

「科学の目」を育む「深い学び」の創造

提案者 金子真也 後藤鞠奈 宮村連理 村上潤

【キーワード】科学の目 深い学び 概念形成 概念変化 素朴概念 力学 学び合い

1. 理科における「深い学び」と教科の本質

1. 1. 理科の本質

生徒たちの中には、日常経験的に物事を捉える目（生活概念、素朴概念）と、それまでの学習によって培ってきた科学的に物事を捉える目（科学的な概念）が混在している。生徒たちはすでにそれぞれの生活経験の中で、それぞれの概念を形成してしまっているのである。理科を学ぶ意義とは個々の生徒が持つ生活経験的な概念（素朴概念、あるいは不十分な科学的な概念）を科学的な概念へと転換させ、日常生活をも科学的に捉え直すことのできる「目」を育むこと（概念変化）であると考えている。

また、「科学の目」として機能し得る実践的な知識は、（例えば「力とはこういうものである」と）一義的に教えたところで身につくものではなく、自然科学の認識方法（科学の方法＝探究のプロセス）によって学ぶことによって初めて身につくものである。したがって、「科学の目」と、「科学の方法」はそれぞれ別々に獲得されるものではなく、「科学の目」は「科学の方法」にしたがって学習することによってのみ育成・更新することができるものであり、「科学の方法」もまた、「科学の目」を育成・更新する過程においてのみ、身につくものであると考えている。

理科の授業の中で個々の生徒の中で行われているのは、その時点での自然を見る目（概念）を自覚しながら、実験や観察などにより自然科学の新たな法則を獲得し、それらを自らの知識体系の中に組み込むことによって「実践的な知識」へと洗練させるとともに、自身の目（概念）を再構築し、日常生活をも科学的に捉え直すことのできる「科学の目」を育むという一連の営みである。私たちは、こうした理科の授業観を元に、「理科の本質」を互いに関連し合う2つの柱に整理した。

<本校理科部の考える「理科の本質」>

・「科学の目」の獲得（育成）

単なる知識としてではなく、「実践的な知識」として自然科学の法則を獲得するということ
自然の事物・現象を、それまでの生活経験的な捉え方から自然科学的に捉え直すということ
「生活概念（素朴概念）→ 科学的な概念」という概念変化

・「科学の方法」の獲得

自然にはたらきかけ、自然から学びとり、自然を知る（概念や法則を獲得する）探究のプロセス
他者の考えと比較したり、他者の考えを取り入れながら思考を進める協働的なプロセス
「比較」、「条件制御」などの自然科学の方法

1. 2. 「深い学び」の姿

私たちは昨年度の研究において、教科の本質に迫る「深い学び」を「獲得した概念や法則を自らのものとし、問題解決の過程を楽しみながら取り組み、新たな「科学の目」を持って自然を見渡し、はた

らきかけることにより、新たな問いや追究が生まれる学び」と捉えることとした。このことは例えば、本校社会科もとりあげている「見えなかったものが見えるようになる」学びの姿や、「それまで当たり前だったことが、当たり前でないことに気づく」学びの姿であると考えている。つまり、「学びの深まり」≡より自然科学的な概念変化」であり、概念変化（「科学の目」の変容・更新）によって、新たな問いや追究が生まれるものと捉えている。

ところで本校理科部では、3年間を通した理科の目標(育てたい生徒像)を次のように設定している。

- ・自然に豊かにふれ、意欲をもって自然現象を追求しようとする事ができる。
- ・ものごとを科学的にとらえ、論理的に実証的に社会的に理解することができる。

このように私たちは、「科学的にとらえる」ということを、「論理的に」「実証的に」「社会的に」という3つの観点をあげて具体化している。これらの観点は、学びの深まり（≡より自然科学的な概念変化）を見とる観点として活用することができる。

<「学びの深まり」を見とる視点(例)>

- *自身の生活経験と本時の学習を結びつけて考えられるようになる。
- *これまでに確認してきた事実や、習得してきた知識や技能を活用して考えられるようになる。
- *自分の考えや他者の考えの矛盾点が次第に明らかになってゆく。
- *自分の考えや他者の考えを比較しながら、次第に問題点が明らかになってゆく。
- *自分の考えや他者の考えの中でどの考えが正しいのかを確かめる方法が明らかになってゆく。
- *自分の考えに他者の考えを取り込み、洗練させてゆく。
- *自分の1人の考えが、他者にも納得でき、共感される集団の考えへと共有されてゆく。
- *「外発的な問い」であった本時の学習課題が「内発的な問い」へと変容してゆく。

2. これまでの研究の経緯と教科主題設定の理由

2. 1. 意欲を持って自然を追求する生徒の育成（1年次）

意欲を「科学の目」を持って初めて見えたり、感じたりすることのできる、科学そのものに向けられた興味関心、学ぶ意欲として捉えるところから始めた。「科学の目」とは、自身にとって「価値のある」「使える」知識体系であり、これが新たな対象（自然の事物・現象）への興味・関心となったり、新たな学びへの意欲へつながったりする根源になるのではないかと考えた。1つ1つの授業が独立したのではなく、連続して行われる学校の授業においては、「科学の目」の獲得・深化と対象への意欲のサイクルを正のサイクルにしていくことが望ましい姿であると考え、「科学への意欲を育む学びのサイクル」を提案した。

<科学への意欲を育む学びのサイクル>

- ・対象（自然の事物・現象）への意欲（興味・関心）
↓
- ・「価値のある」「使える」知識の獲得と、自己の知識体系の再構築（＝「科学の目」の獲得・深化）
↓
- ・「科学の目」を持って見る、新たな対象（自然の事物・現象）への意欲（興味・関心）

また、このサイクルを正のサイクルにするために重要なこととして、教師による教材研究の充実（≡生徒にとって「価値のある」「使える」知識の追求）と自己の知識体系の再構築を促す学びの姿としての「学び合い」の効果を提案した。

校内夏季研究会で実施した『子どもの姿に学ぶ教師「学ぶ意欲」と「教育的瞬間」』（鹿毛雅治，2007，教育出版）の輪読学習会では、理科の学習における内発的動機付けの重要性について共有した。その中

