

ブラジルナッツ効果の定番の説明は、隙間の大きさに落ちる

— 直径 **20 mm** の粒三個が作る隙間に入れるのは **3.0940 mm** まで — 「小さい粒が隙間に落ちる」機構が働くには直径比 **6.4641** 倍以上が要るが、実際に効果が見える比は **4** 倍前後である — 説明のほうが幾何で落ちている — [論文365]

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

揺ると大きい粒が上へ来る。本稿が問うのは定番の説明が幾何で成り立つかである——答えは成り立たない。隙間が小さすぎる。新しい定理も法則も主張しない。第一に、同じ大きさの球三個が作る隙間に入れる球の直径は、元の **0.154701** 倍までである（第2節）。第二に、直径 **20 mm** の粒なら、隙間に入れるのは **3.0940 mm** までである（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。浸透機構が働くには直径比 **6.4641** 倍以上が要る（第2節）。第四に、直径比 **4** 倍（小粒 **5 mm**）では入らず、**10** 倍（小粒 **2 mm**）なら入る（第2節）。第五に、浮力の類推は、大粒を重くすると向きが反転してしまう（第3節）。第六に、分離子は「幾何が許すか」であって、粒の密度でも揺すり方でもない（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——ブラジルナッツ効果・浸透（パーコレーション）・粉体対流はすべて既知である。粉体力学を作らない——粉体対流の理論や、逆ブラジルナッツ効果の条件には立ち入らない。名前を挙げるにとどめる。実験をしない——実際の粒での測定は行わない。剛体球の幾何の上で計算する。機構を決定しない——本稿は「浸透では説明できない」と言うだけで、では何かを決定しない。充填を論じない——最密充填やランダム充填率そのものは主題ではない。三個が接する配置という最も緩い場合を取る。振動を扱わない——振動数・振幅・加速度の依存性は主題ではない。既刊との関係：論文359はジャイロ効果の桁が足りないことを示した——そこでは説明が桁で落ちた。ここでは説明が幾何で落ちる。論文363は「芯」が三つあることを示した——そこでも一つの現象に複数の機構が並んでいた。論文300は同根か別根かが判定できることを示した——浸透と対流は、その基準で別根である。論文361は既知の一件で試すと分類が落ちることを示した——ここでは実際に効果が見える比で試すと説明が落ちる。加えたのは、隙間の比 **0.154701** を数に出したこと、必要な直径比 **6.4641** を逆算したこと、境目の両側（比 **4** と比 **10**）を確かめたこと、浮力の類推が密度で向きを変えることを対照として示したこと、分離子を「幾何が許すか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：直径 D の球三個が互いに接して並ぶとき、その中央にできる隙間に入れる球の直径 d_{gap} を求める。

$$\frac{d_{\text{gap}}}{D} = \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 = 0.154701$$

観察 1.1

定番の説明は「小さい粒が隙間に落ちる」である。揺るたびに小粒が下へ潜り、大粒が押し上げられる——浸透（パーコレーション）と呼ばれる。

観察 1.2

この説明は、小粒が隙間に入ることを前提にしている。入らなければ、潜れない——つまり幾何の条件がある。

観察 1.3

本稿は最も緩い配置を取る。三個が接する平面配置の中央の隙間である——実際の充填はこれより詰まっているので、条件はさらに厳しくなる。

問い：定番の説明は、幾何で成り立つか。

2. 隙間は元の 0.1547 倍しかない

計算 2.1：隙間に入れる直径と、必要な直径比（本稿で計算）。

量	値
隙間の比 $2/\sqrt{3} - 1$	0.15470054
大粒 20 mm のときの隙間	3.0940 mm
浸透に要る直径比	6.4641 倍以上

