

「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタル教材の開発 (2)

－「わかりやすさ」に関する調査－

森 長 俊 六

平成28年度科学研究費助成事業（奨励研究）の交付により、デジタル教材としての全体構造をデザインした。その過程では、トロンプルイユやトリックアート、ふしぎ絵など、これまで明確な分類が定まっていなかった「錯視」や「だまし絵」を鑑賞者の視点や作品との関係性で分類・整理した。目指すデジタル教材は、簡便に「錯視」や「だまし絵」を紹介し、その不可思議さを実感できるものである。しかし、色や明るさの錯視の場合、実際には同じ色や同じ明るさであっても、パソコン画面上の提示では、いぶかしく感じるとの懸念が残った。

本調査は、「錯視」や「だまし絵」指導で用いられる図版や実物、デジタルコンテンツなどの提示媒体の違いによる「わかりやすさ」に関する調査である。調査の結果、デジタルコンテンツは図版に比べると遥かにわかりやすく「錯視」や「だまし絵」の理解を促せることがわかった。また、懸念された「いぶかしさ」についても、提示の仕方によって軽減できることが確認できた。

1. はじめに

(1) 問題の所在とこれまでの経緯

「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタル教材を開発するに至った動機や背景は既報¹⁾の通りである。再度次の2つの視点で確認する。

1つ目は教科教育の視点である。「錯視」や「だまし絵」を理解することは、創造的に表現活動を行う児童生徒や、目に見える視覚情報が必ずしも真実とは限らないなど、物事を批判的に思考する力、そして判断する力を養うものである。したがって図工や美術の教科書では、「錯視」や「だまし絵」が取り上げられ、他の教科においても学習の過程で取り上げられることは珍しいことではない。しかし、教科書などの図版では、同じ長さや同じ大きさが同じに見えない錯視図形を、実際に移動したり重ねたりして同じであることを確かめることはできない。また、リバースパースペクティブの場合は、視点を移動することによって、その不可思議さを体感したいところであるが、移動前と移動後の図版を見比べるだけでは、感動を持って実感することは極めて困難である。トリックアートと呼ばれるものについては、たまにテレビ番組で紹介されることがあり、わかりやすい構成になっている映像もあるが、余計な情報が含まれていたりするので教材という視点での利用には適さない。幾何学的錯視についても、インターネット上に単発的な素材が散見されるものの、系統的にまとめられていないなど、「錯視」や「だまし絵」

指導に関する教材・教具が整備されているとはいえない。2つ目はICT活用の視点である。ICT活用に関しては、「2020年代に向けた教育の情報化に関する懇談会 最終まとめ」で「ICTを活用した授業で有効に活用できる質の高い教材（コンテンツ・アプリケーション）が不足している。さらに、各教科等の学びが深まる教材（コンテンツ・アプリケーション）の検討が十分でない。」²⁾と指摘しており、「『デジタル教科書』の位置付けに関する検討会議」でも「可能な限り、次期学習指導要領の実施に合わせて導入し、使用することができるようにすることが望ましい。」³⁾と提言している。

それらを背景として本研究はスタートした。そして平成28年度科学研究費助成事業（奨励研究）の交付⁴⁾により、トロンプルイユやトリックアート、ふしぎ絵など、これまで明確な分類が定まっていなかった「錯視」や「だまし絵」を鑑賞者の視点や作品（本稿では、美術的な作品以外の図形や図柄も便宜上全て作品と呼ぶ）との関係性で分類・整理し、デジタル教材としての構造設計を行った⁵⁾。

その過程において、例えばムンカー錯視のように、同じ色にもかかわらず、同じ色に見えないという錯視はパソコン上の画面では「もともと違う色なので」などと「いぶかしく」感じるという懸念が生じた。図版であれば、このようないぶかしさを感じることはないが、同じ色であることを確かめるすべもなく、腑に落ちないまま納得せざるを得ないというのが実情である。むしろパソコンを使いながらも、このよ

うな懸念をどのような方法で払拭するかを検討の余地がある。

その後、令和元年6月に「新時代の学びを支える先端技術活用推進方策」⁶⁾が示され、12月には令和5年度までに児童・生徒一人1台の端末を整備することが閣議決定された。広島県も県立高等学校の4割にあたる35校において2020年度の新1年生から一人1台のノート型パソコンかタブレット端末を持たせる方針を固めた。今後、各教科におけるデジタル教材の需要はますます高まるであろう。

(2) 調査の目的

動きの錯視の場合、30人に一人は動いて見えないという調査結果がある⁷⁾。しかし、パソコン上での色の操作に関して「いぶかしく」感じる理由については、心理学の分野も含めて調査したが、現時点でそのような研究データは見つかっていない。ところが、現象としては広く認知されている。おそらく、「印刷物の色の変化するとは考えにくい一方でパソコンのディスプレイは発光体であり、自在に色を変化させることが可能なため鑑賞者もその可能性を意識しているからだと考えられる。」⁸⁾

それらを踏まえた本調査の目的は、幾つかのデジタルコンテンツや手作り教具を制作し、提示媒体によるわかりやすさの違いを比較するとともに、いぶかしさを払拭する方法を探り、「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタル教材の有用性を確認することである。ここでいうデジタルコンテンツとは、パソコンやタブレット端末上で動作する作品や作品を構成する部品（パーツ）を指し、比較媒体としてのパソコンは、このデジタルコンテンツと同義として用いる。

(3) 「わかりやすさ」とは

「錯視」の不思議さや魅力は、同じ大きさであったり、同じ色であるものが見えないところにある。目指すデジタル教材は、この一見同じ色や同じ大きさに見えない作品をコンピュータを利用することによって「本当に同じだろうか」という段階から「違って見えるけれどもなるほど確かに同じである」という理解へ到達させるものである。この理解がスムーズに行われることが、すなわち「わかりやすい」ということである。つまり、同じであるものが諸条件により違って見えることを理解することこそが「錯視」を理解したことになると考えている。したがって違って見えているが実は同じであると説明しても「疑わしい、不審に思われる」という意味の「いぶかしい」であってはならず、「確かに納得できる・腑に落ちる」という「わかりやすい」教材を目指さなければならない。「わかりやすさ」とは、

