

授業実践

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-03-12 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 井出, 祐介, 高橋, 政宏 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00027146

授業実践

1 題材名 自由落下運動に秘められた規則性を探ろう (第 3 学年)

2 題材の目標

自由落下運動には規則性があるかもしれないと考える子どもたちが、斜面を自由落下運動のスローモーション装置であると捉え、斜面を運動する鉄球について実験を行い、その結果を距離と時間に着目しながら分析することを通して、自由落下運動などの等加速度運動の規則性について導き出すことができる。

3 題材観

(1) 身近な現象の見方が変わる

①「科学のまなざし」で運動を見つめる

私たちは日常において自由落下運動を「物が落ちる」という現象でしか見ていません。同様に、斜面運動も「転がり落ちる」「すべり落ちる」という現象でしか見ていないのです。しかし、私たち理科の教師は自由落下運動と斜面運動が、等加速度運動という意味では等しい運動であると考えます。理科教師でなくとも、斜面の角度が 90° のときに自由落下運動となるという思考実験は、決して難しいことではありません。

ではなぜ、私たちは日常の中でこの自由落下運動と斜面運動とを同様の自然現象として捉えることが難しいのでしょうか。それは「力」や「速さ」や「時間」や「距離」の視点で運動を見ようとしていないからです。言い換えれば、私たちは普段「日常生活というフィルター」でしか運動を捉えようとしていないのです。しかし、科学的に運動を見つめ直したときには、そこに共通点や規則性が見えてきます。本校理科部では、このような科学的な捉えを「科学のまなざし」と呼んでいます。「科学のまなざし」で運動を見つめ直すことによって、自由落下運動と斜面運動が同様の自然現象として見えてくるのです。

また、日常では見えない運動を、「科学のまなざし」で見つめることは、自然の秩序ある美しさや偉大さに気づいていく行為とも言えます。運動に規則性があることに気づいたとき、人は驚きや感動を覚えるでしょう。そこには、人工的に運動を制御しなくても、自然がその規則性を生み出しているという、自然に対する畏敬の念が生まれているはずです。運動の規則性を追究しながら、自然を理解する行為は、自然尊重の精神を養うものでもあります。「科学のまなざし」をもつことは、自然観を豊かにすることに他ならないとも考えます。

②式で運動を見つめる

物理学においては、運動の様子を数式を用いることで、実にシンプルに表現することができます。人

類にとって根源的でありながら、説明が難しいと思われていた運動は、科学的な分析によって、たった 1 行の数式で表現することができるようになったのです。数式はある特殊な事例にのみ通用するものばかりではなく、汎用的にあらゆる物理現象を説明できるものもあります。例えば本題材では、自由落下運動と斜面運動は以下のように同様の式で表すことを取り上げます。斜面運動の式は、落下運動までも説明できるのです。

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

(y は距離, g は加速度, t は時間)

数式のすごさはそれだけではありません。運動を分析することで導き出された数式は、別の運動を理解したり説明したりする根拠にもなります。例えば、月面の運動は実際に現場に行って分析することはできませんが、地球上での分析から導き出した数式を用いることによって、月面での運動を考えることができます。

