

科学工作 必要時間:30分~1時間 対象:小学生低学年以上

# 地球回転ゴマと惑星ゴマをつくろう！

亀谷 收

日本宇宙少年団水沢2分団

活動日:2017年8月19日

関連活動実施日:

1回目:2010年1月16日

2回目:2016年5月7日

3回目:2017年8月19日



改訂:2017年12月8日、2018年10月27日

# 目的

- コマの回り方を知る。
- 普通のコマの首振り運動(歳差:さいさ)と地球や惑星の首振り運動は逆向きである事を知る。
- 地球や惑星の様に首振り運動するコマ(ここでは地球回転ゴマまたは惑星ゴマと呼ぶ)を実際に作ってみて、その原理を考える。
- 地球または惑星の姿をコマの丸い本体に描く事で、地球や惑星が丸い事を体感する。

# 材料(全て100円ショップで買えます。)

- コマ本体

紙のお椀(百円ショップで10個で100円程度で安く売っている。惑星の球の雰囲気が出るようになるべく奥が深いもの。)

- 台座

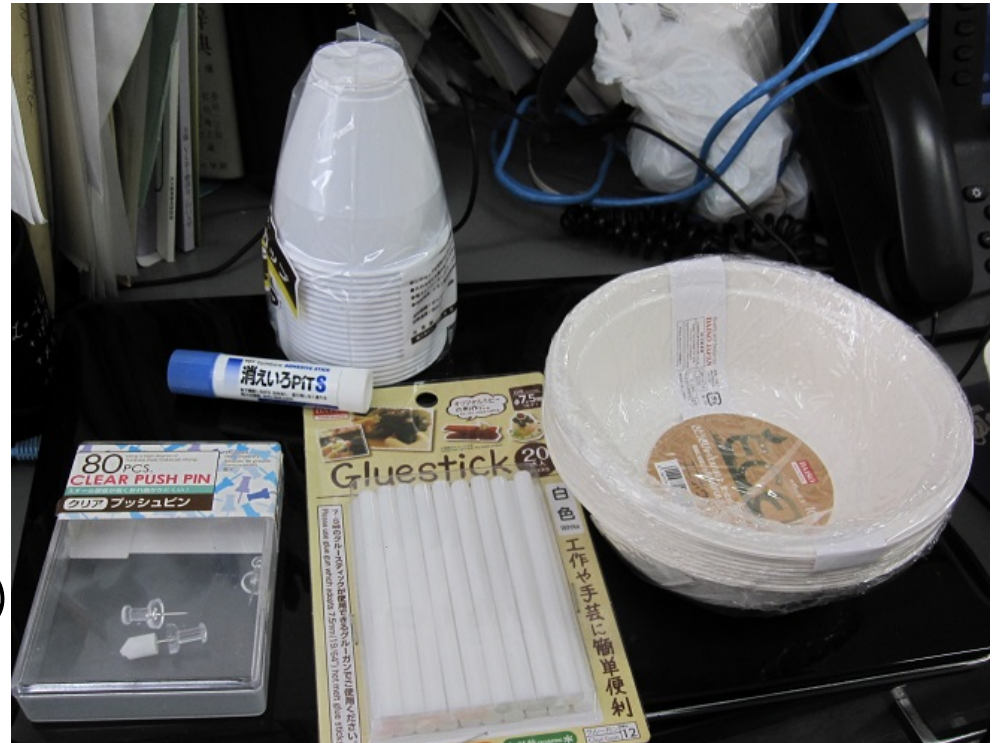
プラスチックのコーヒーカップ(百円ショップで20個で100円で安く売っている。なるべく底がすぼまっていて、真ん中が少し引っ込んでいるもの。)

- コマ軸

ピンを1個使用する。  
(百円ショップで80個で100円)

