

粉粒体の振動とブラジルナッツ効果の関係 2

静岡県立清水東高等学校

自然科学部 物理班 2 年 阿比留志央 青柳諒太 石川諒 滝健人 鍋田佑樹

1 要旨

昨年、同部の先輩が我々と同様のテーマで実験を行い、ブラジルナッツ効果(以降、BN 効果)と容器の関係について明らかにした。BN 効果とは、大小様々な球径の粉粒体を同一の容器に入れ、振動させることで、球径の大きなものを上昇させる現象である。我々は、この研究を引き継ぎ、他の要因で、BN 効果に影響を与えるものを調べることを目的として実験し、BN 効果と様々な要因との関係を明らかにした。

2 研究手法

(1)実験道具

- ア 15cm 立方の亚克力容器
- イ 15cm 平方の亚克力板
- ウ 球径 32mm の発泡スチロール球(大球)
- エ 球径 19mm の発泡スチロール球(小球)



実験に使用した道具

(2)実験方法

大球、小球の数量を変化させて容器に入れ、容器を幅 30cm で往復運動させた。大球はすべて容器の 1 層に設置した。また、振動の激しさを表す数値に BPM(Beat Per Minute: 1 分あたりの振動数)を用い、BPM250 で固定とした。これは、昨年の先行研究より、BPM が振動の激しさを表す数値として妥当であり、変化が顕著に表れる BPM として 250 が適切と判断したためである。



実験の様子

(3)評価方法

BN 効果の起きやすさを確かめる数値として昨年と同様に、0 層、1 層の大球の上昇は 0 点、一番上までの上昇は 2 点、それ以外は 1 点とし、点数に換算した。また、容器に対して振動方向と垂直な方向に x 軸、振動方向に y 軸、鉛直上向きに z 軸を定めた。

3 思考実験

(1) 目的

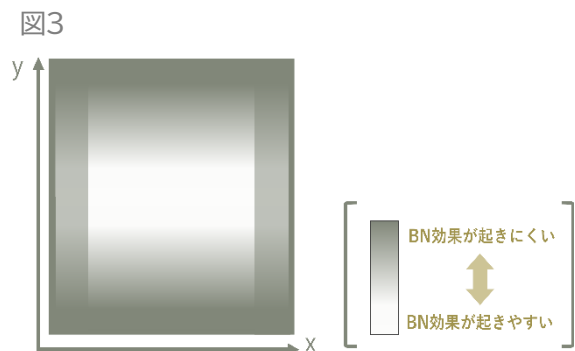
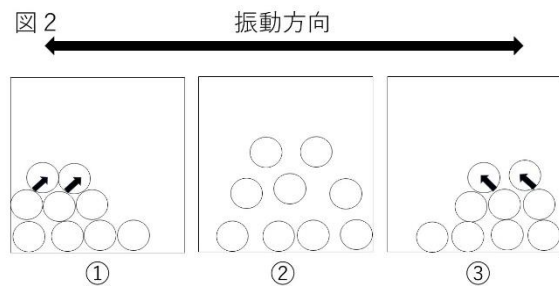
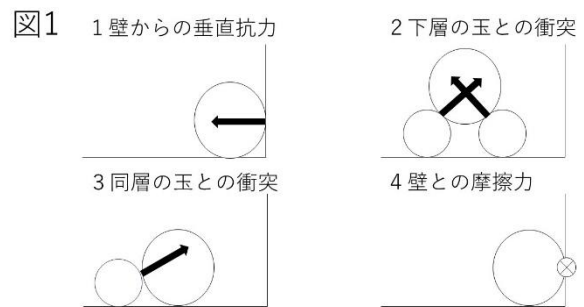
理想的な条件(大球と小球は真球、容器は立方体、変形なし、振動は水平方向の往復運動のみ)においての BN 効果を考察する。

