

様式 2

学校名	静岡県立下田高等学校	団体名	自然科学部		
研究テーマ	ドミノ倒しの運動と速さの関係			発表分野	物 理
研究発表者 (学年) 発表者に○					

1. 目的

テレビ番組などで大規模なドミノ倒しを見てみると、間隔が異なるときや坂を上るときドミノの速度が変化していることが視覚的に分かる。しかしながら、ドミノの運動は様々な要因が影響しており、これらの要因が進行速度にどのような影響を与えるのか正確には分かっておらず、未だにドミノが倒れる運動の完璧なモデル化はできていない [参考 1] [参考 2]。私たちはドミノの間隔や上り斜面の角度の変化がドミノの進行速度にどのような影響を与えるか、またドミノの速度が時間ごとにどのように変化するのかを計測し、記録に基づいて新しい関係式を導くことを目的として実験をした。

2. 方法

ドミノが倒れながら水平面を進む運動と、斜面を上る運動を、カメラのスローモーション機能を使って撮影した。水平面を進む運動では、間隔を 1.2 cm から 2.2 cm の範囲で変えて実験した。斜面を上る運動では、坂の傾きを 2.0° (0.035 rad) から 7.9° (0.138 rad) の範囲で変えて実験した。速度の算出にあたっては、ドミノ牌 5 枚が倒れる時間に着目して、それぞれの区間で進んだ距離 ÷ 時間を計算した。

3. 結果

ドミノが倒れながら水平面を進む運動では、倒れ始めは加速度が正の運動（おそらく等加速度ではない）をし、しばらくすると等速運動をしていた。このとき、ドミノの間隔を広くすればするほど、等速運動の速さは下がった [図 1]。先行研究 [文献 1] [文献 2] と同じく、等速運動での速さは、間隔の平方根に反比例しており、 $x = 1/\sqrt{d}$ および $y = v$ の変数変換をすると相関係数 0.99 以上だった [図 2] [図 3] [図 4]。等速運動へ切り替わるタイミングは、間隔が小さいほど早かった。

ドミノの間隔 d	1.2 [cm]	1.7 [cm]	2.2 [cm]
等速運動での速さ v	52.6 [cm/s]	45.9 [cm/s]	39.6 [cm/s]

ドミノが倒れながら斜面を上る運動では、水平面が斜面に切り替わってすぐは加速度が負の運動をし、しばらくすると等速運動をしていた。このとき、ドミノを並べた斜面の角度を大きくすればするほど、等速運動の速さは下がった [図 5] [図 6]。（小球の場合は斜面を上らせるといったん静止していつかは斜面を下り始めるので）ドミノを倒すための斜面を延長して実験したが、それでもドミノは斜面を上りながら倒れ続けた。

斜面の角度 α	2.0°	3.0°	5.0°	6.9°	7.9°
等速運動での速さ v	38.3 [cm/s]	37.9 [cm/s]	33.5 [cm/s]	32.1 [cm/s]	30.6 [cm/s]

4. 考察

数字が書かれたゲーム用のドミノ牌は 18 世紀のヨーロッパで登場し、20 世紀後半には本来の遊び方とは別にドミノ倒しがテレビ番組を通して広まった。現在では模様を描いたり、階段を上らせたり、ドミノ倒しの様々な仕掛けが考案されている。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う点で波の現象と似ており、地震波の走時曲線を描くための簡略化した理科教育用モデル実験としても、ドミノ倒しは知られている [参考 3]。

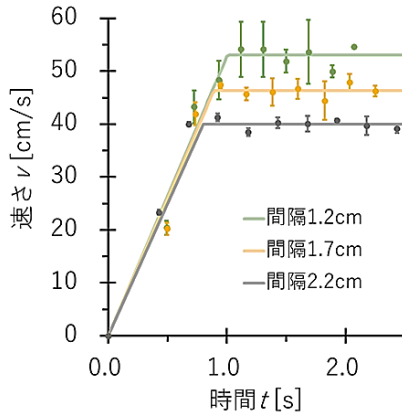
水平面を進むドミノの運動 [図 1] [図 2] [図 3] [図 4] では、等速運動になったときの速さが、間隔の平方根に反比例して決まっているという先行研究 [参考 1] [参考 2] と同じ結論を導くことができた。ドミノ倒しの速さを調べる研究は国内の多数の高校生が挑戦しており、その測定精度は様々であるが、私たちの測定はかなり正確だと考えられる。

