

## 光概念の学習に関する基礎的研究

A basic study on the learning of some conceptions of light

森田卓哉

森藤義孝

Takuya MORITA

Yoshitaka MORIFUJI

福岡教育大学大学院教育学研究科

福岡教育大学

(平成30年10月1日受付, 平成30年12月3日受理)

### 抄録

教科書に記載されている光の諸現象に対して, 学習者がどのような光概念を保持しているのかを明らかにするために, 中学生と大学生を対象とした質問紙調査を実施した。調査では, 光の反射, 光の屈折, 凸レンズの実像, 及び凸レンズの虚像についての質問を行った。調査結果から, 光単元を学習後の中学生と大学生の多くが, 教科書で説明されている光の諸現象に関する内容について, 科学的に適切に捉えていないことが明らかになった。特に, 「スクリーンの表面には凹凸があるため, 光は乱反射すること」, 「光は屈折光の延長線上から直進してくるように見えること」, 「無数の光が放射状に直進し, 凸レンズを通過していること」, そして「目の中の水晶体がレンズの役割をし, 網膜上にピントの合った像を結ぶこと」に関する内容については, 多くの学習者が適切に捉えていないことが明らかになった。また, 凸レンズの実像や虚像の作図の分析から, 多くの学習者は作図の方法のみを暗記しており, 光の諸現象については適切に捉えていないことが明らかになった。

### 1. はじめに

中学校の学習指導要領における光単元の歴史の変遷をみると, 昭和44年告示の中学校学習指導要領<sup>1)</sup>では, 「光とエネルギー」という項目において, 光のエネルギーと凸レンズに関する内容を指導することになっている。一方, 昭和52年告示の中学校学習指導要領<sup>2)</sup>からは, 凸レンズに関する内容は無くなり, 「運動とエネルギー」という項目において, 光はエネルギー的な扱いのみを指導することになっている。しかし, 平成元年告示の中学校学習指導要領<sup>3)</sup>からは, 「身の回りの科学現象」という項目の中に, 「光と音」という項目が設けられ, 光の反射・屈折及び凸レンズの働きを指導することになった。この項目に関する記述内容では, 光の反射・屈折において, 実験を行い, 光が水やガラスなどの物質の境界面で反射, 屈折するときの規則性を見いだすこととなっており, 凸レンズの働きにおいては, 実験を行い, 物体の位置と像の位置及び像の大きさの関係を見いだすこととなっている。これ以降, 平成10年, 平成20年, 及び平成29年告示の中学校学習指導要領<sup>4)5)6)</sup>においても, 「光と音」の項目が設けられ, 記載内容に大きな変化はない。以上のように, 中学校理科における光単元は, 昭和52年告示の中学校学習指導要領で取り扱われなくなったが, 平成元年の学習指導要領からは, 光の反射・屈折及び凸レンズに関する内容が学習されている。

石井ら<sup>7)</sup>は, 光単元を学習後の中学生を対象として, 光の学習に対する意識調査を行っており, 「実像・虚像の大きさや位置が物体を置く位置によって変化すること」や「光線の進み方が分からない」などの理由から, 約7割の中学生が光単元の学習内容を難しいと感じていることを報告している。また, 山下<sup>8)</sup>は, 高校で物理Iを履修している理系の大学生であっても, 実像・虚像の作図はできるが, 作図の意味までは理解していない傾向にあることを指摘している。他にも, 本や木などの物体が光を反射しているように思えない<sup>9)</sup>ことや, 光の進み方と光による見え方が混乱しやすく, 日常生活の知識をうまく学習の中に結び付け

ることが難しい<sup>10)</sup>ことから、光単元の困難性が指摘されている。このような光概念の理解に関する研究は、他にもいくつか報告されているが、他の物理領域の研究と比べると少ない状況にあるといえる。

教科書<sup>11)</sup>に記載されている光の諸現象は、光の性質や規則性などのいくつかの原理から説明されている。例えば、光の乱反射の内容においては、「光は反射の法則に従って反射すること」と「ほとんどの物体の表面には凹凸があること」から説明されている。このような光の諸現象を説明するいくつかの原理に対して、学習者が保持する光概念については、十分に明らかにされていないと考える。そこで、本研究では、これらを明らかにするために質問紙調査を実施した。

