

## 理科授業案

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高橋, 政宏 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/00026828">http://hdl.handle.net/10297/00026828</a>

# 理科授業案

授業者 高橋 政宏

- 1 日 時 令和元年10月17日(木) 第2時 11:25～12:15  
 2 学 級 3年C組 (第1理科室)  
 3 題 材 名 自由落下運動に秘められた規則性を探ろう

## 4 題材の目標

自由落下運動には規則性があると考えた子どもたちが、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、斜面を転がる鉄球の運動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規則性を含めた等加速度運動の規則性について導き出すことができる。

## 5 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いう見方をします。理科教師でなくとも、斜面角度90度のときが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できないのでしょうか。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、科学的な見方で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見方を「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、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られます。

#### ②式で運動を見つめる

現在の物理学においては、運動の様子を式という実にシンプルな表現に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行の式で表現することができるようになったのです。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。

$$Y = \frac{1}{2} aT^2$$

(Yは距離, aは加速度, Tは時間)

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き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。

運動の分析が式となり、その式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かり続けます。一方、斜面運動を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度が自由落下運動と言い換えることができるのです。

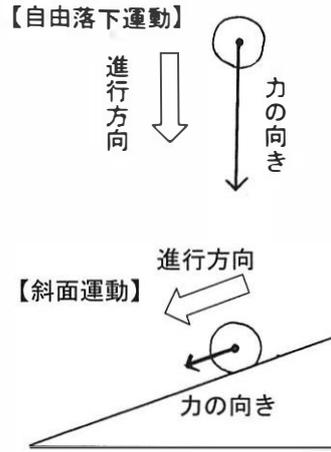


図1 自由落下運動と斜面運動

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の距離進むこととなります。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)。

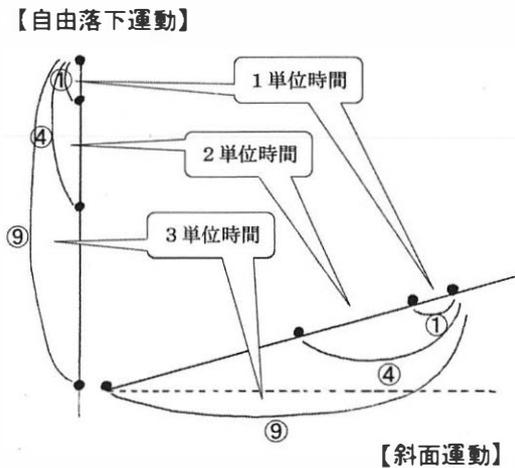


図2 自由落下運動と斜面運動における規則性の共通点

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や、距離は速さの2乗に比例すると言えま

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。

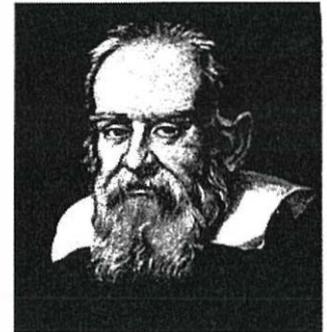


図3 ガリレオ・ガリレイ (1564-1642)

自由落下運動は重力による下方向への運動です。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、考察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ふ。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でふ。また、斜面を用いて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方程式化していくなど、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

6 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。

(1) 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。

7 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 本時はその2)
- (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)

(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)

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す。

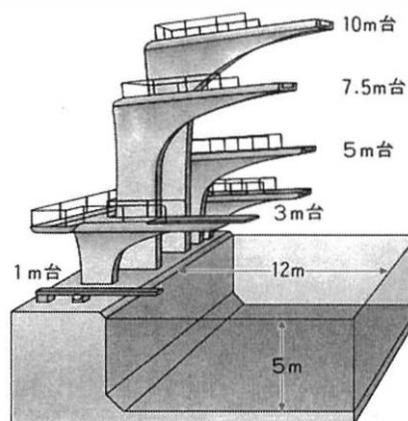


3 m 飛板飛込競技の様子

<http://blogs.yahoo.co.jp/linfangshu1113/44023113.html>

オリンピックのシングル飛込競技には3 m飛板飛込と10 mの高飛込があります。3 m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になります。



