

# 物理のイメージを深める単元の開発と評価

## ～ アクティブラーニングの視点と力学概念調査の結果を踏まえて～

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、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の視点をふまえた授業づくり、単元づくりが注目されている。今回、科目「物理」における「力学概念」の獲得を目指した単元を開発した。身の周りの現象について注目し、自然科学的な手法を用いて仮説や検証また、生徒間で議論する活動や生徒実験、演習ゼミなど生徒が主体で活動する単元として組織している。知識・理解だけ今回、この単元開発により、生徒からの高い評価と感想から科学的な興味関心が高まるだけでなく、思考力・判断力・表現力を培うとともに、学びに向かう態度も育てる単元となっている。また、力学概念調査(FCI)の調査結果を行い、pre-post 比での規格化ゲイン(Normalized-gain)が 0.30(3 年分平均)を超える結果を得たので報告する。この取り組みについては平成 27 年度からの継続研究となっている。

### 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. 科学的な考え方とアクティブラーニングの視点を踏まえた授業

### 4.1、科学的な考え方とは

科学とは、人間が長い時間をかけて構築してきたものであり、一つの文化として考えることができる。科学は、その扱う対象や方法論などの違いにより、専門的に分化して存在し、それぞれ体系として緻密で一貫した構造をもっている。科学が、それ以外の文化と区別される基本的な条件としては、実証性、再現性、客観性が考えられる。

科学的な考え方とはこれらの科学の要素を満たした考え方というべきところである。考えた予想に対して、実験や観察を通して検証する実証性。自分以外の誰が行っても同一条件下では同じ結果を得る再現性。実証性や再現性をとおして、多くの人に認められる客観性。の3つである。

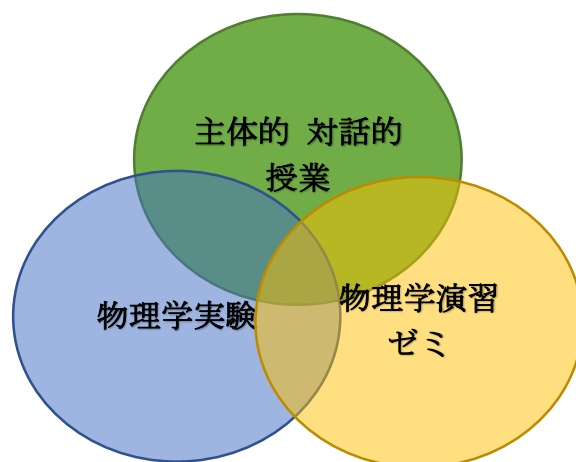
### 4.2 科学的な考え方を満たす物理の授業

物理現象は生活のあちらこちらに溢れており、題材的に実証性、再現性、客観性を満たしやすい。

身のまわりの現象に対して、予想を立て、実験・考察（議論）・まとめるといういわゆる、実験の一連のプロセスを行うこと自体がこれに値する。授業にこの実験のプロセスを取り入れれば科学的な考え方は満たされることになる。このプロセスは実際の研究現場でも当たり前のように行われており、これらなしに自然科学を研究することはできない。しかしながら、科学をこれから初めて学ぶものに対して、いきなりこの実験のプロセスを求めようとしてもなかなか難しいのも現状であり、科学の独特の考え方に対して嫌悪感を与える可能性もある。（例えば、実証性や再現性について、物理現象を定量化し数値として扱うことに苦手意識を感じる者もいる。）あくまで、自然科学をこれから学ぼうとするもの（入門者）であることを意識した授業（科学入門教育）が必要である。

## 5. アクティブラーニング型授業の提案

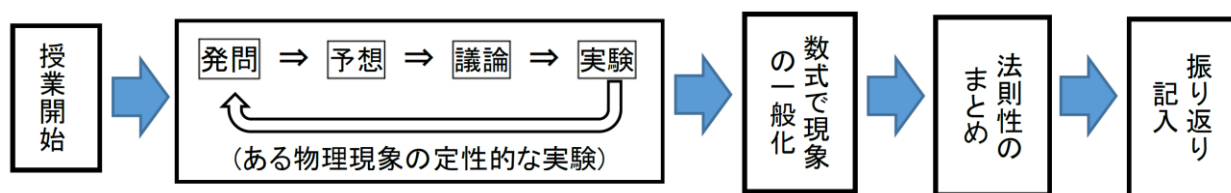
アクティブラーニング型授業として、自然科学的な考え方を元に3つのアクティブラーニング型授業を提案する。1つ目は、授業の核となる定性的な実験を含めた「主体的・対話的授業」2つ目は、「物理学実験」3つ目は「物理演習ゼミ」である。それぞれの内容について以下に示す。



