

[理 科]

力と運動の単元における「理解の3層構造」を取り入れた授業実践

中川 圭*

1 はじめに

日々の授業において、生徒が理科を好きになってほしいと考えている。そのためには、生徒が理科をおもしろいと思うことが大切である。理科をおもしろいと感じるのはどういったときだろうか。一つは「なぜ?」という疑問と、自ら解決していく過程を通して実感を伴って心から「なるほど。わかった。」という理解したときである。また、当たり前と思っていた素朴概念を覆されたとき、素朴概念の誤りを理論で説明されたときもその一つだろう。これらが理科の醍醐味であり、理科を本当の意味でおもしろいと感じるときではないだろうか。目的も持たず、何をやっているのかわからないが、仲間と手を動かして行う観察や実験がおもしろいから理科が好きと言う生徒が多く感じるのは残念なことである。

では、理解とはどういったものだろうか。生徒が「理解した」と感じるレベルは様々である。単に暗記するだけで、悲観するほどでもないテストの結果に「理解した」と思ってしまう生徒も少なくない。

三条市立第四中学校の比護一幸教諭の実践では、西村和彦氏の著書にある「理解の3層構造」の視点を「電流と磁界」の単元の授業に取り入れた。この「理解の3層構造」は非常に興味深く、疑問に対する納得した理解を獲得するまでに必要な思考過程を説明している。「理解の3層構造」とは、知識を「一般性を持った法則的知識」、「個別的なことからを表す個別的知識」、「法則的知識と個別的知識をつなぐ接続用知識」の3つに分けて説明している。「理解」を、「個別的知識を、接続用知識を解して法則的知識で説明される状態、または法則的知識の一事例になること」と定義している。3つの知識が繋がった状態を「理解した」状態だとしている。個別的知識だけでは学習が単なる暗記になってしまい、暗記する量が増えるとともにすぐに忘れてしまう。それだけでなく、他の現象に応用できる「生きた力」にもならない。単なる暗記が増えて、生徒が暗記すればよいのだと思ってしまうのは、疑問を抱くこともなくなり、理科をおもしろいと感じることは減ってしまう。

本実践は「理解の3層構造」の視点を「力と運動」の単元に取り入れたものである。生徒の誤った素朴概念を理論によって崩し、奥深く「分かった」と感じることが出来る授業展開に取り組むこととした。

2 問題の所在

力と運動について理解しなければならないことは大きく四つある。教科書(学校図書)の順に挙げると、①「力が運動と同じ向きなら加速する」、②「力が運動と反対向きなら減速する」、①と②に付随して、③「力が一定ならば速さが変化する割合は一定であり、受ける力が大きいほど速さの変化が大きくなる」、④「慣性の法則(力を受けなければ静止または等速直線運動を続ける)」である。

この単元で難しいのは、「運動の向きに力がはたらいている」、という間違っただ素朴概念が非常に大きいことである。そのため、「一定の力を受け続けると一定の速さで動く」、「速くなるにつれて力が大きくなる」、「斜面の下にいくと力が強くなるために速くなる」と予想する生徒が多い。

学習指導要領が改定され、力の合成と分解が復活した。これにより、斜面の上でも下でも同じ力が働いていること、斜面の角度が大きいほど運動方向(斜面下向き)の分力が大きくなること、水平面で動く台車に運動方向に力を受けないこと等を説明できるようになった。これらは、力の分解なくしては説明が非常に難しかったことである。しかし、斜面上にある物体にはたらく重力の分解は難しい。これをどのように教えるかも重要なポイントとなる。

* 南魚沼市立六日町中学校

上記の素朴概念を崩せず、力の分解を介して理解できなければ、それぞれの知識をバラバラに暗記することになってしまい、応用もできない。

3 研究の目的

それぞれの知識をバラバラに丸暗記するのではなく他の現象にも応用できる「生きた力」とするために、理解の3層構造の視点から「力と運動」の単元を学習し、理科の様々な単元で理解の3層構造が有用であることを確かめることが本研究の大きな目的である。

力と運動の単元に理解の3層構造をあてはめるには「力の合成と分解」が不可欠である。力と運動を関連付けて理解するために、この度の学習指導要領の改訂で復活した「力の合成と分解」が有用であることを確かめることも、本研究のもう一つの目的である。

