



新型コロナウイルスの感染リスクに基づく感染対策 の評価

藤長, 愛一郎
岸川, 洋紀
村山, 留美子

(Citation)

リスク学研究, 31(3):249-259

(Issue Date)

2022-03-25

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(Rights)

© 2022 一般社団法人日本リスク学会
クリエイティブ・コモンズ [表示 4.0 国際]

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100489082>



【資料論文】

新型コロナウイルスの感染リスクに基づく感染対策の評価*

Evaluation of Infection Control Based on Infection Risk of Novel Coronavirus

藤長愛一郎**, 岸川 洋紀***, 村山留美子****

Aiichiro FUJINAGA, Hiroki KISHIKAWA and Rumiko MURAYAMA

Abstract. Since Coronavirus disease 2019 (COVID-19) was spread in the world, we have been compelled to do infection controls such as putting a mask on, washing hands, avoiding contact to other people, and so on. However, it is difficult to know how effective the infection controls are. Therefore, the purpose of this study is to provide the information about the evaluation of the infection controls based on infection risk. In this study, infection risk was calculated semi-quantitatively. As a result, it is numerically shown that air-mediated routes such as droplets and aerosols are important for the infection. And also, it is effective to put a mask on, take social distancing, and ventilate as infection controls. If people could understand what infection controls are effective on the infection risk, the people would continue the infection controls in order to control COVID-19.

Key Words: COVID-19, infection, risk, control

1. はじめに

1.1 背景

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) (以下「新型コロナウイルス」) は、中国武漢市で患者が報告された2019年12月以後、全世界に広がった。日本でも2020年3月2日から春休みまで全国の小・中・高校が休校となった。また、社会全体でも予定されていたイベントが次々と中止され、4月7日からは首都圏、大阪府、兵庫県、福岡県で、緊急事態宣言が1カ月間出された。それ以降も日本だけでなく全世界で、感染対策のための制限が課せられ、新型コロナウイルスが流行る以前に行っていた「不要不急」である仕事以外の趣味や休養目的の活動は制限せざるを得なくなった。

また、働き方としては、会議がオンラインで行

われるようになり、出張がほとんどなくなった。そして、首都圏を中心に在宅勤務も行われるようになった。これらは、感染者と遭遇する機会をできるだけ減らし、感染経路を断つためであり、人の移動を8割削減できれば、急速に感染者数が減少するという計算結果が話題になった(日経サイエンス, 2020)。そして、外出する際には、マスクを着用すること、また人と人との距離(ソーシャルディスタンス)を最低1mは取ること、また換気を暑くても寒くても十分にすることが推奨された。これらは飛沫やエアロゾルによる感染を防ぐ対策である(厚生労働省, 2020a)。

ここでいう「飛沫」は粒径 $5\mu\text{m}$ 以上とされており、 $5\mu\text{m}$ 未満のものは「飛沫核」と呼ばれる。また、「エアロゾル」は粒径が $1\text{nm}\sim 100\mu\text{m}$ とさ

* 2021年3月17日受付, 2022年2月3日受理

** 大阪産業大学 (Osaka Sangyo University)

*** 武庫川女子大学 (Mukogawa Women's University)

**** 神戸大学 (Kobe University)

れているが、飛沫とエアロゾルの境界は明確ではない。感染に関して、飛沫の特徴は、「マスクでほぼ除去される」、「すぐに床に沈着する」、「直接粘膜に入る・一部吸入される」ことである。また、エアロゾルの特徴は、「マスクで一定割合除去される」、「一定時間浮遊する」、「吸入される」である(西村, 2020; 竹川, 2021; WHO, 2020a)。

会話やせき、くしゃみなどで生じる飛沫は、すぐに床に沈着し、マスクでほぼ除去される。そのため、飛沫感染は、空気感染とは区別されている。新型コロナの場合、当初、WHOは病院などで大量のエアロゾルが発生する場合を除いて、空気感染は起こらないとしていた(WHO, 2020a)が、2020年7月には換気の悪い空間における空気感染の可能性を認めている(WHO, 2020b)。

また、手洗いについては、感染者から発せられたウイルスを含んだ飛沫を手に着させて感染しないために、洗剤10秒もみ洗い、その後、15秒すすぐことが推奨された(厚生労働省, 2020b)。さらに、使用された机などをアルコールで消毒することなども推奨された。

一方で、行動制限をするということは、通常の活動ができず、経済や教育などにマイナスの影響となる。また、個人でできる感染予防対策も費用や手間がかかり、今まで必要なかったコストや時間がかかる。また、心理的なストレスもかかり、いつまで我慢すればいいのか、どこまで対策すればいいのか、終わりが見えずストレスに感じている人は多い(ニフティニュース, 2020)。

そのため、感染対策をいつまで、どれ位すべきなのか把握できないと、対策を行うことに疲れてしまうと予想される。そこで、普段実施している感染対策がどの位効果があるのか、提示することができれば、対策を継続するモチベーションになると考えられる。

1.2 研究目的

現在、実際に感染対策として実施されている①マスク、②人との距離、③換気、④手洗い、⑤消毒、および⑥接触回避による感染予防効果を、リスク評価の手法を用いて比較検討する。そして、各感染対策はどの程度効果があるのかを半定量的に把握する手法を提案する。

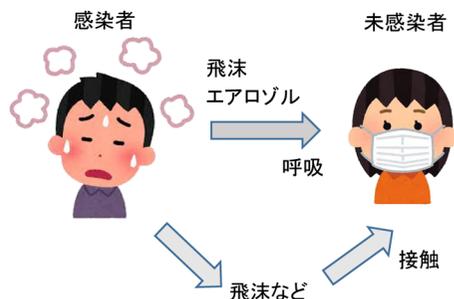


Figure 1 Exposure routes of COVID-19 from an infected person to a susceptible person

