

原理・法則に基づいて思考する力を育む高等学校物理力学分野の実践

—仮説設定の習得・活用の2段階プロセスと対話活動を通して—

長期研究員 田村 圭

《研究の要旨》

本研究は、高等学校物理の力学分野の学習において、生徒の原理・法則に基づいて思考する力を育むことを目指したものである。そこで、原理・法則を活用する仮説の設定に着目し、仮説設定の習得段階・活用段階の2段階プロセスを設けた。さらに、各段階に合わせた生徒の対話活動を工夫し、原理・法則に基づいた思考がより充実するようにした。このことにより、原理・法則を用いて仮説を設定し、検証実験をする生徒の姿が確認できた。

I 研究の趣旨

これまでの高等学校での授業は、「観察・実験や探究的な活動が十分に取り入れられておらず、知識・理解を偏重した指導となっている」と指摘されている^{*1}。物理の学習では、授業で学んだ原理・法則を身に付け、それらを実際に活用することが重要である。しかし、学習内容を覚えることが主となり、それらを用いて試行錯誤することに重点を置いていない状況である。その結果、教師が教えることや教科書に書いてある公式を覚えることが物理の学習であると生徒が認識するようになってしまっている。生徒が行う実験においては、実験の技術を学ぶという意味が大きく、自分たちで思考するという意味は小さくなってしまっている。

次期高等学校学習指導要領では、物理基礎の目標において、従前の「目的意識をもって観察、実験などを行い」から「見通しをもって観察、実験を行うこと」と変更された。この「見通しをもって観察、実験を行うこと」について、同解説理科編理数編では「観察、実験などを行う際、(中略)、予想したり仮説を立てたりしてそれを検証するための観察、実験を行わせることを意味する」と記され、仮説を立てることの重要性が強調されている。高等学校物理の力学分野では、物体の運動を考察したり問題を解いたりする際、原理・法則を活用して考え、数式や数字を用いて説明することが求められる。その説明を、本研究では生徒の設定する仮説ととらえることとする。

以上のことから、本研究では仮説を設定するまでのプロセスを工夫することで、生徒の主體的な学びを実現したいと考えた。習得・活用の2段階プロセスの中に、思考をつなぎ広げる生徒同士の対話活動を取り入れることで、原理・法則に基づいて思考する力を育成したいと考えた。

^{*1} 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及び必要な方策等について(答申)(中教審第197号)

II 研究の概要

1 研究仮説

高等学校物理の力学分野において、以下の視点に基づいた手だてを講じれば、生徒の「原理・法則に基づいて思考する力」を育てられるだろう。

【視点1】仮説設定の習得・活用の2段階プロセス

【視点2】生徒の思考をつなぎ広げる対話活動

2 研究の内容

本研究は図1に示した単元の学習の流れに沿って授業を展開し、「疑問を引き出す演示実験」から「仮説(i)」までを第1段階、「条件を変えた実験課題」から「考察・まとめ」までを第2段階とする。

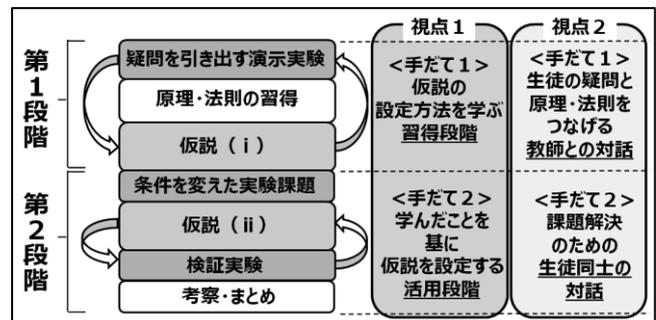


図1 単元の学習の流れ

(1) 【視点1】仮説設定の習得・活用の2段階プロセス

<手だて1> 仮説の設定方法を学ぶ習得段階

第1段階で実施する。疑問を引き出す演示実験後、生徒は、原理・法則を学習し、それらを用いて演示実験に関する仮説(i)を教師とともに設定する。これらにより、仮説の設定方法を習得させる。

