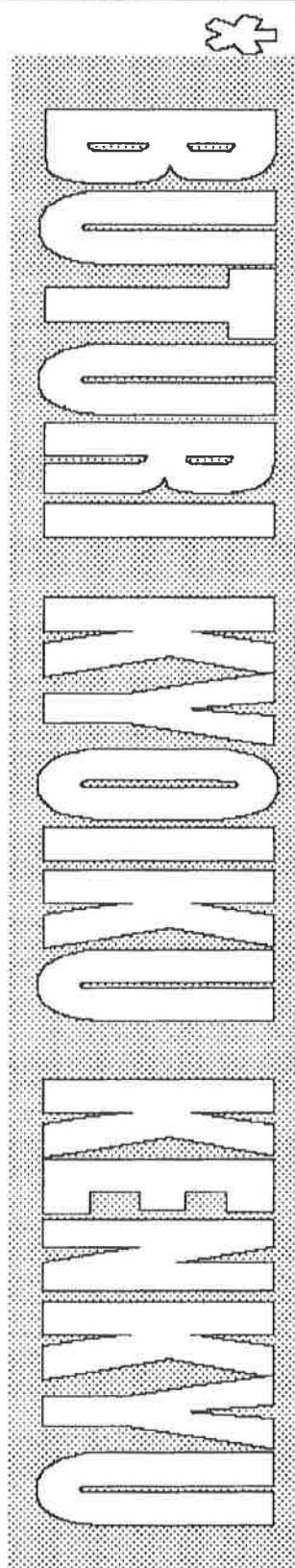
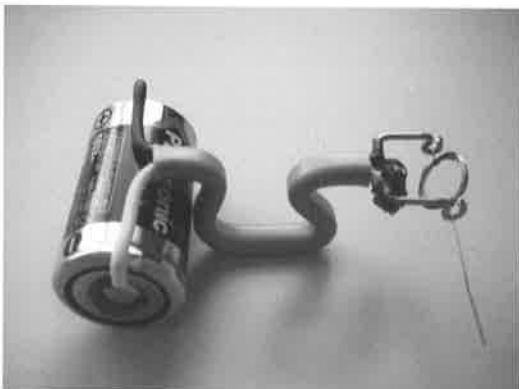




# 物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.42, 2014.11



## 卷頭言

### 物理教育の新しい流れの中で

北海道札幌清田高等学校 横関直幸

(日本物理教育学会北海道支部理事)

平成 21 年(2009 年)3 月に告示された高等学校学習指導要領で登場した「物理基礎」が始まり、今年度で 3 年目を迎えました。平成 27 年(2015 年)1 月に実施される大学入試センター試験では、物理基礎(2 単位)と物理(4 単位)の 2 科目がセンター試験の科目に設定され、高校現場はその動向に注目しています。

北海道支部では、「物理基礎」の重要性に早くから注目し、多くの高校生が学ぶべき「物理基礎」とはどうあるべきか研究を進めてきました。新しい授業デザインを創造するにあたってのキーワードを「ストーリー」、「サプライズ」、「デモンストレーション」の 3 つとして、これまで実施してきた企画を以下に振り返ってみます。

支部会報の特集では 2010 年からの 2 年間で、14 テーマについて授業アイディアの投稿を集めました。支部会員を生徒に見立てた 15 分程度のミニ模擬授業は 2009 年からの 5 年間で 15 テーマを、授業デザインに関する全体討論とセットで実施しました。中学校教員をパネリストに迎えて中学校の実践と高校物理基礎の授業を研究する物理教育シンポジウムは、今年で 5 回目となりました。北海道高等学校理科研究会物理研究委員会が 2012 年 8 月に発行した「物理基礎の授業案」の作成には、多くの本支部会員が協力しました。これらの取り組みは全国的にも先駆的で、高い評価を得ています。

もちろん、物理基礎の実施について予想されていた様々な課題が、現状において全て解決したとは言えません。むしろ困難が増している事例も耳にします。そのような中で、以下に紹介する中学校教員 A,B 両先生の意見はとても印象的でした。

A 先生：「数式を用いない物理基礎をやっていただければ、生徒の世界観が広がる」

B 先生：「単位の重要性も含めて、数式から離れることはできないので、数式の意味を伝えてほしい」

この 2 つの意見は正反対の立場のようにも一見受け取れます。しかし、意見をよく聞いていくと、A 先生も中学ではオームの法則を指導し、B 先生も計算が苦手な生徒に対する配慮を忘れてはいませんでした。私たちは、数式を用いるか否かといった単純な議論に陥りがちですが、それぞれの立場や考え方の違いを越えて、目の前の生徒に必要な教育活動を模索することが求められています。物理教育の新しい流れの中で、これまでの教授法を見直し、しっかりととした方向性を検討することが本学会、本支部には求められています。

この支部会報が北海道の物理教育のこれからの方を考える指標となり、活発な意見交換が今後も益々広がることを期待しています。

## 第4回中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

横関直幸 北海道札幌清田高等学校

本シンポジウムは、高等学校物理基礎を話題の中心として、中学、高校、大学がそれぞれの立場で全ての生徒のための物理教育について考えていく目的で4回目を迎えた。今回は「概念形成」を議論の中心としたシンポジウムの内容を報告する。

### 1. はじめに

日時 2013年11月17日(日) 13:00~15:30

場所 北海道大学 人文・社会科学総合教育研究棟  
4階W410室(北10条西7丁目)

パネリスト：

三浦英悟(札幌市立琴似中学校)  
古川恵美子(札幌市立陵北中学校)  
細川直久(札幌市立発寒中学校)  
中道洋友(札幌北高等学校)

司会：横関直幸(札幌清田高等学校)

本シンポジウムは高等学校物理基礎を話題の中心として、中学、高校、大学の物理教育をつなぐ目的で、2010年より毎年開催してきた。

高等学校物理基礎が設置されるにあたり、「物理基礎は難しいから全員には無理」、「物理教員が少なく物理基礎はカリキュラムにおけるべきではない」、「物理(4単位)が難しいので物理基礎を全員に履修させる余裕はない」などの課題が指摘されてきた。これらの課題を意識しつつ、本シンポジウムでは議論が積み重ねられてきた。中学校では様々な学力の生徒がクラスにいる中で、全部の生徒に物理分野を含めた理科教育を行っている。中学校の指導が高等学校物理基礎のヒントになるであろうということから、このシンポジウムを開き4年目になる。

第1回(2010年)は新学習指導要領における中学校理科(物理分野を中心に)の変化やその対応、高等学校物理基礎との連携について議論された。第2回(2011年)では力学分野を中心として、中学校と高校の連携について考えた。第3回(2012年)は「熱、波動、電気、放射線」を中心として、中学での指導内容、指導方法を通して、高等学校物理基礎の指導を考えていった。

第4回目の今回は過去の議論を踏まえつつ、「概念形成」をテーマに意見交流を進めた。以下にシンポジウムの発言を紹介するが、発言者については所属する

「中学、高校、大学」のみを記載した。

### 2. 概念形成について

高校：

物理基礎が始まって2年目になり、物理基礎が多くの学校で必修になって、力学分野に苦労している声も聞こえている。1年生あるいは2年生で2単位(週2時間)実施しており、これまで物理は理系の生徒が履修することが多かったが、多くの生徒が履修している状況である。高校1年生で全員に履修させている学校も少くない。学力差がある中で、生徒全員に理科教育をされている中学校の先生にご意見を是非お聞きしたいということから始まったこのシンポジウムも4回目になった。

今回は、様々な物理現象に対する適切な概念をいかに育てていくかということを話題にしたい。大学生にも言えることだが、計算ができるし問題は解けるが、物理を理解していないという意見をよく耳にする。我々教員は教科書を使って授業をしているが、そのやり方では概念がつかないので、そもそも概念を身につけるはどういうことなのか、数式を使うか否かといった議論では解決に結びつかない。そのようなことが高校、大学の先生から出ている。数学的な扱いと概念形成について議論したい。

大学入試に使うかどうかで高校現場は縛られることがあるが、すべての生徒に対する物理教育という視点に立ったときに、物理教育はどうあるべきなのか、それが一番根底のところにあるので、その辺についても中学校の先生方にご意見をいただきたい。

### 3. 速さの計算と「はじき」

高校：

「はじき」という用語を大学の先生方は知らないと思うが、高校1年生に速さと言えば「はじき」が出てくる現状について、中学校の状況をご紹介いただきたい。

中学：

速さをやるとき生徒は「はじき」を使います。ただし、「は、じ、き」のどこがどの場所かわかつておらず、場所を間違える生徒もいる。速さの単位 m/s など、どっちが分子、分母かわかつてない。小学校では、速さを出す使い方として示している。計算はできるが、半分くらい意味がわかつてない生徒のいる中学校もある。かなりメジャーな教え方。

高校：

これを「はじきの法則」というそうだ。大学の先生のために説明すると、速さを出したいときは「は」を隠す。そうすると、「き」／「じ」となる。小学校の6年生くらいで学習し、速さが出てくると高校1年生でも「はじき」で計算を始める。生徒にすると、 $は = き/じ$ ,  $じ = き/は$ ,  $き = は \times じ$ 、これらは全て別なものとして覚えているようだ。これを暗記するために「はじき」が出てくる。

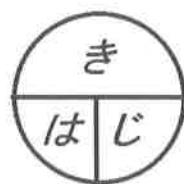
中学校では「はじき」にどれくらい注目しているのか。使ってほしくないのに使うのか、使うように指導しているのか。個人的な見解でけっこうなので教えていただきたい。

中学：

小学校から上がってきた時点で、最近は「きはじ」で覚えている。「はじき」と「は」がどこかわからないので、「きはじ」でやっている小学校が増えている気がする。中学校2年の理科でオームの法則が出てくるので、その時にこの形で抵抗、電圧、電流の関係を示している。実験でオームの法則が成立しているか確認させている。

中学校3年生で速さが出てくるので、そのときもう一度「きはじ」をやる。中学校1年生で学習している密度などの単位、「毎」についている単位は他に何があったか問い合わせている。圧力もパスカルを使わずに  $N/m^2$  でやっている。それらの関係を統一した形で計算の仕方として、受験生のテストの点数が取れるためと、使っている。1年生では単位体積当たりとか、単位面積あたりという言葉があったが、ここで出てきたのは単位時間あたり。だから割ることによって、統一してやろう。体積、面積、時間などそれぞれそろえよう、そうしないと比べられない。そのためにやっているという説明をしている。

密度のところでは「鉄1kgと綿1kgはどちらが重たいですか」と問い合わせる。子供たちは鉄の方が重いという。そういう感覚なので、一つ一つ考えさせることをやりながら、できれば概念形成をしていきたいと考えている。



計算できないと高校入試のとき困るので、計算方法を覚える一つの方法、間違わない方法として使わせている。

高校：

オームの法則や密度でも「きはじ」と同じような合言葉はあるのか。

中学：

残念ながら合言葉はつくっていない。「毎」がついている単位ならどちらが上かわかるよね。何分の何と書きたかったけど、1行にするためには斜めにしなければならなかつたと言っている。

高校：

高校の感覚でいうと、単位に注目してほしい。やり方で覚えるのではなく、単位を意識すれば自動的に出てくると物理の先生は簡単に言うが、生徒とはギャップを感じる。

高校では等速直線運動のところで時間と距離（変位）のグラフが直線になり、傾きが速さになることを扱う。速さと時間のグラフは横軸と平行になると示されて、 $v-t$  グラフの面積が移動距離になっていることを説明する。これは後から等加速度直線運動で出てきたときの時間と移動距離（変位）の関係式の説明に使う。これらのグラフは速さのところで中学校では扱われているか。

中学：

時間と速さのグラフ、時間と移動距離のグラフは中学校でも出てくる。子供たちはグラフを読み取ることがなかなかできないので、なかなか理解できない生徒が多い。グラフの読み取り、意味づけは意識してやっている。小学校のときに単位はいきなり出てきて覚えるものだと思われている。中学校にきても単位の意味は考えないで、めんどくさいと感じる生徒も多いので、単位のイメージを持ってもらうためにもグラフは大事に扱っていきたい。3年間かけて何とかなる生徒が半分くらいという印象をもっている。

高校：

$x-t$  グラフはあまり扱わないのか。グラフは描かせるか。

中学：

グラフは描く。

高校：

傾きが速さになっているという点については扱うか。

中学：

速さの違いで傾きが違うことは扱うが、イメージは定着しづらいところだ。

高校：

さきほどの「きはじ」の話で、機械的に速さを計算さ

せるという印象を持った。高校では1秒あたりの移動距離が速さなのだから、しっかり「距離÷時間」とやってほしいと思っている。「きはじ」に否定的な高校物理教師は多い。まずは計算ができるところが大事だという観点から、その一つの方法論として「きはじ」は計算ができるようになる手法としては必要であるとの意見があつた。その点についてはどうか。

中学：

自分は「きはじ」はできるだけ使いたくないと思っている。単位の意味を理解するように心がけてやっている。3年生で速さが出てきたので、速さの単位について、「これはどういうことだろう」と話している。ただし、計算ができない子もいるので、そういう子には「こういう方法もあるよ」と言うことはある。基本は「はじき」は使わないようにしている。

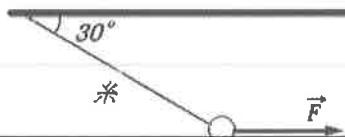
高校：

分数や割り算ができない生徒が多くいる高校もある。高校も学校ごとに事情が違うのでいろいろな意見はある。「はじき」で覚えたやり方が、物理は公式を覚えてやるものだという生徒の意識を生み出し、高校教師が求めていることとのギャップになっているようだ。

#### 4. 力のつりあい

高校：

天井から糸でつるした物体に水平方向の力を加えたつりあいについて、高校



物理基礎では扱う。重力  $10N$ 、糸の張力  $T$ 、水平な力  $F$  の場合、3力のつりあいについて、 $T$ を水平方向と鉛直方向に分解して、2方向のつりあいの問題として扱う。教科書では何の前触れもなく  $T\sin 30^\circ - 10 = 0$  というつり合いの式が出てくる。高校1年生で物理基礎をやっているときに困ることは、この問題を扱う時に数学の授業では  $\sin$ ,  $\cos$  をやっていないこと。

対応の一つとしては、数学で扱う前の高校1年生の5月に、物理基礎の授業1時間を使って  $\sin$ ,  $\cos$  を説明して実施するということがある。もう一つの対応は、 $\sin$ ,  $\cos$  を用いず、分力の大きさを三角形の相似から求める。これならば中学校の知識で扱える。結果的には計算しなければならないが  $\sin$ ,  $\cos$  の使用を避けることはできる。中学校でも力の分解は新課程になってやるようになったので、これならば高校1年生でも何とかなると思う

が、中学校の立場からはどのような感想を持つかお聞きしたい。それぞれの生徒の学力差もあるので一般的には言えないかもしれないが、平均的な中学校卒業者（札幌の全日制普通科に入学した高校1年生）がやるときに、中学校の先生が心配することは何か、率直な感想をお願いしたい。

中学：

中学校では計算をしなくなってきた。定性的なものが多くなっている。中学校でも2力の合成を作図して長さを測って、などはやっている。計算は全くやっていない。今の話を聞いて、理解できる子には解りやすいだろうが、多くの生徒に対してはどうなのか疑問が残る。計算して納得はするが、「何のためにこんな計算するのかな」と思う生徒もいるかもしれない。中学校で数値としてこのような計算はやっていない。電気の合成抵抗とか熱などはあるが、計算はあまりしないのでアレルギーを持った生徒はいない。

高校：

斜めの力  $T$  を分解して、「水平方向と鉛直方向がそれ等しいですね」と説明しているが、高校1年生にはどのあたりがハードルになっているのか、感想をお願いしたい。

中学：

中学校で三平方の定理はやっているので、 $30^\circ$ の直角三角形で三辺の比が  $2:1:\sqrt{3}$  は数学の成績が4, 5の生徒は大丈夫だと思う。1, 2の生徒には無理だと思う。3の生徒は半分くらいが怪しいのではないかと思う。比の値で計算していくことはできなくはないと思うし、力のつりあいも図に示してやれば大体の生徒は上と下、右と左の力がつりあっている、矢印の長さが等しくて、力の大きさが等しいと感覚的にはすぐわかる。

高校：

高校1年生への説明としては適切と考えて良いか。

中学：

私は比で計算するのは可だと思う。中学生でも5レベルの子は計算ができると思う。数学と理科の授業進度の関係で、中3で力の矢印、合力、分力が終わったが、数学の三平方の定理はこれからという状況。履修の順番が理科と数学で上手く合わない。斜面の運動のところも時間と距離の関係で  $y=x^2$  が出てくるが、数学の授業で扱う前にそのグラフを描いて学習をしている。数学で学習するのが後になることがあり、数学の進度を理科と連携しながらやらなければならぬことはある。

高校：

中学ではベクトルという扱いはどうなっているのか。

中学：

ベクトルという用語は使わない。力の矢印という言い方をする。2 力の合成は力の「平行四辺形の法則」という言い方をしている。平行四辺形を作図してそこから合力を求める。力の分解についてもベクトルの作図で矢印の長さを測ることから力の大きさを出している。

平行四辺形の法則は、3 力のつりあいの実験で確認することを学習することで導入している。

数学と理科の学習の順序性というのは中学校でもなかなか難しい。電気関係では技術科との進度の関係もある。技術科の学習順序が変わってしまうと、数学や理科の教員と、どの教科でどの程度扱うのかを意見交換することがある。教育課程が変わるたびに各教科での扱いが変わっていく。

高校：

平行四辺形の法則は中学校の新課程で出てきて、実験を中心に扱っているということは、昨年のシンポジウムでも話題になった。

「sin, cos をやらずに先ほどの3 力のつりあいの問題を扱うのは無理だよ」、と主張する数学の教員もあり、物理基礎で無理をして sin, cos で教えようとしている先生もいる。このレベルであれば高校1年生で物理基礎をやらせるのは大丈夫だと思うが、高校1年生の春に sin, cos を扱うことについて中学校の立場から意見をお願いしたい。

中学：

生徒がいきなり解けるかどうかは難しいが、説明され理解はできると思う。数学の否定ではないが、数学でいろいろ勉強しているがそれを理科で使おうとするときに意味が解っていないと感じることがある。例えば比例のグラフが出てくるが、比例を数学で勉強していたはずなのに、理科で出てきて話したらわからない。そこで比例とはこういうことだと説明すれば、「そういうことだったのか」という反応を生徒は示す。本来数学で習得しているはずの内容が定着しておらず、理科で使おうと思ったときに使えない状況がある。理科の授業で説明された子供たちが「そういうふうに使えばいいんだ」と、中学校を卒業した生徒は理解できると思う。

高校：

物理基礎を担当する教員で、3 力のつりあいを sin, cos を用いて説明する人が半分、そうでない人が半分という感じがしているが、どうか。

高校：

今の学校で物理基礎はやっていないが、自分が今の学校で担当するとすれば sin, cos は使わないと思う。2 年

生で sin, cos を学習した後の生徒でも、 $\cos \theta = x/R$  から  $x = R \cos \theta$  と式変形をして解答していくことに生徒はギャップを感じている。

高校：

始めの年は sin, cos 使わずにやったが、教えた1週間後に数学で三角比をやったのでラッキーだった。sin, cos を用いずにやっていたが、今はやめた。黒板にその問題に適するように（矢印の向きが対応する辺と合うように、裏返したり回転させたり）三角形の向きをかえて、非常に多くの三角形を描くことになってしまった。対応する辺の色と力のベクトルの色を合わせたりして工夫はした。数学で学習した後だと sin, cos で扱うことができる。

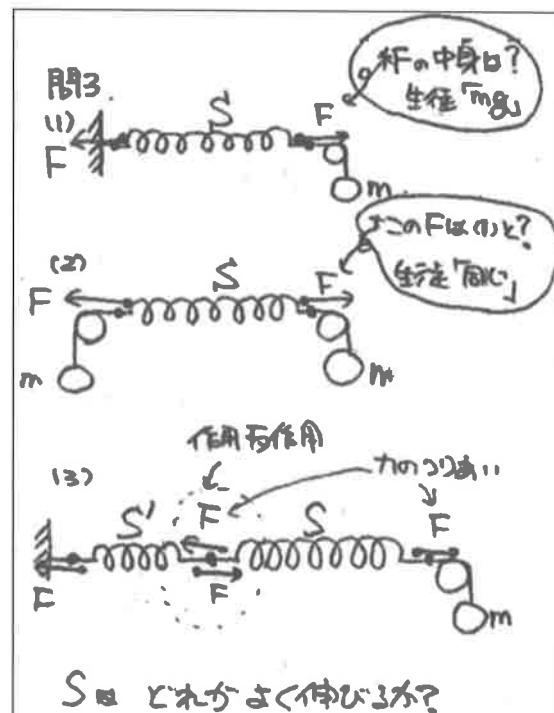
高校：

昨年は私も sin, cos を使って教えたが、つらいところはある。1 年生で物理基礎をやっている高校は sin, cos など数学の扱いで苦労している。

## 5. 力のつりあいと作用反作用

高校：

次に水平なバネに滑車を介しておもりをつるす問題を扱う授業の紹介を高校側からお願いしたい。



高校：

まず、黒板に図だけ描いて、どのバネが一番伸びるか、発問したり挙手させたりする。黒板の右半分に黒板に貼

り付けられる滑車を用いて演示する。生徒は2番目が最も伸びると答える場合が多い。3つとも実は同じ力がバネにはたらいているという説明をする。作用反作用の法則はとても難しいので、これをやったからといって定着する（あるいは、心の底から理解する）ことでは必ずしもない。ロケットがどうして飛ぶのかというのも、ストンと落ちるような形では理解できないので、何回も繰り返していくて作用反作用の法則を教える。そのときに強調するのは、力のつりあいと作用反作用が混同されるので、作用反作用はお互いに働く力で、力のつりあいは同じ物体にはらく力で合力がゼロになるという点。そこを繰り返し意識させる。

高校：

2番目のバネが一番伸びると答える生徒の気持ちはわかる。おもり1個より2個で引っ張られている方が伸びそうだと考えるのだろう。この演示は中学で実施してしまうと、高校でのサプライズ効果が減るので余りやってほしくないが、たぶん中学校でやっていないと思う。サプライズの要素を1年生の物理基礎では取り入れなければならないと考えて、高校の研究会で作成した「物理基礎の授業案」にも入っている。

中学：

生徒には誤概念があつて、自分のイメージと現象が異なる場合は多い。中学校では予想が分かれる中で実験してみて、その結果から、「違うね、どうしてだろうね」と授業を進めるといいのかなと思う。サプライズは子供たちの動機付けにもなり使うようにしている。

つり合いと作用反作用について、中学校の教科書には「科学の広場」というコラムみたいなところに書いている。「力のつりあいは一つの物体にはらく力の関係」、「作用反作用は2つの物体の間にはらく力の関係」と書いているが、子供たちにはなかなか理解できない。理解させる良い方法があれば教えていただきたい。

高校：

過去のシンポジウムでも話題になったが、中学校での作用反作用の法則の指導について紹介をお願いしたい。

中学：

中学校では先につりあいの学習をする。2力のつりあいを1年生で若干やり、3年生できちんとつりあいをやる。つりあいがどういうことなのか、1つの物体にいくつかの力がはたらいて静止しているという学習をやる。その後、等速直線運動があり、慣性の法則と合わせて出てくる。その後で作用反作用を扱う。つりあいについて、「同一直線上、同じ大きさ、逆向き」というのが条件と

して明確に書かれていて、その前に1つの物体にはらく2力は、とついているが、そこは太文字で強調されていない。そこは授業の中では前提条件として強調しておく。作用反作用のところも「同一直線上、同じ大きさ、逆向き」と同じ条件が出てくるので、「これって前にも出てきたつりあいと同じだよね」と意識させ、そこで前提条件の確認を行う。2つの物体の間で押して押し返されるとか、2物体の間という点を確認する。力の矢印がどこに働いているかとか、糸におもりが釣り下がっているとき重力につりあっている力は、などを確認。いくつかの力を、「何が何をどちら向きに」と言葉で書いていくと、何に働いている力なのかが明確になっていく。作用反作用の力では「何が何を」の部分が反対になっていることに注目。そうやって意識させている。入試でもそこは引っかかるので、前提条件に注意するように教えている。

先ほどのバネの演示は自分はやっている。1番目と2番目を比較して、1番目のバネは壁のところを押さえていなかつたら落ちてしまうので何か引っ張っている力があることに気が付かせている。おもりが2個の2番目のバネが1番目よりも2倍伸びると考えるのが普通の生徒の反応。

高校：

自分が説明するときには、壁とか糸とかが変形するということを強調している。物体ごとにいくつか図を描いて働く力を記入する工夫をしている。

高校：

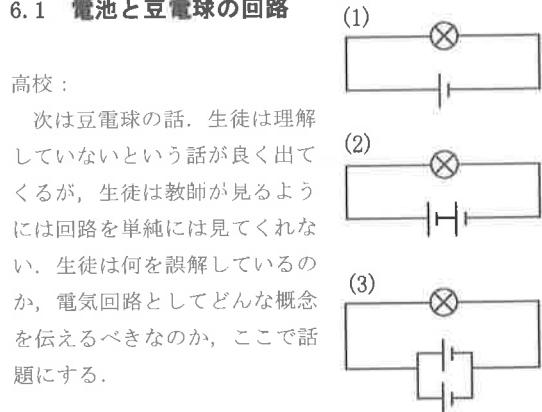
この場合は、バネ、おもり、糸の3つの図を描くか。つまり糸を描く必要はあると思うか、否か。

高校

この場合であれば、バネしか描かない。

## 6. 電流回路

### 6.1 電池と豆電球の回路



高校：

次は豆電球の話。生徒は理解していないという話が良く出てくるが、生徒は教師が見るようには回路を単純には見てくれない。生徒は何を誤解しているのか、電気回路としてどんな概念を伝えるべきなのか、ここで話題にする。

(1)を基準にして(2)は明るくなることは多くの生徒が理解している。中学生が(3)を見たときにどのように考えるか。電池を並列にする場合を中学校では扱っているのか。

中学：

中学校で電池を並列にするというのは基本的に扱っていない。自分は電池2つ、豆電球2つを生徒に配布して、いろいろな回路を作つてみよう、というやり方をしている。やっていく中でどの回路が一番明るくなるかという実験結果から法則性を見つけていく授業。

知識として並列つなぎは小学校で習つてくるが、(3)の回路図をみたときに2個の電池から電流が流れてくるので、電流が大きくなると考える生徒は一定数いると思う。生徒は回路図自体を理解できない。(1)の回路でも、途中の線がガタガタに曲がつただけで違う回路と思つてしまふ生徒もいる。この図をみて判断しなさいというのはかなり苦しい気がする。

