

科学的な思考力を育む観察・実験の在り方に関する研究

ー観察・実験のまとめ方を中心にー

高校教育研修課 指導主事 千家 弘行

はじめに

生徒に科学的な思考力や表現力を育む理科教育の在り方については、これまで多くの議論がなされている。平成17年度高等学校教育課程実施状況調査¹⁾（以下、「実施状況調査」という）では、「実験結果をもとに考察したり、グラフに表現したりすること」に課題があることが指摘された。この課題に関する指導の改善の具体例として、「目的意識をもった実験、結果の考察など、科学的な思考を育むための指導の工夫や探究活動の充実」「図や表などのデータを正しく読み取り、グラフ化、文章化するなど、科学的に解釈し、表現する力の育成」「日常生活や既習の学習内容に結びつけて、基礎的な事項の定着を図る指導の充実」の3点が挙げられた。また、教員を対象とした質問「実験を積極的に取り入れた授業を行っていますか」に対して、肯定的な回答をした教員は約4割で、前回の「平成14年度高等学校教育課程実施状況調査」より、約10ポイント減少している。さらには、「探究活動を積極的に取り入れた授業を行っていますか」に対して、肯定的に回答した教師は2割に満たなかった。このように理科教育の現状に対する課題が指摘されてきたため、中央教育審議会が平成20年1月17日に答申した「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」²⁾においては、思考力・判断力・表現力の育成の重要性が述べられ、理数教育の充実を求めている。

しかし、平成20年度高等学校理科教員実態調査³⁾においても、「授業で、実験の手順を生徒自身によく考えさせていると思いますか」に「そう思う」と回答した理科教員の割合は1割未満であった。そして、内村浩（2009）は、PISA（Programme for International Student Assessment）2006年調査結果⁴⁾をもとに、「日本の生徒は、科学への興味・関心が低く、観察・実験等を重視した理科の授業を受けていると考える生徒が少ないことが見いだされた」と課題を指摘している⁵⁾。これらの結果は、現在、学校で行われている理科実験の多くは、実験計画書の手順にそって、既知の結果を確かめる実験（検証実験）が中心であり、実験を行うことそのものが目的となってしまう、実験の結果・データから何を導き出すかという科学的な思考力を要する学習活動に結びついていない状況の存在を示唆している。したがって、実験の目的や手順を理解し、実験結果をもとに考察したり、グラフに表現したりするなど観察・実験を重視した理科教育を行うことが、科学技術立国を標榜する我が国の喫緊の課題の1つであると言える。

そこで本研究では、科学的な思考力を育成するために、実験手順や結果の確認よりも結果をグラフや表に整理し、考察し、発表する学習活動を重視した観察・実験の授業の重要性について述べる。さらに、それに関する教授支援方略を検討することを目的とした授業計画の提案を行う。

1 科学的な思考力の育成

(1) 科学的な思考力とは

科学的な思考力について考える前に、まず思考力について考察する必要がある。

中央教育審議会審議経過報告において、思考力は「確かな学力」の育成の文脈のなかで扱われ、「知識・技能を活用し、考え行動する力」と記されている⁶⁾。また、ブルナーは、人の思考の表現（表象）形態を次の3つに分類している⁷⁾。

- ① 行為的表象のレベルー具体的な行動を通して、事象理解をする。
- ② 映像的表象のレベルー絵やイメージを通して、事象理解をする。
- ③ 記号的表象のレベルー記号やことばを通して、事象理解をする。

このブルーナーの思考の分類は、前述の「確かな学力」の育成の具体的例示である「体験から感じ取ったことを表現する力」「情報を獲得し、思考し、表現する力、知識・技能を実生活で活用する力」と一致している。

次に、科学的な思考力とは何かについて考える。論理的な思考には根拠などがあることが必要であるが、これに実証性、再現性、客観性などの条件が付加されたものが、科学的な思考力である⁸⁾。また、原田周範（2000）は、科学的な思考力について「科学者が新しい事実や法則を見つけ出すまでに払った一連の思考過程だというべきであろう。つまり、自然の事物・現象について問題を持ち、それを筋道を通して考え、得られた結果を事実に基づいて確かめ、応用・発展させていくような過程で行われる思考活動である」と述べている⁹⁾。これらの先行研究をもとに、本研究では、「自然の事物・現象について、既存の科学的な知識を用いて実証的、論理的に考えたり、観察・実験で得られた事実に基づいて科学的に判断する力」を、「科学的な思考力」の定義とする。

(2) 科学的な思考力を育成する授業展開例—観察・実験のまとめ方を中心においた授業の在り方—

村山功（2005）は、「理科教師が指示した通りに実験をさせるのなら、学習者にとってそれは単なる作業ではない。学習者は、実験を通して現象の探究や仮説の検証などに取り組んでいるわけではない。どちらの場合にも、学習者は科学的な思考を行っていないのだから、科学的思考力が身につくことは期待できない」と厳しく指摘している¹⁰⁾。また、「科学的に考えさせるためには、単に考える機会を与えるだけでは不十分で、それが科学的な思考となるような仕掛けが必要である」と述べている¹⁰⁾。この仕掛けとして、科学的な思考を行いやすい単元で実験を行うこと、目に見えないような溶解現象をモデル化すること、数量化しグラフ化することなどを挙げている。

