

群 教 セ	G04-04
	平 30. 269 集
	理科一高

高校理科における科学的探究能力の育成

— 「探究見える化シート」を活用した学習活動を通して —

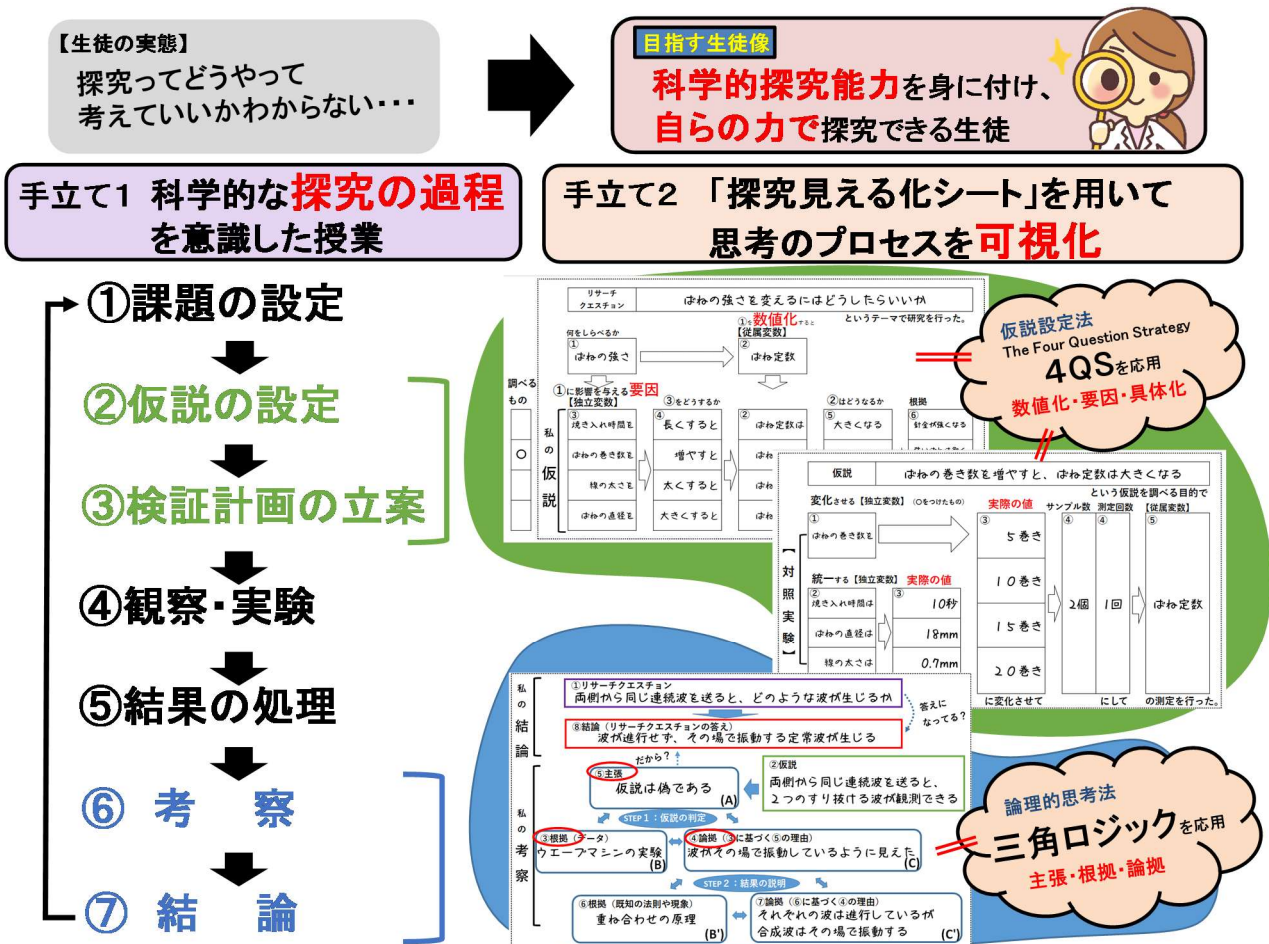
特別研修員 岡田 直之

I 研究テーマ設定の理由

高等学校学習指導要領理科の目標には「科学的に探究するために必要な資質・能力を育成する」とあり、予測が困難な時代にあって未知の事象にも対応できる科学的に探究する資質・能力（以下、科学的探究能力）を育成することが、これからの理科教育の大きな使命の一つであるとする。研究協力校の現状では、多くの生徒は自らの力で探究を進めていくことは困難である。その理由の一つは思考のプロセスが理解できておらず、どのように考えていけばよいか分からないためであるとする。本研究では、科学的な探究の過程（①課題の設定②仮説の設定③検証計画の立案④観察・実験⑤結果の処理⑥考察⑦結論）のうち、「②仮説の設定③検証計画の立案」及び「⑥考察⑦結論」の段階における思考のプロセスを可視化するワークシート「探究見える化シート」を開発した。開発に当たっては思考ツールに着目し、前者は4QS（例：小林辰至「探究する資質・能力を育む理科教育」大学教育出版）を、後者は三角ロジック（例：西村克己「論理的な考え方が身につく本」PHP 研究所）を応用した。科学的な探究の過程を意識した授業の中で「探究見える化シート」を用いて思考のプロセスを理解・経験することにより、科学的探究能力が育成できると考えた。

II 研究内容

1 研究構想図



