

卒業式や入学式等における新型コロナウイルスの感染リスク評価

Infection Risk Assessment of COVID-19 at Graduation and Entrance Ceremonies

○保高徹生*，藤田司*，内藤航**，大西正輝***，村上道夫****，井元清哉*****，奥田知明*****

*産業技術総合研究所地質調査総合センター地圏資源環境研究部門、**産業技術総合研究所安全科学研究部門、***産業技術総合研究所人工知能研究センター、****大阪大学感染症総合教育研究拠点、*****東京大学医科学研究所、*****慶應義塾大学理工学部

○責任著者：t.yasutaka@aist.go.jp

キーワード：卒業式、入学式、感染リスク評価、COVID-19

Key word : Graduation Ceremonies, Entrance Ceremonies, Infection Risk Assessment, COVID-19

概要

本研究では、卒業式や入学式等における新型コロナウイルスの感染リスクや対策の効果を評価することを目的として、865人が参加する仮定の卒業式を設定し、歌唱、卒業証書授与、式辞等の卒業式における各種イベント条件を検討、マスク着用等の対策の効果を考慮した感染リスク評価モデルを構築した。また、卒業式のリスクを相対的に評価するため、同じコンセプトで入学式を想定した感染リスク評価を構築して比較を実施した。

本研究で想定した条件においては、卒業式に1名の無症状感染者（無症状の感染性保有者）が参加した場合、平均的な感染リスクは、マスク着用等の対策をしない場合で0.00004（10万人あたり4.0人、865人が参加する卒業式では0.035人）、また、入学式に1名の無症状感染者が参加した場合の平均的な感染リスクは、対策をしない場合で0.000012（10万人あたり1.2人、865人が参加する場合の想定感染者数は0.010人）であり、卒業式のほうが高いことが確認された。これは、卒業証書授与の様な対面・近距離での会話の有無および式典全体の所要時間の差異等に起因すると考えられる。卒業式における感染リスクが高いイベントは歌唱および卒業証書授与、入学式では歌唱であった。

また、卒業式において、歌唱時のみマスクを着用する対策をした場合の感染リスクは、0.000022人（10万人あたり2.2人、865人が参加する場合の想定感染者数は0.019人）であり、歌唱時に不織布マスクを着用することで、参加者の平均的な感染リスクが約45%削減できることが確認された。卒業式や入学式における感染リスク自体は、対策なしの条件においても低いものの、市中感染率が上昇した場合等においては、様々な対策の組み合わせが有効となろう。

1 はじめに

新型コロナウイルス感染症のパンデミック発生以降、マスギャザリングイベント（多くの人が集まるイベント）の開催に当たっては、収容率の制限や各種感染対策の徹底といった様々なルールが行政や自治体等から示されてきた（内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室，2023c）。学校教育も例外ではない。日本政府は、2020年2月26日に今後2週間の大規模イベントの中止、延期又は規模縮小等の対応を要請したことに続き、翌27日には3月2日から春休みまで、全国全ての小学校・中学校、高校などについて、臨時休校を行うように要請した（総務省，2020）。それを受けて、僅かな準備期間で大半の学校が休校するという異例の事態となった。ただし、文部科学省は、2020年2月25日に「学校の卒業式・入学式等の開催に関する考え方について」と題する文書を発出しており卒業式を「かけがえのない行事」として、政府として一律の自粛を求めるものでなく、感染拡大防止の措置として「風邪のような症状のある方には参加をしないよう徹底、参加者への手洗いや咳エチケットの推奨、可能な範囲でアルコール消毒薬の設置、こまめな換気の実施」を挙げた（文部科学省，2020a）。

日本政府による臨時休業要請においても、卒業式の中止は求められず、実施する場合に、感染防止策、出席者の人数制限等の「万全の対応」が求められた（首相官邸，2020）。その後、緊急事態宣言による臨時休校を経て（文部科学省，2020d）、6月にはほぼ全ての学校が再開する（文部科学省，2020c）間に、学校における感染予防拡大のための方針が文部科学省により策定された。5月22日には、「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル ～「学校の新しい生活様式」～」が発出され、マスクの常時着用が求められた。6月の通知では学校現場に「感染およびその拡大のリスクを可能な限り低減した上で、学校運営を継続していく」ことが求められ（文部科学省，2020b）、同時に、卒業式について、出席者を限定し、席の間隔を空けることや、式典全体の時間

を短縮するなど、感染防止に配慮して実施することとした（同上）。卒業式は、法的基準性を持つ学習指導要領が定める学校のカリキュラムの一部であるだけでなく、社会的にも重要な意義を持つため、上述のように、パンデミック下でも、感染拡大防止のための措置を施して継続的に開催されてきた。

一方、新型コロナウイルス感染症に対する知見が蓄積され、マスギャザリングイベントにおける規制については、段階的に見直されてきた。例えば、日本プロサッカーリーグ（以下「Jリーグ」という。）などのスポーツやコンサート等のイベントでは、2021年12月以降、声出し応援を行わないと分類されるイベントについては、感染防止安全計画の策定を条件に、イベント会場の最大収容人数に対して100%の定員での開催が可能となった。また、声出し応援は原則禁止とされてきたが、スポーツイベントにおける声出し応援のリスク評価（産業技術総合研究所，2022）等の科学的知見や応援ガイドラインに基づき、2022年6月11日以降、人数制限を設けた上で公式試合における声出し応援の段階的導入がなされ、さらに2023年1月27日以降は100%の定員においてマスク着用による声出し応援が認められた（内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室，2023b）。さらに、2023年2月10日には新型コロナウイルス感染症対策本部決定「マスク着用の考え方の見直し等について」及び基本的対処方針の一部変更に基づき、2023年3月13日以降は「マスクの着用は個人の判断に委ねることを基本」との方針に変更されるなど（内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室，2023a）、日常を取り戻す動きが活発化している。

