

新型インフルエンザ流行時における学校閉鎖措置の時空間的パターン：
2009-2010年シーズンの茨城県における公立小中学校の学校閉鎖措置に注目して
永田彰平・中谷友樹

**Space-time patterns of school closures in the pandemic influenza epidemic
The case of the 2009-2010 A(H1N1) epidemic in Ibaraki prefecture**
Shohei NAGATA, Tomoki NAKAYA

Abstract: This study aims to examine the regional patterns of the pandemic influenza (A(H1N1)2009pdm) using the data of school closures in the season of 2009-2010. The results of spatial autocorrelation and regression analysis showed: (1) Both the onset of epidemic and the frequency of closures, a measure of epidemic size, of schools had significant regional concentrations with directional trends; (2) The onset of school epidemics were associated with city sizes (scales) and regional demographic structure; (3) The frequencies of school closures were regulated by indicators related to intra and interregional contacts of people and the beginning period of the local epidemic.

Keywords: 新型インフルエンザ(pandemic influenza), 閉鎖措置 (school closure), 時空間的パターン (space-time patterns), 空間的自己相関 (spatial autocorrelation)

1. はじめに

感染症流行の空間分析については、インフルエンザに対象を限定しても数多くの研究が実施されてきた (Cliff et al, 1986). 日本国内においても、都市階層と空間的に制約された人の接触頻度を操作化し、アジアかぜ流行の地理的拡大を考察したシミュレーション研究 (杉浦, 1975) や空間的な理論疫学モデルによって感染者数の時空間的な推移の説明を試みた研究 (中谷, 1994; 片岡ほか, 2012) がある。また個体ベースのモデリングによって学校の閉鎖措置の有効性を分析した研究 (Ferguson et al, 2006; Morimoto and Ishikawa, 2010) が行われている。しかし、これらの先行研究の多くは演繹的なモデル分析研究であり、実際のインフルエンザの流行報告データ

から、流行推移を特徴づける空間的な規則性を抽出する研究は少ない。そこで本研究では 2009-2010 年シーズンの新型インフルエンザ A(H1N1)2009pdm 流行について、茨城県における小中学校の閉鎖措置データを使用し、流行開始時期と流行規模の空間的パターンとその要因となる地理的な条件を、空間データ解析の手法を通して検討する。

2. 研究の資料と方法

2.1 学校閉鎖措置資料について

本研究では、2009-2010 年シーズンの新型インフルエンザ流行期間に関する『インフルエンザ患者の発生に伴う学級閉鎖等の措置について』(茨城県保健福祉部予防課・茨城県感染症情報センター) を主たる分析資料として使用した。この資料にはインフルエンザ流行による閉鎖措置を実施した学校名、患者数、閉鎖期間が記録されている。

この資料の特徴および分析の意義は以下のように整理できる。(1) 流行したウイルスが新型であったため、観測が難しい児童の免疫保持率の地域差の影響を考慮せずに流行推移の地域差を検討できる。(2) 感染症サーベイランスで利用される患者報告の定点医療機関よりも公立小中学校の方が数がはるかに多く、地理的に詳細な流行推移の把握が可能となる。(3) 当該シーズンの茨城県では1学級内に2人の新型インフルエンザ罹患者が報告された時点で学級・学校の閉鎖措置を実施することが決められており(茨城県保健福祉部への聞き取りによる)、閉鎖措置の資料は統一した基準で患者発生の状況を示すものと判断できる。(4) 当該シーズンにおける新型インフルエンザ受診患者数の年齢別推計は小中学生の年齢層が約半数を占めており(国立感染症研究所, 2010), この年齢層の流行パターンを分析することで、流行の全体像を把握することが可能であると考えられる。

なお、今回の分析では小学校区の GIS データが未整備である古河市と坂東市を除く茨城県内の公立小中学校(753校)のうち、インフルエンザ流行による学校・学級閉鎖措置を実施した732校を対象とした。学校の地理的位置とその基本的属性については、JPS の「学校ポイントデータ2007」を参照し、「全国学校総覧 2010 年版」によって生徒数の修正、統廃合、新設校の確認を行った。学校区については国土数値情報の小学校区データを利用した。

