

ドミノ倒しの失敗をなくせ！～ドミノの倒れ方と倒れる速さを調べる～

岐阜大学教育学部附属小中学校 6年2組 香田佳耶

動機

私は4月から学校のドミノクラブに入っています。たくさんドミノを並べて倒すときはとてもワクワクして、きれいに倒れた時は胸がスカッとします。失敗して倒れなかったときはガッカリです。途中のドミノが1個だけ倒れずに残っていると、どうしてこの1個だけが？と思ったり、場所によって早く倒れたりゆっくり倒れたりしているように見えることがあり目の錯覚かな？と思ったりしました。ドミノの並べ方や間隔で倒れ方や倒れる速さが違うのか調べてみたいと思いました。途中で倒れずに残る1個の謎にも迫りたいです。

方法

- 1 ドミノクラブから借りた大小2種類のドミノの大きさ・重さ・倒れる角度を調べ、どの間隔でも倒れるか調べる
- 2 長さを決めていろいろな間隔でドミノを並べ、個数や倒れる時間を比べる
- 3 曲げて並べたり、上り坂・下り坂で倒れる時間を比べる

結果

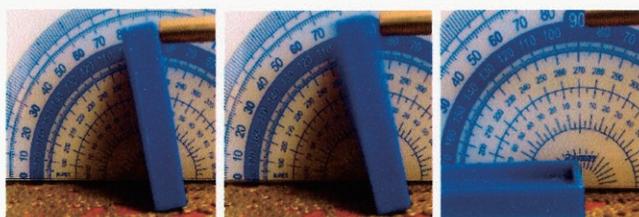
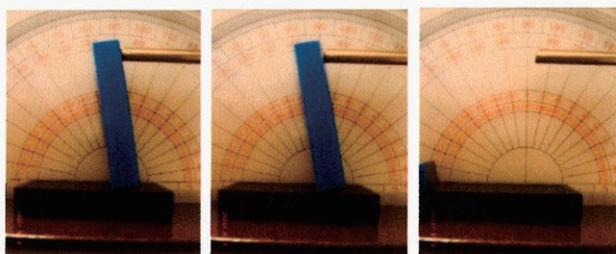
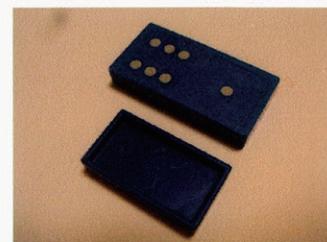
1 ドミノの大きさ(10個の平均)

大 高さ46.2mm×横幅23.2mm×厚さ8.1mm 重さ8.2g

小 高さ35.2mm×横幅19.4mm×厚さ7.0mm 重さ1.8g

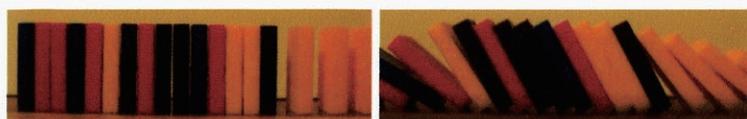
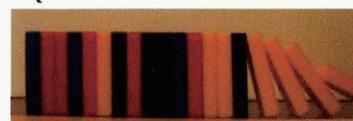
倒れる角度