このような状況の中、2023年2月10日付け文部科学省通知「卒業式におけるマスクの取扱いに関する基本的な考え方について（通知）」（文部科学省初等中等教育局，2023）において、児童生徒及び教職員は式典全体を通じてマスクを外すことを基本とすること、ただし、斉唱、合唱等時にはマスク着用等の一定の感染対策を行うこと、という方針が示された。卒業式は学校生活の中で節目と

なる重要な行事で、児童生徒等にとっても特別な意味を有するものであることから、感染リスクを十分低減した上で、マスクを外すことの意義は大きいと考えられる。一方で、これまでマスクを着用してきた人々にとっては、マスクを外すことへの不安の声も散見される(朝日新聞デジタル, 2023)。

本研究では、卒業式や入学式における感染リスクが高いイベントや参加属性(校長、教職員、卒業生、在校生等)を抽出すること、さらに各種対策の効果を評価することを目的として、マスギャザリングイベントにおける感染リスク評価手法(Murakami et al., 2022; Murakami et al., 2021; Yasutaka et al., 2022)を応用し、学校等の卒業式や入学式を事例とした新型コロナウイルスの感染リスクや各種対策の効果を評価した。

2 感染リスク評価

卒業式や入学式における感染リスクは、環境暴露モデルを用いた経路別シミュレーションモデルを用いて評価した。この手法は、(Murakami et al., 2021)、(Yasutaka et al., 2022)および(Murakami et al., 2022)のスタジアムなどにおけるマスギャザリングイベントにおける評価手法と同じものであり、卒業式等の式典が開催される建物(体育館相当を想定)に無症状の感染性保有者(以下「感染者」という)が滞在した場合での3つの感染経路(直接暴露、直接吸引、空気経路)からの暴露に伴う感染リスクを、以下の計算条件で評価した。また、接触機会が限定的なことから接触感染の暴露経路は含めず評価した。

2.1 シナリオ

卒業式には、卒業生180名、在校生370名、校長を含めた教職員30名、来賓・保護者285名の合計865名が参加する設定とした。卒業式は歌唱、式辞、卒業証書授与等、表1に示す流れを想定し、式典全体の所要時間を112分とした。また、入学式には、新入生180名、在校生370名、校長を含めた教職員30名、来賓・保護者285名の合計865

名が参加する設定とした。入学式は歌唱、式辞等、表2に示す流れを想定し、式典全体の所要時間を78分とした。卒業式と入学式共に、式典には無症状の感染者が1名参加すると仮定した。865名中1名の感染者がいる状況は、感染性保有期間を発症前2日間、発症後7日間の計9日間とし、全感染者のうちの無症状者の割合を46%とした場合に、1日当たりでの10万人中の感染者数が22人の状況である。

表1 卒業式シナリオとイベント

イベント	時間(分)	備考
開式の言葉	3	教職員が発話
歌唱(5分×2回)	10	卒業生、在校生、教職員、校長が座席から歌唱。同属性の人は同じ方向を向いて歌唱。
卒業証書授与	61	校長と卒業生180名が1名ずつ壇上に上がり授与。校長のみ対面で発話
校長式辞	10	壇上で校長のみが発話
校長以外の式辞等	15	壇上に1名ずつ上がり発話
在校生送辞	5	壇上に在校生1名が上がり発話
卒業生答辞	5	壇上に卒業生1名が上がり発話
閉式の言葉	3	教職員が発話
計	112	—

表2 入学式シナリオとイベント

イベント	時間(分)	備考
開式の辞	1	教職員が発話
歌唱(3分×2回)	6	新入生、在校生、教職員、校長が座席から歌唱。同属性の人は同じ方向を向いて歌唱。
入学許可	30	担任による呼名、校長の許可宣言
校長式辞	10	壇上で校長のみが発話
校長以外の式辞等	20	壇上に1名ずつ上がり発話
歓迎の言葉	5	壇上に在校生1名が上がり発話
誓いの言葉	5	壇上に新入生1名が上がり発話
閉式の辞	1	教職員が発話
計	78	—

2.2 リスク評価モデル

ウイルスの環境動態と暴露のモデル（リスク評価モデル）は、次のように構築した。感染者の会話、せき、くしゃみ、歌唱によって排出されたウイルスは、非感染者が直接暴露や直接吸引する。排出されたウイルスのごくわずか（ 10^{-6} ）(Nicas and Sun, 2006)は、粒子と共に大気中に拡散し、排気、不活化、沈着などの消失プロセスを経るとともに、呼吸を介して暴露される。上記の暴露経路から感染リスクを算出した。事前の空気中のウイルス濃度（初期値）は0とした。

卒業式における感染者は、校長、卒業生、在校生、校長以外の教職員であった場合の4ケースを設定し、表1に示すイベントごとにリスク評価モデルを構築して、校長、卒業生、在校生、校長以外の教職員の感染リスクをモンテカルロシミュレーションで1条件につき10,000回実施し平均値を求めた。また、入学式においても、感染者が校長、新生、在校生、校長以外の教職員であった場合の4ケースを設定し、表2に示すイベントごとにリスク評価モデルを構築して、同等のプロセスにより平均値を求めた。

感染者の唾液中のウイルス量を SARS-CoV-2 の測定事例 (To et al., 2020) より、算術平均値 2.6×10^7 copies/mL、標準偏差 4.1×10^7 copies/mL をベースラインとし、オミクロン株を想定してその10倍のウイルス量とした。対数正規分布を仮定した（幾何平均値 16.45、幾何標準偏差 1.118）。

フェレットにおける唾液中 SARS-CoV-2 の copy 数に対する TCID (Tissue Culture Infectious Dose) 比 (0.15) (Kim et al., 2020) および PFU に対する TCID 比 (0.7) (Covés-Datson et al., 2020) より、PFU/copies 比は 0.1 とした。

