

過疎地域における移動販売情報共有サービスの設計と実現

吉村 大希・有川 正俊・木實 新一・藤田 秀之

Design and development of mobile shops information sharing in rural areas

Taiki YOSHIMURA, Masatoshi ARIKAWA, Shin'ichi KONOMI and Hideyuki FUJITA

Abstract: The problem of food desert was pointed out in rural areas. *Mobile shops* can be considered as one of the effective countermeasures. The framework of the mobile shops themselves is not new, but the number of them is decreasing in these days, particularly in rural areas. We have investigated the actual situation of the mobile shops, and tried to find a sustainable framework of supporting their activity. A information sharing service for a sustainable framework of mobile shops was designed and developed based on the designed map with highly visual communication to the target area of Tsumano-cho, Shimane Prefecture. We have being improved the information sharing service, and aimed at demonstrating its effectiveness by testing in the target area.

Keywords: サステナブルデザイン(sustainable design), ウェブマッピング (web mapping), 買い物弱者問題(food desert problem), 移動販売(mobile shops), 過疎地域(depoulated area)

1. はじめに

日本各地、特に過疎地域では買い物弱者問題の深刻化が指摘されている(農林水産政策研究所, 2012)。これに対し、移動販売は一つの有効な対応策として挙げられる。その形態は古くより存在していたものの、業者の高齢化や行政との連携不足による支援欠如などにより衰退しつつある。近年では行政からの支援を活かした民間企業による移動スーパー(北海道旭川市)や、大手コンビニエンスストアと農協の協業による展開(熊本県)、電気自動車を利用した走行実験(茨城県つくば市)など、社会的制度や民間資本、新技術を活用した買い物弱者問題に対する取り組みが増えている。

本研究は、過疎化の進む島根県津和野町を対象地区に、地域イベント情報や移動販売車の移動計画や移動軌跡をウェブマッピングとして可視化し、視覚伝達性の高い動的表現を用いた情報共有サービスを設計することで、移動販売業者の実態

把握や情報共有の促進、住民への福祉サービスの適切化を図り、その有効性を実証する。

2. 研究の意義と目的

2.1 地図とサステナブルデザイン

津和野町では現在、買い物弱者問題に向けた体制づくりに取り組んでいる。新設される運営組織には各課の担当者だけでなく、商工会やシルバー人材センターも参入し、横断的な施策を進める予定である。

本研究では、地図表現の本質である誇張と省略(森田, 1999; MacEachren, 1995)をウェブマッピングにより実現することで、運営組織や移動販売業者、住民が互いに持続的な関係を築いていくことのできるサステナブルデザインを目的としている。利用側の視点として、求める情報を瞬時にかつ労力を必要とせずに取得できる、エゴセントリックマッピングを用いる。タッチセンサを搭載するタブレットに最適化したユーザインタフェースの設計を行うことで、PC利用よりも直感的な操作が可能となる。管理側の視点では、エゴセントリックマッピングとは対照的な意味を持つ、

吉村大希 〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5
東京大学 空間情報科学研究センター
Phone: 04-7136-4291
E-mail: t.yoshimura@csis.u-tokyo.ac.jp

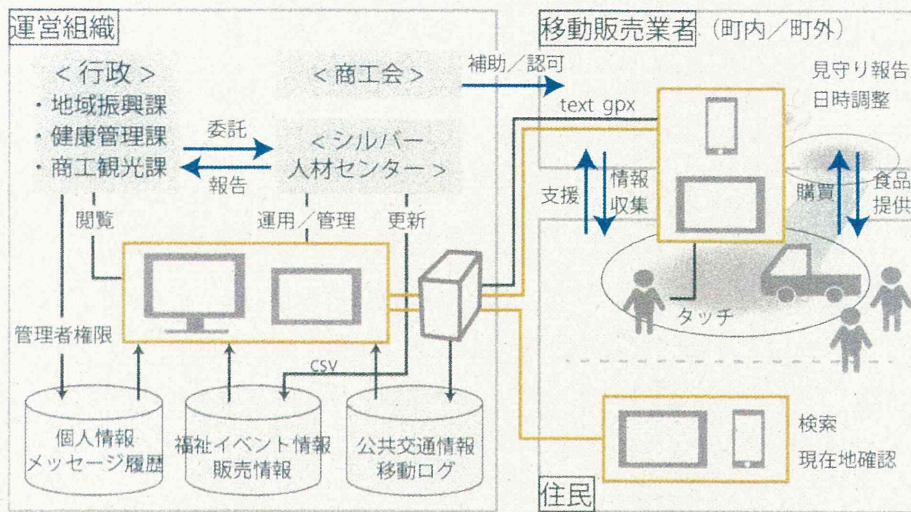


図-1 サービスの全体像とデータフロー

ジオセントリックマッピングを用いる。距離・方向・形状の正確さを持ち、俯瞰的な視点により比較や共有、問題発見が容易である。また、シルバー人材が運営しやすいよう更新作業を単純化することで人材の有効活用を図る。開発環境として、オープンソース・ソフトウェアを活用し、データセットにはOpenStreetMapの利用やライセンスフリーの地図ライブラリを用いることで、コスト削減を目指した。

2.2 動的表現とインタラクション

アニメーションを用いた動的表現は論理的なシステムをユーザに示す(Koblin and Klump, 2005)。移動販売車や公共交通機関、病院バスなどの移動軌跡ログを用いたアニメーションによる可視化を行うことで、モビリティの時空間モデルを作成する。行政にとっては1ヶ月や半年などまとまった単位で閲覧することで、町内外の流動性や時間帯別による交通密度、福祉サービスの不足地域、移動販売車と公共交通機関や福祉系サービスの関連性の発見など、課題発見や施策立案の資料となる。

また、現在地を定期的にアップロードし、リアルタイム性を持たせることで、現在位置とモビリティの時間経過による相対距離の変化が住民にとって興味関心を引き立たせるインタラクションを生み出す。

2.3 支援意思と見守り

買い物弱者は交通手段の欠如により外出行動が不足し、食品購入だけでなく通院回数も少なくなり、病的な問題を抱えがちであることが指摘される(田原 et al, 2003)。問題を解決するための施策やサービス供給は不可欠だが、単なる救済対象やサービスの受動的である必要はない。

地域社会での必要なサービスを多少、経済合理性が伴わなくても住民同士で支援する、“地域で育む”という考え方がある。移動販売においても同様であり、それらが撤退すると住民の生活に支障がでる。業者を「自分たちによって支えている」という支援意思を提示できることは重要である。一方で、定期的な訪問を行う移動販売には、食料品の提供だけでなく、住民に対する見守り機能を担っており、異変を自身の目や周辺住民からの情報提供により認知している。このような住民と業者の関係性を組み込み、行政とも共有できるサービスの開発を行う。

課題として、個人に関する情報、特に個人の弱みに繋がる情報を共有することはプライバシー保護の観点で重要であり、住民にとって自身の情報がいつ取得され、誰に対し、どのような目的でフィードバックされているか、誰がその情報にアクセスできるかという理解が必要である(Carlos Jensen, 2005)。

3. 研究方法

3.1 要求把握

情報共有サービスを開発するにあたり、まずは津和野町役場、移動販売業者、公共公益施設従事者、地域住民にインタビューを行い、現状の主要な課題の抽出を行った(表1)。

表-1 インタビューによる課題の抽出

	課題
行政	<ul style="list-style-type: none"> 卸売業者の撤退による移動販売業者の減少 県からの支援事業の有効利用 町外業者に対する認可の可否 施策や社会実験の有用性 空白地帯の認識
移動販売業者	<ul style="list-style-type: none"> 病院バスや福祉イベントとのパッシング 業者自身の高齢化、後継者問題 冷凍・保冷車の維持管理 他業者との連携方法
公共公益施設従事者	<ul style="list-style-type: none"> 離散集落への対応 世帯あたりの自動車保有率の低さ 話し相手や異性の欠如 コミュニティの場づくりの重要性
住民	<ul style="list-style-type: none"> 業者の突発的な休業への対応 社会実験に対する理解不足

