

マルチエージェント・シミュレーションによる従業員を新型コロナ感染から守る対策の提案

Proposal to Protect Employees from Covid-19 Infection using Multiagent Simulation

杉本明隆*¹ 梅原英一*¹

Akitaka Sugimoto Eiichi Umehara

*¹ 東京都市大学 Tokyo City University

要旨: 新型コロナウイルスによる感染拡大は我が国の経済、多大な影響を及ぼしている。現在の感染対策において企業は、繁華街に立ち寄る人数の制限や PCR 検査の実施など、感染の影響を最小限に抑えるさまざまな対策が行われている。しかし、これらの対策に関する計量的な効果についてはほとんど分析されていない。そこで本研究では、仕事帰りの人が繁華街に立ち寄った場合を想定し、エージェント・シミュレーションを用いて、定期的な社内 PCR 検査の有効性を検証することを目的とする。その結果、対策を全く行わない場合は医療崩壊が見られたが、PCR 検査を実施した場合は感染の拡大を押さえられるケースがあることが分かった。

キーワード: 新型コロナ感染症対策、PCR 検査、マルチエージェント・シミュレーション

Abstract: The infection with the Covid-19 has a great impact on Japan's economy. To preventing the spread of the infection, many companies are taking measures to minimize the effects of infection such as restrict visits to downtown and PCR test. However, there were few analyzes of the quantitative effects of these measures. Therefore, we examined the effectiveness of a company's in-house PCR test, assuming employees visit to downtown on their way home from work, using a multi-agent simulation. As a result, collapses of the medical care system occurred when companies took no action. However, we found that there were cases where the spread of infection can be suppressed when PCR tests were carried out.

-Agent Simulation, Covid-19 disease, PCR test.

Keywords: Covid-19 disease, PCR test, Multi-Agent Simulation

1. はじめに

2019年12月頃に中国湖北省武漢で発生した新型コロナウイルス (COVID-19) は、2月には急速な勢いで中国全土に感染が拡大した。同時に、世界各国へも感染が広がり、2020年12月初旬には7700万人を超える感染者と170万人を超える死亡者が確認されている。そしてすべての国と地域で感染者が出現し、WHO[1]はパンデミックを宣言する事態となった。日本でも、クルーズ船での感染拡大から始まり、今でも日に日に感染者は増え続けている。そして、感染拡大は我が国の経済に多大な影響を及ぼしている。特に居酒屋などの飲食店では被害を受け、休業や閉店を迫られた。そんな中、仕事の帰りに繁華街に立ち寄ることを楽しみにしている人達がいる。そこで、新型コロナウイルスの対策において企業側は、繁華街に立ち寄る人数の制限や PCR 検査の実施など、感染の影響を最小限に抑えるさまざまな対策が行われている。しかし、これらの対策に関する計量的な効果についてはほとん

ど分析されていない。そこで仕事帰りの人が繁華街に立ち寄った場合を想定し、本研究では、Artisoc[5]を用いたマルチエージェント・シミュレーションにより、これらの対策の有効性を検証することを目的とする。

2. 新型コロナウイルス

2.1. 新型コロナウイルスとは

厚生労働省[3]によると、新型コロナウイルス (SARS-CoV2) はコロナウイルスの一種である。コロナウイルスは遺伝情報として、RNA ウイルスの一種 (一本鎖 RNA ウイルス) で、粒子の一番外側に「エンベロープ」という脂質からできた二重の膜を持っている。自分自身で増えることはできないが、粘膜などの細胞に付着して、入り込んで増える。ウイルスは粘膜に入り込むことはできるが、健康な皮膚には入り込むことができず、表面に付着するだけと言われている。種類によっては約24時間~72時間感染する力をもつといわれている。

2.2. 感染・発症期間

厚生労働省[2]によると、新型コロナウイルスの潜伏期間は約1~14日間とされている。感染してから症状が発症するまでの平均期間は5~6日と報告されている。また発症から間もないころから感染性が高いウイルスである。感染期間は発症する2日前から発症後7~10日間程度が感染期間とされている。しかし、感染期間は新型コロナウイルスの感染症状が重症であればあるほど排菌期間が長くなる。特に重症度の高い人では発症から約平均で3~4週間はウイルスが排菌される可能性がある。

2.3. 感染経路

感染の仕方は飛沫感染と接触感染の2通りがある。飛沫感染は感染者の飛沫（くしゃみ、咳、つば）と一緒にウイルスが放出され、他の方がそのウイルスを口や鼻などから吸い込んで感染することである。接触感染は感染者がくしゃみや咳を手で押さえた後、その手で周りの物に触れるとウイルスが付く。それを他の者が触れると、手に付着し、その手で口や鼻を触ることで感染する。

