

黒板用フレキシブル斜面と放物すだれ

北里大学 山本明利

教室の黒板上でダイナミックな演示実験を行う取り組みは、水上慶文さん 氏らによる優れた実践があります。中でも力学における斜面上の運動や放物運動は、もともと二次元の運動なので黒板という平面の世界となじみがよく、実験台の上で行うよりもむしろ実験がしやすいという特性があります。水上さんらの実践を参考に、黒板上の斜面および放物運動の実験用に、簡単に作れて扱いやすい実験器具を開発したので報告します。

黒板用フレキシブル斜面

スチール黒板に磁石で貼り付けて使う変形自在の斜面レールです。鉄球などをころがして使います。



レールの部分はダイソーの配線モールの内側のパーツ、黒板への固定に使用したのは同じくダイソーのマグネットフック（2個入り108円）です。マグネットフックは下の写真のような形状のものを選びます。鋭角になっているフック部分の鉄材をペンチで変形して黒板面に直角になるようにします。

モールの裏側の粘着剤は丁寧にはがし、15cm ぐらいの適当な間隔でポリプロピレンのストローを接着します。ストローの太さはマグネットフックの頭がぴったりはまるぐら



いが適当です。ホットボンドによる仮止めで十分に使えますが、より強度をもたせるならばセメダインスーパーX でしっかり止めればよいでしょう。レールの先には「ビースピ v」が載せられるように幅6cmの木の板を取り付けておきます。



レールに取り付けたストローにマグネットフックの先をさしこみながら、黒板上に順次配置していきます。マグネットは黒板上で動かせるので、位置の調整はあとからでも可能です。また、右向きにも左向きにも配置できます。

レールは曲率を大きくしすぎて鉄球がはねないように、無理のない曲線にします。また力がかかる方向をよく考えて、磁石を配置する位置を調節します。

レイアウトが完了したら最後にビースピを両面テープで木の板の上に貼り付けて斜面の準備



は完了です。

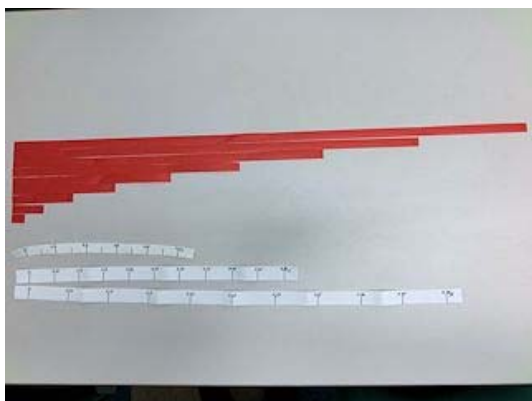
伸縮する放物すだれ

1本の棒に、等間隔にひもなどをぶら下げ、その長さを棒の支点からの距離の2乗に比例した長さにしておくと、任意の角度に射出した放物体の軌道を機械的にシミュレートすることができます。棒の方向が初速度の方向で、ひもの長さが重力による落下距離を示すというわけです。この「放物すだれ」の演示法はおそらく古典的なもので、フレイヤー・アンダーソンの「デモンストレーション物理」²⁾にもポピュラーな演示として取り上げられています。ネット上にも馬目秀夫さんの論文³⁾をはじめ、多数の実践を見ることができます。

これまでの「放物すだれ」装置は、棒の長さやひもの間隔があらかじめ決まっていて、それに合う初速度を想定しなければなりません。この点を改良して、前項で製作した「黒板用フレキシブル斜面」から射出された鉄球の軌跡を、任意の初速度に対応できる「伸縮する放物すだれ」によって示そうというのが次の提案です。

放物すだれの材料は紙テープです。おもりとして一円玉を貼り付けます。射出後 $t=0.45\text{s}$ までを想定して、 0.05s 間隔で $y=4.9t^2$ で計算した落下距離に合わせて9本の紙テープを切っておきます。ただし、上端に取り付けマージン5mm、下端に一円玉の半径分10mmの余分を見込みます。 $t=0.45\text{s}$ までとするのは、黒板の寸法を考慮してのことです。

すだれを取り付ける枝は、棒ではなく「織りゴム（衣服用の幅のあるゴムひも）」を使います。想定される初速度に合わせて、何種類かの



長さで用意しておきます。織りゴムに細書きのフェルトペンで0から0.05s刻みで0.50sまでの目盛を等間隔に描き、数値を添えておきます。重力がない場合の各時刻の鉄球の位置に相当する目盛です。これらの目盛の位置に先に作った紙テープのすだれを画鋏でさしてつり下げます。紙テープや一円玉を使ったのは、ゴムがたるまないように極力軽くするためです。

設置した「黒板用フレキシブル斜面」で、一定の位置から鉄球を転がす試射を数回行って、「ビースピ」で初速度を測っておきます。このときはまだ放物運動させないで、射出直後に受け止めてしまい、まだ観衆にはその軌跡を見せない方が効果的です。



次に、その初速度 $\times 0.5\text{s}$ に相当する長さを求め（例：初速度 1.4m/s なら 70cm ）、織りゴムの0から0.50sの目盛までがその長さになるようにゴムを引き伸ばして、マグネットクリップで黒板上に固定し、射出方向に合わせておきます。この作業はできるだけ正確に行います。放物すだれが自然に垂れ下がって放物線を描きます。長すぎて黒板をはみ出してしまふ紙テープは取り外します。

この装置はすだれの間隔が初速度の大きさに合わせてその場で自由に伸縮できるところがポイントで、それぞれの円玉がこれから射出しようとする鉄球が描くであろう放物軌道を予測しています。

軌道の終端付近に適切な「的」を置きましょう。目標に命中させることで盛り上げる演出です。次ページの写真に示した「的」は、フィルムケースにダイソーのピンポンキャッチのかごの部分を取りつけ、磁石で黒板に固定できるようにしたものです。緩衝材として脱脂綿などを詰めておきます。観衆の目をひきつ



けるために、せいぜいもったいぶった演出をして盛り上げてください。

準備ができたらフレキシブル斜面上の試射時に決めた位置から秒読みと共に鉄球を転がします。観衆が固唾をのんで見守る中、鉄球は一円玉の前をかすめるように飛んで、「的」に収まり、歓声が上がります。可能ならばハイス

ピードデジカメで撮影して、その場で再生するとさらに効果的で、観衆はその正確さにさらに感動します。カシオの EX-ZR100 による撮影例を下に示します。

【参考文献】

- 1) 水上慶文「黒板でモンキーハンティング」Y P C ニュース, No. 145, 横浜物理サークル, 2000.
- 2) フレイヤー・アンダーソン「デモンストレーション物理」大日本図書(1986)原著初版1971年
- 3) 馬目秀夫「放物運動実験器の製作 放物運動の構造と予測」日本私学教育研究所紀要・Vol.43(2008/03)
<http://www6.plala.or.jp/maamu/hobutu.pdf>

