

2 節 理科 ・ ・ ・ ・ 既存の実験充実

．物理分野 コンピュータによる計測の導入

1．事業の目的と意図

昨年度の SSH 事業で生徒用ノートパソコンと中村理科の計測装置「イーザーセンス」をそれぞれ 10 台購入した。昨年度は波動の分野で「音の分析と合成」の実験を行い、その有効性をみる事ができた。今年度は生徒実験での活用をさらに広げるため、運動の分野におけるコンピュータ計測の実験を二つ行った。一つは超音波センサを用いおもりに引かれた台車の運動を、もう一つはデジタルカメラを用い、糸に結ばれた 2 物体の運動を解析することにより加速度を求め、理論値と比較させ誤差の原因を考察させた。また、従来の実験で用いられてきた記録タイマの実験と比較してのコンピュータ計測の長所・短所を調べた。ただし、データ解析をコンピュータに任せるのは生徒実験としては教育的でないと考えられるので、今回はコンピュータを計測機器として扱う方法を取り、データの計算やグラフの作成は生徒が行う方法をとった。

2．事業の概要と結果

実験 1 「おもりに引かれた台車の運動 - 超音波センサによる運動の解析 - 」

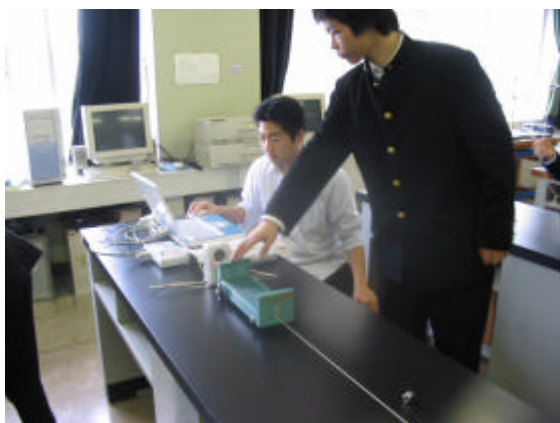
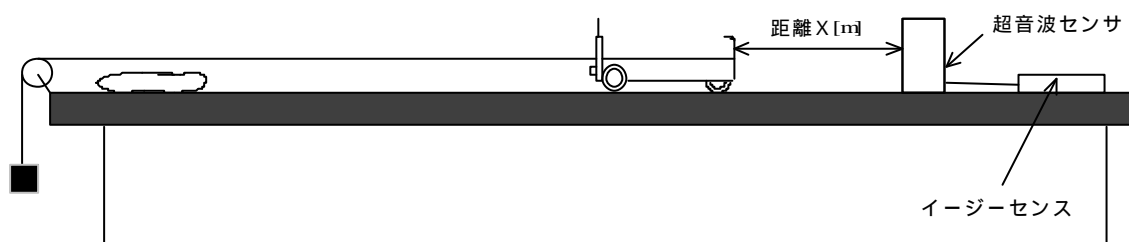
対象生徒 2 年生理系 4 クラス 161 名

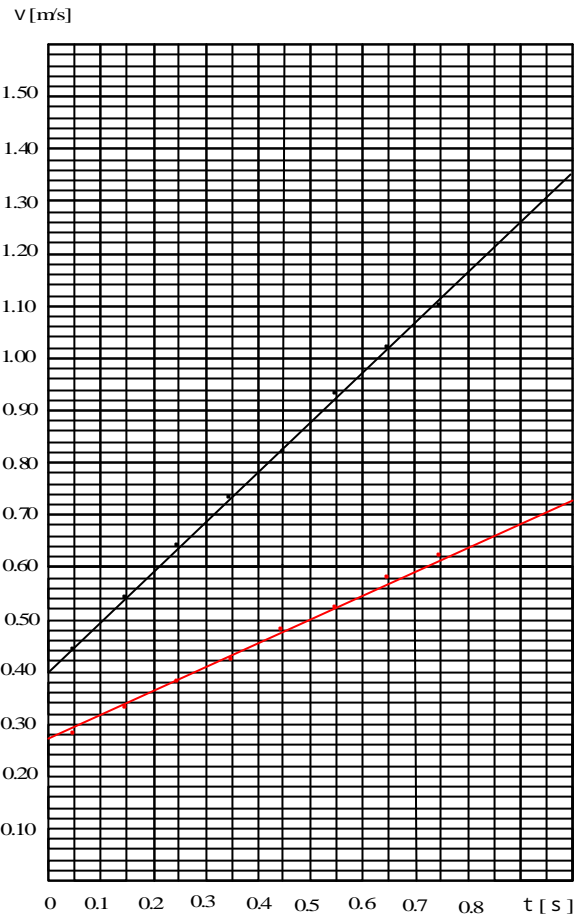
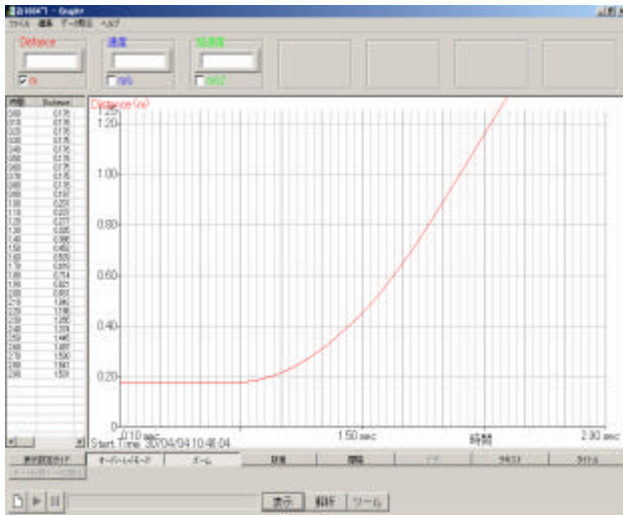
授業形態 1 時間 (55 分) 3 ~ 4 人で班を構成、班で 1 台のノートパソコン使用

