

## 模範解答を見てもよく分からない生徒のための解説動画による試み

芝浦工業大学システム理工学部 高村真彦<sup>1</sup>  
芝浦工業大学大学院理工学研究科 青木慎恵<sup>2</sup>  
芝浦工業大学工学部 牧下英世<sup>3</sup>

### 1 はじめに

2020年3月、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の拡大防止のため、全国のすべての小中学校、高校、特別支援学校が一斉に臨時休校となった。その影響を受け、文部科学省は2019年12月に発表した「GIGAスクール構想5カ年計画」を前倒し、全国の国公私立小中学校および特別支援学校の児童生徒一人ひとりにタブレットを整備する取り組みを急いだ。都道府県や市区町村の教育委員会主導により、授業動画の配信による学習支援が行われ、休校による学習の遅れを取り戻そうとする試みも見られた。それから4年が経過し、全国の学校にはタブレットとICT環境が整備され、教員のICTを活用するスキルも向上しつつある。その結果、ICTの活用が日常の学校生活に根付いている。現在では、オンラインで動画を用いた学習支援サービス（Edpuzzle）、映像編集ソフト（Camtasia）、多人数参加型のクイズ形式ゲーム（Kahoot!）などを取り入れた授業が徐々に試みられている。また、私たちの研究グループは、2018年度から教育用インタラクティブホワイトボードアプリ「Explain Everything Whiteboard」を用いた数学問題の解説動画を制作し、中学生・高校生や大学生に提供する取り組みを行ってきた（[2], [4], [5], [7]）。

### 2 研究の端緒

高校受験を控えた中学三年生から、「この問題の模範解答を見ても、なぜそう言えるのか、なぜそういう式になるのか、解説文の意味が分からない」という訴えがあった。これをきっかけに、今までの解説動画が、学力に差がある不特定多数の生徒、学生に向かって一般的な解説をしてきたのに対して、今回は質問してきた生徒を対象にマン・ツー・マンで解説するようなアプローチで解説することにした。これはあえて質問してきた生徒の学力に合わせて解説することにより、それを視聴した他の生徒が、「私も同じ疑問を持っていた」と疑問点を共有し、「数学が苦手な自分だけの疑問ではないのだ」と安心させるねらいもあった。冊子の問題集の場合、ページ数の制約から、「同様に計算すると～…」という説明で計算が省略されて、理解が中断してしまう生徒がいる。数学用語をしっかりと理解できていない生徒の場合、例えば、「次の1次方程式を解け」という問題が何を要求しているのか分からない[5]。

模範解答を見てもなぜそのように考えるのか、なぜそのような解き方をするのか、という既習事項がベースになってそういうやり方や考えになるのか理解できない生徒は、試験のために字面だけを追って模範解答を無理矢理覚えようとする。教室では、生徒が数十

<sup>1</sup>E-mail: i037143@shibaura-it.ac.jp

<sup>2</sup>E-mail: nb22101@shibaura-it.ac.jp

<sup>3</sup>E-mail: hideyo@shibaura-it.ac.jp

人おり、理解力も異なる。この状況は習熟度別クラスでも変わらない。授業時間が50分間という時間の制約もあり、個々の生徒に授業の短時間に理解してもらうことは不可能に近い。学力低位の生徒ならばなおさらである。その解決策のひとつとして、問題の解説動画をその生徒の学力に合わせ、個別指導の雰囲気をもったものに心掛け、その動画を Google Classroom にアップして、その Classroom に入室可能な生徒はだれでも毎時間授業で接している教師の解説を繰り返し視聴できるようにした。

本研究は、生徒の「書かれている模範解答を見ても分からない」という声に、その模範解答を動画で解説し、生徒の主体的な学びを中断させないことを目的に始めた実践である。本稿ではこの取り組みによって明らかになったことについて述べる。

### 3 解説動画の制作の過程

当初は、「書かれている模範解答を見ても分からない問題」の模範解答の解説動画を作成していたが、そのうち生徒から「教科書の問題で答えしか示されていない問題」の解説動画や難問と思われる問題の「書かれている模範解答」を解説する動画のリクエストが出てきた [3]。

