

中学校理科におけるレンズ学習を補助する教材の開発とその評価

月 僧 秀 弥
東京理科大学大学院理学研究科

川 村 康 文
東京理科大学理学部

新 村 宏 樹
黒部市立高志野中学校

浅 原 雅 浩
福井大学学術研究院教育・
人文社会系部門

葛 生 伸
福井大学学術研究院工学系部門

Development of Teaching Materials to Support Learning about Lenses in the Classroom

Hideya GESSO*¹, Yasufumi KAWAMURA*², Hiroki SHIMMURA*³,
Masahiro ASAHARA*⁴, Nobu KUZU*⁵

*¹Department of Mathematics and Science Education, Tokyo University of Science

*²Faculty of Science Division1, Department of Physics, Tokyo University of Science

*³Koshino Junior High School, Kurobe, Toyama

*⁴Faculty of Education, Humanities and Social Sciences, University of Fukui

*⁵Faculty of Engineering, University of Fukui

Many junior high school students have difficulties in their understanding of learning about lenses. Part of the difficulty may be seen to be derived from laboratory instruments used in learning about lenses. We developed an experiment tool designer to lead to an understanding of the principles of lenses and usage of the optical instruments. In a class using this experimental tool, it was observed that students conducted experiments over and over. Effects of the experimental tool and the active learning program were evaluated.

Key words: lens learning, experiment tool, science communication, science classes, active learning

1. はじめに

1. 研究の背景

中学校学習指導要領解説理科編（文部科学省，2008a）によると，レンズ学習は「物体とレンズの距離を変え，実像や虚像ができる条件を調べさせ，像の位置や大きさ，像の向きについての規則性を定性的に見いださせること」をねらいとしている．生徒は，レンズを使うと光が集まることやレンズを覗くと物体との距離によって実像や虚像が見える場合があること，そしてそのときの光の道筋について学ぶ（岡村ら，2015）．

福井県教育委員会（2017）が行った中学2年生対象の第65次福井県学力調査の分析において，レンズに関する問題の観点別平均正答率は，基礎力を問うA問

題では33.2～37.8%（全問平均正答率62.0%），活用力を問うB問題では29.4%（全問平均正答率48.0%）と他の単元に比べて最も低い正答率であった．この結果からレンズの分野は多くの中学生にとって理解が困難であることが分かる．その理由として，凸レンズを通る光の進み方が理解できていない点や，物体を動かしたとき凸レンズによってできる像の位置や大きさの変化の規則性が理解できていない点が示されている（福井県教育委員会，2017）．

川村（1999）が行った高等学校における学習項目の好嫌度調査では，レンズの好嫌度が最も低く，理解の困難が継続していることが考えられる．

佐久間（2010）らは，通常の理科授業を受けた生徒

を対象にして、レンズによってできる像の位置の移動やその大きさと向きを理解を調査した。多くの生徒がレンズを通る光の作図を行うことはできても、像の大きさや位置について十分に理解できない状況を報告している。これは、光の進み方を手順通り作図することはできるが、レンズのはたらきの理解に結びついていないことを示している。

小松(2015)らは、レンズの実験と作図を関連させるために、コンピュータとビデオカメラを用いディスプレイ上に光の道筋を提示する教材の開発と評価を行い、AR (Augmented Reality : 拡張現実) 教材の使用が実験操作や実験から導き出せる規則性と関連をもった作図能力の育成に有効であることを示した。同時に、AR教材を使わない学習でも、実験との関連性を考察させることの重要性を述べている。

さらに、谷中(2003)らは中学校で一般的に使用される光学台は、高価で大きく重いため十分な台数を保有できず、全生徒が実験しにくいとともに、生徒の興味・関心、理解を高める手軽で機能的な光学実験装置が少ないことを指摘している。

以上の点を踏まえ、レンズ学習における課題を次の3点に整理した。

- ① 生徒は与えられた条件で実験操作を行うだけとなりがちで、光源とスクリーンの距離を変化させたときにできる像の位置や大きさの変化の規則性が理解できていない。
- ② 図形的な把握が苦手な生徒がいる。そのような生徒は、作図とレンズの原理を結びつけることができない。
- ③ 4人グループで1台の器具を役割分担して操作し、1人で器具の操作を行うことが少ないため、実験全体を把握した上で進めることができない生徒が多い。

2. 研究の目的

前節を踏まえ、本研究では、レンズと光源の距離を変化させた場合に、実像ができるレンズとスクリーンの距離や実像の大きさを繰り返し調べることができる実験教材の開発を目的とした。この教材を用いることで、多くの生徒が感覚的に実験を行うことが可能になり、条件を変化させたときの光の進み方が変わることによって起こる実像のでき方の違いについて、繰り返し実験を行うことができる。また、作図の意味の理解、

レンズの原理の理解に繋がると期待される。

3. レンズ学習教材の開発

著者らは、長年、実験教室やサイエンスショー、青少年のための科学の祭典の実験講師として児童生徒向けの科学啓発活動を行ってきた。これらの実験教室やサイエンスショーなどでは、幼児、小学生、中学生、その保護者など幅広い世代を対象にして、多くの観客を楽しませることができ、興味・関心を高めることを目的とした実験が実施されている。

