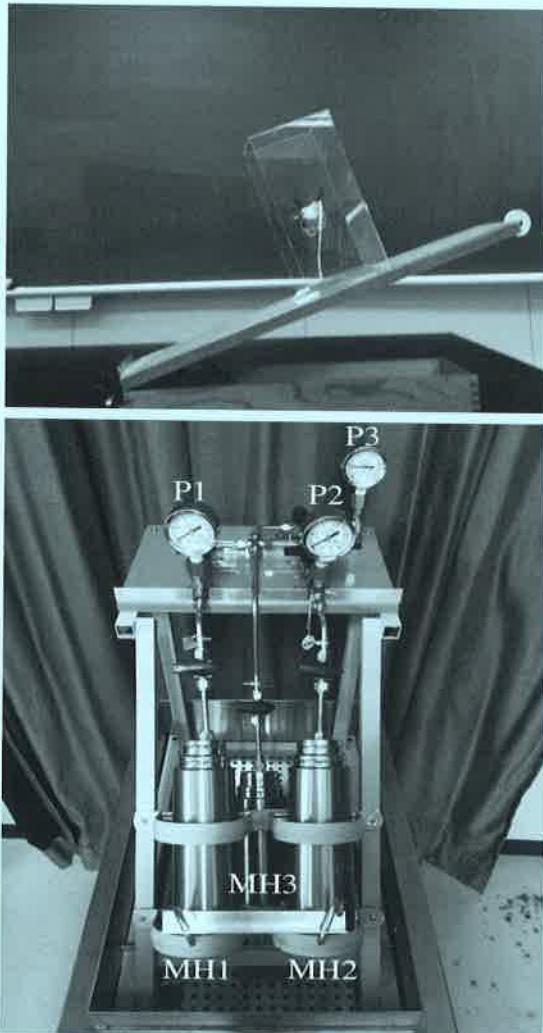
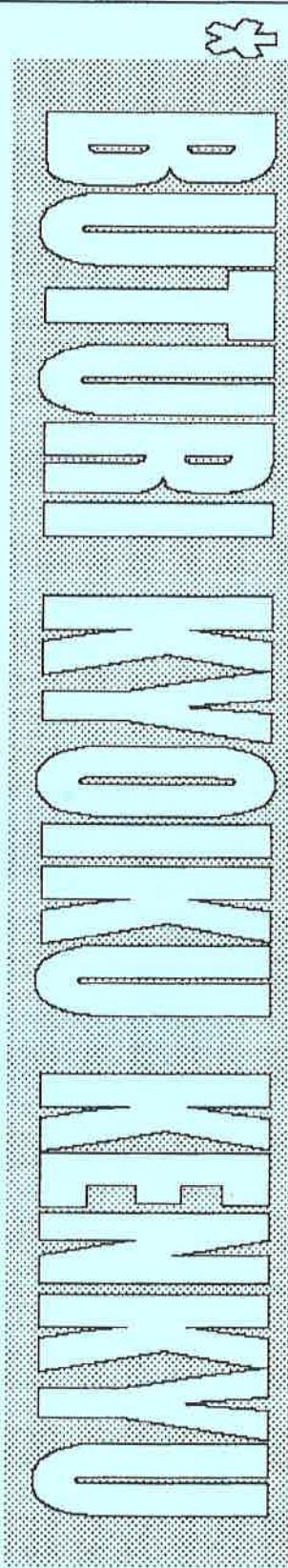


物理教育研究

日本物理教育学会 北海道支部



Vol.43, 2015.11



巻頭言

研究成果の活用と国際化

北海道大学大学院教育学研究院 大野栄三

(日本物理教育学会北海道支部長、日本物理教育学会理事)

次期学習指導要領改訂に向けて、アクティブラーニングという言葉が飛び交っています。「アクティブ」とは何かという疑問が出てくるのは当然のことで、最近では「主体的な学び」と説明されているようです。今まで生徒は主体的に学んでいなかったのかとツッコミたくなりますが、要するに生徒が自分の頭で考え、判断し、最後には納得できるような授業を展開するということです。このような主体的な学びを実現するためには、教育内容や教材を深く掘り下げる研究と授業プランについての実践的研究の2つが必要になります。

教育とはこれまでの活動の累積が現在に影響する行為です。エネルギー概念を重視した指導、運動量を全面に出した力学教育といった試みは、なぜ登場し、どうなったのか。その時々の学習指導要領から逸脱するので普及しなかったというのであれば、再検討する価値は十分にあります。若手教師は意識していないかもしれません、私たちが行っている授業は良くも悪くも累積の上にあります。最新の研究成果に依拠していれば大丈夫というわけにはいかないのが教育の特徴です。教育内容や教材を見直す研究では、本誌『物理教育研究』や日本物理教育学会の論文誌『物理教育』が活用できるでしょう。『物理教育研究』のバックナンバーはpdf化され、北海道支部のwebサイトに掲載されています。

現行学習指導要領の「物理基礎」設置が決まったとき、内容項目が多くすぎる、入試では使えないなど否定的な評価を多く耳にしました。そうした批判的検討もたいせつですが、それだけでは私たちの物理の授業は何も変わりません。北海道支部では、この新設科目は多くの高校生に物理を学ぶ機会を与える科目であると積極的に評価し、「物理基礎」でいかに授業づくりを進めていくのかを研究活動のテーマに据えました。中野支部長、伊土支部長の時代の成果です。これまで支部で培ってきた授業づくりの上に、大学教育で先行しているアクティブラーニングの実践例を参考にしながら、生徒が主体的に学ぶことのできる授業プランを考えていけば、「アクティブ」というスローガンを恐れることはありません。

物理教育研究の次なる発展はいろいろな意味での国際化にあります。アジア諸国の研究者と交流していく、日本の教育はアジアをリードしているとか、日本の教師は優秀であるという言説が通用しなくなる日も近いかもしれないと思うことがあります。アジアの教師や大学教員は良い意味で貪欲に研究しています。悪いことではありません。私たちも日々努力することです。アジアでは、高校物理教師や大学教員からなる物理教育研究の学会があるのは日本だけで、他の国では物理学会の一組織という位置付けのようです。日本物理教育学会と私たち北海道支部が果たす役割が問われています。

第5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

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5回目を迎えた。今回は「言語活動の充実」、「アクティブ・ラーニング」を話題としたシンポジウムの内容を報告する。

1. はじめに

日時 2014年11月15日(土) 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：

伊藤達也(札幌市立新川西中学校)

星野孝英(札幌市立明園中学校)

高橋伸充(札幌市立平岸中学校)

佐藤革馬(枝幸高等学校)

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。そ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、全て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5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(2013年)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。

第5回の今回は、これまでと少し視点を変え、「言

語活動の充実」、「アクティブ・ラーニング」などのキーワードを中心に議論が進められた。

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. 今回のテーマについて

司会：

今回で第5回を迎えた本シンポジウムですが、これまで高等学校物理基礎という新しい科目について議論してきました。今回は少しテーマを変えて、以下の3つのテーマについて話していきます。

一つ目は、「授業や実験における、生徒の話し合いや討論」について。これらは学習指導要領にも表れるようになりました。中学校の状況を高校現場としては是非知りたいと思っています。

二つ目は、「言語活動の充実」について。高校の理科では正直なところ動きが鈍いですが、このキーワードは学習指導要領の中に記されています。生徒の発表や討論、レポートの書き方など、中学校での理科の授業や実験の中で、どのような変化があるのか話題にします。

三つ目は、「アクティブ・ラーニング」(以下、A・L)。言葉の定義はなかなか難しいところもありますが、A・Lが大きな話題になってきています。生徒同士が教え合うなど、生徒の主体的、協同的な活動を授業の中に取り入れていくということが、日本だけでなくアメリカ発信の話題としても、ずいぶん聞こえています。A・Lを実践されている場合は、その紹介をお願いします。また、実践に伴う課題があれば、話題提供をお願いします。

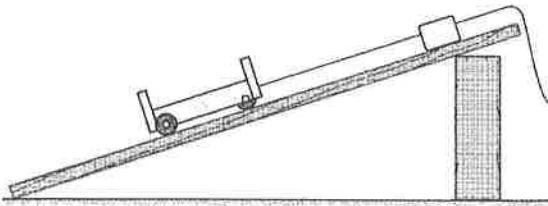


3. 高等学校物理基礎で扱う実験の紹介

司会：

高等学校物理基礎で扱われている、いくつかの実験を紹介しながら、中学校で関連していることを扱っているのか否か、それについてどのように考えているか、中学校の先生方に聞いてみたいと思います。

3.1 等加速度直線運動



司会：

斜面を下りる台車に記録テープをつけて、記録タイマーで記録したデータの処理をして加速度を求める実験。高校では $v-t$ グラフから加速度を求めます。中学では加速度という用語は使わないと思いますが、斜面の実験はやっていることが昨年までのシンポジウムでも話題になりました。これは高校では加速度を求める実験ですが、中学校ではどんな目標でやっているかご紹介下さい。

中学：

私の場合は斜面の角度を変えて、斜面の角度が大きくなると加速の仕方が変わることを扱います。記録テープを切ってグラフ用紙に貼り付けていったときに、速さの変化の傾きが違うことを見つけることを目標に授業をやっています。

司会：

加速度という言葉は使わないけれども、テープを切り貼りして、いわゆる $v-t$ グラフになります。その傾きの違いを中学校でも確認しているということですね。

他の中学の先生も同じような内容ですか。5 打点毎(0.1 秒ずつ)にグラフ用紙に貼って、傾きを比べるような実験でしょうか。

中学：

「だんだん速くなるという運動」と、中学校では言ったりはします。最初にコマ送り写真を見せて、一つ一つ

の同じ時間間隔で写っている物体が同じ幅だったら同じ速さ、だんだん速くなっているなら間隔が広がる、といったところから始めます。そして、記録テープの打点の幅は、運動の違いによって、同じだったり、だんだん広がったりします。その読み取りから入り、長さを測って速さを求めることがつなげます。記録タイマーは1秒間に 50 打点なので時間と長さ(距離)から速さの計算をやります。この実験で一番大事なのは、重力が真下に向いていて、斜面の角度によって斜面方向の力が変化すること。だんだんスピードが速くなっていくが、力の大きさはどのように変化しているか、同じ力が働き続けていて、同じ割合(加速度)で速くなっていくということを意識するために実験をやっています。しかし、そこが中学生には難しい。だんだん速くなるというのは力がどんどん大きくなっていくのではないか、そういうところを考えさせます。そこでも話し合いという活動があります。

司会：

教科書にはありますが、高校ではこの実験はあまりやっていないかもしれません。多くの高校では、生徒実験として重力加速度の測定実験(自由落下運動)をやっています。斜面ではなく、自由落下させて重力加速度を求めるのが一般的です。中学校では重力加速度の測定はやってないと思いますが、どうでしょう。

中学：

かなり昔は必ずやるようになっていましたが、最近は教科書の中に紹介はされている程度、先ほどの斜面の角度をどんどん大きくしていった延長として考えます。私も時間に余裕があるときはやっていますが、必ずやるという実験ではありません。

司会：

実際にやったときには、重力加速度の大きさを求ることはありますか。

中学：

さすがに、そこまではやりません。

司会：

鉛直方向への自由落下だと斜面のときよりも加速の度合いが大きいというのが、中学校での表現でしょう。自由落下の実験が中学校の教科書にも発展的な部分で触れられていることは初めて知りました。教科書に書いてあるので、他の中学の先生方も実際やったことがあります

か、中学校のレベルだと加速度は扱わないので、 9.8m/s^2 という値を求める実験にはなりません。鉛直に落下させる実験が、なぜ中学校の教科書に記載されているのか、不思議に思います。中学校での扱い方をお聞きしたいと思います。

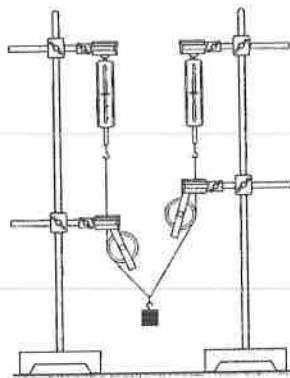
中学：

斜面の角度がどんどん大きくなっていくと、最終的には自由落下になる、という話はします。しかし、その程度で終わります。

3.2 3力のつりあい

司会：

おもりを2本の糸でつりさげ、鉛直方向からの角度を測定させて、重力と2本の糸の張力を測り、2本の糸の張力の合力と、重力の大きさが等しくなっていることを確かめる実験です。中学校では、3力のつりあいを実験で確かめることはありますか。



中学：

力の分解、合成は、中学校の力の勉強の始めの方で扱います。3力のつりあいというのは少し発展的な内容で、最初は一直線上での2力のつりあいを扱います。3力のつりあいというのも、上で引っ張っている2つの力を合成すると一つの力になり、おもりが下に落ちようとしている力（重力）とつりあっているのだ、という話をします。例えばロープウェイがぶら下がっているときに、少しロープが弛んでいて、弛んでいる方向に引っ張られて落ちようとする力とつりあっている。ロープが少し弛んでいて、落ちないようにになっている、という発展的な内容ですが、身近なことと結びつけて説明しています。

司会：

合力と分力の話はあり、2力のつりあいもあるが、3力のつりあいは、やっていないということでよろしいですか。

中学：

3力のつりあいもやっています。角度を持ってはたらく2力の合力とつりあう力、という感じです。結局、3力なのですが、そういう扱いで、生徒がそれを見つけるような、実験もあります。

司会：

中学校では水平面上で3つの力で引くような実験ですか。おもりを吊り下げて、鉛直方向の重力を使うのはあまりないということですか。

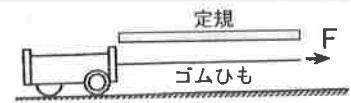
中学：

そうですね。

3.3 一定の力を加え続ける運動

司会：

物差しでゴムひもの伸びを一定にしながら台車を引っ張って、記録タイマーで記録する。一定の力を加えたときに一定の加速度になることを確かめる実験です。中学校ではこれを見たことがありますか。



中学：

一定の力で台車を引くというのは中学校ではありません。最初に台車の実験をするときに、斜面などを使わないので生徒が自分で好きに押してみるとから始めることが多いです。それに似ているのかなという気はします。これは引き続けるのですか。

司会：

そうです。だからどんどん加速していきます。結果が一定の加速度になるということです。

中学：

それは、中学校ではやらないです。最初の台車の実験の練習で、どういうふうに押したら打点の間隔がどう変わるか、その辺を観察させることはやったりしました。

司会：

記録タイマーのしくみを実感してもらうために、手で押させて打点の広がりをみるということですね。

こういう実験は中学校ではあまりないと思いますが、一定の力を加える運動というものは、斜面を下るものしか

中学校にはないと思います。

中学：

この実験はどうやって一定の力で引っ張っているのかわからないのですが、説明していただけますか。

司会：

ゴムひもを引っ張り、伸びを同じ長さで保って引き続けます。張力を一定に保つということです。台車の動きと一緒に体も動いていく。そういう実験です。

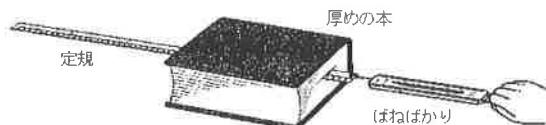
中学：

これは誤差が大き過ぎませんか。一定の力で引くとなると台車にひもをつけて、滑車を通しておもりを吊り下げておもりが台車を引くような感じでやります。このゴムひもで引く実験は加速度の実験ですよね。さっきの斜面と同じで、上から下までいったときに重力の分力が同じ力ではたらき続けるので、この実験でもだんだん速くなる、ということは、実際話したり、期末テストでも少し考える問題にして出題することはあります。実際に実験をやるかどうかは別として、一定の力で引き続けると加速度運動になるという話はします

司会：

ゴムひもの長さを保って台車を引く実験については、高校の先生方でも意見が分かれるところ。私自身は自分でやっても上手くいかないので、あまりやったことはないですが、物理教師ならこれができるようにならないダメだという主張をする先生もいます。オーソドックスな実験として教科書では昔から紹介されています。

3.4 仕事とエネルギー



司会：

本に定規をはさんで、ばねばかりで引いてどれくらいの動摩擦力があるか測定する。ばねばかりをはずして、定規に台車を衝突させる。すると本に挟まった定規がめり込むように移動する。グラフ用紙の横軸に速さの二乗をとり、縦軸には動摩擦力×定規の移動距離、つまり仕事をとる。速さの二乗と仕事はどのような関係になるかを考え、比例関係になっていることを見つける。運動す

る物体がした仕事（運動エネルギー）が速さの二乗に比例することを確認する実験。私は授業の中でこの実験をやったことはないのですが、中学校の先生はこの実験をみたことはありますか。

中学：

今の教科書にある実験は、斜面に鉄球などを転がして斜面が終わった水平面に木片を置いておきます。木片の移動距離を測定して、ビースピを使って衝突直前の速さを測定し、関係を見出していくことをやります。

かなり前には中学校でも同じように、台車を定規に衝突させて、どれだけ引っ込んだか、その移動の長さを測定してエネルギーにつなげるというのはありました。

司会：

他の中学校の先生はこの実験を見たことはありますか。

中学：

見たことはあります。ただあまりやったことはないですね。話として触れたことはあります。

司会：

中学校では運動エネルギーという言葉は出ますが、速さの二乗に比例するという表現はしますか。

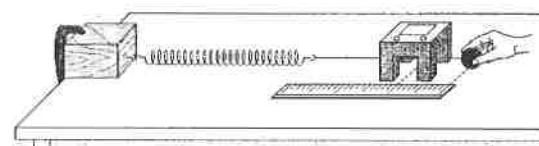
中学：

そのような表現が出てきます。

司会：

中学校では式を使わないだけで、内容的には扱っているということですね。この実験は高校の授業で実際にどれくらいされているかはわかりませんが、高校の教科書にはよく掲載されている実験です。

3.5 力学的エネルギーの保存



司会：

ビースピの測定から運動エネルギーを出し、ばねの長さから弾性エネルギーを出し、弾性エネルギーの減った

分だけ運動エネルギーが増えるというのを確かめる実験です。私自身としては、あまり馴染みがない実験という印象です。中学校では似たような実験、ビースピを用いた力学的エネルギーの保存の実験の扱いはありますか。

中学：

先ほども話題になりましたが、斜面の運動で鉄球を下の木片にぶつけ、木片が動いた距離からエネルギーを測るというのはあります。斜面から鉄球を落としてみて、同じ装置を使い通過する鉄球の速さを測るというのはあります。中学校でのエネルギーの話は定性的なものが多いため、エネルギーというのは何なのだ、という話から始まって、大きいとか小さいという扱いが多い。高校は定量的な実験に持っていくことに苦心されていると感じます。

司会：

斜面を下った鉄球をぶつけて木片が移動し、エネルギーを説明するのは、高さによる位置エネルギーと仕事の説明のイメージがあります。ビースピで速さを測り、位置エネルギーと運動エネルギーと仕事の3つのつながりは、中学校で扱うのですか。

中学：

力学的エネルギーという言い方をして、高さのあるところから、基準面まで落としたときに位置が持っていたエネルギーが速さに変換する、という話はします。グラフを使って位置エネルギーが運動エネルギーに変わっている、というくらいです。運動エネルギーが速さの2条に比例するとか、位置エネルギーが高さに比例することは発展的な内容ですが、教科書には軽く載っています。そこを詳しく触れる先生もいれば、触れすぎて深みにはまってしまうこともあります。どちらかというと定性的な話の方を大事にすることが中学校では多いと思います。

3.6 比熱の測定

司会：

沸騰水の中に金属球を入れて温め、水熱量計に移して温度上昇を測定する。熱量の保存の計算をさせて金属球の比熱を測定するというものです。量的な扱いなので中学校では扱っていないと思いますが、いかがでしょうか。

中学：

最近、中学校では熱にかかる学習内容がなくなってきた。30年近く前は油の比熱を測定したこともあるし、水100gで温度上昇を測定したり、それに釣りのおもりなどの金属塊をいたたきの違いを扱った時代もあります。最近はやりません。

司会：

比熱という用語は中学校では扱いますか。温まりやすさや、温まり難さというのはどうですか。

中学：

温まりやすさや、温まり難さという勉強はしますが、比熱という言葉は使ったことがないと思います。昔使ったことがあるような記憶もありますが、あまりないです。物理分野ではないですが、天気の変化のときの水の方が温まり難く冷め難い、土は温まり易く冷め易いことから風がおきやすいという扱いはあります。それ以外では触れたことはありません。

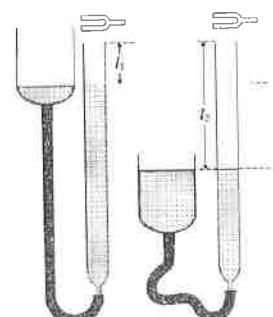
司会：

金属球が失った熱量と、水熱量計が受け取った熱量が等しいということから計算させるので、ちょっと計算が絡む扱いに高校ではなっています。

3.7 気柱の共鳴

司会：

気柱共鳴の実験は高校ではよく扱われます。水面が調節できる管があり、管口の上に音さを置いて、水面を下げていって共鳴するところを見つけます。それによって、音叉の振動数を求めたり、音速を求めたりという課題を扱います。中学校の先生方はご覧になったことがありますか。



中学：

この実験は初めてみました。中学校では共鳴というのと同じ振動数の2つの音叉を使い、片方を鳴らすともう一方が鳴るという実験です。振動数という用語は出でますが、気柱共鳴の実験はありません。

司会：

高校によっては、班ごとに1台ずつ装置があつて、生徒実験として実施しているところもあります。1台しかなくて、教卓で実験し代表生徒が測定して計算を全員でやるという形式もあります。

3.8 抵抗の接続

司会：

抵抗に電源装置で電圧をかけ、電流と電圧を測定し、電圧と電流の関係をグラフにし、グラフの傾きからオームの法則を確かめたり、抵抗の大きさを測定したりします。横軸が電圧、縦軸が電流で、傾きの逆数が抵抗というグラフになります。横軸を電流、縦軸を電圧にした方が、傾きが抵抗になるので解りやすいという考え方もありますが、先生によっていろいろな思いや意見があるのが実態です。いずれにしても傾きから抵抗を求めて、抵抗2個を直列や並列に接続して、理論値と実験値を比較する実験があります。

これは中学校でもやっていると思いますが、よくありますか。

中学：

これは中学校でもやっていて、電圧と電流の関係、合成抵抗もやっています。高校ではこの後どんな発展になるのですか。

司会：

高校の物理基礎ではこれで終わりですね。オームの法則の確認が主な内容です。並列接続の合成抵抗の公式の確認で抵抗値が減ることや、直列にすると抵抗値が2倍になるとか、それらを確認するというのが第一段階です。もちろん、発展させたいいろいろな実験をしている先生もいるかもしれません、物理基礎の範囲ではあまり発展はありません。

一つ中学校の先生方に聞きたいのですが、電圧と電流は一組の測定値があれば、抵抗は計算できますね。高校では電圧を変化させて複数の測定値からグラフを描きます。傾きから抵抗の大きさを出すということにこだわります。中学校ではグラフ描かせていますか。電圧、電流の一組の測定値から抵抗を求めることが主眼ですか。

中学：

中学でもやはり電圧と電流の関係（オームの法則）を

出すために、電圧の値を変化させて、電流の値を測定します。オームの法則は抵抗を出すための法則ではなくて電圧と電流が比例しているということが大事だと思います。やはりグラフを描いて、比例のグラフをちゃんと見せることが大事かなと思います。実際にそのように実験しています。

3.9 ジュール熱

断熱容器の中に抵抗をいれて、ジュール熱で水の温度が上昇して、水がもらった熱量による温度上昇と、電圧×電流×時間で電気がした仕事（電力量）を出し、関係を確認するというような実験になります。過去のシンポジウムでもこの話題が出ましたが、これは中学校での扱いはどうですか。

中学：

やってはいます。ワット数の違う電熱線で水の質量と一緒にして、どれが一番温度が上がるか、という非常につまらない実験をしています。先ほど比熱の話がありましたが、昔は発熱量と水がもらった熱量が等しいということを前提にものを考えていました。そこで比熱という考え方を使ってはいました。最近は、電流による発熱によって水温が上昇してという実験はありますが、面白いことを見出すことにはなっていません。

司会：

高校では1calが4.2Jというのが出てきますが、中学校では1Jが0.24calの方が馴染みがあるということが何年か前のシンポジウムで話題になりました。現在の新課程になっても0.24cal/Jは相変わらず続いているですか。

中学：

今は全く出てきません。電力量をcalで換算するような計算も昔はありましたが、最近は本当に単純なことでしかやっていません。

司会：

分力のように今までやっていなくて出てきたものもあれば、消えていったものもあるということですね。

中学：

むしろ消えていったものの方が多いかなという印象です。

4. 言語活動の充実

司会：

続いて、いわゆる「言語活動の充実」について話題を移します。生徒同士の話し合い、討論、グループ内での発表、全体の前で発表など、実験レポートでも実験結果と考察、感想だけではなく、言葉でいろいろなことを表現できるようにするなど。その他にもあると思いますが、今までの授業や実験の様子と、言語活動の充実ということが入った上で、どのような中学校での変化があるのか、理科の授業について意見をお聞かせいただきたいと思います。

中学：

話し合いの部分を増やそうと意識することはしています。生徒の話し合いというのは、毎時間は無理ですが、実験が終わった後のデータ処理や、どのようなデータの結果が出て考察をするかとか、そういう場面では何回かはやってきています。そういう意味では、これまでもやってきたのかなと思います。いろいろと表現方法を変えたり、ホワイトボードを使って話し合いの結果を書かせて発表させるとか、そういうことを考えさせて、子供たちみんなが考えた結果を交流しあいながら、結論を導き出していくという活動をいくつかやってきています。そのような活動の回数を増やそうかなということは考えますが、すごく大きく変わったかというと実感としては私の中ではまだありません。

司会：

例えば、どのようなことを発表させるのですか、実験をやらせて生徒に発表させるというと高校ではあまりイメージできないですが、どんな実験をやって、何を発表するのか、ご紹介ください。

中学：

中学校1年生では、水溶液には溶質がどのように溶けているのか、モデルで表すという取り組みがあります。実験は見せるのですが、実験の後にモデルを粒で考えさせます。水の中でどのように粒が広がっているのかというのを考えさせます。その中では、粒の数や大きさには細かいことを言わず、生徒に考えさせます。硫酸銅だと色がついていますので、均質な色に見えます。それを青い粒で表したらどうなるのだろうか。そういうことを考えさせて、最初教師が9つくらいの粒を描いて、これを基にして考えなさいと提示します。生徒の中には、さら

に小さくしてたくさん振り分ける者がいたり、大きく描いたり、様々です。溶液を観察してみると均一になっていて、上の方が濃いとか、下の方が濃いとかということはありません。それから考えると粒はどのように広がっているのか、問いかれます。だいたいバラバラに散らばっているのかなということが分かりますので、そういうことを子供たちに考えさせて、最終的に1時間の中で、水の中にはこんなふうに溶けていると結論づけます。そういう形でやっています。

司会：

ある高校の先生が中学校の研究授業を参観したときのことです。生徒に発表させるような形式で、あさらかに間違ったモデルがあっても、「それもあるね」といったような形で終わり、理科の授業としてはひどい、という感想を持ったという話がありました。もう10年ほど前のことです。生徒が自分たちで考えたアイディアが大事で、オープンエンドで終わってきちっと教えていない。こんなことでいいのか、という意見が出たことがあります。今の先生の例では、いろいろなモデルが出てきても、これは観察結果から考えて「おかしいよね」、「違うね」など、当然教師が軌道修正するのですが、今のような話題は中学校現場では出たことがないですか。オープンエンドで言わせて終わりという、正しい知識にきちっと修正しない、社会科や芸術、感性に基づいた国語の鑑賞など、理科以外の科目ではそういう場面もあるでしょうが、理科は違うんだろうというのが過去のシンポジウムでも話題になりました。そのあたり、ここ10年くらいについて、昔そうだったとか、今もちょっとあるとか、どうなのでしょうか。



中学：

どうしてそのように考えたのかという考え方の過程を大事にしてあげたらいいのではないかと思います。「どうしてそう考えたんだろうね」と、子供たちにも意見を出させると、生徒の間からそこを突いてきて、「それはこうなんじゃないですか」、「これはやはりおいしい、違う」という意見が出来ます。表現として、考え方の過程は尊重しますが、最終的にこれが正しいか正しくないかといったときには、「正しくなかったね」という終わり方を私の授業の中ではしています。理科の流れの

中で、中学校でもやっていると思います。

司会：

安心しました。他の先生で中学校での言語活動の充実について、新課程を迎えて変わったことは何かありますか。

中学：

先ほどの（オープンエンドで終わる）授業についてですが、その高校の先生がご覧になった授業は何か勘違いされたのだと思います。私たちは理科を教えているので、原理原則をオープンエンドで終わるということはありません。もしかしたら、公開授業とい



うのは見せる授業なので、生徒から意見を出させて、出されたものに対して間違いを正して終わるのは気持ちがよくありません。次の時間ではちゃんと、「そこは間違いだったね」と修正したと思います。話し合いというものは、発達段階というのがあります。中学校1年生というのは小学校から上がってきたばかりの子供です。結論がはっきり分かっているものであっても、実験の結果をみて結論をピタッとこういう結論ですということを持っていくのが意外と難しい。例えば、比例ですといつても、倍になつたらこっちも倍になるねというふうに簡単には言えない。だから、結論を出すための話し合いというのは、それこそみんなの学び合いなんです。わからない子に対して、分かっている子が、ほら2倍になるとこっちも2倍になって、こっちが3倍になつたらこっちも3倍になっているでしょ、と話し合いをすることによって、法則を教えあうような形になることもあるし、結論のないものを話し合うこともある。例えば自然の多様性みたいなことを話し合うときに、何かを発見するみたいな場合です。私は10年経験者研修で、葉っぱのつき方という授業の仕方を教えていただきました。植物の葉っぱのつき方というのは上から見ると、太陽の光がちゃんと当たるように葉っぱが重ならないようについたりしています。それを粘土と竹ひごと色画用紙で作るのです。粘土を土台にして、竹ひごを刺して枝のつくところに粘土の玉をつくって短い竹ひごを枝にして、葉っぱを画用紙で作る。その時は好きなつき方で、いろんな葉っぱの形も自由でいいし枝のつき方も自由でいい。光合成を一番効率よくするにはどうしたらいいかとか、そのとき少しだ

