

# おもりの動きとはたらき（ふりこ）

## 1 内容の取扱い

「おもりのはたらき」の単元では、「ふりこ」と「衝突」を選択することになっているが、ふりこについては、中学校では学習せず、高校で物理を選択しない限りは学習の機会がない。（衝突については中学校で学習する）。

教科書での扱いは、様々で一長一短がある。一つの実験方法にとらわれず、目的に適した方法を探ってみる必要がある。

	啓林館	教育出版	学校図書	大日本図書	東京書籍
おもり	分銅	フィルムケース	フィルムケース	分銅、ガラス球	分銅
支点	クリップ	割り箸	洋燈つり	クリップ	割り箸
振り幅	中心から	端から端	中心から	端から端	端から端
＼	長さ	角度	角度	長さ	角度
計り始め	端	端	端	端か中央	端
計測回数	10回×3回	1回×5回 (10回)	10回×3回	10回×3回	10回×3回
グラフ	なし	あり	なし	なし	なし
レール素材	プラスチック	不明	カーテンレール	配線カバー	カーテンレール
レール位置	斜面だけ	斜面・水平連続	斜面だけ	連続斜面	斜面だけ
ガイド	工作用紙の枠	なし	工作用紙の枠	なし	なし
測定量	木片の水平移動	木片の水平移動	木片の水平移動	球の斜面上昇	球の水平投射
球の種類	ガラス、鉄	木、ガラス、鉄	ガラス、鉄	不明	ガラス、鉄
高さ	10, 20cm	10, 15, 20cm	10, 20cm	3.6, 9cm	様々
連さ	説明	説明	説明	水平投射	説明
グラフ	なし	あり	なし	なし	なし

教科書の扱いの例

## 2 簡易振り子の製作

### (1) 準備

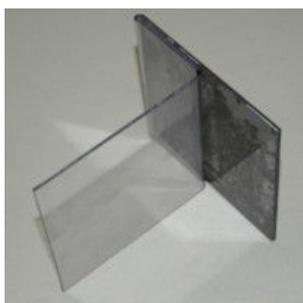
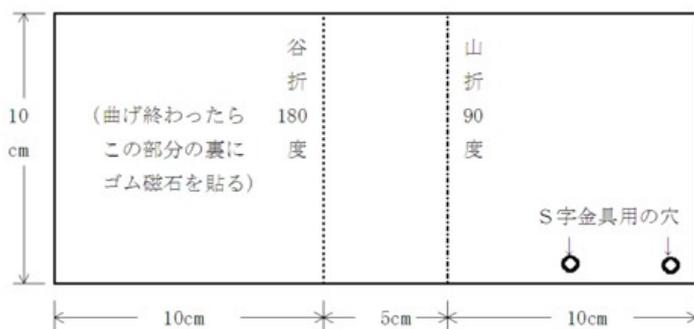
- 下振用糸（120cm程度の長さのもの）1本

ふりこにたこ糸（水糸）のような撚った糸を用いると、おもりをつるしたときに撚りが戻り、回転すると共に長さが変化する。振り子用の糸もあるが高価である。ホームセンターなどで入手できる下振用の糸が安価で使いやすい。



- マグネット付き大型フック（または、鉄製スタンド）

厚さ2mmの塩化ビニル板（またはアクリル板）を10cm×25cmに切り、下図のように2箇所折り曲げ、裏にゴム磁石（粘着材付のものが使いやすい）を10cm×10cmにして貼り付けたもので、黒板やホワイトボードに貼り付けて用いる。ある程度の重さにまで耐えられ、振り子を黒板などから離して振れるので便利である。下部に穴を開けておけば、S字金具などを使って便利である。



斜め前方から見た図



斜め後方から見た図

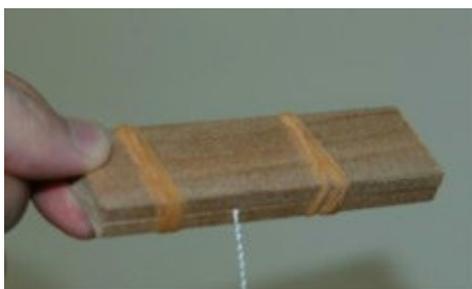


S字金具用の穴を2～3個開けておく

- ・板 2 枚
- ・輪ゴム数本
- ・フィルムケース 1 個
- ・鉄球またはビー玉 4～5 個
- ・千枚通しまたは錐
- ・磁石がつく白板（黒板）
- ・ストップウォッチ
- ・物差し（1 m）

