

物理の定性的な実験を取り入れたアクティブラーニング型授業と力学概念調査

福井県立若狭高等学校 教諭 野坂 卓史

1. はじめに

平成 19 年の学校教育法改正において、「基礎的な知識及び技能」「これらを活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等の能力」「主体的に学習に取り組む態度」の三つの重要な要素（「学力の三要素」）で構成される「確かな学力」について、育むことが重要であると明確に示された。新学習指導要領においてもこの「学力の三要素」が強調されている。「物理」の授業において、学習者に対して教師が一方的な説明を行い、理想的な物理現象について、数学的法則に従うことを前提に授業が進められ、あたりまえのように物理現象を数式で表してきた。現在、知識及び技能・能力・態度を育むために、これまでの学習者に対して教師が一方的な説明を行う授業とは異なり、生徒による議論や教え合い、発表などを織り込んだ、アクティブラーニング型の授業が注目されている。今回、物理の授業に定性的な実験を積極的に取り入れた。本稿では、学習者が能動的に活動できるアクティブラーニング型授業の実施とその取り組みについて報告する。この取り組みについては昨年度からの継続研究となっている。また、今年度、昨年度の物理履修者に対しての力学概念調査の結果を報告する。

2. アクティブラーニングの定義

アクティブラーニングは、元々は大学の授業で使われる用語である。平成 24 年 8 月 28 日の中央教育審議会第 82 回総会における、「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～（答申）」の用語集でアクティブラーニングは次のように述べられている。

「教員による一方向的な講義形式の教育とは異なり、学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法の総称。学修者が能動的に学修することによって、認知的、倫理的、社会的能力、教養、知識、経験を含めた汎用的能力の育成を図る。発見学習、問題解決学習、体験学習、調査学習等が含まれるが、教室内でのグループ・ディスカッション、ディベート、グループ・ワーク等も有効なアクティブラーニングの方法である。」

一方で、小・中・高等学校におけるアクティブラーニングのあり方については、平成 26 年 11 月 20 日に文部科学省から出された『初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について（諮問）』では、以下のように述べられている。

「ある事柄に関する知識の伝達だけに偏らず、学ぶことと社会とのつながりをより意識した教育を行い、子供たちがそうした教育のプロセスを通じて、基礎的な知識・技能を習得するとともに、実社会や実生活の中でそれらを活用しながら、自ら課題を発見し、その解決に向けて主体的・協働的に探究し、学びの成果等を表現し、更に実践に生かしていけるようにすることが重要であるという視点です。」

そのために必要な力を子供たちに育むためには、「何を教えるか」という知識の質や量の改善はもちろんのこと、「どのように学ぶか」という、学びの質や深まりを重視することが必要であり、

課題の発見と解決に向けて主体的・協働的に学ぶ学習（いわゆる「アクティブ・ラーニング」）や、そのための指導の方法等を充実させていく必要があります。こうした学習・指導方法は、知識・技能を定着させる上でも、また、子供たちの学習意欲を高める上でも効果的であることが、これまでの実践の成果から指摘されています。」

アクティブラーニングの実施によって、学校教育法で示される「学力の三要素」を十分満たすと考えられる。

3. 既存の物理におけるアクティブラーニング

アメリカにおける新しい物理教育の実践において、エドワード・F・レディッシュ「科学をどう教えるか」において「講義を基本とする方法」としてアクティブラーニング型授業が紹介されている。

○ 講義を基本とする方法

- ・ピア・インストラクションとコンセプトテスト
- ・相互作用型演示実験講義(ILD)
- ・ジャスト・イン・タイム教授法

これらは講義スタイルで進められる。これらに共通して言えることは、ある物理問題について、学習者同士のグループあるいは、学習者全体で討論や活動が盛り込まれている。ILDについては演示実験も盛り込まれている。

