

傾斜面におけるドミノの運動

岩手県立一関第一高等学校理数科 2 年物理 1 班
小野寺一磨 小野寺高史 桂島忠嵩

要約

傾斜面と水平面上でドミノの伝播速度について調べたところ、傾斜面上を倒れるドミノは 16 個目まで加速し、その後等速直線運動をしていた。水平面上のものよりも加速する時間が長く、速度も大きいことが分かった。これは、ドミノの重心位置の鉛直変化が水平面よりも傾斜面の方が大きくなることと矛盾しない。また、後方のドミノによる力積を考慮すると隣り合う 2 つのドミノの接触時間は傾斜面の方が水平面よりも小さくなることから、後方のドミノが前方のドミノを押し力が傾斜面の方が水平面のときよりもかなり大きくなることが示唆された。

キーワード: ドミノ、伝播速度、傾斜面

ABSTRACT

When we investigated the propagation velocity of dominoes on an inclined surface and a horizontal surface, we found that dominoes falling on an inclined surface accelerated to the 16th domino and then moved in a uniform linear motion. It was found that the acceleration time is longer and the speed is higher than that on the horizontal plane. This is consistent with the fact that the vertical change in the position of the center of gravity of dominoes is greater on inclined planes than on horizontal planes. In addition, considering the impulse due to the rear dominoes, the contact time between the two adjacent dominoes on the slanted surface is shorter than on the horizontal surface. From this, it was suggested that the force of the force of the backward domino pushing the forward domino was much greater on the inclined surface than on the horizontal surface.

Keywords: domino, propagation velocity, inclined surface

1 はじめに

ドミノ倒しは、幼年期の知育や芸術の面で利用されるだけでなく、波の伝搬を可視化するための教材としても使われており、水平面上で伝播する際には等速直線運動をすることが知られている（杉山（2009）ほか）。

白井ら（2022）は、水平面上でドミノが倒れ始める際に注目し、ドミノが 5 個目まで急激に加速し、14 個目まで加速を続けた後、等速直線運動になることを報告している。

一方、傾斜面上でのドミノの運動については、（筆者が知る限り）全てのドミノが倒れるまでの時間から速さについて調べた研究（市川ら（2012））があるものの、そのメカニズムについては示されていない。

本研究の目的は、傾斜面上のドミノの運動を明らかにすることである。

2 実験

使用するものは、プラスチック製の日本ドミ

ノ協会公認ドミノ（厚さ×幅×高さ=0.8 cm×2.3 cm×4.6 cm）である。ドミノが木材の床面を滑り、倒れ方にばらつきが出るのを防ぐため、テープをドミノに貼り、1 方向にのみ倒れるようにする。

次に、1 つ目のドミノを倒す際にドミノに加わる力が一定になるように、紐の先に金属球を取り付けた振り子を準備する。その最下点から水平方向に 3 cm の位置に 1 個目のドミノを置き、50 個のドミノを 1.6 cm 間隔で並べる（この間隔は、市川ら（2012）や白井ら（2022）と同じ間隔である）。

そして、5 個おきのドミノの伝播速度を測定する。振り子が 1 個目のドミノに当たる瞬間から 5 個目のドミノが 6 個目のドミノに衝突する瞬間までの区間を「区間①」とし、同様にして 45 個目のドミノが 46 個目のドミノに当たる瞬間から 50 個目のドミノが 51 個目のドミノに当たる瞬間を「区間⑩」とする。倒れていくドミノと時計をスローカメラで撮

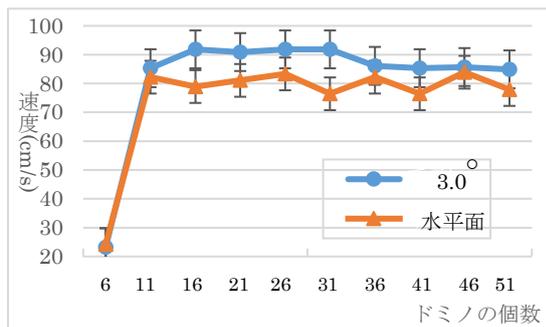


図2 ドミノの伝播速度



図1 実験装置

影し、その映像から時間を読み取る(図1)。

水平面となす角が 3.0° の傾斜面上で 15 回、 1.5° の傾斜面上で 13 回、水平面上で 10 回実験を行い、平均値と標準偏差を求め、グラフを作成する。

