

國學院大學學術情報リポジトリ

偏光板を使ったものづくりの試み：
小学校理科における提案授業

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-02-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 近藤, 良彦 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.57529/00001417

偏光板を使ったものづくりの試み

—小学校理科における提案授業—

近藤 良彦

【要旨】

光の性質はバーチャルリアリティーなどの立体画像を作り出すことにも役立てられている。立体画像を作り出すために光を操る器具として偏光板がある。小学校の理科教育においてこの偏光板を使った授業を試みる。光の性質は小学校第三学年で扱われる内容であり、それが構成される粒子・エネルギーの領域では3種類以上のものづくりを行うことになっている。この試みでは、偏光板を使った実験を行い、その結果を利用してものづくりを行うという授業を提案する。提案された授業は生命・地球・エネルギー教育推進事業において小学校三年生の3クラスで実施された。授業の事前と事後に行ったアンケートの分析から理科授業の大切さを伝えることに効果があり、偏光板の使った今回のものづくりには改善すべき点があることを明らかにした。さらに、バーチャルリアリティーなどの仮想空間が発展する社会における偏光板を使った授業の意義について考察した。

【キーワード】

理科実験 ものづくり 光の性質 偏光 バーチャルリアリティー

1. はじめに

ものづくりは面白い。積み木は赤ちゃんから幼児に人気のおもちゃであるが、そこには作るという面白さがある。一枚の紙でいろいろな形を作り出す折り紙、一本の糸で様々な模様を生み出すあやとりにも作るという面白さがある。そこには、同じ手順に従えば誰もが同じものを作り出せるという面白さもある。身の回りにはものづくりに役に立つものが沢山ある。例えば、鏡は左右は逆になるが上下は逆さにならないというそれ自体面白い性質を持つが、鏡を向かい合わせると同じ像が重なり合って続く面白い現象が見られる。単に2枚の鏡を合わせただけであるが、光と鏡の性質をうまく利用したものづくりの一つと言えよう。虫眼鏡はものを拡大したり光を集めてものを燃やしたりできる。これを2枚重ねると天体望遠鏡になったり顕微鏡になったりする。ガリレオは望遠鏡を作り木星の衛星を発見したり月の表面を観測したりしている[1,2]。ものをつくるということが新たな可能性を作り出すこともある。

ニュートンは小学生のとき成績は下位で落ちこぼれであった。ただ、工作だけは誰よりも得意だったようである。重力の発見で有名なニュートンであるが、光に関する研究も行っている。プリズムを用いた実験では無色透明な光が虹のように色のついた光に別れ、その光を集めるとまた

無色透明になることを突き止めている[3]。その頃、光は波なのか粒子なのかが論争となっており、ニュートンは「光は粒子である」と唱えている。その後、多くの人によって光に関する実験が行われ、その結果から一旦は「光は波である」に軍配が上がる。ニュートンは光が粒子でないと説明はつかないと考えていたようだが、光が粒子であることを示す実験が行われるようになるのは100年以上も後のことである。今では、光は波の性質と粒子の性質の両方を兼ね備えていることがわかっている。当時、ニュートンが光に粒子の性質を見抜けていたのは、子どもの頃のものづくりと無関係ではないだろう。

光は我々の身の回りにあふれている。太陽の暖かさを感じられるのも光があるからである。暗闇の中でも我々は皮膚という組織で光を感じている。光を操る器具として我々は鏡や虫眼鏡を手に行っている。カーブミラーを使って死角をなくせるのもレンズを使って写真を撮れるのも光を操ることができるからである。最近、特に重要となっているのが波の振動が特定方向に偏った光（偏光）を利用して光を操る技術である。偏光板、偏光フィルム、偏光フィルター等はそのための器具である。この技術は映像を映し出すディスプレイやバーチャルリアリティなどの立体画像にも使われている[4]。

本論文では、偏光板を利用して小学校における理科の授業を試みる。小学校において光の性質を学ぶのは第三学年であり、3種類以上のものづくりを行うことになっている[5]。第三学年の理科授業では鏡や虫眼鏡で光を反射させたり集めたりする。虫眼鏡を使うものづくりとしては望遠鏡や顕微鏡が考えられる。ここで上下左右が逆になる実像に触れておけば、第五学年で顕微鏡を使うときにプレパラートを見える方向と逆に動かす操作がより理解しやすくなる。通常、小学校の理科で偏光板は使われないが、2枚の偏光板があればその不思議な性質を確認してみることができる。偏光板の合わせ方を変えることでまっすぐ正面に進んで来る光を通したり止めたりできる。この偏光板を用いた実験を行い、その結果を用いてものづくりを行う授業を構成する。次節では偏光板の性質を説明して、それを使った小学生に実施可能な実験について論じる。第3節では、授業を行うために必要な準備と工夫について論じる。この授業は神奈川県と國學院大学の共同事業である生命・地球・エネルギー教育推進事業を通して神奈川県内の小学校で実施された[6]。第4節ではアンケートを基にしてその授業について分析する。第5節では本論文をまとめ、小学校理科におけるものづくりと偏光板を使うことの意義について考察する。

2. 偏光板を使った実験

つるつるしたものの表面で反射した光の多くは特定の方向に偏光する。よく晴れた日にキラキラして視界を妨げる太陽の反射光も多くが偏光している。偏光板でそのキラキラする光を取り除けば視界がよくなる。そのような器具に偏光サングラスがある。図2.1は2つの偏光板を半分ずつ重ねたものである。図2.2は左側の1枚を90°回転させたもので、重なった部分が黒くなっている。偏光板は特定の方向に偏光した光だけを通す性質を持っており、図2.1の偏光板は左

