

## 理科と数学科のつながりを意識した学習指導事例の分析と それぞれを総合する必要性の考察

安原 誠\*, 金児 正史\*\*

(キーワード: 定量的な学習, 教科横断的, 数学的活動, 「一連の学習」, 21世紀型能力)

### 1. はじめに

本研究の目的は、高等学校物理の指導に数学的活動を取り入れ、生徒が主体的に科学的な探究を行える「一連の学習」を計画・実践・検証を行うことである。

筆者は高等学校で物理を指導するときに、自然の事物・現象と教科書の公式との往還につまずく生徒が多いと感じている。また、公式を自然の事物・現象を表すものとしてとらえられず、数学的な意味も考えずに公式を丸暗記する生徒もいる。筆者らは、こうした現状を改善し、21世紀型能力<sup>1)</sup>の育成に寄与する方策を検討しようとした。

筆者の授業を省みると、生徒に自然の事物・現象から変数を取り出したり、それらを数値化・数式化する経験をほとんど与えられていなかった。また、中高の教科書を見ると、高等学校物理の教科書に示される公式の数がけた違いに多いことが分かった。このことから、筆者らは、生徒の実態の一因が中学校までの定性的な学習<sup>2)</sup>から、高等学校での定量的な学習<sup>3)</sup>への急激な移行にあると考えた。現状のままでは、原(2010)が「定量的な理解を求められるにつれて理科嫌いになるのである」と指摘している状況につながりかねない。

自然の事物・現象を定量的に分析・解釈して表現するには数学的な知識も必要である。理科と数学は高等学校学習指導要領の教科の目標でも深く関連しており、教科横断的な取り組みの有用性は高い。そこで、理科の目標である「科学的に探究する」過程に、数学の目標である「事象を数学的に考察し表現する」活動<sup>4)</sup>を取り入れるならば、科学的に探究する能力が養われ、さらに公式の意味の理解<sup>5)</sup>が深まるだろうと考えた。教科横断的で定量的な学習の先行研究として、多様な測定機材を活用して数学と物理とを関連付ける試み(佐伯・氏家, 1998)や、生徒自らが学び取る Investigation 学習(金城, 2006)など高い効果を上げている実践はある。しかし、いずれも教育課程の改編を伴う学校全体での取り組みである。

これに対して本研究は、学校全体でなくても実施できる教科横断的で定量的な学習として「一連の学習」を計画し実践した。

### 2. 研究の方法

本研究は、次の1)～5)の手順で進めた。

#### 1) 学習指導要領等の調査

教科横断的な視点から「一連の学習」をとらえるために、学習指導要領等を調査した。

#### 2) 教科書の調査

理科と数学の教科書から、両教科・科目が関連して取り扱う単元を明らかにした。その上で、物理に関しては、剛体にはたらく力と等速円運動を取り上げることにした。また、これらの理科の単元に関わって、数学では三角比、ベクトル、三角関数の単元に着目した。

#### 3) 教科書分析を踏まえた学習指導案の作成

定性的な学習から定量的な学習への変化を確認するために、物理分野の中学校教科書(3社)、高等学校教科書(2社)を分析した。また、教科書の調査を経て、剛体にはたらく3力のつり合いについて、小学校6年、中学校2年、高校1,2年生を対象とした、理科及び物理の学習指導案を作成した。学習状況から、小学校と中学校2年の学習指導案は同一のものとした、同様に、高等学校1年と2年の学習指導案も同一のものとした。一方、等速円運動について、高校3年を対象とした、物理の学習指導案と、高校2年を対象とした数学Ⅱの学習指導案を作成した。

#### 4) 授業の実践

作成した4学習指導案に沿って、合計6授業を実施した。授業における生徒の活動の様子は、ビデオカメラとICレコーダーを利用して記録した。また、授業後にはワークシートや授業後の感想を回収した。

#### 5) 授業の分析と考察

授業後に生徒の活動記録や、使用したハンドアウト、

\*徳島県立脇町高等学校

\*\*鳴門教育大学 基礎・臨床系教育部

授業の振り返り、および事前・事中・事後調査の分析を行い、本研究の目的が達成できたか考察した。

### 3. 「一連の学習」の基本構想

#### 3.1 「一連の学習」の基本構想までの経緯

筆頭筆者が勤務していた前任校の高等学校の生徒の、物理の公式に対する認識を明らかにするために、理科と数学に関する意識調査を実施した（H26年2月実施）。対象生徒は、徳島県公立高等学校の1年（314名）、2年（316名）である。「物理は公式を覚える科目だ」と考える生徒が75%、さらに「物理の公式の意味がよく分からない」と答えた生徒が80%に上った（図1）。ただし、いずれも「どちらとも言えない」を含めた割合である。

