

実験データの科学的解釈に関する基礎研究（2）

— グラフの解釈を活かした授業を探る —

岡本 英治 山下 雅文 小茂田聖士 葛岡 孝則
 梅田 貴士 前原 俊信

1. はじめに —研究の目的—

本研究は、学習者がどのような根拠に基づき、実験データから考察や結論に至るか、批評や吟味を行なう科学的解釈の場を通じて、学習者に科学的な態度を身につけさせる教材開発を目的に行なっているもので2年目の継続研究である。

本年度は、科学的分析や解釈を授業の場でどのように活かすか、教材開発の取り組みとともに有効な指導法を探ることとした。

2. 研究の方法

本研究で用いている『実験データの科学的解釈』とは、『実験結果の読み取りにおいて科学的根拠をもって批評や吟味を行うこと』を示す。前年度の研究¹⁾から中学生は、①科学的解釈のもととなる実験データに対して、測定値としての意味やその扱い方などの認識が十分でない点が多くなった。また、②中学生のもつ既習の知識や経験などでは、科学的根拠を示すために必要な知識や手法などを十分には持ち得ていない点も示された。以上の点を踏まえ、授業の場で実験データの科学的解釈の場における学習指導の取り組みの要点として、3つの点を捉えた。

- 学習者に、実験データがもつ誤差や連続性などの測定値としての意味の認識を深めさせる
- 科学的根拠を示すために持ち得ていない知識や手法を提示し、学習者にその習得を行わせる
- 科学的解釈の場となる場面であることを学習者に提示する

3点目にあげた科学的解釈の場の場面提示は、学習者にどのような場面で何を考察させるか、指導者側からはっきり指し示すことで学習者の科学的解釈に対する目的意識を明確化させて、批評や吟味への科学的解釈への方略を高めさせることができると考えた。

図1は、高校1年生の教科「現代の視座」の自然科学入門で扱っている力学的スコープの内容の一教材である。批評や吟味を加える場面を設定して、考察させる目的を明確にすることで、科学的根拠、解釈に対する妥当性や信憑性を吟味・検討させていくことができると考えて取り組んでいる。

本研究では、3節以降、中学校段階の学習者に対する授業教材の研究について報告する。中学生は、高校生より実験データの認識や科学的解釈に対する知識、手法を十分には持ち得ていないため、先にあげた学習指導の取り組みの要点をさらに明確な形で授業実践に取り組んでみた。

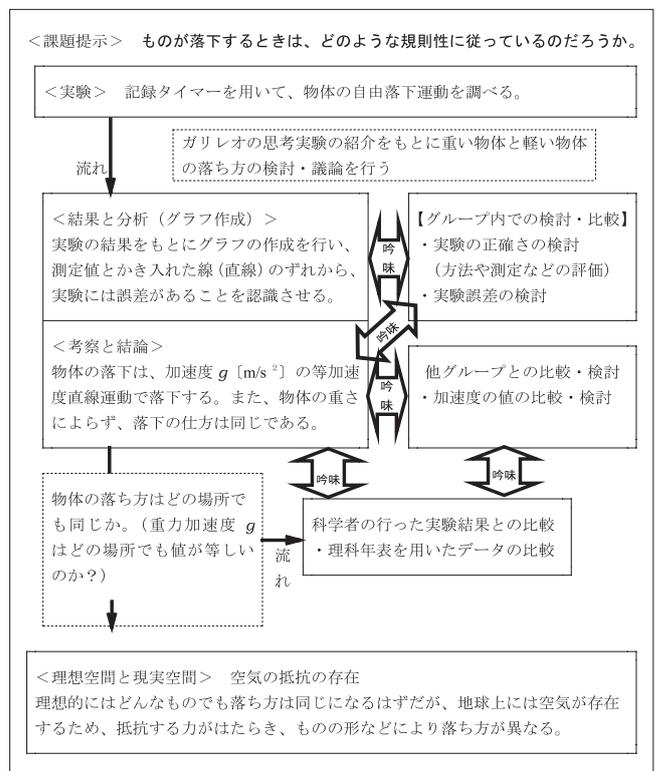


図1. 教材「重力加速度の測定」の概要

3. 授業実践

本節では、中学校3年生を対象に単元「仕事とエネルギー」の中の「力学的エネルギー」の教材を用いた実験データの科学的解釈、特にグラフの解釈を活かすための授業提案とその実践について報告する。

