

國學院大學学術情報リポジトリ「K-RAIN」

実験用てこを利用した力のベクトルの授業に関する 一考察

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-02-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 近藤, 良彦 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.57529/00001207

実験用てこを利用した力のベクトルの授業に関する一考察

近藤 良彦

A study on the teaching in the vector of force using the laboratory lever

Kondo Yoshihiko

キーワード：理科実験、物質とエネルギー、物理学、てこの規則性

1. はじめに

小学校理科における「A物質・エネルギー」の内容は物理学に関する多くの分野と深くかかわっている[1]。ゆえに、物理学的な知識はこの内容を教えるときに少なからず役に立つと考えられる。しかしながら、小学校教諭を目指す学生の多くは物理学を苦手としているように見受けられる。さらに気になることは物理学を疎遠なものと思っていることである。例えば、物理学が身近な製品に使われていると教えられても、それで親しみを覚えるきっかけにはならないようである。

物理学に限らず理科を苦手としている学生の多くは、それが難しいというよりもむしろつまらないものと感じているように見える[2]。そのような感じ方が何時ごろから始まったかは人それぞれであろうが、初等教育の段階でかなりの数がいると思われる[3]。そう考える理由の一つは、國學院大學人間開発学部初等教育学科の1年生後期に開講されている理科実験・観察基礎論の中にある。この授業の物理分野の時間では、てこの規則性と電気の働きについての実験を行っている[4]。これらの実験は小学校の理科授業で行われる内容を基にしたものであるが、問題なくできる学生は少数で10%に満たない。さらに、これらの実験を行うことによって、小学校で習ったことを思い出せる者の数も半数に届かず、懐かしいと感じる学生は数名である。

人間開発学部初等教育学科では2年生以上を対象とした物理学概説の授業が開講されている。上述のような現状において、この授業を構成するに際して考慮しなければならないことは何であろうか。その一つは、小学校教諭に必要な専門性を身に付けられるようにすることであろう。そこで、この授業のテーマは「小学校理科に関係する物理学」とした。次に、授業の内容であるが、教科書で取り扱われている現象を基本的な法則を用いて説明したり関係する物理学全般を解説したりする授業には学生は興味を持たないと予想される。興味を持てるようにするためにはどうすればよいのだろうか。

物理学とは文字通り「物の理」を探る学問である。その楽しさは物と触れ合うところにある。ある程度の物理学的な能力のある者は、頭の中でその物に触れることができるようになる。それ

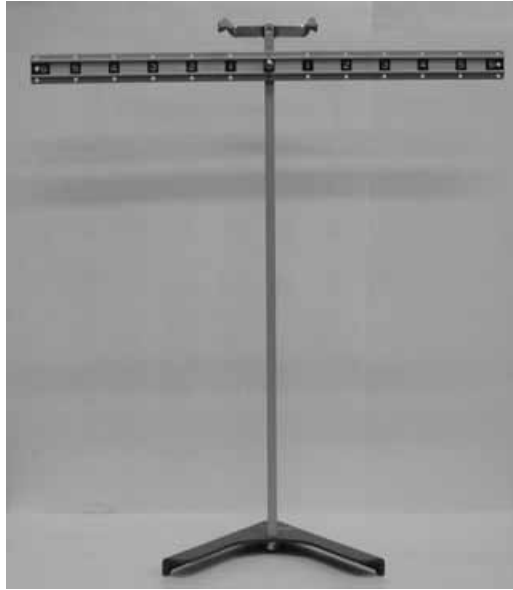


図1：授業で用いた実験用てこ。一番上の金具が「あばれ止め」で、取り外すことができる。数字の書かれた棒がてこの「腕」である。

を想像力と呼ぶと対応する範囲が広すぎるので、「物理学的にイメージする力」と呼ぶことにしよう。そのイメージする力は本当の物に触れなければ育たない。これが理科教育において実験や観察が重要視される理由の一つである。実際、物に触れることは楽しい。それが不思議な物であればなおさらそうである。この触れる楽しさは、見方を変えれば遊ぶ楽しさであり、それは理科教育にとって重要な要素である。そして、もう一つの重要な要素は考える楽しさである。例えば、原因を探る過程はわくわくするし、理由がわかると嬉しくなる。遊ぶ楽しさと考える楽しさが一緒になって、イメージする力が育まれていくのである。