## (2) 製作方法

- ①フィルムケースの蓋の中央に、糸を通す穴を千枚通しで開け、下振用糸を通し、抜けないように結び目を作る。
  - ②フィルムケースにビー玉か鉄球を入れ、蓋を閉める。
  - ③下振用糸を板にはさみ、輪ゴムで締め、白板に貼り付けたマグネット付きフックにクリップで留める。
- （糸に25cm、50cm、1 mの印をつけておくと良い。）



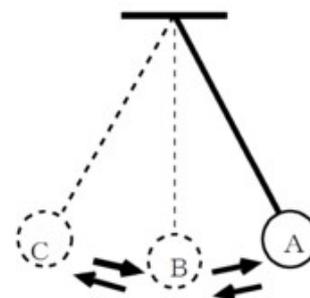
2枚の板の間に糸を挟み輪ゴムで固定      クリップで大型フックに取り付け

## 3 計測位置の違い

振り子が1往復する時間を計る方法として、次の2通りがある。

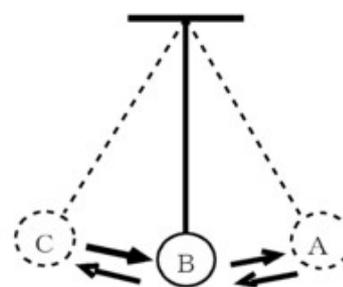
### 方法1 端で計測する方法

- ・おもりが端（A）から1往復して、また端（A）に戻るまでの時間を計る。
- ・初心者には数えやすく、計り易いように思えるが、本当に端に来たタイミングが捉えにくく、正確に計るには適さない。
- ・振れ幅が大きかったり、長さが短かったりして、おもりの動きが速いときには計りやすい。



### 方法2 中央で計測する方法

- ・中央（B）から1往復して、また中央（B）に戻るまでの時間を計る。
- ・振れた回数を数えるタイミングを、A→B→Cのように決まった向きに動くときに数えないといけない。
- ・中央がどこか、後に標線を引いておく必要があるが、おもりの動きから、中央を通過するタイミングを予測でき、正確な計測が可能である。
- ・長さが長い振り子、振れ幅が小さい振り子など、おもりの動きが遅い振り子の場合、特に有効である。



(計測例)

長さ 50cm

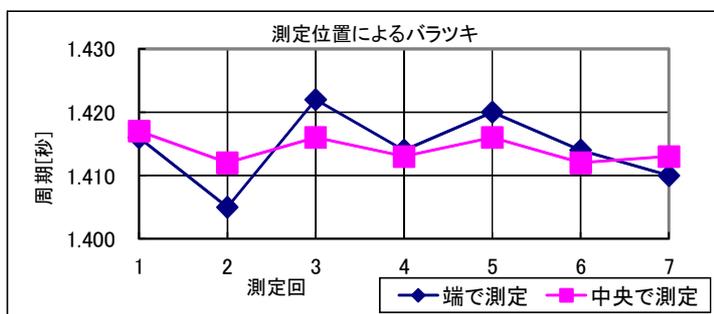
おもり 3個

振幅 10cm

測定	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	平均	ばらつき
端	1.416	1.405	1.422	1.414	1.420	1.414	1.410	1.414	0.0044
中央	1.417	1.412	1.416	1.413	1.416	1.412	1.413	1.414	0.0019

測定はすべて、10回の振動を測定した平均である。

端で測定した場合のバラツキが、中央で測定した場合の2倍以上であることが分かる。



#### 4 おもりの重さ、振り子の長さ、振れ幅による周期の変化

振り子の周期に関係すると思われる要素として、

- ① おもりの重さ
- ② 振り子の長さ
- ③ 振れ幅 (詳しい説明は以下)

が考えられるので、これらの一つ一つについて、他の要素を同じ条件にして測定する必要がある。

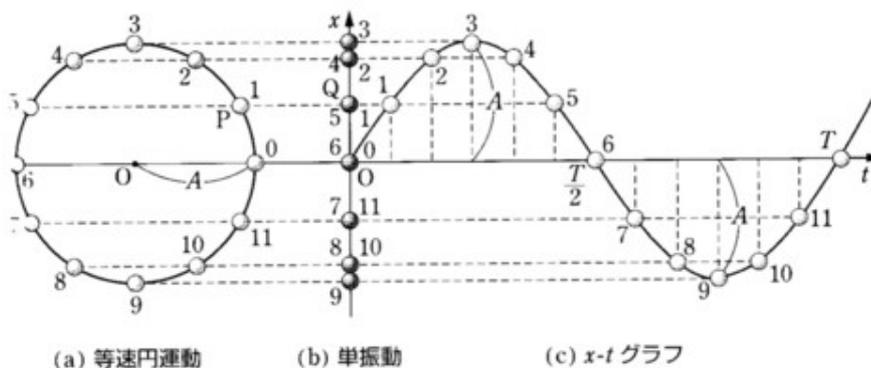
#### (振れ幅について)

