クレーターの大きさは、衝突の激しさをほとんど記録しない

— 重力が支配する範囲では直径はエネルギーの **1/3.4** 乗でしか増えず、エネルギーを **100** 万倍にしても直径は **58.170913** 倍、**10** 億倍にしても **443.668733** 倍にしかならない — 分離子は、重力支配か強度支配か — [論文681]

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

クレーターの直径は衝突の記録だと思われている。だが直径はエネルギーの **1/3.4** 乗でしか増えず、**100** 万倍の差が **58** 倍にしかならない。何が記録され、何が失われるのかを、指数の側から数える。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。直径は、エネルギーの差をほとんど残さない——エネルギーを **100** 万倍にしても直径は **58.170913** 倍、**10** 億倍にしても **443.668733** 倍にしかならない（第2節）。 第二に、逆向きに読めば、少し大きな穴に莫大なエネルギーが要る——直径を **2** 倍にするにはエネルギーが **10.556063** 倍、**3** 倍には **41.899830** 倍、**10** 倍には **2511.886432** 倍が要る（第2節）。 第三に、指数は幾何からは決まらない——体積がエネルギーに比例するなら **1/3** になるはずだが、重力が支配する範囲では **1/3.4**、すなわち **0.294118** である（第2節）。 第四に、二つの指数の差は、大きくなるほど開く——**1000** 倍のエネルギーでは二つの予測の比が **1.311134** だが、**100** 万倍で **1.719072**、**10** 億倍で **2.253934**、**1** 兆倍で **2.955209** になる（第3節）。 第五に、だから小さいクレーターで合わせた式を、大きいほうへ伸ばしてはいけない——指数の **0.039216** の違いが、**10** 億倍の外挿では **2** 倍以上の食い違いになる（第3節）。 第六に、分離子は、重力支配か強度支配かである——穴を掘る仕事に逆らうのが物質の強度か、掘り上げた物を持ち上げる重力か。その違いが指数を替える（第4節）。 キーワード：衝突クレーター、寸法則、重力支配、強度支配、冪の指数、外挿の危うさ。

> 本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——衝突クレーターの寸法則、重力支配と強度支配の区別は、いずれも既知である（メロッシュ 1989、ホルサップル 1993）。実在のクレーターを同定しない——個々のクレーターの年代・分布・成因は扱わない。自前の衝突計算をしない——指数 1/3.4 は前提として置く代表値であり、標的の物性・重力・衝突角度で動く。形態を論じない——中央丘や階段状の壁を持つ複雑クレーターへの遷移、縁の崩壊は主題ではない。危険度を評価しない——天体衝突の確率や被害の見積もりはしない。既刊との関係：論文326 は、二乗三乗の「法則」が法則ではなく恒等式であり、指数 2/3 が幾何だけから出ることを示した——そこでは指数が幾何から決まった。ここでは幾何が与える 1/3 が実際には成り立たず、指数が機構（重力か強度か）で決まることを示す。加えたのは、エネルギーの倍率を直径の倍率の表にしたこと、逆向きに直径の倍率を要るエネルギーに直したこと、二つの指数の予測の比を大きさごとに並べたこと、指数の差 0.039216 が外挿でどれだけ開くかを数にしたこと、分離子を「重力支配か強度支配か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：クレーターの直径 D が衝突のエネルギー E の冪で増えるとする。重力が支配する範囲では指数はおよそ 1/3.4、物質の強度が支配する範囲では 1/3 である。

$$D \propto E^{\,\alpha}, \qquad \alpha_{\text{重力}} = \frac{1}{3.4} = 0.294118, \qquad \alpha_{\text{強度}} = \frac{1}{3} = 0.333333$$

エネルギーを k 倍したときの直径の倍率は k^{α}、直径を m 倍するのに要るエネルギーの倍率は $m^{1/\alpha}$ である。

問い：クレーターの直径は、何をどれだけ記録しているのか。

2. 直径は、差をほとんど残さない

計算 2.1：エネルギーの倍率ごとに、直径の倍率を出した。

エネルギー	直径（重力支配）	直径（強度支配）
10 倍	1.968419 倍	2.154435 倍
100 倍	3.874675 倍	4.641589 倍
1000 倍	7.626986 倍	10.000000 倍
10^6 倍	58.170913 倍	100.000000 倍
10^9 倍	443.668733 倍	1000.000000 倍

> **観察 2.2**
>
> これが本稿の芯である。直径は、エネルギーの桁を圧縮して記録する。9 桁のエネルギーの差が、直径では 2.6 桁ほどにしか現れない——穴の大きさを見て「どれほど激しかったか」を読み取ろうとすると、桁のほとんどは失われている。

