

# ふりこの1往復する時間

～実験のポイントと実験器具の工夫～

## 1 内容の取扱い

### (1) 学習指導要領の5学年：「振り子の運動」の扱い

おもりを使い、おもりの重さや糸の長さなどを変えて振り子の動く様子を調べ、振り子の運動の規則性についての考えをもつことができるようにする。

ア 糸につるしたおもりが1往復する時間は、おもりの重さなどによっては変わらないが、糸の長さによって変わることを。

※指導に当たっては、・・・（途中省略）・・・適切な振れ幅で実験を行い、振れ幅が極端に大きくならないようにする。（20年6月学習指導要領解説より抜粋）

（ポイント）

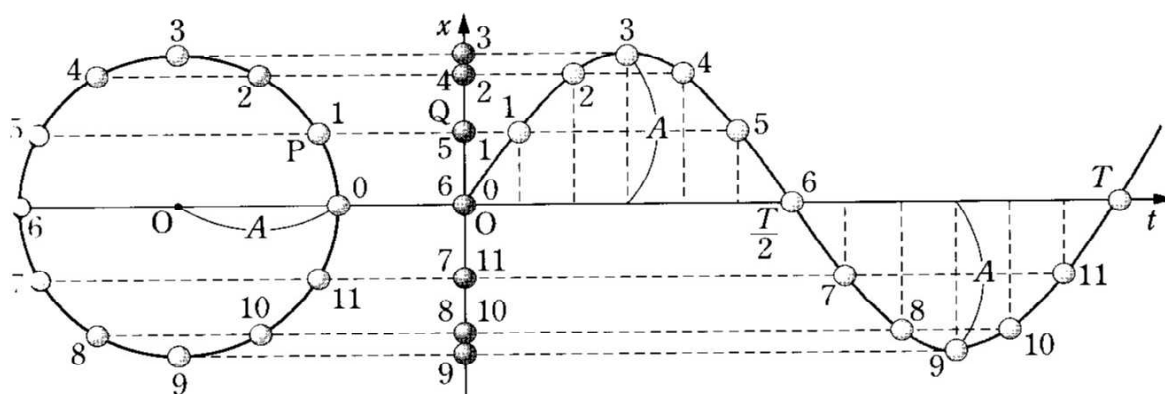
1往復する時間は、振れ幅には無関係であると指導するが、実際には振れ幅が大きくなると1往復する時間は大きくなるので注意が必要である。ただし、振れ幅が極端に大きくなければ、1往復する時間は振れ幅にはほぼ無関係といってよい。

### (2) 中学校・高等学校での扱い

#### ①「振り子」について

中学校では、「振り子」についての学習はない。

高校では、選択科目の物理（主に高校3年で学習）で、振り子（単振り子）の周期を理論的に求めたり、円運動と関連づけて解析したりする。等速円運動の正射影が単振動になり、その単振動が時間と共に移動したものが波動になっている。小学校では、「ふれはば」として、おもりが振れる端から端までの距離を指すことがあるが、高校では円運動や波動との関連から、「振幅（しんぷく）」は振動の中心から端までの距離を指すなどの違いがある。



(a) 等速円運動

(b) 単振動

(c) x-t グラフ

上図は等速円運動に横から光を当て、その陰の運動を図示したものであり、x 軸方向の運動を単振動という。元の円運動の半径Aが単振動の振幅Aであり、振動の中心から端までの距離を指す。

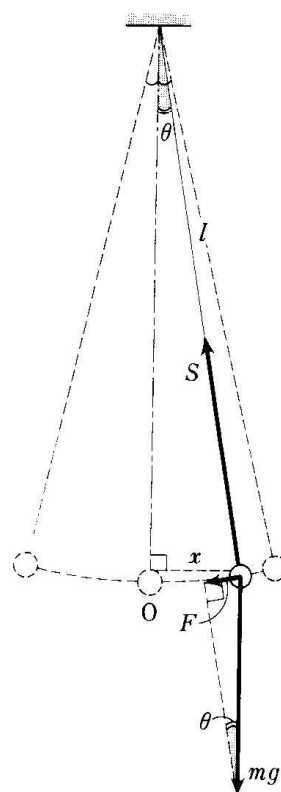
この単振動が時間とともに移動したものが波動である。波動の振幅Aも、振動の中心から測る。

