

数理モデリングプロジェクト

Mathematical Modeling Project

1020149 浅野雄太 Yuta Asano

1.はじめに

1.1 背景

新型コロナウイルスは 2019 年に中国武漢市で発見され、全世界に感染拡大した病原体であり、ヒトからヒトへの感染は咳や飛沫を介して起こる [1]。そのため、日本では多くの人が集まる会社や大学などの学校は対面での活動を制限し、新型コロナウイルスに感染するリスクを抑えようとした。私達も 1、2 年生のとき対面での授業や対面でのサークル活動といった対面での活動の制限を受け、期待していた大学生活を送ることができずにいた。

1.2 函館市の感染状況の調査および考察

本プロジェクトでは函館市公式ホームページ[2]に掲載されている 2022 年 1 月 1 日から 6 月 20 日までの函館市における陽性者数を調査した。その結果、多い場合だと 200 人、少ない場合は 10 から 20 人ほどしか陽性者がいない日があることがわかった。そのため、陽性者数が多い期間と少ない期間がはっきりと分かれていると考えられる。よって、陽性者数の少ない傾向にある期間では感染リスクを管理し、対面活動を行う事ができる可能性があると考えた。一方で、陽性者数が多い傾向にある期間には対面活動を控える必要があると考えた。

- 函館市における陽性者数は日毎に更新されるため、シミュレーションを動的に行えること
- 過去のデータを参照して数理モデルの精度を検証することができること

この二つのことがらから本プロジェクトでは数理

モデルを使用することで未来の陽性者数をシミュレーションし、対面活動の判断補助ができると考察した。

1.3 目的

本プロジェクトの目的は「新型コロナウイルス感染症によって制限されていた対面活動を最大化し、未来大生が安心して、より充実した生活を送れるように支援する」ことである。前節で述べた通りここ数年、新型コロナウイルス感染症によって対面活動の制限を受けていた。そこで、数理モデルを使用することにより未来の陽性者数のシミュレーションを行うことで対面活動を行うかどうかの判断補助をすることによって対面活動を最大化し未来大生の生活をより充実させようと考えた。

2.先行研究および技術・知識の習得

本章では目的達成のために調べた先行研究および習得した技術・知識について述べる。

2.1 Python による数値計算とシミュレーションについての輪講

数理モデルでは、現象を微分方程式などに落とし込み、シミュレーションする。そのためには第一に微分方程式の近似解を求める解析手法を習得する必要性があった。そのため、常微分方程式及び偏微分方程式の近似解をプログラムによって得る技能を習得することを目的として輪講を行った。その結果、メンバー全員が自由落下などの 1 次元運動や電界中の電荷の動きなどの 2 次元運動、ロジスティック方程式や単振動の方程式の解を、Python によるプログラムを使ってシミュレーションを行い、その結果を 2 次元のグラフとして描

画することが可能となった。

2.2 SIR モデルについての輪講

感染症の陽性者数を予測する成果物を数理モデルを用いて作るために、陽性者数の予測ができる数理モデルを学ぶことが必須であった。そこで、最も単純かつ一般的な感染症の数理モデルである SIR モデルについて「感染症の数理モデルと対策」[3]を用いて輪講を行った。その結果、感染症の数理モデルの基礎を理解することが出来た。また、2.1 節で学んだ知識と合わせ、SIR モデルを自力で構築できるようになった。

SIR モデルとは

感受性者数(感染症にかかりうる人の人数)、感染者数、回復及び隔離者数をそれぞれ時間 t の関数としてそれぞれ $S(t)$, $I(t)$, $R(t)$ とし、単位時間あたりの感染力を β 、回復隔離等による除去率を γ とすると、SIR モデルは下記 3 つの微分方程式で表される。 $(\beta, \gamma$ はそれぞれ定数)

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \end{cases}$$

2.3 函館市の感染状況の調査の継続

函館市の陽性者数予測に適した数理モデルを構築するためには、函館市の新型コロナウイルスによる感染状況の把握が必要であると考えた。そのため、プロジェクト立ち上げ時に行った函館市の新型コロナウイルスによる感染状況の調査を継続し、範囲を拡大して行った。調査結果から得た考察を以下に挙げる。

- 主にコロナウイルスの株の変化が函館市の陽性者数の増加傾向に影響を与えている
- 感染状況とは曜日による周期的な陽性者の増減が起こっている

そのため、構築するモデルの β の数値を固定すること

は避け、陽性者数から β の値を更新するべきであること曜日による数値のばらつきを抑えるため 7 日間移動平均を利用すべきであると結論付けた。

2.4 パラメータの設定

本プロジェクトでは函館市の陽性者数の実データから β の値を更新するためデータ同化の手法を学習した。

γ の定義は「回復または隔離により感染者数が減る割合」であるためその根拠となる日数を調査した。その結果、北海道ホームページ[4]より療養機関が 7 日とされていたため回復を基準とした際には 7 の逆数である $\gamma=0.14$ を与え、現在の日本では陽性と判断されてから 1 日で隔離期間が始まるため隔離を基準とした際には $\gamma=1$ を与えることとした。