- その他用意する物

普通のコマ、色鉛筆、カラーマーカー、のり、Gluestick(プラスチックの棒)、等

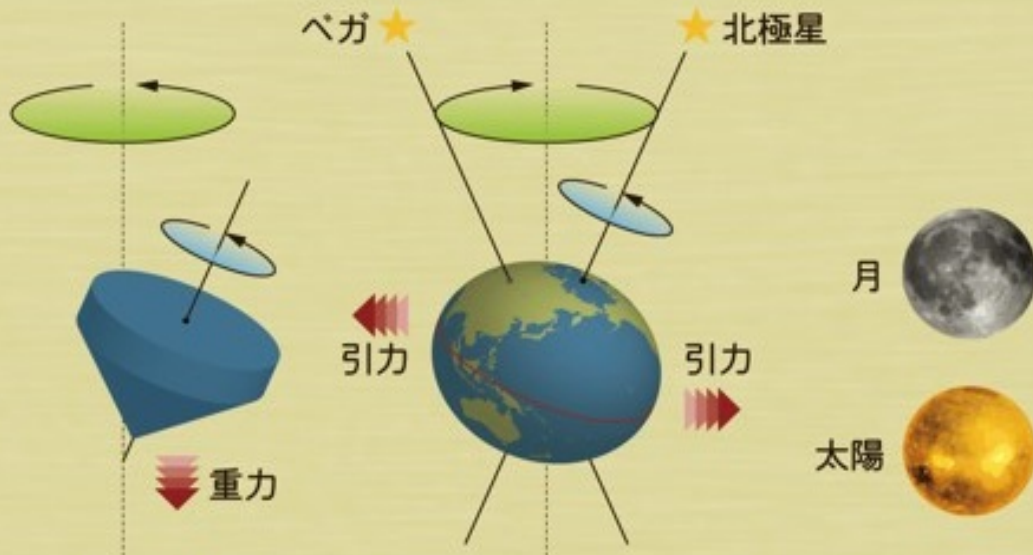


# コマと地球や惑星の首振り運動(歳差)の違い

- ・まずコマを回してみましよう。コマを上からみて反時計まわりに回してみましよう。(北極の上から地球を見た時、地球の自転は反時計回りなので、それに合わせるため。)この時、コマの首振り運動も反時計回りになります。
- ・一方、地球の首振り運動は、逆で、時計回りなのです。
- ・首振り運動の原因は、ジャイロ効果によります。コマの場合は、地球の重力がコマの軸を倒そうとするときに軸が直角の左向きに力を受けます。一方、地球の場合は、月と太陽により万有引力(正確には潮汐力)が軸を立てようとする向きに力を与えるので、軸が右向きに力を受けます。その違いで首振り運動の向きが

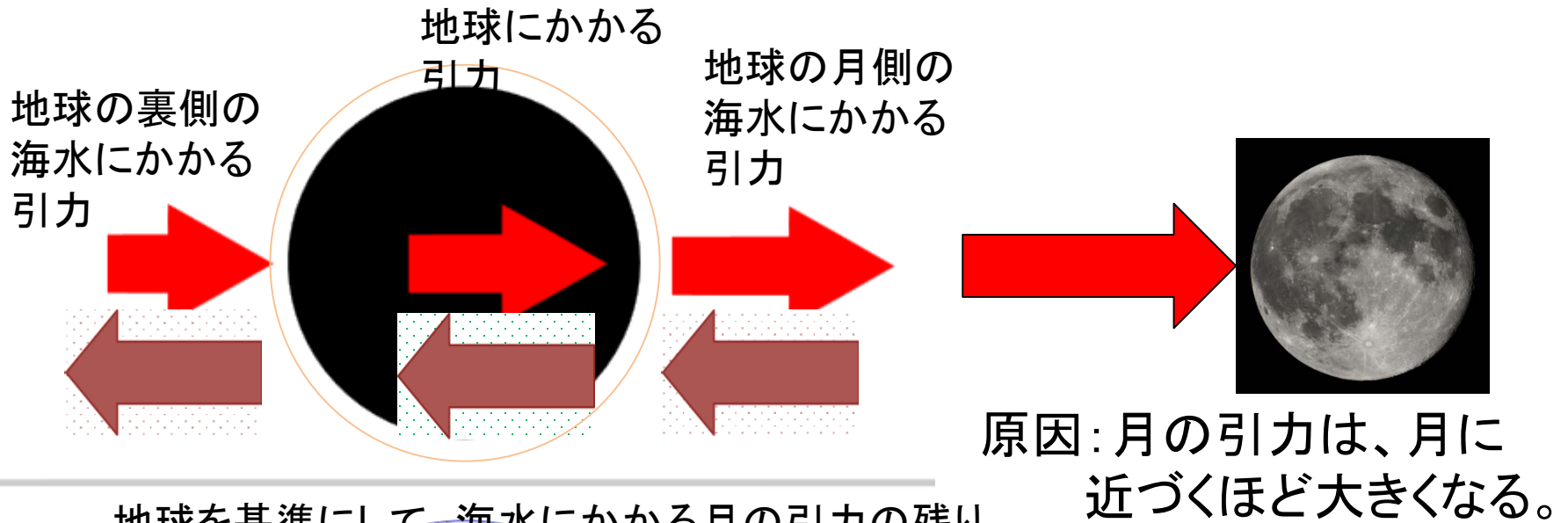
逆になります。

歳差の周期は、月と太陽が地球に万有引力をおよぼすので、約25800年です。もし、月が無かったら、周期は約8万年より長くなります。火星では約80万年より長い周期になると推定されます。左図:国立天文台水沢VLBI観測所木村榮記念館の説明資料より

