

力学実験に対する生徒の意識調査と実験の工夫

——ビデオ画像を利用したコンピュータの活用——

山下 雅文

高校1年生で実施した力学分野の実験に関して生徒の意識調査を行った。多くの生徒が実験の必要性について認識しており、各実験についてもある程度の興味関心を示している。しかし、生徒実験よりも演示実験に高い興味関心があった。また、生徒実験のなかでも記録タイマーを使い運動を分析する実験について関心が低く、生徒にとって分かりにくい内容であることが分かった。この実験のデータ処理の技能が不十分なまま取り組むため、主体的活動になっていないこと、また、記録タイマーを利用した実験では大きな誤差が生まれる危険性があることなどから興味関心が低くなると思われる。そこで今回、スーパーインポーズボードを利用してコンピュータ画面と物体の運動のビデオ画像を合成し、各時刻の物体の座標をコンピュータで分析し考察する実験を行った。これにより、従来の実験より現象をさらに直接的に理解することができ、実験精度も高いものとなった。また、新しい装置の利用という新奇性もあり、生徒の興味関心を高めることができた。

1. 理科離れについて

高度化された科学技術社会の中では、各自が科学的リテラシーを身に付ける必要がある。しかし一方、教育面では「理科嫌い」、「理科離れ」が大きな問題点となっている。この問題の社会的背景には高度文明社会になり経済が発達し、「必要なものを自ら作る」という作業が少なくなったことや、中等教育が大学へ進むための受験産業的になってきたため、生徒は知識を幅広くたくさん知っているが、知的好奇心や学習意欲が薄れていること、また、学習指導要領の改訂の度に理科の授業時間数が削減されてきたこと、大学入試制度の変更などがある。理科の授業においても、公式の暗記や問題演習には力を入れるが実験・観察に対しては主体的に取り組まない雰囲気もある。多くの生徒が、与えられたもので指示通りの操作はするが、そこから得られた結果が理論とずれると「実験が失敗した」と単純に判断し、そこで考察を終えてしまう傾向がある。「なぜ理論値と違うのか」、「どのような工夫をすればよいのか」などの主体的な考察ができない。教師はこれらの背景を十分理解した上で、興味関心を高め、単純に知識の伝達ではなく批判力を合わせた科学的素養を身に付けさせる努力が必要である。

猿田によると、理科離れは中学校時代にその兆候が現れ始め、高等学校ではさらにそれが加速される。また、大学生に対して、小・中・高等学校で好き、あるいは嫌いだった観察・実験を思い出してもらおうという調査では、中学校において好きから嫌いへの変化が激しいのが物理分野であり、特に力と運動に関する実験が中学校の段階で嫌いになっているという結果が得られている¹⁾。この結果の原因は物理分野の内容が中学校の段階で、抽象的概念へと高度になるためとも考えられる。

2. 力学実験に対する生徒の意識調査

本校では新学習指導要領の改訂に伴い、平成6年度(1994)より高等学校1年で、独自の内容の総合理科を必修4単位で行うこととなった²⁾。この中で物理分野(力学の内容)が週2時間で1学期より2学期半ばまで展開される。高等学校1年次は、次年度以降の科目選択を行う時期であり、進

路選択の上で重要な時期である³⁾。この時期の理科の授業が以後理科嫌いを作るかどうかの鍵となる可能性が高い。また、今年から始まった新科目の内容を反省し、次年度以降の課題を探るためにも、実施した実験に対する生徒の意識調査は重要であると考えた。そこで今回はこの物理分野で4月から7月の間に実施した表1に示す内容で、13の実験・観察についての生徒の意識調査を行った。調査は本校高等学校1年生全員233名を対象に平成6年度9月に実施した。

