第二部大規模感染症予防・制圧体制検討分科会（第25期・第16回）

議事要旨

1 日 時 令和4年4月26日（火）19:30～22:00

2 会 場 ビデオ会議

3 参加者(敬称略)

分科会委員:相澤彰子、秋葉澄伯、石川冬木、岡本尚、郡山千早、小松浩子、
高井伸二、高倉弘喜、中川晋一、糠塚康江、平井みどり、
三嶋廣繁（委員13名中12名出席）

オブザーバー:岩崎博道、加藤茂孝、喜連川優、白井千香、杉山雄大、
武田洋幸、舘田一博、田中純子、丹下健、中村眞、望月眞弓

講演者: 平田晃正、畝見達夫

事務局: 増子、山田、穴山

4 議 事

(1) 秋葉委員長より以下周知された。

①ユネスコの下部機関「世界科学アカデミー(The World Academy of Sciences: TWAS)」による COVID-19 に関わる共同研究と技術移転のための共同公募に関する情報について (The IsDB-TWAS Joint Research & Technology Transfer Grant)

②2023年G7と並行して開催される「持続可能な社会のための科学と技術に関する国際会議」(議長国:日本)の準備につき、日本学術会議は「大規模災害」を中心に「健康医療とヘルス」、「社会福祉」「災害における弱者支援」等のテーマを取りあげ、国際シンポジウムなどにより発信を行う予定である。

③今後の分科会について本分科会の意思の表出について、これまで分科会の成果をまとめたメモ的なものを秋葉委員長が作成し、平井副委員長、糠塚幹事との検討を経て、各委員に示す予定である。

(2) 講演と質疑

①「深層学習に基づく新型コロナウイルス感染症流行の予測」

平田晃正氏

(名古屋工業大学先端医用物理・情報工学研究センターセンター長・教授)

《講演概要》

・AIの役割: 数値モデルで表現できないこと

基本的数値モデルであるSIRモデルは均一な場を仮定しており、このモデルでは、

一人の感染から感染者数が爆発的に増加し、一定のところに達した後、収束する。しかし、このような流行のパターンは現実には必ずしも合致しない（人間社会がこのような形だとすると、集団免疫を得るのに高い接種率を必要とする）。

慶応大学の栗原氏や東大の大沢氏等が実装しているスモールワールド型の世界（スモールワールドネットワークを仮定した世界）では、人間社会が複数のスモールワールド的コミュニティからなり、各コミュニティ間の人の動きが一様でないと仮定する。この場合、一つのコミュニティで感染が広がっても他のコミュニティに感染が広がりにくい。

従って、SIR モデルに比べて、感染者数が低いままで流行が短期的に鎮静化する。但し、ゴールデンウィーク期間中などの場合には、各コミュニティ間の人の移動が多くなり、コミュニティが横に繋がった感じとなる。このようなスモールワールド型の世界を想定したマルチエージェントシミュレーションを活用することにより、より現実の世界を反映したシミュレーションが可能となる。

しかし、そのようなモデルでは多数のパラメータが必要となるので、代わりにAI の中でも深層学習を使った。AI（深層学習）には、一定期間の「学習」データが必要である。（深層学習学習データとして東京、大阪のデータを使用）

・第5波までの予測

第4波までの学習でモデルによる予測の正確性は相当高まり、2週間後の感染者をかなり正確に予測できるようになったが、重症者数は過小評価となった。

*但し、今回のデルタ株とオミクロン株のように感染しやすさが劇的に変化するような場合、過去のデルタの実効再生産数のトレンドを入力しても予測精度は十分でない。

当初は、気象条件（日最高気温、日最低気温、湿度）などを入力データに入れていたが、その後、重要な役割を果たしていない（他のパラメータで代替できる可能性を含む）と判断されたので、使っていない。

人流は重要な要因である。当初は主要駅の人出を使ったが、その後、これに加えて、各種人流（繁華街・公園などの人流）も用いた。人流で感染者数の8割を説明できる。特に流行拡大局面では、主要駅での人流が実効再生産数と明確な正の相関を示した。（ただし、大型連休期間中は相関が小さい—使用している人流のパラメータでは、大型連休中の人流を把握しきれていない）

*最近ではTwitterでの注目語（例えば「飲み会」など）の出現頻度が、人流に加えて重要な指標となると考えている。

*緊急事態等の宣言の効果を評価するためにモデルに組み込んでいたが、宣言は感染者数を5%程度しか減少させない。

・第6波の予測は可能か、第5波との相違は何か

流行の収束側面では、特に第5波で患者数減少はモデルから予測された値より急であり、行動自粛下でのワクチンによる相乗効果と推測できる。またマスク装着率等の日本人の

衛生習慣も急速な流行収束に寄与したと考えている。第6波では「接触」と「免疫」の効果はほぼバランスした。(したがって、流行の波が急速に収束することはなかった)

