

「放物運動予測実験器」の開発とその指導法

馬目 秀夫

日本物理教育学会誌 第30巻第1号(1982)に掲載

放物運動の指導にあたって、生徒が主体性をもって授業に参加し、実感をもってこの運動を理解できるように、数値計算・作図と有機的に組み合わせた実験を工夫し、そのための実験装置を開発した。これは、放物運動をする物体の各瞬間の位置を予め計算して軌道を作図し、その軌道を実際に通るかどうかを、軌道上にリングを置いて、それを通るかどうかで確かめ、更に、リングの向きをどう置いたらよいかということから、軌道と速度の方向との関係を直感的に気付かせ、各瞬間の速度ベクトルを作図することによって、これを確認しようというものである。

これによって、放物運動の実際の様子、式の意味、運動を式で表すことの意味等を指導することができた。

装置は、できるだけ身近なものを使用し、1授業時間内で、これらの作業が完了するように工夫した。

1 はじめに

放物運動という現象は、日常的であり、一見理解しやすいように思われるが、生徒にとっては、意外と理解しにくいようである。特に、これを式で表現した場合、式と現象とのギャップが大変大きい。例えば、 $x = v_0 t$ 、 $y = \frac{1}{2} g t^2$ と

した場合、この x は何を表し、 y は何を表しているかということすら充分理解されていない場合が多い。まして、式の意味についてはなおさらである。

また、生徒実験を行う場合、動機付けが大切である。生徒が自分から面白い、やってみようという気持ちを持ってやるのでなければ、ただ機械的な操作だけで終わってしまい、後には面倒なデータ整理だけが残り、興味を失っていくことになる。

そこで、今回、放物運動をする物体の軌道や速度の方向を予測し、その通りいくかどうかを、リングを予測した軌道上に置いて、それを通るかどうかで確かめるといふ実験を開発し、実施してみた。その結果、生徒達は、興味を持って、積極的に授業に参加し、好結果が得られた。所要時間は、1授業時間(50分)で、この中で、数値計算、作図、実験を有機的に組み合わせ、生徒自身が自分の手、目、頭で実験できるように工夫した。

次に、教材としてのねらいは、次の通りである。

放物運動に興味を持たせる

物体が描く曲線を実感としてとらえる

現象を式で表現することによって、その現象を予測することが可能になる
ということを実感し、現象を数式化することの意味を知る。

座標 (x 、 y) の意味を実感させる。

$x = v_0 t$ 、 $y = \frac{1}{2} g t^2$ の式が、正しくこの運動を表していることを知る。

軌道と速度の方向との関係を実感を持って知る。

2 装置

角材、ベニア板、プラスチック製カーテンレール、ブリキ板、スケールテープ、ゴム磁石、セロテープの芯等、身近な材料で自作できる。(写真1、図1参照)

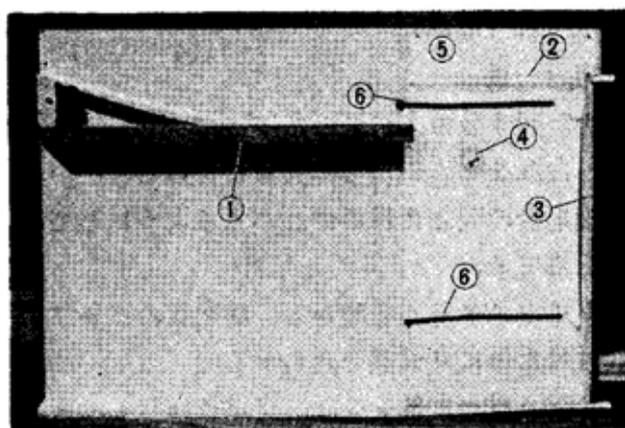


写真 1

は、投射台で、プラスチック製カーテンレール (91 cm) を 60 cm に切り、角材 (3 × 3 × 60 cm) に木ネジで止めたものである。カーテンレールの上端部は付属のフックをそのまま使い、球の出発点の目安 (ストッパー) とする。