2.5 さくら VPS を用いたサーバー構築

後述するが、本プロジェクトでは成果物を Web サイトとしたためバックエンドで使用するサーバー構築技術を習得した。また、レンタルサーバーにはさくら VPS を用いた。この活動によって得た知識によって Web サイトの公開、SSL 証明を Let's Encrypt で導入し Web サイトの信用性の獲得などをできるようになった。

3. 「コロナ予報」の開発

3.1 「コロナ予報」の目的

本プロジェクトの目的である「対面活動の最大化」を達成するために、「コロナ予報」の主な目的を「陽性者数の予測結果をユーザーに閲覧、活用してもらう」と設定した。詳しい機能については後述するが、「コロナ予報」を利用してもらうことにより感染傾向の把握と適切な行動の選択の補助を行う。

3.2 「コロナ予報」の機能

感染リスクの管理と対面活動の判断の補助のため、「コロナ予報」には 4 つの機能を設けた。

- 陽性者数の傾向をグラフで表示する機能
- 数字として予測値を表示する機能
- 陽性者数の傾向に応じて異なるメッセージを表示する機能
- 2 種類の予測データを表示する機能

3.2.1 陽性者数の傾向をグラフで表示する機能

実際の陽性者数や予測した陽性者数を、図 1 のような

グラフで表示する機能を設けた。グラフの青色の線が実際の陽性者数、緑色の線が実際の陽性者数の移動平均、赤色の線が予測した陽性者数をそれぞれ表している。実際の陽性者数は函館市のホームページのデータ[2]を参照に、サイトを閲覧した日から過去1週間分を表示している。予測した陽性者数は、1週間後までの分を移動平均で表示している。この機能を利用すれば、陽性者数の傾向を視覚的に読み取ることが可能となる。

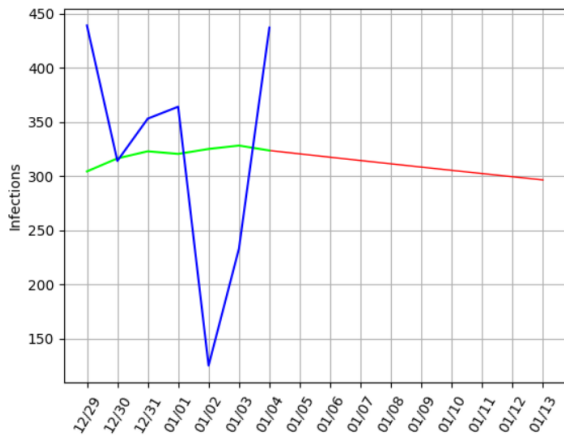


図 1. 「コロナ予報」で使用しているグラフ

3.2.2 数字として予測値を表示する機能

予測した陽性者数を、図 2 のような表で表示する機能を設けた。この表では図 1 と同じ予測データを使用しており、サイトを閲覧した日とその 1 週間後までの予測した陽性者数を、日ごとに数字で表示している。この機能を利用すれば、陽性者数の予測値同士の比較により、陽性者数の増減の割合をより詳しく読み取ることが可能になる。

1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14
317	314	311	308	305	302	299	296

図 2. 「コロナ予報」内の予測値表

3.2.3 陽性者数の傾向に応じて異なるメッセージを表示する機能

陽性者数の増減の傾向に応じてメッセージを表示する機能を設けた。陽性者数の傾向の判断には実行生産数を利用した。実効再生産数とは、1 人の陽性者から次に平均して何人に感染が広がるかを推定した値のことであり、感染状況を示す指標の一つとなりうるものである。この機能を利用すれば「コロナ予報」が、サークル活動やイベントなどの対面活動の予定を決めるとき

における、一つの判断材料になり得ることが期待できる。

3.2.4 種類の予測データを表示する機能

感染対策が行われている場合と行われていない場合、2 つの予測データを表示する機能を設けた。予測に使用している SIR モデルのパラメータ γ の値を変更することで、外出自粛や緊急事態宣言などの政府や自治体による感染対策が行われている場合と行われていない場合、2 つの予測データの表示を可能にした。2 つの予測データはサイト内のグラフの上部にあるタブで切り替えることが可能である。この機能を利用すれば「コロナ予報」が、外出自粛や政策などの社会状況に応じて、適切な予測データの使い分けが可能になることが期待できる。

4. 評価実験

本実験の目的は、「コロナ予報」を利用することで、感染リスクの管理や適切な行動予定の決定が行われたかどうかを検証することである。対象者は、はこだて未来大学の学生 7 人とし、「コロナ予報」を閲覧してもらった上で、「コロナ予報」の内の機能に関する質問の回答を行ってもらった。質問は合計で 7 つあり、1 を「そう思わない」、5 を「そう思う」として、1 から 5 の 5 段階で評価を行ってもらった。また、これらの質問とは別に、「コロナ予報」に関する意見や感想などの自由記述を、任意で行ってもらった。