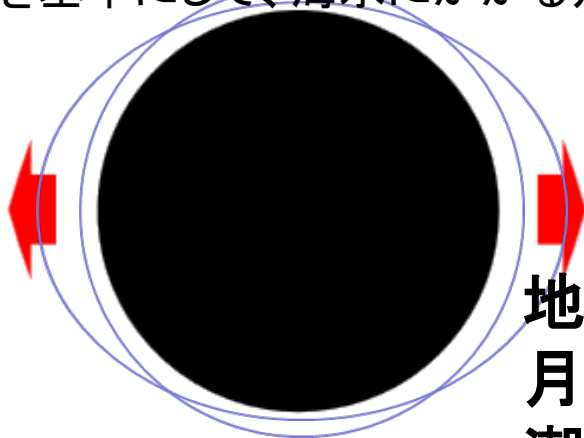


コマと地球の歳差運動

# 潮汐力(ちょうせきりょく)



地球を基準にして、海水にかかる月の引力の残り



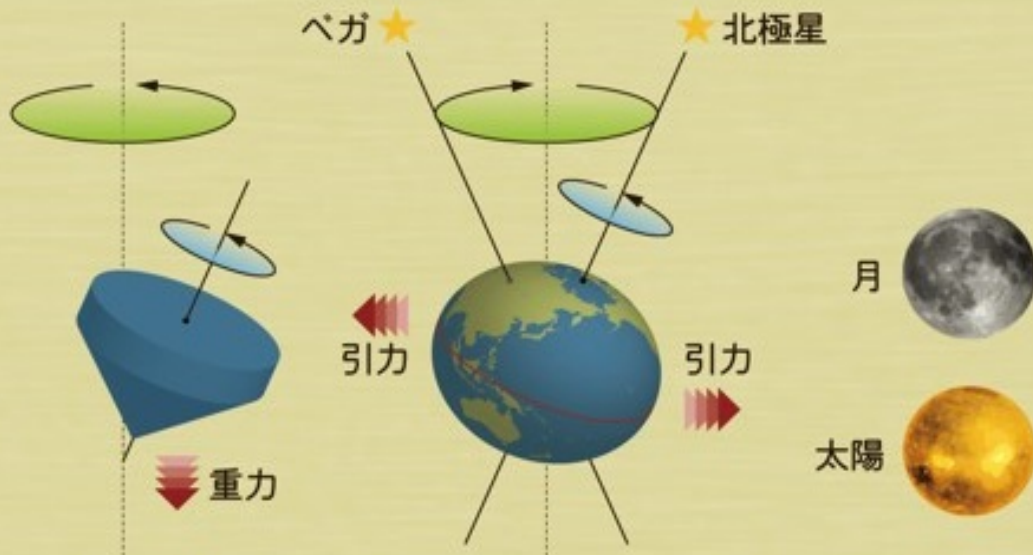
海水と同様に、  
地球自身も、月側の面では月向き、  
月の裏側の面では月と反対の向きに  
潮汐力がかかっている。

# コマと地球や惑星の首振り運動(歳差)の違い

- ・まずコマを回してみましよう。コマを上からみて反時計まわりに回してみましよう。(北極の上から地球を見た時、地球の自転は反時計回りなので、それに合わせるため。)この時、コマの首振り運動も反時計回りになります。
- ・一方、地球の首振り運動は、逆で、時計回りなのです。
- ・首振り運動の原因は、ジャイロ効果によります。コマの場合は、地球の重力がコマの軸を倒そうとするときに軸が直角の左向きに力を受けます。一方、地球の場合は、月と太陽により万有引力(正確には潮汐力)が軸を立てようとする向きに力を与えるので、軸が右向きに力をうけます。その違いで首振り運動の向きが

逆になります。

歳差の周期は、月と太陽が地球に万有引力をおよぼすので、約25800年です。もし、月が無かったら、周期は約8万年より長くになります。火星では約80万年より長い周期になると推定されます。左図:国立天文台水沢VLBI観測所木村榮記念館の説明資料より



