

## 実験指導とレポート作成指導について

日本工業大学駒場高等学校 石田和弘

### 1. 実験およびレポート指導における目標設定

高等学校学習指導要領には、理科全体の目標として次のように記載されている。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身につけるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。<sup>1)</sup>

これらを読み取れば、授業における実験の実施が重要であることは言うまでもない。私は実験およびレポートの指導を通し、生徒たちの科学的思考力の養成はもちろんのこと、論理的な表現力の向上も指導上の目標に設定している。

### 2. 指導上の難しさ

理科実験には、実験終了後のレポート作成が付き物である。しかしながら、レポートの書き方をしっかり学ぶ機会のないままに高校を卒業してしまう生徒も少なくない。それどころか、最小目盛りの10分の1までは目分量で読むといった、測定上の基本ルールを習得していないこともあるのが現状だ。それだけ実験やレポートの指導には多くの難しさや課題点があるとも言える。ここ数年の指導において、私が直面する課題点等を挙げながら、実践例を少しばかり紹介していく。

#### ① 授業時間を実験やレポート指導に割けない現実

理科は授業内で扱わなくてはならない領域・内容が多いのが1つの特徴である。授業の時間数は限られており、その限られた時間数の中で教科書の内容を終わらせ、さらには実験等の指導をしなくてはならない。そのため、時間がいくらあっても足りないと感じてしまうところだが、年間の様々な行事等で定期試験ごとの授業回数も毎年異なり、授業の進度や実験スケジュールの調整は難しさを極めている。

本校の高校物理においては、授業で学習した内容の確認として実験を行うスタイルが主流となっている。もちろん、新しい単元に入ったタイミングで実

験からスタートし、法則等を考えさせることもあるが、やはり9割以上は確認実験としての実施となっている。生徒の理解度に合わせて授業を行うことで、予定よりも進みが遅くなってしまう場合もあり、どうしても実験に割く時間が足りなくなることがある。また、問題演習の時間を数回分は確保したいという理由から、実験の年間回数がさらに削られてしまい、時間的な圧迫となる実験後のレポート指導は非常に難しくなってくる。

#### ② 指導ツールや事例等の教材不足

実験の実施にあたり、必要不可欠なのが器具や実験書といったツールである。本校の場合、実験器具が充実しているとは言い難い状況ではありつつも、私が赴任する前から授業でいくつも実験を行ってきた。しかし、各教員がバラバラに実験書を作り、個々に使っている状態であったため、赴任直後は何の実験ができるのかを把握することに苦労した。

実験書を共通化し、さらには評価基準や指導上の重点箇所を教員間で共有しなくては、教員間での指導力の差による問題や、業務量による問題が発生してしまう。

#### ③ 生徒の根本的なスキル不足

高校物理で実施する実験は、数値データを得られる内容が多い。そのため、得られたデータを処理し、分析することが求められる。しかしながら、データの取り方(目盛りの読み方)から怪しい生徒が多く、正しく読み取った値を記録させるだけでも一苦労である。そのうえで実験結果をグラフなどで処理し、考察までさせるのだが、何をどうしたらよいかわからないという生徒がほとんどであるため、一から教えていかななくてはならない。

また、実験は予め用意された実験書に従って行いが、生徒たちは実験書に書かれた手順を実行していれば、当たり前前に実験が上手くいくと思こんでいる。それだけでは単なる「作業」で終わってしまい、実験操作における不手際があっても、誰も気付くことができないうえ、考察の材料を自ら失ってしまうことになる。

### 3. 実験およびレポートの指導事例

#### ① 実験書の共通化

前項でも述べたように、本校では同じ実験内容でも、実験書を各先生がバラバラに作成して持っている状態であった。そのため、何人かの先生と協力して、生徒のレベルに合わせて考察内容等を編集しながら使用できる基本フォーマットを用意した。

実験書作成のスタート段階は、前述した通り、実験室にある機材の確認からである。教科書に載っている簡単な確認程度の実験から、データを取るような実験まで、まずは教科書に載っているものをベースに実施できるか否かを調べた。放課後等の時間を使い、一通りの確認を済ませ、実施可能なものをリスト化し、年間の授業カリキュラムに照らし合わせて実施可能な実験がどの単元に分布しているかを確認した。

