

【原 著】

凸レンズの像の左右理解に関する混乱の要因分析
教科書分析と教員アンケートによる探究的な学びへの提案

谷本 薫彦 稲田 佳彦

Analysis of Factors Contributing to Confusion Regarding Left-Right Understanding of Convex Lens Images
-Proposals for Inquiry-Based Learning Based on Textbook Analysis and Teacher Questionnaire-

TANIMOTO Kunihiko, INADA Yoshihiko

2026

岡山大学教育推進機構 教師教育開発センター紀要 第16号 別冊

Reprinted from Bulletin of Center for Teacher Education and Development,
Institute for Promotion of Education and Campus Life, Okayama University, Vol.16, March 2026

凸レンズの像の左右理解に関する混乱の要因分析

教科書分析と教員アンケートによる探究的な学びへの提案

谷本 薫彦※1 稲田 佳彦※1

本研究は、中学校理科の凸レンズ学習で生徒が像の向きに抱く混乱に着目した。その要因を、光源・スクリーン・観察場所といった実験条件が十分に意識されてこなかった点にあると考察し、学習指導要領と教科書の変遷分析、および現職教員へのアンケート調査を実施した。その結果、教科書の記述は観察場所を指定する方向へ変化しているものの、現場教員の指導法にはばらつきがあり、生徒の混乱を招く一因となっていることを明らかにした。これらの課題解決のため、観察視点を自然に固定できる3Dプリンタ製教材を開発し、教員研修でその有効性を検討した。本教材は生徒の直感的理解を促し、探究的な学びを引き出す上で有効であることが示唆された。

キーワード：凸レンズ，上下左右逆，教科書，学習指導要領，3Dプリンタ

※1 岡山大学学術研究院教育学域

I はじめに

1 研究の背景

自然界の事物・現象の背後には一定の原理や法則が存在し、人間は長年にわたりそれを明らかにしてきた。この意味で、自然科学とは単なる知識の集積ではなく、人間が自然現象を相手に実験観察を繰り返し、考察を重ね、数学も含めた言語を用いて理解を表現し、議論して共有する活動といえる。現在、日本の中学校の理科教育においては、実験や観察を通して科学的に探究する力を育成することが重要な目標とされている。科学は人間活動であるがゆえに、言語を用いた表現や議論を通じて観察や実験の結果を整理し、他者と共有し、客観性を高めることが欠かせない。つまり言語は、科学的探究力を形成する基盤となる。

このような観点から、日本の教育でも「言語活動の充実」が重視されてきた。平成20年告示の中学校学習指導要領では、「言語活動を通して思考力や表現力を育成する」ことが明記され、教育の重要な柱として位置付けられている。しかし、理科教育の現場では、自然現象を捉えて表現する過程で、言語表現の制約が学習を困難にする場合がある。例えば、凸レンズの実験で像の向き（上下左右）を捉えて表現する時、光源・スクリーンなどの実験装置の状況や、観察者の場所や向きを詳細に言語で示さなければ誤解が生じやすい。しかし、詳細

に説明しすぎると、言葉の暗記に意識が向きすぎて、現象の原理の理解につながらない生徒を多くみてきた。全国学力・学習状況調査¹⁾や定期考査、入試問題などにおいても、像の向きや大きさに関する設問で誤答することが知られており、学習内容の定着には課題が見られる。また、初任教員から、凸レンズの実験セットに白色と半透明のスクリーンが両方入っている理由を尋ねられたこともあり、教師の側も、実験の意味理解ができていない課題を感じている。

2 先行研究の整理

凸レンズが作る像の規則性の理解を促す研究は、これまで数多く蓄積されている。石井・橋本(2001)は、作図の指導を授業に積極的に取り入れ、幾何学的に頭の中で図形を操作したりイメージをしたりする抽象的な思考能力を高める必要があることを指摘した²⁾。麻柄・岡田(2006)は、光源の位置の変化に伴って像の位置や大きさがどのように変化するかに重点を置く一方で、「像ができる」というルールそのものを理解できていない生徒が存在することを明らかにした³⁾。佐久間・定本(2010)は、光の道筋を作図できる生徒の方が像の大きさや位置を理解している傾向を示したものの、正答率は約50%にとどまり、作図ができていても必ずしも像の理解が進むわけではないことを報告している⁴⁾。

さらに、小松ら(2015)はAR技術を活用した教材⁵⁾を、月僧ら(2018)はレンズ学習を補助する教材⁶⁾を開発し、規則性の理解を促す授業を提案してきた。このように多くの研究の蓄積と授業実践が積み重なり、日本の理科授業における凸レンズの学習は徐々に変化してきたと考えられる。

