

新型コロナウイルス用ワクチンの最適配分問題

2018SS026 加賀 稜也

指導教員：佐々木 美裕

1 はじめに

新型コロナウイルスは、現在、世界各国で蔓延し、日に日に多くの感染者を出して問題となっている。しかし、治療薬の普及には時間が掛かり、現在、有効な対策手段として、2021年2月14日に薬事承認された新型コロナウイルス用ワクチンを接種する手段が挙げられる。この新型コロナウイルス用ワクチンは、大規模臨床実験によって2度ワクチン接種をすることで、新型コロナウイルスの発症を約95%抑えるという高い効果を持つことが分かっている [4]。しかし、短期間で接種することができるワクチンの数には限りがあり、日本では重症化リスクや死亡率の大きさ等を踏まえてワクチン接種順位を決め、優先順位の高い人から順番にワクチン接種を行っている。現在、ワクチン接種の優先順位の現状として、感染した時に重症化する確率の高い高齢者が優先的にワクチンを接種できるような順位付けとなっている [1]。この時、ウイルスに感染する危険の高さである感染リスクについて考えると、この優先順位は、重症化した場合のリスクや死亡率の大きさを踏まえて作られているので、感染リスクについてはあまり考慮されていない。この時、各人の感染リスクの合計が高いと感染者数が増加してしまうので、各人の感染リスクの合計を減らすことが出来れば、感染者数の減少につながるといえる。日本の感染者数を年代別で見ると、20代の年齢層が一番感染者数の比率が多く、年代が上がるごとに感染者数は減っていく傾向であることがわかる (図1参照) [2]、これは、若者は仕事等で外に出ることが多く、様々な人と接触する機会があり、最も大きなウイルスの感染源となっていることを意味していると言える。以上のことを踏まえると、感染リスクの一番高い若者が優先的にワクチン接種を受けることが出来れば、それに伴い各人の感染リスクを効率的に下げることができると予想できる。

本研究では、ワクチン接種の順番を変更することにより、全体の感染リスクにどのように影響を与えるのかについて、シミュレーションを用いて検証する。

2 日本の現状

日本では2021年5月頃からワクチン接種が本格的に始まっており、7カ月で日本の人口の約80%が2度のワクチン接種を終えている [3]。このように、2度のワクチン接種を希望者全員に行うには、半年以上の期間を要し、その間に大規模な感染拡大が発生する可能性も高い。2022年1月現在でも、コロナウイルス陽性者数は増え続けており、日本国内だけで既に陽性者数は170万人を超え [2]、死亡者も1万人を超えている。政府も緊急事態宣言等で感染対策はしていたが、希望者へのワクチン接種が完全に終わるまでに、多くの感染者及び死亡者が出てしまったのが現実である。こ

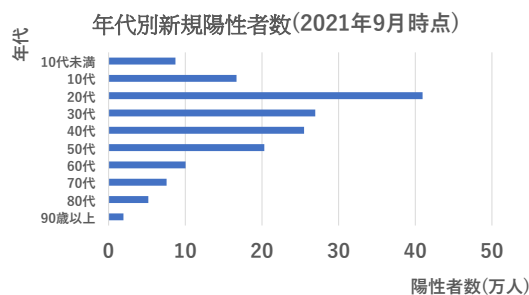


図1 年代別新規陽性者数 (累計)

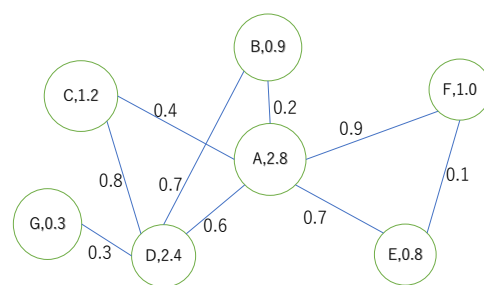


図2 接触度と感染リスクの図

この時、ワクチン接種を適切な順番で行うことができれば、陽性者数も死亡者数も減らすことが出来たと思われる。

3 記号の定義

はじめに、記号を以下のように定義する。

N : 人の集合。

w_{ij} : 人 $i \in N$ と人 $j \in N$ の接触度。

r_i : 人 $i \in N$ の感染リスク。

s_{ij} : 人 $i \in N$ がワクチンを接種した時、人 $j \in N$ のリスクが s_{ij} 倍になるリスク倍率を表す。

4 問題の説明

状況を想定し、ワクチン接種の順番が与える影響を分析するためのシミュレーションについて説明する。本研究では、人の集まりを想定したグループである図2を用いて感染拡大を抑えられるようなワクチン接種順を考える。人同士の関わりの強さを表すために、人同士の関わりの強さを接触度 w_{ij} として数値化し、お互いに関わりの強さが大きいほど接触度の値を大きくする。また、自身から他者への接触度の合計を感染リスク r_i として定義する。図2は、7人の人 A~G の接触度と感染リスクを想定し、数値化したものである。ノードを人、及び感染リスクとして、ノード間の枝状の数値が人同士の接触度を表わしている。この時、グループ全体での合計感染リスクをより減らせるような方法