ウイルスは、会話、せき、くしゃみ、歌唱によって排出されるとした。微細粒子 ($<10\mu\text{m}$) と大粒子 ($>10\mu\text{m}$) に分け (Zhang and Li, 2018)、1 分間会話したときの唾液量は、微細粒子 8.82×10^{-8} mL、大粒子 3.09×10^{-3} mL、1 回せきをした時の唾液量は、微細粒子 1.65×10^{-7} mL、大粒子 6.15×10^{-3} mL、1 回くしゃみをした時の唾液量は、微細粒子 $1.27 \times 10^{-$

6 mL、大粒子 4.75×10^{-2} mL、1 分間歌唱したときの唾液量が多くなることを想定し、会話時と比較して 10 倍の微細粒子 8.82×10^{-7} mL、大粒子 3.09×10^{-2} mL とした。

式典中において、せき、くしゃみは確率的に発生すると考えた。感染者のせき、くしゃみの 1 分あたりの発生頻度はそれぞれ、0.013、0.0057 とした (Chen and Liao, 2010; Yousaf et al., 2013; Zhang and Li, 2018)。1 分ごとに、会話 (1 分間)、くしゃみ 1 回、せき 1 回、歌唱 (1 分間) が上記の確率に応じて発生すると考えた。

非感染者の暴露経路は、(1) 飛沫の直接暴露、(2) 直接吸引、(3) 呼吸の 3 つである。

飛沫の直接暴露は、感染者から排出された大粒子のウイルスが直接顔に暴露することを想定した。本研究のシナリオでは、卒業式において、感染者が校長で、卒業証書授与時に非感染者の卒業生に暴露が生じると考えた。

60 度の円錐状にウイルスが感染者から排出されるとした (Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006)。感染者と非感染者の距離を $d[\text{m}]$ 、顔粘膜の面積を $S_f[\text{m}^2]$ とすると、飛沫の直接由来の暴露量 $D_{\text{drop}}(t)[\text{PFU}]$ は以下の式 eq.1 のように説明される。

$$D_{\text{drop}}(t) = \frac{S_f}{\pi \left(\frac{d}{\sqrt{3}}\right)^2} \times V_I(t) \quad (\text{eq.1})$$

$V_I(t)$ = 非感染者に向かって排出された大粒子のウイルス量 [PFU]

感染者と非感染者が $d=1.0\text{m}$ の距離にいるとすると、円錐の底面積は 1.0m^2 と算定される。顔粘膜の面積を $S_f=1.5 \times 10^{-3}\text{m}^2$ (Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006) とすると、その比から以下の式 eq.2 のように排出された大粒子のウイルスの 1.4×10^{-3} が暴露されると考えた。

$$D_{\text{drop}}(t) = 1.4 \times 10^{-3} \times V_I(t) \quad (\text{eq.2})$$

直接吸引では、感染者から排出された微細粒子のウイルスを含む空気を近傍で吸い込むことを想

定した(Jones, 2020; Mizukoshi et al., 2021; Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006)。感染者が非感染者に向かってウイルスを排出したときに暴露が生じると考えた。ここでは、非感染者が感染者の方を向いていても向いていなくても、暴露は生じると考えた。直接吸引の暴露が生じるのは、卒業式の場合、校長が感染者で、卒業証書授与時に非感染者の卒業生が暴露するケース、卒業生か在校生か教職員が感染者で、自席にいる際に、せき、くしゃみ、歌唱によって感染者の前の席にいる人が暴露するケース、入学式の場合、新入生か在校生か教職員が感染者で、自席にいる際に、せき、くしゃみ、歌唱によって感染者の前の席にいる人が暴露するケースである。

60度の円錐状にウイルスが感染者から排出されるとし(Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006)、感染者と非感染者の距離 d [m]での排出された体積に対して、1回の呼吸量(呼吸量 $0.02\text{m}^3/\text{min}$ 、1分間の呼吸回数 15回より、 $1.3 \times 10^{-3}\text{m}^3$)の比および排出されたウイルスのうち半分(0.5)(Nicas and Jones, 2009; Nicas and Sun, 2006)を吸引しうるとの仮定から、直接吸引由来の暴露量 $D_{insp}(t)$ [PFU]は以下の式 eq.3 のように説明される。

$$D_{insp}(t) = \frac{0.02 \times 0.5}{15} \times \frac{\pi d^2}{3 \sqrt{3}} \times V_s(t) \quad (\text{eq.3})$$

$V_s(t)$ = 非感染者に向かって排出された微細粒子のウイルス量 [PFU]

感染者と非感染者の距離が $d=0.5\text{m}$ の時、以下の式 eq.4 のように排出された微細粒子のウイルスの 1.5×10^{-2} が暴露されると考えた。

$$D_{insp}(t) = 1.5 \times 10^{-2} \times V_s(t) \quad (\text{eq.4})$$

呼吸由来の暴露は、感染者から排出された微細粒子及び大粒子のウイルスの 10^{-6} が空気中に拡散し(Nicas and Sun, 2006)、混合され、呼吸を介して暴露すると考えた。

式典を行う建物(体育館相当)の実効容量は、

床面積 1400m^2 に実効の高さとして 12m を設定し、 16800m^3 とした。空気交換率は一般的な推奨値である 2.0 とした。従って、排気に伴う減衰係数 λ_4 は $3.3 \times 10^{-2}\text{min}^{-1}$ であった。空気中の不活化係数 λ_5 はエアロゾル中の SARS-CoV-2 の実測値(van Doremalen et al., 2020)より、 $1.1 \times 10^{-2}\text{min}^{-1}$ とした。空気からの沈着係数 λ_6 は、 0.0054min^{-1} とした(Nicas and Jones, 2009)。一人当たりの呼吸によるウイルスの吸引係数は、呼吸量 $0.02\text{m}^3/\text{min}$ 、実効容量より、 $\lambda_7 = 1.2 \times 10^{-6}\text{min}^{-1}$ と算出された。865名の合計で、 $\lambda_{7_all} = 1.0 \times 10^{-3}\text{min}^{-1}$ である。従って、消失係数 $\lambda_8 = \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + \lambda_{7_all} = 5.1 \times 10^{-2}$ となった。