2. 方法

2.1 感染経路

新型コロナの感染リスクを求めるためには、新型コロナウイルスのばく露量を求める必要がある。そのため、感染者と接触した場合に、ウイルスのばく露経路として、空気を媒体とする経路、また机や椅子などのモノに付着した飛沫などを手などで接触する経路を考えた(Figure 1)。そして、各人がどのような感染対策をしているのかを、質問に答えることにより感染リスクの概算ができるような表を作成した(Table 1)。

2.1.1 飛沫・エアロゾル感染

空気中の飛沫やエアロゾルによる感染経路であり、感染者および未感染者がマスクを着用することで、どちらも空気中への放出を削減することができる。ただし、マスクにも粒子状物質を95%捕集できるN95マスク、通常使い捨ての不織布マスク、布マスク、呼吸のしやすいウレタンマスクなどがある。しかし、マスクの性能を保つには、マスクの形がマスクをつける人の顔の形に合い、密閉性が保たれる必要がある。

2.1.2 接触感染

感染者の飛沫や触った場所を未感染者が手などで触れて、それが口などを經由して感染する経路である。一旦、モノに付着したウイルスを、未感染者が接触することで感染するため、接触する場所が重要である。よって、接触する前にウイルスが付着した場所を消毒するか、接触しても手で口などを触る前に手を洗ってれば、接触感染は防げると考えられる。

2.2 感染リスクの計算式

新型コロナウイルスによる感染リスクを式(1)と式(2)で表す。ウイルスによる感染リスクは、

Table 1 Questionnaire for parameter of the exposure routes

感染リスク (Risk) = $P \times (M_{\text{空気}} + M_{\text{接触}})$ P (1日に感染者と接する確率) = $P_{\text{地域}} \times N_{\text{人数}}$			
		数値記入	単位
a	住んでいる都道府県の直近1週間の10万人あたりの新規感染者数		人
$P_{\text{地域}}$	住んでいる都道府県の人 (1人) が感染している割合 (直近2週間の新規感染者数の割合) $P_{\text{地域}} = a / 100000 \times 2$	計算	感染者の割合
$N_{\text{人数}}$	1日に家族や職場の人とおよそ何人接するか (1m以内の可能性, 15分以上)。		人/日
$M_{\text{空気}}$ (飛沫やエアロゾルによる空気を介した感染割合) = $M_{\text{マスク}} \times M_{\text{距離}} \times M_{\text{換気}}$			
		数値記入	単位
$M_{\text{マスク}}$	①N95マスクや医療用マスク: [0.1] (吸い込み時) ②不織布マスク: [0.3] ③布マスクマスク: [0.6] ④ウレタンマスク: [0.65] ⑤フェイスシールドやマウスシールド: [1]		ウイルスの透過割合
$M_{\text{距離}}$	①2m: [0.25] ②1m: [0.5] ③取らない: [1]		感染割合
$M_{\text{換気}}$	①一般病室レベルの換気: [0.64] (外気換気2回/時, または $30 \text{ m}^3 / (\text{時} \cdot \text{人})$) ②通常換気: [0.78] (外気換気0.5回/時, または $20 \text{ m}^3 / (\text{時} \cdot \text{人})$) ③換気なし: [1]		感染割合
$M_{\text{接触}}$ (接触による感染割合) = $M_{\text{手洗}} \times M_{\text{消毒}} \times M_{\text{接触率}}$			
		数値記入	単位
$M_{\text{手洗}}$	①洗剤10秒もみ洗いと15秒すすぎを場所移動ごと: [0.0001] ②洗剤10秒もみ洗いと15秒すすぎを1日数回: [0.01] ③洗剤なし15秒を場所移動ごと: [0.01] ④洗剤なし15秒を1日数回: [0.1] ⑤しない: [1]		ウイルスの残存割合
$M_{\text{消毒}}$	①イベントごと, 時間を決めてなど, こまめに拭き掃除やアルコールなどを用いて消毒: [0.01] ②1日1回など, 時々: [0.1] ③しない: [1]		ウイルスの残存割合
$M_{\text{接触率}}$	①作業机, 会議や食堂の座席など自分が接触するものがほぼ固定されている: [0.01] ②座席など自分が接触するものが固定されていない: [0.1] ③人の接触場所を素手で接触する: [1]		ウイルスとの接触確率

Risk 計算結果 = $P \times (M_{\text{空気}} + M_{\text{接触}}) =$

まずウイルスの発生源を特定して、対象となる未感染者がどの位ばく露するかを推定する。そして用量-反応の関係式を用いて、感染の確率を求めるものである (WHO, 2016)。例えば、下水道処理場由来のロタウイルスやノロウイルスなどの感染リスクは、用量-反応式を用いた推計結果が報告されている (Pasalari et al., 2019)。しかし、SARS コロナウイルスの用量-反応関係は報告されている (Watanabe et al., 2010) もの、新型コロナウイルスの用量-反応式はまだ明確ではない。新型コロナウイルスの用量-反応式の代わりに、SARS

コロナウイルスの式を用いて類推した報告がある (Zhang and Wang, 2020) が、本研究では用量-反応の式を用いることはせずに、感染者との遭遇確率に比例して感染が増加するとして、感染リスクを計算する。

なお、ここで取り扱う感染リスクの「感染」とは、行政が発表する感染者数に対応した概念であり、PCR検査で陽性と判断されることを表す。よって、必ずしも感染による症状 (発熱, 下痢, 咳など) が現われている「症状がある状態」とは限らず、通常の感染症リスクとは異なる取り扱い

となる。しかし、新型コロナの感染拡大防止のために、無症状や軽症の「感染」も含めた感染リスクを抑制することが重要であると考えられるため、本研究では「感染」を症状の有無ではなく、検査で陽性とされることとして取り扱う。

