

転がる速度はなぜ物体によって違うのか

愛知県安城市立篠目中 3年 外山達也

1. 研究の動機

ある日、坂を歩いている時誤って水筒を落としてしまった。水筒はしばらくの間坂を転がって止まった。学校の授業で、物体が落下する時の速さは物の重さに関係なく、常に同じであることを習ったが、転がる速さも重さによって変わらないのだろうか。その時の水筒の中の動きに興味を持ち、詳しく調べたくなった。

2. 研究の目的

物体が斜面を転がる時の速さは、重さや中身の種類など、何によって変化するのか、また物体が転がるにはどのような力が働いているのか知るため。

3. 物体の回転に関する仮説

転がる実験において、以下の仮説を立てた。

仮説①: 転がる速さは、物体の重さや中身の状態によっては変化する。

仮説②: 転がる速さと物体の重量は比例する。

仮説③: 中身が液体で転がる時間を遅くするには、粘度を変えれば良い。

この仮説を検証するため以下の実験を行った。

4. <実験 1> 身の回りにある缶詰を用いた実験

1) 進め方

食品缶や飲料缶など身の回りにある円筒物を用いて、斜面上の一定距離を転がるのに要する時間を測定し、どのような違いがあるかを調べた。

2) 実験に用いた缶詰および斜面

・ライトツナ

メーカー/SSK 社、内容量/105g



・ミックスビーンズ

メーカー/コープ社、内容量/160g



・スイートコーン

メーカー/K&K 社、内容量/230g



・カルピスサワー

メーカー/カルピス社、内容量/360g



・ビール(のどごしく生)

メーカー/麒麟社、内容量/360g



・トマト(完熟カットトマト)

メーカー/デルモンテ社、内容量/460g



・パイナップル(パイナップル スライス)

メーカー/ドール社、内容量/520g



・斜面

木製板、

30cm × 80cm

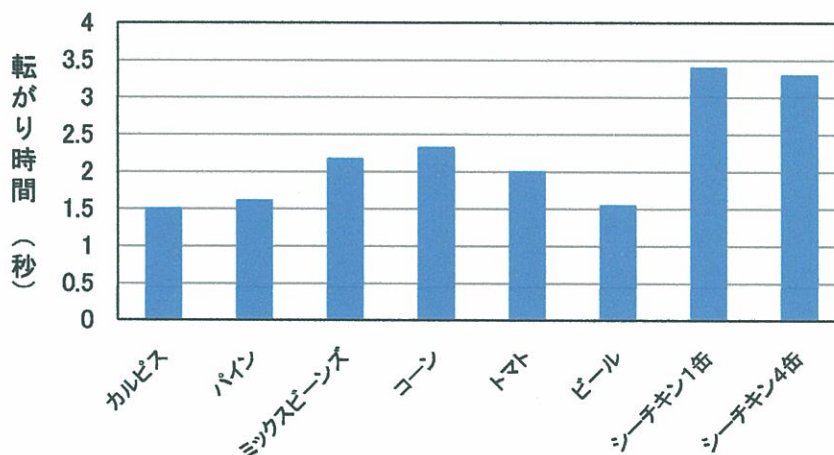


3) 実験方法

- ① 転がすための板(横30cm × 縦80cm)の片方の高さを5cm上げ、傾斜角度5° の斜面を作る。
- ② 斜面の上端から缶詰を転がし、ゴール(上端から70cm の地点)を通過するまでの時間を測定する。
- ③ 同じもので3回ずつ実験を行い、平均値を計算する。

