

コマを探る

3605 大鋸勇斗 3620 芹澤龍征 3630 水野雄太

要旨

より長く回るコマを製作するために、コマが長く回る条件を調べた。初めに円盤の重いコマと円盤の軽いコマを作り、円盤が重いコマのほうが長く回ることが分かった。最後にコマの円盤の重さの位置が、コマの回転時間どう関係するのかを調べ、重さを軸から離れた方がよく回ることを実証した。

1. 目的 コマが長く回る条件を調べ、より長く回るコマを製作する。

2. <実験1 質量が重いコマと軽いコマの回転時間を調べる実験>

1 目的

重いコマと軽いコマとで、どちらが長く回るか調べる。

2 仮説 重いコマのほうが長く回る。

3 使用した器具・装置

ビー玉、単三電池、CD、ストップウォッチ、接着剤

4 方法

単三電池をコマの軸にして、軸先にビー玉をつける。

そしてCDに電池を通してコマをつくり回る時間を調べる。

コマを用いて、CDにマジックで印をつけ、スローモーションカメラで撮る。5秒間の回転数を調べる。

同じパーツでできた、同じ形状の金属製ベイブレードと

プラスチック製ベイブレードを用いて、同じ実験を行う。

また、ランチャー（ベイブレードを回す機械）で回すので

印により正確に結果が得られる。またランチャーは手で回す。



図1 手作りコマ



図2 金属ベイブレード(左)
プラスチックベイブレード(右)

5 結果

表1 回転時間 [s]

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
重いコマ	25.56	17.65	24.46	21.12	22.7
軽いコマ	15.77	9.56 ※	17.96	15.44	16.39

※このデータは省く

表2 回転数 [回/s]

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
重いコマ	6.6	7.0	7.6	35	7.1
軽いコマ	8.6	9.0	9.4	10.2	9.3

表3 回転時間 [s]

	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
金属製	145	150	128	148	143
プラスチック製	38	40	37	39	39

6 考察

- ・表 1,3 から重いコマの方が長く回ることが分かった。よって実験 1 の仮説は検証できた。
- ・方法②と①を比べて長く回るコマの方が 1 秒あたりの回転数が少なかったことから、回転速度が遅い分長く回るのではないかと考えた。

3. <実験 2 質量比に伴うコマの回転時間を調べる実験>

1 目的

コマのどの部分の重さが、長く回ることに関係するのかを調べる。
これをもとに測定の条件をより正確にして、長く回るコマの条件を決定する。

2 仮説 軸も円盤も重いコマの方が長く回る。

3 使用した器具・装置

ベイブレード、スタンド、滑車、ストップウォッチ、ランチャー、おもり

4 方法

- ①重いコマと軽いコマで回転時間を計測する。このために市販のベイブレードを用い、重りを用いてランチャーを定力で引いて回す。(図 3)
- ②部品を組み替えた 4 つの実験 (表 4) を比較する。