そこで、感染リスクをリスクの概念に基づいて式(1)を作成した。リスクは有害な影響が生じる確率であるため(日本リスク研究学会, 2019)、ウイルスによる感染リスクは、「ウイルスを発生する感染者と接する確率」と「ウイルスが存在する場合の感染割合」との積で表されるとして作成した。

$$\text{Risk} = P \times M \quad (1)$$

ここで、

Risk: 感染リスク

P: 1日に感染者と接する確率

M: ウイルスが存在する場合の感染対策後の感染割合で、空気経由と接触により以下の式(2)で表される。

$$M = M_{\text{空気}} + M_{\text{接触}} \quad (2)$$

ここで、

$M_{\text{空気}}$: 飛沫やエアロゾルなど空気(air)中にコロナウイルスがある場合の感染割合(マスクなどの対策なしに感染者と共にいると、必ず感染するとして1とする。感染者はマスクなどのウイルスを出さないようにする対策をしていないとする。)

$M_{\text{接触}}$: コロナウイルスが付着している場合の接触による感染割合(感染者の飛沫が落下などして付着したモノを手で触れて、口などに触れて、コロナウイルスが体内に入り感染するリスクを1とする)

なお、式(2)は本来、感染しないリスク(1-M)を考えて、 $1 - M = (1 - M_{\text{空気}}) \times (1 - M_{\text{接触}})$ より、 $M = M_{\text{空気}} + M_{\text{接触}} - M_{\text{空気}} \times M_{\text{接触}}$ となるが、 $M_{\text{空気}} \times M_{\text{接触}}$ は比較的かなり小さい場合が多いので無視できるものとする。もし、Mが1を超える場合は、 $M_{\text{空気}}$ と $M_{\text{接触}}$ が重なる分として $M_{\text{空気}} \times M_{\text{接触}}$ を差し引いて、Mの最高値は1とする。

I. 飛沫・エアロゾルによる感染割合の式

$$M_{\text{空気}} = M_{\text{マスク}} \times M_{\text{距離}} \times M_{\text{換気}} \quad (3)$$

ここで、

空気中の飛沫やエアロゾルによる感染割合 $M_{\text{空気}}$

は、それらを呼吸により吸入した量に比例すると仮定する。吸入量は、マスクの種類、感染者との距離、換気量、それぞれによって独立して削減できるので、 $M_{\text{空気}} = M_{\text{マスク}} \times M_{\text{距離}} \times M_{\text{換気}}$ のそれぞれの積で表す。

$M_{\text{マスク}}$: マスクの種類による吸い込み時のウイルス透過割合(飯田, 2020)で、①N95マスクや医療用マスクを0.1, ②不織布マスクを0.3, ③布マスクを0.6, ④ウレタンマスクを0.65, ⑤フェイスシールドやマウスシールドはエアロゾルの吸入は防げないとされているため1とする。

$M_{\text{距離}}$: 感染者との距離による相対感染確率(Chu et al., 2020)は、①2mを0.25, ②1mを0.5, また③取らないを1とする。

$M_{\text{換気}}$: 換気によるウイルスによる感染確率は、Quantaを用いた式(4)(倉測, 2021)で計算した。

①一般病室レベルの換気による場合、外気2回/時か $30 \text{ m}^3/(\text{時} \cdot \text{人})$ での換気条件(厚生労働省, 2020a; HEAJ, 2013)で0.64となる。換気を窓の開放で行う場合は、30分に1回以上、数分間窓を全開にすることとされている(厚生労働省, 2020a)。

$$M_{\text{換気}} = 1 - e^{-I \times q \times p \times t / Q} = 1 - e^{-1 \times 7.0 \times 0.54 \times 8 / 30} = 0.64 \quad (4)$$

ここで、

I: 室内にいる一次感染者数(1人とする)

p: 1時間あたりの呼吸量($0.54 \text{ m}^3/\text{時}$)

q: Quanta生成率(事務作業で会話の比率10%の場合: $7.0 \text{ l}/\text{時}$)

t: 感染者との接触時間(8時間とする)

Q: 外気による換気量($30 \text{ m}^3/(\text{時} \cdot \text{人})$) (この値は1人あたりの換気量であるが、使用する部屋の換気量や使用人数を把握することは現実的に難しいので、この値を使用する)

②通常換気の場合、 $20 \text{ m}^3/(\text{時} \cdot \text{人})$ (建築基準法, 2020)や、シックハウス対策の基準0.5回/時(国土交通省, 2003)を使用すると、0.78となる。

③換気なしの場合を1とする。

II. 接触による感染割合の式

$$M_{\text{接触}} = M_{\text{手洗}} \times M_{\text{表面}} \times M_{\text{接触率}} \quad (5)$$

ここで、

$M_{手洗}$: 手洗いによるウイルス残存割合は、①洗剤10秒もみ洗い後、15秒すすぎで残存割合が0.0001となり、③手洗いを洗剤なしでも15秒すすぎがあれば0.01となる(厚生労働省, 2020b)。一方で、手洗いの頻度も関係するので、場所を移動するごとに手洗いする場合は、この残存割合が維持されるが、手を1日に数回しか洗わない人は、上記の割合をそれぞれ、②100倍して0.01、④10倍して0.1とする。

$M_{表面}$: 机な椅子などの表面をエタノールなどにより1分程度接触させる、またはふき取る消毒によるウイルス残存割合は100分の1以下であるので(日本リスク学会理事会, 2020)、①使用する度に消毒する場合は0.01、②1日に1回から数回、時々であれば0.1、③しない場合は1とする。

$M_{接触率}$: 他人の飛沫のある部分に接触する割合(今回設定)で、①作業机、会議や食堂の座席など自分が接触するモノがほぼ固定されている場合を0.01、②座席など自分が接触するモノが固定されていない場合を0.1、③他人の接触部位を素手で接触する場合を1とする。

