

結果の分析, 解釈を通して, 科学的な根拠をもって考察できる生徒の育成 ～「力と運動」における指導計画の工夫～

大久保 広志

多治見市立小泉中学校

山田茂樹¹・川上紳一²

¹岐阜県教育委員会

²岐阜大学教育学部

Bringing up study ability with scientific reasons by means of
training the analysis of the results and interpretations:
An improvement on instructional plan in the subject
“changes in motions and forces”

Hiroshi Ohkubo

Koizumi Junior High School, Tajimi-shi, Gifu, 507-0073, Japan

Shigeki Yamada¹ and Shin-ichi Kawakami²

¹Educational Board of Gifu Prefecture, Gifu, 500-8727, Japan

²Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan

要 旨

中学3年「力と運動」の学習では, 生徒がいまだ素朴概念が強く, 科学的に正しい理解に至らない生徒の割合が高いという実態がある. 本研究では, 通常よりも時間数を多くとり, 単元指導計画を練って, 運動の変化を解析する記録タイマーの使い方と, 記録テープの分析の仕方を丁寧に指導し, 斜面上の台車の運動では, 速度が時間とともに増加していくという事実を捉えさせる授業を試みた. 斜面上の物体における運動の方向に働く力が一定であることをニュートンばかりを用いて測定させた. 結果の考察では, ホワイトボードを使って, 得られた事実をつなげて考えるように指導した. その結果, 中学校学習指導要領-理科編(文部科学省, 2008)や教科書に示されている実験について, 結果の分析や解釈のための時間を十分にとって指導すれば, 科学的に正しい理解へと至る生徒の割合が向上することが示された.

【キーワード】: 中学校, 理科, 力と運動, 力学台車, 記録タイマー

1. はじめに

2008年に発行された中学校学習指導要領解説-理科編における第1分野(5)運動とエネルギーのなかに, 力と運動の学習がある(文部科学省, 2008). この学習では, 「物体に力が働く運動及び力が働かない運動についての観察, 実験を行い, 力が働く運動では運動の向きや時間の経過に伴って物体の速さが変わること及び力が働かない運動では物体は等速直線運動することを見いだすこと」とされている. 内容の取扱いでは,

「運動の様子を記録する方法を習得させるとともに, 物体に力が働くときの運動と働かないときの運動についての規則性を見いださせることがねらいである」とされている.

一方, 中学校第3学年における「力と運動」や「運動の変化と力」の学習に関する生徒の事象調査の研究によると, ほとんどの生徒は運動や力に関する素朴概念をもっており, 科学的な概念とは大きくかけ離れていることが明らかにされている(金井・高野, 1998; 石川・中辻,

2013).

こうした研究によると、生徒は、斜面上の台車の運動では、力は物体の運動の速さに比例すると考えていて、等速直線運動する物体にも力が働いているという誤解がみられる。一方、加速度運動については、速度の増加は作用する力が大きくなるからだという考えをもっている。

生徒の素朴概念から科学的な概念への変容を促す手立てとして、小野寺・川上（2008）は運動する物体における力の可視化を試み、エレベータ内の物体の重さや、電車内における慣性力についての実験を行い、デジタルコンテンツを開発すると同時に授業実践における活用を行っている。金子ほか（2009）は、水平面におかれた台車に一定の力を作用させる実験を行って、力と運動の関係を捉えさせるという指導法を提案し、その効果を報告している。

本研究では、中学校学習指導要領解説 - 理科編（文部科学省，2008）における内容の取扱いにおける記述「斜面に沿った台車の運動の様子を記録タイマーなどで記録させる。このとき、台車にかかる斜面に沿った力の大きさも測定させる。斜面の角度をいろいろと変化させる実験を行い、その結果を分析して解釈させる」という意図で単元指導案の検討と授業実践を行って、物体に働く力と、運動している物体の速さの関係について、科学的な根拠をもって考察できる生徒を育成しようと考えた。

そのためには、①確かな事実を得ることができ観察、実験の技能と結果を分析、解釈する能力、②自分の考えを証拠や理由に立脚しながら主張したり、多様な観点からその妥当性を吟味したりする能力を身に付けることが必要であると考えた。そこで、①確かな事実を得て、分析、解釈する力を重点的に指導する時間と、②身に付けた知識・技能を用いて、自分の考えを主張したり、多様な観点からその妥当性を吟味したりする力を重点的に指導する時間を位置付けた指導計画を作成し、授業実践を行った。