主要な課題を以下にまとめると、

- 異なる主体間での情報共有・連携の不足や欠如
- 行政には問題を視覚的に理解・伝達する手段がなく、住民への施策の説明不足に
- 人口減少により地域経済が成立していないとなり、解決に向けた要件設計を行った結果、3.2以降に示す3機能が必要であると考えた。

3.2 プロトタイプの実装

3.2.1 検索機能

タップやドラッグ&ドロップのみで情報の選択、検索が可能で文字入力する必要はない。既存の公共交通の路線情報だけでなく、民間の病院バスや福祉系のイベント、曜日ごとや店舗ごとの移動販売情報などの情報を構造化し、データベースに格納することで検索性を高めた。

また、必要に応じて背景地図の切替えを可能にした。長年その地域に住む住民など詳細な地図が必要ない場合も一定数あるため、通常地図に加え、図形の単純化やレイアウトの方向や間隔の制約により作成されたデザイン地図を使用や検索結果の自動アニメーションを行うことで、情報の理解容易性を向上させた(図2, 3)。

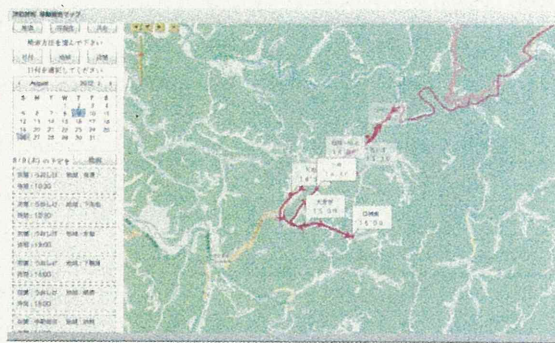


図-2 左の検索欄で条件を設定すると右の地図上で自動ナビゲーションが表示される

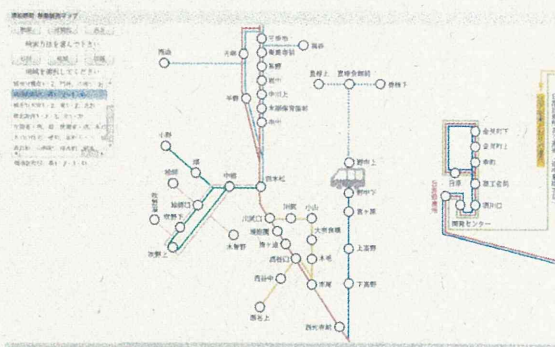


図-3 デフォルメされた地図上で自分位置を画面の中心に据える

3.2.2 可視化機能

車載GPSから位置情報を取得し、サーバへ自動アップロードすることで、現在位置や移動軌跡を可視化できる。過疎地域では、山間部での位置情報の精度が問題となるため、特異点を除外し、空間内挿を行うことで、滑らかなアニメーションを実現した。左リスト欄で知りたいモビリティの対象をチェックすると、単位時間ごとのアニメーションを再生する(図4)。

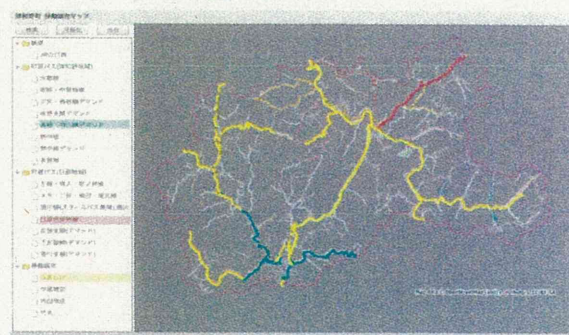


図-4 リストから複数選択すると各モビリティ間の関係性が視覚化できる

3.2.3 共有機能

移動販売業者同士や業者と運営組織内の行政担当者間で情報共有する機能である。移動販売中に住民はタブレットにタッチすることで支援意思を示し、業者はその場での会話中に得た情報や住民への気付きをテキストでその場で記録し、位置情報付き個人に関する情報を3段階（元気・心配・危険）のスタンプでマッピングする。業者間で都合により移動販売できない期間の代替依頼や行政の担当者が詳細な情報提供を求めるときに、ショートメッセージを利用して連絡を取り合う。個人に関する情報を扱うため、業者は認証コードを用いてアクセスできるようにして情報漏洩を防ぐとともに、行政のみが位置情報と個人情報をも寄せることができる枠組みにする。

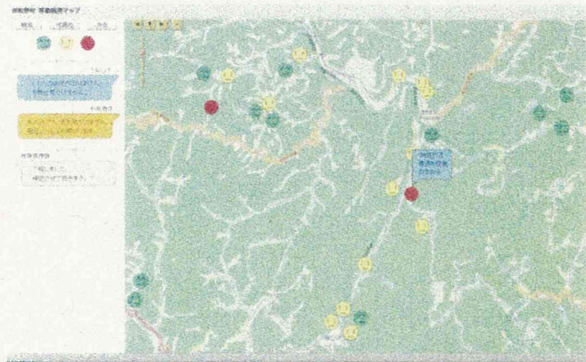


図-5 スタンプによる位置情報付き個人に関する情報のマッピングとショートメッセージのやり取り

4. 評価手法とその計画

以下の手法を用いてプロトタイプの評価を計画している。

4.1. ユーザスタディ

プロトタイプをもとに現地にてユーザスタディを行う。行政の各課担当者や移動販売業者、シルバー人材、住民に各機能を使用しながらタスクの達成を求める。その際の行動や発話を記録・観察によりユーザインタフェースの問題点の分析に役立てる。ログの収集を行うことで、定量的なデータを収集し、ユーザビリティの改善に役立てる。

4.2. 質問調査票

ユーザスタディとともに全体のサービスの概要の説明を行い、プロトタイプの使用前と使用後

で質問調査を行う。ユーザインタフェースの操作性やインタラクションの直感的分かり易さ、発見の誘発の有無などの項目を盛り込み、定性的データを取得することで有用性を検討する。また、個人情報に関して、福祉サービス内容と公開度合いの需給についても調査を行うことで、買い物弱者問題におけるプライバシーの線引きを検証する。

5. おわりに

本研究では、買い物弱者問題という社会的な課題に対して、移動販売情報という比較的データ量が少ない対象にフォーカスし、インタビューで得た情報を基にウェブマッピングサービスのプロトタイプ的设计を行った。今後は4. 評価手法で得られた結果をもとに改善策や要求される機能の実装を行い、ユーザスタディや質問調査を繰り返し行うことでサービスの質の高さを上げていく。単なるアプリケーションの開発にとどまらず、使う組織までデザインすることで、持続可能なサービスになりうると考えており、今後のこの枠組みの体系化を行う。

参考文献

- 農林水産政策研究所 (2012) 食料品アクセスマップ http://www.maff.go.jp/primaff/koho/seika/project/saPurail_1.html
- 森田 喬 (1999) 神の眼 鳥の眼 蟻の眼 - 地図は自分さがしの夢空間, 毎日新聞社.
- Alan M. MacEachren (1995) How Maps Work - Representation, Visualization, and Design, THE GUILFORD PRESS.
- Carlos Jensen (2005) A Structured Analysis Framework for Privacy.
- Aaron Koblin, Valdean Klump (2005) Flight Patterns. in "Beautiful Visualization", Eds. Julie Steele and Noah Iliinsky, O'REILLY.
- 村越 真, 若林芳樹 (2008) GIS と空間認知 - 進化する地図の科学.
- Liqu Meng (2005) Egocentric Design of Map-Based Mobile Services.
- 田原裕子・平井誠点・稲田七海・岩垂雅子・長沼佐枝・西律子・和田康喜 高齢者の地理学-研究動向と今後の課題- (2003)

