

書籍をベースとした動画教材によるシミュレーションの実践 とその評価 ～大学生による動画教材作成の試み～

吉野 翔希^{1,a)} 間辺 広樹¹

概要: 新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、オンライン授業に関する議論が盛んである。その方法の一つに、事前に制作した動画教材を学生・生徒に視聴させるオンデマンド型の動画配信授業がある。本研究では、大学生が市販の書籍を元に動画教材を作成し、高校生にオンデマンド配信した。大学生であるから専門性は有していないが、書籍を用いることで内容の信頼性は確保できる。また、高校生とは年齢も近いため、気軽に視聴できるような見せ方の工夫が考えられる。これらのことから、これまで議論されてきた動画配信授業とは異なる学習効果を得られる可能性がある。検証授業の教材は、プログラミング言語 Python を用いたシミュレーションとし、配信の対象を情報を学ぶ高校 1 年生と 2 年生とした。書籍を用いて動画教材を作成・配信することに際しては、事前に著者と出版社の許諾を取った。本稿では、これら一連の学習活動の様子報告し、高校生から得られたコメントの分析結果から学習効果について考察する。

Practice Simulation of Video Teaching Materials Based on Book and its Evaluation ～Attempt to Create Video Teaching Materials by University Student～

1. はじめに

新型コロナウイルスの影響で学校現場では遠隔授業が活発化している。遠隔授業の手法として、受講の際の時間調整や復習が容易な点から動画教材の手法が取られている。文部科学省の調査 [1] によると、教育委員会等が作成した学習動画の活用を行っている高等学校は 30% であり、4 校に 1 校以上は動画教材を用いて学習を行っていることになる。学習効果の高い動画教材とは字幕や重要なポイントを表示するなどの教育アクション付き動画教材であり、映像や音声のみの動画教材と比べて効果が高いことがわかっている [2]。また同調査において教育アクション付き動画教材の方が生徒はやる気になり、記憶にも残ることが示されている。

一方、学習効果が高いだけの動画教材を作っただけではいけないことも指摘されている。教育活動の魅力は「またやって

みたくなる」という気持ちを持たせることである。我が国では「できるようになる一方で、またやってみたくないと」という気持ちの強い傾向があり、このことを踏まえて「もっとやってみたくなる」ことを目標にし、それを実現できる授業設計が求められている [3]。

他方でシミュレーションの学習においては量も少なく、また学習内容としてはシミュレーションを用いた計算であったり、モデル化が主である。そのため高校生の生徒たちにとってシミュレーションを学習する意義が非常に感じづらい状況にある。

以上の点を踏まえて学生という立場から見やすいと感じ、学習効果の高いと予想されるシミュレーションの動画教材を制作した。本稿では制作した動画教材を用いて実際の情報を学ぶ高校 1 年生と 2 年生に学習を行わせた結果を報告する。

2. 高等学校情報科における「モデル化とシミュレーション」の教育

モデル化とシミュレーションは高等学校における、現学

¹ 東海大学
tokai University
^{a)} shokiyoshino0511@gmail.com

習指導要領の情報の中の情報の科学において問題解決とコンピュータに位置づけられている [4]。また 2022 年から年次進行で実施される新学習指導要領の情報 I においてもコンピュータとプログラミングにおいて、モデル化とシミュレーションを学習することになっている [5]。また現学習指導要領の記述には、問題解決を行うための有効な手段としてモデル化とシミュレーションを取り扱うことが重要であるとしている。一方、新学習指導要領にもモデル化とシミュレーションの考え方を様々な場面で活用するために、モデル化とシミュレーションを問題の発見や解決に役立てたり、その結果から問題の適切な解決法を考えたり選択したりする力を養うとしている。