2. 生徒の実態と指導の工夫

理科学習に関わるアンケート調査を行うと、次のような生徒の実態が明らかとなった。

- 理科が好きな生徒は80%。その理由は観察、実験が楽しいことが大半。実験、観察に絞ると、好きな生徒は90%であった。
- 根拠をもった予想を書いたり、結果を分析、解釈し自分の言葉で説明したりすることに、苦手意識がある生徒は60%以上であった。理由は、「言いたいことをうまく説明できない」や「どのような言葉（キーワード）を使用すればよいかわからない」などであった。実際に机間指導をしていても、「こうなると思う」とか、「こうなった」ということは書いても、科学的な根拠とともに書ける生徒は多くなかった。

この実態からも、確かな事実を得る観察、実験の技能と結果を分析、解釈したり、説明したりする力を高めることで、「実験が楽しい」で終わるだけではなく、科学的な根拠をもって考察できる生徒を育成できると考えた。

中学校第3学年「力と運動」において、単元指導計画を作成し、授業実践を行うにあたり、生徒が学習前にもっている、既習の知識や技能、見方や考え方を把握するために事前アンケートを行った。そして生徒がもっている概念の分析を行った。

質問①では「運動するとはどういうことか」について尋ねたところ、90%の生徒が「動くこと」と書いていた。「体を動かすこと」、「移動すること」などは10%程度の回答であった。

質問②では「物体の運動が速くなるのはなぜか」について尋ねたところ、「坂を下るから」、「エンジンがついているから」ということを80%の生徒が回答した。また、運動の変化と力の関係に関して、速さの変化に関係なく、力が加わっている方向に物体は運動すると思っている生徒が多かった。こうしたアンケート結果は、先行研究で明らかにされている素朴概念を生徒がもっていることを示している。

このことから、生徒は日常生活と関連付け、どのような場面で速さが増すかはある程度理解できているが、「運動する向きと同じ向きに一定の力が加わることによって速さが増す」という考えには至っていないことが分かった。

これらのことを考慮して、生徒が記録タイマー

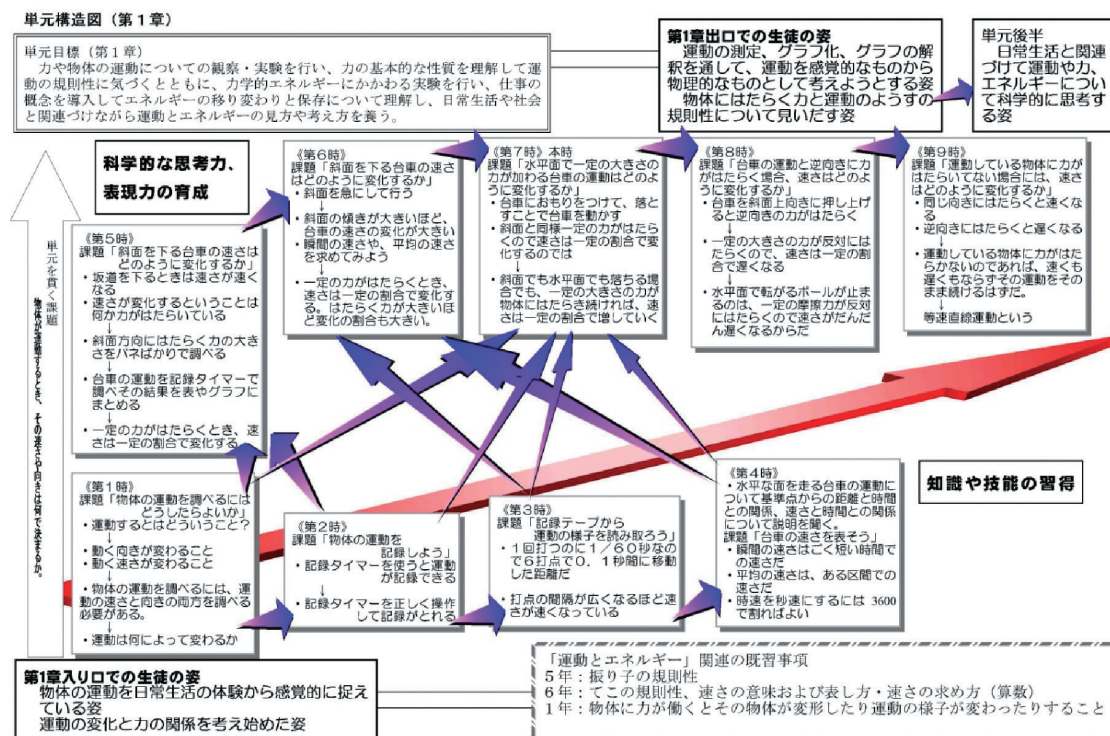


図1. 単元構造図.

