

# 科学の甲子園ジュニア エキシビジョン大会

## エキシビジョン大会特別体験プログラム「針金独楽<sup>こま</sup>」解説

特別体験プログラム「針金独楽」にエントリーされたみなさん、競技を楽しんでいただけたでしょうか？

今年は、「決められた材質，太さの1本の針金」を使い，指定された製作材料および製作道具，限られた製作時間の中で，できるだけ長く回り続ける手回し独楽を製作することを目指す「制限チャレンジ部門」と，「独楽の製作は1本の針金」を使うという条件の下，自由な発想でできるだけ長く回り続ける独楽を製作することを目指す「自由アイデア部門」での競技となりました。

両部門ともに，学んできた知識や技能を活用し，状況に応じて様々な創意工夫をしながら課題を解決し，確実性，再現性を上げて，1秒でも長く回り続ける独楽を開発することが問われていました。この競技に臨むため，みなさんは事前に何回も設計をやり直し，試作を重ねたことでしょう。

### 1. 独楽について

独楽は，1本の軸を中心に回転運動をします。このとき，独楽にはたらく力が何もなければ，安定して回転運動を続けることができます。しかし，実際には独楽と独楽を支える支点との摩擦力や独楽の周りにある空気の抵抗，地球からの重力の影響を受けます。中でも重力の影響は大きく，独楽の重心がどこにあるかが問題となってきます。

（重心とは，物体のどの部分にもはたらいっている重力を合成してできた合力の作用点（図1）を表します。）

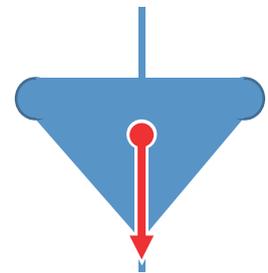


図1 独楽と重心

重心が回転軸上にあれば，軸がぶれずに安定した回転になりますが，少しでもずれていると，独楽の軸の接点を支点とする歳差運動さいさうどうが起こります。また，重心の位置が高いと支点と重心との距離が大きくなるため，歳差運動が起きやすく，その角度も大きくなりやすいため，無駄に消費するエネルギーが多くなり，長く回転することができません（図2）。

決められた時間内で製作する制限チャレンジ部門では，回転軸上のより低い位置に正確に重心を置くことができるような工夫が求められます。

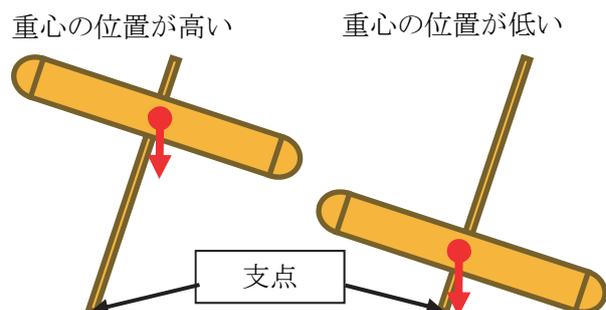


図2 独楽と重心の位置

## 2. 歳差運動について

回転体の回転軸がぶれて、傾きを一定に保ちながら回転軸の上端が円運動することを歳差運動といいます（みそすり運動や首振り運動ということもあります）。地球は地軸を中心に回転運動をしていますが、地軸が歳差運動をしており、約 26000 年の周期で 1 回転しているそうです。そのため、地軸の延長線方向にある星を北極星とすると、北極星はその長い年月の間に他の星に移り変わっています（図 3）。