右に偏光した光だけを通してている。図2.2のように左の1枚を90°回転させると上下に偏光した光だけを通すことになり、重なった部分は上下と左右のどちらの方向に偏光した光も通さないの
で黒く見える。ここで、図2.2の左側の偏光板では網目模様の線がはっきりしているのがわかる。方眼用紙には透明の塗料が塗られており、図2.1ではその塗料の表面で反射した光も偏光板を
通っている。一方、図2.2の左側の偏光板では塗料表面での反射光が通って来ず、塗料の下に
ある網目模様の線が引いてある紙の表面で反射した光が通って来るのでくっきりと見える。

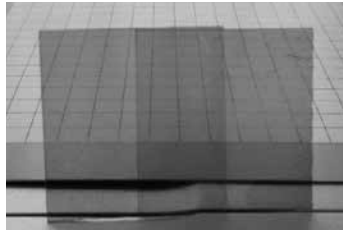


図2.1

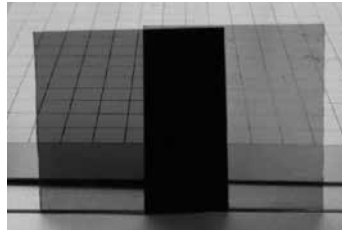


図2.2

偏光板を用いた作り物に図2.3のようなものがある。箱の窓には中央に黒い壁がある。この
箱の端から端に鉛筆を通すと図2.4のように黒い壁を突き抜ける。

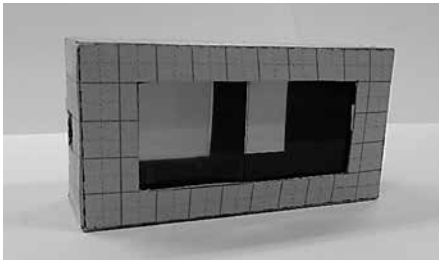


図2.3

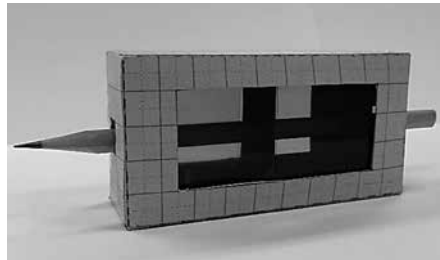


図2.4

図2.5と2.6はそれぞれ図2.3と2.4の箱を側面から見た様子であるが、黒い壁が見えないの
がわかる。黒い壁は偏光板が作る仮定の壁なのである[7]。この箱は「不思議な箱」、「マジックボッ
クス」などと呼ばれている。

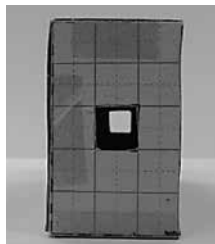


図2.5

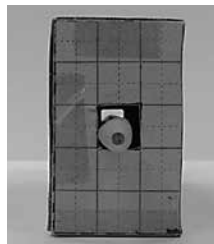


図2.6

この不思議な箱は偏光板、工作用紙とセロハンテープがあれば、手順を教えることによって小学生が作ることができる。実際、共育フェスティバル[8]のブースでは大学生が教えることによって低学年の小学生が数十分もあれば作ることができる。しかし、作るだけであるならば理科実験の結果を活用したものづくりとは言えない。なぜ黒い壁が見えるのだろうか。黒い壁が見えるときにはどんな規則があるのだろうか。黒い壁が見える理由を探るのは小学校三年生では難しい。しかし、黒い壁が見えるときに偏光板の組み合わせに何か規則性がないかを確かめることはやり方によっては十分可能である。

偏光板の組み合わせの規則を見つけ出すための実験器具を作成する。それは、偏光板を箱の外側に取り付けられるような実験器具で、思い思いに偏光板を取り付けることができる。図2.7はその実験器具の模式図である。いろいろな組み合わせを試す中で黒い壁ができることがある。

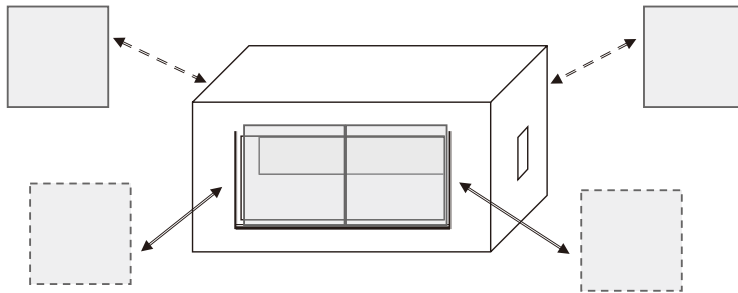


図2.7

図2.8はその黒い壁ができた状況を模式化したものである。曲線の破線部分は箱の裏側を意味しており、表と裏の偏光板を取り外して重ねると光が通るので右側のように透き通って見える。箱の表にある隣り合った偏光板を重ねると光が通らないので左側のように黒くなる。このように黒い壁ができるときは、隣り合う偏光板を重ねると黒くなり、箱の手前と奥で向かい合う偏光板を重ねると黒くならないで透明のままになる。これが図2.3と図2.4のような不思議な箱になる偏光板の組み合わせの規則である。

