

運動の実験を通して、表現力をはぐくむ指導の工夫  
— 実験結果を整理し、考察する活動の充実 —

鹿児島県立吹上高等学校 教諭 落合一穂

## 1 本校生徒の実態・指導上の課題

### (1) 専門高校での物理の履修における課題

本校は、商業系と工業系の設置学科を持つ専門高校である。近年、就職だけでなく大学進学を希望する生徒がでてきており、それに対応するために、本年度から電子機械科は物理を履修することになった。生徒の多様な進路に対応し個に応じた指導を実施するためには、物理を選択科目として履修させることが望ましいと思われるが、本校には理科教諭が一人しかいないため、クラス全員が物理を履修する形となった。従って目指す到達度は生徒の進路目標により様々である。

従来、大部分の生徒が必要と感じている学習到達目標は、企業が使用する就職適性テスト（SPI）や一般常識問題、あるいは専門の資格取得試験に対応できる程度であった。公式に数値を当てはめれば解答できる問題が中心なので、物理を履修していなくても、試験対策問題集などでその公式を使ったことがあり、四則計算が正確にできれば解答できる場合も多い。就職試験では、与えられたデータを的確に処理する能力を試している場合が多い。

しかし、大学入試問題では数値を当てはめる問題は少なく、四則計算の処理能力よりも法則を本質的に理解しているかを見る問題が多い。それは、大学において、数学や物理学の理論を使って法則を導き出したり、法則を活用して科学技術に発展させたりする学習を行う場合、基礎的な概念がしっかりと形成されたうえで、論理的に物事を考える力が必要だからである。

物理の概念を深く学習する機会に恵まれない場合、問題を解くために「公式を覚えて数字を当てはめる」という学習になりがちである。しかし、問題演習に時間を多くかけることができない専門高校では、「公式を覚えて数字を当てはめる」だけの学習方法ではかえって公式を忘れるのも早く、大学入試はもちろん、就職適性テストにも対応できないように思われる。そこで、物理学の基本的な概念や原理・法則を、より確実に定着させるための指導の工夫が必要である。

### (2) 生徒の既習事項に関する理解の実態

生徒の既習事項に関する理解の状況を把握するため、アンケートを行ったところ、以下のような回答が返ってきた。

- ・ 「用語はある程度分かるが、公式が多すぎてどれがどれの公式か分からなかった。」
- ・ 「自由落下、水平投射、鉛直投射など、いろいろな運動ができなかった。」
- ・ 「鉛直投げ上げからの関係式が多くて覚えきれない。」
- ・ 「同じアルファベットでも記号と単位で違うものを指していてややこしい。」
- ・ 「計算式にどうやって当てはめればいいのかあまり理解することができなかった。」
- ・ 「気圧水圧の計算が数字の単位を揃えると桁が大きく変わり、難しかった。」
- ・ 「応用問題の  $\sin$ ,  $\cos$ ,  $\tan$  を小数(分数)にして利用するところが分からなかった。」
- ・ 「等加速度直線運動からすでに分からなくなっていた。」

まとめると「単位や記号、公式が多く、理論が整理されていない。」実態が示されている。生徒によって分からなくなった段階は様々で、記号と単位に使われるアルファベットのややこしさに分からなくなる生徒や等加速度運動の段階で分からなくなっていた生徒、三角関数を用いる応用問題でつまづいた生徒もいるようである。

OECD生徒の学習到達度調査(PISA)や国際数学・理科教育動向調査(TIMSS)で取り組むべき課題としてあげられた「個に応じた指導を積極的に実施する」ことや「数学について、知識・技能を実際の場面で活用する力をつける」ことの必要性が本校の生徒にも当てはまる。

観察、実験などの体験で得た結果を、グラフや論理的な文章で正確に表すことにより、物理学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め、確実な定着を図ることができると考え、観察、実験を通じた学習に、自らの考えを論理的に表現する活動を積極的に取り入れる工夫を行った。

