

JST 中高生の科学研究実践活動推進プログラム
研究指導力向上型

『知る術』

～「なぜ」を紡いで「知りたい」を育てるみやぎメソッド～

指導マニュアル

平成30年3月

宮城県教育委員会

< 目 次 >

I	はじめに	1
II	課題研究について	2
§ 1	課題研究の意義	2
§ 2	課外研究の流れ	3
III	課題研究における指導のポイント	4
§ 1	「研究テーマの設定」について	4
	・(参考) 高等学校における研究テーマの例	8
	・「研究テーマの設定」方法の事例(本事業の研究より)	13
	・「研究テーマの設定」に関するQ&A	16
§ 2	「調査・研究」について	19
	・(参考) 課題研究の流れのメモ様式例	25
	・(参考) 実験における誤差について(誤差解析の観点から)	26
	・「調査・研究」の場面における問題点の事例(本事業の研究より)	31
	・「調査・研究」に関するQ&A	35
§ 3	「プレゼンテーション能力の向上」について	38
	・実際のポスター(本事業の研究より)	46
	・「プレゼンテーション指導」の事例(本事業の研究より)	61
	・「プレゼンテーション指導」に関するQ&A	64
IV	参考資料	67
§ 1	研究活動を進めるに当たっての留意事項	67
§ 2	科学賞等について	70

I はじめに

発刊にあたって

宮城県教育委員会では、平成27年度から国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）から「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」事業の指定を受け、『『知る術』～「なぜ」を紡いで「知りたい」を育てるみやぎメソッド～』と称して、3年間にわたり科学リテラシーを身に付けた人材の育成に向けた様々な取組を推進してきました。

本事業においては、高校生の課題解決能力を育成するために、課題研究を進めていく際の要となるテーマをどのように設定していくべきか、実験や実習等によって得られたデータを生徒自身が自らの視点でどのように分析・検証していくべきか、そして、どのようにすれば研究成果を分かりやすく発表できるかという、「テーマ設定」、「調査・研究」、「プレゼンテーション」の3点を重点テーマに掲げ、生徒の課題研究をよりよく導くための教員の指導力向上に資する各種研修会を開催するとともに、生徒の各種学会やコンクールへの参加を促進し、指導教員が生徒の具体的な課題研究実践をとおして、3つの重点テーマに沿って検証と考察を行うことができるよう、取組を推進してきました。

また、スーパーサイエンスハイスクール指定校やスーパーグローバルハイスクール指定校を中心に、地域の小学校、中学校、県内外の大学や研究機関と連携を深め、「みやぎサイエンスネットワーク」を構築し、県内の小・中学校と高校の課題研究の発表の場として「みやぎサイエンスフェスタ」を開催するなど、県全域で課題研究に取り組む機運を高めることにも努めてきました。

このたび、これまでの事業成果として、本県における3年間の実践事例等を基に、よりよい課題研究の実践に向けた宮城県オリジナルの「指導マニュアル」を作成いたしました。

新しい学習指導要領においては、基礎的・基本的な知識及び技能を確実に習得させ、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力等の育成を図るとともに、学びに向かう姿勢を培うことが重視され、そのために「主体的・対話的で深い学び」の実現が求められます。そのような状況下では、探究的な学びや課題研究への取組が一層重視されていくことは言うまでもありません。

今回作成した「指導マニュアル」は、主に理科を中心に部活動等での具体的事例を基に作成していますが、基本的な考え方については理科以外の多くの教科にも共通するものと考えております。本マニュアルを、授業はもとより総合的な学習の時間や部活動など、教育活動の様々な場面で有効に活用いただき、県内の各学校において課題研究等の探究活動が活発に取り入れられることを期待します。

平成30年3月

宮城県教育委員会教育長 高橋 仁

Ⅱ 課題研究について

§ 1 課題研究の意義

子供たちは、日頃の学習から多くの知識を得るとともに、演習問題等とおしてその「知識」の定着を図っている。しかしながら、彼らが学習により獲得した知識や取り組んでいる演習問題はすでに答えが用意されているものであり、そういった学習を繰り返してきた子供たちは、すぐに明確な答えを欲しがるとある傾向にある。知識を得ることは重要なことである。しかし、その知識を単なる知識で終わらせず活用できる知恵へと高め、未知の課題を解決するためのツールとしていくことこそがこれからの世界を生きる子供たちに求められる。

課題研究では、疑問に思ったことや課題に対して、理解を深めた上で仮説を立て、調査・研究によってその仮説を証明し、さらに得られた結論を他者へ伝える、といった一連のプロセスを、試行錯誤を繰り返しながら経験していくことで、主体的に取り組む態度や創造性、科学的なものの見方や考え方を身に付けることができる（図1参照）。これらの課題研究により育成された力は、多くの問題が山積し、先を見通すことが難しいこれからの時代において、子供たちが自らの手でよりよい世界を築きあげ、社会に貢献していくために必要な力の礎となる。

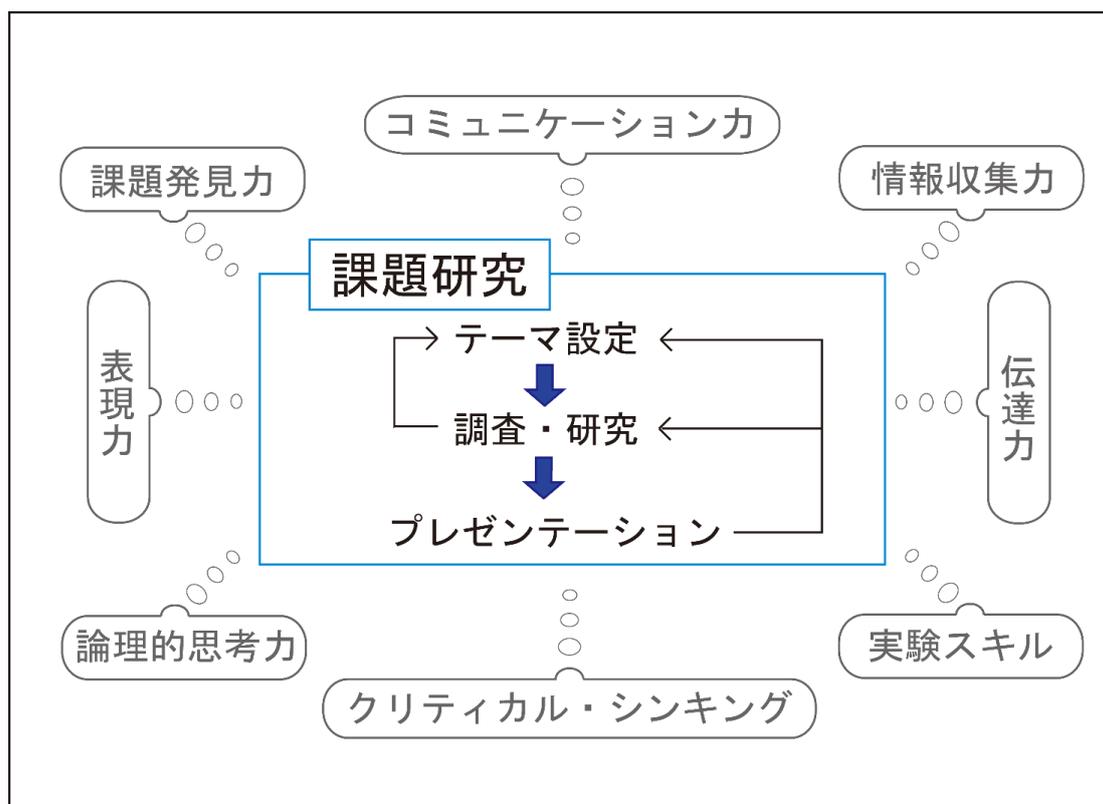


図1 課題研究により育成される力

§ 2 課題研究の流れ

課題研究の大まかな流れは、図2のとおりであり、以下の3つに大別できる。

- ① 研究する課題を決める、「テーマ設定」
- ② 課題を解決するために必要な実験などを行い、その結果を分析する、「調査・研究」
- ③ 課題研究によって得た結論を発表する、「プレゼンテーション」

本書においては、①～③のそれぞれの指導法について、事例と併せて紹介する。

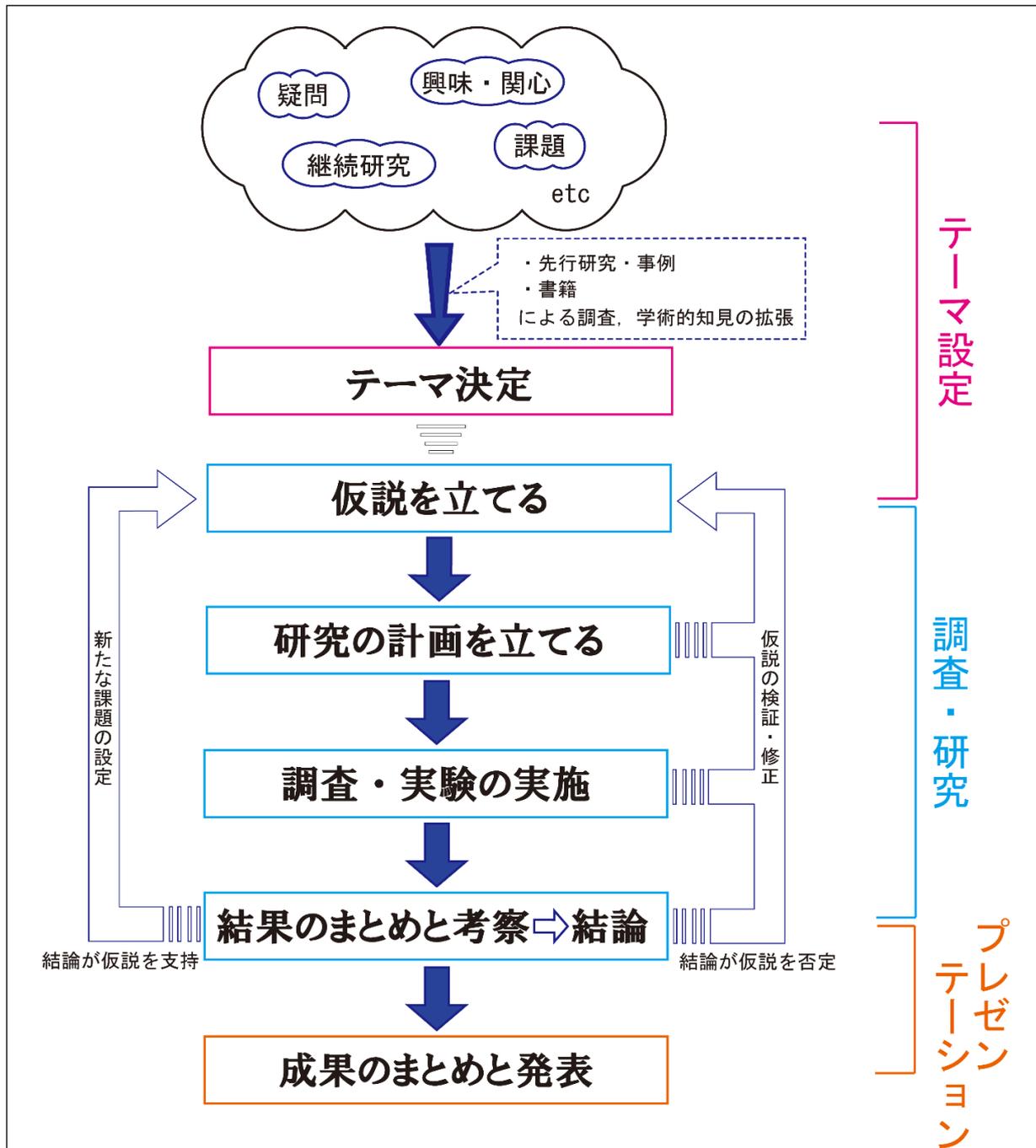


図2 課題研究の流れ

Ⅲ 課題研究における指導のポイント

§ 1 「研究テーマの設定」について

1 テーマ設定の指導に当たって

テーマ設定は、研究にとって非常に重要な要素であるが、探究活動の最初の壁でもある。特に初めて探究活動に取り組む生徒にとっては非常に行き詰まりやすい点といえる。

テーマ設定によっては、研究過程が定まらなかったり、研究全体の見通しが持てなかったり、最終的に調べ学習で終わってしまったりすることにつながる。そうかといって、テーマ設定にばかり時間をかけていては、研究の時間が無くなってしまう。

知識のないところから研究してみたいこと（≒研究テーマ）がでてくる可能性はないので、まずは教科書の既習事項、社会的な話題、先輩の研究事例を提示するなど、生徒が興味・関心の持てる分野を探させる工夫が必要である。また、大学等との連携による講演や出前授業等を活用することで興味・関心の幅を広げさせることも視野に入れたい。

高校生の研究であるので、必ずしも研究テーマが新発見や新しい技術につながる必要はない。最終的に導かれる結論が学問領域では既知のものであったとしても、研究テーマが生徒にとって未知の内容、調べてみたい内容を探究しようとするものであるか、ということの方が重要である。

最終的に研究成果は外に向かって発表するものであり、自分の興味からテーマを考えたら、そのテーマに基づいた研究が、他者から見て興味深いものになり得るか、ということを考えるべきである。

研究テーマ設定の大まかな流れを、図3に示す。

2 興味関心のあることを見つける

研究を進めていくうえで、新たな疑問が生じ、大きな興味・関心につながることもあるが、研究当初から興味・関心のあるテーマを設定して研究に臨むことは、生徒の研究意欲を維持し、研究の深化につながる可能性を持つ点で重要である。

