

# 水中射的を教材とした光の屈折に関する中学校理科の授業実践

A Study on the Science Learning of Optical Refraction Using Teaching Materials of Underwater Shooting in lower secondary school

佐藤 寛之

Hiroyuki SATO

松森 靖夫

Yasuo MATSUMORI

佐々木 智謙

Tomonori SASAKI

望月 健人

Kento MOCHIDUKI

# 水中射的を教材とした光の屈折に関する中学校理科の授業実践

## A Study on the Science Learning of Optical Refraction Using Teaching Materials of Underwater Shooting in lower secondary school

佐藤 寛之

佐々木 智謙

Hiroyuki SATO

Tomonori SASAKI

松森 靖夫

望月 健人\*

Yasuo MATSUMORI

Kento MOCHIDUKI

### 1. はじめに

義務教育課程での理科における基本的な学習内容の一つである光に関する学習は、現行の学習指導要領では、小学校第3学年理科に「光の性質」が、中学校理科第1分野に「光と音」が、それぞれ設定されている<sup>1) 2)</sup>。この光に関する学習は、上記の義務教育課程のみならず、高等学校物理まで各校種理科で扱われており、光に関する基本的な性質を学ぶことには、身の回りにある物理現象に対する理解を促進させるうえで、一定の意味が存在するといえる。

義務教育課程での光の学習では、小学校では「反射」や「重ね合わせ」が、中学校では小学校での「反射」の学習をふまえた「反射の法則」、そして、光の屈折に関する現象についても定性的に取り扱われている。

中学生で初めて学習する「光の屈折」に関する学習場面では、子どもの学習内容に対する興味や関心を喚起させるために、教科書では、水の入ったビーカー内にストローや鉛筆を入れ、物体が曲がって見える様子を例示している<sup>3)</sup>。しかしながら、教科書での例示や日常経験から光の屈折の現象を提示しても、必ずしも子どもが興味・関心をもち学習に臨むとは言い難い。また、教材・教具における「水中射的」の開発とその授業実践について研究した奥澤らの指摘にあるように、「光は日常経験から『直進する』という思い込みがあり、中学校第1学年で学習する光の屈折（光が異なる媒質の境界面で折れ曲がって進むこと）の法則と考えが一致せず、理解を妨げている場合もある<sup>4)</sup>。」という学習における課題が示されている。そのため、学校で光の屈折に関する現象を初めて学ぶ中学生にも、学習内容に興味・関心をもつことができ、かつ、観察・実験を通して、日常経験に由来する子ども自らの考えを更新し、理解を図るための教材が必要とされている。

そこで、本研究では、この光の屈折に関する現象の理解を促す教材として、水中射的の理科教育的な意義について検討したトリコスコ (Trikosko, W.) の水中射的の教材としての活用<sup>5)</sup>に着目することとした。トリコスコは、実際に子どもが水中射的的を射ることに「失敗と修正」を繰り返し行う中で、射手が光の屈折を考えて感覚的に角度を補正し、実際の魚に命中することができるようになることで、射手である子どもが光の屈折の理解を手助けするものになると主張している（ただし、研究報告のなかでは、授業実践に関する具体的な言及はない）。また、前出の奥澤らも、中学校での授業や教育センター、公民館での科学教室での教育実践から光の屈折の理解における水中射的の活用の有用性に言及しているが、詳細なデータは報告されていない。

上記のように、光の屈折の学習における水中射的の教材としての活用の有用性に関する報告はある

\* 山梨大学大学院 教育学研究科 大学院生

ものの、実際の中学校理科での授業場面での水中射的を教材として活用した報告例は少ない。そのため、中学校の理科学習場面で水中射的を教材として活用した際の子どもの理解に関する知見を得ることが必要であると考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、上述の通り、中学校理科での水中射的の教材としての活用に関する知見を得るために、中学校第 1 学年を対象として、水中射的を教材として用いた光の屈折の授業実践と、光の屈折に関する事前・事後質問紙調査を実施した。その授業実践と調査結果の分析から、光の屈折の学習における教材として水中射的の有用性とその改善点について検討することを研究の目的とした。