2 授業改善に向けた手立て

科学的探究能力を育成するためには、科学的な探究の過程を通して、理科の見方・考え方を働かせる（科学的に探究する方法を用いて考える）経験を積むこと、及び、科学的な探究の過程の各段階における思考のプロセスを理解することが重要であると考え、以下の手立てを用いた。

手立て1 科学的な探究の過程を意識した授業

手立て2 「探究見える化シート」を用いて思考のプロセスを可視化

手立て1は、理科の授業を科学的な探究の過程に沿って構成することである。この手立てによって、理科の見方・考え方を働かせる経験を積む。授業では、本時のリサーチクエスチョン（探究する問い）を確認し、仮説を設定することで見通しをもち、実験データや既知の法則・現象を根拠として考察を行い、リサーチクエスチョンの答えとなる結論をまとめる。この一連の過程を生徒実験だけではなく、理科の授業全体を通して繰り返し行うことが、科学的探究能力の育成のためには不可欠であるとする。

手立て2は、科学的な探究の過程の各段階における思考のプロセスを「探究見える化シート」で可視化して提示することである。この手立てによって、科学的な探究の場面で汎用的に用いられる思考のプロセスを理解する。

実践授業1では「②仮説の設定③検証計画の立案」の段階に着目し、4Q Sを応用した「探究見える化シート」を使用して自作ばねの生徒実験を行った。実践授業2では「⑥考察⑦結論」の段階に着目し、三角ロジックを応用した「探究見える化シート」を使用して、定常波の授業を行った。本報告書は主に実践授業2について記載し、実践授業1については資料に紹介する。