けキーワードをつけますが、あとは自由に作らせて、交流します。そうするといろんな植物の形が出てきます。それがその辺の何も手入れしない原っぱと同じだよね。葉っぱの大きさや形も違う、これが自然の多様性というものだ。みんないろいろなことを考えながら、いろんな葉っぱ、植物の独自の形をとっている。そういう場合はオープンエンドでいいと思うんです。自然の多様性というのを学ぶには良いと思います。生徒による話し合いについても、中学校の理科の先生は、勉強した法則をどうやって自然のものと結びつけていくかということを考えていると思います。そのときに帰納的なものの考え方とか、演繹的なものの考え方とかを大事に話し合いの中に取り入れているように自分は感じます。

司会：

他の中学校では言語活動の充実を受けての変化はありますか。

中学：

はっきり言ってないです。私が中学生の頃は、自分たちが話し合いをして結論を出していれば、話し合いを基にとか、他の班の実験データを基にそれも付け加えて考察していくということはなかったと思います。しかし、自分が教員になった頃からは、子供たちの力を伸ばしたいという意識の高い先生方は、当時から今でいう言語活動ということを意識してやっていたと思います。最近、言語活動というものが用語として出てきましたが、何ら変わりはないという感じがします。

言語活動もいろいろな意味合いがあります。小学校4年生で水の温度変化について学びます。100度で沸騰します。小学校の4年生の教科書にも温度変化のグラフが出ています。中学校ではエタノールの沸点が水とは違うことをやります。次に水とエタノールの混合物だったら沸騰する温度の変化はどうなるでしょう。その問い合わせて、「100度と78度の中間ぐらいで沸騰するんじやないか」、という予想とか、「いや、2つ混ざっているのだから、別々だろう」とか予想が分かれます。では実験をやってみましょう、となる。その動機付けの話し合い、言語活動というのもいいかなと思っています。

先ほどの「葉っぱのつき方」の授業もオープンエンドなのですが、結局最後にみなさん気が考案した植物が自然界にあれば正解だよね、という感じで次に観察に行っています。そうすると、子供たちが葉っぱのつき方や何かを非常に細かく見てくる。つまり、例えば教師が葉の形はこんな形で、上から見ると葉が重ならないようになっ

ているとか、互生・対生・輪生といろいろあると、それを説明しても子供たちは感動しない。でも、どうなっているのと予想させて本物を見に行ったらあった。そういうふうに収束させています。小学校の授業が15年くらい前はそれこそオープンエンドでOKみたいなときがありましたが、小学校も近年は収束させています。そういう流れになっています。

司会：

われわれも長年こういう話し合いをやっているので、やはり時代とともに、良くない部分は修正されているのだと思います。

高校：

言語活動の充実ですが、本校は平成24年度から2年間、北海道の学力向上、確かな学力を育む教育推進事業に指定されました。その時の理科のテーマが思考、判断、表現力を育てる授業改善というテーマになっていることもあります。近年の物理、化学の部分ですが、理科では言語活動を取り入れた授業展開をしようという年間計画でやっています。



物理基礎について25年度、26年度と2回授業をやったときに、エネルギーとその利用という単元で、最終的に新エネルギーと呼ばれるものを、もし自分が住んでいるこの町内に取り入れるとしたら何がいいか子供たちに話し合わせました。その時のアンケート結果によると、子供たちが好きな活動が、グループワークでした。その理由も聞いてみると、「いろいろ話し合えるのが良かった」というのが多く見られました。それもあって、エネルギーとその利用というのは最後の単元になりますので3月に実施しましたが、逆に年度当初に実施するのはどうだろうかと、26年度は4月の段階から10回の授業を行いました。

アンケートの自由記述の部分を見ると、エネルギーなどは好きだが、先輩から物理は難しいと聞いて少し不安だ、と難しいというイメージが先輩から代々きている物理がこここの単元で少し興味をもってもらえた。楽しいと思える子供たちが増えたという結果があつて、言語活動を充実させるということで授業の改善につながったと本校の取り組みを通してわかりました。さらに、どちらかというとお客様的な生徒、わからなくて難しい、難し

いからわからないという悪循環に入っていた子供たちが、言語活動を通してグループワークは楽しい、そして授業が楽しく思えるという生徒が少しずつ増えている。高校においては言語活動の充実というのはなかなか取り入れることはなかったのですが、どちらかというと座学中心の知識を教える授業展開から子供たちが積極的に言葉を使って物理現象を説明する授業に変えることは良い取り組みなのではないかな、と思っています。

司会：

グループワークとは何をやらせるのですか。

高校：

町内に新エネルギーを導入するしたら何がよいのかというグループで話し合った結果を発表させます。発表するときも、ただ発表を聴いているだけではなくて、必ず自分の班以外の評価をして下さいという課題を与えています。さらに発表を聴き終わった後、グループ同士の中で話し合いをして、一番良かった班はどこだったか、その理由も発表する。お互いの活動について、評価し合うような活動を取り入れました。それから、演習をするときに問題を解くのも苦痛だという生徒が多いので、子供たちが子供たちに教える形を積極的に展開する。教師1に生徒30名ではなかなか目の届かない生徒に対しても、小グループの中で出来る生徒が出来ない生徒に教えることで、細かいことにまで目が届くようになる。それで、グループワークを演習のときに取り入れるようにしています。普段は整列した形で授業をやり、演習が始まると班でテーブルをつけなさいと指導をすると今はスムーズにはじまってお互いに演習の解答を解説して最後は班ごとに代表が全体に向けて解説する形で終わるようにしている。このような言語活動を実践しています。

5. アクティブ・ラーニング

司会：

次に、アクティブ・ラーニング(A・L)の展開について意見交換したいと思います。中学校の先生方への紹介ということで、典型的な物理では等加速度直線運動の $v-t$ グラフの関係から、速度と時間の関係、何秒経ったらどんな速度になるかという式が出てきます。 $v-t$ グラフの面積から x と t の関係、何秒経ったらどれくらい変位しているかという変位と時間の関係を扱います。 v と t 、 x と t の2つの関係式から時間 t を消去して3つ目の v と x の関係、どこにいたらどんな速度かという関係式を説

明します。以上3つの式の導出を授業では説明します。

今は短時間で示しましたが、これを1時間から1時間半の授業（一般的な高校では1時間の授業は50分）で行います。これが典型的な物理の授業といえます。これが惑星の運動やロケットの軌道計算などとつながっている。物理は未来も予測できるし「すごいだろう」という話が高校の教科書を用いた典型的な授業といえます。

いわゆる知識伝達的な授業、知識の詰め込みでは興味関心がなかなか引き出せません。生徒の意欲も、解る生徒はいいが理解できない生徒はやる気を失う。理解できない生徒はドロップアウトして授業に参加できなくなってしまいます。私が高校生くらいの時もそうでしたが、理解できないのは生徒が悪い、生徒の努力不足ということで、理解できない生徒がいても授業は進み、生徒の自己責任という主張を教師がするという時代が30年くらい前にありました。その後、高校物理の履修率が落ち込んだ時代が続き、今、物理基礎の設置により履修率が盛り返し、全員に物理基礎を履修させようという学校が増え、このような状況の中で出てきたのがA・Lです。

A・Lと言っても今のところ定義はあいまいですが、生徒が主体的に、協同的に学習する、教師が教え込むのではなく生徒の活動を尊重しながら授業をやろうというのがA・Lです。

A・L肯定派の意見としては、生徒が主体的にやるから、それにより学習効果が期待できる。先生が一方的に知識を伝達する形式は、生徒が理解していくようが、いまいが、授業はどんどん進む。生徒が授業に主体的に係わることで学習効果が上がるだろう。いわゆるお客様の生徒、授業に参加しない生徒が減るし、結果として家庭学習も増えて意欲も高まり学習量も増えるし良いのだという考え方です。

A・L否定派の代表的な意見としては以下のようなものがあります。

- ① 考える、教えあうといつてもまず基礎的な知識がないと始まらない。知識伝達による知識・理解の前提、基礎的な学力がないとA・Lはできないので、何でもかんでもA・Lとはならないであろう。
- ② 生徒に議論を任せても、脱線するだけで全然進まないだろう。
- ③ 時間がかかって教える量は減るので、時間ばかりかかって効率が悪い。
- ④ 大学入試も高校入試もあるのに、こんなのがやってられない。上手くいくとは思えない。

以上4つがA・Lに否定的な代表的意見です。

このような賛否がある中で、当然全部の授業を教師が

教えない形式にすることは難しい。反転授業という用語もよく聞きますが、知識伝達的なことは家庭学習でやつて、授業では討論などを推奨するという意見もあるようです。A・Lを全ての授業に導入するのは難しいでしょうが、これまでの授業で良いとも言えないでしょう。肯定派、否定派の意見をご紹介したところで、中学校の先生方の意見をお聞きしたいと思います。

中学：

バランスが大事だろうという気がしています。知識伝達がなければ考える基になる知識がないわけですから、思考できないわけで、当然知識を教えた上でさらに思考を高めるために発展的な課題を与えてあげるとか、そういうことが必要だろとうと考えています。中学校の授業の中でも小学校でどれだけ勉強してきたのかを知ることがとても大事で、今までの学びということで小学校の勉強の基礎のなっている部分から中学校での内容に入っていくことは多いです。知識がある中でそこから広げていくという活動はとても大事だと考えています。

今、中学校2年生を教えていますが、子供たち同士で教えあうということでは、オームの法則の計算問題のところを紹介します。子供たちも苦手な部分なので、たくさん演習させたのですが、子供たちにも教えあう時間を与えました。特別な班編成はしませんが、だいたい近くにできる子がいるので、教えてあげたり、解らない子は聞いたり、やり方を教えてもらったりします。



問題演習させると子供たちは先生の答えを待っています。時間を与えても解かない子も多くいます。解かない子には待っていないでやるように勧めますが、一人ではできない子もいます。隣に聞いても良いというと、ある程度教えたり、聞いたりできるので、それはすごく子供たちの力を借りて授業をやっているとは思います。

そういう形で自分としては、A・Lは知識伝達型授業とのバランスを考えた中で、上手に使っていけば良いと思います。ただ、否定派の意見も当然ですし、特に生徒に議論を任せると脱線するだけという意見については、中学校では学校事情によってはそういう活動ができない学校も当然あると思います。授業の成立自体が厳しく、実験が危険でできないとか、そういう学校や学級はあるかもしれません。そこをどう統制していって授業を展開するかは我々の力量にもかかっているところです。そ

いう問題は中学校では実際にあるのではないかと思います。バランスと、きちんと授業を受け入れるような態勢ができた上でこういった活動をやっていけると、子供たちの力が伸びるのではないかと思います。

中学：

高校でどんな授業をしているのか、実はよくわかりません。自分は進学校と言われる高校を卒業しましたが、実験は一回もやりませんでした。早く教科書の内容を終わって、早く受験勉強の問題をやれと言われました。今日提示された内容（等加速度直線運動）のところですが、実は高校の内容で一番覚えているところかもしれません。当時、車が好きだったのでワクワクしました。スピードってこんな計算で正確にわかるんだ。加速度というのは力とどういう関係があるのかな、どのくらいアクセル踏みこんだらどれくらいの馬力の車があつたらどれくらいのスピードが出るだろうなど、ワクワクしながら、計算式が出たときにわかったんですね。高校の勉強や、これからしていく勉強はなんでもしっかりと数値でできるんだなとワクワクして、授業を最初聴いていました。すぐワクワクはなくなっちゃったのですけど・・・なぜかというと、これだけで終わってしまったから。もし、この授業を自分が中学校でやるとすれば、大事なのは導入かなと思います。この公式を導出するような授業は、これでも良いが、この授業の前にどんなワクワクする授業ができるだろう。この学習を、勉強をしたいな、式に表して計算できるようになりたいなと、生徒が思う導入ができるか、これをやった後に、これをどうやって活用できるかな。車の話でもよいと思いますが、どれくらいのスピードになるか計算で出したら「こうなった」、なんていうのは面白いのではないでしょうか。

バランスって大事だと思っていて、知識伝達する部分は伝達しなければだめだし、だけどその前後に復習する意欲がなければ学習は進んでいきません。そういう身近なものと結び付けられると、やはり最終的には短期記憶にしても長期記憶にしても残るのだと思います。そういうところを中学校でも課題解決学習という言い方をしてすごく意識してやっています。

中学：

先ほど分かりやすいように、否定派・肯定派という区分けにしていたと思いますが、否定と肯定というよりは、中学校ではA・Lという言葉をあまり使っていませんが、子供たちのコミュニケーションの活動とか、話し合いだとか、それが意味あるところには使います。そればかり

では効率が悪かったり、知識を伝えなければならぬところもあるので、それだけではきっとだめだと思います。子供たちがこれから社会を生きていく上で、いろいろな異種の人たちの中で上手くやっていく力や、いろいろな情報を収集分析しながらものを考えていく力とか、そういう能力が必要になっていくという感じもあります。ですから、そういう意味では、トレーニング的な要素として、話し合いをしたり、自分の意見を根拠を持って伝える、それに対して考え方を出していく。そのやり取りが、理科の中で育てるものかわからんせんが、重要な部分ではないかと思っています。私も、教え込むという部分、子供たちに委ねる部分、両方あると思います。うまくいかなかつたときは、私の指導の仕方が悪いということ、コミュニケーションや話し合いの視点を明確にしていなかつたのではないかと思います。そのように必要な部分で取り入れるという感じで進めます。



高校：

他の先生方と一緒に、バランスが大事だと思います。高校の物理においては、自分の高校時代を思い出せば、知識伝達のみしかありませんでした。私自身も高校で実験したことがないということもあって、高校で実験するとか、言語活動を取り入れた授業などのイメージが無い中で、高校教員としてどのようにA・Lを入れていくのかという手探りの状態です。ですから中学校の先生方との意見交換が必要かなと思います。自分の勤務校がある町は高校一つと中学校三つ、中学校も間口が小さい学校ですので、町内の理科の教員は中学校4名と高校の2名で、結局6名の先生が町内の理科を回していることになります。中学校の先生と話し合う機会が毎年ありますが、中学校は生徒指導に時間がかかるので、実験もどちらかというとあまりやらないという話も聞こえましたし、生徒指導に時間がかかるためにA・Lで生徒に任せっきりになると、收拾がつかなくなるので、どちらかというと今はやらないようにしているという町内の中学校の現場の声もあります。そうすると中学校から高校に入ってきたときに、生徒同士で話し合う機会や演習が理科の中であまりない子供たちが高校に入ってきますから、高校でグループでやろうと思ったときに最初すごく時間がかかるのですね。慣れるまでに早くても2,3ヶ月かかるので、やはり二の足を踏んでしまう。ただ、授業アンケ

ートなどを見ると、子供たちはそういう活動を求めていのではないか。発達段階にもよると思いますが、中学校の生徒指導がたいへんなんだだと思いますが、高校の方でもグループワークなどの取り組みをしたいということを中学校へ伝えて、中学校と高校で足並みをそろえて、実験等必要なところでは A・L、言語活動をやってもらいたいなと思います。

確かに教科だけの問題ではないというのは大きいと思います。本校で他の教科はどうか聞いてみたところ、国語ではやっているが、国語の方もねらいが伝わるまですごく時間がかかる。半年くらいかかるってやっとグループワークらしいことができるようになったということでした。地歴公民科でも話し合い活動は少しは取り入れると言っていましたが、それは年度の終わりの余った時間の消化の仕方の一つという考え方で、生徒に議論させて時間つぶしのためにやっている感じでした。積極的に話し合いをさせる、A・Lを取り入れるというところには、まだまだ時間がかかるかなというのが高校の現状ではないかと思います。A・Lの否定をして知識伝達の授業ばかりであると、いわゆる面白くない理科になってしまふと思いますので、ワクワク感を伝えるためには、やはり子供たちの理解や興味を大事にしてあげるというのが必要かなと今は感じています。A・Lを否定する方の話もわからないではないですが、それを乗り越えるのは教員の仕事かなと思います。

フロア（高校）：

A・Lで今まで自分が何をやってきたかと考えると、自分の授業を座学か実験かで分けて考えていて、あまりこういう風な考え方をしてこなかつたなど、今すごく反省しています。例えば実験をやったときにもう少し議論を深める時間というのを1時間の授業の中で加えていたら、もう少し彼らの知識の定着につながつていったのではないか。情報伝達型の授業をどうしてもやつてしまいがちだったと思いますので、予習段階、授業準備の段階で、これを頭の片隅においておけば、少し違つた形で彼らの定着を図れるようなことができるのではないかと思いました。

フロア（大学）

A・Lは大学から始まって、文科省の方からもA・Lをやれという指導がされています。NHKの番組でハーバードのサンデル教授の白熱教室、ああいうのが流れたので、討論をやるのがA・Lだというイメージになっているのですが、実はあの討論をやる前にかなり必要な文献とか

教科書が指示されています。例えばアメリカではGoogle Booksというのでプラトンとかアリストテレスはインターネットで読めます。そのページを読んできなさいとか、分厚い教科書が指定されていて、その教科書で逆にグループでティーチングアシスタントの大学院生がついでしっかり講義もやって、そういう一定の知識がついた上で討論をやっているので、囁みあうことができて、サンデル先生のコメントも学生に意味を持っています。そういうものだと理解した方がいい。大学でもいろいろ手法が出ていて、物理だとハーバード大学のマズール教授がA・Lでは有名ですが、それもしっかりと教科書とか知識は身に着けた上で難しい問題をみんなで話し合って解くとか、そういうことをやっています。さきほどからバランスと言われていますが、やはり伝える部分は伝えるとか、学生が自分で学ぶ部分は学んだ上でアクティブにやらないと、本当に迷走してしまうだけでしょう。そこが大事なところです。

A・Lという名前からいうと、ワアワアやっているだけという印象もありますが、決してそういうことではありません。非常に良い教科書がないと反転授業なども実行できない。教科書を読んできなさいと言っても、つまらない教科書だと読んでディスカッションをやつても全然意味がないので、意味のある教科書を出さないといけないとか、いろんな問題があります。そういう意味ではアメリカなんかでは言葉だけですが scaffoldとか scaffoldingというのがいっぱい出できます。どういう意味かというと工事現場とかに作る「足場」です。その足場を適切に与えてやつて、そこまでは指導する、教える。足場ができたたら、その足場を使ってアクティブにやる。そんな考え方でてきて、授業を作る側がしっかりと足場をつくつてやらないといつまでたっても建物ができない。本当にA・Lをやろうと思うと授業を作る側がしっかりと適切な足場を設けていかないと、うまく進まない。知識伝達だとずっと教えていけばよいので、下手でもできると言う言い過ぎかもしれないが、やるべきことはやれる。足場をつくるとなると、すごく離れたところにつくると次に行けない。あんまり近いと伝達ばかりと変わらない。そこが難しいので、授業づくりをしっかりとしないといけないのだろうなと思います。



6. 多くの生徒が学ぶ物理基礎

司会：

大学で物理をやる人だけが高校で物理をやっていたという時代から、物理基礎という科目が設置されて多くの高校生が物理を学ぶようになりました。平成24年度に始まり、それまでは物理は難しいから生徒全員にやらせるのは無理だ、という意見を物理教師も含めて他教科の教師からも聞かれました。現在は、1年生で物理基礎をやっているという学校はかなりあります。中学と違って、高校では科目の専門性が強く、物理専門の教員以外（化学や生物が専門の教員）が物理基礎をやっている現状もあり、物理基礎をやる上での課題として指摘されています。物理基礎の上に1単位の物理、いわゆる難しい物理がある。それが必要な生徒もいるので易しい物理基礎をやる余裕はない、物理での大学進学希望者が多い高校の先生からはそのような意見もありました。以上のような問題について議論していたのが平成22年、23年の頃でした。そういうことを経た上で我々は物理基礎をやつしていく、やっている中でも物理基礎はきついなという、やや弱気な声も現場では出てきています。

そのような現状で多くの高校1年生が物理基礎をやつしていくことについて、中学校の立場からコメントをいただきたい。

中学：

すべての生徒に物理はやった方がいいのではないかと思います。それは物理だけではなくて、科学全般を物化生地で分けるならば、物化生地をバランスよく学習することが、自分が生きているこの地球や自然というものを探るために必要だと思います。

特に物理というのは、私の印象ですが、ものごとの眞の姿をとらえる基本であるような気がしています。いろいろな物事の考え方、そして順序立てて物事を考える、科学的に考えていく、そのベースになるかなと思っています。受験というものを考えたときにどうなるのか、もしかしたら難しいとか、そういう印象を持つ人もいるのかもしれません、是非、子供たちの科学的ないろんな考え方や見方、いろんな偏見や感情に流されずに物事を見ていく、そういういたところの核になると思います。

中学：

いわゆる受験と結びつけないで考えると、理科、科学の思考の流れというのは物理が一番教えやすいなと思っています。現象から法則を考え出して、定性的なものか

ら定量的なものを考えてというのは、物理は大事な教育です。それを学ぶことで科学的な思考の流れというのがきちんとできるのではないかなと思います。

2年前、作用・反作用というテーマで公開授業を実施したのですが、作用・反作用というのは、つりあいと混乱するというところ。インターネットを検索してみると高校でも、つりあいと作用・反作用は混同している生徒が多く、自分で教えていても教えにくかった。いろんな先生方に助けてもらひながら、教え方を勉強したのですが、やってみて身近なものに結び付けて考えることができるとやはり作用・反作用という複雑なものでも生徒には理解できるんです。物理というのは、生きていれば歩くことから始まっていることが物理の分野ですね。身近な生活にすごく結びついていると思うので、是非、物理はやるべきだと思います。

中学：

自分が高校のときの物理はダメで、ドロップアウトした一人なのですが、なぜドロップアウトしたのか今考えてみて、知識伝達の授業が非常に多かったのかな。その時の高校の授業で一番印象に残っているのは生物の先生で、カエルの胴体を切って金属のピンセットで挟むんです。そうすると神経に電流が流れビクビクと動くんです。その授業がすごく印象深かった。物理が駄目かというとそういう話ではなく、自分が見て感じたところというのはすごく印象に残っていたなと今日の話を聞きながら思い出していました。

物理教育はどうあるべきかと考えるときに、自分は物理で考え方方が変わったことが一つあったのですが、大学1年の物理の授業を受けたとき、モンキーハンティングの話を聞いて、物理って面白いなと感じました。そこが自分の物理の感じ方の転換点だったなと思います。

物理は本当に身近なものですが、とても数式とか計算が出てくることによって子供たちが離れていくという面はすごくあるのではないかと思います。とても身近なものを扱っているのだと、最終的には自分の生活にもどしてあげるという作業をしてあげると、とても物理って面白い題材です。子供たちには、日常の現象の中で数式で表せないものはないのだよという話をすることがあります。線香の煙の形ひとつとっても、式で表せる。それも物理の話なのだと、身近なものに近づけてあげて勉強させてあげると、もっともっと面白くていい授業になるかなと思います。

高校：

物理を学びたい生徒だけではなく、全ての生徒が学ぶということに物理基礎が置かれた理由があると思します。私としては、やはり生活とリンクさせた物理教育を実践したいなと思っています。小中高の物理分野でつながっているところは、エネルギーが一つのキーワードとして入っています。全ての生徒が学ぶ物理のゴールの一つとして、身近な世界のエネルギーについて理解を深め、最終的に今後のエネルギー問題などを含めて、自分たちの生活がよりよくなるためには、どういうふうに生きていけばよいのかという視点を持たせる。物理教育の中で、その一分野にしかならないかもしれません、すべての生徒のためになるという考え方から、エネルギーを通して物理教育というのをやっていきたいなと思っています。

学ぶ面白さが分かれば、どの分野もそうなんすけれども、子供たちは自分で学んでいこうという姿勢が出来ていくと思います。やはり楽しい、単に面白いというだけでなく、興味深く子供たちが学んでいきたいという物理教育を目指していきたいと思っています。

司会：

今回もたくさんのことの中学校の先生方に教えていただきました。高校、大学が中心の本学会ですが、中学校の先生方との交流というのは本当に大事だと改めて感じました。

A・L というのは、肯定も否定も含めて、今後まちがいなく議論になっていく話題だと思います。物理はどうしても嫌われがちなところがあります。しかし、私たちは物理を学ぶことが大事なことだと思って、その考えが世の中に広がって子供たちのためになればと常に考えています。今後とも、よろしくお願ひいたします。

MHヒートポンプの基礎実験

(3種類の水素吸蔵合金を用いたヒートポンプ効果の測定)

エコエネ工房 石毛 隆 北海道教育大学大学院札幌校 八代裕平
北海道教育大学札幌校 芦田創平、開地多朗、山崎 瞭

2012年度の最初の実験において、まず1種類の水素吸蔵合金による熱の吸収・放出に伴う水素ガスの放出・吸蔵という特性を温度-圧力の変化として測定を行った。ひき続いて行われた2013年度の実験において、2種類の水素吸蔵合金による2つの熱源の温度差を利用したヒートポンプ効果の測定を行った。本実験においては、3種類の水素吸蔵合金を用いることによってヒートポンプ効果のより高いピーク温度を実証し、実用的なヒートポンプへの応用が可能であることを確認した。例えばMHヒートポンプ実用機のイメージとして、冬季間のシャーベット状の雪氷水の温度(0°C)と温度の低い温泉水(30°C前後)との温度差エネルギーを利用して、一般的な温泉に適した温度(45°C以上)に加熱する技術開発が想定される。将来的には今後のエネルギー問題の解決策を検討するうえで最も有効な技術の一つと思われる。

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と標記され、物理的な変化(熱、圧力)で簡単に水素が出入りする性質を有する。先に行われた2012年度の実験¹⁾においては1種類のMHの温度-圧力変化の測定を行い、その特性の確認を行った。またひき続いて行われた2013年度の実験²⁾においては、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ヒートポンプ効果の確認を行った。その結果、ピーク温度で+5.5°Cの温度上昇が記録された。本実験においては、熱特性の異なる3種類のMHを組み合わせることにより、さらに高いピーク温度が生じることを実証し、実用的なヒートポンプとしての可能性を探ることとした。

一般的に水素吸蔵合金は、ある温度T(絶対温度:K)で平衡する水素圧P(絶対圧:atm)との間に $\log P \propto 1/T$ の関係³⁾が成立する。そこで使用する3種類のMHの特性が図1に示されたような3本の直線になると仮定し、2種類のMHと3種類のMHでピーク温度はどうなるかを考察する。

a) 2種類のMHの場合(MH1, MH2を使用)

①→② 温度Thに暖められた圧力P2のMH1から水素ガスが放出され、温度T1に冷やされた圧力P1のMH2に吸蔵される

②→③ MH2は温度T1からThまで暖められ圧力がP3まで上昇する

③→① 温度Thに暖められた圧力P3のMH2から水素ガスが放出され、温度Thで断熱状態の圧力P2のMH1に吸蔵される

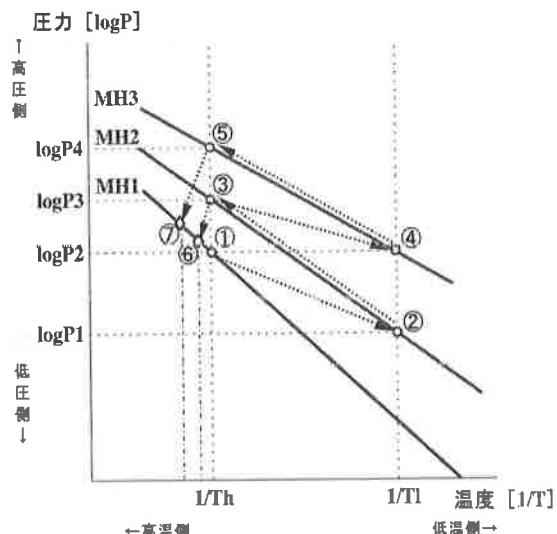


図1 3種類のMHを用いたヒートポンプ効果の概念図

①→⑥ MH1は水素ガスの吸蔵によって圧力の上昇とともに温度も上昇し、ポイント①から⑥に移動する(この温度上昇分がヒートポンプ効果のピーク温度となる)

⑥→① 温度上昇分の熱エネルギーを消費するとポイント⑥から①にもどる

b) 3種類のMHの場合(MH1, MH2, MH3を使用)

①→⑤ 先に示したa)の①→②→③と同様の操作を③→④→

⑤で行いMH3は温度Th、圧力P4となる

- ⑤→① 温度 T_h に暖められた圧力 P_4 の MH3 から水素ガスが放出され、温度 T_h で断熱状態の圧力 P_2 の MH1 に吸収される
 ①→⑦ MH1 は水素ガスの吸収によって圧力の上昇とともに温度も上昇し、ポイント①から⑦に移動する（ヒートポンプ効果のピーク温度が 2 種類の MH よりも高くなる）
 ⑦→① 温度上昇分の熱エネルギーを消費するとポイント⑦から①にもどる

上記のように高温側の熱源温度 T_h と低温側の熱源温度 T_l の温度差 ($T_h - T_l$) を利用した MH ヒートポンプを想定すると、ピーク温度を高くするためには、より大きな圧力差 ($P_4 - P_2$) を生み出す 3 種類以上の MH を組み合わせた多段化が有効であることがわかる。これは、ピストン式の一般的なガスヒートポンプにおいても効率の点で多段化にメリットがあることと同様である。

本実験においては、2013 年度の実験用に製作した「M H ヒートポンプキット」の改造（2 種類の MH → 3 種類の MH）を応用流体技研（旧社名ユニヴ・テック）に依頼し、水素ガスと MH を封入した密閉構造の安全性を確認した上で 3 種類の MH によるヒートポンプ効果の測定を行った。

2. 実験装置の概要

図 2 に本実験で使用した MH ヒートポンプの構成概念図を記す。3 種類の MH はそれぞれの容器 MH1, MH2, MH3 に封入され、さらにその外側に 3 つの保温容器が被せられている。3 つの保温容器には、それぞれの MH を暖める際には温水（30°C～50°C）を、冷やす際には冷水（0°C～3°C）を入れる。MH1 のみヒートポンプ効果を測定する際にはその保温容器の内部の温水（50°C）を排水し、空気雰囲気の簡易的な断熱状態とする。

6 個のバルブ（V1～V6）は初期状態で全て閉状態とし、必要なバルブの開閉操作で水素ガスを移動させる。バルブ V7 はメンテナンス用で基本的に閉状態のままである。MH1～MH3 の水素ガス圧力は配管部に設けられたそれぞれの 3 つの圧力計（P1～P3）で測定を行う。また、MH1～MH3 の温度は、それぞれの容器表面にアルミテープで固定された K 型熱電対温度計を用いて測定される。