2.2 分析方法

学校での流行を、その開始時期と規模の両面から評価する。閉鎖措置を初めて実施した日(初回閉鎖措置実施日)を、流行開始時期の指標とみなし、2学期が開始される2009年9月1日から当該の日までの日数をデータ値とした。また、流行規模については2009年9月1日から2010年3月13日(報告書記載の最終日)までの閉鎖措置

実施回数によって把握した。それぞれの指標の空間パターンについては、グローバルおよびローカルな空間的自己相関指標(モランの I)によって把握した。さらに空間回帰分析によって初回閉鎖措置実施日と閉鎖措置実施回数の学校間の差に影響を与える学校規模および地理的要因を検討した。空間的自己相関指標の計算には OpenGeoDa(ver. 1.4.1)を使用し、回帰分析については R (ver. 3.0.1) によって変数選択を行った後、OpenGeoDa を利用して、空間回帰モデルを適用した。また、データの整備および結果の地図化には ArcGIS10.1 を使用した。

3. 結果

3.1 閉鎖措置実施パターンの空間的集積性

(グローバル) モランの I 統計量(中谷, 2003) の計算結果を表 1 に示す。なお、ここでは各学校から最近隣 5 校を空間ウェイトのための近隣とした。結果として、初回閉鎖措置実施日および閉鎖措置実施回数のどちらにおいても、有意な正の空間的自己相関が認められる(表 1)。すなわち、流行開始時期と流行規模のどちらも地理的にまとまる傾向があり、流行開始時期が早い地域、流行規模の大きい地域のような地域性が、学校の流行において存在したことが確かめられた。

図 1・2 は 5% 水準で有意なローカル・モラン I 統計量(中谷, 2003) の分布図である。両図ともに都市の中心性が高い地域において閉鎖措置実施パターンの地理的な集積が見られる。中部から北東部にかけて、初回閉鎖措置実施日では、有意な Low-Low すなわち流行開始時期が早い学校の地理的な集積が、閉鎖措置実施回数では、有意な High-High すなわち閉鎖措置実施回数の多い学校の地理的集積が、鉄道路線沿いに連続してみてとれる。こうした結果から、とくに茨城県の中部から北東部にかけて、学校の流行推移は、近隣の学校間で連動し、かつ鉄道路線に沿った流行の伝播がなされたと考えられる。

