

3 シミュレーションの概要

シミュレーションには、東京工業大学・総合理工学研究科・知能システム研究専攻・出口研究室が開発した Spot Oriented Agent Role Simulator(SOARS)を用いた。本モデルは東京農工大学農学部を想定しており、インフルエンザの感染モデルと学生の行動モデルから構成した。

3. 1 SOARS

SOARS とは、2003 年より東京工業大学出口研究室が中心となって開発された社会シミュレーションモデル構築用の言語である。SOARS では、社会を構成する場所をスポット、そしてスポットを行き来する人や物をエージェントとして表現する。スポットとエージェントにはそれぞれロールと呼ばれる役割を待たせることができ、このロールによってエージェントがスポット間を移動する社会モデルが構築されるものである[9,25,26]。

3. 2 スポット

スポットとして、家・教室・研究室・食堂・サークル・図書館・街・人ごみを設定した。スポットはそれぞれ固有のウィルス浄化指数 $C(0 \leq C \leq 1)$ を定め、スポットによって感染確率に差が生じるようにした(表 3-1)。(1-C)で表わされるウィルス非浄化指数は教室を基準とした時、研究室が 0.5 倍、食堂が 1.5 倍、サークルが 1 倍、図書館が 0.5 倍、街が 1 倍、人ごみが 5 倍とした。

表3-1 スポットの数とウィルス浄化指数

	数	ウィルス浄化指数		数	ウィルス浄化指数
家	2000	1.000000	サークル	100	0.999874
教室	10	0.999916	図書館	1	0.999958
研究室	100	0.999958	街	1	0.999916
食堂	1	0.999874	人ごみ	1	0.999580

3. 3 エージェント

エージェントとして、学生 A、学生 B、学生 C を設定した。学生 A は低学年で、講義が多く大学を中心に行動する。学生 B は中学年で、講義が少なく空き時間が多いので大学と街を行き来する行動をとる。学生 C は高学年で、研究室を中心に行動する（表3-2）。なお、エージェントの数は東京農工大学ホームページを参考にして定めた。

表3-2 エージェントの分類

エージェントのタイプ	人数
学生 A 講義中心型	700
学生 B 学内学外移動型	500
学生 C 研究中心型	800

合計	2000
----	------

3. 4 感染モデル

本モデルにおいて、エージェントの病態は感受性期から潜伏期・発症期を経て免疫獲得期へと遷移する（図 3-1）。

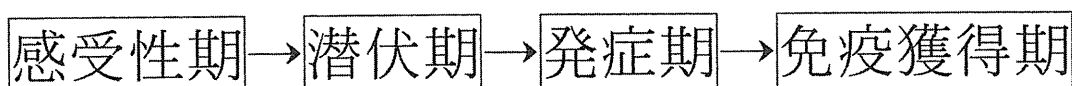


図 3-1 病態の遷移の様子

すべてのエージェントはシミュレーション開始時、感受性期に属しているが、インフルエンザに感染すると潜伏期へと移行する。潜伏期は 4 日間とし、4 日間経過後、病態は発症期へと移行する。発症期は 7 日間とし、発症期となったエージェントは家から移動せず、他のエージェントとの接触は起こらないこととした。したがって、インフルエンザに感染したエージェントが感染を拡大させるのは、潜伏期のみである。発症期から 7 日間が経過すると、病態は免疫獲得期となり、免疫獲得期となったエージェントはその後インフルエンザに再度感染することはなく、感染拡大に寄与することはない。

感受性期から潜伏期へは、感染確率 I で遷移する。感受性期のエージェントが潜伏期のエージェント 1 人から感染する確率を i とすると、感染しない確率は $(1-i)$ である。よって、 n 人と接触して感染しない確率は $(1-i)^n$ 、したがって n 人と接触して感染する確率は $[1-(1-i)^n]$ で表わされる。さらに本モデルでは、この式にスポット固有のウィルス浄化指数 C を乗じて、スポットによって感染確率に差が出るようにした。つまり、 n 人の潜伏期のエージェントがいるスポット

では、感受性期のエージェントは、

$$I=[1-(1-i)^n]\times C$$

の確率で潜伏期に遷移する（表 3-3）。

表 3-3 記号と記号の意味

記号	記号の意味
I	スポットにいる感受性期エージェントへと感染確率
i	潜伏期エージェント 1 人からの感染確率、 $p=0.000012$
n	スポットにいる潜伏期エージェントの人数
C	スポット固有のウィルス浄化指数

3. 5 行動モデル

エージェントの行動モデルは、実際に東京農工大学農学部の学生 80 人に行った行動調査アンケートと、東京農工大学が行った第 6 回学生生活実態調査の報告書を基に作成した。

行動タイプは、「学生 A」・「学生 B」・「学生 C」の 3 つに分類し、発症期のエージェントは「病人」として発症期間が過ぎるまでは家から移動しないものとした。学校閉鎖時、発症期でないエージェントは 73.75%の確率で「自宅待機」するものとし、20%の確率で「近所」、6.25%の確率で「人ごみ」の行動を取ることとした（付録）。

3. 6 シミュレーションの設定と評価法

シミュレーションは 1 時間を 1 ステップとし、これを 80 日間分繰り返した。

感受性期エージェントの人数を出力し、初期値 2,000 人からの減少分を感染者数とした。

完成したモデルの現実性を確認するために、東京農工大学保健管理センターの阿部眞弓准教授より提供された 2009 年～2010 年の本学でのインフルエンザ発生件数のデータを用いた（図 3-2）。