コマと地球の歳差運動



# 地球と同じ様な首振り運動をするコマ

- コマに重力がかかった時に、軸を上に向けるような力を与えるコマがあれば、地球と同じように首振り運動するはず  
です。
- 力を受ける軸をコマの重心より上になるようにすると、傾いたときに、ヤジロベエのように、軸を上に向けるような力が働きます。ここでは、

このコマを**地球回転ゴマ**

と呼ぶことにします。

- 良く考えるとほとんどすべての惑星も地球と同じように首振り運動をするはず  
です。そこで、**惑星ゴマ**とも呼ぶことに  
します。



# このコマの歴史

- このコマは、「トレミー(プトレマイオス)のコマ」や「マックスウェルのコマ」として知られています。とても面白い性質をもっているそうです。

出典:「コマの科学」 戸田盛和著 岩波新書 72ページ

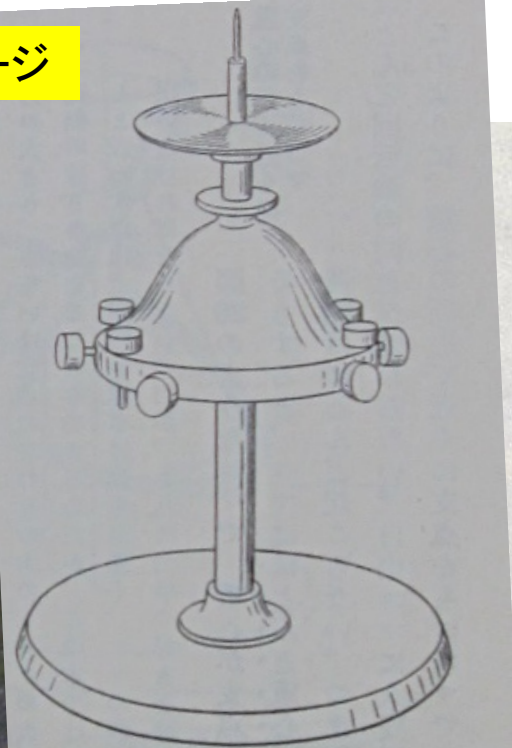


図 27 J. C. マクスウェルの作ったコマ

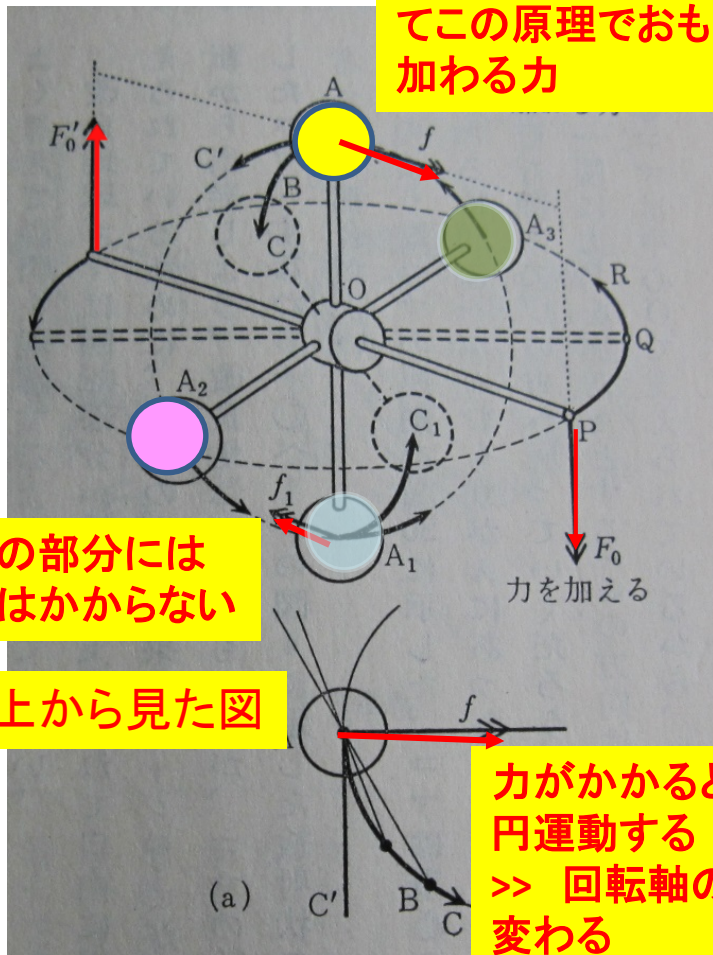
図 0・3 トレミー  
(プトレマイ  
オス) のコマ。

出典:現代天文学講座1 地球回転  
若生浩二郎編 恒星社 20ページ



