

# 言語活動を通して理解の深化を図る物理授業

M14Ep014

八巻森平

## 1.研究の目的

2006年のPISA調査では、対話を重視した理科授業を受けているか、高校1年生を対象にした質問がなされている。表1は、その結果の一部である。

表1 2006年PISA調査

問30 対話を重視した理科授業を受けているか	OECD平均	PISA結果 高1生
生徒には自分の考えを発表する機会が与えられている	61%	34%
授業は、課題に対する生徒の意見を取り入れて行われている	49%	17%
授業はクラス全体でディベートしたり討論したりする	36%	4%
生徒は課題についての話し合いをする	42%	9%

「生徒は課題についての話し合いをする」と答えた日本の生徒はわずか9%しかいなかった。また、「授業は、課題に対する生徒の意見を取り入れて行われている」の項目は17%であった。このような状況の中で、現行の学習指導要領においては、科学的な思考力、表現力の育成を図る観点から、言語活動の充実が重要事項の第1として挙げられている。もちろん、高等学校の物理授業においても言語活動の充実を図らなければならない。本稿では、物理授業における言語活動とは何かを規定し、言語活動の充実を図った物理授業のあり方を提言する。とりわけ、高等学校物理の授業では、日常的にマインズオンの実験（後述）が行われている。そのため、マインズオンの実験を用いた授業を計画、実施し、生徒の変容を分析しながら、授業を評価していく。

## 2.研究の方法

〈実習校と授業実践〉

実習校：山梨県立B高等学校

実習期間：平成27年6月～12月(週1～3回)

対象：第2学年39名

実践時期：10月上旬～12月下旬

単元：「運動とエネルギー」

○先行研究を精査する。

物理と言語活動との関連がある先行研究を概観し、授業実践の際に役立てる。

○授業作成

参与観察実習や先行研究から得た知見を基にした授業レイアウトや評価規準を作成する。また、教材研究としてワークシート等の作成も行う。

○授業実践

授業レイアウトを基にした授業実践を行う。

○効果の検証

生徒の授業感想をもとにしながら、授業実践から明らかになったことを省察する。

## 3.言語活動と物理授業

本研究の中で先行研究を精査したものの、物理と言語活動に関係する先行研究の多くは、物理授業における言語活動の取り組み例となっている。そのため、言語活動とは何かを具体的に規定しているものは少ない。その中で、文部科学省「言語活動の充実に関する指導事例集～思考力、判断力、表現力等の育成に向けて～」では、高等学校理科における言語活動の充実について次のように記述している。

「理科においては、科学的な思考力や判断力、表現力を育成する観点から、観察、実験などの結果を分析し解釈して自らの考えを導き出す学習活動及びそれらを表現する学習活動を充実する。」(文部科学省(2012)) この記述を言い換えるならば、「実験・観察といった活動を通すことによって、分析や解釈が必要な問題解決場面が設定され、生徒個人の知的葛藤や生徒同士の相互作用の中で、言語活動がありながらも、生徒の思考力・判断力・表現力がつく。」ということである。また、指導事例の学習活動(表 2)にもあるような、「物理量」や「測定誤差」などの物理的な言葉を生徒が用いることや、「データをグラフに整理すること」などは物理的な言語活動の例として挙げている。

表 2 指導事例の学習活動

	学習活動	言語活動に関する指導上の留意点
第 1 時	○人の歩行運動について、測定すべき物理量について考え、実験の計画を立てる。	・中学校の学習を想起させる。 ・測定する物理量や関係性に着目させる。 ・それぞれの考えが出てきたところで、グループで話し合う場面を設定する。
第 2 時	○計画に基づき、測定を行う。 ○データを整理し、グラフにまとめる。 ○測定データやグラフを基に、歩行運動の特徴を見いだすとともに、測定誤差や実験の制度について考察する。	・グラフの縦軸・横軸の取り方など、グラフ作成の留意点を意識させる。 ・他の測定方法で得た結果を提示し、測定誤差や実験の精度について、気付いたことなどをまとめさせる。 ・考えがある程度まとまってきたところで、話し合いや発表の場を設ける。