目的 おもりに引かれた台車の加速度を超音波センサで測定し、その値 (測定値) と運動方程式から計算される値 (理論値) とを比較し一致するかどうか調べ、相対誤差を求める。また、誤差の原因を考察する。

方法

- (1) 台ばかりで台車の質量 M [kg] を測定する。
- (2) 台車に糸を付け、その糸を滑車に通し、先端におもりを付ける。
- (3) 超音波センサをイーザーセンスの端子 1 につなぎ、超音波センサをセットする。
- (4) 超音波センサ、滑車、糸が一直線になっていることを確認してから、計測ソフトを作動させ手をはなし、台車を運動させる。つるすおもりの個数を 1 個 (0.050kg)、2 個 (0.100kg) に変えて実験する。
- (5) 計測ソフトに記録された超音波センサから台車までの距離 x [m] を表の x の欄に記入する。
- (6) 0.10 秒ごとの変位 x 、速度 v を計算し、表を完成させる。
- (7) $v - t$ グラフを描く。
- (8) $v - t$ グラフの傾きを計算し加速度を求める。グラフで読みとった 2 点は 印を付けておく。





考察

- (1) おもりの質量が m [kg] ,台車の質量が M [kg] の場合 , 糸の張力を T [N] , 加速度を a [m/s²] とし , それぞれの物体について運動方程式をたて , 加速度 $a = mg / (m + M)$ を求める。
- (2) (1) の結果から , おもりの質量が 0.050kg , 0.100kg の場合の加速度の値 (理論値) を求める。
- (3) 測定値と理論値より相対誤差を求める。
- (4) 誤差の原因を考察する。

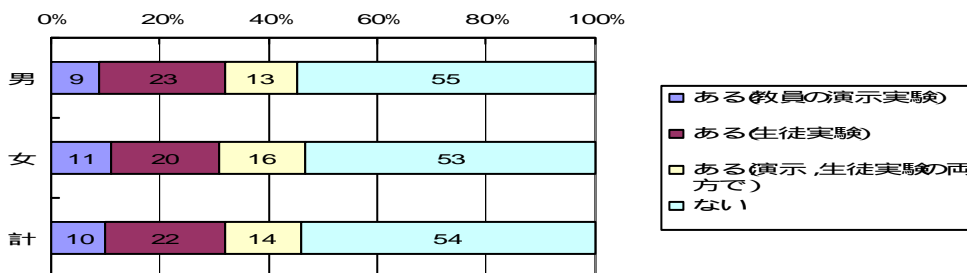
結果

生徒の結果の一例を右の $v - t$ グラフと下の表に示す。相対誤差がほぼ 5 ~ 10 % 程度の班が多かった。運動方程式の応用を授業で学習した直後であったにもかかわらず , 理論値を求めるのに時間のかかった生徒がかなりみられた。また , 理論値を正確に導けない生徒も若干みられ運動方程式を定着させるにはかなりの時間が必要とされることが実感された。理論値と測定値がほぼ一致することで運動方程式の理解が深まった生徒がいた反面 , 誤差が完全に 0 にならないことにこだわる生徒がかなりみられた。

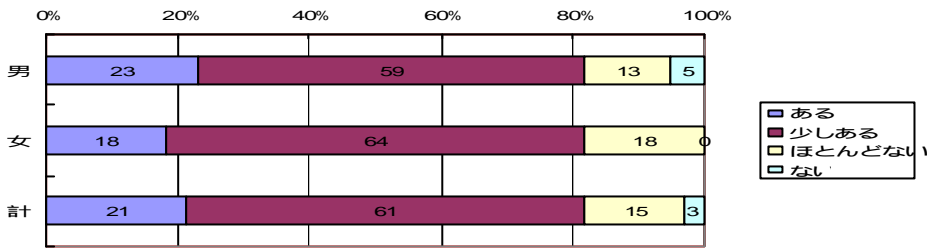
おもりの質量	加速度[m/s ²] (測定値)	加速度 (理論値)	相対誤差 (%)
0.050kg	0.47	0.51	7.8
0.100kg	0.85	0.93	8.6

生徒の評価・感想 (アンケート)