飛込台

『日本大百科全書(ニッポニカ)』小学館

授業者はまず、3 mの飛び込みを紹介します。子どもたちは映像を見ながら次のような思いをもつでしょう。

- ・落ちるまであっという間だ
  - ・この短時間であれだけ回転することに驚いた
  - ・2回転半している
  - ・3回転半している
  - ・入水の水しぶきが全然上がらない
- など

子どもたちは水しぶきのなさに驚きを感じる一方で、選手の回転の速さにも興味を示すはずです。授業者は、子どもたちに10 m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、10 m高飛込の動画を紹介します。

- 2回転半している
- 3回転半している
- 3 mの時とほとんど回転数が変わらない
- 10 mの選手はもっと回転できてよさそうだ
- 10 mの選手は3 mの選手の2倍は回転すると思った
- なぜ5回転とか、6回転はできないのだろうか
- 10 mの選手が手を抜いているとは思えない
- 3 mも10 mも落下時間はほとんど変わらないのではないか
- 3 mと10 mの落下時間を調べてみたい

など

10 m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、落下時間を計測したくなると考えられます。

#### 【3 m飛板飛込の選手と10 m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、3 m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。

結果：

計測回数	1回目	2回目	3回目
3m 飛板飛込 (4m～5m)	1.12 秒	1.13 秒	1.10 秒
10m 高飛込	1.66 秒	1.71 秒	1.50 秒

- 高さが2倍以上になっているのに落下時間は2倍にならない
- 10 mの高さのときの落下時間は3 mの高さと0.5秒くらいしか変わらない
- 選手の回転数が同じくらいであることも納得できる
- なぜ、高さが2倍になっても落下時間は2倍にならないのだろうか
- 落下の運動には何か規則性があるのだろうか
- 5回転とか、6回転するには何mの高さが必要なのだろう

など

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つでしょう。授業者は、子どもたちの意見を整理し、落下の規則性を追究することで「理論上5回転できる飛び込みの高さは何mになるのか」がわかることを示します。このようにして子どもたちを自由落下運動における加速の規則性の追究へと誘います。

#### (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)

子どもたちは、「自由落下する物体がどのような規則性で加速していくのか」を追究しようとしていくでしょう。しかし、追究は非常に難しいものがあります。なぜなら、自由落下運動の現象は速すぎて分析しにくいからです。そこで授業者は「落下運動を分析するために、運動を現象としてスローモーションにする方法はないか」となげかけます。おそらく初めは、ハイスピードカメラや、連写機能付きのカメラなどで撮影するという方法が挙げられると思いますが、機器がそろわないことなどから、本校においては現実的な方法ではありません。授業者は、子どもたちの発想を認めたり、動画からどのように分析するのかを引き出したりしながらも、「現象」としてスローモーションにする方法はないかと問い続けます。

子どもたちは、以下のように考えると思われます。

##### 《力を小さくする説》

- 真空中で落下させればよいのではないか
- 重力を小さくすればよいのではないか

##### 《力と質量を小さくする説》

- 軽い球を落下させればよいのではないか

など

真空中という考えは、真空状態である宇宙が無重力状態であるという誤った概念であり、無重力と真空の関連性はありません。そのため、子どもたちの議論の中で妥当な実験とは言えないと結論づけられるはずです。しかしながら、このような考えの根拠は「月では物体がゆっくり落下する」というイメージからきていると考えられます。つまり、「重力を小さくする」という考えがもとになっているのです。その意味では「重力を小さくすればよいのではないか」という考えに統一することができます。仮にこのような考えを「力を小さくする説」とします。

軽い球にするという考えも、「重力を小さくする」という意味では先の説と同じですが、こちらは伴って質量も小さくなります。質量と重力は異なる因子であり、質量は物質固有の量であるのに対して、重力は重