空気中のウイルス $Air(t)$ [PFU]、呼吸由来の暴露量 $D_{resp}(t)$ [PFU]は以下の式 eq.5~eq.6 のように説明される。

$$\Delta Air(t) = V_{all}(t) - \lambda_8 \times Air(t) \times \Delta t \quad (\text{eq.5})$$

$$D_{resp}(t) = \lambda_7 \times Air(t) \times \Delta t \quad (\text{eq.6})$$

$V_{all}(t)$ = 感染者から排出されたウイルス量 [PFU]

これら3つの経路での暴露量より、卒業式や入学式における参加者それぞれの総暴露量 $D_{total}(t)$ は以下のように算出される。

卒業式において、感染者が校長で非感染者が卒業生の総暴露量 $D_{total}(t)$ は式 eq.7 で表される。

$$D_{total}(t) = D_{drop}(t) + D_{insp}(t) + D_{resp}(t) \quad (\text{eq.7})$$

卒業式や入学式において、感染者が卒業生か新入生か在校生か校長以外の教職員で非感染者が感染者の前の席にいる人の総暴露量 $D_{total}(t)$ は式 eq.8 で表される。

$$D_{total}(t) = D_{insp}(t) + D_{resp}(t) \quad (\text{eq.8})$$

上記以外の非感染者の総暴露量 $D_{total}(t)$ は式 eq.9 で表される。

$$D_{total}(t) = D_{resp}(t) \quad (\text{eq.9})$$

暴露量期待値 D における有症状感染リスク期待値 $P_{symp}(D)$ は、マウスに関する SARS-CoV の指数モデル (Watanabe et al., 2010) より下記の式 eq.10 のように算出される。本指数モデルは、SARS-CoV-2 における感染リスク評価 (Jones, 2020) でも用いられている。

$$P_{symp}(D) = 1 - \exp\left(-\frac{D}{k}\right) \quad (\text{eq.10})$$

$$k=410$$

この用量反応式は、マウスの死亡をエンドポイントとしており、ヒトを対象にした場合のエンドポイントは疾病ありに該当すると考えられる。これは SARS-CoV-2 のような重篤な疾病の致死率は、感染個体の体力と治療を受けられるかどうかによって依存するもので、体力が人よりも劣り、治療を受けられない実験マウスについては、人よりも高い致死率であると考えられるため、全ての疾病あり個体が死亡に至ったと仮定できる。

そこで、無症状者も含めた感染リスク $P(D)$ は、感染者に対する無症状者の割合 ($Rate_{asymp}$) を考慮することで、式 eq.11 のように算出される。 $Rate_{asymp}$ は、システムティックレビュー論文にしたがって、算術平均値 0.460、標準偏差 0.141 (He et al., 2020) の正規分布 (0 と 1 で打ち切り) に従うとした。

ここで用いた用量反応式で得られる感染率は人チャレンジ試験で得られた感染率とある程度一致している (Killingley et al., 2022; Murakami et al., 2022)。

$$P(D) = \min\left(\frac{P_{symp}(D)}{1 - Rate_{asymp}}, 1\right) \quad (\text{eq.11})$$

感染リスクは、校長、卒業生、在校生、教職員のうち 1 名が感染性を保有していた場合 (4 ケース) における、卒業式のイベントごとに評価し、校長、卒業生、在校生、教職員の人数を用いた重み付け平均をすることで算定した。

また、本モデルにおいては、ワクチンや既感染による感染リスクの低減効果については評価をしていない。

2.3 対策と効果

卒業式と入学式で考慮した対策オプションを表 3、表 4 に示す。卒業式では対策なし、歌唱時のみに参加者がマスクを着用する条件、卒業証書授与時に校長の発話時間を短くする、マスクを着用する、社会的距離を取る条件および式典中常に参加者がマスクを着用し続ける条件で評価を実施した。入学式では、社会的距離の確保、歌唱時マスク着用、全時間・全員マスク着用の条件で評価を実施した。

マスク着用の効果については、大粒子 ($>10\mu\text{m}$) と微細粒子 ($<10\mu\text{m}$) のそれぞれに付着したウイルスに対して、感染者の着用するマスクの排出 (吐き出し) と非感染者の着用するマスクの吸入 (吸い込み) の効果を考慮した。各暴露経路に対するマスクの吐き出しと吸い込みの効果は表 5 のように設定した。直接暴露では、感染者が排出する大粒子に付着したウイルスがマスクの吐き出しの効果により低減される。直接吸引では、感染者が排出する微細粒子に付着したウイルスがマスクの吐き出しの効果により低減されると共に、非感染者のマスクの吸い込みの効果によっても更に低減される。呼吸では、感染者が排出する大粒子と微細粒子に付着したウイルスがマスクの吐き出しの効果により低減される。

本研究で設定したマスク着用の効果を表 6 に示す。マスクによる吐き出しと吸い込みの効果は、吐き出し及び吸い込みによるウイルスのカット率という形式で考慮した。吐き出し防止効果は、大声時でも不織布マスクを適切に着用することで、大粒子で 99% 以上、3~10 μm の小粒子で約 95% 削減できる研究成果を参考とし、保守的に小粒子 70% 削減、大粒子 95% 削減とした (産業技術総合研究所, 2022)。また、マスク着用によって、露出する顔粘膜が低減されると考え、マスク着用時の顔粘膜を $1.5 \times 10^{-3} \text{m}^2$ から $7.5 \times 10^{-4} \text{m}^2$ に置き換えた。