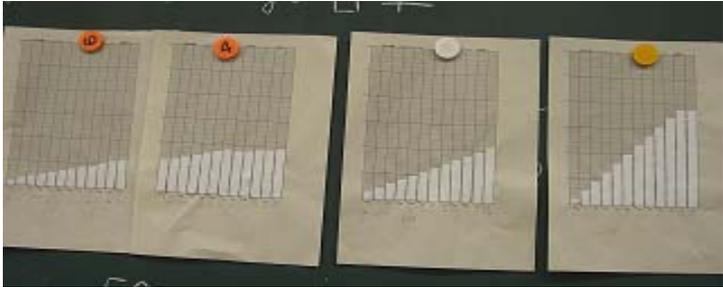
## 2 実践の内容

### (1) 言語活動を充実させる工夫

内 容	検証授業前の生徒の「知識・理解」の確認と結果の予想をするための準備
1 慣性の法則	<p>力が働かない場合ばかりではなく、つりあっているときのことも考えさせる。力が働かないと、動かないのではなく運動の状態が変わらないのだということを確認し、根拠に基づく論理的な思考過程を評価する。</p> <p>言語を使って考察するための設問</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙空間に浮かんでいる物体に力が働いていない場合、物体はどのような運動をするか。</li> </ul> <p>【生徒の記述】「その場で静止し続ける。」 「その場で回転している。」</p> <p>「静止していた物体」とは限らず、「運動している物体」についても言及しなければならないことまでは理解できていない。</p>
2 運動の法則	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 宇宙空間に浮かんでいる物体に、一定の力が働いている場合、物体はどのような運動をするか。</li> </ul> <p>【生徒の記述】「力に従って物体は動く。」 「力を加えた方向に飛んでゆく。」 「永遠に力を加えた方向に動く。」</p> <p>今までは動くと答えても、どのような運動かということには言及しない回答がほとんどで、まれに言及しても「一定の力が加わると一定の速さになる」と考えてしまう生徒が多かった。</p> <p>実験計画や操作方法、結果の予想をするための準備</p> <p>まず自分の手を使って一定の力で引っ張る実験を行うことにした。加速度が生じることを実感することで、加速度との関係に言及して、論理的に答えることができるようにすることがねらいである。</p> 

### (2) 検証授業における工夫

物理の本質は、複雑な公式や計算ではなく、自然に起こることをどのようなイメージで理解すればよいのかということである。言語活動を充実させる場合にも、頭の中にある程度のイメージが作られていることが必要であり、それを言語化して吟味し、言語を使って考察することにより、はっきりとしたイメージが作られることになる。言語化する前に頭の中に描く視覚的なイメージの基として、等加速度運動の  $v-t$  グラフを作成させることにした。

内 容	検証授業における充実させたい言語活動
加速度と力の関係 加速度と質量の関係 運動方程式	<p>データの取得とグラフ化，グラフの分析と法則の導出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>自分の手を使って一定の力で引っ張る実験結果のテープをグラフ用紙に直接貼り付けて，力の違いによるグラフの傾きを比較し考察する。</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li>加速度が何によって決まるのか，予想して実験の計画を立て，実験して結果をグラフ化し，グラフを分析して式を作り，法則を導き出す。            （人の力によって一定の力で引っ張る実験に加え，データのばらつきをなくすため，おもりと滑車を使って，重力で引かせる方法や定力装置で引かせる方法を考える。）            「関心・意欲・態度」及び「思考・判断」の二つの観点については，学習プリントも評価に用いるための判断基準とした。学習プリントの記述や図の評価については，学んだ結果よりも学習の過程での進歩を重視するようにする。結果に重点を置くと，正解と思われる内容を書き写すことだけを考え，自ら判断し，表現する努力をしなくなりがちなので，以下のことを重視したい。            実験の意義を考えながら，実験の計画を立てることができたか。            結果の予想を発表し，話し合うことができたか。            正しく実験を行うことができたか。            実験データを正しくグラフ化することができたか。            グラフを分析し，加速度と力，加速度と質量の関係を導き出せたか。            実験結果が理論通りにならない原因を科学的に考えようとしたか。            日常生活で見られる物体の運動について，運動方程式を使って説明することができたか。</li> </ul>