計算 2.3：逆に、直径を 2 倍にするにはエネルギーが 10.556063 倍、3 倍には 41.899830 倍、10 倍には 2511.886432 倍が要る。強度支配ならそれぞれ 8.000000 倍、27.000000 倍、1000.000000 倍である。

> **観察 2.4**
>
> 指数は幾何からは決まらない。掘られた体積がエネルギーに比例するだけなら、直径は $E^{1/3}$ で増えるはずである。重力支配で 1/3.4 になるのは、掘り上げた物を重力に逆らって持ち上げる仕事が、穴が大きいほど余分にかかるからである——指数のわずかな違いが、機構の違いを書き留めている。

3. 二つの指数は、大きくなるほど離れる

計算 3.1：同じエネルギーに対する二つの予測の比を出した。

エネルギー	重力支配	強度支配	比
1000 倍	7.626986	10.000000	1.311134
10^6 倍	58.170913	100.000000	1.719072
10^9 倍	443.668733	1000.000000	2.253934
10^{12} 倍	3383.855153	10000.000000	2.955209

> **観察 3.2**
>
> 指数の差 0.039216 は、外挿の距離に比例して効く。冪の食い違いは、倍率ではなく桁数に比例して開く——3 桁の外挿では 1.311134 倍の差でも、12 桁では 2.955209 倍になる。

観察 3.3

小さい側で合わせた式を、大きい側へ伸ばしてはいけない。実験室でつくれるクレーターは小さく、そこでは強度が支配する。惑星の表面にある大きなクレーターは重力が支配する——当てはめた範囲の外では、どちらの指数を使ったかが答を **2** 倍以上変える。

4. 分離子

観察 4.1

分離子は、重力支配か強度支配かである。掘る仕事に逆らうのが物質の強度なら指数は **1/3**、掘り上げた物を持ち上げる重力なら **1/3.4** に近づく——同じ「クレーターの寸法則」という一語が、二つの機構をまとめて呼んでいる。

観察 4.2

論文**326** と並べる。**326** は、二乗三乗の「法則」が法則ではなく恒等式であり、指数 **2/3** が幾何だけから出ることを示した——そこでは幾何が指数を決めた。ここでは幾何が与える **1/3** が実際には成り立たず、指数は機構が決める。恒等式としての指数と、機構が決める指数は別物である。

観察 4.3

言わないこと。実在のクレーターの同定も、複雑クレーターの形態も、危険度の評価もしていない——示したのは、指数が **1/3** からわずかに外れることの帰結である。

5. 点呼と結び

1. 100 万倍で直径 **58.170913** 倍（計算 2.1）：本稿の芯。
2. 10 億倍でも **443.668733** 倍（計算 2.1）：桁が圧縮される。
3. 直径 **2** 倍に **10.556063** 倍（計算 2.3）：逆向きの代償。
4. 直径 10 倍に **2511.886432** 倍（計算 2.3）：急に高くつく。
5. 重力支配の指数 **0.294118**（第1節）：**1/3.4**。

6. 強度支配なら 2 倍はちょうど 8 倍（計算 2.3）：幾何のとおり。
7. 1000 倍で比 **1.311134**（計算 3.1）：まだ近い。
8. 100 万倍で比 **1.719072**（計算 3.1）：離れ始める。
9. 1 兆倍で比 **2.955209**（計算 3.1）：外挿してはいけない。
10. 重力支配か強度支配か（観察 4.1）：分離子・論文326。

結び：クレーターの大きさは、衝突の激しさをほとんど記録しない。エネルギーを 100 万倍にしても直径は 58.170913 倍、10 億倍にしても 443.668733 倍にしかならない——9 桁の差が 2.6 桁ほどに畳まれる。逆に読めば、直径を 2 倍にするにはエネルギーが 10.556063 倍、10 倍にするには 2511.886432 倍が要る。指数は幾何からは決まらない——体積だけなら 1/3 のはずが、重力支配では 1/3.4、すなわち 0.294118 である。そして二つの指数の差は外挿の桁数とともに開き、1000 倍で 1.311134 だった比は 1 兆倍で 2.955209 になる——小さい側で合わせた式を大きい側へ伸ばしてはいけない。分離子は、重力支配か強度支配かである。既刊との位置——論文326 では指数が幾何の恒等式だった。ここでは指数が機構の記録である。正直に言えば——指数 1/3.4 は前提の代表値であり、自前の衝突計算はしていない。

参考文献

1. Holsapple, K. A. (1993). The scaling of impact processes in planetary sciences. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*.
2. Melosh, H. J. (1989). *Impact Cratering: A Geologic Process*. Oxford University Press.
3. 山岸勇輝 (2026). 『二乗三乗の「法則」は、法則ではなく恒等式である』[論文326]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22209992

— *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)