

新型インフルエンザ発生時のオフィス内感染抑制の シミュレーション

○下馬場有祐 林潤英 市川学 中井豊 (芝浦工業大学)

Simulation of the inhibition of infection in the office on Pandemic influenza outbreaks

* Y.Shimobaba, Y.Rim, M.Ichikawa, Y.Nakai (Shibaura Institute of Technology)

概要— 新型インフルエンザは殆どの人が免疫を持っていないため、一度発生すれば大きな健康被害とこれに伴う社会的影響をもたらすことが懸念されている。新型インフルエンザの対策は水際対策や外出の自粛といった様々なものが挙げられるが、本研究では他人との接触を避けるという点でのテレワークと、他人と接触しても効果を発揮するマスクを感染対策として注目した。本研究ではエージェントベースシミュレーションを用いて、オフィス内で人流に注目した感染対策を行った場合の感染拡大抑制の効果を検証し、今後新型インフルエンザの流行を見据えて、効果的な感染対策を啓蒙する際の指標となることを目指す。

1. 研究の背景と目的

1.1. はじめに

新型インフルエンザウイルスとは、特に鳥類にのみ感染していた鳥インフルエンザウイルスの中で、当初は偶発的に人に感染していたものが、遺伝子の変異によって人の体内で増えることができるようになり、さらに人から人へと効率よく感染するようになったものである。未知のウイルスとなる新型インフルエンザは殆どの人が免疫を持っておらず、一度発生すれば大きな健康被害とこれに伴う社会的影響をもたらすことが懸念されている。

1.2. 新型インフルエンザの対策

1.2.1. 主な対策

新型インフルエンザ対策としては薬剤やワクチン、ウイルスの国内侵入を防ぐための水際対策や、特定の地域に閉じこめて感染の拡大を防ぐ地域封じ込め、外出や集会などの自粛といった、さまざまな公衆衛生的対応がある¹⁾。この中で外出や集会などの自粛は、人との接触を避けることにより感染者との接触リスクを減らすものである。抗インフルエンザウイルス薬は感染後の対策となるが、他人との接触の回避は感染そのものへの対策となる。

1.2.2. 新型インフルエンザ流行時のテレワーク

国立感染症研究所のシミュレーションにより、新型インフルエンザ発生時、鉄道輸送人数の抑制は感染拡大の対策として有効であるというとの報告がある²⁾。この報告は、インフルエンザ流行時、会社が在宅勤務体制をとることにより、感染リスクの高い交通機関を利用した通勤などが不要になるうえに、鉄道利用者が減ることにつながるため、有効な新型インフルエンザ対策となりうることを示している。

1.2.3. 新型インフルエンザ流行時のマスク

マスクには咳やくしゃみによる飛沫を抑える効果が期待できる。インフルエンザウイルスの大きさ自体は $0.1\mu\text{m}$ 程度に小さいが、通常ウイルスが外に出る場合は唾液等の $5\mu\text{m}$ 程度の飛沫と共に飛散されるため、不織布マスクのフィルターで抑えることができる³⁾。感染者がマスクを着用していると、感染者が他人と接触しても、他人への感染を防ぐことができる可能性がある。

1.3. 研究の目的

本研究では、新型インフルエンザ流行時の対策として、企業が在宅勤務体制をした場合におけるオフィス内の人口と人流の変化に注目し、オフィス内でどれほどの感染抑圧の効果が出るかを、オフィスで

の対策がなかった場合と比較して、エージェントベースによるシミュレーションを用いて検証する。また、人口と人流とは無関係に、オフィス内でマスクを着用した人と人が平常通り接触をすると、感染抑圧の効果が出るのかどうかを検証する。上記から効果的なオフィス内対策を考察することで、今後新型インフルエンザの流行を見据えて、効果的な感染対策を啓蒙する際の指標となることを目指す。

2. 研究方法

本研究ではエージェントベースモデルを使用して、新型インフルエンザ発生時にエージェントが各種感染対策を行うことで、感染拡大抑制の効果を調べ、各種感染対策の評価を行う。Fig.1 は本研究の大まかな流れである。新型インフルエンザの感染プロセスの再現、現実世界より行動データを収集することによる行動プロセスの再現、地図の再現によって、仮想オフィス上で人々が独自の動きを示し感染が発生する、より現実に即した感染モデルを構築する。感染対策を行っていない場合のシミュレーションと、感染対策を行った場合のシミュレーションで1週間分(平日5日間)の感染シミュレーションを実行し、その感染拡大の結果を比較する。