4) 実験・観察の結果

転がる時間に関する実験結果を図1に示す。



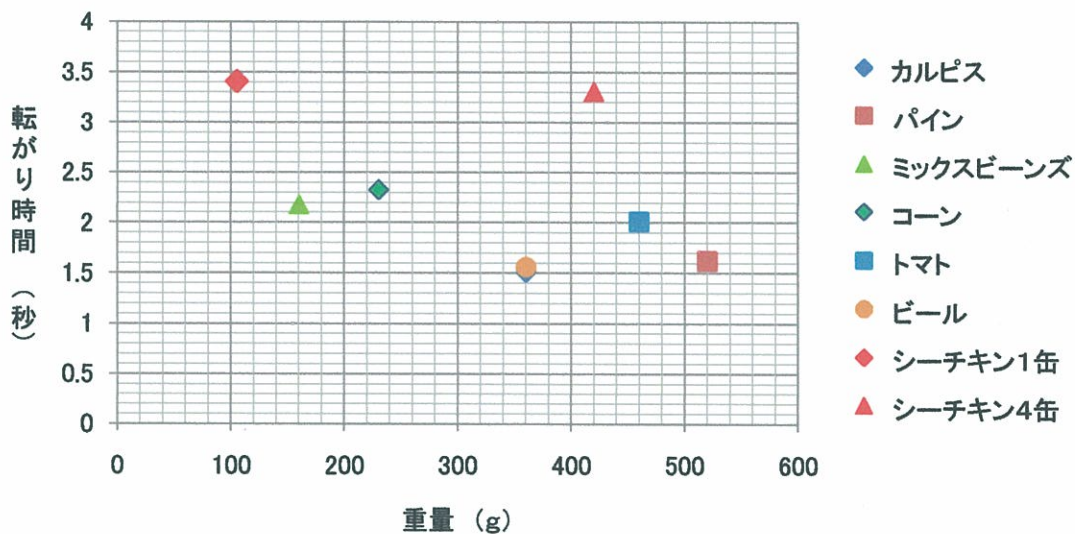


図1 缶詰の転がる時間

5) 考察

- ・シーチキンは1缶でも4缶でも、速さがあまり変わらない。
- ・重さに関係なく、中身が固形のシーチキンより、中身が液体のカルピスの方が転がる速度が比較的速い。転がる速さには重さには関係ない事が分かった。

5. <実験2> 液体と固体を用いた比較実験

1) 進め方

缶詰の代わりに透明な容器に液体(水)や固体(ビーズ)を入れ、転がる速さを比べた。また、転がる途中の写真を撮影し、中身の様子の違いを観察した。

2) 準備した器具

・円筒型ガラス容器



・ビーズ玉(樹脂製)



3) 実験方法

透明なフタ付きの丸い容器に水を入れ、水の量を変えながら転がる時間を調べた。次に、水の代わりにビーズ玉を入れて同じ実験を行った。

4) 実験・観察の結果

転がる時間に関する実験結果を表1、2および図2に示す。

また、斜面の中央付近でのそれぞれの容器の様子を写真1に示す。

表1 水を入れた容器の転がる時間

水の重さ (g)	容器の重さ (g)	合計 (g)	転がる時間(秒)			
			1回目	2回目	3回目	平均
0	250	250	1.69	1.75	1.75	1.73
50	250	300	1.66	1.62	1.66	1.65
100	250	350	1.66	1.66	1.56	1.63
150	250	400	1.5	1.6	1.53	1.54
200	250	450	1.47	1.47	1.44	1.46
250	250	500	1.37	1.4	1.47	1.41

表2 ビーズを入れた容器の転がる時間

ビーズの重さ (g)	容器の重さ (g)	合計 (g)	転がる時間(秒)			
			1回目	2回目	3回目	平均
0	250	250	1.69	1.75	1.75	1.73
35	250	285	1.97	2.34	2.25	2.19
70	250	320	3.31	3.63	3.25	3.40
105	250	355	4.81	4.65	4.59	4.68