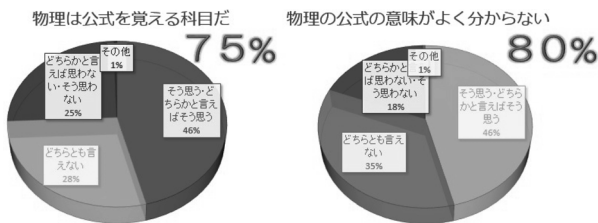


図1 物理公式に対する考え

物理と数学の教科横断的な取り組みの必要性を確認した筆者らは、まず文科省が示す方針を調査した。その結果、教科・領域横断的に育成すべき資質・能力として、問題解決力やメタ認知があげられていることを確認した。次に中高の理科の教科書を調査し、同じ自然の事物・現象でも中学校では言葉で定性的に、高等学校では数式で定量的に表現していることを確認した。また先行研究の調査から、探究活動に数学的活動を組み合わせることの有用性を確認した。これらの調査結果を総合して「一連の学習」の基本構想を次節のように設定した。

#### 3.2 「一連の学習」における生徒の行動目標

「一連の学習」の目的は、科学的に探究する能力を養い、公式の意味の理解を深めることである。筆者らは、理科の目標である「科学的に探究する」過程に、数学の目標である「事象を数学的に考察し表現する」活動を取り入れるならば、科学的に探究する能力が養われ、さらに公式の意味の理解が深まるだろう、と考えた。

筆者らは科学的に探究する活動が、問題解決活動の一種だと考えた。そこで問題解決のプロセス<sup>6)</sup>と探究の方法<sup>7)</sup>を比較・対照し、「一連の学習」における生徒の行動目標を設定することにした。その結果が下表の①～⑦である。

上記①と②は探究活動のきっかけづくりとして位置づける。内容が共通している③～⑤は生徒の自主探究として家庭で行う。また⑥と⑦を数学的活動と位置づけ、定

表1 「一連の学習」における生徒の行動目標

	問題解決のプロセス	探究の方法
①	本物の経験的場面を得る。	
②	自らの問題と認識する。	
③	処理するために必要な情報を得る。	情報の収集
④	自らが実行し得る解決策を考える。	仮説の設定 実験の計画
⑤	解決試案を行動によって検証する。	実験による検証
⑥		検証結果の分析
⑦		法則性を導く

量的に実施する。「一連の学習」は、これらを下記の3段階にまとめて構成した(図2)。1テーマを2時間としたのは、授業進度に負荷を掛けたくないためである。

実験（1時間目の授業）→自主探究（自宅学習）  
→発表・シェアリング（2時間目の授業）

図2 「一連の学習」の構成

上記で設定した「一連の学習」の3段階、実験、自主探究、発表・シェアリング、の設定意図について以下に述べる。

#### 3.3 「一連の学習」における実験

授業時間内で、科学的な探究活動を行うには限界がある。そこで本格的な探究活動は宿題として自宅で行うこととし、1時間目の授業は探究活動のきっかけづくりと位置付けた。

1時間目の授業は、生徒に本物の経験的場面（表1-①）を与え、生徒自らが「こうしたい」「試してみたい」（表1-②）と感ずることを目指した。そのために、教材の選定が重要となる。生徒にとって身近で、興味を引く内容が求められる。教材選定については4.1にまとめた。また本物の経験的場面を得ることを意図するため、実験にはものづくりや制作活動も含む（以下実験）ことにした。

#### 3.4 「一連の学習」における自主探究

「一連の学習」における生徒の行動目標（表1）の③～⑤が活発に行われるよう、筆者らは次の点を重視した。

まず、週末をはさんで3日～5日の探究期間を確保し、定期考査後に実施するなど、実施時期に配慮した。また昼休みや放課後に物理室を開放し、工具の貸し出しや消耗品の提供、探究の助言などを行った。なお、生徒には表1の行動目標を意識させることなく自主探究を行わせた。

探究活動は自由に行われるべきだが、活動の自由度が

高すぎても、限られた時間を有効に活用できるとは限らない。そこで生徒が自分の意思で主体性を持って取り組んでいると感じられるよう、探究可能な範囲を設定した。探究範囲の設定に関しては生徒の最近接領域に留意し、身近な素材を用いて十分な探究ができるよう配慮した。

### 3.5 「一連の学習」における発表・シェアリング

自主探究の活動報告と、数学的活動の場として設定した。生徒の行動目標（表1）の⑥と⑦の部分である。

授業前半の活動報告では探究結果を持ち寄り、1人1分で発表する。その後班内で自己評価と他者評価を行い、筆者らが気になった活動はクラス全体に披露する。

授業後半の数学的活動とは、数学学習にかかわる目的意識をもった主体的な活動のことであるが、高等学校学習指導要領には特に次の3点が示されている。

- ①自ら課題を見いだし、解決するための構想を立て、考察・処理し、その過程を振り返って得られた結果の意義を考えたり、それを発展させたりすること。
- ②学習した内容を生活と関連付け、具体的な事象の考察に活用すること。
- ③自らの考えを数学的に表現し、根拠を明らかにして説明したり、議論したりすること。