しかし、いくら規則性を発見しやすい単元で、生徒にモデル化やグラフ化を指示しても、それらをもとにした生徒の思考活動が促進されなければ、科学的な思考力の育成は難しい状況に変わりはない。本研究では、仕掛けと仕掛けを結ぶ「発問」があつてこそ、仕掛けが有効に機能すると考える。

また、角屋重樹（2007）は、理科における問題解決過程を次のようにまとめている⁸⁾。

- ①生徒が自分で問題を見いだす。
- ②見いだした問題を解決するための見通しや解決方法を発想する。
- ③発想した解決の方法を実行する。
- ④得られた結果を発想した見通しや解決方法との関係で考察し、結論を導き出す。

この①～④の過程において、④で得られた結果が、発想した見通しのとおりにならなかった場合には、さらに、以下の過程が必要になる。

- ⑤問題に対して見通しや解決方法を見直す。
- ⑥新たな解決方法を発想する。
- ⑦新たに発想した見通しに基づく解決方法を再度、実行し、見通しや解決方法との関係で考察し、結論を導き出す。

角屋（2007）が指摘するように、上記①～③の過程は、仮説を立て、その仮説を検証するための実験方法を考え、実験することであるので、生徒の科学的な思考力を育成する上で重要ではあるが、本研究では④の過程を取り上げ、それを1時間の授業の中にどのように生徒の学習活動として展開していくかを考えていくこととする。

そこで、本研究では、「平成21年度 中・高等学校 理科教育研修講座」の内容や取組をとおして、観察・実験のまとめ方（例えば、データをグラフ化して、規則性に気づかせるなど）と発問に工夫を凝らした授業計画を提案する。

2 「平成21年度 中・高等学校 理科教育研修講座」の実施

(1) 研修のねらい

「中・高等学校 理科教育研修講座」は、9月29日（火）～30日（水）に1泊2日で実施した。中・高等学

校で共通して取り扱われる光合成、物体の運動、物質の変化をテーマとして、観察・実験の結果のまとめ方、表やグラフの読み取り方等の指導をとおして、生徒の科学的な思考力や表現力を育成する実践的指導力の向上を図ることを目的とした。

具体的なねらいとしては、

- ① 観察・実験結果のまとめ方や表やグラフの読み取り方の指導法を理解する。
- ② 観察・実験結果のまとめ方や表やグラフの読み取り方の指導を重視した授業の学習指導案を作成する。
- ③ 授業評価を生かした授業改善の技法を習得する。

の3点をあげた。

(2) 研修内容

1泊2日の講座の内容を表1に示す。

最初に、大阪教育大学の畦浩二教授に「科学的な思考力や表現力の育成」と題して、観察・実験の結果のまとめ方、表やグラフの読み取り方の指導の在り方について講義していただいた。その中で、現在の我が国の理科教育の現状とPISA調査の結果の関係についても解説があり、理科教育の水準は上位にあるが、結果と考察を区別してレポートが書けない生徒が多いことについて実例をあげながら指摘されたので、受講者にとって結果のまとめ方の指導の重要性を深く理解できる講義であった。

1日目の午後の発表「授業実践に学ぶ」は、小学校教員、高等学校教員の2名により、観察・実験結果のまとめ方についての実践発表があった。その内容は、実験で得られたデータの扱い方、まとめ方、グループ発表の仕方などの工夫点や課題等であった。そのため受講者にとって参考となる点や共感できる点が多く、観察・実験の改善に向けての意欲を刺激することができた。その後の演習では、「観察・実験結果のまとめ方やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくりⅠ」と題し、受講者が持参した学習指導案・実験計画書をグループ内で発表し、協議を行った。その協議の視点は、実験のねらいを理解した上で、生徒が目的意識をもって観察・実験を行い、その結果をまとめ、それを科学的に解釈し、表現する力を身につけさせる時間が効果的に設定されているかというところにあった。

表1 理科教育研修講座の研修内容

月 日	研 修 内 容	講 師
9 月 29 日	講義「科学的な思考力や表現力の育成 －観察・実験の結果のまとめ方、表やグラフの読み取り方の指導の在り方－」	大学教員
	発表「授業実践に学ぶ－観察・実験結果のまとめ方の指導の実践－」	小学校教員 高等学校教員
	演習「観察・実験結果のまとめ方やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくりⅠ －観察・実験結果のまとめ方－」	指導主事
9 月	演習・協議「観察・実験結果のまとめ方やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくりⅡ －学習指導案の改善－」	指導主事
30 日	発表・協議「観察・実験結果のまとめ方や表やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくりⅢ－模擬授業と相互評価を踏まえて－」	指導主事