前年度の研究¹⁾においても、同単元の教材「位置エネルギーと高さを調べる実験」でみられた学習者の特徴や傾向などを報告した。その結果や問題点、課題等を踏まえて授業計画を立てて実施した。

3.1 教材名

運動エネルギー

3.2 教材について

中学校学習指導要領には、単元「仕事とエネルギー」の項目の中で「物体のもつエネルギーの量は物体が他の物体になしうる仕事で測れることを理解する」²⁾と書いてある。本授業では、運動エネルギーと速さの関係を図2にあるような仕事測定器、力学台車、ベースピ（簡易速度測定器）などを用いて定量的な実験を行い、結果の分析、考察の過程を通して、その規則性を導くことにした。

運動エネルギーと物体の速さの間には、運動エネルギーは物体の速さの2乗に比例するという規則性がある。本実験で得られた結果をもとに縦軸を運動エネルギー、横軸を物体の速さにとりグラフの作成を行った場合、2次関数の曲線が描かれる。中学校の物理教材では曲線のグラフが得られる実験を扱うことがほとんどなく、生徒達は実験結果から得られるグラフは直線の形になるものと思いこんでいる者も多い。既習の位置エネルギーと高さの関係からは比例の規則性が導かれることから、同一単元で直線と曲線という異なる規則性のグラフが得られる教材は非常に興味深い。

本教材は、そのような意味から自然界の規則性は必ずしも直線であるとは限らず、曲線で表されるような

規則性もあることを知り、結論に至るまでの分析や考察において、科学的に解釈する方法を学ぶ意味で意義があるものと考えた。

3.3 教材の目標

- 実験結果やグラフなどの作成、分析の過程を通して、科学的根拠をもとに考察して結論に至る手法を習得させる。
- 誤差などの測定値に対する扱い方を認識させ、グラフの作成や分析において思考する力を養う。
- 他グループなどの実験結果と対比させながら、科学的に分析、考察する力を養う。

3.4 単元計画における本教材の位置づけ

本教材は、単元「仕事とエネルギー」の中に位置づけられる。単元計画の中に示した4～7の「力学的エネルギー」の学習項目の1つである。5では、本教材と同様、仕事測定器を用いた実験を行い、位置エネルギーと高さの実験データの分析、解釈をもとに結論づけた。本教材は、5を踏まえて規則性を調べていく。

単元計画（仕事とエネルギー*）

1. 仕事の定義と表し方…………… 1時間
 2. 道具のはたらきと仕事の原理…………… 2時間
 3. 仕事率……………0.5時間
 4. エネルギーの定義と種類…………… 1時間
 5. 位置エネルギー……………1.5時間
 6. 運動エネルギー…………… 2時間
 7. 力学的エネルギー保存の法則…………… 2時間
- (*ただし、電気や熱などの様々なエネルギーとその利用等に関しては別途、学習単元を設けて行う。)



図2.実験風景（2008年11月）と測定器具

3.5 授業展開

本項目の授業展開は、単元計画にある「6. 運動エネルギー」の2時間のうちの2時間目にあたる。授業は、2008年11月と2009年11月に附属福山中学校3年生を対象に実施した。

