

28. デジタル物理実験教材の開発と web 資料集の作成

附属高等学校池田校舎 本管正嗣

motosuga@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

附属高等学校池田校舎 筒井和幸

ktsutsui@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

理科教育講座 越桐國雄

koshi@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

1 はじめに

高校の物理の授業では知識を教えるだけでなく、自然現象を観察しながら必要なデータを測定して、そこにあらわれる規則性や法則性を理解させるような授業が必要である。また、疑問や課題を持ちながら意図的に実験を行い、問題を解決しようとする姿勢を育てる工夫も必要である。しかし、近年、多くの高校の物理の授業では、生徒がグループごとに行う実験（生徒実験）の回数が減ってきている。物理の教育実習生に尋ねても、高校時代に一度も生徒実験を経験したことがない学生もいて、教科書の知識はあるが、それが示される現象を見たことがなく、想像すらできないことがある。ときには間違った自然現象をイメージしている学生もいる。そのため、教育実習の授業内容に自信が持てず、深みのない表面的な説明だけになり、生徒を引き付けるような授業展開にならないことがしばしばある。高校の物理の授業においては、生徒に学習内容をしっかりと理解させるために、自然現象を体験させるような実験を含んだ授業展開が不可欠であると考えている。

一方で、このような高校生の実体験不足を補うために、さまざまな演示実験が授業に取り入れられたり、デジタル教材（動画コンテンツやシミュレーション）が積極的に活用されたりしている。しかし、教師が一方的に行う演示実験やモデル化されたシミュレーションだけでは、教科書通りの結果が簡単に得られるだけで、自然現象に対する深い理解を形成することができない危険性がある。

そこで池田校舎の物理の授業では、2007年度より、デジタルセンサーを用いて演示的な実験を行い、生徒も参加しながら深く考えることができるような授業展開を試みている。最近開発されたデジタルセンサーを用いると、実験データの測定・処理・グラフ化が容易にでき、授業中に実験をして、生徒にじっくりと現象を観察させながらデータ測定と処理ができ、結果のグラフを瞬時にプロジェクターで提示することができる。したがって、実験と結果のグラフを見せながら、現象を物理的に考えさせるような授業展開が可能なのである。また、グラフの傾きや面積も簡単に求めることができるので、現象の本質をより深く理解させることができる。さらに、データ測定からグラフ化までが短時間でできるので、生徒の疑問や課題に応じて、実験条件を変えながら複数の実験ができ、結果のグラフを比較しながら理解を深めるような授業展開も、1コマの授業時間の中でできる。

2 デジタル物理実験教材

池田校舎では、高校物理のいくつかの分野で上記のような授業実践をしており、実験と測定結果のグラフを活用しながら「生徒に考えさせる授業」を試みている。そして、効果的な実験条件の組み合わせやグラフの提示の仕方を研究し、新しい教材開発を行っている。そこで、今までに実践してきた授業の中から、基本的で分かりやすい実験を選び、デジタル物理実験教材としてまとめた。選んだ実験とその概要は以下である。これらの実験教材は、高校で物理Ⅰ・Ⅱを学習している生徒を対象としているが、工夫をすれば中学校での学習にも利用できる。

物理実験教材

a. 物体の落下運動

自由落下運動、鉛直投げ下げ運動、鉛直投げ上げ運動における物体の位置を距離センサーで測定し、 $x-t$ グラフ、 $v-t$ グラフを表示する。グラフから運動を考えさせるような授業を展開し、グラフの傾きや面積を求める。3つの運動の加速度が同じであることを示し、落下運動についての理解を深める。落下運動の授業は、ストロボ撮影された写真の解析や記録タイマーを用いた実験などで行うことはできるが、1コマの授業の中で実験・測定・グラフ化・考察までを行うことはできない。また、鉛直投げ上げ運動のように、運動の向きが変わる実験では記録タイマーを用いることはできない。

b. 空気抵抗がはたらく物体の落下運動

空気抵抗が無視できない物体の落下運動について、物体の位置を距離センサーで測定し、 $x-t$ グラフ、 $v-t$ グラフを示して、加速度の変化や空気抵抗についての理解を深める。また、物体の質量を変えながら実験し、質量と終端速度の関係から空気抵抗と物体の速さの関係について考察することができる。

c. 反発係数の測定

床と衝突を繰り返す物体の位置を距離センサーで測定し、 $x-t$ グラフ、 $v-t$ グラフを表示する。グラフから物体の速度や加速度を測定し、床と衝突する物体の運動を理解する。衝突前後の物体の速さの比や、到達する最高点の高さの比から反発係数を求める。

d. 仕事と運動エネルギー

力学台車に加える力を高精度力センサーで測定し、力学台車の位置を距離センサーで測定する。力学台車の質量を台はかりで測定する。 $F-x$ グラフから力学台車にした仕事を求め、 $v-x$ グラフから力学台車の運動エネルギーを求めて、仕事と運動エネルギーの関係について理解を深める。また、力と加速度の関係についても復習できる。

e. 力積と運動量

力学台車に加える力を高精度力センサーで測定し、力学台車の位置を距離センサーで測定する。力学台車の質量を台はかりで測定する。 $F-t$ グラフから加えた力積を求め、

v-t グラフから力学台車の運動量を求めて、力積と運動量の関係について理解を深める。

f. 運動量保存の法則

2台の力学台車を衝突させる。それぞれの力学台車の位置を距離センサーで測定する。力学台車の質量を台はかりで測定する。v-t グラフから力学台車の運動量を求める。力学台車の質量を変えて実験を行い、運動量保存の法則について理解する。また、衝突時に作用している力を測定することで、力積と運動量の関係についても復習できる。

