

遠心力の無限の可能性 ～動けスライカの種～

令和2年度 県立日立第一高等学校 小鍛治夏綺 金井侑莉 宮下和士

1 動機・研究背景

私は、オレンジを回転させて割る動画を観て、遠心力の影響力の大きさに驚いた。地球も遠心力を受けて球ではなく回転楕円体である。そこで回転運動する物体の遠心力による内部構造への影響に興味を持った。本研究では、地球のように内部構造が一樣であるスライカを用いて回転運動させた。その時スライカの種が遠心力によって外側に移動するかを調べることで、遠心力が内部構造に及ぼす力の影響について考察したい。

2 目的

- ①種が動くために必要なスライカの遠心力と現在の地球の遠心力を比較し、遠心力が地球にどのくらい影響を与えているのか考察する。
- ②スライカの種を外側まで動かすために必要な角速度を求め、人力による回転でスライカの種を動かすことは可能か調べる。

3 単位・数値

用いる記号と単位

圧力 P [Pa] 時間 t [s] 速度 V [m/s]
角速度 ω [rad/s] 加速度 a [m/s²]
スライカ中心から種までの距離 X [m]
種が動いた距離=沈みの大きさ ΔX [m]

図1 スライカの種の表面積部分 S [m²]
(青線囲み部分)= 1.2×10^{-5}

用いる数値

スライカの質量 $m'=5.1$ [kg](平均値)
半径 $r'=0.1$ [m]
密度 $d'=1.22$ [g/cm³]
種の質量 $m=8.0 \times 10^{-5}$ [kg]
密度 $d=7.3 \times 10$ [g/cm³]

種の表面積 $S=1.2 \times 10^{-5}$ [m²]
地球の質量 $M=6.0 \times 10^{24}$ [kg]
半径 $R=6.4 \times 10^6$ [m]
密度 $D=5.5$ [g/cm³]
角速度 $\omega'=7.3 \times 10^{-5}$ [rad/s]

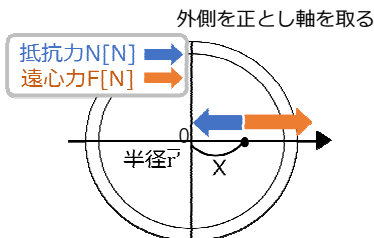


図2 スライカにかかる力の様子

4 事前実験

事前実験《1》 圧力とスライカの沈みの大きさの関係

【実験道具】

- ①4.0kg・6.0kg・8.0kgのダンベル
- ②オアシス(フラワーアレンジメント用の給水スポンジ)
⇒スライカは個体差があるため、水分の含有量を一定にでき、スライカの果肉と質感の似たオアシスを使用した。
- ③固定するための台とロープ
- ④底が平たいペン

【方法】

図2のようにダンベルとオアシスを垂直に固定し、ダンベルの先にペンを取り付ける。5.0秒、10秒ずつダンベルから手を離し、オアシスに圧力をかけ、沈みの大きさを測定する。

【結果】

結果は図3の通りである。近似式
 $P=1.6 \times 10^6 \cdot \Delta X$ を求める事ができた。
(比例定数 $q=1.6 \times 10^6$ とする)

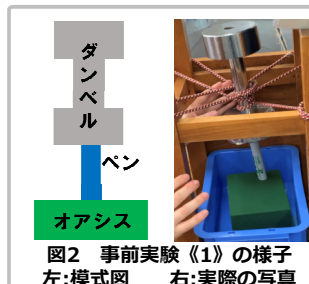


図2 事前実験《1》の様子
左:模式図 右:実際の写真

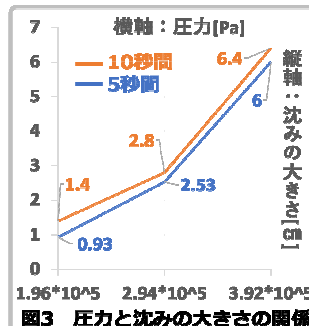


図3 圧力と沈みの大きさの関係

事前実験《2》時間とスライカの角速度の関係

【実験道具】

- ①砂が詰まっているボール(直径16cm、重さ3.0kg)
⇒スライカには個体差があるため、このボールはスライカと半径・大きさがほとんど同じで一般化して考える事ができるボールを使用した。
- ②180デニールのタイツ
- ③スローモーション機能のついたカメラ ④デジタル時計

【実験方法】

砂ボールをタイツに入れ、図4のように片方を壁に固定する。ボールをねじりタイツの固定していないもう片方をぶんぶんごんごまの要領で引っ張り回転させた。タイツにチョークで印をつけ、回転の様子をカメラのスローモーション機能でデジタル時計とともに撮影し、1秒当たりの回転数を数え、角速度 ω と時間 t の関係求めた。

【結果】

ボールは回転を始めて $t=2.0$ で最高角速度 $\omega=40$ となった。この回転運動は右周りの角速度を正としたとき正負を繰り返すので $\sin\theta$ 型で変移する。周期は8.0秒より
 $\omega=K \times \sin(1/4\pi t)$ (K は最高角速度)という関係を得ることができる。

