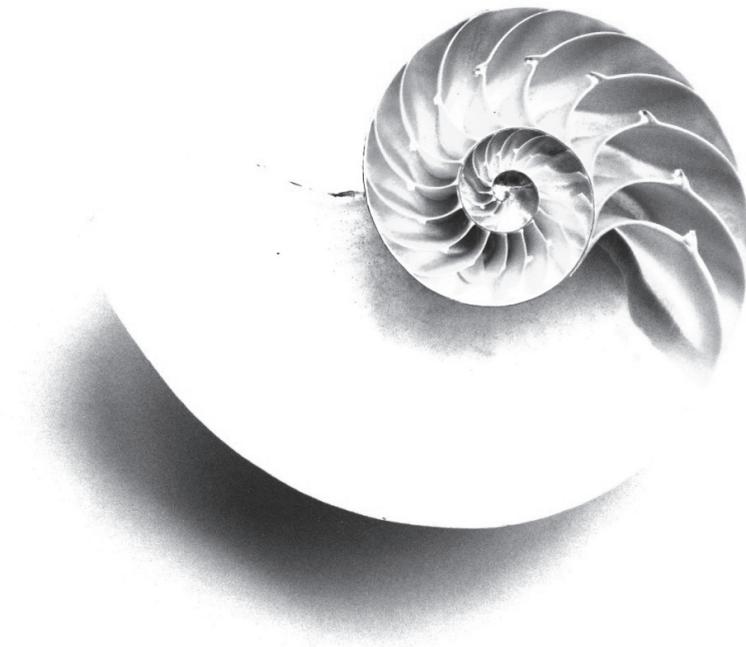


# 理科課題研究ガイドブック

第3版

～どうやって進めるか、どうやってまとめるか～

小泉治彦・著



千葉大学  
先進科学センター



## このガイドブックの使い方

このガイドブックを手にとっている皆さんは、学校の授業や部活動として「課題研究」あるいは「科学研究」をこれから始めようとしているのではないかと思います。今までに、何かをテーマにして自分で調べたり、レポートとしてまとめたことはありますか。これまでの経験がある人もない人も、やはり研究を進めるのは難しいものです。もちろん、自然を観察して、謎や疑問を解き明かしていくのは楽しい作業ですが、誰もが納得できるような方法で実験を組み立てる、あるいは他の人がわかるように説明するには、ちょっとしたコツが必要です。

このガイドブックには、そのような課題研究を進める上での疑問について一緒に考えながら、よりスムーズに研究が進められるようなアドバイスがいっぱい詰まっています。研究を進めていくうちに壁に突き当たったら、あるいは思うように進んでいる感じがなくなったら、参考になりそうな部分のページをめくってみてください。特に、文献の探し方や発表の仕方などは、知っているといないでは大違いです。指導の先生に聞くのはもちろんですが、自分でもこのガイドブックを読みながら、それぞれの段階での壁を乗り越えていってください。

このガイドブックは、第1部「課題研究を始める」から第7部「新しい世界へ」まで、課題研究の各段階におけるアドバイスをまとめています。できれば、その段階に入るときに、その部分の説明を通読し、さらに必要なときに読み返してください。また、参考になる本やインターネットのサイトも紹介していますので、あわせて利用してみてください。

このガイドブックは、筆者が千葉県立柏高等学校の理数科2年生を対象にした「サイエンスラボ」という課題研究授業を指導する中から生まれてきたものです。毎週の「ラボ」の時間に「サイエンスラボ通信」として発行したものをまとめたのがこの冊子です。この場を借りて、一緒に悩みながら研究を進めた生徒たち、先生方に心から感謝申し上げます。

2015年1月 小泉 治彦

## このガイドブックを読む皆さんへ

小泉先生のガイドブックが好評を得て、このたび版を重ねることになったことをたいへん喜んでおります。この第3版では研究テーマの設定やノートつけ方など研究を進める上で為になる情報が多く追加され、さらに良い本になっています。研究に試行錯誤や工夫・努力が求められるのは、高校でも大学でも企業でも同じです。このガイドブックの読者がいつの日か独創的な研究で世界をリードする研究者となって活躍してくれることを願っています。千葉大学では、飛び入学制度やスキップワイズプログラムなど、挑戦する意欲と才能をもつ若者を受け入れるプログラムを多数用意しています。また、高校生理学研究発表会や次世代才能スキップアッププログラムなど、意欲溢れる高校生を支援するプログラムも用意しています。詳細は大学のホームページからご参照下さい。

2015年1月 千葉大学 先進科学センター長 橋本 研也

# 理科課題研究ガイドブック 第3版

～どうやって進めるか、どうやってまとめるか～

## 目 次

このガイドブックの使い方

<b>第1部 課題研究を始める</b> ……………	1	6. 表とグラフの活用	39
1. 課題研究によって身につく力	2	7. データの吟味	43
2. 研究テーマの設定	2	8. 相関関係と因果関係	43
3. 検証可能なテーマとするには	6	9. 数式化の意義	46
4. 学校生活と課題研究	8	10. 現象のモデル化	47
《テーマ設定シート》	10	11. 帰納と演繹	49
<b>第2部 文献を調べる</b> ……………	11	<b>第5部 成果をまとめる</b> ……………	53
1. 文献による先行研究の調査	12	1. 論文の要素	54
2. 書籍とインターネット	13	2. 本論に書くべきこと	55
3. 書籍・論文を探す	14	3. 引用のルール	57
<b>第3部 研究計画を立てる</b> ……………	17	4. 理系の作文技術	59
1. 研究計画の立て方	18	<b>第6部 成果を発表する</b> ……………	61
2. 予備実験	19	1. 研究を発表する	62
3. 実験のデザイン	20	2. ポスター発表の方法	64
4. 仮説と検証	23	3. 口頭発表の方法	66
5. 野外調査と野外活動	24	4. 英語でのプレゼンテーション	69
<b>第4部 研究を進める</b> ……………	29	<b>第7部 新しい世界へ</b> ……………	71
1. 「定性的」と「定量的」	30	1. 科学コンクール・論文展に挑戦	72
2. 測定値と誤差	30	2. 大学入試に挑戦	73
3. 実験ノート	33	3. 課題研究で得られたもの	74
4. 標本調査の原理	35	おわりに：	
5. 全体を代表する値	37	課題研究の指導にあたられる先生方へ	

参考文献

# 第1部

## 課題研究を始める

課題研究を始めるとき、その研究テーマはどのように決めたらいいのでしょうか。また、そもそも何のために課題研究をやるのでしょうか。スムーズに課題研究が始められるように、最初の段階で知っておいた方がよいことをまとめてみました。

## 1. 課題研究によって身につく力

研究者は、科学研究(未知のことを解明する)や技術開発(新しい技術を開発する)を目的として研究を進めていきます。それに対し、学校での「課題研究」(特に科学・技術分野における課題研究)は、何を目的として行われるのでしょうか。またその過程において、具体的にどのような技術や能力が養われるのでしょうか。

### ●実験をデザインする力

未知のことを調べるために、どのような装置を使ってどのような実験をすればよいのか。実験の方法そのものを考えることから始まります。時間・予算・設備等を考慮して、実行可能な実験方法を考案していきます。

### ●実験や観察をする力

装置の使い方、解剖の仕方、化学実験のやり方、安全な実験法などを習得します。

### ●論理的に考える力

実験結果が何を意味しているのかを考えます。特に仮説どおりにならなかった場合、何が原因かを考える必要があります。ある要素が本当に結果の原因なのか検証するのは難しいことです。

### ●実験の結果が正当なものかを検証する力

実験をやって結果を得ても、他の人が「そんな実験では信用できない」と言ってきたらどうしますか。他の人を納得させられるような実験結果であることを証明しなくてはなりません。

### ●どのくらい確かなのかを表す力

具体的には測定や実験の「誤差」と「精度」を正しく表すことです。それには「有効数字」の考え方を理解して、そのルールにのっとった表記をする必要があります。

### ●わかったことを他の人に伝える力

科学研究は他の人に伝わって初めて意味を持ちます。ポスター発表、口頭発表でのプレゼンテーションの力をつける必要があります。また、英語で発表することも求められます。

その他にも、計画を立てて実行する力／本やインターネットで調べる力／先生や研究者に聞く力／根気よく続ける力など、課題研究を進めていく中で「科学する力」あるいは「問題を探究し、解決していく力」が身についていくことでしょう。

## 2. 研究テーマの設定

### (1) 疑問をみつける

課題研究を始めようとするとき、まず直面する問題が「研究テーマの設定」です。何かについて研究したいのだけれど、何を研究したらいいのかわからない。テーマ設定に失敗すると、時間をかけて実験をやったのに結局ただの「確認実験」にしかならなかったり、ある程度は仕方ないものの「結果がでなかった」ということにもなりかねません。テーマ設定に“こうすれば絶対大丈夫”という王道はないのですが、いくつかのアドバイスをしたいと思います。

当然ながら、自分が興味をもったもの、不思議に思った現象をもとにテーマが設定できればそれに越したことはありません。しかし、実際にはなかなか適当なテーマが見つからないものです。テーマ探しに迷ったら、以下のような観点から考え、“テーマにできそうな疑問”を探してみましょう。



#### a) 興味が持てる分野を探す

たとえば、「飛行機はなぜ空を飛べるのか」ということに興味があるなら力学や流体の分野。ニュースで聞いた「iPS 細胞」や「再生医療」がおもしろそうと思ったら生物学(発生, 遺伝)の分野。「生分解性プラスチック」や「クラゲの発光」が不思議だと感じたら化学や生化学の分野。「太陽の黒点や流星」にロマンを感じたら天文学の分野, など。自分が“面白そうだ”と感じられる分野を探し, さらにその分野の中からテーマになりそうな現象を探してみましょう。もしかすると, その分野が将来の自分の進路につながっていくかもしれません。

#### b) キーワードから探す

たとえば, 環境・宇宙・極限・遊び・伝統などのキーワードから, 連想してみてください。宇宙から無重力を連想し, 無重力状態での植物の育ち方につなげていく。また, 極限から極限状態で生きる生物を連想し, 高温で生息するバクテリアの謎につなげていく。伝統から法隆寺の五重の塔を連想し, 地震が来ても倒れない五重の塔の建築法につなげていく。自分が興味を持てるキーワードを探してみてください。

#### c) ユニークなもの, 独創的なもの

科学研究で求められるのは, 他の人がやったことのない研究です。満員電車から乗客が押し出されていくときの順番はどうなるのだろうかという疑問から出発した「ビー玉の流れ方」の研究。ろうと状の斜面に色の違うビー玉を並べ, 出口を開けて落ちてきたビー玉の順番を調べたユニークな研究がありました。また, 「子どもにとって快適なトイレ環境の研究」というのもありました。生活の中のちょっとした疑問から生まれたユニークな発想を大切にしましょう。

#### d) 社会性, 話題性

たとえば, 自動車の排ガスを樹木の栽培に利用する, 効率のよい燃料電池を開発する, 地震に強い高層建築など, その時の社会問題と関連したテーマを選んでもよいでしょう。

#### e) 発表会・先輩の研究テーマから

一つ上の先輩が取り組んだテーマを発展させる, 部活動で継続的に取り組んでいるテーマを新たな視点から深めるというのもいいでしょう。また, 課題研究発表会でのテーマの中からヒントを探すのもいいかもしれません。インターネットで過去の研究事例や発表会について検索してみましょう。

#### ● 科学技術振興機構(JST)主催のスーパーサイエンスハイスクール(SSH)生徒研究発表会要旨集

[https://ssh.jst.go.jp/ssh/public/sshevent\\_reference.html](https://ssh.jst.go.jp/ssh/public/sshevent_reference.html)

#### ● 日本学生科学賞 情報 Site 受賞研究検索 <http://www.jssa.net/search.php>

#### ● JSEC 高校生技術チャレンジ <http://www.asahi.com/shimbun/jsec/>

#### ● お茶の水女子大学 サイエンス&エデュケーションセンター 理科自由研究データベース

<http://sec-db.cf.ocha.ac.jp/index.php>

このほかにも、授業でやった印象的な実験を発展させる、科学雑誌やテレビの科学番組を見る、科学技術週間でのイベントや一般公開に参加する(筑波宇宙センター、防災技術センター、国立科学博物館、各地域の科学館)など、あらゆる場面で「研究テーマ」を探してみてください。

#### f)ブレイン・ストーミングでアイデアを集める

さて、それでも実際にはなかなかいいアイデアが出てこないものです。そういうときは、どんな小さな疑問でもいいので片っ端からテーマになりそうなことを書き出していきます。この手法を“ブレイン・ストーミング”といいます。できれば、50個から100個くらい挙げてみましょう。身近な疑問から、世紀の大発見になるような問題まで、とにかくたくさん並べてみます。その中から“これならできそうだ”というテーマが、ひとつ残ればいいのです。

### (2) 題材を定めて「視点」を探す

#### a) マインドマップ

気になる題材や現象が出てきたら、そこからさらに発想を広げていきます。ひとつの言葉や事項から関連性のある言葉を次々に連想して、イメージを広げていく手法を“マインドマップ”といいます。たとえば、「地球温暖化」という題材をもとにして、次々と枝のように関連する言葉を周囲に書いていきます。関連する言葉が思い浮かばないときは、Wikipediaの関連項目や関連カテゴリ、あるいは後述する関連本の目次などを使って、調べながら進めてみましょう。その中から、研究テーマとなりそうな現象や問題点を探していくのです。

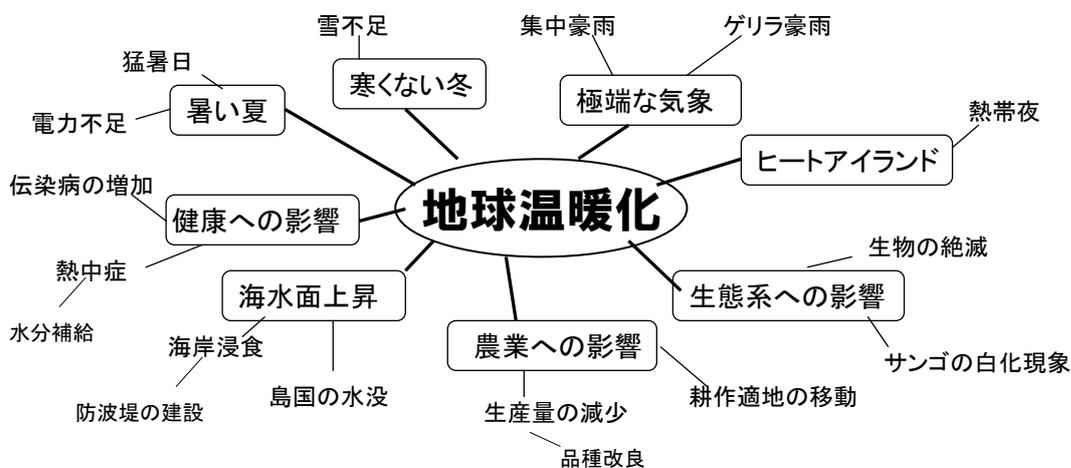


図 1-1 マインドマップの例

問 関心のある分野から題材を一つ選び、それについてのマインドマップを作ってみよう。

例 重力、原子力発電、再生医療、気候変動、人工光合成、暗号理論、ウイルス

#### b) 論題の見つけ方

ある題材について、そこからどのように問題点を見つけ、論題としていったらよいのでしょうか。例として、戸田山和久(2012)をもとにして、いくつもの観点から論題(問い)を探していく手法を紹介します。

表 1-1 「地球温暖化」を例とした論題(問い)の見つけ方

観点	質 問	導かれる論題(問い)の例
信憑性	本当に？	地球温暖化は本当に起きているか
定義	どういう意味？	地球温暖化とは何か
時間	いつからいつまで？	いつから地球温暖化が始まったか
空間	どこで？	温暖化は地球全体で起きているのか
主体	誰？	誰が温暖化を引き起こしたか
経緯	いかにして？	地球温暖化はどのように進行しているか
様態	どのように？	地球温暖化の現状はどうなっているか
方法	どうやって？	どうやって地球温暖化を確かめたのか
因果	なぜ？	地球温暖化の原因はなにか
比較	他ではどうか？	他の惑星では温暖化は起きていないのか
特殊化	これについては？	日本における温暖化は
一般化	これだけか？	地球温暖化以外の気候変動は起きているか
限定	すべてそうなのか？	どの地域でも温暖化が起きているのか
当為	どうすべきか？	地球温暖化にどう対処すべきか

戸田山和久(2012)をもとに製作

問 a)の問いの例にあげた題材について、論題の表をつくってみよう。

### c) 視点(切り口)を探す

さらに、題材をどのような視点から調べ研究していったらいいか、上記の論題の見つけ方などを参考にしながら具体的な研究テーマとして考えていきます。この場合も、ひとつの見方ではなく様々な視点・切り口から研究の糸口を探していくことが大事です。ここでもう一度、最初の「社会性」「ユニークさ」などの視点から考えてみるのもよいでしょう。また、何かを測定して、関係を“数値”で表せるようなテーマ設定の方が取り組みやすくなります。

例 「蜃気楼」を題材とした、さまざまな視点・切り口

- ・蜃気楼はどんな場所、季節に出現するか
- ・蜃気楼が起きるときの地面(海面)から上空への気温分布
- ・蜃気楼のモデル実験
- ・上位蜃気楼と下位蜃気楼の違い
- ・特定の場所(地元)での蜃気楼の観測
- ・“浮島”現象の解明
- ・“逃げ水”の仕組み
- ・砂漠の蜃気楼と海の上の蜃気楼はどう違うか
- ・蜃気楼の癒し効果
- ・蜃気楼に見られる大気のゆらぎ

### d) 先生との対話から

以上のような手掛かりをもとに研究テーマを探していくわけですが、担当の先生もいろいろな形でアドバイスをしてくださるでしょう。皆さんの興味から、どのようにして具体的なテーマを見つけるか。ひとつの事項や現象を題材として、いかにして実際の研究テーマとして設定するか。学校の活動の中で取り組むことのできるテーマにするにはどうしたらよいか、など。指導してくださる先生との対話を通じて、より具体的でやりがいのある研究テーマを設定していきましょう。

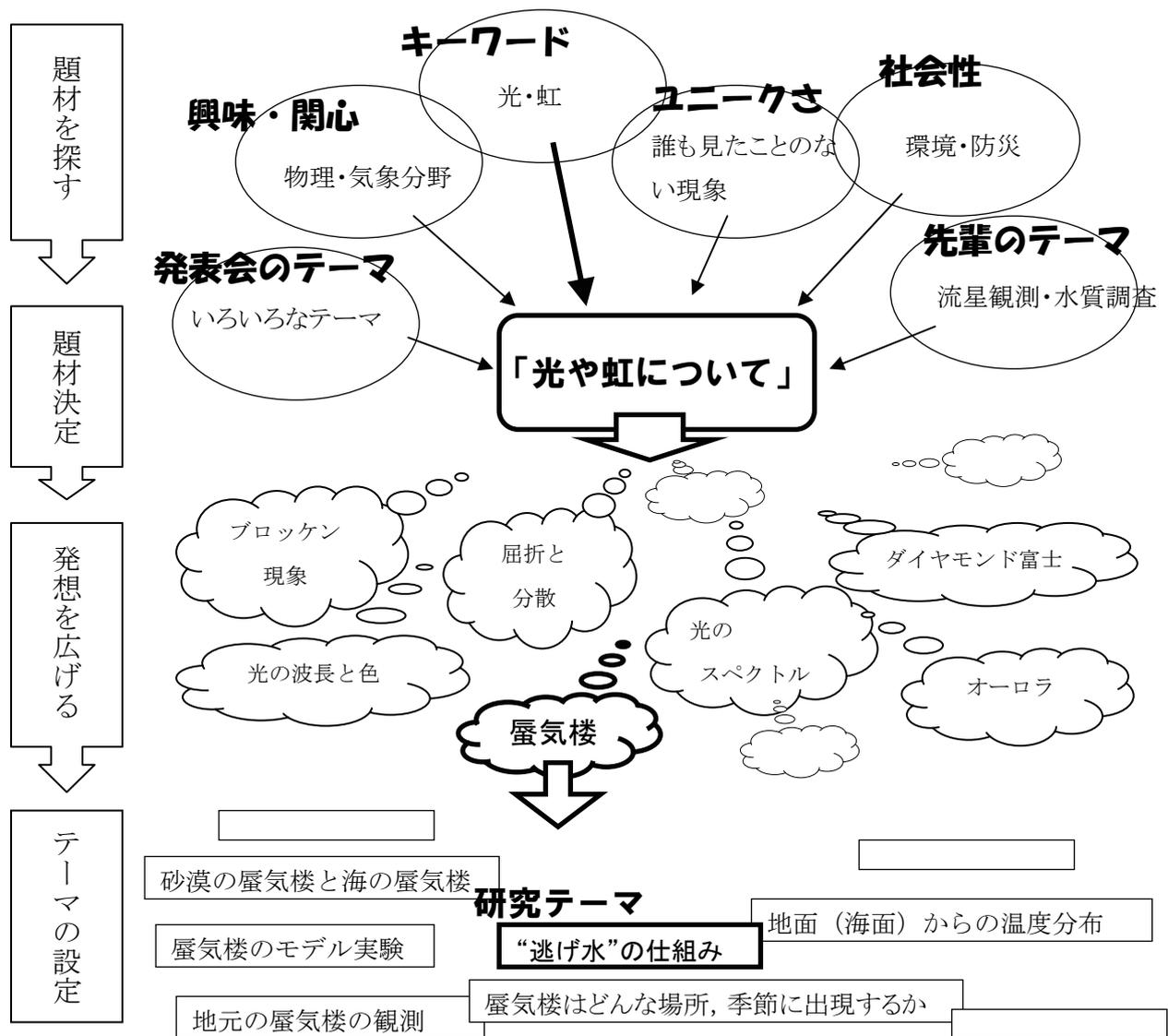


図 1-2 テーマ設定までの流れの例

### 3. 検証可能なテーマとするには

#### (1) 課題研究にふさわしいテーマ

##### a) そのテーマ、調べてわかることですか？

自分がやってみたい分野やテーマが漠然とでもわかってきたら、それを実際の研究テーマとして設定する必要があります。まず、自分の知りたいこと調べたいことが、実際に調べてわかるかどうか考えてみてください。たとえば、「生物はなぜ進化するのか」というのは、あまりに壮大なテーマです。また、「携帯電話は健康によくないか」というのも、そのままでは人体実験をするしかなさそうです。テーマ設定のコツを考えてみましょう。

##### b) 漠然としたテーマ「〇〇〇について」「〇〇〇の研究」

「～について」というのはよくあるテーマの形です。もちろん、研究の目的がしっかり示されていればいい

のですが、ともすると中学校までのいわゆる“調べ学習”で終わってしまう可能性があります。課題研究は、本や Web で調べることから始まり、自分自身の観察や実験を通して問題を解決していく学習です。それにふさわしいテーマで研究を始めましょう。

#### c)「〇〇〇をつくる」と「〇〇〇の開発」の違い

もちろん、「〇〇〇をつくる」というテーマも、何かをつくる過程で試行錯誤をし、新しい方法や技術の開発という要素があれば、立派な課題研究になります。しかし、それがないと“科学工夫作品展”になってしまいます。もし何かを開発する研究であれば、「～を用いた新しい〇〇の開発」のように、そのことが伝わるようなテーマ名をつけるようにしましょう。

#### d)「〇〇〇〇の調査・観察」

生物や地学の分野では、タンポポの分布調査や柏地域の地質調査などのように、調査や観察がそのまま研究となることがよくあります。しかし、その場合も調査結果や観察結果をもとに、“なぜそうなっているのか”“そうなる原理は何か”という方向に進めるとよいでしょう。つまり、調査や観察の中から自分なりの疑問を見つけるところから、研究が始まります。

### (2) 取り組みやすいテーマ設定へ

#### a) より具体的・限定的に

以上のように、“調べてみたいこと”を実際の研究テーマとするには、ちょっとした工夫が必要です。具体的には、できるだけ“検証可能な”具体的な実験課題として研究テーマを設定することです。たとえば、さきほどの“携帯電話は健康によくないか”という疑問は、携帯電話の発する電磁波に着目して植物への影響を調べることとし、“電磁波が植物の生育に与える影響”とすると、検証可能なテーマとなり、かつスムーズに実験が始められそうな気がしてきます。

また、“地球はどうやって誕生したのか”というテーマではちょっと取り組みそうにありませんが、地球をつくった微惑星の名残である隕石を用いて、“地球の岩石と隕石の比較”とすると、何とか取り組みそうな気がします。

取り組みやすいテーマとするには、たとえば「～はなぜ～なのか」「～はどうして～するか」「より～な～の開発」「～が～に与える影響」などのパターンに当てはめてみるのもひとつの方法でしょう。

#### b) 予算, 期間

自由な発想でテーマを選ぶのはいいのですが、実現可能な研究でないといけません。植物の生育について研究するとしても、1年で1回しか花をつけない品種を1年かけて調べても、1回のデータしかとれません。失敗したら終わりです。宇宙の起源を調べようとしても、ちょっと無理です。1年弱という研究期間、さらに学校では実験のための予算があまり使えないことを考慮して、実現可能な実験、研究テーマを設定してください。

### (3) 「新発見」は必要か

大学や研究所の研究者は、常に今までにない新しい発見や新しい技術のために研究を進めています。中学生や高校生の課題研究においても、そのような「新発見」があればそれに越したことはありません。取り上げるテーマも、まだ解明されていない現象についてのものであれば、それに挑戦する気持ちも高まることでしょう。

しかし、課題研究は必ずしも新しい発見を伴うものでなくても構いません。条件をきちんと設定し、繰り返

し実験して得られた結果は、それなりの価値を持つものです。また、すでに解明されたと考えられている現象でも、アプローチの仕方次第で新事実が浮かび上がってくることもあります。実験の対象や条件を変えて実験すると、全く異なる現象が現れるかもしれません。逆に、解明されていない現象は当然のことながら難解な現象であることが多く、課題研究が途中で行き詰ってしまう可能性も考えなくてはなりません。

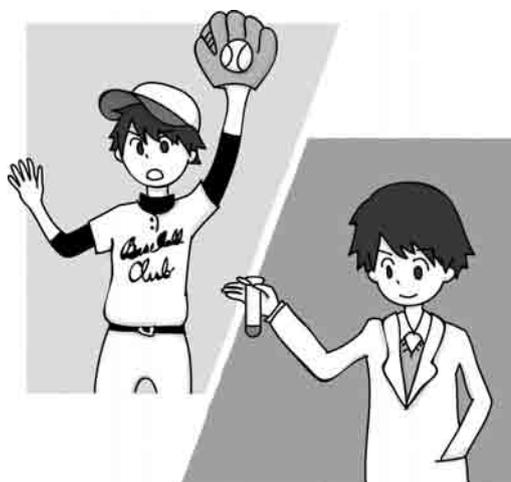
テーマ設定の段階では、必ずしも「未解明の現象」にとらわれることなく、不思議に思うこと、興味のある内容ということを中心に、自分たちで何とか解決できそうなテーマを設定することが重要です。