歳差運動には重心の位置とともに、独楽が回転運動を続けようとする慣性がかかわってきます。

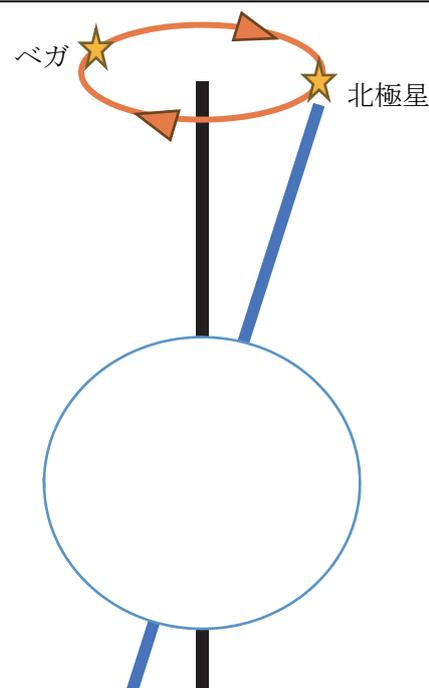


図 3 地球の歳差運動

## 3. 慣性の法則

「物体は、力を加えられない限り、静止している物体は静止し続け、運動している物体はそのまま運動を続ける」ニュートンの運動の法則の 1 つです。

回転している独楽は、力を加えられない限り安定して回転を続けようとしています。ところが、重心が少しでも回転軸からずれていると、重力により独楽を傾けるように引っ張られます。このとき、回転体はそのままの運動を続けようとする慣性により、斜めになる部分にもとにもどろうとする力が生じ（図 4）、重力によって引っ張られた方向から  $90^\circ$  ずれた方向に傾こうとします。独楽は、この慣性によって生じた力と重力の合力により傾きが生じます。これが、連続して起こることによって独楽の回転方向と同じ向きの歳差運動が起こります。

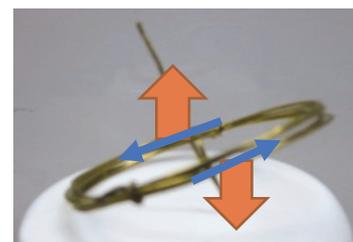


図 4 慣性による力  
(青い矢印：回転方向)

ところが、回転体の回転する速さが十分に速いときは、支点との摩擦力が軸を起き上がらせる方向にはたらくため、独楽を回し始めたときに生じた歳差運動はだんだん小さくなり、回転体は安定した回転をするようになります。このため、摩擦力を小さくしようと、支点を針のように鋭利にすると歳差運動が収まらず、回転時間が短くなります。そのため回転体の支点の形状も重要になります。

回転時間が経過すると、回転体の支点との摩擦力や空気抵抗によって回転速度が遅くなってきます。すると回転体の慣性が弱まり、また、軸が起き上がるようにはたらく摩擦力も小さくなるため、歳差運動が再び生じ、回転速度が遅くなるにしたがって回転軸の傾きが大きくなって（歳差運動が大きくなり）、やがて止まってしまいます。

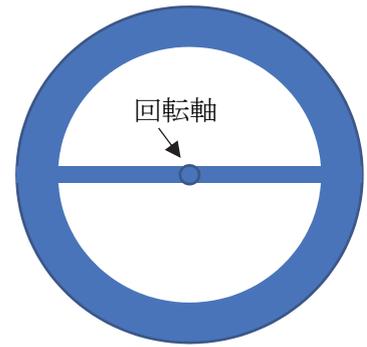


図5 独楽を上から見た図

回転体の慣性は独楽の質量に関係しますが、独楽の形状による質量配分によって変化します。図5のように針金を回転軸から遠いところに質量配分しておくとも慣性は大きくなります。つまり回転体の慣性は、回転軸から遠いところに質量があるほど、また質量が大きいほど大きくなります。

このような回転体の慣性を「慣性モーメント」といいます。



図6 らせん状に巻いた独楽  
(重心が高く、慣性モーメントが小さい)



図7 重心を低くし、直径を大きくして慣性モーメントが大きくなるようにした独楽

#### 4. 競技について

競技に参加したチームの中で、目立った工夫をいくつか紹介します。

##### (1) 制限チャレンジ部門

独楽の製作は「決められた材質、太さの1本の針金」を使って、決められた材質とサイズのフィールド上での競技でした。

<自立型やじろべえ型>

独楽は自立できず、回転することによって自立ができると考えがちですが、フィールドを台の上に置き、やじろべえのように自立させる工夫をしています。腕の長さを長くすることで慣性モーメントを大きくし、安定した回転を持続することができます。

