

LEDライトと凸レンズを用いた光通信の実験教材の開発とその効果

— 中学校第1学年「光と音」を対象として —

大谷 昌弘*・小川 佳宏**・山田 貴之**

(令和2年5月18日受付；令和2年12月17日受理)

要 旨

本研究の目的は、第一に、中学校第1学年の理科単元「光と音」に着目し、凸レンズを用いた光通信を題材として、社会や日常生活と中学校での物理分野の学習を関連付けながら、習得した知識を活用できる生徒の育成を目指した教材を開発することであり、第二に、本教材を用いた授業実践を行い、理科の観察・実験に対する意識および科学的な知識に関する理解の向上について検討することであった。「光と音」に関する教材開発では、インターネット通信などの日常生活で使われている光通信と凸レンズの働きを関連付ける「LEDライトと凸レンズを用いた光通信の実験教材」を開発した。本教材と作図シートを用いた授業を行った結果、凸レンズがつくる像に関する調査問題において、授業実践の事前から事後にかけて正答者数が有意に増加したことが示された。このことから、本教材と作図シートを用いた授業実践は、作図の結果と本教材による光通信の実験結果を関連付け、知識を活用する手だてとして有効であることが明らかとなった。

KEY WORDS

light and sound 光と音, convex lens 凸レンズ, optical communication 光通信,
drawing sheet 作図シート, utilization of knowledge 知識の活用

1 問題の所在

1.1 中学校のエネルギーを柱とする領域で求められる力と課題

中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編⁽¹⁾によると、エネルギーを柱とする領域では「物質やエネルギーに関する観察、実験などを行い、それらの事物・現象について理解するとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付ける」ことがねらいであるとしている。また、「小学校で身に付けた問題を見いだす力や根拠のある予想や仮説を発想する力などを発展させ、物質やエネルギーに関する事物・現象について規則性を見いだしたり、課題を解決したりする方法を身に付け、思考力、判断力、表現力等を養うこと」もねらいとしている。さらに、第1分野の「身近な物理現象」では、生徒に「身近な物理現象についての観察、実験などを通して、日常生活や社会と関連付けながら」、光と音の性質や力の働きについて「理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けること」や「身近な物理現象について、問題を見だし見通しをもって観察、実験などを行い、光の反射や屈折、凸レンズの働き、音の性質、力の働きの規則性や関係性を見いだして表現すること」ができるよう指導することが求められている。さらに、身の回りの物理現象の学習では、「原理や仕組みの理解を深めさせ、興味・関心を高めるようにすること」も求められている⁽²⁾。また、「電流とその利用」では、「身近な物理現象」と同様に、「電流とその利用についての観察、実験などを通して」、「電流、磁界に関する事物・現象を日常生活や社会と関連付けながら」、電流、磁界に関する事物・現象について「理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けること」や「電流、磁界に関する現象について見通しをもって解決する方法を立案して観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、電流と電圧、電流の働き、静電気、電流と磁界の規則性や関係性を見いだして表現すること」が求められている⁽³⁾。

いずれも、「理科の見方・考え方を働かせ」、「観察、実験などを行い、日常生活や社会と関連付けながら理解させるとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けさせ、思考力、判断力、表現力等を育成することが主なねらい」である。さらに、電流、磁界に関する現象については、思考力、判断力、表現力等を育成するに当たって、「見通しをもって課題を解決する方法を立案して観察、実験などを行い、その結果を分析して解釈し、電流と電圧、電流の働き、静電気、電流と磁界についての規則性や関係性を見いだして表現させること」や「その際、レポー

トの作成や発表を適宜行わせ、科学的な根拠に基づいて表現する力などを育成すること」が求められている⁽⁴⁾。しかし、中央教育審議会⁽⁵⁾では、PISA2015読解力の結果分析から「自分の考えを説明すること」などに課題が見られ、また、「学力に関する調査においては、判断の根拠や理由を明確に示しながら自分の考えを述べたり、実験結果を分析して解釈・考察し説明したりすることなどについて課題が指摘されている」としている。また、「学ぶことの楽しさや意義が実感できているかどうか、自分の判断や行動がよりよい社会づくりにつながると意識を持っているかどうかという点では肯定的な回答が国際的に見て相対的に低い」とし、「こうした調査結果から、学ぶことと自分の人生や社会とのつながりを実感しながら、自らの能力を引き出し、学習したことを活用して、生活や社会の中で出会う課題の解決に主体的に生かしていくという面から見た学力には、課題がある」としている。よって今後は、日常生活や社会と学習したことを関連付けながら、原理や仕組みの理解を深めさせ、学習したこと、つまり身に付けた知識を活用して思考力、判断力、表現力等を育成することがより一層必要だといえる。

