

インフルエンザ流行に対する学級閉鎖の意義の検証のための 小学校内行動モデルの構築

木村由理佳 齋藤智也 出口弘 市川学 (東京工業大学, 国立保健医療科学院)

Construction of the action model in the elementary school for inspection of the effect of the school closure for an epidemic of influenza

*Y. Kimura and T. Saito, H. Deguchi and M. Ichikawa (Tokyo Tech. and National Institute of Public Health)

1 背景

1.1 社会シミュレーションに基づいた新型インフルエンザ感染モデル開発の必要性

新型インフルエンザとは、厚生労働省の「新型インフルエンザ対策報告書」(2004年8月)より、「過去数十年間にヒトが経験したことがないHAまたはNA亜型のウイルスがヒトの間で伝播して、インフルエンザの流行を起こした時、これを新型インフルエンザウイルスとよぶ。」と定義され、動物、特に鳥類のインフルエンザウイルスが人間世界に侵入し、その遺伝子に変異を起こしたり、ヒトのインフルエンザウイルスとの間で遺伝子の組み換えを起こす等、ヒトの体内での増殖が可能となり、ヒトからヒトへと効率よく感染できるようになったウイルス、すなわち、新型インフルエンザウイルスが人に感染して起こる病気のことを指す¹⁾。

新型インフルエンザは、およそ10年から40年の周期で発生し、ほとんどの人が新型のウイルスに対する基礎免疫を持っていないことから、世界的な大流行(パンデミック)となり、それに伴って重症者や死亡者の増加もみられることが予想され、大きな健康被害と社会的影響をもたらすことが懸念されている。また、新型インフルエンザの場合、実際にウイルスが出現してからワクチンの製造に入るため、少なくとも6ヶ月を要することから、ワクチン政策は早期には間に合わないと考えられているのが現状である¹⁾²⁾。

過去のインフルエンザ・パンデミックの事例として、20世紀に入って以降、1918-19年、1957-58年、1968-69年と3回のパンデミックが記録されている。それぞれ、A/H1N1亜型を原因ウイルスとするスペイン風邪、A/H2N2亜型ウイルスによるアジア風邪、A/H3N2亜型ウイルスによる香港風邪を指し、それぞれ異なる様相を呈した¹⁾。

スペイン風邪は、世界中で約5億人の患者と4,000万人-5,000万人の死亡者が生じたと推定されており、一説には1億人とも言われている¹⁾。日本においても約2300万人の患者と約38万人の死亡者を生じており、歴史人口学的手法では45万人とも言われている¹⁾。アジア風邪や香港風邪でも世界全体で100万人程度の死亡者が記録されており、医療提供機能の低下をはじめとした社会機能や経済活動の様々な混乱が報告されている²⁾。近年では、2009年におけるH1N1パンデミックでの日本における累計患者数は2,100万人(2010年第13週)、そのうち厚生労働省に報告(2010年3月31

日まで)された死亡者数は198人(8月末で203名)となった³⁾。

近い将来パンデミックが発生した場合、WHOはアジア風邪のデータを基礎とする方法で、全世界で200-740万人の死亡がであると推計している¹⁾。また、スペイン風邪のデータから推計した場合は、1億人を超えると予測されている¹⁾。別の研究では、発展途上国の人々を中心に約6,200万人が死亡するという推定も存在する¹⁾。また、米国連邦議会予算局はアジア風邪、香港風邪級であれば、約1%GDPが減少するが、スペイン風邪級の重篤なパンデミックが発生した場合には、米国のGDPが約4.25%減少するという試算を出している¹⁾。また、Econometric modelを使用した推計では、世界におけるGDPの損失が軽症のシナリオで0.8%(約3300億米ドル)、最重症のシナリオで3.4%(約1兆4000億米ドル)に上ると試算されている¹⁾。

ヒトからヒトに容易に感染する新型インフルエンザウイルスが出現し、一定以上の人口間で拡大を始めると、パンデミックを防ぐ確実な方法は現時点では知られておらず、世界および各地域・国で広がることを遅らせる対策、具体的には、国際間の移動制限、患者の早期発見と隔離、集会の延期をとるしかないのが現状である¹⁾。新型インフルエンザの出現と流行は、確実に抑えることのできない自然現象の一つであるとも言える¹⁾。

