

物体の回転落下運動における 落下距離と回転量の関係

班員 香川 廉斗 瀬口 慎太郎 中谷 未来 羽田 雄栄
担当教諭 井藤 龍真

キーワード：回転落下、マーフィーの法則

An experiment was conducted to elucidate the relationship between the amount of rotation of an object and its falling distance. As a result, the equation for the relationship between the amount of rotation and the falling distance was $\theta = \sqrt{405h}$, regardless of the mass of the object to be dropped.

1 はじめに

私たちは、「マーフィーの法則」⁽¹⁾を基に、
物体の回転落下運動における落下距離と
回転量の関係に着目した。

本研究は、物体の回転落下運動の仕方、
法則性について検証し、落下距離と回転量の
関係を知ること、その関係からすべての物体に
共通している一般式、法則性を見つけることを
目的としている。

(参)マーフィーの法則とは

「落としたトーストがバターを塗った面を
下にして着地する確率は、絨毯の値段に比例す
る」というもの。ただし、マーフィー自身の
ただの経験則であり、研究や理論に基づいて
いるものではない。

2 材料と方法

◎ 実験 1

(材料) • 20cm 間隔で目盛りを付けた
スケール (図 1)
• 落下させる物体
→ 厚さ 1.5 cm, 1 辺 13.0 cm の正方形
(実際のトーストの形状を基にした)
質量 191g、厚紙を重ねたもの、
密度は一様 (図 2)

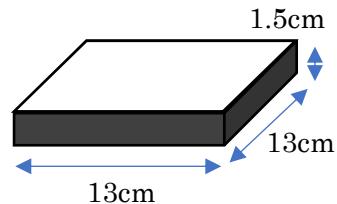
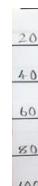


図 1 スケール

図 2 落下物

- (方法) 1 物体に加速度が加わらないように
少しづつ押し、物体を落下させる
2 真横からスロー撮影
3 動画から角度を計測 (図 3)
4 2, 3 を 20 cmごとに 10 回繰り返し
落下距離と回転量を計測し、平均化
した
5 横軸を落下距離(cm)、縦軸を回転量
(°)としたグラフを作成

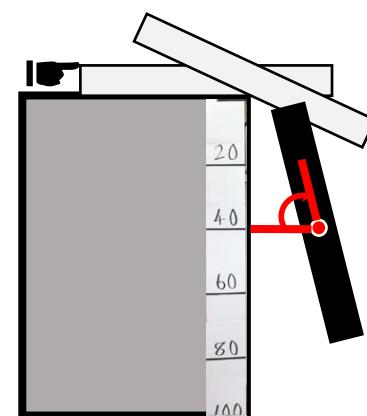


図 3 落下時

〈角度の計測の仕方〉

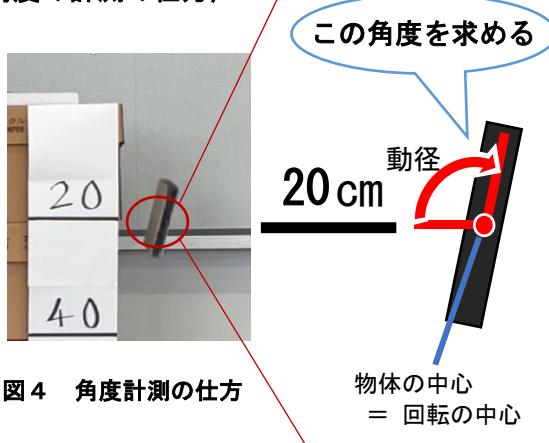


図4 角度計測の仕方

◎ 実験2

(材料)・落下させる物体

→質量 42g、形状は実験1同様
(厚さ 1.5cm、一辺 13.0cm の正方形)
中が空洞になっている
・20cm 間隔で目盛りを付けたスケール

(方法) 実験1と同様

3 結果

◎ 実験1

表1の結果となった。落下時の面に影響を及ぼすと思われる 90 度付近毎の値に注目すると 20cm で 96 度、80cm で 182 度（半回転）180cm で 272 度、320cm で 360 度（一回転）となった。落下距離 (h cm) と回転量 (θ 度) の間には階差数列の規則性があると考えて以下の数式を導き出した。

$$(1) \quad h = 20 \left(\frac{\theta}{90} \right)^2$$

また、この式を θ について解くと、以下の数式が得られた。

$$(2) \quad \theta = \sqrt{405h}$$

表1 実験1の落下距離と回転量の関係

落下距離(cm)	20	40	60	80	100	120	140	160
回転量(度)	96	122	160	182	207	228	241	250
落下距離(cm)	180	200	220	240	260	280	300	320
回転量(度)	272	274	281	299	322	331	349	360