1. 2 凸レンズの働き、および光通信に関する先行研究と課題

中学校第1学年における凸レンズの働きの学習に関して、凸レンズによってできる像の位置や大きさなどの理解を促すために、佐久間・定本・牧井⁽⁶⁾は、凸レンズによってできる像の理解を改善するために、レーザーを用いた凸レンズによる実像の位置の移動やその大きさと光の道筋との関係を視覚化する教材の作成と授業実践を行っている。小松・桐生・中野・久保田⁽⁷⁾は、凸レンズによってできる実像の位置や大きさなど規則性の理解を促すために、AR教材を開発している。一方、凸レンズがつくる像の作図の指導に関して、石井・橋本⁽⁸⁾は、中学校第1学年における凸レンズの働きの学習に関する課題として、凸レンズを通過した光が作る像に関する生徒の理解を深めさせるには、作図の指導を授業に積極的に取り入れて、幾何学的に頭の中で図形を操作したり、イメージしたりする抽象的な思考能力を高める必要があると指摘している。また、生徒が光の学習を難しいと考える理由は、「実像などの大きさや位置が物体を置く位置によって変化する」、「光線の進み方が分からない」、「作図が分からない」であり、「光に関する総合問題」と作図を完成する能力との間には相関があることが述べられている。つまり、光については現象としてとらえることはできるが、凸レンズがつくる像は生徒にとってはとらえにくい事象であるといえる。いずれの報告も、凸レンズの働きによってできる像の理解の改善や凸レンズの働きによってできる像の位置や大きさなど規則性の理解を促すことを目的としている。また、文部科学省検定済平成28年度用中学校第1学年理科教科書⁽⁹⁾には、光と音の学習における自由研究として、光通信が紹介されている。光通信に関しては、谷中・藤川・近森・跡部⁽¹⁰⁾の簡易光学台による光通信の実験や、鈴木・高田・土井・深澤⁽¹¹⁾のLEDを用いた音声・映像信号の光通信の報告などがある。特に谷中ら⁽¹²⁾は、簡易光学台に光電池を併用することによって、光の実験から音の実験へ発展させることをねらいとした光通信について検討している。これは発信ユニットとして音声信号を簡易光学台のLEDに並列接続で加え、そのLEDの光を離れた位置にある光電池に当たるようにレンズユニットを前後に動かして調整するものである。この装置はアクリル板の接着などが必要である。

以上のように、物理分野において、凸レンズの働きによってできる像のでき方の規則性の理解を目的とした研究は行われているが、開発した教材について、凸レンズの働きで習得した知識を活用するという視点から検証する研究は行われていない。

2 研究の目的

本研究では、中学校第1学年「光と音」に着目し、凸レンズを用いた光通信を題材として、社会や日常生活と中学校での物理分野の学習を関連付けながら、習得した知識を活用できる生徒の育成を目指した教材を開発することを第一の目的とした。また、本教材を用いた授業実践を行い、理科の観察・実験に対する意識および科学的な知識に関する理解の向上について検討することを第二の目的とした。

3 研究の方法

3. 1 知識の活用の定義

中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編⁽¹²⁾には、理科の学習における探究の過程の中で「全ての学習過程において、今までに身に付けた資質・能力（既習の知識および技能など）を活用する力が求められている」ことが示

されている。また、吉田・奥本・野上⁽¹³⁾は「『活用する力』を『問題解決的な学習において、既習の知識・技能と関連させて思考し、主体的に問題を解決する力』」としている。また、理科での「活用する力」を「理科で学んだ基礎的・基本的な知識・技能を、自然の事物・現象の中に問題を見いだしたり、観察、実験の計画を立てて、その結果を分析、解釈したりするなど、問題を解決するために利用する力」として「基礎的・基本的な知識・技能を日常生活や社会と関連付けたり、利用したりする活用を含む」としている。これらを基に、本研究における「知識の活用」とは、「学んだ基礎的・基本的な知識・技能を観察、実験の結果を分析、解釈したりするなど、問題を解決するために利用すること」とし、「基礎的・基本的な知識・技能を利用して問題を解決すること」と定義した。

3. 2 調査問題の作成および評価規準

本研究によって開発した教材を用いた授業実践によって、授業の事前、事後における科学的な知識に関する理解や活用に対する生徒の変容を調査する目的として、科学的な知識とその活用を問う調査問題を作成した。各設問については、上述した中学校第1学年理科教科書⁽¹⁴⁾を基に、凸レンズの働きについての調査問題を3つ作成した。具体的には、設問1は凸レンズと光源の距離を変えたときの仮説について答える項目を作成し、「仮説設定に関する項目」とした。設問2は凸レンズがつくる像を作図する問題を作成し、「作図に関する問題」とした。設問3は凸レンズがつくる像の位置や大きさなどについて問題を作成し、「凸レンズがつくる像に関する問題」とした(図1)。併せて、各設問における評価規準および正答例を図2に示す。

3. 3 調査の対象および時期

新潟県内の公立中学校第1学年1学級30名を対象に授業実践を行った。調査問題については、事前調査を2019年3月上旬(授業前)に、事後調査を2019年3月中旬(授業後)に、遅延調査を2019年4月にそれぞれ実施した。

3. 4 本教材を用いた授業の流れ(50分間×2コマ)

中学校第1学年「光と音」の学習後に、発展的な扱いとして本授業実践を行った。図3に授業の流れを示す。

3. 5 LEDライトと凸レンズを用いた光通信教材の開発

教材開発については、中学校第1学年「光と音」に着目し、学習で習得した知識を活用することを目的とした発展教材の開発を行った。光通信は、社会や日常生活の中でインターネット通信等に利用されており、教科書でも取り上げられている。この実験では身近な物を使って光で音を伝えている。社会や日常生活で使用されている光通信と中学校物理分野の凸レンズの働きとを関連付け、既習の知識を活用できる教材としての効果を検証することとした。

3. 5. 1 光通信実験の仕組み

本研究で開発した光通信の実験教材は、谷中ら⁽¹⁵⁾の簡易光学台による光通信の実験および教科書の「光で音を伝えよう」を基に改良したものである(図4)。本研究における光通信の仕組みは、発した声で振動したアルミホイールに光を当て、アルミホイールが振動することによって光の反射方向が変わり、太陽光電池の発電量が変化することを利用している。この発電量の強度変調によって、発生した声がCDラジカセから音として聞こえる。さらに、本教材は紙コップにアルミホイールを貼ったものを「送話器」、CDラジカセに接続した太陽光電池を「受信器」とした。このままでは送話器と受信器の距離が遠くなるほど光が広がるため、受信器に届く光量が減少するとともにスピーカーから聞こえる音量も減少して通信がしにくくなる。そこで中学校第1学年で学習する凸レンズの働きに関する知識の活用を目的として、凸レンズを送話器と受信器の間に置いて送話器(光源)からの光を結像させることで、より遠距離での通信を可能にした。