III 研究のまとめ

1 成果

- 手立て1、2は科学的探究能力の育成に効果的であったと考える。「仮説の設定」と「検証計画の立案」に関する調査問題（6ページ）を、実践授業1の事前と事後に実施し、30点満点で採点を行ったところ、事前の平均点は7.7点、事後の平均点は15.6点であった。事前と事後の平均点に差が見られるかについてt検定を行ったところ、有意差（ $t=-8.8, p<.01$ ）が認められた。また、「考察」と「結論」に関する調査問題（5ページ図3）を、実践授業2の事前と事後に実施し、36点満点で採点を行ったところ、事前の平均点は9.7点、事後の平均点は19.9点であった。事前と事後の平均点に差が見られるかについてt検定を行ったところ、有意差（ $t=-6.0, p<.01$ ）が認められた。
- 手立て1は、生徒が理科の見方・考え方を働かせる経験を積む上で効果的だったと考える。生徒は仮説を立てて見通しをもつことやデータに基づいて仮説を判定すること、既知の法則・現象に基づいて実験結果を説明することなどを授業の中で当たり前のこととして取り組むようになった。また、各自の課題研究においても、これらの見方・考え方を働かせて探究に取り組んでいた。従来の理科の授業では知識を学習することが中心で、理科の見方・考え方を働かせる経験が十分ではなかったが、この手立てによって改善できたと考える。
- 手立て2は、生徒が思考のプロセスを理解するのに一定の効果があったと考える。多くの生徒は「探究見える化シート」に記入する活動を通して、教員からの細かい働きかけがなくても自らの思考に基づいて「仮説の設定と検証計画の立案」や「考察と結論」を行うことができていた。従来の指導では、生徒に自由に考えさせた後に、添削や助言をすることが多かったため、個別のケースに限定された指導になっていた。この手立てによって思考のプロセスそのものを理解させる支援ができたとする。

2 課題

- 調査問題において事前と事後の得点変化が見られない生徒もいた。多くの生徒に思考のプロセスを理解させるためには、授業の中で繰り返し「探究見える化シート」を使用する必要があるとする。
- 各自の課題研究の場面でも「探究見える化シート」を使用することで、科学的探究能力を汎用的に使えるようにすることが重要であるとする。

実践例

1 単元名 「波の性質」 (第2学年・2学期)

2 本単元について

本単元では波に共通する性質について学習する。中学校では第1分野「光と音」で光の反射・屈折、音が空气中を伝わることや、音の大きさと振幅、音の高さと振動数の関係などについて学習している。また、第2分野「火山と地震」で地震の伝わり方やP波・S波などについて学習している。ここでは、中学校で学習した内容と関連付けながら、波に共通する性質として縦波と横波の違い、定常波、波の反射などについて理解させることがねらいである。波の性質についてウェーブマシンによる実験や、重ね合わせの原理による作図等を通して実感を伴って理解させたい。また、科学的な探究の過程を意識した授業を行うことで、理科の見方・考え方を学ばせたい。特に、本単元では「探究見える化シート」によって「考察」と「結論」の段階における思考のプロセスを理解させたい。

以上のような考えから、本単元では以下のような指導計画を構想し、実践した。

目標	<ul style="list-style-type: none"> 波に共通する性質を理解する。 「考察」と「結論」の段階における思考のプロセスを理解する。 	
評価 規 準	関心・意欲・態度	波の性質について関心をもち、意欲的に探究しようとしている。
	思考・判断・表現	根拠と論拠を明確にした論理的な考察と、リサーチクエスチョンに正対する結論を記述している。
	技能	重ね合わせの原理を基に合成波を作図している。
	知識・理解	波に共通する性質を理解している。
過程	時間	主な学習活動
課題把握	第1時	・波の媒質や縦波と横波の違いについて学習する。
	第2時	・波の表現方法として $y-x$ グラフと $y-t$ グラフについて学習する。
	第3時	・波のパラメータ（振幅・波長・速さ・周期・振動数）について学習する。
課題 追究	第4時	・波の独立性と重ね合わせの原理について学習する。
	第5時	・定常波の仕組みについて学習する。
	(本時)	・「探究見える化シート」を用いて主張を組み立て、考察と結論を記述する。
	第6時	・自由端反射と固定端反射について学習する。
まとめ	第7時	<ul style="list-style-type: none"> 反射によって定常波ができることを学習し、定常波ができる条件をまとめる。 「探究見える化シート」を用いて主張を組み立て、考察と結論を記述する。

3 本時及び具体化した手立てについて

本時は全7時間の計画の第5時に当たる。本時では両側から同じ連続波を送ると定常波が生じることを学習する。また、重ね合わせの原理に基づいた合成波の作図によって、それぞれの波は進行しているが、合成波はその場で振動することを理解する。これらの知識を学習させながら、理科の見方・考え方や「考察」と「結論」における思考のプロセスを理解させるために、次のように手立て1、2を具体化した。

