

# どこまで力学的エネルギーを保存できるか

静岡県立下田高等学校

## 1. 動機

力学的エネルギー保存則は、坂を下る自転車、ジェットコースターやブランコなど日常の様々な場面で感じるができるが、これらの運動は次第に減速し、最後には静止してしまう。この法則は物体に保存力だけがはたらくとき、または非保存力がはたらいても仕事をしないとき、位置エネルギーと運動エネルギーの和である力学的エネルギーは一定に保たれるというものである。しかしながら、現実には非保存力が仕事をするため、力学的エネルギーは保存されない。そこで私たちは失われたエネルギーが何に使われたのかを明らかにすることを目的とし、実験をすることにした。なお、保存力とは仕事が経路に依らない力のことである。

## 2. 方法

すべての方法において、プラスチックのレール（株式会社アーテックから購入）を用いた。第一の実験では、装置を作成 [図 1] し、レールの形状を固定して、鉄球を転がし始める高さのみを変えて、鉄球が最下点を通過する速度を測定した。

第二の実験では、高さを 0.23 m に固定して、レールを自由落下、サイクロイド曲線、放物線、直線の形状に保つために発泡スチロールに固定し、最下点での鉄球の通過する速度を測定した。そして、運動エネルギーを算出する式① [参考 1] から算出した 0 m 地点での鉄球の速度の理論値から算出した運動エネルギーと比較した。なお、サイクロイド曲線とは、直線上を円が転がるときに、円のある一点が描く曲線のことである。

$$mgz = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 + Q + A \quad \dots \text{式①}$$

$m$ [kg]	鉄球の質量
$z$ [m]	最下点からの高さ
$g$ [m/s <sup>2</sup> ]	重力加速度
$Q$ [J]	摩擦エネルギー

$v$ [m/s]	鉄球の速度
$\omega$ [rad/s]	鉄球の角速度
$I$ [kg·m <sup>2</sup> ]	鉄球の慣性モーメント
$A$ [J]	その他のエネルギー

第三の実験では、レールの形状を直線にするために鉄板に貼り付けて固定し、地面とレールのなす角を 90°, 60°, 45°, 30° として測定した。

## 3. 結果

第一の実験では、鉄球を転がし始める高さに関わらず測定値は、力学的エネルギー保存則を仮定した場合の理論値に対して 72% の値となった。第二の実験では、 $E_0$  と自由落下の 0 m 地点での運動エネルギーは有意な差は見られなかった [図 1]。しかし、放物線、サイクロイド曲線では 55% ほどのエネルギーしか保存されなかった [図 2]。第三の実験では、直線では地面とレールのなす角が小さくなるほど、エネルギーが保存されていないことを示す結果が得られた [図 3]。

#### 4. 考察

力学的エネルギーが保存されない要因として摩擦によって生じるエネルギー、空気抵抗のする仕事、鉄球の回転エネルギー、レールの振動によるエネルギーの4つの項目について考えた。

第一の実験から、0.23 m 地点における位置エネルギーと自由落下における運動エネルギーの間には有意な差が見られなかったため、空気抵抗はほとんど仕事をせず、エネルギーの損失はなかったと考えられる。

式①より鉄球の回転エネルギーは0.012 Jであり、この値は $E_0$ に対して0.034%にあたる。 $E_0$ に比べて十分小さいため回転エネルギーによるエネルギーの損失は無視できる。

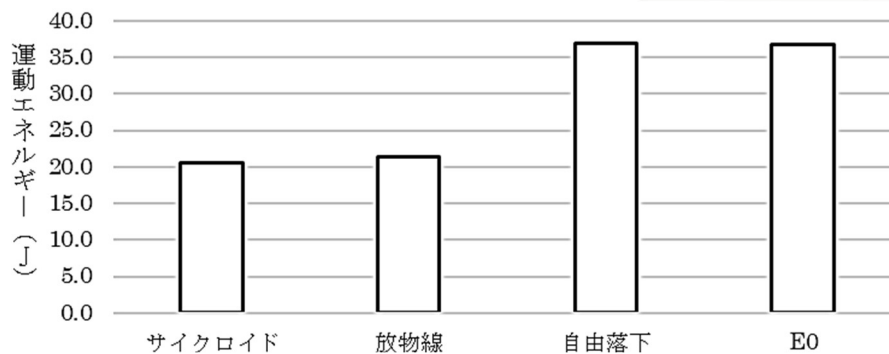
鉄球が転がる際、レール上を滑らず転がっているはずである。このため摩擦に関しては転がり摩擦が働いていると考えた。転がり摩擦は一般に滑り摩擦よりも小さいと知られているため、摩擦によって生じるエネルギーは無視できる。

以上のことから、力学的エネルギーは主にレールの振動によって失われていると考えられる。

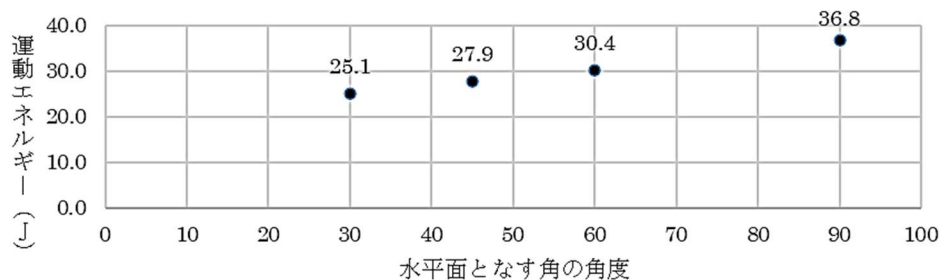
B

#### 5. 図表

〔図1〕レールの形状を固定して、鉄球を転がし始める高さのみを変えて、鉄球が最下点を通過する速度を測定した実験の写真。



〔図2〕高さを0.23 mに固定して、レールを発泡スチロールに固定し、鉄球が最下点を通過する速度を計測することで算出した最下点での運動エネルギー。 $E_0$ は最下点を基準面にした時の0.23 m 地点における重力による位置エネルギーである。



〔図3〕レールを鉄板に貼り付けて直線となるように固定したとき、地面とレールのなす角と運動エネルギーの関係を調べたグラフ。この実験では、直線では地面とレールのなす角が小さくなるほど、エネルギーが保存されていないことが分かった。

#### 6. 参考 Web ページ

〔参考1〕剛体の回転をともなう運動 ( <http://phys.sci.hokudai.ac.jp/~kita/PhysicsI/Mech12.pdf> )