

指導資料

鹿児島県総合教育センター

理科 第288号

—小学校・中学校・高等学校・特別支援学校対象—
平成24年10月発行

小・中・高等学校のつながりを考慮した指導の工夫 —振り子の運動の学習を通して—

小・中・高等学校それぞれにおいて、他校種での学習内容に留意しながら指導を行うことは、校種間の接続を滑らかにし、基礎・基本の確実な定着につながる。

そこで本稿では、振り子の運動について、小・中・高等学校における学習内容を理解し、そのつながりを考慮しながら理解を深める指導の工夫について述べる。

1 小・中・高等学校における振り子の運動の学習

学習指導要領には、小・中・高等学校それぞれでの振り子の運動の学習について、次のように記されている。

(1) 小学校理科

(2) 振り子の運動

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えること。

第5学年では、振り子の運動の規則性について、条件を制御して調べる能力を育てる。運動の変化に関係する条件として児童が想定するものに、おもりの重さ、糸の長さ、振れ幅が考えられる。

(2) 中学校理科第1分野

イ 力学的エネルギー

(イ) 力学的エネルギーの保存

力学的エネルギーに関する実験を行い、運動エネルギーと位置エネルギーが

相互に移り変わることを見だし、力学的エネルギーの総量が保存されることを理解すること。

第3学年では、振り子の運動の実験などを行い、物体の位置が低くなるに従って物体の運動は徐々に速くなることに注目させる。それにより、位置エネルギーと運動エネルギーとは相互に移り変わることを、摩擦力や空気の抵抗などが働かない場合には力学的エネルギーは保存されることを理解させる。

(3) 高等学校「物理」

ウ 円運動と単振動

(イ) 単振動

単振動をする物体の様子を表す方法やその物体に働く力などについて理解すること。

「物理」では、ばね振り子と単振り子を扱い、単振動をする物体の変位、速度、加速度を表す方法や、物体に働く復元力などについて理解させる。ここでは、物体に働く力の大きさや向きが一定でない運動の規則性を理解させることが主なねらいである。

2 振り子の等時性の学習におけるつながり

単振り子の周期は、おもりの質量や振幅には無関係であり、振り子の長さによって決まる。このことを、小学校では、条件を変えた振り子の運動の周期を測定することによって確かめる。また、高等学校では、単振動の具体例として単振り子を扱い、おもりの運動方程式から周期を求めることによって振り子の等時性を説明する。

おもりの運動方程式をつくるには、おもりに働く力を求めなければならない。それには、中学校第3学年で学習する「力の合成・分解」の知識・技能が欠かせない。

図1のように、おもりの重力 mg と糸の張力 S の合力 F_x を作図することで、 F_x を求めることができる。

振れ角 θ が小さいとき、運動方程式をつくり、振り子の長さ l の単振り子の周期 T を求めると、次の式1で表される。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \dots\dots \text{(式1)}$$

よって、周期 T は、おもりの質量 m や振れ角 θ とは無関係であり、振り子の長さ l の平方根に比例することが分かる。高等学校へのつながりを意識すれば、小学校での糸の長さを変えて行う実験では、100cmと25cmの場合を含めて測定したい。結果はそれぞれ約2.0秒、1.0秒となる。その際、糸の長さを100cm、25cmにするのではなく、振り子の支点からおもりの重心までの長さが100cm、25cmになるように糸の長さを調節し、振れ幅を小さくして実験を行うと、より正確な値が出る。また、高等学校では、この小学校で行った実験を生かして、さらに重力加速度 g の測定へと発展させることができる。

3 振り子の運動の撮影を活用した学習におけるつながり

以上のように、振り子の等時性については、小学校では実験による測定で確かめ、高等学校では理論を使つての周期の導出により説明する。その際、児童生徒は、視覚的に確認できないと、「おもりの質量が大きい方が速く運動し、周期は小さくなりそ

