

課題研究コーチングガイド

vol. 2

～実践編（課題研究指導事例と指導方策）～

北海道札幌啓成高等学校

令和4年度

課題研究指導事例と指導方策

例年行われる2年理数科の課題研究の指導について、指導教員間の共通理解を図るため、指導事例を集め、できるだけパターン化して、今後の指導に役立てる目的で作成した。

グループ分けについて

指導事例：

- 平成31年度までは生徒に班決めをさせて、令和2年度からは生徒の希望分野を集約して教員側でグループ分けをしている。
- 女子のグループ、男女のグループの方が計画性、協働性、やる気の面でよい。男子のグループは最後のがんばりはあるものの崩壊しそうな班が多い。
- 「ミルククラウンの発生条件を調べる」研究の実験がある程度進む中で、班員の一人が突然「最初にやりたかった食べ物に関する研究をしたい」と言い出し、その後の活動もやる気の無い感じで進んだ。

指導ポイント：

○教員側でグループ配置をする場合は、生徒同士が対等な立場で意見を言えるような関係性が大切。課題研究のアイデアはなかなか簡単に見つからないので、複数の人間が意見を出し合った方がいいテーマが見つかりやすい。

テーマ決定の指導

指導事例：

- 生徒の考え：気象観測用バルーンを使って、地球が丸い写真を撮る
問題点：予算、打ち上げ許可、研究意義の観点から課題研究のテーマにふさわしくない
⇒ 話し合いの後、宇宙に関するテーマということで、自作霧箱による「宇宙線」の研究を提案
- 生徒の考え：Youtube で南極の海底でブライニクルという、過冷却状態の海水が一瞬で凍り付く現象に興味を持ち実験で再現したいと考えた。（科学部）
⇒ 実験室の冷凍庫を用いてやってみようとしたが、非常に困難だった。自然スケールの実験を研究に持ち込むには、そのことで何をしたいのか、何を言えたらいいのかよく生徒に考えてもらう必要があると思われた。
- 生徒の考え：ルミノール反応に興味がある。
問題点：ルミノール反応でどんな研究をしたらよいかアイデアが出ない。試薬が高価で非現実的
⇒ 発光という観点から「ブラックライトで光るバナナ」に落ち着いた。
- 生徒の考え：ジャンプするロボットを作りたい
問題点：設備と時間から難しい
⇒ 他のテーマを検討するも、結局やりたいことが見つからなかったため、ジャンピングロボットのテーマを選択した。
⇒ ×：ヒアリングの指摘の通り、時間も施設も足りず、中途半端な開発で終わった。
△：ジャンプロボットを購入し、宇宙探査におけるその有効性を検証するという形でなんとか研究発表っぽい感じになった。
- 「ウユニ塩湖の水面に映る反射の像を再現する」は、湖の大きさ、水深（ラボに縮尺すると非常に薄くなる）をスケール調整することが難しい。
- 「鏡映屋気楼の研究」では、ラボでの再現は難しいと感じていたが、校舎の廊下を用いて再現することができた。
- 「彩雲の発生」生徒：先行研究はあるが、彩雲をどのような条件で発生させたのかデータが残っていない。
⇒ 彩雲や雲の生成、光学現象についてどこまで教員が教えればよいか、実験方法や何のデータをとるかを自分たちで気づかせるまで苦戦した。
- テーマ決めでは、早い段階から、裏の森を生徒と歩きました。（生物）
そのときに私が紹介した動植物の中から、ヨコエビ、アリ、ヤマドリゼンマイ、等のテーマを、生徒自身が見つけていった感じです。科学部以外で、私から、テーマ決めへの働きかけは、一度もなかったと思います。

指導のポイント：

<指導に困るパターン>

- まるでテーマが見つからない
⇒ グループの生徒全員で、過去の高校生の理科発表大会などの資料から、それぞれが面白いと思うテーマを出し合う。
⇒ 生徒同士で、漠然とした興味のある分野やキーワードについてマインドマップを作らせる。
（by『先輩研究ってどうやるんですか』）
⇒ 付箋を使って、各の考えをブレインストーミング的に出させて、可能性のあるものに絞る。

○面白実験をやってみたい

「メントスガイザー」、「シャンプーのケイ効果」、「ミルククラウン」など、生徒たちはYoutube などからネタを拾ってくる、あるいは昔から知っていてやってみたいと思っている。しかし、いざ研究となると化学テーマに多い、混合物中のそれぞれの物質の寄与を分析できない、という問題がある。成分中の純物質が入手不可能である場合、続行が困難になる場合が多い。本当は、純物質を入手し、その添加量による物性の変化を調べたいが、その実験をできないことが多い。