### 5.1 アクティブラーニングの視点を踏まえた定性的な実験を含めた授業

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。

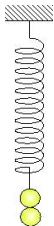

定性的な実験は法則性が確認できるまで発問を繰り返し、ある程度、法則性に気付いた後に数式での説明に入る。振り返りシートには、その授業で学習者の理解度の自己評価や法則性について感じた素直な感想や現象に対する疑問点などを記入してもらっている。

### 5.1.1 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。

<p>【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？</p>  <p>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( )</p>	<p>【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？</p>  <p>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( )</p>
---	--

(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。

## 5.2 物理生徒実験

5.1の授業スタイルとは異なり、ある物理の問題やテーマに生徒1人もしくは、グループで実験を行い、実験レポートの提出を求めるものである。この生徒実験は、5.1の授業の進捗と直接的に接続されている。

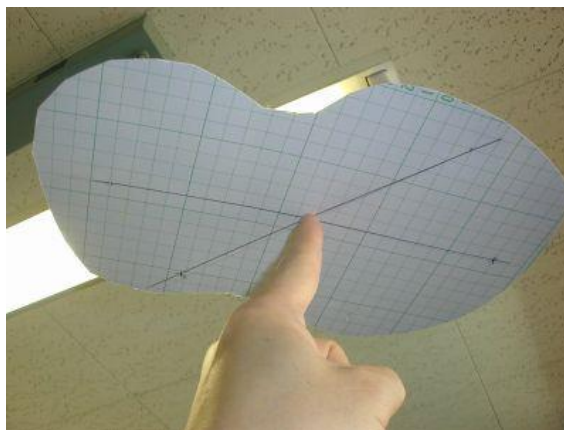
「予想、方法、実験、結果、考察、まとめ」のプロセスをレポートに書くことで、5.1の授業の理解を深めることにもつながっていると考えられる。

### 5.2.1 物理学実験の例

#### ○物体の重心を求める実験

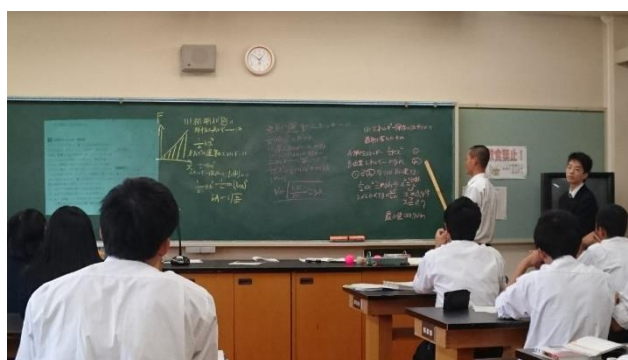
好きな形に紙で切り取り、重心位置を探す

実験方法についても、受講者自らが考案し、その考えた実験方法を元に実験を行う。実験結果をレポートにまとめ提出する。



## 5.3 物理演習ゼミ

物理の定量的な演習問題について、担当者が割り当てられる。演習問題の担当者は、問題の定量的な結果だけでなくその解法や問題設定を視覚化できるモデルを作ったりして、聴衆生徒に発表することである。聴衆の生徒は物理演習ゼミでは担当しない問題もすべて事前に解を出してきている。この演習ゼミは、5.1の授業の理解度を深める効果だけでなく、自分の考えをうまく相手に伝えること、聴衆の生徒も人の考えを聞くことで自分との解法との違いから新しいプロセスを得られることにある。発表後は、質問や議論タイムになり、より問題について深く考えることができる。



(物理学ゼミの様子)