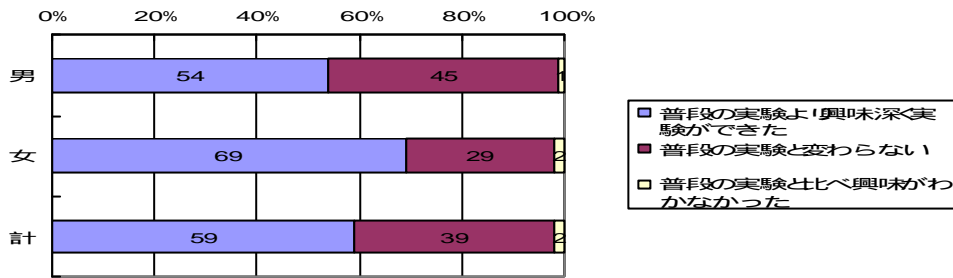
【1】 中学・高校の理科の運動分野の実験でパソコンを使ったことがありますか。



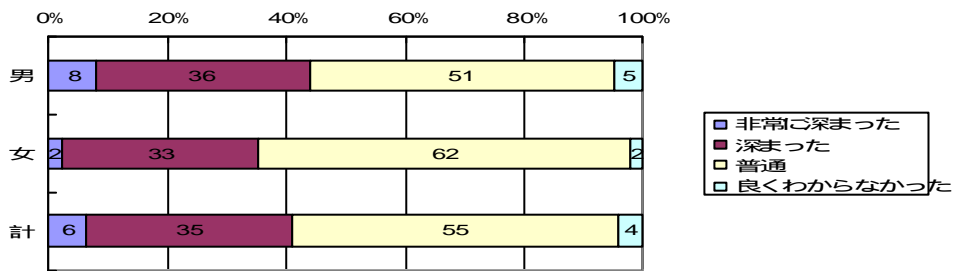
【2】 パソコンを利用した実験や授業に興味関心がありますか。



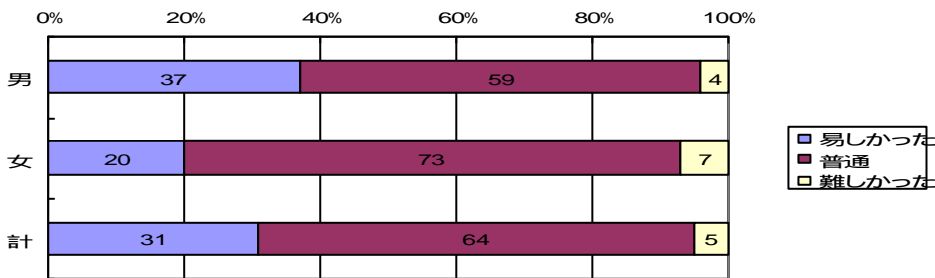
【3】 今回の超音波センサとパソコンを用いた運動の実験について教えてください。



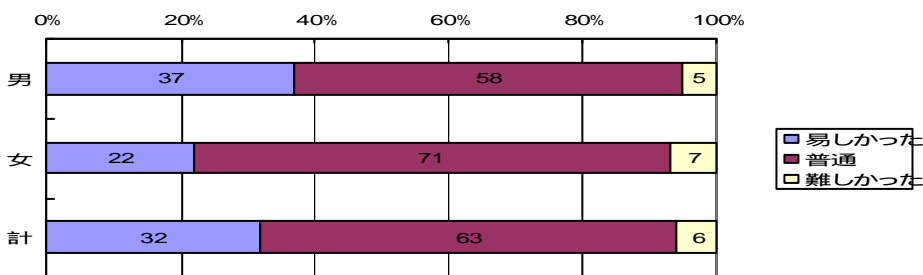
【4】 今回の実験で運動の第2法則についての理解度はどうになりましたか。



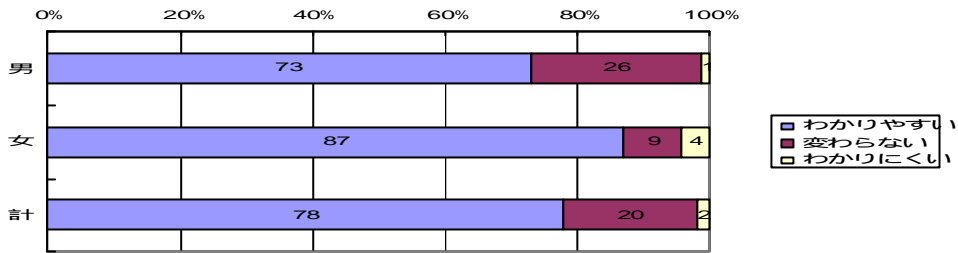
【5】 今回の実験で超音波センサや計測装置の接続（準備）について教えてください。



