度
0	無い ($e = 0.9000$ 一定)	呼べる	無い
-1/4	有る	呼べない	0.6561 m/s

観察 5.2

指数を **0** にすると、二つのことが同時に消える。速度依存が消え、同時に $e > 1$ の破れも消える——この二つは同じ一つの指数から出ている。

観察 5.3

これが対照実験である。指数 0 では $v = 50$ でも $v = 0.1$ でも $e = 0.9000$ のまま——速度依存が式から来ていることの確認になる。

観察 5.4

分離子は動かせる。指数を $-1/8$ に緩めれば破れる速度は下がり、 $-1/2$ に強めれば上がる——適用範囲の広さと速度依存の強さは、一つの数の裏表である。

観察 5.5

正直に言えば—— 0.6561 m/s も 0.3489 も、 $e_0 = 0.90 \cdot$ 指数 $-1/4$ と明示した経験則の上での値である。別の材料なら別の数が出る——動かないのは、速度依存をもつ冪則は必ずどこかで $e = 1$ を横切る、という構造だけである。

観察 5.6

最後に一つ——経験則を外挿したときに物理的に不可能な値が出たら、それは失敗ではなく情報である。 $e > 1$ は、この式がどこまで有効かを教えている——不可能な予言が出る点を探すことは、適用範囲を測る一つの方法である。

6. 点呼と結び

1. e は $-1/4$ 乗で減る（第1節）：経験則として置く。
2. 1 m/s で 0.9000 、 10 m/s で 0.5061 （計算 2.1）：向きが一定。
3. 速度 100 倍で 0.31622777 倍（観察 2.3）： $100^{-1/4} = 10^{-1/2}$ 。
4. e^2 は 0.810000 から 0.081000 へ（観察 2.4）：ちょうど十分の一。
5. 落下 1 m で 0.6204 、 100 m で 0.3489 （計算 3.1）：比 0.5623 。
6. $e = 1$ となる速度は 0.656100 m/s（計算 4.1）：モデルの適用下限。
7. $v = 0.1$ m/s で $e = 1.600451$ （計算 4.1）：高さの 2.561445 倍。
8. 境目の両側で 1.002516 と 0.997516 （観察 4.4）： 1 をまたぐ。

9. 指数 0 なら $e = 0.9000$ 一定（観察 5.3）：対照実験。

10. 向きは合っている（観察 4.6）：誤っているのは 1 を超える部分だけ。

結び：反発係数は材料の表に定数として載っている——鋼球は 0.9、テニスボールは 0.7、と密度や弾性率と同じ書式で並んでいる。だが e は測定条件を含んでいる——速度依存を $e(v) = e_0(v/v_0)^{-1/4}$ と置くと、1 m/s で 0.9000、10 m/s で 0.5061 と一定の向きで減り、速度を 100 倍にすると e は 0.31622777 倍になる。跳ね返る高さの比 e^2 で見ればもっと大きく、0.810000 から 0.081000 へちょうど十分の一になる。同じ球が、二つの高さで二つの値をもつ——真空を仮定して落下高さから速度を出すと、1 m では $e = 0.6204$ 、100 m では $e = 0.3489$ （比 0.5623）。材料は一つも変わっていないのに、値は 44 パーセント近く落ちる。密度はどの高さから落としても変わらない。条件を省略できるかどうか、二つの量の性格を分けている。そしてこの経験則は、自分が破れる速度を自分で指す——頭打ちを入れずに低速へ延ばすと、0.656100 m/s より遅い衝突で $e > 1$ を予言する。 $v = 0.1$ m/s では $e = 1.600451$ となり、跳ね返る高さは落とした高さの 2.561445 倍になる。衝突でエネルギーが増えることはないから、これは「まだ測っていない領域」ではなく模型が誤っている領域である。境目の両側で 1.002516 と 0.997516 となり、1 をまたぐ。ただし向きは合っている——遅い衝突ほど弾性的になるのは正しく、誤っているのは 1 を超える部分だけである。0.6561 m/s は「そこから先は別の式が要る」という印である。分けているものは一つ——速度の指数が 0 か、0 でないか。指数を 0 にすると二つのことが同時に消える——速度依存が消え、 $e > 1$ の破れも消える。この二つは同じ一つの指数から出ている。指数を $-1/8$ に緩めれば破れる速度は下がり、 $-1/2$ に強めれば上がる。適用範囲の広さと速度依存の強さは、一つの数の裏表である。正直に言えば——0.6561 m/s も 0.3489 も $e_0 = 0.90 \cdot$ 指数 $-1/4$ の上での値であり、別の材料なら別の数が出る。動かないのは、速度依存をもつ冪則は必ずどこかで $e = 1$ を横切るという構造だけである。最後に一つ——経験則を外挿したときに物理的に不可能な値が出たら、それは失敗ではなく情報である。 $e > 1$ は、この式がどこまで有効かを教えている。不可能な予言が出る点を探すことは、適用範囲を測る一つの方法である。

参考文献

1. Goldsmith, W. (1960). *Impact: The Theory and Physical Behaviour of Colliding Solids*. London: Edward Arnold.
2. Johnson, K. L. (1985). *Contact Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
3. Tabor, D. (1948). A simple theory of static and dynamic hardness. *Proceedings of the Royal Society A*.
4. Stronge, W. J. (2000). *Impact Mechanics*. Cambridge: Cambridge University Press.
5. Cross, R. (1999). The bounce of a ball. *American Journal of Physics*.
6. 山岸勇輝 (2026). 『第三百回の点呼——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). 『ガラス転移温度は、測る速さで動く』[論文352]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22695723
8. 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

9. 山岸勇輝 (2026). 『長さは、曲線を測る量ではなくなることがある』 [論文354]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22696977

— *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)