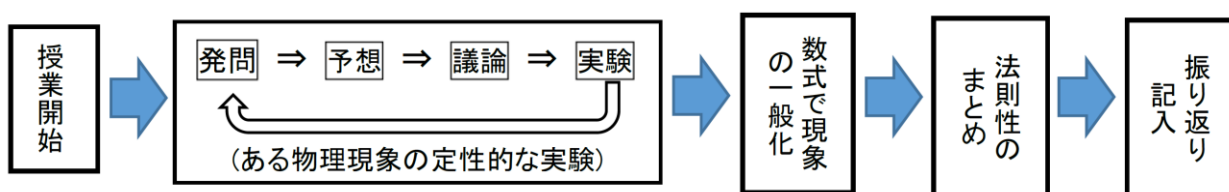
また、日本において、物理という教科に限ったことではないが、科学の最も基本的な法則を学ぶ“仮説実験授業”が古くから存在する。この”仮説実験授業”は1963年に板倉聖宣氏によって提唱され、主に授業書というプリントを使用し、授業が進められる。授業書は教科書、指導案、ノート、読み物としての性質を備えており、先に挙げたアメリカの物理教育同様、学習者全体で討論活動も行われ、演示実験も取り入れている。

4. アクティブラーニング型授業の設計

4.1 定性的な実験を含めた授業の概要

授業スタイルとして、前章で紹介したピア・インストラクション、ILDや板倉聖宣氏が提唱する仮説実験授業の運営方法を参考にした。仮説実験授業については、板倉聖宣『科学と仮説』（季節社）には次のように書かれている。「科学上のもっとも基礎的一般的な概念・法則を教えて、科学とはどのようなものかということを経験させることを目的とした授業理論である。」この授業は、前章で紹介したような日本において行われてきた理科のアクティブラーニング型学習形態であり、問題・予想・議論・実験が盛り込まれている。

今回は、これらのアクティブラーニングを参考に、学習者にある物理現象の結果を予想させ、学習者同士で議論の後、実験を見せる。学習者に物理現象について深く考えさせる効果が期待でき、学習者に科学の体験をさせ、主体的な学びへとつなげることができると考えた。具体的な授業の流れとしては下の図1に示すとおりである。



(図1)

このスタイルは、講義形式ではあるが、これまでの一方的な受動的授業とは異なり、定性的な実験を行うことで学習者も能動的に学ぶことができる。

定性的な物理現象について学習者全員が考え、自らの考えを他の学習者に伝え、議論を行う。その後、実験を行い結果観察することで科学的な見方や考え方が身に付き、正しい概念や法則性を学習者間で見つけることができる。また、定性的な実験後に数式を用いて現象を一般化したとき、その科学の法則性を数式内に見つけることができ、自然科学が数学的法則に従う喜びを味わうことができると考えられる。

定性的な実験は法則性が確認できるまで発問を繰り返し、ある程度、法則性に気付いた後に数式での説明に入る。振り返りシートには、その授業で学習者の理解度の自己評価や法則性について感じた素直な感想や現象に対する疑問点などを記入してもらっている。

4.2 定性的な実験を含めた授業

物理の「力学」分野の1つの単元と「波動」分野の1つの単元において授業を設計し、それぞれ実施した。

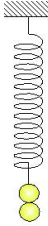
4.2.1 力学分野の授業(単振動)

図2に示すような問題は、「単振動の周期」に関する実験である。おもりと周期の法則性を理解するための問題を作成した。

「単振動における周期の実験」

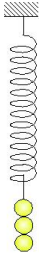
ばねにおもりを1つ下げて10周期を実際にストップウォッチで計測し、それをもとに次の問題を出題した。

【問題1】
今度は、ばねの一端に同じおもりをもう1つ取り付けて、おもりを2つにした。さっきと同じように、おもりを少し下に引っ張って離し、おもりを振動させた。このときのおもりが10回振動する時間(10周期)はおもり1個のときと比べてどうなるでしょうか？



予想
選択肢
ア、およそ2倍になる。
イ、およそ半分(1/2倍)になる。
ウ、ほとんど変わらない。
エ、その他()