## 2 単振り子の基礎知識

### (1) 単振動の理論

糸の先などにおもりをつるして左右に振らせる振り子を単振り子という。おもりにほたるく重力( $mg$ )は鉛直下向きで、糸の張力( $S$ )は支点のある斜め上向きである。この2力の合力( $F$ )が振り子を元の位置(最下点 $O$ )に戻そうとする力であり、その向きは、円弧の接線方向である。振り子が大きく振れれば振れるほど支点の方向が鉛直より傾き、戻そうとする力が大きくなる。これはばねにおもりをつけて振らせる「ばね振り子」の場合とよく似ている(ばねは伸びに比例して縮む力が大きくなる)。ただし、単振り子は、近似としておもりがほぼ一直線上を運動する場合(振れる角度が充分に小さいとき)に限定される。このように、大きさが直線上の変位( $x$ )に比例し、元の位置に戻そうとする力を「復元力」と呼ぶ。復元力がほたるく物体は「単振動」をする。

振幅を大きくしても、周期に影響がないのは、振幅の大きさに比例して復元力も大きくなるからである。また、おもりが重いと復元力は大きくなるが、おもりは、自身の慣性によりなかなか戻ることができない。その結果、おもりの重さは周期に影響しない。



振り子にはたらく復元力

単振り子の周期は、次の式で表される(詳細は高校物理の教科書等を参照)。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$T$  : 周期[s]       $l$  : 振り子の長さ[m]       $g$  : 重力加速度[m/s<sup>2</sup>] ※9.8m/s<sup>2</sup>

### (2) 誤差について

① 振れ角(振幅)の影響      ※振れ角：鉛直な線(0°)からの角度を指す(振れ角×2＝振れ幅)。

振り子が単振動するのは、円弧の接線方向にはたらく力 $F$ と、その水平成分 $F \cos \theta$ がほとんど変わらない範囲(接線方向がほぼ水平方向と見なせる範囲)である。この場合、 $\theta \simeq 0$ なので、 $\cos \theta \simeq 1$ と近似できる。以上のことから、実験を行う場合、振れ角はできるだけ小さくすることが理想的である。

なお、角度が大きくなると周期への影響が大きくなるので注意が必要である。

木村(2006)<sup>※1</sup>らの研究によると、鉛直方向からの振れ角が周期に与える影響は右表になる。

このことから、教科書(東京書籍)の実験において振れ角 45°の場合、測定誤差は約4%となる。

実際に周期(1往復の時間)が2秒であれば測定値は約2.08秒となる。

| 初期角度 | 周期比      | 初期角度 | 周期比      |
|------|----------|------|----------|
| 5°   | 1.000476 | 50°  | 1.049783 |
| 10°  | 1.001907 | 55°  | 1.060829 |
| 15°  | 1.004301 | 60°  | 1.073182 |
| 20°  | 1.007669 | 65°  | 1.086922 |
| 25°  | 1.012031 | 70°  | 1.102145 |
| 30°  | 1.017408 | 75°  | 1.118959 |
| 35°  | 1.023833 | 80°  | 1.137493 |
| 40°  | 1.031341 | 85°  | 1.157895 |
| 45°  | 1.039973 | 90°  | 1.180341 |

※1 木村 光輝：小学校における「振り子の等時性」の実験について  
福岡教育大学紀要，第55号，第3分冊，1-22 (2006)

## ② デジタル機器の扱い

デジタル式のストップウォッチを使って計測すると100分の1秒まで表示される。しかし、人間が計測することなどが原因で誤差が入る。表示通り記録させるよりも四捨五入して記録させる指導が必要である。同じように、平均値を求めるのに電卓を使用する場合、電卓の8ケタなり12ケタの表示をそのまま記録することには意味がない。

## ③ 摩擦や空気抵抗の影響

摩擦や空気抵抗があると周期に影響があるように思われがちであるが、理論上、摩擦や空気抵抗は周期に影響しない。たしかに摩擦や空気抵抗は、振り子が戻るのを妨げる要因となるが、周期ではなく振幅に影響する。すなわち、摩擦などによって運動が妨げられ、同じ位置まで戻れなくなるが、動く距離も短くなるので、時間には影響しないのである。これは「減衰振動」と言われている。実際の振動は、ほとんどが減衰振動である。

# 【児童実験】ふりこの1往復する時間を調べよう（5年）

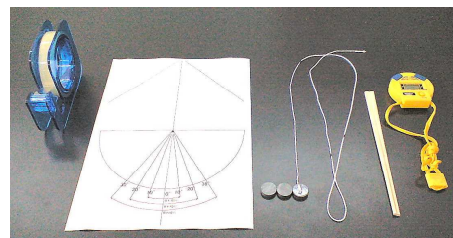
## 1. 準備

- ・振り子

※おもり付き糸(1m)、おもり3個程度(例: 磁石)