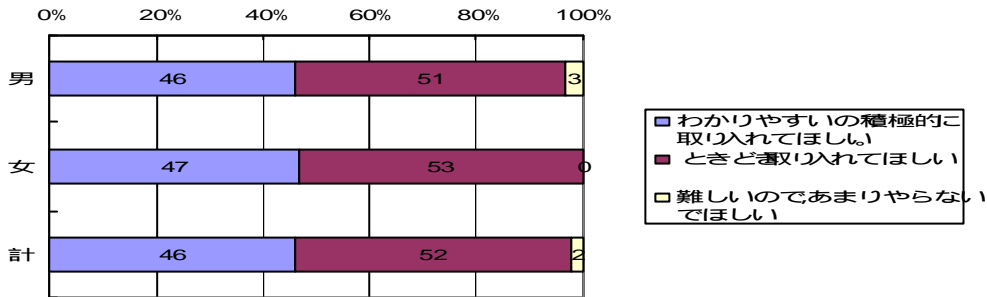
【6】 今回の実験で使用したソフトの操作性について教えてください。



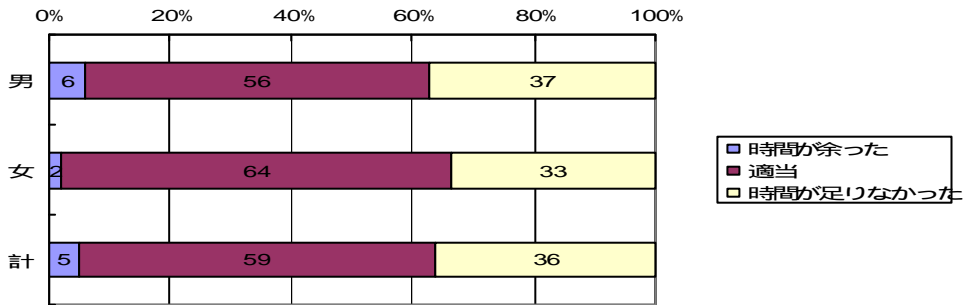
【7】 超音波センサを用いた実験は記録タイマを用いた実験と比較してどうでしたか。



【8】 パソコンを利用した実験について教えてください。



【9】 今回の実験で実験時間はどうでしたか。



【10】 超音波センサとパソコンを利用した運動の実験についての感想を書いてください。

- ・ 記録タイマを使うよりも短時間ででき、やりやすかった。
- ・ パソコンを使用したことで数値が簡単に出るし、失敗しても何回もやり直せるので便利だ。
- ・ 運動の第2法則を実際に確認できてよかった。
- ・ いちいち距離をものさしで測る記録タイマの実験より、面倒くさくなくてよい。
- ・ 記録タイマを使った実験とほとんどかわらない。
- ・ 記録タイマの実験より正確にできてよい。
- ・ 結果がすぐに数値とグラフとして画面に出てわかりやすい。もっといろいろな運動を調べてみたい。
- ・ 操作もそれほど難しくなく、やりやすかった。
- ・ 教科書で学ぶのに比べ、実際の実験では誤差が出て難しかった。
- ・ 計測開始のタイミングと台車を走らせるタイミングがよくわからず大変だった。
- ・ 実験内容は素晴らしいが、そこまでの準備や過程が大変だった。
- ・ パソコンを用いた運動の実験で運動の第2法則について理解が深まり興味がわいた。
- ・ タイマの実験では測定が目分量になってしまうが、この実験だと細かい値まで自動的に出せるので便利だと思った。

【11】 実験についての疑問点・改善点を書いてください。

- ・ 操作が少し難しいのでもっと時間がほしい。
- ・ レポートを作成する時間をもっととってほしい。
- ・ 超音波でなぜ物体の距離がわかるのか、その仕組みを知りたい。

- ・ 少数の人しかパソコンに触れない，一人一回触れる機会をつくってほしい。
- ・ 誤差を減らすにはどうすればよいか。
- ・ 事前にパソコン操作や実験内容を説明して，実験を早く取りかかれるようにしてほしい。

教員による評価

- ・ 超音波センサとパソコンですぐに距離が計測でき，距離と時間の関係のグラフが画面に出るので，興味深く実験をした生徒が多かった。また，記録タイマと比べわかりやすいと感じた生徒が多かった。
- ・ ソフトの操作性や実験の準備等については難しいと感じる生徒は少なかった。
- ・ 超音波センサのしくみを事前に考えさせたほうがよい。
- ・ 誤差の原因や誤差を小さくする方法を考えさせる時間を事後に十分とるとより理解が深まる。
- ・ 生徒はパソコン計測され，場面に出てきた数値を正確であると考えがちであるが，その場合も測定値には必ず誤差が含まれることを考察させることが必要である。
- ・ 超音波センサの実験を1回で終わらせるのではなく，力学的エネルギー保存や運動量の保存などで使用すると今回習得した方法がより生きてくるように思われる。
- ・ アンケートの項目【4】から，運動の法則について理解が深まったと答えた生徒は41%にとどまったので，事前の授業で実験の目的や運動方程式についてよく理解させる必要がある。
- ・ 理論値を計算するのに時間がかかった生徒が多かったので，理論値の導出を前の授業で練習問題として行い，その数値を実験で確かめるように動機づけして実験に臨めば，生徒の興味もより深まると思われる。