この「わかりやすい」の程度（度合い）をあらわす。

2. 調査の方法と内容

「錯視」や「だまし絵」を授業で扱うとき、現状では教科書や画集を用いるのが一般的である。他には、テレビ番組の録画や教師自身が撮影したVTR、あるいは手作りの錯視模型などを用いることも考えられる。本デジタル教材では、簡便に「錯視」や「だまし絵」を扱えることを一義として多くの作品を収納しているだけでなく、質的にも簡便さにおいても図版やVTR、実物⁹⁾に劣らないものを目指している。したがって、比較対象とするのは図版と実物である。

デジタルコンテンツについては、パソコンでの提示の仕方を「アニメーションによる提示（以降PC1）」と「電子黒板などで教師が図形を動かして説明を加えながら提示（以降PC2）」の2通りとした。理由は、アニメーション（自動再生）による提示に「いぶかしさ」の原因があるのではないかと考えたからである。したがって、提示方法は「図版」「実物」「PC1」「PC2」の4方法とした。この4通りの方法で中学生・高校生に作品を示して「わかりやすさ」の度合いをアンケート調査した。

調査対象は、執筆者が授業を担当しているクラスの生徒であり、授業の中で実施した。また、通常の授業評価であれば、授業者を意識して正確な回答が得られないことを配慮するため無記名とするが、授業者に対する評価ではなく、自由記述部分への問い合わせの可能性もあることから回答は記名とした。提示時間は1作品1方法40秒を予定した。

調査対象 231名

（中学1年生3クラス132名、中学2年生1クラス41名、高校1年生2講座49名、高校2年生1講座9名）

実施時期 2019年9月20日～10月1日

調査項目 5種類の作品をそれぞれ図版・PC1・PC2・実物の4通りで紹介し、「とてもわかりやすい」「わかりやすい」「わかる」「わかりにくい」「とてもわかりにくい」の5段階から選び評価する。また、最後に自由記述欄を設ける。なお、問いのタイトルは錯視やだまし絵の名称ではなく、「左右の中央の円の大きさは同じ」など内容を端的に表す言葉とした。

調査用紙 A4版、カラー印刷（資料1）とし、マークシート方式とした。また、配付時は次のように説明した。

「アンケートは「錯視」とか「トリックアート」と呼ばれているものについてです。まず、左上の学

年やクラス番号をマークしてください。右上の記名欄にも記名してください。今から5種類それぞれを4通りの方法で見せるので、「わかりやすい」とか「わかりにくい」などとわかりやすさの度合いを評価してください。「わかりやすさの度合い」とは、実際には同じ長さに見えないけれど、見せ方の方法によっては同じ長さだということが「なるほど確かに同じだ」と「納得できる」つまり理解できるという度合いです。アンケートは、作品ごとに4通りの見せ方が終わってから一度に記入してください。同じ度合いにマークしても構いません。名前を記入するようになっていますが、成績には一切関係ありません。」

(1) 提示作品

これまでの研究において「錯視」は「形や動きの錯視」と「色や明るさの錯視」の2種、「だまし絵」は「多義図形」「トリックアート」「アナモルフォーシス」「逆さ絵・逆さ文字」「寄せ絵・はめ絵」「不可能図形」の6種に分類した¹⁰⁾。(図1)



図1 デジタル教材のホーム画面

多くの作品の場合、拡大表示することによって理解を促すことは可能であるが、拡大表示だけで理解困難なのは、「形や動きの錯視」と「色や明るさの錯視」である。その点、デジタル教材では、図形を移動させたり、背景を除去したりすることにより理解を促すことを容易に行うことが可能である。また、見る方向や角度によって全く違う形に見えるため図版では説明のしにくい「アナモルフォーシス」¹¹⁾については、立体を回転させることによって理解を促すことが可能であると予測できる。そこで作品については、「形や動きの錯視」と「色や明るさの錯視」からそれぞれ2作品、「アナモルフォーシス」から1作品を選んだ。具体的に選択したのは、「形や動きの錯視」ではエビングハウス錯視とジャストロー錯視、「色や明るさの錯視」では、ムンカー錯視とチェッカーシャドウ錯視¹²⁾、「アナモルフォーシス」

では、福田繁雄の「アンコール」¹³⁾である。選択の理由は、いずれも教科書に掲載¹⁴⁾されており、特徴的な錯視として一般的であり、活用の期待が高いこと。また、4通りの方法で提示する場合、どの方法においても調査のための作品制作や提示場面において困難や不都合がないことである。

(2) 調査上の留意点

提示する作品や提示方法に関しては、作品自体の質や提示の方法により「わかりやすさ」は変動する可能性がある。そこで、制作する作品や提示の方法に関しては「わかりやすい」を目指し、それぞれの方法において最善を尽くすのはもちろんのこと、留意した点を次項に掲げる。また、回答に関しては、対象が錯視であるために初見とそうでない場合とでは、感じ方や理解に差が生じる可能性がある。例えば多義図形の場合、初見では理解不能であっても別な見方を知ることによって二度目からは容易に他方を認識することが可能である。見る順番にも左右される可能性もある。そこで今回は一般的簡易的なものから順に見せることにした。また、この調査は4通りの媒体について相対的に比較することを目的としているので、相対的に回答する生徒とその都度その都度絶対的な回答する生徒が混在しないよう相対的な回答とすることに統一した。

3. 提示作品の具体的内容

次に提示する方法ごとにどのような形で作品を紹介したかについて述べる。

(1) 図版

調査対象者各自の手元で確認できるように調査用紙に直接印刷した。画集や図録をプロジェクターで大きく映して紹介するのではなく、図版としての調査のため、掲載するサイズは教科書や副読本に掲載されている程度の大きさとした。(資料1)

(2) PC1

アニメーションや動画などを使って紹介することができるデジタルコンテンツをプレゼンテーションソフト (Microsoft PowerPoint) や動画編集ソフト (Adobe Premiere Elements) で制作した。再生をスタートすると一連の動作で錯視やだまし絵を紹介する。図形が移動したり、補助線が現れたり、作品ごとに最もふさわしい方法を検討した。ムンカー錯視においては背景・ハート・前面のストライプの三層構造で考案し、前面のストライプを移動させて背景を消すことによってハートが同じ色であるという動作も考えたが、背景を消した時点で補色残像が現れるので背景を消すことは断念した。このように別な

効果が現れる場合なども勘案し、コンテンツを制作した。一通りの紹介が終わると最初の状態に戻し、改めて錯視を確認できるようにした。また、一度では流れを見落とす可能性もあるので、それぞれ2回再生した。以下は、具体的な動作内容である。なお、PC1とPC2はハード面での明るさや画面の大きさの条件を揃えるため、同一の電子黒板¹⁵⁾に投影して調査した。