しかしモデル化とシミュレーションの学習は指導の面でも学習の面でも難易度が高いため、授業実践例も少なく、行ったとしてもモデル化の仕方や概念の指導、シミュレーションを用いた計算にとどまってしまうことが多い。そのためシミュレーションを問題の解決に役立てることを生徒が行ったり、その有用性を実感することが難しい状況にある。

教育実践例としては綿貫が行った「身近な問題におけるシミュレーションについての指導」がある [6]。これはコンピュータによるシミュレーションを用いたサイコロの確立の近似と、待ち行列を用いた待ち時間のシミュレーションを行っている。これによってコンピュータでシミュレーションを行うことの意味について生徒に考えさせることができていた。また春日井が行った「問題解決型授業による「モデル化とシミュレーション」の授業実践」もある [7]。これは感染症のシミュレーションを行い、生徒にモデル化とその数式の立式を行わせてシミュレーションを行っている。これについてはモデル化の方に軸が置かれており、数式モデルの表現について生徒に身に着けさせることができていた。だがどちらもシミュレーションが問題解決に役立つことを生徒が実感できたり、問題の適切な解決法を考えられたという結果は得られていなかった。またそのような結果が得られたような授業実践例は少ない。

以上のことから本稿ではシミュレーションに対して重点を置き、生徒がシミュレーションを学ぶことの意味を実感すること、またシミュレーションを問題の解決に役立てられるようにすることを目標とし、授業設計を行う。またその際に、オンライン授業ということと復習が容易であるという点を踏まえて動画教材の手法を用いることとした。

3. 動画教材の制作

動画教材の内容は生徒が身近に感じることができる題材として、コロナ禍ということもあり感染症のシミュレーション学習とした。授業目的はシミュレーションを学ぶことの意味を生徒が実感すること。またシミュレーションが社会の問題解決に役立つことを実感することとした。

オンライン授業での実施ということで、高校生の生徒が個人で学習環境のインストールを行うのは難易度が高いと考え、ウェブブラウザ上で学習が行える Google Colaboratory を学習環境として選んだ。Google Colaboratory が学習環境ということでプログラミング言語は Python とした。シミュレーションの教材として村田剛志の書籍「Python で学ぶネットワーク分析 Colaboratory と NetworkX を使った実践入門」[8] のプログラムを使わせていただき、事前に許可を取った。本来この書籍は大学の講義で使われるような専門性の高いものであり、高校生が手に取るようなものではない。それでもこの書籍のプログラムを選んだ理由としては、数値設定のみを変更してシミュレーションを実行し、感染症の拡大がグラフとして出力されることで、数値設定の影響が視覚的に把握できるからである。モデル化を学ぶことも重要だが、あくまで今回の目的はシミュレーションを学ぶ意義を生徒が実感することである。数値設定を変更し、シミュレーション結果の比較からどのようなことがわかるのか生徒に考えてもらうというところに軸を置いた。

動画教材の制作においては iPad で KineMaster という動画編集アプリを使用して制作した。動画を制作する際のコストを考えた際にこのアプリであれば無料でインストールすることができ、編集も容易に行えた。

以下では動画を作成する際に学生という立場から見やすいと感じ、学習効果の高いと予想される動画教材の作成について述べる。

3.1 基本的な考え方

動画教材を作成する際に気を付けたことは、以下の 5 点である。

- セクションごとに動画内で区切りを持たせる。
- 字幕を導入する。
- カット編集などを用いる。
- 注視してほしいところを強調表示する。
- 生徒が活動する際にはその方向性を示す。

セクションごとに動画内で区切りを持たせるについて、生徒が今何をやっているのか、何を学んでいるのかを明確にすることが目的である。セクションごとに動画内で区切りを設けることで、生徒が重要な部分に気付けるようにした。またセクションごとに動画内で区切りをつけておくことで、あとで見返す際に見たい部分が発見しやすくなるため、復習が容易になる。

