

測定実験を探究的実験にする

— 科学的なものの見方考え方を育てる理科の授業とするために —
Make It an Investigative Experiment — Measurement is not the Goal .

物理科 川 角 博

<要旨>

物理では、自然界の仕組みとその調べ方を学ぶことが目的である。観察・実験をしない自然科学の学習はあり得ない。生徒が自ら目的意識をもって探究的な実験をすること自体が、自然科学の学習として必須である。探究活動を反転授業としてとらえ、従来の生徒実験（測定実験）を探究的な実験とする例を紹介する。

<キーワード> 反転授業 探究活動 運動の法則 重力 動摩擦力 跳ね返り係数 気柱 反射

1 反転授業と探究活動

私は、20年ほど前に物理1A（東京書籍）¹⁾という少し変わった教科書を執筆した。この仕事を依頼された時、編集長からは、売れるかどうかを気にせずに私の自由な発想で教科書を作ってみてほしいと言われた。この教科書で目指したのは、先生が教える授業をしないという授業構造である。これに対し、編集長から「では、先生は授業中に何をするのか」との質問がでた。私が答えたのは、「この教科書を、生徒が自ら読める本とし、生徒自らが学習できる学習材そのものとする。先生が授業中にやるべきことは、生徒の学習の流れを作り、観察・実験のサポートをし、質問に答えることです。」である。学習の主体を生徒とし、先生はその学習を支援するものとした。

この学習方法は、いま話題の反転授業と似ている部分もある。ねらいは似ているが、やり方がかなり異なっている。生徒が教科書で学習する時間が、反転授業では家庭であり、私が書いた教科書では原則として授業中を想定している点は、根本的に違う。反転授業には、反転授業用の教科書と周辺教材が必要である。現在そのような教科書、副教材が作られているのだろうか。

反転授業での予習に相当する部分も授業内に入れた理由は3つある。特に、当時物理1Aを使うであろう生徒たちとして、受験勉強とはあまり縁のない生徒が予想されたことが、次の2つの理由につながる。

この教科書を執筆した当時、私は都立工業高校の教諭をしていた。この生徒達が、およそ授業前に予習をしてくることは期待し難かった。つまり、生徒が見出してきた質問に答える授業自体が成立しそうにもなかったのである。

そもそも1日6時間の授業に対して、反転授業のような予習を期待すると、効率よく予習しても1日6時間も予習が必要となる。これも極めて困難と思われた。つまり、授業中に生徒に自学をさせるのが、現実的な授業であると考えたのである。

しかし、学習の主体が生徒であることに間違いはない。しかも、自然科学で学ぶべきことは、教科書に書いてあることではなく、自然界そのものにある。そこに第3の理由がある。

授業の中で、生徒にいかにして主体的に学習させるか、これが重要な課題である。このために、教科書を読み物として興味深いものとすると同時に、自然現象について、自ら探究しながらそこにある法則性に気づき、科学の方法を身に付けていく学習を目指した。ここで最終的に目指す学習は、教科書に書いてある知識の獲得ではなく、自ら必然性を持った学習を通して自然界の法則性について納得し、科学的なものの見方考え方を“身に付いた価値観”として育てることにある。このためには、生徒が現象を科学的にとらえようとする目的意識を持ち、これを自ら解決していく探究的な学習方法が必要である。自然科学の場合、この解決すべき問題意識は、現象から見出されることが理想である。読み物とした教科書を、読んでいく過程でやがて物理現象の分析が必要となる流れとした。ここから先は、観察・実験を必要とし、先生の支援を得ながら学習を進める。この観察・実験の結果を用いて、次の学習が進展していくことになる。

先も述べたように、この教科書を使うであろう生徒達は、自ら教科書を読んで学習することが苦手な生徒が多いと想定された。このため、教科書を意識的に読み進めていく副教材も用意した。つまり、自学を実現させる(反

転授業を実現する)教材である。教科書をただ読んで、必ずしも勉強にはならない。

反転授業では、教科書に書いてあることを理解することが狙いになっている。しかし、自然科学の教育で生徒に学んでほしい最優先事項は、科学の方法を学ぶことである。“教科書に書いてあること”の理解が、理科教育の最終目標ではない。自然科学の学習に、反転授業はなじまないのではないかとすら思える。自然科学で学ぶべきことは、教科書の中にあるのではなく、自然現象の中にある。疑問も答えも自然界の中にある。この中から探究的に現象を分析し、理解していく過程で科学の方法を学んでいくのが科学の方法である。科学の方法は、教えることができない。探究的な活動を繰り返すことで、いつの間にか価値観としてその方法が身に付くのである。