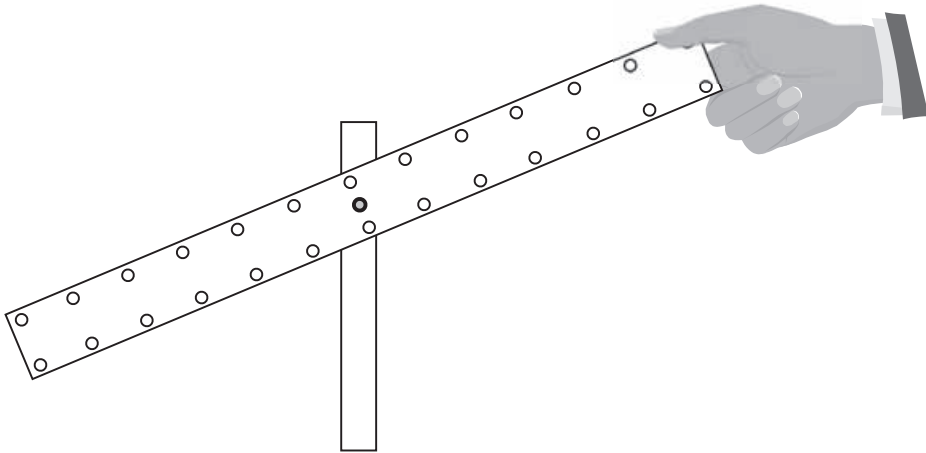
物理学概説では実験を取り入れながら授業を進めている。実験を行うことは理解を深めるためにとっても有効である。ただし、時間を要するために授業時間内に扱える範囲が著しく限定されてしまう。それを少しでも補うために、授業で使われる図や解説などをまとめたサブノートと呼んでいるプリントを作り、それに則したスライドをパワーポイントで作成している。授業はこれらと実験器具を用意して行われる。さらに、K-SMAPYという情報ツール[5]を利用して、復習も兼ねたアンケートも実施している。

授業は1つのテーマが1回の授業で完了するように構成し、現在までに12回分が出来上がっている。この中で、もう一度受けてみたい授業について尋ねたところ、最も多かったのが第4回目の授業の「てこのつり合いと力のベクトル」であった。図1は授業で使われている実験用てこを写したものである。この論文では、この授業の内容と様子を紹介し、アンケートなどの分析を通して授業の有効性と問題点を明らかにする。

2. 授業の内容と様子

授業が始まると、サブノートを配布し、パワーポイントを起動してスライドを見せる。以下の線の枠で囲まれた部分はサブノートの内容を表している。最初に、今日のテーマが「てこのつり合いと力のベクトル」であり、小学校でよく使われているてこを題材にしたものであることを伝える。そして、次の質問1を投げかけてみる。

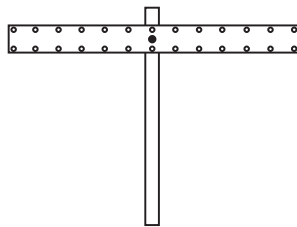
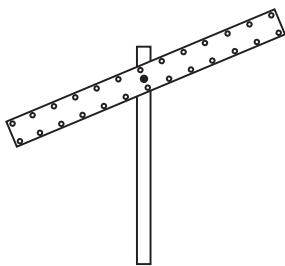
質問1：下図のように、てこ実験器の腕を斜め上げて放すとどうなるでしょう。



① そのままで止まる。

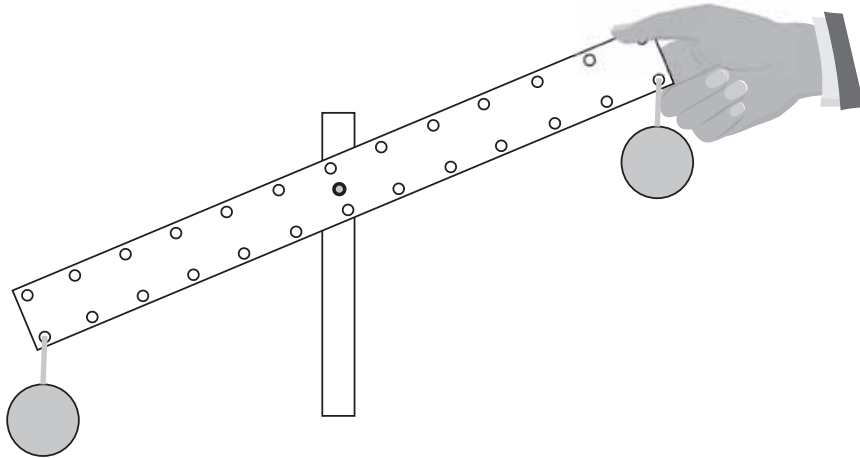
② 水平になる。

③ 垂直になる。



多くの学生は②の「水平になる」を予想し、少数が③の「垂直になる」を選ぶ。正解である①の「そのままで止まる」を選んだ学生は一人もいない。そこで、実際に実験用てこのあばれ止めをはずして腕を斜めにして手を放す。すると、腕は止まったまま動かない。学生は「えー」と驚いたり、不思議そうに首をかしげたりする。このようにおもりをつけなくてこの腕が任意の角度で止まることを確認させたのち、次の質問2をする。