しかし、筆者の授業実践の経験からすると、生徒の理解上の課題や教師側の指導上の困難は、依然として解消されていないと考えられる。

3 研究の目的

上記の状況に陥る理由について、我々は、教科書の記述が変遷してきた経緯や、観察実験の条件(光源の種類・スクリーンの種類・観察する場所など)について十分に意識されていないことが、生徒・教師双方の像の向きについて混乱を助長していると考えている。そこで、本研究では、先行研究で十分に扱われてこなかった観点、すなわち学習指導要領および教科書の記述や実験条件の整理が大切になると考え、次の①～③の3点を本研究の目的とする。

- ①. 中学校学習指導要領および中学校学習指導要領解説理科編、そして教科書における凸レンズ実験の記述の変遷を整理する。
- ②. 現職教員を対象としたアンケート調査により、凸レンズの実験を行う際の授業実践上の課題を明らかにする。
- ③. 教材開発を通して課題を解消する方向性を検討し、科学的探究力の育成に資する理科授業の改善に寄与する。

II 中学校学習指導要領と教科書変遷の分析

1 中学校学習指導要領及び中学校学習指導要領解説理科編の変遷の整理

中学校学習指導要領を分析した結果、凸レンズの実験が教科書に導入されるのは平成元年告示（1989年）以降であることが確認された。平成元年告示から平成20年告示までは、「物体と像の位置および像の大きさの関係」を扱うことが明記されているが、平成29年告示では「像のでき方」と表現が変更され、対象がより抽象的・包括的になったことがわかる。以下表1として整理する。

また、平成10年（1998年）告示の学習指導要領から、「解説」が、はっきりと教科ごとに分冊化されて刊行されるようになった。ここでは分冊後の、平成10年（1998年）、平成20年（2008年）、平成29年（2017年）告示の解説理科編の中の記述の変遷を表2で整理する。表の「*年度」については、指導要領の名称欄に施行年月が書かれたものは告示年度、それ以外は発表年度で分けた。

表1 中学校学習指導要領における凸レンズの指導内容の変遷

*年度	学習指導要領名	内容に記載されている表現 像の向き・大きさの表現	備考
昭和52年 (1977年)	中学校学習指導要領 (昭和56年4月施行)	光によって、仕事をさせることができること。	初期の扱い
平成元年 (1989年)	中学校学習指導要領 (平成5年4月施行)	凸レンズの働きについての実験を行い、 <u>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。</u>	実験導入開始
平成10年 (1998年)	中学校学習指導要領 (平成14年4月施行)	凸レンズの働きについての実験を行い、 <u>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。</u>	解説理科編分冊化開始
平成19年 (2007年)	中学校学習指導要領 (平成20年3月告示)	凸レンズの働きについての実験を行い、 <u>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。</u>	解説で像の向きについて言及開始
平成29年 (2017年)	中学校学習指導要領 (平成29年3月告示)	凸レンズの働きについての実験を行い、 <u>物体の位置と像のでき方との関係を見いだして理解すること。</u>	表現が抽象化・包括化

表2 中学校学習指導要領解説理科編における凸レンズ指導の記載内容

*年度	解説の記載内容【記載されているページ数】
平成10年 (1998年)	物体と凸レンズの距離を変え、実像と虚像ができる条件を探らせ、 <u>実像の位置や大きさについての規則性を定性的に見いださせる。</u> はじめに、凸レンズに平行光線を当て、焦点は光が集まる点であることを理解させる。次に、物体、レンズ、スクリーンの位置をいろいろ調節して、スクリーンに像を結ばせ、凸レンズと物体、 <u>凸レンズとスクリーンの距離や像の大きさの関係をとらえさせる。</u> 【p. 21】
平成19年 (2007年)	ここでは、物体と凸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、 <u>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がねらいである。</u> はじめに、凸レンズに平行光線を当て、焦点は光が集まる点であることを理解させる。次に、物体、凸レンズ、スクリーンの位置をいろいろ調節して、スクリーンに実像を結ばせ、凸レンズと物体、 <u>凸レンズとスクリーンの距離や像の大きさ、像の向きの関係をとらえさせる。</u> 【p. 29】
平成29年 (2017年)	ここでは、物体と凸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、 <u>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して理解させることがねらいである。</u> はじめに、凸レンズに平行光線を当て、光が

	集まる点が焦点であることを理解させる。次に、物体、凸レンズ、スクリーンの位置を変えながらいろいろ調節して、スクリーンに実像を結ばせ、凸レンズと物体の距離、凸レンズとスクリーンの距離、像の大きさ、像の向き <u>の関係</u> を見いだして理解させる。【p. 31】
--	--