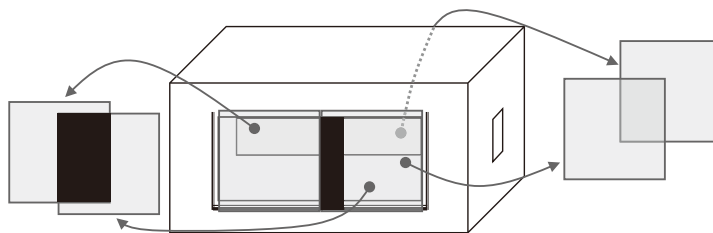


図2.8

3. 授業の準備

前節で紹介した不思議な箱を大学1年生が作成したことがある。その時は、工作用紙にガイドラインを引くことから初めて30分から1時間で作り終えることができた。ただし、偏光板はあらかじめ1辺が4cmの正方形に切って用意した。その時に気づいたことであるが、偏光板を前節で説明した規則の通りに貼り付けるのが思いのほか難しかったようである。正方形の偏光板は向きが分かり難く、あらかじめ規則通りに4つの偏光板を置いておいても、貼り付ける段階で向きを間違えてしまう例が見られた。もちろん、大学生なので箱を組み立てる段階で間違いに気づいて直すことができたのであるが、小学生には難しいと予想される。

正方形の偏光板は実験を行う場合でも混乱の原因となり得る。正方形では90°回転させても見た目は変わらない。黒い壁ができて偏光板を取り外して重ねる時点で90°回転させてしまったら正しい組み合わせはわからない。これが、実験を行う上で失敗の原因となりうることは容易に予測される。ゆえに、小学校三年生がこの実験を行うためには工夫が必要である。偏光板を図3.1のように斜めに切る。こうすれば、図3.2のように90°回転させた場合と容易に区別ができる。

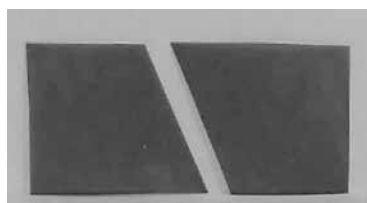


図3.1

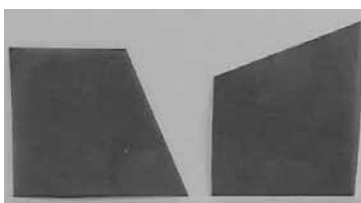


図3.2

ここで付け加えておきたいことは、偏光板を斜めに切ることは正方形に切ることに比べて難しいということである。正方形に切る場合は偏光板の向きを気にする必要はないが、斜めに切る場合は方向に注意しなければならない。さらに、実験する場合に同じ方向の板が2枚とそれらと垂直の方向になる板が2枚の組み合わせになるように配らなくてはならない。

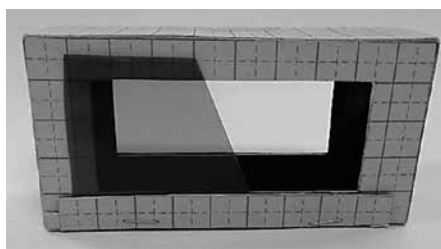


図3.3

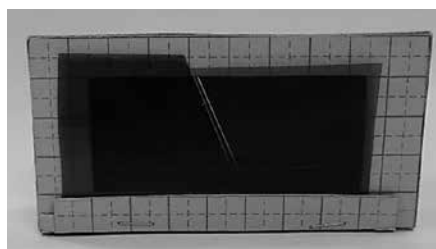


図3.4

図3.3は実験用の箱に1枚の偏光板を取り付けてみた様子である。図3.4からは4枚の偏光板を取り付けた箱の様子である。図3.4は黒い壁ができない偏光板の組み合わせであり、中央

を見ると表と裏それぞれで合わせた2枚の偏光板のわずかな隙間を光が通っていることがわかる。図3.5は壁ができないもう一つの組み合わせで、わずかな隙間しかないが斜め裏側の（対角にある）偏光板からの光が通るため隙間があるように見える。壁ができない組み合わせは、図3.4と図3.5の2通りである。図3.6は壁がねじれたようになるが、これについては後の節で述べる。

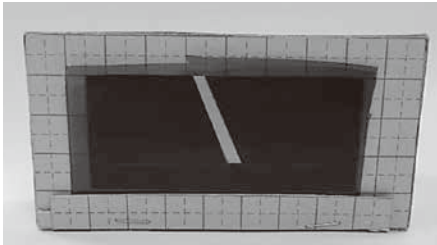


図3.5

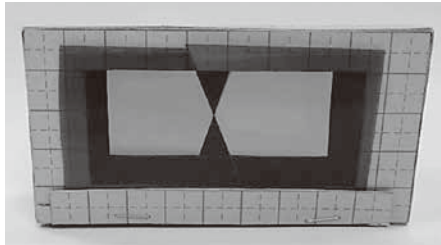


図3.6

目的である偏光板の組み合わせができると、図3.7のようになる。

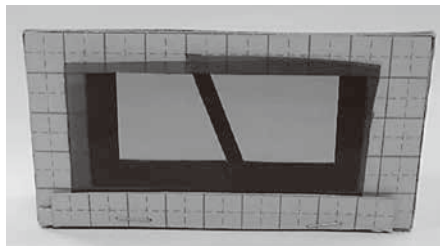


図3.7

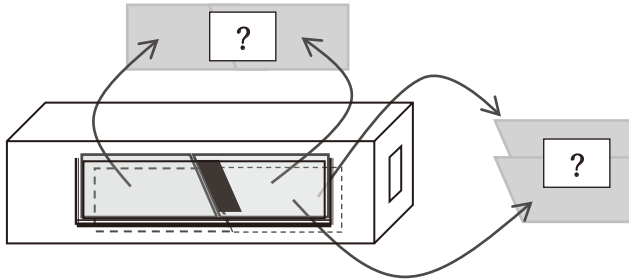
図3.7のようになったところで、隣り合った偏光板と向かい合った偏光板を重ねてどうなるか確かめる。その結果を図3.8のワークシートに記入する。結果を発表して全員が同じ結果を得られたことがわかれば、黒い壁ができるときの偏光板に組み合わせの規則があることが理解できる。