また、もう一例、豊田光乃、森本信也(2009)「高校物理における思考力・判断力・表現力の育成を志向した理科授業とその評価基準の作成」では、思考力・判断力・表現力を具体的に示しながら、物理授業における言語活動

とは何かを示唆している。表○は豊田光乃らによる高校物理(物体の運動とエネルギー)における評価の観点である。

表 3 豊田光乃らによる評価の観点

評価の観点	内容
思考力	科学概念を構成する過程を <u>分析的に思考し</u> 、言葉にすることができる。
判断力	授業や本、観察・実験で得た <u>情報を適切に判断・受容し</u> 、適用することができる
表現力	思考したことや選択した情報を整理し、 <u>図や記述を用いて他者に分かりやすいように論理的に表現</u> することができる

表 3 のような「分析的に思考し、言葉にすること」や、「情報を適切に判断・受容し、適用すること」や「図や記述を用いて他者に分かりやすいように論理的に表現」することを言語活動として捉えている。豊田光乃らの研究においても、観察・実験を通じた授業が展開されており、言語活動の充実と観察・実験の結びつきが見られた。

本研究では、物理授業における言語活動とは「観察、実験などの結果を分析し解釈して自らの考えを導き出す学習活動及びそれらを表現する学習活動」のことでありと規定する。

#### 4. ハンズオンの実験・マインズオンの実験

高等学校理科においては、実験・観察が大切であるということは言うまでも無い。言語活動の充実を図ったり、実感を伴った理解を促したりするためには体験的な実験は重要なことである。しかしながら、すべての授業で体験的な学習(ハンズオンの実験)を取り入れることは難しい。国立教育政策研究所教育課程研究センター平成 20 年度高等学校理科教員実態調査によると、「観察実験を行うにあ

たって障害になること」として授業時間の不足、大学入試への対応による時間不足、設備品の不足、準備片付けの時間不足など教師の多忙や実験設備の不足は実験・観察活動の妨げになっている。こういった状況の中で、高等学校物理で行われているのは思考実験（マイズオンの実験）である。

例えば、物理では次のような問いがなされている。

質量  $m[\text{kg}]$  のおもりを付けた長さ  $L[\text{m}]$  の振り子がある。振り子を鉛直方向から  $60^\circ$  傾けた位置から、振り子の運動方向に初速  $v_0[\text{m/s}]$  を与えた。振り子の最下点での速さはいくらか。重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とする。

この問いは、実際の振り子を思い浮かべ、最下点での速さを求めるための見通しを立てなければ解けない。本稿では、思考実験的な問いを、「場面を想起し、見通しを立てなければ解けない問い」と規定する。なお、本稿では、体験的な実験と思考実験のそれぞれをハンズオンの実験とマイズオンの実験と呼称するが、これは、全米科学教育スタンダード(1996)の「ハンズ・オンの活動やマイズ・オンの活動」という言葉になぞらえたものである。

## 5. 言語活動が充実している物理授業

### ーハンズオンとマイズオンの問題解決ー

ハンズオンの実験を用いた授業では次のような8つの問題解決の過程が一般的に行われる。①自然現象への働きかけ(関心や意欲をもって対象とかかわることによる問題発見とそれ以降の学習活動の基盤を構築する)⇒②問題の把握・設定(対象となる自然の事物・現象から問題意識を醸成するように、意図的な

活動を工夫する。)⇒③予想・仮説の設定(問題に対する児童の考えを顕在化する)⇒④検証計画の立案(予想や仮説を自然の事物・現象で検討するための手続き・手段となる。)⇒⑤観察・実験(問題解決の中核である。児童による意図的・目的的な活動である。)⇒⑥結果の整理(実験の装置や状況に依存しない妥当な実験結果を出す。一定の視点を基にした観察結果を出す。)⇒⑦考察(観察、実験の結果を吟味する。予想や仮説の妥当性を検討する。)⇒⑧結論の導出(児童による問題解決を通じた科学的な見方や考え方を養う。)ハンズオンの実験を用いた授業では、分析や解釈といった問題解決を行うことができ、物理的な言語活動を充実させ、生徒の思考力・判断力・表現力を育成させることができる。

他方、マイズオンの実験の場合は、実験・観察の結果を収集することはないため上記の問題解決と同様の問題解決の過程をとることはできない。そこで、マイズオンの実験の場合(特に高等学校物理)における、問題解決の過程を本研究では表4のように仮定した。