表 1、2 から、凸レンズ指導は平成元年告示以降に本格的に導入され、平成 20 年告示からは像の向きについても解説レベルで明示されるようになったことがわかる。平成 29 年告示では、指導内容がより包括的になり、「像のでき方」として抽象化されているため、学習者が像の規則性を明らかにするための要素(変数)を自分自身で整理することが重要となってくるであろう。

2 教科書における凸レンズ単元の扱いの変遷の整理

本研究では、平成元年以降の学習指導要領に基づき作られた中学校理科教科書 5 社 (A, B, C, D, E) を対象に、凸レンズ単元の扱いの変遷を分析した。対象とする教科書は、平成 4 年、平成 8 年、平成 17 年、平成 23 年、平成 27 年、令和 2 年、令和 6 年に検定を受けたもので、生徒実験として凸レンズの実験を扱う箇所を含む数ページ分とした。分析にあたっては、以下の観点に着目した。

- ・表 3 実像の向き(上下左右が逆)の表記の有無の観点
- ・表 4 光源として用いられる物体(ろうそく・LED・文字カードなど)の観点
- ・表 5 実験準備物のスクリーン表記と像を観察する場所の指定の有無の観点

まずは、実像の向き(上下左右が逆)の表記の有無の観点を表 3 にまとめる。

表 3 実像の向き(上下左右が逆)の表記の有無

出版社	H4	H8	H17	H23	H27	R2	R6
A社	×	×	×	◎	◎	◎	◎
B社	×	×	◎	◎	◎	◎	◎
C社	×	◎	◎	◎	◎	◎	◎
D社	△	×	△	◎	◎	◎	◎
E社	△	×	◎	◎	◎	◎	-

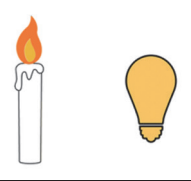


*記号の意味 ×:表記なし △:逆さま・倒立など左右には触れていない
◎:上下左右が逆と表記 -:E社はR6の出版なし(以下同じ)

教科書で凸レンズの実験が導入された当初は、学習指導要領の表記通り、実像の向きについては触れられていなかった。しかし、H8で1社が実像の上下左右逆について言及し始めると、H17には3社に増え、解説で「向き」に言及されるようになった。その後、すべての教科書が「上下左右が逆」と表記するようになった。したがって、もし実験結果を教科書通りに記述させたい場合には、光源となる物体に工夫を加える必要がある。そこで、教科書にいて光源として用いられる物体を整理した。その結果、主に3種類に分類できることがわかった。以下表4として、まとめる。

表4 光源として用いられる物体（ろうソク・電球・LED・文字カードなど）

出版社	H4	H8	H17	H23	H27	R2	R6
A社	ア	ア	イ	イ	イ	ウ	ウ
B社	ア	ア	イ	イ	イ	イ	ウ
C社	イ	イ	イ	イ	イ	ウ	ウ
D社	ア	イ	イ	イ	イ	イ	イ
E社	ア	ア	イ	イ	イ	ウ	-

ア、イ、ウの意味と特徴

ア	イ	ウ
ろうソクやナツメ球	光源とフィルターが別	光源一体型
		
物体の左右の向きを確認することが難しい	光源側からもスクリーン側からも物体の向きを確認することができる	スクリーン側からしか物体の向きを確認できない

教科書における光源の採用状況を年代別に整理すると、平成4年（H4）から平成8年（H8）までは、「ア」のタイプが中心であった。これは、当時の学習指導要領の記述において実像の上下左右について触れられておらず、左右の向きの確認が困難な「ア」のタイプでも十分であったためである。

一方、平成17年（H17）以降は「イ」のタイプが主流となった。平成20年の学習指導要領解説理科編では像の向きに関する解説が掲載され、これを基に平成23年の教科書が作成された。各学校も実験道具を整えるための十分な準備期間があったことから、実験への対応は可能であったと考えられる。

令和に入ると光源はさらに変化し、「ウ」のタイプが採用されるようになった。このタイプでは、光源の後方からでは光源の向きを確認できないため、左右の違いを認識しやすくするための工夫として実像と光源を同じ向きで比較するには、半透明スクリーンを用いてスクリーン裏側から観察するなどの工夫が必要である（図1）。光源の変遷は、生徒が見いだす規則性の要素（変数）や、そのための検証計画の立案に大きな影響を与えているものである。