生徒が興味・関心を持っている内容で、次の4点のいずれかに該当するなら、研究テーマに直結する可能性が高い。

- ① 日常疑問に思っていること
- ② 目から鱗が落ちるような体験に基づくこと
- ③ 反論したいこと
- ④ 納得がいかないこと

しかし、高校生レベルでは、テーマに直結する興味・関心のある分野、といっても難しく考えてしまう生徒も多いと思われる。課題研究のテーマということで、学術的なものを掲げなければならない、という先入観を持っている場合は、なかなか「テーマに結びつく興味・関心事項」を挙げるのが出来ないかも知れない。そのような場合は次に示すように、“面白そうだなと思うこと”をテーマ設定につなげるつもりで決めていく感覚を持たせることで前進することもある。

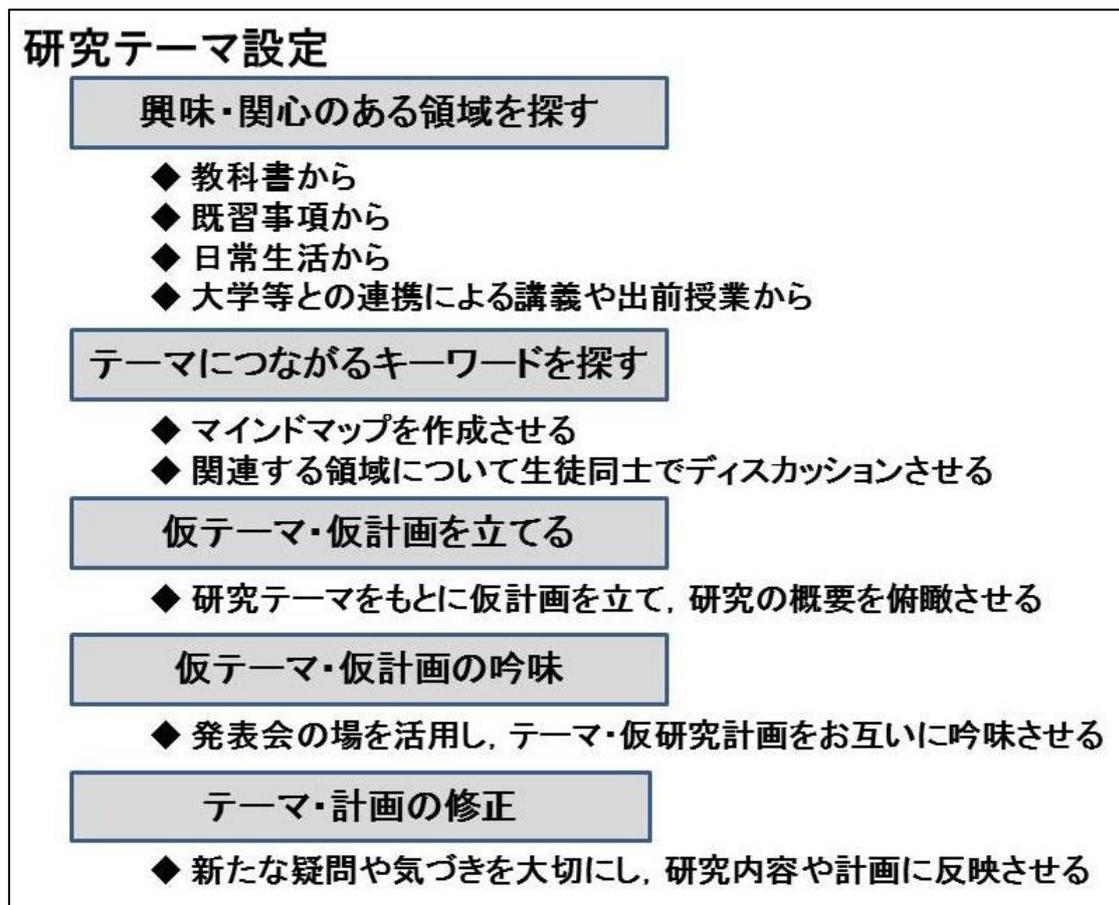


図3 研究テーマ設定まで

3 面白そうなことから研究テーマへ

(1) 興味のある領域を探す

教科書で学習したことや、新聞やテレビで報道されたことで、“面白そうだ”，あるいは“そうなんだ”と感じた内容を中心に、テーマ設定に結び付けさせることも可能である。

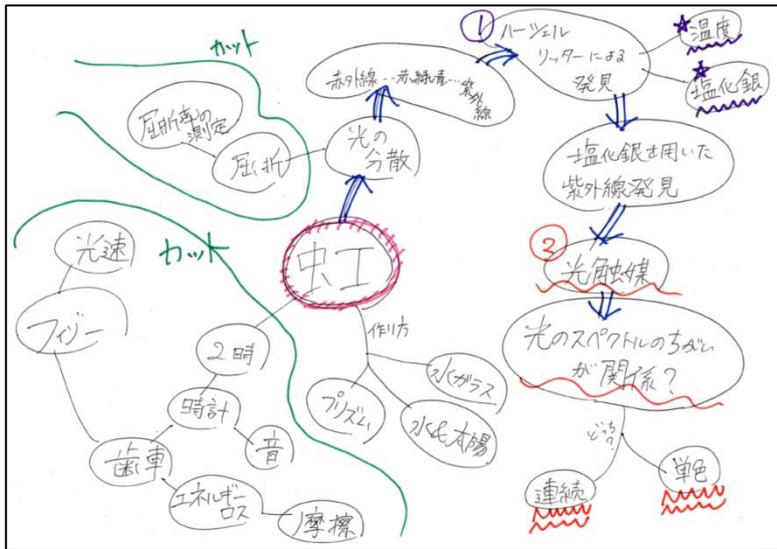
例えば、父親が購入した自動車の“自動停止装置”が“面白そう”と感じている生徒であれば、センサーに関連する物理の光や電気の領域、宇宙旅行をしてみたいという生徒であれば、地学の天文分野から関連する領域など、まずは生徒自身が潜在的に関心のある領域を探させる方法もある。

そして、興味・関心のあることと、その理由を列挙させ、“研究してみたいこと”，“研究したら面白そうなこと”を絞り込ませる。

(2) 探した領域からテーマとなりそうなキーワードを探させる

研究したい領域が決まったら、さらに絞り込み、研究テーマにつなげていく。関係する領域から思いつく言葉を列挙し、マインドマップ (p.6 図4, p.21 参照) を作成させると、漠然とした内容から“これならテーマになりそうだ”というテーマ候補となるキーワードが出てくることが多い。

この段階で同一領域を選択した者同士で、お互いのマインドマップを基に、テーマ候補としたキーワードやその理由についてディスカッションを行わせたり、指導者が的確なアドバイスを行ったりすることで、テーマとなる題材が得られる。



タイトル「スペクトルと光触媒の関係性」
 実験① 虹の色の性質を調べる
 (温度、光の強さの違い)
 ☆ 温度計 ☆ 生成物(塩化銀)の質量
 実験② 光触媒は連続スペクトル以外の単色体でも反応するかの。

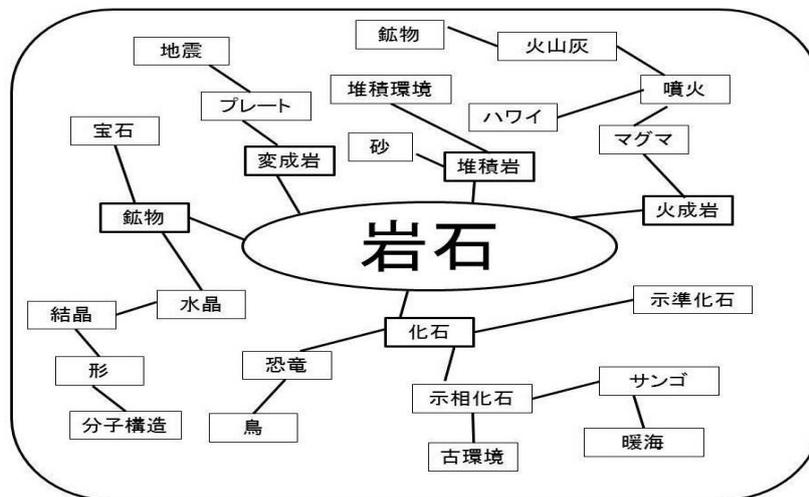


図4 生徒が作成したマインドマップ（左上）とテーマ・実験を考察した過程のメモ（右上）及び簡易型のマインドマップの例（下）

(3) キーワードを広げるために

インターネットなどの情報通信技術（ICT）の活用は、探究活動に欠かすことのできない要素である。候補となった領域をキーワードとしてインターネットで検索させ、さらに関連する研究対象の幅を広げることも可能である。ただし、ICTに頼りすぎることは、単なる“調べ学習”や“模倣”につながり、探究活動としては発展性のないものになってしまう恐れがある。また、責任のない記載も多いことから、“検索はインターネット可”、“研究は文献で”といった一定のルールを定めておくことが望ましい。

4 研究テーマの吟味

テーマが決定した後、仮説を立て、研究計画に従って研究を進めていくことになるが、仮説を立てたり、研究計画を立てたりする段階で、つまづきが出てくることがある。テーマによっては、実験で確認するまでもなく結果が簡単に導き出されるものであったり、期間内で終わられない、高校生の手に負えない内容だったりすることが見受けられる。このような状況を避けるために、テーマがほぼ固まった段

階で、研究の“仮計画”を立てさせることは、テーマが適切であるかどうかを吟味させることができ、大変有効である。

この段階でテーマ発表会等を設定し、お互いの研究テーマと計画について発表し合い、実現可能な研究となるか否かを考えさせる方法も検討したい。このような場を設けることで、互いのテーマの妥当性を確認し合うことが出来るだけでなく、課題研究において要求される“課題を発見する力”や“プレゼンテーション能力”を向上させることにもなる。

(参考) 先行研究の調査について

研究テーマを決定するに当たって、先行研究を調査させることは大切である。自分たちがこれから取り組もうとするテーマがいくら高度なものであっても、すでに研究されている内容と同じでは研究の意味が無くなってしまう。どのような先行研究があるかを知ることで、新たな視点で研究テーマを設定することができる場合もある。

さらに、先行研究の研究手法を確認することは、本格的に調査・研究段階に入ってからからの研究の進め方を決める上で大いに参考になるはずである。

先行研究はインターネットでの検索が可能である。代表的なサイトとしては、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）が運営する J-STAGE（「科学技術情報発信・流通総合システム」<https://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja> ）、国立情報学研究所が運営する CiNii（サイニィ：NII 学術情報ナビゲータ <https://ci.nii.ac.jp/> ）等がある。

5 最終的なテーマの決定について

設定した研究テーマをもとに、研究計画に従って研究を進めていくうちに、生徒たちの新たな疑問への気付きが見られることも多い。そのような新たな疑問は研究の深まりにつながっていくものであり、的確なアドバイスを与えたい。

また、研究を進めていく中で、仮説とは異なる結果が得られる場合があり、最初に設定したテーマに固執しすぎると、結論との整合性がなくなる可能性がある。調査・研究の過程で得られた結果から、適切なテーマに修正することは、それまで進めてきた調査・研究の意義を高めることにもなる。つまり、研究の進行により得られた結論が、どのようなテーマであればより引き立つのか、という視点で考えれば、「最終的なテーマは後から決まる」と言うこともできる。

指導者としては、当初設定したテーマを修正することを前向きに捉え、“テーマはどんどん変化していくのが当たり前である”，という柔軟な考えを持ちながら、研究を進めるよう指導したい。

次ページ以降に、JSTの「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」に参加している全国の高等学校による登録研究テーマの一部及び宮城県内の発表会に出場した県内の高等学校による発表題の例を掲載しているので、参考としてもらいたい。

(参考) 高等学校における研究テーマの例

○JST「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」参加校による研究テーマの例

物理学系	
紙吹雪の落下運動について	
自由落下と斜面での空気抵抗	
ペットボトルの中の液体の泡はなぜ飲めないのか	
ミルククラウンの形成条件の実験	
ブーメランの条件の変化による飛距離の違い	
時間計測から反発係数の測定	
ダイタンスー現象の検証	
振り子の歴史的背景や物理現象の基本事項に関する研究	
豆電球による人工虹からビーズの屈折率の測定	
コロイド粒子の種類による光の散乱の違い	
低温の世界と物質科学	
和蠟燭のゆらぎ	
空気砲の円でない穴からでる空気の形について	
連通管の共振に関する研究	
超音波を利用して固体の状態を探る	
音のフーリエ解析 ～音の共通性と相違を探る～	
気柱の共鳴 ～筒に棒を入れると、なぜ音が下がるのか～	
水面下から発射された水噴流の水輸送現象における運動量保存則の検証	
オーロラをつくる	
ローレンツ力による水流発生実験	
コヒーラ検波器による電波の検知	
超伝導物質の電気抵抗測定と磁化率測定	
酸化物高温超伝導体の短時間での合成方法の開発	
巨大シャボン玉を作ろう	
粒子の存在確率における量子-古典対応の考察	
Let's make ice! ～氷を効率よく作るとは可能か?～	
色素増感太陽電池の発電効率の計測とその問題点の改善	
微小電力を蓄電する技術の開発と改良	
岡山県における自然放射線測定	
宇宙線を探る!～様々な特性をもった霧箱の製作～	
工学系	
宇宙エレベーター – 静止軌道より伸ばすケーブルのシミュレーション –	
ビー玉スターリングエンジンの熱効率	
自作ドローンの回路の研究およびプログラミング	
セルロースナノファイバー (CeNF) の基礎学習のための模擬実験	
奈良墨の原理を活用した炭素微粒子の水への分散	
「自動車の空力デザイン」の研究	
鋳造方法の研究	
揺れにくい船の研究	
「サステイナブル」に関する研究	
ミニFMによる通信について	
未来家電をデザインしよう!～360° 風の出る扇風機～	
5インチゲージミニ電車をを用いた走行シミュレーションの研究	
美しく強い橋を造る	
水道管による水力発電の効率化の模索	
ネイチャーテクノロジーを取り入れた風車の研究	
DCモータの特性改善の施策について	
七宝焼きの色の変化	
自作ハイブリットロケットの作成と打ち上げ	
缶サットの減速装置の研究	
障害物を乗り越えろ!～災害時に活躍する 四輪車ロボット～	