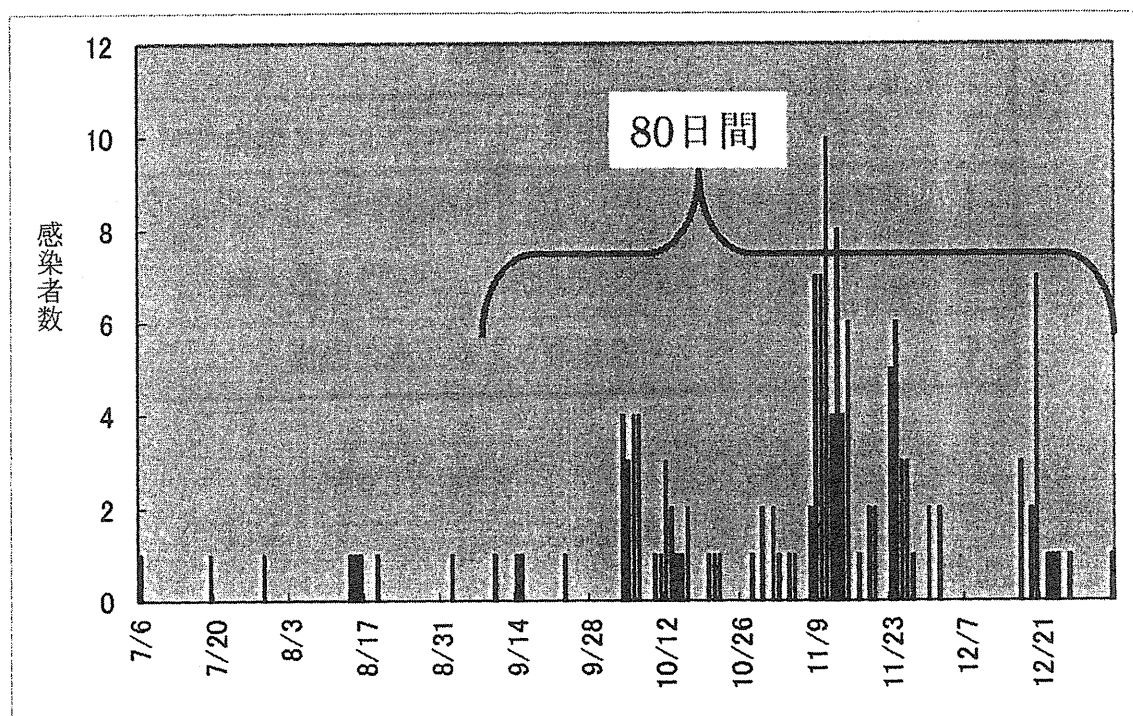


図 3-2 インフルエンザ患者数の推移

この期間、H1N1 新型インフルエンザの流行があり、その際の感染者数データは H5N1 新型インフルエンザ発生時の感染者数の目安となる。図 3-2 より、2009 年～2010 年のインフルエンザ流行は、80 日間で 133 人の感染者を出すものであるとした。WHO の試算によると H5N1 新型インフルエンザの流行によって、最大で人口の 25%の感染者を出すということから、本研究においては感染者数が 133 人からエージェント数の 25%である 500 人の間で流行が収束するシミュレ

ーション結果をパターン1からパターン10まで10通り抽出し、分析に用いた。

3. 7 学校閉鎖の条件

抽出した10通りのシミュレーション結果に対し、それぞれ学校閉鎖の条件を当てはめてモデルを実行した。学校閉鎖の条件は、学校閉鎖を開始する時点での発症者数、学校閉鎖期間の2つである。まず学校閉鎖開始基準として、5人の発症者が出た時点で学校閉鎖を開始する場合、10人で開始する場合、15人で開始する場合の3通り設定した。次に学校閉鎖期間について、1日間・2日間・3日間・4日間・5日間・6日間・7日間の7通り設定した。

4 シミュレーション結果

パターン1からパターン10までの10通りのシミュレーション結果のうち、以下に2パターン示す。パターン1は学校閉鎖をしない場合の総感染者数が118人で、本学でのインフルエンザ流行に近いモデルである(図4-1、図4-2、図4-3)。パターン2は学校閉鎖をしない場合の総感染者数が369人で、パターン1より大きな流行を想定したモデルである(図4-4、図4-5、図4-6)。

パターン1において、感染者が15人に達した段階での学校閉鎖は感染者数の減少に全く寄与しておらず、1日間、4日間、7日間いずれにおいても総感染者数は118人であった(図4-1)。