(2) 考察

BN 効果は次のように生じると考察した

- ア 1 層で大球と小球が衝突し鉛直上向きの力が働く。(図 1 の 3)
- イ 上の層の小球にかかる鉛直下向きの力が衝突により小さくなる。(図 2)
- ウ 下の層の小球との衝突で鉛直上向きの力が働く。(図 1 の 2)
- エ 2, 3 を繰り返して、最上層まで上がる。

1つの大球に着目すると、1層の大球にかかる力には図1のような4種が考えられる。このうち、上向きの力が生じる小球と大球の衝突である2, 3のみ BN 効果に関係すると考えた。また、全体の運動に着目すると、図2の①、③のように球は他の球と衝突した際に球に上向きの力がかかり、浮上する。その結果、②で下向きの力の影響が小さくなると考察した。昨年行われた容器における大球の位置と BN 効果の関係を調べ、図3のような結果を得た。これに対する考察は、壁との摩擦等の壁の影響を受けたためとされていた。しかし、この思考実験の結果、容器の壁際に大球を配置するより、中央に配置したほうが周囲を小球に囲まれることで上向きの力がより大きくなり、BN 効果が起きやすくなると我々は考察した。



以上より、BN 効果が生じるために必要な条件として次のことを仮定する

- ア 振動すること
- イ 大球と小球が存在すること
- ウ 一定値以上の BPM
- エ 十分な z 軸の移動可能距離
- オ 球の大きさに対する十分な x 軸、y 軸の移動可能距離

ただし、ア、イは BN 効果の起きる条件として自明とし、ウ、オは先行研究により、明らかにされたと判断し、エを確かめるための実験1を行った。

4 実験 1

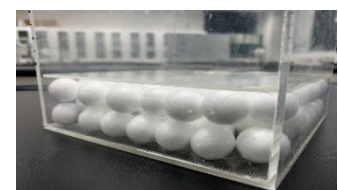
(1) 目的

z 軸の移動可能距離と BN 効果の起きやすさの関係を調べる。

(2) 実験方法

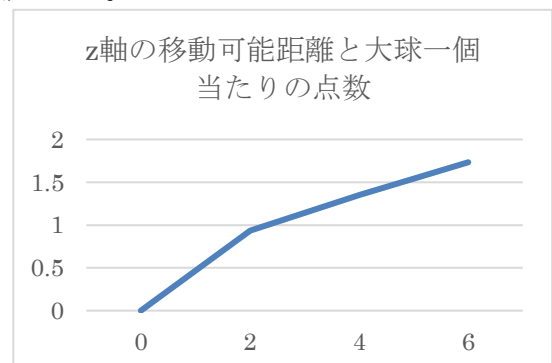
小球 120 個・大球 5 個を容器に入れ、振動させる。アクリル板を上からかぶせ、z 軸の移動可能距離を制限する。ここでの z 軸の移動可能距離は、球の最上層からアクリル板との距離とした。

z 軸の移動可能距離が 0 cm の様子



(3) 結果

右のグラフのような結果となった。横軸は z 軸の移動可能距離 (cm)、縦軸は大球 1 個当たりの点数である。



(4) 考察

z 軸の移動可能距離が大きいほど、BN 効果が起きやすくなっている。z 軸の移動可能距離が大きいと、上層の小球から受ける下向きの力の影響が小さくなったためだと考えられる。これは、思考実験から得た仮説と矛盾しない結果である。