2 理科の授業とは

理科は、自然界の仕組みについて学びながら、その探究の方法を学ぶ教科である。したがって、学ぶべき内容は自然界の中にあり、教科書を学ぶわけではない。体育では走り、音楽では歌うように、理科では自然界を探究しなければ理科ではない。理科の最終的なねらいは、個々の項目を学ぶ過程で、科学的なものの見方考え方を育てることである。生徒が自ら目的意識をもって探究的な実験をすること自体が、自然科学の学習として必須である。

2-1 授業の二層構造

授業は、何のためにしているのだろうか。個々の学習項目を伝えることが授業目的なのだろうか。それも大切であるが、基礎的な知識・技能・技術の学習を通して、科学的なものの見方考え方といった哲学・精神・価値観を育て、価値観の変容をもたらし、期待される判断力・評価力・行動力を育てることこそが重要なのである。個々の学習内容は、もっと大きな目標を達成するための手段の1つととってもよい。

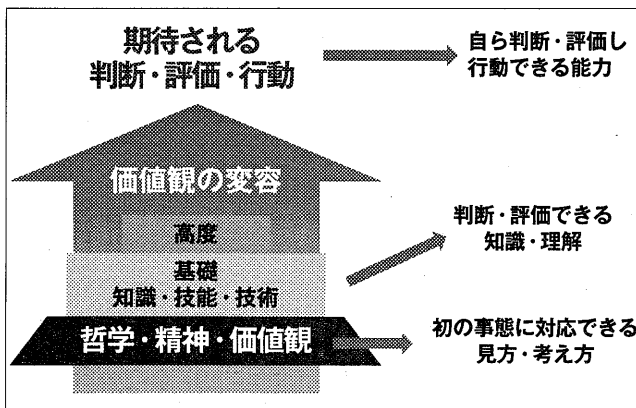


図1 高校で教えるべきこと

2-2 教育実習から見えること

理科の教員として、もっとも伝えたいことは次のようなことではないだろうか。

- ・自然界の仕組みを理解する
 - ・自然界の仕組みを理解する手法を身につける
 - ・科学的なものの見方・考え方に基づく行動ができる
- これまで、毎年多数の教育実習生を指導してきた。彼らに対する調査から、およそ四つの問題点が見えてくる。
- ①高校で行われるべき観察・実験を経験していない。これは、高校でも大学でもやっていない。このような学生が教員になるのだから、負の連鎖が続くのである。
 - ②高校で指導すべき内容についての知識、理解が不足している。知識が断片的で、具体的なイメージも育っていない。高校物理の学習内容を支える背景が分かかっておらず、具体的で数量的な理解に欠けている。
 - ③学習指導案から見られる授業が、科学的なものの見方、考え方を育てようとする授業となっていない。教科書の項目を教えることが授業だと思っている。この原因は、高校・大学で受けてきた授業が、科学的なものの見方・考え方を育てようとするものではなかったからだろう。科学教育を行う訓練が、教員養成大学ですらなされていない。
 - ④科学教育に対する哲学がないので、本質的な授業のねらいが書けない。

このような先生(実習生)が反転授業をすれば、ますます教科書を教える授業になってしまうに違いない。

反転授業を、生徒の予習から学習が始まり、授業で解決していくものとする、私がこれまでやってきた授業も反転授業と言える。私が実践してきた理科教育における反転授業は、観察・実験の分析を通して分からないことや問題点を見出すことを予習とし、これを授業で整理・議論し、その考察を深めていくものである。自然界から解決すべき問題点を見出したり、これを解決したりするためには、必要なツールを手に入れる学習も必要である。この部分は、従来の授業に近いかもしれない。このツールを使って解決するための探究的な活動をし、このデータから問題解決について考察することが次の予習となり、その背景を持って授業に臨む。授業では、実験で得たデータを共有しながら、これを合理的に理解するためにはどう考えたらよいかを議論する。

2-3 実験と教科書

実験をしても、その目的が教科書の内容を確かめる検証実験にばかりになってはいないだろうか。検証実験を全て否定するつもりはないが、教科書の内容が正しいかどうかを、高校生に検証させるのはナンセンスである。

300年もかけて確立されてきた物理学の知見を、教科書を30分読み、50分の実験で検証できるはずがない。むしろそれで検証というのであれば、科学的には害悪な授業である。そもそも、そのような検証実験には科学の方法を学ばせる姿勢が欠けている。

ところで、教科書はどのように使われているのだろうか。私は、観察・実験を基盤として、「分からないことを解決するために読む」ことを提案したい。自然現象から解決すべき問題を意識化させ（このモチベーションを持たせることが難しいが）、観察・実験をさせる。これを分析させ、レポートを書かせる。この過程で、分からないことが出てくる。これを解決するために、教科書を読む。明日の授業のために教科書を読むのではない。自ら見出した問題を解決するために読む教科書は、身に付く。もちろん、観察・実験結果を生徒と一緒に分析する授業は必須である。