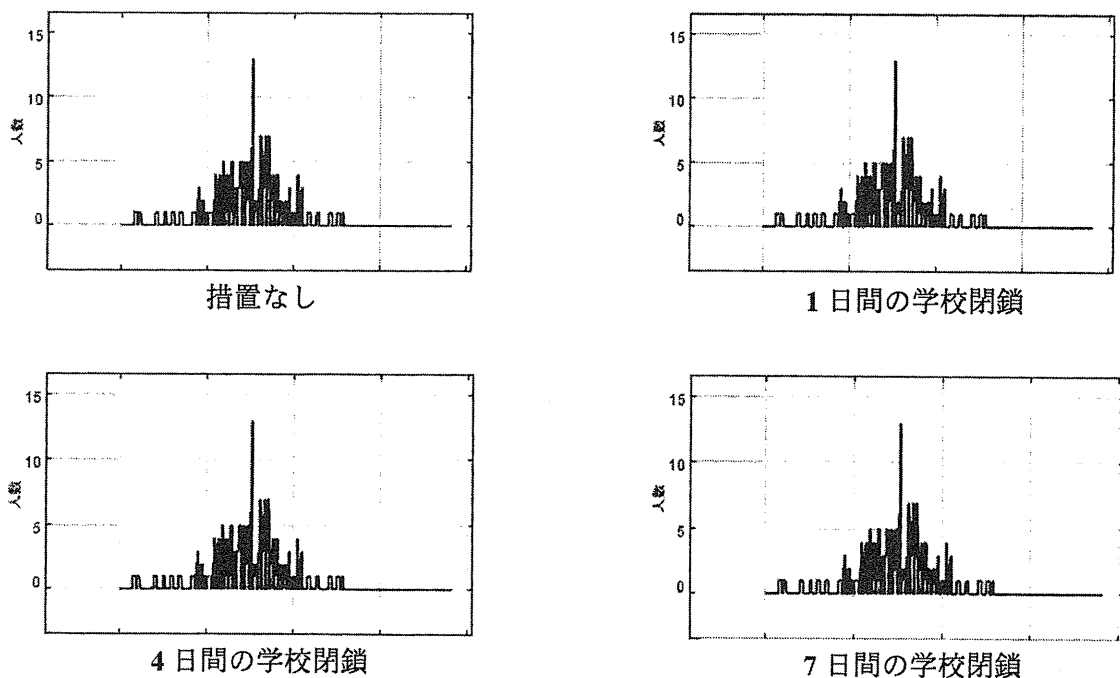


図4-1 学校閉鎖基準15人のときの感染者数の推移(パターン1)

縦軸：時間あたりの感染者数 横軸：時間経過

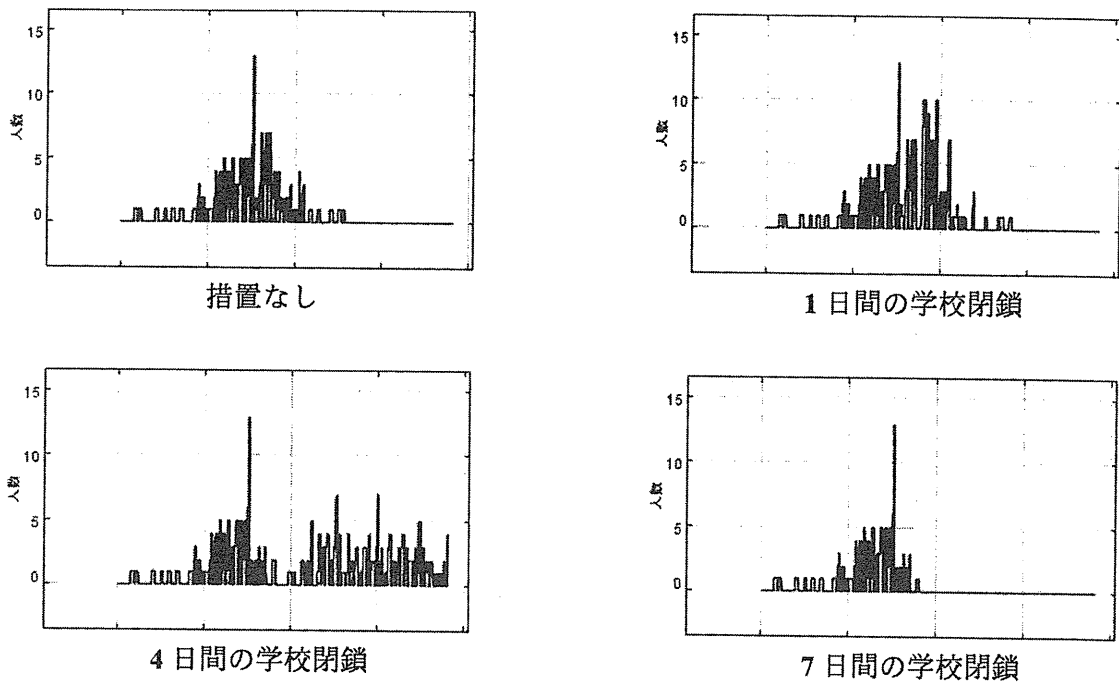


図 4-2 学校閉鎖基準 10 人のときの感染者数の推移 (パターン 1)

縦軸：時間あたりの感染者数 横軸：時間経過

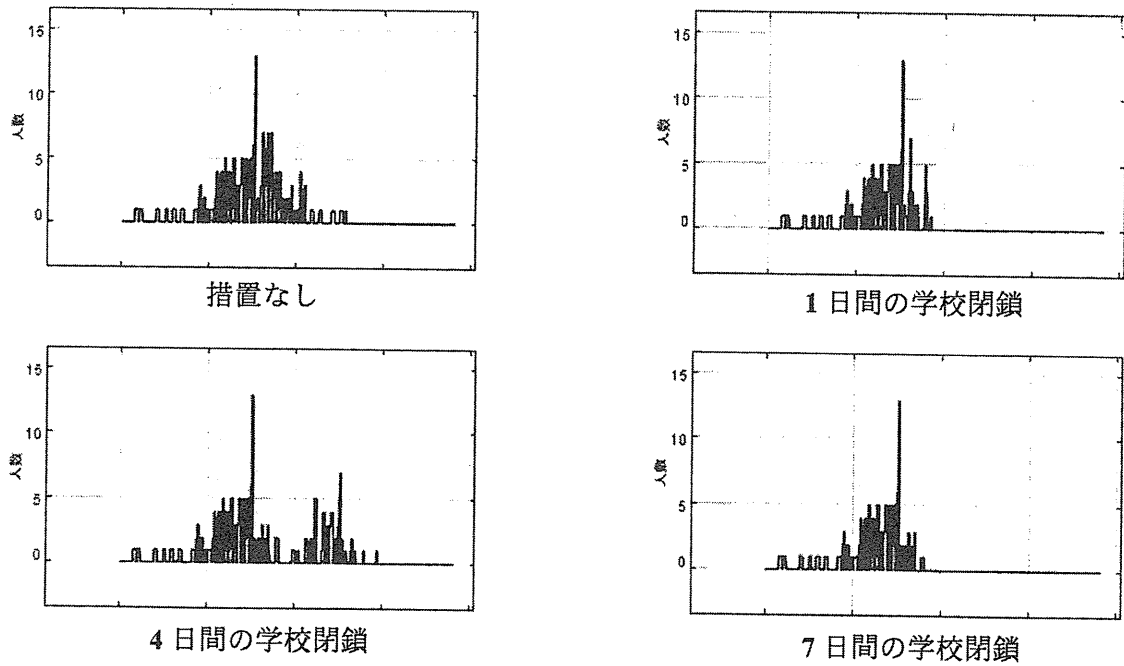


図 4-3 学校閉鎖基準 5 人のときの感染者数の推移 (パターン 1)

