

# 実験をリアルタイム支援するIT活用教育の有効性

小林 昭三 笠原 健\* 村田 章知\*

新潟大学教育人間科学部理科教育教室 新潟大学教育学研究科修士課程\*

[kobayasi@ed.niigata-u.ac.jp](mailto:kobayasi@ed.niigata-u.ac.jp)

**要 旨:** 実体験を重視する科学教育分野においては、バーチャルな世界におけるコンピュータ活用のみに偏らないで、実験や観測を実際に行う中でのコンピュータ活用が重要と思われる。そこで、実験や観測をリアルタイムで視覚化して、それを分かり易く分析・解析・表示するようなITシステムの研究開発・活用を目指してきた。「デジタル器機や運動分析ソフトやITセンサーを科学実験と連動させてリアルタイムで分析・解析する授業実践」を蓄積してきた。そのような内容を整理して報告するとともに、こうした授業の有効性を検証するために行った「事前・事後テストによる調査・分析結果」について報告する。

## 1. はじめに

実体験を重視する科学教育分野においては、ITを活用する際にも、「バーチャルな世界でのコンピュータ活用」のみに偏らないで、現実の世界における実験や観測に触れながら、それをITセンサーや運動分析ソフトでリアルタイムあるいは準リアルタイムで分析・解析するようなIT活用法が重要になると思われる。

こうしたIT活用法として、ITセンサーを用いた授業実践や運動分析ソフトを活用したり研究開発する授業実践を蓄積してきた。即ち、

力センサーや距離センサーによってニュートンの運動法則を「予測」させ「検証」する授業。

動画カメラと運動分析ソフトによって、『位置』『速度』『加速度』などを視覚化してニュートンの運動法則を「予測」させ「検証」する授業。こうした授業の有効性を検証するために、授業実施の前の「事前テスト」と学期末の「事後テスト」を実施しその授業効果の調査・分析した。

以下ではこのような内容について報告する。

### 運動分析ソフトとは：

任意の運動をデジタルカメラで撮影して動画として記録してコンピュータに取り込む。この動画をコマ送りしながらマウスでクリックして、着目する物体の位置座標を取得して、その値からその運動の諸要素（位置や速度や加速度）を計算してグラフ化して、それを画面に表示するようなソフトである。また、その結果を必要なだけゆっくりとしたスピードで繰り返し再現しながら、運動体の「位置」「速度」「加速度」などの時間変化をグラフ化し液晶プロジェクターで演示できる。

このような運動分析ソフトとしては、「Video-Point[2]」や「運動くん[4]」という動画解析ソフトがある。このような「Video-Point」や「運動くん」の詳細はURL[4]のウェブページを参照されたい。

これによって従来までは分析が困難だった様々な運動 例えば、ドライアイスの運動、ボールの投げ上げ、

羽根やシャボン玉の落下などの分析が可能になる。

### ITセンサーとは：

力学実験をリアルタイムに分析・解析するITセンサーには距離センサーや力センサーがある。

距離センサーとは超音波によって反射物体までの距離を測り、測定データをパソコンに記憶して位置、速度や加速度などのグラフを作成して自動的に液晶画面に提示するものである。

「力センサー」とは、力の大きさをセンサーの抵抗の変化などによって計測するものである。これによれば、千分の1秒の時間間隔で、力の大きさの値の変化をパソコンに記憶して、その時間的な変化をリアルタイムで液晶画面にグラフ表示できる。このように見えない力を瞬時に視覚化することが可能になる。[3]

複数の力センサーや複数距離センサーなどをUSB端子に取り付けて、それらをUSBハブ経由で、いくつものデータを同時にパソコンに取り込んで、それらの時間的な変化を、グラフ化して同時に画面に表示することができるので、感動的な授業展開が可能となる。