問1) エビングハウス錯視

左右の中心の円の大きさは同じであるが、それらを取り囲む円の大きさの違いにより中心の円の大きさが異なって見えるという錯視。

- ①左右の中心の円の上下に接線を表示。2本の線は水平かつ平行なので中心の円の大きさに違いがないことがわかる。
- ②周りの円を全て消去する。
- ③左右の中心の円のコピーを中心に寄せて大きさを比較する。(図2) ※図は周りの円も表示した状態
- ④全てを元に戻し最初の状態に戻す。

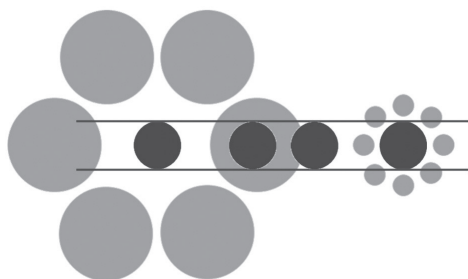


図2 エビングハウス錯視 (PC1)

問2) ジャストロー錯視

同じ大きさの扇形であるが、内側（この場合右側）の方が大きく見えるという錯視。

- ①外側の扇形を移動して他方と重ねて全く重なることを示す。
- ②移動した扇形を元の位置に戻す。(図3)

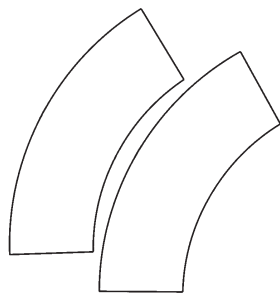


図3 ジャストロー錯視 (PC1)

問3) ムンカー錯視

左右のハートの色は同じであるが、背景の色やストライプの色の影響で違って見えるという錯視。

- ①前面のストライプを左右それぞれ外側に移動し、ストライプを除去した状態を見せる。
- ②前面のストライプを元に戻し、そのストライプを同時に下に下げる。(図4)
- ③下に下げたストライプを元の位置に戻す。

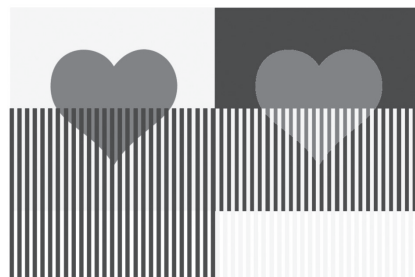


図4 ムンカー錯視 (PC1)

問4) チェッカーシャドー錯視

図のAとBは同じ灰色であるが、シャドー部分のBの方が明るく見えるという錯視。

- ①AとBの文字表示を消す。
- ②AとBの四辺形を互いに近づけて部分的に重ねる。
- ③移動した四辺形を元の位置に戻す。
- ④AとBの四辺形を左に移動し作品外に出して部分的に重ねる。(図5)
- ⑤移動した四辺形を元の位置に戻し最初の状態に戻す。

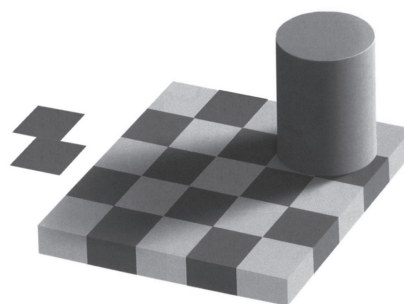


図5 チェッカーシャドー錯視 (PC1)

問5) アンコール

正面から見るとピアノを弾いているように見えるが、横から見るとバイオリンを弾いているように見える立体。立体が360度回転する動画を再生する。動画は90度ごとに1秒間静止し、立体を認識する時間を確保する。(図6)

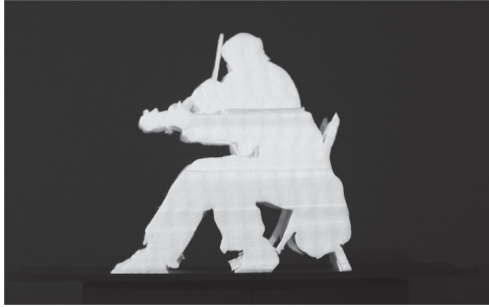


図6 アンコール (PC1)

(3) PC2

電子黒板を使って教師が生徒の反応を見ながら操作できるデジタルコンテンツを制作した。紹介方法は基本的にはPC1と同じであるが、図形もしくは、その一部を教師が説明を加えながら移動させ、生徒の反応を確かめながら進めることを重視した。制作や提示はパーツ移動がインタラクティブに行えるソフトウェアSMART Notebook¹⁶⁾を用いた。

問1) エビングハウス錯視

左右の中心の円を可動にした。教師は片方の円をもう片方に移動して重ねたり、入れ替えたり、両方とも外に出して比べるなどして同じ大きさであることを示す。

問2) ジャストロー錯視

両方とも扇形は可動である。教師は重ねたり同じ高さに揃えて並べるなどして同じ大きさであることを示す。

問3) ムンカー錯視

前面のストライプを移動したり、左右のハートを背景から出して背景の影響を受けないようにして見せ、同じ色であることを示す。

問4) チェッカーシャドウ錯視

AとBの四辺形を作品外に出して並べたり、入れ替えたりして同じ色（同じ明るさ）であることを示す。

問5) アンコール

スライダーバーを操作することによって、色々な方向から作品を紹介する。コンテンツ自体はPC1で使用したものをそのまま使った。

(4) 実物

スチレンボードやマグネット、発泡スチロールなどを使って制作した。チェッカーシャドウ錯視については、インターネット上で実際にスタジオ内に作品を設置し、ライティングして再現する動画¹⁷⁾もあったが、そのVTRを映すことは実物の提示にはあたらないため、ここでは図版を用いた教材を制作した。

問1) エビングハウス錯視

B3版イラストボードに2つのオレンジの円を貼り付け、ボードと同サイズの塩ビシートには中心の円を取り巻く灰色の円を貼り付けた。塩ビシートをめくれば中心の2つの円は同じ大きさであることがわかる。(図7)