不思議な箱を作成するために必要な工程は、偏光板を切り抜く、工作用紙に図面を書き写す、図面の通りに工作用紙を切る、偏光板を貼り付けて箱を組み立てるの大きく4つに分けられる。この中で、偏光板を切り抜く工程はかなり難しい。工作用紙に図面を書き写す工程は、長さをはかりながらガイドラインを引かなくてはならず小学校三年生には難しい。次に、図面の通りに工作用紙を切る工程には、窓の部分のカッターで切り落とす作業があるため、使い方に慣れていないと無理である。この他ははさみで切るだけなので比較的簡単で安全に行える。偏光板を貼り付けて箱を組み立てる工程はセロテープを使うだけでできるので問題なく行える。小学校三年生に1時間（45分）で行うことを考えると、最初の図面を描く工程と次の工程の窓をカッターで切り落とす作業は事前の準備で行っておく必要がある。残りのはさみで工作用紙を切る作業と最後の組

ワークシート クラス： _____ 組 _____ 番、 名前： _____

○へんこう板を（ア）と（イ）のように重ねて、どのようになるかたしかめてみよう。

（ア）となり合うへんこう板を重ねるとどうなっていますか。



（イ）むかい合うへんこう板を重ねるとどうなっていますか。

（ア）となり合うへんこう板を重ねるとどうなっていますか。

（イ）むかい合うへんこう板を重ねるとどうなっていますか。

図3.8 授業で使用したワークシート。実験用の箱に4枚の偏光板をいろいろと組み合わせながら付けて黒い壁ができるまで繰り返す。黒い壁が出来たら、隣り合う偏光板を重ねたときになるか、向かい合う偏光板を重ねるとどうなるか確かめる。確かめたことをそれぞれ（ア）と（イ）の空欄に記録する。

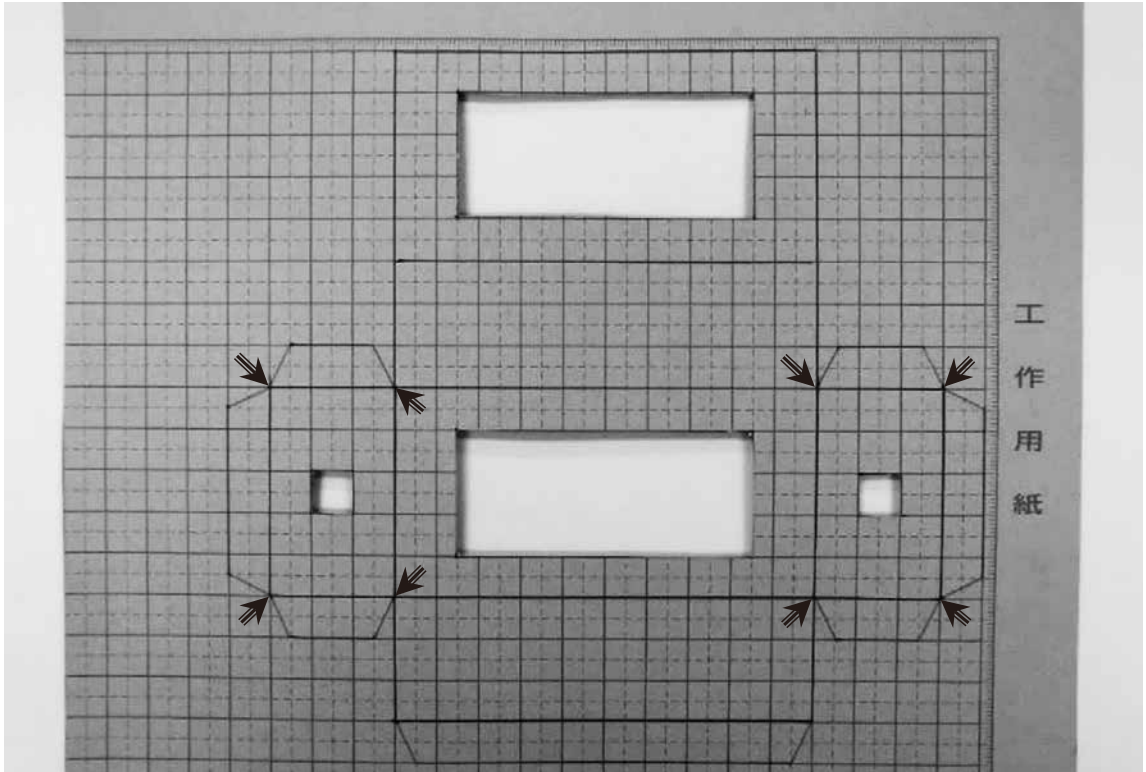


図3.9 ガイドラインを引いて窓枠を開けた工作用紙。矢印はピンで穴を開ける箇所を示している。この矢印は工作用紙には描かれていない。

み立てる工程は十分行えると予想された。児童に配布した工作用紙は図3.9のようである。作りやすくするために工作用紙には工夫できることがある。図3.9の工作用紙にはハサミで切る部分には赤色のガイドラインを、折り曲げる部分には黒色のガイドラインを引いてわかりやすくした。図3.9の⇒のところを押しピンで穴を開けるようにするとハサミでどこまで切るかがわかりやすくなる。さらに、折り曲げる線の上を押しピンでなぞって跡を付けておくと折りやすくなる。

