

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 —

Creating a unit that achieves proactive planning of experiments: From strategy to design

理科

北岡和樹 西村壘太 伊勢田明弘 鮫島朋美

要旨

近年、理科の授業における「探究の過程」の実現がこれまで以上に求められている。本校理科でも国際バカロレアの趣旨に基づき、6 か年通して探究的な授業を実施している。新学習指導要領解説に示される「探究の過程」は8つの細かな段階に区分されているが、実際の探究活動の中では、段階ごとの区分けは明確ではなく、一方向の流れでもない。そこで本校では「探究の過程」の各段階を大まかに捉え、「戦略からデザインへ」というコンセプトによる単元設計を試み、授業研究会にて授業を実践した。本稿では授業の概要と生徒の変容についてまとめる。

1. はじめに

本校の理科では、6 か年通して国際バカロレア（以下、IB）の趣旨に基づく探究的な単元設計を実施している¹⁾。IBの理科では、社会への応用や現代社会の課題を授業設計の軸にすることや科学的な研究の方法の習得を目的とした観察・実験デザインに重きが置かれている。これは、新学習指導要領の改訂の方向性として文部科学省教育課程部会理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめ²⁾等にも示される「資質・能力の整理と学びの過程の考え方を踏まえた教育内容の示し方の改善」や「現代的な諸課題を踏まえた教育内容の見直し」の内容とも対応している。

本稿においては、理科における探究学習として観察・実験デザインを伴う「探究の過程」に焦点を当て、「主体的な実験計画を実現するための単元設計」のあり方についてその方法を提案し、それに対する実践研究報告をする。

2. 研究目的

2.1 本校の現状

本校では、1～4年ではIBの中等教育課程プログラム（以下、MYP）を全員に実施し、5～6年ではIBのディプロマプログラム（以下、DP）もしくは一般プログラムを選択する。一般プログラムにおける理科はSSH対象科目として、SS理科と位置付けられている。

IBのMYP・DPの理科における科学的探究については、以下のように規定されている。

	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、評価規準B（探究とデザイン）および評価規準C（手法と評価）で評価される科学研究を独力で完了させなければならない。
DP	5, 6年でDPを選択した生徒	内部評価課題（Internal Assessment, 以下IA）として、科学的探究を実施し、レポートを提出する。5つの評価規準（主体的な取り組み、探究、分析、評価、コミュニケーション）によって、レポートが評価される。このIAは最終スコアの20%を占める。

表1 IBのMYP・DPの理科における科学的探究の規定

また、SSH 対象科目として実施している SS 理科学科では、MYP および DP 両方の特徴を生かし、各科目において科学的探究を実施するとともに、それを評価するための評価規準を本校独自に設定している。

図 1 は、1～6 年の学年順に、理科授業で MYP「規準 B：探究とデザイン」、DP の IA、SS 科目「規準 B：探究」の評価対象となった探究的な学習の課題や活動の内容と、「探究の過程」の各段階（課題の設定、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、表現・伝達）との関係を表している。同学年・同科目については年間の授業での実施順に並べている。セルが塗りつぶされているところは、授業を担当する教員がその課題において、生徒が自分自身で調べたり、決定したり、自由度が大きい中で選択したりするような項目を意味している。つまりこれらは、授業を担当する教員がその課題において特に重点を置いて取り組んだ「探究の過程」であることを表している。例えば、6 年 DP 化学の IA は、課題の設定から表現・伝達に至るまですべて独力で完了する活動であるため、すべてのセルが塗りつぶされている。

