

実感をともなった理解をさせる授業の創造

萩原 修 宮澤 和孝 柳沢 真

1. 実感をともなった理解をさせる授業とは

科学的概念を獲得しようとするためには、自分の生活体験などによって得られた素朴概念を変容させなければならない。そのためには、自分で課題を解決しようしたり、自分の意見を発表したり、他の人の考えを受け入れたりしなければならない。その過程では、今まで自分が正しいと信じてきた概念が覆され、葛藤が生じるかもしれない。その中で獲得した新しい概念を得ることの楽しさを体験することが、科学が好きな生徒に育てることになるのではないだろうか。

例えば、「密閉した容器では化学変化の前後で質量の変化は生じない」という質量保存の法則がある。この言葉だけを知っていても、質量保存の法則を理解したとはいえない。なぜなら、化学変化後、気体や固体が生成されても「なぜ質量が変化しないのか」その根拠を理解して初めて科学的概念の獲得といえるのである。

理科の授業は、科学的概念の獲得を行うのが目的である。そのため、あらゆる自然事象に対して、「なぜそうなるのか」生徒自身が科学的な言葉を使用して説明することができるようにしていくことが、実感をともなった理解をさせる授業ではないかと本校では考えている。

2. 深く考える理科授業とは

深く考える理科授業とは、2つのポイントを取り入れた授業としてとらえている。

ポイント1は、仮説設定の場面である。まずは、予想を論理的に精緻化されたレベルまでしっかりと考えさせ、仮説の域まで高めていくことが重要である。予想をたんなる予想で終わらせずに、根拠を持った仮説を持たせる。このような場面を設定することで、生徒がこれまで学習して獲得してきた既習知識を再構成させる。深く考えないと予想を仮説の域まで達することはできない。

深く考えるポイント1：予想を論理的に精緻化された仮説まで作り上げる

ポイント2は、結果の解釈の場面である。実験・観察の結果と、自分の仮説が合っているのか、それとも違っているのか、それを検証するのである。もし、合っていれば自分の仮説はどのように正しいのか考えをさらに深めていく必要がある。もし違っていれば、自分の仮説と実験観察の結果がなぜ違ったのか、深く考えて自分の仮説の検証を行う必要がある。ここで、自然事象の原因の追究を行うことができる。さらに、場面に応じて、自分たちが作りあげた仮説と、科学者の間で正しいとされている科学概念とを比較し、その理論の差を考えさせるとより深く考えることができる。

深く考えるポイント2：観察・実験結果の解釈から仮説の検証を行い、自然の事物・現象を追究する

3. 深く考える授業の具体的手立て(視点を変える)

深く考える授業を創造するためには、自分の考えをより深めるような工夫をしなければならない。そのためには、自分の仮説を見直す場面や曖昧な部分を無くし、より根拠を明確にして自信を強める場面を設定する必要がある。この場面こそが、全体研究で述べられていた「視点を変える」場面である。この場面を意図的に仕組むことで、自分の意見をもとに他者との考えを比較して融合させ、新たな意見をつくり出したり、自分の考えがより理論づけされたりするのである。この視点を変える場面設定を行うと、自分の考えをさらに掘り下げていかなければならなくなり、かつ曖昧な部分が明確になり、それを埋めようとさらに深く考えなければならなくなる。したがって、「視点を変える」場面設定を行うことが、深く考える授業を行う具体的手だてと、本校理科部会ではとらえている。そして、「視点を変える」場面設定は、仮説づくりと結果の解釈である。他者と自分の意見を比較し、自分の考えをさらに深めるために外化をおこなう。そして、自分の仮説や考えを深く練り上げるのである。

ここで、確認しておくことは、視点を変える場面は設定するが、自分の意見は変更しなくてもよいのである。視点を変える場面を設定はするが、その結果、自分の意見は変わらない。他者と自分の意見を比較し、自分の仮説や考えに対して自信を深めたということでもよいのである。科学的な用語を使い分け、表やグラフなどを用いた科学的な言葉を用いて、根拠を明確にし、相手に説明できることによって自信が深まる。

そして、理科は教科の特性である観察・実験がある。これらの活動により、自分が予想していた結果と異なる結

果が出てきた場合、視点を変えて、自然現象や事象を分析して解釈しなければならない。また、考えるヒントとして教材・教具を与えるという方法もある。

4. 理科研究主題と全体研究との関わり

深く考える理科授業は前述したが、理科研究主題「実感をともなった理解をさせる授業の創造」と全体研究との関わりは次のように考えている。

ポイント1は、授業過程でその都度行われる「外化」である。外化を行う場面は「仮説設定」。「仮説検証の観察・実験計画」。「結果の解釈」の3カ所である。

ポイント2は「深く考える場面設定」である。その場面は「仮説設定」。「結果の解釈」の2カ所である。

ポイント1・2を比較すると、外化と深く考える場面はほぼ一致している。つまり、外化と深く考えることは深く結びついているといえる。予想を仮説の域まで高め、設定した仮説が正しいのかその検証方法を考え、実験・観察の結果の解釈で、自分の仮説と観察・実験の結果の異同を考えさせて課題解決を行う。その授業過程の中で上記①～③の場面で自分の考えを外化することにより、自分の意見と友人の意見が融合して、向上的に変容する。さらに、自分の仮説の曖昧な部分が具現化され、そこから話し合い活動が活発化し、討論に発展していくことになる。その討論の中で多くの意見が出される中、自分の曖昧な部分が明確になり、自然事象に対する理解がより深まっていくことになる。深く考えると外化は同時に行われることになるので、理科の研究主題と本校の全体研究は非常に密接に関わっているといえる。