3. 5. 2 教材の評価

教材の評価には、Handy Oscillo Ver.1.25とWave Gene (Ver.1.50)を用いた。アルミホイールをミニスピーカーに貼り、パソコンと接続する。このアルミホイール部分にLEDライトの光を当て、Wave Gene Ver.1.50から一定の周波数と音量を出力し、これを音源とした。このアルミホイールで反射した光を受信器である太陽光電池に当て、その電圧値をHandy Oscillo Ver.1.25で測定した。Handy Oscilloはフリーソフトであり、画面から周期や電圧差などの情報を容易に読み取れるように、縦・横方向に可動する2本のカーソルを備えている。カーソルがある位置の時刻や電圧ばかりではなくカーソル間の時間差・電圧差も画面上に表示される。表示波形は縦方向・横方向に伸縮でき、波形の詳細を拡大してみることができる。また、Wave Geneもフリーソフトであり、多機能高精度テスト信号発生ソフト

である。色々なテスト用音声信号を発生させ、サウンドデバイスやファイルへ出力することができる。実験は、音源と受信器の距離が120cmから320cmまでの5種類について調べた。本教材で使用する凸レンズの焦点距離は実測値で14.8cmであった。Wave Geneから出力する周波数を450Hz、パソコン内蔵スピーカーの音量100、スピーカーとライトの中心間の距離1.5cmに固定して測定を行った。なお、Handy Oscilloで測定した音量（dB）は、受信器から発生する電圧の変化量を受け取ったパソコンの電圧値によるものであり、値が大きいほど音量も大きい。受信器から発生する電圧が大きいほど音量は大きくなる。音源を物体位置とし、受信器を結像位置とすると、音源と受信器間の距離が160cmの場合、レンズの公式から求めた凸レンズの位置（理論値）は16.50cmである。実験は理論値周辺における音源と凸レンズ間の距離と音量との関係を検証することを目的とし、音源と凸レンズ間の距離が16.0cmから17.2cmまで0.1cm間隔での測定を行った。

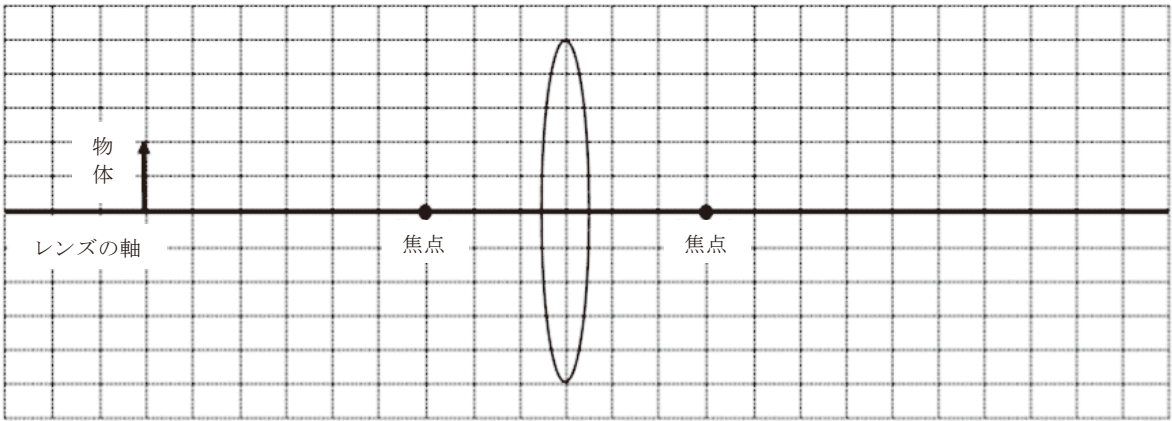
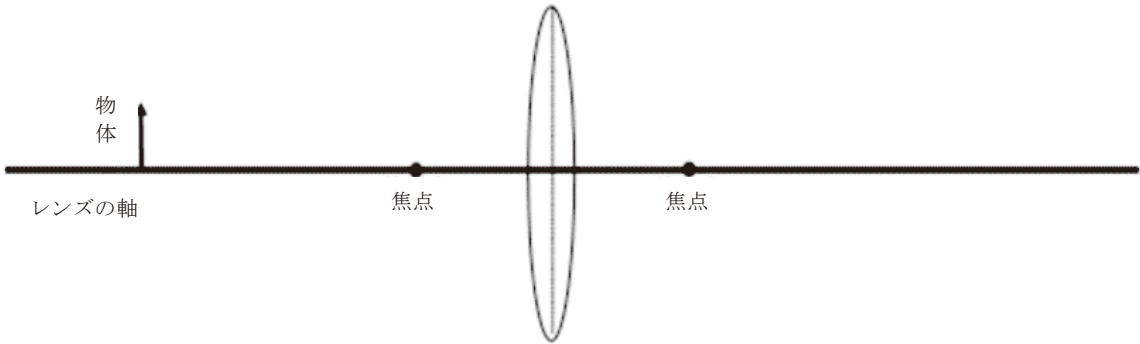
設問	内 容
1	<p>物体（光源）の像のでき方について、凸レンズを使って調べる実験を行いました。凸レンズを使って、スクリーンに物体（光源）の像をうつしたいと思います。以下の問いに答えてください。</p> <p>①スクリーンにうつる像がうつらなかったとき、像をスクリーンにうつすにはどのようにするとよいでしょうか。「～を～すると、像はうつるだろう」という文章で、思いつくことをできるだけたくさん書いてください。</p> <p>②凸レンズと光源の距離を変えることで、どのようなことが起こるでしょうか。「凸レンズと光源の距離を～すると、～が（は）～（に）なるだろう。」という文章で、思いつくことをできるだけたくさん書いてください。</p>
2	<p>図の位置に物体を置いたとき、凸レンズによってできる像を作図してください。ただし作図でかいたものは消さないでください。</p> 
3	<p>図のような位置に凸レンズと物体があります。①～⑧の問いについて当てはまる言葉を解答欄に書いてください。もし作図をかいた場合はその線を消さないでください。</p>  <p>①像の大きさは実物と比べてどのようになっていますか。</p> <p>②像の向きは実物と比べてどのようになっていますか。</p> <p>③物体を焦点距離に近い位置に動かしたとき、像ができる位置はどうなりますか。</p> <p>④物体を焦点距離に近い位置に動かしたとき、像の大きさはどうなりますか。</p> <p>⑤物体を凸レンズから遠ざけていくと、像のできる位置は遠ざける前と比べてどうなっていますか。</p> <p>⑥⑤のように考えた理由を書いてください。</p> <p>⑦物体を凸レンズから遠ざけていくと、像の大きさは遠ざける前と比べてどうなっていますか。</p> <p>⑧⑦のように考えた理由を書いてください。</p>

