

TGVISS 実験デザイン集

国際バカロレアの趣旨に基づく探究的な理科授業



2020年 3月

東京学芸大学附属国際中等教育学校

目 次

1章	はじめに	1
2章	学習指導要領×IBによるSS理科における「探究的な学び」の研究開発	3
3章	学習の方法(ATL)の共有	9
4章	探究の道程にのせる単元設計	11
5章	探究を定量評価する観点別評価	15
6章	授業実践	
	摩擦に影響を及ぼす性質をどのように測定するか?(中学2年 物理)	21
	物体を等速で引き上げるために必要な力の大きさは?(中学3年 物理)	29
	有色の液体をpHの大きさの順に並べるにはどうすればよいか?(中学3年 化学)	35
	植物プランクトンを増殖させるには?(高校1年 生物基礎)	43
	津波は普通の波と何が違うのか?(高校1年 地学基礎)	49
	この水溶液はどのような性質を有するか?～酸と塩基編～(高校2年 DP化学)	57
	音の速さを測定するにはどうすればよいか?(高校2年 物理基礎)	63
	ヘスの法則の有用性を実感する	
	ピーナッツのカロリー測定の実験の失敗を活かせるか?(高校3年 化学)	71
	カレー(シチュー)がおいしいのはなぜ?	
	—カレールウ(シチュールウ)から物質を分離・確認する実験のデザイン—(高校3年 化学)	79
7章	おわりに	89
付録	理科として発達を目指すATLスキルの一覧	91

1章 はじめに

本校は今年度（令和元年度）より、スーパーサイエンスハイスクール（SSH）第2期に指定され、研究開発課題を「『学びの本質』を捉え、SOCIAL CHANGEをもたらす科学技術人材の育成」と設定し、5年間の研究開発事業に取り組むこととなった。探究的な学びに主体的に取り組む『学びの本質』を捉え、グローバルな視野と柔軟な科学的思考力を有し、社会に変革をもたらす科学技術人材の育成をめざす。本SSH事業では上記研究開発課題について、以下の3つの仮説を立てた。

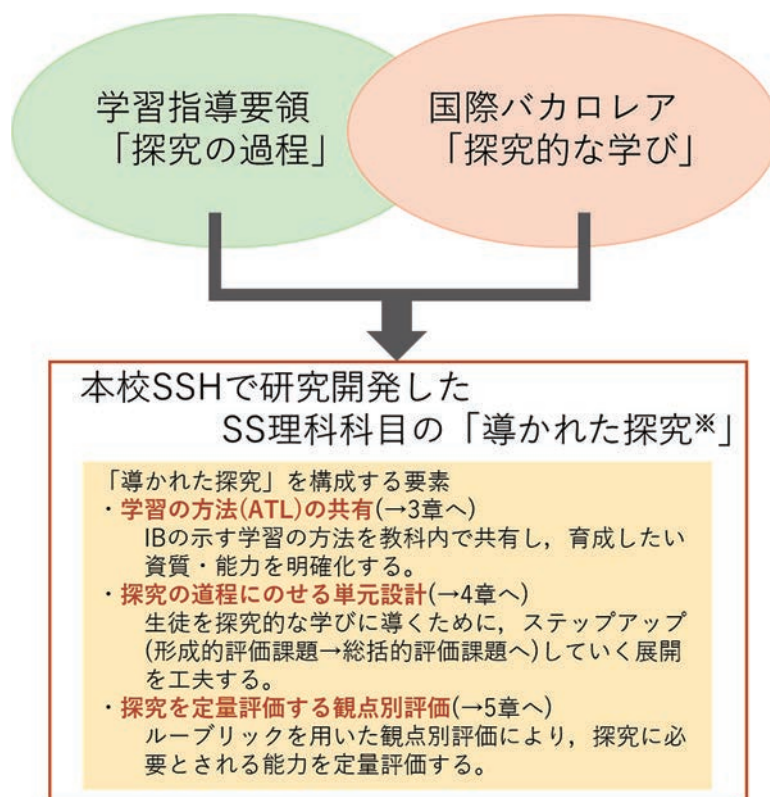
仮説1. 実社会の状況を取り込んだ探究的な学びを実現する授業設計は、グローバルな視野と柔軟な科学的思考力の育成に有効である。

仮説2. 生徒課題研究および理数探究活動は、課題発見力、情報収集力、分析・評価力、自律的活動力、コミュニケーション力等の研究スキルの育成に資する。

仮説3. 仮説1・2における中高6年間の授業と課題研究のスパイラルは、生徒にSOCIAL CHANGEの視点をもたらす。

本冊子では、仮説1に対応した取り組みである、文脈や概念として実社会の状況を取り込み、探究的な学びを実現する授業設計を行う理数系科目（SS科目）のうち、特に理科のSS科目の成果についてまとめている。

以下に、本冊子の構成を示す。



※「導かれた探究」とは、教員が探究のための問いを与え、生徒が自身で問題解決の過程を考える探究のこと。導かれた探究の経験を重ねることにより、オープンな探究の実施が可能になると考える。詳細は2章へ

2章では、新学習指導要領とそれに関わる議論を概観し、いま、探究的な理科授業が求められている背景と、国際バカロレア（IB）理科の「探究的な学び」の趣旨を説明するとともに、本校SSHとして両者を取り入れ新たに研究開発したSS理科科目の「導かれた探究」の概要について説明する。3章～5章は、SS理科で研究開発している「導かれた探究」を構成する要素について述べる。

3章では、教科によらない汎用的なスキルである学習の方法（Approaches to Learning, 以下、ATL）についてまとめている。ATLの発達は、生徒が教科の授業を転移可能な理解へと深めることや、自律的な学習者となることを手助けするとされており、IBの単元指導案の中にも明示することが求められている。よって、ATLはIBの示す学習の方法を教科内で共有し、育成したい資質・能力を明確化するものでもある。ここではATLとは何かという概要について述べ、付録にて理科として発達を目指すATLスキルの具体例も紹介する。

4章では、生徒を探究の道程にのせるための単元設計について提案する。探究活動に主体的に向き合うためには、知識や概念、スキルの定着が必要になる。生徒を探究的な学びに導くために、本校教員がどのように形成的評価と総括的評価を単元の中で位置づけ、ステップアップしていく展開となるよう工夫しながら、単元設計に取り組んでいるかを述べる。また、評価の振り返りに使用している理科学習評価シート(Practical scheme of work, 以下PSOW)について紹介する。

5章では、探究を定量評価する観点別評価について提案する。点数化しやすいテストではなく、ルーブリックを用いた方法で探究により身に付けた能力を定量評価する。新学習指導要領の評価規準（基準）と、IBプログラムの評価規準（基準）、そして、SS科目の評価規準（基準）それぞれを比較し、特徴をまとめる。

6章では、1～5章で述べてきた本校理科授業の特色が、具体的にどのように授業実践として現れているのかを紹介する。単元の全体像から、総括的評価課題の概要、そして、実際の生徒の成果物がどのようなもので、ルーブリックを用いて教師がどのように評価したのかといった例も示す。なお、本冊子は主にIBの中等教育プログラム（MYP）の規準B：探究とデザイン、SS科目の規準B：探究に関わる実践に焦点化し、中学高等学校の様々な学年、科目の実践を取り上げている。

7章では本冊子の総括を行う。

2章 学習指導要領×IBによるSS理科における「探究的な学び」の研究開発

2.1 新学習指導要領における「探究の過程」

高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編（平成30年公示）では、平成28年12月の中央教育審議会の答申要旨の中で、①教育課程の示し方の改善 i) 資質・能力を育成する学びの過程についての考え方 で、“理科においては、課題の把握（発見）、課題の探究（追究）、課題の解決という探究の過程を通じた学習活動を行い、それぞれの過程において、資質・能力が育成されるよう指導の改善を図ることが必要である。そして、このような探究の過程全体を生徒が主体的に遂行できるようにすることを旨とするとともに、生徒が常に知的好奇心を持って身の回りの自然の事物・現象に関わるようになることを重視すべきである。”¹⁾とまとめられている。さらに、“その際、学習過程については、必ずしも一方向の流れではなく、必要に応じて戻ったり、繰り返したりする場合があること、授業においては全ての学習過程を実施するのではなく、その一部を取り扱う場合があること”¹⁾とある。ここでの資質・能力として教育課程部会理科ワーキンググループにおける審議のとりまとめ²⁾では、例えば高等学校においては表1のようにまとめられている。

表1 理科において育成を目指す資質・能力の整理²⁾

理科	知識・技能	思考力・表現力・判断力	学びに向かう力・人間性等
高等学校	<選択科目> <ul style="list-style-type: none"> 知識・技能の深化 自然事象に対する概念や原理・法則の体系的な理解 	<ul style="list-style-type: none"> 科学的な探究能力（論理的・分析的・統合的に考察する力） 新たなものを創造しようとする力 	<ul style="list-style-type: none"> 果敢に挑戦する態度 科学的に探究する態度 科学に対する倫理的な態度
	<必修科目> <ul style="list-style-type: none"> 自然事象に対する概念や原理・法則の理解 科学的探究についての理解 探究のために必要な観察・実験等の技能 	<ul style="list-style-type: none"> 自然事象の中から見通しをもって課題や仮説を設定する力 観察・実験し、得られた結果を分析して希釈するなど、科学的に探究する力と科学的な根拠を基に考えを表現する力 仮説の妥当性や改善策を検討する力 	<ul style="list-style-type: none"> 自然事象に対する畏敬の念 諦めずに挑戦する態度 日常生活との関連、科学の必要性や有用性の認識 科学的根拠に基づき、多面的、総合的に判断する態度 中学校で身に付けた探究する能力などを活用しようとする態度

また、同解説において、課題の把握（発見）、課題の探究（追究）、課題の解決の3つの学習過程と、それを理科の探究の過程に細かく分けた例、および、それぞれの過程で育成される理科の資質・能力の例は、図1のようにまとめられている。

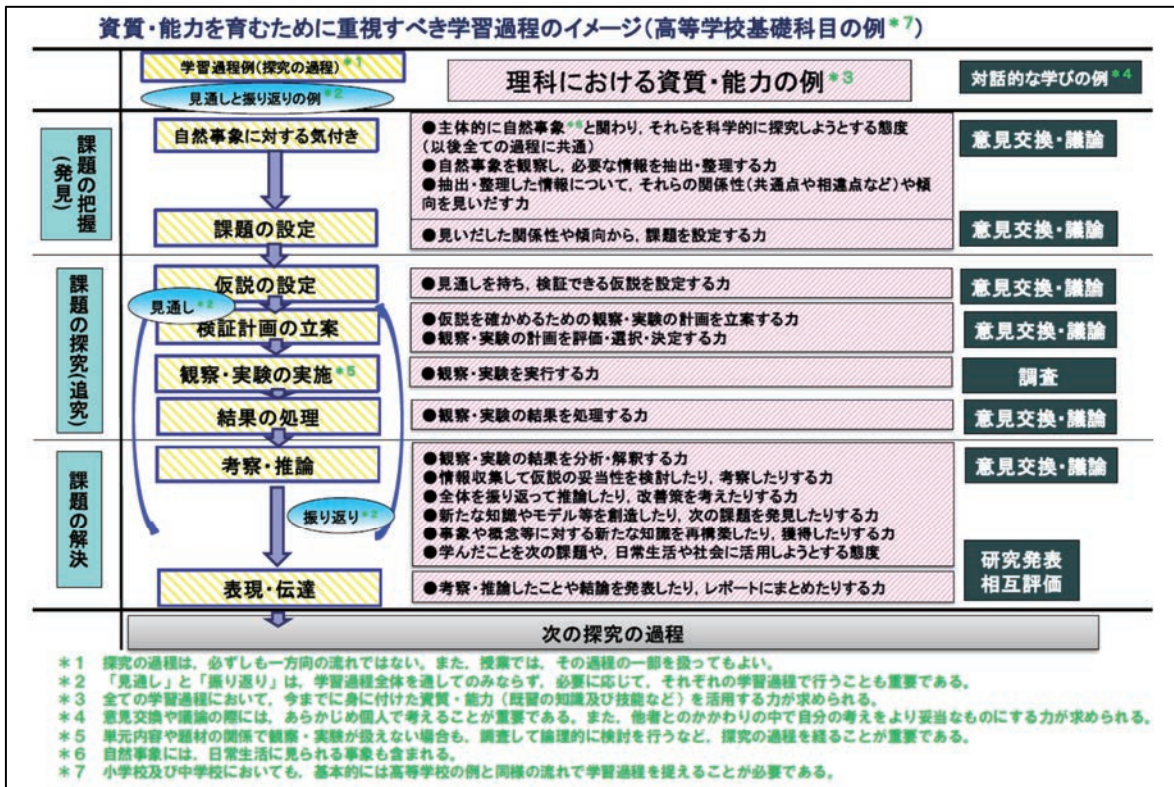


図1 資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ(高等学校基礎科目の例)¹⁾

さらに、同解説のii) 教育内容の見直し では、国際調査において日本では理科の好きな子供が少ない状況にあることに触れ、“生徒自身が観察、実験を中心とした探究の過程を通じて課題を解決したり、新たな課題を発見したりする経験を可能な限り増加させていくことが重要”¹⁾であると述べている。そして、“探究的な学習は教育課程全体を通じて充実を図るべきものであるが、観察・実験等を重視して学習を行う教科である理科がその中核となって探究的な学習の充実を図っていくことが重要である”¹⁾とも書いている。

上記のような点も踏まえ、平成30年公示の学習指導要領は、科学的に探究する活動をより一層重視し、科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することを目標として挙げ、内容を資質・能力の三つの柱「知識及び技能」「思考力、判断力、表現力」「学びに向かう力、人間性等」に沿って整理している。さらに、基礎科目(科学と人間生活、物理基礎、化学基礎、生物基礎、地学基礎)の内容の取扱いのイでは、“この科目で育成を目指す資質・能力を育むため、観察、実験などを行い、探究の過程を踏まえた学習活動を行うようにすること。その際、学習内容の特質に応じて、情報の収集、仮説の設定、実験の計画、実験による検証、実験データの分析・解釈、法則性の導出などの探究の方法を習得させるようにするとともに、報告書などを作成させたり、発表を行う機会を設けたりすること。”¹⁾と書かれており、基礎なし科目(物理、化学、生物、地学)では、“この科目の学習を通して、探究の全ての学習過程を経験できるようにすること。”¹⁾と書かれている。なお、情報の収集や仮説の設定など各学習過程は、学習内容や課題の特質に応じて、適宜取り上げながら学習を進めてもよいこととされている。

以上のように、理科授業における探究の過程の実現は、喫緊の課題であると言える。しかし、探究が重要なものであることは認識しているものの、同時に、実際に理科授業で探究的な活動を導入することを考えれば考えるほど、解決すべき課題が多くあることも、また事実である。探究的な活動を導入するにあたって、どのように単元の指導計画を立てればよいのかわからないことや、生徒の探究の資質・能力をどのように評価すればよいかわからない等、検討すべき点は多くある。さらに、上述したように、基礎科目では探究の過程の少なくとも一つを、基礎なし科目ではすべての探究の過程を、年間の授業の中で取り上げながら学習を進めていくことが求められている。よって教師は、具体的にどの学習内容のどのような学習活動で、どの探究の過程と結びつけ授業を展開していくのか、といったことまで考え、授業計画として組み込まねばならないことになったのである。

2. 2 国際バカロレア (IB) 理科における「探究」

国際バカロレアとは、1968年に設立された非営利団体「国際バカロレア機構」が提供する教育プログラムである。このプログラムは「多様な文化の理解と尊重の精神を通じて、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する、探究心、知識、思いやりに富んだ若者の育成」を目的とした全人教育の理念に基づいている。本校では、IBの提供する4つのプログラムのうち、学齢期に合わせて「中等教育プログラム (MYP)」³⁾ (中学1～高校1年) と「ディプロマプログラム (DP)」⁴⁾ (高校2～3年の希望者約20名) を実施している。

IB プログラムは、概念ベースで探究的な学びを提供する世界標準の教育プログラムである。単元設計の中に、概念や文脈を取り込み、実社会の状況とのつながりを常に考えさせる工夫がある。そのIBの理科は、「科学の本質：Nature of science」を探究する学問として位置づけられている。探究を中心に据えて、科学と日々の生活の間のつながりや科学とモラル・倫理・文化・経済・政治・環境との関係性を見出していく⁵⁾。IBの理科の考え方を示す概念図を図2に示す。

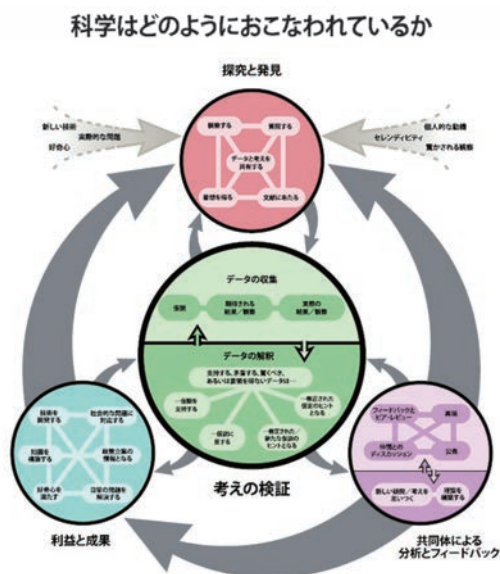


図2 科学の仕組み⁶⁾

また、科学的探究の実施に関して、MYP、DPの理科では、表2のように授業の要件として生徒の独力による探究活動の実施が義務付けられており、同時に評価規準として「探究」という観点が設定されている。これにより、教師は理科授業で必然的にどの学年においても科学的探究の実践をすることとなり、生徒の探究に関わる資質・能力を伸長し、その到達度を評価することとなっている。このようにIBの理科のプログラムでは、探究的な理科授業を指導と評価を一体化させながら実施できる仕組みとなっている。

表2 MYP、DPにおける探究的な理科授業の要件^{5),6)}

	本校での対象生徒	内容
MYP	1～4年全員	各学年において、すべての生徒は、規準B「探究とデザイン」および規準C「手法と評価」に対して評価される科学的探究を独力で完了させなければならない。
DP	5, 6年DP選択者	内部評価 Internal Assessment として10時間程度の科学的探究を実施し、レポートを提出する。生徒には教師と率先して話し、アドバイスをもらうよう指導する。教師は草稿を一度読み、口頭または文章で指導する（編集、推敲のような直接的な指導はしてはならない）。

2. 3 SS理科の研究開発へ

IB理科の「探究的な学び」の趣旨に基づき、かつ学習指導要領における「探究の過程」を実現できるような単元設計を実現すべく、本校理科ではSS理科科目の研究開発と実践を進めている。以下、SS理科科目の特徴についてまとめる。

本校は中高一貫6年間の理科学習において、生徒が実験デザインの経験を積むとともに、教員は科学的探究活動に必要な能力やスキルを明確に示した学習評価を実施し、表計算ソフトやデータベースの検索、コンピューターによるシミュレーションなどICTの活用を積極的に行うことを共通して授業を実施している。そして高校1～3年生で開設するSS理科科目においては、さらに以下の3つに重点を置いている。

- ① 「社会への応用、現代社会への課題」を授業設計の軸にする
- ② 「科学的な研究の方法」を習得することを目的とした実験デザインの重視
- ③ 「構造化された探究」ではなく「導かれた探究」の実施


①については、前述したように、理科と他領域とのつながりへの視点を中学段階の理科に引き続き、SS理科科目でも継続するためにIBのモデルを参考にして授業開発を行っている。具体的には、概念理解のための「探究の問い」を設定し、生徒が現実社会の課題についての科学的な知識を得た上で分野を超えた解決策を考えられるよう授業形態の工夫等も考えている。

②については、高校理科の授業において、「科学とは何か？」を生徒に問い、教師→生徒の一方方向へ知識を伝授するスタイルではなく、教師⇄生徒、生徒⇄生徒の対話を実現するインタラクティブな授業の実施を目指している。この「探究の過程」を実現するために、特に図1の学

習過程例のうち、「仮説の設定」から「考察・推論」までの実験や観察をデザインする取り組みを行っていく。

③については、一般的に探究的な学習には、表3のような3つの段階があると考えられる。SS理科科目における探究は、「導かれた探究」の実施を目指す。授業クラス内で共通の課題に取り組みながらも、それに対応する問題解決のアプローチは生徒ごと（グループごと）に異なる。手法の多様性を共有し、議論する機会を設けることにより、課題の本質に気づき、より深い学びになることを狙う。また、この経験を繰り返すことにより、SSH 課題研究における「オープンな探究」の実施が可能になると考える。

表3 探究的学習の段階

構造化された探究	導かれた探究	オープンな探究
教員が生徒に探究のための質問をする。 ↓ 生徒は、ある程度決まった過程で探究する。	教員が生徒に探究のための質問をする。 ↓ 生徒は、自身で問題解決の過程を考える。	生徒が質問を考案し、自身で探究する。 ↓ 生徒は、自身で問題解決の過程を考える。
易  難		

以上のように、本校理科では、新学習指導要領で求められる「探究の過程」の実現のために、IBの趣旨に基づきながら、中高6年間で一貫した科学的探究の能力とスキル育成のカリキュラム開発に取り組んでいる。本冊子では、上記①②を意識し、③の「導かれた探究」を実践する単元設計を提案する。

3章 学習の方法(ATL)の共有

IB プログラムには、ATL(Approaches to learning)と呼ばれる「学習の方法」が設定されている。この ATL は、以下の表 4 に示すように、5 つの ATL スキルのカテゴリーに分類され、発達に応じた 10 のスキルクラスターとして示されている。

表 4 ATL スキル

ATL スキルのカテゴリー	MYP の ATL スキルクラスター
コミュニケーション	コミュニケーションスキル
社会性	協働スキル
自己管理	整理整頓する力
	情動スキル
	振り返りスキル
リサーチ	情報リテラシースキル
	メディアリテラシースキル
思考	批判的思考スキル
	創造的思考スキル
	転移スキル

ATL は「学び方を学ぶ」スキルとして、IB においては生徒と教師の共通言語であり、汎用的なスキルと学習分野ごとのスキルを含む。これらの獲得は、すべての教科や学習活動に応用されるものであり、心身ともに生徒の成長を促すことにつながる。また、新学習指導要領において示される「知識・技能」「思考力・判断力・表現力等」「学びに向かう力・人間性等」の 3 つの柱からなる資質・能力とも、その考え方の方向性は重なり合う部分が多い。本校では、この ATL を各教科の単元設計における共通言語として使用し、カリキュラム・マネジメントの視点の 1 つとして設定している。

ここに示される各 ATL は、ある教科やある単元で単独で養われるものではなく、様々な教科・科目の授業のあらゆる学習活動で育成されていくものである。だからこそ、他教科ともその状況を共有して、学校生活全体の中で育てていきたい資質・能力と捉えている。各 ATL の伸長により、生徒は学び方を習得し、より主体的に学習活動へ取り組むことができるようになると考えられる。SSH 課題研究への取り組みも、ATL の伸長により促進されるものである。

付録に、各 ATL に対する理科での取り組みの一覧を示す。

4章 探究の道程にのせる単元設計

クラスの生徒をどのようにして探究の道程にのせるか？授業内で実施する探究活動のハードルとなるものは、科学的概念の定着ができていない、実験や観察のスキルが身についていない、仮説を立てられない、時間が足りない、生徒のモチベーションが上がらないなど、色々である。単元設計の中で、これらをどのように解決していくか？

本実践報告書で提案する単元設計は、以下の図3に示すように、導入として示す「探究の問い」に答えることにつながる「総括的評価課題」に向かうことで、生徒の資質・能力を育成しようとするものである。つまり、学習評価の材料となる「総括的評価課題」は、知識の定着だけでなく、思考力や判断力等の考える力、自然現象に向き合う姿勢なども評価することになる単元の集大成としての位置づけの課題である。すべての生徒が、そこにたどり着くのは容易ではない。そこで、形成的評価を活用する。図3に示すように、形成的評価は総括的評価課題に向かうためのスモールステップである。知識やスキルの定着の確認、探究活動の安全性の確認など、探究に向き合えるように誘導していく。本章では、形成的評価を活用することにより、すべての生徒を探究の道程にのせる単元設計について、提案する。

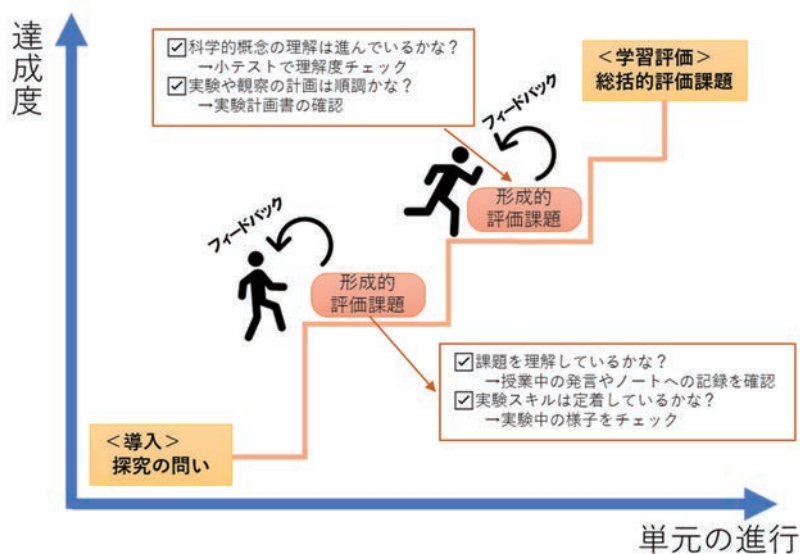


図3 形成的評価を活用した単元設計のイメージ

4. 1 探究的な理科授業を実現する単元設計

4. 1. 1 形成的評価をどのように活用するか？

単元を設計する際には、学習評価についても同時に計画する必要がある。学習評価は、学校における教育活動に関し、生徒の学習状況を評価するものである。「学習評価の在り方ハンドブック 高等学校編（国立教育政策研究所、令和元年6月）」⁷⁾でも述べられているように、「生徒にどういった力が身に付いたか」という学習の成果を的確に捉え、教師が指導の改善を図るとともに、生徒自身が自らの学習を振り返って次の学習に向かうことができるようにするためにも、