<p>総合理科 力学分野についてのアンケート</p> <p>1学期から行ってきた実験についてのアンケートをします。</p> <p>各実験について次の3点で質問します。</p> <p>A = 興味関心について [5段階]</p> <p>5 大変興味深い (おもしろい)</p> <p>4 やや興味深い (おもしろい)</p> <p>3 ふつうに興味がある</p> <p>2 ややおもしろくない</p> <p>1 全く興味がない (おもしろくない)</p> <p>B = 実験での操作のしやすさ、解析(分析)の わかりやすさ [3段階]</p> <p>3 簡単</p> <p>2 普通</p> <p>1 難しい</p> <p>C = 実験をすることで、現象や理論がわかりやすくなったかについて [5段階]</p> <p>5 大変わかりやすい</p> <p>4 ややわかりやすい</p> <p>3 ふつう (実験をしなくてもよい)</p> <p>2 ややわかりにくい</p> <p>1 まったくわかりにくい</p>		<p>実験題目 (生徒実験または演示実験)</p> <table border="1"> <tr><td>1</td><td>運動の記録と分析</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>2</td><td>重さの違う物体の落下</td><td>(演示)</td></tr> <tr><td>3</td><td>落下運動の分析</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>4</td><td>脳の反応時間</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>5</td><td>おもりを支える力とその角度</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>6</td><td>おもりを支える力とその角度</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>7</td><td>エアートラック上の運動</td><td>(演示)</td></tr> <tr><td>8</td><td>慣性の法則の実験</td><td>(演示)</td></tr> <tr><td>9</td><td>m, f, a の関係</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>10</td><td>作用・反作用の実験</td><td>(演示、生徒)</td></tr> <tr><td>11</td><td>水平投射運動の分析 1</td><td>(生徒)</td></tr> <tr><td>12</td><td>水平投射運動の分析 2</td><td>(演示)</td></tr> <tr><td>13</td><td>斜方投射の実験</td><td>(演示)</td></tr> </table>	1	運動の記録と分析	(生徒)	2	重さの違う物体の落下	(演示)	3	落下運動の分析	(生徒)	4	脳の反応時間	(生徒)	5	おもりを支える力とその角度	(生徒)	6	おもりを支える力とその角度	(生徒)	7	エアートラック上の運動	(演示)	8	慣性の法則の実験	(演示)	9	m, f, a の関係	(生徒)	10	作用・反作用の実験	(演示、生徒)	11	水平投射運動の分析 1	(生徒)	12	水平投射運動の分析 2	(演示)	13	斜方投射の実験	(演示)
1	運動の記録と分析	(生徒)																																							
2	重さの違う物体の落下	(演示)																																							
3	落下運動の分析	(生徒)																																							
4	脳の反応時間	(生徒)																																							
5	おもりを支える力とその角度	(生徒)																																							
6	おもりを支える力とその角度	(生徒)																																							
7	エアートラック上の運動	(演示)																																							
8	慣性の法則の実験	(演示)																																							
9	m, f, a の関係	(生徒)																																							
10	作用・反作用の実験	(演示、生徒)																																							
11	水平投射運動の分析 1	(生徒)																																							
12	水平投射運動の分析 2	(演示)																																							
13	斜方投射の実験	(演示)																																							

表1 力学分野についての意識調査

アンケートの結果を図1から図3に示す。図1は実験に対する興味関心についての質問(A)の結果である。全般に高い興味関心を示しているが、記録タイマーを用いる生徒実験(1、3、9)で低くなった。また、バネはかりを用いて力の釣り合いを調べる実験(5、6)でも興味関心が低くなった。図2は実験内容の分かりやすさについての質問(B)の結果であるが、これは図1と非常によく似た結果となった。図3は実験が現象の理解に与える効果についての質問(C)の結果である。図3より授業において実験が物理概念の理解に必要なものであるということの認識はある程

度高くできていることがわかる。

実験2、7はアリストテレス的自然観から物理学的自然観への発展において重要な観察である。簡単、単純であり短時間で行える演示実験であるにもかかわらず、「百聞は一見にしかず」であり高い効果があったと生徒が感じており、この実験についての興味関心も高くなっている。生徒のプリコンセプションをゆさぶる内容であったのかもしれない。

