

「思考力」・「実践力」の育成を目指した教員養成系大学の物理学実験

小川佳宏*・定本嘉郎*

(平成29年8月31日受付；平成29年11月20日受理)

要 旨

「理科」における「思考力」及び「実践力」は、自ら課題を見つけ、主体的に問題を解決し、更に新たな問いを見出し、自分の考えや情報を正確に他者に伝えたり、他者の意見を受け入れたりすることで、問題解決に取り組んでいく力、を意味する。これら「思考力」と「実践力」を育成するために、「物理学実験」において、実験テーマごとに大まかな課題を与え、グループごとに、課題の背景の調査、実験方法の調査、実験の計画、実験の実施、データの解析などを学生自ら考え実行する、課題解決型学習を実践した。初めに、「物理学実験」の5つのテーマ、「測定的基础」、「力学（振り子の運動）」、「光（屈折率とレンズの公式）」、「熱（比熱）」、「電磁気（オームの法則と非線形抵抗）」のそれぞれの課題の設定について説明する。その後、実際に行った授業実践、特に「力学（振り子の運動）」の様子について記す。最後に、授業終了後に行ったアンケート調査に基づき授業の評価を行う。その結果、実験内容について論理的・批判的に説明する「思考力」の下位項目「論理的・批判的・創造的思考」のポイントが低いことがわかった。また、5種類の実験を行うことで、「探究の技能」の多くの項目を身につけることができることがわかった。

KEY WORDS

21世紀を生き抜く力、思考力、実践力、物理学実験、課題解決型学習、授業実践

1 はじめに

平成28年12月21日に中央教育審議会から出された答申「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について」において、児童・生徒の育成を目指す資質・能力は、「知識・技能」、「思考力・判断力・表現力等」、「学びに向かう力や人間性等」の三つの柱にまとめられている⁽¹⁾。これら3つの柱は、本学でかねてから取り組んでいる「21世紀を生き抜く力」の「基礎力」、「思考力」、「実践力」におよそ対応している。このうち「思考力」は「問題解決・発見」、「論理的・批判的・創造的思考」、「メタ認知・学び方の学び」の3つの項目から構成され、さまざまな思考を働かせながら、主体的・協働的に問題を解決し、更に新たな問いを見いだしていく力を意味する。また、「実践力」は、「自律的活動力」、「関係形成」、「持続可能な社会づくり」から構成され、自分自身と社会の未来を切り開いていく力を意味する。これらは「理科」においては、自ら課題を見つけ、主体的に問題解決をしていく能力、グループでの問題解決あるいは、他者とのやり取りによって、検証方法の妥当性や結果の解釈の客観性を高める能力、と捉えることができる。実験・観察を通して自然を理解する「理科」は、「思考力」および「実践力」を育成するのに最も適していると言える。「理科」の実験・観察を通してこれらを育成していく上で、「思考力」の構成要素ごとに小林・後藤により下位項目が設定されている⁽²⁾。これまでに我々は、振り子の運動を例として、「思考力」および「実践力」の評価基準を小林・後藤による設定の仕方によって考察できることを示してきた^{(3),(4)}。本稿では、「思考力」、「実践力」を育成するために行った「物理学実験」での取り組みについて報告する。

2 物理学実験の概要

主に、小学校あるいは中学校の教諭を目指している教員養成系大学理科コースの学部生向けに、2年生の後期に行われている「物理学実験」での授業の概要について説明する。物理学実験では、「測定的基础」、「力学（振り子の運動）」、「光（屈折率とレンズの公式）」、「熱（比熱）」、「電磁気（オームの法則と非線形抵抗）」の5つのテーマを設定

*自然・生活教育学系

した。「測定的基础」では、ノギスとマイクロメーターを用いてスライドガラスの板厚を測定し、平均値、標準偏差、ヒストグラムなどの基本的なデータ処理について学習する。後半の4つのテーマでは、大まかな課題を与え、グループごとに、課題の背景の調査、実験方法の調査、実験の計画、実験の実施、データの解析などを学生自ら考え実行する、課題解決型学習 (Project Based Learning) を実践した。具体的には1コマ(90分)×5回を実験にあて、最後の1コマをグループごとのプレゼンテーションを行う時間とした。物理学実験は週に1回2コマ連続であるので、3週間かけて各テーマの実験を行ったことになる。実験方法の細かい指示を我々が与えず、学生が自ら考えることに重点をおき授業を行った。