## 2 「作用反作用の法則」の授業と効果

力センサーを利用すれば作用反作用の法則を感動的に体験できる授業が可能になる。

### 大型トラックと軽自動車の衝突実験

大型トラックと軽自動車の衝突に見立てた力学台車の衝突において、それぞれに働きあう力はどちらが大きいかを考えさせ、実験で検証する。

まず、「止まっている軽自動車に大型トラックを衝突させる」ことに対応する力学台車の衝突モデルの実験を実演してみせる。

それぞれの力学台車には、しっかりと力センサーが固定されている。そのセンサーに手で力を加えると、液晶プロジェクターに力の時間的な変化を示すグラフがリアルタイムで表示される。

学生には次のような問題を出し、A から X までの選択肢から答えを選ばせて、そのように考えた理由をめぐって討論させる。

**問題：自動車とトラックの衝突を考えます。トラックは自動車より重いものとします。走っている重たいトラックが、止まっている自動車に衝突した場合に、トラックと自動車に働く力について、最も適当と思われるものを、下記の A - F 及び X の中から 1 つだけ選べ。**

- A トラックが自動車に及ぼす力は、自動車がトラックに及ぼす力よりも大きい。
- B トラックが自動車に及ぼす力は、自動車がトラックに及ぼす力よりも小さい。
- C トラックと自動車は、互いに力を及ぼさない。ただ単に、自動車が粉砕される。
- D トラックは自動車に力を及ぼすが、自動車はトラックに力を及ぼさない。
- E トラックが自動車に及ぼす力は、自動車がトラックに及ぼす力と同じである。
- F 問題文だけでは、力の大きさはわからない。
- X 上記以外。

その後、力センサー(2台)を使ってその予測を検証するという授業を行う。

それぞれが受ける力(作用力と反作用力)をリアルタイムで検証した力センサーによる測定結果を液晶プロジェクターで示すことができる。トラックが及ぼす右向き力が正(上部の曲線)、軽自動車の左向き力は負(下部の曲線)が表示されている。相互に及ぼしあう撃力は千分の1秒単位まで相等しい(上下に対称)ことが明白にわかるので、感動を呼ぶのである。

2002年の理科教育授業(89人)についてはこの問題に対するPre-TestとPost-Testを行った。

Pre-Testでは、誤答であるAを選んだ学生が49.4%と約半数近くを占めており、正解であるEを選んだ学生は22.9%であった。また、Dを選んだ学生は8.4%であった。走っている重たいトラックは、止まっている軽い自動車に衝突する場合には、質量の大きいトラックほど、より大きな力を及ぼすと考えたためであろう。

授業実施後に、しばらくの間をおいた後である学年末におけるPost-Testの結果では、正解であるEを選んだ学生は82.0%であった。こうして、正答率は59%も大幅に上昇したことがわかる。

これは、力センサーによる授業が感動的な深い理解をもたらし、その効果がいかに大きかったかを如実に示した結果と解釈できよう。実は、実験による検証がない通常の授業では20%前後しか誤概念の正答率は上昇しなかったのである[1]。

このような作用反作用の検証授業に引き続いて、男子学生と女子学生に、次の問題における太郎と花子を演じてもらって、センサーを持って引っ張り合いをし、

それぞれに働く力を予測し、それを検証する授業を行った。

**問題：太郎君と花子さんが手を握り合って引っ張り合い競争をしたところ花子さんは太郎君の方に動かされた。この動くときの太郎君の手が花子さんを引く力と花子さんの手が太郎君を引く力を比べると次のいずれか。**

- イ) 太郎君の手が花子さんを引く力の方が大きい。
- ロ) 花子さんの手が太郎君を引く力の方が大きい。
- ハ) 太郎君の手が引く力と花子さんの引く力とは等しい。
- 二) その他

Pre-Testでは、誤答であるイを選んだ学生が73.5%と半数以上を占めた。そして、正解であるハを選んだ学生は、わずか9.6%であった。

このように、問題でイを選んだ学生が多かったのは、花子さんが太郎君の方に動かされたことから、太郎君の手が花子さんを引く力のほうが大きいと考えてしまったためであろうと思われる。