は、ガイドスケールで、残ったカーテンレールに、スケールテープを貼った棒 (0.2 × 1 × 35 cm) を通したものである。

は、衝突板兼球受けで、衝突面にブリキ板を貼り、カーボン紙等をゴム磁石で取り付けられるようにした。

は、球を通すためのリングで、セロテープの芯を木ネジで、木片 (3 × 3 × 0.5 cm) の中央に止めたもので、木片の裏にはゴム磁石を貼っておく。

は、スチール板でブリキ板に白ラッカーを塗った。

は、ゴム磁石で、グラフ用紙をとめるためのもの。

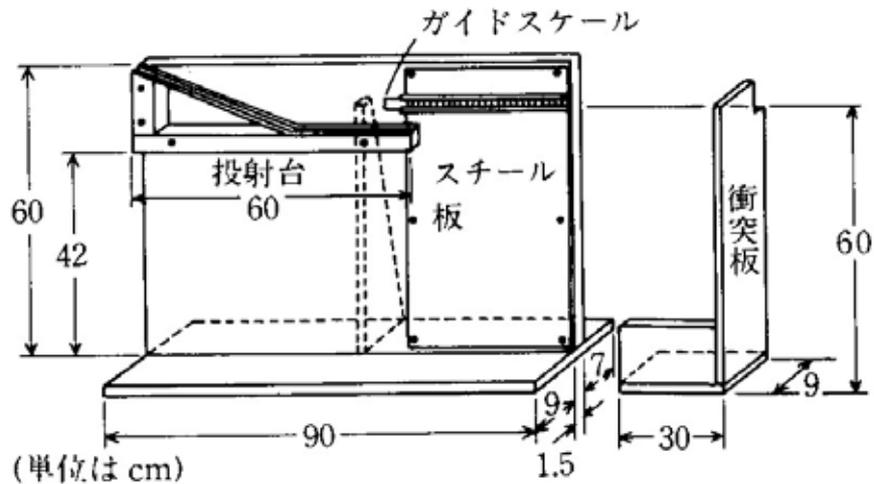


図 1

3 実験

1) 準備するもの

放物運動予測実験器、鋼鉄球（直径約 1 cm）、グラフ用紙（B 4 判 1 枚）、
 グラフ用紙・白紙・カーボン紙（それぞれ B 4 判を縦に 4 分の 1 の大きさに切
 ったものを 1 枚ずつ）、ゴム磁石（グラフ用紙等をとめるためのもの、数個）、
 定規、（電卓）

2) 方法

B 4 判 4 分の 1 に切ったグラフ用紙、カーボン紙、白紙をゴム磁石で衝
 突板にとめる。

投射台の先端に球の中心がくるようにして、衝突板を当てる。

ガイドスケールを動かし、衝突板のグラフ用紙を取付けた面に 0 目盛を
 合わせる。

ストッパーに球をつけ、自然に放し、衝突板にぶつける。

衝突板を適当な距離（例えば 10 cm）ずらし、前と同じ位置から球を
 落下させる。

衝突板からグラフ用紙を取りはずし、カーボン紙の跡から、水平距離に
 対する落下距離を読み取る。

これをもとに、初速度 $v_0 = \sqrt{g/2y} \times x$ を計算する。

この v_0 をもとにして、各瞬間（例えば 0.04 秒ごと）の位置（ x 、 y ）

を $x = v_0 t$ 、 $y = \frac{1}{2} g t^2$ の式を使って計算する。

B 4 判グラフ用紙の罫の左上端を原点に、横方向を x 軸、縦方向を y 軸にとり、この各瞬間の位置をプロットし、予測される軌道を作図する。これをスチール板上にゴム磁石でとめる。その際、投射台から飛び出す瞬間の球の中心が、グラフの原点にくるようにグラフ用紙の位置を調節する。

グラフ用紙に書かれた軌道上の 1 点にリングを置き、リングの向きを調節する。

衝突板（球受け）を写真 1 のように右端に置き、球を前と同じ高さから落下させ、球がリングを通るかどうかをみる。

リングを軌道上にいくつか並べてみて、球がすべてのリングを通過するかどうかを見る（写真 2）。

最後に、リングを軌道に対してどのような向きに置いたかを確認し、なぜそのような向きに置いたかを考える。

前に計算した v_0 をもとに、この各位置（各瞬間）の速度（ v_x 、 v_y ）を $v_x = v_0$ 、 $v_y = g t$ の式を使って計算する。