「力学(振り子の運動)」、「光(屈折率とレンズの公式)」、「熱(比熱)」、「電磁気(オームの法則と非線形抵抗)」の4つの実験で設定した課題の概要について以下に述べる。初めに「力学(振り子の運動)」について、対象とする学生達にとって「振り子の運動」は馴染み深いテーマであると推察される。具体的には、小学校第5学年において「振り子の等時性」について学習し、また中学校第3学年においては振り子を題材として「力学的エネルギーの保存」について学習する。高等学校「物理」では単振動として定量的に取り扱う。さらに学部2年生前期開講の「物理学」において、運動方程式を用いた様々な運動の解析の一つとして「振り子の運動」を取り上げ、振り子の振幅が小さいと近似できる場合には、「振り子の等時性」が成り立つことを学習している。このような背景から、学生達は「振り子の運動」の基礎的な事項、つまり「振り子の等時性」(振り子の周期がおもりの質量と振れ角に依存しない)を既知のものとして授業実践を行った。従って、どのように工夫すれば振り子の周期を正確に測定することができるか、振れ角が大きくなるのに従い周期が伸びる「等時性の破れ」に気づくかどうか、という点に着目し授業を行った。このような背景から、授業では、「振り子の等時性を検証せよ」という課題を与えた。

「光(屈折率とレンズの公式)」については、「ガラスの屈折率を求めよ」と「(レンズの公式を用いて)レンズの焦点距離を求めよ」という2つの課題を設定した。ガラスの屈折率を求める方法はいくつかあるが、入射角と屈折角を測定し屈折の法則(スネルの法則)を用いて屈折率を求める方法がすぐに思いつく。授業では、発泡スチロール、方眼紙、針数本を用意し、ガラスを通る光路から屈折率を求められるように準備した。入射角と屈折角を正確に測定するにはどのように工夫する必要があるか、という点に着目し授業を行った。ガラスの屈折率を求めるには、この他に、臨界角を利用したり、読み取り顕微鏡を用いたり、垂直反射率から求めたりする方法がある。レンズの焦点距離を求める最も簡単な方法は、太陽光を集光しレンズから焦点までの距離を測定するものである。授業では、光学台を用意しレンズの公式からレンズの焦点距離を求められるように準備した。レンズと物体、実像の間の距離を一点だけ測定し焦点距離を求めるだけでは中学校の実験と変わらないので、「測定的基础」で学習した統計的手法を用いることを期待した。

「熱(比熱)」については、「(ジュール熱を用いて)水の比熱を求めよ」という課題を設定した。これは水中の抵抗に電流を流し発生するジュール熱による水温上昇から、水の比熱を求める実験である。同様の実験は中学校第2学年で学習するが、ここでは、どのように工夫すれば正確に比熱を測定できるか、という点に着目し授業を行った。抵抗で発生した熱を外部に散逸させることなく、一様に水を温度上昇させないと、正確な比熱を求めることができない。どの程度電熱線に電流を流せばよいのか、どの程度水を攪拌すればよいのか、何秒間測定するか、温度を測定する周期はどうするか、熱浴との熱接触の影響など、考えなければならない測定条件が多い。

「電磁気(オームの法則と非線形抵抗)」については、「(セラミック抵抗の)抵抗値を正確に測定せよ」と「豆電球の電流-電圧特性を求めよ」という課題を設定した。通常の抵抗の振る舞い、電流-電圧特性の測定方法を身につけるために、初めにセラミック抵抗の抵抗値を測定する実験を行った。この時、「電流を正確に測る方法と電圧を正確に測る方法の2通りを試すこと」という指示を与えた。電圧計はセラミック抵抗と並列につながり、電流計を並列部分の中に入れるか、外につなげるか選択肢がある。学生実験で使用するような低い抵抗値の試料を測定する場合には、抵抗値が電圧計の内部抵抗よりも十分小さくなるので、電圧計に流れる電流は無視できる。また、電流計を並列部分の中に入れてしまうと、抵抗と電流計の内部抵抗の差が小さくなってしまふので、内部抵抗の影響が大きくなってしまふ。豆電球に電流を流すとフィラメントが発光する。これはフィラメントに電流が流れるとジュール熱により発熱し、黒体放射をするためである。このときフィラメントの温度は1000-2000 K程度まで上昇する。フィラメント(タングステン)の抵抗値は温度に比例するので、電流を流すと温度が上昇し抵抗値も増加する事となる。このような抵抗を非線形抵抗と呼ぶ。高等学校でも詳しくは非線形抵抗を取り扱わないので、一定ではない抵抗という現象に初めて出会った時に、どのように考えるか、どのような測定をするのか、という点に着目し授業を行った。