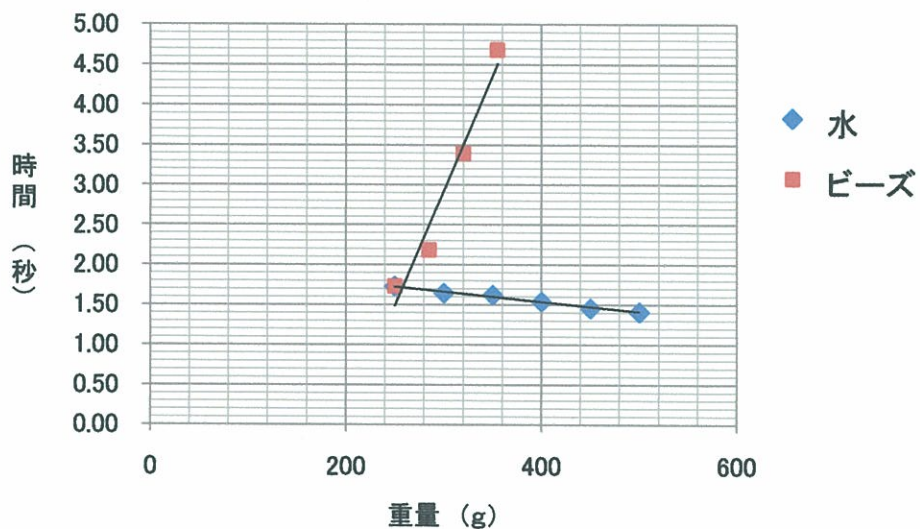


図2 水やビーズの転がる時間

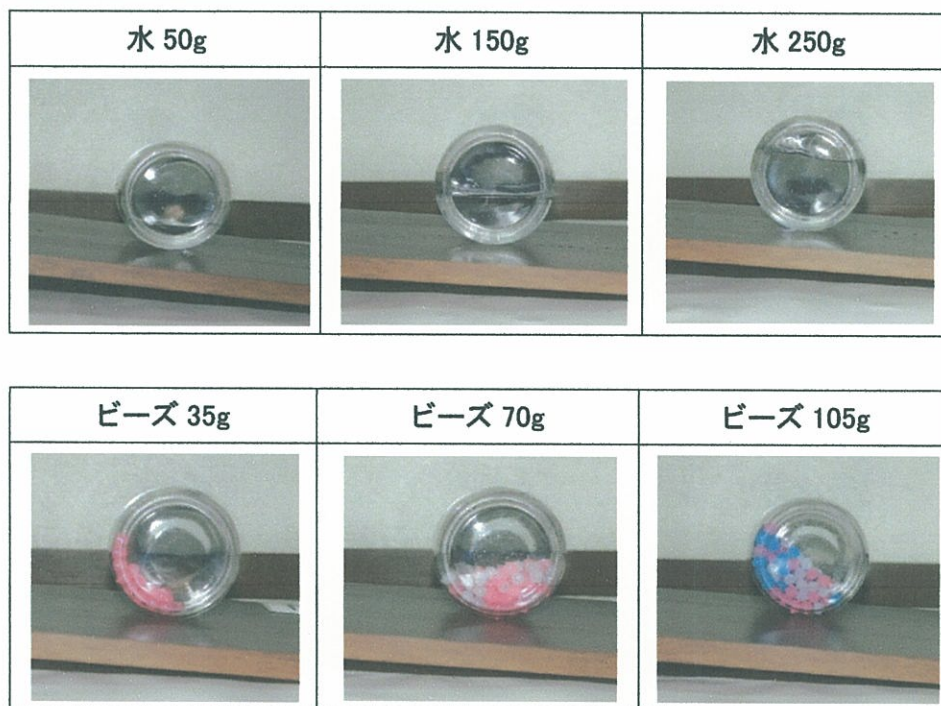


写真1 水やビーズの回転途中の様子

5) 考察

- ・同じくらいの重さの水とビーズを比べると、水の方が速く回転する。
- ・シーチキンとカルピスを使った実験と同様、中身が固形のビーズより液体の水の方が速く回転する。
- ・水は重くなるほど回転がやや速くなるが、ビーズは重くなるほど回転が遅くなる。
- ・水が転がる時、水面は傾かず床にほとんど水平のままであるのに対し、ビーズは転がっている時、容器と一緒にビーズ全体が左右に振り子の様に振れながら転がっている。
- ・ビーズは転がり始めた時、ゴロンゴロンとゆっくり不規則に回転し、斜面の途中で加速するうちに、だんだんスムーズに転がるようになった。