月僧(2007)らは、このような実験を取り入れた教材の活用によって、生徒の実験に取り組む意欲を促進できたことを報告している。レンズを使った実践としては、カメラの原理を体験できる紙コップを使った簡易カメラを開発し、青少年のための科学の祭典や実験教室で小学生を対象に活用してきた(月僧, 2014)。半透明プラスチックをスクリーン、紙コップをカメラの本体とすることで、組み立てが簡単になり、小学生でも5分程度で作成が可能である。教材作成中においても実像がスクリーンに映る様子を不思議そうに見る小学生の姿を見ることができた。小学生からは「なぜこのように像が映るか」の分かりやすい説明を求められることがあり、詳しい説明を求める小学生に対しては、LED光源と金魚すくいのポイを用いたスクリーンを使用し、現象の説明を行ってきた。これらの教材は、小学生に対して主体的に考える態度と興味・関心を喚起しているといえる。既にレンズの学習を終えた中学生が参加した際には、自ら光源、紙コップカメラを使い、実像を調べる様子も観察できる。

本研究では、説明に活用する「簡易光学実験セット」と「紙コップカメラ」を中学校理科の授業に取り入れるために改良を行った。

II. 教材の作成と授業展開の工夫

1. 教材作成のねらい

中学校理科におけるレンズ学習のため、「簡易光学実験セット」「紙コップカメラ」の2種類の教材を開発・使用した。

前者は、実験教室で使用したLED光源と金魚すくいのポイを用いたスクリーンを改良した教材である。多くの中学生にとって苦手なレンズ学習での光学台の原理と、光源とスクリーンの距離を変化させたときにできる像の位置や大きさの変化の規則性の理解の促進

を目指した。

後者は、科学実験教室などで使うために開発し、実践を続けてきた教材である。従来のカメラの原理のための教材は、作成に手間がかかっていた。「紙コップカメラ」は同様の実験ができ、作成も容易である。この「紙コップカメラ」を用いることで、レンズの実験による現象の確認を行うこともねらいとしている。

2. 単元の構成

単元の構成を図1に示す。第1時の【活動1】でレンズの性質を確認した後、【活動2】で簡易光学実験セットを使い実験を行った。第2時は、光学台を使った従来通りの授業である。第3時は、作図のまとめを行ったあと、学習のまとめとして【活動5】で紙コップカメラを使い、レンズ学習の復習とカメラの原理を学習した。

| | |
|----------|-----------------|
| 第1時【活動1】 | レンズの性質の確認 |
| 【活動2】 | 簡易光学実験セットを使った実験 |
| 第2時【活動3】 | 市販の光学台を使った実験 |
| 【活動4】 | 作図 |
| 第3時【活動4】 | 作図のまとめ |
| 【活動5】 | 紙コップカメラの実験 |

図1 単元の構成

3. 簡易光学実験セット

a. 教材の開発

レンズの性質を調べるために通常の理科授業で行う光学台の実験は、一人では操作が難しい。そこで、身近にあるものを使い、安価に作成でき、一人でも容易に操作できる「簡易光学実験セット」の開発を目指した。この実験セットを使うことで光学台の原理と条件制御の理解の促進が可能になる。文部科学省(2008b)は、学習指導要領において、条件制御について、変化させる要因と変化させない要因を区別しながら、観察、実験などを計画的に行っていく能力の育成の必要性を述べている。レンズで実像を結像させる時には、光源とレンズの距離のみを変化させ、観察できる実像の大きさと、レンズとスクリーンの距離を調べる。このように変化させる要因がはっきりしているため、レンズ学習は、条件制御の能力を身に付けるために相応しい内容であると考えている。

b. 教材の作成方法

「簡易光学実験セット」は、レンズの焦点距離と実像がスクリーンに映る位置を調べるための教材であり、光源、スクリーン、レンズを組み合わせたものである(図2)。その使い方を図3に示す。

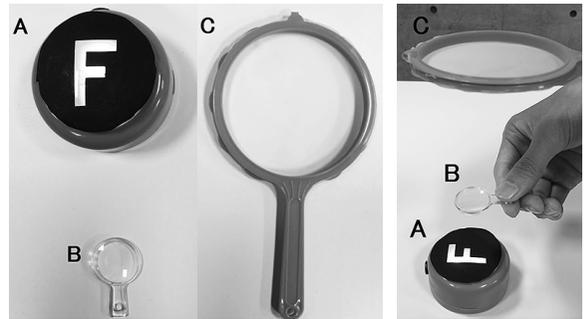


図2 簡易光源実験セット 図3 簡易光学実験セットの使い方
A:光源 B:レンズ C:スクリーン

光源(図2のA)は、LEDライト(ダイソー製2LEDマルチライト)を使用した。マルチライトはLEDを2個使用し、ライト面がφ40mmのほぼ平面の透明プラスチックである。この面にFocusの頭文字であるアルファベットFの形に切り抜いた黒色画用紙(Fの大きさ:30mm)を両面テープで貼った。アルファベットのFを使用した理由は、スクリーンに上下左右が逆向きの実像が映った際に、光源の形と比較しやすいためである。透明プラスチックの内側には半透明プラスチックコップの底面を2枚入れ、LEDの光を散乱させることで、LED自体の像がスクリーンに結像することを防止した。