小学校欠席者数にもとづく感染症流行の時空間解析

—2009年の新型インフルエンザを対象として—

片岡裕介，浅見泰司，郡山一明

2012

GIS—理論と応用

【原著論文】

小学校欠席者数にもとづく感染症流行の時空間解析 - 2009年の新型インフルエンザを対象として -

片岡裕介*・浅見泰司**・郡山一明***

Spatio-temporal analysis of an epidemic on the basis of the numbers of elementary school absentees

- The case of the pandemic influenza A H1N1 in 2009 -

Yusuke KATAOKA*, Yasushi ASAMI**, Kazuaki KOHRIYAMA***

Abstract: This study aims to determine a spatial trend in epidemics by developing an epidemic model using the numbers of elementary school absentees and by conducting a spatio-temporal analysis of the pandemic influenza A H1N1 that occurred in 2009. We model an epidemic considering situations in multiple areas by applying the SIR model. We also set unknown parameters of infectious risks with regard to each inner and outer area and the traffic flow between areas. The parameters are estimated using the numbers of influenza-infected absentees from elementary schools in Sendai City and the numbers of trips, which were acquired through a person trip survey data. This analysis shows that the relationship of the infection risks with the each inner and outer school zone and that the effect of traffic flow between school zones on the infection risk increases roughly in proportion to traffic flow.

Keywords: 感染症 (infectious diseases), 時空間解析 (spatio-temporal analysis), SIRモデル (SIR model), 新型インフルエンザ A (H1N1) (influenza A H1N1), 学校欠席者 (school absentees)

1. はじめに

場所の移動を伴う諸活動が夥しく生み出される社会において、人間どうしによる接触の結果として現れる感染症の流行拡大は、空間的要因が強く影響するとされる地域の流行事象の代表的な例である。健康危機管理の観点からも、感染症による広範囲にわたる被害を抑止するための対策として、流行の時間的推移に加え空間的側面からの状況把握が重要である。近年、季節性インフルエンザや麻疹などの一般的な感染症に加えて、新興感染症のように特性が不明瞭で挙動が把握しづらいものへの危惧もあり、その流行過程を記述する空間分析においては、可能な限り幅広い事象に柔軟に応用し得る基礎的な方法が望まれる。

感染症の流行過程を対象とした数理的研究の歴史は古く、1920年代には感染症数理モデルの近代的基礎と位置付けられる微分方程式モデルが開発された。1980年代以降になると新興・再興感染症の脅威から、流行の予測と効果的な予防のための数理モデル研究が、感染症疫学をはじめとした分野で注目されるようになる(稲葉, 2008)。そのなかで時空間的な流行把握を目的とした、インフルエンザを対象とした感染症流行に関する地理学的研究がおこなわれてきた(Cliff et al., 1986; 中谷, 1994; Smallman-Raynor et al., 2002)。インフルエンザの他にもHIV感染症を対象としてNakaya et al. (2005)は、地理的加重ボアソン回帰法を用いたパラメータ推定による流行モデリングをおこなっており、またViboud et

* 正会員 東京大学大学院医学系研究科公共健康医学専攻健康増進科学分野 (University of Tokyo)
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail: ukataoka@csis.u-tokyo.ac.jp

** 正会員 東京大学空間情報科学研究センター (University of Tokyo)

*** 非会員 救急救命九州研修所 (Emergency Life-Saving Technique Academy of Kyushu)

al. (2006) は重力モデルにもとづく疫学モデルにより、過去30年間のアメリカにおけるインフルエンザの空間的な流行拡大では、地理的な距離よりも通勤に伴う移動の影響がより大きいことを明らかにした。また、2009年の新型インフルエンザの流行以前には、個体ベースモデルを用いた流行シミュレーションによる研究がおこなわれている (Ohkusa and Sugawara, 2007; Mao and Bian, 2010)。

本研究で対象としているインフルエンザの流行を地域集計の時空間データから捉えるにあたり、日本国内においては感染症発生動向調査による定点報告数の集計データが存在する。しかし、保健所管轄人口にもとづいた定点の設置基準を遵守することは困難な現状の下で、定点報告数は異なる地域間の流行状況を比較するに適した資料とはなっていない。(片岡ほか, 2006)。言うまでもなく、流行の空間的推移を捉えるための分析データは、感染者数の母集団が明確で各集計単位で基準化されているものであることが望ましい。

そこで本研究では、小学校の児童欠席状況データを用いた際の感染症流行モデルを構築し、2009年に日本の国内外で流行した新型インフルエンザを対象とした時空間分析をおこなうことにより、感染症の流行過程における空間的傾向を把握することを目的とする。

2. 小学校欠席状況からみた感染症の流行

インフルエンザ流行を分析するにあたり、本研究では宮城県仙台市内の全市立小学校を対象とした、火曜日と金曜日の週2回分の児童欠席者数データを用いる。神垣・押谷(2009)によれば、学校に通学する年齢層の子どもは一般にインフルエンザの罹患率が高いこと、学校では多くの児童どうし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から、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、学校が地域全体の感染拡大に重要な役割を果たしている¹⁾。尾身(2009)においても、児童が学校という狭い空間で長時間を過ごすことが感染蔓延の大きな要因となり得るとされている。つまり、地域のインフルエ

ンザ流行において学校の存在は非常に大きく、また地域全体のインフルエンザの流行状況と学校内のそれとの関連性は強いと考えられる。

小学校の欠席状況を表す児童欠席者数が空間分析のデータとして妥当である理由として、まず欠席者数に対する母集団が小学校の在校児童数として与えられており、他の小学校の欠席状況を加味した流行状況の分析を検討できることがあげられる。さらに、郡山ほか(2008)が指摘した通り、小学校区という明確な領域区分がなされている、年齢調整の必要がない、総数がほぼ一定している、といった地域の流行を反映する集計データとしての適切性もあげられる。特に、後述のSIRモデルのような感染症の数理モデルでは、集団において等しい確率で接触するという仮定が前提となっているが(ギセック, 2006)、データの対象が小学生という特定の年齢層の類似した集団に限られているという点は、現象を再現しようとするモデリングにおいて重要な意味を持つ。また、流行の早期発見を念頭においた際には、各小学校の協力の下で迅速に収集できる可能性が高いことなども、健康危機管理の観点から有利な点である。

以上をふまえ、インフルエンザまたはインフルエンザの疑いと医療機関で診断された児童の欠席状況の変化に着目した、インフルエンザ流行の空間分析をおこなうものとする。

3. SIRモデルによる一地域の流行モデル

感染症の最も基本的な数理的モデルとされるSIR (Susceptible-Infectious-Recovered) モデルによれば、地域内の人口が一定である一地域の流行は次のように説明される。

インフルエンザの流行が、免疫を持たない感受性を有する人と既に感染している人との接触による、新規の感染者の発生により拡大することをふまえ、感受性人口を S 、感染人口を I 、さらに感染後に死亡、もしくは免疫を獲得した人の数である隔離人口を R とする。

まず、地域が外部から隔離された単一のものとして存在し、他の地域の影響を全く受けず全体の人口が常に一定である状況では、時刻 t における感受性

人口 $S(t)$ 、感染人口 $I(t)$ 、隔離人口 $R(t)$ の時間的推移は、感受性者と感染者の接触する機会を均一とした際の感染のリスクを示す接触感染率 β 、および感染者から免疫を持った回復者へ移行する回復率 γ を用いて、以下の微分方程式のように表される(ギセック, 2006)。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot S(t) \cdot I(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma \cdot I(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t), \quad (2)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma \cdot I(t) \quad (3)$$

通常、(1)式より感受性人口 $S(t)$ は、時間の経過に従い単調に減少し、(2)式より感染人口 $I(t)$ は流行の開始から増加を続け、ピークに達した後は単調に減少し流行は終息に向かう。また、(3)式より隔離人口 $R(t)$ は、自身の感染により免疫を獲得する人の数として、時間の経過とともに単調に増加する。