## 4. 学校生活と課題研究

### (1) 普通の学習活動と課題研究

#### a) 他の活動との両立

課題研究は、仮に授業時間として設定されていたとしても、なかなかその授業時間内には実験が終了しません。特に、研究をまとめる時期が近づいてくると、それなりの結果を出すために放課後に残ったり、休日に学校に出てくることも必要となる場合があります。また、部活動に所属していれば、当然ながら部活動の練習や遠征試合との兼ね合いも大問題です。どうしたら課題研究と他の活動を両立できるのでしょうか。課題研究を進める以上ある程度の覚悟は必要ですが、二者択一ではなく「二者両立」できるように研究計画を立て、無理のないスケジュールで研究を進めていきましょう。



#### b) 年間計画をチェック

課題研究は、その期間中すべてが忙しいわけではありません。テーマ設定、文献調査、実験準備、本実験、そしてまとめにいたるまで、比較的時間が自由になる時があれば、寝る時間を惜しんでも実験やレポートに追われる時もあります。それぞれの所属する部活動も、新人戦や県大会あるいはコンクールなどがある時期は、やはりそちらを優先させることになるでしょう。大事なものは、各自の年間計画を早めに把握し、忙しい時期をずらして効率的に取り組むことです。年度末のまとめの時期は動かさませんが、それ以前の発表会などは早めに準備を進めることで乗り切ることができるでしょう。

#### c) 一日の時間配分を見直そう

現代の高校生は、とても忙しい生活を送っています。授業に部活、それに塾・予備校、家での勉強…。そこに課題研究の実験や調べごとが加わるわけですから、当然そのままではやりきれません。まずは、一日の中の時間配分を見直しましょう。自由時間を確保しなければ息が詰まってしまうかもしれませんが、ゲームやネットでのおしゃべりに時間を奪われていませんか。また、塾・予備校に必要以上に頼っていませんか。夜早く寝て、その分朝の時間を作れませんか。あることをやり遂げるためには、それなりの自覚と計画性が求められます。自律的な生活にチャレンジしてみてください。

## (2) 個人研究とグループ研究

### a) 基本は「個人」研究

課題研究の基本は「個人研究」です。自分でテーマを決め、自分で立てた計画にもとづいて実験し、考え、レポートを書き、発表をする。この一連の活動がひとりでできるようになることが理想です。なぜなら、生徒個人の「探求する力」を伸ばすことが、課題研究本来の目的だからです。

### b) 連絡の徹底 ～携帯電話・メール(LINE)の落とし穴～

高校における課題研究は、実際にはグループ単位で行われる場合が多いと思われます。グループ研究では、特にメンバーの連絡を徹底させることが重要です。まずは、何日の何時から誰がどこで何をやる予定なのか、きっちりとした計画を立てること。メールで連絡をする場合も、受信したという返事をするように。「行けなくなった」という連絡はできるだけ直接会って伝えること。やむを得ない場合でも、メールやLINEではなく電話にしましょう。

### c) 人それぞれ「得意」「不得意」がある

限られた期間で実施する課題研究です。その中ですべての能力を伸ばすのは難しいでしょう。それであれば、その生徒が得意とする分野を優先的に伸ばすのが得策です。実験が得意、英語が達者、アイデアを出す、レポート作成、人前でのプレゼンテーションなど、各個人の得意分野を合わせれば研究はどんどん進みますし、他の生徒もそれに刺激を受けて伸びていくでしょう。

### d) 情報を共有せよ

分担して進めた研究であっても、最終的には全員がその内容を理解し、ひとりで発表できなければグループ研究として失格です。そのためには、大事な場面では必ず全員集まって、議論することです。学校で設定された課題研究の時間等をうまく利用し、全員で足並みをそろえて前に進んでください。

## (3) 基礎学力と課題研究

### a) 基礎学習との相乗効果

課題研究で時間をとられると、家庭学習がおろそかになる、あるいは塾や予備校に行く時間が制限されると考えて、特に進学校では敬遠される傾向にあるといえます。皆さんはどう考えますか。

課題研究をやっていると、たしかに相当な時間をその研究のために費やすことになります。それは、大学への進学という面からマイナスなのでしょうか。しかし、課題研究によって自分で学習する能力は確実に向上します。特に理系科目は、勉強する目的が明確になり、教科書だけでなく参考書や文献を調べてわかるまで探求することで、基礎的な学力もアップしていくのです。

### b) 学習の基本は「自学自習」

課題研究の特色は、勉強を教わるのではなく「わからないから自分で調べる」、まだ習っていないけれど「必要だから自分で勉強する」という姿勢が身に付くことです。指導教員は必要なアドバイスはしますが、実際の研究内容については生徒自らが本を読んで学習していかなくては身に付きません。少しくづいかもしれませんが、自分のために頑張ってください。

### c) 大学進学後に生きる学力

このような力は、選抜のための大学入試はもとより、大学入学後の学習や研究・仕事の現場において生きてくる力です。課題研究をやったことによって、本当の基礎学力が身につくような学習を心がけていきましょう。

## 《テーマ設定シート》

**STEP 1** テーマの候補となる題材・分野を10個書いてみましょう。

①	⑥
②	⑦
③	⑧
④	⑨
⑤	⑩

**STEP 2** 題材を一つ選び、マインドマップをつくってみましょう。

A large rectangular frame containing a central oval. Ten smaller rounded rectangular boxes are arranged around the oval, with two on each side (top, bottom, left, right) for brainstorming related topics.

**STEP 3** テーマ候補の事項について、研究の視点・切り口を5つ考えてみましょう。

事項 \_\_\_\_\_

①
②
③
④
⑤

★研究テーマが決まったら、書いてみましょう。

--

## 第2部

### 文献を調べる

ひとつのことを始めるときは、本やインターネットでまず調べることから始まります。図書館でどのように本を探したらよいでしょう。また、インターネットでの検索にもやり方があります。徹底的に文献調査をしてから、研究に取り掛かりましょう。

## 1. 文献による先行研究の調査

### (1) ほとんどのアイデアは誰かが研究している

あなたが、「これは独創的だ」と思う研究テーマを思いついたとしましょう。でもほとんどの場合、そのテーマについて以前に誰かが何かしらの研究をしているものです。しかし、それが悪いわけではありませんし、研究テーマにできないということでもありません。現代における科学研究は、それまでの研究に新しい一歩を付け加える、あるいは今までとは違う視点から光を当てるといった形で進展していくものだからです。

### (2) 調べないとテーマにできない

まず、研究テーマを決定する段階で、そのアイデアについての基礎知識や原理・法則について調べる必要があります。これは「文献調査」というよりは「基礎学習」なのですが、過去の研究を調べながら原理や法則について述べている部分も多くありますので、両者を並行して進めるのもひとつの方法です。一見、不思議な現象に見えてその原理を研究しようと思ったとしても、その原理を自分が知らないだけかもしれません。たとえば、「虹」を研究テーマにしようとしたとき、文献を見るとその原理はすでに詳しく記載されています。



ただ、わからないままに実験していくと、思いがけない発見や新しい現象に出会った時の驚きを感じることができます。その中から、本当に新しい発見があることもあります。逆に、調べていくうちに全て解明されたように思えて、新たに実験してみようという気持ちがなくなってしまうかもしれません。したがって、研究テーマについて調べたり勉強したりしながら、予備実験などを進めていく。そして、場合によっては途中で軌道修正をして新たにテーマ設定をし直す、というのが実際の進め方でしょう。

### (3) もし文献調査をしなかったら

高校における課題研究に限定すれば、全く文献調査なしでも百歩譲って“科学研究の練習”にはなるでしょう。けれど、大学や企業あるいは研究機関においては、それは全くナンセンスです。あるいは費用の無駄遣いということで即刻研究は中止です。新しい成果を得るためには、これまでの研究者の努力に敬意を払いながら、その実験方法や結果、考察について学ぶ必要があります。皆さんが行き詰っていた問題点も、すでに巧みな方法で解決済みになっているかもしれません。また、もし文献調査なしに発表を行えば、先行研究を知っている方々から必ず指摘されるでしょう。将来、自然科学や技術工学の現場に進むかもしれない皆さんの態度として、できる限りの調査をしながら研究を進めることが基本です。

最も簡便な調査の方法は「ネット検索」でしょう。もちろんそれも重要ですが、書籍や図書館の利用についても知っていきなくてはなりません。ネット上には無限といってもいい情報があふれていますが、それらの情報は必ずしも確かなものばかりではありません。文献調査の方法について、学んでいきましょう。

## 2. 書籍とインターネット

### (1)「情報」はインターネットから、「知識」は書籍から

もっとも手軽なのは、やはりコンピューターを使ってインターネットで検索する方法です。それに対して、書籍(本)は図書館に行かないといけませんし本を探すのも大変です。大事なものは、その場面や目的に応じて、両者を使い分けることです。基本は、雑多な「情報」はインターネットから。まとまった「知識」は書籍から、ということです。

### (2)インターネットの長所と短所

インターネットを使えば、キーワードを入力するだけで様々な情報が即座に画面上に現れます。インターネット辞書を使って言葉の意味を調べたり、聞いたことのある現象や法則の解説までほとんどすべてのことがわかるような気がします。また、どのような論文が存在するのかを検索し、中にはその本文まで見ることができる場合もあります。さらに、大学や研究所のホームページ(HP)にアクセスすれば、自分の研究についてアドバイスをもらえそうな研究機関や具体的な研究者の名前まで知ることができます。電子メールを併用すれば、通信手段としても使えます。自分の視野を広げ、学校外の人と連携して活動していくための手段として、積極的に活用したいものです。

その一方で、インターネット上の情報は、内容の責任があいまいな場合が多々あります。Wikipedia は便利ですが、著者が不明で場合によっては内容に誤りを含む場合があります。またほとんどの場合、系統だった記述がなされていません。さまざまな「情報」を短時間で検索し、その後の方針を立てるのには有用ですが、自分の論文の“引用文献”としては、使うことはできません。

### (3)書籍(本)の長所と短所

書籍は、現代の高校生にとってはあまり馴染みがないものでしょう。教科書・参考書とマンガ以外は「本」というものに縁のなかった人も多いと思います。買う場合は、当然費用がかかります。1冊 1000～2000 円は、決して安いものではありません。借りるとしても、図書室にある本の数に限られていますので、自分の探している内容の本はまずないでしょう。公共図書館へは、わざわざ足を運ぶ必要があります。本の探し方もよくわかりません。

しかし、まとまった内容を系統だって説明してあるものは、やはり「書籍」です。もちろん、その内容が絶対に正しいとは言いきれませんが、出版年の古いものは内容も古くなってしまっている場合があります。しかし、書籍は相応の学識を持った著者が責任を持って書き下ろしているのです。出版当時の知識として一定の信頼を置くことができます。図書室も司書の先生に相談する、他の図書館から取り寄せてもらうなど、使い方によってはかなり便利になってきました。専門の学術論文を見るためには、やはり大学図書館に行かなければなりません。

### (4)書籍は一生の友達

できれば、興味を持ったテーマについての書籍を1冊買ってみてはどうでしょうか。普段のお小遣いとは別枠で購入費を出してもらえるように交渉してみてもいいですか。定番として、講談社の「ブルーボックス」

シリーズがあります。また、ソフトバンク・クリエイティブの「サイエンス・アイ新書」やPHP研究所の「PHPサイエンス・ワールド新書」なども科学の入門書としていいと思います。

本は一生の友達です。気に入った本を手元に置いて、さらにインターネットで見識を広げてください。

### 3. 書籍・論文を探す

自分たちが研究しようとしているテーマについて、本やインターネットで調べ始めましたか？本の場合は、まず学校の図書室へ。インターネットの場合は、とにかくキーワードで検索でしょうか。お目当ての本や情報は見つかりましたか？ここでは、探しているテーマについて書かれた書籍、あるいはそのテーマと関連のある論文を探し当てる方法を紹介します。

#### (1) 学校図書室の活用

##### a) まずは司書さんに相談

昔は書籍カードなどが検索の常套手段でしたが、今は図書室でもコンピューターによって検索できます。一番頭のいい方法は、司書さんに相談することです。ただ、司書さんに頼る、あるいはお任せということではなく、自分にとって最も役に立つ本はどれなのかを一緒に探し当てるということです。どのようなテーマなのか、どのような分野で研究されているのか、ある程度自分で調べてから相談するとよいでしょう。

##### b) 本の取り寄せ

自分の探している本のタイトルや著者名がわかれば、自分の学校の図書室にその本がなくても、他校の図書室さらには県立図書館の蔵書を検索して、取り寄せることもできます。筆者が勤務している千葉県立高校の場合、県立図書館3館(中央、西部、東部)のほか、近隣 38 校の高校図書室、公共の図書館の資料も利用できます。取り寄せにちょっと時間はかかりますが、便利な方法です。

#### (2) 公共図書館の利用

##### a) 図書館の書籍検索

図書館の蔵書を検索するには「カーリル」というサイトがお勧めです。最初に「図書館を選んで」から最寄りの図書館を設定することになっていますが、右側の「カーリルローカル」から「千葉県」を選択すると、大学や市の分館も含めた千葉県内のほとんどの図書館の蔵書を検索することができます。たとえば、「スペクトル分析」という言葉を入力して千葉県内で検索すると、2014年11月現在、大学図書館も含めて12館の図書館に105冊の蔵書があることがわかります。

図2-1に示したように、全国の公共図書館をはじめ大学図書館、専門図書館にも対応しており、さらには後述するCiNiiや書籍通販サイトのAmazonなどへのリンクも備えています。

また、千葉県の場合、「千葉県立図書館」のHP(<http://www.library.pref.chiba.lg.jp>)

図書館マップ 近くの図書館を探そう

全国 6604館の図書館に対応

公共図書館: 4999館 大学図書館: 1371館 専門図書館: 234館

※2014年11月23日現在 市町村カバー率: 1259/1749 = 71% 図書館システム数: 2339個

図書館検索 近くの図書館を探そう

図書館を検索

現在位置から探す

図 2-1 カーリルの対応図書館数



図 2-2 カーリルのトップページ

chiba.lg.jp)を使って蔵書の検索をすることができます。トップページの「千葉県内図書館横断検索」をクリックして、検索語を入力すると、正式なタイトルが不明でも、関連のある書籍が在庫図書館ごとに列挙されます。このサイトで検索すると、それぞれの本の内容細目(目次)も表示されるので、知りたい項目が書かれているか探すのに便利です。

#### b) 大学図書館の利用

普通の図書館と同様に、「千葉大学附属図書館」の HP(<http://www.ll.chiba-u.ac.jp/>)にアクセスすると、「蔵書を探す」というリンクから「千葉大学蔵書検索(OPAC)」というページが開き、西千葉・亥鼻・松戸の3図書館にある蔵書から該当の書籍が検索できます。

ところで、専門的な論文の多くは、やはり大学の図書館へ行かなければ入手できません。千葉大学附属図書館(本館)の場合、高校生など学外者の利用については以下のようになっています。

- ・調査・研究等のため資料の利用を希望する場合は、図書館を利用できる。
- ・受付カウンターで氏名および住所を確認できるもの(健康保険証・免許証・学生証など)を提示して、所定の手続きを行う。
- ・図書の帯出は、20歳以上の人のみ。3週間以内、2冊まで。

まずは、図書館の受付でいろいろと尋ねてみましょう。大学によって、利用の仕方や範囲が異なります。特に図書館内でコンピューターを使った検索を行う場合は、やり方をよく聞きルールを守って使用してください。印刷の可否や方法についても確認しておくといでしょう。

最近では学术论文の多くが電子化(オンライン化)されており、印刷された形になっていないものもあります。また、各研究室で購入された論文や専門書は、研究室に所蔵されているものもあります。

大学ごとに対応が異なりますので、もし利用したい場合は外部の者が利用できるかを必ず確認し、できれば先生と一緒にいくのがよいでしょう。

### (3) インターネットでの検索

#### a) 国立情報学研究所

大学図書館の書籍・論文等の検索で特にお勧めなのが、CiNii のサイトです。国立情報学研究所が運営しているこのサービスは、「CiNii Articles-日本の論文をさがす」と「CiNii Books-大学図書館の本を

さがす」の2つの機能を持って  
います。



## CiNii Articles

<http://ci.nii.ac.jp/>

このサービスは、日本の学術  
論文を中心とした論文情報を提  
供してくれます。学協会誌や研  
究紀要など約1,800万件を超え

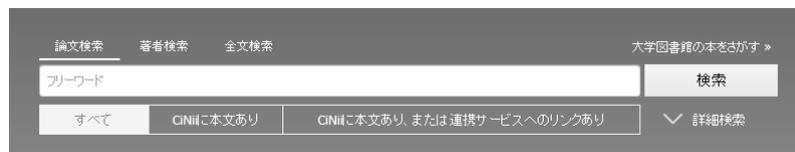


図 2-3 CiNii Articles のトップページより

る膨大な論文情報の中から、簡単に目的の論文を探すことができます。「論文検索」はタイトルや抄録のキーワードから、「著者検索」は著者名から検索してくれます。[CiNii PDF-オープンアクセス](#) からそのまま論文が表示されるもの、あるいは[機関リポジトリ](#)や外部の学会などにある本文がPDFで閲覧できるものもありますが、有料サービスのものもありますので注意が必要です。「全文検索」はこれらのPDFも含めて、キーワードから論文を検索してくれます。

## CiNii Books <http://ci.nii.ac.jp/books/>

総合目録データベースに蓄積された全国の大学図書館が所蔵する本(図書や雑誌など)の情報を提供するサービスです。以前、Webcat として提供されていたサービスを受け継ぐ形で、検索機能がより拡張されました。全国約1,200の大学図書館などが所蔵する約1,000万件のデータが参照できます。目的の本が全国のどこの大学の図書館にあるのか確認できるほか、図書館を指定した検索も可能です。また、[OPAC](#)ボタンから各図書館の本のページに移動し、詳細を確認することもできます。

### b)さまざまな検索サイト

このほかにもさまざまな検索サイトがありますので、研究のいろいろな段階で文献を検索し、活用してください。

●Google Scholar(グーグル・スカラー):<http://scholar.google.co.jp/>

検索エンジン「グーグル」が運営しているサイトで、学術関連の論文や記事を検索できる

●J-GLOBAL (独)科学技術振興機構 科学技術総合リンクセンター:<http://jglobal.jst.go.jp/>

研究者や文献、研究課題などの科学技術情報をつなぎ、発想を支援してくれるサイト

●国立国会図書館サーチ:<http://iss.ndl.go.jp/>

国立国会図書館の資料のほか、各都道府県立図書館などの公立図書館の蔵書・各種デジタル情報を検索することができる

●PubMed:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>

(英語)医学・生物学分野の学術文献検索サービス

### c)書籍通販サイトの活用

関連書籍の検索という意味では、「Amazon.co.jp」や「紀伊国屋」「楽天ブックス」「livedoor ブックス」など、書籍の通販サイトで検索する手もあります。もちろん、そのサイトから注文することもできますし、書籍名だけ調べて図書館で借りる方法もあります。

## 第3部

### 研究計画を立てる

研究の計画を立てるには、その期間の中で自分たちがこれから何をやっていくのか、ある程度わかっている必要があります。仮説と検証について知っていますか。どのような実験をやれば、問題が解決できるのでしょうか。しっかり計画を立てて、最後に慌てることのないようにしましょう。

# 1. 研究計画の立て方

## (1) 1年間の計画

### a) 1年間は短い

皆さんが取り組んでいる課題研究は、どのくらいの期間をかけて取り組む予定でしょうか。多くの場合、その期間は長くても1年間でしょう。1年という長いような気がしますが、その1年はあっという間に過ぎてしまいます。研究期間を見通した計画を立て、先取りをする気持ちで着実に研究を進めていきましょう。特に、発表会の前はその準備のために実質的に研究が中断します。計画的に進めるのは受験勉強も同じですので、その練習の意味でも研究期間をうまく使えるように頑張ってください。



### b) 情報収集は早く・広く・深く

例年、先行研究の調査不足が指摘されます。第2部「文献を調べる」で説明した方法を使って、同じようなテーマで研究した他の生徒の文献、研究者の論文などを徹底的に調べましょう。科学技術振興機構(JST)のHPで調べる、Webで論文検索する、図書館で書籍を調べる、そして先生に聞く。また、文献調査は自分たちの研究を始める前にやること。もしかすると、これからやろうとしている実験は、すでに他校の生徒によって完璧に行われているものかもしれませんよ。

## (2) 長期休暇や発表会の利用

### a) 夏休み、冬休みの過ごし方

長期休業期間は、じっくり実験をする、大学や研究所の先生に聞きに行く、野外調査に行く、試料の分析を依頼するなど、計画的にうまく使いましょう。その場合、長期休業に入る前にしっかりと計画を立て、指導の先生には何月何日に学校に来るか、予定表にしてきちんと伝えるようにしましょう。

### b) 発表会を利用しよう

これからの研究期間内に、何回の発表が予定されているでしょうか。学校内での発表会、あるいは他校との交流会や地域の課題研究発表会、各分野の学会など、その時点での研究を振り返り、違う視点からのアドバイスを受けるためにも、各種の発表会にどんどん参加しましょう。逆に、発表会を目標に研究を進めることによって、中だるみせずに研究を続けることができます。

表 3-1 研究期間が1年間の場合の研究日程の例

1 学 期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・テーマ設定に時間をかけ、的確なテーマを決める</li> <li>・研究の目的をはっきりさせることが重要</li> <li>・文献調査は徹底的にやる</li> <li>・予備実験、実験装置の製作</li> <li>・夏休み前に小まとめをし、夏休み中の計画を立てる</li> </ul>
夏	<ul style="list-style-type: none"> <li>・まとまった時間で実験に集中</li> <li>・研究室訪問の好機</li> </ul>
2 学 期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究の中間発表 <span style="float: right;">【中間発表会】</span></li> <li>・結果をまとめて、新たな問題設定をする</li> <li>・中間発表後の取り掛かりを早く</li> </ul>
冬	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験の最終段階のつもりで取り組む</li> </ul>
3 学 期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・早めに実験データをまとめて考察へ</li> <li>・研究の目的を考え、必要なら追加実験をする</li> <li>・発表、提出期限を前提にまとめ作業を進める</li> <li>・スライド・ポスター制作、論文作成 <span style="float: right;">【最終発表会】</span></li> </ul>

### c)まとめ作業や発表準備は早めに

毎年、発表会前になると夜遅くまで各研究室に電気がついて、実験を続けている生徒がいます。熱心に研究に取り組むのはいいことですが、帰路の安全などを考えると必ずしも勧めることはできません。放課後や休日に実験や作業を行う場合も、指導の先生方に許可を得て行き、火の元の安全、消灯、戸締りなどに注意しましょう。いずれにせよ、できるだけ発表会直前に慌てないように、早めにまとめや発表の準備に掛かりましょう。

### d)仮説と検証のスパイラル

課題研究は、仮説の設定とその検証実験の繰り返しです。そのスパイラルを何回も繰り返すことを前提に、年間の研究計画を立てることで、「とにかく始める」ではなく、できるだけ見通しを立てて始め、その上で必要であれば大胆に計画を変更しながら進めましょう。

## 2. 予備実験

### (1)その現象が起きることを確かめる

#### a)その現象はどのように起きるのか

課題研究の最初の段階で、あまり細かいことにとらわれずに、とにかくその現象を起こしてみる必要があります。場合によっては、テーマを設定するためにそのような実験が必要なこともあります。このような実験を“予備実験”と呼び、これからの研究計画を立てる上で非常に重要です。

取り上げるテーマにもよりますが、不思議に思う現象、動物の奇妙な行動など、疑問に思ったことを取り上げる場合、まずそのような現象が本当に起きるのか、確かめてみる必要があります。必ず起きる現象か、ある特定の条件の時だけ起きる現象か、あるいは不思議に見えても別の現象で簡単に説明ができてしまうものか、など。現象の起き方によっては、課題研究のテーマとしてふさわしくない場合もあります。

たとえば、“ブラジルナッツ効果”と呼ばれる現象があります。いろいろな大きさのナッツが入ったミックスナッツ全体を容器に入れて振ると、粒の大きいブラジルナッツという木の実だけが表面に浮き上がってくるというものです。実際にミックスナッツを振ってみると、大きいナッツが上がってくるようにも思えますがはっきりしません。そこで、比重(密度)が同じで粒の大きさが異なるグラニュー糖と氷砂糖を容器に入れて振動を与えてみました。これが予備実験に相当します。その結果、原因はよくわからないのですが、大きな粒の氷砂糖が表面に浮き上がる現象がみられ、研究テーマとして取り上げることになりました。

#### b)現象をよく観察する

何よりも、まず現象をよく観察すること。それが予備実験の大きな目的です。自分の科学的な知識を全て動員して、なぜそのような現象が起きるのかをじっくりと考えます。できれば、条件を微妙に変えながら、どのような条件がその現象に影響を与えるのかを観察します。現象の原理を理解するために、物理や化学の基礎を勉強し直す必要があるかもしれません。さらに、先生に質問したりグループで話し合ったりしながら、その現象をどのように“料理”していくのか、これからの研究計画を考えましょう。

### (2)先行研究の実験方法に学ぶ

#### a)実験方法を調べる

同じ現象についての先行研究がある場合は、必ずそのときの実験方法を調べなくてはなりません。まず、

同じ方法でやってみて、自分たちも同じ結果が得られることを確かめます。そこから、自分たちの研究がスタートするのです。サンプルの取り方、試薬の濃度や量、反応時間、使用する器具など、細かい点まで注意しながら、同じようにやってみることが大切です。

### b) 自分の研究の新しさはどこにあるか

同じ分野の研究において、過去の研究に対して自分たちの研究の新しさ(新規性)がどこにあるのかをよく考えます。それこそが、自分たちの研究の目的になるからです。以前の実験の追試だけに終わるのなら、研究とはいえません。今までになかった観点、実験方法のもとに現象を観察し実験することによって、自分たちの疑問が解決されることになるのです。

## 3. 実験のデザイン

ある現象が起きる原因を解明したい。「癌」「超伝導」「クラゲの発光」・・・なぜその現象が起きるのかを解明することは、科学研究の上で非常に大きな目的のひとつです。しかし、その現象には普通いくつもの要因が複雑に関係していて、何が原因なのか特定するのは難しいことです。複雑に絡み合った「要因」を解きほぐしていく方法について考えてみましょう。

### (1) 現象における要因(変数)の特定

#### a) 現象に関係する要因を抽出する

例として、「単振り子」の振動を考えてみましょう。単振り子とは、図 3-1 のように“おもり(錘り)”と“ひも”だけからできたシンプルな振り子のことです。この振り子が振動しておもりが往復するのに要する時間、つまり「周期」が何で決まるかを調べることにします。

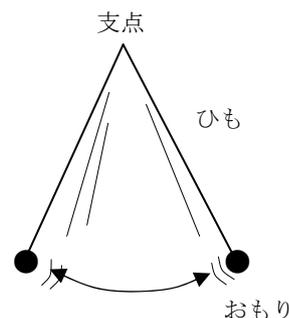


図 3-1 単振り子

皆さんは、単振り子の周期を決める(と考えられる)要因を、いくつ挙げることができますか。

表 3-2 単振り子の周期を決める要因

まずは、本当にそれが関係しているかどうかは抜きにして、可能性のあるものを全て列挙することを目標にします。では、やってみましょう(表 3-2)。

「おもり」に関する要因	「ひも」に関する要因	「その他」の要因
<ul style="list-style-type: none"> <li>・質量</li> <li>・大きさ, 形</li> <li>・材質, 密度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長さ</li> <li>・太さ, 質量</li> <li>・材質, 強度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・振幅(振動の幅)</li> <li>・重力の強さ</li> <li>・周囲の温度 など</li> </ul>