質問2：両側に同じおもりをつけて腕を斜め上げて放すとどうなるでしょう。



- ① そのままで止まる。 ② 水平になる。 ③ 垂直になる。

この質問には、多少自信がなさそうな学生もいたが、すべての学生が②の「水平になる」に手を挙げる。実験して水平になることを確かめたのち、

「なぜ、おもりをつけると水平になるのに、おもりをつけないと止まるのでしょうか。」

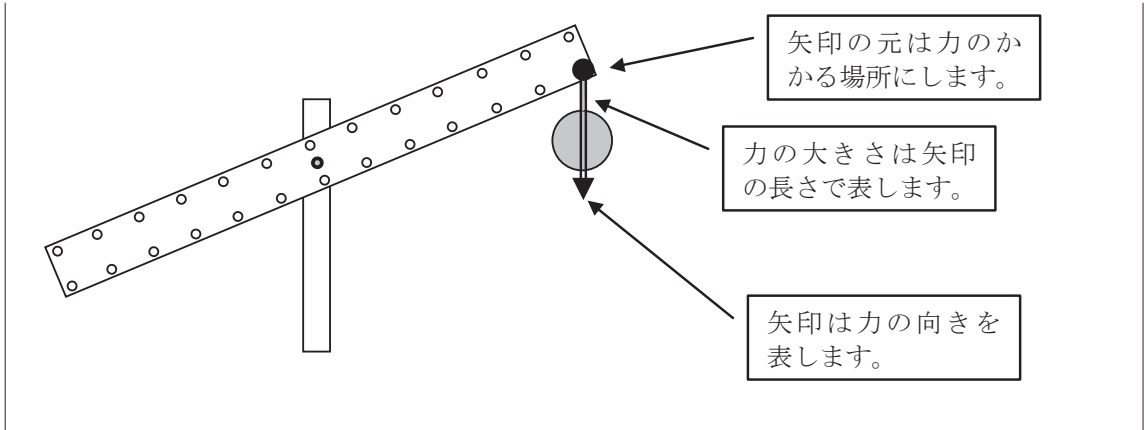
と質問を投げかける。一人の学生が

「摩擦のためではないですか。」

と答える。それも一つの可能性であると伝える。さらに、軽いクリップなどをかけて腕が簡単に動くのを見せながら、摩擦がそれほど大きくないことを説明する。ここまでくると、なぜおもりをつけなくてこの腕が斜めの状態で止まるのか知りたいという気持ちがわいてくるようである。

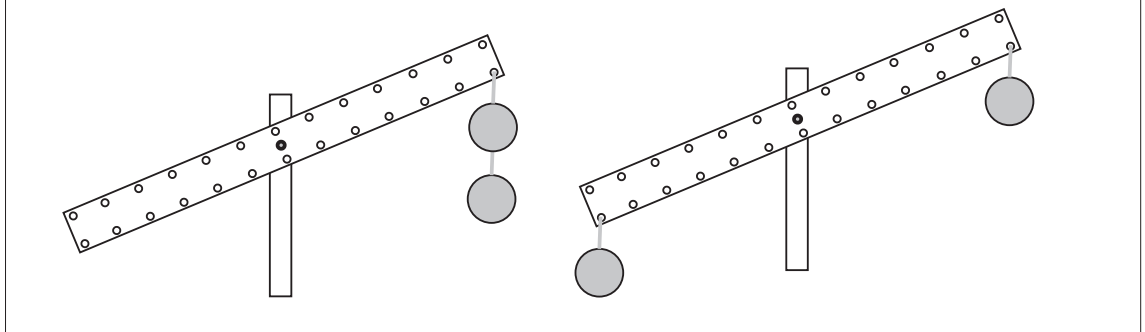
この簡単な実験ののち、力のベクトルへと授業を進める。サブノートの次の記述を利用してスライドを用いながら、力のベクトルについて説明をする。

○ ベクトル：大きさと向きを持つ量をベクトルと言います。力はベクトルで表すことができます。例えば、てこ実験器におもりを一つ付けた場合、おもりは重力によって地面の方向に引かれます。これをベクトルで表すと図の矢印のように下向きになります。大きさは矢印の長さで表し、矢印の元は力のかかる場所を意味します。



力をベクトルで表すことは物理学ではよく行われることであるが、学生にとってはなじみの薄いことであろう。そこで、次の簡単な演習1を行わせる。

演習1：下図のように、てこ実験器におもりを2個付けた場合にかかる力をベクトルで表してみよう。



この演習1で、おもりを2つつけた場合は力が2倍になるので矢印の長さが2倍になり、同じ重さのおもりであれば力が同じで常に下向きなのでどこにつけても同じ長さの同じ向きのベクトルで表されることが確認できる。

次に、力は合成や分解ができてそれをベクトルで表せることを、次のサブノートの内容とスライドを利用して説明する。

○ 力の合成と分解

2つのベクトルは和を取って1つのベクトルで表すことができます。例えば、次の左図の2つのベクトルの一方を移動して右図のように合成したベクトルは始点と終点を結んだ太線で

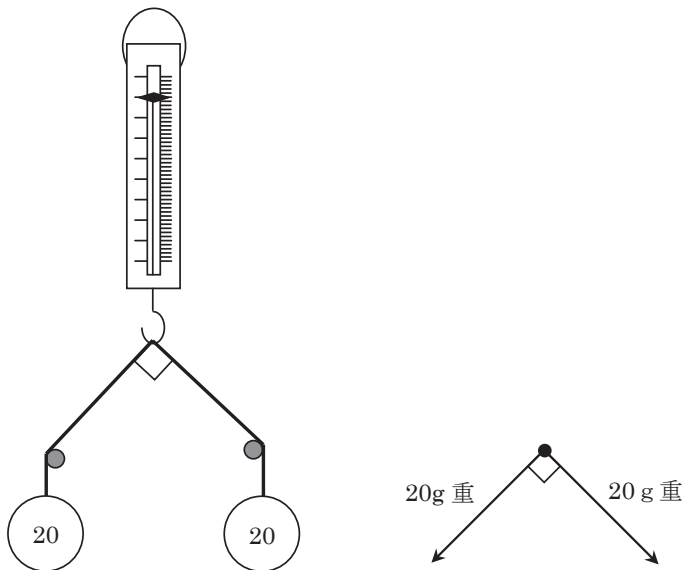
表された1つのベクトルで表せます。このことは、2つの力を1つに合成できることを意味しています。逆に、1つの力を2つに分解することもできます。