6. <実験3> 液体と固体の混合状態での実験

1) 進め方

固体は液体より転がりにくいですが、中身をスムーズに移動させることが出来れば、固体でも速く転がるのかを確かめた。

2) 準備した器具

<実験2>と同じ

3) 実験方法

<実験2>で使用した透明な容器に水とビーズを同時に入れ、それぞれの量を変化させて転がる時間を調べた。

4) 実験・観察の結果

転がる時間に関する実験結果を表3および図3に示す。

表3 水とビーズを同時に入れた容器の転がる時間

水の重さ (g)	ビーズの数 (個)	転がる時間(秒)			
		1回目	2回目	3回目	平均
50	30	1.78	1.72	1.9	1.80
50	60	1.88	2.09	1.97	1.98
50	90	3.07	2.62	3.09	2.93
100	30	1.56	1.85	1.81	1.74
100	60	1.75	1.75	1.85	1.78
100	90	1.94	1.9	1.97	1.94

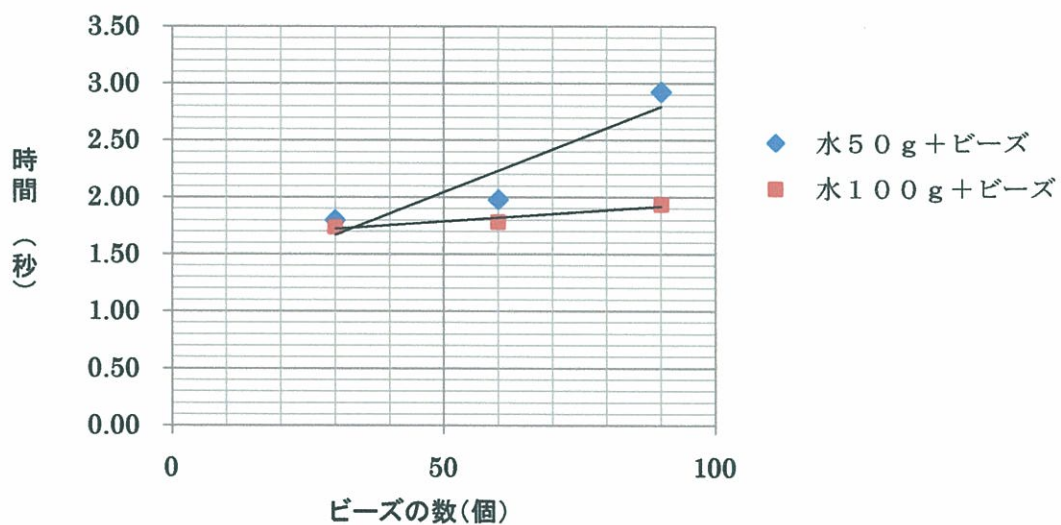


図3 水とビーズを同時に入れた容器の転がる時間

5) 考察

- ・水の量が少ない時は、ビーズの数をふやしていくと転がる速度が遅くなる。
- ・速度が遅い時のビーズの様子は、水が無い時と同様にゴロンゴロンと不規則に回転していた。
- ・水の量が多いとビーズを90個にしても最初からスムーズに転がる。

・文献などに書かれていることから、以下のことが分かる。

(1) 斜面を転がる運動におけるエネルギーの変化

物体の重心が持っている位置エネルギー
⇒ 回転するためのエネルギー + 前進するためのエネルギー

(2) 同じ高さから転がしたとき、最初の位置エネルギーは一定である。しかし、回転するために多くのエネルギーが使われると前進するためのエネルギーは小さくなり、転がる速さは遅くなる。

	液体	固体
回転するためのエネルギー	小 (回転していないのでほぼゼロ)	大
前進するための運動エネルギー	大	小
転がる速さ	速い	遅い

(3) 固体が転がる時は、容器とともに中身も一緒に回転しながら転がるために、回転に余分な力が必要となり、転がる速さが遅くなったと思われる。

7. <実験4> 粘度の異なる液体を用いた実験

1) 進め方

これまでの実験で液体は固体に比べて回転する速度が速いことが分かったが、同じ液体でも粘度の違いによって転がる速度が変わるのかを調べた。

2) 実験に使用したもの

蜂蜜／(株)日本ゆずレモン SS 社製「はちみつレモン」

容器は<実験2>と同じガラス容器

3) 実験方法

蜂蜜と水の量を変化させながら合計100ccの液体を作り、それぞれの液体が転がる時間を調べた。ここで、液体の粘度を表す数値として、直径約5mmのストローを使ってそれぞれの液体を1cc吸い上げた後、落下するまでに要する時間を用いることとした。

