

斜面を転がる球の衝突実験の物理学的考察 —小学校および中学校の理科教科書に記載されている実験を題材として—

A Study of the Collision Experiment of a Sphere Rolling down a Slope : Using the Experiment Described in Science Textbooks of Primary School and Junior High School

山 本 逸 郎*・古 川 由美子*・野土谷 桃 子**

Itsuro YAMAMOTO*, Yumiko KOGAWA*, Momoko NOTOYA**

【論文要旨】

中学校理科第1分野「エネルギー」の単位では、高い位置にある物体がもつエネルギーを調べる実験として、斜面を転がる球を木片に衝突させる実験が教科書に記載されている。教科書では、球のもつ位置エネルギーが木片を押す仕事に使われると解釈し、木片の移動距離が球の質量に対して比例するグラフを掲載しているが、実際に実験してみると比例しないことがわかる。本研究では、得られた実験結果を解析し、球と木片の運動を詳しく考察する。

キーワード：中学校理科第1分野「エネルギー」、小学校理科5年「おもりのはたらき」、おもりの衝突実験器

§1. はじめに

中学校理科の学習指導要領¹⁾の内、

第1分野

(5)運動の規則性

(ア) 省略

(イ) 省略

(ウ) エネルギーに関する実験や体験を通して、エネルギーには運動エネルギー、位置エネルギー、電気、熱や光など様々なものがあることを知るとともに、エネルギーが相互に変換されること及びエネルギーが保存されることを知ること。

の内容を受けて、中学校理科の教科書^{2,3)}には、エネルギーの章が設定されている。その中で、高い位置にある物体がもっているエネルギーを調べる実験として、球を斜面から転がして木片に当て、木片が動く距離を測定する実験がある(図1の上)。教科書では、木片の移動距離が球の高さと球の質量のどちらにも比例するグラフ(図1の下)を使っ

て、「グラフから、物体のもつ位置エネルギーは、物体の高さが高いほど、質量が大きいほど大きいことがわかる。」と記述している。これらのグラフと記述から、球のもつ位置エネルギーは、球が木片を押す仕事に使われると解釈していることがわかる(詳しくは、4-2. で論じる)。しかしながら、実際にこの実験を行ってみると、木片の移動距離は球の質量に対して単純に比例しない。すなわち、上の解釈には問題がある。以上の事実は、教科書会社の指導書^{4,5)}を見ても何も触れられていない。

図1と同じ実験は、小学校理科5年の教科書⁶⁾の単位「おもりのはたらき」にも記載されている。ただし、小学校理科の学習指導要領⁷⁾に、

第5学年

B 物質とエネルギー

(3) おもりを使い、おもりの重さや動く速さなどを変えて物の動く様子を調べ、物の動きの規則性についての考えをもつようにする。

ア 省略

イ おもりが他の物を動かす働きは、おもりのおもりの重さや動く速さによって変わることを。

*弘前大学教育学部理科教育講座

Department of Science Education, Faculty of Education, Hirosaki University

**2003年3月、弘前大学教育学部小学校教員養成課程卒業

Graduation from Primary School Teacher Training Division, Faculty of Education, Hirosaki University in March 2003

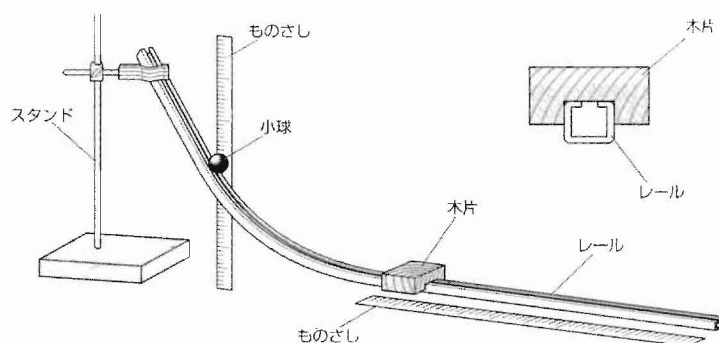


実験 3

高いところにある物体がもつエネルギーを調べよう

小球の高さを変えて木片の移動距離を調べる 小球の質量を変えて木片の移動距離を調べる

準 備 レール、小球(質量のちがうものを3種類)、木片、スタンド、ものさし(2)



- ① 球をいろいろな高さからころがして木片に衝突させ、木片の移動距離を調べる。
- ② 質量のちがう球を同じ高さからころがして木片に衝突させ、木片の移動距離を調べる。