実験1、3、9では記録タイマーの打点より、変位と時間の関係（ $x-t$ グラフ）が得られる。これより、速度、加速度と時間の関係を求めていくが、この多段階の操作が生徒にとっての分かり難さを高めている。このような実験操作、分析技術の習得は、変位と速度、加速度との関係を理解する上で重要で効果的であるが、実験で取り扱う現象そのものが分析の困難さと比べ、魅力的なものとなっていないと考えられる。また、重力加速度 g を求める実験では、授業時間不足から測定結果が $8\sim 10\text{m/s}^2$ の値となる班もある中で、誤差の吟味が不十分なままで $g=9.8\text{m/s}^2$ とまとめざるをえない状況もある。このような展開の中で生徒は、実験結果のみにとらわれ、誤差の少ない値が得られれば成功、そうでなければ失敗という実験態度がつけられていくものと考えられる。

力の合成の実験（5、6）で興味関心が低くなっているのは、実験誤差が大きくなったということに起因している。実験の原理は分かりやすいが、おもりを斜めに引く時の角度の調整不足のため予想外の結果となってしまった。このように、興味関心や分かりやすさが低くなる要因は、①データの処理及び分析に多くの段階が必要で複雑なもの。②実験結果が大きな誤差を含んでしまうものがあげられる。

生徒実験と演示実験という分類でみると、演示実験について高い興味関心が得られた。理科では直接体験が重要であり、生徒実験が高い興味関心を引くと予想していたが、意外な結果となった。実験2、7、10は分かりやすく短時間の観察で終わるものである。また、水平投射については実験11で鉛直方向の運動の分析を生徒実験で行った。内容は自由落下をする物体と水平投射運動する物