4. 授業の実施と分析

神奈川県と國學院大學の共同事業である生命・地球・エネルギー教育推進事業〔6〕において平成25年11月に偏光板を使ったものづくり授業を行った。この事業では6種類の提案授業がおのおの神奈川県の小学校6校で行われた。偏光板を使ったこの授業は「光で遊べる！理科工作」として、第三学年の3クラスで実施した。実際の授業では1回目と2回目があり、この授業は2回目に行った。1回目の授業は鏡を使った実験である。

実際の提案授業の2回目は偏光板を使った実験とものづくりの連続2時間の授業である。最初に、2枚の偏光板を両手に持って「この2枚のシートを重ねるとどうなるでしょう」と問いかける。児童たちの多くはじっと見ているだけであるが、中には「色がわかる」などと答えてくれる。重ねると何の変化もないので、少しがっかりした様子である。「魔法をかけてみましょう」とおもむろに1枚の偏光板を90°回転させて、額に近づけて魔法をかける真似をする。今度は重ねると黒くなり子どもたちは一様に驚きの顔になる。「魔法を解いてみましょう」と偏光板をさりげなく90°回転させてパタパタを扇いで魔法を解いたように見せる。重ねると何の変化もない状態に戻る。何か仕掛けがあるに違いないと思うのか、「もう一度やって」と要求される。魔法をかける真似をして繰り返す。「ひっくり返して」などと要求されるので偏光板を裏返すが、それでは偏光面が変わらないので変化はない。もう数回繰り返すと「わかった」、「回転してみて」と声が上がる。よくわかるように90°回転させながら重ねて種明かしをした後、透明になったり黒くったりするこれらのシートを「へんこうばん」と呼ぶことを教える¹⁾。

どうしてそうなるのと質問してくるようになるので、透明な場合は「まっすぐ進む光がこのまま通る」ことを、黒くなった場合は「まっすぐ来た光がここで止められる」ことを、手ぶりを交えながら説明する。このとき、方向を変えて説明を繰り返すと、児童の顔にわかったという表情で出てくるようになる。そして「どうして光を止めたり通したりできるの」という質問がでてくると、その理由は「中学校と高校で理科を学ぶとわかるようになる」とだけ伝える。それでも、偏光板の構造に関する質問には目に見えない細い金属の線が何本も平行に入っていることや偏光板の製造に関する質問には金属のような粒子を筋状に吹きかけて作るなど、端的に説明できる質問には答えた²⁾。

その後で、不思議な箱を紹介する。子どもたちにこれと同じものを作ってみたいですかと問いかけると全員が手を挙げた。作るためにこれから実験をしましょうと話すと皆目を輝かせていた。動機付けはそれで充分であった。実験は30分程度で終わることができ、残りの60分でものづくりを行った。ものづくりの時間では最初に工作用紙を配って、押しピンで穴を開けて折り曲げる線に跡を付けて、その後ハサミで切る。切り終えたところで偏光板を配って、実験で見つけた組み合わせを確認して箱の内側に貼り付ける。箱を組み立てて黒い壁ができていたらテープを貼って完成である。もしできていなかったら、偏光板を取り外してやり直すようにする。実際の授業では数名の学生スタッフが子どもたちの作業を丁寧に見て、必要であれば手助けをした。

この事業では提案授業の効果を分析できるようにするために、1回目の授業の前に事前のアンケートを取り、2回目の授業が終わった後で事後のアンケートを取っている。三年生3クラスの児童数は98名で、2回目の授業に参加した児童は91名であった。この論文では事前と事後のアンケートの中ですべての項目に回答している児童のアンケートに的を絞って分析を行うことにする。対象となるアンケートは84名分である。

アンケートの設問項目は表4.1の通りである。ここで、項目の1と3は事前と事後での変化が調査できる設問となっている。それぞれの設問に対して、「ほとんどあてはまる」を6、「だいたいあてはまる」を5、「すこしあてはまる」を4、「あまりあてはまらない」を3、「ほとんどあてはまらない」を2、「全くあてはまらない」を1の6段階で答えるようになっている。

表4.2は項目ごとの平均値と標準偏差を表している。項目1の「理科の授業（実験や観察）は、好きだ。」において、標準偏差が比較的小さいことは回答が高い平均値前後に集中していることを意味している。このことから、理科の授業が好きな児童が多いことがわかる。さらに、事前と事後で平均値にほとんど変化がないことがわかる。理科の授業が好きなことは、事前の項目2の「ふだんの理科の授業は、楽しく学んでいる。」の平均値が高いことにも表れている。事後の「今回の理科の授業は、楽しく学ぶことができた。」ではかなり平均値が高く、今回の出前授業が楽しかったことがわかる。ただし、偏光板を使ったものづくりがどの程度影響したのかはこのデータだけではわからない。項目3の「理科は、自分にとって役に立つ勉強だ。」は事後の方が事前よりも平均値が高くなっている。さらに、高い平均値付近に回答が集中していることが、標準偏差が小さいことからわかる。この有意な改善は今回の提案授業の重要な成果である。