2.4. 対策

内閣官房新型コロナウイルス感染症対策推進室[2]では、感染対策として主に5つの対策を指摘している。一つ目は密集・密接・密室を避ける。二つ目は安全な距離を保つ。三つ目はこまめに手を洗う。四つ目は室内換気と咳エチケットを行う。五つ目は接触確認アプリをインストールする。一方で、各企業や自治体からの感染防止対策も指示されている。例えば、在宅勤務、時差通勤、外出や対面の会議を避ける、定期的なPCR検査の実施などが推奨されている。

3. 先行研究

荻林[4]は免疫と抗体及びウイルスの数を考慮したエージェント・シミュレーション感染モデルを構築する実現象と比較するとともに、感染拡大収束のメカニズム及び、感染抑制と経済の両立条件について分析した。

3.1. モデルの概要

荻林は初期の感染者を一人と仮定し、各エージェントは2次元空間内を距離方角共にランダムに移動させた。エージェントは健全者と感染者が存在する。健全者が感染者と遭遇すると感染者の持つウイルスの一部が一定の確率で当該エージェントの体内に混入する。混入したウイルスは初期には自然免疫によって所定の割合で、またその後抗体が発生するとより大きな割合

で、対外に排出される。体内に残留したウイルスは所定に割合で増殖するが、新たな感染がなければウイルスは消滅し、ウイルスの数が下限値未満となった時点で回復したとみなす。死亡は無視した。

解析条件は各タイムステップに、感染者数、新規感染者数、新規回復者数、遭遇エージェント（感染者、健全者）を計算する。また上記特性値に対する、ウイルス増殖率の影響、最大移動距離の影響、ウイルス吸収率の影響、移動の制限と緩和、抗体の存在有無の影響を解析した

3.2. 結果

感染拡大と収束の基本メカニズムは、健全者が感染者と接触する確率が感染に伴い累進的に増加すること、及び回復者の増加に伴い上記確率が累進的に低下することである。また、移動制限及び、ウイルス吸収防止を厳格化した場合は第2波の生成が見られなかった。したがって、感染拡大の抑制と経済悪化防止を両立させるための対策の基本は、感染者を識別し、感染者のみその行動を制限し、健全者が感染者と遭遇する確率を低下させることと、荻林は述べている。

4. 本研究の概要

4.1. シミュレーションモデルの概要

本研究では、Artisoc[5]を用いて、企業内PCR検査の効果を分析する。荻林[4]のモデルでは2次元空間内で地域を限定せずにエージェントを距離・方角共にランダムに移動させた。本研究は2次元空間内に居住区、4つの職場(A,B,C,D)、繁華街、病院、隔離施設の8か所の空間を配置する。従業員の移動は、毎日指定された職場に通い、退社後に一定確率で繁華街に立ち寄るモデルである。感染者は健全者に一定確率で感染する。繁華街は2倍の確率にした。発病者は病院に行き、5日間の入院期間に入る。PCR検査で陽性の場合は隔離施設に滞在する。土曜日と日曜日は職場に通勤しないことを想定し、一週間は5日間と仮定する。本研究の一日のシミュレーションの流れを表1に表す。

表1 一日の流れ

エージェント	時間	step
家	9:00	0
~		12
職場	10:00~17:00	84
~		90
繁華街	17:30~19:30	114
~		126
家	21:00	132

本研究の主な変数とパラメータを表2に示す。本研究のシミュレーション世界を図1に示す。

表2 基本パラメータ

モデル	パラメータ
エージェント数	300
1職場出勤人数	75
繁華街立ち寄り確率	20%
感染ルール	周囲8人
感染確率（職場）	視野1 40%
繁華街立ち寄り確率	20%
感染確率（繁華街）	視野2 90%
入院期間	5日
検査期間	5日
発症確率	70%
PCR検査	5日間に1回
空間変数	1000*1400
職場空間	200*200
繁華街空間	100*100
病院・隔離施設空間	100*800

