

1 課題探究・研究って何？

私たちの周りには、まだ知られていない現象やメカニズムのわかっていない現象がたくさんあります。また、環境問題や交通事故のように解決・改善が必要な問題も数多く存在します。それらの中から知りたい・解決したいと思う課題を見つけ、自ら実験や調査・観察、あるいは開発を行い、それらの課題を解決すること。そして、その結果や結論を多くの人々が納得する形で伝えるのが課題探究・研究です。したがって、課題探究・研究のゴールは、論文作成や口頭・ポスター発表ということになります。スムーズに探究・研究活動を行うには、最初から最終形（ゴール）を意識して取り組むとうまく行くことが多いようです。

1 「論文や発表」＝「最終形」に必要な内容

①研究の背景

研究の意義、わかっていることとわかっていないことなどを書きます

②目的

明確かつ具体的に書きましょう

× 水問題を解決する ○ 海水を用いた植物栽培装置を開発する

③仮説*（すべての探究・研究が仮説検証型とは限りません）

できる限り検証可能な形で書きます

④実験／観察／調査

材料（対象）・方法などを書きます

⑤結果

④から客観的に言えることなどを、図表をまじえて書きます

⑥考察

⑤の結果になった理由やその結果から言えることを書きます

⑦結論

取り組んだ問題への解答を書きます

⑧謝辞

⑨引用・参考文献

必ず対応させる

※すべての探究・研究が仮説検証型とは限りませんので、無理やりこじつけた仮説を立てる必要はありません

2 テーマ設定をする前に確認しておくこと

本格的に課題探究を進める前に、次の2つのことを確認しましょう。

(1) 既に誰かがやっていないか？

既に誰かがやっていたこと、既にわかっていたことではせっかく頑張って探究した意味がなくなってしまいます。3年生までの教科書はもとより、他校の論文集やインターネット等を活用して、「誰かがやっていないか」「どこまで解決していて、どこから先が未解決なのか」を確認しましょう。

(2) 見通しが立つか？

(1) をチェックしたら、途中で探究・研究活動が行き詰らないように、ある程度の見通しを立てましょう。そのために使うとよいのが下のプリントです。最低限、プリントの各項目が埋まる見通しが立たなければ、実際の探究活動はかなり苦戦することが予想されます。そのときはテーマ設定や目的を変更して、再度プリントを埋めてみましょう。スムーズに埋まらなければ、埋まるまでテーマや目的を変更してみましょう。ためしに、いくつかの論文を読んで下のプリントを埋めてみてください。優れた研究であればすんなりと埋まるはずですから。

1 何を目的に研究するのか(目的)	
<input type="text"/>	
2 何をしたら(実験や観察・調査)	3 どうなったのか(結果)
<input type="text"/>	<input type="text"/>
	
4 そこから何が言えるのか(結論)	
<input type="text"/>	

図 探究見通し確認プリント

2 課題探究・研究の進め方

課題探究・研究をどのように展開していけばよいか？ これは生徒の皆さんだけではなく指導する側にとっても頭を悩ませる難しい問題です。そこで、国際科学コンテストである「グローバルサイエンティストアワード“夢の翼”」で文部科学大臣賞（最優秀賞）を受賞した M さんの「落ち葉の秘密～なぜ落ち葉は裏向きが多いのか～」の研究を中心に実例を交えながら説明していくことにしました。この研究は、落ち葉は裏向きになっているものが多いということに気づいた M さんが、「本当にそうなのか」「何故そうなるのか」ということを統計的手法や数学・物理学的手法を用い、実験と理論の両面から解明していった研究です。最後に裏向きが多い生物学的な意味についての考察と今後の展望で締めくくられています。是非、皆さんが探究という豊かで深い森を散策するときのガイドブックにしてください。

1 問題の発見とリサーチクエスチョンの設定

課題探究・研究の第一歩は、問題を発見することです。優れた探究・研究になるかは、いかに面白い・興味深い問題を発見するかにかかっているといっても過言ではありません。ではどうしたらよい問題を発見することができるのでしょうか？ 必ずよい問題を発見することができるという正解は、まだ誰も知りません。そもそも存在しないのかもかもしれません。しかし、次のような取組を通じて問題発見力を高めることはできると考えます。是非、問題発見力を高め、面白く興味深い問題を発見してください。