3. 先行研究

新型インフルエンザの感染拡大やその抑制に関するシミュレーションは予めから研究されており、近年では微分方程式を用いた疫学モデルに代わる、エージェントベースモデルによる分析が盛んに行われている⁴⁾。エージェントベースモデルは社会を構成する人の行動や生活を表現することができるモデルであるが、現実の行動データをシミュレーション上で再現した感染モデルは見られない。

4. 感染モデルの構築

本研究では汎用シミュレーションパッケージ S-quattro Simulation System を使用して感染モデルを構築する。

4.1. 行動データの収集

芝浦工業大学の市川研究室、中井研究室、武藤研

究室が合同で使用し、最大で36人集まる5231-2～5232-2室にて行動データを収集した。以下この部屋を学生室とする。この学生室の学生をサンプルとしてエージェントの行動を設定するため、360カメラを設置して1分おきに撮影を行った。Fig.2 は学生室を360カメラで頭上から撮影した写真である。

調査期間にコアタイムを設けてデータを収集することで、学生室を現実のオフィスに見立てたモデルの構築を行う。

Table 1 行動データ収集

対象	学生 36 人
場所	学生室の中のみ
調査期間	2019/11/05～11/08, 11/11～11/15 の 10:50～16:50

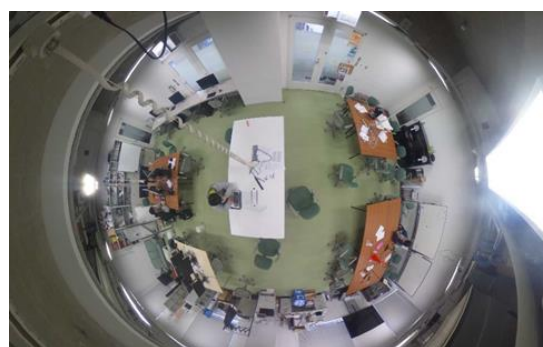


Fig.1 360カメラで撮影された学生室

4.2. マップの構築

エージェントを動かす環境を作成する。学生室の机と椅子、扉の位置を再現して配置する。Fig.3 は今回の感染モデルにおけるマップの全容である。マップにおける南半分の部屋が、エージェントが主に滞在する学生室を再現した部屋となる。後述する学生エージェントの分類分けにおいて、学生室の中にある椅子を区別する必要があったため、Fig.4 のように机とその周辺の椅子を①～⑥として属性分けを行った。各エージェントは主にこの椅子に座って1日の大半を過ごすことになる。マップの中の学生室に当たる部分を、以下オフィスとする。Fig.5 はオフィス外の属性分けである。学生室から出て左手の部屋をトイレとし、属性を toilet, それ以外の学生室外のスペースは昼食時等の外出先とし、属性を outside とする。