図1 作成した調査問題

次に、音源と受信器間の距離が320cmの場合について実験を行った。レンズの公式から求めた凸レンズの位置（理論値）は15.56cmである。実験は、160cmの場合と同様に理論値周辺における音源と凸レンズ間の距離と音量との関係を検証することを目的とし、音源と凸レンズ間の距離が15.0cmから16.0cmまで0.1cm間隔での測定を行った。同様の測定を、音源と受信器間の距離が120, 130, 140cmの場合においても行った。

3. 5. 3 本教材の改良と作図シートの考案

2019年1月に、初等教育教員養成課程の大学生10名および理科を専門する大学院生6名を対象に、「物理学実験」の授業において本教材を用いた実験を実施し、中学生が光の性質に関する知識と関連付けながら、凸レンズによる光通信の仕組みを科学的に説明することができるかどうか否かについて検討した。

設問	評価規準
1	<p>【記述数に応じて得点化】</p> <p>①科学的に検証可能な仮説を正答として、「～を～すると」といった記述に1点を与えた。ただし、「光源を凸レンズから遠ざけると」と「凸レンズを光源から遠ざけると」のように、同じ内容の文章は合わせて1点とし、「凸レンズと光源の距離を近づけたり遠ざけたりすると」のように、2文が1つになっているものは2点とした。また、「距離を～すると」のような何の距離か具体的に示されていないものは0点とした。</p> <p>②「凸レンズと光源の距離を短くすると」のように、科学的に検証可能な仮説設定であるとともに、凸レンズと光源の距離（独立変数）の条件を制御する記述があれば1点とした。さらに、「凸レンズと光源の距離を短くすると、像が大きくなるだろう」のように、凸レンズの働きについて正しい仮説の文章と判断したものを、1文につき2点とした。</p>
2	<p>4点：凸レンズを通る光線の作図と実像が正しくかけている。</p> <p>3点：光線の作図の方法は正しいが、マス目の格子点を通っていなかったり、実像の位置がずれていたりする。</p> <p>2点：光線の作図は正しいが、実像が正しくかけていない。</p> <p>1点：像がなく光線の作図のみで、さらにマス目の格子点を通っていない。</p>
3	<p>【各1点（⑥と⑧を除く）、6点満点】</p> <p>①小さくなる。 ②上下左右が逆になる。 ③遠くなる（大きくなる）。</p> <p>④大きくなる。 ⑤近くなる（小さくなる）。</p> <p>⑥正答例：作図より、像のできる位置が近づくことが言えるから。 ⑦小さくなる。</p> <p>⑧正答例：作図より、像の大きさが小さくなることが分かるから。</p>

図2 評価規準および正答例

注) 設問3の⑥と⑧の自由記述については質的分析を加えたため、得点を付与していない。

<p>【授業の目標】</p> <p>光の性質に関する知識と関連付けながら、凸レンズを用いた光通信の仕組みを説明することができる。</p> <p>【第1時】（50分間）</p> <p>①事象提示：光通信の実験を演示し、光通信の仕組みの説明を聞く。</p> <p>②授業目標の確認：凸レンズを使って通信距離を長くするにはどうしたらいいだろうか。</p> <p>③本時の課題の確認：通信距離が長くなるのは凸レンズと光源の距離を近づけたときか？遠ざけたときか？</p> <p>④実験：通信距離の短いとき（160cm）と長いとき（320cm）でのレンズの位置を比較する。</p> <p>⑤結果の整理：それぞれの凸レンズの位置やスピーカーまでの距離を表に整理する。</p> <p>⑥考察：結果から凸レンズの位置と通信距離についていえることを記述する。</p> <p>⑦まとめ：凸レンズと光源の距離を短くすると通信距離が長くなる。</p> <p>【第2時】（50分間）</p> <p>①本時の課題の確認：なぜ光源に凸レンズを近づけると通信距離が長くなったのだろうか。これまで学習したことを使って説明しよう。</p> <p>②話し合い活動</p> <p>③考察：凸レンズを近づけると遠くにある受信器まで光を届けることができた理由について図や文章で表現する。</p> <p>④作図シートの作成：光源と凸レンズの距離が遠いときと近いときの両方でできる像を作図する。</p> <p>⑤考察：なぜ凸レンズを近づけると通信距離が長くなったのか、作図シートの結果を使って再度考える。</p> <p>⑥まとめ：光源を凸レンズに近づけると像のできる位置は遠くなるので光がより遠くに集まるから。</p>