# コマの運動の簡単な説明

出典:「コマの科学」 戸田盛和著 岩波新書



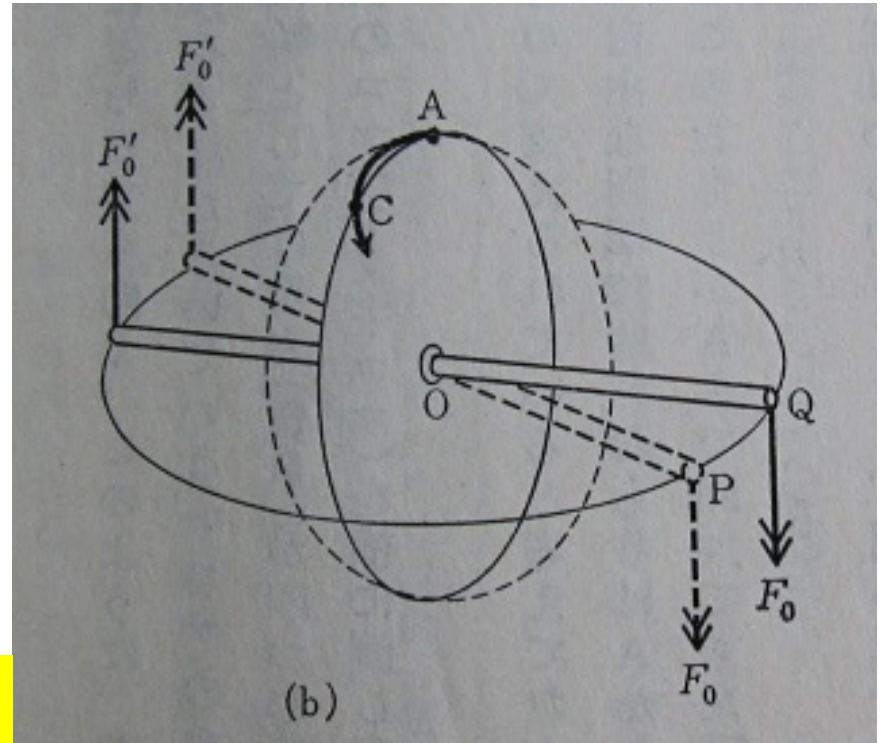
てこの原理でおもりに加わる力

横の部分には力はかからない

上から見た図

力がかかると円運動する  
 >> 回転軸の向きが変わる

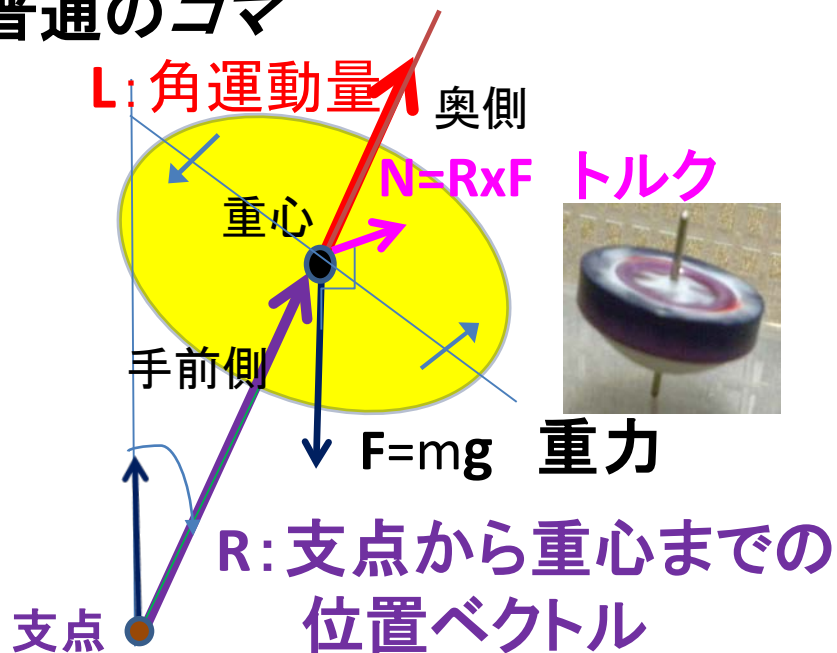
つり合いがとれている4つの部分でできたコマに力をかけた時の動き



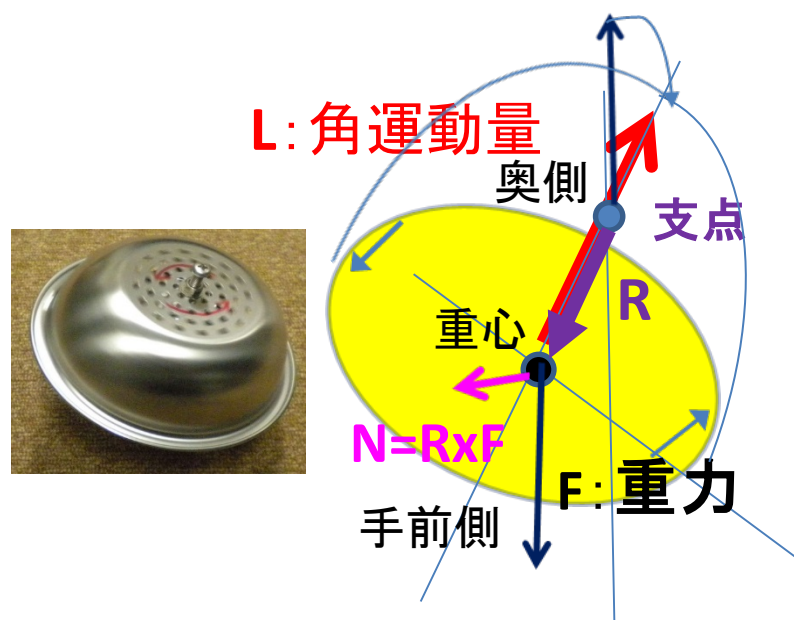
つり合いがとれているコマ(ジャイロスコープ)の軸の一方に下向きの力を加えると、コマのA点付近は軸の向きを受け力を受けるので、回転運動方向がC点にずれる。> コマは軸の向きが回転する

# 大人向け:もう少し詳しい歳差の解説

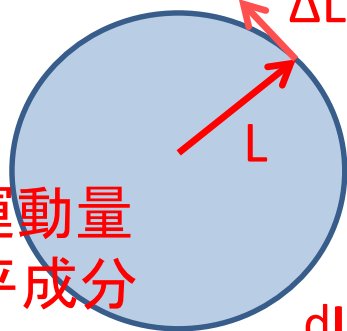
## 普通のコマ



## 地球回転ゴマ



## 真上から見た図



トルク $\mathbf{N}$ はベクトル量で、支点から重心までの位置ベクトル $\mathbf{R}$ と重心にかかる重力 $\mathbf{F}$ のベクトル積になります。上の二種類のコマでは位置ベクトル $\mathbf{R}$ のみ向きが互いに逆になるので、トルク $\mathbf{N}$ の向きも逆になります。角運動量 $\mathbf{L}$ の時間変化は、トルク $\mathbf{N}$ に等しいので、逆向きになります。従って歳差の向きは逆になります。

$$d\mathbf{L}/dt = \mathbf{N} \quad \text{角運動量の時間変化} = \text{トルク} \quad \Rightarrow \quad \Delta\mathbf{L} = \mathbf{N}\Delta t$$

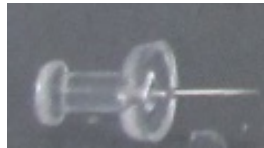
# (1) コマの製作

## おわんに軸を取り付け

A. おわんの真ん中に印をつけます。穴の位置は、本当に真ん中になるように、注意してください。



B. おわんに軸をとりつける  
軸は、ピンを使います。



C. ピンの先は危ないので、裏側にプラスチックの棒を短く切って尖らせたものを作ります。これにピンを刺して位置を確認したうえで、表と裏側それぞれノリで固定します。



# 軸の取り付け (続き)

ピンの先を指先に置き、ヤジロベエのように安定するかどうか実験しましょう。もし、安定しないようでしたら、軸の長さを変える事と、先の形を整えることをトライしてください。