(1)~(3)式は時間離散化により、次のような差分方程式に書き換えられる。

$$\left\{ \begin{array}{l} S(t+1) = S(t) - \beta \cdot S(t) \cdot I(t), \\ I(t+1) = I(t) + \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t), \\ R(t+1) = R(t) + \gamma \cdot I(t) \end{array} \right. \quad (4)$$

$$I(t+1) = I(t) + \beta \cdot S(t) \cdot I(t) - \gamma \cdot I(t), \quad (5)$$

$$R(t+1) = R(t) + \gamma \cdot I(t) \quad (6)$$

モデリングにおける仮定として、 t 時に感染者と接触し感染した感受性者は $(t+1)$ 時には感染者へ、また t 時の感染者は $(t+1)$ 時に一定の割合で回復者へ移行するとしている。本研究の場合では、各時点は週2回の調査日に対応することから、 $(t+1)$ 時は t 時の3~4日後となる²⁾。

上記のSIRモデルは、感受性人口 $S(t)$ 、感染人口 $I(t)$ 、そして隔離人口 $R(t)$ の和が一定である、単一の地域内の流行事象を記述するものであるが、現実にはそれぞれの地域は他の地域と隣接していたり、交通機関などで密に連結されていたりすることで地域間の交流があり、程度の差はあるものの地域それぞれが互いに流行に影響を及ぼし合っている。しかも、小学校区という比較的小さな地域単位で流行を考えるにあたり、もとより感染症が人と人との間の接触によって起こることから、校区の外である他地

域の影響は決して無視できない。そこで次に、一地域におけるSIRモデルを応用し、他地域の影響を考慮した流行モデルを構築する。

4. 他地域を考慮した時空間流行モデル

ここでは、地域外の複数地域の流行状況による影響を考慮した、感染症の時空間流行モデルを構築する。

4. 1. 校区内と校区外の影響のモデル化

小学校区単位でのインフルエンザの流行把握では、児童が学校内の空間をはじめとした校区内で感染するリスクに加え、校区外においても家族などの他者を介した感染や児童どうしの接触による感染のリスクがあり、校区外の流行状況が校区内の流行に及ぼす影響についても考慮する必要がある。ここで校区全体の流行状況については、学校の校区全体に対する感染拡大への影響が大きいことから、小学校内の流行を表す児童欠席状況と、校区全体における流行状況との間に時間的差異が生じていないとする³⁾。つまり校区内、校区外ともに地域全体の流行状況が、小学校の児童欠席状況で表現されているものとする。

校区内の流行に及ぼす校区外の影響とは、異なる校区に居住する人どうしの接触の程度にもよるものであるから、それぞれの校区の感染者に接触するリスクは、校区間の人の移動量に依存すると考えられる。同様に、校区内における移動量についても、校区内に住む人どうしの接触による感染に影響することとなる。

そこで、校区内および校区外の流行状況を考慮したインフルエンザの流行モデリングにあたっては、校区内での場合と校区外の場合におけるそれぞれの影響、および校区間の移動量に関わるパラメータを設定する。なお、用いるデータは、各校区の欠席者数と初期感受性者数、そして各校区間の移動量である。校区間の移動量については、2校区間での人と人の接触の機会を考える際に、校区外の人から校区内の場所を訪れることで生じる接触感染リスクと、校区内の人から校区外の場所を訪れることで生じる接

触感染リスクの両方の場合があることから、校区間の移動量としては移動方向を表す出発と到着の区別をせず、双方向の移動量を合算したものをを用いる。

ここで、校区外のそれぞれの地区の異なる流行状況を適切に反映するためには、モデルにおいて人口規模による調整をおこなう必要がある。そのため、Nakaya et al. (2005) による HIV の流行モデルにしたがって、1 人の感受性者が接触する平均的な人数が一定であるとし、その中に感染者が含まれる割合と感受性人口にもとづいた、校区間の接触感染のモデル化をおこなった。

以上より、各校区の流行の時間的変化が校区内と校区外の影響によるものとしたときに、校区 i において校区内での接触感染リスクに関わる校区内影響パラメータを α_i 、それに対して校区外の流行状況に関わる校区外影響パラメータを β_i 、さらに校区 i と校区 j の間の移動量 F_{ij} に関わる校区間影響パラメータを δ 、先の回復率に対応する回復パラメータを γ 、校区 i の人口を P_i とすると、校区 i の時刻 t における感受性人口 $S_i(t)$ 、感染人口 $I_i(t)$ 、隔離人口 $R_i(t)$ の時間的推移は、(4)～(6) 式をふまえて以下の (7)～(9) 式のように表される。

$$\left\{ \begin{array}{l} S_i(t+1) - S_i(t) = -\alpha_i \cdot F_{ii}^\delta \cdot \frac{S_i(t) \cdot I_i(t)}{P_i} \\ \quad - \beta_i \sum_{j \neq i} F_{ij}^\delta \cdot \frac{S_i(t) \cdot I_j(t)}{P_j}, \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_i(t+1) - I_i(t) = \alpha_i \cdot F_{ii}^\delta \cdot \frac{S_i(t) \cdot I_i(t)}{P_i} \\ \quad + \beta_i \sum_{j \neq i} F_{ij}^\delta \cdot \frac{S_i(t) \cdot I_j(t)}{P_j} - \gamma \cdot I_i(t), \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_i(t+1) - R_i(t) = \gamma \cdot I_i(t) \end{array} \right. \quad (9)$$

(7)～(9) 式における校区内影響パラメータ α_i は、学校内での児童どうしの直接の接触による感染をはじめとした、校区内における接触感染リスクの程度を表している。ここでは、校区内の学校外の場所での児童どうしの接触や、自らの家族をはじめとした他者を介した間接的な接触による接触感染リスクも含まれる。

一方で、校区外影響パラメータ β_i は、他の全ての

校区で共通する影響パラメータであり、移動量に関わる校区間影響パラメータ δ と併せて異なる校区の接触感染リスクを表す。 β_i は校区が異なる児童どうしの直接の接触による感染、および自らの家族をはじめとした他者を介した児童間の感染の両方のリスクを説明している。

感染人口 $I_i(t)$ の増減を表す (8) 式の感受性人口 $S_i(t)$ については、(7) 式および (8) 式より得られる (10) 式から逐次的に得られる。移動量 F_{ij} は校区間の人の移動量を表すデータから既知とする。

$$S_i(t+1) = S_i(t) - I_i(t+1) + I_i(t) - \gamma \cdot I_i(t) \quad (10)$$

また、感染した全ての児童が、さらにインフルエンザを発症し学校欠席者へとは必ずしもならないことに注意し (Iwatsuki-Horimoto et al., 2011)、ここでは感染人口 $I_i(t)$ における一定割合の集団が、最終的に欠席者数 $A_i(t)$ として集計されるものとする。このとき、感染人口に対して欠席者数が占める割合を感染発症パラメータ ε とすれば、上記の (7)～(10) 式における感染人口 $I_i(t)$ は、各調査日の小学校欠席者数 $A_i(t)$ を用いて以下のように表される。

$$I_i(t) = \frac{A_i(t)}{\varepsilon} \quad (11)$$

ここで、各地域の初期の感受性人口である $S_i(0)$ について、例えば季節性インフルエンザのような場合での特定は非常に困難であるものの、新型インフルエンザのような新興感染症においては、全ての人々が流行初期に免疫を持たず感染するリスクを有すると想定できることから、全校生徒数をもって初期の感受性人口に当てることができる⁴⁾。

なお、地域間の接触リスクを前提とした流行モデルを考える上で、本来は分析対象地域外のため欠席状況データが存在しないにも関わらず、地域間の交流により発生する接触リスクの観点から無視できない地域の影響について対処する必要がある。実際に、対象地域外である仙台市外の地域との間の移動量は各校区において占める割合が比較的大きく、市外の地域が流行に一定の影響を与えていると考えられる。そこで、欠席者数のデータがないために流行状況が不明な対象地域外の影響を考慮するために、対