縦軸：時間あたりの感染者数 横軸：時間経過

感染者数が10人に達した段階での学校閉鎖は、その後の感染者数の変化を引き起こした。学校閉鎖を行わない場合の総感染者数が118人であったのに対して、1日間の学校閉鎖では総感染者数は151人、さらに4日間の学校閉鎖では208人にまで増加した。その一方で7日間の学校閉鎖では、総感染者数は93人にまで減少した（図4-2）。

感染者数が5人に達した段階での学校閉鎖も、感染者数の変化をもたらした。1日間の学校閉鎖で総感染者数は118人から101人に減少した。4日間の学校閉鎖では136人に増加したが、7日間の学校閉鎖では92人にまで減少した（図4-3）。

次に、パターン2について示す。

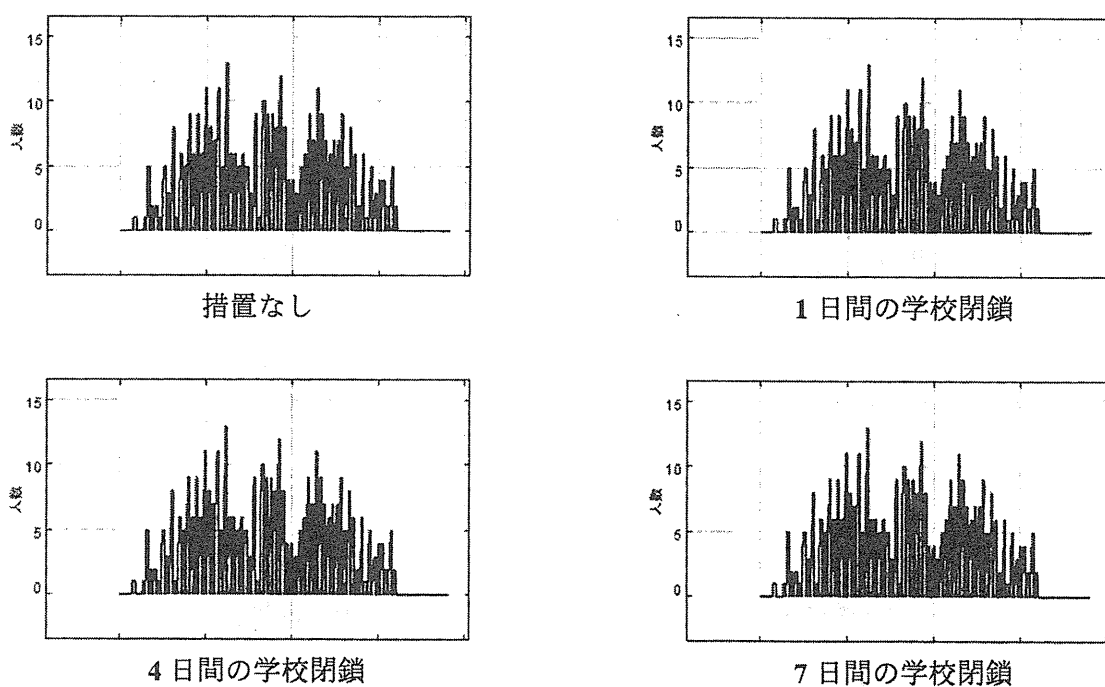


図4-4 学校閉鎖基準15人のときの感染者数の推移（パターン2）

縦軸：時間あたりの感染者数 横軸：時間経過

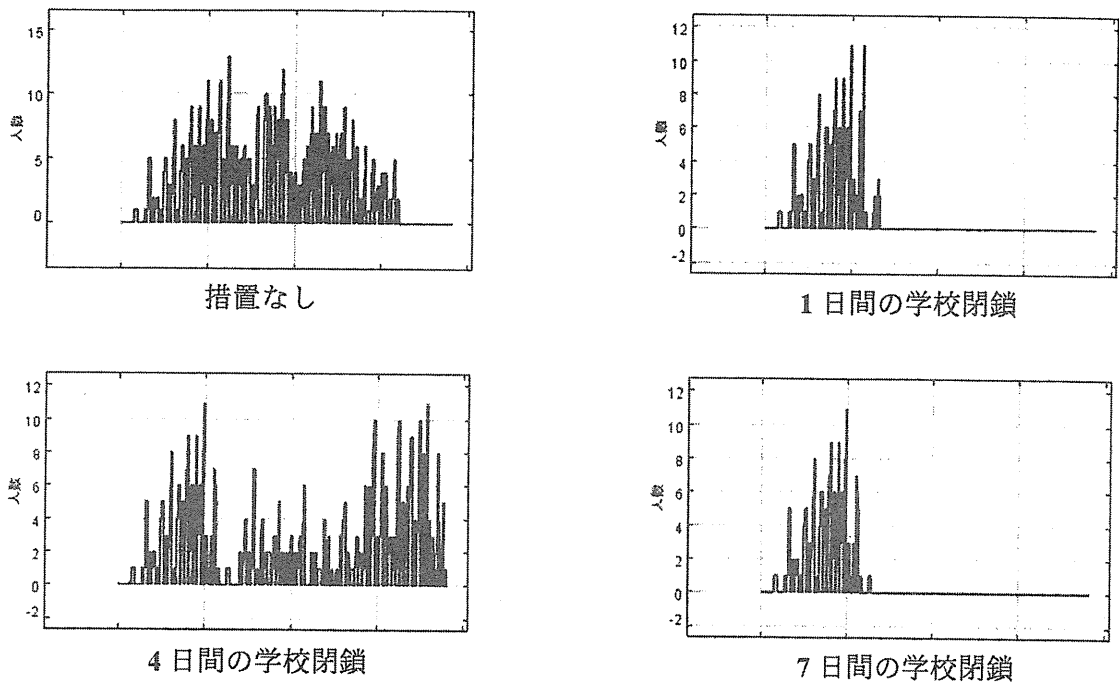


図 4-5 学校閉鎖基準 10 人のときの感染者数の推移 (パターン 2)

縦軸：時間あたりの感染者数 横軸：時間経過

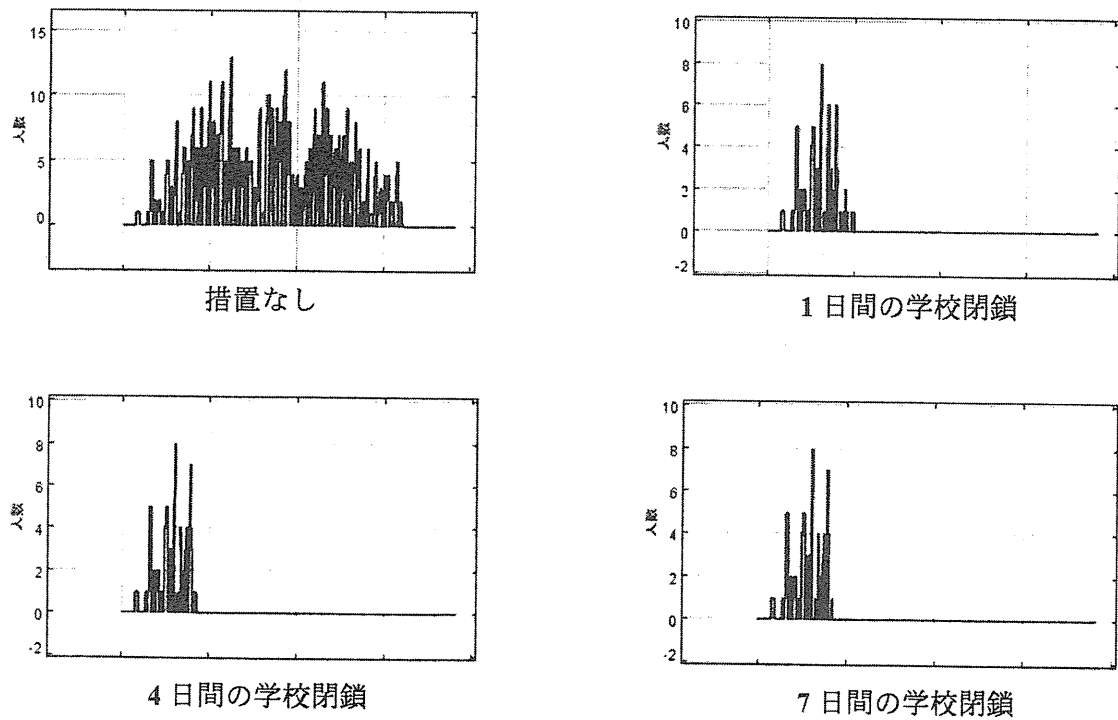


図 4-6 学校閉鎖基準 5 人のときの感染者数の推移 (パターン 2)

縦軸：時間あたりの感染者数 横軸：時間経過

感染者数 15 人に達した段階での学校閉鎖は、パターン 1 と同様に総感染者数の減少に関与せず、1 日間の学校閉鎖、4 日間の学校閉鎖、7 日間の学校閉鎖すべてで 369 人であった。