さとも言われる力の種類です。二つの異なる因子のどちらかを変えればどちらかが伴って変化してしまうという点において「力を小さくする説」とは異なります。仮にこちらの説を「質量と力を小さくする説」とします。

子どもたちはそれぞれの説を検証するために、まず実験方法の思いつきやすい「質量と力を小さくする説」を検証すると考えられます。

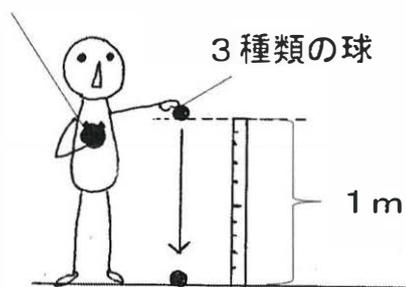
【質量と力を小さくすれば、落下運動をスローモーション化できるのだろうか】

準備物：鉄球、アルミニウム球、木球、雑巾、鉄製スタンド、1 m定規、ストップウォッチ

方法：

1 mの高さから質量の異なる3種類の球（鉄球、アルミニウム球、木球）を落とし、地面（雑巾）に着地するまでの時間を計測する。

### ストップウォッチ



結果：

鉄球	アルミニウム球	木球
0.45秒	0.50秒	0.47秒

- どの球も同じような結果になった
- 自由落下運動はスローモーションにならない
- 質量と力が共に変わってしまうとスローモーション化しないことがわかった
- 質量は「動かしにくさ」と学んだ。力が小さくなると同時に「動かしにくさ」も小さくなったから、相対的に自由落下運動は変わらないのだろう
- 質量だけ変えずに力だけ小さくすれば、スローモーション化できるかもしれない

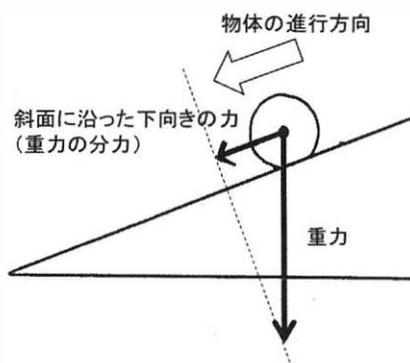
など

「質量と力を小さくする説」が有効ではないことを見いだした子どもたちは、質量を変えずに力だけを変える方法があればスローモーション化できそうだということに気づいていくでしょう。つまり、「力を小さ

くする説」に着目すると考えられます。

質量を変えずに力だけを変える方法は、ガリレオ・ガリレイでも思いつくのに苦労したことでしょう。授業内において、子どもたちだけで思いつくのはほぼ不可能だと考えられます。そこで、授業者は「自由落下運動のときに鉄球にかかる重力を、分力で小さくできないか」と問いかけます。分力の学習で斜面を扱っている子どもたちの中からは、斜面を用いて重力を分解する発想をもつ者も出てくると考えられます。

- 斜面を用いれば、重力を分解できるかもしれない
- 斜面を用いると、重力を斜面に沿った下向きの力と斜面に垂直な下向きの力に分解できる
- 斜面に垂直な下向きの力は抗力と打ち消し合うので、重力は斜面に沿った下向きの力に変換できる
- 質量を変えずに、力だけ小さくできる



- 斜面に沿った下向きの力が働く状態が、自由落下運動をスローモーション化したものと言ってよいのだろうか
- 進行方向が斜めになっているので、自由落下運動とは言えないのではないか
- 仮に重力が横からかかったら、横方向に落下することになる。進む向きは問題にならないと言える
- 進行方向に一定の力がかかり続けるという意味で、現象は同じと言ってよいのではないか

