



東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

感染症疫学を学校教育に導入するためのエクセル教材の開発とその実践

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 東京学芸大学教育実践研究推進本部 公開日: 2023-11-22 キーワード (Ja): 感染症疫学, 数理モデル, 学校教育 キーワード (En): Infectious disease epidemiology, Mathematical model, School education 作成者: 高橋, 光希, 原田, 和雄 メールアドレス: 所属: 東京学芸大学, 東京学芸大学
URL	http://hdl.handle.net/2309/0002000133

感染症疫学を学校教育に導入するための エクセル教材の開発とその実践

高 橋 光 希^{*1}・原 田 和 雄^{*2}

生命科学分野

(2023年5月31日受理)

TAKAHASHI, M. and HARADA, K.: Development and Practicing of an Excel Teaching Material for Infectious Disease Epidemiology in School Education. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **75** : 33-43. (2023) ISSN 2434-9380

Abstract

The COVID-19 pandemic has highlighted the importance of understanding and controlling the spread of infectious diseases. Infectious disease epidemiology provides a framework for understanding and predicting the spread of infectious diseases in a quantitative manner. In this study, we developed an Excel teaching material with the aim of introducing infectious disease epidemiology in school education. Excel spread sheets consisting of simplified mathematical models were constructed so that students could change various epidemic indexes and simulate changes in the speed and magnitude of the spread of the infectious disease. Using the Excel teaching material, 10th grade students first learned the basic concepts of infectious disease epidemiology, such as basic reproduction number and critical immunity ratio. Next, students learned about the effects of infectious disease control measures by varying the vaccination rate and the percentage of contact reduction in response to the declaration of a state of emergency. Finally, the students learned the usefulness of mathematical models in actual infectious diseases by simulating the transition of the infectious population using the mathematical model. According to a questionnaire conducted after the class, the level of understanding of the contents was very high at around 95%, and many students commented that the simulation of the mathematical model was very meaningful. We believe that the teaching materials developed in this study are useful not only for incorporating infectious disease epidemiology in school education, but also for raising awareness of infectious disease control.

Keywords: Infectious disease epidemiology, Mathematical model, School education

Department of Life Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要 旨

COVID-19の大流行により、人々は感染症を理解・制御する必要性が浮き彫りになった。感染症疫学は、感染症の広がりやを定量的に把握・予測するための枠組みを提供するものであり、感染症の理解・制御において重要な学問領域である一方、現在の学校教育では学ぶ機会がない。本研究では、学校教育において感染症疫学を導入することを目的として、エクセル教材を開発した。通常は微分方程式で記述される感染症の数理モデルをエクセルの表計算

*1 東京学芸大学 大学院教育学研究科修士課程 次世代日本型教育システム研究開発専攻 (184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1) (現所属: さいたま市立大砂土中学校 (337-0051 埼玉県さいたま市見沼区東大宮 1-100-1))

*2 東京学芸大学 広域自然科学講座 生命科学分野 (184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1)

でも計算可能なように簡易化し、様々な疫学指標を変化させ、感染症の拡大の速度と大きさの変化をシミュレーションできるようにした。高校1年生を対象とした授業実践では、開発したエクセル教材を配布し、数理モデルのパラメーターを生徒に操作させた。生徒はまず、基本再生産数や臨界免疫割合といった、感染症疫学の基本的な概念を学んだ。また、ワクチン接種率や非常事態宣言による接触減を変化させ、感染症対策の効果について学習した。最後に、新規感染者数の推移のシミュレーション結果を実際のデータと比較することで、数理モデルの有用性を確認した。授業後に行ったアンケートを分析すると、内容の理解度は約95%と非常に高く、数理モデルのシミュレーションが非常に有意義であったという感想が多くみられた。本研究で開発した教材は、学校教育に感染症疫学を取り入れるだけでなく、感染症対策への意識を高めるためにも有用であると考えられる。

キーワード：感染症疫学，数理モデル，学校教育

1. はじめに

感染症とは病原微生物の感染により引き起こされた疾病を指し、古くから人々を苦しめてきた。感染症に対応するための学問体系として感染症疫学が発展してきた。感染症疫学により、ある人間集団の中の感染症の頻度や分布およびそれらに影響を与える要因を明らかにし、感染症に対する有効な対策を考えることができる。例えば、1854年にロンドンでコレラが流行した際、John Snowはコレラの患者と死者の家の場所や死亡日を詳細に調べ、共同井戸が原因である仮説にたどり着いた。そして、その井戸を使用禁止にしたことでさらなる流行を防げたといわれている（日本疫学会，2018）。この例から分かるように、感染症対策を考えるためにまず重要なことは、集団における感染状況を調査・把握することであり、その理論体系を提供するのが感染症疫学である。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行により、インターネットやマスコミでは新規陽性者数や死亡者数などのデータが日々報じられている。このような、感染症の流行を評価するためのデータを疫学指標という（柳川，尾島，2022）。政府の専門家会議ではこれらの疫学指標をもとに感染状況を把握し、今後の予測を行い感染症対策に関する政策を検討している。その手法として感染症の数理モデルであるコンパートメントモデルが広く用いられている。これは一般には流行が進行している人口をいくつかの区画に分類し、それぞれの区画を微分方程式で記述したものである（西浦，2021）。専門家らはこの数理モデルにそれぞれ独自の知見に基づいてビッグデータや機械学習を取り入れ、多岐にわたるパラメーターを考慮した予測を行っている。そのため、国民の多くは日々報じられるデータや感染予測に興味を持つが、その過程などについての深い理解には至っていないと考えられる。さらに、学校教育では感染症予防は中学校保健体育科

「保健分野」および、高等学校の教科「保健」で扱われているが、疫学に焦点を置いた内容ではないため、感染症疫学について学ぶ機会はほとんどない（北川ほか，2017）。そこで、COVID-19の流行によりメディアでは疫学指標が取り上げられている一方、その内容を学ぶ機会は乏しいというギャップを埋めるような教育活動が必要と考えられる。そのような取り組みとして、高等学校の授業で感染症数理モデルを扱ったものがある（中本，御園，2022）。当該事例は感染症数理モデルの数学的モデリングとしての教材化に焦点を当てることで、数学の有用性を認識させることには優れている一方、本研究で目指すような感染症の拡大や感染症対策の効果を実感することで感染症疫学の理解に繋げることを目指したものではない。