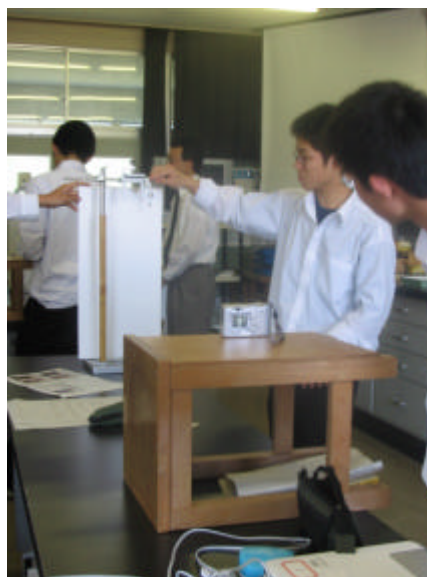
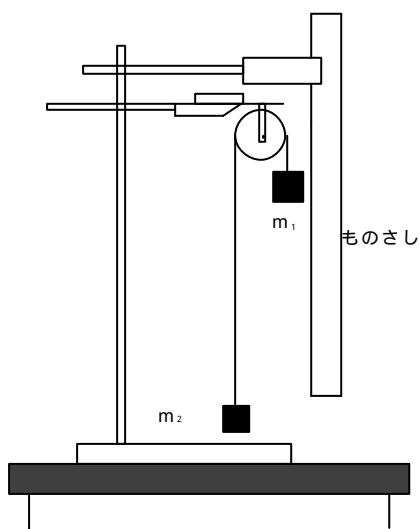
実験2 「滑車につるされた2物体の運動（アトウッドの実験） - デジタルカメラによる運動の解析 - 」