【問題2】
今度は、ばねの一端にさらに同じおもりをもう1つ取り付けて、おもりを3つにした。さっきと同じように、おもりを少し下に引っ張って離し、おもりを振動させた。このときのおもりが10回振動する時間(10周期)はおもり1個のときと比べてどうなるでしょうか？



予想
選択肢
ア、およそ3倍になる。
イ、およそ1/3倍になる。
ウ、ほとんど変わらない。
エ、その他()

(図2)

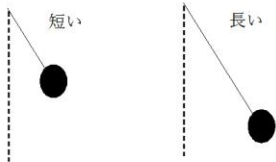
【問題1】において選択肢から予想してもらい、個別に集計する。受講生全員で実験予想について議論する。議論後に予想を再度集計したところで、実験を行い、結果を実際に見る。その次に【問題2】に移り同じプロセスを繰り返す。この後、物理現象を数式で一般化し、数式が実験と一致していることを確認する。

問題例の場合は周期 $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ に一致していることが確認できる。

図3は単振り子に関する実験である。振り子の長さ周期の関係性が理解できるように構成している。図3はその一部であるが、周期 T が長さの平方根に比例することが確認できる。この後、数式でこれらの現象を一般化することで、実験と理論が一致していることが確認できる。

【問題3】
こんどは、糸の長さを変えて、振り子の周期（1回往復する時間）がどうかを調べてみることにします。
【問題1】や【問題2】で使った振り子よりも糸の長さをうんと短くしたら振り子の周期はどうなると思いますか。

予想
ア、周期は長くなる。
イ、周期は短くなる。
ウ、ほとんど変わらない。



理由

討論
どうしてそう思いますか。みんなの考えを出しあいましょう。

実験
振り子が触れる回数をみんなで数えて10回触れたところでストップと叫びましょう。

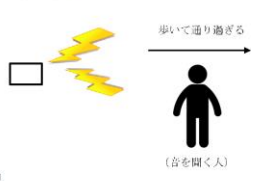
実験結果

(図3)

4.2.2 波動分野の授業(ドップラー効果)

波動分野においては、力学分野のように視覚的に波の形の変化を見ながら実験ができない内容も多い。形が見える一般的な波動（水面の波や弦の振動であれば、イメージしやすい。一方で、音や光のような波は現象を耳や目など視覚的に確認できるが、波の形を目で確認ができず、イメージしづらい。形としての波のイメージを常に検証しながら物理現象を確認していくことが必要である。

【問題1】
ここにブザーがあります。ブザーを鳴らしてみよう。このブザーを鳴らしながら、歩いてみます。聞く人（皆さん）の間を通り過ぎる瞬間に、聞こえるブザーの音にどんなことが起きると思いますか？



予 想

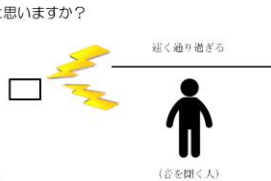
ア、通り過ぎるとき、急に音が低く聞こえるようになる。
イ、通り過ぎるとき、急に音が高く聞こえるようになる。
ウ、特に変わったことは起こらない。
エ、その他（ ）

理 由

どうしてそうなりますか？
みんなの考えを出し合ってから、実験してみましょう。

実験結果

【問題2】
【問題1】の実験では、特に変わったことはありませんでした。今度はブザーを鳴らしながらもっと速く、聞く人（皆さん）の間を通り過ぎるようにします。通り過ぎる瞬間、聞こえるブザーの音にどんなことが起きると思いますか？



予 想

ア、通り過ぎるとき、急に音が低く聞こえるようになる。
イ、通り過ぎるとき、急に音が高く聞こえるようになる。
ウ、特に変わったことは起こらない。
エ、その他（ ）

理 由

どうしてそうなりますか？
みんなの考えを出し合ってから、実験してみましょう。
(聞こえづらい場合は、ブザーを素早くふり回してみるのもよいでしょう。)