本研究では、疫学指標をもとに感染状況の把握、予測をする一つの主要な方法である感染症数理モデルを学校教育に取り入れることを目的に、簡易化した教材を表計算ソフトエクセルで開発し授業実践を行った。エクセルを用いる利点として、広く普及しているソフトウェアであるため多くの学校教育現場で利用可能なことに加え、シミュレーションの操作も親しみやすいインターフェースで行えることが挙げられる。まず、本来は微分方程式で記述される感染症数理モデルを、微分のない式に近似し、エクセルで計算可能にした。そして、ワクチン接種率や緊急事態宣言による接触減の割合などのパラメーターを表計算に組み込んで、感染症対策の効果を学べるようにした。また、実際のCOVID-19の流行における感染者数の推移を数理モデルで再現する教材を作製した。これらの教材を用いて感染症疫学についての講義を行い、質問紙により感染症疫学における数理モデルの意義の認識について調査した。COVID-19の流行により感染症の制御がこれまで以上に必要になった状況を踏まえ、本研究で感染症疫学や数理モデルの理解に繋げるための学習教材の開発・実践を行うことは、感染症とともに生きるこれか

らの世代に対する教育の第一歩となりうる。

2. 研究の原理と方法

2. 1 感染症数理モデルの原理

感染症の拡がりを数式によって記述する感染症数理モデルとして最もよく知られているものの一つに、KermackとMcKendrickによって提唱されたSIRモデルがある（Kermack & McKendrick, 1927）。これは集団を感受人口 S 、感染人口 I 、回復/隔離人口 R の3つの区画に分けて考えるものである。感染症の拡がり方は病原体によって異なるため、それに合わせて数理モデルにも様々なものがある。本研究ではCOVID-19を中心にした教材を開発するため、COVID-19で多くの利用実績のあるSEIRモデルを用いた（鈴木、西浦, 2020；Kuniya, 2020）。これはSIRモデルに対して曝露人口 E を加えた4つの区画で集団を表すモデルで、図1のような模式図で表される。また、本項で説明するSEIRモデルの変数・パラメーターを表1に、SEIRモデルに当てはめた、典型的な感染者におけるウイルス量の遷移を図2に示す。

これらのパラメーターのうち、感染症疫学において基本的、かつ理解しやすいものとして基本再生産数 R_0 がある。これは、全員が感受性をもつ集団の中で、1人の感染者が感染症をうつす平均人数である。感染症ごとに R_0 は推定されており、SARS-CoV-2の R_0 は2.87 (95% CI, 2.39–3.44) と推定した報告がある（Hay,

et al., 2013; Billah, *et al.*, 2020）。基本再生産数は、数理モデルのパラメーターである一日当たりの感染率を表す係数 β 、および、感染から回復までの平均日数である平均感染性期間 $1/\gamma$ を用いて

$$R_0 = \frac{\beta}{\gamma}$$

という式で表される（表1）（鈴木、西浦, 2020）。なお、平均感染待ち時間 $1/\varepsilon$ は感染源に曝されてから感染性をもつ（他人に感染症をうつすようになる）までの期間を意味する（図2）。

感染症対策下の実際の再生産数のことを実効再生産数 R_t とよぶ。マスクや手洗い、あるいは緊急事態宣言による接触減などの感染症対策を行うと、感染源にさらされる機会が低減される。その低減率を p とすると、 R_t は

$$R_t = (1-p)R_0$$

の式で表される（表1）（鈴木、西浦, 2020）。実効再生産数は1人の感染者が実際に感染症をうつす平均人数であることから、感染症対策は $R_t < 1$ となることを目安に行う必要があると分かる。これを満たすものとして上式を p について解くと

$$p > 1 - \frac{1}{R_0}$$

となる（表1）。また、ワクチン接種率についても同様に考えることができる。上式の p をワクチン接種率 v に置き換えた式は、基本再生産数の推定された

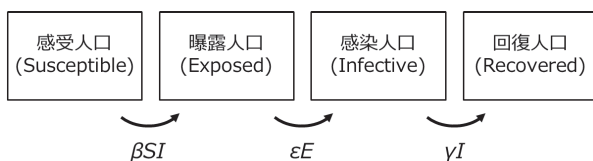


図1 SEIRモデルの模式図

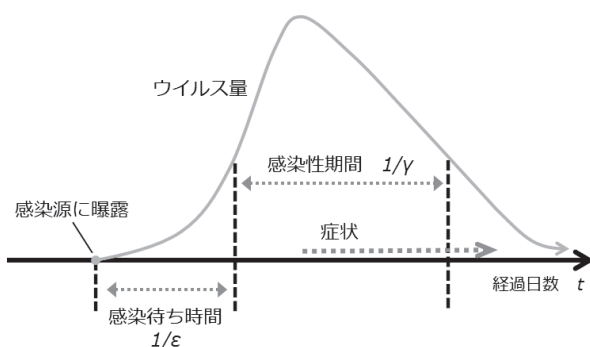


図2 感染状況とウイルス量の遷移

表1 SEIRモデルの変数・パラメーター

変数・パラメーター	値
t	経過日数
S	感受人口
E	曝露人口
I	感染人口
R	回復人口
R_0	基本再生産数
β	感染率
$1/\varepsilon$	平均感染待ち時間（日）
$1/\gamma$	平均感染性期間（日）
p	低減率
v	ワクチン接種率