4 研究の構想

この単元の指導を、理解の3層構造の視点から次のように位置づけた。

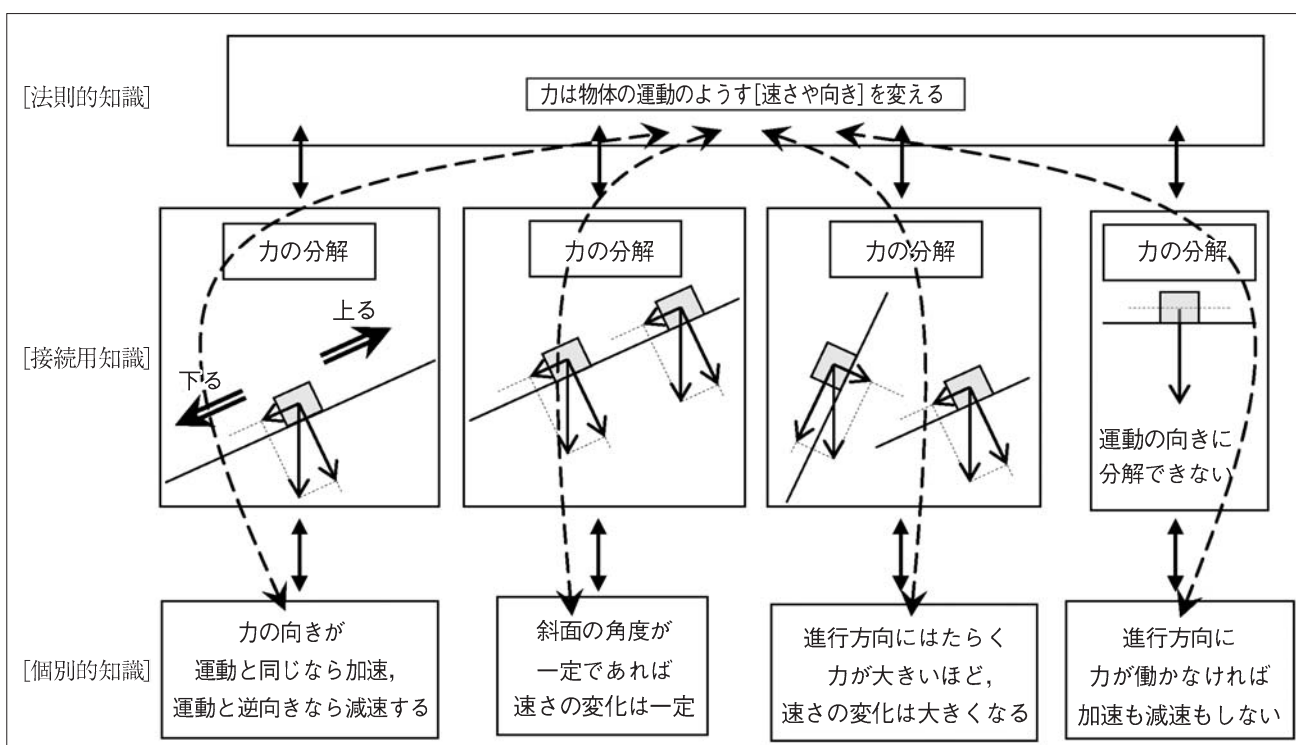


図1 本単元における理解の3構造

【仮説】

「力は物体の運動のようすを変える」という法則的知識と本単元で学ぶ様々な個別的知識を、斜面の運動については「力の分解」という接続用知識を用いて結びつければ、「わかった」と感じることができる。

本単元で学習する個別的知識を「力の分解」で法則的知識の一事例にし、「結局同じことだ」と理解させたい。

5 実践と結果

(1) 水平面で一定の力を加え続けたときの運動

「運動の向きに力がはたらいている」、「一定の力を受け続けると一定の速さで動く」という誤った素朴概念をもったまま学習を続けていくと、生徒にとって納得がいかない状態が続き、大きなストレスになってしまう。そこで本実践では、「一定の力を受け続けるとだんだん速くなる」ことを体感するために簡単な実験を最初に取り入れた。