また、斜面を転がる際の液体の様子を写真撮影し、図4に示す部位の距離を回転中の液面の高さとして測定して液体の落下時間との関係で整理した。

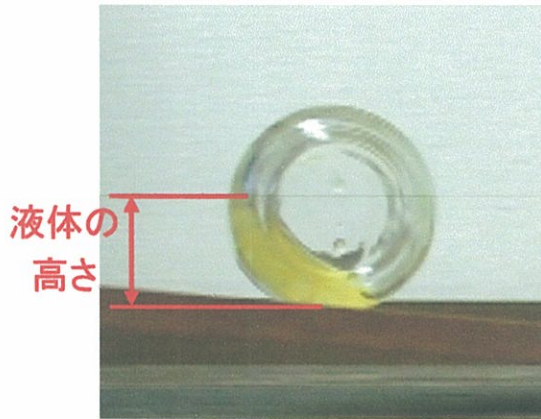


図4 液体の高さに関する測定部位

4) 実験・観察の結果

液体の落下時間、回転中の液の高さ、転がり時間の測定結果を表4に示す。このうち、粘度の大きさを表す液の落下時間と回転中の液の高さの関係を図5に、また、液の高さと転がり時間の関係を図6にそれぞれ示す。

また、斜面中央付近での回転中のそれぞれの容器の様子を写真2に示す。

5) 考察

・液体でも粘度を増加させることによって回転中の液の高さは上昇し、それによって転がり時間も長くなる傾向になった。つまり、粘度の高い液体はビーズなどの固体と同じ様に、回転するのに余分な力を必要とするため転がりにくくなり、転がり時間が増加すると考える。

表4 粘度を変えた液体を用いた実験結果

水 (cc)	蜂蜜 (cc)	合計 (cc)	液の落下時間 (秒)	液の高さ (mm)	転がり時間(秒)			
					1回目	2回目	3回目	平均
100	0	100	0.08	35.6	1.68	1.56	1.58	1.61
50	50	100	0.13	37.5	1.64	1.72	1.73	1.70
25	75	100	0.4	44.2	2.03	1.95	2.01	2.00
5	95	100	1.47	47.5	2.2	2.13	2.17	2.17
0	100	100	5	55.56	2.26	2.22	2.2	2.23