学年・科目	学習内容・活動	探究の過程						
		課題の設定	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	表現・伝達
1年地学基礎	大気圏を作る過程や気候の形成について、データ処理とその意味性を検討する。							
1年生物基礎	被子植物、裸子植物、シダ植物、コケ植物の観察を通してそれぞれの特徴と生存戦略を考察する。							
1年地学基礎	地震波のデータから、その伝播と震源距離、震源の深さを求める。							
1年生物基礎	花のつくりの観察と生存戦略の考察。							
1年化学基礎	古い物質の正体を、実験結果から考察し、結論づける。							
1年化学基礎	実験をもとに金属の価数を調べる。							
1年生物基礎	植物の知覚機構を、観察あるいは実験をもとに検証する。3～5名で持ち寄った企画を検討し最もふさわしいテーマを決定し、観察・実験を通してまとめ、発表を行う。							
2年生物基礎	骨の骨の内部構造を取り出し、何とどのくらいの間で変えているのかを調べ、その生活史を推定する。							
2年物理基礎	光の屈折、凸レンズによる像の形成に関する実験を行う。また正確な実験を行うために、正しく実験器具を取り扱う。							
2年生物基礎	植物の根の吸水を調節した上で、ストレス応答としてどのようなことが有効であるかを考える。							
2年地学基礎	天気、大気あるいは気象について、観察あるいは実験をもとに科学的考察を構築する。3～5名で持ち寄った企画を検討し最もふさわしいテーマを決定し、観察・実験を通してまとめ、発表を行う。							
3年物理基礎	落下運動の特性を調べるための実験をグループで計画し、実際に実験を行い、レポートにまとめる。							
3年化学基礎	「プロペラが振り回される電池の作製」科学的推論に基づく仮説のもとに、金属板の腐蝕、電解質溶液の濃度や温度、実験装置の構造など様々な条件を制御し、プロペラが振り回される電池の作製を行う。							
3年化学基礎	金属板の腐蝕を抑制するために考えるためのアイデアを盛り込んだグッズを主人で制作する。							
3年物理基礎	「一定の速さで運動している物にはたらく力はどうなっているのか」という問いに答えるための実験をグループで計画し、実際に実験を行い、レポートにまとめる。							
4年生物基礎	呼吸運動のメカニズムについて仮説を設定し、検証する。							
4年地学基礎	半導体を導電するために、100個のシリコンを用いて放射線元素探測器のモデル実験を行う。							
5年物理基礎	定常流に関する実験を行う。また正確な実験を行うために、正しく実験器具を取り扱う。							
5年物理基礎	力と加速度、質量と加速度の定量的な関係を記録タイマー、記録テープを用いた実験を通して調べ、その過程と結果をレポートにまとめる。							
5年化学基礎	酸・塩基の水溶液と指示薬を用いて、6色の水溶液を作成する。							
5年物理基礎	静電誘起のメカニズムを解明するための実験（仮説）とデザイン（実験方法）を検討し、実際に実験を行い、得られた結果から現象のメカニズムについての合理的な推論を導き出しレポートにまとめる。							
5年化学基礎	塩酸との反応を利用して、身の回りの物質中の炭酸カルシウムの含有量を求める。							
5年物理基礎	グループでの議論を通して、導電力又は電気抵抗の性質を明らかにするための仮説を立て、検証実験を計画し、実際に実験を行い、レポートにまとめる。							
5年DP化学	半導体量を測定する。ブレIAとして実施する。							
5年DP化学	有機化合物の合成もしくは抽出を行い、TLCや分光光度計を用いた定量分析手法を用いて測定する。対象となる有機化合物の構造から予想が検討し、ブレIAとして実施する。							
6年物理	果ては運動の性質を利用し、至極不規則な振動の性質を明らかにするための仮説を立て、検証実験を計画し、実際に実験を行い、レポートにまとめる。							
6年物理	コンデンサの電容量を求める実験をグループで計画し、実際に実験を行い、レポートにまとめる。							
6年生物	運動神経系の手技を用いて、分子標識を作成し、その観察を行う。							
6年化学	揮発性を用いたブラスチックの測定、統計的処理も含む。							
6年化学	有機化合物の合成もしくは抽出を行い、TLCや分光光度計を用いた定量分析手法を用いて測定する。							
6年DP化学	IAの実施。							

図 1 ISS 理科で実施している探究的な学習と「探究の過程」の関係

図1に示されるように、授業の中で探究の過程のすべてを網羅することは難しく、特に課題の設定や仮説の設定というステップにあまり取り組めていない状況にある。

2.2 「戦略からデザインへ」という考え方

次期学習指導要領等に関するこれまでの審議のまとめ（中央教育審議会教育課程部会，平成28年8月26日）に示される資料²⁾によると，理科における資質・能力を育成するために重視すべき学習過程のイメージとして，「探究の過程」を「課題の把握（発見）」，「課題の探究（追究）」，「課題の解決」の3段階に整理している。限られた授業時間数の中，すべての単元でこの3段階を網羅するように「探究の過程」を実施するのは難しいため，その一部を取り扱うことも可能とされている。生徒に科学的な手法を定着させるためには，一連の「探究の過程」を通して実施することが望ましい。しかし，中等教育課程において生徒自身が主体的に探究活動に取り組むためには，各段階の趣旨を生かし，それぞれの段階において単元設計に“しかけ”を設定することが必要になるであろう。本校の理科では，IBの示す「概念理解の重要性」や「科学の本質」を捉え，さらに文部科学省の示す「探究の過程」を実現するために，「探究の過程」を図2のように考える。