さらに実感をともなう理解をさせるポイント3は、「共有」である。共有の場面は、「結論」である。結論において、学習過程で変容・再構成した生徒自らの意見がクラスの仲間と共有できているかが、自然事象を論理的に説明することができるかどうかの判断基準となる。また、実感をともなった理解につながっていく。

塾に通っている生徒は言葉は知っているが、なぜそうなるか、その理由までは理解していないことが多い。だからこそ、自然事象を論理的に説明することができる必要がある。

実感をともなった理解をさせるためには、次の図のように、「深く考える」・「外化」・「共有」を含めた授業の流れ全体で行われるものであり、どれか1つでも欠けてしまったら、実感をともなった理解をさせることは不可能なのである。つまり、「深く考える」・「外化」・「共有」を授業過程で取り入れていくことが実感をともなった理解をさせることになると考えている。

5. 「視点を変える」活動の有効性『深く考える』授業』の具体的な手だて

理科授業で視点を変える活動とは、

- | |
|---|
| ①話し合い活動の場面設定
②観察・実験の効果的活用
③教材・教具の提示 |
|---|

と、とらえている。

6. 研究の仮説

これまでのことから、研究仮説は次のように考えられる。

深く考える活動の場面を設定し、他者との意見交流や共有する場面を設定すると、論理的思考力や判断力・表現力が育まれ、科学的な言葉を使って説明することができ、実感をともなった理解をすることができるであろう

7. 授業実践

(1) 指導計画「運動とエネルギー」【運動の学習】

本時に入るまでに力の合成・分解(図1)を行い、記録タイマーの使い方、斜面上の台車の運動(図2)、自由落下運動(図3)を学習して本時になる。本時までに物体の運動には必ず力がはたらくことに気付かせた。そして、斜面上の台車の運動を行い、物体が運動する方向と力の向きを理解させ、斜面に平行な力と物体の運動を関連づけた。この運動では速さはだんだん速くなるため、物体にはたらく斜面に平行な力はだんだん大きくなるか、それとも、変化しないのか生徒の中で意見が分かれるところである。そこで、物体にはたらく斜面に平行な力は変化せずに、一定の力がはたらき続けることで物体の速さがだんだん速くなることを理解させる。次に、斜面の角度を大きくしたら、緩やかな斜面と比較して、速さはどのように変化するか学習する。このとき、斜面の角度を大き

くすると、斜面に平行な力も大きくなるので、速さは速くなることを確認し、自由落下運動の学習に入る。自由落下運動も斜面の物体同様、一定の大きさの重力によって引かれ続けるので、しだいに速さが速くなる運動となるわけだが、ここでも物体にはたらく重力の大きさはしだいに大きくなると考える生徒が出てくるので、必ず重力の大きさは常に一定であることを確認する。

そして、本時の授業に入る。下記に単元指導計画を示す。

表1 単元指導計画

第1時 事前調査	
第1次…力の合成・分解（4時間）	
第2時	一直線上にはたらく2力の合成
第3時	一直線上にない2力の合成
第4時	力の分解
第2次…物体の運動（15時間）	
第5時	速さと向き
第6時	運動の記録と速さ
第7時	斜面を下る運動①
第8時	斜面を下る運動②
第9時	斜面上にはたらく力の大きさ
第10時	自由落下運動①
第11時	自由落下運動②
第12時	質量が異なる物体の落下運動①…本時
第13時	質量が異なる物体②
第14時	質量が異なる物体が同じ斜面を下る運動・力の向きと運動
第15時	等速直線運動①
第16時	等速直線運動②
第17時	慣性①
第18時	慣性②
第19時	作用・反作用