うなのに…。」「振幅が大きい方が移動距離は長いから、周期は大きくなりそうなのに…。」などと考え、なかなか理解しづらい。

(1) 単振り子の運動の様子と周期

そこで、時刻ごとのおもりの位置の変化の様子を視覚的に確認できるように、単振り子の運動を撮影する。振り子の長さが1.0mのとき、半周期は約1.0sとなるので、カメラの露光時間を1.0sとする。また、時刻と位置の関係を見るため、暗幕を閉めて部屋を暗くし、ストロボを発光させておもりを照らす。ストロボの発光回数を600rpmに調節すると、1.0s間で10回発光する。単振り子の変位が最大のとき、つまり、おもりが一瞬静止するときシャッターを押して、撮影した結果が写真1である。



写真1

結果を見ると10個のおもりの位置が確認でき、半周期が1.0sであることが分かる。また、おもりの質量を変えて実験を行っても、振幅を同じにすれば、おもりの時刻ごとの位置は同じになる。つまり、質量によって加速度は変化せず、同じ位置での速度は等しくなるため、周期が質量に無関係であることを視覚的に捉えることができる。

次は、振幅を小さくして実験を行う。そのときの結果が写真2である。

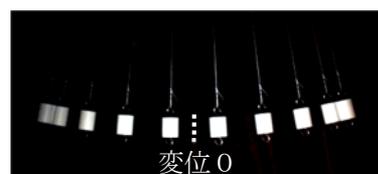


写真2

写真1と比較すると、おもりの位置の間隔は狭いが、周期は同じであること

が分かる。これは、振幅が大きいときと比べて、同じ変位での 0.1 s 間に進む距離が小さくなるため、振幅が小さくなくても周期は変わらないことを表している。つまり、周期が振幅に無関係であることを視覚的に捉えることができる。

(2) 単振り子の力学的エネルギー

単振り子の場合、おもりに働いている力は、保存力である重力と仕事をしない張力なので、力学的エネルギーが保存される。つまり、この実験は、中学校の力学的エネルギーの保存の学習へとつながる。**写真 1**を見ると、おもりは位置が低くなるほど速さが大きくなり、変位 0 を中心に線対称の運動をしていることから、位置エネルギーと運動エネルギーが移り変わりながらも保存されていることを視覚的に捉えることができる。次に、**写真 1**と比較して**写真 2**を見ると、初めにもっていた位置エネルギーが小さいと、最下点での運動エネルギーが小さくなることを視覚的に捉えることができる。

また、質量を変える実験を通して、重力による運動では、質量は、速度や加速度に無関係であることを押さえたい。

4 力学的エネルギーの保存の学習におけるつながり

力学的エネルギー保存について視覚的に理解した後は、振幅の違いによる最大の速さの違いを、単振り子を使って定量的に調べる。振幅が大きいほど、変位最大のときの位置エネルギーが大きくなるので、変位 0 のときの速さは大きくなるはずである。

(1) 定量的に確かめる実験

写真 3のように、おもりの速さを測定する変位 0 の位置（最下点）に、「ピースピ」（速さ測定器）を設置して実験を行う。振幅や最高点の高さを測定するのは難しいので、最大振れ角 θ_0 を真横から見て読み取る。



写真 3

測定した θ_0 から、振幅 $A = l \sin \theta_0$ と最高点の高さ $h = l (1 - \cos \theta_0)$ が求められる。また、単振り子を振らせ始める時は、糸が鉛直面と平行になるように注意しながら糸が強く張らないようにおもりを持ち、静かに放すことが重要である。単振り子の長さ $l = 1.0 \text{ m}$ のとき、最下点での速さ $v [\text{m/s}]$ の測定結果は、表 1 のようになった。

表 1 θ_0 と v の関係

θ_0	30°	35°	40°	45°
$A [\text{m}]$	0.50	0.57	0.64	0.70
$h [\text{m}]$	0.13	0.18	0.23	0.29
$v [\text{m/s}]$	1.58	1.83	2.08	2.31

