

効果がほぼ0にまで低下するので、集団接種の方が追跡接種より効果的になる初発曝露者数の水準は明確でなくなる。

4. 考察

本稿での想定では追跡接種は集団接種よりも効果的であるのは、対応開始が早く初発曝露者数が要員数の約2倍程度までで、それ以上に初発曝露者数が増えると追跡接種は事実上効果的ではないと結論づけられる。この基準で、投入する要員数を決定することが重要となる。換言すれば、現行の指針における6名程度の疫学調査班であれば、初発曝露患者数が12名程度までしか対応できないことを意味している。

それを上回る場合には迅速に集中的に必要な公衆衛生的資源を投入することが必要であるが、その規模を決めるにはまず迅速に曝露量、曝露場所、曝露日時を推定する統計学モデルが必要不可欠となる。その研究は炭疽菌のようにヒトヒト感染を行わない病原体によるバイオテロでは試みられているが (Walden and Kaplan, 2004)、天然痘のようにヒトヒト感染を生じさせる病原体では試みられていない。

予防接種時の予防接種歴の確認、抗体価の確認には時間がかかりまた長期に渡って病原体の曝露を受けていないことから抗体の低下も懸念され、さらにもし感染し潜伏期間にいる場合には発症予防、軽症化が期待されるため、本稿では、年齢、予防接種歴の有無に係わらず、追跡接種の場合にはすべての接触者に、また、集団接種の場合は地域住民全員に対して行うとした。この部分は、国の対策指針においても明記されていないが、想定される現実的な状況であると考えられる。

接触確率と遷移確率は先行研究 (Elveback *et al.*, 1976 ; Meltzer *et al.*, 2001) によった。先行研究 (Elveback *et al.*, 1976) では、インフルエンザでの流行から接触確率を推定した研究であ

individual based model を用いての天然痘対策の評価

る。インフルエンザと天然痘といった病原体の違いはあるが、同じ飛沫感染を感染経路としていることから接触確率が大きく異なるとは考えにくいために、同じであると仮定した。また、先行研究 (Meltzer *et al.*, 2001) は、これまでの天然痘流行で実際に観察された流行のパターンから遷移確率や基本的再生産数を求めた研究をレビューしている。これらはいずれも幅広く用いられており、現時点では妥当であると考えられる。

本稿では人口1万人の小さな町での評価にとどまったが、次の課題としてこのモデルを職場、学校、地下鉄、イベント会場での曝露をリスク評価することに応用できる。特にイベント会場の場合には、都市間の移動も含めた長距離の移動者を含めて評価する必要がある。また、保健所管轄あるいは都市の規模における感度分析も必要であろう。モデルとしては、高齢者も含めて現実の人口分布に従う、あるいは企業規模、学校規模、通勤通学距離を現実にあわせる必要がある。最終的には人口100万人程度の大都市、あるいは日本全体でのモデル化が望まれる。またより使い易い形でソフト化することによって、行政や保健所レベルでの対策立案、評価での活用が望まれる。

またこのモデルの活用の別の方向性として症候群サーベイランスの評価が考えられる。これは、天然痘対策として何よりも重要な早期探知のためのサーベイランスで、日本でも研究が進められている (大日, 2006 ; 大日 他, 2006)。

先に指摘した統計学モデルともあわせて、この3つ (ibm, 統計学モデル, 症候群サーベイランス) が、これからの天然痘対策にとって重要な要素となると思われる。

5. 結論

冒頭で指摘したように ibm を国規模でモデル化できる能力は現在世界中で1チーム、都市レベルでも我々を除いて2チームしかない。しかもそ

これはアメリカとイギリスに限定されている。またそれが、国の政策を直接的に左右するほどに重要な位置づけが与えられている。国規模での ibm を実施するコンピューター資源、アルゴリズム、プログラムを保有し、維持することは健康危機管理上極めて重要な国家的資源である。

もちろん日本の社会に対応した天然痘の ibm は全く初めての試みであり、また、それを用いての初動体制の評価は、国際的にも行われていない。したがって、規模的にはまだ十分ではないものの技術的に ibm を実行する能力を示したと同時に、より具体的な応用例を示した本稿の新規性は極めて高い。

また、バイオテロにおいては、こうした ibm を実施する能力を保有していること自身が症候群サーベイランスや統計学的モデルと組み合わせて、バイオテロに対する抑止力そのものになることが期待される。本稿では、日本においても規模は小さいもののより複雑でより現実的な対策を検討できる ibm を開発したことを示した。また本稿で用いたアルゴリズム、プログラムは既に完成しているので、このモデルにより大規模なコンピューター資源を投入すれば国規模のモデルに拡張できる。本稿はそうした能力を保有していることを示しており、その意義は国家的健康危機管理上重要である。

謝辞

本稿は平成17年度厚生労働科学研究費補助金新興・再興感染症研究事業「生物テロに向けたシミュレーションの構築と介入効果の検討に関する研究」(代表：岡部信彦国立感染症研究所感染症情報センターセンター長)の研究成果の一環である。

参考文献

Anderson RM and May RM (1991) *Infectious Diseases*

of Human : Dynamics and Control. Oxford : Oxford University Press.