大小とも 10度で倒れました



どの間隔でも倒れるか

(直接倒すと力が一定にならないので、手前に10mm間隔で5枚のドミノを並べて倒しました)
間隔なし(0mm)は倒れませんでした



1mm以上の間隔は倒れました。間隔が狭いと次のドミノに当たる角度が10度より小さくなりますが、止まらずに倒れ続けることが不思議でした。



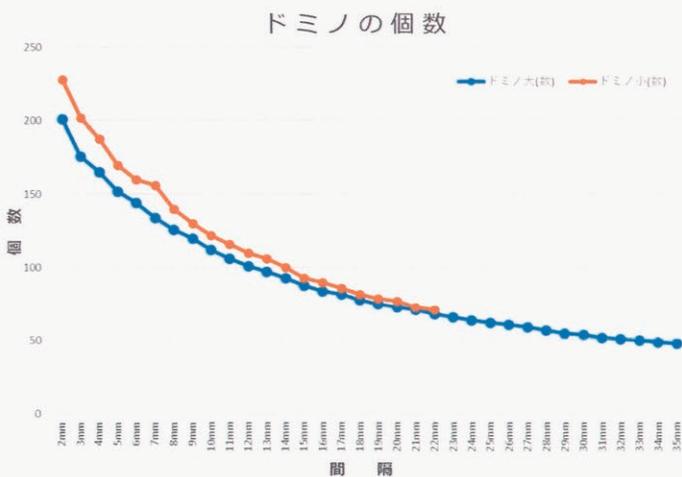
40mm間隔では5個までしか倒れませんでした。



ドミノの高さ以上の47mm間隔では最初の2個だけ倒れました。

2 全長は2mで行いました。撮影した動画をホームビデオの編集ソフト(1秒間に30画像)で確認し1/100秒になおして時間をもとめました。3回失敗した(途中までしか倒れなかった)ところで終了し、その前の間隔までの結果をまとめました。(借りた個数が足りなくて1mmはできませんでした)

| 間隔 | ドミノ大(個) | ドミノ小(個) | ドミノ大(秒) | ドミノ小(秒) | 間隔 | ドミノ大(個) | ドミノ小(個) | ドミノ大(秒) | ドミノ小(秒) |
|------|---------|---------|---------|---------|------|---------|---------|---------|---------|
| 2mm | 201 | 228 | 3.16 | 3.57 | 19mm | 75 | 79 | 2.17 | 3.07 |
| 3mm | 176 | 202 | 2.4 | 2.77 | 20mm | 73 | 77 | 2.2 | 3.3 |
| 4mm | 165 | 188 | 2.2 | 2.7 | 21mm | 71 | 73 | 2.27 | 3.57 |
| 5mm | 152 | 170 | 2.17 | 2.83 | 22mm | 68 | 71 | 2.3 | 3.73 |
| 6mm | 144 | 160 | 2.13 | 2.77 | 23mm | 66 | | 2.33 | |
| 7mm | 134 | 156 | 2.14 | 2.83 | 24mm | 64 | | 2.34 | |
| 8mm | 126 | 140 | 2.06 | 2.77 | 25mm | 62 | | 2.4 | |
| 9mm | 120 | 130 | 2.13 | 2.77 | 26mm | 61 | | 2.4 | |
| 10mm | 112 | 122 | 2.1 | 2.9 | 27mm | 59 | | 2.5 | |
| 11mm | 106 | 116 | 2.1 | 2.73 | 28mm | 57 | | 2.53 | |
| 12mm | 101 | 110 | 2.11 | 2.73 | 29mm | 55 | | 2.6 | |
| 13mm | 97 | 106 | 2.1 | 2.83 | 30mm | 54 | | 2.67 | |
| 14mm | 93 | 100 | 2.13 | 2.8 | 31mm | 52 | | 2.87 | |
| 15mm | 88 | 93 | 2.14 | 3 | 32mm | 51 | | 3.1 | |
| 16mm | 84 | 90 | 2.13 | 2.87 | 33mm | 50 | | 3.3 | |
| 17mm | 82 | 86 | 2.16 | 2.87 | 34mm | 49 | | 3.42 | |
| 18mm | 78 | 82 | 2.17 | 3.1 | 35mm | 48 | | 3.56 | |



間隔と個数

大小とも間隔が広がると個数が減りました。2mm 間隔では大小で 27 個あった差が 22mm 間隔では 3 個になりました。間隔が広がると個数がほぼ同じになることがわかりました。

間隔と倒れる時間

大小とも、間隔が狭くても広くても倒れる時間が長くなりました。同じ間隔では大のほうが短時間で倒れました。小では時間にばらつきがありました。高さは 3/4 くらいですが重さが 1/5 と軽いことが関係しているかとも思いました。