学生が自主的に実験を進めることから、実験の内容としては易しいもの、教員養成系大学の学生が興味を持ちやすいよう小中学校の理科に直接関連するものを選んだ。また、今回の実験の課題としては比較的具体的なものを設定した。課題解決型学習の課題としては、より抽象的で自由度の高い課題を設定したほうが、抽象的課題を具体的な実験

計画に変換する過程が加わる分、課題解決能力の向上が期待できるであろう。しかしながら、「物理学実験」として、力学から、光学、熱力学、電磁気学までの領域を学生が経験する必要があることから、ここでは具体的課題を設定し、一つのテーマについて3週間で実験が終了できるようにした。具体的な測定を行う上で、実験精度を向上させる工夫や、データ処理の工夫について自主的に考えることを、学生に期待した。

3 授業実践

授業は平成28年度の後期に実施した。学部生17名、大学院生8名の計25名が履修した。「測定の基礎」終了後の4回目の授業で、今後の実験のやり方について主に以下のような説明を学生に行った。

1. 図書館やインターネットを利用して良い。
2. 実験室で使用したい装置があるときは、相談する。
3. 装置を自作しても良い。
4. 各自実験ノートに記録を取ることに。
5. 実験終了の30分前から、その日の実験内容について実験ノートに基づきプリントにまとめる。
6. 3週目の最後にグループごとに実験内容について発表する。
7. 提出するプリントでレポートとみなす。
8. 物理学実験最終日の授業後に実験ノートを提出する。

毎回提出するプリントでは、第三者が読んでわかるように、以下の2点について記入させた。

- (1) 活動内容（調べたこと、行ったこと、実験の目的、実験方法、実験結果、工夫した点、考察について、該当する項目）
※作成したグラフは各自3日目までに印刷して添付する。3日目は全体を通したまとめにすること
- (2) グループ活動について（自分の役割、グループ活動や発表を円滑に進めるために工夫した点など）
※課題を克服するためにした議論の過程も詳しく書くこと

当初、授業の成績は毎回提出するプリントと実験ノートでつける予定であったが、実験に時間がかかりプリントをまとめる十分な時間が取れない事が多かったこと、実験ノートを見ても実験の詳細が記入されていないため評価できないことから、「熱」の実験以降、各テーマの実験が終わるごとに通常の実験レポートを提出することに変更した。

特に「力学（振り子の運動）」の授業の様子について以下に述べる^{(5),(6)}。授業の進め方について一通り説明した後、「振り子の等時性を検証せよ」という課題を提示した。始め学生たちは何をしたら良いか分からず戸惑っている様子であった。しばらく振り子実験器を組み立てたりした後、振り子の周期を測定し始めた。全てのグループで「振り子の等時性が成り立っていることを確かめること」を目的に実験を開始していた。振り子の周期に関係するパラメーターとしては、おもりの質量、振り子の振幅（振れ角）、ひもの長さがある。さすがに大学生であり「振り子の運動」という馴染み深いテーマであることから、どのような条件で測定すればよいかは概ね理解しているようであった。初日の2コマの授業時間は一通りの測定データを得ることで終わっていた。

ほとんどの学生は振り子の等時性は常に成り立っていると考えているようであった。その為、振幅を大きくし周期が長くなる実験結果が得られたとき、振幅を大きくするとおもりの速度が増加し、ひもに加わる張力が大きくなるために、ひもが伸び、周期が長くなったのではないかと考察していた。物理学実験の前学期に開講している「物理学」において、振幅を大きくすると近似が成り立たなくなり周期が伸びることを説明しているため、数名の学生は「等時性の破れ」について初日授業後のプリントに記述していた。