象地域外を仙台市内にある校区とは別の一地域として新たに設定する。そして、全校生徒数に対応する初期の感受性人口と各時点の欠席者数に対応する感染人口については未知のパラメータとして、他のパラメータとともにデータから推定することとした。

4. 2. 校区間の移動量

流行モデルにおける校区間の移動量を表すものとして、本研究では第4回仙台都市圏パーソントリップ調査(2002年実施)の集計データ(以下、PTデータ)を用いる。

PTデータ集計単位として、仙台市内が244ゾーンに分割された中ゾーンを選択することで、欠席状況データの集計単位である125校区に対して十分な精度を保っていると言える。ただ、この中ゾーンの空間範囲は、小学校区とも国勢調査などで用いられる町丁・字等とも一致しないため、まず中ゾーンのポリゴンデータを作成した⁵⁾。ここで、校区間の移動量を求めるにあたっては、PTデータの出発ゾーンおよび到着ゾーンの領域内で、単位面積あたりの移動量は一様に分布しているものとした。これより、各トリップにおける出発地と到着地が含まれるそれぞれの校区に対して重複するゾーンの部分領域が、各ゾーンの領域全体に対して占める面積割合をもって、ゾーン間のトリップ数をそれぞれの校区間に比例配分し、各校区について集計することで校区間の移動量が得られる。

5. 適用事例

本研究における感染症の時空間流行モデルを、仙台市内小学校の欠席状況データに適用し、2009年の新型インフルエンザ流行についての分析をおこなう。

5. 1. 小学校欠席者数

仙台市内の全市立小学校125校⁶⁾を対象とし、2009年8月28日から2009年12月22日までの期間の毎週の火曜日と金曜日の各時点における、インフルエンザを理由とした欠席者数を分析用データとした⁷⁾。学級閉鎖等が実施されたことでインフレン

ザによる欠席者数が不明な学級が発生した調査日については、閉鎖された学級の欠席者数を除いた当日の全校の欠席者数に、前回調査日の当該学級の欠席者数を加えたものを当日の欠席者数として用いた。

図1に、調査対象となった全小学校の欠席者総数の時間的推移を示す。これを見ると、調査が開始された8月末から10月末までは少ない欠席者数で推移し、その後新型インフルエンザの流行拡大により欠席者が急増していることがわかる。また、欠席者数が最多となる11月の流行のピーク以降は、小学校が冬休みに入る12月末までに、上昇前と同程度まで減少している。つまり図1より、新型インフルエンザの流行期が調査期間内に含まれていることが確認できる。欠席者数の時間的推移としては、新型インフルエンザの感染人口が非常に少ない状況から急激に増加し、ピークを迎えた後は終息に向かうという、季節性のインフルエンザなど伝播性の強い感染症と共通する典型的な流行曲線を描いていると言える。

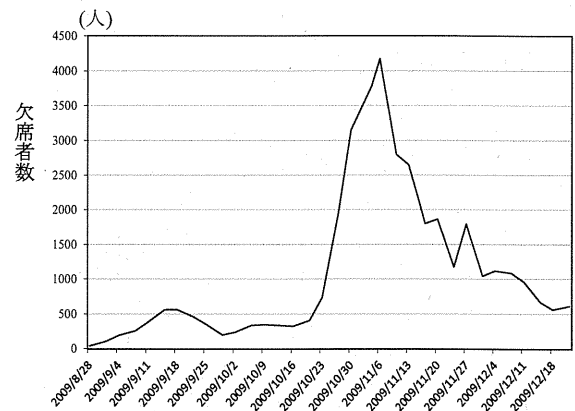


図1 インフルエンザによる欠席者数の推移

なお、欠席調査の実施曜日が火曜と金曜で等間隔となっていないため、以降の分析ではモデルとの整合性を図るために、火曜日の欠席者数を前後の金曜日に対して等間隔となるように日数でそれぞれ比例配分し、その平均値をもって火曜日の欠席者数に置き換えた⁸⁾。

5. 2. 校区間のトリップ数

校区間の移動量を表すPTデータにもとづいた、仙台市中心部付近の校区間の双方向トリップ数の分

布を図2に表す。まず他校区との間の移動量の多さで目を引くのは、市の中心部に位置し仙台駅がある東二番丁小学校区である。当校区に関して、近距離に移動量が多い校区があるとともに、比較的遠距離にも一定以上の移動量がある校区が多いことから、仙台市内全域として人の移動が中心部へ向かって集中している状況が図2から読み取れる。他の校区間を見ても、移動量が比較的多い校区が必ずしも近距離にある校区であるとは限らず、距離的な要因のみで校区間の接触のリスクを説明するには限界があることが理解できる。なお図2は、校区間のトリップ数が1000以上の市内の校区間について扱ったもので、市外の地域との間に存在する移動量については、後の分析では考慮されるものの図中には示されていない。

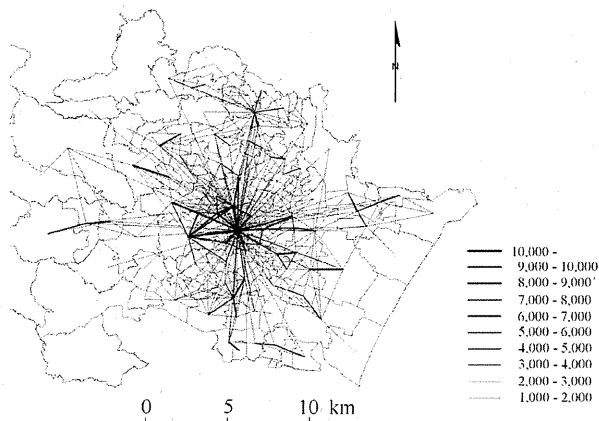


図2 校区間のトリップ数

5. 3. 流行モデルによる各パラメータの推定

感染症の時空間流行モデルより、地域*i*における校区内影響パラメータ $\alpha_i (i=1, 2, \dots, 125)$ および校区外影響パラメータ $\beta_i (i=1, 2, \dots, 125)$ 、回復パラメータ γ 、移動量に関わる校区間影響パラメータ δ 、そして感染発症パラメータ ϵ について、それぞれの小学校の各時点での欠席者数と校区間のトリップ数のデータから、非線形最小二乗問題として推定する⁹⁾。同時に、対象地域外に関しては初期感受性人口 $S_{out}(0)$ 、および時刻*t*における対象地域外の感染人口 $I_{out}(t) (t=1, 2, \dots, 33)$ を求める。

パラメータ推定に用いたデータは先述の通り、調

査期間内の34時点の各小学校の欠席者数、PTデータにもとづく校区間の双方向の合計トリップ数、そして初期感受性人口となる各小学校の全校生徒数である。全校生徒数については、9月から12月までの各月の月初めの生徒数の平均値としている。ここで、校区間を跨いで流行に影響するとされる他校区について考慮する際に、各校区における全トリップ数に対して占める割合が1%以下である校区については、校区間の接触のリスクが十分小さく、流行に及ぼす影響が全体からみて極めて限られるものとして除外した。これにより、流行に影響するとされる他校区は、それぞれの校区において20校区程度となる。この条件を満たし計算に用いられた、全校区間のトリップ数の頻度分布を図3に示す。なお、図3には市外地域との間のトリップも含まれている。図3では、校区間の移動量は少ないものから多いものまで広範囲にわたって分布しており、概して移動量が多い校区間であるほどその数は減少している。