まとめ ① 球の高さと木片の移動距離との関係をグラフにする。
② 球の質量と木片の移動距離との関係をグラフにする。

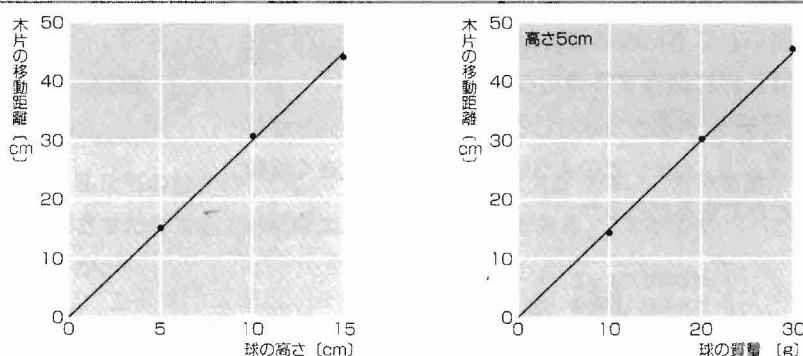


図1 位置エネルギーの大きさ(実験3の結果の例)

図1 中学校理科の教科書に記載されている実験。文献2)より転載。

とあるように、小学校では、木片の移動距離と球の高さおよび球の質量の関係について、グラフにしたり比例することをおさえるのではなく、あくまで定性的に取り扱う。

本研究では、斜面を転がる球の衝突実験を行い、得られた実験結果を詳しく解析することによって、球と木片の運動を明らかにする。これらの内容は、小・中学校で理科を教える教員にとって、衝突実験の教材研究を行う際に大いに参考になると考えている。そこで、少しでも多くの理科教員に目を通してもらうために、通常の物理論文では省略される物理量や式も、できるだけ丁寧に説明していくことにする。

§2. 実験方法

小・中学校用の理科実験教材として市販されて

いる中村理科の「おもりの衝突実験器OS-90N」(図2)を使用した。この実験器では、教科書の木片の代わりに、プラスチック片を使用する。約90cmのプラスチック製レールの真ん中を衝突点として、その左半分が斜面を、右半分が水平面を構成する。斜面の高さは、簡単に5cm, 10cm, 15cmの3段階に調節できる。水平面のレールの溝には、衝突点をゼロとしてスケール(巻き尺の金

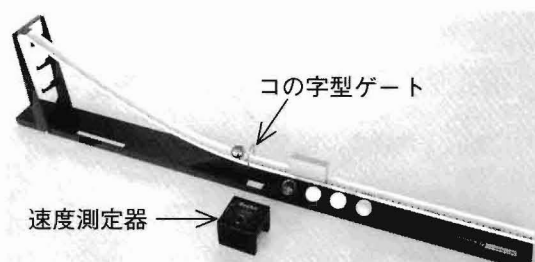


図2 おもりの衝突実験器

表1 球の質量と直径

	質量 [g]	直径 [mm]
鉄球	67.013	25.45
ガラス球	19.818	24.65
磁製球	18.962	24.65
プラスチック球	9.584	25.45
木球	5.220	25.15

属スケール) が貼り付けられており、プラスチック片の移動距離が直読できる。

球として、実験器に付属の鉄球、磁製球、プラスチック球、木球の他に、ガラス球を用意した。表1にそれぞれの球の質量と直径をまとめる。表より、球は直径約25mmのほぼ等しい大きさに揃っていることがわかる。プラスチック片(大きさ60mm×40mm×15mm)の質量は50.362gで、鉄球よりも軽く、ガラス球、磁製球、プラスチック球、木球よりも重い。

この実験器独自の仕様として、衝突点の位置にコの字型のゲートを取り付けることができる(取り外し可能)。ゲートを取り付けることによって、斜面を転がってきた球が、プラスチック片と衝突後、レールの水平面に進入するのを阻止し、プラスチック片との多重衝突を防ぐ役目を果たす。

衝突直前の球の速度の測定は、衝突点の位置に中村理科の「速度測定器(ビースピ)」を置いて測定した。

§3. 実験結果

コの字型ゲートのあるなしに関わらず、球をプラスチック片に衝突させると、衝突後、球とプラスチック片は一旦離れて、それぞれ独立に運動する。すなわち、プラスチック片の運動は、球がプラスチック片を押す仕事によってなされるのではない。

図3に、コの字型ゲートを取り付けた場合について、球の高さ h を変えたときのプラスチック片の移動距離 x を、それぞれの球に対してプロットしたグラフを示す。マークが実験値であり、異なる球毎にマークを変えている。各実験条件(球の種類、球の高さ)毎に5回以上の測定を行い、それらの平均値を実験値としてプロットしている。測定値のばらつき、すなわち、平均値の標準誤差の範囲は、マークの大きさよりも十分に小さい。破線は、最小二乗法を使って実験値を通るように引いた近似直線である。いずれも原点を通る直線が得られる。すなわち、それぞれの球に対し、球