【導入】

前時に行った運動エネルギーと速さの関係を調べた実験を想起させ、各自、グループで得られた結果をもとにグラフ作成を行う。

【展開】

各自、作成したグラフが適切なものであるか、検討するため、i～viの手順で作業ならびに考察等を行っていく。

- i 指導者より各班の実験データをグラフ用紙上に

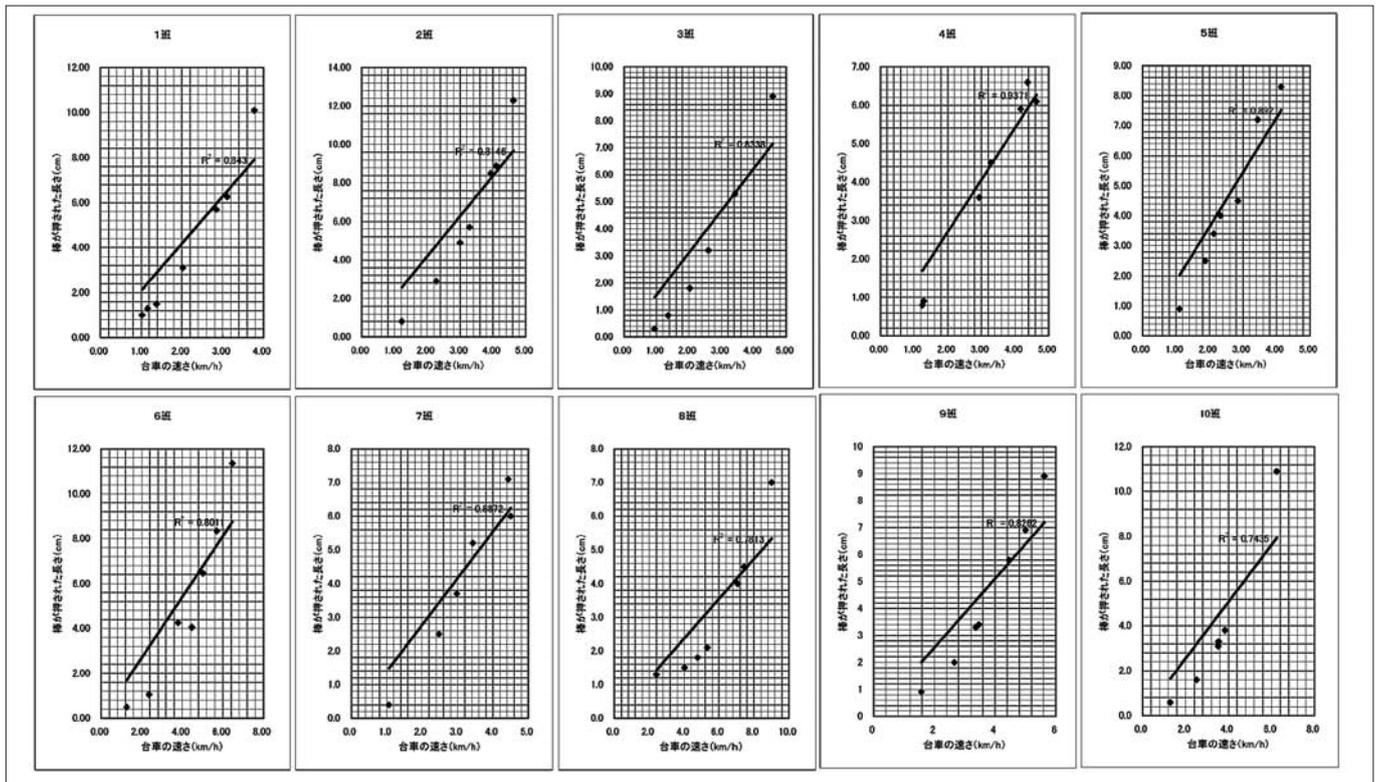


図3. 運動エネルギーと速さの関係を調べる実験（平成21年11月27日実施）

〔〔註〕 グラフにかいてある直線は、切片が0となるようにコンピュータにより引かせたものである。実際には点のプロットしてある用紙のみを配布して、直線は学習者にかきこませた。〕