## 3. 事前質問紙調査の概要

### 3.1. 調査目的

光の屈折を未学習である中学校第 1 学年の子どもの光に関する認識状態を把握する。


### 3.2. 調査期日及び調査対象

2015年10月上旬に、Y 大学 K 学部附属中学校在籍の中学校第 1 学年 4 クラス計157人に調査した。

表 1 事前質問紙調査における調査の内容

	調査により把握したいと考えた子どもの認識	回答方法
質問 1	昼間の光の伝わり方の認識 ----- 夜間の光の伝わり方の認識	選択肢＋回答理由の記述
質問 2	「もの」の見え方の認識	自由記述
質問 3	光の屈折の認識（教科書で例示されているもの）	選択肢＋回答理由の記述

A から D の中で、自分の考えに当てはまるものに○をし、そう思う理由を説明してください。



図：昼間、人がろうそくを見ています。

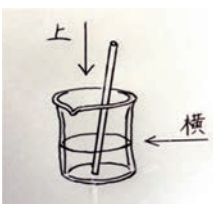
図のとき、ろうそくから出る光は、

A：ろうそくの所にとどまっている。  
B：ろうそくと人間との間、半分くらいまでくる。  
C：できる限り、人間に近づく。  
D：何かに当たるまで進む。

<理由>

図 1 事前調査の問題例（質問 1（昼間））<sup>7)</sup>

A から E の中で、自分の考えに当てはまるものに○をし、そう思う理由を説明してください。



図：水の入ったビーカーに棒ガラスが入れた状態。

図のとき、ガラス棒はどこから見ても真っ直ぐであるのか。

A：上、横から見ても、真っ直ぐである。  
B：上から見たときだけ、真っ直ぐである。  
C：横から見たときだけ、真っ直ぐである。  
D：上、横から見ても、真っ直ぐではない。  
E：わからない。

<理由>

図 2 事前調査の問題例（質問 3）

### 3.3. 調査内容及び方法

本研究での質問紙調査における設問の内容と問題例は、表1と図1と図2に示した通りである。質問1では、オズボーンらの光に関する調査問題<sup>6)</sup>を援用し、質問2の「ものの見え方」に関する自由記述と併せて光の進み方に関する子どもの認識を問うことにした。そして、質問3では、子どもの理解に関する知見を得たいと考えた光の屈折に関する学習前の理解について尋ねることにした。

### 3.4. 調査結果とその分析

質問1の光の伝わり方の認識では、昼間と夜間で共に同じ選択肢での回答を求めた。この設問における回答結果を図3と図4に示す。

図3と図4に示したように、質問1の正答選択肢Dを選択した子どもの割合は、昼間が55.4% (87人)、夜間が70.1% (110人)であり、この調査結果から調査対象の子どもたちは、中学校での光の学習前の段階では、光の進み方に関して、必ずしも正しい理解をしているとはいえないことが理解できた。また、昼夜で光の進み方が異なること回答した子どもの回答理由をみると、「昼間はまわりが明るいので、ろうそくの光があまり見えないから、Aだと思います」や「昼間は他にも光(日光など)があると思うのでとどまると思う」等の理由を挙げており、自分の感覚やイメージを基に昼間と夜間によって光の伝わり方に違いがあるという誤った認識を保持している子どもも存在していることが、この質問1の回答から垣間見えた。

そして、質問2の回答結果から、「もの」の見え方に対する子どもの考えは、大別すると、表2に示す4つの考え方に代表されることが改めて理解できた。表2に示したように、学習前の段階で「もの」