### 3 検証授業の実際

#### (1) 指導の実際（電子機械科第2学年 39人）

ア 単元名 運動の法則（物理）

イ 単元の指導計画

1 時間目 今までの学習に関するアンケート

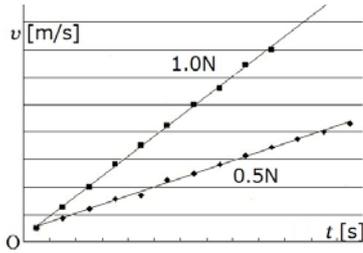
① 慣性の法則

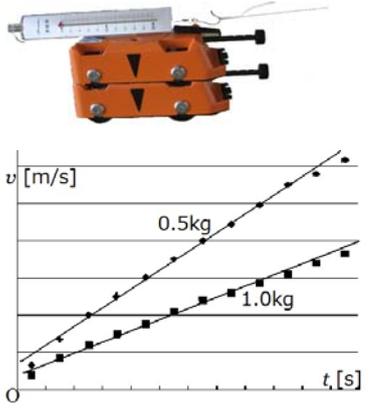
2 時間目 ② 運動の法則：記録テープからグラフを作成し，グラフの傾きが加速度を表していることを理解する。

3 時間目 ② 運動の法則：実験結果のグラフを分析し，運動の法則を理解する。（本時）

4 時間目 ③ 力を及ぼしあう2物体の運動

ウ 本時の展開

過程	主な学習活動	指導上の留意事項
導入	<p>1 力の定義を説明する。</p> <p>2 前時の実験結果の記録テープを用いて作成したグラフを分析し、傾きが加速度を表すことを文章にまとめる。</p>  <p>3 体で感じた力と加速度の関係を発表する。</p> 	<p>事前に、物体に力を加えたときの物体の運動についてワークシートに記入させておく。</p> <p>前回の実験で測定した記録タイマーのテープを 0.1 秒ごとに切って、棒グラフにしたものを黒板に貼り付けて考察させる。</p> <p>手で台車を引く場合、台車の速さが速くなるので、一定の力を保つことが難しかったことを思い出させる。</p>
展開	<p>4 加速度の大きさは何の影響を受けるかを予想し、確かめる実験を計画する。</p> <p>5 力や質量を変えた実験を行い、実験中に気付いたことを文章にまとめ、コンピュータを活用してデータをグラフ化する。</p>  <p>6 グラフを分析し、力と加速度の関係、質量と加速度の関係を発表する。</p>   <p>6 打点間ごとの長さを読み上げ、パソコンにデータを入力し、グラフをプロジェクタでスクリーンに投影する。</p> <p>スクリーンに投影されたグラフをみて考察する。</p>  <p>力を2倍にしたら、加速度はどう変わったかをグラフから考える。</p> <p>「力を2倍にしたら、<math>v-t</math> グラフの傾きは2倍になった。加速度は力に比例しそうだ。」</p> <p>1.5N, 2.0N の力による実験を計画し、実験により確かめる。</p>	<p>予想を基に、実験の計画を話し合わせる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>質量の大きいものほど動かすに くいことを思い出させる。</li> </ul> <p>実験中に気付いたことを文章に表現させる。</p> <p>「加速度が小さいほど、力を一定に保ちやすく、実験はやりやすくなった。」</p> <p>コンピュータを活用してデータをグラフ化し、比例、反比例の関係の見通しをもたせる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>グラフを分析して自分の考えを 発表させる。</li> <li>日常の体験を基に自分の考えを 発表させる。</li> <li>力をさらに変えたとき、グラフ の形はどうなるかを予想させ、確 かめさせる。</li> </ul>

		<p>質量を2倍にしたら、加速度はどう変わったかをグラフから考える。</p> <p>「質量を2倍にしたら、<math>v-t</math> グラフの傾きは1/2倍になった。加速度は質量に反比例しそうだ。」</p> <p>1.5kg, 2.0kg の質量で実験を計画し、実験により確かめる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ グラフを分析して自分の考えを発表させる。</li> <li>・ 日常の体験を基に自分の考えを発表させる。</li> <li>・ 質量をさらに変えたとき、グラフの形はどうなるかを予想させ、確かめさせる。</li> </ul>
展 開	<p>7 力と質量と加速度の関係式を導く。</p>	<p>力と加速度が比例し、質量と加速度が反比例するという関係を1つの式で表す。</p> $a = k \cdot \frac{F}{m}$ <p>運動の法則を理解する。</p>	<p>実験から分かったことを考察して発表させる。</p> <p>比例定数を <math>k</math> において関係式をつくらせる。</p> <p>運動の法則を理解させる。</p>
終 末	<p>8 力の単位と運動方程式の意味を理解する。</p> <p>9 運動方程式を活用して、日常生活で見られる物体の運動を説明する。</p>	<p><math>k = 1</math> となるような力 <math>F</math> の単位を決め、これを1N とする。</p> <p><math>ma = F</math> という式が完成し、運動方程式を理解する。</p>	<p>力の単位を示し、運動方程式を完成させる。</p> <p>運動の法則を説明させ、日常生活で見られる加速度運動の例を運動方程式と関連付けながら挙げさせる。</p>