表 1 閉鎖措置実施パターンのモランの I 統計量

	I 統計量	p 値
初回閉鎖措置実施日	0.2051	< 0.001
閉鎖措置実施回数	0.3130	< 0.001

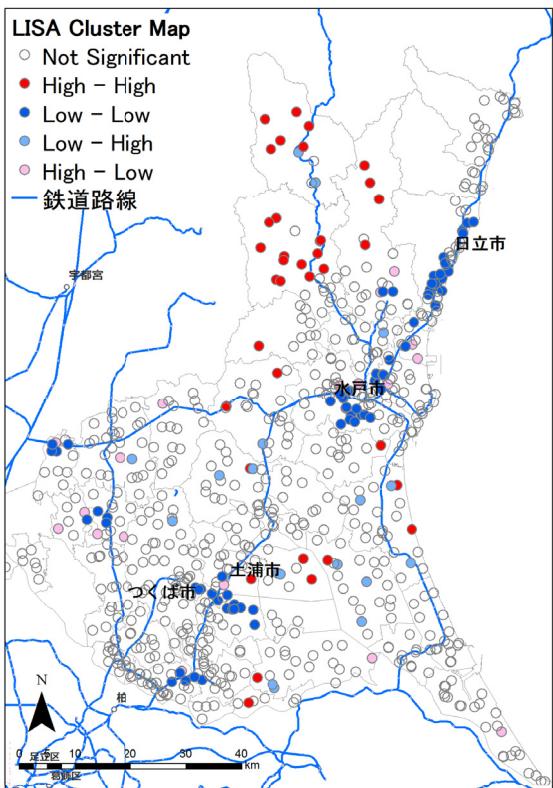


図 1 初回閉鎖措置実施日のローカル・モラン I

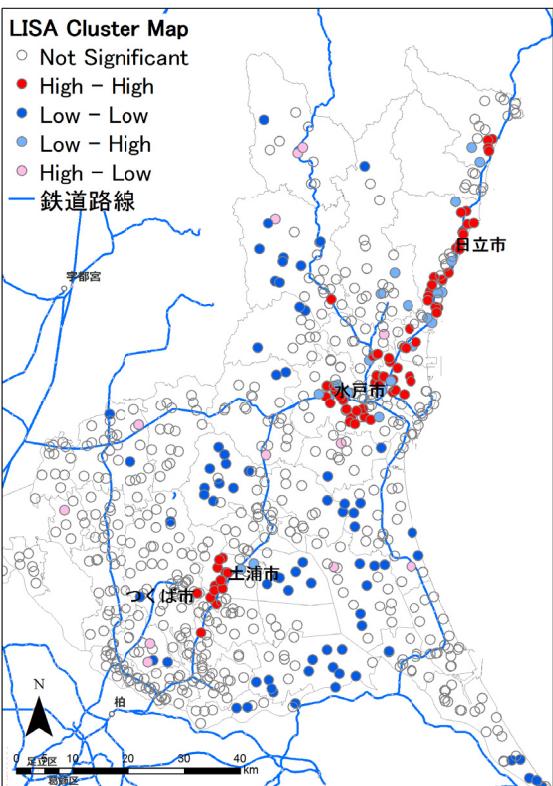


図 2 閉鎖措置実施回数のローカル・モラン I

表 2 選定された説明変数

説明変数	選定理由
学校の立地密度	学校が立地する場所の都市規模を表す変数
生徒数	学校内での生徒同士の接触頻度を表す変数
学校区の人口密度	日常生活圏内での接触頻度を表す変数
学校区の14歳以下人口割合	流行の中心となった年齢同士の接触頻度を表す変数
最近隣の駅までの距離	他地域の人との接触頻度や学校区の中心性を表す変数
中学校(ダミー変数)	小中学校で流行パターンが異なることが予想される

表 3 空間回帰分析結果 (初回閉鎖措置実施日)

	係数	標準誤差	t 値	p 値
(Intercept)	83.4737	3.54	23.61	< 0.001
学校の立地密度	-26.4940	7.10	-3.73	< 0.001
生徒数	-0.0375	0.00	-8.32	< 0.001
学校区の14歳以下人口割合	-75.8090	30.08	-2.52	0.012
中学校	-7.4600	1.40	-5.35	< 0.001
ρ	0.1963	0.04	5.17	< 0.001

$n = 732$, R-squared = 0.33, AIC = 6353.99

表 4 空間回帰分析結果 (閉鎖措置実施回数)

	係数	標準誤差	t 値	p 値
(Intercept)	5.1939	0.64	8.11	< 0.001
生徒数	0.0198	0.00	23.80	< 0.001
最近隣の駅までの距離	-0.0001	0.00	-2.27	0.023
初回閉鎖措置実施日	-0.0359	0.01	-4.90	< 0.001
中学校	-1.9946	0.28	-7.10	< 0.001
ρ	0.2154	0.04	5.74	< 0.001

$n = 732$, R-squared = 0.62, AIC = 4004.45

3.2 空間回帰分析

インフルエンザの地域的流行推移は地域内あるいは地域内と地域外でのヒト同士の接触頻度によって規定されていると考えられる。このような接触頻度と関連する指標として表 2 の変数を選定し、空間回帰分析を実施した（表 3・4）。

本研究では通常の回帰分析で AIC 基準によるステップワイズ法に基づいた変数選択を行った後、説明変数による予測で説明されない成分の空間的自己回帰過程を考慮した空間的誤差伝播モデル(spatial error model)を適用した。表中の ρ はこの自己回帰成分の係数(中谷, 2003)である。