この時点で、我々に強く印象に残った点は、正確に測定する、注意深く振り子の動きを観察するという意識が学生にほとんどないことである。例えば、振り子の振幅を測定する場合、振り子の正面から目盛を読まない角度がずれてしまうが、学生の多くは斜め方向から目盛を読み取っていた。また、周期はほとんどの学生が10往復する時間をストップウォッチで測定していたのだが、学校現場で用いている簡易的な振り子は10往復する間に10%程度振幅が減衰してしまう。振り子の運動をよく観察すれば、この減衰に気づくはずだが、ヒントを与えるまで学生は全く気にしていなかった。この減衰は周期-振幅図の横軸の誤差棒で表現される。その他にも、初めにおもりを手から離す動作が

雑なため、おもりが楕円軌道を描いていたり、振動していたりしていた。このような測定では周期の測定誤差が大きいため、この実験精度では「等時性が成り立っている」という結論となる。

そこで、2週目（3-4コマ目）の授業では、注意深く振り子の運動を観察すること、測定結果の縦軸と横軸に誤差棒をつけること（正確に周期を測定するにはどうすれば良いか考えること）、という指示を実験中に与えた。実験方法の細かい指示を与えない方針ではあるが、完全に学生に任せてしまうと馴染み深いテーマであっても正しい実験を行うことができないということがわかった。どの程度指示を与えるかは、学生のこれまでの経験や授業の進み方を見ながら試行錯誤する必要がある。学生に指示をするのではなく、議論しながら学生自ら考えることが理想である。しかしながら、学生は1から10まで教えてもらうことに慣れきっており、非常に受け身であった。このような学生が、「主体的に学び、実験をする」ように授業を設計するにはさらなる工夫が必要であるだろう。

このようにして授業を進め、3週目（6コマ目）のプレゼンテーションでは全てのグループで比較的正確に周期を測定し、振幅の増加と共に周期が長くなる「等時性の破れ」について発表することができた。今回の授業では「振り子の等時性を検証せよ」という課題を与えたため、振り子の等時性がどの程度まで成り立っていると言えるか、あるいは等時性は正しいかどうか、という点に着目して実験が進んだ。その結果、どのグループも最後の結論は同じものとなった。これは我々が暗にそのように誘導したのかもしれないし、授業時間外での学生間のコミュニケーションが働いていたのかもしれない。学生がこのような形態の授業に慣れているようであれば、課題は大雑把に「振り子」などと設定し、グループごとに着目する点が異なっても良いであろう。

毎授業後に書かせているレポートに、「前回に比べ自分の意見を班の皆に伝えられるようになった。」などの記述が散見されることから、「意見を言う」ということ自体が苦手な学生が多い。この点は普段の授業においても理解しているところであるが、少人数のグループで行う実験においても、グループ内の雰囲気よくなるまでは発言をためらう学生が少なからずいる。また、一見話し合いをしているように見受けられるが、よくよく観察していると、物理の得意な学生や元気のいい学生の意見をただ聞いているだけであったり、「証拠にもとづき議論する」というよりは、どうしたら良いか「相談」しているだけであったりする。また、図書館に行き出典のはっきりした教科書や参考書を調べていたのは5グループ中の1グループだけであった。残りの4グループはスマートフォンを用いてインターネットを利用して情報を入手していた。インターネット上の情報には根拠や前提条件がはっきりしないものがある。実際、レポートに「インターネットで調べたところ、等時性が成り立つのは23°ということなので、…」と書かれており、この「23°」がどこから出てきたのか不明である。本稿にかぎらず出版された書籍にも間違いはある。複数の書籍にあたる必要がある。最後に、議論する能力についても授業が進むに連れて向上が見られたことを補足しておく。

「力学（振り子の運動）」以降の実験について、それぞれの実験で気づいた点を簡単に以下に示す。「光（屈折率とレンズの公式）」の屈折率を求める実験では、光路を正しく求めようと半導体レーザーを用いるなど工夫している様子が見られた。しかしながら、多くのグループで得られた屈折率のばらつきは大きく、学生は悩んでいるようであった。このばらつきは、光路を決定する距離が短いことに起因する。そこで、入射角を正確に測定するためにはどうしたら良いかヒントを与えることで、測定がうまくいくようになった。

