

現. 地理情報システム学会 第 21 回
研究発表大会, 広島修道大学, 2012
年 10 月 13-14 日, CD-ROM 論文集.

- [9] Lu Min, 有川正俊, 2012. イラスト
地図・GPS 連動モバイル鑑賞・編集
ツール『漫步』. CSIS DAYS 2012,
ライトニングトーク, 2012 年 11 月
2-3 日.
- [10] 有川正俊, 浅見泰司, 相良毅, 2012.
ウェブ空間ドキュメント管理共有サ
ービス WebSDMSS. CSIS DAYS
2012, ライトニングトーク, 2012 年
11 月 2-3 日.
- [11] 有川正俊, 2012. エゴセントリック
マップの技術と応用. 進化する地図
の科学と技術 (全 4 回), 首都大学東
京, オープンユニバーシティ, 飯田
橋キャンパス, 東京区政会館 3 階,
2012 年 11 月 7 日.
- [12] 有川正俊, 2012. 空間情報科学に関
わる最先端技術. 平成 24 年度専門課
程先端地理空間情報技術 [位置計測],
国土交通省 国土交通大学校, 平成
24 年 11 月 26 日.

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

謝辞

WebSDMSS は、CMS である NetCommons2
をプラットフォームとして使わせていただ
いている。NetCommons2 の利用に関しては、

NetCommons プロジェクト代表の新井紀子
教授 (国立情報学研究所) からご支援をい
ただき、本研究に関して貴重なアドバイ
スをいただいております。また、
北本朝展准教授 (国立情報学研究所) が開
発した地名語抽出ライブラリをジオパー
ジのエンジンとして利用させていただ
いております、感謝いたします。

アドレスマッチング処理の一部では、国
土交通省 国土計画局 国土情報整備室が
提供している「街区レベル位置参照情報」
を利用させていただいている。背景地図は、
Google 社の Google Maps を利用させてい
ただいている。

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）
分担研究報告書

健康危機事象の早期探知システムのための地域情報分析方法の検討

研究代表者 浅見 泰司 東京大学空間情報科学研究センター教授
研究協力者 片岡 裕介 東京大学大学院医学系研究科特任研究員

研究要旨

健康危機事象の早期探知が可能なシステムを支援する地域情報分析の開発に向けて、感染症流行モデルを構築し、2009年の新型インフルエンザを対象とした時空間分析をおこなった。モデル化においては複数地域の流行状況を考慮し、各校区について校区内および校区外のそれぞれの影響、そして校区間の人移動の影響による感染リスクのパラメータを設定した。小学校欠席状況データを用いた分析の結果から、各校区において校区内と校区外の影響の関係性などが示された。

A. 研究目的

健康危機管理において、地理的、空間的な側面からの危機的事象の把握は、被害の拡大抑止の面から必要不可欠である。新興感染症の流行や汚染物質の拡散といった最近の例を見ても、健康危機に関わる現象の空間的把握に向けた課題は少なくない。

通常、地域情報の処理、分析に有効なシステムとしてGIS（地理情報システム）があるが、危機状況把握の現場でGISが導入され、利用可能であることが前提となっていないのが現状である。また、通常GISを用いた分析においては、システムに組み込まれている空間分析機能の中から、状況に応じて適切な分析方法を選択する作業が必要であり、さらに対策を講じる上では分析結果の意義を解釈し、評価する知識が要求される。このような状況の中、迅速かつ精確な危機情報管理に向けては、健康危機事象の早期探知が可能なシステムを支援する、空間的傾向を捉えるための地域情報分析が有効である。

本研究では、地域情報分析方法の開発および実データを用いた適用により、健康危機事象の早期探知システムに有効な構築環境を用意することを目的としている。宮城県仙台市の小学校欠席状況調査データを用いた、2009年の新型インフルエンザを対象として、流行

モデルによる分析から結果を導いた。

B. 研究方法

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。

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）。

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

$$(2)$$

$$(3)$$

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。

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

$$(5)$$

$$(6)$$

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。

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。

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。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、校区外の人々が校区内の場所を訪れることで生じる接触感染リスクと、校区内の人々が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．

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

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

$$R_i(t+1) - R_i(t) = \gamma \cdot I_i(t) \quad (9)$$

(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．

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．

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。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。

C. 研究結果

仙台市内の全市立小学校125校を対象とし、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。学級閉鎖等が実施されたことでインフルエ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。これをみると、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。