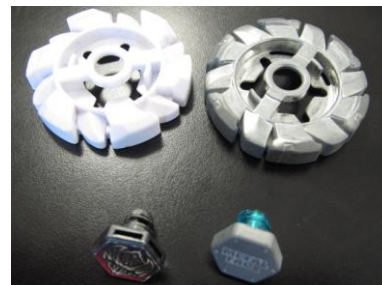


図 3 質量が違う円盤と軸

表 4 円盤と軸の質量

軸 \ 円盤	8.8 g	34.1 g
3.4 g	実験 B	実験 A
7.1 g	実験 D	実験 C

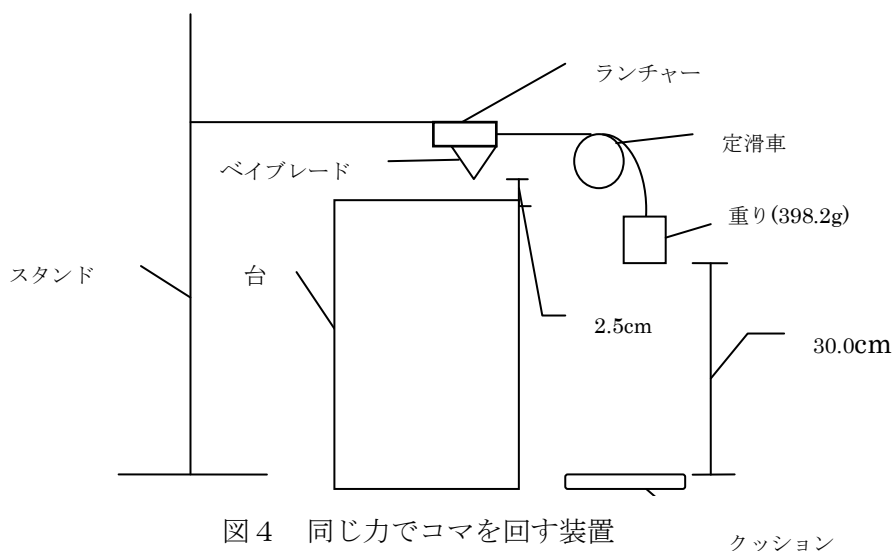


図 4 同じ力でコマを回す装置

5 結果

表 5 質量比と平均時間

	実験 A	実験 B	実験 C	実験 D
質量比(円盤/ 軸)	10	2.6	4.8	1.2
平均時間 [s]	25.9	13.6	18.4	5.7

6 考察

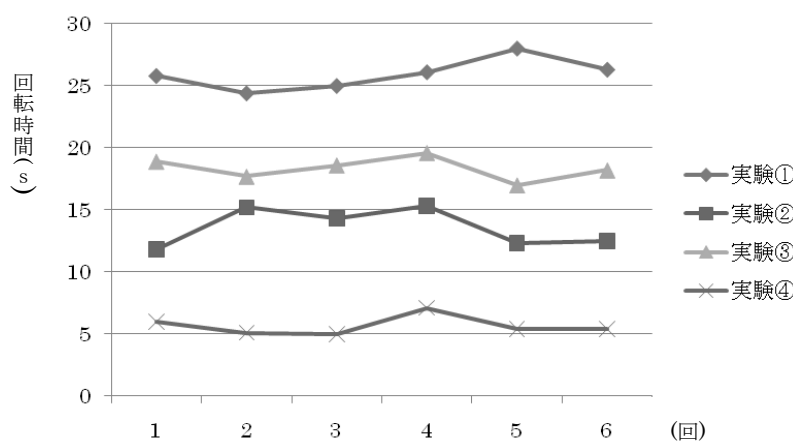


図5 質量比の異なるコマの
回転時間のグラフ

グラフからコマは重いほど長く回るのではなく、円盤が重いほど長く回る。また、軸が重いほど回転時間が短い。つまり、軸に対する円盤の質量比が大きいほど長く回ることが分かる。さらに実験1の結果の結果と異なり、どの部分が重いかによって回転時間が違ったため、実験2の仮説は成立しないことも分かった。