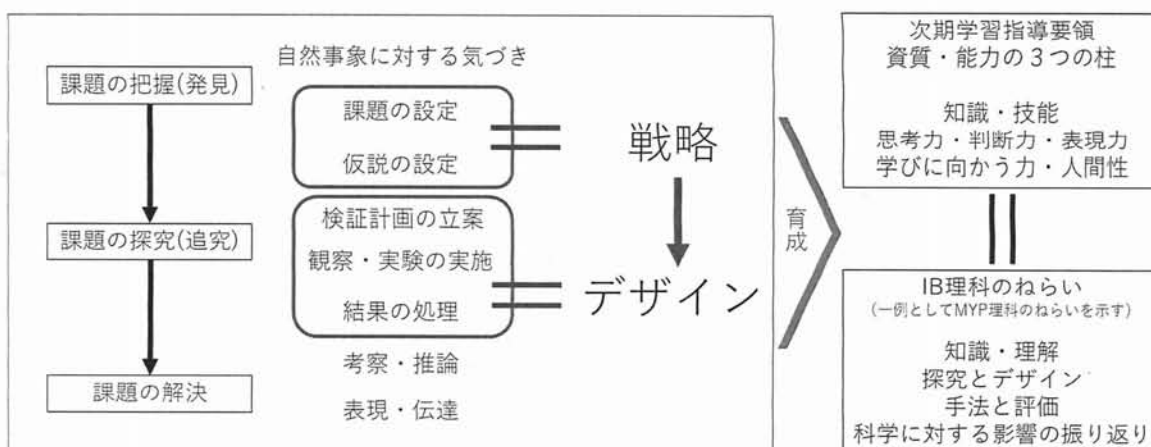


図2 「探究の過程」における「戦略→デザイン」のイメージ

図2では，単元設計において「探究の過程」の8つの細かなステップを1つずつ順番に取り扱うのではなく，「探究の過程」を「戦略からデザインへ」といったように大きく2つのステップで捉える考え方を提案する。これは，まず戦略を立て，そこから探究方法をデザインするという考え方であり，この「戦略」と「デザイン」を生徒が行き来することにより，戦略が明確化し，より実現的で具体性のあるデザインに到達すると思われる。このプロセスそのものが「探究の過程」であり，理科の見方・考え方といった生徒の資質・能力の育成に寄与するものと考えらる。

3. 授業実践研究

上記の「戦略からデザインへ」の考え方を基に，本校授業研究会において，以下の公開授業を実施した。

日時；平成29年11月24日（金）

公開授業Ⅰ 5年 SS物理基礎

授業主題「協働による実験デザインの試み」

授業者 北岡和樹 西村壘太

公開授業Ⅱ 6年 DP化学

授業主題「DP Chemistryの学び — Internal Assessmentを振り返る—」

授業者 伊勢田明弘 鮫島朋美

3.1 SS 物理基礎 「協働による実験デザインの試み」

3.1.1 授業のねらい

今回、電気分野について探究学習を取り入れた単元設計を試みた。単元の導入部で探究学習を実施することで生徒を学習へ動機づけるとともに、議論や実験・観察を通してモデル化という科学的なものの見方・考え方の伸長を図った。物理の学習内容に関しては、理解することが難しいとされる目で見えない電気に関わる現象について、教師が一方的に教え込むのではなく、生徒同士に議論させることで、日常経験等に基づく誤った理解を表出させ、払拭することを目指した。

本授業では、「探究の過程」の中でも「仮説の設定」と「検証計画の立案」に焦点を当てた。

3.1.2 授業の概要

授業研究会で行った授業は、静電振り子のメカニズムについて各自の設定した仮説、ならびに立案した検証計画の妥当性・実現性について検討する時間とした。

生徒は、前時に塩化ビニル棒やストローを用いた基礎的な静電気現象について観察し、授業の最後に静電振り子の現象を観察している。静電振り子とは、2つの缶をストローで橋渡しして、ストローから糸で画鋲を缶の間につるしておき、帯電した塩ビ棒で片方の缶を擦ると、画鋲が2つの缶の間を行き

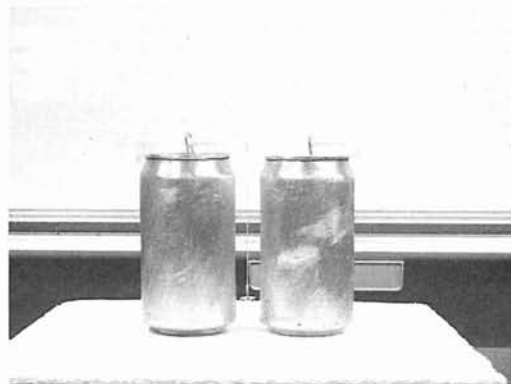


図3 静電振り子

来する、という現象である³⁾。生徒には現象についての仮説の設定と、検証計画の立案が宿題として課されており、本時の前日までに提出させた。本時では生徒から提出された宿題の内容をもとに、授業の初めの時間は異なる仮説や検証計画を持った生徒同士で意見交換できるよう生徒の席を決めた。

授業は、①グループで意見交換、②実験申請書の記入、③サインまわり、という流れで行った。①では自分とは異なる考えに触れることをねらいとして、最初のグループで各自が考えてきた仮説と検証計画を紹介し合わせた。②では①の活動で他の生徒から得た示唆を受けて、再度自分の考えを整理させた。③では初めに同じグループだった生徒以外の3人からサインをもらうことを課した。生徒には仮説と検証計画に妥当性・実現性が認められれば相手のプリントにサインするように指示した。つまり③では、自分の考えを相手に伝えるために、考えを整理しながらわかりやすく話すことを生徒に求めた。またこの時点で、まだ考えが十分に練れていない生徒がいたとしても、議論相手の生徒からサインできない理由のフィードバックを受けることができるため、それを受けて自分の考えを修正したり、補足したりするようになると考えられる。さらに、3人

のうち1人は必ず本公開授業を参観に来られた先生方からサインをもらうこととし、初対面の人にも自分の考えをわかりやすく説明できるよう工夫させた。これらの活動を通して、生徒が「探究の過程」の「仮説の設定」と「検証計画の立案」の場面で、漠然としていた考えを明確にし、アイデアをより洗練されたものにしていくことを目指した。