実際に力センサーでそれらが等しいことを確認することで、それは誤りであることや、作用と反作用の法則の意義を感動的に実感できたようである。

Post-Testでは、誤答であるイを選んだ学生は36.0%と大幅に減少し、正解であるハを選んだ学生は59.6%にまで上昇した。前述のトラックの場合に比較して、少し正答率が低いのは、実際の授業では時間の関係で、予想をちゃんと立てさせて討論させるという「予想と検証のプロセスを大幅に省略した」ためであろう。[1]

### 3 運動の法則の授業とその効果

力学台車に固定したプロペラの推進力によって一定の力を加え続けて運動法則を検証する授業を行った。新たな特徴は、推進力としてミニ扇風機(プロペラが柔らかいビニール製で危険性が少ない)を使ったことである。ミニ扇風機は安価に販売されているので、適当な大きさ・形・出力のものを精選すれば、安定した推進力をもたらす恰好な推進力一定をもたらす教材である。

注目すべきは、ミニ扇風機つき力学台車によって、プロペラの推進力の方向とは逆方向にも始動できることである。これによって「運動方向と逆方向に力が働く」という予想外な結果を実体験して「動く方向にいつでも力は働いている」という素朴概念を見事にくつがえす授業が実現できる。

#### (1) 授業をおこなう前の学生の予想

大学生(2001年、約100人)や高校生(2002年、約40人)の予想結果の特徴を示そう。

**大学生も高校生も約60%が「台車が斜面を上る時は上る向きに力が働く」という誤概念を持つ。最上部で**

台車が反転する際に働く力について、大学生と高校生の予想は「5割前後が力は働いていない」である。

つまり、「ものがとまっている瞬間には、力が働いていない(つまり0の力)」と40%から50%ほどが考える。大学生に場合は「上る向きの力から下る向きの力に反転するような力が働いている」回答もある。「常に斜面を下る向きに一定の大きさの力が働いている」という正解は、大学生が21%、高校生は23%だった。

以上の結果から「ものが動くときはその動く方向に必ず力が働いている。速さは力に比例する」という誤概念がいかに根深いか分かる。これを克服して、一定の力は一定の加速度をもたらしているという認識を育てることがいかに重要であるかが解る。

## (2) ミニ扇風機による力学台車の運動で、「力 速度」を「力 加速度」に転換

摩擦が少ない滑走台と力学台車とを2セット並べて用意する。1セットは力学台車に「ミニ扇風機」を固定して一定の力を加え続ける運動を行う。その真横に他の1セットを置き、ほぼ同じ等加速運動をする斜面の傾きに滑走台を調整して「台車が斜面を上下する運動」を行う。

VideoPoint 又は距離センサーを使ってほぼリアルタイムで運動を解析して、予想を検証する授業が実施できる。

実験に先立ち、生徒には次のようなアンケート用紙に予想を書いてもらう。

1) 斜面上で台車を離すとどのような運動をするか。そのときどのような力が働いているか。(5,6個の選択肢は省略した)

2) プロペラが勢いよく回っている台車を台上に置いて手を離すとどのような運動をするか。どのような力が働くか。

3) 斜面の上方向に勢いよく台車を押して放し、上って、反転し、下るときに、それぞれの場所(上り、反転点、下り)ではどのような力が働いているか。

4) ミニ扇風機の推進方向と逆向きに勢いよく走らせるとき、どのような運動をするか[( $x-t, v-t$ )グラフはどのようになるか]。途中まで走って、反転するとき、それぞれの場所(行き、反転点、帰り)ではどのような力が働いているか。

このような問題で「斜面の運動」と「ミニ扇風機による運動」のそれぞれを対比させて考察させ、それについて予測し検証するという流れで、演示実験や測定・分析実験を行った。その際、任意の時と場所で「ミニ扇風機の推進力をゼロにする容易な操作」ができることを、プラスチックの透明なキャップをかぶせて演示した。ミニ扇風機の推進力をゼロにすると、真横の同じ運動をする筈の「重力による斜面を落下する運動(その際に重力は表示できずゼロにもできない)」とは全然違う。