回答選択肢

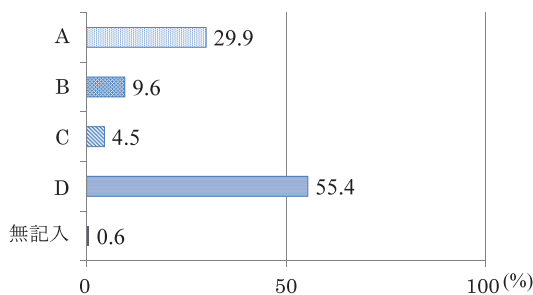


図3 昼間の光の伝わり方の認識の回答結果

回答選択肢

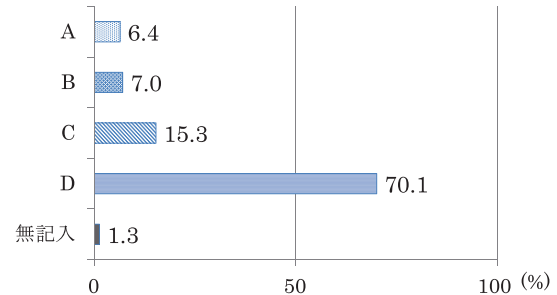


図4 夜間の光の伝わり方の回答結果

表2 「もの」の見え方に対する子どもの認識

子どもの考え (回答群)	回答の具体例	回答割合 (人数)
I 光源、あるいは反射した光が目に入って「もの」が見える	「光源からの光を受けた物体が光を反射させ人間の目の中に入る。そしてそれを脳が認識することでものを見ている。」	25.5% (40人)
II 光があれば「もの」が見える	「光の力を借りてものを見ている。暗いところではものは見えない。」	22.3% (35人)
III 体の一部を使って「もの」が見える	「頭の脳で『もの』と認識して見ていると思う。」 「目で見ている」	36.3% (57人)
IV その他 (無記入を含む)	「目の光(視線)を『もの』に送って、目の光(視線)でもものを見ている。目の光(視線)を見たい『もの』に集中させて、見ている。」	15.9% (25人)

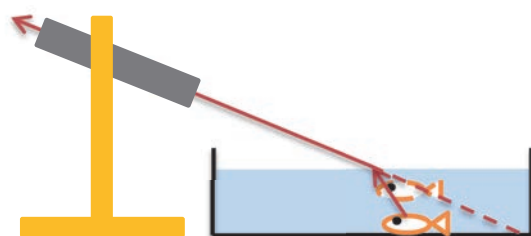
の見え方に対する説明として正しい回答ができている子どもの考え(回答群Ⅰ)は、調査対象の25.5%(40人)に留まった。一方、暗いときには「もの」が見えないという経験等から導かれた「光があれば『もの』が見える」という子どもの考え(回答群Ⅱ)と、「光とは関係なく目や脳があれば、『もの』を見ることができる」という子どもの考え(回答群Ⅲ)等の、子ども自身がその説明の根拠を保持しているが科学的に正しいとはいえない回答が調査対象の58.6%(92人)を占めていた。このことから、調査対象の子どものなかには、光の反射に必ずしも言及しない形で、「ものが見えること」を説明している現状が理解できた。

最後に、質問3の光の屈折についての子どもの理解に関する回答結果を、図5に示す。図5の「その他」の項目は、無記入、複数回答、選択肢以外とした。

図5に示した通り、正答である選択肢Dを選択した子どもは調査対象の45.9%(72人)であった。さらに、水中射的のような光の屈折の現象を経験している子どもが選択すると想起できる選択肢Cの回答者数(17人)を合計して考えたとしても、調査対象の子どもの56.7%(89人)だけが、これまでに光の屈折による浮き上がりの現象を「知っている」「経験したことがある」と推察できた。また、この設問における回答理由には、「光の屈折」「光の屈せつによってずれてみえるため」(いずれも回答はB)等の記述もあり、これらの記述から「屈折」という言葉は知っていても、科学用語として正しく使用することは、学習前の段階ではできていない子どもがいることも明らかとなった。

#### 4. 光の屈折の理解を促すための水中射的の授業実践

事前調査の結果から、光の屈折の現象に関して馴染みのある子どもばかりではないことが示されたため、研究当初の目的に従い、光の屈折に関する授業で、水中射的を教材として用いた授業を行い、本教材に対する子どもの理解度、及び興味・関心の度合について分析することとした。