の高さ h とプラスチック片の移動距離 x は比例関係にあることを示す。

図4は、同じ実験値を、球の質量 m を変えたときのプラスチック片の移動距離 x の関係に直したグラフである。球の高さ h 毎にマークを変え、質量の小さい順に、木球、プラスチック球、磁製球、ガラス球、鋼鉄球に対応する。ここで、近似直線である破線に注意していただきたい。いずれの波線も原点を通過していない。すなわち、球の質量 m とプラスチック片の移動距離 x の関係は、単純な

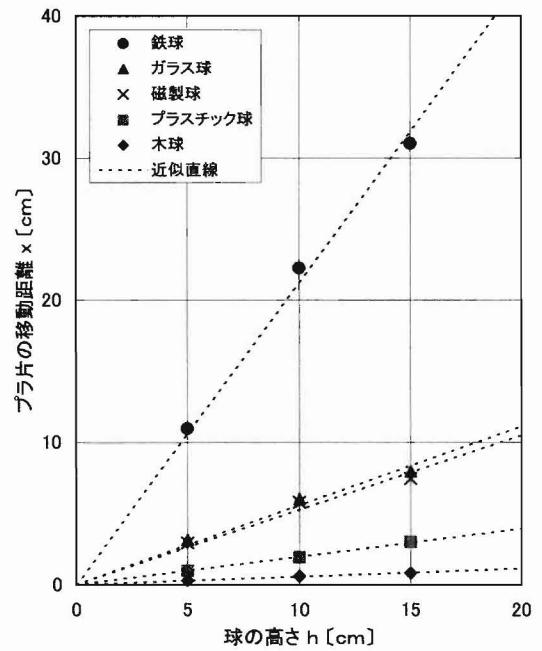


図3 球の高さ h とプラスチック片の移動距離 x の関係

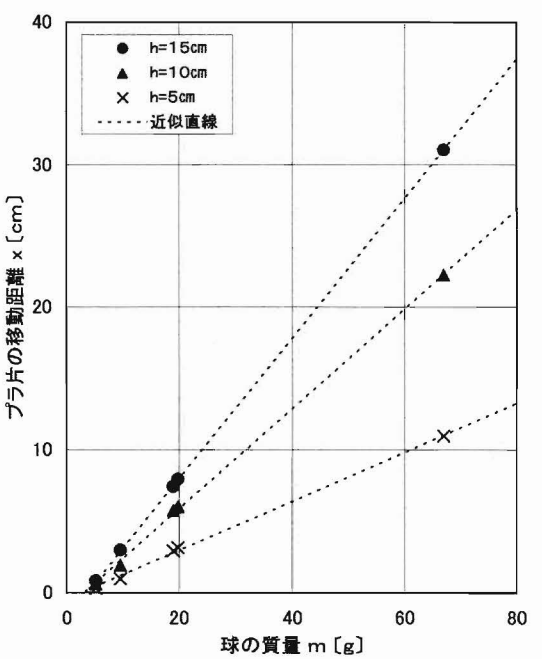


図4 球の質量 m とプラスチック片の移動距離 x の関係

比例関係にならないことがわかる。

コの字型ゲートをはずした場合、衝突後、一旦離れた球とプラスチック片は、2度、3度、…と衝突を繰り返し、やがて静止する。この多重衝突により、各実験条件に対するプラスチック片の移動距離 x は、コの字型ゲートを取り付けた場合よりも大きい値になるが、基本的に同じ傾向のグラフが得られる。ただし、測定値のばらつきは大きくなる。この多重衝突の効果を正確に見積もり、解析に取り入れることは難しいと判断し、次節では図3および図4に示したコの字型ゲートを取り付けた場合の結果について解析する。

§4. 考察

4-1. 運動の解析

球とプラスチック片の運動を、

- 斜面を転がる球の運動
 - 球とプラスチック片の衝突
 - プラスチック片の運動
- の3つに分けて、解析していく。

a) 斜面を転がる球の運動 (図5)

高さ h の位置にある球の重力による位置エネルギー U は、球の質量を m 、重力加速度を g とすると、

$$U = mgh \quad (1)$$

で与えられる。また、速度 v で運動する球の運動エネルギー K は、

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2)$$

で与えられる。実験において、高さ h の位置に置いた球は、初速度を与えず静止状態から運動させるので、始めに球のもつ全力学的エネルギーは、位置エネルギーのみである。これが衝突直前の水平面で、すべて運動エネルギーに変わると考えると、力学的エネルギー保存則より、