2-4 何のためにレポートを書くか

現在の学習指導要領改訂の経緯に、「表現力等をはぐくむために、観察・実験、レポートの作成、論述など知識・技能の活用を図る学習活動を発達の段階に応じて充実させる」とある。レポートを書くことが、表現力をはぐくむことにつながることは確かであろう。しかし、レポートを書かせる一番の理由は、そこではない。

実験レポートを書くというのは、実験から自ら得たデータに基づいて分析し、法則性を見出すなどの科学の方法を学習する貴重な機会なのである。同時に、そのような学習を通してこそ、物理学の本当の理解に近づくことができるのである。

レポートを書くのは、表現力の育成といった小さなねらいを超えた、自然科学の本質を学ぶための大切な作業なのである。

2-5 レポートの書き方をどう指導するか

二年生の必修物理（二単位）では、一学期あたり数通のレポートを課していた。実験レポートを書くためには、得たデータを分析し、これをなぜどう判断したのか、その論理構造を明確にしなければならない。実験レポートを書くこと自体が、きわめて重要な「科学の方法」の学習となる。レポート指導の流れを、一学期の力学の学習過程の場合で、次に示す。

- ①実験データをグラフ化する学習：このとき、グラフの書き方を丁寧に教え、誤りを直す。
 - ②グラフデータから分析する練習：自ら描いたグラフのデータを利用して、これを分析させ、その過程や結果、考察をグラフ内の空欄に書かせる。
 - ③分析データから考察する練習：力と加速度の関係が重要であることに気づかせる実験（図2、図3参照）をし、これを分析するための考察ポイントを示す。これにこたえる形でレポートを書く練習とする。
 - ④目的意識を持って1通の完成レポートを書く：力、質量と加速度の関係を調べる実験をやり、初めての完成レポートを書かせる。
 - ⑤既習事項を活用して自由度の高いレポートを完成させる：運動の法則を利用して、様々な現象を分析的に理解する実験を行い、分析・解釈をレポートにまとめる。
- ④の段階のレポートから、タイトル、アブストラクト、実験条件、ねらい、方法、結果、考察、引用・参考資料の各項目でまとめる。これで、IMRAD (Introduction Method Results And Discussions) の形式を完成させる。

レポート指導最大の特徴は、私が書いたレポートを、毎回生徒に配っていたことである。これを利用してレポートの書き方と、その実験で伝えたかったことを議論や講義、追加的な演示実験等を通して学ばせる。

生徒に配布した、レポートの書き方のプリント内容を以下に示す。

〔2年物理レポートの書き方〕

形式

- 1 A4用紙、片面書き、表紙をつけて綴じる。手書き、ワープロのどちらでもよいが、最終的には表計算を駆使して（最初のうちはグラフを手書きとするように指示する）、ワープロで書きあげたらよいだろう。
- 2 実験実施から、原則として1週間以内に提出する。ただし、授業時間外にさらに追加的な実験ややり直しをすることもあろうから、提出期限ばかりを気にし過ぎて、実験をいいかげんにしてレポートとする

のは良くない。

- 3 問題意識を明確に（何を解決するために実験をやったのか）、実験等のアイディアの独自性、明瞭簡潔で自らが得た具体的なデータに基づく説得力と主張のあるレポートがよい。

表紙

表題；実験テーマ（各自の実験目的を明確に表すものにする）

実施年月日（天候等の基礎的な実験条件も）

班（下一桁；0は10班）

報告者；組番氏名…これが目立つようにしてください。

共同実験者；組番氏名

Abstract；レポート本文を完成させてから、Abstractを仕上げる。実験の目的とそこから分かったことを簡潔明瞭にまとめる。これを見て、その先が読みたくなるように書く。

本文

目的；どんな問題を解決しようとしてこの実験をしたのか。

方法；目的を達成するために、どのような装置を使い、どんな環境で、どんなやり方で実験をしたのか。第3者にとって再現性のある実験であることを示すべき。図解などを必要に応じて利用する。

この際、その実験を支えるバックグラウンドとなる既知の理論、知識等を必要に応じて示しておく。

結果；実験によって得られた生のデータやそれに類するもの

結果の分析と考察；必要に応じてデータを加工し、分析・理解を助ける工夫をする。計算、グラフ、図、表など。

この結果から問題はどう解決されたのか、何が分かり、何が分からないのか、どんな根拠でそう言えるのか等を論じる。これらの考察に、他の文献などの引用がある場合には、その出所をレポート末尾に参考文献として示す。

参考；実験事実に基づく内容とは別に、文献から調べた関連知識などを添付しても良い。これは、実験報告書としては、必要のないことであるが、この機会に自ら調べ知識を広げるとよいであろう。