そこで、本解説動画では、「模範解答に書いてあるこの箇所はこういう意味である」とか「1行目から2行目の間にこういう式が省略されている」など、また、「なぜこういう考えに至るのか」や「既習事項との繋がりはどこか」など、解答に至るまでの過程に重点を置いた動画制作を心掛けた。

#### 3.1 生徒の疑問に対する解説動画の制作の過程

ここでは、生徒からリクエストのあった正八面体の投影図に関する問題（2018年度大阪教育大学附属高等学校池田校舎）の模範解答に対する疑問点を解消するための取り組みについて述べる。

**問題** 下の図1は、1辺の長さ1 cm の正八面体の投影図である。これについて、次の問いに答えなさい。

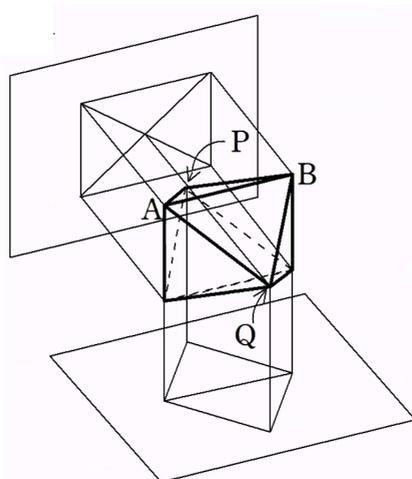


図1

- (1) 正面から見ると正方形で、真上から見るとひし形であるとき (図1), ひし形の面積を求めなさい.
- (2) 図1において, 四面体 PQAB の体積を求めなさい.
- (3) 正面から見ると底辺の長さが 1cm の長方形であるとき (図2), この長方形の面積を求めなさい. また, 真上から見た図をかきなさい.

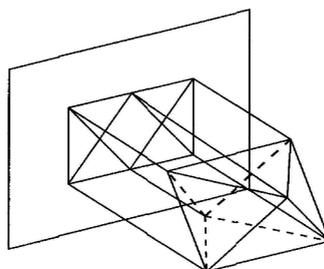


図2

### 模範解答

下線①~⑤は「3.2 生徒の疑問：下線①から下線⑤において説明で工夫したこと」に対応している.

- (1) 正面から見ると正方形, 真上から見るとひし形であるから, AB, PQ はひし形を含む平面と平行である. ① よって, ひし形の対角線の長さは AB, PQ である. ②

AB = 1(cm) であり,  $\triangle APQ$  は直角二等辺三角形だから  $PQ = \sqrt{2}AB = \sqrt{2}$  (cm)

したがって, 求める面積は,  $\frac{1}{2} \times 1 \times \sqrt{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$  (cm<sup>2</sup>)

- (2) B から PQ に下ろした垂線を BH とする. 平面 APQ と平面 BPQ は垂直であるから,  $\triangle APQ$  を四面体 PQAB の底面とみたとき, BH は四面体 PQAB の高さになる. ③

$\triangle BHQ$  は直角二等辺三角形だから,  $BH = \frac{\sqrt{2}}{2}$  (cm)

よって, 求める体積は  $\frac{1}{3} \times \frac{1}{2} \times 1 \times 1 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\sqrt{2}}{12}$  (cm<sup>3</sup>)

- (3) 図3のように, C, E, D, F を定める.

ただし, D, F はそれぞれ正八面体の辺の midpoint である. ④

このとき, (1) より ひし形 CDEF の面積 ⑤ は,  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  (cm<sup>2</sup>) であり, また, ひし形 CDEF の 1 辺の長さは,

$$\frac{1}{2} \times \sqrt{3} = \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ (cm)}$$

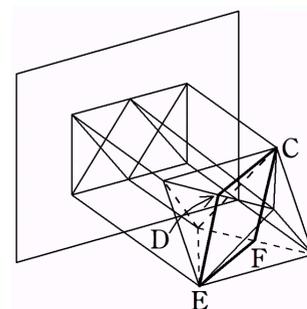
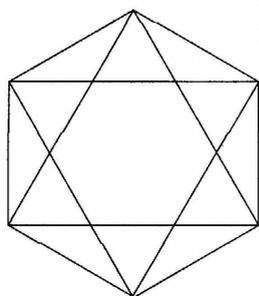