点をプロットしてまとめた用紙（図3参照）を配布。各々ですべてのグラフに直線をかき込ませる。

その際、速さが0のとき、運動エネルギーは0であること認識させ、原点を通るように直線を描かせる。

ii すべてのグラフに直線をかき込んだ後、全体の傾向から本実験のグラフはどのような形になるものか、判断させる。

直線にあてはまらないと判断した後、グラフになめらかな曲線をかき入れさせる。（iの直線は残したまま、また、曲線がかき入れられないグラフはそのまましておく。）

iii すべての班のグラフをもとに運動エネルギーと速さの間にはどのような規則性があったか、各班で結論を出させる

* 【予想解答例】

運動エネルギーは速さの2乗に比例する

iv iiiの結論に対して、次の①～③の事項を指導者の指示のもとに考察していく。

- ① 何故、運動エネルギーは物体の速さの2乗に比例すると結論づけたか。
- ② 直線グラフと曲線グラフの違い
- ③ 曲線グラフの班別方法

v ivの学習をもとに、各班の実験結果を横軸を変換して直線の形のグラフを作成する。

vi 他の変換（横軸を速さの3乗においたときのグラフ）との比較を行う。

【終結】

速さの2乗を横軸にとったグラフが原点を通る直線の形になったことから、運動エネルギーは速さの2乗に比例する。グラフをもとに規則性を判断するとき、直線グラフを作成して行う手法があるとまとめる。

〔〔註〕 下線を引いた箇所は3.6で示した特徴的な指導場面の箇所である。〕

3.6 科学的解釈を活かすために試みた特徴的な指導場面

3.6.1 グラフに直線をかき入れさせる意義

データをグラフ用紙にプロットしたあと、最初は直線をかき入れさせた。明らかに直線にのらない点の配置であっても直線をかき込ませた。

直線をかき入れさせることで、

- 1) 直線にあてはまらない大きなずれをしっかりと認識させ、ずれの要因の1つが誤差なのか、否か考えるきっかけをつくる

2) 直線をかき入れながら、どのような曲線なのか深く考える意識づくりをさせる
の2つの意義を持たせた。

点の配置をみて、直線でないと判断し、ただなめらかに曲線を結ばせるだけでは、生徒は形だけを踏まえて単に線をかき入れていく。しかし一度、直線を引かせることで、直線と予想していたものが覆り、実験が上手くいかなかったのか、誤差の影響なのかなど様々な思考や判断を行う。また、一度そのような思考や判断を行うことで直線でないならばどのような規則性か、曲線の形はどうなるのかなど深く吟味・検討する場面をつくりだせると考えた。

3.6.2 直線グラフと曲線グラフの違いを知らせる

傾きをもつ直線の形になるグラフは1次関数だけであるが、同じような形の曲線のグラフは、無数に存在する。

前年度の調査研究¹⁾から中学生は既知のグラフの形を根拠にして結論を導きだす傾向をみせた。そこには様々なグラフが未習であることから当然の結果とも言え、それを補完するには指導者側から様々な形や関数のグラフの存在を提示する必要がある。そのとき重要なことは、直線グラフと曲線グラフの違いを知ることであり、今回の指導では、「形だけで判断する場合、曲線のグラフは同じような形のものが無数に存在するが、直線のグラフでは答えが1つに定まる」ことを認識させ、3.6.3の曲線グラフの判別方法へ展開した。

3.6.3 曲線グラフの判別方法

曲線のグラフを判別するときは、関数を予測して軸を変換し、直線のグラフになるか否かで判別する方法がある。

3.6.2で述べたように曲線の形のグラフは無数に存在する。曲線のグラフが得られた場合の判別の方法として、軸を変換して直線の形のグラフになるか、否かで判別する方法があることを知らせた。

学習者は、曲線グラフの軸を変換して直線の形にする方法は初めて学習するわけであるから、数学で学習した内容を踏まえながら指導者側からその手法を提示していった。

この場面で重要なことは、結論の予測から科学的根拠をもって確信へとつなぐ意義である。単にグラフの形のみで判断するのではなく、予測を立て、その予測に対して根拠ある裏付けをして結論づけることが重要である。図4は、グラフの分析、解釈を行う流れを