また、結果から得られたグラフは図5のようになつた。青の点線で示した箇所は 90 度付近毎での記録を表したものである。赤点の上下の幅は 10 回の試行の標準偏差を表している。このグラフに(2)式を当てはめてみると図6のグラフとなつた。

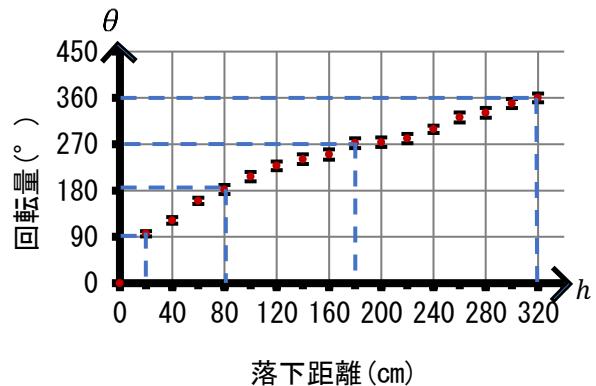


図5 191g の物体の落下実験

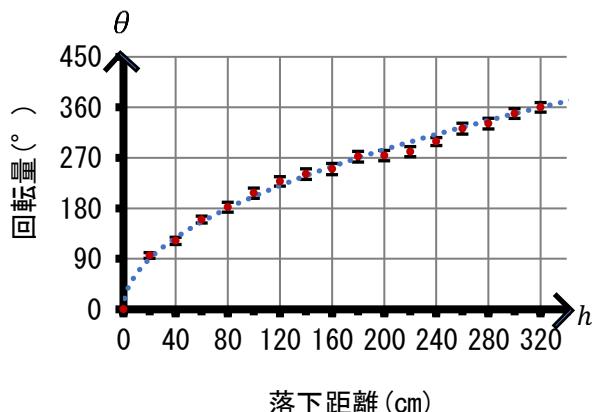


図6 図5に(2)式を重ねたグラフ

◎ 実験2

表2の結果となった。実験1同様 90 度付近毎の値に注目すると、20cm で 96 度、80cm で 185 度（半回転）となった。140cm を超えると空気抵抗の影響が大きく、落下が不規則になり、10回の回転量の値に大きな幅が生じたため、空気抵抗の影響をあまり受けなかつた 120cm までの計測とした。また、結果から得られたグラフは図7のようになつた。実験1同様に、赤点の上下の幅は標準偏差を表している。

表2 実験2の落下距離と回転量の関係

落下距離(cm)	20	40	60	80	100	120
回転量(度)	96	137	160	185	217	232

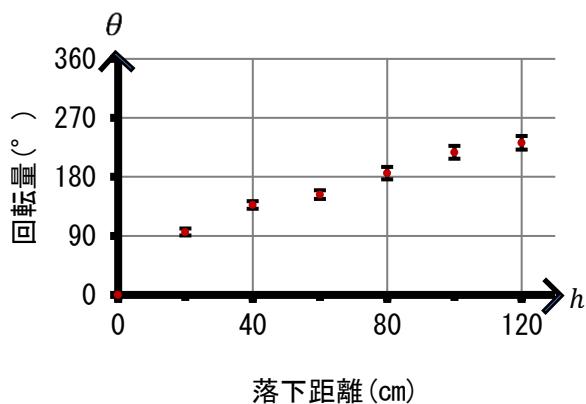


図7 42gの物体の落下実験

4 考察

(考察1)

191gの物体を用いた実験1と42gの物体を用いた実験2で得たグラフを重ね図8を作成した。黒い点は実験1の結果、赤い点は実験2の結果を示している。これらのグラフの比較から物体は空気抵抗に依存せず、落下距離によって変化すると考えた。また、実験によって得た数式 $\theta = \sqrt{405h}$ は物体の質量が変化しても共通していると考えた。

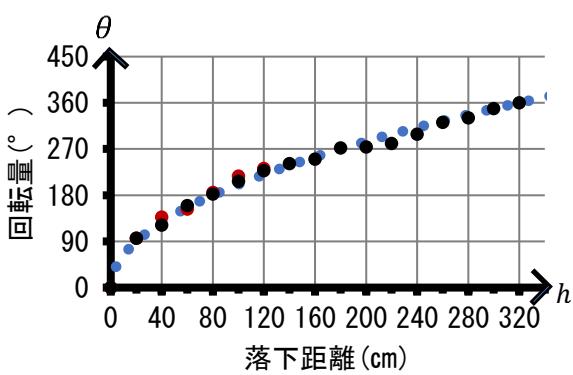


図8 実験1と実験2のグラフの重ね合わせ

(考察2)