本実験においては、高温側熱源温度 (T_h) を 50°C（一般的な温泉の温度）と、また低温側熱源温度 (T_l) を 3°C（冬季間のシャーベット状の雪氷水による冷却温度）と想定し、両方の熱源の量は無限にあり熱源コストはゼロであると仮定した。さらに装置の安全性を配慮し圧力を上げすぎないよう、中間温度として 30°C の熱源も使用する設計であるが、上記の 2 つの熱源を利用すれば同様に 30°C の熱源コストもゼロとなる。

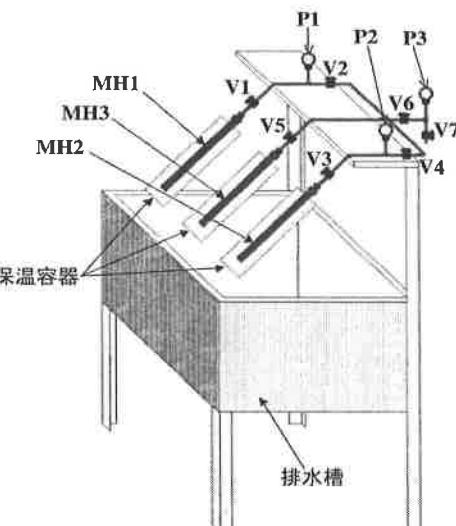


図 2 MH ヒートポンプ構成概念図

ヒートポンプ効果の測定は以下の状態で行われた。

《初期状態》

MH1 が図 1 のポイント①、MH3 がポイント⑤の状態

- ・バルブ V1, V5, V6 を開く
- ・MH1 水素圧 2atm 温度 50°C 温水を抜く
- ・MH2 水素圧 3atm 温度 24°C (室温)
- ・MH3 水素圧 10atm 温度 30°C (温水)

《測定中の状態》

MH1 が図 1 のポイント①→⑦、MH3 がポイント⑤の状態

- ・バルブ V2 を開く
- ・MH1 水素吸収圧 2atm → 5atm 温度 50°C 以上に上昇
- ・MH2 水素圧 3atm 温度 24°C (室温)
- ・MH3 水素放出圧 10atm → 5atm 温度 30°C (温水)

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。

表 1 MH ヒートポンプ仕様

	MH1	MH2	MH3
水素吸蔵合金	種類 $\text{MnNi}_{4.4}\text{Mn}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{Al}_{0.1}$	$\text{MnNi}_{4.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Co}_{0.4}$	$\text{MnNi}_{4.4}\text{Mn}_{0.5}\text{Co}_{0.5}$
	特性 10atm @80°C	10atm @60°C	10atm @40°C
	封入質量 30.0 g	30.0 g	30.0 g
合金容器	内部断面積 88.2 mm ²	88.2 mm ²	88.2 mm ²
	内部長さ 160 mm	160 mm	160 mm
	内部容積 14.1 cm ³	14.1 cm ³	14.1 cm ³
	容積質量 (鋼換算) 57.6 g	57.6 g	57.6 g
圧力計	最高計測圧力 (ゲージ圧) 25 kg/cm ²	25 kg/cm ²	25 kg/cm ²
	最高計測圧力 (絶対圧) 26 atm	26 atm	26 atm
配管部	内部断面積	14.9 mm ²	
	全長	1760 mm	
	内部容積	26.2 cm ³	

次に装置の主な仕様を表1に記す。ここで留意すべきはそれぞれのMHの特性である。MH1は80°Cにおいて10atmの水素平衡圧を、MH2は60°Cにおいて10atmの水素平衡圧を、そしてMH3は40°Cにおいて10atmの水素平衡圧を示すことである。これらの条件は図1で示された概念図の3本の直線に合致するものである。

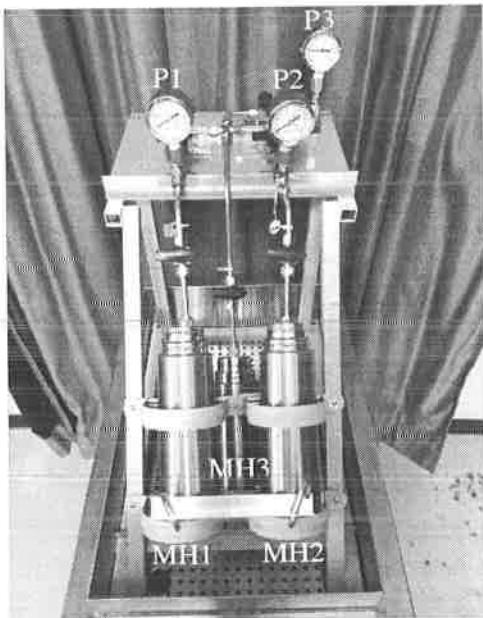


図3 装置全体の外観

続けて装置全体の外観写真を図3に示す。基本的には2013年度の実験装置で使用したMH1とMH2の間の奥のスペースに新たにMH3を付加した構成で、それぞれに保溫容器（ステンレス製魔法瓶）が被せられている。また装置上部の配管途中には、それぞれのMHの圧力を測るためにブルドン管式圧力計（P1, P2, P3）が取り付けられている。本実験においては、それらのブルドン管式圧力計の表示圧力（ゲージ圧 kg/cm²）を目視で読み取り、計測値として絶対圧(atm)に換算して記録を行った。

3. 実験結果

ヒートポンプ効果の測定は30秒おきにMH1の温度と圧力を記録して行われた。その測定結果を図4に示す。図中に示された測定1のグラフは装置の初期状態を確認後、最初のヒートポンプ効果を測定したもので、開始90秒後から120秒後にかけて最大のピーク温度(50°C→66°C)が認められた。次に測定2のグラフは装置を初期状態に戻す再生プロセスの後、再度ヒートポンプ効果を測定したもので、開始120秒後に最大のピーク温度(50°C

→65°C)が認められた。最後に測定3のグラフは、ヒートポンプ効果の無い状態（全てのバルブ閉）でMH1の外部への熱放出状況を観測するためにMH1を70°Cに加熱した後、徐々に低下する温度を記録したものである。なお、全ての測定は気温24°Cの室内で行われた。

以下に、測定1→再生プロセス→測定2→測定3の一連の流れとその概要をまとめて記す。

測定1

- ① MH1を温水で50°C以上に暖め温水を抜く
- ② MH1の温度が50°Cに達した時点でバルブV2を開く
- ③ V2を開けた瞬間に0秒としてMH1の温度変化を記録
- ④ 記録開始後900秒(15分)で終了

再生プロセス

- ① MH2を温水で50°Cに暖める
- ② MH3を冷水で3°Cに冷やす
- ③ バルブV4を開く(MH2からMH3へ水素ガスが移動)
- ④ バルブV5, V6を閉じる
- ⑤ MH1を温水で50°Cに暖める
- ⑥ MH2を冷水で3°Cに冷やす
- ⑦ バルブV2を開く(MH1からMH2へ水素ガスが移動)
- ⑧ バルブV2を閉じる
- ⑨ バルブV1, V5, V6を開く(初期状態に戻る)

測定2

- ① MH1を温水で50°C以上に暖め温水を抜く
- ② MH1の温度が50°Cに達した時点でバルブV2を開く
- ③ V2を開けた瞬間に0秒としてMH1の温度変化を記録
- ④ 記録開始後900秒(15分)で終了

測定3

- ① 装置全体が室温に戻った後、全てのバルブを閉じる
- ② MH1を温水で70°Cに暖めてから温水を抜く
- ③ 温水を抜いた後のMH1の温度変化を記録

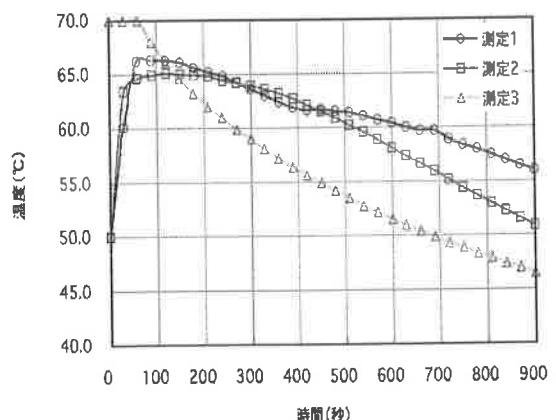


図4 MH1の温度変化(ヒートポンプ効果の測定)

測定3のデータは図4のグラフにおいて、測定1と測定2のピーク温度付近（120秒後、66°C）と重なるように時間軸のみを平行移動したグラフとした。こうすることでヒートポンプ効果の熱発生状況がグラフ上で、測定1と測定3との温度差または測定2と測定3との温度差として比較できるものと考えた。

その結果、測定1と測定2のピーク温度はそれほど差が無く120秒後に初期温度50°Cから+15~16°Cの温度上昇が確認できた。このピーク温度の値は昨年度の2種類のMHヒートポンプ効果（+5.5°C）に比べて十分高く、実用化をイメージできるものである。

一方でピーク温度後のヒートポンプ効果の熱発生状況は、測定3との温度差を見ると450秒後まではほとんど同じ状況（水素ガスの吸収に伴いじわじわと発熱が続く）であったが、それ以降では測定2の熱発生量が測定1に比べ大幅に低下しているようと思われる。原因としては、再生プロセスでの水素ガスの移動量が不足していた可能性が考えられる。

再生プロセスにおいては、各MHを50°Cに暖めたり3°Cに冷やしたりを繰り返すのであるが、今回はその熱平衡に至る時間を10分と仮定して実験を行った。しかしながら、本実験における実際の熱平衡時間は10分以上かかるものと思われ、その分MH1の水素ガス吸収量が測定1の状態に回復しなかったと思われる。従って測定結果の再現性に関しては、再生プロセスの加熱や冷却の時間を10分とした場合には測定2の状態が繰り返され、再生プロセスの加熱や冷却の時間を10分以上に長くした場合は測定1の状態に近づくことが予想される。

上記より、MHヒートポンプの熱発生量と再生プロセスの時間は相反する条件となるため、実用的なMHヒートポンプの設計を行う上でどちらを優先するか、十分な考慮が必要となる。

今回の基礎実験の結果を基に各MHの温度-圧力の特性を選び直し、MHの量を増やす（1000倍以上）とMHヒートポンプ実用機のイメージが描ける。例えば、温泉の定義は温度25°C以上の地下水であることから、未利用の温度の低い温泉水が多数日本には存在する。そこでMHヒートポンプを用いて冬季間のシャーベット状の雪氷水の温度（0°C）と温度の低い温泉水（25~35°C）との温度差エネルギーを利用すると、一般的な温泉に適した温度（45°C以上）まで温泉水を加熱することが可能になる。

また地中の温度（15°Cと仮定）が一定であることを利用して、温度差エネルギーを利用したMHヒートポンプを用いることで、冬期は外気温が低いほど強力になる室内暖房を、また夏期は外気温が高いほど強力になる室内

冷房を行ことも可能である。

4. おわりに

地球上に存在する種々の温度差、例えば地表と地中、海洋表面と深海、日中の気温と夜間の気温、夏期の高温状態と冬季の低温状態等々は、利用出来たら良いなと思う無尽蔵のエネルギーであるものの、どうやって？が困難な状況のままであった。

再生可能なエネルギーの観点からみると、すべて電気に変換することは効率やコストの点で課題が多いものの、使える熱エネルギーに変換・貯蔵することは、水素吸収合金を活用すれば実現が可能である。

なかでも水素吸収合金ヒートポンプは温度差エネルギーのみを利用して、地球上に有り余る低質な使えない熱エネルギーを、質の良い使える熱エネルギーに変換するシステムとして開発が可能であり、今後のエネルギー問題の解決策を検討する上で最も有効な技術の一つと思われる。

5. 謝辞

装置の設計製作に多大なご協力を頂いたNPO法人環境・エネルギー技術開発協会の吉田晋様に感謝致します。また3年間に渡り学生実験として本研究報告の機会を与えて頂きました北海道教育大学札幌校の岡崎隆教授に改めて感謝を申し上げます。

引用文献

- 1) 石毛隆、大川有沙実、金吉恆弥、佐々木由樹：水素吸収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) 石毛隆、本間翔太、山崎暉：水素吸収合金のヒートポンプ効果に関する基礎実験、物理教育研究（日本物理教育学会北海道支部会報），Vol.42, pp.14~17, 2014.11
- 3) 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

中高の教科書における力のつり合いの定義 及び同実験の教育的意義について

北海道長沼高等学校 石川 昌司

高校教科書で扱われている3力のつり合いの実験は、誤差が大きくその他にも問題が多い。中学校理科から高校物理にかけて、力のつり合いがどのように扱われているか調査してみた。その上で3力のつり合いの実験の意義を科学史的な観点も取り入れて再定義し、筆者のこれまでの実践と合わせて紹介する。

キーワード 2力のつり合い、3力のつり合い、力の合成、力の平行四辺形の法則

1. はじめに～高校教科書に載っている3力のつり合いの実験の問題点

力のつり合いの法則は、運動の三法則に先立って学習すべき基礎基本の法則である。この法則に関して、多くの高校教科書には、小さな金属製リングを水平面内で3方向に引き、静止させたときのばねばかりの示す力と向きを調べる実験（以下「3力のつり合いの実験」と呼ぶ）が載っている。（図1）

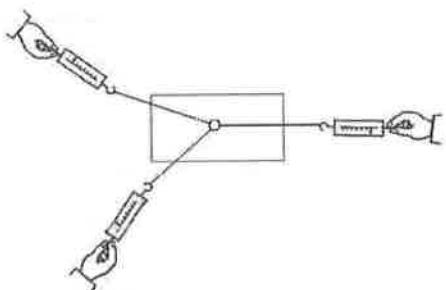


図1

筆者は、この実験は、よほど注意して指導しないとつり合いの法則の意味を生徒に正しく伝えられないと考えている。

まず、上記のばねばかりが示す力のベクトル和を求めるところになるはずが——本来鉛直に用いるべきばねばかりを水平に使用していることから生じる誤差を事前に調整しているにも関わらず——ほとんどの場合、完全な0にはならない。この0からのずれを「誤差」と見るのは「合力」と見るのかによって、この実験の解釈は全く違つるものになる。

はじめにあえて「合力」と見る立場で考えてみる。この場合、なぜ加速度が生じないのかという疑問が生じる。この実験で用いられる金属製リングの質量は普通1g以下だから、

「合力」の大きさがわずか $1\text{g}\cdot\text{m/s}^2$ 程度であったとしても、計算上生じる加速度は 10m/s^2 程度かそれ以上という大きな値

になる。もちろん実際にはそのような加速度は生じない。

では、このずれを「誤差」と見る立場に立つとしよう。指導する物理教師の多くはこの立場に立っているものと思われる。しかしこの立場も、よく考えるとおかしなことに気がつく。なぜなら、対照実験として、装置全体を多少加速度運動させて同じ実験を行ったとしても、“3つのばねばかりの力の和がほぼ0”という結果はほとんど変わらないだろうからである。その理由は、やけに金属製リングの質量が非常に小さいからである。結局、3つのばねばかりの力の和が0に近いという結果は、静止状態の専売特許ではなく、加速度運動状態であっても成り立つことになる。しかし、そんな法則は物理法則として意味がないし、なにより物理学的に誤りである。

この実験の指導はよほど注意をしなければならないと前に書いた理由をわかつていただけただろうか。

2. 中学校教科書での力のつり合いの扱い

中学校では、まず1年生で「力はたらき」について学習する。中1理科の教科書には、力のはたらきとして次の3点が上げられている。¹⁾

【力のはたらき】

- ① 物体の形を変える
- ② 物体の運動のようすを変える
- ③ 物体を持ち上げたり支えたりする

中2理科には、力に関する単元はない。

中学3年でいよいよ「力のつり合い」が登場する。はじめに「力がつり合っている」とはどういう状態を指すのかが説明される。²⁾

枝にぶら下がっているリンゴには、(中略)・・・この2つの力のはたらきによって、リンゴは静止している。

このように、ひとつの物体に2つの力がはたらいても

物体が動かないとき、この2つの力はつり合っているという。

この文章は力のつり合いを定義していると言つていいだろう。

この後、2力のつり合いの実験が出てくる。代表的なものは、縁に何カ所か穴を開けた厚紙を用意し、その厚紙を静止状態に保ちながら2本のねじで引っ張ったときの、ねじが示す値、2つの力の向き、2つの力の位置関係を調べるというものである。

実験結果は次のようにまとめられる。²⁾

実験1の結果から、物体にはたらく2つの力がつり合っているとき、この2つの力の関係は、次のようになっている。

- 1 2つの力がつり合っているとき、2つの力の大きさは等しい。
- 2 2つの力がつり合っているとき、2つの力の向きは逆である。
- 3 2つの力がつり合っているとき、2つの力は一直線上である。

次に、直線上の2力の合成の法則に進む。²⁾

【教科書本文】

2つの力を、ひとつの力でおきかえることができる。この力を合力といい、合力を求めるなどを力の合成という。

【図の説明文（図は省略）】

一直線上で同じ向きにはたらく2つの力を合成すると、合力の大きさは2つの力の大きさの和になり、合力の向きは2つの力と同じ向きになる。

一直線上で反対向きにはたらく2つの力を合成すると、合力の大きさは2つの力の大きさの差になり、合力の向きは大きいほうの力と同じになる。

【考え方】

物体にはたらく2つの力がつり合っているとき、この2つの力の合力はどうなるか。

「考え方」の目的は、力がつり合っている状態とはすなわち静止している状態であり、つまり力がはたらいていない状態と同じ状態なので、合力は定義により0になるが、これが直線上の2力の合成の法則と矛盾しないことを確認することにある。

次に、角度のついた場合の2力の合成の法則（力の平行四辺形の法則）を調べる実験がある。

そして最後に「慣性の法則」が出てくる。以下に代表的な「慣性の法則」の表現の例を上げておく。²⁾

力がはたらいていない物体や、はたらいている力がつり合っている物体は、（中略）等速直線運動を続けたり、静止の状態を続けたりする。これを慣性の法則という。

※下線は筆者

「力がつり合っている状態」とは「物体が静止し続いている状態」を表すとしてすでに「定義」されていたはずであるが、ここではほとんど同じ内容を「法則」と言つてゐる。定義が成り立つのはそれが定義なのだから当たり前ではないか、という意見が出そうである。

別の角度からこれらの用語の定義の関係について考えてみよう。次のような生徒Sと教師Tの対話を想像してみる。

S「力には物体を動かすはたらきがあることはわかりました。ところで、力がはたらいているのにこの物体が静止したままなのはなぜですか？」

T「物体にはたらいている力がつりあっているからです。」

S「力がつり合っているとはどういう状態のことですか？」

T「物体にはたらいている力の合力が0ということです。合力とは、今ある物体に同時に2つ以上の力がはたらいているとして、これらと同じはたらきをするひとつの力のことです。したがって、合力0の状態とは何も力がはたらいていないのと同じ状態ということです。」

S「なぜ力がはたらいていないのと同じ状態だということがわかるのですか？」

T「この物体が静止したままだからです。」

S「?????」

Sは「なぜこの物体は静止したままですか？」とTに尋ねたのだが、Tの答えは巡り巡って、結局「静止したままだからです」に戻ってしまった。2人の対話を完全に循環してしまっている。その原因は、下線を引いた4つの言葉は、その定義がこの4つの言葉の内部で互いに他を参照する形になっているので、説明のために別の言葉に言い換えても一巡した後は同じ言葉を繰り返すより他に方法がなくなることがある。これらの言葉がどのように関連しているかを模擬的に表すと次のようになる。（図2）

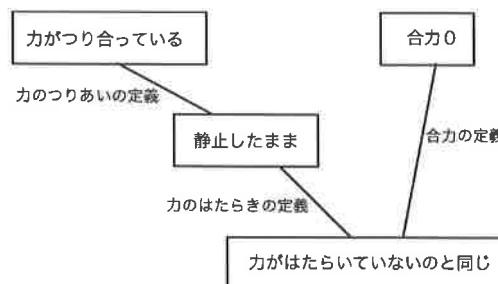


図2

さらに、別教科書には次のような記述もあった。³⁾

止まっている物体だけでなく、動いている物体でも力がつり合っている場合がある。

例えば、平らな道路を走る自転車では、（中略）…このとき、力はつり合っており、自転車は等速直線運動をする。

完全に「慣性の法則」と同じことを言っている。この引用部分は、「力がつり合っている状態」を「物体が静止し続けている状態」と定義した直後に、その定義の拡大という文脈で出てくる。前述の繰り返しになるが、これでは、「『慣性の法則』は定義なのだから成り立つのは当たり前ではないか」と考える生徒が出てきてもおかしくはないよう思うが、いかがだろうか。

3. 高校での力のつり合いの扱い

高校の教科書では力のはたらきを次のように説明している。⁴⁾

物理では、物体を変形させたり、物体の運動の状態を変えたりする原因となるものを力と呼ぶ。

出版社による差はほとんどない。ここから「慣性の法則」までは、だいたい次のような構成になっていることが多い。

「力の合成」「力の分解」「力の成分」

「力のつり合い」

「3力のつり合いの実験」

「作用・反作用の法則」

「慣性の法則」

「力のつり合い」という言葉の定義については、中学校と同じ定義をしている教科書が多い⁵⁾中で、「ひとつの物体にいくつかの力が同時にたらいていても、それらの合力が0であるときには、これらの力はつり合っている」と、中学校とは異なる定義をしている教科書もある。⁶⁾この場合の「合力」が何を指すかであるが、この教科書では、「力のつり合い」の前に「力の合成の法則（=力の平行四辺形の法則）」を扱っているので、「合力」とは「力の合成の法則（=力の平行四辺形の法則）」を用いて合成した力という意味で使っていると思われる。この場合は、「合力」と「物体にいくつかの力が同時にたらいているとき、これらの力の組と同じはたらきをするひとつの力」が一致するのは、「定義」ではなく「法則」ということになる。ここに論理的な矛盾はない。

次の表は、前者のように中学校と同じ定義を用いている教科書を教科書A、後者を教科書Bとして、「力のつり合いの

定義」「実験」「実験結果から期待される法則」の3点について比較してみたものである。ただし、教科書の忠実な引用ではなく、筆者の解釈に基づいて、文言を付け加えたり意訳したりしている。特に「実験」と「実験結果から期待される法則」については、筆者の推測が多分に含まれていることを最初に断っておく。

	教科書A	教科書B
義 力 の つ り 合 い の 定	複数の力がはたらいていても、その物体が静止したままのとき、物体にはたらく力はつり合っているという。	合力が0であるとき、これらの力はつり合っているという。
実 験	力がつり合っているとき（=物体が静止したままのとき）、はたらいている力にはどのような規則性が存在するかを調べる実験。	力がつり合っているとき（=合力が0のとき）、その物体はどのような運動をするかを調べる実験。
待 実 験 結 果 か ら 想	力がつり合っているとき、物体にはたらいている力のベクトル和は0である。	力がつり合っているとき、静止している物体は静止したままになる。

(注) 教科書Bにおける「合力」とは、「物体にはたらいているすべての力を力の合成の法則を用いて合成した力」という意味で使用している。

A、Bともに気になるのは「実験」である。教科書Aの実験に問題があることははじめに述べた。教科書Bの実験は、筆者の推測の通りであれば、さらに非現実的である。なぜなら、この場合は実験条件としてまず「合力0（=力の合成の法則を用いて合成した力が0）」を実現しなければならないが、実験装置全体を静止させた状態では、通常、そのような状況にならない。したがって、装置全体を微妙な加速度で運動させることになるが、それでも合力を完全に0にすることは非常に難しい。また、仮に実現できたとしてもそこから得られる結論は物理学的に誤りである。筆者が考えるに、教科書Bは実際に実験することを想定していないか、もしくは教科書Aと同様に、「静止したままの物体」にはたらいている力は「合力がほぼ0（=力がほぼつり合っている状態）」になっていることを確かめればよいと考えているのだろうと思う。

一方、教科書Aには実験以外にも大きな問題が残る。それは、前節で述べた中学校の教科書の問題と同様、「力がつり合っている状態」の定義が、「慣性の法則」とほぼ同じ内容になってしまっている点である。これでは「慣性の法則」が

「法則」ではなく「定義」になってしまう。この矛盾を避けるには、「慣性の法則」の表現を、例えば「物体に力がはたらいていないか、またははたらく力のすべてを力の合成の法則を用いて合成した力が0となるとき、その物体は静止し続けるかまたは等速直線運動をする」とするなどの方法が考えられるが、複雑になり過ぎて学習者には負担に感じられるだろう。

より一般的な物理学のテキストでは、「力のつり合い」はどのように定義されているのだろうか。培風館の物理学辞典では、「力の多角形(=1点に作用する複数の力の矢印を次々につないだときに出来る図形)が閉じて合力が0になるときには、これらの力はつり合っているといい、何も力が働くかないのと同じである。」^⑥ となっている。これを読むと教科書Bの定義に近いことがわかる。

ここで、この先の本稿における「力がつり合っている状態」「合力」の言葉をどんな定義の下で用いるか決めておきたい。そうしなければ読者が混乱することは必至だからであるが、あくまでも便宜上の措置であることをご承知置きいただきたい。まず、「力がつり合っている状態」を「はたらく力のすべてを力の合成の法則を用いて合成した力が0である状態」とする。次に「合力」を「物体にいくつかの力が同時にはたらいているとき、これらの力の組と同じはたらきをするひとつの力」とする。すると、「力がつり合っている」ときに物体が「静止したまま」なのは「法則」となる。また、2力の「合力」が「平行四辺形の対角線に一致する」のも「法則」となる。前者を「力のつり合いの法則」、後者を「力の合成の法則」と呼ぶこととする。

4. 「2力のつり合いの法則」をどう教えるか

「2力のつり合いの法則」が、いつごろ誰によって発見されたのかははっきりした記録がない。古代、すでにこの法則は、後述する理由とともに、自然学者の間で承認されていたと考えられる。なぜなら、アルキメデスは、「てこの法則」の証明の際に「2力のつり合いの法則」を前提として用いているからである。ちなみに、19世紀の物理学者E・マッハは、このアルキメデスの「てこの法則」の証明には欠陥があるとして批判している^⑦が、その矛先には「2力のつり合いの法則」は対象とされていない。「2力のつり合いの法則」は、経験の必要がない自明の法則だからである。その証明は次のようになされる。

ある静止した物体に対して、左向きの力と右向きの力が、一直線上に等しい大きさで同時にはたらいているとする。力には、それまで静止していた物体を動かすはたらきがあるので、この物体は左右のどちらかに動き始めるかもしれない。

しかし、その一方で、運動の原因である力のはたらき方が左右対称であることから、結果である運動も左右対称にならなければならないとも言える。左右対称の運動とは、この場合静止のまま(=運動しない)しかあり得ない。故に、結論として、この物体は左右のどちらにも動き出すことはない。以上、証明終わり。

このように、この法則は自然の対称性のみから導くことができる完全である。しかし、この証明を中高生に教えるとなると、やや抽象度が高過ぎるとして躊躇する向きもあるだろう。

そこで、「2力のつり合いの法則」を、実験で確かめる方法を考えてみる。中学校教科書に載っているやり方も悪くはないが、出来ればねばかりも物理天秤も他の法則も使わずに行なうのが望ましい。以下に筆者の試案を述べる。

軽くて硬い棒とひもで天秤をつくる。天秤の一方の端に適当なおもさのおもりを吊るす。他方の端に別の物体を吊るし、ひもの位置を適当に調整して、天秤をつりあわせる。この物体を物体1と名付ける。(図3)

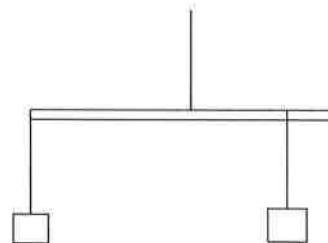


図3

次に、物体1を別の物体2に取り替えてこの天秤を再び吊りあわせる。第2の実験のひもの位置が、第1の実験のひもの位置と全く同じであったなら、物体1にはたらく重力の大きさと、物体2にはたらく重力の大きさは全く等しいということになる。

次の実験は簡単である。定滑車をひとつ用意し、前の実験で準備した物体1と物体2を糸で結んでこの定滑車の両側に吊るす。このとき、物体1・物体2(・糸)が静止したまなら、大きさが等しく向きが逆向きの2つの力は「つり合った」ことになる。(図4)

この実験の欠点は、運動物体にはたらく力の向きが一見「逆向き」には見えない点である。しかし、定滑車は運動や力の向きを変換する——この場合は180°——道具であることを思い出し、もし定滑車がなく運動の向きが真っ直ぐだったらどうなるかを想像してみると、運動物体

にはたらく 2 力は、確かに互いに逆向きになっていることが納得できる。

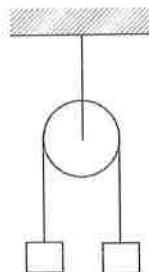


図 4

「2 力のつり合いの法則」を確かめる実験はこれ以外にも色々と考えられるように思う。しかし本来、「2 力のつり合いの法則」は経験を必要としない「完全な法則」であるということは今一度強調しておきたい。

5. 「力の合成の法則(力の平行四辺形の法則)」をどう教えるか

それに対して、力の合成の法則(以下、力の平行四辺形の法則と呼ぶ)は、経験から導かれる法則である。何故このような法則が成り立つかは誰にも説明できない。自然の構造がたまたまそのように出来ているということである。

経験法則の正しさは、それを裏付ける実験や観察技術の精度に密接に関係するので、あらかじめ法則の適用限界や誤差の存在を承知しておく必要がある。15～17世紀の西ヨーロッパの文化的状況と近代科学誕生の間の関係に关心を持つ山本義隆は、「経験的知識は完全なものではありえないし、また完全であることを標榜もしないから、経験の重視は知識の不斷の改定の要求を伴い、したがって科学の進歩という觀念を必然化させる。」⁹⁾と書いた。非常に重要な指摘である。

力の平行四辺形の法則が、明確に文献に書き記されたのはニュートン(1642-1726)の「プリンキピア」(1687)が最初である⁹⁾が、発見したのはオランダのステヴィン(1518-1620)と言われている。¹⁰⁾また、フランスのバリニョン(1654-1722)は、ニュートンとは独立にこの法則にたどり着き、プリンキピアから 7 年後、論文をパリ・アカデミーに提出した。¹¹⁾また、彼は非常に興味深い実験装置を制作している。(図 5)¹²⁾