感染症に対する、ワクチン接種率の目標値として用いられている（表1）。具体例を示すと、SARS-CoV-2の R_0 として先述の2.87を代入すれば $v > 0.65$ となる。つまり、COVID-19の流行をワクチン接種のみで抑えるには、総人口の65%以上がワクチンを接種すればよいことが分かる。ただし、この数値はワクチン接種者が一様に免疫を獲得し、かつその免疫が恒久的に失われないと仮定した時のみ成立するものであり、実際の数値とは異なる点に留意したい。なお、上式の右辺のことを臨界免疫割合という（西浦，楊，2019）。

2. 2 教材の開発

2. 2. 1 感染症数理モデルのエクセルへの実装

専門家が実際に用いるようなソフトウェアは有償であったり操作に専門知識が必要であったりすることから、学校教育への導入は難しいと考えられる。そこで、本研究では学校教育により浸透しやすくするために、教育現場で広く用いられている表計算ソフトのエクセルを用いて教材開発を行った。エクセルではSEIRモデルの微分方程式を解けないため、単位時間を1日として差分方程式の形に近似し計算を行うシートを作成した（図3）。各区画の初期値については図3に示す。

この計算結果をグラフ化するにあたり、横軸を経過日数、第一縦軸を感受人口、曝露人口、回復人口の割合、第二縦軸を回復人口の割合として散布図の曲線で描画した。緊急事態宣言下は表計算では宣言のセルに1が表示される設定になっているため、それを透過率80%の集合縦棒で描画した（図4 A-D）。なお、図4については後述の授業実践の節にて詳しく述べる。

2. 2. 2 新規感染者数の比較の実装

基本再生産数やワクチン接種率などが感染状況に与える影響を同じシートで同時に比較できるように、各条件での1日当たりの新規感染者数のみを描画するシートを作成した。経過日数 t における新規感染者数 $Y_{(t)}$ は（Kuniya, 2020）を参考に、感染人口のうち検査を受けて感染者として報告される割合である報告率を d ($0 < d \leq 1$) として次の式で求めた。

$$Y_{(t)} = dI_{(t)}N$$

前項で作成したシートにこの式を組み込んで新規感染者数 $Y_{(t)}$ を計算できるようにした表を3つ並列に用意し、横軸を経過日数、縦軸を新規感染者数として3つの計算結果の散布図を曲線で描写した（図4 E, F）。

2. 2. 3 COVID-19の東京都内における第3波の流行のシミュレーションの実装

2020年11月1日～2021年3月31日における東京都内のCOVID-19の流行（第3波）時の実際のデータによる流行曲線に対してSEIRモデルの計算により描画したグラフをフィッティングさせ比較するためのシートを作成した。実際のデータは厚生労働省が公開している東京都の新規感染者数を利用し、これを $Z_{(t)}$ とした。東京都の総人口は1400万人とし、そこから2020年10月31日までの累計感染者数を引いた人口を感受人口として、前項と同様に新規感染者数の計算を行った。グラフは横軸を実際の日付、縦軸を人数とし、実際の新規感染者数のプロットと、SEIRモデルにより計算した新規感染者数の曲線を描画した（図5）。ま

総人口 N			人	
初期感染人口割合 j			%	
平均感染待ち時間 1/ε			日	
平均感染性期間 1/γ			日	
基本再生産数 R_0				
低減率 p			%	
ワクチン接種率 v			%	$\beta = (1-p)R_0\gamma$
感染人口割合が		a	%到達時	ただし、宣言の列が1の時は $\beta = (1-p)(1-c)R_0\gamma$
緊急事態宣言を		b	週間発令	
他人との接触を		c	%削減	

経過日数	感受人口 S	曝露人口 E	感染人口 I	回復人口 R	宣言
0	$S_{(0)} = 1 - j - v$	$E_{(0)} = 0$	$I_{(0)} = j$	$R_{(0)} = v$	0
1	$S_{(1)} = -\beta I_{(0)}S_{(0)} + S_{(0)}$	$E_{(1)} = \beta I_{(0)}S_{(0)} - \epsilon E_{(0)} + E_{(0)}$	$I_{(1)} = \epsilon E_{(0)} - \gamma I_{(0)} + I_{(0)}$	$R_{(1)} = \gamma I_{(0)} + R_{(0)}$	$I_{(0)} \geq a$, もしくは発令からb週間以内なら1
2	$S_{(2)} = -\beta I_{(1)}S_{(1)} + S_{(1)}$	$E_{(2)} = \beta I_{(1)}S_{(1)} - \epsilon E_{(1)} + E_{(1)}$	$I_{(2)} = \epsilon E_{(1)} - \gamma I_{(1)} + I_{(1)}$	$R_{(2)} = \gamma I_{(1)} + R_{(1)}$	$I_{(1)} \geq a$, もしくは発令からb週間以内なら1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
t	$S_{(t)} = -\beta I_{(t-1)}S_{(t-1)} + S_{(t-1)}$	$E_{(t)} = \beta I_{(t-1)}S_{(t-1)} - \epsilon E_{(t-1)} + E_{(t-1)}$	$I_{(t)} = \epsilon E_{(t-1)} - \gamma I_{(t-1)} + I_{(t-1)}$	$R_{(t)} = \gamma I_{(t-1)} + R_{(t-1)}$	$I_{(t-1)} \geq a$, もしくは発令からb週間以内なら1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

図3 SEIRモデルのエクセルへの実装（イメージ）網掛けのセルは生徒が入力するパラメーター

ず、宣言前の実際の感染者数にフィッティングするような実効再生産数 R_t の検討を行った。ここでは実効再生産数を

$$R_t = \frac{\beta}{\gamma}$$

とし（表1）、その検討には（Kuniya, 2020）と同じく重み付き最小二乗法を用いた。具体的にはエクセルのマクロ機能（以下、マクロ）を用いたループで宣言前の実効再生産数を0.1-2.5まで0.05刻みで変動させた。この時、グラフも連動させることで実効再生産数を変動させている様子を視覚的にわかりやすくした。各実効再生産数において計算される新規感染者数 $Y_{(t;R_t)}$ と、実際の新規感染者数 $Z_{(t)}$ を用いた以下の式

$$L_{(R_t)} := \sum_{t \in \text{宣言前}} \frac{[Y_{(t;R_t)} - Z_{(t)}]^2}{Y_{(t;R_t)}}$$