・今後の展望 ワクチン感染予防効果モデル

ワクチン接種率を入力データとして使っていたが、その後都道府県レベルでの免疫効果(ワクチン効果)を使った。集団免疫が得られていない状況(集団の80%程度が免疫を持つと、集団免疫が得られる)、即ち、ワクチン接種率が70%程度以下の場合、ワクチン効果を入力データに用いた方がより良い。ワクチン効果は、或る集団においてワクチンを接種後、感染率がどのように変化するかを様々なデータ(例えば、イスラエルのテルアビブのデータ)を解析して得た指標である。国内でも十分となったあとは、現実の値を用いることが望ましい。

実効再生産数は接触 vs 免疫の綱引きで決まる。ウイルスの感染力が分かっているならば、第4波までのデータで、AIの学習データとしては十分である。換言すれば、変異ウイルスの感染力が変わると予測が一時的に困難となる。

現在の予測モデル(一種の非線形回帰モデル)に使っている入力データは、人流(主にTwitterから得た飲み会情報)、ワクチン予防効果、ウイルスの感染力で十分である。但しこれらのパラメータは他の要因と相関しており、それらを総合した指標になっている可能性もある。子どもの感染率などを組み込めば、現在の状況(子どもを介し感染が増加している状況)下での予測の正確性はさらに向上する可能性がある。

②「個体ベース感染シミュレータの開発と COVID-19 への応用」

畷見達夫氏

(創価大学理工学部情報システム工学科教授)

《講演概要》

・目的と方法

マルチエージェントモデルの一種を使い、個体のモデル+集団行動をシミュレーション1人1エージェントとしたモデルを使っているため、現実にはギャップがあり、やや抽象的だが詳細なモデルとなる。

(10-100を1エージェントとしたモデルであれば、より現実に合わせやすい)

具体的対策や行動を取り込むこと、直観的理解を助ける可視化が可能となる。必要に応じ拡張可能なモデルを作っている。現象を表す変数間の関係をモデル化せず、それを生み出す内部メカニズムに注目。

・環境と行動レベルのモデル

検査で陽性だと隔離(病院へ移動)、死亡すると埋葬(墓地へ移動)。1年間のシミュレーションのため、他要因での死亡や出生は考慮せず。領域外との往来はないと仮定、来訪者からの感染は感染者の増加で代替。

感染から完治・死亡までの過程を医学的知見をもとにモデル化。

領域内での長距離移動、集会などを想定し、モデル化。

感染症対策(マスク使用、社会的距離、隔離、移動制限、集会制限、検査実施までの時間、検査結果判明までの時間)をモデル化。

免疫獲得・回避（感染、ワクチン接種、ウイルスの変異）。

- ・開発したソフトウェア、マシン構成及びシミュレーションの実施概要
1万人から100万人の集団を16または12ステップで一日と仮定。一回の試行に2分から20分程度。同じパラメータ設定で10回から20回繰り返し、その結果を統計処理、Mac mini M1 14台を繋ぎシミュレーション実施。
- ・主たる結果
人口の大きさが違う場合：流行波のピークが異なる（集団が大きいと急速にピークに向かう）
人口が少ない場合：流行が急速に収束
（SIRモデルだと、集団免疫ができないと収束しない）
症状の有無と関係なく検査を実施した場合：毎日人口の1%を検査できても（現実には不可能）、ピーク時感染者数を10%とすると、9.1%までしか落とせない。
（5%検査すると5%程度まで落ち、10%検査すれば1%くらいまで落ちる）
その他：高リスク行動（移動先での飲食）が感染拡大させる。
- ・おわりに
地域のPCをつないでスパコン化するネットワークを作るのも1つの方法。
北野氏主導の内閣官房に集まる研究者のノウハウを今後はどう生かすかが重要である。
- ・参考
<http://www.intlab.soka.ac.jp/~unemi/SimEpidemic1/info/simepidemic-docs.html>

《質疑応答》

- Q:パラメータは感染者数と死亡者、重傷化率の3つとお話いただいたが、発症や重症化までの時間等、他のパラメータが必要ではないか。
- A:入力パラメータはできる限り少なくしている。最終的には、乗換駅における人流、SNSでのリスクに関するキーワード「飲み会」、ワクチン予防効果に関する集団免疫のようなパラメータを別に計算して入力、以上の3つでほぼ決まる。
- Q:変異ウイルスの感染力について問題は残るが、第6波までのデータを学習させることで、第7波以降につき感染力の強弱などを推定した値で条件を決め、3つのパラメータに組み込めば、次の流行を予測できるというイメージでよろしいか。
- A:その通りと思う。ワクチンの感染予防効果、重症予防効果の持続等は判明しているほうが良いが、概算入力で見積もることができる。第5波まではワクチン予防効果がわからず困難だったが、第6波では学習してモデルの精度は上がっている。
- Q:非線形回帰モデルとのことだが、それぞれ流行局面でモデルは違ってくるのか。
- A:飲み会の数が一定以下だと感染は広がらず、それ以上になれば爆発的に広がるという閾値モデルに近いようなイメージを想定して頂ければよい。
- Q:コロナの流行が終わり、新たな呼吸器系感染症を起こすモデルが出てきたとき、このモデルは使えるだろうか。今回積み重ねられたノウハウは次の感染症の時に日本で活