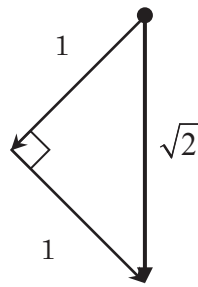
上の図を利用して、左側の1点から出る2つのベクトルが右側の太い矢印で描かれた1つのベクトルで表せることを説明する。逆に、1つのベクトルが複数のベクトルに分解できることも説明する。

この力のベクトルの合成と分解がこの授業の核心の一つである。現実の世界でこの合成と分解が成り立っていることを実感させるため、次の実験を伴った演習2を行う。

演習2：糸の両端にそれぞれ20グラムのおもりを付けて下図のようにばねばかりで吊るす。糸のなす角が直角のときばねばかりにかかる重さを求めよう。



20グラムの重さの物を重力が引く力の大きさを20g重と言います。



このように、ベクトルを合成すると合成されたベクトルの大きさは $\sqrt{2}$ 倍になることがわかります。

1) ばねばかりにかかる重さを計算しよう。

答え：_____ g 重

2) 実際どうなるか、実験をして確かめよう。

ばねばかりにかかる力が20g重の $\sqrt{2}$ 倍である28 g 重と計算できたのち、実験してほぼ計算通りの値になることを確認する。学生は一様に本当にそうなるのだと納得したような表情を見せる。ここで、次の問題を出して、てこにかかる力をベクトルで理解するように仕向ける。

問題：てこ実験器の両腕に同じおもりを付けたときなぜ水平になるのか、力を腕の軸に対して垂直方向と水平方向に分解して考えてみよう。

1) アのベクトルを分解したベクトルはどれとどれですか。

ア：_____と_____

2) 同様に、エのベクトルを分解したものはどれとどれですか。

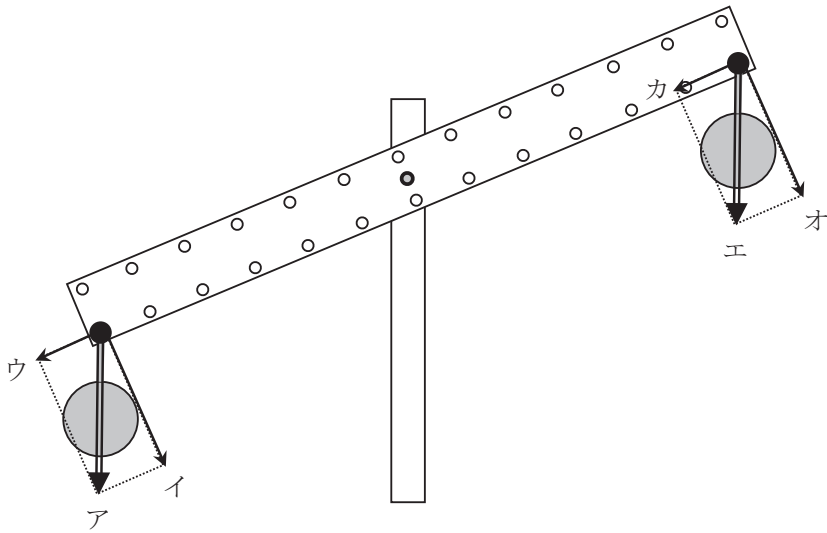
エ：_____と_____

3) イ、ウ、オ、カ のベクトルの中で互いにつり合っているベクトルはどれとどれですか。

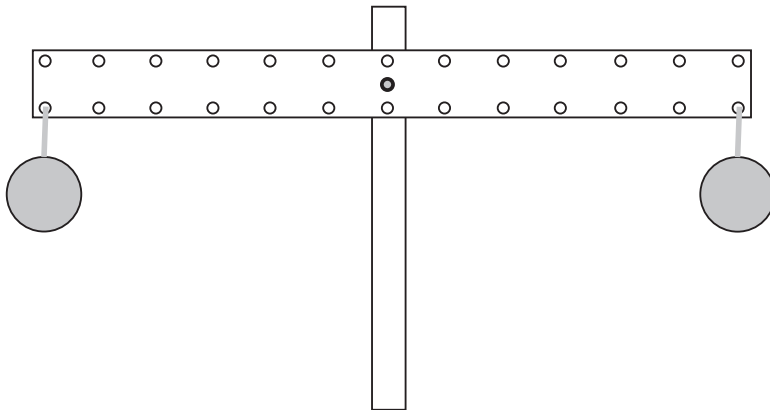
_____と_____

4) 強め合っているベクトルはどれとどれですか。

_____と_____



5) 水平の場合強め合っていた力のベクトルはどうなりますか。そのことから水平になる理由を考えましょう。



問題の1) および2) はそれぞれ「イとウ」および「オとカ」であることは比較的簡単に答えられる。3) および4) に関してはそれぞれ「イとオ」および「ウとカ」と正しく答えられる学生と答えられない学生に分かれる。答えられない学生の中には問題の意味がよくわからない者が多いようで、ベクトルが理解できていないようである。それで、再度ベクトルについて説明しながら答えを導き出す。問題の5) においては、腕の横方向にかかる力のベクトルが水平になるとゼロになることを図2のようなスライドを用いて以下のように解説する。