使用するレンズを選ぶために、焦点距離の異なる市販の凸レンズ(焦点距離50mm, 100mm, 150mm, 200mm)を用い、スクリーン上に映る像を調べた。全ての凸レンズで実像が映ることが確認できた。生徒が実像を映す際に、光源とレンズの距離が短い方が、映しやすくなるため、実験セットには口径23mm、焦点距離50mmの凸レンズを用いた(図2のB)。

スクリーン(図2のC)は、金魚すくい用のポイ(ダイソー製:外径100mm,長さ170mm)の和紙を、トレーシングペーパー(直径90mm)に交換したものをを用いた。トレーシングペーパーに交換することで、ピントが合いやすくなり、実像が明瞭になる。スクリーン上に容易に光源の形を書き写すことができる。

c. 教材の特徴

光源（図3のA）を机の上に置き、その数cm上にレンズ（図3のB）、さらに上にスクリーン（図3のC）を手で持つ。レンズ、スクリーンを上下させ、スクリーン上の光源の文字が明瞭に映る位置を探す。

従来の光学台に比べてこの教材では次の3つの利点が挙げられる。

- ① 光源を机の上に置き、レンズ、スクリーンを左右の手で持って自由に動かせる。そのため条件を自由に変更しながら試行錯誤が、1人で容易にできる。
- ② スクリーンに書き込めるため、実像と光源の大きさの比較が容易である。
- ③ 材料費が安価なため、全生徒が実験器具を使用できる。

実験器具を1人ずつに配布することで、各自が自問自答しながら考えることができる。2人毎に実験器具を配布すると、ペアでの対話促進が期待できる。簡易光学実験セットでは距離の測定に定規を用いる。レンズやスクリーンは手で持ち、定規を固定しないため、距離の測定値は不正確になり概略値の測定になる。この曖昧さは、生徒にとって不満となる。しかし、この不満が正確に距離を測りたい意欲に繋がる。このことを踏まえて次の授業時間に光学台を用いて距離の正確な測定を行うことで、光学台の有効性を認識できる。光学台の実験では、概略の距離を把握しておかないと結像させるのに手間取る。そこで、このような概略値を測定することが、正確な測定を容易にする上での手がかりを与えることになる。

d. 授業展開

第1時の授業展開を表1に示す。第1時では、図1

表1 第1時【活動1】【活動2】の授業展開

| 学習活動 | 内容 |
|----------------------------------|---|
| 【活動1】 | |
| レンズの性質の確認 | <ul style="list-style-type: none"> ・レンズの焦点と焦点距離の確認 ・スクリーン上に実像が映ることの確認 |
| 【活動2】 | |
| 課題 スクリーンに映る実像が、光源と同じ大きさになる条件を調べる | |
| 実像ができる条件を探る | <ul style="list-style-type: none"> ・光源を2人に1個配布し、2人で協力して実験 ・くり返し実験して、気付いたことを発表 |
| 振り返り | ・本時を振り返り、感想の発表 |

の【活動1】、【活動2】を行った。

第1時の具体的な展開を下記に示す。

① レンズの性質の確認

レンズとスクリーンを各生徒に配布し、焦点距離の確認、遠くの風景の実像がスクリーン上に映ることを確認する。

② スクリーンに映る実像の確認

光源は2人毎に配布し、レンズとスクリーン、レンズと光源の距離と、できる像の大きさを調べる。1人では実験を行い調べることが難しい実像と光源の文字の大きさの比較、光源、レンズ、スクリーン相互間の距離の大きさを、2人で調べる。図4にスクリーン上に映る実像を示す。光源とレンズ間の距離およびレンズとスクリーン間の距離を変化させることで、実像の大きさが変化する。この実験を通して、「光源と実像が同じ大きさになるためには、レンズ-スクリーン間の距離とレンズ-光源間の距離が同じになる」ことや、「焦点距離の2倍の距離にスクリーンを置くと、光源

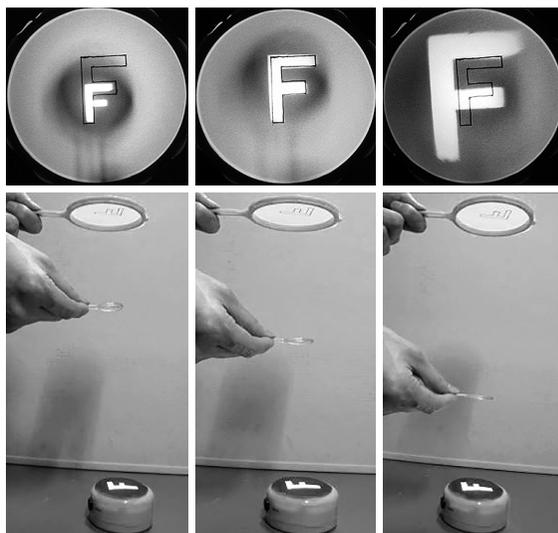


図4 スクリーンに映る実像と光源・レンズ・スクリーンの位置

左：光源より小さい実像の場合

中央：光源と同じ大きさの実像の場合

右：光源より大きい実像の場合

注1：スクリーン上の文字の線は、光源の大きさと同じ

注2：下段の写真は、光源・レンズ・スクリーンの位置を示すため、明るい部屋で撮影したためスクリーンに像は映っていない

と同じ大きさの実像が映る」ことを、生徒が発見することを期待している。試行錯誤しながら実験を繰り返し、ペアで相談しながら実験することで、自分の考えを修正し、相手の操作や考え方を学ぶことが期待できる。