手立て1 科学的な探究の過程を意識した授業

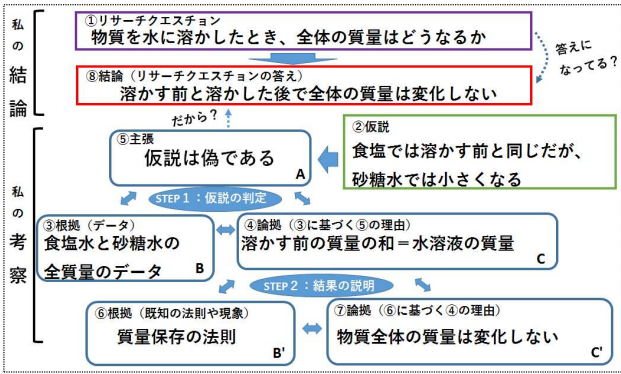
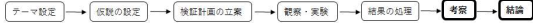
- (1) リサーチクエスチョンの提示 「両側から同じ連続波を送るとどのような波が生じるか」
- (2) 仮説の設定 三つから選択
 - ①二つのすり抜ける波が観測できる
 - ②その場で振動する波が観測できる
 - ③波が消える
- (3) ウェーブマシンの実験データに基づく仮説の判定
- (4) 重ね合わせの原理に基づく実験結果の説明
- (5) 考察及び結論を記述

手立て2 「探究見える化シート」を用いて思考のプロセスを可視化

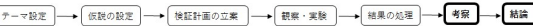
論理的思考法「三角ロジック（主張・根拠・論拠）」を応用した以下のワークシートを使用

<記入例（生徒に提示）>

探究見える化シート～**主張を組み立てよう**～



探究見える化シート～**考察と結論を文章で書こう**～



考察

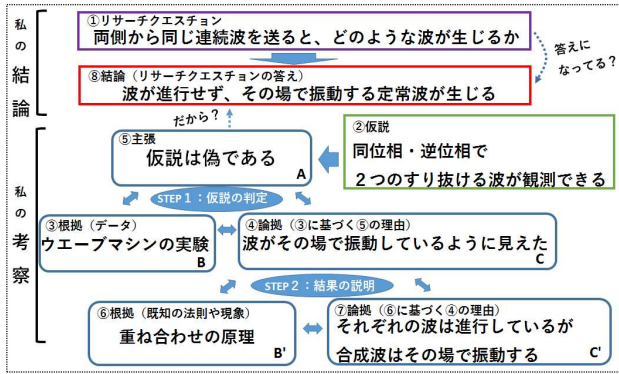
(A)仮説は偽である。(B)食塩水と砂糖水の全質量のデータから、(C)溶かす前の質量の和 = 水溶液の質量になったので、そのように判断した。
このような結果になったのは、(B)質量保存の法則より、(C)物質全体の質量は変化しないためと考えられる。

結論

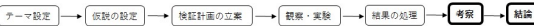
「物質を水に溶かしたとき、全体の質量はどうか」というテーマで食塩水と砂糖水の実験を行い、溶かす前と溶かした後で全体の質量は変化しないという結論を得た。

<本時の記入イメージ（生徒に未提示）>

探究見える化シート～**主張を組み立てよう**～



探究見える化シート～**考察と結論を文章で書こう**～



考察

(A)仮説は偽である。(B)ウェーブマシンの実験から、(C)波がその場で振動しているように見えたので、そのように判断した。
このような結果になったのは、(B)重ね合わせの原理から、(C)それぞれの波は進行しているが、合成波はその場で振動するためと考えられる。