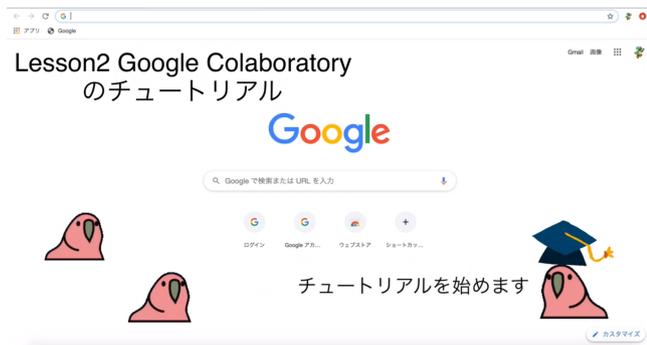


図 1 セクション 2 の画面

字幕の導入について、今回制作した動画教材はフル字幕であり、動画内での発言は全て字幕として表示される。音声だけでは生徒は聞き取ることになってしまうことがある。それを避け、授業そのものに集中させるためにも字幕の導入が必要であると考えた。また動画教材はその特性上、収録などの問題で音声があまのらなかつたりすることがある。それを回避する意味でも字幕は必要であると考えた。

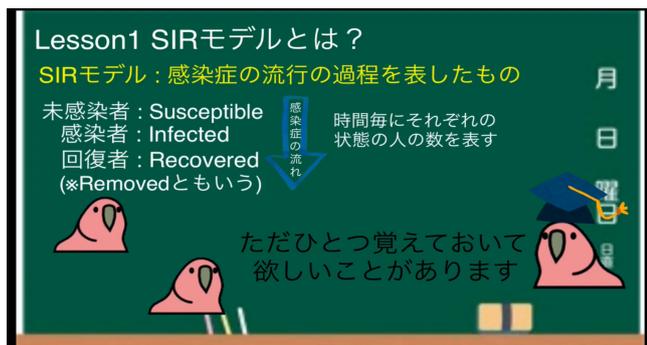


図 2 字幕を用いた様子

カット編集を用いるについて、ページの読み込み時間など授業に必要なないところは動画教材ということを生かして、早送りやカット編集を使い、視聴する際のストレスにならないようにした。今回の動画教材の内容上、事前に画面収録した映像を映すことがあったが、ページの読み込み時間などは可能な限りカットした。理由としては授業に関係のないところであり、動画教材の内容が冗長になってしまう可能性があるからである。

次に注視してほしいところを強調表示するについて、注視してほしい箇所に対して強調表示をしたり、アップ編集を行った。言葉だけでは画面上のどこを見ていいのか生徒からするとわからないことが多々ある。そのため見てほしい場所を編集で囲ったり、その場所のみを見てほしい場合はそこだけのアップを映すなどをして初見でもどこを見ていけばいいのか直感的にわかるようにした。

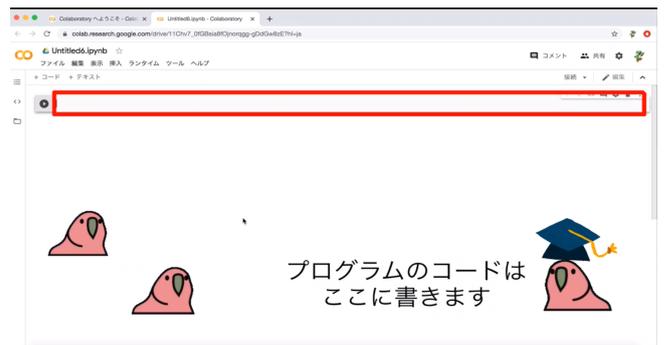


図 3 見てほしいところを強調した図

最後に生徒が活動する際にはその方向性を示すについて、生徒へ課題を出す際にどのように行えばいいのか教員役がその方向性を示すことにした。生徒の大半は初めてのシミュレーション学習であり、どのような結果を出せばいいのか、どのように考えればいいのかその方向性が曖昧である可能性が極めて高かった。また動画教材ということと遠隔授業ということで友人や教員に質問するということが難しい。そこで生徒役の2名が教員への質問として、どのように行えばいいのか聞き、教員が一例を出すという形にして生徒が学習を行いやすくした。