ここで、事後の項目4の「かがみをつかって手品やふしぎなことができることを知りたくなった。」と項目5の「へんこうばんについてよりきょうみをもった。」の平均値に注目したい。どちらも平均点が高く標準偏差も比較的小さい。鏡に関することの方が平均値は少し高く、少なくとも偏光板に関することが有意に高い値になっていないことがわかる。鏡に関する授業は2週間ほど前に行われており、事後のアンケートを実施したのは偏光板に関する授業の当日から数日以内である。偏光板についての方がより印象に残っていると考えられるが、鏡に関してよりも平均値が低い理由は何なのであろうか。設問の仕方の違いも要因の一つとして考えられる。鏡という身近なものとは偏光板という見慣れないものが影響している可能性もある。

表4.3は項目1に関する事前と事後のクロス集計表である。網掛けの数字は事前と事後で回答が同じ児童の人数で、事前も事後も「ほとんどあてはまる」の6が最も多い。その下部の太字の数字は事前よりも事後の方が肯定的な人数で比較的多いことがわかる。上部の斜体の数字は逆に否定的な人数で下部の数字と比べて少なく見える。ここで気になることは、事前に「ほとんどあてはまる」という6に回答をしながら事後は「まったくあてはまらない」という1に回答をしている児童が2名いることである。「理科の授業（実験や観察）は、好きだ。」という気持ちが事前

表 4.1 事前アンケートと事後アンケートの設問内容

項目	事前アンケートの設問内容
1	理科の授業（実験や観察）は、好きだ。
2	ふだんの理科の授業は、楽しく学んでいる。
3	理科は、自分にとって役に立つ勉強だ。
4	かがみをつかって手品やふしぎなことができることを知っている。
5	へんこうばんについて知っている。
6	ふだんから、物事にぎもんを感じたり、ふしぎに感じたりすることが多い。
項目	事後アンケートの設問内容
1	理科の授業（実験や観察）は、好きだ。
2	今回の理科の授業は、楽しく学ぶことができた。
3	理科は、自分にとって役に立つ勉強だ。
4	かがみをつかって手品やふしぎなことを知りたくなった。
5	へんこうばんについてよりきょうみをもった。
6	今回の内容を、もっと自分で調べたい。

表 4.2 提案授業の事前アンケートと事後アンケートにおける各項目の平均点と標準偏差。

項目	事前		事後	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
1	5.4	0.94	5.5	1.1
2	5.2	1.0	5.7	0.78
3	5.0	1.3	5.3	1.1
4	3.5	2.0	5.5	1.1
5	2.4	1.6	5.5	1.2
6	4.3	1.7	5.0	1.4

表 4.3 項目 1 の「理科の授業は、好きだ」のクロス集計表。横が事前で縦が事後。網掛けが事前と事後で変化のない人数。その下部が事後の方が高い人数（太字）で、上部が低い人数（斜体）。

回答	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	0	0	2
2	0	0	0	0	<i>1</i>	0
3	0	0	1	0	<i>1</i>	0
4	0	0	0	2	3	0
5	1	0	0	4	4	4
6	0	0	1	5	9	46

と事後で逆転してしまっている。これに今回の授業が影響しているとするならば、直近に行われたものづくりが最も大きいと予測される。すわなち、数は少ないが今回のものづくりに大きな不満を持った児童がいた可能性がある。

表4.4は項目3に関する事前と事後のクロス集計表である。項目1と同じように事前と事後で6と回答した人数が最も多い。網掛けの下部が事後の方が高くなった人数で上部が低くなった人数である。下部と上部を比べると高くなった人数の方が多くことが見て取れる。平成13年度と平成15年度の教育課程実施状況調査によると国語、算数、社会、理科において「当該教科の勉強は好きだ」に対して肯定的に回答した児童の割合は理科が最も多く、「当該教科の勉強は大切だ」に対して肯定的に回答した児童の割合は理科が最も低くなっている[9,10]。表4.4のクロス集計表では下部の肯定的な変化の方が上部より大きく、表4.3と比較しても変化が大きいことがわかる。さらに、平均値を比べても提案授業の前後で「好きだ」が0.1の増加に対して、「役に立つ」という回答は0.3増加している。この結果から、提案授業が「理科は役に立つ勉強である」という学びの大切さを伝えられていることがわかる。

表4.5は項目4と項目5のクロス集計表である。どちらの項目でも6と答えた人数が際立っており、鏡と偏光板のどちらにも興味・関心を持っている児童が多いことがわかる。網掛けの下部は偏光板に、上部は鏡に興味・関心をより持っている人数である。比べて見ると偏光板よりも鏡

表4.4 項目3の「理科は、自分にとって役に立つ勉強だ」のクロス集計表。表4.3と同様。

回答	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0
3	1	0	0	3	0	1
4	0	0	1	6	2	1
5	0	2	4	2	6	4
6	1	0	1	4	8	35

表4.5 事後の項目4（横）と項目5（縦）のクロス集計。網掛けが項目4と5が同じ回答の人数。その上部が項目4が高い人数（斜体）で、下部が項目5が高い人数（太字）。

回答	1	2	3	4	5	6
1	1	1	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	2	1
4	0	1	0	2	0	2
5	0	0	0	1	2	6
6	1	0	1	0	5	56