図3 数学的活動

本研究の数学的活動は、主に上記②と③を想定した。普段から物理の授業で行っている活動ではあるが、生徒が自分で探究した結果を自ら考察し、数学的に表現して議論することに大きな意味がある。

実施にあたっては筆者らが行った事前実験のデータを提示し、グラフ化や数式化を促して教科書の公式と比較・対照を行わせる。物理公式が自然の事物・現象を表すことを実感し、公式に対する意味理解が深まる事を意図して行う。

なお、「一連の学習」では説明時間の節約と、生徒の理解を助ける意味合いから、出来る範囲で視聴覚教材を活用する。

- ・授業の進行はパワーポイントで行う。
- ・実験手順の説明は、あらかじめ自作したVTRを用いる。
- ・実験手順を再確認したい生徒のために、タブレット端末を準備して自由に見られるようにする。
- ・生徒の作品やレポートを全員で紹介するときは、実物投影機を用いる。

## 4. 「一連の学習」の実際

4.1で教材選定について述べた後、4.2で生徒の探究可能な範囲の設定を行う。さらに4.3～4.5で実践

の様子を記す。

### 4.1 教材の選定

教材として、「スピーカーづくり」を選定した。ベースとなるのは、下図の紙コップスピーカーである。

材料には、百円均一店で購入したネオジム磁石を2個と、3.5mm φステレオミニプラグを1個、0.35mm φのエナメル線1m、紙やすり、テープ、紙コップを用いた。

選定した第一の理由は、生徒にとって「現行の習慣と十分に関係を保っていて、有効な反応を呼び起こすことができるようなもの」(デューイの著書より)であると判断したためである。生徒にとって身近な音(音楽)が、紙コップなどのとても身近な素材から発せられ、数学的にも深まりがある。生徒は小学校3年で「磁石の性質」、小学校5年で「電磁石の強さ」を学び、中学校2年の「電流と磁界」でスピーカーの性質を定性的に学習済みである。使用する材料のシンプルさに加えて、電磁気と音の学習内容を含み、探究範囲が広いことも選定の理由である。

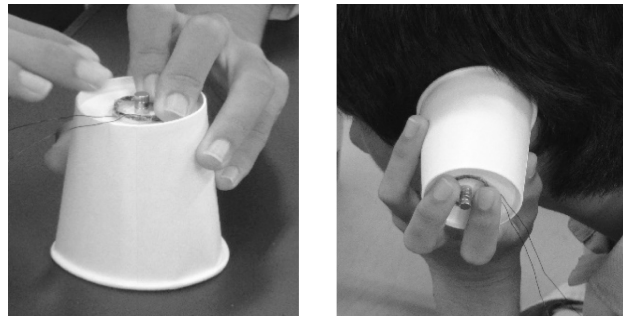


図4 紙コップスピーカー

### 4.2 生徒の探究可能な範囲の設定

スピーカーは多様で、楽器との境界も曖昧なため、電気信号を音に変換するものに限定した。また事前実験を行った結果、探究の範囲は次のようなものに限定されると予想した。

表2 予想した探究範囲

ボイスコイル	磁石	振動板(コーン)
巻き数 径 巻き方(形状)	個数 大きさ 強さ	素材 形状 厚さ

予想の結果、生徒の探究可能な範囲で、十分な自由度が確保できると判断した。なお、より高度な探究として以下の項目も考えたが、これらの内容を含む探究活動は見られなかった。

- ・音の変化は定性的に表現することは難しいことに気づき、教師が用意した騒音計やスマートフォンの無料アプリを利用して定量的に測定しようとする。

- ・測定器具には測定範囲があり誤差を含むこと。また比較するには条件を一定にしなければならないことに気付く。
- ・音の単位であるデシベルが対数で表される物理量であり、音には聞き取りやすい音域があること。

#### 4.3 実験（1時間目の授業）

生徒はスピーカーの原理を確認後、紙コップスピーカーを1人1個作成した。音が出ることを確認し、自主探究目標の設定及び自主探究計画の立案を行った。なお、実験に必要な磁石やプラグ、エナメル線や紙やすり、紙コップなどは筆者らが用意し、音楽プレイヤーは生徒が持参した。

生徒の行動目標（表1）のうち、実際にスピーカーを作成し（表1-①）、思い通りの音が出ないという問題に向き合い、自分の考える理想の音に近づけたいと認識する（表1-②）ことを目標として実施した。生徒一人一人が、自らの問題として認識することができれば、表1-③～⑤のプロセスはおのずと進むと考えたからだ。