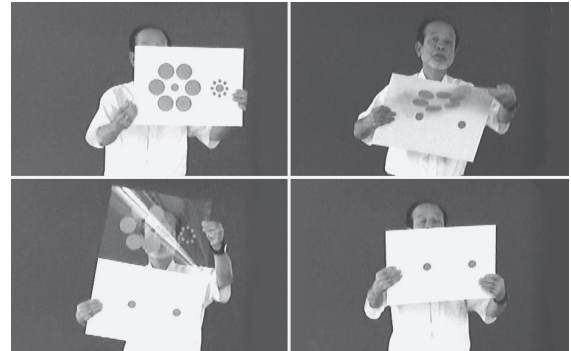


図7 エビングハウス錯視 (実物)

問2) ジャストロー錯視

スチレンボードを扇形に切り抜き、裏面にマグネットを取り付けた。黒板に貼り付けることができる。(図8)

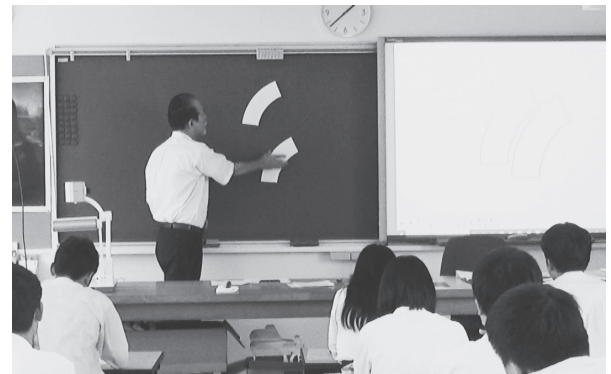


図8 ジャストロー錯視 (実物)

問3) ムンカー錯視

B3版イラストボードに赤のミューズ紙を貼り、黄と青のストライプのシートを前面に重ねた。ハート部分は一部切り抜いて赤のミューズ紙が見えるようにしている。前面のシートをめくれば、ハートが同じ赤であることを確認できる。(図9)

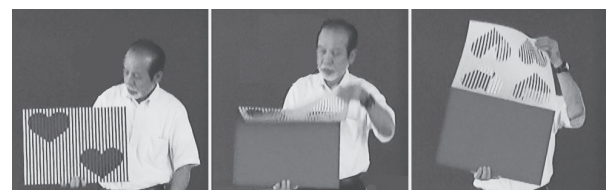


図9 ムンカー錯視 (実物)

問4) チェッカーシャドウ錯視

2種類制作して書画カメラで大型テレビに映した。

- ①A4版の図版のAとBの部分のみ別パーツを用意し、入れ替えて見せる。(図10)



図10 チェッカーシャドウ錯視 (実物①)

- ②A4版の図版のAとBの部分を作り抜き、AやBの色であるグレーのシートの上に重ねる。切り抜いた部分からは同じグレーが見える。(図11) ※図は重ねる前の状態

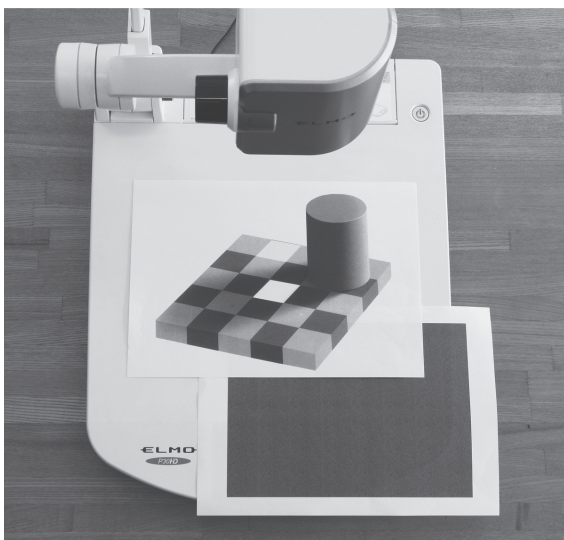


図11 チェッカーシャドウ錯視 (実物②)

問5) アンコール

一辺が300mmの立方体発泡スチロールからニクロム線を使って作品を切り出した。(図12) (図13)

PC1, PC2の動画はこの作品を撮影したものを編集して使用した。

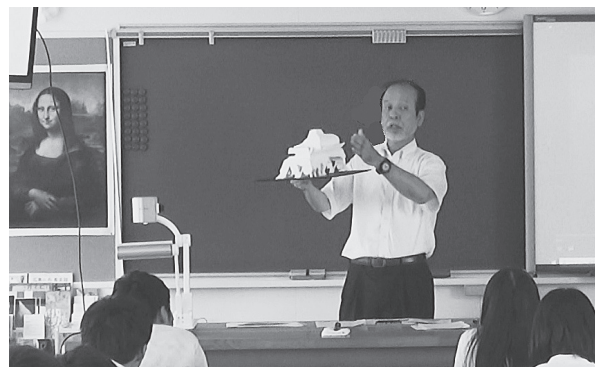


図12 アンコール (実物)



図13 アンコール (実物)

4. 結果と考察

調査対象の学年やクラスの人数は均等ではなく、また、学年やクラスにより顕著な差は見受けられなかったため231名全てを集計して考察した。問1～問5を集計した数値は、それぞれ表1～表5として資料2に掲載する。その数値をグラフ化したものが図14～図18である。

(1) 「形や動きの錯視」

問1) 左右の中央の円の大きさは同じ(エビングハウス錯視)と問2) 2つの扇形は同じ大きさ(ジャストロー錯視)は「形や動きの錯視」である。

エビングハウス錯視の「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」を合わせた回答が全体に占める割合は図版が8.2%と1割にも満たないのに対し、PC1, PC2, 実物は、それぞれ78.4%, 77.9%, 74.5%といずれも7割を超えた。反対に「とてもわかりにくい」と「わかりにくい」を合わせた回答は、図版73.6%, PC1 3.5%, PC2 2.6%, 実物6.9%となっている。(表1) (図14)

ジャストロー錯視についても同様に「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」を合わせると図版は12.1%であるのに対し、PC1, PC2, 実物は、それぞれ77.9%, 81.0%, 75.7%となっている。「とてもわかりにくい」と「わかりにくい」を合わせた回答は、

図版71.9%, PC1 8.2%, PC2 8.2%, 実物8.7%となっており、いずれもエビングハウス錯視と同じ傾向を示している。(表2) (図15)

図14～図18の棒グラフに示した太い実線(区分線)は、4つの媒体それぞれの「わかりやすい」と「わかる」の境界を結んだものである。つまり、この実線より下が「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」を合わせた回答である。