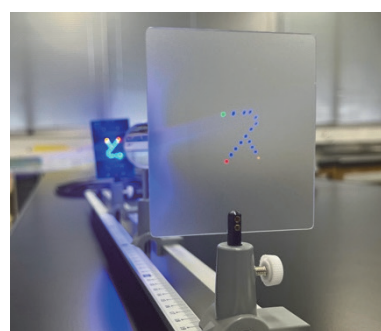


図1

筆者自身、初任教員の頃に観察条件を定めずに実験を行ったため、生徒からの「左右は逆になっていないのではないか」という問いに即答できず困惑した経験がある。また、新採用教員から「市販実験セットに白色と半透明のスクリーンが同梱されている理由」について尋ねられたこともあり、観察条件を整え

ておくことが指導上で大きな意味をもつと痛感した。

以上の経験から、中学校理科教科書における凸レンズの実験では、スクリーンの種類や像を観察する場所の指定がどのように扱われているかを整理する必要があると考えた。教科書分析の結果、スクリーンの表記は「スクリーン」「ついたて」「目盛りつきスクリーン」「半透明スクリーン」の4種類に分類でき、白色スクリーンという表現は見当たらなかった。また、観察場所の指定は、実験方法のページで明記される場合や、実験まとめの図で示される場合など、出版社によって扱いが異なっていた。

以下、表5として、スクリーン表記と観察場所の指定の有無をまとめた。

表5 実験準備物のスクリーン表記と像を観察する場所の指定の有無

出版社	H4	H8	H17	H23	H27	R2	R6
A社	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン
場所指定	なし	なし	なし	なし	なし	なし	光源裏側
B社	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン
場所指定	なし	なし	なし	なし	なし	なし	ス裏側
C社	スクリーン	目盛りつき	目盛りつき	半透明	半透明	半透明	半透明
場所指定	なし	なし	なし	ス裏側	ス裏側	ス裏側	ス裏側
D社	ついたて	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン
場所指定	なし	なし	なし	なし	なし	なし	光源裏側
E社	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	スクリーン	半透明	—
場所指定	なし	なし	光源裏側	光源裏側	光源裏側	ス裏側	—

令和6年版の教科書では、C社とE社が半透明スクリーンを用い、像を観察する場所をスクリーン裏側（表のス裏側）に指定していることが確認された。さらに、残りの3社も何らかの形で観察場所を明示しており、従来の「観察場所指定なし」の状態から「観察場所を指定する」方向へ変化してきたことが明らかとなった。この変化は、像の向きや位置の理解に関する生徒の混乱を軽減するための工夫なのではないかと考えられる。

III 生徒の混乱と評価問題

前章では、学習指導要領の変遷とともに、中学校理科教科書における凸レンズの実験の表記が少しずつ変化してきたを明らかにした。その流れの中で、スクリーンの種類や像を観察する場所の指定が出版社や版ごとに異なっていることが確認された。また、図2で示すように、実験方法で示された光学台の向き

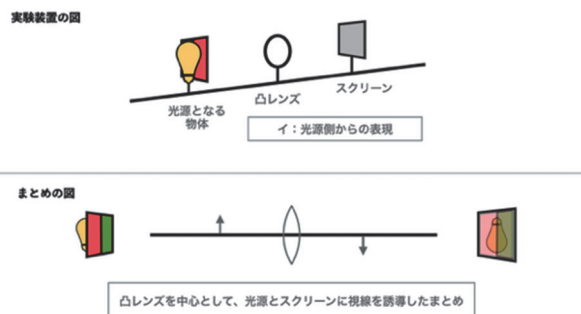


図2 実験方法の図とまとめの図に視点の違いがみられる例

と、まとめとして示された向きが各社バラバラであることも明らかになった。このような実験方法とまとめの図にみられる視点の違いは、生徒が教科書をもとに家庭で学習をする際や、評価問題や入試問題に取り組む際に混乱を引き起こす要因となる可能性がある。次節で、具体的な混乱の様相を整理する。

1 左右の認識に関する混乱

左右とは絶対的な方向ではなく、観察者の立つ場所や体の向きによって決まる相対的な概念である。以前、光学台を用いた実験の途中で、ある生徒が「左右は逆になっていないのではないか。」と疑問を呈したことがあった。その生徒は、ロウソクの隣で小型のライトを点灯させ、像の左右関係を確認しようとしたのである。確かに、観察者をレンズの場所に置き、光源を視認するために体の向きを変えて後方を確認すれば、光源に対する像の左右の変化はないように認識される(図3)。この現象は、上下左右の反転を「知識として暗記」していた生徒が、目の前の事象にその知識を機械的に当てはめようとした結果生じた混乱といえる。本来、空気とレンズの境界面で光が屈折する現象の理解から、像の向きの規則性を論理的に捉えようとするれば、このような誤解には至らない。観察条件を明示しないまま実験を行った実験とはいえ、この種の混乱は次に示す評価問題の場面でもしばしばみられる。