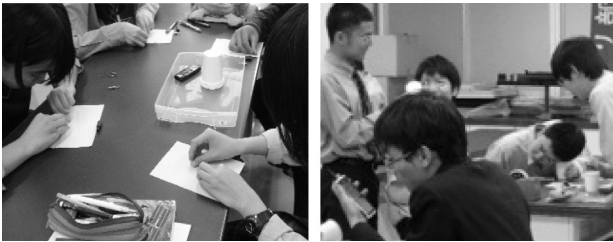


図5 作業風景

実施の結果、スピーカー作成については皆熱心に取り組んだ。しかし、探究目標の設定や計画の立案の際、どうすればいいのか戸惑う生徒が見られた。自らの問題として認識させる点では不十分だった。

#### 4.4 自主探究（自宅学習）

騒音計やテスターなどの備品や、紙コップやエナメル線などの消耗品を取りに来る生徒のために、休み時間と放課後に物理室を開放した。各クラスとも、3名ほどしか利用がなかったが、訪れた生徒は皆熱心であった。初めての取り組みということと、正解もゴールもない課題であるため、取り組み度合いに差が出た。

自主探究には、時間配分や方略の選択などのメタ認知が求められる。後の感想からは、計画的な探究ができなかったことを悔いる声が多く聞こえた。彼らのメタ認知を促す意味でも自主探究の機会は貴重な活動となった。

#### 4.5 発表・シェアリング（2時間目の授業）

前半は作成したオリジナルスピーカーと、探究の内容をまとめたワークシートをもとに、班内（3～4名）で

プレゼンを行わせた。発表時間は1人1分とし、発表後に質疑応答及び評価の時間を適時設けた。図6は磁石の個数と音の大きさの関係を発見した班の発表の様子である。

生徒は互いの探究過程とその結果に刺激を受けていた。発表では筆者らには思いつかないような独自の工夫も見られたが、定量的に測定したものはなく、探究結果は全て定性的なものであった。

後半は筆者らが用意した実測データ（巻き数  $n$  と磁場の強さ  $H$  のデータ、及び電流の値  $I$  と磁場の強さ  $H$  のデータ）を生徒に配布し、数学的活動を行った。（図7）

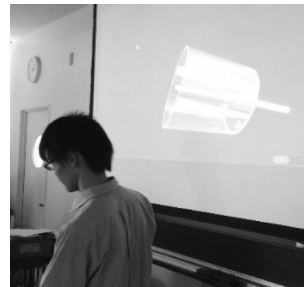


図6 発表の様子



図7 数学的活動の様子

### 5. 「一連の学習」の検証

まず科学的に探究するという側面から、生徒の作品と自主探究の様子を質問紙調査で分析する。次に数学的活動の側面から、生徒のプロトコルとワークシートを分析する。最後に公式の意味の理解について分析する。

#### 5.1 科学的な探究の側面からの検証

##### 5.1.1 生徒の作品

表2で予想した通り、生徒はボイスコイルの巻き数や巻き方、磁石の個数、コーンの素材や大きさを変えて理想の音を探究してきた。以下に作品の一部を示す。（図8～図13）

多くの生徒が、コイルの巻き数と音の大きさに相関があると結論付けていた。しかし音の大きさの変化は小さく、かつ個人の感覚による見取りのため定性的な結論に終始した。それでも多くの生徒が工夫を凝らし、音のかすかな違いを熱く語っていた。また、いずれの作品からも座学の授業では得られない、やわらかな発想が感じられた。限られた時間で充実した探究がなされていた。

##### 5.1.2 自主探究の様子

自主探究（自宅学習）の様子を質問紙調査から検証する。最初に、表1の生徒の行動目標に沿って生徒の探究活動を分析する（図14）。

この生徒は、音の大きなスピーカーを作る事を目標にして探究活動に取り組んだ。最初にいくつかの変化を試

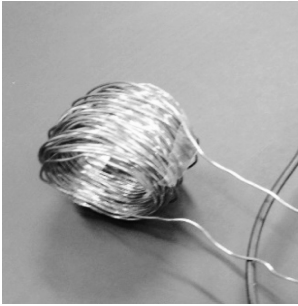


図8 コイルの工夫



図9 磁石の工夫



図10 素材の工夫



図11 形状の工夫

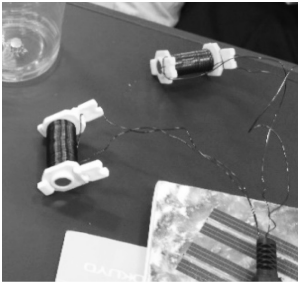


図12 電氣的な工夫



図13 音質の工夫

2 自主探究（授業外の作業）がありました。自主探究の活動についての感想を聞かせてください。  
いくつかの変化を言い組み合わせ言い付けた  
こうなるだろうと予想してから実験した