○JST「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」参加校による研究テーマの例

化学系	
スライムの形成に関する研究	
人工合成ルビーの作成	
炎色反応を利用したレインボーキャンドルの製作	
屈折するケミカルガーデンの研究	
紅茶の色はなぜ変わる？	
人工蛍の光	
燃料電池の電解質による起電力の変化	
目的の有機化合物だけを狙って作る	
食塩水の濃度と鉄のさびやすさについて	
自然エネルギーを利用した固定化酸化チタン（IV）による廃水の浄化	
ガラスの発色と比熱効果に関する研究	
デンプンの糖化の最適条件を探る	
氷の変化	
カルタミンの退色の条件の同定	
コレステリック液晶の合成とその性質の研究	
洗濯のり（PVA）の偏光板について	
酵素によるデンプンの糖化反応の研究～凝固点降下と浸透圧を利用した定量～	
エステルにおける分子量とにおいの強さの関係について	
Hidden Mathematics in Chemistry	
接着と素材の関係性について	
生物学系	
フクロテナガザルの兄弟の年齢による個体間の関わりの違い	
糞中 DNA 解析を用いた武尊山に生息する哺乳類の種の同定法の確立	
ツバメの繁殖調査～大柏川第1調節池緑地におけるツバメの食性	
ウズラの卵の人工ふ卵器作製について	
カスミサンショウウオの飼育研究	
メダカの三个体間における配偶行動	
魚の鰭の面積と鰭の性質との関連性	
ウニの形態と行動	
刺胞動物の刺胞射出構造の解明	
刺激の受容による昆虫の反応	
カイコ組織からのDNA抽出と雌特異遺伝子の増幅	
イソクズガニのデコレティング行動における海藻の好み	
ジグモの生態を探る！	
シジミの浄化作用	
線虫の化学走性について	
プラナリアの学習	
ゾウリムシに重力走性はあるか	
多摩川の微生物について	
植物の成長における光の波長の影響	
気孔開閉運動から見る植物の環境適応	
食虫植物の栽培と捕虫の特徴	
金生山における地衣類の生育状況調査	
アオミドロの食品化への検討	
シアノバクテリア（イシクラゲ）の培養条件の研究	
私と小麦とかびるんるん	
マメ科植物の根につく根粒の形状と根粒菌	
四つ葉のクローバーのカルス作製	
高校教育における細胞・組織中の物質の分布と局在のバイオイメージング化	
ペニシリンの生成と精製	
植物の持つタンパク質分解酵素について	

○JST「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」参加校による研究テーマの例

農学系	
	パンコムギ‘ゆめちから’を用いた各社液肥の効能の比較
	植物の香り成分を使った殺虫及び防虫効果の検証と分析
	柑橘類の精油成分分析とその活用に関する研究～収穫時期別さがんルビー果皮の精油成分の違い～
	ダイコンの低温保存における辛味成分の変化量の計測
	エリンギとシイタケの交配育種と雑種判定の試み
	LED植物栽培について
	土壌中のアンモニウムイオンおよび硝酸イオン濃度の測定
	合成フェロモン剤を利用した害虫防除に関する試験
	コウボ菌の増殖と添加した化合物の関係に関する研究
	樹木の成長の周期的変化をもたらす要因について
医歯薬学系	
	アセチルサリチル酸の効率的合成法の開発
	光を使って、医療活動に結びつく化合物の開発
	民間薬としての薬用植物について
	がん細胞におけるアグレソーム作成
	肝臓の働きを再現する。
地球惑星科学系	
	恐竜の歩行時の地面にかかる圧力について
	貝化石群集が語る太古の海面変動～貝化石群集の磨耗度・捕食孔から探る堆積環境～
	千葉県の火山岩類の比較 組織と叩いたときの音の違い
	白馬温泉から地球生命の起源を調べてみよう。
	隕石とクレーターの関係とは
	ジェルフィッシュ型密度差利用式探査機によるメタンハイドレートの探掘
	浅間山を起点として観測される雲の帯についての研究
	ペルチェ素子を用いた雪の結晶の研究
	層気楼で相対屈折率を求めよう！
	地盤が地震動に与える影響とその検証
天文学系	
	太陽黒点の寿命と面積
	天体観測撮影の画像処理
	火星の水はどこへ消えたのか
	球状星団と散開星団の観測
	分子輝線観測から探る星間雲
数学系	
	組み合わせパズルの研究と数学的ゲームの研究
	5パズルの最短手数とその配置
	「パーフェクトシャッフル」の証明
	自然数の和での分解における規則性について
	この必勝法、ホンマでっか？
	三平方の定理の証明方法を見いだす
	期待値の矛盾～2つの封筒のパラドックス～
	あみだくじの研究～あみだくじは公平か？～
	直角三角形の内部を移動する円の通過面積について
	数学オリンピックの出題例にみる数学的思考と発想の研究
情報学系	
	3Dプリンターの製作と活用
	IoTを活用した家庭内ビッグデータ収集について
	コンピュータで作った言葉の聞こえ方の研究
	はやぶさ2の受信電波から感じるスイングバイ
	映像からの感情検出システムの開発

○JST「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」参加校による研究テーマの例

健康・スポーツ科学系	
	ストレスとうまく向き合うためには ～忍者の仕事と忍者食～
	色が人間に与える影響の研究1
	青色の環境光がヒトの集中力に与える影響
	錯視（目の錯覚）のメカニズムの解明
	菓子をたくさん食べると体脂肪率が高くなるのか
生活科学系	
	ペンのインクとその性質について
	アゾ染料の合成しくみと、pH に対する色の変化で機能評価
	化学的視点から見たカビの性質
	軍手菌～oh…yeah…～
	「あんかけ」のさめにくさの秘密
	食品の加熱温度の違いによるグルタミン酸含有量の変化について
	食べ物レオロジー～ゼリーの弾性率と混合する材料の量との関係～
	たんぱく質の補足効果 納豆を混ぜる回数とうま味の変化
	温度による味の感じ方の違いについて
	分光法を利用した茶葉中に含まれる成分分析について
	にがりの作用について
	卵の起泡性と砂糖の種類について
	本当におやじギャグは寒いのか？
	音が人の学習に与える影響について
	衣料用洗剤中の酵素POWERについて
	日常に潜む悪臭に対する消臭効果の検証
	圧電素子を利用した反応装置の作製
	爪に優しい！！簡単に取れる除光液
	会話の特徴の違いについての研究
	カキツバタや自然現象に関わる日本古典の現代語訳と英訳
科学社会学・科学技術史系	
	蒸気機関の歩み～なぜ蒸気機関は普及したのか～
社会・安全システム科学系	
	シミュレーションソフトを用いた交通渋滞緩和
	社会インフラのメンテナンスに関する調査・研究
	地震の発生メカニズムとその対策に関する調査・研究
	デジタル地図を用いた持続可能都市の探究
	効率のよい発電所の分布とその理由
自然災害科学系	
	兵庫県中部～南部の白亜紀後期の基盤岩の形成過程（第2報）～兵庫県に広く分布する凝灰岩に着目して～
	砂防ダムのプラス面とマイナス面（2） –マサ土を主成分とする土石流に有効な砂防ダムの構造–
	東三河の災害史跡
	安息角のなぞに迫る～表面現象としての幾何学的アプローチ～
	南海トラフの巨大地震は地域にどのような被害をもたらすのか
ゲノム科学系	
	シロイヌナズナの花器官における表現型と遺伝子型の比較
	ゲノムDNAを用いた遺伝子診断～ALDH遺伝子の多型解析について～
	葉緑体DNAの解析によるスミレ属の分子系統解析
	カケガワザクラの起源を探る～SSR遺伝子の新たな分析方法の開発～
	異種生物間の相互関係と形質の変化

○JST「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」参加校による研究テーマの例

環境学系
パン酵母を使用したバイオ燃料電池に関する研究
地域の特性を活かした自然エネルギーの研究
バイオ燃料電池による果物中のグルコース量の測定
里山に太陽光パネルを設置することの是非について
福島原発事故後の茶屋沼の環境と微小生物
生活排水処理装置KCストーンによるリン除去機構の解明
紫外吸光度法による硝酸イオンの分析法
黒目川・柳瀬川における釣果から考察するカワムツの生態
二河川下流域におけるCODを用いた水質調査
アオサの成長と水温
湿原における水の保水効果の検証
小糸川の汽水域における魚類の生態調査
メダカは何がきっかけで産卵するのか
学校周辺に位置する森の植生調査について
竹資源の活用の可能性を探る
学校ビオトープ～発展の第一歩
初期遷移におけるイタドリが強さの仕組みを探る
守れ!ふるさとのカスミサンショウウオ ～保護活動の推進と生殖行動の解析～
海岸部のコケの中のクマムシ調査
石苔の遷移現象とオオサンショウウオの衰弱死から分かった砂防ダムの機能と形態
海洋生物の多様性とそれを探る科学的方法
夜空の明るさの垂直連続観測
食品・環境中の生分解能をもつ微生物の探求
グリーンケミストリーの視点からのプラスチック合成の検討
里山林の変化に関する調査～温暖化などの環境変化と森林の成長
奈良市内の大気質と降水水質との関係
淡水棲シジミ類の分布調査～タイワンシジミの侵入の現状を探る～
日本に侵入後のアライグマの頭骨から分かる体の変化
澱粉粕からバイオエタノールの製造方法

○宮城県の高등학교による研究テーマの例

広瀬川の水質に関する研究
緒絶川の水質調査
石巻真野川に生息するプラナリアの飼育環境についての考察
宮城県内に生息するメダカのルーツを探る
仙台市沿岸部におけるクロマツ菌根の観察
多賀城高校の松枯れの原因を探る
浦戸諸島におけるマツ類ハイブリッドの形態的・遺伝的比較
伊豆沼の自然再生に向けたクロモ群落復元の研究
利府町内の水圏環境と水質の関係について
季節による十八鳴浜の変化～鳴砂の昔と今 第4報～
宮城県内産出の珪藻化石で新第三系層序・堆積年代を再考察する
宮城県における大気不安定度と雷雨発生の関係について
仙台市焼河原地域の地層の層序について
仙台市焼河原地域の地層中に見られるサンドパイプについて
宮城県塩釜市浦野々島における地質構造
山南敬助は仙台藩出身だったのか～史実に残る謎を紐解いて～
湾の形と津波の被害～金網を用いて雄勝湾の津波被害を抑える～

(H28宮城県高等学校生徒理科研究発表会, H29みやぎサイエンスフェスタ発表題より)

「研究テーマの設定」方法の事例（本事業の研究より）

＜部活動としての課題研究活動＞

テーマ1 ミョウバンの結晶をつくる

<p>テーマ設定の方法</p>	<p>＜利点＞</p>	
<p>基本的に生徒がやってみたいことを自由に挙げさせ、話し合いにより決めさせる。決まったテーマを顧問に伝え、危険性が無ければ基本的に認める。</p>	<p>自分たちで決めたテーマなので、責任を持って研究活動に取り組みやすかった。</p>	
	<p>＜方法の問題点＞</p> <p>テーマの探し方を限定しなかったため、インターネット上の動画から、危険なものや、その場で見て終わるテーマを選んでしまった。</p>	<p>⇒</p> <p>○改善点</p> <p>学校図書館に協力してもらって、高校生でもできる実験関係の本をそろえてもらい、そこからでもテーマを探せるようにした。</p>

テーマ2 砂はなぜ鳴るのか ～鳴砂の発音方法解明に向けて～

<p>テーマ設定の方法</p>	<p>＜利点＞</p>	
<p>学校で継続的に行っているテーマを発展させる、または周辺の研究を行うということを基本として、先行研究と切り口を変えたり、調査方法を変えるなどしてテーマを決めさせた。</p>	<p>学校で行った先行の研究があり、それを基準とすることができるので、研究全体の流れ等をイメージしやすい。</p>	
	<p>＜方法の問題点＞</p> <p>学術的な内容の研究について、高校生が新しい切り口を提案するには、専門的な知識が必要であり難しかった。先行研究には高校には無い装置で実験しているものがあり、追試が困難だった。</p>	<p>⇒</p> <p>○改善点</p> <p>専門的な内容については、教員側が一つひとつ理解し、それをかみ砕いて生徒に解説した。</p> <p>高校に無い装置はオリジナルの装置を作るなどで、古い論文の実験はある程度再現できるようにした。</p>

テーマ3 冷凍カニの時間経過にともなう遊離アミノ酸量の変化に関する研究

<p>テーマ設定の方法</p>	<p>＜利点＞</p>	
<p>食品化学に関わる実験を体験させ、その実験を通して関連する分野のテーマをいくつか例示し、その中から生徒が興味を持ったものを選ばせた。</p>	<p>実験の経験が少ない生徒にとっては、調査・研究の段階までイメージさせながらテーマを決めさせる、という点では実験をとおしてテーマを考えさせたことは効果的であった。</p>	
	<p>＜方法の問題点＞</p> <p>完全に自分で決めたテーマでは無いため、研究の目的が曖昧になってしまい、あたかも実験することが目的であるような状態が生じてしまった。</p>	<p>⇒</p> <p>○改善点</p> <p>時々本来の目的に立ち返り、研究全体として何を目標しているのか、ということを確認しながらやることで、手がけている実験の意義を理解しながら活動できるようにした。</p>