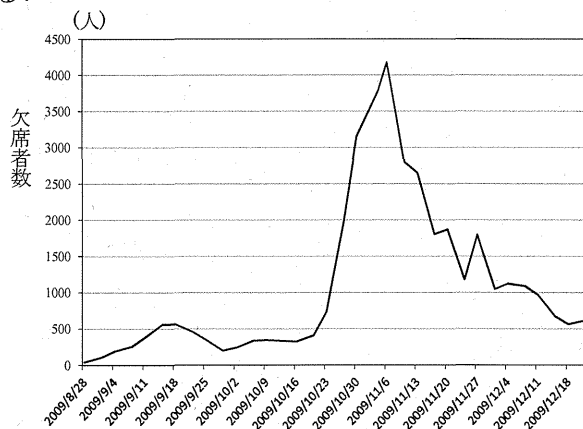


図1 インフルエンザによる欠席者数の推移

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。

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。

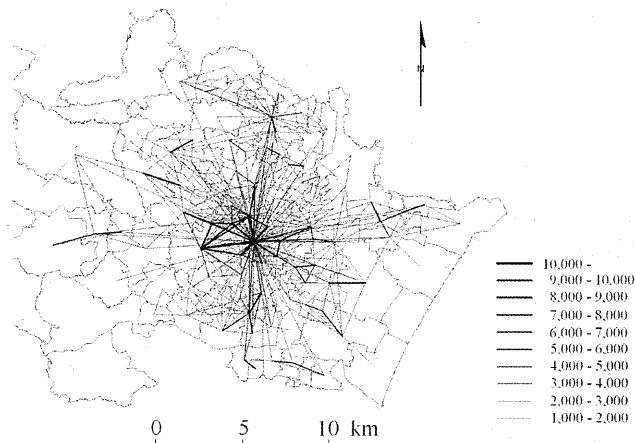


図2 校区間のトリップ数

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 α_i ($i=1, 2, \dots, 125$) および校区外影響パラメータ β_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。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、校区域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。