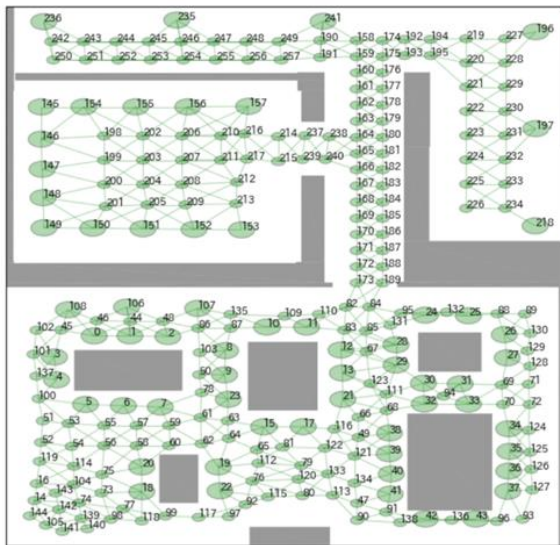


Fig.2 感染モデルのマップの全容

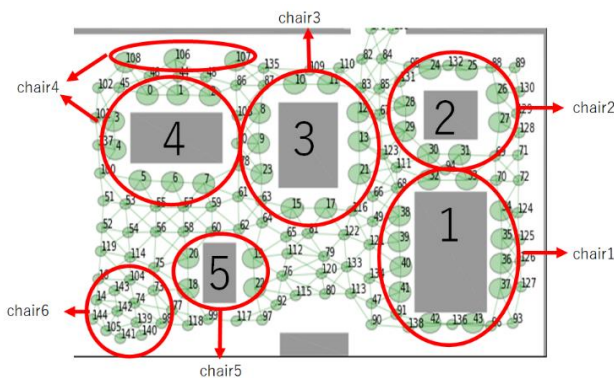


Fig.3 机と椅子の分類

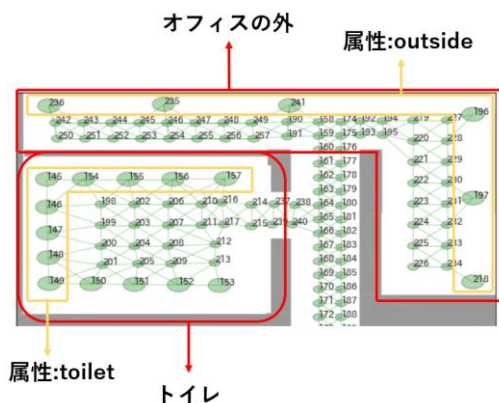


Fig.4 オフィス外の属性分け

4.3. エージェントの行動プロセス

収集した行動データから、エージェントが選択する行動を4種類に分けた。各々が決まった曜日に会議(ゼミ)を行い、決まった時間に休憩や退出をするように設定を行う。Table 2 はパターンごとに、どの研究室が基になっているかを示す表である。パターンごとに席を立つ頻度と優先して座る席を設定する。Table 3 はエージェントがパターンごとの日程を示す表である。ゼミ活動が行われるのは月曜日と水曜日であり、火曜日、木曜日、金曜日には特にイベントが発火することもなく通常通り勤務する。Fig.5 はエージェントの一日の流れである。

Table 2 4パターンのエージェント

パターン	研究室	席を立つ頻度	優先する席
パターンA	市川研生	45分に1回	chair4
パターンB	中井研生	60分に1回	chair3
パターンC	武藤研生	75分に1回	chair1
パターンD	研究室未配属	無し	chair2

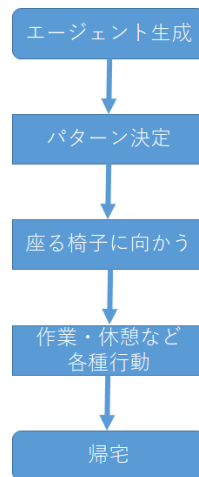


Fig.5 エージェントの一日の流れ

4.4. 感染プロセス

感染プロセスは飛沫感染を想定する。感染者エージェントは30分に1回程度、くしゃみや咳で飛沫を飛ばす。その際に感染者エージェントの半径2m以内に存在した非感染者エージェントは低確率で感

Table 3 パターンごとの日程

パターンA	パターンB	パターンC	パターンD
月 通常勤務	15:00~16:40に机1と机2に集まり活動	11:00~12:00に机1と机2に集まり活動	10:50~12:30と15:00~16:40の時のみオフィスで活動
火 通常勤務	通常勤務	通常勤務	出社しない
水 16:50~18:30においても活動	通常勤務	通常勤務	16:50~18:30に活動
木 通常勤務	通常勤務	通常勤務	出社しない
金 通常勤務	通常勤務	通常勤務	出社しない

染する。感染する確率＝感染力の強さと定義を行い、複数の感染確率でシミュレーションを行う。

今回のシミュレーションにおいてはランダムで最初の感染者をオフィス内に1人だけ発生させ、最初の感染者を除いた感染者数で結果を求める。Fig.13はシミュレーションを実行する際の様子だが、青く表示されているのが非感染者エージェントであり、赤く表示されているのが感染者エージェントである。今回のシミュレーションにおいてはオフィス内の感染拡大に関してのみ考慮している。そのためオフィス内以外では感染が行われないように設定を行う。