結論

「両側から同じ連続波を送ると、どのような波が生じるか」というテーマでウェーブマシンの実験を行い、波が進行せず、その場で振動する定常波が生じるという結論を得た。

4 授業の実際

前時では、ウェーブマシンによるパルス波の実験を行い、波は衝突後にすり抜けること（波の独立性）と二つの波の変位は足し算になること（重ね合わせの原理）を学習している。

図1に授業プリントを示す。本時の課題は「両側から同じ連続波を送るとどのような波が生じるか」というリサーチクエストに対して、「探究見える化シート」を用いて主張を組み立て、考察と結論を記述することである。

授業ではまず、①～③の選択肢から解答を選ぶことによって自分の仮説を、同位相と逆位相の場合でそれぞれ設定させた。その後、生徒が選んだ仮説の分布を集計した。

次に、ウェーブマシンによる実験を行い、同位相、逆位相ともに波が進行せず、その場で振動する波が観測できることを確認し、記入例を参考に「探究見える化シート」の①～⑤（仮説の判定まで）を記入させた。

その後、重ね合わせの原理に基づき、合成波の作図を行い、それぞれの波は進行しているが、合成波はその場で振動し、進行しないことを作図の結果や定常波のアニメーションを用いて説明し、「探究見える化シート」の残りを記入させた。

リサーチクエスト
「両側から同じ連続波を送ると、どのような波が生じるか」

仮説 ウェーブマシンの両端から同じ連続波を送ると、
①2つのすり抜ける波が観測できるだろうか
②その場で振動する波が観測できるだろうか
③波が消えるだろうか

データ 「ウェーブマシンの実験」

(1)同位相の場合
自分の考え 正解
(2)逆位相の場合
自分の考え 正解

○「重ね合わせの原理」に基づいて、合成波を作図しよう！

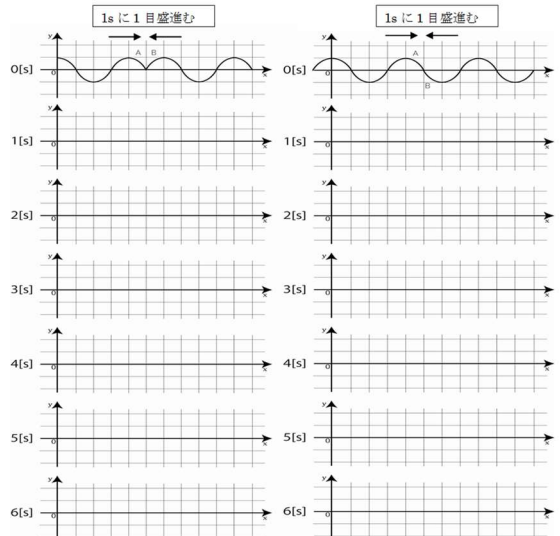


図1 授業プリント

5 考察

図2に生徒の記述例を示す。ほとんどの生徒は授業時間内に「探究見える化シート」の上半分を記入することができた一方で、下半分まで記述できた生徒は30名中5名であった。今回、授業の中で初めて「探究見える化シート」を使用したために、記入の仕方に不慣れで時間が掛かってしまったと考えられる。実際、実践授業後も他の単元で「探究見える化シート」を使用した授業を繰り返し実施したところ、特に説明をしなくても短時間で記入できるようになった。この理由は、シートに対する慣れもあるが、実験データや既知の法則・現象を根拠として考察を行うという理科の見方・考え方が養われたことも大きいと思われる。科学的探究能力を育てるためには「探究見える化シート」を使用した授業を繰り返し実施することが効果的であると考えられる。また、各自の課題研究の場面でも「探究見える化シート」を使用することで、科学的探究能力を汎用的に使えるようにすることが重要であると考えられる。