図 4 生徒役が質問を行う図

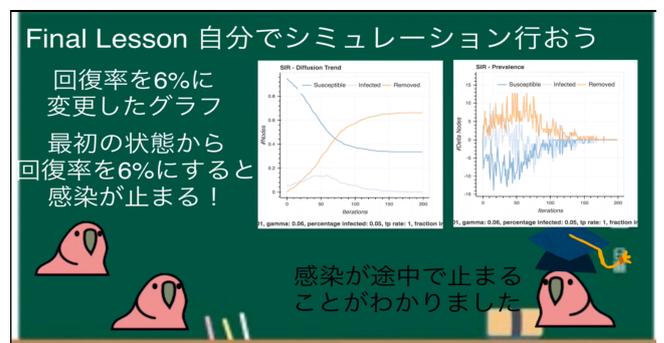


図 5 教員役が質問に答える図

最後に視聴中の興味を促進させることと飽きさせない工夫として、動画教材には各セクションごとに異なるBGMを入れて仕上げた。

3.2 動画教材の構成

まず、本動画教材で学ぶものは世間の現状を踏まえて感染症のシミュレーションだと生徒に伝えた。

次に参考著作の紹介と事前に使用許諾をとっていることを伝え、著作権を守ることの必要性を説明した後に授業へ入った。

授業ではまず最初に感染症のシミュレーションを行う準備として、SIR モデルについての概要を説明した。SIR モデルは非感染者、感染者、回復者と3つの状態について考え、感染症の流行の過程を表したものである。それぞれの状態の人数の具体的な数値の計算方法は極限や微分を用いるものであり、高校1年生と2年生のレベルを逸脱するため紹介程度に留めた。その代わりに生徒たちには計算やシミュレーションを行う際に以下の4つが重要な要素になることを覚えさせた。

- 感染症を発症する確率
- 感染症が治る確率
- 初期の感染者数
- 人同士の接触率

次に学習環境のシミュレーションを行う Google Colaboratory の説明を行った。最初に Google アカウントの作成方法について教えた後に Google Colaboratory の使い方を説明した。その際に文字を出力する簡単なプログラムを生徒と行い、プログラムを打ち間違えたときの対処、プログラムの実行方法、プログラムの保存方法を学ばせた。

Google Colaboratory の基本的な扱い方を学んだら次は実際にシミュレーションのプログラムを打たせた。これは事前に生徒に配布したプログラムのコードをコピーしてもらい、長いプログラムを打つのを回避することにした。理由としてはプログラムを打つことがメインの内容ではなく、あくまでシミュレーションを学ぶことが大切だと考えたためである。そしてそのプログラムを実行した際に出力されるグラフの見方を解説した後に生徒たちが主体となってシミュレーションを行わせた。

生徒が行ったシミュレーションの内容は先ほど記述した4つの値と、全体の人数を加えた以下の5つの値を変更した際にどのようなことがわかるのかそれぞれで考えてもらうというものである。

- 全体の人数
- 感染症を発症する確率
- 感染症が治る確率
- 初期の感染者数
- 人同士の接触率

数値を変更した結果と、そこから考えられることを生徒に考えさせて本動画教材は終了となる。授業内容は約10分間の動画教材となった。

4. 高等学校の授業での活用

ここでは実際に学習をさせた生徒と授業の流れについて述べる。

4.1 対象の生徒

高等学校におけるモデル化とシミュレーションの学習を夏休みの課題として、神奈川県立柏陽高等学校の1年生と2年生を対象に学習させた。1年生は Python の学習経験はないが、ほかの動画教材でドリトルを学んでおり、プログラミングは初めてではない。また2年生においては1年生の時点で Python の基礎は学習済みであり、ある程度のプログラミングは慣れている生徒である。またどちらの学年の生徒も Google Colaboratory での学習は初めてであり、学習にあたっては学習環境の使い方から指導する必要がある。