図14 自主探究の感想1

して、処理するために必要な情報を得て（表1-③）、自らが実行し得る解決策を考え（表1-④）、行動によって検証した（表1-⑤）様子が分かる。また探究の結果、巻き数を増やすと音が大きくなると結論付けたが、磁石の強さと音の大きさの相関を知るためには、もっと強力な磁石かもっと弱い磁石が必要だと述べていた。論理的・批判的思考力が感じられる科学的な探究である。

次にメタ認知の視点から、別の生徒の記述を分析する（図15）。

2 自主探究（授業外の作業）がありました。自主探究の活動についての感想を聞かせてください。  
家にあるもので試したり、その形が少し変えてみることで何が違うか  
試すことができて楽しかったです。

図15 自主探究の感想2

この生徒は、音がきれいに聞こえるスピーカーが達成可能だと予想（モニタリング）した。その上で家にあるいろいろな素材を用いたり、形を変えてみるなど方略の選択・変更（コントロール）を繰り返した様子が分かる。探究過程を楽しんでいるが、発表した作品（紙コップの底を薄い紙に変更）に対しては、うまくいかずに悔しいと課題達成度を評価し、家に帰ってまた試したいと再計画を立てていた。

最後にメタ認知に失敗して、あきらめてしまった生徒の例を示す（図16）。

2 自主探究（授業外の作業）がありました。自主探究の活動についての感想を聞かせてください。  
これをしてこうなるだろうとか予想は中々  
あたらたいし、もっと発想がほしいと思った。

図16 自主探究の感想3

この生徒は、音がきれいで音量が調節できるスピーカーを目標に設定した。磁石を増やし、巻き数を増やすなど試行錯誤した様子が分かる。しかし、予想と実際のズレを感知（モニタリング）した後、目標を修正したり方略を変更することをあきらめ、出来ない理由を探しにしている。他にも、途中であきらめた生徒が数名見られた。今後の課題である。

その他、2時間目の発表・シェアリングを前にして、友人同士で生き生きと会話する様子が見られた。授業前の生徒の会話を示す。

表3 授業前の会話

発話番号	プロトコル
01 S1	接触しとんかな。
02 S2	あ、そこが接触したらいいかんの？
03 S1	だからテープもらって…。
04 S2	めっちゃムズイヤん。
05 S1	これ鳴ったら感動するよ。鳴った時の感動は半端ないよ。

S1～S2：生徒、Sの前の数字：通し番号

## 5.2 数学的活動の側面からの検証

実践を通して感じたことは、物理と数学の数値データに対する捉え方の違いである。多くの生徒が数値データを、数列の問題のように捉えて厳密に規則性を導こうとしていた。物理の測定値には誤差を含むことを知り、規則性を大きくとらえる経験を積むことが、定量的な学習に必要なと感じた。

### 5.2.1 コイルの巻き数と磁場の強さのデータ解釈

中学校までの知識はあるが、電磁気は未習の生徒たちである。磁場の単位とレンジの説明だけを行い、巻き数、電圧、電流、磁場の強さ、レンジの5つの実測データ

(表4)を与えた。生徒は班の仲間と話し合い、これらのデータから巻き数と磁場の強さの2変数を取り出し、数学的な規則性を探り始めた。前述のとおり、最初は多くの生徒が数列を用いてデータの規則性を求めようとした。その後、グラフ化することに気付く班が現れ、簡単な助言を加えると、すべての班がグラフ作成に取り掛かった。

表4 生徒に提示した実測データ1

巻き数	電圧 V	電流 A	磁場 mG	レンジ
10回	10	1.0	0.95	0~3
50回	10	1.0	3.6	0~100
100回	10	1.0	7.0	0~100
150回	10	1.0	8.7	0~100
200回	10	1.0	12	0~100
250回	10	1.0	16	0~100
300回	10	1.0	18	0~100

数値のみを扱う段階から、グラフ化に気付き、座標軸を作成するまでのプロトコル(表5)とその際に利用したグラフ(図17)を示す。数学の既習知識を、物理の実験データの分析・解釈に用いる過程がよく分かる。

5.2.2 コイルに流す電流と磁場の強さのデータ解釈

5.2.1と同様に、巻き数を一定にして電流値を変化させた実測データを示した(表6)。今度は大部分の生徒が初めからデータのグラフ化に取り掛かった。

表5 数学的活動1

発話番号	プロトコル
01 S1	50 増えて… これを1と置いたら 33234.
02 S3	あんまり規則的に増えてないな…
03 S2	最大で4増える。
04 S1	きれいに増えてないな。 四捨五入したんがまずいかな? (中略)
05 S1	割っていったら… 意味ないな。
06 S2	あれじゃない? 1の2乗, 2の2乗, 3の2乗, 350回が5の2乗だったらいける。
07 S1	2乗ずつ増えると 3, 4…
08 S2	四捨五入して, 1, 4, 7。 4を3, 5にする? その方が近い。 (中略)
09 T	数字だけ扱っていると分かりにくいよね。どうしたらいいと思う? 誰が見てもバツと分かるようにする方法は?
10 S2	グラフちゃうん? グラフ描いて, グラフ。
11 S1	グラフ? グラフ描く?
12 S2	描こう描こう。折れ線グラフ, いや棒グラフか。折れ線グラフか。
13 S3	折れ線グラフって, なつかしい。
14 S1	ふつうにx軸とy軸かくん?
15 S3	もしかしてz軸がいるかもしれん。
16 S1	x軸は巻き数にしようか。y軸はmG。 これをどうしようか。10回は面倒くさいな。これ300と置いたら, これが150とおけて…

