

この実験では、力、質量、加速度の間の関係を表す、ニュートンの有名な公式を検証します。

イントロダクション

ニュートンの運動の第2法則は、物体の質量と、ある一定の加速度を生じさせるために加える力との関係を示します。式は、次のようになります。

$$F = ma$$

ここで、 F : 力、 m : 物体の質量、 a : 加速度 です。

この実験では、水平な机の面の上を動く台車に、おもりを使って様々な大きさの力を加えます。加えた力は、力センサーで測定します。その力によって生じる加速度は、距離センサーで測定します。収集したデータにもとづいて、ニュートンの法則を検証します。

必要な装置

- ✓ CBL (できれば、電源アダプターを使用します。)
- ✓ 接続ケーブルのついた電卓
- ✓ TI CBR™ (Calculator-Based Ranger™) または Vernier CBL 距離センサー (MD-CBL)
- ✓ CBL DIN つきの Vernier 学生用力センサー (SFS-DIN)
- ✓ 台車
- ✓ 糸
- ✓ 調整済みのおもり
- ✓ 滑車
- ✓ TI-GRAPH LINK (オプション)

プログラム

プログラム PLOTS と SECOND を電卓にダウンロードして使用します。

装置の設定手順

図1にしたがって、次の手順で装置を接続します。

- ① CBL と電卓の底部にある入出力口を接続ケーブルでつなぎます。ケーブルの端はしっかり押し込んでください。
- ② カセンサーを CBL の上側にあるチャンネル1 (CH1)に接続します。
- ③ 必要に応じて、カセンサーを調整します(本書の「はじめに」を参照してください)。
- ④ 距離センサーを CBL の左側にある SONIC チャンネルに接続します。
- ⑤ 図1のように、カセンサーを台車に固定します。台車の背面に向けて、距離センサーをセットします。距離センサーが検出できる大きさの対象物かを確認します。必要ならば、距離センサーに向いているほうのカセンサーの側面に、ボール紙を四角く切ってテープで貼りつけます。
- ⑥ おもりをつるした糸の片方をカセンサーにつないで、糸を滑車にかけます。台車が机の端に達する前に、おもりが床に当たるように、糸の長さを調整します。
- ⑦ CBL と電卓の電源を入れます。