「熱（比熱）」の実験では、初日に水の比熱を測定したところ、各グループの値はそれぞれ、3.60, 8.51, 7.19, 1.6, 4.8 J/gKとなり実際の比熱4.18 J/gK（20℃において）と殆どのグループで大きく異なるものとなった。水道から汲んだ直後の冷たい水を用いたために、水温が実験室の空気では暖められる影響がのってしまっていたことと、加熱中の水の攪拌が十分でなかったことが、誤差が大きくなった主な要因である。初めの水温が低すぎる点は、多くの学生が測定後に気づいていた。そこで、水が室温になるまで待ってから測定する、次回の測定用に水を汲んで置くようにヒントを与えた。これらの注意点は通常の学生実験であれば、教員が事前に準備したり注意したりしておくことであろう。事前準備や計画の重要性について、学生が身をもって体験することが、この授業の意義であろう。また、加熱中の水の攪拌も重要な点であるが、何度も測定するうちに、多くのグループで攪拌することにより正しい測定ができるようになっていった。

「電磁気（オームの法則と非線形抵抗）」の実験では、豆電球の非線形抵抗を測定する前に、電流-電圧のグラフがどのようになるか予想してもらった。その結果は表1のとおりであった。およそ半数の学生が正しいグラフを予想していた。高等学校「物理」の教科書によっては非線形抵抗についての記述があったり、導体中の自由電子の運動のモデルで抵抗とジュール熱について説明しているものがあったりする⁽⁷⁾、これらの知識が身につけていけば正しいグラフを予想できるであろう。実験では、抵抗値が一定ではない意外性から興味を持って取り組んでいる様子が見取れた。

表1 実験前に行った豆電球の電流—電圧特性のグラフの予想

グラフの形	人数 (割合)
電流 (電圧) が大きくなると抵抗が大きくなるグラフ	12人 (52%)
抵抗値が一定の比例のグラフ	8人 (35%)
その他のグラフ	3人 (13%)

4 授業の評価

最後の授業終了後の平成29年2月6日に履修者全員(25人)にアンケート調査を実施した。初めに、「力学(振り子の運動)」に関して、「21世紀を生き抜く力」のうちの「思考力」を身につけることができたか、以前作成した「振り子の運動」の評価規準³⁾に基づいて項目分析を行った。「よくわかった」、「できた」を5、「大体わかった」、「大体できた」を4、「どちらとも言えない」を3、「余りわからなかった」、「余りできなかった」を2、「わからなかった」、「できなかった」を1として得点化した。各項目の平均値と標準偏差を表2に示す。なおこのアンケートは「振り子の運動」の実験終了日(平成28年11月21日)からおおよそ2ヶ月経過している。また、項目の1~4は実験をしたときを振り返って選ぶように指示した。

この結果から、「論理的・批判的・創造的思考」の項目について平均値が低い傾向があることがわかる。特に「5. 振り子の等時性を検証する際に、振り子の周期を従属変数、振幅、おもりの質量、ひもの長さを独立変数としてよいか、根拠をあげて説明できる。」について平均値が低い。「1. 振り子の周期と振幅、おもりの質量、ひもの長さとの関係を導きだすためにどのような実験をしたらよいかわかった。」の平均値は高いことから、「振り子」では振幅、おもりの質量、ひもの長さをパラメーターとして、振り子の周期を測定することは知っているが、どうしてこれら3つをパラメーターとして取り扱うのか説明できないと学生が考えていることが伺える。

次に、振り子の周期の振幅依存性のグラフを書かせる問題を出題した。出題文は、「振り子の周期について振幅を変えながら測定する場合、周期の振幅依存性のグラフを記入して下さい。横軸を振幅、縦軸を周期とします。」とし、横軸(軸名称に振幅と記入)と縦軸(軸名称に周期と記入)を書いたものに、グラフを記入させた。「力学(振り子の運動)」の実験の初日の段階では、ほとんどの学生が振り子の等時性は常に成立する、つまり、振幅を変化さ