表4 マイズオンの問題解決の過程

①知識の受容	問題の解決に必要な知識を伝達される。
②問題把握	問題を提示される。
③予想・仮説の設定	問題の解決のための見通しを立てる。
④考察	予想や仮説の妥当性を検討する。
⑤振り返り	問題の解決を振り返る。

#### ①知識の受容

知識の受容の段階では、生徒たちは知識を教えられることになる。知識を教師の解説や教科書から伝達され、ノート等にまとめる。

#### ②問題把握

マイズオンの実験の場合、生徒自らが問題発見することはできないため、教師から問題を提示されることとなる。その際、中谷素之(2007)の「興味深い課題を示され、内発的な動機づけが高まり、学習者が既習知識を活性化させ、問題解決に熱心に取り組む」ような「思考の参加」を生徒にさせる問いが必要になる。

### ③予想・仮説の設定

伝達された知識を基にしながら、生徒自らが問題解決のための見通しを立てる。その際、生徒個人での思考の時間を先行させ、集団での話し合いは後に行う。

### ④考察

生徒が立てた予想や仮説を、問題に適用できるかどうかを検討する。スモールグループを使いながら、生徒同士で問題の解決にあたらせる。

### ⑤振り返り

どの予想や仮説が矛盾無く説明できていたのかなどを、検討する。学習の過程を振り返り、生徒自らが成長を自覚する。

仮説的に作成したマイズオンの実験における問題解決の場面では、予想や仮説を問題に適用できるかどうか分析や解釈する活動を取り入れた。そのことによって、物理的な言語活動を生徒が行うことができるはずであると考えた。

単元計画の際には、ハンズオンの実験とマイズオンの実験の2つの問題解決の過程のどちらが有効かを学習内容と照らし合わせ判断し、本研究では授業実践を行った。

## 6.単元「運動とエネルギー」の指導にあたって 単元について

### (1)単元名「運動とエネルギー」

#### (2)単元の指導計画

次	時間	主な学習活動
1	1~2	エネルギーを測るものさしとしての仕事の定義、及び仕事の原理と仕事率について理解する。
2	3~6	仕事をする能力としての位置エネルギーと運動エネルギーのあらわし方について理解する。
3	7~9	力学的エネルギー保存の法則とその適用条件について、仕事と関連つけて理解を深め、この法則を用いているいろいろな運動を分析することができるようになる。

#### (3)学習内容の概説

「運動とエネルギー」では大きく分けて2つを学ぶ。

①位置エネルギーと運動エネルギーの公式を理解すること。

中学校までは「物体の位置が高いほど、また、その物体の質量が大きいほど、その物体のもつ位置エネルギーは大きい。」や「物体の速さが速いほど、また、質量が大きいほど、その物体のもつ運動エネルギーは大きい。」といった概念的な理解をしていたが、高等学校では「位置エネルギーは次のようにあらわされる。 $E_p=mgh$ 」や「物体の速さが速いほど、また、質量が大きいほど、その物体のもつ運動エネルギーは質量と速さに関係している。 $E_k=1/2mv^2$ 」などのように記号的に理解することが必要になっている。

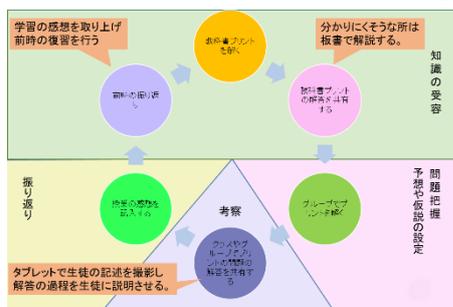
②力学的エネルギー保存の法則に関係する事象を位置エネルギーと運動エネルギーの公式を用いて説明できるようになること。

中学校までは、「位置エネルギーと力学的エネルギーは常に一定に保たれている。このように、ある物体のもつ力学的エネルギーが一定に保たれることを、力学的エネルギーの保存という。」というような概念的なものを、高等学校では「位置エネルギーと運動エネルギーの和は常に一定となる」のような記号的な理