- ・割り箸    ・角度付き用紙(別紙参照)

- ・ストップウォッチ    ・スタンド    ・セロハンテープ



実験道具

## 2. 装置

- (1) おもりに糸を結びつけて、おもりの中心から、1mとなる1本の振り子を作る。さらに、おもりの中心から75cm、50cm、25cmのところにマジックで印をつける。

- (2) 角度付き用紙(振れ幅 20°、40°、60° が印刷)

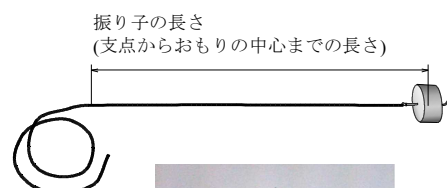
に割り箸をセロハンテープで固定する。

※振れ幅は小さい方が正確なので、60°より大きくしない。

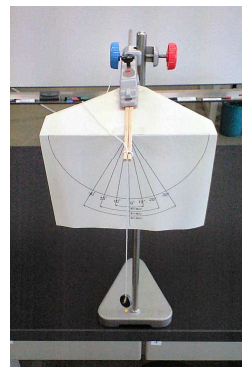
- (3) スタンドに割り箸と角度付き用紙を固定する。

- (4) 振り子の糸を割り箸に挟んで取り付ける。

おもりの糸が0°になるように角度を調節する。



振り子の長さ  
(支点からおもりの中心までの長さ)



## 3. 実験方法

- (1) 始めは、振り子の長さを75cm、おもりの重さを10gにして、振り幅を変えておもりを振らせる。

役割分担は、①ストップウォッチを持って計る児童

②おもりを振らせる児童

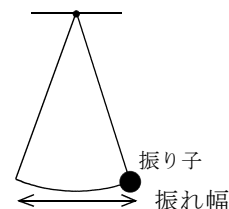
③記録する児童

※振り子の長さが長く、振れ幅が小さいとゆっくりと触れるので測定しやすい。

※おもりの重さは10gである必要はない。同じ重さを2倍、3倍にして実験できればよい。

- (2) 10往復の時間を測定し、1往復あたりの平均値T秒を計算する。

始めに垂直な線を横切った瞬間にストップウォッチを押し、その後、垂直な線を横切るたびに声を出して数える。10を数えると同時にストップウォッチを押し時間測定する。



同じ実験を3回繰り返す。

※糸が紙に描かれた垂直な線(0°)を横切るときに数を数える(スタートを0と数える)。

※数える児童と計る児童を同じ児童にすることにより、人による誤差を少なくすることができる。

(計算) (1回目+2回目+3回目)÷3=振り子の10往復する平均時間

振り子の10往復する平均時間÷10=振り子の1往復する平均時間(周期)

周期  $T =$  \_\_\_\_\_ 秒

(3) 実験の順序として、

① 振り子の長さを25cm、おもりの重さ10gに固定して、振り幅を変える。(3回)

② おもりの重さ10g、振れ幅20°に固定して、振り子の長さを変える。(3回)

③ 振り子の長さを25cm、振れ幅20°に固定して、おもりの重さを変える。(3回)

※ おもりが磁石である場合、磁力でくっつけておもりの数を変えることができる。

※ 振り子の長さを変えるとき、糸を上下に移動させながら印をつけた位置で止める。

### 【教員実験】 振り子を使った重力加速度の測定 ※有効数字、測定誤差に注意

振り子の周期より、糸の長さ $l$ と周期 $T$ がわかれば重力加速度  $g$  の値を求めることができる。

|                                 |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| (理論式)                           | 両辺を2乗すると                        | 整理すると                           |
| $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ より | $T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g}$ となり、 | $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ となる。 |

以下は、振り子の長さ  $l=1.00\text{m}$ 、振れ幅20°、おもりの重さ10gで実験を行った。

なお、この振り子を用いると、 $\theta=0.175$  ※角度の単位は[rad]、 $\sin\theta=0.174$ となり、有効数字2ケタで重力加速度を求めることができる。

## 4. 実験結果

(1) 振り子の長さ  $l$  と、周期  $T$  (3桁)から重力加速度  $g$  を計算する。

(計算)