第2時の内容を以下に示す。第2時では、従来の授業と同じように、光学台を使ったレンズ学習を行い、レンズを通った光の作図を行った。

③ 光学台を使ったレンズの実験

以上のように、簡易光学実験セットを使い、実像の大きさと焦点距離の関係をだまかにつかんだ上で、光学台を使い実像の大きさと焦点距離の関係を調べる。光学台を使い理解が求められている内容は、焦点距離の2倍の位置に光源がある場合のスクリーンの位置と実像の大きさが、物体とレンズの距離を小さくしたときに距離や光源の大きさがどのように変化するかを確認すること、スクリーンに像が映らない場合を調べることである。

簡易光学実験セットを使った後に行った光学台の実験は、従来20分程度かかったものが、半分程度の時間でできた。実験時間が短縮されたのは、簡易光学実験セットですでに、「光源と実像が同じ大きさになるとき」「スクリーン・レンズ間の距離と光源・レンズの間の距離が同じ」、「焦点距離の2倍の位置にスクリーンを置くと、光源と同じ大きさの実像が映る」ことを見出しているためである。光学台は4人グループに1セット使い実験を行ったが、実験に戸惑うグループがなかったことから各グループ内で複数名が実験を理解できていたと考えられる。

なお、簡易光学実験セットは実験台に対して垂直方法に進む光を使い実験を行うが、光学台は実験台に対して平行方向に進む光を使い実験を行う。構造の違いに対して戸惑う生徒はおらず、スムーズに光学台の実験を行っていた。

光学台の実験に続き、レンズを通った光の作図を行った。凸レンズと光源、スクリーンの距離を意識して作図を行ったが、実験の際に条件を予め押さえてから作図を行っているため、作図をスムーズに行うことができていた。

4. 紙コップカメラ

a. 教材の開発

教科書では、カメラ原理を説明する教材として牛乳

パックや厚紙などを用いた箱カメラが記載されている(岡村ら, 2015; 細矢ら, 2015)。この箱カメラの作成では、カメラ本体の箱を作ることに手間取ったり、トレーシングペーパーがしわになったりするため、決められた授業時間内に作成し、実験することは難しい。さらに、箱カメラはレンズやスクリーンが一体となっているため、授業では組み立てたものを使用することになる。

そこで、紙コップを用いたカメラ教材を利用することで、これらの課題の解決をはかった。開発した教材は、順番に重ねるだけで組み立てる事ができる。授業の際には、レンズ付き紙コップレンズを配布し焦点距離を求める、プラスチックコップを配布し実像ができることを確かめる、最後に筒の部分になる紙コップと黒色画用紙を配布し装置を組み立てると、配布する順番でそれぞれを使った実験を行うことで、実像と焦点距離の関係の復習もできる。

そのため本体部分は、紙コップを組み合わせて作成することとした。市販の紙コップには90 mL, 150 mL, 210 mL, 250 mL, 275 mLなど様々なサイズがある。スクリーンとして使用する半透明プラスチックコップは210 mLである。紙コップと半透明プラスチックコップの底面の距離が、レンズの焦点距離になる組み合わせを探したところ、90 mL紙コップと底を抜いた150 mL紙コップを組み合わせたものに、210 mLプラスチックコップを差し込んだとき、90 mL紙コップと210 mLプラスチックコップの底面の間隔がほぼ30 mm程度になった。レンズは、凸レンズの使用を考えたが、焦点距離が30 mmの凸レンズが市販されていないためフレネルレンズを使用することとした。凸レンズを学習する教材の中でのフレネルレンズの使用については、生徒がレンズの形に戸惑わないように、フレネルレンズの構造について説明し、凸レンズと光の屈折の仕方は同じであることを伝えた。像を映すためには、できるだけ他からの光の進入を防ぐ必要があるため、紙コップとプラスチックコップの間に黒色画用紙を入れることとした。

b. 教材の作成方法

紙コップカメラの準備物を図5に示す。90 mLの紙コップの底面に円切りカッターで直径25 mm程度の穴を空ける。その穴に焦点3 cmのフレネルレンズを、接着剤で貼り付ける。生徒にはフレネルレンズも通常の凸レンズ同様、光が集まることを体験させた。次に、

カッターで150 mLの紙コップの底面を抜く。黒い紙をこれら2つの紙コップを重ねた中に丁度入るサイズに切り取る。半透明プラスチックコップは、加工しないでそのまま使用する。