表3 卒業式の対策オプション

シナリオ1	対策なし
シナリオ2	歌唱時マスク着用
シナリオ3	全時間・全員マスク着用
シナリオ4	卒業証書授与時校長の話す時間短縮（最初の人以外の卒業証書授与時の校長の話す時間短縮（4秒（氏名、おめでとう、以下同文）から2秒（おめでとう）に変更）
シナリオ5	シナリオ2+卒業証書授与時の社会的距離確保（卒業証書授与時の校長と学生の距離を1mから2mに変更）
シナリオ6	シナリオ2+卒業証書授与時の校長のマスク着用（ウレタン）
シナリオ7	シナリオ2+卒業証書授与時の校長のマスク着用（不織布）
シナリオ8	シナリオ2+4+7

表4 入学式の対策オプション

シナリオ1	対策なし
シナリオ2	社会的距離確保（前後座席距離1m）
シナリオ3	社会的距離確保（前後座席距離1.5m）
シナリオ4	歌唱時マスク着用
シナリオ5	歌唱時マスク着用+前後座席距離1.0m
シナリオ6	歌唱時マスク着用+前後座席距離1.5m
シナリオ7	全時間・全員マスク着用
シナリオ8	全時間・全員マスク着用+前後座席距離1.0m
シナリオ9	全時間・全員マスク着用+前後座席距離1.5m

表5 暴露経路に対するマスクの効果

暴露経路	大粒子		微細粒子	
	吐き出し	吸い込み	吐き出し	吸い込み
直接暴露	効果あり	-	-	-
直接吸引	-	-	効果あり	効果あり
呼吸	効果あり	-	効果あり	-

表6 マスクの効果

マスク種類	感染者の吐き出し防止効果		非感染者の吸い込み防止効果		露出する顔粘膜の面積 [m ²]
	大粒子	微細粒子	大粒子	微細粒子	
着用なし	-	-	-	-	0.0015
ウレタン	80%カット	カットしない	-	10%カット	0.00075
不織布	95%カット	70%カット	-	60%カット	0.00075

3 結果

3.1 卒業式の感染リスク

本研究で想定した卒業式の条件においては、卒業式に1名の感染者が参加した場合、平均的な感染リスクは、マスク着用等の対策をしない場合で0.00004（図1：10万人あたり4.0人、865人が参加する卒業式では0.035人）であった。感染リスクが高いイベントは歌唱および卒業証書授与であり、対策なしの場合で 2.0×10^{-5} であった。

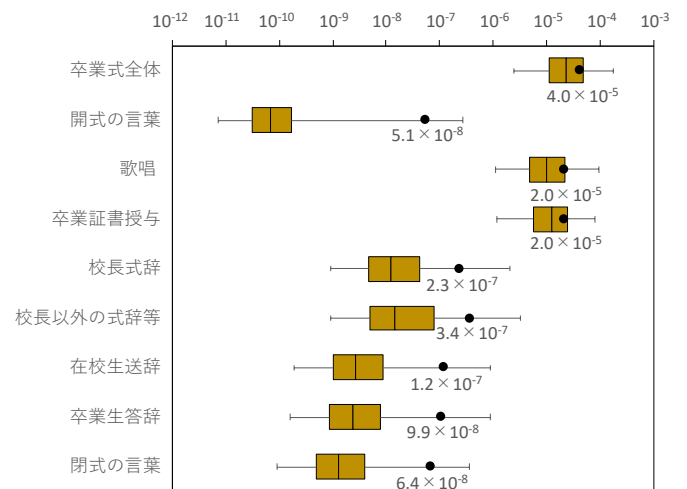


図1 対策を実施しない場合の卒業式のイベント別の感染リスク評価の結果

（箱ひげの値は2.5、25、50、75、97.5パーセンタイル値、黒丸シンボルは算術平均値）

次に、校長、卒業生、在校生、教職員のうち1名が感染性を保有していたときに、対策をしない場合のイベント別の平均感染リスクを図2に示す。まず、感染リスクが最も大きいのは、感染者が校長、場面は卒業証書授与時であった。このイベントにおけるウイルス暴露対象者は卒業証書を受け取る卒業生である。次いでリスクが高いのは、感染者が在校生、卒業生、教職員のうち1名、場面は歌唱時であった。これは、感染者の周辺にいる人（感染者の前の席に座った人）が影響を受けることが確認された。このように、感染者が校長のときには卒業証書授与時に、感染者が卒業生、在校生、教職員には歌唱時のリスクが相対的に高い

ことが示された。

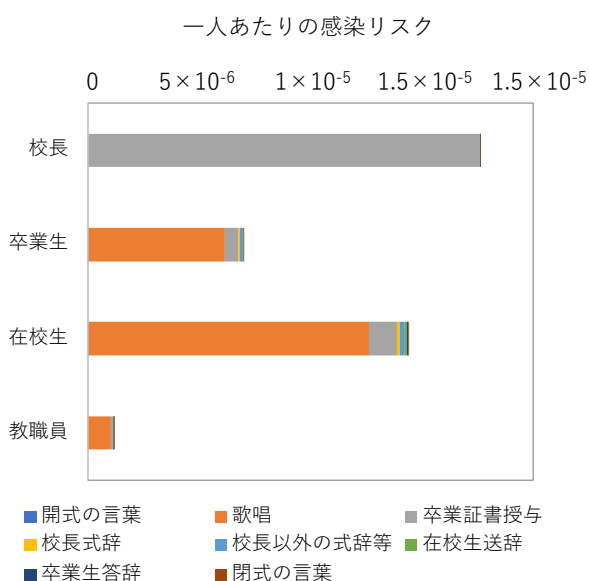


図2 対策を実施しない場合の感染者別・イベント別の感染リスク評価の結果

3.2 入学式の感染リスク

本研究で想定した入学式の条件においては、入学式に1名の感染者が参加した場合、平均的な感染リスクは、マスク着用等の対策をしない場合で0.000012 (図3: 10万人あたり1.2人、865人が参加する卒業式では0.010人)であり卒業式の1/3程度であった。感染リスクが高いイベントは歌唱であり、対策なしの場合で 1.0×10^{-5} と入学式のリスクの大半を占めていた。