## 2. 調査の概要

光単元を学習後の学習者が、教科書で取り扱われている光の諸現象についてどのように捉えているのかを明らかにすることを目的とした質問紙調査を平成 29 年 11 月中旬に実施した。調査は、福岡県内の公立中学校 2 校のそれぞれに在籍する第 3 学年の生徒 258 人と、国立 A 大学の理系の学生 52 人を対象とした。この時の調査対象である中学生は平成 20 年度告示の学習指導要領下で学習しており、大学生は平成 10 年度告示の学習指導要領下で学習している。しかし、上述で述べたように、それぞれの学習指導要領の光単元に関する記述内容には大きな差が見られず、ほぼ同じ内容を学習していると見なすことができる。そこで、学習後に数年単位の時間が経過した後の学習効果を見るために、大学生を調査対象に加えることとした。なお、調査では、現行の中学校理科教科書に記載されている光の諸現象のうち、光の反射、光の屈折、凸レンズの実像、及び凸レンズの虚像についての質問を行うこととした。以下では、それぞれの質問内容について、詳細に見ていくことにする。

### 2. 1 光の反射に関する質問について

光の反射については、光の乱反射に関する内容について問うている。これは、図 1 に示すような状況において、プロジェクターでスクリーンの点線の部分に円を映し出した際に、映し出した円を見ることができる観測者の位置を選択肢から選び、そのように考えた理由を図と言葉を用いて説明させるというものである。

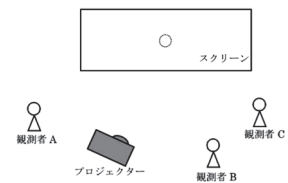


図 1 光の反射に関する質問で用いた図

### 2. 2 光の屈折に関する質問について

光の屈折については、光の屈折の仕方、及び屈折した光の見え方に関する内容について問うている。これは、図 2 に示すような状況において、観測者がガラスを通して鉛筆を見る際に、それがどのように見えるのかを、「左にずれる」、「ずれない」、及び「右にずれる」の 3 つの選択肢から選び、そのように考えた理由を図と言葉を用いて説明させるというものである。

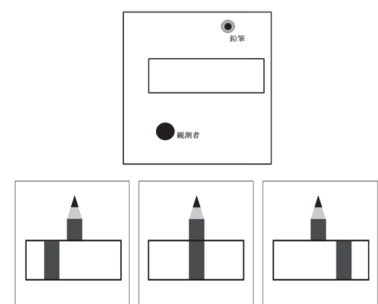


図 2 光の屈折に関する質問で用いた図

### 2. 3 凸レンズの実像に関する質問について

凸レンズの実像については、凸レンズの性質に関する内容について問うている。これは、図 3 に示すような状況において、鉛筆の長さが凸レンズの半径より長いときに、スクリーン上に像ができるかを選択し、そのように考えた理由を図と言葉を用いて説明させるというものである。

### 2. 4 凸レンズの虚像に関する質問について

凸レンズの虚像については、虚像が見えるということに関する内容について問うている。すなわち、これは、実像の作図では、光の道筋が一点に集まる場所があり、虚像の作図では、光の道筋が一点に集まる場所がないことを踏まえ、虚像が見える理由を図と言葉を用いて説明させるというものである。

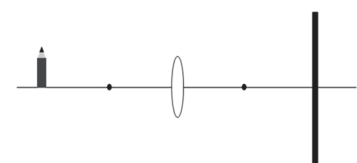


図 3 凸レンズの実像に関する質問で用いた図

### 3. 調査の結果と考察

本調査の分析においては、中学生と大学生の回答を、科学的に適切な回答、不十分な回答、科学的に不適切な回答、及び無回答の4つ分類し、分析を行った。ここでは、科学的に適切ではあるが十分な説明ができていない回答や、部分的に誤った捉え方をしている回答を、不十分な回答として、分析を行っている。以下では、それぞれの質問に対する中学生と大学生の回答の分析結果とその考察を見ていくこととする。

#### 3. 1 光の反射に関する結果と考察

この質問に対する科学的に適切な回答は、全ての観測者（以下、観測者ABCとする）を選択し、プロジェクターから出た光がスクリーン上で乱反射するため、全ての観測者が見ることができるなどと回答しているものである。ここでは、「光は反射の法則に従って反射すること」と「スクリーンの表面には凹凸があるため、光は乱反射すること」を捉えていれば、科学的に適切な回答をすることができると考え、分析を行った。以下では、この質問における中学生と大学生の回答の分析結果を詳細に見ていくこととする。