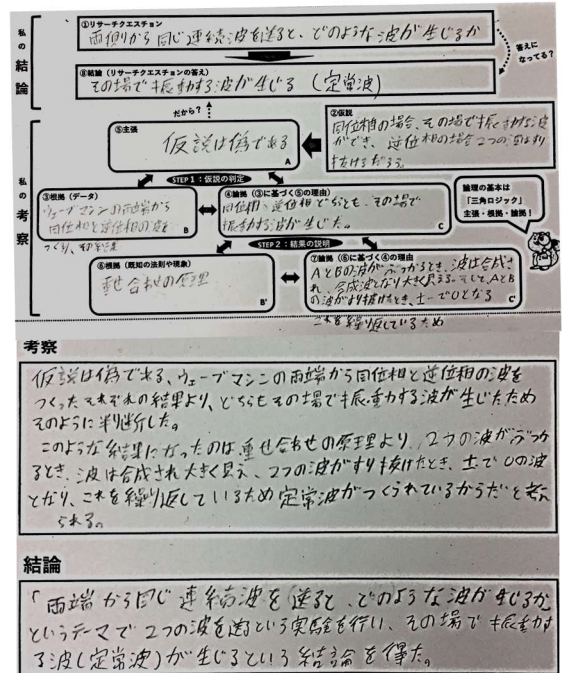


図2 生徒の記述例

実践授業によって「考察」と「結論」を記述する能力が高まったかを調べる目的で、調査問題を授業前と授業後で実施し、比較した。図3に評価基準及び結果とともに示す。評価基準（「探究見える化シート」の③～⑧に対応する記述を評価）に基づいて36点満点で採点を行ったところ、事前の平均点は9.7点、事後の平均点は19.9点であった。事前と事後の平均点に差が見られるかについてt検定を行ったところ、有意差（ $t=-6.0, p<.01$ ）が認められた。個々の生徒の得点変化を見ると30名中20名は授業後に得点の上昇が認められるが、10名については授業前と授業後でほとんど変化がないことが分かる。一度の授業で約70%の生徒に効果があったことは大きな成果である。効果が認められなかった残りの約30%の生徒についても、繰り返し実施することで効果が表れるのではないかと考える。

【調査問題】

<問題例> （*問題は全三題で一部抜粋）

問2 だ液にはアミラーゼという消化酵素が含まれている。「だ液にはどのような働きがあるか」というテーマで研究を行っているAさんは、デンプンにだ液を加えた実験を行うことにした。デンプンにヨウ素液を加えると青紫色に変化することを知ったAさんは「デンプン+だ液」にヨウ素液を加えると色は変化しないだろう」という仮説を立てた。温度を40℃、デンプンの質量を1.0g、だ液の質量を5gに統一し、対照実験として「デンプン+水」と「デンプン+だ液」を用意し、それぞれにヨウ素液を加えたところ、以下の表のような結果を得た。

「デンプン+水」	「デンプン+だ液」
青紫色に変化した。	色が変化しなかった。

(1) あなたがAさんだとしたら、どのような「考察」を書きますか。
(2) あなたがAさんだとしたら、どのような「結論」を書きますか。

問3 摩擦のない斜面では力学的エネルギー（運動エネルギー+位置エネルギー）は保存する。「スキーのジャンプで最初の高さより高く飛ぶことは可能か」というテーマで研究をしているAさんは、図のような摩擦の影響がほとんどない斜面を製作し、ビー玉を静かに転がして実験を行うことにした。Aさんは「飛び出した後のビー玉の最高点の高さは、はじめの高さと同じになるだろう」という仮説を立てた。ビー玉の直径を2.0cm、質量を5.0g、コースの形状は同じものに統一して、はじめの高さは20cmと40cmに変化させ、飛び出した後の最高点の高さを計測したところ表のような結果を得た。

高さ20cmのとき		高さ40cmのとき	
1回目	10.5cm	1回目	21.6cm
2回目	10.3cm	2回目	21.8cm
3回目	10.5cm	3回目	21.5cm
4回目	10.4cm	4回目	21.8cm
5回目	10.5cm	5回目	21.7cm