3 結果

水平面と 3.0° の傾斜面上でのドミノの伝播速度の測定結果を図2に示す(1.5° の結果は示さない)。水平面上では、11 個目まで加速度運動をし、その後、おおよそ 80cm/s の速度で等速直線運動をしていた。一方、 3.0° の傾斜面上では、16 個目まで加速度運動をし、その後、おおよそ 90cm/s の速度で等速直線運動をしていることが分かった。両者を比較すると、16 個目と 31 個目において有意な差が存在していた。また、傾斜面上では 36 個目付近で減速する傾向が見られた。

4 考察

3 節より、水平面上よりも傾斜面上を倒れる方が、伝播速度が大きくなった。この結果は、市川ら(2012)の結果と矛盾しないことが確認された。

ドミノの伝播速度は、ドミノに加わる重力と後方のドミノからの力積の2つの要因によって変化すると考えられる。

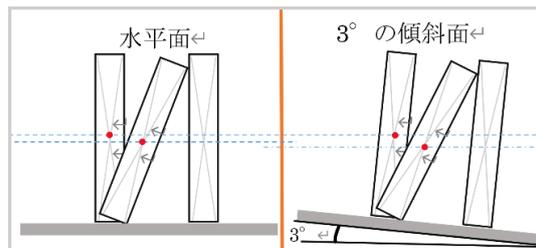


図3 ドミノの重心位置の変化

重力による影響について検討するために、後方のドミノが倒れ始める瞬間と、2つのドミノが接触する瞬間で、後方のドミノの重心位置が鉛直方向にどの程度変化するか調べた(図3)。その結果、水平面上を倒れる場合の重心位置は、鉛直方向に 0.040mm 下がるのに対して、 3.0° の傾斜面上では 0.048mm 下がることになり、傾斜面上の方が重心位置が大きく変化することが確認できた。ドミノが持つ位置エネルギーの減少分が運動エネルギーに変換されると考えると、傾斜面上のドミノの方が重心位置の下がり幅が大きいため、ドミノが倒れる速度(回転速度)も大きくなると考えられる。

一方、後方のドミノによる力積は、後方のドミノが前方のドミノを押す力と2つのドミノの接触時間の積で求められることから、映像を分析し、水平面上と傾斜面上での2つのドミノの接触時間について調べた。その結果、11 個目のドミノでは、水平面上で 0.33 秒、傾斜面上で 0.31 秒となり、接触時間だけで見ると、傾斜面上の方が小さな値となった。水平面上よりも傾斜面上の方が加速すること(図2)を後方のドミノの力積のみで説明しようとする、傾斜面上の方が水平面上よりも力積が大きくなければならない。しかし、接触時間は逆の傾向を示すので、傾斜面上で後方のドミノが前方のドミノを押す力が、水平面上よりもかなり大きくなることが示唆される。今後、後方のドミノが押す力を測定して、力積の変化について明らかにすることが求められる。

また、傾斜面上でのドミノが減速する傾向が見られたことから、ドミノを置いていた木材の台と水平面のなす角を調べた。36 個目付近では水平面に対して 2.8° の傾きになっていたことから、傾斜面上のドミノの減速傾向は、木材のたわみによって生じている可能性が高いことが分かった。

5 結論

傾斜面と水平面上でドミノの伝播速度について調べたところ、傾斜面上を倒れるドミノは16個目まで加速し、その後等速直線運動をしていた。水平面上のものよりも加速する時間が長く、速度も大きいことが分かった。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導いただいた柿木康児教諭、佐々木修教諭、小野寺俊哉教諭、大変ありがとうございました。

参考文献

・市川翔太、内田療、鈴木沙絵（2012）：ドミノ倒しの研究, 平成 24 年度岐阜県立恵那高等学校課題研究サイエンスリサーチⅢ論文一覧, <http://school.gifu-net.ed.jp/ena-hs/ssh/H24ssh/sc3/31211.pdf> (参照 令和 5 年 8 月 1 日)