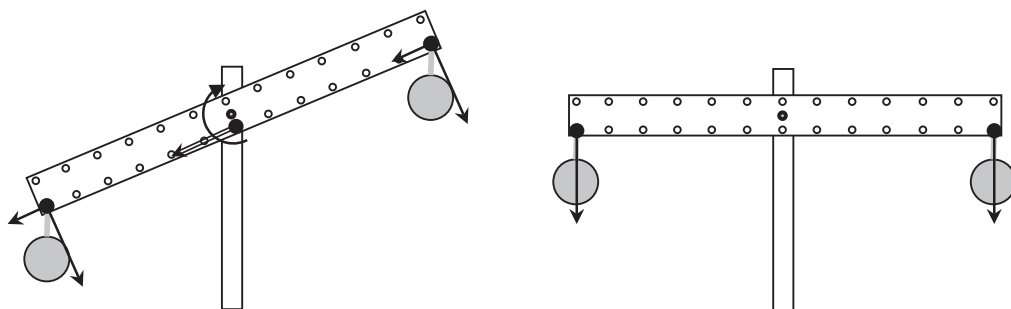


図2：問題の解説で用いたスライドの図。左図において、実線の矢印はおもりによる力を腕の横方向と縦方向に分解したベクトルを意味する。二重線の矢印は2つの横方向のベクトルを合成したものである。半円の矢印は支点を中心として腕が回る方向を表している。右図は、水平になった場合、横方向の力がなく縦方向の力のベクトルだけになることを描いたものである。

「図2の左側は2つのおもりによってかかる力のベクトルを腕の横方向と縦方向に分解した様子を表している。横方向の力を合成すると支点の下に二重線で表された2倍の長さのベクトルとなり、それがこの腕を時計回りに回転させる力となる。そして、右側の図のように腕が水平になると横方向にかかる力がゼロになるので、それ以上回転することなく安定に止まる。」

このようにしててこの腕が水平になる仕組みを学んだのち、最初の質問に関係する次の練習問題1を課してみる。

練習問題1：てこの腕を斜めにしても止まるような、おもりの付け方があるだろうか。もしあるとしたらそれはどんな付け方か考えてみよう。

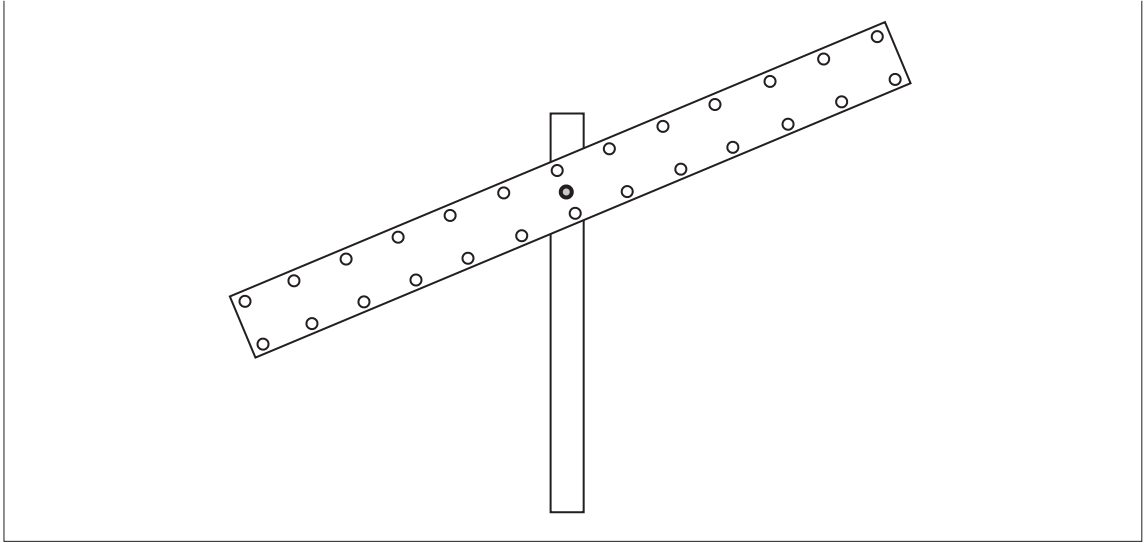
1) てこの支点を糸でつるすと、おもりをつけない場合は水平になります。このとき、支点はなんと言う点か答えましょう。

