

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：11302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350186

研究課題名(和文) &lt;ものの光学的・電氣的・磁氣的性質とその応用&gt;を学習する教材と授業プログラム開発

研究課題名(英文) Development of teaching materials and Program for learning optical, electrical, magnetic property and their practical applications

研究代表者

千葉 芳明 (CHIBA, YOSHIKI)

宮城教育大学・教員キャリア研究機構・協力研究員

研究者番号：40113881

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：ものの光学的・電氣的・磁氣的とその応用を中等教育で体系的に理解させる実験を提案した。小型水槽や複数の鏡を用いる簡易な教材を開発し、これらは光の屈折と反射の法則を系統的に理解するのに用いられる。小型水槽を用いた実験では、光の全反射を取り扱うことも可能である。また、鏡を使った実験では、虚像と実像を選択的に観察できるように光源と鏡の配置に工夫がなされた。虚像と実像の違いをより深く理解するための光の反射と虚像を学習するプログラムについて議論した。

研究成果の概要(英文)：We proposed classroom experiments with which secondary school students could understand optical, electrical, magnetic properties and their practical applications in a systematic way. We developed simple teaching materials using a small water box and mirrors that would help students learn refraction and reflection laws of light. Learning programs of the reflection law and nature of virtual images were discussed, which could assist in understanding differences between virtual images and real images.

研究分野：物理学、物理教育

キーワード：物理教育 学習プログラム 授業プログラム 屈折・反射の法則 虚像と実像の観察 虚像と実像の相違点 水箱による屈折・反射 万華鏡の原理

### 1. 研究開始当初の背景

(1)LED ディスプレイ、スマートフォン、太陽電池、ハイブリッド車など身の回りにはさまざまな《光・電気・磁気を応用した製品》が満ち溢れている。また、モバイル端末、GPS などその機能の高性能化にともなって、我々の生活や社会環境が急激に変化しつつある。当然、これらの製品についての興味・関心は高まるはずだが、便利さや商品価値に目がいく傾向にある。ブラックボックス化された製品が増えるにともなって、その性質・利用原理や背景になっている物理現象についての関心は希薄になっている。このことが、初等・中等教育における「児童・生徒の理科離れ」と関わっていると同時に、授業に取り組む教員の「もの離れ・実験離れ」を引き起こしているとの指摘がある。こうした背景において、平成 10 年告示の学習指導要領に中学校理科に光学教材が取り入れられたのは時代要請にかなっている。

(2)一方、モーターや発電機に関わる学習事項が中学から高校の物理に移行し、学習の継続性、統一性に関する大きな課題が生じていた。平成 20 年に告示された新学習指導要領では、こうした問題を解消するために初等・中等教育における理科の学習時間がほぼ平成元年告示のものまで復活した。このことによって、以前では困難だった小・中学校の理科の項目の学習が可能になった。しかし、この 20 年間に及ぶ教員の授業経験の欠落が、実験教材の確保、保管など財政的な側面の問題だけでなく、指導案の作成や授業の検討などの実践面についても大きな課題になっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は小学校における理科の学習を導入として、〈ものの光学的・電氣的・磁氣的性質とその応用〉を中学・高校で体系的に理解させる学習プログラムを構築することである。具体的には授業で用いることができる安全で簡易な教材を開発し、身のまわりの光・電気・磁気現象の法則を系統的に理解しその応用を学習する授業プログラムを構築する。さらに、大学における教員の養成、現職教員の研修、科学館などにおける学校外教育や生涯教育も視野にいれて、観察・実験を通して〈光・電気・磁気現象の法則〉を論理的に理解する教材とそれを用いた授業プログラムを開発し、それを実践することがこの研究の主な目的である。

### 3. 研究の方法

まず初等・中等教育における次の光の進み方と色の性質に関わる導入授業から初めて、その理解を系統的に深める授業プログラ

ムを研究する。関連する主な研究課題を記す。

<反射・屈折の法則と立体的実像の観測の学習から始める授業プログラムの開発>：鏡、レンズ、プリズム、カメラなど光に関連した現象や道具を活用する。鏡やレンズが実像を作る現象の観察から始め、反射・屈折の法則を理解する学習教材を開発する。応用として小型水箱を用いた全反射やスクリーンを使わないで観察できる凸レンズの実像観察教材を開発する。

<電球と発光ダイオード(LED)の類似点と相違点から金属と半導体の抵抗と発光現象について理解を深める教材の開発>：晴れた日、屋外で太陽電池をもちいて豆電球と LED が点灯するかどうか観察する。つかない場合にはどのようにすればよいか考える。これを導入として、それぞれを明るく点灯するには、一定に電圧および電流が必要であることを確かめる。電圧を大きくすると、どちらも電流も増加する。これから、抵抗の概念を追究する教材を開発する。また、それぞれの発光現象の相違点について理解を深める授業プログラムを開発する。