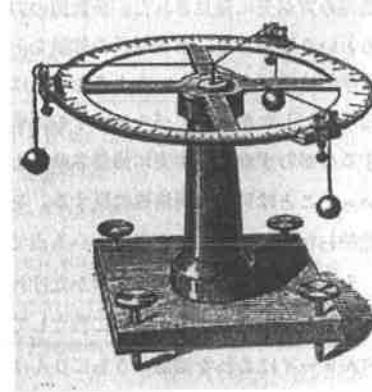


図 5：バリニョンが実験に用いた装置

D・ベルヌーイ(1700-1782)は、本来「経験法則」であるこの「力の平行四辺形の法則」を、物理学的な力とは無関係な幾何学上の真理であると信じて、学会にその証明を提出した。しかし、今ではそれには誤りが含まれていたことがわかつっている。¹³⁾

E・マッハ(1838-1916)は、前掲の有名な自著の中で、ニュートン力学の内容を、ニュートンの表現よりも「ずっと簡単で、方法論的にずっと整然とし、かつ十分な表現でおきかえることができる」として、2つの定義と3つの経験法則の要素にまとめている。その4番目に「d 経験法則。たくさんある物体 A, B, C, ... が 1 物体 K に与える加速度は、互いに無関係である。(力の平行四辺形の法則はこれからすぐに出てくる。)」と述べている。¹⁴⁾

このことは最初動力学で考えてそれから静力学に戻ると理解しやすいかも知れない。例えば、オシロスコープの陰極線管の中の電子の運動は、水平方向については水平方向の力だけで決定され、鉛直方向については鉛直方向の力だけで決定されている。この事実は、スクリーンに映る輝点の座標を読み取ることで確認できる。この性質は、直交する 2 方向以外の組み合わせでも成り立つ。つまり、ある方向の運動はその方向における力学的条件だけで決定され、他の方向の力学的条件とは無関係ということである。これは、力の平行四辺形の法則の別の表現のひとつである。

力の平行四辺形の法則は、力学の土台をなすいくつかの重要な経験法則のひとつである。その意味でも、初等中等教育で重視して指導すべき内容だと考える。中学校で既に教わっているからと安易に扱うのではなく、しっかりと計画的かつ実証的に指導するのが望ましいと筆者は考えている。

6. おわりに～「3 力のつり合いの実験」を「力の合成の実験」に置き換える

「3力のつり合い」の問題は「力の合成の法則」を知って初めて理解できるという意味で「2力のつり合い」とは全く別のレベルの物理である。「力の合成」は中学校で一度扱われてはいるものの、高校ではさらに発展・深化した指導の研究が期待されるところである。

そのきっかけになることを願って、筆者の拙い実践を紹介して本稿を閉じる。

今、小物体に、力₁、力₂、力₃の3力がはたらいていて、小物体は静止しているとする。

力₁は机の端に固定した滑車を介して質量のわかっているおもりを吊した糸の張力、力₂と力₃はばねばかりが引く力である。

力₂と力₃の合力（＝力₂と力₃が同時にはたらくのと同じはたらきをするひとつの力）を合力₂₃とする。今、小物体は静止したままなので力₁と合力₂₃はつり合っている。前節で述べたように「2力のつり合いの法則」は「完全な法則」なので原理的に誤差は入り込まない。したがって合力₂₃は力₁と同じ直線上で反対向きに同じ大きさの矢印として正確に書くことができる。

次に力₂と力₃を隣り合う2辺とする平行四辺形とその対角線を書く。このとき重要なのは、すでに作図されている合力₂₃を意識せず平行四辺形を書くことである。（図6）

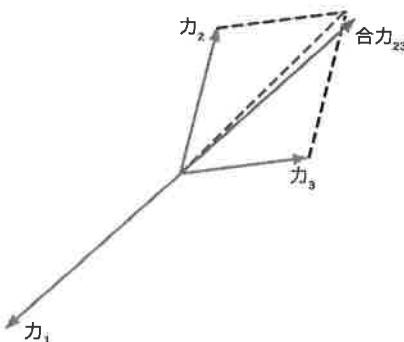


図6

出来上がった図形を見ると、平行四辺形の対角線と合力₂₃は、ほぼ一致するがわずかに誤差も存在することが確認できる。最後に授業者が「力の平行四辺形の法則」は経験法則なので、ある意味実験誤差が入り込むのはやむを得ないことを補足する。時間が許せば、合力₂₃の先端と平行四辺形の対角線の先端を結んだ線分の長さを測らせて誤差を定量化し、考察させるとよいだろう。

引用文献

- 1) 細谷治夫、養老孟司、他：「自然の探究 中学校理科1」教育出版(2011 検定教科書)
- 2) 細谷治夫、養老孟司、他：「自然の探究 中学校理科3」教育出版(2011 検定教科書)
- 3) 岡村定矩、藤島昭、他：「新しい科学 3年」東京書籍(2011 検定教科書)
- 4) 國友正和、他：「物理基礎」数研出版(2011 検定教科書)
- 5) 高木堅志郎、他：「物理基礎」啓林館(2011 検定教科書)、他多数
- 6) 西川哲二、他：「物理学辞典（縮刷版）」培風館(1986) p1243-1244
- 7) 9) 10) 11) 12) 13) 14) E・マッハ、1883、伏見譲 訳(1969、講談社)：「マッハ力学 力学の批判的発展史」p9-22, 33, 29-30, 33, 42, 36-38, 229
- 8) 山本義隆：「十六世紀文化革命 1・2」みすず書房(2007) p661

仮説実験授業「力と運動」の実践報告及び誤概念に関する考察

北海道岩見沢緑陵高等学校 大屋泰宏

仮説実験授業は元国立教育研究所物理教育研究室長である板倉聖宣氏らが1963年に提唱した授業理論である。「授業書」に示された実験の結果を選択肢から予想させ、討論（言語活動）と実験により誤概念を克服し正しい科学概念を獲得する展開が基本となっている。教科書の構成とは異なる展開で授業を進めるため、学校現場では実践が難しい授業形態だが、今年度1学年・物理基礎において実践した。その生徒の反応及び成果を報告する。

キーワード 仮説実験授業・アクティブラーニング・誤概念・言語活動

1 はじめに

これまでの授業では、板書と演示実験または希望生徒に実験をさせる形式で授業を進めることが多く、実験をする場合も書き込み式の実験レポートの内容に沿って測定し確認していくやり方をしていた。実験を行って理解を深めさせたいが、実際には多くの生徒に結果から考察させる指導が不十分であったため理解の深化につながっていないと感じていた。

仮説実験の優れた点は、生徒が「予想」をする段階で他の生徒の考えを共有する点にある。他の生徒が自分と異なる意見を持っていることから何がこの実験の課題なのかが明確になり、簡単な実験により現象の核心を多くの生徒がつかみ、正しい概念を獲得できると考える。

アクティブラーニングを取り入れた授業実践を開く機会が増えた。生徒が主体的に学習し「思考を活性化」することで学習効果を上げることを目的とした授業方法でありその高い学習効果について興味を持ったが、その話題から真っ先に連想されたのが仮説実験であった。そこで、実践できる状況にあったこともあり仮説実験授業を実践することにした。

2 方法

物理基礎は1学年で2単位設置しており、今年度は5月末までに授業時間数8~10時間行われ、その内、仮説実験授業にあてた時間数は4~5時間（オリエンテーション1時間、問題演習3時間から4時間）であった。この時数の中で扱った内容は次の通りである。

摩擦力（静止摩擦力、動摩擦力）

力（種類、図示、合成と分解）

等速直線運動（単位、計算、グラフ）

等加速度直線運動（グラフ）

力と加速度の定性的な関係、慣性の法則

定性的な内容のみでは生徒の学習に対する満足度は下がると考えたため「摩擦力」「等加速度運動」など大きなテーマが終わった段階で演習を挟むこととした。また、予想をたてさせる段階では、「静かな落ちこぼれ」を出さないように個人ではなく班で議論することにした。各班のリーダーに各班の予想と理由を発表させ、全体の意見を教師がまとめ実験に臨ませる展開とした。本来はここで反対意見をぶつけ合い議論するのだがそこは時間の都合上省略した。

3 結果（生徒の予想結果と考察）

＜摩擦力＞

【問題1】重さ40gの物体があります。この物体をすべての机の上で水平に動かすにはどれほどの力がいると思いますか。

- ア)ちょうど40g重力
- イ)40g重力以上の力
- ウ)40g重力以下の力

【予想と主な理由】◎は同意見多数

ア 5%

- ・手の感覚から・摩擦がないから
- ・重さと対等な力が必要だから

イ 69%

◎摩擦は必ずあるので質量以上の力が必要

- ・動いているので 40 g より大きい
 - ・ぶら下げたら止まるから 40 g で静止し動かすのでそれ以上必要
 - ・壁にぶつかったら質量以上の力が必要
 - ・摩擦 40 g + 空気抵抗
 - ・摩擦力は 40 g でそれ以上の力必要
 - ・アでは釣り合ってうごかないから
- ウ 25%

◎経験的に半分くらい

- ・ちょっとしか摩擦はないから
- ・実験してしまった。自然の摂理だ
- ・荷物をひいたら楽だから

アトイを選択した生徒は「質量」と「力」とが区別できずに認識していると思われる。原因是、ばねばかりで質量を測る経験から

『物体を支える（静止させる）力が質量』
と考えていると生徒の表現から予想できる。

「机がすべすべ」という表現から摩擦がないと考えるか考えないかが「ア」と「イ」の違いのようで本質的には同じ認識と思われる。

また少数であるが、慣性（動かしにくさ）を等速で動かすために必要な「力」であり「質量」であると考える生徒、摩擦力が「質量」であると考える生徒もいた。慣性と摩擦力を混同する生徒がいるが、慣性質量（運動を妨げる量）と重力質量（物質の量）という質量の二面性がこうした認識を生んでいるように思う。

この予想の後、ばねばかりと木片、おもりを使い質量を変えて摩擦力を測定した。物体の重さ（=垂直抵抗力）よりも動き始めるのに必要な力（=最大摩擦力）が小さいことを確認しさらに重さに比例して必要な力が増えることも各班の結果から確認していく。

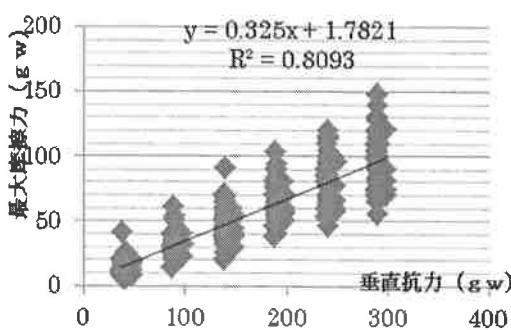


図1 生徒の実験データグラフ

次に授業書にはないが摩擦力と面積との関係を問題にした。

木片の狭い面（面積半分）を下にして同様の実験をした場合、動かすために必要な力はどうなるか。

- ア) 変わらない イ) 大きくなる ウ) 小さくなる

【予想と主な理由】

- ア 14% 圧力が増すから
イ 44% 圧力が大きくなるから
ウ 42% 面積が小さくなるから

この実験は正確な結果は得られない。しかし、問題1の結果より大きな値や小さな値などができるが、わずかの差であることから（ア）が正解と考えて良いのではないかと提案すると、生徒は概ね納得した様子であった。

（問題2）机に丸い鉛筆をならべてその上に物体をおき
横に引くと前と比べてどのくらいの力で動くか。

- ア) 同じくらい イ) 半分くらい
ウ) 10分の1くらい エ) 10分の1よりずっと小さい

【予想と主な理由】

- ア 4% イ 26% ウ 54% エ 16%

自転車やパイプ滑り台など回転するものを例にした説明が多い。（エ）までは小さないと予想が多い中（エ）を選択した班はピラミッドの石材を運んだのに利用したのだから（ウ）では運ぶことは無理だろうという説明があった。実際に測定するとやはり予想以上に小さい値の結果に興味を示す生徒は多い。

＜等加速度直線運動＞

（問題3）図のような車があります。同じ力で引き続けると
物体はどのように運動すると思いますか。（図は省略）

- ア) ずっと同じ速さ
イ) だんだん速くなりその後一定
ウ) どんどん速くなる

【予想と主な理由】

- ア 31% 自転車の経験や車の例から力と速さ対応しているという考え方
イ 57% 自転車の経験から加速には限界があるという考え方
ウ 12% 動き出すと軽くなる経験からさらに速度が加算されるはず

明らかに生徒は、「力」と対応するものが「速さ」という概念を有している結果となった。日常の経験から「限界」の存在も根強いが、この理由としては自転車の経験やタイヤなどを引いた経験を例に説明しており、人間の運動機能の限界、抵抗力とのつりあいがこうした考えに導いている。

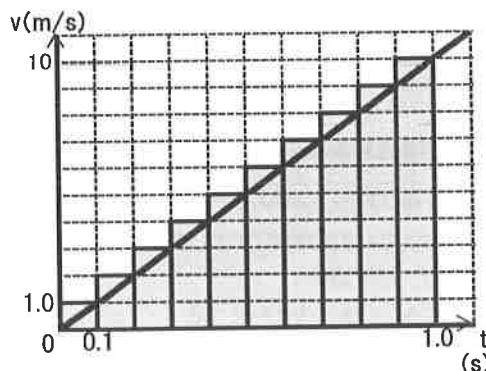
(問題4)ものが落ちるのは物体が地球によって引っ張られるためです。ビー玉を1~2mの高さから落とすとどうなるでしょう。※選択肢は問題3と同じ

【予想と主な理由】

- ア 2% 一定の力=一定速さ
- イ 5% 雨の例
- ウ 93%

イの理由として雨の例を出した班があり、空気抵抗について説明する。この予想の後、実際にビー玉を落下させ目で観測して「本当に速く感じるか」と問い合わせる。視力の限界から加速を認識できないことに気づかせた後で、高さを変えて落下させた際に床との衝突音の大きさにより速さを感じさせ、さらにビースピードで測定させ確認する。

(問題5)ビー玉を高いところから落としたときの速さの増え方をグラフにかくと下のようになります。このときビー玉は1秒間に何m落ちるでしょう。



【予想と主な理由】

10m 72%

グラフの最高速度に経過時間をかける

“キハジ”の法則による説明

5m 8%

等速運動のグラフの学習をした後であるため面積で考えた班と平均の速さに経過時間をかけて説明

5.5m 8%

0.1sごとに区切った図から、各区間の長方形の面積の足し算により説明

15m

1sのときに $10\text{m/s} \times 1\text{s} = 10\text{m}$ と計算し、時刻1sの前に5m落下していたから

40m

$1 \times 0.1 + 2 \times 0.2 + \dots$ と面積を加算した（重複したため大きくなつた。基本的に5.5mと同様の考え方）

20m

加速しているので10mの2倍

授業書では平均の速さでまとめており、その後補足説明をし、v-tグラフの面積の説明をする。

等加速度運動では“キハジ”的法則は使えないこと、面積で考えることについてじっくり考えることができたことは、その後等加速度直線運動の公式を導く授業の際に効果があった。

(問題9)長いカーテンレールの上でビー玉をころがすと
ビー玉の速さはどうなるでしょう
※選択肢は問題3と同じ

同じ選択肢の問題が3回続いたこともあり、これは全員(ウ)を予想し、実際にビー玉をころがし、等間隔に着けられた印を通過した瞬間に全員で手拍子をするデモンストレーションでビー玉が加速していることを確かめて終了した。

4 生徒の授業評価

中間考査後、生徒に授業アンケートをとり生徒の授業への評価を調べた。

問1 摩擦力の性質の理解度

評価平均 3.3

問2 力と加速度の定性的な関係の理解度

評価平均 3.5

問3 授業形態の評価

評価平均 4.3

問4 他者の意見による自己の興味関心向上

評価平均 3.9

問5 話し合いへの自己の関わり評価

評価平均 4.0

問6 話し合いへの他者の関わり評価

評価平均 4.0

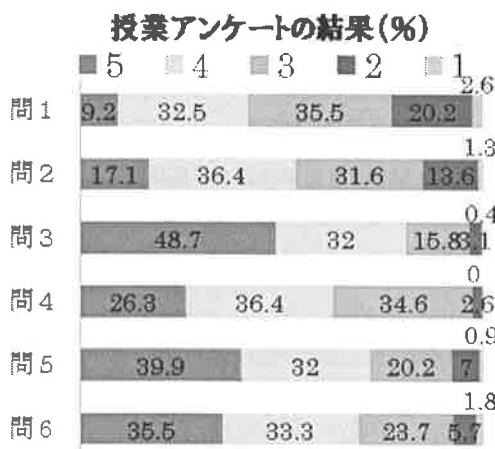


図2 授業アンケートの結果

生徒自身の理解に対する評価が低めに出ている。アンケート前に中間考査があり問題演習などを通して評価が下がっているかもしれないが、概ね理解できていたと感じている。授業形態については高い評価を得ており、生徒も肯定的に捉え仮説実験授業に期待する生徒が多くかった。

さらに授業形態について良い点と悪い点を具体的に記述してもらったので紹介する。

【良かった点】

- ・自分とは違う考えを聞き発見がある(多数)
- ・眠たくならない・理解が深まる自信がつく
- ・自分の意見を一度振り返られる
- ・いろいろな観点で実験を考えられる
- ・話し合いがあるため授業の内容が記憶に残る
- ・他人の視点から考えることができ興味が深まる
- ・同じ意見でも異なる理由を聞き理解が深まる
- ・考えを伝えようと頑張れるところが楽しい

【悪かった点】

- ・うるさくなってしまう
- ・積極的に参加してくれなかった
- ・意見が言えなかつた
- ・わからないときはシーンとなってしまった
- ・納得していないのに多数決で別の意見にさせられた
- ・話し合ううちに混乱してしまう

5まとめ

班での議論と他の班の異なる意見を知ることで生徒の関心は非常に高まることを実感した。その後教師の説明をスムーズに理解していく感覚は普段の教室での授業では感じられないものであった。そして、シンプルな実験を通じ答えを知るという仮説実験授業の巧みさには脱帽する。アクティブラーニングが、生徒の「思考の活性化」により学習効果がある点で評価されているのと同様の理由から、仮説実験授業もまた評価されている。(仮説実験授業もアクティブラーニングの1つの形態だと思うが)

自分自身は仮説実験授業については、以前購読していた「楽しい授業」を通じて知っていたが、数年前に仮説実験授業研究会の研修会に参加した際に深川西高校の岸弘昭先生の授業を受けたことでそのノウハウを知り、是非実践してみたいと思っていた。実際に行うと思わぬ展開もあるが、じっくりと生徒の考え方と対峙することができたことは授業の活性化につながったと思う。

また、「力と運動」に関する誤概念については、予想以上に多くの生徒が有しており、実験を繰り返してもそこから脱却できないでいる生徒が多いことが授業実践を通じて明らかになった。今後の授業計画において十分配慮する必要性を感じる。

参考文献

- 1) 仮説実験授業研究会「力と運動」
- 2) 川勝博・三井伸雄・飯田洋治共著「学ぶ側からみた力学の再構成」(新生出版)
- 3) 西川 純「理科だからできる本当の「言語活動」」(東洋館出版社)
- 4) 大前暁政「理科授業成功の極意」(明治図書)
- 5) 飯利雄一・廣瀬正美・伊藤武・橋本健夫「理科教育理論と実践」(東京書籍)

遠隔授業システムによる物理の授業展開

北海道俱知安高等学校 田端 修

この春から学校教育法施行規則が改正され、遠隔授業システムを使った授業による単位認定が条件付きで可能となった。平成25年度から試験的に遠隔授業システムによる物理の授業に取り組んできており、その中で得られた、遠隔授業システムを使って授業を行う上での留意事項等について紹介する。

キーワード 遠隔授業システム 対面授業 物理実験

1はじめに

平成27年4月より、学校教育法施行規則が改正され、遠隔授業システムを用いた授業による単位認定が可能となつた。ただし、卒業に必要な72単位のうち、36単位を限度としているほか、リアルタイムに双方のコミュニケーションをとることができるとする授業に限定している。

北海道教育委員会では、この改正にさきがけ平成25年度より、遠隔授業システムによる授業を行う科目における単位認定の在り方並びに生徒の学習ニーズに対応した選択科目数の拡充の進め方について、研究を進めてきた。これは、他の都府県に比べ北海道は離島の高校や小規模校が多く、教員数の不足で教育課程が制限されている高校が多くあることから、北海道ならではの研究課題と言えるだろう。

この研究ではいくつかの教科・科目において研究開発校（遠隔授業を受ける生徒が在籍する学校）と研究協力校（遠隔授業を配信する教員が在籍する学校）を指定し、段階的に遠隔授業を実施しながら単位を認定し、評価規準の作成や教育課程の充実、各高校の教育水準の維持向上に取り組んでいる。

理科の中では物理を研究の対象科目としている。離島の高校や小規模校では、理科の教員が1名という場合がほとんどであろう。その中で教育課程にどの科目を置くかと考えると、入試科目との関連もあり化学・生物を中心とした科目配置なっていることが推測される。この場合、理科教員の人数が足りていれば、物理を開講する選択肢が出てくるのではないか。そういう側面を考慮して、理科の遠隔授業ではまず物理について取り組んでいるのだと思われる。

2方法

(1) 実施科目

研究開発校を北海道常呂高等学校、研究協力校を北海道俱知安高等学校として、物理の授業における遠隔授業および単位認定の在り方について研究を進めてきた。こ

れまでの遠隔授業の実施状況は以下のとおりである。

研究初年度（平成25年度）

3年次選択「物理I（3単位）」（生徒5名）

実施時数10時間

研究2年目（平成26年度）

3年次選択「物理（4単位）」（生徒3名）

実施時数70時間

研究3年目（今年度）

3年次選択「物理（4単位）」（生徒4名）

実施時数140時間（予定）

研究初年度は初めてといふこともあり、とにかく10時間程度試験的に遠隔授業を実施してみようというスタンスだった。常呂高校理科の佐藤喜寛教諭と相談し、一つの分野を分けるより、遠隔で一つの分野に取り組んだ方がやりやすいだろうということで、電気分野を指導した。

昨年度は2年目となり、単位数の半分程度遠隔授業を実施した。残りの時間は通常の対面授業を行った。常呂高校は北見北斗高校と地域キャンパス・センター校として連携しており、対面授業は北見北斗高校の中西竜太郎教諭が担当した。中西教諭も北見北斗高校からの出張授業となるので、物理の授業は2時間連続を週に2回というスタイルとなった。科目は新学習指導要領に変わり、「物理」（基礎なし4単位）となったので、中西教諭には力学・熱・波の分野を、私は電気・原子分野を担当した。週のうち、一日は中西先生の力学、もう一日は田端の電磁気、という形である。生徒は物理を2単位ずつにわけ、2科目の授業を受けているような感覚だったであろう。この年は、遠隔授業を実施していく中で生徒の学習をどう評価するか、そしてどう単位認定していくかを検討した。

今年度は授業の100%を遠隔授業で実施してみようと取り組んでいる。昨年までは総時数の一部を遠隔授業で行っていたため、基本的に受信側の学校にも物理の教科担任がいたが、今年度からすべて遠隔授業となつたた

め、受信側に物理の教科担任はいない。まさに孤軍奮闘であるが、この環境で実施できなければ遠隔授業システムを用いてまで授業をする意味はない。

(2) 遠隔授業システム

システムは、SONY の HD ビジュアルコミュニケーションシステムという、主な用途がテレビ会議の機材を使用している。授業用に特別な仕様変更はしていない。以下は装置図である（配信側）。

システム自体は PC モニタ下の端末とカメラ、マイクのみである。受信側の映像は PC モニターに映し出されるが、小さくて見えにくいので、大型テレビで表示している。



図 1 システム全体図

現在このシステムは、地域キャンパス・センター校連携を行っている高校と、この研究で指定校・協力校となっている高校に導入されている。

3 結果

遠隔授業システムを用いた授業では、物理の授業に限らず、他の科目でも一筋縄ではいかないことだらけなので、通常の対面授業とは違う留意事項についてまとめたい。

(1) 映像

映像はかなり鮮明に映る。生徒の手元を拡大し、生徒がプリントに記入している内容を、カメラ越しに視認できるほどである。生徒側からも同様の、解像度の高い映像が見られるようだ。しかし注意したいのは明るさと色である。実際に黒板に書いてある文字の色と、システムを通して配信される映像の色には若干の違いがある。これは、映像データとして送受信する際の変化もあるが、受信側がモニターで映像を見ている以上、モニターの設定いかんどうとでも変化してしまう。こういう設定に

すると正しい色で見られるということも遠隔地のため確認できない。筆者は最初に、持っているチョークやホワイトボードマーカーすべてを使用し、どの色が見やすいか、どの大きさが見やすいか確認してから授業を始めた。自分に見えている色と生徒に見えている色が同じとは限らない。

明るさについては、配信側の映像は明るい方が見やすいようである。そのため蛍光灯を点けて授業をしているが、カメラの位置と黒板の角度によっては蛍光灯の光が反射し、黒板上に見にくい部分ができてしまうこともある。

デジタルコンテンツについて、システムには PC のモニター出力を直接送信する端子がついている。これを利用して、PC の画面をそのまま送ることができると、その場合そのほかの映像が見られなくなってしまう。それを解消する方策が、デュアルモニターシステムである。これは、システムのカメラ出力は HDMI を利用し、PC のモニター出力は RGB を利用し同時に送信することで、受信側に 2 つの出力装置があれば（モニターとプロジェクターなど）、2 つの画面を同時に視聴することが可能となるものである。しかしデジタルコンテンツを利用した授業を実施してみて、授業者本人がコンテンツの一部分を指示したい場面もあるし、何より受信側の生徒から、「先生が映っていた方がわかりやすい」という声があがったので、デジタルコンテンツのみの映像は使用していない。黒板の一部をズームアップする時も、授業者が映像に映りこむことを常に心がけている。



図 2 モニターとカメラの位置関係

授業者が受信側の生徒の映像を観察しても、生徒側にはそっぽを向いているように感じられてしまう。視線一致の効果を得るために、カメラに向かって話すように心がけている。授業者側のカメラをモニターの前に置き、生徒の様子をモニターで確認しようとすると否が応でもカ

メラ目線になるように配置している。このことにより、視線や表情の役割を重視した円滑なコミュニケーションをとることができると考えている。しかしながらカメラ目線とは、生徒にとって常に全員を見ているように見えるため、発問の際に視線で相手を特定するようなやり方は通用しない。発問の場合は逐一「誰に」を声に出さなくてはならない。

演示実験で、フレミングレール（2本のレールの間に磁界を作り、レールを渡したシャープペンシルの芯などに電流を流しレールの上を走らせるもの）を見せた。しかしこの実験は平面で行わないと重力の作用と区別がつかなくなってしまう。装置を真上から見せて、電流の向き、磁界の向き、力を受ける向きを考えさせたかったのだが、残念ながらカメラワークではどうすることもできなく、仕方なく鏡を用いて真上から見た様子をカメラで見るという方法を考えた。実際にやってみるまで気づかなかつたのだが、鏡をつかっているので当然前後は入れ替わる。3次元的な現象の観察に、奇数枚の鏡を使うのはいけないと気づいた瞬間だった。

(2) 音

このシステムは、もともとはテレビ会議システムとして開発されたものであるため、マイクの性能は人間の声を拾いやすいようになっている。

音の分野で音叉を鳴らしたとき、音叉の音が正しく伝わらなかった。ツツツツと、とぎれとぎれのような音になってしまったのである。音叉の音の波形は単純な波形なので肉声よりもハウリングを起こしやすかったのだろうか。ギターの音やパンフルートの音はそのような現象は起らなかった。

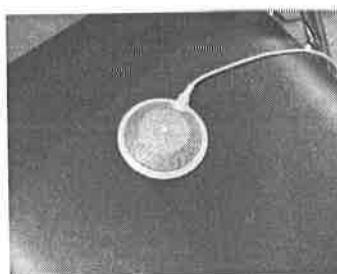


図3 会議用マイク

映像と音声のデータは別に送信され受信側で同期をとっているようなので、たまに映像と音声のずれが生じる。主に電源を入れた直後に起こりやすい。そのため授業開始後に「ダーッ」と手をあげ、ずれているか否かを確認している。

遠隔授業システムの難点に、こちらの音声が全員に聞

こえてしまうという点がある。せっかくカメラワークを駆使して生徒の問題演習の状況を確認しても、個別指導はやりにくい。まったく気兼ねしない生徒たちのみならばいいのだが、画面の前でそれぞれが問題を解いている最中にスピーカーから「〇〇君、そこの割り算間違っているよ」とアナウンスされるのである。テレビのクイズ番組のようなものならそれでいいのかもしれないが、生徒が受ける授業としては、自分の間違いが全生徒に知れ渡ることにより学習意欲をそがれることも十分ありうることだろう。

(3) 空気

空気が違う、という表現は厳密には間違っているのだろうが、決して伝わらないのが「匂い」「温度」「放射線」であった。「今日は暑いね」と言っても北海道の正反対側なので気温はある程度異なる。熱の分野で演示実験をするためには温度計を用いるが、通常の対面授業以上に温度計の表示を明らかにしなくてはならない。もし仮に化学で遠隔授業をすることになったら、反応物や生成物の匂いは言葉で表す以外の方法はない。

クルックス管での陰極線の観察は、軟X線が発生するため、通常の対面授業ではあまりやりたくない。しかしこのシステムではそんな気兼ねもすることなく（授業者本人が気を付けなければいいだけのことである）演示実験することができた。

(4) 生徒実験をどうするか

遠隔授業システムの大きな壁となっているのが生徒による実験である。大きな危険が伴う実験はさせられない。そこでアルミホイルを本に挟んでコンデンサーを作るという簡易実験であれば、生徒に取り組ませた。実際は、いたるところショートしてしまい、生徒の力では正しいコンデンサーが作れなかった。ショートしている部分をカメラ越しに判定するのはおよそ不可能である。この時は北見北斗高校の中西教諭にサポートに入っていただけたので、適切な指導がありコンデンサーを完成させることができた。しかしザテスターを用いて容量を測定させても、数値はカメラでは追えず、生徒に読み上げさせるしかなかった。

教員が演示実験をどう見せるか、という点では、重要なところ、注目してほしいところをある程度カメラワークで示すことが可能である。だが生徒実験の中で、うまくいかないときに原因箇所を生徒がカメラに示せるだろうか？それができれば実験自体うまくいっているはずなのでは？簡易コンデンサーの制作は安全で簡単な生徒実験として遠隔授業でもできないかと取り組んでみたのだが、正直に言ってこの実験でもこんなにうまくいかな

