

応答係数を用いた教室内インフルエンザ感染リスクの推計

Influenza infection risk estimation in classroom by using response factor method

○後藤伴延 (会員) ¹⁾, 武田 結 (非会員) ¹⁾

1) 東北大学

○Tomonobu GOTO ¹⁾, Yui TAKEDA ¹⁾

1) Tohoku University

Abstract: This study tried to estimate the influenza infection risk in one day in a classroom by using the response factor method. For the method, the excitation was defined as the amount of virus emitted by one infected person, and the response was defined as the amount of virus received by one susceptible person. Sneezing, coughing, talking and breathing were selected as the behaviors generating droplets. The response factors were derived for droplet infection, airborne infection, and contact infection. These response factors were combined according to the droplet generation scenario, and the total amount of virus received by one susceptible person was calculated.

キーワード: 感染リスク, 感染経路, 応答係数, インフルエンザ, 教室

1. はじめに

児童の健康に関して、冬季のインフルエンザ流行の問題がある。本報では、応答係数を用いた感染リスク評価手法によって、学校教室における1日のインフルエンザの感染リスクの推計を試みた。

2. 応答係数を用いた感染リスク評価手法

評価の流れを図1に示す。始めに感染者1人からの飛沫発生量の励振を考え、それに対する感受性者1人当たりのウイルス摂取量の応答係数を導出する。設定したウイルス発生シナリオに応じて応答係数を合成し、感受性者1人当たりが摂取する総ウイルス量を推定する。最後に、総ウイルス摂取量から用量反応モデルで感染リスクを推定する。

3. ウイルス摂取量の応答係数の導出

飛沫の発生行為として、くしゃみ・咳・発声・呼吸の四つを考えた。それぞれの飛沫個数と粒径分布は、文献¹⁾⁴⁾を参考に図2のように与え、水平±30°の範囲で5方向に分かれて放出するものとした。くしゃみと咳はインパルス波として飛沫を発生させたが、発声と呼吸も1分間の発生量をまとめてインパルス波として発生させた。応答係数は、飛沫感染・空気感染・接触感染の3つの経路に分けて導出した。図3に概要を示す。飛沫感染と接触感染については、感染者から半径1.5m

の1/4の円弧内のゾーン1と、それ以外のゾーン2に分けて応答係数を導出した。空気感染については、初期直径10 μm 以上の飛沫は上気道、それより小さい飛沫は下気道で摂取されると仮定し、別々に応答係数を導出した。応答係数の導出式を表1に、計算条件を表2に示す。算出した応答係数の一例として、くしゃみ1回発生後の1人当た

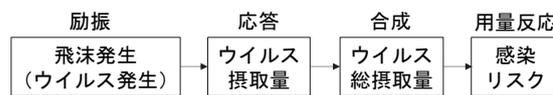


図1 感染リスク評価の流れ

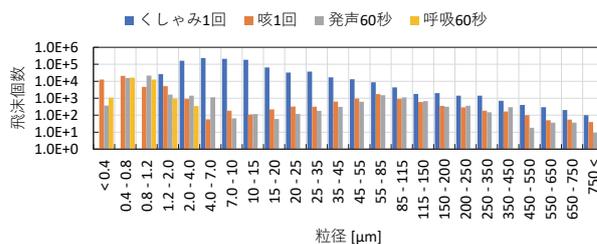


図2 発生行為別の飛沫個数と粒径分布

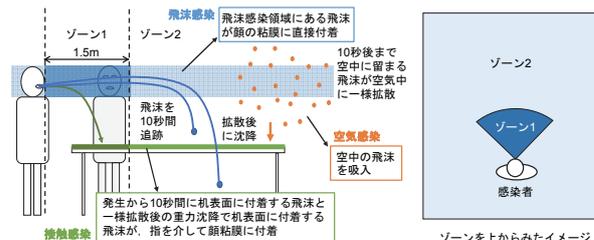


図3 応答係数の導出方法の概要

りのウイルス摂取量を図4に示す。

4. 教室における1日の感染リスク評価

教室内の1日のウイルス発生シナリオを、図5のように設定した。くしゃみと咳の発生頻度は、文献¹⁴⁾からそれぞれ0.4回/h、6回/hとした。発声は、休み時間にだけ1/5の時間割合で生じるものとした。飛沫感染は、感染者と感受性者が向き合うことで生じると考え、その状態が休み時間にだけ1/16(感染者4方向×感受性者4方向)の確率で生じるものとした。計算された教室での1日の累積ウイルス摂取量の推移を図6に示す。1日の累積ウイルス摂取量Dから、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^{15),16)}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、上気道の感染力