【問題発見力を高めるヒント】

(1) 身の回りのことに興味関心を持つ

- ・常に面白そうなことはないかという気持ちで身の回りのことを眺めてみる
→ 案外見慣れたものの中にも不思議はあるものです。
- ・不便・不満・不快なことを書き出してみる
→ 「不」のつくものの解消は立派な探究ですよ。
例 洗濯機の「糸くず取りネット」は一般人の発明です。
- ・範囲を限定して問題を見つける時間をつくってみる
→ 目の前の光景や写真から疑問をできるだけたくさん挙げてみる。
新聞のあるページから問題を見つける。

(2) Key 概念・視点を通じて眺めてみる

- ・「変化と保存」「共通性と多様性」「部分と全体」などの概念や視点で眺める
→ Key 概念や視点を意識すると面白いことに気づくかもしれません。
例 葉の湾曲の向きが違う植物があるのはどうしてだろう？（共通性と多様性）

(3) 関連知識を増やす

- 興味がある分野について積極的に知識を増やす
→資料集や書籍、インターネットを使って積極的に獲得する。今まで見えなかったことが見えたり、気づかなかったことに気づけるようになるはず。

問題を発見したと思ったら、「〇〇が△△なのはどうか?」「〇〇を△△するにはどうしたらよいか?」というように、問いの形で書いてみましょう。そうしてできたものがリサーチクエストです。つまりリサーチクエストとは、「探究の問い」＝「探究の根底を流れる疑問 (How や Why)」のことです。リサーチクエストをつくったら、すでに誰かがやって答えが出ていないかを確認しましょう。すでに答えが出てしまっているものでは探究・研究としての価値はありません。似たものであっても、手法や対象が違えば取り組む価値は十分あります。担当の先生を始め、いろんな人と相談してみましょう。

2 探究・研究目的の設定

探究や研究は目的を達成するために取り組みますので、目的はその達成が可能なものにする必要があります。場合によってはリサーチクエストを絞ったり、特定の対象に焦点化する場合があります。リサーチクエストから目的の設定(テーマ設定)にかけての留意事項をまとめてみました。

【リサーチクエストから目的の設定(テーマ設定)の際の留意事項】

- (1) 未解明であること／オリジナリティ(独自性)があること
検索すると答えが出てくるようなものはふさわしくありません。
- (2) データ収集や分析ができること
自分たちで実験や観察、アンケートなどが可能なものにしましょう。
既存のデータを用いる場合も、それらを組み合わせたり、独自の視点で分析するようにしましょう。
- (3) 答えが出ること
探究期間には限りがあります。探究期間内にある程度の結論が得られるものにしましょう。特に生き物を対象にする場合、活動の時期が限られます。また、想定以上の時間がかかることがありますので、十分検討した上で設定するようにしましょう。

ここまでの一連の流れを、Mさんの落ち葉の研究を例に考えてみましょう。

Mさんは下足室前の落ち葉を眺めているうちに、裏向きの葉の方が多いことに気づきました。これが研究の出発点、つまり問題の発見です。これをもとに次のようなりサーチクエスチョンを設定しました（先行研究らしい先行研究はありませんでした）。

「裏向きの落ち葉の方が表向きのものより多いのはどうしてだろうか？」

このリサーチクエスチョンの「どうして」には2つの意味が込められています。1つはHow（どのようにして）で、もう1つはWhy（なぜ）です。1つ目のHowは落ち葉が裏向きになるメカニズムに焦点を当てたものであり、2つ目のWhyは裏向きになる意味（適応戦略上や進化の過程における意義）を意識したものです。

一般に、Whyに答えるにはかなりの時間を要することが多いため、Mさんは研究目的を次のようにHowに絞って設定しました。

①裏向きの落ち葉が表向きのものよりも有意に多いことを統計的に実証する

②裏向きの落ち葉の方が多くなる物理的なメカニズムを解明する

このように、リサーチクエスチョン（問い）から研究目的を設定する際には、問いを解きほぐしてアプローチする方向を絞ったり、自分たちができるレベルにまで具体化・焦点化するとうまくいくことが多いようです。

【ちょっとひと言】

先ほど、研究目的を設定するときは具体化・焦点化するとよいと説明しました。しかし、実際の研究ではこれとは全く反対の方向、すなわち問題をどんどん抽象していくことで難問を解決した例もあります。広中平祐氏のフィールズ賞受賞の対象となった「特異点解消」の研究エピソードは有名ですね。研究にはこれという何にでも当てはまる方法（正解）があるわけではないということです。だから難しいのであって、その難しいことに取り組むことによって、未来社会を創りゆく力を育むことができるのです。