これで、CBL が電卓からの命令を受け取ることができます。

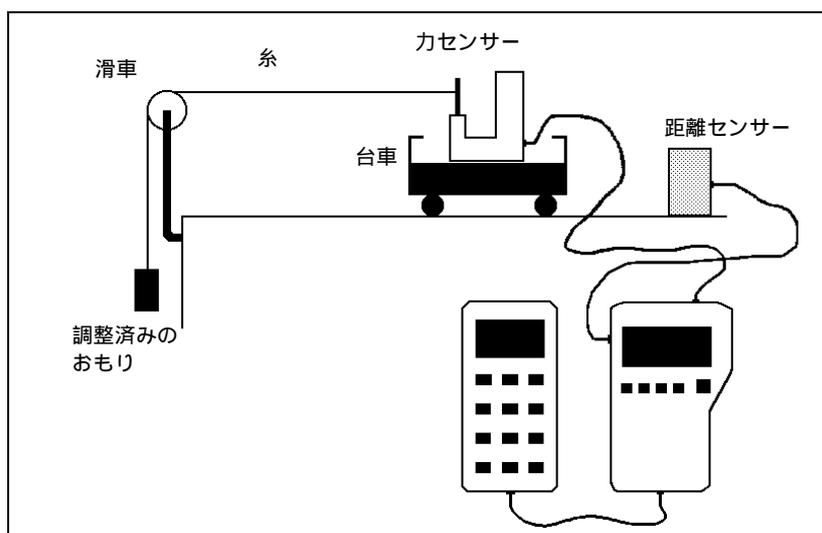


図 1 : 装置の設定

実験手順

- ① 台車に働く摩擦力と正確につり合う質量を求めましょう。そのためには、小さなおもりを糸の端に追加してつるし、台車を軽く押すと、机の上を一定の速度で動くように調整します。摩擦の影響を相殺するのに必要なおもりの質量(単位：グラム)を、 m_f としてノートに記録します。台車の摩擦が非常に小さい場合には、 m_f を0とします。
- ② つるすおもりをいくらか(最初は約50g)増やし、台車の上には1.0kgのおもりを乗せます。台車の総質量(単位：キログラム)を M として記録します。この値は、本実験中は一定です。
- ③ CBL の電源が入っているか確認してから、電卓でプログラム SECOND をスタートします。摩擦につり合う質量を入力するように指示が表示されたら、 m_f の値を入力します。
- ④ おもりと台車をつなぐ糸が机の表面に水平になるように注意しながら、台車をまっすぐ後ろに引きます。台車と距離センサーとの距離は、少なくとも50cmは必要です。電卓で **[ENTER]** を押して、データの収集を開始します。距離センサーがデータを収集していることを示す、ジィジィという音が始まったら、台車を動かします。力センサーは台車に加えられる力の変化を測定し、距離センサーは台車の速度を測ります。
- ⑤ 力 - 時間のグラフを表示するには、電卓の PLOT OPTIONS メニューで2 (force - time) を選択します。力 - 時間のグラフは、図2と同じようになるはずです。力(単位：ニュートン)は L_4 に、時間(単位：秒)は L_2 に記録されます。

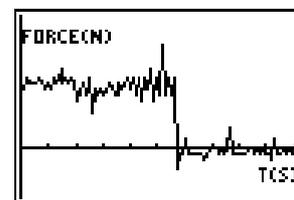


図 2 : 力 - 時間

- ⑥ **[2nd]** **[DRAW]** 3を押して、画面上に水平線を表示します。矢印キーを使いその直線を上下に動かして、力 - 時間のグラフ上の力が一定である部分に合わせます。そこは台車が机の上で加速しながら動いている部分です。そこに表示された y の値が、台車に加えられた力の平均値となります。その値を実験ノートに F として記録します。
- ⑦ 電卓でプログラム PLOTS をスタートします。PLOT OPTIONS メニューで1 (velocity - time) を選択して、加速している台車の速度 - 時間のグラフを表示します。速度 - 時間のグラフは図3と同じように、速度が一定の割合で増加するようすを示すはずですが、速度(単位：m/秒)は L_5 に、時間 (単位：秒)は L_2 に記録されます。



図 3 : 速度 - 時間

- ⑧ **TRACE**を押して、速度 – 時間のデータを表示します。速度 – 時間のグラフの、斜めの直線上の任意の2点の座標を読み取り、実験ノートに (t_1, v_1) 、 (t_2, v_2) として記録します。
- ⑨ ⑧で記録した座標の値を使って、速度 – 時間のグラフの傾きを計算します。

$$\text{傾き} = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1)$$

この傾きは、台車の加速度の平均値を表します。この値を実験ノートに記録します。

- ⑩ つるすおもりを変えることで、台車に加えられる力を変更します。台車の総質量 M を一定に保ちながら、少なくとも5種類の大きさの力を加え、①～⑨の手順を繰り返します。力 F と平均加速度 a だけでなく、関連する実験条件や結果すべてを記録します。そのデータを表にまとめます。

分析と結論

Note : 電卓の統計機能の利用方法については、ガイドブック「*CBL System Compatible Calculators*」の“Performing Data Analysis (データ分析)”を参照してください。

1. 電卓で、**STAT** **ENTER** と押して、リストエディタを表示します。リスト L_1 、 L_2 の既存のデータをクリアします(カーソルをリストの最上段の行へ移動し、**CLEAR** **ENTER** と押すことによりクリアできます)。前もって作成したデータ表をもとに、加速度はリスト L_1 に、対応する力はリスト L_2 に入力します。
2. **STAT PLOT** と **ZoomStat** を指定し、 L_1 と L_2 のデータを散布図(□のマーク)にします。その他の統計プロットはオフにします。
3. 電卓で、 L_1 と L_2 に対して線形回帰分析 (LinReg) を実行します。回帰方程式と相関係数を実験ノートに記録してください。

力 – 加速度のグラフの回帰直線の傾きは、台車の質量(単位：キログラム) M を表します。その値を、本実験の最初に記録した M の値と比較して、誤差(%)を計算してください。

4. **Y=**を押して、カーソルを関数入力位置に置きます。**VAR** 5 **▶** **▶** 7 と押して回帰方程式をカーソルの位置にコピーします。**GRAPH** を押して、散布図と回帰曲線を同時に表示します。このグラフを、TI-GRAPH LINK を使って印刷して、実験ノートに貼ってください。
5. 実験結果は、力、質量、加速度の関係を表すニュートンの公式と一致しますか。一致しない場合は、その原因を話し合しましょう。