図14・15から読み取れることは、明らかに図版以外がわかりやすいということである。また、図版以外の三者を比較したとき、実物よりも若干ではあるがパソコンを使ったPC1, PC2が優位を示している。これは、形や大きさ、いわゆる幾何学的錯視の場合、パソコンでは、図形を軽妙に動かすことができ、証明することができるので、疑う余地も無く理解できたということであろう。まさにパソコンの得意とする場面である。実物が少し低かった原因はB3版サイズということで、教室の後方では見えにくかったという可能性を考えた。しかし、問3の調査で行ったムンカー錯視が同じB3版ボードであるにもかかわらず、PC1, PC2をしのいでいるので、教材サイズの問題ではなく、パソコンを使ったデジタルコンテンツが実物以上にわかりやすかったと判断できる。ここで注目しておくべきはPC1とPC2の数値にほとんど差が無いということである。

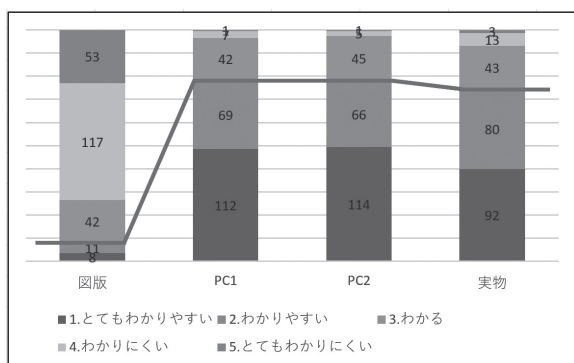


図14 問1) 左右の中央の円の大きさは同じ

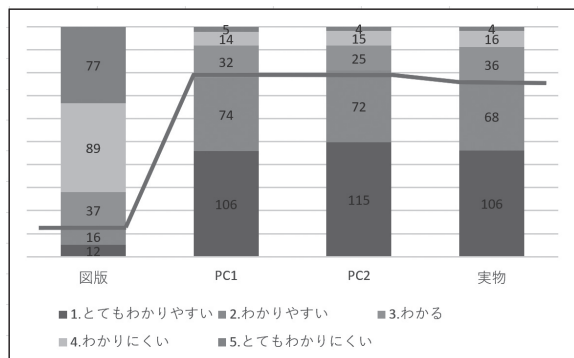


図15 問2) 2つの扇形は同じ大きさ

(2) 「色や明るさの錯視」

問3) 左右のハートの色は同じ(ムンカー錯視)と問4) AとBの灰色は同じ明るさ(チェッカーシャドウ錯視)は「色や明るさの錯視」である。

ムンカー錯視の「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」を合わせた回答が全体に占める割合は、図版が9.5%であるのに対し、PC1, PC2, 実物は、それぞれ58.9%, 73.2%, 81.3%である。図版に比して遥かにわかりやすいという結果は「形や動きの錯視」と同じである。しかし、「形や動きの錯視」に比べると図版以外の数値にもばらつきがある。「とてもわかりにくい」と「わかりにくい」を合わせた場合、図版80.5%, PC1 18.6%, PC2 10.0%, 実物8.7%となっている。(表3) (図16)

チェッカーシャドウ錯視についても同様に「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」を合わせると図版は16.5%であるのに対し、PC1, PC2, 実物は、それぞれ57.1%, 67.5%, 80.1%となっている。「とてもわかりにくい」と「わかりにくい」を合わせた回答は図版64.9%, PC1 22.5%, PC2 13.4%, 実物5.2%となっている。(表4) (図17)

「形や動きの錯視」では、図版以外の三者に大きな差は無かったが、ここでは三者にも大きな隔りがある。つまり区分線が示す通り、PC1よりはPC2, PC2よりは実物がわかりやすいという傾向である。

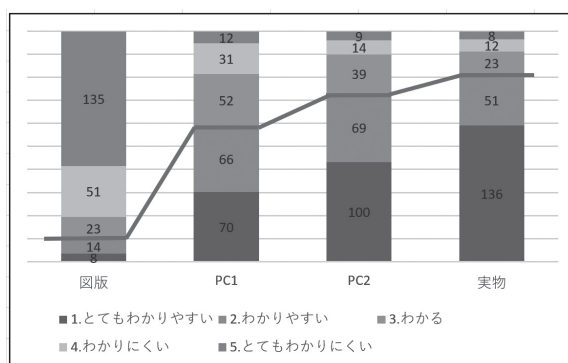


図16 問3) 左右のハートの色は同じ

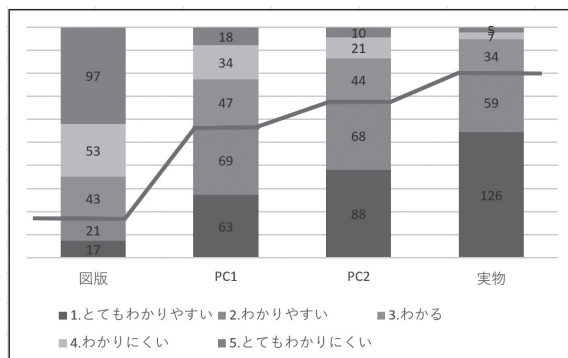


図17 問4) AとBの灰色は同じ明るさ

「形や動きの錯視」と違って「色や明るさの錯視」の場合、鑑賞者（この場合調査対象者）がパソコンのディスプレイやプロジェクターによる投影に関して、自在に色を変化させることが可能であるという認識のもと判断しているからと考えられる。このことこそが「いぶかしい」と感じているということであろう。この場合、圧倒的に実物鑑賞が説得力があるが、単にPC1というアニメーション的な提示方法によるのではなく、PC2という教師が介入し提示する方法によって実物に迫る説得力の向上を認めることができる。

(3) 「アナモルフォーシス」

問5) 正面と横から見た形が全く違う立体（福田繁雄のアンコール）は「アナモルフォーシス」である。

「とてもわかりやすい」と「わかりやすい」を合わせた回答は図版が24.2%であるのに対し、PC1、PC2、実物は、それぞれ77.1%、77.0%、83.5%と8割程度がわかりやすいと回答している。「とてもわかりにくい」と「わかりにくい」を合わせた回答は、図版48.1%、PC1 6.1%、PC2 4.8%、実物4.8%となっている。（表5）（図18）