図3

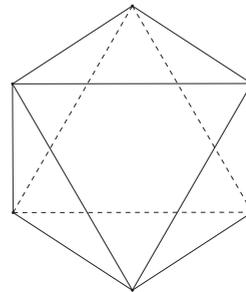
よって, D から辺 EF に下ろした垂線の長さを  $h$ (cm) とすると, ひし形の面積は,

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \times h = \frac{\sqrt{2}}{2} \quad \text{よって,} \quad h = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{6}}{3}$$

したがって、求める面積は、 $1 \times \frac{\sqrt{6}}{3} = \frac{\sqrt{6}}{3}(\text{cm}^2)$



(a) 模範解答の図



(b) 隠線処理をした図

図4 正八面体を真上から見た図

模範解答は「Studyaid D.B. プリント作成ソフト中学校数学」[3] から引用した。

また、真上から見た図は図4(a)のようになる。なお、図4(b)の破線は、3次元グラフィックスで用いられる描画処理で、立体を構成する辺のうち視点からは手前の面などに隠れて見えないはずの線を表す。これを **隠線処理** という。

### 3.2 生徒の疑問：下線①から下線⑤において説明で工夫したこと

次に示すものは、生徒に解説動画を求められた入試問題とその模範解答で、模範解答文中の①から⑤は生徒が疑問に思ったり、分からないと訴えた箇所である。なお、以下で出てくる画面1から画面5は、生徒の疑問に対してどこに工夫をしているかを示す解説動画の画面である。

#### 3.2.1 下線①と解説に工夫した画面1

(生徒の疑問1)

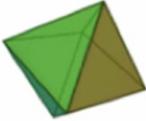
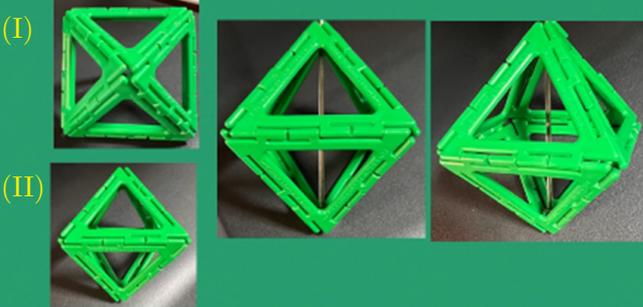
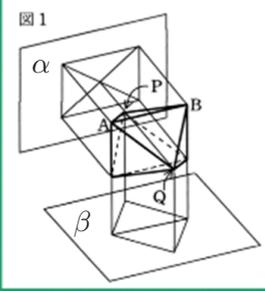
模範解答の「正面から見ると正方形、真上から見るとひし形であるから、AB、PQはひし形を含む平面と平行である。」①とあるが、どうということなのかイメージできない。

(工夫したこと1)

生徒は文章や言葉から図形をイメージすることに困難さを感じているのではないだろうか。画面1で、問題文の「正面から見ると正方形(I)」とは、正八面体を立面図 $\alpha$ へ投影したときの図が正方形になる場合である。また、「真上から見るとひし形(II)」とは、正八面体を平面図 $\beta$ へ投影した図がひし形になる場合である。ここでは画面1のようにポリドロン(以後、模型)を用いて示してみた。ここでは、正八面体の置き方によって投影図が変わることに気付かせるように工夫した。