かせるか。

A:役に立つかどうかはわからないが、いくつか傾向を示せると思う。学問が細分化、専門化され過ぎて、隣接領域を参考にするまでに至らない状況では、問題解決に必要な知識や何をすべきかについて総合的に考えることが重要であろう。

A:感染力と感染メカニズムも多少調整が必要だが、概算は可能ではないかと思う。将来的に綺麗な入力パラメータをどう導出していくかというノウハウを、フリーソフトとして最低限可能な形で、後世に残すつもりである。

Q:畝見先生のモデルについて、は、どのパラメータが相対的に重要かは言えるが、それぞれ定量的に示すことは難しいのではないか。

A:確かに絶対値として値を当てることには弱いですが、各々の議論の中で、3つのパラメータ以外のパラメータを組み込み、シミュレーションモデルをより精緻にするための情報交換を行っている。

A:キーとなるパラメータについては、シミュレーションチームで議論しながら、どういうものを入力するか等、時間をかけノウハウを積み重ねている。

Q:マルコフ過程、遷移確率を含めていないのは、計算量が膨大になるためか。

A:マルコフ過程は入れたほうが楽になる。本件は、個人個人をモデル化しているので、個人の中にマルコフ過程があると言えるが、集団としての指標には入っていない。

Q:アーバンエリア（都市部）とルーラルエリア（地方）では地域差が大きい。シミュレーションで、アーバンとルーラルとの地域差を変数に入れ解析することは可能か。

A:アーバンエリアでしか出来ない。ルーラルエリアでは、コミュニティ間に距離があり、確率的に想定が困難である。

Q:第5波の減少要因について、ワクチン接種の実行再生産数の低減効果を推定したことに関し、シミュレーション効果では、機械学習の中身がわからないことが前提であり、推定するのは難しいと思うが、ツールとして使えば要因分析もできるということか。

A:機械学習は第5波までを学習した上で、仮定条件について未来予測の補完のようなことをやる。ある現象の中で人流が少ない場合やワクチン接種が少ない場合どうなっていたかを推定し、大まかに予測する。要因分析には有効と思う。

Q:平田先生のパラメータには、オミクロン株に感染する年齢層の変化が含まれていないが、それでも感染者数の高止まりという予測は当たっている。年齢によらない理由で、感染者数の高止まりが説明されたということになる。

A:今回は弱年齢層を分けなくても、リスク行動のみで感染が広がっていくと解釈した。さすがに年齢構成に分ける必要が出てきたが、内閣官房には十分情報が入らないのが難点である。

Q:保健所がどれだけ応援すべきか。入院者数など別のパラメータが知りたい。また飲み会にはリスクがあるというメッセージを一般に発信し、人流抑制への動きになれば良いと思う。

Q:モデルとしては、重症化率や入院率は三大都市圏以外で行うのは厳しいのか。

A:入院者数は推定している。重症化数は定義によって変わる。入院者数等比較的わかり

やすいパラメータで議論することが多い。地方都市だと夜間滞留人口や車の交通量をデータに使えるが、そういった要望をこれまで頂いたことがなかった。

A: オミクロン株は症状が軽いため、表に出る感染者数モデルには限界があり難しい。

Q: 予測が当たるようになっていくと、人々の行動が変化して結果的に予測モデルから外れることになるが、そうなれば大成功ということになるか。

A: 予測はポイントポイントで啓発をやらないと意味がない。どうやってメディアと国をうまく回転させていくかを考えなければならない。

Q: ワクチン接種率はどれくらいのインパクトだったのかについて伺いたい。感染者数の高止まりが今後ずっと続くのであれば、ワクチンありきの政策を見直す必要があるのではないか。

A: デルタ株の時のワクチンは感染予防効果 90%とインパクトがあった。オミクロン株に対する感染予防効果は 60%程度といわれており、そのようにはいかない。海外では日本より急速に感染率が落ちてきたが、もともと全体の感染者数が多く集団免疫の様相を呈している。

Q: 結局オミクロン株へのワクチンが出てくれば状況は変わるのではないかと思う。

A: すでに海外が先行している。日本での治験を減らし海外のワクチンを認可する方向で海外のデータを日本でも早晩使用できるのではないかと思われる。

—以上—