## 6. 実験対象

次の3つの集団を実験対象とする。

集団①：平成27年度 2年生「物理」（若狭高校普通科理系）（物理基礎履修済） 16名

集団②：平成28年度 2年生「理数物理」（若狭高校理数探究科）（物理基礎相当履修済み） 24名

集団③：平成29年度 2年生「物理基礎・物理」（若狭高校普通科理系） 24名

①と②の集団は1年次に「物理基礎」またはそれに相当する科目を履修している状態である。

③の集団は、初めて物理触れる集団である。

## 7. 授業に対する学習者の評価と感想（実験結果）

### 7.1 力学の授業後の学習者の感想と評価

力学分野を終えての学習者の物理の授業に対して率直に感想を書いてもらった。これを掲載する。

#### ① 平成27年度 2年生「物理」（若狭高校普通科理系）（物理基礎履修済）

##### 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？）

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。物理の見方が変わりました。公式の数式が導かれる過程はとても興味が深かった。微積分を使うようになった。」

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い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。もっと頑張りたいです。今まで不思議に思っていたのを解き明かすみたいで面白い。原理から公式を出して使えるようになった。」

Sさん「1年の時よりもグラフを使って考えることができるようになりました。」

Mさん「身の回りのことが全部数式で表せるのはすごいと思います。ただ公式にあてはめるだけじゃなくなった。」

Iさん「現象についての数値を出すことにより身近に感じたりできるので物理がよいと思うようになった。1年で書いた図や絵の大切さに気付くことができた。また、原理から数式を導けるように少なくなっているような気がする。」

②平成 28 年度 2 年生「理数物理」(若狭高校理数探究科)(物理基礎相当履修済み)

**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。」
- Y さん「数学も物理もこの世の中も全部つながっているんだなって感じです。原理を知ることができたのでうわべだけの勉強が少しは改善できたのかなと思います。なんで、ほとんどの現象を数式に表せるのかなと思います。」