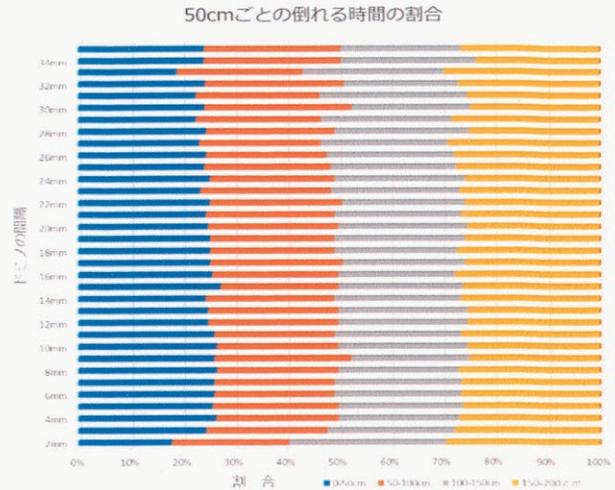
大では 8mm の間隔(※1)が最短の 2.06 秒ですべて倒れました。計算すると 8mm 間隔では時速約 3.5Km で、一番遅い 35mm 間隔(※2)では時速約 2.0Km でした。ドミノの倒れる速さは人が普通に歩く速さからゆっくり歩く速さくらいでした。

間隔と失敗

大では間隔が 30mm、小では 20mm を超えると、途中でストップして最後まで倒れない失敗の回数が増えました。大小とも、そのくらいから急に時間が長くなりました。

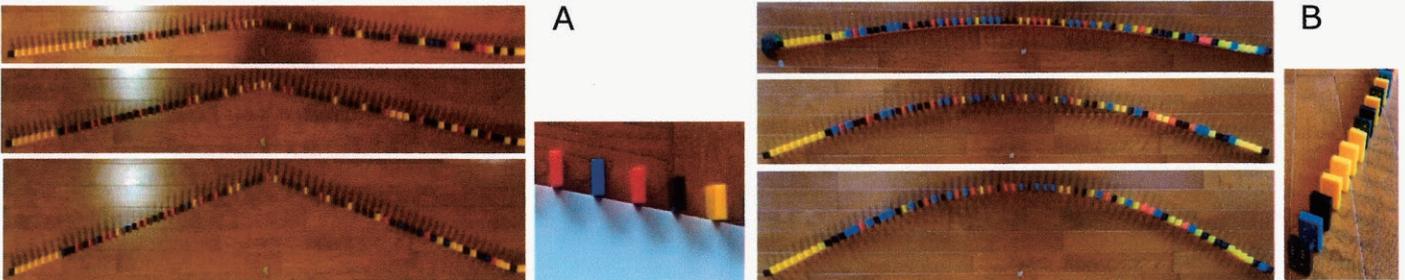
50cmごとの倒れる時間

2mを四つに分けて、ドミノ大のそれぞれの時間を比べると、どこも同じくらいの時間でした。倒れる速さははじめもおわりも一定であることがわかりました。



3 曲げて並べる

写真のようにドミノ大 20mmの間隔(※3)で 2種類の曲がり方(真ん中で 10・20・30・40 cmふくらむ)で倒れる時間を調べました。左の写真(A)は全長 2m 以上ですが真横から見ると間隔もドミノの個数もまっすぐ並べた時と変わらず、倒れる時間は同じだろうと予想しました。右の写真(B 曲げた金属のメジャーに沿って 2m並べました)は全長と間隔が同じなので倒れる時間は同じだろうと予想しました。



A は真ん中のふくらみが大きくなるほど倒れる時間が長くなりました。真横から見ると、どのふくらみでもドミノの間隔と個数は同じですが、倒れる時間が違うことが不思議でした。B は予想通りふくらみに関係なく倒れる時間はほぼ同じでした。

| ふくらみ | A(秒) | B(秒) |
|------|------|------|
| 0cm | 2.2 | 2.2 |
| 10cm | 2.2 | 2.17 |
| 20cm | 2.27 | 2.23 |
| 30cm | 2.37 | 2.2 |
| 40cm | 2.9 | 2.17 |