次に、高専、大学における授業や教員研修や学校外教育を視野に入れた次の教材の授業プログラムを研究する。

<太陽電池を用いた半導体の電流 - 電圧特性と光電流を理解する教材の開発> および <ペルチェ素子を用いた電気と熱の関係を調べる教材の開発>：ダイオードは電気エネルギーを光や熱に変換することができ、逆に光や熱から電気エネルギーを取り出すこともできる。この現象を学習する授業プログラムを研究する。

<物質の誘電率、透磁率と光の屈折率の関係を学習する実験教材の開発>：光や電磁波の速さは物質の電氣的性質および磁氣的性質に依存する。これを理解するために誘電率と透磁率を測定する実験教材を開発する。

<磁場中の磁気力から磁性体の性質を学習する実験教材の開発>：磁石による磁界の発生と電流による磁界の発生から学習する教材の開発から始める。次に磁石につくもの、つかないものの分類から、反磁性体、常磁性体、および強磁性体の理解を深める実験教材の検討・開発を行う。

<光と電気・磁気の相互作用から誘電体・磁性体の性質を学習する実験教材>：誘電体や磁性体の性質は光現象との相互作用の観察からも知ることができる。これらの現象や原理と応用について学習する教材の開発をさらに発展させる。

#### 4. 研究成果

主に取り組んだ「光とものの相互作用とその応用の授業プログラム」の研究成果は応用物理学会で発表した。講演予稿集に記した内容を報告する。

#### <小型水箱を用いた光の屈折の授業プログラムの研究>

1. 水箱で屈折・反射してできる虚像の観察  
この水箱で以下の観察をすることができる。  
(1) ストローや割り箸を用いた屈折の法則の追究実験。(2) 水箱のできる虚像の観察  
(3) 水の屈折率の測定。(4) 空気中と水中を伝わる光の波長の測定。

屈折の法則の授業展開の一例をあげる。

1) 水箱の中に入れた5円玉が浮き上がって見える現象を割り箸とストローを用いて観察する。水の深さが6cmのときには1.5cm浮き上がって見える。

2) 水の中に入れた箸を空気中から見ると折れ曲がって見える現象。曲がったストローが水に入れるとまっすぐに見える現象から、空気中から水中に光が進むとき屈折することを理解できる。



Fig1

3) 懐中電灯の手前に水箱を置き透過する光を観察する。箱の側面に光が垂直に入射する場合には、入射角が0になるので屈折角も0になり、光はまっすぐ進む。空気中を透過して見える電灯の電灯と水中の電灯はつながって見える。入射角が0でないときには屈折によって、水箱を透過する光による像は空気中から見る電灯の位置から向かって右にずれる。この様子は屈折角を大きくすると顕著になる。懐中電灯を側面に近づけた場合には、向かって左側面には水箱の角の近くで屈折分散した色づいた像が見える。また、右側面で反射した光によってできた像を観測することができる。Fig1にこの様子を示す。

#### 2. 屈折の法則から光の経路を予測

入射波と屈折波の波数ベクトルに対応する長さ12cmと16cmのストローを用意する。波数ベクトルの境界面に水平な成分は変化しない。屈折の法則はこのように考えることもできるということを説明した後、ストローを用いて水中での光の経路を予測する。Fig2にその様子を示す。

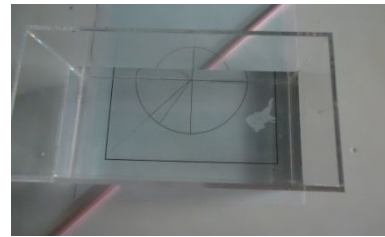


Fig2

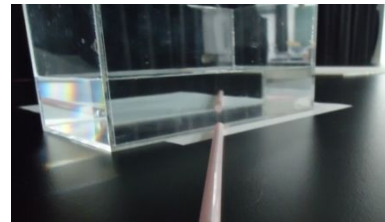


Fig3

#### 3. ストローを用いて光の経路を確認

空気中から見ると入射光に対応するストローと手前の水箱を屈折し透過する光に対応するストローは平行ではあるが直線にはならない。しかし、Fig3に示すように水中を通る光を観察すると光はこのストローの管の中を通過して進むことがわかる。

#### <手鏡を用いた虚像の性質の授業プログラム>

手鏡の枚数を段階的に増やすことによって、現象を幾何学的に表現し、実像と虚像との関係、反射における光の行路の理解へと導く授業プログラムについて研究した。

光源から出発する複数の行路を議論するときは、Fig.1の示すような観察を行う。鏡への3本の入射光として楊枝を用いる。反射光の楊枝の位置決めは、フェルマーの原理をもとにして、