さらに、物体の回転を等速円運動であると仮定し、 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 、 $\theta = \omega t$ という2式を用いて、tを消去することによって

$$\theta = \sqrt{\frac{2\omega^2 h}{g}} = \omega \sqrt{\frac{2}{g} \times h}$$

という式を得た。

この $\theta = \omega \sqrt{\frac{2}{g} \times h}$ の式より、角速度 ω が変化することによって物体の回転落下運動における落下距離 h と回転量 θ の関係式が変化するのではないかと考えた。

(考察3)

本研究は実験を通して考察したのに対して、先行研究は数式を用いて理論的に考察していた。先行研究では、「通常のテーブルを使用したとき、ほとんどの場合にバターを塗った面が下になって着地し、バターを塗った面を上にして着地させるためには高さ3メートル以上のテーブルを使うべきだ」という結論を出していた。この「通常のテーブル」は高さ70cm～72cmを示しており、トーストの落下距離が70cm～72cmであったことを表している。また、「バターを塗った面が下になること」はトーストの回転量が約180度であったことを表している。そして、先行研究にある「バターを塗った面を上にして着地させるためには高さ3メートル以上のテーブルを使うべきだ」ということに関してはトーストの落下距離が300cm以上、回転量が約360度であったことを表している。本研究で得られた結果は、物体の落下距離が80cmのときに回転量は182度、落下距離が320cmのときに回転量が360度になるというものであった。したがって、本研究結果は先行研究の結果と一致したと言える。

5 今後の展望

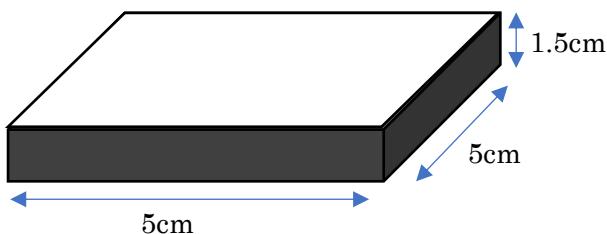
物体の角速度が変化する要因になりそうな大きさ、形状、重心の要素を変えて実験をより多く行い、全ての物体に適用できる一般式を導き出したい。また、それを応用して物体の落下運動をスマホの落下にみたて、スマホを落とした時の衝撃の抑え方を見つけたいと考えている。

6 今後の展望の検証

具体的に落下させる物体の(1)大きさや(2)形状(3)重心を変えて追加実験を行っていく。

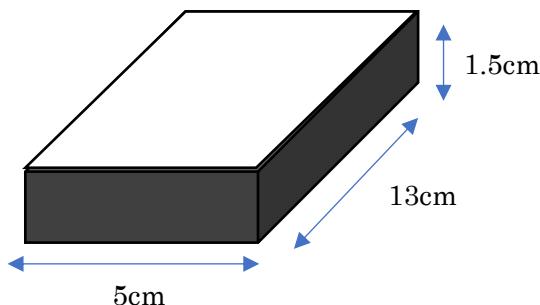
(1) 大きさの検証

一辺 13cm の正方形から 5cm に変更



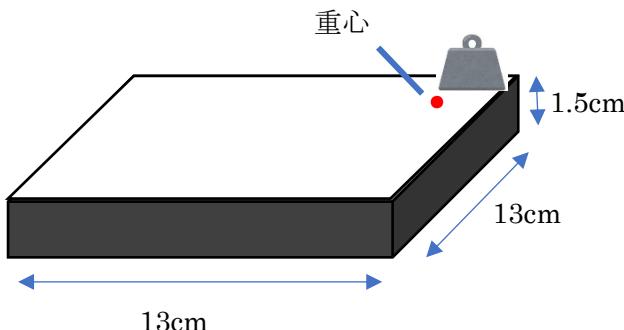
(2) 形状の検証

正方形から長方形に変更



(3) 重心の検証

重心中心以外の部分に変更



※おもりなどを物体の角に付け加えることによって、元々中心に存在する重心を角側に存在するように変化させる。

7 参考文献

- (1) R. A. J. Matthews, 1995, Tumbling toast, Murphy's Law and the fundamental constants *Eur. J. Phys.* 16 172.