学習評価の在り方は重要であり、教育課程や学習・指導方法の改善と一貫性のある取組を進めることが求められる。例えば、授業における学習評価は、一つ一つがバラバラに存在するのではなく、単元を通して関連したものとして、設計される必要がある。

また、IB の MYP の手引書³⁾においては、形成的評価（生徒の学習を促すための評価）は、「学習者が学習のどの段階にいるのか、どこに向かう必要があるのか、そこへたどり着くために最良の方法は何かを決定するために学習者と教師が利用できる証拠を求め、それを解釈する過程」とされている。本校では、総括的評価課題をルーブリックとともに生徒に提示する。この総括的評価課題を単元の終末に設定し、その課題に必要な資質・能力を、単元を通して育成できるように単元を設計する。単元を通して育成した資質・能力がいかに身についたか、あるいは発展させて活用することができているかを、総括的評価課題にて問うのである。そこで、単元の中では、随時、必要な資質・能力をどの程度、生徒が獲得できているかを確認する必要がある。つまり、単元中に形成的評価を随時行い、単元の終末にはそれらの資質・能力を用いて取り組む課題を総括的評価として、学習評価していくということである。また、形成的評価は教師が指導の改善を図るだけでなく、生徒自身が自らの学習を振り返り、次の学習に向かうようにする意味もある。形成的評価を行うことで、生徒は自身に不足している資質・能力を知ることができるため、それぞれが総括的評価課題に向けた学びをすることができる。

4. 1. 2 本冊子で示す各実践事例における形成的評価と総括的評価

本冊子においては、各実践事例における形成的評価及び総括的評価を、次の表に示す。薄く色づいている箇所が形成的評価、濃く色づいている箇所が総括的評価を示している。

表5 単元設計の中における形成的評価と総括的評価の位置づけ

時数	学習内容・学習活動 形形成的評価, 総総括的評価	関係する評価規準			
		A 知識と理解	B 探究とデザイン	C 手法と評価	D 科学による影響の振り返り
1	記録タイマーの使い方, 記録テープの処理				
2~7	形斜面上の物体の運動				
8~9	形自由落下運動				
10	慣性の法則				
11~12	総物体を等速で引き上げるためには?				
	総定期試験				

表5で、薄く色づいている箇所が形成的評価、濃く色づいている部分が総括的評価課題である。上に示した単元は、規準B：探究とデザインと規準C：手法と評価の総括的評価課題として「物体を等速で引き上げるためには？」を課している。その課題に至るまでに、規準B：探究とデザインや規準C：手法と評価のスキルを身に付ける形成的評価を1～9時間目で行っている。なお、規準A：知識と理解は探究課題とは別に筆記試験によって問うている。しかし、それは探究課題に取り組むにあたって知識が必要ではないというわけではないことに留意したい。

4. 2 理科学習振り返りシート（PSOW：Practical Scheme of Work）の取組み

探究の資質・能力を生徒に獲得させるためには、どの程度知識やスキルを獲得し、どのような道程で探究を進めてきたのかということ、生徒自身が把握し、一連の探究活動を振り返ることも重要である。そのためには、形成的評価及び総括的評価を可視化し、教師と生徒で共有することが必要である。

これらを達成するために、本校では、形成的評価と総括的評価のプロセスを示す理科学習振り返りシート（PSOW：Practical Scheme of Work、以下 PSOW）を導入することにした。

4. 2. 1 PSOW の実施時期と実施の方法

理科学習振り返りシート（以下、PSOW）は、6年間一貫して、生徒に配布しており、生徒がその学期を通じた学びを振り返り、生徒自らが自身の学習到達度を意識することを目的としている。PSOWには、実験の実施日、実験・観察のタイトル、科目名、単元名、実験時間、活用したICTの種類、総括的評価課題の評価規準とその評価、形成的評価を一覧で記載している。生徒はPSOWを参考にしながら、その学期の振り返りを行う。振り返りはインターネット上で回答できるようにしており、観察・実験の取り組みの積極性などに関する5件法、身に付いたスキルなどに関する選択式、各評価規準について記述式で振り返ることができるようにしている。2学期末や3学期末には、それまでの生徒自身の記述式の振り返り文章をPSOWに載せ、それまでの学びを振り返ることのできるようにしている。

4. 2. 2 PSOW の例

次に、PSOWの例を示す。なお、紙面の関係で、一部抜粋である。PSOWでは、科目ごとの形成的評価及び総括的評価を時系列で一覧に示している。色のついていない部分が形成的評価課題であり、色のついている部分が総括的評価課題である。生徒は総括的評価課題の評価とともに、その課題に至るまでにどのような形成的評価がなされているかを確認することができる。

例えば、表中の枠①の単元「物質の構成」を見てみると、総括的評価課題として「混合物の分離」が実施されていることがわかる。総括的評価課題では、規準B、規準Eが評価されている。また、その評価課題に至るまでには、形成的評価として規準Aについて「硫黄の同素体」、規準B及び規準Eについて「ペーパークロマトグラフィーによる色素分離」が実施されている。形成的評価では、実験プリント及び課題を対象に、科学的概念の向上と実験スキルの向上を視点に、評価している。このような形成的評価は、単元の終了を待たず、適宜生徒にフィードバックを行うことで、生徒は総括的評価課題に向けて自身の強みや弱みを把握することができる。

これらの学習を学期末に改めて生徒が確認することで、各規準の評価だけではなく、その評価に至るまでの学習を意識することができる。総括的評価課題の評価の数字のみに意識が行きがちであるが、学びは日々の授業の積み重ねである。総括的評価課題の評価だけではなく、そこに至るまでの学習過程を生徒が意識することで、どのようなスキルが自身に不足していたのか、それはどのような学習によって獲得が図られていたのかを理解することができる。

理科 学習評価シート (Practical Scheme of Work)



2019年度2学期

学年 クラス 番号 氏名

MYP理科およびSSH理科では、実験・観察を通じて、単独または協力し合って実験をデザインできる能力を身に付けることを目標としています。実験デザインには、科学的な知識、実験観察の技能(スキル)、科学的な思考力や判断力、コミュニケーション力、ICT活用能力、多様な能力やスキルが必要になります。「理科 学習評価シート(Practical Scheme of Work)」では、理科の各科目で実施した形成的評価課題・総合的評価課題の評価の視点および学習評価を一覧にしています。実験デザインに必要な能力やスキルのさらなる向上を目指して、活用してください。

規準A	知識と理解	科学的知識についての説明ができるか、科学的知識を応用して問題解決できるか、情報を分析評価し科学的判断ができるかなど
規準B	探究	研究の背景となる科学的文脈を設定できたか、明確で焦点を絞った研究課題を提示できたか、適切な概念と手法を用いているかなど
規準C	実験観察の技能	実験器具や測定機器を正確に使用できるか、実験の記録を適切にできるか、実験室の安全規則を守れているかなど
規準D	データ処理	研究課題と関連付け、結論を裏付けるために、適切にデータを選択、記録、処理、および解釈しているか
規準E	評価	研究および結果について、適切に評価しているか
規準F	科学による影響の振り返り	科学の応用やそれが与える影響について説明・評価できるか、科学的用語を適切に使用できるかなど

※1 総合的評価：評価規準に準拠した評価課題に対する評価。単元終了後に目標がどの程度達成されたかを総合的に判定し評価したものを。

※2 形成的評価：単元学習の過程で行う種々の達成度を調べるための評価。小テストや日々の活動など学習を助けるための評価。

※3 ICTの活用は以下の①～⑤を示す。

- ① Datalogging データの記録
- ② Graph plotting software グラフ作成用のソフト(Excelなど)の使用
- ③ Spreadsheet 表計算用のシートの使用
- ④ Database データベース
- ⑤ Computer model/simulation コンピュータによるモデル化やシミュレーション

科目名	単元名	課題	日時	実験観察の記録			形成的評価*			総合的評価*						
				ICTの活用**	時間(hrs)	回数	評価の視点	評価対象	評価	評価規準						
							A	B	C	D	E	F	評価対象			
SS物理基礎	力学	台車の運動とグラフ化	2019年4月	①②	1	実験観察の技能、データ処理	CD	実験プリント	チェックのみ							
SS物理基礎	力学	ベクトルと力の合成	2019年4月	①②	1	実験観察の技能、データ処理	CD	実験プリント	チェックのみ							
SS物理基礎	波動	気柱共鳴	2019年11月		1	知識と理解、観察実験の技能、データ処理	A, C, D	プリント	チェックのみ							
SS物理基礎	熱・波	期末テスト	2019年4月		1					5						テスト
SS化学基礎	物質の構成	硫黄の同素体	2019年4月		1	化学的概念の定着	A	実験プリント並びに課題	チェックのみ							
SS化学基礎	物質の構成	ペーパークロマトグラフィーによる色素の分離	2019年4月		1	化学的概念の定着と実験スキルの向上	A, B, E	実験プリント並びに課題	チェックのみ							
SS化学基礎	物質の構成	混合物の分離	2019年4月3日		4					4		6				実験計画書、実験レポート
SS化学基礎	物質の構成	炎色反応による元素の検出	2019年5月		1	実験観察の記録	A	実験プリント	チェックのみ							
SS化学基礎	物質と化学結合	極性・無極性溶媒の溶解	2019年6月		1	化学的概念の定着	A	実験プリント並びに課題								枠①
SS化学基礎	物質と化学結合	イオン結晶の電気伝導性	2019年6月		1	化学的概念の定着と実験スキルの向上	AB	実験プリント	チェックのみ							
SS化学基礎	物質と化学結合	結晶の性質から物質を見分ける	2019年7月		4					8						実験計画書
SS化学基礎	物質の構成、物質と化学結合	期末テスト	2019年7月		1					4						期末テスト
SS化学基礎	物質の変化	酸化銅(II)の定量	2019年9月-10月		1	化学的概念の定着と実験スキルの向上	A, D	実験ノート	チェックのみ							
SS化学基礎	物質の変化	炭酸カルシウムと塩酸の反応	2019年9月-10月		2						6					実験ノート
SS化学基礎	物質の変化	身近な酸・塩基(カナダワークキャンプ)	2019年11月										7			レポート
SS化学基礎	物質の変化	酸の強弱と価数	2019年10月-11月		1	化学的概念の定着と実験スキルの向上	A	実験プリント	チェックのみ							
SS化学基礎	物質の変化	シュウ酸と水酸化ナトリウムを用いた中和反応	2019年11月-12月		1	化学的概念の定着と実験スキルの向上	A	実験ノート	チェックのみ							

振り返り(Reflection) 1学期

規準A 知識と理解	化学に関しては、科学的知識を応用して問題を解決できているが、その知識を説明することができていないと感じる。例えば、化合物の組成式を求めたり、結合の種類それぞれの融点などの特徴を用いてそれらを判断することはできている。しかし、「なぜ」または「どのように」ある科学的現象が起きているのかを説明できないことが多かった。その一方で、物理に関する知識について説明はできているが、それらを応用して問題を解決することが少し難しいと感じる。なぜそう考えたかという点、公式を用いて時間や距離を計算する際に、公式への代入の仕方で混乱してしまうことが時々あるから。
規準B 探究	自ら焦点を絞って研究課題を提示することが少なかつたが、今学期は実験のデザインを考える機会が多かつた。その時、研究の背景となる科学的文脈を意識し、実験の原理を踏まえた上で授業に取り組めたと思う。よって、適切な手法を自分で考え用いることにつながったと思う。しかし、今学期に実施した実験には課題点が複数あつたため、それらの対策案を今後も考えていきたい。
規準C 実験観察の技能	実験室の安全規則を守るスキルは習得できたと思う。特に化学の実験においては、扱う物質の性質を踏まえて起こりうる危険性を考えて行動することが必要だったから。また、班で協力したり、紙媒体やデジタルツールを使い分けることで、正確かつ適切に実験の記録をとれたと思う。しかし、測定機器を正確に使用するスキルはこれからも伸ばす必要があると考えている。なぜなら、実験において様々な誤差が生じたからである。
規準D データ処理	今学期は適切にデータを選択する能力を活かせなかつたものの、その失敗を振り返ることができたため、今後の成長につながるかと考えている。結果をある程度予想したところで、どのような結論を出したのかを考慮しデータを選択しようと思う。また、今学期に習得できたのはデータを処理する能力である。なぜなら、分りやすく提示するためのテーブルやグラフを作成する機会が多かつたから。
規準E 評価	最も伸びたスキルは研究方法及び結果を適切に評価するスキルだと思う。他の要素による影響をいくつも考え出し、それらがどの程度に結果に影響しているのかを考慮することができたから。特に物理の実験レポートにおいては、なぜ得られるはずの結果が出なかつたのかを、実験に出た結果とその実験デザインを互いに照らし合わせて分析することが多かつた。さらに、そのことを踏まえて実験方法のどの部分があつたか、あつたか、あつた部分はそのように改善すべきなのかを自分なりに考えられた。しかし、仮説を立てて実験に挑むことが少なかつたため、仮説の妥当性を評価する能力は習得できなかったと反省している。
規準F 科学による影響の振り返り	情報源の明記は、すでに習得していたスキルだと思う。しかし、今学期もそれを活かすことができたと思う。化学がどのように応用されているかを説明することは少し難しかったものの、班との話し合いなどを通して科学が与える影響というものを言語化する力は少しずつ伸びてきているのではないかと考えている。

生徒の皆さんへ

本日、SSH委員会から「理科学習評価シートの振り返りについて」というメールが送られます。2学期の理科の学習について、Web上のアンケートに回答することにより、振り返りを実施してください。

アンケート回答の〆切は1月7日(火)とします。

図4 PSOWの例

5章 探究を定量評価する観点別評価

5.1 なぜ、ルーブリックを用いた観点別評価を導入するのか？

本校では、SSH 事業に関わらず、すべての学年・教科でルーブリックを用いた観点別評価を行っている。ルーブリックとは、「成功の度合いを示す数レベル程度の尺度と、それぞれに対応するパフォーマンスの特徴を記した記述語からなる評価基準表」である。詳しくは、第6章の各教育実践で示すルーブリックを参照されたい。ルーブリックは、「何をどのような観点で評価するか（規準）」を示すとともに、「どの程度できれば合格レベルなのか（基準）」も示しているために、評価規準であり、評価基準でもある。本校で実施している観点別評価は、国際バカロレア(IB)の手法に基づくものである。IB では、単元設計する際に、評価に関して次のことを満たすように心掛けている。⁶⁾

- ・ 学習のプロセスに不可欠である。
- ・ 教科の目標と一致している。
- ・ 科目のニーズや知識の性質に応じて様々な課題を用い、多様な見解からの情報を収集している。
- ・ 生徒の年齢に適しており、科目の中で生徒の発達を反映している。
- ・ 事実に基づいた知識を単に思い出すだけでなく、真のパフォーマンスによる生徒の理解を示す証拠になる。

つまり、図5に示す「観点別学習状況の評価」は、理科の教科の目標と一致しており、課題ごとのルーブリックの中で教科の目標に通じる具体的な到達目標が示されることになる。生徒はその評価を受け取ることにより、自身の行動を振り返り、認識と理解が深まる。教員は、生徒の評価を行うことにより、自身の単元設計を振り返り、年間の指導計画や単元計画に生かすことができる。

5.2 新学習指導要領における学習評価を拡張した評価規準の提案へ

学習評価は、生徒の学習状況の評価するものであり、学習状況を分析的に捉える「観点別学習状況の評価」と、これらを総括的に捉える「評定」がある。MYPの理科では、4つの評価規準(観点)が設定され、それぞれについてルーブリックを用いて、8点満点の点数評価をする。さらに、その4つの観点別評価の総合得点から、理科の「評定」を算出する(図5参照)²⁾。この学習評価の方法は、中央教育審議会の報告⁸⁾に示された新学習指導要領における各教科における評価の基本構造(図6)と、観点別評価を総括して評定を算出するという部分で共通している。

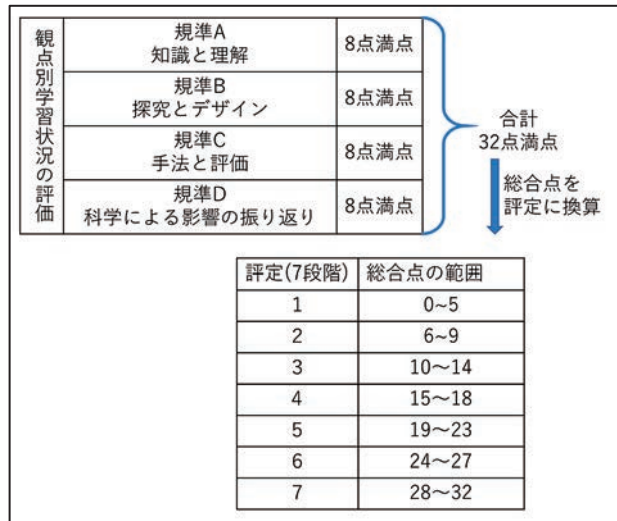


図5 MYP理科における評価の基本構造

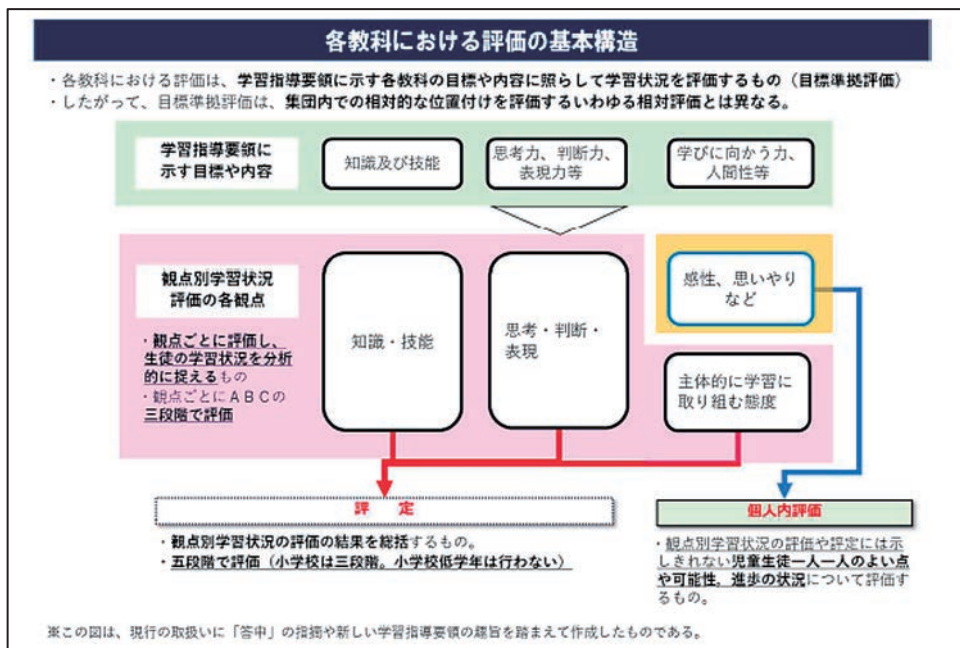


図6 新学習指導要領における各教科の評価の基本構造⁸⁾

新学習指導要領では、観点をすべての教科で共通とし、「知識・技能」「思考・判断・表現」「主体的に学習に取り組む態度」としている。一方で、MYPでは観点は教科ごとに異なり、理科では「知識と理解」「探究とデザイン」「手法と評価」「科学による影響の振り返り」の4つである。新学習指導要領における3つの観点の内容を各教科でどのように捉えるかは、教育課程部会理科ワーキンググループにおける審議のとりまとめ²⁾で、理科において育成を目指す資質・能力の整理として示されている。高等学校理科における必履修科目においては、以下の表6に示す通りである。

表6 高等学校理科必履修科目において育成を目指す資質・能力²⁾

知識・技能	思考力・判断力・表現力等	学びに向かう力・人間性等
【知・技】	【思・判・表】	【学・人】
①自然事象に対する概念や現地・法則の理解 ②科学的探究についての理解 ③探究のために必要な観察・実験等の技能	①自然事象の中から見通しをもって課題や仮説を設定する力 ②観察・実験し、得られた結果を分析して解釈するなど、科学的に探究する力と科学的な根拠を基に考えを表現する力 ③仮説の妥当性や改善策を検討する力	①自然事象に対する畏敬の念 ②諦めずに挑戦する態度 ③日常生活との関連，科学の必要性や有用性の認識 ④科学的根拠に基づき，多面的，総合的に判断する態度 ⑤中学校で身に付けた探究する能力などを活用しようとする態度

本校のSSHでは、SS科目として開講している高2および高3の理科科目における学習評価を、上記のMYPおよび新学習指導要領における学習評価の基本的な枠組みをベースとして、新たな観点を設定し、生徒の資質・能力の育成について研究開発を行っている。本校SS理科科目で設定する観点は以下の6つであり、それぞれの評価内容を新学習指導要領における資質・能力との対応と共に示す。その際、学びに向かう力・人間性等に含まれる②諦めずに挑戦する態度については、観点別学習状況の評価や評定では示しきれない生徒一人一人の良い点や可能性、進歩の状況として捉え、対応関係の中に含めなかった。

規準A 知識と理解

内容	対応する資質・能力
i.科学的知識について説明する。	【知・技】①
ii.科学的知識と理解を応用し、見慣れた状況下および見慣れない状況下で起きた問題を解決する。	【知・技】①
iii.情報を分析・評価し、科学的に裏付けられた判断を下す。	【学・人】④

規準B 探究

内容	対応する資質・能力
i.探究課題が明確に提示され、その焦点が十分に絞られている。	【思・判・表】①
ii.探究の背景となる情報が、適切であり理解を深めるものとなっている。	【知・技】②
iii.示された探究方法は、関連性・信頼性・十分性に影響し得る要素を考慮しており、適切は方法である。	【思・判・表】①

規準 C 実験観察の技能

内容	対応する資質・能力
i. 実験器具，測定機器等の操作が正確である。	【知・技】③
ii. 実験操作の過程，結果等，必要な情報を記録している。	【知・技】③【学・人】⑤
iii. 実験室の安全規則を順守している。	【知・技】③【学・人】⑤
iv. 安全性，倫理，または環境の問題を意識している。	【学・人】⑤

規準 D データ処理

内容	対応する資質・能力
i. 課題に対して妥当な結論の裏付けとなる定量的および定性的データを含んでいる。	【思・判・表】②
ii. 適切なデータ処理が行われている。	【思・判・表】②
iii. 測定値の不確かさの影響を考慮している。	【思・判・表】②
iv. データの解釈が正しく，妥当な結論を導き出している。	【思・判・表】②

規準 E 評価

内容	対応する資質・能力
i. 提示されたデータによって結論を述べ，正当化している。	【思・判・表】②
ii. 一般に受け入れられている科学的文脈との比較を踏まえて，結論を述べ，正当化している。	【思・判・表】②
iii. データの限界やエラーの原因など，研究の長所と短所を理解している。	【思・判・表】③
iv. 実験観察方法の改善について現実的な提案をする。	【思・判・表】③

規準 F 科学による影響の振り返り

内容	対応する資質・能力
i. 具体的な問題や課題への対処に，科学がどのように応用されているかを説明する。	【学・人】①③
ii. 具体的な問題や課題の解決に科学を用いることの影響を論じる。	【学・人】①③④
iii. 科学用語を用い，正確に伝える。	【知・技】①
iv. 情報源を明記する。	【知・技】③

本校のSS理科科目では、本実践報告書で具体的実践例を示すように、探究的な学びを実現する単元設計を心掛けている。「探究の過程」¹⁾(図1参照)に対応した授業展開と学習評価を実施するために、評価項目および内容をかなり細分化し、生徒の学習状況や達成度を細かく見取っている。

すべての単元において、「探究の過程」に示される資質・能力すべての育成を取り扱うことは難しい。単元によっては、その一部しか取り扱えない場合もある。しかし、評価の規準(基準)を細分化し、個々の学習活動が探究の過程のどの段階を扱うものであるかを生徒に示した上で、観点別評価を行うことにより、生徒は自身の達成度をより明確に意識することができる。また、この評価規準はすべての科目で共通であり、教員によって評価の方針が異なることはなく、他科目での学習評価を自身の学習改善に活かすことも可能である。さらに、この観点別評価の導入により、評価課題が多様になり、授業改善にもつながった。

