

ドミノの重心による倒れる時間の変化

物理班:半田晃士 坂庄孝心 安治空人 高橋和希 鈴木琥士郎

Abstract

The purpose of this study is to show that the motion of falling dominoes can be used as a model. It is known that the motion of dominoes is similar to wave phenomena, and that both the initial microtremor duration described by the Omori formula and the travel-time curve of seismic waves can be reproduced through model experiments using falling dominoes. This study reports that when the center of mass of a domino is at a height h from the floor, the time it takes to fall is thought to be proportional to \sqrt{h} . The experiment shows that the falling time t changes depending on the height h of the center of mass. The research shows that there is a positive correlation between h and t at lower heights, but this changes to a negative correlation when the height becomes larger. This study concludes that the transition point where this change in correlation happens has been identified. This study suggests that future research should focus on understanding the cause of this change.

要約

ドミノの運動は波の現象と似ており、ドミノ倒しを用いて大森公式の初期微動継続時間と地震波の走時曲線の特徴をモデル実験で再現できることが知られている。

床からの重心の位置を h とした時、倒れるまでにかかる時間は \sqrt{h} に比例すると仮説をたてた。結果として、ドミノが倒れる時間 t は、重心の高さ h によって変化することが分かった。最初は h と t に正の相関が見られたが、ある高さを境に負の相関へと変化した。その範囲を特定できたため、今後はその原因を明らかにしていきたい。

1. はじめに

ドミノの運動は状態の変化が伝わって遠く離れた場所で同じ変化が起きるといって波の現象と似ており、ドミノ倒しを用いて、大森公式の初期微動継続時間と地震波の走時曲線の特徴をモデル実験で再現できる。[文献1]

また、ドミノの倒れる時間は、ドミノの質量や距離に依存することが知られている。[文献2]

本研究では、ドミノの重心を動かしたときに倒れる時間は変化するかについて調べた。

《仮説》

粘土の質量を m 、粘土の高さ x 、粘土をつけた板の重心の高さ h をとし初速度0で倒して角度 θ だけ倒れているときの速さを v とする。

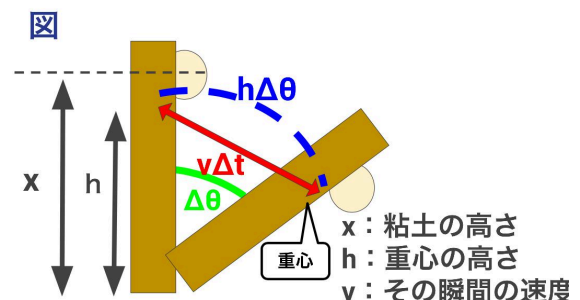
力学的エネルギー保存則より、 $mgh = mgh\cos\theta + \frac{1}{2}mv^2 \therefore v = \sqrt{2gh(1 - \cos\theta)}$

微小時間 Δt で角度 $\Delta\theta$ だけ落下したとすると、

移動距離は図より

$$v\Delta t = \sqrt{2gh(1 - \cos\theta)}\Delta t \doteq h\Delta\theta$$

$$\Leftrightarrow \Delta t = \frac{h}{\sqrt{2gh(1 - \cos\theta)}}\Delta\theta$$



$$\text{両辺積分して、} \int dt = \sqrt{\frac{h}{2g}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1-\cos\theta}} d\theta$$

$$t = \sqrt{\frac{h}{2g}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{\sqrt{1-\cos\theta}} d\theta$$

以上より床からの重心の位置を h とした時、倒れるまでにかかる時間は \sqrt{h} に比例すると仮説をたてた。

2. 研究手法

- 木製の縦7.0cm横5.0cm奥行き1.0cmのドミノを使用した。
- 粘土は、ドミノの質量の25%の質量を使用した。粘土自身の体積は無視できるとする。
- 間隔3.0cmで30個のドミノを一直線に並べる。
- ストップウォッチを写しながら撮影し倒れる時間を計測する。

《実験1》

- ①上部・中央部・下部の3パターンに分け、ドミノに粘土を進行方向側につける。
- ②初速を一定にするため、紐の長さ23cmの振り子を用いて、1つ目のドミノから6.0cm離して、静かにはなす。

《実験2》

- ①床からの高さが1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5,5.0,5.5cmのところに、粘土を進行方向側につける。
- ②初速は与えず、指でゆっくり倒し始めた。

3. 結果

粘土の高さを x とすると、粘土の質量はドミノの質量の25%より、重心公式に当てはめると重心の高さ h は $(14+x)/5$ になる。

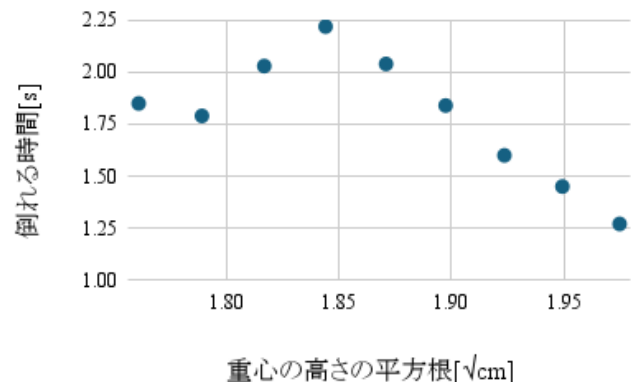
《実験1》

上部:1.74s、下部:1.37s、中央部:1.31sとなり、上部が最も遅く、中央部と下部の差はほとんどないという結果になった。

| 実験回数 | 1 | 2 | 3 | 平均 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 上部 | 1.71s | 1.78s | 1.73s | 1.74s |
| 下部 | 1.39s | 1.34s | 1.39s | 1.37s |
| 中央部 | 1.34s | 1.28s | 1.30s | 1.31s |

《実験2》

$x=1.5(h=3.1)$ のときを外れ値とみなすと、 t は \sqrt{h} に $h=3.4$ のときまで正の相関があり、 $h \geq 3.4$ のとき負の相関があった。



4. 考察

《実験1》

粘土の高さを正確に計測していなく、分析が困難だったため、高さを9パターンに分けた実験2を行った。

《実験2》

$x=1.5(h=3.1)$ のとき、粘土の位置が低く、粘土と床が接触するため、倒れにくくなったと考えた。また、ドミノ自体の高さが7.0cmより、粘土をつけなかったときのドミノの重心が3.5cmになる。 h がこの3.5cmより小さくなると、正の相関が見られた。また h がこの3.5cm以上のとき、負の相関が見られた。

5. まとめ

倒れる時間は高さに関して一定の法則に従うが、ドミノの形状や外的要因が影響するため、任意の h に対して満たすとは限らなかった。今後の展望として、 t が \sqrt{h} に比例する条件と正の相関と負の相関の切り替わる高さ h は特定できたものの、なぜそうなるのかは深く追究できていないので様々な形状のドミノを使用して追実験を行いたい。

6. 参考文献ならびに参考Webページ

[文献1]産総研地質調査総合センター『ドミノを使った地震波モデル実験』

http://www.gsj.jp./date/shishitsunews/2010_05_02.pdf 参照日2024.05.22

[文献2]静岡県立下田高等学校.『ドミノ倒しの運動と速さの関係』

<https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/R4/223075.pdf>, 参照日2024.05.22