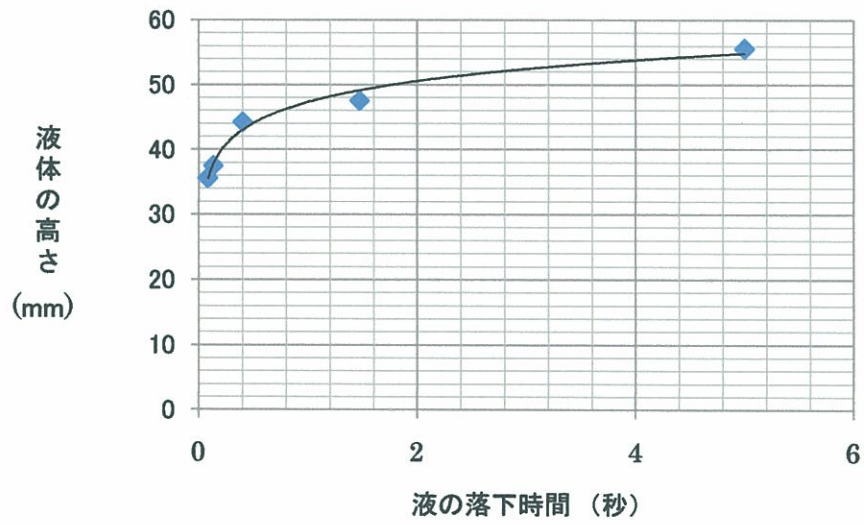


図5 液の落下時間と回転中の液体高さ

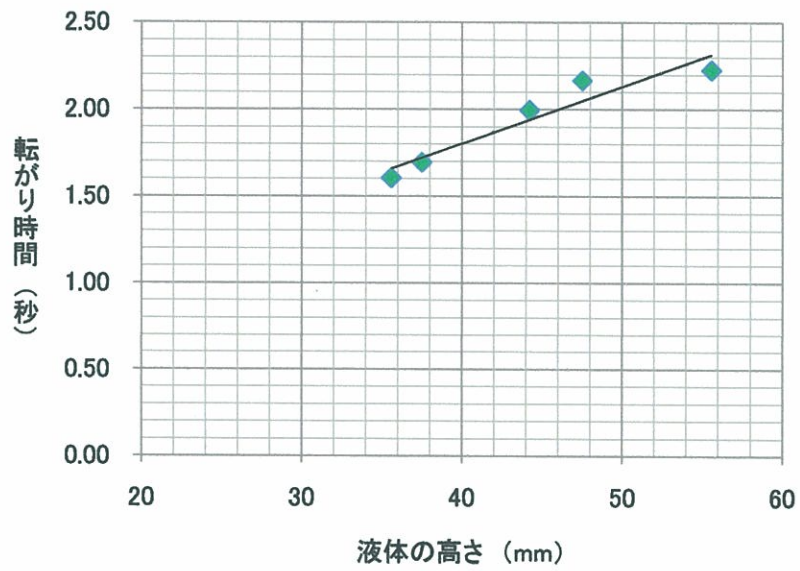





図6 回転中の液体高さ と転がり時間

水 100cc 蜂蜜 0cc	水 50cc 蜂蜜 50cc	水 25cc 蜂蜜 75cc
		

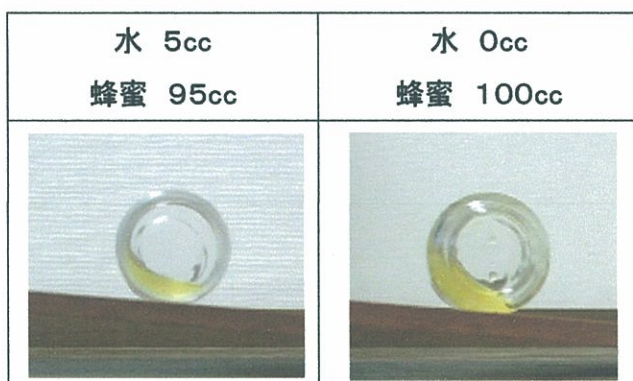


写真2 水と蜂蜜を混ぜた液体の回転途中の様子

8. まとめ

- ・仮説①において、転がる速さは物体の重さや中身の状態によって変化すると考えたが、缶詰や水、ビーズを用いた実験から、重さに関係ないが、中身の状態によって変化することが分かった。すなわち、同じ重量でも、固体のビーズより液体の水の方が速く回転することが分かった。
- ・仮説②において、転がる速さと物体の重量は比例すると考えたが、結果は全く関係のないものだと分かった。ただし、実験2で水を用いた場合、重量の増加に伴い転がる速さは増加した。これは、水の量が増えたことで重心の位置が高くなり、位置エネルギーが増加したためと考えられる。今回の実験ではこのことに関して検証する事はできなかったが、今後機会があれば、理由を明確にしていきたい。
- ・仮説③に対しては、予想通りの結果になったが、今回液体の粘度を測定するのに大変苦労した。また、転がる最中の液体の状態を写真撮影したが、そこから液面の高さを測定するには非常に時間を費やした。しかし、その甲斐もあり、貴重なデータが得られたので良かったと思う。
- ・この実験を通して、物体が転がるという現象においては重心が移動せず、安定している場合に速く転がることに気付いた。今後、物体の重心の移動について着眼し実験していきたい。まだ分からない事がたくさんあるので、探求していきたいと思う。

9. 参考文献

- (1)「お茶の間 仮説実験 ころりん」
島野公利 他 楽知ん研究所
- (2)「Quizで分かる物理」
大上雅史 ベレ出版
- (3)「スーパー理科辞典」
恩藤知典 他 受験研究社