運動の分析が数式となり、それが他の現象について新たな見方を与えてくれることこそが、物理学のすばらしさであり、美しさであると考えます。

(2) 自由落下運動と斜面運動

①自由落下運動と斜面運動の関連

同様の数式で表現される自由落下運動と斜面運動には、具体的にどのような共通点があるのでしょうか。

まずは、力が進行方向に働き続けるという点です。自由落下運動をする物体には、重力という一定の大きさの力が連続的にかけられます。一方、斜面上を運動

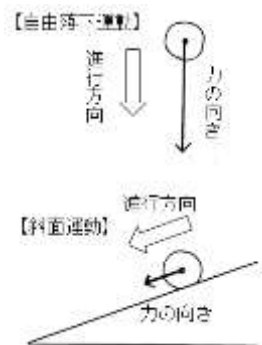
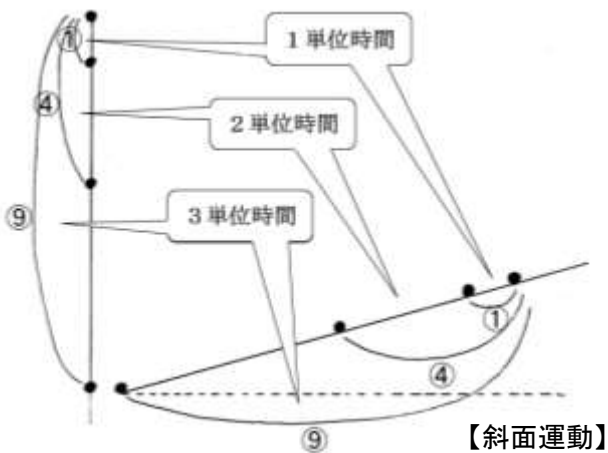


図 1 自由落下運動と斜面運動

する物体には斜面下向きの力が一定の大きさで、連続的にかかり続けます (図 1)。この力は重力を分解した力の一つであり、斜面の角度が大きくなるほど、大きくなります。つまり、斜面角度 90° が自由落下運動と言い換えることができるのです。

次に、時間と移動距離に規則性があるという点です。どちらの運動もスタート地点から 1 単位時間に 1 の距離進んだとすると、2 単位時間ではスタート地点から 4 の距離進むことになります。3 単位時間では 9 の距離です。これは、 X 単位時間に X^2 の距離進むことを意味します (図 2)。

【自由落下運動】



【斜面運動】

図 2 自由落下運動と斜面運動における規則性の共通点

距離を y とし、時間を t とすれば、以下のような式で表せます。

$$y = at^2$$

(a は比例定数。ただし、初速度 0 とする。)

つまりどちらの運動も、距離は時間の 2 乗に比例すると言えます。

距離と時間の関係から、速さを求めることができるため、自由落下運動も斜面運動も、速さは時間に比例するということが言えます。

このように、斜面運動と自由落下運動は物理的に同じ運動と捉えることができるのです。

②自由落下運動を追究するための斜面

中学校第 3 学年の物理単元において、斜面を用いて運動を学ぶことは大きな価値があります。なぜなら斜面は進行方向に働く力の大きさが常に一定であるため、子どもが運動と力の関連を理解しやすいからです。

しかし、実験に用いるような角度の変わらない、直線的な斜面は身近には見当たりません。子どもたちにとって、このような斜面は日常にはない「不自然なもの」に映るでしょう。単に「不自然なもの」を分析し、その結果として導き出された法則は、子どもたちにとって実感の伴う汎用的な知識にはなり難いのではないのでしょうか。

近代科学の祖とも呼ばれ、落体の法則を導き出したガリレオ・ガリレイ (図 3) は、斜面を斜面運動の探究として用いたのではありません。自由落下運動があまりにも速すぎる現象であり、分析するのが困難だったため、斜面を用いたのです。



図 3 ガリレオ・ガリレイ (1564-1642)

自由落下運動は重力による鉛直下向きの運動です。進行方向に一定の大きさの力が加わり続けるという意味では、自由落下運動も斜面の運動も同じ運動です。ただし、斜面運動は斜面角度によって力の大きさを小さくすることができます。つまり、斜面を用いることで、速すぎる落下運動を「スローモーション化」できるというわけです。ここに目を付けたガリレオは、自由落下運動の分析のために理科の実験に用いるような角度の変わらない、一見「不自然なもの」にも見える、直線的な斜面を用いたのです。

ガリレオにとって斜面は無味乾燥なものではなく、科学的な欲求を満たす、魅力的な道具に映ったことでしょう。子どもたちが斜面を用いることに必要性を感じ、有用な実験装置として活用することで、ガリレオと同じような感動を味わうことは、科学を学ぶうえで大変価値のあることだと考えます。

(3) 本題材における理科ならではの文化

本題材における理科ならではの文化を「自由落下運動の規則性を明らかにするために、斜面を下る鉄球が進む距離やその時間を根拠に、仲間たちと様々な考えを交流すること」とします。