図版が他に比べてわかりにくいという状況は他と同じであるが、図版の中では他の作品に比べて最も高い数値となっている。これは、この作品が錯視ではなく、現実存在する立体物だからであろう。角度を変えた図版によってある程度は形が想像できたと考えられる。

また、実物の数値が高いのは、PC1やPC2による横からの360度の回転だけでなく、真上や斜め上からなど色々な角度から立体を自由に示すことができた点が考えられる。ここでもPC1とPC2の違いはほとんどない。

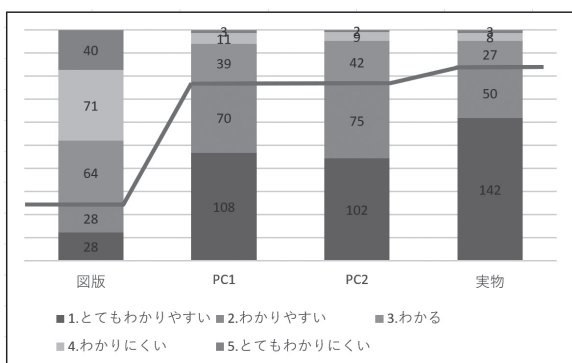


図18 問5) 正面と横から見た形が全く違う立体

(4) 自由記述

自由記述欄は「「わかりやすさ」についての感想、気づきがあれば書いてください」とした。

書かれている内容は大きく3種に分類された。次

の①～③である。

- ①わかりやすさやわかりにくさについて述べたもの。
- ②作品の見せ方や内容についての改善案を示したものの。
- ③「錯視」や「だまし絵」全般に対して興味や関心を述べたもの。

①の内容は次のようなものである。

- ・実際に動かして重ねてみたり、となりに並べて比べて見たりすることで、とても分かりやすくなった。
 - ・動かすと同じことが分かるが、肉眼では違って見える。不思議だと思った。
 - ・図版はわかりにくい。でもどの説明が一番分かりやすいかは、作品によって違う。
 - ・図版ではわかりにくいと思ったところも、PCや実物で動かしてみるととてもわかりやすくなった。
 - ・声と動きで説明されていると、とても分かりやすかった。特に問4はPC2や実物にしたらとても分かりやすかった。
 - ・全体的に人間が説明した方が分かりやすかった。
 - ・コンピューターはすばらしい。実物がやっぱり一番分かりやすい。
 - ・図版の画像で見るとよりPCや実物を見た方がわかりやすかった。
 - ・PC1やPC2は比べるものだけを見たり2つを重ねたりできるので分かりやすかったです。
 - ・どの作品も実物や先生が実際に動かしたものが分かりやすかった。PC1だと特に3)や4)は色を変えたのではないかと疑ってしまう。
 - ・問1の錯視はPCや実物で同じ大きさだと確認した後でも違う大きさにみえました。
 - ・PC1、PC2、実物はどれも分かりやすかった。図版は全て分かりづらかった。
 - ・図版は分かりにくかった。PC1もあまり分からなかった。実物とPC2はわかりやすかったが物によってわかりやすさは違いました。
- ②については、具体的に提示方法を示したのも多く「わかりやすさ」に直結したもののなので検討を重ねて質的な向上を目指すための貴重な意見である。例えば次のようなものである。
- ・問1の実物やPC2は実際に外側の円の大きさも変えてみるともっと分かりやすくなったと思います。
 - ・問2は左側の扇形の下を合わせたところで止めてもらえるともう少しわかりやすくなると思う。
 - ・問3のPC1は背景を取った方が分かりやすいと思った。

- ・問4は図版を遠くから紙を45度くらいで見ると分かりやすかった。
- ・問4のところはAとB以外のところを除いたらもっと分かりやすくなるのではないかと思います。
- ・問5では実物が上からも見せてもらえたので分かりやすかった。
- ・問5のPC1はもう少しゆっくり回してほしかった。バイオリンとピアノのところを2秒くらい止めてほしい。

特に重要と思われたのは、「PC2を自分で操作したら、もっと分かりやすいと思います。」という回答である。同様に「問4はAとBだけでなく、他のところも同じ色になるのかやってみたい。」や「問5の操作を自分でやってみたかった。」ともあった。

個々の生徒が思いのままに操作できればさらなる理解に貢献できるであろう。

③については、今回の調査により興味関心を抱いたことがうかがえており、さらに授業での展開を見据えて今後も深く掘り下げていくことに手応えを感じた。幾つか紹介する。

- ・PCや実物を使うことによって、分かりやすくなり理解が深まりました。もっとこういうものを見たりしてみたいと思いました。
- ・恐怖体験してみたいとおもしろかった。
- ・よくこんなことを思いつくなと思った。どういう理由でできたのか。
- ・錯覚にだまされました。周りにあるものによって違うように見えるのが多いので、他にも見てみたいなと思いました。
- ・もう少し近くで見たいと思った。このような不思議な世界があることに驚いた。
- ・トリックアートはとても奥が深くて面白いと思った。
- ・自分の目を疑うほど錯覚は人をだますことが本当に出来ることが分かった。
- ・目の錯覚ってすごいなと思った。

5. おわりに

(1) 成果と課題

成果の1つ目は、これまでパソコンを使うと分かりやすくだろうとか、色に関しては何となく信用しがたいと感じていたことが数値として確認できたことである。幾何学的錯視と色や明るさの錯視は2作品ずつ調査したことによって、作品固有の傾向ではなく、カテゴリーごとの傾向であることが裏付けられた。2つ目の成果は、色や明るさの錯視に関して、パソコンの画面上では、操作の段階で徐々に変化し

ているのではないかと感じてしまうので、実物の使用が最も効果があった。しかし、PC2の手法で教師が説明を加えながら意図を持って動作させることにより信頼性（わかりやすさ）は向上することが確認できた点である。実物は何よりも有効かもしれないが、実物の教具は一般に出回っておらず、自作するとしても材料費や制作の手間がかかるので通常の授業で使用できる可能性は極めて低い。PC2の手法を用いることによって「錯視」や「だまし絵」の理解に十分貢献できることが証明された。生徒自身がタブレット端末を使用して自ら操作して確認することができる環境を整えば、さらに理解を促せることが期待できる。