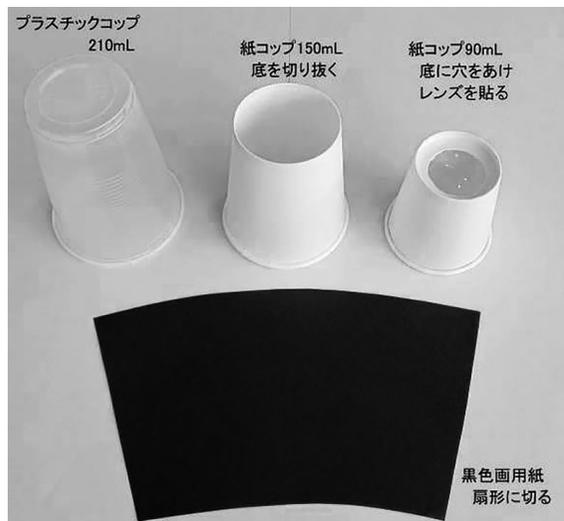


図5 紙コップカメラの材料

作成法を図6に示す。図6に示すようにレンズ付き90 mL紙コップの中に、底を抜いた150 mL紙コップを入れ、その中に黒い色画用紙を入れる。最後に210 mL半透明プラスチックコップを入れる。プラスチックコップを紙コップ側にピン트가合う位置まで押し込むことで完成である。

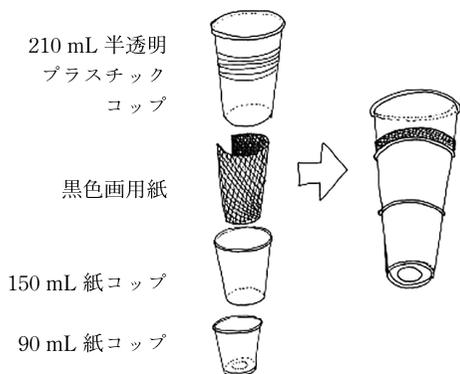


図6 紙コップカメラの作成方法

c. 教材の特徴

従来の牛乳パックなどを使って作られる箱カメラに比べてこの教材は、次の2つの利点が挙げられる。

- ① 組み立てながら実験できる
レンズの焦点を求める実験や、スクリーンに実像が映る実験など、組み立てながらこれまでの学習を復習する実験ができる。
- ② 組み立てが容易である
紙コップとプラスチックコップを組み合わせるだけであり、作成が容易である。

d. 授業展開

実験は、生徒一人一人にそれぞれの材料を配布して行った。「紙コップカメラ」の材料を生徒に渡す際には、全ての部品を同時に渡さず、レンズの学習段階を考えて部品を渡した。それぞれの段階で実験を行うためである。実験器具の配布方法を工夫することで、生徒はその部品のできる実験を考える様子が見られた。教材の配布方法の配慮も重要であることが分かる。

授業展開を表2に示す。授業内容は、図1の第3時【活動5】である。

表2 第3時【活動5】の授業展開

| 学習活動 | 内容 |
|----------------|--|
| ○焦点距離の確認 | <ul style="list-style-type: none"> ・レンズ付き紙コップを配布 ・レンズの焦点距離の測定 |
| ○実像の確認 | <ul style="list-style-type: none"> ・半透明プラスチックコップを配布 ・コップの底面に外の風景の実像が映ることを確認 ・光源を配布し実験 |
| ○紙コップカメラの組み立て | <ul style="list-style-type: none"> ・底をくり抜いた紙コップと黒い紙を配布 ・紙コップカメラを組み立て ・底面に映る実像を確認 |
| ○レンズを半分隠した時の実像 | <ul style="list-style-type: none"> ・実験結果の予想 ・レンズを半分隠したときの実像の様子を観察 |
| 振り返り | <ul style="list-style-type: none"> ・本時を振り返り、感想の発表 |

- ① 焦点距離の測定
レンズ付き紙コップを配布し、レンズの焦点距離を求める。天井の蛍光灯の光をレンズを通して机の上に集めることで、配布したレンズの焦点が、約30 mmであることを確認する。簡易光学実験セットのレンズを配布した際にも行っているため、「焦点を調べてみよう」という言葉がけだけで多くの生徒がすぐにこの操作ができる。
- ② 実像が映ることの確認
半透明プラスチックコップを配布し、コップの底面に外の風景の実像が映ることを確認する。レンズとプラスチックコップの底面の距離を変化さ

せることで、ピントが合い実像が映ることを確認する。プラスチックコップの底面がスクリーンになるためのコップの配置の順番を考えさせながら作成させる。

光源を配布すると、光源とレンズの距離を変化させることで、実像が映るレンズとプラスチックコップの距離が変化することも確認できる。

③ 紙コップカメラの作成

底をくり抜いた紙コップと黒い色画用紙を配布し、図6の手順で紙コップカメラを作成する。組み立てると実像がはっきり見え、筒の中を暗くすることでコップの底面に映る外の風景などがきれいに見えることを確認する。プラスチックコップの底面に外の風景が映る様子に、生徒はレンズの前に手を出したり、お互いに見たりしてカメラになっていることを確認していた。また、レンズを半分隠したときに暗くなるが、実像が映ることも確認した。