なお、移動中に $N_{人数}$ (1日に接する人の人数)以外の他人の飛沫などが付着した場所の接触感染は考慮していない。これは、移動中の電車の中ではマスクをしていて、素手で自分の口や鼻に触れることはないと考えたためである。

$$P = P_{地域} \times N_{人数} \quad (6)$$

ここで、

P : 1日に感染者と接する確率

$P_{地域}$: 住んでいる都道府県の人(1人)が感染している割合(感染者数の人口に対する割合であり、新規感染者は最大14日間感染させるので、14日間隔離対策が必要とされている(WHO, 2021)ことから、直近1週間の10万人あたりの新規感染者数 a 人を2倍した割合 $P_{地域} = a \times 2 / 10^5$ である)

$N_{人数}$: 1日に家族や職場の人とおよそ何人、長時間接するか(1m以内に近づく可能性があり、15分以上同じ場所で過ごす人を対象とする)。

なお、本来であれば、この P は、 $P = 1 - (1 - P_{地域})^{N_{人数}}$ で表されるが、 $P_{地域}$ が非常に小さい場合は、 $P = P_{地域} \times N_{人数}$ で近似できる。なお、 $P_{地域}$ が $2 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-3}$ で、 $N_{人数}$ が10人の場合、 P の範囲 $2 \times 10^{-3} \sim 4 \times 10^{-2}$ で、 $1 - (1 - P_{地域})^{N_{人数}}$ と $P_{地域}$

$\times N_{人数}$ の線形性が保たれていた(帰係数 $\pm 95\%$ 信頼区間の半値幅: 0.986 ± 0.002)。

Table 1を用いて、リスク評価を実施する対象者に各項目について記入してもらい、その回答に応じて、新型コロナに感染するリスクを推定する手法を提案する。今回は、例として、同じ地域で同じ職場で働き、感染対策が違う3名を想定した3ケース(A: 一般人の最高の対策レベル, B: 平均的な対策レベル, C: マスク以外何もしない最低限のレベル)について計算した結果から提案した手法の妥当性を検証した。

3. 結果と考察

3.1 リスク計算例(ケースB)

大阪府の建設業の建設現場で10名の作業員とチームで働いていて、以下の感染対策をしている人を平均的なケースとして想定した。

新規感染者数は、大阪府の2021年7月9日の直近の一週間の10万人あたりの9.84人(朝日新聞, 2021; NHK, 2021)を使用した。

飛沫・エアロゾルに関する $M_{空気}$ については、いつも不織布のマスクをしていて $M_{マスク}$ が0.3、距離を1mは取っていて $M_{距離}$ が0.5、また換気は現場事務所で通常換気 $20 \text{ m}^3/(\text{時} \cdot \text{人})$ をしていて $M_{換気}$ が0.78とすると、 $M_{空気}$ は $0.3 \times 0.5 \times 0.78 = 1.2 \times 10^{-1}$ となる。次に接触に関する $M_{接触}$ については、石鹸などは使わず15秒洗い流すことを場所移動ごとに行っていて $M_{手洗}$ が0.01、机や椅子のアルコール消毒は1日1回位はするので $M_{表面}$ が0.1、また作業場所や使用する椅子などは固定されていないので $M_{接触率}$ を0.1とすると、 $M_{接触}$ は $0.01 \times 0.1 \times 0.1 = 1.0 \times 10^{-4}$ となる。この条件を式(1)に代入すると以下のように感染リスク(Risk)が計算できる。

$$\text{Risk} = P \times M$$

$$P = P_{地域} \times N_{人数}$$

$$P_{地域} = 9.84 \text{人} \times 2 / 100000 \text{人} = 2.0 \times 10^{-4}$$

$$N_{人数} \text{が} 10 \text{人より、}$$

$$P = 2.0 \times 10^{-4} \times 10 = 2.0 \times 10^{-3}$$

$$M_{空気} = M_{マスク} \times M_{距離} \times M_{換気}$$

$$= 0.3 \times 0.5 \times 0.78$$

$$= 1.2 \times 10^{-1}$$

$$M_{接触} = M_{手洗} \times M_{表面} \times M_{接触率}$$

$$= 0.01 \times 0.1 \times 0.1$$

$$= 1.0 \times 10^{-4}$$

$$\begin{aligned}
 M &= M_{\text{空気}} + M_{\text{接触}} \\
 &= 1.2 \times 10^{-1} + 1.0 \times 10^{-4} \\
 &\approx 1.2 \times 10^{-1} \\
 \text{よって, Risk} &= 2.0 \times 10^{-3} \times 1.2 \times 10^{-1} \\
 &= 2.4 \times 10^{-4}
 \end{aligned}$$

この大阪府での平均的な感染リスクとして想定したケースBでの感染リスクの推定値 2.4×10^{-4} は、2021年7月9日における大阪府での実際の感染者数の割合 2.0×10^{-4} に近い値であった。このことより、この感染リスク手法に妥当性があるといえる。

一般的な対策としてできる限りの対策をしているケースA、平均的な対策をしているケースB、またウレタンマスクと手洗いを日に数回する以外は対策をしていないケースCを含む感染リスクの計算例をTable 2に示す。感染リスク(Risk)の結果

をみると、ケースAは 9.4×10^{-5} となり平均的なケースB (2.4×10^{-4}) の約0.4倍となった。また、ケースCの感染リスクは 1.5×10^{-3} となりケースBの約6倍となった。またケースAの感染リスクは、ケースCの約0.06倍となり、感染対策を積極的に行うと積極的に行わない場合の10分の1以下に低減できるといえる。

また、 $M_{\text{空気}}$ と $M_{\text{接触}}$ を比較すると、どのケースも $M_{\text{空気}}$ の方が $M_{\text{接触}}$ よりかなり大きく、ケースA、B、Cでは、それぞれおよそ 10^6 倍、 10^3 倍、7倍となった。このことより、空気媒体に関する対策であるマスク、距離、および換気を強化することにより、直接的な感染リスクの低減効果が現れる可能性が示唆された。