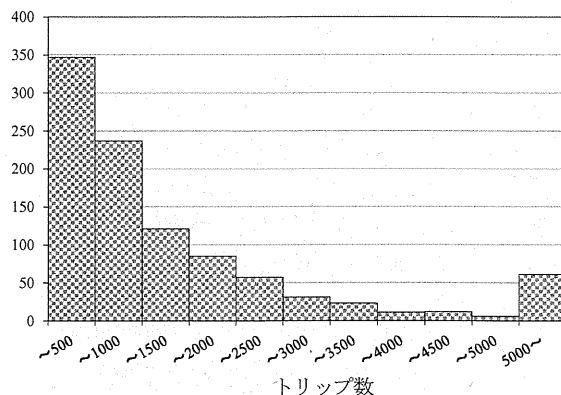


図3 校区間のトリップ数の頻度分布

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。

欠席者数データが存在する対象地域に関す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。

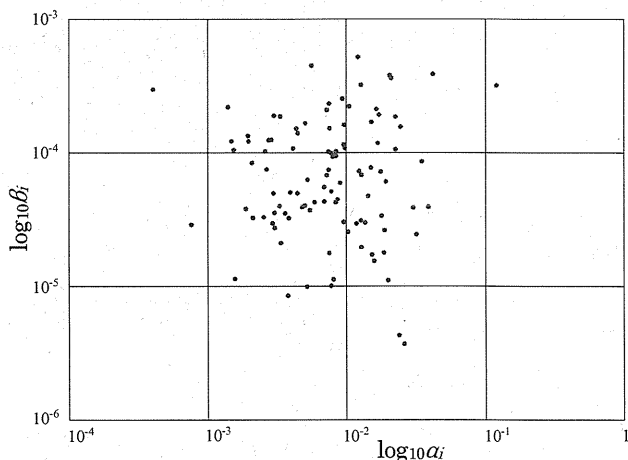


図4 校区内、校区外影響パラメータの推定値

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。

また、全ての他校区との総トリップ数で見ると、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。

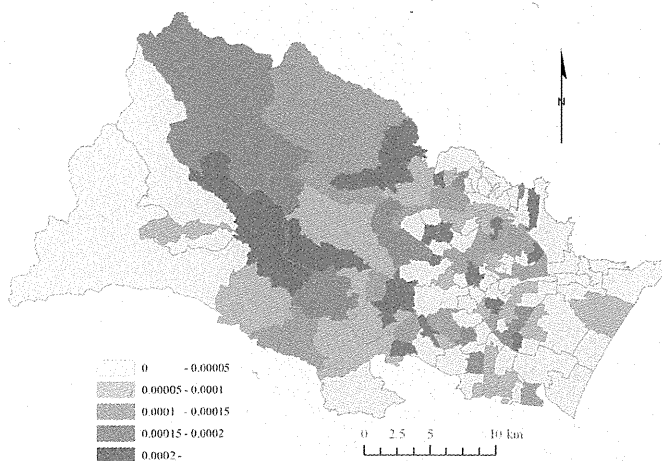


図5(a) 校区内影響パラメータ (α_i) の推定値の空間分布

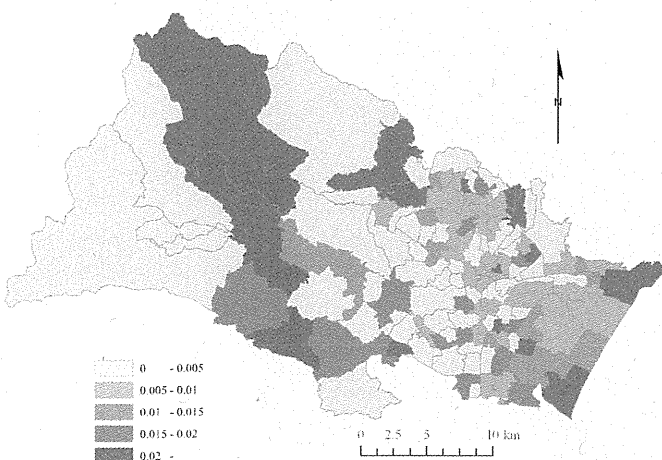


図5(b) 校区外影響パラメータ (β_i) の推定値の空間分布

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 の値が特に小さい校区も存在している。

α_i , β_i とともに、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。

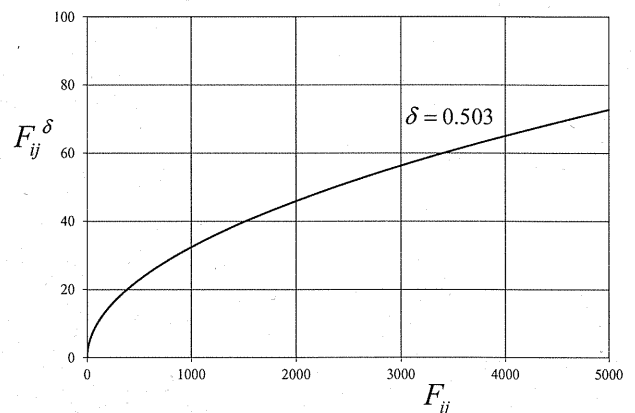


図6 校区間のトリップ数に伴う影響度の変化

D. 考察

校区外影響パラメータ β_i の推定値が校区内影響パラメータ 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で関連の傾向は見出せず、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。

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。

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。

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。

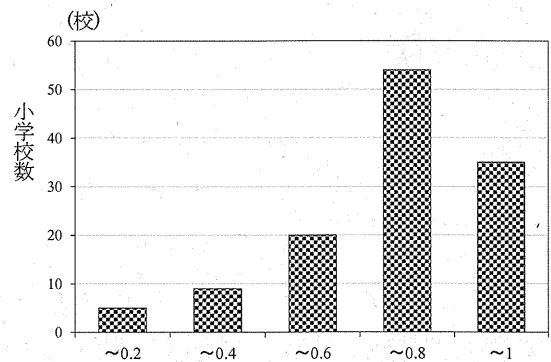


図7 欠席者数の理論値と観測値の相関係数の頻度分布

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。

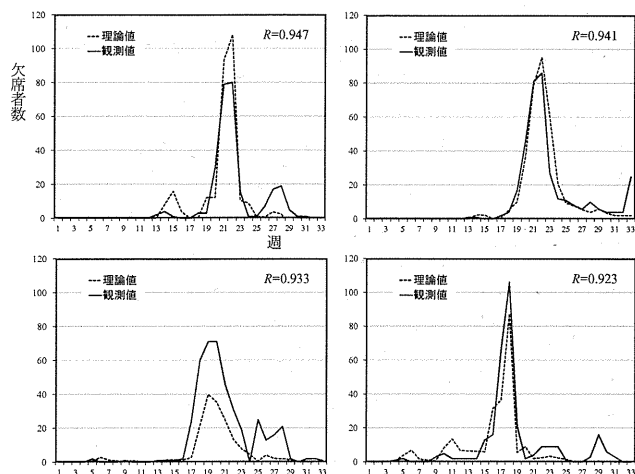


図 8(a) 理論値と観測値による流行曲線の比較 (適合度が高いグループ)