③平成 29 年度 2 年生「物理基礎・物理」（若狭高校普通科理系）

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？）

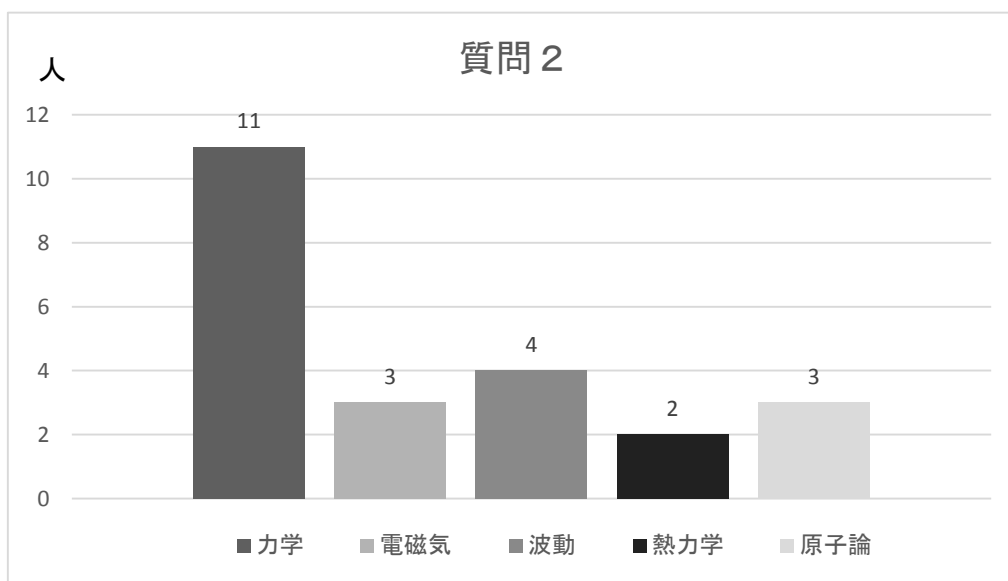
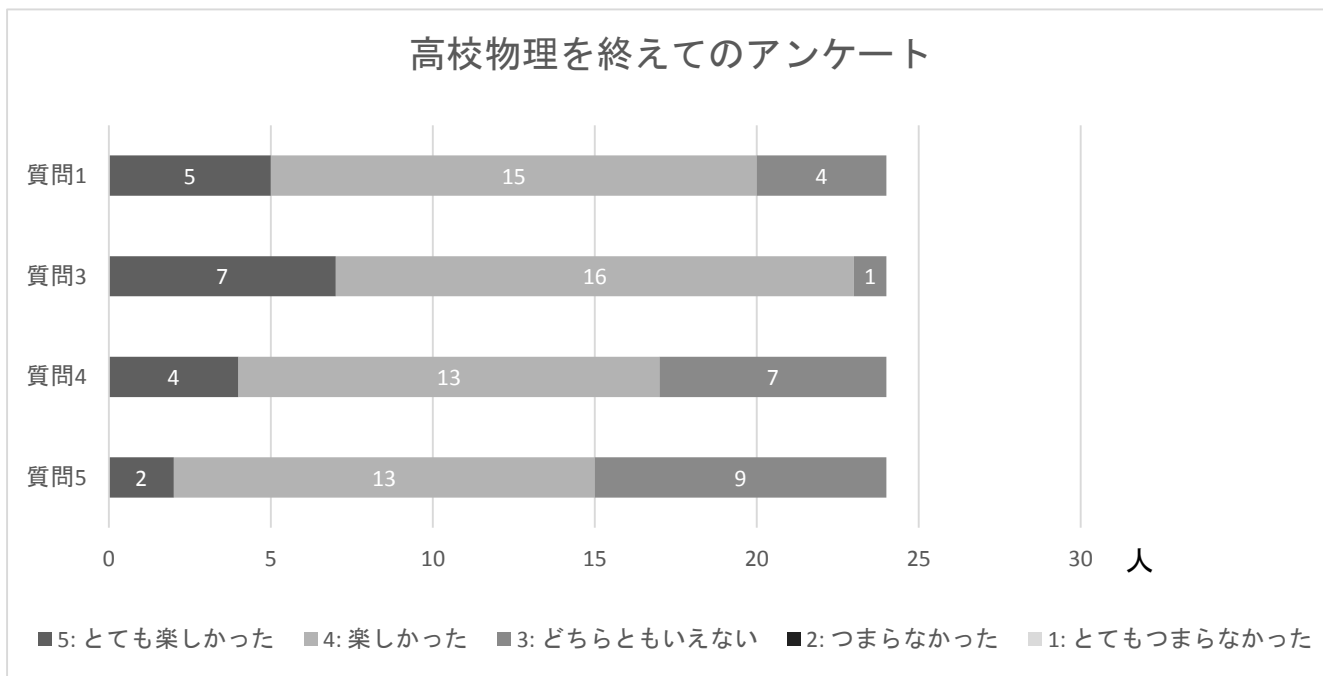
- U さん「原理からいつも使っている数式に変化できること、そして原理を知っていればどんな問いても原理を知っていれば考えることができる。数学を作った人は本当にすごいと思った。」
- T さん「日常生活で、物理に関係ありそうなものを数学的に考えるようになった。数学的に表せるからこそ美しいんだと少し納得した。」
- Y さん「数式でなにかも表せることを知って楽しかったです。本当にすべて数式で表すことができるか証明してほしいです。」
- I さん「今は公式などがあってそれに頼りがちだけど、昔の人は実験の結果などから答えを導き出してすごいと思いました。自然現象がすべて数式で表されるのはすごいことだと思うが、自然はいつ何が起こるか分からないし、常にそうなるとは限らないと思う。新しい現象が起こるとその時には対処できないと思う。」
- S さん「方程式を丸暗記するのではなく、理解して覚えられるようになった。また、方程式を忘れても、原理から自分で立てられるようになっていくようになった。」
- M さん「向心力が未だにあまり理解できていないので、昔の人はすごいなと思った。すべて数式で表せられるなら、地震のより正確な予測をと、災害の対策に利用してほしいなと思った。」
- S さん「化学でこの世界のほとんどが証明することができるんだと感じました。自然の法則等を科学者はいつもどうやってひらめくのかなと思いました。」
- K さん「想像していた倍の計算式を使っていて大変だと感じた。どんな物にも数式を使えることがすごいと思った。」
- K さん「今は、便利なものがたくさんあるが、昔の人たちは何もないことかあら、法則性を見つけて出していたのでとてもたいへんだったのだと思いました。数学的に表されるのはその値を求めることができるといいと思うが、すべてを数学的に表さなくてもいいと思った。」
- T さん「公式は、昔の偉人が考え、導き出したものなどで、それをおぼえているだけでは何も変化がなくただやっているだけという感覚になってしまうんだと分かりました。そこで、それらを本質から論理的に解くことでただ覚えるだけでなく改めて知ることができそこから発展しやすくなっているのが大切だと考えさせられました。」