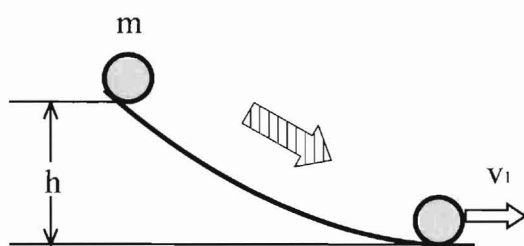


図5 斜面を転がる球の運動

$$mgh = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad (3)$$

となる。ここで、衝突直前の球の速度を v_1 とおいた。 v_1 について解くと、

$$v_1 = \sqrt{2gh} \quad (4)$$

が得られる。

以上の力学的エネルギー保存則は、球を質点と見なした質点モデルの場合に成立する。すなわち、球は摩擦のない斜面を転がることなく、なめらかに滑ることを仮定している。しかしながら、実際の運動では、球は斜面を回転しながら転がっていく。そこで、球の回転運動の効果を取り入れることにする。

半径 R の剛体球が転がり運動をする場合、球の重心のまわりの回転運動エネルギーは、 I を球の重心を通る回転軸のまわりの慣性モーメント、 ω を球の角速度とすると、 $\frac{1}{2}I\omega^2$ で与えられる。従って、球の全運動エネルギーは、重心のまわりの回転運動エネルギーと重心の並進運動エネルギーの和となる。

$$K = \frac{1}{2}I\omega^2 + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}I\left(\frac{v}{R}\right)^2 + \frac{1}{2}mv^2 \quad (5)$$

ここで、2項目から3項目の式変形には、角速度 ω と球の重心の並進運動の速度 v の間の関係式 $v = R\omega$ を使った。この場合の力学的エネルギー保存則は、

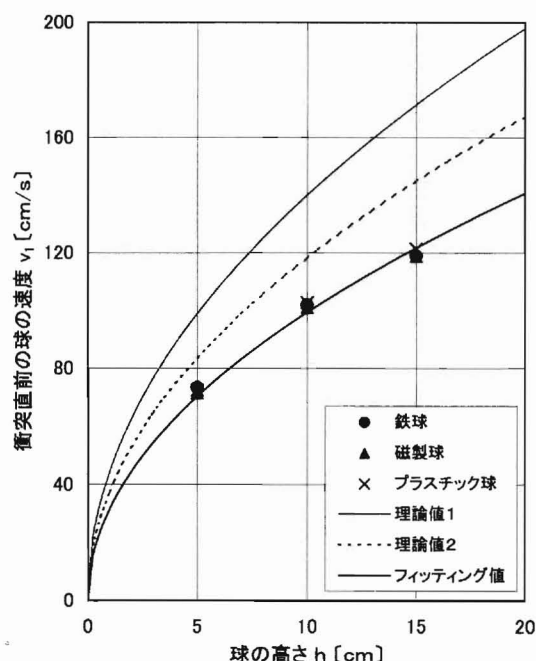
$$mgh = \frac{1}{2}\left(\frac{I}{R^2} + m\right)v_1^2 \quad (6)$$

となり、さらに、球の慣性モーメント I に具体的な式 $I = \frac{2}{5}mR^2$ を代入して、衝突直前の球の速度 v_1 について解くと、

$$v_1 = \sqrt{\frac{10}{7}gh} = \sqrt{\frac{5}{7}}\sqrt{2gh} \quad (7)$$

が得られる。すなわち、球の回転運動エネルギーを考慮することによって、 v_1 は(4)式の約 $\left(\sqrt{\frac{5}{7}} \approx\right)$ 85%の値になる。

図6に、速度測定器（ビースピ）を用いて測定した衝突直前の球の速度 v_1 を、球の高さ h に対してプロットしたグラフを示す。マークの実験値は、各高さ h に対して、球の質量に依らず一定の値をとる。理論値1で示す曲線は、(4)式で表される曲線で、すなわち、球の位置エネルギーが100%球の並進運動エネルギーに変換すると仮定したものである。理論値2は、(7)式で表される曲線、すなわち、球の回転運動エネルギーの寄与を考慮した


 図6 球の高さ h と衝突直前の球の速度 v_1 の関係

ものである。理論値1よりも理論値2の方がより実験値に近づいているが、まだ実験値よりも大きめの v_1 の値を取る。フィッティング値は、実験値を通るように(4)式に一定の係数0.71をかけて得られた曲線である。

始めの球の位置エネルギーがすべて並進運動エネルギーに変換した場合の速度を100%とすると、(100%-85%=) 15%は、球が転がり運動をすることによって、位置エネルギーの一部が回転運動エネルギーにも消費されるのに伴う速度の減少分である。残りの (85%-71%=) 14%は、理想的な転がり運動をしないことによる球と斜面のレールとの摩擦によるエネルギーの損失に伴う速度の減少分と考えられる。ここでは詳細は示さないが、斜面のレールの長さを変えたり、レールの湾曲の度合いを変えたり、レールの溝幅に対する球の直径を変えることによって、この14%の値は多少変化することを確認している。以後の解析では、フィッティング値を使っていく。