で、学習内容の増える中学校、高校の授業では生徒たちの問題意識から始まる内発的な授業よりも、教師による課題の提示により始まる外発的な授業の方が圧倒的に多いことを指摘するとともに、本校で研究を重ねてきた生徒集団による「学び合い」の過程で、生徒たちにとって外発的であった問いが内発的な問いへと転換することを仮説として提示した。こうした視点を持って、実際の授業を参観し、学び合いにおける外発的な問いが内発的な問いへと転換する場面を見つけ、検討し、意図的に設計することを考えた。

協議会の助言者である平田昭雄氏（本学理科教育学分野講師）からは、市川伸一氏の「学習動機の2要因モデル」の紹介とともに助言をいただいた。この中では、学習目的と学習動機の関連性が高い「内容関与的動機（充実・訓練・実用）」と、その関連性が低い「内容分離的動機（関係・自尊・報酬）」の6つに学習動機が分類され、捉え直されている。一方、本校生徒に実施したアンケート調査においても、個々の生徒の理科の授業の価値づけが多様であることがうかがえたが、「実際の生活の中で役に立つからおもしろい（実用志向的）」、「友達の意見を聞きながら考えることがおもしろい（関係志向的）」など、このモデルと重なる部分が多く、非常に興味深いものがあった。また、この6つの分類を用いて、「本校生徒の学習動機の特徴（傾向）」を調査・分析、共有することも価値があるのではないかと考えた。例えば、「学び合い」の充実によって他校に比べて「関係志向」の高まりが効果的に働くことや、「自尊志向」が高い傾向にあることなどが仮説としてあげられた。

2. 2. 科学への意欲を育む「深い学び」の創造（2年次）

昨年度の研究では、「意欲の高まり」を「学びの質の高まり」につなげていくことを目指すことを目指し、理科部では「意欲の高まり→学びの質の高まり」という一方向の捉え方ではなく、「意欲の高まり⇔学びの質の高まり」と双方向のサイクルとして捉えることとした。また、教科の本質に迫る「深い学び」を「獲得した概念や法則を自らのものとし、問題解決の過程を楽しみながら取り組み、新たな「科学の目」を持って自然を見渡し、はたらきかけることにより、新たな問いや追究が生まれる学び」と捉え、「教科の本質」と「深い学び」、「意欲の高まり」の関係性について整理した。

表1. 本校理科部の考える「教科の本質」と「科学への意欲」の高まり

授業の役割	教科の本質	「科学への意欲」の高まり
「深い学び」の創造	<p>◆「科学の目」の獲得 ＝新たな概念や法則を自ら知識体系の中に組み込み、より洗練された「実践的な知識」にしていくこと</p> <p>◆「科学の方法」の獲得 ＝論理的、実証的、社会的（協働的）に自然にはたらきかけ、自然から学びとり、自然を知ること</p>	<p>→自分を取り巻く自然の事物・現象を見る目が変わる →学ぶ価値を実感できる</p> <p>→「科学の方法」、自身の目的意識的なある考え（予想）を確認しようとする活動を楽しめる</p>

さらに、理科において「深い学び」を創造し、その評価を可能とする授業設計において重要な教師の役割として、生徒たちの「科学の目」となり得る実践的な知識の追求と、論理性、実証性、社会性（協働性）を求める「学び合い」の設計を挙げ、公開授業を通して提案した。

研究協議会では、助言者である岩崎敬道氏（東京都市大学）より、次のような助言をいただいた。

「自然を自然科学的に見る装置として自然科学の概念・法則が機能するためには、個々の概念・法則を用語や法則名として「教えて」も、それらの単語を単に暗記の対象とってしまうことが懸念されます。

（中略）この概念装置として生徒たちに獲得させる第一歩は、教えたい概念・法則を定式化（言語化）してみることです。」（昨年度の教育研究協議会にて配布された資料より引用）

つまり、自然科学の概念・法則をそのまま与えたところで、それは生徒たち自身の中で実践的な知識としての「科学の目」にはなり得いということや、「教師自身が教えたい概念・法則を定式化（言語化）する」という作業（いわば教師自身の自然認識の捉え直しであり、教師自身の「科学の目」（岩崎氏のいうところの「概念装置」）を検討する教材研究）の重要性が指摘された。

2. 3. 「科学の目」を育む「深い学び」の創造（3年次）

今年度は「意欲の高まり」をゴールにするのではなく、より「学びの質の深まり」に着眼点をおき、教科の本質との関連を明らかにすべく、このように教科主題を設定した。理科の本質をより自然科学的な概念変化（＝「科学の目」の育成）と捉え、それを促す「深い学び」のあり方について協議した。

3. 「深い学び」を創造するための授業設計

本校研究部は、「深い学びの実現に不可欠な事項」について次のように提案した。

- ① 授業者が教科の本質を明確に捉える。
- ② 授業者が「深い学び」を明確にする。
- ③ 授業者だけでなく、学習者も「深い学び」を自覚する。

理科部では上の3つの項目を踏まえ、上述してきたような「深い学び」の創造のために必要な授業設計の視点を次のように具体化して提案した。

- ① 授業者自身はその授業や単元の中で獲得させたい「科学の目」を明確に言葉にして、その目の獲得に必要な科学の方法やプロセスを設計する。
- ② 授業者が生徒一人ひとりが現時点で持っている「目」を適切にみとり、その概念変化の方法やプロセスを設計する。
- ③ 学習の過程に置いて思考を表現する場面を段階的に設定することにより、学習者も自身の思考の変容を自覚しながら学びを進める授業プロセスをとる。

4. 公開授業の立場から（授業者 金子真也）

〔対象〕 3年D組（男子20名 女子20名 計40名）

〔単元名〕 運動力学

4. 1. 教科主題とのかかわり

4. 1. 1. この単元を通して育む科学の目

～力は物体の運動の向きや速さを変化させる作用である～

生徒たちにとって、「力」とは生活用語であり、「生命力」「思考力」「生きる力」など、様々な場面で用いられている。このことは、自然科学における「力」の理解を困難にする素朴概念（誤概念）を形成させている要因になっている。