今回の題材においては、自由落下運動の規則性について、見通しをもち、計画を立てて実験を行い、その結果を分析して解釈することを繰り返しながら、運動の規則性を導き出していきます。このとき、子どもたちの学びを深めるためには仲間との「科学的対話」が欠かせません。なぜならば、どのような実験をしたらよいのか、結果をどのように分析したらよいのか、考えをより確かなものにするにはどう

したらよいのかなど、子どもたち同士で意見を交わすことで、それぞれの考えや実験方法が洗練されていくからです。このことは追究の結論における再現性・客観性・実証性をより強固にしていくことにもつながっていきます。

(4) 題材と子どもたち

自由落下運動は、子どもたちにとって極めて身近な自然現象ですが、普段あまり意識して観察される運動ではありません。しかしよく観察してみると、とても美しい規則性をもった運動であることがわかります。「自由落下運動に秘められた規則性を探ろう」という本題材は、子どもたちが自らの力で、自然の規則性を導き出すことができる大変魅力的な題材です。

自由落下運動に規則性がありそうだと考える子どもたちは何とか自由落下運動を追究しようと様々に思考をし、方法を考えていくと思われま。追究の過程で、斜面が「自由落下運動をスローモーション化できる装置」として見えてきたとき、子どもたちは追究の道筋が明るくなることを実感できるはず。また、斜面運動における時間と距離の関係を導き出し、自由落下運動の規則性を明らかにしていく過程では、斜面を用いて自由落下運動を追

究することの有用性を味わうことができるでしょう。さらには、その規則性や関係性を数式で表していくなど、数学で学んだ知識を活用しながら学ぶ姿も期待できるでしょう。

本題材は、400 年前にガリレオが行った実験を、現代の子どもたちが改めて追究し直す構想となっています。しかし、ガリレオが行った実験を単に順を追って再現するだけでは、理科ならではの文化は味わうことができません。本当に大切なことは、当時ガリレオが探究の過程で感じたものを、子どもたちが感じるることなのです。当時ガリレオは自身が発見した運動の規則性について、著書『新科学対話』の中で次のように述べています。「自然界に於いては、運動より古い、根源的なものはない。(中略)私は実験により、従来観察もされず、証明も試みられなかった、自然の極めて重要な特性を幾つか見いだしたのである」。この一節からは、ガリレオが自らの力で法則を導き出した喜びや興奮が伝わってきます。本題材を通して、子どもたちは自らの力で身近な自然現象の規則性を探っていくという経験をしていきます。普段気にも留めなかった運動の規則性を自分たちなりに追究していく過程の中で、当時のガリレオが感じた喜びや興奮と同じようなものを感じていくことを願っています。

参考文献：青木靖三(1965)『ガリレオ・ガリレイ』 岩波書店

鬼塚史郎(1998)「科学史にみる実験の重要性ーガリレオ実験の意義ー」

『物理教育』 46, (5), 日本物理教育学会

ガリレオ・ガリレイ(1638), 今野武雄, 日田節次訳『新科学対話(上)』 岩波書店

ガリレオ・ガリレイ(1638), 今野武雄, 日田節次訳『新科学対話(下)』 岩波書店

北村俊樹(2004)『図解入門 よくわかる 高校物理の基本と仕組み』 秀和システム

小出昭一郎(1992)『物理学』 東京教学社

竹内均(2002)『物理学はこうして創られた』 ニュートンプレス

山本明利, 左巻健男(2006)『新しい高校物理の教科書』 講談社

吉田信夫(2016)『ガリレオ・ガリレイは数学でもすごかった!』

～数学から物理へ 名著「新科学対話」からの出題～』 技術評論社

4 新学習指導要領との関連

(5) 運動とエネルギー

ア 物体の運動とエネルギーを日常生活や社会と関連付けながら、次のことを理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けること。

(イ) 運動の規則性

① 力と運動

物体に力が働く運動及び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は等速直線運動することを見いだして理解すること。

イ 運動とエネルギーについて、見通しをもって観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、力のつり合い、合成や分解、物体の運動、力学的エネルギーの規則性や関連性を見いだして表現すること。また、探究の過程を振り返ること。

(内容の取扱い)

アの(イ)の④の「力が働く運動」のうち、落下運動については斜面に沿った運動を中心に扱うこと。その際、斜面の角度が 90 度になったときに自由落下になることにも触れること。「物体の速さが変わること」については、定性的に扱うこと。