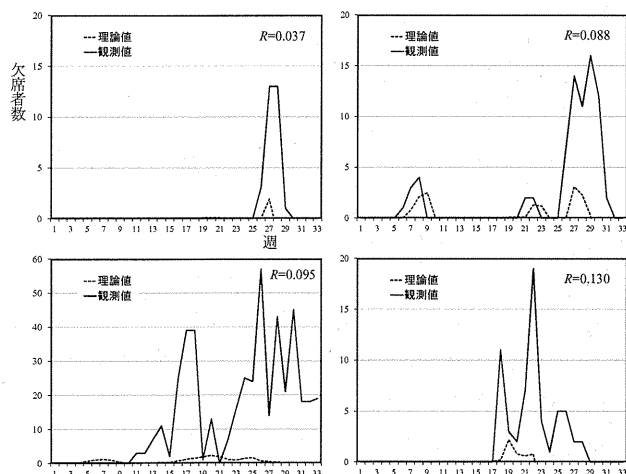


図 8(b) 理論値と観測値による流行曲線の比較 (適合度が低いグループ)

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、データのな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。

危機対応という観点からは小学校欠席者数は、医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には、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。

E. 結論

本分析の結果として、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。

本研究のモデルは、感染リスク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ため、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対して有効性が高い。

F. 研究発表

1. 論文発表

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 -2009年の新型インフルエンザを対象として-」『GIS-理論と応用』20(2), 59-70.

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

特になし

謝辞

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、以下のデータを利用した。

(株)ゼンリン提供：ZmapTownII (shape 版)
宮城県 データセット

また、仙台市都市整備局より、第4回仙台都市圏パーソントリップ調査（2002年実施）のデータを提供いただいた。

記して謝意を表する。

参考文献

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.

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) Seroprevalence 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.

健康危機管理における空間情報の有用性と施策への反映

— 新興感染症、緊急被ばく医療チーム活動ガイド —

研究分担者 郡山 一明 救急救命九州研修所教授

研究要旨

健康危機管理における空間情報の有用性を明らかにした。2009年の新型インフルエンザと2011年の福島第一発電所事故を対象に選んだ。感染症が地域において拡大するか否かは、感染症の原因となる病原微生物の感染力を β とし、感染者が単位時間あたりに非感染者と接触する割合を κ 、感染症が他者に感染しえる期間を D 、とした場合、 $\beta \times \kappa \times D$ で表される再生産係数 R_0 によって評価される。この再生産係数 R_0 を可視化できれば、新興感染症に地域拡大状況の評価が早くできるようになると考えられる。2009年の新型インフルエンザデータを用いてこれを検討した。その結果、小中学校の在籍者状況の上に、感染症発生時の欠席状況それぞれを、空間補間方法を用いて面データに変更し重ねることで、再生産係数 R_0 を可視化できると考えられた。緊急被ばく医療については、原子力発電所立地地域以外の地域における緊急被ばく医療チームの活動ガイドを作成した。本ガイドを用いることで、活動に必要な情報が整理できると共に自治体が提供すべき情報も明確になり、自治体の放射線災害対応計画作成時にも、役立つと考えられる。

A 研究目的

厚生労働科学研究そのものの目的は、健康危機に関する研究を施策へ反映することにある。現在、重点的に対応すべき行政課題は2つある。ひとつめは、グローバル化する社会に伴う新興感染症の国内発生である。この場合、国レベルでの対応は勿論であるが、実際に感染患者を把握し、封じ込め対策を行う市町村レベルの対応を明確にすることは極めて重要である。そこで「新興感染症の市町村レベルでの対応」として、感染症対策の根幹となる、1 市町村行動計画の作成、2 行動計画において定めるべき事項、3 体制構築、を実施するために必要な項目と、その具体的な方法を探ることを目的とした。

ふたつめの行政課題は原子力災害対応である。福島第一原子力発電所事故の医療対応における教訓のひとつは、その特殊性

のために発災地以外からの医療応援が困難であったことだ。放射線災害に対応する「緊急被ばく医療」は、原子力災害対策強化地域を対象に原則的に実施されてきた。それは原子力関連施設から半径10Km内である。この距離以外の医療従事者が「緊急被ばく医療」のトレーニングを受ける機会は、基本的になかったのである。自治体によって二次被ばく医療機関を設置した場合でも、(県の地域防災計画に基づくのであるから当然であるが)人材育成は当該医療機関に留まっていた。それは、実際の患者対応はもとより、避難住民にとっても不幸なことであった。