##### 3. 1. 1 光の反射の質問に対する中学生の回答の結果

この質問に対する中学生の回答を分類した結果を図4に示した。回答内容を分析すると、全ての観測者を選択し、その理由について科学的に適切な回答は全体の1%のみであった。また、不十分な回答は全体の10%であり、「スクリーンに映った映像を見た経験から、スクリーンが見える位置にいれば映像を見ることができる」などの理由から、全ての観測者を選択している回答が見られた。一方、不適切な回答は全体の79%であった。その内訳を見てみると、全体の65%が、「入射してきた方向の反対の方に反射するから」などの理由から観測者Bや観測者Cを選択していた。

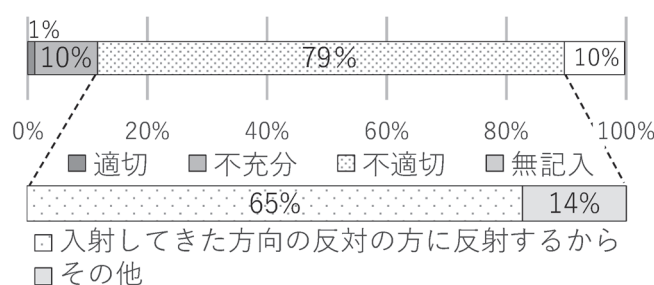


図4 光の反射に関する質問における中学生の回答の割合

##### 3. 1. 2 光の反射の質問に対する大学生の回答の結果

この質問に対する大学生の回答を分類した結果を図5に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答は全体の51%であった。また、不十分な回答は全体の8%であり、「スクリーン上では、光の反射は適用されないため、光が乱反射する」などの理由から、全ての観測者を選択している回答が見られた。一方、不適切な回答は全体の35%であった。その内訳を見てみると、全体の29%が、「入射してきた方向の反対の方に反射するから」などの理由から観測者Bや観測者Cを選択していた。

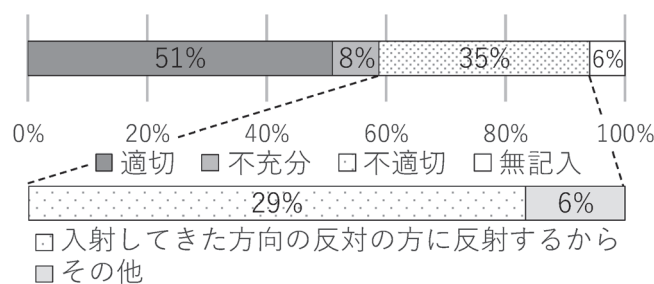


図5 光の反射に関する質問における大学生の回答の割合

##### 3. 1. 3 光の反射に関する調査結果についての考察

これらの分析から、多くの中学生と大学生が、「光は反射の法則に従って反射すること」は適切に捉えているが、「スクリーンの表面には凹凸があるため、光は乱反射すること」を適切に捉えていないことが分かった。また、多くの中学生と大学生が、光源ではない物体をどの方向からも見ることができるという現象と、光の乱反射という現象とを、適切に関連付けて捉えておらず、光がスクリーンで反射する時であっても、光が鏡で反射するときと同様に、捉えていることも明らかになった。この原因として、多くの学習者が、反射の法則の内容を学習する際に、光が鏡で反射する場合だけでなく、鏡以外の物体の場合であっても、光は反射の法則に従って反射することや、光が乱反射することで様々な方向から物体を見られることを適切に捉えていないからであると考えられる。



### 3. 2 光の屈折に関する結果と考察

この質問における科学的に適切な回答は、「右にずれる」を選択し、屈折光の延長線上から光が来ているように見えるからなどと回答しているものである。ここでは、「光の屈折の仕方」と「光は屈折光の延長線上から直進してくるように見えること」を捉えていけば、科学的に適切な回答をすることができると考え、分析を行った。以下では、この質問における中学生と大学生の回答の分析結果を詳細に見ていくこととする。

#### 3. 2. 1 光の屈折の質問に対する中学生の回答の結果

この質問に対する中学生の回答を分類した結果を図6に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答はなかった。また、不十分な回答は全体の11%であり、「屈折するから」などの理由から、「右にずれる」を選択している回答が見られた。一方、不適切な回答は全体の65%であった。その内訳を見てみると、全体の12%が、「左にずれる」を選択し、「屈折するから」と説明していた。