4.5. 感染対策の実装

非対策時の感染モデルと、リスクコミュニケーションによる感染対策実施時の感染モデルを構築する。今回のモデルでは2種類の感染対策について検討した。

(1)咳エチケット

本研究では感染者エージェントがマスクをしている場合の周囲への感染確率が、マスクをしていない場合に対して10分の1の確率に低下するように設定する。

(2)オフィス内人数減少時

オフィス内の総人数を減らした場合を想定してシミュレーションを行う。

非対策時のシミュレーション、咳エチケット実行時のシミュレーション、対人距離の保持実行時のシミュレーション、咳エチケットと対人距離の保持実

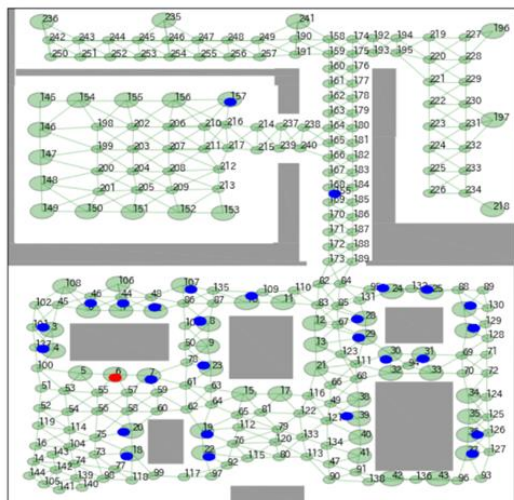


Fig.6 シミュレーション実行時の様子

行時のシミュレーションを行い、合わせて4パターンの感染シミュレーションを作成し、シミュレーションを実行する。

5. シミュレーション結果

シミュレーションは感染確率と対策ごとに100回実行し、その平均値で結果を算出する。

シミュレーション結果を以下のように計算して纏める。

<総感染者数>

$$\text{総感染者数} = \text{部屋内感染者数} + \text{通院者数}$$

<感染者率>

$$\text{感染者率} = \text{感染者数} / \text{オフィス内最大人数}$$

<追加感染者数>

$$\begin{aligned} \text{追加感染者数(初期感染者を除いた感染者数)} \\ = \text{総感染者数} - 1 \end{aligned}$$

<感染者抑制率>

$$\text{感染者抑制率} = \text{対策時の感染者率} / \text{非対策時の感染者率}$$

5.1. 非対策時におけるシミュレーション結果

Table 4は感染確率を1%から10%までとして、非対策時のシミュレーションを行った際の総感染者数と、感染者率(=総感染者数/30)であり、Fig.7は各感染確率の追加感染者数をグラフに表したものである。感染確率1%~5%までが特に感染者数の差が大きく、6%~10%間は増加人数の変動がやや緩やかになっている。非対策時において、感染確率が1%程度の感染力だと感染者率は10%にも満たないが、感染確率が10%程度の感染力になると、30人中の95%以上が感染してしまうことを示している。この

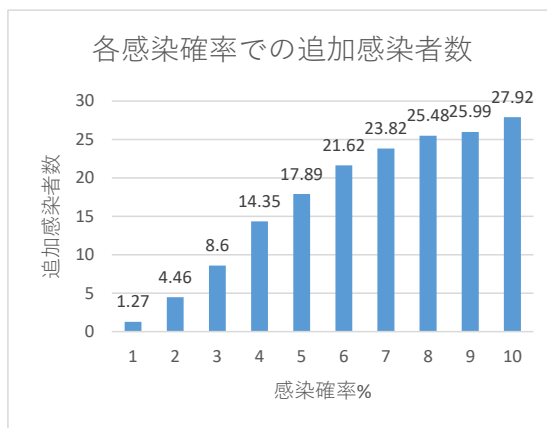


Fig.7 各感染確率での追加感染者数

Table 4 感染確率 1~10%における感染者率

感染確率	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
総感染者数	2.27人	5.46人	9.60人	15.35人	18.89人	22.62人	24.82人	26.40人	26.99人	28.92人
感染者率	7.57%	18.20%	32.00%	51.18%	62.96%	75.40%	82.73%	88.00%	89.97%	96.40%

感染確率の中で1~5%を低感染力、6~10%を高感染力とし、それぞれの中央値となる3%と8%を抽出して、対策時のシミュレーションを実行する。

5.2. 咳エチケット実行時におけるシミュレーション結果

Table5, Table6 は感染確率 8%と 3%における咳エチケット実行時の総感染者数とその感染者率、追加感染者数とその感染者率、更に感染者抑制率を示したものである。Fig.8, Fig.9 は追加感染者の感染者率と感染者抑制率を表したグラフである。感染確率 8%時の感染者がマスクを着用している際の周囲に対する感染確率は 0.8%とし、感染確率 3%におけるマスク着用者の周囲への感染確率は 0.3%とする。30人全員がマスクを着用すると、高感染力の場合でも追加感染者率が 5%を満たないことが分かった。Fig.8 より高感染力と低感染力のいずれにおいても、追加感染者率が 10%を下回る時のマスク着用者数は 25人、即ち全体の 5/6 がマスクを着用している状態となる。感染者率が確実に 5割を切るのは全体の半分がマスクを着用している時である。Fig.9 より高感染力と低感染力のいずれにおいても、オフィス内の全体の 5割以上がマスクを着用していると感染者抑制率を確実に 5割まで下げることができている。即ちオフィス内の半分がマスクを着用していると、非対策時と比較して 5割以下まで感染者数を抑えら