5. 授業実践とその評価の考察

本教材の生徒の効果を調査するため、2017年12月に福井県内の中学校の1年生に対して授業を行った。開発教材を用いた授業を行った実験群 ($n=26$) と、開発教材を用いない従来の光学台や箱カメラを用いた授業を行った統制群 ($n=28$) の2クラスを調査対象とした。なお、本実践においては、統制群に対しても定期考査終了後に開発教材の体験を行うことで、実験群との体験の差が出ないように配慮した。

対象クラスの理科学習に関する学力の差を調べるため、本実践を行う前に行われた対象クラスの理科の2回の定期考査の平均点と標準偏差を表3に示した。2回の定期考査を用いることで、レンズ学習までに行った学習内容においても両群の学力が等質であることを示した。

表3 理科の定期考査の平均点と標準偏差

| | 統制群 | 実験群 |
|------|------|------|
| 平均点 | 57.0 | 59.3 |
| 標準偏差 | 22.5 | 21.4 |

統制群のクラスの平均点は57.0点 (標準偏差: $SD=22.5$)、実験群のクラスの平均点は59.3点 ($SD=21.4$) であった。各学級の平均点の差が統計的に有意であるかを確かめるために、エクセル統計を用い分散

分析を行った結果、各学級の平均点の差に有意差は見られなかった ($F(1,52)=0.33, ns$)。このことから、各学級の理科に関する学力に差はないと判断した。

授業後に行った定期考査における、レンズ学習に該当する部分を表4に示す。この内容を評価問題とした。その結果を表5にまとめた。

評価問題の中で、レンズに関する問題は12問 (各問2点) 出題された。これらの問題を評価の観点で分類すると、「知識・理解」「技能 (作図)」「思考・表現」の3つに分けることができる。それぞれの配点は、知識・理解に関する内容8点、技能 (作図) に関する

表4 期末考査における評価問題

| 問 | 問題文 | 評価の観点 |
|-----|--|---------|
| 1. | 図のように凸レンズを固定し、物体 (「F」と書かれた透明な板のついた電球) とスクリーンを動かして、できる像の様子を調べた。(図は省略) | |
| (1) | 物体を図1の位置からPに移動させ、スクリーンにはっきりとした像を映した。 ① 像の大きさは、移動前と比べてどうなるか。 ② 物体と凸レンズの距離は移動前と比べてどうなるか。 | 思考・表現 |
| (2) | (1)のようにスクリーンに映る像を何というか。 | 知識・理解 |
| (3) | (1)でスクリーン上にできる像を凸レンズ側から見たようすとして適するものを図2のア～エから選び記号で答えなさい。 | 知識・理解 |
| (4) | 凸レンズの下半分を黒い板でかくした。この時、スクリーンに映る像はどうなるか。 | 思考・表現 |
| (5) | スクリーン上に像ができないのは、物体をa～dのどこに置いたときか。a～dからすべて記号を選びその記号を答えよ。 | 思考・表現 |
| (6) | (5)の場合、凸レンズをスクリーン側から覗くと像を観察することができる。この時見える像を何というか。 | 知識・理解 |
| (7) | (6)の像の大きさは物体と比べてどうか。 | 知識・理解 |
| 2. | 焦点距離のわからない凸レンズに対して、図の位置に物体を置いたらスクリーンに像が映った。(図は省略) | |
| (1) | 作図によって焦点の位置を求め、図に焦点・を書き入れなさい。 | 技能 (作図) |
| (2) | この凸レンズの焦点距離は何cmですか。次のア～ウから選び、記号で答えよ。 | 思考・表現 |
| (3) | スクリーンに実物と同じ大きさの像がうつるのは物体を凸レンズの中心から何cmの位置に置いた時か。 | 思考・表現 |
| (4) | 図2のように、違うレンズを使い物体を焦点の内側に置いたところ、スクリーンに物体の像は映らなくなった。この時、凸レンズをのぞくと、像が見えた。この時見える像を、図2に点線で書きなさい。 | 技能 (作図) |

表5 評価問題の平均点と標準偏差

| 評価の観点 | 配点 | 実験群 | 統制群 | F 値 |
|---------|-----|------------|------------|-------|
| 知識・理解 | 8点 | 6.6 (2.2) | 5.6 (2.6) | 2.19 |
| 技能 (作図) | 4点 | 3.1 (1.5) | 1.9 (1.7) | 6.91* |
| 思考・表現 | 12点 | 8.2 (3.2) | 6.5 (2.3) | 4.65* |
| 合計 | 24点 | 17.8 (5.4) | 14.1 (5.3) | 6.73* |

() 内は標準偏差 実験群： $n=26$, 統制群： $n=28$
* $p < .05$

内容4点, 思考・表現に関する内容12点である。合計点を比較すると, 実験群のクラスの平均点は17.8点 ($SD=5.4$), 統制群のクラスの平均点は14.1点 ($SD=5.3$) であり, 実験群のクラスが高得点であった。各学級の平均点の差が統計的に有意であるかを確認するため, 分散分析を行った結果, 各学級の合計の平均点に5%水準で有意差が見られた ($F(1,52)=6.73, p < .05$)。同様に評価の観点毎に比較すると, 「技能 (作図)」と「思考・表現」において, 5%水準で実験群が有意であった ($F(1,52)=6.91, p < .05, F(1,52)=4.65, p < .05$)。