5 題材構想 (全 9 時間)

- (1) 飛込選手の技の回転数が、飛び込む高さによってあまり違いがないのはなぜだろうか (1 時間)
- (2) 落下の現象をスローモーションにする方法を考えよう (2 時間)
- (3) 斜面を用いて落下運動を分析しよう (2 時間)
- (4) 落下運動の比例定数 a を求めよう (1 時間)
- (5) 5 回転の技を出すには、理論上何 m の高さから飛び込めばよいのだろうか (1 時間)
- (6) 振り子の周期を 2 倍にするには、振り子の長さをどのようにしたらよいのだろうか (2 時間)

6 理科ならではの文化を味わう子どもたち

(1) 共有された問いに基づく追究活動

授業者は、東京オリンピック水泳競技にもなっている飛込競技の映像を子どもたちに紹介しました (図 4)。



図 4
3m 飛板飛込競技の様子
<http://blogs.yahoo.co.jp/linfangshu1113/44023113.html>

オリンピックのシングルの飛込競技には 3m 飛板飛込と 10m の高飛込があります (図 5)。3m 飛板飛込はジュラルミンの飛板を用いて跳ね上がってから飛び込むため、実際の飛び込む高さは約 4 m ~ 5 m ほどになると考えられます。一方高飛込には飛板はないため、そのままの高さから飛び込むこととなります。

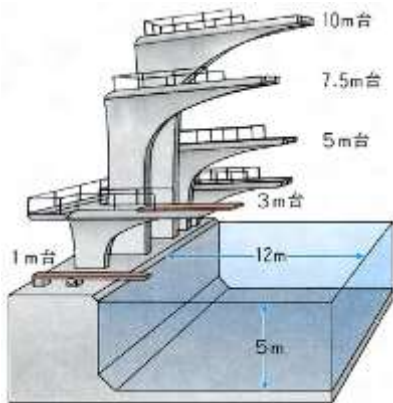


図 5 飛込台
『日本大百科全書 (ニッポニカ)』小学館

授業者はまず、3m の飛び込みを紹介しました。子どもたちは映像を見ながら、選手が 2 回転半から 3 回転半ほどで着水することを確認しました。

その後授業者は、子どもたちに 10m 高飛込があることを伝え、何回転くらいの技が期待できるかを予想するよう促しました。子どもたちは次のように予想していきました。



図 6 子どもの予想の板書

- ・ 5・6 回転くらいになると思う。3m 飛び板飛び込みの飛び込む高さが 5m と考えると、10m 高飛込では 2 倍ほど高さが増すことになる。当然落下時間は 2 倍ほどになるはずだから、回転数も 2 倍ほどになるはずだ
- ・ 2・3 回転だと思う。高いところから物が落ちるとどんどん加速するはずだ。それはきっと高さが増すほど加速するので、3m からでも 10m からでも落下時間は変わらないと思う
- ・ 4 回転くらいだと思う。加速はすると思うが、距離の長い 10m の方が落下時間は長いだろう。加速は思っているほどしないのではないかな
- ・ ものすごく落下時間が遅く、8 回転くらいだと思う。高いところから落とせば距離があるわけだし、空気抵抗とかも大きくなって、落

下時間が長くなるはずだ

- ものすごく落下時間が短く、1 回転くらいだ
と思う。低いところから落とすよりも、高い
ところから落とす方が加速は大きい。3mか
らよりも 10m からの方が落下時間が短くなる
かもしれない

予想を立てたところで、授業者は 10m 高飛込の動画を紹介しました。動画では、3 回転半から 4 回転ほどで選手が着水します。10m の高飛込の技の回転数が予想よりも少ないことに気がついた子どもたちは、以下の方法で落下時間を計測しようと考えました。

【3m 飛板飛込の選手と 10m 高飛込の選手の
落下時間を比較しよう】

準備物：ストップウォッチ、飛込競技の動画
方法：飛込競技の動画を見ながら、落下時間を計測する。
ただし、3m 飛板飛込は選手が飛板を蹴り上げてから最高到達点に達したところからストップウォッチで計測を始める。計測は班ごと 3 回行い、その平均値を記録とする。さらに 10 班の記録の平均をとる。