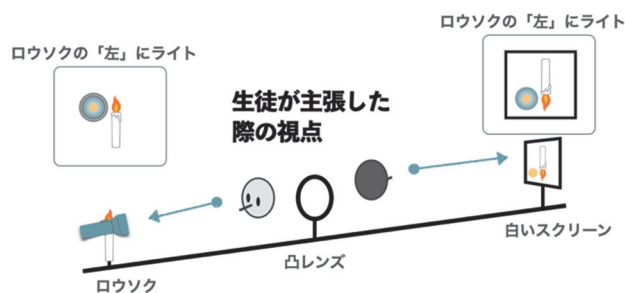


図3 生徒が主張した際の生徒の視点

2 評価問題での混乱の蓄積

まず、図4のようにスクリーンを凸レンズ側から観察させる問題では、多くの生徒は「実像は上下左右が逆になるという知識」で正答ウを解答できる。しかし、図5のようにスクリーン“裏”側から観察させる問題では誤答が生じやすい。「実像は上下左右が逆になるという知識」を記号的に暗記している生徒は図4でも図5でも、選択肢ウを選んでしまう。その結果、生徒は問題文に「スクリーン裏側と書かれていたら、さらに左右を反転

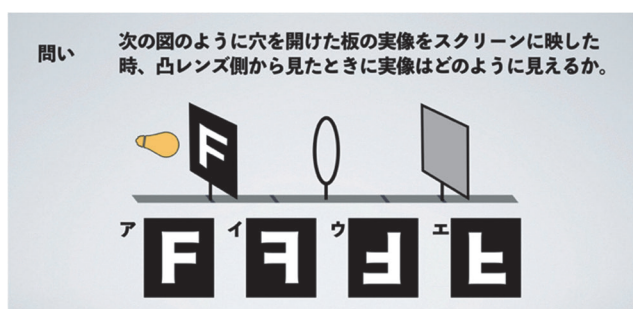


図4

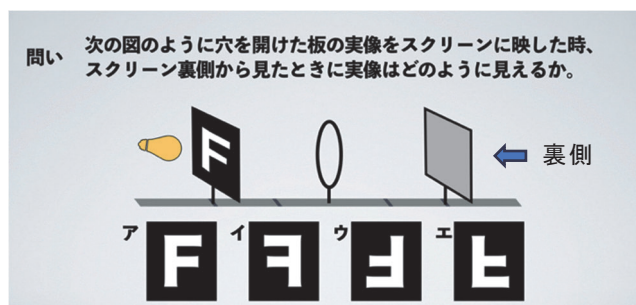


図5

させて解答を選ぶ」といった形で、暗記で対応しようとする。

さらに、図6のような出題では、混乱が一層深まる。この問題は、文字として認識できる光源の向きがこれまでの問題と異なっており、設問のパターンの暗記に頼る生徒は、そこを見逃しがちである。そのような生徒は「実像は上下左

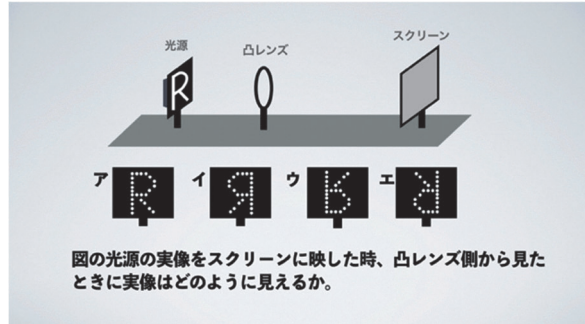


図 6

右が逆になる」という単純なルールで処理してしまうため、光源の「R」の文字を上下左右反転させた選択肢エを選びがちである。しかし、本来問われているのは、光源からの光線を正しく作図して像を見出す力であり、解答ウを選ぶ必要がある。現象を理解せずに、言語での説明を丸暗記して対応しようとする生徒ほど、誤答しやすく、混乱を深めることになる。Ⅱ章で示した教科書の記述の工夫、すなわち、光源・スクリーンなどの実験装置の状況や、観察者の場所や向きを限定し、言語で詳細に示す工夫は、設問パターンの暗記で対応する生徒が、応用力を向上させる手助けにはつながらないと思われる。

Ⅳ 現場教員の認識と課題

これまでに示した通り、凸レンズの実験においてはスクリーンの種類や観察場所の指定が教科書ごとに異なり、評価問題においても生徒が混乱しやすい出題が存在する。では、こうした状況で、生徒の混乱を解消するための実験指導を教師がどのように行っているのだろうか。Ⅱ章の教科書分析で用いた観点をもとに、次の4つの質問項目を設定し、Google フォームでアンケート調査を行い、10名の現職教員から回答を得た。質問項目は以下の通りである。