2日目の午前は、演習・協議「観察・実験結果のまとめ方やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくりⅡ」と題し、1日目の演習で受講者が発表し、相互評価した結果に基づき学習指導案の改善を行った。そして、研修の最後となる午後の発表・協議「観察・実験結果のまとめ方やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくりⅢ」では、改善した学習指導案により受講者全員が30分の模擬授業を行った。この模擬授業では、まず、最初に、模擬授業者自身が、授業を評価して欲しい3点（科学的な思考力や表現力を育成するための工夫）を参観者に伝え、その3点を中心に授業評価を行った。受講者は、グラフを予想させたり、読み取らせる工夫や、グループで発表させる工夫など、2日間の研修の成果を模擬授業を行うことで共有し、理解を深めることができた。

(3) 観察・実験の現状と課題—受講者に対する聞き取り調査から—

本講座の受講者に現在行っている観察・実験について個別に聞き取り調査を行った。観察・実験の実施状況に関する結果の一部を表2に示す。

観察・実験は行っているが、生徒に予想や仮説を立てさせている教員は、9人中4人であり、観察・実験のうち検証実験が多いと回答した教員は9人中7人を占めている。また、観察・実験後に十分な考察の時間を確保できているのは9人中2人に過ぎず、結果についての発表活動を行っているのは9人中5人であった。

表2 講座受講者に対する聞き取り調査の結果（受講者数9名）

問1	観察・実験は、生徒に予想や仮説を立てさせてから実施していますか			
	毎回	11.1% (1人)	ほぼ毎回	33.3% (3人)
	あまりしていない	55.6% (5人)	していない	0% (0人)
問2	現在行っている実験は、検証実験が多いですか			
	多い	44.4% (4人)	やや多い	33.3% (3人)
	やや少ない	22.2% (2人)	少ない	0% (0人)
問3	現在行っている観察・実験は、考察の時間を十分に確保できていますか			
	できている	11.1% (1人)	ややできている	11.1% (1人)
	あまりできていない	66.7% (6人)	できていない	11.1% (1人)
問4	現在行っている観察・実験は、結果についてグループで話し合っていますか			
	話し合っている	11.1% (1人)	だいたい話し合っている	44.4% (4人)
	あまり話し合っていない	44.4% (4人)	話し合っていない	0% (0人)
問5	現在行っている観察・実験は、結果について話し合った内容を全体で発表する時間を設けていますか			
	設けている	11.1% (1人)	だいたい設けている	44.4% (4人)
	あまり設けていない	22.2% (2人)	設けていない	22.2% (2人)

これらの結果を、「理科教員実態調査」³⁾での「高等学校 総合的な理科 普通科」の結果と比較する。問1、2に関連した「実験の手順を生徒自身によく考えさせていると思いますか」という質問に対して「そう思う」と回答した教員は、4.7%であった。また、問3～問5に関連した「生徒に自分の考えを発表する機会をよく与えていると思いますか」「実験したことからどんな結論が得られるかをよく考えさせていると思いますか」という質問に対して「そう思う」と回答した教員は、それぞれ4.4%、7.5%であり、本研究の結果と同様の傾向であった。

一方、本講座で講師として授業実践の発表を行った高等学校の理科教員は、観察・実験の進め方について次のように語った。

実験をととして、データの取扱について考えさせようと中和滴定の実験を活用しました。実験後、生徒の作成した表とグラフをもとに誤差の扱いについて1時間の授業を行ったところ、実験データに対する生徒の見る目が変わり、正確性や再現性にこだわりが生まれ、結果を鵜呑みにする生徒が減り、数値の意味を考えるようになりました。

この事例の成功の要因は、実験後にもう1時間の授業を活用できたこと、テーマを「誤差の扱い」というように明確にしたことであると考えられる。授業時間には限りがあるため、この単元、この実験の時に、科学的な思考力を育成するための仕掛けのタイミングが大切でもあることを示した事例だと言える。

以上の本研究での聞き取り調査と「理科教員実態調査」³⁾の結果から、実験手順を生徒自身によく考えさせることや、実験で得られた結果について、グループで話し合ったり、話し合った結果を全体で発表し、議論するなどの活動が不足しているという課題が明らかとなった。これらの課題を克服し、科学的な思考力を育成する授業計画を次章で提案する。

3 科学的な思考力を育成するための授業計画の提案

理科における観察・実験の方法は、大きく分けて帰納法と演繹法があり、どちらの方法を重視するかによって、授業展開は異なってくる。多くの観察・実験の授業では、帰納法的発見学習を基本にしている。帰納法とは、観察・実験で得られた個々の具体的事象から、一般的な原理や法則を導き出す（発見する）方法である¹¹⁾。理科教育研修講座では、「観察・実験結果のまとめ方やグラフの読み取り方の指導を重視した授業づくり」を主題とした。この講座では、運動の法則などを題材として、模擬授業を行った。その中では、帰納法と演繹法による両方のアプローチがあった。帰納法と演繹法の特徴を理解し、単元や実験の目的に応じて実験方法を考えることが重要であり、川上昭吾（2003）は、「発見的、帰納的な問題解決学習と、受容的、演繹的な問題解決学習を柔軟に使い分け、有意義な学習を進めていくことがこれからの理科教育の充実・発展のために肝要である」と述べている¹²⁾。