感染者が 10 人に達した段階での学校閉鎖は、1 日間の学校閉鎖で総感染者数 121 人と、学校閉鎖をしない場合と比べて減少した。4 日間の学校閉鎖では 341 人であり、学校閉鎖をしない場合と比べると減少した。7 日間の学校閉鎖で一番効果を示し、総感染者数 113 人となった。

感染者 5 人での学校閉鎖は、総感染者数が 1 日間の学校閉鎖で 60 人、4 日間の学校閉鎖で 50 人、7 日間の学校閉鎖で 50 人と、いずれも大きな減少効果がみられた。

上記 2 パターンを含む、10 パターンすべてのシミュレーションを実行後、総感染者数のデータを相加平均し、グラフ化した（図 4-7、図 4-8、図 4-9）。有意差の算出には、スチューデントの t 検定で対応のある両側検定を用いた。

学校閉鎖基準が 15 人の場合、学校閉鎖期間の長短によって総感染者数に大きな変化は見られず（図 4-7）、有意な減少もなかった（図 4-8、図 4-9）。

学校閉鎖基準が 10 人の場合、1 日～2 日間の学校閉鎖や 5 日～7 日間の学校閉鎖で総感染者数の減少が認められ（図 4-7）、2 日間の場合と 5 日間以上の学校閉鎖によって学校閉鎖をしない場合と比べて $p < 0.05$ で有意に減少した（図 4-9）。

学校閉鎖基準が 5 人の場合、1 日間以上の学校閉鎖によって総感染者数の大幅な減少が認められ（図 4-7）、学校閉鎖をしない場合と比べて $p < 0.01$ で有意に減少した（図 4-8）。