いものなのかと愕然とした。

遠隔授業での生徒実験は困難であると考えているが、それでもあえて取り組むことが可能なものは、一に安全で、二に微調整が要らず、三に定性的な実験であろうと考えている。

試験管に水を入れて作るパンフルートの実験では、微調整が必要なものそれは生徒の力ができるだろうと考えて取り組んだ。一応耳には多少自身があったが、生徒の調整している音程をスピーカー越しには聞き分けられなかつた。その場にいないので、音の指向性が失われる所以である。すべての音の音源はスピーカー。これも実施してみてから気づいた点である。

4 まとめ

延べ 100 時間近く遠隔授業を行ってきたが、毎時間新しい困難に出会い、驚かされる。逆に言えば、通常の対面授業の中で、いかに意識せずいろいろな指導をしているのかと気づかされる。遠隔授業に取り組んでみて改めて対面授業のエッセンスを見直すことができた。これは個人的に大きな収穫であった。

今後、いつどこで遠隔授業を担当してくれと言われるかわからない。通常の対面授業で指導するのが一番なのは当たり前なのだが、その遠隔授業を引き受けることで

物理学を学ぶ生徒が増えるのである。その生徒が物理学を学ぶ機会が得られるのである。そう考えると、かゆいところにまったく手の届かないシステムだが、「画面越しでも学べてよかった」と言ってもらえるよう頑張ろうかな、と思うのである。

それでも根本的な解決は、小規模校でも各科目で対面の授業ができるように人材配置すること、ということを忘れずにいたい。

5 文献

- 1) 北海道における理科教育の充実を図るためにの調査研究第 3 回本道の理科教育に関する実態調査調査研究報告書、北海道理科教育センター・北海道教育大学、平成 20 年 3 月
- 2) 平成 22 年度高教研理科集会において実施したアンケート集計結果、北理研カリキュラム検討委員会、平成 22 年 1 月
- 3) 視線一致型及び従来型テレビ会議システムを利用した遠隔授業と対面授業の教育効果測定、谷田貝正典・坂井滋和、蒲田女子高等学校・早稲田大学大学院国際情報通信研究科

日本教育工学会論文誌 30(2), 69-78, 2006

反転授業で行う「物理基礎」

(導入から完全習得型反転授業に至るまで)

北海道尚志学園高等学校 中谷 圭佑

「自宅で予習をさせ、学校では復習をする」という反転授業を行い、生徒の思考力、判断力、表現力を身に付けることを目標とした。予習は動画で行い、インターネット環境を利用する生徒は YouTube で、そうではない生徒は DVD で行なった。学校で行なう復習は、個人で受けるものではなく集団で取り組むグループ学習とし、わからない問題、難しい問題にも協力して取り組むことで、「受ける授業」ではなく、「自ら学ぶ授業」になることを目指した。

キーワード 反転授業、アクティブラーニング、グループ学習、学び合い

1はじめに

昭和31年4月、自動車科定期制過程を設置。校訓を「至誠一貫」として開校。以来、多数の卒業生を世に送り出し工業会の発展に貢献。平成13年には「北海道工業高等学校」から「北海道尚志学園高等学校」に、平成28年には「北海道科学大学高等学校」に校名を変更する。現在は、普通科特別進学コース、普通科北東大コース、普通科保健医療コース、普通科進学コース、電子機械科、自動車科を設置し、全校生徒900人余りが学業とスポーツに励んでいる。クラブ活動では、卓球、ソフトテニス、水泳、硬式テニス、軟式野球、自転車競技、射撃などが全国大会で活躍している。系列校には「北海道科学大学」、「北海道薬科大学」があり、高校・大学の一貫教育に取り組んでいる。

幅広い学力層の生徒がいるためコース学科が変われば授業展開を大きく変えなければならない事、系列大学は理系大学のため理系教科の指導に力を入れなければならぬ事、標準単位しかしないカリキュラムで教科書を終わらせなければならない事など、さまざま問題の解決につながることを期待して反転授業を始めた。

2動画での授業の進め方

書く時間を減らすために穴埋めプリントを作成した。表面は教科書に沿ってプリントを作成し、裏面には演習問題（基本問題のみ）を印刷。表面は動画を見ながら授業を受け、裏面の問題を宿題とする。1回の予習で1枚のプリントが終わるように予習用動画の授業を進める（全59ページ）。

3動画の作り方・見せ方

予習用動画は空き教室で三脚にビデオカメラをセットして撮影する。撮影後は再生時間が15分以内になるように編集する。編集した動画は YouTube に限定公開でアップロードし URL がわからないと動画が見られないようにした。予習用のブログに動画の

URL と宿題の解答を載せる。インターネット環境がない生徒には、動画を DVD に焼いて渡し、自宅の DVD プレイヤーで予習をしてくるよう指示をした。DVD-RW を使い、見終わった生徒には焼きかえでまた渡した。

スマートフォンで予習をしたいが、フィルタリングがかけられていてブログにアクセスができないという生徒には、YouTube にアップロードした動画の URL を QR コードに変換して配布し、直接動画にアクセスできるようにした。

YouTube にアップロードする動画は画質を落とす必要があったが、DVD で渡す動画はそのままの画質で書き込んだので、1つの動画に対して2種類のファイルが必要になってしまった。



写真1 YouTube 再生画面

4予習用ブログ

パスワードで閲覧制限を掛けられること、無料であること、使いやすいことを理由に FC2 のブログを使用した。ブログの記事が一ヶ月以上更新しないと広告がかなり大きく表示されてしまうが、夏、冬の長期休暇以外はそれほど大きく期間を開けることはなかつたため問題無かった。ブログに宿題の解答を書く際、指数表記がで

きないため「 10^2 」は「 $10^{\wedge}2$ 」と表示した。生徒には事前に説明することで、大きな混乱は生じなかった。

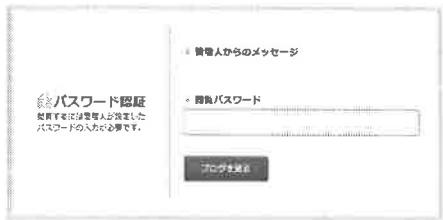


写真2 FC2 ブログのパスワード入力画面とトップ画面

5 実践例

平成25年度の後期から反転形態で授業を始め、現在で3年目に入った。毎年、少しずつ改善しながら実施している。

・25年度

1学年北葉大コースの物理基礎の授業で後期（10月）から実施した。毎時間授業前に1ページずつ予習をするように指示。授業では、開始後すぐに予習をしてきたかチェックをする。その後、解く問題を指示してグループ学習（4～6人）で考えさせる。授業終盤、1つのグループに黒板でその問題の解答説明をさせた。



写真3 グループ学習の様子

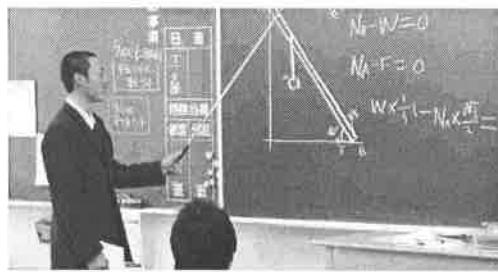


写真4 発表の様子

・26年度

1学年特別進学コース、北葉大コースの物理基礎で4月から実施。毎回授業前に1ページずつ予習をするように指示。休日にまとめて予習をやりたいと希望する生徒がいたため、動画はある程度まとめて用意した。授業の最初に小テストを実施し、予習の内容を理解できているかの確認をした。

授業ではレベル別の演習プリントというものを用意し、終わったら上のレベルへどんどん進んでいくようにした。グループによって進度に差が出来たが、逆に良い刺激になった。また、各グループに一つずつ小さいホワイトボードを配布。ラーニングピラミッドを見せながら、教えあうこと、一緒に考えることの学習効果の高さをしめし、グループ学習の活性化をねらった。



写真4 ホワイトボードを使って教えている様子

反転授業で行う「物理基礎」

・27年度

1年特別進学コース・北薬大コースの物理基礎、2年進学コース・電子機械科の化学基礎で実施。完全習得型で4月から始めた。試験範囲すべての動画とプリントを最初の授業で配布し、自分のペースで予習を進める。授業では、開始直後に小テストを実施。予習用動画1つに対して1つの小テストを用意し、合格したら次のテスト、不合格ならもう一度同じテストを受けさせ、完全に習得してから次の動画へ進むようなシステムとした。

小テスト終了後はグループになって副教材の問題集をやらせる。グループは固定せず、同じ範囲を学習している人でグループを作つて学習するように指示をした。教え合い、学び合いをしてほしいので、一人のグループを作らない事を約束事とした。

授業終了5分前にリフレクションカードの記入をさせ、グループ学習での学習内容と学習態度の両面についての振り返りをさせて次回に向けた予習が充実すること、次回の授業でのグループ学習の目標が意識できるようになることを狙った。

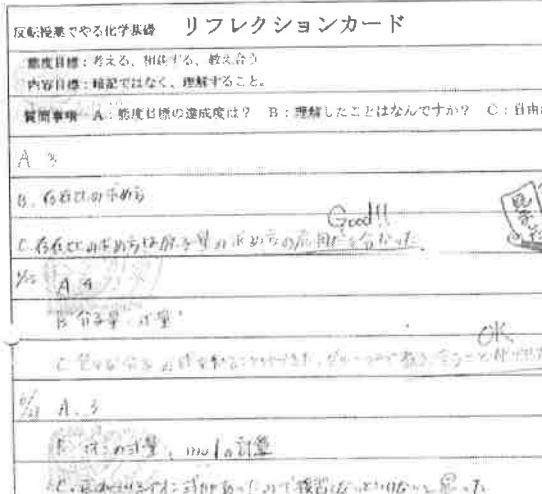


写真5 リフレクションカード

6 成果についての考察

(1)アンケート

毎回、定期考査後にアンケートを実施した。各質問項目に「良い(5)」から「悪い(1)」までを5段階に分けて解答してもらい、「普通(3)」から「悪い(1)」を除いた良い評価の割合のみをまとめた。

・平成25年度

・通常授業と比べて理解度に違いはありましたか	34%
・学習に対する取り組みは向上しましたか	39%

・家庭学習の時間に変化はありましたか	44%
・反転授業は良かったですか?	37%
・反転授業用の動画はわかりやすいですか	64%
・グループ学習で理解度は向上しましたか	41%

表1 平成26年3月実施

前期は通常授業で行い、後期途中から反転授業を実施した。急に自宅でやることが増えたことから不満に思う生徒が多くいた。また、良いと感じる生徒も多かったが、反転形式が合わないと感じる生徒もクラスに一人二人は生じてしまった。自宅学習がしっかりとできていって、問題演習も自分一人でできる生徒にとっては、わからない時にすぐ質問できない動画授業と、わからない人に付き合わなければならないグループ学習は苦痛だったと考えられる。しかし、コミュニケーション力や表現力を育てる意味では本人の満足度は低いが成果はあったと考えられる。

・平成26年度

・通常授業と比べて理解度に違いはありましたか	42%
・学習に対する取り組みは向上しましたか	44%
・家庭学習の時間に変化はありましたか	48%
・反転授業は良かったですか?	55%
・反転授業用の動画はわかりやすいですか	67%
・グループ学習で理解度は向上しましたか	65%

表2 平成26年6月実施

・通常授業と比べて理解度に違いはありましたか	61%
・学習に対する取り組みは向上しましたか	56%
・家庭学習の時間に変化はありましたか	63%
・反転授業は良かったですか?	70%
・反転授業用の動画はわかりやすいですか	71%
・グループ学習で理解度は向上しましたか	82%

表3 平成27年3月実施

年度初めの4月から実施したため、25年度よりも良いと答える生徒が多かった。特に試験前に繰り返し動画を見ること、部活の大会で休んでも長期入院しても、遠征先のホテルや病院でも授業を受けることができるの良かったとの意見が多かった。

すべての項目で3月に実施したアンケートでは上がっているが、特に「グループ学習で理解度は向上しましたか?」の結果が大幅に増えている。これは、「教えてあげたら自分でもできるようになる」「教えてあげたら、わかったと思っていたけどわからなくなつたというところを見つけられる」とクラスで盛り上がり、グループ学習がどんどん活性化していった結果と思われる。

・平成27年度

・通常授業と比べて理解度に違いはありましたか	54%
・学習に対する取り組みは向上しましたか	46%
・家庭学習の時間に変化はありましたか	59%
・反転授業は良かったですか？	72%
・反転授業用の動画はわかりやすいですか	80%
・グループ学習で理解度は向上しましたか	53%

表4 平成27年6月実施(進学コース、電子機械科)

完全習得型で実施したことで、わからないまま先に進むことがなくなった。定期考査でも土台を固める意味では効果がかなり高かった。電子機械科という、普通科に比べて学習意欲が低い学科で初めて反転授業を実施したが、授業内で考える時間をかなりとることができるために、生徒の満足度も高い結果となった。しかし、予習もしっかりとやる生徒は少なく、授業中のグループ学習で予習をする生徒が少くない状況となってしまった。

・通常授業と比べて理解度に違いはありましたか	67%
・学習に対する取り組みは向上しましたか	59%
・家庭学習の時間に変化はありましたか	55%
・反転授業は良かったですか？	77%
・反転授業用の動画はわかりやすいですか	77%
・グループ学習で理解度は向上しましたか	81%

表5 平成27年6月実施(特進・北葉大コース)

特進・北葉大コースでは、例年に比べて進度を競い合うように勉強する生徒が多かった。そのため、グループ学習での教え合いは例年に比べて少なくなったように感じていた。しかし、一人では解けないレベルの高い問題での討論が活発になっていたようで、アンケートでの評価は高かった。

(2)進研模試

反転授業は1年生で実施、進研模試は2年生11月実施のため、検証できるデータは平成25年度に反転授業を受けた生徒が平成26年度に模試を受けたものしかなかった。その結果と一昨年前の反転授業を実施する前の生徒が受けた模試の結果とを、偏差値で比較した。

	11月	1月	2月
5総合	-3.72	-2.39	-3.27
物理基礎	-0.72	+5.51	+0.78
物理	+15.73	+8.28	-3.87

表6 進研模試偏差値の全年度比

反転授業を受けた生徒は全員が物理基礎か物理を受けている。物理

を受けた生徒は2・3人しかおらず、非常に少ない人数の平均値となっている。

5教科総合で比較すると、前年に比べて偏差値2~3ポイントの低下がみられた。それに比べて物理基礎は11月では下回ってしまったが、1月2月と前年度の結果を上回る結果となった。

反転授業の実施で物理に関する基礎知識の定着につながったと考えることができる。

7 問題点

26年度までは1年次に履修する物理基礎でしか実施はしていない。そのため、2年次に一齊授業に戻ったときにアナログショックのような状態が生じてしまった。1・2か月で慣れたようだが、引き継いだ先生に迷惑をかけてしまった。また、授業中の生徒間の会話がとても重要ななるが、夏は特に窓も開けるため、周りのクラスに迷惑をかけてしまう状況が生じてしまった。

動画の撮影は空き教室で行っている。撮影するための教室ではないため、声も音も反響してしまうため、動画の音が聞き取りにくい状況が生じてしまった。カーテンを閉めることで多少は改善されたが、まだまだ工夫が必要な状況と言える。

平成27年度で初めて工業科でも実施したが、学習意欲の低いクラスほど、グループ学習を活発化させるための工夫が必要である。

8まとめ

反転授業の導入で、成績下位層、上位層ともに成果があつたが、模試の結果からも下位層に対する効果が大きかったと言える。はじめて学習習慣の定着している生徒は、指示通りにしっかりと予習とし、わからない問題はグループ学習で話し合ったり先生に聞いたりして理解を深めた。一方で学習に対して不真面目な生徒は予習はしないが、授業中のグループ学習では周りからやり方を教えてもらいうまく問題解決はできるようになった。予習をはじめにやらない生徒は一齊授業でも寝ていて話を聞かない生徒で、もちろん家で勉強もしないため成績は上がらない。つまり、反転授業で予習をはじめにやらない生徒でも成果が得られることが分かった。動画の質・内容ももちろん大切だが、学校で受ける授業をどのような展開で進めていくかのほうが重要だと感じた。

今後も生徒の思考力、判断力、表現力等をはぐくむことにつながる取り組みにするための工夫がまだ必要と考えている。確かな学力の向上につながる実践になるよう続けていきたい。

9 参考文献

- 1) ジョナサン・バーグマン、アーロン・サムズ 「反転授業」、オデッセイコミュニケーションズ
- 2) 慶應義塾大学教養研究センター 監修「グループ学習入門」、慶應義塾大学出版会
- 3) 小林昭文「アクティブラーニング入門」、産業能率大学出版部

新課程物理授業の評価と定着度アンケートについて

北海道札幌手稲高等学校 近藤 敏樹

新課程の物理が昨年度スタートした。この新課程物理の授業に対する生徒の評価と定着度アンケートを作成し、生徒に評価してもらった内容を報告する。本校では2年次から物理基礎を理系クラスが3コマで全履修する。また、物理に関する理系の選択者が3年次に6コマで履修する。この物理に関する授業を実施しての感想は「次々と迫りくる重厚な物理を片っ端からがむしゃらに粘り図よく勉強していく。後は振り返らない。」と言ったところであった。一方、生徒については新課程の生徒は旧課程と比較すると数理系の力は旧課程よりも高いものを感じた。この新課程の生徒であったからこそ物理6コマに対応できたといえる。

キーワード 新課程 物理基礎 物理授業アンケート

1. はじめに

本校における理科の理系を中心とする教育課程を簡単に紹介する。

1年次に化学基礎（必修）、生物基礎（必修）を履修する。2年次に理系は物理基礎（必修）、化学、生物の選択履修をする。3年次に物理、化学、生物を選択履修する。

物理基礎(2単位)については2年次から週3コマでスタートし1年間をかけて終了する。物理(4単位)は3年次から週6コマでスタートして12月中旬に原子分野を終了した。授業の実施形態は1コマ45分の授業で1日7時間授業、合計週35時間を実施している。

昨年の3年次の物理履修者は108名であり、例年80名ほどの履修者であるので履修者数とすると多いほうであった。これだけの生徒が物理を履修してくれると言うことは物理の教師としては喜ばしいことであり、「やらねば」という意欲のかき立てられる新課程1年目となった。生徒たちは重い分野であるにもかかわらず全員よくついてきてくれた。

2 評価する項目・時期・クラスについて

物理基礎から物理まで全範囲を A よく理解している
B やや理解している C やや理解していない D 理解して
いない の 4 点で自己評価してもらった。評価の時期は
3 年次第 3 回定期考查前 11 月下旬に実施した。クラス
は受け持ちクラスの 3 年 7、8 組の合計 80 名である。
原子分野はまだ授業の途中でアンケートの中には入って
いない

3. アンケートの様式

下記の表1のように物理で学習すべきキーワードを掘り起こし、体系的に並べた一覧表で授業を思い出しながら記入してもらった。

表1 理解度・学習度チェック表

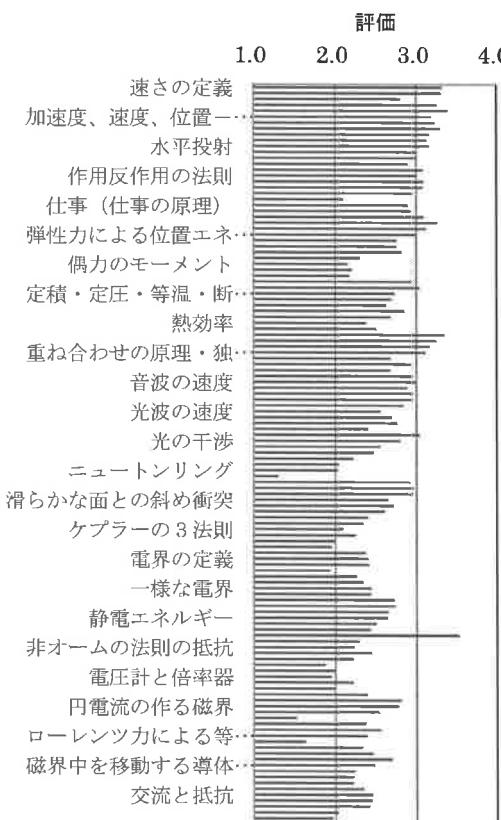
評価の分析を次のように行った。各内容の評価に点数をつけA=4、B=3、C=2、D=1とした。この評価の平均を取ることにより各学習内容の平均値を測定した。

4. アンケート結果の概略

各評価項目の得点を以下の表2のように棒グラフにした。

表2 物理授業自己評価一覧

物理授業 自己評価グラフ



評価内容における特徴をまとめると次のようになる。

評価3. 2以上の高い内容を挙げると、

- 1 オームの法則 (3. 5)
- 2 等加速度運動 (3. 4)
- 3 波の基本 (3. 4)
- 4 速さの定義 (3. 3)
- 5 速さ時間、距離時間のグラフ (3. 3)
- 6 自由落下 (3. 3)
- 7 運動エネルギー (3. 3)
- 8 波の種類 (横波・縦波) (3. 3)
- 9 加速度、速度、位置時間のグラフ (3. 2)

- 10 放物運動 (3. 2)
 - 11 鉛直投げ下げ (3. 2)
 - 12 水平投射 (3. 2)
 - 13 縦波の横波型表示 (3. 2)
- であった。

総じて物理基礎における初めの部分や中学校での学習範囲と共通部分に集中した。この点は授業をしている上での生徒の反応や、定期考査の取り組み、得点率と比例しているのがわかる。

意外な点は各種グラフの内容や、放物運動全般については、学習した当初は難易度が高く感じられているが3年次ともなると、容易な分野として感じられる点であろう。

評価の低かった学習内容として評価2. 0以下の内容を挙げると、

- 1 マイケルソン干渉計その他 (1. 3)
- 2 アンペールの法則 (1. 5)
- 3 サイクロトロン・ホール効果 (1. 6)
- 4 ガウスの法則 (1. 9)
- 5 メートルブリッジ (1. 9)
- 6 くさび形空気層の干渉 (2. 0)
- 7 ニュートンリング (2. 0)
- 8 第1・2宇宙速度 (2. 0)
- 9 電流計と分流器 (2. 0)
- 10 電圧計と倍率器 (2. 0)
- 11 電位差計 (2. 0)
- 12 R L C直列回路 (2. 0)
- 13 電気振動 (2. 0)

であった。

下線を引いた1、2の内容については、予備知識として大雑把に教えた内容である。1については光の干渉の考え方を知るために、2については式の意味を知るためにざっくり教えている。

3にあがったサイクロトロンについては仕組みだけを知らせる程度である。今年の大学入試センター試験に出題された問題である。4のガウスの法則は2次試験で重要なので詳しく練習するが、それがかえって難しさを感じさせる原因になっているのだろう。その他、難しく感じられる定番の光の干渉、電流電位を考える電気回路の問題、交流回路が良く解らなかった内容に挙がっている。

次に内容の評価を見て教えている側の感覚と習う側の感覚で意外と違うなど感じる内容を挙げてみる。

① 「光の反射（位相のずれ）」「光の屈折（絶対屈折率の導入）」の 2 項目が 2. 7 と 2. 8 と思ったよりも低い評価であった。これは反射の法則、屈折の法則が簡単に覚えられるのに対して、演習問題としての「浮き上がりの問題」「全反射の問題」が三角比を使用する点で問題演習をすると難しく感じられるようであった。（やらないわけには当然いかない問題であるのだが）

② 「万有引力全般」万有引力の当初の定着の悪さは授業をしていても感じるところであるのだが、数字として裏付けられた。3 年次の後半戦に至ってもまだ内容が良く理解されていない。「等速円運動」との関連を強く感じるのであるが、「等速円運動」は評価 2. 6 台のそれなりの評価を得ている。「ケプラーの 3 法則」ですら評価 2. 1 であるのはなぜなのか。いろんな応用的な項目が絡み合った内容であると言う点が生徒にとっては理解がしがたい分野になっているようだ。

③ 「オームの法則」にかかる電気回路の内容も理解が進まない分野であった。中学校 2 年次に学習するオームの法則自体がまず基本からの復習を必要とした。合成抵抗の式から、並列、直列つなぎにおける電流値、および電圧値の関係を確実に復習しておく必要性がある。この点が分流器、倍率器やコンデンサーと抵抗の接続の問題が理解できない原因になっている。

④ 「力のモーメント」に関しては、その元となる、「てこの原理」が忘れている。小学校で学習する概念であるが、計算する問題としてはその当時は認識していないのであろう。物理基礎の授業では力のモーメントの定着の悪さが感じられたが 3 年次のこの時期には少し改善し、それなりのものになっている。

5. アンケート結果の詳細内容一覧

アンケートの集計した結果を次に示す。次の表 3 が各評価項目、各項目に対する総合評価、自己評価の A、B、C、D の人数である。

各項目集計数の最大値を太文字ゴシック体で示した。

表 3 アンケート結果の集計一覧

段落子元	内 容	✓	自 己 評 価				家庭学習時間
			A	B	C	D	
速さの定義	3.3	38	25	9	2	4	A B C
速さ一時間・距離一時間のグラフ	3.3	33	31	6	2	4	A B C
用対速度	2.8	16	15	18	4	2	A B C
速度の定義	3.3	30	25	10	4	2	A B C
等速運動運動	3.4	40	24	5	3	2	A B C
均速度、速度、位置一時間のグラフ	3.2	30	28	12	2	2	A B C
匀速運動	3.2	32	26	11	2	2	A B C
自由落下	3.3	34	26	10	1	1	A B C
自由落体下げる	3.2	30	27	14	2	2	A B C
重直投げ上げ	3.1	30	24	16	2	2	A B C
木刀投げ	3.2	32	22	16	2	2	A B C
斜方投げ	3.0	26	25	19	3	3	A B C
運動の三法則	3.0	27	29	16	2	2	A B C
力の三法則（重力、並進抗力、反作用力、反作用力）	2.9	16	38	15	4	2	A B C
力の合成、分解	3.1	24	31	14	2	2	A B C
作用反作用の正則	3.0	20	36	16	2	2	A B C
力のつりあい	3.1	23	37	8	4	2	A B C
運動方程式	3.1	26	28	10	6	2	A B C
摩擦のあわせのつりあい、運動方程式	3.0	24	29	11	6	2	A B C
その他の力（重力、水圧、抵抗力、浮力）	2.1	1	30	18	24	2	A B C
仕事（仕事の原則）	2.0	16	31	17	4	2	A B C
仕事をエネルギー（エネルギーの原理）	2.9	19	33	12	5	2	A B C
力学的エネルギー・	3.1	28	26	15	3	2	A B C
運動エネルギー	3.3	33	24	12	4	2	A B C
合力による位置エネルギー	3.1	31	23	10	6	2	A B C
慣性による位置エネルギー	3.0	27	23	13	2	2	A B C
保存力とは	2.8	18	22	16	8	2	A B C
摩擦力（静摩擦力）のいる場合	2.8	19	27	16	10	2	A B C
（重力）	2.8	18	28	12	9	2	A B C
力のモーメント	2.3	4	27	27	13	4	A B C
偶力のモーメント	2.2	4	20	30	17	2	A B C
平行な力と重心	2.2	4	21	20	15	2	A B C
物体の力のつりあい	2.2	4	20	29	16	2	A B C
質量と慣性	2.9	20	32	12	6	2	A B C
ガイルチャルクルの法则	3.0	20	36	9	4	2	A B C
走行・定圧・雪道・断熱変化	2.7	16	27	21	2	2	A B C
熱力学第 1 法則	2.7	15	27	18	9	2	A B C
（気体のする仕事・される仕事）	2.6	12	29	17	10	2	A B C
P = VdG/V	2.9	16	35	13	6	2	A B C
熱力学第 2 法則	2.7	14	28	16	9	2	A B C
熱效率	2.4	9	24	19	16	2	A B C
（能力量）	2.5	10	28	21	11	2	A B C
波の基本	3.1	34	25	6	2	2	A B C
波の種類（横波・纵波）	3.3	31	23	9	2	2	A B C
波の振幅型表示	3.2	32	21	12	2	2	A B C
並ね合ひの波形・独立性	3.1	29	22	13	4	2	A B C
波の式	2.7	15	22	15	10	2	A B C
波の干涉	2.9	21	31	17	4	2	A B C
ホイレンスの原理（回路）	2.7	14	26	22	7	2	A B C
波の屈折・反射	3.0	19	32	14	2	2	A B C
干涉の発見	3.0	20	30	12	4	2	A B C
折れの屈折・回折・干渉などの現象	2.9	19	27	19	2	2	A B C
波の振動	3.0	21	30	16	6	2	A B C
気体の振動	3.0	22	28	13	2	2	A B C
ドップラー効果	2.8	16	33	15	6	2	A B C
光の速度	2.6	12	27	19	12	2	A B C
光の反射（位相のずれ）	2.7	13	26	24	5	2	A B C
光の屈折（絶対屈折率の導入）	2.8	11	25	24	2	2	A B C
全反射・浮き上がり等光の現象	2.4	9	20	30	19	2	A B C

6.あとがき

今回の報告は履修した3年次の生徒のデータを示しました。2年次の生徒についてもアンケートを実施し集約してみたが、全員物理必修である点で、物理が苦手な医療系を志望する生徒などが含められていてまた違ったデータになっている。

このアンケートの利用方法として、3年間をまとめて集約する方法と、適時定着度を測るために実施する方法がありそうだ。

なんといっても、データを集約してその結果がすぐに授業に反映するシステムでなくては意味がないようだ。

この点の改善を今後要すると共に簡易アンケートとして実施できる道を探りたい。

例年、物理の授業では「わかる授業」と「役に立つ授業」の狭間で苦労している。授業で難しい部分を飛ばせば生徒からは「解りやすい授業」との評価を得ることはできる。しかし、生徒は模擬試験やセンター試験、2次試験では点数が取れることになる。しかし、この点に生徒は気がついていない。

問題は授業中に説明する「難しいけれど必要な内容である」とのメッセージが伝わりにくいくことだ。構内における校務分掌によって実施されている授業アンケートや講習アンケートによって、われわれは評価を受けることがあるが、その評価に大いに反省しつつ、「現実に役に立つ授業」でなくてはいけない。