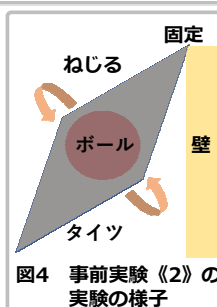


図4 事前実験《2》の
実験の様子

5 計算

事前実験より、計算の条件及び数式を(i)～(iv)とする。

- スライカの種ははじめ $x=0.01$ [m]の位置にある。
 - 事前実験《1》よりスライカの果肉の沈みの大きさと圧力の関係式は
圧力 $P=q \cdot \Delta X$ ($q=1.6 \times 10^6$)とする。
 - N 【抵抗力】= P' 【果肉が沈み始めるための圧力】+ P 【 Δx 沈むための圧力】 $\times S$ 【種の表面積】つまり $N=(4.0 \times 10^4 + q \cdot \Delta X) \cdot S$ とする。
 - スライカの種が動き出すとき、種にかかる遠心力が果肉からの抵抗力 N よりも大きくなればよい。したがって $N \leq mX\omega^2$ (この時 $X=0.01$)より $\omega \geq 7.75 \times 10^2$ となる。つまり最大角速度が 7.75×10^2 [rad/s]あれば良い。
- 事前実験②より、 $K=7.75 \times 10^2$ すなわち角速度 $\omega=7.75 \times 10^2 \sin(1/4\pi t)$ とする。

＜計算方法＞

加速度をスライカの外側方向へ正とし、スライカの種の運動方程式 $ma=F-N$ を立てる。ここで微小区間より $\Delta t=0.1$ sは一定値とみなし、加速度 a は Δt 持続するものとする。 $V=a\Delta t$ より、種が動いた距離 $\Delta X=V\Delta t=a\Delta t^2$ を求める。時間ごとの種の位置 X とその時の角速度 ω を表計算ソフトで計算する。

6 結果

表1: スライカの種の中心からの距離と角速度

時間 [s]	種の加速度 [a/s ²]	中心からの距離 [cm]	スライカの角速度 [rad/s]	種の様子
1.9	0	1.0	7.73×10^2	動かない
2.0	5.0×10^{-5}	7.2(スライカの半径分)	7.75×10^2	動き始める
2.1	0	7.2	7.73×10^2	動かない
2.2	2.9×10^{-5}	3.6×10^2	7.66×10^2	動いている

スライカの種は $\omega=7.75 \times 10^2$ の時動き出す。種を7.0cm動かすには $\omega=7.75 \times 10^2$ が必要でこれは事前実験②で人力で回転運動させたときの最高角速度の約19倍の大きさである。

7 考察

スライカの種が動く時と同じ大きさの遠心力が地球の内部構造にかかる、内部構造に変化が起きると仮定し、比較を行う。

スライカの条件(質量、半径、密度)を地球の規模に揃えたとき、スライカと種に相当するものをそれぞれ「**仮想地球**」と「**仮想種**」と表す。

F' と F'' を求めるために未知数である**仮想種の質量**を考え、それぞれ遠心力を求める。

スライカの種は初め中心から半径1/10の位置にあると仮定し実験を行ったので、同様に仮想種の位置も地球の半径の約1/10の位置にあると仮定した。

- ①質量の比を使って求める
[スライカの質量]:[種の質量]=[地球の質量]:[仮想種の質量]
∴**仮想種の質量**[kg]= 9.45×10^{19}
- ②密度、体積の比を使って求める
[スライカの密度]:[種の密度]=[地球の密度]:[仮想種の密度]
∴**仮想種の密度**[g/cm³]=1.02
[スライカの体積]:[種の体積]=[地球の体積]:[仮想種の体積]
∴**仮想種の体積**[cm³]= 9.44×10^{19}
仮想種の質量=**仮想種の密度**×**仮想種の体積**× 10^{-3} より
∴**仮想種の質量**[kg]= 9.63×10^{16}

$$F'=[\text{仮想種の質量}] \times [\text{地球の半径}R \text{の} 1/10] \times [\text{スライカの種が動き始める角速度}\omega]^2$$
$$F''=[\text{仮想種の質量}] \times [\text{地球の半径}R \text{の} 1/10] \times [\text{現在の地球の角速度}]^2$$

表2: 仮想種にかかる遠心力

角速度 [rad/s]	質量比による仮想種 の遠心力[N]	密度・体積比による 仮想種の遠心力[N]
775(内部構造に変化が起きる角速度)	$F'=3.6 \times 10^{32}$	$F'=3.7 \times 10^{28}$
7.3×10^{-5} (今の地球の角速度)	$F''=3.2 \times 10^{18}$	$F''=3.3 \times 10^{15}$

8 結論

①地球の内部構造の変化が起きる角速度による遠心力は、現在の地球の角速度と質量比または密度・体積比で計算した仮想種にかかる遠心力より大きい。もし地球の内部構造が変化する $\omega=7.75 \times 10^2$ で自転するとすれば、地球は24時間で約 1.8×10^5 周し、一周約0.50秒となる。よって、よほどの変動が地球に起きない限り遠心力による地球の内部構造の変化はないと考えられる。

②スライカの種を動かすための角速度は、現在考えられる方法では人力では再現することはできない。

9 参考文献

ぐるぐる回して大実験! 遠心力の秘密 tv-osaka.co.jp(9月4日/16時19分)
改訂版 総合物理1ー力と運動・熱一 数研出版
地球の質量 ja.m.wikipedia.org(2月22日/7時00分)
生活知恵袋 食品の重さをチェック seikatu-cb.com(2月22日/7時00分)