課題としては、比較調査なので調査対象以外の部分についての条件は等しくする必要があったが、実際に説明に要した時間は同じではなかった点や説明順にしても一般的になじみのある媒体からという考えから図版→PC1→PC2→実物としたが、提示する順番が逆であったら果たして同様の結果が出たかどうか疑問が残らないわけではない。また、提示作品は最小限に絞り込んだが、動きの錯視や他の「だまし絵」についても多く取り上げればさらにカテゴリーごとの傾向を把握できたであろう、などの点を残していることである。今回、提示媒体としての比較調査は終え、データも蓄積されたが、何がどのようだとわかりやすいのかなど、その原因や具体的な事象の核心部分についてまでメスを入れることはできなかった。

(2) 今後に向けて

「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタルコンテンツの有用性は明らかになったので、デジタル教材の開発は一步前進したと考えてよい。しかし、昨今の情勢を考えたとき、現在は以前開発した『みる美術』¹⁸⁾ や『色彩入門』¹⁹⁾ のようにパッケージとして流通させる時代ではなくなってきている。それは流通させるコストの問題もあるが、ネットワーク社会が学校教育の場へも到来してきているからに他ならない。今後は、児童生徒一人一人が1台ずつノートパソコンもしくはタブレット端末を持つ時代なのでパッケージという考え方ではなく、インターネット上に置いたものを必要に応じて利用したり、デジタル教科書へ埋め込み活用する。あるいは、資料集のQRコードから出版社のサーバー上のコンテンツを利用する時代だと考える。そうした場合、全体構造をがっしりと構築するというよりは、デジタルコンテンツ単体を必要に応じて開発したり、それらの複数の集合体（いわゆるデータベース）を構築するという考え方の方が適切かもしれない。

註

- 1) 森長俊六, 「「錯視」や「だまし絵」指導におけるデジタル教材の開発」, 『美術教育学』, 美術科教育学会, 第39号, 2018年, 347-359.
- 2) 2020年代に向けた教育の情報化に関する懇談会, 「2020年代に向けた教育の情報化に関する懇談会最終まとめ」, 平成28年7月, 21.
- 3) 「デジタル教科書」の位置付けに関する検討会議, 「『デジタル教科書』の位置付けに関する検討会議最終まとめ」, 平成28年12月, 15.
- 4) 課題番号: 16H00144, 研究課題名: 「錯視指導におけるコンピュータ教材の開発に関する研究」
- 5) 森長, 前掲1)
- 6) 文部科学省「新時代の学びを支える先端技術活用推進方策(最終まとめ)」, 令和元年6月25日
- 7) 北岡明佳監修, 『錯視と錯覚の科学』, ニュートン別冊, 株式会社ニュートンプレス, 2013年, 6.
- 8) 北岡明佳氏のアドバイスによる。
- 9) 本稿でいう「実物」とは, 物理的に実態として存在するものを指す。本物(オリジナル)という意味ではない。
- 10) 森長, 前掲1) 353-354.
- 11) 「アナモルフォーシス」とは, ロバート・オズボーン著・渡辺滋人訳, 2015年『視覚の不思議』創元社, p.133では「視覚的に歪んだ画像やその画法」としている。本稿では, 前掲1)において「作品の向きや位置は固定されているが, 鑑賞者が作品に対して回り込む形で視点を左右, あるいは上から正面に移動することによって意味を持つ形態があらわれたり, 全く異なる形態が出現したりするもの。福田繁雄の「アンコール」など。道具を使うものでは円筒アナモルフォーシスや円錐アナモルフォーシス, 鞘絵など。道路に描いたリアルな絵画のように一定の視点以外では歪んだ画像になり, 全く異なった図になるものも含む。」とした。
- 12) アメリカ合衆国マサチューセッツ工科大学のエドワード・エーデルソン教授が1995年に発表した錯視図形。
- 13) H37, W50, D50cm, 1975年, 二戸市シビックセンター福田繁雄デザイン館蔵。
- 14) エビングハウス錯視, 『美術1』, 光村図書出版株式会社, 2019年, 77.
ジャストロー錯視, 『美術1』, 光村図書出版株式会社, 2019年, 77.
ムンカー錯視, 『高校生の美術1』, 日本文教出版株式会社, 2019年, 149.
チェッカーシャドウ錯視, 『高校生の美術1』, 日

本文教出版株式会社, 2019年, 125.

アンコール, 『美術1』, 光村図書出版株式会社, 2019年, 23.

- 15) SMART Technologys社製, SMART Board SB680, 77inch
- 16) SMART Technologys社製, Ver.19
- 17) URL:<https://www.youtube.com/watch?v=z9Sen1HTu5o> (閲覧日:2019年12月24日)
- 18) 福本謹一・森長俊六監修, 『みる美術』, 株式会社DNPアーカイブ・コム・日本文教出版株式会社, 2002年。本ソフトの開発に関わる論文は, 森長俊六「CAIを使った鑑賞教育-コースウェアの設計-」『美術教育学』第19号, 1998年, 本ソフトを使った実践については, 森長俊六「CAIを使った鑑賞教育-鑑賞ソフトを使った授業実践を通して-」『美術教育学』第24号, 2003年
- 19) 日本文教出版株式会社・森長俊六企画/監修, 『色彩入門』, 日本文教出版株式会社, 2015年, 本ソフトの開発に関わる論文は, 森長俊六, 「『色彩学習』を支援するためのコンピュータ教材の開発」, 『日本教科教育学会誌』, 第28巻 第3号, 日本教科教育学会, 2005年

〈図版の出所〉

- 北岡明佳監修, 『錯視完全図解』, ニュートンプレス, 2007年
- 北岡明佳監修, 『だまし絵の世界』, 講談社, 2013年
- 北岡明佳監修, 『トリックアート工作』, あかね書房, 2011年
- アル・セッケル (Al Seckel) 著, 坂根巖夫訳, 『錯視芸術の巨匠たち』, 創元社, 2008年
- 岩手県立美術館, 『福田繁雄大回顧展』, 美術館連絡協議会, 2011年
- 鷺見卓, 『だまし絵』, 中日新聞社, 2009年