図6の球の高さ $h=15\text{cm}$ のときの実験値が、5cmと10cmのときに比べて、フィッティング曲線の下目になっている。この実験器ではレールの高さを上げることによってレールの湾曲の度合いが大きくなるが、それに伴って、湾曲部のレールの溝の幅がわずかに広がる。その結果、レールと球の接触面が増え、速度の減少分が若干増加したと考えられる。図3のグラフにおいて、すべての球の

$h=15\text{cm}$ のときの実験値が近似直線の下目になっているのも、同じ原因による v_1 の減少が反映されていると考えている。

b) 球とプラスチック片の衝突 (図7)

次に、速度 v_1 で進む球 (質量 m) が静止しているプラスチック片 (質量 M) と衝突する運動を解析する。衝突後の球の速度を v_1' 、プラスチック片の速度を v_2' とすると、衝突の前後で運動量保存則が成立する。

$$mv_1 = mv_1' + Mv_2' \quad (8)$$

また、この衝突を反発係数1の弾性衝突と考えると、次式が成り立つ。

$$1 = \frac{v_2' - v_1'}{v_1} \quad (9)$$

両式より、 v_1' と v_2' は、それぞれ、

$$\begin{cases} v_1' = \frac{m-M}{m+M}v_1 \\ v_2' = \frac{2m}{m+M}v_1 \end{cases} \quad (10)$$

で与えられる。

(10)式より計算した衝突直後の球の速度 v_1' を図8に、衝突直後のプラスチック片の速度 v_2' を図9に、球の質量 m の関数として示す。図8は、球の質量 m の増加と共に、 v_1' が負の値から正の値に変わる曲線を示す。ここで、 v_1' がゼロ横切るのは、ちょうど球の質量 m がプラスチック片の質量50.362gに等しい場合に相当する。プラスチック片の質量よりも軽いガラス球、磁製球、プラスチック球、木球の衝突では、 v_1' は負の値になり、衝突後これらの球は、一旦、後ろに跳ね返される。一方、プラスチック片の質量より重い鉄球の衝突では、 v_1' は正の値になり、衝突後も鉄球は進行方向に進む。ただし、衝突直後の鉄球の速度 v_1' は、図9の衝突

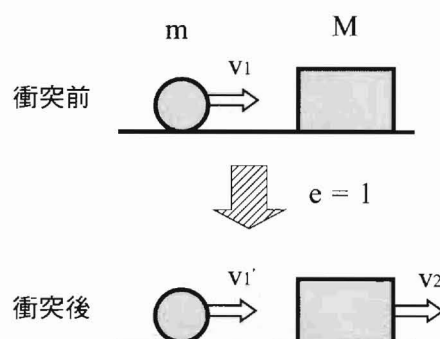
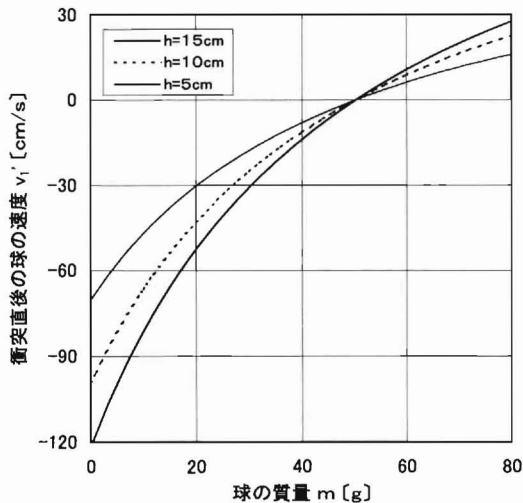
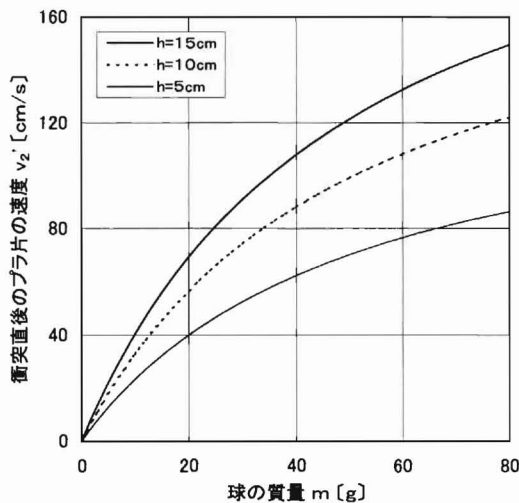