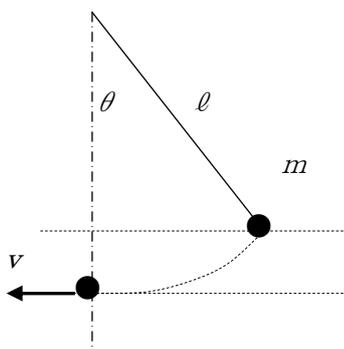


図 3-2 単振り子の変数

どうでしょうか。このほかに思い付いたら、それも書き加えてみてください。ただし、斜体で書いたものは、理想的な条件での実験(おもりは大きさゼロの質点、ひもは無限に細く、真空中)では関係なくなります。このように、可能性のある要因を全て列挙することから、原因解明の一步が始まります。「単振り子の周期」以外でも、現象に影響を与えそうな要因を列挙する練習をしてみてください。

#### b) 物理・化学の法則から考えてみる

ところで、現象に影響を与える要因(変数)を抽出するときに、当てずっぽ

うに列挙するのではなく、現象をできるだけ科学の眼で観察し、自分の知っている法則が当てはめられないか推理してみましょう。たとえば、角度 $\theta$ だけ持ち上げたときの位置エネルギーが最下点ではおもりの運動エネルギーに変わるので、エネルギー保存の法則より最下点での速度 $v$ は

$$mgl(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{より} \quad v = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta)}$$

となり、振り子の周期に $g$ (重力加速度:重力の大きさ)、 $l$ (ひもの長さ)などが関係しているであろうことが予想できます。

問 次の現象に関係していると思われる要因(変数)をできるだけ多く挙げてみよう。

- ① 斜面の上から球を転がし、最下点に来たときの球の速さ
- ② 電球を点灯させたときの明るさ
- ③ 自分の住んでいる町の、明日朝9時の気温

## (2) 条件統制と実験計画

### a) 原因を特定するための実験計画

実験をやってみようとするときよく見られるのは、“いろいろある要因(変数)をいろいろ変えて、いろいろな場合についてどのような現象が起きるかやってみよう”というやり方です。たとえば、「最も高い発電効率の風車はどのような形か」というテーマに対して、手当たり次第にいろいろな型式・形・大きさ・枚数の翼を作って実験してみたらどうでしょうか。もちろん、それでも「最も高い発電効率の風車」は決まりますが、それが羽根の形によるものか枚数によるものか、決めようがありません。

### b) 「変数はひとつ」が大原則

何かを検証するために行う実験で、実験の条件を揃えることを**条件統制**といいます。要因としていくつの変数が考えられる場合、最も重要なのは、“変数をひとつに限定し、その他の変数はすべて同じにして実験する”ことです。

まずは練習問題です。図 3-3 のア～オのおもちゃの車の走り方を比べます。「タイヤが大きいと速く走る」というのを確かめるには、どれとどれを比べればよいでしょうか。また、「先を斜めにすると速く走る」ということを確かめるにはどれを比べればよいでしょうか。他の要素が全て同じで、比べるものだけが異なっている組み合わせを選んでください。

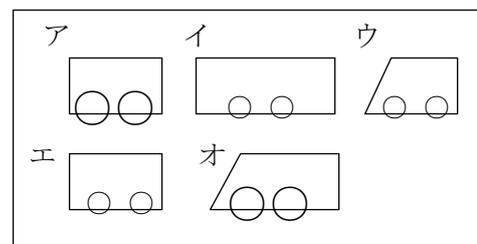


図 3-3 おもちゃの車の変数

[答え タイヤ:アとエ, 先を斜めに:ウとエ]

### c) 振り子の周期を決めるもの

ここで、さきほどの単振り子の例を考えてみましょう。今、おもりの質量(重さ)と振り子の周期の関係を調べたいならば、そのほかの条件(ひもの長さや、重力の大きさなど)はすべて同じにして、おもりの質量だけを変えて実験しなければなりません。もし他の条件も変えてしまうと、どれが振り子の周

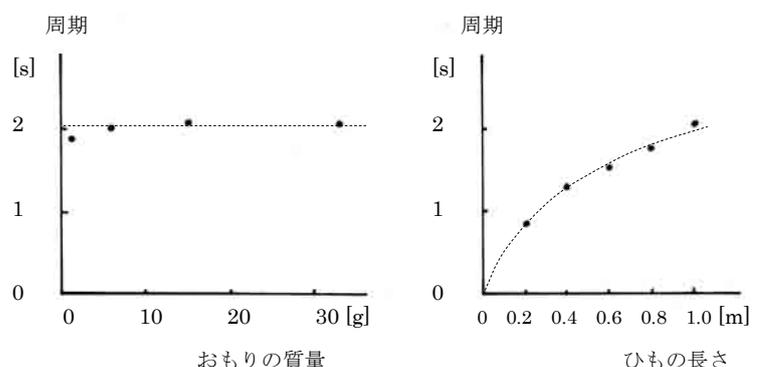


図 3-4 単振り子の周期のグラフ

期を決める要因か判断がつかなくなってしまうからです。

実際におもりの質量を変えて実験した結果が、図 3-4 の左側のグラフです。ひもの長さは 1.00m で他の条件もできる限り揃えました。この結果から、おもりの質量は周期にほぼ無関係であることがわかります。次に、ひもの長さを変えて実験した結果が右側のグラフです。このグラフより、ひもの長さが周期に関係していることがわかります。一般に、単振り子の周期は、右上式のように表すことができます。

### 単振り子の周期 $T$

$$T = 2\pi\sqrt{\ell/g}$$

(振幅が小さく、空気抵抗などがない場合)

#### d) 実験群と対照群(統制群)

薬の効果を調べるとき、薬を飲んでもらってその効果を確かめますが、同時にほぼ同じ症状・年齢の人にダミーの薬(効果のある成分が入っていないもの)を飲んでもらって効果を確かめます。これは、“薬を飲んだ”という意識だけでも、具合が良くなってしまうことがあるからです。

このように、実験をするときは変化を与えるグループ(実験群)に対して、「変化を与えないグループ(対照群・コントロール)」を設定して比較する必要があります。刺激を与えたグループと与えなかったグループ、塩酸を加えたものと水だけを加えたもの、エサを与えた場合と与えなかった場合など、それぞれの実験内容に応じて対照群を設定して、同じように実験をしなければなりません。

もちろんこの場合も、前項の「変数はひとつ」が原則です。変化を与える要素以外の全ての要素は同じ条件のもとで、実験を進めるようにしましょう。

高校生の研究では、対照群の実験がなされていない場合がよく見られます。その実験によって何を検証しようとしているのか、いつも考えながら実験計画を立てるように心掛けましょう。

## (2) 実験の安全と倫理性

### a) 安全に配慮した実験計画

実験に際して、あらゆる面で安全を第一に優先することが求められます。バーナーなどの火気を用いる実験はもちろん、危険な化学物質や薬品を用いる実験では先生の指導を仰ぎ、十分に準備したうえで実験を行ってください。

またそれは、実験する本人の安全はもちろんのこと、周囲の人や家族、さらには社会に対する安全も含まれます。たとえば、ウイルスや細菌などに関する実験を行う場合、自分のもとより周囲にその微生物を拡散させないための周到な準備が必要になります。放射性物質を使う実験、DNA 組み換えに関する実験なども同様です。

実験の際の白衣やゴーグルの着用、実験机や棚の整理整頓も安全上大事な要素です。また、薬品などの廃棄に関してはそれぞれの規定があると思いますので、先生の指導のもとで規定通りに行ってください。

高校生の実験においては、以下のインテル国際科学技術フェアのルールブックが参考になります。

Intel International Science and Engineering Fair International Rules and Guidelines 2015

<https://member.societyforscience.org/document.doc?id=398>

日本語訳: ISEF のルールとガイドライン(インテル国際科学技術フェア ルールブックの概訳)

### b) 実験の倫理性

生物を対象とする実験では、「倫理性」についても配慮が必要となります。特にヒトを含む脊椎動物を対

象とした実験には注意が必要です。

上記の ISEF のルールブックには、「ヒトを対象とする研究に関する規定」の項目があり、ヒトの身体運動や行動観察、さまざまな調査・アンケートなどについての規定が掲載されています。たとえば、実験のためと称して無理な運動をさせたり、特定の物質を摂取させることはないか。調査やアンケートによって不安な感情を抱かせたり自尊心を傷つけたりすることはないか。プライバシーの配慮に欠けた行為はないか、などがこれに当たります。またこれは、研究者本人が調査対象となっている場合も含まれます。

さらに脊椎動物を対象とした実験についても、同様のルールがあります。まず、脊椎動物を用いる以外の実験方法がないことが研究の条件になります。そのうえで、動物への虐待がないか、実験方法が動物へ苦痛を与えることにならないかといった配慮が求められます。動物組織を使った実験にも、一定のルールがあります。実験計画を立てる段階で、これらのことに十分配慮し、先生ともよく相談したうえで研究を進めるようにしてください。

## 4. 仮説と検証

### (1) 仮説と実験

#### a) 仮説を立てる

「研究計画の立て方」の項でも“仮説と検証のスパイラル”という言葉で表現したように、研究の最も重要な部分は「仮説を立て、それを検証するための実験を繰り返す」ことにあります。

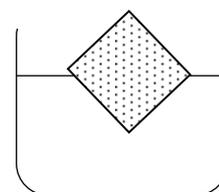
ある現象について調べる場合、なぜその現象が起きるのかを考えて、仮説をたてます。仮説は、ある意味で“予想”です。その現象を起こす原因を予想して、ひとつのモデルとして仮定するのです。

たとえば、角材を水に浮かべたとき、角(かど)を上にして浮く場合と面を上にして浮く場合があります(図 3-5)。その違いを説明する仮説として、“角材と水の密度の違いが原因である”という予想を立てました。仮説を立てるときのコツとして、できるだけ直接的な原因を考える、実験で確かめられそうなモデルを考える、などが挙げられます。

ところで、多数作業仮説という手法をとる場合もあります。これは、シミュレーションを行う場合など、最初から複数のモデルを設定し、それぞれがどうなるかをシミュレートしてみるという手法です。通常の研究では、一度にいくつもの仮説やモデルを考えると混乱が生じますので、ここでは“仮説はひとつ”として話を進めます。

#### b) 検証のための実験を考案する

次に、どのような実験をしたらその仮説が確かめられるのかを考え、実験の方法を具体的に決めていきます。すでにある装置や用具を使って実験できればいいのですが、しばしば、新しい実験装置そのものをつくる必要に迫られます。課題研究に使える技術や予算は限られています。その条件の中で、いかに巧みな実験を考案するか。課題研究の醍醐味はまさにここにあると言ってもいいでしょう。



角を上にして浮く場合



面を上にして浮く場合

図 3-5 角材の浮き方

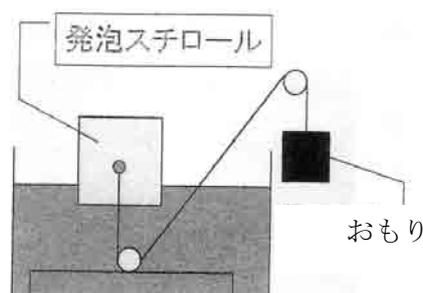


図 3-6 考案された実験方法

さきほどの角材を水に浮かべる実験では、角材の密度を連続的に変えるため、生徒たちは、図 3-6 のような巧妙な装置を考案しました。重心の周りに回転できるようにした角材の模型を下方に引っ張って、みかけの重さ(密度)を変化させることができるようにしたのです。これによって、一つの装置でさまざまな密度に対する実験ができるようになりました。

うまい実験方法を考え付くと、それ以降の研究は飛躍的に進展します。覚えるだけが勉強ではありません。皆さんのアイデア、発想が勝負どころとなります。

## (2) 結果の考察と再度の仮説設定

### a) 結果を考察する

検証実験の結果が仮説を証明するものであるか、考察を行います。検証のための実験が周到にデザインされていれば、結果の判断は容易になるでしょう。気をつけたいのは、“結果が仮説を支持する”あるいは“仮説を前提とすればそのような結果になる”というような結果では不十分だということです。“仮説が正しくない、この結果が出ない”“他の仮説では説明できない”ということが、証明できていないといけません。

### b) 再度、仮説を立てる

もし、もとの仮説(仮説Ⅰとします)が実験によって証明されなかった場合は、その結果を説明できるような別の仮説Ⅱを立て直すこととなります。そして、さらに仮説Ⅱを検証するための実験を考えて実行し、考察を行うという繰り返しになります。

仮説が実験によって検証されると、謎とされていた現象が解明されたことになり、それが研究の成果になります。または、仮説の証明を受けて、さらにその先へ研究を進めていくこととなります。科学研究におけるこのパターンを頭に入れて、自分の研究が今どの段階にあるのかをいつも意識しながら、研究を進めていくようにしましょう。

### c) 研究の目的をはっきりさせる

研究もかなり進んだ段階にきたとき、“さて、今の研究の目的は何だったのだろう”と覚えることがあります。いろいろと複雑な要因が絡んでくると、結局何を調べたいのかわからなくなってしまうのです。そのためにも、最初の段階でしっかりと“研究の目的”を決めておくことが大事です。途中で自分を見失いそうになったら、いつでも最初の目的に立ち返って軌道修正しながら研究を進めていきましょう。

## 5. 野外調査と野外活動

### (1) 野外調査・野外活動のいろいろ

研究の内容や実験方法によっては、野外での活動が必要になる場合があります。ここでは、野外調査や野外活動を行う上での注意点をいくつか挙げておきます。

地質調査や環境調査などその地域について調べるのが研究のテーマであればもちろんですが、生物の観察や分布調査、天体観測のための遠征、さらには災害が起きたときの被害調査や物理・化学分野でも屋外での実験が必要な場合があります。

①**地質調査**:ある地域の地質構造, 岩石の種類などを調査し, その地域がどのようにして現在の姿になったのかを調べるための調査です。

②**生物調査**:磯の生物の生態観察, 学校周辺の植物分布など, 動植物, 菌類など生物の種類と分布の調査をはじめ, 様々な場面で野外観察や調査が行われます。

③**環境調査**:地域の気温やNO<sub>2</sub>濃度の分布調査, 川や湖の水質調査, 地域ごとの大気汚染物質の調査など, 様々な要素についての環境調査が考えられます。

④**被害調査**:台風や竜巻, あるいは地震による被災家屋の分布調査, 異常低温による生物の被害調査など, 気象や火山・地震等による災害の被災状況調査が行われます。

⑤**天体・気象観測**:日食・流星観測など天体観測のために山や高原に遠征する。流氷や降雪, 霧など地方特有の気象現象の観測, 海洋観測のための洋上での活動などもあるでしょう。

## (2) 野外活動の方法

野外での活動は, その目的や分野によって方法も様々です, ここでは一般的なことを列挙します。経験も必要なことですので, 先生に十分指導を受けて行うようにしましょう。

### a) 学校外活動の許可

まず最初に, 課題研究など学校活動の中で野外活動を行う場合は, 指導の先生を通じて学校外で活動を行うことに対して, 所属の学校や教育委員会から許可を得る必要があります。

### b) 地形図・空中写真

野外活動を行う場所がどのようなところなのか, できるだけ地形図で確認しましょう。



図 3-7 国土地理院発行 2万5千分の1地形図「箱根」より

特に国土地理院発行の5万分の1, または2万5千分の1地形図は信頼できます(図 3-7)。大きめの書店では地形図のコーナーをつくって全国の地形図を扱っています。また, 以下のようなサイトで閲覧サービスも行っています。

●**地理院地図(電子国土Web)**:国土地理院の地図や空中写真をさまざまな縮尺で見ることができる。

<http://portal.cyberjapan.jp/>

●**地図・空中写真閲覧サービス**:国土地理院が作成した地形図・地勢図のほか, 火山基本図や都市圏活断層図, 湖沼図などの主題図を検索・閲覧することができる。

<http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do>

ところで、対象地域が山地など起伏に富んだ場所である場合、地形図の「等高線」を読む技術が必要になります。等高線の間隔が狭いところは急傾斜になっているのですが、読みこなすにはある程度の慣れが必要です。

さらに、最近では空中写真もweb上で簡単に見ることができるようになりました。Google Earthをはじめいろいろなサイトがありますので、検索してみると面白いですよ。また、連続撮影された空中写真であれば、鏡を4枚組み合わせた“実体鏡”という装置を使うと、立体的に(つまり3Dで)見ることができます。実体視のための空中写真は(財)日本地図センター等から入手することができます。さらに、地質調査の場合は地質図があれば必ず参照しなければなりません。地質図に関しては(独)産業技術総合研究所地質調査総合センター(GSJ)のサイトが参考になります。

●(財)日本地図センター <http://www.jmc.or.jp/>

●(独)産業技術総合研究所 地質調査総合センター

日本シームレス地質図 <https://gbank.gsj.jp/seamless/>

地質図Navi <https://gbank.gsj.jp/geonavi/>

●Google Earth <http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>

### c) 安全性

野外での活動では、特に安全性に留意することが重要です。まずは服装や持ち物を万全に、そして天候の変化に注意して余裕をもって行動することです。一般に野外活動の服装は季節を問わず長そで長ズボン、帽子、厚底靴、軍手など、持ち物では雨具や非常食を持参します。ゴーグル、ヘルメットなどが必要な場合もあります。また、ハブやヒル、熊などの危険動物、ウルシやハゼノキ、イラクサなどかぶれやじんましんを起こす植物にも注意が必要です。

### d) ルールとマナー

野外での活動では、つい“自分は「調査」をしているのだ”という尊大な意識から、マナー違反、ルール違反の行動をとりがちになります。たとえば、個人所有地の裏山にある露頭を「調査」するために勝手に家の敷地に入り込んだり、国立公園でハンマーを振るったり、希少生物を平気で採取したりする人はいないでしょうか。国有地であれば管轄の営林署に入林許可書を提出する、国立公園内であればサンプリングの許可を得るなど、必要な手続きを必ずやりましょう。また、地元の人に挨拶をする、ゴミを残さないなど当たり前のことを確実にできるようになりましょう。たとえ「調査」「研究」のためであっても、一市民として恥ずかしくないルールとマナーを心掛けなければなりません。

### e) サンプル採取

岩石サンプルや生物標本の採取の際には、必要最小限の量・数にすること、許可が必要な場合は事前に申請することなど守らなければならないルールがあります。しかし、必要なものをしっかりサンプルとして持ち帰ることは、実験データを得る上でとても大切なことです。サンプルの採取法・保存法は分野ごとの技術がありますので、先生に指導してもらう必要があります。また、変質した岩石では分析できません。サンプルの“質”も重要な要素です。

## (3) 観察・記録の方法

### a) ノート、スケッチの重要性

調査の結果は、野帳(フィールドノート)に書いたり写真に撮ったりして、確実に記録として残さなければなりません。あやふやになった記憶では、データとして信頼性がありません。ただ、写真(画像)として記録

することも大事ですが、まずはよく観察してノートに書くこと。写真より現地で描いたイラストの方が、実際の様子をうまく伝えることができる場合が多いものです。何よりも記録すべき要素を見極める「観察眼」を養うことが、探求方法の学習にとって大事な要素となります。

### b) 観察の順序

野外で自然を観察する場合、漫然と見るのではなく、対象についての基礎知識をもとに、その状態や成因について考えながら見るのが求められます。地質調査における露頭(地層)の観察を例にとって説明します。

- ①地形図などで、露頭の位置を確認する。
- ②少し離れたところから、全体の様子を観察する。露頭全体を見渡して、断層や傾斜構造など、堆積の様子を観察する。
- ③露頭に近づき、地層内の構造を観察する。堆積物の種類(砂、レキ、泥、火山灰など)、堆積構造、地層の向き、一枚ごとの地層の厚さ、化石の有無などを細かく調べる。
- ④再び離れて、露頭全体のスケッチをする。地質構造や各地層の特徴などを記入しながら、わかりやすく描く。スケールを必ず入れる。写真をとる場合は最後にとる。
- ⑤サンプル・化石を採取する。



最初は全体を大きく把握し、次に細部にまでこだわって詳しく観察する。そして最後に再び全体を見てその特徴や成因について考察する、という順序になります。生物や天文、その他の分野での観察でも、このような見方が参考になるはずです。

### c) スケッチの仕方

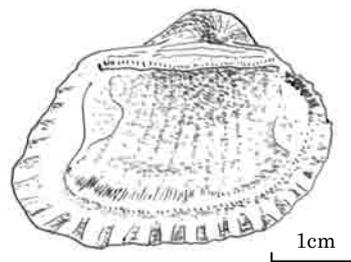
前項での露頭のスケッチをはじめ、生物の顕微鏡観察や化石のスケッチなど、理科においてスケッチが必要な場面は非常にたくさんあります。理科のスケッチは芸術的に描く必要はありません。対象をよく観察し、その形や構造・状態等を誤解のないように写実的に描きます(図 3-9)。具体的には、以下のことに留意して描いていきます。

- ①一本の線で明確に描く。刷毛(はけ)で掃いたような、何本もの線をつないだような描き方は禁止です。
- ②陰影や濃淡は、点描で表現する。斜線をつける方法(ハッチング)は、そのような線構造があると誤解されてしまうのでいけません。

参考文献に挙げた盛口満(2012)には、生物を中心とした素晴らしいスケッチが、多数収録されています。



図 3-8 二枚貝の画像



よいスケッチ例



よくないスケッチ例

図 3-9 スケッチの例



## 第4部

# 研究を進める

定性実験と定量実験は、どう違うのか。測定値にどのくらい誤差が含まれているのか。実際に実験を進める上で、ぜひとも知っておいてほしい事項をまとめてみました。少し難しいかもしれませんが、実験とその考察を通して論理的に考える習慣をつけていってください。

# 1. 「定性的」と「定量的」

## (1)「観察」と「測定」

溶岩が固まってできた火成岩を調べるには、どうしたらいいでしょうか。たとえば、岩石を薄く削ってプレパラートを作成し、顕微鏡で観察してどのような鉱物がどれくらい入っているかを調べます。プレパラートに細かいメッシュを重ね、その縦線と横線の交点上にある鉱物を数えていきます。また、岩石全体を粉末にして溶かし、その化学組成を分析する方法もあります。このように鉱物や化学成分の量比が数字で表わされると、岩石について全てわかったような気がしてきます。果たしてそうでしょうか。



図 4-1 岩石の顕微鏡画像

地表近くで固まった溶岩には、小さな結晶の部分と斑晶と呼ばれる大きな結晶が含まれます。斑晶は鉱物特有の形をもち、その内部構造も様々です。場合によっては、全体に流れたような模様(流理構造)が見られたり、気泡が含まれることもあります。このような岩石組織には、数字で表現できない様々な情報が含まれています。

表 4-1 岩石の構成鉱物の量比(%)と化学組成(%)

カンラン石	0.0	SiO <sub>2</sub>	62.56
斜方輝石	3.2	TiO <sub>2</sub>	0.69
単斜輝石	6.6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.95
角閃石	0.4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.69
斜長石	33.8	MnO	3.09
カリ長石	0.0	FeO	0.11
磁鉄鉱	1.8	MgO	2.61
石基	54.2	CaO	5.54
		Na <sub>2</sub> O	3.43
		K <sub>2</sub> O	1.86
		H <sub>2</sub> O	0.76

※数値は参考例

自然を理解するためには、現象を全体として認識する観察の手法と、現象の中から特定の部分を抜き出して数字で表現する測定の手法があります。物質の性質や現象の進み方、あるいは化学分野で“どんな物質が含まれるか”を調べるための実験を定性実験、それに対して、長さや時間、濃度、組成などを数値として測定する実験を定量実験と呼びます。

## (2) 定性実験から定量実験へ

課題研究を進める場合、ある現象がどのように進行するか、あるいはどんな物質が含まれるかなど、現象の全体像を把握するために定性実験が行われることがよくあります。その上で、特定の変量や成分について、数値として測定する定量実験が行われます。そして、表やグラフ、数式を用いて、研究が発展していきます。その意味で、研究は『定性実験から定量実験へ』という方向性を持って進められますが、上記の例のように、定量実験は現象の中の特定の部分だけを抜き出して数字で表現するために、実験計画をうまく立てないと現象の全体像が見えなくなってしまうことに注意が必要です。また逆に、重要な変量(色、濃さ、明るさ、速さなど)をうまく数値化してそれを測定してやると、思わぬ関係や法則性が見えてくることがあります。

# 2. 測定値と誤差

理科の授業でよく聞かれるのが「先生、割きれません」そして「小数は、どこまで書けばいいんですか」という質問です。理科で出てくる数字と、数学の数字。どこが違うのでしょうか。そして、どのように数字を扱

えばいいのでしょうか。

## (1) 実験の測定値と誤差

### a) 数学の「3」と理科の「3」

数学の授業の中で「3」と書くと、これはりんごの個数であっても三角形の一辺の長さであっても、ぴったり3を意味します。皆さんは、数学の授業で出てくる「3」と、理科の授業で出てくる「3」の違いについて、考えたことがありますか。理科で“長さが 5cm”と言った場合、もしかしたらその本当の長さは 5cm ぴったりではないかもしれないのです。

それは、理科で出てくる数字が“測定値”だからです。本当はいろいろな大きさを持った実物を物差しや秤(はかり)で測った(量った)ときの値を数字で表すため、その数字には“誤差”が含まれていると考えられます。ところで、理科で出てくる数字でも、定数( $\pi$ 、公式中の  $1/2$  など)や階級(震度など)は誤差とは関係のない数字ですので区別が必要です。

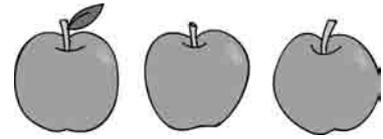


図 4-2 「3つ」のりんご

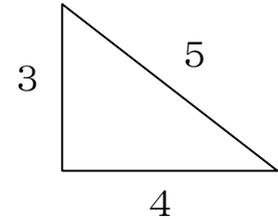


図 4-3 数学の数字

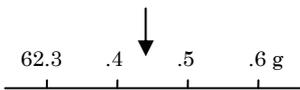
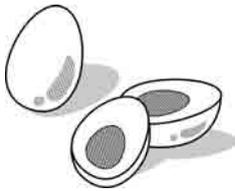


図 4-4 卵の重さ

### b) 測定値の誤差

いま、0.1gの桁まで表示されるデジタル式上皿秤(はかり)で卵の重さ(質量)を量ったら 62.4gだったとします。これは、卵の重さが 62.4gぴったりということではなく、62.35gから 62.44gの間という広がりのある範囲にあることを示しています。このとき、もし真の重さが62.43gだったとすると、誤差の大きさは0.03g。また、誤差の割合は $(0.03/62.43) \times 100 = 0.048\%$ と表すことができます。



図 4-5 デジタル式上皿秤

### c) いろいろな種類の誤差

誤差には、測定装置(物差し, 秤, ストップウォッチなど)そのもののズレによるもの、測定する個人による癖(くせ)や読み間違いなどもありますが、b)のような誤差はどんなに優れた装置を使って慎重に測定しても必ず現れる誤差で、“偶発的必然誤差”と呼ばれます。この種の誤差には、測定値のバラつきも含まれます。たとえば、ストップウォッチでひもの長さ1.00mの振り子の周期を測定したとします。同じ測定を10回繰り返したとき、その測定値は表 4-2 のように 1.92 秒から 2.06 秒の間のバラバラの値となりました。このときの測定値のバラつきも、測定するときどうしても避けられない誤差といえます。