- 1 光学台を用いる実験における物体（光源）について教えてください。
- 2 その実験で使用しているスクリーンについて教えてください。
- 3 実験の際、どの場所から実像を観察しているか教えてください。
- 4 観察場所をそのように指示している理由について教えてください。

アンケートの結果を表6に示す。

1 光源の種類

現場では、電球やLEDが一体化した装置を用いる教員が多数を占める。一方で、雰囲気づくりや生徒の感動を重視し、ろうソクや百均の電子ろうソクを使用する例も少数ながら見られた。電球やLEDが分かれている装置を使用するケースは少ない。

2 スクリーンの選択

白色スクリーンを使用する教師が多いが、半透明スクリーンを選ぶ例もある。半透明スクリーンを選ぶ理由としては「像が見やすい」「教科書に指定がある」などが挙げられるのに対し、白色スクリーンを使う理由は「それしかない」「慣習的に」といった消極的なものが多い。

表 6 光学実験指導に関するアンケートの結果

回答者	物体（光源）	スクリーン	観察場所	その理由
A 教員	電球や LED が一体化している装置	半透明	光源側	映画館やプロジェクターと同じ原理と説明している。
B 教員	百均の電子ろうソク	半透明	あまり考えたことがない	自分がしっかりと理解ができていなかったため
C 教員	電球や LED が一体化している装置	白	光源側	教科書や指導書、実験装置の説明がそのようになっていたから。また、自分が中学時代に行った実験もそうだったように記憶しているから。
D 教員	電球や LED が一体化している装置	白	あまり考えたことがない	観察の視点が複数あることに気づいていなかったから
E 教員	電球や LED が一体化している装置	半透明	光源側	教科書のような結果が得られないから。教科書に指定があったから。
F 教員	電球や LED が一体化している装置	半透明	スクリーン側	像を観察しやすいため
G 教員	ろうソク	白	両方	炎の揺らぎで少し感動を与えたあと、1字で確認させている
H 教員	ろうソク	白	光源側	無回答
I 教員	電球や LED が一体化している装置	白	スクリーン側	カメラのセンサー視点のため
J 教員	電球や LED が分かれている装置	白	光源側	白いスクリーンしかないので、光源から見ることはできないから

3 実験の際、どの場所から実像を観察しているか

観察場所については、「光源側」という回答が多数を占めた。しかし、「スクリーン側」や「両方」、あるいは「考えたことがない」という回答もみられ、指導にばらつきがある。特に、観察場所の指定がない教科書では、そのまま実験が行われている可能性が示唆された。

中でも、C 教員、E 教員の回答（「電球や LED が一体化している装置」と「白いスクリーン」の組み合わせ）は、生徒の混乱を必然的に引き起こす実験設定と考えられる。この設定では、次に示す根本的な矛盾が生じる。

- ① 【物体（光源）の確認】光源が一体型（表 4 のタイプ「ウ」など）であるため、生徒が光源の文字の向きを視認するには、凸レンズ側（スクリーン側）から覗き込むしかない。
- ② 【像の確認】スクリーンが白色（不透明）であるため、スクリーンに映った像を観察するには、光源側（凸レンズ側）から見るしかない。

つまり、生徒は「物体（光源）」と「像」の向きを、同じ場所・同じ向きから同時に比較することが物理的に不可能になる。この状況は、まさにⅢ章（図 3）で示した「観察者が体の向きを変える」ことを実験装置そのものが誘発してしまうことになるため、生徒が混乱をしてしまう可能性が高い。生徒が観察事実を教科書通りの「上下左右が逆」という言語で表現するためには、目の前の現象を素直に観察するのではなく、「もしスクリーンの裏側から像を見たら…」あるいは「もし光源を裏から透視できたら…」といった、現実には行えないイメージ操作に頼らざるを得ないことになってしまう。

4 観察場所をそのように指示している理由

観察の理由としては、「教科書や指導書に従った」「自身の中学生時代の経験に基づく」といった教科書依存や経験則に基づくものが多数を占める。しかし、「像が見やすい」「ろうソクの炎の揺らぎで感動を与えた後に両側から確認させる」など、生徒の体験や像の見やすさを重視する例もあった。

以上を踏まえると、スクリーンや観察場所の選択やその理由付けにばらつきがあることが明らかになった。もし、光源・レンズ・スクリーン・観察場所の組み合わせを教員が十分に意識せずに授業を行うと、Ⅲ章で示した生徒の混乱を解消できないばかりか、混乱を招く可能性があると思われる。

そこで、細かく言語で説明しなくても、光源・レンズ・スクリーン・観察場所の組み合わせを無理なく定めることができ、生徒が現象から必要な情報を主体的に抽出し、探究できるよう、教材や実験設計の工夫が求められる。