図7 球とプラスチック片の衝突

図8 球の質量 m と衝突直後の球の速度 v_1' の関係図9 球の質量 m と衝突直後のプラスチック片の速度 v_2' の関係

直後のプラスチック片の速度 v_2' に比べて約1/8と小さく ($h=15\text{cm}$, $m=67.013\text{g}$ のとき, $v_1'=17.3\text{cm/s}$, $v_2'=139\text{cm/s}$), 衝突後鉄球とプラスチック片は離れることを注意しておきたい。

ここで、球とプラスチック片の衝突をエネルギーの立場から眺めてみる。図10は、球の質量 m の関数として、衝突前後の球とプラスチック片の運動エネルギーを、 $h=15\text{cm}$ の場合に対して示したグラフである。 K_1 が衝突直前の球の運動エネルギー、 K_1' が衝突直後の球の運動エネルギー、 K_2' が衝突直後のプラスチック片の運動エネルギーを表す。ここでの衝突は、反発係数1の弾性衝突と考えているので、衝突の前後でエネルギー保存則も成立し、すなわち、

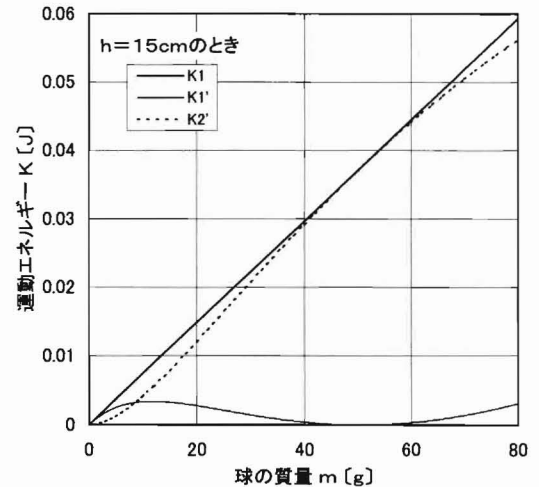


図10 衝突前後の球とプラスチック片の運動エネルギー

$$K_1 = K_1' + K_2' \quad (11)$$

が成り立つ。衝突前の球の運動エネルギー K_1 は、球の質量 m の増加と共に比例する。一方、衝突後の球の運動エネルギー K_1' は、始めゼロから増加するが、すぐに減少に転じ、50gの周りで下に凸のくぼみをつくる曲線を示す。これは、図8において、 m がプラスチック片の質量と等しい50.362gで、 v_1' がゼロを横切ること起因する。衝突後のプラスチック片の運動エネルギー K_2' は、 K_1' の曲線を反映し、 K_1 の直線の下側に沿った曲線を示す。

c) プラスチック片の運動 (図11)

衝突後、球とプラスチック片は離れて運動する。そのときのプラスチック片の運動は、初速度 v_2' をもったプラスチック片が、レールの水平面に貼り付けたスケールとの間の一定の摩擦力 f を受けて徐々に減速し、やがて距離 x だけ移動したところで停止する運動と見なすことができる。

プラスチック片の底面とスケール面との間にはたらく摩擦力 f は、摩擦係数を μ とすると、

$$f = \mu N = \mu Mg \quad (12)$$

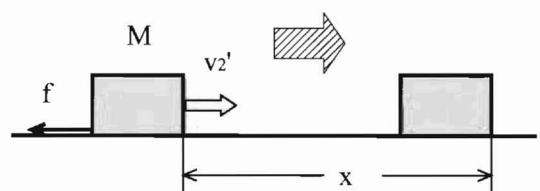


図11 プラスチック片の運動

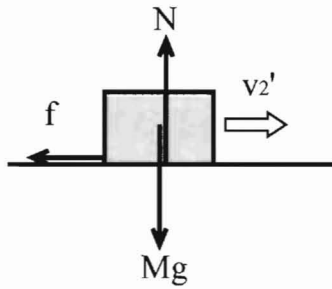


図12 運動するプラスチック片にはたらく力

で与えられる。ここで、2項目の中の N は、プラスチック片がスケール面から受ける垂直抗力であり、3項目への式変形は、この垂直抗力 N の大きさがプラスチック片にはたらく重力 Mg に等しいことによる。図12に、運動しているプラスチック片にはたらくこれらの力の様子を示す。