実験結果

【みてみよう2&やってみよう!】

水面の波の図と同じように、波の間隔が狭くなったり広くなったりする現象はベルトコンベアモデルでも説明できます。見せてもらいましょう。

観測者が音の振動を受けるとき、一緒に手をたたく振動する回数を音源が近づくときと離れるときをそれぞれ比較してみましょう。

※

【まとめ】

波源が観測者に近づいていくと波長（山と山の間隔）が _____ なり、観測される振動数が _____ なる。

波源が観測者から離れていくと、波の波長（山と山の間隔）が _____ なり、観測される振動数が _____ なる。

振動数が変化すると、音の _____ が変化する。

(図4)

図4に示すように、最初に物理現象を単純に確認する。その後、見えない波についてモデルを使用して、波の状態をベルトコンベアモデルで可視化するように構成している。モデルを学習者同士で考えることで、現象の理解につながると予想できる。

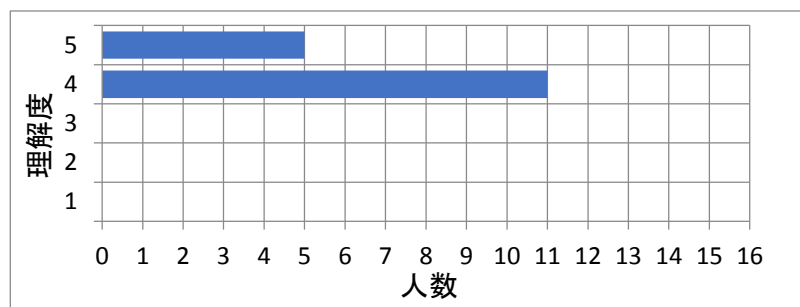
5. 授業に対する学習者の評価

5.1 力学の授業後の学習者の感想と評価

○平成 27 年度の評価結果

実際に 4.2.1 で紹介した力学の授業後に行った振り返りシートでの学習者の自己評価結果を（図 5）に示す。

理解度の分布（5 段評価）（N=16）



N さん「実験があるのは、やっぱりたのしい。理解が深まるし、自分でイメージしながら考えられるのが良かった。」

T さん「数式を実験から導けるのは、すごいと思った。」

I さん「予想と実験結果が合ったときおもしろかった。」

M さん「ほぼぴったり $\sqrt{2}$ 倍 $\sqrt{3}$ 倍になっていてびっくりしました。」

S さん「実験を終えた後に、運動方程式を立てると本当に実験通りの数字が出てきてよくわかりました。」

S さん「実験はわかりやすくていいなあと思った。」

（図 5）

次に、力学を終えての感想文を（図 6）に示す。

力学を終えての感想

H さん「物理が数学で理解できるようになってとても面白かった。物理の勉強をするのが苦痛ではなくなりました。」

O さん「図やグラフを描いて理解してとても分かりやすかったです。」

M さん「1 年生のときは公式を覚えてそれに当てはめて考えていたので、テストのときにどの公式を使っているかわからなくなる時があったけど 2 年では考え方を変えることができた。」

Y さん「1 年の時はずっと公式を覚えてやっていたので全然わからなかったけど、数学的に問えるということが分かって今までよりも物理ができるようになったと思います。」

N さん「グラフや力の矢印が書けるようになった。1 年生のときより意味の分からないことが減って楽しかった。しっかり復習してもっと理解を深めていきたい。」

E さん「1 年生のときはほとんど公式だけ覚えてやっていたけど、2 年生になって原理やなぜそうなるのかが理解できて物理が面白いと感じるようになりました。もっと理解力が深められるように頑張ります。」