4.2 授業の流れ

本動画教材は同高校で情報を指導している共著者が夏休みの課題の動画教材として配信を行った。本動画教材と一緒に授業で使う感染症のシミュレーションのプログラムコードも配布した。動画教材冒頭で大学生が作成した動画教材であることを説明した後、学習を行わせ、生徒が各自で行ったシミュレーションの結果と考えたことを表1のアンケートと一緒に提出させた。アンケートと課題の提出は Google フォームを活用し、生徒に配布した URL から回答させた。

表 1 生徒に答えさせたアンケート

番号	質問内容
1	学年, 組み, 出席番号を入力してください
2	授業ビデオはわかりやすかったですか?
3	授業ビデオは見やすかったですか? (画質や音質, 説明のわかりやすさなど)
4	SIR モデルについて概要は理解できましたか?
5	Google Colaboratory の使い方は分かりましたか?
6	シミュレーションはどの端末で行いましたか?
7	シミュレーションについて概要は理解できましたか?
8	シミュレーションを行う際に, 何が難しかったですか?
9	授業ビデオを見て, 感想を記入してください
10	今回の授業で大切だと思ったところはどこですか?
11	シミュレーションを行ってどんな結果が得られましたか? また, どんなことを考えましたか?
12	今回の授業について, もっとこうしたらいいんじゃないか, などの改善点はありますか?
13	今回の授業は楽しかったですか?
14	その他, 何かありましたら記入してください

5. 結果

本動画教材を公開した結果 485 名から課題の提出とフィードバックを得ることができた。

まず動画教材が生徒にとってわかりやすいものだったかというアンケートの結果は図 6 のようになった。

授業ビデオはわかりやすかったですか？
485 件の回答

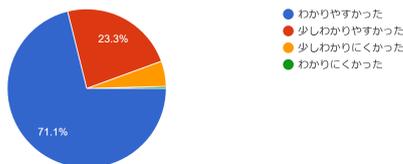


図 6 動画教材のわかりやすさ (n=485)

動画教材が生徒の理解を助けたものとして、生徒の感想から「セクションごとに段階を踏まえて説明がされていてわかりやすかった.」、「自分が疑問に思ったところを生徒役が質問してくれてよかった.」、「生徒役と教員役の対話形式で、生徒目線の人が入ったからわかりやすかった.」、「実際にやっている画面を見せてくれたので、自分と比較できてわかりやすかった.」、「字幕があることでメモが取りやすかった」などの記述がみられた。

次に動画教材が生徒にとって見やすいものだったかというアンケートの結果は図 7 のようになった。

授業ビデオは見やすかったですか？ (画質や音質、説明のわかりやすさなど)
485 件の回答

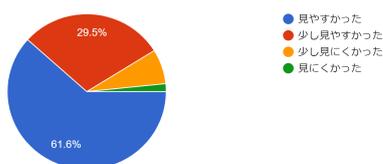


図 7 動画教材の見やすさ (n=485)

動画教材が見やすいものになった理由として、生徒の感想から「画質がよく、何が書いてあるのかよく見えた.」、「説明の時に、赤い線を使っていて、どこを説明しているのかわかりやすかった.」、「セクションごとに分けられていて、これからどういう説明がされるのか想像しやすかった.」、「流行りのネタを取り入れていて堅苦しくなく見れた.」などの記述がみられた。

次に授業で扱った SIR モデルと Google Colaboratory の使い方について理解できたかのアンケートを図 8 と図 9 に示す。

SIRモデルについて概要は理解できましたか？
485 件の回答

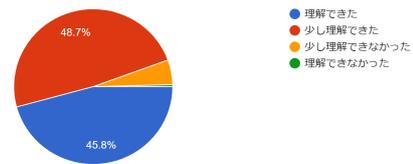


図 8 SIR モデルの理解度 (n=485)