このように、パンデミックを確実に防ぐ方法や、パンデミックがもつ多面的な構造、すなわち、感染がどのように制圧され、あるいは逆に蔓延するかは、現状では明らかになっておらず、これらを明らかにするには、人々の実際の行動に基づいた、ミクロな視点からの分析が必要と言える。また、人々の実際の行動に基づき、感染拡大様式やその社会的影響を考慮した上で、蔓延防止等対策の検討の支援を可能にするツールは現状では存在しない。ゆえに、感染拡大様式やその社会的影響を、人々の実際の行動に基づいたミクロな視点から分析可能な社会シミュレーションに基づいた、新型インフルエンザ感染モデルの開発が必要であり、このモデルの開発は、感染拡大を未然に防ぐ観点からも大きく期待されている⁴⁾。このモデルを用いることで、パンデミック自体の解明、および、新たなパンデミック対策の可能性について検討することが可能と言える。また、人々の実際の行動に基づいた、より現実世界に近い想定のもと、対策の議論が可能となり、議論の精度が上がると言える。

1.2 インフルエンザ感染拡大対策としての学級閉鎖

インフルエンザは、学校が地域全体の感染拡大に重要な役割をはたしていることが知られており、その理由として、学校に通学する年齢層の子供では一般にインフルエンザの罹患率が高いこと、学校では多くの生徒同士の濃厚接触が起こる頻度が高く、大きな流行が起きやすいことが挙げられる⁶⁾。ゆえに、インフルエンザの流行は、学校を起点として地域に広がっていくことが多く、早期に学校を閉鎖することは、地域への感染拡大を抑える効果があるとされている⁶⁾。学校閉鎖は、各国の新型インフルエンザパンデミック対策においても、公衆衛生上の重要な対策とされている⁶⁾。

1957-58年のアジアインフルエンザ(50%が感染した)のような感染性インフルエンザ発生の際、学校閉鎖を実施し、子供と10代の若者を家に留ませた結果、90%未満に発病率を減らすことができた⁵⁾。また、1918年のスペインインフルエンザにおいて、米国で学級閉鎖とともに集会の制限における死亡数との関連性をみた研究がいくつか報告されているが、早期に実施され、かつ十分な期間の閉鎖が行われた場合、学校閉鎖と死亡率軽減の間に相関性があることが示されている⁶⁾。さらに、新型インフルエンザA/H1N1によるパンデミックの際、メキシコシティや日本の関西では早期に大規模な学校閉鎖を行った結果、流行がいったんは収束している⁶⁾。この時、感染者の隔離等の他の政策も同時に行われているため、学校閉鎖単独の効果を判断する根拠とはならないが、新型インフルエンザA/H1N1では10代の罹患率が非常に高いことが多くの国で示されていること、日本だけでなく各国で高校などでの流行が数多く報告されていることを考えると、学校を閉鎖することは地域への感染拡大を抑えるためには一定の効果があると考えられるとされた⁶⁾。

以上に挙げた事例から、学校はインフルエンザ感染拡大リスク要因の1つと考えられ、しばしば学校閉鎖等の対策がとられており、これらの政策は、感染拡大抑制や死亡率軽減という観点で一定の効果があるとされていることがいえる。

学級閉鎖は、パンデミックを軽くする、具体的には、膨大な新型インフルエンザ患者の発生や医療従事者の罹患による医療システムそのものの破綻の抑制、あるいは、長期の学級閉鎖や旅行制限、集会や映画館等の人がたくさん集まる場所の閉鎖等、企業の存続のみならず、世界的な経済への深刻な影響等の軽減を目的とした、一般に提案される医療以外の干渉政策の1つである¹⁾⁷⁾。

学級閉鎖政策には、基本的な方法として、消極的学級閉鎖と積極的学級閉鎖の2つが挙げられる。

消極的学級閉鎖は、欠席者が増えることに対する学校(学級)運営上の対応を目的として実施され、実施時期の基本的な考え方としては、地域である程度感染が拡大して以降である。実施の基準は、地域あるいは学校ごとに決定した、ある一定の割合に欠席率が達した場合であり、実施期間は、状況に応じて5日間よりも短い場合もあり得る。実施にあたって考慮すべき事項として、重症化するリスクのある生徒の多い場合、すなわち、特別支援学級や基礎疾患を有する生徒等が多い場合、より厳しい基準を考慮すべきことが挙げられる