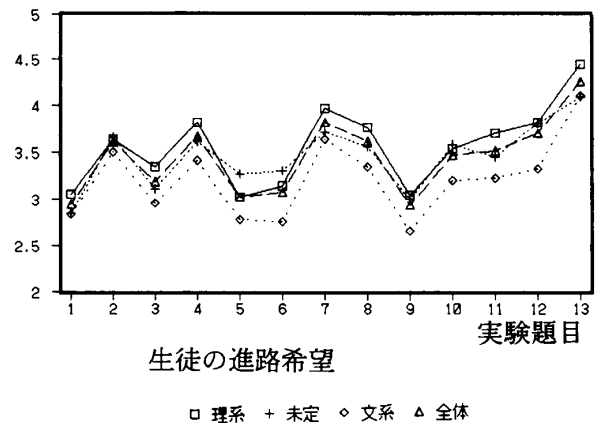


図1 生徒の興味関心

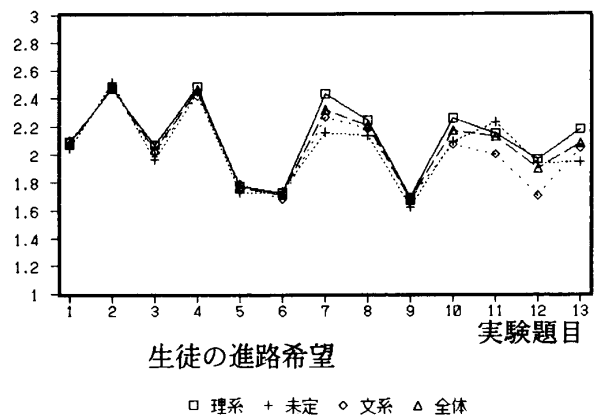


図2 実験のわかりやすさ

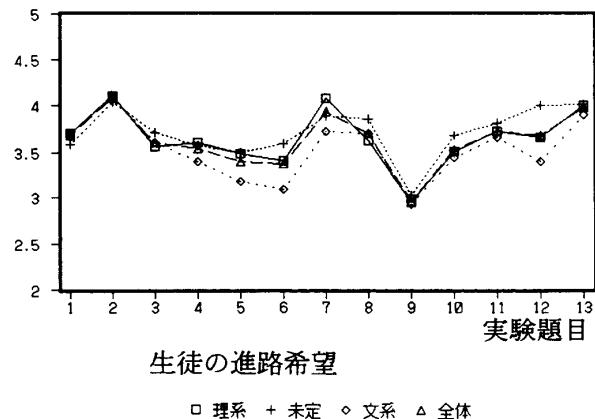


図3 実験の効果

体を同時に運動させ、同時に床に到達することを確認する実験である。その後、水平方向の分析を実験12の演示実験で確認した。演示実験では床の上を転がる物体に、同じ速度で水平投射された物体が衝突することで概念の確認を行った。この2つの実験では、分かりやすさや効果は11（生徒実験）が高くなっているが、興味関心は12（演示実験）が高くなっている。これは、12の実験では、実験が成功するか（2つの物体がうまく衝突するか）どうかという点に関心が向けられ、楽しい雰囲気の中で行ったことが大きな要因になっていると考えられる。つまり、実験において、どのようなエピソードをもつかが興味関心を引く重要な要素の一つであると考えられる。

3. ビデオ画像を利用した実験の工夫について

物体の落下運動などの力学実験を精度よく測定するためにはコンピュータの利用が考えられる。光センサーなどを利用して、コンピュータで物体の位置と時間の関係を測定する実験が多く実践されている。しかし、この場合センサーが直接の測定を行うので、測定がブラックボックスとなるおそれがある。また、生徒にとって測定結果のみが強調され、物体の運動の様子をじっくりと観察するという態度は必要とされない。また、光センサーを利用した測定では、センサーをおく位置をあらかじめ決めておく必要がある。つまり、直線上の運動には利用できるが、2次元の運動や回転を含む運動など応用範囲が限られる。

そこで、今回は物体の運動をビデオ画像に記録し、これのビデオ画像とコンピュータ画像をインポーズさせ、物体の各時刻の位置をコンピュータ画面で読みとり、分析するという実験を開発し、授業実践をおこなった。

今回の研究で利用した装置を表2に示す。このビデオデッキはジョグシャトル付きで、ビデオ画像を1/30秒ごとで任意に静止させることができる。

この画像の中にコンピュータの640×400ドットの画面をスーパーインポーズさせ、物体の座標をマウスを利用して読みとる。その後、この座標データを自作ソフトで処理し、速度の時間変化などの分析を行った。

このスーパーインポーズボードはコンピュータの画像をビデオ画像に変換して他のビデオ画像と合成させることができる。しかし、本来、走査線の違うものを合成するためコンピュータ画面ににじみが生じてしまう。そこで、このボードを利用し、モニターへ21ピンマルチケーブルで出力した。これにより、図4のようにコンピュータ画面も明瞭にモニターに出力することができた。

次に、ビデオ画像の歪みと実験誤差の関係についてであるが、1m四方の紙に10cmの方眼を作り分析を行った。マウスで読みとる際の人為的読みとり誤差が上部や下部では若干あるが、考慮するほどの大きな画像の歪みはみられなかった。ただし、画像はやや横に広がった形となり、上下のスケールと左右のスケールが異なる。この場合、平均してX軸方向10cm=40.75ドット、Y軸方向

ビデオカメラ：	SONY	TR 900
ビデオデッキ：	SONY	EV-S2200
コンピュータ：	NEC	PC9801DA
モニター：	NEC	PC-TV454
スーパーインポーズボード：		
	IC株式会社	PSI 400
ソフト：	N 88 BASIC	で自作

表2 実験装置

10cm=34.125ドットとなった。運動の分析の際、この点に特に注意が必要である。

落下運動のビデオ画像を1/30秒ごとに静止させた場合、図5のように速度を増すにつれ物体の像が薄れてしまう。このため、落下物体と背景をコントラストの良いものにすること、十分な光量を当てることなども大切である。