Google Colaboratoryの使い方は分かりましたか？
485 件の回答

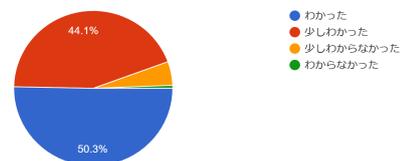


図 9 Google Colaboraty の使い方の理解度 (n=485)

動画教材が SIR モデルについての理解と Google Colaboratory の使い方の理解を助けたものとして、生徒の感想から「SIR モデルの名前の由来から教えてもらえてわかりやすかった.」、「重要どころが強調されていてよかった.」、「動画と一緒に操作できたからわかりやすかった.」などの記述がみられた。

次に授業で生徒がどの端末でシミュレーションを行ったかのアンケートを図 10 のようになった。

シミュレーションはどの端末で行いましたか？
485 件の回答



図 10 使用した端末の割合 (n=485)

結果としては PC が一番多くの割合を占めているが、スマートフォンを利用した学生も数多くみられる結果となった。

次にシミュレーションについての概要が理解できたかというアンケートの結果は図 11 のようになった。

シミュレーションについて概要は理解できましたか？
485件の回答

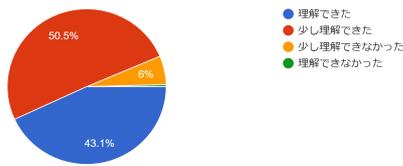


図 11 シミュレーションの概要の理解度 (n=485)

動画教材を用いて、シミュレーション学習を行った結果、生徒の感想から「普段ニュースで出ている感染症の予測はこのように行っているとわかった.」, 「実際には長い時間観察を続けなければいけないところを、シミュレーションを使えば簡単に予測できると気づいた.」, 「感染症についてだけでなく、いろいろな数値について予測ができると気づいた.」などの記述がみられた。

次に生徒がシミュレーション学習を行う上で、何を困難に感じたかのアンケートは図 12 のようになった。

シミュレーションを行う際に、何が難しかったですか？(複数回答可)
485件の回答

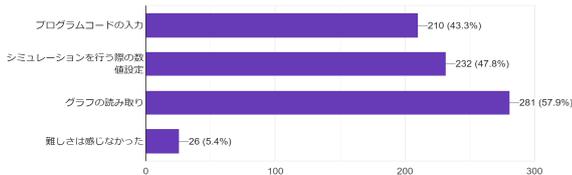


図 12 シミュレーションで生徒が困難を感じるものの割合 (n=485)

事前にプログラムの入力に関してはコピペをするように言っていたが、気付かなかった生徒が大勢いたように見受けられた。しかし長いプログラムを高校生が書くにはかなりの困難を感じると感想などからも把握することができた。

また、シミュレーションを行う際の数値設定やグラフの読み取りなども半数の生徒が困難を感じたことが見受けられた。一方、難しさを感じなかった生徒は全体でも 5.4% であり、かなりの少数であることがわかった。

最後に授業が生徒にとって楽しいものだったかのアンケートは図 13 のようになった。

今回の授業は楽しかったですか？
485件の回答

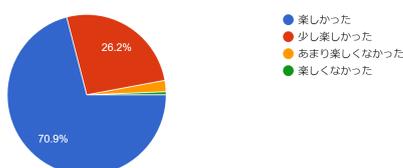


図 13 動画教材の楽しさ (n=485)

動画教材の授業が面白かった理由として、生徒の感想から「キャラクターが授業をしているのがよかった.」, 「わかりやすい授業で、全体的にコミカルに作られていたのがよかった.」, 「BGM がついていて楽しく授業が受けれた.」, 「流行りのネタを取り入れてて楽しかった.」などの記述がみられた。