⇒ 水、炭酸水などシンプルなものでも予備実験をしたりして、テーマを決定するよう促すことが必要。

○面白いものを作りたい

「ロケット」、「コイルガン」など、実験してすごいものを作って楽しみたいのは分かるが、多くは原理的に発展性がない。また、予備実験の段階で時間や経費がかかったりする。

⇒ その実験で確かめたい内容などが見つからないのであれば、却下した方がよいのではないか。

○ネット検索により、秘境の地の自然現象の再現を試みる

「ウユニ塩湖」や「ブライニクル（南極の海底）」などの現象は、地球規模のスケールが必要で再現が難しい場合が多い。

⇒ 過去の研究ではほとんど結果を出せていないことを知らせ、それでもそのテーマに取り組むのであれば、その実験をする意義は何なのか、何か普遍的な意味があるのか（例えば、塩水の塩分濃度と光の反射率の研究等）、もう一度考え直すように促すべきだろう。

○間違っはいいないが、本校の環境では実現可能性がないのではないかという研究

これが最も多いのではないか。「ハイブリッドロケットを飛ばしてみたい」（部品（予算）、工作機器、発射場所等の問題）、「特殊な性質を持つ作物を栽培したい」（研究期間の問題）

⇒ 実現可能なものに置き換えられるかどうか（「ハイブリッドロケット」は「ペットボトルロケット」に置き換わった）、検討してみる。

○研究することがそもそもはっきりしない

「おいしいパンケーキ」、「よく飛ぶブーメラン」などのテーマがよく出てくるが、どこに研究の要素があるのかなかなか見えてこない。味覚に関するテーマを扱って、最後に数人の官能試験で結果を出したかのように終わる苦肉の策に終わるケースも時々ある。

⇒ 研究途中で変わったとしても、「おいしい」、「よく飛ぶ」の定義や、考えられる仮説が立てられるまではゴーサインを出さない方がよいのではないだろうか。

研究方法についての指導

指導事例：

○生徒の考え：ブーメランの飛行について研究したい

問題点：以前、紙飛行機の飛行について研究した班が、飛行機飛ばし機を作製し、いくつかの紙飛行機を飛ばして飛行距離を測り、ほとんど意味のない研究に終わっていた。

⇒ 動画を撮って動画ソフトを使った飛行の解析を提案（ブーメランの研究はとにかく難しく、これでもよかったかどうかは分からない。去年の炭酸水の泡の上昇も同様の手法を使っているが、いい研究になったと感じられた。）

○生徒：ドジョウとエゾホトケドジョウの違を調べる

問題点：何が違うのか分からない

⇒ ひたすら観察して、生徒達が気づいたことをまとめさせる。その気づきから仮説を立てさせる。仮説の中からけんしょうできそうな事、実験できそうなことをさせてみる。

○生物の行動に関する研究では、「この生物を調べたい」の動機を大切に生徒に考えさせるが、多くの場合、動画撮影がブレイクスルーになることが多かった。その映像を細かく観察することにより、仮説を立て直し、定量的に分析して検証する手法（実験装置や撮影方法）を、生徒が編み出しやすい。重要なのは、動画を生徒が家に持ち帰るなどして、スロー再生や一時停止なども駆使し時間をかけてじっくり見て、発見したこと（仮説など）を持ち寄ること。例えば、

- ・アライグマがサンショウウオを洗う回数、かじる回数、水につける回数、など
- ・ヨコエビやドジョウが、ある場所にとどまる時間とその割合（明度や深さなど）
- ・マルハナバチが脚を上げる回数や頻度、部位
- ・カタツムリの移動速度
- ・粘菌が食塩水を越える時間と場所

○「彩雲の発生」雲を作ることが目的となっていた時期が長かった。雲を作って、その後彩雲を見ることが目的となってしまった。彩雲来期現象が見えた後、どのような条件、どのようなデータを記録していくかを決めるのが難しかった。

⇒ 現象の再現はおもしろいが、その現象が再現できたときに「～だったらどうだろう？」といった発想ができるように促していく。

○「ソフトテニスにおける『ふく』現象の研究」（2年連続でトライした）

ボールの回転に関係することはわかるが、なかなか主要因がわからない。

⇒ 段ボール箱、線香、ブロワー、発泡スチロール、モーターなどを用いて自作の「風洞」と回転ボールを作って実験した。はっきりした結果は得られなかったが、やりきった感じにはなった。