表 4-2 振り子の周期

1 周期
1.96
2.06
1.99
1.92
2.03
2.02
1.96
2.03
2.00
2.02

単位：秒

## (2) 有効数字の考え方

### a) 小数点と有効数字の桁数

数学では、よく“小数点第〇位”という表現を使いますが、理科では単位が変わると小数点も動いてしまうのでどうもよくありません。たとえば、次の2つの測定値を比べてみましょう。①は小数点第1位までしか書いてありませんが、0.1gの桁まで量ってあります。②は小数第3位まで書いてありますが、1gの桁までしかわかりません。つまり、①の方が精度よく測定が行われていることとなります。

- ①62.4g
- ②0.062kg

これを表すために、左側の大きな桁からいくつめの数字までが意味を持つのか(測定されているか)を“有効数字”として示してやります。つまり、①は 624 まで 3 桁が有効。②は 0(ゼロ)でない数字である 62 の 2 桁が有効。有効桁数の多い方が精度が高いと判断されます。

問:62.40gの有効数字は何桁でしょう。 答:4 桁。0.01gの桁の 0 は意味のある 0 です。

### b) 有効数字を考慮した計算

実際に、測定値を使って計算を進める場合、測定値の持つ誤差が計算結果に影響を及ぼします。「加減算」と「乗除算」のそれぞれについて、計算法のルールがあります。

「+、-」の計算：単位をそろえ、最も精度の低い桁に合わせる。  
 「×、÷」の計算：有効数字の桁数の最も少ないものに合わせる。

例 3.47 秒 + 2.3 秒 = 5.7(7)秒 → 5.8 秒 (0.1 秒の桁に合わせる[0.01 秒の桁を四捨五入])

例 5.8m / 4.37 秒 = 1.327...m/s → 1.3m/s (有効数字2桁に合わせる[左から3桁目を四捨五入])

また、計算の結果を使って次々に計算を進める場合は、途中で四捨五入せずにそのままの数値を使って最後の結果を出し、そこで有効数字を考えて答えを書くようにしましょう。

### c) 有効数字の桁数がわかる表記法

有効数字の桁数がすぐにわかる表記法として、「10 の  $n$  乗倍」を使った以下のような書き方があります。「 $\times 10^{-2}$ 」というのは、「 $\times 1/10^2$ 」または「 $\times 0.01$ 」という意味です。

例 610000g(有効数字2桁) →  $6.1 \times 10^5$ g (=  $6.1 \times 10^2$ kg)

例 0.0610m(有効数字3桁) →  $6.10 \times 10^{-2}$ m (=6.10cm)

つまり、10 未満の数字(小数点の左側には 0 でない数がひとつ)として有効な桁を並べ、それを 10 の  $n$  乗倍して実際の大きさにするという方法です。

問:0.00482km の表記法は? 答: $4.82 \times 10^{-3}$ km

## (3) 実験の精度を上げる

### a) 実験の精度

“実験の精度を上げるにはどうしたらよいか”と生徒に尋ねると、“機械で測定する” “自動的に測定できるようにする”等の声が返ってきます。しかし、いくら機械で、自動的に測定したとしても、その測定値には上記のような避けられない誤差が含まれています。したがって、その誤差をいかに小さくするかを考えなくてはなりません。どうしたら精度を上げられるか、言い換えるといかにしたら信頼できる測定値を得ることができるでしょうか。

### b) 実験回数・計測回数との関係

さきほどの単振り子の周期の測定値では、最大値と最小値の幅が 0.14 秒あります。同様に、今度は 10 周期の時間を測って、それを平均して 0.01 秒の桁まで求めました(表 4-3)。10 周期の時間はやはり 0.12 秒の幅がありますが、それを平

表 4-3 振り子の周期

10 周期	平均
20.14	2.01
20.06	2.01
20.10	2.01
20.11	2.01
20.08	2.01
20.05	2.01
20.11	2.01
20.17	2.02
20.11	2.01
20.11	2.01

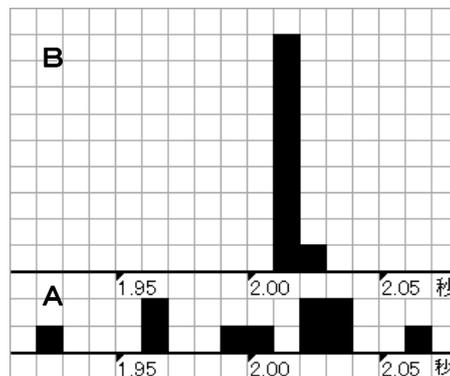


図 4-6 振り子の周期のばらつき

単位 秒

均するとほとんどが 2.01 秒になってしまいました。このように、測定回数や計測個数を増やすことによって、同じ装置を用いてもより精度の高い測定値が得られるのです。さらに、この様子を度数分布グラフにしてみると、図 4-6B のように測定回数を増やしたことで測定値が一定の値の周りに集中します。このように、何回も実験することで測定値の信頼度を高めていくことができるのです。

### 3. 実験ノート

#### (1) 記録することの意味

##### a) 実験したことの証(あかし)

実験の測定値、データはもちろん、実験の方法や状況も含めて課題研究の過程は詳しく記録として残しておかなくてはなりません。普通の場合、ひとつの研究ごとに「実験ノート」をつくり、そのノートに日々の研究の過程を記録していきます。個人研究では、当然その個人が記録していきますが、グループ研究の場合はグループで 1 冊の実験ノートに記入していく場合が多いと思われます。実験ノートは、失敗も含めて実際に得られたデータ、起こった現象を記録していくものですので、研究の最も信頼できる証拠となるものです。



図 4-7 机上の実験ノート

##### b) 発想の証明

実験ノートには測定値のほかに、自分の考えたことや思いついたこと、新しいアイデア、疑問に感じたことなども同時に記入していきます。あるアイデアについて、誰かから聞いたものでなく本当に自分で思いついたという証明として、実験ノートが役立つことも考えられます。また、データについての疑義が生じたとき、本当にその値が得られたという証拠として最後の砦になるのも実験ノートです。実験ノートにはそれだけの重みがあることを自覚したうえで、しっかりと記入していく習慣をつけましょう。

#### (2) 実験ノートの書き方と扱い方

##### a) 実験ノートのルール

実験ノートの記入の仕方は、研究の分野によってかなり違いがあります。たとえば、たくさんの試薬を使って毎日のように実験を繰り返す研究と、野外調査をもとにして仮説を証明していく研究、さらには数学分野のように実験自体を行わない研究もあります。野帳(フィールドノート)も、分野ごとの記入法があります。ここでは実験によって得られた測定値をもとにして進める研究を前提に、実験ノートの書き方を紹介していきます。



- いわゆる大学ノートのような「綴じてあるノート」を使う(バインダー、ルーズリーフ等は不可)。
- 表紙に研究テーマ、氏名、記入開始年月日(終了年月日)を記入する。

- ・鉛筆(シャープペンシル)ではなく、ボールペンなど消えにくいペンで記入する。
- ・日付のほか、必要であれば天気、気温(室温)、湿度等を記入する。
- ・すき間をあけない。余白が生じたときは、斜線を引くか、「以下余白」と記入する。
- ・研究者本人のみが記入する。グループ研究の場合は、記入した人が誰かわかるように必ず署名する。
- ・実験の内容がわかるように、できるだけ目的や実験方法も詳細に記入する。
- ・共通する基本操作は省略してよい。測定値、観察結果等を忠実に記録する。
- ・うまくいかなかったデータ、失敗と思われるデータも記録しておく。それが、その実験方法が良くなかったことの記録となる。
- ・実験装置の図や観察したもののスケッチ等を記入、あるいは貼り付ける。
- ・画像を印刷して貼り付ける。グラフを記入、あるいは貼り付ける。

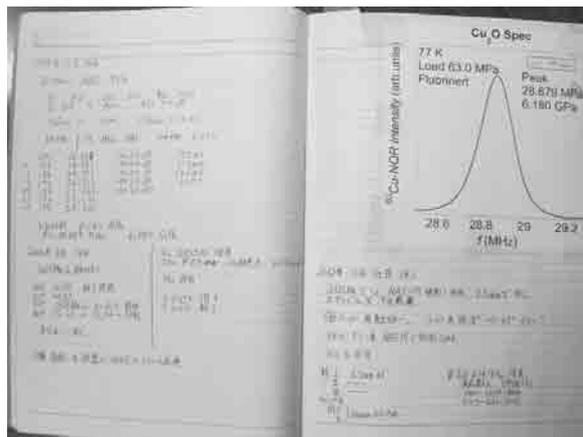


図 4-8 実験ノートの記入例

特にグループ研究の場合は、全ての班員が同じルールで同じように記入することが必要です。先生とも相談しながら、その研究ごとの実験ノートの書き方を決めていってください。

#### b) 実験ノートは研究室の財産

学校で記入しきれなかったので、実験ノートを自宅に持ち帰って記入してよいでしょうか。答えは「No」です。実験ノートは必ず学校や研究室に置いておくこと。持ち出し禁止です。紛失のおそれがあるのはもちろんのこと、後から思い出しながら書いたことは信頼できないからです。

また、研究した本人が卒業した時、記念に実験ノートを持っていくのも基本的にはNGです。実験ノートは学校や研究室の財産ですので、個人の所有物にはなりません。本人が卒業後も、学校などでしっかりと保管するようにしてください。

### (3) 無意識のデータ改ざん

#### a) よいデータを残そう、という誘惑

実験をしたとき、誰も悪い結果より良い結果、すなわち予想した通りの結果がでることを期待します。予想に反した結果がでたとき、“実験のやり方を間違えたかもしれない”とか、“何かの要因が影響したかもしれない”と思って、そのデータを切り捨ててしまったことはありませんか。実験とは予想通りの結果を出すことという思い込みや、学校の授業での確認実験の習慣が残っていませんか。課題研究では、わからないことに挑戦して新しい実験をしているわけですので、予想通りになるとは限りません。「予想に反した結果」が新しい発見につながることもあるのです。どんな結果も、しっかりと記録に残しておきましょう。

#### b) 品質管理との兼ね合い

ところで、後述するように、データの質を吟味して、データの品質管理をする必要があります。たとえば、記録ミスや他の要因によって乱されたデータをそのまま信用してはいけません。ここで大事なのが、「信用できないデータ、精度の低いデータ、他の要因によって乱されたデータ」と、「精度よくきちんと実験は行われたが予想と違ったデータ」との違いをはっきりと認識し、前者については誤差が大きくなった原因をと

ことん追及して明らかにすることです。誤差の原因が明らかになれば、データの修正はもちろん、実験方法の改良など研究の新たな進展につながっていくことでしょう。

## 4. 標本調査の原理

野外には、無限とも思えるほどたくさんの生物や物質が存在し、それが変化しながら動いています。限られた範囲・期間の調査からその全体像を知るには、そのためのテクニックが必要です。野外活動に限らず、部分から全体を知るための技術について考えてみたいと思います。

### (1) 標本調査の原理

#### a) 部分から全体を知る

世論調査や品質検査など、いろいろな分野で部分調査から全体を推定する“標本調査”の手法が実用化されています。それに対して、全体について一つひとつ全部調べる方法を“全数調査”と呼んでいます。BSE(牛海綿状脳症)に対する牛の全頭検査や、2009年までの全国学力調査などは全数調査の好例です。しかし普通は、手間やコストの問題、あるいは調査のためには製品を壊す必要があるなど全数調査が不可能な場合がほとんどです。そのような場合は、全体(「母集団」という)から一部(「標本」という)を抽出して調べることにより、全体を推定する方法がとられます。

#### b) 標本抽出の技術

標本を抽出するためには、まず母集団を定義し、その中から全体を代表するような標本(サンプル)を抽出(採取)しなくてはなりません。典型的なのは「無作為抽出」です。しかし、「無作為(でたらめ)」に選んだはずのサンプルが、特定の傾向に偏っている可能性もあります。たとえば、「世論調査のためにインターネットを使って回答を求めたら、その結果が若い世代に偏ってしまった」、「いくつかの素材が入った容器を振動させ、よく混ぜ合わせてサンプルを取り出したはずなのに、重いものが下の方に分かれてしまっていた」など、いろいろな場合が考えられます。

#### c) 母集団の中の割合を推定する

いま、黒と白、合計 1000 個の豆が入った袋から 100 個を取り出したとき、黒が 20 個含まれていたとします。このとき袋の中の黒豆の数はいくつでしょうか。黒と白の豆を取り出す確率が等しければ、100

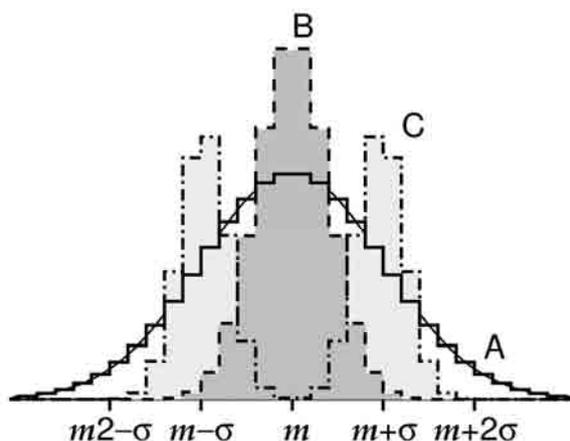


図 4-10 度数分布グラフ



図 4-9 袋から豆を取り出す

個の中での割合と全体での割合は等しいはずなので、黒豆は 200 個とい

うこととなります。しかし、それが成り立つためには黒と白の豆がよく混合されていること(分布に偏りが無いこと)、何度やっても 100 個のうち 20 個前後になることなどの条件が必要です。後の条件は、母

集団に対する標本の大きさ(サンプル数)が適正かどうかという問題に関わってきます。

#### d) 度数分布グラフ

標本調査をグラフでイメージしてみましょう。図 4-10 のグラフの縦軸は個体数、横軸はその特性とします。母集団は普通、平均値  $m$  を中心とした山なりの“正規分布”をとることが多いものです。そこから採取する標本は、Aのように平均もばらつき具合も同じことが条件です。Bのように平均的なものばかりを抽出してもダメですし、Cのように2極分化していてもいけません。標本調査の原理は、統計学の重要なテーマのひとつです。ここでは詳しくは説明しませんが、次のような用語について調べてみることをお勧めします。数学 I の「データの分析」、および数学Bの「確率分布と統計的な推測」の単元で扱われていますので、参考にしてください。

《 分散, 標準偏差, 二項分布, 正規分布, 偏差値 》

### (2) 母集団を推定する

#### a) 母集団を推定する「再捕獲法」

ところで、母集団そのものが不明の場合はどうしたらよいでしょうか。たとえば、ある湖に生息するフナの調査をしようとしたとき、どうしたらその総数を推定できるでしょうか。その方法を考えてみましょう。

いま、ある方法で 100 匹のフナを捕獲します。そして、そのフナに印をつけて湖に戻します。その後、十分な時間をおいて再度同じ方法で 100 匹のフナを捕獲し、その中の印のついた個体を数えることによって、湖に生息するフナ全体の数が推定できます。湖全体のフナの数が多いほど、印をつけた個体が再度捕獲される数(割合)は少なくなります。この場合、印をつけて放流したフナが湖の中で十分にバラバラになったか(群れをつくってはいけません)、捕獲の仕方が湖全体のフナを代表するような方法かどうか(ある集団だけを捕獲してはダメ)など、いくつかの条件が必要なおことに留意する必要があります。この方法を「再捕獲法」といいます。

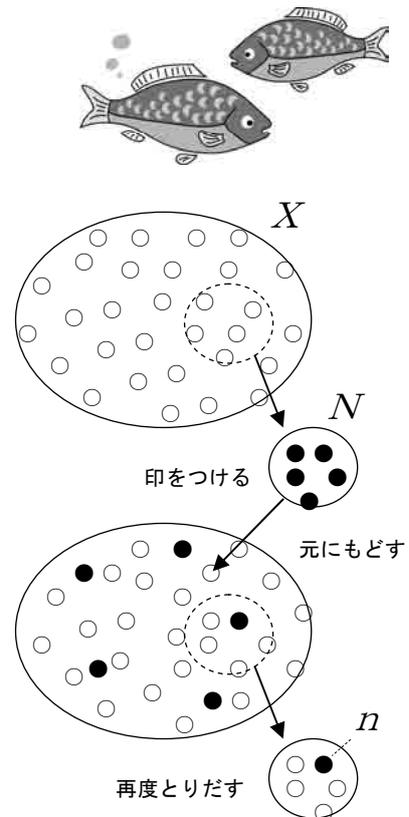


図 4-11 再捕獲法

#### b) 再捕獲法のモデル実験

さきほどの豆の例で考えてみましょう。全体数がわからない白豆の入った袋から、100 個を取り出して黒く塗ります。その黒く塗った豆を再び袋に戻して、十分に混ぜます。そして再度 100 個の豆を取り出したとき、黒い豆がそのうち 20 個入っていたとします。袋の中の全部の黒豆の数はいくつだと推定できるでしょうか。

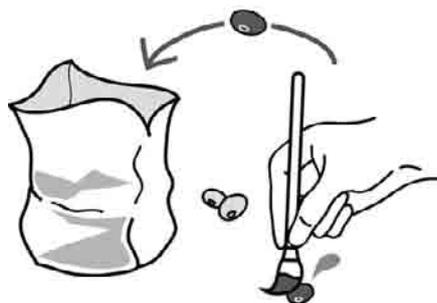


図 4-12 再捕獲法のモデル実験

この場合、不明な母集団の全数を  $X$ 、サンプル数を  $N$  とします。そして、2 回目の調査の時、 $N$  個の中にもまれる目印を付けた個体の数を  $n$  とすると、

$$\frac{N}{X} = \frac{n}{N}$$

という関係が成り立ちます。この式を  $X$  について解き、 $N=100$ 、 $n=20$  を代入すると、

$$X = N^2 / n = 10000 / 20 = 500 \text{ 個}$$

という結果が得られました。できたら、豆でなくてもよいので同じことを自分で試してみましょう。そして最後に、母集団の全数  $X$  を数えてみてください。そのとき、もしこの式で求めた個数でなかったら… 違う個数になった原因を考えてみるのもためになりますよ。

### c) 「除去法」による母集団の推定

母集団を推定する方法として、「除去法」という方法もあります。さきほどのフナの例で考えてみましょう。まず、ある決まった方法で1回目の捕獲を行った結果、フナが100匹獲れたとします。次に、同じ方法で2回目の捕獲を行ったら90匹、3回目は81匹であったとします。湖全体のフナは徐々に減っていくので、それに伴って同じ方法で捕獲したときの捕獲数も減っていくはずで、実際には全てのフナを獲りつくすことはできませんので、後は計算によって、全てのフナを獲りつくした時の総数を予測するわけです。

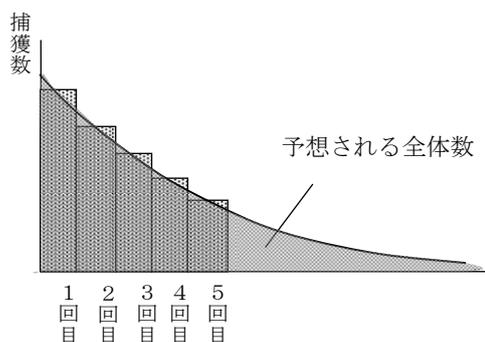


図 4-13 除去法

## 5. 全体を代表する値

測定値の扱い方の例として、ごく当たり前に使っている「平均」について考えてみます。何も考えずに何でも「平均」してしまっている人は、ちょっとみて考えてください。

### (1) 「平均」とは何か ～全体を代表する値～

#### a) いろいろな「平均」

テストの平均点、チームの平均打率、9月の平均気温、一世帯当たりの平均所得など、「平均」という量はその母集団(クラス、チームなど)の特定の量を代表するものとして普通に使われています。もちろん、それは間違いではないのですが、場合によっては単純に「平均」してしまっただけではいけない場合もあるのです。母集団における  $n$  個の値を  $x_1, x_2, \dots, x_n$  とした場合の、いくつかの「平均」を紹介します。

**相加平均** これは、普通使っている平均のことです。値の総和を個数で割ったもので、とてもイメージしやすい概念です。

相加平均の応用として、加重平均があります。たとえば、濃度10%の塩水2リットルと濃度20%の塩水1リットルを混ぜたら、何%の濃度になるでしょう。この場合は10%の塩水の方が量が多いので、計算は右式のようになり、濃度は13%となります。このように、平均するもの同士が対等でないときは、“重み”に差をつけてやる必要があるのです。

#### 相加平均

$$\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

《加重平均の計算例》

$$\frac{0.10 \times 2 + 0.20 \times 1}{2 + 1} \approx 0.13$$

#### 相乗平均

$$\sqrt[n]{x_1 \times x_2 \times \dots \times x_n}$$

《計算例》

$$\sqrt{1.20 \times 1.50} \approx 1.34$$

**相乗平均** この“平均”は、値をすべて掛け合わせて、そのn乗根をとったものです。たとえば、細菌の増殖率が最初の1時間で20%、次の1時間で50%だった場合、増殖率の平均は34%ということになります。

**調和平均** たとえば2地点間を自動車で行き帰ったとき、行きが時速40km、帰りが時速60kmだったとします。このときの平均速度は時速50kmではなく、時速48kmになるということです。確かめてみましょう。2地点間の距離が120kmだったとすると、往きの所要時間は3時間、帰りは2時間、合計5時間です。したがって、平均速度は(120km×2)÷5時間で時速48kmになります。“平均”もなかなか奥が深いでしょう。

**調和平均**

$$\frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_n}}$$

《計算例》

$$\frac{2}{\frac{1}{40} + \frac{1}{60}} = 48$$

**b)それを“平均”していいのか**

ところで、相加平均にしる、相乗平均にしる、いくつかのデータを操作して一つの代表値を求めるのですが、注意したいのは計算に用いるデータの“質”です。

たとえば、A～Eの5人がそれぞれ地球から月までの距離を測定したとします。測定値の平均は385,000kmで、実際の値である384,400kmに非常に近い値になりました(表4-4)。では、この測定はうまくいったのでしょうか。しかしよく見ると、それぞれの測定値は大きくばらついていて、特に最大のCと最小のEでは2倍近くの違いがあります。これでは個々のデータが信用できるとは到底いえず、したがって、“平均”という作業には全く意味がないことになってしまいます。

表4-4 月までの距離の測定値の例

A	3.25
B	3.19
C	5.66
D	4.24
E	2.91
平均	3.85

単位 (10<sup>5</sup> km)

このほかにも、測定器の誤作動によって全く違うデータが報告されたり、単純な測定ミスをすることもあります。まずは個々のデータを吟味・評価した上で、信頼のできるデータを使うことが重要です。

**c)全体を代表する値**

ここまで「平均」について考えましたが、これは一つの値で全体を代表させようという試みだといえます。このような量を要約統計量といいます。母集団の全体を代表する値として「平均」以外によく用いられるものに、モード(最頻値)とメジアン(中央値)があります。モードはファッションなどの“流行”の意味にも使われるように、注目する対象をいくつかの階級に分けたとき、最も多くのものが集まっている階級を表します。一方、データを小さい順に並べたとき、全体のデータ数の2分の1、つまり中央の値をメジアンといいます。

たとえば、ある国の一人当たりの所得を考えてみましょう。ほとんどの国民は低所得なのに、ごく一部に飛びぬけて富裕な人達がいるために平均所得が高くなってしまいます(図4-14)。この場合など、その国の実情を表すには、所得のモードやメジアンを用いた方が適切だといえます。ところで、モードは階級の区切り方によって変化してしまうので、実際にはメジアンを使うことが多いようです。

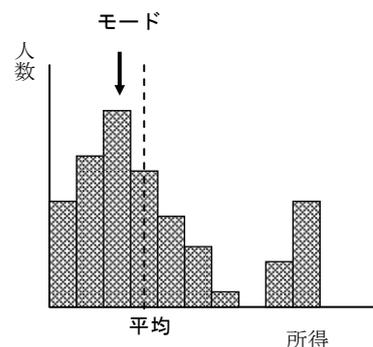


図4-14 モードと平均

**(2)誤差が意味するもの**

**a)誤差はどこから来たか**

誤差の原因については、前に考えました。ここでは、単一の測定値ではなく、いくつかの測定値を組み

合わせて得られた結果に現れる誤差について考えてみます。

いま、空気の密度を測る実験をしたとします。ポンベに空気入れで空気を押し込み、その前後での質量変化を測ります。また、ポンベに押し込められた空気の体積を水上置換法によってメスシリンダーで読み取ります。空気密度  $\rho$  は右式により、この質量  $m$  と体積  $V$  から求められます。

$$\rho = \frac{m}{V}$$

何回か実験を繰り返したところ、空気密度は  $1.15\text{kg/m}^3$  で、文献値の  $1.225\text{kg/m}^3$  よりやや小さめになりました。この誤差の原因は何でしょうか。まず、測定値が小さめに出ていることから、「 $m$  が小さい」か「 $V$  が大きい」か(あるいは両方)が原因として考えられます。質量  $m$  の測定は誤差が生じにくいことから、 $V$  が大きくなるような要因が誤差の主要な原因と考えられます。

### b) 誤差を少なくする実験の改良

ところで、同じ実験を別の日に行ったところ、最初の日とは異なる値となることがわかりました。どうやら、 $V$  を決める要因が日によって変化するようです。そこで物理の教科書を見ると、気体の体積は気圧 ( $P$ ) や温度 ( $T$ ) によって変化することがわかりました。そこで文献値の空気密度を確かめてみると、 $15\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $1013\text{ hPa}$  での値でした。測定したときの気温は約  $25\text{ }^\circ\text{C}$  だったので、空気の体積が大きめに出たと考えられます。また、気圧も変化するので体積に影響します。こうした考察から、実験を温度一定の条件で行う、気圧の補正をするなど、実験の改良につながります。個々の測定値にも誤差はつきものですが、このように計算式をもとにして誤差に大きく寄与している部分を推測し、それを改善する方向で実験方法を改良していくとよいでしょう。

## 6. 表とグラフの活用

実験や調査の結果をわかりやすく示すには、表とグラフは非常に便利な表現手段です。科学分野の最新のデータを集めた「理科年表」(国立天文台編、丸善)を開くと、様々な分野のデータが表の形で掲載されています。ここでは数学でもおなじみの表とグラフについて考えてみます。

### (1) 表にまとめる

表 4-5 表の縦と横

表 4-5 は、世界の大河の流域面積と長さについて、理科年表から抜粋したものです。このように、多くのデータを整理するとき「表」にするととてもわかりやすくなります。この表では、河川名を縦に、その流域面積と長さを横にとってあり、たとえば、縦に見たときの「ナイル川」と横に見たときの「長さ」の交点に、「6695km」という値がくるようになっています。

雑多に見えるデータを表にまとめようとするときは、このようにどのような観点から整理するのかを決め、表の縦と横の項目を適切に定めることが大事です。さらに、表を読み取る際には、6695km という値を縦に見て比較し、次に横に見てナイル川の特徴を読み取るようにするとよいでしょう。