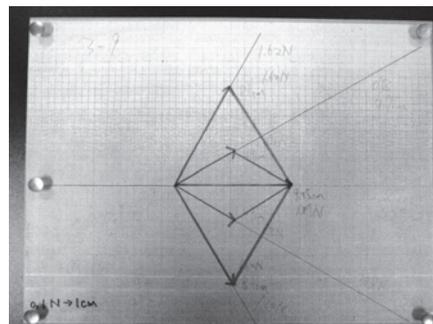


図1 一直線上にない力の合成



図2 斜面上を走る台車の運動



図3 自由落下運動を調べる

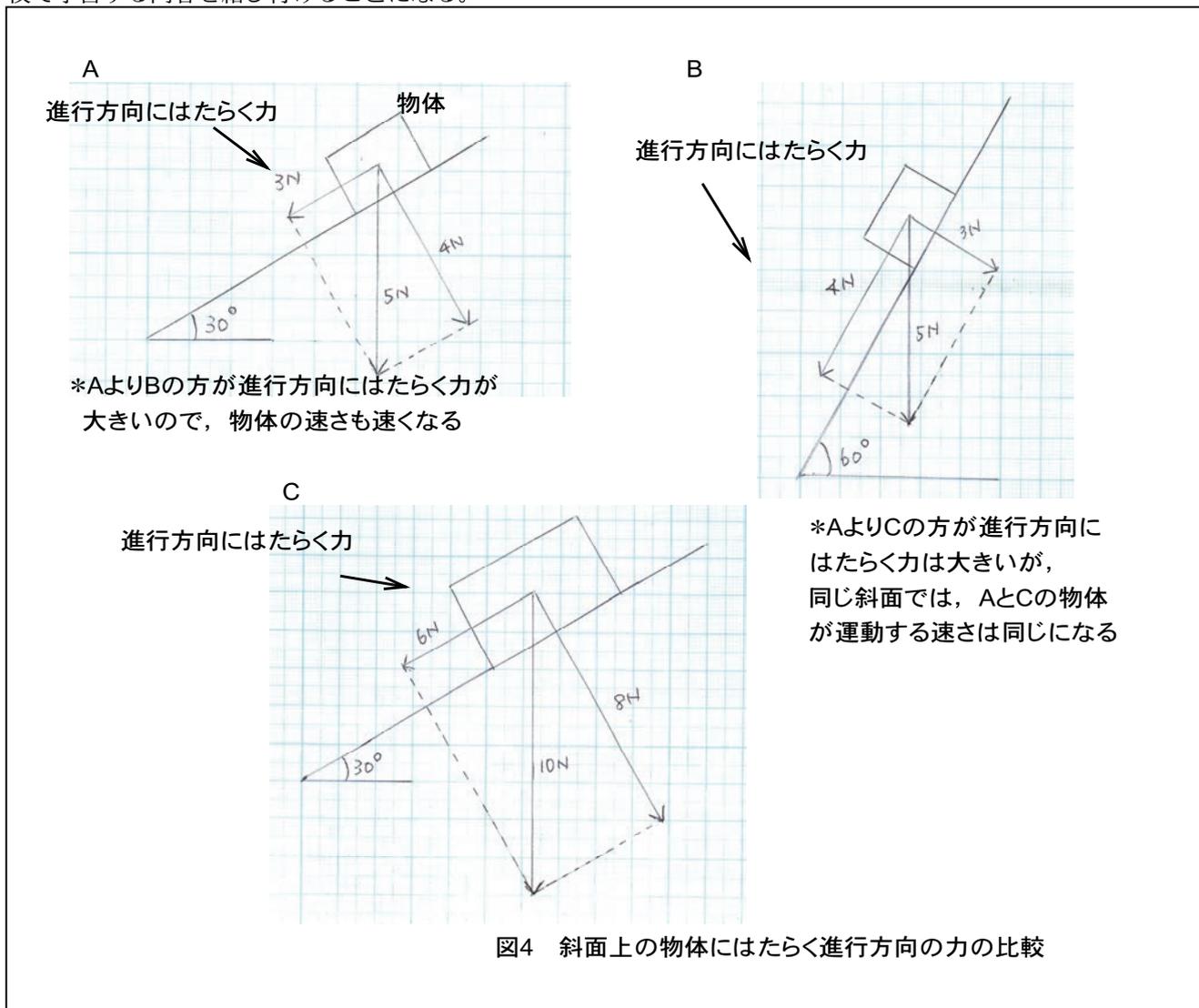
(2) 授業のねらい

斜面上にある物体にはたらく力の大きさは、斜面の場所が変わっても力の大きさは変わらないことを、生徒に思い込ませる必要がある。速さが速くなるとそれにともない、はたらく力の大きさも大きくなると考えてしまう生徒は多い。そして、同じ力で引かれて続けて速さが速くなると考える生徒は少ない。したがって、この概念をきちんと理解させる必要があり、これは自由落下運動も同じである。

自由落下運動では物体の質量が大きいほど速く落下すると思っている生徒は多いが、実際は質量の大きさに関わらず、落下速度は一定になる。これは高校で学習する運動方程式が関わっており、中学生にとっては難易度の高い学習だが、しっかりと理解させたい。

授業では、図4-Bのように斜面の角度が大きくなればなるほど、斜面上にある物体の進行方向にはたらく力の大きさが大きくなり、運動する速さは速くなると生徒に理解をさせる。そして、物体の質量を大きくすると、物体にはたらく重力が大きくなり、その結果、進行方向にはたらく力は大きくなる。しかし、図4-Cのように質量の大きい物体を図4-Aと同じ斜面上で運動をさせると、進行方向にはたらく力の大きさは大きくなるが、質量のことなる2つの物体の速さは同じになってしまう。質量が大きい方が重力の分力である進行方向にはたらく力は大きくなるのに、質量が小さい物体が運動をするときと同じ速さになる。授業者は、そこに違和感を感じてしまう。それは生徒も同じである。この違和感を解決することができてはじめて、斜面の運動を理解できると考えている。そのために、自由落下運動を学習し、その違和感を解決したあとに、斜面上にある質量を変えた物体の運動について扱おうと考えている。なぜなら、同じ理由（慣性質量）で説明することができるからである。そして、これが小学校のときに学習した振り子の運動にも関わっているのである。本時に学習する内容は、小学校で学習した内容と高

校で学習する内容を結び付けることになる。



慣性質量は力学台車を使えば確認できる。同じ力を加えたとき、質量を大きくした力学台車と質量を小さくした力学台車の移動距離を確認すると、重い力学台車は動きにくく、軽い台車は動きやすいということを確認することができるので、これらの実験も活用していきたい。できれば生徒からこの実験が出てくれることを期待している。

今回は、「質量が違う2つの物体の落下速度はどのようになるか」という問題のもと、仮説を立てて学習に取り組ませる。そのとき2つの球をひもでつけて、この球がどのように落下すれば自分たちの仮説が正しいと証明できるのか、その結果と理論を結びつけて考えさせる。そのとき生徒から出た仮説を収束させるところまで話し合いを深めて、しっかりと組み立ててから、落下する物体の速さは質量に関係がないことに理解させていこうと考えている。ここまで理解をして初めて「実感をともなう理解」ということに、つながっていくのではないかと考えている。