この単元では、自然科学でいう「力」を「物体の速度（運動の向きや速さ）を変化させる作用」として理解させることを目標としているが、そのように説明したところで、生徒たちは力の概念を「実践的な知識」として（すなわち、機能し得る「科学の目」として）獲得することはできないだろう。「力」に対する素朴概念を乗り越えて、科学的な概念として「力」を理解させるためには、具体的に以下のような事実を科学の方法にしたがって、法則的な認識にしていくことが必要である。

- ① 力は、ある物体が他の物体から受ける作用である。（必ず「～が～から受ける力」と表せる。）
- ② 物体が複数の力を受けているとき、それら全ての力を合成した1つの力（合力）に置き換えて考えることができる。
- ③ 静止している物体が受けている全ての力の和（合力）が0のとき、物体は静止を続ける。

- ④ 運動している物体が受けている全ての力の和が0のとき、その物体は等速直線運動を続ける。
- ⑤ 物体が受けている全ての力の和の向きが運動している向きと同じとき、物体は加速する。
- ⑥ 物体が受けている全ての力の和の向きが運動している向きと逆向きのとき、物体は減速する。

①は、「力」をエネルギー的な素朴概念と区別するために、第一に必要となる基本的な認識である。力はある物体がもっているものではなく、2つの物体の間にはたらく作用であることを意識させる必要がある。また、その上で「○○が△△に加えた力」、「○○から△△にはたらく力」など様々な表現ができることになるが、この単元の中では物体が受けている力で、その物体の運動が理解できることを学習するため、これらの表現を「△△が○○から受けている力」と統一させ、力を受けている物体に着目させるようにしてきた。また、「力の作用点は2つの物体が触れ合ったところになる」ことを、例外的に離れていても受ける3つの力（重力（万有引力）、磁力、クーロン力（静電的な力））とともに教え、目に見えない力を力の矢印を使って書きあらわす作業を通して定着させてきた。

②は、物体が受けている「力」は普通、同時に複数あることがほとんどなので、ここでいう「力」はその物体が受けているすべての力の合力で考えることを示している。その意味で、物体の運動を理解するためには力の分解よりも、合成の方がずっと大事な操作であると言えるだろう。

これまでの学習では、「物体が静止したままであるとき、その物体が受けている全ての力の合力は0である」ことを理解させることを単元の目標（＝獲得させたい「科学の目」）として学習を進めてきた。静止を一つの運動状態と考えれば、物体が静止しているときの学習（静力学）も運動力学の一部であると言えるだろう。（それを示したのが③である。）

④～⑦が、運動力学の中で扱う具体的な内容であるが、これらを法則的に捉えるためには、静力学の中で扱ってきた③までの学習の積み上げが欠かせない。物体の速度の変化（速度が変化しないことを含む）を、その物体が受けている全ての力の合力を考えることで理解することができることがわかった時にはじめて、生徒たちはそれまで生活用語と区別のつかなかった「力」を「物体の運動の向きや速さを変える作用」として科学的に捉えることができるのである。

4. 1. 2. 「教科の本質」とのかかわり

那須は「資質・能力」と学びのメカニズム（東洋館出版、2017）の中で「今こそ教科内容研究の復権を」と主張し、生徒が統合的な概念理解へと到達するためには、教科内容研究が決定的に重要であると述べている。さらに「それは、個々の教材やその取り扱い方を検討する教材研究より一段奥にある、教科内容そのものの研究です。そんな作業があること自体、すでに若い世代は知らないかもしれません。しかし、その教科ならではの「見方・考え方」を学力論の根底に据える以上、この作業はもはや不可欠です。」と続けている。理科部では、生活経験的な概念（素朴概念、あるいは不十分な科学的な概念）を科学的な概念へと転換させること（＝より自然科学的な概念変化）を理科の授業の本質であると捉えている。そして、そのためにはまず授業者が自身の「科学の目」について疑い、教材研究を重ねる中でそれを洗練させていくことが不可欠であることを主張してきた。このことは、学習者の「統合的な概念化」を促すためには授業者の教育内容研究が決定的に重要であると言う那須の主張と重なるところがある。

那須の言う「教科内容研究」を具体化した1つの姿として、金子は「到達目標・学習課題方式」の授業の授業設計と授業運営の方法を取り入れ、提案している。この授業では、教育内容を「到達目標」、「具体的内容」、「教材」で構造的に捉え直し、表記する作業から授業設計が始まる。この作業は、授業者自身の教育内容の「構造」の捉え方（いわば授業者自身の「科学の目」）を言葉で表現することであり、共同研究者とともに自身の統合的な概念化を評価・検討するための材料となる。金子らの実践者は、授業実践記録をもとに常にこの「到達目標」、「具体的内容」、「教材」に立ち戻り、この内容を修正・改善する作業を行なっている。こうした作業こそ、教育内容研究の1つの姿であり、授業者が自身の「科学の目」を洗練させるために不可欠な教材研究のあり方ではないだろうか。

4. 2. 授業設計

4. 2. 1. 単元の指導計画

運動力学 (12 時間)

到達目標 物体が受けている全ての力の和 (合力) が 0 のとき、物体はそのままの運動を続ける。

具体的内容

- ① (ある瞬間の) 物体の運動状態は、運動の向きと速さによって表せる。
- ② 物体が受けている複数の力のはたらきは、それらを全て合成した 1 つの力と同じはたらきをする。
- ③ 静止している物体が受けている全ての力の和が 0 のとき、物体は静止を続ける。
- ④ 運動している物体が受けている全ての力の和が 0 のとき、その物体は等速直線運動を続ける。
- ⑤ 物体が受けている全ての力の和の向きが運動している向きと同じとき、その物体は加速する。
- ⑥ 物体が受けている全ての力の和の向きが運動している向きと逆向きのとき、その物体は減速する。