参考文献；参考、引用した文献のタイトル、発行元、発行日、著者など

表紙

表題；実験テーマ（各自の実験目的を明確に表すものにする）

実施年月日（天候等の基礎的な実験条件も）
班（下一桁；0は10班）
報告者；組番氏名
共同実験者；組番氏名

Abstract；実験の目的とそこから分かったことを簡潔明瞭にまとめる。これを見て、その先が読みたくなるように書く。

目的；どんな問題を解決しようとしてこの実験をしたのか。

方法；目的を達成するために、どのような装置を使い、どんな環境で、どんなやり方で実験をしたのか。第3者にとって再現性のある実験であることを示すべき。図解などを必要に応じて利用する。

この際、その実験を支えるバックグラウンドとなる既知の理論、知識等を必要に応じて示しておく。

結果；実験によって得られた生のデータ

結果の分析と考察；必要に応じてデータを加工し、分析・理解を助ける工夫をする。計算、グラフ、図、表など。
この結果から問題はどう解決されたのか、何が分かり、何が分からないのか、どんな根拠でそう言えるのか等を論じる。
これらの考察に、他の文献などの引用がある場合には、その出所をレポート末尾に参考文献として示す。

参考；実験事実に基づく内容とは別に、文献から調べた関連知識などを添付しても良い。これは、実験報告書としては、必要のないことであるが、この機会に自ら調べ知識を広げるとよいであろう。

参考文献；参考、引用した文献のタイトル、発行元、発行日、著者など

IMRAD (Introduction Method Results And Discussions) で書くと、定型的に書きやすい。

Title

Abstract：英語で書いてみよう。

Experiment Condition

Introduction

Method

Results

Discussions

References

3 測定実験を探究的実験にする例²⁾

3-1 運動を決定づける物理量は何だろう

何はともあれ、力学分野は運動の法則に向かって進み、これをベースにして力学全体を理解していく。運動の法則に至るためには、速度・加速度について理解し、実験で自由にグラフが扱えるようにしておく必要がある。つまり、物理 I（現行学習指導要領では物理基礎）の分野では、運動の法則に向かって展開し、その後、これを活用する応用的な場面を用意する。

運動の法則に入る前に大切なことは、力と加速度との関係を調べる必然性に気づかせることである。このためには、図2のように、伸ばしたゴムに力学台車をつけ、手を動かさずで力学台車を放せばよい。

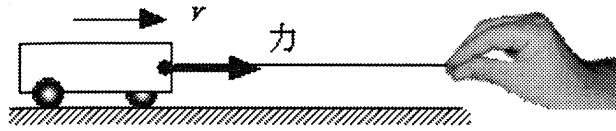


図2 力と加速度の関係に気づく実験

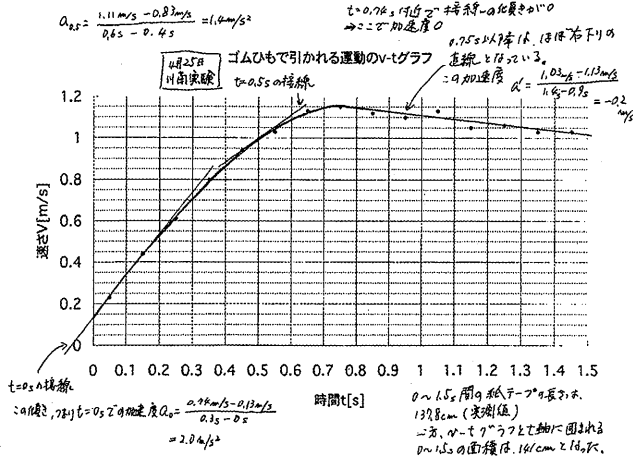


図3 ゴムが縮むと加速度が小さくなる

図3のような結果から、力が小さくなる（ゴムの伸びが小さくなっていることから分かる）ほど、加速度（ $v-t$ グラフの接線の傾き）が小さいことが分かる。

3-2 力と加速度にはどんな法則性があるか

これで、力と加速度の関係を探る必然性が出てきた。そこで、一定の力（のつもり）で力学台車を引き、加速度を求める。力を一定にするのは難しいが、一定になった力を記録しておき、グラフが直線になったときの傾きとの関係を調べればよい。