れることが分かった。特に感染者抑制率の変化が大きいのにはマスク着用者数 5人~15人の間であるが、全体的にマスク着用者数が 1人でも増加すると感染者の減少がよく表れている。

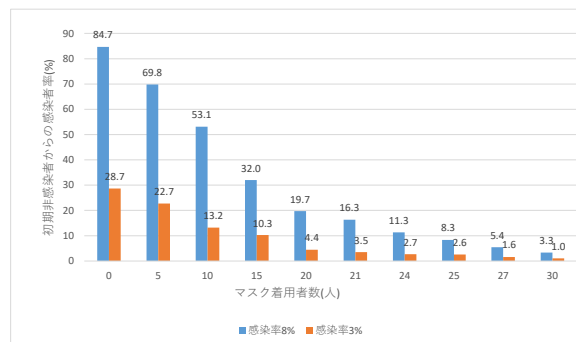


Fig.8 咳エチケット時の追加感染者率

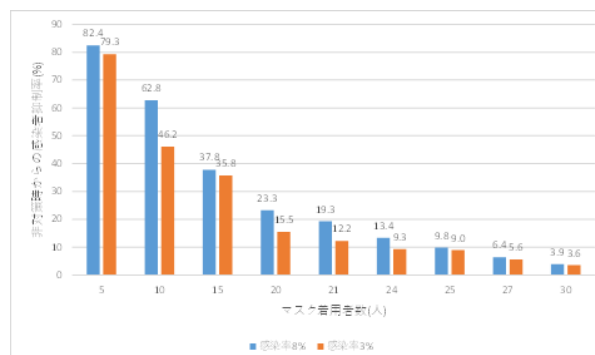


Fig.9 咳エチケット時の感染者抑制率

Table5 感染確率 8%における咳エチケット実行時の感染者率と感染者抑制率

感染率8%	マスク着用者数	0人	5人	10人	15人	20人	21人	24人	25人	27人	30人
総感染者数		26.40人	21.94人	16.94人	10.60人	6.92人	5.90人	4.40人	3.50人	2.63人	2.00人
感染者率		88.00%	73.13%	56.47%	35.33%	23.07%	19.67%	14.67%	11.67%	8.77%	6.67%
初期感染者を除いた感染者数		25.40人	20.94人	15.94人	9.60人	5.92人	4.90人	3.40人	2.50人	1.63人	1.00人
初期非感染者の感染者率		84.67%	69.80%	53.13%	32.00%	19.73%	16.33%	11.33%	8.33%	5.43%	3.33%
非対策時からの感染者抑制率		100.00%	82.44%	62.76%	37.80%	23.31%	19.29%	13.39%	9.84%	6.42%	3.94%

Table6 感染確率 3%における咳エチケット実行時の感染者率と感染者抑制率

感染率3%	マスク着用者数	0人	5人	10人	15人	20人	21人	24人	25人	27人	30人
総感染者数		9.60人	7.82人	4.97人	4.08人	2.33人	2.05人	1.80人	1.77人	1.48人	1.31人
感染者率		32.00%	26.07%	16.57%	13.60%	7.77%	6.83%	6.00%	5.90%	4.93%	4.37%
初期感染者を除いた感染者数		8.60人	6.82人	3.97人	3.08人	1.33人	1.05人	0.80人	0.77人	0.48人	0.31人
初期非感染者の感染者率		28.67%	22.73%	13.23%	10.27%	4.43%	3.50%	2.67%	2.57%	1.60%	1.03%
非対策時からの感染者抑制率		100.00%	79.30%	46.16%	35.81%	15.47%	12.21%	9.30%	8.95%	5.58%	3.60%