テーマ4 ヨウ素デンプン反応の安定的な条件

テーマ設定の方法

3～4人のグループをつくり、化学基礎の教科書に載っている探究活動を実践させ、その中で疑問に思ったこと、更に深めてみたいことを挙げさせ、レポートにして話し合わせた。その後、研究テーマを生徒自ら見付けさせた。

<利点> 研究に必要な知識を上級生が1年生に指導するなど、テーマ設定に限らず研究全体において上級生が助言しやすい環境にある。	
<方法の問題点> 1年生はまだ高校化学の知識に乏しく、考察に時間がかかってしまう。また、授業の進度よりも先の教科書内容を扱うことになるため、研究と言うより学習の要素が強くなる時期がある。	⇒ ○改善点 上級生や顧問が学習内容を指導することで、授業での未習部分をカバーした。また、教科書に載っている探究活動の実験結果などについて発表させる日を設け、互いに探究内容を比較しながら研究の進め方を考えさせるようにした。

テーマ5 ケイ酸ナトリウムを用いたゲルの反発係数の測定と緩衝作用の評価

テーマ設定の方法

これまで科学関係の活動において自分が行ったことを箇条書きで書かせた。書いたことをもとに、実施期間と予算、並びに設備などを考慮して、発展的なことにつなげられないかカウンセリング形式で生徒と一緒に考察した。複数候補が挙がった後に、最も興味があるものを研究テーマとした。

<利点> 生徒としっかりと話し合う時間を設けたことで、課題研究全体を見通したテーマ設定となり、生徒の研究に向かうやる気を引き出すことが出来た。	
<方法の問題点> 高校でできることは、実施期間と設備の関係でかなり制限されるのでテーマを決めるのに時間がかかりかかった。設備面から、高校生が独創的な研究をするのはかなり難しいと感じた。	⇒ ○改善点 テーマが決まるまで、生徒とじっくり検討した。 校内でできる実験で、実験装置についてはどんなものがあるかを事前に生徒に示しておくことで、生徒も見通しを立てやすくなるようにした。

<総合学習・探究活動などの授業における課題研究活動>

テーマ6 手持ち花火の色の変化について

<p>テーマ設定の方法</p>	<p><利点></p>	
<p>1年生は、研究したい分野の事前アンケートをとり、その結果が似た同士でグループを作り、話し合いさせることで最終的に1つのテーマに絞り込ませた。 経験を踏んだ2年生はクラスの枠を超え自由にグループを組ませ、テーマを話し合わせた。</p>	<p>1年生は、ある程度興味の方向が似た生徒を組ませることで、自由にグループに分けるより話が進みやすかった。 2年生は、話しやすい仲間同士が集まるため、互いに意見を出しやすい環境であった。</p>	
	<p><方法の問題点></p> <p>1年生は、人数が多いグループでは、自分が調査・研究したい内容とはかけ離れたテーマになった、という生徒もいた。 2年生では、慣れから緊張感に欠ける話し合いが見られた。</p>	<p>⇒</p> <p>○改善点 思うテーマではなかった生徒には、研究内容だけでなく、「研究の手法」を学ぶための時間でもあることを説明し、取り組ませた。 2年生には、よりレベルの高い発表を求めることで緊張感を持たせるようにした。</p>

テーマ7 土壌中のアンモニウムイオンおよび硝酸イオン濃度の測定

<p>テーマ設定の方法</p>	<p><利点></p>	
<p>学校行事である野外活動の事後学習として設定し、野外実習中に学んだことから発展させられるようなテーマを考えさせた。</p>	<p>事前学習で調べた内容や、野外活動中に学んだことをテーマ設定に生かすことが出来るため、具体的なイメージを持って課題研究に入りやすい。</p>	
	<p><方法の問題点></p> <p>時期が早いと、探究活動についての基礎知識が身に付いていない中での取組となり、研究テーマの焦点が絞り切れなかった。</p>	<p>⇒</p> <p>○改善点 積極的に外部の発表会に参加する機会を与えることで、研究内容の分析とともに徐々にテーマを焦点化していくことができるようにした。</p>

テーマ8 粘土鉱物と光沢の関係についての研究 ～色の付いた光る泥だんご制作を通して～

<p>テーマ設定の方法</p>	<p><利点></p>	
<p>2回の課題研究ガイダンスや上級生の報告書を参考に、各自取り組みたいテーマをアンケートに書かせ、その結果を基に班編制し、テーマを話し合わせた。</p>	<p>生徒の希望を出来る限り採用することで、テーマが指導教員の専門分野に偏らず、教員も探究活動をとおして学ぶことができる。</p>	
	<p><方法の問題点></p> <p>研究が深まるに従い、テーマを修正する必要がでてくることがあり、戸惑う生徒もいた。</p>	<p>⇒</p> <p>○改善点 テーマを修正することは構わないので、修正を通して研究の意義を深く考えさせることを意識して指導するようにした。</p>

「研究テーマの設定」に関するQ&A

Q1. 生徒が設定したテーマが現実的でない場合、又は漠然としている場合など、どのように指導するべきか。

A1. 現実的ではないテーマ、漠然としたテーマを設定するのは、その先の研究に対するイメージがつかめていないことが主な原因であると考えられるので、ただ頭から否定したのでは、生徒自身も何が問題点なのか分からないままになってしまう。

自分たちが設定したテーマに沿って、研究計画を立てさせ、必要な実験を考えさせる。その中で、考えた実験がどのような方法で実現できるのかを、できる限り具体的に考えさせることで、イメージをつくらせ、話し合わせることは大切である。

また、危険が伴うものや高価な薬品や特殊機械が必要なもの以外は実際にやらせて、その結果を踏まえて、改めて研究テーマを練り直す、という方法も考えられる。

Q2. 学校内に課題研究の事例の蓄積が無く（教員側に課題研究の指導経験が無く）、テーマを設定するためのノウハウがない。最初の段階でどのような準備が効果的か。

A2. すでに課題研究に取り組んでいる学校では研究報告書などを作成している事が多いので、これらを手差し、高校生がどのような取組をしているのかを教員側が把握することは有効である。宮城県高等学校生徒理科研究発表会の要旨集などを用いて、これまでに発表された研究を生徒に読ませてもよい。まずは、具体的にどのような研究発表が行われているかを知ることが必要である。

また、宮城県教育委員会が平成23年3月に発行した「高等学校学習指導要領 理科 一探究活動・課題研究をどのように実践するか 一」も参考になる。

紹介されている事例の中で興味を引くような取組があれば、実際に自分たちで追試をしてみると課題が見えてくることがある。教科書の探究のページなどに記載されている実験に取り組み、そのパラメーターなどを変化させたときの様子などをまとめさせていくことも一つの方法である。

学校全体として課題研究をするのであれば、学校で課題研究を行う「目的」が明確である必要がある。例えば、研究内容のクオリティーよりも、「研究の手段・方法を知る、身に付ける」ことを重視している学校で、教員・生徒ともに負担が少なく、良いものを作り上げていた事例もある。

課題研究の指導に当たっては、教員自身も、生徒と一緒に未知の事柄について研究するという心構えを持つことが大切である。

Q3. 生徒の科学的な知識が不足しており、自分たちでテーマを設定することができない。どのように指導したら良いか。

A3. 具体的なテーマの設定ではなく、方向性を示すような助言は有効である。例えば、「濃度の変化を測定しよう」、などの研究の軸となる知識を提示することで、他の事象について興味・関心を広げさせるきっかけになる。

また、無理に科学的なものを探そうとすると難しくなるので、日常の生活で気付いたことや不思議に思ったささいなことから考えていけば良い。世間ではすでに知られていることでも、高校生は知らないことがたくさんあるので、身近なものからテーマを探させても構わない。

教科書に載っている探究活動をすべて行い、その取組の中で生じた疑問からテーマを設定するというトレーニングをしている例もある。

ただし、この場合1年生などは授業より先行した内容を扱うことがあり、事前に顧問や上級生からレクチャーを受けて内容を理解してから取り組ませるとよい。

Q4. 生徒が調べるだけで終わってしまうようなテーマを考えてきた場合、そこからどのように発展させることができるか。

A4. 調べた知識を比較したりつなげ合わせたりすることだけでも、課題研究で身に付けさせたい力はある程度つく。その際、一つの情報源や媒体だけではなく、必ず複数の情報源や媒体から調べさせ、必要な情報を拾い上げ論理的に主張を裏付けられるように指導する。研究の流れをつかませることを目的として、とりあえずやらせてみて、それをレポートの形でまとめさせ、目的から結果までを書かせる方法をとらせてもよい。

ただし、考えたテーマがあまりにも単純すぎる場合は、実験や調査をとおして問題を解決又は改善することが大切であることを生徒に伝え、もう一度テーマ設定からやり直しさせることも必要である。

Q5. 生徒にアドバイスしたいが、あまり介入しすぎると完全にこちらに頼り切ってしまうため、どこまで介入することが適切か。

A5. 生徒の能力や、生徒にどこまでのレベルを求めているかにより対応は変わってくる。生徒に実験の目的を自覚させた上で、「問題解決には何が必要なのか?」ということを確認しながら進めさせる。「仮説と結論がずれていないか」、「一度だけの実験結果で終わらせていないか」程度の最終チェックはしても良い。

教員が介入しすぎると、生徒は研究ではなく作業をするだけになってしまう。目標設定や実験計画は生徒たちにやらせなければならない。ただし、実験方法の提示や用いる試薬の例などを示すことは必要であると考えられる。また、危険を伴うような実験や環境負荷を与えてしまうような実験などのときには、指導教員による十分な監督と適切な指導が必要になるので、内容の見極めが重要である。

課題研究において生徒と関わる時は、一緒に探究するという心構えを持ち、生徒の考えに共感しながらアドバイスすることでテーマを具体化させるとよい。

Q6. テーマを自由なジャンルから決めさせたいが、どうしても指導教員の専門に近いテーマに偏ってしまう。どのような工夫が考えられるか。

A6. 教員自身が、未知のテーマに取り組む心構えが必要である。専門的なこと以外は生徒と一緒に考える、くらしいの気構えで良い。

ただし、指導教員の専門に近づくのは、ある程度仕方が無いと考える。その場合、枠が決められてしまい、自由な発想を妨げてしまうかもしれないが、その中でオリジナリティを発揮させていくよう考えていく必要がある。

発想を広げていく手がかりとして、大学などの研究機関に問い合わせることができるのであれば、積極的に連絡を取ると良い。直接の専門領域ではなくても、相談した研究者の方からネットワークを使ってさらに紹介していただくこともある。

Q7. 一年間の研究の流れを見通して年間計画を立てるには、どういった点に注意すべきか。

A7. 大まかな指導時間数や発表の期日などを教員側がしっかりと把握した上で、生徒が見通しを持つことができるように研究の流れを示すことは、課題研究がスムーズに進むかどうかを決める大事な要素となる。

実験やまとめに要する時間をしっかりと設定できることが重要であり、特に実験では、まとまった時間を要することが多いので、どの時期に実験を当てることができるかを想定しながら計画を立てる必要がある。その際、長期休業などの有効活用も考えるとよい。

課題研究では、研究内容のまとめを発表し他と共有することが大事になるので、発表の日から逆算してまとめの日を設定し、さらにそれに合わせて実験の日程を設定することになる。

これらを踏まえた上で、どこまで研究を進めることができるのかを考えると、研究テーマを設定する上での参考になる。

Q8. テーマを設定する段階で、大学などの研究機関からどのような形の協力が考えられるか。

A8. 先行研究などの事例をもとに、研究の期間と内容の兼ね合いなどを考慮した上でテーマ設定の妥当性に関する助言をもらえることが考えられる。また、同じ題材を取り扱うとしても、どのように迫ることができるか切り口をアドバイスしてもらう等の相談も考えられる。

ただし、何も決まっていない状態で、最初から丸投げするような形で聞くのではなく、具体的なテーマの案をいくつか示し、背景やきっかけ、研究方法の見通しを明確にした上で相談する必要がある。

他にも、課題研究に詳しい教育学部等の大学教員に、生徒全員を対象にした「課題研究に取り組むに当たって」の講義をしてもらうことも協力をもらう一つの方法である。

§ 2 「調査・研究」について

1 「調査・研究」の指導に当たって

「調査・研究」は、課題研究の中心部分である。設定したテーマに対して、どのような結果が考えられるかという仮説を立て、計画し、実験・調査を行うことにより、得られた結果を分析・考察することで「テーマに対する」結論を導き出す過程である。この過程をとおして、生徒はテーマ解決のために必要なことを考え、何を求めるために何をしなければならないか、そしてどのような結論が導き出されるのか、という論理的な思考力が育成される。

指導に当たっては、設定したテーマを解決するために調査・研究を行うのだということを常に念頭におき、今行っている実験が調査・研究の中でどのような位置づけにあるのか、ということを確認しながらゴールに導いていくことが大切である。

また、調査・研究のそれぞれの段階において、大学などの研究機関に協力をもらうことで、より深く質の高い研究を進めることができる。外部の研究機関との連携を意識することは、今後の課題研究の指導にも大いにプラスになるはずである。