振り子の振れ幅 (ふれはば) については、端から端までを考えるやすいが、一般的には、振り子や波の振幅 (しんぷく) としては、中央から端までを指す。

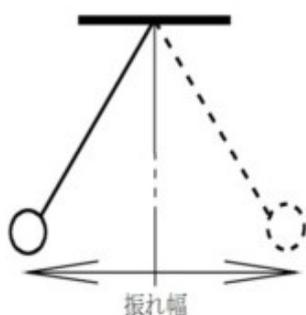
それは、このような振動は「単振動」と言われるもので、単振動は、等速円運動の正射影 (真横から光を当てたときの物体の影) であり、円運動を考えると、「半径」を考えるからである。

半径の正射影は、振動中心から端までなので、一般には振動の中心から端を「振幅」と言う。

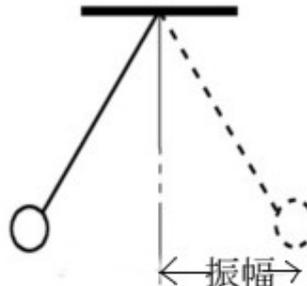
区別するために、教科書では「しんぷく」ではなく、「ふれはば」という言葉を使っている。



ふれはば

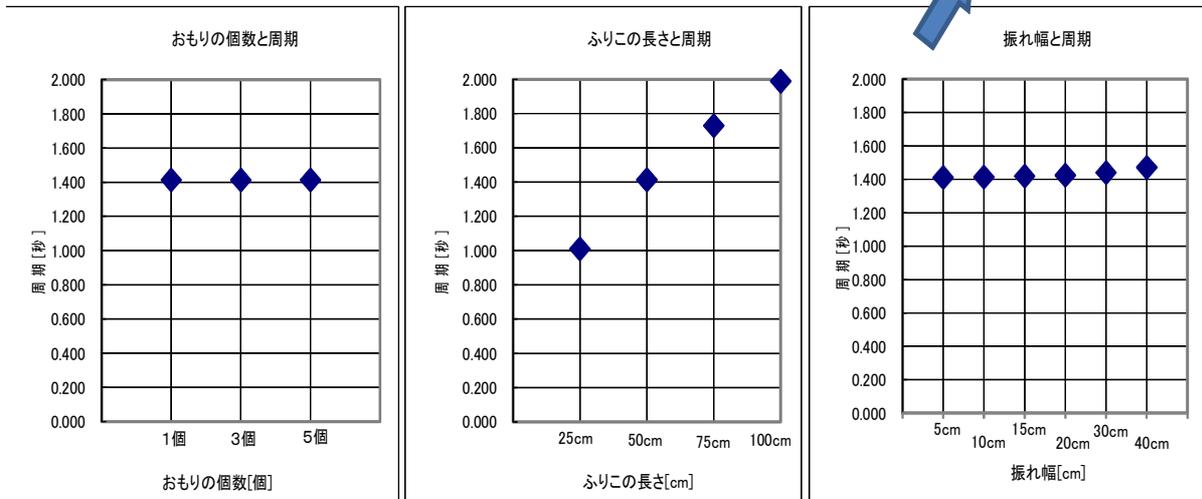
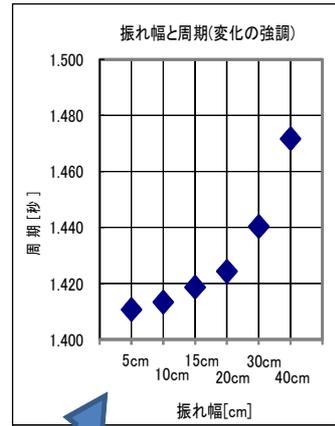


しんぷく



(計測例)

○おもりの個数と周期の関係			1回目	2回目	3回目	...	平均	
長さ	50cm	おもり	1個	1.412	1.412	1.415	...	1.413
振幅	10cm	おもり	3個	1.411	1.410	1.416	...	1.412
測定	端	おもり	5個	1.414	1.408	1.418	...	1.413
○ふりこの長さとの関係			1回目	2回目	3回目	...	平均	
振幅	10cm	長さ	25cm	1.017	1.010	1.003	...	1.010
おもり	3個	長さ	50cm	1.412	1.411	1.416	...	1.413
測定	端	長さ	75cm	1.730	1.728	1.728	...	1.729
		長さ	1m	1.993	1.970	2.003	...	1.989
○振幅と周期の関係			1回目	2回目	3回目	...	平均	
長さ	50cm	振幅	5cm	1.412	1.407	1.413	...	1.411
おもり	3個	振幅	10cm	1.414	1.414	1.412	...	1.413
測定	端	振幅	15cm	1.417	1.420	1.419	...	1.419
		振幅	20cm	1.422	1.422	1.429	...	1.424
		振幅	30cm	1.438	1.440	1.443	...	1.440
		振幅	40cm	1.466	1.467	1.482	...	1.472