【参考】：広中 平祐、「生きることと学ぶこと」（集英文庫、1984）

3 仮説の設定と検証

（1）仮説は検証可能なものを言明した形で書く

仮説とは簡単に言えば、探究・研究における「予想」です。「〇〇なのは△△だからではないか」「〇〇すれば△△になるのではないか」といったもので、研究は仮説とその検証の繰り返しで進んでいくのが一般的です。したがって検証可能（正しい・間違っているが判断できる）なものである必要があります。また、仮説が肯定されたのか否定されたのか

かを判断できるようにするためにも、疑問形で書くのではなく言明した形で書くようにしましょう。

- 例 ○「温度が高いとゴムの反発力は高くなる」
- ×「温度が高いとゴムの反発力は高くなるのではないか？」

(2) 根拠とともに仮説を設定する

仮説は予想ですが、根拠に基づいて設定した方が質の高い探究・研究につながる人が多いようです。つまり、関連する知識やそれまでの体験や観察をもとに設定すると、仮説に説得力を与え、探究・研究の方向性を定めやすくなります。

- 例 仮説：「温度が高いと卓球ラバーの反発力は高くなる」
- 根拠：「気温が上昇する5月頃からオーバーミスが目立つようになった」

(3) 具体的な仮説設定を心掛ける

仮説には検証が伴いますから、検証がしやすいように具体的な形で設定することを心掛けましょう。すなわち、良い仮説とはどのようなことに取り組みればその仮説の検証ができるかがわかる仮説だと言えます。下の3番目の例では、ラバーの温度を変えて反発係数を測定するとよいということがすぐわかりますよね。

- 例 ×「5月にオーバーミスが目立つのは気温が上昇したからである」
- △「気温が上昇するとボールが飛びやすくなる」
- 「気温が上昇するとラバーの反発係数が高くなる」

※探究・研究の過程において上の×の例のように考えてはいけないということでは決してありません。当然「気温が上昇したから」と素朴に考えるのは大切です。ただ、仮説として設定する際には、さらに議論を重ね、考えを深めてより具体的にする必要があるということです。最初から、満点の仮説を考えつく必要はありません。

(4) 仮説は否定されてもよい

仮説は予想ですから、当然否定されることもあります。仮説が否定されると探究・研究自体が否定されたように思う人もいますが、決してそうではありません。仮説が否定されたということは、原因や要因の候補が1つ減ったということですから、それだけでも素晴らしい成果です。また、仮説が否定されたことで研究が大きく進んだという例もたくさんあります。あとから見るように、先ほどのMさんの落ち葉の研究がまさにそうでした。

(5) 仮説は探究・研究目的と結びつけて設定する

探究・研究は最初に設定した目的の達成を目指して取り組むものですから、仮説は目的の達成と結びつくものでなければなりません。探究・研究が進んでいくと、次から次にやることが浮かんできて、取組が当初の目的からそれていくことも多々あります。常に目的に振り返り、仮説がその目的の達成にどのように関係しているかを意識しながら取り組

むようにしましょう。

ここまでの流れを、また M さんの研究で見てみましょう。

M さんの研究の目的の1つは、「裏向きの落ち葉が表向きのものよりも有意に多いことを統計的に実証する」です。当然ながら、最初の仮説1は、「裏向きの落ち葉が表向きのものよりも有意に多い」となります。では、どうすればこの仮説1が検証できるでしょうか？ 皆さんわかりますよね。そうです。落ち葉をたくさん集めて、表向きの枚数と裏向きの枚数を調べればよいのです。実際、M さんはクスノキ、ケヤキ、サクラ3種類の落ち葉をたくさん集めました。そしてそれが偶然ではないということを、統計的手法（仮説検定）を用いて実証したのです。

仮説1が肯定されたことでいよいよ研究のメインテーマである裏向きが多くなるメカニズムの解明にのぞんでいくこととなります。そこで立てたのが仮説2「地面に裏側を上にして落ちる葉の割合が有意に高い」です。その根拠として M さんは、「葉は表側が密にできている」ということを挙げています。実際に表と裏の密度がどの程度違うのかはわかりませんし、それがどの程度影響するかもわかりませんが、可能性としては十分あり得ることで、仮説に説得力を持たせています。