3.1.3 授業の振り返り

授業では、生徒は各自が考えてきた仮説と検証計画をもとに、活発に議論を行っていた。①、③の活動を通して、各自のアイデアをより深めていくことができたように見えたため、一定の成果は得られたものと考ええる。

ただし、①の意見交換に熱中するあまり、活動が停滞してしまったグループもあった。そのため、③のサインまわりの時間が短くなり、他のグループの人の考えを聞く機会が少なくなってしまった生徒もいた。公開授業では、授業運営として、①と②、③の活動をうまく区切ることができなかった。今回目指していたのはグループでより良い考えを一つにまとめることではなく、生徒個々が他者からのフィードバックを得て自らの探究デザインを深めていくことにあった。この点について授業ではより明確に生徒に示すべきであった。しかしながら生徒たちは、授業を通して探究デザインを協働によって深めていくためには、他者から得られた新たな視点をもとに自分の考えを整理するスキルが求められることがわかったのではないかと。

3.1.4 探究デザイン型授業の成果と課題

生徒が提出したプリント・レポートをもとに、今回行った授業を分析する。分析には、2 時間目の授業の前に提出させたプリント（以下 pre）、授業研究会の授業で記入させた実験申請書（以下 post）、実験後に提出させたレポートの 3 種類を用いて行った。分析は仮説と実験デザインに分けて行い、最後にレポートを評価した結果をまとめた。なお今回の振り返りは、pre と post、レポートのすべてを提出した 23 名の生徒の提出物を分析した。

まず仮説について分析する。仮説に関しては、議論を通してどの程度焦点が絞られているかに注目し、分析を行った。まず現象を各段階に分けて考えられているかどうか注目した。これは、画鋲が引きつけられる段階と画鋲が缶と反発する段階を分けて考えられているかどうかということである。分析の結果、分けて考えられていたのは pre で 73.9%（23 名中 17 名）、post で 91.3%（23 名中 21 名）の生徒であり、17.4% 上昇していた。このことから、議論を通して仮説の焦点が絞られたことが分かる。また仮説の内容についても、議論を通して具体性が増していることが伺える。例を表 2 に示す。

<p>プラスの棒をくっつけると缶もプラスになり、がびょうがいきおいよく引きよせられる。その後ちがう方の缶へがびょうがくつつくので、缶と缶を行き来する。</p>	<p>塩化ビニールをこすったことによって塩化ビニールに帯電する。それを缶 A に近付けることによって缶 A も帯電して画びょうがくつつく。反発するため缶 B に画びょうがくつつき、そのくり返して動く。缶 A を手でさわることによって、電子が均一だったのに手に電子が流れて偏りができるため、はじめと同じように反発してがびょうが動く。</p>
---	---

表 2 ある生徒の仮説（左：pre、右：post）

次に実験デザインについて分析する。実験デザインについては、具体性・実現性に注目し、具体的には実験方法と実験道具の数について分析した。これらの数が多いからといって必ずしも具体性・実現性が高いとは言えないが、実験方法が多いということはそれだけ一つ一つの実験で確かめる内容が絞られているということであり、また実験道具の数が多いということは、それだけ実験の実現性が高いと判断した。その結果を表 3 に示す。分析にはレポートも用いた。これは、授業中に post を記入する時間を十分とれなかったためである。

	pre	post	レポート
実験方法の数の平均	1.3	2.0	2.7
実験道具の数の平均	2.0	2.7	4.2

表 3 pre と post の実験方法と実験道具の記入数の比較

表 3 から分かるように、記入された実験方法の数と実験道具の数が pre, post, レポートと増加していることがわかる。実験道具の数に関しては、レポートへ記入していない生徒が 12 名おり、記入されていた生徒だけで平均を取ると、8.8 であった。また pre と post で実験方法が変更されていた生徒が全体の 60.1% (23 名中 14 名)、新たな実験方法が追加されていた生徒が全体の 17.4% (23 名中 4 名) であった。これらのことから、議論を通して探究方法の具体性・実現性が高くなったことが伺える。ただし実験方法を変更した生徒の中には、他人の考えた方法をそのまま記入した生徒もいると考えられるため、すべての生徒について議論を通して方法の具体性が高まったとは言えない。例を表 4 に示す。

<実験デザイン> (演示実験の図のみ) <必要なもの> 缶 がびょう ラップ 糸 発泡スチロール	① 缶を 1 つだけにしてみて、塩化ビニールを帯電させて、缶を帯電させた時、画びょうが缶にくっついた後、片方の缶がなくても反発することを証明する ② すべて均一に帯電している時、どちらの缶にも同時にふれると、どちらの手にも同じ量の電子が流れるはずだから動かない。となると手に電子が流れていることが証明できる。(実験道具については記入なし)
--	--

表 4 ある生徒の実験デザイン (左 : pre, 右 : post)