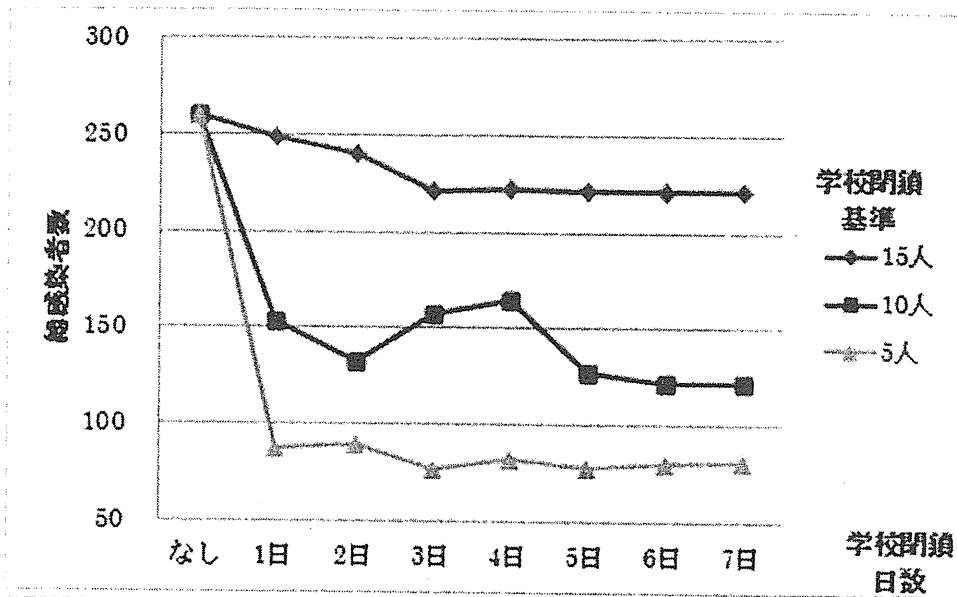


図 4-7 総感染者数の推移

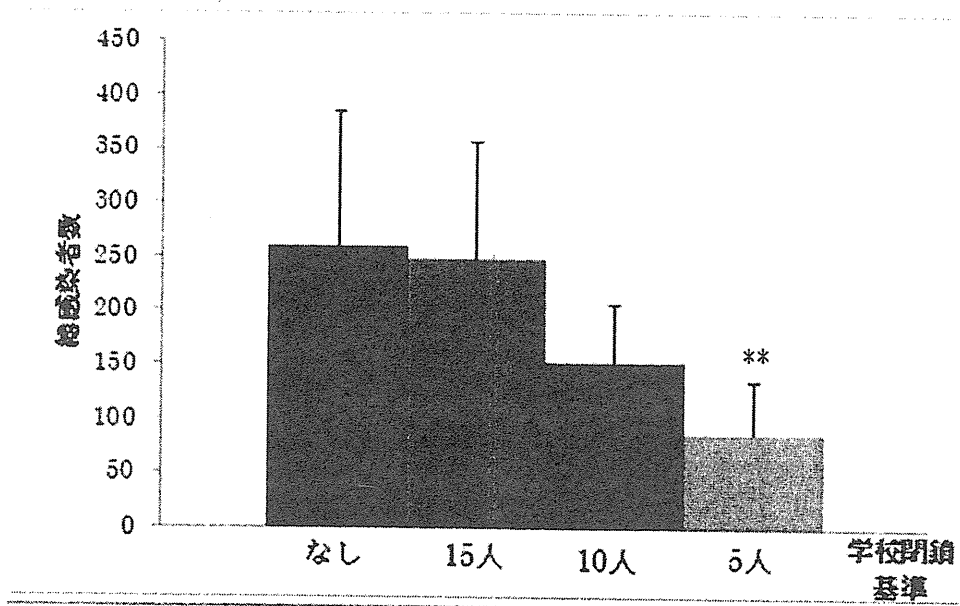


図 4-8 学校閉鎖 1 日間での総感染者数

学校閉鎖をしない場合と比べて、* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ で表現。

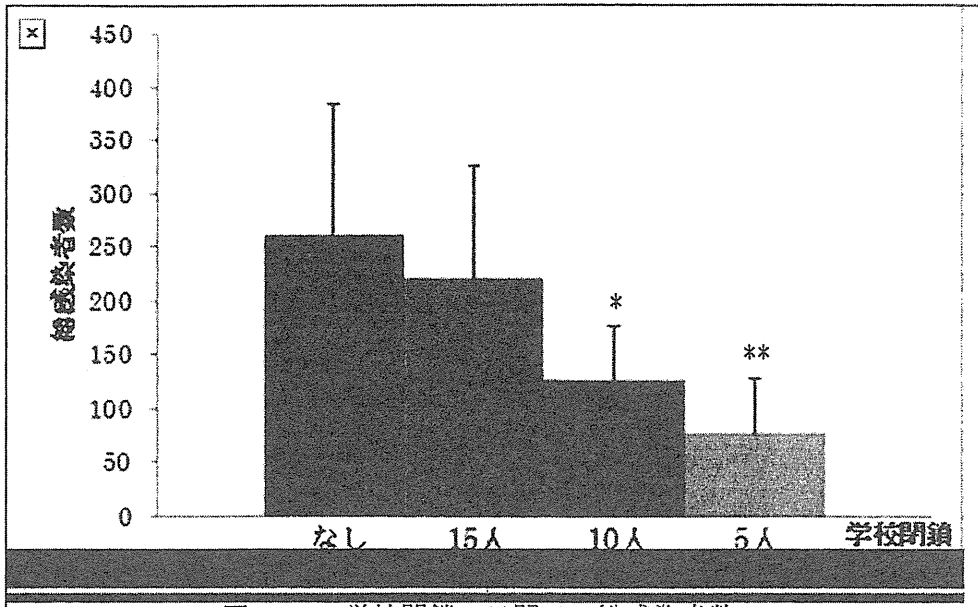


図 4-9 学校閉鎖 5 日間での総感染者数

学校閉鎖をしない場合と比べて、* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.01$ で表現。

5 訓練

実際に大学で新型（H5N1）インフルエンザが発生した場合の対応について検討し、実動訓練を行ってその様子をビデオに収めた。

5. 1 訓練の方法

大学での講義中に学生が発作を起こし倒れる、という設定でシナリオを書き、消毒作業の際に必要な防護服の着脱についてマニュアルとなる映像を撮影して訓練前に上映した後（DVD）、対応に関わる保健管理センターや大学職員、教員、学生参加のもと実動訓練を行った。

5. 2 訓練の結果

訓練の様子をビデオで撮影し編集して、H5N1 新型インフルエンザ発生時の対策マニュアルとして使用できるよう DVD に録画した。

5. 3 DVD の内容

- 1 章 防護服の着脱法マニュアル
- 2 章 新型インフルエンザ対策訓練

6 考察

本研究では、H5N1 新型インフルエンザ流行時の対策として学校閉鎖の有効性について SOARS を用いて検証した。シミュレーターとして用いた SOARS はもともと SARS の感染拡大シミュレーションのために開発されたものであり、また使用にあたってプログラミングに関する専門知識を必要としないため、本研究に適当であると考え採用した[25,26]。

実験結果から、発症者が 15 人を超えてからの学校閉鎖開始では、閉鎖期間に関わらず総感染者数を減少させる効果がないことが示された。発症者が 10 人を超えた段階での学校閉鎖は、2 日間の学校閉鎖と 5 日間以上の学校閉鎖で総感染者数を減少させることが分かった。しかし、3 日間および 4 日間の閉鎖では逆に感染の拡大を引き起こす結果となった。学校閉鎖によって空いた時間を利用して積極的に街へ移動した学生が、そこで感染したのちに学校閉鎖が解除された大学へ登校して拡大させるのではないかと考えられる。発症者が 5 人を超えた段階での学校閉鎖では、閉鎖期間が 1 日間で十分な効果を発揮した。実際に H5N1 新型インフルエンザが発生した場合、発症者数を正確に把握することは難しく、調査の間に発症者が増加してとるべき対応が変わってくることが予想される。したがって実用段階においては、大学内で感染が確認された場合には速やかに学校閉鎖措置をとり、その後の発症者数が 5 人程度で流行が確認されない場合は早期の解除が可能だが、流行が拡大し 10 人以上の発症者が確認できた状況では 5 日間以上の長期閉鎖が必要である。