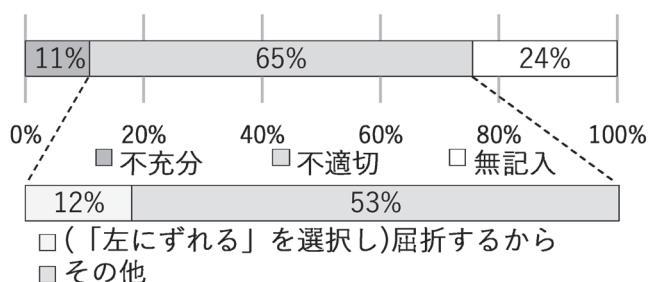


図6 光の屈折に関する質問における中学生の回答の割合

さらに、作図を用いて説明している回答の分析

も行った。ここでは、全体の39%が作図を用いて回答しており、これを母数として分析する。分析を行うと、作図を用いて回答した回答のうち、42%の回答が入射角と屈折角の関係が適切でなかった。

#### 3. 2. 2 光の屈折の質問に対する大学生の回答の結果

この質問に対する大学生の回答を分類した結果を図7に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答は全体の16%であった。また、不十分な回答は全体の25%であり、「屈折するから」などの理由から、「右にずれる」を選択している回答が見られた。一方、不適切な回答は全体の35%であった。その内訳を見てみると、全体の18%が、「左にずれる」を選択し、「屈折するから」と説明していた。

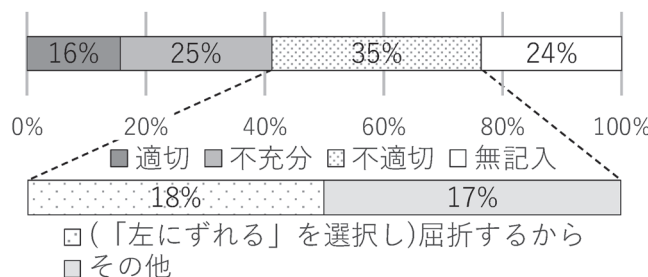


図7 光の屈折に関する質問における大学生の回答の割合

さらに、作図を用いて説明している回答の分析

も行った。ここでは、全体の88%が作図を用いて回答しており、これを母数として分析する。分析を行うと、作図を用いて回答した回答のうち、25%の回答が入射角と屈折角の関係が適切でなかった。

#### 3. 2. 3 光の屈折に関する調査結果についての考察

これらの分析から、多くの中学生と大学生が、ガラスを通して物体を見た際に、実際の位置よりずれて見えることを適切に捉えているが、「光の屈折の仕方」や「光は屈折光の延長線上から直進してくるように見えること」を適切に捉えていないことが明らかになった。この原因として、多くの学習者が、光の屈折の内容を学習する際に、適切な光の屈折の仕方や、観測者は屈折光の延長線上に物体があるように見えることを適切に捉えていないからであると考えられる。

### 3. 3 凸レンズの実像に関する結果と考察

この質問における科学的に適切な回答は、「できる」を選択し、鉛筆から出た光は放射状に直進し、凸レンズを通る光は一点に集まるからなどと回答しているものである。ここでは、「無数の光が放射状に直進し、凸レンズを通過していること」を捉えていけば、科学的に適切な回答をすることができると考え、分析を行った。以下では、この質問における中学生と大学生の回答の分析結果を詳細に見ていくこととする。

### 3. 3. 1 凸レンズの実像の質問に対する中学生の結果

この質問に対する中学生の回答を分類した結果を図8に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答は全体の3%であった。また、不十分な回答は全体の2%であり、「3本の線で作図した際に、3本の線のうち、1つでもスクリーンに届いていれば像はできるから」などの理由から、「できる」を選択している回答が見られた。一方、不適切な回答は全体の73%であった。その内訳を見てみると、全体の59%が、「作図できないから」などの理由から「できない」を選択していた。