この実験は、力学台車の運動が同じ向き、逆向き、分裂、合体など、一直線上の運動であれば測定可能であり短時間でできる。生徒の疑問に応じて課題を解決するような授業展開が可能である。

g. 電池の内部抵抗

電池に可変抵抗を接続し、流れる電流と電池の端子電圧を電流電圧センサーで測定する。V-I グラフから電池の内部抵抗と起電力を求める。また、非直線抵抗の電流電圧特性を調べ、電池に接続したときに流れる電流について理解する。

h. コンデンサーの充電・放電

コンデンサーを充電または放電するときの電流と電圧の変化を電流電圧センサーで測定し、V-t グラフ、I-t グラフから流れる電流とコンデンサーに蓄えられる電気量との関係についての理解を深め、コンデンサーの電気容量を求める。

i. 偏光板のはたらき

重ねた2枚の偏光板のうちの1枚を回転させながら、偏光板の角度と透過する光の強さを測定する。光の強さは光センサーで測定する。また、光が透過しない状態にした2枚の偏光板の間に、さらにもう一枚の偏光板を挿入して回転させ、透過する光の強さを測定する。これらから偏光についての理解を深める。

j. ばね振り子

ばねにつるしたおもりの運動を距離センサーで測定し、x-t グラフからばね振り子の周期を求める。ばね定数を求めてばね定数と周期との関係を理解する。また、ばね振り子を高精度力センサーにつるして弾性力を測定し、F-t グラフからばね振り子の復元力について理解を深めることができる。

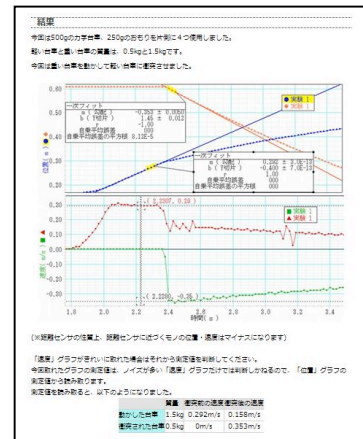
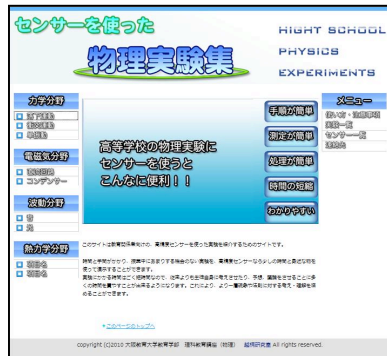
k. 不等速円運動

振り子の糸の張力と最下点付近のおもりの速さを、高精度力センサーと距離センサーで測定する。おもりの質量をばねはかりで測定する。最下点でおもりにはたらく向心力とおもりの速さの関係を理解する。また、力学的エネルギーを求めて力学的エネルギー保存の法則について理解を深める。

3 web ページの作成

上記の物理実験教材を、多くの人々が理解しやすい web ページにまとめるために、大阪教育大学の教員志望の4回生2名の協力を得た。2名の学生は7月から12月までの間の6日間、

池田校舎の物理実験室で、教材についての説明を聞きながら、実際に実験やデータ測定・処理を行った。そして、その過程で出てきた疑問点などを明確にし、授業で実施する場合の要点を確認しながら、web ページに掲載すべき内容を整理してまとめた。作成した web ページには、実験の目的、方法、指導上の注意点、データの活用方法などに加え、実験装置の写真、実験の動画、測定結果のグラフなどが含まれており、センサーを用いた物理実験を経験したことのない人でも理解できるものになった。



4 おわりに

今回 web ページにまとめた物理実験は、経験の浅い教員や教育実習生でも理解できるような基本的なものばかりを選んだ。したがって、デジタルセンサーを用いた物理実験を経験したことがない先生方でも、実験内容を十分に理解してもらえると期待している。今後は、他の実験も加えて、中学・高校の物理領域全般にわたるデジタル物理実験教材の開発を試みたいと考えている。

また、このような教育用デジタルセンサーは、今のところ日本の学校現場にはまだあまり普及していないが、米国・韓国・中国ではかなりの割合で初等・中等学校に導入されていると聞いている。今後、日本の学校現場の ICT 環境が整備されれば、デジタルセンサーが理科の実験器具として導入される可能性は十分に高いと考えられる。したがって、今回作成した web ページの構成や内容は、デジタルセンサーの普及率に応じて適切に変更する必要があると考えている。