観察 2.2

これが本稿の芯である。直径比が **6.4641** 倍以上でなければ、小粒は隙間を通れない——「小さいほうが下へ落ちる」は、十分に小さいときにしか使えない。

計算 2.3：境目の両側（本稿で計算・大粒 20 mm）。

小粒の直径	直径比	隙間に
5 mm	4.0	入らない
3.0940 mm	6.4641	ちょうど境目
2 mm	10.0	入る

観察 2.4

実際に効果が見える比は 4 倍前後である。ブラジルナッツとピーナッツ、大豆と胡麻——**6.46** 倍には届かないことが多い。

観察 2.5

つまり説明のほうが落ちている。現象は起きるのに、機構が幾何で禁じられている——論文359 でジャイロ効果が桁で落ちたのと同じ形である。

観察 2.6

見積りは浸透に有利に取ってある。三個が接する平面配置は、隙間が最も大きくなる場合である——実際の三次元の充填ではもっと狭い。それでもこの結果である。

3. 浮力の類推も落ちる

観察 3.1

もう一つの説明は「浮力」である。大粒は周りの粒の集まりより軽いから浮く——流体の類推である。

観察 3.2

この説明は密度で向きが決まる。大粒 900 kg/m^3 ・小粒 1400 kg/m^3 なら「浮く」と予言する——向きは合っている。

観察 3.3

だが大粒を重くすると反転する。 2000 kg/m^3 にすれば「沈む」と予言する——実際には、重い大粒でも上がることが知られている。

観察 3.4

つまり二つの説明は反証しうる形をしている。浸透は幾何で、浮力は密度で条件が付く——どちらも「必ず上がる」とは言っていない。

観察 3.5

そして両方とも、条件の外で現象が起きている。比 4 倍・重い大粒——どちらの説明も、そこでは黙る。

4. では何が残るか

観察 4.1

文献では粉体対流が挙げられている。振動で容器の壁沿いに下降流ができ、中央で上昇する——大粒は上昇流に乗って上がり、下降流の狭い経路には入れないので戻れない。

観察 4.2

この機構は直径比の条件をもたない。大粒が「壁沿いの狭い道に入れない」ことだけが要る——比 4 倍でも成り立つ。

観察 4.3

本稿はこの機構を検証していない。文献として挙げるにとどめる——本稿が独立に言えるのは、浸透では説明できないということだけである。

観察 4.4

体積の勘定も添えておく。直径比 4 なら体積比は 64 倍——大粒一個が抜けた場所に小粒 64 個ぶんが入る勘定になる。

観察 4.5

上がるのにかかる回数も出る。一回の揺すりで小粒一層 (5 mm) ずつ上がるなら、深さ 100 mm で 20 回——数十回の揺すりで表面に出るという実感に合う。

5. 分離子：幾何が許すか

観察 5.1

分離子——その機構が幾何で許されるかであって、粒の密度でも揺すり方でもない。

機構	条件	比 4 倍で	重い大粒で
浸透	直径比 6.4641 倍以上	働かない	働く
浮力の類推	大粒のほうが軽いこと	働く	働かない
対流 (文献)	壁沿いの道に入れないこと	働く	働く

観察 5.2

右の二列が判定になる。比 4 倍かつ重い大粒、という場合に残るのは三行目だけである——条件で機構を絞れる。

観察 5.3

論文300 の基準で三つとも別根である。幾何の通り抜け、密度差、流れへの乗り方——同じ「大粒が上がる」を作るが、根が違う。

観察 5.4

分離子は動かせる。小粒をさらに細かくすれば浸透が働きはじめる——境目は 3.0940 mm。同じ大粒でも、小粒の大きさに機構が入れ替わる。

観察 5.5

正直に言えば——3.0940 mm も 6.4641 倍も、剛体球という模型の上での値である。実際の粒は角があり、変形もする——動かないのは、浸透に直径比の下限があるという構造だけである。

観察 5.6

最後に一つ——現象が起きることは、その説明が正しいことの証拠にならない。ブラジルナッツは確かに上がる——だが定番の説明は、実際に効果が見える比では幾何が禁じている。説明を検算しないかぎり、正しさは現象から借りられない。

6. 点呼と結び

1. 隙間の比は 0.15470054 (計算 2.1) : $2/\sqrt{3} - 1$ 。
2. 20 mm の粒で 3.0940 mm (計算 2.1) : 隙間に入れる上限。
3. 必要な直径比は 6.4641 倍 (計算 2.1) : 隙間の比の逆数。
4. 比 4 倍 (5 mm) は入らない (計算 2.3) : 浸透は働かない。