「全員にわかり易く」かつ「役に立つ」物理の授業を常に追い求めたいと思う。

7.謝辞

アンケートに協力していただいた手稻高校第39期の生徒に感謝します。

授業予定	内 容	✓	日 己 終 価				実施時間
			A	B	C	D	
レンズ			30	21	31	16	I A B C
光の干渉			28	14	31	20	4 A B C
二重スリット			26	12	24	25	9 A B C
回折格子			25	13	20	23	13 A B C
干渉顕微鏡			22	7	17	20	16 A B C
くさび型			20	5	12	28	19 A B C
ニュートンリング			20	3	16	31	19 A B C
マイクロソープ計その他の			13	1	3	15	56 A B C
運動量と力積			29	15	41	12	3 A B C
運動量保存の法則			30	17	37	11	I A B C
反発弾性			30	22	28	15	8 A B C
揺らぐかな面との打ち衝突			26	12	26	24	6 A B C
等速円運動の基本			27	16	22	19	9 A B C
水平面での等速円運動			26	16	18	25	9 A B C
筋肉面での円運動			24	11	14	33	9 A B C
運動の基本的な考え方			24	11	15	29	13 A B C
ケプラーの3法則			21	6	17	23	22 A B C
力有引力の法则			23	9	16	25	17 A B C
第1宇宙速度			20	6	14	26	4 A B C
第2宇宙速度			20	9	15	26	28 A B C
クーロンの法則			24	7	26	22	13 A B C
電界の定義			24	7	28	20	14 A B C
電荷の作用する電界			24	6	29	20	13 A B C
ガウスの法则			19	3	15	26	25 A B C
電位の定義			23	5	22	27	14 A B C
帯電荷の作用する電位			23	5	27	26	14 A B C
一族の電界			24	5	26	22	12 A B C
一族な電界の電位			24	9	26	23	13 A B C
コンデンサー			27	14	32	19	10 A B C
電気容量			27	16	30	10	12 A B C
誘電率と比誘電率			27	17	25	16	14 A B C
静電エネルギー			26	13	30	11	13 A B C
コンデンサーの回路（直列並列）			23	9	28	13	14 A B C
コンデンサーと抵抗の回路（直列並列と並列）			24	9	25	19	14 A B C
オームの法則（直列並列も含む）			36	41	19	6	0 A B C
抵抗の温度係数			28	8	16	31	12 A B C
非オームの法則の抵抗			22	6	20	22	17 A B C
キルヒホーフの法則（回路方程式とは）			24	9	23	24	11 A B C
ハイドロストンプリッジ			22	8	15	27	16 A B C
ヒートルプリッジ			19	6	15	28	23 A B C
電流計と分電器			20	1	17	29	19 A B C
電圧計と信守器			20	1	16	26	21 A B C
電池の内部抵抗と起電力			22	4	22	23	16 A B C
電位差計			20	1	21	20	23 A B C
電界の定義			24	8	22	25	12 A B C
直線電流の作用の範囲			28	20	21	17	8 A B C
円電流の作用の範囲			28	20	16	16	9 A B C
ソレノイドコイルの作用の範囲			25	15	20	17	14 A B C
(アンペールの法則)			15	3	6	12	42 A B C
直束密度と磁界の強さ			24	9	22	20	15 A B C
リーレンツ法の定義			20	14	22	15	14 A B C
ローレンツ力による等速円運動			24	6	27	12	18 A B C
(サイクロトロン、ホール効果)			16	0	8	29	34 A B C
直角電場に働く力の導出			23	8	21	17	16 A B C
ファラデーの電磁説の法則			25	9	26	16	13 A B C
レンツの法則			27	10	35	10	10 A B C
結界中を移動する導体棒に生じる誘導起電力			25	9	26	12	15 A B C
誘導起電力と回路のエネルギー収支			22	6	20	20	17 A B C
自己誘導起電力			22	7	20	19	19 A B C
相互誘導			22	8	22	19	18 A B C
コイルによって生じる交流（交渉の発生）			23	8	21	20	15 A B C
交流と抵抗			25	12	20	19	14 A B C
交流とコイル			25	12	19	19	11 A B C
交流とコンデンサー			24	11	19	20	11 A B C

工業科「課題研究」の授業で行った理科実験器具の製作

北海道釧路工業高等学校 小久保 廉一

筆者は勤務校の工業科の授業「課題研究」で、電子機械科の教諭の指導のもと、生徒によって、理科の授業で用いる実験器具を作成してもらうものづくりの取り組みを行った。2011年は津波堆積物の採取に用いる「検土杖」、2013年は物理のエネルギーの単元で用いる「力学的エネルギー実験器」である。いずれも既に元となるものがあるが、試作品の段階から、筆者が使用する中で気づいた問題点や改善希望を挙げ、それを受けた問題解決を図るといった流れを繰り返すことで実用性の高い作品を作成することができた。

キーワード 課題研究 ものづくり 検土杖 力学的エネルギー実験器 問題解決

1. はじめに

高等学校の工業科には必修科目に「課題研究」がある。学習指導要領には、目標に「工業に関する課題を設定し、その課題の解決を図る学習を通して、専門的な知識と技術の深化、総合化を図るとともに、問題解決の能力や自発的、創造的な学習態度を育てる」とある¹⁾。筆者の勤務校でも3年次に2時間続きの授業で設定されており、1人の先生が4~6名の生徒を受けもち、1年をかけて準備・計画、資料収集、作品の制作、発表という流れで指導を行っている。

課題研究に取り組むスタイルは色々とあるが、筆者の勤務校では、生徒自身でテーマを設定し、計画、情報の収集、試作、改良を行う方法と、あらかじめ教員が準備したテーマに取り組ませる方法のどちらかで指導を行っている。前者の場合、自分たちの取り組みたいものでできるため、完成した時の達成感はあるが、何を作るかを決める段階から作成までの様々な段階において時間を要し、最終的には不十分な出来のままで終了してしまうケースもある。後者の場合は指導者が内容を理解している分、作品が完成しないなどといった事はないが、作成への動機づけおよびモチベーションの維持に苦労してしまうなどの問題がある。全体として、後者の方法で課題研究を行っている場合が多い。

筆者は、これまでに工業科の設備を用いた分析実験を行うことはあったが、時間や技術的な問題から工業科の設備を用いて理科の実験器具の作成を行うことはほとんどなかった。その一方、電子機械科では、「機械設計」、「原動機」、「生産システム技術」などの専門教科の座学の授業で、力学、熱力学、電磁気学など物理に関する内容と関連した学習を行っており、実習のものづくりにおいても物理の知識や思考力を必要とする場面が存在する。筆者は勤務校で主に物理を担当していることもあり、

電子機械科の課題研究に係わる事で、ものづくりに物理の知識や技能が使われている事を実感させることができるのでないか、今まで筆者が作りたくても作ることできなかった実験器具を作ることができるのではないか、と考えた。そこで、筆者が求めている実験道具を電子機械科の課題研究の授業を通して、生徒に作成してもらうことを計画した。

具体的には、筆者が生徒に作成を依頼し、実際の指導は工業の先生に行って頂く。試作品の作成段階などで筆者が使用し、その中で気付いたことや問題点の改善を要望として上げ、それを受けて問題解決を図ったものを再度使用する、というサイクルを繰り返すことで作品を仕上げていくことにした。

また、生徒に关心や意欲を持って取り組んでもらうための動機づけも重要と考え、筆者からは作品を作る目的とその価値を明確に伝えるとともに、既製品との差別化を意識した改善要望を挙げることとした。すなわち、生徒に作成へのモチベーションを保ちつつ達成感を味わってもらえるようにする事などを意識しながら関わることとした。

実施に先立ち、課題研究を引き受けた先生との間でこれらの考え方の共有を行った。

2. 検土杖の作成（2011年）

2. 1 作成の経緯

検土杖とは土層の垂直配列を採取するための道具で、持ち手の部分（ハンドル）と採土部（サンプラー）からなる。市販されているものは主に農業用で、価格は安いものでも1本10,000円である。

筆者は2009年より防災・減災教育の一つとして巨大津波に関する授業実践を行っている^{2) 3)}。市街地周辺の湿原（泥炭地）をはじめ、勤務校の近くにある春採湖の湖

底にも津波堆積物が存在することが知られており、津波堆積物を掘り出して直接見る事ができる検土杖を入手したいと考えていた。当初、市販品の購入を考えていたが、市販品はサンプラーの口径が狭く十分なサンプルの採取が出来ない、サンプラーの長さが短い、湿原下に張った葦などの根を切断することができない、などの問題があり、湿原での探査には向かないことがわかった。

一方、津波堆積物用の検土杖は研究者によって既に一定の規格が確立している⁴⁾。設計図も公開されており、作成は町工場などでも行えるものであることがわかった。電子機械科の教員と相談したところ、部材等に関しては教員の専門的知識によらなければならないところがあるものの、生徒の持つ技術で作成する事が可能であると判断されたため、電子機械科の課題研究の授業の中で作成して頂くこととなった。

東日本大震災直後の 2011 年 4 月から作成する事となったこともあり、検土杖は釧路地方の津波防災教育に大きく寄与する事を説明し、あわせて以下の要望を挙げた。

- ① 1 本だけでなく、数本作成する。
- ② 地中深くまで掘れるよう、延長ができる構造にする

①は、検土杖を使用した経験から、サンプラーを地面の奥まで入れる際のハンドル部分の強いねじ込みによって壊れてしまう事が想定されたためである。量産のもう一つの目的は、他の道東の沿岸地域の学校で津波防災を考えている学校に、教具として提供ができるべと想えていたためである。

②は、津波堆積物のある地層を採取するために、サンプラーの長さ (50 cm) に対し、数 m の深さまで掘り下げなければならない場合があり、地中深くまで掘るために延長できることが望まれるためである。

2. 2 作成の過程

元となる設計図と、霧多布湿原センターが所有している検土杖を借り、それらを提示して形状などを理解してもらってから、学校にある鉄製の材料で試作品の作成を行ってもらった。完成した試作品は筆者が湿原で使用し、その使用具合などを確かめた。深くまで掘削するための延長棒を取り付ける事ができるようにするために、サンプラーとハンドルの着脱部分をねじ込み式としていたが、そこに二つの問題が発生した。

一つは、ねじ山がつぶれてしまうことである。検土杖でサンプルを採取する際のねじ込みによりねじ山にかなりの力がかかるため、安い鉄製のねじ山では数回でつぶ

れてしまい、接続することができないことがわかった。そのため、指導教諭の助言により、ねじ山を変形の受けにくい高硬度ステンレスに変えたところ、くり返しの着脱に耐えられるようになった。

もう一つは、一度使用すると、サンプラー、延長棒、ハンドルそれぞれを解体することが困難になることがある。ねじ込みによりサンプラー、延長棒、ハンドル部分それぞれが固く締ってしまうため、地中深くまで掘るための延長棒の着脱ができなくなってしまった。ねじ込みの際の偶力によって生じた問題であることが確認され、指導教諭と生徒の間で様々な方策の検討がなされた結果、サンプラーや延長棒に直径 1cm ほどの穴をあけ、その部分に金属の棒を通して、外す際には通した棒を使って締めた方向と逆方向に回転させることによって外すことができるようになった。そうすることで、使用後も現地でそれぞれの部品に解体することができるようになった。

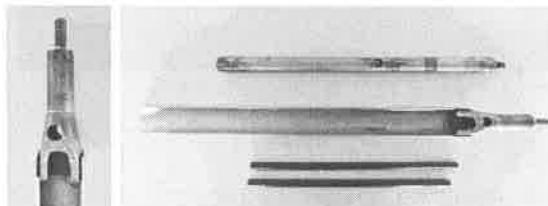


写真 1 (左) ねじ山とサンプラーにあけた穴

写真 2 (右) それぞれの部品にあけた穴と、外すために使う棒

試作品を実際に使用し、一通りの問題を把握し、それらの問題の解決を図ったことで量産化の過程に移ることとなり、6 本の検土杖が作成された。

しかし、作成したうちの 1 本を使用したところ、今度は地面に刺してねじ込んでいる際にサンプラーとねじ山をつなぐ溶接が外れてしまい、サンプラーを地中から引き抜けなくなってしまった。この状況の報告により、検土杖の作成ではねじ込みの偶力で生じる問題をいかに軽減するかが課題であるということが改めて確認され、残りの 5 本の溶接についても担当教諭の技術指導を受けながらやり直すことになった。

こうして完成した検土杖を、作成してもらった生徒にも使用具合を確かめてもらいたいと思い、勤務校そばの春採湖底には津波堆積物があり、湖岸にも存在する可能性があるという話をしたところ、湖岸で津波堆積物の調査を行う事となった。調査では津波堆積物を確認することはできなかったが、使い具合を確かめることができ、その完成度に満足をしていたようである。

かかった材料費であるが、鋸びやすいサンプラーとつ

ぶれやすいねじ山は高価なステンレス材にしたもの、それ以外の部分を安い鉄製にする事で材料費を大幅に抑える事ができ、結果として5本で20,000円という低費用で作成することができた(写真3)。

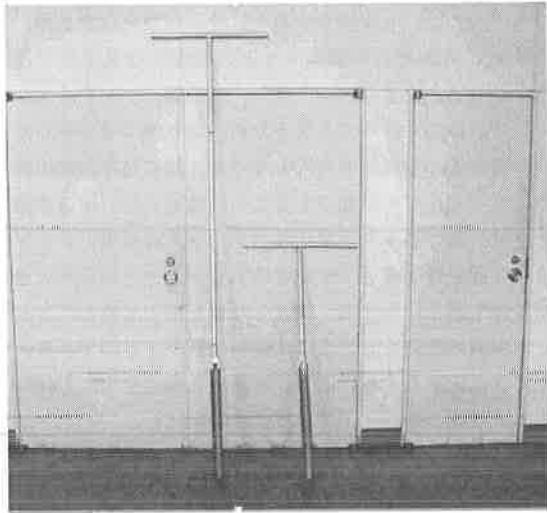


写真3 検土杖 (左: 延長棒をつけたもの)

2. 3 完成した作品のその後

完成品のうち1本は筆者の授業および理科部の生徒の研究などで使用している。2015年現在、溶接が外れるなどといった使用上のトラブルもない。

また、作成したもののうち2本は北海道教育大学釧路校に提供し、活用して頂いている。

3. 力学的エネルギー実験器の作成 (2013年)

3. 1 作成の経緯

力学的エネルギー実験器は、出発点と到着点の高さは同じだが、途中、高さが異なる2つの経路を鉄球が通り、どちらが早く到着するかを演示するための実験器具である。一方は下降した後、水平な面を進んで終点に到着するが、もう一方球は下降から先と同じ高さの水平な面を進み、さらに下降して水平な高さで進んだあと再び上昇し、前者と同じ位置の終点に到着する。したがって、前者よりも後者の方が経路は長くなる。

先入観から、移動距離の短いコースの方が早くゴールに着くと予想するが、実際には長い経路の方が早く終点に到着するため、そこから生まれた疑問を使って思考力などを高める学習活動につなげることのできる実験道具として、かねてより位置エネルギーと運動エネルギーの学習で活用したいと思っていたものである。

この内容について電子機械科の教員と相談したところ、工夫改善ができる余地があり、生徒にも取り組みや

すい内容であると判断されたため、課題研究の中で作成して頂くこととなった。また、作成を依頼した生徒は2年次に筆者の物理の授業を受けていたこともあり、依頼した目的や改善要望の内容について、物理の学習内容と関連づけながら行つた。

3. 2 作成の過程

作成にあたって、力学的エネルギー実験器を販売している業者のカタログを見てもうとともに、インターネットにある実験の様子の動画を視聴してもらうことで、作品がどのようなものであるかと、実験の要点や作成のねらいについて理解してもらった。

また、今回の作品制作にあたり、筆者から3つの要望を提示した。

- ①教室の後ろの生徒でも見える大きさにする
- ②鉄球を同時に発射させられる工夫を入れる
- ③どちらの鉄球が先にゴールにしたかわかるようにする

①については、鉄球が小さいと教室の後ろにいる生徒には見づらいで大きくしてほしい、という要望を挙げさせてもらった。業者のものは鉄球の大きさがすべて25mmで、かつレールの上で滑らせる方式を採用していた。そのため、当初、40mm程度の大きさの鉄球をレール上で滑らせる事を想定し、レールとしてふさわしい材料を探したが、適当なものを見つけることができなかった。その結果、作業が行き詰まり、停滞を招いてしまった。鉄球の大きさを業者のものに戻し形状も同じものを作成する事を含めて検討したが、最終的には指導教員の助言によって、コース全体を枠で囲うことになった。また、移動中の様子が見えるようにする必要があるが、アクリルを加工する機械設備があることから、装置全体を透明なアクリルで作成することで解決することとした。

②については、電磁石式のスイッチで鉄球の発射を操作する方式を検討していたが、鉄球の重さのためにうまく静置させることができなかつた。そのため、スタート地点に手動のゲートを設置し、ゲートを外す事で同時に鉄球が転がり出す方式とした(写真4, 5)。

③については、ゴール地点の先の壁に圧力センサーを設置し、鉄球がセンサーにあたるとLEDが点灯する仕組みとした。こちらは鉄球を大きくしていた(重くなっていた)ことで、センサーに衝突すると確実に点灯するものとなつた(写真6, 7)。

なお、物理の授業では電磁気の学習を行つていなか

ったが、電子機械科の座学や実習では電子回路についての学習を行っていたため、これらの学習内容が活かされる場面となった。

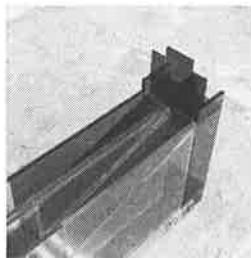


写真4 (左) スタート地点

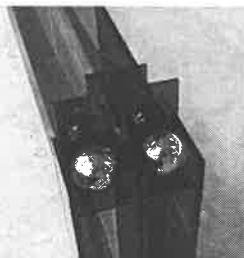


写真5 (右) スタート地点 (鉄球を置き、ゲートを開めた状態)

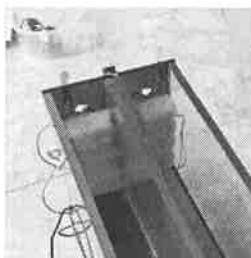


写真6 (左) ゴール地点 (スポンジの裏に圧力センサーがあり、衝突すると点灯する)

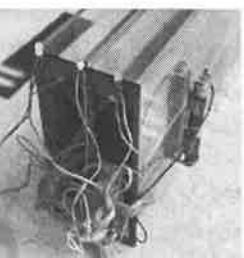


写真7 (右) ゴール地点を裏から見た様子

3. 3 完成した作品について

要望を取り入れた事で既製品とは形状や特性が一部異なるものとなつたが、再現性の問題もなく使用する事ができている。

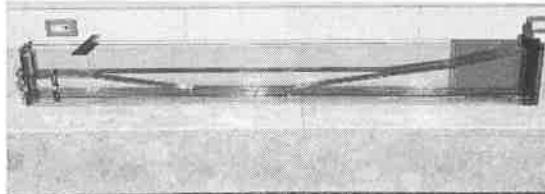


写真8 装置の全景

4. 実践上の効果と課題

今回、筆者はクライアント的な立場で他教科の課題研究に関わったが、いずれの作品においても既製品には無い実用的な工夫を随所に織り込むことができ、完成度の高い作品を仕上げる事ができた。すなわち、既に設計図があるものや既製品を元としたものの製作であったが、部品の性質や形状などの影響で製作段階や使用段階で思った通りにいくわけではないこと、工夫する余地や改善を図らなければならない所は随所

にあり、そこに価値や利便性が生まれる可能性があることなどを理解させることができたと思われる。特に、筆者の勤務校の場合、大半の生徒が高校卒業後、それぞれの科で学んだ技術を活かした企業に就職をする。企業でのクライアント、サプライヤーの関係性を応用した課題研究の指導は、作成する立場からだけでなく使用者視点による問題解決能力の向上にもつながるため、社会に出て企業に勤めてからも活かされる経験になるのではないかと思われる。

一方、要望の挙げる時には、構造の変更を伴うものについては特に注意を払うべきである。生徒、指導教員とも作成しながらその構造や特徴などを理解していくため、どうしても元となる製品の構造や特徴にとらわれてしまうことになり、アイデア創出や発想の転換を阻んでしまうだけでなく、モチベーションにも影響を与えてしまうことがあった。この点においては、作成物の本質と問題点を的確に捉え、その上で工夫改善を図る方策が検討できるよう支援していく必要がある。

また、ものづくりには、物理に関する基礎的な知識や思考力が必要になる場面や活用できる場面が随所に存在する。今回のものづくり支援では筆者が必要に応じて理科（物理）の立場で関わった事もあり、工業と物理の教科横断的な能力の育成にも寄与したのではないかと思われる。

5. 謝辞

今回の実習にあたって、検土杖の製作指導を引き受けて頂いた安池雅弘先生、力学的エネルギー実験器の製作指導を引き受けて頂いた佐藤学先生（現、室蘭工業高等学校）に深謝いたします。

引用文献

- 1) 高等学校学習指導要領解説 工業編, 文部科学省, pp14-15
- 2) 小久保慶一, 2011.2, 津波イベント堆積物を用いた授業, 平成 22 年度北理研鉱根支部第 3 回研修会資料
- 3) 小久保慶一, 2012.8, 津波被害へのアプローチを図る教材の作成と探究活動, 平成 24 年度全国理科教育大会 第 83 回日本理化学協会総会北海道大会研究発表論文（資料）集 第 34 卷 日本理科学協会編
- 4) 吉川秀樹他, 2008.5, 新しい大口径検土杖の試作と北海道東部沿岸湿原湖沼地域における採取実験, 地質ニュース No. 645, pp10-19

新課程物理の倒れない条件

北海道根室高等学校 佐々木 淳

新課程で物理の内容となった剛体の“倒れない条件”を、どのように教えるのが適切か。所属校の実践例を交えて議論する。

キーワード 新課程、剛体、転倒、転倒角

1. はじめに

平成 21 年改正で、平成 24 年度から理数教科で先行実施された新課程において、物理分野では内容の再編が行われた。

物理 I・II が物理基礎・物理へと科目名が変更されただけにとどまらず、標準単位数も 3・3 から 2・4 へと変更された。学習内容もそれに伴って、旧課程の物理 I で教えられていた内容の一部が新課程の物理に移ったり、逆に物理 II の内容の一部が物理基礎の内容に含まれたりと変更が起こった。図 1 に主な内容の変更を示す。

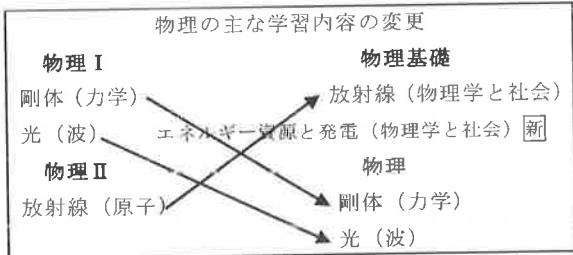


図 1

新課程実施に伴い、旧課程の物理 I で学習していた剛体が、新課程の物理で学習することとなった。新課程の学習指導要領¹⁾の中での剛体に関する記述を抜粋する。

「日常生活とのかかわりの中で、防災などの観点から、物体の重心、関連して物体が転倒しない条件についても触れる。」

本稿では、所属校の実践例を交えて、効果的な“倒れない条件”の教授法を議論する。

2. 倒れない条件

図 2 のように縦・横・奥行きが、おのおの $a[m] \times b[m] \times c[m]$ の一様な直方体を考える。この直方体の左下を原点として、水平方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸をとる。直方体には重心に重力 W と、それにつり合う垂直抗力 N

及び、左上に加えた張力 T と、それとつり合う静止摩擦力 R が加わっている。この剛体は

①重力 W と張力 T の合力 F_1 と、垂直抗力 N と静止摩擦力 R の合力 F_2 がつり合っていること ($F_1 + F_2 = 0$)、

②任意の点、例えば原点周りの力のモーメントがゼロとなっていること ($M_O = 0$)、
が同時に成立しているとき、つり合う。

教研の教科書²⁾の説明によると、つり合った状態から、張力 T の大きさを大きくしていくと、合力 F_1 が点 Q を中心に徐々に時計回りで回転し、それとつり合う合力 F_2 の作用点 P が底面上を原点に近づき、ある張力の大きさを超えると、P が原点の外側に外れてしまい、この直方体が転倒する。この説明を、垂直抗力の作用点 P の x 座標で表すと、

$$0 \leq x \leq b$$

のとき、この直方体は倒れない。

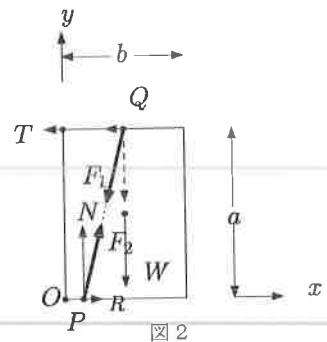
3. 実践例 その 1

2014 年度の物理では、2. の説明をそのまま実践する形で、

①つり合っている剛体の垂直抗力 N の作用点 P の位置 (x とする) を、力のつり合いと、力のモーメントが 0 となることを用いて求める。

②倒れない条件 $\Leftrightarrow 0 \leq x \leq b$
の順番で教えた。

この実践の反省として、そもそも垂直抗力の作用点が



動くということを理解させることが難しいことがあげられる。これは、物理基礎段階で、物体にはたらく垂直抗力を図示する際、その作用点をあいまいのまま作図させたことが原因と考えられる。ところが、剛体においては力の作用点の位置こそが重要であり、改めて力の作図の重要性が認識させられた。

4. 実践例 その 2

2014 年度の反省と、昨年の物理実践交流会での議論をもとに、2015 年度の物理では、

- ①斜面上に置かれた直方体が傾斜角を大きくしていくときに転倒する角度（転倒角）を考え、転倒するときに加わる力のかかり方を考えさせた。
- ②直方体の倒れない条件 \Leftrightarrow 重力の作用線と底面との交点が底面内にある。

という順番で教えた。そのために、演示用の実験装置として図 3 のような装置を作成した。

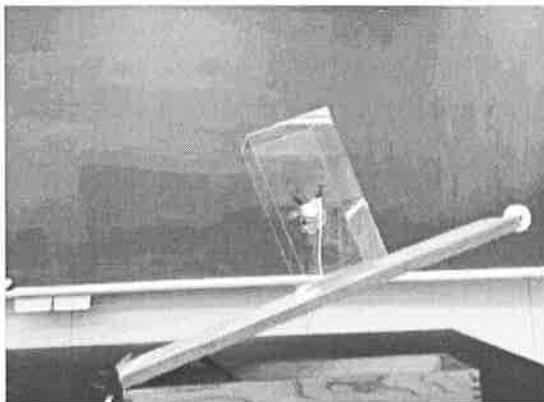


図 3

[装置の説明] 傾斜角が変えられる斜面上に、左下でアクリルボックスをテープで固定する。このアクリルボックスの中心には回転しても鉛直下向きを指示し続けるように、針金を通じておもりが固定してある

転倒角を中心にして剛体の倒れない条件を次の 2 つの実験を行うことで学習させた。

③実験 1 (転倒角)

目的 粗い斜面上に置かれた同じ形をした 2 つの直方体の転倒角を比べることで、剛体の倒れない条件を学ぶ。

問 1 図 4において、傾斜角を大きくしていくとき、A と B ではどちらが先に転倒するか。

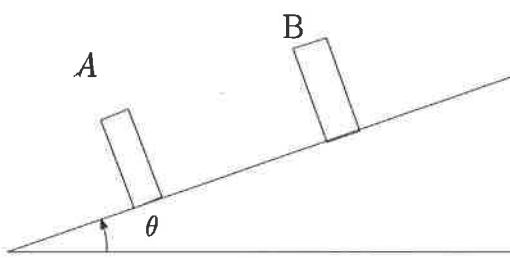


図 4

解答 A の方が先に転倒する。

問 2 1 つのおもりを A か B につけることで、問 1 の転倒の順番を逆にしたい。どの位置におもりをつけるか。また、なぜその位置につけると順番が逆になるのか。その理由を述べよ。

解答例 1 A の右下におもりを取り付ける。(重心が下にあった方が安定するから)

解答例 2 B の左上におもりを取り付ける。(重心を左に寄せることで早く底面と重力が交わらない状況になるから)

解答例 3 A の右上におもりを取り付ける。

考察例 重心を高くすればするほど倒れやすく、重心を低くすればするほど倒れにくい。また、重心を倒れる方と逆側に置くほど倒れにくく、重心を倒れる方と同じ側に置くほど倒れやすい。

④実験 2 (転倒角その 2)

目的 粗い斜面上に置かれた物体の転倒角を比べることで、剛体と重心の位置の関係を学ぶ。

問 1 図 5 のように傾斜角を大きくしていくとき、直方体と直方体に加わる重力の関係がどのようにになっているか。図示せよ。

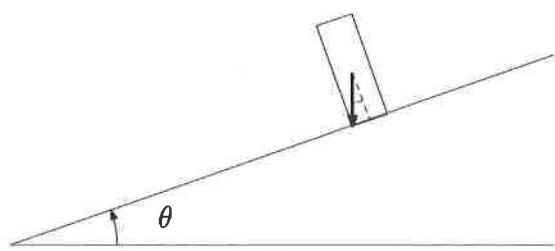


図 5

問 2 図 6 のように、おもり●を直方体に取り付けると傾斜角はどのように変化するか。図示せよ

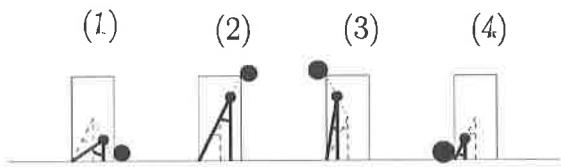


図 6

考察例 1 おもりと重心の間に新しい重心ができるから、おもりの位置によって、転倒角が変化する。(2)(4)のときは、元々の重心と新しい重心が回転軸と同一直線上にあり、転倒角に変化がない。

考察例 2

$$(1) \text{ の重心 } \left(\frac{M\frac{b}{2}+mb}{M+m}, \frac{M\frac{a}{2}}{M+m} \right)$$

$$(2) \text{ の重心 } \left(\frac{M\frac{b}{2}+mb}{M+m}, \frac{M\frac{a}{2}+ma}{M+m} \right)$$

$$(3) \text{ の重心 } \left(\frac{M\frac{b}{2}}{M+m}, \frac{M\frac{a}{2}+ma}{M+m} \right),$$

$$(4) \text{ の重心 } \left(\frac{M\frac{b}{2}}{M+m}, \frac{M\frac{a}{2}}{M+m} \right) \text{ である。}$$