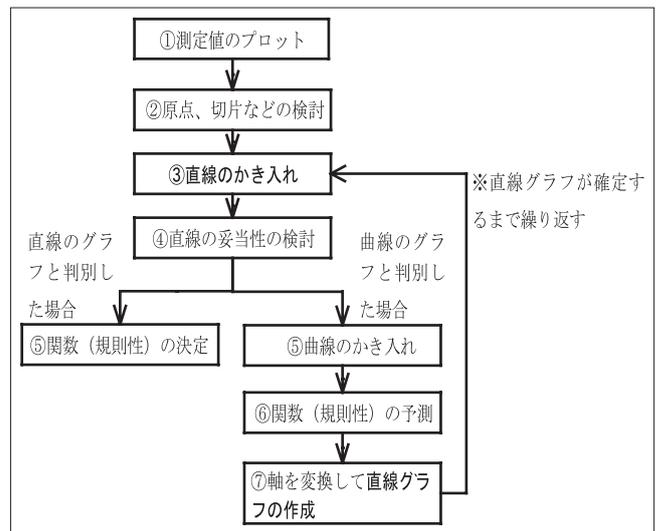


図4.グラフの分析の流れ

チャート図で表したものである。

3.6.4 他のグラフの可能性の検討

3.6.3でグラフを予測して2乗での可能性を検討させて判断させた。しかし、曲線は無数に存在するので1つの可能性のみを検証したのでは確かなものとはいえない。他の可能性も考えて検討を重ねる必要がある。本時では時間の都合もあり、3乗の可能性はないか、コンピュータを用いて横軸を3乗にして直線を引かせたグラフを提示して、2乗の場合と比較して、その妥当性を検討させた。

4. 学習者が学べたもの(授業後の質問紙調査より)

2009年11月に授業を行った2クラスのうちの1クラスを対象に自由記述の形式で質問紙調査を行い、36名の回答を得た。質問事項は次の2つを設けた。

- 1) 仕事測定器を用いた2つの実験(「位置エネルギーと高さの関係を調べる実験」と「運動エネルギーと速さの関係を調べる」)の感想
- 2) 実験や授業を通してどのようなことを学んだか。

本節は主な回答の紹介と考察を示す。ただし、2つの質問事項が重なりあうところもあり、被験者により1)と2)の事項の境界が異なるため、回答を観点別に分けて紹介と考察にまとめた。なお、紹介する回答文の末尾にある括弧内の数字は質問事項の番号を、アルファベットは、Mは男子、Fは女子の回答であることを示す。

被験者の回答は、4つの観点に分類してまとめた。

- I 科学的解釈や分析、考察に関わる事項
- II 実験の測定値や誤差に関わる事項
- III 実験そのものに関わる事項
- IV 教材・単元そのものに関わる事項

4.1 学習者の主な回答

I 科学的解釈や分析, 考察に関わる事項

(曲線グラフの分析手法についての感想)

- ・ 2次関数のグラフとは初めて出会った。曲線のグラフには2乗のものもあれば、3乗のものもあるというのは驚いた。たくさんのことを学んできたと思っていたけど、まだまだ知らないことの方が多いうらなうなと思った。(2・F)
- ・ 曲線を直線のグラフにして確かめる方法は初めて知って、とてもためになったと思う。直線だと簡単に関係性が把握できるが、曲線の場合は2乗なのか3乗なのかという確かめが必要だとわかった。(1・F)

(グラフをつくる意義についての感想)

- ・ グラフをつくることで式がよくわかった。(1・M)
- ・ 誤差が大きいのが難点だった。けれど比例だとか、2乗の比例のイメージが感覚的に身についたのでよかった。(1・F)

(科学的解釈, 考察についての感想)

- ・ 実験は、たくさんデータをとって考察しなければならないということがわかった。考察も、曲線のグラフなら、何乗に比例なのかということも調べなければ考察とは言えないことがわかった。(2・F)
- ・ きれいな実験結果を出すのは難しいということを知った。この結果は正しいのか、正しくないのか、見極める力が大切だと思った。(2・F)