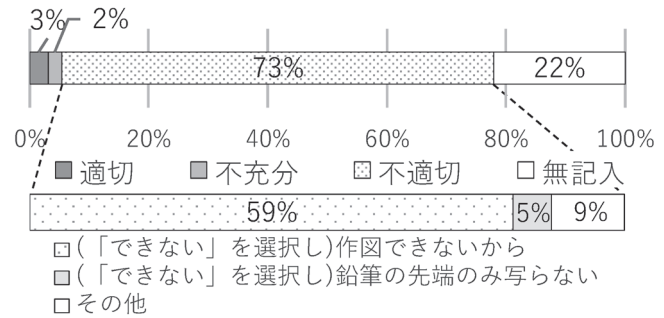


図8 凸レンズの実像に関する質問における中学生の回答の割合

### 3. 3. 2 凸レンズの実像の質問に対する大学生の結果

この質問に対する大学生の回答を分類した結果を図9に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答は全体の37%であった。また、不十分な回答はなかった。一方、不適切な回答は全体の61%であった。その内訳を見てみると、全体の25%が「上部のみ映らない」や「上部のみ暗くなる」などの理由から、「できる」を選択し、全体の24%が、「作図できないから」などの理由から「できない」を選択していた。

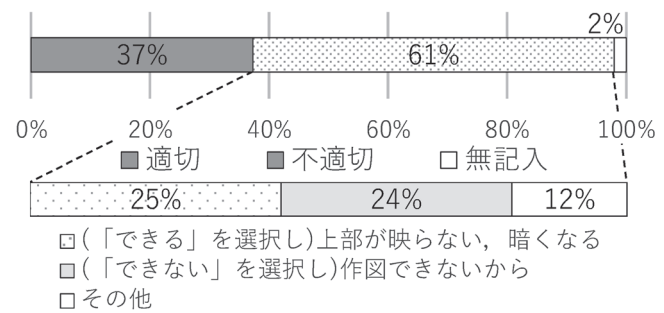


図9 凸レンズの実像に関する質問における大学生の回答の割合

### 3. 3. 3 凸レンズの実像に関する調査結果についての考察

これらの分析から、多くの中学生と大学生が、「無数の光が放射状に直進し、凸レンズを通っていること」を適切に捉えていないことが明らかになった。この原因として、多くの学習者が、実像の作図の内容を学習する際に、凸レンズを通る光は無数にあるが、多くの場合は、便宜上、3本の光の道筋のみを作図させることが多いということ捉えていないからであると考えられる。

## 3. 4 凸レンズの虚像に関する結果と考察

この質問における科学的に適切な回答は、目の網膜上で光を結んでいるため、虚像が見えているなどと回答しているものである。ここでは、「虚像は物体のないところから光が出ているように見えていること」と、中学校第2学年の生物分野の目のつくりで学習する「目の中の水晶体がレンズの役割をし、網膜上にピントの合った像を結ぶこと」を捉えていけば、科学的に適切な回答をすることができると考え、分析を行った。本調査の対象が中学3年生と大学生であるため、目のつくりの内容と関連付けて、回答することが可能であると考えられる。以下では、この質問における中学生と大学生の回答の分析結果を詳細に見ていくこととする。

### 3. 4. 1 凸レンズの虚像の質問に対する中学生の結果

この質問に対する中学生の回答を分類した結果を図10に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答は全体の2%であった。また、不十分な回答はなかった。一方、不適切な回答は全体の62%であった。その内訳を見てみると、全体の24%が、「虚像が見える位置に光が集まっているから」と説明していた。

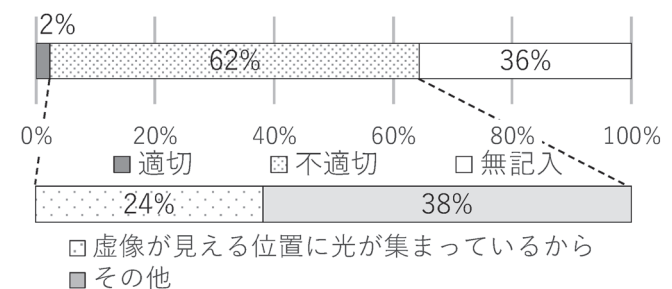


図10 凸レンズの虚像に関する質問における中学生の回答の割合

### 3. 4. 2 凸レンズの虚像の質問に対する大学生の結果

この質問に対する大学生の回答を分類した結果を図 11 に示した。回答内容を分析すると、科学的に適切な回答は全体の 31% であった。また、不十分な回答は全体の 14% であり、「目の錯覚で虚像が見えている」と説明している回答が見られた。一方、不適切な回答は全体の 24% であった。その内訳を見てみると、全体の 18% が、「虚像が見える位置に光が集まっているから」と説明していた。