<手だて2> 学んだことを基に仮説を設定する活用段階

第2段階で実施する。条件を変えた実験課題の解決のため、生徒は、第1段階で学んだ原理・法則を用いて検証実験に関する仮説(ii)を設定する。妥当性を検証実験で確認し、結果によっては仮説(ii)を修正する。これらにより、学んだ原理・法則を活用して仮説を設定させる。

(2) 【視点2】生徒の思考をつなぎ広げる対話活動
 〈手だて1〉生徒の疑問と原理・法則をつなげる教師との対話

第1段階で実施する。演示実験後、何が疑問か、何が分かれば仮説(i)を設定できそうかななどの疑問点を、教師との対話を通して生徒から出させる。生徒は自分の疑問を解決するための必要感をもち、原理・法則を習得できると考える。

〈手だて2〉課題解決のための生徒同士の対話

第2段階で実施する。生徒は第1段階で学んだ原理・法則を用いて個人で仮説(ii)を設定する。その後、班での対話活動を通して仮説(ii)を修正したり、改善したりして検証実験に取り組む。この活動によって、原理・法則に基づいて思考する力が育成できると考える。

3 研究の実際

対象学年	第2学年57名(2学級)
授業実践Ⅰ	物理基礎「加速度・落体の運動」11時間
授業実践Ⅱ	物理基礎「運動方程式」11時間

研究の実際では、図1の単元の学習の流れに沿って第1・第2段階ごとに手だての有効性について述べる。

(1) 授業実践Ⅰ

① 第1段階

ア 【視点1】〈手だて1〉について

最初の演示実験として、加速度を正とする自由落下実験を実施した。ある高さからボールを落下させ、落下時間を計算し、実測値と比較して、落下時間と落下距離に関係があることを確認した。生徒は、落下させた物体の速度を測定することで関係性を知ることができると考え、加速度や等加速度運動における速度の式・変位の式を習得した。その後、校舎3階からボールを落とし、落下時間から高さを求めることを仮説(i)として検証実験を行った。生徒Aは、変位の式を用いて仮説(i)を設定しており(図2)、

生徒Aの仮説(i)

$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 変位の式(原理・法則)

$x = 0 + 1.29 + \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.29^2$

$= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.6641$

$= \frac{1}{2} \times 16.30818$ 高さは約 8.2 m

$= 8.15409$

仮説(i)

図2 実践Ⅰ 生徒の仮説(i)

また、生徒Bは、考察の中で変位の式($x = v_0 t + at^2/2$)を用いた計

生徒B: $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ の式に当てはめると、求められる。
 けど、機械ほど正確にできない

生徒C: この実験で計算で出したりの予想が立てられることが
 分る。

図3 実践Ⅰ 仮説(i)を検証した生徒の考察

算の有用性について述べており、原理・法則を用いた仮説の設定方法を習得できたことが分かった(図3)。

イ 【視点2】〈手だて1〉について

演示実験を観察した後、「何が疑問か」「何が分かれば仮説(i)を設定できそうか」と問うと、図4のように、なぜ物体の速さが変わるのか、落下運動は何によって決まるのか、という疑問が生徒から出された。この疑問を取り上げ、全体で共有することで、生徒は課題を自分事ととらえ目的意識をもって原理・法則を習得しようとしていた。

生徒D: なぜ速さが変わるのか

生徒E: 運動しているものに力がかかると

図4 実践Ⅰ 生徒から出された疑問

② 第2段階

ア 【視点1】〈手だて2〉について

条件を変えた実験課題として、加速度を負とする鉛直投げ上げ実験を実施した(図5)。

自分たちで小球を

打ち上げる速度を決め、

最高点の高さを

仮説(ii)として

設定した。生徒Fは、第1

段階で学習した速度

の式・変位の式を用いて思考

していた(図

6)。その後、タ

ブレットで運動

の様子を撮影し、

仮説(ii)

の検証を行った

(図7)。自分た

ちで初速度を決

めたため、小球

の運動及び仮説

(ii)は班ごとに

異なるものとな

った。

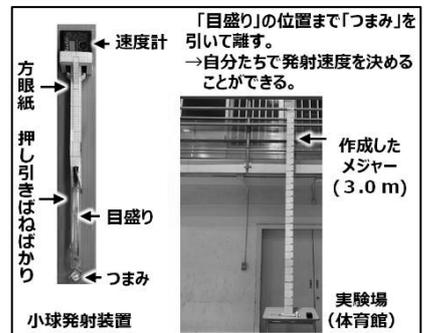


図5 鉛直投げ上げ実験装置

生徒Fの仮説(ii)