5 実験 2

(1) 目的

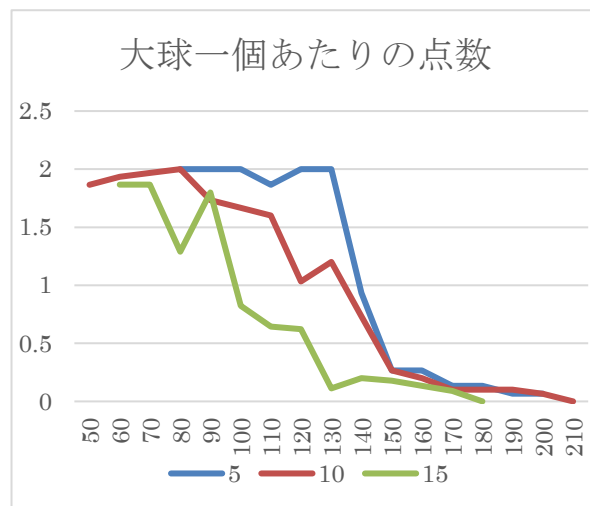
大球と小球の数量の違いと BN 効果の起きやすさの関係を調べる。

(2) 実験方法

容器に大球、小球の数を変化させて入れ、振動させた。容器の高さは 15cm で固定した。また、底面積は 15cm 平方で固定した。

(3) 結果

右のグラフのような結果となった。横軸は小球の数量、縦軸は大球 1 個あたりの点数である。また、それぞれのグラフの色は大球の数を表し、青は 5 個、赤は 10 個、緑は 15 個である。



(4) 考察

大球の数がいずれの場合でも、小球が 150 個の時、点数が 0 に近い値となっている。これは、ここで、層数が 3 層以上になってしまったためだと考えた。つまり、小球の数を増加させたことで、z 軸の移動可能距離が小さくなり、BN 効果が起きづらくなったと考えた。また、小球の数が少なくなると、BN 効果が起きやすくなったと分かる。しかし、大球の数が違う結果どうしは大球の数の違いだけでなく、底面積に対する大球の総体積も変化してしまっているため、単純に比較できないと考えた。そこで、底面積に対する大球の総体積のみ変化させる実験 3 を行った。

6 実験 3

(1) 目的

容器の底面を占める大球の割合と BN 効果の起きやすさの関係を調べる。

(2) 実験方法

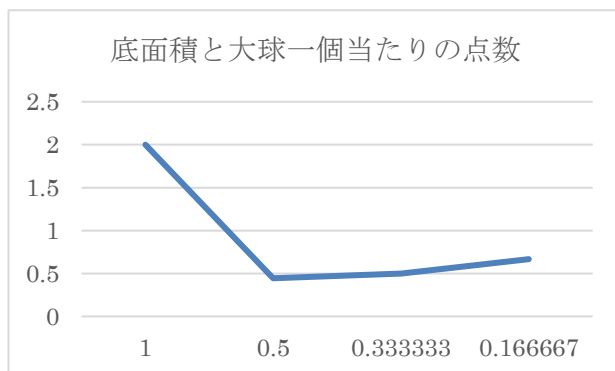
底面積が 15cm 平方の容器の 1/2、1/3、1/6 である正方形になるように板で仕切り、振動させた。また、大球と球の数量も同様に变化させ、大球 6 個・小球 120 個の 1/2、1/3、1/6 で実験した。



実験 3 の様子

(3) 結果

右のグラフのような結果となった。横軸は 15cm 平方の底面積の何倍か縦軸は大球 1 個あたりの点数である



(4) 考察

大球の体積に対する底面積の大きさが小さいと BN 効果は起こりにくくなると分かる。しかし、強い相関をこの結果からは読み取ることができない。そのため、実験 2 は大球の数の違い、及び、底面積に対する大球の総体積が変化し、これらが複雑に関係しあっていた。そのため、実験 2 の大球の数が異なる結果どうしは単純に比較できないと結論付けた。

5 今後の展望

今回、立方体の容器で水平方向のみの振動を与えた場合の BN 効果について評価できた。今後は、球の質量や容器の形状、振動方向等においてより複雑な条件下での BN 効果の起こりやすさを調べたい。また、大球の数と底面積における BN 効果の関係を明らかにしたい。

6 参考文献

静岡県立清水東高校 粉粒体の振動とブラジルナッツ効果の関係 2022
ブラジルナッツ効果 2022- .pptx