最後に、ループリックを用いたレポートの評価から、今回の実践について分析する。本校の SS 理科では、A から F までの 6 つの規準を用いて、各課題を 0 から 8 までの点数で評価している。今回の課題の評価には、3 つの規準を用いた。各規準の詳細なストランドを表 5 に示す。ここでは特に規準 B と規準 E に注目する。規準 B は、各自が立てた仮説と探究方法 (実験方法) に焦点を当てた規準となっている。一方、規準 E は得られた実験結果から導かれた結論に焦点を当てた規準である。

規準 B 探究	規準 C 実験観察の技能	規準 E 評価
i. 現象と関連性のある仮説が明確に提示されている。仮説の検証は実験によって十分解決可能であり、要素が複数関係する複雑な問ではない。 ii. 仮説を設定した背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、現象のメカニズム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おり、多面的な視点で探究することができている。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。	i. 実験器具、測定機器等の操作が正確である。 ii. 実験操作の過程、結果等、必要な情報を正確かつ十分に記録している。 iii. 実験室の安全規則を遵守している。 iv. 安全性または環境、倫理の問題を完全に意識していることがうかがえる。	i. 仮説と全面的に関連し、提示されたデータによって十分に裏づけられた詳細な結論が詳しく述べられ、正当化されている。 ii. 身のまわりの現象と関連性のある比較を踏まえて、結論が正確に詳しく述べられ、仮説と実験結果の比較を踏まえて正当化されている。 iii. データの限界やエラーの原因など探究の長所と短所が異なるいくつかの視点で論じられており、結論の構築に関連する方法論の問題を明確に理解していることがうかがえる。 iv. 実験観察方法を改善し、広げるための現実的で関連性のある提案について、それぞれのメリット・デメリットにも言及し、論じられている。

表 5 今回の課題の評価に用いた評価規準

表 6 は規準 B と規準 E の平均点である。

	規準 B 探究	規準 E 評価
平均点 (8 点満点中)	5.7	5.0

表 6 規準 B と規準 E の平均点

この結果から、上でも述べたように、授業中の議論を通して仮説や探究方法について具体性・実現性が高まったことが分かる。しかし、得られた実験結果から結論を導く論理構成については、今回の手立てでは不十分であることが分かる。実験前だけではなく、実験後にも議論の時間を設定するなど、新たな手立てを考える必要がある。

3.1.5 単元の成果と今後の課題

今回は「探究の過程」の中でも「仮説の設定」と「検証計画の立案」に焦点を当て、小単元 1 を設計した。その成果と今後の課題を表 7 に示す。

<成果>	<今後の課題>
① 生徒による主体的な探究活動が見られた ② 現象を多角的な視点から考えさせた ③ 授業に対して前向きに取り組む姿勢が見られた	① 生徒が持っている誤概念の改善 ② 実験結果から結論を導く論理構成力 ③ 授業時間数（実験）

表 7 小単元 1 の成果と今後の課題

本実践では、生徒に主体的な探究活動を行わせることができ、活動を通じて現象を多角的に考え、科学者のように探究する過程を体験させることができた。また受動的な講義型の授業とは違い、生徒が授業に対して前向きに取り組む姿勢が見られた。以上の 3 つが成果である。

一方、課題は 3 つ挙げられる。①については成果としても挙げたように、議論を通してそれまで受けてきた教育経験や日常経験から生徒が持っている誤概念を表出させ、直面させることができた。例えば、物体が＋に帯電しているか－に帯電しているか判断するために、方位磁針を使うというグループがあった。そのような誤概念が実験を通して正しい概念に置き換えられたかどうかという点について、今回は分析できていない。探究活動を通してどのように生徒の概念を改善していくかということは今後の課題である。またレポートを評価する中で気になったことが②である。自分の考えた仮説を証明するためにはどのような実験結果を得る必要があるのか、また得られた実験結果からどのような結論を導き出すことができるのかという点について、十分な論証ができていない生徒がいた。単に実験で得られたデータを並べるだけではなく、生徒が自分自身でそれらをいかにつなげ、結論を構成していくかということを考えることも、探究活動を行う目的の一つである。この点については前章でも述べたように、新たな手立てを考える必要がある。また③については、今回は実験の時間が 1 時間しか取れなかった。予想と違う実験結果が得られることも当然あり、そのとき生徒に、得られた結果から考察し、必要であれば新たな実験を考え、やってみるという「探究の過程」のサイクルを回させるためには、授業時間数の配分についても考慮する必要がある。

本実践では、生徒自ら課題を把握（発見）することで、主体的に探究活動を行うことができると考え、IB の理念や方法に基づいて日本のカリキュラムにも沿う形で単元を設計し、実践を行った。今回の実践では、図 1 の「探究の過程」の中でも特に「仮説の設定」と「検証計画の立案」に焦点を合わせた。具体的な手立てとしては、実験前に生徒同士に議論させることで、漠然としていた各自の考えを明確にし、アイデアをより洗練されたものにしていくことを考えた。成果と課題は本稿で述べた通りである。今後は、今回得られた課題をもとに単元設計を改善すること、また観察・実験の実施や結論の処理、考察など他の「探究の過程」に焦点を当てた実践も行うことが求められる。