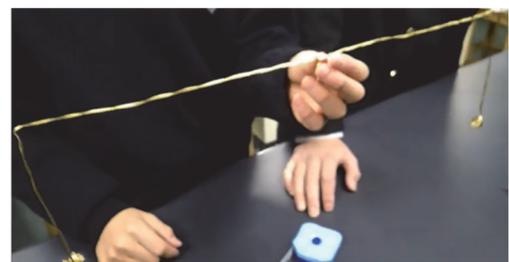


図8 栃木県立宇都宮東高等学校  
附属中学校 260秒

<軸なし>

独楽は指でねじって回します。そのためには軸が必要ですが、回し方を工夫することで軸が必要なく、軸をつくるための針金も慣性モーメントを大きくするために活用できます。また、決められた製作時間内でも容易に作成でき、重心を中心にもってくる調整も簡単になっています。



図9 岡山県立岡山大安寺中等教育学校 244秒

(2) 自由アイデア部門

「1本の針金」を使うこと以外制限がなく、できるだけ長く回る独楽をつくることが求められました。

<風車型>

制限チャレンジ部門でもみられたやじろべえ式のおもりの部分を工夫して、風の力で回り続ける独楽です。また、フィールドとなる部分もペットボトル型の容器を使い、軸の支点がずれにくいようにしていることも安定して長時間回転させることができる工夫です。扇風機の電池がなくなるまで回転し続けられることも可能ではないでしょうか。



図10 福島大学附属中学校 76868秒（およそ21時間）

<磁力型>

回転体に外部から力を加え、回転時間を延ばすために磁力を使っています。また、磁力を使うために、さまざまな試行錯誤を繰り返して、独楽の材質をステンレスにしたり、円形磁石を積み重ねてフィールドの磁力を調整したりと様々な工夫がみられました。



図11 神戸大学附属中等教育学校 704秒

## 5. 今後に向けて

---

科学の甲子園ジュニアでは、これまでに様々な競技を行ってきました。競技に臨むにあたって、試行錯誤を繰り返し、素晴らしいアイデアを出し、目標達成のために工夫をしてきたことと思います。今回の競技も様々な試行錯誤を繰り返し工夫した独楽や特徴を持った独楽が見られました。しかし、その工夫や特徴に科学的根拠がなく、成果を上げられていないものも見られました。ここで、競技に臨むにあたって考えてほしいことをいくつか挙げてみたいと思います。

### ①試行（実験）

規定内でどのような物をつくることができるか、どのような物が最適解となりそうか、条件を変えながら試行（実験）し、競技にかかわる条件を絞り込む。

### ②科学的根拠と仮説

科学的にどういう原理がはたらいそうか、その内容はどのようなものか調べ、試行（実験）の結果をふまえて、「～だから、～するとよさそう」という仮説を立てる。

### ③仮説に基づいて試行（実験）する

仮説が正しいのか、条件を少しずつ変えながら試行（実験）を行い、場合によっては仮説を考え直す。

例えば、今回の制限チャレンジであれば、「質量を中心から遠くにしたほうが慣性モーメントは大きくなり、回転時間が長くなる。長い針金を使って独楽をつくとよさそう。」という仮説に基づいて、針金の長さを一定にして、図7のような独楽の直径を変えて、直径と針金を巻く回数による回転時間の変化を比較し、制限時間内に作成できる最適な大きさを導き出す。あるいは同じ直径で軸の長さを変えて重心の高さを変えてみる。または、軸の支点の形状を接点が小さくなる針金1本から、丸みをもたせるように2つ折りにしたものを、2つ折りしたものを重ねるなどの形状をためして最適なものを見つける。

こういった、他の条件を一定にして、ある部分の条件だけを変えてみるなど、少しずつ条件を変えることで仮説を検証してみることも大切です。さらに、このような試行（実験）を繰り返すうちに、発想の大きな飛躍、いわゆるブレークスルーのような瞬間が訪れると楽しいと思います。

今回の競技に参加したみなさん、自分たちが作成した独楽をつくる過程で行った、仮説と検証がどうであったか、他の参加チームの取り組み動画も参考にしながら振り返りをしてほしいと考えています。このような仮説と検証、振り返りの繰り返しが今後の学習や研究に役に立つはずです。これからのチャレンジに期待しています。