斜面を上るドミノの運動 [図5] [図6] では、角度の増加とともに、速度が直線的に減少していた。この理由は現在解析中である。

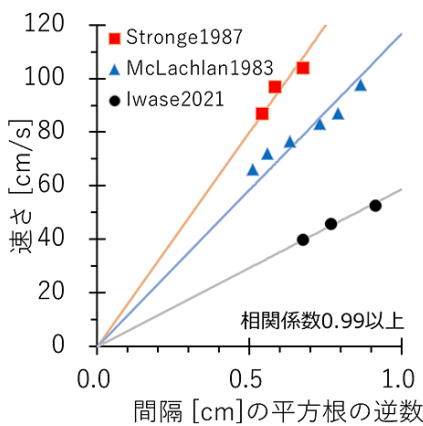
5. 反省と課題

慣性モーメントに着目し、回転運動の運動方程式を立て、斜面でのドミノの運動を考察するつもりである。

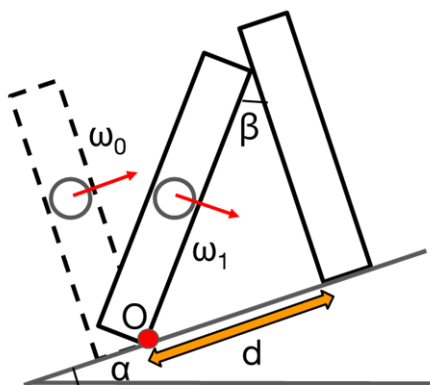
6. 図 (誤差棒は標準偏差)



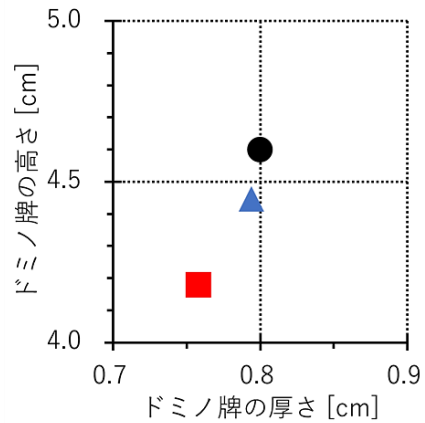
【図1】 水平面での $v-t$ グラフ



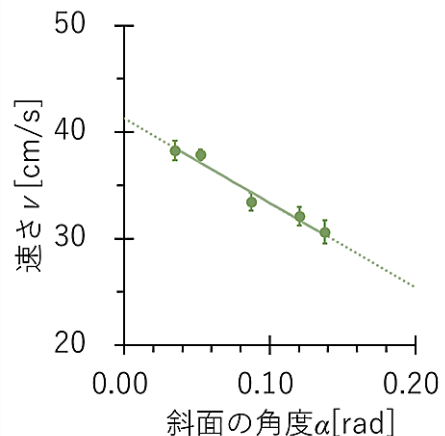
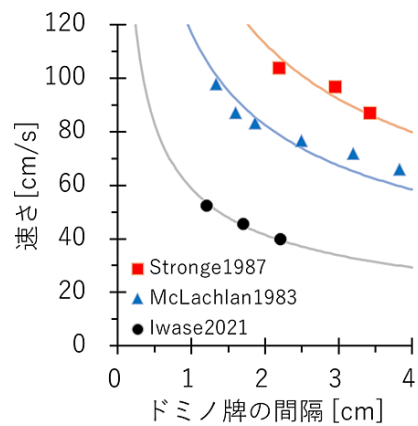
【図3】 【図4】 水平面での終端速度は間隔の平方根に反比例する (lwase2021 は自分たちのデータ)



【図5】 斜面を上るドミノの模式図



【図2】 ドミノ牌の厚さと高さ



【図6】 斜面の角度と終端速度のグラフ

7. 参考文献

- [参考1] Stronge ら "The domino effect :a wave of destabiling collisions in a periiodic array." (1987)
- [参考2] McLachian ら "Falling Dominoes." (1983)
- [参考3] ドミノを使った地震波モデル実験 (https://www.gsj.jp/data/chishitsunews/2010_05_02.pdf)