始めのプラスチック片の運動エネルギーは $K_2' = \frac{1}{2}Mv_2'^2$ であり、終わりの運動が停止した状態では、運動エネルギーはゼロになる。この運動エネルギーの変化が、摩擦力がする仕事 $-fx$ に等しいので、

$$0 - \frac{1}{2}Mv_2'^2 = -\mu Mg x \quad (13)$$

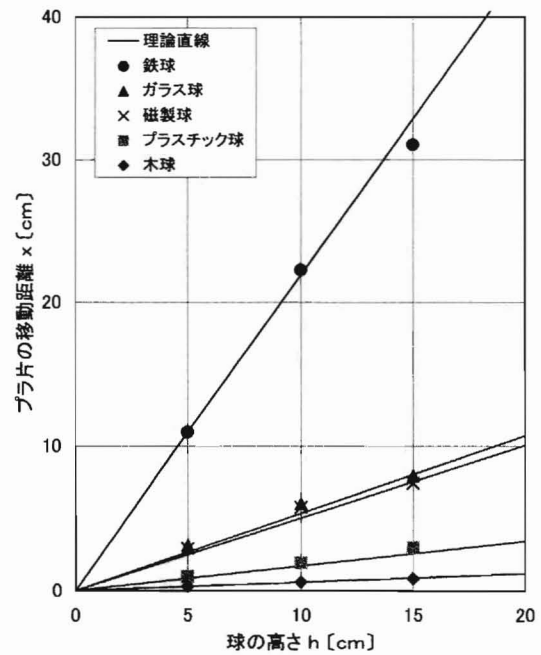
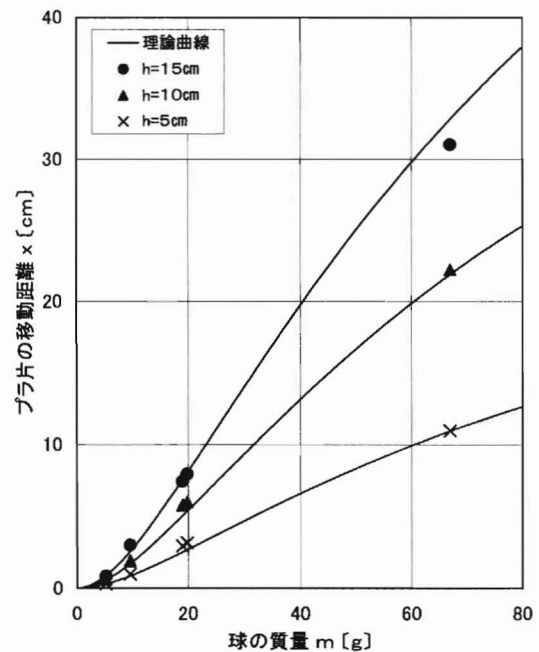
が成立し、プラスチック片の移動距離 x は、

$$x = \frac{v_2'^2}{2\mu g} \quad (14)$$

で与えられる。

図13に、摩擦係数 μ の値として0.30を仮定し、(14)式を使って計算したプラスチック片の移動距離 x を、球の高さ h に対して描いたグラフを示す。いずれの球に対しても、実線の理論値はマークで示した実験値をよく再現する。すなわち、球の高さ h とプラスチック片の移動距離 x の関係は、理論的にも原点を通る直線、すなわち、比例関係になることがわかる。

図14は、プラスチック片の移動距離 x を、球の質量 m に対して描いたグラフである。比例関係にはならない実験値は、図14の実線で示した理論曲線によってよく再現される。すなわち、球の質量 m とプラスチック片の移動距離 x の関係は、図4の波線で示した原点を通らない直線ではなく、理論的には図14の実線で示した原点を通る曲線になる。ここで(13)式に注目すると、右辺の中の μMg は定数で与えられる。このとき、衝突直後のプラスチック片の運動エネルギー $K_2' = \frac{1}{2}Mv_2'^2$ は、移動距離 x に比例する。すなわち、図10の衝突によっ


 図13 球の高さ h とプラスチック片の移動距離 x の関係

 図14 球の質量 m とプラスチック片の移動距離 x の関係
 プラスチック片に配分された運動エネルギー K_2' の曲線の形が、図14の理論曲線の形を与えていることがわかる。

4-2. 教科書の実験

図1の上に示したように斜面を転がる球の衝突実験は、中学校理科の教科書^{2,3)}に記載されている。教科書では、木片の移動距離が球の高さと球の質量の両方に比例するグラフ(図1の下)を使っ

て、物体のもつ位置エネルギーが物体の高さと質量に比例することを教える。このとき、「木片の移動距離を調べること＝球の位置エネルギーの大きさを調べること」になっている。では、教科書では運動をどのように解釈しているのだろうか。

教科書は、次の運動を仮定していると思われる。

- ①始め h の高さにある質量 m の球は、重力による位置エネルギー $U=mgh$ をもつ。
- ②この球が斜面を転がり下りることによって、位置エネルギー U は運動エネルギー K に変換する($U \propto K$)。
- ③球のもつ運動エネルギー K は、球が木片を押して距離 x 移動させる仕事 W に使われる($K=W$)。このとき、球が木片を押す仕事は、木片とレールの間の摩擦力 f に逆らってする仕事なので、摩擦力と向きが反対で大きさの等しい f の力を加えて距離 x 動かす仕事に等しくなり、 $W=fx$ となる。