# こまの台について

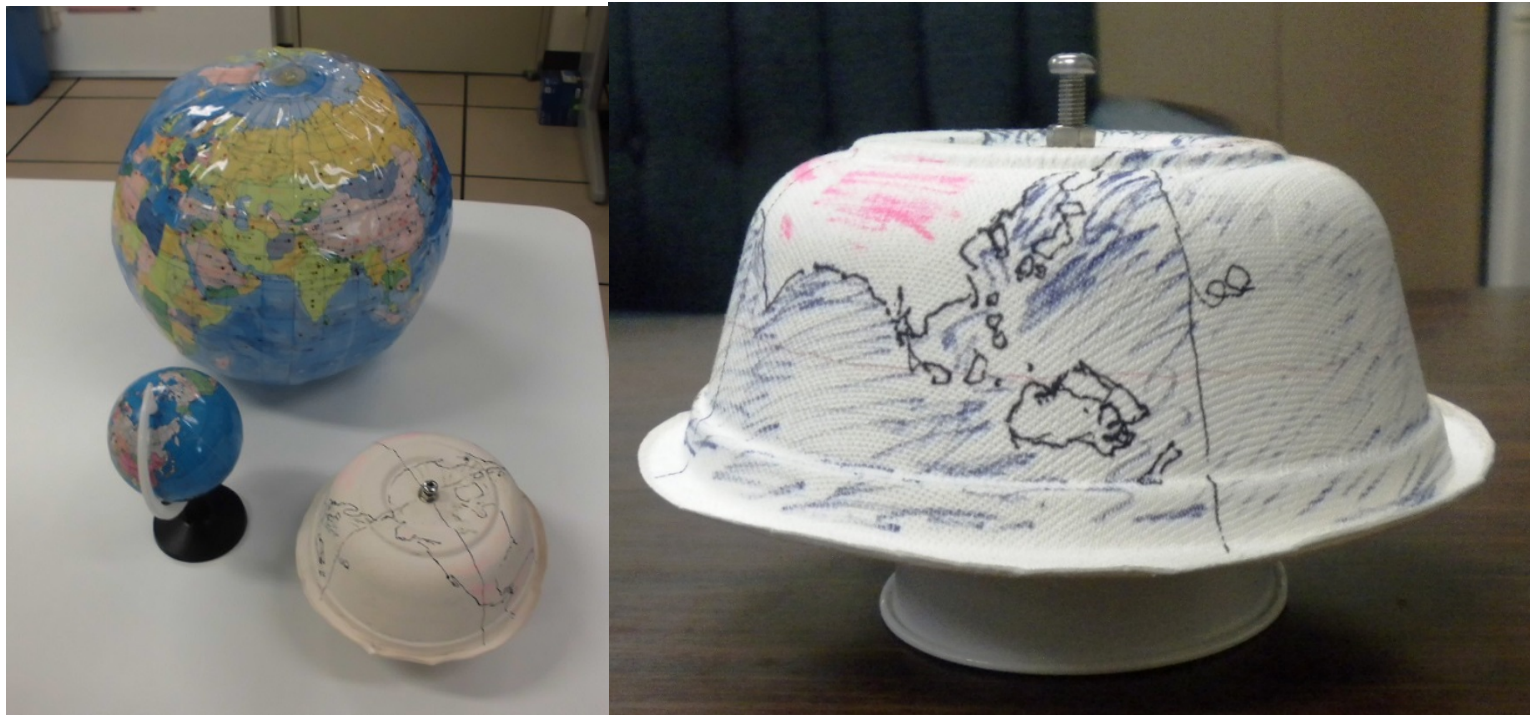
- カップを逆さにして使います。
- \* コマの外側が台に当たらないように、置くところの直径が小さめのものが良いです。
- \* 100円ショップでみつけたコーヒーをカップホルダーに入れて使うカップ(写真)は、直径が小さめで、また、コマの軸を置くところが窪んでいるので、最適でした。





## (2) おわんに世界地図をかく 自分で世界に一つの世界地図をかこう

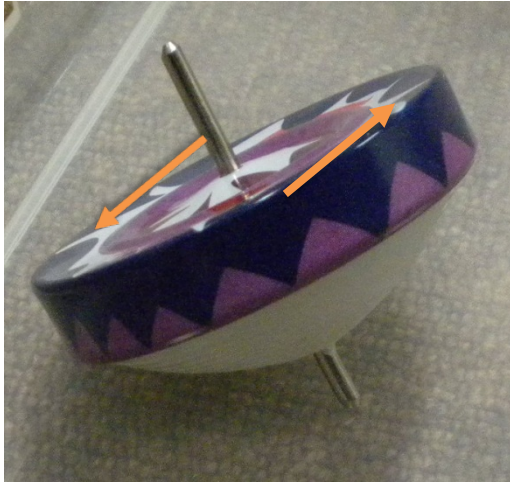
地球儀などを参考にして、緯度と経度の線を目安にしながら大陸の輪郭をかきます。そして細かい島などをかきましょう。その後、好きな色にぬりましょう。主に赤道から北半球の地図をかいてください。南半球は、少し上に詰めぎみにかいてもいいでしょう。最後に、台の真ん中に軸が来るように置ければ、世界に一つだけの**地球回転ゴマ**の完成です。