で定義される $L_{(R_t)}$ が最小となるような R_t を求め、その R_t が反映されたグラフを描画した。

同様に、宣言下における接触減の割合 c を0-100%まで1%刻みで変動させ、計算される新規感染者数 $Y_{(t;c)}$ と、実際の新規感染者数 $Z_{(t)}$ を用いた以下の式

$$L_{2(c)} := \sum_{t \in \text{宣言下}} \frac{[Y_{(t;R_t)} - Z_{(t)}]^2}{Y_{(t;R_t)}}$$

で定義される $L_{2(c)}$ が最小となるような c を求め、その c が反映されたグラフを描画した（図5）。

3. 授業実践とその評価

本研究で開発したエクセル教材の授業実践は特別活動の一環として行った感染症に関する3時限分の講義のうちの30分間で行った（原田ほか、印刷中）。本来であれば感染症疫学の理解を目標に実践を行うべきだが、30分間という限られた時間の中では難しいと判断し、本実践は、開発したエクセル教材によるシミュレーションを通して、感染症の拡大や感染症対策の効果について実感させ、感染症疫学や数理モデルの有用性を認識させることを目標に行った。有用性を認識させることで感染症疫学や数理モデルへの興味・関心を引き出し、今後の理解に繋げることをねらいとしている。また、本教材が感染症疫学を学校教育に導入するのに相応しいか検討を行うために、生徒がどの程度あ

るいはどのように感染症疫学や数理モデルの有用性を認識したか評価した。

日時：令和4年2月1日（火）6時限目

場所：東京学芸大学附属高等学校

対象：1年生（8クラス）、在籍者数315名

授業者はオンライン（Zoom）で講義を行い、生徒は各教室ならびに自宅から参加した。

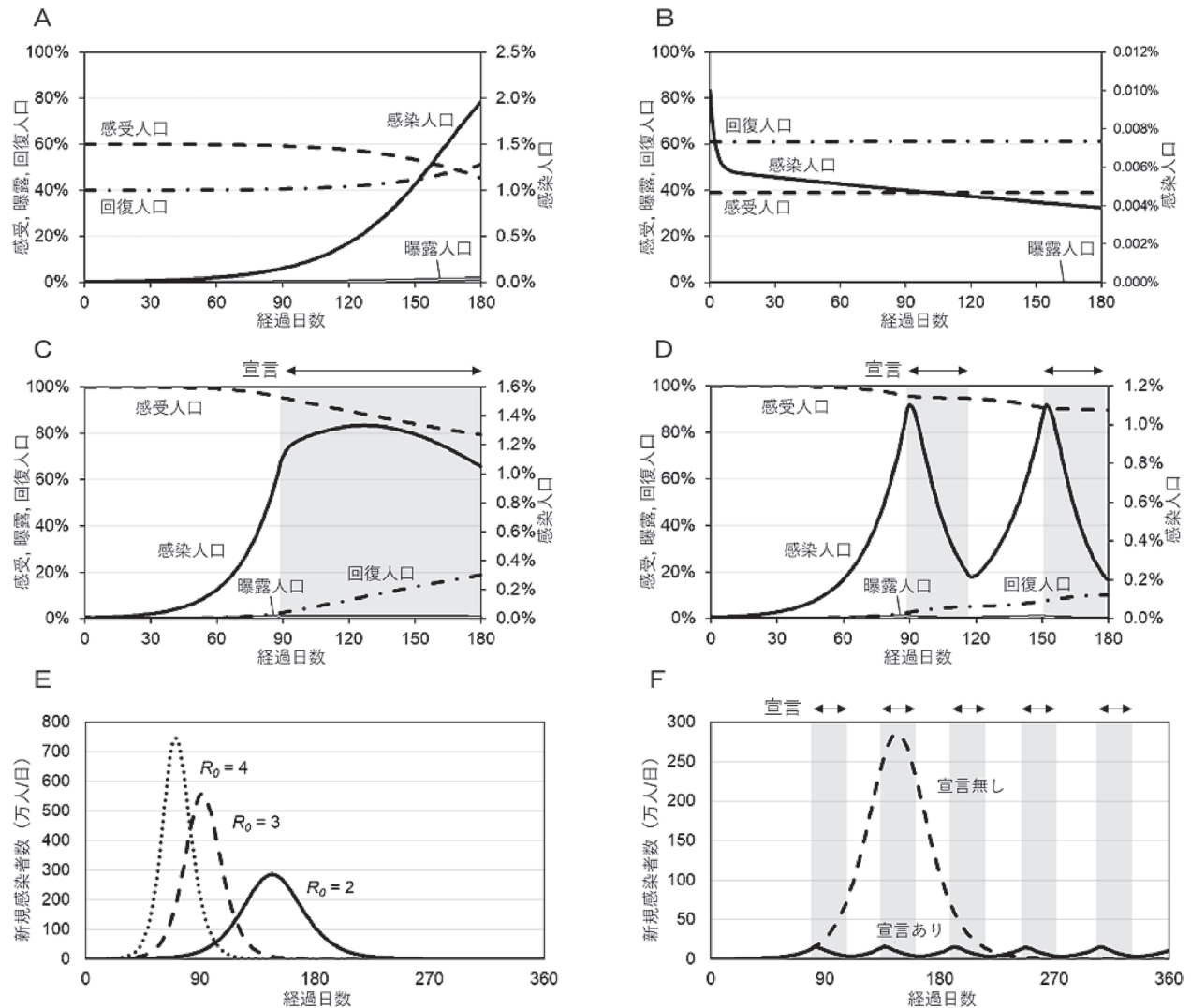
3. 1 授業実践

初めに、エクセル教材を扱うために必要な感染症疫学の前提知識について3分程度で説明した。まず、1人の典型的な感染者における感染状況の遷移について図2を用いて説明した。この感染者の感染する前から回復する後までの一連の流れが、SEIRモデルのどの区画に相当するのかを説明し、総人口をこの区画に分類してその遷移を予測するのが数理モデルであることを説明した。