(1) あなたがAさんだとしたら、どのような「考察」を書きますか。
(2) あなたがAさんだとしたら、どのような「結論」を書きますか。

【評価基準】

項目	得点		
	2	1	0
③ 根拠①(データ)	根拠となるデータが明確に記載されている。	根拠となるデータの記載はあるが、曖昧又は不正確である。	根拠となるデータの記載がない。
④ 論拠①(データに基づく判断)	データに基づいた論拠が正しく記載されている。	データに基づいた論拠が記載されているが、曖昧又は不正確である。	データに基づいた論拠の記載がない。
⑤ 仮説の真偽	仮説の真偽の記載があり、正しい。	仮説の真偽の記載はあるが、曖昧又は不正確である。	仮説の真偽の記載がない。
⑥ 根拠②(法則)	根拠となる法則が明確に記載されている。	根拠となる法則の記載はあるが、曖昧又は不正確である。	根拠となる法則の記載がない。
⑦ 論拠②(法則に基づく説明)	法則に基づいた論拠が正しく記載されている。	法則に基づいた論拠があるが、曖昧又は不正確である。	法則に基づいた論拠の記載がない。
⑧ 結論	リサーチクエストに正対した表裏で正しい結論が記載されている。	リサーチクエストに正対した表裏ではないが、同じ意味の結論が記載されている。	結論の記載がない。

【個々の生徒の得点変化】

得点

N=30 満点 36点

平均: 事前 9.7点 事後 19.9点

事後の得点順にソート

生徒番号

図3 調査問題

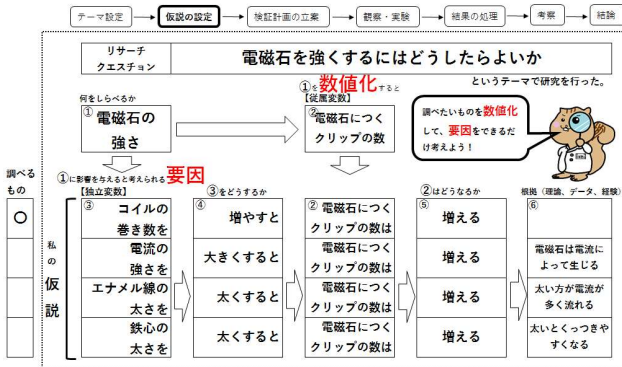
6 資料

＜実践授業1＞ 単元名 「力とその働き」 (第2学年・2学期)

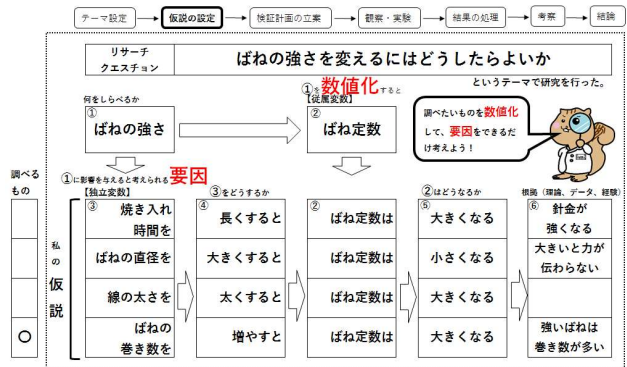
【授業の実際】 授業ではまず、本時のリサーチクエスチョン「ばねの強さをえるにはどうしたらよいか」とばねの作り方について確認し、「探究見える化シート～仮説を設定しよう～」を用いて、記入例を参考にしながら班ごとに仮説をできるだけ考え、調べたい仮説を一つ選んだ。次に「探究見える化シート～検証計画を考えよう～」を用いて、具体的な検証計画を立てた。その後、各班の検証計画に基づいて、針金を用いたばねの製作と測定を行い、仮説の真偽を判定した。