では仮説2を検証するにはどうしたらいいのでしょうか？ そうです。実際に落ち葉を落としてみるといいですよ。仮説が具体的に述べられているため、検証方法と結びつきやすくなっています。実際にやってみるとどうなったのでしょうか？ 実は、予想に反し表向きの葉の方が多くなってしまいました。ケヤキにいたっては表の方が有意に多いという結果になり、仮説2は否定されました。これは何を意味するのでしょうか？ M さんはすぐさま、表裏の偏りは落下後に何らかの要因で生じること、そしてその要因は風による反転しか考えられないことに気づきます。

そこで仮説3「表を上にした落ち葉の方が裏を上にしたものより風による反転が起りやすい」を立てたのです。この検証のために野外での観察と室内での実験を行い、その両方の結果から表向きの落ち葉の方が反転しやすいという結論を得たのでした。

4 結果と考察のまとめ方

(1) 結果と考察は別物であることを理解する

「結果」は文字通り実験や観察、調査の結果であるのに対し、「考察」は得られた結果をもとにした分析・解釈や議論のことです。結果は平均値や割合を求めるといったデータ処理は行いますが、自分の解釈をいれてはいけません。事実にもとづいて記述していくことが必要です。考察は結果をもとに自分の分析・解釈・評価などを論理的に展開していくこととなります。

(2) 結果ではデータの提示に徹する

①表やグラフを用いわかりやすくする

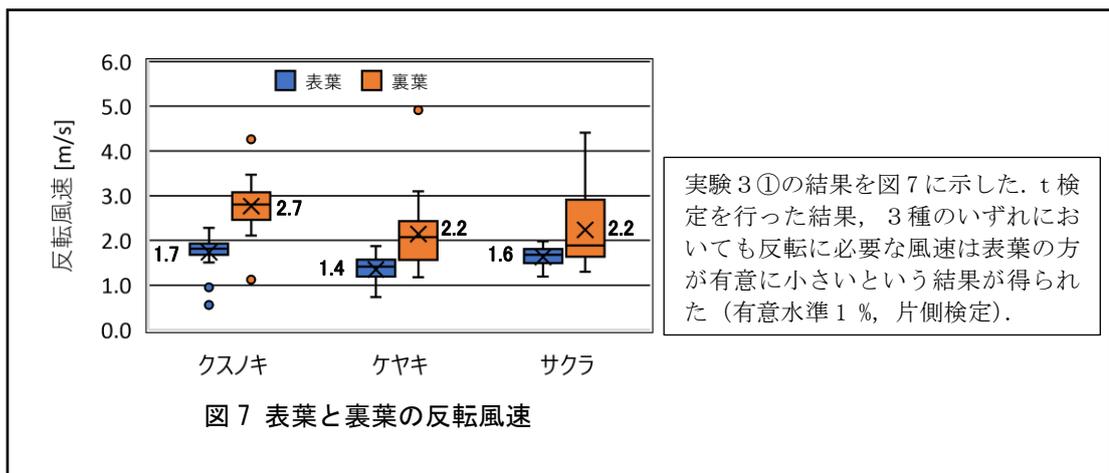
結果は平均値や標準偏差、割合など必要なデータ処理を行ったのち、グラフや表などを用いてわかりやすく提示します。一般的に、データ個々の値が重要になる場合は表を、全体的な傾向に意味がある場合はグラフを用いることが多いようです。また条件を変えて実験や調査を行った場合、有意な差があるのかどうかについては統計的手法（確率検定）を用いるとよいでしょう。統計的手法は、理系文系関係なく重要になりますので、是非勉強することを勧めます。