そこで、原子力発電所立地地域以外の地域における、「緊急被ばく医療チーム」の放射線災害対応ガイドについて研究を行うこととした。

B 研究方法

(1) 新興感染症の市町村レベルでの対応

1. 対象と学校

仙台市の市立小学校 124 校を対象とした。

2. 調査方法と調査期間

それぞれの学校毎の立地緯度・経度、2009 年4月における在籍者数を調べた。

2009 年の新型インフルエンザ流行時の毎週火曜と金曜の欠席者数を8月29日から11月10日まで調べた。

3. 解析方法

学校毎の欠席者数をそれぞれの在籍者数で除し、欠席率を算出した。三次元の座標を設定し、x 軸上に小学校の経度、y 軸上に小学校の緯度を入力し、z 軸上に欠席率を入力した。地形図において山、海が存在する空間は生活空間となりえないため、山、海の座標を設定し、その z 軸上に -0.01 を入力した。

これらの値をクリギング法を用いて空間補間し、地図上に視覚化した。視覚化の際には、インフルエンザによる欠席率が 0.5% 以上を図示した。空間補間及び視覚化にはサーファ-8 のソフトを用いた

4. 市町村が行う新興感染症対策

平成 24 年度に公布された新型インフルエンザ等対策特別措置法において、市町村が行うべきことで感染拡大に関する事項について調べた。

(2) 原子力立地地域以外の緊急被ばく医療チームの放射線災害対応ガイド

JCO 事故並びに福島第一原発事故における「緊急被ばく医療」対応を踏まえて、緊急被ばく医療チームが確認すべき情報を整理した。それを踏まえて対応ガイドを作成した。

C 研究成果

(1) 新興感染症の市町村レベルでの対応

小学校の在籍者数状況をクリギング化した「在籍クリギング図」を図1に示す(図1)。

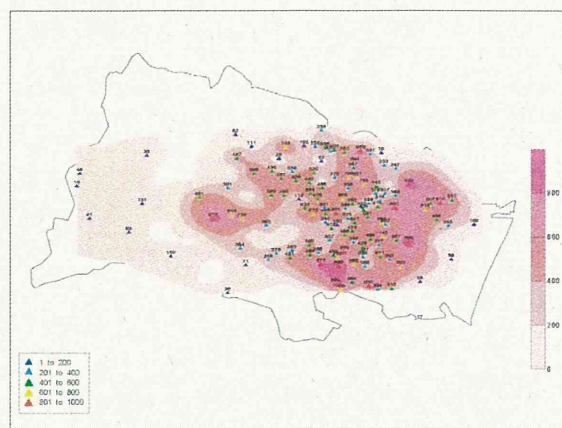


図1 仙台市小学校の在籍クリギング図

夏休みが終了し、2学期が始まった8月29日には既に小学、中学校ともに新型インフルエンザによる欠席者数が在校生の0.5%以上の「欠席クリギング図」を「在籍クリギング図」に重ね合わせたものを図2に示す(図2)。

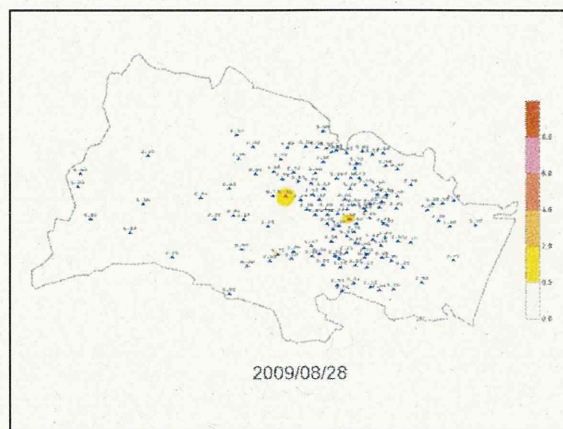


図2 在籍クリギング図上に欠席クリギング図を重ねた図(8月29日)