表1 感染経路別の応答係数の導出式

飛沫	$D_{droplet}(t) = A_{mucous} \sum_{\phi} C_{face,\phi}(t) \cdot u_{H,\phi}(t)$	(1)	
空気	$D_{airborne}(t) = Q_{inhal} \sum_{\phi} C_{air,\phi}(t)$	(2)	
	$C_{air,\phi}(t) = \frac{E_{0,\phi}(1-\kappa_{\phi})}{V} e^{-\frac{Q+V\kappa_{air}+(A_{desk}+A_{floor})u_{V,\phi}}{V}t}$	(3)	
接触	$D_{contact}(t) = N_{hm}\mu_{hm}\mu_{dh}A_{hand} \sum_{\phi} I_{desk,\phi}(t)$	(4)	
	$I_{desk,\phi}(t) = \frac{E_{0,\phi}\kappa_{\phi}}{A_{desk}} e^{-k_{desk}(t-t_c)} + \int_0^t C_{air,\phi}(t-\tau) \cdot u_{V,\phi}(t-\tau) e^{-k_{desk}\tau} d\tau$	(5)	
A_{desk}	ゾーン内の総机面積 [m ²]	$I_{desk,\phi}$	粒径別の机表面上の単位面積あたりウイルス量 [TCID ₅₀ /m ²]
A_{floor}	教室の床面積 [m ²]	k_{air}	空気中のウイルス不活化率 [1/s]
A_{hand}	指先の面積 [m ² /人]	k_{desk}	机表面上のウイルス不活化率 [1/s]
A_{mucous}	顔粘膜の面積 [m ² /人]	N_{hm}	指と顔の粘膜の接触頻度 [回/s]
$C_{air,\phi}$	粒径別の室内空気中ウイルス濃度 [TCID ₅₀ /m ³]	Q	教室の換気量 [m ³ /s]
$C_{face,\phi}$	粒径別の飛沫感染領域中ウイルス濃度 [TCID ₅₀ /m ³]	Q_{inhal}	感受性者の呼吸吸入量 [m ³ /s/人]
$D_{airborne}$	呼吸によるウイルス摂取量 [TCID ₅₀ /人]	t_c	時間 [s]
		$u_{H,\phi}$	飛沫が机に到達する時間 [s]
$D_{droplet}$	飛沫によって顔粘膜に付着するウイルス量 [TCID ₅₀ /人]	$u_{V,\phi}$	粒径別の飛沫の鉛直方向速度 [m/s]
$D_{contact}$	手から顔粘膜へのウイルス摂取量 [TCID ₅₀ /人]	V	教室の容積 [m ³]
		κ_{ϕ}	粒径別の発生飛沫数のうち机に付着する数の割合 [-]
$E_{0,\phi}$	感染者から発生する粒径別のウイルス量 [TCID ₅₀ /励振]	μ_{dh}	表面→指のウイルス遷移確率 [-]
		μ_{hm}	指→顔粘膜ウイルス遷移確率 [回]

表2 応答係数の計算条件

	$d_p^2 = \frac{8MD_v(p_a - p_d)}{RT_a\rho_d} t + d_0^2 \quad (6), \quad d_e = \left(\frac{\Phi_t}{\Psi_{max}}\right)^{1/3} d_0 \quad (7)$
蒸発 ^{5),6)}	d_0 飛沫の初期直径 [m], R 気体定数 [J/mol/K], d_e 飛沫の最終直径 [m], T_a 気温(=293) [K], d_p 飛沫の直径 [m], ρ_d 飛沫粒子密度(=1000) ⁷⁾ [kg/m ³], D_v 水の拡散係数(=2.6×10 ⁻⁵) [m ² /s], Φ_t 唾液中不溶性物質の体積濃度(=0.018) ³⁾ [m ³ /m ³], M 水の分子量(=0.018) [kg/mol], Ψ_{max} 単純立方格子の充填率(=0.52) ⁹⁾ [-], p_a 空気の水蒸気圧(=825) [Pa], p_d 飛沫の水蒸気圧 [Pa]
教室	$A_{floor}=64 \text{ m}^2$, $A_{desk}=0.29 \text{ m}^2$ (ゾーン1), 8.48 m^2 (ゾーン2), $V=160 \text{ m}^3$, $Q=400 \text{ m}^3/\text{h}$
感受性者	$A_{mucous}=15 \text{ cm}^2$ ⁸⁾ , $A_{hand}=2 \text{ cm}^2$ ⁸⁾ , $N_{hm}=15 \text{ 回}/\text{h}$ ⁸⁾ , $Q_{inhal}=0.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{人}$
ウイルス	飛沫中のウイルス濃度 $1.0 \times 10^6 \text{ TCID}_{50}/\text{mL}$ ⁸⁾ , $k_{air}=0.64 \text{ /h}$ (気温 20°C, 湿度 35%) ⁹⁾ , $k_{desk}=0.038 \text{ /h}$ ¹⁰⁾ , $\mu_{dh}=0.10$ (暫定値), $\mu_{hm}=0.35$ [回] ⁸⁾
飛沫の初速	くしゃみ 46 m/s ¹¹⁾ , 咳 11 m/s ¹²⁾ , 発声 3.7 m/s ¹³⁾ , 呼吸 1.5 m/s ¹³⁾