高校：

中学校の実験では、豆電球と電池の回路は学習の中で出てくるのか。

中学：

出でてている。電圧、電流の定量的な部分では抵抗を用いるが、導入では豆電球、乾電池を用いている。

高校：

回路(4)、回路(5)は中学校での扱いはどうか。

中学：

中学校でも扱う。授業前のアンケートをとると、直列の場合+極に近い側の豆電球の方が一極側よりも明るいと思っている生徒も多い。

る。両極からくるから同じと考える生徒もいる。(1)と(4)、(1)と(5)の比較を主にやっている。

高校：

電池が2個接続している(2)、(3)の回路は、中学校ではあまりやらないのか。

中学：

乾電池が2個接続はあまりやらない。

高校：

回路(6)は中学校で扱うか。

中学：

基本的にはあまりやらないが、発展などでやっている。「計算ではこう

なるが、明るさはどうなのか」という最後のまとめでは扱うこともある。基本的には扱わない。

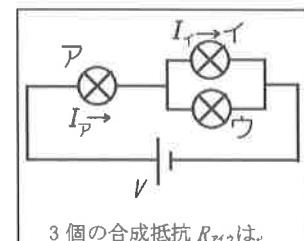
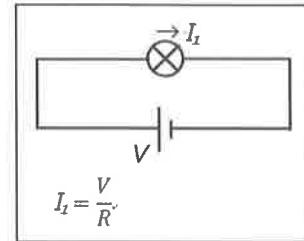
中学：

現行の教科書には抵抗A,B,Cという形で載つてゐる。全体は直列で、その中に並列があるという考え方を使って説明をついている。

## 6.2 電流回路の計算と概念形成

高校：

回路(6)について高校の物理基礎では計算でやらせる。3つの抵抗値が全て異なるような例題が教科書に載つていて、それぞれの抵抗に流れる電流を求める。



3個の合成抵抗 $R_{\text{アイ}}$ は、

$$R_{\text{アイ}} = R + \frac{R}{2} = \frac{3}{2}R$$

$$I = \frac{V}{R_{\text{アイ}}} = \frac{2V}{3R}$$

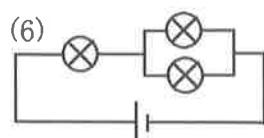
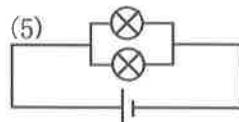
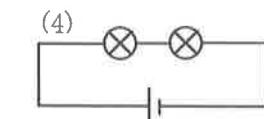
概念形成の議論では、計算してできるのではだめで、回路(4)よりも回路(6)の電流が大きくなることを言葉で説明できなければならないという意見がある。個人的には、計算できるレベルよりも言葉で説明できるレベルはより高いと感じているが、そこまでいかなければだめだという意見である。確かにその通りかもしれないが、言葉で説明できるレベルに至る過程に、計算できるレベルがあるように自分は考えている。

回路(6)について、教科書通りに計算させているだけでは概念が形成されないという意見があるが、概念形成につながる工夫というのはあるか。

高校：

電圧や電位はなかなか理解できないが、高校生なら理解させたいところである。しかし、全体がどうなつてゐるのかを生徒は追つていけない。コンデンサーや抵抗の回路はちょっと複雑になると生徒はわからなくなる。なかなか概念が理解されない。

高校3年生に電磁誘導を教えていて、導線が磁力線を横切るように動くと、回路につながつていなくても起電力が発生する、ということが理解できないと感じる。コイルの片方が途切れつていて、そこに磁石をいたれたときに



誘導起電力が発生すると説明した時、「電流が流れてないんですけど、いいのですか」と質問されることがある。電流が流れていなければ誘導起電力は発生しないと、生徒は考えたりする。磁束の変化を妨げる向きに誘導起電力が発生するというのも、電流が流れないと発生しないと思うたりして、生徒は大混乱する。電流がまばたいて、その後に電圧がくるようなイメージを多くの生徒が持っているように感じる。

電池についても電子をぐるぐる回しているだけだが、電池が電気をつくっているようなイメージを持っている生徒も多い。本当はぐるぐる回しているだけで、電池は回転させる役割なのだが、そこで電気を作っているという誤概念がある。そういう関係性がなかなか理解できなかなと思う。

高校：

計算だけできるのではだめだ、という意見はその通りだが、どうやって教えたらよいのだろうか。

高校：

まず、計算できることは大切だ。最初に概念形成をさせようと頑張ると、解らなくなつて生徒はダウンする。まず計算できるようにして、それでその意味とはなんだろう、と逆に持つていった方が良いと思う。

高校：

(2013年日本物理教育学会の)仙台大会でも、多くの先生方が概念形成が大切だと発表していた。では、概念形成はどのようにしたらよいのか、概念は知識のようには教えることができない。高校では最初は計算で追うというやり方をしているが、それも一つのやり方だと考える。大学の教育学部でも乾電池と豆電球を用いた実践報告がされたが、それに対する否定的な意見も出されていた。私には意味ある実践だと感じられた。

### 6.3 短絡(ショート)を含む回路

高校：

次は短絡(ショート)について、高校でも基本的には教えないし、中学校でも扱っていないと思う。高校でも模試などで問われることはあるが、教科書では直接的に扱っていないと思う。中学生は短絡した回路を見たときにどのように考えるだろうか。回路を短絡することを用いた授業実践があれば教えていただきたい。

中学：

ショート回路を意図した実験はしていないが、生徒に回路をつくりさせて実験するときに、気が付かないうちにショート回路になっていることがある。スイッチを入れて

も豆電球が消えて、「不思議です、すごいです」という反応が出る。毎年どの学級でも出てきて、そこでショート回路の話をしている。電流は豆電球で仕事をするので楽な方(ショート)があればそちらへいくというイメージで説明している。このように回路図で出されると図の一番下の場合、並列部分は点くと答える生徒が多いかもしれない。

高校：

高校ではショートを教えているか、講習のレベルで授業では扱っていないと思うがどうか。

高校：

入試にそういう問題が出てくるので教えている。授業の流れの中で扱っている。コンデンサーと抵抗の回路でショートさせたりというのが出てくる。

中学：

ショートは中学校では難しいと思うので、あまりやらない。ただし、子供たちは「あれっ?」と思うから喜ぶと思う。でも授業では使わないと思う。

## 7. 等加速度直線運動の公式

高校：

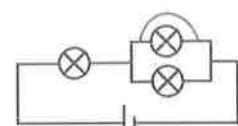
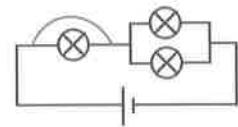
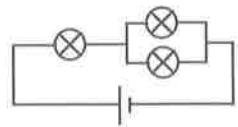
等加速度直線運動のところでは公式が出てくる。 $v-t$ グラフが直線になることから、時間と速度の関係式が出てくる。 $v = v_0 + at$

グラフの面積が移動距離ということから時間と変位の関係式が出てくる。 $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

その2つの式から $t$ を消去して、変位と速度の関係式が出てくる。 $v^2 - v_0^2 = 2ax$

この3つの公式を導出して、物理は自然現象を数学(式)で記述できる、未来が予測できるという説明を高校ではしている。教師の意図に反して、公式を暗記してそれを使うということに終始してしまい、回答パターンを覚えるという本来の目的と違う学習到達を目指す傾向の生徒も少なくない。勉強している生徒の中には、基本的な問題の場合は計算せずに結果だけ覚える者もいる。物理は苦手だが暗記が得意な生徒ほど覚えてしまう。

教師側の思いとしては運動のイメージを理解してほし



いのだが、式を覚えて数値を入れるだけの生徒には、難しい余計なことだけと受け止められる。教師と生徒のギャップがそこにある。暗記で乗り切る生徒をなくすアイディアがあれば、高校現場は是非教えてほしいと思っている。

中学：

中学校では初速度がある形はやらない。記録テープを使った斜面の運動の実験からグラフが出てくる。面積で移動距離を出すことはせず、足し算で出す形なので  $y=ax^2$  のグラフが出てくるところまでは学習している。実験した結果があり、記録テープがだんだん長くなっていくのは実感しているので、一定時間ごとに切った記録テープを1つずつ貼っていくと放物線の形ができる。そういうのをきちんと見せてイメージさせてやりたいと思っている。数学が得意で計算ができる生徒は計算の方が早いだろうが、計算についていけない生徒も半分以上いる。「はじき」を使った計算が得意ならばそれをやればよい。0.1で割る、つまり10倍するのは教師には普通のことだが、中学生には0.1で割ることは10倍するというイメージもなかつたりする。数に関する概念が未熟。しかし、1秒あたりというのは0.1秒の10個分だから10倍するという説明をすると意味は通じる。単純に計算でやろうとする生徒たちは必ず0.1でわるという縦計算（筆算）を書き始める。数学が弱い生徒ほど難しい計算をそのままやろうとする。数学ができる生徒は、小数点を削る、約分は頭の中でやる、25で割るのは4倍して100で割る、などができる。数学ができない生徒はどんどん計算を難しくしている。公式を覚えてあてはめることしかできない生徒はたくさんいるのではないか。イメージができていないために、公式にあてはめることしかできないのではないか。

授業で公式の導出方法を先ほど紹介されたが、その式変形が何を意味しているのか生徒にはわからない。いろんなところでイメージすることができないために公式使うしか方法がない。それをどうするかは難しいが、具体的にできるだけ目に見えるようにイメージできるようにしてやりたい。中学校でも難しいところ。

高校：

高校では公式を導出して授業をしている。これで概念をつけられるのかという問い合わせには、なかなか答えはない。

中学：

生徒は数や計算に慣れていない。評定が1, 2の生徒だと213を10で割りなさいというと筆算をはじめる。小数点を動かすのができない生徒はけっこういる。そもそも計算になった段階で、「もうダメだ」という生徒はい

る。公式にあてはめることに終始してはだめだが、そこまでもいかない生徒が中学校ではたくさんいるので、計算できなくても式が立てられればよいということもしていかないと、最初から敬遠して「この問題は無理、この単元は無理」という意欲を持てない生徒が出てしまう。まずは「式に当てはめられたらすごいよね」と言ってあげる。式の意味を伝えようとはするが、数を毛嫌いしている生徒を何とかしたいという姿勢で中学校では授業している。物理は単純な式で運動などを表せるのが魅力の一つだと思うので、それをどういうふうに子供たちに伝えればいいのか日々悩んでいる。本当にどうして良いのか自分も皆さんのご意見を聞きたい。

## 8. 物理基礎の現状と課題

高校：

「物理は難しいから1年生には無理だ」という心配の声がある中で、「そんなことはありません、頑張ります」ということで平成24年度から物理基礎が始まった。現在物理基礎を担当している教員からも「やはり1年生には難しい」、「全員には無理だ」とくじけそうな意見もちらほら出てきているのが北海道の現状。物理の教員が少ないので他科目（化学、生物、地学）の先生方に物理基礎をやってもらっている。物理（4単位）は内容が高度なので、物理基礎を易しくはできないという現状もある。特に大学進学者が多い高校ではその傾向が強い。高校で多くの生徒が物理基礎をやることになったことについて、中学校の立場から意見をお願いしたい。

中学：

物理はとても大事だと思う。苦手な生徒は多くいると思うが、物理の有用性は生活の中にいっぱいある。それを感じさせたいと思う。自分が物理を好きだったのは、考えることはおもしろい、計算や式を見てその後すっきりすると感じたから。考えた後の満足感を生徒にも伝えたい。概念を形成するときにいろいろな方法があるが、等加速度直線運動の3つの公式の導入のように、ステップを積み重ねていくのは難しいと感じる。概念形成にはいろいろあって、区分する、切ることで概念形成ができることもある。いくつかの概念を結合するボンドのような役割を教師が担えたらと思う。自分に概念づくりのお手伝いができるればと思っている。

中学：

物理は難しいと高校時代は本当に思った。何で引っかかったかというと計算だった。大学でも式変形で引っかかった。物理では数学を道具として使わなくてはならな

くなるのだが、道具として数学を使わなくてもよい物理基礎をやっていただくと、生徒たちは世界を広げていけると思う。中学の生徒は理科の時間に数学が入ってくると嫌がる傾向がある。掛け算割り算ができない、分数がわからない、という生徒もたくさんいる。それらをクリアして高校に送り出したいのだが、そこで躊躇している生徒はさらに数学がいやになり、理科の中で計算が入っている分野がいやになり、卒業している生徒がたくさんいる。中学の成績が5、4ばかりの生徒が入学する高校はよいだろうが、そうではない場合は数学の内容が入ってくると「えっ、また」という感じで気持ちが萎えてしまう。

力の単元では、てこや斜面を学習したところにピラミッドの石をどうやって積んだのかという話題を示したり、日常でてこが何に使われているのか（ドアのノブ、ドライバーの持ち手を太くするなど）身近な例を意識させたりする。分力の学習ではロープウェイのロープがなぜ弛んでいるのかといった話もする。物理がないと建物も立てられないし、安全に生活していくこともできないということに、できるだけつなげたいと思っている。そういうことをたくさん織り交せれば、「ああそうだつたのか、今日はおもしろかった」と生徒は感じるのではないか。計算ができなくても、そういう思いが1時間ごとの授業に生徒の中にあると「頑張って計算もやってみようかな」という思いになっていってくれるのではないか。

中学：

自分も物理が好きでやってきたつもりでいたが、高校生までは数式が解けるのが楽しい、すっきり答えが出てくるのが楽しかったので、本当の物理を楽しんでいなかったようと思う。大学に入ってからイメージを持って考えていくことが必要になってきて、そこから本当の意味で物理が楽しくなってきた。モデルで物理の現象を表すのは難しい。原子分子はモデルがあるが、エネルギーはモデルで表しにくい。力の矢印（ベクトル）もモデルではない。自分は数式から離れられないで、数式の意味をかみ砕いて教えていいともいいのかなと思う。冒頭で単位の話をしたが、面積の単位  $m^2$  も二乗の意味がわかつていない。縦と横の長さをかけているので  $m^2$  と説明すると、生徒も納得する。体積も同様で、単位や数式に意味があることがわかると食いついてくる。式で表せるところが魅力だと思っているので、なんとかそこを繋げていけたらと思っている。

高校時代の自分は数学で習っても意味がわかつておらず、微分積分も意味は分からず機械的に解いていた。それが大学の物理でどういう意味があるのかを知り、すご

いなと思った。そこに物理の魅力があるので、限られた時間の中で難しいのだが、式の意味を伝えていくことが概念形成につながるのではないかと考えている。中学校でも頑張っていきたいが、高校でもそういう風にしていていただくと生徒が伸びていくのかなと思う。

高校：

若いときに研究会で  $v-t$  グラフの教え方について発表したことがある。車のスピードメーターをビデオに15分くらい撮り、授業中に再生して  $v-t$  グラフを作らせた。生徒は速さを感覚的にはわかる。我々が体で感じるのは加速度だが、速い遅いはわかるので、速さをグラフに描いていくと、ここが加速しているというのがわかる。瞬間の速さというのが何となく感覚でわかり、升目を数えるとスピードメーターの下についている距離計の値と一致するという授業をやった。それを研究会で発表したところ、なぜ  $x-t$  グラフから始めるのかと実践に否定的な意見をいただいた。自分は生徒が速さの感覚はわかっているのでそこから始めないと主張したが、それは教え方が悪いと言われた。その先生は  $x-t$  グラフから始めて定時制の生徒にも理解させているという意見だった。

いろいろな考え方があると思うが、物理の得意な人が経てきた概念形成と、生徒がもっている感覚は違う。生徒がわからないと思っているのは、自分が理解してきたところとは確実に違うところで躊躇していると感じる。自分は中学校のとき記録テープを用いた実験が全然理解できなかつた。横軸が時間になっていたことがどうしても理解できなかつた。0.1秒ごとに記録されているので確かに時間なのだが、テープは長さなのにいつのまにか時間になっていることに引っかかつた。機械的には解けるのだがどうしても理解できず、自分で教えるときにストンと落ちたことを覚えている。生徒がどこで躊躇しているのか、中学校、高校それぞれの段階で躊躇するポイントがある、物理が得意な人にはそこがわからないと思う。

数式の話も、自分が若いとき勤務した地方の小規模校では定期試験では電卓を使用させて、公式は問題用紙に記載してあった。数学の入試点が10点くらいの生徒が多い中だったが、それなりに数式は使えるようになる。難解な計算はできないが、弦の共振で2倍振動、3倍振動は理解できるようになり、言葉では説明できるようになる。そうなると難しい計算はできなくても計算をやって式の意味は説明できるようになる。そういうステップを踏んでやり、最終的に高校ではこの宇宙が「数学と言葉（数式）」でできているということは教えた。そういうことにつなげていくにはどういう工夫が必要なのか考えていきたい。

# 中性子減速の物理

## (中性子-原子核衝突における運動量・エネルギー保存)

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆、佐々木 由樹

ウラン原子核分裂の連鎖反応に水は中性子減速材として欠かすことのできない役割を担っている。核分裂によって生じた高エネルギー中性子が水分子中の水素原子核と衝突を繰り返すことによってそのエネルギーを急速に減じ熱中性子となって核分裂連鎖が進む。中性子-陽子の衝突に運動量、エネルギー保存則を適用することで中性子減速という現象を理解することができる。

**キーワード** 热中性子、運動量保存則、エネルギー保存則

### 1. 热中性子による核分裂反応

原子力発電の元になるウランの核分裂反応の例は次のような核反応式で表わされる。



中性子  $n$  がウラン原子核  ${}^{235}\text{U}$  に衝突、吸収されることによって不安定になった  ${}^{236}\text{U}$  が分裂し原子核に蓄えられていた巨大なエネルギーの一部が解放される。この反応を引き起こす中性子は熱中性子と呼ばれる低速、低エネルギー（数十 meV =  $10^{-2}$  eV）の中性子である。核分裂で生ずる中性子は高速、高エネルギー（数 MeV =  $10^6$  eV）であるため次のウラン原子核の核分裂連鎖反応が進むためにはこの中性子の速度が十分に減速され熱中性子となる必要がある<sup>1)</sup>。軽水炉の場合、原子炉中の核燃料は中性子減速材としての水に囲まれ、核分裂で生じた中性子は水分子中の水素原子核と衝突を繰り返すことによってその速度、エネルギーが減ずる結果、核分裂連鎖反応が進むことになる。原子炉中の水は核分裂によって発生した熱を吸収・運搬する役割を担うと同時に核分裂反応を継続するための中性子減速材としての役割を担っている。

中性子と水素原子核=陽子の衝突は力学の問題でよく使われる運動量、エネルギー保存則の恰好な例題である。衝突前後の運動量、エネルギーの和が一定であるとの条件で衝突後の粒子の速度を求めるという無味乾燥な例題を核反応に必要な中性子減速の問題として考えればこの問題は興味深い具体性を帯びる。こうしたことを意識し原子核に衝突する中性子を思い浮かべながら、中性子の衝突前後の速度変化が相手の原子核の質量によって異なる様子や陽子と衝突した後の中性子の振る舞いを明らかにする<sup>2)</sup>。

### 2. 二粒子弹性衝突（一次元）

まずは一次元（x 軸上）の二粒子弹性衝突問題を運動量保存則、エネルギー保存則を使って解く。静止してい

る粒子 2（質量  $M$ ）に粒子 1（質量  $m$ ）が速度  $v_0$  で衝突するとして粒子 1 の衝突後の速度  $v$  を求める。

静止している粒子 2 の衝突後の速度を  $V$  とすると運動量保存則、エネルギー保存則より次式が成立する。

$$mv_0 = mv + MV \quad (1)$$

$$mv_0^2/2 = mv^2/2 + MV^2/2 \quad (2)$$

式(1)から  $V=(m/M)(v_0-v)$  を式(2)に代入し二次方程式を解いて衝突後の粒子 1 の速度  $v$  を求める。方程式の解は  $v=v_0(m\pm M)/(m+M)$  であるが  $v=v_0$  は衝突を起こさない場合（粒子の y 座標が異なっているなど）で、衝突が起こつたときの衝突前後の速度比  $v/v_0$  は二粒子の質量比  $r=M/m$  の関数として次のようになる。（図 1）

$$v/v_0 = (1-r)/(1+r) \quad (3)$$

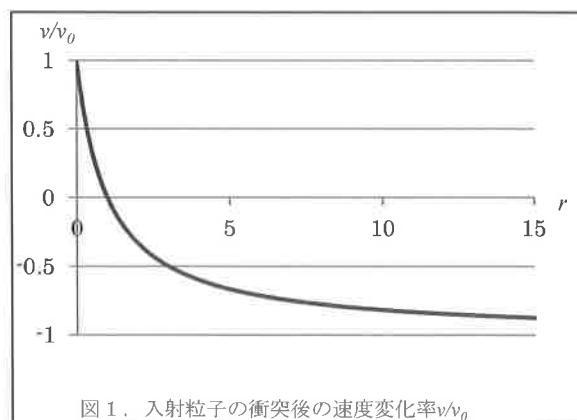


図 1. 入射粒子の衝突後の速度変化率  $v/v_0$

$r=1$  で  $v=0$  となっていることから二粒子の質量が等しい場合、入射粒子 1 は衝突によってエネルギーを完全に失

って静止し、粒子2がこのエネルギーを得て動き出す。中性子は軽い原子核に衝突するとその速度、エネルギーを減じ、特に陽子に衝突するときにその効果が大きいことが予想できる。中性子が水分子中の酸素原子核と衝突する場合 ( $r=16$ ) 、衝突前後の中性子の速度比は  $v/v_0 = -15/17 = -0.88\cdots$  、減速率 10%程度で中性子は跳ね返されることになる。

プルトニウムを燃料とする原子炉（高速増殖炉）では事情が異なっている。プルトニウム核分裂反応は高速中性子によって生ずるため、連鎖反応が進むためには核分裂で生じた高速、高エネルギー中性子の速度、エネルギーが保たれる必要がある。このために熱媒体として水の代わりにノトリウムが用いられる。ノトリウム原子核の質量数から  $r=23$  とすると  $v/v_0 = -0.916\cdots$  となって中性子一ノトリウム原子核の衝突においては、衝突後跳ね返される中性子の速さがほぼ維持され、これによって核分裂連鎖反応が進むことになる。

### 3. 二粒子弾性衝突（二次元）

実際の二粒子の衝突は二次元平面で考察すればよい。粒子1の入射・散乱運動をxy平面にとればこの粒子の運動量のz成分はゼロ、静止していた粒子2の散乱運動は運動量保存則からこの平面内にある。

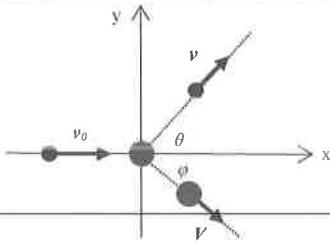


図2. 二粒子の衝突・散乱

図2に示すように静止している粒子2を座標原点に、粒子1 ( $v_0$ ) の入射方向をx軸、衝突後の粒子1 ( $v$ ) の散乱方向をx軸から角度  $\theta$ 、粒子2 ( $V$ ) の散乱方向を  $\varphi$  とすると各粒子の衝突前後の速度は

$$\text{粒子1 (質量 } m \text{)} : (v_0, 0) \rightarrow (v \cos \theta, v \sin \theta) \quad (4)$$

$$\text{粒子2 (質量 } M \text{)} : (0, 0) \rightarrow (V \cos \varphi, V \sin \varphi) \quad (5)$$

運動量保存則、エネルギー保存則は次のようになる。

運動量保存則：

$$x \text{ 方向 } mv_0 = mv \cos \theta + MV \cos \varphi \quad (4)$$

$$y \text{ 方向 } 0 = mv \sin \theta + MV \sin \varphi \quad (5)$$

エネルギー保存則：

$$mv_0^2/2 = mv^2/2 + MV^2/2 \quad (6)$$

粒子1の速度変化を求めるため  $MV$  を消去する。式(4),(5)より  $(MV)^2 = m^2(v_0 - v \cos \theta)^2 + (mv \sin \theta)^2$  を式(6)に代入すると衝突後の粒子1の速度  $v$  が得られる。入射粒子が中性子であるとして  $r \geq 1$  の場合、解は次のようになる。

$$v = v_0 \{ \cos \theta + (r^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} \} / (1+r) \quad (7)$$

$r=M/m=1, 2, 6$  の場合の解 ( $\theta \leq \pi$ ) を図3に示した。  $r$  の値が大きくなると解は散乱角  $\theta$  によらず  $v=v_0$  に近づく。衝突相手の質量が大きくなるにしたがって散乱後の入射粒子の速さは維持される傾向になる。

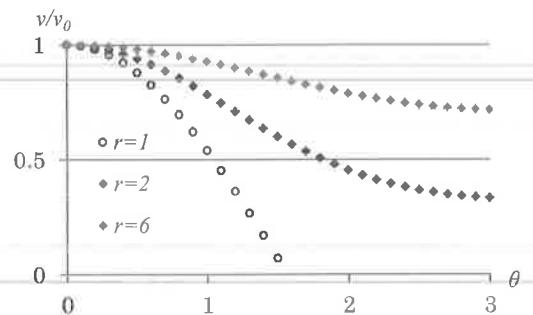


図3. 入射粒子の散乱角  $\theta$  と速度変化率  $v/v_0$

$r=1$  すなわち衝突する二粒子の質量が等しいときの入射粒子の衝突後の速度  $v=v_0 \cos \theta$  について考察する。散乱角  $\theta$  による粒子1の衝突後の速度ベクトル ( $v/v_0$ ) は図4のようになり、速さは前方散乱 ( $\theta=0$ ) では保たれ、直角方向 ( $\theta \sim \pi/2$ ) では大きく減ずる。保存則にこの解を代入すると衝突後の散乱角  $\theta, \varphi$ 、粒子2の速度  $V$  について  $V=\pm v_0 \sin \theta$ 、 $\cos \theta = \pm \sin \varphi$  などから  $\theta = \varphi \pm \pi/2$ 、すなわち衝突後の二粒子の速度（散乱方向）は直交する。保存する運動量ベクトルを描くことによって入射粒子の散乱方向が前方 ( $\theta \leq \pi/2$ ) に限られることが分かる。

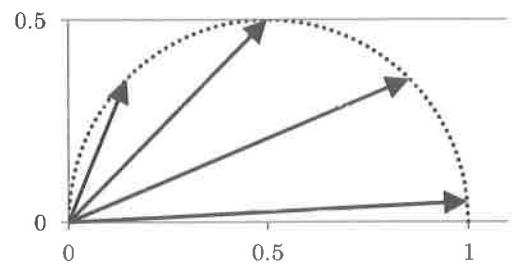


図4. 入射粒子の散乱速度ベクトル  $v/v_0$

この結果を中性子-陽子（水素原子核）衝突に適用し、中性子の衝突後のエネルギー（運動エネルギー）がどの程度減ずるかを考えよう。衝突後様々な方向  $\theta$  に散乱される中性子の速度の二乗平均値  $\langle v^2 \rangle$  が次のように求められることから中性子の平均運動エネルギー  $\langle mv^2/2 \rangle$  は衝突によって半減することができる。

$$\langle v^2 \rangle = \int_0^{\pi/2} v_0^2 \cos^2 \theta d\theta / \int_0^{\pi/2} d\theta = v_0^2 / 2 \quad (8)$$

ちなみに、衝突後の中性子の速度の大きさの平均値を求めてみると次のようになり二乗の平均値は平均値の二乗と異なるので注意しよう。

$$\begin{aligned} \langle v \rangle &= \int_0^{\pi/2} v_0 \cos \theta d\theta / \int_0^{\pi/2} d\theta = 2v_0 / \pi \\ \langle v^2 \rangle > \langle v \rangle^2 &\cong 0.4v_0^2 \end{aligned} \quad (9)$$