【水中射的に使用する実験道具】

水槽、ゴム栓(魚の代わりとしての標的)、筒を固定するためのスタンド、棒、筒

図6 授業に使用する水中射的

回答選択肢

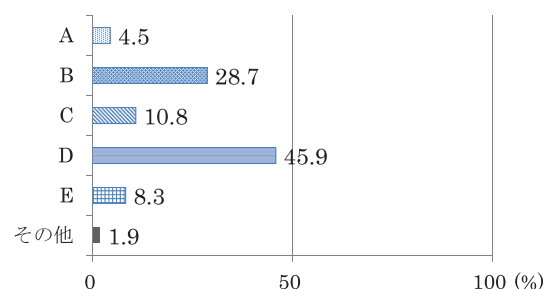


図5 光の屈折の回答結果

表3 水中射的の実験手順

手順	内容
①	筒を覗きながら、水槽内のゴム栓(魚)に標準を合わせる。
②	筒に棒を入れて、突く。
③	棒を抜き、再び筒を覗き、水槽内のゴム栓(魚)に標準が合っているかを確認する。
④	筒を水槽に対して、水平の位置にする。
⑤	水槽の8分目まで水を入れる。
⑥	水の入った水槽で、手順①～④を同様に行う。
⑦	実験結果、実験中に気づいたことをワークシートに記入する。

#### 4.1. 調査期日及び調査対象

2015年11月下旬から12月上旬に、Y大学K部附属中学校在籍の中学校第1学年4クラス計154人に対して水中射的を教材とした光の屈折についての授業を実践した。

#### 4.2. 水中射的を教材とした光の屈折の授業展開

光の屈折に関する授業で、クラスを10班に分け、各班に教材である水中射的(図6)を配布し、表3に示す実験手順で水中射的に関する実験を行い、光の屈折の現象に関する理解を促す授業を実践することとした。

次に、表3の手順で水中射的を教材とした実験を行った後の授業展開を列記する。

- 1) 水中射的の実験から、学習課題である「筒から水中にいる魚の見える位置だと、なぜ当てることができないのか?」を子どもに考えさせる。
- 2) 子どもが各自で把握した学習課題について考えたことを班で話し合い、それらの考えをクラス全体に共有させる。また、学習課題を解決するために、光の進み方を子どもに着目させる。
- 3) 光の進み方を確認するための演示実験(石鹸水と線香の煙が入った水槽に蓋をして、水槽の底からレーザーポインターを当てる)をし、光の屈折を子ども自身が理解できるようにする。
- 4) 最後に、「外から水中にいる魚を狙っても、なぜ当てることができないか」に対して子ども自身の言葉でまとめ、学習における感想を子どもに記述させる。

上記1)の「筒から水中にいる魚の見える位置だと、なぜ当てることができないのか?」という学習課題に対して子どもは、水中射的の実験結果(経験)とそれが生じるための要因としての「魚に見立てた的」に反射した光と水や空気での光の伝播を「水中射的で扱った棒」、「水面で光が反射」、「水と空気の境目で折れ曲がった」等のように考えて、ワークシートに的から出た光の進み方を子どもに自由に描画させた。

上記2)では、上記1)での本課題について各子どもが仮説を考え、ワークシートに記入した。その仮説をもとに、各班で話し合いを行うと、「筒からの的を見ている位置と、実際にある的の位置が異なるから」、「光が水から空気の境目で曲がったから」、「水面で反射するから、的の位置がずれて見えるため」「棒が曲がってみるように、光も曲がって見えるため」等の考えが挙げられていた。これらの考えを発表することで、班からクラスへと共有した。そこで、子どもに課題と関係しているものを挙げてもらおうと、「光」、「光の道筋」、「光の反射」、「光の屈折」等があったので、光に着目させた。

上記3)では、授業者が子どもの仮説をどのように検証するのか、具体的には、光の進み方を確認するためにはどうすればいいのかを子どもに尋ねた際に、子どもからレーザーポインターを用いて実際の光線を観察することが挙げられたため、石鹸水と線香の煙が入った水槽に蓋をして、水槽の底からレーザーポインターを当てる演示実験(図7)を行うことにした。この演示実験の観察での空気と水の境目で光が曲がっている様子を観察することで、子どもは水中から空気中への光の屈折現象を捉えることができたので、自分の仮説と観察結果を比較ながらワークシートの「理解したこと」を記入した。