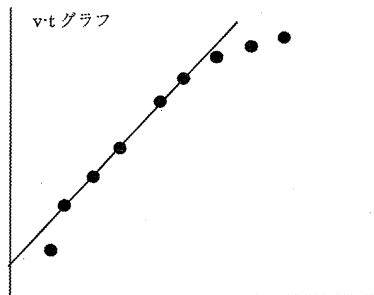


図4 加速度を求めるコツ

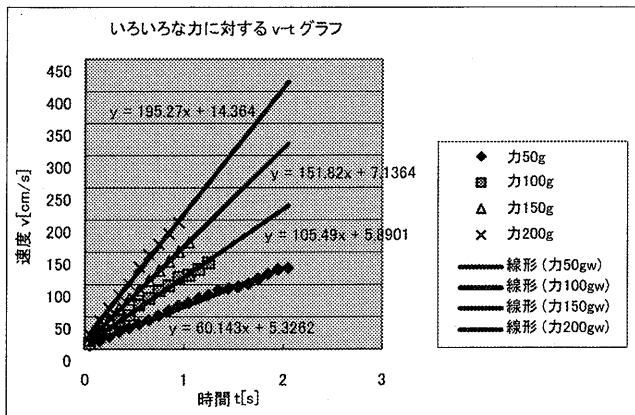


図5 力と $v-t$ グラフ

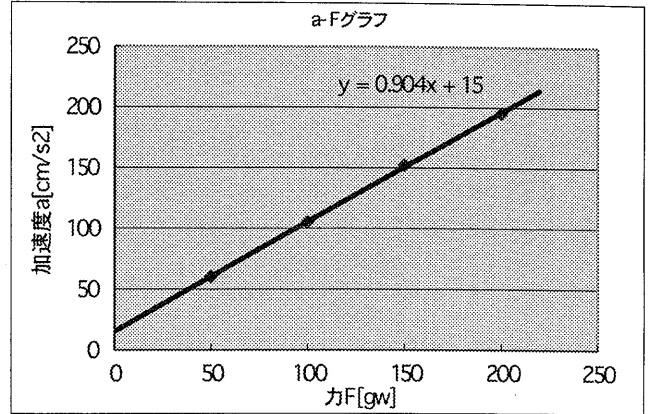


図6 力と加速度の関係

$v-t$ グラフから加速度を求め、これから加速度と力の関係を見出すには、表計算ソフトの近似曲線が便利である。本校では、1年生の情報の授業で、この分析ができるように指導されている。図6のように原点を通らないこともある。これも法則の一部ととらえるのか、力と加速度が比例関係にあることだけが本質で、 y 切片については別の問題としてとらえるべきなのか、議論の余地がある。運動の第一法則では、力が加わらないと加速度が生じない空間で考えると宣言している（運動の第一法則は、これから適用しようとしている現象が生じる空間を規定する法則である）。これを前提とすると、この空間が変だということになる。これについて更に実験してみると、物理実験室の実験機が、場所によって傾いていることが影響していることもわかってくる。もちろん、摩擦も関係するだろうが、その場合の y 切片は負になるであろう。

3-3 質量が運動にどう関わるか

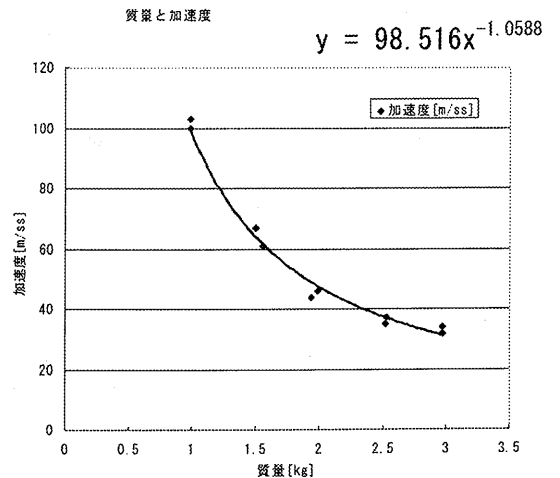


図7 質量と加速度の関係

この実験の過程で、力学台車を引く力以外に、その質量が加速度に関わることに気づく。そこで、質量と加速度の関係を実験に入る。ここでは、力学台車の質量を10班で5種類にし、引く力はすべての班で同じにする。結果は授業中に集約し、その法則性をその場で探る。図7は授業で使った生徒実験の結果例である。

これまでの実験は、運動の法則を検証するためのものではない。およそどんな法則性がありそうなのか調べる。これを先人たちがどう解釈してきたかを知る。運動の法則が生き残ってきたのは、その成果が、検証の役割をしているからである。そして大切なことは、これを使って様々な現象を解釈することである。

高校で運動の法則を学ぶとき、教科書に書いてあることとして運動の法則を“おぼえ”させてしまう。あるいは、実験で運動の法則を扱っても、法則が出てきたところでおしまい。もはやこれを使った実験をしない。そんなことは無いだろうか

3-4 物体の停止位置を計算で予測する

(カーリング実験)

運動方程式を手に入れたら、図8のようにして木片の停止位置を予測する実験をする。これを解決するには、おもりにはたらく重力、動摩擦力、張力、作用反作用について知る必要があることに気づく。

