

応答係数と Multi-Agent Simulation の連携による教室内インフルエンザ感染リスクの推計

Influenza infection risk assessment in classroom by coupling with response factor method and multi-agent simulation

○後藤伴延（会員）¹⁾，武田結（非会員）¹⁾，橋本拓実（非会員）¹⁾，白澤多一（非会員）²⁾

1) 東北大学，2) 大妻女子大学

○Tomonobu GOTO¹⁾，Yui TAKEDA¹⁾，Takumi HASHIMOTO¹⁾，Taichi SHIRASAWA²⁾

1) Tohoku University, 2) Otsuma women's university

Abstract: This study tried to estimate the influenza infection risk in one day in a classroom by coupling with response factor method and multi-agent simulation (MAS) to consider the movement of children. To assess the risks of droplet and contact infections, MAS was used to determine the positional relationship between the infected person, susceptible persons, and desks. The response factors were combined and integrated according to their positions. When there is one infected child in a class of 30 children, the infection risk for the other children was calculated 3,000 times. Consequently, approximately 94% of children had infection risks of 0.2 or less. However, approximately 6% of children had infection risks of 0.6 or more because they were exposed to sneeze droplets.

キーワード：感染リスク，応答係数，Multi-Agent Simulation，インフルエンザ，感染経路

1. はじめに

既報¹⁾では，応答係数を用いて小学校の教室での一日のインフルエンザ感染リスクの評価を行ったが，児童の移動を考慮していなかった。本報では，Multi-Agent Simulation (MAS) を連携させ，児童の動きを考慮した感染リスク推計を行う。

2. 感染リスク評価の流れ

評価の流れを図1に示す。既報と同様に，くしゃみ・咳・発声・呼吸の4つの飛沫発生行為と，飛沫・接触・空気の3つのウイルス伝播経路を考える。応答係数は既報¹⁾の方法で導出した。飛沫粒径分布と初速は既報とは異なり，文献を再調査²⁾した結果を用いた。応答係数を合成する際と，教室内の各感受性者の1日のウイルス総摂取量を計算する際にMASを利用した。

3. MAS と応答係数の連携

飛沫感染と接触感染の場合に，MASを用いて感染者・感受性者・机の位置関係を判別し，それに応じて応答係数を合成した。飛沫経路では感受性者が飛沫を直接受ける時のウイルス摂取量，接触経路では机表面のウイルス付着量の応答係数を用いた。MASソフトはartisoc⁴⁾を用いた。



Fig.1 Flow of Infection risk assessment

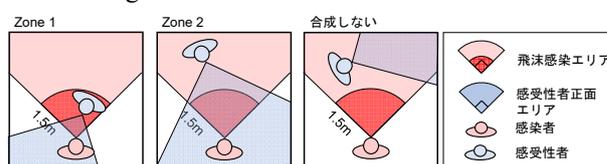


Fig.2 Zone determination for droplet infection route

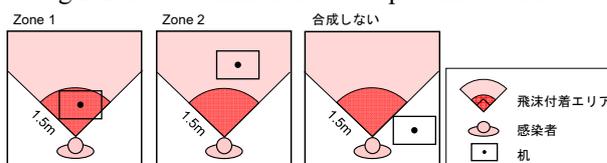


Fig.3 Zone determination for contact infection route

3. 1 飛沫経路 飛沫発生の際に感受性者が飛沫感染エリアにいる場合，かつ，感受性者正面エリアに感染者がいる場合に，ウイルスを摂取するとした（図2）。

3. 2 接触経路 机表面のウイルス付着量の応答係数は飛沫発生後1～10秒の間に値を持つ。飛沫発生時に飛沫付着エリアに机の中心点が含まれる場合（図3），判定されたゾーンに応じた応答係数を机に割り当てた。新たな飛沫発生が起きるた

びに同様に応答係数を割り当て、これらを合成した。感受性者のウイルス摂取量の算出には以下の式を用いた。

$$D_{contact}(t) = N_{hm} \mu_{hm} \mu_{dh} A_{hand} I_{desk}(t) \quad (1)$$

- A_{hand} 指先の面積 (= 0.0002³⁾) [m²]
- $D_{contact}$ 接触経路によるウイルス摂取量 [TCID₅₀/s/人]
- I_{desk} MAS で合成した机表面上の単位面積当たりのウイルス量 [TCID₅₀/m²]
- N_{hm} 指と顔の粘膜の接触頻度 (= 0.0042⁴⁾) [回/s]
- μ_{dh} 机→指のウイルス遷移確率 (= 0.1) [-] (1 回接触による遷移確率⁵⁾と指表面での不活化率⁵⁾に基づき、机と指の接触頻度を 1 回/min と仮定して平衡状態を考えたときの遷移確率)
- μ_{hm} 指→顔の粘膜ウイルス遷移確率 (= 0.35⁴⁾) [回]

