

高等学校における教科指導の充実

理 科
《 物理領域 》

学ぶ手応えを実感できる授業を目指して
[速度・加速度]

栃木県総合教育センター
平成20年3月

目 次

はじめに	1
事例 1 ワイヤレスマウスを用いた時間計測	2
1 実験装置について	
2 ソフトウェアについて	
3 授業での活用例	
実験 I 「ガリレオが発見した、落下の法則を確かめてみよう」	
実験 II 「ニュートンの運動の第 2 法則を確かめてみよう」	
実験 III 「運動方程式が成り立つことを調べてみよう」	
実験 IV 「運動量保存の法則が成り立つことを確かめてみよう」	
事例 2 加速度センサーを用いた加速度計測	12
1 実験装置について	
2 ソフトウェアについて	
3 授業での活用例	
実験 V 「乗り物の加速度を測ってみよう」	
実験 VI 「Wi i リモコンで加速度を測ってみよう」	
おわりに	19

はじめに

平成17年度高等学校教育課程実施状況調査（物理Ⅰ）の結果によると、ペーパーテスト調査の全問題数57問のうち、設定通過率を上回る又は同程度と考えられる問題数は28問で、約半数であった。内容・領域別にみると、「運動とエネルギー」は、通過率が設定通過率を上回る又は同程度と考えられる問題の割合が最も低く19問中6問であり、力学分野の学習内容が十分身に付いていない状況がみられる。力学を理解させるためには、時刻、位置、変位、速度、加速度、といった用語の意味を厳密に習得させ、物体が運動する様子を解析的に表す方法を身に付けさせる必要があるが、初学者にはその細かさが嫌われ、物理嫌いを増やす原因にもなりかねない。特に、速度と加速度の関係は高等学校で初めて学習する上に、抽象的で理解しにくい内容であるため、日常的に経験する事柄と関連づけたり、実験を行ったりして生徒に実感をもたせながら、正しい概念を形成させるような指導の工夫が望まれる。

以上のことを踏まえ、本研究では、「力学」の分野における学ぶ手応えを実感できる授業を目指し、次の二つの事例の作成に取り組んだ。

事例1 「ワイヤレスマウスを用いた時間計測」

事例2 「加速度センサーを用いた加速度計測」

事例1 では、テープ式の記録タイマーの代わりに光センサーを接続したワイヤレスマウスを用いて、物体の速度や加速度を、摩擦の影響を減らし、かつ速やかに計測する方法を開発して、ニュートンの運動の第2法則や運動量保存の法則を検証する実験を行った。

事例2 では、加速度センサーを内蔵する市販のモジュール基板や、任天堂Wiiリモコンを用いて、電車や自動車等の加速度や、振り子運動する物体の加速度を直接測定することにより、抽象的な概念である加速度をイメージしやすくした。

〈研究協力員〉

栃木県立那須清峰高等学校 教諭 伊藤 純

〈研究委員〉

栃木県総合教育センター研修部 指導主事 手塚 貴志

事例1 ワイヤレスマウスを用いた時間計測

1 指導の工夫

運動する物体の速度、加速度を調べる方法としては、従来、テープ式の記録タイマーを用いる方法が広く用いられてきたが、テープの摩擦の影響が大きいことや、実験で得られたテープの解析に手間と時間がかかる等の問題点がある。

本事例では、光センサーを用いることで、テープによる摩擦等がない状態で物体の速度を計測し、パソコンに取り込んだデータをExcel等の表計算ソフトで処理することによって、物体の運動の様子を速やかにグラフに表す教材の開発を行った。なお、研究を進めるにあたって、次の二つの点に留意した。

- ・ 入手が容易で、安価な材料を用いること。
- ・ 特別なインターフェイスを使用せず、市販のワイヤレスマウスを利用することで、製作を簡単にすると共に、製作ミスや故障の影響がパソコン本体に及びにくくすること。

2 実験装置について

(1) 原理

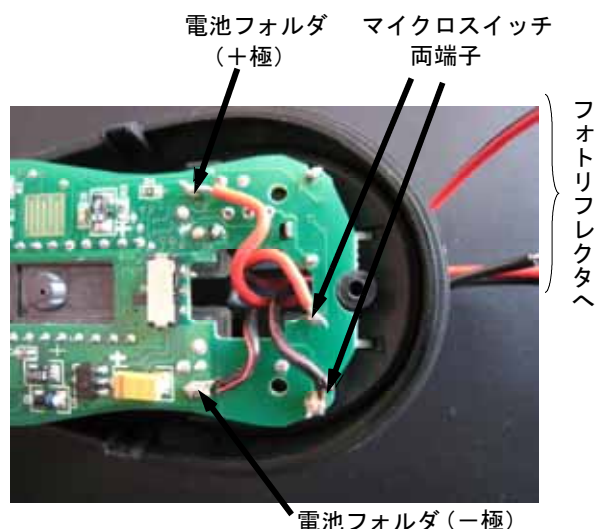
パソコンのマウスをクリックするとタイマーがスタートし、その後はクリックされた瞬間の時刻を記録し続けるようなソフトウェアとワイヤレスマウスを用意する。ワイヤレスマウスのクリックを検出するためのマイクロスイッチに赤外線を用いた光センサーを接続しておき、反射体が接近したときにセンサーが反応してマウスがクリックされた状態になるように工夫すると、光センサーが反射体に接近した時刻をパソコンに取り込むことができる。ワイヤレスマウス及び光センサーを力学台車に載せて運動させ、反射体によって光センサーが反応するようにすると、力学台車の速さや加速度の大きさを測定することができる。この目的のための光センサーとして、フォトリフレクタを用いる。フォトリフレクタは反射型のフォトインタラプタとも呼ばれ、赤外線LEDとフォトトランジスタが一体となっているもので、LEDに電流を流して常に発光させておき、赤外線の反射体が接近すると、反射された赤外線によってフォトトランジスタが導通するようになっている。

(2) 製作のための材料

- ① ワイヤレスマウス（単4乾電池2本で動作し、電波到達距離10m程度のもの。）
- ② フォトリフレクタ（電子部品を扱うインターネットショップ等で入手できる。価格は100円～250円）
- ③ 50Ωの抵抗×1
- ④ リード線4本（ワイヤレスマウスとフォトリフレクタを接続するためのもの 30cm程度）

(3) 製作方法

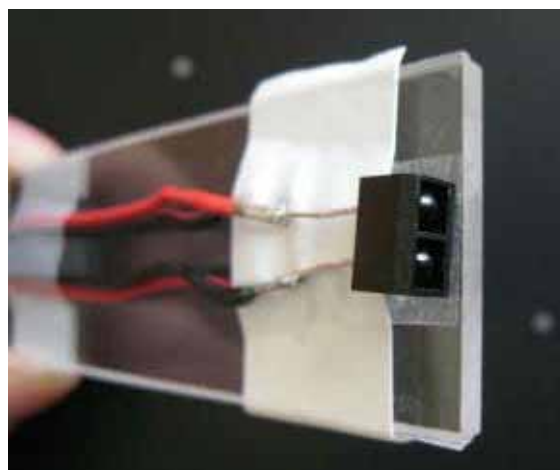
- ① ワイヤレスマウスを分解する。
- ② 4本のリード線を、左クリックのためのマイクロスイッチの両端子、及び電池フォルダの両端子に、それぞれ半田付けする。



③ マウスのホイールを取り外してできた隙間から4本のリード線を外部に出す。

④ 電池フォルダーからのリード線のどちらかに電流制限のために50Ω程度の抵抗を直列に入れ、極性に注意してフォトリフレクタのLEDに接続する。

⑤ マイクロスイッチからのリード線を、フォトリフレクタのフォトトランジスタに接続する。(極性があるため、動作しなければ逆に接続してみる。)



フォトリフレクタ

(4) ソフトウェアについて

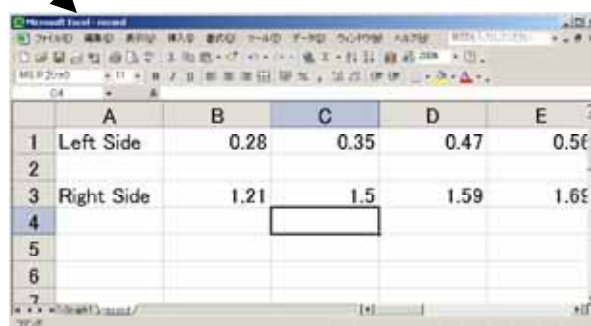
① 本事例で使用したソフトウェア (自作)

本事例では、那須清峰高等学校 情報技術科 赤木 潤子 教諭に依頼して作成していただいたものを使用した。Visual Basicで作成されており、マウスの左または右のクリックによってタイマーがスタートし、それ以降に左または右のクリックが起こると、その時刻を10msの精度で記録し続ける。なお、記録されたデータは、CSV形式で保存することができ、Excel等の表計算ソフトで加工することができる。



ファイルの書き出し

CSVファイルに書き出し

A screenshot of an Excel spreadsheet showing the data recorded by the software. The data is organized into columns A through E. Row 1 is labeled "Left Side" and contains values 0.28, 0.35, 0.47, and 0.56. Row 3 is labeled "Right Side" and contains values 1.21, 1.5, 1.59, and 1.69. The spreadsheet is titled "Microsoft Excel - record".