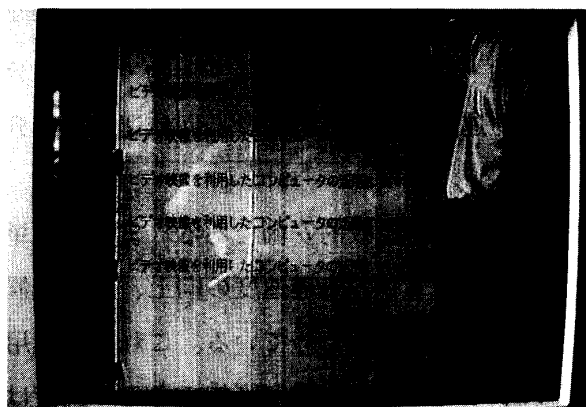


図4 インポーズ画面

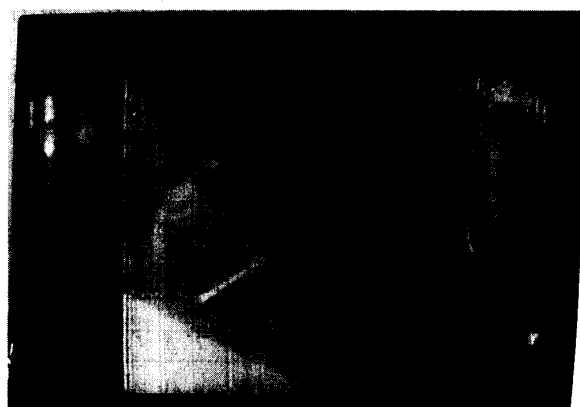


図5 自由落下運動の実験

4. 結果とこれからの課題

この装置を用いて自由落下運動の分析を行った。測定の結果を図6、図7に示す。ゴムボールを自由落下させた場合、速度の時間変化は図6のようになり、複数測定した結果、重力加速度の大きさは $9.65\sim 10.4\text{m/s}^2$ の範囲で得られた。速度の大きい物体の静止画像では物体の像が薄れ、マウスで座標を読みとる際、2～3ドット程度の誤差を生じることがあり、これが誤差へと影響をしている。

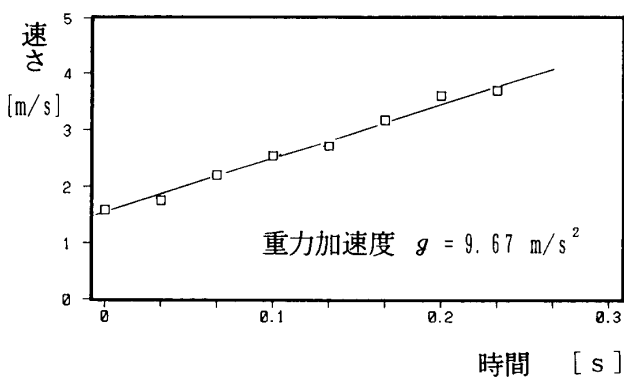


図6 ゴムボールの落下運動

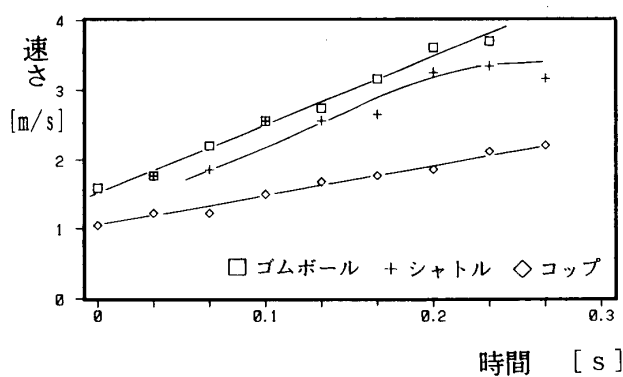


図7 いろいろな物体の落下運動

しかし、記録タイマーを用いた実験より高い精度となった。また、画面に物体の位置を記録しながら画像を送るので、物体の落下の様子をじっくり観察することができた。図7はいろいろな物体の落下の様子を示している。空気抵抗の大きい発泡スチロールのコップの運動と抵抗の無視できるゴムボールの運動が比較できる。また、バドミントンのシャトルの運動では、はじめゴムボールに近い運動であったのが徐々にコップの運動と同様になっていくことが分かった。