1章から5章の参考文献

- 1) 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編(平成30年公示)。
- 2) 教育課程部会 理科ワーキング,「理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめについて(報告)」,平成28年8月26日
- 3) IBO,「MYP:原則から実践へ」,2016.
- 4) IBO,「DP:原則から実践へ」,2016.
- 5) IBO,「理科の指導の手引き」2016.
- 6) IBO,DP「化学」の指導の手引き,2016年 第1回評価.
- 7) 国立教育政策研究所,「学習評価の在り方ハンドブック高等学校編」,令和元年6月.
- 8) 中央教育審議会 初等中等教育分科会 教育課程部会,「児童生徒の学習評価の在り方について(報告)」,平成31年1月21日

6章 授業実践

摩擦に影響を及ぼす性質をどのように測定するか？

対象：中学2年 理科（物理分野）

長友 結希

1. 単元について

本単元では規準B実験デザインおよび規準Cデータ処理を評価することを目的として摩擦力の実験を行う。これは中学校学習指導要領解説の「力の働きについて」における「測定結果を処理する際、測定値には誤差が必ず含まれていることを踏まえた上で規則性を見いださせるように指導し、誤差の扱いやグラフ化など、測定値の処理の仕方の基礎を習得させることが大切である。」を達成することも目的としている。直感的には摩擦力は運動速度や接触面積の影響を受けるように思えるが、アモントン・クーロンの法則によればこれらは摩擦力に影響しない。このようなことを実験を通して定量的に証明するべく単元をデザインした。この実験では摩擦力（動摩擦力）の測定を通して、従属変数である摩擦力に影響を及ぼす（あるいは及ぼさない）独立変数となる物理量を実験を通して探究するとともに、独立変数と従属変数の相関をグラフをもとに示す活動を行う。このように相関関係を説明する活動を通して、創造的思考スキルの「傾向を特定し、可能性を予測する」スキルの育成を図る。

本単元において育成を目指すATLスキルおよびその要素を以下に示す。

VIII 【創造的思考スキル】

- ・ 傾向を特定し、可能性を予測する。

⇒実験を通して得られた独立変数と従属変数に Excel を用いて線形回帰を行うことでその傾向を調べる。それをもとに独立変数と従属変数の間にある関係を述べる。

2. 学習内容

中学校学習指導要領（平成29年告示）

第2章 各教科

第4節 理科

第2 各分野の目標及び内容

〔第1分野〕(1) 身近な物理現象 (イ) 力の働き (ア) 力の働き

3. 単元構成と評価計画

本単元では、測定値には誤差が含まれているものとして規則性を見出させること、誤差の扱いやグラフ化の処理の仕方の基礎を習得させるべく、力に関する基礎的な内容を学習した後に Excel を用いた近似線の描画方法を学習し、単元の最後に総括的評価課題となる実験デザインの課題を行う。

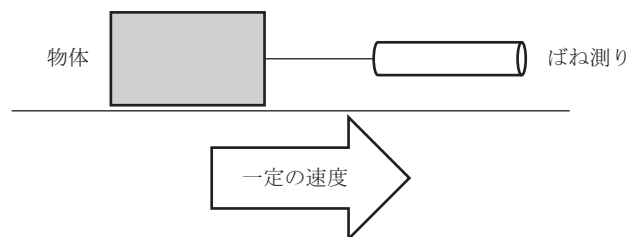
時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準			
		A 知識と理解	B 探究とデザイン	C 手法と評価	D 科学による影響の振り返り
1~2	力とは何か／フックの法則				
3	重さと質量				
4~5	圧力・浮力				
6	静止摩擦と動摩擦				
7	Excel を用いたグラフの作成方法				
8~10	摩擦力の実験 総 実験レポート				
11	総 期末試験				

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

実際に生徒に提示した課題文は以下の通りである。

水平面上を一定の速度で物体を動かすとき、「物体がばね測りに引かれる力」の大きさと「物体にかかる摩擦力」の大きさは等しい。つまり、物体をばね測りにつなぎ水平面上を一定の速度で動かすと、このときのばね測りの測定値は摩擦力の大きさを示していると考えることができる。



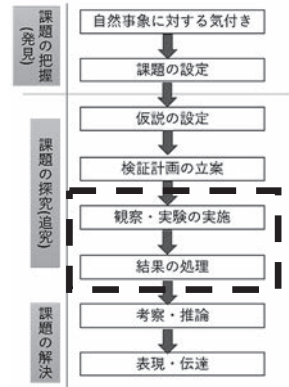
摩擦力の大きさは接触する2つの物体の様々な性質によってその大きさが変化する。実験を通してどの性質がどのように摩擦力の大きさに影響するのか定量的 (quantitative) にデータを測定し、摩擦力の大きさとその性質との関係を示しなさい。

独立変数として設定し得るデータは様々である。単なる思い付きではなく科学的な予想をもとに独立変数と摩擦力 (従属変数) の関係を仮説立てなさい。また、独立変数は定量的に測定できるものとしなさい。さらに、複数の独立変数について摩擦力との関係を見つけ出さなさい。ただし、複数の独立変数を同時に変化させると因果関係を見出すことができなくなるため、何を変化させるべきで何を変化させないのかを強く意識しなさい。

データは単純に提示するだけでなく、適切な処理を加えなさい。データ A とデータ B があつたとして、「A が大きくなる時 B も大きくなる」では A と B の関係を説明するうえで不十分である。A と B に比例関係はあるのか、だとすればどのように説明すれば明確であるのか。比例関係でないのならばその関係はどのような関係であるのか説明しなさい。または、A と B が無関係であるのならばそれもまたどのように説明すれば明確であるのか考えなさい。

なお、本総括的評価課題は、探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。

観察・実験の実施	→	結果の処理
<p>実験を行うのみならず、実験を通して得られた実験結果に相関関係があるか否かを調べ、想定した相関関係が認められない場合は仮説の再設定、再実験に取り組む。相関関係を評価するために Excel を用いた近似線の処理を学習し、どの程度の相関が見られるのかをグラフを用いて判断する能力を獲得する。</p>		



4. 2. ルーブリック

本総括的評価課題では規準 B：探究とデザイン，C：手法と評価の 2 観点を評価する。規準 B：探究とデザインの評価に用いるルーブリックは以下のとおりである。

規準 B 探究とデザイン	
	この課題における詳細な評価基準
0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。
1-2	<ul style="list-style-type: none"> i. 完全ではないが、科学研究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 検証可能な予測について述べる。 iii. 変数について述べる。 iv. 完全ではないが、方法をデザインする。
3-4	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的探究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 科学的推論を用いて、検証可能な仮説の概要を述べる。 iii. 変数の操作方法の概要を述べる。適切なデータの収集方法について述べる。 iv. 材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。
5-6	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的探究によって検証する問題または質問の概要を述べる。 ii. 科学的推論を用いて、検証可能な仮説の概要を述べ、説明する。 iii. 変数の操作方法の概要を述べる。十分かつ適切なデータの収集方法の概要を述べる。 iv. 適切な材料と設備を選択するための完全かつ安全な方法をデザインする。
7-8	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的探究によって検証する問題または質問を記述する。 ii. 正しい科学的推論を用いて、検証可能な仮説の概要を述べ、説明する。 iii. 変数の操作方法を記述する。十分かつ適切なデータの収集方法を記述する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための、論理的で完全かつ安全な方法をデザインする。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を、生徒の提出したレポートの一部をそのまま抜粋することで紹介する。また、このレポートの規準 B：探究とデザインの観点の評価の詳細についても示す。

【ケース 1】（レポートの一部を抜粋）

仮説：どんな値を独立変数にしても定量的に測定できるものであればその独立変数とそれに伴う従属変数は比例の関係にある。

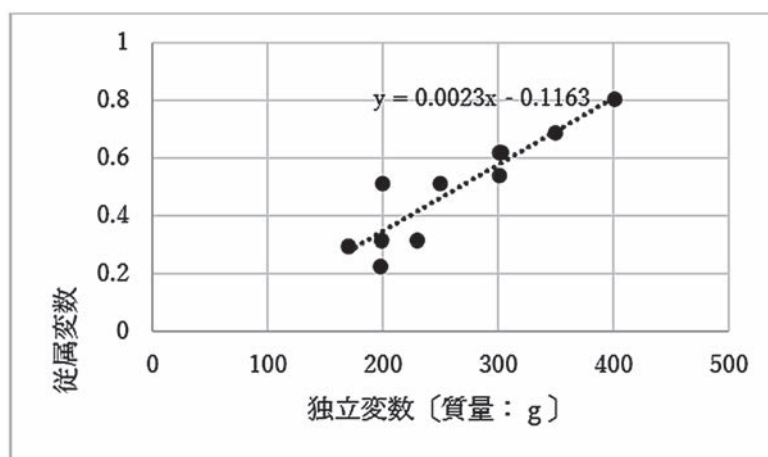
方法： 実験① 質量

独立変数を質量とし底面積や傾斜角、物質の性質を変えずに実験する。底面積が 132 cm^2 (12×11) の箱に分銅を入れ、以下の 5 パターンぐらい質量を変えその時のニュートンの値を調べる。パターン <198g, 230g, 250g, 301g, 350g, 401g>

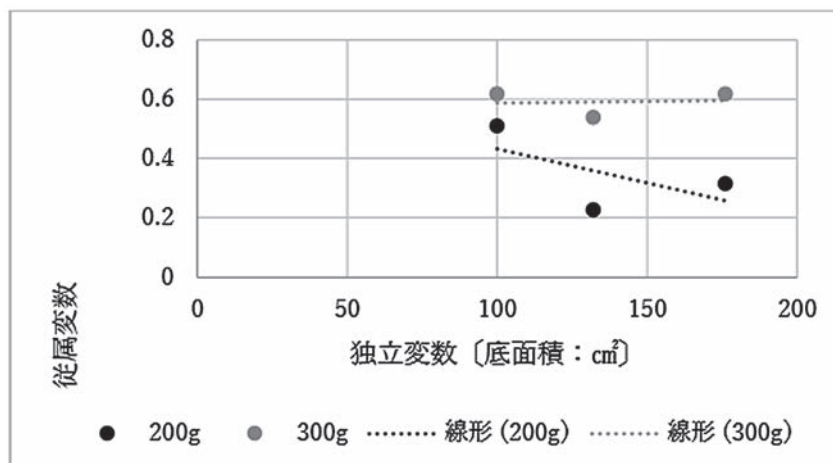
実験② 底面積 独立変数を底面積とし、質量や傾斜角、物質の性質を変えずに実験する。3 パターンの底面積の箱を用意し、200g/300g の二通りでそれぞれのニュートンの値を調べる。パターン < 100 cm^2 , 132 cm^2 , 176 cm^2 >

それぞれニュートンの値を調べる際は、摩擦力を調べる箱に直接ばねばかりのフックをかけ、卓上で感覚としてゆっくり同じスピードで行った。また、ばねばかりはグラム [g] 表示のため、0.0098 倍でニュートン [N] に換算した。因果関係とは「原因」と「結果」がきちんと結びついた関係のことを表す。

結果：実験① 独立変数を質量とした実験の結果は以下の図になった。



実験② 独立変数を底面積とした実験の結果は以下の図になった。



実験①においては縦軸が上がれば横軸も同時に伸びているため仮説の通り比例の関係にあるといえる。しかし、実験②においては値の散布が分散しているので図から従属変数と独立変数は比例の関係にあるとは言えない。

考察：この実験から二つの物体によっておこる摩擦力と実験をするうえで自ら考えた独立変数は独立変数にもよるが、少なくとも独立変数を質量とすれば比例の関係が成り立つと考えられる。またそれらから因果関係を証明することは独立変数によっては可能である。

反省点：今回、データを取るにあたってばねばかりの示す数値がばらばらになってしまった。原因として挙げられるのが多様なばねばかりです。もちろん速度も実験のたびに異なり、異なる底面積で比較したときのそれぞれの容器の性質も、異なってしまっている。学校にあるばねばかりだと精度に限界があるということ、そして独立変数以外の条件が本当に同じであるかをもう一度考える必要性があると感じました。

【ケース1の評価】 総合評価：6

B-i：7-8〈理由〉質量と摩擦力および、底面積と摩擦力の相関を証明しようとしていることは明確である。

B-ii：1-2〈理由〉質量と底面積を独立変数に設定しているが、設定の理由は述べられていない。

B-iii：5-6〈理由〉実験方法は簡潔にだが示されており、データを集められるものとなっている。

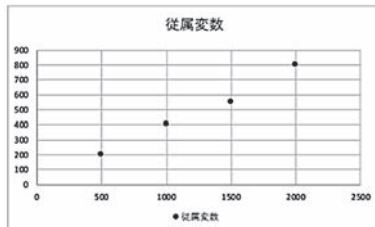
B-iv：5-6〈理由〉実験方法は概ね適切にデザインされている。

【ケース2】(レポートの一部を抜粋)

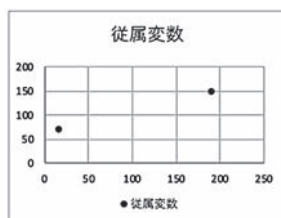
<実験方法>

- 1, 重りをバネばかりを一定の速度で引き摩擦力を図る(g)
- 2, 物の表面積と重さを測る

<結果>



このグラフは表面が一定で従属変数を摩擦力とし、独立変数をそのものの重さとした時のグラフだ。このグラフをみると、重さが重くなると摩擦力も大きくなることがわかる。



このグラフは重さが一定で従属変数を摩擦力とし、独立変数を地面に触れている部分の表面積とした時のグラフだ。このグラフをみると、触れている面積が大きいと摩擦力も大きくなることがわかる。

<考察>

私はこの2つの結果を見て、摩擦力に影響するのは物の重さと地面に触れている部分の表面積の大きさだと考えた。

【ケース2の評価】総合評価：2

B-i：3-4 〈理由〉重さ・底面積と摩擦力の相関を証明しようとしていることは読み取れる。

B-ii：1-2 〈理由〉質量と底面積を独立変数に設定しているが、設定の理由は述べられていない。

B-iii：1-2 〈理由〉底面積のデータは2つのみしか取れておらず、適切ではない。

B-iv：1-2 〈理由〉実験方法の一部のみしか記述されていない。

6. 授業者から

この実験は摩擦力の大きさに影響する物理量を調査する実験をデザインするものである。物理量の候補には様々なものがあるが、今回の課題では定量的に扱えるもののみを候補とさせ、そのうえでデータ処理まで行っている。この実験ではデータ処理を行ってみることで、実験で取り扱った物理量が摩擦力と相関があるか否かを判断することができ、想定された結果とならなかった際に実験の再デザインに立ち返ることとなる。これは探究の過程における「観察・実験の実施」と「結果の処理」をループさせることを意図しており、それにより探究の過程をより深める。

中学2年生においてありがちな考察として、独立変数(A)と従属変数(B)に対し、実験結果から短絡的に「Aが〇〇のとき、Bは××である」としてしまうことが多々見受けられる。それに対し、ある程度合理的な判断をする能力を身に付けさせるためにExcelでの近似直線の描画方法を授業で扱った。これにより明らかな外れ値を見つけ出し再実験を行わせることが可能になり、またばらつきから実験の精度について考察するきっかけともなる。決定係数 R^2 については取り扱っていない。中学2年段階では回帰分析の正確な理解はできないが、少なくともExcel上で処理することで「Aが〇〇のとき、Bは××である」よりは正確な相関関係について考察することができる。

物体を等速で引き上げるために必要な力の大きさは？

対象：中学3年 理科（物理分野）

川上 佑美

1. 単元について

本単元では、力と運動に関する実験及び探究課題「物体を等速で引き上げるために必要な力の大きさは？」を通して、物体にはたらく力と運動の関係を理解するとともに、力の大きさと物体の速さなどを量的・関係的な視点で捉え、それらの関係性や傾向を見いだしたり、観察・実験の結果を分析・解釈したりすることのできる資質・能力の育成を目指す。また、力そのものは直接見えないものであるが、特定の表現を使用することで共通理解が可能であることをグループでの意見交換の中で見いだすことのできるようにし、協働スキルの育成を図る。さらに、見えないものであるからこそモデル化して表す必要があることなど、表現やモデルの意義についても迫り、コミュニケーションスキルの育成を図る。そして、さまざまな運動のようすを捉えていく中で、例えば、摩擦のない面での物体の運動のようすなど自身のもつ感覚とのずれを意識できるようにし、批判的思考スキルの育成を図る。本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

I 【コミュニケーションスキル】

- ・ 図やグラフのような数学的表現を理解し、用いる。

⇒力と運動に関する様々な実験を通して、図やグラフのような数学的表現を理解し、目的に合わせたより効果的な表現方法を選択できるように指導する。

II 【協働スキル】

- ・ 実験や議論、探究活動の際に、お互いの考えの違いを認め合うことで、課題を解決するために、グループで共同して取り組む。

⇒グループで議論する機会を積極的に設け、自分だけでは発想できないことがあることに気づき、協働することで一人では見出せなかった考えを見いだせるように指導する。

IX 【批判的思考スキル】

- ・ 課題を解決するために、ありえないと思われるものも含めて多数の仮説や実験方法を検討する。

⇒様々な可能性に気づき、多くの視点で物事を捉えていくことができるように、指導する。

2. 学習内容

中学校学習指導要領（平成29年告示）

第2章 各教科

第4節 理科

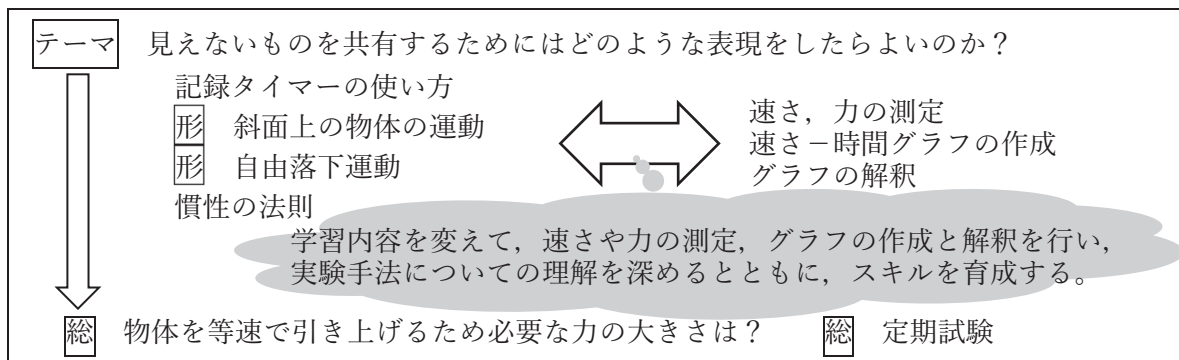
第2 各分野の目標及び内容

〔第1分野〕(5) 運動とエネルギー (イ) 運動の規則性 (ア) 運動の速さと向き (イ) 力と運動

3. 単元構成と評価計画

本単元では、総括的評価課題「物体を等速で引き上げるために必要な力の大きさは？」について、探究する。単元を通して、さまざまな状況における力と運動の関係を実験を通して見いだしながら、記録タイマーや記録テープを用いるなどの力や運動を記録するスキルを育成できるようにした。運動のようすを記録する方法をさまざま経験することで、状況に合わせた実験方法をデザインできるようにした。また、実験によって記録を取り、グラフにまとめる活動を一貫して行い、他者に伝えるためにどのようにまとめていけばよいかを意識できるようにした。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準			
		A 知識と理解	B 探究とデザイン	C 手法と評価	D 科学による影響の振り返り
1	記録タイマーの使い方, 打点の意味				
2~7	形 斜面上の物体の運動				
8~9	形 自由落下運動				
10	慣性の法則				
11~12	総 物体を等速で引き上げるためには？				
	総 定期試験				



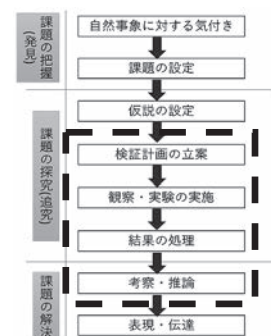
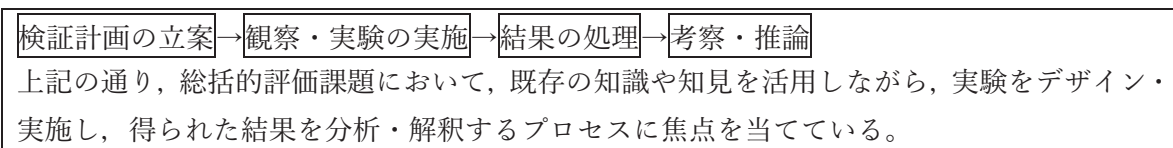
4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

生徒に提示した課題を以下に示す。

物体を等速で引き上げるために必要な力は、その物体にはたらく重力よりも大きいだろうか？小さいだろうか？それとも、等しいだろうか？仮説を立てて、それを確かめるための実験方法をデザインし、仮説を検証しよう。そして、本実験についてポスターにまとめよう。

なお、本総括的評価課題は、探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。



4. 2. ルーブリック

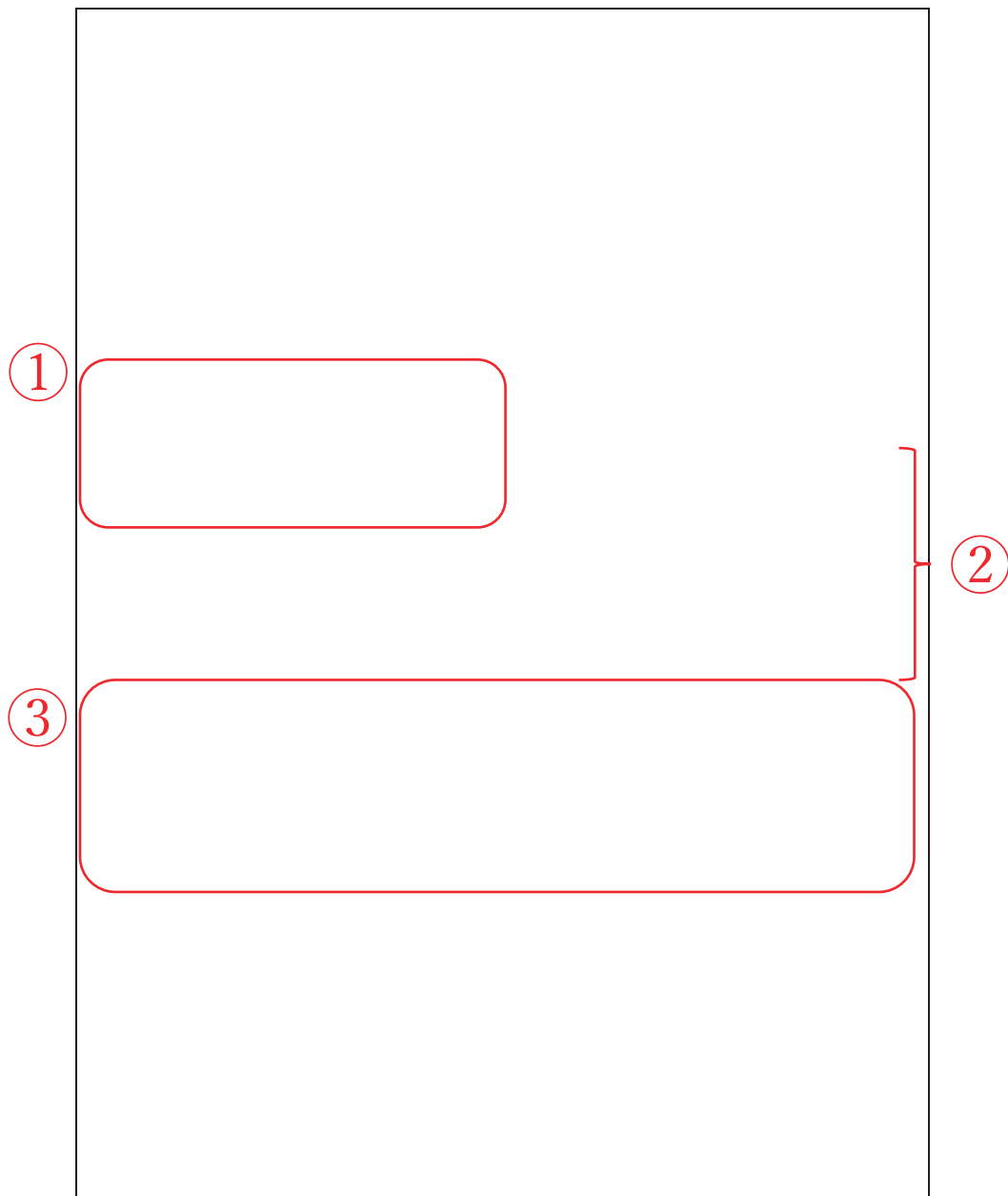
本総括的評価課題では規準 B：探究とデザイン，規準 C：手法と評価の2観点の評価した。
規準 B：探究とデザインの評価に用いたルーブリックは以下のとおりである。