に興味・関心を持つ児童が多いことがわかる。授業を実施した立場からするとこの結果は意外であった。鏡の授業は1時間であり、偏光板の授業は実験が1時間でもものづくりが1時間の計2時間である。鏡の授業を行ったのは3クラスとも10月22日であり、偏光板の授業は11月6日、7日、8日に1クラスずつ行った。事後アンケートは偏光板の授業が終了して数日以内に行われている。鏡に関する実験よりも偏光板に関する実験の方がよりうまく進められて手ごたえを感じていた。ゆえに、何か問題があるとすればそれはものづくりの授業にあると考えられる。

5. おわりに

本論文では、偏光板を使った実験を行い、その結果を用いてもものづくりを行う授業を提案した。この授業の特徴は実際に作るものと直接関係する実験を行い、そのものが持つ現象が起こる原因を明らかにするところにある。したがって、ものづくりに実験で得られた結果が直接役に立ち、ものづくりで作った箱でも実験結果が成り立つこと、偏光板を外側に取り付けても内側に取り付けても結果が変わらないことを確認できる。この実験では原因を明らかにするというよりは単に偏光板の組み合わせ方を見つけるだけであるともいえる。しかし、科学が未知な現象を解明するときいきなり原因を明らかにできることはほとんどなく、最初はその現象が起こる決まり事や規則性を調べて、それを基に原因を明らかにし背後にある普遍的な法則を発見する。この授業の実験で行ったことはその最初の段階である。なぜ、図3.7のように黒い壁ができるのかを教えることは、立体的に構造を理解する必要があるので空間図形を学習していない小学校三年生にはかなり難しい。

この偏光板を使ったものづくりの提案授業は小学校第三学年の3クラスで行われた。この授業では、仮想的な立体像を作るという目的を設定し、実験を行って規則性を見出し、その結果を用いて不思議な箱のものづくりを行った。学習を通して得られた知識を活用してもものづくりの活動を行うことで日常生活との関連を主体的に学ぶことができる。たとえ生活に密着したものでなくとも、興味深いものをつくるという過程はその知識が役に立つことを実感させる。授業後に行われたアンケートでは「理科は、自分にとって役に立つ勉強だ」の設問の平均点に上昇がみられた。このように、理科が役に立つという認識を高めることができたことは重要な成果である。一方で、一定数の児童にもものづくりに対する大きな不満がある可能性が浮かび上がった。児童が作った箱の中に第3節の図3.6のように壁がねじれたようになるものがあつた。このようなものができるとは想定していたし、できたとしても黒い壁ができているのだからそれでよいと考えていた。同じ壁ができてなぜ違う形になるのかその理由を考える機会になるとさえ考えていた。しかし、実際の学校現場では全員が同じようにできなくてはならないようである。ねじれた壁のものを作った児童に対して担任の教諭はみんなと違うでしょと指摘していた。そこまで周りの児童と同じでなくてもよいのではないかと思つたが、その児童は浮かぬ顔をしているように見えた。ある程度の年齢までは皆同じようになるのがよいのかもしれない。どうすると壁の形に違いができ

るのかを考えようにも、実際にはそれだけの時間を確保するのが難しい。また、壁の形が違えば箱を開いて作り直すこともあったので、授業時間内に終えられない場合もあった。このように、偏光板を使った今回のものづくりにはまだ改善すべき点がある。

太陽の光を鏡で反射させるときに角度を調節すると平面に直線状の明るい部分が現れる。これは直進している光そのものではなく、その一部が平面に反射した光である。その反射光が直線的に見えることから光がまっすぐ進むと判断したりする。当然のことであるが、直進する光を側面から見ることはできない。偏光板を重ねて見えたり見えなかったりする光は直進して来る光である。しかし、この現象から光の直進性を理解するためには平面的な見方だけでなく、立体的な見方が必要である。もちろん、反射光から光の直進性を本当の意味で理解するためにも立体的な見方が必要となる。提案授業ではまっすぐ進む光を偏光板で通したり止めたりできることを、手ぶりを交えながら立ち位置を変えながら説明した。いろいろな方向から見せることで児童のわかったという表情が見られるようになった。児童がどの程度光の直進性と関係づけられたのかは明らかでないが、平面的な見方に加えて立体的な見方を教えることには意味がある。

小学校理科において偏光板を使った授業を考えるきっかけとなったのは、高校時代の物理の授業にある。その授業の内容は光の波の性質についてであった。授業の最初に物理の担当教諭が見せてくれたのが偏光板である。担当教諭は偏光板を使いながら光が横波であって縦波でないことを説明してくれたのであるが分かり難かった。分かり難い理由の一つが偏光板を初めて目にしたことにある。教諭は鮎かけのときに使う偏光サングラスを例に挙げてくれた。鮎かけをしたことも偏光サングラスを使ったこともあったのだけれども、どうにも説明が頭に入って来なかった。今では、偏光板は光に縦波がないことを理解するのにとても適していると思っている。偏光板を重ねながらやっぱり光は横波だなと納得したりする。それは偏光板を知っているからである。もし、高校の授業を受ける前に偏光板を手にしてそれが起こす現象を体験していたら、教諭の説明はもう少しよくわかったのではないかと思う。