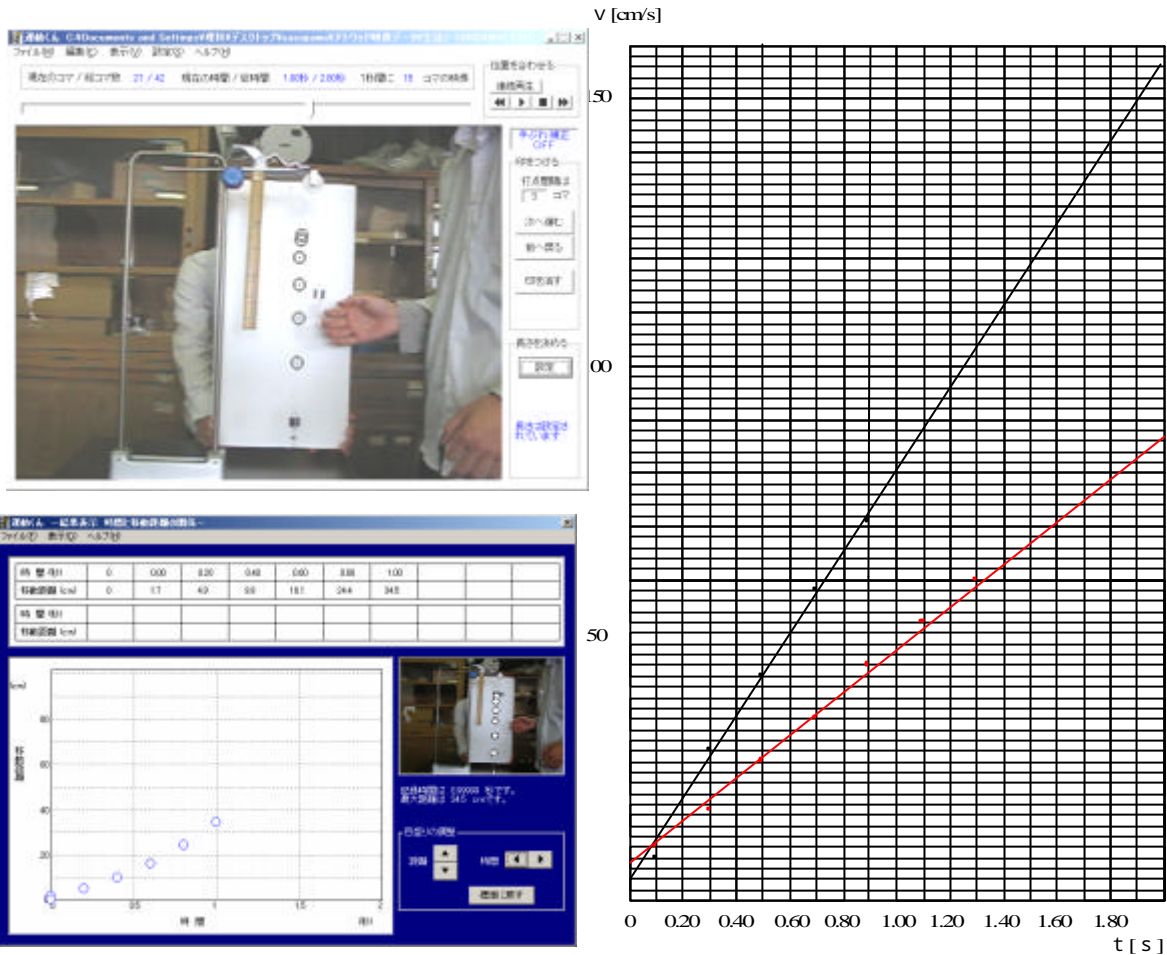
対象生徒 2年生理系4クラス161名

授業形態 1時間（55分） 3～4人で班を構成，班で1台のノートパソコン使用

方法

- (1) 実験机の上に椅子を横にしてのせる。椅子の上にデジタルカメラをセットする。
- (2) デジタルカメラをビデオ撮影モードに設定する。
- (3) 図のようにスタンドに滑車ともものさしを固定し，デジタルカメラを置いた椅子と反対側の机の上に置く。
- (4) ものさしの横で滑車を通した糸でつるされた質量の異なる2つのおもりを運動させ，撮影する。
- (5) デジタル質量計でおもりの質量を測定し録する。
- (6) おもりの質量を変えて2回実験する。（1回目25gと30g，2回目50gと55g）
- (7) 運動解析ソフト「運動くん」を起動しビデオデータを読み込み，3コマ（0.20秒）ずつコマを進め分析する。
- (8) 「運動くん」の「時間と距離の結果表示」データを実験プリント表のxの欄に書き写し，表を完成させる。
- (9) $v - t$ グラフを描く。
- (10) $v - t$ グラフの傾きから，加速度 a （測定値）を求める。





考察

- (1) 2つのおもりの質量をそれぞれ m_1 [kg], m_2 [kg] ($m_1 > m_2$) とする。糸の張力を T [N], 加速度を a [m/s^2] として, それぞれのおもりについて運動方程式をつくり, 加速度 a を求める。
- (2) 2回の実験について, 運動の法則から計算される加速度(理論値)を求める。
- (3) 測定値と理論値より, それぞれの実験での加速度の相対誤差を求める。
- (4) 誤差の原因を考察する。

結果

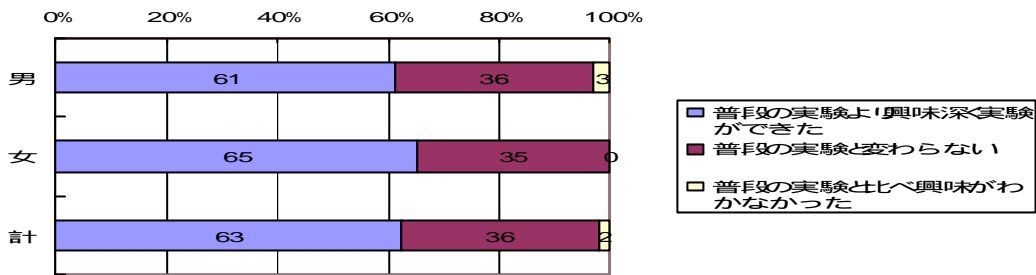
生徒の結果の一例を $v-t$ グラフと表に示す。相対誤差がおおむね10%程度の班が多かったが, 今回の実験では15%以上の班もかなりあった。おもりを運動させるときに静止状態にせず, おもりに横方向の初速度を与えて振動させてしまうと大きな誤差が生じる。また, パソコンでマウスでおもりの位置をクリックするときに誤差が生じやすい。この実験は台車を使った実験に比べ慎重さが要求される。

また, 実験1と同様に, 授業でこの問題を扱った直後にしては, 理論値を求めるのに時間のかかった生徒が多く, 運動方程式を理解させることの難しさを実感した。しかし, 運動方程式を天下りの覚えるのではなくこのような実験を通して, 理論と実験の一致を検証することは科学的に大いに意味のあることだと考えられる。また, 実験のおもしろさや難しさを知ることのきっかけになると思われる。

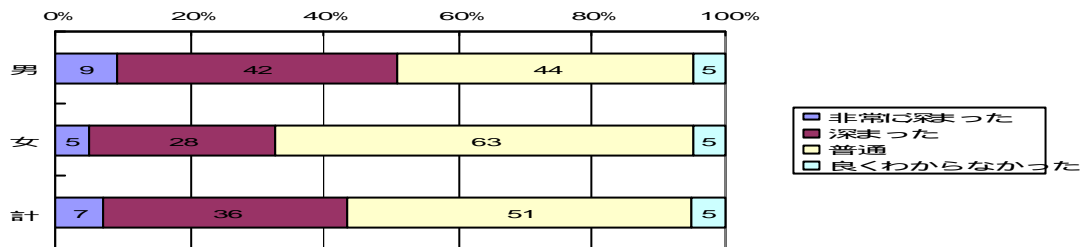
2つのおもりの質量	加速度 $[m/s^2]$ (測定値)	加速度(理論値)	相対誤差(%)
49.2g, 54.2g	0.43	0.47	8.5
24.9g, 29.9g	0.85	0.89	4.5

生徒の評価・感想（アンケート）

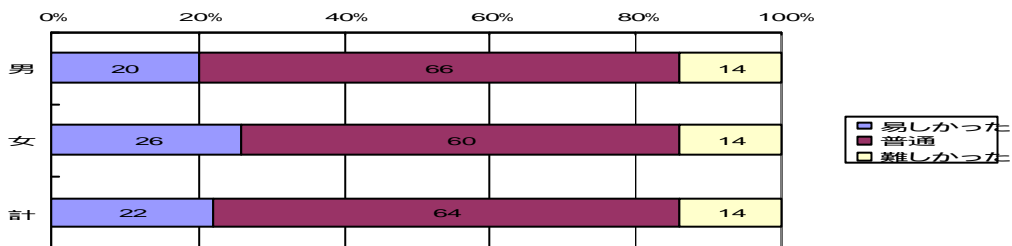
【1】 今回のデジタルカメラとパソコンを用いた運動の実験について教えてください。