5.3. オフィス内人数減少時におけるシミュレーション結果

オフィス内人数減少時においては、総人数を減少させる方法と、エージェントの一部が在宅勤務を行う方法の2種類で算出した。前者は総人数を減らすだけであるため、非対策時と同様に感染者は自身が感染していると気付かないままオフィス内で活動を行う。後者はエージェントの一部が在宅勤務を行い、オフィスの外となる Fig.4 の outside で活動するため感染者が隔離される可能性を考慮している。

(1) 総人数減少時のシミュレーション

Table7, Table8 は感染確率 8% と 3% における総人数減少時の総感染者数とその感染者率、追加感染者数とその感染者率、更に感染者抑制率を示したものである。Fig.10, Fig.11 は追加感染者数と感染者抑制率を表したグラフである。Table7 と Table8 から、オフィス内の総人数が半分になると、低感染力と高感染力のいずれにおいても追加感染者率が5割を下回ることが分かった。Fig.10 から高感染力の感染者数はオフィス内総人数が2/3~半分、1/3~1/6の間までが特に変化が大きいことが見える。Fig.11 より感染者抑制率が5割を下回るのは低感染力においては総人数が半分の時であり、高感染力では総人数が1/3の時である。

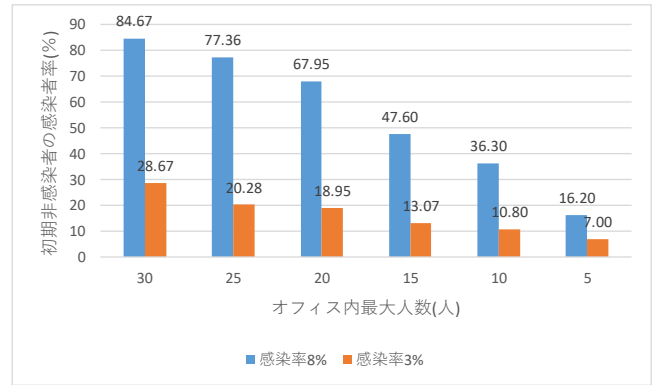


Fig.10 総人数減少時の追加感染者率

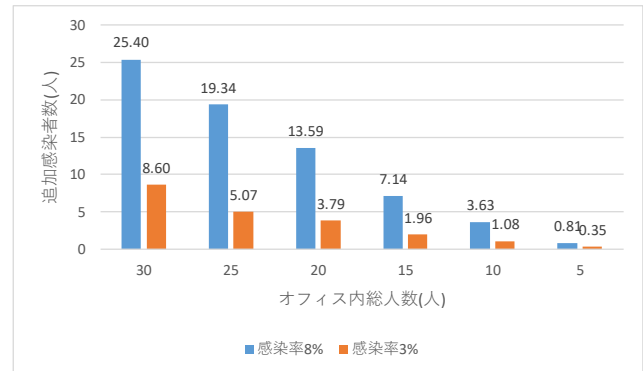


Fig.11 総人数減少時の追加感染者数

(2) 一部在宅勤務時のシミュレーション

Table9, Table10 は感染確率 8% と 3% における一部在宅勤務時の総感染者数とその感染者率、追加感染者数とその感染者率、更に感染者抑制率を示したものである。Fig.12, Fig.13, Fig.14 は追加感染者数

Table7 感染確率 8% における総人数減少時の感染者率と感染者抑制率

感染率8%	オフィス内最大人数	30人	25人	20人	15人	10人	5人
	総感染者数	26.40人	20.34人	14.59人	8.14人	4.63人	1.81人
	感染者率	88.00%	81.36%	72.95%	54.27%	46.30%	36.20%
	初期感染者を除いた感染者数	25.40人	19.34人	13.59人	7.14人	3.63人	0.81人
	初期非感染者の感染者率	84.67%	77.36%	67.95%	47.60%	36.30%	16.20%
	非対策時からの感染者抑制率	100.00%	91.37%	80.26%	56.22%	42.87%	19.13%

Table8 感染確率 3% における総人数減少時の感染者率と感染者抑制率

感染率3%	オフィス内最大人数	30人	25人	20人	15人	10人	5人
	総感染者数	9.60人	6.07人	4.79人	2.96人	2.08人	1.35人
	感染者率	32.00%	24.28%	23.95%	19.73%	20.80%	27.00%
	初期感染者を除いた感染者数	8.60人	5.07人	3.79人	1.96人	1.08人	0.35人
	初期非感染者の感染者率	28.67%	20.28%	18.95%	13.07%	10.80%	7.00%
	非対策時からの感染者抑制率	100.00%	70.74%	66.10%	45.58%	37.67%	24.42%