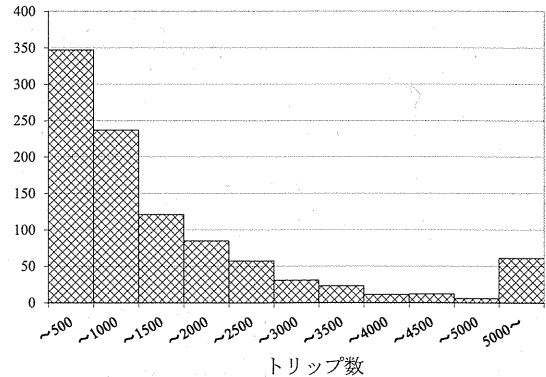


図3 校区間のトリップ数の頻度分布

各校区の校区内および校区外の影響パラメータの推定値は非負とし、負の値として求めた値があれば、これらが少なくとも流行を拡大させる方向に積極的に作用しないものと考え、該当するパラメータを0に置き換えて全体の再計算をおこなうことで、最終的なパラメータの推定値を得た¹⁰⁾。

欠席者数データが存在する対象地域に関わる各パラメータの推定結果として、図4に各校区の校区内および校区外の影響パラメータである α_i および β_i の分布を両対数で示す。ただし、1回目のパラメータ

計算において負の値として得られ、 α_i あるいは β_i が0となっている校区については表されていない。

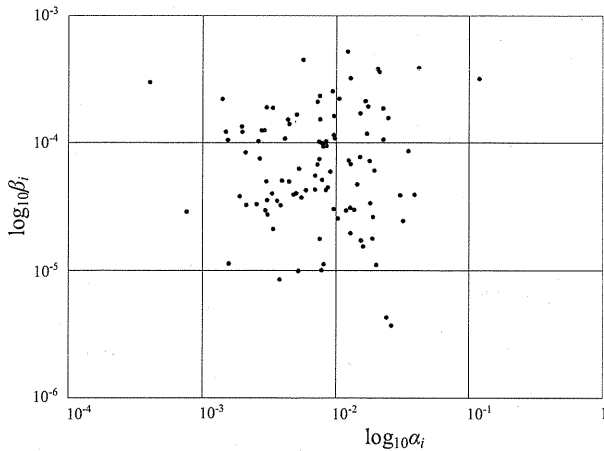


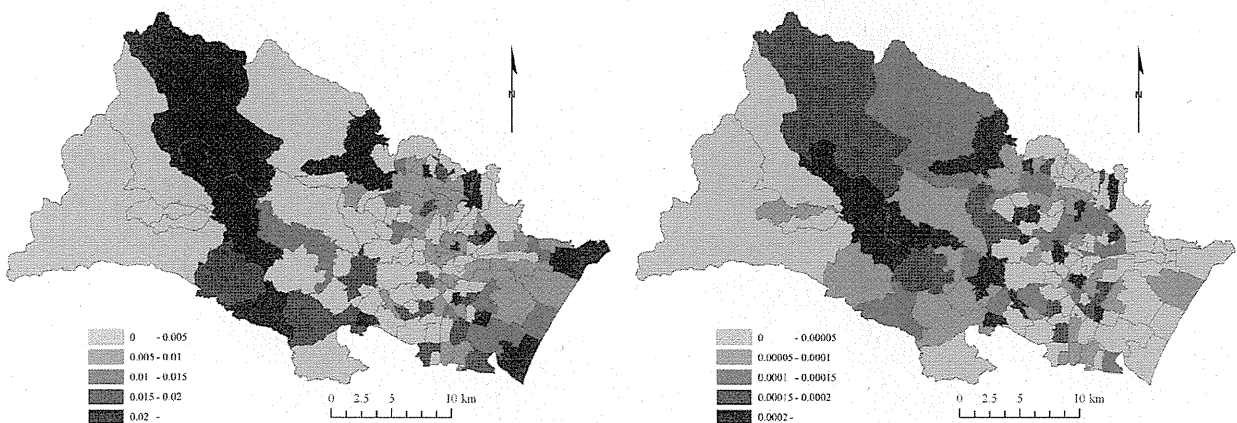
図4 校区内および校区外影響パラメータの推定値

図4で、単純にパラメータの数値をもって α_i と β_i を比較すると、校区内における接触感染リスクである α_i の方がかなり高くなっている。 β_i の推定値が α_i と比較して小さい理由として、校区内の場合と異なり通常の学校内での児童どうしの直接の接触の機会がないことがまずあげられる。さらに、校区間の接触の場合、塾や習い事など校区外の場での校区が異なる児童どうしの直接の接触の機会が存在するものの、近隣地域のみならず市全体のスケールで考えたときに、児童以外の移動行動が活発な他者を介した間接的な接触によるものが大きいと考えられる。そのため、他者を介することにより生じる接触までの

時間的な差が作用して、校区外の影響が小さいという結果が導かれることなどが考えられる。しかし、各校区の欠席者数の増加分への寄与で校区内と校区外の影響をみれば、1つの自校区に対して他校区は20程度あることから、全体として校区外の影響は決して小さくない。なお、図4の α_i と β_i の分布からも推察されるが、 α_i と β_i のそれぞれの対数の間の相関係数はほぼ0で相関の傾向は見出せず、例えば校区内の影響が小さい場合は校区外の影響が大きいなどの、校区ごとでみた両者の関連性はうかがえなかった。

また、全ての他校区との総トリップ数でみると、各校区において校区外パラメータと移動量との間の相関はほぼ見られなかったことから、 β_i は移動による人どうしの接触によらない校区外の影響を代表していると考えられる。

図5は、 α_i と β_i の推定値の空間分布を示したものとなる。 α_i の値が特に大きな校区が広範囲にわたって分布している一方で、 α_i と全校生徒数の相関係数は-0.321であり、全体としてやや負の相関がうかがえる。なかでも、市周縁部の全校生徒数が非常に少ない小学校区に、比較的多い傾向が見られる。この理由として、小学校区が地域単位として比較的小さいことから、生徒数が特に少ない校区では欠席者数の変動が不安定になりがちであるため、 α_i の値が特に大きい校区が発生したことが考えられる。実際に、同じく生徒数が特に少ない校区には、 α_i の値が特に



(a) 校区内影響パラメータ (α_i)

(b) 校区外影響パラメータ (β_i)

図5 校区内および校区外影響パラメータの推定値の空間分布

小さい校区も存在している。

α_i , β_i ともに、値が特に大きな校区が、空間的に集積しているような特徴は見られない。同様に、値が特に小さい、もしくは0となった校区についても、全校生徒数や他校区との移動量の観点から共通した特徴はうかがえなかった。

移動量に関わる校区間パラメータ δ について、 δ の推定値を用いた、校区間のトリップ数 F_{ij} に伴う、感染への影響度の変化を図6に示す。図6のグラフの関数型から、校区間の移動量の増加に伴って、感染への影響はほぼ一定の割合で増加している。これより、どの校区間においても感染拡大時では移動量の増加に注意する必要があると言える。

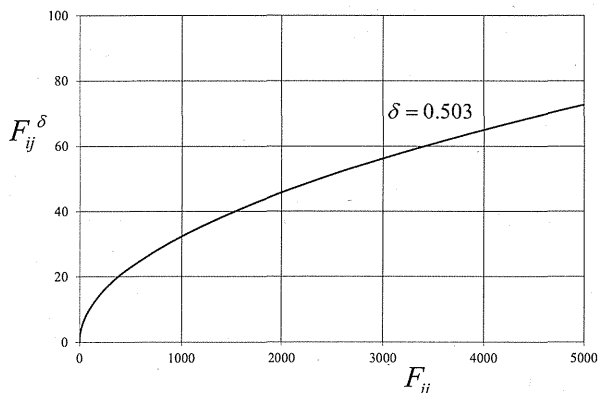


図6 校区間のトリップ数に伴う影響度の変化

なお、移動量にパーソントリップ調査データを用いることの課題として、欠席者数データの調査日の間隔について、一方の期間にのみ休日を含むという事情がある。このとき、児童のように平日と休日では行動パターンが大きく異なる場合、実際には校区内の感染における移動量が及ぼす影響が、それぞれの期間によって異なると考えられ、移動量としてパーソントリップ調査データを用いることに限界がある。小学校内での感染リスクと移動量との関連性をみるのが困難であるものの、 α_i の推定値が β_i のものと比較して大きいという分析結果からは、校区内での接触感染の状況が、一地域の感染リスクとして設定した校区内影響パラメータに、大きく依存しているものと理解される。しかし、モデルにおいて移動量を考慮するにあたっては、可能であれば休日を