規準 B 探究とデザイン	
	この課題における詳細な評価基準
0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。
1-2	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的研究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 検証可能な仮説の概要を述べる。 iii. 変数の概要を述べる。 iv. 完全ではないが、方法をデザインする。
3-4	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることについて述べる。 ii. 科学的推論を用いて、仮説と実験方法のつながりの概要を述べる。 iii. 力と速度のデータ測定方法の概要を述べる。速度を測定することで、等速であることを説明する。 iv. 材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。
5-6	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることの概要を述べている。 ii. 科学的推論を用いて、仮説と実験方法のつながりを説明する。 iii. 力と速度のデータの適切な測定方法の概要を述べる。一つの運動に対し複数の速度を測定することで、等速であることを説明する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。
7-8	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることを明確に記述する。 ii. 正しい科学的推論を用いて、仮説と実験方法のつながりを説明する。 iii. 力と速度のデータの適切な測定方法を記述する。一つの運動に対し複数の速度を測定することで、等速であることを十分に説明する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための、論理的で完全かつ安全な方法をデザインする。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を、生徒の提出したポスターの一部をそのまま抜粋することで紹介する。また、このレポートの規準 B：探究とデザインの観点の評価の詳細についても示す。

【ケース1の評価】総合評価：6



B-i : 5-6	<理由>実験方法や結果から実験によって明らかにしたいことを推測することはできるが，明言されていない (②，③より)。
B-ii : 7-8	<理由>既習事項を生かして仮説を立て，今回の実験方法とのつながりを述べている (①より)。
B-iii : 5-6	<理由>複数回にわたって測定しているが，等速であることを十分に説明できているとは言えない (③より)。
B-iv : 5-6	<理由>おおよそ適切な材料と設備を選択し，方法をデザインしているが，方法の説明が十分に説明できているとは言えない (②より)。

【ケース 2 の評価】 総合評価：4

B- i : 1-2	<理由>明言されていない。
B- ii : 1-2	<理由>仮説が適切に述べられておらず，実験方法とのつながりも読み取ることができない (①より)。
B- iii : 3-4	<理由>条件を変えて実験を行い，データを示すことができているが，等速であることを十分に説明できているとは言えない (③より)。
B- iv : 5-6	<理由>おおよそ適切な材料と設備を選択し，方法をデザインしているが，方法の説明が十分に説明できているとは言えない (②より)。

6. 授業者から

生徒は総括的評価課題に取り組む中で、同じ班の生徒と積極的に意見を交わし、仮説「物体を等速で引き上げるために必要な力の大きさは、その物体の重力よりも大きい（あるいは等しい／小さい）」を確かめるための実験方法のデザインを行っていた。単元を通して、繰り返し実験を行ったため、総括的評価課題に取り組む際にも、ノートを見返しながら、仮説を立て、実験器具を選び、検討を繰り返していた。このように実験方法をデザインする過程で、さまざまな視点で検討していた点は、授業において意図していた点が結実した成果であると考えられる。また、実験で得たデータを基に考察するという活動を繰り返し行ったことで、生徒が考えを積極的に可視化・共有できたと考えられる。

一方で、生徒の提出課題をみると、とても苦戦している生徒が多かったことが窺えた。動いている物体には必ず運動の向きに力がはたしているという認識であったり、物体を床から持ち上げるとき、持ち上がった後に等速で持ち上げ続けるときを区別して考えられていなかったりしたことが、苦戦した原因だと考えられる。授業において、力の向きと運動についての理解をより一層意識して深めるとともに、場面を区切って考える機会を設ける必要がある。

また、本単元では、「見えないものを共有するためには、どのような表現をすればよいか？」をテーマにしていた。運動のようすは目に見えても、そのときにはたっている力そのものを目で見ることができない。そのために、見えないものを可視化・共有をすることで、他者と意見を交わすことができる。したがって、本単元では、ATL スキルとして、見えないものを共有する際に協働スキル、見えないものを表現する際にコミュニケーションスキルの育成を図った。単元末には、生徒はテーマに対して次のような考えを持った。

- ・ 力を矢印で表すことで、どんな大きさがあるのか、そんな方向なのかというあいまいな情報を視覚化して他者に伝えることができる。
- ・ 見えないものを共有するためには、数値やグラフを使って見える化すればよいと思う。そうすることで人と共有することができるようになり、見えないままでは見つけることができなかったことを、見えるようにすることで新たな発見ができると思う。
- ・ 見えないものに名前を付け、それに意味があるなら名前があるだけで「コミュニケーション」できる。

生徒の記述から、数値やグラフ、矢印などを用いて視覚化する意味を考えることができたり、見えるようにすること、共有することが新しい発見につながるという視点を獲得することができていたりするようすが窺える。さまざまな運動のようすを捉えていく中で、自身の考えと他者の考えを共有するためには、感覚ではなく、数値やグラフで表すことで運動のようすを理解できることが実感できたのではないかと考えられる。

単元での学習や探究活動では、知識やスキルを獲得できるようにし、生徒自ら探究できるようにすることはもちろんのこと、自然に迫っていく中で、科学とはどのような営みなのか、科学とは何かを考えるきっかけにもしていきたい。

有色の液体を pH の大きさの順に並べるにはどうすればよいか？

対象：中学3年 理科（化学分野）

植田 悠未

1. 単元について

「酸・アルカリ」の単元では、酸やアルカリに共通する化学的性質や、酸性やアルカリ性の強弱を調べる実験について学ぶ。ここでは、単元の総括的評価課題として、有色の液体（図1）の液性について調べさせる。有色の液体では、指示薬による色の変化では区別しにくいので、生徒が複数の実験結果から総合的に考察する必然性が生まれる。

本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

VIII 【批判的思考スキル】

- ・ 議論を形成するために関連する情報を集め、整理する。

⇒この総括的評価課題では、有色の液体を用いるため、指示薬の色の変化が不明瞭になる。よって、生徒は、指示薬の結果のみならず、マグネシウムとの反応性や電気伝導性など、複数の実験結果から総合的に考察する必要がある。したがって、生徒はこの課題に取り組むことにより、溶液の pH の大きさの順番についての議論を形成するための情報を集め、整理するという批判的思考スキルを発揮することができると考えた。

2. 学習内容

中学校学習指導要領（平成29年告示）¹⁾

第2章 各教科

第4節 理科

第2 各分野の目標及び内容

〔第1分野〕

(6) 化学変化とイオン

(7) 水溶液とイオン ① 酸・アルカリ



図1. 有色の液体（左から、コーラ、オレンジジュース、青汁、液体洗剤）

3. 単元構成と評価計画

本単元では、実験デザインを伴う総括的評価課題にいたるまでに、酸・アルカリに関する基礎的内容を学習した。まず、1時間目では、酸はマグネシウムリボン、アルカリはタンパク質と反応することを確認した。2時間目は、いろいろな水溶液の電気伝導性を、プロペラモーターを用いて確かめたのち、酸とアルカリをリトマス紙に含ませて電流を流すことで、水素イオンや水酸化物イオンの存在に気付かせた。3時間目では、水溶液の液性の指標は pH という値で表さ

れることや、酸性やアルカリ性には強弱があることを確認した。ここでは、評価規準 B：探究とデザインの形成的評価として、「いろいろな濃さに薄めた塩酸の液性を確認する」という課題に取り組みさせた。この課題において生徒は、今までに学習した知識を用いて、班ごとに実験方法を考え、溶液の液性を調べた。例えば、マグネシウムとの反応性を調べたり、電気伝導性を調べたり、指示薬の色を確認したりした。これらの活動の目的は、総括的評価課題を行うための、議論を形成するために関連する情報を集め、整理するスキルを伸長させることである。次に、4時間目では、中和反応によって水と塩が生成することを実験によって確認した。5時間目では、難溶性の塩が生成する中和反応について、アルカリに酸を少しずつ加えていったときの電気伝導性の変化を確かめた。これらの学習を経て、実験デザインを伴う総括的評価課題に突入した。

時数	学習内容・学習活動 形形成的評価, 総総括的評価	関係する評価規準			
		A 知識と理解	B 探究とデザイン	C 手法と評価	D 科学による影響の振り返り
1	～酸とアルカリ, より危険なのはどっち?～ 酸・アルカリの反応				
2	～酸性・アルカリ性の正体って何だろう?～ 酸・アルカリの電気伝導性 水素イオンと水酸化物イオン				
3	形～強酸性の液体を薄めると何性?～ 酸性・アルカリ性の強弱と pH				
4	～酸とアルカリを混ぜるとどんなことが起こる んだろう?～中和反応				
5	～中和のようすを電流計を使って確かめよう～ 難溶性の塩の生成と電気伝導性				
6~7	総有色の液体の液性の探究				

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

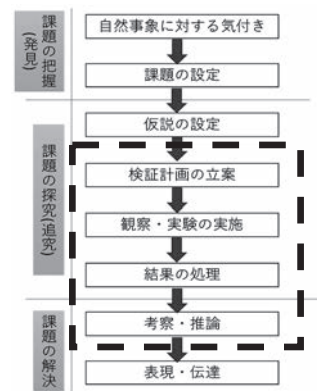
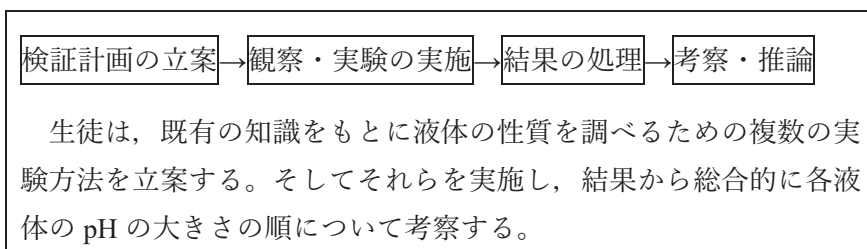
単元の5時間目まで、指示薬の色の変化、電気伝導性、マグネシウムとの反応性など、液体の酸性・アルカリ性、またその強弱を調べる実験を行ってきた。6, 7時間目では、総括的評価課題として、指示薬の色の変化だけでは判断が困難な有色の液体の液性を複数の実験によって調べ、pHの小さい順に並べさせる課題に取り組みさせた。実験は班ごとにデザインし、行うこととした。実際に生徒に提示した課題文は以下の通りである。

有色の液体は、指示薬などの色の変化だけでは、液性の特定が困難です。ここでは、コーラ、青汁、砂糖水、飽和食塩水、液体洗剤、オレンジジュースのそれぞれについて、複数の方法を用いてその液性を調べ、これらを pH の順に並べなさい。実験は班ごとにデザインし、行うこととする。なお、pH メーターの使用は不可とする。

コーラ、オレンジジュース、青汁、液体洗剤は有色のものを用いる。

強酸性の液体は弱酸性の液体に比べて、マグネシウムとの反応性が大きく、それらの反応性の違いは、発生する水素の勢いから判断できる。マグネシウムリボンでは違いがわかりにくい場合は、マグネシウムの粉末（30～45 Mesh）を用いると違いがわかりやすい。また、強酸性の液体は弱酸性の液体に比べて、電気伝導性が大きい。これは、電源装置を用いてある一定の電圧を溶液にかけたときに流れる電流から判断できる。しかし、酸やアルカリの他に電解質が溶け込んでいた場合、電気伝導性の大きさだけでは判断ができず、他の実験結果も考慮する必要がある。

また、探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。



4. 2. ルーブリック

本総括的評価課題では規準 B：探究とデザイン、C：手法と評価の 2 観点を評価した。規準 B：探究とデザインの評価に用いたルーブリックは以下のとおりである。

規準 B 探究とデザイン		
	評価の基準	この課題における詳細な評価基準
0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。	
1-2	この生徒は以下のことができる。 i. 完全ではないが、科学研究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 検証可能な予測について述べる。 iii. 変数について述べる。 iv. 完全ではないが、方法をデザインする。	この生徒は以下のことができる。 i. この実験における完全でない目的を述べる。 ii. 既有知識を踏まえずに、実験方法を想起する。 iii. 実験に不必要な器具や試薬を挙げる。 iv. その実験方法で得られる結果が論理的な結論の裏付けにならない、または安全でない。
3-4	この生徒は以下のことができる。 i. 科学研究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 科学的推論を用いて、検証可能な仮説の概要を述べる。 iii. 変数の操作方法の概要を述べる。適切なデータの収集方法について述べる。 iv. 材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。	この生徒は以下のことができる。 i. 実験の目的を述べる。pH メーター以外の方法を使う必要があること、有色の溶液は指示薬の色の変化が曖昧であることなど、実験を考える上での制約についての記述はない。 ii. 既有知識をおおよそ正しく踏まえ、実験方法を想起する。 iii. 実験に必要な器具や試薬の一部を記述する。 iv. 得られる結果が論理的な結論の裏付けとなりうる、安全な実験を 1 つ行う。
5-6	この生徒は以下のことができる。 i. 科学研究によって検証する問題または質問の概要を述べる。 ii. 科学的推論を用いて、検証可能な仮説の概要を述べ、説明する。 iii. 変数の操作方法の概要を述べる。十分かつ適切なデータの収集方法の概要を述べる。	この生徒は以下のことができる。 i. 実験の目的を述べる。pH メーター以外の方法を使う必要があること、有色の溶液は指示薬の色の変化が曖昧であることなど、実験を考える上での制約についての記述は十分ではない。 ii. 既有知識をおおよそ正しく踏まえ、実験方法を想起する。それらの実験の予想される結果を説明する。 iii. 実験に必要な器具や試薬をある程度記述する。

	iv. 適切な材料と設備を選択するための完全で安全な方法をデザインする。	iv. 得られる結果が論理的な結論の裏付けとなりうる、安全な実験を2つ行う。
7-8	この生徒は以下のことができる。 i. 科学的研究によって検証する問題または質問を記述する。 ii. 正しい科学的推論を用いて、検証可能な仮説の概要を述べ、説明する。 iii. 変数の操作方法を記述する。十分かつ適切なデータの収集方法を記述する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための、論理的で完全かつ安全な方法をデザインする。	この生徒は以下のことができる。 i. 実験の目的を述べる。pHメーター以外の方法を使う必要があること、有色の溶液は指示薬の色の変化が曖昧であることなど、実験を考える上での制約を認識し、記述する。 ii. 既有知識を正しく踏まえ、実験方法を想起する。それらの実験の予想される結果を説明する。 iii. 実験に必要な器具や試薬を完全に記述しており、他者が実験を再現できる。 iv. 得られる結果が論理的な結論の裏付けとなりうる、安全な実験を3つ以上行う。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を、生徒の提出した実験ノートの一部をそのまま抜粋することで紹介する。また、この実験ノートの規準 B: 探究とデザインの観点の評価の詳細についても示す。

【ケース 1】(ノートの記述を抜粋)

		<u>B-ii</u>
<u>B-i</u>		
		<u>B-ii</u>

B-iii

B-ii

B-ii

【ケース 1 の評価】 総合評価：8

B-i：7-8<理由>「有色の液体の液性を調べ」「溶液を pH の順に並べよう」という目的を述べている。「pH メーター以外の方法でやる」「有色の為、指示薬の色はあいまいである」というように、実験を考える上での制約を認識し、記述している。

B-ii：7-8<理由>想起された実験方法は、既有知識を正しく踏まえていると評価できる。また、「予想・仮説」「～だろう」「～するはずである」といったように、実験の仮説や予想される結果を説明している。

B-iii：7-8<理由>実験で使用した器具や、溶液に投入したマグネシウム粉末の量などが、図を用いながら記述されており、他者が実験を再現できると評価した。

B-iv：7-8<理由>「マグネシウムリボンとの反応性」「リトマス紙の色の変化」「マグネシウム粉末との反応性」「炭酸水素ナトリウムとの反応性」という 4 つの実験は、得られる結果が論理的な結論の裏付けとなりうる、安全な実験であると評価した。

【ケース 2】（ノートの記述を抜粋）

The diagram consists of several red-outlined boxes arranged as follows:

- A box at the top center containing the text B-i.
- A box on the left side containing the text B-ii.
- A long box in the middle containing the text B-ii.
- A small box below the middle box containing the text B-ii.
- A box on the left side containing the text B-iii.
- A box to the right of the B-iii box containing the text B-ii.
- A box at the bottom center containing the text B-ii.

【ケース2の評価】総合評価：6

B-i：3-4<理由>「有色液体の液性を調べ、pH順に」という目的は述べられているが、pHメーター以外の方法を使う必要があること、有色の溶液は指示薬の色の変化が曖昧であることなど、実験を考える上での制約についての記述はない。

B-ii：7-8<理由>想起された実験方法ごとに、「予想」を説明している。

B-iii：5-6<理由>実験で使用した器具や、溶液に投入したマグネシウム粉末の量などが記述されているが、「実験4」における電圧の大きさ（V）が書かれていないことなど、他者が実験を再現するためには改善の余地があると評価した。

B-iv：7-8<理由>「リトマス紙の色の変化」「マグネシウム粉末との反応性」「ハムとの反応性」「ある電圧をかけたときに流れる電流の値」という4つの実験は、得られる結果が論理的な結論の裏付けとなりうる、安全な実験であると評価した。

6. 授業者から

有色の液体を用いたことで、リトマス紙やBTB液の色の変化が不明瞭になることにより、複数の実験を行い、それらの結果を総合的に判断する必然性をもたせることができた。生徒の探究活動は2時間のみであったが、生徒らは何とか自分たちの力でpHの大きさの順を明らかにしようと、実験ノートを見返しながら、アイデアを出し合っていた。授業時間内にほとんどの班が、「pHの大きさの順は、オレンジジュース<コーラ<青汁≒飽和食塩水≒砂糖水<液体洗剤である」という結論に至ることができた。結論に至るまでには、指示薬の結果も踏まえつつ、マグネシウムとの反応性や電気伝導性など、複数の実験結果から総合的に考察を行っており、複数の実験結果から総合的に考察するという科学的なプロセスを体験することができた。また、多くの班は、「電気伝導性」「マグネシウムとの反応性」「タンパク質との反応性」を中心に実験を行ったが、中には、「炭酸水素ナトリウムとの反応性」や「亜鉛粉末との反応性」などについて調べる班もあり、前の単元での既習事項と関連付けられる課題となった。

参考文献

- 1) 文部科学省、「中学校学習指導要領解説 理科編」，平成29年7月

植物プランクトンを増殖させるには？

対象：高校1年 SS 生物基礎
伊藤穂波

1. 単元について

生物学は分子レベルから生態系まで各階層において複雑なシステムによって構成されている。したがって生物学における研究や調査は、こうした複雑なシステムから、より単純な要素を抽出して操作することが必要となる。

本単元で扱う「生態系」は、生物間の相互作用、そして生物と非生物的環境要因との相互作用に着目する単元である。本単元は二つの目標で構成されている。一つは、複雑な生態系において、着目すべき要素によって循環や流れといったシステム体系を見出すことができることを理解すること。もう一つは特定の生態系内における変化について、着目すべき要素を予測し、見出すことである。ここでの課題は、着目すべき要素を選び、検証することを実験デザインの形で表すことを生徒達に求めている。この取り組みを通して、生徒達には、実際に検証することを想定することで身近な自然環境のシステムを捉えることの難しさや複雑さに改めて気づくとともに、検証可能な小規模な範囲であっても生態系は成り立つことに気づくことをねらいとしている。

本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

VIII 【批判的思考スキル】

・傾向を特定し、可能性を予測する。

⇒これまでの学習の中でたびたび登場してきた「植物プランクトン」に着目し、生物の増殖という要素がどのような要因によって影響を受けるかを考え、検証方法と結果を予測するものである。

2. 学習内容

高等学校学習指導要領（平成30年告示）

第2章 各学科に共通する各教科

第5節 理科

第6 生物基礎

(3)生物の多様性と生態系

(i) 生態系とその保全

㊦生態系と生物の多様性 ㊧生態系のバランスと保全

3. 単元構成と評価計画

前半では、生態系について、その構成やそこに含まれる関係性について、生物同士の関係性、物質、エネルギーの循環や流れを学習し、後半では人との関係について具体的な例や問題を通

して学習する。「植物プランクトン」は、「生産者」、「酸素濃度増加の原因」、「富栄養化による「アオコ」の原因」として登場する。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準			
		A 知識と理解	B 探究とデザイン	C 手法と評価	D 科学による影響の振り返り
1~2	形 生態系の成り立ち ・生態系の構成要素・捕食,被食を通した生物間の関係性				
3~6	形 物質循環とエネルギーの流れ ・生物にとって窒素が貴重なのはなぜか? ・生態ピラミッドの限界が5~6次消費者までなのはなぜか?				
7~8	形 生態系のバランスと自然浄化 ・きれいな水とは何か?・「富栄養化」はなぜ問題なのか? ・[実習] COD バックテストによる水道水とプールの水の比較				
9	期末テスト 総				
10~11	人間活動と生態系 ・人間活動が生態系に影響を与えた例 ・[課題] 総 「植物プランクトン増殖の要因」				

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

生徒に提示した課題を下に示す。

- ・「植物プランクトン増殖の要因」を決定するための実験をデザインする。
- ・この実験がどのような問題やそれに関する研究に役立つと考えられるか。

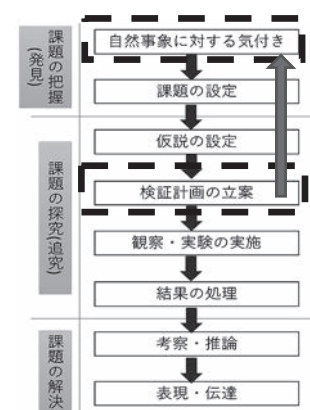
例) アオコ・赤潮対策, 食糧としての増産

それぞれ, これまで学習してきた内容と関連させて記述しなさい。

なお, 探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。

検証計画の立案 → 自然現象に対する気付き

生徒が自ら植物プランクトン増殖の実験をデザインすることで, 実際の生息環境を観察し, 実験で再現できる条件には限界があることに気づく。これにより, 変数の多い自然環境や生物に対して, 焦点化した課題や仮説を設定する視点や思考を養う。



4. 2. ルーブリック

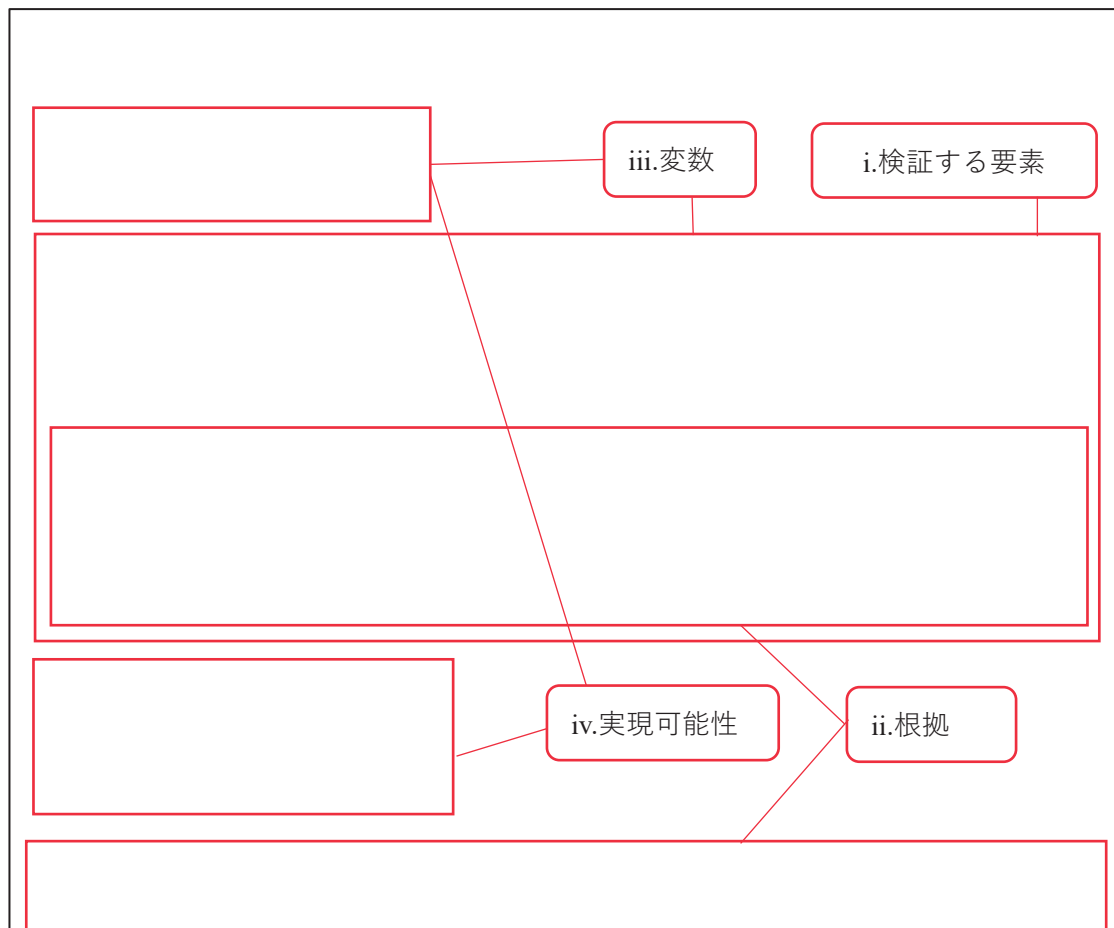
本総括的評価課題では規準 B: 探究とデザイン, D: 科学による影響の振り返りの2観点を評価した。規準 B: 探究とデザインの評価に用いたルーブリックを以下に示す。