次に、事前に科目担当者を通して生徒一人ひとりに配布したエクセル教材を用いて、基本再生産数とワクチン接種率の関係、および緊急事態宣言による接触減と感染者数の関係について学習させた。まず、入力するシートやセルの説明をして（2分）、II-2-aで作成したシートのパラメーターを各自で変動させた（3分）。次に、II-1で示した臨界免疫割合（ $1-1/R_0$ ）について式を用いて説明し（2分）、基本再生産数 R_0 を固定してワクチン接種率を生徒に変動させた（3分）（図4A, B）。図4A, Bのように基本再生産数を2.5に固定すると、臨界免疫割合は60%となる。図4Aではワクチン接種率が臨界免疫割合に満たない40%に設定されているため、感染人口は増加傾向にある。一方、図4Bではワクチン接種率が61%と臨界免疫割合を上回っているため、感染人口は減少傾向にある。このことを生徒が数値を変動させている間に図4A, Bを示しながら簡単に説明した。続けて、緊急事態宣言による接触減の効果を実感するために、基本再生産数を固定して、接触減の割合を生徒に変動させた（3分）（図4C, D）。図4C, Dは宣言による低減率のみが異なっている。図4Cでは、宣言による低減率（40%）が低いため、感染人口は減少せず、ほぼ横ばいに留まっている。一方、図4Dは宣言による低減率（80%）が十分高いため、感染人口が速やかに減少している。このことを生徒が数値を変動させている間に図4C, Dを示しながら簡単に説明し、緊急事態宣言下では積極的に接触減を行わないと効果が十分ではないことを理解させた。

次に、基本再生産数の違いや接触減の有無による1日当たりの新規感染者数 $Y(t)$ の違いをII-2-bで作成したシートを用いて各自でシミュレートさせた(5分)(図4E, F)。図4Eは基本再生産数のみが異なる3条件を比較したグラフで、基本再生産数が高くなると新規感染者数のピークが早かつ大きくなることから分かる。図4Fは緊急事態宣言の有無のみが異なるグ

ラフで、緊急事態宣言による接触減によって新規感染者数が少なく保たれていることが分かる。このことを図4E, Fを示しながら2分程度で説明し、基本再生産数やワクチン接種率について、および緊急事態宣言による接触減と感染者数の関係についてのまとめとした。なお、図4A-Fのシミュレーションで用いたパラメーターを図4Gに記載した。



パラメーター		A	B	C	D	E			F	
n	総人口	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8	1.26×10^8
j	初期感染人口	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%
R_0	基本再生産数	2.5	2.5	2.5	2.5	2	3	4	2	2
$1/\epsilon$	平均感染待ち時間	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$1/\gamma$	平均感染性期間	7	7	7	7	7	7	7	7	7
p	低減率	0%	0%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%
v	ワクチン接種率	40%	61%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
d	報告率	-	-	-	-	25%	25%	25%	25%	25%
a	宣言の基準になる感染人口			100%	100%				0.10%	
b	宣言の期間			4週間	4週間				4週間	
c	宣言による低減率			40%	80%				80%	

図4 エクセルのSEIRモデルによるシミュレーションのグラフと設定したパラメーター

最後に、東京都内における COVID-19 の第 3 波の流行のシミュレーションおよび説明を行った（5 分）。具体的には II-2-c で作成したマクロを授業者が動作させることで SEIR モデルによって予測した新規感染者数のグラフを動かし、実際の感染者数のプロットにフィッティングする様子を見せ、数理モデルが実際の感染症の予測に使えることを示した（図 5）。一方、感染症を正確に理解・予測するには、変異株の置き換えや感染の異質性や検査報告の遅れなどの様々な要因を考慮する必要がある、今回のエクセル教材でできることには限度がある。このことを説明するとともに実際に専門家が機械学習を取り入れて新規感染者数の予測を行っている事例を紹介して（2 分）授業を終えた。

3. 2 評価方法と調査内容

授業評価は、授業後に Google Forms による自記式質問紙調査を用いて行った。授業者が授業終了時に回答を促し、2 日後に回答を締め切った。1 年生 315 名のうち、授業出席者は 313 名であった。このうち 270 名を有効回答（有効回答率 86.3%）とした。

授業内容の主観的な理解度を測るために、「基本再生産数とワクチン接種率の関係」および「緊急事態宣言による接触減と感染者数の関係」のそれぞれについてどのくらい理解できたかを、選択肢として「とても理解できた」「まあまあ理解できた」「あまり理解できなかった」「ほとんど理解できなかった」の 4 件法で回答させた。また、本実践の目標である、数理モデルの有用性の認識について評価するために、自分自身で数理モデルによる感染者数のシミュレーションを行うことは有意義だと思うかを、選択肢として「とても思う」「まあまあ思う」「あまり思わない」「まったく思わない」の 4 件法で回答させた。選択式の回答のみでは生徒が有用性をどのように認識したかは分からない

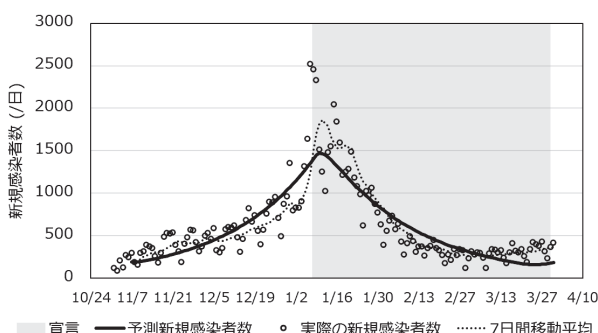


図 5 COVID-19 流行時の実際の新規感染者数とシミュレーション予測の比較

ため、どうしてそう思ったのかを必答形式の記述で回答させ、より具体的に分析を行った。

3. 3 分析方法

4 件法の分析については、各選択肢について回答数を集計し、有効回答数に占める割合（%）を算出した。

記述回答の分析については、テキストマイニングのためのフリーソフトウェアである KH Coder 3（樋口, 2004）を用いた。まず、対象の記述回答において出現回数の高い抽出語の階層的クラスター分析を行った。階層的クラスター分析とは出現パターンの似た抽出語を階層的なクラスターにまとめるものであり、これによって語と語の結びつきを解析することで記述回答の大まかな分類が可能になる。一方、階層的クラスター分析では抽出語がどのような文脈で用いられているかは分からないため、記述回答の原文を見てその内容をテーマ、カテゴリー、サブカテゴリーに階層的に分類した。本文中では、テーマを〔 〕、カテゴリーを【 】, サブカテゴリーを< >, 代表的な記述を「 」で示す。