V 教材開発の試みと教員研修での評価

1 教材開発について

Ⅱ章からⅣ章で示した、凸レンズの像のでき方をめぐる状況を改善するために、新たな教材を開発した。

中学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編（9 ページ）には、探究の過程の例が示されており、課題把握の場面では生徒が自然事象を観察し、必要な情報を抽出・整理する力の育成を重視している。開発した教材は、そこにも、寄与できると考えている。

以下の方針で教材の開発を行った。

- (1)光源・レンズ・スクリーン・観察場所を無理なく定められるようにし、像のでき方を生徒が探究しやすい設計にする。
- (2)生徒が主体的に実験を進められるよう、課題解決型・探究型の構造にする。
- (3)雰囲気づくりや感動体験を適度に取り入れ、学習意欲を喚起する。

H4・H8 の教科書では、フィルムの位置に半透明スクリーンを置き、実像が映る様子と光源となる物体を比較できる写真教材（図 7）が掲載されていた。

この教材の利点は、光源・レンズ・スクリーン・観察場所を無理なく定めることができ、生徒が像のでき方の情報を抽出しやすい点にある。さらに、こうした教材は、気づきを起点として生徒が課題を設定し、実験計画を立案する際に自然な文脈を提供できる。しかし、現在、フィルムカメラは希少で日常では、入手しづらく、生徒の目に触れる機会は少なくなっている。また、生物分野の目玉の模型

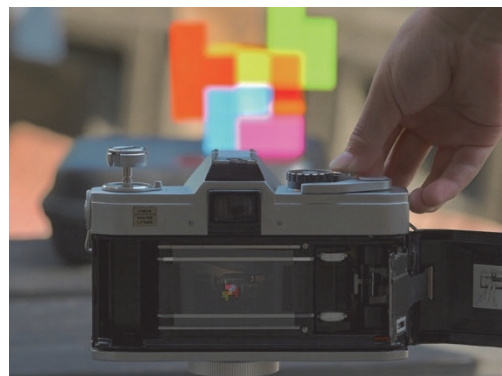


図 7

教材として、網膜の部分に半透明半球スクリーンにすることで、図7の教材と同様な効果が期待される教材⁷⁾も市販されている。

本研究では、入手可能なさまざまなレンズの焦点距離に対応できるように、任意のサイズの目玉模型を3Dプリンタで作成できるようにした。加えて、生徒の興味を喚起する雰囲気づくりをねらい、アニメキャラクターをオマージュしたフィギュア(図8)とした。これまでは、百貨店で販売されているレンズの焦点距離に合わせて半透明半球を見つけることは困難で、スクリーン部分にピントを合わせ、きれいに結像させることが難しかった。しかし、3Dプリンタの大衆化により、安価で高精度な印刷が可能となり、容易に対応できるようになった。このフィギュアを暗い部屋に置き、窓の外などの明るい光源に向ければ、後頭部に上下左右逆の像が鮮明に結像する(図9)。生徒は、この事象を目にすることで、光源・レンズ・スクリーン・観察場所を無理なく定めながら、像のでき方について探究的に学びはじめることが期待できる。



図 8



図 9

2 開発した教材の教員研修での評価

本研究の内容を踏まえ、教員研修で開発した教材を紹介した際の現職教員の振り返りから、教材の価値を検討した。

研修を受けた教員から、教材の有効性や授業デザインに関する多くの示唆が得られた。まず、この教材を用いることで、光源・レンズ・スクリーン・観察場所の関係が単純化され、光学台を利用した実験に移るとき、生徒自身が主体的・探究的に実験条件等を決定しやすいのではないかとの意見があった。さらに、静かで、薄暗い理科室に佇むフィギュアの後頭部に窓の外の景色が映っている自然事象を目にすることで、興味が喚起され、学習が苦手な生徒でも主体的に参加できそうだとの意見もあった。

期待される生徒の動きは以下の通りである。

- ① 後頭部に上下左右逆の像が鮮明に結像する様子に対して、生徒が不思議さを感じ、その原理を追究したくなる。
- ② その後に光学台を使用した実験に移ると、光学台を、①の現象を追究できる有用な装置として、生徒自身が認識できる。
- ③ 光学台で観察される像を考察するとき、投げ所となる像(図9)が生徒の中で定まっているので、物体の位置と像のでき方の関係を見いだして理解

しやすくなる。

④ 以上の探究の過程を生徒自身が自然に辿ることが期待できる。

一方、教師自身も、研修でこの教材を扱うことを通して、自然現象の理解が深まり、光源・スクリーンなどの実験装置の状況や、観察者の場所や向きを把握した上で、現象を詳細かつ柔軟に生徒に説明できるようになった。