(2) 分析と考察

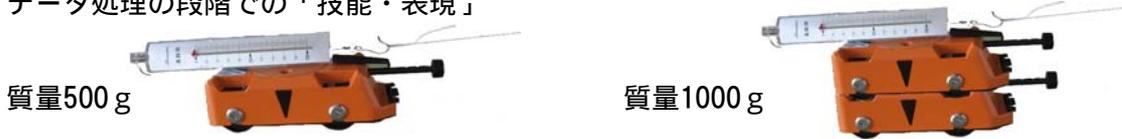
等加速度運動を自分の力で行う実験は生徒の熟練を要するが、経験すると加速度を生じさせるということを感じさせることができるので、それを言葉に表現させやすくなったと思われる。良い記録テープが得られた班のテープを貼り付けてグラフにしたものを全員で見て考えさせる形になった。数値を処理して表やグラフにする手間を省いて、傾向をつかむにはよいグラフであったが、必ずしも自分たちの班が行った実験結果ではないため、思い入れが少なく積極的な発言は少なかった。自分の手で引く方法は、引いた生徒の技量に左右されやすく、データを使える班と使えない班がでてしまう。言語活動を活発にするには、得られたデータへの思い入れも大切で、自分たちが行ったという実感も必要だと感じた。

また、データのばらつきをなくすため、定力装置で引かせる方法とおもりと滑車を使って、重力で引かせる方法も実施した。中が見えない定力装置で引かせるよりは、おもりと滑車を使う方法が視覚的に分かりやすいので、結果をまとめるときの言語活動が行いやすいと考えられるからである。重力を利用するとおもりに働く重力がそのまま台車を引き続ける張力になると勘違いしやすいが、そこは今後の学習につなげることもできると考えた。

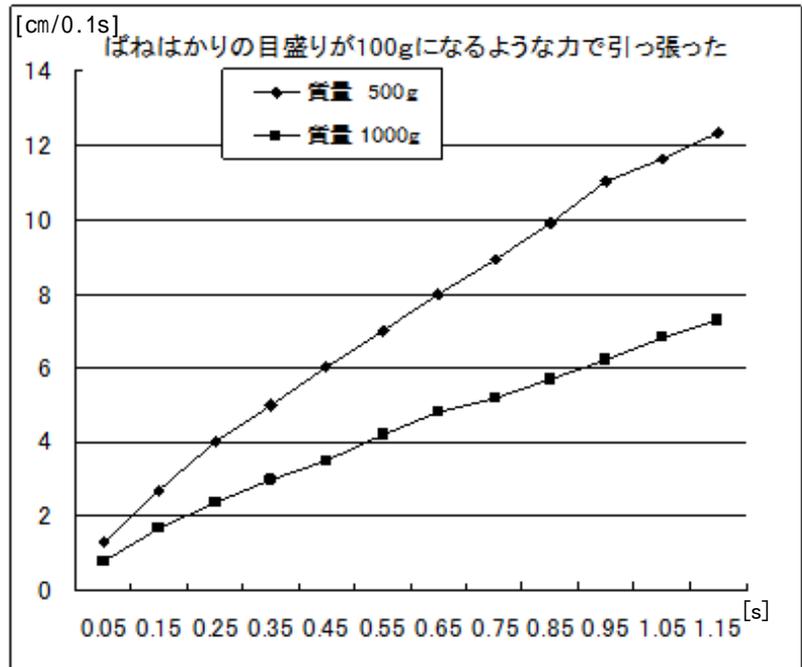
データ処理については、前時にグラフ作成に時間をかけたため、本時では、代表者がパソコンにデータを入力して、パソコンでデータをグラフ化し、そのグラフをプロジェクタでスクリーンに投影して考察する方法をとり、時間短縮を図った。

しかし、学習プリントに記入する時間が少なく、生徒が自ら判断し表現する努力をしたかどうかについて、この時間の中では判断できなかった。「関心・意欲・態度」及び「思考・判断」の二つの観点について観察法で見とることは、なかなか難しいと感じた。また、測定しやすい「技能・表現」、「知識・理解」については、別の学習プリントで後日把握することにした。