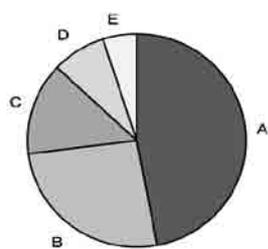
河川名	流域面積 ( $10^3\text{km}^2$ )	長さ (km)
アマゾン	7050	6516
ナイル	3349	6695
ミシシッピ・ミズーリ	3250	5969
アムール	1855	4416
チャンジャン(長江)	1959	6380
インダス	1166	3180

平成 26 年版 理科年表より

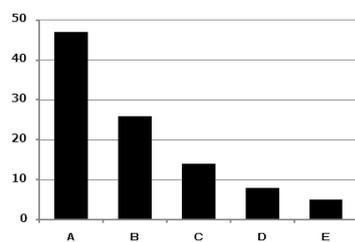
## (2) グラフの活用

### a) いろいろなグラフ

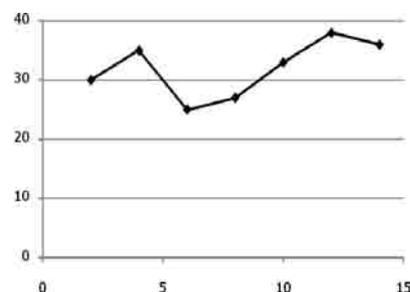
グラフにはいろいろな種類があります。グラフを描く目的を考えて、適切な種類のグラフを用いて、データを表現します。



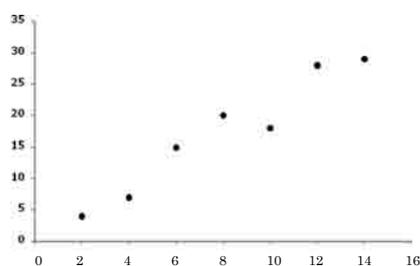
円グラフ



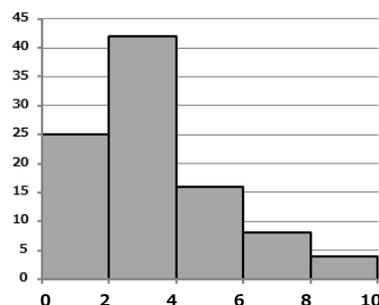
棒グラフ



折れ線グラフ



散布図



ヒストグラム  
(度数分布図)

図 4-15 いろいろなグラフ

**円グラフ:**それぞれの要素の占める割合を比較するときに使います。

**棒グラフ:**それぞれの要素ごとの量を比較するときに使います。また、降水量や輸出高など、“量”の変化を表すのに用いられることもあります。

**折れ線グラフ:**ある要素の時間による変化を表すのによく用いられます。

**散布図:**2つの要素の間の関連性を表すのに用いられます。このグラフを用いて、後述のように“相関関係”の有無や、回帰直線を用いた分析などを行います。

**ヒストグラム:**横軸に変数の幅、縦軸に度数をとり、面積がその階級の頻度を表すようにしたグラフです。

棒グラフに似ていますが、意味するものが異なりますので注意が必要です。

この他にも帯グラフやレーダーチャートなど、いろいろなグラフがあります。表計算ソフトのグラフ機能を使うと、これらのグラフを容易に描くことができます。

また、グラフを描くときは必要な要素をもれなく記入することを心がけてください。タイトル、軸ラベル(軸にとった量の名称:時間、速さなど)、単位など、どれも忘れてはならない要素です。

### b) 変数は $x, y$ だけではない

数学でグラフというと、 $x, y$  で表すのが普通ですね。ところで、次の2式はどちらがわかりやすいですか。

$$y = 2x \quad \cdots \textcircled{1} \quad V = 2t \quad \cdots \textcircled{2}$$

①は  $x$  から  $y$  への対応を示す式で、常に2倍になることを意味します。②は一例として、加速度が  $2\text{m/s}^2$  のとき、 $t$  秒後の速度  $V$  が  $2t$  となることを意味します。このように、数学で学んだことが、物理の速度を求める式に応用されていることがわかります。自然科学や工学では、数学で学んだ考え方を実際の速度や温

度、惑星の公転周期などに応用し、それぞれの量をいろいろな文字で表して用いるのです。いろいろな量を表す文字としてよく用いられるものを挙げてみます。

$t$  (時間),  $v$  (速度),  $a$  (加速度),  $m$  (質量),  $\theta$  (角度),  $S$  (面積),  $V$  (体積),  $P$  (圧力),  $T$  (温度),  $I$  (電流),  $V$  (電圧),  $R$  (抵抗),  $\rho$  (密度),  $\lambda$  (波長) など

同じ文字が全く違う量を表すのに使われることもあるので、注意が必要です。

### c) 縦軸・横軸のとり方

いま、物体を落としたときの落下距離 ( $S$ ) と時間 ( $t$ ) の関係をグラフに表してみます。すると、図 4-16A のような曲線が描けます。これは 2 次曲線のようにも見えますが、そうとも言い切れません。そこで、横軸に  $t$  の 2 乗 ( $t^2$ ) をとってグラフを描き直すと

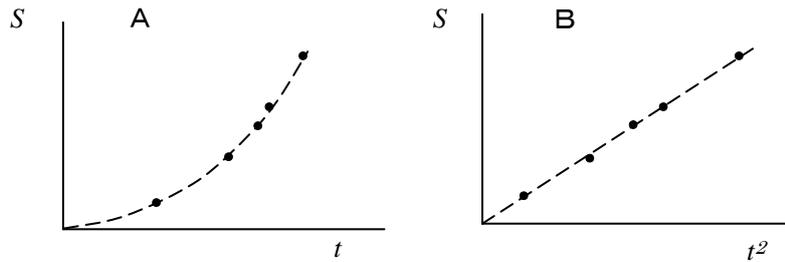


図 4-16 縦軸・横軸の目盛のとり方

(同図 B), 今度はきれいな直線になりました。グラフの軸の取り方で、 $S$  と  $t^2$  の比例関係がわかったわけです。さらに、図 4-16B のグラフの傾きから、物体の落下について  $S = 4.9 t^2$  という関係式が成り立つことが求められます。このほかにも、対数目盛を使う、軸の一部を拡大(あるいは省略)するなど、目盛の取り方を工夫することによって、よりわかりやすいグラフとなります。

## (3) グラフに“直線”を引く

### a) 点を線でつないでいいのか

図 4-17 のように、 $a$  にともなって  $b$  が変化する場合、測定点を次々に結んで“折れ線グラフ”として表したくなります(図 4-17 左)。しかし、一つひとつの測定値は誤差を含んでいるために、折れ線で結んでしまうと全体の傾向がかわってわかりづらくなってしまいます。このような場合は、測定値のばらつきを

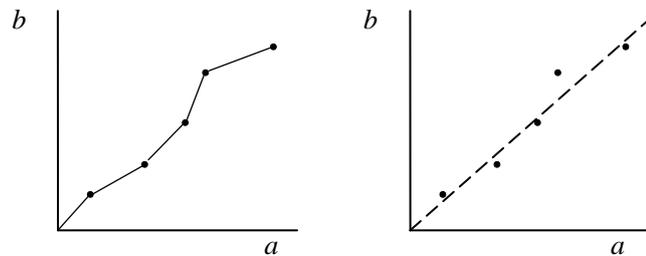


図 4-17 点の結び方

考慮して折れ線グラフではなく散布図で表し、全体をなるべくうまく通るような一本の直線を引いて、2 つの量の間関係を表します。つまり、両者の関係を一次関数で近似します。

### b) 回帰直線を引く

ところで、“測定点を最もよく通るような線”を引くには、どうしたらよいでしょうか。それには個々の測定値に含まれる誤差を考慮して、測定点が直線の上下にはみ出る量が最小になるように、全体の点を見て目分量で中心を通る線を引きようにします。このときの NG は、“両端の点を結ぶ”というやり方です。データ

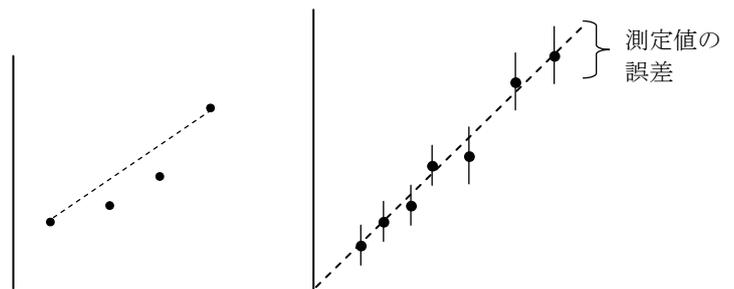


図 4-18 回帰直線を引く

範囲としては広くなりますが、その間の値は無視されてしまうこととなります(図 4-18 左)。

この作業を数学的に正確に行うには最小2乗法を用います。また、この方法を用いて直線を描くことを“回帰直線を描く”と表現します。“回帰”という言葉はピンと来ないかもしれませんが、その由来に理由があるようですので、ここでは気にせずにご使用ください。

手作業で回帰直線を描くのは大変です。表計算ソフト「エクセル」には、自動的に回帰直線を描く機能があります。グラフの点にカーソルを置いて右クリックし、「近似曲線の追加」を選択します。そして、書式

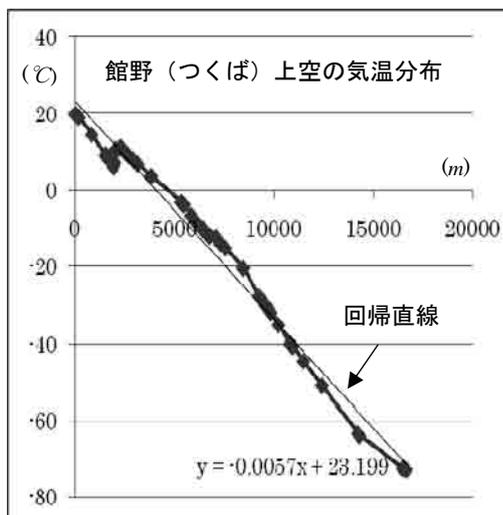


図 4-19 上空の気温分布

設定で「線形近似」「グラフに数式を表示する」にチェックを入れればOKです。たちどころに一本の回帰直線が描かれます。

### c) 数値の読み取り

この回帰直線を用いて、グラフから特定の値を読み取る、あるいはエクセルを使わずに、読み取った数値をもとに数式を計算する場合など、ちょっとした注意が必要です。図 4-20 のグラフの  $x_1$  での  $y$  の値は  $a, b$  どちらでしょうか  $x_1$  での測定値は  $a$  です。しかし、全体の値をもとにして回帰直線を描いたわけですから、読み取り値としては  $b$  とするのが正しいのです。

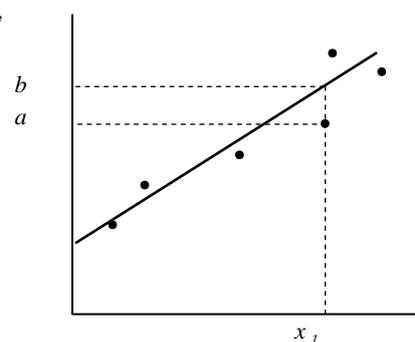


図 4-20 数値の読み取り

“回帰直線を描く”という作業は、数多くの測定点をもとにして、より信頼のおける全体の傾向を導き出そうということです。たくさんの方が“協力して”描かれた直線です。大切に、そして上手に活用してあげましょう。

### d) データの品質管理

多くの測定点が協力して、一本の回帰直線が描かれます。しかし、単純に全部の測定点を使っているのでしょうか。図 4-21A の回帰直線は  $a, b$  どちらにすべきか。ひとつだけ飛び出した点は何らかの原因(測定ミスなど)で大きな誤差を生じた可能性があります。測定時の条件を調べるのは当然ですが、データ処理としてはその点を除外して残りの点で  $b$  を描くのが正しいといえます。

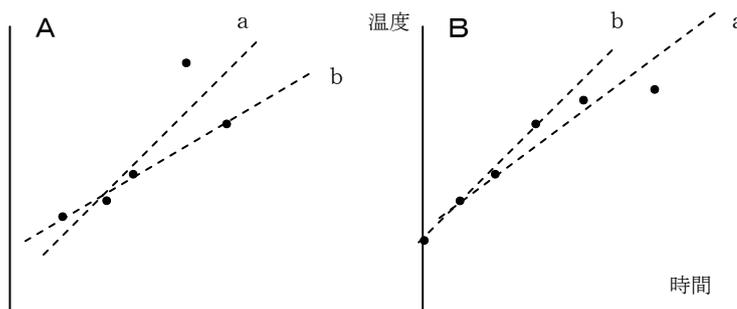


図 4-21 データの品質を考慮した回帰直線

また、図 4-21B のグラフは、太陽光線の放射強度を求めるために、タンク内の水温を計測したものです。水温がある程度上がってくると、放熱の効果が大きくなって上昇率が小さくなります。したがって、最後の2点は切り捨てて最初の4点で回帰直線  $b$  を引くのが正しいといえます。

“平均”の項でも述べたように、データや測定値を用いて考察を進める場合、データそのものの“品質”を認識し、管理する必要があります。ただやみくもにデータの数を増やしただけでは、信頼できる結果は得られないことを覚えておきましょう。

## 7. データの吟味

### (1) データの評価

#### a) 実験や測定の回数

研究をまとめる段階で、得られたデータについての評価を行うのはもちろんですが、ひとつの実験が終わった段階においてもデータを評価・検討し、適切な結果が得られたかどうかを確かめながら進めていく必要があります。

実験の内容にもよりますが、十分な回数だけ繰り返して同じ実験がなされているでしょうか。もちろん、1回だけの実験では不十分です。簡単な測定の場合は、100回、1000回と繰り返して実験を行うことにより、測定値一つあたりの誤差が小さくなり、精度が増します。

#### b) データ処理の仕方

前項でも触れましたが、データの質について再検討します。いくつかの測定値のうち、“ありえない値”は含まれていませんか。目盛の読み間違い、口頭での聞き違いなどにより、妥当でない測定値が紛れ込みます。信頼できない測定値は慎重に検討し、場合によっては切り捨てます(注\*)。しかし、くれぐれも恣意的なデータのねつ造、改ざんにならないように注意してください。また、多くの測定値からその代表値を求める方法ですが、単純に“平均”していいのでしょうか。モード、メジアン、加重平均など、その母集団を代表する値として適切な値を求め、それ以降の分析に用いるようにします。

注\*:ただし、間違った測定値、ありえない結果と思われたものの中に、ごくまれに重大な発見が隠れていることがあります。その可能性をいつも頭に入れて、作業を進めましょう。

### (2) 関係性の考察

#### a) グラフを頭に描く

実験によって測定値が得られてくる時点で、どのようなグラフになるのかを頭に描きながら実験を進めていきます。実験には、必ず仮説や根拠となる理論があるはずですが、したがって、どのような関係性が現れるのかを予想しながら測定値や結果を見つめましょう。方眼紙やコンピューター上のグラフに、測定値をプロットしながら実験を進めてもよいでしょう。それが逆に、単純な読み取りミスなどを防ぐことにもつながります。

#### b) 関係性を見抜く力

得られた測定値をもとに、新たな関係性の有無を考えていきます。予想もしなかった要素の間に関係性が見られる、ある成分の濃度の違いによって現象に変化が起きると考えていたが、微妙な温度の違いが大きく影響していることに気付く、など。実際に実験したときの状況を考えながら、洞察力を働かせて考察します。新しい発見に気付くとすれば、この段階です。

## 8. 相関関係と因果関係

勉強時間と学校の成績、食べ物の腐りやすさと気温など、身の周りには“関係”のありそうな事柄がたくさんあります。それらの事柄の間に本当に関係があるのか、それはどういう関係なのか、そのような“関係”を

調べるための方法を考えていきましょう。

## (1) 統計に表れた関係

### a) 相関の有無

「かき氷の売上高」が大きくなるほど、「熱中症になる人の数」が増えるという傾向があるとしましょう。このとき、この2つの変数の間には“相関がある”といえます。自然科学の分野でも、光の強さと植物の光合成量や、二酸化炭素の濃度と地球の平均気温の関係など、相関の見られるものがたくさんあります。



### b) 相関係数

ある2つの変数  $A$  と  $B$  があり、 $A$  が増えるほど  $B$  も増える場合、 $A$  と  $B$  には“正の相関”があるとといいます。また逆に、 $A$  が増えるほど  $B$  が減る場合、 $A$  と  $B$  には“負の相関”があるとといいます。一方、 $A$  の増減が  $B$  の増減に全く影響を及ぼさない場合、 $A$  と  $B$  には相関がないことになります。これらの関係をグラフに表すと図 4-22 のようになります。

相関の程度は“相関係数”で表されます。相関係数は+1と-1の間の値をとり、「+」は正の相関、「-」は負の相関を表します。

また、相関係数が+1、-1に近いほど、両者に強い相関があることになります。

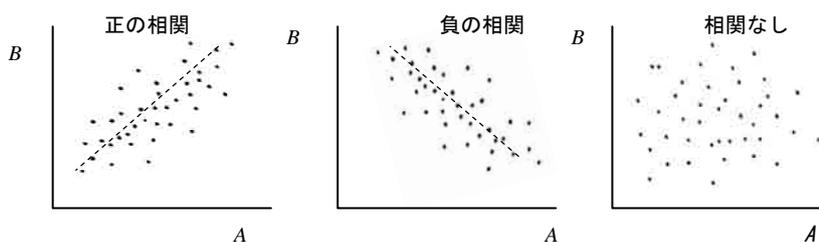


図 4-22 相関を表す散布図

相関係数および図 4-22 のような散布図については、数学 I の「データの分析」の単元で学ぶと思いますので、教科書なども参考にするとよいでしょう。

## (2) 原因と結果の関係

### a) 因果関係

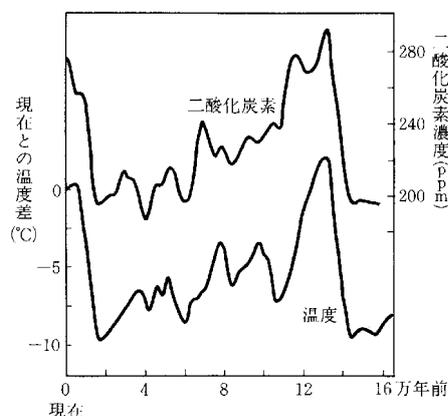
$A$  が原因となってその結果  $B$  が起きるといった原因と結果の関係を“因果関係”といい、 $A$  と  $B$  には相関が現れます。このとき、 $A$  が  $B$  の原因になっている場合と、 $B$  が  $A$  の原因になっている場合があります(図 4-23)。たとえば、異常気象で冷夏になると米が不作になりますが、この場合、冷夏になったことが原因で、米の収量が減ったのが結果です。

$A \rightleftarrows B$

図 4-23 因果関係

しかし、2つの事象の間に因果関係があるのかどうか、判断の難しい場合もあります。アスベストを扱っていた人に多発する「中皮腫」という癌が、アスベストが原因であるかどうか、長い間その因果関係は不明でした。

また、因果関係はありそうだけれど、どちらが原因でどちらが結果なのかがわかりにくい、という場合もあります。たとえば、図 4-24 のよ



住明正「地球の気候はどう決まるか」(岩波書店)より

図 4-24 温度とCO<sub>2</sub>の変化

うに「地球の平均気温」と「大気中の二酸化炭素濃度」の間には相関が見られますが、どちらがどちらの原因になっているのかは難しい問題です。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第5次評価報告書にあるように、大気中の二酸化炭素濃度が高くなれば温室効果によって気温が高くなりますので、おおかたは二酸化炭素の増加が気温変化の原因であると考えられていますが、その一方で逆の因果関係を指摘する意見も根強くあります。それは、地球の気温が上昇すれば海水から二酸化炭素が放出されて大気中の二酸化炭素濃度も高くなると考えられるからです。このように、どちらが原因でどちらが結果なのか、すぐには判断できない問題がたくさんあります。「卵が先か、にわとりが先か」という問題は、案外証明が難しいのです。

研究の過程で何らかの相関が見つかったときは、“なぜこの関係が現れるのか”，“本当にこれが原因とっていいのか”，ということを見ながら慎重に検討を進める必要があるのです。

### b) 因果関係の証明

ところで、 $A$  が  $B$  の原因になっていることの証明は、どうすればできるでしょうか。一般的には、次の①～③がすべて成り立つことが必要とされます。

- ①  $A$  が必ず  $B$  より先に起こる    ②  $A$  が起これば必ず  $B$  が起こる    ③  $A$  が起きなければ  $B$  は起きない

病気の原因を調べる場合など、これらの点について徹底的に検証される必要があります。

### c) 原因が結果をもたらすメカニズムの解明

論理的に因果関係を証明するのはもちろんですが、 $A$  が  $B$  を起こす仕組みを科学的に解明できれば、より強い説得力を持って両者の因果関係を主張することができます。たとえば、フロンガスの放出と紫外線の増加の間に相関があったとしても、それだけでフロンが犯人だとはいえません。フロンがオゾン層を破壊し、その結果として地表に到達する紫外線が増加するというメカニズムが解明されたことにより、その因果関係ははっきりしたものとなったのです。

## (3) 因果関係と相関関係の違い

### a) 擬似相関

ところで、相関があることと因果関係があることは、一見同じように見えて違うこともよくあります。さきほどのかき氷の例で見ると、かき氷の売上げと熱中症の患者数には正の相関があっても、かき氷を食べた結果として熱中症になったのでしょうか。それとも熱中症になった人が皆でかき氷を食べたのでしょうか。かき氷と熱中症には、直接の因果関係はありません。

このように、“相関がある”ことと、“因果関係がある”ことは、似ているようでちょっと違うことなのです。今、 $A$  と  $B$  に相関がある場合、もしかすると全く別の  $C$  という要因(かき氷の場合、夏で気温が高いという状況)が  $A$  と  $B$  共通の原因になっていて、見かけ上  $A$  と  $B$  に関係があるように見えることがあるのです。このような見かけ上の相関を“擬似相関”と呼び、本当の意味での相関と区別します。

### b) 関係を正しく判断する力

擬似相関には、意外と惑わされることが多いものです。「毎日朝ごはんを食べる」生徒と「成績がいい」生徒の間に相関があるという統計結果がでると、朝ごはんを食べれば皆成績が良くなるような気がしてしまいます。これらは全く無関係ではないものの、単純な因果関係があるわけではありません。

さらに、 $A$  と  $B$  の原因になっている要因がひとつでなく、 $C \cdot D \cdot E \cdots$  など複数

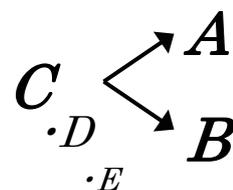


図 4-25 擬似相関

存在することもあります(図 4-25)。このように、いくつもの要因が関係し合いながら変化している場合、その中に潜む因果関係を見抜くには、適切な要因の抽出の仕方と、周到な検証が必要なのです。

## 9. 数式化の意義

### (1) なぜ“数学”を使うのか

“数学が苦手だ”という人は多いもので、数学が出てくると途端にわからなくなるという経験をした人も多いことでしょう。でも、自然や技術の分野で数学はなくてはならないものであることは否定できません。なぜ、数学を使うのでしょうか。使わなくてはならないのでしょうか。

私なりに、数学の“いいところ”“必要性”を列挙してみました。

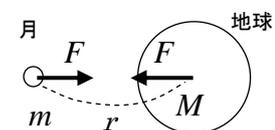
- ① 厳密さ: 定量的に厳密に表現できる。相手に正確に伝達できる
- ② 応用性: いろいろな場合へ応用・適用するのに便利
- ③ 一般化: 知識が誰にでも理解できるように一般化, 共有化される。法則化される。
- ④ 発展性: 更なる知への飛躍をもたらす。新たな現象を予言できる。

### (2) 現象への適用と法則化

リンゴと月には、地球から同じ力が働いているはずなのに、なぜ月は落ちないかという疑問に、“月は落ち続けている”と考えて万有引力の法則を確立したニュートン。そして、ただ引力が働くというだけではなく、その引力  $F$  は図 4-26 の数式で表わされることを証明しました。この式を使うと、月に働く引力を正確に計算することができます。

さらに、地上で物が落ちるときの加速度は  $(GM/r^2)$  に相当し、万有引力定数  $G$  と地球の質量  $M$ 、地球の半径  $r$  で決まります。この式を使うと、月面で物を落としたときの加速度が、月の質量と半径で表わされ、地球上での約  $1/6$  になることがわかってしまうのです。

このように、現象を数式で表すことにより、その現象がより正確に理解され、なかなか行くことのできない月面での現象まで予測できてしまうのです。



$$F = G \frac{m \cdot M}{r^2}$$

図 4-26 万有引力の法則

### (3) 数学は“予言”する

数学で表現されることにより、新たな発見がなされることがあります。天王星の軌道がニュートンの法則から予想される軌道からわずかにずれることは以前から知られていました。その原因が天王星の外側の軌道にある未知の惑星にあると仮定して、万有引力の法則を使ってその位置を予測したところ、1846 年に新惑星「海王星」が発見されたのです。

また、アインシュタインは特殊相対性理論の中で  $E=mc^2$  という式を導き出しました。この関係式は、質量がエネルギーに変換することを予言しているのですが、当時は、質量は絶対に保存する(増減しな

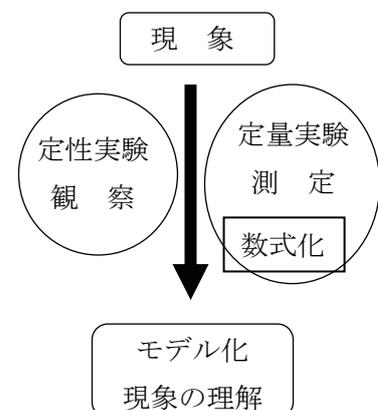


図 4-27 現象の理解と数式化

い)と考えられていました。その後、核反応においてこの関係式で表わされるエネルギーが放出されることが実証され、その結果、原子力発電が可能となったのです。

#### (4) 数式化すれば“わかった”ことになるか

このように、数式で表すことは大きな意味を持っており、自然科学上の「法則」は、数式の形をとることが多いのも確かです。しかし、定量実験の項でふれたように、数量化とは現象の中で数字で表わされる部分を抽出して表現したものなので、現象全体を表していないことも多いものです。

観察と測定を通して、どのようなことが起きているのかを理解し、それがうまく説明できるようなモデルをつくることは現象を理解するために非常に有効です。自然を理解するとはどのようなことなのか、モデル化とも関連させて、次に考えてみたいと思います。

## 10. 現象のモデル化

研究対象としている現象について詳しく調べ、測定データも増えてくると、いよいよ研究のまとめ段階に入ります。データから何がいえるのか、研究のまとめ方について考えてみましょう。

### (1) 観察・測定からモデルへ

#### a) 現象の規則性

植物、動物を問わず、親から子へといろいろな形態や性質(形質)が受け継がれていきます。以前は、このような形質は2色の絵具を混ぜるように、親から子へと伝わっていくと考えられていました(融合説または混合説)。しかし、メンデルはこの遺伝という大きなテーマに対して、エンドウを用いた巧妙な実験を考案し、多くのデータの中から法則性を発見しました。たとえば、代々しわのない種子を实らせる個体と、代々しわのある種子を实らせる個体(純系)を交配したとき、次のような規則性が見られました。

①次の代(2代目)では、すべてしわのない種子となる。

②さらに次の代(3代目)では、しわのない種子としわのある種子が3:1の割合で出現する(図4-28)。

この結果は素晴らしい発見で、優性の法則と呼ばれます。自然科学の研究では、まずこのように現象を観察・実験して、そこに現れる規則性を求めることが最初の段階となります。