(3) 単元の学習と本時の展開

本時の学習内容は「単元1運動とエネルギー／2章物体の運動・2力がはたらき続ける運動・B自由落下運動」である。本単元は、エネルギーを扱う最後の単元である。

本時の目標は、「自由落下運動では、質量の違う物体がどのように落下するか、思考実験を通して仮説を立てることができる」である。授業は山梨大学教育学部附属中学校3年生男女39名である。実施日は平成28年10月1日、本校第1理科室で行った。

スーパーボールを使って、自由落下の運動の様子を想起させた。その後、鉄球と木球を見せた後、生徒に触れさせる。そして2つの球は同体積で質量が違うことを確認した。そして、問題「体積が同じ鉄球(図5)と木球(図5)が、同じ高さから同時に落下するとき、早く落下するのはどれか」ただし、空気抵抗は考えないものとして提示した。難しい問題なので、考える要素を少しでも軽減するため同体積の2つの球を使用し、空気抵抗のことを考

えると思いが広くなりすぎて収束しない可能性があるため、敢えて条件から外した。

この問題に対する生徒の反応は、質量の大きい鉄球が速いと答える生徒が多いと予想した。生徒の意見の確認後、仮説を深めていくことを目的に同じ意見どうしで班編成を行う。その後、ガリレオの落下実験のことに目を向けさせ、鉄球と木球をひもでつないだもの（図6）を提示し、「鉄球と木球の2つのボールをヒモで結んだものと、鉄球（木球）を使って、自分たちの仮説が正しいことを説明してみよう」という課題を提示した。問題同様、空気抵抗は考えないものとする。

問題の具体的な解決方法が課題と捉えている。この課題は、ガリレオが行った思考実験で、頭の中で実験をして、その結果に根拠をもたせ、論理的に説明するという非常に難解なものである。この課題をガリレオになったつもりで、生徒自身が自分で考えて仮説をつくり、班で共有し、クラス全体で考えを深め、共有しながら討論（図7）を行い、収束させながら仮説づくりを行うような授業展開を行う。

質量が大きい鉄球の方が速く落下すると予想した生徒は理由を考えやすいが、鉄球と木球が同時に落下すると考えた生徒は、その理由を考えるのは困難と予想された。したがって、仮説をつくることができない班には、質量が大きい鉄球が速く落下すると考えたグループの理論を否定する方法（背理法）で考えるようにアドバイスをした。質量が大きい鉄球が速いと答えたグループから考えを発表させると、討議の柱が重力の大きさと落下速度になるので、これを中心にクラス全体で討論を行う。討論を通して作りあげた仮説は、実験をしなくても体積が変わっても、結果はこの理論しかないというところまで考えを深めて作り上げるものとする。そこまでの理論づくりを意識する。なお、班で共有した仮説はタブレット（図8）に記入して、電子黒板や3つのTVモニターに映し、ICT機器を効果的に活用して、クラス全体で共有できる環境のもと討論を行う。



図5 鉄球と木球

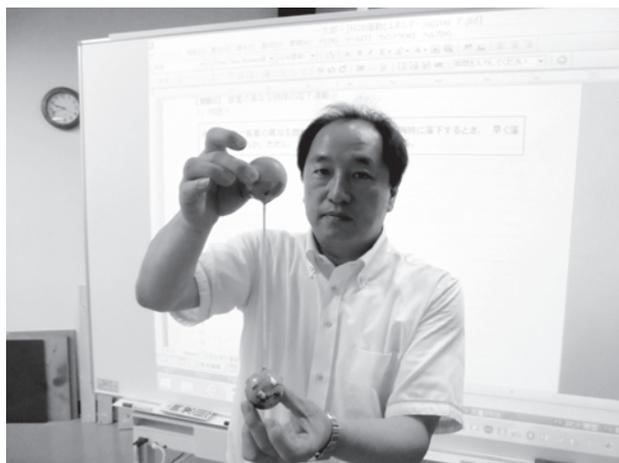


図6 鉄球と木球をヒモでつなぐ

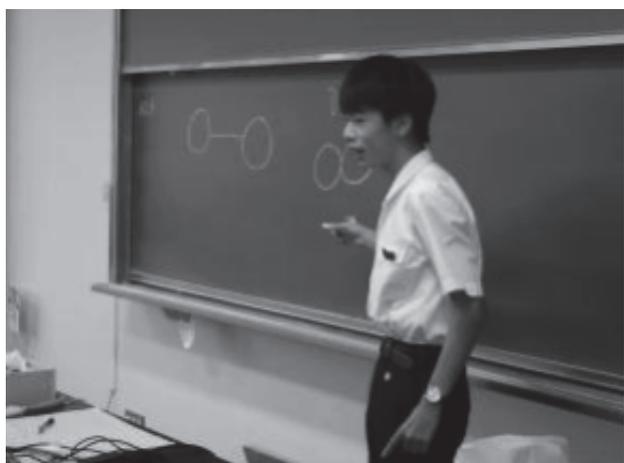


図7 討論の様子（自分の考えを説明している）



図8 タブレットで仮説を共有

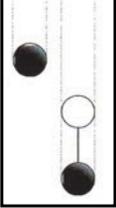
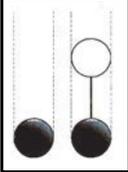
(4) 単元の学習と本時の展開