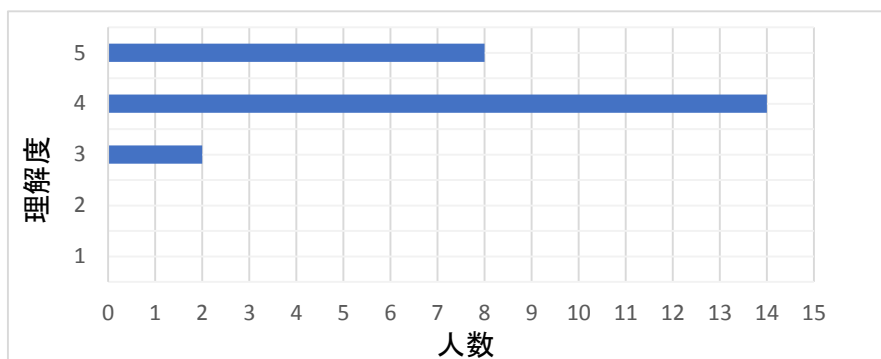
S さん「1 年生の時と物理の印象が変わりました。数学と物理は今まで切り離して考えていたけれど違うんだなあと思いました。もっとがんばりたいです。」

（図 6）

○平成28年度の評価結果

実際に授業後に行った振り返りシートでの学習者の自己評価結果を（図7）に示す。

理解度の分布（5段評価）（N=24）



Sさん「図を描いて可視化することによって、問題がとても簡単になりました。物理って分かるとても面白いですね☆」

Yさん「グラフを描くことで簡単にわかりました。」

Nさん「グラフを描いたりその状況を明確にイメージする大切さがわかった。」

Nさん「1年生の内容も多く含んでいたけど、今日初めて原理が分かった。」

Nさん「今まで漠然としていた物理のイメージがやっと少し持つことができるようになりました。」

（図7）

次に、力学を終えての感想文を（図8）に示す。

力学を終えての感想（物理についての感想と取り組みや考え方に変化はあったか？）

Nさん「すべての現象が言葉で表すことができるから面白い。自分は原理から学ばないとわからないので納得できる授業が多くてよかった。グラフがここまで便利だとは思わなかった。」

Aさん「物理のお陰で数学も発展したということを知ったことがあるので、それぞれが発展していける良いことだと思います。授業を通して、公式を覚えるだけではないということがわかりました。」

Nさん「自然現象を数式で表すことですべてを数値化できるので便利だと思う。」

Kさん「実験では目視化できるようにできていて規則がみられて面白い。問題において、図を書いて現象を理解するように心がけるようになった。以前よりも力を見落とさなくなった。」

Hさん「物理と数学は密接な関係なので、物理学を考える時に数学と結び付けて考えていこうと思った。公式を覚えることから公式の原理を理解することになりました。」

Yさん「数学をやれば物理にも応用できるので数学は大事だと思う。私の中では数学が自然科学に従っているようなイメージがあった。一年生の時は公式を使って解くことが多かったけれど、2年生になってグラフから式を作って解くようになった。」