ア データ処理の段階での「技能・表現」



時間 [s]	速度 [cm/0.1s]	
	(質量 500g)	(質量 1000g)
0.05	1.3	0.8
0.15	2.7	1.7
0.25	4.0	2.4
0.35	5.0	3.0
0.45	6.0	3.5
0.55	7.0	4.2
0.65	8.0	4.8
0.75	8.9	5.2
0.85	9.9	5.7
0.95	11.0	6.2
1.05	11.6	6.8
1.15	12.3	7.3



実験のデータ処理の段階での技術的な問題は単位の変換等であるが、今回はテープをそのまま貼り付けてグラフし、大まかな関係が視覚的に分かるようにしたので、今回も[cm/0.1s]のまま表にし、自動的にグラフに表した。

実験で測定した0.1秒ごとのテープの長さ[cm/0.1s]もメートル毎秒[m/s]も数値は違っても、速度を表している点では同じことである。同じ物理量(長さ[L]を時間[T]で割ったもの)を表している場合、単位は違って次元が同じなので、比例、反比例の関係を導き出すことが目標ならば、単位の変換にこだわって時間を浪費する必要はないと考えた。言語活動を活性化させるためには、合理的に考えさせることも有効だと思われる。

時間の目盛りが0.1秒ごとなのに、0 0.1 0.2ではなく、0.05 0.15 0.25 となっているのは、なぜかということに疑問をもつ生徒が少なかった。平均の速度や瞬間の速度について、様々な場面で言及するのも言語活動の活性化につながると思われる。

このグラフはパソコンのソフトが描いたグラフであるので、実験データの処理にはふさわしくない。手書きでグラフを描くときはどう引かなければならないかを尋ねたところ、折れ線グラフでなく直線で描くと答えた生徒が多くいたが、なめらかな線にすると答えた生徒もいた。グラフは高校入試にもよく出題されるので、中学校から徹底して指導されていると思われるが、定着は十分とは言えないようである。そこで高等学校でも、物理現象の解析を通してグラフによるデータ整理の方法を学習することは重要だと考え、中学校での学習を振り返りながら、実験データを使ってグラフの描き方を基本から指導した。

## イ データ処理後の考察

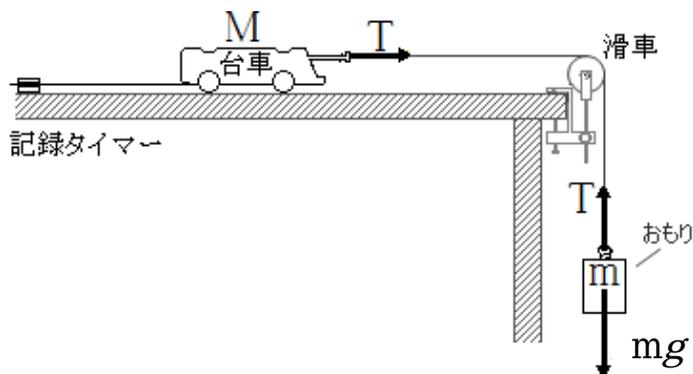
質量1000gの台車のグラフで0.55秒～0.95秒が、4.2cm～6.2cmと求めやすいデータになっていることを利用して、質量1000gの台車の加速度を求めさせた。ばねはかりの目盛りが100gになるような力は、ほぼ1Nに近いので、この力で質量1000gの物体を引っ張ると $1\text{ m/s}^2$ の加速度が生じるはずであるが、実験結果が理論通りにならない原因を答えさせたが、「車輪の軸がさびていた。」とか、「床がなめらかではなかった。」、「ばねがさびていて正確ではなかった。」などの答えが多く、「摩擦」という言葉を使って説明できない生徒が多かった。そこで、物理用語を定着させるための言語活動も重要であると考え、ワークシートを工夫した。

## 4 その他の実践における分析と考察

運動の法則については、検証授業で基本的な実験を行い、運動方程式を導き、その後問題演習によって理解を定着さようとした。しかし、運動の法則の有効性はそれだけでは十分実感できたとは言いがたい。そこで、教科書の例題を参考にして、『糸でつながれた2物体の運動』について実験を行い、運動の法則を基に理論的に予測した加速度の値と、測定した結果とを比較してみた。