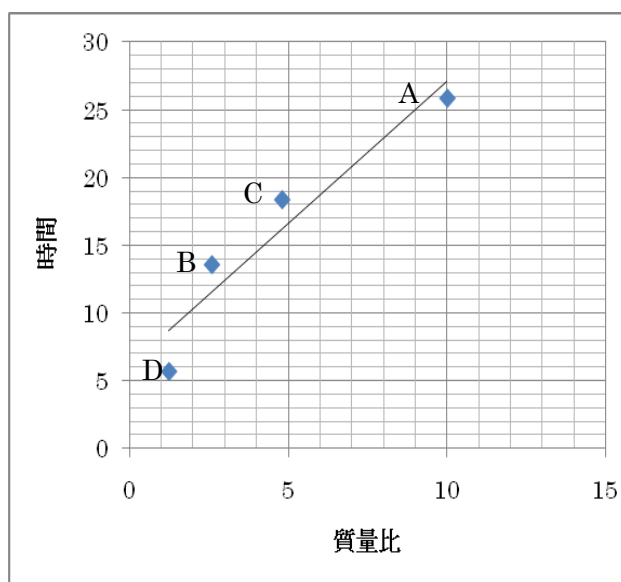


図6 質量比と回転時間

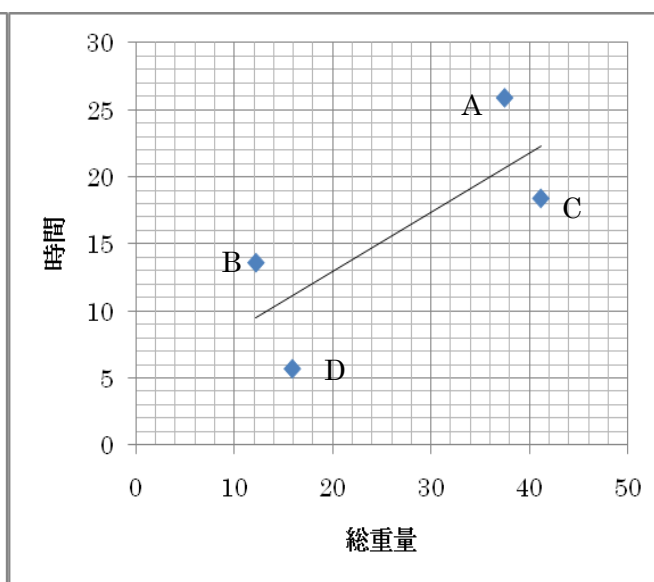


図7 総重量と回転時間

このグラフから軸に対しての円盤の質量比が大きいほど長く回ることが分かった。また、質量比と回転時間には、明らかに相関があると考えられる。この直線は、およそ $y=2x+6$ になりペイブレードの場合はこの直線上どおりに回ると考えられる。総重量と回転時間には相関がないことも見て取れる。

4. <実験3 長く回るコマを自作する>

1 仮説 おもりが軸から遠いコマが長く回る。

2 手順

①軸の地面との接触面の先端を釘にして、なるべく摩擦をなくす。

②CDにつけるおもりの位置を変え、コマの回り方を調べる。

コマA：おもりを中心から4.5cmの同心円状に並べた。

コマB：おもりを中心から2.5cmで同心円状に並べた。

③計15回、回転する時間を計測した。

同時に動画も撮影し、1秒間の回転数を調べた。

3 使用した器具、装置

CD、マジック、15mm ナット、釘、接着剤、ストップウォッチ

4 結果

表6 自作コマの回転時間[s]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	21.18	23.92	18.76	21.03	21.39	18.39	23.86	21.45	21.40
B	13.20	11.20	10.24	9.30	12.00	11.09	12.35	15.60	11.49

10	11	12	13	14	15	平均
22.96	16.80	26.05	23.71	16.45	21.95	21.30
13.26	10.63	16.66	11.96	13.96	10.21	12.08

(平均は最小値最大値を除いた値)

5 考察

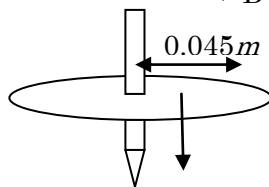
- ・コマBは、あまり安定して回らず、前後左右に大きく揺れていたのにもかかわらず、安定して回ったコマAよりも長く回った。
- ・コマAは歳差運動(自転している物体の回転軸が円を描くようにして振れる現象)が大きく、歳差運動の時間が長い。歳差運動はコマの自転に対して、円盤に下向きの力が加わることで生じる。
- ・この歳差運動について考察する。

重り1個の質量を $m[\text{kg}]$ とし、円盤のおもり1個による力のモーメントは $M = F[\text{N}] \times r[\text{m}]$ より

$$\text{コマ A } M_A = 9.8m \times 0.045 [\text{Nm}]$$

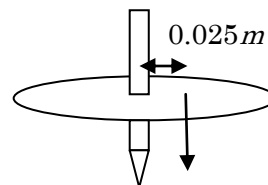
$$\text{コマ B } M_B = 9.8m \times 0.025 [\text{Nm}]$$

$$\therefore \underline{M_A / M_B = 1.8 (\text{倍})}$$



$9.8m[\text{N}]$

コマA (おもり外側)



$9.8m[\text{N}]$

コマB (おもり内側)