図3 授業の流れ

その結果、(ア)光が多く集まると音が大きくなること、(イ)通信距離を光源(送話器)と受信器までの距離で、できる限り大きくはっきりした音が聞こえる距離とすること、(ウ)受信器の距離が離れていてかつ凸レンズの位置についての違いが分かるように1cm程度の差が見られる位置を示すこと、(エ)受信器が近いときと遠いときの2種類を比較できるように提示すること、(オ)作図は光源を固定して、レンズが光源から遠い時と近い時の2つを上下で比較できるようにすることが不可欠な指導であるとの結論に至った。併せて、音源と受信器の距離を160cmと320cmとし、凸レンズと音源の距離はそれぞれ16.5cmと15.5cmで行うこととした。また、本教材を用いた実験により、得られた結果を整理するための作図用ワークシート(以降、作図シートと表記)を新たに考案した(図5)。

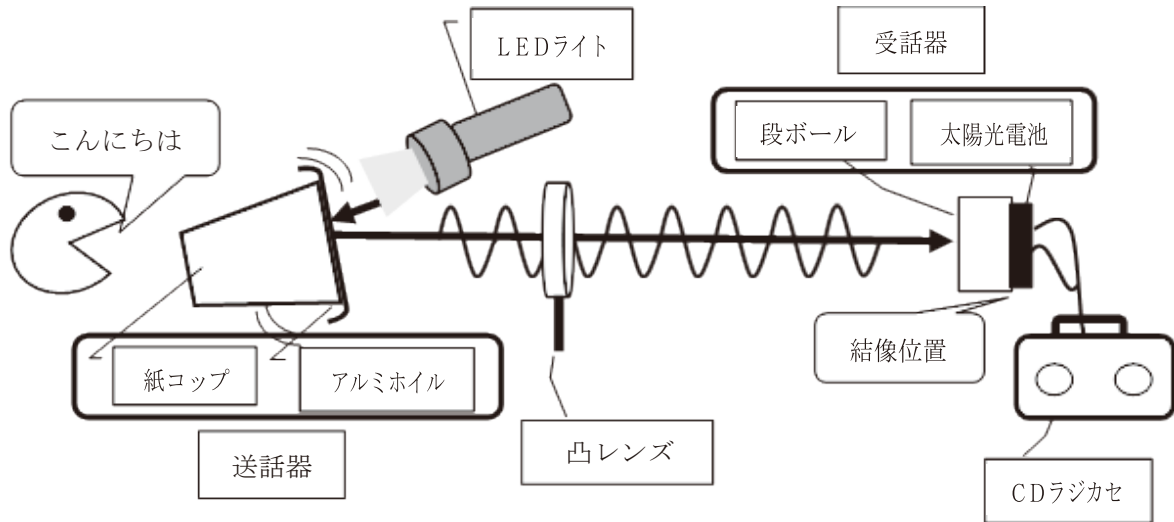


図4 光通信実験の仕組み

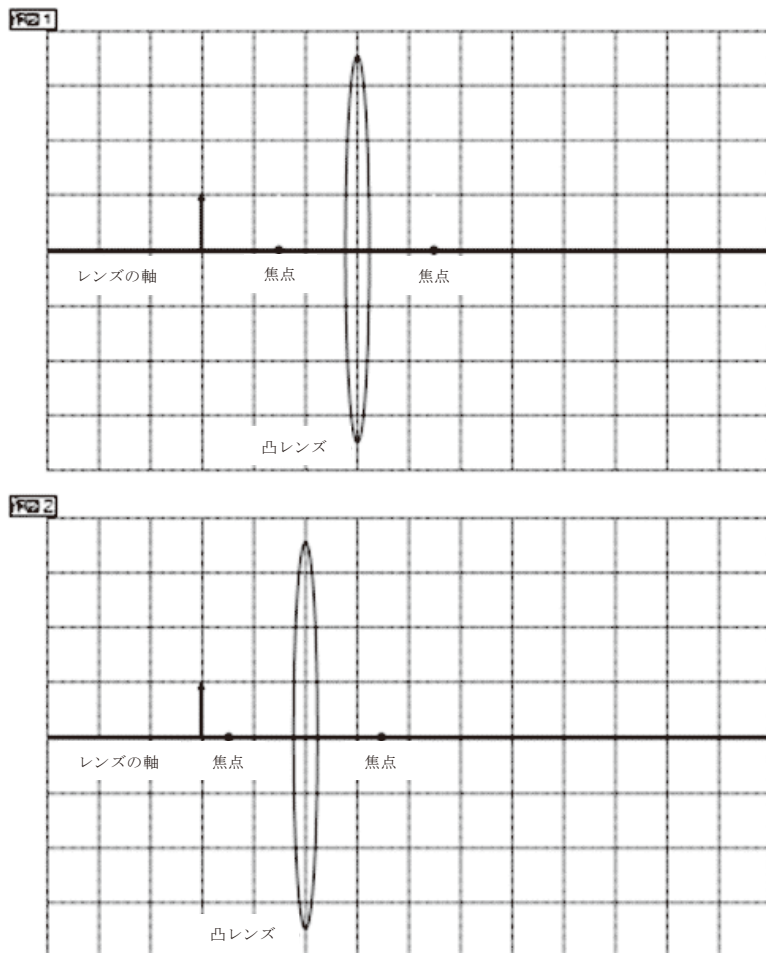


図5 考案した作図シート

4 結果と考察

4.1 LEDライトと凸レンズを用いた光通信教材の開発

まず、音源と受信器間の距離が160cmでの測定結果を図6に示す。次に、音源と受信器間の距離が320cmでの測定結果を図7に示す。それぞれ理論値(16.50cm, 15.56cm)付近で音量が最大となっていることがわかる。また、音源と受信器間の距離が120, 130, 140cmの場合も含めた実験値と理論値とを比較したグラフを図8に示す。音源と凸レンズまでの距離を a 、凸レンズから受信機までの距離を b として、横軸を $1/a$ 、縦軸を $1/b$ として音量が最大となる点をプロットした。このとき、レンズの公式から、 $1/b = -1/a + 1/f$ となり理論値は傾きが -1 の直線となる。ここで f は凸レンズの焦点距離(14.8cm)である。理論値と実験値がよく一致していることから、受信器上で結像させると音量(dB)が大きくなることがわかる。結像位置では、像が明瞭になるため、光電池が受ける光量の変化が大きくなる。つまり、電流の変化量が大きくなるため、音量も大きくなる。レンズの公式から求めた結像位置付近で音量も大きくなった実験結果から、本教材の精度が実証されたといえる。