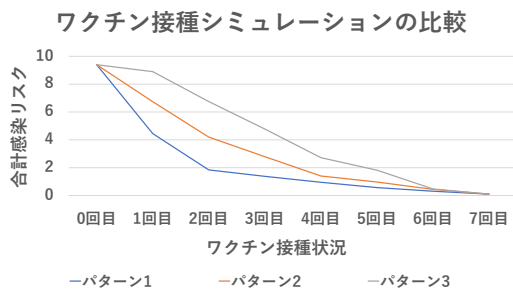


図3 ワクチン接種パターンの比較

をシミュレーションを用いて考える。ワクチン接種者は、実際に行われたワクチンの大規模臨床試験の結果を参考にし、感染リスクを95%減らすことができるとする[4]。また、ワクチン接種者と関わりのある人は、接触度の大きさをを用いて決められたリスク倍率 s_{ij} を掛けることにより、感染リスクを軽減することが出来る。リスク倍率 s_{ij} の決め方として、お互いの接触度が小さいほど倍率が低く、高いほど倍率が高くなるように $s_{ij} = -1 * (w_{ij})^2 + 1$ で求める。

よって、ステップ1、ワクチンを接種し、ワクチン接種者は感染リスクが激減する、ステップ2、ワクチン接種者と関わりのある人も若干感染リスクが下がる。以上の流れを、最後の一人がワクチン接種を終えるまで繰り返し行う。この手順でのワクチン接種を3つのパターンで行い、結果を比較していく。

感染リスクの高い人から順にワクチン接種を行ったパターン1と、乱数を用いてランダムにワクチン接種順番を決め、10回シミュレーションを行い平均のデータをとったパターン2、そして感染リスクの低い人から順にワクチン接種を行ったパターン3を比較する。

5 実行結果と考察

シミュレーションの実行結果から求められた3パターンの合計感染リスクの変化を表している図3と、3パターンの各人の感染リスクの変化を表す図4、図5、図6を見ると、パターン1である感染リスクが高い人から順にワクチン接種をする方法を用いれば、感染リスクの合計を一番減らすことができることがわかった。特に、全期間における感染リスクの合計についてパターン1とパターン3を比較すると、およそ2倍の違いがあった。これにより、感染リスクの高い人が優先的にワクチン接種を行うことで感染拡大を抑えられるということがわかった。よって、感染リスクが比較的高い若者への優先的な接種も有効であると言える。

6 おわりに

本研究は、今現在、猛威を振るっている新型コロナウイルスに対して、ワクチンを打つ順番を変えたら感染者が減るのではないかと思ひ、シミュレーションを行ったものである。近い未来に似たようなウイルスの感染が問題になった場合、本研究が他の問題にも応用可能である。

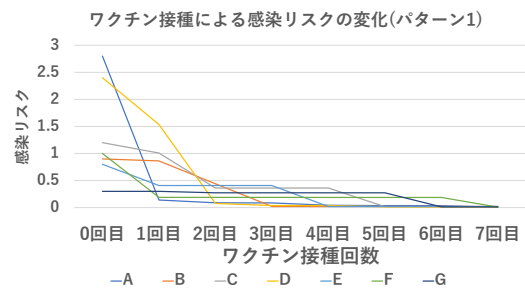


図4 各人の感染リスクの変化(パターン1)

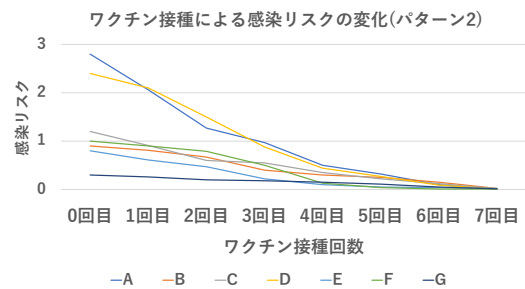


図5 各人の感染リスクの変化(パターン2)

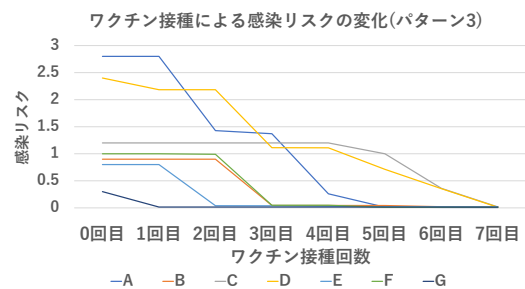


図6 各人の感染リスクの変化(パターン3)

参考文献

- [1] 厚生労働省, 新型コロナウイルス Q & A 対象者や優先順位
<https://www.cov19-vaccine.mhlw.go.jp/qa/priority/>
 2022年1月19日閲覧
- [2] 厚生労働省, データからわかる - 新型コロナウイルス感染症情報 -
<https://covid19.mhlw.go.jp/> 2022年1月19日閲覧
- [3] 日本経済新聞, チャートで見る日本の接種状況 コロナワクチン, 2021
<https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-japan-vaccine-status/> 2022年1月19日閲覧
- [4] 山中伸弥, ファイザー社製ワクチンの有効性, 2021
<https://www.covid19-yamanaka.com/cont5/37.html>
 2022年1月19日閲覧