転倒角は(1)の場合 $\tan \theta = \frac{x}{y} > \frac{b}{a'}$

(3)の場合 $\tan \theta = \frac{x}{y} < \frac{b}{a'}$

(2)(4)の場合 $\tan \theta = \frac{x}{y} = \frac{b}{a'} \text{ となる。}$

5. 大科学実験「アリと 5m の壁」

NHK 教育テレビ放送の大科学実験の「アリと 5m の壁」の放送回³⁾は興味深く、示唆の富んだものであった。

放送内容は、「体長 1cm にも満たないアリが 5m の巨 大な壁を倒すことができるか。」というものであるが、そのときの実験は「大きさが段々と小さくなる壁を一列に並べ、最終的にアリでも倒せる小さなブロックまで並べることができるか」といつたものであった。ポイントは、図 7 のように縦横高さが一定の比（本稿では $\frac{3}{4}$ と仮定）で小

さい右のブロックが転倒して大きい左のブロックにぶつかったとき、その力で左のブロックを倒すことが可能かという点にある。まず、図のような場合、右のブロックが左の

ブロックを倒すのに必要な右のブロックの水平面に対する角度 θ を求める。左右のおののおのの剛体に対する力のモーメントのつり合いより

$$0 = -Mg\frac{l'}{2} + F\frac{3}{4}l \cos \theta,$$

$$0 = -\left(\frac{3}{4}\right)^3 Mg \cos \theta \frac{1}{2} \frac{3}{4} l'$$

$$+\left(\frac{3}{4}\right)^3 Mg \sin \theta \frac{1}{2} \frac{3}{4} l - F\frac{3}{4}l \cos \theta,$$

今、 $l : l' = 6:1$ として、簡単な計算より、左の剛体の転倒角 $\alpha = 9.5^\circ$ 、それに対し $\theta - \alpha = 31.3^\circ$ となる。ちなみに計算によれば左を 5m の壁とすると、右は 3.75m の壁で、3.75m の方を、左の壁の端から 2.45m 離して置けば左の壁を倒せることとなる。

この結果からもわかる通り、剛体が倒れるか倒れないかは剛体の質量にはよらず、水平面に對する剛体の傾きだけが重要になっている。

6. まとめ

本校では数研の教科書を用い、準拠する形で剛体の倒れない条件を指導した。数研では本文中に転倒角の言及はなく、章末の演習問題で言及されている。啓林館の教科書⁴⁾では転倒するときの角度に言及して剛体の倒れない条件について説明している。しかし、どの教科書も“転倒角”自体の定義ではなく、新課程物理では転倒角の本文中の言及が必要と考えられる。

7. 謝辞

本研究において、活発に実験に参加し、貴重な実践結果を提供してくれた根室高校物理選択者に感謝する。また、転倒角の重要性を気づかせてくれた物理実践研究会のメンバー各位には感謝する。

8. 参考文献

- 1) 文部科学省 高等学校学習指導要領解説 理科編、理数編
- 2) 国友正和他 物理 数研出版
- 3) NHK 教育 大科学実験 2015 年 8 月 10 放送分
- 4) 高木堅志郎他 物理 啓林館

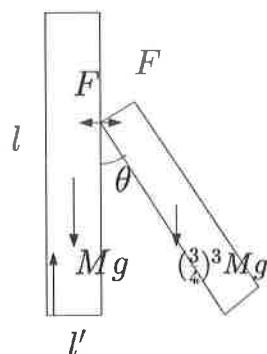


図 7

クリッカーの製作と授業への実践

旭川東高等学校 佐々木恵二

通常のスタイルの授業は「教える側が多くの情報を伝達し、受け取る側がそのすべてを正確に理解することを目指す。」という一方的な活動になりやすい。そこで双方向のコミュニケーションを可能とするクリッカーについて注目し、高価な既製品のクリッカーを使用するのではなくクリッckerのシステム自体を自作してみるという発想で製作したところ比較的安価で完成したので授業の実践と併せて報告する。

1. はじめに

クリッckerとは講演などで講演者が選択肢のある問題をスクリーン上に出題し、聴衆が入力装置（リモコン等）で入力するとその結果がグラフなどで表示されるシステムである。

一方通行になりがちな講演を聴衆も参加させることにより、双方向の講演にする狙いがある。教育現場ではアメリカの大学で講義の中で使われはじめたが、近年日本の大学でも多く使われ出しその実践報告もインターネット上では散見されるようになった。クリッckerのシステムはOHPやビデオデッキなどの視覚機材に分類されると思われるが、高価であり、これらの機器のように高校では広く普及されるに至っていない。そこで今回は既製品と同等の機能を持つクリッckerを安価に製作することを目指した。また完成したクリッckerを授業で実践したら興味深い結果が得られたのでそれについても報告する。

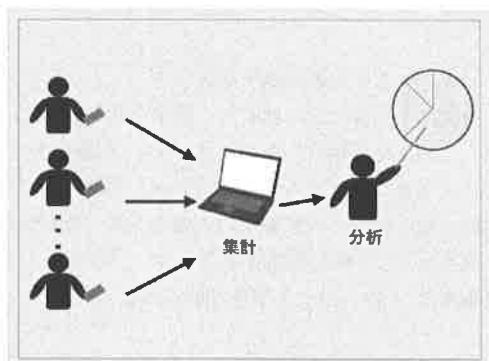


図1 クリッckerのシステム

2. 方法

クリッckerのシステムは①入力装置、②受信回路、③集計装置の3つが鍵となる。それぞれについて述べる。

①入力装置はスマートフォンなどを利用し、インターネットを利用して集計するシステムもあるが赤外線を使用しているテレビ用のリモコンでクリッckerを自作した報告があり、それを参考にした。インターネットで200円で販売されているTMY社製のリモコンを購入した。カード型をしておりコンパクトなので既製品の形に近く扱いやすい。リモコンの数量は40台ではなく、20台程度購入し2人で1台を交代で使うようにした。動作範囲も照明下では2~3mであるが、照明を落とすと普通教室の後ろの座席からでも問題なく動作した。

②受信回路はBit One Trade社製の受信キットを購入した。この製品は、USB端子に挿入して使用する。あらかじめ赤外線を記憶させておくと、リモコンの「1」が押されるとそれを受信しパソコンのキーボードが「1」（「1」でなくてもよい）を押された状態にことができる。パソコンをリモコンで遠隔操作すると考えればよい。この製品は20種類もの赤外線を記憶することができる。

③集計装置はエクセルを起動させたパソコンを使用する。スライドで問題を生徒に提示するという意味ではパワーポイントが優れているが、集計やグラフの描画のしやすさということでエクセルを使うことにした。エクセルのマクロはCtrl+「アルファベット」で起動することができる。これをを利用して、Ctrl+aを押すと、たとえば「B8」のセルの数字が一つ増えるというマクロを作成しておく。次にリモコンの「1」が押されるとCtrl+aが押される設定にしておけば、リモコンの「1」が押されるたびに「B8」のセルの数字が1ずつ増えていくわけである。同様にリモコンの「2」、「3」・・・についても設定すれば完成である。なおこのマクロは誰もが設定できる1行の簡単なマクロである。

なお①（リモコン25台）と②をそろえるのに費用は1万円程度ですんだ。既製品では20~30万程度かかる。

る。

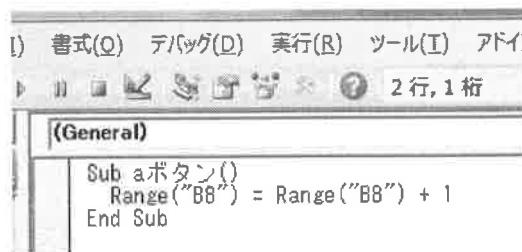


図2 エクセルでの1行マクロ

3. 実践と結果

- (1)選択肢のある問題を出してクリッカーで回答させる。

「力学分野」5題、「光分野」5題の合計10題の問題をつくり、本校の3学年のクラスでクリッカーによるテストを行った。問題のレベルは基本であるが油断すると引っかかりそうなものも含まれている。

- (1)スクリーン上に問題を提示
- (2)生徒がクリッカーで答えを入力
- (3)スクリーン上に回答した選択肢のパーセンテージが表示
- (4)正解の解説

の順に10題分繰り返して授業を進めた。

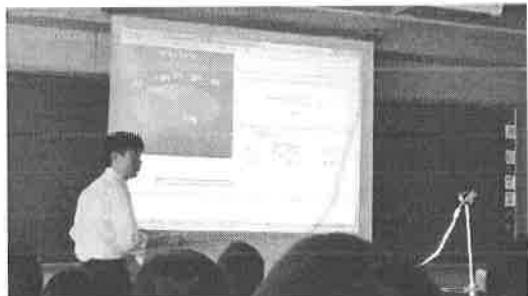


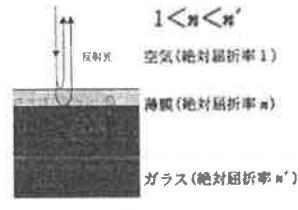
図3 授業での様子

10題終わったところででちょうど50分となり1時間の授業の中で行なうことが出来た。この授業で出題した問題のうちの一つと回答した選択肢のパーセンテージを示す。

この活動の間、生徒は興味を持って取り組んでいた。自分の考えに自信が持てなくとも他人の回答に左右されず、答えを入力できるというのは大きいのではないかと思う。

う。例えば挙手の場合、多く手が上がった意見に賛成してしまうということが起こるのでクリッカーの方が正確に意見を集計できるメリットがあると思われる。

問題8 A 図1のように、表面に薄膜がコーティングされたガラスに、単色光が垂直に入射した場合の反射光の干涉を考える。空気の絶対屈折率を1とし、薄膜の絶対屈折率は、ガラスの絶対屈折率よりも小さく、1よりも大きいものとする。



空気中の光の波長を入としたとき、反射光が弱めあうための膜の最小の厚さはいくらか。正しいものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① $\frac{\lambda}{4}$ ② $\frac{\lambda}{4n}$ ③ $\frac{\lambda}{2}$ ④ $\frac{\lambda}{2n}$

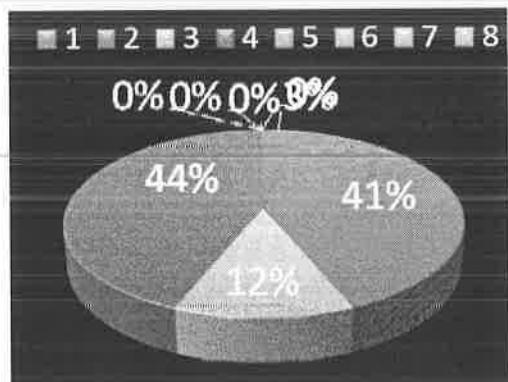


図4 クリッカーで使用した問題のうちのひとつと選択肢のパーセンテージ

②クリッカーによる反復の効果を調べる

10日後に1回目に行ったテストの中から「光分野」3題と新しく加えた問題（これも「光分野」）3題の合計6題で再びクリッckerによる授業を行った。1回目と全く同じ問題3題については正答率の大幅な上昇（20%以上）が見られた。「同じ問題をクリッckerで繰り返し行うと定着する。」ということがよくわかった。

③生徒実験でクリッckerを使用する。

図5のような浮力の実験を計画しクリッckerによる働きかけを行う。

- (1)実験をする前に結果の予想をクリッckerでさせる。
- (2)5人くらいの班でディスカッションさせる。
- (3)ディスカッション後にもう一度クリッckerで解答

させる。

(4) 実験で実際に確かめてみる。

(5) 最後に解説をする。

という流れで授業を行った。授業を「実験」「ディスカッション」「クリッカーによる働きかけ」の3つの活動で構成するイメージである。これはディスカッション前と後で正答率が割合が変わるかどうか。自分たちの力で正解に近づけるかどうかがポイントである。

結果は教師の助言がなくても図7のようにディスカッション後で正解者の割合が少し上昇した。クリッカーがアクティブラーニングの正否を確かめるのにも有効であると思われる。

実験 1

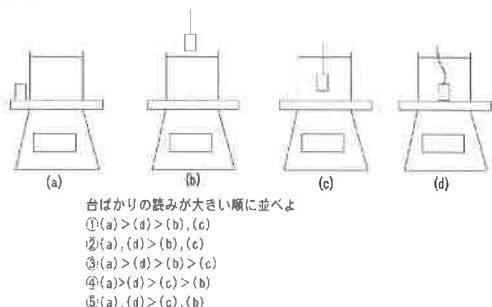


図5 浮力の実験

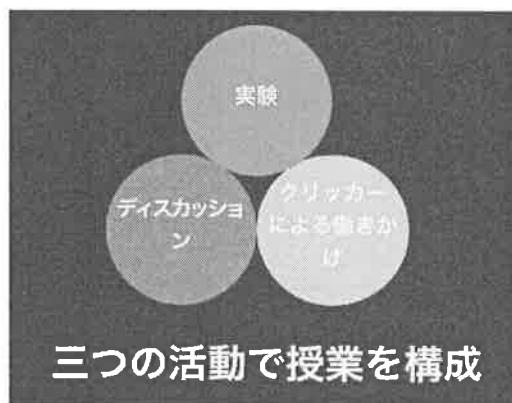


図6 実験とクリッカーの組み合わせ

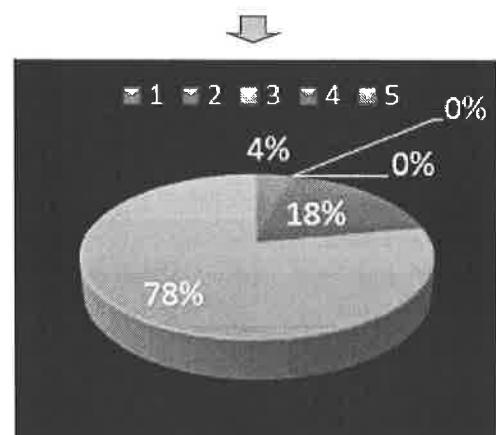
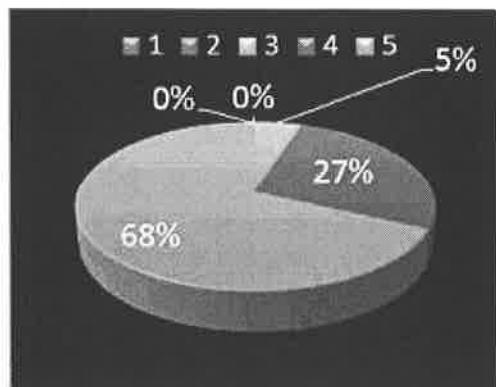


図7 ディスカッション前（上）と後（下）での解答の変化（正答は5）

4.まとめ

なるべく費用をかけずにクリッカーを製作し、既製品に近い機能を実現するという目標は達成できたと思う。また自作したクリッckerが十分実用にも耐えうることがわかった。さらに効果的な授業での使用方法を模索していきたい。

5.文献

- 1) <http://hdl.handle.net/2115/38785>

4 択式テストによる定着状況の把握 (「運動量と力積」に関する3題の正答率からわかること)

北海道浜頓別高等学校 佐々木 淳

高専生の学習状況を把握するため、函館高専を含む複数の高専の協力を得て物理のCBT試験を実施した。正答率等のデータを分析し、特に「運動量と力積」の分野について、つまずきのポイント、授業づくりの課題、作間に当たっての留意点等を考察したので報告する。

キーワード CBT、はね返り係数、力積、ベクトル、運動量保存法則

1.はじめに

平成26年11月に、函館高専を含む高専7校の低学年の学生274名を対象とする物理の試験を実施した。試験は4択式とし、学生がコンピュータからオンラインで解答をサーバーに送信するCBT形式(Computer-Based Testing)とした。問題は7校共通とはせず、各校がシラバスに基づいて選んだ大問8題に解答することとした。各大問は複数の小問から構成されている。

図1は、274名の通過率(選択した全問題数に対する正解数の割合)の分布である。図2には、通過率を四分位点によって分けた4つの階層を示す。

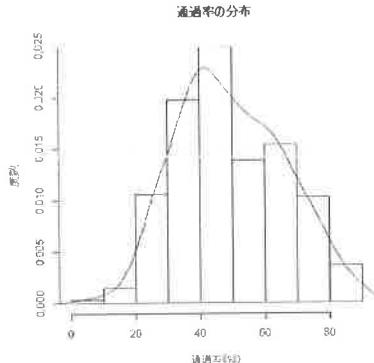


図1 通過率の分布

階層	人数	四分位点等	
		最大値	最小値
最上位	66人	88.9%	
上位	72人	61.1%	
下位	70人	50.0%	
最下位	66人	38.9%	5.6%

図2 階層の区分

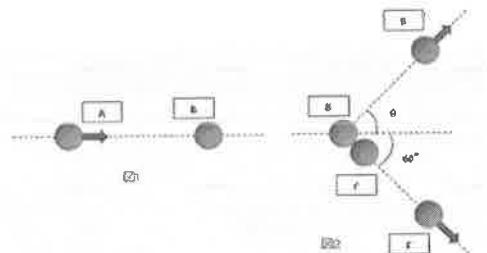
2.結果の概要

2.1 問題について

大問「運動量と力積」を構成するのは次の3問である。

問1 図1のように小球Bを水平面上に静止させ、小球Aを衝突させたところAは静止し、BはAが進んできた向きに運動した。運動量保存法則が成立するとき、小球A、B間のはね返り係数(反発係数) α として最も適当なものを、下の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 0.0
- ② 0.50
- ③ 0.80
- ④ 1.0

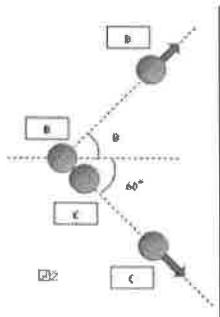


問2 小球Bは、問1の衝突をした後に、静止していた小球Cと図2のように衝突した。この衝突によりBとCはそれぞれ図2に示す向きに運動した。このとき、BがCから受けた力積の向きとして最も適当なものを、以下の選択肢①～④の中から一つ選べ。
 ① Bが進む向き ② Bの進む向きの逆向き
 ③ Cが進む向き ④ Cの進む向きの逆向き

問3 小球Cは、問2の衝突により図2のようにBが衝

突前に進んできた方向から 60° をなす向きに進んだ。図2のθの値として最も適当なものを、以下の選択肢①～④の中から一つ選べ。

- ① 30° ② 45°
③ 60° ④ 90°



2. 2 作問のねらい

作問のねらいは次のとおりである。

- 問1：2球の衝突実験の結果からはね返り係数を求めることができるか把握すること（知識）。
- 問2：運動量と力積をベクトルとして図示できるか把握すること（表現）。
- 問3：実験の諸条件から式をつくり、それを解いて結果を予想できるか把握すること（技能）。

2. 3 正答率

各小問における選択肢への反応を図3に示す。正答率は、問1 54.4%、問2 64.2%、問3 42.0%である。

選択肢	問1	問2	問3
1	67 24.5%	42 15.3%	115 42.0%
2	41 15.0%	20 7.2%	59 21.5%
3	15 5.5%	33 12.0%	91 33.2%
4	148 54.4%	176 64.2%	4 1.5%
無回答	2 0.7%	3 1.1%	51 1.8%
計	274 100.0%	274 100.0%	274 100.0%

* 太枠は正解を表している。

図3 正答率及び各選択肢への反応

3. 分析と考察

3. 1 着目点について

分析と考察では、以下の3点に着目した。1 正答率の分析～作問のねらいの達成状況確認、2 各選択肢への反応の分析（階層ごと）～答の偏りや誤答傾向の把握、3 正解数の分析～理解度の把握と事後指導の内容の検討及び作問上の留意点等の考察。

3. 2 各問題について

問1については、ほぼ半数がねらいを達成したようにみえる（図3）。ただし、データを読むにあたり、自信がある選択とそうでないものを区別する方法がないこと

に留意する必要がある。図4から、最上位以外のどの階層にも $e=0$ を選択する学生がみられ、いずれも 25%を越えていることがわかる。これは誤った知識や曖昧な記憶によるものと思われる。これらのことから、問1のねらいを達成した学生は実際は半数に満たないと思われる。

つまずきの改善策としては、事後指導の中で

- ① 「相対速度」についての再確認
② 係数＝「衝突前後の相対速度の比」の再確認を行うことなどが考えられる。

問2では、問1よりも正答率が 10%程度高いという特徴がみられた。図4からは、最上位、上位、下位の3つの階層で正答率が 60%を越えたことがわかる。また、上位層になるほど正答率が高くなる傾向もみられた。一方、下位層になるほど正解とは逆の向きを選択する割合が増えた。これらのことから力積ベクトルの理解については、ねらいを達成した学生が多かったと言える。逆向きの選択が増える傾向について、原因を下位ほど文章読み解く課題がある学生が増えるからと予想したが、詳しい分析はできなかった。

つまずきの改善策としては、事後指導の中で

- ① ICT を使った作図など、力積と運動量変化の関係を「見える化」する実習
② 力積に関する作用・反作用の法則の再確認を行うことなどが考えられる。

問3は、正答率が最も低い問題となった。計算力が求められる問題だったことが原因と思われる。計算をせずにシンメトリーから選択肢を選んだり、問題の図の角度に近いものを選択した学生もいると思われる。図4からは、最上位と上位どうし、下位と最下位どうしの解答傾向がそれ似ていたことがわかる。上位では過半数が正解し、下位では選択の結果がほぼ均等に分かれた。

問3の作問にあたっては、他の問題をミスしても解けるよう配慮した。ただし、それにはエネルギー保存則を使わなければならず、結果として難しい問題になった。

つまずきの改善策としては、事後指導の中で

- ① 運動量保存法則、はね返り係数の式、エネルギー保存法則の再確認
② 連立方程式や三角関数の取り扱いの再確認を行うことなどが考えられる。

この3問は、ビリヤードで手玉との玉が衝突したときに起こる現象を素材として作問したもので、定石とされる「衝突後に互いに直角をなす向きに進むこと」を確かめる問題である。作問にあたっては、結果の意外性をコインを使った実験やアクティブ・ラーニングで検証できるものとするなど、事後指導とのリンクに留意した。

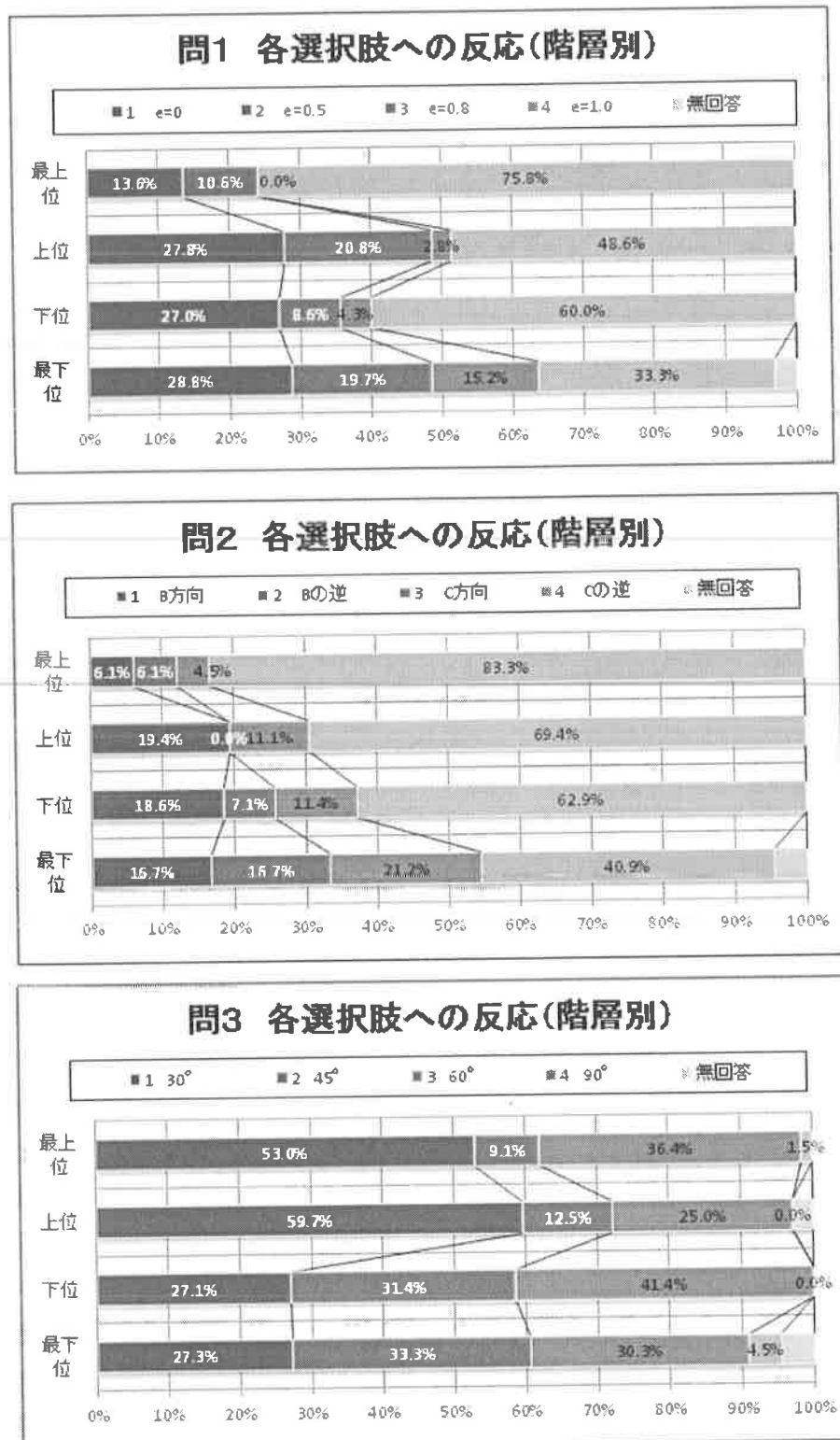


図4 各選択肢への反応（階層別）

3. 3 各選択肢への反応（階層別）

各選択肢への反応を階層ごとに分析した。これらを図4に示す。

3. 4 正答数に関する分析

正答率だけで理解の程度を把握することはできない。そこで、理解が深ければ2題、あるいは3題正解できると考え、正解数に着目した分析を行った。

正解数のタイプを全問正解から全問不正解まで8つに分類してまとめた（図5）。また、8タイプのそれぞれのグループごとに図1に示した通過率を調べ、箱ひげ図を作成した（図6）。

	1	2	3	4	5	6	7	8	
階層	全問正解	問1 問2	問2 問3	問3 問1	問1	問2	問3	全不正解	計
最上位	20	20	10	4	6	5	1	0	66
上位	20	7	10	2	6	13	11	3	72
下位	7	21	8	2	12	8	2	10	70
最下位	1	9	9	1	11	8	7	20	66
計	48	57	37	9	35	34	21	33	274
%	17.5%	20.8%	13.5%	3.3%	12.8%	12.4%	7.7%	12.0%	100%

図5 正答数のタイプ

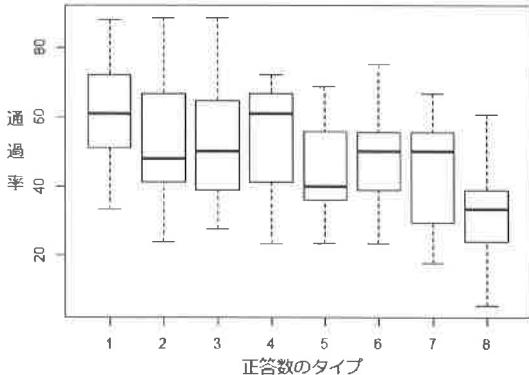


図6 箱ひげ図（太線は中央値。枠内に 25%（第1四分位点）から 75%（第3四分位点）を含む。）

図6から、中央値が最も高かったのは全問正解したタイプ1で、最も低かったのは全問不正解のタイプ8だったことがわかる。

2問正解したタイプ2、3、4では、4の中央値が他の2タイプより高い。これは4だけが件数が少ないことによるものであり、注意が必要である。

1問だけ正解したタイプ5、6、7では、タイプ5の中央値が他の2タイプより低かった。これは、問1のみ

正解した集団の特徴が、問2または問3のみ正解した集団よりむしろ全問不正解だったタイプ8に近いことを示すものと考えられる。そもそも問1は短時間で正解できることを念頭に置いて作問したものであるが、この結果は十分な理解がなくても正解できる問題になってしまったことをうかがわせる。この問題についてもこの点を踏まえ、さらに改良する必要ある。

4. まとめ

4択式テストの強みは、手軽に回答できる点にある。これは、無回答の少なさからわかる。また、データ整理や分析が短時間でできることも強みだと思う。一方で弱みもある。それは複雑な問題が作りにくいことである。そのため、解答に至る過程を把握することが難しくなるとともに根拠をもった選択とそうでないものを区別できないなど、払拭できない課題が残る。よって、これはまだ個人の成績判定・証明や学級・学校どうしの比較に使える段階ではない。改良の余地がある。

しかし、これを受験者集団の考え方の曖昧さや誤り、習熟の「大まかな傾向」を把握するツールとして活用することはできた。特に、「運動量と力積」の指導を改善するためのバックデータが得られたことは大きな成果と言える。

今後はこのような手法を生かし、さらに実践的な教材開発に取り組むとともに得られた成果や開発した手法等の情報を広く発信していきたい。

HCl・NH₃ 分子の空气中及び真空中での拡散現象の実験及びシミュレーションソフトウェアの開発

岩見沢農業高等学校

高木伸雄 五十嵐康二 渡井陽子

塩化水素とアンモニアは空气中で化合して白い煙ができる。これをパイプ内で実験し映像として記録した。更に、各分子の拡散現象を分かりやすく示すシミュレーションソフトウェアをプログラミング言語Processingで作成した。ソースコードも合わせて公開しているので改造も自由に行える。授業で活用してほしい。

キーワード 気体分子の拡散現象、シミュレーション、Processing

1. シミュレーションソフトウェア作成の動機

透明パイプの両端にある塩化水素とアンモニアがパイプ中を拡散して行き、ある位置で塩化アンモニウムの白い煙ができる実験を見せてもらつた。このとき、分子の拡散原理を説明する分かりやすいシミュレーションソフトウェアがあれば良いと思いネット上を色々探したがなかった。

ネット上に、分子が壁に当たって跳ね返ったり、分子同士の衝突による不規則な動きを表すシミュレーションソフトウェアはいくつかあったが、分子の大きさが小さかったり、2種類の気体が容器内で拡散し、それらが衝突して化合物を作るものはなかった（実はひとつあったが分子はゆっくり直進運動する表示になっていた）。これらの点を考慮して、PCの画面をアレジやプロジェクトで大きく表示して見せることのできる分かりやすいシミュレーションソフトウェアをプログラミング言語Processingで作成し、実験結果と比較した。