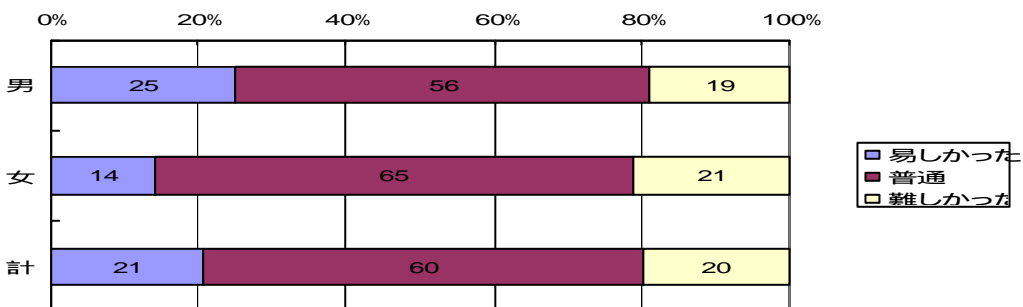
【2】 今回の実験を行って運動の第2法則についての理解度はどうになりましたか。



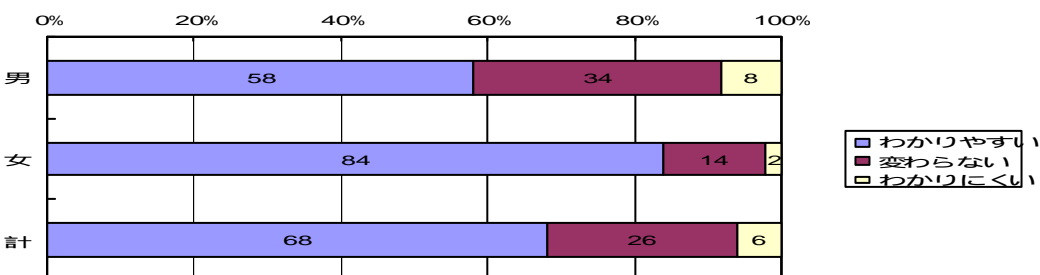
【3】 今回の運動の実験でデジタルカメラの操作について教えてください。



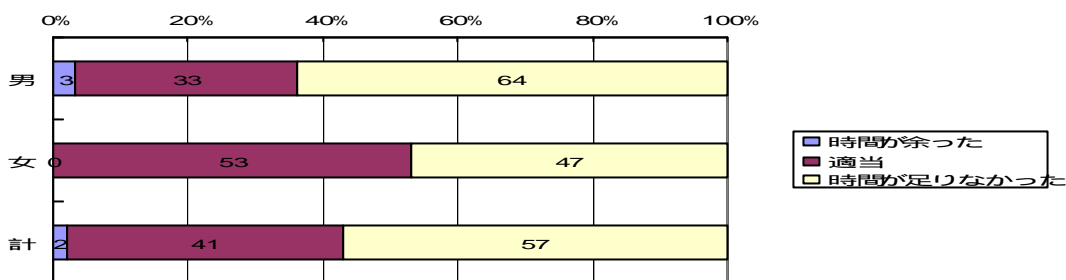
【4】 今回の運動の実験で使用したソフト「運動くん」の操作性について教えてください。



【5】 今回のデジタルカメラを用いた実験は記録タイマを用いた実験と比較してどうでしたか。



【6】今回の実験で実験時間はどうでしたか。



【7】デジタルカメラとパソコンを利用した運動の実験についての感想を書いてください。

- ・ 運動状態を視覚的にわかりやすく見ることができ、理解しやすかった。
- ・ デジタルカメラの使い方に少しとまどった。超音波センサの実験に比べ、難しかった。
- ・ デジタルカメラの映像をパソコンに取り込み、とても簡単にデータ処理することができてすごいと思った。やっけていておもしろい実験だった。
- ・ パソコンのソフトがよくできていると思ったが、マウスのクリックの仕方で相当の誤差が出てしまう。
- ・ デジタルカメラでとった映像をパソコンで利用できることに驚いた。とてもわかりやすく楽しかった。
- ・ 正確でよいが、何でもパソコン任せという感じがする。
- ・ 中学校でも「運動くん」でやったことがあるが、運動の法則を知ってやるのと知らないでやるのとは全然違うと思った。とてもわかりやすかった。
- ・ ものさしで測定せず、結果の数値やグラフがパソコンに出て、それを実験プリントに写して計算したので記録タイマでやるより早くまとめができてよかった。
- ・ デジタルカメラもパソコンソフトも思っていたより使いやすく、おもしろかった。
- ・ 運動しているおもりをコマ送りで見ると移動距離がどんどん長くなるのがよくわかってよかった。
- ・ 授業の内容を実験してみると楽しく理解できるのでいいと思った。
- ・ この実験はすることが多く少し大変だったけれど、とてもよい経験ができた。
- ・ デジタルカメラの画像から距離が測れるのはすごいと思った。記録タイマの実験より興味を持てた。
- ・ 運動の第2法則についての理解が深まった。興味深く実験ができた。
- ・ 操作が複雑で時間が足りなかった。
- ・ 普段の話を書く授業よりはるかに理解しやすかった。
- ・ ビデオに撮るのが大変だったけど新鮮で楽しかった。
- ・ 物体の運動の様子がデジカメを使うとよくわかった。一瞬ごとの動きが見られるようになるなんて便利な時代になったと思った。