本研究においては、1 (3) で述べたように仕掛けとして、一般的な原理や法則を導き出しやすく規則性がグラフから読み取りやすい高等学校物理Ⅰの「運動の法則」の単元を取り上げる。そのため帰納法に軸をおいた科学的な思考力を育成するための授業計画を以下において提案することとする。なお、この授業計画は、理科教育研修講座の受講者が受講後に作成した観察・実験の学習指導案をもとに作成したものである。

(1) 授業の目指すもの

本授業計画では、次の5つの観点を授業の中に盛り込んでいく。

- ① 実験に対する目的意識の明確化－課題の提示－
- ② 予想させ、その理由を全体で共有する
- ③ 実験結果に対する解釈－グラフの提示と議論－
- ④ 発見した法則を全体に発表し、話し合う場面を設定する
- ⑤ 実験レポートの書き方の指導

また、生徒の学習活動との詳細な関係は、4章で説明することにするが、本授業計画における仕掛けを有効にするために発問の工夫を加える。例えば、

- ・教員が生徒にどのような形でデータを提示するか
- ・どのようにデータを解釈させるか
- ・既有知識との関連性の提示のタイミング

などであり、発問の内容とタイミングに注意することで、生徒に物体の運動における規則性に気づかせ、物理現象を頭の中で再現、イメージできるようにさせることを目指している。

(2) 科学的な思考力を育成するための授業計画

- ア 単元名 「運動の法則」
- イ 単元指導計画
- | | |
|---------|------------------------|
| 1時間目 | いろいろな力 |
| 2～4時間目 | 力のつり合い |
| 5～8時間目 | 運動の法則 |
| 9～13時間目 | 摩擦や空気抵抗を受ける運動（本時は12時間） |
- ウ 単元目標 身の回りにあふれる「力」の種類・表し方を知り、さまざまな力学的な状況を運動方程式で表現し、解くことができる。
- エ 本時の目標 摩擦を含む運動のようすを、実験データによる $v-t$ （速度－時間）グラフ（以下、「 $v-t$ グラフ」という）や運動方程式などを用いて説明できる。

オ 本時の評価規準

【a】関心・意欲・態度	【b】思考・判断	【c】観察・実験の技能・表現	【d】知識・理解
分析や考察などに意欲的に取り組み、授業に積極的に参加している。	実験データに基づいた根拠を示しながら、考察を行うことができる。	データや作成したグラフをもとに議論した内容を、発表でき、レポートにまとめることができる。	問題の状況に対して運動方程式を立てることができる。

カ 本時の授業計画

	学習内容	生徒の活動	指導上の留意点	評価の観点等
導入	- 前時の実験の復習 - 本時の学習内容	- 実験内容を確認する。 - 本時の学習内容を聞き、理解する。	前時に予め、「$v-t$ グラフ」作成用の各班の実験データをコンピュータに入力させておく。	
展開	作成したグラフの分析（「$v-t$ グラフ」を読む）。	プロジェクタでスクリーンに映された「$v-t$ グラフ」と実際の物体の運動を対応させる。加速と減速の境目に注目し、運動のようすがどのように変化したかを把握する。また、最高速度も確認する。	①実験に対する目的意識の明確化 - 考察シート（資料）を配布する。 - 予めグラフの山がわかりやすい班の「$v-t$ グラフ」をプロジェクタで表示する。 - 班毎に運動のようすを議論させる。 2, 3の班に質問した後、全体に運動のようすを説明し、確認する。	
	実験の状況に応じ運動方程式を立てて解く。	おもりが落下するまで（加速）とおもりが地面に着いてから木片が停止するまで（減速）の2つの状況について、考察シートの図に力を書き込み、運動方程式を立てて解く。	②予想させ、その理由を全体で共有 - 机間指導し、アドバイスをを行う。 - 式を解いて、質量に依存するかしないかを確認させる。	運動方程式を立て解く。 【a】【d】
	グラフから加速度を求める。	「$v-t$ グラフ」の加速部分、減速部分の傾きをそれぞれ求める。 - 班毎に得た数値について話し合い、発表する。	②予想させ、その理由を全体で共有 ③実験結果に対する解釈 「$v-t$ グラフ」の傾きが加速度を表すことは既習であるが、発問により確認する。 - コンピュータに各班のデータを入力させる。また、各班の発表と同時に入力したデータを見せる。	加速度を算出できる。 【d】
	表を読み解く。	- 班毎の数値を見て、その傾向を考える。 - 発問に答える。	③実験結果に対する解釈 - 表の数値を見て気づくことはないか、発問する。特に、おもりの質量を変えて「変化している値（加速部分）」と「変化していない値（減速部分）」に注目させる。 - 質量が大きくなれば減速に転じる直前の速度も大きくなっていることを確認しておく。	質量に依存する値と依存しない値の存在に気づく。 【a】【b】【c】
	表とグラフを見比べる。	各班のグラフを比較し、物理現象とどのように対応しているか考える。		