本時の学習内容は「単元1 運動とエネルギー／2章 物体の運動・2力がはたらき続ける運動・B自由落下運動」であり、エネルギーを扱う中学校最後の単元である。

本時の目標は、「自由落下運動では、質量の違う物体がどのように落下するか、思考実験を通して仮説を立てることができる」である。授業は山梨大学教育学部附属中学校3年生計3クラス117名（男子58名・女子59名である。実施日は平成28年9月下旬から中旬にかけて実施した。本時の展開については、表2に示す通りである。

表2 本時の展開

流れ	学習内容	教師のはたらきかけと生徒の活動	評価及び・研究の留意
導入 3分	問 物体を落下させたとき、速さはどのように変化しますか？	・落下する物体の速さは速くなる	自由落下運動では、速さは速くなる運動をすることを想起する
展開 17分	<p>問題1 体積が同じ鉄球と木球が、同じ高さから同時に落下するとき、早く落下するのはどれか？ ただし、空気抵抗は考えないものとする</p> <p>仮説分布の確認 仮説の発表</p>	<p>自分の考えをワークシートに書く (A:仮説1)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄球の方が重いので、はたらく重力も大きいので、速く落下する ・硬式テニスの方が軟式テニスよりも、ボールのスピードが速いから、鉄球の方が速く落下する ・なんとなく、同時に落下する <p>○鉄球が最も多く、次に両方同時が多いと予想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・仮説毎にグループ分けを行う ・仮説の交流を行う ・理由の板書 	<p>思考1 ☆自分の考えが書けているか ☆「質量」「力」「重力」「速さ」といった語句を使って説明しているか</p> <p>視点を変える1 (思考2) ★班で意見を交流し視点が変わるか、自分の仮説の根拠を明確にする</p>
展開 215分	<p>ガリレオの落下実験にふれ、ひもをつけた球を用意した理由についてふれる</p> <p>課題 鉄球と木球の2つのボールをヒモで結んだものと、鉄球(木球)を使って、自分たちの仮説が正しいことを説明してみよう *空気抵抗は考えない *思考実験を行い、結果・考察を考える</p>  <p>仮説の再構成ポイント ①こうだからこうなると100%断言できるようにする ②「この結果がありえないか</p>	<p>○鉄球が最も多く、次に両方同時が多いと予想</p> <ul style="list-style-type: none"> ・仮説毎にグループ分けを行う ・仮説の交流を行う ・理由の板書 <p>・中身が詰まった体積が同じで、質量の違う2種類の球をひもでつなげたものを用意する</p>	<p>視点を変える2 (思考3) ★教材・教具を与えて、考える視点を変える</p> <p>仮説の書き方 ①こういう実験を行い ②こういう結果になった</p>

	<p>らこれしかない」と相手の仮説を否定して仮説を作ってもよい</p> <p>③鉄球が速いと考えるグループには、ヒモで結んでいるものだけで考えてよい</p> <p>④同時には、ヒモ付きの鉄球をまとめた場合と、別々で考えるアドバイスをを行う</p>	<p>・どのように球が落下したら自分たちの仮説が正しいと証明されるのか、予想される実験結果とその理由を論理的に説明できるように、各班で話し合う</p> <p>・ホワイトボードをメモに使用し、パソコンに記入する（最後にプリントアウト）</p>	<p>③なぜならこうだから</p> <p>④だから私たちの仮説は正しい。</p> <p>（必要に応じて、同時に落下のグループには、相手の仮説は間違えているから、私の仮説が正しいという視点で考えるようにさせる）</p>
<p>展開</p> <p>3</p> <p>2</p> <p>0</p> <p>分</p>	<p>仮説と検証方法の発表による話し合い活動を行う</p> <p>話し合い活動について</p> <p>①鉄球が速いと考えた班から、意見を発表させる鉄球にはたらく重力が大きいから速く落下するという理由から発表させ、同じことを考えた班を確認する</p> <p>②速く落下するという意見から、同時に落下する班に質量は落下速度は関係ないと考え理由を引き出し、話し合いを始める</p> <p>③意見が出尽くしたところで、鉄球の落下速度が速いと考えた違う意見に発表をしてもらう</p> <p>④同じように意見の数だけ発表をさせる</p> <p>⑤同じと考えたグループの発表その中で、右の考えが出てきたらそれをもとに話し合いを進める</p> <p>⑥出なければ、発表終了をみて教師から提示して考えさせ仮説を完成させる</p>	<p>・仮説ができれば、パソコンに記入する (B)</p> <p>・パソコンの画面を電子黒板とTVモニターに映し出して、自分たちの仮説を発表する。そこで、質問をしながら話し合いを進め、仮説を収束させる</p> <p>◆鉄球が速く落下する</p> <p>X) 鉄球は、木球が遅くなるので、上に引っ張られて、1個で落下するより速さが遅くるとよい</p>  <p>Y) 2つの球を全体で一つのものと考えたと球2個分の重さだから、鉄球1個より速く落下する</p>  <p>Z) 鉄球が重いので先に落下する</p>  <p>* 討議のポイント</p> <p>重力が大きい鉄球が速く落下すると考えると予想され、ここを起点に考えさせたい</p> <p>・Yは生徒から出る可能性が高い。しかし、Xは出にくいと予想される</p> <p>◆同時に落下する</p> <p>P) 鉄球と木球は同時に落下する</p> <p>Q) 2つの球をひもでつないだものと鉄球（木球）は同時に落下する</p>  <p>◇なぜ、鉄球と木球が同時に落下すると考えるのか？重力の大きさはどうか、ということを確認しながら、話し合いを進めていきたい</p>	<p>視点を変える3（思考4）</p> <p>★クラス全体で仮説とその検証方法を交流し、自分の仮説をさらに練り上げる</p>
<p>まとめ</p>	<p>仮説の完成</p>	<p>・話し合い終了後、自分の仮説を練り直す (C: 仮説2)</p> <p>◎話し合いが終わったところで、仮説を書く（理由も）</p>	<p>★思考5</p> <p>・AとCを比較して、自分の仮説がどのように深まったのかを見取る</p>