表2 「振り子の運動」のアンケート結果

「問題解決・発見力」の評価規準	平均値	標準偏差
1. 振り子の周期と振幅、おもりの質量、ひもの長さとの関係を導きだすためにどのような実験をしたらよいかわかった。	3.80	0.96
2. 振り子の周期と振幅、おもりの質量、ひもの長さとの関係について実験可能な仮説を立てることができた。	3.48	1.05
3. 振り子の周期と、振幅、おもりの質量、ひもの長さとの関係について検証するための実験の計画を立てることができた。	3.64	0.81
4. 実験結果をまとめ、グラフに基づいて分析・解釈し、振り子の周期が、おもりの質量によらず、ひもの長さの増加に伴い単調増加することを結論として得ることができた。	3.84	0.99
「論理的・批判的・創造的思考」の評価規準	平均値	標準偏差
5. 振り子の等時性を検証する際に、振り子の周期を従属変数、振幅、おもりの質量、ひもの長さを独立変数としてよいか、根拠をあげて説明できる。	2.8	1.04
6. 振り子の等時性が、実験で検証可能かどうか、根拠をあげて説明できる。	3.24	0.97
7. 振り子の周期の求め方や、振幅の変化のさせ方など、測定方法や測定条件が適切であるかどうか説明できる。	3.16	0.75
8. 振り子の等時性を検証する際に、測定値と照らし合わせて結論を得ているか、また結論を得る過程において論理の飛躍はないかなどについて、根拠をあげて説明できる。	3.16	0.69
「メタ認知・学び方の学び」の評価規準	平均値	標準偏差
9. 振り子の等時性を検証するための実験計画、手順、得られた結果の整理の仕方、考察、結論までの過程を振り返って、その妥当性や改善などについて説明できる。	3.56	0.82
10. 振幅が大きくなると等時性が成り立たず振り子の周期が長くなるという問題に対して、仮説の設定の仕方、観察・実験の計画・実施など、これまでに学んできた問題解決のための考え方や適用の仕方について説明できる。	3.24	1.01

せても周期は変わらないと考えていた。しかしながら、実験を進め、振り子の周期を正確に測定することで、振幅が大きくなるのに伴い振り子の周期が長くなる、「等時性の破れ」があることを見出ししていた。周期の振幅依存性のグラフを書く出題において、従来から信じている「等時性」のグラフか、2ヶ月前に実験で見出した「等時性の破れ」のグラフのどちらを答えるか関心があった。結果は表3のとおりであった。およそ半数の学生が等時性のグラフを書いていた。等時性のグラフを書く理由として、2ヶ月前の実験を忘れてしまっている場合と、周期の振幅依存性を問われた時には一般的には等時性が成り立つと答える場合の2つが考えられる。このアンケートではどの程度の学生が2ヶ月前の実験を忘れてしまっているのか分からないが、小学校、中学校、高等学校と植え付けられてきた「等時性」という概念が非常に強いことが伺える。その他のグラフを書いた学生は、問題文を正しく理解できず、2ヶ月前の実験の記憶も怪しいのであろう。「力学（振り子の実験）」ではレポートを課さなかったために、実験結果が印象に残りにくかったのかもしれない。

表3 授業後に描かせた振り子の周期の振幅依存性のグラフ

グラフの形	人数 (割合)
等時性のグラフ	14人 (56%)
等時性が成り立たない、実験結果と同様のグラフ	6人 (24%)
その他のグラフ	5人 (20%)

また、「測定の基礎」から「電磁気」までの5つの実験でどのような技能を身につけることができたか、複数の技能を選択する形式で記入させた。選択する技能として、小林等によって作成された「探究の技能」⁽²⁾を使用した。「探究の技能」はアメリカ科学振興協会(AAAS)が提案したプロセス・スキルズから、日本の理科教育の実情にあうように作り変えたものである。「探究の技能」の上位項目として、「I 事象を理解・把握するために観察する技能」、「II 分類の基準に基づいて分類する技能」、「III 観察・実験のための仮説を立てる技能」、「IV 観察・実験で変数を制御する技能」、「V 観察・実験で測定する技能」、「VI データを解釈する技能」、「VII 要因の抽出や観察・実験結果について推論する技能」の7つの項目があり、この上位項目の下に31の下位項目がある。例えば、「I 事象を理解・把握するために観察する技能」の下位項目としては、「I-1 五感を通して得た事象のようすや性質等を記録する。」、「I-2 数値を用いて観察したことを記録する。」、「I-3 観察した事象の変化のようすや変化の特徴を記録する。」、「I-4 立体や平面の図を使用して観察した事象を記録する。」、「I-5 事物の構造や位置関係の特徴を記録する。」、「I-6 事象を空間的に捉え平面的に記録する。」がある。ここでは具体的な下位項目の中身までは問わずに、それぞれの上位項目に属する下位項目をどの程度身につけることができたか調べた。それぞれの上位項目ごとに下位項目数が異なるので、下位項目数で規格化したものを表4に示す。