一方、接触による感染リスクは、空気媒体よりもかなり小さくなる場合が多いこと、また手洗いや消毒などの対策などの効果が高いことが分かっ

Table 2 Examples of calculated infection risk assessment

感染リスク (Risk) = $P \times (M_{\text{空気}} + M_{\text{接触}})$

1日に感染者と接する確率 (P)			
a (住んでいる都道府県の直近一週間の10万人あたりの新規感染者)	大阪府 2021年7月9日	9.84	人/10万人
$P_{\text{地域}}$ (住んでいる都道府県の人が感染している割合)	$P_{\text{地域}} = a / 10^5 \times 2$	2.0×10^{-4}	感染者数の人口割合
$N_{\text{人数}}$ (接する人の人数)	記入値	10	人/日
P	$P = P_{\text{地域}} \times N_{\text{人数}}$	2.0×10^{-3}	

リスク計算例	ケースA		ケースB		ケースC	
対策レベル	高い		平均的		低い	
I. 飛沫やエアロゾルによる感染割合 ($M_{\text{空気}}$)						
$M_{\text{マスク}}$	②不織布	0.3	②不織布	0.3	④ウレタン	0.65
$M_{\text{距離}}$	①2 m	0.25	②1 m	0.5	③取らない	1
$M_{\text{換気}}$	①一般病室レベル	0.64	②通常換気	0.78	③換気なし	1
$M_{\text{空気}} = M_{\text{マスク}} \times M_{\text{距離}} \times M_{\text{換気}}$	計算値	4.8×10^{-2}	計算値	1.2×10^{-1}	計算値	6.5×10^{-1}
II. 接触による感染割合 ($M_{\text{接触}}$)						
$M_{\text{手洗}}$	①洗剤10秒もみ洗いと15秒すすぎ、場所移動ごと	0.0001	③洗剤なし15秒、場所移動ごと	0.01	④洗剤なし15秒を1日数回	0.1
$M_{\text{消毒}}$	①イベントごと	0.01	②1日1回など、時々	0.1	③しない	1
$M_{\text{接触率}}$	①使用場所が固定	0.01	②使用場所が固定されていない	0.1	③他人の接触部位を素手で触る	1
$M_{\text{接触}} = M_{\text{手洗}} \times M_{\text{消毒}} \times M_{\text{接触率}}$	計算値	1.0×10^{-8}	計算値	1.0×10^{-4}	計算値	1.0×10^{-1}
$M_{\text{接触}} = M_{\text{空気}} \times M_{\text{接触}}$	計算値	4.8×10^{-2}	計算値	1.2×10^{-1}	計算値	7.5×10^{-1}
Risk = $P \times M$	計算値	9.4×10^{-5}	計算値	2.4×10^{-4}	計算値	1.5×10^{-3}

た。これらのことは、米国CDCが間接的な接触リスクは主な感染ルートでないとしていることと、矛盾しない(CDC, 2020)。

感染防止対策に対するLINEと厚生労働省のアンケート(2020)(回答者数1540万人)では、手洗いやマスクの着用などについての感染防止対策への取り組みについて、10項目からなる複数回答で、「三密を避ける」が7割、「マスクをする」が8割、「手洗いをする」が9割であった。これらのことより、全般的に多数の人が感染対策を実施していることがわかる。

本研究で示した各対策の効果に基づいて、対策を再検討すれば、各自の目的に応じた対策ができ、今後、新規感染者数が減少した後も継続すべき対策を検討できると考える。

3.2 感度解析

Figure 2にTable 2に示した対策レベルが平均的なケースBの感染リスク R_B を基準として、感染対策6つ(マスク、距離、換気、手洗、消毒、接

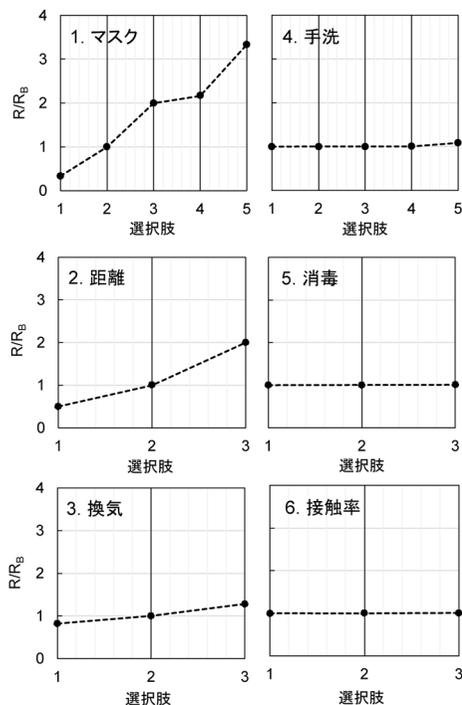


Figure 2 Sensibility of infection risk rate (R/R_B) by variation of exposure parameters of infection controls (choice of 1–3 or 1–5) (R: infection risk of each infection control, R_B : infection risk of Case B as a standard case)

種率) から1つ選び、その選択肢1から5、または1から3に変化させた場合の感染リスクの R_B に対する割合(R/R_B)の感度を示す。

まず、 $M_{手洗} \sim M_{接触率}$ までの接触による感染リスクの割合は、選択肢による変化がほとんど見られなかった。これは、今回提示する感染リスクの計算式(式(2))は、飛沫やエアロゾルによる感染割合($M_{空気}$)と接触による感染割合($M_{接触}$)が同時に発生する想定であり、 $M_{接触}$ が $M_{空気}$ より小さく、 $M_{接触}$ の影響が小さいためである。

次に、感染リスクの割合に最も影響を与えるのは、マスクの種類($M_{マスク}$)である。これは、ウイルス吸い込み率が0.1~1と幅が最も大きいためである。次に距離($M_{距離}$)、その次に換気の種類($M_{換気}$)となっている。これらは、選択肢の数値が直接、 R/R_B に反映されているためである。 $M_{換気}$ については、換気によるウイルスの残存割合は8時間滞在する条件で計算されているが、Table 1の質問表では、接触する人や接触時間を計算に考慮しておらず、このことは課題である。