5分	<p>実験1 鉄球と木球を同時に落下させる実験を行い、結果を確認する</p>	<p>●PやQから質量が大きいものは動きにくい、小さいものは動きやすいと考えたら、どうやって検証するか確認する また、この意見にまとまったら、仮説は完成となるが、X・Yについての矛盾に気付かせるように学習を進めて、より仮説に根拠を持たせ、確信させる</p> <p>・必要に応じて、パソコンを活用する ・◎で仮説が違った方向に進んでしまった場合は、X・Yの考え方を示して矛盾点に気付かせ、再度仮説を作り直させ、完成とする ・鉄球と木球は、同時に落下する</p>	<p>・Bでは、物体の質量と速さをどのように関連づけて考えているかを深く考えているかどうかを判断する</p>
次時の課題	<p>問題2 なぜ、質量の大きい鉄球と質量の小さい木球は、同時に落下したのか</p>	<p>・自分の考えをワークシートに書く その後、班で意見を交流する</p>	

8. 研究結果とその考察

(1) 質量が異なる物体の自由落下運動での生徒の変容

事前調査問題1：「体積が同じ鉄球と木球が、同じ高さから同時に落下するとき、早く落下するのはどれか？

ただし、空気抵抗は考えないものとする」の生徒の回答結果について

まず、この問いに対する仮説を生徒がどのように構成したのか、また、それらの仮説の変容過程を把握し、分析を加える。授業前の実態調査では、過半数以上の生徒が、鉄球が早く落下する生徒の方がはるかに多い回答していた。生徒の考えとその理由は表2の通りである。

表3 仮説1「体積が同じ鉄球と木球が、同じ高さから同時に落下するとき、早く落下するのはどれか？

ただし、空気抵抗は考えないものとする」と答えた生徒の回答結果（対象生徒3クラス/117名）

分類	回答	理由	回答率 (%)
1	鉄球が速い	鉄の方が質量が大きいので、物体にはたらく重力が大きくなるから	55.6
2	どちらも同じ速さ	<p>振り子の速さは質量に関係なく速さは一定だから</p> <p>空気抵抗がないので、重力は同じ向きにはたらくから</p> <p>はたらく重力の大きさが鉄も木も同じだから</p> <p>質量が大きい方が重力が大きく、質量が小さい方が重力も小さいだけで、結果的に質量と速さの関係は総合的に変わらないから</p> <p>ピサの斜塔からガリレオがやった有名な実験ということを知っているから</p> <p>体積が同じで空気中にあるときは、その物体にはたらく重力は同じだから</p> <p>重い物体を動かすときは大きな力が必要で、軽い物体を動かすときは少ない力で済む。結果的に質量100gの物体を動かすには1.0Nの力が、質量10gの物体を動かすには0.1Nの力が必要だけど、両方の物体の質量1gの物体を動かすには0.01Nの力になるから、質量1gに対する重力の大きさは等しいから、同時に落ちる</p>	44.4
3	木球が速い		0