授業では、演示実験としてこの装置を用いた落下運動の分析を行った。実験後、前述の意識調査と同じ内容のアンケートを行った。その結果、各項目の評価の平均値は、興味関心=3.8、操作分析のわかりやすさ=2.2、実験の効果=4.0となった。いずれも記録タイマーを用いた生徒実験と比べ高い値となった。これは、実験の特徴を生徒が期待通りに評価しているということ、及び、目新しい装置を用いたことにより印象が強く、好奇心を生じたということが考えられる。この装置を用いて空気抵抗の分析をしてみたいなどの意見も聞かれ、主体的な姿勢も生徒の感想の中にみられた。

この装置を用いた実験の応用として、次のような実験が可能である。

・距離10m程度の落下運動・放物運動・斜面上の物体の運動・空気抵抗のある落下運動・衝突、分裂での物体の運動と2物体の重心運動・回転しながらの放物運動での重心の運動と回転運動との分解、分析など。

今回の装置では、コンピュータのCPUの高い性能を必要とせず比較的安価である。また、簡単なソフトで利用が可能であるという利点がある。一方、最近のCPUの処理速度の向上、記憶装置の大型化などによりマルチメディア機能を持つコンピュータが普及しはじめている。これらを利用すれば、ビデオ画像をデジタル化して直接コンピュータに取り込んでの実験が可能である。生徒は、これらコンピュータや視聴覚設備の利用に興味を強く示す場合があり、ビデオ画像のコンピュータによる分析は、これからの発展性が高く応用範囲の広い分野である。

落下運動の授業展開では、記録タイマーを利用する生徒実験だけでなく、今回行ったビデオ画像を利用したコンピュータの活用、また、光センサーなどの利用による精度の高い重力加速度の測定など、複数の手法による実験で概念形成を構造化していくことが重要と考えられる。

実験に対する生徒の意識調査により、興味関心を高め、概念形成にとってより効果的な実験へと改善していく必要がある。今回の調査は、限られた実験で行われたものであり、実験の展開自体の問題も含まれており、一般的なものまでにはなっていない。また、今回、多くの実験は生徒の好奇心に基づいておこなわれておらず、計画段階からの主体的な実験とはなっていない。この点が大きな課題として残っている。継続しての生徒の意識調査と、それをフィードバックしたうえでの実験方法の評価が必要である。

5. おわりに

昔と比べ、情報の供給過剰な状態となっている現在、子どもたちも、本を読んで多くの知識を知っているが、それを自分で発見したり、実際に確認する機会が少なくなっている。これは社会的背景のみでなく、社会背景の中で長年築かれてきた生徒の知的好奇心の変化があるのかもしれない。生徒の興味関心を引き、主体的な探究活動をさせるには、子供の認知過程にまで掘り下げて研究開発を行っていく必要がある。ただ単に科学的事実や原理を理解し暗記することが理科の学習目標ではない。子どもの自然認識の段階を明らかにした上で、自然現象をよく見させ、各自の内部情報と外部の情報との対比、対照を行い、問題意識を持たせて、仮説をたて、実験を計画し考察していく授業展開を行うことが重要である。

コンピュータなどをはじめとするマルチメディアを利用したものを取り入れた教材開発をするこ

とで、生徒に自然現象をよく見せ、精度の高い測定をさせることができる。また、生徒に「ハンドオン」から「マインドオン」へと展開、発展させるために、生徒に理科工作をさせることも主体的探究活動では効果的と考えられる。このような研究が「理科離れ」を克服する一歩になると思われる。

生徒の意識調査の分析に対して、鳥取大学教育学部杉本良一助教授より有益なご助言を頂いた。ここに改めて謝意を表す。

参考文献

- 1) 猿田祐嗣：「中学校における物理教育の課題と展望」、理科の教育、42（6）、pp30-32、1993、東洋館出版
- 2) 長澤武ほか：「本校における新教育課程『総合理科』の構想」、中等教育研究紀要、第34巻、pp53-60、1994、広島大学附属福山中・高等学校
- 3) 山崎敬人、柏原林造：「理科に対する生徒の意識調査」、第43回日本理科教育学会中国支部大会要項、1994、日本理科教育学会中国支部