解が求められている。

#### (4)授業の工夫

単元「運動とエネルギー」で学ぶ概念は実験から見出しにくいと考えられる。エネルギー概念野の初歩である  $W=FX$  という仕事の公式は中学校・高校ともに問題解決的な実験を用いずに学習させている。運動とエネルギーの概念は、理論と実験を繰り返した非常に複雑な問題解決の過程から生まれている。そのため、生徒に運動とエネルギーの概念を、理科史を模したようなハンズオンの実験をさせながら、問題解決的に学習させることは非常に難しい。そのため、本研究では運動とエネルギーはマインズオンの実験による問題解決の過程を通して学ばせることがふさわしいと考えた。また、単元「運動とエネルギー」のための授業レイアウトを作成した。



#### ①前時の振り返り

前時の振り返りの際は、生徒の学習感想を取り上げる。学習内容が上手くまとめているものや、問題解決のためのコツがあるものを紹介する。

#### ②教科書プリントを解く

教科書を読ませ、ワークシートにまとめさせる活動を通して知識を伝達する。

#### ③教科書プリントの解答を共有する

ワークシートにまとめた内容をクラスで共有する。分かりにくいそうなところは板書やビデオで解説を行う。

#### ④問題を解く

伝達された知識をもとに予想や仮説を立てる。個人からスモールグループ、スモールグループからクラスへと予想や仮説を共有させ、その後、個人で問題の解決に向かわせる。

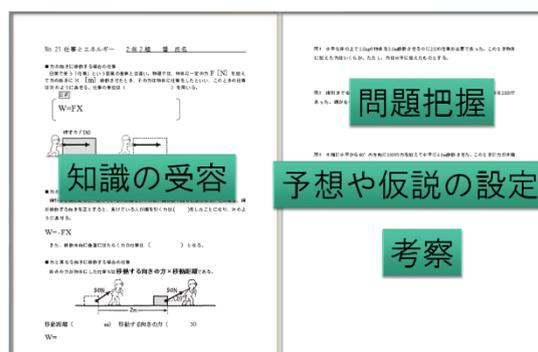
#### ⑤問題の解答を共有する

個人で行った問題解決の過程をスモールグループで共有させ、その後クラス全体に解答を発表させる。

#### ⑥授業感想

本時で分かったことや大切だと思ったこと、感想などをまとめさせる。

本研究授業で用いたワークシート及び授業感想用紙は次のようなものである。



教科書を見ながら問いを解いていくワークシートを作成した。分かりにくいような部分は図での解説も交えている。

ワークシートの右側ページは伝達された知識をもとに解く事ができるようになっている。



学習の感想用紙は学習前と学習後を比較できるようにになっている。また、1時間ごとに分かったことや質問・感想を書くスペースを設けた。

### (5)授業一例

本単元の指導では、マインズオンの実験が中心でありながらも、実物の実験を見せることを行っている。第8時(研究授業)の授業展開は下表のとおりである。

過程	主な学習活動
導入	前時の振り返り 振り子の演示実験 問「振り子で一番下になった時の速さを知ろう。」
展開	問題の解決に当たって、意見交換をし、見通しを持つ。 実験を使って速さを測定する。
まと	○学習振り返りシートに今日の授業で一番大切だと思ったことを記入させる。

この授業では、問いはマインズオンのものであるものの、振り子に親しみの無い生徒にとって、振り子の運動を想起することは難しいと考えた。そのため、振り子の実験を実際に行っている。また、「どんな式を使えばよいのか」生徒が考えることは、仮説や予想を立てる段階であり、物理的な言語活動の充実を図ったものである。

### (6)評価方法

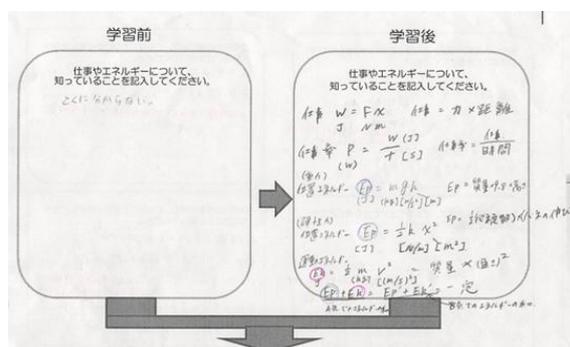
本研究の評価方法としては、主に生徒の授業感想における記述を用いる。その際、生徒の理解が深まっているかどうかを判断する規準として次のようなものを作成した。