授業後に行ったアンケート質問内容とその結果を, 表6に示す。各質問項目では, それぞれの内容の情意面の学習効果について調査した。アンケートは5件法で行い, とてもそう思うを「5」, まあまあそう思うを「4」, どちらともいえないを「3」, あまりそう思わないを「2」, 全くそう思わないを「1」として集計を行った。クラス間の有意差については分散分析で検定した。全ての項目で, 統制群に比べて実験群が高い値を示したが, 「1」～「6」の項目について, 有意差は見られなかった (1 : $F(1,52)=1.42, ns$, 2 : $F(1,52)=0.93, ns$, 3 : $F(1,52)=0.27, ns$, 4 : $F(1,52)=0.43, ns$, 5 : $F(1,52)=1.36, ns$, 6 : $F(1,52)=2.40, ns$)。 「7. レンズを通った光の進み方を作図することはできますか」に対して5%水準で実験群が有意であった ($F(1,52)=$

7.27, $p < .05$)。本教材を用いることで, 従来生徒が苦手としている作図を理解できたという実感をもったことが分かる。この結果は, 表5の評価問題の結果とも一致している。

授業後の生徒のレンズ学習で分かったことや感じたことに関する自由記述の内容を分析した。記述内容として, 「光の進み方や用語に関する記述」「興味・関心に関する記述」「作図に関する記述」「教材に関する記述」「意欲に関する記述」「実験操作に関する記述」とその他の記述に分類できた。それぞれの記述の数を表7に示す。

表7 授業後の生徒の自由記述の内容分析

| | | 実験群 ($N=26$) | 統制群 ($N=28$) |
|----------------|----|-------------------|-------------------|
| 光の進み方や用語に関する記述 | ns | 23 | 28 |
| 興味・関心に関する記述 | ns | 11 | 6 |
| 作図に関する記述 | * | 7 | 1 |
| 教材に関する記述 | * | 5 | 0 |
| 意欲に関する記述 | ns | 3 | 2 |
| 実験操作に関する記述 | ns | 1 | 1 |
| その他の記述 | ns | 1 | 3 |

* $p < .05$

それぞれの記述数を比較すると, 作図に関する記述と教材に関する記述数に明らかな差があり, 実験群が多くなっている。作図を理解できたと感じた生徒が, 開発教材を用いることで増加している。実験群では, 教材に関する記述で, 「先生の手作りのスクリーンがとても分かりやすくてよかった」「実験器具がシンプルであり見やすかった」「先生が作った実験器具のおかげで楽しく理解できた」と本教材を用いた感想が述べられていた。

表7で明らかな差が見られた項目について, その内

表6 開発教材を用いた授業後のアンケート結果

| | 統制群 | | 実験群 | | F 値 |
|--------------------------------|------|------|------|------|--------|
| | 平均値 | SD | 平均値 | SD | |
| 1. 凸レンズの学習に興味はありますか | 3.21 | 1.08 | 3.58 | 1.17 | 1.42 |
| 2. 凸レンズを通った光の進み方を説明できますか | 3.00 | 1.28 | 3.31 | 1.05 | 0.93 |
| 3. 凸レンズの焦点を求めることができますか | 3.04 | 1.29 | 3.19 | 0.85 | 0.27 |
| 4. 凸レンズを使って実像ができる事を説明できますか | 3.00 | 1.22 | 3.19 | 0.90 | 0.43 |
| 5. 凸レンズを使って虚像が見えることを説明できますか | 3.00 | 1.22 | 3.35 | 0.94 | 1.36 |
| 6. 凸レンズの性質を調べるための実験操作は理解できましたか | 3.36 | 1.28 | 3.85 | 1.01 | 2.40 |
| 7. 凸レンズを通った光の進み方を作図することはできますか | 3.29 | 1.15 | 4.04 | 0.87 | 7.27** |

** $p < .01$

実験群： $n=26$, 統制群： $n=28$

容を確認した。まず、作図に関する記述は、実験群が統制群に比べて明らかに多かった。その記述内容を表8に示す。

表8 作図に関する自由記述の内容

| |
|--|
| 実験群 |
| <ul style="list-style-type: none"> どこに実像や虚像ができるかが難しかったけど、作図をしてよく分かりました。 凸レンズを通る光の作図が難しいけどまあまあできたのでよかった。 凸レンズを通った光の進み方を作図できるようになったので嬉しかった。 凸レンズの作図をするときに自分で考えながら書きました。 作図が分かりやすかった。 作図の仕方が分かりました。 光の進み方の作図のやり方が分かりました。 |
| 統制群 |
| <ul style="list-style-type: none"> 実像、虚像の書き方が分かった。 |

実験群では、「凸レンズを通る光」や「光の進み方」を関連付けた記述が見られた。実像や虚像ができる位置や作図に難しさを感じながらも、作図ができたり、作図を通して理解が深まったりと、作図とレンズを関連付けて学んでいたことが分かる。