これは、ゴムひもを一定の長さに伸ばしながら走って台車を引き続けるという実験である。教科書では写真入りで紹介されているが、生徒が行う実験として取り上げられていない。実際に行ってみると、次第に速くなり、台車に追いつ

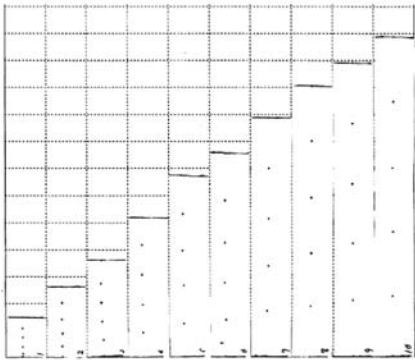


図2 ゴムを一定の長さに伸ばして引いたとき

め、加速度が一定にならなかった。図2の結果はとてもうまくいった生徒のものである。

(2) 斜面を下る台車の運動

ゴムで台車を引く実験で、「一定の力を加えるのは難しい」という感想を書いた生徒が数人いた。これを話し、前回の実験は正確に一定の力を加えることができなかつたことを確認した。一定の力といえば重力だという考えを引き出してからこの実験に入った。

① 斜面上の力学台車にはたらく力をばねばかりで調べる。

重力を斜面下向き（進行方向）と斜面に垂直な向き（進行方向と垂直）に分解したことを図に描いて復習し、斜面の上でも下でも進行方向の分力は一定であることを説明した。また、急な斜面の方が進行方向の力が大きくなることも図で説明してから、記録タイマーを使って実験した。

② 斜面を下る力学台車の運動を記録タイマーで記録する。

図3がその結果である。テープ一本一本の長さを測って速さを計算し、グラフに表してから考察に入った。前回の実験で、力を加え続けると速くなることを確認できたが、正確に一定の力ではなかつた。そこで、「正確に一定の力を加え続けると速さはどうなるか」という問いかけに、表現は様々だったが「一定の割合で速くなっていく」と気付いた生徒が56%いた。その他の生徒は「だんだん速くなる」という答えのままだった。

③ 斜面を下る力学台車の運動を、画像によるシミュレーションで理解する。

生徒とのやりとりの中で、「速くなる割合がなぜ一定になるのか」、「急な斜面だとなぜ速くなる割合が大きくなるのか」ということが感覚的にわかっていても、進行方向の分力と運動が結びついていないと感じた。更に、力の分解自体が難しく、そこでつまづいている生徒が多いと感じた。そこで、画像（動画も可能）によるシミュレーションを使うことにした。インターネットの「ネットで学習SGSスクール」というホームページの中にある、「理科『斜面の実験シミュレーション』（<http://sgs.gozaru.jp/cdr/sutanbai/syamen.html>）」をプロジェクターでスクリーンに映して考え、その後で、再びプリントに作図し、理解を深めようと試みた。

図4のような画面で説明できる。斜面を物体が滑っていくのだが、斜面の上でも下でも、止まっているときも動いているときでも重力は変わらないことを説明できる。また、速くなると力が大きくなると考えがちだが、斜面の角度が一定であればその分力も一定のままであることを説明できる。

また、図4の左右で異なるように、角度を簡単に変えることができる。これによって、角度が変わっても重力の大きさは変わらないことや、角度によって二つの分力が変わ

けなくなっていくことが体感できる。実験前の生徒の予想としては、だんだん速くなる16%、だんだん速くなって一定の速さになる10.5%、一定の速さ39.5%であった。ほとんどの生徒が一定の速さで動くと予想していた。

実験をした後の考察で「実験結果から、一定の力を受け続けると物体はどう動くか？物体の速さはどうなっただろうか？」の問で、全員が「だんだん速くなった」といった答えを書くことができた。また、感想等を書く欄で、「一定の力を加え続けると一定の速さで動くと思ったけど、だんだん速くなってびっくりした」という感想が多かった。