	A	B	C	D	E
1	Left Side	0.28	0.35	0.47	0.56
2					
3	Right Side	1.21	1.5	1.59	1.69
4					
5					
6					

使用したソフトウェアの画面と書き出されたデータ

② フリーソフトウェア

ソフトウェアを自作することが困難な場合は、フリーソフトウェアの中にストップウォッチに関するソフトウェアがいくつかあるので、それらをダウンロードして利用することができる。

実験Ⅰ 「ガリレオが発見した落下の法則を確かめてみよう」

1 実験のねらい

斜面上に置かれた力学台車が初速度 0 で運動するときの加速度を測定すると共に、一定時間毎の移動距離が 1 から始まる奇数の比になっていることを確かめ、等加速度直線運動や落体の運動についての理解を深める。

2 準備

(1) 木の板 (182cm×15cm×1.5cm 艶消しラッカースプレーで塗装しておく)

(2) 発泡スチロールブロック 2 個 (20cm×10cm×5cm 板を傾斜させる台となるもの)

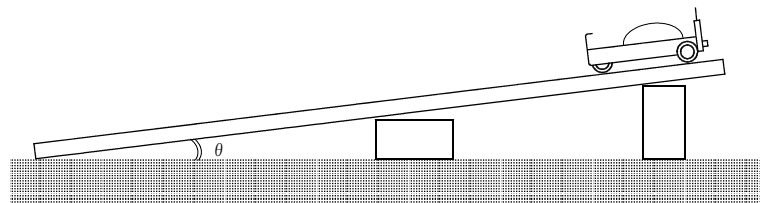
(3) 白色テープまたはアルミテープ (赤外線を反射するもの)

(4) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス

(5) 力学台車

(6) 物差し

(7) パソコン



3 実験の手順

(1) 木の板と発泡スチロールブロックを用いて斜面をつくり、斜面の傾き ($\tan \theta$ 又は $\sin \theta$) の値を物差しで測っておく。

(2) 木の板の数カ所に、赤外線を反射するための白色テープを貼り付ける。このとき、各テープ間の距離が、斜面の上方から順に 1 : 3 : 5 : 7 と、奇数の比になるようにする。



(3) 力学台車にワイヤレスマウス及びフォトリフレクタを載せ、力学台車が斜面上の白色テープを横切るときフォトリフレクタが反応するように、位置を調節しながらフォトリフレクタを力学台車に固定する。(右写真)



(4) フォトリフレクタが最も上方の白色テープのわずか手前にくるような位置で力学台車を手で支えておき、パソコンのソフトをスタートさせてから手を離して台車を運動させる。

(5) 得られた時刻のデータがほぼ等間隔になっていることを確認してから、時刻のデータと白色テープ間の距離を表計算ソフトで処理し、 $v-t$ グラフを作成する。このとき、2本のテープを横切る時刻の差でテープ間の距離を割って得られた平均の速さは、中央の時刻における瞬間の速さと見なす。

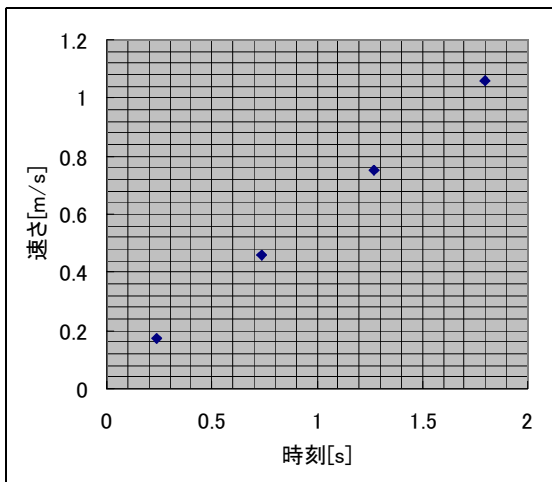
(6) $v-t$ グラフの傾きから加速度の大きさを求め、斜面の傾き θ から計算した理論値 $g \sin \theta$ と比較する。

4 実験結果の例

(1) 力学台車が白色テープを横切る時刻 t と、その中央の時刻 t' 、テープ間の距離 L 、平均の速さ v の関係

t [s]	0	0.48	1.00	1.53	2.06
t' [s]		0.24	0.74	1.27	1.80
L [m]		0.08	0.24	0.40	0.56
v [m/s]		0.17	0.46	0.75	1.06

(2) $v-t$ グラフ



(3) 測定値と理論値の比較

実験で得られた加速度の大きさと、斜面の傾き θ から計算した理論値の値はそれぞれ、

$$\text{測定値} = (v-t \text{ グラフの傾き}) = 0.57 \text{ m/s}^2$$

$$\text{理論値} = g \sin \theta = 9.8 \times \frac{0.10}{1.7} = 0.58 \text{ m/s}^2$$

であり、誤差は1.7%であった。

(4) ガリレオが発見した落下の法則について

初速度0、加速度の大きさ a の等加速度直線運動をする物体の、時刻 $n \Delta t$ での位置を X_n とすると、

$$X_n = \frac{1}{2} a (n \Delta t)^2$$

であり、時刻 $(n-1) \Delta t$ から時刻 $n \Delta t$ までの物体を変位 $S_n = X_n - X_{n-1}$ は、

$$\begin{aligned} S_n &= \frac{1}{2} a (n \Delta t)^2 - \frac{1}{2} a ((n-1) \Delta t)^2 \\ &= \frac{1}{2} a (\Delta t)^2 \times (2n-1) \end{aligned}$$

と表せるから、一定時間毎の移動距離の比は奇数列(1 : 3 : 5 : 7...)となる。

【参考文献】「ぼくらはガリレオ」板倉 聖宣 (岩波書店)

実験Ⅱ 「ニュートンの運動の第2法則を確かめてみよう」

1 実験のねらい

机の上に置かれた力学台車を定力装置で引いて運動させるときの加速度の大きさを、力学台車の車輪の回転周期を光センサーで計測することによって求め、加速度の大きさと台車の質量、台車に加えた力の大きさとの関係を調べ、運動の法則に対する理解を深める。

2 準備

(1) 黒い紙をドーナツ状に切り抜き、その半分にアルミテープを貼り付けたもの (右写真)

(2) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス

(3) 力学台車

(4) 定力装置

(5) 台ばかり

(6) 物差し

(7) パソコン



定力装置



ドーナツ状反射板

←各ワイヤの引く力の大きさは、バネばかりを用いた測定の結果、
小 …0.6N
大 …0.9N

3 実験の手順

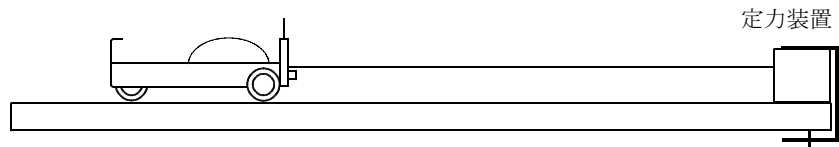
(1) 力学台車の一つの車輪の側面に、ドーナツ状反射板を貼り付ける。

(2) 力学台車の車輪が1回転する毎に、フォトリフレクタがアルミテープに反応するように、フォトリフレクタの位置を調節して固定する。(右写真)