$v_0 = 3.24 \text{ (m/s)}$ $a = -9.8 \text{ (m/s}^2)$

$v = v_0 + at$

最高点で $v = 0$ とする

$0 = 3.24 - 9.8t$

$9.8t = 3.24 \rightarrow t = \frac{3.24}{9.8} = 0.33 \text{ (s)}$ (Δt)

$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

$= 3.24 \times 0.33 + \frac{1}{2} \times (-9.8) \times (0.33)^2$

$= 0.53 \text{ (m)}$

面積 $x = 0.33 \times 3.24 \times \frac{1}{2}$

$= 0.53 \text{ (m)}$ (\square)

図6 実践Ⅰ 生徒の仮説(ii)

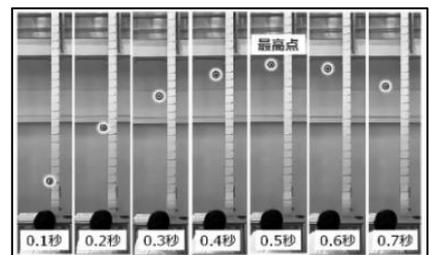


図7 鉛直投げ上げの様子

イ 【視点2】〈手だて2〉について

班内で仮説 (ii) が適切かどうか議論する時間を設けた。ここでは、変位の式の立て方やその式が適切かどうか確認し合う生徒の姿が見られた。また、自分が設定した仮説と班員の仮説に違いが見られ、その原因について考える対話も見られた。

(2) 授業実践Ⅱ

① 第1段階

ア 【視点1】〈手だて1〉について

演示実験として、質量の違う2台の力学台車の運動を観察した(図8)。ここで、台車の質量と引く力の大きさによって運動の加速度が異なることを確認し、それらの関係を確認する実験を行った(図9)。その後、運動の加速度と引く力から求められる台車の質量を、運動方程式を用いて求めた。これを仮説(i)とし、ほぼすべての生徒が仮説(i)を設定することができた(図10)。その後、実際に

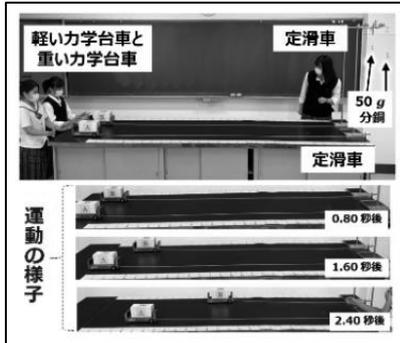


図8 台車の運動の違い



図9 台車の加速度測定実験

質量を電子天秤で計測し、考察した(図11)。ここでは、運動方程式の有用性が述べられており、原理・法則を用いた仮説の設定方法を習得できたことが分かった。また、手で台車を引くと誤差が大きいため、おもりで引く(2物体の運動と考える)ことで誤差が小さくなるという提案があり、その考えをもとに第2段階へ進んだ。

生徒Gの仮説(i)

運動方程式より、 $ma = F$

$m = \frac{F}{a}$ 仮説(i)

$\frac{0.49}{0.39} = 1.26 \text{ kg}$

(2) 質量を測定してみよう。

電子天秤で計測した m の値 = 1.5 [kg]

図10 実践Ⅱ 生徒の仮説(i)

生徒H: 運動方程式が $ma = F$ と決めることができたら a と F と m を決めることができる。

生徒I: 引く力が一定で引くと不安定だった。おもりで引けば一定の力で引くことができる。

図11 実践Ⅱ 仮説(i)を検証した生徒の考察

イ 【視点2】〈手だて1〉について

演示実験の観察後、実践Ⅰと同様に「何が疑問か」と問うと、図12のように、なぜ物体の運動が質量によって異なるのか、物体の運動は何によって決まるのかななどの疑問が出された。実践Ⅰと比べてその内容が具体的になり、原理・法則を意識した質問が出された。