まず初回閉鎖措置実施日を従属変数とした空間回帰分析結果について、表 3 によると、生徒数が多いほど患者報告が初めてなされる期日が早くなる効果を考慮してもなお、都市規模が流行開始の早期化に影響しており、杉浦(1975)と同様に、都市階層効果の存在が認められる。また、小学校よりも中学校で流行開始が早くなる傾向にあり、その理由として、小学生と比べて中学生で日常生活

活圏が広く、他校生やより広域を移動する成人との接触頻度が多くなることが考えられる。

表4は閉鎖措置実施回数を従属変数とした空間回帰分析の結果である。閉鎖措置の実施回数は学校の生徒数に強く規定されていると同時に、駅との近接性に示される地域外との接触機会が、継続した流行発生に寄与していることが分かる。また、この分析には初回閉鎖措置実施日を説明変数に加えている。その推定された係数からは、早期の流行開始が流行規模の拡大に寄与する傾向が認められ、流行初期における流行抑制（積極的臨時休業の実施など）の重要性が示唆される。

4. おわりに

本研究では2009-2010年シーズンの新型インフルエンザ流行期間における茨城県の公立小中学校の学校・学級閉鎖措置実施について、その空間的規則性を検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1)閉鎖措置実施から得られる学校の流行の開始時期と流行規模には有意な正の空間的自己相関を認めることができる。そのパターンから流行の連動性に都市規模や鉄道路線との関連性がうかがわれた。

(2)都市規模についてみると、流行の早期化に有意な影響が認められ、学校区レベルの流行において階層効果の存在が示唆された。また、中学校において小学校よりも流行が早期に始まる傾向が明らかとなり、この結果は日常生活圏の拡大に起因すると考えられる。

(3)鉄道駅との近接性については、流行の開始時期とともに鉄道駅に近い学校ほど流行規模が大きくなる傾向が認められた。この結果から、地域的流行推移に他地域との人的交流が寄与していることが示唆された。

以上のことから、新型インフルエンザ流行の空間的拡散パターンの地域差は、年齢構成、地域内・地域間の人的交流ネットワークが影響している

と考えられるが、空間的回帰モデルの適合度は必ずしも高くない点に注意が必要である。インフルエンザの感染拡大を導く人的接触機会の地域差について新しい地域指標の提案などを含めた空間的流行モデルのさらなる検討が求められる。

参考文献

- 茨城県保健福祉部予防課・茨城県感染症情報センター（2010）『インフルエンザ患者の発生に伴う学級閉鎖等の措置について』。<<http://www.pref.ibaraki.jp/bukyoku/hoken/yobo/kansen/idwr/information/influenza/index2010.html#heisa>>
- 片岡裕介・浅見泰司・郡山一明（2012）小学校欠席者数にもとづく感染症流行の時空間解析。「GIS理論と応用」，20（2），59-70。
- 国立感染症研究所（2010）『IDWR（感染症発生動向調査週報）』，12（10），10-15。<<http://idsc.nih.go.jp/idwr/kanja/idwr/idwr2010/idwr2010-10.pdf>>
- 杉浦芳夫（1975）名古屋とその隣接地域における“アジアかぜ”の都市間拡散—空間的拡散研究の一実例として。「地理学評論」，18（12），847-867。
- 全国学校データ研究所編（2009）『全国学校総覧2010年版』，原書房。
- 中谷友樹（1994）インフルエンザの時・空間的流行モデル—1988～1989年におけるわが国の流行を事例として。「人文地理学」，46（3），18-37。
- 中谷友樹（2003）空間的共変動分析。杉浦芳夫編『地理空間分析』，朝倉書店，23-48。
- Cliff, A.D., Haggett, P. and Ord, J.K. (1986) *Spatial Aspects of influenza epidemics*. London: Pion.
- Ferguson, N.M., Cumming, D.A.T., Fraser, C., Cajka, J.C., Cooley, P.C. and Burke, D.S. (2006) Strategies for mitigating an influenza pandemic. *Nature*, 442(7), 448-452.
- Morimoto, T. and Ishikawa, H. (2010) Assessment of intervention strategies against a novel influenza epidemic using an individual-based model. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(3), 151-161.