(他者との比較・検討についての感想)

- ・ 自分たちの実験の結果が意外と正確で驚きました。グラフをつくる時は、自分たちの班だけのデータで「こうだ!」と決めてしまうのには少し抵抗がありました。みんなのデータがあつると「あ、やっぱりこれでよかったんだ」と思いました。正確に実験するのは難しいなと思いました。(1・F)
- ・ 色々な装置があつて面白かった。グラフにした時、色々な班と結果を比べてみるのがよかった。2乗のグラフにしたら比例に近づいたので面白かったです。(1・F)

II 実験の測定値や誤差に関わる事項

- ・ 教科書や参考書のようなきれいなグラフをつくるのは難しく、実験では少し違う値がでたりした。(1・M)
- ・ 実験によって数値を出すのは限りなく不可能。誤差がいつもついてくる。(2・M)
- ・ 実験なので、きれすぎるグラフになるのは逆におかしいということがわかりました。グラフが曲線になったときは、直線にすることにより関係性がわかりやすくなるということがわかりました。(2・F)

- ・ 実験結果の誤差について考えさせられた。実験には誤差があるものだし、逆に誤差がなかったらおかしいが、比例のグラフになるはずなのにまったく比例にならなかったら実験としての意味がなくなってしまう。そのため、いろいろ考えながら実験を行ってみた。(1・M)

III 実験そのものに関わる事項

- ・ 手作りの測定器なので誤差があつたが、グラフにまとめることが出来た。自分の予想と大きく異なった結果にビックリした。速さと運動エネルギーは2乗に比例していたことに驚いた。(1・M)
- ・ 実験装置も非常に充実している中で、質の高い実験ができたと思う。結果から結論を導き出す過程で、グラフをより有効的に使うことができたのも大きかった。実験を重ねる度に新しい発見があり、実験のしがいもあった。
- ・ 「エネルギー」とか「力学」とかいわゆる物理的分野が苦手と言葉を聞いただけでうっと一歩ひいてしまふけど、実験をしているととても楽しく、公式も頭にすんなり入ってきました。苦手意識が少し緩和されたように思います。(2・F)
- ・ チームのメンバーとの協調性が必要でした。まかせっきりでなく、「今、どんなことをしているのか」「今から何を調べるのか」をキチンと考えて実験をすべきだとわかりました。(2・F)

IV 教材・単元そのものに関わる事項

- ・ 公式をつくっていったり、仮定を確かめたりしていくのは授業でしかできないのでとてもおもしろかった。(1・F)
- ・ 力学的エネルギーは、名前だけ聞くと複雑な感じがしますが、実際に実験をして、グラフにしてみると、納得がいきスッキリとしました。身のまわりにはエネルギーでいっぱいなんです。その1つ1つに式があるという事実。不思議です。理科の世界は奥深いです。(2・F)
- ・ エネルギーを求めることはそんなに難しいものではないと分かり、少しだけ親近感がわいた。地球上にはエネルギーに関するものが無数にあると思った。(2・M)

4.2 考察

授業後の学習者の感想をみると、「測定器の改良をした方がいいと思う。うまくいかず何回もやり直した。面倒くさかった。(1・F)」、「仕方がないが結構グラフにするのに骨が折れた(1・M)」といった回答もあつたが、学習者は4.1に示したような感想のように概ね関心や興味が高まったと考える。

感想で最も多かった回答は、『実験の測定値は真の

値を示しているものではなく、必ず誤差を含んでいることを認識した』という主旨のものであった。測定器具や設定条件、器具の数値の読み取り方など要因や解釈は様々であったが、中学校の実験室では誤差の制御などが十分ではないため、実験の測定値は誤差が含まれていることを学習者に認識させた点は非常に大きな成果であったといえる。その認識こそが実験データやグラフの解釈、考察の場面において、「きれいな実験結果を出すのは難しいということ」を学んだ。この結果は正しいのか、正しくないのか、見極める力が大切だと思った。」というような学習者の意識につながったと考える。