また、その他の感想や個人が大切だと思ったところのアンケートでは以下のような内容の記述が目立った。

- 動画教材を作成したのが自分たちとあまり年の変わらない大学生であり、著作権の利用許諾をとっている姿を見て著作権を守る大切さに気づいた。
- シミュレーションを行う際に実行結果を予想しながら行うことが大事だと思った。
- ニュースなどの情報を頼りにシミュレーションを行った。
- 些細な数値の変化で大きく結果が変化することに驚いた。

また授業内容以外にも、動画教材の構成に対しての記述も目立った。

- 物事を相手に説明する際には、聞き手の人が飽きないように工夫を施すことが大切だと思った。
- 動画全体で統一感や多少の面白い要素があると見やすく、動画教材には大切なんだと思った。
- 視聴者の関心、興味をつかむことが大切なんだと思った。シミュレーションの結果と考えたことに関しては以下のような記述が目立った。

- 人同士の接触率を下げたら感染者の増加が落ち着き、感染症の拡大が止まったので、現実でも人との接触を抑えることが大事だと感じた。
- 回復率を上げることで感染症の拡大が止まったことから、今起きている感染症の問題もワクチンなどができたら収まると思った。ワクチンの大切さを実感した。
- 感染症の収束の時期が予測できたから、今延期しているオリンピックなどの開催時期などの決定に使えるのではないかと思った。

またこの他にも感染症の拡大防止のために何をすればいいのかという記述が多くみられ、問題解決に役立つことを生徒が実感できた結果となった。

次に1年生と2年生についての学習効果の違いについてまとめる。

表 2 に示す通り、自己評価では1年生と2年生に学習における差は見受けられなかった。また、シミュレーションの結果においてもどちらの学年も同様の結果を出しており、感染症の拡大を抑えるためにどうしたらいいのか考察できていた。

本動画教材を作成するにあたって参考にした著書は専門性の高いものだったが、高校1年生と2年生が学習を行っても十分の内容理解と考察ができていた。

表 2 1 年生と 2 年生の比較

授業ビデオはわかりやすかったですか？				
学年	わかりやすかった	少しわかりやすかった	少しわかりにくかった	わかりにくかった
1 年生	73.9%	21.1%	4.6%	0.5%
2 年生	68.9%	25.1%	5.6%	0.4%
授業ビデオは見やすかったですか？（画質や音質，説明のわかりやすさなど）				
学年	見やすかった	少し見やすかった	少し見にくかった	見にくかった
1 年生	58.7%	33.5%	6.4%	1.4%
2 年生	64.0%	26.2%	7.9%	1.9%
SIR モデルについて概要は理解できましたか？				
学年	理解できた	少し理解できた	少し理解できなかった	理解できなかった
1 年生	42.2%	52.8%	4.1%	0.9%
2 年生	48.7%	45.3%	6.0%	0%
Google Colaboratory の使い方はわかりましたか？				
学年	わかった	少しわかった	少しわからなかった	わからなかった
1 年生	48.2%	45.9%	5.5%	0.5%
2 年生	52.1%	42.7%	4.5%	0.7%
シミュレーションについて概要は理解できましたか？				
学年	理解できた	少し理解できた	少し理解できなかった	理解できなかった
1 年生	43.1%	51.8%	4.6%	0.5%
2 年生	43.1%	49.4%	7.1%	0.4%
今回の授業は楽しかったですか？				
学年	楽しかった	少し楽しかった	少し楽しくなかった	楽しくなかった
1 年生	72.9%	23.9%	2.3%	0.9%
2 年生	69.3%	28.1%	2.2%	0.4%