このようにして、核分裂によって放出された高エネルギー中性子は水分子中の水素原子核（陽子）と衝突することによってエネルギーが半減し、これが繰り返されることによって急速にエネルギーを失い熱中性子に至る。水が中性子減速材として用いられている理由である。

#### 4. オクロ天然原子炉

軽水炉原子力発電では核燃料を囲む水は核分裂反応を継続するための減速材の役割と分裂反応によって生ずる熱を運搬する役割を担っている。福島の事故では水の供給が止まることによって核燃料から発生する崩壊熱の行き場が失われ核燃料の溶融が生じたが、これを冷却しようとする水の注入は核分裂連鎖反応を引き起こす中性子減速材を供給していることにも注意する必要がある。停止した核分裂反応の再開（再臨界）である。

「福島第一原子力発電所事故：再臨界の可能性は？－オクロ天然原子炉の教訓」<sup>3)</sup>は、溶け落ちた核燃料が再び核分裂の連鎖を引き起こす可能性を指摘している。核分裂反応を起こす  $^{235}\text{U}$  の地球上での存在割合は現在は 0.07% であるが、歴史をさかのぼれば約 20 億年前、 $^{235}\text{U}$  の存在比 (3.7%) は現在使われている核燃料の  $^{235}\text{U}$  存在比とほぼ同じであった。この頃にオクロ・ウラン鉱床で多量の水の存在の下、天然原子炉が存在したと考えられている。水と適当な濃度の  $^{235}\text{U}$  が一定量あれば、核分裂反応の連鎖が起りうることを示しており、溶解した核燃料を水によって冷却し続けることの危険性が問われている。20 億年前の  $^{235}\text{U}$  の存在比を求ることは半減期の計算の良い例題でもあるので天然原子炉の話題と合わせて核物理の題材とすることができます。

#### 5. おわりに

引用文献 1)は東海村 JOC 臨界事故（1999 年）を題材として水を減速材とする核分裂反応の連鎖成立条件を解説している。中性子-ウラン原子核の衝突断面積、核分裂によって放出される中性子のエネルギー、中性子-陽子の衝突断面積などのデータから、高速中性子が熱中性子に至るまでの中性子-陽子の衝突回数、平均自由行路、核分裂連鎖反応に必要な水の容量が求められている。中性子-陽子衝突について「質量が等しい粒子が弾性衝突すると平均的に見ればエネルギーが等分される。」として文献 4)が引用されているのだがこの文献中に該当する記載が見当たらない。運動量、エネルギー保存則に基づく自明な事柄とも思われたがこのような内容を明示したテキスト、参考書が見当たらなかったためここにまとめた次第である。

物理教育において悩ましいことは基礎的な物理で示される事柄がとかく現実離れしていることである。力学でいえば「力が働かなければ質量を持った物体はその運動を継続する」、「落下する物体の運動はその質量によらない」、「力学的エネルギー保存則」などなど。これらは「真空中」、「質点」など仮想的な設定のもとでの物理現象であるため違和感を持たれることになる。摩擦や空気抵抗、物体の形状など複雑な要素を取り除いて現象の背後にある本質を示しているのだと言ってみてもなじみのない設定や身の回りの体験とかけ離れた結論は受け入れられがたい面がある。「運動量保存」も同様で、ここで考察した二粒子衝突の特徴をレール上の金属球の衝突実験で再現するのも容易なことではない<sup>2)</sup>。金属球の回転、衝突における非弾性が運動に大きく影響する。こうした点で、運動量、エネルギー保存を使って解く中性子減速問題は基礎物理の格好の題材である。物理、力学の法則が現実の現象の考察に有効であることを示す例としてこの題材が活用されることを期待する。

#### 引用文献

- 1) 江沢洋、東京物理サークル：『増補版物理なぜなぜ事典 2』、日本評論社、2011
- 2) 佐々木由樹：北海道教育大学札幌校 2013 年度卒業研究
- 3) 羽場麻希子、小嶋穂：科学 Vol. 82, No. 12, 2012
- 4) 江沢洋、中村孔一、山本義隆：『演習詳解力学第 2 版』、日本評論社、2011

# 水素吸蔵合金のヒートポンプ効果に関する基礎実験

エコエネ工房 石毛 隆 北海道教育大学札幌校 本間 翔太、山崎 瞼

先に行われた2012年度の実験において、1種類の水素吸蔵合金による化学的な熱の吸收・放出による温度-圧力の変化を測定した。続いて本実験においては、2種類の水素吸蔵合金を組み合わせ2つの熱源の温度差のみを利用したヒートポンプ効果の測定を行った。このような水素吸蔵合金を利用したヒートポンプは、温度差エネルギーを利用した省エネ冷暖房機や温度の低い温泉水の加熱等に実用化される可能性がある。

**キーワード** 水素吸蔵合金、ヒートポンプ、温度差エネルギー、省エネ

## 1. はじめに

水素吸蔵合金は金属水素化物(Metal Hydrides)とよばれる物質で、一般的にMH<sub>x</sub>と記される。MHに水素を吸蔵する時には、冷やしたり圧力を加えることで金属原子のすきまに水素原子が入り込む。また水素を放出する時には、暖めたり圧力を減らすことで金属原子のすきまから水素が出てくる。こういった物理的な変化(熱、圧力)で水素が出入りする一方、金属内部では安定的な場所に落ち着くことになるため、金属原子と水素の化学的結合が強すぎると水素が出られなくなる。そのため種々の混ぜ物を金属原子に加えることで程よい安定性を実現し、任意の温度-圧力特性を持つ多種多様なMHが市販されている。

先に行われた実験<sup>1)</sup>においては、MnNiMnCoAl合金というMHの温度-圧力変化の測定を行い、最後にMHのヒートポンプ効果の簡単な確認を行った。上記の合金名でMnNiと表示されているものは、ミッシュメタルニッケルと呼ばれるものでニッケルの精製純度が低いことを表しており、コスト的なメリットのために水素吸蔵合金用材料として広く一般的に使用されているものである。

またヒートポンプ効果の確認作業は以下の様に行われた。

1. 水素溜めボンベのバルブを閉めMHを60°Cに暖める
2. MHの容器内部に高圧水素ガスを放出させる
3. バルブを開け高圧水素ガスをタンクに貯める
4. バルブを閉めMHを20°Cに冷やす
5. バルブを開け高圧水素ガスをMHに吸蔵させる
6. 吸蔵によりMHの温度が上昇し33°Cまで暖まる

この現象は、MHに水素ガスが吸蔵される時に熱が発生するという一般的な現象であり、高温側60°C、低温側20°Cという熱源の温度を考慮すると、MHの温度33°Cは厳密な意味でヒートポンプ効果とは呼べないものであつ

た。図1に示した様に低温側20°Cから熱を汲み上げ高温側の60°Cを超える温度を生み出すものが本来のヒートポンプの定義であるからである。しかしながらこういった水素ガス吸蔵時に温度が上昇し、水素ガス放出時に温度が低下するというMHの熱特性を利用してヒートポンプのサイクルを形成することから、先の実験ではヒートポンプ効果の確認といった名称で呼ぶことにした。

そのため本実験は、熱特性の異なる2種類のMHを組み合わせ、2つの熱源の温度差より大きな温度差を生み出す本来のヒートポンプ効果の測定を目的として行われた。

本実験においても水素ガスとMHを封入した密閉構造の「MHヒートポンプキット」の製作を(有)ユニヴ・テック(旧社名、現在は応用流体技研)に依頼し、安全性を確認した上でMHヒートポンプ効果の測定を行った。

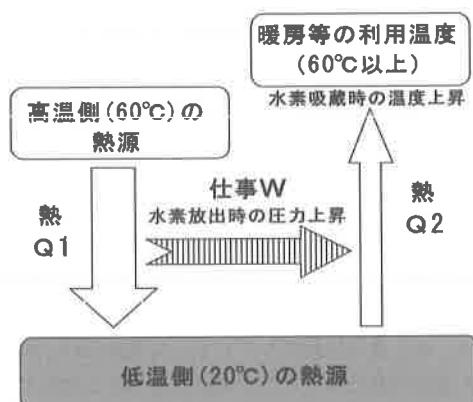


図1 ヒートポンプ(温熱利用)の定義

## 2. 実験装置の概要

図2に「MHヒートポンプキット」の構成概念図を記す。2種類のMHはそれぞれA容器とB容器に封入され、4つのバルブ（A1, A2, B1, B2）と3個の3方向継手、2つの圧力計（A, B）を取り付けた配管で連結されている。図中の閉栓は、装置製作時の真空排気と水素ガス封入のために設けられたもので、装置を密閉状態で保つため、通常の実験においては閉じられたままである。実験中は4つのバルブを全て開状態とし、必要に応じて1つのバルブ（本実験ではA2）のみ開閉作業を行って水素ガスを移動させる。また実験後は安全のため、全体の温度が室温近くにもどった後、基本的に全て閉状態として保管される。

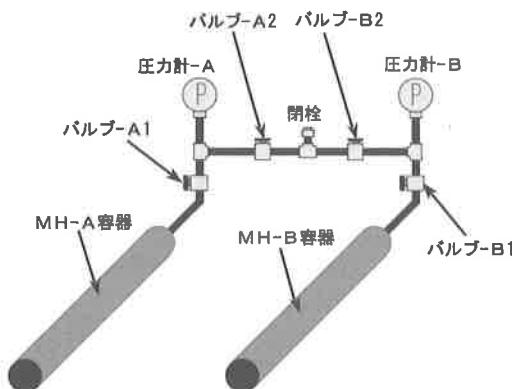


図2 「MHヒートポンプキット」構成概念図

次に装置の主な仕様を表1に記す。MH-A側にはMnNiMnCoAl合金が、MH-B側にはMnNiMnCo系合金が、それぞれ30.0 gずつ封入されている。これら封入された合金の種類以外の全ての仕様は、MH-A側もMH-B側も全く同一である。

表1 「MHヒートポンプキット」仕様

	MH-A	MH-B
水素吸蔵合金	種類 MnNiMnCoAl合金	MnNiMnCo系合金
合金容器	射入質量 30.0 g	30.0 g
	内部断面積 90.0 mm <sup>2</sup>	90.0 mm <sup>2</sup>
	内部長さ 160 mm	160 mm
	内部容積 14.4 cm <sup>3</sup>	14.4 cm <sup>3</sup>
圧力計	容器重量 (鋼換算)	57.6 g
	最高計測圧力 (ゲージ圧)	26 kg/cm <sup>2</sup>
	最高計測圧力 (絶対圧)	26 atm
配管部	内部断面積 14.0 mm <sup>2</sup>	
	全長 939 mm	
	内部容積 14.0 cm <sup>3</sup>	

MH-A側のMnNiMnCoAl合金は一般的に同一温度においてMH-B側のMnNiMnCo系合金より圧力が低い特性を有する。そのため同一温度の2つの合金容器を配管で連結すると水素ガスの移動が起こり、MH-A側では圧力上昇に伴う水素吸蔵が行われ温度が上昇する。一方、MH-B側では圧力減少に伴う水素放出が行われ温度が低下する。よって本実験においてMH-A側は加熱を目的とする実験用装置、MH-B側は冷却を目的とする実験用装置として扱うこととする。

詳細については、次の章においてMH-A合金とMH-B合金の温度-圧力変化のグラフ（図4参照）を基に説明を行う。

続けて装置全体の外観の写真を図3に示す。「MHヒートポンプキット」の下部に見える孔空き板は、厨房用のキャスター付きシンク（流し台）を再利用した架台の一部で、実験に使用した温水や冷水等の排水を孔空き板の下の容器に一時的に貯めておく機能がある。



図3 装置全体の外観

A容器（左奥）とB容器（右前）それぞれの容器表面下部には、シース付きK型熱電対温度計がアルミテープでしっかりと固定されており、さらにそれらの外側には簡易的な断熱のための魔法瓶（市販品）がかぶせられている。

MHを一定温度にするためには、設定温度（0°C～80°C）の冷水や温水を断熱容器用の魔法瓶の中に連続的に注入し、温度が安定するまで10分程待つ。また、MHの温度変化を測定する際には魔法瓶内を排水し、空気雰囲気の断熱に近い状態でMH容器の表面温度を計測する。

### 3. 実験結果

#### 3. 1 温度-圧力変化の測定

図4に温度-圧力変化の測定データを示す。「ヒートポンプキット」のバルブA2を開じた状態で、MH-A合金とMH-B合金それぞれの一定温度における圧力測定が行われた。MHの温度と圧力の関係は、水素圧をP(絶対圧: atm)、温度T(絶対温度: K)とすると、

$(\ln P) \propto (1/T)$  の関係<sup>2)</sup>があることから、X軸に  $1000/T$  をY軸に  $\ln P$ (Pの自然対数)を取りグラフを作成した。

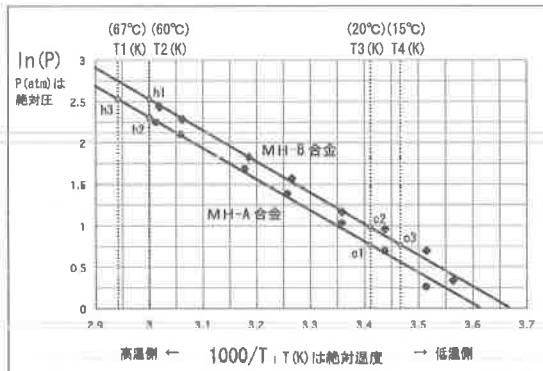


図4 MH-A合金とMH-B合金の温度-圧力変化

グラフ下方のMH-A合金と上方のMH-B合金を比較すると、同一温度においてMH-B合金の方が圧力が低いことが判る。

$T_2(K)=333(K)$  (60°C)においてMH-B合金のポイント  $h_1$  では圧力が 12.8atm、MH-A合金のポイント  $h_2$  では圧力が 10.0atm であることから、「ヒートポンプキット」のバルブA2を開けると圧力差で水素ガスはB容器からA容器に移動する。この時MH-A側を排水し空気雰囲気の断熱に近い状態で温度測定を行うと、MH-A合金側の水素吸蔵により温度は上昇し、 $h_2$  のポイントは徐々に  $h_3$  に向かって移動する。この時、高温側の熱源温度  $T_1(K)$  (60°C)を超えるヒートポンプ効果の加熱温度  $T_4(K)$  が観測され、圧力損失と熱損失がゼロならば最高温度として 67°C (温度差+7°C) が予想される。

同様に温度の低い  $T_3(K)=293(K)$  (20°C)においてMH-B合金のポイント  $c_2$  では圧力が 2.6atm、MH-A合金のポイント  $c_1$  では圧力が 2.1atm であることから、「ヒートポンプキット」のバルブA2を開けると水素ガスはB容器からA容器に移動する。この時MH-B側を排水し空気雰囲気の断熱に近い状態で温度測定を行うと、MH-B合金側の水素放出により温度は低下し、 $c_2$  のポイントは徐々に  $c_3$  に向かって移動する。この時、低温側

の熱源温度 (20°C) より低いヒートポンプ効果の冷却温度  $T_4(K)$  が観測され、圧力損失と熱損失がゼロならば最低温度として 15°C (温度差-5°C) が予想される。

#### 3. 2 ヒートポンプ効果(加熱)の測定

実験の手順は以下の通りである。

- ① バルブA2閉 A容器を330K (57°C)に暖める
  - ② バルブA2閉 B容器を291K (18°C)に冷やす
  - ③ バルブA2開 A容器からB容器に水素ガスを移動
  - ④ バルブA2閉 B容器を330K (57°C)に暖める
  - ⑤ バルブA2閉 MH-A側を排水し断熱状態にする
  - ⑥ バルブA2開 A容器からB容器に水素ガスが移動
- ⑥の状態から20秒おきに両方の容器の温度を測定し、温度変化のグラフを作成したものが図5である。

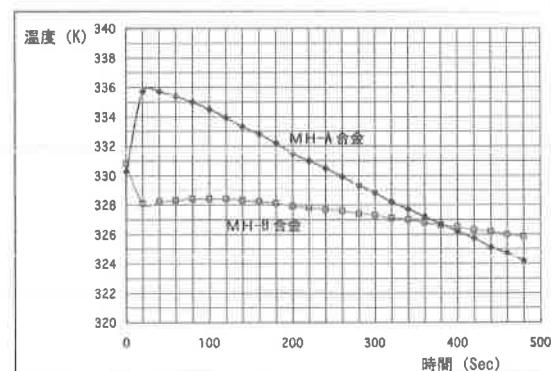


図5 ヒートポンプ効果(加熱)によるMHの温度変化

MH-A合金において測定開始20秒後と40秒後に最高温度 336K (62.5°C)、温度差で +5.5°C の温度上昇が記録されている。先の予想温度差 +7°C に比べやや小さな温度差であるが、圧力や熱的損失等を考慮すると妥当な温度上昇と思われる。その後の温度変化は断熱容器等の熱損失によるもので室温 291K (18°C) の空気雰囲気への放熱が主たるものである。またMH-B合金は断熱容器に温水を貯めた状態のままで水素の放出を行うことから、最初に温度差 -3°C の温度低下後は温水の熱容量の影響でゆるやかな温度変化を示している。

#### 3. 3 ヒートポンプ効果(冷却)の測定

実験の手順は以下の通りである。

- ① バルブA2閉 B容器を291K (17.5°C)に冷やす
- ② バルブA2閉 A容器を330K (57°C)に暖める
- ③ バルブA2開 A容器からB容器に水素ガスを移動
- ④ バルブA2閉 A容器を291K (17.5°C)に冷やす

- ⑤ バルブ A2 閉 MH-B 側を排水し断熱状態にする  
 ⑥ バルブ A2 開 B 容器から A 容器に水素ガスが移動  
 ⑥の状態から 20 秒おきに両方の容器の温度を測定し、温度変化のグラフを作成したものが図 6 である。

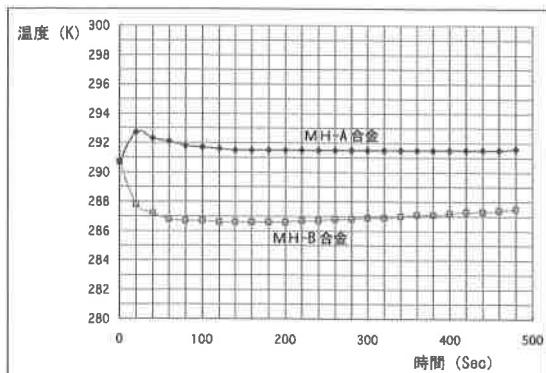


図 6 ヒートポンプ効果（冷却）による MH の温度変化

MH-B 合金において測定開始 120 秒後から 200 秒後にかけて最低温度 287K (13.4°C) 、温度差で -4.1°C の温度低下が記録されている。先の予想温度差 -5°C に比べやや小さな温度差であるが、圧力や熱的損失等を考慮すると妥当な温度低下と思われる。その後の温度変化は断熱容器等の熱損失によるもので室温 292K (19°C) の空気雰囲気からの熱侵入が主たるものである。また MH-A 合金は断熱容器に冷水を貯めた状態のままで水素の吸収を行うことから、最初に温度差で +2°C の温度上昇後は冷水の熱容量の影響でゆるやかな温度変化を示している。図 5 に比べ図 6 の方が室温に近いため熱損失の影響が小さくなっていることが判る。

またヒートポンプのサイクルとしては、加熱・冷却ともに上記の⑥から①にもどって繰り返すことで同様の効果が得られることを確認している。

#### 4. おわりに

熱力学を学ぶとエネルギーに「質」があることを教えられる。環境温度に近い温度は「低質」の熱エネルギーで、環境温度から離れた温度は「高質」の熱エネルギーということである。確かに「高質」の熱エネルギーで火力発電は成り立ち、「低質」の熱エネルギーを温排水として捨てている。「低質」の熱エネルギーは経済的に利用することが困難なため、役に立たない無駄なエネルギーとして長く放置されてきた。一方で環境技術の観点からみると「低質」の熱エネルギーは、無料で大量に捨てられている再生可能なエネルギーなのである。

今回の実験では熱源温度として 57°C の温水（温泉やソーラーシステム等）と 18°C の冷水（地下水、空気等）を想定して、僅かな温度差ではあるが熱源温度より高温や低温を生ずることが出来た。基礎実験のためパワーが極めて小さい装置ではあるが、この MH ヒートポンプ技術の優れた点は、「低質」の熱エネルギーだけを利用して少しだけ「高質」の熱エネルギーに変換することにある。

例えば 35°C 程度の温度の低い温泉水と 15°C 程度の河川水の温度差エネルギーで MH ヒートポンプを作動させ、加熱により 35°C 程度のぬるま湯を 45°C の温泉水として利用できるようになれば、従来の重油もしくは電気式ヒートポンプで加熱する方式に比べ、低ランニングコストで本当に環境に優しい、全く新しい温泉システムが可能となる。

また夏期には外気温が高ければ高いほど冷房効果が強まり、冬期には外気温が低ければ低いほど暖房効果が強まる、夢のような冷暖房用 MH ヒートポンプの可能性も夢ではない。

#### 5. 謝辞

装置の設計製作に多大なご協力を頂いた N P O 法人環境・エネルギー技術開発協会の吉田晋に感謝致します。

#### 引用文献

- 1) 石毛隆、大川有沙実、金吉征弥、佐々木由樹：水素吸蔵合金の熱特性に関する基礎実験、物理教育研究（日本物理教育学会北海道支部会報），Vol.41, pp.50～51, 2013.11
- 2) 小野修一郎、大角泰章：金属水素化物エネルギー変換機能とその応用、セラミックス、Vol.14, No.4 , pp.340～341, 1979

# 垂直抗力・摩擦力・ころがり抵抗をどう教えるべきか

北海道長沼高等学校 石川 昌司

最近、垂直抗力、摩擦力、ころがり抵抗等の基本的な物理概念についての議論がいろいろな機会を通して行われている。それらの状況を簡単に整理し、どのような指導が高校生にとってストンと納得できるのか、筆者なりの考えを述べる。

**キーワード** 垂直抗力 摩擦力 ころがり抵抗

## 1. はじめに

2013年下半期から2014年上半年にかけて、垂直抗力や摩擦力、ころがり抵抗等について、色々な機会を通じて興味深い議論があった。筆者自身にとっても、自分の理解を改めて考え直す貴重なきっかけとなった。提起された問題を整理し、また、それらに対する筆者の考え方を参考までに述べることで、北海道の理科教育の推進に少しでも役立ててもらいたいというのが本稿の目的である。

## 2. 抗力か、または垂直抗力と摩擦力か

垂直抗力を Wikipedia で調べると、「垂直抗力（すいちょくこうりょく、英語: normal force[1], normal reaction[1]）とは、物体が接触している他の物体や地面等の固体の面を押しているとき、その力の面に垂直な成分に対し、作用・反作用の法則により、同じ大きさで反対向きの、固体の面が物体を押し返す力。<中略>物体が面を斜めに押しているときに、その力の面に平行な成分に対し、物体が固体の面から受ける反対方向の力を摩擦力という。」となっている。（2014年8月現在）

垂直抗力は、他の物体を接触により押すときの反作用だから、作用点はもちろん他の物体との接点になる。物体が面を真っすぐ押せば、面は物体を真っすぐ押し返す。（図1）

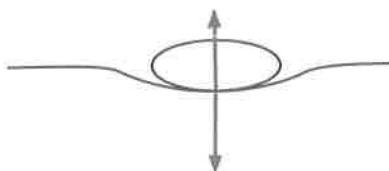


図1

では、物体が面を斜めに押したときの作用と反作用はどうなるだろうか。仮に、面が十分柔らかい材質できていると仮定すると、力の図は次のようになるだろう。（図2）



図2

それでは、変形が見ただけではわからない程度に固い面を斜めに押す場合に、面が押し返して来る力はどうなるか。そもそも摩擦がない滑らかな平面の場合は斜めに押すことができないので、斜めに押せるということはその平面にはすでに摩擦があることになる。すると、高校物理ではきわめてありふれた問題になる。答は垂直抗力と摩擦力の2力となる。

しかし、ここでよく考えてみよう。面を斜めに押す力を作用とするなら、面が押し返す力は反作用である。ならば、反作用は作用と同一直線上の斜めにはたらいていると考えるべきではないだろうか。そもそも、接触した2物体の表面の、原子・分子レベルの相互作用は、接触している“平面”——ミクロな立場での表面は常に凸凹であろう。平面とは、人間的スケールに置き換えて平均した概念と解釈できる。——に対して必ずしも垂直である必要はない。別の言い方をすると、どんなに固い面であろうと、接点を拡大して見たときに、本質的には図2と同じと考えができるのではないか。

そこで改めて次のような図を提案する。（図3）

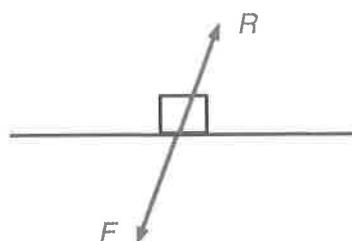


図3

$F$ は、なんらかの方法で物体が面を押す力であり、 $R$ はその反作用である。 $R$ は、通常、抗力と呼ばれる。抗力とは、

先の Wikipedia の表現を借りるなら、「物体が面を押しているとき、作用反作用の法則により、同じ大きさで反対向きの、固体の面が物体を押し返す力」(←垂直抗力の場合にあつた“垂直な成分に対し”の部分がない)となる。

筆者が本稿で提案したいのは、高校では、現在の主流である最初から垂直抗力と摩擦力を別々に書く方法ではなく、面倒でも 2 段階に分けて、はじめは抗力だけを書き、その次に垂直抗力と摩擦力を分解するという指導である。

例えば、斜面にのっている物体にはたらく力を考えるとときは、次のようになる。

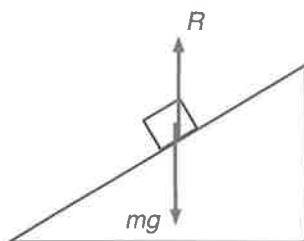


図 4

抗力  $R$  は条件や状況によって様々である。

物体が静止または等速直線運動している場合の  $R$  は、大きさが  $mg$  に等しく向きは鉛直上向き、作用線は重力の作用線に重なる。(図 4)

物体が加速度運動する場合の  $R$  は、 $mg$  との合力が斜面と平行になるような大きさと向きをもち、その作用線は重力の作用線と重ならない。がしかし、重心は通る。なぜなら、物体が回転しないためには、重心の周りの力のモーメントの和がゼロになる必要があるからである。抗力の作用点は、この性質から逆に求めることができる。(図 5)

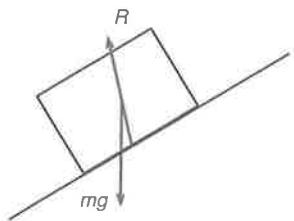


図 5

余談であるが、生徒がノートやテストの答案に書く力の図で、垂直抗力と摩擦力が、別の点を作用点として書かれているものが時々あり、以前から気になっていた。これらの生徒は、垂直抗力と摩擦力は、それぞれ別の原因で生じる力と考えているのかも知れない。はじめは抗力だけを書くように指