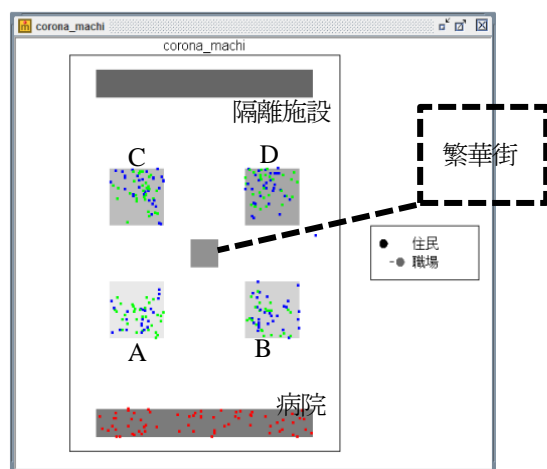


図1 シミュレーションの世界

4.2. シミュレーションケース

本研究はシミュレーションケース7つ行った(表3)。

表3 シミュレーションケース

Case	対策 (PCR 検査)	対策 (繁華街)
1	なし	なし
2	なし	人数制限
3	なし	禁止
4	週1回全職場	なし
5	週1回1職場(A)	なし
6	週1回1職場(A)	1職場人数制限
7	週1回1職場(A)	1職場禁止

5. シミュレーション結果

シミュレーションケースは各5回実施した。図2に各ケースのグラフを示す。医療崩壊は全体の15%の45人が入院した場合とした。

Case1は5回中5回とも医療崩壊が起こった。初期には数人であった感染者数が時間経過とともに増加した。したがって、何も対策しない場合は早い段階で医療崩壊が発生した。繁華街に行く感染者が多いほど、健全者に感染するリスクも高まり、クラスターが発生した。感染者が増加するごとに職場での感染も目立つようになった。このことから感染拡大のメカニズムは繁華街での感染者数増加と感染者の遭遇確率の増加が繰り返されることにより、感染者数が累進的に増加することと考えられる。

Case2は繁華街の人数制限を導入した場合である。Case1と同様5回中5回とも医療崩壊が起こった。感染者数が時間経過とともに増加する。そして、医療崩壊が発生した。しかし感染者が増加するスピードは抑えられていることがわかる。これは感染者が繁華街にいく人数が減り、健全者と感染者の接触確率が少なくなったためである。したがって序盤・中盤の方では職場での感染も抑えられている。

Case3は繁華街立ち寄りを禁止した。5回中5回とも感染収束した。中盤では感染者が増加したが、徐々に減少していることがわかった。

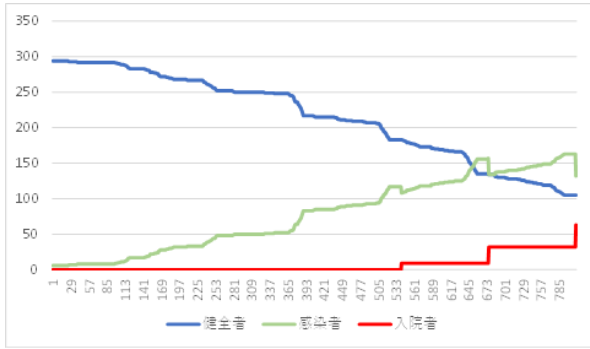
Case4は全職場でPCR検査を導入した場合である。5回中5回とも感染収束した。感染者数が増加する前にPCR検査が入り、町での感染拡大を未然に防いだ。このことからPCR検査の実施が感染者の増加を抑えることに大きく関わっていた。故に、医療崩壊は発生しなかった。

Case5は繁華街の人数制限はせず、A職場のみPCR検査を導入した場合である。A職場を含めて医療崩壊が発生した。Case1と同様、序盤で感染者は時間とともに急激に増加している。このことから一つの職場のみのPCR検査の実施は、他の職場で対策されてない限り、あまり効果がないことがわかった。

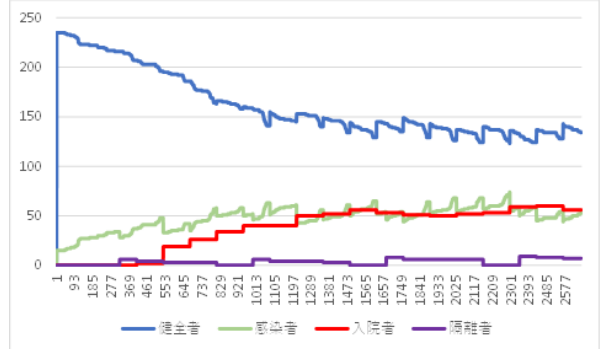
Case6及びCase7の場合はA職場のみでPCR検査を実施した。さらにA職場のみで繁華街規制を行った場合である。全体は5回中5回とも医療崩壊が発生した。しかしA職場のみは感染が抑えられた。