結果：

	1人	2人	3人
3m (4m~5m)	1.16, 1.21, 1.31, 0.49, 1.01, 1.33, 1.29, 1.15, 1.06, 1.17, 1.15, 1.17	1.10, 1.01, 1.23, 1.14, 1.25, 1.09, 1.19	1.22, 1.06, 1.22, 1.22, 1.17, 1.45, 1.49, 1.12
10m	1.48, 1.45, 1.49, 1.50, 1.55, 1.41, 1.46, 1.48	1.57, 1.25, 1.47, 1.35, 1.25, 1.41, 1.33	1.48, 1.47, 1.49, 1.49, 1.39, 1.40

図 7 結果のようす

	平均落下時間
3m 飛板飛込	1.22秒
10m 高飛込	1.43秒

※ただし、3m 飛板飛込の飛び込む高さは 4m ~ 5m とする

計測から子どもたちは、「高さが 2 倍になった時

になぜ、落下時間が 2 倍にならないのか」「2 倍の落下時間をかけるには高さを何倍にすればいいのか」など、落下距離と時間についての疑問をもちました。この疑問を解決するために、子どもたちは「自由落下運動における加速の規則性を追究しよう」という問いを共有していきました。

(2) 生み出された「教科ならではの対話」注

子どもたちは、自由落下運動における加速の規則性を追究する為に、高さを変えながら落下時間を計測しようとしていますが、計測時間が短すぎてなかなか正確に計測ができません。そこで子どもたちは自由落下運動をなんとかスローモーションにできないかと考え始めました。以下は斜面を用いてスローモーションが可能になるのかを検討する場面です。

- A：斜面運動も自由落下運動もどんどん加速するよね。だから同じだと思う
- B：でも、加速と言ってもたくさん種類があると思う、きれいに比例になるものも加速だし、だんだんグワーってなるものもそうだと思う
- C：グワーってなるものって二次関数のことだよ
- B：そう。曲線だって加速と言えるでしょ。斜面の加速と、自由落下の加速が同じだとは限らないよね
- D：私は A さんの考えが正しいと思います。今加速のことで話題になっているけど、私はどちらも同じ加速だと思います。なぜかというと、自由落下するものにかかる力は重力だけでしょ？斜面運動にかかる力も斜面に沿う力だけでしょ？どちらも一定の大きさの力がかかっているという意味で同じだよ。だから、加速の度合いが違うだけで同じだと思う

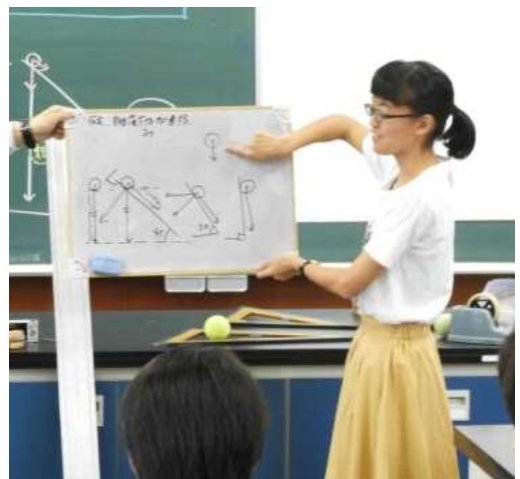


図 8 子どもの発表のようす

- B : でも、力の大きさが違うよね。だったら、加速だって絶対違うと思わない？
- E : それは、そうだよ。力の大きさが違うのだから。Dさんが言っているのは、力の大きさが違って加速の仕方の傾向は変わらないということだよ。つまり、スローモーションになっているってことなんだよ
- B : え？よくわかんない
- C : 俺わかった。スローモーションというのはゆっくり加速すればいいわけでしょ？たとえば自由落下がグワーって加速するとしてだよ、斜面もグワーって加速してればいいわけだよ。ここまでわかる？
- B : それは、わかるよ
- C : Dさんの言っているのは、斜面と自由落下のグラフが全く一緒でなくても、グワーってというグラフが緩やかになっていけばスローモーションってことだと思うんだよ。だって、同じグワーだったら、スローモーションになってないよね。今はスローモーションにしたいんだから
- B : そうか。そういうことなんだね。ちょっと勘違いしていたみたい。納得したよ

