

【授業研究3】 高等学校物理「慣性には大小があることを実感する」

(1) 取り上げた内容の解説

高等学校物理では、平成6年度から導入される学習指導要領「物理ⅠB」の「力と運動」の「運動の法則」に登場してくる「質量」の概念を取り上げる。

多くの教科書には、運動の法則を導くとき、質量 m についての具体的な説明がほとんどない。そして、その法則をもとにして、「質量の大きい物体ほど加速されにくいので、質量が大きいほど慣性が大きい」ことを述べている。

しかし、この説明では、多くの生徒は、質量が物体の慣性の大きさを表すことを実感できないようである。教科書のように、質量についての特別な手当をせずに運動の法則の実験を行った場合、多くの生徒が、次のような感想をもちやすいという報告がある。「同一の力のときは、質量が増せば増すほど、台車の加速度は減る。これは、質量が増せば増すほど、台車と机やタイマーとの摩擦が大きくなるからだと思う。」つまり、生徒の中に「慣性には大小がある」という概念が育っていない場合、単に実験をやっても、質量というものを摩擦や重力と混同してしまうのである。また、摩擦の影響がなければ、物の動きだしやすさは重さに関係ないと生徒は考える傾向にある。

したがって、生徒が誤解しやすく、教科書でも取扱いが不十分な「質量と慣性」の関係について、正しい概念の形成を図りたい。しかし、正しい概念を教師が一方的に押し付けるような授業では、生徒の興味・関心、意欲を高めることはできない。そこで、慣性に関して、生徒の予想が割れるような問を出して図6のような流れで授業を組み立てたい。

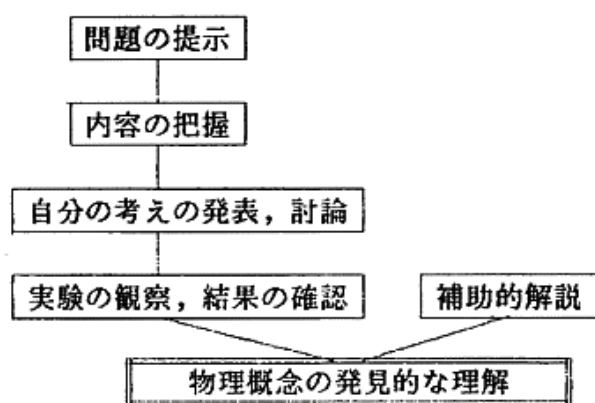


図6 授業の流れ

(2) 興味・関心が高まる指導の手だて

① 出題する問の内容

問の内容としては、学ぶ側が考えやすく、概念の本質をついているものにしたい。しかも、その答えが割れやすいものが望ましい。生徒が考えるにあたっては予備知識を必要とせず、誰でも気軽に討論に参加でき、後で実験によって簡単に答えを確かめられるものがよい。たとえば、次のような問が考えられる。

〔問1〕図7で、同じゴムひもに、Aは台車1台、Bは台車を2台つける。同じ長さだけゴムひもを引きのばして、同時にスタートさせたら、どちらが早くO点に達するか。ただし、摩擦の影響が無視できるものとする。
 (ア)Aの方が早い (イ)Bの方が早い (ウ)A、B共に同時