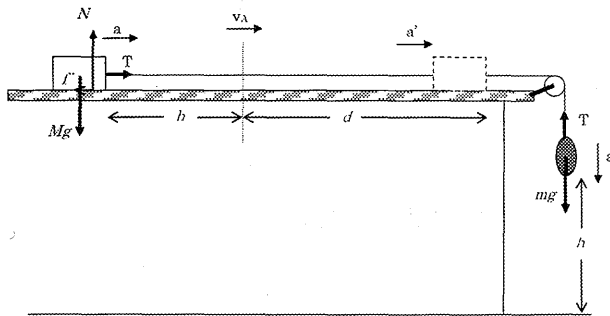


図8 カーリング実験

3-4-1 落下中の物体に働く重力を測るには

まず、おもりにはたらく力が必要となる。ところで、落下中の物体にはたらく重力を求めるにはどうしたらよいただろうか。たいていの物理の授業では、地上付近にある物体にはたらく重力が質量に比例して一定であると教えている。しかし、静止中の観測値が、落下中にも使える保証があるかどうかは、生徒にはわからない。物理学は、実験で得られた事実に基づき得られた確実な論理を連鎖させて、現象を理解していこうとしている。根拠のない飛躍はしないか、そこに飛躍があることを理解した

うえで考えるべきである。このためには、落下中の物体に働く重力に見られる法則性を知る必要がある。どうやったら落下中の物体にはたらく重力が測定できるか、まずはこれを議論し、生徒に提案させる。

落下実験が、 9.8m/s^2 という加速度をいかに正確に測るかという妙な実験になっていないだろうか。問題なのは、その値ではない。落下実験を探究的にするには、「落下中の物体にはたらく重力を知る方法を探れ」とすればよい。このための最もシンプルな方法は、落体の $v-t$ グラフを描き、そこから得られる加速度から運動の法則を使って分析すればよい。 $v-t$ グラフが直線となることから、落体に働く重力は、その運動によらず一定であることが分かる。

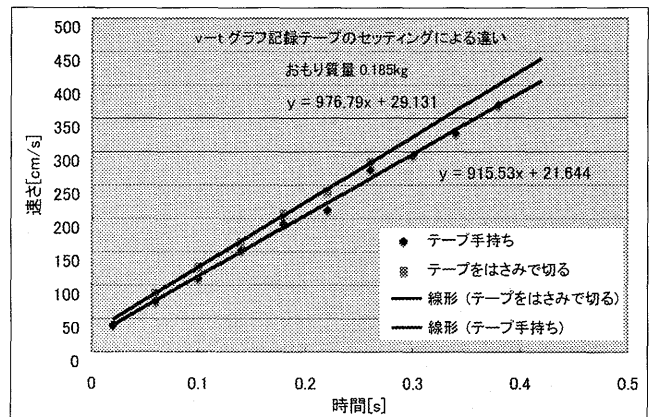


図9 落下運動の $v-t$ グラフ

図9の場合、実験の仕方によっては、地上の重力加速度 9.8m/s^2 とは異なった値が出ているが、どの場合もグラフは直線になっている。もしも、抵抗力が一定であれば、重力も一定と言える。おもりの質量をいろいろ変えた様々な実験班のデータをみんなで見比べてみると、その特徴が直線の $v-t$ グラフ、つまり一定の加速度であることが一番本質的なことと推定できる。後は、もしも質量や落下速度によって重力が異なってくるとすると、実際の現象と比べてどんな不都合が生じるのかを議論、考察していけばよい。

3-4-2 動摩擦力

物体を滑らせるとやがて止まることから、そのような加速度を生じるための力が存在しなければならないことが分かる。生徒も物理教員も、摩擦があるから止まると言ってしまう。なぜ摩擦があると分かるのかと問うと、やがて静止するからだという。これでは、論理に破綻をきたしている。運動の法則を認めると、止まってしまうからには、止めてしまう力が存在しなければならない、

と考えるべきである。この力の原因はよくわからないが、とりあえずこの力を摩擦力と呼んでおこう。それくらいの話なのである。物体の原子同士が接近すれば、何らかの力がはたらいても不思議はない。

摩擦力の原因は理解できなくても、滑る物体に働く力が持つ特徴（動摩擦力の法則性）を、現象を調べることで見つけ出せる。滑っている物体に働く動摩擦力を求めるには、どうしたらよいか、生徒に議論させる。最もシンプルな方法は、水平面上を滑らせて、その $v-t$ グラフを分析することである。

平面上を滑る物体の運動を妨げる力を知るにはどうしたらよいか。その物体の $v-t$ グラフを調べれば、速さによらず一定の加速度であることが分かり、動摩擦力が速さによらず一定であることが分かる。さらに、物体におもりをのせて同様な実験をすれば、動摩擦力が垂直抗力に比例することもわかる。