3. 4 倫理的配慮

調査にあたっては、事前に高校の科目担当者に調査の趣旨を説明し承諾を得たうえで行った。また生徒に対しては、調査用紙に、研究の趣旨ならびに調査は任意であること、匿名性は保持されること、成績には関係しないことを記載した。調査への回答をもって同意したとみなした。

4. 結果と考察

4. 1 授業の主観的な理解度と数理モデルの有用性の認識についての評価

「基本再生産数とワクチン接種率の関係」と「緊急事態宣言による接触減と感染者数の関係」について、「とても理解できた」「まあまあ理解できた」のどちらかに回答した生徒の割合はそれぞれ 95.2%, 94.4% と高かった（図 6 A）。このことから、本研究で開発した教材が、感染症疫学で用いられる疫学指標とその関係性の理解を助ける可能性が示された。ただし、今回の実践は 30 分間と短いことに加え、授業評価については事後の質問紙調査のみにとどまるため、授業内容の理解度については不明な点が残る。今後、問題演習を通して事前・事後で客観的な評価を行う必要があると考えられる。

自分自身で数理モデルによる感染者数のシミュレーションを行うことは有意義だと思うかについては、「とても思う」「まあまあ思う」のどちらかに回答した生徒の割合は95.6%と高かった(図6B)。このことから、感染症疫学や数理モデルの有用性を認識させるという今回の目標は達成できたと考えられる。

4. 2 数理モデルによるシミュレーションの意義に関する記述の整理と考察

次に、自分自身で数理モデルによる感染者数のシミュレーションを行うことは有意義だと思う理由の記述回答を整理することで、感染症疫学や数理モデルの有用性をどのように認識したかを分析した。数理モデルによるシミュレーションが有意義だと思うかについて4件法で「とても思う」「まあまあ思う」のどちらかに回答した生徒の記述から抽出した語を階層的クラスター分析した結果、6つのクラスターに分けることができた(図7)。図7の括弧内の数字は抽出語の出現頻度を表す。分析で得られたクラスターをカテゴリに対応させる形でテーマ、カテゴリ、サブカテゴリを設計し、記述回答の分類を行った(表2)。表2のカテゴリの括弧内は対応する図7のクラスターを表し、サブカテゴリの括弧内の数字は件数を表す。なお、1人の記述回答が2文以上で書かれ、かつそれぞれが別のサブカテゴリに属する場合は、文ごとに切り分けて分類を行ったため、総件数は有効回答数を上回っている。

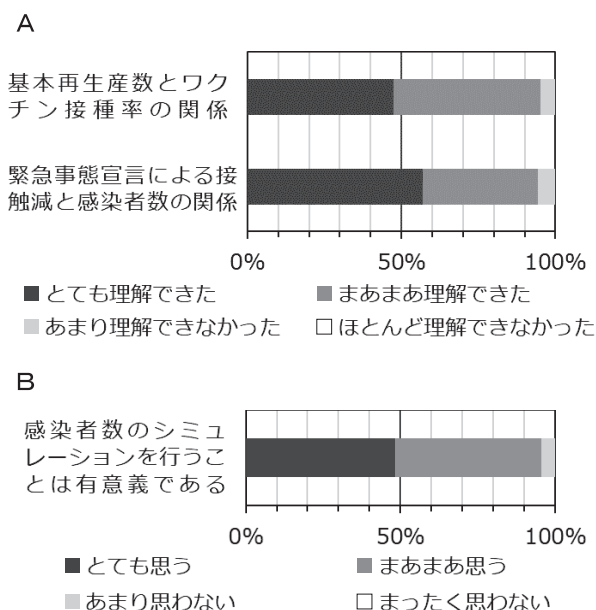


図6 授業の理解度に関する調査結果

〔学んだ学問的内容〕は【疫学的内容】と【公衆衛生学的内容】に分類され、それぞれ〈ワクチンの効果〉〈緊急事態宣言の効果〉、および〈感染状況の予測〉〈感染症対策〉から構成される。【疫学的内容】では、「達成したいワクチン接種率などの目安がわかる」、「緊急事態宣言が出された時の感染者が減少しているというのがデータとして見る事ができた」という記述が見られた。また、【公衆衛生学的内容】は各カテゴリで最も件数が多く、代表的な記述には「接触削減やワクチン接種がどの程度進めば感染が抑えられるかをある程度予測し、目標の数字として提示することができる」、「シミュレーションを用いることで、今後の感染者数を予測し、これに対する対策を先手先手で打つことができる」とあった。このような記述から、感染症疫学の知見に基づく対策が感染状況に及ぼ