表4 「探究の技能」の7つの上位項目に属する下位項目をいくつ身につけたか、それぞれの上位項目に含まれる下位項目の数で規格化した割合を示す。左列と右5列のカッコ内の数字はそれぞれ、その上位項目に含まれる下位項目数と規格化した標準偏差を示す。ガイドとして、身についた下位項目の割合が0.65以上のものに“*”を付した。

「探究の技能」の上位項目 (下位項目数)	測定の基礎	力学	光	熱	電磁気
I 事象を理解・把握するために観察する技能 (6)	0.37 (0.23)	0.58 (0.29)	*0.65 (0.27)	0.50 (0.30)	0.56 (0.28)
II 分類の基準に基づいて分類する技能 (2)	0.20 (0.30)	0.52 (0.42)	0.30 (0.40)	0.46 (0.41)	0.56 (0.44)
III 観察・実験のための仮説を立てる技能 (6)	0.10 (0.30)	0.61 (0.33)	0.45 (0.36)	0.57 (0.35)	*0.69 (0.29)
IV 観察・実験で変数を制御する技能 (3)	0.08 (0.20)	*0.68 (0.38)	0.28 (0.37)	0.40 (0.40)	0.53 (0.40)
V 観察・実験で測定する技能 (5)	0.57 (0.30)	0.52 (0.29)	0.55 (0.28)	*0.65 (0.24)	*0.66 (0.23)
VI データを解釈する技能 (6)	0.40 (0.30)	0.64 (0.28)	0.55 (0.29)	0.61 (0.25)	*0.69 (0.18)
VII 要因の抽出や観察・実験結果について推論する技能 (3)	0.20 (0.30)	0.57 (0.38)	0.47 (0.36)	0.51 (0.39)	0.56 (0.36)

「測定の基礎」については、ノギスとマイクロメーターで測定を行うことと、データ処理を学ぶことが目的であったので、「Ⅴ 観察・実験で測定する技能」が主に身についたという結果であった。「力学（振り子の運動）」においては、「Ⅳ 観察・実験で変数を制御する技能」の値が高かった。振り子では、振幅、おもりの重さ、ひもの長さの3つの変数があることから、この技能が身についたと学生が判断したのであろう。「光（屈折率とレンズの公式）」の実験では、「Ⅰ 事象を理解・把握するために観察する技能」の値が高かった。ガラスの屈折率を求める際に、光路を適切に測定する為に、注意深く観察したり、記録したりする必要があったことから、観察する技能が身についたと判断したのであろう。「熱（比熱）」の実験では、「Ⅴ 観察・実験で測定する技能」の値が高かった。比熱を測定する際に、初めの水温を調整したり、水を攪拌したり、温度計や電流計、電圧計を読み取ったり、測定に関して注意する事項が多かったことから、測定する技能が身についたと判断したのであろう。「電磁気（オームの法則と非線形抵抗）」の実験では、「Ⅲ 観察・実験のための仮説を立てる技能」、「Ⅴ 観察・実験で測定する技能」、「Ⅵ データを解釈する技能」の値が高かった。豆電球の電流－電圧特性を測定する前に、グラフを予想させたことと、測定結果が抵抗は一定であるというそれまでの常識と異なり非線形性を示したことから、これらの技能が身についたと判断したのであろう。5種類の実験を行うことで、「探究の技能」の多くの項目を身につけることができるようになるといえるだろう。