含めた接触機会がそれぞれの間隔で等しくなるような設定が望ましい。その対処として、本研究では検討してはいないが、移動量を表すものとしてパーソントリップ調査データのみではなく、地域間の距離的要素、隣接関係や交通機関による接続関係など、空間的な近接性を加味したモデルの拡張についても検討することも重要であると言える。

回復パラメータ γ について、 $\gamma=0.597$ という推定値が得られたことは、感染した1時点後に約6割の児童が学校に復帰していることを意味している。また、感染発症パラメータ ε の推定値は $\varepsilon=0.452$ となり、感染した半数程度の児童が発症して欠席したことを意味している。ただ、小学校の調査日全体の欠席者数が全校生徒数に占める割合も半数程度あることから、この結果は、既に回復したものの学級閉鎖のために欠席として扱われた児童により、欠席者数データが過分に集計されている可能性を示唆している。

欠席者数データが存在しない対象地域外における、初期感受性数と各時点の欠席者数の推定値の結果については、図1に対応した欠席者数の変化の傾向が少々見られるものの、この地域については不明瞭な母集団をもつ不特定の地域でもあり、本研究においては他のパラメータ推定のための便宜上に設定されたものと位置付けられることから、これらの推定値の吟味に大きな意義はないと判断した。

最後に、モデルを用いた分析結果の評価として、モデルより得られた欠席者数の推定量と、実際の欠席者数との間の適合度について考察をおこなう。適合度を示す指標として、各小学校において両者の相関係数を求め、その頻度分布を図7に示す。全小学校の7割以上で相関係数が0.6以上である結果から、多くの小学校で欠席者数の理論値と観測値の関連性が強いことを示している。

さらに、相関係数の値から適合度が特に高いグループとして上位4校を、適合度が特に低いグループとして下位4校を抽出し、それぞれについて欠席者数の理論値と観測値による流行曲線を描いたものを図8に示す。図8から、適合度が高いグループでは、理論値と観測値が視覚的にもよく一致している、あるいは両者に多少の乖離があるものの推移のパター

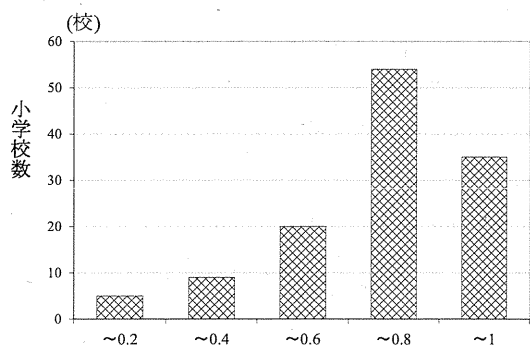


図7 欠席者数の理論値と観測値の相関係数の頻度分布

ンがよく類似していると言える。その一方で適合度が低いグループについては、全校生徒数が非常に少ない小学校が3校含まれていることから、欠席者が不安定に推移しがちな小規模校において、モデルによる結果の信頼性が低いことが確認できる。

全体的な傾向として、適合度が低いものについては、欠席者数が急激に増加した時期に両者の乖離が大きくなる傾向がみられ、この理由としては、影響のある小学校を20校程度に限定して計算したことに加えて、データの無い市外の小学校の影響を十分に捉えきれていなかったことがあげられる。ただ、理論値は概して観測値を下回る傾向が示されていることから、先述の通り既に回復して欠席する必要のなかった児童が、学級閉鎖により欠席者数として集計されている事情による影響が疑われ、そのような状況で閉鎖学級数が急激に増加した期間において

は、モデルによる理論値との乖離が生じ、適合度が低くなるという結果を導いたことも考え得る。

6. おわりに

本研究では、地域内と地域外の流行状況を考慮した感染症の流行過程を記述するモデルを構築し、新型インフルエンザを対象として小学校の児童欠席状況データを用いた時空間分析をおこなった。分析の結果として、各校区における校区内と校区外の影響の関係性や両者の地理的分布、そして校区間の移動量の増加に伴って感染への影響は同程度の割合で増加することなどが示された。

本研究のモデルでは、各地域の感染者数から感染リスクを推定するというアプローチをとっており、それらのパラメータに関して特定の感染症を想定した設定をおこなっていない。言うまでもなく、流行推移の正確な把握において疾病の特性を加味することは重要ではあるが、現実には毎年流行していた季節性のインフルエンザであっても、1人の感染者から平均して何人に感染が発生するかを示す基本再生産数¹¹⁾などの適切な設定は困難である。そのため、本研究で対象とした新型インフルエンザのような特に動態が明らかではない感染症をはじめとして、情報が少ない未知の健康危機の流行把握に有効性の高いモデルとなっている。

危機対応という観点からは小学校欠席者数は、医

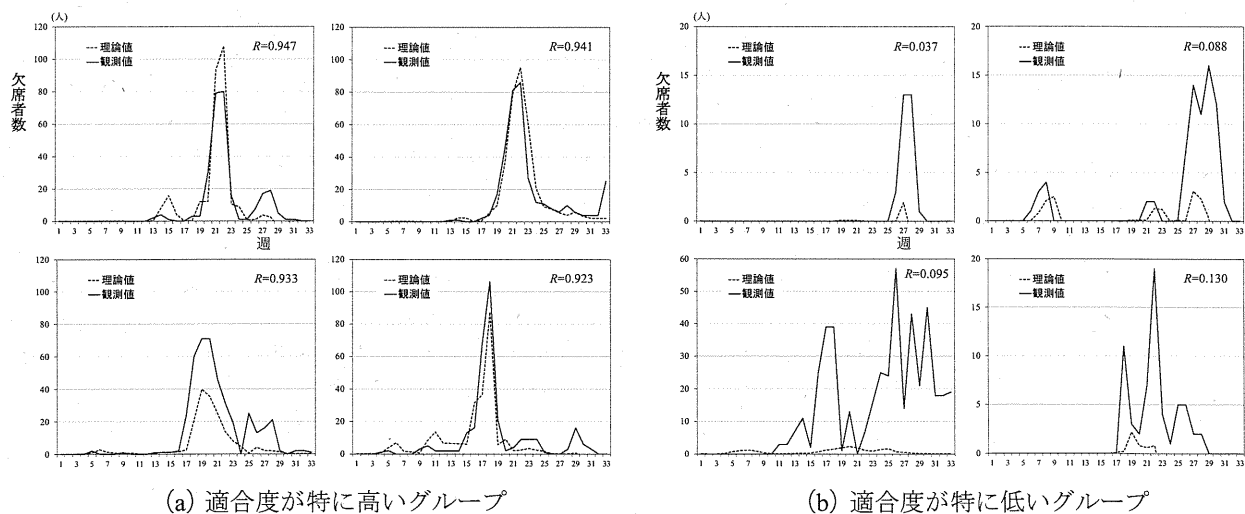


図8 欠席者数の理論値と観測値による流行曲線の比較

療機関による診断とは異なり欠席理由を限定しない形式が一般的であり、インフルエンザに限らず全ての病欠を集計する性質の調査であることから、状況が不明瞭な健康危機にも対応可能な柔軟性がある。さらには、流行状況の視覚化といった有意義な情報の伝達なども視野に入れた、緊急時での空間情報としての有効活用の可能性も期待できる。ただ、流行している事象が単一ではなく、複数の事象が時を同じくして発生している場合では、当然ながら個々の欠席者がいずれの事象によるものかの判別が要求されることにも留意しておかねばならない。