小学校で新型インフルエンザによる欠席者数が増加した地域は散発しており、その地域は在籍クリギング図で比較的、密度が低いところであった。

その後、9月1日時点における欠席クリギング図を在籍クリギング図に重ね合わせたものを図3に示す(図3)。

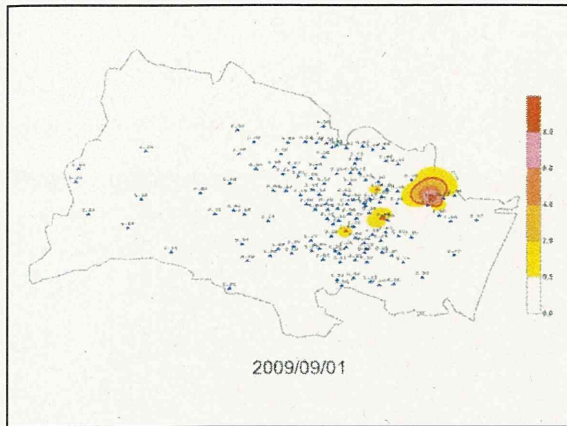


図3 在籍クリギング図上に欠席クリギング図を重ねた図（9月1日）

この時点で小学校で新型インフルエンザによる欠席者数が増加した地域は市東部であり、在籍クリギング図では在籍者密度が高いところであった。

その後、欠席者数が増加した地域は次第に拡大していった（図4、図5）。

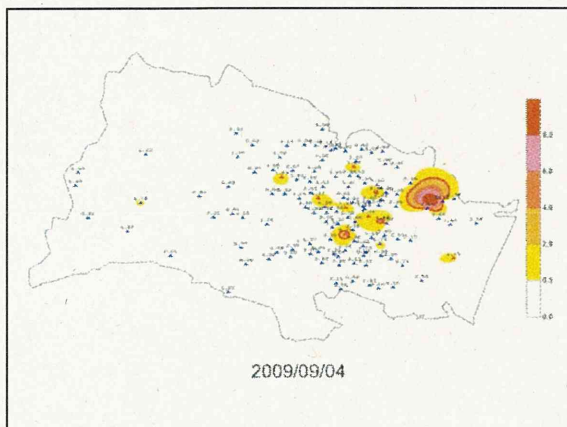


図4 在籍クリギング図上に欠席クリギング図を重ねた図（9月4日）

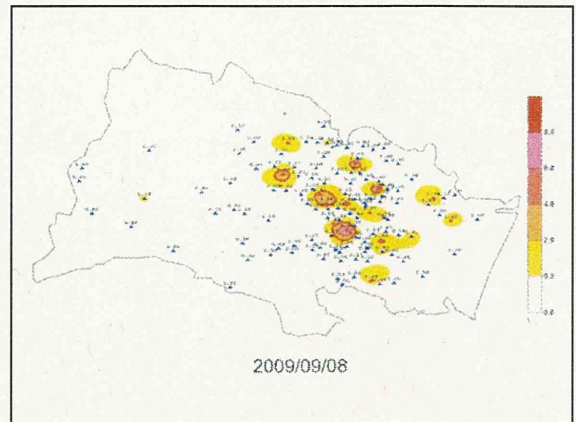


図5 在籍者クリギング図上に欠席クリギング図を重ねた図（9月8日）

新型インフルエンザ等対策特別措置法において、市町村が行うべきことで感染拡大に関する事項は以下のようであった。

I. 地方公共団体の役割(法第3条 4)

- ・自らその区域に係る新型インフルエンザ等対策を的確かつ迅速に実施
- ・当該地方公共団体の区域において関係機関が実施する新型インフルエンザ等対策を総合的に推進する責務を有する。

II. そのために市町村が行うこと(法第8条)

1 市町村行動計画の作成

2 行動計画において定めるべき事項

- ・新型インフルエンザ等対策の総合的な推進
- ・新型インフルエンザに関する情報の事業者及び住民への提供
- ・まん延防止に関する措置

3 体制構築

III. 市町村対策本部(法第35条)

(1) 構成

- ・市町村長
- ・副市長村長
- ・市長村長教育委員会の教育長
- ・当該市町村の区域を管轄する消防庁又はその指名する消防吏員
- ・市長村長が当該市町村の職員のうちから任命する者

(2) 原子力立地地域以外の緊急被ばく医療チームの放射線災害対応ガイド

JCO 事故並びに福島第一原発事故における「緊急被ばく医療」対応を踏まえて、緊急被ばく医療チームが確認すべき情報は以下のように考えられた。

I. 福岡県における放射線災害リスク評価を明確にすること。

1. 福岡県内で発生する事態・事故
 - (1) 放射性同位元素等使用事業所における事故等
 - (2) Nテロ
2. 九州内の原子力発電所における事故

II. 緊急被ばく医療の対象者を分けて考えること。

1. 直ちに医療を必要とする患者
 - (1) 汚染を伴う外因・内因性患者
 - (2) 急性放射性症候群
2. 医学的な説明を必要とする被災者

III. 緊急被ばく医療に必要な医療確保の考え方として3つを明確にすること。

1. 必要となる情報は何か
2. 情報に基づいてどのような行動をするべきか
3. 行動を実施・支援する機関はどこか

IV. 実際の対応として7点を明確にすること。

1. 災害発生情報の伝達や如何に
2. 発災現場への出動
3. 後方医療支援体制の立ち上げ
4. 現場活動
5. 搬送選定
6. 医療機関における患者受け入れ体制
7. 行政が行う周辺住民対応への協力等