3.3 感染者が対策した場合

本研究では、未感染者が感染するのを防ぐことを目標とした感染リスクを試算した。そのため、感染者は対策をせずに、通常の行動をしていることを仮定した。しかし、感染者が増加する傾向が見られた場合や、身近に感染者が発生した場合に直ぐに、マスク、距離、換気、手洗い、消毒などの対策を実行するならば、感染リスクが低く抑えられることになる。

4 課題

4.1 感染者と接する確率

感染者と接する確率に(式(6))、新規感染者数の隔離による感染者数の低減を考慮していない。もし、新規感染者が感染初期に確実に隔離されるならば、感染を拡大することなしに抑えられるので、このことも感染対策となり得る。

4.2 用量反応関係

①感染割合は、用量反応関係に基づき求めるべきである。しかし、6つの対策(マスク、距離、換気、手洗、消毒、接触率)で実際の感染事例を基に設定しているのは、距離と換気だけである。その他は、ウイルス量と相関があると思われる物理的な残存割合に基づき、それに比例す

るとして感染割合を計算している、直接ウイルス量を用いた計算ではない。

- ②飛沫やエアロゾルの空気中での挙動は粒径に依存するので、マスク、距離、換気の対策は、飛沫とエアロゾルとで分けて考えるべきである。粒径の大きい飛沫は、感染者から吐き出されたものが直接未感染者に到達して、顔などに付着する場合は主な経路と考えられる。よって、空気感染対策の内、マスクと距離が重要と考えられる。一方で、エアロゾルは粒径が小さく空気中に漂うので、呼吸で吸い込むことでウイルスを摂取するため、マスクと換気が重要と考えられる。

しかし、距離に応じて感染リスクが減少することを示した文献(Chu et al., 2020)は、飛沫とエアロゾルの寄与を分けて示していない。また、本論文では、感染者と非感染者の接する状況を個別に設定していないので、飛沫とエアロゾルによるウイルスの摂取量を分けるのは困難である。よって、飛沫とエアロゾルを区別しない感染割合として、空気中の感染割合 $M_{\text{空気}} = M_{\text{マスク}} \times M_{\text{距離}} \times M_{\text{換気}}$ を用いている。これは、飛沫とエアロゾルはどちらも距離と換気の効果があることになる。

- ③換気によるウイルスの除去効果は、ウイルスを含む飛沫やエアロゾルの粒径に左右されることが分かっている(Yang, 2011)。しかし、本研究では粒径の違いによる除去率の差を考慮できず、全体として取り扱っている。

4.3 接触感染

接触による感染経路では、どのようなモノと接触するかを設定する必要があるが、一般化するのは難しい。今回設定した接触条件($M_{\text{接触率}}$)で、職業ごとに値を設定することも考えられるが、例え職業が同じでも個人差が大きく、一般化する場合の課題である。

4.4 感染者数

本研究で対象とした新型コロナウイルス感染者というのは、PCR検査を受けて陽性だった人のこととした。しかし、日本でPCR検査を受けたのは、感染拡大初期のころは濃厚接触者や新型コロナウイルス感染症の症状が出た人に限られていた。よって、無症状や軽度の症状を含めた感染者はPCRを受けておらず、発表されている感染者

数は実際より少ないと考えられる。また、抗体検査やPCR検査が個別に受けられるようになると、検査をする人が多くなり、年間を通じての正確な感染者数を把握するのは困難である。

今回は都道府県ごとの新規感染者数を利用して、感染者と接する割合を設定した。しかし、個人レベルで見れば、生活パターンや職業などにより、感染者と接する状況は大きく異なると考えられる。特に、クラスターが発生しているのは、三密(密閉、密集、密接)となっている場所であることが多いことが指摘されている(鈴木, 西浦, 2020)。よって、都道府県ごとの新規感染者数が、自分に関係する地域の感染状況を表していると必ずしも言えない。

4.5 許容リスク

許容される感染リスクは、一般的に 10^{-4} /年とされている(金子, 2004)。米国環境保護庁(U.S. EPA)は、水道水質に関して、この許容感染リスクの値を提示している(小林ら, 2016; U.S. EPA, 1998)。

新型コロナウイルスの場合、米国では、感染者約4505万名、死亡者数約73万名(2021年10月19日時点)(Johns Hopkins, 2021)を人口約3億3千万名で除した感染割合は0.14、死亡割合は 2.2×10^{-3} となる。さらにこれを2021年3月から2021年10月までの期間1年8カ月で除して、1年あたりの感染リスクは、感染と死亡でそれぞれ、 8.4×10^{-2} /年、 1.3×10^{-3} /年となる。

また、日本ではPCR陽性者数約171万名、死亡者数1万8千名(2021年10月17日時点)(厚生労働省, 2021)を人口約1億3千万名で除した感染割合と死亡割合は、それぞれ、 6.5×10^{-3} 、 1.2×10^{-4} となる。よって、1年あたりの感染リスクはと死亡リスクはそれぞれ、 3.9×10^{-3} /年、 7.2×10^{-5} /年となる。

1年間あたりの新型コロナウイルスの感染許容リスクを 10^{-4} /年として、実際の感染リスクを許容リスクと比較すると、米国では約800倍、日本では約4倍の値となる。感染リスクの許容レベルは、現状ではコンセンサスが得られているとはいえないが、許容レベルを目安に対策方法を検討するのは合理的であると考えられる。

5. 結論

本研究では、新型コロナウイルスの感染対策の

効果を簡易な表を用いることで、数値的に把握できる方法を提案した。この方法は、リスクアセスメント手法を応用して、半定量的とはいえ、感染リスクの対策効果の評価を試みるものである。その結果、飛沫やエアロゾルなど空気を媒体とした経路の対策が重要であり、マスク、ソーシャルディスタンス、換気などの対策が感染リスクの低減に直接効果があることが数値的に示せた。