S1~S3: 生徒, T: 教師, SとTの前の数字: 通し番号

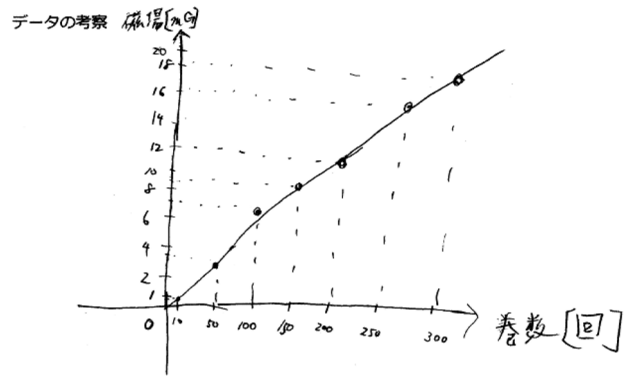


図17 磁場の強さと巻き数の関係

表6 生徒に提示した実測データ②

電流 A	磁場 mG	レンジ
0.1	1.30	0~3
0.2	1.42	0~3
0.3	1.98	0~3
0.4	2.85	0~3
0.5	3.6	0~100
0.6	4.1	0~100
0.7	4.6	0~100
0.8	5.4	0~100
0.9	6.8	0~100
1.0	6.9	0~100

数値データのグラフ化の有効性に気付いた生徒が、点をプロットした後で直線か曲線かで話し合う様子を以下に示す(表7)。

発話番号10, 11で、理科と数学の数値データの捉え方の違いに気付き、15~17で変化の仕方についての議論が見られる。教科書には、公式が成り立つ範囲や、条件の説明は一般になされていない。定量的なデータを用いて数学的活動を行うことで、教科書では伝えきれない、生きた知識が得られている事が確認できた。

時間不足で教師主導にはなったが、図17及び図18から磁場の強さHは、巻き数n及び電流値Iに比例する、 $H \propto nI$ の関係が成り立ちそうであることを生徒はつけた。その後、教科書の公式  $H = nI$  を示して教科書の公式と関連付けた。

生徒の発言からは、比例、反比例、二次曲線、等差数列、階差数列、微分、最小二乗法、プラトーなど数学の用語と知識が数多く拾えた。学習内容を具体的な事象の考察に活用し、自分の考えを数学的に表現して議論していることが確認できた。(図3 数学的活動の②③)

5.3 公式の意味の理解の変容

「一連の学習」後に、物理公式に対する考えの変化を質問したところ、公式の意味の理解に好ましい変容が見ら

表7 数学的活動2

発話番号	プロトコル
01 S1	何だろうこれ。このへん二次関数ばい。 またグラフ描くか？
02 S2	グラフじゃ。もう。
03 S1	グラフ？
04 S3	これほんまにきれいに変化しよん？
05 S1	yの値をこれにしようか。123456789で1.3から6.9。 どうしようか。とりあえず10個ふるか。1.2…。
06 S3	でか。なんでこれ最初こんなにでかいの。
07 S1	全然違うぞ変化量が。 12345678910。0.1のとき、1.3 …。どうみても1の差がおかしいよな。 ちょうどいいわ、1.98、2.85、3.6な 1234で4.6。 どうみてもこれあれや。だいたい…直線と呼べるんだらう か。いや分かんないな。
08 S2	間違った？おれ。123…ここでいきなりおかしくなっとう。
09 S3	直線って呼べるんか。おれのここがおかしいかもしれん。
10 S1	びみよいな(微妙だな)。
11 S2	めっちゃびみよい。
12 S1	でも理科ってさ、こんなんでもいいんちゃうん。だいたい直 線で引くみたいな。
13 S2	だいたいで引くよな。あいだ間に。
14 S1	直線やったら安心。y = axで表せる。
15 S2	曲線ではないだろう。
16 S1	こういうグラフ。こういう。 この変化量。限界があるんかな。
17 S1	一定のラインまで行くと。一直線になるっぽいな。 そのばあい、増加関数でなくてあれや。
18 T	単調増加なの？
19 S2	直線かな。
20 S1	いやでもたぶん限界がある。実際こういうふうに、ある一 定のラインで直線になるかな…みたいな。
21 S2	直線か曲線か分からない。
22 T	なるほど。
23 S1	それは、微分を2回したら分かります。たしか。微分を2 回したら負か正かで分かります。(S1は無理関数と解釈)