	・動摩擦力の算出と実測値との比較	・グラフの傾きを用いて、既に求めた運動方程式から動摩擦力の大きさを求め、発表する。また、他の班の数値とも比較する。 ・動摩擦力を含めた運動方程式を解き、理論値と測定値を比較する。 ・各班のデータをグラフにして比較する。	③実験結果に対する解釈 ④発見した法則の全体発表と話し合う場面の設定 ・各班で処理したデータを前に示し、動摩擦力は物体の速度に依存しないことを確認させる。 ・理論値と測定値に誤差がある場合は、その原因を班で考えさせる。	動摩擦力を含んだ運動方程式を解くことができる 【a】【b】【d】 班で議論して誤差の原因を考えることができる 【a】【b】【c】
まとめ	・本時のまとめ ・レポート課題	・実験データを処理したグラフや表をもう一度確認しながら解釈の仕方を復習する。 ・レポート課題の内容を聞く。	⑤実験レポートの書き方の指導 ・実験データを処理してグラフや表を作ること、物理現象を頭の中で再現、イメージできることを強調する。 ・気づいたことなどは考察として調べるように指示する。	レポートを作成する 【a】【b】【c】【d】

4 科学的な思考力を育成するための意図的、計画的な工夫とその実践に向けて

(1) 科学的な思考力を育成するための意図的、計画的な工夫

ア 実験に対する目的意識の明確化－課題の提示－

科学的な思考力を育成するために観察・実験をどう授業に位置付けるかを考えてみる。帰納法による観察・実験は、法則を発見するために実験データを収集することが中心となる。そのため、生徒は実験を楽しみながらデータを得ることができるが、得られた情報の意味がわからないことが多い。つまり、いざ考察となると「わからない」という状況に陥ることが多いのである。この状況を克服するためには、観察・実験を始める前に、実験の目的意識を明確にする必要がある。その際には、興味・関心を高め、法則を発見したいと思わせる発問、つまり課題の提示の仕方を工夫することが求められる。

本事例では、「 v - t グラフ」をプロジェクタで映し出し（図1）、グラフの変化に注目させ、生徒の思考が整理しやすくなるように誘導するために、次の発問を行うようにする。また、班毎におもりの重さを変えることで、物体の運動の規則性の存在に気づきやすいようにしている。

【発問1】 「グラフは2本の直線から構成されているが、どうして右上がりと右下がりのグラフになっているのだろうか」

【発問2】 「グラフの変曲点の前後で、物体の運動にはどんな変化が起きているか、考えてみよう」

イ 予想させ、その理由を全体で共有する

生徒に予想させるためには、単に「考えてごらん」と発問するだけでは不十分である。なぜ、そのように「考えた理由」を聞くことが必要である。なぜなら、これまで学習した既有知識（内容）と生活体験に基づいてこそ、科学的な予想と呼べるからである。予想した内容とその理由をクラスやグループで発表することをとおして、興味・関心を引き出し、目的意識を高める工夫を行う。

本事例では、「 v - t グラフ」の加速部分、減速部分の傾きをそれぞれ求めさせ、班毎に得た数値を発表させている。各班の数値を整理し、プロジェクタでスクリーンに数値の一覧表を映し出し、その傾向をグループで考えさせる。その際には、加速している部分と減速している部分に注目させている。この注目によって、質量に依存する値と依存しない値の存在に気づかせることを期待している。