以上のことから、本教材は、生徒に対しても、教師に対しても学習内容の理解を促進させることが示唆される。また、教師の授業デザインの工夫にもつながり、生徒主体の探究活動につながることを期待される。また、研修に参加した教員から、この教材は光の分野に限らず、例えば「動物の体のつくりと働き」など他の領域と関連付けて理解する機会を提供できるとの評価も得られた。

VI おわりに

本校の締めくくりとして、「はじめに」で述べた研究の目的についてまとめ、今後の展望を述べる。

1 教科書分析からの知見

凸レンズの像のでき方を調べる実験において、各社とも「観察場所を指定しない」状態から「観察場所を指定する」方向へ変化してきたことが明らかとなった。この変化は、像の左右の向きを捉える際に「物体（光源）」と「像」を同一の視点から比較させ、生徒の混乱を軽減しようとする教科書会社各社の改善の結果であると考えられる。

しかし、こうした言語による詳細な条件指定は、かえって生徒の意識を現象そのものから「ルールの暗記」へと向かわせる懸念がある。Ⅲ章で示した評価問題の混乱に見られるように、設問パターンを暗記して対応しようとする生徒に対して、現象の理解を促すという面では、こうした教科書の工夫が逆に妨げとなる可能性も否定できない。

2 教員アンケートと教員研修からの知見

生徒が、自然現象の仕組みを見いだして理解するためには、生徒自身が現象から必要な情報を主体的に抽出し、探究できるよう、教師には、教材や実験設計の工夫が求められる。教員アンケートの結果、凸レンズの像のでき方を調べる実験においては、スクリーンや観察場所の選択やその理由付けにばらつきがあることが明らかになった。光源・レンズ・スクリーン・観察場所の組み合わせを教員が十分に意識せずに授業を行うと、Ⅲ章で示した生徒の混乱を解消できないばかりか、混乱を招く可能性があると思われる。

そこで、本教材を紹介した教材を用いて教員研修を行ったところ、教師自身の凸レンズの理解も深まった。また、本教材を授業に導入することで、細かく言語で説明しなくても、光源・レンズ・スクリーン・観察場所の組み合わせを無理なく定めることができ、生徒が現象から必要な情報を主体的に抽出し、探

究できるような授業設計ができそうだとの評価をいただいた。

3 今後の展望

開発した教材を用いた授業が果たして、V章で述べた期待される生徒の動きを実現するかどうかを、授業実践を通して検証したい。そのためには、単なる「像の向き」の理解にとどまらず、光の道筋の変化と見え方を関連づけ「なぜそう見えるのか」と考察を行えるような授業実践へ展開したい。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号：課題番号：25K06495 および 24K06413）の助成を受けて実施したものである。

参考・引用文献

- 1) 国立教育政策研究所 (2016). 『平成 27 年度 全国学力・学習状況調査【中学校理科】調査結果のポイント』.
<https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/msci.pdf>
(2025 年 10 月 15 日閲覧)
- 2) 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), 41-48. 一般社団法人 日本理科教育学会.
- 3) 麻柄啓一, 岡田いずみ (2006). 「レンズと像」に関するルールの適用はなぜ難しいのか. 教授学習心理学研究, 2(1), 12-22. 日本教授学習心理学会.
- 4) 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.
- 5) 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), 21-29.
- 6) 月僧秀弥・川村康文・新村宏樹・浅原雅浩・葛生伸 (2019). 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. 科学教育研究, 43(2), 205-214.
- 7) ナリカ理科機器総合カタログ vol.59, 574

Analysis of Factors Contributing to Confusion Regarding Left-Right Understanding of Convex Lens Images

-Proposals for Inquiry-Based Learning Based on Textbook Analysis and Teacher Questionnaire-

TANIMOTO Kunihiko, INADA Yoshihiko*1,

(Abstracts) This study focused on the confusion students experience regarding the orientation of images during the learning of convex lens in junior high school. It examined the causes of this confusion, identifying insufficient awareness of experimental conditions such as the light source, screen, and observation location. To investigate, the study analyzed changes in the Course of Study for Lower Secondary Schools and textbooks and conducted a questionnaire survey of science teachers. The results revealed that while textbook descriptions have shifted toward specifying the observation location, teaching methods among teachers vary, causing confusion of students. To address these issues, a 3D-printed teaching material was developed that naturally fixes the observation viewpoint. Its effectiveness was examined through teacher training. This material was found to be effective in promoting students' intuitive understanding and bringing inquiry-based learning.

Keywords: Convex lens, the orientation of images, Textbooks, Course of Study, 3D printer

*1 Faculty of Education, Okayama University