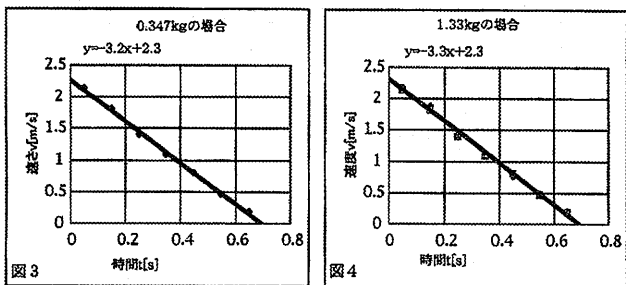


図10 滑っている物体の $v-t$ グラフ

ところで、動摩擦力の実験として、スーパーのトレイなどにおもりを載せて、これを一定の速さで引き、動摩擦係数を求める実験というのが定番としてある。しかし、

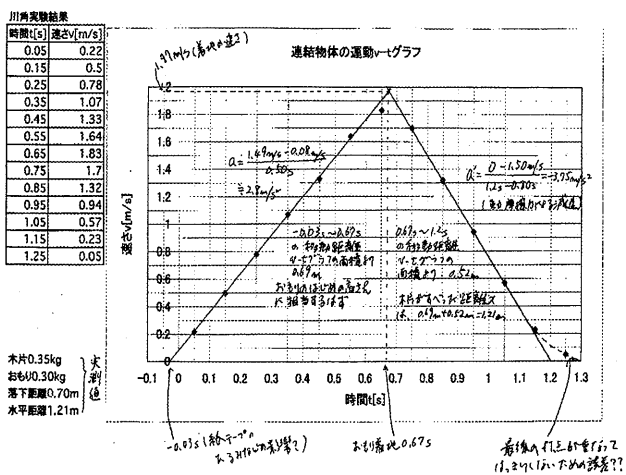


図11 カーリング実験結果

たいていの場合、この結果が怪しい。そもそも一定の速さで引いているという確認をしていないことが多い。動摩擦係数を求めるとすること自体が、すでに動摩擦力が

速さによらず一定であることを前提としているのではないだろうか。あるいは、天下一的に $f = \mu' N$ と教えているだけなのかもしれない。電子や陽子のように、ある程度天下一的な知見として教えざるを得ないものもあるだろうが、動摩擦力はこれにあたらない。動摩擦力は、探究的な活動にしやすい学習テーマである。

3-4-3 カーリング実験結果

カーリング実験で停止位置を予測するのに必要な知識はこれでそろった。以上のようにして得た法則性やデータを利用して、木片の停止位置を推定する。また、実際の実験で得られたデータから $v-t$ グラフを描き、この実験結果からも分析する。この分析過程では、これまでに学んだ様々な知識がフル活用される。

3-5 衝突物体に見られる法則性を探る

床からの跳ね返り高さの比から跳ね返り係数を求める実験に、どんな意味があるのだろうか。むしろそこに見出される単純な法則性から考えさせてはどうだろうか。

実験を探究的に行うということ

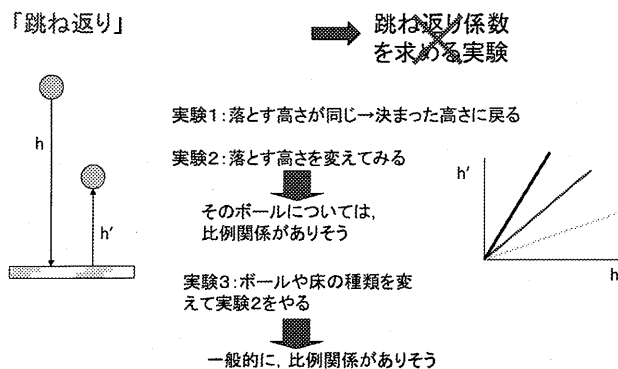


図12 跳ね返りから探究する

相対速度の比が速度によらず一定になることを力学的論理だけで生徒に納得させることは、極めて困難である。「重心系から見た運動エネルギーが、なぜか一定の割合で失われる」、これも理解困難である。これを解決するためには、実験事実として見出させるのがよい。跳ね返り係数を求めるための実験ではなく、跳ね返りの法則性を見つけ出す実験とするのである。