生徒J: なぜ軽い方が速く進んで重い方がゆっくり進むのか。

生徒K: 台車の運動はどのようなものによって決まるのか？

生徒L: 運動法則にはみんなからの法則が生かせるものがあるのか？

図12 実践Ⅱ 生徒から出された疑問

② 第2段階

ア 【視点1】〈手だて2〉について

実験課題は、2物体の運動を扱った。既知質量の分銅で未知質量の台車を引っ張ることで、台車の質量を

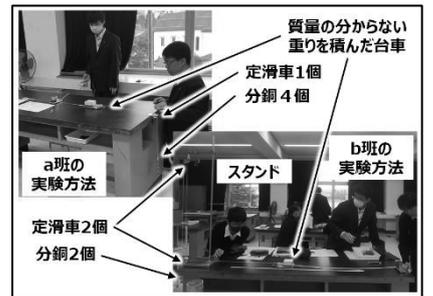


図13 2物体の運動実験の様子

求める実験を行った。生徒は自分たちで測定方法を考え、班ごとに異なる方法で実験した(図13)。そこから、台車の質量を仮説(ii)として設定した。ここでの仮説(ii)の設定にあたり、第1段階で学んだ運動方程式が用いられていることが分かった。

イ 【視点2】〈手だて2〉について

実践Ⅰ同様、班内で仮説(ii)が適切かどうか議論する時間を設けた。ここでは、実験方法をどうするか作図を用いて対話する姿が見られた(図14)。また、運動方程式の立て方を確認し合う生徒の姿も見られた。生徒は、原理・法則を正しく活用しようとしていたことが分かった。

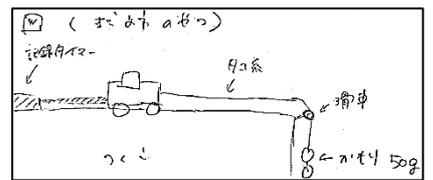


図14 実践Ⅱ 対話に用いた図

4 研究の検証

(1) 実践前テストと実践後テストの結果から

実践前テストとして、「速度の合成」の学習直後に、SPI総合検査※2で出題される「流水算」の問題を出題した。流れのある川に沿って進む船の移動速度を速度の合成を用いて求める問題である。また、実践後テストとして、平成29年度国家公務員採用試験(高卒技術一般職)で出題された「運動方程式」の問題を出題した。物

※2 企業就職試験で利用される中学・高校程度の基礎能力適性検査

体にひもを付け鉛直上方向に引き上げたときの加速度を
求める問題である。原理・法則に基づいて思考している
かを判断するため、原理・法則の使用率と正答率を調べ
た(図15)。使用率、正答率ともに上昇が確認でき、正
答率のt検定の結果、有意差が見られた ($p < .01$)。

	実践前テスト (SPI総合検査 「流水算」)	実践後テスト (国家公務員試験 「運動方程式」)
必要となる 原理・法則	速度の合成	運動方程式
原理・法則の 使用率	28 %	94 %
正答率	16 %	59 %

図15 実践前・実践後テスト結果の比較

(2) 生徒の仮説設定状況から

実践 I, IIにおいて仮説(ii)の設定状況を調べた(図
16)。自力で仮説を設定できた生徒は2~3割ほど確認さ
れた。その後、生徒同士の対話によって、さらに7割ほど
の生徒が仮説(ii)を設定することができ、ほぼ全ての生
徒が仮説(ii)を設定できた。また、実験後に仮説の修正
をした生徒はそれぞれ5割ほど確認され、この生徒たちは
試行錯誤しつつ原理・法則を用いたと考える。

	実践 I	実践 II
自力で仮説(ii)を設定できた生徒	19 %	28 %
生徒同士の対話で仮説(ii)を設定できた 生徒	76 %	69 %

図16 実践 I・実践 IIでの仮説(ii)設定状況

(3) 生徒のアンケート結果から

実践前と実践後にアンケートを実施し、最初に生徒に
高校理科で最も印象に残っている内容を質問した(図
17)。生徒の記述をテキストマイニング※3解析し、ワ
ードクラウド※4として表した。実践前は、動詞の単語
として、「覚える」や「調べる」といった語句が見られ
、覚えたり調べたりする学習の印象が生徒に残ってい
た。実践後は、物理基礎の「運動方程式」「台車」「重
い」等が目立つ結果となった。動詞の中には、「使う」
「考える」「求める」といった単語が見られた。これ
は、学習内容が運動方程式(原理・法則)を使って考え