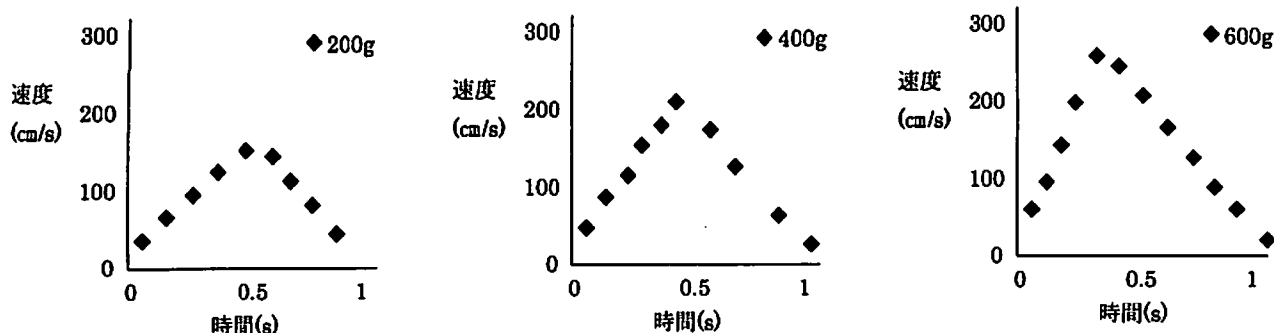


図1 摩擦を含む運動のv-t（速度－時間）グラフ

例えば、次のように発問する。なお、発問したあとは、机間指導し、生徒の理解の程度状況により、理解を促進させるために、さらに発問を行うようにする。

【発問1】 「減速部分に注目します。速度 v_0 の木片が、水平な粗い机の面上を距離 x 動く間に速度が v に減少した場合を考えましょう。グラフの右下がりの部分ですね。この部分の摩擦力による加速度 a と木片と机の面との間の動摩擦係数 μ をそれぞれ求めなさい。重力の加速度は g とします」

【発問2】 「動摩擦力は、どちらの方向にはたらくのかを考えて、運動方程式を立ててみましょう」
 <発問後の説明：「運動方程式は、 $F=ma$ と表されるので、 $ma=-\mu mg$ によって、加速度 a は、 $a=-\mu g$ となり、質量に左右されないことがわかります」>

【発問3】 「では、動摩擦力 F の大きさは、どのように表すことができますか」

【発問4】 「復習ですが、動摩擦力 F の大きさは、木片が面から受ける垂直抗力に比例するということから、考えましょう」
 <発問後の説明：「垂直抗力を N とすると、 $F=\mu N=\mu mg$ となります。従って、動摩擦力は、質量に比例することがわかりました」>

ウ 実験結果に対する解釈－グラフの提示と議論－

得られたデータをどのように整理し、グラフに表すかは、法則を発見する上で非常に重要な過程である。これは4(1)アで述べた実験に対する目的意識を明確にしておくことも関連するが、教員がグループで議論している生徒の思考過程を観察しながら、追加の発問や修正を加える工夫を行う。

本事例では、コンピュータを利用し、班毎にグラフを書かせ、それらのグラフを比較しやすいようにプロジェクタでスクリーンに映すことによって、得られた情報を分析・評価しやすくしている。さらに発問を加え、運動の規則性の発見を促す。また、グラフの傾きを用いて、既に求めた運動方程式から動摩擦力の大きさを求め、全体に発表させる。そして、他の班の数値とも比較させ、動摩擦力は物体の速度に依存しないことを確認させるために次の発問を行う。

【発問1】 「班で求めた加速度の値の表があります。これをグラフにしてみましょう」

【発問2】 「加速度とおもりの質量には、どのような関係があるか、グラフから考えてください」

【発問3】 「右下がりのグラフの部分は、摩擦力によって減速していますから、加速度は負ですね。運動方程式を立てて、動摩擦係数を求めましょう」

次に、動摩擦力を含めた運動方程式を解き、理論値と測定値を比較することで（図2）、誤差の存在に注目させ、誤差が生じる原因を考えさせている。

エ 発見した法則を全体に発表し、話し合う場面を設定する

上記ア～ウにも共通するが、発見した（気づいた）法則は、全体に発表することでより確かになり、理解が深

まる。また、実験データを処理して作成したグラフや表を根拠に、物理現象を「自分の言葉でどうしてこうなるのか」というように説明することは、思考力の育成に高い効果が期待できる。

オ 実験レポートの書き方の指導

実験の仕上げは、レポート作成である。そして科学的な思考力は、実験中だけでなく実験レポートを作成する過程においても育成されるものである¹³⁾。そのため、生徒に正しく実験レポートを書かせる指導が必要である。実験レポートに必要な項目を図3に示す¹⁴⁾。また、田代直幸(2008)は、理科教育においても読解力育成の必要性を指摘し、授業実践を行う上での4つのポイントを挙げている¹⁵⁾。それは

- ① 自然の事物・現象をきちんと記述させる。
- ② 結果と考察を書き分けられるように指導する。
- ③ 多面的な見方を育てる指導を充実する。
- ④ 論理的でわかりやすい文章の書き方を指導する。

である。特に、②の「結果と考察を書き分けられる」ことに関しては、考察の欄に結果を書いてしまう生徒が多い現状がある。そのため、次のような定型文を提示し、結果と考察の違いを認識させる試みが行われている¹⁴⁾。

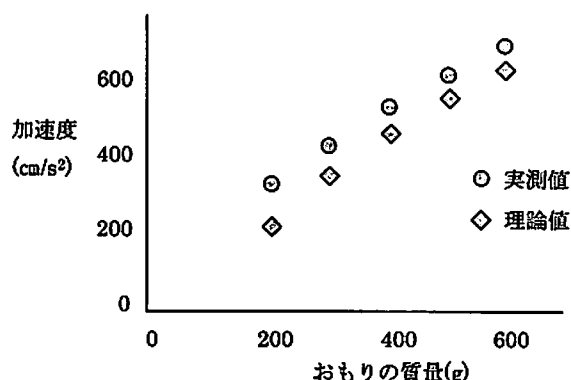


図2 加速度の比較

1 目的	考察する内容
2 操作	実際に行った手順
3 結果	観察した事実
4 考察	(結果) から、(結論) だろうと考えた。 その理由は、(根拠) だからである。