これらを含めて、ガイドを作成した(別添資料)。

D 考察

(1) 新興感染症の市町村レベルでの対応
感染症が地域において拡大するか否かは、再生産係数 R_0 によって予測できる。再生産

係数 R_0 は感染症の原因となる病原微生物の感染力を β とし、感染者が単位時間当たり非感染者と接触する割合を κ 、感染症が他者に感染しえる期間を D 、とした場合、 $\beta \times \kappa \times D$ で表される。この値が1より大きい場合には、地域で感染が拡大していくと判断される。

インフルエンザは小学校をハブとして地域に感染拡大していくことは既に指摘されているところである。再生産係数 R_0 のうち、感染症が単位時間当たり非感染者と接触する割合は、地域の人口密度、感染症が他者に感染しえる期間は、感染症罹患者の現状と置き換えることが可能である。すなわち、図6に示すように、地域における学校の空間密度を縦軸に、欠席状況を横軸にとったマトリックスを考えれば、「地域での流行拡大リスク」は左上頂点が最も高く、右下が最も低くなるだろう(図6)。

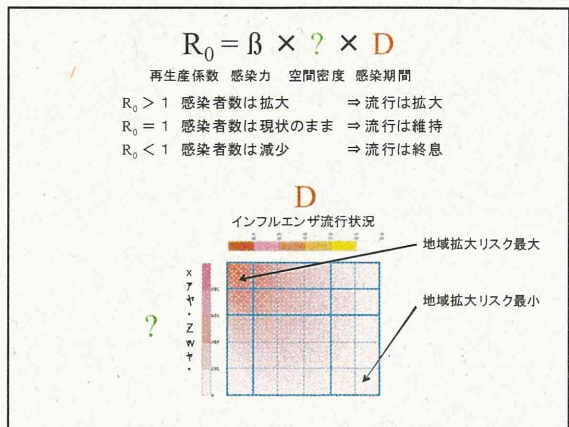


図6 再生産係数 R_0 と小学校在籍者数、欠席者数の関係

本研究では、図6の縦軸を「在籍クリギング」、横軸を「欠席クリギング」図に相当する。すなわち、図2～5は、再生産係数 R_0 を可視化した図と考えることができる。8月28日には、既に市中央部において新型インフルエンザで欠席率が平常より高い小学校が存在しているが、その小学校は地域空間密度が小さく、欠席率もさほど高くない(図2)。この時点では地域における再生産係数 R_0 は小さいと判断できる。一方、9月1日には仙台市東部の空

間密度が高い地域において、欠席率も高い小学校が出現している(図3)。再生産係数 R_0 は図2より図3の状況の方が大きいことを示したおり、地域拡大のリスクは大きいと考えられる。事実、この後、市東部から新型インフルエンザは地域拡大へと至っていた(図4、5)。

感染症から国民の生命・身体を護り、生活・経済活動への影響を最小限にするには、市町村レベルにおいても、①発生の把握、②病状解析(重症度、薬の有効性、罹患性)、③拡大状況の把握、④対象となりやすい集団の把握、⑤伝染要因の把握(感染形式、ハブ)を、この順番を十分に意識して行うことが有効と考える。

①発生の把握、については、2009年の新型インフルエンザの際に、患者は会社が終わった夜間に来ることが多かったことから、夜間・休日急患センターを定点医療機関に入れることを考慮すべきである。②病状把握については、図7を用いて分類することが有用であると考えられる。