導することで、このような誤解を減らさせることを期待したい。

力の作用点については、高校物理では、これまであまり重視されてこなかった気がする。しかし、力が“どこから”はたらくのかは、力が“何から” “何に” “どのように”はたらくかに負けず劣らず、正しい力の概念を形成する上で相当重要であるように筆者は思う。垂直抗力と摩擦力の作用点が離れているような図は、定評のある書籍ではさすがに見たことはないが、例えば、垂直抗力、摩擦力、重力がすべて同じ作用点から出発している図——その方がベクトルを合成するときに便利だからという理由からだろうが——は見たことがある<sup>1)</sup>。このような図は教育的ではないので、高校の指導では絶対に書いてほしくないと思う。

最後に、これとよく似た話を紹介してこの節を終わろうと思う。滑らかな斜面上の物体の運動の指導の際、加速度は、垂直抗力と重力の合力により生じると説明すべきところを、重力の斜面下向きの分力により生じると説明を時折見かけるが、このような指導は不適切だからやめるべきである、との主張がある。厳格過ぎると思われる向きもあるかも知れないが、ニュートンの第 2 法則の本来的な意味を考えると、十分肯ける主張である。物理教師は、斜面上の物体の問題を見ると、条件反射的に、重力を斜面の平行方向と垂直方向に分解するが、度が過ぎて、最初から重力を斜面の平行と垂直の 2 方向に分けた図を書いてしまうと、このような罠に陥りやすくなる。注意が必要である。

### 3. 動く斜面上で垂直抗力がなす仕事

2013 年の長谷川・勝田共著論文「2 つの物体の力学的エネルギー保存について」<sup>2)</sup> は、非常に興味深い論文であった。

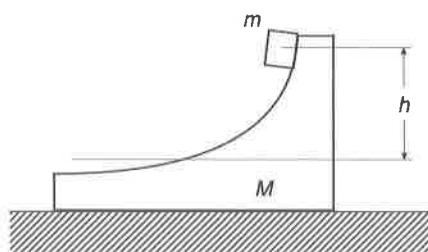


図 6

図 6 のように、水平方向に自由に動くことのできる台車の斜面上で小物体を滑らせるとき、台車と物体がどのような運動をするかを考える。ただし摩擦はどこにもないものとする。普通、この手の問題は、力学的エネルギー保存則と水平方向の運動量保存則の 2 法則を組み合わせて解く。しかし、長谷川・勝田は、そのうちの力学的エネルギー保存については、

自明とは言えないのではないかという問題意識から出発する。

小物体は台車の斜面上を滑って運動しているが、台車そのものが水平方向に運動しているので、床に静止した観測者から見て、小物体の運動の向きは台車の斜面の向きに一致しない。したがって、小物体に斜面からはたらく垂直抗力  $N_1$  がなす仕事はゼロにはならない。また、台車の斜面に小物体からはたらいている垂直抗力  $N_2$  がなす仕事も明らかにゼロではない。したがって、系の力学的エネルギーの和が保存されるためには——どこからも熱が発生しないので“多分”成り立っていると思われるが——  $N_1$  がなす仕事  $W_1$  と、 $N_2$  がなす仕事  $W_2$  の間に、 $W_1 + W_2 = 0$  の関係が成り立つ必要がある。長谷川・勝田は、先の論文中でこの予想が無事成り立つことを、かなり複雑な数学的手続きを経て証明している。その概略は次のとおりである。

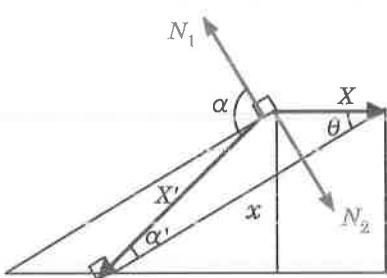


図 6

$$W_2 = (N_2 \sin \theta) X$$

余弦定理により

$$\cos \theta = (X^2 + x^2 - X'^2) / (2Xx)$$

したがって

$$W_2 = N_2 X [1 - \{(X^2 + x^2 - X'^2) / (2Xx)\}^2]^{1/2}$$

$$= N_2 \{(-X^4 - x^4 - X'^4 + 2X^2x^2 + 2x^2X'^2 + 2X^2X'^2) / 4x^2\}^{1/2}$$

また

$$W_1 = -N_1 X' \cos \alpha - N_1 X' \sin \alpha'$$

余弦定理により

$$\cos \alpha' = (x^2 + X'^2 - X^2) / (2xX')$$

したがって

$$W_1 = -N_1 X' [1 - \{(x^2 + X'^2 - X^2) / (2xX')\}^2]^{1/2}$$

$$= -N_1 \{(-X^4 - X'^4 - X^4 + 2x^2X'^2 + 2X'^2X^2 + 2x^2X^2) / 4x^2\}^{1/2}$$

作用反作用の法則により  $N_1 = N_2$ 。故に  $W_1 + W_2 = 0$ 。以上、証明終わり。(原論文の文字記号及び式表現のいくつかを変更・・・筆者)

長谷川・勝田は、最後に、このような証明はそのまま生徒に指導するのは難しい、かと言って、「このような場合においては力学的エネルギーの和は保存されるのだと天下り的に説明」するだけでは「ただ単に式を覚えてそれを用いて問題が解ければいい」といった、生徒の誤った物理観を助長してしまう恐れがある。  
<中略>したがって、高等学校の物理において、このような問題を安易に用いることは不適切であると私は考える。」と結んでいます。

筆者は、それまで、この種の問題で、垂直抗力が仕事をしないことを疑ってみたことがなかったので、長谷川・勝田の問題意識には大きな感銘を受けた。しかし、両氏の証明は必要以上に複雑すぎる気がした。また、台車の運動が水平方向に限定されているなど、条件が制限されているのもやや気になつた。

より簡単かつ制約の少ない条件の下での証明ができないだろうか。筆者は、当時同じ職場にいた和野健一先生の協力もいただきながら、しばらくこの問題を考え、最終的に次のような私案を作つてみた。

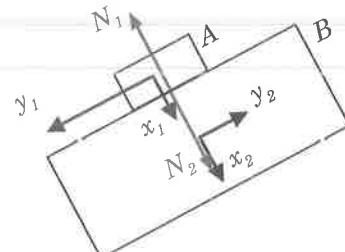


図 7

AにBからはたらく垂直抗力を  $N_1$ 、BにAからはたらく垂直抗力を  $N_2$  とする。また、Aの変位ベクトルの接触面に対する垂直成分を  $x_1$  平行成分を  $y_1$ 、Bについても同様に変位ベクトルの接触面に対する垂直成分を  $x_2$  平行成分を  $y_2$  とする。仕事とは、力と、力の向きへの変位の積である。したがつて  $W_1 = -N_1 x_1$ 、 $W_2 = N_2 x_2$ 。 $N_1$  と  $N_2$  は作用反作用の関係なので  $N_1 = N_2$ 。  
さて、ここで「接触を保つている」という言葉の物理的意

味を改めて考えてみる。接触面に対する法線方向の、Aの変位  $x_1$  とBの変位  $x_2$  の関係が、 $x_1 < x_2$  ではAとBは離れてしまう。反対に、 $x_1 > x_2$  ではAがBの内部にめり込んでしまう。 $x_1 = x_2$  のときのみ、2物体は変形せずに接触したままとなる。つまり、「接触を保っている」とは、接触面に対する法線方向の変位が互いに等しいことを意味する。

したがって  $W_1 + W_2 = -N_1 x_1 + N_2 x_2 = 0$ 。以上、証明

終わり。AとBの接触面に対する平行方向の変位である  $y_1$ ,  $y_2$ については何も制限はない。

筆者は、これなら高校生もなんとか理解できるのではないかと思っているのだが、どうだろうか。

#### 4. 抗力の作用点の移動

第1節で述べたように、外力なしで静止している物体にはたらく抗力は、大きさが重力に等しく向きは鉛直上向き、作用線は重力の作用線に重なる。

摩擦の大きな平面上に物体を置き、この平面を最初水平な状態から始めて次第に傾きを大きくしていく。重力の作用線が物体と平面の接触面の角の外に飛び出すとき、物体はこの角を回転の軸として回転し始める。（この直前の、斜面が水平となす角度を「転倒角」という。）

次に、同じく摩擦の大きな水平面上に物体を載せ、水平向きの外力を最初は小さな力から始めて次第に大きくしていくときに、いつ物体が転倒するかを考える。この問題は、斜面で物体を転倒させる問題と本質的に同じであるから、重力と外力の合力の作用線が底面の角を越えて外にはみ出るときに転倒が始まるといえる。この教材は、今回改定の学習指導要領の下で、新たに高校物理で取り扱われることになった。教科書の説明を見てみる。

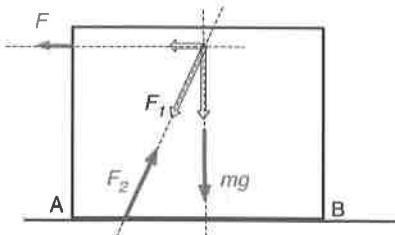


図 8

「引く力を大きくしていくと、 $F_2$  (=抗力) の作用点は点Aに向かって移動していき、やがて点Aに達する。さらに引く力を大きくしていくと、 $F_1$  (=重力と外力の合力) の作用線は下面ABをはみ出し、物体は点Aのまわりに回転して傾き始める。」<sup>3)</sup> ( )は筆者の加筆

“作用点が移動する”とは具体的にどういうことなのか。そもそも力は移動するものなのか。下手をすると、生徒に「物理はご都合主義だ」と言われそうで心配である。

しかし、この違和感は、物体の底が平面ではなく、物体が2本足で床の上に“立って”いるイメージに置き換えてみるとかなり軽減することがわかる。

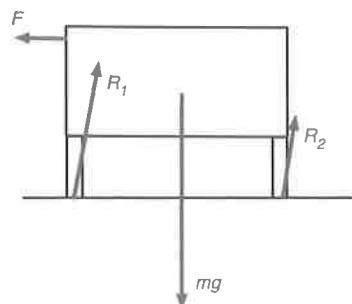


図 9

図9のように、床から左足にはたらく抗力を  $R_1$ 、右足にはたらく抗力を  $R_2$  とする。物体の形は左右対称とする。外力を加える前は  $R_1$  と  $R_2$  の大きさは等しい。ここで外力  $F$  を水平左向きに加えると、 $R_1$ ,  $R_2$  は傾くとともに、 $R_1$  の大きさは大きくなり  $R_2$  の大きさは小さくなる。加える外力の大きさを次第に大きくすると  $R_1$  と  $R_2$  の大きさの差もどんどん広がっていき、そしてついに  $R_2 = 0$  になったとき、この物体は回転し始める。

2本の抗力のイメージの方が、最初の、1本の抗力のイメージよりも、理解しやすかったのではないだろうか。しかし、平らな底面の形を勝手に2本足に改造してしまったのだから、最初とは別の問題になってしまっている。ならば、足の数をもっと増やし、100本とか1000本とか、あるいはもっとそれ以上の数の足を物体の底面全体につけるとよい。足の数が無限に達した時、底面は元の平らな状態に戻ると考えて良いだろう。抗力はこれら小さな足のひとつひとつにはたらく。物体の上部に水平に外力が加えられたとき、物体が転倒しないためには、これら無数の足にはそれぞれの場所ごとに決められたある向きと大きさの抗力がはたらいている必要がある。

底面に分布する小さな抗力の分布を、勝手に「抗力密度」と呼ぶことにする。抗力密度が一様であれば、その合力の作用点は中点になる。しかし、抗力密度に偏りが生じると、その合力の作用点は中点からはずれた位置になる。まさに、抗力の作用点が移動するとは、抗力密度の状態が変化すること言い換えることができる。このように考えると、少しは分

かりやすくなるのではないかだろうか。

### 5. タイヤのころがり抵抗

2013年12月~2014年1月頃にかけて、北海道高等学校理科研究会(略称: 北理研)物理メーリングリスト上で、ころがり抵抗に関する議論があった。摩擦のある水平面を、自動車が等速直線運動している場合に、自動車のタイヤと路面の間でどのような力がはたらいているのかという問題を考えている途中のことであった。当初、筆者は、タイヤと路面は1点で接地し、この点からはたらく抗力が傾くことでころがり抵抗を説明しようとしていた。ところが、しばらくして、留辺蘂高校の安東周作先生から、1点接地のモデルではころがり抵抗は説明できないのではないかというご指摘をいただいた。なぜなら、タイヤの最下点を作用点とし進行方向に対して逆向きに傾いた抗力では、タイヤに順方向回転のトルクが発生してしまい事実と矛盾するからである。たいへん的を得た二意見であった。

そう思ってみると、確かに空気が減って接地面積が大きいタイヤの方が、空気がパンパンに詰まつていて接地面積の小さいタイヤよりもころがり抵抗が大きいことは経験的にもよく知られていることであり、1点接地のモデルでは転がり抵抗を説明するには無理があることは明らかだった。しかし、タイヤと平面の間で有限な接地面積を考えたとしても、任意の瞬間にタイヤの周方向の変形は前後でほとんど対称だと考えると、どのような原理でタイヤに進行方向と逆回転向きのトルクが生じるのかが疑問だった。

2014年4月に、同じ職場の花光隆太郎先生が日本自動車タイヤ協会のホームページ<sup>4)</sup>の資料を持ってきてくれた。そこには、タイヤに用いられるゴムについて、粘弾性という専門用語とともに次のようなグラフが載っていた。(図1.0)

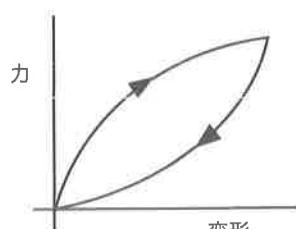


図1.0

このような性質は、一般にヒステリシス(履歴効果)と呼ばれる。筆者は「これだ」と思った。

前述のように、タイヤと平面の接触部分において、タイヤの周方向の変形の程度は、ほぼ前後対称と考えてよい。しかし、接地面の前部と後部では、ゴムのヒステリシスの関係で、

前部のゴムの弾性力の大きさの方が、後部のゴムの弾性力の大きさよりも少しだけ大きくなっている。言い方を変えると、前節で述べた「抗力密度」が偏った状態になっている。図に書くと次のようなイメージになる。(図1.1)

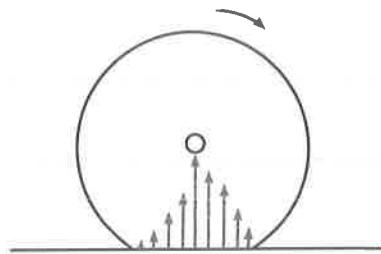


図1.1

このように考えると、抗力密度の合力すなわち最終的な抗力の作用点は、接地面の中央ではなく少し前方にずれたポイントになる。その結果、タイヤには、逆回転向きのトルクが生じる。

筆者は、現時点で、前述の“抗力の傾き”とともに、これがころがり抵抗の原因だとうと考へているのだが、どうだろうか。

### 6. まとめにかえて …謝辞

小樽桜陽高校を2014年に退職された和野健一先生、長沼高校の花光隆太郎先生には、お忙しい中にも関わらず、直接、多くのヒントをいただきました。また、留辺蘂高校の安東周作先生、根室高校の佐々木徹先生からは北理研研究大会苦小牧大会(2014.8)等で貴重な意見をいただきました。みなさまに、この場を借りて感謝申し上げます。

### 引用文献

- 1) 例えれば、キッテル、他: バークレー物理学コース1「力学(上)」丸善(1975) p105・・・質点の力学の章なのであえてそうしているのかも知れない。
- 2) 長谷川大和、勝田仁之: 「2つの物体の力学的エネルギーの保存について」物理教育61-3(2013) p137
- 3) 國友正和、他10名: 高等学校教科書「物理」数研出版
- 4) 日本自動車タイヤ協会 HP <http://www.jatma.or.jp>
- 5) 石川昌司: 「垂直抗力・摩擦力・ころがり抵抗について」北海道高等学校理科研究会「北海道の理科」第57号(2014)

# 単振り子の錘にかかる力に関する誤概念とその克服

札幌真栄高校

加藤賢一

単振動の錘に働く力は「錘が地球に引かれる重力」と「錘が糸から引かれる張力」である。しかし、生徒に問うと、正解とは異なる「生徒独自の考え方」を各自持っている。この誤概念を「スコットの授業の形」(後述)という一連の授業の流れを実施した結果、教師が正解を生徒にいう前に、生徒の多くが正解を見つけたという現象が起きた。これについて報告する。また、統計処理に必要なp値についても少し触れる。

**キーワード** 単振動 · 誤概念 · 統計処理 · p値

## 1. はじめに

2014年4月から札幌真栄高校の教壇に立つことになった。異動ではなく、移住である。3月までは、静岡県の公立高校に勤務していたが、教員採用試験(特例)に合格し、北海道の高校の物理の教師になった。

## 2. 札幌真栄高校のカリキュラムと研究の切欠

札幌真栄高校では、1年次、全員が物理基礎(2単位)を学び、2年次理系選択した生徒は物理・生物の選択をし(3単位)、3年次にさらに3単位继续履修する。今回のレポートでは、3年生に焦点を当てた。1年次にどのように力学を習ったか知らない状況で、単振動から引き継いだ。復習もかねて、弧度法、円運動をやってから、単振動に入った。その時点では、研究をする予定は全くなかったが、生徒に単振動の錘に働く力のベクトルを記入させると、できが悪く、良くあるタイプの誤概念が見られた。そこで、その誤概念を克服するために、以前、理科教室(文献1)で報告した「スコットの4つの授業の形」(文献2)という方法を使った。そこで、その方法がどれだけ効果があったかを調べる研究を始めた。

## 3. 「スコットの4つの授業の形」の定義(文献1、2)

ここでは、誤概念を含む日常用語としての力の意味から、物理概念としての力の意味が分離されていく授業の流れを示すことで、4つの授業の形を示す。イギリスのリーズ大学のスコットは誤概念研究者であった。ピアジェ研究はもとより、ビゴッキーの言語の役割を重視しており、その中でも、「書く」という言語活動ではなく「話す=talk」に焦点をあてて、その授業での役割を研究した。スコットは、生徒と教師が関わる場合と、そうではなく、教師からの説明という授業の形を峻別した上で、授業の形を追求する。スコットの授業の形をS1、S2, S3, S4, とすると、

S1: 教師は生徒の発言から(インタラクティブ)、力に関する生徒の様々な考え方(ダイアロジック)を引き出す。(この形をInteractive and Dilogicといふ)

S2: 生徒の発言はなく教師が(ノン インタラクティブ)、国語辞典を使って力についての様々な使い方を示し、日常使用さ

れている力の意味と、物理での力の意味を取り上げる。

( Non-interactive and Dialogic )

S3: 教師は、生徒に、「これは物理でいう力ですか」と數問發問し、できた者を評価する。(Interactive and Authoritative)

…Authoritativeは教師の権威を使って、科学概念を示す、とういう意味。

S4: 生徒は発言せず、物理での力の性質について教師の説明を聞きノートをとる。(Non-Interactive and Authoritative)以上がスコットの4つの授業の形である。(注:スコットの授業の4つの形は加藤の命名。S1のSはScottの略)

## 4. 「スコットの4つの授業の形」の単振動の錘に働く力への応用

上の4つの授業の形を単振動の錘に働く力に適用するにあたっては、授業準備で「4つの授業の形」を再読しながら、生徒の様子をみながら高校の授業にあわせたため、上の通りに行うことにはできなかった。

S1: プリントに単振り子の錘に働く力のベクトルを記入させる。(pre-test)

S2: ①のプリントを4、5人のグループに分かれ、自分の書いた力のベクトルについて説明する(talk)。グループは好きな者同士である。(S1=S1+S2)

S3: スマートフォンで、力の意味を、辞書で調べる。(→Dialogic & Authoritative)

S4: 教師から、物理での力は「AがBから引かれる力、AがBから押される力」というもので、「Aが所有しているような量は、力とはいわない。たとえば、Aが持っている勢いのような考えは、運動量といい、質量と速度の積である」説明する。

(Non-interactive & Authoritative)

S5: 確認のテスト(post-test)を行う

## 5. 研究目的

以下の3つを研究目的とする。

研究目的1：単振動の錘に働く力の誤概念は、どのようなものか?

- 研究目的2:**「スコットの4つの授業」(S'1からS'4)を行った後、どの程度、誤概念は克服されたか？
- 研究目的3:** pre-test の後行われた教師の介入 (teaching intervention) S'2-S'4 の中で、なにが もっとも 効果的に生徒の誤概念に訴えたかを調べる。

## 6. 研究手法

被験者について述べた後で、質問に使った用紙について説明する。まず、被験者は17才から18才の高校生で、男子13名、女子2名 合計15人である。物理の学力としては全国平均よりやや劣るレベルととらえている。

研究目的1に関してはS'1のpre-testを、授業中で生徒に渡したプリントを使った。単振り子の錘に働く力のベクトルで記入させた上で、どの様な働き方をしているかを説明させた。S'5のpost-testもpre-testと同様のプリントと同じ用紙をつかった。これが研究目的2に対応する。研究目的3に関しては、S'2～S'4の3つの項目について4点満点の質問用紙を作成し、生徒に答えてもらう量的な研究手法をとった。

**S'2:** 生徒同士でpre-test後、自分の考えを言葉で相手に説明することが、どの程度効果があったか、調べる。効果がすごくあつたら4点〇をつけ、効果がほとんどなしと考えたら、(1, 2, 3, 4,)点の中から1点を選ぶという具合に採点する。

**S'3:** 「スマートホーン」を使った力の意味調べが生徒にとって、どの程度効果があつたかを、同様に4点満点で生徒が採点する。

**S'4:** 教師による力の性質の説明を4点満点で生徒が評価する。

これらS'2、S'3、S'4について平均点などの統計的な処理をExcel 2010で行い、その違いについて評価をする。

## 7. 結果

**結果1:** 生徒の誤概念には次のものがよく見られた。

「進もうとする力」・「戻ろうとする力」

**結果2:** 図1に示すのはある生徒のpre-testとpost-testの例で

ある。このように、進む力の誤概念が見られたが、post-testで改善されている。

— pre-testとpost-testの結果の集計

pre-testとpost-testに関しては、15人すべてがpre-testでは不正解であったが、そのうちの8名がpost-testで正解にい

ったっている。つまり、全体の53%がスコットの授業の形を用いることによって誤概念を克服した。逆に正解には至らなかつた生徒は7名であったが、そのうち改善されたものもある。

**結果3:** 検定を行う前にまず、S'2、S'3、S'4の平均値を書くと、

S'2は2. 86 S'3は2. 79 S'4は3. 79

このように、S'4(教師による力の働き方)の説明が、S'2(生徒による説明)や、S'3(携帯辞書)の利用よりも生徒は効果があると考えている、といえる。前述したように、ここからは、Excelをつかって、統計的処理を行うが、参考文献3, 4のとおりに行えば、うまくいく。

### 1) S'2とS'3の比較

- ① まず、帰無仮説として、「生徒が付けた、S'2(小グループ討論)とS'3(携帯辞書)のデータは統計的に違いはない」と設定する。
- ② 次にこの帰無仮説が成立している確率をp値(有意確率)を求める。
- ③ 有意水準を5%とする。
- ④ 検定するS'2とS'3の差を正規分布と見なしたとき、グラフの両側の合計が5%に陥ってしまうことは減多にないので、p値が5%以内なら「減多に起きないことが起きた」と考える。
- ⑤ そこで、エクセルでp値を求め、  
-pが5%以下なら帰無仮説を棄却せざるを得なくなりS'2とS'3の平均値には差がある。  
-逆にp値が5%を上回る場合は帰無仮説を棄却する必要はなく、S'2とS'3の平均値に差があるとはいえない。  
ということになる。実際に検定作業を行うときは、文献3の手順に従ってS'2とS'3の分散の値の検定を行ってからp値の検定を行うが、ここでは深入りしない。
- ⑥ ①～⑤の手順で、パソコンの上、エクセルにデータを入力するとS'2とS'3における比較においては、p=80%で十分に5%を超えていたため、S'2とS'3において、教育効果に差は見られない。と結論づける。

### 2) S'3とS'4の教育効果の比較

エクセルによって計算されたp値は、p=0.01%でこれも十分に5%より小さく、帰無仮説を棄却し、対立仮説を採用する。つまり二つの平均値には差があり、S'4の方が教育効果があるといえる。

## 8. 結論 (Conclusion) と反省

- ① 今回見たように、「物理」の「単振動」では、力の働き方をしっかりと理解していない生徒が数多く見られた。物理基礎で学習したからといって、力の誤概念は克服されているとはいえない。単振動や円運動などの単元で、必ず生徒に力のベクトルや作用点、力の働き方を聞いてから(pre-test)、

その力の分解、解析と進むべきである。力は、2年間を通じてねばり強い指導が必要である。

- ② 従来の研究では、力の概念にフォーカスされていたが、今回は、授業の形を意識して改善を試み、その授業の形(スコットの4つの授業)の効果について調べた点が新しい。
- ③ 教師の働きかけの効果を問う、統計処理では、S4「教師による説明」が一番であった。S4よりも効果が低いとされたS2:「生徒による説明」で4点を付けた生徒の意見として、「自分と異なる意見について深く考えることができた」など見られる。一方で、「他人の意見にまどわされた。流れてしまう。」というコメントもある。さらに、S2では「本当の答えがわからないから効果がない」とする意見もあった。これは、S2~S4の流れで時間がかかりすぎ、だれた感じになってしまったことにも関係すると思う。
- ④ 辞書は、携帯だと、生徒の調べる時間がかかる割に良いサイトを見つけられなかつた。次はスコットの指摘通り、国語辞典で教師がしらべたものをプリントすればよいだろう。
- ⑤ S2(生徒が自分の考えを説明する)が思いのまま低かった理由を模索すべきだろう。そこには、自由に討論する機会をあまり設けていなかつたことも関係するかもしれない。今後、討論や言葉を使って説明することの重要性を説明する必要もあるかもしれない。

- ⑥ 今回は、Excel2010版のデータ解析を利用して、帰無仮定からそれをp値で評価するという社会科学の量的な研究の初步的な手続きを勉強することができた。一方で、教師の援助S2~S4の3つに分けて、それの平均値を比較するという手法が果たして的確であったかどうか再考したい。さらには、力の概念の克服方法には他にどんなものがあるのか?または、それらは評価可能なのか、さらなる研究が必要である。

## 9. 参考文献

- 1) 加藤賢一(2012). 英国リーズ大学で学んだことスコットの4つの授業の形. 理科教室 No. 687 (Vol. 55 No. 3). 日本標準 p64-67
- 2) Scott, P and Ametller, J. 2007. Teaching science in a meaningful way: striking a balance between 'opening up' and 'closing down' classroom talk. School Science Review, 88 (324)
- 3) 末吉(2009). 5章 差に意味があるのかを探る~統計的仮説決定~ EXCEL ビジネス統計分析2007/2003 ビジテク 007/2003 対応, p143-161
- 4) 上の文献はExcel2010版もある。