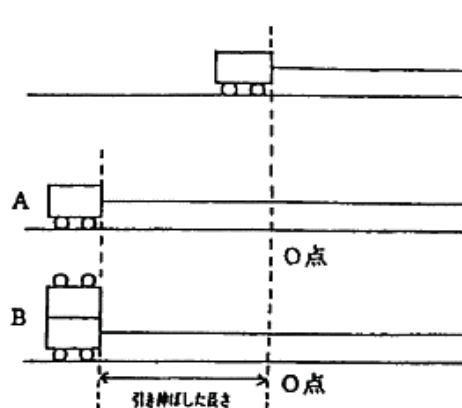


図7 問1の内容

[問2] 図8で、空の台車Aとレンガを積んだ台車Bの前に、それぞれ同じ荷物を置き、同じ速さで押してきて同時に手を離れた。その後の台車の運動はどうか。

- (ア) Aの方が止まるまでの距離が長い
- (イ) Bの方が止まるまでの距離が長い
- (ウ) A, Bが止まるまでの距離は同じ

② 動機付けの工夫

問をプリントにして配布した後、何が問われているかがよくわかるように途中まで実際に演示してみせ、結果をだす直前で実験を中止する。このことで、これからやろうとしていることの意味が具体的に理解でき、さらに、「一体結果はどうか」と生徒は関心を大きく高めると考えられる。

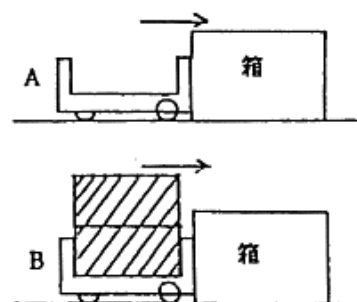


図8 問2の内容

③ 個を生かす工夫

普通の授業では、講義形式が中心で生徒は受身になりがちである。これに対し、生徒が自分の考えを發表し討論する機会を設けることにより、表現する力を養い、人の考えをよく聴いてさらに自分の考えを深めていくことができる。その際、教師は生徒が気楽に發表できる雰囲気作りに努め、生徒の考え方を尊重し、生徒が自分の考えを積極的に表明できるようにしたい。

④ 実験装置の工夫改善

今回取り上げた内容を実験する上で、重要な条件としては、なるべく摩擦の影響がない状態を作り出すことが必要である。その方法として、

ア 力学台車を利用する。

イ エア・トラック、エア・テーブル等を利用する。

等の代表的な実験方法があるが、今回は以下のウの方法で実施してみた。

ウ 小球（BB弾）を使った方法……小球を平らな板の上にまき、実験する物体をその上に乗せ、物体の摩擦がかなり少ない状態を利用して実験する。

（BB弾……直径6mm、表面特殊コーティング処理、重量=0.12g）

転がり摩擦は非常に小さいので、かなり摩擦の少ない状態を作り出すことができ、今回の実験には向いている方法である。また、動きに関しても、平面上を自由に動かすこともできるので、実験の自由度も大きくなる。

平らな板としては、実験室の実験台をそのまま利用するのが一番手軽で、生徒が実験するのもちょうど良い大きさである。注意点としては、すきまテープ等などを利用して、BB弾がテーブルより落ちて散らばらないように「枠」を作る点だけである。BB弾の上に乗せる物体は、平で、ある程度の大きさを持っているものなら何でも良く、かなり重い物でも運動体として利用できる。たとえば、ハードカバーの本に重りを乗せれば、それで十分実験できる。

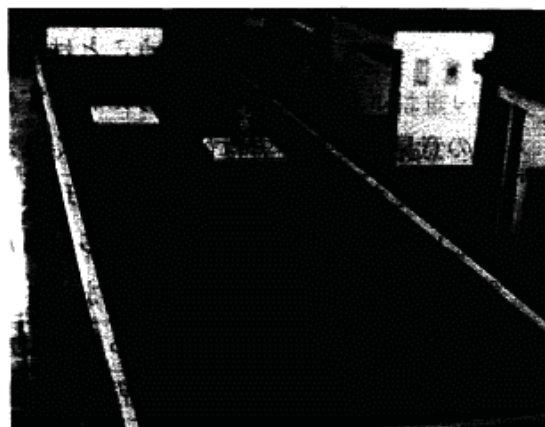


図9 実験台の様子

⑤ 実験後の説明

実験の結果は一目瞭然であり、生徒に歓声がわきおこることが多い。生徒の関心がさめないうちに、実験結果の意味をいくつかの具体例を交えて解説する。討論や実験を経てから聞く解説であるから、「あたかも初めて見つけ出したような」生徒の理解が得やすくなる。本時では「物体の慣性には大小がある」ということだけが実感として理解できればよい。質量概念への発展は次の授業で扱う。