で記録したテープから運動の変化の様子を確実に捉え、その結果を分析、解釈する力を繰り返し指導できる単元構造図(図1)を作成し授業を行った。本単元の時間数としては7時間が一般的のようであるが、本研究では2時間多くとり、全9時間としている。

3. 授業実践

第1時の単元の導入授業を受けて、第2時には、確かな事実を得ることができるよう、基本的な技能である記録タイマーの使い方を丁寧に指導し、全員が繰り返し行う時間を位置付けた(図2)。

第3～4時では記録テープの打点の表す意味を考えさせた。運動が速くなる場合の打点の間隔、遅くなる場合の打点の間隔、さらに、速度の求め方など、全員が記録テープを用いて運動の変化の様子を分析、解釈できるようにした。図3に記録タイマーの記録テープの例を示す。

続く第5～9時の授業では、テープの記録から得た事実を分析、解釈し、それを根拠に考察できるよう繰り返し指導をした。

第5時と第6時では、速度が一定の割合で増

加する場合の実験を行った。ここでは、斜面の角度を変えて斜面を下る台車の運動を記録するのであるが、運動の様子と力に関連付けさせるために、台車の運動を調べるときは必ずニュートンばかりで台車に加わる力の大きさを測定させた。斜面を下る台車の運動を調べるときは、急な斜面、緩やかな斜面のいろいろな場所で台車に加わる力を調べることで、斜面方向の力がどこでも一定であることを確認させた。そのうえで記録タイマーを使用し、台車の運動を調べることで、一定の力が加わり続けるときは、一定の割合で速さが増すことを生徒は理解していった。

第7時では、これまで学習した運動と力の関係が理解できているかを確認するために、水平面でおもりをつけた台車の運動を調べた。生徒の予想では、「台車はおもりによって同じ力の大きさで引かれるので、一定の割合で加速する」とか「おもりにはたらく重力は変わらないので、台車には同じ大きさの力が加わり続け、一定の割合で加速する」といったような予想が多く見られた。また、予想の交流の後、台車に加わる力が一定かどうかを確認するために、ニュート

ンはかりで調べる必要があるという声も生徒から聞かれ、運動の変化と力を関連付けて調べようとする姿が見られた。授業の終末では、理科室の天井付近から記録テープをつけたおもりを落下させることで加速するおもりの運動を記録した。これにより、一定の力が加わり続ける場合の運動の変化を再確認した。

第8時では、台車の運動とは逆向きに一定の力が働く時は、一定の割合で速さが遅くなることも斜面を利用し確認した。減速する場合の記録は次の2通りで得た。1つ目は斜面を下から上向きに台車を押し上げた時の記録である。2つ目は、斜面を下る台車の運動を調べる際に、斜面を下り終わってからの水平面の運動まで記録を行い、下り終わってからは、机の摩擦により一定の割合で短くなっていくことを見いださせた。

第9時では、「一定の速さで進み続けるのはどのような時か」という課題で実験を行った。速度が一定の場合の記録は、水平面に置いた台車を手で押し出して動かし、はじめと最後の記録をカットして真ん中の記録だけを並べてほぼ一定ということを見いださせた。

このような指導により、生徒は、同じ向きに力が加わるなら加速する、逆向きなら減速する、加速も減速もしないということは力がはたらいっていない、もしくは力がつり合っている状態であるという規則性を見いだしていった。



図2. 記録タイマーを使って実験を行う生徒.