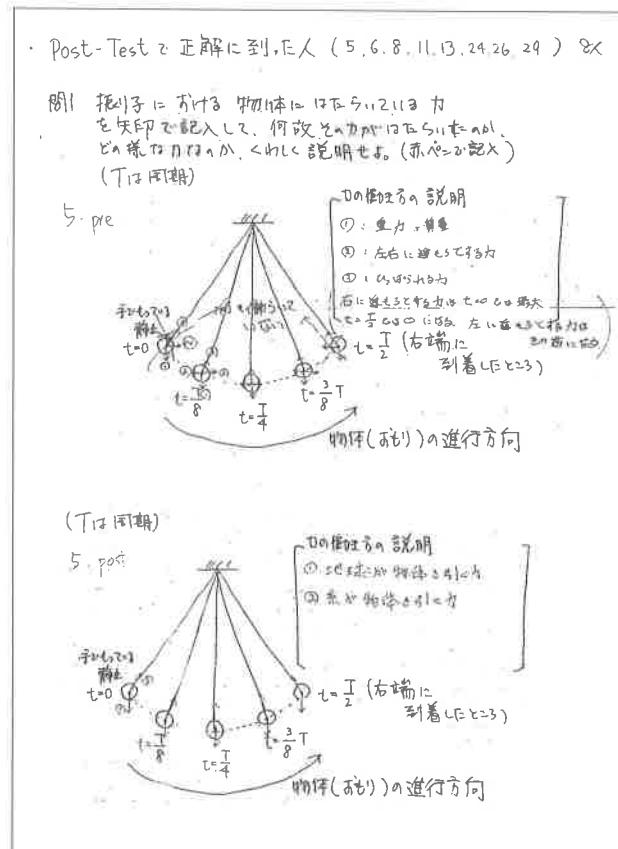


図1 pre-test と post-test

# 霧箱の実験で使用する放射線源の検証

## (放射線の生徒実験の効果について)

北海道白糠高等学校 田中 耕治

昨年の内容（放射線の実験での放射線源についての検証）から、今年は生徒実験として、放射線の実験を行い、生徒の感想を通して一般教養としての物理の実験での、物理の興味関心を非常に高めることができたので報告する。また、東日本大震災での福島第一原子力発電所の事故以来、放射線源となる物質についての管理・維持等について非常に厳しくなってきた。そのような、多くの規制が行われている中で、本校で行った放射線の実験での道具・方法・実践を報告する。

キーワード 簡易霧箱 放射線源 物理基礎 生徒実験 はかるくん

### 1.はじめに

北海道では、理科教員で物理を専門とする教員が少ない。小規模校では、専門外の教員が「物理基礎」を教える場面もある。大学受験で「物理基礎」を使用しない生徒が多く存在する高校において、物理を教えることが生徒に対してどのような効果があるのか。専門の教員以外でも気軽に実験ができる方法なども含めて考察してみたい。

旧課程時代に物理が敬遠され、授業が組み入れられず、物理の実験道具等の更新・購入等が長年なされていない学校が多くある。同時に、福島第一原子力発電所の事故により、放射線については材料自身の入手が困難になるなどの状況にある。これらの事から、物理で実験を行いたくても行えない状況がある。このような状況で、物理の授業を行っても座学の授業が中心になり、必然的に計算が苦手な生徒には「物理基礎」は無理となり、それが小規模校での「物理基礎」の未設置の一つの原因になると考えられる。

今回は一般的な知識としての物理を生徒にどのように展開していくのがよいのか。その一例として、平成26年1月の2学年「物理基礎」の授業で行った「はかるくんを使った放射線量の測定」の実験と、平成26年2月の2学年「物理基礎」で行った「簡易霧箱」の実験を紹介する。放射線の実験を通して、生徒の感想・疑問などから、生徒がどれだけ、物理に対する興味・関心をもっているか。また放射線の実験を行ったときの実験道具の入手方法についても紹介したい。

### 2.実験で使用する放射線源について

今まで、放射線の実験で色々な線源が使用され、また気軽に購入できる状態であった。管理についても個人購入・所有や学校の備品、過去に勤務していた教諭が置いて行ったものなど、管理面を考えると不安が多い状態であった。現在の社会的風潮などを考えると線源を独自に確保することは極めて困難である。また、入手したとしても、その後の管理・維持・廃棄等を考えると、学校での購入や個人での購入はお勧めできない。線源を所有している近隣校や各種団体等で借りて実験を行う方が良いと考える。

### 3.「はかるくん」の生徒実験

大阪科学技術センターより「はかるくん」を借りて以下の実験を行った。

#### ① 自然界に存在している放射線の観測

自然に存在している放射線がある事を色々な場所を観測させて認識させる

#### ② 物質の種類による放射線量の測定

湯の花、花崗岩、カリ肥料、船底塗料添加剤など物質の違いによる放射線量の測定

#### ③ 遮蔽物による放射線量の変化

放射線源に船底塗料添加剤を使用し、同じ厚さのアクリル板、ステンレス板、アルミニウム板、鉛板で放射線が一番遮蔽できるものの測定

#### 4. 「はかるくん」の実験での生徒の感想

- ・なぜ鉛は放射線を通しにくいのか
- ・身近なものでも放射線を出しているものがあるのがわかった
- ・実験を行っても、放射線が危険なものであるという意識は変わらなかった
- ・鉛でもあまり放射線を防げてない気がするから、鉛より放射線を防げるものはないのか
- ・危険なものってのは分かっているけど、放射線ってすてき
- ・もっと放射線の実験をしたい、はかるくんらぶ



写真1 実験の様子

#### 5. 「簡易霧箱」の生徒実験

「はかるくん」の生徒実験を行った後に、「簡易霧箱」の生徒実験を行った。放射線源はマントル（パール金属株式会社製 型番 M-7906）を使用した。乾燥している冬場に行ったため、非常に良く観測できた。今回は、生徒に簡易霧箱の作成、ドライアイスの配置、レポートで放射線についての考察を加えてみた。

#### 6. 「簡易霧箱」の実験での生徒の感想

- ・放射線がいっぱい出ていて感動した
- ・放射線、すごい
- ・はかるくんの実験で、教科書では鉛は放射線をすべて止めることができると書いてあったが、実際はあまり遮蔽していなかった。マントルから出ている放射線もシャーレから出ているんですよね…。

#### 7. 考 察

理工系大学進学希望者のいない「物理基礎」で放射線の実験を行ってみた。生徒の感想から、敬遠されやすい物理という科目であっても、実験を通して多くの興味関心を引き出すことができる。特に放射線については目に見えないため、想像しにくく、難しい部分も多い。今回も実際に放射線の実験を行い、生徒が意外

に感じる結果も多かった。たとえ大学受験に關係のない生徒であっても、「物理基礎」で実験を効果的に行うことで、自ら学び自ら考える力など「生きる力」を育むことができるのではないかと私は考える。

#### 8. 謝 辞

本研究に際し、助言をいただきました北海道長沼高等学校教頭石川昌司様、北海道岩内高等学校教頭三浦隆詔様、北海道札幌白陵高等学校元教諭池田浩二様に感謝申し上げます。また、本実験の際に協力していたいた本校教諭西内正志様、大井彰様に感謝申し上げます。放射線での実験で「はかるくん」の実験を行ったあたり助言・指導等を頂きました北海道立教育研究所附属理科教育センター研究研修主事伊藤新一郎様に感謝申し上げます。

#### 7. 参考文献

- 1) 藤岡由夫・朝永振一郎 監修「三訂増補 物理実験事典」、講談社、1973
- 2) 西村 純 責任編集「実験物理学講座 25」共立出版、1986
- 3) 三浦 登 他「物理基礎」、東京書籍、2012
- 4) 高木堅志郎 他「物理基礎」、啓林館、2011
- 5) 北海道更別農業高等学校 中川 智  
平成24年度授業実践セミナー（道東ブロック理科）  
資料

# V V F ケーブルモーター

## (クリップモーターの亜種)

江差高校 河田 淳一  
Esasi Koukou Kawata Junichi

クリップモーターは簡単に組み立てられ手軽にフレミングの左手の法則を実証できる。外部磁界としては一般にフェライト磁石などが使われている。他にも鉄心電磁石による外部磁界を利用したクリップモーターも存在する。

今回は空芯コイルによる微弱な外部磁界を利用するという発想でV V F ケーブルを用いたクリップモーターの亜種を試作したところ、電源と銅線のみでの回転に成功するという結果を得た。

**キーワード** クリップモーター 外部磁界 空芯コイル V V F ケーブル 銅線のみ

### 1. はじめに

電磁気学を学ぶにあたって、クリップモーターは手軽にフレミングの左手の法則を実証できる。

本稿では多種多様な部品から成り立つクリップモーターを銅線のみで試作した。磁場を発生する空芯コイル、回転電機子、給電線2本の計4本の銅線と電源のみでの回転に挑む。

### 2. 構造

#### 2. 1 空芯コイル（1本目の銅線）

鉄心コイルによる電磁石は透磁率が大きく乾電池程度の電力で砂鉄や釘をひきつけたりする強力な磁界を発生する。クリップモーターの改良型でホッチキスの芯や釘などにコイルを巻くタイプなども発表されている。これらは鉄心による磁界なので非常によく回転する。



図1 多巻式の空芯コイル

他方空芯コイルは砂鉄を微動させても釘をひきつけたりすることはできない。空芯コイルの微弱な磁界では回転を与える電磁力は期待できない。そこで、電流を多くとれるように少々太めのエナメル線を利用し、磁界を少

しでも大きくするために巻き数を100回程度と多めに設定した。

#### 2. 2 回転電機子（2本目の銅線）

軽く作る方が有利なので細めのエナメル線をコイルにして給電線を両端に出し、一方のエナメルは全面をはがし他方のエナメルは半面をはがすという一般的なクリップモーターで使われる方式を採用した。



図2 軽量化した回転電機子

#### 2. 3 V V F ケーブル（3・4本目の銅線）

家庭用100Vコンセントの裏側ではV V F ケーブルが使われている。V V F (600Vビニル絶縁ビニルシースケーブル平形) ビニルビニルフラットの略で規格化されていて、ホームセンターなどでも購入できる。

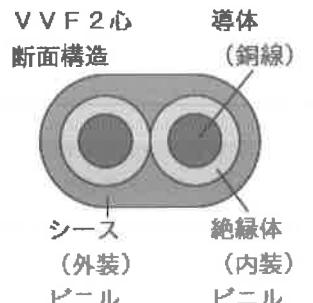


図3 V V F ケーブルの断面構造

また電気科がある高校ならば実習で使用済みの廃材も利用できる。

単一乾電池（D）を保持できるほど剛性が高い。20 cmほどのケーブルを折り曲げ電池ケースを兼ねる給電線となるような加工をした。

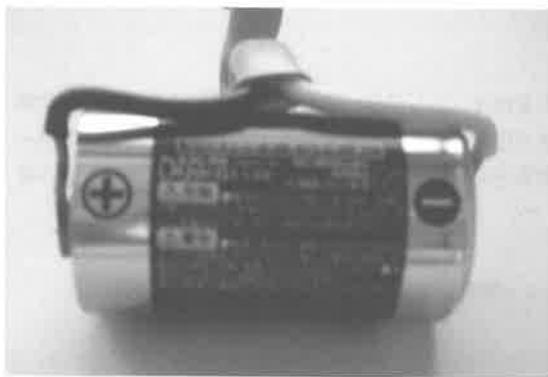


図4 単一乾電池（D）を保持できる剛性

銅線の直径は1.6 mmと2 mmのタイプがある。導体が太いため大電流に十分対応できる。また断面積が大きいため電気抵抗が極端に少なく、電圧降下もほとんどない。

#### 2. 4 電源

クリップモーターは一般には単三乾電池（AA）で作ることが多いが、安定した大電流を取り出すために内部抵抗の小さい単一乾電池（D）を使用した。両端の電極をVVFケーブルの剛性で挟み込み、磁場の空芯コイルと回転電機子のコイルを並列に接続することで回路が完成する。

力と重力の方向を一致させ回転を助けるような工夫をした。

#### 2. 5 結論

空芯コイルの位置を微調整して、最初の回転反動を与えると回転の持続に成功するという結果を得た。この動画は投稿サイトYoutubeにアップロードしてある。

<http://youtu.be/3oYSh9CtE-c>

ちなみに空芯コイルに釘などの鉄心を入れると回転反動は不要であるが、それは銅線のみを利用するという本稿の目標に反する。

一方、単一乾電池（D）の大電流によるジュール熱で空芯コイルが相当に発熱するという欠点も露呈した。現時点ではこの発熱を少なくする方策はないため、熱くなった空芯コイルの位置の微調整にはラジオペンチなどで対応するしかない。



図6 全体像（電源と銅線が4本のみ）

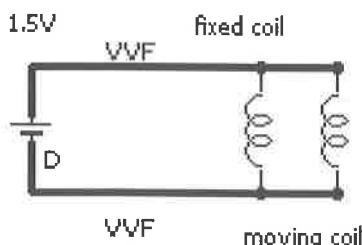


図5 回路図

磁場の方向は重力に対して垂直方向にすることで電磁

電源と銅線のみでの回転の持続のために大電流を利用し成功したということが本稿での結論である。

引用文献) 河田淳一：VVFケーブルモーター，北海道の理科，N57-2014-7, p.6~7

# ワークショップ形式による授業の工夫と言語活動

北海道札幌北高等学校 福士 公一朗

確かな学力（思考力・判断力・表現力、学ぶ意欲や、課題を見付け、自ら学び、主体的に行動するなどの資質や能力を含む）を向上させるためには、それを意識した教材の開発や授業の工夫が必要となる。放射線分野においてワークショップ形式による授業を導入することで、思考力・表現力等を向上させるとともに、知識の確実な定着を図る言語活動を展開した。

**キーワード** ワークショップ・言語活動・思考ツール・授業評価・放射線

## 1. はじめに

知識・理解の観点の評価が一定の水準まで達していくても、確かな学力（思考力・判断力・表現力、学ぶ意欲や、課題を見付け、自ら学び、主体的に行動するなどの資質や能力を含む）の向上が十分ではない場合は少なくない。確かな学力を向上させるためには、それを意識した教材の開発や授業の工夫<sup>①</sup>が必要となる。ここでは、放射線分野においてワークショップ形式による言語活動を展開することで、知識の確実な定着を図るとともに、知識を活用して科学と社会との関わりを考える態度を育成し、確かな学力の向上を目指す実践について報告する。

## 2. 単元について

### 2. 1 生徒の実態

平成24年度入学生については、1年次に「物理基礎」を、2年次に学校設定科目である「現代物理学」を履修している。なお、平成25年度入学生以降については、2年次前期に「物理基礎」、後期に学校設定科目を履修している。本実践は学校設定科目「現代物理学」において実施したものである。

物理に関する生徒の「知識・理解」については一定の水準まで達していると思われるものの、思考力・判断力・表現力・課題解決能力などの向上に対する取組は十分とは言えない。物事を探究し、言語化して伝えようとする言語活動を展開することで、これらの能力を向上させる必要性を感じている。

### 2. 2 単元の目標

学校設定科目「現代物理学」の単元のひとつとして「現

代物理学と社会・環境」を設けている。本単元では、物理基礎の単元「エネルギーとその利用」に関連させながら、放射線を例に科学技術と社会との関連を意識させ、リスクマネジメントの視点や、環境エネルギー問題について考えさせることを目標としている。また、本単元は、ワークショップ形式による授業展開により、プレゼンテーションやディスカッションの技能向上のみならず、グループワークをファシリテートとする「協同的な学び合い」の場として位置づけられている。

【関心・意欲・態度】	人類が利用可能な様々なエネルギーの特性や利用などについて関心をもち、物理学的な視点から意欲的に探究できる。
【思考・判断・表現】	人類が利用可能な様々なエネルギーの特性や利用などについて、物理学的および社会的な視点から考察し、導き出した考えを適切に表現できる。
【観察・実験の技能】	人類が利用可能な様々なエネルギーの特性と利用などについて、観察、調査などをを行い、その技能を習得し、それらの過程や結果を的確に記録、整理できる。
【知識・理解】	人類が利用可能な様々なエネルギーの特性や利用などについて、物理学的な視点から理解し、知識を身に付ける。

表1 単元「現代物理学と社会環境」の観点別評価規準

### 2. 3 言語活動の重要性

高等学校学習指導要領では、思考力、判断力、表現力等を育成する言語活動の充実が強調されている。

#### 言語活動の充実

##### 【高等学校学習指導要領解説 理科編理数編から】

各教科・科目等の指導に当たっては、生徒の思考力、判断力、表現力等をはぐくむ観点から、基礎的・基本的には知識及び技能の活用を図る学習活動を重視するとともに、言語に対する関心や理解を深め、言語に関する能力の育成を図る上で必要な言語環境を整え、生徒の言語活動を充実すること。

### 3. 学習展開について

#### 3. 1 ワークショップ形式

原子力エネルギーについては、メディアを通して身近な問題として接する機会が多いものの、その科学的な理解や情報を受ける側のメディアリテラシーは十分なものとは言えない。一般に講義形式の授業では、生徒は受動的に知識を得ようとする姿勢を示す傾向があるため、本単元ではワークショップ形式による授業の工夫を試みた。原子力エネルギーは社会との関わりを考慮すべき課題であるため、生徒自ら探究し、それを発表し合い議論するという言語活動を展開することが、単元の目標を達成するために不可欠であると考え、年間学習計画に位置づけている<sup>2)</sup>。

#### 3. 2 思考ツールの活用

イギリスの英文教科書<sup>3)</sup>を主要な資料として、情報の収集・整理には、K J 法、イメージマップ、ブレインストーミングなどの思考ツール（シンキングツール）を活用した。また、ワークショップは単なるグループワークに留まらず、ファシリテータが全体をファシリテートする協同的な学び合いの場であることを強調した。



図 1 思考ツールの活用

#### 3. 3 画用紙によるプレゼンテーション

プレゼンテーションはあえてコンピュータを使用せず、手書きの画用紙（フリップボード）を使いながら口頭発表する形式とした。これは、画用紙というペーパーメディアの可能性を考える機会としてほしいという理由からである。画用紙を黒板に貼り付けたり、説明を寸劇風にしたりと、生徒による工夫されたプレゼンテーションが展開された。発表後は質疑応答となり、その過程を



#### 3. 4 ディスカッション

各グループのプレゼンテーションにおける最後のフリップボードには、オーディエンスに対して意見を求める「問い合わせ」を記入することとした。問い合わせの例として、「被爆のリスクがあっても放射線治療を受けるか?」「放射線の教育をすべきか?」など、社会的、科学的に結論がひとつになるとは限らないものばかりである。この問い合わせに対してグループごとにディスカッションし、グループの意見をフリップボードに記入し黒板に貼り付ける。これは、オーディエンスの意見をフィードバックすることで、プレゼンテーションに双方向性を持たせることを意識したものである。



図 3 グループの問い合わせに対する回答

一般に、ディスカッションや質疑応答は消極的、受動的になることは珍しくない。今回、これらが活発にできた理由としては、質問することの意義やブレインストーミングのルールなどについて事前指導をしたことが挙げられる。また、ワークショップの意義付けを事前に行ったことが、取組が形式的なものにならず、生徒が積極的に取り組むことができた重要な要素であると考えている。

#### 4. 単元の構成と指導計画（4時間扱い）

オリエンテーションから、プレゼンテーションまでのワークショップ全体の指導計画は表2のとおりである。

主な学習内容・活動	留意点・使用教材
<b>1時間目</b>	
<b>&lt;放射線の影響とリスク&gt;</b>	
<b>オリエンテーションの実施</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>ワークショップの趣旨を理解する。</li> <li>探究活動・言語活動の趣旨を理解する。</li> <li>単元の目標を知る。</li> <li>ワークグループを決定する。（6グループ）</li> <li>提示された課題を確認する。（グループ毎）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>授業評価につなげるため、単元目標を周知する。</li> </ul>
<b>放射線に関する基本事項の学習</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>原子と原子核構造を理解する。</li> <li><math>\alpha</math>・<math>\beta</math>・<math>\gamma</math>線の発生原理を知る。</li> <li>ワークシート WS-A により学習する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>個人ワークシート (WS-B) を配付</li> </ul>
	<b>個人ワークシート WS-B</b> 資料要約欄・調査欄 ディスカッション欄 プrezentation記録欄

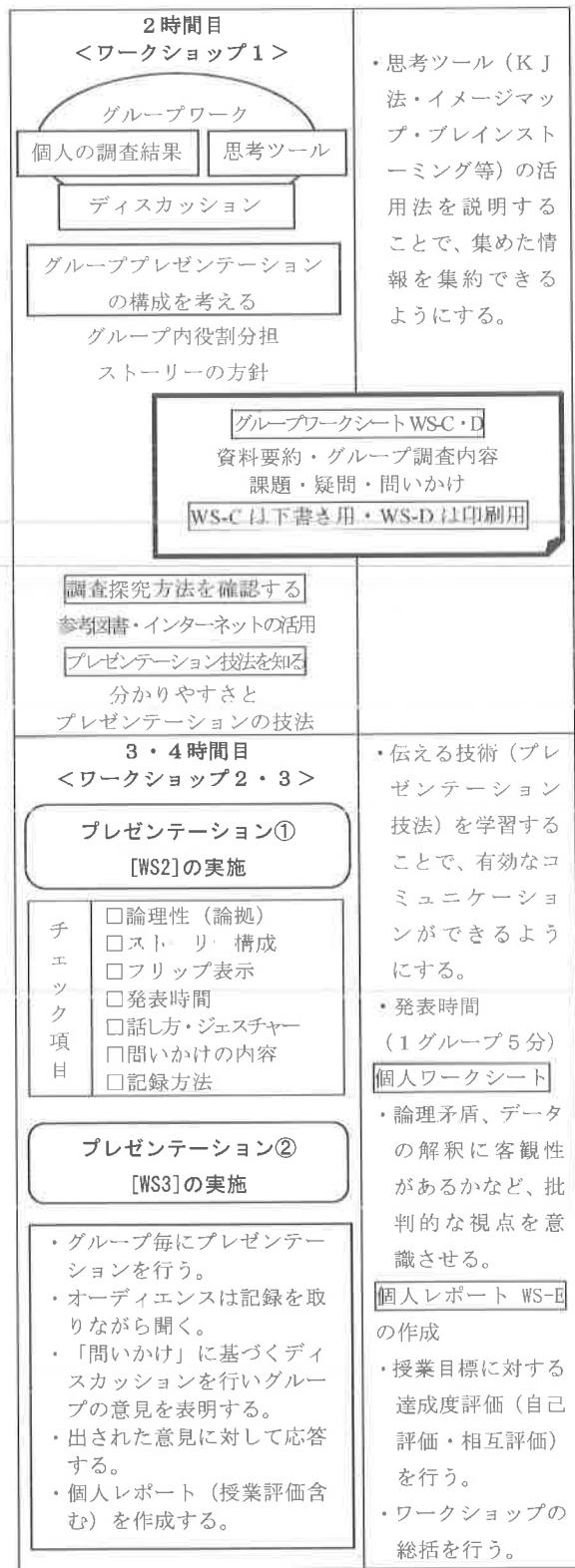


表2 単元の構成と指導計画

## 5. 授業評価

一連のワークショップにおいて、授業目標の達成度を評価するための生徒による授業評価を実施した。その結果を表3・表4に示す。(平成25年度2年生158名を対象に実施)

評価項目①～③は、単元の指導目標に対する評価、④～⑦は授業目標に対する評価であり、生徒による自己評価である。評価項目⑧～⑩はワークショップの活動に対する相互評価である。評価はすべて4段階とし、数値が大きいほど高い評価である。

評価項目		評価平均
自己評価	① 科学技術が私たちに与える影響について、自ら調べ、判断する力を養う。	3.24
	② 互いに協力して学び合う姿勢を養う。	3.39
	③ 調べたことを分かりやすくまとめ、相手に伝える力を養う。	3.16
	④ 自分はこのワークショップ企画に積極的に取り組んだ。【観察・実験の技能】	3.34
	⑤ 放射線について理解を深めることができた。【知識・理解】	3.58
	⑥ 学習に対して、興味・関心が高まり、学ぶ意欲が向上した。【関心・意欲・態度】	3.27
	⑦ この経験は思考力・判断力・表現力の向上につながった。【思考・判断・表現】	3.29
相互評価	⑧ グループ内のワークシェアリングは適切に行われた。	3.22
	⑨ グループメンバーは質問したり、アイディアを出したりなど、積極的だった。	3.20
	⑩ 他のグループのプレゼンテーションは論理的で説得力があった。	3.54

表3 授業目標に対する授業評価(4段階評価)

評価段階	1	2	3	4
自己評価	① 1(0.6%)	9(5.7%)	98(62.4%)	49(31.2%)
	② 1(0.6%)	11(7.0%)	71(44.9%)	75(47.5%)
	③ 0(0.0%)	24(15.2%)	85(53.8%)	49(31.0%)
	④ 2(1.3%)	11(7.0%)	76(48.1%)	69(43.7%)
	⑤ 0(0.0%)	6(3.8%)	54(34.2%)	98(62.0%)
	⑥ 2(1.3%)	18(11.4%)	74(46.8%)	64(40.5%)
	⑦ 1(0.6%)	16(10.3%)	76(48.7%)	63(40.4%)
相互評価	⑧ 2(1.3%)	18(11.4%)	81(51.3%)	57(36.1%)
	⑨ 0(0.0%)	25(15.8%)	77(48.7%)	56(35.4%)
	⑩ 0(0.0%)	4(2.5%)	65(41.4%)	88(56.1%)

表4 評価段階ごとの人数と比率

表4で項目⑤【知識・理解】の評価が他の観点の評価に比較して高いことに注目したい。一般的にワークショップのような調査や発表等を取り入れた授業では、知識を十分に得られないのではないかという不安を持つ生徒は少なからずいる。この評価は、言語活動が知識の理解にも寄与することを示す興味深い結果であると考えている。また、項目③の評価が比較的低く、評価2を付けた生徒の割合が16.1%であったことについては、思考ツールやプレゼンテーションの技法について学んだことで、情報を分かりやすく的確に伝達することの難しさを実感したためではないと推測できる。

## 6. まとめ

本報告のような活動は、知識を「教え込む」時間が少なくなるという理由から生徒の学力向上には効果的ではないという考え方がある。この主張における学力の定義は何であろうか。少なくとも「確かな学力」を示すものではないと想像できる。言語活動は、思考力、判断力、表現力等の向上のみならず、知識の確実な定着にも効果があるものと考えている。したがって、日常の授業においても、生徒が活動できる場面を適切に取り入れ、言語活動が日常的に展開される雰囲気をつくりていきたいと考えている。なお、この実践は本校物理科の実践として中道洋友教諭と共に実行しているものである。参考資料の提供、アイディアの創出、授業方法の改善等に日常的に支援をいただいていることに感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 福士公一朗, 「物理実験ワークショップによる探究活動」(2012), 物理教育 VOL. 60-1
- 2) 中道洋友・福士公一朗, 「原子力エネルギーを考えるワークショップ(言語活動)の展開」(2013), 北海道エネルギー環境教育研究委員会第5回全道大会のまとめ
- 3) Twenty First Century Science (GCSE), Oxford University Press

# 「生徒のつまずき」についての一考察

## ～小テストを活用し、生徒の思考過程を探る～

北海道札幌北高等学校 中道 洋友

生徒が物理の学習をする際に、教師が考えもしない箇所でつまずいていることがよくある。そこで、記述式の小テストの解答を分析して、生徒の解答に至る思考過程を推測し、どのようにつまずいているのかを検討してみた。その中でも『『=』で続ける式』について運動方程式などの理解を妨げているのではないかと思われる結果になった。小テストを利用することで、生徒のつまずきの原因を探ることができると考えている。