(1 時間目) エアーパックの運動<本時>

ねらい 運動している物体が受けている全ての力の和が 0 になると、その物体は等速直線運動を続ける。

〔課題〕 指から離れた後、右向きに動いているエアーパックが受けている力を矢印で書き表し、説明しなさい。

(2 時間目) 速さ

ねらい 物体の運動の変化とは、運動の向きや (瞬間の) 速さの変化をさす。「移動距離/時間」で求められるのは平均の速さであり、時間を 0 に近づけていくと、平均の速さは瞬間の速さに近づいていく。

(問) 100m を 10 秒 00 で走る人と、時速 40km で走っている車では、どちらが速いか。

(3 時間目) 記録タイマーの使い方・v-t グラフの作り方

ねらい 記録タイマーを使って、物体の運動の v-t グラフを作ることができる。

・記録タイマーを使った速さの調べ方について説明する。

(問) 記録テープを速く引けば引くほど、打点の間隔はどうなるか。

〔生徒実験〕 自分の歩く速さ変化を記録タイマーで調べ、v-t グラフを作る。

(4 時間目) 力学台車の運動

ねらい 運動している物体が受けている全ての力の合力が 0 のとき、その物体は等速直線運動を続ける。記録タイマーを使って、等速直線運動の v-t グラフを作ることができる。

〔課題〕 力学台車を手で押して動かす。手から離れた後の力学台車の速さはどうなるか。v-t グラフを考えなさい。(ただし、台車は摩擦力を受けないものとする。)

(5 時間目) 力を受けた力学台車の運動 (2 回押し)

ねらい 物体は運動の向きに力を受けると加速する。

〔課題〕 動いている力学台車に手で右向きの力を一瞬加える。この力学台車の運動を v-t グラフにすると、どのようなになるか。(ただし、台車は摩擦力を受けないものとする。)

(6時間目) 力を受け続けた台車の運動

ねらい 物体は運動の向きに力を受け続けると加速し続ける。

〔課題〕 ひもから同じ大きさの力 (0.5 N) を受け続けると、力学台車の速さはどう変化するか。
(また、その $v-t$ グラフはどのようなになるか。)

(7時間目) 落下運動

ねらい 物体は運動の向きに力を受け続けると加速し続ける。

〔課題〕 落下する砂袋の速さの変化を「 $v-t$ グラフ」で表すとどうなるか。(ただし、空気抵抗は考えないものとする。)

(8時間目) 斜面上の力学台車が受けている力

ねらい 斜面を下る力学台車は重力と垂直抗力の2つの力を受け続けており、その合力の向きは斜面進行方向と一致する。物体が受けている全ての力の和が0でないとき、その物体は合力の向きに加速する。

〔課題〕 斜面を下る力学台車の速さは、だんだん早くなる。斜面上の力学台車が受けているすべての力とその合力を矢印で書き表し、説明しなさい。

(9時間目) 傾きの異なる斜面上の力学台車の運動

ねらい 斜面の角度を大きくするほど台車が受け続ける重力と垂直抗力の合力が大きくなり、速さの変化の割合が大きくなる。

〔課題〕 前回よりも斜面の角度を大きくすると、斜面を下る力学台車の $v-t$ グラフはどのようなになるか。

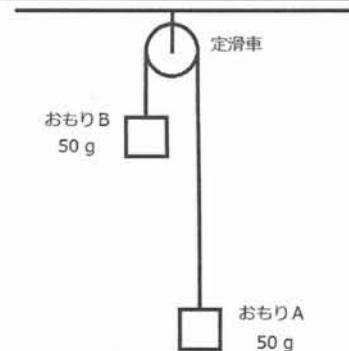
(10・11時間目) 合力0の物体の運動 (アトウッドの滑車)

ねらい 物体が受けている全ての力の和 (合力) が0のとき、物体はそのままの運動を続ける。

〔課題〕

図のようにして静止させてから静かに手を離すと、おもり B はどのような運動をするか。

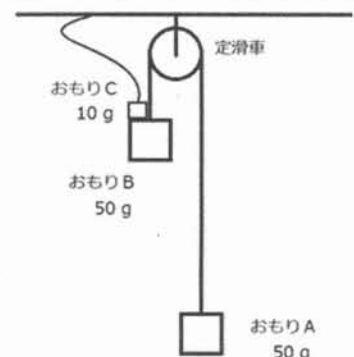
※ 可能ならばおもりを 100 g にする。



〔課題〕

図のようにして静止させてから静かに手を離す。おもり C が離れた後、B はどのような運動をするか。

※ 可能ならばおもりを 100 g にする。



(12 時間目) 物体の運動から力を考える・単元のまとめ

〔問〕箱が手から力を受けて動き出した後、だんだん減速して、やがて静止した。このことを「箱が受けている力」で説明しなさい。

〔問〕紙皿は手から離れた後、あるところから等速直線運動で落下した。このことを「紙皿が受けている力」で説明しなさい。

*単元のまとめとして、宇宙空間で小惑星探査機「はやぶさ」の速さをどのようにコントロールするのかをやりとりしながら話す。宇宙船と離れてしまったら、どのように宇宙船の向きに動いていくかをやりとりしながら話す中で、作用・反作用についても触れる。

4. 2. 2. 本時の指導計画 <運動力学 1時間目>

(主目標) 運動している物体が受けている全ての力の和(合力)が0になると、
その物体は等速直線運動を続けることを理解する。

(具体目標)

- ① エアーパックが受けている力を、力の矢印で書き表し、それぞれ何から受けているどんな力なのかを説明することができる。
- ② 動いているエアーパックが運動の向きに力を受けていないことに気づく。
=重力や磁力、クーロン力ではない力は、物体と物体が触れ合った部分で受けるという知識を活用することができる。
- ③ エアーパックが受けているすべての力の和(合力)を考えることができる。
- ④ 運動の向きも速さも変わらない運動を等速直線運動ということを知る。
- ⑤ 物体が等速直線運動をしているとき、その物体が受けている全ての力の和は0であることを知る。