5. 比 **10 倍 (2 mm)** は入る (計算 2.3) : 境目の反対側。
6. 実際に見える比は **4 倍前後 (観察 2.4)** : **6.46** に届かない。
7. 見積りは浸透に有利 (観察 2.6) : 三個が接する最も緩い配置。
8. 浮力は重い大粒で反転 (観察 3.3) : そこでも黙る。
9. 体積比は **64 倍 (観察 4.4)** : 直径比の三乗。
10. 深さ **100 mm** なら **20 回 (観察 4.5)** : 一層ずつ上がるとして。

結び : 揺ると大きい粒が上へ来る——定番の説明は「小さい粒が隙間に落ち、大粒が押し上げられる」というものである。だがこの説明には幾何の条件がある——同じ大きさの球三個が作る隙間に入れる球の直径は、元の **0.154701** 倍までである。直径 **20 mm** の粒なら **3.0940 mm** までで、浸透が働くには直径比が **6.4641** 倍以上でなければならない。しかも三個が接する平面配置は隙間が最も大きくなる場合であり、実際の三次元の充填ではもっと狭い。そして実際に効果が見える比は **4 倍前後** である——ブラジルナッツとピーナッツ、大豆と胡麻。直径比 **4 倍 (小粒 5 mm)** では隙間に入らず、**10 倍 (小粒 2 mm)** なら入る。つまり現象は起きるのに、機構のほうで幾何で禁じられている。論文359 でジャイロ効果が桁で落ちたのと同じ形である。もう一つの説明も落ちる——「大粒は周りより軽いから浮く」という浮力の類推は、大粒 900 kg/m^3 ・小粒 1400 kg/m^3 なら向きが合うが、大粒を 2000 kg/m^3 にすれば「沈む」と予言する。実際には重い大粒でも上がることが知られている。二つの説明はどちらも反証しうる形をしており、そして両方とも、条件の外で現象が起きている。文献では粉体対流が挙げられている——振動で容器の壁沿いに下降流ができ中央で上昇し、大粒は上昇流に乗って上がるが、下降流の狭い経路には入れないので戻れない。この機構は直径比の条件をもたないので比 **4 倍** でも成り立つ。ただし本稿はこれを検証しておらず、文献として挙げるにとどめる。分けているものは一つ——その機構が幾何で許されるかであって、粒の密度でも揺すり方でもない。比 **4 倍** かつ重い大粒という場合に残るのは対流だけであり、条件で機構を絞れる。そして分離子は動かせる——小粒をさらに細かくして **3.0940 mm** を切れば、同じ大粒のままで機構が浸透へ入れ替わる。正直に言えば——**3.0940 mm** も **6.4641 倍** も剛体球という模型の上での値であり、実際の粒は角があり変形もする。動かないのは、浸透に直径比の下限があるという構造だけである。最後に一つ——現象が起きることは、その説明が正しいことの証拠にならない。ブラジルナッツは確かに上がるが、定番の説明は実際に効果が見える比では幾何が禁じている。説明を検算しないかぎり、正しさは現象から借りられない。

参考文献

-
1. Rosato, A., Strandburg, K. J., Prinz, F., Swendsen, R. H. (1987). Why the Brazil Nuts Are on Top: Size Segregation of Particulate Matter by Shaking. *Physical Review Letters*.
 2. Knight, J. B., Jaeger, H. M., Nagel, S. R. (1993). Vibration-Induced Size Separation in Granular Media: The Convection Connection. *Physical Review Letters*.

3. Hong, D. C., Quinn, P. V., Luding, S. (2001). Reverse Brazil Nut Problem: Competition between Percolation and Condensation. *Physical Review Letters*.
4. Jaeger, H. M., Nagel, S. R., Behringer, R. P. (1996). Granular solids, liquids, and gases. *Reviews of Modern Physics*.
5. Möbius, M. E., Lauderdale, B. E., Nagel, S. R., Jaeger, H. M. (2001). Size separation of granular particles. *Nature*.
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). 『自転車が倒れない理由に、ジャイロ効果は桁が足りない』 [論文359]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697293
8. 山岸勇輝 (2026). 『平衡温度で引いたハビタブルゾーンは、地球を外に出す』 [論文361]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697436
9. 山岸勇輝 (2026). 『バットの「芯」は三つあり、同じバットの上で 23 cm 離れている』 [論文363]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697505

— *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)