3.2 DP 化学 「DP Chemistry の学び — Internal Assessment を振り返る—」

3.2.1 授業のねらい

今年度 DP 化学の IA では、5 月下旬から研究課題の設定および戦略を立て、6 月中に具体的な実験デザイン、7 月から 8 月にかけて実際に実験を実施し、9 月末までにレポートを仕上げる、という流れで実施した。当時は授業や外部試験へ向けての対策と並行して行ったこともあり、実験デザインの過程では、何度も計画の変更を余儀なくされる生徒が続出し、改めて主体的な実験計画の難しさが浮き彫りとなった。

本授業では、外部試験を終えて学習が一段落したところで、改めて生徒に自分の実験デザインの過程を振り返ってもらうことで、生徒が主体的に実験計画を行う上で重要なこと、また、主体的な実験計画が生徒にもたらす効果について、生徒の視点から検証することを目的とする。

3.2.2 授業の概要

本授業に向けて生徒には、自分が作成したレポートをもとに、事前に「私の IA における戦略とデザイン」をテーマとして、プレゼンおよび資料を準備してもらった。その中から、当日は 2 名の生徒に、それぞれ約 10 分の発表と、10 分の質問時間を設けて議論を行った。

「ピーナッツのカロリー測定による、DIY 熱量測定装置の有効性及び再現性の検証実験」をテーマとした生徒は、自作の装置を用いて熱量を測定する実験を行った様子を、実際にデモンストレーションを行いながら発表した。実験デザインの過程では、測定値と文献値の値がかけ離れており、装置の有効性をどのように述べるかで苦労したことと、自作の装置で再現性の高いデータが得られるという点に注目して結論をまとめるまでの試行錯誤の過程を紹介した。質疑の時間では、なぜこのようなテーマを設定したかという質問に対しては、以前類似の実験をやったことがあったことを、データ処理の過程で外部へ逃げる熱量を考慮しなかったのはなぜかという質問に対しては、データ処理の過程で新たな誤差が生じることを避ける意図があったことなどを答えた。

「柑橘類の酸っぱさを数値化し、比べる」をテーマとした生徒は、実験デザインの過程で試行錯誤する中で、上記テーマが実は当初の実験計画と大きく異なるものであることを紹介した。この生徒は当初、「電気陰性度の違いと水溶液の電気抵抗の違い」というテーマでの探究を計画していたが、薬品の安全性から断念せざるを得なくなり、次に食品のクエン酸含有量を測定しようと実験を開始したが、クエン酸の抽出過程で生じる誤差が大きいため定量操作ができず、このテーマも断念することになった。そして最終的に、中和滴定で柑橘類の酸度を求める実験に落ち着いた過程が述べられた。

最後に、「何のために IA はやるのか」をテーマに生徒同士で議論を行ってもらった。生徒からは「IA を行うためには様々な化学の学習内容を統合することが必要であったため、理解が深まった」という意見や、「直接化学に関係しなくても、統計処理や、計画の立案、実行の過程などが身についた」といった意見が挙がった。

3.2.3 授業における考察

IA の指導においては、生徒本人が取り組んだものであることを証明するために、実験タイトルを提示したり、草稿を編集、推敲したりすることは認められていない。そのため、生徒が実験計画の立案やデータ処理の方法まで考えなければならず、教員の目から見ると、やや未熟な点も見られた。しかし IA は、化学の専門性を追求することを目的としておらず、主体的に実験計画を

立案し、実行する「探究の過程」を体感することを目的として実施されるものであることから、3.2.2 で述べた生徒の姿から、十分にその目的は達成されていると考えられる。特に 2 番目に発表した生徒などは、「探究の過程」が「課題の把握」から「課題の探究」「課題の解決」と一方的に進むものではなく、相互を行き来しながら最終的な課題解決に進む様子が見られた。

3.2.4 アンケート調査による IA の効果の考察

「戦略からデザイン」という枠組みを用いることにより、「探究の過程」に対する意識にどのような違いがあるのかを明らかにする目的で、IA を実施した 6 年生 8 名と、IA 実施前の 5 年生 17 名に、以下のアンケートを行った。そのうち、5 年生 16 名と 6 年生 8 名から回答を得た。

アンケート設問	
Q1	IA において重要だと思うポイントを挙げてください。(自由記述)
Q2	IA を実施するにあたり、苦勞しそうだなと思う(思っていた)点はどこですか。 (複数回答可)
	①課題の発見 ②テーマの設定 ③原理の理解 ④仮説の設定 ⑤実験の計画 ⑥実験の実施 ⑦データの分析 ⑧結果の考察 ⑨レポートの作成 ⑩その他
Q3	(6 年生のみ) 実際に、IA をやってみて、苦勞した点はどこですか。(複数回答可)
	①課題の発見 ②テーマの設定 ③原理の理解 ④仮説の設定 ⑤実験の計画 ⑥実験の実施 ⑦データの分析 ⑧結果の考察 ⑨レポートの作成 ⑩その他
Q4	IA は何のためにやると思いますか。(自由記述)