(3) 力学台車の車輪が1回転する毎の力学台車の移動距離を測定する。

(4) 定力装置を机の端にクランプで固定する。



(5) 力学台車を机の上に置き、手で支えながら定力装置のワイヤーを力学台車に取り付ける。

(6) パソコンのソフトをスタートさせてから、手を離して台車を運動させる。

(7) 得られた時刻のデータと、(3)で測定した、力学台車が車輪1回転毎に移動する距離を表計算ソフトで処理し、 $v-t$ グラフを作成する。

(8) $v-t$ グラフの傾きから加速度の大きさを求める。

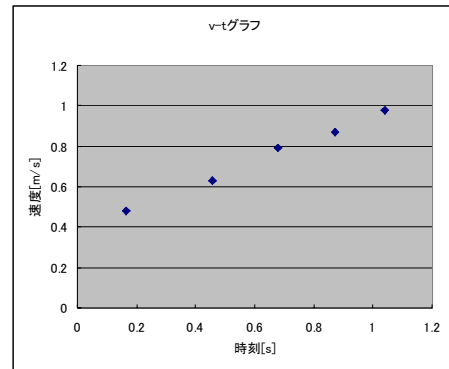
(9) 力学台車におもりを載せることで力学台車の質量を変化させ、定力装置のワイヤーを使い分けることによって加える力の大きさを変化させながら、加速度の測定を繰り返す。

4 実験結果の例

(1) フォトリフレクタが反応した時刻 t と、その中央の時刻 t' 、平均の速さ v の関係

- ・ 台車の質量 $M=1.0\text{kg}$
- ・ 定力装置の力 $f=0.6\text{N}$
- ・ 車輪 1 回転毎の移動距離 $L=0.157\text{m}$

t [s]	0	0.33	0.58	0.78	0.96	1.12
t' [s]		0.17	0.46	0.68	0.87	1.04
v [m/s]		0.48	0.63	0.79	0.87	0.98



(傾き) = 0.57 m/s^2

(2) 力の大きさと加速度の大きさの関係 (台車の質量 1kg)

力の大きさ 0.6N

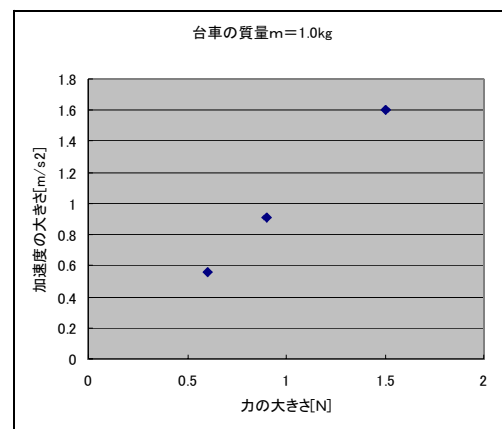
	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 [m/s^2]	0.57	0.57	0.54	0.56

力の大きさ 0.9N

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 [m/s^2]	0.91	0.90	0.92	0.91

力の大きさ 1.5N

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 [m/s^2]	1.6	1.5	1.7	1.6



(3) 力学台車の質量と加速度の大きさの関係 (力の大きさ 0.6N)

質量 1.0kg

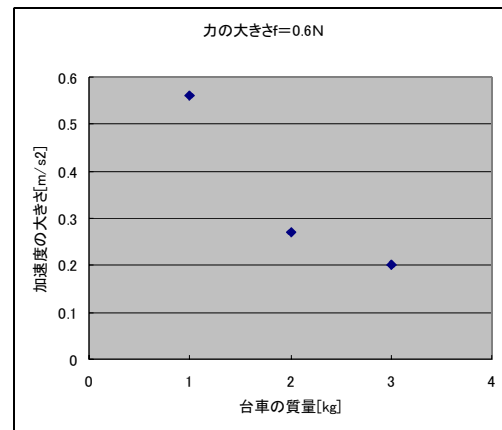
	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 [m/s^2]	0.57	0.57	0.54	0.56

質量 2.0kg

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 [m/s^2]	0.27	0.28	0.26	0.27

質量 3.0kg

	1回目	2回目	3回目	平均
加速度 [m/s^2]	0.20	0.21	0.20	0.20



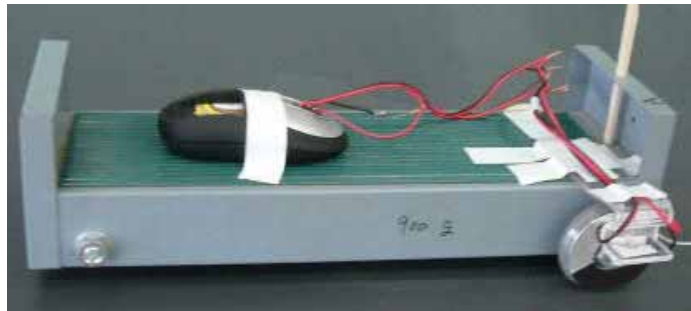
実験Ⅲ 「運動方程式が成り立つことを調べてみよう」

1 実験のねらい

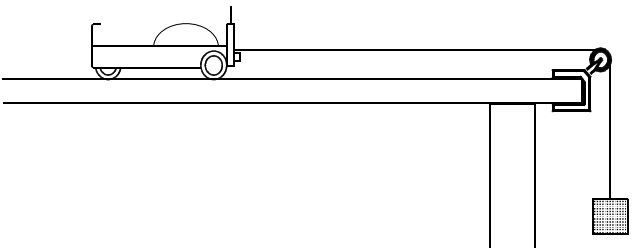
滑車を通した糸によって連結された力学台車とおもりが運動するときの加速度の大きさを、力学台車の車輪の回転周期を光センサーで計測することによって求め、力学台車とおもりの運動方程式を解いて得た理論値と比較し、運動方程式に対する理解を深める。

2 準備

- (1) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス
- (2) ドーナツ型の反射板（前述の実験Ⅱと同様）
- (3) 力学台車
- (4) クランプ付滑車
- (5) 台ばかり
- (6) 力学実験用おもり
- (7) パソコン