右の図は、1辺の長さ1 cm の正八面体の投影図である。これについて、次の問いに答えなさい。

(1) 正面から見ると正方形で、真上から見るとひし形であるとき(図1)、ひし形の面積を求めなさい。

画面 1

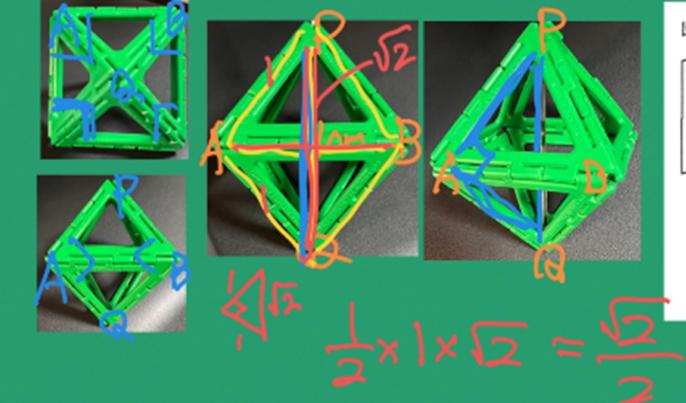
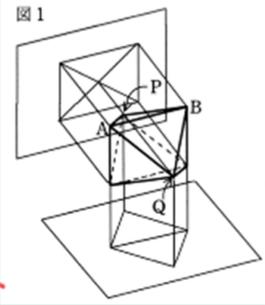
### 3.2.2 下線②と解説に工夫した画面 2

(生徒の疑問 2)

模範解答にひし形の対角線の長さは AB, PQ である。」② とあるが、ひし形の対角線とはどこのことか。

右の図は、1辺の長さ1 cm の正八面体の投影図である。これについて、次の問いに答えなさい。

(1) 正面から見ると正方形で、真上から見るとひし形であるとき(図1)、ひし形の面積を求めなさい。

画面 2

### (工夫したこと 2)

図1だけではP, Q, A, Bの位置がわかりづらいので、画面2のように、模型の写真上に問題で提示されたアルファベットを書き込み、どの部分に注目して面積を求めているのかを説明した。

また、左側2つの写真は、問題文の「(1) 正面から見ると正方形、真上から見るとひし形であるとき」を模型で作った正八面体の模型を見える位置に置いて、生徒が題意を捉えやすいように工夫した。

なお「対角線PQ」の位置を、生徒が与えられた図形から認識しやすいように線分PQの位置に針金を入れて示した。

このように模型を動画によって提示することにより、教師が模型を手を持って説明したり、実物投影機で説明するのと同様に生徒の理解を深めることができた。

### 3.2.3 下線③と解説に工夫した画面 3

#### (生徒の疑問 3)

模範解答に「BからPQに下ろした垂線をBHとする。平面APQと平面BPQは垂直であるから、 $\triangle APQ$ を四面体PQABの底面とみたとき、BHは四面体PQABの高さになる。」とあるが、本当にそのように見えるのかイメージできない。

#### (工夫したこと 3)

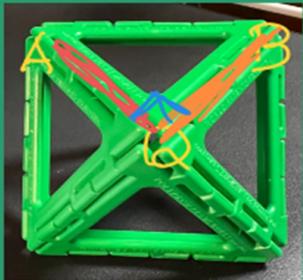
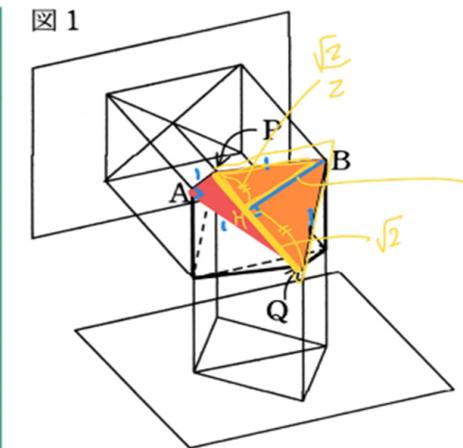
画面3で、図1を模型を使って示したが、四面体PQABをはっきりと意識させるために、見取図も活用した。なお、見取図の作成では、K<sub>E</sub>TCindy3Dを用いた。