図5は「調査・研究」の大まかな流れと連携機関の活用について、模式的に示したものである。

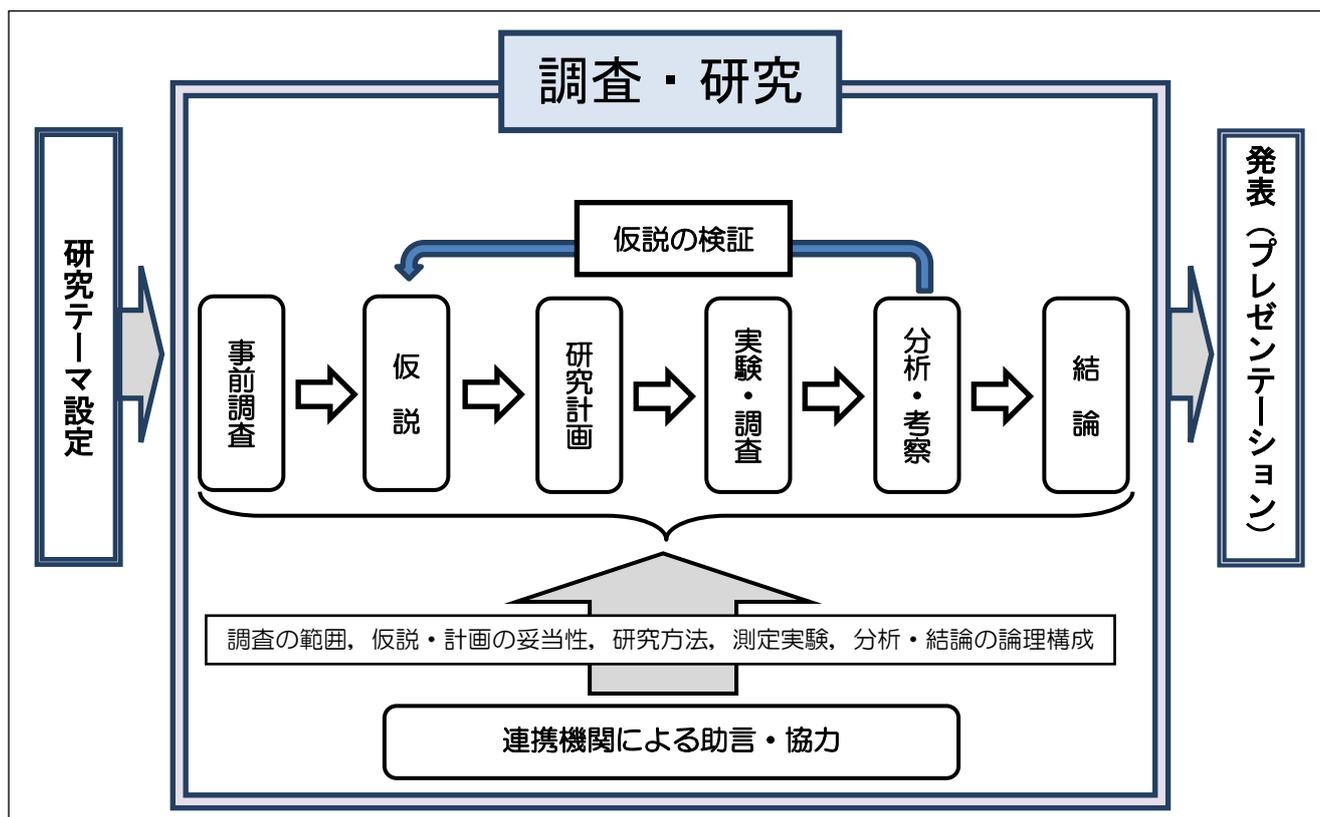


図5 「調査・研究」の流れと連携機関の活用

2 「調査・研究」のストーリーをつくる <事前調査><仮説><研究計画>

研究テーマを設定したら、いよいよその解決に向けた調査・研究に入ることになるが、やみくもに何か実験をしてみればよいのではなく、当然ながら、結論を導き出すためにどのような実験が必要になるのか、考えなければならない。

まずは、調査・研究のおおまかなストーリーを作ることが大切である。結論を導き出すのに必要なデータは何か、そのデータを求めるために必要な実験は何か、を逆算していくと、調査・研究の大きな流れが見えてくる。このようなストーリーを最初に描いておくことで、どのように生徒を指導していくかが考えやすくなる。

2.1 情報を収集する

設定されたテーマに関連する情報の収集は欠かせないものである。当然ながら基本的な知識が不足している状態では調査・研究を進めるに当たって支障が出る。また、これから研究しようと思っている内容が、すでに結果が十分知られている場合は、テーマ設定の方向性を再考させなければならないこともある。

情報収集の最も簡単な方法として、「インターネット検索」が挙げられる。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るため、注意が必要であるが、様々な情報を短時間で収集できることは有効である。また自らの研究についてアドバイスをもらえそうな研究機関や大学の研究者との連携の手段としても活用できる有用性も認識しておきたい。

もちろん、すでに結論が出ている研究について、同じ流れで調査・研究を進め、確かに同じ結論にたどり着くかを確かめさせることも課題研究の流れをつかませるための指導の一つである。ただし、この場合でもそれぞれの実験や分析、一つひとつの段階が研究の中でどのような意味があるのかを、十分に考えさせながら進めることは重要である。

2.2 仮説を立て、研究の計画を立てる

調査・研究のストーリーを作るためには、どのような結論が予想されるかという仮説を立てることが必要である。その仮説を検証するためにどのようなデータが必要かを考えることで、調査・研究の計画が作り上げられる。

計画を立てる際には、調査・研究に費やすことができる期間や時期を考慮した上で、場合によっては研究テーマの修正が必要になることもある。特に生物を扱う研究の場合は、季節により条件が整わないこともあるため、注意が必要である。

また、実験や野外活動については、特に安全面に十分配慮することが必要である。火気や薬品等を用いる実験では、十分な基礎知識の習得と共に、周囲の環境の整備についても十分配慮した計画を立てなければならない。

計画的に研究を進めるためにも、調査・研究期間内に発表会の設定をしたい。発表会を目標に研究を進めることで、常に意識を高く維持することができるとともに、それまでの研究を振り返り、様々な視点からアドバイスをもらうことによって、更に研究が深まることが期待できる。

2.3 「調査・研究」のストーリーをつくる手法とは

この作業および指導が、課題研究を進めるうえで大切なプロセスの一つとなる。調査・研究のストーリーができたとしても、頭の中で描いただけで実際に進めるのと、それを第三者に聞いてもらってから実際に研究を進めるのでは、その後の進み方に違いがでてくる。教員側が対応できないときは、生徒同士で行わせることでも効果があり、お互いの課題研究に対する思考の深まりにつながる。

以下、その手法についていくつか紹介する。

① 『マインドマップ』を活用する (p.6 図4参照)

『マインドマップ』とは、多方向に思考を広めつつ、情報を整理できる思考ツールの一つである。脳が自然に行っている連想をそのまま紙の上にまとめるイメージであるが、情報を整理することで、相手にも自分自身も視覚的に整理できる。テーマを紙の中心におき、中心から外側へ延びる枝(ブランチ)を様々に描いて整理していく。数人で一つの課題研究に取り組む場合も、アイデアが生まれやすく、方向性が決まってから、もしくは方向性を見つけようとする前段階にも効果的である。

② 『シンキングツール』を活用する

『シンキングツール』とは、思考ツールであり、囲みや矢印によって考えの流れを表したり、紙面にいくつかの領域を作り、考え方を書き分けていく。ベン図、座標軸など様々な書き方があり、『マインドマップ』より手軽に使える。

③ 『ブレインストーミング (BS)』・『KJ法』を活用する

『ブレインストーミング (BS)』とは新たなアイデアを生み出す手法の一つで、ある問題に対して自由にアイデアを出し合う際によく用いられる方法である。さらに『KJ法』を用いることで、『BS』などで出された多くのアイデアをグループ化することで、問題解決の道筋を視覚的に整理しながら論理的解決に導いていくことができる。

以上のように手法は様々あるが、どの手法も頭で考えたことを視覚的に整理できる。さらに相手に聞いてもらうことで、自分自身の考えの甘さや不足部分、方向性の修正など、自分自身で気づき、進め方に深みがでてくる。手法にこだわらず、テーマ決定から仮説・研究計画が生徒自身で決まったら、それを紙の上で簡単な言葉と矢印などを使って生徒と指導者間でディスカッションすることをお勧めする。もしくは、生徒間で行うことも有効である。大規模な人数で課題研究を進める必要があるときは、事前演習としてこのようなことを経験しておくのが効果的で、課題研究の取り組みに大きな違いがでてくる。

3 実験に当たって <実験・調査>

計画を立てたら、いよいよデータを収集するための実験・調査を行うことになる。

ここで指導する際に配慮すべきことは、一つひとつの実験を行う際にも、どのような結果が期待されるか、という仮説を立てさせることである。そして、得られた実験結果がその仮説に合っていない場合は、何が原因なのか検証させることで、次の実験計画が生み出されることになる。このような仮説→検証のサイクルが組み合わせられることで、実験が進められていく。

実験の指導に当たっては「思い通りの実験結果を得ることが目的」にならないようすることも配慮すべき点である。思い通りのデータを求めたいがために条件を大きく変えてしまう、などのことがあると、その実験の意義が失われてしまうので注意したい。また、実験結果をまとめる際には、条件と合わせて記録させるような習慣を付けさせたい。

3.1 データの収集と取扱い

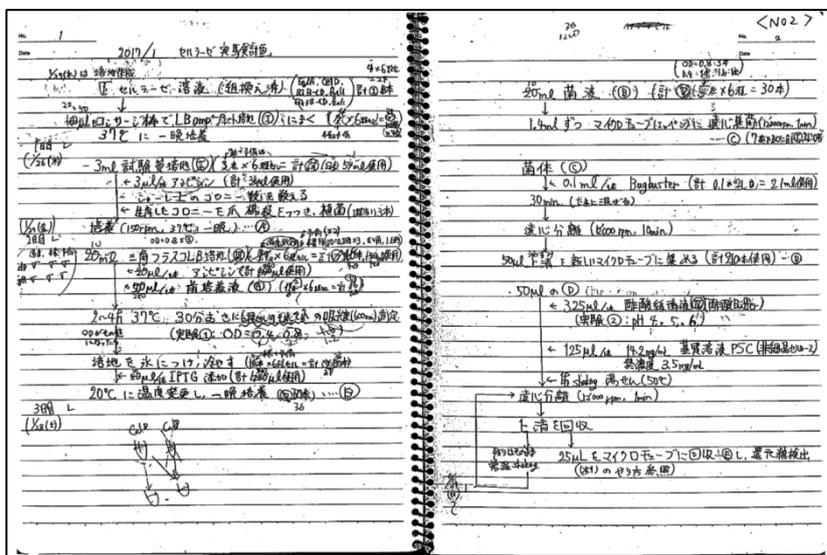
実験で得られたデータは、研究の結論を導き出すための根拠となる。その実験データの信頼性を確保するためにも、データの収集と取扱いについては、以下の点に注意するべきである。

○実験ノートは確実に記載する。

実験ノートへの記録は、間違いなく実験を行ってデータを得た、という証明を残すということでもある。実験によりデータが得られたら、必ずその場で記録させることが大切である。後でまとめて記録しようとすると、間違いが生じデータの信頼性を損なう大きな原因となる。

実験ノートには、失敗も含め、実験の方法や状況等、調査・研究の過程を詳しく記録しておくことが大切である。

図6に本事業の科学研究実践活動において実際に記入された実験ノートの一部を例として示す。



○再現性を確認する。

1～2回程度の実験結果だけで結論を出すことは非常に危険である。調査・研究にあてられる期間や、実験の題材などにも影響されるとは思うが、複数回の実験を重ねてデータを蓄積し、再現性を確認した上でその平均値をデータとして用いることが望ましい。

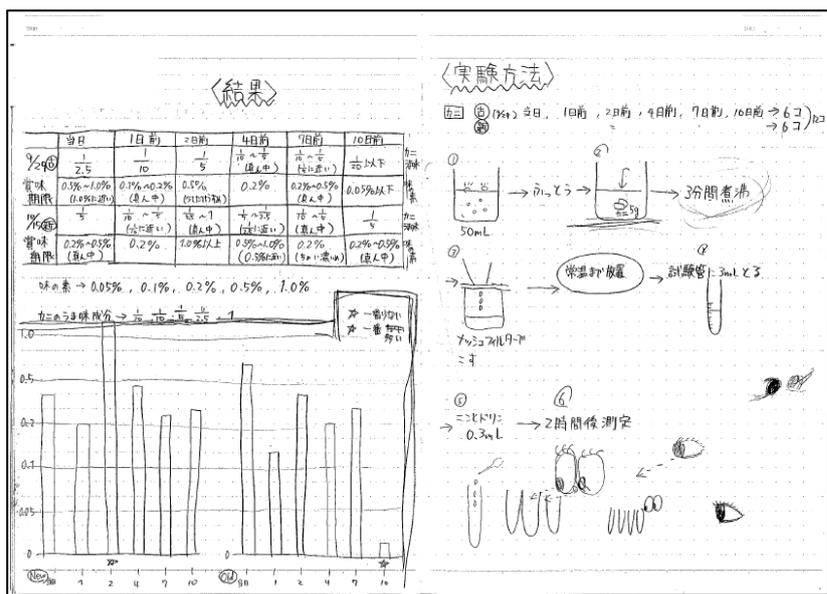


図6 記入された実験ノートの活用例

○データの誤差を考慮する。

実験で得られたデータは必ず誤差を含んでいる。行った実験ではどの程度の誤差が考えられるかを把握し、データ処理にも反映させるとより適切な分析につながる。併せて、求めた数値を表す際の有効数字にも留意するべきである。