とその感染者率、感染者抑制率を表したグラフである。Fig.13 よりオフィス内の 1/6 が在宅勤務を行うと、低感染力と高感染力のいずれにおいても追加感染者率が 3 割を下回り、Fig.14 から感染者抑制率は 60%以下に抑えられていることが分かった、1/3 が在宅勤務を行うだけで追加感染者率は 1 割を軽く下回り、感染者は非対策時の 3 割以下に抑えられることが分かる。

総人数減少時と一部在宅勤務時ではオフィス内人数が異なるため、Fig.11 と Fig.13 のようにオフィス内の追加感染者率は差異が大きい、追加感染者数を比較するといずれも高感染力においてもオフィス内が 1/3 の人数となれば、感染者は 5 人も出ることはないことが分かる。また総人数が 1/6 になると感染者は 1 人出るか出ないかの計算になる。対人距離の保持において、一部が在宅勤務を行い感染者が隔離されることで飛躍的に感染拡大の抑制は抑えられるが、感染が蔓延している状態でも、総人口を減らすことは感染対策として効果が得られることが分かった。

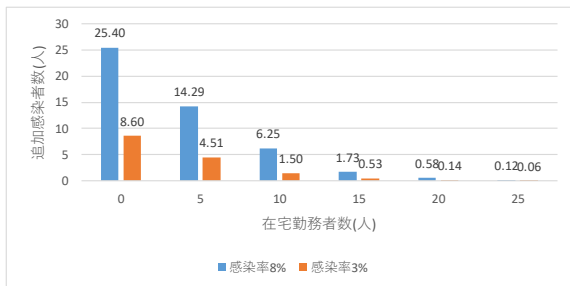


Fig.12 一部在宅勤務時の追加感染者数

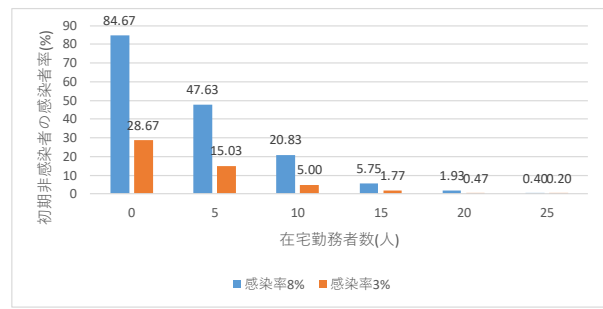


Fig.13 一部在宅勤務時の追加感染者率

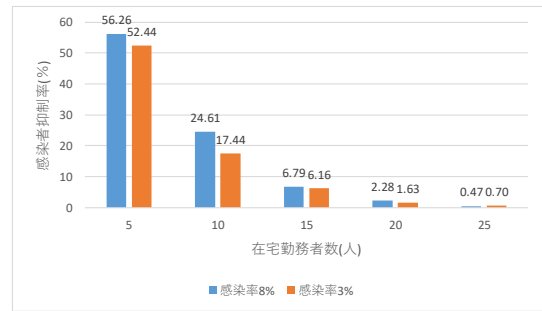


Fig.14 一部在宅勤務時の感染者抑制率

5.4. シミュレーション結果のまとめ

エージェントがマスクを着用することでオフィス内の感染者の減少が段階的に見られたが、特に感染対策としての効果が表れやすいのは、オフィス内人数の半分以上がマスクを着用した場合までであった。つまりオフィス内で半分以上がマスクを着用することが望ましい。

人数減少はオフィス内で感染が蔓延してからでも有効ではあるが、より効果的な対策を行うのなら感染がオフィス内で発生する前に、世間で新型インフ

Table9 感染確率 3%における一部在宅勤務時の感染者率と感染者抑制率

感染率8%	在宅勤務者数	0人	5人	10人	15人	20人	25人
総感染者数		26.40人	15.29人	7.25人	2.73人	1.58人	1.12人
感染者率		88.00%	50.97%	24.17%	9.08%	5.27%	3.73%
初期感染者を除いた感染者数		25.40人	14.29人	6.25人	1.73人	0.58人	0.12人
初期非感染者の感染者率		84.67%	47.63%	20.83%	5.75%	1.93%	0.40%
非対策時からの感染者抑制率		100.00%	56.26%	24.61%	6.79%	2.28%	0.47%