ところで、上記②について、実際には7324粒の種子のうち“しわなし”が5474粒、“しわあり”が1850粒でした。この数の比(2.96:1)を3:1とみなしてモデル化したところに、メンデルの洞察力の素晴らしさがあるといえるでしょう。

#### b) 規則性に適合するモデル

メンデルはこの規則性から、遺伝が何か単位化された粒子状のもの

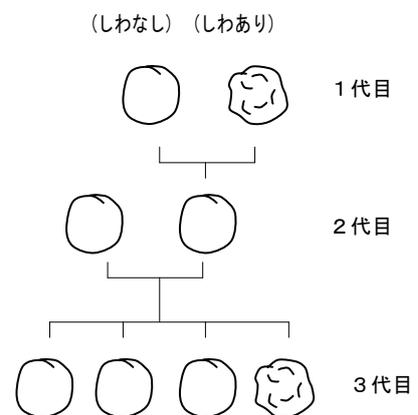


図4-28 エンドウの種子の遺伝

		親の遺伝子 Aa	
		A	a
親の遺伝子 Aa	A	AA	Aa
	a	Aa	aa

図4-29 遺伝子の組み合わせ

に支配されていることを提唱しました(粒子説)。さらに彼は規則性から発展して、なぜそのような規則性が現れるのかという原理についても考察しています。優性遺伝子をA, 劣性遺伝子をaとモデル化して表現し、ある形質について必ず1対(たとえばAa)の遺伝子があり、親から子へその1対のうちの片方が受け継がれると考えたわけです。

メンデル自身は遺伝に関わる粒子(遺伝子)の実体は何であるかはわかりませんでした。このようなモデル化によって、なぜ3:1で形質が出現するかという原理がより明快にイメージできるようになったのです。

## (2)モデル化の意味

### a)構造のモデル化

研究対象が目に見えないものであったり、時間がかかりすぎて再現できないものだったりする場合、実験の結果をなるべくうまく説明できるようなモデルを考えます。

#### ①地球の内部構造

巨大地震が起きますと、その地震波は地球全体に伝わっていきます。ところが、縦波であるP波に注目すると、震源から $102^\circ$  から $142^\circ$  までの範囲には地震波がやってこないのです(シャドーゾーン)。たとえば、日本で巨大地震が起きた場合、図4-30で濃い網掛けで示したアフリカから北米東岸にかけてのドーナツ状の領域がシャドーゾーンとなり、P波は伝わってきません。この観測結果を使って、手の届かない地球内部の構造

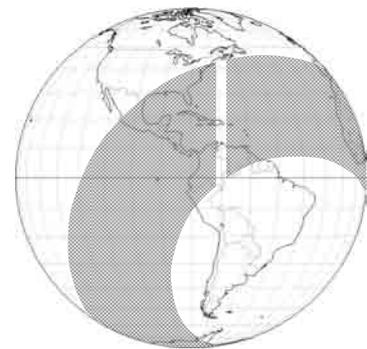


図4-30 日本で起きた地震のシャドーゾーン(P波)

が推定されました。図4-31のように、地球内部にP波速度の大きい層、小さい層があるモデルを作ってシミュレーションを行います。すると、地震波が境界面で屈折することにより、内部に地震波速度の遅い層がある場合のみ地球の反対側にシャドーゾーンができ、観測データに合う結果が得られます。このことから、地球の内部にP波速度の遅い核があることが“わかった”のです。このように、“解明される”ということは、“データに合うモデルができる”ということを意味する場合があります。

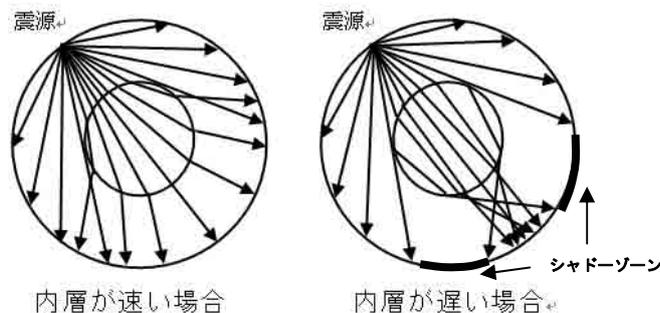


図4-31 地球内部の地震波の伝わり方

#### ②原子構造のモデル

すべての物質を構成する原子は、どのような構造をもっているのか。20世紀初頭、J.J.トムソンと長岡半太郎は、それぞれ図4-32(a), (b)のようなモデルを提唱しました。原子の中にプラスとマイナスの電荷が別個に存在していることは分かっていたので、どちらのモデルもそれは満たしています。その後、ラザフォードは薄い金箔に $\alpha$ 線を照射する実験を行ったところ、散乱される $\alpha$ 線粒子は少

シミュレーションを行います。すると、地震波が境界面で屈折することにより、内部に地震波速度の遅い層がある場合のみ地球の反対側にシャドーゾーンができ、観測データに合う結果が得られます。このことから、地球の内部にP波速度の遅い核があることが“わかった”のです。このように、“解明される”ということは、“データに合うモデルができる”ということを意味する場合があります。

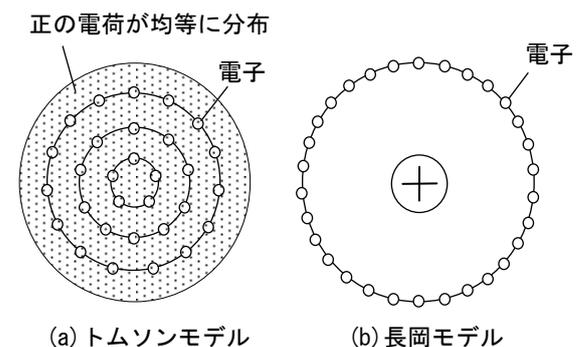


図4-32 原子モデル

なく、ほとんどの粒子は金箔を透過してそのまま直進しました。このことから、ラザフォードは原子の中心部にプラスの電荷をもった非常に小さな原子核が存在していることを証明しました(図4-33)。

観測や実験の結果をよりよく説明できるモデルが提唱され、それがその後の検証によって支持されることにより定説となる、つまり“わかった”あるいは“解明された”ことになるのです。

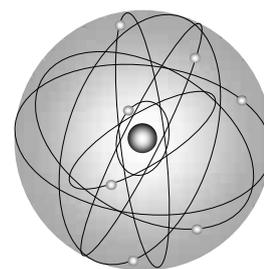
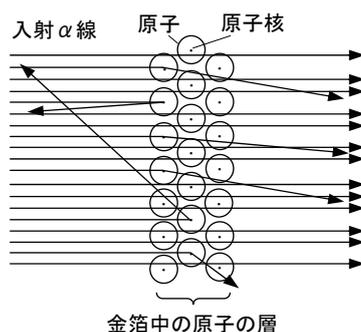


図4-33 ラザフォードの実験と原子モデル

### b) 自然現象のモデル化

以上みてきたように、自然現象の理解には“モデル化”が非常に有効です。ものの構造だけではなく、現象そのものもモデル化して考えると理解しやすくなることがあります。

水に食塩を溶かすと食塩の粒は見えなくなってしまう。さらに、その食塩水にプラスとマイナスの電極を入れると、導線に電流が流れます。このとき何が起きたのでしょうか。これを理解するために、食塩をプラスの粒子とマイナスの粒子が集まったものと考えます。水に入れることでその粒子がバラバラになって見えなくなる。さらに、プラスの粒子がマイナスの極板に、マイナスの粒子がプラスの極板に移動して電気が流れるというわけです(図4-34)。この粒子は直接見ることはできません。しかし、モデル化したことで、溶解という現象がうまく説明できます。

### c) 課題研究のまとめとしてのモデル

課題研究では、分野の違いやテーマ設定の仕方に違いがあるので一概には言えませんが、データを集めて現象の起きる条件を求めたり、最も現象の起きやすい変数を求めることで研究のまとめにする場合があります。それでも立派な研究になりますが、できれば、なぜその条件で現象が起きるのかを考え、それを説明するモデルを作ってみてください。さらに、そのモデルが正しいかどうかを検証する実験をやってみましょう。現象についての理解がさらに深まると同時に、研究の完成度が一段と高まるでしょう。

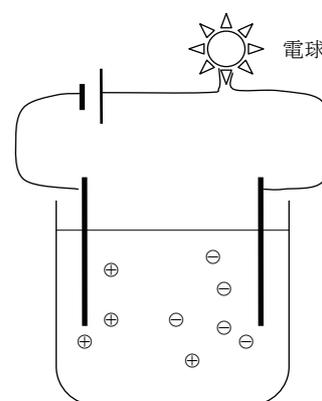


図4-34 溶解のモデル

## 11. 帰納と演繹

よく「自然科学は“帰納法”，数学は“演繹法”の学問だ」といわれます。科学を研究するということは、どうということなのか。前に出てきた仮説と検証の意味も含めて、科学論の世界に、ちょっと触れてみるのもいいでしょう。

### (1) 帰納と演繹

#### a) 帰納と仮説

まず一般的に、多くの事象からそれらに共通する規則を導き出すことを帰納といいます。一方、規則か

ら出発して、その前提の上に成り立つ事象を次々と導いていくことを演繹といいます。

たとえば、カラスやツバメ、スズメなどの鳥は羽があって空を飛びます。このことから、『すべての鳥は空を飛ぶ』という仮説が立てられます。このように、いくつかの観察例から一般的に成り立つ(であろう)命題を推論する方法が「帰納」です。ただし、この方法で得られた命題は、必ずしも正しいとは限りません。この帰納の過程が科学研究(課題研究)の出発点です。

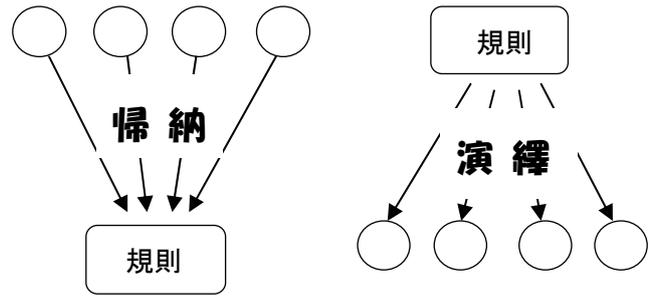


図 4-35 帰納と演繹

### b) 仮説からの演繹とその検証

次に、有限個(カラス、ツバメ、スズメ)の観察結果から立てた仮説を、すべての鳥についても成り立つものと仮定します。すると「ウグイスは必ず空を飛ぶ」ということになります。これが演繹の過程です。このとき、仮説が他の事例(ウグイス)でも成り立つかどうかを確かめる必要があります。これを検証といいます。ウグイスも空を飛べることがわかったとすると、それだけ仮説の信頼性が増加することになるのです。

### c) 仮説から法則へ

このようにして、仮説を支持するデータが増えて信頼性が増してくると、仮説は一段上の法則に格上げされていきます。きちんとした定義があるわけではありませんが、法則とは例外なく当てはまる最上級の仮説だといえます。逆に、仮説に当てはまらない事例が出てきたとき(もちろん、その観察や実験が正当なものかどうか、厳しいチェックが必要ですが)、仮説は一段低い単なる秩序や傾向となってしまいます。あるいは、例外的な事例をも含んだ、新しい仮説が立てられるかもしれません。そして、その新しい仮説について、再び検証が行われていくのです。鳥の例でいうと、ニワトリやペンギンは羽があっても飛べません。したがって、前の仮説『すべての鳥は空を飛ぶ』は正しくないことになり、たとえば『すべての鳥は飛べるわけではないが羽がある』というふうに仮説が修正され、それが再び検証されていくことになります。

### d) 数学と演繹法

数学は演繹的な学問だ、といわれます。数学には基本となる公理(公準)が存在し、それが正しいという前提のもとに、成り立つ定理について研究されていきます。その意味において、数学には観測や実験、つまりデータの収集や検証にあたる作業はありません。

ところで、「数学的“帰納”法」という証明法を習いますね。数学なのに、この方法は帰納法なのでしょうか。この方法は、ある命題が自然数 $n$ について真であるとき、 $n+1$ についても真であることを証明することにより、その命題の正しさが全ての自然数に対して次々と伝播していきます。全ての自然数が命題の正しさを証拠づけるような過程が帰納法を連想させるために「帰納法」と呼ばれているにすぎず、考え方自体は演繹法です。

## (2) アブダクション

### a) 科学的な発見とアブダクション

ところで、科学における発見とは、単純に観察データの集積から帰納によって得られるものでしょうか。もしそうだとすると、観察と実験さえできれば誰でも科学者になれることになります。しかし、万有引力の法則がニュートンなくしては見いだされなかったように、また、進化論がダーウィンなくしては確立されなかった

ように、科学者の持つ洞察力と想像力が偉大な科学的発見を成し遂げてきたという歴史が、科学的発見が単なる観察データの集積によってなされるものではないことを物語っています。

科学者は、普段見慣れているような現象に“なぜ”と問いかけます。ニュートンは、木からリンゴの実が落ちたのを見て“なぜリンゴは落ちるのか”と考えました。そして、リンゴと地球の間に何らかの引力が働いていること、さらにその引力が月にまで及んでいる、すなわちすべての物体の間に引力(万有引力)が働いているであろうことを推論しました。このように、観察や実験をもとにして自然に問いかけ、そこからその事実を説明する全く新しい仮説を導き出す推論の方法をアブダクションと呼びます。

### b) アブダクションを支える力

新しい仮説を立てるには、単なる思い付きだけでなく、その現象をとりまく様々な事象についての理解と物理や化学等の基礎知識など、広い知識と深い洞察力が必要とされます。逆に言うと、アブダクションとしての仮説を発見するためには、注目している現象だけにとらわれずに広い視野から多角的に考えると同時に、その根底にある物理・化学の法則も考慮して、創造性を発揮する必要があります。広い分野の学習が必要である理由のひとつが、ここにあるといえるでしょう。

皆さんが進めている課題研究においても、同様のことがいえます。不思議な現象がなぜ起きるのか、実験や観察を行うのはもちろんですが、広い知識を基礎にしてじっくりと考え、それを説明できる仮説を発見できるように努力してください。さらに、それを検証するための実験を考え、その仮説が正しいことを証明していく。課題研究の醍醐味は、ここにあるといってよいでしょう。

## (3) 理論が事実をつくる

### a) 観察の客観性

観察することによって、“誰にとっても(どの国の人も、どの時代の人)同じものを見れば同じものが見える”というというのは当たり前のことのようにです。自然の観察はもちろん大切なのですが、観察によって得られた“事実”にはそのような客観性があるのでしょうか。「バケツ理論」というのがあります。観察とは、水の中に漬けた穴のあいたバケツと同じで、自然界の現象がデータとして人間の中に流れ込んでくるだけで、その量が次第に増大していくにつれてデータ量も増え、それにもとづいた理論も進歩していく、という比喻です。本当でしょうか。

### b) 理論を知ることで現象が見える

夕立の後に現れる虹は、何色に見えるのでしょうか。虹は7色(赤橙黄緑青藍紫)といわれますが、欧米では青(blue)のとなりは紫(purple)です。つまり、虹は6色ということになります。同じものを見ても、その人(民族)の文化的な背景によって、そこに見える色の数は違うのです。次に、図4-36はどのような形に見えるのでしょうか。単なる線のつながりでなく、立体に見えるでしょう。ところで、見方によっては面abcdが手前に出っ張って見えたり、今度は面ABCDが手前に見えたりと、その見え方が変化します。

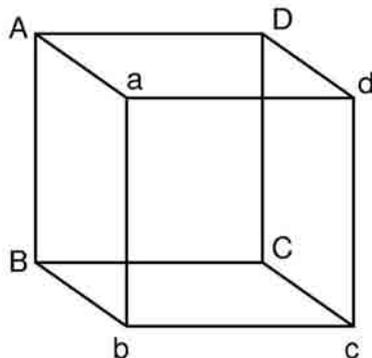


図4-36 立方体の見え方の変化

このように、同じ“もの”や現象を見ていても、その見方や考え方、その人が知っている理論等によって、全く異なるもの(現象)が見えてくるのです。同じように、落体の運動も、アリストテレスの理論をもとに見るか、ニュートンの万有引力の法則をもとに見るか、相対性理論をもとに見るか、見え方が違ってきます。溶液の色の変化も、錬金術として見るか、化学反応として見るかで、その意味するところが違ってきます。す

なわち、何物にもとらわれない“観察”はあり得ないということです。

科学研究において“観察”が成り立つのは、現代の人々の共有する考え方が同じであることを前提としているからです。したがって、観察眼を身につけるためには、現代科学の理論も同時に学んでいくことが必要です。そしてそれこそが、現代における自然の見方を学ぶことにほかなりません。水ロケットの飛距離を伸ばすためには、ニュートンの運動の法則を学ぶ必要がありますし、惑星の軌道計算をするためには、ケプラーの法則を頭に描いて天体観測をする必要があるのです。

### c) 理論から生まれる新しい仮説

「アブダクション」の説明で、“科学における発見とは、単純に観察データの集積から帰納によって得られるものではない”ということ述べました。以上のように考えてみると、“観察する”ためには、それについての理論が必要なのです。落下する物体を観察するとき、“全ての物体が同じ加速度で運動するのは、物体が地球によって引かれているからだ”とか、“月がいつも地球から同じ距離にあるのは、月が地球に向かって落ち続けているからだ”という理論をもとに観察しない限り、万有引力の法則の発想は生まれません。また、そもそも落下する物体に疑問を感じることもなかったでしょう。何に注目するか、言いかえると何を疑問として感じられるかを決めるのが理論であり、それをもとにして素晴らしい発想(新しい仮説)がアブダクションによって生まれてくるのです。

## 第5部

### 成果をまとめる

課題研究もいよいよ大詰めです。研究成果をレポートや論文にまとめる時の方法についてまとめました。「考察」には何を書いたらいいのか。文献の引用の仕方は？ レポートを書く前に、必ず目を通してください。

# 1. 論文の要素

これまで続けてきた研究を論文やレポートの形にまとめていきましょう。主として酒井聡樹(2007)を参考に、科学分野の課題研究はもちろん、他の分野も含めて、論文を書くときの留意点をまとめてみました。

## (1) 論文とは何か

### a) 論文に必要なこと

× 学術的な問題を扱っていない × 調べたことしか書いてない

たとえば、「今朝、散歩したら気持ちよかった」という感想は、ブログには書いても論文にはなりません。でも、「朝の散歩が脳を活性化させる効果」は、学術的に意味のある内容なので、論文にできるかもしれません。また、いわゆる“調べ学習”でも、文献に書いてあることだけを列挙したのでは論文になりません。自分がどういう問題意識を持ってその文献を読み、どう考えたのかが論文には必要です。

### b) 何のために論文を書くのか

\* 問題に対する自分の考えを相手に伝える  
\* 研究したことを形として残す

学校では、「論文で評価されるから」というのも目的にはなりますが、一般的には上記の2点が重要です。自分がやったこと、考えたことを相手(読者)に伝えるために書くのですから、当然、わかりやすくかつ説得力のある書き方をするための工夫が必要です。また、論文は、自分の“業績”として公表され、形として残ります。製本されていればなおのことですが、手書きの論文も「手記」として、研究者にとって未来の引用文献になります。

### c) 基本的な構成要素

\* タイトル, 著者名, 要旨, 序論, 本論(方法, 結果, 考察), 結論, 引用文献

これまでも述べたとおり、基本構成は上記のとおりです。今回は、これまで触れなかった要素を中心に、論文で気をつけたい点を説明します。

## (2) 本論以外の大事な要素

### a) タイトル

\* 内容が想像でき、興味をひくタイトル(問題と着眼点)

研究発表の項でも説明しますが、タイトルを見ただけで内容が想像できて興味がひかれ、“説明を聞いてみよう”“読んでみよう”と思わせるタイトルを考えます。タイトルは、論文の独自性を主張する、最初の重要なポイントなのです。

### b) 要旨(Abstract)

\* 必要事項: 取り組んだ問題, 着眼点, 主要データ, 論理展開, 結論

論文では、最初に全体の内容を要約した数百字程度の『要旨』を置きます。時間のない人は、この要旨だけを読んで終わりにしたいと思うでしょう。したがって、その中に内容のエッセンスが全て含まれている必要があります。結論を明確に、短い文章でまとめましょう。また、英語で書いてみると、短い論理的文章の練習になります。

実際にレポートや論文を書く場合、要旨は最後に書くようにしましょう。論文の内容がすべて整理されて

頭に入った状態で、それを簡潔にまとめて文章にします。さらに、要旨と序論、研究の動機の区別がつきにくい場合があります。要旨はあくまで論文全体の要約ですので、特に「何について研究したのか」と「何がわかったか」をはっきりと書くようにしましょう。

### c) 序論・はじめに

＊序論＝「動機」ではない「何をやるのか」「どうしてやるのか」

序論(はじめに)には、「どのような問題に」「なぜ取り組むのか」「過去の研究事例」「新しい着眼点」等を書き、読者を本論に誘導します。特に、先行研究については徹底的に調べ、自分の研究との関係を含めて必ず書かなければなりません。後述する引用のルールに則って、きちんと記載してください。取り組んだ問題とそれに取り組む理由をここで明らかにしないと、何も分からないまま「実験の方法」に突入することになります。

### d) 謝辞

＊指導教員以外でお世話になった機関、個人に感謝する

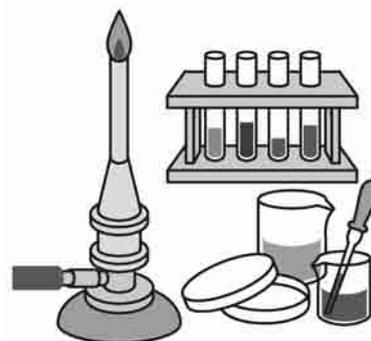
学校以外の大学や研究所、役所、企業、個人などの協力を得た場合、あるいは指導教員以外の方にお世話になった場合は、謝辞としてお礼の言葉を載せてください。必ず正しい名称で記載すること。また、学校外の資金援助を受けて研究を行った場合も、そのことを記載してください。

## 2. 本論に書くべきこと

### (1) 実験方法

#### a) 他の人が再現できるように書く

実験方法は、研究テーマを検証するためにどのような方法を用いて実験したのか、あるいはどのような調査を行ったのか、読み手が十分に理解でき、さらに他の人が実験を再現できるように書くのが基本です。科学の研究は、誰がやっても同じ結果が得られる、つまり「再現性」があるということが基本理念のひとつとなっています。そのため、実験に使用した器具、薬品の種類、量、濃度、手順、操作法、さらには実験装置の説明、実験の回数、対照群の設定など、なるべく詳細に記述します。ただし、その分野で定番となっているような手法については、参照した文献を提示することで替えることができます。



#### b) 調査地域の情報

生物や地質などの分野では、野外調査をもとにした研究が行われることがあります。その場合は、調査地の位置、周辺の地図、地質図、対象とするものの分布図など、調査内容が理解できるような図とその説明を記載します。また、サンプルを採取した場合は、その採取方法やサンプル数、処理方法などももれなく記入します。

### (2) 調査・実験の結果

#### a) 掲載データの選択

研究をまとめる段階になると、おそらく膨大な量の測定値や画像などのデータが蓄積されていることでし

よう。もちろん、全てのデータを論文に掲載できるわけではありませんので、その中から必要なデータを選び出す必要があります。原則は、結論の根拠となる実験のデータです。論文は客観的な事実に基づいて書かれなければならないので、結論を主張し読み手を納得させるのに十分な実験や調査の結果を示す必要があります。

#### b) データに忠実たれ

ここで注意が必要なのは、前述した“無意識のデータ改ざん”です。結論を主張したいがために、結論を支持するデータのみを記載し、不都合なデータを削除してしまうことはあってはならないことです。単純なミスは排除しなくてはなりませんが、実験方法に由来する本来の



A:元の画像

B:縦横比を変えた画像

図 5-1 図の改ざん

誤差が含まれた状態でのバラつきのある測定値は、そのまま記載されなければならない。

同様のことは、画像にも当てはまります。普通の画像の場合、許される画像処理は「明るさ」と「コントラスト」のみです。特定の対象を強調するために着色等をした場合は、その旨を明記してください。空いたスペースに画像の形を合わせるため、勝手に縦横比を変えて画像を引きのばしたりするのも厳禁です(図 5-1)。また、画像の切り貼りや合成も基本的にはやってはいけません。たとえば、雲画像と天気図を重ねて表示するなどの操作をする場合は、どのような操作をしたのかを書いてください。

念のために付け加えますが、故意にデータを改ざん、ねつ造することは絶対にしてはいけません。そのような行為は、指導してくれた先生やグループの仲間、ひいては学校を裏切ることになり、何よりも自分自身に嘘をつくこととなります。また、それが発覚すれば、論文自体が取り消されるのはもちろん、当事者は完全に信用を失ってしまいます。自分のデータ、自分の行為に責任を持ち、正々堂々と主張する態度を、課題研究を通じて身につけていってほしいものです。

#### c) 「表」を活用

基本的に、測定値は「表」として提示します。第4部の「表とグラフの活用」を参照して、分かりやすい表となるように心掛けましょう。その際、測定値の「単位」を書き忘れることのないように。また、測定値の有効数字にも気を配ること。もし、特定の測定値だけ違う条件で測定されていたり、処理の仕方が違う場合は、必ず注釈を付けるようにしましょう。

### (3) 「考察」で書くべきこと

#### a) データの分析

論文やレポートの中心となるのは、「考察」です。データをもとに、どのように考えて結論を導いたのか、あるいは問題点に対してどのように自分が考えたのか、根拠とした測定値は信頼できるのか、実験の問題点は何だったのか。考察に必要な要素を考えてみましょう。

まず、得られたデータを比較したりグラフにしたりして、実験の要素・変量の間にある関係を見つけ出します。グラフの描き方は以前に説明しました。いくつか補足します。

①適切な種類のグラフを用いる:円グラフ、棒グラフ、折れ線グラフ、散布図、ヒストグラムなどを使い分ける。

②必要な要素をもらさず記入する:タイトル, 目盛, 単位などは忘れずに。

③実際の測定値をプロット(点示)する:○, ●, ×などのシンボルを使い, 表示法を工夫する。グラフを見て, 実際の値のばらつき(分布)がわかることが重要です。

#### b) データから結論を導く

得られたデータ, グラフによる因子間の関連性の分析などをもとに, 現象に対する自分の考えを展開し, 結論を導きます。論文における最大の山場です。

①結果をもとに主張する:調査や実験によって得られた結果を根拠として, そこからいえることを結論として主張します。そのとき, 現象にかかわる因子間の関連性(相関関係か因果関係かなど)について, 十分に考える必要があります。現象の背後にある原理についてよく理解し, いくつかの調査・実験結果をまとめて, 結論を導き出します。

②当初の「疑問」に対する「結論」になっているか:研究の途中で主題がずれてきて, 結局最初の疑問と違う方向に研究が進んでいってしまうことがあります。そのような場合でも, 論文としてまとめる以上は, 「設定されたテーマ」と「結論」が対応するように, 全体を見直す必要があります。

③他の主張, 過去の研究との比較:同じ現象について扱った過去の研究や他の研究者の見解と比較し, 自分の見解の正当性・妥当性(つまり, 自分の方が正しいのだということ)を主張しなくてはなりません。過去の研究例がない場合は, 自分の研究の独自性を強調します。