これらの楊枝の虚像の鏡手前への延長上に3本の楊枝を置く。反射光の虚像も鏡で見られる。鏡を取り除き、3本の反射光の線分を鏡の後方へ伸ばすと、これらは1点で交わる。これが光源の虚像の位置であり、延長された線は、鏡がある時の入射光の

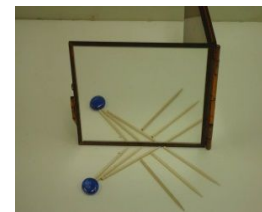


Fig. 1

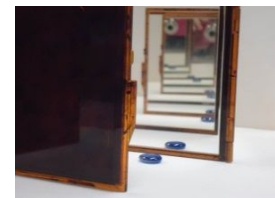


Fig. 2

虚像と重なる。このように、1枚の鏡を用いた演示は、入射光の虚像と反射光が一直線上であること、同様に反射光の虚像と入射光も

一直線で結ばれることを直感的に理解できる。

Fig.2では、2枚の鏡を平行に向かい合わせて配置した。はじめを右鏡の手前に置く。右鏡の奥にはじきの虚像が見える。ここ虚像は右鏡で1回反射してできる虚像である。その左鏡の虚像が現れる。さらにその奥に見えるはじめの虚像は左鏡で1回、右鏡で1回計2



Fig. 3

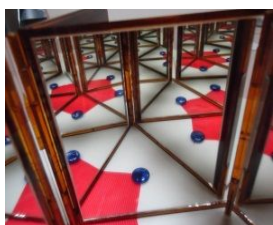


Fig. 4

回反射してできた虚像であることがわかる。つぎは右、左、右の鏡の反射で現れる虚像である。反射の回数は観察できる鏡の枚数に等しい。

Fig.3では、2枚の鏡がその鏡面を垂直に接するように配置されている。光の行路は楊枝で表されている。まず、右の鏡への入射光の行路に楊枝を置き、その入射光の虚像の延長になるように、次の楊枝が置かれる。この2番目の楊枝と左の鏡を用いた同じ作業が行われる。その結果、鏡の手前にある光の行路が3本の楊枝で表示される。鏡を覗くと、2回の反射による光源の虚像が見られる。光源からの入射、1回反射および2回反射の全行路とその虚像を紙面に描いたものと、この演示とを照らし合わせることは興味深い。

3枚の鏡を正三角形に合わせたものをFig.4に示す。光源のはじきの虚像がいくつも見られる。この現象は万華鏡で現れるものと同じである。光源からその各虚像へ辿り着く行路はいくつもあるが、どの過程においても鏡を通り抜けるたびに新たな正三角形が表れる。この三角形の数または通り抜ける鏡の枚数の最小値は、その光源の虚像が表れるためになされた反射の数と一致する。

#### <虚像と実像の相違点を理解する授業プログラム>

立体的に見える像の観察を通して、虚像と実像の相違点の理解を深める授業プログラムを創案した。

反射によって立体像が観察される例に、ボルマトリクスと呼ばれる凹面鏡による合わせ鏡がある。図1に示すように凹面鏡の底に小物体を置くと、その直下に反射光による虚像が見られる。同じ形状でその中央に穴のある凹面鏡で、これに蓋をすると、2回の反射

によって作られた実像が浮き上がって見られる(図2)。手を差し伸べてもこれをつかむことができず、実物と区別が付きにくい。真上付近からこれを眺めると、底付近に実際の物体とその1回反射の虚像があり、穴付近には、2回反射と3回反射による実像がある(図3)。

凸レンズで立体的な実像を観察するには、屈折光が大きな立体角で焦点に集まる必要がある。そのためには、凸レンズとして、面積の大きなフレネルレンズを用いるとよい(図4)。小型凸レンズを通して見られる実像が立体的でない理由を、レンズの大きさと立体角および観察者の両眼の位置とを関連づけて考察する授業を展開する。また、光の行路を作図することによって、焦点の概念を導入し、虚像と実像が立体視されることの理解へと進む。

以上の事項を組み合わせた授業構成について研究し実践した。

#### <引用文献>

千葉芳明、西條敏剛、本田亮；2015年<第62回>応用物理学会春季学術講演会。講演予稿集。DVD。

千葉芳明、西條敏剛、本田亮；2016年<第63回>応用物理学会春季学術講演会。講演予稿集DVD。

千葉芳明、西條敏剛、本田亮；2017年<第64回>応用物理学会春季学術講演会。講演予稿集DVD。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

千葉芳明、西條敏剛、本田亮；虚像と実

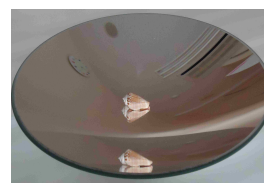


図1. 凹面鏡に載せられた物体



図2. ボルマトリクスによる実像.