その結果、サイト内の配色は見やすく評価が高かった。しかし、予測結果のグラフや数値、サイトのレイアウトの評価が良い方と悪い方に二極化していた。また、自由記述のコメント欄でも「サイトを日常的に利用する想定なら、サイトを開いてすぐ結果が見えるように配置するとより便利になるかなと思った。」と評価された。そのため、日常的にたくさんの人に快適に利用してもらうためには、色による視覚的な工夫を予測結果のグラフや数値に行うことや普段から利用されることを考えたレイアウトに変更する必要があると考える。また、「アイディアはとても面白く、まさに今使われるべきものだと思います。」という意見もいただいたため改善点を見直し多くの人に見てもらえるように活動する。

5. まとめ

5.1 プロジェクトの成果

本プロジェクトでは函館市の新型コロナウイルス感染症の感染状況について調査を行ったところ、数理モデルを用いることで函館市の未来の陽性者数をシミュレーションし、それを基に対面活動の判断補助が行えると考えた。対面活動の判断補助を行うことにより感染リスクを管理しやすくなり、対面活動が最大化され、未来大生が安心してより充実した大学生活を送れるようになるのではないかと考えた。そのためプロジェクトの目的を「新型コロナウイルス感染症によって制限されていた対面活動を最大化し、未来大生が安心して、より充実した生活を送れるように支援する」とし、その手段として「コロナ予報」を公開した。

4つの機能より陽性者数、及びその傾向の予測を示すことによって対面活動が可能かどうかの判断の補助を行った。

評価実験や成果発表会にて「コロナ感染者の増減の傾向がグラフや数値で見やすく実用性のある成果物だった」など肯定的な意見や評価を得ることが出来た。PWG の田中先生には成果発表会を対面でおこなうかどうかの判断基準の一つとして利用していただいた。このことから「新型コロナウイルス感染症によって制限されていた対面活動を最大化し、未来大生が安心して、より充実した生活を送れるように支援する」という目的は、対面活動を行うかどうかの判断基準の一つとして「コロナ予報」を利用していただくことや評価していただいたことによって到達できた。

5.2 今後の展望

本プロジェクトでは技術的な問題や時間の関係から実装を見送った機能がある。また、評価実験や成果発表会などのフィードバックから課題が浮き彫りになった。それらの課題について述べる。

まず、モデルのパラメータ γ についてである。本プロジェクトでは当初 γ の数値を β と同じように感染状況から逆算して日々値を更新しようとしていた。しかし、予測の精度がさがり断念した。現状では γ の定義から明確な理由を持ち、かつある程度の精度がある二つの数字を採用しているが、さらに精度を高めるため先行

研究の調査が必要であると考えている。

次に、長期間の予測の精度についてである。現状、1週間程度であれば陽性者数の予測精度に自信を持てるが1ヶ月、3ヶ月ほどになると全く違う予測結果が出てしまう。改善するためには長期間の予測に適したモデルを構築する必要があるが時間が足りず出来なかった。

そして、前述した通り成果発表会と評価実験で得たフィードバックから Web サイトの更新が必要である。第一に予測結果の表示方法についてである。感染状況をわかりやすくするため陽性者が多い日には色を変え危険度を示す、3つの情報が集約されているグラフを各情報にフォーカスできるようにするなどの改善案が上げられる。第二に、サイト内の説明をわかりやすくすることである。これについては、説明、図表の追加を行い数理モデルに親しみやすくする必要がある。第三にサイトの構成である。現状のサイトの構成では一番上にサイトの説明があり、毎日利用していただくという観点からのデザインが出来ていなかった。そのため、対面活動の判断基準になるような情報を素早く確認できるようなサイトの構成にしていく必要がある。

以上の課題を解決し「コロナ予報」の精度、利便性、わかりやすさを高め感染リスク管理に貢献したい。

参考文献

- [1] 国立感染症研究所. "コロナウイルスとは". 2021-09-30.
<https://www.niid.go.jp/niid/ja/kansennohanashi/9303-coronavirus.html>, (参照 2022-07-20)
- [2] 函館市. "新型コロナウイルス感染状況について". 2022-12-21.
<https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2022062700061/>, (参照 2023-01-06)
- [3] 鈴木絢子, 西浦博. 「感染症の数理モデルと対策」. 『日本内科学会雑誌』. 2020, 109 巻 11 号, P2276-2280
- [4] 北海道. "ご自身や身近な人香新型コロナに感染したときの対応について". 2022-05-09. https://www.pref.hokkaido.lg.jp/hf/kst/kansenkakudai_taiou.html, (参照 2023-01-06)