小学校理科では水を冷やして氷を作るという実験が行われる。この実験では時間とともに温度がどう変化するかを測る。すると、水という液体の相から氷という固体の相になるまでの間は温度が摂氏ゼロ度から変化しない。この現象は相転移（一次相転移）と呼ばれる。水と氷の相転移現象を理解することは、自然界の他の相転移現象を理解する上でとても役に立つ。冷蔵庫で氷を作るときにも相転移は起こっているのだが気づくことはない。普段、温度を測りながら氷を作ることはないので当然であろう。筆者も温度を測りながら水を凍らせたのは後にも先にも小学校のあの実験だけである。しかし、研究を行っているときに相転移やそれらしきものに出会うとあの小学校のときに実験で得られたことが理解の役に立つのである。言うまでもないが、小学校での学びはその後の学びの基礎となる。身の回りで起こっている現象を実際に調べてみることで初めてわかることがある。そこで得られた小さな理解がやがて大きな理解に欠かせないものとなる。ここで今改めて考えてみても、小さな子どもの頃の経験がいかに重要であったかが思い起こされ

る。これらの経験が小学校で偏光板を使った授業を試みようというきっかけとなった。

情報機器を用いた教育では実験の様子を撮影して発信することがある。また、バーチャルリアリティーを利用して医療現場を疑似体験するようなこともできるようになってきている。それでも、実際に体験してみることは変わらず重要である。アインシュタインを引き合いに出すまでもないが、「何かを学ぶためには、自分で体験する以上にいい方法はない」のである[11]。テレビの科学番組でも相転移の実験を見た記憶があるが、相転移としてよく思い出すのはやはり小学校のときの実験である。むしろ、小学校のときに実験したことがあるから、テレビ番組の実験もよりよく理解できた。小学校理科では各学年の物質・エネルギーの授業でものづくりを行うことになっている[5]。素材を手にして器具を使いながらもものを作ることに、実験・観察をして得られた成果を取り入れることは、新しいものを生み出す可能性を秘めている。映像技術を駆使して現実に近い仮想体験ができるようになればなるほど、実際にももの手にして作っていくという経験がより必要となるのではなからうか。バーチャルリアリティーを利用して実際には体験が不可能な深海や宇宙空間、高温・高圧の状態や光速に近い状態が仮想的に体験できれば、それらはきつと理解を深めることになる。しかし、それらの仮想の世界と現実に体験できる世界との区別ができないようであれば、それは深い理解とは正反対と言わざるを得ない。今回の不思議な箱のように、自然の法則を利用して実体のない仮想的なものを作り出す経験は、これからの社会をよりよく生きていくために役に立つのではないだろうか。そう信じている。

謝辞

生命・地球・エネルギー教育推進事業に際しては國學院大學の教職員の方々から多大なるご支援をいただきました。特に、提案授業の実施者の寺本貴啓先生、加藤季夫先生、柴崎和夫先生、坂本正徳先生、堀江紀子先生からは有意義な議論をしていただいて多くの助言を得ました。提案授業の実施に際しては学生スタッフがとてもよくサポートしてくれました。特に、河邊裕太氏は準備の段階から精力的に関わってくれました。この提案授業は神奈川県と國學院大學の共同事業において行うことができました。実行委員会の役員の方、実施校の先生方からいただいたご意見は授業を構築する上でとても有益でした。ここに、感謝申し上げます。

注釈

- 1) 古いタイプのプロジェクターは色によって偏光しているので偏光板を通すと角度によって色が変わる。授業の内容が関係する例として小学校に設置されていたプロジェクターを紹介すると児童たちは休み時間を利用して自分でも確かめていた。現在ではタブレット端末が行き渡っているのでその画面に偏光板を当てて角度を変えると変化を見ることができる。その現象が偏光を利用した技術によるのか、光を操作する上で偏光となったのかは別として、身近なところに偏光板と関係したものがあることがわかる。
- 2) 市販されているほとんどの偏光板にはヨウ素分子が使われている。ヨウ素分子には導電性がありその分子の

方向次第で電場を吸収する。これは金属が電場を吸収することと原理的によく似ている。小学校三年生にとってヨウ素はなじみが薄いと思われ、一方で金属は電気を通すことを学ぶので「金属」と表現した。

参考文献

- [1] ガリレオ・ガリレイ、「天文対話（上・下）」、青木靖三（訳）、岩波書店、1959年8月25日・1961年4月5日 *原著の初版は1632年
- [2] 高橋憲一、「ガリレオの迷宮—自然は数学の言葉で書かれているか?—」、共立出版、2006年5月25日
- [3] ロバート・P・クリース、「世界でもっとも美しい10の科学実験」、青木 薫（訳）、日経BP社、2006年9月19日
- [4] 館暲、「バーチャルリアリティ入門」、筑摩書房、2002年10月20日
- [5] 小学校学習指導要領解説 理科編、文部科学省、平成20年6月；小学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編、文部科学省、平成29年7月
- [6] 生命・地球・エネルギー教育推進事業 事業成果報告書、國學院大學人間開発学部初等教育学科、2015年3月1日
- [7] 渡辺儀輝、「おもしろ実験と科学史で知る物理のキホン」、ソフトバンククリエイティブ株式会社、2009年5月24日
- [8] 教育実践総合センターだより『思ひ草』第12号、國學院大學人間開発学部教育実践総合センター、平成25年12月5日
- [9] 平成13年度小中学校教育課程実施調査データ分析に関する報告書、国立教育政策研究所教育課程研究センター、平成17年1月
- [10] 田代直幸、「これからの理科教育」、研究紀要第20号、北海道立理科教育センター、平成20年3月
- [11] 「アインシュタイン150の言葉」、ジェリー・メイヤー&ジョン・P・ホームズ（編）、ディスカバー21、1997年4月25日

（こんどうよしひこ 國學院大學人間開発学部初等教育学科教授）