その結果、「一定の力は一定の速さをもたらす」「動く方向に常に力が働いている」というような誤概念を覆して、「力と加速度の関係」についての正しい認識を確立するような授業が実現できる。

「台車が斜面を上るとき下る向きに力が働いているということを知って驚きです。自分の予想と大きく外れると、運動法則は奥が深いあと実感しました。」

「自分が今まで考えていたことと大きく反していたのでとても驚きました。力はずっと動く方向にかかると思っていたので、{動く方向と}反対方向にかかるということが一番の驚きです。」「速さが変化していても一定の力が常に働いているということがわかって不思議だった。」

このような「動く方向に必ず力が働いている」という誤概念を転換できた喜びを率直に述べる。

以上の分析結果から「斜面上の力学台車の運動と扇風機つき力学台車の運動とを対比させて、上記の誤概念を転換させる丁寧な実体験に基づく学習」がいかに重要であるかが具体的に示された。

2002年の理科教育の授業(89人)に上記のような授業を行った大学生にたいして、次のような問題で、事前テスト(Pre-Test)と事後テスト(Post-Test)を行いその効果を調査した[1]。

**問題:** 台車を手で押して斜面を上らせませず。台車は手から離れたあと、坂を途中まで上がり、反転して下ってきました。台車の摩擦や空気抵抗はほとんど無視できるものとし、次の質問にあてはまる答えを選択せよ。

1 台車が斜面を上がっているときには、どのような力が働いていると思いますか?

- a 斜面を上がる向きにだんだん強くなる力が働く
- b 斜面を上がる向きに一定の大きさの力が働く
- c 斜面を上がる向きにだんだん弱くなる力が働く
- d 斜面を下る向きに、だんだん強くなる力が働く
- e 斜面を下る向きに、一定の大きさの力が働く
- f 斜面を下る向きに、だんだん弱くなる力が働く
- g 力が働いていない(つまり0の力)
- h 上がる向きの力から下がる向きの力に反転する力が働いている

**台車が斜面を上がっているときの結果は次のようである:** Pre-Testでは、cを選んだ学生は50.6%であり多数を占めた。つまり、斜面を上昇すると、だんだんとその速度が小さくなることから、だんだん弱くなる力が働くというcを選んだ学生が多かったのである。そして、正解eを選んだ学生は13.3%とわずかであった。

Post-Testでは、正解であるeを選んだ学生が59.6%へと正答率は50%も著しく上昇した。

**反転する間にはどのような力が働くか:** Pre-Testでは、gを選んだ学生が47.0%と大多数を占め、正解であるeを選んだ学生は14.5%と、先ほどの問題と同様にわずかであった。つまり、最高点に達したときに台

車は瞬間的に止まっているので何も力が働いていないというgの解答が多かった。

Post-Testでは、正解であるeを選んだ学生が61.8%と非常に高くなった。正答率の上昇が、この場合も5割近くに達していることは注目に値しよう。

**斜面を下っているときの力：**Pre-Testでは、dを選んだ学生が47.0%と多数を占めたが、先ほどの2問に比べれば、正解であるeを選んだ学生は33.7%と比較的に多かった。加速しながら下っていくのでだんだん強くなる力が働いているというdを選んだ学生が多かった。また、先の2問と比べて、Pre-Testでの正答率が比較的高かったことも注目すべき点であろう。

物体に働く力の向きと、物体の運動する方向が一致しているから、理解しやすかったのかもしれない。

そして、Post-Testでは、正解であるeを選んだ学生が83.1%と非常に高くなった。他とほぼ同じように50%にも及ぶ正答率の上昇が見られた。

このように、ITを活用で感動的な実体験をもとにして、誤概念を大きく転換する授業が実現できた。

### (3) ボールを真上に投げ上げたときの運動

**ボールを投げ上げる場合も、ほぼ同様な結果を得た。**

**問題：**ボールを真上に投げ上げます。ボールは手から離れたあと、途中まで上がり、一瞬静止したあと落ちてきました。ボールには摩擦力や空気抵抗が働いていないとして次の質問にあてはまる答えを選択してください。

1 ボールが上がっているときには、どのような力が働いていると思いますか？

- a 下向きに、だんだん強くなる力を出している
- b 下向きに、一定の大きさの力を出している
- c 下向きに、だんだん弱くなる力を出している
- d 上向きに、だんだん強くなる力を出している
- e 上向きに、一定の大きさの力を出している
- f 上向きに、だんだん弱くなる力を出している
- g 力が働いていない(つまり0の力)