Iさん「原理から数式を導くことによって理解度が深まりました。」

Mさん「もっと公式の成り立ちを理解しようとするようになりました。」

Oさん「1年次には公式を丸暗記して使っていたが、2年次には原理に興味を持ってとりくむことができるようになった。」

Tさん「自然科学が数学的な法則に従っているのはその通りだと思う。今まで力学をしてきたがどんな現象も数式も表されているように思う。」

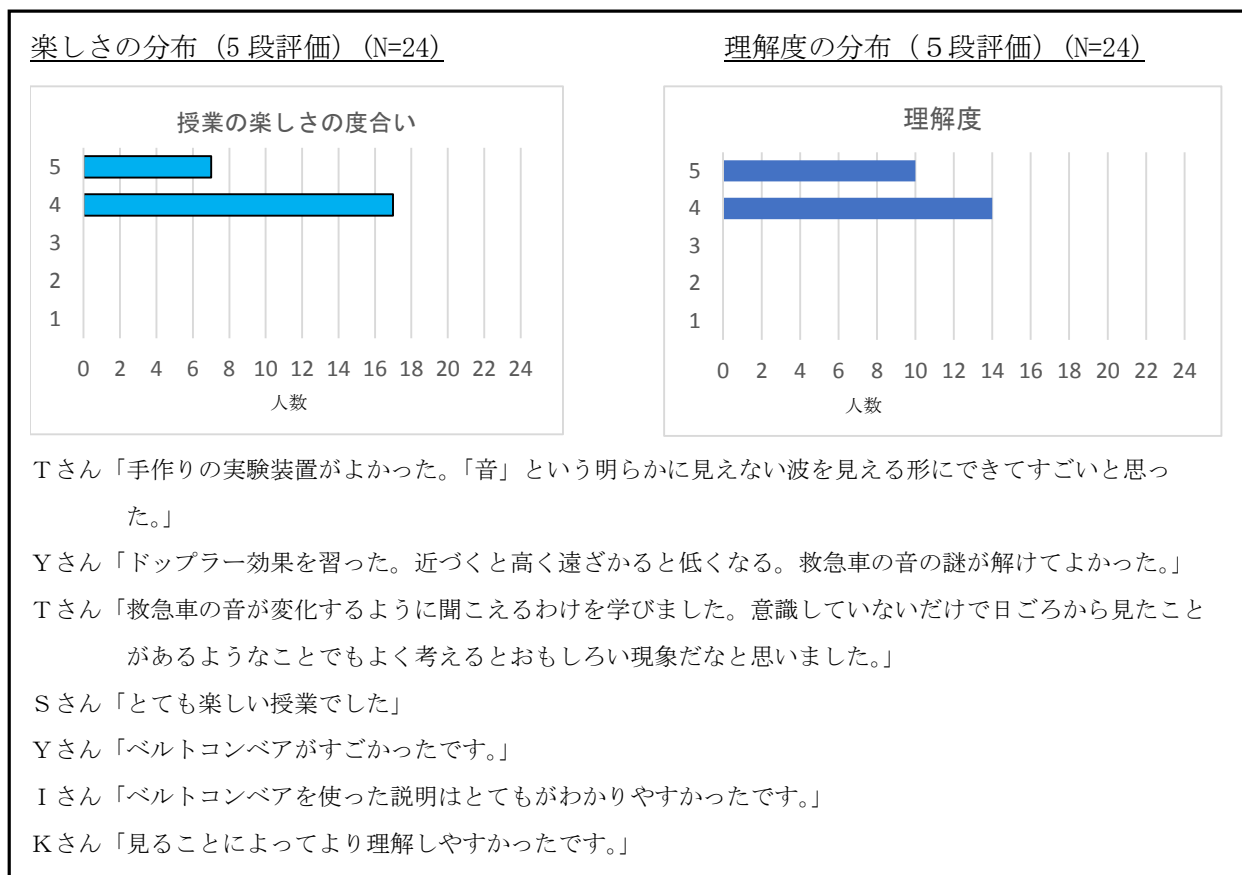
Yさん「公式を暗記していたのがある程度自分で考えられるように努力した。」

Nさん「今までと違う視点から自然現象を見ることができるので面白いと思います。公式は覚えるものだと思っていたが、グラフから出せたり、原理から広げていって自分でだせたりしたのですごいなと思いました。」

（図8）

5.2 波動分野の授業(ドップラー効果)後の学習者の評価と感想

波動分野における学習者の評価と感想 (図 9) に示す。



(図 9)

6. 力学概念調査(FCIについて)