ここで、「一定の力を受け続けるとどんどん速くなる」ということを実感し、感覚的につかめたことは大きいと考える。ただ、ゴムの長さを一定に保って走り続けるのは難しいた

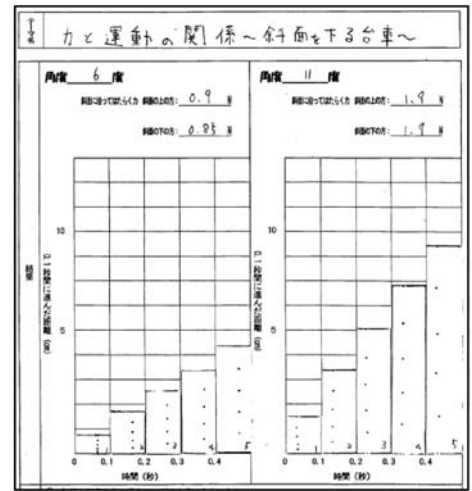


図3 斜面を下る力学台車の運動

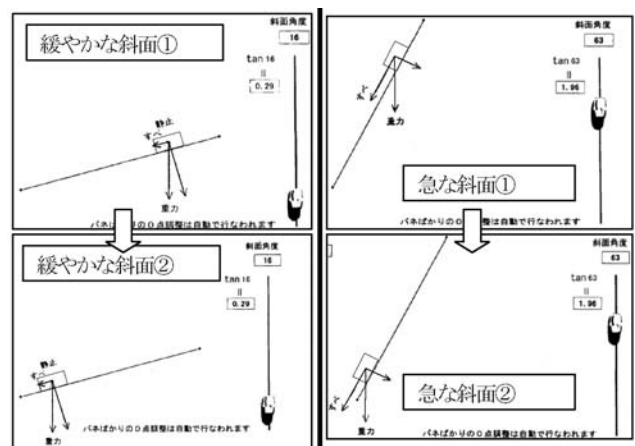


図4 シミュレーションの画像

る様子が非常に分かりやすい。これを用いて、運動方向の力が大きくなるために速さの変化の割合が大きくなる（加速が大きくなる）ことを説明した。

④ シミュレーションでの説明後、改めて作図をし、理解を深める。

図5のようなレポート用紙で授業をした。授業の初めに①～③のまとめをし、理解度を調べた。その後に上記のシミュレーションで説明し、レポート用紙で作図をし、理解を深めることをねらった。シミュレーション前は平均4.4だった理解度が、シミュレーションで説明を聞いて作図をした後は平均6.0に上がった。また、前後で理解度の数値が上がった生徒が78.1%、変わらなかった生徒が15.5%、下がった生徒が6.3%であった。

授業後の感想では、「シミュレーションが分かりやすかった」という感想が多かった。「角度によって分力が変わるのが分かりやすかった」「力を分解する意味がやっと分かった」「イメージしやすくなったし、ごちゃごちゃしていたのが解消された」「力が同じだから、同じくらいずつ加速する」「動いていても重力は一定だ」といった、肯定的な感想が多かった。しかし、理解度が変わらない生徒や下がってしまった生徒は、「やっぱり分からない」「イメージしやすくなったけど、分からない」「自分で角度を変えてみるともっと分かるかもしれない」などであった。シミュレーションが理解を深めたという生徒がほとんどで、使ったことがマイナスになったという感想は無かった。このシミュレーションが非常に有効であったと言える。

(3) 斜面を上る物体の運動

生徒実験はしなかったが、演示で説明し、図6の実験結果をプリントで配布した。

遅くなる割合が一定であること、角度が大きいほど、遅くなる割合が大きくなることを確認した。分解した斜面方向の力が進行方向と逆であるために、減速、つまり逆向きに加速する（ブレーキになる）ことを説明した。

(4) 水平面を動く物体の運動

① これまでの学習内容を振り返り、予想する。

図を用いて、運動の向きに力が働けば加速、運動と反対の向きに力が働けば減速（反対向きに加速）することを復習した。そして、押して手を離れた後、水平面での台車の速さはどうなるかを予想してから実験に入った。条件として、摩擦も空気抵抗もないと考えた場合として考えた。

実験前の生徒の予想は、だんだん遅くなって止まる41%、一定の速さ59%、だんだん速くなる0%であった。

だんだん遅くなって止まると予想した生徒が41%。そのように予想した理由として多かったのは、「力を加え続けられないから」「伝わる力がいずれ弱くなるから」「重力があるから」といったものである。【(1) 水平面で一定の力を加え続けたときの運動】で、一定の力を加え続けると速くなることを学習しているが、活かされていない生徒たちである。日常生活では摩擦や空気抵抗がゼロということがなく、想像しにくいためであろう。