規 準 B 探 究		
評価の基準	この課題における詳細な評価基準	
0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。	
1-2	<p>i. 科学的調査によって検証される問題 または質問を述べる</p> <p>ii. 検証可能な仮説の概要を述べる</p> <p>iii. 変数について概要を述べる</p> <p>iv. 方法がある程度設計する</p>	<p>i. 検証する要素が述べられている。</p> <p>ii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素について、操作方法、予想される結果について概要を述べる。</p> <p>iii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素を述べる。</p> <p>iv. 具体的な手順、道具、時間、場所を述べている。</p>
3-4	<p>i. 科学的調査によって検証される問題 または疑問の概要を述べる</p> <p>ii. 科学的合理性に基づいて検証可能な仮説を定式化する</p> <p>iii. 変数操作方法の概要を述べ、どのようにして関連データを収集するかについての概要を述べる</p> <p>iv. 材料および設備を選択するうえでの安全な方法を設計する</p>	<p>i. 検証する要素がある程度具体的に述べられている。</p> <p>ii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素と、操作方法、予想される結果について部分的ではあるがある程度根拠を述べている。</p> <p>iii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素と、その操作方法およびデータを収集する方法の概要を述べる。</p> <p>iv. 実現可能な手順、道具、時間、場所等を述べており、安全への配慮がなされている。</p>
5-6	<p>i. 科学的調査によって検証される問題 または疑問を詳しく述べる</p> <p>ii. 科学的合理性に基づいて検証可能な仮説を定式化し説明する</p> <p>iii. 変数の操作方法を詳しく述べ、どのようにして十分な関連データを収集するかを詳しく述べる</p> <p>iv. 適切な材料および設備を選択するうえでの完全かつ安全な方法を設計する</p>	<p>i. 検証する要素について具体的に述べられている。</p> <p>ii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素と、操作方法、予想される結果についてある程度根拠を述べている。</p> <p>iii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素を述べ、それを裏付けるためのデータについて、具体的な収集方法が述べられている。</p> <p>iv. 実現可能である程度適切な手順、道具、時間、場所等を具体的に述べており、安全への配慮がなされている。</p>
7-8	<p>i. 科学的調査によって検証される問題 または疑問を説明する</p> <p>ii. 正確な科学的合理性に基づいて検証可能な仮説を定式化し説明する</p> <p>iii. 変数の操作方法を説明し、どのようにして十分な関連データを収集するかを説明する</p> <p>iv. 適切な材料および設備を選択する論理的で完全かつ安全な方法を設計する</p>	<p>i. 検証する要素について具体的かつ論理的に述べられている。</p> <p>ii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素と、操作方法、予想される結果について具体的な根拠を述べている。</p> <p>iii. プランクトン増殖の要因と考えられる要素を述べ、それを裏付けるためのデータについて、適切で具体的な収集方法が述べられている。</p> <p>iv. 実現可能であり、より正確に実験を行う上で適切な手順、道具、時間、場所を具体的に述べており、安全への配慮がなされている。</p>

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を、生徒の提出したレポートの一部をそのまま抜粋することで紹介する。また、このレポートの規準 B：探究とデザインの観点の評価の詳細についても示す。

【ケース 1】



【ケース 1 の評価】 総合評価：5

B-i : 5-6<理由>調査の方法からある程度要素を特定できる。

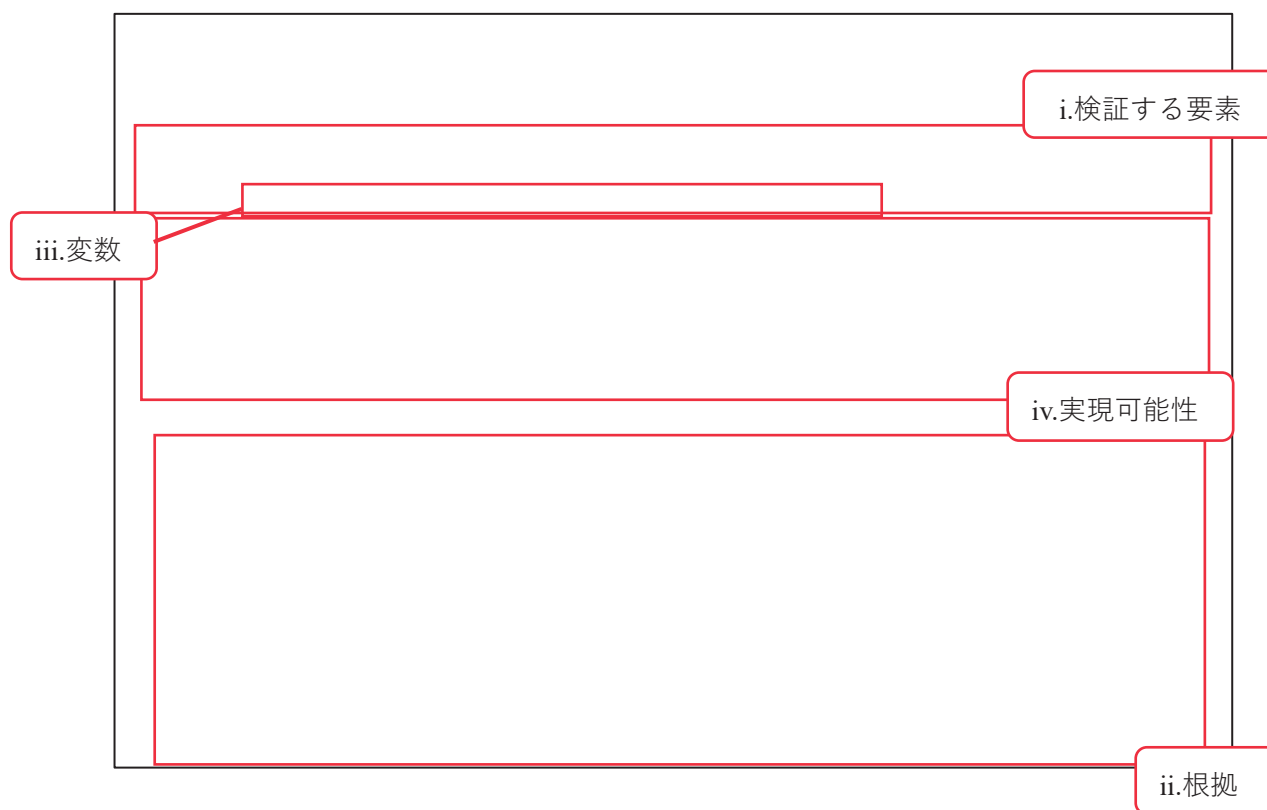
B-ii : 3-4<理由>予測についてのみ根拠を述べている。根拠でリン酸と窒素を挙げているが、実験計画ではそれぞれの物質の量や形態についての言及がない。

B-iii : 3-4<理由>記載している 4 つの要素について、変数として曖昧な部分が多い。

B-iv : 5-6<理由>実現可能である。ただし、調査時期の設定など環境からの影響に対する配慮等がみられない。

※「アオコ」を植物プランクトンの一種と混同している点については、規準 D：科学による影響の振り返りで評価を行った。

【ケース 2】



【ケース 2 の評価】 総合評価： 7

B-i： 5-6<理由>調査の方法から対象を「水温の変化」と、ある程度焦点化しており、「何回か行う」ことでデータとしての精度を上げようとしている。

B-ii： 7-8<理由>事例や研究結果を根拠として挙げている。一方で、エルニーニョ現象を実験結果の予測としてそのまま用いるなど論理の飛躍がみられた。

B-iii： 5-6<理由>具体的な方法とともに、独立変数の設定も行っている。

B-iv： 7-8<理由>実現可能な実験であり、水温の維持や水槽の状態を一定に保つための配慮や工夫が見られた。

6. 授業者から

本課題設定のねらいの一つとして、生徒たちが「植物プランクトンはどこにいるのか。」「プランクトンの活性具合はどうか」「どうやって採取するか」「どうやって飼育するか」など、よりリアリティのある視点で身近な水辺を捉え、普段気にとめることのない「プランクトン」に意識を向けることにあった。そういった意味も込めて評価規準 B の iii では具体性を強調した。一方で、実際に生徒たちから受け取ったレポートから、いくつかの共通した傾向が見られた。以下にその例を示す。

- ・論理の飛躍：ケース2のように海洋の研究結果を規模や塩分濃度，海流，水深等の違いを考慮せずにそのまま淡水の水槽実験に適応させようとするケースがいくつか見られた。
- ・膨大な対照実験：独立変数を設定して変化の様子を追っていく計画もある一方で，「水温が温かいか冷たいか，日照の有無」など対象実験で複数の要素を比較しようとする試みも見られた。

こうした結果を踏まえて，「B：探究とデザイン」は，同じテーマで複数回行い，教師による評価と生徒同士の相互評価なども交えながらブラッシュアップすることで，探究活動を学びとしてより効果的なものにするのではないかと考えられる。

津波は普通の波と何が違うのか？

対象：高校1年 地学基礎
仲沢 隆

1. 単元について

本単元では、東日本大震災で甚大な被害をもたらした津波に関する探究を通して、津波（長波）と通常の波（表面波）との違いを理解するとともに、波を表現するのにどのような数値データを用いれば良いのかを考える。その過程において、津波を再現するモデル実験をグループでデザインすることにより、コミュニケーションスキルや協働スキルの育成を目指す。また、問題を解決するための実験デザインから、創造的思考スキルの育成を目指す。さらに、津波という避けられない災害に対して、どのような対策を取れば良いのか、防災・減災に関して議論できる能力を身につける。この過程においても、コミュニケーションスキルや協働スキルの伸長が期待できる。

本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

I 【コミュニケーションスキル】

- ・ 実験や探究活動に取り組む際に、他の生徒と学習内容について話し合う。
- ・ 公式などの物理的表現を理解して用いる。

⇒津波に関する実験のデザインを通して、数値データの重要性を理解し、目的に合わせたより効果的な表現方法を選択できるように指導する。

II 【協働スキル】

- ・ 実験や議論、探究活動の際に、お互いの考えの違いを認め合うことで、課題を解決するために、グループで共同して取り組む。
- ・ 他者の見解や考えに積極的に耳を傾ける。

⇒グループで意見を交換したり、議論したりする機会を積極的に設け、自分だけでは発想できないことがあることに気づき、協働することで一人では見出せなかった考えを見いだせるように指導する。

IX 【創造的思考スキル】

- ・ 課題を解決するために、ありえないと思われるものも含めて多数の仮説や実験方法を検討する。

⇒様々な可能性があることに気づき、より多くの視点で物事を捉えていくことができるように、指導する。

2. 学習内容

高等学校学習指導要領（平成30年告示）

第2章 各学科に共通する各教科

第5節 理科

第8 地学基礎

(1) 地球のすがた (ウ) 大気と海洋 ④ 大気と海水の運動

3. 単元構成と評価計画

本単元では、総括的評価課題として「津波のモデル実験をデザインする」ということを設定している。1学期の授業で身に付けた知識や実験の技能を活用して、津波と通常の波の違いを明確にするモデル実験をデザインし、実際に実験をして数値データを取り、それを科学的に解釈してレポートにまとめる。

本単元では1～2時に基礎的な知識と実験観察の技能を獲得し、3～4時にグループごとに探究を進める構成となっている。なお、3～4時の授業を行っている期間、休み時間や放課後、もしくは各家庭において、グループごとに実験を行ってもよいこととした。多くのグループが各家庭にある浴槽などを使用して実験を行い、多くのデータを持ち寄ることによって、より誤差の少ないデータを蓄積させる努力をしていた。

夏季にこの課題を行えば、学校のプールを用いて、より規模の大きい実験を行えるだろう。今回はそれができなかったが、今後の課題としたい。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準			
		A 知識と理解	B 探究とデザイン	C 手法と評価	D 科学による影響の振り返り
1	形 東日本大震災の津波とその被害				
2	形 表面波と長波（津波）				
3~4	総 津波のモデル実験を考えてみよう				
5	形 津波による災害を減らすには？				

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

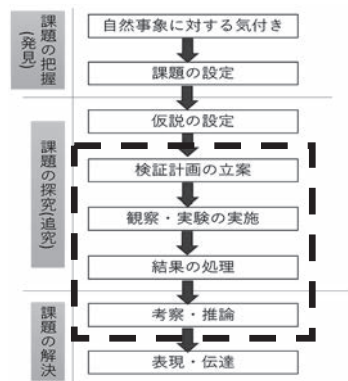
津波の再現実験をデザインしてみよう

津波（長波）と通常の波（表面波）との違いを明確にするために、津波のモデル実験をデザインしてみよう。1学期に身につけた知識や、観察・実験の技能を活用して、仮説を立てて、それを確かめるための実験方法をデザインし、仮説を検証しよう。そして、その実験についてレポートにまとめよう。

津波を再現するために、どのような実験上の工夫が必要だろうか？ 数値データは何を取れば良いか？ そこから何が読み取れるのか？ などに注意しよう。

本課題は、探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。

検証計画の立案 → 観察・実験の実施 → 結果の処理 → 考察・結論
 上記の通り、総括的評価課題「津波は普通の波と何が違うのか？」において、既存の知識や知見を活用しながら、実験をデザイン・実施し、得られた結果を分析・解釈するプロセスに焦点を当てている。



4. 2. ルーブリック

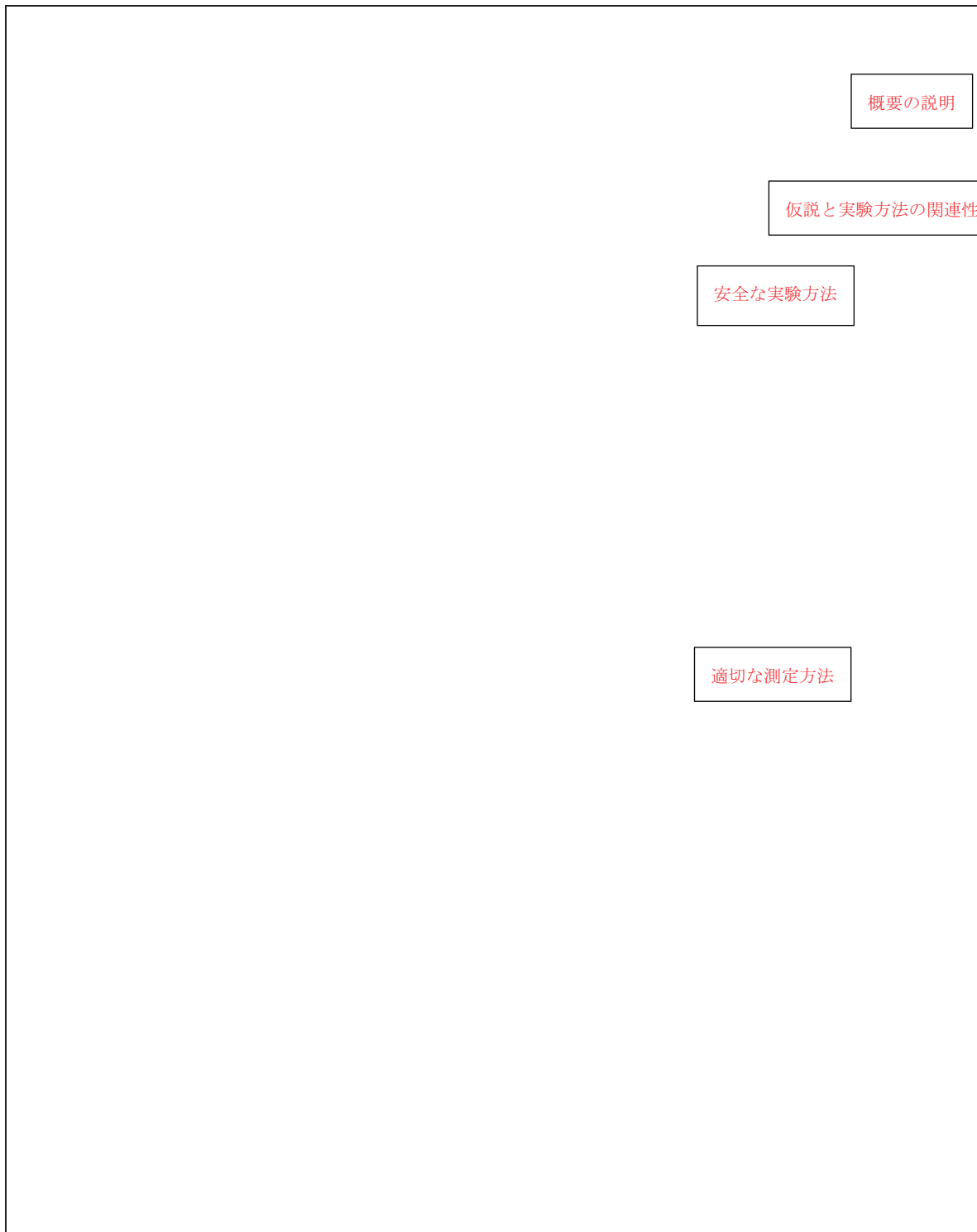
本総括的評価課題では規準 B：探究とデザイン，C：手法と評価の 2 観点を評価した。そのうち，規準 B：探究とデザインの評価に用いたルーブリックは以下のとおりである。

規準 B 探究とデザイン		
	評価の基準	この課題における詳細な評価基準
0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。	
1-2	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的研究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 検証可能な仮説の概要を述べる。 iii. 変数の概要を述べる。 iv. 完全ではないが，方法をデザインする。 	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることについて述べる。 ii. 仮説と実験方法のつながりの概要を述べる。 iii. 速度，水深などの津波のデータ測定方法を述べる。 iv. 完全ではないが，方法をデザインする。
3-4	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的研究によって検証する問題または質問について述べる。 ii. 科学的推論を用いて，検証可能な仮説の概要を述べる。 iii. 変数の操作方法の概要を述べる。適切なデータの収集方法について述べる。 iv. 材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。 	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることについて述べる。 ii. 科学的推論を用いて，仮説と実験方法のつながりの概要を述べる。 iii. 速度，水深などの津波のデータ測定方法の概要を述べる。速度を測定することで，水深と関係があることに触れる。 iv. 材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。
5-6	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的研究によって検証する問題または質問の概要を述べる。 ii. 科学的推論を用いて，検証可能な仮説の概要を述べ，説明する。 iii. 変数の操作方法の概要を述べる。十分かつ適切なデータの収集方法の概要を述べる。 iv. 適切な材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。 	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることの概要を述べている。 ii. 科学的推論を用いて，仮説と実験方法のつながりを説明する。 iii. 速度，水深などの津波のデータの適切な測定方法の概要を述べる。速度を測定することで，水深と関係があることを説明する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための安全な方法をデザインする。
7-8	<ul style="list-style-type: none"> i. 科学的研究によって検証する問題または質問を記述する。 ii. 正しい科学的推論を用いて，検証可能な仮説の概要を述べ，説明する。 iii. 変数の操作方法を記述する。十分かつ適切なデータの収集方法を記述する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための，論理的で完全かつ安全な方法をデザインする。 	<ul style="list-style-type: none"> i. 実験によって明らかにすることを明確に記述する。 ii. 正しい科学的推論を用いて，仮説と実験方法のつながりを説明する。 iii. 速度，水深などの津波のデータの適切な測定方法を記述する。速度を測定することで，水深と関係があることを十分に説明する。 iv. 適切な材料と設備を選択するための，論理的で完全かつ安全な方法をデザインする。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を，生徒が提出したレポートの一部をそのまま抜粋することで紹介する。また，このレポートの規準 B：探究とデザインの観点の評価の詳細についても示す。

【ケース 1】「定量的なデータを取って津波について議論した生徒」





【ケース1の評価】総合評価：5

B-i：5-6<理由>実験によって明らかにすることの概要がわかりやすく述べられている。
B-ii：5-6<理由>仮説と実験方法のつながりがはっきりしているが、その説明にやや明確でない部分が見られる。
B-iii：5-6<理由>津波のデータの適切な測定方法が述べられているが、測定誤差がやや大きいように思われる。ただし、誤差については実験者も理解している。
B-iv：5-6<理由>測定誤差が大きいものの、お風呂という身近な道具を使って、安全な実験方法をデザインしている。

【ケース2】「定量的なデータを取らずに津波について議論した生徒」

	概要の説明
	仮説と実験方法の関連性
	適切な測定方法
	安全な実験方法



【ケース2の評価】 総合評価：2

B-i：1-2<理由>実験によって明らかにすることの概要が不明瞭である。
B-ii：1-2<理由>仮説と実験方法のつながりがはっきりしておらず、その説明が明確でない部分が見られる。
B-iii：1-2<理由>津波のデータの測定方法にやや無理があり、測定誤差もかなり大きいように思われる。そして、定量的なデータが取られていない。
B-iv：1-2<理由>安全な実験方法はデザインできているが、それが完全に示されているとは言いがたい。

6. 授業者から

東日本大震災で甚大な被害をもたらした津波であるが、その物理学的な特性の認知度は恐ろしく低い。大規模な津波（長波）は波長が数100km、速度はジェット機なみになるにもかかわらず、それらのことは一般にあまり知られていない。当時の津波の報道を見直してみても、現地のレポーターが津波をまったく理解していないことがよくわかる。

中学校の理科第2分野地学的領域や高校の地学においても、津波の扱いは非常に小さく、教科書に実験例なども載っていない。佐武（2009）や佐藤（2012）などの優れた教材研究の事例はあるものの、まだ一般的とは言えないのが現状だろう。

そこで、このような課題を出すことにより、津波の物理学的な特性を理解し、その知識を防災に役立てられる人材が育成されれば、次に日本が大きな津波に襲われたときに、減災に役立つことは間違いないだろうという思いが授業者にはあった。果たしてどの程度生徒たちが津波の本質を理解してくれたのかは、やや心許ないところがある。しかし、例に挙げた生徒のレポートでも「浅い場所でも、波は水深が深い場所のほうが速く進む」という結論に達し、津波（長波）の速度が水深によって決まることが確かめられていたり、「津波は地面が隆起することによってその周辺の水が上下することで出来る波である」という結論に達し、津波が海底の変動により、その上にあるすべての海水が動かされることによって生じることを理解していたりするので、一定の成果は得られたものと思う。

また、実験デザインの過程を通じて、コミュニケーションスキルや協働スキルが伸長したこ

とは間違いのないものと確信している。さらに、生徒たちのレポートからわかる通り、たいした実験装置もないところから、様々な工夫により実験デザインをしてデータと取ろうとした努力は、間違いなく創造的思考スキルを伸ばしてくれたのではないかと思う。

地学では時間的にも空間的にも壮大な題材を扱っているため、なかなか実験ができない内容も多いが、津波の実験は比較的取り組みやすいものであるので、今後さらに指導内容を精査し、より実りある課題に成長させていけたらと考えている。

参考文献

佐武 直紀 (2009) : 地震防災教育のための津波実験装置の開発, 「日本建築学会技術報告集」第 15 巻 第 29 号 P.321-324.

佐藤 宏紀 (2012) : 中学校理科における跳ね上げ式津波教材の開発, 「東レ理科教育賞平成 24 年度受賞作品集」.