この見取図によって、求める四面体PQABの底面APQと高さBHが明確になり、四面体PQABの体積が求められるようになった。

右の図は、1辺の長さ1cmの正八面体の投影図である。これについて、次の問いに答えなさい。

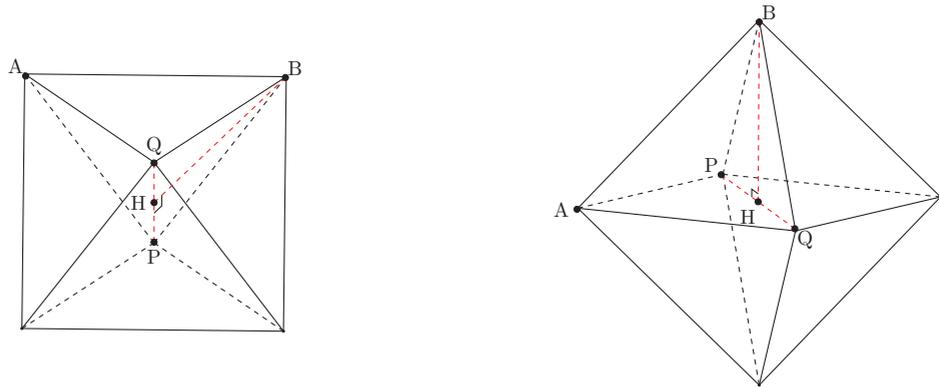
(2) 図1において、四面体PQABの体積を求めなさい。

図1


$$BH = \sqrt{1^2 - \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$\triangle APQ$  (底面)  $\Rightarrow$  高さ (BH)

$$1 \times 1 \times \frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{1}{3} = \frac{\sqrt{2}}{12}$$



(a) 問題の図を隠線処理した図

(b) 問題の図を隠線処理して視点を変えた図

図5 正八面体の見取図

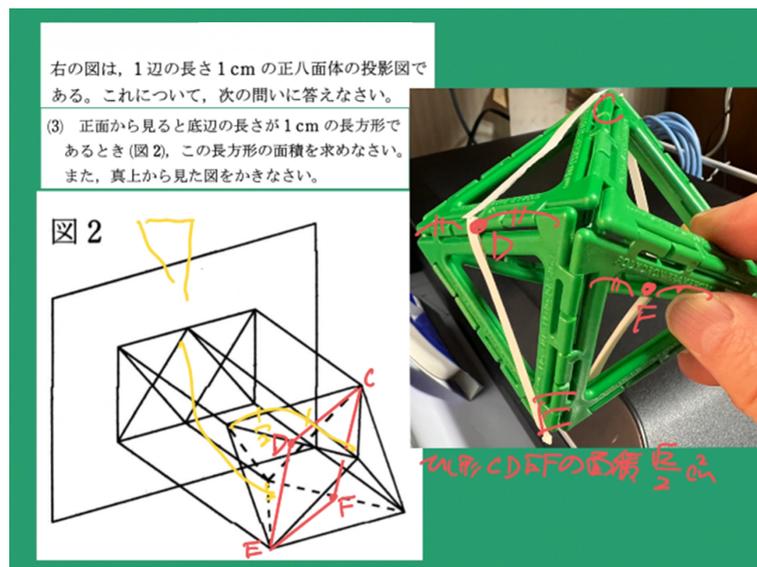
### 3.2.4 下線④と解説に工夫した画面4

(生徒の疑問4)

模範解答に、「右図のように、C、E、D、Fを定める。ただし、D、Fはそれぞれ正八面体の辺の中点である。④とあるが、図2が分かりづらい。

(工夫したこと4)

画面4で、図2を模型を使って、4点C、E、D、Fの位置にテープを貼って示した。さらに、KETCindy3Dを用いて、隠線処理をした正八面体の見取図(図5)にすることで、次の問題に繋がるように工夫した。