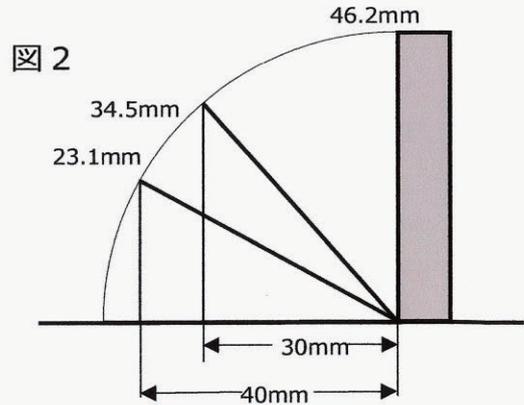
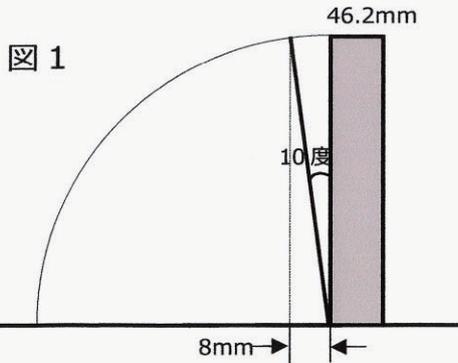
斜面で並べる

写真のように 2度 4度 6度の斜面を作り、ドミノ大 20mm の間隔で上りと下りの時間を測定しました。上りでは角度が大きくなるほど倒れる時間が長くなり、下りでは角度が大きくなるほど短くなりました。下り坂で前への傾きが大きくなるほど、ドミノは倒れやすくなり倒れる時間も短くなると思うので予想通りの結果でした。上りはその逆で納得できました。



| 角度 | 時間(秒) | 時間(秒) |
|----|-------|-------|
| | 上り | 下り |
| 0度 | 2.2 | 2.2 |
| 2度 | 2.33 | 2.2 |
| 4度 | 2.4 | 2.1 |
| 6度 | 2.44 | 2.07 |

考察



ドミノ大が倒れる場合を図で考えました。

10度で倒れるので図1のように8mm以上の間隔が必要だと思っていました。1mm間隔で倒れたあとの写真を見ると、すき間なく重なるように倒れているので、手前の何個かのドミノの重さによって倒されていくのではないかと思いました。2mm間隔の動画(※4)を何度も見直すと20mm間隔ではたたと倒れていく時とちがい、前に進む力で音もなく次々と倒れていく様子がわかります。その力が最初の1個を倒した10mm間隔5個分の弱い力から始まり3秒で2m伝わることに驚きました。夏休みに入ったころ20年前の明石市の花火大会の日に歩道橋で起きた事故のニュースを見ました。動けないくらいに人が集まっていると、どこかで誰かがつまづいて倒れたことが次々に人が倒れていく原因になるとしたら、似ていると思いました。

倒れる間隔と次のドミノのどの高さ当たるかを図2で考えました。ドミノ大で、倒れる時間が急に長くなる30mm間隔では34.5mmの高さで当たっていました。これはドミノの高さの74.7%でした。ドミノ小では20mm間隔から倒れる時間が急に長くなり29mmの高さで当たっていることから82.4%とドミノ大と比べ高いことがわかりました。ドミノの大きさや重さによって違いがあることがわかりました。

物が倒れることには重心が関係します。重心がドミノの中央にあると考えると23.1mmの高さに当たる間隔は40mmでした(図2)。40mm間隔では5個のドミノだけ倒れたので重心の近くに当たると次のドミノが倒れにくくなることがわかりました。