評価規準
(1)学習に肯定的感情を示す内容を記述している。
(2)問いに対する物理概念の適用条件について記述している。

(3)学習の過程を振り返る記述をしている。

## 7.評価の結果

### ①個別事例



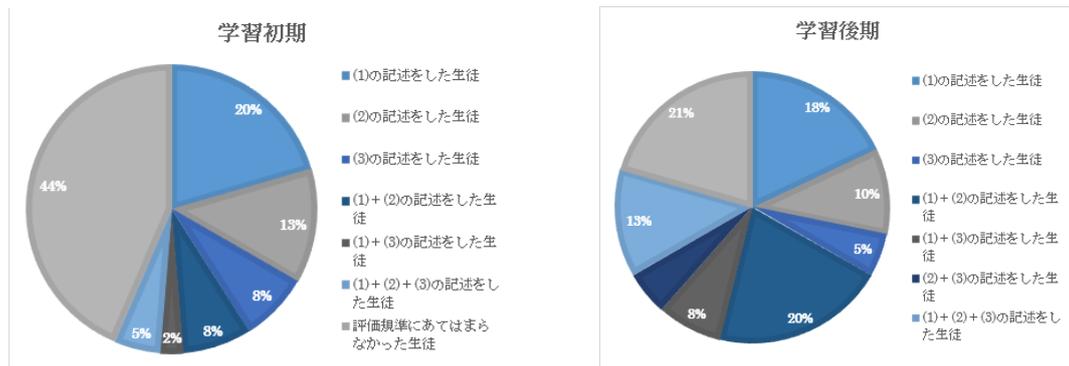
学習前にはとくに分からないと記述していた生徒の感想用紙である。学習後では、物理の公式をすべて網羅し、さらに単位まで付随して書くことができています。また、 $W=Fx$  仕事=力×距離のように、式を記号だけではなく、分かりやすいように違う文字に置き換えて表現もしている。「中学校で習ったとしてもわすれていたから、同じようなことを学べてよかった。学習前にはかけなかったけど、公式だけでもかけてよかった。」と学習の理解が深まったことにより、学習に対する肯定的感情を示す内容を記述している。また、「身近な仕事を習った公式などで求めることができると思うと、世の中の仕事は全部求めることができるのだと思う。」のように身近な現象のことを想起できるまでの理解に至った生徒も存在した。

### ②クラス全体における評価の結果

本研究が作成した評価規準にのっとり、学習初期(1~4時間目)と学習後期(5~8時間目)の生徒たちの記述の変容を検討した。

なお、表☆の内容の欄は生徒の記述のうち、第1時と研究授業当日の第7時のものから抜粋した。

表 5 学習初期と学習後期の生徒の記述



評価規準	内容	評価規準	内容
(1)学習に関する肯定的感情を示す内容を記述している。 (1人/39人)	「理解のできる場所が多かった。分からないことがないようにしたい。」	(1)学習に関する肯定的感情を示す内容を記述している。 (18人/39人)	次回はジェットコースターで同じことをするので今回の反省をいかす。他の問題にも取り組んで、もっと理解できるようにしたい。みんなで一つのことを考えるのは楽しいと思った。
(2)問いに対する物理概念の適用条件について記述している。 (7人/39人)	「力の向きと逆に移動する場合の仕事の式と解き方が分かった。」 「斜めの力だった場合 W は移動する向きの力 × 移動距離」	(2)問いに対する物理概念の適用条件について記述している。 (14人/39人)	「 $E_p + E_k = E_p' + E_k' = \text{一定}$ というのを使い。問 10 を解いたときに速さがなければ $E_k = 0$ 高さがなければ $E_p = 0$ が大切」 「 $E_p + E_k = E_p' + E_k' = \text{一定}$ を使って問題が解けた。理解して解くことができたので良かった。」
(3)学習の過程を振り返る記述をしている。 (1人/39人)	「下の計算のところで $25\sqrt{3}$ じゃなくて $25 \times 30^\circ$ と書いていて表のやつにするとわかり、とけてよかった。」	(3)学習の過程を振り返る記述をしている。 (12人/39人)	「 $E_p + E_k = mgh + 1/2mv^2$ $E_p = mgh$ $E_k = 1/2mv^2$ これをくみあわせるのがたいへんだった。」 「実験をする前に自分たちで式や答えを用いて答えの値を導き出した。 $E_p + E_k = E_p' + E_k' = \text{一定}$ から発展させていったが式の組み立てが難しかった。 値と結果が大体同じの値になったのでよかった。」