④モデル化, 数式表現:現象をモデル化することで, より簡潔に理解できるようになります。さらに, 数式で表すことにより, 他の現象への応用もしやすくなります。

#### c) 今後の展望

①実験の改良点:今回の実験の問題点を反省し, 改良の余地を示します。できれば, より精度の高い測定法や具体的な実験装置なども提示できるとよいでしょう。ただ, “もっと高価な装置で測定する”等の具体性のない“改良”はやめましょう。

②発展の可能性:自分の研究の成果を, 今後どのような方面に生かすことができるか, 他の分野も含めてその可能性を示唆します。

## 3. 引用のルール

### (1) 先人の業績, 自分の独自性

#### a) 過去の研究事例

研究テーマにもよりますが, 多くの場合, 課題研究は同様の分野の先行研究を参考にして, それを別の視点から研究したり, 実験方法を改良したりしながら進められます。関連分野の論文を引用することもよくあります。課題研究をまとめる際には, これらの過去の研究事例についてしっかり調べ, それを引用文献, 参考文献として明記することが大事です。先人の業績に敬意を表しつつ, それを基礎に発想した自分の研究の独自性を主張してください。

注意すべきことは, どこまでが過去の実験方法やデータの引用なのか, どこからが自分の研究なのかをはっきり区別することです。特に, 同じ学校の先輩からの継続研究の場合, 自分あるいは自分たちのグループの仕事はどこからか, 自分たち独自のアイデアは何かということ, はっきり記載してください。逆に言うと, 単に同じ方法で継続しただけの研究では不十分だということです。研究には新しいアイデア, ユニー

クな発想が常に求められ、それを論文の前面に押し出すようにするとよいでしょう。

#### b) 掲載の許諾

論文に引用・掲載するものは、過去の論文だけではありません。さまざまな情報、特に画像を掲載してわかりやすい解説を心掛けてください。自分たちで作ったものを撮影した画像であれば問題ありませんが、プライバシー保護や知的財産権の観点から、掲載に際して許諾の必要が生じる場合もあります。

たとえば、人物の画像については、できるだけ個人を特定されない画像を使いましょう。やむをえず顔がわかる状態で掲載する場合には、その本人の承諾が必要です。また、絵画やキャラクター、Web上の画像等も許諾を得る必要があります。出版されている本の表紙についても注意が必要です。さらに、見学した企業や施設内の画像(特に装置の画像)については、その企業や施設に問い合わせる必要があります。また、掲載する場合は、必ず「出典」を明示してください。

発表と違って論文は文献として残りますので、許可なく掲載してよいか、プライバシーを侵害していないかについて十分な配慮が必要となります。

#### c) “コピー”は絶対にダメ

コピー・アンド・ペースト、通称「コピペ」は、他人の論文やレポートから、無断でその内容や文章そのものを借用し、あたかも自分が発想して書いたものであるかのように見せかける行為です。これは盗作であり、もちろん絶対にやってはいけないことです。しかし、現代のようにインターネットを通じて容易に文献が検索できるようになると、文字通り「コピー」と「ペースト」をして切り貼りの文章をつくると、自分が書いたものであるように錯覚してしまいます。論文はもちろん、学校の授業におけるレポートなどでも、“コピペは絶対にしない”という約束を守ってください。

## (2) 引用の仕方と引用文献

### a) 引用の仕方

書籍や論文の内容や文章そのものを引用する場合は、次の2つの方法があります。

- ① 文献の内容について引用者の言葉で紹介する方法
- ② 文献の言葉を一字一句違わずに、そのまま書き写す方法

### b) 引用文献の指定

引用には、発行年で文献を指定する方法と、番号で指定する方法があります。

- ① 「小泉(2010)によると…」 「…(引用文)…(小泉 2010)」として、文献リストに記載する。
- ② 「小泉<sup>1)</sup>によると…」 「…(引用文)…<sup>1)</sup>」として、文献リストに「1) 小泉…」という番号付きで文献を記載する。

### c) 引用文献(文献リスト)の書き方

どのような媒体から引用するかによって、書き方が違います。また、発表会やコンクールに応募する場合などは引用文献の書式が指定されることもありますので、それに従った書式で記載してください。

- ① 本の場合: 著者名, 出版年, 書名, 出版社名を列挙する。これが基本です。

例: 小泉治彦(2010)「課題研究の進め方」我孫子高校出版会

- ② 学術雑誌の論文の場合: 著者名, 出版年, 題名, 学術雑誌名, 巻号, ページを列挙する。

例: 小泉治彦(2010): レポート・論文の書き方, 理科教育, 25 巻 5 号, 34-42

Watson, J.D and Crick, F.H.C(1953) :Molecular Structure of Nucleic Acids, Nature, **171**, 737-738

- ③ ウェブページの場合: サイト名, URL を書く。

例:千葉県立我孫子高等学校公式ホームページ <http://saas01.netcommons.net/abikohigh/>  
ただし、ウェブページは公共機関や大学、研究所等のものだけにしましょう。信頼性の問題から、Wikipedia 等の特定の人・団体によらないWeb上のフリー百科事典、あるいは個人のホームページは、引用文献には適しません。さらに、公共機関や大学のものであっても、ウェブページは断りなく改変・更新されますし、見られなくなることもあります。書籍との違いを認識し、引用はくれぐれも慎重にすべきです。

文献リストの順序は、基本的には著者名の五十音順(あいうえお順)です。ただし、文献に外国語のものがある場合などは著者名のアルファベット順(abc 順)にすることもあります。また、引用文献の指定②のように番号を付けて引用する場合は、引用した順に文献を並べます。出版年の位置など、文献の表記法には習慣や決まりに違いがありますので、専門誌に投稿する場合などはそれに従いましょう。将来、自分の論文が他の著者の文献リストに掲載されることを期待しながら、レポートや論文を書くといでしょう。

## 4. 理系の作文技術

### (1) 論文・レポートの文章

論文やレポートは、内容を的確に相手に伝えることが目的です。文章はできるだけ簡潔にわかりやすく書くことを心掛けてください。

- ①**わかりやすい文章を:**レポートは文学作品ではありません。感動させる文章、味わいのある文章は必要ありません。わかりやすい文章、誤解のない文章を心がけましょう。
- ②**事実と意見を区別する:**学術的な文章の基本です。客観的な事実と自分の意見を明確に区別し、事実の説明に主観が入らないように気をつけましょう。
- ③**はっきり言い切る:**「～であろう」「～と思われる」「～と見てよいのではないか」などの持って回った表現、あいまいな表現は避けましょう。

### (2) わかりやすい文章表現

文章表現についての本は、多数出版されています。ここでは要点を列挙するのみにとどめます。

- ①**「だ・である調」:**この文章のような「です・ます調」は、レポート・論文には適しません。
- ②**ひとつの文にひとつの内容:**文はできるだけ短く。だらだらと長文にならないように。
- ③**主語と述語の関係を明確に:**文を書いたら、その中の主語と述語がどれなのか確認してみましょう。主語と述語があまりに離れすぎているのも、文をわかりにくくさせる要因の一つです。
- ④**修飾語と被修飾語の関係:**“旨そうな海老ののった天井”は、“旨そうな「海老ののった天井」”なのか、“海老ののった「旨そうな天井」”なのか、どちらにも解釈できます。語順を変える、読点(,)を打つなどして、誤解のない表現にしましょう。修飾語は、それが掛かる語のすぐ前に置くのが原則です。

このように、理系の分野でも、国語力がとても大事です。普段から多くの文章を読む、一度書いた文章を先生に読んでもらうなどして、文章力をさらに磨いていきましょう。



## 第6部

# 成果を発表する

発表にはポスター発表と口頭発表があります。研究したことをポスターにまとめる方法、PowerPoint でスライドをつくる要領など、ちょっとしたコツがあります。また、人前で話すのは苦手という人が多いのではないのでしょうか。話し方の秘訣も伝授します。

# 1. 研究を発表する

学校内での課題研究発表会、地域や県内での合同発表会、あるいは学会での高校生発表など、さまざまな場で課題研究の成果を発表するチャンスがやってきます。ここからは、研究した内容を発表するための心構えと発表の技術について考えてみたいと思います。

## (1) 研究を発表するにあたって

### a) 何のために発表するのか

そもそも何のために発表するのでしょうか。発表の目的は第一に、これまでの研究成果を他の生徒や先生方に伝えることにあります。時には、それが評価されて表彰につながることもあります。また、他の人の意見を聞くことで研究のヒントを得たり、さらには自分のプレゼンテーション能力を高めることにもつながります。一方、発表を聞く側の人からすると、発表を聞いてその知識や研究の方法を自分たちの研究の参考にする、というのも発表の目的のひとつです。

### b) ポスター発表と口頭発表

まずポスター発表とは、用意した1枚のポスターの前で、聞きに来てくれた相手とやり取りをしながら説明する発表のスタイルです(図6-1)。あまり緊張せずに話せること、質問がしやすいことなど、発表に慣れていない人でも取り組みやすい方法です。



図6-1 ポスター発表の様子

それに対して、口頭発表はパソコンのプレゼンテーションソフト(パワーポイント)などを使って、大勢の聴衆の前で行う発表の方法です(図6-2)。一度にたくさんの人に聞いてもらえる反面、一方的に話すだけの発表なので質問がしにくく、慣れないと緊張しがちでやや難しく感じるかもしれません。



図6-2 口頭発表の様子

どちらの発表方法も長所と短所がありますが、まずは両方に共通する留意点や発表の要素について考えてみましょう。

### c) 発表する際のマナー

①**服装**:きちんとした服装で発表することは、聞き手への敬意と発表会に臨む意気込みの表れです。仲間内の気楽な服装はだらしなく見えるだけでなく、聴衆に対して失礼にあたります。

②**態度**:緊張しすぎる必要はありませんが、真面目な態度で、自分の発表を聞いてもらうという感謝の気持ちを持ち、聞き手に視線を向けて丁寧に発表しましょう。

③**質疑応答**:質問してくれるのはありがたいことです。自分の発表に関心を持って、よく聞いてくれた証拠です。アドバイスに謙虚に耳を傾け、しっかり記録に残しましょう。

### d) グループでの発表

グループでの発表の場合は、それなりの分担が必要です。話すのが得意な人、機器操作に熟達した人、専門知識を持った人など、その得意な面を生かした役割分担をして、効果的な発表になるように作戦を

立てましょう。

## (2) 内容の構成

### a) タイトル

タイトル(演題)の付け方には、工夫が必要です。たとえば、『雲の研究』、『火山弾について』…ダメではありませんが、もの足りません。ポスター会場で、あるいは予稿集で、タイトルを見ただけで内容が想像できて興味がひかれ、“説明を聞いてみよう”“読んでみよう”と思わせるタイトルの方がよいでしょう。たとえば、『なぜ雲は、もくもくとわき上がるのか ～大気の運動と雲の形態の関連について～』『火山弾を用いた噴火時のエネルギーの推定』ではどうでしょう。あまり長くなるのも考えものですが、サブタイトルをうまく使うと効果的です。コンパクトに研究内容を伝えるために、タイトルは最初の重要な要素なのです。

### b) はじめに

“なぜこの研究を始めたのか”“どういう着眼点で問題に取り組んだのか”を簡潔に示します。過去の研究を紹介して、その分野の背景に対する自分の独自性をアピールするのもよいでしょう。

### c) 研究の目的

最初に、発表する研究の目的を明確にすること。これを受けて、実験や観察が行われて、結果を評価することになります。どういう観点から、どういう方法で、何について調べるのか。検証が可能な具体的な目的を設定します。予想される結論を「仮説」の形で提示してもよいでしょう。

### d) 実験(調査)方法の説明

ポイントは、聞き手が実験の具体的方法を理解できること、この方法なら目的とするものを検証できると納得させること、そして実際にその方法で実験を行えば、同一の結果が出ることです。

### e) 結果

表やグラフを用いて、実験の測定値や観測の結果を示します。実験の精度やバラつき具合、実験回数についても示すとよいでしょう。

### f) 考察

実験結果の妥当性や信頼性、実験の結果が目的に対してどのような意味を持っているのか、仮説は検証されたのかなどについて、結果をもとにして考察を行います。

### g) まとめ

最後に、発表全体のまとめをします。結局、この研究で何が明らかになったのか、逆に、何が問題として残ったのか、今後の発展性などについて、簡潔に述べます。

## (3) 「分かりやすい発表」にするために

最初に述べたとおり、発表は聞き手に研究内容を伝えるために行うものですので、聞き手に分かってもらわなければ目的は達成されません。研究内容さえよければどんな発表の仕方でもいい、という考えは通用しません。

研究発表に限らず、分かりやすく説明するための方法として、藤沢晃治著『「分かりやすい説明」の技術』(講談社ブルーバックス)では、いくつかの“ルール”を紹介しています。いくつか例を挙げてみます。

- タイムラグ(聞き手が理解するまでの時間差)の存在を知れ
- 情報構造を浮かび上がらせよ
- 論理的な主張をせよ

●聞き手に合う説明をせよ

この本のほか、同著者の『「分かりやすい表現」の技術』、『「分かりやすい教え方」の技術』(いずれも講談社ブルーバックス)も大変参考になります。

校内発表であれ、学会での発表であれ、発表の機会が与えられたら勇気を持って発表してみましょう。結果的に少々不満足な発表だった場合も含めて、きっと得るものがあるはずです。自分ではわからなかった視点や実験方法に気付かされることもあります。発表をひとつの節目と考えると、さらに大きく研究を進展させていけるといいですね。

## 2. ポスター発表の方法

ポスター発表は聞き手との距離も近く、比較的チャレンジしやすい発表の方法です。ポスター発表に用いるポスターの制作の仕方や発表のコツについて考えてみましょう。

### (1)ポスターの作り方

#### a)ポスター制作にあたって

ポスター発表では、通常、ひとつの発表に使えるパネルの大きさが「横 90cm×縦 180cm」のように指定されます。最近では大型プリンターを用いて、ロール紙に直接印刷してポスターを作ることも多くなりましたが、模造紙にマジックインキで手書きしてもよいし、またA4版のプリントを何枚も並べて張っても構いません。ここでは、大型用紙(たとえばA0用紙841×1189mm)にプリンターで印刷することを想定して話を進めることとします。

#### b)「見やすさ」が命

ポスターを作るにあたって念頭に置くべきことは、「一目で分かりやすいこと」です。そのために気をつけるべきことを列挙してみます。

- ①**タイトル**: 上部に研究タイトルを大きめに書く
- ②**文字の大きさ**: 1m程度離れた場所からでも本文が読めるような文字の大きさ
- ③**文字のフォント**: 説明文は明朝体よりゴシック体
- ④**余白**: 普通の配布物とは違い、周囲の余白はほとんど不要
- ⑤**視線の流れを意識**: 読み手の視線の動きを考えてレイアウト、区画分割、番号



図 6-3 ポスターの制作例



図 6-4 字体の違い

付けをする

⑥**全体の構成**:伝えたいことの全体像をレイアウトで表現する

⑦**強調**:重要な部分は色を変える, フォントを変える, 枠で囲うなど分かりやすい工夫を

⑧**文の長さ**:ひとつの文を短く, 簡潔に表現する。箇条書きも有効

### c)レイアウト

紙面への構成内容の配置の仕方をレイアウトといいます。用紙は縦型, タイトルと発表者名は紙面の上部に書くことを指定されることが多いので, それ以外の要素の配置を考えます。ここでは, 宮野公樹(2011)をもとに, レイアウトの仕方について考えてみたいと思います。

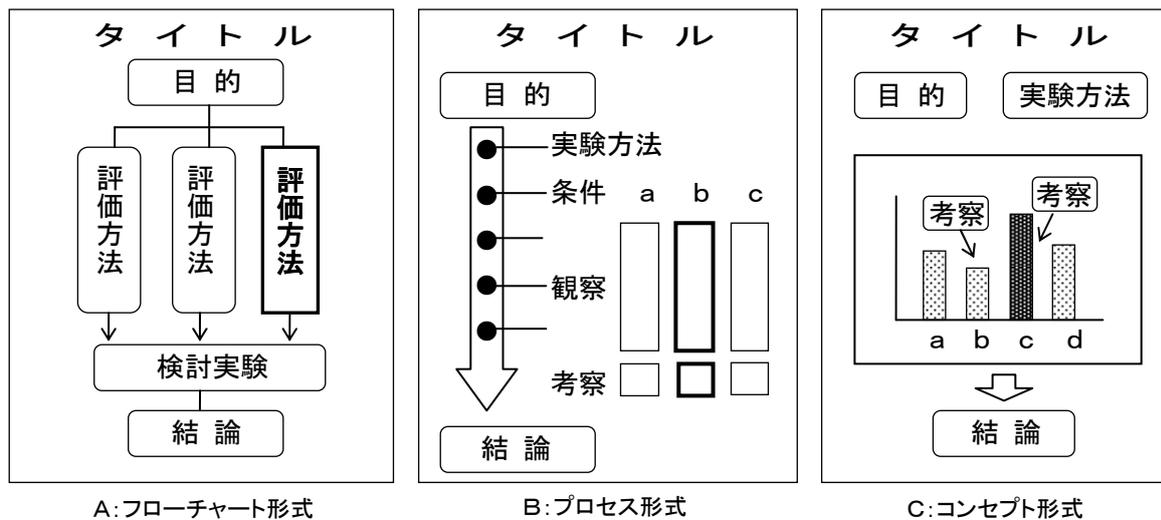


図 6-5 わかりやすいレイアウトの例

研究ポスターは, **論理構造とデザインと一致させることが重要です**。つまり, 発表者の頭の中にある研究の全体像のイメージを, 平面(2次元)的に表現する, ということです(図 6-5)。前掲書は, ポスターにおける研究内容の構造化の代表的手法として, 次の3つをあげています。

- A: フローチャート形式**・・・研究の要素間の関係を図として表現したもの
- B: プロセス形式**・・・時間や作業手順などを一本の流れの中で表現したもの
- C: コンセプト形式**・・・研究の中で最も強調したいポイントを中心に要素を配置したもの

研究の内容によって最も効果的なレイアウトも変わってきますが, “相手にひと目で自分の主張が伝わるようなポスター”という点は共通です。パッと見て内容がわかるポスターを目指しましょう。

ところで, 研究の全体像を示すために, 結論を目的(はじめに)と並べて上部に配置するのもひとつの方法です。調査や実験の具体的な内容は, 広いスペースを区分して視線を誘導しながら記述していき, 最下部に優先度の低い謝辞や参考文献を並べるようにします(図 6-6)。

このようなレイアウトの工夫に加え, 各要素に**コントラストをつける**, **グループに分ける**, **イラストレーションを使う**など, 相手をひきつけ, かつ少ない負担で理解してもらえる工夫をしてみましょう。

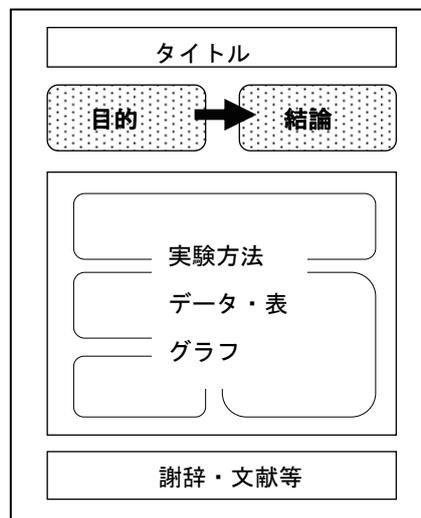


図 6-6 結論の位置

#### d) 図・表・画像の活用

研究の対象や実験装置の画像・イラストがあると、どのような研究なのかイメージしやすくなります。表やグラフは、測定結果や傾向を一目で理解させてくれます。しかし、あまりたくさん図や画像を入れるとポイントがぼやけます。「これぞ」という図を選んで、大きめに配置します。その図を示しながら説明をすることで、1枚の図を何倍にも活用することができるでしょう。

ポスター制作の順序は、全体のレイアウト→図・画像の選択→余白に説明文、となります。

### (2) ポスター発表のコツ

#### a) ポスター発表の特徴と心構え

ポスター発表は、話し手と聞き手が直接向き合って行われます(図 6-7)。したがって、発表とは言っても延々と一方的に説明するのはルール違反です。研究の全体像は既にポスターに書いてあるのですから、要点を押さえてできるだけ“ゆっくり・はっきり・簡潔に”説明しましょう。原稿を読むのではなく、聞き手の方を向いて説明できるといいですね。



図 6-7 ポスター発表の様子

#### b) 「対話」で伝える

まず、研究の目的をはっきり提示します。細かい部分は適宜省略しながら、流れを大切に「5分間」で全体を説明できるようにします。そして、目的に対する結論を明確に示します。うまくいかなかった実験でもそこから何がいえるのか、目的は達成されたのかをはっきり話すことが重要です。聞き手と対話するつもりで、必要であれば専門用語や研究の基礎知識の説明も織り交ぜて説明しましょう。さらに極端に言えば、ポスター発表は質問が最も大事な要素です。アドバイスをいただく、という謙虚な気持ちで臨みましょう。

#### c) 効果的な発表のために

ポスターで説明するのが基本ですが、いろいろな工夫をすると発表がより効果的なものになります。たとえば、サンプルや模型の提示／指示棒を使う／要旨プリント(縮刷版)を用意する等です。

#### d) 発表を聞く側の心構え

発表を聞くときは、全体の説明をお願いしてもいいですし、ポスターを読んで、最初から聞きたい所を質問してもいいでしょう。“粗さがし”をするのではなく、発表者に敬意をもって発表を聞き、質問をしましょう。対話をすることで、発表者と聞き手の両者にプラスになるような、情報交換と討論の場になれば最高です。

## 3. 口頭発表の方法

最初から人前で話すのが得意な人はあまりいないでしょう。しかし、いくら立派な研究をしてもその内容が正確に伝わらなければ意味がありません。さらに、発表によって熱意や意欲を伝えることもできます。課題研究に限らず、発表の技術を身につけることは大切なことです。発表の技術は練習によってぐんぐん上

達していきます。卒業してから、会社などの職場でも役立つプレゼンテーション技術を、ぜひ身に付けましょう。

## (1) 口頭発表の技術

### a) 口頭発表の心得

まず、いくつか基本的な心構えを挙げておきます。

- 緊張するのが当たり前。「聴衆は味方」と考え、自分のペースで
- 制限時間を守れ。時間内で余裕を持てる内容にする
- リハーサルをして、万全の準備をせよ

### b) ストーリーの展開

通常 10～15 分の発表では、言えることは限られます。内容構成についてのアドバイスです。

- 序論(背景), 研究の目的(仮説), 実験方法, 結果, 考察, まとめ が基本

まずは、レポートやポスター発表と同様に、上記の順番が基本です。研究の目的に対してどのような結論が得られたのか、聞き手に分かりやすいストーリーを心掛けましょう。

- 最初に全体の展望・情報構造を示せ

長めの発表の場合などは、この発表でどのような話題が出てくるのか、結論は何なのかを最初に示すのも有効です。全体像を示す図(地図)があると、道順がわかりやすくなります。

- 論理的な説明を心掛けよ

『薬品Aを与えた全ての個体に現象Xが起きた。したがって、AがXの原因だ。』しかし、Aを与えなくてもXが起きるかもしれません。考察を十分にを行い、論理的な飛躍がないように注意しましょう。本当にその結論しかないのか、聞く側に立ってチェックするのが有効です。

- やったこと全てを話す必要はない。ストーリーを考え、内容を取捨選択せよ

課題研究の道筋は、まっすぐ結論に到達することはまれで、樹木の枝のように試行錯誤や失敗を繰り返しながら進んでいきます。発表の時は枝葉末節は省略し、必要な情報のみに絞ります。

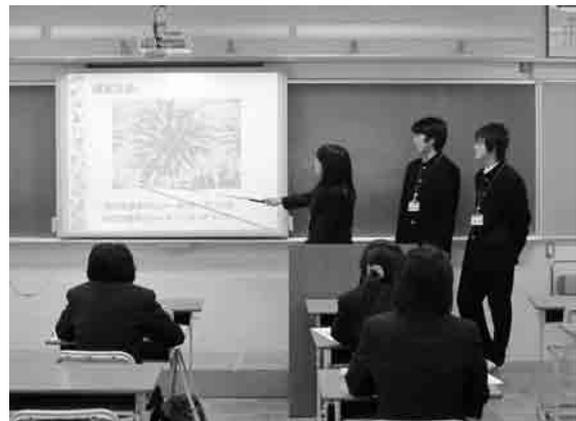


図 6-8 口頭発表の様子

### c) プレゼンテーションにおける話し方

- ①姿勢, ②視線, ③声, ④身振り

キリッとした姿勢で(ポスチャー)、聞き手を見て(アイコンタクト)、ゆっくりと大きな声で(ボイス)、身振り手振りを交えて(ジェスチャー)語りかけるように話しましょう。

- 表・グラフの説明は、きっちり、ゆっくり

表やグラフは自分には見慣れたものであっても、聞き手にとっては初めて目にするものです。表の各項目や、グラフの目盛などはきっちりと説明し、聞き手の理解する時間を考えて、スライドを一定時間見せてください。指示ポイン

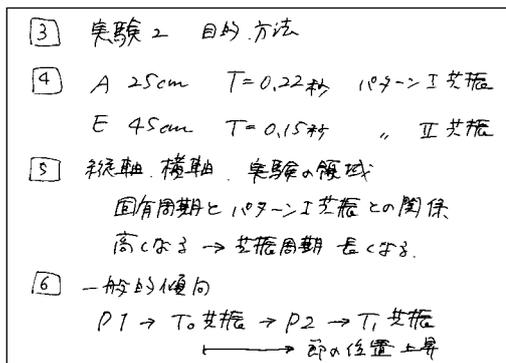


図 6-9 発表メモの例

タを使う場合は、いたずらに動かさずに目標をズバツと指しましょう。

### ●発表メモは、流れとキーワードで

最初は発表原稿をしっかり作りましょう。しかし、それを全て憶える必要はありません。発表当日は、全体の流れ、ポイントとなる言葉(キーワード)、重要な数値などを書いたメモを用意します(図 6-9)。実際の発表では、時折スライドや紙を見ながら、極力聞き手の方を向いて発表してください。

### ●質疑応答は短く的確に。自分たちの努力を示せ

発表者は、質問に対して短時間で的確に答えること。わからないことについては、素直に“わかりません”と答えましょう。データと格闘してきたこれまでの努力が試されます。

#### (4)聞き手側(聴衆)にも技術が必要

### ●①顔, ②注目, ③反応, ④応答

まず、顔を話し手に向け(フェイス)、相手の言葉に意識を向け(アテンション)、内容に対して相槌を打つ(リアクション)。そして、感じたことを言ったり、質問したりしましょう(レスポンス)。

### ●必ず手を挙げて質問する、くらの気持ちで

実験方法やデータの確認、あるいは言葉の意味自体でも構いません。できるだけ質問しましょう。質問することを探しながら聞くことが、注意深く発表を聞くことにつながります。

## (2)発表スライドの作り方

### a)発表に使う視聴覚機材・ソフト

口頭発表は、コンピューターとプレゼンテーションソフトを用いて行われます。Windows のパワーポイントのほか、Mac や Linux などそれぞれの OS ごとに同様の「プレゼンソフト」がありますが、会場で共用パソコンとして用意されるのは通常 Windows のみです。また、新バージョンに切り替わって間もない時期は、古いバージョンで作成しておいたほうが無難です。さらに最近では、会場で用意されるのはプロジェクターのみで、コンピューターも自前で用意しなければならないことがありますので、事前に確認するようにしましょう。