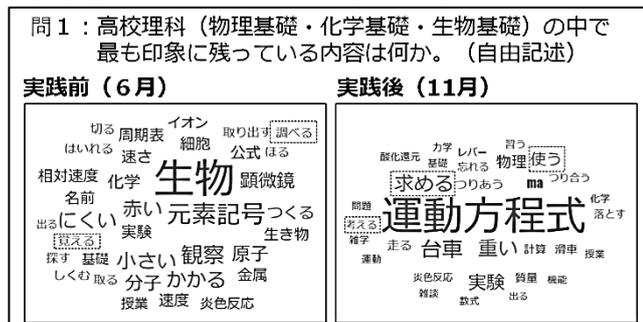


図17 問1の実践前後の変容

※3 文章から意味のある情報を見付け出し、重要度で表す方法

※4 重要度が高く頻出な単語をそれらに応じた大きさに表したもの

結果を求めるように変容したことを示すと考える。

また、自分の意見を伝えるときに最も中心に考える
ことを質問したところ、実践前に「原理・法則」を中心
に自分の意見を考える生徒は22%、実践後は57%と増加
が見られた(図18)。実践前の結果を期待度としてカイ
2乗検定※5を行った結果、有意差が見られた ($p < .01$)。さらに、「雰囲気」で意見を考える生徒は実践
後には見られなかった。

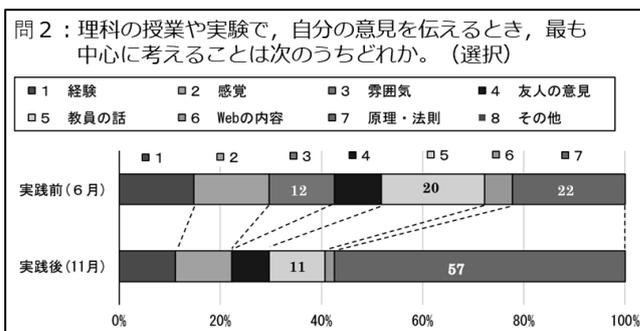


図18 問2の実践前後の変容

また、物理基礎でどの授業スタイルが学習しやすい
かを質問すると、78%の生徒が「2段階での実験」を学
習しやすいと感じていることが分かった(図19)。その
理由については、実際に確認できてよかった、イメージ
しやすかった、という記述が多く見られた。

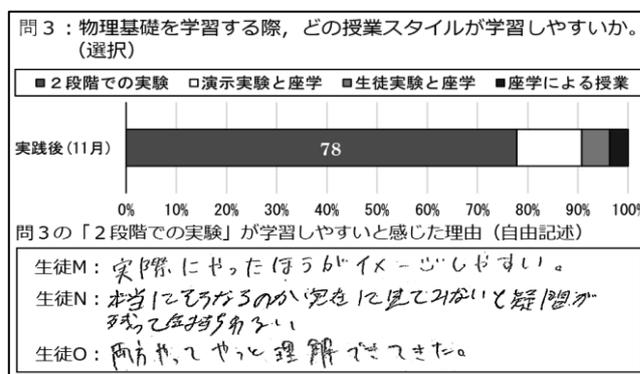


図19 問3の結果とその理由

※5 調査によって得られたデータが、特定の傾向をもつか調べる検定

III 研究のまとめ

1 研究の成果

実践前後のテストの比較において、原理・法則の使用
率の増加が確認できた。また、仮説の設定状況、実践
前後のアンケートの結果により、原理・法則に基づいて
思考する姿勢が確認できた。以上の結果は、2つの視点
に基づいた手だてによって得られたものと判断する。

2 研究の課題

原理・法則の使用率と正答率の間に差が確認され
た。数学科との連携を図りながら、計算を用いて思考す
る機会を充実させることで、課題に対してさらに正確な
仮説を設定できる力の育成を図りたい。