- S さん「たくさんの時間を使い数式を導くのはとても忍耐力が必要ですごいと思った。」
- S さん「昔の学者がどれだけの年月をかけて法則を見つけ出したのかということを知るのを楽しかった。」
- S さん「授業をどうして今まで、ただ公式を覚えてそれに当てはめるだけの授業でしたが、先生の授業を受けて公式の成り立ちを知り、さまざまな問題に応用できる力をつけたいと思うようになりました。」
- S さん「昔の人母との何もないところから原理や数式を作ったりするのは本当にすごいと思った。前はこの法則を見つけた人ぐらいしかイメージがなかったけど、どんな苦勞をして作ったのかが少し知れて尊敬した。なんでかわかれば、勉強も少ししたのしくなるかもしれないと思い始めたかもしれない。」
- N さん「公式に頼り過ぎないようになった。なぜそうなるのかを考えるようになった」
- M さん「いまいち理解できています。数学で表せることは別に悪くないと思うし、いままで公式をしっかりと覚えて問題を解くのが勉強だったので急に帰ら荒れる方がついていけなかったです。数学的な法則がよくないと思う方もいるので、学び方、教え方について公式をしっかりと覚えて問題を解く方法から慣れるまで分かりやすく教えてほしかったものです。」
- O さん「地動説はガリレオから始まったものだと思っていたけど、他の人からだったことは初めて知った。いろんな人の説が積み重なって法則や身のまわりのことが説明できるのだと思った。」
- K さん「考え方に変化はありませんでした。数学がすべてを支配しているのはちょっと気持ち悪いです。数学は数学の授業のみにしてほしいです。」
- T さん「すべて公式に当てはめるのではなく、途中の過程などをしっかりと考えることが大切で、数式だけではなく、物理現象がグラフで表せることに驚いた。」
- T さん「私にはレベルが高いと感じた。テストとかゼミとか見ているスラスラ人にし得られる人は本当にすごいと思うし、これが賢いってことかと思った。正直差があり過ぎて追いつける気がしない。数学が好きな人だったら毎日そういうことを考えられるんだろうなと思った。私は好きではないので敢えて数字にしない魅力も忘れずに生きていきたい。」
- S さん「原理からたくさんの数式が出せるようになって、自然なども数式であふれているのでそれを見つけるのが楽しい。」
- N さん「科学の歴史はとても深かった。数式を使わない方法でやりたいです。」
- M さん「考え方や過程が難しく理解しがたかったです。数学に興味がなかったのも特にすごいとは思わなかった。」