画面4

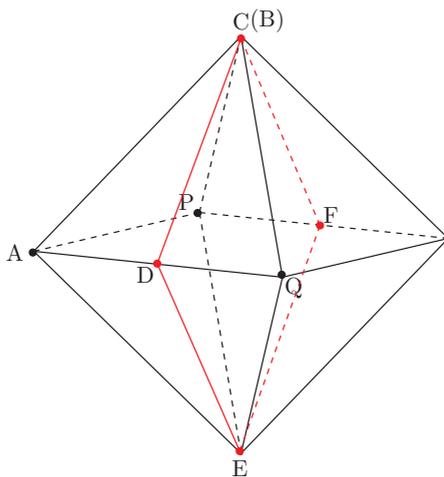


図6 正八面体を四角形CDEFで切断した図

### 3.2.5 下線⑤と解説に工夫した画面5

(生徒の疑問5)

模範解答に「(1)よりひし形CDEFの面積は⑤」とあるが、図2が分かりづらい。

(工夫したこと5)

画面5で、図2を模型を使って真上から見て、問題の場面がどう見えるのか説明した。さらに、問題で与えられた図をK<sub>E</sub>T<sub>C</sub>indy3Dを用いて隠線処理をした見取図(図7、図8)を示すことによって理解が深まるように工夫した。

右の図は、1辺の長さ1cmの正八面体の投影図である。これについて、次の問いに答えなさい。

(3) 正面から見ると底辺の長さが1cmの長方形であるとき(図2)、この長方形の面積を求めなさい。また、真上から見た図をかきなさい。

$$\frac{\sqrt{3}}{2} \times h = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$h = \frac{\sqrt{6}}{3}$$


---

長方形の面積

$$1 \times \frac{\sqrt{6}}{3} = \frac{\sqrt{6}}{3} (\text{cm}^2)$$

画面5 正八面体を隠線処理した見取図

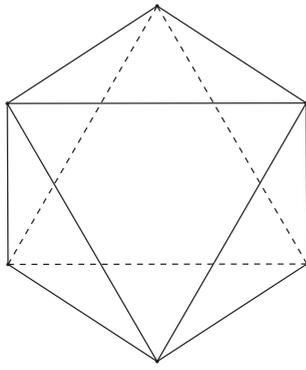


図7 正八面体を隠線処理した図

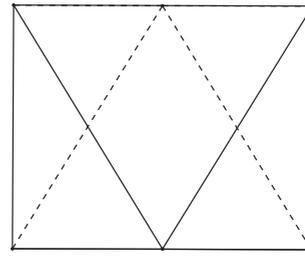


図8 正面から見て長方形が見える図

### 3.3 考察

生徒が模範解答で分かりづらい部分を正八面体の模型を使って解説したが、解説動画を視聴した生徒から画面に示される図がよく分からないという訴えがあった(画面3, 4, 5)。そこで、見取図に隠線処理を施して説明したところ、生徒の理解が深まった。このように、模型だけではなく空間図形を表す効果的な図(この場合、隠線処理を施した図)を提示するは、生徒の図形の見方や考え方を高めることにも繋がること分かった。

## 4 まとめと今後の課題

授業中で教師が実物を手に取って見せたり、実物投影機を使って画面に映したり、生徒一人ひとりにポリドロンのような教具を渡して考えさせることは、一斉授業でもしばしば見られる場面である。一方個別のタブレットに解説動画を提示することは、生徒にとって先生と一緒に考えているという、擬似的な個別指導が体感でき、学習への集中の度合いが高まっていることが実感として見て取れた。また生徒の習熟によっては、繰り返し視聴したり、途中で視聴を止めて自分で思考したり、飛ばしたりすることによって、生徒の理解をより一層深める助けになっていたようである。

今回の解説動画制作の目的は、生徒の主体的な学びを中断させないで支援することであり、平成29年告示の中学校学習指導要領「数学科の目標」にある「数学的に考える資質・能力を育成すること」を念頭に、「こうすれば解ける」とか「この公式を使えば解ける」というハウツー的な解説から、「なぜ模範解答はこう書いているのか」「なぜそういう考えをするのか」「この部分は既習事項のどれを使っているのか」「立体模型をこの方向から見るとなぜこう見えるのか」「グラフはなぜこのように変化するのか」などの“なぜ”を丁寧に解説することを心掛けた。そのためには、生徒の理解を深めるためにICTも活用した(本事例の場合、隠線処理された正八面体の図をさす)。