など

子どもたちは、実際に斜面上の鉄球にかかる斜面に沿った下向きの力をばねばかりで計測するなどして、落下する物体同様、斜面上の物体も一定の力がかかり続けることを確認していきます。また、斜面上で何度も鉄球を転がしながら、落下する物体同様、斜面上の物体も加速することも観察していきます。このような議論と観察・実験を繰り返しながら子どもたちは「力を小さくする説」が確からしいことを見いだしていくでしょう。さらに、この過程で既習事項である力の知識を活用させて思考していく姿も見られると考えられます。

(3) 斜面を用いて落下運動を分析しよう

(2時間 本時はその2)

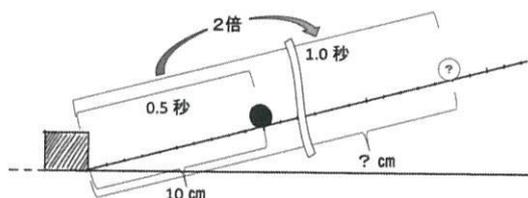
斜面を用いれば、自由落下運動をスローモーション化できることを見いだした子どもたちは、自由落下運動を分析しようとするでしょう。

前時で力について言及した子どもたちは、斜面に置いた鉄球が徐々に加速していく様子から、一定の力を加え続けると加速運動になることにはすぐに気づくと思われます。子どもたちは、どのように加速していくかを数値で確かめたいでしょう。そこで、授業者は、鉄球が斜面を10 cmの距離進むときの時間をストップウォッチで計測する方法を示しながら、任意の距離を何秒で下るかを計測できることを伝えます。子どもたちはこの方法を応用させて、以下のような実験をしながら考えていくでしょう。

【斜面を転がる鉄球の運動の規則性を探ろう】

準備物：鉄球、斜面、定規、ストップウォッチ

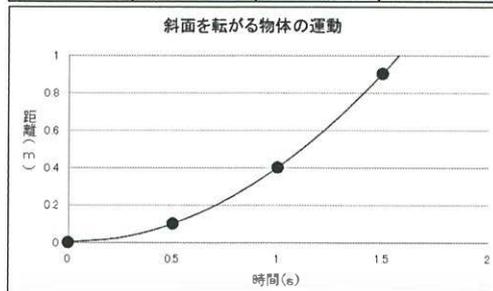
方法：斜面を転がる鉄球の距離、時間を測定し、斜面運動の規則性を探る



- 10 cm下るのに0.5秒かかった。20 cm下るときは2倍の時間（1.0秒）になるのだろうか
- 20 cm下るのに、0.6秒ほどしかかからない
- 2倍の時間（1.0秒）になる距離は、何cmなのだろうか
- 2倍の時間（1.0秒）になる距離は40 cmのあたりだ
- 3倍の時間（1.5秒）になる距離は、何cmなのだろうか

結果：

時間(s)	0.5	1	1.5
距離(m)	0.1	0.4	0.9



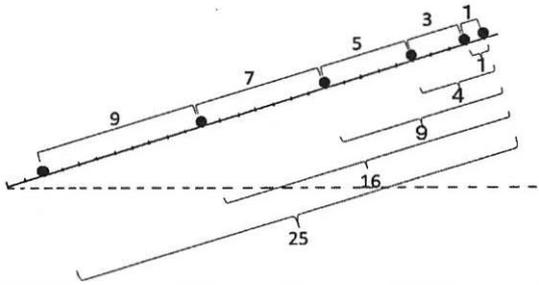
- 時間が、2倍、3倍となるにつれて、距離は4倍、9倍となる
- もしかしたら距離は $2^2$ 倍、 $3^2$ 倍になっているのではないだろうか
- 時間が4倍の時は、距離が $4^2$ 倍（16倍）になるのではないだろうか
- もし $4^2$ 倍（16倍）になれば、規則性が正しいと言えそうだ
- 角度を変えても同じ規則性になるのだろうか
- 角度を変えたら、時間の値が変化している
- 角度を変えても、規則性は同じだと言える
- どのような角度でも、距離が $2^2$ 倍、 $3^2$ 倍、 $4^2$ 倍となれば、時間が2倍、3倍、4倍となることが言える
- 距離が $X^2$ 倍の時、時間は $X$ 倍になると言える
- 数学の二次方程式で表現できそうだ
- 横軸を時間、縦軸を距離にしてグラフにすると二次方程式のグラフになる
- 距離を $Y$ 、時間を $T$ とすると、 $Y = a \times T^2$  ( $a$ は比例定数)と表せそうだ