**ボールが上がっているときの力：**Pre-Testでは、fを選んだ学生が43.4%と多数を占め、正解であるbを選んだ学生は10.8%ときわめてわずかであった。ところがPost-Testでは、正解であるbを選んだ学生は53.9%へと43%ほど増えた。

**ボールが反転する瞬間：**Pre-Testでは、gを選んだ学生が53.0%と大多数を占め、正解であるbを選んだ学生は8.4%ときわめて僅かだった。

鉛直投げ上げ運動の最高点で働く力の問題であるが、斜面の時と同様に、物体がいったん静止すると力は働かないという誤った認識に陥っていることがわかった。

Post-Testでは、正解であるbを選んだ学生が55.1%に増加し、正答率は47%も増加した。

**ボールが下に落ちているときの力：**Pre-Testでは、aを選んだ学生が41.0%と多かったが、正解であるbを選んだ学生は28.9%だった。Post-Testでは、正解で

あるbを選んだ学生は73.0%に達し、44%も正答率が増加した。

他方ITによる検証授業を行わなかった問題(講義で正答の解説はした)に対する正答率は、10%から20%しか上昇しないという対照的な結果を得た[1]。

**例えば、空気中を空気の抵抗を受けながら一定の速さで飛行しているとき、そのジェット機のエンジンを動かなくして滑空している状態では：**

Pre-Testでは、「イ)推進力は働く」という「力は動く方向に働く」というタイプの誤った認識をもつ学生は39.8%とかなり多かった。他方、正解である「ロ)推進力は働かない」を選んだ学生は25.3%だった。

Post-Testでは、正解であるロ)を選んだ学生は39.3%で、実体験をしない場合の正答率の上昇レベルである14%だけの増加に留まった。しかも、無回答率が4割減ったのに伴い、誤回答率はPre-Testよりも20%も増加している。59.6%の多数の学生がPost-Testでも「エンジンが止まっても推進力が働く」と考えていた。

## 4 おわりに

「力学現象を予想しリアル(準リアル)タイムで分析・検証する授業」を運動分析ソフトやITセンサーを活用して行い、これは「力学概念の形成」をより効果的に成しうる授業法であるか否かを調査した。

力センサーを用いた作用・反作用の法則を検証する授業では、正答率を50%から60%上昇させ、80%台の定着率をもたらした。

運動分析ソフトやITセンサーを活用する運動の第2法則に関する授業においては、Pre-TestとPost-Testとを比較すると正答率が30%から40%ほど上昇させるという効果が得られた。

他方で、ITによる検証授業を行わない場合の正答率上昇は10%~20%となるような対照的な結果を得た。

## 参考文献

[1]「力と運動の素朴概念を転換するIT活用法の有効性」、『教育実践総合研究』新潟大学教育人間学部附属教育実践総合センター研究紀、2003年6月、No.2, pp.55-78. 本報告は、この内容の特徴的な部分を抽出してわかりやすく修正・再編成したものである。

[2]「VideoPoint」; Lenox Softworksのソフト。  
<http://www.lsw.com/videopoint/>

[3]米国のPASCO社製PASPORT USB Sensor、DataStudioというソフトを使用。

[4]<http://rika.ed.niigata-u.ac.jp/videopoint/web/>, <http://rika.ed.niigata-u.ac.jp/~factory/>, に「VideoPoint」と「運動くん for Windows」の活用例を示すwebページを用意した。