### (3) コマを回して比べましょう

→の向きに回しましょう。

北極方向から見た地球の自転の向きと同じ向きになります。



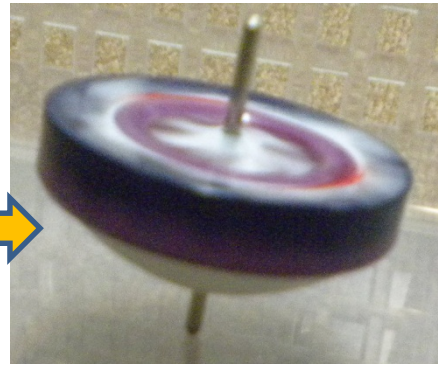
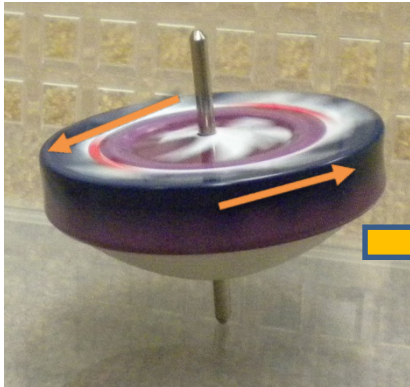
ふつうのコマ

回さないと、  
倒れてしまします。



地球回転ゴマ

回さないとき、  
やじろべえの  
ようにバランス  
がとれています。



コマを回すと、首ふり運動をします。  
2つのコマは、それぞれどっち向きに  
首ふり運動をするでしょうか。



良く見ると、軸が小さく  
振れる章動(しょうどう)  
という現象も見えます。



(4) 惑星ゴマを作る時  
おわんを地球以外の惑星に見立てて  
惑星の姿を想像しながら、紙のこまの  
表面にマジック、色鉛筆などで惑星の  
模様を書いてみましょう。



# 参考資料

- 亀谷收、地球の歳差運動と同様の歳差運動をする教育用独楽の製作、日本天文学会2013年春季年会 Y27b、2013
- 亀谷收、地球の歳差運動と同様の歳差運動をする教育用独楽、第27回天文教育研究会2013年天文教育普及研究会年会集録、p190、2013 (<http://www.tenkyo.net/kaiho/syuroku/27th-meeting.html>)
- 現代天文学講座1 地球回転 若生浩二郎編 恒星社、p20
- 「コマの科学」 戸田盛和著 岩波新書

# 日本宇宙少年団水沢Z分団での実践結果

<http://www9.plala.or.jp/yac-z/>

1. 実施年月日、場所:2010年1月16日 奥州宇宙遊学館
2. 団員、父母約20名が参加
3. 材料:独楽本体、回転台、軸(ネジを加工)
4. 組み立てたあと、軸の位置を調整し、地球回転を再現するようにした。
5. 世界地図を各自、色ペンなどを使用して書いた。色使いや書き方で、個性がでた。
6. 実際に回転させることで、地球の回転と歳差の様子を体験することができた。

団員の感想の例(岩手日日新聞、胆江日日新聞2010年1月17日記事による):

小1:地球の回り方が分かってよかった。もっといろいろなことを調べたい。

小2:地球の回り方がわかった。地球を描くのが難しかった。

中2:地軸の向きなどが一定じゃないことを学んだ。地球の内部の構造もう調べてみたい。

参考URL

<http://yac-z.totorogou.com/member/kameya/kameya20100117.html>



# 日本宇宙少年団水沢Z分団での実践結果 その2

<http://www9.plala.or.jp/yac-z/>

1. 実施年月日、場所:2016年5月7日 奥州宇宙遊学館
2. 団員、父母、リーダー72名が参加
3. 材料:独楽本体、回転台、軸(木ネジを使用)
4. 組み立てたあと、軸の位置を調整し、地球回転を再現するようにした。
5. 世界地図を各自、色ペンなどを使用して書いた。色使いや書き方で、個性がでた。
6. 実際に回転させることで、地球の回転と歳差の様子を体験することができた。



地球の回り方についてのお話を子ども達が熱心に聴いたり、リーダーに質問したりとても意欲的でした。最後は各自が持参したマジックで一人一人がマイ地球を描いていました。中には地球の代わりに個性的な絵で宇宙を描いているお子さんもいました。

参考URL:平成28年度 日本宇宙少年団 水沢Z分団総会、開講式及び第1回定例活動  
[https://www.yac-j.or.jp/community/?m=pc&a=page\\_o\\_event\\_report&target\\_c\\_commu\\_topic\\_id=5617](https://www.yac-j.or.jp/community/?m=pc&a=page_o_event_report&target_c_commu_topic_id=5617)