軌道上の各点に、この速度 v_x 、 v_y を適当な尺度（例えば 20 cm/s を 1 cm ）の矢印（ベクトル）で記入し、それを合成して、その地点での速度ベクトルを求める。

これをもとにして、物体が描く軌道と速度の方向との関係を調べ、リングを置いた向きの意味を考える（写真 2）。

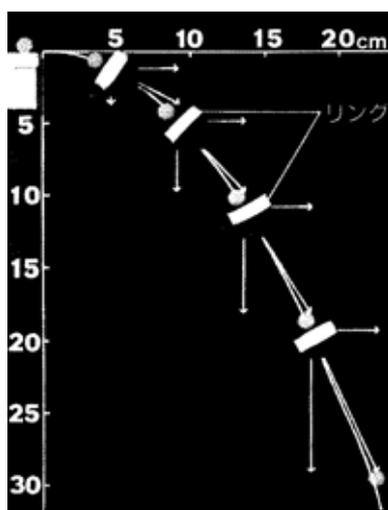


写真 2

4 測定値例

予想に使った位置 $x = 10.0 \text{ cm}$ 、 $y = 6.9 \text{ cm}$

初速度 $v_0 = 84.3 \text{ cm/s}$

時間 t [s]	位 置		速 度		速度ベクトル	
	x [cm]	y [cm]	v_x [cm/s]	v_y [cm/s]	v_x [cm]	v_y [cm]
0	0	0	84.3	0	4.2	0
0.04	3.3	0.7	〃	39.2	〃	2.0
0.08	6.7	3.1	〃	78.4	〃	3.9
0.12	10.1	7.0	〃	117.6	〃	5.9
0.16	13.4	12.5	〃	156.8	〃	7.8
0.20	16.8	19.6	〃	196.0	〃	9.8
0.24	20.2	28.2	〃	235.2	〃	11.8

5 実施結果

昨年は、有志の生徒に、今年は、高2全員にこの実験を実施した。生徒達は、結構作業量が多いにもかかわらず、それを苦にせず、早くリングを通してみたいということで、大変熱心であった。特に、完成した作図をスチール板に貼り、球を落下させ、リングを見事通過したときには、手をたたいて喜びを表していた。放物運動学習後、この実験をどう思うかを調査したところ、次の結果を得た。

大変良い(107名、62%)、良い(41名、24%)、普通(24名、14%)、あまり良くない(0名、0%)、良くない(0名、0%)

また、生徒の感想をあげると

自分で出した式で、自分の手で軌道を描き、その軌道上のリングをボールが通過したときの感激が忘れられません。楽しい実験でした。

式によって運動を予測することが、何だかとても不思議な気がし、また面白く感じました。

放物体のグラフを書き、そのグラフに輪を置き、球を通したところ、とても正確に通ったので驚きました。

・・・等々、生徒達には、大変好評で、以後の授業の進行にも好影響を残した。

このような結果から、前に述べた教材としてのねらいをある程度達成できたのではないと思われる。

6 おわりに

装置が大きくて保管場所に困るが、あまり小型化するとスリルが半減するように思われる。また、リングの直径は約2cmだが、リングに幅があることと、

球の直径が約 1 cm あることからみて、この程度が適当である。まだまだ改良すべき点、検討すべき点があると思われる。ご助言頂ければ幸いである。

参考文献

- 1) 渡辺正夫、石川孝夫、笠耐 監修「プロジェクト物理」1、コロナ社
(1977) p. 208
- 2) 馬目秀夫 東京都理化学協会、研究発表集録 (1980) p. 13

追記

最近は、時間の関係で、事前に、初速度 100 cm/s で飛び出したときの軌道と速度ベクトルを作図し、装置を予め初速度を 100 cm/s になるように設定して、初速度の測定を省略して実施している。

[トップページへ戻る](#)