図3 実験レポートの項目

結果の定型文 「〇〇という操作をしたら、〇〇という結果になった。」

考察の定型文 「〇〇という結果だったので、〇〇と考えた。その根拠は〇〇だからである。」

このようにレポートの定型文を参考にして、生徒がレポートを作成することは大切である。そして、そのレポートの内容を教員が評価し、その結果をどのように生徒にフィードバックするのかという課題がある。生徒に結果をフィードバックするには、レポートを正しく評価するための評価規準が必要である。つまり、この観察・実験においての生徒につけさせたい力を明確にしなければいけないのである。

(2) 授業計画の実践に向けて一理科教員への聞き取り調査の結果から見えるもの一

理科教育研修講座を受講した理科教員の主な感想を以下にまとめた。

- ・ 単に実験を繰り返し行うだけでは、科学的な思考力を育成できないことが理解できた。
- ・ 実験結果を得ることが目的ではなく、実験結果をどう解釈するかについては、教員側のタイミングを考えた指示や発問が重要であることが理解できた。
- ・ 科学的な思考力を育成するための仕掛けを実験に組み込む意識が必要であることが理解できた。
- ・ 観察・実験でのまとめの時間の重要性は、理解できたが、授業時数の関係から実験に1時間、まとめに1時間をとることは、現実的には難しいと思う。

理科教育研修講座の受講者は、観察・実験と科学的な思考力の育成との関連性について理解を深めることができた。それは、科学的な思考力を育成する観察・実験には仕掛けが必要だということである。思考力は、論理的に段階を追って説明できる力であるので、それを育成するには論理的に段階を追って、根拠に基づき考えさせることが必要となる。それを観察・実験の中で、段階的に体験させる。それが科学的な思考力を育む観察・実験の

基本になるのである。しかし、受講者の感想にあるような「理解できた」だけでは不十分である。「理解できた」ことを実践に移すことが重要なのである。次に、本授業計画を実践に移すために克服すべき課題についてまとめる。

ア 授業展開の再構築

授業展開の再構築には、時間的な2つの意味がある。第1に、1単位授業時間内に実験を終わらせることができるという点、第2が、年間指導計画に組み込むことができるという点である。それは、授業時間内に、グラフや表を読み解き、班で話し合い、発表する学習活動が可能かどうかということである。これを可能にするには、生徒の実態を把握し、課題の提示の仕方、グラフや表の解釈の仕方などについてどう支援するかを想定し、授業展開を組み立てる必要がある。

イ 観察・実験の精選・年間指導計画の重点化

本授業計画のように法則や規則性を発見させたい単元であれば、他の単元の観察・実験の配当時間を変更し、重点的に授業時間を配分するなどの工夫が求められる。また、そのような授業時間の配当を年間を通して考えておく必要がある。

ウ 評価規準の作成

観察・実験における評価規準の作成は、学習内容や学習活動の目的を明確化する上で必須である。また、評価規準の作成は、授業展開を見通すことを可能とし、「時間の制約」に対しても有効である。

本研究は、科学的な思考力を育む観察・実験の在り方について考察し、1つの授業計画を提案した。今後は、この授業計画に基づき、授業実践を行い、生徒にみられる科学的な思考力の変容を評価し、より効果的な観察・実験の在り方を明らかにしていきたい。

おわりに

理科教育の充実が求められているなか、平成20年度高等学校理科教員実態調査³⁾の結果では、「高等学校における理科は、生徒が科学技術や自然と将来どのようにかかわって生きていくかに大きく影響を与える学習機会であるにもかかわらず、2006年に実施されたOECDのPISA調査⁴⁾の結果などから、日本の高校生の科学に対する意識が国際的に低い水準にある」と総括している。このギャップを埋めるために、本研究では、科学的な思考力を育むための授業計画の提案を行った。実験回数を増やすためには、授業時間の制約、予算の制約などの存在が壁となる。したがって、ただ実験回数を増やすことだけでなく、1回の観察・実験に「生徒に考えさせる仕掛け」をどのように組み込んでいくかが大切となる。そして、理科(科学)と日常生活の関連性、職業との関連性について積極的に触れ、理科の重要性を伝える必要がある。

注)