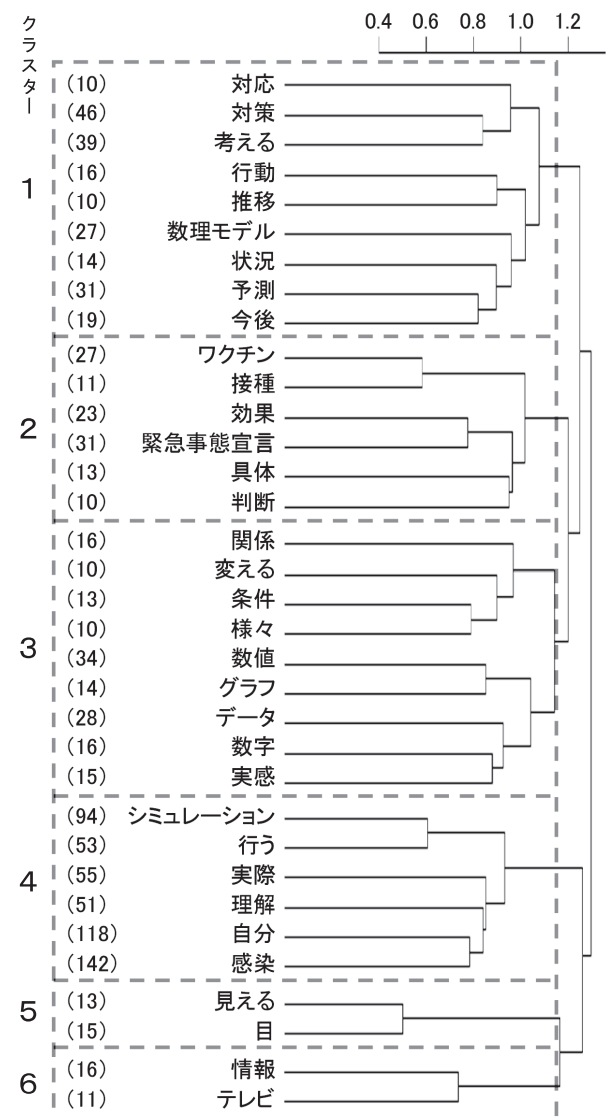


図7 記述回答の階層的クラスター分析結果

表2 自分自身で数理モデルによるシミュレーションを行うことは有意義だと思う理由の分析結果

テーマ	カテゴリー	サブカテゴリー	代表的な記述
[学んだ学問的内容]	【疫学的内容】 (クラスター2)	〈ワクチンの効果〉 (13)	「シミュレーションをすることで具体的な数値とともにワクチンの効果を知れる」「達成したいワクチン接種率などの目安がわかる」
		〈緊急事態宣言の効果〉 (21)	「緊急事態宣言が出された時の感染者が減少しているというのがデータとして見る事ができた」「実際に自分の目で緊急事態宣言を課した時としなかった時の感染者数の変化を見ることで、納得して宣言を受け入れることができる」
	【公衆衛生学的内容】 (クラスター1)	〈感染状況の予測〉 (27)	「今までのコロナウイルスの動きからこれからの感染情報がある程度予測することができる」「接触削減やワクチン接種がどの程度進めば感染が抑えられるかある程度予測し、目標の数字として提示することができる」
		〈感染症対策〉 (48)	「シミュレーションすることで考えを修正し、より効果的に感染を抑える方法を探すことができる」「シミュレーションを用いることで、今後の感染者数を予測し、これに対する対策を先手先手で打つことができる」「パンデミックが起きてもその対策を素早く立てる事ができたり、パンデミックを防ぐために必要な事がわかる」
[実習を通して感じたこと]	【主体的な取組の効果】 (クラスター4)	〈感染症のより深い理解〉 (28)	「自分で感染者数のシミュレーションに触れることによって、理解の度合いが高まった」「実際に自分で操作することでどんな要素がどの程度絡んでくるのか体感的に感じられる」
		〈感染症に対する実感〉 (16)	「先生がやっているのを見るよりも自分で値を一つずつ動かしてやる方が、ほんとに一つ違うだけでこんなに変わるんだ、など違いを実感できてとても良かった」「実際に自分でデータの運用をすれば、その値が何を表しているかが自分の中で明瞭になり、どの政策が活きているのかを実感、支持できるようになる」
		〈感染症対策の意識〉 (21)	「自分でシミュレーションを行うことでどのような要因が感染者数に関わっているのかわかり、気をつけようと思える」「自分の行動が実際にパンデミック収束に繋がるんだ」
		〈感染症を考える機会〉 (5)	「誰かの結果を見るだけでなく実際に自分で行うことで、感染者の推移や緊急事態宣言の効果、ワクチンの効果について考える良い機会になる」「ワクチン摂取の効果や行動改革によって、日本全体でのコロナ感染者数が減少することが目に見えたので、自分自身の行動を振り返る機会にもなった。」
	【実データを扱う効果】 (クラスター6)	〈メディアリテラシー〉 (16)	「テレビやニュースでは一方的な情報や見解ばかりなので、自分自身で見解を生み出すことは重要であると思う」「テレビや新聞などのメディアからの情報だけで満足せず、自分で知識を得ることは大事」
		【数値を明示する効果】 (クラスター3)	〈定量性〉 (22)
[教材のメリット]	【視覚的情報を多く用いる効果】 (クラスター5)	〈グラフの変化〉 (31)	「ワクチンの効果など数字で見ると自分で実際に打ち込んでみてグラフが動くことがとってもわかりやすかった」「視覚的に認識できたことによってわかりやすかった」「自分で実際に数値を記入してグラフの形を変えてみることで、発見も多かった」
[その他]	【その他の意見】	〈その他〉 (36)	「とても理屈にかなっていて、現実に近いシミュレーションをする事ができると感じた」「感染者の増え方や減り方がわかった」

す効果を検討できる点にシミュレーションの意義を見出していることが読み取れる。これは、実際に専門家が指摘する数理モデルの有用性と一致している。感染症疫学における数理モデルの有用性を短い時間の演習でも実感できたのは、本研究で開発した教材を通して分かりやすく学べたからではないかと考える。