誤差の生じる要因としては実験者の習熟度、測定機器の精度等が挙げられるが、それらを改善してもなお必然的なものであり避けることができない誤差はある。また、測定データ（測定機器の目盛り等）を読み取る際に、先入観から予想した値に近く読み取ってしまう傾向もあるため、注意が必要である。

○他と外れた値のデータの取扱いに注意する。

明らかに他に比べて数値が異なるデータが得られた場合には、その数値を棄却して平均をとることもあるが、本当に棄却すべきデータなのか、検証することは大切である。理由があつて外れた値になっている値を、生徒が結果処理の段階で安易に棄却していることはないか、指導者は十分に注意しておく必要がある。

なお、参考として実験における計測誤差に関する実験データの評価及び棄却の判断について、26ページ以降に記載する。

3.2 実験の方法について

設定したテーマによっては、学校の設備面などとの関係で、検証のためのデータを得る実験を行うことが難しいことがある。その場合は、目的を損ねないようにしながら実験方法を変更することが考えられるが、連携機関を活用することも一つの方法である。

連携機関の活用については5で詳しく述べるが、実験方法の提案や、必要な測定実験が行える場を紹介してもらえるなど、研究活動を進めるために必要な助言が得られることが多い。

4 実験結果の分析 <分析・考察><結論>

実験結果を分析する際に、まず客観的にその結果から分かることは何か、を考えることを心掛けさせるべきである。それぞれの実験には目的があるが、あまり先入観を持って結果を見てしまうと、つい自分たちの都合のいいように結果を捉えてしまいがちである。実際には仮説の正しさを検証するためには他の方法を考えなければならないところを、実験結果から無理に結論を導き出そうとして、論理性が保てなくなってしまうことがある。指導者としては、あくまでも実験結果を客観的に捉える視点を持ち、生徒の実験結果が結論と本当に結びついているのか、冷静に判断するべきである。

得られた結論が、最初に立てた仮説と整合性を持つのかを検証し、整合性があれば新たな課題を提起する、整合性がないようであればその理由を考え、仮説をどのように修正し新たな調査・研究に進めていくかをそれぞれまとめ、成果の報告につなげることになる。

5 連携機関の活用

調査・研究を進める上で、大学などの研究機関に連携を依頼することは有効な方法である。

連携の場面として考えられるのは、研究テーマに応じた実験の進め方への助言、実験・分析の依頼、実験結果の分析への助言などである。(実験装置の使用が関わると費用が生じることがある。)

調査・研究がうまく進まない場合、関連の分野を研究している大学の教員や、専門機関などを調べ、思い切ってメールを送ってみるのも方法である。研究機関は忙しいため残念ながら断られることもあるが、メールでアドバイスをくれる場合も多い。ただし、依頼する際は、どのような背景で何の研究をしているのか、どの段階でつまづいているのか、これまでどこまで試してみたのか、何を教えてもらいたいのか、を明確に伝えることが必要である。

なお、研究テーマの設定やプレゼンテーションの指導の場面においても、連携機関に助言・協力を依頼することも可能である。

ここまで「調査・研究」の指導について述べてきたが、全体の流れをしっかりと把握しながら課題研究を進めるために、研究の流れを記録する様式の例を25ページに掲載するので、参考にして欲しい。

<連携機関による協力の例>

- 研究課題の設定方法についての助言（「研究テーマの設定」）
- 事前調査における調査すべき適当な範囲・方法の助言
- 仮説の設定方法や妥当性についての助言
- 実験・考察における検証方法の手法や論理構成についての助言
- 成果発表の取りまとめ、プレゼン方法についての助言 など

参考 科学研究実践活動の考え方（国立研究開発法人 科学技術振興機構HPより）
<http://www.jst.go.jp/cpse/jissen/about/index.html> （2017年）

(参考) 課題研究の流れのメモ様式例

研究テーマ		
目的		
事前	先行研究の事例等	
調査	本研究で求める成果	
仮説	テーマに対する仮説	
研究	検証に必要なデータ	
計画	データ収集の方法	
調査・測定結果		
考察		
まとめ		
結論		
今後の展望	求めたい成果	
	必要なデータ	
	データ収集の方法	

(参考) 実験における誤差について (誤差解析の観点から)

自然科学実験は自然界の真理を探る作業であり、実験で得られたデータ(測定値)には必ず「真の値(真値)」が含まれている。しかしながら、測定値は、精度の高い実験を行ったとしても、真値に誤差をまとった近似値で得られる。そこで、本稿では測定値に含まれる誤差の統計処理について概説し、エクセルを用いた処理方法を紹介する。なお、統計学における用語の定義が書籍によって多少異なるため、ここでは参考文献「計測における誤差解析入門」におおよそ倣うこととする。

1 実験データの評価について

測定値に含まれる誤差を(式1)で定義する。

$$\text{「誤差}(\varepsilon)\text{」} = \text{「測定値}(x)\text{」} - \text{「真値}(X_0)\text{」}^*1 \quad (\text{式}1)$$

*1 真値：測定されるある物理量の真の値、理想化された概念の値。

また、この誤差は、大きく系統誤差と偶然誤差から構成される(式2)。

$$\text{「誤差}(\varepsilon)\text{」} = \text{「系統誤差}^*2\text{」} + \text{「偶然誤差}^*3\text{」} \quad (\text{式}2)$$

*2 系統誤差：測定値にある傾向をもって寄与するため、その原因が分かれば補正等で排除することが可能である。しかし、同一測定者が同一器機を使用して、同一条件下で同一の注意と方法をもって測定しても、全測定に同傾向で寄与するため、測定の繰り返しによって明らかにすることが難しい。また、この系統誤差は次の3つに分類される。(1)理論誤差：理論の誤り・不完全さや近似の不十分さ・省略により生じる誤差、(2)器械誤差：測定に用いる器械の不完全さ、使用の誤りにより生じる誤差、(3)個人誤差：測定者自身の癖により生じる誤差。以上の特徴から、この系統誤差は一般化することが困難であり、誤差論の対象として扱い難い。

*3 偶然誤差：測定者の支配しえない環境や条件などの微細な変化により、偶然に、しかも必ず生じる原因不明の誤差であり、熟練の測定者が十分注意して測定しても、どうしても避けることができない。言い換えると、同一測定者が同一器機を使用して、同一条件下で同一の注意と方法をもって測定しても、各測定値は必ずゆらぎ、不同となる。この偶然誤差の原因を明らかにすることはできないが、その特徴として次の3つの性質(誤差の三公理)がある。(1)誤差には正負が生じるが、測定回数 n が充分大きければ正負の誤差は対等に起こる。(2)小さい誤差の方が、大きい誤差よりも起こる度数が多い。(3)ある限界値より大きい誤差は、実際上起こらない。以上の特徴から、測定回数 n が充分大きければ、偶然誤差は正規分布(ガウス分布)*4として一般化することができ、誤差論の対象となる。

なお本稿で説明する誤差は、簡単のために、系統誤差をゼロ、偶然誤差を1変数関数からなる正規分布*4として扱う。

*4 正規分布：本稿の補足で説明する。

さて、以上より、実験データを評価するとは、真値を含んでいるが除去できない性質の偶然誤差をともなった測定値をいかに処理して、最も信頼できる値(最確値、最良推定値、最も確からしい値)(X)およびその有効な範囲を求める作業であると言える。ここで最確値とは、測定回数 n が無大の極限で真値と一致し、 n が有限のとき真値に最も近づいた値を意味する。現実的に n は有限であるから、最確値は真値と異なり、測定値(x)の平均値($\langle x \rangle$)と等しくなる(式3)(証明は省く)。

$$X = \langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \neq X_0 \quad (\text{式}3)$$

この現実的な値である最確値を導入し、(式1)と同様に(式4)で定義できる量(残差)を考える。

$$\text{「残差}(d)\text{」} = \text{「測定値}(x)\text{」} - \text{「最確値}(\langle x \rangle)\text{」} \quad (\text{式}4)$$

ここで、誤差と残差の間には、(式5)の関係が成立する(証明は省く)。

$$\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1} \quad (\text{すなわち, } \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_0)^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}) \quad (\text{式5})$$

次に、測定値の有効な範囲を考えよう。誤差の三公理(1)より、誤差の平均値はゼロになる(式6)。

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_0)}{n} = 0 \quad (\text{式6})$$

そこで、誤差を二乗した量の平均である分散(σ_x^2)を導入する(式7)。

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_0)^2}{n} \neq 0 \quad (\text{式7})$$

ただし、この分散の次元は測定値の次元と異なるため、測定値の有効な範囲を示す指標には、測定値の次元に合わせた標準偏差(σ_x)を用いる(式8)。

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_0)^2}{n}} \quad (\text{式8})$$

この標準偏差は、個々の測定値 x_i の平均誤差を意味し、通常、グラフ化した場合のエラーバーとして用いられる。

一方、「 x の値 = 最確値 \pm 誤差」の形で表す場合の誤差には、平均値の標準偏差である標準誤差($\sigma_{\bar{x}}$)を用いる(式9)(証明は省く)。

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (\text{式9})$$

よって、「 x の値 = $\langle x \rangle \pm \sigma_{\bar{x}} = \langle x \rangle \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$ 」で表される。

ここで先に導入した残差を用いると、誤差と残差の関係式(式5)から、(式7)~(式9)は(式10)~(式12)と書き直される。誤差解析としては(式10)~(式12)を用い、それぞれ、不偏分散(標本分散)、不偏標準偏差(標本標準偏差)、標準誤差(平均値の標準偏差)と呼ばれる。

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1} \quad (\text{式10})$$

$$\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n-1}} \quad (\text{式11})$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2}{n(n-1)}} \quad (\text{式12})$$

2 実験データの棄却について

実験データを棄却するかどうかの判断は難しい。簡易的には、最大値と最小値を除くことがあるが、これは論理的ではない。一番良いのは、測定回数 n を増やし、データの散らばり具合(平均値周りの不偏標準偏差)から判断することである。ここでは、データの散らばり具合が正規分布に従うとして考えられた簡便な検定方法である「ショーブネの判断基準(Chauvenet's criterion)」の使い方を紹介する。

- ① x について n 回の測定を行って $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ のデータを得たとする。まず、(式3)および(式11)を用いて、平均値 $\langle x \rangle$ と不偏標準偏差 σ_x を求める。
- ② i 回目の測定値 x_i に対して、(式13)で定義される t_i を求める。この t_i は、平均値 $\langle x \rangle$ から測定値 x_i までの距離の不偏標準偏差 σ_x に対する割合を意味する。

$$t_i = \frac{|x_i - \langle x \rangle|}{\sigma_x} \quad (\text{式 1 3})$$

- ③ 表 A に示すショーブネの判断基準表より、測定回数 n の場合の判断基準値 $t_{\text{criterion}}$ を決定し、算出した t_i が $t_{\text{criterion}}$ 以上 ($t_i \geq t_{\text{criterion}}$) であれば、その t_i を棄却する。
- ④ もしデータを棄却した場合は、棄却したデータ以外の全データが許容範囲内になるまで、①から③のサイクルを行う。最終的に、許容範囲内になった場合の平均値と不偏標準偏差、標準誤差がグラフ化等に利用されることになる。

上述した平均値、不偏標準偏差、標準誤差およびショーブネの判断基準を理解してもらうために、例題を用意した。多くの人が利用すると思われるエクセルでのデータ処理方法を載せたので、実際に手を動かして理解してもらいたい。

<例題> ある物理量 x を $x = 1, 2, 3, 4$ と変化させ、それぞれ測定を 10 回行い、測定値 y を得る仮想の実験データを用意した (表 B : 手順 I の枠内)。以下に処理方法を説明する。

表 A ショーブネの判断基準表

n	$t_{\text{criterion}}$	n	$t_{\text{criterion}}$
3	1.383	24	2.311
4	1.534	25	2.326
5	1.645	26	2.341
6	1.732	27	2.355
7	1.803	28	2.369
8	1.863	29	2.382
9	1.915	30	2.394
10	1.96	31	2.406
11	2	32	2.418
12	2.037	33	2.429
13	2.07	34	2.44
14	2.1	35	2.45
15	2.128	36	2.46
16	2.154	37	2.47
17	2.178	38	2.479
18	2.2	39	2.489
19	2.222	40	2.498
20	2.241	50	2.576
21	2.26	100	2.807
22	2.278	500	3.291
23	2.295	1000	3.481