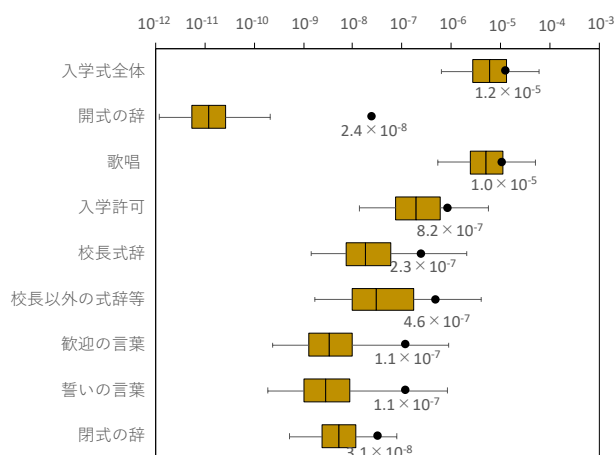


図3 対策を実施しない場合の入学式のイベント

別の感染リスク評価の結果

(箱ひげの値は2.5、25、50、75、97.5パーセンタイル値、黒丸シンボルは算術平均値)

3.3 対策の効果

図4に卒業式、入学式における各種対策の効果を示す。

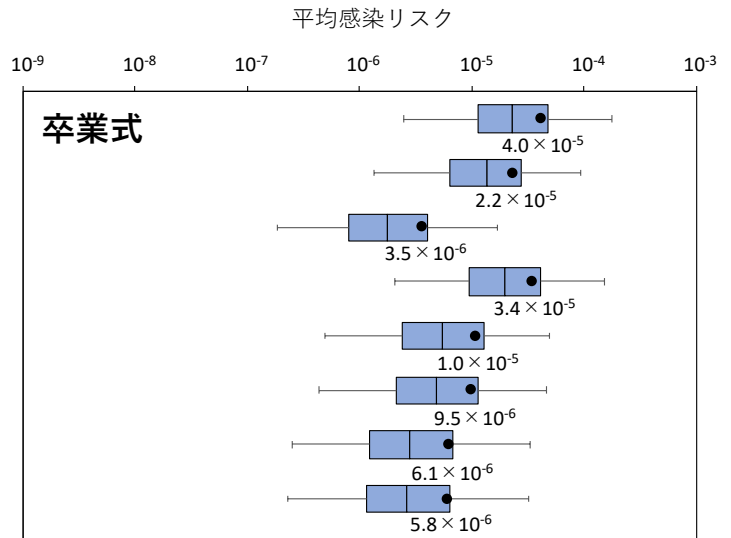
卒業式においては、対策なしの場合と比較して、全時間・全員マスク着用をした場合は感染リスクが94%削減(図4上:③)されると評価された。歌唱時のみのマスク着用で45%削減(図4上:②)、歌唱時および卒業証書授与時の校長の不織布マスク着用で85%削減(図4上:⑦)、歌唱時および卒業証書授与時の校長の不織布マスク着用に加えて卒業証書授与時や話す時間短縮をすることで86%削減(図4上:⑧)と評価され、全時間・全員マスク着用と同レベルまでリスクが削減できた。

入学式においては、対策なしの場合と比較して、全時間・全員マスク着用し座席間距離が0.5mの場合のリスクは88%削減(図4下:⑦)されると評価された。一方、マスク着用をしなくても、社会的な距離(座席の前後の距離)を1.0m確保する場合はリスクは85%削減、1.5m確保する場合はリスクは93%削減されると評価され、全時間・全員マスク着用する場合と同等もしくはそれ以上のリスク削減効果が可能と評価された。

4 考察

本研究では卒業式や入学式に無症状感染者が参加した場合の感染リスクを算定した。対策をしない場合における、卒業式に感染者が1名参加した場合の感染リスクは0.00004(865人が参加する卒業式では平均0.035人)、入学式では0.000012(865人が参加する入学式では平均0.010人)であった。また、感染対策として、全時間・全員マスク着用をすると感染リスクを90%程度削減できる。一方で、歌唱時のマスク着用(卒業式では45%削減、入学式では88%削減)や座席間距離の確保(入学式では1mで85%削減)等の部分的な対策を実施することで、全時間・全員マスク着用と同様のリ

- ① 対策なし
- ② 歌唱時マスク着用
- ③ 全時間・全員マスク着用
- ④ 卒業証書授与時の校長の話す時間短縮*
- ⑤ ②+卒業証書授与時の社会的距離確保**
- ⑥ ②+卒業証書授与時に校長マスク着用（ウレタン）
- ⑦ ②+卒業証書授与時に校長マスク着用（不織布）
- ⑧ ②+④+⑦



- ① 対策なし
- ② 社会的距離確保（座席間距離 1.0m）
- ③ 社会的距離確保（座席間距離 1.0m）
- ④ 歌唱時マスク着用+座席間距離 0.5m
- ⑤ 歌唱時マスク着用+座席間距離 1.0m
- ⑥ 歌唱時マスク着用+座席間距離 1.5m
- ⑦ 全時間・全員マスク着用+座席間距離 0.5m
- ⑧ 全時間・全員マスク着用+座席間距離 1.0m
- ⑨ 全時間・全員マスク着用+座席間距離 1.5m

