

無摩擦実験台の製作と慣性の法則の学習

橋谷隆史¹⁾，沖花 彰²⁾

1) 京都教育大学理科領域専攻 rik71208@kyokyo-u.ac.jp

2) 京都教育大学理学科 okihana@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：慣性，無摩擦実験，エアテーブル

(受付：2012年2月29日)

抄録

風力で運動物体を浮かせ、摩擦を小さくして運動させる無摩擦実験台を製作した。物体に力が及ばないときはほぼ等速直線運動を示し、力を受け続けるときおよび一瞬だけ力を受けたとき、物体がどのように運動するかを2次的にわかりやすく示すことができた。

I. はじめに

中学校理科第1分野の単元「運動の規則性」で学習する「慣性の法則」は私たちの日常の様々な場面で見られ、生徒にとっても身近に感じやすい現象の一つである。ところが、平成15年度小中学校教育課程実施状況調査（国立教育政策研究所，2003）によると、「慣性の法則について理解している」（出題のねらい）という問いは、出題者が想定した設定通過率65%に対し、実際の通過率が21.5%と理解度が著しく低い。沖花・藻塩（2010）が指摘するように、現行の学習で挙げられている実験のほとんどは「力を加えない限り静止したものが静止し続ける」ことを示すもので、「力を加えない限り動いているものが動き続ける」ことを実感する学習が少ないことがその一因だと考える。ただ、実際の運動では必ずと言っていいほど摩擦力が存在し、学校現場で「力を加えない限り動いているものが動き続ける」という実験を実現するのが難しい。そこで今回、摩擦をできるだけ小さくし、物体に力を加えない限り動いているものが等速直線運動することを示すことで、「慣性の法則」の理解を助ける教材を製作した。

II. 教材製作

風力で運動物体を浮かせ、摩擦を小さくして運動させる実験台を製作した。風力で摩擦を減らす方法は過去にも例（嶋田ほか，1976）があるが、今回はある程度運動を持続させることができるよう大型のものを製作した。また材料は学校現場で教師が製作できるよう安価で入手しやすいものに限った。

1. 準備物

塩化ビニル板（300×300×1mm）、発砲スチロールボード、木材（3×3 mmの角材と10mmφの円柱）、塩化ビニルシート（厚さ0.2mm）、釘（長さ16mm）、ネオジム磁石（5mmφ厚さ3mmの円形のもの、100円ショップなどでマグネットピンとして販売されている）、

ポリ袋 (250×350mm), ピンバイス (ドリル 1.5mm ϕ), はんだごて, 両面テープ, 送風機 (TWINBIRD KJ-D994)

2. 製作の手順

1) 実験台表面の製作

厚さ 1mm の塩化ビニル板にはんだごてを用いて, 一番外側の穴同士のみが 5mm 間隔, それ以外が 10mm 間隔になるように小さな穴をあける。その後ピンバイスを用いて穴の大きさが直径 1.5mm になるようにする。穴の間隔はゲームセンターにあるエアホッケーの台を参考にした。ゲームセンターのものは運動物体 (パック) が直径 8.5cm, 穴の間隔 2.5cm とやや大きめであったことから, 本研究ではパックを 2.5 分の 1 の 3cm とし, 穴の間隔も 10mm とした。表面のしなりを防ぐため, 図 1 のように 2 枚の塩化ビニル板の外側を 3×3mm の角材で縁取りして連結 (600×300mm) し, 実験台表面とした。