上記4)で、水中射的の授業を通して、「外から水中にいる魚を狙っても、なぜ当てることができないか」

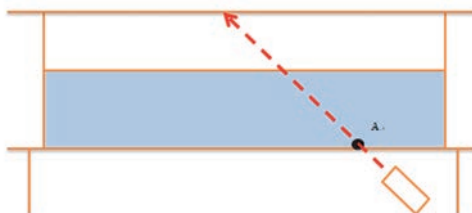


図7 ワークシートで使われた予想の図

表 4 光の道筋の描画の分類

		水槽のガラス による屈折	水と空気の境界 による屈折
正答		×	○
誤答	I	○	○
	II	○	×
	III	×	×
	IV	その他	

分類項目

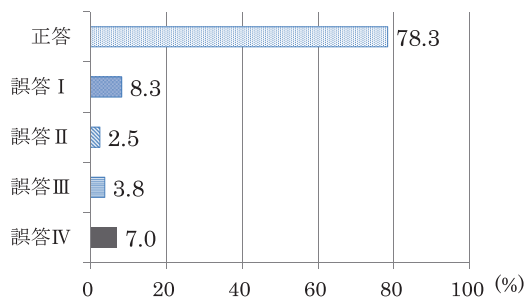


図 8 光の道筋の図の集計結果

に対して子ども自身の言葉でまとめることで、子どもが実感の伴った理解ができているか、また授業全体の感想を記入することで、子どもの光の屈折に対する興味・関心の有無を確認した。

## 5. 水中射的の授業後の子どもの考えの変容

### 5.1. 実験後の子どもが考える光の道筋について

本研究の授業実践では、子どもに光の道筋の考えを分析する資料として、ワークシートに子どもが予想として描いた教師による演示実験でのレーザーポインターの光の道筋の図 (図 7) を用いた。

この図 7 への光の屈折に関する描画の様子から、予想段階での子どもの考えを、表 4 に示す分類項目により分類することとした (正答, 誤答 I, II, III, IV (誤答 I から III 以外, 無記入等) とし, 5 つに分類をした)。表 4 による分類をもとに、子どもの光の道筋の考えにおける集計結果を図 8 に示す。

この光の屈折における光の道筋の描画の結果においては、授業中での条件設定の不備 (水槽のガラスによる屈折の有無) についても考慮すべき点があったため、それらをふまえて、誤答 I での水槽のガラスによる屈折, かつ水と空気の境界による屈折について科学的に正しく描画できている子ども 3.2% (5 人) を準正答と取扱うことにした。その結果、準正答の子どもと正答した 78.3% (123 人) の子どもを合計すると、81.5% (128 人) となり、光の屈折の学習教材として水中射的を扱うことで、光の進み方を目視せずとも、約 8 割程度の子どもが光の進み方について正しく考え、描画できていたことが明らかとなった。

### 5.2. 教材に対する子どもの理解度について

本研究で用いた教材に対する子どもの理解度を分析する根拠資料としては、ワークシートに課題 (「外から水中にいる魚を狙っても、なぜ当てることができないか」) に対する子ども自身の言葉でまとめた記述内容を用いることにした。

この授業のまとめでの記述内容の分類では、光の屈折の単語のみを記述したものを「単語のみ」、授業で学んだことをもとに具体的な記述がなされているものを「具体的な事象」、異なる物質中で光の伝わる速さが違うことを説明しているものを「速さの違い」、これら以外の記述を「そ

記述内容

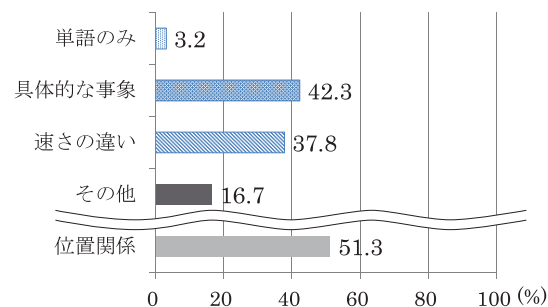


図 9 まとめ記述内容の集計結果

の他」]として4つに分類した。この分類結果を図9に示す。

また、上記の分類とは別に、分析対象としたすべての子どもの記述から、水中射的での標的の位置関係について言及していたものを「位置関係」として、図9中に上記の分類結果と併せて示すこととした。