2. 実験動画

①パイプ内の化合実験（2分34秒）

2つのゴム栓に両面テープで脱脂綿をつけ、それぞれに 13.8mol/L 濃アンモニア水及び 12mol/L 濃塩酸をつけて、同時に透明アクリルパイプ（内径 1.8cm、長さ 36cm）の両端に入れる。このタイミングがずれると白煙（塩化アンモニウム）の位置が微妙に変わる。45 秒ほどで白煙ができていくのが分かる。時間がたてば白煙の位置が広がっていく。



写真 1 パイプ内で白い煙発生

②低圧下での化合実験（1分18秒）

透明アクリルパイプ（内径 1.8cm、長さ 100cm）の両端にゴム栓をはめ、一方には注射器及び真空ポンプと接続できるガラス管、他方には注射器と接続できるガラス管をゴム栓に穴を開けて作成する。次にパイプ内の空気を抜く。予め作っておいた塩化水素及びアンモニアを 25ml の注射器に吸い込み、パイプに接続する。同時にパイプ内に気体を入れる。およそ 7 秒前後で白煙が見えるようになる。この実験装置は簡単に作れるように工夫し、真空ポンプも 0.1 気圧まで下げられる手動のものを使った。

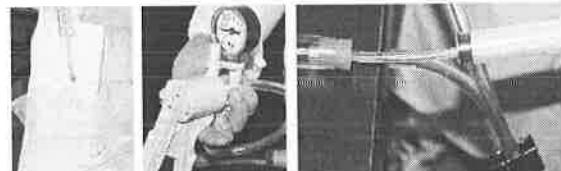


写真 2

写真 3

写真 4

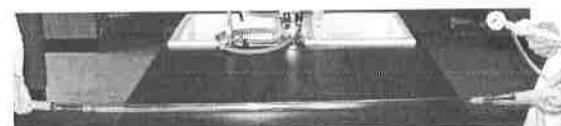


写真 5

写真 2;アンモニアの吸引 写真 3;手動真空ポンプ
写真 4;パイプとの接続 写真 5;装置全体

3. シミュレーションソフトウェアの操作等

このソフトウェアは windows 用である。以下の操作でソフトウェアを起動する。「シミュレーション」→「windows32bit 用実行ファイル」、または「windows64bit 用実行ファイル」→ diffusionI (diffusionII, diffusionIII) → diffusionI.exe (拡張子非表示の設定では diffusionI, diffusionII, diffusionIII も同じ) をダブルクリックする。

(1) diffusionI

① diffusionI はアンモニア 500 個、塩化水素 500 個で表示している。アンモニア及び塩化水素の濃度が等しい場合の反応を示す。

起動すると初期画面が表示される。左の青色の球がアンモニア分子、右側の黄色の球が塩化水素分子である。

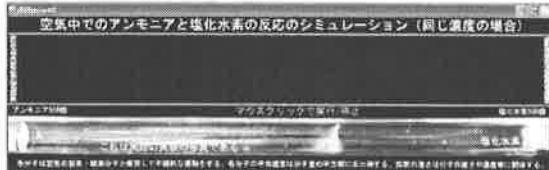


写真 6 diffusionI の初期画面

②画面をマウスでクリックするとシミュレーションが実行され、再度クリックすると停止する。何度も繰り返すことができる。



写真 7 diffusionI の途中画面

③塩化水素分子とアンモニア分子が衝突すると、その位置で塩化アンモニウム分子を表す灰白色の球になる。この球が重なると白さが増すようになっている。

④酸素分子、窒素分子等の空気中の分子は表示していない。あくまでも反応を分かりやすく表示するためのものであるから、実際の現象をそのまま再現しているわけではない。

⑤アンモニア分子や塩化水素分子は一定時間毎にランダムな速度になっている。これで回りの窒素分子等との衝突による不規則な動きを擬似的に表している。一定時間は 30 分の 1 秒（毎秒 30 回）に設定してある（この数値はソースコードの中で数値を変えると簡単に変更できる）。ランダムな速度の大きさは分子量の平方根に反比例するので、アンモニア（分子量 17）の分子の速さ対塩化水素（分子量 36.5）の分子の速さをおよそ 3 対 2 にしてある。

⑥全ての分子が化合すると自動的に PC 内での計算が停止し、合成された塩化アンモニウム分子が表示される。



写真 8 diffusionI の終了画面

⑦データの処理

diffusionI では塩化アンモニウムを表す 500 個の白い球の位置はほぼ全長の 3 対 2 の位置を中心に分布している。実際の実験の写真の位置とほぼ合う。

キーボードの S キーを押すと実行ファイルが入っているフォルダの中に data.csv ファイルが自動的に作られる。反応した塩化アンモニウムを表す灰白色の 500 個の球の左端からの位置（全長 1200 ピクセル）を数値的に扱いたい場合はこれを利用することができます。

実行ファイル内にエクセルファイル diffusion.xls が入っている。これを起動し、マクロを有効にして「表示データクリア／データ取得・集計・グラフ表示」ボタンをクリックすると自動的に data.csv からデータを取得し、グラフを作成する。

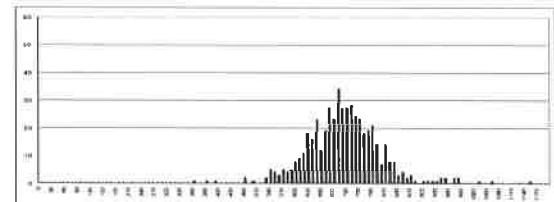


図 1 diffusionI の化合位置の分布グラフ

横軸は左端からの距離（ピクセル）、縦軸は個数（総数 500）

(2) diffusionII

diffusionII はアンモニア 500 個、塩化水素 1000 個で表示している。濃度が異なる場合の反応を示す。diffusionII では塩化水素分子が 500 個多いが、反応が終了したときに表示される画面では黄色の塩化水素分子があると見づらいので表示していない。

画面操作は上記の diffusionI と同じである。

diffusionII では塩化水素の濃度が高いので塩化水素の拡散する速さが大きくなり、化合する位置がアンモニア側にずれている。実際の実験の写真も同じような傾向を示している。



写真 9 diffusionII の終了画面

(3) diffusionIII

diffusionIII は真空中の拡散現象を示すものである。アンモニア 500 個、塩化水素 500 個で表示している。各分子が持つ初期速度はランダムな値を持ち、各分子は壁に衝突したときだけ跳ね返る。このときパイプに平行な速度成分が若干変化する。初期速度の平均値は diffusionI 同様、アンモニア分子の速さ対塩化水素分子の速さをおよそ 3 対 2 にしてある。

diffusionIII では塩化アンモニウムを表す 500 個の白い球の位置はほぼ全長の 3 対 2 の位置を中心に分布している。実際の実験の位置とほぼ合う。

画面操作は上記の diffusionI と同じである。



写真 10 diffusionIII の終了画面

4. 補足

4-1 拡散する速さ（拡散量）と分子の平均速度、平均自由行程、濃度勾配との関係

気体分子の拡散に関してフィックの法則が知られている。パイプ内のアンモニア等の拡散に当てはめると、拡散量 N （ある断面を単位時間に通過する分子数）は

$$N = -D \frac{dn}{dx} \quad D \text{ は拡散係数、 } n \text{ は単位体積中の分子数、 } x \text{ はパイプに平行な方向の位置である。}$$

$\frac{dn}{dx}$ は濃度に関係する。D は $\lambda \bar{v}$ に比例する。 λ は分子の平均自由行程、 \bar{v} は分子の平均速度。 λ は互いに衝突する分子の有効断面積と数密度の積に反比例する。アンモニアと塩化水素の分子の大きさは共に 0.4nm 程である。 \bar{v} は分子の分子量の平方根に反比例する。

以上のことより、今回の実験で塩化アンモニウムができる位置に関して次のことがいえる。拡散する速さは分子量の平方根に反比例する、濃度が大きいほど拡散する

速さが大きくなる。平均自由行程はほとんど影響しない。これらによって化合位置が決まる。

4-2 速度分布

分子の衝突による速さの分布は本来マクスウェル・ボルツマン分布に従うことになるが、このソフトウェアでは乱数を発生する関数を使っているので、一定時間（1 秒間に 30 回）毎にどの方向にもあるランダムな値を与えていている。

最近出された新しいバージョンの Processing2 から randomGaussian という関数が使えるようになった。これは正規分布 $N(0,1)$ に従う乱数を発生する関数である。空気中に放出されたアンモニアや塩化水素の分子の x 軸方向（パイプに平行な方向）、y 軸方向（パイプに垂直な方向）それぞれに randomGaussian を当てはめたのでより、実際の動きに近づけることができた。

4-3 randomGaussian 関数について

マクスウェルの速度分布では x 軸方向の分子の速度分布関数は

$$f(V_x) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}} \exp \left(\frac{-mV_x^2}{2kT} \right) \quad \text{式 (1)}$$

となる。ここで、k はボルツマン定数、T は絶対温度、m は分子の質量である。

速度は y 軸方向、z 軸方向にも等方的であるとして

$$\bar{V}^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2 \quad \text{式 (2)}$$

速度の分布関数は

$$f(V) = 4\pi V^2 \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left(\frac{-mV^2}{2kT} \right) \quad \text{式 (3)}$$

で与えられる。

この速度分布関数を使うと、平均速度は

$$\bar{V} = \int_0^\infty V f(V) dV = \left(\frac{8kTm}{\pi m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{式 (5)}$$

この式より、3 次元の運動をしている実際の分子の平均速度は分子量の平方根に反比例することが導かれる。

ところで、この実験のシミュレーションでは、x 成分（パイプに平行な成分）だけが意味を持つと考えた。y 成分（パイプに直交する成分）は分子が壁に当たって跳ね返るだけなので化合には直接関係しない。また、2 次元での扱いなので z 成分はない。

式（1）は正規分布関数になっている。

一方、randomGaussian 関数は次の式で与えられる乱数を発生する。

$$f(x) = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad \text{式 (6)}$$

すなわち、randomGaussian 関数は平均 0、標準偏差が 1 の正規分布関数である。シミュレーションのプログラムの中では実際の分子の速度にできるだけ近似するようとするためこの関数を使った。塩化水素とアンモニアの速度の x 成分（実際は y 成分にも）が、3 次元空間での分子の平均速度の比である 2 対 3 になるように、randomGaussian 関数に一定の数値をかけて表した。

5. 実験結果の考察

補足 1 より、拡散速度は空気の気圧が 10 分の 1 になれば 10 倍になる（数密度が変わる）。一方、1 気圧下で 36 cm のパイプを使った実験では白煙ができるまでに 45 秒ほどかかっている。0.1 気圧下で 100 cm のパイプを使った実験では 7 秒前後かかっている。単純計算では後半の実験を基準にして、パイプの長さが 36 cm の方は約 3 分の 1、拡散速度は約 10 倍、従って白煙ができるまでの時間が二十数秒になる。実際の実験で 45 秒ほどかかっているので、およそ合っていると見ることができる。

ソフトウェア作成に関して

① 使用言語 Processing 2.2.1

プログラミング言語である Processing はフリーソフトウェアである。誰でも自由にインターネットを使ってダウンロードできる。また、簡単に学習できる環境がある（インターネット上にテキストが沢山ある）。Windows、Mac、Linux（Ubuntu 等）どれでも動作する。

② 自由に改造可能

このソフトウェアと動画は北海道理科教育センターの「化学の部屋」に掲載していただけすることになっている。そこからダウンロードして使っていただきたい。その中にソースコードも入っている。いわゆるインストール作業がないのでレジストリーに記録されない。道立高校に配布されている PC にも入れて使うことができる。コードの中に書いてある日本語説明文が正しく表示されない場合がある。「Processing 2.X での日本語の扱い - Qiita」（<http://qiita.com/ayaniimi213/items/986c2b567e196029c4a5>）

を参考にして調整することができる。このソフトウェアを自由に改造してさらに授業効果を高めるものに作り替えてほしい。

③ 今は様々なコンピュータ言語が無料で手に入る時代になった。Processing もその中のひとつであり、少し勉強すると誰でもプログラムを作ることができる。多くの先生方が授業で様々行っている工夫のひとつとして、このようなソフトウェアを作つて、授業に生かしてほしい。

④ Processing を学習するためのウェブサイトの紹介

以下のウェブサイトは Processing の基礎を学習する上で大変参考になる。

- Processing 導入 - 教員のためのプログラミング入門
(<http://wiki.bmoon.jp/wiki.cgi?page=Processing%C6%B3%C6%FE>)
- Processing 学習ノート
(<http://www.d-improvement.jp/learning/processing/#>)
- Processing 基礎最速入門
(<http://www.catch.jp/wiki/?Processing%B4%F0%C1%C3%BA%C7%C2%AE%C6%FE%CC%E7>)
- Processing 入門講座
(<http://ap.kakoku.net/>)
- Processing によるデータ視覚化: 第 1 回 言語と環境
(<http://www.ibm.com/developerworks/jp.opensource/library/os-datavis/>)

「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、「解説十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 3m/s で鉛直下向きに投げ下ろしたところ、 2s 後に地面に達した。落下した距離を求めよ。

生徒の解答例

$$h = 3 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 9.8 \cdot 2^2 = 6 + 4.9 \cdot 4 = 6 + 19.6 = 25.6\text{m}$$

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 2kg の物体をある大きさの力 F で押したところ 3m/s^2 の加速度で加速した。 F を求めよ。

生徒の解答例

$$F = ma = 2 \cdot 3 = 6$$

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、 3m/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

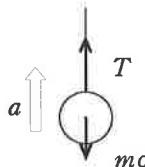
$$\begin{aligned}(1) \quad W &= 2 \cdot 9.8 = 19.6\text{N} \\ (2) \quad ma &= 2 \cdot 3 = 6\text{N} \\ T &= 19.6 + 6 = 25.6\text{N}\end{aligned}$$

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 より大きくないといけないから、 $mg+W$ 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 3m/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）

$$25.6 = 3t + \frac{1}{2} \cdot 9.8 \cdot t^2 \quad \text{より } t = 2\text{s}$$

生徒の解答例

$$t = \dots \quad (\text{できなかつた})$$

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「=」で統一するように指導しているが、市販の問題集でもよく「=」で統一し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」と指導している。つまずきの原因は、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。（※昨年度の掲載で文字化けがあつたため、再掲します）

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

(?) (1)の良い例

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

(!) ややよくない例 (イメージが分断されている)

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

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

(?) よくない例 1 (計算式と物理的な式が混亂する)

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

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

(?) 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(ア)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、(ア)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。

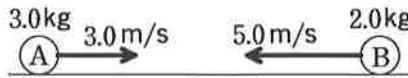
補足 1 $20 \times 6 + 8 \times 5 = 20x'$ とかいた人もいるが、 x は通常位置を表す場合が多いので、なれてくるとかえって物理的意味をとらえる邪魔になることがある。

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、 20×6 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する。

小テスト 7月18日 解説 物理が得意になる近道

[1]一直線上の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】

$$\text{使う公式の確認} \quad \text{運動量保存則 (直線上)} \quad m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

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

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

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

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

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 $e = -\frac{v'_2}{v_{21}}$

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

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

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

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

(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「=」を統けない原則に反している。さらに記述試験であれば、減点される恐れがある。

第32回物理教育研究大会参加報告

北海道教育大学 札幌校 平 久夫

日本物理教育学会北海道支部の旅費補助により、第32回物理教育研究大会に参加・発表を行ったので、参加報告を行う。研究大会は2015年8月8日（土）、8月9日（日）の2日間の日程で開催された。開催1日目の午前のセッションで、『熱力学の偏微分演算に潜む「あいまいさ」の、全微分の系統的駆使による排除』という題目で口頭発表を行った。質疑の場では、本研究の教育効果と研究の発展性に関わる質問があった。これらの質問により、本研究の位置づけが明確になったことが研究大会に参加した最大の収穫である。本稿では、簡単に筆者の発表内容と個人的に興味を持った発表を報告する。

キーワード 物理教育研究大会参加報告、熱力学

1.はじめに

本稿は、第32回物理教育研究大会の参加報告である。研究大会は2015年8月8日（土）、8月9日（日）に九州大学伊都キャンパスで開催された。北海道支部からは、顧問の伊土政幸先生、支部長の大野栄三先生、副支部長の長谷川誠先生、そして本会入会3年目となる筆者の合計4名が参加した。このうち、大野先生、長谷川先生、筆者が口頭発表を行った。大野先生のご講演題目は『Force Concept Inventory 解答過程の視線計測技術を使った分析』であった。長谷川先生は『正課外の学生プロジェクト活動による小中学校での理科実験授業の実践』という題目でご講演された。お二人の興味深い発表内容を詳しくご紹介したいところではあるが、本稿は筆者の参加報告であるため、大変恐縮ではあるが、筆者の発表内容は簡単に述べるだけにしておく。

2.発表内容

発表題目は『熱力学の偏微分演算に潜む「あいまいさ」の、全微分の系統的駆使による排除』である（筑波大・金川哲也氏との共同研究）。大学で学ぶ（平衡）熱力学は、力学や電磁気学と比べ、とつつきにくい、わかりにくい、というのが筆者の考えである。一般的で抽象的な概念が出てくるため、理解が非常に難しい。一方、用いる数学は、偏微分、全微分、積分と大学初年次程度の数学で十分であるため、電磁気学に比べると数学的困難はそれほど大きくないと考える。しかし、偏微分や全微分を学んでまもない学生は、数学でつまずくものも多い。本発表では、大学で学ぶ熱力学に関する数学的な理解の難しい点を取り上げ、その解決方法を提案した。

3. その他の講演と教員養成に思うこと

3.1 講演内容骨子

個人的な興味で恐縮ではあるが、興味ある講演があったのでそれについて報告する。第32回物理教育研究大会のテーマは、『物理教育で大学と小・中・高校教育をどうつなぐか』である。このテーマに沿ったシンポジウムが大会2日目に開催された。シンポジウム内の講演が3件行われ、そのうち筆者個人的に興味深かった講演が、東京学芸大学、川角博先生の『科学教育のできる教員養成のために』である。

本講演は、観察、実験を行い、科学的な見方や考え方を養う、という学習指導要領の目標が達成されていないのではないか、という間に始まる。つまり、物理に限って言えば、問題が与えられたときに、覚えた公式を、問題を解くために使うだけの科目であるとの認識が学生にある。これは科学的な見方や考え方を学生が身につけているのではなく、問題を解くテクニックを学んでいるのである。そしてその原因は教員養成にあるのではないか。教員養成で、観察、実験を行い科学的な見方や考え方を身につけ、科学の方法を使える生徒を育てる能力を養うための教育が実現されていないのではないか、ということが述べられた。

3.2 筆者担当授業の現状

筆者自身が教員養成系大学に所属していることもあります。この話題は非常に身近に感じられた。筆者は2015年4月から北海道教育大学札幌校で勤務している。筆者自身は、高校までの物理ではカリキュラム上、物理学とは少数の基本法則を見出し、その基本法則で複雑

で多様な自然現象を記述できる体系を構築する学問であることを、生徒に理解させることは困難であることは理解している。そこで、筆者が担当する授業では、座学であるため観察や実験はできないが、上で述べた物理学本来の面白さを実感してもらえることを最大の目的とし、また授業内で強調した。いわゆる、自然現象の本質を理解するための法則を見出すということであるが、これは学習指導要領の、科学的な見方に相当するものと筆者は理解している。

この物理学の体系を理解するためには数学を使わざるを得なかったが、授業では、扱う数学は高等学校で学ぶ程度の数学で十分であった。しかし、学生は物理で数学的な取り扱いが出てくると、まず数学そのものが理解できていないということが明らかになってきた。数式が出てくると、そこで思考停止状態に陥り数式を理解するための学習を行っていないような印象をうけた。また、物理で出てくる数式は無機質な数式ではなく、物理現象を記述するための数式であり、物理的イメージと数式との関連を理解することが重要であることも強調したが、学生はそもそも数式が理解できていないので、この点も理解してもらえなかつたように感じた。

筆者はこのような状況を深刻な事態と捉えており、科学的な見方を座学の中でどのように養ってもらえるかを模索中である。上で述べた授業展開では、物理学の体系に焦点を当て、体系の中で得られた物理法則が現実の自然現象をうまく記述できているかについては、授業時間の都合もあり時間を多くとることができなかつた。現実の問題に適用可能であることを示せば、学生は物理に興味を持つてもらえると予想する。そこで今後の授業の課題は、物理体系を構築していく中で得られる重要な物理法則を、理想的な状況ではなく、現実の問題に適用可能な具体例を見出すことである。これは、2014年発行の日本物理教育学会北海道支部会誌¹⁾に掲載された岡崎・佐々木の記事における主張と同じである。このような題材を見つけることができれば、学生が物理学に親しみを持つことが期待できる。

このように、シンポジウムの内容と筆者のおかれた状況に重なる部分があつたので紹介した。

4. おわりに

本稿では第32回物理教育研究大会の参加報告として、

簡単に筆者の発表内容を紹介した。また、本大会に参加することで、科学的な見方や考え方を身につけた教員養成が大学で行われているのか、という重要な問題を考察する機会を得ることができたことは大変意義深いことであった。

大会への参加により得られた経験を、今後の物理教育研究に生かしていきたい。

最後になりましたが、第32回物理教育研究大会への参加に対する旅費を補助いただきました、日本物理教育学会北海道支部に深謝申し上げます。

引用文献

- 1) 岡崎隆, 佐々木由樹: 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), 物理教育研究, Vol.42, pp.11~13, 2014.

平成 26 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. 42 11月発刊」

2、総会

日時：平成 26 年 6 月 21 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) 支部長挨拶
- (2) 平成 26 年度支部役員について
- (3) 平成 25 年度事業報告
- (4) 平成 25 年度会計報告
- (5) 平成 25 年度会計監査報告
- (6) 平成 26 年度事業計画
- (7) 平成 26 年度会計予算書

〈〈〈特別講演会〉〉〉 15:00～16:00

「クリッカーで学ぶ物理学」

北海道大学理学研究院 鈴木 久男 氏

〈〈〈実験デモンストレーション〉〉〉 16:00～17:00

〈〈〈懇親会〉〉〉 18:00～20:00

3、第 5 回 中学・高校・大学をつなぐ

「物理教育シンポジウム」

日時：2014 年 11 月 15 日(土) 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) 札幌市立柏中学校科学部
- (2) 札幌市立米里中学校科学部
- (3) 札幌第一高等学校理学部
- (4) 札幌日本大学高等学校科学部

○ 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：

伊藤達也（札幌市立新川西中学校）、星野孝英（札幌市立明園中学校）、高橋伸充（札幌市立平岸中学校）、佐藤革馬（枝幸高等学校）

司会：横関 直幸（札幌清田高等学校）

〈テーマ〉

- ・物理（理科）の授業や実験において、話合いや討論をどのように入れているか
- ・言語活動の充実を意識した教育現場の変化とは
- ・生徒同士が教えあう活動、アクティブラーニングなどの効果と課題
- ・すべての生徒のための「物理教育」とは、どうあるべきか

4、物理教育研究会

日時：平成 26 年 12 月 20 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

「マラヤ大学予備教育センターでの体験」

元マラヤ大学 永田 敏夫

○ 原著講演 14:10～14:50

1. 「身のまわりの事象に演繹的にアプローチする課題解決学習～乗用ホバーフラフトを導入教材とした作用・反作用の授業実践から～」

札幌市立明園中学校 星野 孝英

2. 「フィレンツエのガリレオ科学史事跡を尋ねて」

酪農学園大学教職センター 山田 大隆

○ デモ授業 15:00～15:45

「v-t グラフの指導」 札幌西高校 井原 敦博

○ 実験デモンストレーション 15:45～16:45

1. 「テーブルクロス引きとインピーダンスに関する実験」 札幌真栄高校 加藤 賢一

2. 「全国大会でのお手軽に出来る演示実験の報告」

白糠高校 田中 耕治

○ 全体討論 16:45～17:30

「みんなで授業について考えましょう！」

○ 懇親会 18:30～20:30

5、高校物理の授業に役立つ基本実験講習会

in 北海道

日時：平成 27 年 1 月 7 日(水) 12:50～17:00

場所：札幌北高等学校

（札幌市北区北 25 条西 11 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 5 テーマ全てについて実習します。

【実験テーマ】

- ①作用反作用の実験（力学台車を使った実験と偏光板を利用した実験）
- ②圧力・浮力の実験（浮沈子つくり）
- ③静電誘導の実験（はく検電器）
- ④電場の観察
- ⑤ネオン管による静電気の実験
- ⑥電波受信機コーヒーラの実験
- ⑦真空放電の実験
- ⑧ナトリウム原子の吸収スペクトルの実験

⑨圧気発火器（断熱圧縮）

⑩熱機関と熱効率

⑪v-t グラフ

⑫ハイスピードカメラを使った力学実験

//////////////////////////////

平成 27 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. 43 9月発刊（予定）

6、青少年のための科学の祭典 2014

道内各地区で開催

2、総会

平成 27 年 6 月 （予定）

7、理事会

平成 26 年 5 月 9 日（金） 18 時 30 分

平成 26 年 9 月 12 日（金） 18 時 30 分

3、中学・高校・大学をつなぐ「物理教育シンポジウム」

平成 27 年 11 月 （予定）

4、物理教育研究会

平成 27 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 28 年 1 月 （予定）

6、理事会（5 月、8 月、10 月）

事業報告

平成 26 年度一般会計収支決算書(2015. 6. 27)

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥507,190	会議費	¥4,252
本部補助金	¥150,000	通信費	¥19,814
雑収入	¥86,687	事務費	¥5,637
		予備費	¥67,119
		会誌印刷補助	¥0
		大会参加補助	¥69,800
		次年度繰越金	¥577,255
計	¥743,877	計	¥743,877

平成 26 年度特別会計収支決算書

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥86,152	会議費	¥0
支部補助金	¥0	通信費	¥10,434
会員負担金	¥65,790	事務費	¥2,944
会誌販売	¥0	会誌印刷費	¥97,200
		次年度繰越金	¥41,364
計	¥151,942	計	¥151,942

平成 27 年度一般会計予算

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥577,255	会議費	¥20,000
本部補助金	¥150,000	通信費	¥25,000
雑収入	¥745	事務費	¥25,000
		会誌印刷補助	¥43,636
		大会参加補助	¥100,000
		予備費	¥514,364
計	¥728,000	計	¥728,000

平成 27 年度特別会計予算

収入	金額(円)	支出	金額(円)
繰越金	¥41,364	会議費	¥10,000
支部補助金	¥43,636	通信費	¥20,000
会員負担金	¥65,000	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 (2015 年度)

顧問	中島 春雄 吉田 静男 小野寺 彰 中野 善明 伊士 政幸
評議員	伊藤 四郎 榎棒 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) 本部理事
副支部長	長谷川 誠 (千歳科学技術大学) 本部評議員 (2015-16)
監事	佐々木 淳 (浜頓別高校) 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 (2015-16) 井原 教博 (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) 道支部 HP 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 (元小樽工業高校) 堀 輝一郎 (札幌開成高校) 小野 忍 (札幌清田高校) 保格 秀規 (幌加内高校)
事業 (委員長)	大坂 厚志 (長沼高校) 本部評議員 (2015-16) 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) 稻子 寛信 (札幌南高校) 大久保政俊 (札幌日大高校) 大屋 泰宏 (岩見沢絆陵高校) 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 (市立函館高校) 平 久夫 (北海道教育大学札幌校) 高橋 尚紀 (別海高校) 永田 敏夫 (元マラヤ大学) 原田 雅之 (元札幌西高校) 福田 敦 (空知教育局) 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) 溝上 忠彦 (北海道立教育研究所附属理科教育センター) 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) 柚木 朋也 (北海道教育大学札幌校) 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) 事集計画及び収支予算
- (2) 事業報告及び収支決算
- (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:12pcTimes (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:12pcTimes)

所属は 9 pt 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 Itirou

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 9 pt 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。

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

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. 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_I $P^A_{i j k}$

式を記入する場合は、式の上下に空白を設け、右端に式番号を記入する。例えば、

2. 4 図・表・写真およびその説明

図・表・写真是、1 段幅、あるいは 2 段幅に収まるようになしに作成し、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・写真的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, Table 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¹⁾ ²⁾ 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44号」の原稿を募集いたします。

(1) 締 切 2016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2016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

今年度も、ノーベル物理学賞の受賞者に日本人の研究者が選ばれました。他の分野と合わせて、ここ数年間は毎年のように日本からの受賞者が出ていることは、大変すばらしいことだと思います。その物理学賞の受賞決定後のインタビューなどで、「直ちに実用化には結びつかない研究成果」が選ばれたことの価値が、強調されていたように思います。基礎的な事柄を確実に覚めることの大切さを、日々の講義などを通じて学生・生徒に今後も伝え続けていきたいと思います。（H）

2015年11月1日発行

日本物理教育学会北海道支部

第43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

大野栄三氣付

日本物理教育学会北海道支部

目

次

巻頭言

研究成果の活用と国際化

北海道大学大学院教育学研究院 大野 栄三

1

第5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

MHヒートポンプの基礎実験

エコエネ工房 石毛隆, 北海道教育大学大学院札幌校 八代 裕平

北海道教育大学札幌校 芦田 創平, 開地 多朗, 山崎 瞭

16

中高の教科書における力のつり合いの定義及び同実験の教育的意義について

北海道長沼高等学校 石川 昌司

20

仮説実験授業「力と運動」の実践報告及び誤概念に関する考察

北海道岩見沢緑陵高等学校 大屋 泰宏

26

遠隔授業システムによる物理の授業展開

北海道俱知安高等学校 田端 修

30

反転授業で行う「物理基礎」

北海道尚志学園高等学校 中谷 圭佑

34

新課程物理授業の評価と定着度アンケートについて

北海道札幌手稲高等学校 近藤 敏樹

38

工業科「課題研究」の授業で行った理科実験器具の製作

北海道釧路工業高等学校 小久保 廉一

42

新課程物理の倒れない条件

北海道根室高等学校 佐々木 徹

46

クリッカーの製作と授業への実践

北海道旭川東高等学校 佐々木 恵二

49

4択式テストによる定着状況の把握

北海道浜頓別高等学校 佐々木 淳

52

HCl・NH₃分子の空气中及び真空中での拡散現象の実験及びシミュレーション

ソフトウェアの開発

北海道岩見沢農業高等学校 高木 伸雄, 五十嵐 康二, 渡井 陽子

56

「生徒のつまずき」についての一考察

北海道札幌北高等学校 中道 洋友

60

第32回物理教育研究大会参加報告

北海道教育大学札幌校 平 久夫

64

事業報告

66

日本物理教育学会北海道支部規約

70

原稿執筆要項、編集後記

71