Table10 感染確率 3%における一部在宅勤務時の感染者率と感染者抑制率

感染率3%	在宅勤務者数	0人	5人	10人	15人	20人	25人
総感染者数		9.60人	5.51人	2.50人	1.53人	1.14人	1.06人
感染者率		32.00%	18.37%	8.33%	5.10%	3.80%	3.53%
初期感染者を除いた感染者数		8.60人	4.51人	1.50人	0.53人	0.14人	0.06人
初期非感染者の感染者率		28.67%	15.03%	5.00%	1.77%	0.47%	0.20%
非対策時からの感染者抑制率		100.00%	52.44%	17.44%	6.16%	1.63%	0.70%

ルエンザが流行し始めた段階でテレワーク等の処置をとることが理想的である。オフィス内で人数を減らす感染対策は、オフィス内で感染が蔓延している状況だと、総人数が2/3~半分, 1/3~1/6の間までが特に変化が大きいと、最低でも半分の人数まで減らすと良い。感染が蔓延していない状況だと1/3以上が在宅勤務を行うと特に感染対策として効果が現われやすい。

6. おわりに

エージェントベースシミュレーションにより、オフィス内人数を減少させる方法でも、通常通りの接触を行うが咳エチケットを行うことで飛沫を抑える方法でも、感染抑圧の効果はあることが検証できた。今回の研究はオフィスの中で対策を行う人数によって、効果を発揮しやすい閾値が存在する可能性を示したものとなる。

しかし、実際に会社でオフィス人口を減らす場合は具体的なスケジュールの基に社員が出勤することや発症した感染者が気付かず会社に来る事も考えられる。その場合、シミュレーションに感染者が在宅勤務によりオフィスでの感染源にならないことや逆に発症中であるにもかかわらず、入社しオフィスで感染源となることが考えられる。こういった要素をシミュレーションに再現し、より正確な効果の検証を出来るようにするのが今後の課題となる。

咳エチケットとして咳やくしゃみによる飛沫を防ぐ方法はマスクだけではない。2009年に新型インフルエンザが流行した際にはあらゆる店舗でマスクの品薄が発生した⁵⁾。今後新型インフルエンザが発生した際にもマスクの品薄が起こる可能性は高いが、厚生労働省が定める3つの正しい咳エチケット⁶⁾によると、鼻や口をティッシュやハンカチ、上着の内側や袖で覆うことも咳エチケットとなる。2009年に新型インフルエンザが流行した時には「予防するためにはマスクが必要」という誤ったイメージが植えつけられ、これによって感染者やその関係者に対する激しい誹謗中傷や風評被害が発生した⁷⁾。このような新型インフルエンザに対する国民の理解が足りなかったゆえの問題を起こさないためにも、新型インフルエンザ発生時に向けてリスクコミュニケーションを進めていくことは重要となる。

謝辞

この研究は、厚生労働科学研究費補助金(新興・再興感染症及び予防接種政策推進研究事業)「新興・再興感染症のリスク評価と危機管理機能の実装のための研究」(研究代表者 斎藤智也)の助成によって行われた。

参考文献

- 1) 新型インフルエンザ対策ガイドライン
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/ful/guide/090217keikaku.pdf>
- 2) 国立感染症研究所 感染症情報センター, 新型インフルエンザにおける鉄道輸送抑制の効果評価, 2009. (最終閲覧日 2020年1月31日)
http://www.mlit.go.jp/pri/adobaizari/pdf/16_No2Shiryoku82.pdf
- 3) 厚生労働省 新型インフルエンザ流行時の日常生活におけるマスク使用の考え方
<https://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/09/dl/s0922-7b.pdf>
- 4) 石西, 市川, 田沼, 出口, 金谷, エージェントベースモデリングによる感染症対策プログラムにおける学校閉鎖期間の検討
<http://journals.socsys.org/symposium004/pdf/004-004.pdf>
- 5) 『朝日新聞』2009年5月20日 「マスクが変えない 薬局空っぽ、ネットでは高値取引」
<http://www.asahi.com/special/09015/OSK200905200067.html>
- 6) 厚生労働省 咳エチケット
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000187997.html>
- 7) 内閣官房 2009年新型インフルエンザ ―「未知の感染症」をどのように報じたのか?―
https://www.cas.go.jp/jp/influenza/kako_09.html