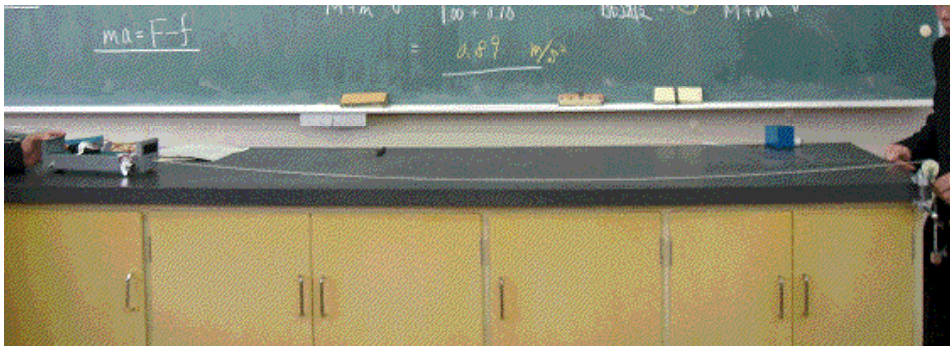


3 実験の手順

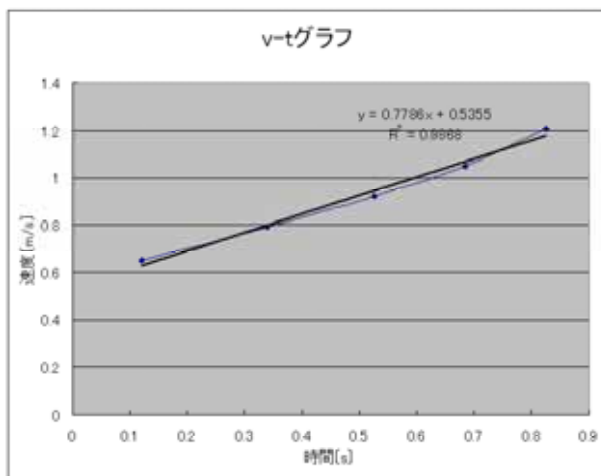
- (1) 前述の実験Ⅱと同様に、力学台車の車輪の側面にドーナツ型の反射板を貼り付け、力学台車の車輪が1回転する毎に、フォトリフレクタがアルミテープに反応するようにする。
- (2) 力学台車の車輪が1回転する毎の力学台車の移動距離を測定する。
- (3) クランプ付滑車を机の端に固定する。
- (4) 力学台車とおもりを糸で結び、糸を滑車にかけておもりをつるす。
- (5) 力学台車を手で押さえて糸がピンと張った状態で全体を静止させ、パソコンのソフトをスタートさせてから手を離す。
- (6) 得られた時刻のデータと、(3)で測定した、力学台車が車輪1回転毎に移動する距離を表計算ソフトで処理し、 $v-t$ グラフを作成する。
- (7) $v-t$ グラフの傾きから加速度の大きさを求める。
- (8) 得られた加速度の測定値と、理論値 $\frac{m}{M+m}g$ とを比較する。
- (9) 加速度の大きさが、加える力の大きさに比例し、質量に反比例することを確認する。

4 実験結果の例

(1) 実験風景



(2) 台車の質量 $M=1.0\text{kg}$ 、おもりの質量 $m=0.10\text{kg}$ の場合



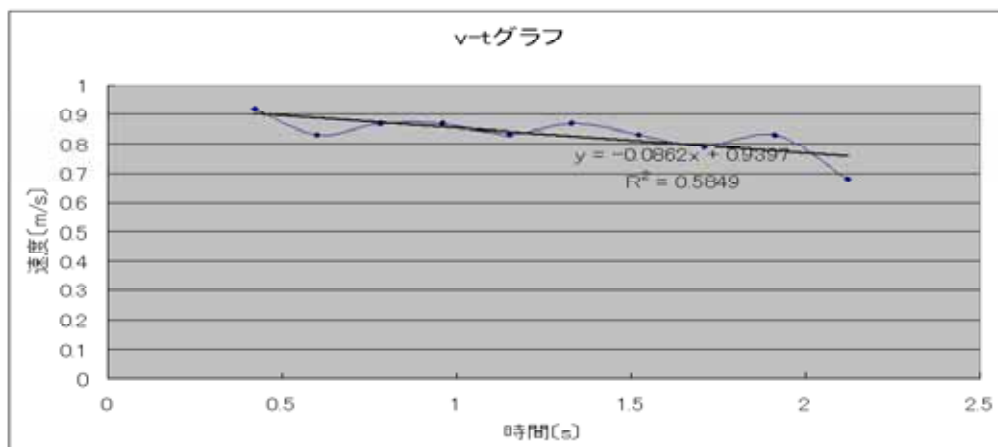
測定値 $=0.78\text{m/s}^2 \dots \textcircled{1}$

$$\begin{aligned} \text{理論値} &= \frac{m}{m+M}g \\ &= \frac{0.10}{0.1+1.0} \times 9.8 \\ &= 0.89\text{m/s}^2 \dots \textcircled{2} \end{aligned}$$

①、②より、相対誤差は12%であった。

(3) 誤差の考察

得られた速度データが $v-t$ グラフ上で、ほぼ直線にのっていることから、誤差の主原因が速さに依存しない抵抗（台車の摩擦力や、机が水平でないために生じた重力の運動方向成分など）と仮定した。そこで、力学台車から糸とおもりをはずし、台車のみにも初速度を与えて運動させたときの加速度を測定した。以下にその結果を示す。



加速度の測定値 0.086m/s^2 より、質量 1.0kg の台車にはたらく抵抗の大きさ f は、 $f = 1.0 \times 0.086 = 0.086\text{N}$ と考えられ、この抵抗を考慮して理論値 a を計算し直すと、

$$a = \frac{0.10 \times 9.8 - 0.09}{0.1 + 1.0} = 0.81 \text{ m/s}^2 \text{ となり、相対誤差は4\%に減少する。}$$

実験Ⅳ 「運動量保存の法則が成り立つことを確かめてみよう」

1 実験のねらい

力学台車が衝突し、合体して一体となるときに、衝突の前後で全体の運動量が保存されていることを実験によって確かめ、運動量に関する理解を深める。

2 準備

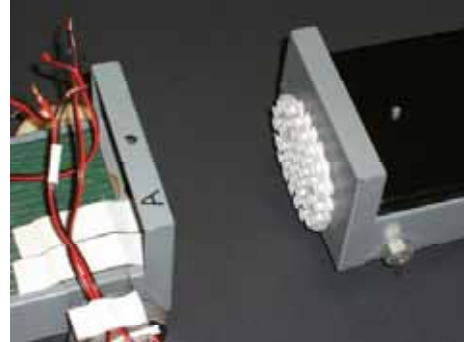
(1) 力学台車×2台（これらを衝突させたとき合体するように、それぞれの台車には吸盤を取り付けておく）

(2) 力学台車に載せるおもり 1kg×3個

(3) フォトリフレクタを接続したワイヤレスマウス

(4) 台ばかり

(5) パソコン



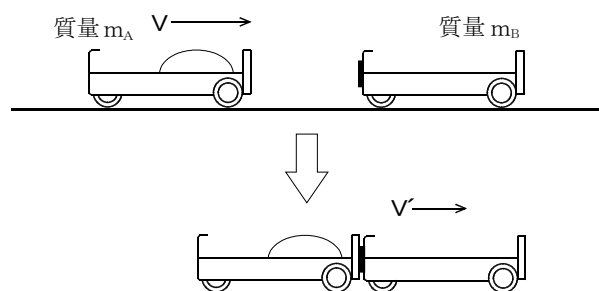
3 実験の手順

(1) 2台の力学台車を用意し、片方の力学台車にはフォトリフレクタを接続したワイヤレスマウスを載せるとともに、8ページの実験Ⅲと同様に力学台車の車輪の側面にドーナツ型の反射板を貼り付け、力学台車の車輪が1回転する毎にフォトリフレクタがアルミテープに反応するようにする。

(2) 力学台車の車輪が1回転する毎の力学台車の移動距離を測定する。

(3) 2台の力学台車の質量をそれぞれ台ばかりで測定する。

(4) ワイヤレスマウスの載っていない方の力学台車を机の上に静止させておき、パソコンのソフトをスタートさせてから、ワイヤレスマウスを載せた台車に、瞬間的に初速度を与え、2台の力学台車を衝突・合体させる。



(5) 得られた時刻のデータと、(2)で測定した、力学台車が車輪1回転毎に移動する距離をExcel等の表計算ソフトで処理して、 $v-t$ グラフを作成する。

(6) グラフより、衝突直前の速さ V と、衝突直後の速さ V' を求め、運動量保存の法則から得られる関係式、

$$m_A V = (m_A + m_B) \cdot V'$$
$$\therefore V' = \frac{m_A}{m_A + m_B} V$$

が成り立っていることを確認する。

4 実験結果の例



質量比が1:1の場合 $m_A/(m_A+m_B)=0.50$

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
衝突前の速さV [m/s]	0.92	0.83	0.87	0.68	0.75	
衝突後の速さV' [m/s]	0.40	0.38	0.39	0.30	0.36	平均
速さの比 V' / V	0.43	0.46	0.45	0.44	0.48	0.45

質量比が1:2の場合 $m_A/(m_A+m_B)=0.33$

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
衝突前の速さV [m/s]	0.71	1.12	0.98	0.98	0.98	
衝突後の速さV' [m/s]	0.20	0.34	0.31	0.28	0.31	平均
速さの比 V' / V	0.28	0.30	0.32	0.29	0.32	0.30

質量比が1:3の場合 $m_A/(m_A+m_B)=0.25$

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	
衝突前の速さV [m/s]	0.98	0.71	1.05	0.98	0.98	
衝突後の速さV' [m/s]	0.23	0.15	0.23	0.22	0.20	平均
速さの比 V' / V	0.23	0.21	0.22	0.22	0.20	0.22