(3) 生徒の実態

A高において、前述の問1及び問2に対する生徒の回答を集計したところ、その状況は次のようであった。

[問] への生徒の回答 (6クラス分, 単位人) ◎は正解

	(ア)	(イ)	(ウ)
問1	◎ 74 (32%)	24 (10%)	135 (58%)
問2	16 (7%)	128 (55%)	88 (38%)

正解は [問1] では(ア)であるが、(ウ)の予想が多い。[問2] になると正解数が多くなるが、それでも変わらないとした(ウ)の解答が40%近くにのぼっている。ここでは [問1] について、生徒から毎年共通して出された典型的な考えを紹介する。

[問1] (ウ)と答えた生徒の意見を挙げてみる。

- *重力と抗力の和は0で摩擦もないなら、台車に働く力はゴムひもの力だけだから同じ様に動く。
- *摩擦がないので、いくら重くても同じだと思う。
- *台車の重力、抗力は上向き、下向きであって真横に働く力には影響しない。
- *摩擦がないので、自由落下と同じ考えでよいのではないかと思う。自由落下は質量は関係なかったはずだ。

これらの考えは毎年多数派として出てくるが、慣性の大小という概念が抜け落ちている。力だけが物体の加速を支配していると思っているらしく、摩擦力がないと皆同じになってしまうと感じているらしい。

一方、(ア)や(イ)と考えた生徒の意見を挙げる。

(ア)の意見 *感覚的に軽いほうが大きな加速度になりそうだ。

- *物体の慣性を考えると、速度を変化させるのには、何かの力を及ぼす必要がある。台車2台ということは、1台のときの倍の力を及ぼす必要があると思う。自転車の二人乗りを考えればすぐ分かる。

(イ)の意見 *重い方は最初はゆっくりだが、後になると勢いがついて重い方が早くなる。

(ア)と考えた生徒の中には、その表現はともかく、慣性には大小があるという概念が芽生えているらしいが小数意見になることが多かった。

討論は、クラスによっては、いま述べたような意見が次々に出され、白熱したものになるが、意見があまりでないクラスもあった。しかし、いつもの授業に較べればかなり活発になる。討論がどのように進行するかは、そのクラスによって様々である。多数意見が幅を利かせ、正解の予想をたてていた生徒も後で考えを変更するという場面も生じた。

(4) 授業の実践

① 単元名 力と運動

② 本時の目標 慣性の大小に関する問をもとに、討論や実験を通して慣性には大小があることを実感として理解できる。

③ 展 開

学習過程	学 習 活 動	指導上の留意点
本時の学習 問題把握	○ 前時間に学んだ事の確認（一定の力を物体に加え続けると等加速度運動をする） ○ 慣性の大小に関する概念を問う問題（問1，問2）を読んで内容をとらえる。 ○ 具体的な演示実験装置を見て，問題内容の確認をする。	・問題の書かれているプリントを配布する。 ・内容が確認できる程度の所で演示を中止し，生徒の考察を促す
考 察	○ 物体の運動がどうなるかを選択肢から予想する。同時に，なぜその様に考えたかを書き，発表できるように準備する。	・テストではないので，自由に自分の考えを書くように指導する。また机間巡視をしながら生徒の状況を確認する。
討 論	○ 問1，問2の答え（予想）に関して，挙手をし，板書される人数を参考とする。 ○ 発表する人の意見を聞き，自分の考えと比較しながら討論をする。	・板書により，生徒にも人数比がわかるようにする。 ・まず，自主的に発表する生徒の有無を確認し，いなければ指名する。なるべく多くの意見が出されて，討論となるように生徒を指導していく。
再考察	○ 打ち切られた討論を参考に，もう一度，答え（予想）の挙手をし，板書された人数を確認する。	・生徒の声が小さい場合や，考えの説明が十分でない時は，反復したり，分かりやすく言い換えたりして，他の生徒にも分かるように心掛ける。
演示実験観察	○ 演示実験を見て，物体の慣性には大小があること，慣性が大きいものは，加速しにくく減速しづらいことを確認する。	・二人乗りの自転車がなぜ危険なのか等の具体的な例に触れて説明する。
結 論	○ 質量とは，慣性の大小を表す量であることを理解し，次回はその質量を学ぶことを確認する。	・ボーリングのボールは重いので必ず実験室の床で実験する。