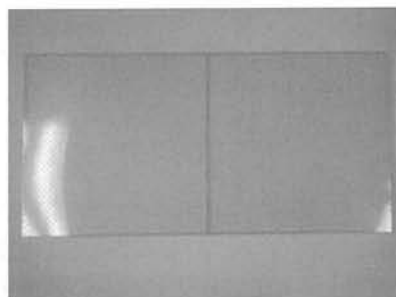


図 1 実験台表面

2) 実験台の製作

発砲スチロールボードを用いて, 大きさが 650×300mm, 高さが 27mm の箱をつくる。このとき, 空気の吹き込み口をつくるため, 300mm の一边は開けておく。さらに開けた一边の上には 50×300mm のふたをする。直径 10mm の木材支柱を 1 枚の塩化ビニル板に対して, 中心に 1 本, さらに中心と各角との中間に 1 本ずつの計 5 本を釘を用いて立てる。これを塩化ビニル板 2 枚で計 10 本の支柱を立てる。その上に実験台表面を取り付けて実験台本体とする。(図 2) 用いた送風機は風量を三段階に調節でき, 100V60Hz で風量がそれぞれ約 23m³/min (強), 20m³/min (中), 17m³/min (弱) となっている。この送風機の口を袋で覆い, 実験台とつなぐ。このとき空気吹き込み口を設け, 風量の減衰を防ぐ。以上のものを 6 台連結することで, 600×1800mm の無摩擦実験台を製作した (図 3)。

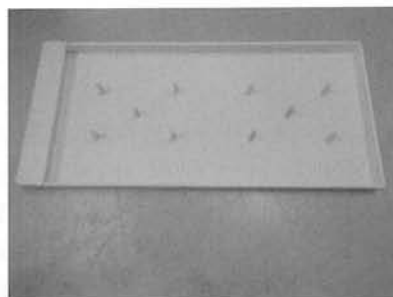


図 2 実験台本体



図 3 完成した無摩擦実験台

3) パックと発射方法

実験台上で運動させるものをパックと呼ぶ。パックは外径 50mm の発砲スチロールボード製の円盤で、底に内径 30mm のくぼみを作って空気のみとした。パックが下からの風で勝手に動くのを防ぐために4か所穴を開けて空気を通した(図4)。さらにその底に塩化ビニルシートをドーナツ型に切り取ったもの(外径 50mm, 内径 30mm)を貼り付け、接触面の滑りを最小限にした。パックがやや軽いので中央にネオジム磁石を埋め込んだ。送風機の電源を入れた状態でパックを実験台に置き、勝手に動くようであればさらにパックの上に紙などを貼り付け、重さを調整して動かないようにする。発射装置として長方形のスチレンボード(90×50mm)の一边を半円形に切り取る(切り取る半円の大きさによって、パックが発射する速さを決定することができる)。切り取った辺の両端に輪ゴムを固定し、発射方向を一定にするためにその外側にガイドを付ける。この輪ゴムにパックを引っ掛けて発射する(図5)。この実験台を用いて次のような実験を行った。

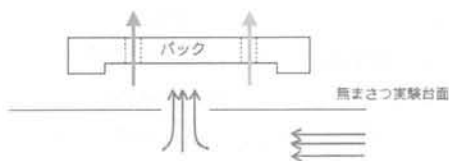


図4 パックと風の流れ

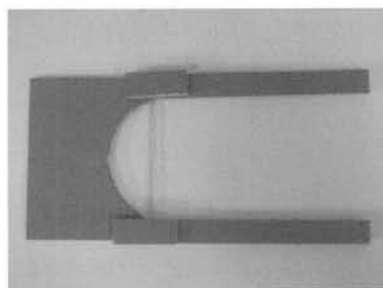


図5 パック発射装置

Ⅲ. 演示実験

実験台上でパックを運動させ、それを上方より撮影することでパックの運動を確認する。ここで近距離での撮影による視差の影響を考慮するため、実験台に沿うようにスケールを置き(各図の下に写っている黒と白の印)補正した。

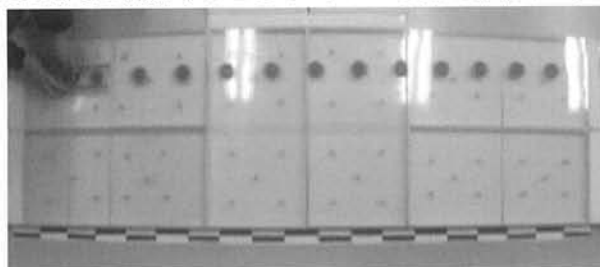


図6 力をおよぼさないとき

1. 力を及ぼさないとき

実験台上でパックをまっすぐ発射する。撮影したビデオ映像からフリーソフト「どう見る君」(大久保)を用いてストロボ画像を作成した。ストロボ画像はビデオ2コマ(0.07秒)間隔で連続したものから作成した。運動の様子のストロボ画像を図6に示す。パックの、各時刻における発射時の位置からの発射方向の変位を図7に示す。グラフはほぼ直線性を示し、かなり等速直線運動が