事例2 加速度センサーを用いた加速度計測

1 指導の工夫

運動する物体の加速度を測定する場合、通常はテープ式の記録タイマー等で得た一定時間毎の変位の記録から求める方法を用いることが多いが、データの解析に手間と時間がかかることや、得られた加速度が間接的な測定値であるため、生徒が実感をもちにくい等の問題点がある。

本事例では、加速度センサーを内蔵した測定モジュール及びゲーム用リモコンを用いて加速度を計測し、パソコンに取り込んだデータをExcel等の表計算ソフトで処理することによって、物体の運動の様子を速やかにグラフに表現するような教材の開発を行った。

2 実験装置について

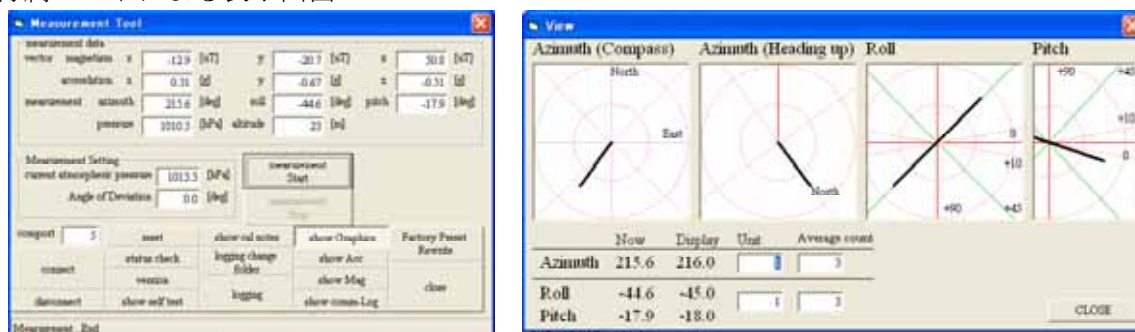
(1) 地磁気・加速度・気圧測定モジュールTDS01V（秋月電子通商）

① 概要

ワンチップの中に3軸のMR型地磁気センサー、3軸の加速度センサー、気圧センサーを内蔵した測定用ICを搭載した完成品の基板上で、USB接続でパソコンにデータを取り込むことができ、リアルタイムで数値表示及びグラフ表示させるソフトウェア（Win XP/98/2000）も付属している。本事例ではX方向の加速度データのみを使用した。



② 付属ソフトによる表示画面



③ 入手先

(株) 秋月電子通商（秋葉原店）

所在地：〒101-0021 千代田区外神田1-8-3 野水ビル1F 電話：03-3251-1779

ホームページからも注文できる。（<http://akizukidenshi.com/>）

(2) 任天堂Wiiリモコン及びBluetoothースアダプタ

① 概要

任天堂のゲーム機Wiiに付属しているリモコンは、3軸の加速度センサーを内蔵しており、パソコンのUSB端子にBluetoothースアダプタを接続することによって、計測した加速度データをパソコンで受け取ることができる。



② ソフトウェア

本事例では、フリーソフトウェアを下記のアドレスからダウンロードして用いた。

WiimoteData（<http://d.hatena.ne.jp/yoda-dip-jp/20070318>）

WiiAcc（<http://www.gijyutu.com/g-soft/wiiacc/wiiacc.html>）

実験V 「乗り物の加速度を測ってみよう」

1 実験のねらい

エレベータや電車、自動車のような乗り物の加速度を、加速度センサーを用いて直接計測し、 $a-t$ グラフ、及び $v-t$ グラフを作成することにより、速度と加速度の関係について、理解を深める。

2 準備

(1) 地磁気・加速度・気圧測定モジュール TDS01V

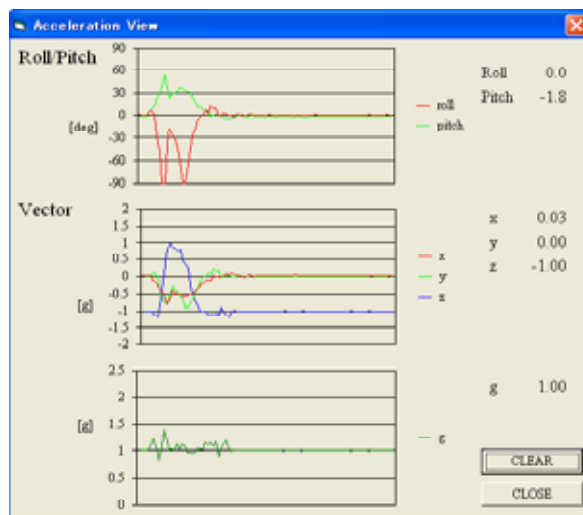
(2) ノート型パソコン

3 実験の手順

(1) ノート型パソコン及び測定モジュールを持って、電車等の乗り物に乗る。

(2) ノート型パソコンと測定モジュールをUSBケーブルで接続し、モジュールに付属しているソフトウェアを起動させる。

(3) 3軸の加速度グラフを表示させ、測定モジュールを水平に固定する。このとき、乗り物が静止しているときのZ方向の加速度が -1 、X方向及びY方向の加速度が 0 となることを確認する。また、測定モジュールのX（又はY）方向が、乗り物の進行方向になるように測定モジュールの向きを合わせる。



(4) パソコン画面のロギングボタンをクリックし、加速度データを記録する。

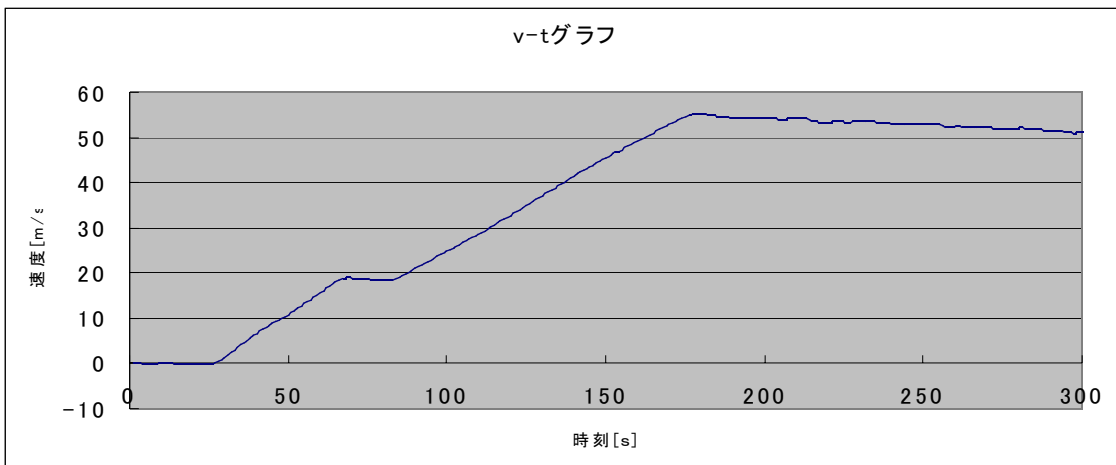
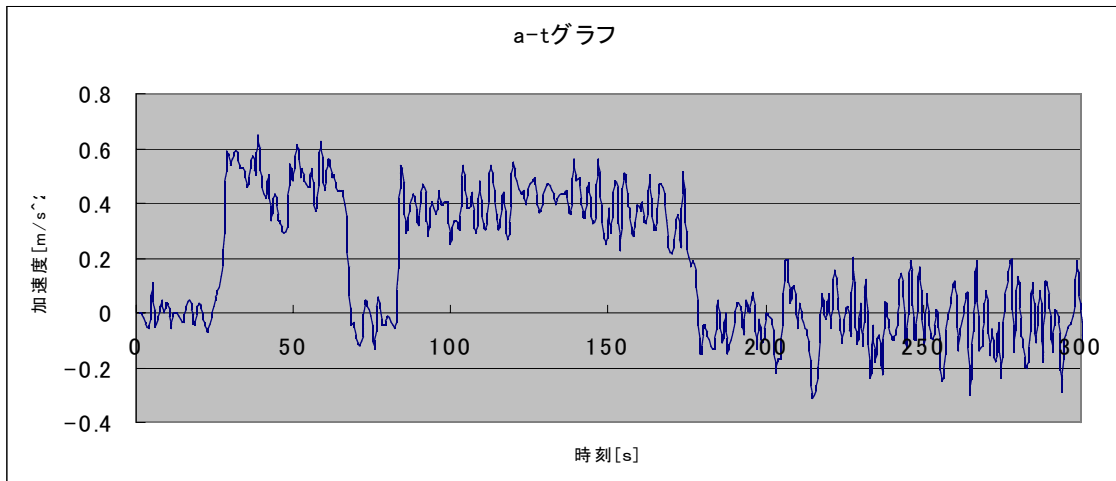
(5) 教室に戻ってから、記録されたX方向の加速度データを表計算ソフトで処理し、時刻 t と加速度 a の関係をグラフにする。なお、加速度データは0.10秒間隔で記録されているが、機械的な振動やノイズの影響をキャンセルするため、適当な時間毎に平均すると有意義な結果が得られる。