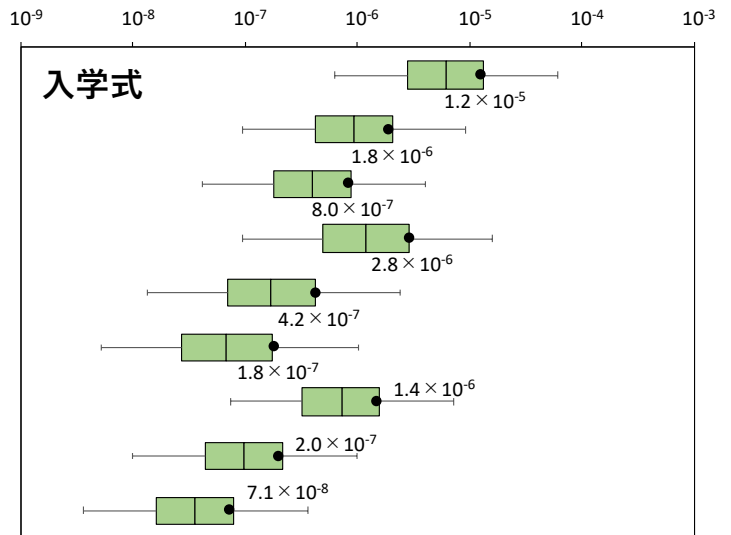


図4 対策効果

（箱ひげの値は 2.5、25、50、75、97.5 パーセンタイル値、黒丸シンボルは算術平均値）

リスク低減をすること可能であることが示された。これらの情報は、感染状況などを踏まえたうえで、どのような対策を行うとよいか、もしくはどのような対策をやめるのべきか、といった判断を支援するものである。常時のマスク着用は当然、感染リスクを低減できる。一方で、全体の感染リスクへの寄与が大きいイベント（例えば、歌唱、卒業証書授与）や参加者を特定し、ハイリスク群に対して適切に対策（例えば、歌唱時のマスク着用、歌唱時の社会的な距離の確保）により、部分的な感染対策により、効果的な対策が実施可能であることが示された。

また市中の感染状況を踏まえることも重要である。2023年3月19日時点の感染状況（10万人あたり4.8人の報告感染者数）（厚生労働省, 2023）においては、865人の卒業式に無症状の感染者が参加する期待値は0.40人となる。それを踏まえた当該卒業式の推定平均感染者数は0.014人と評価される。一方、第8波のピーク時である2022年8月24日（10万人あたり194.6人の報告感染者数）（厚生労働省, 2023）においては、865人の卒業式に無症状の感染者が参加する期待値は16.3人となり、それを踏まえた当該卒業式の推定平均感染者数は0.57人と評価され、その感染リスクは2023年3月

比較して 40 倍以上大きくなる。すなわち第 8 波のピーク時において卒業式に全時間・全員マスク着用をする対策を実施した場合と、2023 年 3 月 19 日の時点で無対策の場合では、感染リスクは前者のほうが大きくなる。このように、イベント自体のリスクだけでなく、市中感染状況を踏まえた上で、イベント等の主催者は対策方針を決定することが重要となろう。

参考文献

- Chen, S.-C., Liao, C.-M., 2010. Probabilistic indoor transmission modeling for influenza (sub)type viruses. *Journal of Infection* 60(1), 26-35.
- Covés-Datson, E.M., King, S.R., Legendre, M., Gupta, A., Chan, S.M., Gitlin, E., Kulkarni, V.V., Pantaleón García, J., Smee, D.F., Lipka, E., Evans, S.E., Tarbet, E.B., Ono, A., Markovitz, D.M., 2020. A molecularly engineered antiviral banana lectin inhibits fusion and is efficacious against influenza virus infection in vivo. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(4), 2122-2132.
- He, W., Yi, G.Y., Zhu, Y., 2020. Estimation of the basic reproduction number, average incubation time, asymptomatic infection rate, and case fatality rate for COVID-19: Meta-analysis and sensitivity analysis. *Journal of Medical Virology* 92(11), 2543-2550.
- Jones, R.M., 2020. Relative contributions of transmission routes for COVID-19 among healthcare personnel providing patient care. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 17(9), 408-415.
- Killingley, B., Mann, A.J., Kalinova, M., Boyers, A., Goonawardane, N., Zhou, J., Lindsell, K., Hare, S.S., Brown, J., Frise, R., Smith, E., Hopkins, C., Noulin, N., Löndt, B., Wilkinson, T., Harden, S., McShane, H., Baillet, M., Gilbert, A., Jacobs, M., Charman, C., Mande, P., Nguyen-Van-Tam, J.S., Semple, M.G., Read, R.C., Ferguson, N.M., Openshaw, P.J., Rapeport, G., Barclay, W.S., Catchpole, A.P., Chiu, C., 2022. Safety, tolerability and viral kinetics during SARS-CoV-2 human challenge in young adults. *Nat Med* 28(5), 1031-1041.
- Kim, Y.-I., Kim, S.-G., Kim, S.-M., Kim, E.-H., Park, S.-J., Yu, K.-M., Chang, J.-H., Kim, E.J., Lee, S., Casel, M.A.B., Um, J., Song, M.-S., Jeong, H.W., Lai, V.D., Kim, Y., Chin, B.S., Park, J.-S., Chung, K.-H., Foo, S.-S., Poo, H., Mo, I.-P., Lee, O.-J., Webby, R.J., Jung, J.U., Choi, Y.K., 2020. Infection and Rapid Transmission of SARS-CoV-2 in Ferrets. *Cell Host & Microbe* 27(5), 704-709.e702.
- Mizukoshi, A., Nakama, C., Okumura, J., Azuma, K., 2021. Assessing the risk of COVID-19 from multiple pathways of exposure to SARS-CoV-2: Modeling in health-care settings and effectiveness of nonpharmaceutical interventions. *Environment International* 147, 106338.
- Murakami, M., Fujita, T., Li, P., Imoto, S., Yasutaka, T., 2022. Development of a COVID-19 risk assessment model for participants at outdoor music festivals: evaluation of the validity and control measure effectiveness based on two actual events in Japan and Spain. *PeerJ* 10, e13846.
- Murakami, M., Miura, F., Kitajima, M., Fujii, K., Yasutaka, T., Iwasaki, Y., Ono, K., Shimazu, Y., Sorano, S., Okuda, T., Ozaki, A., Katayama, K., Nishikawa, Y., Kobashi, Y., Sawano, T., Abe, T., Saito, M.M., Tsubokura, M., Naito, W., Imoto, S., 2021. COVID-19 risk assessment at the opening ceremony of the Tokyo 2020 Olympic Games. *Microbial Risk Analysis* 19, 100162.
- Nicas, M., Jones, R.M., 2009. Relative Contributions of Four Exposure Pathways to Influenza Infection Risk. *Risk Analysis* 29(9), 1292-1303.
- Nicas, M., Sun, G., 2006. An Integrated Model of Infection Risk in a Health-Care Environment. *Risk Analysis* 26(4), 1085-1096.
- To, K.K.-W., Tsang, O.T.-Y., Yip, C.C.-Y., Chan, K.-H., Wu, T.-C., Chan, J.M.-C., Leung, W.-S., Chik, T.S.-H., Choi, C.Y.-C., Kandamby, D.H., Lung, D.C., Tam, A.R., Poon, R.W.-S., Fung, A.Y.-F., Hung, I.F.-N., Cheng,