④ 授業の分析と考察

実際にB高で授業を行った際の生徒の回答は，以下のものであった。

[問] への生徒の回答（5クラス） ◎は正解

	(ア)	(イ)	(ウ)
問1	◎ 101 (60%)	42 (25%)	25 (15%)
問2	36 (21%)	◎ 122 (73%)	10 (6%)

[問1]の正解(ア)、[問2]の正解(イ)をそれぞれ答えている生徒は全体から見ると多いが、別の答えを予想する生徒もかなりの数に上った。やはりこれは、慣性の大小という概念が育っていないことによるものと思われる。

それぞれの間で、「そのように考えた理由」も記入してもらったので、それを幾つか紹介する。

- [問1] (イ)と答えた生徒の考え
- * 荷物を乗せた方が勢いがつき、速くいきそう。
 - * スタートはAの方が速いと思うけど、スタートしてからは、Bの方が重さを利用して速く走れると思う。
- (ウ)と答えた生徒の考え
- * 摩擦がないから、荷物の重さは関係ない。
- [問2] (ア)と答えた生徒の考え
- * 重りがなければ速く走れる。
 - * Bには荷物が乗っているので、すぐに止まってしまう。
- (ウ)と答えた生徒の考え
- * AもBも同じ摩擦で動くから。
 - * 押している箱の摩擦がいっしょだから。

以上のような理由を書いた生徒が多かった。

今回の授業を実施するにあたり、B校での生徒の反応がかなり心配であったが、「早く実験をしてみようよ」とか、「あー、予想がはずれたー、くやしー！」など思ったよりも生徒の反応が良く、すんなりと授業内容が生徒に受け入れられたように思う。やはり、多くの知識を必要としないが、しかし、概念としてはポイントとなる題材であったためではないかと思われる。

生徒にとっても、自分で考え、予想したものが、その場ですぐに確かめられるという体験は、良い刺激となったようである。

ここで、既に授業実践を行ってきたA高での、授業後の感想文も一部紹介してみたいと思う。

* 慣性は、質量と関係があるように見えて、「ない」と思っていたのに、その裏をかかれたとは……。実験をする前に予想するときがドキドキして一番おもしろい。

* 予想がすべてはずれた……。けれど、全く予想しなかった結果がでた方がかえって印象に残るし、実際面白いと思った。また、自分の質量や力に対しての認識が改められ、有意義だった。

(5) ま と め

今回、二つの高校でほぼ似たような形態で授業を実施してみて、ともに、生徒の関心、意欲が普通の授業に比べても格段に高まったことははっきり言えるのではないかと思う。しかも、このような基本概念に関する限り、進学者の多いA校の生徒が、理屈だけで考えるせいがあるのか、かえって高い率で予想をくつがえされているのは興味深い。理科の授業における実験や観察にはいろいろな位置づけがあるが、この授業では、実験そのものに重点があるのではなく、問への考察から発表、討論、実験、解説という一連のプロセスの中で、物理概念の発見的な理解を得ようとしたものである。このような授業を毎回実施することは無理であるが、基本的でしかも誤解しやすい物理概念を扱うときは大いに有効であろう。そのためには、概念の本質をつき、しかも予想が割れやすい問と実験の開発が必要である。そのためには、常日頃から生徒一人一人の感じ方、考え方を大切に、今後とも、生徒の目がいきいきと輝くような授業を目指していく必要がある。

参考文献

- 1) 綿引隆文「生徒の感じ方を大切にする授業の試み」日本物理教育学会誌Vol.40-1(1992)