6)。一般に、消極的学級閉鎖では地域への感染拡大を抑える効果はほとんどないと考えられている⁶⁾。一方で、積極的学級閉鎖は、地域で感染拡大が起こる前に積極的に学級閉鎖を行うものであり、地域の感染拡大を抑えるためには、このような積極的な学級閉鎖が必要であると考えられている⁶⁾。実施時期の基本的な考え方としては、地域での感染拡大の初期段階である⁶⁾。実施の基準は、疫学情報から、学校のある地域が流行の初期段階にあると判断された場合であり、実施期間は、5日から7日間が必要である⁶⁾。実施にあたって考慮すべき事項として、学級閉鎖を行った場合の地域への社会的・経済的影響、地域への感染拡大を抑えるためには他の対策も同時に行う必要がある、学校閉鎖中に生徒が接触する機会、すなわち、スポーツ大会・塾等も制限する必要があるといったものが挙げられる⁶⁾。

以上に述べたように、学級内および学級外感染など、学校におけるインフルエンザ感染拡大リスクと効果を考慮し、学級閉鎖等の対策の要否を検討する必要がある。そして、学級閉鎖等の要否を検討する際の判断要因として、授業や行事機会の損失、および、いつ、どのくらいの期間で、どの規模で学級閉鎖もしくは学校閉鎖を行うかを検討する必要がある。さらに、経済的、社会的コストの高さ、倫理問題、健康管理といった主要産業の破壊の可能性といった学級閉鎖等対策に伴うネガティブな側面に対する検討も必要不可欠である⁷⁾。

Fumanelliらは、インフルエンザ流行時の異なる学校閉鎖方針の潜在的影響を評価するため、最初の組織的モデル研究を提案した⁸⁾。イギリスでの事例を元に、現実的なサイズ分布で、空間的に明白な感染のある家庭、学校、すなわち、幼稚園、小学校、中学校、高等教育のいずれか、また、職場と一般的なコミュニティといった異なる4つの空間でのインフルエンザ感染モデルを構築した。そして、エージェント・ベースの確率シミュレーションモデル、すなわち、不連続なSEIRモデルを用いて、時間ごと、空間内または空間間の接触度合いに応じて定められた感染確率の元、同クラス、同学年他クラス、または、他学年の学生間、家庭での相互作用等によるインフルエンザ感染拡大様式の検討を行っている。

しかしながら、このモデルは、各空間におけるエージェントの詳細な行動までは表現していない。ゆえに、例として、週1回、または月1回の行事の要否を、学校内における実際の行動に基づき検討することは不可能である。そのため、学級閉鎖政策の意思決定者に対する意思決定支援ツールとして、社会シミュレーションによる、学校内における実際の行動に基づき、学校内行動に関する政策の議論が可能で、学校内新型インフルエンザ感染モデルの開発が必要であると言える。

1.3 先行研究

齋藤らは、伊豆大島(東京都大島町)にて社会構造、学校閉鎖等の対策も含めた流行を網羅的に調査し⁹⁾、その調査結果をもとに、エージェントベースアプローチにより、シミュレーション言語SOARSを使用した伊豆大島インフルエンザ流行モデルの構築を行った(Fig.1)¹⁰⁾。パイロットテストとしてまた、島内の各小学校(3校)、中学校(3校)、高校(1校)においてシーズン初期に各学校内の生徒でそれぞれ5名インフルエンザ患

者が初発した場合を想定し、その後の島内での感染拡大様式を比較・検討した。そして、本シミュレーションにおいて、公衆衛生的政策介入や観察が不可能な不顕性感染者を含め、属性や行動、感染状態等および感染場所や流行拡大のプロセス等に基づいた感染拡大様式の解析も可能であることを示した¹⁰⁾。