一定の速さで進むと予想した生徒が59%と、私としては多く感じた。そのように予想した生徒の理由としては、「重力が進む方向にも逆の方向にも力が加わらないから」「分力の長さが等しいから」と、ここまで学習した力の分解をもとに考えられた生徒がいた各クラスで3～4人いた。また、力の分解まではいかずとも、ここまでの学習内容を踏まえ、「摩擦がないから」「力を加えていないから」「止まるための力がはたらかないから減速せず、速さは変わらない」「力を加え続けるわけではないから速くならないし、摩擦がないから遅くもならないから」といった考えも多かった。

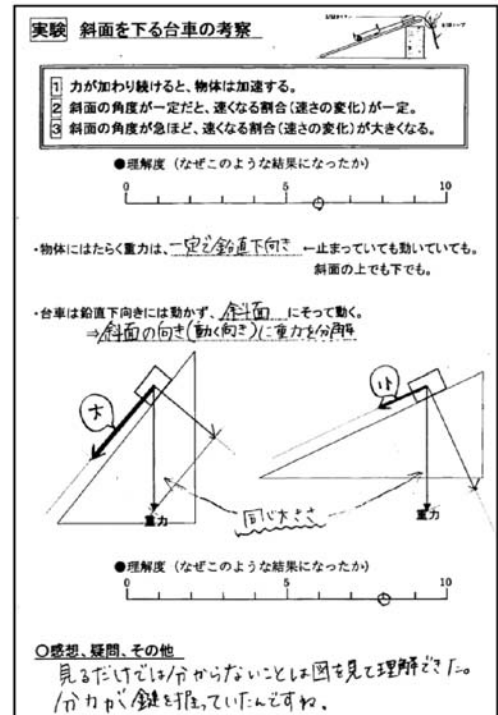


図5 斜面を下る台車の考察

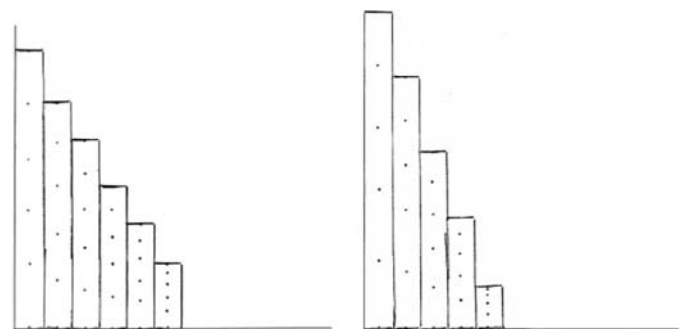


図6 斜面を上る台車の運動

② 水平面を動く（押したり引いたりしない）力学台車の運動を記録タイマーで記録する。

下の図7に示したレポートは、力の分解をもとに考え、予想した生徒のものである。

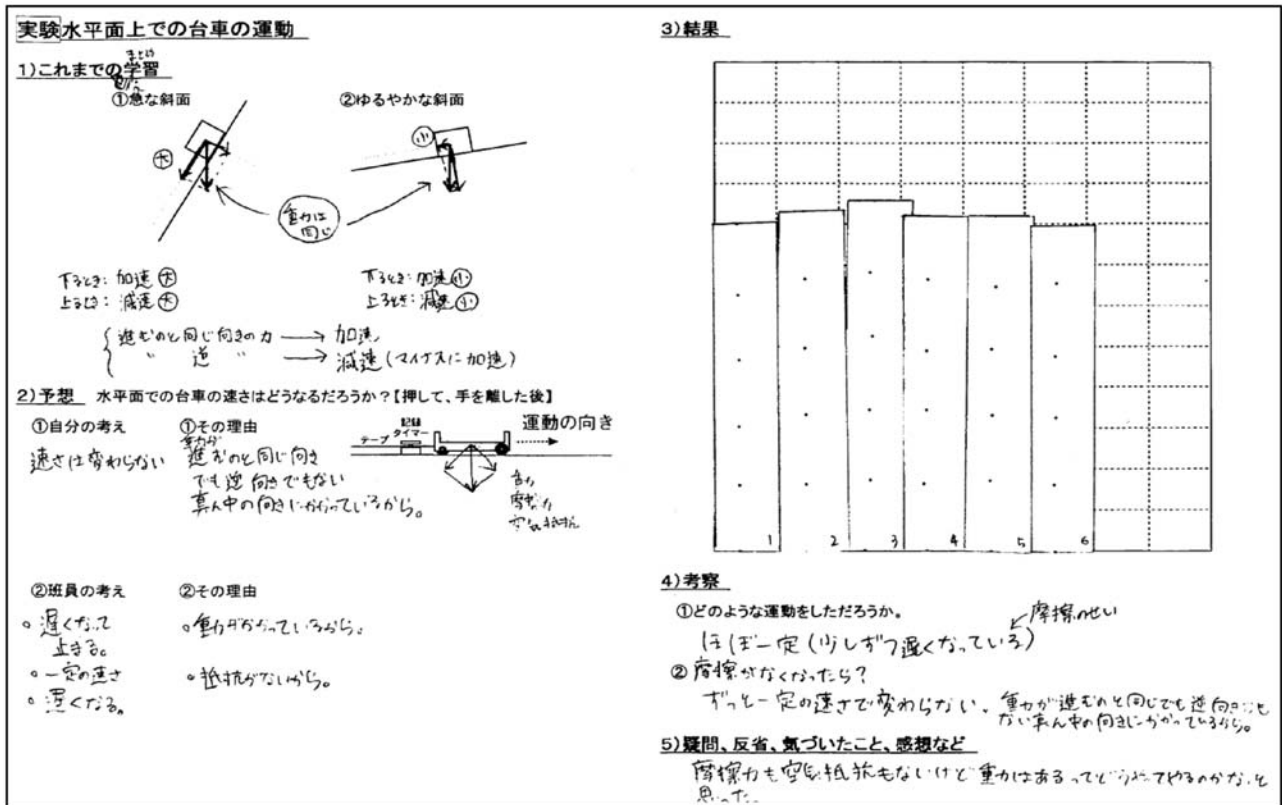


図7 水平面での台車の運動

③ 考察

実験前の予想や実験後の考察で、自分の考えを書いてから班で話し合う時間をとった。考察の「摩擦が完全に無くなったらどうなるか」との間を班で考える中で、上のレポートのように重力を分解して説明する生徒や、重力が分解できないことを図に描きながら説明する生徒がいた。そのような班は、その意見に「なるほど」という言葉が上がっていた。

しばらくしてから、以前見せたシミュレーションをプロジェクターでスクリーンに映した。斜面の角度を変えて二つの分力が変わる様子を見せてから水平にすると、「分力がなくなった」や「分解できない」といった意見が出てきて、生徒の納得する表情が多く見られた。ここでも、斜面上にある物体にかかる重力の分解のシミュレーションが有効であることがわかった。

(5) 慣性の法則

慣性の法則について、考えさせ、説明するために様々な現象を見せる中でも、重力は無視できない。水平方向の運動でも、重力がブレーキになってしまうのではないかと考える生徒がいた。しかし、力の分解を学習していたため、進行方向に重力が分解できず、進行方向に力がはたらいでないために運動のようす（速さや向き）は変わらないと結論づけることができた。