課題：「鉄球と木球の2つのボールをヒモで結んだものと、鉄球（木球）を使って、自分たちの仮説が正しいことを説明してみよう」

表4 生徒が考えた思考実験の回答結果（鉄球が速い17班・同時に落下13班/全30班）

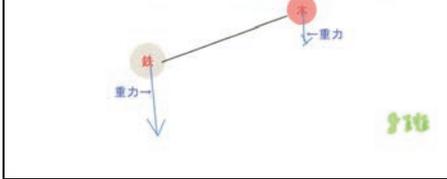
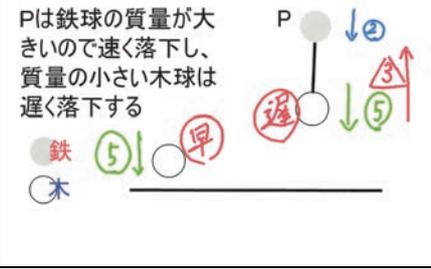
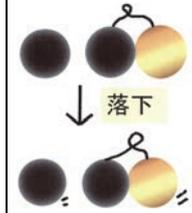
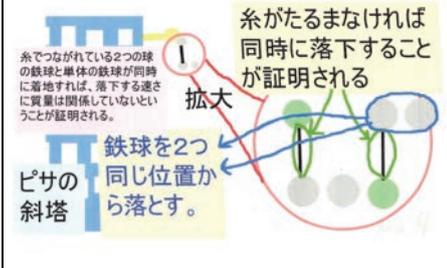
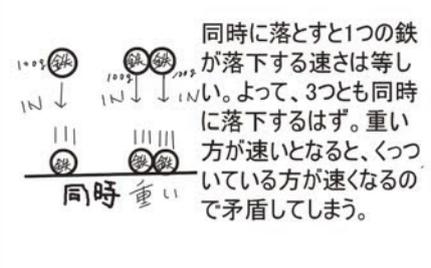
分類	回答	生徒が考えた思考実験	
1	鉄球が速い	<p>結果①</p> <p>2つの球を一直線に並べて落としたとき、質量が大きい鉄球の方が重力に引かれる力が大きいので、早く落ちていくことになると考える。</p>  <p>計16班 (53.3%)</p>	<p>結果②</p> <p>Pは鉄球の質量が大きいので速く落下し、質量の小さい木球は遅く落下する</p>  <p>計1班 (5.3%)</p>
2	同時に落下する	<p>結果③</p>  <p>二つのボールを紐で結んだものを一塊にしたものと木球(鉄球)を同時におとすと、二つは同時に落下する。このことから、質量によって落下速度は変わらないことが分かる。</p> <p>計3班 (10.0%)</p>	<p>結果④</p>  <p>質量が落下する速度に関わつたら、二つをつないだ場合、鉄球+木球で鉄球一つよりも速くなる。しかし、鉄球の方が速かつたら、木球は鉄球に置いて行かれて、加速する妨げになるので、この考えは矛盾していると思う。</p> <p>計2班 (6.7%)</p>
		<p>結果⑤</p> <p>振り子の実験では、重さにより振り子の振れる速さは変わらなかった。なので、重さが重い鉄球が木球よりも早く落ちることはないから、鉄球と木球を同じ高さから落としたとき、二つの球は同時に落ちると考えられる。</p> <p>計2班 (6.7%)</p>	
		<p>結果⑥</p>  <p>糸がたるまなければ同時に落下することが証明される</p> <p>鉄球を2つ同じ位置から落とす。</p> <p>ピサの斜塔</p> <p>計4班 (13.3%)</p>	<p>結果⑦</p>  <p>同時に落とすと1つの鉄球が落下する速さは等しい。よって、3つとも同時に落下するはず。重い方が速いとなると、くっついていての方が速くなるので矛盾してしまう。</p> <p>計2班 (6.7%)</p>

表5 生徒が考えた思考実験の帰着点

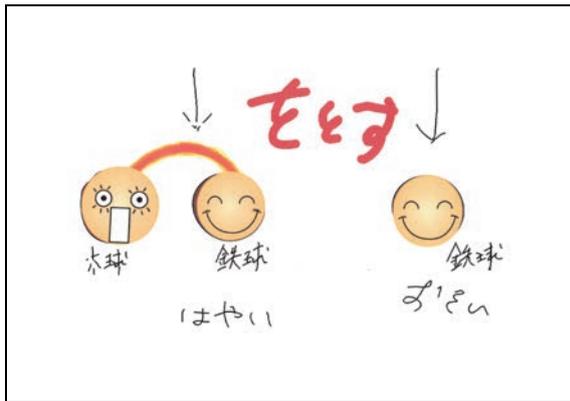


図9 思考実験の帰着点1

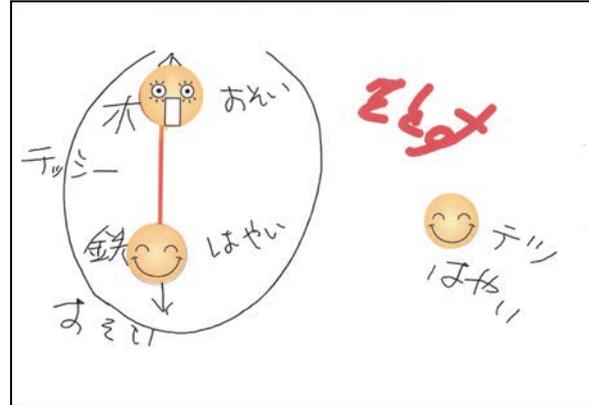


図10 思考実験の帰着点2

生徒の思考実験を分析すると、質量が大きい鉄球が速いと考えてた生徒の中の約94%が結果①の思考実験であった。その中で②の考えが出てくるとは予想していなかった。授業者側に「出てくるとしたら同時に落下する方の意見から出てくればいい」という願いがあったためである。

一方、同時に落下する方の思考実験の結果としては⑤や⑥が表出したが、ガリレオが実際に用いた思考実験の論理構成と酷似した結果④の表出は、まさに特筆に値するものであった。①は、重力が大きい方の球の落下速度が速いと考える生徒で、重力は落下速度に関係ないと考えるのが、同時に落下する方の意見であった。

この重力がキーワードとなって話し合いが始まり、重力をどのように考えるのか、ここを起点に話し合いが深化した。その中で出てきた④の意見、その矛盾をつくように結果②の意見が表出した。

しかし、②の考えでは、同時に落下するという理論が成り立たないことになり、その結果、生徒が考えた思考実験は図9・10の仮説に収束していった。

質量が大きい方が速く落下すると仮定したとき、図9は鉄球と木球を一緒に考えると質量が大きくなるので、鉄球よりも速く落下することになる。図10では、質量が大きい鉄球が速く落下し、質量の小さい木球が遅くなる。その結果、木球がブレーキになり鉄球の落下を妨げてしまい、結果、鉄球1つが落下するより遅くなってしまう。このような一連の思考過程を通して、質量が大きい方が速く落下するという仮説は捨去されていった。したがって、質量の大きい方が速く落下するとはありえないので、物体は質量に関係なく同時に落下するという事にまとまっていき、結果⑦の考えに到達したのである。その後、なぜ物体は重力に関係なく同時に落下する理由についても話し合われ、表5のような見解にまとまっていった。