しかし、本モデルでは、0-18歳のエージェントの行動モジュールとして通学は考慮されているものの、学校内の行動モジュールまでは記述されておらず、学校内における実際の行動に基づいた、感染拡大様式の検討までは不可能であった。ゆえに、学校内における実際の行動を考慮した上で、学級閉鎖の可否といった、学校内行動に関する政策の議論が可能なモデルではなかった。

2 目的

本研究では、学級閉鎖等学校行事への介入政策の意思決定支援ツールとしてのモデル開発を行う。すなわち、既存の伊豆大島インフルエンザ感染モデルに学校内の行動モジュールを加える。具体的には、授業、給食、休み時間などの小学生の1日の行動フローから校内行動のモデル化を行い、小学校内での1日のインフルエンザ感染リスク、すなわち、学校内における新規インフルエンザ感染者数を明らかにする。

そうすることで、所属する家庭や学校といった属性、行動、感染状態および感染場所や流行拡大のプロセス等を考慮した上で、モデル上で、可否も含めた学級閉鎖対策に関するシナリオの導入を行う等、学校内行動に関する政策の具体的な議論が可能となる。また、学校内行動モジュールを加えることで、伊豆大島インフルエンザ感染モデル全体として、パンデミックに対し、より具体的な蔓延防止等対策の検討が可能となる。

3 モデルの設計および粒度

社会システムのモデル化、とくに社会シミュレーションに用いるモデルでは、モデル化の対象となる社会現象や問題状況が多様であり、必然的に対象の多様性に依拠してモデルも多様化せざるを得ない¹¹⁾。そして、対象の多様性というのは、モデル作成者側が対象に対して何をどうしたいのかという意図や目的に依存して変化する¹¹⁾。つまり、対象の何を問題として考えるのか、対象から何を得たいのか、あるいは対象にどのように対処したいのか等によって、どのようにモデル化するかを考慮する必要がある¹¹⁾。

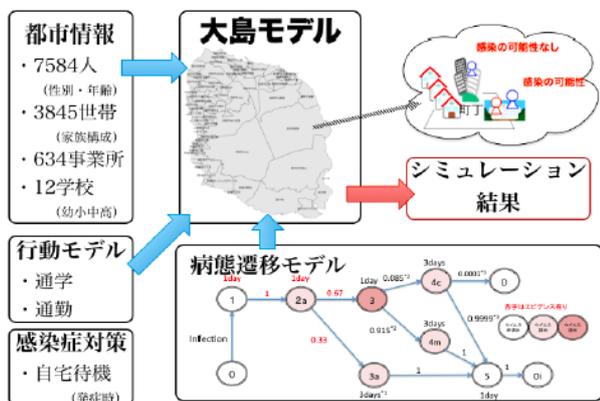


Fig. 1: 伊豆大島インフルエンザ流行モデルの概要

モデル化には、アブストラクト、ミドルレンジ、ファクシミリという3つのモデルがあり、それぞれ解像度が異なる¹¹⁾。アブストラクトモデルは、エージェントベースの社会シミュレーション研究の初期であり、複雑な社会現象の原理的な理解を目指し、システムの性質を支配するシステム構造を少数のパラメータで記述するシンプルなモデルである¹¹⁾。ミドルレンジモデルは、アブストラクトモデルよりモデルの粒度を少し細かくし解像度を高くしたモデルである。すなわち、アブストラクトモデルより対象の細部をモデル化する。モデルの構成要素やパラメータは、アブストラクトモデルより格段に多くなる。そのため現実的で、写実的なモデルとなり、現実への解釈が直観的でわかりやすい一方で、構成要素や行動規則が恣意的になりやすく、モデルの妥当性を評価することが困難なケースも少なくない。ファクシミリモデルは、もっとも解像度が高く、特定の状況に限定された社会システムの特定の現象を可能な限り忠実に表現する。とくに特定の状況における不確実性が高い場面でのシステム全体の挙動が観察できる。アブストラクトモデルやミドルレンジモデルのような普遍性はないが、現実ではすぐには作り出せないような多様で可能な状況を実験室的に作り出し、モデルで設定したさまざまな変数のシステムの挙動への影響を定量的に扱うことができる。これはとくに組織のマネージャ等が複雑な状況下で意思決定をするための支援に有効である。