教材に関する記述を表9に示した。教材に関する記述は実験群のみで書かれており、開発教材を用いず既存の光学台のみを用いた統制群では、教材に関する記述は見られなかった。

表9 教材に関する自由記述の内容

| |
|--|
| 実験群 |
| <ul style="list-style-type: none"> 紙コップなどを使ってみると実像になりとてもびっくりした。自分でも家でやってみようと思った。 先生が作った実験器具のおかげで詳しく理解できました。レンズとスクリーン同士を実際に使ってみるだけでも、ノートにまとめるだけでは分かりにくいものも分かったので良かったです。 先生の手作りのスクリーンがとても分かりやすくて良かったです。 とても実験が多く、先生の自作の実験に興味を持った。とても役に立った。とてもシンプルであり見やすかった。 カメラのようなものを使い楽しく実験できた。 |
| 統制群 |
| (記述なし) |

教材を使うことで、「分かりやすい、分かった」と感じたり、「見やすい」と感じたり教材を使った利点が述べられていた。「実験が多い」「シンプル」と、教材作成の意図を記述した生徒もいた。教員が教材を自作したことに3名が触れていた。

III. まとめ

開発した教材「簡易光学実験セット」を用いることで、生徒は条件を変え、試行錯誤しながら実験を繰り返し、光源とレンズの距離やレンズとスクリーンの距離と実像の大きさについて考えることができた。多くの生徒が、関心を持って実験に取り組んでいた。また、生徒が苦手とするレンズ学習の中で条件の制御について考え、スムーズに操作していた。また、簡易光学実験セットを用いた後に、光学台の実験を行うことで、光学台の実験を手早く行い、実験のまとめを行う様子も観察できた。簡易光学実験セットの実験を行うことにより、光学台の実験の理解に繋がっていると判断できる。このことは、簡易光学実験セットの実験結果や光学台の条件を自ら整理したあとに、光学台の実験を行うことで、レンズ学習を効果的に進めることができたことを示している。

レンズと光源やスクリーンの位置関係や実像のでき方について実験で体感したことが、光の道筋や実像のでき方の理解に繋がった。また、光学台の実験を戸惑わずに行えたことから、簡易光学実験セットを用いた実験と条件の制御の理解が、現象の理解に繋がったと考えられる。これまで苦手としてきたレンズを通った光の進み方の作図ができると感じた生徒が増えていることが評価問題の得点分布およびアンケート結果から判断できる。このことから、本教材を用いた授業が、客観的評価、主観的評価ともに効果があったと考えられる。

実験は個人やペアで行ったことで、全ての生徒が簡易光学実験セットを用い実験を経験したことになる。多くのグループで4人が協力している様子から、開発教材を用い個人やペアで行った実験がグループ実験をスムーズに行うことに役立っているものと判断できる。

「紙コップカメラ」を用いて、レンズの性質を復習・確認し、最後にはカメラの原理を確認することができた。この評価のために行ったアンケートの結果より、これらの開発教材を用いることで、生徒のレンズ学習に対する興味・関心や学習に対する情意面にも効果があることが分かった。

今後は、この教材を利用することで、生徒間の対話を促し主体的な学びに繋げ、学びを深める過程を充実させる指導の工夫に繋げていきたいと考えている。

文献

福井県教育委員会（2017）：SASA2016第65次福井県学力調査報告書.

月僧秀弥（2014）：紙コップで光を調べよう、「青少年のための科学の祭典」全国大会実行委員会編「青少年のための科学の祭典2014全国大会実験解説集」, 20, 公益財団法人日本科学技術振興財団.

月僧秀弥, 葛生伸（2007）：中学校理科授業におけるサイエンスショーの活用と実践に関する研究, 応用物理教育, Vol. 31, No. 1, 27-32.

細矢治夫ほか28名（2015）：自然の探究中学理科1年, 教育出版.

川村康文（1999）：物理学習の視点から見た青少年の物理離れの実態, 理科の教育, Vol. 48, No. 12, 12-15.

小松祐貴, 桐生徹, 中野博幸, 久保田義彦（2015）：凸レンズが作る像の規則性の理解を促すAR教材の開発と評価, 日本教育工学会論文誌39, 1, 21-29.

文部科学省（2008a）：中学校学習指導要領解説理科編, 大

日本図書.

文部科学省（2008b）：小学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書.

岡村定矩ほか50名（2015）：新編新しい科学1年, 東京書籍.

佐久間彬彦, 定本嘉郎（2010）：レンズを通る光線の作図と結像の理解, 物理教育, 第58巻第1号, 12-15.

谷中英昭, 藤川正樹, 近森憲助, 跡部紘三（2003）：簡易光学台の試作とその応用, 物理教育, 第51巻第4号, 256-261.

（受付日2018年11月21日；受理日2019年4月3日）

〔問い合わせ先〕

〒910-0355 福井県坂井市丸岡町高瀬15-2

坂井市立丸岡南中学校

月僧 秀弥

e-mail: h.gessou@gmail.com