### b)発表スライドは単純、正確に

#### ●スライドの適正な枚数、1枚の情報量

内容にもよりますが、10 分間で提示できるスライドはせいぜい 15 枚位です。1枚に内容を詰め込んでもいけません。

#### ●長い文章は書かない。箇条書きも有効

パッと見て分かるように、長い文章は厳禁です。ひとつの文は改行しない長さに。

#### ●比較する図・グラフは同じスライドに

多くのプレゼンソフトは「紙芝居方式」です。一枚のスライドで比較ができるように。

#### ●文字・図は大きく、はっきり。背景はすっきり

特に表や図の項目、目盛、単位等は遠くからでも読めるようにはっきり書きます。タイトル、図のポイントを書き入れ、ひと目見ただけで何の図かわかるのがベストです。

#### ●アニメーションは必要最低限に

アニメーションは多用しすぎると目障りになります。できるだけシンプルに仕上げましょう。

### c)スライド構成から内容へ

プレゼンソフトのスライドを作る際に、1 枚目から丁寧に文章まで考えている生徒をよく見かけます。たい

ていの場合、文章は長くなり、なかなか完成できません。スライドは、まず全体の構成を考えて、枚数分のスライドにタイトルだけを入れてしまいます。その後で、それぞれのスライドに入れる画像を決め、空いたスペースに文字を入れていきます。

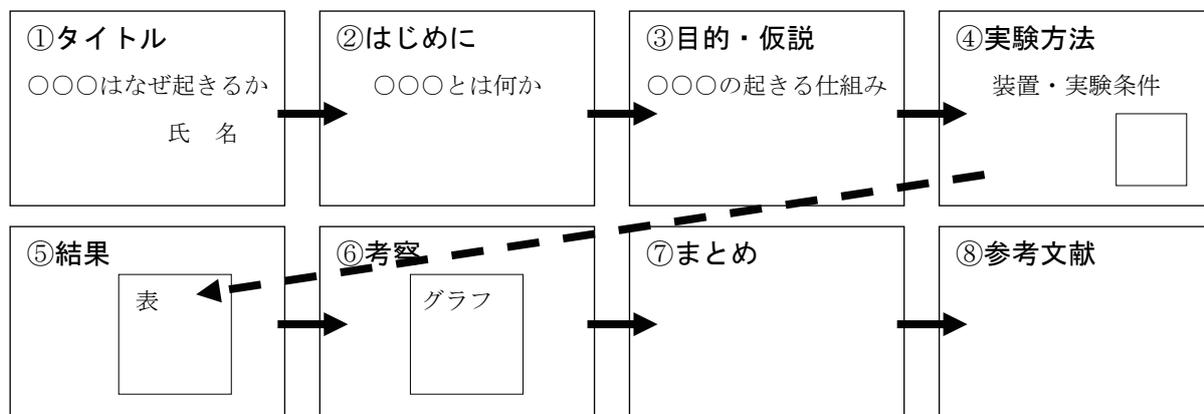


図 6-10 スライドの構成

#### d)「もしも」のために

当日の会場では何があるか分かりません。発表前に、必ずコンピューターへの接続、およびプレゼンソフトの動作チェックをしてください。また、プレゼンソフト画像をPDF形式に変換してUSBメモリに入れておく、複数のコンピューターをグループで手分けして持っていくなどの対策をしておくといでしょう。

## 3. 英語でのプレゼンテーション

### (1)なぜ「英語」なのか

#### a) 学術論文における公用語

英語が得意という人はあまり多くないかもしれませんが、しかし、大学や研究機関においては、英語を使えることが前提で研究が進められていきます。まず、学術論文はほとんどの場合英語で書かれるのが常識です。その意味で、英語が公用語といつてよいでしょう。大学では英語で書かれた論文を読みこなす力が求められ、それが情報収集力の差となって現れます。また、自分が論文を書く場合も英語で書くことが必要になります。

高校での課題研究でも、専門的な文献を検索すると英語の論文がヒットしてきます。将来必ず必要になりますので、今のうちから英語、特に理系の単語を含んだ簡単な文章を多読できる力を身につけておきましょう。

#### b) 世界の友人とのコミュニケーション・ツール

これからの社会では、学術研究はもとより企業におけるさまざまな活動が、世界を舞台として展開されていきます。読み・書きだけでなく、英語で聞く・話す力も試されます。英語でのプレゼンテーションは、そのための絶好の教材です。日本国内はもちろん、外国の友人たちに自分の研究を知ってもらうために、積極的に英語で話しかけましょう。ちなみに、英語圏以外に住む人にとっては、英語はみな外国語です。中国語、韓国語、マレーシア語、フランス語、ポルトガル語、アラビア語、ロシア語など、さまざまな母国語をもつ友人たちと交流するためのコミュニケーション・ツールとして、英語の力を磨いていきましょう。

### c) 正確さより, まず「言う」こと

もちろん文法的に間違いがなく, 発音も流暢な英語で話せばそれに越したことはありません。しかし, 英語を母国語としない人にとって, それはなかなか難しいこと。つい口ごもって, 口数が少なくなってしまう。英語習得の最大の近道は, どんどん間違ふこと。正確な文法, 流暢な発音より, とにかく「たくさんしゃべる」ことです。たとえば, 外国から日本に来た人が, 間違いながらも一生懸命日本語を話してくれたら, いちいち間違いを指摘して直しますか。黙っていては伝わりません。間違ってもいいから, どんどん話すことです。Mistake is good!

## (2) 英語での発表練習

### a) まずは「決まり文句」を覚える

研究の中身の英語表現より, まずは英語でのプレゼンテーションの決まり文句を覚えましょう。

#### • Today I'd like to talk to you about ~

(本日は, ~についてお話をさせていただきます。)

#### • I'll talk about ~

(~についてお話しいたします。)

#### • This shows ~

(スライドの説明:これは~です。)

#### • As you know, ~

(ご存知のように, ~)

#### • Thank you for your kind attention.

(ご清聴ありがとうございました。)

決まり文句がわかると, 英語で話すことのハードルが低くなったように感じませんか。

### b) とにかく練習

あとは先生に原稿やプレゼンを見てもらいながら, とにかく練習しましょう。同じ研究グループの生徒同士で練習するのも効果的です。自分の発表に使われる専門用語はできるだけ早く覚え, 一般的な数学表現にも慣れるように心がけてください。皆さんのチャレンジを, 世界の友人が待っています。

## 第7部

### 新しい世界へ

全力を尽くして取り組んできた研究の成果を、科学コンクールに応募してみませんか。国内はもとより、世界に挑戦する扉が開かれるかもしれません。さらに、課題研究で培った力を生かして大学入試に挑戦しましょう。努力した皆さんに新しい世界が待っています。

# 1. 科学コンクール・論文展に挑戦

## (1) 国内の科学コンクール・論文展いろいろ

これまで、日夜努力して進めてきた課題研究。ぜひその成果をまとめて、コンクールや論文展に挑戦してみてください。高校生を対象としたコンクール・論文展のうち、主なものを表 7-1 にまとめてみました。

表 7-1 科学コンクール・論文展の例

名 称	主 催	特 徴
日本学生科学賞	読売新聞社	1957 年創設。地方審査あり
高校生“科学技術”チャレンジ (JSEC)	朝日新聞社	ものづくりも含め、独創性を評価
朝永振一郎記念「科学の芽」賞	筑波大学	未完成でも「疑問」「発見」を評価
全国高校生理科・科学論文大賞	神奈川大学	2002 年創設の科学論文展
坊っちゃん科学賞	東京理科大学	物・化・生・地・数学・情報などの部門
全国学芸サイエンスコンクール(サイエンス分野)	旺文社	文芸・アート等多彩な分野の一部門

日本学生科学賞は県ごとの地方審査がありますので、各県の読売新聞社支局や教育センターなどの窓口を調べてください。各県から3～6点の論文が、中央審査に進むことができます。朝日新聞社主催の JSEC は、2003 年から始まった科学技術論文展で、いわゆる自然科学はもちろん、数学・コンピュータサイエンス・エンジニアリングなど、広範な分野にわたる研究が対象となります。他の論文展もそれぞれ特徴がありますので、各ホームページなどで確認をしてください。このほかにも、企業や科学館その他の団体が主催して公募される論文・作品展もありますので、インターネット等を利用して検索してみてください。

## (2) 海外のコンクールへ

論文展の中で、日本学生科学賞と JSEC の上位入賞者は、アメリカで毎年5月に行われる Intel ISEF (国際学生科学技術フェア) に派遣され、世界各国の学生に混じってプレゼンテーションを行う資格を与えられます。ISEF は、世界40か国以上から1500人以上の高校生が集まって、自分たちの研究を発表しあう、まさに世界最大級の“科学技術のオリンピック”です。もちろん、すべての書類や発表、審査は英語で行われます。



図 7-1 ISEFでの発表の様子 朝日新聞社提供

## (3) 学会で発表しよう

さらに、先生の指導のもとに各分野の学会に参加し、研究内容を発表してみてもどうでしょうか。最近では、多くの学会が「高校生セッション」や「ジュニアセッション」のコーナーをつくって、高校生など若い人の発表の場を設けています。その分野の専門家の方々に直接話を聞いてもらいアドバイスをいただくことは、

とてもいい経験になります。特に優れた研究の場合には、高校生であっても研究内容を論文として発表できる可能性もあります。また、千葉大学や神戸大学、茨城大学のように、大学として高校生の科学研究発表会を開催しているところもあります。

一例として、地学分野における高校生セッションを紹介します。

【地学分野における学会の高校生セッションの例】

- 日本地球惑星科学連合(JpGU)大会での高校生セッション
- 日本地質学会での小さな Earth Scientist のつどい～小・中・高校生徒「地学研究」発表会～
- 日本天文学会でのジュニアセッション
- 日本古生物学会での高校生ポスター発表
- 日本地学教育学会でのジュニアセッション

## 2. 大学入試に挑戦

多くの高校生には、大学入試が待ち構えています。皆さんはこれまで、自分で決めたテーマについて、それを解明するための実験方法を考えて装置をつくり、努力を惜しまずに実験を繰り返してきました。中には、その成果をまとめた論文で入賞することのできた人もいることでしょう。これまでの努力を、各自の進路実現にうまくつなげていってください。

### (1) 科学コンクール・論文展の特典

日本学生科学賞や JSEC の上位入賞者には、大阪大学や千葉大学、早稲田大学、慶應義塾大学、東京理科大学、中央大学、立命館大学などの一部の学部において、AO 入試や特別選抜入試において特典が与えられます。東京大学においても、平成28年度から導入する推薦入試において推薦要件の実績例として挙げられています。また、他の大学主催の論文展や発表会などでも、入賞者にその大学の特別受験資格などが与えられることがあります。

### (2) AO入試に挑戦

大学の AO 入試や推薦入試における自己PRに、課題研究の成果を活用して入学を決めていく先輩がたくさんいます。この場合も、論文、面接あるいはプレゼンテーションなど、これまでに磨いてきたいろいろな形で発表能力が生かされることとなります。私立大学はもちろん、国公立大学でも多くの大学が自己推薦入試や AO 入試を設定し、型にとらわれずに自分自身で学んでいく力を持った生徒を募集しています。

### (3) 大学での学習・研究に求められる力

AO 入試については、入学者の基礎学力不足など否定的な意見もありますが、課題研究によって培われた様々な能力こそ、大学入学後に“大学が学生に求める能力”に他なりません。それは“自学力”です。自分が学びたい分野・対象に対して文献を探し、書籍を読みこなして学習していく力。先生に質問し、グループで討論しながら問題点を洗い出し、具体的な解決策を考え出す問題解決力。これまでの活動で身につけたこれらの力を存分に活用して、まずは大学入試に挑戦し、そして大学進学後は自分自身の夢

に向かってチャレンジしていきましょう。

### 3. 課題研究で得られたもの

皆さんは、これまで課題研究を通して研究計画を立て、実験装置を作り、放課後も残って実験を繰り返す、結果を考察して発表会に臨み、そしてレポートとしてその結果をまとめてきました。これらの一連の活動によって、どんなことを得ることができましたか。失敗を繰り返しながら、皆さんは知らず知らずのうちに大切なことをいろいろ学んできました。自分自身は気付かないかもしれませんが、きっと次のような力が身に付いてきたことと思います。

#### ●自然(もの)を観察する力

夜空の星をどのように観察しますか。まず、明るさの違いから、その星の大きさや距離の違いがわかります。色の違いから表面温度がわかります。星のまたたきから、大気の揺らぎがわかります。あるいは、星の動きから地球の自転の様子がわかります。はるか 130 億光年のかなたからやってくる光に、地球の現在(今)を思います。課題研究を通して、ものごとのいろいろな見方を学んだことと思います。

#### ●論理的に考える力

現象は、いろいろな要因が絡み合って姿を現します。その絡み合った糸を解きほぐして、本当の原因を突き止めるには、論理的に考えることが重要です。“かき氷がよく売れるほど熱中症が多くなる”という事実から、“かき氷が熱中症の原因だ”などと結論付けることのないように。

#### ●プロジェクトを計画し、実行する力

一年間という長期にわたるプロジェクトを、自ら計画して実行したのはおそらく初めてでしょう。先を見通す力、余裕を持って日程を組む力、予定通り実行する力など、科学研究に限らずとも、さまざまな業種や社会分野で将来必要になる力です。

#### ●表現する力、伝える力

ちょっとうまく言えないと、口をつぐんであきらめてしまう人が増えているといえます。発表体験を通して、とにかく言葉をつないで自分たちのやったことや考えたことを、相手に伝えることの大切さを実感したことと思います。社会では“以心伝心”は通用しません。

このような力は、皆さんのこれからの人生できっと役に立つと信じています。

## おわりに: 課題研究の指導にあたられる先生方へ

本文でも述べたとおり、課題研究には「テーマを決める」「研究計画を立てる」「実験する」「文献を調べる」「結果を検討する」「発表する」など、いろいろな要素があります。課題研究に取り組むことで、生徒たちのどのような能力を伸ばすことができるのでしょうか。

課題研究に取り組むことによって、生徒たちが身につけることができる能力にはどのようなものがあるか、いくつか分類してみました。

### a) 課題設定能力

自分が疑問に思ったことを、実験・観察・調査などによって検証できる仮説にまとめ、その実験・観察・調査の方法や手順を正しく組み立てられる能力

つまり、自分が疑問に思ったことを、課題研究のテーマとして設定する力です。大事なものは、そのテーマが、自分がやる実験・観察・調査などによって検証できるものでないといけないことです。

### b) 情報活用能力

図書館・インターネット・学校・各種機関等を通じて、コンピューター・英語等を駆使し、場面に応じて必要な知識や情報を選択・収集し、それを活用できる能力

課題研究では、情報をうまく活用しなくてはなりません。インターネットでの検索はもちろん、学校や公共の図書館を使った本の活用も大事です。また、コンピューターや英語等を使いこなさないと文献が読めないことがあります。さらに、近隣の大学や研究所等の職員や研究者の方々から情報を提供してもらったり、測定機器を使わせてもらったりする必要も出てきます。

### c) 調査実験能力

問題解決のための実験・観察・調査の方法を考案し、それを計画・日程に従って自己管理しながら実行する能力

課題研究の最も核となる部分です。仮説を検証するための実験そのものを考え出す力、実験・工作器具の使い方、条件や精度を考慮しながら実験を遂行する力はもちろん、グループで話し合う力や計画通りに活動を進める力なども含まれます。

### d) 評価総合能力

実験・調査の結果を吟味・評価し、グラフや数式を使いながら考察して、研究の成果をまとめる能力

いわゆる“考察”にあたる部分です。まず、実験や調査の結果が正当なものか、精度や信頼性の面から吟味・評価します。また、測定値をグラフに表し数式化することにより、その現象の裏にある原理を考えます。さらに、その原理をモデル化して一般的に成り立つ法則としてまとめることができれば最高です。

### e) 発表伝達能力

日本語・英語・数式・発表ソフト等の言語や手段を用いて研究内容を発表し、相手にその主旨を効果的に伝える能力

生徒に限らず、相手に自分の意思を伝えるのは難しいものです。しかし、練習することによってこの能力は飛躍的に向上します。しかも、発表会等においてその向上が目に見える形でわかるので、生徒自身にとっても課題研究の成果を最も感じることできる部分です。

課題研究を進める中で、生徒たちはこれらの能力を高めていくと考えられます。ここで知っておいた方がよいのは、これらの能力は生徒と指導者とのさまざまな関わり合いの中で育っていくということです。人間的な触れ合いも含め、課題研究に取り組む中で教師と生徒との関係は、通常の授業とは比較にならないくらい密になり、文字通り生徒と一緒にになって指導者も研究に取り組むことになります。つまり、研究の過程における指導者の方針や助言が生徒に大きく影響を与えます。指導者はやりがいを感じるとともに、責任をもって指導にあたりたいものです。

千葉県立柏高校は、平成16年度から21年度まで、文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクール(SH)の指定を受け(平成20・21年度は継続措置)、理数科生徒を対象に「サイエンスラボ」という課題研究の授業に取り組んできました。このガイドブックは、その取組みの中から生まれてきたもので、文字通り柏高校の生徒と職員が試行錯誤を繰り返す中で作り上げてきたものです。生徒の皆さんや先生方が、これから課題研究を進める中で少しでも役立てていただければ幸いです。

### 第3版の出版に際して

初版の出版から5年近くの年月が経ち、科学を取り巻く環境は大きく変わってきました。特に、2011年の東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故は、人間と自然および科学技術との関係について、日本人に再考を迫る出来事でした。さらに、2014年のSTAP細胞に関わる報道は、科学の信頼性を大きく揺るがすものでした。これらの状況を踏まえ、第2版の各所に加筆・修正を加えて「理科課題研究ガイドブック第3版」を発行することとなりました。

今回の改訂に際して、千葉大学先進科学センターおよび高大連携専門部会の先生方には、多くのアドバイスをいただきました。中でも先進科学センター花輪知幸教授、高大連携専門部会長工藤一浩教授には、各方面への交渉も含めて大変お世話になりました。千葉大学の橋本一教授、赤染元浩教授、深澤英人准教授は、研究室見学を快く受け入れてくださいました。また、今回も千葉大学大学院工学研究科の瀧山 愛さん、渡邊理恵さんには、温かみのあるイラストを描いていただきました。このほかにも、千葉県内を始め全国の先生方より多数の助言やアドバイスをいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

2015年1月 小泉 治彦

## 【参考文献】

本ガイドブックをまとめる上で、参考にさせていただいた書籍および論文をあげておきます。先生方はもちろん、生徒の皆さんもこれらの本を参考にして、研究を進めてください。

- 天野一男, 秋山雅彦(2004)「フィールドジオロジー入門」共立出版  
アンホルト, ロバート. R(2008)「理系のための口頭発表術」講談社ブルーバックス  
一瀬正己(1953)「誤差論」培風館  
木下是雄(1981)「理科系の作文技術」中公新書  
酒井聡樹(2007)「これからレポート・卒論を書く若者のために」共立出版  
酒井聡樹(2008)「これから学会発表する若者のために」共立出版  
酒井聡樹(2013)「これから研究を始める高校生と指導教員のために」共立出版  
戸田山和久(2012)「新版 論文の教室」日本放送出版協会  
Barker, Kathy (2005)「アット・ザ・ベンチ バイオ研究完全指南 アップデート版」メディカル・サイエンス・  
インターナショナル  
藤沢晃治(2002)『『分かりやすい説明』の技術』講談社ブルーバックス  
文化庁長官官房著作権課(2014)「著作権テキスト～初めて学ぶ人のために～」文化庁  
宮野公樹(2011)「学生・研究者のための伝わる！学会ポスターのデザイン術」化学同人  
村上陽一郎(1979)「新しい科学論」講談社ブルーバックス  
盛口 満(2012)「生き物の描き方～自然観察の技法～」東京大学出版会  
山下孝介 訳編(1972)「メンデルの基礎ーメンデルの〈植物雑種に関する実験〉ほかー」裳華房  
米盛裕二(2007)「アブダクション 仮説と発見の論理」勁草書房  
Adey, P.S., Shayer, M., & Yates, C. (2001) Thinking Science: the curriculum materials of the CASE  
project. (3<sup>rd</sup> ed.). Cheltenham: Nelson Thornes.

「口頭発表の方法」については、(独)科学技術振興機構(JST) 井上徳之氏の講義を、また「ブレイン・ストーミング」については、千葉市立新宿中学校 今井 功氏の実習を参考にさせていただきました。

著者

こいずみ はるひこ  
小泉 治彦

1983年東北大学理学部卒業 専門は岩石学

千葉県内の公立高校に勤務 地学担当 気象予報士

2008年千葉大学第2回高校生理科研究発表会にて

課題研究指導者に贈られる朝日新聞社千葉総局長賞を受賞

平成25年度文部科学大臣優秀教職員表彰

著書に「科学と人間生活」(共著)数研出版(2011),

「新訂版 系統的に学ぶ中学地学」(共著)文理(2014)がある

連絡先 E-mail: h.kizm9@chiba-c.ed.jp

このガイドブックの挿画は、千葉大学広報学生ボランティアグループ「クリエイティブ」渡邊 理恵,  
瀧山 愛 が制作しました。挿画 監修:宮崎 紀郎(千葉大学名誉教授・グランドフェロー)

## 理科課題研究ガイドブック 第3版

～どうやって進めるか、どうやってまとめるか～

2010年3月19日 初版 第1刷発行

2010年9月25日 第2版 第1刷発行

2015年2月28日 第3版 第1刷発行

著者 小泉 治彦

発行 千葉大学 先進科学センター

〒260-8522

千葉市稲毛区弥生町 1-33

TEL 043-290-3521 FAX 043-290-3523

印刷・製本 株式会社 正文社

〒260-0001

千葉市中央区都町 1-10-6

TEL 043-233-2235 FAX 043-231-5562

## 千葉大学からのお知らせ

千葉大学では平成 19 年から毎年 9 月の最終土曜日に、課題研究の成果をポスター形式で発表する会を高校生理学研究発表会の名称で開いています。平成 30 年は 9 月 29 日（土）に千葉大学西千葉キャンパス（会場：体育館を予定、JR 西千葉駅から徒歩 8 分）で開かれます。優れた発表には賞も授与されるほか、どの発表にも審査員のコメントが後日高校を通じて届けられます。

詳細は、高大連携専門部会(<http://www.cfs.chiba-u.jp/koudai/>) のホームページでお確かめください。高校生理学研究発表会は、千葉県教育委員会や企業、高等学校、大学など多くの団体等の協力の上に成り立っています。

平成 29 年度第 11 回発表会は、下記の団体等から審査委員 140 名、実行委員 57 名、医師 1 名、講演講師 4 名など総勢 202 名の皆様のご協力のもと実施されました。また、双葉電子記念財団、セコム科学技術振興財団からのご寄附により支援を受けました。関係の皆様に厚くお礼を申し上げます。

主 催	国立大学法人千葉大学
共 催	千葉県教育委員会
後 援	文部科学省, 千葉市, 千葉市教育委員会, 千葉県高等学校長協会, 千葉県高等学校教育研究会理科部会, 千葉県高等学校文化連盟, 国立研究開発法人 科学技術振興機構, 日本理化学協会, 朝日新聞社千葉総局
協 賛	公益財団法人 双葉電子記念財団, 株式会社 JTB関東, 公益財団法人 セコム科学技術振興財団
実行委員所属団体 (審査委員・協力団体)	企 業 伊勢化学工業(株)製造本部千葉工場, 出光興産(株)先進技術研究所, 花王(株)スキンケア研究所, (株)大林組, (株)合同資源, (株)フジクラ先端技術総合研究所, 新日鐵住金(株)先端技術研究所, 東京化成工業(株), 日宝化学(株), 日本電気(株)IoTデバイス研究所, 日鉄住金セメント(株)東京支店, パナソニック(株)全社 CTO 室, 双葉電子工業(株), ライオン(株)機能科学研究所
	研 究 所 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構, 国立研究開発法人 産業技術総合研究所, 国立研究開発法人 放射線総合医学研究所, 千葉県生物学会 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構
	国 県 海上保安庁, 千葉県教育庁, 千葉県総合教育センター
	大 学 茨城県立医療, 杏林, 埼玉, 秀明, 筑波, 東京, 東京医科歯科, 東京学芸, 東京工業, 東京慈恵会医科, 東京理科, 東邦, 日本, 明治
	高 等 学 校 県立: 千葉, 千葉女子, 千葉東, 千葉工業, 千葉南, 若松, 幕張総合, 千葉西, 八千代東, 津田沼, 船橋, 薬園台, 船橋東, 船橋古和釜, 船橋北, 市川工業, 国分, 浦安南, 鎌ヶ谷, 鎌ヶ谷西, 小金, 松戸国際, 東葛飾, 柏, 柏南, 柏陵, 柏の葉, 柏中央, 佐倉, 佐倉南, 四街道, 銚子商業, 匝瑳, 成東, 長生, 大多喜, 木更津, 君津 市立: 千葉, 稲毛, 船橋 私立: 市川学園市川
	講演講師

## NPO法人日本サイエンスサービスからのお知らせ

科学自由研究コンテスト経験者が集まっているユニークなNPOとして「日本サイエンスサービス (NSS)」があります (<http://nss.or.jp>)。もともと、国際学生科学技術フェア (Intel ISEF) 日本代表経験者が中心となって設立された団体で、科学自由研究を広げようという活動をしています。その活動を担っているスタッフの多くは、中学・高校時代に科学自由研究コンテスト受賞経験のある大学生や大学院生という、研究の醍醐味を体感してきた“若き研究大好きグループ”です。NSSは、これから課題研究に取り組まれる皆さんにとって有益な情報を、皆さんと近い世代の視点から

科学自由研究.info <http://kenkyu.info/>

で、発信しています。研究の進め方、題材探しや、研究成果を発表する場についても豊富な情報を掲載していますので、参考になります。これも、科学自由研究の楽しさを共有しあえる仲間が増えることを期待したNSSの活動の柱となっています。

また、米国で出版されている科学自由研究の参考書 (Tanya M. Vickers 著: Teen science Fair Sourcebook) を翻訳し、邦題「中高生のための科学自由研究ガイド」として、2015年3月三省堂書店より上梓いたしました。研究者にアドバイスを乞うときの手紙の書き方、審査のポイントなど、日本ではあまり知られていない米国の状況を紹介しながら、中高生にとって参考となる内容となっています。

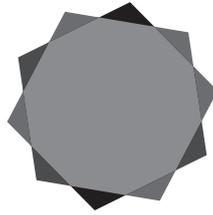
## 国際学生科学技術フェア Intel ISEF への参加ルール

Intel ISEF では審査を公平にするため、細かい国際ルールが決められています。これに適合しない研究作品は出展できません。この国際大会 (Intel ISEF) を目指す方は、最初から国際ルールを意識して研究を行い、まとめていくのが良いでしょう。国際ルールは、NPO法人日本サイエンスサービス (NSS) が運営するウェブサイト；

ISEF 情報サイト : <http://www.isef.jp/>

の中で日本語訳が掲載されています。Intel ISEF に参加しない場合でも、生物実験での注意など有益な情報が掲載されています。





# CHIBA UNIVERSITY

学校名	
年 組	氏名