結果から、おもりがもっていた位置エネルギーが大きいほど、最下点での運動エネルギーが大きいことが分かる。

(2) 理論や法則を確認するための分析

ここで、高等学校へのつながりを考慮し、重力加速度 $g = v^2 / 2h$ の値をそれぞれ求める。すると、全て 9~10 の範囲の値となるので、最下点での速さの 2 乗は最高点の高さに比例することが分かる。また、 $T = 2\pi A / v$ を使って周期をそれぞれ求めると、全て 1.9~2.0 の範囲の値となる。しかし、この実験では、最下点での速さ v の違いがはっきり出るように振れ角 θ を大きくしたため、理論値との差が生じる。さらに、最大振れ角 θ_0 が大きいほど、抵抗等の外力の影響も大きくなっている。したがって、重力加速度の測定については、周期を直接測定し、式 1 を利用する方がよい。

5 ばね振り子の学習におけるつながり

中学校では、伸び縮みしたばねもエネルギーをもっていることを学習する。このとき、重力による位置エネルギーと同様、弾性エネルギーも位置エネルギーであることについて触れておきたい。つまり、ばねによる運動は、保存力以外の力がはたらかないか、はたらいても仕事をされなければ、力学的エネルギー保存の法則が成り立つ。

(1) ばね振り子のエネルギーと運動の様子

一端を固定したばねの他端におもりを取り付け、単振動させるとばね振り子になる。鉛直方向に振動させた場合、弾性エネルギーと重力による位置エネルギーと運動エネルギーが移り変わりながら振動するが、重力と弾性力以外の力を無視できれば力学的エネルギーは保存される。



写真4

ばね振り子の運動は、単振り子と同様に撮影することで、視覚的に捉えやすくなる。写真4を見ると、つり合いの位置変位0を中心に線対称の運動をしていることが分かる。また、おもりの速さは、変位0の位置にあるとき最大で、変位最大の位置にあるとき0になっていることも視覚的に捉えることができる。これは、高等学校での「単振動」の学習につながり、物体の変位と速度、加速度及び復元力を理解しやすくする。

(2) ばね振り子の周期

高等学校でのばね振り子の周期の学習については、実験を通じた探究的な活動が効果的である。その際、単振り子の周期について、条件を制御しながら調べる小学校での学習を参考にしたい。条件制御を考慮しながら実験を計画、実行することは、これまで培ってきた知識・技

能を活用するだけでなく、科学的な見方や考え方を育てる機会となる。高校生は、小・中学生に比べて理論や法則に関する知識が豊富なので、より深い思考が可能となる。

ばね振り子の周期が単振り子の周期と違う点は、おもりの質量が影響する点である。表2は、同じばねを使い、おもりの質量 m [kg] を変えて、同じ振幅で振動させたときの周期 T [s] を測定した結果である。

表2 m と T の関係

m [kg]	0.100	0.200	0.300	0.400
T [s]	1.53	2.15	2.61	2.97
$\frac{m}{T^2}$	0.0427	0.0433	0.0440	0.0453
$\frac{4\pi^2 m}{T^2}$	1.69	1.71	1.74	1.79

結果から、 m/T^2 の値はほぼ一定なので、ばね振り子の周期は、おもりの質量の平方根に比例することが分かる。この値の $4\pi^2$ 倍は、ばね定数を表す。ばね定数の求め方については、中学校第1学年において実験を通して学習している。実際に、このばねに 100 g のおもりを吊るすと、ばねは自然長から 53.0 cm 伸びた。フックの法則より、ばね定数は 1.85 N/m となる。物理領域の実験では、結果の値に差が生じた理由を考えることも、思考力、判断力、表現力を育む。

振り子の運動の学習のように、物理領域の内容は、小・中・高等学校で学ぶ様々な考え方や知識が組み合わさって、概念を形成していく。正しい概念形成を確実に行うためには、児童生徒がどの内容をどのように学習してきた、今後学習するのかを把握した上で、前後のつながりを考慮した指導を行う必要がある。

—参考文献—

- 文部科学省『小学校学習指導要領解説—理科編—』平成20年8月
- 文部科学省『中学校学習指導要領解説—理科編—』平成20年9月
- 文部科学省『高等学校学習指導要領解説—理科編—』平成21年12月

(教科教育研修課)