A. 学習初期

表 5 に示すように、(1)の学習に関する肯定的感情を示す記述をしている生徒は 15 人だった。また、(1)に該当する感想も「公式を忘れないようにくり返しやりたい」のように、漠然とした感想が多かった。まだ、学習内容が未習熟であり、どのような学習になるか良く分かっていなかったためであると考えられる。(2)に該当する生徒たちの

記述を見ると、「斜めの力だった場合 W は移動する向きの力 × 移動距離」のような、適用条件をまとめられるものがあった。しかし、ワークシートを見ると、大半の生徒が物理概念の知識を適用できていなかった。物理の法則の適用の仕方が分からず、(2)に該当する記述ができないが多かったものと思う。また、(3)の学習を振り返ることができた生徒もいるが、物理的な考えではなく

単なる計算の間違いを記述するのみとなった生徒もいる。

## B 学習後期

表 5 に示すように、物理概念の適用状況について記述できるようになった生徒は 17 人に増加した。「 $E_p + E_k = E_p' + E_k'$  =一定」というのを使い。問 10 を解いたときに速さがなければ  $E_k = 0$  高さがなければ  $E_p = 0$  が大切」のように、どの問いで、どのような適用条件が扱えるのか、記述できるようになった生徒もいた。また、適用条件について記述できなかった生徒も、例えば「重力加速度の大きさをもとめるのに苦戦したけどできた。 $E_p + E_k \sim E_p' + E_k'$ は大切」のように学習内容を少なからず記述できる生徒の存在は多かった。(1)に該当する記述では、「今回はジェットコースターで同じことをするので今回の反省をいかす。」のように今回の授業のことを想起した記述も見られた。さらに、「みんなで一つのことを考えるのは楽しいと思った。」のように、仲間とともに考える楽しさを感じる生徒も見られた。これは、グループやクラス全体で言語活動を行った成果である。さらに、(3)に該当する記述として「実験をする前に自分たちで式や答えを用いて答えの値を導き出した。 $E_p + E_k = E_p' + E_k'$  =一定から発展させていったが式の組み立てが難しかった。値と結果が大体同じの値になったのでよかった。」がある。これは、生徒たちが自分たちの力で答えを導きだしたことを実感し、理解を深めている様子を表現しているものである。総じて、学習初期に比べて、学習後期のほうが理解の深化が図られている。

## 8. 考察

言語活動の充実には、実験は大切である。物理教育ではとくに、言語活動と観察・実験（ハンズオンの実験）の研究は多くなされる。しかし、実際の物理授業では思考実験（マインズオンの実験）が日常的になされているものの、マインズオンの実験に対する研究はほぼ皆無である。本研究では、言語活動を含むマインズオンの実験を行った際の生徒の記述の変容から、学習初期より学習後期の記述のほうが理解は深化したことを示唆した。しかしながら、生徒の記述から学習形態として完全ではないことも同時に判明している。これらの点については、今後の研究課題としたい。

## 9. 引用・参考文献

- ・全米研究協議会(2006)全米科学教育スタンダード
- ・豊田光乃、森本信也(2009) 高校物理における思考力・判断力・表現力の育成を志向した理科授業とその評価規準の作成 vol.24 no.3 日本科学教育学会
- ・文部科学省(2012) 言語活動の充実に関する指導事例集～思考力、判断力、表現力等の育成に向けて～【高等学校版】
- ・森田和良(2008) 活用力を育てる授業知識・技能の活用と習得を促す教材のアイデア
- ・中谷素之(2007)学ぶ意欲を育てる人間関係づくり pp118 金子書房
- ・堀哲夫(2012)今こそ理科の学力を問う 日本理科教育学会