### キーワード 小テスト、つまずき、思考過程

#### 1. はじめに

生徒が質問にきて話を良く聞くと、教師にとって考えもしない箇所で生徒がつまずいていることに気がつかれる。それでも質問してくれれば、そのつまずきも解消できるのだが、質問もせず、定期考査になるまでそのままにしてしまうことも多い。昨年、あるきっかけで毎時間小テストを実施した。いままでは、小テストを実施しても丸付けをして返却するだけだったが、今回は間違いも生徒に共有させようと考え、「解説+間違いの分析プリント」として配布した（参考資料）。その取り組みの中で、解答の中につまずきのヒントがあることに気がつき、積極的に収集することにした。本稿では、解説・分析プリントから気がついた力学分野での生徒のつまずきの例について報告する。

#### 2. なぜ小テストか

生徒のつまずきは机間巡回や黒板で問題を解かせたりするときにも気がつくが、なかなか全員というわけにいかず、記録も録りにくい。定期考査は問題数が多く分析に適していない。小テストが分析に有利なのは、「全員の解答を見ることができる」「時間をかけて分析できる」「基本事項に特化できる」ことにあると考えている。

小テストは、5分から10分程度でできる教科書の例題レベルの記述式問題を出題している。毎回生徒の答の多様さに驚かされる。その中でも、式も書いてあって答は合っているが、どうしてそのような式を立てたのか筆者に理解できない解答も多かった。その式を丹念に追う

ことでと生徒の思考過程がある程度理解でき、なぜつまずくのかを分析できるのではないかと考え、分析を行った。

#### 3. 生徒の思考過程の推定と分析例（『=』でつなぐ式）

「投射」と「運動方程式」の問題について分析例を紹介する。

##### 3-1 「投射・運動方程式」の生徒の解答例

例1～例4は論点を整理するため改題している。 $g$ の値や細かな条件は省略した。

例1 初速度  $3\text{m/s}$  で鉛直下向きに投げ下ろしたところ、 $2\text{s}$  後に地面に達した。落下した距離を求めよ。

生徒の解答例

例1.  $3 \cdot 2 = 6$

この解答自体は間違いではない。計算を「『=』でつないでいることに特徴がある。

次に運動方程式の問題について示す。

例2 質量  $2\text{kg}$  の物体がある大きさの力  $F$  で押したところ  $3\text{m/s}^2$  の加速度で加速した。 $F$  を求めよ。

生徒の解答例

例2.  $2 \cdot 3 = 6$

これも良くある解答である。ちなみに筆者は運動方程式を「 $ma=F$ 」の形で教えている。次に例3の結果と比較したい。

例3 質量 2kg の物体の上端に軽い糸を付け、大きさ  $T$  の力で鉛直上向きに引いたところ、 $3\text{m/s}^2$  の加速度で加速した。

- (1) 物体にはたらく重力の大きさ  $W$  を求めよ。
- (2)  $T$  を求めよ。



#### 生徒の解答例

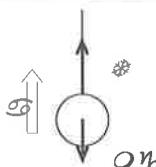
$$\begin{aligned}(1) \quad W &= 2 \cdot 9.8 = 19.6\text{N} \\ (2) \quad ma &= 2 \cdot 3 = 6\text{N} \\ T &= 19.6 + 6 = 25.6\text{N}\end{aligned}$$

#### 3-2 「=」でつなぐ式の思考過程の例

いままでも机間巡回などで「=」でつなぐ式で解く生徒が多いことには気がついていたが、教えていて違和感を感じていた。いわゆる計算式と関係式の違いである。例1～3の解答は間違いではないが、「解説・分析プリント」を作成するために、例3(2)での生徒の思考過程を考察した。

例3(2)は、物理教師であれば次のように解答するだろう。

$$\begin{aligned}ma &= F \\ \text{より } 2 \cdot 3 &= T - 2 \cdot 9.8 \\ \text{ゆえに } T &= 25.6\text{N}\end{aligned}$$



これは運動方程式を関係式と認識しているからで、「質量×加速度」は「力の合力」と等しい、すなわち上の図のようにイメージして問題を解いている。

しかし、例3で示した生徒は、「(おそらく意識せず)  $ma$  を何となく力の定義式と考え、その力が 6N となり、上向きに引っ張っているので  $T$  は  $mg$  より大きくなといけないから、 $mg+W$  で答が合っていた」と思考したのではないだろうか。そうであれば、例題2も、「質量×加速度」は「力の合力」に等しい、というイメージを持っていないで解いている可能性もある。これでは3力の問題や、慣性力を文字式であつかうような問題は解けないだろう。

#### 3-3 分析と考察

このように小テストの解答分析から、難しい

運動方程式の問題を解けない生徒は、関係式としての運動方程式のイメージができていないまま、簡単な問題なら答を求められていたことに、つまずきの原因があったのではないかとか考えている。

投射の興味深い解答があつたので紹介する。

例4 高さ 25.6m から初速度  $3\text{m/s}$  で鉛直下向きに投げ下ろした。何 s 後に地面に達するか。

#### 模範解答（計算省略）



#### 生徒の解答例

$t = \dots$  (できなかった)

例1は、公式通りに書くとたまたま「 $h=\dots$ 」の形になり、「=」でつなげてもうまくいったが、例4ではうまく立式できなかつたのだ。例1での成功が、例4のような公式の利用方法の理解を妨げ、さらに運動方程式の理解を妨げる遠因になっているのではないだろうか。

このような「=」をつなげるためのつまずきは、運動量保存則でも同様に見られ、誤概念とはいかないまでも、理解を妨げる大きな要因のひとつと考えている。生徒にとって、計算式と関係式の区別はできないので、日常的に「=」で続かないよう指導しているが、市販の問題集でもよく「=」で続けている模範解答があり、なかなか改善しない。

#### 4.まとめ

以上検討してきたように、小テストを利用して、生徒が問題を解くときの思考過程を推測し、つまずきの原因を探ってみた。生徒には、「物理では問題を解く思考過程を相手に伝えることが大切」だと指導している。つまずきの原因是、ベテランの教師であれば、経験の中で蓄積されているかもしれない。小テストに限らず、いろいろな場面でつまずきの原因を収集、分析することは物理概念の形成に役立つだろう。次ページの資料は実際の解説・分析プリントである。なお、つまずきの原因収集は、授業改善の一環であり、同僚の福士公一朗教諭との日常的な情報交換から発展したものである。この場をかりて感謝申し上げます。

## 小テスト 7月11日 解説 物理が得意になる近道

### 1 運動量と力積

なめらかな水平面上を、質量 20 kg の物体が 6.0 m/s の速さで運動している。

- (1) 物体の進行方向に 8.0 N の力を 5.0 秒間加えつづけると、物体の速さはいくらになるか。
- (2) 物体の進行方向と逆向きに 8.0 N の力を 5.0 秒間加えつづけると、物体の速さはいくらになるか

#### 【解説】

ポイント 物理の式には意味がある！！ 答が合っていただけで満足しないで見直してみよう。

使う公式は  $\vec{mv}_0 + \vec{I} = \vec{mv}$        $\vec{I} = \vec{F} \Delta t$  ただし、一直線上なので  $mv_0 + I = mv$

(ア) (1)の良い例

$$20 \times 6 + 8 \times 5 = 20v' \quad \therefore v' = 8 \text{m/s}$$

(イ) (2)の良い例

$$20 \times 6 - 8 \times 5 = 20v'' \quad \therefore v'' = 4 \text{m/s}$$

(イ) ややよくない例 (イメージが分断されている)

$$20 \times 6 + 8 \times 5 = 160$$

$$160 = 20v' \quad \therefore v' = 8 \text{m/s}$$

(ウ) よくない例 1 (計算式と物理的な式が混乱する)

$$20 \times 6 + 8 \times 5 = 120 + 40 = 160$$

$$160 = 20v' \quad \therefore v' = 8 \text{m/s}$$

(エ) よくない例 2 (イメージが分断されている)

$$20 \times 6 = 120$$

$$8 \times 5 = 40$$

$$120 + 40 = 160$$

$$\frac{160}{20} = 8 \quad \therefore 8 \text{m/s}$$

物理で扱う式には意味がある事が多い。 $mv_0 + I = mv$  では、左辺の物理量と右辺の物理量が一致している、という意味で、決して左辺を計算したら右辺にならなかったという意味ではない。

例えば、 $20 \times 6 + 8 \times 5 = 120 + 40 = 160$  は第1式を計算すると 160 になった、という意味だと読めてしまう。最終的な運動量が 160 になるという物理的なイメージにつながらない。

また、(イ)や(エ)の書き方では、「初めの運動量」「与えた力積」「最後の運動量」の物理的なイメージが分断されている。この問題の物理的な考え方

「ある運動量で運動していた物体に」 + 「力積を与えると」 = 「運動量が変化した」  
である。だから公式も  $mv_0 + I = mv$  と上記の意味の順番で書いてある。

「答が合っていれば良い」ではなく「物理の考え方」を式で表現できるよう練習しよう！！  
そのためには、(ウ)のような、1行に「=」でつなぐように式を書かないことが大切である。

補足 1  $20 \times 6 + 8 \times 5 = 20x'$  とかいた人もいるが、 $x$  は通常位置を表す場合が多いので、なれてくるとかえって物理的意味をとらえる邪魔になることがある。

補足 2 暗算でも計算できるからといって、例えば  $120 + 8 \times 5 = 20x'$  と書くと、120 という物理量だったのか、 $20 \times 6$  という 2 つの物理量のかけ算をしたのかイメージしにくくなる。簡単に計算できる「1」も含めて、公式の順番に省略せず代入することをおすすめる。

## 小テスト 7月18日 解説 物理が得意になる近道

### 1 一直線上的2球の衝突⑤

質量3.0kg、速さ3.0m/sの物体Aが、一直線上を反対側から進んできた質量2.0kg、速さ5.0m/sの物体Bと正面衝突した。



- (1) 2球の間の反発係数が0のとき、衝突後のA、Bの速度を求めよ。
- (2) 2球の間の反発係数が1のとき、衝突後の各物体の速度を求めよ。

**解答** (1) A、Bは一体となり、衝突前のAの進む向きと反対向きに 0.20m/s

(2) A、Bともに衝突前と反対向きに Aは3.4m/s、Bは4.6m/s

#### 【解説】

使う公式の確認 運動量保存則（直線上）  $m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2$

$$\text{反発係数 } e = -\frac{v'_1 - v'_2}{v_1 - v_2}$$

注意 「ただし、 $v_1, v_2, v'_1, v'_2$ は速度なので向きがある！」

運動量の問題は ①座標軸を決める（正負を決める） ②正負を気にして数値を当てはめる。

③連立方程式を解く。 がパターンです。（当然パターンから外れるとき有り）

(1)(2)に当てはめてみよう。

① 紙面右向きを正としよう（解答者が勝手に決めたので、上記の解答のように向きを書く）。

② そのため、 $v_1 = +3\text{m/s}$ ,  $v_2 = -5\text{m/s}$  である。 $v'_1, v'_2$ はこれから求めるのだが、速度なのでとりあえず正として式を立てる。 $(e=0)$ の場合は衝突後一体となるので、「運動量保存則」のみ立式すれば解けるが、「一体となる」ことは「君たちが結論を知っているだけで自明ではない」ので、反発係数の式も必ず立てること

運動量保存則は  $3 \times (+3) + 2 \times (-5) = 3 \times v'_1 + 2 \times v'_2$

$$\text{反発係数は } e = -\frac{v'_1 - v'_2}{(+3) - (-5)} \quad \text{ただし、(1)は} e=0, \text{(2)は} e=1$$

最初に書く式（立式といいます）は、数値を公式の順にそのまま代入し、計算しないのがコツ！

③ あとは連立方程式を解く。.

#### ※反発係数の式の覚え方

反発係数は  $e = -\frac{\text{衝突後}}{\text{衝突前}}$  である。「-」をよく忘れる。分母を「 $v_1 - v_2$ 」にしたら分子は「 $v'_1 - v'_2$ 」

よく考えたらわかるが、「 $v_1 - v_2$ 」でも「 $v_2 - v_1$ 」でも答は同じになる。

#### ※反発係数の式の発展

反発係数の公式  $e = -\frac{v'_1 - v'_2}{v_1 - v_2}$  は、 $e = -\frac{\text{衝突後の物体2に対する物体1の相対速度}}{\text{衝突前の物体2に対する物体1の相対速度}}$  つまり  $e = -\frac{v_{21}'}{v_{21}}$

となっている。この関係を使った問題は東大などの難関大学でよく出題される。

#### 《君たちの解答の分析》

(1)について：公式を理解していない、またはうろ覚えていないパターン

$$0 = \frac{v_A - v_B}{3 - 5} : \text{「-」を忘れた。分母が速度になっていない。}$$

$$0 = \frac{(-5) - v_B'}{3 - v_A'} : \text{反発係数の分母と分子がわかつていない。}$$

$$3 \times (+3) + 2 \times (-5) = -3 \times v'_1 + 2 \times v'_2 : v'_1 \text{が左向きだと考えて速度なのに「-」をつけた。本当は} v'_1 < 0$$

(2)について：正解だが「数値を公式の順にそのまま代入し、計算しない」という代入のコツを生かしていない。

$$9 - 10 = 3v_A + 2v_B \quad 1 = -\frac{v_A - v_B}{8} \quad 3 \times 3 - 5 \times 2 = 3v_A' + 2v_B'$$

これは、前回の解説に書いたとおり、直感的に物理量がわかりにくく、問題が難しくなると対応できない。

$$3 \times 3 + 2 \times (-5) = 3v_A' + 2v_B' = -1$$

これは前回の解説、1行に「=」を統一する原則に反している。さらに記述試験であれば、減点される恐れがある。

# 「エネルギーとその利用」から始める物理基礎

## (計算から始まらない物理基礎の授業を模索して)

北海道枝幸高等学校 佐藤 草馬

Hokkaido Esashi High School Kakuma Sato

平成24年度より、本校の理科では観点別評価の運用を始め、知識教授型授業だけでなく、科学的な思考や表現力を身につけられるような授業研究と改善を行っている。昨年度の本校の物理基礎では、力学分野の計算指導から始めてみたが生徒にとっては大きな困難があつたため、今年度はエネルギーの利用から始める授業構成に切り替えたところ、比較的物理基礎の授業に満足する生徒が増えた。本稿では、物理基礎の授業で実践したことを報告する。

### キーワード 物理基礎、再生可能エネルギー、観点別評価、グリーンパワープロジェクト

#### 1. はじめに

##### (1) 学校概要

本校は宗谷管内の全日制普通科2間口校で、枝幸町内の中学生のおよそ7割が入学する枝幸町唯一の高校である。

近隣町村からの流入者もなく、生徒間の人間関係も良好でかなり落ち着いた学校ではあるが、非常に学力差が大きい。また、国公立大学への進学希望者から町内就職希望者まで、多様な進路希望を持つ生徒集団なので、どの教科も授業の組み立てに試行錯誤を繰り返している。

##### (2) 物理基礎の授業概況

本校では「物理基礎」は2年次に2単位の必修科目として設置され、「物理」は3年次に4単位の選択科目として設置されている。

「物理基礎」は昨年度が初年度で、昨年度は教科書通りに授業を展開した。つまり、オーソドックスに力学、波、電気の順にシラバスを策定し授業を開始した。しかし、四則計算ができない、記録タイマーを用いた速さの実験データをまとめることができない、データからグラフにすることができないなど、例年以上に学力と学習意欲に困難があり、予定を大幅に遅らせることで生徒の「できない」に対応せざるを得なかつた。その結果、「物理基礎は難しい」と学ぶ意欲が著しく低下する生徒が多く見られたため、学習指導要領解説理科編を読み直し、昨年度の夏休み明けからシラバスを作り直し運用した。

このとき、本校の物理基礎の目標を「自然現象の法則性を理解するとともに、さまざまなエネルギーについて理解を深め、自分たちの将来のエネルギー問題について

考える基本的な知識を身につける」とことし、公式理解と計算演習に時間をかけるのではなく、できるだけ「思考・判断・表現」の観点で評価できるような授業展開に変更した。

表1 物理基礎の使用教材

教科書	物理基礎（東京書籍）
副教材1	レッツトライノート物理基礎（東京書籍）
副教材2	グリーンパワーブック～再生可能エネルギー入門（ダイヤモンド社）

また、一般社団法人 Think the Earth から案内があった「GREEN POWER プロジェクト」に応募し、「グリーンパワーブック～再生可能エネルギー入門」を40部送付して頂いたので、これを副教材として授業に組み込んだ。東京書籍の物理基礎の教科書は再生可能エネルギー発電についてのコラムが多く、グリーンパワーブックと合わせて、将来のエネルギーを考えさせる良い教材となった。

今年度は昨年度の改訂版シラバスを基に、「エネルギーとその利用」から授業を始め、レポートをまとめる、グループで話し合う、発表する、といふいわゆるキャリア教育でいう基礎的・汎用的能力の「人間関係形成力・社会形成力」と「課題対応能力」を伸長する授業を意識した。

#### 2. 物理基礎の授業計画とその展開

本校の物理基礎のシラバスを作成するときに、「エネルギー」を柱とした授業展開を考えた。これは、小学校・中学校の理科では物理分野は「エネルギー」という枠

で学習することになっていて、高校の物理基礎との接続性が強いからである。また、学習指導要領解説理科編(平成21年7月)の中でも、物理基礎の性格として、「物理基礎は、中学校で学習した内容を基礎として、日常生活や社会との関連を図りながら物体の運動などの様々な物理現象やエネルギーへの関心を高め、観察、実験などを通して物理学的に探究する能力と態度を育てるとともに、物理学の基本的な概念や原理・法則、物理学の果たす役割を理解させ、科学的な見方や考え方を養う科目である。」と明記されており、生徒の特質に合わせて、中学校との学びを意識した授業を計画することは望ましいと考えた。

表2 小学校・中学校理科と「物理基礎」の「エネルギー」を柱とした内容の構成 より

学年	エネルギー資源の有効利用
小6	電気の利用 ・発電・蓄電・電気の変換（光、音、熱などへの変換）・電気による発熱・電気の利用（身の回りにある電気を利用した道具）
中3	エネルギー ・様々なエネルギーとその変換（熱の伝わり方、エネルギー変換の効率を含む）・エネルギー資源（放射線を含む）・科学技術の発展 自然環境の保全と科学技術の利用
高校 物理 基礎	エネルギーとその利用 (放射線及び原子力の利用とその安全性) 物理学が拓く世界

学習指導要領解説理科編(平成21年7月)によれば、エネルギーとその利用の内容は、「人類が利用可能な水力、化石燃料、原子力、太陽光などを源とするエネルギーの特性や利用などについて、物理学的な視点から理解すること。(中略) 原子力については、関連して放射線及び原子力の利用とその安全性の問題にも触れること。(中略) 中学校では、第1分野『(7) 科学技術と人間』で、様々なエネルギー資源の利用と開発及び環境保全について学習している。」となっている。

そこで、本校では、物理基礎を学ぶ目的を最初に生徒自身が理解できるように、「エネルギーとその利用」から授業を行うことでゴールを先に示し、計算からではなく「読み書き」を中心とした授業に構成することで、「物理嫌い」を軽減しようと試み、次の表3のように物理基礎の授業計画を作成した。

表3 平成26年度枝幸高校物理基礎授業計画

実施時期	単元	頁	考査
4～5月	エネルギーとその利用	196	①
5～6月	物理学が拓く世界	215	
6月	物理量の測定と扱い方	2	
6～7月	速度・加速度	14	②
7～9月	さまざまな力とそれはたらき	32	
9～10月	力学的エネルギー	76	③
11月	熱	118	
12月	波	134	④
1～3月	電気と磁気	164	
3月	エネルギーとその利用	196	

※頁は物理基礎（東京書籍）のもの

表4 「エネルギーとその利用」の授業展開

回	項目	種別	評価 観点
1	エネルギーの歴史	動画	関心
	教科書 p.200～p.203 のエネルギーのグラフ	図書	技能
2	核分裂とは	動画	関心
	教科書 p.204～p.205 の原子力発電	図書	技能
3	東海発電所	動画	関心
	教科書 p.207、p.209 の原子力発電のリスク	図書	表現
4	ジャンケンで半減期	実験	思考 技能
	教科書 p.208 の放射線の人体への影響	図書	表現
5	自然エネルギー	動画	関心
	教科書 p.211-p.213 の再生可能エネルギー	図書	表現
6	グリーンパワーブック p.52～p.53、p.112～p.115 の再生可能エネルギーのメリット	図書	思考 表現
7	Green power book の p.56～p.97 を参考に、わたしたちの住む枝幸町に導入したい再生可能エネルギーを考えよう	図書	思考 表現
8	グループ討論	GW	意欲
9	発表スライド作成	GW	意欲 技能
10	発表会	GW	表現

※GW…グループワーク

授業の初回で物理基礎のシラバスを説明するときに、学習の進め方として「まずは、グループによる調べ学習と発表、エネルギーに関する演習を多く取り入れ、レポートの書き方や科学の表現方法を学ぶ」ことを伝え、評価の方法として、観点別評価の「思考・判断・表現」の項目で総合点の40%を占めることを説明した。

「エネルギーとその利用」の授業は、レポートを書くことに重点をおくため、図書教材とビデオ教材を利用することにした。図書教材は、昨年度使用した副教材「グリーンパワーブック～再生可能エネルギー入門」は学校保管（理科の所有図書）としたので、今年度も利用し、文部科学省作成の副読本「知つておきたい放射線のこと」を利用した。ビデオ教材は、JST（科学技術振興機）のサイエンスチャンネルから動画をダウンロードし、プロジェクトを通して理科室で視聴できるようにした。今年度は「自然と共生するエネルギー開発～日本と北欧で考える～」シリーズと「ようこそ職場へ！（6）日本原子力発電株式会社 東海発電所」をダウンロードして使用した。

レポートはA4用紙1枚両面で作成させ、原則次の授業までに提出するように指示を出した。発表スライドは、A4横でテンプレートを作り、手書きで作成させた。このスライドを実物投影機でスクリーンに投影し、班ごとに発表させた。発表を聞いていたる生徒は審査員として、各班の発表の良かった点と改善すべき点を1つ書き、どの班の発表が一番良かったか記入させた。最後に、個人でまとめた資料と発表資料、審査用紙を冊子にして印刷し、全員に配布した。

写真1 発表会の様子



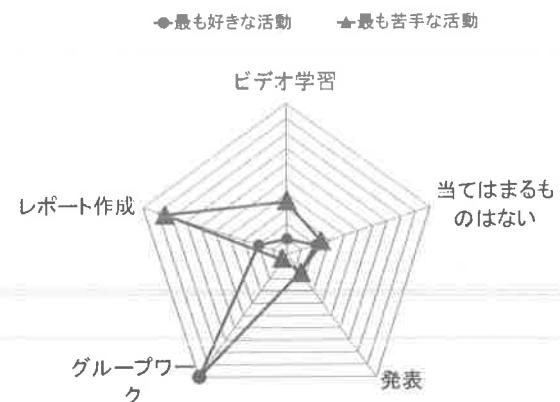
### 3. 授業アンケート結果

「エネルギーとその利用」の単元が終わったときに、アンケート調査を行った。平成25年度は3月に実施、平成26年度は5月に実施した。

表5 アンケート質問項目（一部抜粋）

質問	内容
1-10	今回の授業でもっとも好きな活動はどれですか。1つ選んでください。
1-11	今回の授業でもっとも苦手な活動はどれですか。1つ選んでください。
2-1	「物理基礎」の授業について興味が持てているかどうか、あなたが感じていることを教えてください。
2-2	「物理基礎」の授業を楽しんでいますか。
2-3	「物理基礎」の難易度について、あなたが感じていることを教えてください。
2-4	今のところ「物理基礎」の知識は今後の生活に役立ちそうかどうか、あなたが感じていることを教えてください。

グラフ1 平成26年度物理基礎 質問1-10、1-11



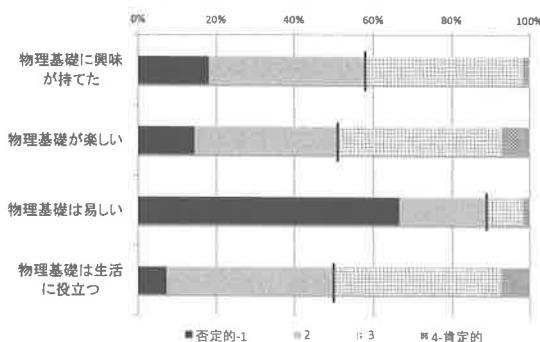
グラフ1に示したように、生徒はグループワークに関心を強く持ち、レポート作成を苦手としていた。これは平成25年度も同様の結果になっていたので、レポート作成の方法について、もう少し時間をかけて指導することや、ワークシート形式のレポートを、より多く取り入れるなど、再度検討すべきと考えている。また、ビデオ学習について「メモを取りながら見るのが大変だ」と回答する生徒もいて、ビデオの再検討とワークシートの作成などの見直しが必要であった。

そして、この結果からグループワークを通して生徒同士の意見交換が進み、ねらいの一つである生徒の「基礎的汎用的能力」の「人間関係形成能力」を高めることができたのではないかと、考えている。

グラフ2から、物理基礎は「難しいけれど、楽しい」

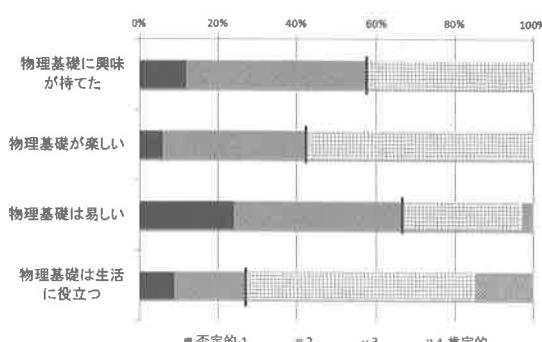
という傾向が見られた。

グラフ2 質問2-1～質問2-4の回答（平成25年度）



平成25年度は計算が多い力学からスタートし、最後に「エネルギーとその利用」を実施した。その結果、アンケート回答の多くに「計算が難しかった」「理解できなかった」という記述がとても多く、9割の生徒が「物理基礎が難しい」「物理基礎がやや難しい」と感じていた。反面、「物理基礎が楽しい」「物理基礎がやや楽しい」という回答が5割強を占め、物理基礎に興味を持った生徒も5割程度と、「エネルギーとその利用」の単元を工夫することで物理離れを回避できた。生徒の自由記述の中に「最後のほうで、ウチらのレベルに合った授業で楽しかったです。」というのもあり、物理基礎の初年度として、反省は多いものの、光明が見えたものになった。

グラフ3 質問2-1～質問2-4の回答（平成26年度）



平成26年度と平成25年度は実施時期が異なるため、単純な比較はできないが、質問2-3の物理基礎の難易度について大きな差が生じていた。「難しい」と回答した平成25年度の7割から大幅に減少し、2割強になっていた。物理基礎が「楽しい・やや楽しい」および、

物理基礎に「興味が持てた・やや興味が持てた」と肯定的な回答を選択した割合が平成25年度との差違が大きくなることから、「エネルギーとその利用」から始める授業は、計算から始める授業よりも取つきやすく、生徒の物理に対する興味関心を引く導入時の授業として適していると思われる。