ドミノ大で間隔が30mmの動画(※5)を見るとドミノが倒れずに立ったまま滑るように次のドミノにぶつかる様子がみられました。

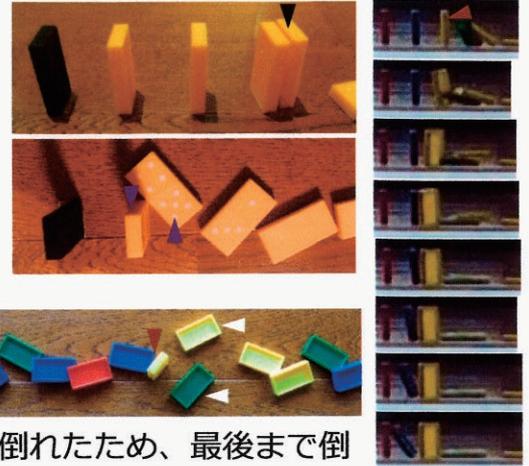
①

②

③



① 青矢印で赤のドミノが倒れ始めてから3つ先の黄のドミノが倒れ始めるまで4/30秒(1個4/90秒)です。①②赤矢印でさらに3つ先の赤のドミノが倒れ始めるまで6/30秒(1個1/15秒)で1.5倍の時間がかかりました。②では黄のドミノが倒れ始めますが、その後倒れずに立ったまま前に滑り、赤のドミノと一緒に黒のドミノを前に押し出し、黒のドミノが赤のドミノを倒しました(③緑矢印)。間隔が広くなると(ドミノ大では30mm以上)このような「滑り倒れ」が起こることが、急に時間が長くなる原因と考えられました。失敗した例では「滑り倒れ」が「滑り倒れず」となって33mm間隔のとき途中で止まってしまいました(黒矢印)。



そのほかの失敗は次のドミノと違う方向に倒れ、ぶつからなかったために起こったと考えました(紫矢印)。ドミノ小22mm間隔(※6)の時いろいろな方向にドミノが倒れ(白矢印)途中で1個だけ倒れない黄のドミノ(茶矢印)がありました。この時は滑ってぶつかって次の青のドミノが倒れたため、最後まで倒れました。途中で倒れず残る謎の1個は、まっすぐ倒れなかったドミノが次のドミノに「滑り倒れず」を起こし、さらに偶然次のドミノを倒すときに起こることがわかりました。

今までの結果をまとめて考えると、最初のドミノが倒れて2番目のドミノに当たる高さが、確実にまっすぐ3番目のドミノを倒す方向に向かうと、ドミノの倒れる速さはドミノの間隔によらず一定になるのではと思いました。今回使ったドミノ大ではその高さがドミノの高さの約75%でした。それより下に当たると次のドミノを前に押し出したり、斜め方向に倒すようになるのだと思います。「く」の字型に曲げて並べた実験で、真ん中でのふくらみが大きくなると倒れる時間が長くなったのは、ドミノどうしの重なりが少なくなり、ドミノの倒れる力がまっすぐ次のドミノの方向に向かわなかったことが原因かもしれません。重心より下(ドミノの高さの50%より下)に当たると途中で失敗すると思いました。

間隔が狭くなった時に時間が長くなる理由はわかりません。並ぶドミノの個数が多くなるので時間がかかるかということそうではありません。ドミノ大で4mm間隔(ドミノ165個)と20mm間隔(ドミノ73個)の時間が同じだからです。理由は学校のドミノクラブで皆と一緒に考えたいです。ドミノ倒しの失敗は途中で倒れないドミノが出ることです。これからはドミノ大では30mmドミノ小では20mm以上の間隔をあげないように注意すると失敗が減ると思いました。

5 まとめ

倒れずに残る1個の謎が解けました。間隔をいろいろ変えてドミノを並べてみて、確かにドミノの倒れる速さに違いがあることがわかりました。ドミノの倒れる速さが人間の歩く速さくらいであるとわかり、ドミノ倒しのゲームをより身近に感じました。歩いて速さ比べをしたら楽しいと思います。1mm間隔の時間や36mm間隔以上を100回並べて成功する確率やグラフの先がどうなっていくかも知りたいです。間隔をあげ過ぎないことと、なるべくまっすぐ次のドミノを並べることが失敗しない方法だとわかったので、これからのクラブ活動に生かしたいです。コロナで夏休みが延長して登校できないので一日でも早くクラブ活動ができるとうれしいです。

YouTubeのリンクです。倒れる動画を見てください。(※1)<https://www.youtube.com/watch?v=59WBZ46RdEI>

(※2) <https://www.youtube.com/watch?v=BOEJIFnXGE> (※3)<https://www.youtube.com/watch?v=GZOk8dRiSX4>

(※4) <https://www.youtube.com/watch?v=-3U7Qgxwsi0> (※5)<https://www.youtube.com/watch?v=MazItrcFVQE>

(※6) <https://www.youtube.com/watch?v=Qjx4hG2tprs>