アメリカの「物理教育研究」(Physics Education Research)において物理の基礎的な概念的理解を問う調査問題が標準化されている。その分析結果が各教育機関で授業の効果を調べることや生徒の物理の理解の仕方への洞察を得ることに役立っている。この調査問題の1つに力学概念調査 (Force Concept Inventory) がある。この問題は1992年に Hestenes, Halloun らによって公表され運動学とニュートンの運動3法則に関する多肢選択型問題である。定量的な計算問題は一切なく、すべて定性的な問題である。例えば、重いものと軽いものの同時落下や水平方向に打ち出した大砲の玉の軌跡などが含まれる。1998年に Hake が全米に協力を呼び掛けて様々な物理授業の FCI 前後のデータを用いて解析したところ、従来型授業では履修前後の規格化された正答率の向上率(Normalized-gain)が0.23程にとどまるという結果が公表されている。2003年にこの力学概念調査 FCI が塚本, 新田らによって和訳され、日本でも FCI 調査が行われるようになってきた。彼らは高校生の物理履修者における FCI の平均スコアは受験偏差値に関係なく平均正答率は23%~50%にとどまるとしている。今回、この和訳された FCI 問題を使い、自らが受け持つ若狭高校1年生「物理基礎」履修者の2クラスと2年生「物理」履修者の1クラスに対して調査を実施した。2年生「物理」履修者の1クラスに対しては、定性的な実験を取り入れた学習者にとって能動的な授業を行った。「力学」分野がすべて終了した後に再度 FCI 調査を行い、履修前後でのスコアの比較を行った。

※履修前後で規格化された正答率の向上率(Normalized-Gain)は以下の数式で表される。

$$\text{gain} = \frac{\text{事後テストの平均正答率}[\%] - \text{事前テストの平均正答率}[\%]}{100 - \text{事前テストの平均正答率}[\%]}$$

7. 力学概念調査の Pre テストと Post テストの結果

力学のほぼすべての分野においてアクティブラーニング型の授業を行った。力学の概念について力学の履修前と履修後の単純スコアを以下に示す。

○平成 27 年度

2 年生「物理」(理系)(物理基礎履修済)での 1 クラス

力学履修前：平均スコア 12 点	正答率 41%	(N=16)
力学履修後：平均スコア 18 点	正答率 60%	(N=15)
向上率(Normalized-gain) = 0.32		

○平成 28 年度

2 年生「理数物理」(理数探究科)(物理基礎相当履修済み)

力学履修前：平均スコア 17 点	正答率 56%	(N=24)
力学履修後：平均スコア 19 点	正答率 65%	(N=22)
向上率(Normalized-gain) = 0.20		

力学概念に関しては昨年度調査した集団に比較して高い平均正答率を示した。どちらの集団についてもプレテストとポストテストで gain が上昇している。

8. 考察

8.1 定性的な実験を取り入れた授業に対する生徒の評価

昨年に継続して、本年度も力学分野において定性的な物理実験を含めた物理の授業を行った結果、理解度分布はおおむね 5、4、3 に偏った。集団が違えど、よく似た理解度分布を得ることができた。また、感想文からは物理現象に対するイメージ検証としての役割が見える。また、目に見えない物理現象について可視化する目的でグラフを描いたり図を描いたりする旨の内容が確認でき、力学分野全体を振り返っての感想内で、公式から原理という言葉がみられ、公式物理から原理や法則性を見出す物理へと学習者の視点を変化していることが伺える。このことは昨年の感想文の中にも見られ定性的な実験におけるアクティブラーニング型授業の成果であるといえる。また、今回掲載はしなかったが、物理現象における疑問やその不思議さに関する文章も見られた。今回の物理現象に対する興味が以前に比べて高まっていることがわかる。このことについても昨年同様見られ定性的な実験を取り入れた授業がその効果をもたらしたものであると考えてよいと考えられる。

今年度より、力学分野ではなく波動分野の授業開発にも取り掛かった。力学に比べれば定性的でかつ法則性のある実験を取り入れることは大変難しいことではあるが、物理現象を思考する補助として波動に関するイメージ作りの定性実験を多く取り入れた。その結果、必ずしも法則を見出す実験に限らずともイメージを構成することにおいては、授業後の学習者の評価を見て、学習者に対してアクティブに働いていることが伺える。今後継続していく必要がある。