答え：_____

2) 次に、おもりを2個つけても水平になるおもりの付け方を見つけましょう。

3) てこを斜めにして止まるような、おもりの付け方を説明しましょう。

4) なぜ止まるのか、力のベクトルを図に描いて考えてみよう。



3人前後の班に分かれて、てこ実験器を用いながら練習問題1に取り組んでみる。すると、数分間の試行錯誤をすることで、3)の正解(腕を斜めにしても止まるおもりの付け方)を見つけ出す班が現れる。他の班ではおもりをたくさん使いすぎて混乱しているようである。そのような場合は、おもりを2つだけ使って試してみるように指示する。そして、おもりを腕の上の穴にもかけられることを思いつげると、しばらくして正解を見つけ出すことができる。練習問題1の1)と2)は3)の正解を見つけられないことを想定したものであったが、それを行う前に見つけることができるようである。そのあとで、1)を問うてみるが、「重心」という答えがなかなか出てこない。ほとんどが「中心」と答え、「質量の中心」という答えも見られない。「重心」という答えを教えてもどうもしっくり行かないようである。これは、重心の概念が現実とあまり結びついていないことの現れのようなものである。2)はすでに答えが出ているので、実際に確かめてみる。最後の4)であるが、この結果をベクトルで説明することがなかなかできない。授業では、横方向と縦方向の力のベクトルがそれぞれつり合っていることを図3のようなスライドを用いて下記のように説明する。

「おもりによってかかる力のベクトルは二重線の矢印のように表せる。これらのベクトルは腕の横方向と縦方向に分解できる。縦方向のベクトルは支点からそれぞれ左右に同じ距離に同じ大きさの力が加わっているののでこの腕を動かさない。横方向のベクトルも矢印を支点の上下に移動させるとわかるように、支点から上下同じ距離に同じ大きさの力が加わっているののでこの腕を動かさない。ゆえに、腕はどんな角度にしてもそのまま止まっている。」

てこ実験器の中には腕の重心を支点に置いていないものもある。それを伝えるという目的も兼ねて、力のベクトルと重心についてもう一度よく考えるために、最後に次のような練習問題2を与える。

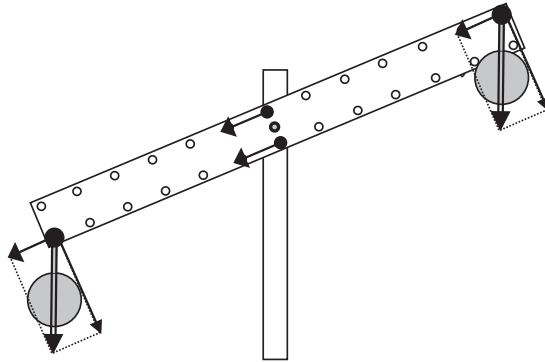
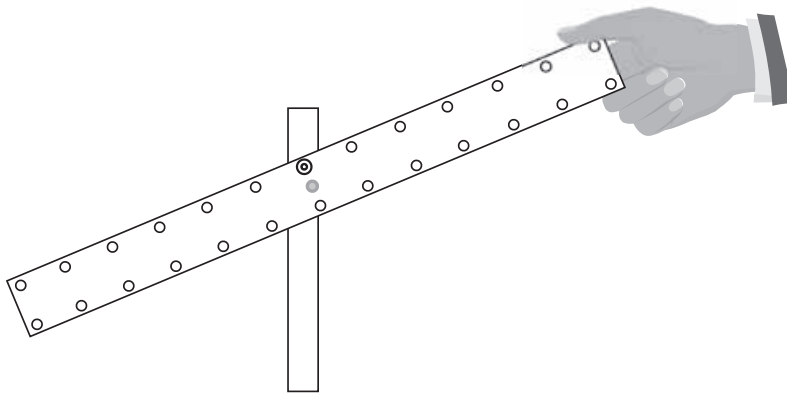


図3：練習問題1の4)の解説で用いたスライドの図。二重線の矢印はおもりによってかかる力を表したベクトルである。実線の矢印はそれらを腕の縦方向と横方向に分解したベクトルである。幅の広い矢印は横方向のベクトルで、縦方向のベクトルと同様に支点に対して対称になっているため互いにつり合っている。それらを支点の上下に移動させると、腕を回転させる力にならないことがよくわかる。

練習問題2：下図のように、支点の位置を上にはずらして腕を斜め上げて放すとどうなるでしょう。そうなる理由を考えよう。

ヒント：重心にかかる力のベクトルを分解してみよう。



この練習問題に対して、自信を持って水平になると答えられる学生は少数である。それは、ベクトルを用いた説明がなかなか理解できないだけでなく、重心について現実の物と結び付けて考えられないからと思われる。そこで、再度ベクトルを用いて説明をする。ここで、横方向の力が

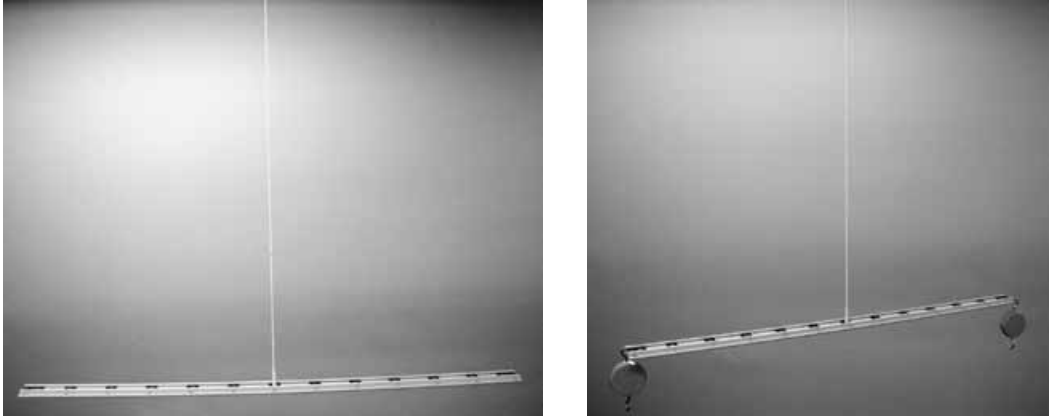


図4：練習問題1の1)と2)に関する実験を行った様子。左図はおもりをつけない場合、右図は対角の位置におもりを一つずつつけた場合である。どちらも支点が重心になっていることがよくわかる。