以上のエネルギーの関係を式にまとめると、

$$U \propto K = fx \quad (15)$$

が成立する。ここで、 \propto は比例の記号で、球の位置エネルギー U は、球の回転エネルギーやレールとの摩擦によってその一部を失うが、球の運動エネルギー K に比例することを示す。木片とレール間の摩擦力 f は定数なので、(15)式は、

$$U \propto x \quad (16)$$

であり、木片の移動距離 x を調べることが、球のもつ位置エネルギー U の測定になる。さらに、 $U=mgh$ より、

$$\begin{cases} h \propto x & (m \text{ が一定のとき}) \\ m \propto x & (h \text{ が一定のとき}) \end{cases} \quad (17)$$

となり、木片の移動距離 x が、球の高さ h と質量 m に比例する図1の下グラフが得られる。

本研究の運動の解析と教科書の運動との違いを見て行くことにする。教科書の運動の①②は、本研究でも正しい。根本的な違いは③の運動にある。すなわち、実際の運動は球が木片（プラスチック片）を押す仕事をするのではなく、球と木片が衝突することによって衝突前の球の運動エネルギー K_1 が衝突後の球と木片に分配され、その分配された木片の運動エネルギー K_2' が摩擦力に逆らった木片の運動に使われる。図10において、 K_1 の直線と K_2' の曲線が一致しないのにもかかわらず、

教科書では $K_1=K_2'$ と近似させている。

木片の質量と3種類ほどの球の質量を適当に選択することによって、木片の移動距離 x と球の質量 m の関係について強引に比例直線を引かせることが可能な場合があるかもしれない。しかし、本研究の市販の実験器を使った実験結果（図4および図14）を見てわかるように、得られた結果を比例と見なすのは、かなり無理があると思われる。

中学校の理科教員からは、物理関係の実験を行っても、なかなか教科書通りの結果にならないとの話をよく耳にする。例えば、斜面を運動する力学台車の時間と速度の関係を調べる実験とか、水の中にニクロム線を入れ、電圧・電流を加えることによって水温の時間変化を調べる実験とか、本研究で取り上げた斜面を転がる球の衝突実験、等が挙げられる。始めの2つの実験に関しては、教員が実験方法にちょっとした注意・工夫を加えることによって解決できる問題である。しかしながら、本研究で取り上げた実験は、物理的に厳密には比例しないものを、教科書では近似で比例と解釈している。もし、生徒が丁寧に正確な実験を行うほど、教科書通りの結果にならないことに注意してほしい。理科の教員がこの実験を取り上げる場合は、本研究で述べた実験の物理的な本質を理解して教材研究に取り組んでほしいと考える。

§5. まとめ

中学校および小学校の理科教科書に記載されている斜面を転がる球の衝突実験を取り上げ、市販の実験器を用いて実験を行い、球とプラスチック片の運動を詳しく解析した。その結果は、次のようにまとめられる。

- 1) 始めに球のもつ位置エネルギーは、球が斜面を転がり下りることによって球の運動エネルギーに変換するが、球の回転エネルギーやレールとの摩擦によってエネルギーを損失する。
- 2) 球とプラスチック片の衝突は、運動量保存則およびエネルギー保存則の成り立つ弾性衝突と考えることができ、衝突前の球の運動エネルギーは、衝突後の球とプラスチック片の運動エネルギーにそれぞれ分配される。
- 3) 衝突後のプラスチック片の運動エネルギーは、プラスチック片とレールとの間の摩擦力による減速運動に使われる。
- 4) 以上の解析に基づいて導出した理論曲線は、得られた実験結果をよく再現する。すなわち、

球の高さとプラスチック片の移動距離の関係は比例する。一方、球の質量とプラスチック片の移動距離の関係は、比例でなく、原点を通る曲線になる。

中学校理科の教科書では、衝突前の球の運動エネルギーと衝突後のプラスチック片（木片）の運動エネルギーが等しいという近似に基づいた記述がされており、現場でこの実験を取り上げる際には、十分な注意が必要である。

文献

- 1) 中学校学習指導要領（平成10年12月）解説理科編，平成11年9月，文部省.
- 2) 中学校理科1分野下，平成13年2月検定済，学校図書.
- 3) 新しい科学1分野下，平成13年2月検定済，東京書籍.
- 4) 中学校理科1分野下教師用指導書，学校図書.
- 5) 新しい科学1分野下教師用指導書，東京書籍.
- 6) みんなと学ぶ小学校理科5年，平成16年2月検定済，学校図書.
- 7) 小学校学習指導要領解説理科編，平成11年5月，文部省.

(2005. 7. 25受理)