以上の対話から子どもたちは、自由落下運動と斜面運動の共通点を探りながら、どちらの運動も一定の大きさの力が一定方向にはたらき続けるという意味で同じ運動であることを明らかにしていきました。また、この対話からは、体験的に加速には幾つかの種類があることを明確にし、それを距離と速さのグラフのイメージで共有している様子が見られます。自由落下運動がどのような規則性をもつ運動であるかを対話の中で整理している場面でもあると思われます。

このような過程を通して、斜面を用いれば自由落下運動をスローモーション化して分析できるだろうと考えた子どもたちは、実際に斜面を用いて鉄球を転がす実験を行い、時間と距離のデータを共有しながら、斜面運動の規則性に迫って行きました。

- A : 時間を2倍にするには距離は4倍になる
- B : 時間を3倍だと9倍になるのではないかな
- A : やっぱり、二次関数になるね。おそらく、距離を16倍にすれば、時間が4倍になるはずだよ。斜面の長さ160 cmの位置から鉄球を転がしたら、2秒くらいで一番下まで来るはずだよ
- C : 板の長さが足りないな。先生、もっと板あ

りませんか？

教師：板を何に使うの？

B : 160 cmから転がして、2秒で下るか確かめたいんです

最初、変数を時間として実験をしていた子どもたちは、実験結果から、距離と時間の二次関数になるのではないかと考え始めました。そこで、検証実験として、今度は変数を距離に変えて、予想通りの時間で鉄球が斜面を転がるか確認をしていく様子が見られました(図9)。これは、実験結果の実証性・再現性・客観性を意識した姿であると言えます。この姿は、共有された問いに対して仮説を明確に立てたからこそあらわれたものだと考えられます。



図9 斜面運動の規則性を確認する子どものようす

さらに、全体共有の場では次のような興味深い対話も見られました。

- A : 自由落下でも斜面と同じことが起こるから、1秒で1進むとしたら、2秒で4進む。3秒だと3の2乗で9進むと思う
- B : じゃあ、4秒だったら16進む



図10 子どもの発表のようす

- C : だって、自由落下と斜面の運動の式は違うのに、なぜ自由落下の法則を当てはめていいの？
- D : それを言ったら、今までの前提が全部崩れてしまうよ
- E : 僕は当てはめていいと思います。グラフを見ると、班によって傾きは違ったけど、時間の2乗が距離っていうのは同じだよ。だから、いいと思う
- C : え～、納得できない
- F : 全部の班が違う傾きの斜面で実験したのにどの班も2次関数のグラフになったよね。だからいいと思います。二次関数の比例定数 a が角度によって決まるんだよ



図 11 子どもの発表のようす

- B : そうそう、角度が大きくなると a が大きくなるんだよ
- C : でも、どの班も違う角度の斜面を使ったかどうかはわからないよね。角度は調べていないよね

ここまで子どもたちは、斜面を用いることで、自由落下運動を分析しようとしてきました。その大前提は「斜面運動は自由落下運動のスローモーションである」というものでした。Cの下線部の発言は探究が結論にせまる直前で改めて、その大前提を疑ったのです。この発言が、これまでの探究の過程を振り返る対話に発展しました。さらに比例定数という抽象的な表現を、具体的な斜面角度やグラフと関連付けて説明する必要性も生み出しました。

子どもたちはその後の授業で、斜面角度を班ごと変えて実験を行い、どのような角度でも二次関数の規則性が成り立つことを確認することを通して、自由落下運動の規則性が斜面運動の規則性と同様、距離が時間の2乗に比例する規則性があることを見出しました。

子どもたちは対話を通して、探究の過程を何度も確認しながら、自分たちが納得するまで粘り強く探究を続けることができていました。探究を通して、運動を力の視点から捉えたり、数式やグラフで捉えたりしながら、それらを有機的に関係づけながら理解していくことができました。

注：本校理科部では「教科ならではの対話」を仲間との「科学的な対話」としている。詳しくは教科の主張をご確認いただきたい。