6. 考察

生徒に実施したアンケートの結果から今回行った動画教材を用いた授業について考察を行う。

まず動画教材において、内容ごとに動画に区切りを設けることで生徒の学習効率が上がる可能性が示唆された。また動画教材で注入型の授業を展開するとオンライン授業の特性上、他者に質問しづらいため生徒の疑問が解消されない可能性がある。そこで生徒役と教員役で役割を分けることで生徒の疑問が解消されるのと同時に理解が促進されることがわかった。またニュースの情報を用いてシミュレーションを行う生徒が多数いたことから、身近な内容を学習に取り入れることで、生徒が日常の事象と学習を結び付けて考えられる可能性が示唆された。生徒がシミュレーション学習で考えたことから、シミュレーションの題材を生徒の日常に関連付けることでシミュレーションが問題解決に役立つことを生徒に実感させられる可能性が示唆された。動画教材において、生徒が作業を行う場合には画面収録などを用いて、教員と同時に作業を行うようにすることでスムーズな授業展開ができることがわかった。動画教材で使用した BGM について、学習が楽しいものになり理解も捗ったという生徒もいる一方で、無い方がいいという生徒もいた。そのため動画教材において BGM が学習効率を上げる可能性については一概には言えず、BGM の有無によって動画を作り分けたほうが良い可能性が示唆された。

「今回の授業で大切だと思ったところはどこですか？」という質問で、授業内容以外で動画教材の構成についての記述があったことから動画教材の作成方法によっては人への伝え方など、授業内容以外のことについても生徒が学習できる可能性が示唆された。1 年生と 2 年生の学習状況の比較において差は見受けられなかったことから、動画教材の作成方法によってはプログラミング言語の理解の差によってシミュレーション教育の効果に影響がないことが示唆された。最後に専門性の高い教材を用いても動画教材の工夫によっては高校生にも十分な教育が行えることがわかった。

7. まとめ

本稿では、シミュレーション学習において学習効果が高いと予想され、またやってみたくなるような動画教材を作成し、実際の高校生に配信した。実際に作成した動画教材は、字幕や生徒に注視してもらいたい箇所に対して強調させるなどの編集を行った。また内容ごとに動画内で区切りを設けたり、生徒役と教員役で役割分担をするなどの工夫を行った。これにより、実際に視聴した生徒は理解が捗ったり、見やすいと感じることがわかった。また授業後に実施したアンケートでも高い水準で効果があったことが示された。モデル化とシミュレーションの学習においては、シミュレーションの学習に対して重点を置き、シミュレーションの結果からどのようなことが考えられるのか生徒に考えさせた。その結果、シミュレーションが問題解決に役

立つことを生徒に実感させることができた。また授業内容で生徒の身近にあるものを題材にすることによって、日常の事象と学習について関連付けて考えられていた。今回の動画教材を作成する際に参考にした著書は専門性の高いものだったが、高校生にも十分な教育を行えたことが結果から示せた。

今後は生徒から受け取った改善提案から、より良い動画教材の作成を行っていききたい。

参考文献

- [1] 文部科学省：新型コロナウイルス感染症の影響を踏まえた公立学校における学習指導等に関する状況について(2020).
- [2] デジタル・ナレッジ：動画教材の利用に関する意識調査と動画教材の学習効果検証報告書(2013).
- [3] 鈴木克明：e-learning 実践のためのインストラクショナル・デザイン，日本教育工学会論文誌 29(3)，pp.197-205(2005).
- [4] 文部科学省：高等学校学習指導要領解説（平成 21 年告示）情報編
- [5] 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説 情報編
- [6] 綿貫俊之：授業実践 身近な事象におけるシミュレーションについての指導—「モデル化とシミュレーション」実践報告，じっきょう 情報教育資料 (28)，pp.12-15., (2010).
- [7] 春日井優：問題解決型授業による「モデル化とシミュレーション」の授業実践，第 9 回全国高等学校情報教育研究会全国大会（神奈川大会），(2016).
- [8] 村田剛志：Python で学ぶネットワーク分析 Colaboratory と NetworkX を使った実践入門，オーム社，(2019).