「21世紀を生き抜く力」の「実践力」として、「自分の考えや情報を正確に他者に伝えたり、他者の意見を受け入れられたりすることで、問題解決に取り組んでいく力」がどの程度身についたか、自由記述形式のアンケート結果から考察する。質問文は、「物理学実験を履修して、特にグループ活動から学んだことや良かった点、悪かった点を自由に書いて下さい。」とした。多く見られた記述は表5のとおりである。「グループの人に質問できる、教えてもらえる」、「グループ内で仕事を分担できる」というのはグループ活動の利点である。ただし、「グループ内で仕事を分担できる」は、「グループ内の誰かがデータの解析をしている間に測定を進められ手際よく実験できる」という意味で記述されており、我々の期待していた「電流計、電圧計、ストップウォッチ、温度計のそれぞれ読みと、記録を分担することで精度よく実験できる」などの意味ではなかった。また、「実践力」としては「他の人の様々な意見を聞ける」や「議論や相談をして実験を進めることができる」ことの方が評価できる点である。自分の考えを他者に伝えたり議論をしたりする場合には、根拠に基づき科学的・論理的に議論することが大学での実験では求められるだろう。今回のアンケートからは、学生がどの程度、科学的・論理的に議論できていたかわからない。授業の様子を観察していた印象としては、議論しているというよりは相談しているように見えた。学生が科学的・論理的に議論できるようにするには、どのような方策を取れば良いか、今後の課題として残されている。

表5 授業後に行った、「グループ活動から学んだことや良かった点、悪かった点」のアンケート結果

記述内容	人数（割合）
グループの人に質問できる、教えてもらえる	10人（40%）
グループ内で仕事を分担できる	6人（24%）
他の人の様々な意見を聞ける	6人（24%）
議論や相談をして実験を進めることができる	5人（20%）
他人に合わせないといけない、説明が難しい、時間がかかるなど	4人（16%）

5 おわりに

「21世紀を生き抜く力」の「思考力」と「実践力」を育成するために、「物理学実験」で行った取り組みについて報告した。具体的には、学生が自主的に実験を進める課題解決型学習の手法を用いたり、グループ内での議論や文献調査、グループ発表を行うことで、根拠に基づき議論したり、自らの考えを正確に表現したりできるように努めた。実験中に学生の様子を見てみると、教員に答えを教えてもらいたがったり、黙って見ていると何も教えてくれないとがっかりされたりした。自主的に課題に取り組んだり、活発に議論したりできるようになるには、本稿で取り上げたような授業実践を地道に続けていく必要があるだろう。将来、学生諸君が小中学校の教員となった際には、自ら知恵を絞り、児童、生徒の「思考力」、「実践力」を育成していけるようになることを期待している。

最後に、このような実験的な授業に付き合っていたいただいた学生皆さんに感謝いたします。実験器具が足りなかったり、実験の方針を途中で変えたりなど、到らない点が多々あったことをお詫びいたします。

引用及び参考文献

- (1) 中央教育審議会（2016）「幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）」。
- (2) 小林辰至，後藤顕一：上越教育大学研究紀要 35（2016）229-238.
- (3) 小川佳宏，勝島雄治，氏家萌，村山真子，定本嘉郎：上越教育大学研究紀要 36(2)（2016）549-553.
- (4) 「実践力」を育てる－上越教育大学からの提言2－（出版予定）
- (5) 「思考力」の教育実践－上越教育大学からの提言3－（出版予定）
- (6) 「実践力」の教育実践－上越教育大学からの提言4－（出版予定）
- (7) 数研出版，高等学校物理Ⅱ（2007）.

A physics experiment in a university of education for nurturing “thinking power” and “practical power”

Yoshihiro OGAWA* · Yoshiro SADAMOTO*

ABSTRACT

“Thinking power” and “practical power” in “science” refer to the ability to self-identify and independently resolve problems. This is done by accurately propagating ideas and information to others, and by accepting differing opinions. In order to nurture these powers, we performed a project-based learning session as part of a “physics experiment,” in which students were asked to think about planning and conducting experiments, analyzing data and so on. In this paper, we first described the details of the five themes of the experiment. Next, we described the actual practice of teaching, especially the “mechanics (dynamics of pendulum).” Finally, we evaluated this approach based on the questionnaire survey conducted after the course. It was found that the scores of “logical and critical thinking capacity” are low, that students explain the contents of the experiment logically and critically. In addition, it is possible that students acquire many items of “skills of exploration” by executing the five themes of experiments.

* Natural and Living Science