この水溶液はどのような性質を有するか？ ～酸と塩基編～

対象:高校2年 DP Chemistry SL

山内淳史

1. 単元について

本単元においては、酸と塩基の性質及び中和反応に関与する物質の量的関係について理解するとともに、学習した事項を総合的に活用して「酸と塩基」の観点から水溶液の性質を探究できるようにすることを目標とする。特に、高等学校化学基礎の本単元における実験としてよく行われる中和滴定を中心に、生徒が実験をデザインし、科学的な根拠をもとに結果を解釈できるようにすることに力点を置く。実験をデザイン可能となるためには、酸と塩基に関する知識を正しく理解し、実験器具を適切に使用するための技能を身につけることが必要である。そこで、単元の前半で正しい知識と十分な技能を身につけたうえで、後半で総括的評価課題に取り組むことができるような展開とした。また、単元の前半で理解が不十分であった点については、探究の過程で理解が深まっていくことを目指した。

本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

VIII 【批判的思考スキル】

・データを解釈する。

⇒単元の前半で学んだ知識にもとづき、総括的評価課題において実施した実験で得られた生データを解釈できるようになることを目指す。総括的評価課題においては酸と塩基の強弱および中和滴定の理論を中心に、本単元にかかわる幅広い知識が求められる。単元途中における形成的評価を活用しながら、これらの知識をもとにデータを解釈できるようになることを意識して指導に当たる。

X 【転移スキル】

・製品や解決策を生み出すために、知識や理解、スキルを組み合わせる。

⇒単元の前半で学習した内容から、課題を解決するために必要な知識および技能がどれであるのかを考え、それらを組み合わせて実験をデザインできるようになることを目指す。単元途中で行う実験の結果がどのような理論にもとづいているのか、なぜこのような実験操作が行われるのかという点に生徒が注目できるような授業展開を意識して指導に当たる。

2. 学習内容

高等学校学習指導要領（平成30年告示）

第2章 各学科に共通する各教科

第5節 理科

第4 化学基礎

(3) 物質の変化とその利用

(イ) 化学反応 ㊦酸・塩基と中和

3. 単元構成と評価計画

※ 本科目は Diploma Program の科目であるため、評価規準は SS 科目と異なる。

以下の記述は、Diploma Program の公式資料¹⁾をもとにしたものである。

本校で実施されている Diploma Program の「理科」(グループ 4)では、「科学の本質」をテーマの中心としながら、実験を通じた実践的なアプローチに重点を置いて学習が進む。生徒は実践的な実験機会を通じて科学者が行うのと同じのプロセスの一部を経験し、科学的思考と研究の本質を経験することができる。また、生徒は修了時に IB による外部評価と、科目を担当する教師による内部評価を受ける。内部評価の「理科」(グループ 4)における要件は「個人研究」であり、学校での「実習を伴う学習活動」はこの個人研究に取り組むための準備となるものでなければならない(2章参照)。個人研究のテーマは生徒によって様々であるが、その評価規準は「一般的」なものであり、すべての個人研究は同一の評価規準により評価される。

以上を考慮し、「酸と塩基の定義」、「酸と塩基の性質」、「中和滴定の原理と実践」、「pH の定義と計算」、「酸と塩基の強弱および価数」といった必須の知識及び技能を単元の前半で網羅したうえで生徒が総括的評価課題に取り組むという単元構成を意識した。また、総括的評価課題の評価は、内部評価に適用されている評価規準から今回の課題の評価に適していると思われる一部の項目を抜粋することで実施した。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準		
		探究	分析	評価
1	酸と塩基の定義, 酸と塩基の性質			
2~3	炭酸水素ナトリウム水溶液と塩酸の中和滴定 形 自己評価用紙の記述			
4	pH と水のイオン積			
5	指示薬を利用して酸の強弱と価数を確認する 形 自己評価用紙の記述			
6	共役酸塩基対			
7~10	水溶液の性質を探る 総 実験レポートの記述			
	総 期末テスト			

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

生徒に提示した総括的評価課題を下に示す。

<p><課題></p> <p>① 教卓上の水溶液は「酸」または「塩基」の性質を有しています。この水溶液について、以下の情報を得るための実験を行ってください。実験方法は、実験を進めながら自分たちで考案していくこと。</p> <p>(i) 「強酸」「弱酸」「強塩基」「弱塩基」のどれに該当するか?</p> <p>(ii) 「酸」または「塩基」の価数</p>
--

【留意事項】

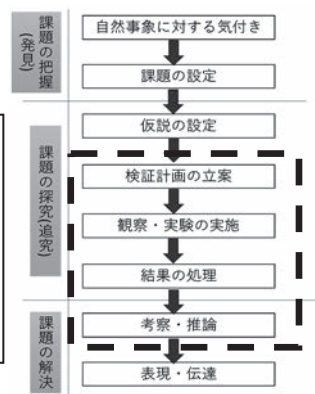
1. 教卓上の水溶液は「ほぼ」 $0.0500 \text{ mol dm}^{-3}$ に調製してあります。
誤差を評価する際、この水溶液の濃度の誤差については考慮しなくてもよいです。
2. 教卓上の水溶液以外の試薬は、皆さんに調製してもらいます。
使用したい試薬があれば、教員に声をかけてください。
3. 危険な試薬を用いる可能性があるため、安全性には十分に注意してください。

② 実験で得られた情報をもとに、この水溶液中の溶質として考えられる単体または化合物を挙げなさい。複数の候補が挙げたり、場合分けを要したりすることがあるだろうが、科学的な根拠にもとづいて論理的な説明が展開されていれば、すべて認める。参考文献がある場合は、漏れなく記載すること。

本総括的評価課題は、探究の過程における以下の項目を重点化した取り組みである。

検証計画の立案 → 観察・実験の実施 → 結果の処理 → 考察・推論

科学的な根拠にもとづきながら試薬の種類や量を生徒自身が考え、実際にデザインした実験を実施し、得られた結果を解釈、評価する。身につけた知識と技能を総合的に活用しながら実験を適切にデザインできているかという点を最も重視する。



4. 2. ルーブリック

本総括的評価課題では探究、分析、評価の三観点を評価した。探究の評価に用いたルーブリックは以下のとおりである。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。 研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題への意識が限定的であることがうかがえる。
3～4	研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに概ね適切であるが限定的である。 研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題をある程度意識していることがうかがえる。
5～6	研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に適切である。 研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題を完全に意識していることがうかがえる。

【ケース2】「中和滴定の方法に検討の余地がある生徒」

安全性, 環境の問題への意識

【ケース2の評価】総合評価：3

<理由>指示薬として BTB 溶液を使用している点, 中和点が中性だと断定している点において検討の余地がある。データロガーを用いて滴定曲線を作成しようとしているので, 上記の問題点は滴定曲線の形状を考察することでクリアできる可能性はあるが, それはレポート中の記述で明確に示されているわけではない。これらを鑑みて, 研究方法について「重要な要素の一部だけを考慮している」水準にはあるが「研究課題を扱うのに概ね適切」といえる水準には達していないと判断した。また, 環境面への配慮として, 廃液については処理まで踏み込んでの記載が必要と判断した。以上の点から, 評点3とした。

6. 授業者から

学習したことを活用できているかという点を明確に評価するため, このような探究課題を提示した。単元の前半で学習しているときにはよく理解できていなかったことが, 探究活動のために調べる中で理解されていくという過程が印象的であった。ある生徒は, 得られた生データを確認した後に「本当にこのデータから結論が導けるのか」と悩み, 実験デザインについて自発的に再検討していた。その際に調べていたことから酸の強弱に関して正しい理解へたどりつき, 結果的に実験デザインは最高評価を獲得した。このように単元の内容をより深く理解しようとしたためか, 活動中は生徒間での話し合いや教員への質問も活発であった。また, 学習した様々な内容を生徒が探究の過程で活用しようとする姿勢が多くみられた。以上の点は授業者

のねらい通りであった。今回の課題では無色透明かつ無臭の「シュウ酸水溶液」を題材としたが、ほとんどの生徒は今回の課題の答えである「二価の弱酸」にたどりつき、溶質の候補の一つとして「シュウ酸」を挙げる事ができた。

一方で、生徒の中には授業者の想像を超える発想をするものもいた。課題の後半部分では溶質の候補を挙げることを求めていたが、ある生徒は挙げた候補から一つの物質に絞り込もうとした。この生徒は最終的に未習単元である「酸化還元反応」の内容を独学し、実験結果から溶質は「シュウ酸」である可能性が高いと結論付けていた。このように生徒が思いもかけない素晴らしい姿を見せてくれるのも、生徒の主体性に委ねる授業の醍醐味ではないだろうか。

本探究課題で最も問題となるのは「強酸と弱酸の判別」だろうと予想していた。実際に多くの生徒が勘違いをしていたが、「pH の値が小さいから強酸」とは限らない。単元の前半で学習した内容を活用し、「電離度を計算する」、「滴定曲線で判別する」、「金属との反応性を観察する」、「水溶液に電流を通じる」といった様々なアイデアが出てきた一方で、先入観を捨てきれず実験結果を否定し、誤った結論に達したレポートもみられた。また、未知の水溶液が強酸か弱酸か判別できていない状態で中和滴定の実験デザインを行ったために、中和滴定で使用する塩基性の水溶液や指示薬の選択も難しかったようである。強塩基の水溶液で滴定すれば滴定曲線の形状から酸の強弱を判別できるのではないかと考えた生徒がいたが、このように科学的根拠にもとづいていることをレポート中に明示しながら実験をデザインできた生徒は、全体の四分の一程度であった。

以上のように、学習したことが十分に身につけていないために適切な実験デザインや科学的に正しい考察ができていないレポートが散見された。レポート返却後に未知の水溶液の正体を明かし、自身の実験デザインや結果の解釈について改善すべき点を考察する時間をとると、より理解が深まったのではないかと思われる。

参考文献

- 1) ディプロマプログラム (DP) 「化学」指導の手引き 2016 年第 1 回評価, 非営利教育財団 国際バカロレア機構, International Baccalaureate Organization (UK) Ltd, 2014 年 11 月発行

音の速さを測定するにはどうすればよいか？

対象：高校2年 SS 物理基礎

西村 壘太

1. 単元について

本単元では、単元の総括的評価課題を「音速の測定」¹⁾と定めた。この課題を解決するために、単元の前半では、解決に必要な波動に関する知識や観察・実験の技能を獲得し、後半ではそれを活用して音速の測定方法をデザインし、実際に実験、考察することとした。音速の測定に関する探究的な学習活動を通して、波動に関する理解を深めるだけでなく、実験デザインと実験実施を何度も行き来しながら、科学的な探究の方法を身につけさせたいと考えた。さらに、音速の測定実験に関する情報は、インターネット上に多く存在するが、本校生徒が必ずしもその実験と同じ環境、器具で実験を実施できるわけではない。既存の実験をいかに本校の物理の授業の中で実施できるようにアレンジしていくのか、といった議論を通して、創造的思考スキル²⁾も育成していきたいと考えた。

本単元において育成を目指す ATL スキル²⁾およびその要素を以下に示す。

IX 【創造的思考スキル】

- ・ 新しい考えや製品、プロセスを生み出すために、既存の知識を応用する。

⇒総括的評価課題として「音速の測定」を行うが、この実験はすでに様々なものが行われている。生徒たちには、それらを調査した上で、自分たちが授業を通して波動に関してどのような知識や技能を獲得しており、使用可能な実験器具等の設備はどのようなものであり、それらをどのように活用することで、より妥当性が高く、正確な実験となるのか、といったことを考えながら本課題に取り組むよう、指導していく。

2. 学習内容

高等学校学習指導要領（平成30年告示）³⁾

第2章 各学科に共通する各教科

第5節 理科

第2 物理基礎

(2) 波

(ア) 波の伝わり方 ㊦ 波の性質 ㊩ 音と振動

3. 単元構成と評価計画

本単元では、総括的評価課題として「音速の測定」¹⁾を設定している。2学期の授業で身に付けた知識や技能を活用し、科学の方法で空気中の音速を測定する実験を立案し、実際に実験し、結果をポスターにまとめる。

本単元は大まかに、1～6時で波動に関する基本的な知識と実験観察の技能を獲得し、7～11時でグループごとに探究を進める構成となっている。なお、1～6時の授業を行っている期間、休み時間や放課後に、グループごとで実験等を行ってもよいこととした。実際、数グループが

実験を数回程度実施し、7 時間目の前から自分たちの実験デザインと実際の結果とのギャップに気づき、修正を始めていた。物理実験室の PC や実験器具等は担当教員の許可を事前に取りれば、自由に使用できる。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準					
		A 知識と理解	B 探究	C 実験観察の技能	D データ処理	E 評価	F 科学による影響の振り返り
1~3	総括的評価課題提示, 波の性質 ・波と名の付く現象に共通な性質とは?						
4	形 弦の振動実験 ・弦楽器の音を決定する要素は何か?						
5	音波 ・音とはどのような波か? どう表すか?						
6~7	形 気柱共鳴の実験 ・管楽器管内に定常波は生じているか?						
8~12	総 音速の測定 ・音速はどうすれば測定できるか?						
	総 期末テスト						

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

生徒に提示した課題を下に示す。

打ち上げ花火を離れた場所で見ていると、花火が見えてから遅れてドーンという音が聞こえる。これは音が伝わるのに時間がかかるからである。¹⁾

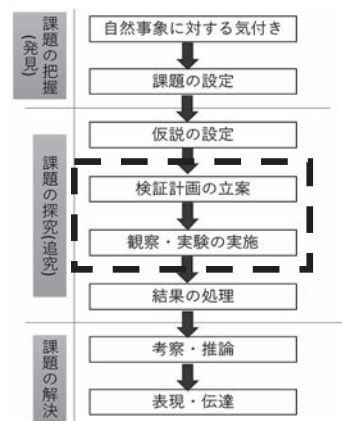
2 学期に身につけた知識・理解や、観察・実験の技能を活用して、空気中の音速を求めよう。可能であれば、いろいろな方法を考え、測定方法ならびに測定値について比較し考察しよう。そして、本実験についてポスターにまとめよう。ポスターは一人一枚、A3 縦向き 1 枚にまとめること。A4 一枚書式自由の補足資料を添付してもよいこととする。

この課題では、実験方法に応じて測定可能な精度が決まってくるため、自分が実施した実験でどの程度の実験精度が得られるのか、といった点も考察に含めるよう、指示した。

本総括的評価課題は、探究の過程³⁾における以下の項目を焦点化した取り組みである。

検証計画の立案 → 観察・実験の実施

既存の知識や知見を活用しながら、音速を測定できる実験のデザインと、実際に実験し、結果を得ていく中で、実験方法をより良く修正していくプロセスに焦点化している。



4. 2. ルーブリック

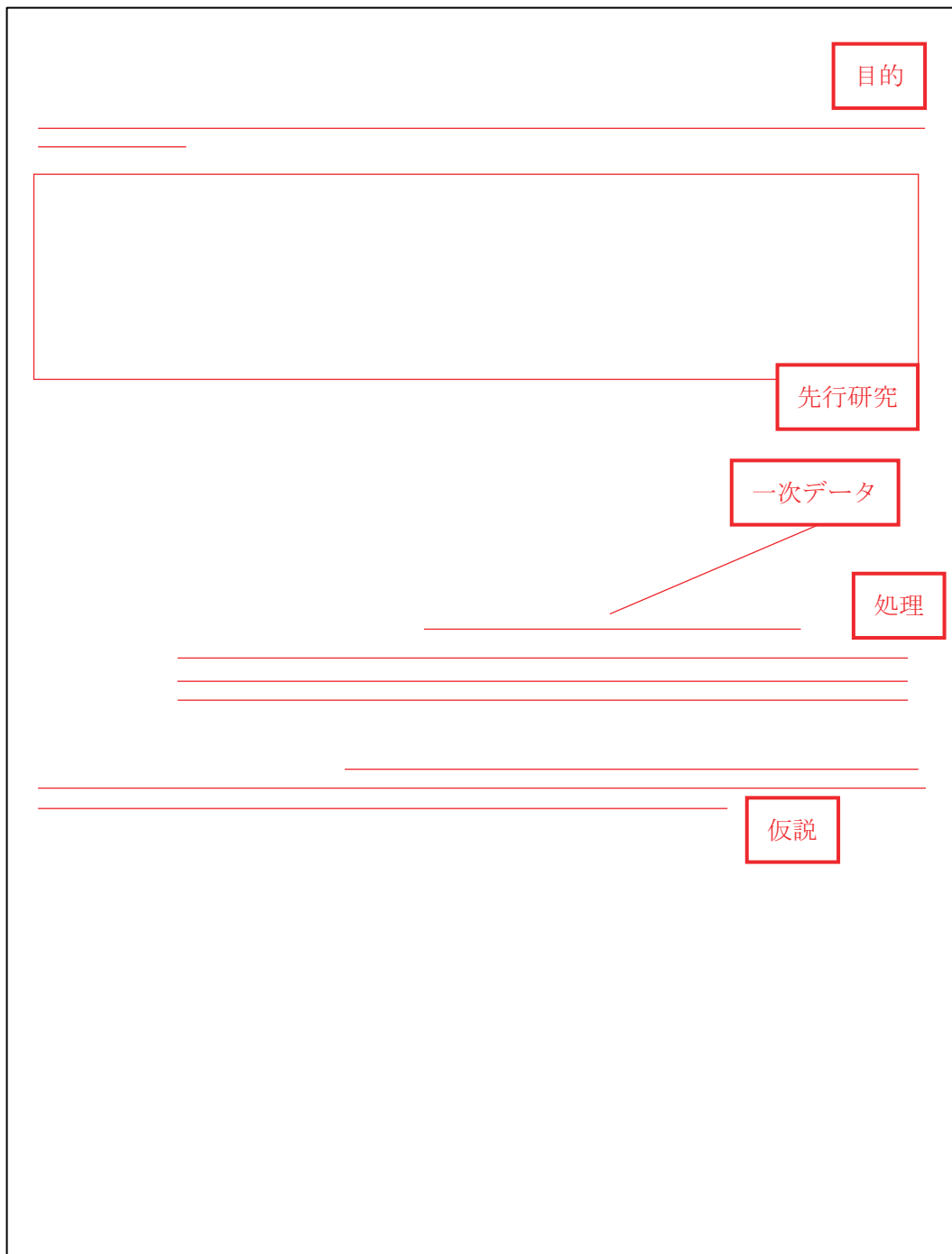
本総括的評価課題では規準 B：探究，C：実験観察の技能，D：データ処理，E：評価の 4 観点の評価した。規準 B：探究の評価に用いたルーブリックは次ページのとおりである。

規準 B 探究		
	評価の基準	この課題における詳細な評価基準
0	この生徒は以下の説明に記載された基準に達していない。	
1-2	この生徒は以下のことができる。 v. 探究課題が提示されている。 vi. 探究の背景となる情報が示されているが、探究課題との関連性が明確でない。 vii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性のうち1つの要素しか考慮されていない。したがって探究方法は、探究課題を扱うのに適切でない。	この生徒は以下のことができる。 i. 何を探究するのかということが示されている。 ii. 実験デザインが述べられている。 iii. 先行調査から得られた情報が書かれているが、探究との関連が不明確である。
3-4	この生徒は以下のことができる。 v. ある程度、関連性のある探究課題が提示されているが、焦点が絞られていない。 vi. 探究の背景となる情報が表面的、または関連性が限定的なため、探究の文脈についての理解を助けるものになっていない。 vii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって探究方法は探究研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。	この生徒は以下のことができる i. 何を探究するのかということが示されており、その探究課題に対する仮説が述べられているが、仮説には根拠がない。 ii. 実験デザインが述べられており、取得する一次データが何か述べられている。 iii. 先行調査から得られた情報として、関連性のあるものを示している。
5-6	この生徒は以下のことができる。 v. 関連性のある探究課題が提示されているが、探究課題の焦点は十分には絞られていない。 vi. 探究の背景となる情報は概ね適切で関連性があり、探究の文脈についての理解を助けるものとなっている。 vii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって探究方法は、探究課題に扱うのに概ね適切であるが限定的である。	この生徒は以下のことができる i. 何を探究するのかということが示されており、探究課題に対する仮説が述べられている。その仮説は日常感覚や既習事項に基づいたものであるが仮説と根拠が結び付いていない。 ii. 実験デザインが述べられており、取得する一次データが何か、どのようにデータを処理するのか述べられており、その方法は探究課題を解決するために適切である。 iii. 先行調査から得られた情報として、探究と関連のあるものが示されており、その関連を説明している。
7-8	この生徒は以下のことができる。 v. 関連性のある探究課題が明確に提示されている。探究課題は、十分に焦点が絞られている。 vi. 探究の背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、探究の文脈についての理解を高めるものとなっている。 vii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって探究方法は、探究課題を扱うのに非常に適切である。	この生徒は以下のことができる i. 何を探究するのかということが示されている。また、その探究課題に対する仮説が論理的に述べられており、その仮説は日常感覚や既習事項に基づいたものである。 ii. 実験デザインが詳しく述べられており、取得する一次データが何か、どのように処理するのか、探究課題との関連性が何か(なぜその一次データや処理が必要なのかなど)を詳しく述べており、その方法は探究課題を解決するために適切である。 iii. 先行調査から得られた情報として探究と関連のあるものが示されている。また自らの実験デザインとの関連を議論し仮説やデザインした実験方法の妥当性を高めている。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

次ページから、生徒の提出したポスターを2例、そのまま掲載する。また、このポスターを規準B：探究の観点でどのように評価したのかという詳細についても示す。

【ケース 1】（気柱共鳴実験によって音速を測定）



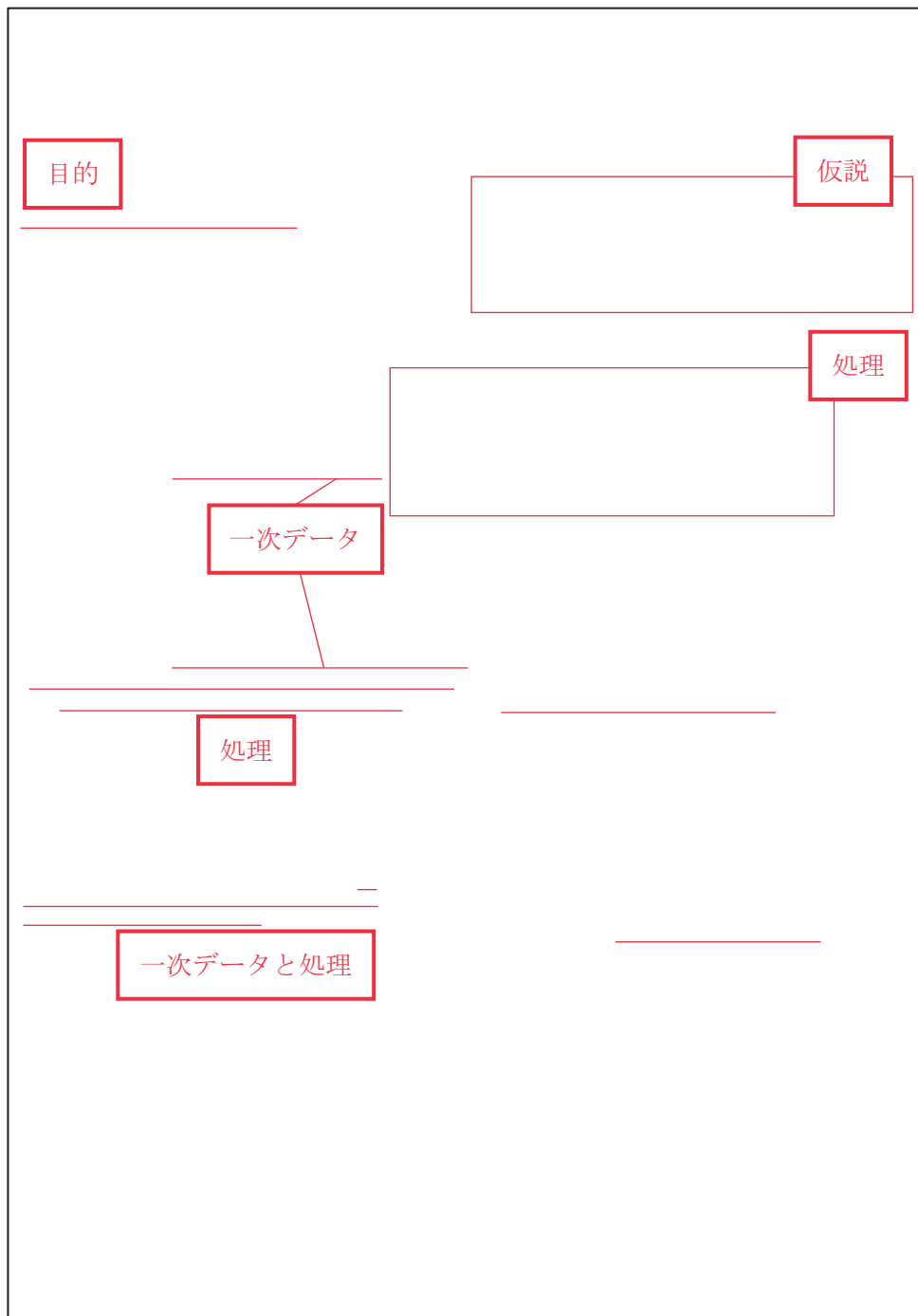
【ケース 1 の評価】 総合評価：8

B-i：7-8<理由>音速を測定するという目的が明確に示され，温度と音速の関係に関する仮説も，既習事項に基づき述べられている。

B-ii：7-8<理由>実験方法，1次データとして何を測定するのか，そして，得られたデータをどのように処理して音速を算出するのかまで，詳細に記述されている。

B-iii：7-8<理由>複数の先行研究を取り上げ，メリット・デメリットをまとめている。改善のための方策を提案するとともに，自らの実験デザインの参考にしたことが伺える。

【ケース2】（メトロノーム、気柱共鳴、パイプにパルス波といった複数の実験）



【ケース2の評価】総合評価：4

B-i：5-6<理由>探究の目的が明確に述べられている。既習事項の音速の式に基づき、音速のおおよその大きさを仮説として設定している。音速の式の妥当性についての検討はない。

B-ii：5-6<理由>メトロノームの実験では、半テンポすれているか否かをどのように判断するかの説明が不十分。気柱共鳴実験では振動数の正確な測定がなされていない。パイプの実験では一次データとその処理について詳しく書かれている。総合的に判断し、5-6とした。

B-iii：0<理由>先行調査から得られた情報が掲載されていない。

6. 授業者から

生徒たちの発想は非常に豊かである。筆者はほとんどの生徒が、第6時で実施した気柱の共鳴を利用して音速を測定するのではないかと予想していたが、メトロノームを使用した方法⁴⁾や、スマートフォンの音響ストップウォッチを使用した方法⁵⁾など、生徒たちは様々な実験を実施していた。ほとんどのグループが、異なる複数の実験を行い、得られたデータを比較、分析することで、妥当性について評価しようとしていた点も良かった。

上述したメトロノームを使用した実験や、大科学実験「音の速さを見てみよう」を参考にしてデザインした実験では、生徒はあまり精度の良い値は得られていなかった。本来、約340 m/sのところ、生徒の実験結果では100～500 m/s程度ばらついてしまっていた。小グループでの中間報告会の後には、このようなスケールの大きな実験を行った生徒の多くが、気柱共鳴のようなスケールが小さく、より正確に音速を測定することのできる実験へと移行していった。上述したケース1のポスターを書いた生徒も、最初は気柱共鳴ではない実験も実施していた。

気柱共鳴実験で音速を求めると、非常に正確に音速を測定することができる。より精度を上げるために、共鳴している管の中の音を聴診器で聴き、共鳴点の位置（定常波の節）で本当に音が大きくなるのかどうかを確認している生徒もいた。また、音叉やスマートフォンといった音源から出ている音波の振動数を、オシロスコープで正確に測定してから使用するなど、非常に注意深く実験を進めている生徒もいた。多くの生徒が相対誤差で大きくても数%程度まで精度を高めていた。

音響ストップウォッチでは、330～370 m/s程度の値を得ることができていた。アプリのプリセットを調整することで、より正確に測定することもできるだろうが、なぜこの精度なのか、より正確に測定するためにはどうすればよいか、といった理由まで突き詰めて探究している生徒はおらず、デジタル機器を無批判に受け入れてしまっている様子も伺えた。

音速の測定の探究に入る直前に、空気中の音速が $V = 331.5 + 0.6t$ (t : 気温 $^{\circ}\text{C}$)という近似式で表されることを学んでいたため、これを拠り所として探究のサイクルを何度も繰り返す様子が印象的であった。

ある生徒は、開管の端からパルス波（気泡緩衝材をつぶしたときの音）を送り、その往復する音波をマイクで拾い、往復時間をオシロスコープで測定し、音速を求める実験を行っていたが、教科書に開口端は自由端反射すると書かれているが、オシロスコープの波形では固定端反射していることに気づき、本探究とは別に、自ら追究していた（オシロスコープに表示されるのは音波の圧力変化であり、開口端での反射波は固定端反射と同じく位相が反転する⁶⁾）。提出されたポスターには、この探究の成果も載せられていた。教師主体の講義を基本とした授業だけでは、このような生徒の主体的で深い学びを生み出す探究を実現することは、難しいのではないかと思う。

単元の総括的評価課題として「音速の測定」を行うことを、単元の最初の授業で提示したことで、1～6時の波動に関する授業を、生徒それぞれが目的意識を持ちながら学んでいた。インターネットで見つけた先行研究の方法で、なぜ音速が測定できるのかといったことを、授業での学習内容と結びつけ、自らの実験デザインに生かしている姿が印象的であった。また、先行

研究の追試から探究を始めたグループは、彼らなりに全く同じ実験を行ったつもりであるにもかかわらず、全く異なる実験結果となってしまったことに混乱しているグループもあった。教師が手順書を用意し、その指示通りに作業を進める形式の実験では、あまり起こらないことである。実験デザイン、そして、実験の難しさ、自然の複雑さ、内容の深い理解の必要性などを、痛感していたようであった。

参考文献

- 1) NPO 法人物理オリンピック日本委員会：全国物理コンテスト 物理チャレンジ 2012 第 1 チャレンジ実験課題 <http://www.jpho.jp/2012/1st-chall-experiment-report.pdf> 2020/1/22 確認.
- 2) IBO: 「MYP 原則から実践へ」
- 3) 文部科学省: 高等学校学習指導要領 理科編 (平成 30 年公示) .
- 4) 例えば, 啓林館: 中学校 授業実践記録 (理科) 「音や力に関する新しい実験の提案」
<https://www.shinko-keirin.co.jp/keirinkan//tea/chu/jissen/rika/201412/index.html>
2020/1/22 確認.
- 5) Phyphox: Speed of Sound <https://phyphox.org/experiment/speed-of-sound/> 2020/1/22 確認.
- 6) 川角博: 物理教育 **64-2**, (2016), pp. 116-123.
- 7) NHK ティーチャーズ・ライブラリー <https://www.nhk.or.jp/archives/teachers-/list/id2019241/> 2020/02/20 確認.