学校閉鎖の基準は、ウィルスの病原性の強さによっても変更する必要があると考える。本研究では、開始基準が 10 人の場合でも 5 人の場合でも学校閉鎖を

しない場合と比べて有意に減少が見られたが、この2つにおいて総感染者数には差が認められた。2009年に流行したH1N1新型インフルエンザのように感染しても重篤化しない場合は多少の感染者を出しても大きな問題ではないが、H5N1新型インフルエンザのように高い致死率を示す場合、出来る限り感染者を減らす努力が必要である。その際には、学校閉鎖基準5人での学校閉鎖開始が適切であると考ええる。

過去に、早稲田大学の1/4スケールでの新型インフルエンザに対する学校閉鎖措置効果の報告がある[13]が、この際には1名の感染者が報告された時から1日以内に、14日間の学校閉鎖をすると最も効果的であるという結果であった。学校閉鎖を開始するまでの日数が短い方がよい、という結果は今回の研究と一致するものであったが期間に関しては相違が認められ、これはシミュレーションで想定した大学のスケールの違いから生じるものであると考えられる。早稲田大学の1/4スケールといっても学生数13,300人という規模のモデルであり、東京農工大学農学部の2,000人とは大きな差がある。このことから小規模な大学は大規模な大学とは別の、独自の基準によって学校閉鎖の是非を判断すべきであると考えられる。

本研究では学校閉鎖の効果を検証し、基準を提案したが今後さらなる検証が求められる。それは、本研究では効果の評価法として総感染者数のみを用いていることで、学業の遅れによる影響や経済的影響なども考慮に入れ、学校閉鎖による効果と弊害を比較して評価することで、より有益な学校閉鎖基準の設定が可能であると考ええる。学生の行動に関しても、街頭や人ごみに行く確率で、アメリカの学生の行動調査結果を参考にしたが[7]、本学の学生の行動調査を行うことによって、より現実に近いシミュレーション結果が得られると思われる。

本研究では、実際に学内での H5N1 新型インフルエンザ発生を想定した実動訓練も行い、発生時の対応の中心となるべく人物として教員、保健管理センター、事務の職員を想定し、それぞれに役割を作って訓練を実施した。なお、学生には対応に関する知識がないものと想定し、実施まで訓練内容を伏せた上で、その場の本人の意思によって行動するよう依頼した。訓練の実施によって、教室にいる教員の役割の重要性が明らかになった。保健管理センターの医師が教室に到着するまで教室内の指揮は教員に一任され、自由な行動をとる学生に対し、安易に患者と接触し、教室から外出することがないように指導することを、教員に事前に徹底させる必要があると考えられた。また、本訓練では学生退室後の教室の消毒作業を、感染防止のために防護服を着用した事務の職員が行ったが、特に防護服の脱衣の段階で、汚染面に手が触れてしまうことが度々あった。感染症の専門家ではない事務の職員に対して、感染阻止のための講義やさらなる訓練によって知識・技術の習得が必要であると思われた。