図9が示す通り、子ども自身の言葉で「外から水中にいる魚を狙っても、なぜ当てることができないか」を説明できた子どもは、具体的な事象を記述した42.3% (66人) の子どもと、速さの違いについて記述した37.8% (59人) の子どもの合計79.6% (125人) であった。

このことから、事前質問紙調査の質問3「光の屈折の認識」の正答率が45.9% (72人) と比較すると、水中射的を教材として用いた学習では、子どもの光の屈折に対する理解が向上したことが示された。また、本学習で水中射的を教材としたことで、「標的を当てることができなかったこと」が子どもに深く印象に残ったために、約半数の子どもが「光の屈折による浮き上がり」の現象を強く意識した位置関係の関する記述をしたことが推察できた。

### 5.3. 教材に対する子どもの興味・関心度について

本研究で用いた教材に対する子どもの興味・関心进行分析する根拠資料としては、本研究の授業実践で用いたワークシートの授業全体を通しての感想の記述内容を用いることとした。この授業に対する感想の記述内容の分類では、光の屈折に対する興味・関心について言及した記述を「興味・関心」、授業で学習したことと日常経験との関連付けた記述を「日常経験の置き換え」、これら以外の記述を「その他」(無記入と授業の内容を列記したものを含める)として、3つの項目に分類した。この分類の結果を図10として示す。

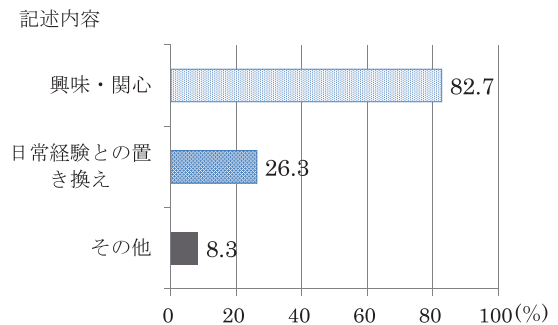


図10 感想の記述内容の集計結果

この分類の結果から、以下のことが示された。

- 水中射的を教材として用いることで、子どもの光の屈折への興味・関心を喚起することができる。(興味・関心82.7% (129人))
- 光の屈折の学習する教材として水中射的は、日常での光の屈折現象と関連付けることが難しい。(日常経験の置き換え26.3% (41人))

また、感想の具体的な記述には、「筒はまがっていないから、絶対に的に当たると思っていたが、光の屈折によって見える的の位置が変わるとは驚いた」や「光は水と空気とでは速度がちがうことに驚いた」のように、授業中での自分の考えと実験結果の違い、または新しく得た知識から興味・関心を喚起されたことに言及する記述や、「日常生活の中で同じような現象を自分で見つけてみたいと感じた」、「海でヒトデなどが落ちていたとき、なかなか捨えないのは、今回学習したことが関係していることがわかった」や「ふるなどで自分の指が変にみえるのが不思議だった。しかし、この実験でやっとなぞがとけた」という実生活と関連付けていたり、中には実生活での疑問について本授業実践を通して疑問を解決させたりしていた記述もあり、本研究で試行した光の屈折での水中射的を教材とした学習が、子どもの学習への興味・関心を少なからず喚起することが理解できた。



## 6. 結語と今後の課題

本研究の結語として、事前調査の結果と授業実践での子どもの考え等の変容から、中学校理科の光の屈折に関する学習で水中射的を教材とすることの有用性について検討する。

前出の光に関する事前質問紙調査の質問 3 (光の屈折現象についての認識) の回答結果に示したように、光の屈折による浮き上がりの現象を「知っている」「経験したことがある」という理由とともに正しい説明の選択肢を選ぶことのできた子どもは、調査対象の半数以下 (45.9%, 72人) であった。この結果からは、教科書で例示されているような日常経験に基づいて、光の屈折現象の学習の導入をしたとしても、半数の子どもが現象そのものに興味や関心を示していないことが理解できた。一方、本研究の水中射的を教材とした授業展開についての感想からは、調査対象の 8 割以上 (82.7%, 129人) の子どもが光の屈折への興味・関心に関する感想を記述していることから、水中射的は、光の屈折への子どもの興味・関心を促すことに適した教材 (学習材) であると考えられる。