検証授業の時は、定力装置で引かせる方法と重力で引かせる方法の違いを強調しないまま行ったが、今回は次のような設定で、もう一度おもりと滑車を使って実験を行った。

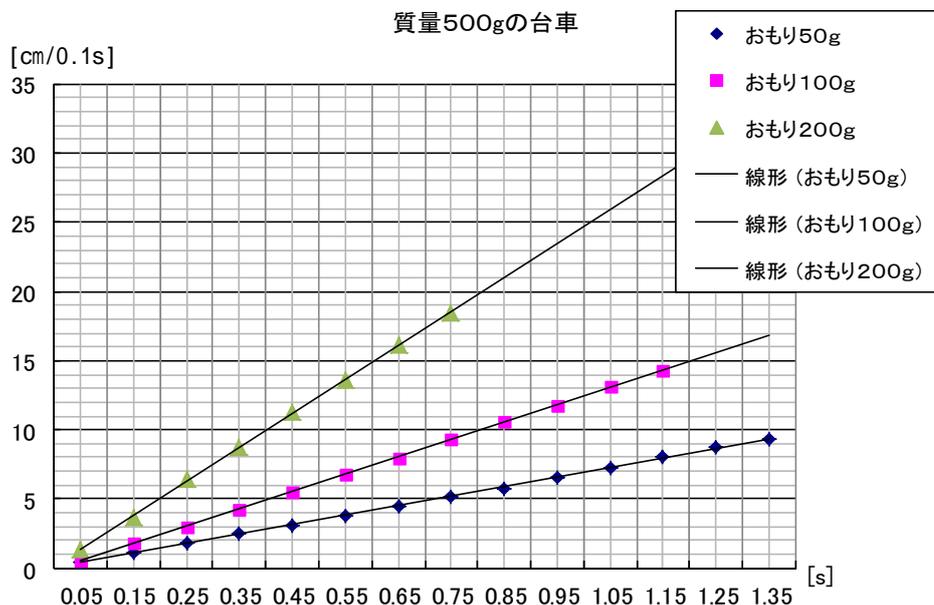
下の図のように、水平な台の上に質量  $M$  の台車を置き、台の端に取り付けた滑車を通して、伸び縮みしないひもで質量  $m$  のおもりと結ぶ。ただし、重量加速度の大きさを  $g$  とし、また、ひもの質量は無視でき、滑車は軽くてなめらかに回転できるものとする。