今回示したように、感染対策の効果を数値で示すことにより、人々が日常的に行っている感染対策の効果を把握し、今後、感染対策を継続するモチベーションにつながることを願っている。

参考文献

- Asahi Shinbun (2021) The number of the infected person per hundred thousand people in each prefecture, Infection status of Novel Corona virus, https://www.asahi.com/special/corona/?iref=comtop_urgent_lnk (Access: 2021, July, 9) (in Japanese)
- 朝日新聞 (2021) 都道府県別の10万人あたり感染者数, 新型コロナウイルスの感染状況, https://www.asahi.com/special/corona/?iref=comtop_urgent_lnk (アクセス日: 2021年7月9日)
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2020) COVID-19 spreads less commonly through contact with contaminated surfaces, How COVID-19 Spreads, Updated Oct. 28, 2020, <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/preventing-getting-sick/how-covid-spreads.html> (Access: 2021, March, 14)
- Chu, D. K., Akl, E. A., Dud, S., Solo, K., Yaacoub, S., and Schünemann, H. J. (2020) Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: A systematic review and meta-analysis, *Lancet*, **395**(10242), 1973–1987. doi: 10.1016/S0140-6736(20)31142-9
- HEAJ (2013) *Hospital Facilities Design Guidelines (Air Conditioning Volume) HEAS-02-2013*, Healthcare Engineering Association of Japan. (in Japanese)
- HEAJ (2013) 病院設備設計ガイドライン (空調設備編) HEAS-02-2013, 日本医療福祉設備協会.
- Iida, A. (2020) Study on coronavirus droplet infection - Effect of mask and risk examination when singing -, The 2nd year of Reiwa, 3rd regular press conference, 2020, October 15, https://www.tut.ac.jp/docs/201015_kisyakaiken.pdf (Access: 2021, March, 15) (in Japanese)
- 飯田明由 (2020) コロナウイルス飛沫感染に関する研究 - マスクの効果と歌唱時のリスク検討 -, 令和2年度第3回定例記者会見, 2020年10月15日, https://www.tut.ac.jp/docs/201015_kisyakaiken.pdf (アクセス日: 2021年3月15日)
- Japanese Building Standard Law (2020) Article 20-2 Technical Standards for Ventilation Equipment, Section 1-2 Ventilation Equipment for Buildings with Small Openings, Chapter 2 General Structure, Enforcement Ordinance (in Japanese)
- 建築基準法(2020) 第20条の2 換気設備の技術的基準, 第1節の2 開口部の少ない建築物等の換気設備, 第2章 一般構造, 施行令.
- Johns Hopkins (2021) Coronavirus Resource Center, Johns Hopkins University School of Medicine, <https://coronavirus.jhu.edu/> (Access: 2021, July, 1)
- Kaneko, M. (2004) Risks of waterborne diseases in Yodo River, *Seikatsu Eisei*, **48**(6), 329–333. (in Japanese)
- 金子光美 (2004) 水系感染症リスクと淀川, 生活衛生, **48**(6), 329–333.
- Kobayashi, A., Sano, D., Kato, T., Ito, T., Miyamura, A., Miura, T., Ishii, S., and Okabe, S. (2016) Evidence-based determination of the hygiene standard value in environmental water, *Journal of JSCE G (Environment)*, **72**(3), 40–49. doi:10.2208/jscejer.72.40 (in Japanese)
- 小林彩乃, 佐野大輔, 加藤 毅, 伊藤寿宏, 宮村明帆, 三浦尚之, 石井 聡, 岡部 聡 (2016) 水中病原体の許容感染リスクに基づいた水質衛生基準候補値の算出方法に関する提案, 土木学会論文集G (環境), **72**(3), 40–49. doi:10.2208/jscejer.72.40
- Kurabuchi, T. (2020) How should we determine the ventilation rate as a measure against COVID-19, *Journal of the Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan*, **95** (6), 453–459. (in Japanese)
- 倉淵 隆 (2021) 新型コロナウイルス対策としての換気量は どうやって決めるべきか?, 空気調和・衛生工学, **95**(6), 453–459.
- LINE・Ministry of Health, Labor and Welfare (2020) 5th National surveillance for COVID-19 (prompt