指導のポイント：

○動きのあるものの測定方法として、動画撮影と動画解析ソフトの利用が考えられる。紙飛行機、ブーメランなどの飛ぶものの解析は単に距離や時間だけでは考察できないので、動画を用いることが有効である。また、生物に関しても動画撮影やコマ撮り撮影などをして行動などを分析することが可能である。問題点としては、例えばブーメランなどの動きをソフトを使って解析する場合、物体の動きを手作業でプロットしたり、同時に撮影した2つの動画から、ブーメランの位置を割り出したりするのに、相当な時間を要した。結果、データ数が充分にとれなかった。また、生徒が動画ファイルの名前の付け方や整理の仕方をしっかりできるかどうかも重要なことである。また、動画に撮っておけば後から色々なデータを取り出せるだろうと、とりあえず撮ったが、後からこうすれば、ということがある。例えば、炭酸の泡がらせん運動をしながら上昇する

ことを言いたかったが、動画は正面からしか撮っておらず、横からの動画がなかったので推測で終わってしまった例がある。その動画で何を調べたいのか、その目的に沿った動画を撮ることが大切である。

- 研究方法の確立はできるだけ、夏休み明けの中間発表前後にしておきたい。それ以前は、予備実験として、とにかくやってみて、できるだけ気づいたことを多く出し合うこと。そして、中間発表後は最後の発表を意識して、言葉の定義（「私たちは、加熱をして 30 秒以内に音が鳴ったものを、「音が鳴った」としました。」など）から、調べたい関係、作りたいグラフなどを意識して実験や観察をさせたい。

<先行研究の調査について>

- 研究テーマがおよそ確定したら、先行研究や参考にした資料はできるだけ全て記録して、メンバーと指導教員も共有して、pdf ファイルなどはプリントアウトしておいた方がいい。最近は YouTube などの動画を参考にすることもあり、できれば URL と簡単な内容を記録させると、見なくなったときに困らない。
- 先行研究で分かっていることを明らかにすることが大切。ただし、物理的な問題などでは純粋な新発見を目指すのはハードルが上がりすぎる。結論が分かっていることでも違うアプローチで研究するとか、その現象を何かの課題解決に使うとかの意義づけがされればいいのではないだろうか。

研究途中の行き詰まり状態の指導

指導事例：

- 融けにくいかき氷の研究：条件を変えて融ける時間を計ったりしたが、その先の考察に進めなかった。
 - ⇒ 偏光板を使って氷の結晶構造の観察を提案し、融けるまでの変化を合わせて考察できるようにアドバイスした。(成果はともかく、生徒たちが興味を持ち、モチベーションが上がった。)
- 生徒：バイオミメティクスの観点から人の関節を模倣したロボットハンドをつくることを目標にしていたが、球体関節の難しさから、神を折り曲げた指のロボットに変更した。
 - ⇒ ○：最後に握る動作を再現することに成功した。
 - ×：研究のオリジナリティや新しさが失われた。先行研究の理解も浅かったため意義の少ない研究となった。
- 「歩行時に靴に小石が入らないようにするには」の研究
靴の中の様子や靴に石が入る様子がわからず。何をしたらいいのか分からない状態になった。
 - ⇒ 靴、足の動き、小石の状態を把握するために「透明な」靴を購入し、動きをイメージできるようになった。
- 「彩雲の実験」そもそも雲はどうできるのか？虹や青空、夕焼けなど他の現象を調べさせた。生徒は、光の回折、散乱があることに気づいた。実験方法の再考につなげた。
- 調べた知識の共有、研究の行き詰まりのもやもやを付箋に書いて、一人ずつ貼り、KJ方のように「わかっていること」、「これからやるべきこと」のように項目分けし、研究の流れを再確認させた。見える化と共有が大切だった。
- レイケ管の実験（熱を音に変える現象）で、音が鳴る原理や条件を探る実験をしてきたがどうしてもよく分からず行き詰まった。
 - ⇒ 熱音響について研究している大学の先生に、担当教員の方からアポイントをとってZOOMミーティングを開くことができた。相手は関東地方の大学の先生だったが、コロナのおかげで、オンラインで生徒が直接質問し、アドバイスを受けることができた。

指導のポイント：

- 実験、データ取得の行き詰まり
虹、彩雲の研究などでは水滴の大きさを測って、その現象の出現との関係を調べたいが、空気中の水滴の大きさを計測する方法が見つからなかったりする。それらを間接的に知る別な指標を見つける、あるいは温度やその変化などのように変数を変えてみるなど、指導教員の協力が必要になる所だと思う。
- テーマの行き詰まり
音波消火器を作る、というテーマが過去2回ほど出たが、気柱の共鳴を使ってろうそくの火を消すことに成功した。そうすると、一体何を研究するのか分からなくなる。そこで、生徒たちが自ら話し合い、本当に音で火を消したと言えるのかと考え、ろうそくの周囲に起こる風を調べるなどの事をした。研究しながら考えが深まったいい例だと思う。自分たちのやっている研究の「そもそも」の部分を見直すよい機会になると思う。
- 自分たちだけで研究を進める中で、行き詰まりを感じモチベーションが下がったようなときに、似たような研究をしている大学の先生の協力を仰ぐと生徒のやる気をあげるという効果もあって有効である。以前は、高校にはない高温まで測定できるサーモグラフィーを借りたこともあった。教員の誰かが間に入るのがよいのではないかと思われる。