## 7.2 高校物理を終えてのアンケート結果

平成28年度の2年生「理数物理」を平成29年度も継続して授業を受け持っているため、調査を継続した。高校物理の内容をすべて終えた時点で、アンケート調査を行ったのでこれを報告する。

質問内容としては次の7つのおりである。

- (1) 高校物理は楽しかったかですか？(5段階)またその理由は何ですか？
- (2) 高校物理で好きな分野はどの分野ですか？(5分野)その理由も教えてください
- (3) 定性的な実験を取り入れた授業はいかがでしたか？(5段階)好きな実験とその理由も教えてください。
- (4) レポート提出を伴う生徒実験はいかがでしたか？(5段階)好きな実験とその理由も教えてください。
- (5) 物理演習ゼミはいかがでしたか？(5段階)理由も教えてください。
- (6) 物理の授業(3つの授業スタイルを含む)を通してあなたの取り組みや考え方に変化はありましたか？
- (7) これまでの物理の授業について自由に書いてください。



### 物理を終えての感想（質問6・7）一部

- ・数式が並ぶのが物理のイメージだったけど、科学史や実験を通して物理に対する考え方が変わった。公式暗記じゃないと感じるようになり、問題の状況を自分なりに考えられるようになった気がする。
- ・はじめは何もわからなくて、公式を覚えてテストを乗り越えるような勉強だったけど、考え方を授業で理解する機会が増え物理に対する印象は変わった。力学は身近なこともあったけど、電磁気などはイメージしにくいこともある。
- ・日常生活で起こることの仕組みのいくつかを理解できるようになったのがよかったと思う。
- ・物理の学習を通して、生活がより楽しくなった。（想像力がはたらくようになった。）大学で新しいことが分かると思うとわくわくする。物理学を学ぶことで、他の学問も発達するかもしれない。
- ・少しは根本から考えるようになったと思います。（公式に当てはめるだけでなく）もっと深めていけたらなと思います。
- ・日常生活でも、ところどころで物理の法則が使われているのかな？と思うことが多くなりました。
- ・物質の構造などが分かって、身の回りにあるもの構造や意味についてみるようになった。また、物理的に説明がつくのでより興味を持った。
- ・初めは力学分野が苦手だったが、考え方を変えることができる、理解しやすくなった。物理を勉強してきた、最初は本当に苦手だったが、今は物理アレルギーを少し払しょくできたように思う。
- ・公式を覚えるのではなく、身近な現象について論理的に考えるようになった。
- ・普段の生活の中でもたまに物理的に考えるようになった。はじめ、物理が好きだったけど嫌いになったまあまあ好きになりました。
- ・ファラデーは天才だと思った。今まで分からなかった想像しにくい電磁気学について科学史を踏まえながら理解できるようになった。外積や三次元の積分を大学でやってみたいと思った。
- ・あらゆる事象に対して論理的に考える力が身についた。また、実験などを通して課題設定能力も鍛えられた。

## 8. 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問題を使用した。先に述べたアク  
ティブラーニングの視点を踏まえた授業について、今回の実験対象としている6の①②③の集団  
に対し、能動的な「力学」分野の授業を行った。「力学」分野履修前にFCI調査を行い、「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。

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

## 9. 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。

対象	集団①：平成27年度	集団②：平成28年度	集団③：平成29年度
Preスコア	41%	56%	27%
Postスコア	60%	65% (75%)	54%
Normalized-gain	0.32	0.21 (0.44)	0.37

(※集団②の () 内の結果は物理のすべての分野修了時に再度FCIを調査した結果である。)

どの集団においても、Normalized-gainが0.20より上昇している。3年間平均でNormalized-gain  
が0.30を得た。また、集団②においては力学以外の分野もアクティブラーニングの視点を踏ま  
えた授業で進め、終了時に再度FCIを調査した結果、0.44にまでNormalized-gainが上昇した。  
Postスコアも75%と力学概念の大部分を習得していると考えてよい。

## 10. 考察

### 10.1 アクティブラーニングの視点を踏まえた授業に対する生徒の評価

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が変化していることが窺える。このことは昨年、一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の視点を踏まえた授業の成果であるといえる。また、今年度は、科学史における偉人に関する記述も見られた。他に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。

継続調査として高校物理を終えた時点で、3つのどの授業スタイルについても評価を得ていることが分かる。また、物理の授業を通しての考え方の変化については、「論理的に考えられる」「原理を理解する」「日常生活で使用する」などの言葉が多くあり、学習者が自らがそれを実感していることがここから読み取れる。アクティブラーニング型授業が、科学的思考につながっていると考えることが出来る。

### 10.2 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。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、平成 28 年度の gain は 0.21 と従来型の授業と大差ない数値になった。しかし、このアクティブラーニングの視点を踏まえた授業を物理終了時まで続けたところ、gain が 0.44 まで上昇した。アクティブラーニングの視点を踏まえた授業で学習者の評価は高く、継続してこの授業を行っていくことで、日常生活の中で論理的に考え、力学的な見方の習慣が身につく、FCI のスコアを上昇させたと考えてよいと考えられる。これは今年度(29年度)をからも gain が 0.37 と確実に履修前後で力学における考え方が自然と習得できてきていると考えてよい。

## 11. まとめ

アクティブラーニングの視点を踏まえた授業については、今年度も生徒からの評価が高く、物理現象について楽しみや、興味や関心を持って物理の授業に取り組んでいることがわかる。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る。これはアクティブラーニングの視点を踏まえた授業の成果であると言ってよい。

力学概念調査において、先行研究の Normalized-gain 0.23 の幅を超えており、アクティブラーニングの視点を踏まえた授業が、履修の前後で力学概念の習得に効果を与えている。今後継続研究することで、その効果を実証したい。

## 12. 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](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](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](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)
- (19) 野坂卓史「高校理科「科学と人間生活」物理分野で科学的考え方・興味関心を高める授業の取り組み」  
東京大学教養学部附属教養教育高度化機構・若狭高校合同研究会 (2017)