ヘスの法則の有用性を実感する

ピーナッツのカロリー測定の実験を失敗を活かせるか？

対象：高校3年生 SS 化学

鮫島 朋美

1. 単元について

ヘスの法則を学習する際に行う実験といえば、ヘスの法則を検証することを目的とし、水酸化ナトリウムの溶解熱や中和熱などを測定するものが一般的である。これらの測定は、水酸化ナトリウムの潮解性により正確な質量が測れないことや、熱が逃げてしまい水の温度上昇を正確に測定することが難しいことなどから、複数の経路で全体としての反応熱が等しいことを正確に導くのは難しい。一方、新学習指導要領解説¹⁾において、ヘスの法則を扱う単元となる「化学反応と熱・光」では、「ヘスの法則を用いることにより測定が困難な反応熱を求められるという知識を活用して、実験計画を立案し、実験を行い、その結果を分析して解釈し、求めた反応熱と文献値を比較し、導き出した結論の妥当性について検討することが大切である。」と説明されている。本単元では、ヘスの法則を確認することを目的とせず、ヘスの法則を活用して直接測定するのは難しいと思われる反応熱を求めることを目的とする。そのために、まずピーナッツのカロリー（燃焼熱）を正確に測定することの難しさを、実験を通して実感することから始める。直接測定することのできない燃焼熱をヘスの法則を活用して間接的に測定することが本単元の目標となる。

本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

IV 【情動スキル】

- ・ 失敗の原因を分析し、特定する。
⇒ピーナッツのカロリー測定が表示通りに得られないことの原因を分析し、特定する。
- ・ 前向きな思考を実践する。
⇒燃焼熱を測定する方法を様々考案し、前向きな思考で実践する。

VI 【情報リテラシースキル】

- ・ データを処理し、分析する。
⇒温度変化と使用した試薬の質量から Mg の燃焼熱を算出し、ワークシートへの記録により結果を報告する。

VIII 【批判的思考スキル】

- ・ 議論を形成するために関連する情報を集め、整理する。
⇒Mg の燃焼熱を求めることに関連する情報を集め、エネルギー図として整理する。
- ・ 課題を認識し、評価する。
⇒実験結果と理論値との比較から、自身のデザインした実験方法を評価する。

2. 学習内容

高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）

第 2 章 各学科に共通する各教科

第 5 節 理科

第 5 化学

(2) 物質の変化と平衡

(ア) 化学反応とエネルギー ㊦ 化学反応と熱・光

3. 単元構成と評価計画

本単元は、思考のプロセス（生徒の気づき）を大切にされた構成としている。以下の図1に単元構成と思考のプロセスを図式化したものを示す。各Stepにおける生徒の疑問を解決しながら、探究活動の導入とすることで、探究活動における仮説の設定から考察までの一連の「探究の過程」を生徒自身が主体的に取り組めるように心掛けた。

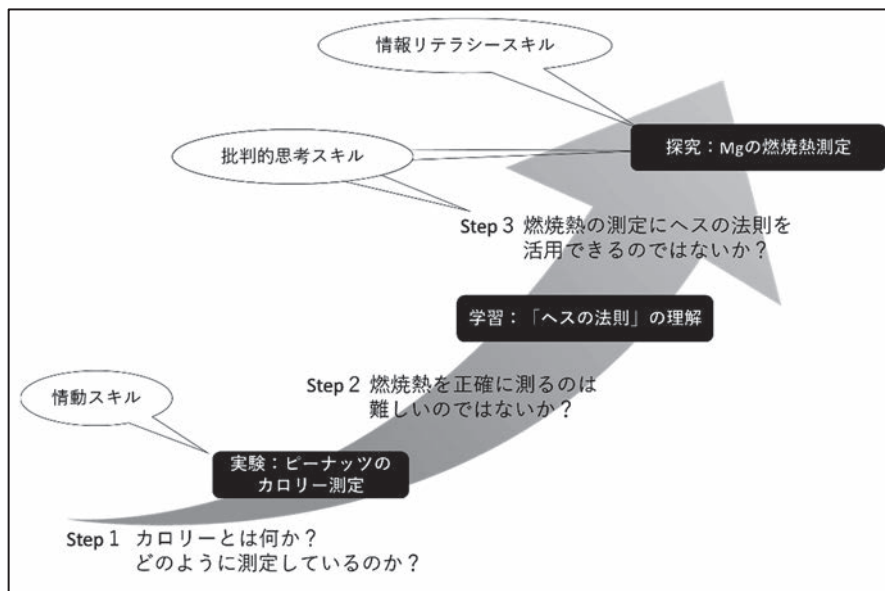


図1 本単元における単元構成と思考のプロセス

思考のプロセスに沿って、単元構成を説明する。

Step1：カロリーとは何か？ どのように測定しているのか？

食品に含まれるエネルギーとして普段から目にする多くの「カロリー」とは何か、どのように測定されるものなのかについて、生徒と共に考える。その定義を調べてみると、「人若しくは動物が摂取する物の熱量又は人若しくは動物が代謝により消費する熱量の計量」とされ、摂取する食物から得られる栄養学的熱量と、運動や基礎代謝によって消費される熱量について適用され、生物が生理的に代謝したエネルギー1カロリーは空気中での酸化反応（燃焼）によって発生した熱量1カロリーと等しいと定義されている²⁾。そこで、ピーナッツを空気中で燃焼させ、その熱による水の温度上昇から、ピーナッツの熱量を算出した。商品パッケージに記載されている100gあたりのカロリーと比較するが、測定値の方がどうしても小さくなる。

Step2：燃焼熱を正確に測るのは難しいのではないか？

実験方法を工夫しても、実験回数を増やしても、パッケージに記載されている値より小さくなってしまふ。繰り返し実験を行うことで、ピーナッツの燃焼による熱が、すべて水の温度上昇に使われているわけではなく、ビーカーやまわりの空気の温度上昇にも使われていることに気づく。しかし、他へ逃げた熱量を正確に測定する方法は見出せず、燃焼熱を正確に測るのは

難しいのではないかとその考えにたどりつく。ここで、状態量であるエンタルピーという考え方、それを応用したヘスの法則について学ぶ。

Step3：燃焼熱の測定にヘスの法則を活用できるのではないか？

ピーナッツから離れて、マグネシウムの燃焼熱について考えるための総括的評価課題を提示する。多くの生徒が、マグネシウムの燃焼熱をピーナッツと同様に燃焼させたときの水の温度変化から求めようとしても難しいことは容易に考えられる。そこで、ヘスの法則の活用を考えることになる。ここでハードルになるのが、エネルギー図の作成である。本実践においては、使用できる試薬として、Mg 粉末、MgO 粉末、塩酸があることを予め示し、エネルギー図の作成に取り組んだ。燃焼熱の測定においてヘスの法則をどのように活用できるのかを考えることが、この單元における探究の肝である。エネルギー図を作成し、仮説を立て、実験を行い、測定値から燃焼熱を計算し、理論値と比較する。探究の道のりは長いが、得られた結果はピーナッツの実験の時よりはるかに理論値に近い値が得られ、ヘスの法則の有用性を実感することができる展開である。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準					
		A 知識と理解	B 探究	C 実験観察の技能	D データ処理	E 評価	F 科学による影響の振り返り
1~2	・「カロリー」とは何か？ ・形 ピーナッツのカロリーを実験から求め、商品パッケージに記載されている値と比較する。						
3	・ピーナッツの燃焼による熱量測定では、ピーナッツの正確なカロリーを求めることは難しいのではないか？ ・このように、直接測定が困難な反応エンタルピーを求める方法はないのか？						
4	・エンタルピーおよびヘスの法則の学習 ・形 エネルギー図の書き方を学習する。						
5	・総括的評価課題の提示 ピーナッツのカロリー測定の実験経験をもとに、Mg の燃焼熱を実験から求める方法を考える。 ・実験計画書の作成 エネルギー図を作成し、実験方法を提案する。						
6~7	・実験 実験計画書をもとに、実験を行う。 複数回実験を行う。						
8	・考察および情報共有 温度変化からエンタルピーを計算し、Mg の燃焼熱を算出する。 また、実験値と理論値の比較から、仮説や実験方法の妥当性を考察する。						

4. 総括的評価課題とルーブリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

Mg の燃焼熱(=MgO の生成熱)を求めるには？

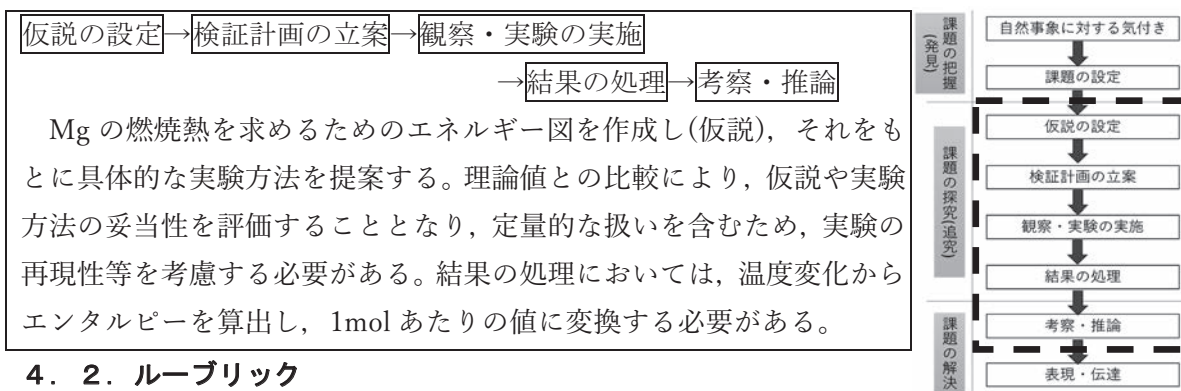
ビーナツの燃焼熱の測定実験を思い出してください。
 水の温度上昇を利用した燃焼熱の測定を実験室で行うには、限界がありますね。。。
 では、どうすればよいか???

今回の課題は、

Mg の燃焼熱(=MgO の生成熱)を実験結果から算出せよ。
 ちなみに、化学便覧改訂 5 版によると、その値は 601.7kJ/mol。

ただし、水の生成熱は 286 kJ/mol とする。

本総括的課題は、探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。



4. 2. ルーブリック

本総括的評価課題では、仮説をもとにした実験方法の立案を規準 B：探究で、実験結果から得られた Mg の燃焼熱に関する考察を規準 D：データ処理で評価した。規準 B：探究の評価に用いたルーブリックは以下のとおりである。

規準 B 探究		
	評価の基準	この課題における詳細な評価基準
0	以下の説明で記述されるいずれの基準にも達しない。	以下の説明で記述されるいずれの基準にも達しない。
1~2	この生徒は以下のことができる。 i. 探究課題が提示されているが、学習トピックとの関連性が明確でない。 ii. 探究の背景となる情報が示されているが、探究課題との関連性が明確でない。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性のうち 1 つの要素しか考慮されていない。したがって探究方法は、探究課題を扱うのに適切でない。	ii. エネルギー図を示しているが、Mg の燃焼熱を求められるものではない。 iii. 提示された実験方法では、Mg の燃焼熱を求めることができない。
3~4	この生徒は以下のことができる。 i. 学習トピックが特定され、ある程度、関連性のある探究課題が提示されているが、焦点が絞られていない。 ii. 探究の背景となる情報が表面的、または関連性が限定的なため、探究の文脈についての理解を助けるものになっていない。	ii. Mg の燃焼熱を求めるためのエネルギー図を示しているが、一部誤りがある。 iii. 提示された実験方法は、Mg の燃焼熱算出に必要な要素を十分に考慮できていないため、適切でない。

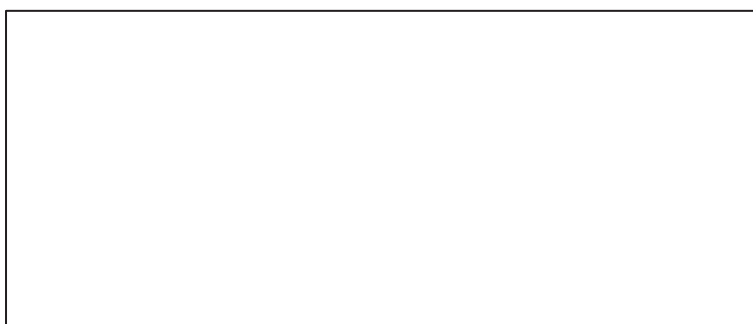
	iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって探究方法は、探究研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。	
5~6	この生徒は以下のことができる。 i. 学習トピックが特定され、関連性のある探究課題が提示されているが、探究課題の焦点は十分には絞られていない。 ii. 探究の背景となる情報は概ね適切で関連性があり、探究の文脈についての理解を助けるものとなっている。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって探究方法は、探究課題に扱うのに概ね適切であるが限定的である。	ii. Mg の燃焼熱を求めるためのエネルギー図を正しく示している。 iii. 提示された実験方法は、Mg の燃焼熱算出に必要な要素をほぼ考慮できている、概ね適切な方法である。
7~8	この生徒は以下のことができる。 i. 学習トピックが特定され、関連性のある探究課題が明確に提示されている。探究課題は、十分に焦点が絞られている。 ii. 探究の背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、探究の文脈についての理解を高めるものとなっている。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって探究方法は、探究課題を扱うのに非常に適切である。	ii. Mg の燃焼熱を求めるためのエネルギー図を正しく示している。さらに、ヘスの法則を活用する意義を理解できていることが伺える。 iii. 提示された実験方法は、Mg の燃焼熱算出に必要な要素を十分にしており、ヘスの法則を活用して Mg の燃焼熱を測定する方法として非常に適切である。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を、生徒の記述をそのまま抜粋することで紹介する。また、規準 B：探究の観点の評価の詳細についても示す。

【ケース 1】「エネルギー図が示せず、実験方法にも工夫が見られない」

↓生徒が作成したエネルギー図



↓生徒がデザインした実験方法



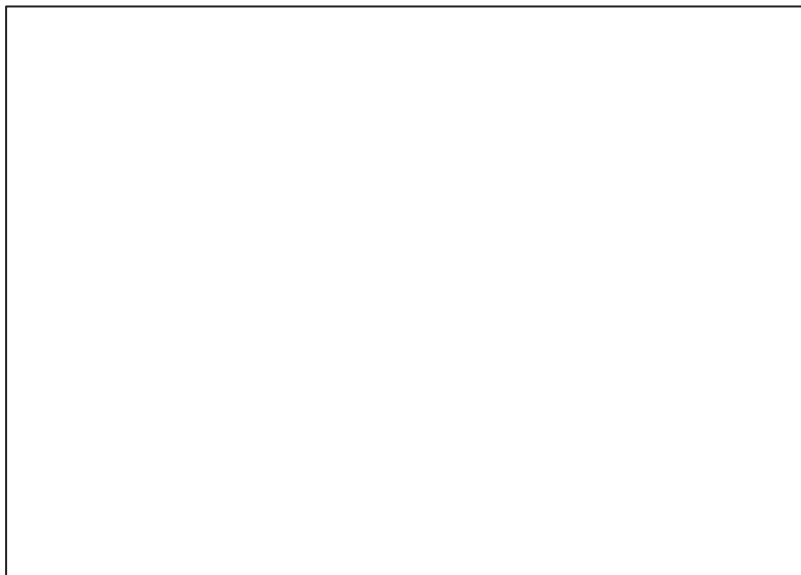
課題提示時に示したヒントから、Mg や MgO と塩酸との反応が関係していることは、理解していることが伺える。しかし、その関係をエネルギー図として表記することができず、仮説を立てるに至っていない。実験方法のデザインにおいても、ピーナッツのカロリー測定の経験から、温度変化の測定が必要なことは考えているが、それが Mg の燃焼熱算出にどのように関係しているのかを理解していないと思われる。

【ケース 1 の評価】 総合評価： 4

B-ii : 1~2	<理由>エネルギー図が正しく示せていない。
B-iii : 5~6	<理由>実験操作として間違っているわけではない。しかし、温度測定の目的や熱を逃がさないための工夫が示されておらず、不完全である。

【ケース 2】「エネルギー図を示し、ヘスの法則をどのように活用したかを示す」

↓生徒が作成したエネルギー図



エネルギー図の中に、マグネシウムの燃焼熱の位置が明記されており、ヘスの法則をどのように活用しようとしているかがわかる。また、ピーナッツのカロリー測定の実験から、なるべく熱を逃がさない工夫が必要であることを理解しており、サーモカップを使用することを提案している。

↓生徒がデザインした実験方法



【ケース 2 の評価】 総合評価： 8

B-ii : 7~8 <理由>エネルギー図を正しく示している。ヘスの法則をどのように利用して、Mgの燃焼熱を算出しようとしているかの仮説がしっかり述べられている。

B-iii : 7~8 <理由>なるべく熱を逃がさないようにサーモカップを使用すること、完全に反応が進行するようにスターラーで攪拌すること、最高温度を読み取ることなど、反応熱を測定するための工夫まで考慮されており、本探究活動の実験方法として適切である。

6. 授業者から

本実践は、筆者が共著として執筆した『「資質・能力」を育む高校化学—探究で変える授業実践』³⁾の第8章の取組みを、本校で実践したものである。タイトルに示すように、「ピーナッツのカロリー測定の実験を活かせるか?」が、この単元の面白さにつながる。カロリーの定義を空气中で燃焼したときの熱量であると理解した上で、自分たちの実験方法では商品表示として示されるカロリー値が出せないことに、多くの生徒がもどかしさを感じる。この時点で、様々な方法で実験を試み、なんとか表示に近い値を得ようと躍起になる。簡単かつ多様な方法で実験のできるピーナッツのカロリー測定の実験で、測定値にはばらつきが生じること、燃焼している時に炎は全てが水にあたっているわけではないので熱がにげてしまうこと、ピーナッツが完全には燃焼しないことなど、定量的に理論値に近い結果を得るために考慮しなければならない条件をいくつも実感する。その条件をクリアするための取組みが、Mgの燃焼熱を算出するために活用したヘスの法則の有用性を実感することにつながる。まさに探究のフルコースを体験できる実践である。

参考文献

- 1) 文部科学省,「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」,平成30年7月
- 2) 計量単位令第5条,別表第6項番13
- 3) 後藤顕一他,『「資質・能力」を育む高校化学 探究で変える授業実践 探究で変える授業実践』,化学同人,2019年9月20日

カレー（シチュー）がおいしいのはなぜ？

－カレールウ（シチュールウ）から物質を分離・確認する実験のデザイン－

対象：高校3年 SS 化学

森本 裕子

1. 単元について

本単元では、高分子化合物の性質についての観察、実験などを通して、その構造、性質、反応などを学習する。また、化学と人間生活との関わりについて学び、総括的評価課題として、日常生活で扱うカレールウ（あるいはシチュールウ）から、物質の分離や確認¹⁾を行う実験をデザインする。

観察や実験を行うにあたっては、情報を論理的にまとめ描写し、再現性のある実験記録を実験ノートに記録する力を養う。また、探究課題を行うにあたっては、これまでの実験で学んだ知識や習得した技能を踏まえ、総合的で柔軟な思考で検証可能な実験方法を複数考えて実践する力を養う。

本単元において育成を目指す ATL スキルおよびその要素を以下に示す。

I 【コミュニケーションスキル】

- ・異なる目的や受け手に応じて適切な記述形式を用いる。
- ・情報を論理的にまとめ、描写する。

⇒探究の計画や結果を、再現性があるように実験ノートに記録する。

IX 【創造的思考スキル】

- ・推測し、「もし～だったら」という問いかけをし、検証可能な仮説を立てる。

⇒これまでの実験を踏まえ、柔軟な思考で検証可能な実験方法を複数考えて実践する。

2. 学習内容

高等学校学習指導要領（平成30年告示）

第2章 各学科に共通する各教科

第5節 理科

第5 化学

(4) 有機化合物の性質

(イ) 高分子化合物 ④ 天然高分子化合物

(5) 化学が果たす役割

(ア) 人間生活の中の化学 ⑦ 様々な物質と人間生活

3. 単元構成と評価計画

まず、有機化合物の分類やその性質の学習を踏まえて、高分子化合物の特徴や私たちとの深いかかわりについて理解する。糖類については、フェーリング液の還元によって還元性のある糖類を検出する実験や、時間の経過に従って加水分解される様子を、ヨウ素デンプン反応を利用して確認する実験を実施する。また、グルコースの銀鏡反応を利用して、スライドガラス上に銀を析出させ、鏡が作成される仕組みを知る。タンパク質については、構成単位であるアミノ酸の性質や、タンパク質の呈色反応を、卵白水溶液において確認する。形成的評価課題として、無色透明の糖類・アミノ酸・タンパク質の水溶液を識別する実験計画を立案して実施する。これらを踏まえて、総括的評価課題として、カレールウ（もしくはシチュールウ）から含まれる物質を分離・確認する実験計画を立案して実施する。ルウは、パーム油などの油脂や、小麦粉やデンプンなどの炭水化物、砂糖やはちみつなどの糖類、チーズや生クリームなどのタンパク質、しょうゆや野菜ペーストなどの有機物に加え、無機物の食塩も含む。これまでに学習した物質を網羅して含む混合物であり、本探究課題は、本単元の総括的評価課題として適切であると考えた。

時数	学習内容・学習活動 形 形成的評価, 総 総括的評価	関係する評価規準					
		A 知識と理解	B 探究	C 実験観察の技能	D データ処理	E 評価	F 科学による影響の振り返り
1～2	糖類（糖の検出と加水分解）						
3～4	糖類（糖類の銀鏡反応による手鏡作り）						
5～6	タンパク質（タンパク質の性質と呈色反応）						
7～8	高分子化合物の識別 形 糖類・アミノ酸・タンパク質の識別						
9～12	わたしたちの物質の利用 総 カレールウ（もしくはシチュールウ）がおいしいのはなぜ？						

4. 総括的評価課題とループリック

4. 1. 総括的評価課題の内容

生徒に提示した総括的評価課題を下に示す。

カレールウ（シチュールウ）は私たちの生活に身近なものであり、そのパッケージの成分表を観察すると、無機物質や有機化合物や高分子化合物などの多くの物質から成る混合物であることがわかる。カレールウもしくはシチュールウのどちらか一方を選び、これまでに学習した様々な物質の性質や分離方法、確認方法、呈色反応などを利用して、できるだけ多くの物質を分離・確認しなさい（規準B：探究）。また、実験を振り返って、様々な物質がどのような特徴、性質を生かして、カレーもしくはシチューをおいしくしているのかについて実験ノートに考察しなさい（規準F：科学による影響の振り返り）。

本探究活動は、探究の過程における以下の項目を焦点化した取り組みである。

仮説の設定

→

検証計画の立案

→

観察・実験の実施

→

結果の処理

→

考察・推論

→

仮説の設定

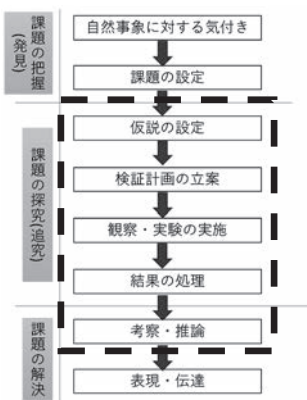
→

検証計画の立案

→

.