次は解説動画を視聴して学習した生徒アンケートの回答である。

- 線の書き込みでごちゃごちゃになったとき、いったん消して、改めて書いていたので見やすくなった。
- 図に文字や線などを色分けして書き込むことで、見やすさばかりでなく、条件や求めることは何であるか、明確になった。

- 教科書の問題で答えだけしか載っていない場合の解説は、特に有難かったです。
- 式などをつくる時、なぜその式になったのか説明が分かりやすかった。
- 重要な式などは、把握しやすくするためにポイントとして押さえていた。
- 「こうなるのが分かりますか？」など視聴している人に問いかけをして、たえず寄り添って解説してくれていた。
- だんだん数学が分からなくなってきたときに、この動画のおかげで少しずつ分かるようになりました。
- 難しい問題の解説動画を視聴し分かったときはスッキリしますが、都立高校の自作作成問題をもっと取り上げてほしい。

視聴した生徒からは、たいへん好意的な感想をもらった。アンケートの回答以外にも普段の会話から、数学を考える面白さを体感し、難しいと感じる問題でも、根気よく考え抜くことで正解にたどり着けることを実感したのではないかと感じている。

一般に学習サイトにある動画は、不特定多数の生徒を対象としたものである。しかし今回制作した動画は、習熟の度合を知る特定の生徒を対象とし、その生徒に合わせたより丁寧な解説をしたものである。そのため、それを視聴した学力的に同じような生徒に「私も同じところが分からなかった」と共感され、途中で止めることなく視聴し続けてもらえたようである。このアンケートの更なる分析については今後の課題としたい。

生徒の感想の中には、「解答を見ても理解できないというモヤモヤ感が、解説動画を視聴し、復習することで改善された」というものがあったが、この学習習慣を継続させ、主体的に学習に取り組む姿勢がこれをきっかけに身に付くものなのか注目していきたい。

これまで数学に苦手意識を抱く生徒には「模範解答の丸暗記」や「答えが合っていればよい」といった受動的な学習態度が見られた。こうした生徒に対して、1年次から継続的に“なぜ”に対して解説に特化した「特定の生徒向け動画」を視聴させることによって、「なぜこの式が導かれるのか」といった根本的な疑問に自ら向き合い、主体的に学習を深める態度に変容するか、検証する必要がある。今後の課題としたい。

## 5 謝辞

本研究は、大島利雄先生（城西大学）、山下 哲先生（木更津高専）、西浦孝治先生（福島高専）、濱口直樹先生（長野高専）主催の第6回数学教育セミナー「オンラインを利用した数学教育の現状とこれから」での講演内容をもとにしております。主催者の先生方に、厚くお礼申し上げます。

査読者の先生には貴重な御意見を賜りました。謹んで厚くお礼申し上げます。

なお、本研究は JSPS 科研費 21K02907 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] 岡部恒治. 他：「中学校数学 これからの数学3」, 数研出版, (2021)
- [2] 金森千春, 古宇田大介, 芝辻 正, 石田 唯, 高村真彦, 牧下英世, 中学高等学校における主体的な学習を促す動画教材の開発, 数理解析研究所講究録 **2105** (2019), 59–68.

- [3] 「Studyaid D.B. プリント作成ソフト中学校数学」, 数研出版, (2019)
- [4] 高村真彦, 芝辻 正, 金森千春, 古宇田大介, 神谷隼基, 石田 唯, 菊地 謙, 牧下 英世, ICT を活用した生徒の個 別の学びとその一考察—動画での学びに焦点を当てて—, 数理解析研究所講究録 **2142** (2019), 133–140.
- [5] 高村真彦, 牧下英世, 解説動画の制作とそれを使った演習授業の実際, 数学教育学会 2024 年度春季例会予稿集 (2024) , 24–26.
- [6] 竹山美宏, 数学書の読みかた, 森北出版, (2022)
- [7] 牧下英世, 高村真彦, ICT の利活用と模擬授業による数学科指導法の授業改善の試み, 数学教育学会 2022 年度秋季例会予稿集 (2022) , 89–91.