本訓練は教室で患者が出た場合を想定して実施したが、教室という場所は、患者との濃厚接触者が把握しやすいという点、また、外部と扉を隔てて隔離されているという点から、大学設備の中では対策が取りやすい場所である。大学構内には、食堂や図書館など不特定多数の学生が行き来する場所があり、このような場所では濃厚接触者の管理が難しく、感染の拡大を引き起こすことになると考えられる。特に食堂では指揮系統の確立が難しく、大混乱を引き起こす危険性がある。今後、教室以外の場所で患者が出た場合の対応を考え、訓練を実施する必要があると考えられる。

今回行った 2 つの研究は、いずれも東京農工大学農学部を想定し、H5N1 新型インフルエンザが発生した場合の対応を考えたものである。これまで大学で H5N1 新型インフルエンザ発生時の対応を考え、実動訓練をしたという報告は

なく、今後各大学における同様の研究が期待される。各大学がそれぞれ特色を出しつつ適切な対応を考え、流行を防ぐ努力が必要である。

7 謝辞

東京工業大学の出口弘教授をはじめとする SOARS Project の皆様には、本研究で使用したシミュレーター「SOARS」を御提供いただき、その使用法を御教授いただきましたことを深謝します。

また、東京農工大学保健管理センターの阿部眞弓准教授には、本学のインフルエンザ発生数のデータを御提供いただきましたことに深謝するとともに、保健管理センターの古田美恵看護師と共に実動訓練にも御参加いただき、医療現場の視点からの的確な御助言をいただきましたことを深謝します。

以上の方々をはじめ、実動訓練に御協力いただいた本学職員の相澤英明氏、菊間美輝氏、加藤茂行氏、西村吾郎氏、本学獣医学科 6 年生の皆様には厚く御礼申し上げます。

8 参考文献

1. 青木昭子, 満田年宏, 白井輝. 2010. 新型インフルエンザ流行期に開催された2つの大学祭における感染対策の集団感染への影響. 日本環境感染学会誌 2010; 25. 3: 145-148 .
2. Cauchemez, S., Ferguson, N. M., Wachtel, C., Tegnell, A., Saour, G., Duncan, B., et al. 2009. *Closure of schools during an influenza pandemic*. Lancet Infect Dis. 8:473-81.
3. Cauchemez, S., Valleron, A. J., Boëlle, P. Y., Flahault, A., & Ferguson, N. M. 2008. *Estimating the impact of school closure on influenza transmission from Sentinel data*. Nature. 452(7188):750-4.
4. Colizza, V., Barrat, A., Barthélemy, M., & Vespignani, A. 2007. *Predictability and epidemic pathways in global outbreaks of infectious diseases: the SARS case study*. BMC Med. Nov 21;5:34.
5. Cowling, B. J., Lau, E. H., Lam, C. L., Cheng, C. K., Kovar, J., Chan, K. H., et al. 2008. *Effects of school closures, 2008 winter influenza season, Hong Kong*. Emerg Infect Dis.10:1660-2.
6. Finkelstein, S., & Curdt-Christiansen, C. M. 2003. *ICAO's anti-SARS airport activities*. Aviat Space Environ Med. Nov;74(11):1207-8.
7. Glass, L. M., & Glass, R. J. 2008. *Social contact networks for the spread of pandemic influenza in children and teenagers*. BMC Public Health. 8:61.
8. Heymann, A., Chodick, G., Reichman, B., Kokia, E., & Laufer, J. 2004. *Influence of school closure on the incidence of viral respiratory diseases among children and on*

- health care utilization*. *Pediatr Infect Dis J*. 23(7):675-7.
9. 金谷泰宏, 出口弘, 齋藤知也, 兼田敏之, 小川友介, 市川学, ほか. 2008. 新型インフルエンザに対するパンデミック対策プログラムとプロジェクト解析. *オペレーションズ・リサーチ : 経営の科学* 53(12), 667-671, 2008-12-01 .
 10. Kar-Purkayastha, I., Ingram, C., Maguire, H., & Roche, A. 2009. *The importance of school and social activities in the transmission of influenza A(H1N1)v: England, April - June 2009*. *Euro Surveill*.14(33). pii: 19311.
 11. Kaye, D., & Pringle, C. R. 2005. *Avian influenza viruses and their implication for human health*. *Clin Infect Dis*. 40(1):108-12. .
 12. 川田諭一. 2010. 新型インフルエンザの大流行に備えた訓練に関する研究地域における保健活動の視点から. 著: 原口義座, 新型インフルエンザ等新興・再興感染症研究事業 平成 21 年度総括研究報告書 (ページ: 11-18).
 13. 栗城健人, 高橋真吾. 大学における新型インフルエンザ発生時の意思決定支援. 早稲田大学理工学部経営システム工学科 2008 年度卒業論文.
 14. 古閑比斗志. 2010. 横浜港に於ける新型インフルエンザ対策措置訓練に関する研究. 著: 原口義座, 新型インフルエンザ等新興・再興感染症研究事業 平成 21 年度総括研究報告書 (ページ: 19-23).
 15. MacIntyre, C. R., Cauchemez, S., Dwyer, E. D., Seale, H., Cheung, P., Browne, G., et al. 2009. *Face mask use and control of respiratory virus transmission in households*. *Emerg Infect Dis*. 15(2):233-41.
 16. Milne, G. J., Kelso, J. K., Kelly, H. A., Huband, S. T., & McVernon, J. 2008. *A small community model for the transmission of infectious diseases: comparison of school closure as an intervention in individual-based models of an influenza pandemic*. *PLoS One*. 3(12):e4005.