(6) 台形公式やシンプソンの公式を用いて加速度 a を時間で数値積分し、速度 v と時刻 t の関係を求める。

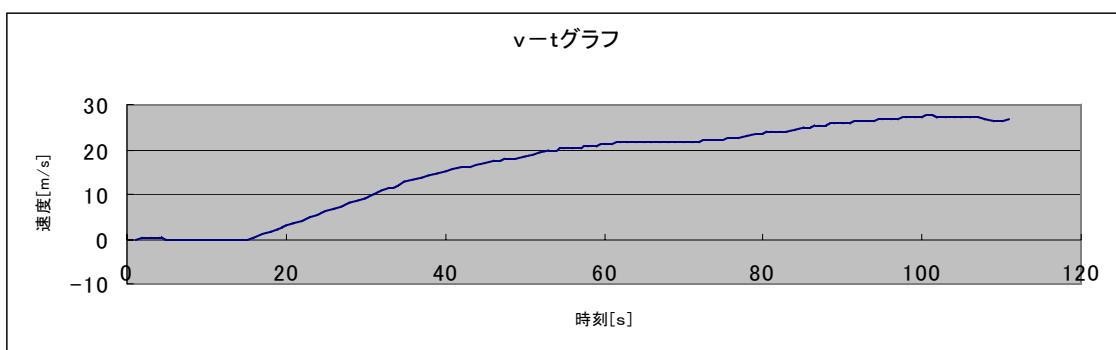
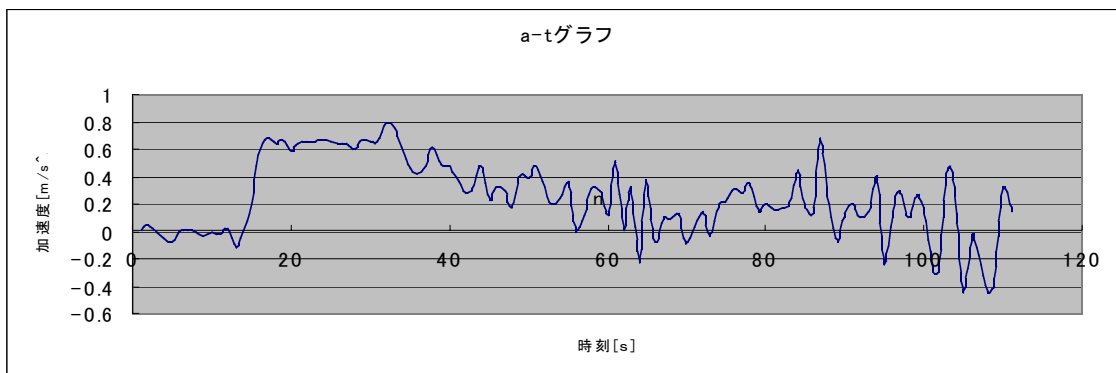
(7) 何種類かの乗り物について、発進時の加速度を測定し、 $a-t$ グラフや $v-t$ グラフで、運動の様子を比較する。

4 実験結果の例

(1) 東北新幹線（上り、小山駅発）



(2) JR宇都宮線 普通電車（下り、小山駅発）



5 データ処理について

(1) 記録されたデータ

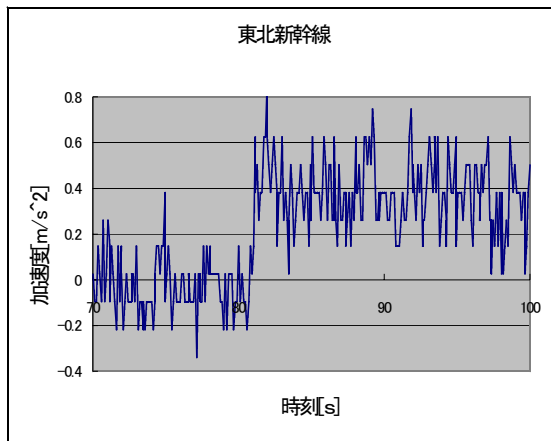
データは0.10 s毎に記録され、時刻、3軸方向の磁界、地磁気から求めたセンサーの方位、3軸方向の加速度、重力加速度の向きから求めたセンサーの傾き、気圧、気圧から求めた高度のデータがカンマで区切られた形式で保存される。Excel等で読み込むときにカンマ区切りのテキストデータとすれば、セル毎に配置される。なお、加速度の単位は重力加速度 g である。

time	mx	my	mz	azimuth	ax	ay	az	roll	pitch	pressure	altitude
12:27:33	46.9	-7.4	23.4	23.7	0.01	1.57	-1	90	-0.2	1018	-40
12:27:33	50.4	-8.6	26.6	29.1	0.48	0.49	-1.08	33.6	-28.4	1018	-41
12:27:33	39.1	-15.6	35.5	317.5	-0.01	-1.11	-0.94	-90	0.4	1018	-41

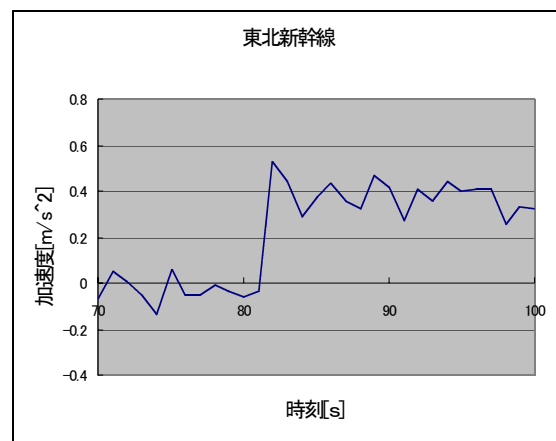
(Excelで読み込んだデータ)

(2) 時間平均の処理

得られるデータは0.10 sであるが、実際に乗り物にセンサーを持ち込んで測定してみると、乗り物全体の加速度とは無関係の細かい振動等が含まれてしまう。本事例では、これらの振動等の影響をキャンセルするため、10個分のデータを平均して1 s毎の加速度データとした。



時間平均前



時間平均後

(3) 加速度の積分

本事例では、加速度を数値積分するために、シンプソンの公式を用いた。つまり、時間間隔 Δt のデータ間を放物線で結び、積分することで速度変化 Δv を算出した。例えば、

時刻 t	0	Δt	$2 \Delta t$
加速度 a	a_1	a_2	a_3

という3つのデータがあるとき、加速度 a と時刻 t の関係を $a = \alpha t^2 + \beta t + \gamma$ とすると、

$$a_1 = \gamma, \quad a_2 = \alpha(\Delta t)^2 + \beta \Delta t + \gamma, \quad a_3 = \alpha(2\Delta t)^2 + \beta \cdot 2\Delta t + \gamma$$

の関係式が得られ、これらを α 、 β 、 γ について解くと、

$$\alpha = \frac{a_1 - 2a_2 + a_3}{2(\Delta t)^2}, \quad \beta = \frac{-3a_1 + 4a_2 - a_3}{2\Delta t}, \quad \gamma = a_1$$

また、速度変化 Δv は、

$$\Delta v = \int_0^{2\Delta t} a \, dt = \left[\frac{1}{3} \alpha t^3 + \frac{1}{2} \beta t^2 + \gamma t \right]_0^{2\Delta t} = \frac{8}{3} \alpha (\Delta t)^3 + 2\beta (\Delta t)^2 + 2\gamma \cdot \Delta t$$

