

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
分担研究報告書

ウイルス伝播モデルに基づいた最適消毒条件の同定に関する研究

研究分担者 佐野 大輔 東北大学大学院工学研究科教授

研究要旨

本研究では、ネットワーク SIR モデルを用いた呼吸器感染症ウイルスの伝播モデルを構築し、そのモデルを用いたシミュレーションにより環境表面の消毒が感染伝播の抑制に与える影響を定量的に評価することを目的とするものである。本年度は、R を用いたシミュレーション用プログラムの構築、文献からのパラメータ値収集、及び室内環境を想定した条件下での感染者数推移シミュレーションを行った。パラメータとしてエアロゾル中でのウイルス不活化速度、環境表面上でのウイルス不活化速度、及び感染確率を表す二項分布における確率  $p$  などが文献から得られた。あるレストランにおいて 93 人が 18 個のテーブルで 3 時間食事をした条件下で、感染経路としてヒトーヒト間、ヒトー空気ーヒト、及びヒトー環境表面（トイレ）ーヒトを想定し、トイレの消毒が 3 時間後の感染者数に与える影響を評価した。その結果、レストラン使用前にトイレの消毒をしない場合、レストラン使用中に 1 時間に 1 回トイレの消毒をすることで、消毒を行わない場合と比べて感染者数を 35%抑制することが可能であるとの結果が得られた。

A. 研究目的

本研究では、室内空間における COVID-19 クラスタの発生を想定し、ネットワーク SIR モデルを適用することで、非医学的介入としての「環境表面消毒」がどの程度感染者の発生抑制に寄与するかを定量的に評価することを目的とした。

B. 研究方法

あるレストランにおいて 93 人が 18 個のテーブルで 3 時間食事をした条件下で、感染経路としてヒトーヒト間、ヒトー空気ーヒト、及びヒトー環境表面ーヒトを想定し、ネットワーク SIR モデルを用いた感染伝播シミュレーション

を行った。ネットワーク SIR モデルにおいては、ヒトを表す「ヒトノード」と、ヒトの周りの空間を表す「空間ノード」、及びトイレなどの共有施設におけるドアノブ等を表す「環境表面ノード」を設定し、物理的な距離をもとに結合させたネットワークを構築した。

シミュレーションにおいては、レストラン使用者の中に 1 人の感染者がいるとし、環境表面を介した感染が生じるのはトイレのみで、レストラン使用前にトイレが消毒された場合とされていない場合を想定した。また、レストラン使用中にトイレを消毒しない場合と、1 時間に 1 回、もしくは 3 時間に 1 回消毒する場合を想定した。計算は 10 回行い、レストラン使用時

間 1 時間ごとに感染者数の平均値と標準偏差を計算した。

(倫理面への配慮)

該当なし

### C. 研究結果

表 1 には本研究で用いたパラメータの種類と値を示した。新型コロナウイルスのエアロゾル中減衰率、環境表面上減衰率、感染確率、ヒト-ヒト間伝播効率、ヒト-空間伝播効率、及びヒト-環境表面伝播効率については文献値を用いた。それに対し、SIR モデルに必要なヒト体内増殖効率、ヒト体内最大ウイルス量、免疫力増加率、及び免疫力減衰率については文献値が得られなかったため、新型コロナウイルスの細胞培養時における増殖データ、および新型コロナウイルス感染時の血中抗体濃度データに関する文献値を用い、最尤法によりパラメータ値を推定した。

表 1. 計算に用いたパラメータ

パラメータ	値	文献
エアロゾル中減衰率	0.22/hour	Doremalen et al., 2020
環境表面上減衰率	0.04/hour	Ridcell et al., 2020
感染確率 (二項分布)	0.1	Agrewal et al., 2021
ヒト-ヒト間伝播効率	0.6/day	Eikenberry et al., 2020; Lin et al., 2020
ヒト-空間伝播効率	0.1/day	Myers et al., 2018
ヒト-環境表面伝播効率	0.95/day	Meiksin et al., 2020
ヒト体内増殖効率	0.24 $\alpha$ /hour	本研究で最尤法により推定
ヒト体内最大ウイルス量	10 <sup>7.8</sup> PFU/mL	本研究で最尤法により推定
免疫力増加率	0.061/hour	本研究で最尤法により推定
免疫力減衰率	0.022/hour	本研究で最尤法により推定

図 1 には、レストラン使用前に共用トイレのドアノブ等を消毒しなかった場合の感染者数推移を示した。レストラン使用中にトイレを消毒しなかった場合、3 時間後には感染者数が 5.4 ( $\pm 2.3$ ) 人、4 時間後には 6.7 ( $\pm 3.2$ ) 人に達した。それに対し、レストラン使用中に 1 時間に 1 回トイレを掃除した場合、3 時間後には感染者数が 4.8 ( $\pm 1.3$ ) 人、4 時間後には 5.2 ( $\pm 1.4$ ) 人となった