V.C.-C., Chan, J.F.-W., Yuen, K.-Y., 2020. Consistent Detection of 2019 Novel Coronavirus in Saliva. *Clinical Infectious Diseases* 71(15), 841-843.

van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., de Wit, E., Munster, V.J., 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine* 382(16), 1564-1567.

Watanabe, T., Bartrand, T.A., Weir, M.H., Omura, T., Haas, C.N., 2010. Development of a Dose-Response Model for SARS Coronavirus. *Risk Analysis* 30(7), 1129-1138.

Yasutaka, T., Murakami, M., Iwasaki, Y., Naito, W., Onishi, M., Fujita, T., Imoto, S., 2022. Assessment of COVID-19 risk and prevention effectiveness among spectators of mass gathering events. *Microbial Risk Analysis* 21, 100215.

Yousaf, N., Monteiro, W., Matos, S., Birring, S.S., Pavord, I.D., 2013. Cough frequency in health and disease. *European Respiratory Journal* 41(1), 241.

Zhang, N., Li, Y., 2018. Transmission of Influenza A in a Student Office Based on Realistic Person-to-Person Contact and Surface Touch Behaviour. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(8), 1699.

内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室, 2023a. マスク着用の考え方の見直し等に伴う、「業種別ガイドライン」、「第三者認証制度」、「イベント開催制限」の事務連絡について。

https://corona.go.jp/news/news_20230210_02.html. (Accessed 18 March 2023).

内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室, 2023b. 基本的対処方針に基づくイベントの開催制限、施設の使用制限等に係る留意事項等について。
https://corona.go.jp/package/assets/pdf/jimurenaku_seigen_20230127.pdf?20230127.

https://corona.go.jp/news/news_20230127_01.html. (Accessed 18 March 2023).

内閣官房新型コロナウイルス等感染症対策推進室, 2023c. 新型コロナウイルス感染症対策。

<https://corona.go.jp/emergency/>. (Accessed 9 March 2023).

厚生労働省, 2023. データからわかるー新型コロナウイルス感染症情報ー。
<https://covid19.mhlw.go.jp/>.

https://covid19.mhlw.go.jp/public/opendata/newly_confirmed_cases_daily.csv. (Accessed 20 March 2023).

文部科学省, 2020a. 学校の卒業式・入学式等の開催に関する考え方について（令和2年2月25日時点）。
[https://www.mext.go.jp/content/20200225-mxt_kouhou02-](https://www.mext.go.jp/content/20200225-mxt_kouhou02-000004520_02.pdf?fbclid=IwAR1tBGDLGOsSm7gDavilFjISx0-43J5IP5cmrljiREMhd9BqxyXxgIMu8M)

[000004520_02.pdf?fbclid=IwAR1tBGDLGOsSm7gDavilFjISx0-43J5IP5cmrljiREMhd9BqxyXxgIMu8M](https://www.mext.go.jp/content/20200225-mxt_kouhou02-000004520_02.pdf?fbclid=IwAR1tBGDLGOsSm7gDavilFjISx0-43J5IP5cmrljiREMhd9BqxyXxgIMu8M). (Accessed 18 March 2023).

文部科学省, 2020b. 新型コロナウイルス感染症に対応した持続的な学校運営のためのガイドライン及び新型コロナウイルス感染症対策に伴う児童生徒の「学びの保障」総合対策パッケージについて（通知）。

https://www.mext.go.jp/content/20200605_mxt_kouhou02_000007000-1.pdf. (Accessed 18 March 2023).

文部科学省, 2020c. 新型コロナウイルス感染症に関する学校の再開状況について

て https://www.mext.go.jp/content/20200603-mxt_kouhou01-000004520_4.pdf. (Accessed 18 March 2023).

文部科学省, 2020d. 新型コロナウイルス感染症対策のための学校における臨時休業の実施状況について。

https://www.mext.go.jp/content/20200513-mxt_kouhou02-000006590_2.pdf. (Accessed 18 March 2023).

文部科学省初等中等教育局, 2023. 卒業式におけるマスクの取扱いに関する基本的な考え方について（通知）。

https://www.mext.go.jp/content/20230210-mxt_kouhou01-000004520_1.pdf. (Accessed 9 March 2023).

朝日新聞デジタル, 2023. 卒業式のマスク「外すのが基本」 方針に不安の声「抵抗ある子も」。

<https://www.asahi.com/articles/ASR2B6D2KR2BUTIL0>

[2G.html](#). (Accessed 9 March 2023).

産業技術総合研究所, 2022. スポーツイベントの声出し応援に関する新型コロナウイルスの感染リスク評価.

https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2022/nr20220610/nr20220610.html. (Accessed 18 March 2023).

総務省, 2020. 新型コロナウイルス感染症が社会にもたらす影響.

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/n2300000.pdf>.

<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/pdf/index.html>. (Accessed 18 March 2023).

首相官邸, 2020. 新型コロナウイルス感染症対策本部（第15回）.

https://www.kantei.go.jp/jp/98_abe/actions/202002/27corona.html. (Accessed 18 March 2023).