〔実習を通して感じたこと〕は【主体的な取組の効果】【実データを扱う効果】のカテゴリーから構成され、その中でも【主体的な取組の効果】については、〈感染症のより深い理解〉〈感染症に対する実感〉〈感染症対策の意識〉〈感染症を考える機会〉の記述があった。2022年度から高等学校において年次進行で実施されている新学習指導要領には『主体的・対話的で深い学び』の実現に向けた授業改善の推進が掲げられており、本研究はそういった授業実践の一例にもなり得ると考える。本カテゴリーは自分自身でシミュレーションを行ったために得られたことで構成され、例えば、〈感染症対策の意識〉では「自分でシミュレーションを行うことでどのような要因が感染者数に関わっているのかわかり、気をつけようと思える」という記述があり、感染症対策を意識させる効果にシミュレーションの意義を見出していることが読み取れる。【実データを扱う効果】は〈メディアリテラシー〉についての記述があった。「テレビやニュースでは一方的な情報や見解ばかりなので、自分自身で見解を生み出すことは重要であると思う」といったような記述が見られ、信頼できるデータソースをもとに自分で感染状況についての見解を生みさせることにシミュレーションの意義を見出していることが読み取れる。

〔教材のメリット〕として【数値を明示する効果】【視覚的情報を多く用いる効果】がみられ、「自分の理解として感染者数の増減を具体的な数値で知っておくのは重要だと思った」というような〈定量性〉に関する記述や、「自分で実際に数値を記入してグラフの形を変えてみることで、発見も多かった」というような〈グラフの変化〉に関する記述があった。このような記述からは、実態が見えにくい感染状況を数値やグラフとして具体化・可視化できることにシミュレーションの意義を見出していることが読み取れる。

〔その他〕には「とても理屈にかなっていて、現実に近いシミュレーションをする事ができると感じた」、「感染者の増え方や減り方がわかった」など、どのサブカテゴリーにも属さない記述や抽象的で分類が難しい記述があった。

一方、数理モデルによるシミュレーションが有意義だと思うかについて4件法で「あまり思わない」「全く思わない」のどちらかに回答した生徒の記述は12件あり「数値などの意味があまり理解できず、シミュレーションするのが難しかった」、「どのような仕組みでその数理モデルが動いているのかを理解しないと、コロナ感染者数などの情報の関わりは見えてこない」といった、内容の難しさについての記述があった。本実践はZoomを用いた遠隔方式で行ったため、机間支援が困難だった。そのため、支援が必要な生徒に十分な配慮が至らなかったと考えられる。

5. おわりに

本研究ではCOVID-19の世界的な流行により注目の集まった感染症疫学を学校教育で学ぶための教材を開発した。また、その教材を用いた授業実践では、授業後の質問紙調査の分析から生徒はシミュレーションを通して感染症疫学や数理モデルの有用性を様々な視点から認識できたことが明らかになり、授業目標を達成できたことがわかった。このことから、本研究で開発した教材は学校教育への感染症疫学の導入に際して一定の効果を持つことが示された。

本教材の開発は広く学校現場に浸透させることを目指して表計算ソフトであるエクセルで行った。今回の実践は授業のみでなく事前打ち合わせも全てオンラインで行ったが、エクセル教材に関しては問題なく生徒全員に行き渡った。これは、すでに学校現場に普及しているエクセルを用いて本教材を開発したためであると考えられる。また、授業実践後の質問紙調査の記述回答で内容の難しさについて述べられたものは全体の5%程度と少なかったことも、親しみのあるエクセルを用いて教材を開発したことの成果と考えられる。

一方、今回実践を行った高等学校は知的好奇心の高い生徒が多く、実践結果には選択バイアスが生じている可能性がある。今後はより多様な高等学校、あるいは小学校・中学校での実践も視野に入れ、教材のさらなる改善を行っていく必要がある。今回の実践は特別活動の一環として実施したが、今後は小・中学校においては総合的な学習の時間における探究活動として行うことが想定される。将来的には数学・理科・保健体育の教科横断的な教育として発展させ、中学校保健体育科「保健分野」および、高等学校の教科「保健」の感染症に関する単元に取り入れることが考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり東京学芸大学健康・スポーツ系教育講座の竹鼻ゆかり教授には質問紙分析にてご助言をいただいたことを感謝いたします。また、東京学芸大学附属高等学校の小境久美子氏をはじめとする授業実践にご協力くださった高等学校の教員、生徒の皆さんに感謝いたします。本研究は令和3～4年度東京学芸大学広域科学教科教育学研究経費により実施した。

文献

- Billah, M. A., Miah, M. M., and Khan, M. N., 2020. Reproductive number of coronavirus: A systematic review and meta-analysis based on global level evidence, *PLOS ONE*, 15, e0242128.
- 原田和雄・高橋光希・茗荷将史・小境久美子・竹鼻ゆかり (2023) 教科横断的な感染症教育プログラムの開発とその高等学校での実践, 東京学芸大学紀要 自然科学系, 75, 45-61.
- Hay, S. I. *et al.*, 2013. Global mapping of infectious disease, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368, 20120250.
- 樋口耕一, 2004. テキスト型データの計量的分析 —2つのアプローチの峻別と統合—, 理論と方法, 19, 101-115.
- Kermack, W. O., and McKendrick, A. G., 1927. A contribution to the mathematical theory of epidemics, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 115, 700-721.
- 北川薫ほか13名, 2017. 高等学校改訂版保健体育, 第一学習社.
- Kuniya, T., 2020. Evaluation of the effect of the state of emergency for the first wave of COVID-19 in Japan, *Infectious Disease Modelling*, 5, 580-587.
- 中本悠太, 御園真史, 2022. 感染症の流行予測モデルに関する高等学校における数学的モデリングの遠隔授業実践の取り組み シミュレーションに基づく問題解決を通して, 科学教育研究, 46, 29-32.
- 日本疫学会, 2018. はじめて学ぶやさしい疫学, 改訂第3版, 南江堂.
- 西浦博, 楊一馳, 2019. 従属性のある感染症データの数理モデルによる分析と予測, *ファルマシア*, 55, 1049-1053.
- 西浦博, 2021. 感染症疫学のためのデータ分析入門, 第1版, 金芳堂.
- 鈴木絢子, 西浦博, 2020. 感染症の数理モデルと対策, *日本内科学会雑誌*, 109, 2276-2280.
- 柳川洋, 尾島俊之, 2022. 社会・環境と健康 公衆衛生学, 2022年版, 医歯薬出版.