また、学習指導要領の改訂に伴い、授業での実験を充実させる必要が今まで以上に出てきたことを機に、指導要領に記載のあるものを優先的に実施できるよう、実験書の作成を始めることとなった。そこに合わせて、私が実験指導の目的としている「データの取り扱い方(処理方法)」と「形式的なレポートの作成」を実践しやすい題材を選定した。結果的には、生徒がイメージしやすいという点も踏まえ、力学の内容が多くなったが、教科書の内容を学習する2年生から3年生夏までの1年半の期間中で14の実験ができるように準備ができた。

現在は、実施可能な実験数を増やすことに加え、探究学習として扱えそうなテーマを探しているところでもある。特に探究としては、本校が元々は工業高校であったことや、私自身が工学系出身であることを活かせるようなテーマを模索している。

#### ② 実験中の生徒指導

実験で最初に行う指導は、安全面に関するものである。物理の実験では、薬品の使用などがいないため、あまり危険を直接的に感じる場面は多くない。実験内容によっては、加熱の際にガスバーナーを使うなどもあるが、それも一部の実験だけである。その中で安全に配慮すべきと私が考えるのは、実験器具の破損が招く危険である。そのため、器具の取り扱いが正しく行えるよう、細かな操作上の注意事項も確認しながら行う。

また、実験中の危険回避という点から、生徒には椅子に座っての実験はNGとしている。何かあった際に回避行動を取りやすくするためという目的はもちろんのこと、座って実験を行うことで、手先だけで操作してしまい、実験操作が雑になってしまうのを防ぐ目的も含まれる。

そして実験は「① 実験書の共通化」で述べたように、共通化した実験書に従って行うのだが、器具の基本的な使い方を説明した後、私が必ず生徒たちに言うことがある。それは「必ず全てのことに対してメモを取りながら進めなさい」ということである。これは、当たり前のことではあるものの、意外と生徒たちができていない部分への意識付けだ。

生徒たちにとって実験は、数値(データ)を取り、そのデータを元に考察してレポートを書けばよいものとの認識が強い。これも誤りではないのだが、実験操作の1つ1つが理想通りに行われているとは限らない。何かしらのエラー原因になる要素を含んでいることも考えられる。細かなメモを取りながら進めることで、実験操作への注意力や集中力を欠くことなく実施できる。また、考察の際には実験中の様子を思い出しやすくなり、操作上のエラーにも後から気付きやすくなる。様々な記録を残そうとすることで、実験操作を行っている者だけでなく、操作を行っていない者も手持ち無沙汰にならずに済む。

私が実験指導において重視する点は、各実験の操作内容よりも、あらゆる実験を行う際に意識しなくてはならない基本作法である。特に、この実験中にメモを取るように促す声かけは、実験中に起こるあらゆることが重要な情報であるということを意識づけるために、大切にしている。生徒たちも毎度の実験で言われ続けていると、当たり前のようにメモを

共通化した実験書データ一覧

<ul style="list-style-type: none"> <li>001. フックの法則</li> <li>002. 等加速度運動</li> <li>003. 自由落下</li> <li>004. 運動の法則</li> <li>005. 力仕事</li> <li>006. 運動量保存則</li> <li>007. はね返り係数</li> <li>008. 単振り子</li> <li>009. 鉛直ばね振り子</li> <li>021. 熱量保存則</li> <li>031. 気柱共鳴</li> <li>032. レンズ</li> <li>033. 回折格子</li> <li>043. 等電位線</li> <li>045. 電流電圧特性</li> </ul>	<p>高等学校学習指導要領(平成30年告示)において「実験などを行い」との記載があった物理の内容一覧</p> <p>&lt;物理基礎&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・直線運動の加速度</li> <li>・運動の法則</li> <li>・力学的エネルギーの保存</li> <li>・音と振動</li> <li>・熱の利用</li> <li>・物質と電気抵抗</li> </ul> <p>&lt;物理&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・剛体のつり合い</li> <li>・運動量の保存</li> <li>・単振動</li> <li>・気体の状態変化</li> <li>・光の回折と干渉</li> <li>・電気回路</li> <li>・電磁誘導</li> </ul>
--	--