本校では、探究の過程を「戦略からデザインへ」と大きく2つのステップで捉え²⁾、「戦略」と「デザイン」を生徒が行き来するプロセスこそが、思考力・判断力・学びに向かう力などの生徒の資質・能力の育成に寄与するものと考えている。ルウは多くの物質からなる混合物であり、すべての物質について起こりうる反応を完全に予測してから実験することは難しい。実験の結果（あるいは実験途中の反応の様子）を踏まえて、考察されること、推論されることがあり、そこからまた新たな仮説が設定されて検証計画を立案する. . . というように、本課題において「戦略」から「デザイン」へ、そして新たな「戦略」へ. . . というループが繋がっていくことを期待している。



4. 2. ルーブリック

本総括的評価課題では規準 B：探究，F：科学による影響の振り返りの2観点を評価した。規準 B：探究は、実験計画の立案を実験ノートに行うことで評価した。評価に用いたルーブリックは以下のとおりである。

規準 B 探究		
	評価の基準	この課題における詳細な評価の基準
0	この生徒は以下の説明に記載された規準に達していない。	
1-2	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 探究課題が提示されているが、学習トピックとの関連性が明確でない。 ii. 探究の背景となる情報が示されているが、探究課題との関連性が明確でない。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性のうち1つの要素しか考慮されていない。したがって探究方法は、探究課題を扱うのに適切でない。 	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 分離・確認する物質が1つ以上提示されているが、これまでの化学物質の性質に関する学習内容との関連性が明確でない。 ii. 物質を分離・確認するための物質の性質に関する情報が示されているが、関連性が明確でなく、再現できない実験操作が実験ノートに記されている。 iii. 物質を分離・確認するにあたって、実験データの関連性、信頼性、および十分性のうち1つの要素しか考慮されていない。したがって実験ノートに記されている探究方法は、探究課題を扱うのに適切でない。

3-4	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 学習トピックが特定され、ある程度、関連性のある探究課題が提示されているが、焦点が絞られていない。 ii. 探究の背景となる情報が表面的、または関連性が限定的なため、探究の文脈についての理解を助けるものになっていない。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって探究方法は、探究研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。 	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. これまでの化学物質の性質に関する学習内容をある程度踏まえて、分離・確認する物質が1つ以上提示されている。 ii. 物質を分離・確認するための物質の性質に関する情報が表面的、または関連性が限定的で、ほとんど再現できない実験操作が実験ノートに記されている。 iii. 物質を分離・確認するにあたって、実験データの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって実験ノートに記されている探究方法は、探究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。
5-6	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 学習トピックが特定され、関連性のある探究課題が提示されているが、探究課題の焦点は十分には絞られていない。 ii. 探究の背景となる情報は概ね適切で関連性があり、探究の文脈についての理解を助けるものとなっている。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって探究方法は、探究課題に扱うのに概ね適切であるが限定的である。 	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. これまでの化学物質の性質に関する学習内容をある程度踏まえて、分離・確認する物質が2つ以上提示されている。 ii. 物質を分離・確認するために概ね関連する物質の性質や、概ね再現できる実験操作が実験ノートに記されている。 iii. 物質を分離・確認するにあたって、実験データの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって実験ノートに記されている探究方法は、探究課題を扱うのに概ね適切であるが限定的である。
7-8	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 学習トピックが特定され、関連性のある探究課題が明確に提示されている。探究課題は、十分に焦点が絞られている。 ii. 探究の背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、探究の文脈についての理解を高めるものとなっている。 iii. 探究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって探究方法は、探究課題を扱うのに非常に適切である。 	<p>この生徒は以下のことができる。</p> <ul style="list-style-type: none"> i. これまでの化学物質の性質に関する学習内容を踏まえて、分離・確認する物質が3つ以上明確に提示されている。 ii. 物質を分離・確認するために十分な物質の性質や、再現性のある実験操作が実験ノートに記されている。 iii. 物質を分離・確認するにあたって、実験データの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって実験ノートに記されている探究方法は、探究課題を扱うのに非常に適切である。

5. 生徒の実験デザインの例と評価の方法

生徒の実験デザインの例を、生徒の提出した実験ノートの一部をそのまま抜粋することで紹介する。また、このレポートの規準 B：探究の観点の評価の詳細についても示す。

【ケース1】「カレールウからグルタミン酸，はちみつ，デンプンの検出」

再現性のある実験記録

実験データの関連性・信頼性・十分性の考慮

アミノ酸の検出

糖の検出

デンプンの検出

【ケース1の評価】総合評価：8

B-i：7-8<理由>アミノ酸（グルタミン酸）、はちみつ（フルクトースなど）、デンプンの3つが明確に示されている。

B-ii：7-8<理由>上記の3つの物質を確認する過程が、再現性を持って記録されている。

B-iii：7-8<理由>実験結果の矛盾について、実験操作を振り返って、ろ過操作における失敗の可能性やその影響を考察している。

【ケース2】「シチュールウからデンプン，糖，脂肪の検出」

デンプンの検出

糖の検出

TLC の展開溶媒や
スポットなどの詳
細がない

脂肪の検出
実験の詳細がない

【ケース2の評価】総合評価：6

B-i：7-8<理由>デンプン，マルトース，脂肪の3つが明確に示されている。

B-ii：5-6<理由>デンプン，マルトースについては，確認する過程が再現性を持って記録されているが，脂肪のけん化による検出については，実験の詳細がない。また，グルタミン酸もビウレット反応やニンヒドリン反応で検出し，TLCを行って同定を試みているが，その過程がほとんど示されていない。

B-iii：5-6<理由>TLCの失敗について，展開溶媒の問題を指摘しているが，何を展開溶媒としたのかや，どのようなスポットが観察されたのかなどのデータがないため，詳細がわからない。

6. 授業者から

本課題の最初の操作としては，ルウの水溶性の物質を水や湯に溶かしてろ過を行い水溶液を得るグループと，油脂などの脂溶性の物質を有機溶媒（ジエチルエーテルやアセトン）で抽出するグループに分かれた。ろ過に時間がかかると見るや，すぐに分担して吸引ろ過の準備を行ったり，二層にわかれる予想が三層になると，各層を取り出してヨウ素溶液を滴下し，どこに探しているデンプンがあるのか確認して，他の層に含まれる物質を予測したりと，4時間の中で，各自が意見を出し合って，様々なデザインを創造していた。

他教科・他科目も含めて，本校で6年間，探究的な課題を積み重ねてきた集大成が見えたように思う。

カレールウとシチュールウにおいて，生徒の行った実験の例を示す。カレーやシチューがおいしいのは，以下のように多様な物質がそれぞれの化学的な特性によって生み出す味の絶妙なハーモニーなのではないかと思う。

●カレールウにおける生徒の実験の例

- ・ヨウ素デンプン反応によるデンプンの検出
- ・ニンヒドリン反応によるアミノ酸・タンパク質の検出
- ・フェーリング液の還元や銀鏡反応から，還元性のある糖類の検出（マルトース，フルクトース）
- ・ジエチルエーテルによる油脂の抽出とけん化（石鹸であることを泡立てて確かめる）

●シチュールウにおける生徒の実験の例

- ・ヨウ素デンプン反応によるデンプンの検出
- ・ニンヒドリン反応によるアミノ酸・タンパク質の検出（生クリームやチーズ）
- ・油脂のアセトンやジエチルエーテルによる抽出
- ・フェーリング液の還元による，還元性のある糖類の検出（マルトース）
- ・キサントプロテイン反応によるベンゼン環を持つアミノ酸の検出
- ・ビウレット反応によるトリペプチド以上のポリペプチドの検出
- ・有機物を炭化することによりろ過で取り除き，塩化ナトリウムの検出

- (炎色反応による Na^+ の検出, 塩化鉛沈殿や塩化銀沈殿による Cl^- の検出)
- ・ T L C によるタンパク質の決定

参考文献

- 1)吉本千秋「カレールウを調べる」：化学と教育 53-4, (2005), pp204-205
- 2)北岡和樹, 西村墨太, 伊勢田明弘, 鮫島朋美「主体的な実験計画を実現するための単元設計－戦略からデザインへ－」：国際中等教育研究 第11号, (2017), pp31-44

7章 おわりに

理科における探究的な学びの1つとして、今回私たちは「実験デザイン」という学習活動を提案した。教科書や実験書に示された実験方法の通りに実施し、ある程度決まった実験結果にたどり着くのではない。与えられた課題は同じでも、解決する方法が異なる。答えが1つでない場合もある。何を観察するか、何を測定するか、実験道具に何を使用するかから、生徒自身が考え、判断していく。失敗して、遠回りすることもある。しかし、その経験が学習指導要領に示される「探究の過程」を行き来することになり、結果的に生徒の資質・能力の育成につながり、正しい判断に導く。知識が無ければ、探究ができないとは考えない。教える内容が多すぎて、探究活動にたどりつかないという発想はない。探究していく中で科学的理論の理解不足を感じたら、生徒自らが知識や概念を獲得していけばよい。私たち教員は、教えるのではなく、生徒を探究の道程に導くのである。本実践報告書にて、このような授業設計に対する発想の転換を提案する。

本校生徒を対象に行った質問紙調査から、「実験デザイン」を伴う授業設計について検証する。4章で紹介した理科学習評価シート（PSOW）を用いた振り返りについて、毎学期、質問紙調査を行っている。ここでは、本実践報告書6章の実践事例で取り上げている規準B「探究」の取り組みに対する振り返りについて、生徒の回答例を以下に示す。なお、生徒の記述をそのまま抜粋している。

1（中1）～4（高1）学年

- 授業中に実験の方法やその結果の予測を立てて他者に説明を行って第三者が納得出来るようにグループ内で工夫を行うというのをやって、やっていくうちに他者にどれだけわかりやすく説明出来るかというのが問われてきて、それを向上させるにはコミュニケーション能力が、必須になってくるのかなあと思った。今期はそれがあまり向上されなかったので、来学期は独自の目標を持って授業に参加出来るようにしたいと思った。（2学年）
- 基準Bは化学の実験ノートで測られた。この評価は8段階中6と平均的な評価だった。何故この評価になったか自分で化学のノートを見返してみると、「再現性のあるノート」「わかりやすいノート」というポイントに置いて欠けた部分があった。もっと字を綺麗にしたり、図を挿入、考察や感想まで書くことが再現性を高めたりするのに必要なことだと感じた。二学期からは化学においても他の教科においても、ノートの取り方を見直して、誰が見てもわかりやすい理解しやすいノートにしていきたいと思う。（3学年）
- 地学のグループ活動では、「紫外線」に関する研究を自らテーマを決めて取り組むということを行ったが、そのうえで自分たちの現在のスキルで証明が可能な範囲でのデータ収集方法を明らかにしたり、自分たちが何をこの実験を通して知りたいのかを説明することが出来た。（4学年）

5 (高2) ~6 (高3) 年生

- 自ら焦点を絞って研究課題を提示することが少なかったが、今学期は実験のデザインを考える機会が多かった。その時、研究の背景となる科学的文脈を意識し、実験の原理を踏まえた上で授業に取り組めたと思う。よって、適切な手法を自分で考え用いることにつながったと思う。しかし、今学期に実施した実験には課題点が複数あったため、それらの対策案を今後も考えていきたい。(5 学年)

波線部の記述に見られるように、学習を振り返りながら、自分に足りなかったところやより必要だと考えたことを意識できているようすが窺える。単に観察・実験を行うだけではなく、それらを終えた後に、探究活動を終えた後に、どのようなスキルがよりよい探究活動につながっていたのかを振り返っているようすも窺える。このように振り返りを行うことで、次に探究活動に取り組んだ際に、探究活動を振り返りながら実験をデザインしたり、データを処理したりすることで、スキルが育成できると考えられる。

このような授業設計を提案するにあたり、私たちが苦勞していることは、探究の題材選びである。これまでの授業実践から、探究のテーマがある程度焦点化されないと、探究の道程に乗せられないことを実感している。テーマが広すぎると、科学的概念の枠から外れてしまったり、該当単元での学習内容を大幅に逸脱してしまう可能性がある。逆に焦点化されすぎると、p.7の表3に示す「構造化された探究」となり、探究の幅が狭まり面白みがなくなる。既存の知識や概念を出発点とし、新たな課題に向き合う「導かれた探究」を、どのような題材で、どのように年間の単元設計の中に組み込んでいくのか、精査していく必要がある。

付録 理科として発達を目指す ATL スキルの一覧

1. コミュニケーションスキル

コミュニケーションスキルとは、相互作用を通して思考やメッセージ、情報を効果的にやり取りする能力、情報を集め、やりとりするために、言語を読み、書き、そして用いる能力である。授業の中での教員とのやり取り、生徒間での議論、実験における観察記録、レポートやプレゼンにおける効果的な発表方法など、様々な状況で育成されるスキルと言える。

コミュニケーションスキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・アメリカにおける送電方法について、直流と交流で対立した電流戦争を取り上げ、一方の立場になりきって、もう一方の立場に自分の考えを主張する。 ・国のリーダーになったつもりでエネルギーに関する施政方針演説をする。 ・化学反応を劇で表現することで、元素の性質や化学反応の仕組みをわかりやすく表現する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・様々な受け手とのコミュニケーションに必要な多様な会話テクニックを用いる。 ・異なる目的や受け手に応じて適切な記述形式を用いる。 ・情報を論理的にまとめ、描写する。 ・言葉によらないコミュニケーションの方法を解釈し、効果的に用いる。
<ul style="list-style-type: none"> ・実験ノートへの記録を大切にしている。実験観察の過程を記入し、再現性のある記録を残すよう指導している。実験ノートへの記入を習慣づけることは、実験の物的証拠としての記録を残す重要性や、実験を振り返って自分の考えをまとめること、また、実験デザインを含む探究活動を進める上での基礎となると考えている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・授業において効果的なメモを取る。 ・数学的表記を理解し、用いる。 ・正確に、そして簡潔に言い換える。 ・学習のために効果的な要約メモを作成する。 ・情報を論理的にまとめ、描写する。
<ul style="list-style-type: none"> ・課題研究などで、大学や企業の専門家に自分の研究を的確に伝え、指導を仰いだり、議論をしたりする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・さまざまな受け手とのコミュニケーションに必要な多様な会話テクニックを用いる。 ・多様なデジタル環境やデジタルメディアを用いて、他の生徒や専門家と協働する。

2. 協働スキル

協働スキルとは、他者とともに効果的に取り組む能力である。クラス全体における話し合いや議論、あるいはグループでの実験や探究の過程などにおいて育成されるスキルである。

協働スキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・班/グループで共同して実験・観察を行う。 ・班/グループでプレゼンテーションを行う。 ・相互評価を行い他者に助言をする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・リーダーシップを発揮し、集団の中で様々な役割を引き受ける。 ・自分の行動に責任を持つ。 ・対立に対処し、問題を解決して、チームで協働する。 ・他者の見解や考えに積極的に耳を傾ける。

3. 整理整頓する力

整理整頓する力とは、時間と課題を効果的に管理する能力である。課題や試験に向けて、計画的にものごとを進める、毎回の授業に必要なものを準備するなど、理科に限らず汎用的な能力である。

整理整頓する力を育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・総括的評価課題を課す際には、課題の内容とともに締め切りまでのカレンダーを記載し、観察・実験を行う班ごとに計画を立てられるようにする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・短期的課題や長期的課題に向けて計画を立てる。締め切りを守る。 ・総括的評価のための準備計画を作成する。
<ul style="list-style-type: none"> ・観察・実験を行う際には、生徒自身で必要な器具を考え、自らが取りに行く。 ・各班で、基本的な実験器具セットを管理する。実験後は器具を洗浄し、整理して保管する。 ・実験に用いる器具/材料を計画する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・必要な器具やものを授業に持ってくる。

4. 情動スキル

情動スキルとは心理状態を管理する能力である。注意深く行う観察や実験、実験に失敗したり、探究で行き詰ったりしても粘り強く取り組むスキルと言える。

情動スキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・観察・実験の際に、可能な範囲で失敗することを許容し、生徒自らが失敗した理由を考えられるように助言する。 ・質量保存則が成り立つことを証明する実験方法をデザインする。失敗しても、原因を分析して突き止め、改善策を再提案して、成功するまで取り組む。 	<ul style="list-style-type: none"> ・自己動機付け <ul style="list-style-type: none"> －失敗の原因を分析し、特定する。 －前向きな思考を実践する。 ・レジリエンス（回復力） <ul style="list-style-type: none"> －「上手に失敗すること」を実践する。 ・忍耐力 <ul style="list-style-type: none"> －粘り強さと忍耐を示す。
<ul style="list-style-type: none"> ・引火性の有機溶媒、爆発性のある金属粉末、強酸や強アルカリなどの危険な薬品について理解し、安全に気を配って使用する。 ・繊細なガラス器具を、細心の注意をもって使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・注意深さに関する自覚 <ul style="list-style-type: none"> －専念し、集中する。

5. 振り返りスキル

振り返りスキルとは、生徒が学習プロセスを（再）検討するなど、内省的になれる能力である。本校理科では、PSOW（学習評価シート：Practical Scheme of Work）を全学年に導入している。PSOWは学年ごとに、各科目で実施した形成的評価課題・総括的評価課題の評価の視点および学習評価を一覧にしたもので、学期末に各生徒に提示される。生徒は、科目を越えて、それぞれの評価規準に対応する課題と評価を一覧に見ることができ、それぞれの評価規準について、学期の振り返りを行う。その他、各科目において、振り返りシートなどを用いている。

振り返りスキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・学期末に配布される PSOW を参考に、その学期の学びを形成的評価及び総括的評価の視点で振り返る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・自分の学習方法の強みと弱みを特定する。(自己評価) ・内容を検討する
<ul style="list-style-type: none"> ・身につけるべき知識や技能について、授業ごとに振り返りシートに自己評価や疑問点を記入する。(4年生物基礎) ・毎回の授業の終わりに「授業の振り返り」(授業でわかったこと・まだよくわからないこと)を書く。(5年物理) ・総括的評価課題において要求される知識や技能について、形成的評価課題として授業ごとに自己評価シートに到達度を記入する。(5年 DP Chemistry SL) ・毎時間、振り返りを記入し、教員はその振り返りに対して、各生徒が自らの課題に対して今後どのように取り組んでいけばよいかを助言する。 	<ul style="list-style-type: none"> －今日何を学んだか －まだ理解していないことは何か －今、どのような質問があるか ・A T Lスキルの発達について検討する －自分がすでにできることは何か －次は何に取り組むのか ・個人的な学習方法を検討する －もっと有能で効果的な学習者になるために何ができるか －上手に学習できるようになるために重要な要素とは何か

6. 情報リテラシースキル

情報リテラシースキルとは、情報を見つけ、解釈し、判断し、創造する能力である。

情報リテラシースキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・アニメのキャラクターなど、分類がなされていない生物について、その生物の情報を収集し、分析したうえで、自分なりの考えに基づいて分類する。(2年生物) ・プランクトン増殖の実験を計画し、それが社会的にどのように役立つか検討する。(4年生物) ・エネルギー問題や環境問題に関するデータを収集し、まとめ、それらを踏まえて科学的に自らの考えをレポートで述べる。(5年物理) ・分子系統樹モデルを作成するために、適した遺伝子データサイトおよびデータ処理サイトを使って系統樹を作成する。(6年生物) ・アメリカシロヒトリの生命表をもとに生存曲線を作成し、分析する。(6年生物) 	<ul style="list-style-type: none"> ・データを収集し、記録し、検証する。 ・様々な情報を関連付ける。 ・参考文献への言及、もしくは文献からの引用を行い、必要であれば脚注を使用する。広く認められている書式に従って参考文献目録を作成する。

7. メディアリテラシースキル

メディアリテラシースキルとは、考えや情報を用い、創造するためにメディアと付き合う能力である。

メディアリテラシースキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・様々な発電方法のメカニズムや、それらが環境に及ぼす影響などを、多用なメディアを活用し調査して、プレゼンテーションの形で発表し、内容について生徒同士で議論する。(3年物理) ・気象庁のホームページより必要と考える気象データを参照し、計算結果からバイオームを推定する。(4年生物基礎) ・書籍・論文・ウェブページなど多用なメディアを活用し調査する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・さまざまな資料やメディアから情報を見つけ、整理し、分析し、評価し、統合し、そして倫理的に用いる。 ・多角的で多様なソースからさまざまなものの方を求める。

8. 批判的思考スキル

批判的思考スキルとは、論点や考えを分析し、評価する能力である。

批判的思考スキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・ミランコビッチサイクルと過去 100 年の気温上昇率を比較して近年の温暖化の「問題点」を挙げる。地球温暖化がなぜ問題であるかを考える。(4 年生物) ・検証可能な仮説とは何かを議論する。 ・仮説を検証するために必要な証拠は何かを議論したうえで、観察・実験を行う。 ・実験で得られたデータの妥当性を検討したり、不確かさがどの程度であるかを概算したりする。(5 年物理) ・実験における危険性を検討し、最大限安全性を確保した実験をデザインする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・議論を形成するために関連する情報を集め、整理する。 ・述べられていない思い込みや偏見を認識する。 ・証拠や議論を評価する。 ・課題を認識し評価する。 ・合理的な結論や一般論を導き出す。 ・一般論や結論を検証する。 ・新しい情報や証拠に基づいて、理解を見直す。 ・多角的なもの見方に基づき、アイデアを検討する。
<ul style="list-style-type: none"> ・実際に実験/観察で確認することができないようなミクロ/マクロな事象に対しモデルやシミュレーションを適用することで理解を深める。 ・窒素循環について物質の変化とそれに関わる生物について理解するために、カードを用いて理解に役立てる。(4 年生物) ・酵素反応の実験として web 上にあるコンピュータシミュレーションを利用し、酵素反応における目に見えない粒子のふるまいを考察する。(6 年 DP Chemistry SL) 	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑なシステムや問題を探究するために、モデルやシミュレーションを用いる。 ・傾向を特定し、可能性を予測する。

9. 創造的思考スキル

創造的思考スキルとは、今までにないアイデアを生み出し、新しいものの見方を検討する能力である。

情動スキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・各班にグループノートを1冊用意し、生徒がそのノートを使って自由に議論できる状況をつくる。 ・「植物は生物である」について問いを作成し、問いの拡散、分類、修正、選択の段階を踏んで探究的な問いを作成する。(1年生物) ・フローチャート・ヴェン図・特性要因図など必要に応じて様々な視覚的図表を用いながらアイデアを提示する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・新しいアイデアや質問を提起するために、ブレインストーミングや視覚的な図表を用いる。 ・思考の可視化の方法やテクニックを実践する。
<ul style="list-style-type: none"> ・音速を測定するための実験デザインとして、様々な案を提出する。(5年物理) ・混合物であるカレールウ(もしくはシチュールウ)から物質を分離確認する方法を複数デザインして実施する。(6年化学) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ありえないものや不可能なものも含めて、多数の代案を検討する。 ・推測し、「もし~だったら」という問いかけをし、検証可能な仮説を立てる。 ・独自の作品やアイデアを創造する。

10. 転移スキル

転移スキルとは、スキルと知識を多角的な文脈において用いる能力とされ、MYPにおける、スキルや概念や文脈を教科横断的に転移させていくことを目指している。

転移スキルを育成する活動の例	対応するスキルクラスター
<ul style="list-style-type: none"> ・「直流と交流の電流戦争を互いの立場に立って議論しよう(3年物理)」と「化学反応を劇で表現しよう(3年化学)」を同時に展開し、コミュニケーションスキルの深化と転移を目指す。(3年) ・「運動の表し方(5年物理)」と「微分積分の考え方(5年数学)」において、「変化」という概念の理解の深化や転移を目指す。 ・生化学研究の現状をもとに、他の学問領域における研究方法との共通点と相違点を考え、個人としての探究活動が世界とどのようにつながっていくのかを考察する。(6年 DP Chemistry SL) 	<ul style="list-style-type: none"> ・多数の教科や学習分野を横断して概念的理解を比較する。 ・複数の教科や学習分野を関連づける。 ・現在持っている知識を新しい技術を学ぶために転移する。