値はすべて 10 回の計測の平均である。

- ①おもりの重さによる周期の変化は確認できない。
- ②振り子の長さによる周期の変化が大きく、長いものほど周期が長くなる。  
(比例関係ではない。正確には、長さの平方根と周期が比例する。)
- ③振幅による周期の変化ははっきりしないが、振幅が大きくなると、周期がほんの少し長くなる。

デジタルのストップウォッチを用いると100分の1秒まで計測でき、10回の平均をとると、1000分の1秒までの値が得られるが、測定誤差が大きい。

デジタルで表示されるので、数字の違いに眼がいくが、誤差であることを認識させる必要がある。そのためにはグラフを描かせることが有効である。グラフを描こうとすれば、100分の1秒の違いを示すこともできず、そこでの違いが取るに足らないものであることに気がしやすい。

(注意)

振幅は周期に関係しないように書いてある教科書があるが、グラフで見ても若干の変化がある(変化を強調したグラフでよく分かる)。正確に測定すれば、振幅が大きくなると周期は長くなるが、振り子の長さによる違いと比較すれば極めて小さい。これら3つのグラフを並べることによって、振り子の周期はその長さに支配されていることが明確になる。

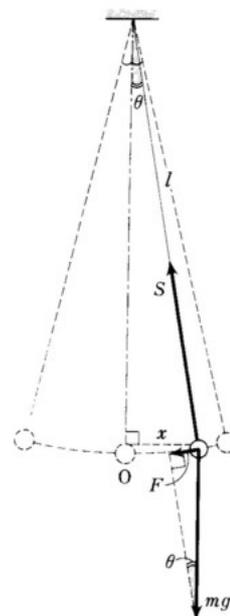
## 5 振り子の周期に関する理論と誤差

### (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。おもりにはたらく重力は鉛直下向きで、糸からの力は支点のある斜め上向きで、この2力の合力が振り子の接線方向に残り、その合力によって振り子は元の位置（最下点O）に戻ろうとするのである。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、接線方向の合力も大きくなり、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と同じである（ばねが伸びれば伸びるほど縮もうとする力は大きくなり、縮んだときも同様である）。このような、変位に比例し、元の位置に戻そうとする力のことを「復元力」と呼ぶ。復元力がはたらく物体は単振動する。

振幅を大きくしても周期に影響がなかったのは、振幅の大きさに合わせて復元力も大きくなり、大きな力で元の位置に戻そうとするから、時間が同じになるのである。

おもりが重いと復元力も大きくなるが、おもり自身が重いので慣性によりなかなか戻らせることが出来ない。結局、おもりの重さは周期に影響しなくなる。



単振り子の周期は、 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$  の式で表される。

T : 周期

l : 振り子の長さ (m)

g : 重力加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

振り子の長さ と 周期 (計算結果)

振り子の長さ [cm]	25	50	75	100
理論的周期 [秒]	1.00	1.41	1.73	2.00

家庭にある柱時計が25cm、ホールなどにある大きな振り子時計が1mの振り子になっているのは、秒単位の時間が制御しやすいからである。

### (2) 誤差について

#### ① 振幅の影響

振り子が単振動する単振り子となるのは、先の重力と糸の張力の接線方向の合力Fの水平成分  $F \cos \theta$  がFとほとんど変わらない範囲（接線方向と水平方向が平行に近いと捉えられる範囲）である。これは、 $\cos \theta \approx 1$  と見なせる、 $\theta$  が5~10°以下の範囲であり、これより角度が大きいと周期は長くなる。エの実験で、1往復の時間が振幅によって変化したのは、角度が大きすぎたことによるもので、計測の誤差ではない。

#### 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、実際に計測してみると、同じ条件の実験にもかかわらず計測値は同じにはならない。これは、人間が計測することなどが原因のさまざまな誤差が入ってくるためである。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をする必要がある。グラフを描いてみると、どれほどの違いを意識しないといけないのかがはっきり分かる。同じように、平均値を求めるのに電卓を使用する場合があるが、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は影響しない。たしかに摩擦や空気抵抗があると、振り子が戻るのを妨げることになるが、それは周期ではなく、振幅に影響してくる。すなわち、同じ位置まで戻れなくなるのである。摩擦などによって運動が妨げられるが、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、実際の振動はほとんどが減衰振動である。