これより、コマAの方がおもりによるモーメントが大きい。よってコマAは歳差運動が起きやすいと考えられる。

<実験3の追加実験>

回っているコマを観察すると、コマBの方が1秒間に回る速度が遅く見えた。

よってスローモーションビデオで回転するコマを撮影し、1秒間あたりの回転数を調べた。(下表)

表7 1秒間の回転数 [回/s]

	1	2	3	4	平均
コマA	5.6	6.5	7.2	7.0	6.58
コマB	8.2	9.8	9.6	9.0	9.15

- コマの重りが内側に付いている方(コマB)が速く回った。
- 同じ力でコマを回しても、コマの重りが中心から離れているほうが、重り自身が長い距離同じ時間で移動しているため、その分多く角運動量をもっていると考えられる。
- 角速度 $\omega = \Delta\theta / \Delta t$ 円運動の速度 $v = r\omega$ 角運動量 $L = mvr$ より、
(Δt : コマが一回転する時間 m : 質量 ω : 角速度(一秒間に回転する角度)
コマA、Bの質量は等しく、ともに $m[\text{kg}]$ とする。A、B各結果を代入する。

$$\begin{aligned} \text{コマA:} \quad 2\pi &= \omega \times (1/6.58) \quad \omega = 2\pi/0.15 \quad \therefore v = 0.045 \times 2\pi/0.15 = 0.60\pi \\ \therefore L_A &= m \times 0.60\pi \times 0.045 = \underline{0.027\pi m [\text{Nms}]} \end{aligned}$$

同様にして

$$\text{コマB:} \quad L_B = \underline{0.011\pi m [\text{Nms}]} \quad \therefore L_A / L_B = \underline{2.5 \text{ (倍)}}$$

- コマは重りの慣性により外力の影響を受けなければ回り続ける。しかし、実際に軸と地面との摩擦や空気抵抗により角運動量を失うため、いずれ止まってしまう。コマA、Bともに形状は同じであるため、外力の受け方が同じになり、失う角運動量が一定と考えられる。ここは今後検証する必要がある。
- 仮に同じように角運動量を失うと、コマAの方が全角運動量を失うためには長い時間が必要である。すなわち長い時間回ると考えた。しかし、おもりを円盤の外側に置き過ぎると、歳差運動が大きくなり長い時間回らなくなってしまう。

5. <実験4 質量比と重心を変えたコマの実験>

1 目的 最も長く回るコマを作る

2 仮説 実験2と同様軸に対しての円盤の質量比が大きいコマほど長く回る。

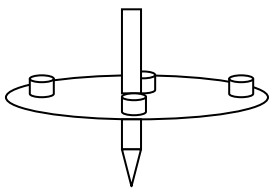
3 使用した器具

CDマジックペン、釘、磁石、接着剤、ストップウォッチ

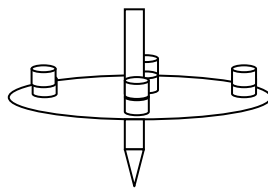
4 手順

軸に対する円盤の質量を変えた自作のコマを作り、まわした。円盤には、おもりとして磁石を同心円状においた。縦の数字は積み上げる個数。横の数字は同心円状におもりをおいた個数である。また、上、下というのは重心を変えるためにCDの裏表におもりをつけた実験である。

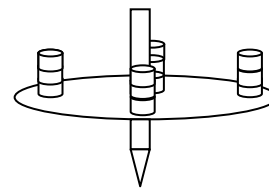
縦1横4



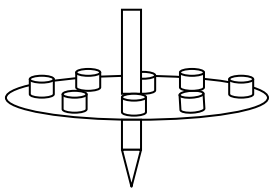
縦2横4



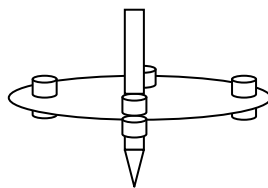
縦3横4



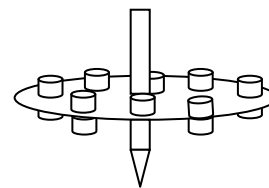
縦1横8



上4下4



上8下8



5 結果

表8 質量比と重心の異なるコマの回転時間

回	1	2	3	4	5
①縦1横4	50.18	47.78	48.05	46.92	48.95
②縦2横4	47.87	50.27	48.02	48.48	51.58
③縦3横4	37.05	37.53	38.27	42	39.98
④縦1横8	51.28	51.87	56.17	53.65	56.3
⑤上4下4	53.20	56.40	52.23	53.25	54.02
⑥上8下8	43.69	41.10	45.9	44.35	41.13