支点の位置を変えることによってどのように作用するかを詳しく説明する。そして、重心が支点の場合は腕が任意の位置で止まることを教える。

ここまでの授業で「わかった」という顔をしている学生はまだ少数である。どうも、てこの腕の横方向にかかる力がイメージしにくいようである。そこで、練習問題1から2のように支点を変えるとどうなるかを別なもので実演してみた。具体的には、長方形の物体の中心を指で挟んで片方の指で長方形の中心付近を引いた場合と、指で挟む位置を中心から端にずらして片方の指で中心付近を引いた場合を比べてみる。当然、中心を挟んだ場合は動かないで、端を挟んだ場合はくると動く。これが横方向の力に相当していると説明すると納得する学生の数が増えてくる。こののち、まとめをして授業は終了する。

この授業で最も意外だったことの一つは、学生が重心について殊の外理解していなかったことである。重心という言葉は知っているのであるが、その意味を理解していないようである。特に、物体に重心があるということが最初に説明したときにはわからないようであった。これを理解するという意味では、練習問題1の設問1)と2)は役に立ったと言えよう。図4はそれらの設問を実験で確かめた様子である。

物体に重心があることがなかなか理解できない理由は、重心について習っていないことによるのかもしれない。調べられた限りでは、重心の定義が教科書に出てくるのは高等学校の物理Iが最初である[6]。これは、剛体について学ぶのがこの時期であるからであろう。学生が重心についてよく知らないのは、高等学校で物理学を学んでいないからではないだろうか。しかし、重心のような身近なものに対する概念は、もっと早い段階で学んでもよいように思える[2]。

3. アンケートの分析と考察

物理学概説の授業では、K-SMAPYを利用して毎回の授業に関するアンケートを行っている。この節では、アンケートの項目のいくつかを抜き出して分析を試みる。

最初に、「今回の授業の内容は理解できましたか。」という質問に対しては、よく理解できた(17%)、だいたい理解できた(50%)、あまり理解できなかった(33%)、ほとんど理解できなかった(0%)となった。ここから、3分の1があまり理解できなかったと感じていることがわかる。しかし、「両腕の同じ場所に同じ重さのおもりをつけた場合、てこが水平になる理由を自分の言葉で説明しよう。」という設問の回答を見ると、理解できたグループと理解できなかったグループとの間にあまり違いが見られない。例えば、理解できたグループでは「てこが水平になる場合、てこの腕に横向きにかかる力は回す力となる。水平になると、横に働く力はなくなるため、水平になる事が出来る。」

と答え、理解できなかったグループでも「てこの腕は横向き方向に力のベクトルがあると、回転して安定な状態になろうとする性質がある。両腕に重りを付けた場合てこが水平になるのは、この横向きにかかる力がゼロになるためであると言える。」

と答えており、ベクトルに関して一定の理解をしていることがわかる。また、「今回の授業で疑問に思ったこと(質問)を書きましょう。」という設問においても、理解できなかったグループの回答には

「練習問題2をなんとなく理解したような納得してないような…あいまいです。」

というものがああり、理解できたグループにも

「てこの腕に横向きにかかる力がなぜ回す力になるのか、よく理解できなかった。」

という回答があり、理解の程度という意味ではあまり変わらないように見える。

理解できたグループと理解できなかったグループでは何が違うのであろうか。「今回の授業の感想を書いてください。」という設問の回答を見ると、理解できたグループでは

「ことごとく予想が外れて自分でも正直びっくりしました。でもだからこそ、子どもに見せたらおもしろがる内容だろうなと思いました。」

「疑問が理解に変わると楽しいと感じます。てこは、おもりをつけていなくても水平になると思っていたので驚きでした。」

と答えているのに対して、理解できなかったグループでは

「簡単な内容だと思っていたのに、自分が考える以上に難しかったです。わかったようなわからないような、そんな感じでした。」

「力はベクトルで表すことができ合成・分解できることによって、釣り合いの条件が理解しやすくなることが分かった。目に見えない力なのに合成したり分解したりすることを、初めに発見した人はすごいと思った。」

となっている。この回答からわかるように、理解できたグループでは「びっくり」とか「驚き」という感情を表す言葉があるのに対して、理解できなかったと感じるグループにはそのような言葉があまり見られない。

理解できたグループと理解できなかったグループでは、力のベクトルの理解に関しては同程度に思われる。しかし、それは言葉に表せるだけであって、本当に納得できているかとは別物であろう。仮に、理解できたグループが納得していて理解できなかったグループが納得していないと考えると、本当の理解を引き出す鍵の一つは驚きの感情と考えられる。すなわち、びっくりするような不思議な現象は人に強い好奇心を抱かせ、それが深い理解へ導くと考えられる。