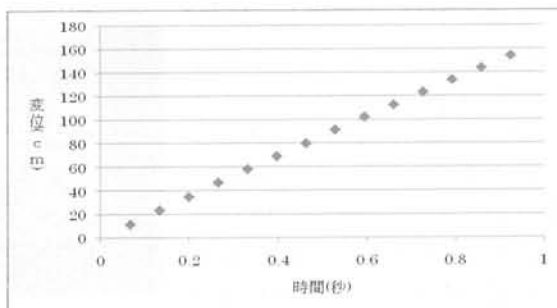


図7 力を及ぼさないときの変位の様子

実現しているといえる。ただし発射直後と1秒後付近の間隔を比較すると15%程度変位が小さくなっている。この理由として、実験台の接続部の風力がやや小さくなっていることや、接続部にわずかな段差が存在していることで摩擦が生じたためではないかと推定される。いずれにしても通常の摩擦があるとき（送風機を止めて確認できる）と比較することで力が及んでいないときの運動の様子を生徒に示すには十分である。

2. 発射方向に垂直に力を受け続けたとき

床から約5度に傾けた板の上に実験台を乗せ、パックの発射方向に垂直に一定の力を受け続けるようにした。運動の様子をストロボ画像を図8に示す。パックは放物線を描いて運動している。パックの、各時刻における発射時の位置から発射方向（横成分と呼ぶ）とそれに垂直な方向（縦成分）への変位を図9に示す。横成分は直線になっていることから等速直線運動をしていることが分かり、縦成分は放物線になっていることから等加速度運動をしていることが分かる。このように、力を受け続けるとき慣性の法則は成り立たず、加速度運動になるということを示すことができる。

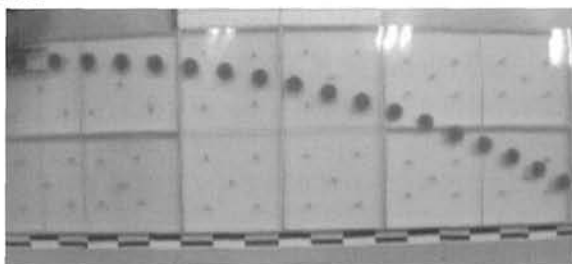


図8 発射方向に垂直に力を受け続けたとき

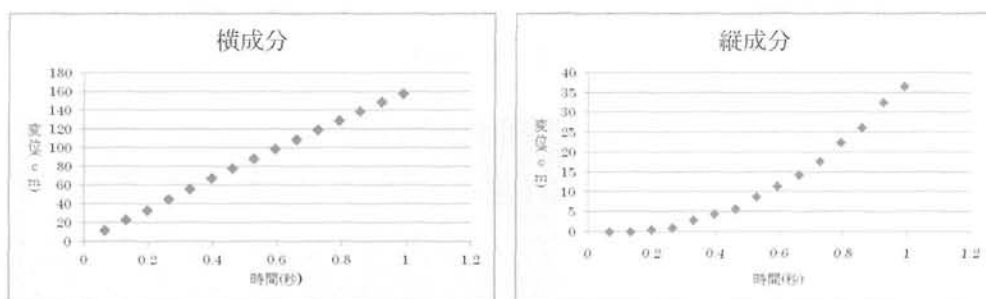


図9 発射方向に垂直（縦成分）に力を受け続けたときの変位の様子

3. 発射後一瞬だけ力を受けたとき

実験台上にパックの磁石と反発するようにネオジウム磁石を置き、磁石同士の反発力によってパックが一瞬だけ発射方向に垂直に力を受けるようにする。運動の様子をストロボ画像を図10に示す。図の左上部にある矢印が磁石の位置を表す。パックは発射後少