(6) これまでのまとめ

右の図8に示したように、「力の分解」という接続用知識を用いて「力は運動のようすを変える」とまとめることができた。生徒の感想を読んだとこ

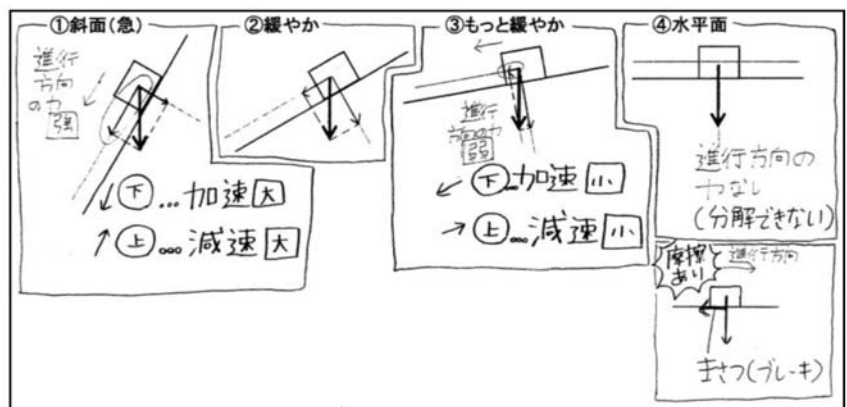


図8 これまでのまとめ

ろ、「運動方向の力だけを考えればよいと分かった」と、ここで気付いた生徒が多かった。

6 考察

実践する中で、「力は物体の運動のようすを変える」という法則的知識を、感覚だけでなく自分で説明できる理解まで高めることが難しいことに気付いた。そこまで理解を高めるためにも、斜面の運動における「力の分解」という接続用知識が不可欠であることが分かった。当初、力の分解自体を生徒が理解することが私の予想以上に難しかった。しかし、斜面を下る運動を学習するときに「力の分解」によって生徒に進行方向の力を強く意識させることができたことが、その後の学習に有効であった。また、【5(2) 斜面を下る台車の運動】でまとめたように、平均4.4だった理解度がシミュレーションを見て考えてから作図をした後に平均6.0に上がり、前後で理解度の数値が上がった生徒が78.1%もいたことから、シミュレーションの有効性は明らかである。「力を分解する意味がやっと分かった」「進行方向の力だけを考えればよい」といった生徒の感想から、力の分解を理解することによって、法則的知識と個別的知識がつながったことがわかる。

慣性の法則を学習する前の【5(6) これまでのまとめ】で、やっと「進行方向の力だけを考えればよい」と気付いた生徒が多く、「今までやっていたことがやっとわかった」「前にやった加速や減速がやっとわかった」といった感想が多かった。ここで初めて「力は物体の運動のようすを変える」という法則的知識を理解できた生徒が多かった。ここまで順を追って学習していったそれぞれの知識がつながっておらずバラバラの状態で、消化できていなかったのである。それぞれの個別的知識だけでなく、法則的知識も、接続用知識の意味や役割もよく理解できていなかったということである。最後に「力の分解」という接続用知識を用いて学習内容をまとめることによって全体が見え、それぞれの知識が結びつくと同時に、それぞれの知識の理解が深まったと言える。加速、減速、等速というバラバラだった個別的知識が、「力の分解」という接続用知識によって、「力は物体の運動のようすを変える」という法則的知識と結びついて「分かった」のである。

また、「力の分解」を取り入れたことによって、運動方向の力を強く意識させながら慣性についても説明できた。旧指導要領では、摩擦のない水平面では速さが一定になるということなどから、力の分解による説明なしに慣性の法則を説明して終わってしまう。これでは力と運動の関係が希薄であり、本単元で学習する加速、減速、等速（慣性の法則）が結びつかない。それぞれの知識がバラバラであるために、単に丸暗記しようとする生徒も増えてしまう。「力の分解」によって、慣性の法則もその一事例であると理解させることができた。

これまで述べてきたように、授業を組み立てる際に、「理解の3層構造」は非常に有効であった。はじめに述べたが、理科は単に暗記すればよいと思っている生徒が多い。接続用知識で法則的知識に結びつけるように、あるいは法則的知識でまとめるように、「理解の3層構造」を意識して授業を組み立てることで、生徒は単に暗記するのではなく理解しようと意識を高めることができると感じた。

7 おわりに

私自身、旧指導要領で授業を行っていた4年前に、力の合成と分解について触れた。その時は十分な時間が確保できず、生徒は力の分解について実感を伴った理解が得られず、中にはなおさらわからなくなる生徒もいた。今回は授業時数が増え、力の合成と分解に時間をかけることができた。そのため、今回は力の分解について理解を深めるとともに、それによって全体の理解も深めることができたように感じる。

理科は単なる暗記科目ではないことは言うまでもない。生徒が「なぜ？」という疑問と、実感を伴った「なるほど。わかった。」という理科の醍醐味を味わうことができるよう、これからも「理解の3層構造」を意識しながら、教材研究・授業研究を進めていきたい。

参考文献

西村克彦『間違いだらけの学習論—なぜ学習が身につかないのか』新曜社、1994

比護一幸『電流と磁界の単元における理解・認知の構造を取り入れた授業実践』教育実践研究第17集、2007、P49-P54