このことは、理科の授業を構成する上で示唆に富んでいる。理科では同じテーマであっても選ぶことのできる題材は多くある。例えば、電気のはたらきをテーマにした場合、働かせるものは豆電球のように光るものやモーターのように動くものやオルゴールのように鳴るものなど多くのものが考えられる。これらの中から、驚きを与えられる題材を選べばそれが理解を促進する可能性がある。前節で紹介した授業では、それは単に「おもりをつけないでこの腕は斜めにしても止まる」というだけである。それでも、3分の2程度の学生に驚きを与えられたようである。それは、左右が同じであれば水平になるという思い込みが裏切られた驚きであろう。したがって、この驚きはてこの規則性を過去に学んだものにしか与えられないと考えられる。ゆえに、小学生に対して同じような授業をしても効果は少ないかもしれない。すなわち、小学生の特性をよく理解した上で、彼らが本当に驚いたり不思議に思ったりする題材を選び出す必要があると言える。

4. おわりに

本来、物理学は我々の身の回りのことと深く結び付いた学問である。しかし、多くの学生にとってそれは興味を持たず身近に感じられないものになっている。その理由の一つは、本論文の1節で言及したように物理学的にイメージする力が身についていないからだと考えている。どうしてイメージする力が育ってこなかったのか。その原因の一つは、授業の中で物に触れていない、たとえ触れることがあってもそこから考える段階にまで到達していないことにあると考えている。

このような現状を踏まえて、物理学概説の授業では実験を取り入れて授業を構成している。それも単に実験をするだけでなく、それによって興味を持たせ、そうなる理由を考えられるように工夫している。その成果は、「てこのつり合いと力のベクトル」のテーマではある程度得られたと考えている。例えば、「今回の授業で疑問に思ったことを書きましょう。」というアンケートの設問の回答には次のようなものがあった。

「支点の位置を上にはずらして、腕を斜めに上げて放すとてこの腕は水平になったが、逆に支点の位置を下にはずらすとどのようになるのだろうと思った。」

この答えは力のベクトルを理解すれば比較的簡単に導きだせるが、それよりもむしろこのような疑問を持てることがイメージする力が身についてきている証だと言える。また、「今回の授業

の感想を書いてください。」の回答には次のようなものがあった。

「てこ実験器とおもりだけで90分間も授業ができることに感動した。実験道具がシンプルであればあるほど、授業内容を決める際に大変だ。クラス全体の平均レベルよりも少し高いレベルの内容にするとよい授業が出来るだろう。また、大学生となればベクトルや特殊な三角形の3辺の比などを利用して、考えを深めることができるが、小学生は知識がない分、教師はどのように教えたらよいのか悩むだろう。小学校では教える内容はそれほど難しくはないが、教え方が難しい。暴れ留めを安心してはずせるようなクラスにしたい。」

最後の一文は授業内であれば止めが何のためにあるのかを説明したことを受けてのものであるが、より良い授業の基本の一つがクラス作りにあることに気づいていることはすばらしいと言える。

本論文の2節で紹介したような授業は準備に手間が掛かる上、授業時間内にできることも限られてしまう。てこを題材にした授業であるから、本来なら上皿天秤についても取り上げたいところであるが、とても時間内に収まりそうにない。また、力の単位としては「ニュートン」を用いるべきである[7]が、あえて「g重」を用いた。その方がイメージしやすく説明に時間がかからないからである。この授業の目的は「力のベクトルの合成と分解を使うことで力に関する現象が理解しやすくなる」ことを学ぶことにある。それに付随する知識はいろいろあるが、あえて必要最小限に止めてみた。もちろん、必要最小限をどこに置くのかは今後も考えていかなければならない事柄である。

今年度の物理学概説の受講者は8名でアンケートに回答してくれた者は6名である。ゆえに、このデータは統計的な分析には向かない。しかしながら、アンケートの結果それ自体はとても興味深いものである。特に、記述式の設問を多くしたことにより選択式の設問だけでは得られない豊かな回答を得ることができた。その回答は示唆に富んでおり、今後の授業を構成する上で役に立つものである。びっくりしたり驚いたりする情緒的な反応が物事の理解をより深める働きがあるという可能性を見出したことは重要な成果だと信じている。

参考文献

- [1] 小学校学習指導要領解説理科編、文部科学省、平成20年8月
- [2] 理科は理科系のための科目ですか：個性ある授業づくりのための理科・物理教育を考える、山下芳樹、森北出版、2005年4月
- [3] 本当の学力をつける本 学校でできること 家庭でできること、陰山英男、文藝春秋、2002年6月5日
- [4] 理科実験・観察基礎論の手引き物理分野(B)、近藤良彦、非刊行
- [5] K-SMAPYにおけるフォーラムの投稿状況の変化と要因 ―自然の見方03と04を例として―、近藤良彦、坂本正徳、堀江紀子、國學院大學人間開発学研究所、2010年2月28日
- [6] 改訂版 高等学校 物理 I、國友正和 ほか9名、数研出版、平成21年1月10日；物理学 I、三浦登 ほか19名、東京書籍、平成21年2月10日
- [7] 中学校学習指導要領解説理科編、文部科学省、平成20年9月

(こんどうよしひこ・國學院大學人間開発学部初等教育学科教授)