研究発表会に向けての指導

指導事例：

- 生徒：「宇宙線」の観測は、ドライアイスを使う関係で限られた回数しか実験できず、動画を撮っていたが、研究した内容を時系列で並べようとするため日記のような内容になってしまう。
⇒ 発表を聴く側が理解しやすいように、論理性を考えた実験や結果・考察の順序にするようアドバイスした。
- 「わらの家はレンガの家よりも強度が高い」という検証のために、紙で編み方を試行錯誤してみたり、束ねてみたり、重ねてみたりを思いつくままにトライアンドエラーを繰り返した。
⇒ 5～11月の取り組みで、やったこととその結果を書き出して短冊状のカードにした。その中でどれを破棄して、どういう順序で示したらよいストーリーになるかを考えさせた。その順序で示す実験と結果にあと付けで仮説をつけさせて発表した。
 - ：仮説1～4（編んだ方が強い、束ねた方が強いなど）のスマールステップの仮説を検証しながらレンガより強くなるわらの壁を作り、仮説5（わらはレンガより強い）を検証できたという、仮説検証型の発表に見せることができた。
 - ×：思いつきで実験をやっていたためn=1の実験が多くなってしまった。
- 動画をソフトやエクセルなどを使って解析する場合、動画撮影から一回の解析に時間がかかるので実験回数が少なくなってしまうがちである。数が少ない場合、どうしても発表が見劣りするものになる。
⇒ 今まで、生徒に「ま、よく頑張ったね」と言ってきたが、その研究の実験回数などのおよその目標値を、できあがり具合を見ながら早い段階でアドバイスする必要がある。
- 生物分野だけでなく、最後の最後（発表の一週間前？）で、まとめているうちに多くの班が途方に暮れる（研究はしたけど、結局言えることがない）ので、その際には雑で良いので何とか数値を出させる指導をしていた。

例えば

- ・ノビネチドリの発芽率 播種した種子の数を写真の一部から雑に算出し、10000個撒いたとみなす。発芽個体はそのうち3個体だったとすれば、発芽率0.03%で、ゼロとは明らかな違いを述べることができる。
- ・ハネカクシの生息数や密度 コドラート法で僅かな面積を測定し、同一環境の面積を掛け算する。種により環境による生息数の違いを述べるができる。
- ・カタツムリの移動速度 便宜的に二次元と捉え、パイプを這わせて移動速度を求める。（はじめは、カタツムリの自由に這い回る軌跡を細かく追いかけていたが、個体によって自由度がありすぎて変更した。思いつくまで一年かかった。）
- ・白黒コマの色 RGBの指標で数値化する。数字が細かく膨大なので、有意差がしっかり出る。数値データが多く集まれば、T検定や χ^2 二乗検定で有意差は出やすいので、仮説の検証まで持っていきやすい。

本来は、調査前や調査中に、発表を意識してデータを収集できればよいのだが、それに気づくのは得てして、発表の準備をしているときである。せめて中間発表のときに気づかせたい（途中で論文を書かせてみたら良い？）。

指導のポイント：

- 指導事例の最後のところが、啓成高校の課題研究発表の現状をよく表している。最後まで少しでも研究を進めるか、ある程度のところで発表準備をさせるか、アドバイスが必要になる。

- 研究が順調に進んでいる場合は、中間発表後は最終ゴールを意識して実験、観察を進める必要がある。例えば、結果にどのようなデータを使ってグラフの横軸と縦軸を何にするのか考えながらデータを取る。
- 発表資料（スライド、ポスター、論文）は、結果と結論を先に話しかけた方がいい。生徒の発表の多くは研究顛末記になってしまうので、発表会で伝えたいことをしっかり絞り込んで、その内容に沿って、研究の背景や目的を説明させる方が聞く側には分かりやすいものになる。

その他

- 課題研究は授業と違い、生徒との関わり方や担当者のスタンスも難しいところがある。生徒が無為に時間を過ごしていないか気になって、ついつい口出ししすぎになったりして、生徒の意欲を削がないか、自分（指導者）ばかりがあれこれ先回りして生徒の思考のチャンスを奪っていないかなど、反省することが多い。
- 多忙な中ではあるが、教員間の情報交換や大学の先生との情報交換の場がもっとあった方がよいと思われる。