#### 4. 終わりに

両年度のアンケートの結果から、実施時期や計画が異なるとはいっても、「グループワークが楽しかった」「少しは興味が持てる授業になった」という記述もあり、生徒が主体的に学ぶことで、物理基礎への興味関心が高まるという感触を得ることができた。

生徒が「楽しい」と興味を持ってもらえば、自分で学び始めるということは教員として経験的に知っていることだが、生徒の実態を把握し、そのキャリア発達に応じた授業展開をすることで、より積極的に物理に対して「楽しい」を引き出すことができる。まだまだ、試行錯誤を続けなければならない段階だが、生徒が物理基礎を自分で学び始められるように、計算から始まらない物理基礎の授業展開を構築したい。

引用文献) 佐藤革馬：「エネルギーとその利用」から始める物理基礎、北海道の理科 No.57、p.18～21、2014

# 言語活動を中心とした科学リテラシー教育

北海道留辺蘂高等学校 安東 周作

〔概要〕平成25年度に留辺蘂高校はユネスコスクールに加盟し、以来各教科ごとにESDや観点別評価の視点を踏まえながら教科活動にあたっている。本校では理系大学進学者がいないため、高校での授業が実質最後の理科教育になる生徒が多い。そのため、授業では将来的に必要な科学リテラシーの素養を身につけることを重んじ、自らが科学的事象を論理的に考え課題解決できる能力を育むため、言語活動を中心とした授業を多く取り入れている。ディスカッションだけではなく、広義のプレゼンテーション能力の育成も踏まえた、本校の取り組みを一部紹介する。

**キーワード** 科学リテラシー 科学技術コミュニケーション ESD 言語活動 ワークショップ

## 1. はじめに

将来的に生徒に求められる科学リテラシーとは何であろうか。例えば地域科学を例に取ると、地学基礎の学習指導要領の目標として「日常生活や社会との関連を絶りながら地球や地球を取り巻く環境への関心を高め、…」とある。東日本大震災の後、学校における防災教育の在り方が重要視されているが、日本の高校では地学選択者が極端に少なく、地学リテラシーが中学レベルにとどまる日本人が多い。地震大国の日本において、地震発生の基本的なメカニズムやプレートの運動に対する知識が浅い現状を踏まえるに、地学基礎の役割は指導要領のみならず、生涯学習的な観点で生活に密接に関係した地学現象を物理的に理解できることにあるのではないかと考えている。それ故、計算ができるなくとも物理的に地図のダイナミクスを理解することに他ならない。本校は大学受験で理科を利用することはなく、小数や分数の計算、九九もままならない生徒も多い。しかし、定量的な理解のみが科学的思考ではなく、定性的なものを駆使しながら質の高い科学的思考を育むことは可能である。そのためには授業の中での言語活動など、主体的に生徒が授業に参加する場を設け学習意欲を高めることが、効果的な例であると考える。昨年度の授業の中で、生徒の評判の良かったものを中心に簡単に紹介する。

## 2. 地層モデルの観察

逆断層の形成実験は大変オーソドックスであるが教育効果は高い。材料も入手しやすく準備も容易である。

〔材料〕すべて100円ショップで購入]

- ・フィギュアを飾る透明ケース
- ・塩、きなこ、ココアパウダー等
- ・プラスチック板(カードタイプ)
- ・ペンシルキャップ(建物に見立てる)

〔実験方法〕

①透明ケースに片栗粉ときなこを薄くしきつめて、地層を作成する。その際あまり粉を入れすぎないように注意し、だいたい各層が1cm程度になるくらいにおさめる。その後構造物としてペンシルキャップをさしこむ。

- ②プラスチックの板で、ゆっくりと丁寧に押していく、押す力によってどのような断層になるか観察し、スケッチする。(予想図も描く:立体的な考え方)
- ③他のグループと自分のグループの断層の違いを觀察し、気がついた点をまとめる。
- ④生じた断层面の面積を求める。定規を使って概算。

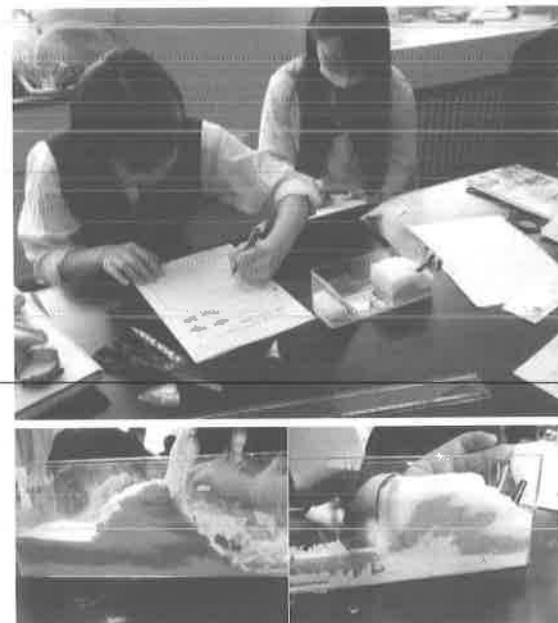


図1 地層モデルで断层面の大きさを計算する生徒

班によって逆断層の様子は異なる。定規を使い断层面の大きさも計算させ、エネルギーと断层面の関係について考察させる

〔結果〕全体としてきれいに断層ができたことへの驚きは強かった。地下の応力と断層のイメージがついた生徒多かった。

### 3. 液状化現象と構造物の振動

#### (A) 液状化の観察

「エッキー」<sup>2)</sup>を使うと簡単に液状化を説明できるが、実際に自分で揺らし、より地震感を味わってもらうために、浅漬け用のプラスチックの漬物桶(透明)に礫・砂・粘土を詰め、水を加えかき混ぜ、構造物に見立てたものを差し込み、ガタガタ揺らして液状化現象を観察する。

[材料] 浅漬け用のプラスチックの漬物桶、砂など

#### (B) 長周期地震動と共振

地震動の周期と建築物の揺れの関係を感覚的に知る方法として効果的である。授業では厚紙を 1cm × 20cm 程度にカットした厚紙を組み合わせて、ビルなどのトラス構造(建物の骨組み)を作り、紙の上に少しずつ重ねていき、下から手で短周期と長周期の揺れを与えて揺れの違いを比べる観察を行った。また、免震や耐震などの話にも触れながら、どうしたら建物の揺れを押さえることができるのか考えさせた。

[材料] 割り箸、厚紙、糸、おもり

### 4. 関心・意欲と言語活動を考える

授業内で意見や質問を求めるとき、なかなか積極的に回答しない生徒が多い。間違えることが恥ずかしいとか、自信がないなどの理由が大半だが、生徒が互いに意見を出し合なながら、ディスカッションの場ができるることは言語活動の醍醐味である。昨年度の授業で、<sup>1)</sup>宇宙のスケール感覚を養うワークショップの他に、系外惑星に関連したものを行ったので紹介する。

#### ○ 地球外生命体に関するワークショップ

自習課題として、天文学者のカール・セーガン原作の映画『コンタクト』を鑑賞させたことがあった。SETI プロジェクトの研究者がこと座のベガから特殊な電波信号をとらえて、地球外生命体のメッセージを解読する内容だが、映画内の科学的な内容は興味深い。劇中でその研究者はベガからの電波信号が素数列であることから知的生命体の存在を確信したシーンがあるが、地球外の生命体へ地球人から情報伝達することは容易ではない。英語や日本語のような言語ツールではなく、「素数」のような宇宙で共通の自然法則や性質を用いる必要性もある。衛星パイオニアやボイジャーに搭載されているディスクは有名であるが、そこには水素原子の超微細構造などが記載され、シンプルかつ物理的な情報により情報を伝える工夫がされている。そこで、今まで培ってきた理科の知識を用いて、系外の生命体とどのようにコンタクトをとり情報を伝えられるのかを生徒同士で考えるワークショップを行った。これは以前とある海外の番組で、科学者同士がやっていたものをヒントに行っている。

実施日：2013年12月13日1・2校時(理科基礎)

場 所：物理実験室・第31講義室

履修者：16名(3学年・選択科目) + 理科教員2名

**【概要】** 8名で2つにグループ分けをし、それぞれを惑星A・惑星Bとする。Aを物理室、Bを31講義室に分け、下のようにそれぞれの惑星の基本情報を与える。共通の情報として、惑星の位置・大気成分・温度等を設定する。50分間に厚紙に相手の惑星へ、自分の惑星の情報のメッセージを作成する。その際、言語を用いずにメッセージ内容を制作。完成後、休み時間に教員がメッセージボードを互いの教室へ渡し、25分間に内容を解読する。休み時間中互いの教室への出入りは控えるよう指示する。解読後一つの教室に集まり、解読内容を互いに発表しきりかえりを行う。

【例】	惑星A	惑星B
位 置	渦巻き銀河の腕	こと座のベガ
温 度	高 温 (数千度)	30°C前後
大 気	鉄が主成分	メタンが主成分

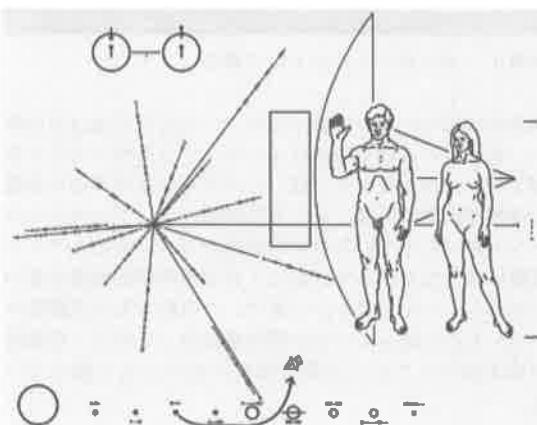


図2 パイオニアのメッセージ (図は Wikipedia より引用)



図3 生徒の話し合いの様子

#### 【考察】

全員が授業結果に満足し、非言語的なツールで情報を伝えることの難しさを実感した。教員側としては、大気の成分などでは結晶構造を描いてくれることを少し期待し

たが、知識的には厳しいものがあった。「光沢感」や「熱」のような金属の性質に着目し、伝える努力はしていた。恒星の位置関係は、両者とも伝わっていた。



写真1 プレゼンテーションの様子

試作的に行ったものだったので、まだまだ改良点は多い。進め方の道筋を明確にルール化する必要があると実感した。しかしながら、拙いながらも生徒の中から金属の性質や大気の性質。見え方や特徴など、ディスカッションの中でもっている科学的知識をぶつけ合えたことの意義は相当大きかった。培ってきた理科学的知識を互いにふりかえり合えたという点で、日頃科学をほぼ馴染みのないものと思っている本校生徒には、このような議論の場を設けたことへの教育効果は高かったと感じている。

## 5. 環境科学の視点 ~環境教育とリスクマネジメント教育~

新学習指導要領になってから、地学基礎の中で「地球の環境」を扱うこととなり、「地球環境の変化を科学的に考察すること」と、「日本の自然環境を理解し、その恩恵や災害など自然環境と人間生活とのかかわりについて考察すること」が求められている。東京書籍の教科書では、「4編4章 これからの地球」において、世界の取り組み、代替エネルギー、持続可能な発展についてとりあげられている。本校では、学校設定科目「環境科学」において ESD(持続可能な開発のための教育)に基づいた環境教育を展開している。の中ではリスクマネジメントを取りあげ、経済発展と環境について、人間との関連を深めながら持続可能な開発についてディスカッションする機会を設けている。他校でも原子力エネルギーの利用や放射線について考える授業が行われているが、地学基礎では防災の観点からも環境問題についてアプローチしやすい。しかし、環境問題の中身によってはオープンエンドな議論であることが望ましい場合も存在しうる。

## 「想定外」は免罪符となるのか？

### 事例3

1000年に一度の大地震によって、原発が破壊されて、大量の放射能でA国が汚染されてしまった。

関係者談：こんな地震は想定外であった。

### 事例4

1000万年に一度の大震石が衝突し、原発が破壊されて、大量の放射能でA国が汚染されてしまった。

関係者談：こんな震石は想定外であった。



今非常に危機感の高いトピックなので、自分がこれを読み取ることによって、自分が書いた話の重いを免罪されるるに信じられない。改めて気付ける原団

## リスクマネジメント(RISK MANAGEMENT)

想定されるリスクに対して事前の予防措置を講じることによって危険発生を未然に防止すること

### 「危機管理」との違い

危機管理とは、起きてしまった緊急課題に速やかに対処して危険拡大を防ぎ収束させていくこと。

危機管理のことをクライスマネジメントといふ

### リスク評価の公式

$$(リスクの大きさ) = (損害の強度) \times (発生の頻度)$$

損害の強度・・・甚ましくない結果のひどさの程度  
発生の頻度・・・その発生のしやすさの程度

## DISCUSSION TIME (10MIN)

①以上の話を踏まえて、以下のことを議論して下さい。

1. リスクマネジメントを徹底すれば、福島第一原子力発電所の事故を防ぐことはできたのか？

2. リスクマネジメントを徹底して、今後、日本で原子力発電を続けるべきか。



資料1 「環境科学」の授業スライド一部

○原子力エネルギーや放射線の問題を扱う難しさ  
平成25年度の第5回北海道エネルギー環境教育研究大会に於いて、札幌北高校の公開授業<sup>3)</sup>で「原子力エネルギーを考えるワークショップ」が行われた。合評会の中でも、リスクマネジメントの学びの重要性は指摘されている。本校の環境科学でもひとつの明確なルールとして、  
①教員側から正解を与えないこと。(教員の主觀を排除)  
②反対意見があつてもそれを否定せずに、一度自分たちの中で受け入れて議論すること。③授業内では結論

を求めずオープンエンドな議論になる可能性が高いことへの了承をとること。

のようなバイアスのかからないファシリテーションに注意している。今年度5月の授業では、原子力発電所の事故に関連して「想定外」という言葉をキーワードに原子力エネルギーを自分たちがどのように考え選択するべきかをディスカッションさせる機会を設けた。その後9月に外部講師による原子力を含めたエネルギー・環境問題についての講義を行い、これからエネルギー選択をどうすべきかを肯定的立場・否定的立場の両方の視点から論じ、グループ毎にまとめる学習を行った。

#### ○比較的容易な水質調査

昨年度の本校の課題研究では環境グループの生徒3名が水環境について調べ、総合学科研究発表会で発表を行った。各自が休日中に常呂川・小町川・網走湖等に出向き、水を採取して比較調査をしたのだが、水質調査は簡易パックテストがあるため比較的簡単にCODやpHの測定が行える。



写真2 学校近くの農業用水路の水を探取し分析する生徒

#### 6. おわりに

赴任以来「留辺蘿高校でアカデミックスキルを」を目標に、生徒の科学リテラシーを高める方法を考えてきた。その中で、勉強ができないという苦手意識が生徒の自己肯定感の低さにつながっていることを日々実感している。そのような生徒の興味関心を育み、教科の中で教員と生徒の間の信頼関係を築く方法はそう容易いものではないとも感じる。赴任した年に、本校生徒から「どうせうちの高校なんて他校より簡単なことしかやらないし、

テスト楽だし」という言葉を聞き衝撃を受けたことがあった。それ以来少なからず学んだ内容に対して自信を持って欲しいと思い、定性的な理解のものならば難しいことをできるだけ扱ってきた。一度私のわがままで、3年次の理科基礎の授業で東京大学の地学の入試問題を解かせたことがあった。もちろん難易的なものとしてはやや易しいものを選んでいるが、彼らにとって難易はどうあれ一部でも解けたことや問題が理解できたことが大きな自信につながった。7・12月の授業アンケートでも達成感を持った生徒は多かった。就職して高校が最後の理科の学び場となるであろう彼らが、少しでもテレビの科学番組をみたり、本屋の科学雑誌を手に取る大人になってくれたらと願いたい。

#### 授業評価アンケート結果 理科基礎:16名

1. 授業内容は適度に難しく、達成感のある内容だ
2. プリントや参考資料等は役立っている
3. 授業の分量や進む速さはちょうど良い
4. 説明や指示はわかりやすい
5. 一人一人気を配りながら授業を進めている
6. 教え方に熱意を感じる
7. 授業ルールや約束事を大事にしている

項目	回答数				平均値 (12月)	7月比
	4	3	2	1		
1	14	2	0	0	3.9	+ 0.1
2	14	2	0	0	3.9	+ 0.1
3	11	5	0	0	3.7	+ 0.3
4	14	2	0	0	3.9	+ 0.3
5	10	5	1	0	3.6	+ 0.2
6	14	2	0	0	3.9	+ 0.3
7	12	4	0	0	3.8	+ 0.4

7月と12月の調査結果比。4段階評価。4…あてはまる 3…ややあてはまる 2…ややあてはまらない 1…あてはまらない

資料2 授業評価項目

留辺蘿高校のホームページでも理科の授業をいくつか簡単に紹介している。(http://www.rukou.hokkaido.c-ed.jp/) 本原稿は、「北海道の理科」No.57 2014-7に掲載された内容を基に一部加筆・修正したものである。

#### 引用文献

- 1) 安東周作：物理教育第62巻第1号, 46-49, (2014).
- 2) 独立行政法人防災科学技術研究所のホームページ：  
http://www.bosai.go.jp/activity\_general/ekky/ekky.html
- 3) 福士公一朗：北海道の理科 No.57, 8-11, (2014),

# 物理基礎における英語講読の試み

北海道札幌手稲高等学校 近藤 敏樹

私の勤務する札幌手稲高等学校では新課程になってから英語の学力が低下してきている。特に文法や読解力に問題が生じている。この問題は義務教育段階での英語教育のコミュニケーション重視に何らかの原因がありそうである。

本校に訪問される大学の先生ともこの点について議論したことがある。将来理系に進んだときに英文の論文を読みこなすことが出来るのか、論文を英語で記述する力はあるのかといった危惧が話題になる。大学入試は大学で英文が読めるか書けるかと言った必要性から、簡単にはコミュニケーション重視の方向性にはならないだろうという話である。

さて、本校の物理の授業は理系クラスのみ2年次に物理基礎を履修し、3年次から物理を履修する。この中で少しでも英語の重要性と科学英語の必要性を感じてもらい物理と英語学習をリンクさせて学習意欲の向上につなげられればと思った。

[キーワード] 科学英語 新課程物理 英語教育のコミュニケーション重視

## 1. はじめに

物理の法則や数学の定理、方程式は英語で読んだ方がすっきりと理解できるのではないかと以前から考えていた。余分な飾りを無くした英語の文の中に物理や数学の合理的な発想がすっきりと当てはまる。そもそも英語のような言語だからこそ科学が合理的に発展してきたのではないかとさえ思う。

そこで出来るだけ平易な英文の物理教科書を探し、その中の2、3行文の英文を読む。辞書等を使用して内容を日本語に読み直すと言う論文講読の形を取った。

題材としては、教科書に太文字で書いている用語、しかも読んでもわかりにくい法則等を使用する。

また、普段使う英単語の意味と物理用語としての単語の意味が違う場合などを認識させる。新課程の物理教科書には科学用語の英単語も載っているので、活用する。

## 2. ニュートンの運動の3法則について

今回は題材として物理基礎で学習する「ニュートンの運動の法則」を題材とした。

理由は物理を囁いた生徒なら、だれしもが知っていて、しかし中味を良く理解している生徒は少ないテーマであること。何より教科書の説明が明快でないこと。英文を読解した方がハッキリとその意味が判るのでないかと言う理由である。

実施学年クラスは2年次理系担当クラスである2クラスで実施した。各42名のクラスで全員必修の3単位である。

## 3. 教科書中の運動の法則の記述

本校で使用している教研出版「物理基礎」中の「ニュートンの運動の法則」はこのように記述されている。<sup>1)</sup>

慣性の法則：

「外部から力を受けないか、あるいは外部から受ける力がつりあっている場合には、静止している物体はいつまでも静止をし続け、運動している物体は等速直線運動をし続ける」

運動の法則：

「物体にいくつかの力がはたらくとき、物体にはそれらの合力Fの向きに加速度aが生じる。その加速度の大きさは合力の大きさに比例し、物体の質量mに反比例する」

作用反作用の法則：

「物体Aから物体Bに力をはたらかせると、物体Bから物体Aに、同じ作用線上で、大きさが等しく、向きが反対の力がはたらく」

今回英文の教科書として使用したのは、物理学習者のための教養本である、

Johnnie T.Dennis and Gary Moring, "THE COMPLETE IDIOT'S GUIDE TO Physics" ALPHAを使用した。これは

運動の法則に関する記述が専門用語にたよらず比較的平易な英文で記述されている為である。

#### 4. 英文全文と読解テーマ文

参考に運動の法則の部分とその前段に当たる法則の説明文を載せておく。<sup>2)</sup>

##### Forces and Motion

In 1687, Sir Isaac Newton made available what is considered to be the greatest work in physics ever published. It was titled "The Mathematical Principles of Natural Philosophy," or *Principia* for short. What he did was to bring together all of the knowledge about physics that had been discovered so far, and expanded on it. He combined and synthesized ideas that would remain unchanged for more than 300 years, and even then the alterations that have been made to his theories are minimal. (Although Einstein did a good job of standing some on their head.)

##### The Three Laws of Motion

First law: Every body continues in its state of rest, or of uniform motion in a straight line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.

Second law: The change in motion is proportional to the force impressed; and is made in the direction of the straight line in which the force is impressed.

Third law: To every action there is always opposed an equal reaction: or, the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.

以上の文章を読解しようする試みの授業である。

#### 5. 導入と第1回目の試行授業

まず導入として、英語の読解力や記述力は科学の世界に進むには必要不可欠であることを話した。大学で論文講読であったり、英文による論文記述であったり、テストが英文であったりすることを説明した。また必要とされているのは英文学のようなものでは無く、科学英語であり、簡単で良いので英語が出来れば良いことを説明した。

第1回目は6月中旬に運動の法則を学習したところで

実施した。上記の英文を2年の二2クラスに宿題として訳してきてもらった。その中から良い文章を選び出しみんなで考えることとした。

ところが提出率が悪く合計4名ほどしか集まらなかつた。ただ、訳してきた生徒の中にはこなれた日本語に訳してきた生徒も1名いたのは驚いた。まず、訳せないわけでは無いことと、時間を与えてどうして訳せないのか試すこととした。

#### 6. 第2回目の試行授業と結果

第1回の失敗から、2月に実施した第2回では下記のように読解文章を抜粋して1クラスで実施した。

授業の中で辞書を用意してピックアップした構文を訳す。その上で読解英文を読みこなしていく。次に上げる文章はその文章と誤訳を上げる。

##### 【読解英文】下線部は物理用語

##### The Three Laws of Motion

##### First law:

Every body continues in its state of rest, or of uniform motion in a straight line, unless it is compelled to change that state by forces impressed upon it.

##### Second law:

The change in motion is proportional to the force impressed; and is made in the direction of the straight line in which the force is impressed.

##### Third law:

To every action there is always opposed an equal reaction: or, the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.

##### 各部分の意味を調べよう

(括弧内は代表的誤訳?の例)

- 1 Law (法律・法)
- 2 Motion (動き)
- 3 First law (最初の法則)
- 4 body (体)
- 5 continue in (保つ)
- 6 state (状況)
- 7 rest (休む・休憩・制止)
- 8 uniform motion (一定の運動)

- 9 straight line (まっすぐひく線)
- 10 compelled to (compel to) (強制する)
- 11 impressed upon (impress upon) (乗っける)
- 12 Second law (2つめ)
- 13 change (変える)
- 14 proportional to (均等に)
- 15 direction (直接に)
- 16 Third law (3つ目の法律)
- 17 opposed an equal reaction (反応)
- 18 the mutual actions (力)
- 19 directed to (direct to) (直接的に)
- 20 contrary parts (反対の方向へ)

誤訳のパターンからみると、物理基礎学習した物理用語と英単語が一致しない為に一般的な訳を選択してしまった例が多かった。つまり、物理の法則や運動、静止状態などの用語の基礎的な力があって英文を読み解きること、科学英語の単語力はやはり別物であることを知った。確かに我々が英語の論文を講読しようとするときに専門用語に苦労する。その専門用語は大学レベルになればまとまった用語集として見かけることはあるが、高校レベルで英語論文を読もうとするときには、科学の基本的知識が土台にあり、さらに専門用語であることを認識して読み取ることが必要であることに気が付いた。

## 7. 生徒の訳した日本文の例

生徒の訳した比較的良好な文章の例を2名挙げる。

はじめのこの生徒は物理の学力も良好な生徒である。

### 「第1法則

すべての物体は止まり続けるか、一定直線運動を続ける、もし物体に影響を与えるような力によって変化を強制されなければ。

### 第2法則

運動の変化は力の影響に関係しており、物体が直線上で影響を与えられた方向上で生じる。

### 第3法則

すべての動きにはいつも反対の等しい反応があり、すなわちそれぞれの物体上の相互の動きは常に等しく反対の方向に働く。」

次に上げる生徒が生徒の一般的な訳の例である。おおかた次ののような感じの訳が多かった。この生徒は物理選択者であり、成績は中位の生徒である。

## 「運動の3つの法則

### 一つ目の法則

皆さんは静止する状態を保つものや変化する運動にはまっすぐな線があり、そうでなければ強制的に重力的な影響を与えられる状態に変化することを強いられます。

### 二つ目の法則

動きの変化は強制的な表現で印象を与え、強制するまっすぐな線からの位置から作られるのは感銘を受けます。

### 三つ目の法則

さまざまな動きには、いつも等しく反応を起こします。それぞれの2つの身体で手や体を使う行動はいつも等しく、さまざまな部分に影響を与えています。」

二人目のような生徒などにして導き、比較的読めるようにしていくのが今後の課題であろう。

基本的な語彙力の不足を感じる生徒もいた。これらの生徒は英語の語彙力というよりは日本語の訳す段階での日本語の語彙力や構成力の不足を感じさせる訳であった。

以上の状況から考えると、まず日本語による文章の力を理科実験レポート、理科の概念を日本語でまとめる等により鍛えていく必要性を感じた。その基本的知識や土台の上に英文を読んでいくことの必要性を感じた。

## 8. まとめ

英文講読の授業を今回手始めとして試みた。この中で一番困った点は、生徒の学力や訳すための日本語能力ではなく。自分自身の英語の力であった。特に旧旧課程ぐらいに属する私としては、生徒よりも発音等が苦手としていた実態であった。

英語の重要性を生徒に気づかせるにはどれだけの効果があったのかについて今後評価方法を検討したい。

## 9. 引用文献

引用文献 1) 物理基礎 数研出版

引用文献 2) Johnnie T.Dennis and Gary Moring,  
"THE COMPLETE IDIOT'S GUIDE TO Physics" ALPHA,  
pp.60~62,2006

## 第31回物理教育研究大会に参加して

北海道長沼高等学校 石川 昌司

8月11日（月）・12日（火）の2日間、日本物理教育学会と電気通信大学の共催で「第31回物理教育研究大会」が行なわれました。私は、北海道支部からの派遣者として参加して参りましたので、その報告をさせていただきます。

前日、折しも台風1号が関東地方に近づきつつある中でしたが、幸い私が乗った飛行機はほぼ定刻の昼ごろ羽田空港に着陸しました。しかし、すでに降り始めていた雨は、品川に移動した頃にはすでに猛烈な集中豪雨となり、その激しさは線路上に降る雨のしぶきが駅のホームに立っている人にもかかるほどで、これはこの先どうなるかと心配になりましたが、その後、雨足は少しずつ弱くなり、夕刻にはほとんど雨は上がって、私も一安心しました。