このように、第5～9時においては、生徒が既習の知識、技能を活用しながら実験を行い、得られた結果を自分なりに分析、解釈し、新たな見方や考え方を身につけていくことができた。

A. 速度がほぼ一定の場合 B. 速度が減少する場合

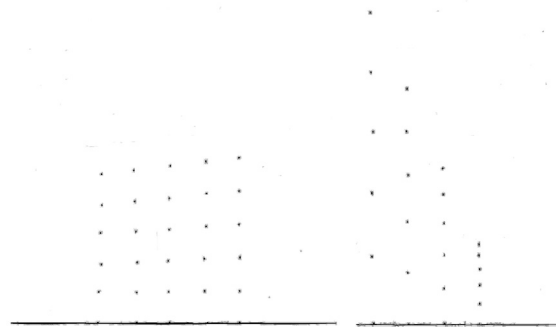


図3. 記録テープの例. A. 速度が一定の場合, B. 速度が減少する場合.



図4. ホワイトボードに考えを記入する生徒.

いっぽう、考察する時間では、生徒が自分自身で考えを作っていく場面と、仲間との交流によって多様な観点から自分の考えの妥当性を吟味したり、改善できたりする場面があることでより科学的な根拠をもって考察ができると考えた。そこで、生徒一人一人が自ら記録したテープを分析・解釈する時間を十分に確保した後、ホワイトボードを活用し、仲間と交流しながら考察を練っていく場面を位置付けた(図4)。生徒一人一人が実験に参加し、確かな事実を得たことを受けて交流を行った。ホワイトボードの記述をみると、すべての班において、斜面上の物体の運動と作用する力について、科学的に正しい記述が書かれていた。図5に、生徒のノートの記述例を示す。

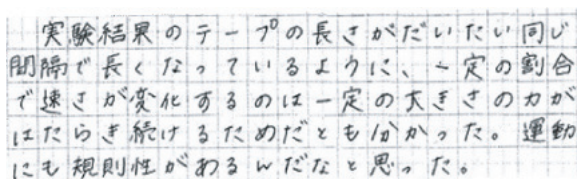


図5. 生徒のノートに記された文章の例.

4. 議論

(1) 力と運動に関する生徒のいづく概念の変容

記録タイマーの使い方に時間をかけたことで、生徒は「物体の運動を調べるにはまず速さの変化を調べてみる」という学習姿勢が定着し、特に指示をださなくてもすばやく記録タイマーを使い運動の変化の様子を調べるようになった。記録したテープを分析、解釈する際には、既習の知識、技能を活用しながら行うようになり、自分の予想していた結果と違ったり、仲間と比較して違ったりしたときは、再度実験を行い、記録を取り直す姿が見られた。また、自分の記録の正しさを確認するために再度記録を取る姿も見られるようになった。いずれの場合にしても、記録タイマーの使用を何度も繰り返し行ってきたことで、一人一人の作業が大変すばやくなり、再度記録を取っても考察する時間を確保することができた。

後日、次の4項目でアンケート調査を行った。

- ①記録タイマーを使い、運動の様子を記録することができたか。
- ②記録テープの結果を分析し解釈することができたか。
- ③ホワイトボードを使っての交流はどうであったか。
- ④物体の運動の速さに変化するのなぜか。

①質問に関しては96%の生徒が「記録できる」、「だいたいできる」と答えていた。その要因は、単元を通して、一人で何回も、繰り返して記録タイマーを使用できたことであると考えられる。

②の質問に関しては「できる」、「だいたいできる」とほぼ全員の生徒が答えていた。生徒のノートには、例えば「坂道を下る台車は一定の割合で速さに変化する。そのことは隣り合うテープの差やニュートンばかりの結果等か

ら確認することができる」という記述があることから、運動が速くなっているか遅くなっているかの判断や、テープを6打点ごとに切って並べて貼り付け、変化の割合が一定かどうかを判断することができるという考えを持っていることがわかる。しかし、打点を利用して平均の速さや、時速を求めるということはまだまだ苦手な生徒が多いこともわかった。

③の質問に関しては「ホワイトボードを使って交流しながら班で考察をまとめた方がよい」と答えた生徒が約90%であった。その理由は「班で考えた方が、理解が深まって良い」とか「仲間の意見が聞けて、自分が気付かなかったことに気付く」などであった。逆に約10%は「自分一人でまとめたい」という意見だった。その理由は「一人で行える」、「自分の考えや結果が自由に書ける」などであった。