- announcement in detail), <https://guide.line.me/ja/coronavirus-survey.html> (Access: 2021, August, 29) (in Japanese)
- LINE・厚生労働省 (2020) 第5回新型コロナ対策のための全国調査 (速報詳細), <https://guide.line.me/ja/coronavirus-survey.html> (アクセス日: 2021年8月29日)
- Ministry of Health, Labor and Welfare (2020a) Ventilation to improve “closed space with poor ventilation” in commercial facilities (2020, March 30), <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf> (Access: 2021, March, 14) (in Japanese)
- 厚生労働省 (2020a) 商業施設等における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について (2020年3月30日), <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000618969.pdf> (アクセス日: 2021年3月14日)
- Ministry of Health, Labor and Welfare (2020b) About disinfection and sterilization method of new coronavirus, Last updated on June 26, 2020, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html (Access: 2021, March, 14) (in Japanese)
- 厚生労働省 (2020b) 新型コロナウイルスの消毒・除菌方法について, 令和2年6月26日最終更, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html (アクセス日: 2021年3月14日)
- Ministry of Health, Labor and Welfare (2021) About COVID-19, domestic outbreak (2021, October 17, 0:00), <https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohasseijoukyou.html> (Access: 2021, October, 17) (in Japanese)
- 厚生労働省 (2021) 新型コロナウイルス感染症について, 国内の発生状況 (令和3年10月17日0:00 現在), <https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/kokunainohasseijoukyou.html> (アクセス日: 2021年10月17日)
- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (2003) (II) Mandatory installation of ventilation equipment, revised building standard law, measures for sick house syndrome, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.files/setumeishiryou.pdf> (Access: 2021, March, 14) (in Japanese)
- 国土交通省 (2003) (II)換気設備の設置の義務付け, シックハウス対策に係る技術的基準 (政令・告示) について, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sickhouse.files/setumeishiryou.pdf> (アクセス日: 2021年3月14日)
- NHK (2021) The number of the infected people per hundred thousand in the previous one week, Corona Virus Special Site, <https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/#latest-weeks-card> (Access: 2021, July, 9) (in Japanese)
- NHK (2021) 直近1週間の人口10万人あたりの感染者数, コロナウイルス特設サイト, <https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/#latest-weeks-card> (アクセス日: 2021年7月9日)
- Nifty news (2020) Questionnaire ranking, questionnaire, date and time of implementation: March 20, 2020-March 26, 2020, Number of valid responses: 2,760, April 3, 2020, https://chosa.nifty.com/medical/chosa_report_A20200403/ (Access: 2021, March,15) (in Japanese)
- ニフティニュース (2020) 新型コロナウイルス感染症についてのアンケート・ランキング, アンケート, 実施日時: 2020年3月20日~3月26日/有効回答数: 2,760, 2020年4月3日, https://chosa.nifty.com/medical/chosa_report_A20200403/ (アクセス日: 2021年3月15日)
- Nikkei Science (2020) New corona infection, contact reduction “80% required” model calculated, April 25, 2020, <https://www.nikkei.com/article/DGX MZO58399970T20C20A400000/> (Access: 2021, March, 14) (in Japanese)
- 日経サイエンス (2020) 新型コロナ感染症, 接触削減「8割必要」モデルで算出, 2020年4月25日, <https://www.nikkei.com/article/DGX MZO58399970T20C20A400000/> (アクセス日: 2021年3月14日)
- Nishimura, H. (2020) *Novel Corona Virus, Fear correctly*, Fujiwara-Shoten, ISBN 978-4865782844. (in Japanese)
- 西村秀一 (2020) 新型コロナ「正しく恐れる」, 藤原書店.
- Pasalari, H., Ataei-Pirkooh, A., Aminikhah, M., Jafari, A.J., and Farzadkia, M. (2019) Assessment of airborne enteric viruses emitted from wastewater treatment plant: Atmospheric dispersion model, quantitative microbial risk assessment, disease

- burden, *Environmental Pollution*, **253**, 464–473.
- Suzuki, J., and Nishiura, H. (2020) Mathematical modeling and control of infectious diseases, *Journal of the Japanese Society of Internal Medicine*, **109**(11), 2276–2280. (in Japanese)
- 鈴木絢子, 西浦 博 (2020) 感染症の数理モデルと対策, 日本内科学会雑誌, **109**(11), 2276–2280.
- Takegawa, N. (2021) Aerosol, droplet transmission, and airborne transmission, *Earozoru Kenkyu*, **36**(1), 65–74. (in Japanese)
- 竹川暢之 (2021) エアロゾルと飛沫感染・空気感染, エアロゾル研究, **36**(1), 65–74.
- The Society for Risk Analysis, Japan (2019) 1–2 The expansion and diversification of risk concept, *The Encyclopedia of Risk Research*, Maruzen, Ltd. (in Japanese)
- 日本リスク研究学会 (2019) 1–2 リスク概念の展開と多様化, リスク学事典, 丸善出版.
- The Society for Risk Analysis, Japan, Board (2020) Code of Practice Guidance on Risk Mitigation Options for indirect contact infection route of Novel Coronaviruses, environmental surfaced and their inactivation protocols, 4th ED, Coronavirus Countermeasures Review Team, <https://www.sra-japan.jp/2019-ncov/index.php?module=blog&eid=10528&aid=10539> (Access: 2021, March, 14) (in Japanese)
- 日本リスク学会理事会 (2020) 環境表面のウイルス除染ガイダンス - COVID-19の接触感染に対するリスク低減実施規範(A) -, コロナウイルス対策検討チーム, <https://www.sra-japan.jp/2019-ncov/index.php?module=blog&eid=10528&aid=10539> (アクセス日: 2021年3月14日)
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (1998) National Primary Drinking Water Regulations, Interim Enhanced Surface Water Treatment, Final rule. 40CFR Parts 9, 141, and 142, Federal Register, Vol. 63, No. 241.
- WHO (2016) Quantitative microbial risk assessment, application for water safety management, https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/qmra/en/ (Access: 2021, March, 1)
- WHO (2020a) Modes of Transmission of virus causing COVID-19: Implications for IPC Precaution Recommendations: Scientific Brief: 27 March, 2020, WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.1 (Access: 2021, June, 1)
- WHO (2020b) Transmission of SARS-CoV-2: Implications for Infection Prevention Precautions: Scientific Brief. 09 July 2020, WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3 (Access: 2021, June, 1)
- WHO (2021) Considerations for quarantine of contacts of COVID-19 cases, Interim guidance, <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IHR-Quarantine-2021.1> (Access: 2021, July, 3)
- Yang, W., and Marr, L. C. (2011) Dynamics of Airborne Influenza A Viruses Indoors and Dependence on Humidity, *PLoS One*, **6**(6), e21481. doi: 10.1371/journal.pone.0021481 (Access: 2021, March, 1)
- Zhang, X., and Wang, J. (2020) Dose-response Relation Deduced for Coronaviruses from COVID-19, SARS and MERS Meta-analysis Results and its Application for Infection Risk Assessment of Aerosol Transmission, *Clinical Infectious Diseases*, **73**(1), e241–e245. doi:10.1093/cid/ciaa1675 (Access: 2021, March, 1)
- Watanabe, T., Bartrand, T.A., Weir, M.H., Omura, T., and Haas, C.N. (2010) Development of a dose-response model for SARS coronavirus, *Risk Analysis*, **30**(7), 1129–1138.