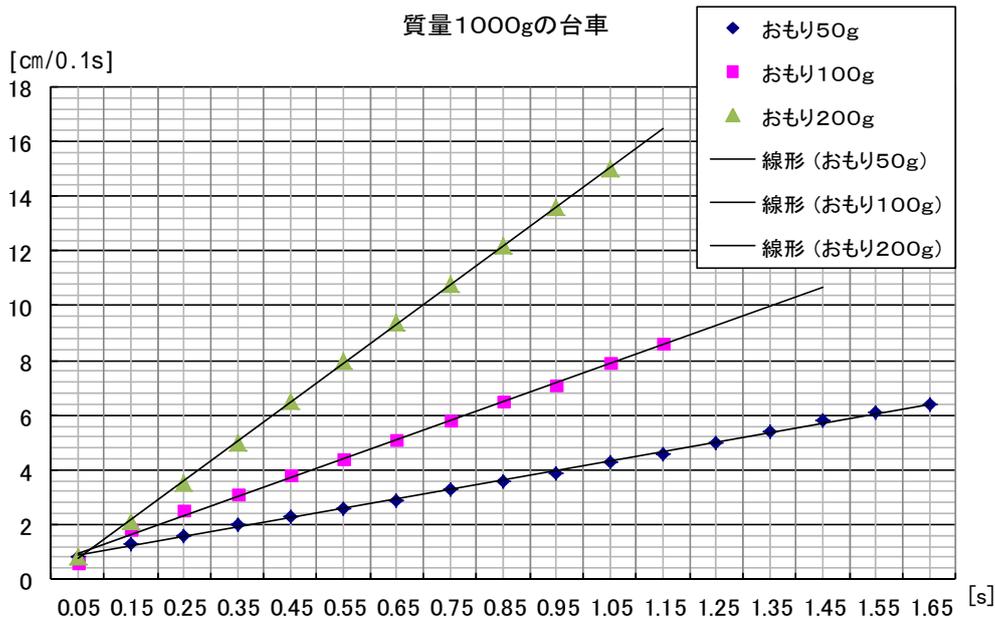


台車の質量を 500g とし、おもりを 50g, 100g, 200g と変えて実験を行った。

次に、台車の質量を 1000g とし、おもりを 50g, 100g, 200g と変えて実験を行った。

生徒を 6 グループに分け、それぞれの班ごとに異なる条件でデータを収集して、エクセルでグラフを作成させた。





【エクセルで描いた  $v-t$  グラフ】

グラフの描き方の学習を踏まえ、今回は近似直線を描けるようにソフトを調整し、折れ線グラフにならないようにした。

実験前に、おもりの重さと加速度の関係はどうか予想を立てさせた。比例すると答えた生徒、比例しないと答えた生徒ともに過半数に達せず、分からないと答えた生徒も含めてほぼ同数であった。運動方程式を本当に理解しているというより、忘れてしまっているのではと考え、運動方程式を利用して理論値を求める学習の前に、運動方程式の意味について復習を行った。

$v-t$  グラフで見える限りにおいても、おもりの質量が2倍、4倍になっても、加速度を表すグラフの傾きが2倍、4倍にはなっていないことが分かり、加速度運動をしている場合には、おもりの重さがそのまま張力にはならないこと実感できる。

次に、理論値を求めて実験値と比較することで、さらに考察を深めることにした。運動方程式を利用して加速度を求めると理論値は次のような式で求まる。

$$(M+m)a = mg$$

$$a = [m / (M+m)] g$$



【実験の様子】

さらに張力の理論値を求めることで、加速度運動をしているとき、張力がおもりの重さと等しくないことが分かる。

$$T = [M m / (M + m)] g$$

これによって、おもりの重さと加速度が比例していないのは、運動方程式が成り立っていないのではなく、台車にはたらく力そのものが2倍、4倍になっていないことが大きな要因であることを見出すことができた。摩擦力の影響もあるので、実験値と理論値は異なる結果になるが、その原因を考察することで、言語活動を活発にすることができた。この実験は、安定した一定の力を加え続けることができ、再現性が容易である。また、単なる比例関係だけでなく、 $ma = F$ から求めた加速度（理論値）と  $v-t$  グラフから求めた加速度（実験値）が一致するかどうか調べたいという興味・関心が強まるとともに、 $ma = F$ で、運動を予測できることが実感できる。さらに運動中と静止中では糸の張力が変化することを発見することができるほか、運動中の糸の張力は、台車の質量によって異なることも分かる。

## 5 成果と課題

### (1) 成果

#### ア 検証授業において

力と加速度、質量と加速度の関係を予想し、確かめる実験の計画を話し合ったことで、主体的に実験に取り組むことができ、加速度が力と質量の影響を受けることを理解することができた。

グラフを作成、分析したことで、比例、反比例の関係の見通しをもつことができ、確かめる実験を行って関係式を導き出し、運動方程式を理解することができた。

「摩擦」という物理用語を使っての説明はまだ難しいが、測定値が理論値と一致しない理由について考察し、自分の考えを発表することができた。

#### イ その後の実践において

『糸でつながれた2物体の運動』についての実験では、比例関係だけでなく、定量的な関係まで踏み込み、理解することができた。

運動方程式を活用して物体の運動を予測し、確かめる実験を計画することができた。

実験の結果が予想通りでなかった場合には、運動方程式を使って原因を検証することができるようになり、運動方程式の有用性を理解することができた。

### (2) 課題

物理では、論理的に物事を考える習慣を身に付けるのに適した題材が多いので、数式や数値で答える問題だけでなく、文章で答える設問を多く設定するように心がけていきたい。ただ、どこまでが正解になるのか、問題作成者の要求する基準を生徒が合意した上で問題に臨んでいるかが、はっきりしないと設問として妥当性を欠くことになる。国語的には間違いではないが、物理の答えとしては論理的に不十分である場合は、不正解にすることを日頃から徹底して指導していくと、言語活動の向上にもつながると思われる。

また、実際の実験ではいろいろな要因が加わるので、複雑になるほど言語活動も活発になるはずであるが、複雑な計算が加わった途端に生徒の理解が追いつかなくなるというジレンマもある。生徒が原因を知りたいと思うような、驚きや意外性のある実験を工夫することが、ますます必要である。