故に、企業独自の定期的な従業員へのPCR検査と感染確率の高い繁華街等の場所への立ち入り規制を併用することで、企業内部の感染拡大は抑えられる可能性があることが分かった。

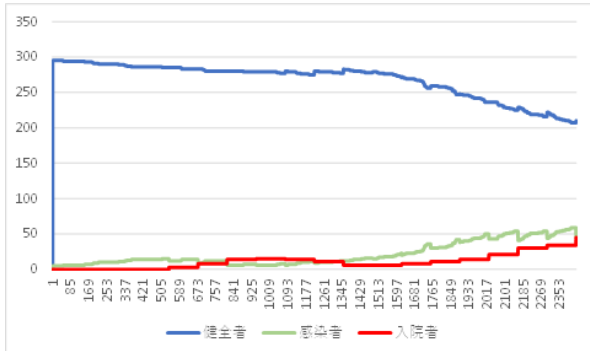
(1) Case1 (PCR 検査なし、繁華街規制なし)



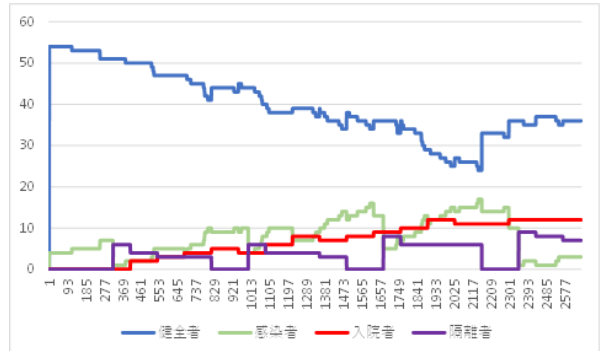
(5) Case5 (PCR 検査 A 職場のみ、繁華街規制なし)



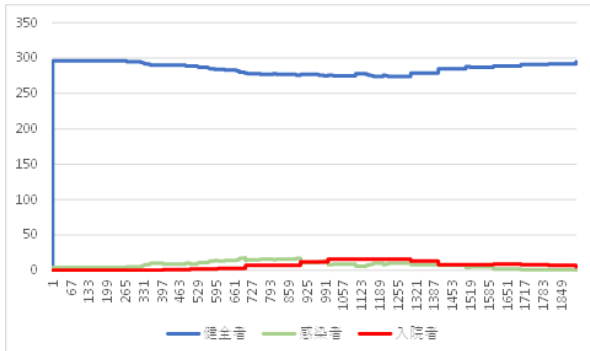
(2) Case2 (PCR 検査なし、繁華街人数制限)



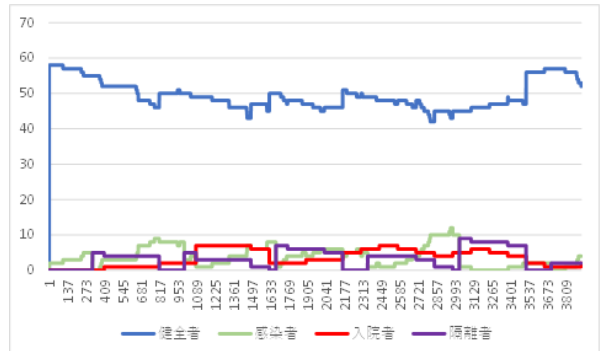
(6) Case5 A 職場 (PCR 検査、繁華街規制なし)



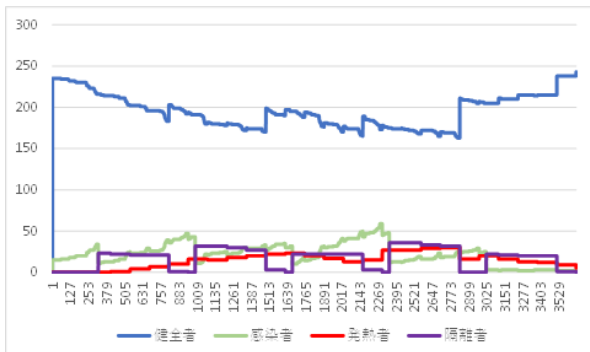
(3) Case3 (PCR 検査なし、繁華街禁止)



(7) Case6 A 職場 (PCR 検査、人数制限)



(4) Case4 (PCR 検査あり全職場、繁華街規制なし)



(8) Case7 A 職場 (PCR 検査、繁華街禁止)