④の質問に関しては、90%の生徒が力と関連付けて答えていた。その中でも65%の生徒が「同じ方向に力が加わるから速くなる」という内容を記述していた。また77%の生徒が遅くなるのは「摩擦力がはたらくから」、「力が反対向きにはたらくから」といった回答をしていた。

図5の生徒のノート記述からも、初めは感覚的な捉えであった力と運動について、科学的な根拠をもって捉えることができるようになったことがわかる。

これらのことから、「力と運動」に関して、科学的な根拠をもった理解へと至った生徒が60%以上になったと考えられる。しかし、確かな事実を得て、物体の運動が速くなったことが理解できていても、力と結び付けて考えることができず「斜面だから速くなった」というように書いた生徒がまだ10%程度は見られた。「力と運動」の学習において科学的な理解への生徒の変容を促すには、さらなる指導の改善が必要である。

(2) 「力と運動」の指導の工夫について

金子ほか(2009)では、水平面上の力学台車に一定の力を加えて引っ張った場合、速度が増加していく実験を行って、運動の変化が作用した力と関係していることを理解させる指導法を

提案している。本研究では、中学校学習指導要領解説 - 理科編（文部科学省，2008）と中学校の理科の教科書に示された実験を忠実にいう授業を行った。記録テープの記録の分析や解釈の仕方を徹底して指導することで、斜面上の物体の運動では、時間とともに速度が増加していくことを見いださせることができた。また、この実験結果と、斜面上の物体に働く力の大きさが一定であるということ、ホワイトボードを用いて考えをまとめる授業を行うことで、力と運動に関して多くの生徒が科学的な概念を獲得していることが示された。

すなわち、学習指導要領や教科書に書かれている実験について、繰り返し丁寧に指導する指導計画を作成し、得られた結果を分析、解釈する能力、自分の考えの妥当性を吟味したりする能力を、十分に時間をとって身に付けさせるようにすれば、科学的な概念に至る生徒の割合が増えることがいえる。

5. おわりに

現行の中学校学習指導要領 - 理科編（文部科学省，2008）では、それまでのゆとり教育を見直し、学習内容の大幅な充実が図られた。その結果、抽象的な概念や生徒が混乱しやすい学習内容が復活したり、新たに導入されたりしている。こうした生徒にとって難解な学習内容については、教材・教具の工夫、日常生活や社会との関連性などの視点から、指導の工夫がなされている。本研究では、単元指導計画を工夫することで、生徒がつまづきやすい結果の分析や考察の場面において、時間をとって丁寧に指導することで、指導の改善が可能であることを、中学3年「力と運動」の単元で取り組んだものである。

特に、繰り返し記録タイマーを使用したことで、確かな事実を得て、それをもとにして考察

できるようになっただけでなく、作業が大変素早くなり、後の考察の時間を多く取ることができた。

また、ホワイトボードを使用し、自分たちの考えを交流しながらまとめていくことで、自分の考えを説明したり、多様な観点から自分の考えを改善できたりするなど、より科学的な根拠をもって考察ができるようになったことが成果である。なお、授業時間数については、本研究では、従来よりも2時間多く設定したが、年間を通して、事前に学習内容の系統や生徒の実態をつかむことで、指導の軽重をかけた指導計画の工夫が望まれる。

謝辞. 本研究は、平成25年度岐阜県総合教育センター理科教育講座（岐阜県教育委員会・岐阜大学の実施するコアサイエンスティーチャー養成プログラム（中級コース））における研究課題として取り組んだものである。理科教育講座（中学校）の研究員の方々には有益な議論をしていただいた。ここに記して深謝する。

文 献

- 石川聡子・中辻貴之 (2013) 学習者の力と運動についての概念形成に関する先行研究の分析, 大阪教育大学教科教育学論集, No.12, 73-84.
- 金井英男・高野 庸 (1998) 力と運動に関する素朴概念の実態とその改善の試み, 科教研報, 12, No.4, 27-32.
- 金子健治・小林辰至・伊東明彦・渡辺一博 (2009) 中学生の「斜面上の物体の運動」の指導方法に関する研究 - 台車を水平面で一定の大きさの力で引く実験を取り入れることの効果 -, 理科教育学研究, 50, No.2, 31-38.
- 小野寺久美子・川上紳一 (2008) 中学校理科「運動と力」における生徒の課題と力を可視化する教材の効果, 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 34, 57-60.