図1 実験書データの一覧と指導要領の項目比較

たくさん取るように変わってくる。くり返し指導して意識づけるために、年間の実験回数は少なくとも8回以上確保したいと考えている。

### ③ レポート作成における添削指導

生徒たちにレポートを書かせるにあたり、一番苦労するのはもちろん考察の指導である。しかしそれ以前に、生徒はレポートの基本的な書き方を全く知らないため、まずは実験レポートの体裁を整えられるようにすることから始まる。本校では、「レポート作成の手引き」として、基本的なフォーマットの提示や様々な注意事項をまとめた資料を生徒に渡している。

その中には、レポートとして記載すべき内容(項目)や、方眼紙の使い方をはじめとしたグラフの書き方などが載っている。私は生徒が初めてレポートを作成する実験では、実験後最初の授業で必ずレポート作成についての講義を入れ、この手引きと作成例を参照しながら注意事項に触れるようにしている。この時間を設けることにより、授業を真剣に受けている生徒たちは大まかなフォーマットを守りながらレポートを作成できている。

しかし、「考察」は別物である。考察では各自が考え、自らの言葉で全てを記さなくてはならないため、考察の指導は非常に時間がかかる。生徒たちは考察で何を書いたらよいか初めはわからないため、私は生徒たちに「まずは実験誤差について言及することから始めよう」と声をかけている。レポートの作成における注意事項の説明でも、誤差原因などを考えて述べる際は「論理性」と「妥当性」のある表現が求められると伝えている。

理論値に対し、実験値がプラス・マイナスどちら側で生じたのかにより、考えられる誤差原因は異なってくる。このようなことも含め、生徒には誤差原因についての記載上の注意事項等を説明し、1週間後を提出期限としてレポートを作成させている。

提出されたレポートは、一字一句全てを読み、誤字脱字のチェックから、記載内容の添削までを行っている。気になる箇所には全て、赤ペンでチェック・コメントを入れているため、一人分のレポートを添削するだけでも、かなりの時間を必要とする。添削が完了したレポートは、たくさんの赤チェックが入った状態で生徒に返却し、生徒たちは添削内容をしっかり確認しながら再提出レポートの作成に入っ

ていく。私のレポート指導では、この添削と再提出をくり返し、ある程度の形になった状態までもっていく。

考察指導の難しい点は、生徒が自らで考えて書く必要があるのに加え、「明らかな誤りはあっても、絶対的な正解はない」という点である。そのため、こちらから記述内容の指定をしてしまわないよう、あくまで生徒が考える補助としてヒントを出しながら誘導することが重要になってくる。結果として、考察の指導においては、個別対応が必要になることが多く、返却時以外に、放課後等でもそのための時間を設けるようにしている。

### ④ 具体的指導事例

#### 【比熱測定による金属試料の特定】

本校では、比熱を測定することで、未知の金属試料の特定をさせている。未知とは言え、高校生の生徒実験であるため、用意できる金属の種類は限られてくるが、鉄、銅、アルミ、真鍮の中からランダムで選ばせ、実験は次のように行っている。

#### 【実験概要】

銅製の熱量計(かき混ぜ棒を含む)に水を入れ、しばらく放置する。その間、ビーカーに水と金属試料を入れて加熱し、沸騰させる。温まった金属試料を熱量計の水に入れ、温度の変化が止まったところで記録を取り、熱量保存則から金属試料の比熱を算出させる。