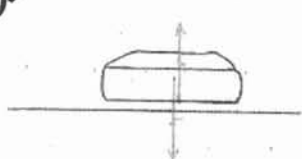
展開	授業者の活動	生徒の活動	*評価
課題提示	<ul style="list-style-type: none"> ・ 演示実験を行い、現象を提示する。(エアーパックの等速直線運動) ・ 説明を行う。 等速直線運動 …向きも速さも変化しない運動 ・ 本時の課題を提示する。 〔課題〕手から離れた後、右向きに動いているエアーパックが受けている全ての力を力の矢印で書き表し、説明しなさい。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現象を共有し、確認する。 ・ 「等速直線運動」という言葉を知り、 ノートに書きとめる。 ・ 本時の課題を把握する。 	*具体目標④
思考Ⅰ 予想	<ul style="list-style-type: none"> ・ 期間指導を行いながら、個々の生徒の「自分の考え」を把握する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「自分の考え」をノートに書く。 	*ノート記述 具体目標①～③
思考Ⅱ 討論	<ul style="list-style-type: none"> ・ 異なる図を書いている生徒を指名し、黒板に図を書かせる。 ・ 予想の分布をとる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 黒板に図を書く。 ・ 自分と同じ予想に挙手をするとともに、他者の予想を知る。 	

	<ul style="list-style-type: none"> ・少数意見から順に、予想を発表させる。 ・それぞれの予想に対して、質問、意見、反論やつけたしをさせる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・予想を発表する（聞く）。 ・互いの予想について討論を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> *発言 具体目標①～③
思考Ⅲ 再予想	<ul style="list-style-type: none"> ・「討論から」をノートに書かせる。 ・再度予想の分布をとり、予想を変更した生徒を中心に指名し、発表させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・討論によって変わったり、深まったりした自分の考えを、再度「討論から」としてノートに書く。 ・討論後の予想を発表する（聞く）。 	<ul style="list-style-type: none"> *ノート記述 具体目標①～③
結論	<ul style="list-style-type: none"> ・生徒の意見や議論をもとに、最も妥当な意見を確認し、結論を共有する。 「手から離れたエアパックは、手から力を受けていない。つまり、重力と垂直抗力の2力のみとなり、合力は0である。」 「運動していた物体の合力が0になると、そのままの運動（等速直線運動）を続ける。」 	<ul style="list-style-type: none"> ・説明を聞き、結論を共有する。 	
思考Ⅳ 考察	<ul style="list-style-type: none"> ・ノートに「結果とわかったこと」を書かせながら、期間指導を行う。 ・よく書けている生徒を指名し、発表させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・結論を確認して、ノートに「わかったこと」を自分の言葉で書く。 ・「わかったこと」を発表する（聞く）。 	<ul style="list-style-type: none"> *ノート記述 具体目標②、⑥

4. 3. 授業展開

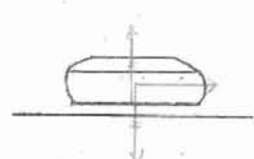
展開「思考Ⅰ」では、発問（本時の〔課題〕）に対して、次のような予想が出た。

ア



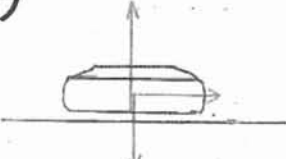
11人

イ



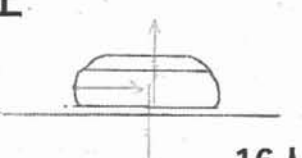
6人

ウ



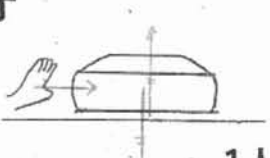
1人

エ



16人

オ



1人

<迷っている・考え中 (3人)>

・アとエで迷っていて、どちらにもわからないところがある。エは、右向きの矢印が何から受けている力なのかわからない。力を加えたのは一瞬だけれど、その力がその後も残っているのかというのが疑問。アはつり合っている状態で静止しているということになってしまうから、右向きに動いていることの説明がつかない。

・手が離れる時と移動中とで、右向きの力の出どころを変えて考えた。手から離れる時は、手から受ける力が左から作用点一点として右に押す力になると思うけど、移動中も右に進んでいるということは、真ん中から右向きの力が出ているのかなと考えた。けれど、手を離すと右向きの力の出所が変わってきたりするのかなというところが疑問で、そういうことはあり得ないんじゃないかとも思っている。

・アカイで迷っている。まず、上下方向には静止しているので、エアークッションが空気から受けている力と、エアークッションが地球から受けている力が大きさが等しくて向きが逆になる。そこから迷っているところで、もしも動いている方向にずっと力が加わり続けているなら、どんどん速さが速くなっちゃうと思った。そうしたら、速さが変化しない運動っていうのが成り立たないと思った。でも、右に動いているなら、右向きに力が加わっていないと変だと思って、迷っています。

<ウの予想 (1人) > →すぐにイに予想を変更した。

<オの予想 (1人) >

・右向きの矢印は、最初に手で触って動かしたので、手が動かしていることになる。手から伸びている矢印で、向きも速さも変化せずずっと動き続けているんじゃないかと思った。

<イの予想 (6人) >

・悩んだけれど、まず上下の力は、上下には物体は動いていないので等しいと思う。問題は右向きの力で、僕もアの予想と悩んだけど、要は右向きの力を表すかどうかで、僕は表す方にした。エやオの予想は、物体を押している時のような気がして、エだと、あくまで左側にだけ力が働いていて、右側には力が働いていないように見える。全体で右側に動く力が働いていると考えれば、自分の意見が1番妥当だと思う。

<アの予想 (11人) >

・図に書いた2つの矢印は静力学と同じ感じで、地球から受けている重力とそれに対する垂直抗力です。他の人と違って右向きの矢印がないのは、右向きの矢印があると、それはずっと右向きの力を受けていることになり、ずっと右に押されているような状態になってどんどん加速し、速度がずっと同じっ等速直線運動にはならないと思った。あと、右向きの力を書くなら、物体の中心、もしくは空気と触れ合っているところから書くと思うけれど、物体の中心から矢印を書くのは、重力、磁力、静電気力のいずれかになる。でも、手から重力とか、磁力とか、静電気力が出ているとは考えにくいので、真ん中から力の矢印を書くことはないと思った。また、空気からエアークッションが押されているってことはないと思って、矢印を書くのはやめた。