など

この追究の過程では、距離と速さについて追究する子どもも出てきますが、速さを考える際には必ず距離と時間について考える段階を踏みます。その時に、本来の目的である「落下時間から高さを求める」ことを思い返せば、距離と時間の分析を行う方が目的に正対することに気づくと思われます。したがって、ほとんどの子どもたちの分析が距離と時間の関係に集約されてくると考えられます。

子どもたちは、グループ実験や全体共有を通して、距離を時間の2乗の二次方程式( $Y = a \times T^2$ )で表せることに気づいていくでしょう。比例定数 $a$ は斜面角度によって異なり、斜面角度が大きくなるほど大きくなることも理解できるでしょう。

この式から子どもたちは、どのような角度の斜面運動も下図のような規則性をもっていると理解していきます。



斜面運動における、単位時間ごとの距離比

(4) 落下運動の比例定数  $a$  を求めよう (1 時間)

ここまで斜面は落下のスローモーションであるとして、その運動を分析してきました。そこから、運動を  $Y = a \times T^2$  の方程式で表せることを見いだしてきました。この辺りまで追究すると、子どもたちは、自由落下運動時の比例定数が気になり、調べたくなるでしょう。

- 落下運動でも  $Y = a \times T^2$  の方程式が成り立つならば、距離と時間がわかれば比例定数が求められそう
- 1 m の高さから落下させたデータがあったので、活用できそう
- 2 m 落下するのにかかった時間も計測してみよう

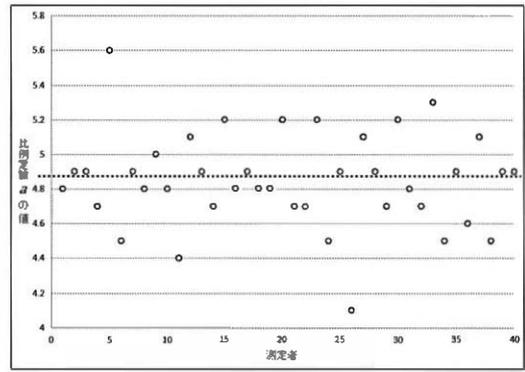
【落下運動の比例定数を求めよう】

準備物：鉄球、1 m 定規、ストップウォッチ、電卓 (√ 計算のできるもの)

方法：任意の高さから鉄球を落下させ、その時の落下時間を計測する。その後方程式に実測値を代入し、比例定数を求める

- 1 m の高さからの落下時間は 0.45 秒だ
- 2 m の高さからの落下時間は 0.64 秒だ
- 落下時間は人によって誤差があるから何度か実験して平均値を用いるべきだ
- 皆の求めた比例定数は数値にばらつきがある
- 皆の結果を散布図にして見ると誤差がわかる
- 散布図から比例定数  $a = 4.9$  くらいと言える
- 落下運動における、距離と時間の関係は  $Y = 4.9 \times T^2$  と表してしてよさそう
- 時間  $T$  が分かれば、距離が求められそう

など



子どもたちの意見の散布図例

子どもたちの中には、導いた計算式を用いて、任意の高さから鉄球を落下させたときの落下時間を計算して実測値と比較したり、任意の落下時間で鉄球が落下するための高さの理論値を求めて実測値と比較したりする者もいるでしょう。理論値と、実測値が大きく異なれば、比例定数  $a$  の値を見直していくと思われま。このようにしながら、実験データを根拠に、より妥当な式を求める姿が見られるでしょう。