「探究見える化シート」 仮説設定法「4 Q S (The Four Question Strategy)」を応用

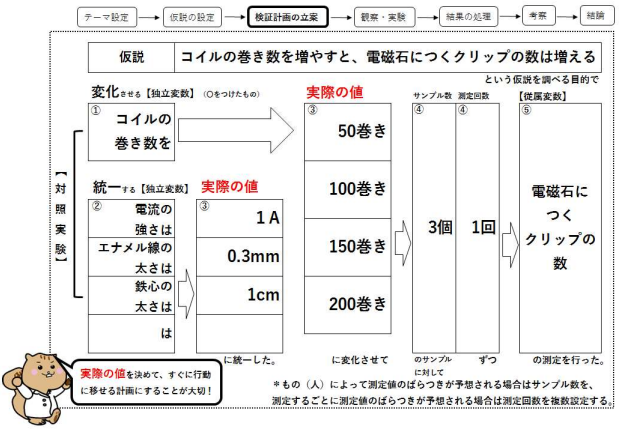
＜記入例 (生徒に提示)＞
探究見える化シート～仮説を設定しよう～ NO.1



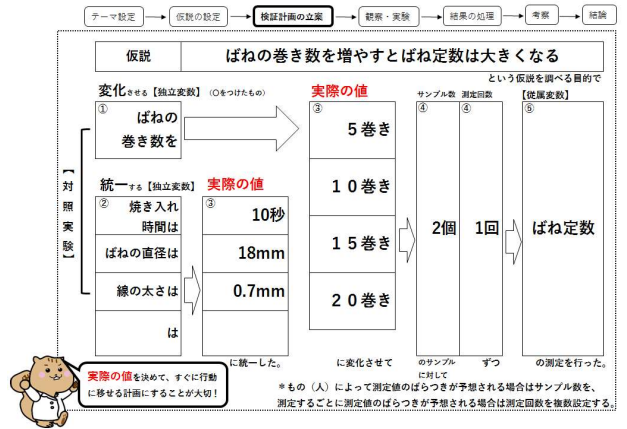
＜本時の記入イメージ (生徒に未提示)＞
探究見える化シート～仮説を設定しよう～ NO.1



探究見える化シート～検証計画を考えよう～ NO.2



探究見える化シート～検証計画を考えよう～ NO.2



＜＜文中の語句の説明＞＞ (読んでから答えてください) 【調査問題】

(1) 仮説・・・「○○を【どうする】と、○○は【どうなる】だろう」という形で表現される結果の予想
(例：糸の長さを【長くする】と振り子の周期は【大きくなる】だろう)

(2) 検証計画・・・仮説が正しいかどうかを検証するために、
①実際にどのような条件で、②何を調べるかについて述べたもの。
必要な器具・装置や手順などは書かなくてよい。
(例：糸の長さは○○cm・・・)

＜問題例＞ (* 問題は全三題で一部抜粋)

問2 あなたは「良く飛ぶ紙飛行機を作るためにはどうしたらよいか」という課題研究を行うことになった。

(1) 検証可能な仮説を一つ書け。
(2) それについての検証計画を立案せよ。



【評価基準 (検証計画の記述のみ評価)】

項目	得点		
	2	1	0
従属変数	従属変数の記載があり、検証可能である。	従属変数の記載はあるが、検証可能とはいえない。(曖昧、測定が困難)	従属変数の記載がない。
変化させる変数	変化させる変数の記載があり、1つの変数のみを適切に変化させている。	変化させる変数の記載はあるが、適切でない。(曖昧、2つ同時、大小のみ)	変化させる変数の記載がない。
統一する変数	統一する変数の記載があり、十分に考慮されている(3つ以上)。	統一する変数の記載はあるが、十分ではない。(1~2つ)	統一する変数の記載がない。
具体性	実際の値の記載があり、十分具体化されている。(変化と統一両方)	実際の値の記載はあるが、具体化は十分ではない。(変化のみor統一のみ)	実際の値の記載がない。
サンプル数 測定回数	サンプル数や測定回数の記載があり、十分である。	サンプル数や測定回数の記載はあるが、十分ではない。(曖昧、数が少ない)	サンプル数や測定回数の記載がない。

【個々の生徒の得点変化】