<エの予想 (16人) >

・垂直抗力と重力についてはみんなと同じ。2つの力の向きが逆で、大きさが等しいので上下では静止している。右向きに動いていることを説明するのに、アの予想と迷ったけれど、アだと右向きに動いていることが図だけではわからないので、矢印を書いたほうがいいと思った。そして、力の矢印を書くときに、この物体はもともと手から力を受けて動いたから、物体が手から力を受けたところから書いたほうがいいと思った。

展開「思考Ⅱ」では、すぐに右向きの力の矢印が論点となり、他者の予想を聞いて自らの予想を変更する生徒が次のような発言をして議論になった。

・最初はエだと思ったけれど、予想を変えてイにする。理由は、誰かが言った最初に押した時の瞬間の矢印ではないかというのを聞いて、エアークッションはずっと等速直線運動をしていたのではなくて、最初に加速していたところが絶対にあることに気づいたので。止まっている状態からスピードを出すには加速するしかないと思った。だんだんエの図からイの図に移り変わるんじゃないかと思った。だから、等速直線運動をしている途中の図だったら、イがっていると思う。

・ウから予想を変える。最初に手が触れている間はエの図だけれど、手から離れた瞬間にアの図になると思った。最初にウの予想にした理由は、右向きの力がどのようにかかるのかを考えて、全体から出ると思ったけれど、確かに作用点を中心にして書くのは重力とクーロン力と磁力しかない。また、右向きの力が書いてあるってことは、動いている物体に対して同じ力がどんだんかかっているということだから、それは一定の速度で動くことと矛盾してしまうと思った。

・ウの予想から迷っている・考え中に変える。右向きの矢印の力について、車で言えばアクセルの力、押す力があって、ずっと踏み続けていたら速度は上がり続ける。だから、等速直線運動ではなくなることになる。ただ、アの図は、物体が静止している図と変わらない。だから、そのあたりを自分が理解していないので、わからない。

・(私の「アの図だと静止している状態と変わらないのではないか」という意見が出ているがどうか」という問いかけに対して) 等速直線運動の定義みたいなのを授業の最初に確認したけれど、「向きも速さも変わらない運動」と書いてあって、それはそもそも静止している状態と変わらないんじゃないかと思った。静止している状態も、向きも速さも変化していないわけなので。ということは、等速直線運動を静止している状態とみなしても問題がない気がする。エアークッションが静止している時の図なら、アの図が正しい。等速直線運動をしているときも静止している時と力の加わり方は変わらないと思う。

展開「思考Ⅲ」では、予想の分布が次のように変容した。

ア…19人(+8) イ…6人(±0) エ…5人(-11) 迷っている・考え中…8人(+5)

「エアークッションはもう手と触れ合っていない」という生徒の発言を取り上げ、改めて右向きの力を「何が何から受けている力」なのかを問いかけ、それをうまく説明できないことからエアークッションは右向きの力を受けていないことを説明し、動いている物体でも、物体が受けている全ての力の和(合力)が0になっていることがあることを確認してから「結果とわかったこと」を自分の言葉でノートにまとめさせた。

4. 4. 授業を終えて

生徒のノート記述を見てみると、この授業の中ですでに単元を通して獲得させたい科学の目(「力は物体の運動の向きや速さを変化させる作用である」) ことになり接近している生徒もいることがわかる。

(ある生徒の「討論から」の記述)

予想はアの図。上向きの矢印はエアークッションが地球から受ける重力で、下向きの矢印はエアークッションが空気から受ける垂直抗力。動き出すためには、もちろんエアークッションに横向きの力がかかる必要がある。力がずっとかかっていると加速してしまうと思う。なぜなら、物体を高いところから落とした時、その物体は常に重力を受け、速度をあげていくから。つまり、「力=速度を変化させるもの」だと思ふ。等速直線運動は動いていても速さは変わらないので、右向きの力はないと思ふ。

(同じ生徒の「結果とわかったこと」の記述)

結果は「討論から」と同じ(ア)だった。静力学の場合、合力0は静止。運動力学の場合、合力0は等速直線運動。イやエの図の右向きの力の矢印は、エアークッションが「受けていた」力であり、問われている「受けている」力ではない。よって受けている力は重力、垂直抗力の2つのみで、合力は0である。

一方で、このような生徒ばかりではないのもまた事実である。公開授業後の協議会の中では、「等速直線運動という言葉を使って結論を一般化できていたが、「なんだか気持ち悪い」とつぶやいていた男子生徒が気になった。」という意見が出された。似たような感想を書いている生徒は、同じ授業を受けた多クラスの生徒の中にも多数いた。例えば、ノート当番だった男子生徒は、感想に次のように書いている。

今回は運動力学に入った。今までと違ったのは、物体がただ動いているのではなく、等速直線運動をしているということ。この等速直線運動のポイントは合力が0であることだと思う。

今まで、合力が0になった時に静止していたのは、止まっている物体について考えていたからで、今回は動いている物体について考えたので、等速直線運動になったらしい。だが、疑問として

① なぜ力を受けていないのに動くの？

② 図を見ただけで、静止しているか等速直線運動か見分ける方法はないのか？

というのが残った。特に①は力を受けていたとしても加速してしまいそうなので沼にはまりそう。とりあえず今回の課題では受けている力を考えたので合力が0になり、等速直線運動になったということはわかったので、これからの授業でもっと深めていきたい。

このような生徒の姿を見て、参会者からも「科学概念を勉強しても根底にある素朴概念は変わらないかもしれない。変容しなかったらどうするのか、また、どう変容させていくつもりなのかを答えて欲しい。」というご質問をいただいた。この時間は単元の最初の授業であり、むしろこのようなコンフリクトを引き出し、この後の単元の指導計画の中で生徒たちが実験事実の積み上げにより徐々に確かな概念変化を促すことを意図していること、個々の生徒により概念変化（あるいは統合的概念化）に成功する瞬間は様々であり、この時間の中で進んでいる生徒もいれば、今後実験事実を積み上げていく中で気づく生徒も出てくるものであることを伝えた。このあたりの議論については、新田英雄先生の助言の中の「コンフリクトマップ」や、全体会でご講演をいただいた松下佳代先生のお話の中の「<深い学び>に誘う学習サイクル」を受けて考察した内容を後述する。