Q2 と Q3 の結果を表 8 に示す。Q2 の 5 年生と 6 年生の結果で X 二乗検定を行ったところ、p 値が 0.7057 となり、5 年生と 6 年生の間に有意な差は見られなかった。項目別の回答数を見ると、5 年生、6 年生ともに「①課題の発見」「②テーマの設定」という回答が多く、戦略の部分に課題を感じている生徒が多いことがわかる。

6 年生の Q3 の結果を Q2 の結果と X 二乗検定で比較すると、p 値が 0.6479 となり、統計的に有意な差は得られなかった。これは、6 年生から回答を得られた人数が少なかったことによるところが大きい。

しかし、回答した数に注目すると、実際にやってみたことで苦勞したことは、当初感じていた戦略の部分ではなく、「⑨レポートの作成」という、「探究の過程」の「発信」の部分であることがわかる。これは、最終スコアの 20% を評価する評価課題である点、評価は成果物であるレポートによるため、自分の行ったことをレポートの中に表現しなければならないという点など、DP 化学の性格を表しているものであると考えられる。

また、Q1 の結果をまとめたものを、表 9 に示す。生徒の自由記述を、「戦略にかかわる部分」「実験デザイン・実施にかかわる部分」「結果の発信」に分けて整理した。5 年生は実験手法、正

	Q2 (5 年生)	Q2 (6 年生)	Q3 (6 年生)
①	13	6	3
②	10	6	5
③	6	5	3
④	2	3	
⑤	6	3	4
⑥	6	2	
⑦	8	2	2
⑧	11	2	1
⑨	5	3	4

表 8 Q2, Q3 の結果

確性、実験回数など、実験デザインが重要だと捉えている生徒が多くみられた。一方、6年生で実験デザインが重要だと答えた生徒は1人しかおらず、その生徒も「実験方法の発見」という先行研究の調査、すなわち戦略の部分にかかわる内容を回答しており、このような回答は5年生には見られなかった。多くの6年生の回答内容は、「テーマを決める時点で結論（最後に行きつくところ）がうっすらでも見えていること」「計画性、現実性が考えられているか」など、戦略にかかわる点が大切であると考えている生徒が多くみられる点が特徴的であった。

Q1の結果とQ2の結果を比較すると、「戦略からデザイン」という概念を導入する前では、生徒は戦略の部分で困難を感じながらも、実験において重要であるのはデザインにかかわる部分であると考えているが、「戦略からデザイン」という概念を導入して指導をすることにより、実験をデザインするために本当に重要なのは戦略である点に気が付くという結果が見て取れる。

	5年生		6年生	
	実数	回答例	実数	回答例
戦略	11	<ul style="list-style-type: none"> ・計画性・楽しさ・探究の価値 ・信頼性の高いデータが得られるか確認すること ・オリジナリティー・動機 	8	<ul style="list-style-type: none"> ・興味があることをやる ・テーマを決める時点で結論がうっすらでも見えていること ・計画性、現実性が考えられているか
デザイン	14	<ul style="list-style-type: none"> ・実験回数・実験の正確さ ・定量的に行うこと・時間 ・実験における手法 ・正確性 ・実験を丁寧に行うこと ・誤差の可能性をできるだけ多く考えること・挙げること 	1	実験方法の発見
考察	2	<ul style="list-style-type: none"> ・Reflection（振り返り） ・考察 	0	
表現	2	<ul style="list-style-type: none"> ・レポートのフォーマット ・わかりやすさ 	1	<ul style="list-style-type: none"> ・自分の興味をレポート内で見せられているか

表9 Q1の結果

また、Q4の結果を見ると、5年生の回答はIBの最終評価のため、また化学という限られた学問範囲について有意義であるため、という回答が多くみられた。一方、6年生の回答では、問題解決力、考察する力など、化学に範囲を限定しない力を伸ばすため、と回答する生徒が多くみられた。「探究の過程」は、本来限られた学問的分野の力を伸ばすのみではなく、もっと広い意味で、これからの世界を生き抜くうえで必要な能力を養うことを期待されているが、IAを実施した多くの生徒は、その重要性に気が付いていることが確認された。

	5 年生		6 年生	
	実数	回答例	実数	回答例
評価	5	<ul style="list-style-type: none"> ・自分自身が今まで学んできたことの評価をもらうため ・短期的な力を測るのはテストで、長期的に力を測るのは IA 	1	<ul style="list-style-type: none"> ・評価のため
化学の学習	8	<ul style="list-style-type: none"> ・化学の中で力を付けるため ・化学の勉強の集大成 ・身近な問題を化学的に分析すること ・どうやって研究をするのかを理解し、自分でできるようになるため ・研究の楽しさを知るため 	2	<ul style="list-style-type: none"> ・化学が根本的にわからない人に少しでも自信を与えるため ・実験→発見→発信の行程を経験するため
課題解決力	3	<ul style="list-style-type: none"> ・自分で問題を解決するための思考力 ・将来のために自分で課題を見つけ探究し解決する能力を身に付けるため 	4	<ul style="list-style-type: none"> ・応用力を身に付ける（うまくいかないところなどの改善） ・問題を発見し、計画&改善&解決する能力 ・やったことを考察し分析する力（化学だけでなくほかの分野でも役立つ）
その他	2	<ul style="list-style-type: none"> ・自分の将来のため ・自立 	3	<ul style="list-style-type: none"> ・幸福 ・人間として成長するため