S1～S3：生徒、T：教師、SとTの前の数字：通し番号  
( )内は筆者らが補足した。

データの考察

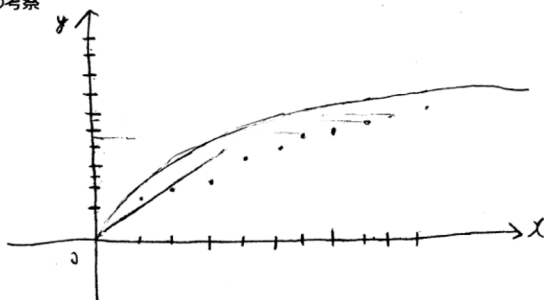


図18 磁場の強さと電流値の関係

れた意見が80%以上を占めた。以下は回答の一部である。

公式が帰納的に発見されたものであることに気づき、実験データに基づいて公式ができることに面白さを感じ、公式を自然の事物・現象を表す実際の法則として捉え、公式を導けたことに感動し、自らデータを元に公式を作ろうとしている生徒がいることが分かる。彼ら5名以外にも、好ましい変容を示す意見が多数見られたため、下表のように分類を行い、割合を調査した(表8、註8))。

4 教科書の公式を、実験データから導く学習がありました。物理で用いる公式(数式)に対して、あなたの考えにどんな変化がありましたか。

- 本来帰納的なのがつてあると感いした
- 実際の実験結果からデータが分かって公式になるってとてもおもしろいと思ひました。
- 公式が式ではなくて、実際の法則として実感できた。
- 自らの実験から公式を導きたせると感動する。
- 公式はただの記号式の整形だと思ひたか、実際データから導くことが大事なのだと思ひた。このデータを元に似たような式を作ってみようと思ひた。

図19 公式の意味の理解の寛容

表8 物理公式に対する意識変容集計

物理で用いる公式(数式)に対して、あなたの考えにどんな変化がありましたか。 89名(3クラス)			
自由記述	2年A組	3年A組	3年B組
1 実験データと公式に言及	47.6%	39.5%	26.7%
2 公式の意味理解に言及	23.8%	7.9%	16.7%
3 公式の感想	9.5%	7.9%	16.7%
4 その他(ポジティブ)	4.8%	28.9%	20.0%
5 特に変わらない	4.8%	2.6%	6.7%
0 無回答	9.5%	13.2%	13.3%

< 1～5の分類と記述例 >

- 1：公式が事実を表しているという事を実感できた。
- 2：しっかり公式の意味を考えようと思った。
- 3：公式を身近なものに感じるようになった。
- 4：自分たちで調べたりしたものは、より実感がわく。
- 5：特に変わらなかった。

各クラスとも、自然の事物・現象である測定データと、教科書に載っている公式について言及した意見が最も多く見られた。物理実験の分析に数学的活動を取り入れ、自然の事物・現象と教科書の公式をつなげることで、定量的な学習への意識が高まったと考えられる。

また、公式の意味理解が深まったことや公式の奥深さに対する感想など、公式に対する認知の好ましい変容が2年生で約85%、3年生でも80%以上で認められた。

学年による差を見てみると、3年生より2年生の方が実験データと公式の結びつきや、公式の意味の理解の深まりに対する意見が多いことが分かる。自然の事物・現象を定量的に捉える意識と、公式に対する正しい理解は、早い学年で行った方が効果が高いことが示唆される。

## 6. まとめ

「一連の学習」における生徒の活動を検証した結果、次

の4点が明らかになった。

1点目は、主体的な探究が行われ、生徒のメタ認知が活性化したことである。生徒の最近接領域に留意した身近な教材を設定し、探究可能な範囲で十分な自由度を確保することで、主体的な探究が行われた(図8～図13)。また、生徒の記述から、科学的な探究を行う際にメタ認知が活発にはたらくことが確認できた(図15, 図16)。これらのことから、科学的に探究する能力に向上が見られた。

2点目は、生徒の「公式の意味の理解」が深まったことである。「公式が式ではなくて、実際の法則として実感できた。(図19)」などの生徒が多く見られた。また「一連の学習」を体験した生徒の80%以上で公式に対する理解の深まりが認められた(表8, 註8))。これらの変容は、自然の事物・現象を量的にとらえ、数学の既習知識を用いて考察し、その特徴を数式化する経験を取り入れたことによる。また表8と註8)の結果から、自然の事物・現象から変数を取り出したり、それらを数値化・数式化する経験は早い学年で行った方が効果が高いことも示唆された。これらのことから、「一連の学習」が定性的な学習から定量的な学習への移行の手法として有効だと判断した。