### 3. 4. 3 凸レンズの虚像に関する考察

これらの分析から、多くの中学生と大学生が、「虚像は物体のないところから光が出ているように見えていること」や「目の中の水晶体がレンズの役割をし、網膜上にピントの合った像を結ぶこと」を適切に捉えておらず、虚像の見える位置に光が集まっていると捉えていることが明らかになった。この原因として、多くの学習者が、虚像の作図の内容を学習する際に、実像の場合は実際に光が集まるところに像ができることと、虚像の場合は光が集まったように見えることを混同しているのではないかと考えられる。また、作図の際に凸レンズで屈折した光の延長線上を表す点線は光の道筋ではないことを適切に捉えてないことも原因の一つであると考えられる。

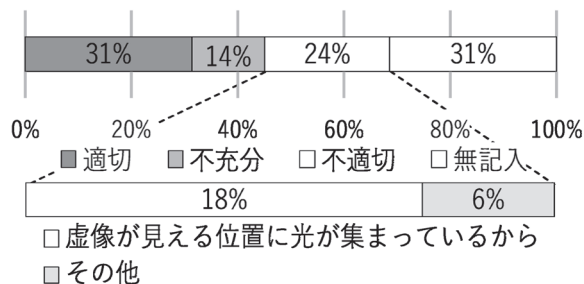


図 11 凸レンズの虚像に関する質問における大学生の回答の割合

## 4. まとめ

本調査を実施することで、光単元を学習後の学習者であっても、教科書で説明されている光の諸現象に関するいくつかの内容について、科学的に適切に捉えていないことが明らかになった。特に、「スクリーンの表面には凹凸があるため、光は乱反射すること」、「光は屈折光の延長線上から直進してくるように見えること」、「無数の光が放射状に直進し、凸レンズを通過すること」、そして「目の中の水晶体がレンズの役割をし、網膜上にピントの合った像を結ぶこと」に関する内容については、多くの学習者が適切に捉えていないことが明らかになった。また、本調査の分析を行う中で、凸レンズの実像や虚像に関する質問において、多くの学習者は作図をすることはできるが、無数にある光を便宜上、3本の線で表していることや、光の作図において点線は光の道筋ではないことなどを適切に捉えていない回答が多く見られた。このことから、光の諸現象を表したものが作図であるにも関わらず、多くの学習者は作図の方法のみを暗記しており、光の諸現象については適切に捉えていないことが明らかになった。今後は、本研究で明らかになった学習上の問題点を踏まえ、当該単元に関する効果的な授業をデザインし、実践していきたい。

## 5. 謝辞

本調査を進めるにあたり、北九州市立企救中学校、北九州市立板櫃中学校の生徒及び教職員の皆様には、多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表したい。

## 6. 文献

- 1) 文部省 (1970) 「中学校指導書 理科編」, 大日本図書, pp.84-89.
- 2) 文部省 (1978) 「中学校指導書 理科編」, 大日本図書, p.57-58.
- 3) 文部省 (1989) 「中学校指導書 理科編」, 学校図書, p.144.
- 4) 文部省 (1998) 「中学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, pp.19-21.
- 5) 文部科学省 (2008) 「中学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, pp.23-25.
- 6) 文部科学省 (2017) 「中学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, pp.29-31.
- 7) 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」, 日本理科教育学会編『日本理科教育学研究』Vol.41 No.3, pp.41-48.
- 8) 山下修一 (2011) 「凸レンズが作る実像・虚像に関する作図能力と理解状況」, 日本理科教育学会編『日本理科教育学研究』Vol.51 No.3, pp.145-157.
- 9) 中村佳嗣 (2004) 「実感を伴った理解を目指した理科の学習過程の創造」, 日本理科教育学会編『理科の

教育』Vol.53 (8), pp.46-49.

- 10) 渡邊進武 (1999) 「概念地図の作成を利用した中学校理科 1 年「光」の学習における評価と指導・援助」, 日本理科教育学会編『理科の教育』Vol.48 (2), pp.15-17.
- 11) 教科書については, 平成 28 年に中学校理科の教科書を発行している以下の 5 社を分析対象とした。
  - ・有馬朗人他 (2016) 『新版理科の世界 1』, 大日本図書, pp.134-157.
  - ・岡村定矩他 (2016) 『新編新しい科学 1』, 東京書籍, pp.138-159.
  - ・塚田捷他 (2016) 『未来へ広がるサイエンス 1』, 啓林館, pp.176-195.
  - ・細矢治夫他 (2016) 『自然の探求中学校理科 1』, 教育出版, pp.68-89.
  - ・霜田光一他 (2016) 『中学校科学 1』, 学校図書, pp.76-97.