表 B 仮想の実験データおよびエクセルでのデータ処理

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩		平均値	不偏標準偏差	標準誤差
2	手順 I		測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	$\langle y \rangle$	σ_y	$\sigma_{\bar{y}}$
3	物理量 x	1	16	20	22	23	25	25	27	27	28	34	34	24.7	4.90	1.55
4	物理量 x	2	25	29	32	35	35	36	37	39	42	49	49	35.9	6.69	2.12
5	物理量 x	3	47	55	57	58	60	61	62	62	63	67	67	59.2	5.45	1.72
6	物理量 x	4	69	72	74	76	77	78	79	79	80	84	84	76.8	4.29	1.36
7																
8	手順 II		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩		平均値	不偏標準偏差	標準誤差
9			測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	$\langle y \rangle$	σ_y	$\sigma_{\bar{y}}$
10	物理量 x	1	16	20	22	23	25	25	27	27	28	34	34	24.7	4.90	1.55
11		t	1.78	0.96	0.55	0.35	0.06	0.06	0.47	0.47	0.67	1.90	1.90	< 1.96 for $n = 10$		
12	物理量 x	2	25	29	32	35	35	36	37	39	42	49	49	35.9	6.69	2.12
13		t	1.63	1.03	0.58	0.13	0.13	0.01	0.16	0.46	0.91	1.96	1.96	< 1.96 for $n = 10$		
14	物理量 x	3	47	55	57	58	60	61	62	62	63	67	67	59.2	5.45	1.72
15		t	2.24	0.77	0.40	0.22	0.15	0.33	0.51	0.51	0.70	1.43	1.43	< 1.96 for $n = 10$		
16	物理量 x	4	69	72	74	76	77	78	79	79	80	84	84	76.8	4.29	1.36
17		t	1.82	1.12	0.65	0.19	0.05	0.28	0.51	0.51	0.75	1.68	1.68	< 1.96 for $n = 10$		
18																
19	手順 III		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩		平均値	不偏標準偏差	標準誤差
20			測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	測定値 y	$\langle y \rangle$	σ_y	$\sigma_{\bar{y}}$
21	物理量 x	1	16	20	22	23	25	25	27	27	28	34	34	24.7	4.90	1.55
22		t	1.78	0.96	0.55	0.35	0.06	0.06	0.47	0.47	0.67	1.90	1.90	< 1.96 for $n = 10$		
23	物理量 x	2	25	29	32	35	35	36	37	39	42	-	-	34.4	5.15	1.72
24		t	1.83	1.06	0.47	0.11	0.11	0.30	0.50	0.88	1.47	-	-	< 1.915 for $n = 9$		
25	物理量 x	3	-	55	57	58	60	61	62	62	63	67	67	60.6	3.57	1.19
26		t	-	1.55	0.99	0.71	0.16	0.12	0.40	0.40	0.68	1.80	1.80	< 1.915 for $n = 9$		
27	物理量 x	4	69	72	74	76	77	78	79	79	80	84	84	76.8	4.29	1.36
28		t	1.82	1.12	0.65	0.19	0.05	0.28	0.51	0.51	0.75	1.68	1.68	< 1.96 for $n = 10$		
29																
30	手順 IV		x	$\langle y \rangle$	σ_y	$\sigma_{\bar{y}}$	=ABS(F27-\$N\$27)/\$O\$27									
31			1	24.7	4.90	1.55	=AVERAGE(C27:L27)									
32			2	34.4	5.15	1.72	=STDEV.S(C27:L27)									
33			3	60.6	3.57	1.19										
34			4	76.8	4.29	1.36										

手順Ⅰ：(データの入力, および平均値, 不偏標準偏差, 標準誤差の計算) ある物理量 $x = 1$ の測定を10回行い, 測定値 y をセルのC3からL3に入力した。なお, 今回は分かりやすいように測定値 y を昇順にしてあるが, これは本質的なことではない。

次に, $x = 1$ のときの平均値(セルN3), 不偏標準偏差(セルO3), 標準誤差(セルP3)を求めるために, 各セルに(式14)~(式16)を入れる。なお, エクセルに用意されている関数に関しては, エクセルの f_x (関数の挿入)を参考にしてもらいたい。

$$= \text{AVERAGE}(C3:L3) \quad (\text{式14})$$

$$= \text{STDEV.S}(C3:L3) \quad (\text{式15})$$

$$= O3/\text{SQRT}(\text{COUNT}(C3:L3)) \quad (\text{式16})$$

$x = 2, 3, 4$ に対しても同様の処理を行う(N3からP3をコピーして, N6からP6の範囲までペーストすれば, 入力なしで計算できる)。

手順Ⅱ：(ショーブネの判断基準による検定) $x = 1$ の場合で説明する。 x の下に判断の指標となる行 t を作成し, セルC11には(式17)を入力して, t_i を求める。

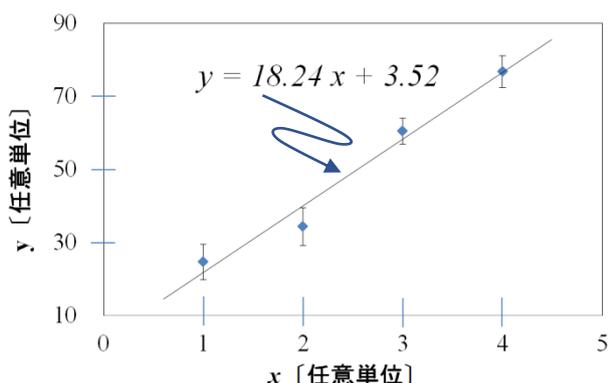
$$= \text{ABS}(C10 - \$N\$10)/\$O\$10 \quad (\text{式17})$$

②から⑩の t_i に対しては, C11をコピーして, L11までペーストすればよい。なお, 判断基準値 $t_{\text{criterion}}$ を表Aから記入しておいた。

すべての t_i を計算した結果, 赤字で示した $x = 2$ の測定⑩と $x = 3$ の測定①で判断基準値 $t_{\text{criterion}}$ 以上の値を示した。よって, この2つの測定結果を棄却する。

手順Ⅲ：(ショーブネの判断基準による再検定) 手順Ⅱでデータを棄却したため, 再検定を行う。データを棄却したあとは手順Ⅱと同様であるが, 測定回数が棄却した分だけ減ることに注意する。再検定の結果, すべてが許可範囲内であることが分かったので, 検定作業は終了となる。

手順Ⅳ：(グラフのための準備) グラフ(図A)を書くために, 表として整理した。データをグラフ



図A 散布図(エラーバーと回帰直線)

化することは非常に重要であるので, ここではエクセルによる作図を説明する。表からデータ列 x と y の範囲を選び, 挿入>グラフ>散布図を選択する。データのエラーバーは, 上述したように不偏標準偏差 σ_y で表す。表示方法は, グラフ要素>誤差範囲>その他のオプション>誤差範囲のオプション>ユーザー設定で値の指定で記入する。エラーバーに不偏標準偏差を用いると, 誤差が正規分布に従っている場合, このエラーバー内にデータの広がり約68%が入ることを意味する*5。

*5 本稿の補足で説明する。

次に, 回帰直線/回帰曲線の表示方法を示す。理論的には最小二乗法を理解した方がよいが, エクセルでは近似曲線として用意されているので, 表示は楽である。表示方法は, グラフのデータ点上で右クリック>近似曲線の追加>線形近似が直線回帰(一次関数)で, 多項式近似の次数2が曲線回帰の二次関数である。グラフに数式を表示するにチェックを入れると, 図Aに示すように, 近似式が表示される。

最後に、標準誤差（平均値の標準偏差）を用いると、平均値（つまり、最確値）の広がりを出すことが出来る。本例題では、（式18）のように表せる。

$$24.7 \pm 1.55 \text{ for } x = 1, 34.4 \pm 1.72 \text{ for } x = 2, 60.6 \pm 1.19 \text{ for } x = 3, 76.8 \pm 1.36 \text{ for } x = 4, \quad (\text{式18})$$

<補足>

正規分布（ガウス分布）は、誤差の三公理を定式化することで得られる連続型確率分布である。分布を表す確率密度関数 $f(x)$ は、（式19）で表される。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left\{-\frac{(x-\langle x \rangle)^2}{2\sigma_x^2}\right\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} e^{\left\{-\frac{(x-\langle x \rangle)^2}{2\sigma_x^2}\right\}} \quad (\text{式19})$$

この分布をグラフで表すと、図Bのようになる。特徴としては、平均値 $\langle x \rangle$ を中心に線対称であり、中心から離れるにしたがって急激にゼロに漸近する形状をしている。また、平均値 $\langle x \rangle \pm$ 標準偏差 σ_x の点が変曲点であり、

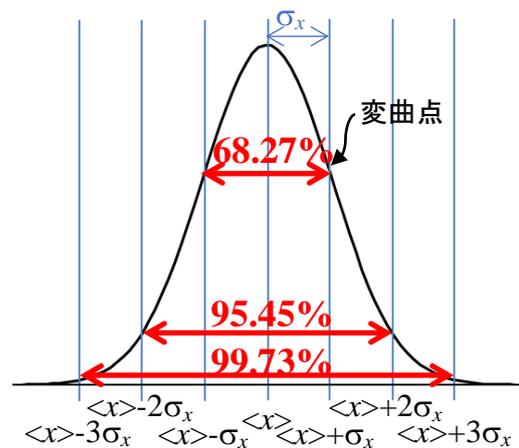
$\langle x \rangle - \sigma_x \leq x \leq \langle x \rangle + \sigma_x$ に全体の68.27%

$\langle x \rangle - 2\sigma_x \leq x \leq \langle x \rangle + 2\sigma_x$ に全体の95.45%

$\langle x \rangle - 3\sigma_x \leq x \leq \langle x \rangle + 3\sigma_x$ に全体の99.73%

のデータが含まれる。

したがって、本稿で述べたように、 $\langle x \rangle \pm \sigma_x$ でエラーバーを表すと、そのエラーバーの中に約68%（ $\approx \frac{2}{3}$ ）のデータがあることを意味する。



図B 正規分布

なお、今回は測定誤差としての偶然誤差を正規分布として扱ったが、放射線計測の場合はポアソン分布になるなど注意が必要である。課題研究にあつては、自分たちの測定および誤差に関して理論的に調べておくことが自分たちのデータから知見を得るためにも肝要である。

「調査・研究」の場面における問題点の事例（本事業の研究より）

調査・研究の場面 1	
「総合的な学習の時間」 週 1 回，長期休業中に課題を与えて行う場合もあり	
指導上の留意点	テーマ設定が重要であり，生徒が主体的に活動できるように生徒の意見を尊重しつつ，1 年間の研究成果の発表ができるようにアドバイスを与えること。また，調べ学習の領域から考察・実証・検証まで行い，論文形式でまとめられるように指導すること。
問題点	協働活動で研究のモチベーションを 1 年間維持できるか。テーマ設定が具体的で妥当であるか。調べ学習の域から研究の域に発展できるか。
問題点への対応	類似している研究テーマでグルーピングを行った。基本的には生徒の希望に沿う形で行った。テーマ設定も初めは具体性に欠いた内容であったが，研究を進めるうちに自分達でテーマを絞り込むことができた。外部機関の活用や市民へのアンケートをとるなど，調べ学習の域を脱することができないような内容でも，生徒は独自に集計や調査を行い検証する姿勢がみられた。
反省点・課題点	テーマをグループ毎に決定させるという課題解決学習であったが，良く研究しまとめたと思う。課題点としては，外部機関活用のための情報や既存論文の情報などをもう少し活用し，研究内容を重複しないようにするとか，上級生たちの研究を参考にするとすれば，よりスムーズに動けたのかも知れない。

調査・研究の場面 2	
「部活動」 月水金の週 3 日間放課後，及び各グループで活動時間を設定	
指導上の留意点	実験の際は，目的を明確にさせ実験手順や必要な物品の確認，結果の予想を行った上で実施させた。薬品を用いる場合は，顧問の監督下で実施させた。結果は，ノートや写真に必ず記録するように指示した。
問題点	部活動の年間活動の中で，新入生トレーニング期，イベント対応期（小中学生への実験教室・文化祭等）に時間が割かれ，テーマ実験・研究の期間が限られる。時間が少ないと当然のことながら，データ数にも影響してくる。
問題点への対応	部活動の運営の仕方の調整（時間の配分。同時並行で活動を進める。等）を行っている。実験計画やまとめに関しては，専門分野の近い大学の先生に相談し，研究で目指したこと，実験方法，実験結果，考察した内容等を聞いて頂き，その分析と次に何をすべきかの課題へのアドバイスをいただく事ができた。生徒にとっては，自分達の研究の位置を明確にしてもらうことができ大変参考になった。
反省点・課題点	自分たちが行った実験の内容や目的についてしっかりと理解し，説明できないと，的確なアドバイスをもらうことができないし，場合によっては厳しい指摘を受けることもあった。それも良いアドバイスとなり，研究に取り組む場合の良い意味での緊張感につながった。大学の先生のアドバイスを現場の教員サイドで一般化し，普段の指導にあたることも必要である。

調査・研究の場面3
「部活動」 主に平日放課後の活動

指導上の留意点	実験メモや写真等の記録を必ず残すように指導した。また、斜面でのサンプリングがあることから、危険箇所への立ち入りを制限するなど安全面に配慮した（危険箇所は顧問がサンプリングを行った）。
問題点	試料のサンプリング手法を探り原因生物の検出を試みたが、研究のはじめは全く検出できなかった。また、担当の生徒を固定せずに部活動全体で研究するという体制で実験を始めたことで、個々の責任感が希薄になってしまい、実験の失敗やデータの紛失などの問題が発生した。
問題点への対応	活動の主となる生徒を指名して、研究を担当するための班編制を改めて行った。また、実験データやメモ等を紙ファイルに収めること、活動場所を整頓することなど、活動の基本的な事項から生徒に確認させることで、基本的なミスの誘発を防いでいる。
反省点・課題点	改めて班編制を行ったことで、生徒たちに自覚が生まれ、教員主導ではなく生徒主導の活動に舵を切り直すことができた。しかし、指導教員の目の行き届かないところで生徒がミスをするが多々あり、生徒にどこまで手を掛けるのか、その判断は未だ手探り状態である。

調査・研究の場面4
「その他の活動（授業・部活動以外）」 学校行事の事後学習として、主に放課後の活動

指導上の留意点	機器分析（分光光度計）を用いて研究に取り組むにあたり、分析の原理などをしっかりとレクチャーした上で、研究目的を明らかにして取り組めるように支援にあたった。
問題点	1年生の早い段階での取組であったため、実験操作などに不慣れな点が多かった。実験データの処理についての知識も乏しく、考察を深める上でなかなか進まないことが多かった。また、参加した生徒は運動部に所属していたため、研究活動に取り組める時間が限られていた。
問題点への対応	少人数での活動であったため、課外時間などに活動を行った。生徒たちは運動部に所属していたため部活顧問とも相談をしつつ、生徒との意思疎通を深めながら、きめ細かく対応することで、知識や技術などを身に付けさせながら活動を行った。ある程度知識などが身に付いてきてからは、生徒同士の話合いの時間を多く設定し、データから読み取れることの考察を深めていくことができた。また、多くの発表機会をとおして、大学や他校の先生方からいただいた助言を基に再度研究内容を検討することができ、研究テーマを明確にすることができていった。
反省点・課題点	今回は実験方法などを指導側から提示したものをを用いた。本来なら調査に当たり先行研究などを生徒自身に調べさせ、実験計画を立てさせたいところであった。限られた時間や研究実施時期の関係もあり、実験手法は提示したが、その後のまとめの活動では率先して生徒が活動することができた。