6	7	8	9	10	平均
49.15	48.68	48.62	44.53	44.78	47.9 秒
47.95	48.80	50.46	48.60	50.82	49.1 秒
42.78	44.55	43.73	42.43	42.05	41.1 秒
51.22	49.85	49.38	51.12	52.92	52.6 秒
53.45	56.3	53.9	57.88	57.72	55.1 秒
41.9	43.23	42.2	43.7	45.78	43.2 秒

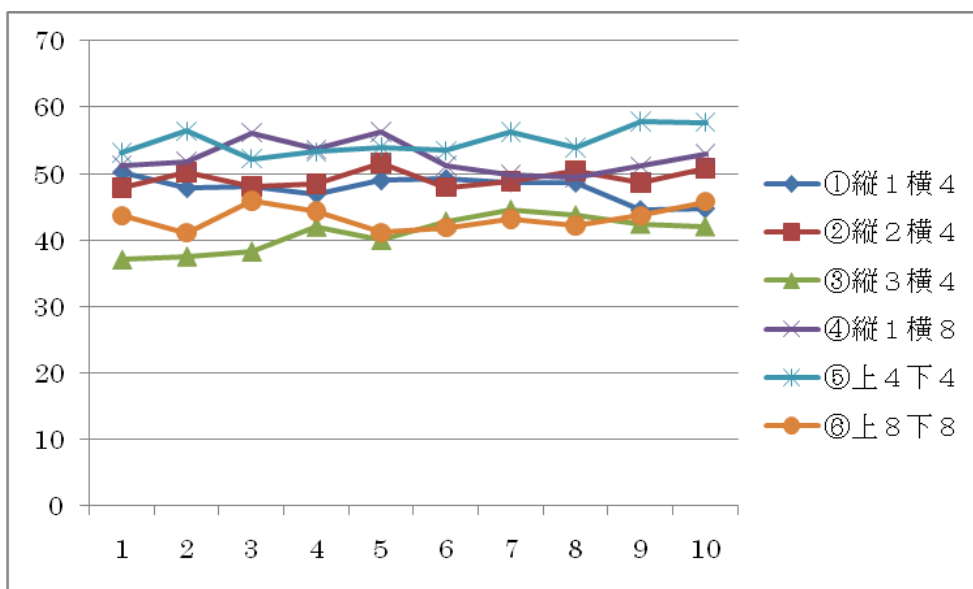


図8 質量比と重心の異なるコマの回転時間

6 考察

②、③を比較すると③の質量比が最も大きく、長く回るはずだが、②が長く回ってしまった。それは、おもりを積み上げていったために重心がずれてしまったのではないかと考えて、実験④、⑤を行った。すると、④、⑤ともに質量比が同じである②より長く回った。また、⑤より重心が低い④は長く回った。ここから、コマの重心は下にあるほど長く回るということが新たに分かった。

また、ここで上を8下を8にすれば、質量比の関係、重心の関係からも長く回ると思い、⑥を行ったがあまり長く回らなかった。この実験では手で回したため回す力の限度があるので重すぎて十分に回す力がコマに与えられなかったと考えたが、あくまで推測であり、研究を進めていく必要がある。

6. 全体の結論

以上から、より長くコマを回すためには、軸に対する円盤の質量を増やし、おもりを軸から離し、角運動量と回転のエネルギーを消費させるような外力の影響を減らすことが有効である。

よって実験3の仮説は検証されたと考えられる。しかし、コマの角運動量や回転のエネルギーと、コマの回転数や回転時間の詳しい関係についてははっきりと検証できていない。今後、さらに詳しく検証できる実験を考えて行いたい。

7. 参考文献

岐阜県立恵那高等学校 総合学習「コマをより長い時間回すには ～ つまようじコマの実験から ～ 」
小木曾 繪