4. 4. 助言者（本学 新田英雄先生）より

新田英雄先生（本学 基礎自然科学講座 教授）からは、「概念変容のモデル：素朴概念から科学的概念へ」というタイトルで、経験的知識と素朴概念との関係や、素朴概念の克服の難しさについて具体的な例を出してご説明いただいた。生徒たちは力学を習っていないくても、運動のしかたを「知っている」こと、また「知っている」ことを「理解している」と錯覚するという内容は大変共感できた。また、素朴概念について、それらの経験的知識の過剰一般化により形成されるものであると整理することができた。さらに、「概念変容を生じさせる条件」や「コンフリクトマップ」についてご紹介いただき、非常に興味深かった。コンフリクトマップについては具体的な例を含めてご提示いただけたので、本実践についてもこうした図を用いて整理して提示したり、再検討することの可能性を見出すことができた。

「概念変容を生じさせる条件」(Posner et al.:Sci. Educ. 66(1982)211-227)

1. 既存の概念に、不満がなければならない
2. 新しい概念は、理解できるものでなければならない
3. 新しい概念は、もっともらしくなければならない
4. 新しい概念は、実りある新たな研究の扉を開くものでなければならない

「コンフリクトマップ」(Tsai: Int. J. Sci. Educ. 22(2000)285-302)

「素朴概念と正しい科学的概念とのコンフリクト (conflict 認知的葛藤) とその正しい超克過程を明示し、概念の変容の流れに基づいて授業を構成するための図」

4. 5. 成果と課題

4. 5. 1. 「深い学び」の創造

全体会での松下佳代先生（京都大学 高等教育研究開発推進センター）によるご講演の中では、次の図を用いて「〈深い学び〉に誘う学習サイクル」が提示された。

「学習サイクル」（松下, 2015; 佐藤, 2017）

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">・コンフリクト：コンフリクト（ズレ、葛藤、対立）で学習の動機づけを図る<li style="padding-left: 2em;">↳・内化：コンフリクトの解決を図る知識やスキルをいったん習得する<li style="padding-left: 2em;">⇐ *・外化：習得した知識やスキルを活用して問題解決を行う<li style="padding-left: 2em;">↳・リフレクション：学びを振り返り、知識やスキルのよさを感じる<li style="padding-left: 4em;">* 〈わかったつもり〉から 〈わかり直し〉へ<li style="padding-left: 4em;">* 〈借りもの〉から 〈我がもの〉へ |
|--|

本実践「運動力学」の単元指導計画は、この「学習サイクル」に照らし合わせて整理することができる。本時（1時間目）は、まさに「コンフリクト」と「内化」の段階である。つまり、「運動している物体はその運動の向きに力を受けているはずである」という生徒の素朴概念と、「物体は手と触れ合っておらず、運動の向きに力を受けていない」というズレを引き出す場面、また、「等速直線運動をしている物体が受けている全ての力の和（合力）は0である」という事実、あるいは「物体が受けている全ての力の和（合力）が0の時、その物体はそのままの運動（静止または等速直線運動）を続ける」という知識をいったん習得する場面である。この授業の後、まだモヤモヤしていた生徒の姿は、こうした知識が明らかに〈借りもの〉であり、〈我がもの〉になっていないことの表れだろう。その後、2、3時間目の授業の中で運動の調べ方（スキル）を学び、4時間目～9時間目の中で習得した知識やスキルを活用した問題解決の授業が続く。力学台車を2回押してみたり、一定の力で引っ張り続けたりする実験の結果（事実・現象）はそれぞれ個別の新しい知識であり、これらの授業の中には内化を伴う。その中には、7時間目の落下運動や斜面を下る台車の運動に見られるような日常経験の捉え直しも含まれており、そうした観点から考えると知識やスキルのよさを感じるリフレクションも含まれているかもしれない。10・11時間目の教材は、それまで水平方向でしか確認することの無かった等速直線運動を鉛直方向で示することができるものである。物体が受けている全ての力の和（合力）によって物体の運動が説明できることや、「力を受けていない物体は静止する」というような素朴概念をうまく引き出しながらも、これまでの学習してきたことを使って、他者との協働によって乗り越えることのできる問題解決の場面であることから、知識やスキルのよさを感じる重要なリフレクションの場面であると言えるだろう。

新田先生からご紹介いただいた「概念変容を生じさせる条件」からも、この授業の位置づけを考察、整理することができる。これらの条件の中で最も重要なことは、1に挙げられている既存の概念に対して不満を持たせることであり、本実践の中では、「右に動いている物体が受けているはずの右向きの力が、どうやっても上手く説明できない」ということを共有する場面がそれに当たる。たとえこの授業の直後には腑に落ちないものがあっても、今後の授業の一連の実験によって「力は物体の運動の向きや速さを変化させる作用である」という新しい概念の妥当性が確かなものとなり、理解できるものに変わってゆくだろう。また、この単元の学習は、加速度という新しい概念や物体の質量と運動の関係など、高校力学とのつながりを持っている。

このように、理科の授業の本質をより自然科学的な概念変化と捉え、学びの深まりを概念変化の過程と捉えた時に、「深い学び」の創造を松下先生や新田先生のご助言から具体的に整理することができたのは大きな成果である。

4. 5. 2. 授業実践の評価

「科学の目」育む「深い学び」がどれだけ達成されたかの評価は、より自然科学的な概念への変化がどれだけ達成されたかを評価することで行うことができる。個々の生徒についての評価は、授業中の発言や、ノート記述を授業者が日常的に見とる中でその変容を追うことができ、最終的な到達度については試験などにおける記述問題で評価することができる。一方で、授業そのものにどれだけ教育効果があったのかを客観的に評価し、提示することは難しい。しかし、教師が生徒の概念や姿の変容から自身の授業実践を振り返り、評価し、修正・改善する作業は極めて重要であり、また、不可欠である。