重い物体を動かすときは大きな力が必要で、軽い物体を動かすときは少ない力で済む。結果的に質量100gの物体を動かすには1.0Nの力が、質量10gの物体を動かすには0.1Nの力が必要だけど、両方の物体の質量1.0gの物体を動かすには0.01Nの力になるから、質量1.0gに対する重力の大きさは等しいから、同時に落ちる。

図5 クラス全体で共有された自由落下に対する見解

このように表3では、自分の考えとその理由が明確に答えることができる生徒がほとんどいなかった。しかし、表4では思考実験を通し、自分の考えを外化しながら討論を行うことによって、「物体の落下速度が質量によって変化することへの矛盾点を導き出し、「物体の落下速度は質量に関係なく一定でなければならない」ことに気づくことができた。実際にこの場面では生徒から歓声があがったクラスもあった。さらに、その理由についても図5のように「力」・「質量」・「重力」という科学的な言葉を使用しながら自分の考えを説明することができるようになった。

この授業に集積されたように、生徒は自然事象に対して「なぜこうなるのか」を突き詰めていくような姿勢が、日常で見られるようになった。

したがって、研究仮説は成り立つといえる。ただし、生徒の話し合いを行うための条件整備はきちんと行わなければならない。また、生徒が発した意見をきちんとまとめ、討論がスムーズに進められる役目を果たすことができるような役割になっていかなければならない。

(2) 質量の異なる斜面上の物体の運動についての変容

7-(2)でもふれたが、「質量のことなる物体の斜面上の運動の様子はどうなるのか」という課題のもと、学習前と学習後の生徒の変容の様子は次のようになった。

事前調査問題：2 「同じ斜面をボウリング球とパチンコ玉を転がすとき、速さが速くなるのはどちらでしょうか。ただし、ボウリング球とパチンコ玉も同じ高さから、同じ距離を転がすものとする」の生徒の回答結果について

この問題の回答の集計結果は次のようになった。

表6 「物体が運動する速さが速いのは、質量が大きい物体と小さい物体のどちらか」(対象生徒115名)

分類	回答	理由	回答率 (%)	
			授業前	授業後
1	ボウリング球	重いから勢いがついて速く転がるから	12.8	0
		重いので、下に落ちようとする力が強くなるから	3.2	1.3
		1回転で進める距離が長いから	10.2	0
		理由なし	26.0	0
2	パチンコ玉	軽くてすぐに加速するから	7.6	0.6
		理由なし	27.8	0
3	両方同じ速さ	空気抵抗が大きいボウリング球と軽いパチンコ玉では、速く落ちるための条件としてそれぞれマイナス点が同じだから、結果として速く落ちる	3.2	0
		加速するには、限界があるから	5.8	0
		理由なし	3.4	0
		物体の落下速度は質量には関係ないから	0	28.7
		質量1gの物体を動かす力はどの物体も同じだから	0	69.4

両方同じ速さと答えた生徒は学習前12.4%から98.1%に変容した。この12.4%の生徒も理由をきちんと考えることができなかったが、学習後はその根拠も理解することができたと判断でできる。

しかし、自由落下運動の学習内容が繋がっていかないのか、質量が大きいボウリングの球を選択している生徒が1.3%であった。事前調査では52.2%であったことを考えると、この生徒のほとんどが変容できたといえる。また、質量が小さいパチンコ玉と答えた生徒は35.4%から0.6%に変容した。

また、授業の場面でも、最初は質量が大きい方が速いと考えて発表していたが、自ら説明しているうちに、質量が関係ないということに気づいていた生徒が見られた。したがって、質量が異なる物体の自由落下運動をきちんと学習すると、同じ斜面上での質量の異なる物体の速さについても、教師の説明がなくても、学習内容の関連に気づき、生徒自ら理解をすることができるといえる。

9. 研究のまとめ

3年間の研究を終えて、前述したが授業を通して生徒は「なぜそうなるのか」ということを考えて自然事象を捉えるようになった。そこを理解して初めて実感をともなう理解が得られるので、それは大きな成果である。また、研究を終えて5で述べた手だて以外に、深く考える授業を構成するための必要な教師の手だてを8でも載せたが、さらに2点を追加して挙げることができる。1つ目は、話し合い活動や討論の場面で、生徒の意見を整理し、話し合いの話し合いを進行するための意見の交通整理を行う、教師のファシリテータとしての役割である。教師はこのスキルを伸ばしていなければならないと実感した。2つ目は、課題設定における条件整備である。話し合いが発散しないように、論点を絞るように課題の設定を行うことである。この2点を研究の具体的手だてとして追加して、研究のまとめとする。

参考文献

- * R. ドライバー・E. ゲスン・A. ティベルギェ (内田正男訳) (1993) 『子ども達の自然理解と理科授業』東洋学出版社
- * レオ・E・クロッパー (渡辺正雄訳) (1976) 『HOSC物理』講談社
- * F. J. ラザフォード・G. ホルトン・F・G. ワトソン (渡辺正雄ほか訳) (1977) 『プロジェクト物理1』コロナ社
- * ガリレオ・ガリレイ (青木靖三訳) (1959) 『天文対話(上)』岩波書店