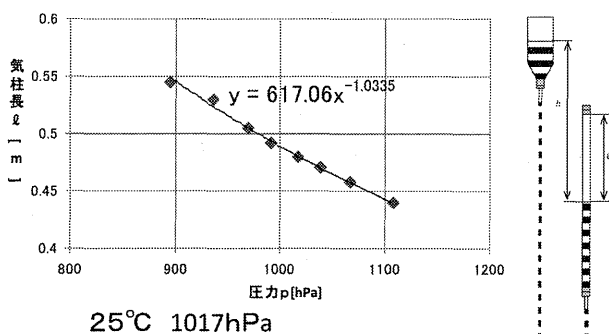
物理学とは、自然界にある法則性を見つけ出し、これを使って、更なる現象を理解していこうとするものである。根拠もなく、跳ね返り係数の式を教えるのは、教育的ではない。

3-6 気体を押すと体積はどうか

ボイルの法則をはじめとする気体の性質の実験事実があるから、分子運動論への展開と解釈ができる。まずは気体の性質の実験事実がなければ、この分野の科学的な学習は始まらない。

気体に圧力を加えると、その体積が小さくなることは経験的に知っているだろう。ここでは、その法則性を単純に探るだけである。しかし、この実験を分析的に進めるためには、様々な知識を必要とする。不足した知識が何であるのかを知ることこそ、学習の第一歩である。

分からないことが見つかったら、それを勉強すればよい。それでも分からないことは、生徒同士で議論したり、先生に質問すればよい。この時、教科書が役に立つ。



25°C 1017hPa

図13 ボイルの実験と結果

3-7 気柱はどんな振動をしているか³⁾

気柱に定常波ができていないことを前提として、音叉の振動数を求めるなどといった実験はやめた方がよい。目に見えない気柱に、確かに定常波があるに違いないと確信させる実験とその論理構造の理解こそが必要なのである。このためには、目に見える定常波の存在や特徴の理解から始めて、定常波に関わる周辺知識が相当に必要となる。これらも、固有振動数の存在、共振、弦の実験などを経験し理解していく過程で学ぶ。そのような学習過程を踏んで、初めて気柱内に目には見えないが定常波ができていないのではないかという仮説が生まれる。仮説を立てるには、それなりの知識や考え方が必要である。

実験事実と論理で、見えないものを見る醍醐味は、物理の面白さのひとつである。

ところで、気柱の端で反射していることを自明とするのもやめたい。気柱に定常波ができていないことが確信できれば、一方から音を入れて共鳴している、つまり定常波ができていない事実から、反射波が必要であるという新たな仮説が当然のように生まれる。この仮説をさらに検証させていくのである。

この検証に、デジタルオシロスコープは便利である。

たとえば図14のようにすると、開口端で音波が固定端反射（圧力の振動として）していることがよくわかる。もちろん、このような実験も、生徒とともに議論しながら探っていく。

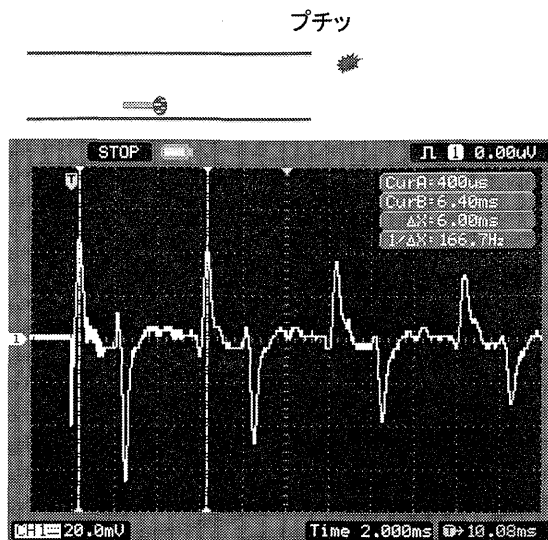


図14 気柱内でとらえた反射波

4 すべてを探究的にできるのか

2年生では、主として探究的な実験を重ね、その分析をしながら学習を進めてきた。ここで必須なのは、教師も生徒と同じ実験をし、そのレポートを書くことである。この過程で、観察・実験を通した科学の方法を学ばせる。これが“物理教育における反転授業”である。

2年生のうちに、このような科学的手法を身につければ、必ずしも実験ができなくても、先人たちの成果を信じ、データ、論理、数理を通して、演繹的な方法で理解を深めることはできる。これも優れた科学の方法である。3年生の授業では、この部分が多くなっていく。

5 探究的にするには

従来の単なる測定実験を、少し意識を変えるだけで探究的な実験にできる例は、他にも多数ある。

探究的な学習にできるかどうかは、○○の法則や□□の公式を教えることをやめ、「物理的なものを見方考え方を教えたい」と思うことである。

【参考文献】

- 1) 物理1A (東京書籍 1994年度学習指導要領教科書)
- 2) 「測定実験を探究的な実験にする」平成24年度研究発表集録(東京都理科教育研究会)第52巻P21-22(川角)
- 3) 「気柱の開口端は固定端反射?!」平成24年全国理科教育研究北海道大会研究集録(川角)