本研究におけるモデルを構築する上で、アブストラクトモデルを構築するには、小学校は1つの空間として扱い、エージェントの移動場所は家と学校のみ、かつ、空間のサイズ分布や空間における接触度合いも平均化して扱うことが想定される。本研究で作成した、小学校Aにおける校内行動モデルは、アブストラクトモデルに近いモデルとなっている。一方で、ファクシミリモデルを構築するには、小学校にある施設それぞれを空間として扱い、エージェントの移動場所は家と各施設、感染を考慮する際は、具体的な接触頻度データ、接触形態データ、接触時間データ、各空間の浮遊量リアルタイムデータが必要になってくることが想定される。

粒度が粗すぎると学級閉鎖の表現に不都合であり、細かすぎるとパラメータのリアルな情報の採取が難しくなってくる。そのため、本研究で作成したモデルをファクシミリモデルに近づけることで、適切な粒度をもつモデルの構築を行うことをめざす (Fig.2)。伊豆大島インフルエンザ流行モデルは、アブストラクトモデルに近いミドルレンジモデルであり、その中に、ファクシミリモデルに近いミドルレンジモデルである学校内の行動モジュールを加え、学年間の交流等といった学校内の行動に関して解像度を上げて表現し、介入政策をより具体的に検討可能なモデルへの改変を行う。

4 小学生の1日の校内行動のモデル化およびシミュレーションの方法と結果

授業、給食、休み時間などの小学生の1日の行動フローから校内行動のエージェント・ベース・シミュレーションによるモデル化を行った。東京都大島町のある小学校Aを事例とし、小学校Aの生活時程表¹²⁾のモジュールタイムを元に、小学生の1日の行動フローを決定した (Fig.3)。

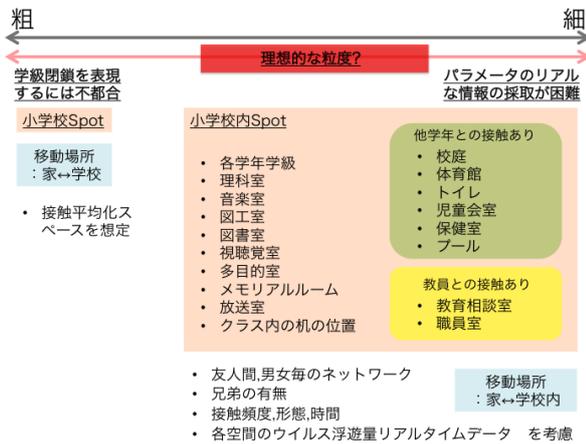


Fig. 2: 小学生の1日の校内行動モデルの粒度

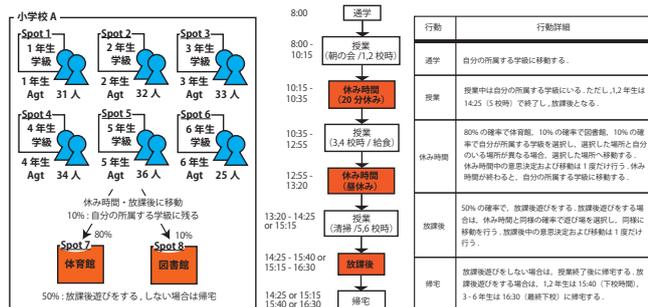


Fig. 3: 小学校 A における校内行動モデルの概要

各学年は1学級のみで、8時に通学し、自分の所属する学級に移動する。そして、授業、休み時間、放課後を経て帰宅する。授業中は自分の所属する学級にいる。休み時間は80%の確率で体育館、10%の確率で図書室、10%の確率で自分が所属する学級を選択し、選択した場所と自分のいる場所が異なる場合、選択した場所へ移動する。放課後は50%の確率で、放課後遊びを行い、する場合は、休み時間と同様の確率で遊び場の選択および移動を行う。そして、低学年は下校時刻に、高学年は最終下校時刻になると帰宅する。放課後遊びをしない場合は、授業終了後に帰宅する。低学年は授業終了時刻が早くなっている。休み時間中と放課後中の意思決定および移動は1度だけ行う。結果として、エージェントの移動場所が5分ティックで出力される。