なお、感受性者は机の端から 20cm 以内に入った時にその机に必ず接触し、次の机に接触するまでは指表面のウイルス量が変化しないものとした。

3. 3 空気経路 単純化のため、飛沫発生 10 秒後まで空中に留まる飛沫のみを対象とし、それらが一様拡散することを仮定した。従って、空気経路の摂取量は位置によらないため、MAS を用いずに計算した。飛沫の初期粒径が 10 μm 以上は上気道、10 μm までは下気道で摂取されるものとした。

4. 計算条件

30 人学級の小学校教室を対象とし、感染者を 1 人とした。児童は、授業時間は自席に留まり、休み時間は複数のグループを形成し、グループ内の一人の机を中心に集まるものとした。グループを構成する児童と集まる机は、休み時間ごとにランダムに決定した。グループ人数も、図 4 に示す確

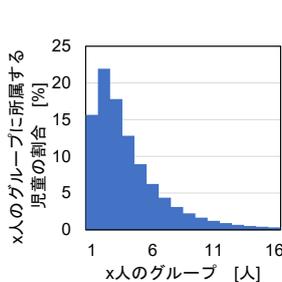


Fig.4 Probability of gathering children

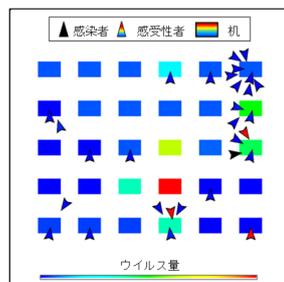


Fig.5 A scene during recess time in MAS

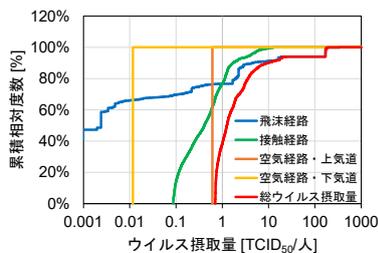


Fig.6 Virus dose via each infection route

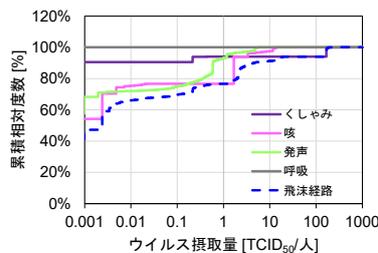


Fig.7 Virus dose via droplet infection route due to each emission behavior

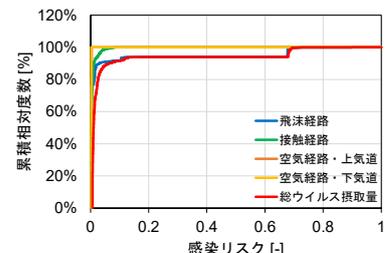


Fig.8 Estimated infection risk

率⁶⁾となるように重み付けした上でランダム化した。児童のスケジュールとウイルス放出シナリオは既報¹⁾と同様とした。感染者の座席位置が異なる 30 ケースを対象とし、各ケースの計算を 100 回、合計 3000 回の計算を行った。MAS での休み時間の様子を図 4 に示す。計算 1 回につき感受性者 29 人分、合計で 87000 人分のデータを得た。

5. 感染リスクの導出

1 日の累積ウイルス摂取量 D を用い、感染リスク R を用量反応指数モデル ($R = 1 - e^{-\alpha D}$) から推定した。 α は感染力 [TCID₅₀] であり、文献^{7,8)}から上気道と下気道について 0.0069 と 0.18 の値をそれぞれ与え、飛沫感染と接触感染については、上気道と同じ値を与えた。

6. シミュレーション結果

図 6 にウイルス摂取量の累積相対度数を示す。総ウイルス摂取量が 10 TCID₅₀/人を超る割合が約 10%、飛沫経路のみでこれを上回る割合が約 9% であり、飛沫経路の影響が大きかった。図 7 より、飛沫経路の合計ウイルス量が 100 TCID₅₀/人を超える割合が約 6%、くしゃみだけでこれを上回る割合も同等であることから、100 TCID₅₀/人を超える原因はくしゃみの飛沫といえる。感染リスクの累積相対度数を図 10 に示す。児童の約 94% は感染リスクが 0.2 以下となったが、約 6% はくしゃみの飛沫を浴びて感染リスクが 0.6 以上となった。

7. まとめ

本報では応答係数と MAS を用いて室内の感染リスク評価する方法を提案し、教室での児童のインフルエンザ感染リスクを推計した。

- 【参考文献】 1) 後藤 他: 室内環境学会学術大会講演要旨集, 197-197, 2022. 2) 武田 他: 日本建築学会大会梗概集, 1311-1312, 2023. 3) 構造計画研究所 HP: <https://mas.kke.co.jp/artisoc4/> (参照 2023 年 9 月 23 日). 4) Nicas et al.: Risk Analysis, 29(9), 1292-1303, 2009. 5) Bean et al.: J. Infect. Dis, 146(1), 47-51, 1982. 6) 北川: 金沢大学教育学部学校教育教員養成課程(保健体育)・スポーツ科学課程卒業論文抄録, 49, 17-20, 2000. 7) Watanabe et al.: Risk Analysis, 32(3), 555-565, 2012. 8) Alford et al.: Exp. Biol. Med., 122(3), 800-804, 1966.