- 1) 国立教育政策研究所教育課程研究センター『平成17年度高等学校教育課程実施状況調査』, 2007. 4
- 2) 中央教育審議会答申, 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について」2008. 1
- 3) 科学技術振興機構、国立教育政策研究所『平成20年度高等学校理科教員実態調査』, 2009. 3
- 4) 国立教育政策研究所編『PISA2006年調査 評価の枠組み—OECD生徒の学習到達度調査』ぎょうせい, 2007.
- 5) 内村浩『授業に活かす! 理科教育法』, 左巻建男・内村浩編著, 2009. p12
- 6) 中央教育審議会・初等中等教育分科会・教育課程部会『審議経過報告』, 2006. 2
- 7) Bruner, J. S. 『ON KNOWING』Harvard University Press, 1977. pp20-21
- 8) 角屋重樹『科学的な思考力を育むカリキュラムと教材開発』, 角屋重樹監修 広島大学附属福山中・高等学校著, 東洋館出版社, 2007. 2, pp6-11

- 9) 原田周範『理科重要用語 300 の基礎知識』, 武村重和, 秋山幹雄編, 明治図書出版, 2000. pp163
- 10) 村山功『科学的思考力を育成する授業づくり』, 理科の教育, 東洋館出版社, 2005. 7, pp12
- 11) 理科教育研究会『新学習指導要領に定める理科教育』, 東洋館出版社, 2009. 3, pp114-117
- 12) 川上昭吾『教えの復権をめざす理科教育』, 東洋館出版社, 2003
- 13) 松原静郎『観察・実験の技能・表現の評価』理科の教育, 東洋館出版社, 2001. 8
- 14) 松原静郎『実験レポートの書き方』, 国立教育政策研究所, 2005. pp6
- 15) 田代直幸『これからの理科教育』, 北海道立理科教育センター研究紀要, 第 20 号, 2008

<参考文献>

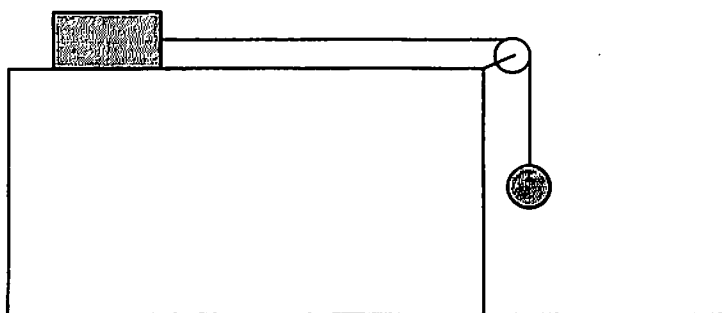
- ・文部科学省『高等学校学習指導要領解説 理科編』, 2009. 7
- ・羽村昭彦他『高等学校理科における科学的な思考力を育成するための教材に関する研究—観察、実験などを探究的に行う教材の開発』 広島県立教育センター研究報告, 2005
- ・森本信也, 横浜国立大学理科教育学研究会編著 『子どもの科学的リテラシー形成を目指した生活科・理科授業の開発』, 東洋館出版社, 2009. 1
- ・山田卓三・秋吉博之編著 『理科教育法 理論をふまえた理科の授業実践』, 大学教育出版, 2009. 4
- ・新牧賢三郎監修『科学的思考力・表現力の育成』, 明治図書, 2008. 12
- ・角屋重樹『思考力・表現力の育成』, 理科の教育, 東洋館出版社, 2009. 8, pp8-11

資 料

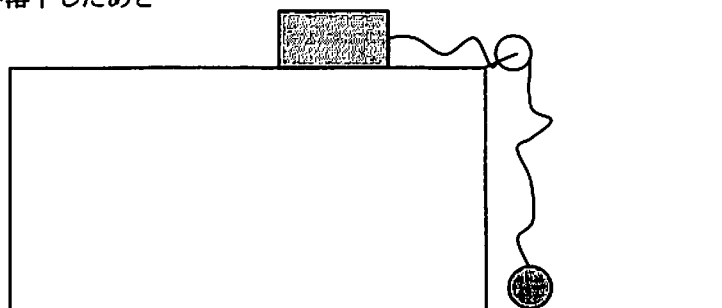
考察シート

- (1) 実験の状況を運動方程式を立てて表し、木片の加速度を求めよ。ただし、木片の質量を m 、おもりの質量を M 、木片と机との間の動摩擦係数を μ 、重力加速度を g とする。

●おもりが落下中



●おもりが落下したあと



(2) 実験であなたの作った $v-t$ グラフから、加速度 cm/s^2 を求めなさい。

おもりの質量 () g

●おもりが落下中

●おもりが落下したあと

(3) 各班の値を下の表に書き写し、表を完成させなさい。また、この表から気づいたことを書きなさい。

おもりの質量 (g)	おもりが落下中 (cm/s^2)	おもりが落下したあと (cm/s^2)

<気づいたこと>

(4) 自分の班のデータから動摩擦力の大きさ (N) を求めなさい。

(5) 動摩擦係数を求めなさい。ただし、重力加速度の大きさは 9.80m/s^2 とする。

(6) 求めた動摩擦係数を (1) の落下中の式に代入して、加速度の理論値を求めよ。(2) で $v-t$ グラフから求めた値と比較し、違いがある場合にはその原因を考察しなさい。