そこで、生徒が持っている素朴概念の調査と、本実践による個々の生徒の概念変化の達成の可否、本実践そのものの評価の指標を得ることを目的として、次ページに示した簡単な選択肢問題を作成した。選択肢の中には、生徒に獲得させたかった自然科学的な概念（正答）に、生徒たちが発言したり、ノートに記述したりしたことから、根強く残っていることが予想される素朴概念を織り交ぜた。問題の作成が授業実践後になってしまったことから、問題は学習後の3年生に加え、未学習の本校1年生にも協力してもらい、実施した。

表1. 解答の分布 (1年生)					表2. 解答の分布 (3年生)				
1年	(1)	(2)	(3)	(4)	3年	(1)	(2)	(3)	(4)
ア	109	1	25	55	ア	11	3	116	124
イ	17	87	122	55	イ	3	14	20	11
ウ	3	22	3	38	ウ	102	31	5	4
エ	24	43	3	5	エ	27	95	2	4

※ どちらも■が正答。

1年生の結果からは、運動力学を学習する前の生徒がもともと持っている素朴概念を知ることができる。表1に示したように、(1)、(2)、(3)において特定の誤答が多数を占めていることがわかる。この調査によって、生徒の素朴概念をある程度検証することができた。

表2に示したように、学習後の3年生では正答が増え、一定の学習効果があったと判断することができる。しかし、設問によっては一部の生徒に素朴概念が強固に残っている様子がうかがえる他、時間の経過とともに科学的な概念が再び素朴概念に戻ってしまうことがあることに留意する必要があるだろう。この結果についての比較対象がないので、この結果だけをもとに本実践の評価をすることができないが、他校に協力を求めるなどして広く同様の概念調査問題を実施することにより、授業の評価の指標とすることができるだろう。FCI (力学概念指標) のように大学生を対象にした信頼性の高い問題はあるが、中学生を対象にしたこのような概念調査問題については報告例が少ない。本調査問題の内容や実施の仕方についての検討も、一定の価値があるのではないだろうか。

「力と運動」概念調査問題

以下の(1)～(4)の質問の中で、あなたが正しいと思うものを1つずつ選び、記号で答えてください。この問題は成績とは一切関係ありません。

(1) ある物体が同じ向きに、同じ速さの運動を続けました。この物体がこのような運動をしたのはなぜですか。

- (ア) その物体が運動の向きに一定の大きさの力を受け続けていたから。
- (イ) その物体が運動の向きに受けた力が、逆向きに受ける力よりも大きかったから。
- (ウ) その物体が運動の向きに力を受けていないか、力を受けていないのと同じ状態だったから。
- (エ) その物体が運動の向きに受けた力が、一定の大きさのまま残っていたから。

(2) 机の上に置いた1kgのレンガにひもをつけ、1Nの力で右向きに引っ張ったが、レンガは静止したままだった。この物体が静止したままだったのはなぜですか。

- (ア) レンガは右向きの力を受けていないから。
- (イ) レンガがひもから受ける力より、レンガが地球から受ける力の方が大きいから。
- (ウ) レンガがひもから受ける力より、レンガが机から受ける力の方が大きいから。
- (エ) レンガが右向きに受ける力と同じ大きさで、真逆の向きの力も受けているから。

(3) ある物体が同じ向きに、一定の割合で加速する運動を続けました。この物体がこのような運動をしたのはなぜですか。

- (ア) その物体が運動の向きに一定の大きさの力を受け続けていたから。
- (イ) その物体が運動の向きに受けた力が、一定の割合で大きくなっていったから。
- (ウ) その物体が運動の向きに力を受けていないか、力を受けていないのと同じ状態だったから。
- (エ) その物体が運動の向きに受けた力が、一定の大きさのまま残っていたから。

(4) 一定時間の間、ある物体が同じ向きに、だんだん遅くなる運動を続けました。この物体がこのような運動をしたのはなぜですか。

- (ア) その間、その物体が運動の向きとは逆向きの力を受け続けたから。
- (イ) その間、その物体が運動の向きに受け続けた力が、だんだん弱くなったから。
- (ウ) その間、その物体が運動の向きに受けて残っていた力が、少しずつ減っていったから。
- (エ) その間、その物体が運動の向きに力を受けていないか、力を受けていないのと同じ状態だったから。

【解答欄】

(1)		(2)		(3)		(4)	
-----	--	-----	--	-----	--	-----	--

年 組 番 氏名 _____



(写真1) 授業の様子
ノートに「自分の考え」を書く



(写真2) 協議会の様子
たくさんの方にご参加いただきました。

(引用・参考文献)

- ・玉田泰太郎「理科の到達目標と教材構成」(あずみの書房, 1990)
- ・「理科の授業づくり入門 玉田泰太郎の研究・実践の成果に学ぶ」(日本標準, 2008)
- ・三井澄雄「到達目標・学習課題方式の授業入門」(『理科教室』2005年7~9月号)
- ・板倉聖宣「科学的認識の成立過程」(『理科教室』1996年6月号)
- ・那須正裕「資質・能力」と学びのメカニズム(東洋館出版, 2017)
- ・那須正裕、江間史明、鶴田清司、齊藤一弥、丹沢哲郎、池田真 著
「教科の本質から迫る コンピテンシー・ベースの授業づくり」(図書文化, 2016)
- ・岩崎敬道、大川満里子、小野洋 編
「学び合い高め合う 中学理科の授業 3学年1分野」(大月書店, 2013)
- ・兵頭俊夫「運動と力」(放送大学教育振興会, 2005)
- ・兵頭俊夫「考える力学」(学術図書出版, 2001)
- ・中村誠太郎「現代物理学の考え方」(講談社, 1967)
- ・新田英雄「素朴概念の分類」物理教育 第60巻 第1号(2012)
- ・新田英雄「日本の相互作用型授業と物理教育研究」物理教育 第64巻 第3号(2016)
- ・松下佳代(2015), 「ディープ・アクティブラーニングへの誘い」松下佳代・京都大学高等教育研究開発推進センター編『ディープ・アクティブラーニング-大学授業を進化させるために-』勁草書房
- ・松下佳代(2017), 「科学教育におけるディープ・アクティブラーニング-概念変化の実践と研究に焦点をあてて-」『科学教育研究』41(2),77-84