自分たちの力で自由落下運動の方程式を導けたことに子どもたちは深い感動を覚えるでしょう。方程式は物理現象の法則を表したものですから、子どもたちの中には法則名を自身でつける者も現れるかもしれません。授業者は、子どもたちが導き出した方程式を大切に時間をできる限りとるよう配慮します。その中で子どもたちは、その方程式に深い愛着をもっていくとも考えられます。

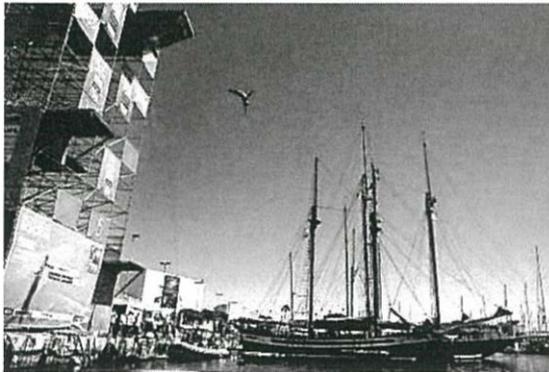
(5) 5 回転の技を出すには、理論上何 m の高さから飛び込めばよいのだろう (1 時間)

子どもたちは任意の落下時間を、導き出した式に代入することで、高さが測れるという確信をもち始めます。そして、いよいよ子どもたちの追究は、飛込競技における回転の技を出すための理論値を導き出す段階へと進んでいきます。

- 3 m 飛板飛込は 2 回転半だった
- 3 m 飛板飛込の落下時間は 1.1 秒だから、2 回転半するのに 1.1 秒かかると考えて良い
- 5 回転するには 2 回転半の 2 倍の時間はほしい
- 5 回転するには 2.2 秒はほしい
- $Y = 4.9 \times T^2$  に  $T = 2.2$  秒を代入してみよう
- 23.7 m も必要なのか
- 23.7 m って校舎の高さの 2 倍くらいだ
- 10 m では、5 回転できないわけだ

など

ここまで追究できたところで、授業者はハイダイビングの動画を紹介しします。ハイダイビングとは高さ23 m～27 mの高さから飛び込む競技です。現在、日本人選手がいないため、日本ではあまり認識のない競技ですが世界水泳の公式種目にもなっています。この動画の中で、実際に選手が5回転している様子を見た子どもたちは、自分たちがこれまで行ってきた追究に自信をもつでしょう。



ハイダイビングの様子

<https://www.sponichi.co.jp/sports/news/2013/07/31/kiji/K20130731006324230.html>

授業者は、子どもたちの行ってきた追究がガリレオ・ガリレイという偉大な科学者と同じ探究の過程を踏んできたことを紹介しします。さらに子どもたちが求めた比例定数を、同様に科学者も求めており、以下のような、自由落下運動の式が存在していることも紹介しします。

$$Y = \frac{1}{2}gT^2$$

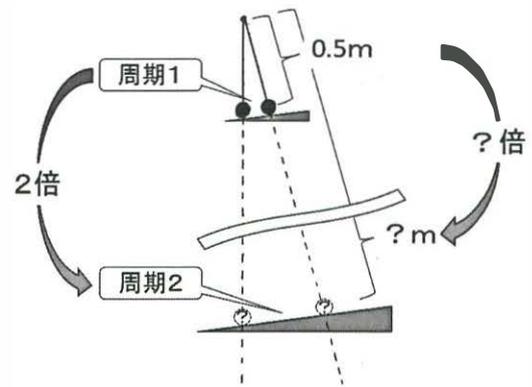
(Yは距離, gは重力加速度, Tは時間)

このような授業者による追究の過程の価値づけは、子どもたちが自分たちの追究をもう一度振り返りながら、追究のおもしろさを実感していくことを後押しする力になるでしょう。

(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したらよいのだろう (2時間)