このモデルを元に、小学生の学校内における詳細な行動に基づくインフルエンザ感染拡大様式の検討が可能と言える。また、特に人数変化のおこる時間の前後である、7:55、8:00、10:15、10:35、12:55、13:20、15:15、16:30、16:35における、例として、各場所での3年生の合計人数結果から (Fig. 4)、モデルの動作が意図した通りであることが確認された。

5 今後の課題

適切な粒度でのモデルの改変、すなわち、本研究で作成したモデルをファクシミリモデルに近づける。その際に、具体的な介入政策の内容と入手できるデータをもとに、粒度の決定を行う。

さらに、小学生の1日の校内行動モデルをベースに、1週間、1年の行動をモデル化し、普段の1日行動、クラブ・委員会活動、運動会といった校内・校外行事日のモデル化も行う。そして、行事前の学級閉鎖の要否や行事の実施の可否の判断に資するモデルの構築をめざす。

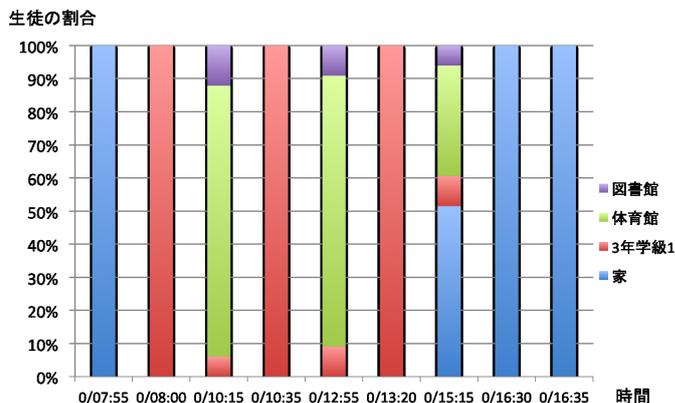


Fig. 4: 3年生の各場所での合計人数

す。
謝辞
本研究は若手研究 A 15H05349 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 国立感染症研究所 感染症情報センター:インフルエンザ・パンデミックに関する Q&A(2006.12 改訂版), 2006
- 2) 厚生労働省:新型インフルエンザ対策報告書,2005
- 3) 岡部信彦ら:パンデミック (H1N1) 2009 発生から 1 年を経て, IASR, Vol. 31, 250/251 (2010)
- 4) 金谷泰宏ら: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分析, The Operations Research Society of Japan, 53(12), 667/671(2008).
- 5) Glass R.J, Glass L.M, Beyeler W.E, Min H.J: Targeted social distancing design for pandemic influenza. Emerg Infect, 12, 1671/81(2006).
- 6) 神垣太郎・押谷仁: 新型インフルエンザ流行時における学校閉鎖に関する基本的考え方. 平成 21 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)「新型インフルエンザ大流行時の公衆衛生対策に関する研究」, 厚生労働省新型インフルエンザ対策推進本部, 別紙 2(2009)
- 7) S. Cauchemez, N.M. Ferguson, C. Wachtel, A. Tegnell, G. Saour, B. Duncan, A. Nicoll: Closure of schools during an influenza pandemic, Lancet Infect Dis, 9, 473/81(2009).
- 8) L. Fumanelli, M. Ajelli, S. Merler, N.M. Ferguson, S. Cauchemez: Model-Based Comprehensive Analysis of School Closure Policies for Mitigating Influenza Epidemics and Pandemics, journal.pcbi.1004681, 10, 1371(2016).
- 9) Inamasu T, Sudo K, Kato S, Deguchi H, Ichikawa M, Shimizu T, Maeda T, Fujimoto S, Takebayashi T, Saito T: Pandemic influenza virus surveillance, izu-oshima island, Japan, Emerging infectious diseases, 18, 1882/1885 (2012).
- 10) 齋藤智也ら: 伊豆大島におけるインフルエンザ流行および対策の分析とメソスケールエージェントベースモデリングを活用した評価, 感染症学雑誌, 89, 臨時増刊号, 232 (2015).
- 11) 高橋真吾: 社会システムの研究動向 3-評価・分析手法 (1)- モデルの解像度と妥当性評価, 計測と制御, 52 7 号, 582/587 (2013).
- 12) 東京都大島町教育委員会: 学校要覧, 1/56 (2008).