本研究の課題としては、以下の点があげられる。第一に、本研究で対象とした新型インフルエンザのような新興感染症の場合とは異なり、地域で既に免疫をもっている人たちの存在が無視できない場合には、感受性人口が既知の母集団で容易に代替できないため、新たに対処が必要となる。第二に、分析に用いられた欠席者数に関して、小学校における学級閉鎖等の措置は、欠席児童が多数にのぼる通常の場合に加えて、危険性が高い感染症の流行拡大を抑止することを目的として、流行初期に実施される場合も有り得ることである。その場合は当然ながら、各小学校の欠席状況が地域の流行状況を反映しておらず注意を要する。

今後の研究の方向性としては、複数年度の小学校欠席状況データを用いることで、感染症流行においてどのような空間的要因が影響しているのかについて考察することがあげられる。

謝辞

本研究をおこなうにあたり、国立保健医療科学院技術評価部高橋邦彦主任研究官より貴重なコメントを頂戴した。本研究は、厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)「健康危機事象の早期探知システムの開発・普及に関する研究」(代表:浅見泰司)の支援を受けた。また、仙台市衛生研究所より欠席状況調査のデータを、仙台市都市整備局より仙台都市圏パーソントリップ調査のデータを提供いただいた。ならびに、東京大学空間情報科学研究センターの研究用空間データ利用を伴

う共同研究として、「ZmapTownII (shape版) 宮城県データセット」を利用した。最後に、複数の匿名の査読者より多くの有益な御指摘を頂戴した。

記して謝意を表する。

注

- 1) 神垣太郎, 押谷仁 (2009) 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. < http://www.mext.go.jp/a_menu/influtaisaku/syousai/_icsFiles/afldfile/2009/09/28/1285232_3.pdf>.
- 2) 高橋ほか (2009) では、新型インフルエンザの潜伏期は1~7日(中央値3~4日)、感染可能期間は症状発症1日から症状発症後5~7日程度(小児では10日程度)とされている。
- 3) 太田ほか (2009) によれば、本研究で使用した欠席者数を全校生徒数で除した欠席率と、仙台市の感染症発生動向調査における1医療機関当たりのインフルエンザ罹患患者数との間に、強い正の相関が認められることが確認されている。
- 4) 厳密に言えば、初期の感受性人口として、インフルエンザ以外の理由による欠席者数を全校生徒数から除いたものを用いるべきではあるが、インフルエンザ以外の欠席者数の収集が困難であることから、分析においては全校生徒数を用いた。
- 5) 中ゾーンの大部分は、国勢調査の町丁・字等境界データに対して階層関係の上位にあるため、町丁・字等境界データにもとづいて中ゾーンの空間データを作成した。人口が少ない周縁部の一部地域において、実際の中ゾーンと境界が一致せず隣接する他のゾーンへ統合したものが一部存在するが、本分析に影響する程度のものではない。
- 6) 125校の中には分校1校を含む。
- 7) 当期間の調査実施回数は全32回であるが、その他に学校が休日の2日分についても、前後の調査日のデータの平均値を用いることで、全34回分のデータとして分析に用いている。また、調査回数の中には祝日に重なったため、前後の

日に調査日を振り替えたものが1回分ある。週2回の頻度については、例年の調査現場における負担などを考慮したものであり、可能な限り祝日を避けるために火曜日と金曜日が調査日とされている。

- 8) 調査日の間隔に休日を含む期間と含まない期間が存在することから、本来は児童の接触機会の差異による影響についても考慮することが望ましい。本研究においては、図1の欠席者数の時間的推移から、一方の期間が他方と比較して異なる特徴が特に見出せなかったこともあり、間隔日数の違いによる影響を重視したデータの補正をおこなった。
- 9) 計算にあたってはMATLAB OptimizationToolboxを使用し、最適化計算のアルゴリズムはtrust-region reflective法で、解の変位が既定の許容誤差(1.0×10^{-6})より小さくなった時点で計算が終了される。なお、初期値はそれぞれ、 $\alpha_i(i=1, 2, \dots, 125)$ は0.01, $\beta_i(i=1, 2, \dots, 125)$ は0.0001, γ および ε は0.5, δ は0.1, $S_{out}(0)$ は100000, $I_{out}(t)(t=1, 2, \dots, 33)$ は10とした。
- 10) 初期値をはじめとして1回目と同じ条件下でおこなった2回目の計算の結果、再計算された全パラメータにおいて1回目で得られた推定値とほぼ同じ値が得られている。
- 11) 基本再生産数 R_0 は(2)式の β および γ を用いて、 $R_0=\beta/\gamma$ で表される(ギセック, 2006)。

参考文献

稲葉寿(2008)『感染症の数理モデル』, 培風館。
太田博, 矢崎さくら, 嶋崎順子, 吉田菊喜(2009) 学童欠席率を用いたインフルエンザ流行状況の迅速な把握について(平成21年度)。「仙台市衛生研究所報」, **39**, 45-56。
尾身茂(2009) 新型インフルエンザ—公衆衛生的観点から—。「日本公衆衛生雑誌」, **56**(7), 439-445。
片岡裕介, 浅見泰司, 多田有希, 小坂健(2006) 地域間比較のためのリスク人口の推定方法—インフルエンザ定点報告数に関する分析—。「GIS—理論と応用」, **14**(2), 11-18。

郡山一明, 片岡裕介, 竹中ゆかり, 浅見泰司, 高橋邦彦, 丹後俊郎(2008) 健康危機管理と小学校欠席状況サーベイランス。「保健医療科学」, **57**(2), 130-136。
高橋亮太, 関なおみ, 梅田珠実(2009) 我が国の新型インフルエンザの発生に係る対応と課題。「保健医療科学」, **58**(3), 201-206。

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」, **46**, 254-273。

ギセック, J.著, 山本太郎, 門司和彦訳(2006)『感染症疫学—感染性の計測・数学モデル・流行の構造』, 昭和堂。

Cliff, A.D., Haggett, P. and Ord, J.K. (1986) *Spatial Aspects of influenza epidemics*. London: Pion.

Mao, L. and Ling Bian, L. (2010) Spatial-temporal transmission of influenza and its health risks in an urbanized area. *Computers, Environment and Urban Systems*, **34**, 204-215.

Iwatsuki-Horimoto, K., Horimoto T., Tamura D., Kiso M., Kawakami E., Hatakeyama S., Ebihara Y., Koibuchi T., Fujii T., Takahashi K., Shimojima M., Sakai-Tagawa Y., Ito M., Sakabe S., Iwasa A., Takahashi K., Ishii T., Gorai T., Tsuji K., Iwamoto A. and Kawaoka Y. (2011) Sero-prevalence of pandemic 2009 (H1N1) influenza A virus among schoolchildren and their parents in Tokyo, Japan. *Clinical and Vaccine Immunology*, **18**(5), 860-866.

Nakaya, T., Nakase, K and Osaka, K. (2005) Spatio-temporal modelling of the HIV Epidemic in Japan based on the national HIV/AIDS surveillance. *Journal of Geographical Systems*, **7**, 313-336.

Ohkusa, Y. and Sugawara, T. (2007) Application of an individual-based model with real data for transportation mode and location to pandemic influenza. *Journal of Infection and Chemotherapy*, **13**, 380-389.

Smallman-Raynor M., Johnson N. and Cliff A.D. (2002) The spatial anatomy of an epidemic: influenza in London and the county boroughs of England and Wales, 1918–1919. *Transactions of the Institute of British Geographers*, **27**(4), 452-470.

Viboud, C., Bjørnstad, O.N., Smith, D.L., Simonsen,

L., Miller, M.A. and Grenfell, B.T. (2006) Synchrony, Waves, and Spatial Hierarchies in the Spread of Influenza. *Science*, **312**(5772), 447-451.

(2012年1月26日原稿受理, 2012年8月29日採用決定, 2012年11月9日デジタルライブラリ掲載)