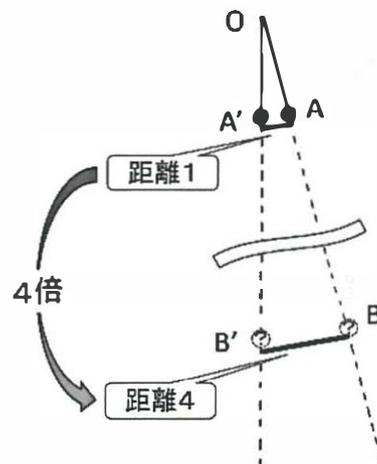
授業者は、子どもたちに50 cmの長さの振り子を提示しします。高いところから手を離すと、振り子が落下するように下方に振れる現象から、子どもたちは振り子も自由落下運動と同様の規則性があるのではないかと推測するはずです。

そこで授業者は、ガリレオ・ガリレイは振り子を斜面運動と捉えて分析したことを伝え、振り子の周期を2倍にするには、振り子の長さを何倍にしたらよいかなげかけます。



子どもたちは以下のように考えていこう。

- 振り子の周期は振り子の角度(振れ幅)や、おもりの質量によって変化しないから、振り子の角度は等しくして考えれば考えやすい
- 斜面角度はおもりをどこにおいても同じと考えてよい
- $Y = a \times T^2$ の比例定数  $a$ は、おもりの位置に関係なく同じ値になる
- 周期が2倍になるということは、斜面を2倍の時間進んでいるということだ



- 斜面を2倍の時間進むということは、 $Y = a \times T^2$ の  $T$ が2倍になるということなので、距離は4倍進むことになる
- BB'の距離はAA'の距離の4倍だ
- 三角形OAA'と三角形OBB'は相似(倍率が違うだけで同じ形)だ
- OBの距離はOAの距離の4倍と言ってよい
- 周期を2倍にするには、振り子の長さを4倍にすればよさそうだ
- 時間を2倍にするために、長さを $2^2$ 倍にするというのは、自由落下運動の規則性とよく似ている
- 周期を3倍にするには、振り子の長さを9倍にすればよいのだろうか

など

振り子の周期を2倍にするには、振り子の長さを4倍にすればよいことに気づいた子どもたちは実際に2mの振り子をつくり、周期を計測していきます。周期が2倍になることが確認できると、振り子の長さを9倍(4.5m)にして、周期が3倍になることを確かめると思われます。

子どもたちはこの追究から、斜面を用いた運動の規則性が、自由落下運動だけではなく、振り子運動の規則性に応用できることに気づいていきます。自分たちの発見した規則性が他の運動の規則性を明らかにする手立てになったことで、自由落下運動の規則性を追究したことに価値を見いだすことができるでしょう。

本題材を終えた子どもたちは以下のような感想をもつでしょう。

- 自分たちで自由落下運動の式を導くことができうれしかった
- 運動は複雑な現象だと思っていたけれど、とてもシンプルな規則性があることが分かった
- 式で運動を表現できるなんてすごいと思った
- 落下運動と斜面運動が関係のあるものだということに驚いた

- 自由落下運動を追究していくと振り子の運動までわかるなんてすごいと思った
  - 水泳の飛込の選手はこの規則性を知っているのだろうか。知っているならきっと競技に活かしていると思う
  - 数学が理科で活かされた。数学がなければ規則性は解明できなかった。数学ってすごいと思った
  - 私たちの追究してきたことを使えば、もっと他の運動の規則性がわかるかもしれない
  - 自然の現象なのに、あのように秩序ある運動をするというのは、自然現象は美しいと思った
  - 過去の科学者も今と私たちと同じように、物理現象に感動したのかと思うと嬉しくなった
- など

授業者は運動の記録方法には記録タイマーを用いたりハイスピードカメラを用いたりする方法があることや、記録テープを用いた分析方法があることを、本追究と関連づけながら説明します。最後に、これまでの追究の過程を振り返り、題材を締めくくります。