4.2 調査問題

4.2.1 設問1について

事前調査における設問1-①の平均は1.7(標準偏差1.1)、1-②は2.3(1.9)、1-①と1-②の合計は4.0(2.5)であった。事後調査における設問1-①は2.0(1.2)、1-②は3.0(2.4)、合計は5.0(3.1)であった。遅延調査における設問1-①は2.1(1.4)、1-②は2.6(2.0)、合計は4.7(2.8)であった。一要因分散分析を行ったところ、いずれの設問においても調査時期における有意な差は認められなかった(設問1-①: $F(2, 58) = 2.11, n.s.$; 設問1-②: $F(2, 58) = 2.47, n.s.$; 合計: $F(2, 58) = 3.11, n.s.$)。これらのことから、本教材と作図シートを用いた授業実践では、科学的に検証可能な仮説を記述する能力を育成することは困難であることが明らかとなった。

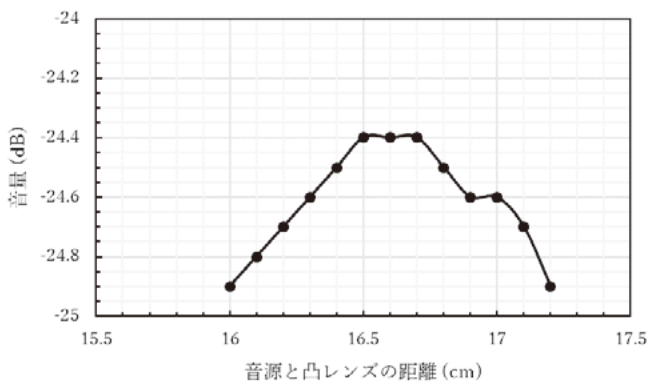


図6 音源と受信器間の距離160cm

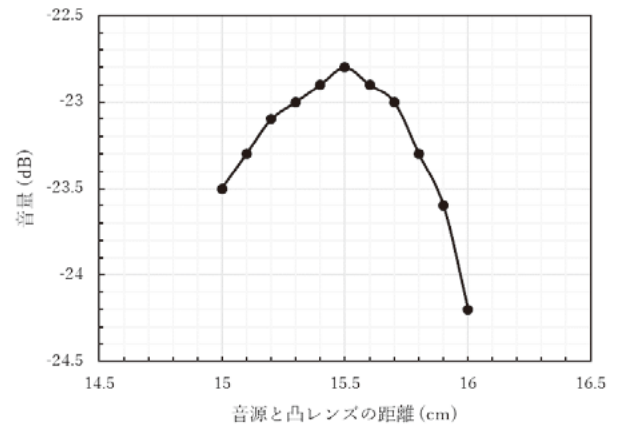


図7 音源と受信器間の距離320cm

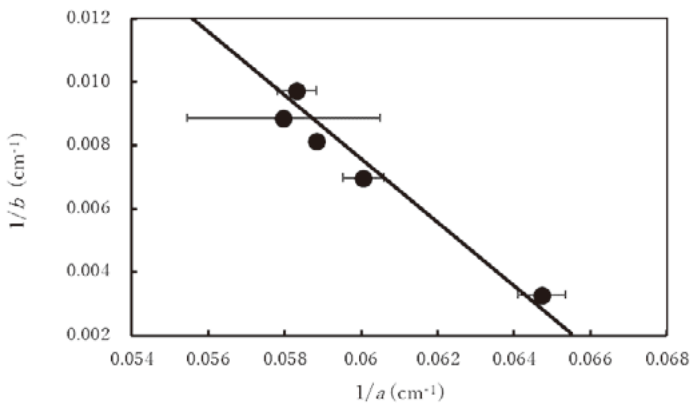


図8 理論値と比較したグラフ

注) ●は実験値、実線は理論値を示す。誤差は最大音量から0.1dBの範囲でとった。

4. 2. 2 設問2について

事前調査の平均は2.0 (標準偏差1.6), 事後調査は2.7 (1.5), 遅延調査は1.8 (1.6)であった。一要因分散分析を行ったところ, 調査時期における有意な差が認められた ($F(2, 58) = 5.71, p < .01$)。Holm法による多重比較の結果, 事前から事後にかけて有意な増加が, 事後から遅延にかけて有意な減少が認められた。これらのことから, 授業後は授業前よりも正しく作図できる生徒が有意に増加したことが明らかとなった。これは, 作図シートを用いて作図の方法を改めて確認したことによるものと考えられる。