【8】実験についての疑問点・改善点を書いてください。

- ・ ちゃんと理解しながら作業をしないと何をしているのかわからなくなる。
- ・ パソコンの操作が難しく、時間が足りなかった。
- ・ 時間がかかるので、もっと実験時間をかけてやってみたい。
- ・ パソコンの使い方の説明が長く、実験時間が短かった。
- ・ 前の時間に使い方を説明するなどして、授業中に実験レポートを書く時間をとってもらいたい。
- ・ ソフトの使い方をもっと一人一人が知っておくと実験がスムーズに行く。
- ・ パソコンの操作が少しわかりにくい。
- ・ パソコンの操作を班全員で見ることができず、一部のしか見られない点を改善してほしい。
- ・ デジタルカメラの操作が難しかった。

教員の評価

- ・ デジタルカメラの映像をパソコンでコマ送りしながら運動を直接視覚的に調べることができるので、理解しやすく、興味・関心を持って取り組んでいた。
- ・ デジタルカメラの映像を利用する実験は初めての生徒が多く、新鮮さを持って実験に取り組んでいた。
- ・ デジタルカメラの撮影時の操作やパソコンソフトの使い方の説明に時間がかかり、実験時間が短くなりやすいので、事前に説明するなり、操作の詳細なプリントを用意するなりして改善する必要がある。
- ・ 理論値は事前に授業の練習問題にするなどして、実験の目的を明確化すればより興味をもって実験できると思われる。

- ・ 実際のビデオの撮影には細かい注意点もいくつかあり、慣れないと複雑であると感じた生徒もみられた。
- ・ デジタルカメラを用いた実験は今回が初めてであったので実験に時間がかかる生徒が多かったが、次回からはここで習得したスキルが生きてくるので、力学分野の他の実験でも利用することが効率的で有効である。
- ・ 実際に運動の第2法則を実験で確かめることができ、理解が深まったと回答した生徒が43%ほどにのぼり、実験が有効であったと判断されるが、一方、半数ほどの生徒はそれほどでもないと回答し、運動方程式の理解の難しさを表していると考えられる。

3. 事業の評価と今後の課題

今回の実験では超音波センサとデジタルカメラを用いて運動のパソコン計測を行った。ただし、測定したデータは距離だけであり、速度と加速度はあえて従来通り、計算を生徒が行うという方法をとった。これは、全てパソコンが結果を出して、生徒はそれを写すだけであるブラックボックス的な方法であると運動の学習の初期においては教育的ではないと考えたからである。それでも、記録タイマの実験に比べ、興味・関心を持って実験を行った生徒が多かった。特に数値や距離と時間のグラフがすぐに結果となり画面に表示されることに感心する生徒が多かった。超音波センサの実験では短時間で結果が出るので、より誤差の少ない実験を求め何回も試行錯誤することができる。また、デジタルカメラの実験では、物体の運動を視覚的、直感的にとらえることができ、運動についての理解が深まりやすいということがわかった。しかし、短所としては計測機器や計測ソフトの説明に時間がかかり、実験時間が少なくなるということである。これらのセンサや機器を用いた2回目以降の実験では操作方法が身に付いていると考えられるので、力学の他の実験、たとえば運動量保存や力学的エネルギー保存の実験にこれらの機器を継続して使用することが有効な解決策であるといえる。それから、センサ等を使った場合、有効数字の考察が記録タイマの場合と比べ単純ではないという欠点もあるが、センサを使った場合の計測原理などを十分理解させ、誤差の原因を考えさせることで対応できると思われる。

今回使用した超音波センサやデジタルカメラは、記録タイマと異なり「鉛直投げ上げ」、「放物運動」、「単振り子」、「ばね振り子」などの往復運動や2次元の運動の計測ができるので、今後はこれらの実験や先に述べた運動量保存や力学的エネルギー保存の実験での利用方法を研究していきたい。また、実験方法を今回と変え、パソコン計測の特徴を最大限に生かし速度、加速度を自動的に計算、グラフ化し、1時間の授業の中で関連する多くの実験、たとえば「摩擦力のはたらかない物体の運動」、「摩擦力のはたらく運動」や「自由落下運動」、「鉛直投げ上げ」、「空気抵抗の影響を受けた落下運動」などをまとめて実験し、比較したり、新しい法則を見いだしたりする場合の有効性を調べていきたい。