翌日の天候は曇り、気温もそれほど高くなく、東京のこの時期としてはたいへん過ごしやすい日となりました。調布駅で電車を降り、約10分ほど歩き、会場の電気通信大学に着きました。



私は、電通大を訪れるのは今回が初めてです。電気通信大学(英語名 The University of Electro-Communications 略称 UEC)は、大正7年東京に創設された無線電信講習所が起源であり、戦後新制大学となり、初代学長はあの有名な「自然科学者のための数学概論」の著者、寺沢寛一博士だそうです。昭和32年に目黒から現在の調布に移転しました。国立大学法人が設置する大学では唯一地名が入らない大学として有名で、電通大のWebサイトは日本初の大学サイトとしても知られているそうです。卒業生には、山岳小説で有名な作家、新田二郎がいるそうです。



キャンパスは緑の多い閑静な佇まいでの、ここが東京だとうことをいつき忘れてしまいそうでした。お盆の時期が近かったにも関わらず、たくさんの学生が構内を行き交い、大会会場階下のロビー（自習室？）で、思い思いに学習を取り組んでいる、熱心な学生達の姿がとても印象的でした。

さて、今年の大会ですが、「物理をどう教えるか～基礎概念の定着を目指して～」のテーマの下、原著講演、特別講演、ポスターセッション、学会賞表彰式及び記念講演、シンポジウム（基調報告等、討論），と多彩な内容がぎっしりと並び、さらに、1日目の晩には、学生会館での交流会もあり、相当ハードな2日間となりました。



原著講演は、8つのパートに分かれて合計40本行われました。件数が当初の事務局の予想を大幅に上回っていたらしく、大会日程の開始時刻を予定より30分繰り上げて9時開始としてなんとか収めたようです。

報告の主旨からすればここで発表者名と発表タイトルができるだけ多く紹介したいところですが、40本もあるとそ

れだけで本稿の約半分を消費してしまいますので、北海道関係だけに限りますと、佐々木淳氏（函館高専）「能動的な学習姿勢を引き出す指導方法と教材の工夫」、鶴岡森昭氏（元札幌清田高校）「放射線の指導実践」、長谷川誠氏（千歳科技大学）「学生の正課外プロジェクトによる小中学校の理科教育支援活動と学生教育効果」の3本がありました。（山田大隆氏（酪農学園大）が科学史関連の発表を予定していましたが都合により欠席されました。）

領域別に見てみると、実験（教材）開発8、授業実践報告5、概念形成3、アクティブ・ラーニング3、プロジェクト紹介3、科学史3、調査結果分析3、物理用語2、学習指導要領2、新理論2、その他6、となっていました。いずれも興味深い発表ばかりで、たいへん参考になりました。

特別講演は、1日目の午前に、猿田祐嗣氏（国学院大学教授・国立教育政策研究所名誉所員）による「PISA2012国際学力調査について」と、午後に、米田仁紀氏（電通大レーベン新世代研究センター長）による「危機・臨界体験特別実験」の計2本行われました。私が特に興味を持ったのは米田氏の講演で、米田氏は、最近の学生は、お隣立てされている安全な実験やオートマチックに制御されている便利な機器しか使った経験がなく、想定外のケースに対応できない弱さがある、このような状況を鑑み、電通大大学院では、数年前から、あえて危機や限界を感じさせる上記の実験を学生に課して、危険に対する正しい知識や対応能力を身につけさせているとお話されていました。この実験（？）で用いる器具や指導のノウハウは他大学にも貸し出すことが可能とのことでしたので、道内の大学でも取り組むところが出てくるかも知れません。

1日目18時過ぎから学生会館で行われた交流会では、非常に和やかな雰囲気の中、自然発生的なグループ毎に、情報交換が活発に行われ、非常に充実した約2時間でした。原著講演で発表のあった、霜田光一氏（元東京大、前物理教育学会長）の光の三原色加色混合の実験装置が回観されてきて、その非常にシンプルな構造でありながら素晴らしいアイデアがその中に詰め込まれていることに感動しました。私個人としては、長谷川大和氏（東京工業大附属科学技術高校）や、平久夫氏（東京理科大）と面識を得たことも大きな収穫でした。途中、恒例の各支部紹介もあり、北海道支部からは、代表して大野栄三支部長にご挨拶をしていただきました。

2日目は、午後に、日本物理教育学会賞（旧大塚賞）と奨励賞の表彰式が行われました。今年の学会賞は、笠耐氏（元上智大学）、奨励賞は、至田雅一氏（大阪府立東住吉高校）と本弓康之氏（筑波大学附属坂戸高校）へ、それぞれ贈られました。3氏の業績の詳しい内容については「物理教育」等をご覧いただきたいと思います。



この2つの賞について簡単にその目的と経緯を紹介します。1995年に本学会の一層の活性化を図ることを主旨とした大塚賞が創設され、2006年に現在の学会賞という名称となり、理論部門、実践部門の2部門として運用されてきましたが、最近は活性化の主旨が首尾よく図られているのかやや不明瞭になってきたということから、2013年より「物理教育に顕著な貢献をした会員の研究・実践を表彰することを目的とした学会賞、「会員（特に若手）の優れた研究や教育実践を表彰し、会員による物理教育研究および実践の一層の活性化を図ることを目的とした学会奨励賞の2種類の表彰に整理されて、現在に至ります。

私事ですが、今回学会賞を受賞された笠耐先生は、私が30代の頃からずいぶんお世話になっている方で、久し振りにお姿を拝見しその元気そうなご様子に大いに安堵するとともに、受賞記念講演での以前と変わらぬ理知的なスピーチを聞きながら、様々なこれまでのことを思い出したり、また私の知らない新たな発見があつたりと、とても感慨深いものがありました。

シンポジウムでは、はじめに山崎昭氏（同志社高校）から、アクティブ・ラーニング関連の研究の最前線についての基調報告があり、続いて、箕田弘喜氏・香取浩子氏（どちらも東京農工大）による高大連携の試みについて、さらに、湯口秀敏氏（埼玉県立川口北高校）・石井登志夫氏（埼玉県立与野高校）からは、物理公開講座の取り組みについての話があり、その後討論に入りました。時間が限られていたので、十分な議論とまでは至りませんでしたが、非常に参考になる意見がたくさんありました。

大会閉会後、大急ぎで電車に飛び乗り、羽田空港に直行し、20時ちょうどに出発する飛行機になんとか間に合い、無事北海道に帰ってきました。

最後に、私の今回の大会参加に関しまして色々と便宜をはかっていただいた、大野支部長はじめ関係者の皆様に、この場を借りて深く感謝申し上げ、報告文とさせていただきます。



# 平成 25 年度事業報告

## 1、日本物理教育学会北海道支部会誌

「物理教育研究」vol. 41 11月発刊

## 2、総会

日時 平成 25 年 6 月 29 日(土) 14:30~17:00  
場所 北海道大学人文・社会科学総合教育研究棟 4 階 W410 教室

### 内容

<<<総会>>> 14:30~14:50

(1) 平成 25 年度支部役員について

(2) 文部科学省

(3) 平成 24 年度事業報告

(4) 平成 24 年度会計報告

(5) 平成 24 年度会計監査報告

(6) 平成 25 年度事業計画

(7) 平成 25 年度会計予算書、

<<<特別講演会>>> 15:00~16:00

「ヒッグス粒子」

北海道大学理学研究院 講師 末廣 一彦 氏

<<<実験デモンストレーション>>>

<<<懇親会>>>

## 3、第 4 回中学・高校・大学をつなぐ 「物理教育シンポジウム」

日時 2013 年 11 月 17 日(日) 13:00~15:30

場所 北海道大学人文・社会科学総合教育研究棟 4 階 W410 教室

### プログラム

○ 支部長挨拶 13:00

○ 中学校・高等学校科学部生徒による研究発表 13:05~

14:10

(1) 札幌市立米里中学校科学部

「望月寒川魚類調査」「水路に住むトゲウオ調査」「フードリサイクル堆肥栽培実験」

(2) 札幌市立向陵中学校科学部 「人工胃酸の研究」「ケミカルライトの研究」

(3) 北海道札幌農業高等学校科学部 「炭酸水の凍結の研究」

(4) 北海道札幌北高等学校物理化学部 「氷山はなぜ回るのか～高緯度での海洋－氷相互作用～」

○ シンポジウム「中学・高校・大学をつなぐ物理教育」

(教員対象) 14:15~15:30

### パネリスト :

三浦英悟(札幌市立琴似中学校)、古川恵美子(札幌市立陵北中学校)、細川直久(札幌市立発寒中学校)、中道洋友(札幌北高等学校)

司 会 : 横関 直幸(札幌清田高等学校)

### <テーマ>

・中学校での指導を踏まえた高等学校「物理基礎」は、どうあるべきか。

・様々な物理現象に対する適切な概念を、いかに育てていくか。

・すべての生徒のための「物理教育」とは、どうあるべきか。

### <主な話題>

・数学的な扱いをどうするべきか。数学を用いた説明では物理概念は形成しないのか。

・「はじき」で覚える生徒たち (速さの概念が形成されているか、否かを、確かめるには)

・sin や cos を用いない指導 (3 力のつり合いの指導法の検討)

・力のつり合いと作用・反作用 (水平なバネに加える力とばねの伸びの関係・・・サプライズの工夫)

・電池と豆電球による単純な回路が、生徒にはなぜ単純に見えないのか

・等加速度直線運動の公式を導く意味とは何か  
(公式に数値を当てはめる段階を乗り越えるために何が必要か)

## 4、物理教育研究会

日時 平成 25 年 12 月 21 日(土) 13:00~17:30

場所 北海道大学人文・社会科学総合教育研究棟 4 階 W410 教室

### 内容

○ 特別講演 13:00~14:00

「福島第 1 原子力発電所の事故と放射性廃棄物処分」

北海道大学大学院工学研究院

エネルギー環境システム部門 教授 小崎 完

○ 原著講演 14:10~14:50

1. 「 Chernobyl 原発とウクライナの観察から見えてきたこと」 札幌市立白石中学校 森山 正樹

2. 「北大に風車を建てようプロジェクト」

北海道大学高等教育推進機構 山田邦雅

○ ミニ模擬授業 15:00~16:00

～新科目『物理基礎』を意識した授業の提案 Part5～

1. 「電流回路」長沼高校 花光隆太朗

2. 「等加速度直線運動」札幌平岸高校 山崎 恒輝

○ 実験デモンストレーション 16:00~16:45

1. 「凹折格子、CD-R、DVD、BR ディスクを使っての光の実験」 専門学校日本福祉看護・診療放射線学院非常勤講師 桑原修

2. 「鎖に絡み合う金属の輪」 札幌白石高校 斎藤 隆

○ 全体討論 16:45~17:30

『物理基礎』の授業をデザインする

～生徒の概念形成を進める授業展開とは～

○ 懇親会 18:00~

## 5、高校物理の授業に役立つ基本実験講習会

日時 平成 26 年 1 月 8 日 (水) 12:50~17:00

場所 札幌北高等学校 (札幌市北区北 2 5 条西 1 1 丁目 1-1)

内容：高校物理の基本実験について、1 テーマ 40 分程度で実験実習を行います。参加者はいくつかの班に分かれ、班ごとのローテーションで 4 テーマ全てについて実習します。

実験テーマ：

1. 力のつりあい、圧力、浮力 (物理基礎)
2. オームの法則、電磁誘導、交流 (物理基礎、物理)
3. レンズの焦点距離をはかる (科学と人間生活、物理)
4. 放射線 (物理基礎、物理)

## 6、青少年のための科学の祭典 2013

<2013 年>

5月 19 日(日)	羽幌大会
6月 22 日(土)	長沼大会
6月 15(土)～16 日(日)	札幌南大会ステージ 1
8月 1・2 日(木・金)	小樽大会(夏)
8月 3 日(土)	苫小牧大会
8月 24 日(土)	科学の祭典 in びほろ
8月 25 日(日)	函館大会
9月 8 日(日)	室蘭大会
9月 23 日(月)	恵庭大会
10月 13 日(日)	札幌東地区大会
10月 13 日(日)	帶広大会
10月 27 日(日)	俱知安大会
10月 19 日(土)	幌延大会
11月 3 日(日)	釧路大会
11月 3 日(日)	札幌清田大会
11月 9 日(土)	小樽子供理科工作教室
11月 10 日(日)	千歳大会
11月 17 日(日)	札幌豊平大会
11月 17 日(日)	科学の祭典 in 石狩
12月 7 日(土)	札幌白石大会
12月 7 日(土)	北広島大会
2014 年 1 月 18 日(土)	小樽大会(冬)
2月 8 日(土)	恵庭大会 II
2月 23 日(土)	札幌南大会ステージ 2

## 7、理事会

平成 25 年 5 月 7 日 (火) 18 時 30 分

平成 25 年 8 月 20 日 (火) 18 時 30 分

平成 25 年 10 月 15 日 (火) 18 時 30 分



## 平成 26 年度事業計画

### 1、日本物理教育学会北海道支部会誌

「物理教育研究」 vol. 42 9 月発刊 (予定)

### 2、総会

平成 26 年 6 月 21 日 (土)

### 3、中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

平成 26 年 11 月 15 日 (予定)

### 4、物理教育研究会

平成 26 年 12 月 (予定)

### 5、高校物理の授業に役立つ基本実験講習会

平成 27 年 1 月 7 日 札幌北高校 (予定)

### 6、理事会 (5 月、8 月、10 月)

## 平成 25 年度一般会計収支決算書(2014. 6. 21)

收 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥492,258	会議費	¥4,664
本部補助金	¥150,000	通信費	¥6,558
雑収入	¥22,101	事務費	¥1,560
		予備費	¥144,387
		会誌印刷補助	¥0
		次年度繰越金	¥507,190
計	¥664,359	計	¥664,359

## 平成 25 年度特別会計収支決算書

收 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥119,667	会議費	¥0
支部補助金	¥0	通信費	¥9,495
会員負担金	¥81,580	事務費	¥11,100
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥94,500
		次年度繰越金	¥86,152
計	¥201,247	計	¥201,247

## 平成 26 年度一般会計予算

收 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥507,190	会議費	¥20,000
本部補助金	¥150,000	通信費	¥25,000
雑収入	¥810	事務費	¥25,000
		会誌印刷補助	¥0
		大会参加補助	¥100,000
		予備費	¥488,000
計	¥658,000	計	¥658,000

## 平成 26 年度特別会計予算

收 入	金 額(円)	支 出	金 額(円)
繰越金	¥86,152	会議費	¥10,000
支部補助金	¥13,848	通信費	¥20,000
会員負担金	¥50,000	事務費	¥10,000
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥100,000
		予備費	¥10,000
計	¥150,000	計	¥150,000

日本物理教育学会 北海道支部理事 役員分担 (2014年度)

顧問	中島 春雄 吉田 静男 小野寺 彰 中野 善明 伊土 政幸
評議員	伊藤 四郎 檀椿 光一 一口 芳勝 加藤 誠也 川原 圭二 齊藤 孝 坂田 義成 平野 雅宣 穂積 邦彦
支部長	大野 栄三 (北海道大学大学院教育)
副支部長	長谷川 誠 (千歳科学技術大学) 本部評議員 (2013-14)
	佐々木 淳 (函館高専)
監事	山田 大隆 (酪農学園大学) 石川 昌司 (長沼高校)
総務 (事務局長)	横関 直幸 (札幌清田高校) 本部評議員 (2013-14) 井原 敦博 (札幌西高校) 本部評議員 (2014-15) 木村 宣幸 (北広島高校) 今野 滋 (東海大学) 細川 敏幸 (北大高等教育推進機構) 道支部 HP
編集 (委員長)	長谷川 誠 (千歳科学技術大学) 鈴木 久男 (北海道大学大学院理) 本部評議員 (2014-15) 中道 洋友 (札幌北高校) 菅原 陽 (小樽工業高校) 堀 輝一郎 (札幌開成高校) 小野 忍 (札幌清田高校) 保格 秀規 (北広島西高校)
事業 (委員長)	大坂 厚志 (札幌平岡高校) 本部評議員 (2013-14) 理科大好き実験教室 阿部 修 (北海道教育大学旭川校) 伊藤新一郎 (北海道立教育研究所附属理科教育センター) 大久保政俊 (札幌日大高校) 大屋 泰宏 (岩見沢緑陵高校) 物理教育実践交流会 岡崎 隆 (北海道教育大学札幌校) 今野 博行 (函館陵北高校) 齋藤 隆 (拓殖大学北海道短大) 酒井 彰 (室蘭工業大学) 酒井 徹雄 (上川教育局) 佐藤 健 (札幌北高校) 高橋 尚紀 (札幌啓成高校) 永田 敏夫 (元マラヤ大学) 福田 敦 (北海道立教育研究所附属理科教育センター) 原田 雅之 (札幌西高校) 前田 寿嗣 (札幌市立藤野中学校) 松崎 俊明 (釧路工業高等専門学校) 松田 素寛 (根室教育局) 森山 正樹 (札幌市立白石中学校) 山本 瞳晴 (札幌西高校) 本部評議員 (2014-15) 四方 周輔 (東海大学)

## 日本物理教育学会北海道支部規約

第1条 本支部は、日本物理教育学会北海道支部と称する。

第2条 本支部は、北海道在住の会員の連絡と研究の交流をはかり、北海道における物理教育の振興と、その地域的な活動への寄与を目的とする。

第3条 本支部は、前条の目的を達成するために次の事業を行なう。

- (1) 講演会、講習会、学術映画会、研究会懇談会等の開催
- (2) 会報の配布、研究成果の刊行
- (3) 物理教育についての調査及び研究
- (4) その他、前条の目的達成に必要な事業

## 第4条 (削除)

第5条 本支部の会員は、北海道在住の日本物理教育学会の正会員及び賛助会員からなる。

第6条 本支部に次の会員をおく。

1. 支部長1名、副支部長2名、支部理事若干名、及び監事2名。
2. 支部理事の数は、支部長が支部理事会の議を経てこれを定める。
3. 副支部長は、支部理事の中から支部長がこれを委嘱する。

第7条 支部長・副支部長及び支部理事は、支部理事会を組織し、支部長は支部会務を統括する。副支部長は支部長を補佐し、支部理事は支部の業務を分掌する。

第8条 監事は、民法第59条の職務に準ずる職務を行なう。

第9条 本支部に支部評議員若干名をおく。

支部評議員の数は、支部長が支部役員会の議を経てこれを定める。支部評議員は支部理事会の推薦により支部長がこれを委嘱

する。

第10条 支部評議員は、支部評議員会を組織し、支部長の諮問に応じ、支部の事業遂行について支部長に助言する。

第11条 支部役員及び支部評議員の任期は2年とし、再任を妨げない。

補欠による支部役員の任期は前任者の残任期間とする。

第12条 次期支部役員は、本支部役員中の次の者の中から支部総会において選任する。

- (1) 支部理事の推薦した正会員
- (2) 正会員又はその団体の推薦した正会員

第13条 元支部長及び本支部の地域内に在住する本部理事ならびに本部評議員は、支部理事会に出席することができる。

第14条 支部総会は、毎年1回、支部長がこれを招集する。支部長が必要と認めたときは支部理事会の議を経て臨時支部総会を招集することができる。

第15条 次の事項は、支部総会において報告し承認を得るものとする。

- (1) 事集計画及び收支予算
- (2) 事業報告及び收支決算
- (3) その他、支部理事会において必要と認めた事項

第16条 支部規約に記載のない事項は、本学会定款に準ずる。

## (附 則)

- (1) 本規約は、総会において、正会員の3分の2以上の同意を得なければ変更できない。
- (2) 本規約は、昭和44年6月25日より施行する。

# A 4 論文原稿執筆要項 表題は 16 ポイント (pt) のゴシック文字 (副題は 12 pt ゴシック : 両端をカッコでかこむ)

English Main Title: 12ptTimes (英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載する)  
(English Sub Title: 12ptTimes)

所属は 9pt 明朝 名前は 10pt ゴシック 明朝大学 ゴシック太郎 執筆高校 執筆 一朗  
Name 9pt Times Sippitu Koukou Sippitu Itiro

本文の 9 行目に相当する位置から抄録を書き始めます。200 字以内。日本語文字は 9pt を標準です。例えば「・について、・・という発想で、・・行なったところ、・・という結果を得た」キーワードを含めて下さい。なお、英文のタイトル、概要等は著者からの希望がある場合にのみ掲載します。

## Abstract

Abstract must be written with 9pt Times or Times new Roman Font. The number of words is within 200.

キーワード 9pt 5語程度 Keywords: Times Font, 9pt, About 5 Words

## 1. 章タイトルはゴシック 10pt 太字

本資料はオフセット印刷で、縮小して B5 版に印刷される冊子を作成する際に、A4 版の論文原稿作成の時に必要な投稿規定の情報を、視覚的に理解しやすい形で提供することを目的として作成したものです。

## 2. 本文執筆の要点

### 2. 1 用紙の使い方

A4 用紙に 52 文字 45 行、2 段組の部分は 25 文字、段間隔 : 8mm 段幅 : 82mm とする。マージンは上 21mm 下 27mm 左 18mm 右 18mm とする。

### 2. 2 使用フォント・サイズ・改行幅

標準フォントは 9pt の

和文 : MS 明朝、平成明朝

英文 : Times, New Roman, Times Symbol とする。  
ただし太文字は、9pt の和文 : MS ゴシック、平成角ゴシック、英文 : Arial, Helvetica を使用すること。上記フォントがない場合は、類似のフォントを使用すること。

### 2. 3 式および記号

式および記号の標準文字は、9pt のイタリック体とする。ベクトルの場合は太文字のイタリックとする。

上下添字は 6pt 程度の立体 (イタリックも可) とする。  
以下にいくつかの例を挙げておく。

$J_C$      $V_1$      $P^A_{ijk}$

式を記入する場合は、式の上下に自行を設け、右端に式番号を記入する。例えば、

$$F_D = C_p 1/2 \rho | V | VS \quad (5)$$

のように記入する。式を文章中で参照する場合は、式(5)、式(7) - (10) のように番号の前に "式" を付ける。

### 2. 4 図・表・写真およびその説明

図・表・写真は、1 段幅、あるいは 2 段幅に収まるよう作成し、論文内の適切な位置には配置する。  
図中の文字は、十分認識できるサイズ (9pt 程度) とする。6pt 未満の文字は使用しないこと。また図表・写真の前後に空白行を設けること。その説明は以下に示す例のように、太字の図・表・写真番号の後に、9pt の標準文字で説明を記入する。

#### 例 図 1 生徒の履修状況

Fig.2 Schematic of experimental apparatus

文章中で図表などを参照する場合は、太文字で、Fig.2, Tabel 3, Photo 4 などと記入する。

### 2. 5 記号説明

結論・謝辞等の次に本文で使用した主な記号の説明を英語で記入する。文字サイズは、9pt 程度とする。

引用文献は本文中の引用箇所の右肩に<sup>1) 2)</sup> を記入し、下記のように、一括して末尾に著者名、文献名、ページ等を引用順に記入してください。参考文献は原則掲載する必要はありません。

引用文献 1) 山川谷男：エントロピーの・・教育、物理教育研究、Vol.22 No.3, pp.1~4, 1999

なお、脚注は文章中の該当箇所に\*-\*の印を付しページの下に横線を引き、その下に書いて下さい。

### 3. その他

- (1) 原則として原稿はお返いたしません。校正のため原稿の控えは手許に保存して下さい。
- (2) 本紙は毎年11月に発行予定です。
- (3) 投稿された論説研究・解説・報告等は編集委員会で内容を審査します。
- (4) 投稿及び原稿用紙等の申込みと会誌編集に関する連絡先は下記の投稿受付担当者までお願いします。

**原稿募集** 上記の規定に基づいて支部会報「物理教育研究第43号」の原稿を募集いたします。

(1) 締 切 2015年9月末日

(2) 投稿受付

投稿受付は下記のとおりです。詳しくは2015年5月頃に支部ホームページに掲載します。

問い合わせ先

〒 066-8655 千歳市美々758-65

千歳科学技術大学 長谷川 誠

TEL/FAX 0123-27-6059

E-mail hasegawa@photon.chitose.ac.jp

または

〒 011-0025 札幌市北区北25条西11丁目

北海道札幌北高等学校 中道 洋友

TEL 011 736 3191 FAX 011-736-3193

E-mail nakamiti-yoyu@mbp.nifty.com

使用されるワープロが「Word」か「一太郎」であれば、この執筆要項のファイルを送付できます。担当までお知らせ下さい。執筆要項はホームページからダウンロードすることもできます。

### 編集後記

高等学校で新しい学習指導要領に基づいたカリキュラムを履修してきた生徒たちが、いよいよ大学に入学してきます。履修モデルや各講義の内容をどうすべきか、手探りでの検討が進められていますが、その過程で、大学と高校、さらには中学との連携や意見交換、意思疎通の必要性、重要性を感じています。支部会報をはじめとする本支部の様々な活動が、そのような連携・協力体制を構築するための有効なきっかけになれば幸いです。（H）

2014年11月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第42号 編集責任者 長谷川 誠

(060-0811)札幌市北区北10条西7丁目

北海道大学大学院教育学研究院

大野栄三気付

日本物理教育学会北海道支部



## 目 次

## 巻頭言

物理教育の新しい流れの中で

北海道札幌清田高等学校

横関 直幸

1

## 第4回中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

北海道札幌清田高等学校 横関 直幸 2

## 中性子減速の物理（中性子—原子核衝突における運動量・エネルギー保存）

北海道教育大学札幌校 岡崎 隆, 佐々木 由樹

1 1

## 水素吸蔵合金のヒートポンプ効果に関する基礎実験

エコエネ工房 石毛隆, 北海道教育大学札幌校 本間 翔太, 山崎 瞭

1 4

## 垂直効力・摩擦力・ころがり抵抗をどう教えるべきか

北海道長沼高等学校 石川 昌司

1 8

## 単振り子の錘にかかる力に関する誤概念とその克服

北海道札幌真栄高等学校 加藤 賢一

2 3

## 霧箱の実験で使用する放射線源の検証（放射線の生徒実験の効果について）

北海道白糠高等学校 田中 耕治

2 6

## VVFケーブルモーター（クリップモーターの亞種）

北海道江差高等学校 河田 淳一

2 8

## ワークショップ形式による授業の工夫と言語活動

北海道札幌北高等学校 福士 公一朗

3 0

## 「生徒のつまずき」についての一考察～小テストを活用し、生徒の思考過程を探る～

北海道札幌北高等学校 中道 洋友

3 4

## 「エネルギーとその利用」から始める物理基礎

(計算から始まらない物理基礎の授業を模索して)

北海道枝幸高等学校 佐藤 革馬

3 8

## 言語活動を中心とした科学リテラシー教育

北海道留辺蘂高等学校 安東 周作

4 2

## 物理基礎における英語講読の試み

北海道札幌手稲高等学校 近藤 敏樹

4 6

## 第31回物理教育研究大会に参加して

北海道長沼高等学校 石川 昌司

4 9

## 活動報告

5 2

## 日本物理教育学会北海道支部規約

5 6

## 原稿執筆要項、編集後記

5 7