4. 2. 3 設問3について

まず, 各調査時期における合計得点の平均および標準偏差 (⑥と⑧を除く6点満点) を算出したところ, 事前調査で3.8 (1.7), 事後調査で4.6 (1.4), 遅延調査で4.0 (1.6)であった。一要因分散分析を行ったところ, 調査時期における有意な差が認められた ($F(2, 58) = 6.41, p < .01$)。Holm法による多重比較の結果, 事前から事後にかけて有意な増加が, 事後から遅延にかけて有意な減少が認められた (表1)。さらに, 表1に示した各問 (⑥と⑧を除く) について一要因分散分析を行ったところ, ③と⑤において調査時期における有意な差が認められた (③: $F(2, 58) = 6.18, p < .01$; ⑤: $F(2, 58) = 3.30, p < .05$)。Holm法による多重比較の結果, ③では事前から事後にかけて有意な増加が, 事後から遅延にかけて有意な減少が認められた。また, ⑤では事前から事後にかけて有意な増加が認められた。これらのことから, 本授業実践は, 凸レンズの結像の作図および凸レンズがつくる像の位置把握に関して一定の効果があることが明らかとなった。これは, 凸レンズの位置や受信器の位置 (像のできる位置) に着目して考察させたことにより, 既習知識を活用して調査問題を解答できる生徒が増加したことを示唆するものであると考えられる。しかしながら, ③では事後から遅延にかけて有意に減少したことから, 知識の自然忘却に加え, 知識の活用に関しても低減することが明らかとなった。

次に, ⑥と⑧の自由記述に関する質的分析を行った。図9に示した通り, 「⑥: ⑤のように考えた理由を書いてください」について分類したところ, 「物体 (光源) や凸レンズの距離の変化」に関する説明ができた生徒は事前調査で11人 (36.7%), 事後調査で11人 (36.7%), 遅延調査で14人 (46.7%), 「作図」という用語を使って説明ができた生徒は事前調査で2人 (6.7%), 事後調査で3人 (10.0%), 遅延調査で2人 (6.7%)であった。また, 「⑧: ⑦のように考えた理由を書いてください」について分類したところ, 「物体 (光源) や凸レンズの距離の変化」に関する説明ができた生徒は事前調査で13人 (43.3%), 事後調査で8人 (26.7%), 遅延調査で12人 (40.0%), 「作図」という用語を使って説明ができた生徒は事前調査で1人 (3.3%), 事後調査で2人 (6.7%), 遅延調査で3人 (10.0%)であった。これらのことから, 凸レンズがつくる像の位置が変化したり, 像の大きさが変化したりする理由について説明することは, 授業後であっても困難であることが示唆された。そのため, 例えば「作図や像という語を用いて説明しなさい」というような考察の視点を与える必要があったと考えられる。

5 本研究のまとめ

本研究の目的は, 第一に, 中学校第1学年「光と音」に着目し, 凸レンズを用いた光通信を題材として, 社会や日常生活と中学校での物理分野の学習を関連付けながら, 習得した知識を活用できる生徒の育成を目指した教材を開発することであり, 第二に, 本教材を用いた授業実践を行い, 理科の観察・実験に対する意識および科学的な知識に関する理解の向上について検討することであった。中学校第1学年「光と音」に関する教材開発では, インターネット通信などの日常生活で使われている光通信と凸レンズの働きを関連付ける「LEDライトと凸レンズを用いた光通信の実験教材」を開発した。本教材と作図シートを用いた授業を行った結果, 凸レンズがつくる像に関する調査問題において, 授業実践の事前から事後にかけて正答者数が有意に増加したことが示された。このことから, 本教材と作図シートを用いた授業実践は, 作図の結果と本教材による光通信の実験結果を関連付け, 知識を活用する手だてとして有効であることが明らかとなった。

理科の授業では, 日常生活や社会と関連付けながら, 学習内容を理解させるとともに, それらの観察, 実験などに関する技能を身に付けさせ, 思考力, 判断力, 表現力等を育成することが求められている。日常生活や社会と関連付けるということは, 学習内容が社会や日常生活で利用されていることを紹介したり, 身近な現象を資料として示したりするだけでなく, その学習内容を学ぶことの利点や, 学習したことを自分たちの生活に生かす具体的な事例について考えさせることが必要だということである。そうすることで, 理科を学習する意義を見いだすことができ, 理科の学習への意欲が高まることで, 学習内容の理解が深まり, さらに知識の活用へとつながっていくと考える。

6 今後の課題

「4.2 調査問題」で述べた通り、事前調査から事後調査にかけては有意な増加が認められたが、事後調査から遅延調査にかけては有意な減少が見られたことから、知識の定着や活用に関する課題が示唆された。物理分野における学習の有用性を高めるためには、本研究で行った既習の知識と関連させて説明する活動を授業で定期的に行い、日常生活で利用されている学習内容と往還する時間を継続的に設定することで、学習の有用性をさらに高めていく必要があると考える。加えて、LEDライトと凸レンズを用いた光通信の実験教材について、受信器の音量が大きくなる位置で確かに結像していることを示せるような改良が必要である。例えば、送話器のアルミホイル部分に、「F」のような上下左右が逆転する様子が見える文字を印すことによって、結像位置で音量が大きくなることを示せるのではないかと考える。

表1 設問3における正答数 (n=30)

	事前	事後	遅延
①	20 (66.7)	23 (76.7)	17 (56.7)
②	26 (86.7)	28 (93.3)	27 (90.0)
③	13 (43.3)	23 (76.7)	16 (53.3)
④	21 (70.0)	20 (66.7)	23 (76.7)
⑤	15 (50.0)	23 (76.7)	18 (60.0)
⑦	18 (60.0)	22 (73.3)	19 (63.3)