【参考】：佐藤 信、「推計学のすすめ 決定と計画の科学」（講談社、1968）

②結果を簡潔に説明する

結果をグラフや表にまとめたら、それから読み取れること、言えることを簡潔に述べます。

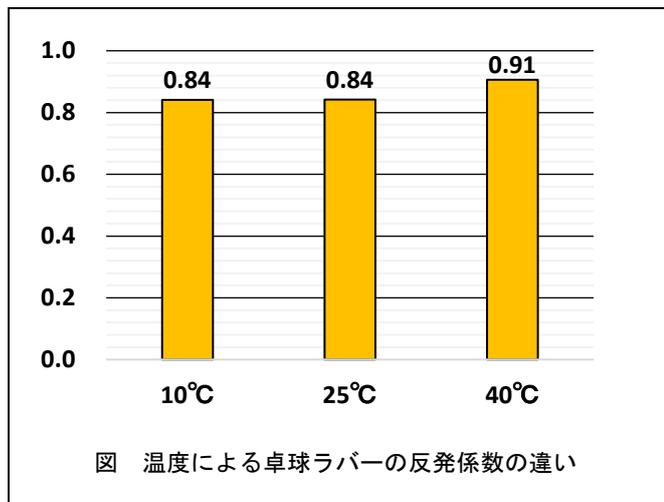
Mさんの例を引用します。



(3) 考察では結果をもとに論理的に議論を展開する

①そのような結果になった理由とそこから導かれることを述べる

次のグラフは、卓球ラバーの反発係数が温度でどのように変化するかを調べた生徒実験の結果を示したものです。このような結果が得られた説明として、「25℃と40℃の間にゴムの結合状態が変化する温度があり、そのことが反発係数を増大させた要因であると考え」というのが考察です。考察自体は検証を経ていませんので誤っていることもあります。先行研究や論理的帰結と矛盾しないことが大切です。また、実験はいつもうまくいくとは限りません。思うような結果が得られなかった場合もどうしてうまくいかなかったのか、きちんと分析して考察として書きましょう。



②仮説の検証結果を述べる

仮説を設定して実験・調査を行った場合は、仮説が肯定されたのか否定されたのかについて根拠にもとづいて述べましょう。

5 結論のまとめ方

(1) 設定した問題についての解答を述べる

探究・研究全体を通じて明らかになったこと、達成できたことを書きます。その際、探究・研究の目的と対応させることが大切です。取組全体を通じて、常に目的を意識して探究・研究するようにしましょう。

(2) 課題と今後の展望について述べる

研究を通じ解決できなかった点、改善が必要な点など課題として残ったことを書きます。また今後の展望としてこれから取り組んでいくことについて述べると、他者から具体的なアドバイスを受けやすくなるという利点も生じます。課題と今後の展望については、結論とは別に独立した章にすることもあります。

Mさんは次のように結論と今後の展望をまとめました。

本研究で明らかになったことは以下の3点である。

- (1) 今回実験した3種類の落ち葉について、裏側を上にしたものの方が表を上にしたものよりも有意に多い。
- (2) 落下の最初から裏を上にしたものが多いのではなく、落下後に風によって反転されたり、吹き飛ばされたりすることで裏側を上にした葉の割合が多くなる。
- (3) 葉の反転は、風により生じる垂直抗力と揚力で説明でき、反転のしやすさの差は落ち葉の湾曲が原因である。

落ち葉が裏向きになる利点として、分解速度の増大や自分自身の栄養としての還元が考えられる。現在、屋上にパネルを設置し、表葉と裏葉の分解速度比較のための実験を実施中である。

偉大な物理学者である寺田寅彦博士の文章を紹介します。

いわゆる頭のいい人は、言わば足の早い旅人のようなものである。人より先に人のまだ行かない所へ行き着くこともできる代わりに、途中の道ばたあるいはちょっとしたわき道にある肝心なものを見落とす恐れがある。頭の悪い人足ののろい人がずっとあとからおくれて来てわけもなくだいたいな宝物を拾って行く場合がある。

(青空文庫より)

自ら問題を見つけ解決していくということは、豊富な知識と経験、スキルを持った頭脳明晰な研究者にとっても簡単なものではありません。ましてや限られた知識と経験しかない高校生の皆さんからすると、とてつもなく険しい道のように感じるかも知れません。だからと言って高校生に不可能というわけではありません。寺田寅彦博士も言うように、歩みの遅い高校生だからこそ気づくことができるということもたくさんあるはずです。実際、多くの高校生が高校生ならではの視点で、本職の研究者をもうならせるような研究を行ったという事例もたくさんあります。是非、皆さんの柔軟な発想と自分たちの頭を頼りにしっかりと考えてください。きっと面白いこと、不思議なことを見つけ、すばらしい探究・研究ができるはずですよ。

【参考文献】

- ・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 ―研究の進め方・論文の書き方・口頭とポスター発表の仕方―』 共立出版
- ・岡本 尚也 (2017) 『課題研究メソッド』 新興出版社啓林館