※  $\pi=3.141\cdots$  の3桁利用

$g =$  \_\_\_\_\_  $\text{m/s}^2$

(例)  $l=1.00\text{m}$   $T=2.023\text{秒}$  の場合、

$$g = 4 \times 3.141 \times 3.141 \times 1.00 / (2.023 \times 2.023) = 9.643 \quad \therefore g = 9.6 \text{ m/s}^2$$

精度を上げて有効数字を3桁にする場合、振れ幅は15°程度まで狭める必要がある。

(2) 理論値との比較をする。(誤差% = |(理論値-測定値)/理論値| × 100)

※ 富山の重力加速度  $g = 9.798\text{m/s}^2$  (理科年表より) を四捨五入の2桁利用  $9.8\text{m/s}^2$

(計算)

$$\text{誤差} = \frac{|\quad - \quad|}{\quad} \times 100 = \quad$$

誤差 \_\_\_\_\_ %

(例) 富山  $g = 9.8\text{m/s}^2$  と  $g = 9.6\text{m/s}^2$  (測定値)

$$\text{誤差} = |9.8 - 9.6| / 9.8 \times 100 = 2.04$$

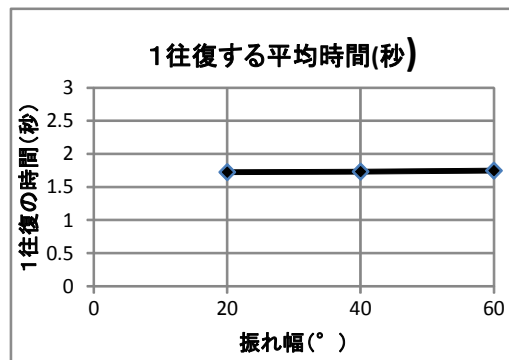
誤差 2.0 %

## 実験例

### 【児童実験】ふりこの1往復する時間を調べよう(5年)

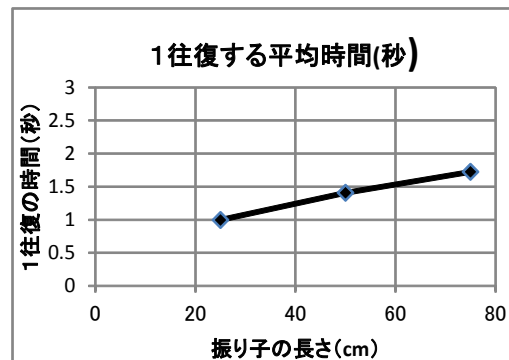
①振り子の長さを75[cm]、おもりの重さ10gに固定して、振り幅を変える。

| 振り幅<br>(°) | 1回目<br>(秒) | 2回目<br>(秒) | 3回目<br>(秒) | 10往復する<br>平均時間(秒) | 1往復する<br>平均時間(秒) |
|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------------|
| 0          |            |            |            |                   |                  |
| 20         | 17.24      | 17.24      | 17.25      | 17.24             | 1.7              |
| 40         | 17.38      | 17.27      | 17.32      | 17.32             | 1.7              |
| 60         | 17.49      | 17.45      | 17.48      | 17.47             | 1.7              |



②おもりの重さ10g、振り幅20° に固定して、振り子の長さを考える。

| 振り子の<br>長さ(cm) | 1回目<br>(秒) | 2回目<br>(秒) | 3回目<br>(秒) | 10往復する<br>平均時間(秒) | 1往復する<br>平均時間(秒) |
|----------------|------------|------------|------------|-------------------|------------------|
| 0              |            |            |            |                   |                  |
| 25             | 9.88       | 9.91       | 10.10      | 9.96              | 1.0              |
| 50             | 14.13      | 13.95      | 14.15      | 14.08             | 1.4              |
| 75             | 17.24      | 17.24      | 17.25      | 17.24             | 1.7              |



③振り子の長さを75[cm]、振り幅20° に固定して、おもりの重さを変える

| おもりの<br>重さ(g) | 1回目<br>(秒) | 2回目<br>(秒) | 3回目<br>(秒) | 10往復する<br>平均時間(秒) | 1往復する<br>平均時間(秒) |
|---------------|------------|------------|------------|-------------------|------------------|
| 0             |            |            |            |                   |                  |
| 10            | 17.24      | 17.24      | 17.25      | 17.24             | 1.7              |
| 20            | 17.21      | 17.20      | 17.28      | 17.23             | 1.7              |
| 30            | 17.27      | 17.23      | 17.25      | 17.25             | 1.7              |