注) () 内は正答率を示す。

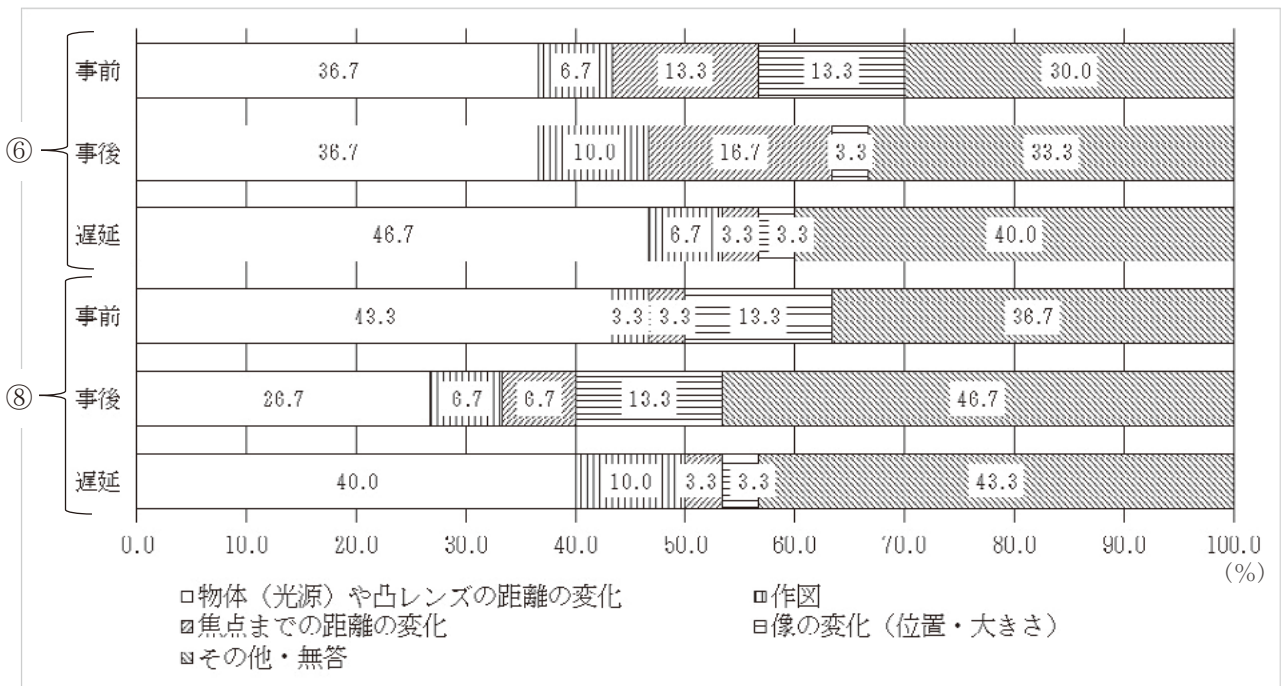


図9 ⑥および⑧の事前・事後・遅延の比較

注) グラフ内の数値は割合を示す。四捨五入の都合上、グラフ内の数値を合計しても100%にならないものがある。

付記

本稿は、第一著者が2019年度に提出した修士論文「知識の活用をめざした物理教材の開発と中学校における授業実践－光通信とスピーカーを題材として－」（上越教育大学大学院）の一部を再構成したものである。また、本研究の一部は、JSPS科研費18K02655の助成を受けたものである。

引用文献

- (1) 文部科学省（2018a）「中学校指導要領（平成29年告示）解説理科編」東山書房，p.25.
- (2) 文部科学省（2018b）「中学校指導要領（平成29年告示）解説理科編」東山書房，p.29.
- (3) 文部科学省（2018c）「中学校指導要領（平成29年告示）解説理科編」東山書房，p.40.
- (4) 前掲(3)
- (5) 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）平成28年12月21日」pp.5-6，pp.35-38，Retrieved from https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm（accessed2018.5.15）
- (6) 佐久間彬彦・定本嘉郎・牧井創（2011）レンズを通る光の道筋と像に関する教材開発と授業実践，物理教育，59(1)，pp.14-19.
- (7) 小松祐貴・桐生徹・中野博幸・久保田善彦（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)，pp.21-29.
- (8) 石井俊行・橋本美彦（2001）凸レンズを通過した光が作る像の理解に関する基礎的研究－作図を完成する能力の影響について－，理科教育学研究，41(3)，pp.41-47.
- (9) 霜田光一，他30名（2016）「中学校科学1」学校図書，p.277.
- (10) 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，51(4)，pp.256-261.
- (11) 鈴木康文・高田緑・土井良子・深澤優子（2014）LEDを用いた教材による音声・映像信号の光通信，物理教育，62(1)，pp.13-18.
- (12) 文部科学省（2018d）「中学校指導要領（平成29年告示）解説理科編」東山書房，p.9.
- (13) 吉田美和・奥本実・野上真二（2013）課題の解決に必要な知識・技能を活用する力を育てる授業の在り方－思考プロセスを踏まえた授業モデルの作成を通して－，広島県立教育センター．http://www.hiroshima-c.ed.jp/center/wpcontent/uploads/kanko_butu/h25/kenkyu03.pdf（2020年1月8日閲覧）
- (14) 前掲(9)
- (15) 前掲(10)

Development and Effects of Experimental Teaching Materials for Optical Communication Using LED Light and Convex Lens: A Focus on First-grade Lower Secondary School “Light and Sound”

Masahiro OHTANI* · Yoshihiro OGAWA** · Takayuki YAMADA**

ABSTRACT

This study had a twofold purpose. The first purpose was to equip first-grade lower secondary school students with the ability to associate social and everyday life with physics learning by using teaching materials for optical communication, with a focus on “light and sound.” The second purpose was to practice the lessons using this teaching material and investigate the improvement in both the awareness of science observations/experiments and the understanding of scientific knowledge. In developing these teaching materials, we created “the experimental material for optical communication using LED light and convex lens,” which links the function of convex lens with daily optical communications such as online interactions. A lesson was conducted using these teaching materials and a drawing sheet, and a significant increase in the number of correct answers was noted after the delivery of the lesson, particularly with regard to the image created by convex lens. This result verified that lesson practice using the teaching materials and drawing sheet was an effective approach to utilize knowledge by associating the drawing results with the experimental optical communication results.

* Master Course (Subject/Domain Education) ** Natural and Living Science