8.2 FCIテストでの結果

力学概念調査ではこれまでの伝統的な物理の授業（中学校からの授業も含む）を受講しても完全には誤概念をなくすことはできない。これは、生活の中など実体験からくる物理現象のイメージが大きいからである。

昨年度と今年度の結果両方の集団で gain を確認することができた。昨年度（平成 27 年度）の gain は 0.32 と従来型の授業より大きくなった一方で、今年度（平成 28 年度）の gain は 0.20 と従来型の授業でも出せる数値になった。アクティブラーニング型授業で学習者の評価は物理に対するイメージにたいして評価が高い一方で、今年度の調査テスト結果では従来型の授業を超える結果を得ることが出来なかった。これについて、感想文からアクティブラーニング型授業が力学概念に影響を与えることは間違いないが、概念が大きく定着するには至っていないということが伺える。概念調査が調査するものとアクティブラーニング型授業が作り上げるもののギャップが存在するとも考えられる。この点を今後視野に入れ改善をしていく必要がある。

9. まとめ

定性的な実験を取り入れた授業については、今年度も生徒からの評価が高く、物理現象について興味や関心を持っていることがわかる。また物理現象について深くまで考え、学習者がこれまでの公式物理から物理の法則や原理に視点を移動していることが伺え、これは定性的な実験を取り入れたアクティブラーニング型授業の成果である。

また、本年度より、波動分野の授業を製作した。学習者からの評価も高く、波動のイメージを作り上げることに成功した。力学概念調査について、現段階では定性的な実験を取り入れた授業が力学誤概念の修正について直接的に効果があるとは結論付けにくいですが、従来の講義型の授業よりも効果的であることを今後の調査で確認するとともに、概念の定着にも視点を置き改善を進めていく。

10. 参考文献

- (1) D.Hestenes, et al. Phys. Teach 30 (1992) 141.
- (2) R.Hake Am. J. Phys. 66 (1998) 64.
- (3) 栗原昌広, 塚本浩司, 舟橋春彦, 根岸明子, 新田英雄, 高橋春美, 加納誠
「力学概念調査(FCI)の和訳版作成との実施」
物理教育学会年会物理教育研究大会予稿集 (26), 38-39, (2009)
- (4) 「初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について (諮問)」 (平成 26 年 11 月 20 日 中央教育審議会) (http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1353440.htm)
- (5) 「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～ (答申)」 (平成 24 年 8 月 28 日 中央教育審議会)
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1325047.htm)
- (6) 「新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた 高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について～すべての若者が夢や目標を芽吹かせ、未来に花開かせるために～ (答申)」
(平成 26 年 12 月 22 日 中央教育審議会)
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/__icsFiles/afieldfile/2015/01/14/1354191.pdf)
- (7) 「児童生徒の学習評価の在り方に関するワーキンググループにおける審議のまとめ」
(平成 22 年 3 月 中央教育審議会)
- (8) 「学校教育法等の一部を改正する法律について (通知)」 (平成 19 年 7 月 文部科学省)
- (9) 石本美智, 木村正廣「物理授業改善のための学習効果測定試験」(2005)
- (10) 板倉聖宣「科学と方法 科学的認識論の成立条件」季節社 (1986)
- (11) 板倉聖宣「科学と仮説」季節社
- (12) 板倉聖宣「仮説実験授業の ABC」仮説社(1997)
- (13) 仮説実験授業研究会「第 3 期 仮説実験授業研究 9」仮説社(2000)
- (14) E.Mazur, Peer Instruction: A user's manual. Pearson-Prentice Hall(1997)
- (15) 兼田真之, 新田英雄「クリッカーを用いたピア・インストラクションの授業実践」
物理教育 57-2 pp. 103-107 (2009)
- (16) 笠順平「研究にもとづく物理教育の改善と評価」大学の物理教育(2010) 16.
- (17) エドワード・F・レディッシュ「科学をどう教えるか」
- (18) 野坂卓史「物理の定性的な実験を取り入れたアクティブラーニング型授業の実施」
数研出版 サイエンスネット(2016)