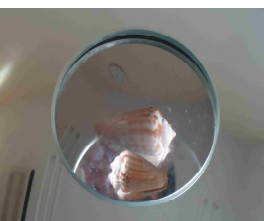


図3. ボルマトリクスの直上観察.

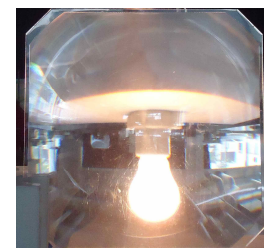


図4. フレネルレンズを用いた実像の観察.

像の相違点を理解する授業プログラム .  
2017 年 < 第 64 回 > 応用物理学会春季学  
術講演会、講演予稿集 DVD、査読無、2017 .  
千葉芳明、西條敏剛、 本田亮；実像の観  
察の授業プログラムの研究 . 応用物理学  
会応用物理教育分科会 . 第 27 回物理教  
育に関するシンポジウム～地域連携によ  
る科学技術教育・啓発活動の実践～、講  
演予稿集、査読無、2016, pp.7 - 8

〔学会発表〕(計 8 件)

千葉芳明、西條敏剛、 本田亮；虚像と実  
像の相違点を理解する授業プログラム .  
2017 年 < 第 64 回 > 応用物理学会春季学  
術講演会 . パシフィコ横浜 ( 神奈川県横  
浜市 ) . 2017.3.14 ~ 3.17 .

千葉芳明、西條敏剛、 本田亮；実像の観  
察の授業プログラムの研究 . 応用物理学  
会応用物理教育分科会 . 第 27 回物理教  
育に関するシンポジウム～地域連携によ  
る科学技術教育・啓発活動の実践 . 北海  
道科学技術大学 ( 北海道札幌市 )  
2016.10.29 ~ 30 .

千葉芳明、西條敏剛、 本田亮；手鏡を用  
いた虚像を学ぶ授業プログラム . 2016 年  
< 第 63 回 > 応用物理学会春季学術講演  
会 . 東京工業大学大岡山キャンパス ( 東  
京都目黒区 ) . 2016.3.16 ~ 3.22 .

千葉芳明、西條敏剛、 本田亮；鏡を用い  
た光の反射と虚像の授業プログラムの研  
究 . 応用物理学会応用物理教育分科会「第  
26 回応用物理教育に関するシンポジウ  
ム」地域が連携した科学技術教育・啓発  
活動、理科教育フォーラム 2015、福井大  
学文京キャンパス ( 福井県福井市 )  
2015.10.31 ~ 11.1 .

千葉芳明、西條敏剛、 本田亮；小型水箱  
を用いた光の屈折の授業プログラムの研  
究 . 2015 年 < 第 62 回 > 応用物理学会春  
季学術講演会 . 東海大学湘南キャンパス .  
( 神奈川県平塚市 ) 2015.3.11 ~ 3.14 .

千葉芳明、伊藤理恵、西條敏剛、 本田亮；  
小型水箱を用いた屈折の法則授業プログ  
ラムの研究 . 応用物理学会 . 第 25 回物理  
教育に関するシンポジウム . 広島国際大  
学 呉キャンパス ( 広島県呉市 )  
2014.11.22 ~ 23 .

千葉芳明、飯塚佑佳、竹ヶ原孝則、 本田  
亮；偏光と物質の相互作用を観察する授  
業プログラムの開発 . 第 24 回物理教育  
に関するシンポジウム . 応用物理学会、  
第 24 回物理教育に関するシンポジウム .  
東京理科大学葛飾キャンパス ( 東京都葛  
飾区 ) 2013 .11 .30 ~ 12.1 .

千葉芳明、竹ヶ原孝則、 本田亮；光波の  
振幅と明るさの関係を探究する偏光の実

験 . 2013 年度 日本物理教育学会年会  
第 30 回物理教育研究大会 . 東北大学片平  
キャンパス「片平さくらホール」( 宮城県  
仙台市 ) 2013.8.10 ~ 11 .

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

千葉 芳明 ( CHIBA YOSHIAKI )  
宮城教育大学・教育学部 . 教授  
研究者番号 : 40113881

### (2) 研究分担者

本田 亮 ( HONNDA MAKOTO )  
鳴門教育大学・学校教育学部 . 教授  
研究者番号 : 50199577