調査・研究の場面5
「部活動」 放課後および休日を利用した活動

指導上の留意点	自分たちのテーマが、伊豆沼の自然再生という大きなことにつながることを常に意識させた。 室内での実験であったが、自然の中で考えられるさまざまな条件を意識させて実験計画を立てるように働きかけた。 対照実験の重要性について意識させ、設定させた。
問題点	水質や水生植物、植物プランクトン、化学分野等の基礎知識が不十分であり、生徒たち自身に実験方法やその改善方法、研究の新しい切り口などを考えさせるのに時間を要した。
問題点への対応	必要に応じて、指導教員が随時助言を行った。 実験自体は実験室内で行ったが、実際の伊豆沼での環境について、現地の研究員の方々に教えていただく機会が複数回あり、ヒントをいただいた。
反省点・課題点	予想以上に短期間で水質等に大きな変化が見られ、より小刻みな記録が必要であったことと、季節の進行により、植物の状況も変化するために実験を繰り返す難しさが課題であった。

調査・研究の場面6
「部活動及び学校独自の研究論文」 放課後および休日を利用した活動

指導上の留意点	まず研究を行う前に、紙面上で、実験の目的や進め方など大筋をディスカッションしながら、生徒に考えさせる時間を大切にしました。その次に、調査研究に移った。生徒と一緒にやらなくてはいけない実験、生徒たちだけでできる実験ということで、こちらでもかかわるところ、自分たちでできるところを判断しながら指導するのを心掛けた。 いくつかのグループをみななければいけないので、それぞれに期日を決め、途中経過の結果報告をさせて、こちらも各研究の把握につとめた。
問題点	指導時間の確保及び生徒たちも実験をする時間の確保が困難であった。 授業にも組み込まれていないので、他の部活動をしている生徒たちはなおさら一緒に実験できる時間が少なく、共有できる時間の確保が難しい。
問題点への対応	昼休みにできる実験や打ち合わせなど、短時間でも利用できるときは利用するといった隙間時間の利用を心掛けた。 また、誰かいないとできないということのないように、グループ全体で情報共有し、実験などができるようにした。生徒間での連絡も、チーフを決め、必ず共有しあって行った。
反省点・課題点	教員で指導できない部分や疑問点などにおいては外部機関を活用することができ、そのような点で生徒そして教員も恵まれた環境であると思う。自分も含め、より良い指導ができるように教員研修の必要性を強く感じる。一人で10件前後の研究課題を指導するのは他の業務もあり、かなり厳しい。

調査・研究の場面7

「部活動」 月曜から金曜の週5日間，放課後に化学実験室で活動

指導上の留意点	研究活動は基本的に自主的に行い，週1度（毎週水曜日）はミーティングを行う。ミーティングではそれまでに行った実験の結果と考察をA4判1枚のレポートを作成し全員で見えて検証している。レポートは実験メモや実験ノートの写しでも可としている。
問題点	学校行事や顧問の会議等でミーティングが定期的に行えないことも多かった。テーマによってはなかなか進まずに悩んでしまい，行き詰っていることもあった。
問題点への対応	ミーティングの内容を，実験メモ等を活用して確実に記録し，進捗状況等を顧問・部員がいつでも確認できるようにしておく。
反省点・課題点	生徒の科学的知識が乏しく，顧問がアドバイスしても理解できていないことがあった。日ごろからテーマに関する知識の蓄積が必要である。

調査・研究の場面8

「課題研究の授業（2学年）」 週に1時間

指導上の留意点	4～6月は，高校内で手に入る材料等を使うと共に，本校の先行研究や文献等を調べ，目指す制作物作りに取り組んだ。 7～10月は，連携機関の指導を受け始めたので，特定の分野に関連する方向性が絞られた。ここに至り，当初の研究テーマでは漠然とした研究になり，研究をまとめることができないことに生徒が気が付いた。研究全体を見直し，特定の分野に主眼を置いたテーマに修正した。 11～2月は，さらに深く理解するとともに，教科書に掲載されていない事実が付き，研究の深まりを意識できた。
問題点	電子顕微鏡と，粘土鉱物について外部の専門家の協力が必要であることが分かった。また，目的の制作物を作り上げるには，制作物についての専門家（左官業）の協力が必要なことが分かった。
問題点への対応	東北大学長瀬研究室には，観察するのにちょうどよい制作物ができあがったところで，訪問した。 左官業の技術が大変高度であることから，生徒ができなかった「漆喰」を調整する技術について，直接八戸市にある職人の自宅を訪問し指導を受けた。
反省点・課題点	外部の協力者に対応していただくためには，課題研究の指導時間以外の時間が必要なこと。

「調査・研究」に関するQ&A

Q1. 生徒が研究に行き詰まったときに、介入しすぎると生徒が主体ではなく教員の研究のようになってしまふ。どこまで介入すべきか。

A1. 教員側の持っている答えを与えるのではなく、行き詰まっている原因がどこにあるのか一緒に考えることは構わない。ある期間ごとにディスカッションを行い、進捗状況を確認することで、生徒が行き詰まりの状況も把握できるし、別なアプローチを試してみることもできる。例えば、こちら側から選択肢を提示し、その選択肢ごとのメリット、デメリットを考えさせることは次のステップにつながる。

行き詰まりの内容によっては教員側も生徒と一緒に突破口を考えなければならないこともあるが、それも貴重な機会であると捉えることが出来るので大事にしたい。

発表まで時間がなく、急いで結果を出さなければならない、まとめなければならない、などという状況があると過剰な介入をしてしまいがちになるので、研究全体のスケジュールをしっかりと管理することも大事である。

Q2. 生徒がインターネットで答えをすぐに探そうとする。しかも、参考にしたページなどの信憑性もほとんど気にしていない。調査・研究におけるインターネットの活用はどう考えるべきか。

A2. 図書・文献調査の前に、基本的な注意事項を伝えておくことである程度防ぐ事ができる。しっかりとしたルールを決めて、引用したインターネットのページを明記させ、指導教員がインターネットの内容を検証することも必要である。

調査・研究におけるインターネットの活用は、研究の入口として非常に有効である。特に高校生段階では知識が乏しかったり、偏りが多かったりすることが多い。ただし、その情報の根拠となった文献や白書の出所を確認する必要があることは確実に伝えるべきである。ただし、あくまで入口であって、学術関係の信頼の置けるサイトなどを提示したり、書籍などで調べることにシフトできるように支援にあたる必要がある。

Q3. 放課後に課題研究活動を行おうとすると、部活動との兼ね合いで出席できない生徒がいて、なかなか前に進まないが、時間確保のためにどのような工夫が考えられるか。

A3. 部活動顧問と研究指導教員との間での調整が必要になる。それぞれの部活動によって集まりやすい時期が異なるので、グループ研究などの形態で分担しながら研究を進めていくことが有効である。ただし、研究を進めていく中では、全員が集中して活動できる期間を設けることは必要なことであり、各部活動の主要な活動時期を各顧問と確認しながら棲み分けをしていかなければならない。時間としては、放課後の限られた時間、土日のいずれか、などがあるが、長期休業を活用した計画をたてることも有効である。

活動内容を分担する場合は、生徒自身に研究計画をしっかりと立てさせ、どの生徒がどの部分を手がけているのかを全体に理解させることを徹底することは重要である。

グループ内の誰かが参加できなくても実験ができるように情報共有しておくことは必須であり、実験ノートは必ず準備し、その活用方法（実験操作、結果、進捗状況など）を全員で徹底しておくべきである。

Q4. 指導教員の専門外のテーマを指導することになった場合、適切なアドバイスをすることが難しく不安が大きい。どのように指導を進める事が出来るか。

A4. どうしても専門的なアドバイスが必要な場合には、専門科目の教員に直接質問することである。事前に指導教員が専門科目の教員にアポイントを取っておき、その後生徒に質問に行かせる。さらに困難な研究内容であるときには、大学や企業等の専門機関とつながるという方法もある。指導教員が一人で抱え込まず、多くの人に相談することで、よりよい指導を築いていくことは可能である。

指導に当たっては課題テーマを指導するという考えではなく、課題研究の進め方を指導するという立場で構わない。あくまでも研究を行うのは生徒であるので、教員の専門性にこだわる必要はない。学習している内容を見守り、客観的な視点で分かりにくい面を指摘するというスタンスを心掛けたい。

また、生徒の研究内容を受け止める「聴衆の」立場として、生徒の研究の進め方やまとめ方が独りよがりになっていないか、客観的な分析を行っているか、第三者に向けてわかりやすい内容になっているか等の観点からの指導は可能である。

Q5. グループ内のコミュニケーションが十分ではなく、実験結果や教員の指示などの情報が十分共有されない場合、解決方法はないか。

A5. 生徒の自主性に任せるだけではグループとして機能しない場合があるので、ペースメーカーとして指導教員が支援にあたるのが望ましい。グループ研究では特定の生徒の負担が増えバランスが悪くなることも考えられるので、適宜ミーティングを行い、各生徒が何を分担しているのかということ指導教員側で把握しておくことは大切である。

その中で、グループ内の連絡方法を教員も確認するとともに、口頭だけではなく紙媒体などで確認することでそれぞれの情報をしっかりと共有しておきたい。生徒によっては、自分たちで連絡先を交換し合い日頃の連絡やデータの受け渡し、発表原稿の修正等、頻繁に連絡を取り合っているという例もある。

生徒間のコミュニケーションがうまくいかないことを改善するのは簡単なことではない。グルーピングが研究活動全体を左右するほど重要であることを意識して課題研究の指導に備えたい。

Q6. 大学などの研究機関と連携したいが、どのように活用できるのか。また、どのように依頼すればよいか分からない。

A6. まずは、教員自身の出身大学の研究室などに連絡をとってみるのが最も手軽な方法である。

また、校内に研究機関とのネットワークを持つ同僚の教員がいるかを確認し、もしあれば紹介してもらうという方法もある。できれば、データベースを作り、担当者が変わっても引き続き活用することができるようしておくといい。直接の専門領域ではなくとも、有効なアドバイスをもらえたり、別な研究者の方を紹介していただいたりすることもできる。特に進路指導部では出前授業などに取り組んでいることも

多いので、それを活用してネットワーク作りをすることも可能である。できるだけ多くの方と名刺交換をし、メールアドレスなどの連絡方法を整理するように常に意識したい。

企業や研究機関等が参加する科学イベントへ参加したり、展示ブースを見学する時には積極的に名刺交換をして人脈を増やすように心掛けたい。事実、このようなイベントに関わった専門家や団体と連携をとって研究活動を進めている例は多い。

大学の教員には直接メールなどで連絡をとる方法もあるが、大学開放センターの様な部署が各大学に設置されているので、そこに相談しても良い。

いずれの場合でも、外部に依頼する場合は、こちら側がどのような背景で何を研究しているのか、そして何を相談したいのか、を明確に答えられるようにすることは大切である。

生徒だけではなく、教員側がコミュニケーション能力を発揮する必要がある。

Q7. 先輩の研究を引き継いだグループが、やらされている感じでモチベーションが低い。どのように指導をしたらよいか。

A7. 生徒の意思が全く入らないような研究継続状態だとモチベーションは低くなる。引き継ぐ利点としては研究のノウハウがある程度蓄積されていることであり、それをもとに研究テーマを設定しやすい、ということが考えられる。ただし、それはあくまでも「新しいテーマ」についてのことであり、前の研究が終わらなかったから継続する、ということでは課題研究として成立しない。このテーマ設定の段階で十分に時間をかけ、自分たちはどのような目的で研究をするのか、ということを理解させることが大事である。

自分たちのオリジナリティをどのように出すか、ということを中心に意識しながら研究を進める中で、昨年までの研究内容をどう活用できるか、という視点も持つことができれば、より良い研究になると考えられる。

指導教員側としても、昨年のデータの不足分を補完する、という感覚で引き継ぎ研究を捉えてしまうと、生徒も課題研究の意義を見失ってしまう。たとえ学校に蓄積されている引き継ぎ研究であったとしても、あくまでも新しい課題研究として捉えて指導することが大切である。

Q8. 結果が思い通りに出なかったり、実験自体に失敗したりするとすぐにあきらめてしまう。気持ちを持続させるためにはどのような指導が効果的か。

A8. 研究活動では、必ずしもすべての実験が成功するとは限らない。失敗の積み重ねからも分かることがあり、考察の場面でもうまくいかなかったデータが貴重な資料になる事も多くあるため、そのようなデータもしっかりと記録し蓄積しておくことが大切である。また、そのような意識を生徒にも持たせるよう、指導すべきである。

ただし、失敗した原因が何か分からないままの状態が続いてしまうと、改善して次に進もうという気持ちが弱くなってしまいうため、失敗原因の分析における教員側からのサポートは不可欠であり、内容によっては外部の研究者などに一度相談させてみるのも良い。第三者から助言や励ましを受けることでモチベーションの向上が図れる。

最初に設定したテーマに縛られすぎず、柔軟にテーマを調整することも含めて考えると指導しやすく、生徒の気持ちも持続しやすい。