と表される。 α 、 β 、 γ を代入すると、

$$\Delta v = \frac{8}{3} \frac{a_1 - 2a_2 + a_3}{2(\Delta t)^2} (\Delta t)^3 + 2 \frac{-3a_1 + 4a_2 - a_3}{2\Delta t} (\Delta t)^2 + 2a_1 \cdot \Delta t = \frac{1}{3} (a_1 + 4a_2 + a_3) \Delta t$$

と、極めて簡単な式となる。この Δv をExcel等で計算し、時刻0から時刻 t までの総和をとることで、時刻 t での速度 v を計算した。

実験Ⅵ 「Wii リモコンで加速度を測ってみよう」

1 実験のねらい

テレビゲーム用リモコンに内蔵されている3軸の加速度センサーを用いて、台車や振り子が運動するときの加速度を直接計測し、慣性力や運動方程式についての理解を深める。

2 準備

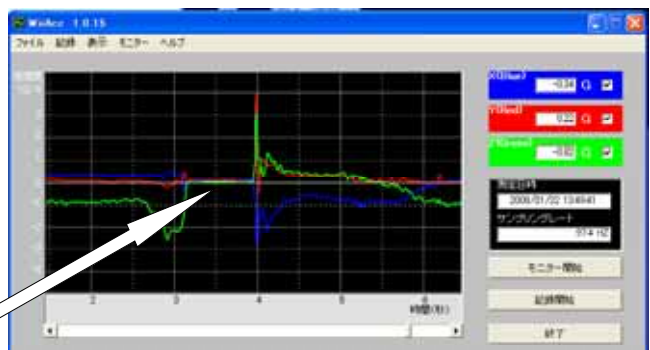
- (1) 任天堂Wii リモコン
- (2) ノート型パソコン
- (3) ブルートゥースアダプタ

3 実験の手順

- (1) ノートパソコンのUSB端子にブルートゥースアダプタを挿入する。
- (2) Wii リモコンの電源を入れ、無線によってパソコンと接続する。

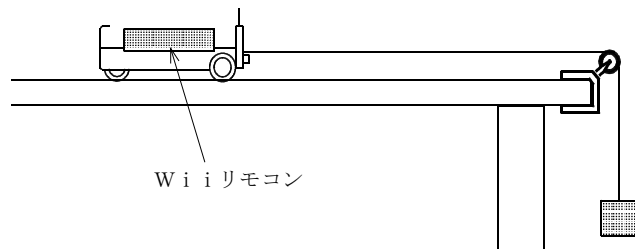
【フリーソフトウェア「WiiAcc」による画面】

- (3) 3軸の加速度グラフを表示させ、リモコンを水平にしたとき、Y方向の加速度が、ほぼ -1 (単位は g)、X方向、Z方向の加速度がともに 0 となることを確認する。

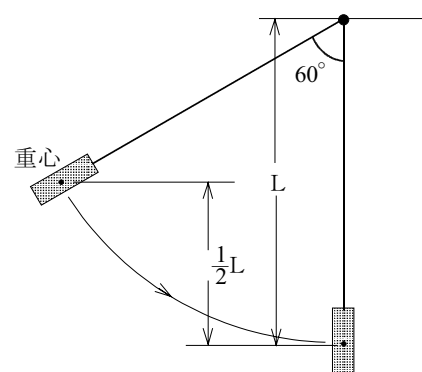


- (4) リモコンを空中に投げると、リモコンが空中にある間は、3軸方向の加速度が全て 0 になることを確認する。

- (5) 右図のように、Wii リモコンを載せた台車とおもりを糸でつなぎ、糸を滑車にかける。台車が運動するときの加速度の大きさを測定し、運動方程式から求めた理論値と比較する。



- (6) リモコン底部の2箇所穴を利用し、1 m程度の糸を取り付けてつり下げる。糸がピンと張った状態を保ちながらリモコンを持ち上げていき、糸と鉛直線のなす角が $70\sim 80^\circ$ の位置まできたら、静かに手を離してリモコンに振り子運動をさせ、このときの加速度を測定する。振り子の振幅は空気抵抗、糸の支点での摩擦等により減衰していくが、振れ角の最大値が 60° のとき、最高点及び最下点での見かけの重力加速度はそれぞれ、 $0.5g$ 、 $2g$ となることを確認する。



4 実験結果の例

(1) 台車とおもりの運動 (台車とリモコンの質量 $M=1.08\text{kg}$ 、おもりの質量 $m=0.340\text{kg}$)

【理論値】

加速度の大きさを a 、糸の張力の大きさを S とすると、台車及びおもりの運動方程式はそれぞれ、

$$\text{(台車)} \quad M a = S$$

$$\text{(おもり)} \quad m a = m g - S$$

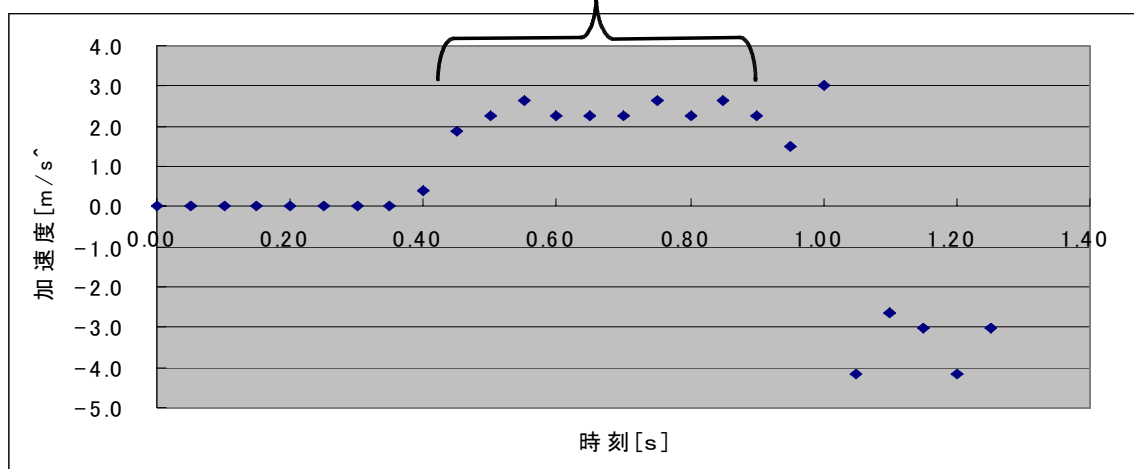
これらを解いて、

$$a = \frac{m g}{m + M} = \frac{0.34 \times 9.8}{1.08 + 0.34} = 2.34 \text{ m/s}^2$$

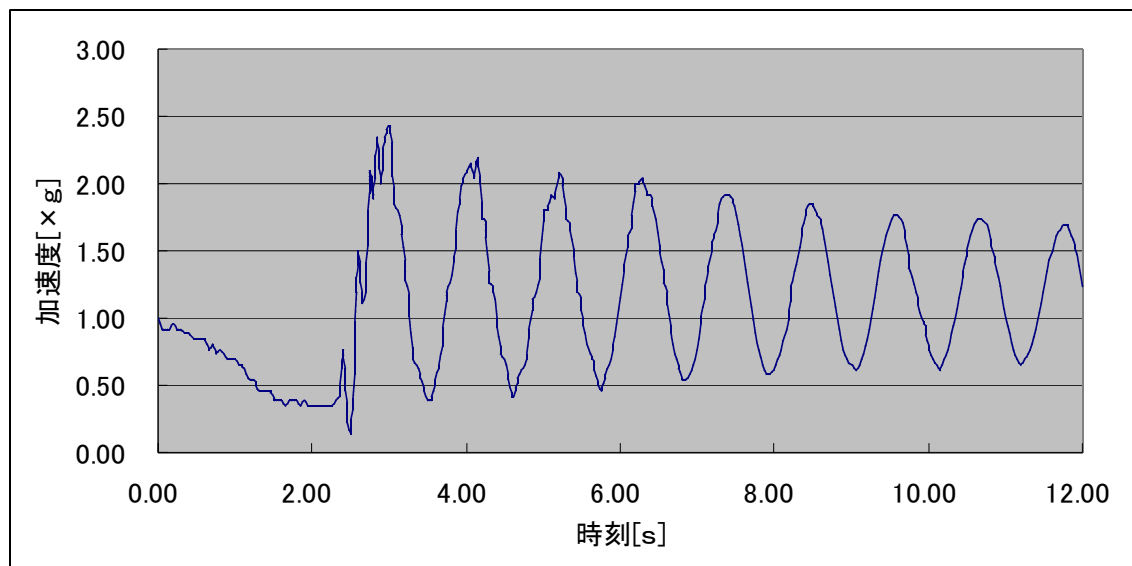


【測定値】

等加速度と考えられる区間



(2) 振り子運動 (糸の長さ1.0m)