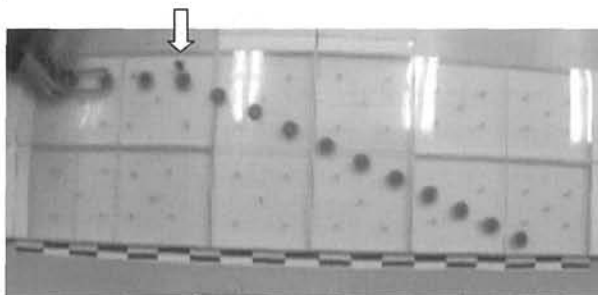


図10 発射後一瞬だけ力を受けたとき

しの間、発射方向に動いたのち、磁石によって力を受けると運動の向きが変わる。その後は斜め下方向に直線運動を続けていることがわかる。パックの、各時刻における発射時の位置から発射方向（横成分）とそれに垂直な方向（縦成分）への変位を図 11 に示す。図のように力が働かなかった横成分は最後まで等速直線運動をしている。それに対し縦成分は力を受けるまで変位 0 で、力をうけた後から動き出すが等速直線運動をしていることが分かる。このように力を受けた時には運動が変化するが、それ以降力を受け続けなければやはり慣性の法則が成り立ち、等速直線運動するということをわかりやすく示すことができる。

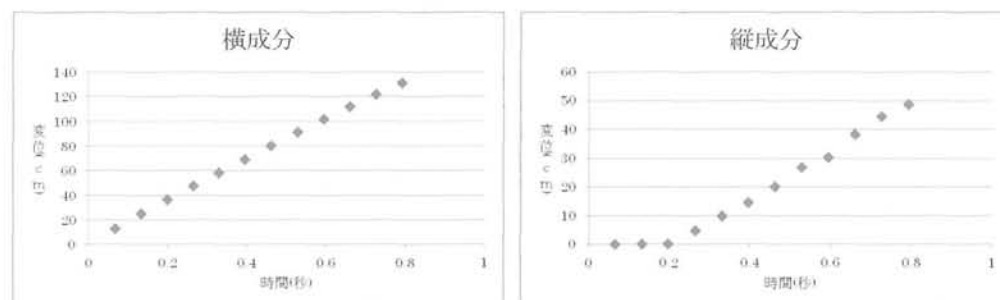


図 11 発射後一瞬だけ力を受けたときの変位の様子

IV. まとめ

できるだけ摩擦を小さくした実験台を作り、慣性の法則が理解しやすい実験を開発した。実験台は 1 セット 2 枚 (600×300mm) を、さらに連結することで学習内容にあったサイズのものを作製することができる。学校現場で活用するときは教師による演示となるが、それぞれの実験の前に生徒に予想させてから行うと効果的だと考える。特に前節 3 で述べた一瞬だけ発射方向垂直に力が及ぶ実験は、J.Clement の論文 (Clement, 1982) で Rocket problem と呼ばれ、生徒がよく間違える問題である。力がなくなっても垂直方向の運動が持続することを考えず発射方向の運動に戻ってしまうと答えるものが多い。このような誤概念をもつ生徒に本研究で製作した無摩擦実験台を使った学習は役に立つと期待できる。

文献

- Clement, John 1982. Students' preconceptions in introductory mechanics, American Jour. Phys, 50, 66-71.
- 国立教育政策研究所, 平成 15 年度小中学校教育課程実施状況調査,
http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/index.htm
- 大久保政俊, 北海道立理科教育センター観察・実験コンテンツ,
<http://www.ricen.hokkaido-c.ed.jp/212butsuri-b/domil/domil.html>
- 沖花 彰・藻塩淳正 2010. 慣性の法則を実感する理科学習, フォーラム理科教育, 11, 61-66.
- 嶋田 治・斎藤美代三 1976. 電子運動モデル実験器の開発について: 円板状小形フェライト磁石とエアテーブルを用いる二, 三の実験, 物理教育, 24-4, 1-5.