と同じ値を与えた。推計された感染リスクを表3に示す。

5. まとめ

本報では、人の移動を考慮せずに感染リスクを評価したが、今後は人の移動の影響も考慮できるように改善を図る。

【参考文献】1) Lindsley et al.: J. Occupational and Environmental Hygiene, 9, 443-449, 2012. 2) Loudon et al.: Am Rev Respir Dis., 95(3), 435-442, 1966. 3) Duguid: J Hyg(Lond), 44(6), 471-479, 1946. 4) Johnson et al.: J. Aerosol Science 42, 839-851, 2011. 5) ハインズ 著(早川 訳): エアゾルテクノロジー, 井上書院, 1985. 6) Liu et al.: Indoor Air, 27(1), 179-190, 2017. 7) Nicas et al.: J. Occupational and Environmental Hygiene, 2, 143-145, 2005. 8) Nicas et al.: Risk Analysis, 29(9), 1292-1303, 2009. 9) Shaman et al.: PNAS, 106(9), 3243-3248, 2009. 10) Oxford et al.: American J. Infection Control, 42, 423-425, 2014. 11) Jennison: In: Aerobiology, 106-128, 1942. 12) Zhu et al.: Building and Environment, 41(12), 1691-1702, 2006. 13) Merghani et al.: Indoor Air, 31(1), 7-25, 2021. 14) Dick et al.: J. Infectious Diseases, 156(3), 442-448, 1987. 15) Watanabe et al.: Risk Analysis, 32(3), 555-65, 2012. 16) Alford et al.: Experimental Biology and Medicine, 122(3), 800-804, 1966.

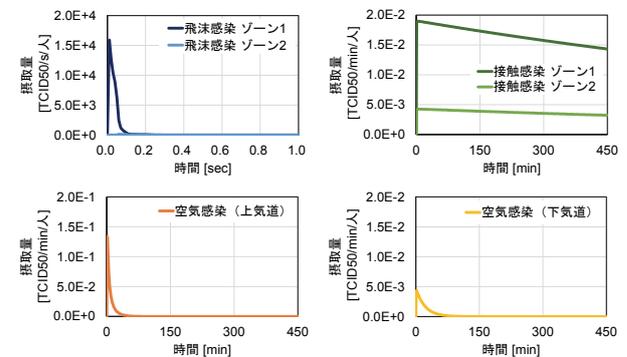


図4 くしゃみ1回発生に対する応答係数

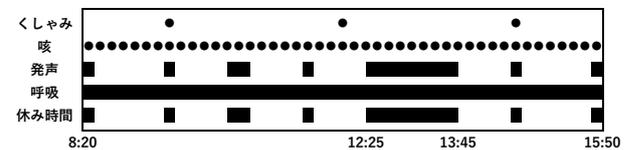


図5 教室におけるウイルス発生シナリオ

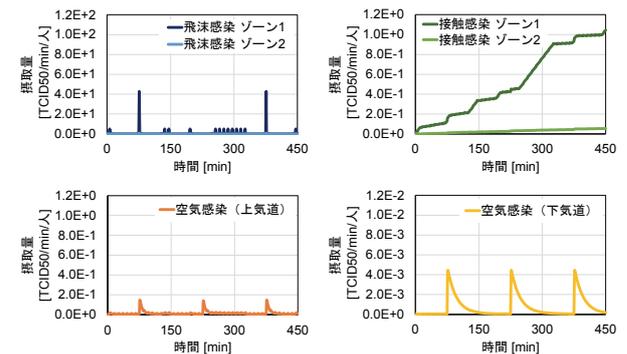


図6 教室における1日のウイルス摂取量の推移

	飛沫感染	接触感染	空気感染		全経路の総合感染リスク
			上気道	下気道	
ゾーン1	201.8 (0.75)	235.2 (0.80)	6.4 (0.04)	0.3 (0.05)	0.96
ゾーン2	1.6 (0.01)	12.8 (0.08)			0.18

() 内は各経路単体の累積摂取量から算出した感染リスク