振り子の振れ角 (最高点における、糸が鉛直線となす角) θ のときの、見かけの重力加速度 (糸の方向成分) は、 $g \cos \theta$ から $(3-2\cos \theta)g$ まで変化する。上のグラフを見ると、時刻 6.00 s 付近で、加速度が $0.5g \sim 2.0g$ となっていることから、このときの θ は 60° 程度だと考えられる。なお、振動の減衰に伴って加速度の最大値、最小値とも $1.0g$ に近づいていくが、 $\cos \theta$ の係数の関係で最大値の方が、時間変化が大きい様子がグラフに現れている。

5 データ処理について

(1) 記録されたデータ

以下に、Wii moteDataによって保存され、Excelで読み込まれたデータの一部を示す。データは、0.05 s 毎に記録され、時刻、3 軸方向の加速度の他、リモコンに付いている I R センサーやボタンの状態を表す数値等が、CSV形式で保存される。



X、Y、Z方向の加速度

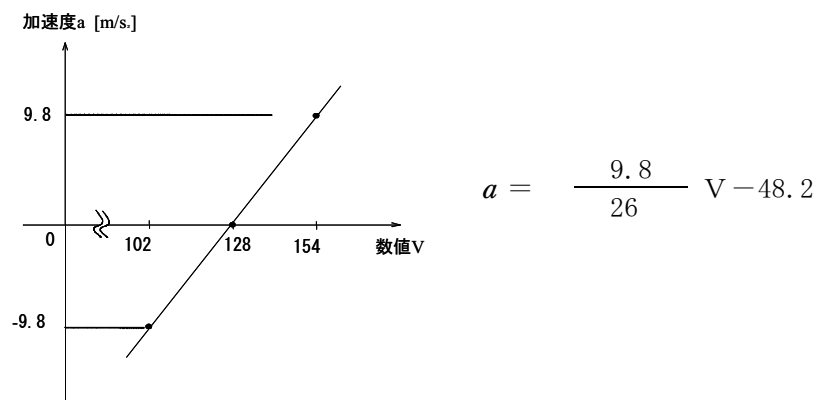
Time	ch	btn1	btn2	accX	accY	accZ	IROX	IROY	IROS
5:58:36	0x33	0x0	0x0	128	127	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	128	155	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	128	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	127	127	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	127	156	1023	1023	15
5:58:37	0x33	0x0	0x0	128	128	155	1023	1023	15

加速度のデータは3桁の整数で記録される。リモコンが静止しているときのX、Y、Z方向のデータは、重力加速度 g のそれぞれの方向の成分であるから、リモコンの向きによって、 $-g$ から $+g$ までの値を表すはずである。以下に、各方向で測定した $-g$ 、 0 、 $+g$ に相当する数値データを示す。

	$-g$	0	$+g$
X方向	101	128	154
Y方向	102	128	154
Z方向	104	127	155

(2) データの処理

上記の表より、方向によってセンサーの特性にわずかな差があることがわかる。次に、本事例で用いたY方向のセンサーについて、記録される数値データ V と加速度 a [m/s²] の関係を示す。



加速度センサーの分解能は、数値データ V が1だけ変化したときの a の変化であり、Y方向については、

$$\frac{9.8}{26} = 0.38 \quad [\text{m/s}^2]$$

である。なお、リモコンを振り回したり、リモコンに衝撃を与えたりして、測定される加速度の大きさの範囲を調べたところ、得られた数値データは、1~248であった。したがって、 a と V の関係の直線性が成り立っているとすれば、測定できる加速度の範囲は、

$$-47.8 \sim +45.3 \quad [\text{m/s}^2] \quad (-5g \sim +4.6g)$$

である。ただし、加速度の分解能及び測定可能な加速度の範囲は、使用するリモコンに内蔵されているセンサーの特性により、上記の数値と多少ずれる場合があると考えられる。

おわりに

プレゼンテーション教材の活用について

本冊子では、「学ぶ手応えを実感できる」をキーワードにして、観察や実験を中心とした事例を紹介した。しかし、最終的に生徒の知識や理解の定着に結びつかなければ、「分かった」、「身に付いた」という実感は得られない。

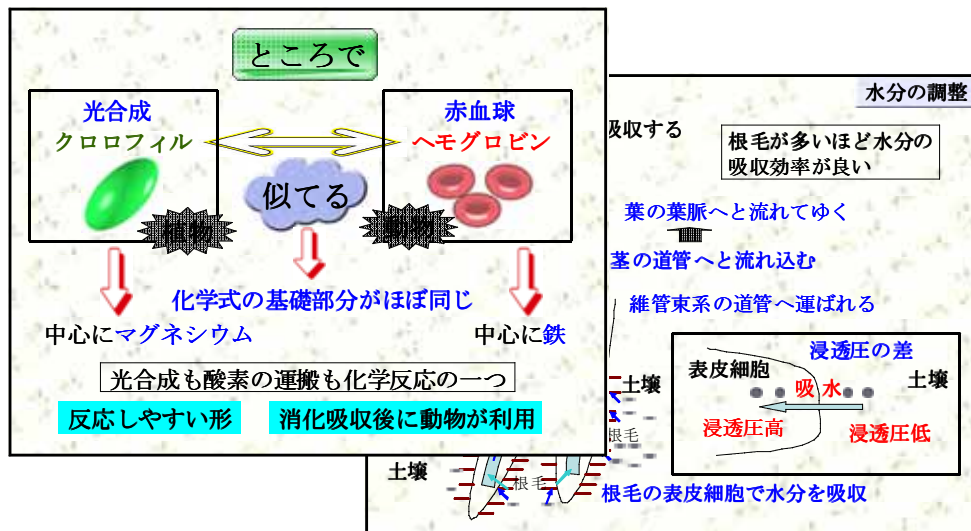
この課題を解決する一つの方法として、プレゼンテーション教材の工夫が挙げられる。これまでも多くの理科担当の先生方が、授業の導入やまとめ、観察、実験の説明や考察のための資料として用いている。授業のテンポを変えたり、発問や課題提示の効果を高めたり、アニメーションの効果を生かして模式図の理解を容易にしたりするなど、多様な活用法が考えられる。教師が説明に用いるだけでは、必ずしも生徒の理解につながるとは限らないが、生徒との対話を生かした授業を展開したり、生徒に操作させたりすることで、生徒が主体的にデジタル教材と向き合えるようになると期待される。

また、次年度から本格運用になる「県立学校間情報ネットワーク」によって、学校間の情報ネットワーク環境が強化される。このネットワーク環境では、「掲示板」や「電子会議室」の機能を用いて、デジタル教材を教員間で共有しやすくなる。

先生方一人一人のアイデアを、県内の多くの先生方と共有して、指導力アップに取り組むことを期待します。

(例) たとえば、県立学悠館高等学校では、通信制などの生徒ためのプレゼンテーション教材の開発整備に取り組んでいる。

このような教材の情報も、県立ネットワークの環境を生かすと学校間で共有できる。



高等学校における教科指導の充実
理 科 《 物理領域 》
学ぶ手応えを実感できる授業を目指して
[速度・加速度]

発 行 平成20年3月
栃木県総合教育センター 研究調査部
〒320-0002 栃木県宇都宮市瓦谷町1070
TEL 028-665-7204 FAX 028-665-7303
URL <http://www.tochigi-edu.ed.jp/center/>