また、光の屈折の子どもの理解については、図 8 に示した通り、授業中の条件設定の不備を考慮すると (図 8 の誤答 I も含めると)、これも調査対象の 8 割 (81.5%, 123人) が科学的に正しい描画ができ、水中から空気中へ光が屈折する際の光線の道筋を理解できていた。ただし、この光線の道筋の回答は、水中射的を教材として用いたことよりも、水中射的の実験後に実施したレーザーポインターを用いた演示実験の観察に因るところが大きいと思われる。しかしながら、このレーザーポインターを用いた演示実験を学習課題の解決の根拠とするように子どもに考えさせるためには、本研究のような学習課題 (「筒から水中にいる魚の見える位置だと、なぜ当てることができないのか?」) が必要とされるため、この意味において、水中射的を教材として用いることと光の屈折現象の理解には、少なからず関係があるといえる。

そして、本教材の学習における意味を検討した、教材に対する子どもの理解度の項目においても、子どもが説明する「外から水中にいる魚を狙っても、なぜ当てることができないか」という問いでは、授業者が屈折現象の説明に用いた異なる物質中での光の速さの違いよりも、水中射的の具体的な体験に由来する「具体的な事象」を根拠として用いる子どもの割合も高く (具体的な事象: 42.3% > 速さの違い: 37.8%), 説明の根拠とは別に水中射的での標的の位置関係について言及した子どもも半数以上 (51.3%, 79人) となっており、十分に満足するレベルとはいえないものの、教材に対して子どもは理解できていたのではないかと推察できた。

上記の通り、本研究の「水中射的」を教材とした光の屈折に関する授業実践は、子どもの光の屈折現象の学習に対する興味・関心を喚起させることに有効であり、子どもが日常経験からだけでは想起することが難しいといえる水中から空気中に光が屈折する際の光線の道筋を理解させるための一助となることが明らかとなった。つまり、「水中射的」を教材として扱うことは、実際に子どもが光の屈折現象を体験することができるとともに、子ども自身で学習課題を把握し、その学習課題の解決に向けて何が根拠として必要であるのかを自分なりに考えることを可能にすることが、改めて示された。

しかし、本研究の授業実践では、レーザーポインターの演示実験で水槽底部のガラスによる屈折を排除することができなかつた等、水中射的の実験とは別だが、光の屈折現象の理解を促進させるための授業を展開するうえで、改善すべき課題が存在していた。そして、現時点で光の屈折に関する事後質問紙調査を実施できておらず、長期的なスパンで子どもが光の屈折現象と水中射的の教材としての意味を理解できていたのかを現状では判断するに至っていないことも課題として挙げるができる。

これらの研究上の課題を改善し、今後も研究を継続し、授業構成・教材の最適化を図っていきたい。

## 謝辞

本研究において、ご多忙の中、質問紙調査及び授業実践に御協力していただいた山梨大学教育学部附属中学校の萩原修先生に深く感謝いたします。

## 附記

本研究はJSPS科研費2530242, 25350208, 16K04675の助成を受けたものである。

## 引用文献

- 1) 文部科学省 (2008)『小学校学習指導要領解説 理科編』, 大日本図書, 24
- 2) 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, 23-25
- 3) 有馬朗人 (ほか56名) (2011)『理科の世界 1年』, 大日本図書, 144
- 4) 奥澤誠, 小暮匠, 黒澤伸元, 梁瀬虹太郎 (2011)「中学校理科の『光』に関する教材・教具の開発－物理の考え方に触れる教材と, 屈折の方法を無理なく理解できる『水中射的』－」, 群馬大学教育実践研究 第28号, 57-63
- 5) Trikosko, W. (2014) Shooting Fish in a Barrel : A Demonstration of the Refraction of Light, *The Physics Teacher*, Vol. 52, September, 367
- 6) R. オズボーン&P. フライバーグ (1998)『子ども達はいかに科学理論を構成するか－理科の学習論－』, 東洋館出版社, 18-22
- 7) 図1に示した質問1の問題には, 前掲書6)にあるオズボーンが光の認識調査で用いたカード例を参考に同様の図を用いて調査した。