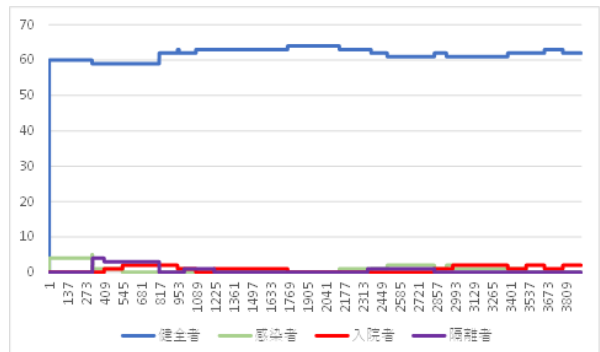


図2 シミュレーション結果

縦軸：人数、横軸：ステップ数 (132Step/日)

健全者：青、感染者：緑色

入院者：赤色、隔離者：紫色

6. 考察

結果の要約を表4に示す。繁華街の人数制限だけのCase2では感染収束の効果はなかった。しかし、全職場内でPCR検査を実施したCase4では、繁華街立ち寄り規制がなくても感染拡大の抑制ができた。またA職場のみPCR検査を実施したCase5ではA職場を含めて感染を押さえることはできなかった。しかしA職場でPCR検査に加え繁華街立ち寄り人数制限を加えたCase6,7では、A職場のみは感染拡大が抑えられた。

表4 シミュレーション結果要約

ケース	最終状態	シミュレーション結果
(1)対策なし	医療崩壊	時間の経過とともに感染者が急激に増加し、収まる気配が見られない
(2)繁華街の人数制限	医療崩壊	感染者の増加のスピードは抑えられる。しかし(1)のケースと同様、時間経過とともに感染者が増加する。
(3)繁華街の立ち寄り禁止	感染収束	中盤で感染者はゆるやかに増加するが、終盤で感染者は0人になる。
(4)PCR検査全職場	感染収束	序盤こそ感染拡大は起こるが、徐々に感染者は減少していく。そして感染者を0人にすることが可能であり、感染収束する。
(5)PCR検査 A職場のみ	医療崩壊	全体的には(1)のケースとほとんど変わらない。そしてPCR検査を実施している職場内でも、感染拡大をしている。
(6)A職場のみPCR検査&繁華街の人数制限	A職場のみ感染収束	全体的には(1)のケースとほとんど変わらない。しかしA職場のみ感染増加と収束を繰り返している。終盤では感染増加を抑えている。
(7)A職場のみPCR検査&繁華街の禁止	A職場のみ感染収束	全体的には(1)のケースとほとんど変わらない。しかしA職場のみ、感染の拡大は起こらない。

6.2. 企業側の対策

本研究の結果から、企業が従業員に対してとるべき感染防止対策を提案する。

① 繁華街への立ち入り規制

感染リスクの高い場所である繁華街の立ち寄りの一時停止を行う必要がある。これにより、感染者は増加せず、健全者に感染させる確率を減らせる。

② 社内PCR検査の定期的な実施

1社だけでも週1回のPCR検査実施を提案する。この場合は、検査を実施した職場は感染リスクを減らせる可能性はある。ただしPCR検査だけでは効果がなく、繁華街立ち寄りを同時に規制する必要がある。また企業は従業員がPCR検査で陽性と判明した場合、そのまま放置せず、即座に隔離する必要がある。

7. 今後の課題

本研究は企業側の対策を検討した。今後の課題としては、第1に繁華街側の対策も検討する必要がある。繁華街の感染防止対策を含めたシミュレーションケースを増やすことで、繁華街にある程度の人数が立ち寄った場合でも、感染拡大を抑えられる対策を検討する必要がある。第2に、本研究ではエージェントは従業員の1種類だけであった。主婦、生徒・学生などのエージェントの種類をさらに増やすことで、家庭、学校、商店街での感染などよりリアルなシミュレーションを作成することである。

参考文献

- [1] WHO, <https://www.who.int/>, 2020.
- [2] 厚生労働省、新型コロナウイルス感染症のいまについての10の知識、<https://www.mhlw.go.jp/content/000689773.pdf>, 2020.
- [3] 厚生労働省、新型コロナウイルスについて 新型コロナウイルスの関するQ&A（一般向け）、https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/dengue_fever_qa_00001.html#Q2-3, 2020.
- [4] 萩林成章、免疫及び抗体を考慮したエージェントベース感染モデル、経営情報学会2020年全国発表大会要録集、2020.
- [5] 山影進、人工社会構築指南、書籍工房早山、2008.