#### 【実験中】

実験の基本的な手順は実験書に載せているが、細かい指示や注意点などは書いていない。後々の考察等で必要になるであろう情報に自分たちで気付き、メモさせるためである。

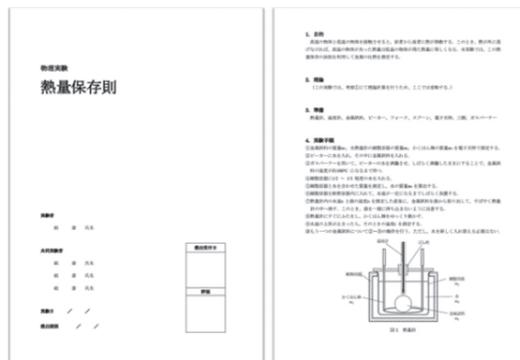


図2 実験書の抜粋

例えばこの実験では、金属試料を渡しているが、そのサイズは何も情報がない。金属試料を温める時間の指定もない。また後述する通り、温めた金属試料をビーカーのお湯から熱量計に移す際に、金属試料に付着したお湯を熱量計内に持ちこんだかどうかや、熱量計に移すのにどれくらいの時間を要したかなどのメモも後々重要な情報となる。

実験中はそれぞれの安全上の確認をしつつ、机間巡視の中で記録を見て回っている。

#### 【レポートの添削】

実験後のレポートで大変になるのは、やはり考察の添削である。この実験では、熱量保存則による比熱の測定を行うため、熱量計や水、金属試料の温度と質量については測定してある。しかし、実際にはこれらだけで熱のやり取りは終わらない。

この実験において、金属試料を熱量計に移す際、次の2点は避けることができない。1点目は熱量計内にお湯を持ちこんでしまうことである。特に、本校の実験で使う金属試料は円柱形をしており、円形の上面にお湯が乗ったまま熱量計に移すことになる。2点目に、金属試料を移す際、金属試料の熱が失われ、ビーカーの加熱を止める前に記録した温度とは異なる温度で熱量計に入れていることである。生徒の中には、これらの影響で実験誤差が生じてしまうことに気付く者もいる。しかし、考察での記載が箇条書き状態となり、それらの要因がどのように結果に影響するかなどの説明が書けていないため、「妥当性を示すこと」とコメントしている。

また、考察は実験結果を受けて書くものであるが、結果は数値だけではない。その数値を得るまでの過程を含めて1つの結果である。手順(プロセス)の中に小さな差があれば、得られるデータも異なってくるはずだ。そのため、生徒には実験中の様子を含めて、細かく記録に残すように言っている。添削内容としても、「この部分が～であったなら、…になってしまわないかな？」などのコメントを残し、実験中の様子を記録しておく必要性を感じられるようにしている。

考察の添削において、私が重視しているのがこのようなケースである。考察は考えたことを論述しなくてはならない。そのため、しっかりとした文章で読み手が納得できるような書き方が必要となり、そ

のための情報を拾い集めながら正しい表現ができるようにチェックを入れている。

## 4. まとめ

数年かけることになったが、実験を当たり前に行い、理系として最低限のレポートが書けるように指導していく基盤を構築できてきた。物理の授業は2年生から始まり、3年生の夏までの1年半の間で、14の生徒実験ができるようになっていく。様々な理由から、この全てを実施できる学年・クラスは少ないが、最低でも8つの実験を行い、レポートの作成を課している。

実験やレポートの指導を口うるさくくり返した生徒たちの変化も、しっかり手応えとして感じることができている。実験中の取り組み方を見ても、くり返し言われながらやってきた生徒たちは、作業1つ1つの様子まで、しっかりメモを取る習慣が身についている。それが無いとレポートの考察を書く際に、情報が不足してしまうことを経験として学んだからである。レポートに関しても、体裁を整えるのはもちろんのこと、考察の内容も少しずつ論理的なものになってきた。また、卒業生に会った際には「先生のレポートは厳しかったけど、そのおかげで大学のレポートはスムーズでした」と言ってもらえることも多い。

実験やレポートの指導はとても労力を要する。しかし、理系生徒を育てるにあたり、これらのスキル習得から目を背けるわけにはいかない。もちろん、生徒たちの成長を感じつつ、私自身も指導の効率化を考え成長していく必要がある。周りの先生たちの指導力向上も含め、まだまだやるべきことは多いが、これからも地道にできることを増やし、実験・レポート指導を大事にしていきたい。

---

#### 参考文献

- 1) 文部科学省『高等学校学習指導要領(平成30年告示)』