表 10 Q4 の結果

以上の結果から、IA 実施前の 5 年生と比較して 6 年生の生徒は、「探究の過程」で重視するポイントがデザインから戦略に変化したことや、IA の目的を問題解決力、考察する力など、化学に範囲を限定しない力を伸ばすためであると捉えるようになるなどの変容が見られた。しかし、「戦略からデザイン」という枠組みについては、このアンケートの結果のみから有効性を証明することはできない。今後、現在の 5 年生が実際に IA を実施するときに指導を受けた際、現在課題を感じている部分がどのように変容していくかを比較するなどのデータ収集が必要である。

3.3 参観者からのコメント

本校授業研究会のアンケートで参観者から寄せられたコメントのうち、本稿に関係するものをいくつか紹介する。なお、参加者の記述をそのまま記載し、紹介する。

- ・『現象→仮説→実証するための実験』という生徒が対話をしながら主体的に考えている姿が印象的であった。
- ・生徒のディスカッションの深さにおどろきました。実験を考える場面で有効な方法と思いました。ただ、話し合って案を改善していく過程がメモとして残らず、言葉だけが交わされた時間

が気になりました。何か「残す」手だてが必要だと思います。

- ・ジグソー法を用いたディスカッションで、生徒が活発に意見を述べていたのが良かったです。先生によっては間違いの発言が出てきてはダメだと言う人もいますが、私はそれは良いことだと思います。間違いの発言に対してそれが間違っていることを他の生徒から学べるからです。
- ・現象について生徒に実験を企画させ、それをもとに議論していくスタイルは参考になった。どのような実験が考案されるのか楽しみです。
- ・生徒1人1人が納得のいくまで議論している姿が印象的でした。
- ・事象を示しての仮説の設定と、実験の計画は、こうやるんだと1つの方法が分かりました。
- ・活発な話し合いと次の授業の結論までのプロセスを学べてよかった。生徒が評価を意識し、達成すべき段階に向けて学んでいることがよく分かりました。
- ・課題の設定からその探究までのプロセスを生徒が整理して発表できる、という段階にまでスキルが身に付いていて、すごいなと感じた。
- ・授業の展開が大変参考になりました。評価方法がしっかりと確立されていることの重要性を感じました。
- ・DP 化学では、生徒が課題設定のむずかしさを話していた。生徒に対して、どの程度介入するのだろうか？積み重ねが気になった。
- ・ふりかえりの場面であり、特に10時間の研究を経て意気を話し合った時間で生徒が交わした意見が心に残っています。あの気づきが生まれる探究を自教室でも展開したいです。
- ・個人研究の幅広さについて実際の取り組みが見れて良かった。器具や実験場所、材料など生徒が行えることの限界もつかめた。
- ・まとめの授業ということで、自身の意見をしっかりともち、他者の意見をよく聞くことが非常によくできていたと思います。文系の生徒であるということに驚きました。

上記より、公開授業が探究的な授業のモデルケースとなり、参観者に示唆を与えることができたと思われる。

4. 今後の課題

本実践研究において、生徒の資質・能力の変容を定量化するには至っていないが、「戦略からデザインへ」のコンセプトのもとに試行錯誤を繰り返す生徒の様子から、「探究の過程」における生徒の成長を実感している。理科における探究活動は、学習内容が高度になるほど科学的知識や概念の定着が前提であるという考え方もあるが、「探究の過程」を行き来するプロセスの中で、学習内容に立ち戻り、知識・技能を獲得し、協働的な活動の中で、多様な考えを共有し、思考力・判断力を身につけていく姿があった。本校理科における探究的な単元設計の効果を検証するためには、各単元における総括的評価課題の位置づけを明確にし、その評価の傾向や推移から生徒の変容を定量化していくなど、その成果を可視化することが求められるであろう。また、数値化に適さない質的データの分析も必要である。

参考文献

- 1) 東京学芸大学附属国際中等教育学校, “平成二十六年度指定スーパーサイエンスハイスクール 研究開発実施報告書 第三次”, 平成 29 年 3 月.
- 2) 理科ワーキンググループ, “理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめ”, 平成 28 年 8 月 26 日.
- 3) NHK「考えるカラス」制作班, “NHK 考えるカラス「もしかして？」からはじまる楽しい科学の考え方”, NHK 出版.

Creating a unit that achieves proactive planning of experiments:

From strategy to design

Abstract

Recently, realization of “the process of inquiry” in science classes has been needed more than ever. Based on the intent of the IB, the Science Division in our school provides inquiry-based classes throughout six years of teaching. Although the Practical Guide for the New Course of Study states “the process of inquiry” as eight detailed phases, the actual inquiry activities cannot be categorized into the phases. Moreover, the activities do not follow a linear process. Therefore, we captured each phase of the process of inquiry in broad terms, and conducted an open class at the teaching seminar with an attempt to plan a unit based on the concept of “Strategy and Design.” This report summarizes the overview of the class and the changes brought to students.