もう1点考察を付け加えておくと、学習者、特に中学生は、考えることのできるグラフや関数のバリエーションをあまり持ち得ていないという点である。数学の既習の内容を踏まえると、比例、反比例、1次関数、2次関数が限度であり、その範囲内において考察や結論を導く。だから指導者側は、学習者にそれ以上の分析や考察を求めるのではなく、学習者の考察できる範囲を把握して、学習内容や学習指導に反映させることが重要である。今回は、学習者が持ち得ていない知識として曲線のグラフには様々な関数があることを示し、曲線の規則性（関数）を根拠ある形で決定づける方法として軸を変換して直線グラフの作成により解析する手法があることを指導者側から提示したことは意義があった。「曲線のグラフには2乗のものもあれば、3乗のものもある」という驚きや「曲線のグラフなら何乗に比例なのかということも調べなければ考察とは言えない」、「グラフが曲線になったときは、直線にすることにより関係性がわかりやすくなる」という点を学習者に認識させることができた点は大きな成果である。

5 終結 一研究のまとめと今後の課題一

研究のまとめの前に、普段授業で扱う教材に対して指導者側はきれいな実験結果になる教材を求めすぎているだろうか。中学校の物理教材で扱われている定量実験は、電流と電圧の関係を調べるオームの法則の実験や斜面を下りる力学台車の速さを調べる実験など比較的測定誤差や設定条件の考慮が少なく、きれいな実験結果が得られるものが多い。無論、子どもたちの思考や技能などの発達段階を考慮して教材は選択されていると考えるが、普段の実験で、きれいな値、きれいなグラフになる結果を求めすぎているだろうか。生徒達の感想にあった「教科書や参考書のようなきれいなグラフをつくるのは難しい」、「実験によって

数値（おそらく真の値のことを指している）を出すのは限りなく不可能。誤差がいつもついてくる」という測定値の意味を認識させる教材を、授業で扱うことも必要である。指導者側がきれいな値を求めすぎて設定を整えてしまい、学習者に考察するものを与えていないことも測定値の認識を十分なものにしていない要因の1つに考えられる。科学者達は1つの実験に、器具の改良、条件設定、測定方法などかなりの年数を費やす。多くの生徒が「実験の難しさを知った」と感想に書いたことは、本来の実験の姿と測定値そのものの認識を深めたものと考えられる。指導者側にはそのような教材選択を行うことも求められる。そして生徒達は、実験の難しさの中から「公式をつくっていったり、仮定を確かめていくのは授業でしかできないのでとてもおもしろかった」と思う場面もつくりだされる。

本年度の研究から『中学生は科学的分析や考察の手法、知識といったものを十分には持ち得ていない。だからこそ指導者側は学習者の知識や技能・能力を十分に把握して、持ち得ない知識や手法に対しては、それを補いながら科学的な解釈や考察場を設定し、思考力などの育成に努めていく必要がある』と言える。また、実験から得られる測定値は真の値が得られるものと思っている中学生も多く、今回のように測定値は誤差を含む値として認識させることができれば、実験の設定、方法、グラフ作成、読み取り方、解釈など様々な場面において検討しながら中学校段階の学習者であっても考えていく力を十分に持ち得ていると言える。

今回は、指導者側から科学的解釈の仕方や手法を提示して学習者に習得させた。今後は、学習者が習得した手法や知識を用いて、他の実験データを科学的に解釈する場で活用することができるか、また科学的根拠をもとにして分析や考察を行い、結論を導出できるか、様々な実験等を通して、さらに検証・検討を行い、科学的解釈を行うために必要な指導場面や方法の研究に取り組んでいきたい。

引用（参考）文献

- 1) 岡本英治他 (2009) 「実験データの科学的解釈に関する基礎研究—中学校段階の実験処理を通して—」, 『広島大学 学部・附属学校共同研究機構研究紀要』, 第37号, pp.349-354
- 2) 文部科学省 (2008) 「中学校 学習指導要領」, 東山書房.