3点目は、21世紀型能力の育成に寄与する可能性が見えたことである。今回の「一連の学習」では、探究活動で問題解決のプロセスが確認できた(図14)。また質問紙調査から、生徒のメタ認知がはたらくことも確認できた(図15, 16)。さらに数学的活動では批判的な思考が見られた。これらの事実から、「一連の学習」で21世紀型能力の中核となる汎用的な能力としての思考力の育成に効果があると判断した。

4点目は、「主体的に考えることが探究活動を楽しむことにつながる」ということである。探究活動に関する感想の、文末の表現を基に分類したところ、「楽しい」と答えた生徒が最も多かった。さらに、何が楽しかったかを分類した(表9)。

楽しいと答えた生徒23名中、「考える」ことが楽しいと答えた生徒が最も多かった。その他の感想にも、「考える」という語句を用いた生徒が特に多かった。

表9 探究活動の感想

楽しい	23名/89名
考えることが楽しい	7人
手で触れ、経験することが楽しい	3人
作ることが楽しい	2人
試行錯誤が楽しい	2人
達成感が得られて楽しい	2人
授業が生活に役立つことが実感できて楽しい	1人
単に楽しい、相談し合うのが楽しい等	7人

「一連の学習」が生徒の思考力を刺激し、その結果「考える」ことに楽しさを感じている現れであろう。

今後は「一連の学習」に耐えられる教材の開発と指導計画の立案、及び実践と検証を行い、「一連の学習」の有用性をさらに明らかにしていく。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 26909041 の助成を受けている。

## 註

- 1) 「生きる力」としての知・徳・体を構成する資質・能力から、教科・領域横断的に学習することが求められる能力を資質・能力として抽出し、これまで日本の学校教育が培ってきた資質・能力を踏まえつつ、それらを「基礎力」「思考力」「実践力」の観点で再構成した日本型資質・能力の枠組みのことである。文部科学省(2014)『育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検証会－論点整理－』(p.11)
- 2) 自然の事物・現象の質的側面に着目し、性質を捉える学習。
- 3) 自然の事物・現象の量的側面に着目し、数式化、数値化する学習。
- 4) 本研究では仮説の設定から推論に至るまでの一連の探究活動のうち、実験データの分析・解釈、推論を意味する。
- 5) 「自然の事物・現象」と「公式」の往還を意味する。
- 6) J(ジョン)・デューイの著書を、筆者らが解釈してまとめた5つのプロセス。
- 7) 『高等学校学習指導要領解説理科編』, p.34「物理基礎」の内容の構成とその取扱いに、探究の方法が示されている。また、探究の方法を実際に用いる中で、科学的に探究する能力の育成を図ることの重要性も示されている。
- 8) 同じ意識変容を「自然の事物や現象と公式を往還する」視点で捉えた別の集計表を示した。

自然の事物・現象と公式との関係に言及した記述を1,

自由記述	2年A組	3年A組	3年B組
1 自然の事物・現象と公式の往還に関する内容	57.1%	73.7%	36.7%
2 公式に対する感想(ポジティブ)	28.6%	5.3%	23.3%
3 その他	0.0%	5.3%	20.0%
4 公式に対する感想(ネガティブ)	0.0%	0.0%	3.3%
5 特に変わらない	4.8%	2.6%	6.7%
0 無回答	9.5%	13.2%	10.0%



公式に対する意識が改善したという記述が2, 現象のことだけを述べた記述を3, 公式に対するネガティブな感想を4, 変化がない場合は5, 空欄を0と分類した。「一連の学習」を通して, 現象と物理を往還した実感をもった生徒が多かったことがわかる。

## 引用文献

文部科学省 (2014) 「育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検証会－論点整理－」

Retrieved from

[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afeldfile/2014/07/22/1346335\\_02.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afeldfile/2014/07/22/1346335_02.pdf), pp.10 – 11 (2017. 10. 1).

原俊雄 (2010) 「生徒にとって小学校から高等学校へとつながる理科教育の提案」 『物理教育』第58巻 第4号, pp.231 – 234.

文部科学省 (2009) 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』.

文部科学省 (2009) 『高等学校学習指導要領解説数学編理数編』.

佐伯昭彦・氏家亮子 (1998) 「数学的モデリングを重視した総合カリキュラム－身近な物理現象を数学的にモデル化する授業－」 『日本数学教育学会誌』第80巻 第9号, pp.10 – 18.

金城啓一 (2006) 「一般教育として行う物理学習－Investigationを通して自ら学び取る授業実践－」 『物理教育』第54巻 第3号, pp.173 – 181.

J. デューイ著・松野安男訳 (1975) 『民主主義と教育(上)』 岩波書店, pp.259 – 260.

J. デューイ著・金丸弘幸訳 (1984) 『民主主義と教育』 玉川大学出版部, p.225.