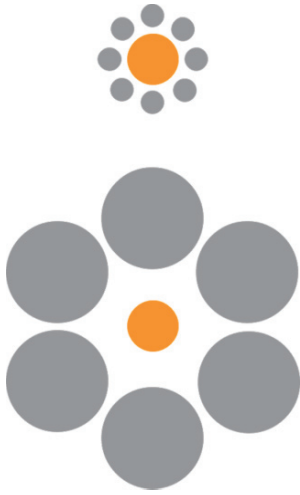
〈付記〉

本稿は, 平成31年度JSPS科研費(奨励研究, 課題番号: 19H00101)の研究成果の一部である。

年 組 番 名前

わかりやすさの調査

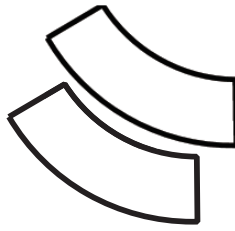
問1) 左右の中央の円の大きさは同じ



1 2 3 4 5
とわわか
てかか
もりる
わやに
かり
かすい
やす
い

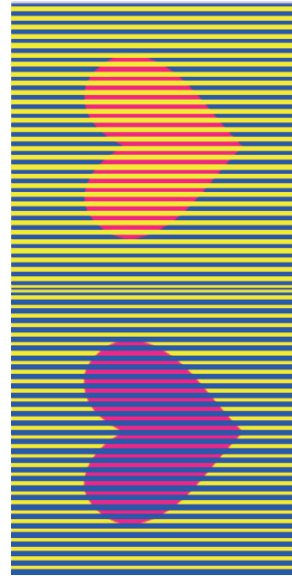
| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 図版 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC1 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC2 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| 実物 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |

問2) 2つの扇形は同じ大きさ



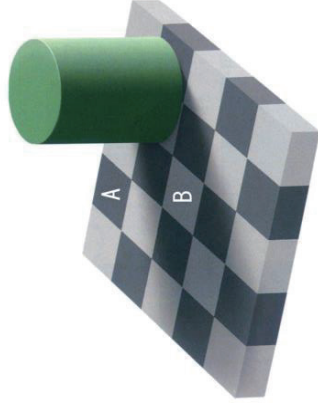
| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 図版 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC1 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC2 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| 実物 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |

問3) 左右のハートの色は同じ



| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 図版 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC1 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC2 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| 実物 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |

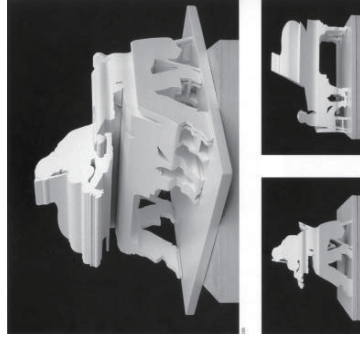
問4) AとBの灰色は同じ明るさ



1 2 3 4 5
とわわか
てかか
もりる
わやに
かり
かすい
やす
い

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 図版 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC1 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC2 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| 実物 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |

問5) 正面と横から見た形が全く違う立体



| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|
| 図版 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC1 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| PC2 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| 実物 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |

「わかりやすさ」についての感想、気づきがあれば書いてください

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|
| 年組 | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| ① | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| ② | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
| ③ | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |

例) 1A5番
1A05をぬりつぶす

資料2

表1 問1) 左右の中央の円の大きさは同じ

| | 図版 | PC1 | PC2 | 実物 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1. とてもわかりやすい | 8 | 112 | 114 | 92 |
| 2. わかりやすい | 11 | 69 | 66 | 80 |
| 3. わかる | 42 | 42 | 45 | 43 |
| 4. わかりにくい | 117 | 7 | 5 | 13 |
| 5. とてもわかりにくい | 53 | 1 | 1 | 3 |
| 合計 | 231 | 231 | 231 | 231 |
| 1 + 2 が全体に占める割合 | 8.2% | 78.4% | 77.9% | 74.5% |
| 4 + 5 が全体に占める割合 | 73.6% | 3.5% | 2.6% | 6.9% |

表2 問2) 2つの扇形は同じ大きさ

| | 図版 | PC1 | PC2 | 実物 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1. とてもわかりやすい | 12 | 106 | 115 | 106 |
| 2. わかりやすい | 16 | 74 | 72 | 68 |
| 3. わかる | 37 | 32 | 25 | 36 |
| 4. わかりにくい | 89 | 14 | 15 | 16 |
| 5. とてもわかりにくい | 77 | 5 | 4 | 4 |
| 合計 | 231 | 231 | 231 | 230 |
| 1 + 2 が全体に占める割合 | 12.1% | 77.9% | 81.0% | 75.7% |
| 4 + 5 が全体に占める割合 | 71.9% | 8.2% | 8.2% | 8.7% |

表3 問3) 左右のハートの色は同じ

| | 図版 | PC1 | PC2 | 実物 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1. とてもわかりやすい | 8 | 70 | 100 | 136 |
| 2. わかりやすい | 14 | 66 | 69 | 51 |
| 3. わかる | 23 | 52 | 39 | 23 |
| 4. わかりにくい | 51 | 31 | 14 | 12 |
| 5. とてもわかりにくい | 135 | 12 | 9 | 8 |
| 合計 | 231 | 231 | 231 | 230 |
| 1 + 2 が全体に占める割合 | 9.5% | 58.9% | 73.2% | 81.3% |
| 4 + 5 が全体に占める割合 | 80.5% | 18.6% | 10.0% | 8.7% |

表4 問4) AとBの灰色は同じ明るさ

| | 図版 | PC1 | PC2 | 実物 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1. とてもわかりやすい | 17 | 63 | 88 | 126 |
| 2. わかりやすい | 21 | 69 | 68 | 59 |
| 3. わかる | 43 | 47 | 44 | 34 |
| 4. わかりにくい | 53 | 34 | 21 | 7 |
| 5. とてもわかりにくい | 97 | 18 | 10 | 5 |
| 合計 | 231 | 231 | 231 | 231 |
| 1 + 2 が全体に占める割合 | 16.5% | 57.1% | 67.5% | 80.1% |
| 4 + 5 が全体に占める割合 | 64.9% | 22.5% | 13.4% | 5.2% |

表5 問5) 正面と横から見た形が全く違う立体

| | 図版 | PC1 | PC2 | 実物 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| 1. とてもわかりやすい | 28 | 108 | 102 | 142 |
| 2. わかりやすい | 28 | 70 | 75 | 50 |
| 3. わかる | 64 | 39 | 42 | 27 |
| 4. わかりにくい | 71 | 11 | 9 | 8 |
| 5. とてもわかりにくい | 40 | 3 | 2 | 3 |
| 合計 | 231 | 231 | 230 | 230 |
| 1 + 2 が全体に占める割合 | 24.2% | 77.1% | 77.0% | 83.5% |
| 4 + 5 が全体に占める割合 | 48.1% | 6.1% | 4.8% | 4.8% |

小数点以下第2位を四捨五入