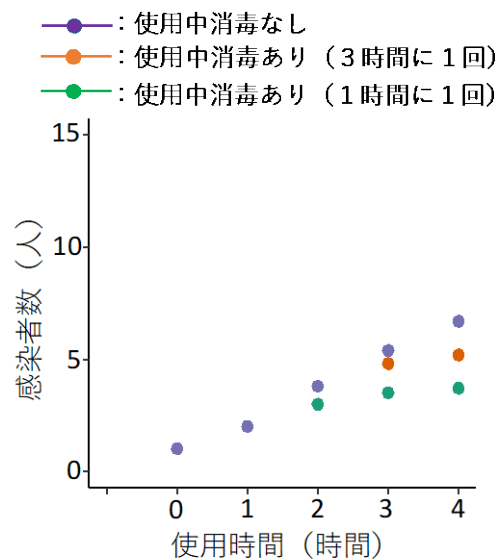


図 1. レストラン使用前に共用トイレを消毒しなかった場合の感染者数推移。

図 2 には、レストラン使用前に共用トイレのドアノブ等を消毒した場合の感染者数推移を示した。この場合には、レストラン使用中にトイレを消毒してもほとんど感染者数に変化は見られなかった。

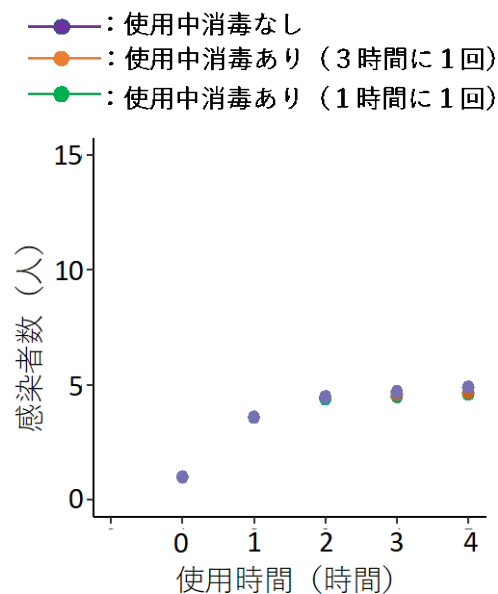


図 2. レストラン使用前に共用トイレのドアノブ等を消毒した場合の感染者数推移。

以上の結果を表2にまとめた。レストラン使用前にトイレを消毒した場合には、レストラン使用中に消毒を行っても3時間後の感染者数に有意な差は生じなかったが、レストラン使用前にトイレを消毒しなかった場合には、レストラン使用中に1時間に1回トイレを消毒することで、3時間後の感染者数を35%減少させることができるとの結果が得られた。

表2. 消毒による感染者数抑制効果

	使用中消毒なし	使用中消毒あり (1時間に1回)	感染者数抑制効率 (%)
使用前消毒なし	5.4 (±2.3)	3.5 (±1.4)	35
使用前消毒あり	4.7 (±2.0)	4.5 (±1.6)	-

#### D. 考察

今回行ったシミュレーションにおける最大の欠点は、想定した状況を再現して感染者数を追跡するような実験を行うことはほとんど不可能なため、得られたシミュレーション結果を検証することが不可能である点にある。今回用いたモデルの枠組みは、カフェや飛行機等でクラスター感染が生じた報告例に対しても適用し、計算で得られた感染者数は実際の報告数と大きく変わらないことは確認している。しかしながら、クラスター感染の感染者数報告値が本当に合っているのかについて誰も結論を得ることができないので、今回用いたモデルでは非現実的な感染者数は出力されないことが確認されているに過ぎない。

以上の条件下で結果の解釈を行う際には、感染者数の計算値そのものよりも、ある介入によりどの程度計算値が変化したかといった相対的な変化量により重点を置いた方が無難である。今回の計算では、レストラン使用前にトイレを消毒しなかった場合、レストラン使用中に1時間に1回トイレを消毒することで、3時間後の感染者数を35%減少させることができる

との結果が得られた。一方で、レストラン使用前にトイレを消毒しておけば、レストラン使用中にトイレを消毒しなくても3時間後の感染者数は有意に増えなかった。この結果からは、長くても数時間程度の使用が想定されるレストランなどの環境では、使用前の消毒が効果的であることが示唆される。

#### E. 結論

レストランなどを数時間使用する際、環境表面を介した感染が懸念されるトイレ等について、使用前に消毒しておくことで、環境表面を介した感染者増は抑えることができることが示唆された。また、使用前に消毒することができなくても、1時間に1回消毒することで、環境表面を介した感染者数を有意に減少させることが可能であると考えられた。

#### G. 研究発表

1. 論文発表  
該当なし
2. 学会発表

Sewwandi Bandara, Syun-suke Kadoya, Daisuke Sano. Inferring the effectiveness of non-pharmaceutical interventions against COVID-19 in an evacuation center. Water Environment and Technology Conference Online 2021 (WET2021), Aug. 11-12, 2021.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む。)

1. 特許取得  
該当なし
2. 実用新案登録  
該当なし
3. その他  
該当なし