- Barrett CL, Eubank SG and Smith JP (2005) "If Smallpox Strikes Portland...", *Scientific American*. 292(3) : 42-49.
- Buehler JW, Berkelman RL, Hartley DM, et al. (2003) "Syndromic Surveillance and Bioterrorism-related Epidemics," *Emerging Infectious Disease*. 9 : 1197-1204.
- Kaplan EH, Craft DL and Wein LM (2003) "Emergency Response to a Smallpox Attack : The Case for Mass Vaccination," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 100(7) : 4346-4351.
- Elveback LR, Fox JP, Ackerman E, Langworthy A, Boyd M and Gatewood L (1976) An Influenza Simulation Model for Immunization studies," *American Journal of Epidemiology*. 103 : 152-165.
- Ferguson NM, Cummings DA, Cauchemez S et al. (2005) "Strategies for Containing an Emerging Influenza Pandemic in Southeast Asia," *Nature*. 437 : 209-214.
- Ferguson NM, Cummings DA, Fraser C et al. (2006) "Strategies for Mitigating an Influenza Pandemic," *Nature*. 442 : 448-452.
- Gani R and Leach S (2001) "Transmission Potential of Smallpox in Contemporary Population," *Nature*. 414 : 748-751.
- Halloran ME, Longini IM Jr, Nizam NA et al. (2002) "Containing Bioterrorist Smallpox," *Science*. 298 : 1428-1432.
- Henning KJ (2004) "What is Syndromic Surveillance?," *MMWR*. 53 (Suppl) : 7-11.
- Longini I Jr, Nizam A, Xu S et al. (2005) "Containing Pandemic Influenza at the Source," *Science*. 309 : 1083-1087.
- Meltzer MI, Damon I, LeDuc JW et al. (2001) "Modeling Potential Response to Smallpox as a Bioterrorist Weapon," *Emerging of Infectious Disease*. 7 : 959-969.
- Ohkusa Y, Taniguchi K and Okubo I (2005) "Prediction of Outbreak in Smallpox and Evaluation of Control Measure Policy in Japan, by using Mathematical Model," *Journal of Infection and Chemotherapy*. 11(2) : 71-80.
- Ohkusa Y, Maeda H and Aihara K (2006) "Application of Individual Based Model (ibm) to Pandemic Flu in Japan," *Transimission Infectiousness Disease Modelling*. 2.
- U.S. Department of Health and Human Services (2005) "HHS Pandemic Influenza Plan."
- Walden J and Kaplan EH (2004) "Estimating Time and Size of Bioterror Attack," *Emerging of Infectious Disease*. 7 : 1202-1205.

individual based model を用いての天然痘対策の評価

World Health Organization (2006) “WHO Pandemic Influenza Draft Protocol for Rapid Response and Containment.”

大日康史 (2006) 「SARS, パイオテロ, インフルエンザ対策としてのリアルタイム・アウトブレイク・サーベイランスシステム構築のための基礎的研究 (H16-新興-14)」報告書 (平成17年度厚生労働科学研究費補助金新興・再興感染症研究事業)

大日康史, 杉浦弘明 他 (2006) 「症状における症候群サーベイランスのための基礎的研究」『感染症学雑誌』80 (4): 366-376

厚生労働省健康局結核感染症 (2004) 課「天然痘対応指針 (第5版)」(平成16年5月14日)

(2006年6月26日受付, 2006年12月1日採用)

連絡先: 大日康史

ohkusa@nih.go.jp

An Evaluation of Counter Measures for Smallpox Outbreak using an individual based model and Taking into Consideration the Limitation of Human Resources of Public Health Workers

Yasushi Ohkusa, Ph.D.¹⁾

Abstract

Objective : To evaluate the guidelines of a plan of action for the initial phase of a smallpox outbreak using an individual based model.

Methods and Materials : We create a model in which one public health center is in charge of a city with a population of ten thousand and exposure of the agent occurs at a shopping mall. We compare the results of two counter measures, ring vaccination and mass vaccination, by the initial size of exposure, starting time of counter measures, and the number of public health workers.

Results : Simulation results show that the effectiveness of ring vaccination declines rapidly as the size of initial exposure increases if there is not a sufficient number of health workers. Conversely, if there is a sufficient number of health workers, the effectiveness does not decline very much even in the case of an increase in the size of the initial exposure. On the other hand, the effectiveness of mass vaccination is not heavily impacted by the size of the initial exposure.

Discussion : Ring vaccination is preferable to mass vaccination if the response starts rapidly and the size of the initial exposure is limited to less than twice the number of public health workers. If the number of those initially exposed is larger than twice the number of public health workers, ring vaccination is not effective. Therefore, it is important to decide the number of public health workers who will be assigned to control an outbreak according to this criterion. In order to recognize the size of the initial exposure immediately, we need to develop a statistical model to estimate it.

Keywords : Smallpox, Bioterrorism attack, Public health response, The mathematical model, individual based model

¹⁾ Infectious Disease Surveillance Center, National Institute of Infectious Diseases