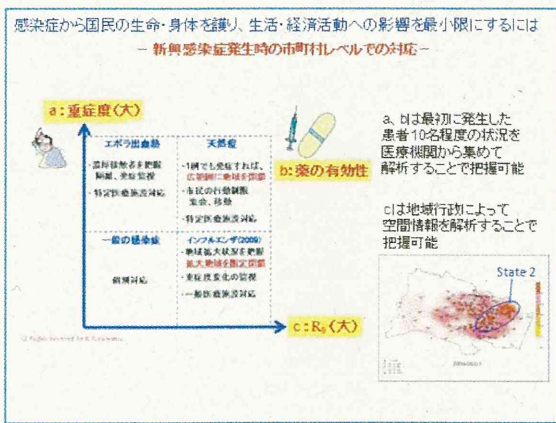


図7 新興感染症の病状把握

重症度並びに薬の有効性は最初に発生した患者10名程度の状況を医療機関から集めて解析することで把握可能である。再生産係数 R_0 の評価については図1~5で示した空間情報が役立つであろう。それには、それぞれの地域でハブとなる施設の在籍者数を把握して「在籍クリギング図」を作成し、それに感染症流行時の欠席者数を把握して「欠席クリギング図」を重ね合わせることで作成できる。④対象となりやすい集団の把握、⑤伝染要

因の把握についてはある程度の患者が発生した後に漸くわかってくるものと思われる。

これらをふまえて、行動計画のガイドライン及びスケルトンを作成することが有効となると考える。

(2) 原子力立地地域以外の緊急被ばく医療チームの放射線災害対応ガイド

「緊急被ばく医療」はJCO事故を契機に、当時の原子力安全委員会において作成された「緊急被ばく医療のあり方」に基づいて実施されるべきものである。本来、その概念は、放射性物質が環境中に漏洩しない場合であっても、原子力関連施設以外の施設における(大学でのRI取扱中に起きるような)軽微な事故をも対象とすることとなっている。そのような機会は様々にあることから、本来はすべての医療関連職種には、緊急被ばく医療について一定の理解と御対応力が望まれるところである。現実には、原子力関連施設が立地している地域においてのみ、その人材育成が図られてきた。福島第一原発事故終息までには、炉心溶融した放射性物質取り出しを含めて、これから30年以上かかる。また、事故により汚染された土地での低線量長期被ばくの問題もある。それらを考えれば、緊急被ばく医療にかかる人材育成は、すべての地域における課題とするべきである。それをふまえたうえで、まず緊急時の対応についてガイドを作成した。

緊急時の放射線災害に対応する者は、JCO事故のような「対応者自身は放射性物質汚染に晒されない事故」と、福島第一原子力発電所事故のように「対応者自身も放射性物質汚染に晒される事故」とがある。ガイド作成にあたっては、これを明確に分けて対応できることを明確にした。自身の装備に関係するからである、次に被ばく線量を評価できることようにした、自身の活動時間を決定できるためである。

福島第一原発事故では、原子力発電所で事故終息作業に当たる作業員に発生する傷病者だけでなく、避難住民へのヨウ素剤投与、健康不安への対応等が必要であった。そこ

で、これらに対応できる情報が得られることに配慮した。災害時にはすべてが混乱し、情報が得られている場合でも、共有すべき人が誰か分かっていない場合が殆どだからである。

本ガイドを用いることで、活動に必要な情報が整理できると共に自治体が提供すべき情報も明確になり、自治体の放射線災害対応計画作成時にも、役立つと考えられる。

E 結論

本研究で採用した感染症対応の考え方は、新型インフルエンザ対策特別措置法に基づくものであり、原子力災害対策は災害対策基本法及び原子力災害対策特別措置法に基づくものである。空間情報を応用することで、いずれの法においても、その基本概念の具体化の質を上げることができる。

福島第一原子力発電所事故の反省を踏まえて、原子力発電所立地地域以外の地域における緊急被ばく医療チームの活動ガイドを作成し、福岡県地域防災計画原子力災害対策に応用した。

F 研究発表

なし

G 知的財産権の出願・登録状況

G-1 論文発表

なし

G-2 学会発表

なし

別添資料：緊急被ばく医療チーム活動ガイド

福岡救急医学会緊急被ばく医療チーム活動ガイド

1. 皆さんが今から関与する事故概要は？

- ① 原子力発電所事故
- ② 放射性物質関連事態

☞ 緊急被ばく医療ポケットブックを用意して下さい

2. 放射線状況は

- ① 放射性物質の管理区域外への漏洩 あり なし
 - ・ 核種（プルトニウムの有無には特に注意）は？

 - ・ 性状（気体、液体、固体）⇒ 防護方法に関与

- ② 発災地からの空間線量率は右図のようであり、
 - ・ 空間線量は気象条件（風向、風速等）、地形により影響を受ける



📍 これをチェック！！

- 各地の空間線量率実測値
- SPEEDI 情報

- 現在の風向、風速
- 今後の天気予報